

责任编辑：杨玉芹 彭 斌
视频编辑：郭 麟
封面设计：李士勇



该文档是极速PDF编辑器生成，
如果想去掉该提示，请访问并下载：
<http://www.jisupdfeditor.com/>



民用航空器维修技能系列教材丛书
职业教育新形态教材

- 飞机维修实训工卡（上、下册）
- 飞机维修基本技能（上、下册）
- 飞机维修专业技能
- ★ 飞机维修结构技能
- 复合材料修理技能
- 涡轮发动机维修技能

内 容 简 介

本教材主要涉及ATA51-57章的飞机维修工作，包括两部分：第一部分为钳工操作，涵盖了钳工的基础知识及划线、锯削、锉削、錾削、孔加工、螺纹加工六种基本技能的工量具使用、技能规范、异常处理及安全要求。第二部分钣金结构修理，讲述了飞机基本构造，介绍了飞机结构部件的站位与分区、结构修理常用工具和耗材，还着重讲述了飞机结构修理相关的基本技能，最后介绍了SRM手册的构造及应用。本教材在讲解知识和技能的同时，注重思政内容的挖掘与设计，实现知识传授、能力培养与价值塑造有机融合的育人理念。

本教材可作为职业院校飞机维修类专业教材，也可供民航机务人员工作中参考。

做民航教材出版的领军者
做民航文化学术的传播者

中国民航出版社教材编辑部
联系电话：010-64294885
E-mail: minhangbook@sina.com



中国民航出版社
微店



中国民航出版社
淘宝店

ISBN 978-7-5128-1306-9



定价：48.00元



民用航空器维修技能系列教材丛书
职业教育新形态教材

飞机维修结构技能

邢瑞山 邓红华 主编

中国民航出版社有限公司



民用航空器维修技能系列教材丛书
职业教育新形态教材

FEIJI WEIXIU JIEGOU JINENG

飞机维修 结构技能

邢瑞山 邓红华 主 编



增配微课视频

中国民航出版社有限公司

民用航空器维修技能系列教材丛书
职业教育新形态教材

飞机维修结构技能

邢瑞山 邓红华 主 编



中国民航出版社有限公司

图书在版编目 (CIP) 数据

飞机维修结构技能 / 邢瑞山, 邓红华主编. —北京:
中国民航出版社有限公司, 2023. 11
ISBN 978-7-5128-1306-9

I. ①飞… II. ①邢… ②邓… III. ①飞机构件-维
修-教材 IV. ①V267

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 247755 号

飞机维修结构技能

邢瑞山 邓红华 主编

责任编辑 杨玉芹 彭斌
出版 中国民航出版社有限公司 (010) 64279457
地址 北京市朝阳区十里河桥东中国民航报社二层 (100122)
排版 中国民航出版社有限公司录排室
印刷 北京环球画中画印刷有限公司
发行 中国民航出版社有限公司 (010) 64297307 64290477
开本 787×1092 1/16
印张 13.75
字数 310 千字
版印次 2024 年 6 月第 1 版 2024 年 6 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-5128-1306-9

定价 48.00 元

官方微博 <http://weibo.com/phcaac>

淘宝网店 <https://shop142257812.taobao.com>

电子邮箱 phcaac@163.com



总序

FOREWORD

中国民航作为国家重要战略产业、朝阳产业，是我国交通强国战略的重要组成部分和有力支撑。2018年11月，中国民用航空局印发了《新时代民航强国建设行动纲要》，标志着民航强国建设进入新阶段，要求民航加快向高质量发展转型。而随着国民经济的高速发展，民航发展进入了增量提质的关键期，不断扩大的运行规模给行业安全保障能力提出了挑战。作为民航产业链条中的重要环节，机务维修产业对保障民航运输安全、增强民航运输能力、提高民航运输效益，促进民航高质量发展具有决定性意义。

民航的高质量发展离不开机务维修产业的高质量支撑，离不开机务维修人才梯队的高质量建设。广州民航职业技术学院飞机机电设备维修专业群作为国家第一批“双高计划”建设项目，同时作为飞机机电设备维修专业国家级教学资源库主持单位，积累了许多教学经验与实践成果。为此，我们组织了广州民航职业技术学院教师和民航飞机维修企业专业人员，基于民航局《民用航空器维修人员执照管理规则》（CCAR-66-R3）编写了“民用航空器维修技能系列教材丛书”。该丛书将庞杂的飞机维修技能在基本技能、专业技能、结构技能、复合材料技能、发动机技能等五个维度进行立体化呈现，并配套活页式的飞机维修实训工卡作为实践教学载体。该丛书是国内行业第一套知识全面、技能完备和教学资源丰富的民航机务维修技能专业书籍，汇聚了相关院校和民航维修企业专业人员的从业经验及专业成果。本丛书充分反映了行业专业水平，集知识性、实用性于一身，既适用于在校机务学生的专业技能培养，同时由

于此丛书以《航空器维修基础知识和实作培训规范》（AC-66-FS-002R1）为编写指南，也可广泛运用于民航 147 维修机构、航空公司、民航维修企业与制造企业的技能培训。

这套“民用航空器维修技能系列教材丛书”的编写涵盖面较广，涉及的知识点与技能点较多，特色鲜明，内涵丰富，成为民航特色专业新形态教材建设的有益尝试。希望这套教材能以其全面性与实用性，助力我国民航机务维修人员综合业务水平的持续提升，为民航高质量发展做出贡献。

民航职业教育教学指导委员会航空机务维修专业委员会主任委员



2023 年 11 月



前言

PREFACE

飞机维修岗位作为民航安全运行的核心岗位之一，是保障飞行安全的重要一环。为贯彻中国民用航空局“抓基层、打基础、苦练基本功”的安全工作要求，扎实提升民航飞机维修人才梯队的技能水平，本教材基于 FAR-AC65、CCAR-66R2、CCAR-147 及相关咨询通告的要求，参考一线机务维修技术专家的经验，结合当下国赛、世赛飞机维修项目的基本技能要求编写而成。本教材涵盖了 FAR-AC65-15A、CCAR-66R2 部飞机结构修理相关的部分内容。

根据当前飞机维修专业群在校生的实际情况和特点，本教材围绕“互联网+”高校立体化教材建设思路，契合新形态教材的开发应用，以民航行业人才培养需求为导向，融入课程思政元素，实现价值引领；注重职业教育飞机维修类岗位群职业能力的要求，突出学生飞机维修基本技能的夯实，强调学生解决问题能力和可持续发展能力的培养，既适应产业对人才知识与能力体系的需求，又体现以能力为本位的职业教育特色。

本教材主要涉及 ATA51-57 章的飞机维修工作。教材共有两部分，第一部分为钳工操作，涵盖了钳工的基础知识及划线、锯削、锉削、錾削、孔加工、螺纹加工六种基本技能的工量具使用、技能规范、异常处理及安全要求；第二部分钣金结构修理，讲述了飞机基本构造，介绍了飞机结构部件的站位与分区，结构修理常用工具和耗材，还着重讲述了飞机结构修理相关的基本技能，最后介绍了 SRM 手册的构造及应用。本教材图文并茂、通俗易懂，将文本、图片、视频等资源相互融合，以多种形式呈现教材内容，

培养学生的安全、规范工作意识。

本书具有以下特点：一、根据《民用航空器执照培训和考试要求》，细化了培训等级，明确了技能目标，提出了培训学时建议；二、以立体化的方式，采用“微视频讲解互动”的全新学习模式，对于重要知识点附上二维码，学生只要用手机扫描书中相关知识点或技能点的二维码，就可以实时浏览对应的教学视频，轻松领会对应知识点和技能点，获得良好的工作岗位体验；三、教材内容全面融入课程思政元素，引导学生在学习掌握职业技能的同时，树立正确的价值观和职业观，塑造健康人格，弘扬和践行民航精神、工匠精神。

本书第一部分钳工操作主要由邓红华编写，第二部分钣金结构修理主要由邢瑞山编写，其中第6章、第11章和第12章由陆晶文编写，最后由邢瑞山和孔磊统稿。南航工程技术分公司培训部罗龙鹏和广州民航职业技术学院孟忠文担任主审。本书在编写过程中，得到了广州民航职业技术学院飞机维修工程学院领导的大力支持，结构修理教研室陈西宏、邱晓慧、郭亮、胡志军、伍伟、林俊丹等同事为本教材提出了许多修改建议，在此致以衷心的感谢。由于编写时间仓促、编者知识和专业水平有限，书中难免存在欠妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2024年2月



目 录

CONTENTS



飞机维修结构技能

第一部分 钳工操作

第 1 章 钳工基础知识·····	2
1.1 钳工工作范围·····	2
1.2 钳工常用设备·····	3
1.3 钳工常用工量具·····	6
1.4 钳工的安全操作及文明要求·····	15
第 2 章 划线·····	17
2.1 划线的作用及要求·····	17
2.2 划线的工具及其用法·····	18
2.3 划线前的准备与划线基准·····	25
2.4 平面划线及立体划线·····	27
2.5 划线质量分析及安全要求·····	30
第 3 章 锯削·····	32
3.1 锯削工具·····	33

3.2	锯削操作技术	34
3.3	常见材料的锯削方法	38
3.4	锯削质量分析及安全要求	40
第4章	锉削	43
4.1	锉刀	44
4.2	锉削操作技术	46
4.3	常见形状的锉削方法	49
4.4	锉削质量分析及安全要求	53
第5章	錾削	58
5.1	錾削工具	58
5.2	錾削操作技术	60
5.3	錾削方法	65
5.4	錾削质量分析及安全要求	69
第6章	孔加工	71
6.1	钻孔加工设备	71
6.2	钻孔用钻头	74
6.3	钻孔	80
6.4	钻孔质量分析及安全要求	87
6.5	其他孔加工方法	89
第7章	螺纹加工	95
7.1	螺纹加工工具	95
7.2	攻螺纹	99
7.3	套螺纹	102
7.4	螺纹加工质量分析及安全要求	103

第二部分 钣金结构修理

第8章	飞机结构概述	106
8.1	机身	107
8.2	大翼	110
8.3	短舱和吊舱	116
8.4	尾部	117

8.5	飞行控制舵面	118
8.6	起落架	123
8.7	蒙皮和整流罩	123
8.8	门和检查口盖	123
8.9	结构的主要受力形式	124
第 9 章	飞机结构的分类、站位与分区	127
9.1	飞机结构的分类	127
9.2	飞机结构的站位与分区	129
第 10 章	飞机结构修理常用工具和材料	134
10.1	结构修理常用材料	134
10.2	结构修理常用工具	137
第 11 章	钣金放样与折弯	143
11.1	平行线展开法	143
11.2	射线展开法	144
11.3	三角形展开法	145
11.4	近似展开法	146
11.5	折弯的展开计算	147
第 12 章	结构类常用紧固件	151
12.1	螺纹紧固件	151
12.2	常用航空螺母和垫圈	152
12.3	航空螺钉	154
12.4	高锁螺栓	155
12.5	常用实心铆钉	157
12.6	拉铆钉	161
第 13 章	损伤结构件的处理	163
13.1	损伤的分类	163
13.2	损伤的检查与信息收集	165
13.3	可允许损伤的判断	169
13.4	损伤结构的处理	170
第 14 章	钣金加工技能	172
14.1	剪切与下料	172

14.2	钣金件冷加工成型	176
14.3	铆钉的排布	183
14.4	制孔与铤窝	184
14.5	铆接	190
14.6	铆钉的拆除	199
第 15 章	SRM 手册的介绍与应用	201
15.1	SRM 手册概述	201
15.2	SRM 的编排与编码	201
15.3	结构损伤报告	205
15.4	可允许损伤的判定	205
15.5	维修方案的确定	206
参考文献		208

第一部分

钳工操作

钳工是指利用台虎钳、各种手持工具和一些简单的电动工具，完成零件的加工，部件、机器的装配和调试，以及各类机械设备的维护和修理等工作。

技能目标

1. 了解和掌握钳工主要工作内容、常用设备及工量具使用、各项技能安全要求等知识；
2. 掌握钳工划线、锯削、锉削、錾削、孔加工、螺纹加工的操作技能；
3. 能运用钳工技能完成常见形状的工件制作。

培训学时建议

最少 28 学时。

第 1 章 钳工基础知识

钳工是机械加工中起源最早、技术性最强的工种之一。钳工具有工具简单、操作灵活、技术性强、劳动强度大等特点。在金属加工工作中,无论是哪一个工种,都要掌握好钳工的各项基本操作。随着生产技术的发展,钳工已成为工业生产中一门独立的而且不可缺少的工种。在民航系统中,如飞机机电维修、飞机结构修理等工作岗位对钳工操作技术的要求更高。机务人员只有熟练掌握各项钳工操作技术,才能在飞机维修与维护工作中得心应手地完成维修任务。

思政之窗

学习 2015 年首届“大国工匠”——中国商用飞机有限责任公司钳工组组长胡双钱的先进事迹。他在工作的 35 年里加工的数十万飞机零件,安装在近千架飞机上没有出现一个次品。在 C919 飞机研发中,有一次在临时“救急”的钛合金异形件上,他利用钳工技能在一个多小时内,加工完成了 36 个直径 0.024 mm、约二分之一头发丝粗细的孔,零件一次性通过检验。

作为新时代准民航人,学生感受大国工匠们秉承的严谨专注、执着奉献的职业精神,培养自身的职业担当精神和社会责任感,树立为建设民航强国而努力奋斗的理想。

1.1 钳工工作范围

钳工的基本操作技能有:划线,锯削,锉削,錾削,孔加工(钻孔、扩孔、铰孔、绞孔),螺纹加工(攻丝、套丝),刮削,研磨,铆接,矫正和弯曲,技术测量,简单的热处理,对部件或设备进行装配、调试、维修等。

随着机械工业的发展,钳工的工作范围日益扩大,形成了钳工的专业分工,如装配钳工、机修钳工、工具钳工等。

钳工的工作范围很广,主要包括以下几个方面:

(1) 机械加工前的准备工作。如毛坯表面清理、工件划线等,特别是外形轮廓不规则的异形零件,在加工前通常要先经过划线,才能投入切削加工。

(2) 零件的加工。在零件加工过程中,由于形状复杂且精度要求高,采用机械加



工等其他方法不适合或不能解决时，可利用钳工来完成。

(3) 工、量具的制作。在工业生产中常会遇到专用工具、夹具、样板、量具的制作，这类用具一般为单件或小批量，用机械加工很不经济，此时可由钳工来完成。

(4) 零部件、设备的安装与调试。根据设备的工作原理、图纸的技术要求，完成零部件组装和整机装配，并进行调整和精度的检测。

(5) 设备的维护与修理。机械设备使用一段时间后，由于受到磨损导致性能下降或产生故障影响正常使用时，需要通过钳工来维护和修理。

1.2 钳工常用设备

钳工常用设备包括：钳桌、台虎钳、钻床、砂轮机等。

1. 钳桌（钳台）

钳桌（钳台）又称钳工工作台，主要用来安装台虎钳，放置工、量具和工件。其高度为 800~900 mm，安装台虎钳后，钳口的高度与一般操作者的手肘平齐，如图 1.1 所示。

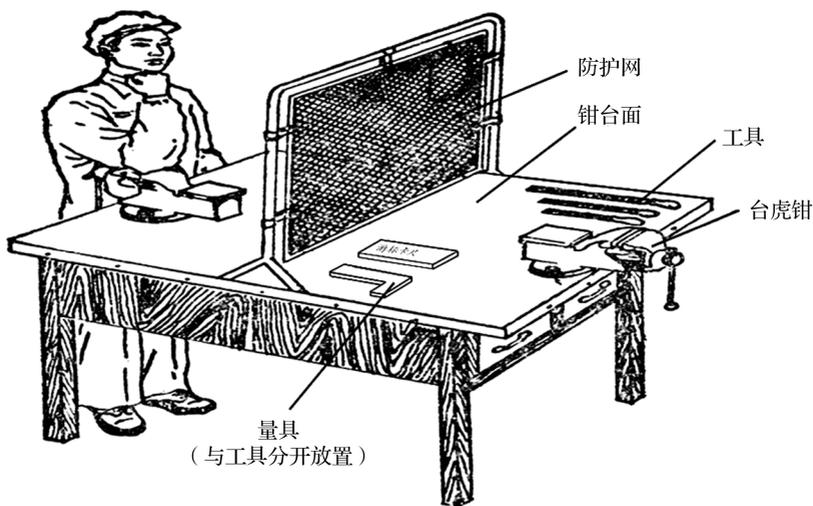


图 1.1 钳桌

2. 台虎钳

台虎钳是用于夹紧工件的通用夹具，其规格用钳口宽度来表示，常用规格有 100 mm、150 mm、200 mm 等。

台虎钳有固定式和回转式两种类型，两者的主要构造和工作原理基本相同。回转式

台虎钳的钳身可以在底座上旋转，因此使用方便，应用范围广，可满足各种不同方位的加工需要，其结构如图 1.2 所示。

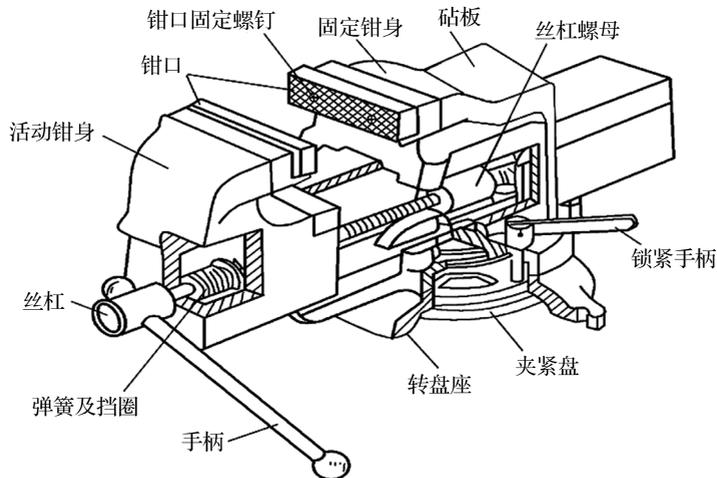


图 1.2 回转式台虎钳

台虎钳在安装时，应使固定钳身的钳口工作面露出钳台边缘，以保证夹持长条形工件时，避免工件下端受到钳台的阻碍。台虎钳固定应牢固，避免钳身在工作时产生松动。

台虎钳的使用及维护要求如下：

(1) 夹紧工件时，只允许依靠手的力量扳紧手柄，不能用锤子敲击手柄或用加长管子来扳手柄，以免丝杠、螺母或钳身因受力过大损坏。

(2) 锤击工件只可在固定钳身的砧板面上进行，不能在活动钳身的光滑上表面进行敲击工作，以免降低它与固定钳身的配合性能。

(3) 进行强力作业时（例如錾削），应尽量使作用力朝向固定钳身，否则丝杠和螺母会因受到较大的力而导致螺纹损坏。

(4) 工作结束后，应将钳口夹持的工件取下，避免丝杠及螺母长时间受力。

(5) 丝杠、螺母和各活动表面，应经常加油润滑，并保持清洁，以延长使用寿命。

3. 砂轮机

砂轮机是用来刃磨钻头、铰子、划针等刀具或其他工具，也可用来修磨工件或材料的毛刺、锐边、氧化皮等。它主要由电动机、机座、砂轮、搁架和防护罩等组成，其外形如图 1.3 所示。

砂轮是由磨料和结合剂构成的多孔物体。常用的砂轮磨料主要有氧化铝、碳化硅两类。氧化铝砂轮依据含量的不同分为棕色、白色两种，棕色氧化铝砂轮可用来刃磨常见的碳钢和铸铁工件。碳化硅砂轮硬度高、锋利，但较脆，依据含量的不同分为黑色、绿



色两种，绿色碳化硅砂轮可用来刃磨硬质合金刀具。

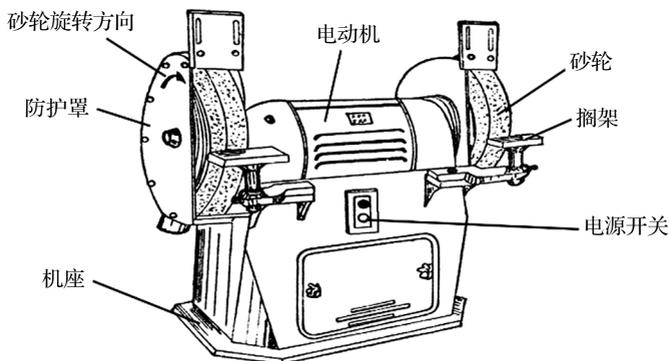


图 1.3 砂轮机

使用时，应根据加工工件的磨削量、材质来选择砂轮的粗细、硬度。粗磨时，磨削余量大，要求的表面粗糙度值较大，粗砂轮的磨粒粗、气孔大，磨削深度较大，砂轮不易堵塞和发热。精磨时，余量较小，要求粗糙度值较低，可选取较细的砂轮。加工较软的金属材料，例如铜和铝，应使用较粗、较硬的砂轮；加工较硬的合金材料，为了使磨钝的磨粒及时脱落，从而露出具有尖锐棱角的新磨粒，应选用较软的砂轮。

砂轮质硬且脆，转速又高，使用时应严格遵守以下安全操作规程：

(1) 使用前，应检查砂轮机电源线、防护罩是否完好；砂轮机的搁架与砂轮间的距离应保持 3 mm 以内，过大则容易造成磨削件被砂轮带入而发生危险；发现砂轮有裂纹、缺损等，应立即停止使用并予以更换。

(2) 砂轮的旋转方向应正确，以使磨屑向下方飞溅。

(3) 砂轮机启动后，应待砂轮转速平稳后才能进行磨削。

(4) 操作者在磨削时，不要站在砂轮的正对面，而应站在侧面或斜对面。

(5) 使用时，应使用砂轮的外圆柱面刃磨，不能使用砂轮的侧面；不准将磨削件撞击砂轮或施加过大的压力，以防砂轮碎裂；发现砂轮表面跳动严重时，应及时用砂轮修整器修正。

(6) 禁止在砂轮上刃磨工件，或其他与课程无关的物品。

(7) 砂轮机使用完之后，应立即断电停机。

4. 钻床

钻床是用来对工件进行孔加工的设备，常用钻床有台式钻床、立式钻床、摇臂钻床。

1.3 钳工常用工量具

由于钳工具有多种不同的工作内容，操作时所使用的工具也存在差异。表 1-1 列出了钳工常用的工具名称。

表 1-1 钳工操作技能及对应的工具

技能名称	主要工具名称
划线	划针、划规、划线盘、样冲、游标高度尺、划线平台、V 形铁、方箱、千斤顶
锯削	锯弓
錾削	錾子、铁锤（也称榔头）
锉削	各种形状、大小的锉刀
孔加工	麻花钻、扩孔钻、铰钻、铰刀
螺纹加工	丝锥、板牙、铰杠（也称铰手）、板牙架
刮削	刮刀、校准工具（校准平板、角度直尺、水平仪）
研磨	研磨平板、研磨圆盘、研磨棒、砂纸
铆接	铆枪、顶铁、冲头
矫正和弯曲	矫正平板、压形模、木锤（或胶锤）

量具是指用来测量、检验零件或产品的尺寸、形状的工具。为了保持量具的精度，延长其使用寿命，使用时对量具的维护和保养要求如下：

(1) 使用前，应检查合格证。

(2) 测量前，应将量具的测量面和工件表面擦拭干净，以免影响测量精度和避免量具的磨损。

(3) 使用后，应放回其专用的量具盒内。

量具的种类很多，根据其用途不同，可分为通用量具（例如钢直尺）、专用量具（例如塞尺）、标准量具（例如量块）三种类型。钳工常用的量具有：游标卡尺、千分尺、万能角度尺、百分表、刀口尺、宽座角尺、塞尺、钢直尺与钢直角尺等。



钳工常用量具

1. 游标卡尺

游标卡尺简称卡尺，可用来测量长度、厚度、外径、内径、深度等。游标卡尺结构简单、使用方便、测量精度较高，是钳工使用最多的一种量具。在实际使用中，游标卡尺的形式多种多样，包括普通卡尺、表盘卡尺、数显卡尺、游标高度尺、游标深度尺等。钳工常用的游标卡尺规格为 150 mm、精度为 0.02 mm，其结构如图 1.4 所示。

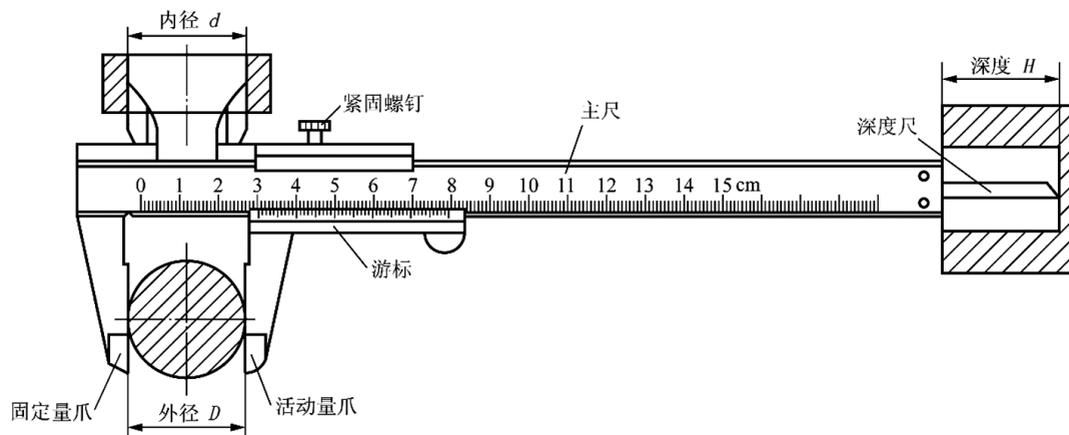


图 1.4 普通游标卡尺的结构

1) 刻线原理及读数方法

以精度为 0.02 mm 的游标卡尺为例，主尺每 1 格的长度为 1 mm ；游标总长度为 49 mm ，等分为 50 格，则每格的长度为 $49/50 = 0.98\text{ mm}$ ；主尺与游标每 1 格的长度之差为 $1\text{ mm} - 0.98\text{ mm} = 0.02\text{ mm}$ 。

图 1.5 所示为精度 0.02 mm 游标卡尺的读数方法，具体步骤如下：

(1) 先读主尺的整毫米数，即读出游标零线左边主尺上的整毫米数。注意：通常在主尺每隔 10 个刻线位置标出 1、2、3……分别代表 10 mm 、 20 mm 、 30 mm ……

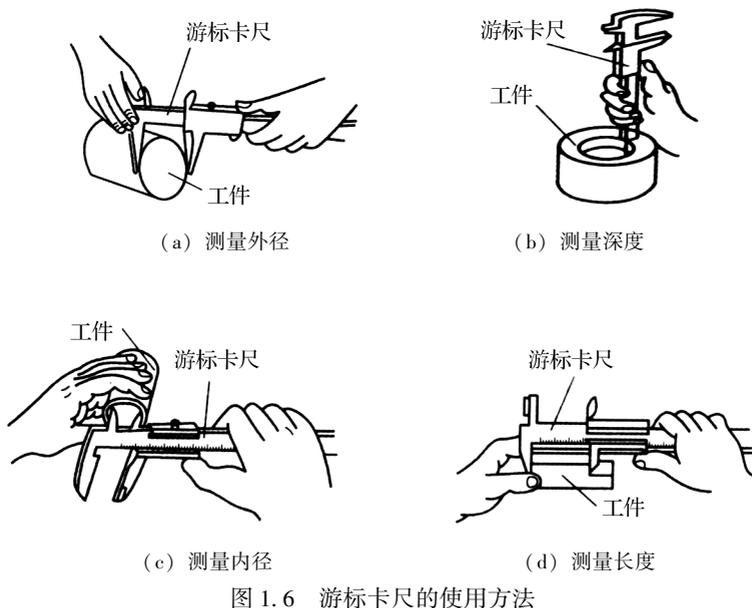
(2) 再读游标的小数，即观察游标上第几格与主尺刻度线对齐，将格数 $\times 0.02$ 。注意：通常在游标每隔 5 个刻线位置标出 1、2、3……分别代表 0.10 mm 、 0.20 mm 、 0.30 mm ……

(3) 将主尺读数与游标读数相加，得出测量结果。

图 1.5 精度 0.02 mm 游标卡尺的读数方法

2) 使用方法及要求

- (1) 测量前应先将游标卡尺擦拭干净。
- (2) 将卡尺的两量爪贴合，检查尺身、游标的零刻度线是否重合（即校零）。若卡尺出现零位误差时，需按公式进行修正：被测尺寸=读数-零位误差。
- (3) 游标卡尺的使用方法如图 1.6 所示，测量内径、深度时应防止卡尺歪斜。
- (4) 测量时用力应适当，尽量在测量状态下进行读数，以减少误差。
- (5) 读数时，眼睛应正对着卡尺刻度线，否则应先拧紧紧固螺钉后，再取出卡尺。
- (6) 卡尺使用时要轻拿轻放，使用完后应立即放回盒内。



2. 千分尺

千分尺比游标卡尺更加精密，是精加工时常用的测量工具，常见千分尺的测量精度为 0.01 mm。根据用途的不同，千分尺分为外径千分尺、内径千分尺、深度千分尺、螺纹千分尺等。外径千分尺的测量范围有 0~25 mm、25~50 mm、50~75 mm 等，其结构如图 1.7 所示。

1) 刻线原理及读数方法

以 0~25 mm 的千分尺为例，固定套管相邻两刻度线的距离与测微螺杆的螺距相同，均为 0.5 mm；当微分筒转 1 圈时，测微螺杆就移动 1 个螺距（即 0.5 mm）；微分筒的外圆锥面上共等分为 50 格，微分筒每转 1 格时，测微螺杆就移动 $0.5/50=0.01$ mm。

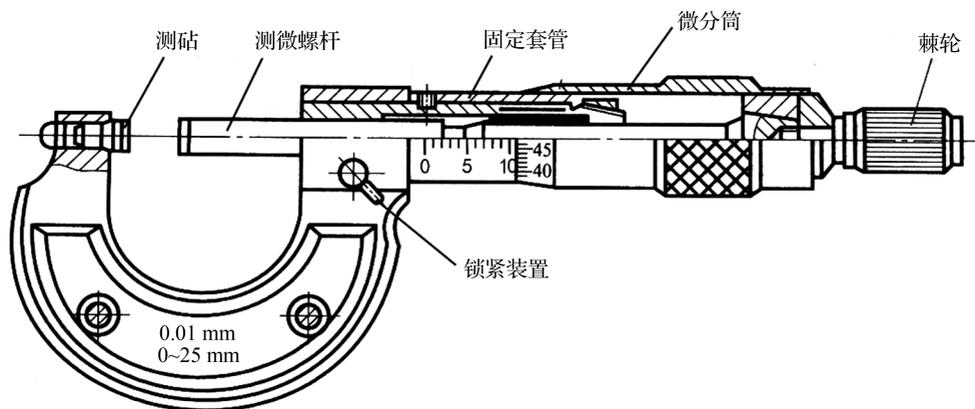
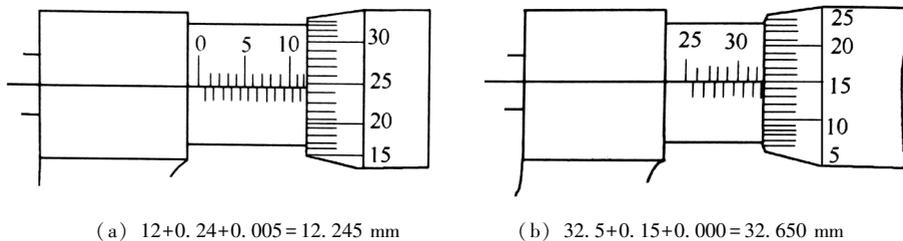


图 1.7 外径千分尺

图 1.8 所示为千分尺的读数方法，具体步骤如下：

- (1) 先读主尺，即读出固定套管上露出的整毫米、半毫米数值。
- (2) 再读微分筒，即读出固定套管中线相对的微分筒已转的格数，将格数 $\times 0.01$ ；再观察与固定套管中线相对的微分筒刻度线的位置，后加 1 位估计值。
- (3) 将主尺的整数、微分筒的小数相加，得出测量结果。



$$(a) 12 + 0.24 + 0.005 = 12.245 \text{ mm}$$

$$(b) 32.5 + 0.15 + 0.000 = 32.650 \text{ mm}$$

图 1.8 外径千分尺的读数

2) 使用方法及要求

- (1) 测量前应先千分尺擦拭干净。
- (2) 选择合适的千分尺，并校零。对于规格为 0~25 mm 的千分尺，直接将测微螺杆与测砧接触，其他规格的千分尺需使用自带的专用标准长度杆。若千分尺出现零位误差时，需按公式进行修正：被测尺寸 = 读数 - 零位误差。
- (3) 测量时，可用左手握持千分尺的标牌位置，右手先转动微分筒，如图 1.9 所示，当两测量面将要接触工件时，再转动棘轮，直到棘轮发出“咔咔”声为止。
- (4) 为减少测量误差，避免测杆与测砧的磨损，应尽量直接在测量状态下读数。若必须取下读数时，应先锁紧，再顺着工件轻轻地滑出。

- (5) 若测量准确度要求较高时，应测量 3 次以上取平均值。
- (6) 千分尺使用后应清洁干净，两测量面涂油防锈。
- (7) 千分尺不可与工件、工具以及其他量具混放，使用后应立即放回盒内。

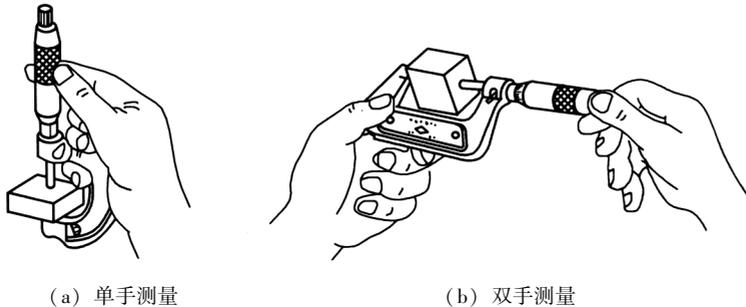


图 1.9 外径千分尺的使用方法

3. 万能角度尺

万能角度尺是用来测量工件内、外角度的量具，其测量精度有 $2'$ 和 $5'$ 两种，测量范围为 $-40^\circ \sim 320^\circ$ 。万能角度尺的结构如图 1.10 所示。

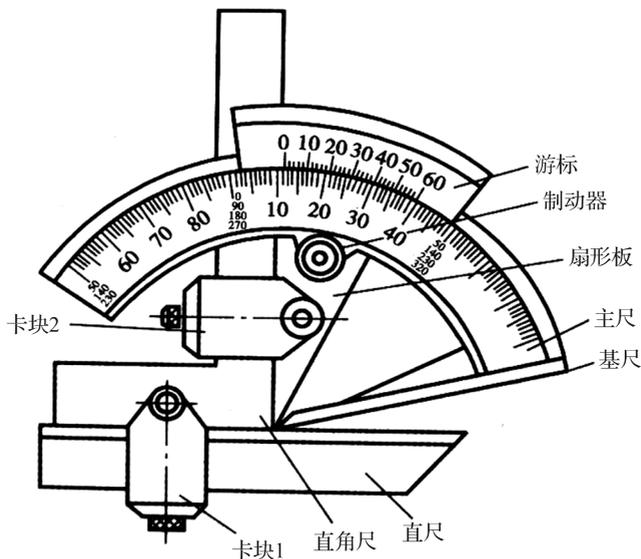


图 1.10 万能角度尺的结构

1) 刻线原理及读数方法

以精度 $2'$ 的万能角度尺为例，主尺刻线每格为 1° ；游标上刻有 30 格刻线，对应扇形板上的度数为 29° ，则游标上每格的度数为 $29^\circ/30 = 58'$ ；扇形主尺与游标每格的度数



之差为 $1^{\circ}-58'=2'$ 。

角度尺的读数方法与游标卡尺相似，先读主尺，再读游标，两者相加即为被测角度。

2) 使用方法及要求

(1) 使用前应先“校零”。

(2) 测量角度在 $-40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 范围内，应装上直角尺和直尺，如图 1.11 (a) 所示；在 $50^{\circ}\sim 140^{\circ}$ 范围内，应装上直尺，如图 1.11 (b) 所示；在 $140^{\circ}\sim 230^{\circ}$ 范围内，应装上直角尺，如图 1.11 (c) 所示；在 $230^{\circ}\sim 320^{\circ}$ 范围内，不装直角尺和直尺，如图 1.11 (d) 所示。

(3) 测量时，应使角度尺的两个测量面与被测件接触良好，锁紧螺母后再读数。

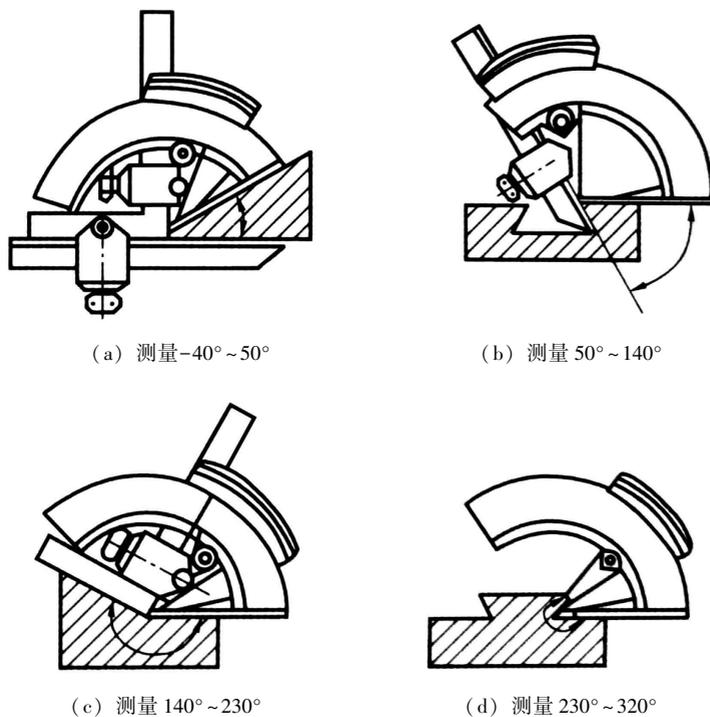


图 1.11 万能角度尺的测量范围

4. 百分表

百分表是用来测量工件的尺寸、形状和位置偏差的重要量具。百分表的结构形式多种多样，图 1.12 所示为常见的钟表式百分表结构图，其测量范围为 $0\sim 10\text{ mm}$ ，测量精度为 0.01 mm 。

1) 刻线原理及读数方法

以量程为 10 mm 的百分表为例，测量杆的齿距为 0.625 mm，当测量杆上升 16 齿时（即 $0.625 \text{ mm} \times 16 = 10 \text{ mm}$ ），会带动小表盘短指针转 1 周、大表盘长指针转 10 周。由于小表盘 1 圈分为 10 格，短指针每转 1 格表示测量杆（测头）移动 1 mm；大表盘 1 圈分为 100 格，长指针每转 1 格表示测量杆（测头）移动 0.01 mm。

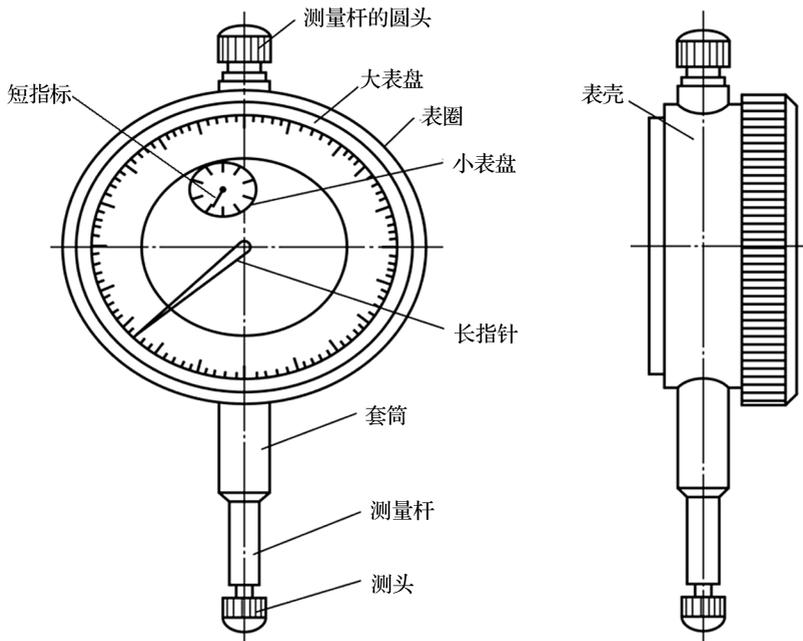


图 1.12 钟表式百分表

百分表的读数方法如下：

- (1) 先读小表盘短指针转过的格数（毫米数）；
- (2) 再读大表盘长指针转过的格数，将格数 $\times 0.01$ ；
- (3) 将短指针的整数、长指针的小数相加，得出测量结果。

2) 使用方法及要求

- (1) 使用前，先检查百分表是否完好。
- (2) 安装百分表，可用如图 1.13 所示的磁性表座或万能表座装夹及固定。
- (3) 先将测量杆轻轻抬起，把工件移到待测位置；再缓慢放下测量杆，使之与被测面接触；然后检查测量杆是否能够灵活移动。为减少测量误差，测平面时，测量杆要与工件被测面垂直；测圆柱体时，测量杆轴线必须通过工件的中心。

(4) 先使测头与基准面接触，并对测量杆预压 2~3 mm，转动表头外圈，设置检测基准点。转动表盘，一般应使长指针与表盘 0 线对齐，将该位置点作为零位；也可以使



长指针与表盘某一刻度线对齐。

(5) 测量形位偏差时，应读出百分表读数的变化范围，即百分表的最大读数减去百分表的最小读数。

(6) 检测过程中，移动工件或百分表时应缓慢，避免因抖动造成测量误差。

(7) 测量完后取下百分表，擦拭干净，放回盒内，测量杆置于自由状态。

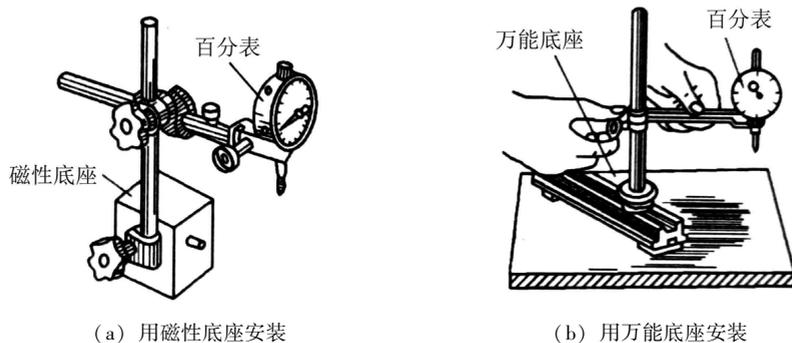


图 1.13 百分表的安装

5. 刀口尺

刀口尺主要是用透光法来检测工件表面直线度、平面度的量具。刀口尺的外形如图 1.14 所示，其使用方法如图 1.15 所示。

使用时应注意以下几点：

(1) 刀口尺的工作部位为刀刃边，使用时应轻拿轻放，防止其刃口磨损、崩角。

(2) 使用时应垂直工件面升降，不能在工件表面拖动。

(3) 使用完后应及时放入量具盒内。

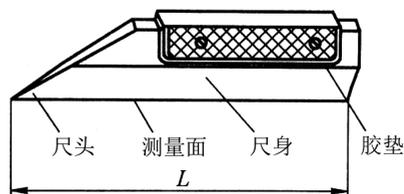


图 1.14 刀口尺外形图

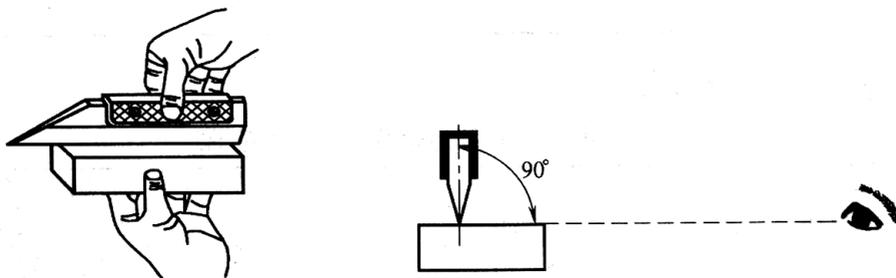


图 1.15 刀口尺的使用方法

6. 宽座角尺

90°角尺按形式不同可分为宽座角尺、刀口角尺等。其中，宽座角尺结构简单、使用方便，可用于检测工件相邻表面垂直度，在钳工操作中应用广泛，使用时应注意以下两点：

- (1) 使用时，应先将角尺的宽边贴紧工件的基准面，再逐步缓慢下滑，使窄边轻轻接触工件被测面，如图 1.16 所示。
- (2) 利用透光法来检测工件被测面与基准面之间的垂直度。

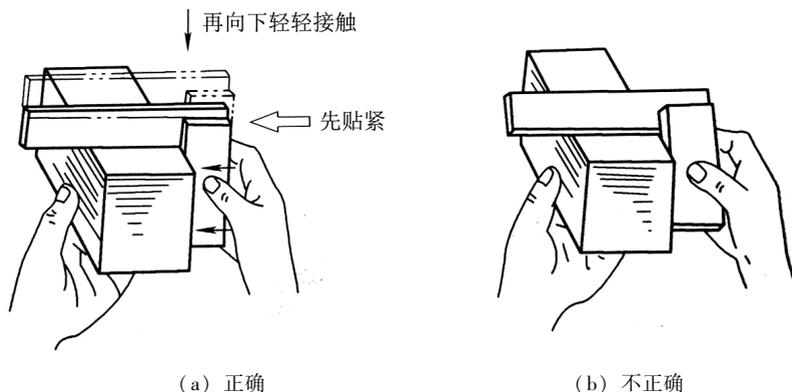


图 1.16 宽座角尺的使用方法

7. 塞尺

塞尺，又称为厚薄规或间隙片，是用来检测两个结合面之间间隙大小的量具。塞尺是由一系列不同厚度的金属薄片组成，如图 1.17 所示，使用时应注意以下几点：

(1) 测量时，根据间隙的大小，选用一片或数片重叠在一起（尽量不超过 2 片以减少误差）插入间隙，如果塞不进去或太松时，更换厚度后重新再塞，一直到不松不紧，塞片的总厚度就是间隙的大小。

(2) 有些塞片很薄，容易弯曲或折断，塞入时不能用力太大。

(3) 使用后应擦拭干净，并涂油防锈。

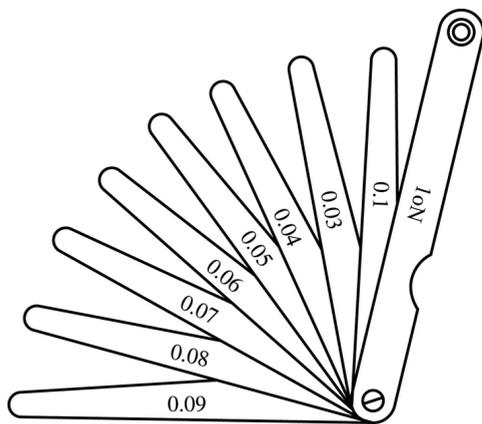


图 1.17 塞尺

8. 钢直尺与钢直角尺

钢直尺是一种常用、简便的长度测量工具，长度单位分为公制、英制两种。公制钢直尺的刻度线间距一般为 1 mm，如图 1.18 所示，常用规格有 150 mm、300 mm、



500 mm、1000 mm 等。

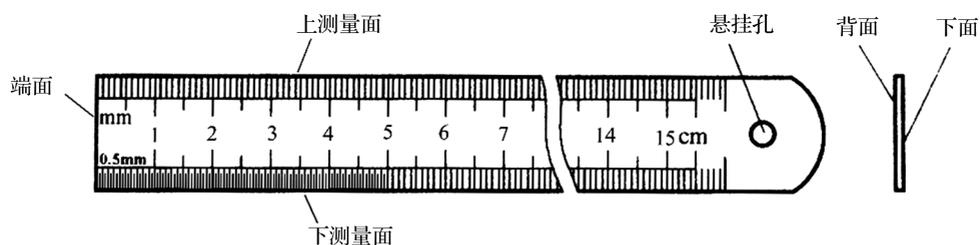


图 1.18 钢直尺

钢直角尺简称为角尺，由不锈钢直尺与锌合金底座铆接组合而成，如图 1.19 所示，常用规格有 200 mm、300 mm 等。

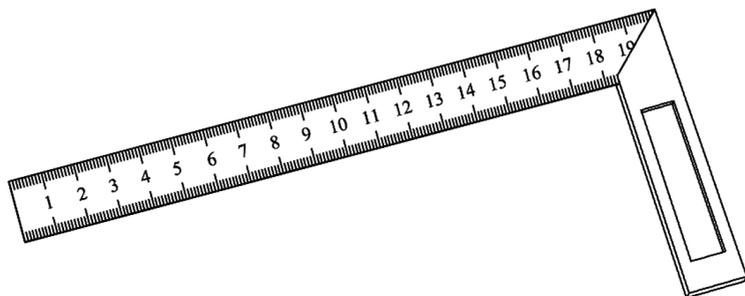


图 1.19 钢直角尺

钢直尺、钢直角尺可作为长度尺寸的初测工具，也可作为划直线时的导向工具，使用时应保持尺身平直、不能弯曲。钢直角尺在划线时可用作划平行线、垂直线的导向工具，还可用来找正工件在划线平板上的垂直位置。

1.4 钳工的安全操作及文明要求

1. 钳工的实训安全要求

- (1) 按时上课，不迟到、不早退、不无故缺席、不擅自离开实训岗位。
- (2) 进入实训场所必须穿实训服，严禁穿拖鞋、凉鞋，女士须将头发挽在工作帽内。
- (3) 在上课期间、实训场所内禁止抽烟，不准玩手机、吃零食。
- (4) 维护实训场所的秩序，不得嬉闹，更不得使用工具打闹。

(5) 严格遵守设备的安全操作规程, 听从指挥, 不准擅自使用不熟悉的设备、工量具。

(6) 操作钻床、砂轮机时, 不准戴手套, 应戴上护目镜, 未停稳时不得用手强制停车。

(7) 不准将实训室的工量具、材料等物品带出实训室。

(8) 工作场地要保持整洁, 每天应安排学生轮流值日, 清扫地面。

2. 钳工的文明操作要求

(1) 爱护实训场所内的设备设施, 发现设备损坏时应及时上报。

(2) 禁止用锤子直接或间接敲击划线平台, 或用划线平台校正工件。

(3) 清除铁屑要用毛刷, 不得直接用手清除, 严禁用嘴吹。

(4) 在钳台上进行錾削操作时, 应避免錾断的铁屑飞溅伤人。

(5) 材料、工件、工具的摆放要整齐, 不能任意堆放, 并且不能超出钳桌。

(6) 量具的摆放位置应合理, 不能与工具、工件混在一起, 使用时要轻取轻放, 使用完毕后应擦拭干净, 再放回盒内。

(7) 妥善保管好个人的工量具及工件, 不要擅取别人的工量具或把自己的工量具放到别处。

(8) 下课时应将钳口内的工件取下, 用毛刷清扫钳桌及台虎钳, 检查工量具是否齐全, 并摆放整齐。

思考题

1. 钳工的工作范围有哪些?
2. 试述台虎钳的使用及维护要求。
3. 使用砂轮机时, 应注意哪些安全事项?
4. 试述刀口尺的使用方法及要求。
5. 在钳工场地训练时, 应遵守哪些安全文明要求?
6. 游标卡尺使用时有何要求, 并读出如图 1.20 所示的数值。

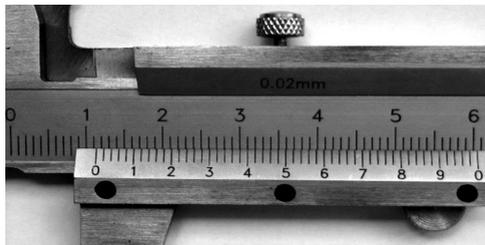


图 1.20 游标卡尺的读数练习

第2章 划线

根据图样或技术文件的要求，在毛坯或半成品上用划线工具划出加工界限，或作为找正依据的辅助线，这种操作称为划线。

2.1 划线的作用及要求

划线是钳工的基本操作技能之一，主要有以下几方面的作用：

- (1) 合理分配工件的加工余量，使加工有明显的尺寸界限；
- (2) 钻孔前确定孔的位置；
- (3) 便于复杂工件在机床上的安装，可按划线找正定位；
- (4) 检查毛坯形状、尺寸，及时发现不合格品，避免浪费后续加工工时；
- (5) 对有局部缺陷的毛坯，通过借料划线的方法进行补救，以免报废。

划线的要求为：线条均匀清晰，形状位置准确。

划线是工件加工前一项重要的工作，在划线前一定要认真看懂图纸要求。划线的精度通常应控制在 0.25~0.5 mm 范围内，划线完毕后应复查尺寸，避免出错。

由于划线的线条具有一定的宽度，同时在工具使用和尺寸量取时难免会产生一定的误差，因此，工件的最终尺寸不能由划线确定，需要利用游标卡尺等测量工具进行检测后确定。

思政之窗

学习 2022 年“大国工匠”郑志明的先进事迹。郑志明是广西汽车集团首席技能专家、国家级技能大师工作室带头人、广西首位“大国工匠”，在与钢铁的“对话”中练就了精湛技艺，将钳工技能练得炉火纯青。他利用手工锉削可将零件尺寸控制在 0.005 mm 以内；手工划线钻孔，孔的位置度误差可控制在 0.02 mm 以内，这种精准水平，目前国内极少有人能够达到。

加强迅速准确、细致周到的机务作风建设，彰显民航人团结协作的职业素养，培养学生做到包括准备到位、施工到位、测试到位、收尾到位、交接到位在内的“五个到位”。

2.2 划线的工具及其用法

根据所起作用的不同,划线工具分为直接划线工具(划针、划规、划线盘、高度游标卡尺等)、划线支持工具(划线平台、V形铁、千斤顶、方箱)和划线辅助工具(中心冲、涂料、线坠等)。

1. 划针

划针是在工件上直接划出加工线条的工具,其形状如图 2.1 (a) 所示。划针一般使用直径 $\Phi 3 \sim 5$ mm 的弹簧钢丝或高速钢制成。划针应有锋利的针尖,且尖端应经淬火硬化,才能划出线条宽度为 0.05~0.10 mm 的清晰线条。划针用钝后需用砂轮机刃磨,刃磨后的针尖角度为 $15^\circ \sim 30^\circ$,边磨边用水冷却,以防针尖过热退火而变软。

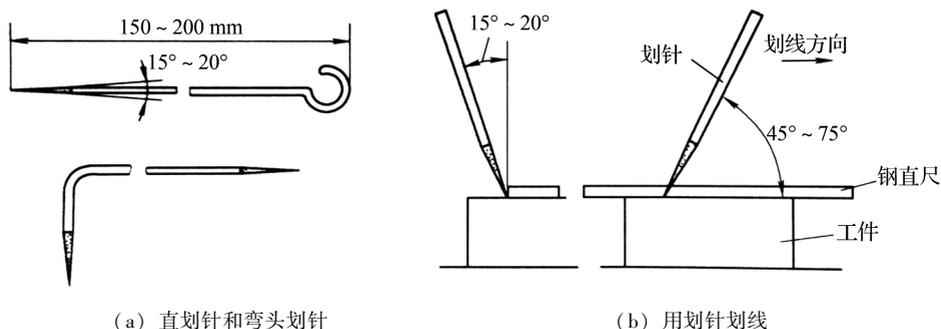


图 2.1 划针的外形及使用方法

划针通常与钢直尺、直角尺、划线样板等导向工具配合使用,使用方法及注意事项如下:

(1) 划针的右手握持方法与用铅笔划线时相似。划线时,针尖要紧靠导向工具的边缘,划针上部向外倾斜 $15^\circ \sim 20^\circ$,向划线方向倾斜 $45^\circ \sim 75^\circ$,如图 2.1 (b) 所示。

(2) 划线时左手要紧压导向工具,避免滑动,以免影响划线的准确性。

(3) 划线时用力大小要均匀适宜。划线要尽量一次划成,使划出的线条既清晰又准确;不要连续几次重复地划,否则线条变粗或不重合,反而模糊不清。

(4) 划线方向应合理,水平线自左向右划,竖直线自上到下划,倾斜线应自左向上方划,或自左上向右下划。划线时划针不能由后往前划,否则针尖易扎入工件。

(5) 划针使用后应摆放在钳台上面,不能插在衣袋中,以免扎伤。

1) 用划针及直角尺划垂直线

(1) 平面内已有的线条划垂直线:可用扁形直角尺的一边对准已有的划线,沿其另一边划出已有线条的垂直线,如图 2.2 (a) 所示。

(2) 划工件棱边的垂直线：可将宽形直角尺厚的一面紧靠在工件的边缘，然后沿着角尺的另一边进行划线，如图 2.2 (b) 所示。

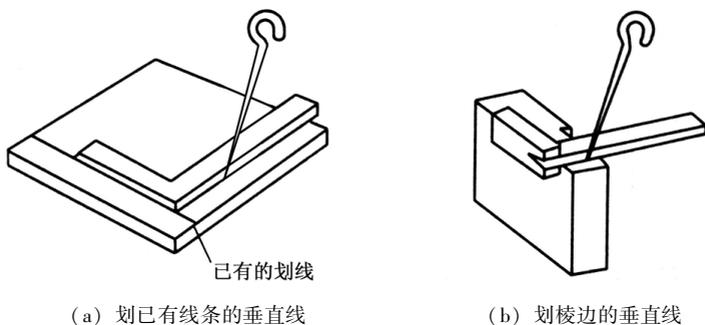


图 2.2 划垂直线

2) 用划针及钢直尺划两点的连接线

在用钢直尺连接两点划线时，应先用划针和钢直尺定好后一点的划线位置，然后调整钢直尺使之与前一点的划线位置对准，再划出两点的连接直线，如图 2.3 所示。

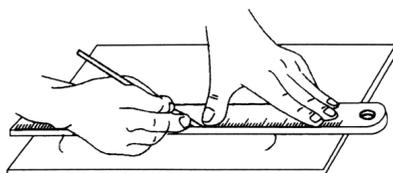


图 2.3 划两点的连接线

2. 划规及单脚规

划规可用来划圆或圆弧、量取尺寸、等分线段或等分角度等。钳工用的划规有普通划规、扇形划规、弹簧划规、大尺度划规等几种，如图 2.4 所示。划规用中碳钢或工具钢制成，使用前应将两脚尖端磨锋利。除长划规外，其他划规在使用前，需使两划脚长短一致，两脚尖能合紧，以便划出小尺寸圆弧。

单脚规又称划卡，可用以确定轴及孔的中心位置，也可用来划平行线。

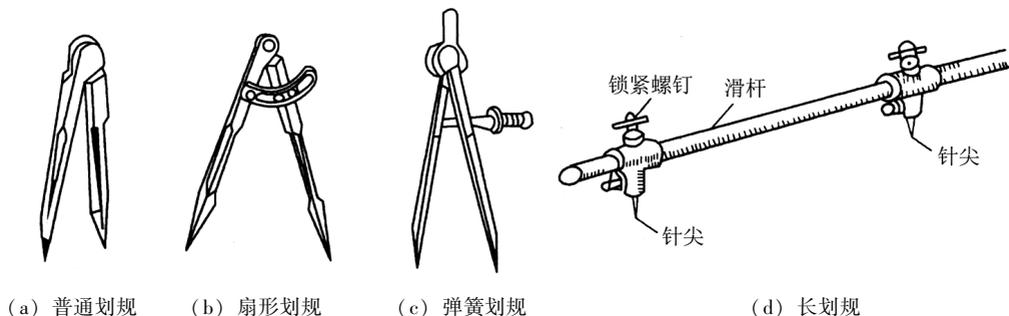


图 2.4 划规

1) 用划规划圆、圆弧

使用前,先用钢直尺量出所划圆或圆弧的半径,如图 2.5 (a) 所示。划圆或圆弧时,应将手力的重心放在作为圆心的一脚,以免中心滑移,如图 2.5 (b) 所示。划圆时,可以每次只划出 1/4 长度的圆弧段,分 4 次逐段划出整个圆,如图 2.5 (c) 所示。

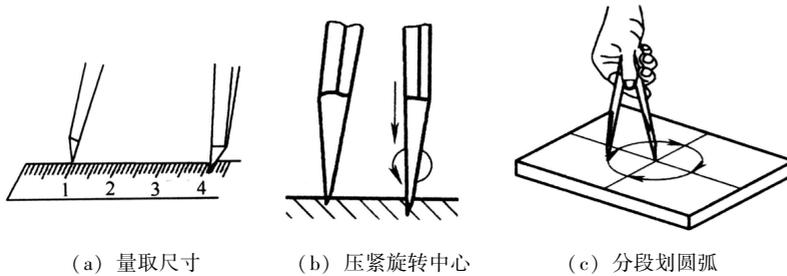


图 2.5 用划规划圆

2) 用划规划平行线

图 2.6 为用划规划平行线的示意图,具体方法如下:

- (1) 在已有直线两端取 A 、 B 两点,并用样冲打上冲眼;
- (2) 将量取的划规间距 L 作为圆弧半径 R ,以 A 、 B 这两点为圆心,向基准线同一侧划出两段圆弧;
- (3) 用钢直尺、划针作两圆弧的切线。

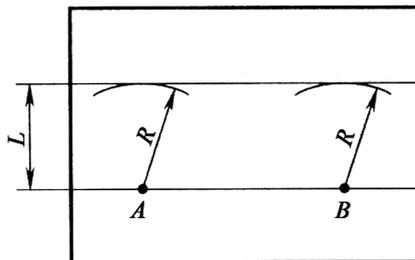


图 2.6 用划规划平行线

3) 用划规划角度线

(1) 划 45° 线:先作直角,然后用划规作直角的平分线,如图 2.7 (a) 所示。

(2) 划 30° 、 60° 线:先作直角,以直角顶点 O 为圆心,以适当的半径 R 划圆弧,交两直角边于 a 、 b ; 分别以 a 和 b 为圆心, R 为半径划弧,与前面的圆弧相交于 c 、 d 两点,连接 Oc 和 Od , 即得 30° 、 60° 角度线,如图 2.7 (b) 所示。

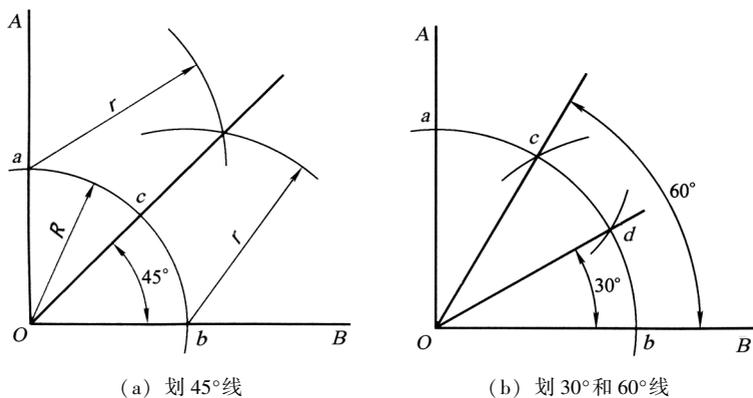


图 2.7 用划规划角度线

4) 用划卡划轴、孔中心

操作时，可先用划卡划出 4 条圆弧线，如图 2.8 所示，然后再在圆弧线中间冲一个样冲点。

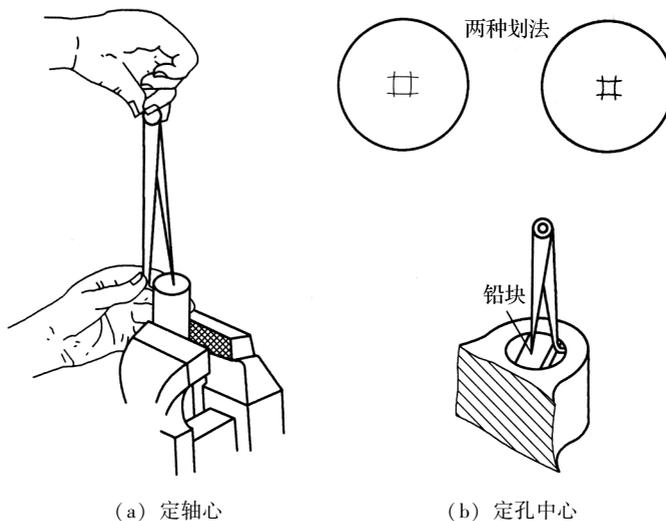


图 2.8 用划卡确定孔、轴中心

3. 划线盘

划线盘可用于立体划线和校正工件位置，分为普通式、可调式两种，如图 2.9 所示。划线盘的直头端常用来划线，弯头端常用来校正工件的位置。用划线盘划线时，要注意划针装夹应牢固，伸出长度要小，以免抖动；底座要与划线平台贴紧，不要摇晃或跳动。

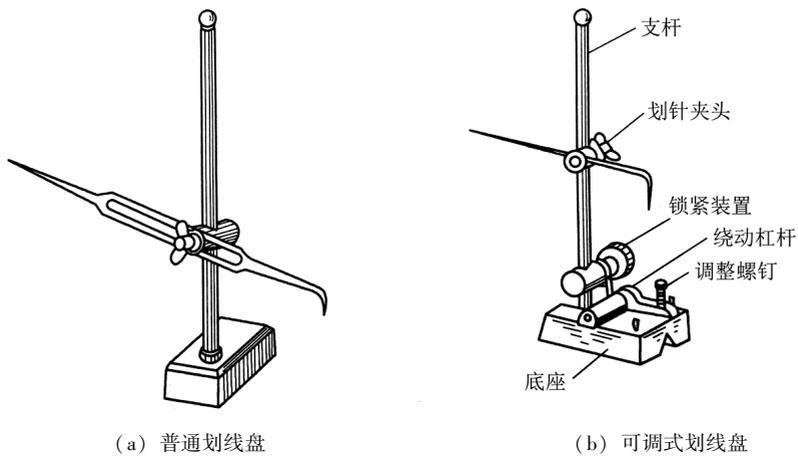


图 2.9 划线盘

4. 高度游标尺

高度游标尺是精确的量具及划线工具，其结构如图 2.10 所示，可用其量爪直接划线，又可用来测量高度。高度游标尺能直接表示出高度尺寸，其精度一般为 0.02 mm，划线精度可达 0.1 mm 左右。

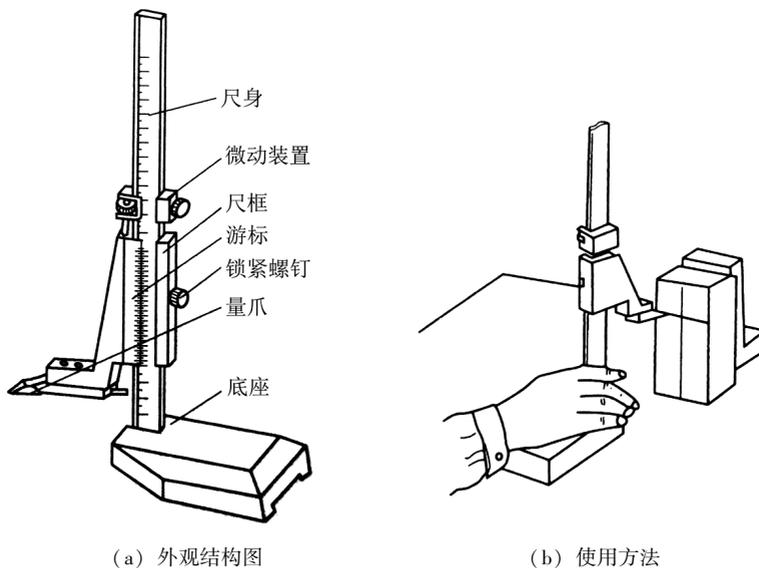


图 2.10 游标高度尺

高度游标尺的划线方法和使用注意事项如下：

- (1) 划线前应先检查高度游标尺是否完好，并校零。
- (2) 用手平移高度尺时，底座应与划线平台贴紧，避免尺身歪斜、摇晃、跳动而

影响划线准确性。

(3) 使用时，应使量爪垂直于工件表面一次划出，而不能用量爪的两侧尖划线，以免侧尖磨损，降低划线精度。

(4) 高度游标尺一般限于半成品划线，若在毛坯上划线易碰坏其硬质合金的划线脚。

5. 划线平台

划线平台又称划线平板，用来放置工件和划线工具，并作为划线时的基准平面。划线平台由铸铁制成，上表面经精刨或刮削，以达到较高的平面度，其外观如图 2.11 所示。

划线平台的使用要求和保养方法如下：

(1) 平台安放时应稳固，并使工作面保持水平。

(2) 保持工作面的清洁，防止铁屑、灰尘等划伤平台表面。

(3) 工件和工具在平台上要轻拿轻放，避免撞击，严禁在平台上锤击工件。

(4) 平台各处应均匀使用，以免局部磨损。

(5) 使用后应擦拭干净，并涂上机油防锈。

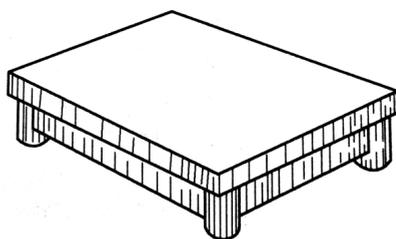


图 2.11 划线平台

6. 千斤顶、V 形铁、方箱

千斤顶是用来支撑毛坯或形状不规则工件进行划线的工具，它能较方便地调整工件各处的高度。常用的螺旋千斤顶通常是三个一组，由螺旋顶杆、螺母、底座、锁紧螺母等组成，如图 2.12 所示。旋转圆螺母能调节螺杆的高度，锁紧螺母能固定螺杆的位置。

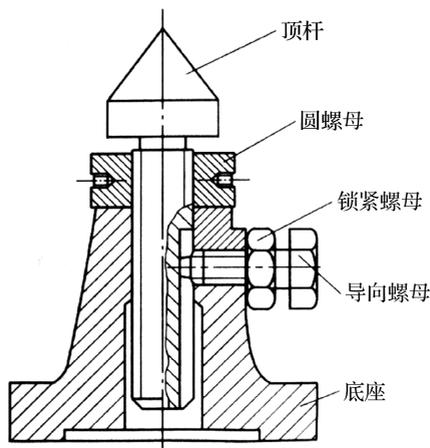


图 2.12 千斤顶

V形铁用来支承圆柱形工件，使工件轴心线平行于划线平台平面，其外形如图 2.13 (a) 所示。在安放较长的圆柱形工件时，通常使用两个相同规格的 V 形铁，以保证工件安放平稳和划线的准确性，如图 2.13 (b) 所示。

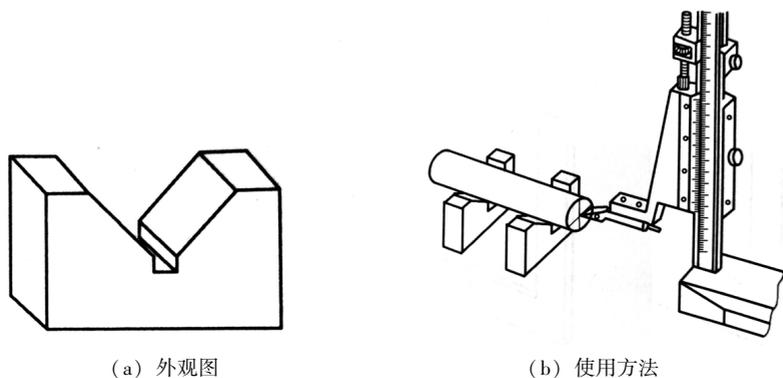


图 2.13 V 形铁

方箱是由铸铁制成的空心箱体，相邻平面互相垂直，相对平面互相平行。方箱用于夹持、支承尺寸较小而加工面较多的工件。用方箱划水平线和垂直线时，依靠夹紧装置先把工件固定在方箱上，利用划线盘或高度游标尺划出水平线，如图 2.14 (a) 所示。再通过翻转方箱，将工件上互相垂直的线条全部划出来，如图 2.14 (b) 所示。

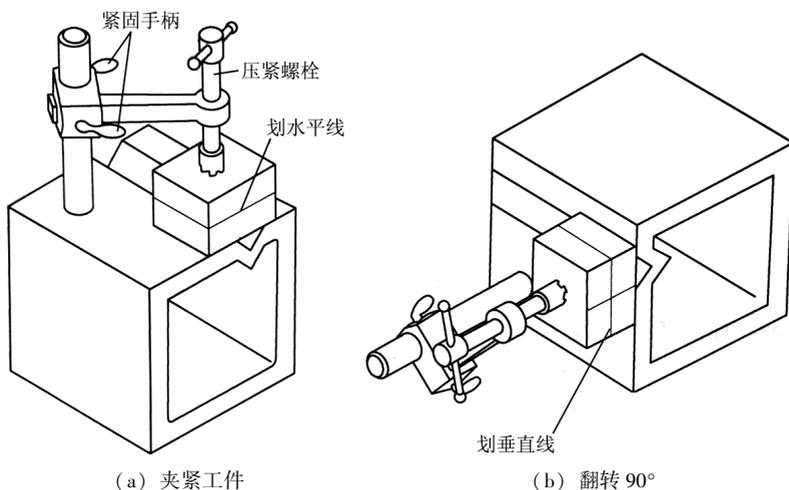


图 2.14 利用方箱在工件上划线

7. 样冲

样冲用工具钢制成，其尖端磨成 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 并经淬火硬化。样冲用于划好的线条上打出小而均匀的样冲眼，以免工件在搬运、装夹过程中，已划好的线条因摩擦而变得模糊



不清。在使用划规划圆弧或进行钻孔前，通常需要先使用样冲在圆心上打上样冲眼。

样冲的使用方法（见图 2.15）和注意事项如下：

（1）使用样冲时，应用左手大拇指与食指、中指、无名指相对捏住冲身。

（2）冲眼时，先将样冲倾斜（见位置 1），使尖端置于所需的划线或圆心中间，再竖直样冲（见位置 2），用锤子轻敲样冲顶端，以保证冲眼位置的准确性。

（3）冲眼间距要均匀、合理。一般长直线条冲眼可稀些，曲线上的冲眼宜密些；在线的连接点及交叉点应打样冲眼。

（4）冲眼的深浅要适当。在粗糙表面上，冲眼宜打深些；在薄板、中心线及辅助线上宜打浅些；精加工表面上禁止打冲眼。圆孔中心的冲眼最好打大些，便于钻头对中。

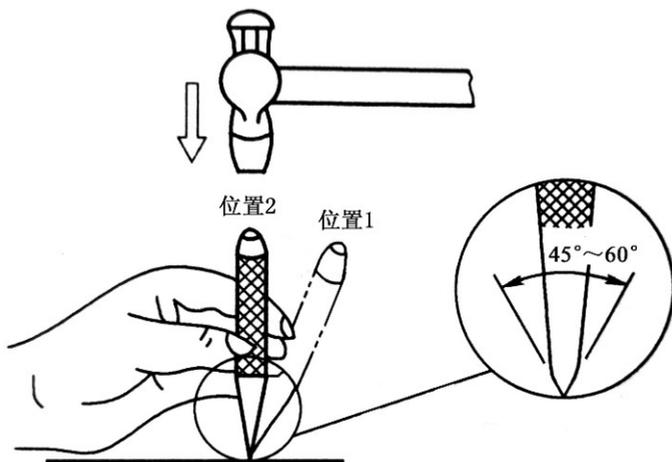


图 2.15 样冲的使用方法

2.3 划线前的准备与划线基准

划线前，首先要看懂图样和工艺要求，明确划线任务，检验工件是否合格，然后对划线部位进行清理、涂色，确定划线基准，选择划线工具进行划线。

1. 工件的清理与涂色

工件的清理是指去除工件表面的氧化皮、毛刺、残留污垢等。

工件的涂色是指在工件表面涂上一层涂料，使划出的线条更加清晰。常用的涂料有石灰水、酒精色溶液，石灰水通常用于毛坯件的涂色，酒精色溶液（例如龙胆紫溶液）主要用于已加工表面的涂色。

2. 划线基准的选择

基准是用来确定工件的尺寸大小和位置关系所依据的一些点、线、面。设计图样上采用的基准为设计基准，工件划线时所选用的基准称为划线基准。划线时，应尽可能使划线基准与设计基准一致，以减少尺寸换算和划线误差。

常见的划线基准有以下三种类型（见图 2.16）：

- (1) 两个互相垂直的直线（平面）；
- (2) 两个互相垂直的对称中心线（中心平面）；
- (3) 一条直线（平面）和一条中心线（中心平面）。

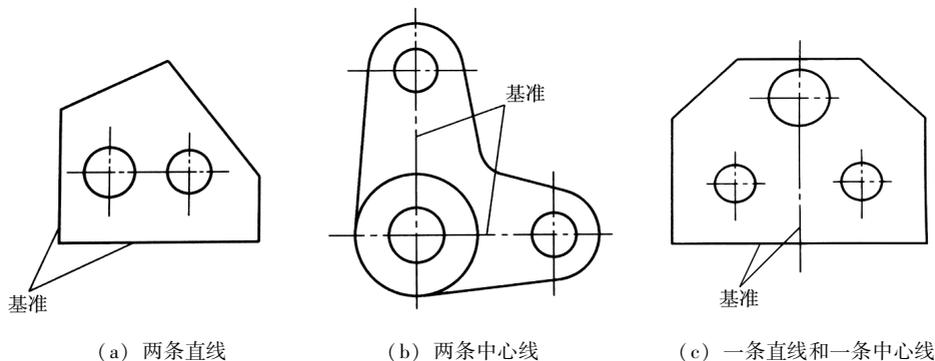


图 2.16 划线基准的三种类型

在选择划线基准时，还应遵循如下几点原则：

- (1) 在保证正常划线的前提下，尽量减少划线基准的数量。
- (2) 对称工件、有孔或凸台的工件，应以中心线为基准。
- (3) 工件上若有已加工的平面时，应以该平面为基准。
- (4) 毛坯件应选择较平整的大面作为划线基准，以减少其他平面的误差范围。

3. 划线的找正与借料

毛坯件受多种原因影响，会出现形状歪斜、偏心、壁厚不均等缺陷。当形位偏差不大时，可以通过找正和借料的方法来补救。

1) 找正

找正是指通过调节支撑工具，使工件的毛坯表面都处于合适的划线位置。找正时应注意以下问题：

- (1) 工件有不加工表面时，先按不加工表面进行找正，划线后可使加工表面与不加工表面之间保持尺寸均匀。
- (2) 工件有两个不加工表面时，先选择重要的或较大的不加工表面为找正依据。
- (3) 工件没有不加工表面时，需对各待加工面位置找正后再划线，使加工余量得

到合理的分布，避免加工余量相差悬殊。

2) 借料

借料是指通过试划和调整，使各待加工面的余量互相借用，合理分配，从而保证各待加工面都有足够的加工余量，使误差和缺陷在加工后排除。

借料划线时，应首先测量出毛坯的误差程度，再确定借料的方向和大小，以提高划线效率。若发现某一加工面的余量不足时，应再次借料重新划线，直至各待加工面均有允许的最小加工余量为止。若毛坯误差仍超过许可范围，就不能利用借料进行补救。

图 2.17 所示为外圆与内孔偏心量较大的毛坯件。若按外圆找正划内孔加工线，或按内孔找正划外圆加工线，工件某些区域均出现加工余量不够；只有在内孔、外圆兼顾的情况下，采用借料的方法才能保证内孔、外圆均有足够的加工余量。

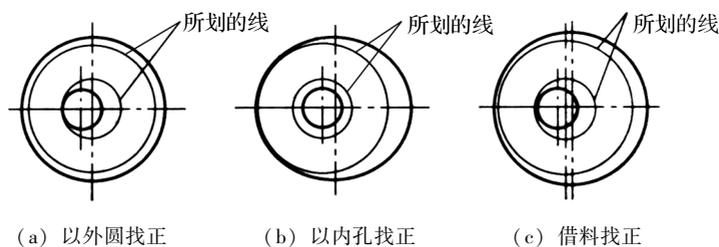


图 2.17 圆环的借料划线

2.4 平面划线及立体划线

划线方法按复杂程度分类，可分为平面划线和立体划线两种，如图 2.18 所示。平面划线是在工件的一个平面内进行的划线。立体划线是在工件的几个表面上划线，即在长、宽、高三个方向上划线。

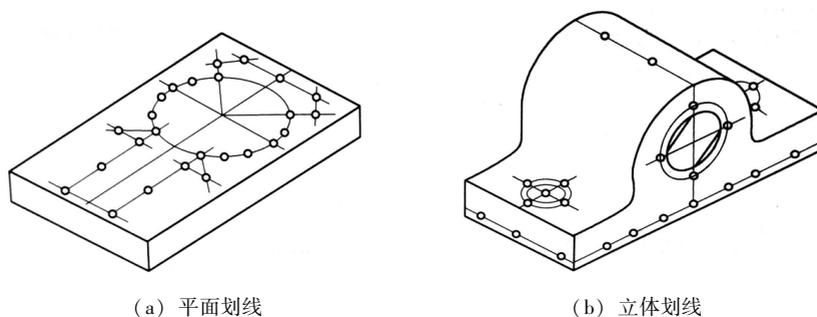


图 2.18 划线方法

平面划线与机械制图相似，所不同的是使用划针、划规等划线工具。立体划线是平面划线的复合运用，它和平面划线有许多相同之处，其不同之处是在两个以上的面进行划线。

1. 划线的操作步骤

平面划线与立体划线的方法基本相同，一般按以下操作步骤进行：

(1) 分析图样。仔细分析、看懂图样及技术要求，明确需要划线的部位，与这些部位的作用以及有关的加工要求，并确定划线基准。

(2) 工件检查。划线前应检查工件的形状和尺寸是否符合图样与工艺要求，以便能够及时发现和处理不合格品。

(3) 清理工件。对工件的毛刺、氧化皮及油污等进行清理。

(4) 工件涂色。如有需要，可用铅块或木块堵孔后，在工件表面涂上涂料。

(5) 准备工量具。准备划线平台、划针、钢直尺、样冲、游标卡尺等工量具。

(6) 安放工件。工件夹持或支承要稳当，以防滑移或翻转。

(7) 划线。运用平面划线或立体划线的方法完成划线。

(8) 复查。按图样要求，详细检查划线的准确性，以及是否有线条漏划、错划。

(9) 打样冲。在圆的中心、线的连接点及交叉点打上样冲眼，在轮廓线条上每隔 20~30 mm 的距离轻打样冲眼。

2. 平面划线实例

图 2.19 所示为一个划线样板，要求在板料上把全部线条划出。具体划线过程如下：

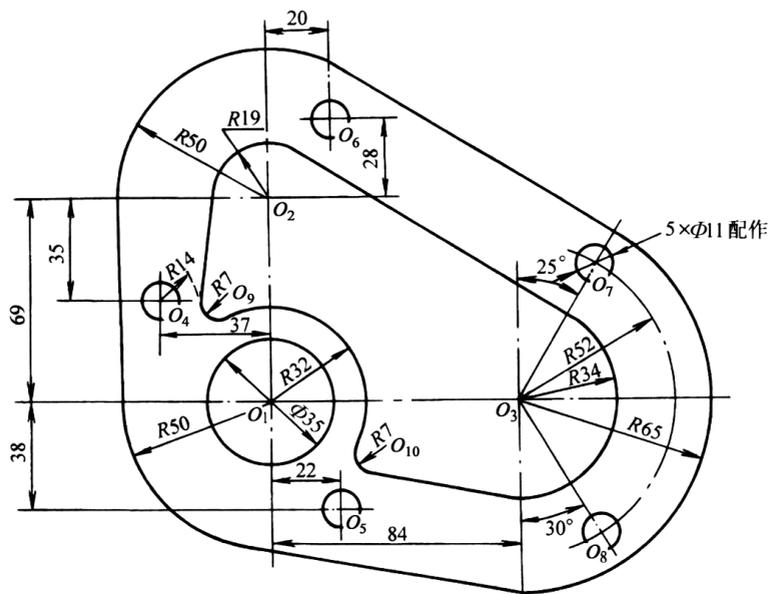


图 2.19 划线样板图 (单位: mm)



- (1) 选定划线基准。划出以 O_1 为中心的两条互相垂直的中心线作为基准。
- (2) 划出尺寸为 69 mm 的水平线、尺寸为 84 mm 的垂直线，得到圆心 O_2 、 O_3 。
- (3) 以 O_1 为圆心，以 $R32$ mm 和 $R50$ mm 为半径作弧。以 O_2 为圆心，以 $R19$ mm 和 $R50$ mm 为半径作弧。以 O_3 为圆心，以 $R34$ mm、 $R52$ mm 和 $R65$ mm 为半径作弧。
- (4) 作 3 条外形圆弧的公切线，以及与其平行的上、下内形圆弧的切线。
- (5) 划出尺寸为 35 mm、38 mm 和 28 mm 的水平线。
- (6) 划出尺寸为 37 mm、22 mm 和 20 mm 的竖直线，得到圆心 O_4 、 O_5 和 O_6 。
- (7) 以 O_4 为圆心、以 $R14$ mm 为半径作弧，并作 $R19$ mm 和 $R14$ mm 两圆弧的左内形圆弧的切线。
- (8) 以 O_1 为圆心、以 $R39$ mm 半径作弧，与左、下内形圆弧切线的 7 mm 偏移线相交，得出两 $R7$ mm 圆弧的圆心 O_9 、 O_{10} 。以 O_9 、 O_{10} 为圆心，划出两个 $R7$ mm 圆弧，分别与 $R32$ mm 圆弧以及左、下内形圆弧切线相切。
- (9) 通过圆心 O_4 分别作 25° 和 30° 角度线，得圆心 O_7 、 O_8 。
- (10) 划出 $\Phi 35$ mm 和 5 个 $\Phi 11$ mm 的圆周线。

3. 立体划线实例

图 2.20 为一个轴承座的零件图，此轴承座需要加工的部位有底面、轴承座内孔、两个螺钉孔及其上平面和两个大端面。具体划线过程如下：

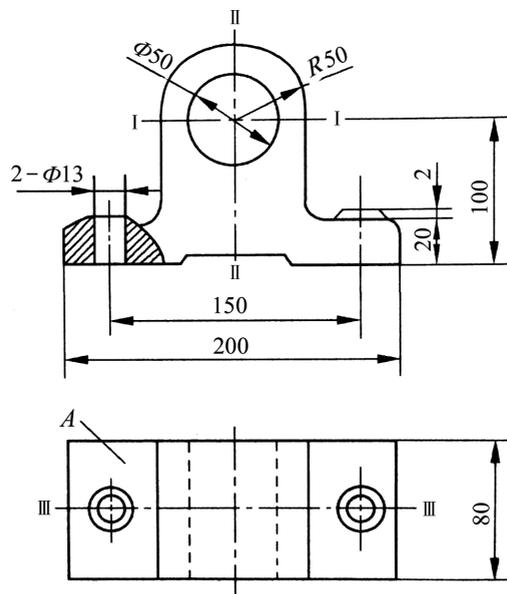


图 2.20 轴承座 (单位: mm)

(1) 选定划线基准。从图样可得，需要划线的尺寸共有三个方向，工件要安放三次才能划完所有的线条。划线基准选定为 $\Phi 50$ mm 孔的中心平面 I - I、II - II 和两螺

钉孔的中心平面Ⅲ-Ⅲ（见图 2.20）。

(2) 划出各水平线。根据孔中心及上平面 A，调节千斤顶使工件水平。划出大孔的水平中心线（即Ⅰ-Ⅰ基准线）、底面的加工线，如图 2.21（a）所示。

(3) 翻转 90°后划线。将工件翻转 90°，并用 90°角尺找正，划出大孔的垂直中心线（即Ⅱ-Ⅱ基准线）、螺钉孔中心线，如图 2.21（b）所示。

(4) 再翻转 90°后划线。再将工件翻转 90°，并用 90°角尺在两个方向上找正之后，划螺钉孔中心线（即Ⅲ-Ⅲ基准线）、两个大端面加工线，如图 2.21（c）所示。

(5) 划圆周线。用划规划出轴承座内孔和两个螺钉孔的圆周尺寸线。

(6) 检查划线无错误、无遗漏后，并在所划线条上打样冲眼，如图 2.21（d）所示。

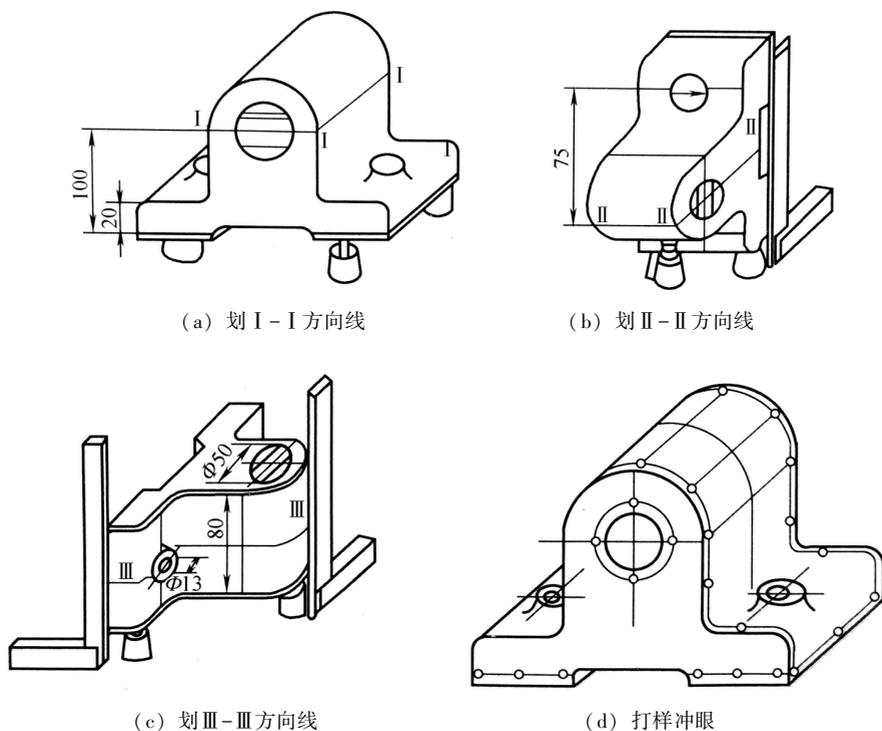


图 2.21 轴承座的立体划线（单位：mm）

2.5 划线质量分析及安全要求

1. 划线常见问题及原因分析

由于工件、图样的差异性，划线时所使用的划线工具、划线方法也各不相同，会出



现划线不清楚、位置错误、线条弯曲不直、工件尺寸不符合要求等问题，其产生的原因及对策见表 2-1。

表 2-1 划线时常见问题的产生原因及对策

序号	常见问题	产生原因	对策
1	划线不清楚	①划针、划规等工具的划脚不锋利； ②划线重复，线条变宽后模糊； ③划线涂料选择不当	①用砂轮机刃磨划线工具的划脚； ②划线时用力适当，尽量一次划出； ③石灰水适用毛坯面，紫色水适用已加工面
2	划线位置错误	①看错图样尺寸，尺寸计算错误； ②线条太密，尺寸线分不清	①划线前仔细分析图样，认真计算； ②可分类、分批划线
3	线条弯曲不直	①划针、高度尺用力不当，产生抖动； ②划线尺寸的高度太高	①应擦净划线平台，均匀平移划线工具； ②可垫上方箱，减少划线高度
4	工件尺寸不符合要求	①划线基准选择不当； ②未进行找正和借料	①合理选择划线基准； ②依据余量最小的尺寸，进行借料

2. 划线加工的安全要求

- (1) 遵守操作规程，划线工具合理放置、正确使用。
- (2) 毛坯在划线前要先清理，去除残留的氧化皮，以便划出的线条明显、清晰。
- (3) 立体划线时，工件支承要牢固稳当，以防滑倒或移动。
- (4) 使用千斤顶支承工件时，工件下应垫上木块，以保证安全。在调整千斤顶高度时，不可用手直接调节，以防工件掉下砸伤手。
- (5) 划线后必须仔细地复检校对，避免因划线错误而加工出废品。

思考题



1. 在实际工作中，划线有何作用？
2. 划线是否可以替代测量工作？为什么？
3. 利用划针进行划线时，有什么使用要求？
4. 什么是划线基准？划线基准的选择有什么要求？
5. 在钢板上，进行圆周的六等分划线练习。

第3章 锯削

用手锯对工件进行分割或切槽的加工操作称为锯削（也称锯割）。锯削的工作范围包括：分割各种材料或半成品、锯掉工件上多余的部分、在工件上锯槽等（见图 3.1）。

虽然当前各种自动化的机械切割设备已被广泛采用，但是手锯切割仍然比较常用，特别是在航空维修中应用非常广泛。手锯切割具有方便、简单和灵活的特点，不需要任何辅助设备，不消耗动力。在单件、小批量生产时，在临时工地及不允许用机械切割设备时，以及在切削异形工件、开槽、修整等场合应用很广。因此，手工锯削是钳工需要掌握的基本功之一。

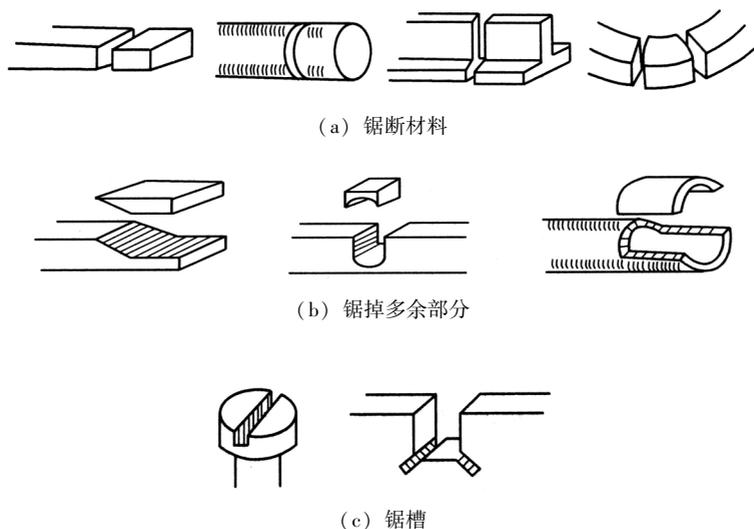


图 3.1 锯削应用范围

思政之窗

学习 2021 年“大国工匠”周建民的先进事迹。周建民是中国兵器淮海工业集团量具钳工、首席技师，工作 30 年解决国家重点项目量具难题 50 余项，创新成果达 1000 项，累计创造价值达 3000 万元。凭着苦学钻研，周建民可以全凭手感，纯手工进行微



米级按压研磨，精度可达到一根头发丝的 $1/60$ 。所谓“周氏精度，如琢如磨”，指的是仅凭一双眼、一双手，就可以准确判断量具部件的尺寸，在一定程度上颠覆了传统认知。

机务人要大力弘扬和践行当代民航精神，养成刻苦耐劳、严格要求的机务作风，提升维修能力，彰显民航人忠诚担当的政治品格。

3.1 锯削工具

钳工的锯削加工通常由手锯来完成。手锯由锯弓和锯条组成。

1. 锯弓

锯弓用来安放和拉紧锯条，分为固定式和可调式两种。固定式锯弓只能安装一种规格长度的锯条。可调式锯弓可以安装各种规格的锯条，应用广泛。

可调式锯弓结构如图 3.2 所示，锯弓两端都装有方形的拉杆，与锯弓本身的方孔配合，其中一端是可调节的。当锯条装在两端夹头的销子上后，旋紧活动夹头上的翼形螺母就可将锯条拉紧。

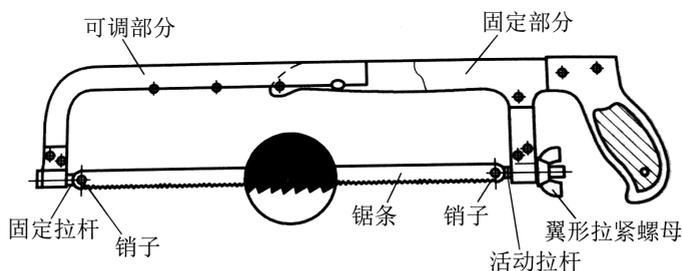


图 3.2 可调式锯弓

2. 锯条

锯条一般用 T10、T10A 碳素工具钢或合金钢，经热处理淬硬而成，是用来直接锯削材料或工件的刃具。

(1) 锯条的规格。它是指两端安装孔的中心距，也称锯条的长度。常用锯条长 300 mm，宽 12 mm。

(2) 锯齿。锯条的齿形如图 3.3 所示，常用的锯条后角 40° 、楔角 50° 、前角 0° 。锯齿的粗细有两种表示方法：英制是以锯条每

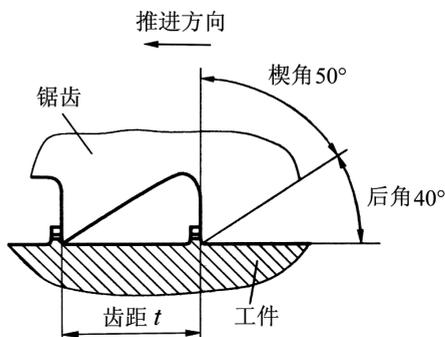
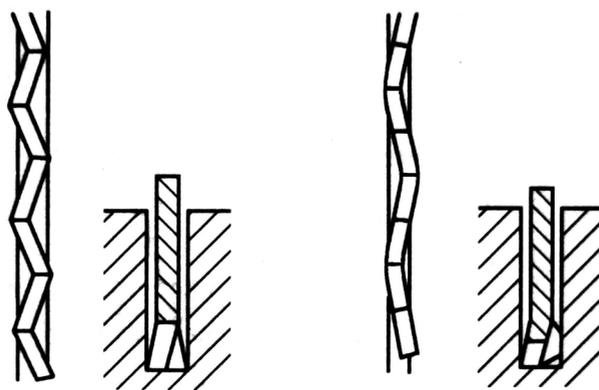


图 3.3 锯齿形状图

1 in长度内的齿数来表示，齿数越多，锯齿就越细，例如，14~18齿为粗齿，24齿为中齿，32齿为细齿；公制是以齿距来表示，例如，齿距1.8 mm为粗齿，齿距1.2 mm为中齿，齿距0.8 mm为细齿。

(3) 锯路。在制造锯条时，锯齿按一定要求左右错开所排成的形状称为锯路。常见的锯路有交叉形和波浪形两种，如图3.4所示。锯路的形成，使锯缝宽度大于锯条本身的厚度，锯条在锯削时不会被锯缝夹住，以减少锯条与锯缝间的摩擦，便于排屑，减轻锯条的发热与磨损，延长锯条的使用寿命，提高锯削效率。



(a) 交叉形

(b) 波浪形

图 3.4 锯条的锯路

(4) 锯条的选用。应根据材料的软硬、厚薄来选用锯条。锯硬材料时，锯齿不易切入，锯屑少，不需大的容屑空间。由于细齿锯条的锯齿较密，它能使更多的齿同时参与锯削，每齿的锯削量小，容易实现切削。对于薄板或管子，细齿锯条同时工作的齿数较多，能减小每个锯齿承受的切削力，可以避免锯齿崩裂及锯条折断。因此，粗齿锯条适用于铜、铝、低碳钢等较软的材料，细齿锯条适用于较硬、较薄的材料，中齿锯条应用范围较广。

3.2 锯削操作技术

1. 锯条安装

- (1) 根据工件材料及厚度选择合适的锯条。
- (2) 安装时要使锯条的齿尖朝前，如图3.5所示，否则不能正常锯削。
- (3) 装正锯条，锯条应与锯弓平面平行。
- (4) 旋紧锯弓的翼形螺母，一般用两个手指的力能自然旋紧为止。



锯削操作技术



图 3.5 锯条的安装方向

锯条安装后，松紧程度要适当。锯条过紧时，锯条因所受的张力太大失去应有的弹性，容易折断锯条。锯条过松时，锯削时锯条易扭曲摆动，容易导致锯缝歪斜及折断锯条，还会降低锯削效率。另外，安装好的锯条应与锯弓在同一中心平面内，避免出现歪斜和扭曲，否则也容易出现锯缝歪斜及锯条折断。

2. 工件装夹

锯削前，一般需先划线，再按划线进行锯削。

工件一般夹在台虎钳的左侧，锯缝线应和钳口侧面平行。工件伸出钳口不应过长，以防止工件在锯削时产生振动，一般超出钳口侧面约 20 mm，以便操作。

工件装夹要稳当、牢固，防止锯削时工件出现移动或倾斜。对于薄壁管子及已加工表面，应防止夹紧力过大使工件变形或损坏表面；对于较大较重工件的锯割，无法夹在台虎钳上时，可以在原地进行。

3. 起锯

起锯是锯削工作的开始，起锯好坏直接影响锯削质量的高低。由于锯缝宽度一般为 0.8~1.0 mm，为提高锯缝的位置准确度，起锯前应确定锯条位置。一般采用以所需的尺寸为准，起锯时，若需要划线左边的尺寸，锯条应置于划线的右侧；若需要划线右边的尺寸，锯条应置于划线的左侧；若需要将工件对半锯开，锯条应置于划线的上面。

起锯的方式有以下两种：

(1) 远起锯，即从工件远离操作者身体的一端起锯，如图 3.6 (a) 所示。一般情况下优先采用远起锯，因为锯条逐步切入材料，锯齿不易被卡住，起锯比较方便。

(2) 近起锯，即从工件靠近操作者身体的一端起锯，如图 3.6 (b) 所示。近起锯的锯齿容易被工件的棱边卡住，易导致锯齿崩裂及锯条折断。因此可先将锯条从前向后轻轻地拉回 2~3 次，再起锯。

起锯前，先将锯条垂直放在所需锯削线位置的前端，再用左手拇指靠住锯条。锯条与工件的起锯角 α 约为 15° ，如图 3.6 (c) 所示；起锯角太大，容易崩掉锯齿；起锯角太小，则不易切入材料，锯条还容易打滑，导致锯削位置不准以及损坏工件表面。

起锯时，锯弓往返的压力要小，行程要短，频率可快些，并且应保持锯弓垂直于工件表面。当锯槽深度达 2~3 mm，锯条不易脱出时，左手拇指可以离开锯条，进行正常锯削。

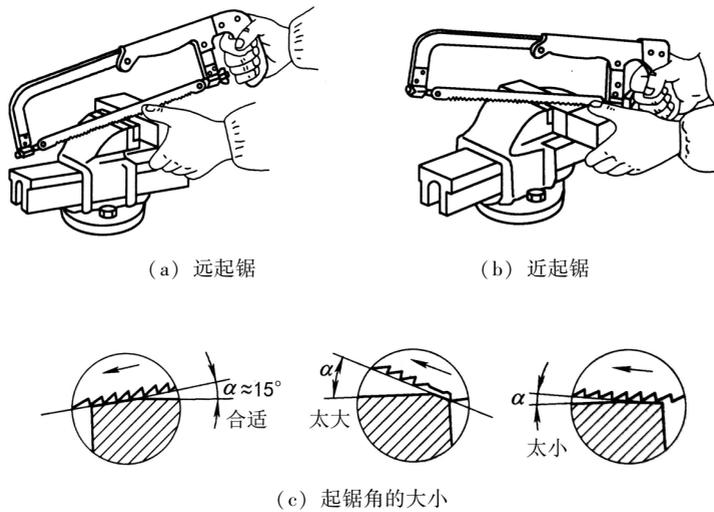


图 3.6 起锯方式及起锯角

4. 正常锯削

1) 手锯握法

右手满握锯柄，大拇指压在食指上。左手轻扶在锯弓前端，为防止锯弓在锯削过程中左右摇摆，食指、中指、无名指应扶在锯弓前端，大拇指张开后放在锯弓上面，如图 3.7 所示。

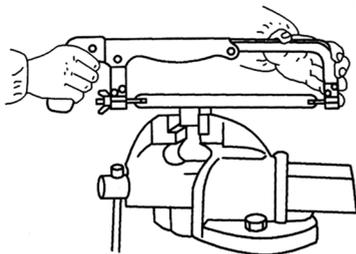


图 3.7 手锯的握法

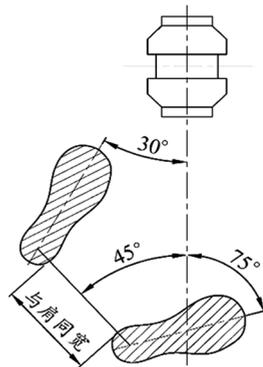


图 3.8 站立步位图

2) 站立步位

左脚与台虎钳中心线的夹角约 30° ，右脚与台虎钳中心线的夹角约 75° ，身体与台虎钳中心线的夹角约 45° ，两脚之间的距离与肩同宽，如图 3.8 所示。



锯削操作时，站立步位和姿势应便于用力。尽量将右手贴近身体，使锯弓、右肘、右肩位于同一直线。

3) 身体摆动姿势

正确的锯削姿势，能减轻疲劳，提高工作效率。锯削时，右腿伸直，左腿弯曲，身体向前倾斜，重心落在左脚上，两脚站稳不动。锯削操作过程中应保持右膝伸直，左膝随锯削时的往复运动而屈伸，运动过程如图 3.9 所示。

锯削运动开始时，身体稍向前倾，倾斜约 10° ，右肘尽量向后收，如图 3.9 (a) 所示；身体向前推进，带动右手向前，右膝保持伸直，左膝弯曲，如图 3.9 (b) 所示；身体继续向前推进，身体倾斜约 18° 时，带动右手使锯削行程达到锯削总行程的 $2/3$ ，如图 3.9 (c) 所示；锯削最后 $1/3$ 行程时，左右手在惯性作用下均向前伸出，用手推进锯弓至最大行程位置，身体随着锯削推进的反作用力退回到 15° 位置，如图 3.9 (d) 所示。锯削行程结束后，取消压力，将手、身体自然退回到最初开始位置。

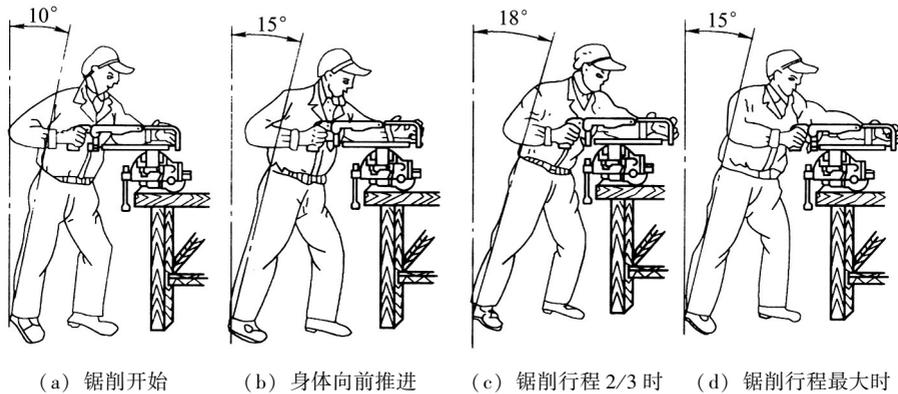


图 3.9 锯削的身体摆动姿势

4) 锯削用力

锯削的推力、压力由右手控制；左手配合右手扶正锯弓，防止锯弓歪斜，压力不要太大。

锯弓向前推出时起切削作用，需要施加压力；回程时不加压力，仅做自然拉回。

5) 锯削速度与行程

锯削往复速度应控制在每分钟 40 次左右。速度过快，容易疲劳，另外因发热严重会导致锯条变软，锯齿也容易磨损，反而会降低切削效率；速度太慢则影响锯削效率。锯硬材料时应慢些，锯软材料时可快些。

锯削时最好使锯条的全部长度参加切削，一般锯弓的往返长度不应小于锯条长度的 $2/3$ 。锯削行程太短，会导致锯条局部磨损，影响锯削效率。

6) 推锯方式

(1) 直线往复式。在整个锯削过程中保持锯缝的平直,适用于锯缝底部要求平直的槽和薄壁工件的锯削,以及锯缝较浅时的工件锯削。

(2) 小幅摆动式。锯弓两端做小幅度的上下摆动,推锯时,身体略向前倾,双手压向手锯的同时,左手上翘,右手下压;回程时,右手上抬,左手自然跟回。身体动作自然,两手不易疲劳,还可以减少锯条与工件的接触长度,切削效率较高。

5. 终锯

工件将要锯断或快锯到所需尺寸时,用力要小,速度应慢些。对需锯断的工件,要用左手扶住工件断开部分,以防锯条折断或工件跌落造成事故。

3.3 常见材料的锯削方法

1. 扁料的锯削

(1) 从宽面下锯:锯缝浅而且整齐,锯齿不易崩断,但锯削效率不高,容易刮花工件表面,如图 3.10 (a) 所示。

(2) 从窄面下锯:锯削效率较高,但容易造成锯缝歪斜,如图 3.10 (b) 所示。利用扁钢进行锯削操作练习时,应采用从窄面下锯的方式,以提高锯削基本操作技能。

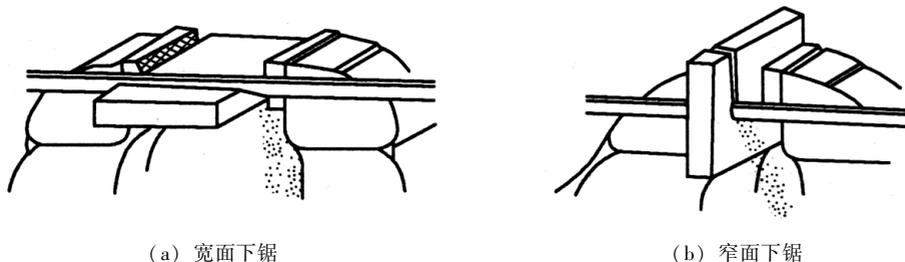
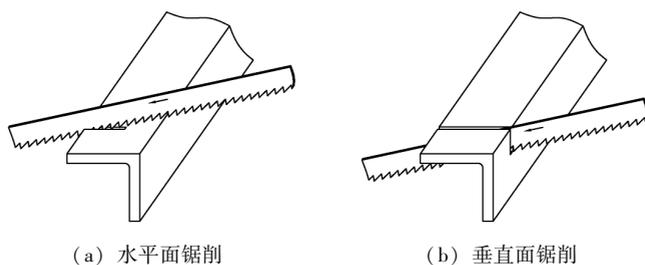


图 3.10 扁料的锯削

2. 角钢的锯削

应在角钢的侧边开始起锯,避免在角钢的中间起锯,以提高锯削效率及避免锯缝歪斜。学生利用角钢进行锯削操作练习时,一般先进行水平面锯削,如图 3.11 (a) 所示;再进行垂直面锯削,如图 3.11 (b) 所示,以提高锯削基本操作技能。



(a) 水平面锯削

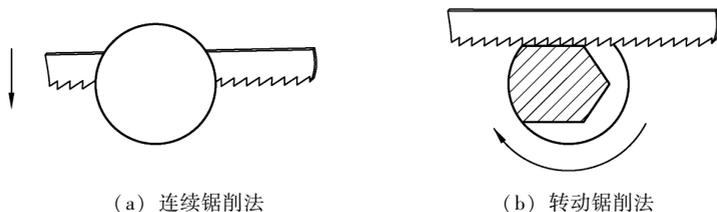
(b) 垂直面锯削

图 3.11 角钢的锯削

3. 棒料的锯削

锯削前，可先在棒料外圆表面上划出一圈垂直于轴线的位置线。由于锯削时对划线的精度要求不高，最简单的方法是使用矩形纸条，按锯削位置绕在工件外圆上，然后用划针划出。

若锯削面要求平整，应从起锯开始连续锯削至结束，如图 3.12 (a) 所示。若对锯削面要求不高，为减少切削阻力，可采用转动锯削法，将棒料锯到一定深度时转动一个角度后重新进行锯削，依次类推，直至将棒料锯断，如图 3.12 (b) 所示。



(a) 连续锯削法

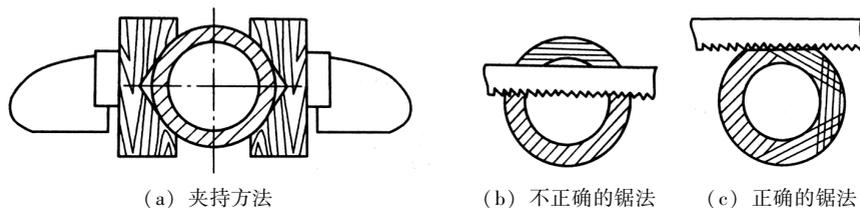
(b) 转动锯削法

图 3.12 棒料的锯削

4. 圆管的锯削

薄壁圆管或精加工过的圆管，夹持时应使用两块木制的 V 形衬垫，以防将管材夹扁或夹坏表面，如图 3.13 (a) 所示。

薄壁圆管锯削时，为避免锯齿被管壁钩住而折断锯条，不能从一个方向锯到底，如图 3.13 (b) 所示。锯削时要逐步变换方向，每个方向只锯到管子内壁处即停，直至锯断。在改变方向时，应向锯条推进方向转动，如图 3.13 (c) 所示。



(a) 夹持方法

(b) 不正确的锯法

(c) 正确的锯法

图 3.13 圆管的夹持与锯削

5. 薄板的锯削

(1) 应选用细齿锯条，尽可能从宽面锯下去。

(2) 可将薄板夹在两木块之间，连同木块一起锯削，这样可避免锯齿被钩住，还可增加薄板的刚性，如图 3.14 (a) 所示。

(3) 较大的薄板料可直接夹在虎钳上，用手锯做横向斜推锯削，如图 3.14 (b) 所示。

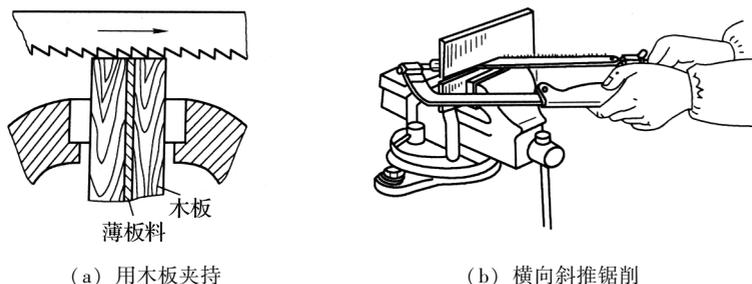


图 3.14 薄板的锯削

6. 深缝的锯削

当锯缝的深度超过锯弓的高度时，如图 3.15 (a) 所示，可将锯条转 180° 安装后，锯弓朝下进行锯削，如图 3.15 (b) 所示；也可将锯条转 90° 安装后，平握锯弓进行锯削，如图 3.15 (c) 所示。

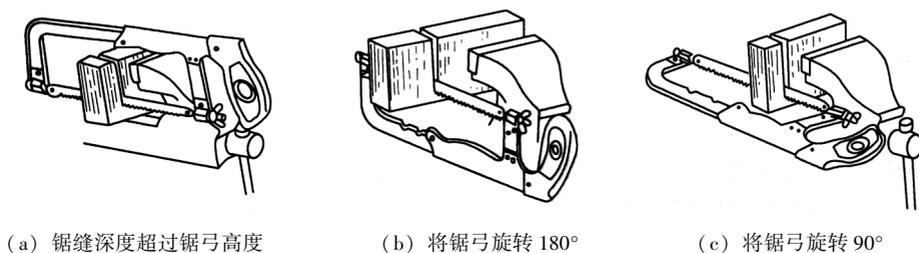


图 3.15 深缝的锯削

3.4 锯削质量分析及安全要求

锯削操作一般都留有较大的加工余量，常见问题主要为锯条损坏、锯削质量不良。

1. 锯条损坏形式及原因分析

锯条损坏形式有锯齿崩裂、锯条折断和锯齿过早磨损，其产生原因见表 3-1。

表 3-1 锯条损坏的形式及其原因

序号	锯条损坏形式	产生原因
1	锯条折断	①锯条装得过松或过紧； ②工件装夹时，未夹紧产生松动，或锯缝线离钳口太远产生抖动； ③锯缝歪斜后强行纠正，纠正过急使锯条扭断； ④锯削压力太大或用力突然，若锯弓偏离锯缝方向时易折断； ⑤锯条中间局部磨损，当拉长锯削行程时会造成卡锯并引起折断； ⑥新换锯条在旧锯缝锯削时未采用回拉锯弓等措施，易被卡住而折断； ⑦工件快要锯断时未减少压力，导致锯条碰撞台虎钳而被折断； ⑧中途停止使用，手锯未从工件中取出而碰断
2	锯齿崩裂	①锯薄板料和薄壁管子时，没有选用细齿锯条； ②起锯时，起锯角太大； ③近起锯时未回拉锯弓，强行推出导致锯齿崩裂； ④锯削运动摆动太大，或者锯削角度突变； ⑤锯割压力过大，锯齿被工件棱边钩住而崩裂
3	锯齿过早磨损	①锯割速度太快，使锯条发热导致锯齿磨损加剧； ②锯齿选用不当，或工件材料过硬，未加冷却液

2. 锯削常见问题分析

锯削时常见的问题有锯缝歪斜、位置不准、工件表面损伤等，其产生原因详见表 3-2。

表 3-2 锯削时常见的问题及其产生原因

序号	常见问题	产生原因
1	锯缝歪斜	①锯条安装过松或扭曲； ②工件划线时，划出的参考线出现倾斜； ③工件装夹时，未夹紧产生松动，或锯缝线离钳口太远产生抖动； ④起锯时，因锯弓不垂直，锯槽出现倾斜； ⑤正常锯削时，存在的原因有：左手未扶正锯弓，身体运动姿势不正确导致锯弓出现左右偏摆，左手压力过大导致锯齿压斜，锯削时未经常检查锯缝方向
2	锯削位置不准	①划线位置不正确； ②起锯时，锯条未用左手拇指定位，锯条出现滑移

续表

序号	常见问题	产生原因
3	工件表面锯伤	①起锯时, 锯条未用左手拇指定位, 锯条左右滑移; ②起锯角太小; ③锯缝深度较浅时, 若锯削压力太大会导致锯条滑出
4	锯缝异常变宽、有刮伤 或出现交叉缺口	①锯削角度太小, 导致锯缝异常变宽; ②锯弓上下摆动过大, 或锯削时锯齿高出外表面, 锯缝两侧有刮伤; ③锯缝歪斜后更换工件的装夹, 再次锯削时锯缝交错形成交叉缺口

3. 锯削的安全要求

- (1) 锯条安装要松紧适当, 以免在锯削时造成锯条折断, 崩出后伤人。
- (2) 锯削时推锯应平稳, 上下摆动不宜过大, 避免突然施加压力, 以免锯条折断。
- (3) 中途停止锯削时, 必须将锯弓从工件上取下, 防止锯条意外折断。
- (4) 工件将要锯断时, 用力要小, 速度应慢, 并及时用左手扶住工件的锯断部分, 以防锯条折断或工件跌落造成事故。
- (5) 锯削时的铁屑应用毛刷清除, 不能用嘴吹。

思考题



1. 锯齿的规格怎么表示? 如何选用合适的锯条?
2. 什么是锯路? 它有何作用?
3. 试述锯条安装的步骤及要求。
4. 起锯方式有几种? 一般选用哪一种, 为什么?
5. 锯削速度一般为多少? 速度过快会有什么问题?
6. 锯条折断的原因有哪些?
7. 锯削操作时, 为什么锯缝容易歪斜? 如何避免?

第4章 锉削

用锉刀对工件表面进行切削加工,使其达到要求的尺寸、形状和表面粗糙度的操作称为锉削。锉削一般用于锯削、錾削之后的进一步加工,其精度可达IT8~IT7级,表面粗糙度 Ra 可达 $0.8\ \mu\text{m}$ 。

锉削是钳工主要操作方法之一,在现代工业生产条件下,特别是在航空维修领域,由于行业的特殊性,仍有很多不适合用机械加工的场合,需要用锉削的方法来完成。如装配过程中对个别零件的修整、修理工作,小批量生产条件下某些形状复杂的零件加工,以及样板、工装夹具的加工制作等。

锉削的应用十分广泛,可加工平面、内外表面、曲面、沟槽和各种形状复杂的表面,如图4.1所示,还可以用于制作样板、装配时的工件修整等。

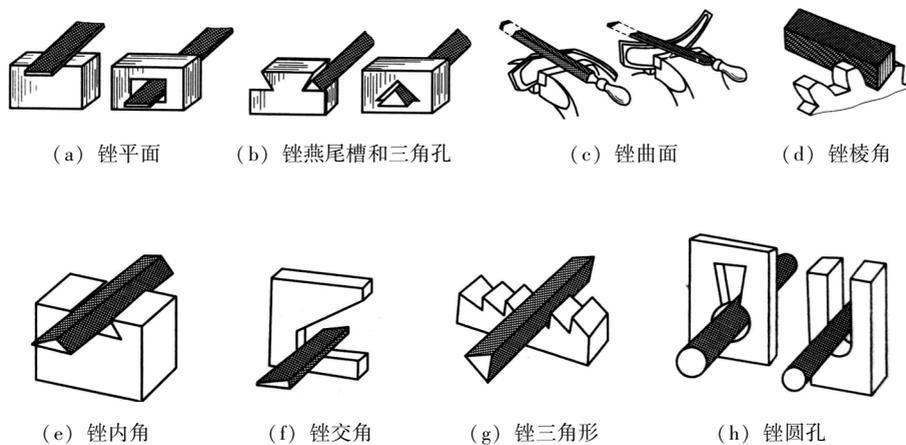


图4.1 锉削加工范围

思政之窗

“蛟龙号”载人潜水器首席装配钳工技师、2018“大国工匠”顾秋亮,在做学徒时就严格按照师傅要求苦练基本功——把100 mm厚的一块方铁锉至5 mm,他连锉了近20块方铁,用断了几十把锉刀,从而练就了扎实的基本功。凭借着过人的实力,即使在波涛汹涌的大海上,他也能把潜水器的密封面平面度控制在0.02 mm以内,同事们

因此称他为“顾两丝”。

机务人员加强实事求是、认真负责的机务作风建设，苦练基本功，能够在飞机维修工作中彰显民航人严谨科学的专业精神。

4.1 锉刀

锉刀是锉削的主要工具，通常用碳素工具钢（T12、T13）制成，并经过热处理淬硬至 62~67 HRC。

1. 锉刀的种类

锉刀按用途进行分类，分为普通锉、特种锉（异形锉）、整形锉（什锦锉）三种。普通锉按其断面形状可分为平锉、方锉、三角锉、圆锉和半圆锉五种，如图 4.2（a）所示，其中平锉用途广泛；特种锉用于锉削工件上的沟槽、内凹面等特殊表面，如图 4.2（b）所示；整形锉用于修整工件微小、精细的表面。

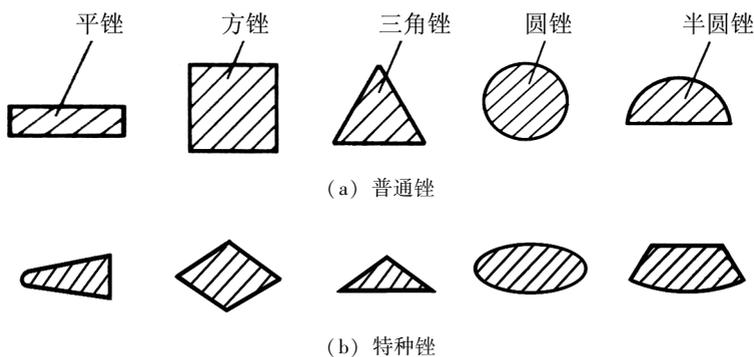


图 4.2 锉刀断面形状

2. 锉刀的结构

锉刀包括锉身、锉柄两部分，其中锉身由锉刀面、侧刃、锉刀舌组成，如图 4.3 所示。锉刀面是锉削的主要工作面，锉刀舌则用来装锉柄。

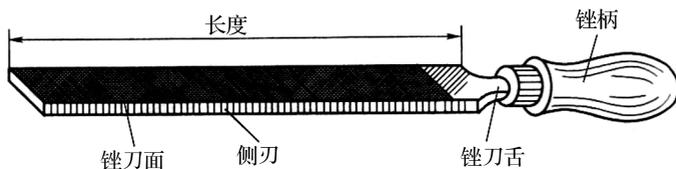


图 4.3 锉刀的结构

锉刀的锉纹有单齿纹、双齿纹两种，如图 4.4 所示。单齿纹锉刀锉削比较费力，仅用来锉削铝及其他软材料。双齿纹锉刀的锉齿由 65° 面齿（主锉纹）、 45° 底齿（辅锉纹）组成，面齿覆盖在底齿上，使其锉齿间断，达到分屑断屑作用。

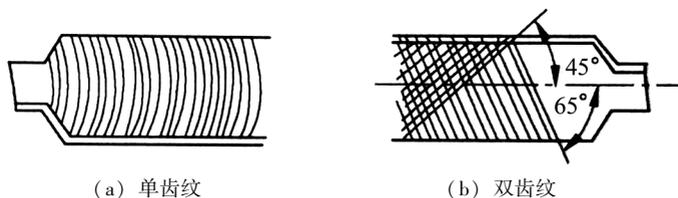


图 4.4 锉刀的齿纹

3. 锉刀规格及锉纹

普通锉除了圆锉刀以直径表示、方锉刀以方形尺寸表示外，其他锉刀的规格以锉身长度表示，钳工常用规格有 100 mm、150 mm、200 mm、250 mm、300 mm、350 mm 等。异形锉、什锦锉一般以锉刀全长作为尺寸规格。

锉齿粗细以锉纹号表示，按照轴向长度内主锉纹的条数划分为 1~5 号，其中 1 号为粗齿锉，2 号为中齿锉，3 号为细齿锉，4 号为双细齿锉，5 号为油光锉。

4. 锉刀的选用

锉刀的选用是否合理，对保证工件质量、提高工作效率、延长锉刀寿命都有很大的影响。锉刀选用的一般原则如下：

- (1) 按加工部位的形状来选择锉刀的种类。
- (2) 按工件的材质选择。锉削铜、铝、低碳钢等软材料时，应选用粗齿锉刀；锉削高碳钢、合金钢等硬材料时，应选用细齿锉刀。
- (3) 按工件锉削面积选择。面积越大，锉刀的规格越长。
- (4) 按加工余量、精度及表面粗糙度要求来选择（详见表 4-1）。一般来说，粗齿和中齿锉刀用于粗加工，细齿锉刀用于半精加工，双细齿锉刀用于精加工，油光锉刀用于表面光整加工。

表 4-1 锉刀的选用

锉刀种类	适用场合		
	加工余量/mm	尺寸精度/mm	表面粗糙度 Ra 值/ μm
粗齿锉刀	0.3~2.0	0.2~0.5	6.3~25
中齿锉刀	0.15~0.5	0.1~0.3	6.3~12.5
细齿锉刀	0.08~0.2	0.05~0.2	3.2~6.3
双细齿锉刀	0.04~0.1	0.02~0.1	1.6~3.2
油光锉刀	0.02~0.05	0.01~0.05	0.8~1.6

5. 锉刀的使用与保养

- (1) 新锉刀要先使用一面，用钝后再使用另一面，以延长其使用寿命。
- (2) 锉刀不能沾水、沾油，沾水后锉刀易生锈，沾油后锉刀易打滑。
- (3) 不要用锉刀锉削毛坯件的硬皮、氧化皮以及淬硬的表面，应先用其他工具或用锉刀的侧刃、棱边去除。
- (4) 锉刀在使用过程中或锉削工作结束时，若锉屑嵌入锉刀的齿缝内，应及时用钢丝刷或薄铜片顺着锉齿纹路的走向进行清除。
- (5) 锉刀使用完毕后必须清刷干净，以免生锈。
- (6) 锉刀在使用时或在工具箱内放置时都应摆放合理，不可与其他工具或工件堆放在一起，也不可与其他锉刀重叠堆放，以免损坏锉齿。

4.2 锉削操作技术

1. 工件装夹

工件锉削时，应使所需的加工面保持水平，并略高于钳口，再夹紧在台虎钳钳口。装夹要稳固，但用力不可太大，以防工件变形。夹持已加工表面和精密工件时，应在台虎钳钳口垫上铜皮、铝皮或其他较软材料，以防夹坏表面。

2. 锉刀的握法

锉刀的握法正确与否，对锉削质量、锉削力量的发挥和身体疲劳程度都有一定的影响。可根据锉刀的大小和形状的不同，采用相应的握法。

(1) 大锉刀的握法：右手心后部肌肉抵着锉刀柄的端头，大拇指放在锉刀柄的上面，其余四指自然弯曲在下，配合大拇指握住锉刀柄；左手则根据锉刀大小和用力的轻重，可选择多种姿势，如图 4.5 所示。



锉削操作技术

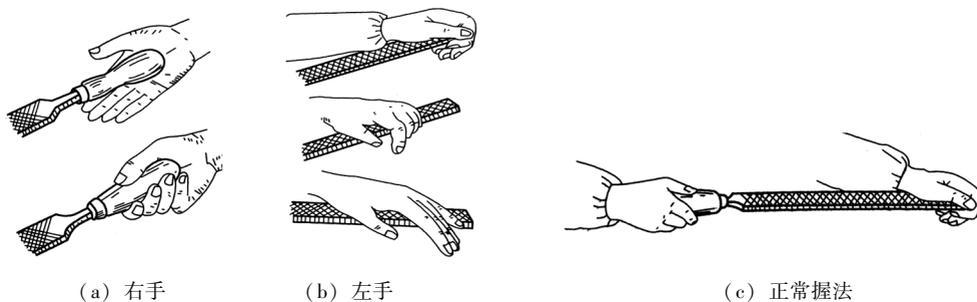


图 4.5 大锉刀的握法

(2) 中锉刀的握法：右手握法与大锉刀握法相同，左手用大拇指和食指捏着锉刀的前端，如图 4.6 (a) 所示。

(3) 小锉刀的握法：右手食指伸直，拇指放在锉刀柄上面，食指靠在锉刀的刀边；左手几个手指压在锉刀的中部，如图 4.6 (b) 所示。

(4) 更小锉刀的握法：一般只用右手拿着锉刀，食指放在锉刀上面，拇指放在锉刀的左侧面，如图 4.6 (c) 所示。

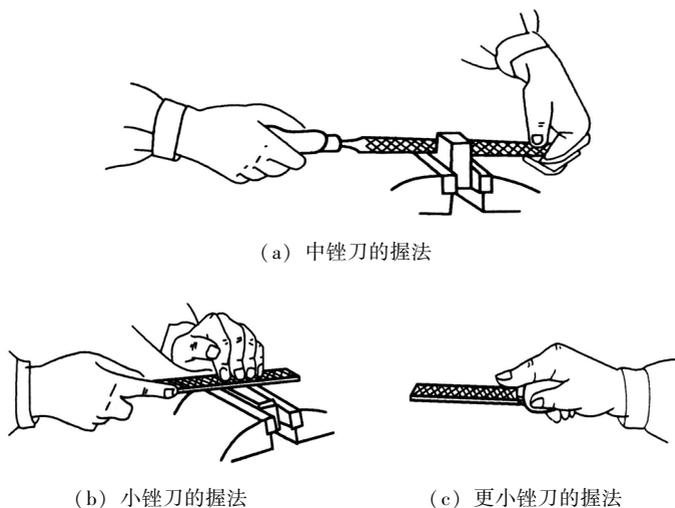


图 4.6 中小锉刀的握法

3. 锉削姿势

锉削时，右手的前臂、上臂与锉刀轴线位于同一垂直平面内，并与身体大约成 45° ，如图 4.7 所示。人的站立要自然并便于用力，其站立步位与锯削相同，左脚与锉刀轴线大约成 30° ，右脚与锉刀轴线大约成 75° ，两脚跟距离大约与肩同宽，如图 4.8 所示。

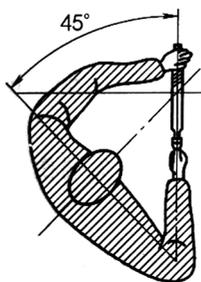


图 4.7 手臂姿势

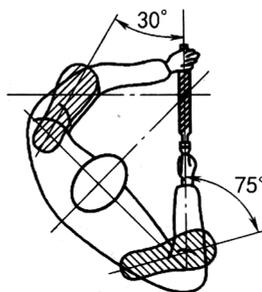


图 4.8 站立姿势

锉削时身体重心要落在左脚上，右膝伸直，左膝随锉削时的往复运动而屈伸。锉刀向前锉削的动作过程中，身体和手臂的运动情况为：

(1) 开始锉削时，身体向前倾斜 10° 左右，右肘尽量向后收，如图 4.9 (a) 所示；

(2) 锉最初 $1/3$ 行程时，身体向前推进，带动右手向前，右膝保持伸直，左膝弯曲，如图 4.9 (b) 所示；

(3) 锉至 $2/3$ 行程时，身体继续向前推进，身体逐渐倾斜到 18° 左右，如图 4.9 (c) 所示；

(4) 锉最后 $1/3$ 行程时，右肘继续向前推进锉刀至最大行程位置，身体则随锉削推进的反作用力自然退回到 15° 左右，如图 4.9 (d) 所示；

(5) 锉削行程结束后，锉刀略微抬起，将手、身体自然退回到开始时的姿势。

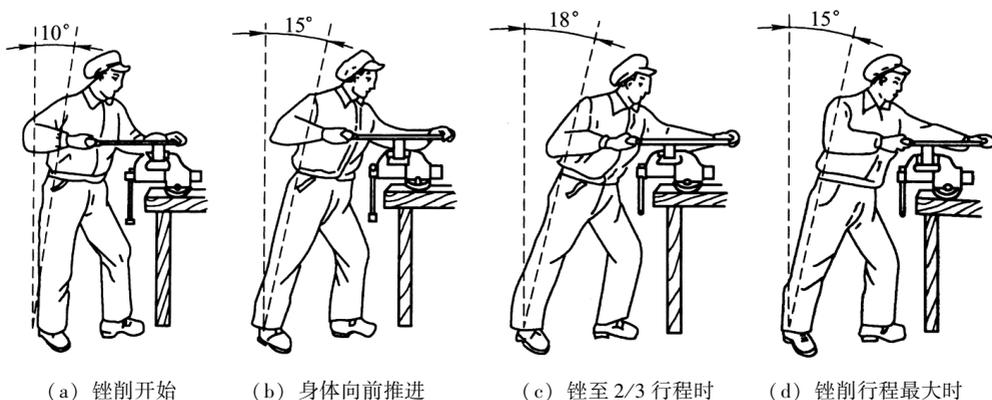


图 4.9 锉削姿势动作

4. 锉削用力

锉削用力分为水平推力和垂直压力两种，如图 4.10 所示。锉刀向前推进时，推力主要由右手控制，其大小必须大于切削阻力才能锉去切屑。压力是由两手控制，其作用是使锉齿深入金属表面。锉削时，由于锉齿容屑空间有限，作用在锉刀上的总压力应适中，一般以锉刀向前推进时手上有一种韧性感觉为宜。压力太大只会使锉刀磨损加快；压力太小，锉刀容易打滑，达不到切削目的。

锉削时锉刀的平直运动是完成锉削的关键。由于锉刀两端伸出工件的长度随时都在变化，这就要求锉刀运动到工件任意位置时，锉刀前后两端所受的力矩应相等。因此，锉刀位置随着右手的推进不断改变时，两手所施加的压力也必须随之变化，左手压力应由大逐渐减小，右手压力应由小逐渐增大，在中间位置时两手压力相等。回程时应不加压力，以减少锉齿的磨损。

要锉出平直的平面，最关键的是使锉刀在运动中始终保持水平，否则工件表面会产

生中凸。在锉刀推进过程中,为保持锉刀的平稳,可以将右手所加的压力尽量保持不变,左手所加的压力逐渐减小,用以平衡工件两端的力矩。

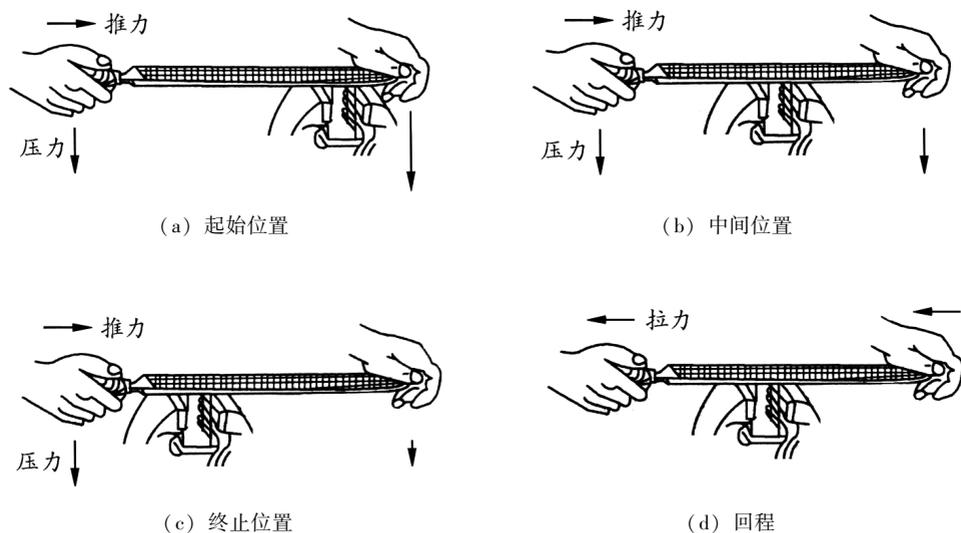


图 4.10 锉削的施力变化

5. 锉削速度和行程

锉削时的速度一般为 30~60 次/分,要求推出时稍慢,回程时稍快,动作自然协调。若速度太快,操作者容易疲劳,会造成锉齿的快速磨损,还会影响锉削质量。

粗锉时锉削行程应尽量长,以提高锉削效率,减少锉齿的局部磨损;精锉时锉削行程可短些,以提高锉刀的平稳性。

4.3 常见形状的锉削方法

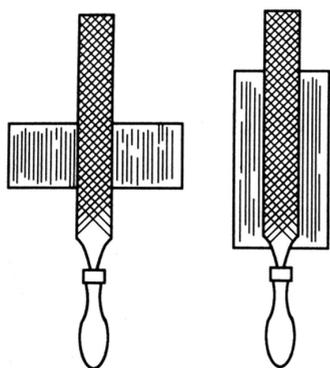
1. 平面锉削

平面锉削是最基本的锉削,常用的方法有顺向锉、交叉锉和推锉三种。

1) 顺向锉

顺向锉是顺着同一方向对工件进行锉削,是一种最基本的锉削方法,可以得到正直的锉痕,如图 4.11 所示。锉削较宽的平面时,为使整个加工表面能均匀地锉削,每次退回锉刀时应沿横向做适当的移动。锉削长条形的平面时,顺向锉又可分为以下两种。

(1) 沿宽度方向:锉刀与工件的接触面积最小,锉刀容易前后晃动,导致工件横



(a) 沿宽度方向 (b) 沿长度方向
图 4.11 顺向锉

向的弧形较大，但是锉齿的切入深度大，锉削效率高。因此，该方法适用于粗锉、表面大余量的去除加工，如图 4.11 (a) 所示。

(2) 沿长度方向：锉刀与工件的接触面积最大，锉齿的切入深度小，锉削效率低，但是锉刀的平稳性较好，锉纹整齐美观。因此，该方法常用于平面的精加工、表面最后的光整加工，如图 4.11 (b) 所示。

2) 交叉锉

交叉锉是从两个方向交替锉削的方法，如图 4.12 所示。采用交叉锉时，锉刀与工件的接触面增大，锉刀容易掌握平稳；加工表面粗糙，锉齿容易切入工件表面，锉削效率较高；锉纹交叉，可以利用锉痕，来判断锉削面的高低和锉削位置的对错，以便于不断地修正锉削位置。

交叉锉是初学者最常用的锉削方法，可用于锉削余量的去除，平行度、垂直度不良的调整，以及后续精加工前平面度不良的预调。

3) 推锉

推锉是双手横握锉刀往复锉削的方法，如图 4.13 所示。推锉的运动方向不是锉齿的切削方向，锉刀只有一小段锉齿循环接触工件表面，易导致锉刀的局部损坏；不能充分发挥手的力量，锉削效率不高；工件较窄时，两手的压力波动难以确保锉刀的水平，易导致工件表面的横向不平。

推锉应尽量不用，仅适用于横向已平、纵向中凸的狭长平面的小余量修整加工，或顺向锉因空间受限无法使用的场合。

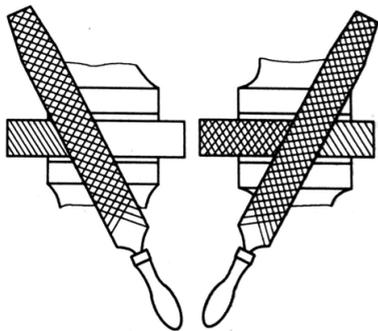


图 4.12 交叉锉

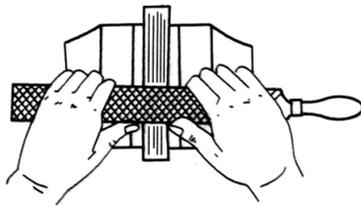


图 4.13 推锉



2. 形面铰削

1) 通孔的铰削

根据通孔的形状、工件材料、加工余量、加工精度和表面粗糙度来选择所需的铰刀，如图 4.14 所示。

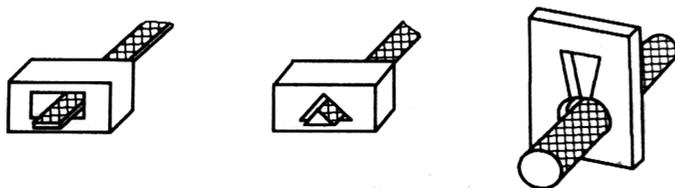
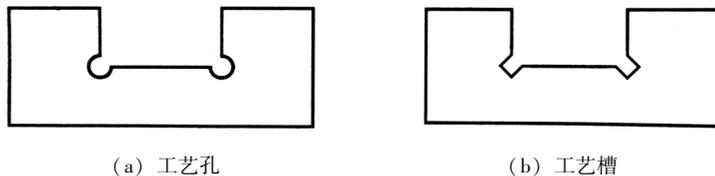


图 4.14 通孔的铰削方法

2) 内角的铰削

为防止加工干涉，便于装配和形面加工，需先在工件内角处加工出工艺孔或工艺槽，如图 4.15 所示，再选用与断面形状相符的铰刀进行铰削加工。工艺孔可采用钻孔加工，工艺槽可采用锯削加工。



(a) 工艺孔

(b) 工艺槽

图 4.15 内角的工艺孔及工艺槽

3. 曲面铰削

掌握单一的外圆弧面、内圆弧面的铰削方法，是掌握各种曲面铰削的基础。

1) 外圆弧面铰削

铰削外圆弧面所用的铰刀可选用平铰，当铰削余量大时，可先用顺向铰按圆弧的弧线铰成多棱形，再进行外圆弧面的铰削。外圆弧面的铰削方法主要有以下两种：

(1) 周向摆动铰法。铰刀沿圆弧周线方向向前推进的同时，右手下压，左手自然上抬，如图 4.16 (a) 所示。这种方法铰削后的圆弧面光洁圆滑，但铰削位置不易掌握且效率不高，故适用于精铰外圆弧面。

(2) 轴向滑动铰法。铰刀沿圆弧轴线方向平行推进的同时，并不断随着圆弧面左右滑动，如图 4.16 (b) 所示。这种方法铰削效率高，且便于按划线均匀铰近弧线，但只能铰成近似圆弧面的多棱形面，铰削后的圆弧面不够圆滑。

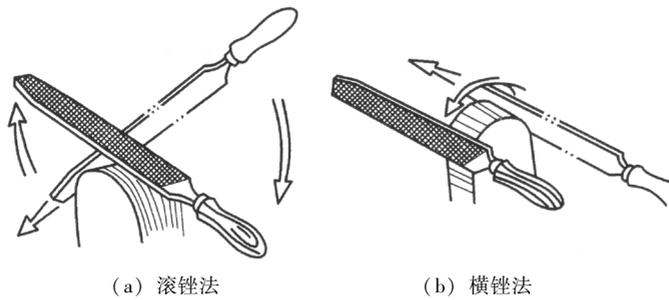


图 4.16 外圆弧面的锉削方法

2) 内圆弧面锉削

锉削内圆弧面所用的锉刀可选用圆锉或半圆锉，锉削时，锉刀要同时完成三个运动（如图 4.17 所示）：锉刀的前推运动、锉刀随圆弧面的左右移动、锉刀自身的转动。这样才能保证锉出的弧面光滑、准确。

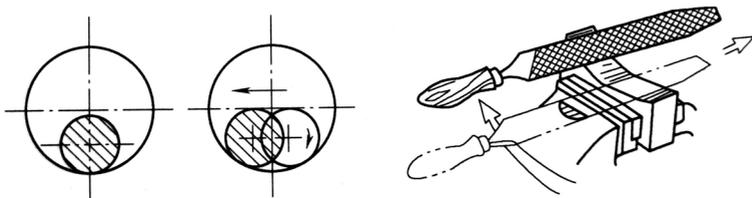


图 4.17 外圆弧面的锉削方法

3) 平面与曲面连接处的锉削

一般粗锉时应先锉削平面，再锉削曲面，以便内圆弧面与平面圆滑连接，外圆弧面与平面相切。精锉时，则应平面、曲面配合进行锉削。

4) 球面锉削

锉刀在进行外圆弧锉削复合运动的同时，还应绕球中心做周向摆动（见图 4.18）。

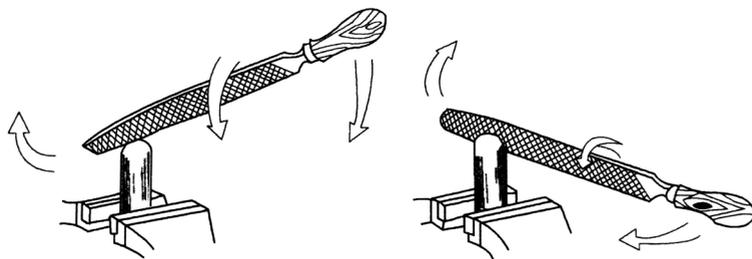


图 4.18 球面锉削

4. 锉配

锉配是指锉削两个相互配合的零件的配合表面，使配合的松紧程度达到所规定的要



求。锉配加工是钳工所特有的一项综合性操作技能，由于具有灵活性和经济性的特点，广泛应用于航空零部件、检测工装和夹具等的制造与修理。

锉配按其配合形式的不同，可分为平面锉配、角度锉配、圆弧锉配、混合式锉配等。锉配加工的方法是先把需相互配合的其中一零件锉好，作为基准件，再用基准件来锉配另一件。锉配一般先加工外表面（容易加工、便于测量、能达到较高精度），再锉配内表面。

锉配加工一般应遵循以下原则：

- (1) 应先加工凸件（外轮廓面），以凸件为基准件，再锉配凹件。
- (2) 先加工面积较大、精度较高的面，以该面为基准面再锉配其他面。
- (3) 对称性零件先加工一侧，以利于间接测量，待该面加工好以后再加工另一面。
- (4) 先加工平行面，后加工垂直面；先加工平面，后加工圆弧面。
- (5) 中间尺寸原则，即按公差的中值进行加工。
- (6) 最小误差原则，为保证锉配精度，应选择有关的外表面作为划线和测量的基准面。
- (7) 无标准量具时，可用辅助量具进行检测；不便直接测量时，可用间接测量方法。

4.4 锉削质量分析及安全要求

1. 锉削质量检验

常用的检验工具有刀口尺、宽座角尺、游标卡尺，可用于检验工件的直线度（平面度）、垂直度、尺寸和平行度等。

1) 直线度（平面度）的检验

工件的直线度，可以用刀口尺的透光法进行检测，刀口尺的使用方法可参考图 1.15；也可以在透光处用塞尺插入，根据塞尺的厚度确定平面直线度的误差，如图 4.19 所示。

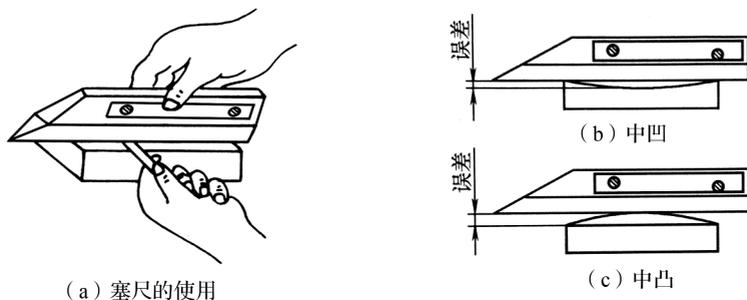


图 4.19 用塞尺测量直线度误差值

对于工件平面度的检验，可以将刀口尺垂直紧靠在工件表面，并在纵向、横向和对角线方向逐次检查，观察刀口与工件被测平面的透光程度，如图 4.20 所示。如果透光微弱而又均匀，则该平面的平面度合格；如果透光强弱不一，则说明该工件平面凹凸不平。

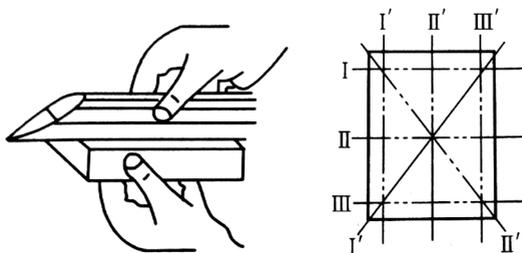


图 4.20 用刀口尺检验平面度

注意：刀口尺在检查中变换位置时，不能在工件表面上拖动，应先提起然后再轻轻放到另一检查位置，以免磨损刀口。

2) 垂直度的检验

可用宽座角尺的透光法检测，先选择基准面，再对其他各面进行垂直度检查，如图 4.21 所示，根据透光的强弱，来判断被测表面的垂直度误差。也可以配合塞尺进行检查。

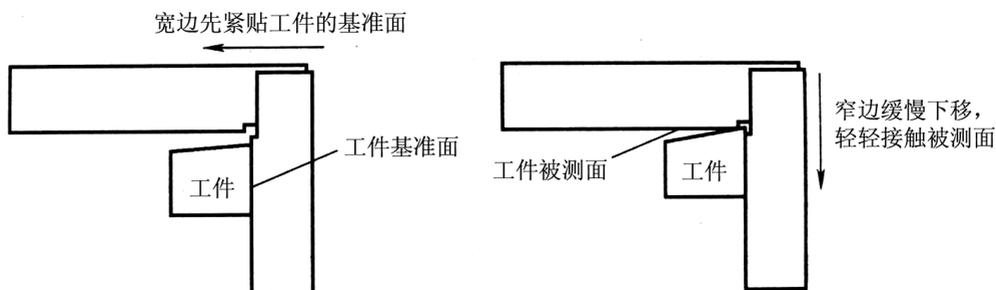


图 4.21 垂直度的检查方法

3) 尺寸的检验

可用游标卡尺在被测工件全长的不同位置上进行数次测量。

4) 平行度的检验

平行度的检测方法有如下几种：

(1) 尺寸测量法。在被测工件上，用游标卡尺或千分尺测量各点的尺寸，所测尺寸中最大值与最小值之差即为该工件两平面的平行度误差。

(2) 百分表测量法。如图 4.22 所示，百分表数值的变化范围为该平面的平行度误差。



5) 表面粗糙度的检验

对于工件表面粗糙度的检测,一般用肉眼直接观察,根据锉削痕迹的粗细和均匀程度来判断。如要求较高时,可用标准的表面粗糙度样板,进行对照检查。

6) 曲面的检验

对于弧面的半径,可使用半径规进行检查,如图 4.23 所示;也可以利用样板进行检查,如图 4.24 所示。

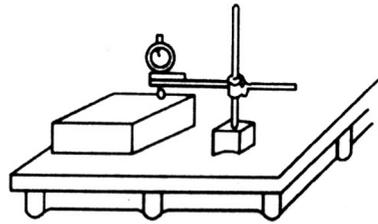


图 4.22 用百分表测量平行度

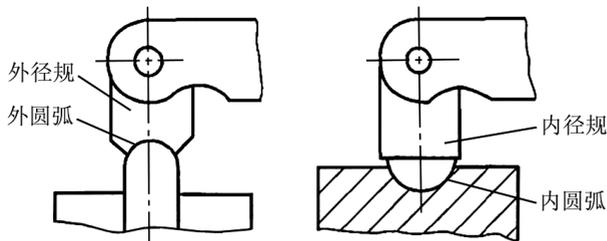


图 4.23 用半径规检查圆弧半径

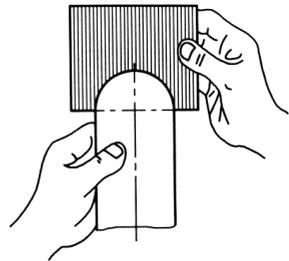


图 4.24 用样板检查曲面轮廓

2. 锉削常见问题分析

锉削加工时,工件常见的问题包括形状不符、尺寸超差、平面中凸或扭曲等。表 4-2 列出了锉削时常见问题的产生原因及改善方法。

3. 锉削的安全要求

- (1) 没有装柄或锉刀柄已裂开的锉刀不可使用,松动的锉刀柄应装紧后再使用。
- (2) 锉刀放置时,不能将其一端露在钳桌外面,以免碰落到地上砸伤脚或损坏锉刀。
- (3) 锉削时不能用手摸锉过的表面,因手上有油污,再次锉削时容易打滑。
- (4) 锉削时,应充分使用锉刀的有效全长,这样既可以提高锉削效率,又可避免锉齿局部磨损。
- (5) 锉削操作时,速度不宜太快,回程时不能有压力,否则容易过早磨损锉刀刃。
- (6) 使用整形锉等小锉刀时,用力不可过猛,以免折断锉刀。
- (7) 锉屑不准用嘴吹,以防飞入眼内,也不能用手去除,应用毛刷清除。
- (8) 不能将锉刀作为装拆、敲击和撬物的工具,否则锉刀容易产生变形,或因材质较脆而折断。

表 4-2 锉削时常见问题的产生原因及对策

序号	常见问题	产生原因	改善对策
1	工件夹坏	①精加工过的表面被夹出伤痕； ②夹持面积小，夹紧力过大； ③空心工件被夹扁	①垫上铜、铝等较软材料制成的垫片； ②夹紧力要恰当，可增加辅助工具夹持； ③钳口两侧衬以 V 形块或弧形木垫
2	形状不符合要求	①基准选择不当或精度达不到要求； ②未在加工前测量； ③测量方法不当，误差太大	①合理选择基准，并精锉基准面； ②先测量平行度、垂直度，再锉削加工； ③提高测量精度，并多点校验
3	工件尺寸太大	①锯削时，余量留得太大； ②锯齿太细，锉削力和行程太小； ③锉削方法选择不当	①合理留取余量，起锯时应检查确认； ②改用粗齿锉刀，加大锉削力和锉削行程； ③选用交叉锉或横锉去除余量
4	工件尺寸太小	①划线位置不正确； ②锯削时，余量留得太小； ③测量周期的间隔时间太长； ④锉削时超出加工界限	①划线后应进行尺寸复查； ②合理留取余量，起锯时应检查确认； ③经常检查，把握每个测量周期的锉削量； ④应提前留有精锉余量
5	平面横向中凸	①锉削的姿势动作不规范，导致锉刀上下晃动； ②锉削时锉刀的平稳性太差	①加强训练，并依据锉痕位置进行自检，提高锉削动作的平稳性； ②减小锉刀角度，增大与工件的接触面积
6	平面纵向； 中凸或塌边	①锉削方法选取不当； ②锉削动作不稳，导致锉刀前后摆动； ③纵锉的运用时间过长	①选用交叉锉，锉低中凸的位置； ②加强训练，以提高锉削动作的平稳性； ③多种锉削方法配合应用
7	对角扭曲或塌角	①锉削压力偏向锉刀的一侧； ②工件夹歪或锉刀面扭曲	①避开两塌角，选用交叉锉调整； ②夹平工件，检查锉刀质量
8	平面中凹	①锉刀左右移动不均匀导致纵向中凹； ②局部锉削的修整量过大	①锉削时，锉刀左右应做适当的平移； ②改用正常的顺向锉调整
9	表面粗糙度； 达不到要求	①锉刀的锉齿太粗； ②锉纹中的铁屑将工件的表面拉毛； ③仅使用部分锉齿接触工件表面	①合理选用锉刀； ②及时清除嵌入锉纹中的铁屑； ③改用正常的顺向锉，并减少锉削压力
10	相邻表面有损伤	①锉刀的形状、规格不合适； ②锉刀左右滑动，锉伤相邻面	①合理选用锉刀； ②提高锉削动作的稳定性，细心加工

思考题 

1. 在现代机械加工高度发达的情况下，飞机维修工作中为何还要使用锉削加工方法？
2. 锉削加工时，如何选用锉刀？
3. 如何进行锉刀的保养？
4. 锉削平面时为什么会产生中凸的缺陷？如何避免？
5. 平面锉削时，锉削方法有哪些？如何选用？

第5章 錾削

錾削是指用锤子敲击錾子，对工件进行切削加工的操作。錾削是钳工工作中一项比较重要的基本技能，通过錾削练习，还可以掌握锤击技能，提高锤击的力度和准确性，为航空设备维修时的拆装打下坚实的基础。

錾削所使用的工具简单，操作方便，不受设备、场地的限制，但工作效率低，劳动强度高，用于不便机械加工的场合。錾削加工主要用于工件表面的粗加工，去除毛坯的毛刺、凸缘，分割板料或条料，錾削油槽等。

思政之窗

分享一汽铸造公司产品技术部装配钳工班班长、2019年“大国工匠”李凯军的精彩人生，30年坚持，30年磨炼，30年钻研，他用精湛技艺为企业创造品牌，赢得声誉，创造价值。李凯军从一汽技工学校毕业后从事模具钳工工作，面对抛光、研磨等枯燥的动作，他不但没有懈怠，反而加班加点苦练技术。他带领自己的团队在近五年内完成1200余套各种复杂模具的钳工制造任务，总产值达6.1亿元，为一汽集团的快速发展提供了模具支撑。他用手工方法，把一个圆球锉削成一个正十二面体，尺寸精度达到0.01 mm，所有相邻面的夹角误差不超过1'，粗糙度Ra达到0.2 μm以上（像镜面一样），被誉为“金属上的雕刻师”。

机务人员应加强团结协作、刻苦耐劳的机务作风建设，彰显民航人敬业奉献的职业操守。在维修工作中，机务人员要切实增强敬畏生命、敬畏职责、敬畏规章的“三个敬畏”意识，不断提升专业素养。

5.1 錾削工具

錾削的主要工具是錾子和锤子。

1. 錾子

錾子是錾削工件的刀具，用碳素工具钢T7A、T8A锻打成型后，再进行刃磨和热处理而成。



錾子的外形如图 5.1 所示,它由切削部分(切削刃)、斜面、柄部及头部四个部分组成,全长 170 mm 左右,直径为 $\Phi 18 \sim 20$ mm。柄部一般为多棱形,多数呈八棱形,便于操作者握持,防止錾削时錾子转动。头部有一定的锥度,顶端略带球形,锤击时作用力容易通过錾子的中心线,使錾子保持平稳。如果錾子顶端为平面,则受力后容易产生偏歪和晃动,影响錾削质量。

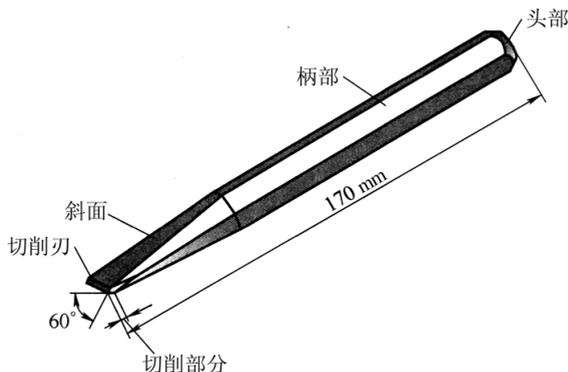


图 5.1 錾子外形图

依据工件加工的需要,一般常用的錾子主要有以下几种:

(1) 扁錾,又称平錾,如图 5.2 (a) 所示,有较宽的切削刃,刃宽一般为 15~20 mm。扁錾可用于錾削平面,去除凸缘、毛刺,切断材料等,应用最广。

(2) 窄錾,又称尖錾,如图 5.2 (b) 所示,其切削刃较短,且刃的两侧自切削刃起向柄部逐渐变窄,以保证在錾槽时,两侧不会被工件卡住。窄錾可用于錾槽、将板料切割成曲线等。

(3) 油槽錾,其切削部分制成弯曲形状,切削刃很短并呈圆弧形,如图 5.2 (c) 所示。油槽錾适用于錾切润滑油槽。

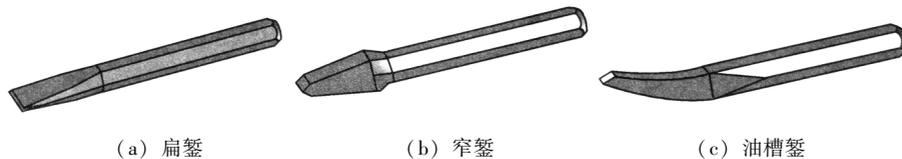


图 5.2 錾子种类

2. 锤子

锤子是钳工常用的敲击工具,由锤头、锤柄和楔铁组成,如图 5.3 所示。锤子的规格以锤头的质量大小来表示,有 0.25 kg、0.5 kg、1 kg 等几种。

锤头用碳素工具钢制成,两端经淬火硬化、磨光处理,顶面稍稍凸起。锤头的另一端形状可根据需要制成圆头、扁头、鸭嘴或其他形状。

锤柄常用坚韧的木质材料制成,其截面形状一般为椭圆形,其作用除了可防止它在

锤头孔内发生转动外，握在手里也不易转动。锤柄长度应合适，长约 350 mm，过长则操作不方便，过短则不能发挥锤击力量。

为了使锤头和锤柄可靠地连接，锤头的孔做成椭圆形，且中间小、两端大。锤柄装入锤孔后，要用楔铁楔紧，以防锤头脱落造成事故。

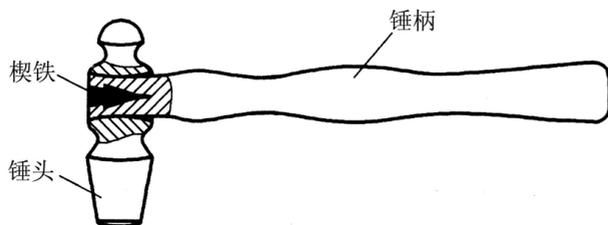


图 5.3 锤子结构图

5.2 錾削操作技术



錾削操作技术

1. 錾削基本操作

1) 錾子的握法

錾子的握法会随工作条件的差异而不同，握法主要有正握法、反握法、立握法三种。

(1) 正握法：手心向下，腕部伸直，用中指、无名指握住錾子，小指自然合拢，食指与大拇指自然伸直地靠拢，錾子头部伸出 15~20 mm，如图 5.4 (a) 所示。这种握法适用于平面錾削、在台虎钳上錾切，是最常用的握法。

(2) 反握法：手心向上，手指自然握住錾柄，手心悬空，如图 5.4 (b) 所示。这种握法适用于小平面或侧面錾削。

(3) 立握法：虎口向上，拇指放在錾子一侧，其余四指放在另一侧捏住錾子，如图 5.4 (c) 所示。这种握法适用于垂直錾切工件。



图 5.4 錾子握法



2) 锤子的握法

锤子的握法有紧握法、松握法两种。

(1) 紧握法：用右手五指紧握锤柄，大拇指合在食指上，虎口对准锤头方向，木柄尾端露出 15~30 mm，在锤击过程中五指始终紧握，如图 5.5 所示。这种方法因手锤紧握，所以容易疲劳或将手磨破，应尽量少用。

(2) 松握法：只用大拇指和食指始终握紧锤柄。在挥锤时，小指、无名指、中指依次放松；在锤击时，又以相反的次序收拢握紧，如图 5.6 所示。这种握法的优点是手不易疲劳，且锤击力大，是常用的握锤方法。

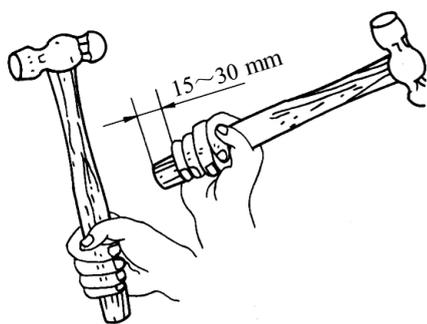


图 5.5 锤子紧握法

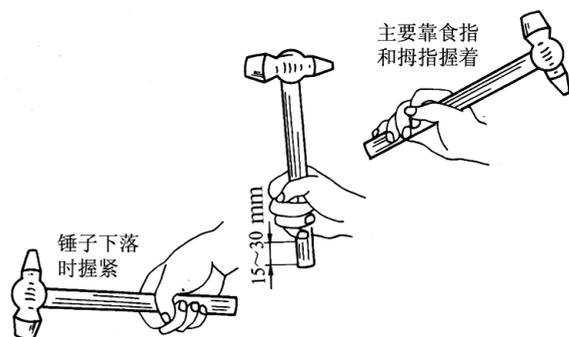


图 5.6 锤子松握法

3) 站立步位与姿势

錾削时，操作者的站立步位与姿势应便于用力。身体自然站立，略向前倾；左脚跨前半步，膝盖稍有弯曲；右脚稍微朝后，要站稳伸直，重心偏于右脚。錾削时的站立步位与锯削基本相同，站立姿势如图 5.7 所示。



图 5.7 錾削的站立姿势

4) 挥锤方法

錾削时的挥锤方法有腕挥、肘挥和臂挥三种。

(1) 腕挥：仅用手腕的动作进行锤击运动，采用紧握法握锤，如图 5.8 (a) 所示。腕挥的锤击力量小，一般用于錾削余量较小、錾削开始或结尾处。

(2) 肘挥：用手腕与肘部一起挥动做锤击运动，采用松握法握锤，如图 5.8 (b) 所示。肘挥因挥动幅度较大，锤击力也较大，因此该方法应用最广。

(3) 臂挥：用手腕、肘和全臂一起挥动，如图 5.8 (c) 所示。臂挥的锤击力最大，用于需要大力錾削的场合。

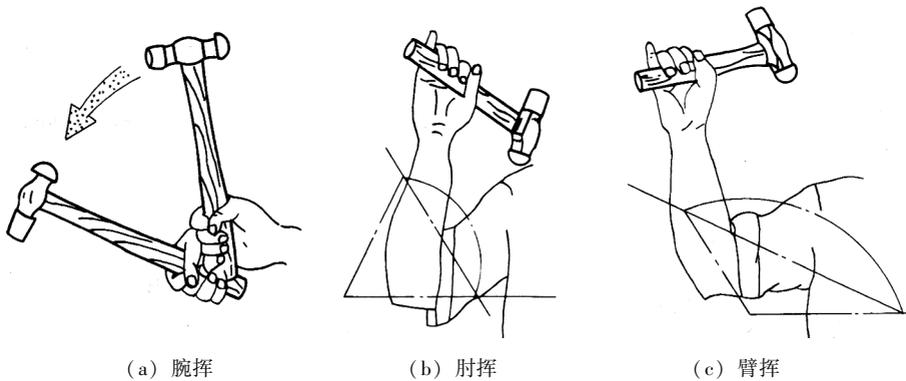


图 5.8 挥锤方法

5) 锤击要领

锤子敲下去应具有加速度，以增加锤击的力量，不要因为怕打着手而造成锤击速度过慢。锤击时，锤子落点的准确性，主要靠控制手的运动轨迹及其位置来达到。眼睛的视线要对着工件的錾削部位，而不是看着錾子的头部。

挥锤时，肘收臂提，举锤过肩，手腕后弓，三指微松，锤面朝天，稍停瞬间。锤击时，目视切削刃，臂肘齐下，收紧三指，手腕加劲，锤錾一线，锤走弧形，左脚着力，右腿伸直。

挥锤动作要一下一下有节奏地进行，锤击频率一般为：腕挥时约 50 次/分，肘挥时约 40 次/分，臂挥时约 30 次/分。

锤击要求：稳、准、狠。

2. 錾削角度

錾削时，錾子的切削部分与工件之间会形成一定的角度，如图 5.9 所示。

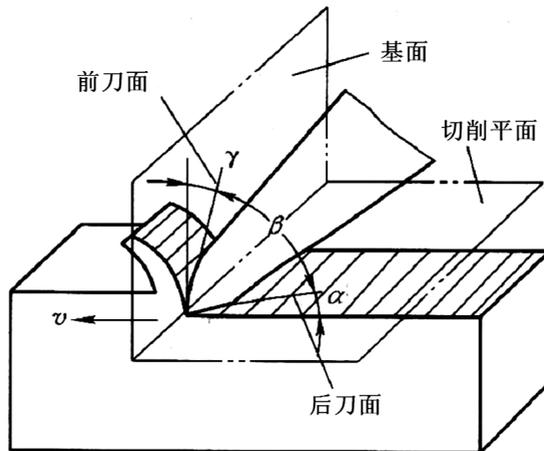


图 5.9 鏖子的几何角度

(1) 切削平面：通过切削刃，并与切削表面相切的平面。

(2) 基面：通过切削刃，并垂直于切削速度方向的平面。基面与切削平面互相垂直。

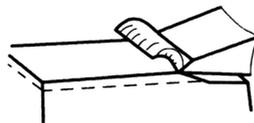
(3) 楔角 β ：鏖子前刀面与后刀面所夹的锐角。楔角在鏖子刃磨时形成，楔角的大小决定了切削部分的强度和切削阻力的大小。楔角愈大，刃部的强度较高，但鏖削的切削阻力也愈大。鏖子楔角的大小，通常由工件材料的软硬程度来决定。鏖削低碳钢、铜、铝等软材料时，楔角为 $30^\circ \sim 50^\circ$ ；鏖削结构钢、中碳钢等中等硬度材料时，楔角为 $50^\circ \sim 60^\circ$ ；鏖削铸铁、高碳钢等硬材料时，楔角为 $60^\circ \sim 70^\circ$ 。

(4) 后角 α ：鏖子后刀面与切削平面所夹的锐角。后角的大小决定了切入的深度及切削的难易程度。后角太大，鏖子容易扎入工件，切入太深，造成鏖削困难；后角太小，切削容易，但鏖削效率低；若后角过小，会使鏖子滑出工件表面，造成不能切入。

鏖削时，后角为关键角度，一般为 $4^\circ \sim 8^\circ$ 。发现后角 α 不合理时应及时调整，并掌握好鏖子以保持后角的稳定，否则工件表面将鏖得高低不平。如图 5.10 所示。



(a) 后角太大，会扎进工件



(b) 后角太小，从表面滑脱



(c) 后角变化超出范围

图 5.10 鏖削时后角的变化

(5) 前角 γ ：鏖子前刀面与基面所夹的锐角。前角的大小决定切屑变形的程度和切削的难易程度。前角越大，切屑的变形越小，切削越省力。由于 $\gamma = 90^\circ - (\beta + \alpha)$ ，

当楔角和后角确定后，前角也就随之确定。

因此，镟削效率、质量的主要影响因素为楔角 β 和后角 α 的大小。

3. 镟子的刃磨

镟子切削部分直接影响镟削的质量和工作效率。镟子刃部在使用过程中容易磨损变钝，因此经常需要按正确的形状刃磨，并使切削刃锋利、光滑平整。

1) 刃磨要求

镟子的楔角大小应与工件材料的硬度相适应，切削刃与镟子中心线垂直（油槽镟除外），两刃面宽3~5 mm 并对称，刃口平直，切削刃要锋利。

2) 刃磨方法

双手握住镟子，在旋转的砂轮轮缘上进行刃磨，如图 5.11 所示。刃磨时，必须使镟子的切削刃高于砂轮水平中心线，在砂轮全宽上做左右移动，并要控制镟子的方向、位置，保证磨出所需的楔角 β 值。

刃磨时还应注意，加在镟子上的压力不宜过大，左右移动要平稳、均匀，并要经常蘸水冷却，以防退火，降低硬度。刃磨后，可用角度样板检验楔角是否符合要求。

3) 刃磨操作安全要求

(1) 开动砂轮机后，必须观察旋转方向是否正确（砂轮朝向操作者一面应向下转），并等到速度稳定后才可使用。

(2) 刃磨镟子时应站在砂轮机的斜侧位置，不能正对砂轮的旋转方向。

(3) 刃磨时，必须戴好防护眼镜，禁止戴手套。

(4) 应用砂轮的外圆柱表面刃磨镟子，不能使用砂轮的侧面。

(5) 刃磨时，对砂轮施加的压力不能太大，以防打滑伤手。

(6) 发现砂轮表面跳动严重时，应及时检修。

(7) 刃磨结束后，应立即关闭砂轮机电源。

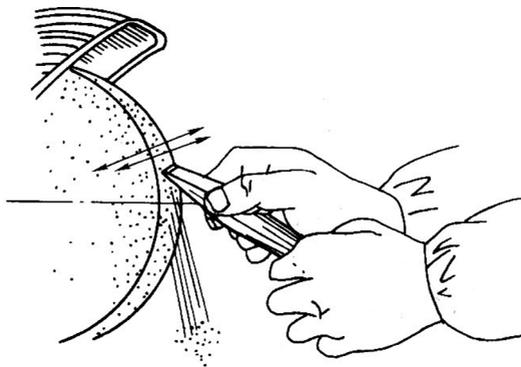


图 5.11 镟子的刃磨



5.3 錾削方法

1. 錾削平面

錾削平面时，主要用扁錾。錾削厚度要合适，厚度太厚，不仅消耗体力，錾不动，而且易使工件报废；錾削量太少，錾子容易滑脱。錾削厚度一般取 1~2 mm，细錾时取 0.5~1 mm。若錾削余量超过 2 mm，应分几次錾削。

1) 起錾

錾削平面时，常用的起錾方法有如下两种：

(1) 斜角起錾。起錾时，在工件的边缘尖角处先将切削刃斜对着板料（大约成 45° ），将錾子后角放成负角（大约为 -30° ），如图 5.12 所示，錾出一个斜面，然后按正常的錾削角度逐步向中间錾削。一般情况下，都应尽量采用此方法。

(2) 正面起錾。起錾时，将錾子放平，与工件端面基本垂直，或使錾子头部略向下倾斜，如图 5.13 所示，以便切削刃顺利切入材料。该方法仅适用于较窄的平面，以及不适合使用斜角起錾的场合（如錾槽）。

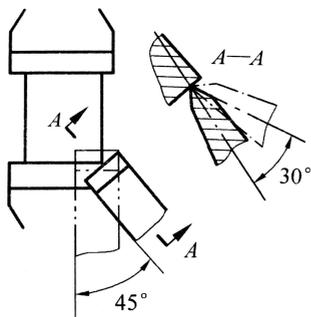


图 5.12 斜角起錾方法

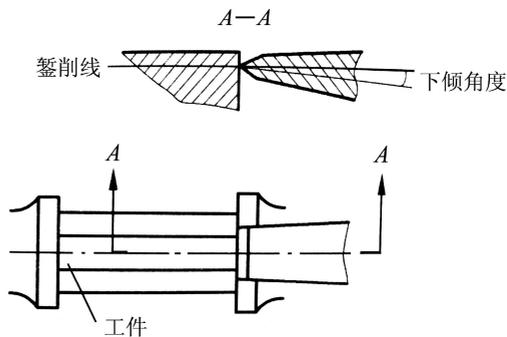


图 5.13 正面起錾方法

2) 錾削

錾削时的后角 α 要控制在 $4^\circ \sim 8^\circ$ 之间，并依据錾削精度和錾削层厚度进行调节。錾削依据錾削精度可分为粗錾和细錾，粗錾时 α 角应小些，用力应重；细錾时 α 角应大些，用力应较轻。依据錾削层的厚薄来调节后角 α 的大小（见图 5.14），錾削层厚，后角应小些；錾削层薄，后角应大些。

錾削时，要保持錾子的正确位置和錾削方向。一般每錾削 3~4 次后，可将錾子退回一小段距离，然后再将切削刃顶住錾削处继续錾削。这样，既可随时观察錾削表面的平整情况，又可使手臂肌肉有节奏地得到放松。

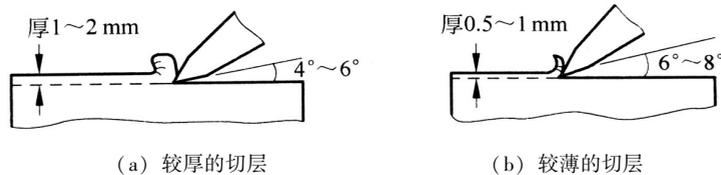


图 5.14 镗削量与后角的关系

3) 工件尽头的镗法

当镗削快到尽头时,要防止工件边缘的崩裂,如图 5.15 (a) 所示,尤其是镗铸铁、青铜等脆性材料时更应注意。一般情况下,当镗削离工件尽头约 10 mm 时,必须调头镗去余下的部分,以免损坏工件棱角或边缘,如图 5.15 (b) 所示。

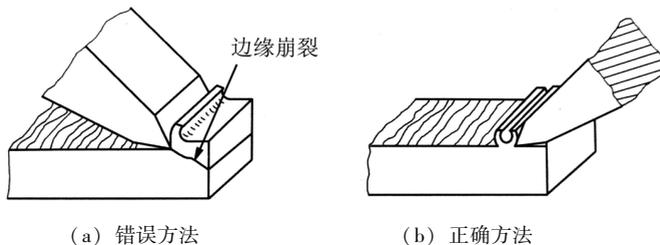


图 5.15 工件尽头的镗削方法

4) 不同宽度平面的镗法

(1) 较窄的平面。如果平面宽度小于切削刃宽度,可直接镗削。平面较窄时,镗子的切削刃最好与镗削前进方向倾斜一个角度,如图 5.16 所示,使切削刃与工件有较多的接触面积,镗子就容易被掌握稳定,不会因左右摇晃而造成镗削表面的高低不平。

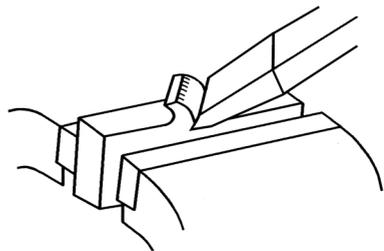


图 5.16 镗窄平面

(2) 较宽的平面。如果平面宽度大于切削刃宽度,为了易于镗削,应先用窄镗在工件上镗若干条平行槽,如图 5.17 (a) 所示;再用扁镗将剩余部分镗去,如图 5.17 (b) 所示。若采用圆弧形镗削方法,如图 5.17 (c) 所示,镗削时镗子沿着镗削平面左右平稳移动,切削刃走向为圆弧,减少刃口与加工部位的接触面积,以提高镗削效率。

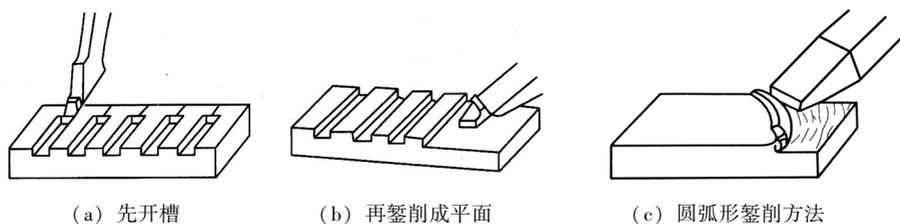


图 5.17 较宽平面的錾削方法

2. 錾切板料

在缺乏机械设备或者不允许使用机械设备的场所，可以利用錾子来切断板料或分割出形状较复杂的薄板工件。

1) 在台虎钳上錾切

当工件不大时，将板料牢固地夹在台虎钳上，并使工件的錾削线与钳口平齐，再进行切断。夹持要足够牢固，以防錾切过程中板料松动而使切断线歪斜。为便于切削省力，应用扁錾沿着钳口，并斜对着板料约 45° ，按线自右向左錾切，如图 5.18 (a) 所示。如果在切断时錾子平对着板料，如图 5.18 (b) 所示，则錾切时不仅费力，还会使切断处产生不平整或撕裂现象。

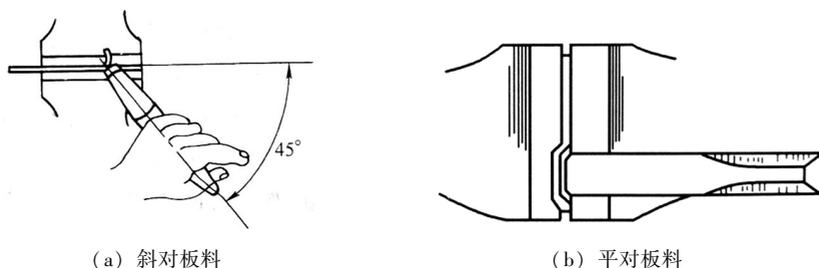


图 5.18 利用台虎钳对板料的錾切方法

2) 在平板上錾切

当板料的尺寸较大而不便在台虎钳上夹持时，应将它放在铁砧或平板上，将錾子垂直于工件后进行錾切。为避免损伤錾子的切削刃，应在工件下面垫上废旧的软铁材料，如图 5.19 所示。

(1) 较薄的板料。当錾切线为直线时，可选用扁錾，此时錾子的切削刃应磨成适当

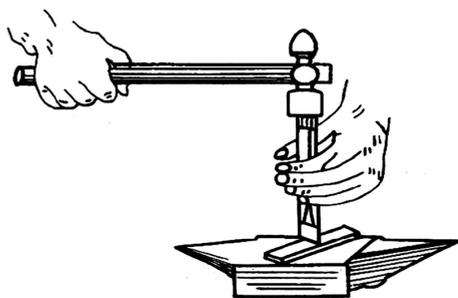


图 5.19 平板錾切

的弧形，使前后鏊痕边缘连接整齐，否则容易造成鏊痕的错位，如图 5.20 所示。当鏊切线为曲线时，可选用窄鏊，切削刃的宽度应根据其曲率半径大小而定，使鏊痕能与曲线基本一致。

(2) 形状复杂或较厚的板料。为减轻劳动强度，可先按轮廓线钻出密集的排孔，再用扁鏊或窄鏊逐步切断，如图 5.21 所示。

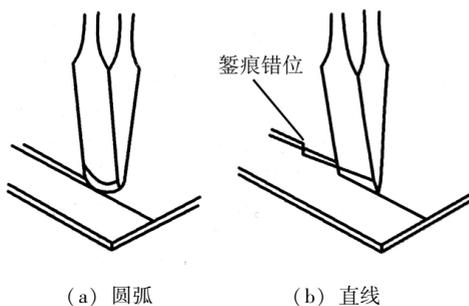


图 5.20 切削刃形状

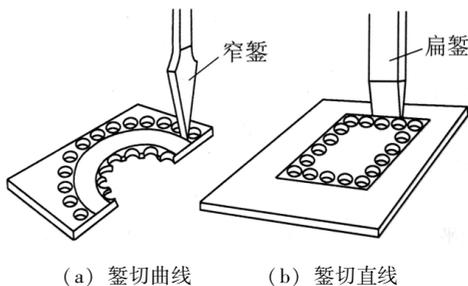


图 5.21 厚板料的鏊削方法

3. 鏊削油槽

油槽一般起贮存和输送润滑油的作用，航空设备受条件限制不便拆卸或不适合进行机械加工时，可用油槽鏊鏊出油槽。

鏊削油槽时，首先要根据图样上油槽的断面形状，把油槽鏊的切削部分刃磨准确，并在工件表面准确划线。油槽必须鏊得深浅均匀，表面光滑，如图 5.22 所示。可一次鏊削成型，或者先鏊出浅痕后再次鏊削成型。在曲面上鏊油槽时，鏊子的倾斜角要灵活掌握，应随曲面而变动并保持鏊削时的后角 α 不变。鏊削完毕后，要用刮刀裹上纱布除去槽边的毛刺，使槽的表面光滑。

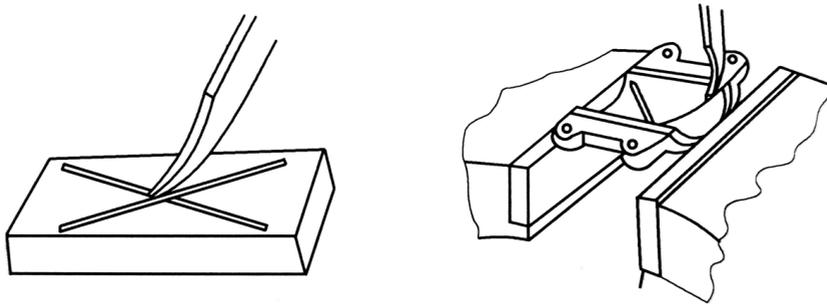


图 5.22 鏊削油槽



5.4 錾削质量分析及安全要求

1. 錾削常见问题分析

錾削常见的问题包括工件錾削面不平整、尺寸超差、錾子切削刃损伤等。表 5-1 列出了錾削时常见问题的产生原因及改善方法。

表 5-1 錾削时常见问题的产生原因及对策

序号	常见问题	产生原因	对策
1	錾削表面粗糙	①刃口不锋利； ②锤击力不均匀	①刃磨錾子刃口； ②控制手的运动轨迹，提高锤击稳定性
2	錾削面凹凸不平	①錾子握持不稳，上下、左右摆动，导致錾削时后角变化太大； ②后刀面太窄，錾削方向选择不当	①选用合适的方法，按要求正确地握持錾子，减少錾子的晃动； ②刃磨錾子，改变方向以增加接触面
3	尺寸超差	①工件装夹不牢； ②钳口不平，有缺陷； ③錾子方向掌握不正，偏斜超线	①夹持应牢固，并增大工件的夹持面积； ②检查钳口状况，必要时磨平钳口； ③控制錾子方向，及时检查
4	工件棱边、棱角；崩缺	①收尾时未调头錾削； ②錾子方向掌握不稳，左右摆动	①离工件尽头约 10 mm 时，调头錾削； ②控制錾子方向，保持稳定
5	錾子刃口崩裂	①錾子淬火时，刃部产生微裂纹； ②工件硬度太高，或硬度不均匀； ③锤击力太猛	①改善淬火工艺，适当降低刃部硬度； ②工件退火处理，降低其硬度； ③减小锤击力，提高锤击的稳定性
6	錾子刃口卷边	①刃口硬度偏低； ②錾子楔角太小； ③单次的錾削量太大	①改善淬火工艺，提高刃部硬度； ②刃磨錾子，增大其楔角； ③分几次錾削，以减少每次的錾削量

2. 錾削的安全要求

(1) 錾削前，检查锤头是否有松动，避免操作时锤头飞出伤人；锤柄不能沾油，避免使用时锤子滑出。

(2) 錾削前，应观察四周环境，錾削方向应对着防护网，避免铁屑飞溅伤人。

(3) 錾削时，工件必须夹持正确，且夹持力应适当。夹持太紧，会夹伤工件表面；夹持太松，会造成工件松动而影响錾削质量。

(4) 錾削时的受力方向应朝向固定钳身，避免台虎钳内部丝杆和螺母的损坏。

(5) 錾屑不得用手擦或用嘴吹，应用毛刷清除。

- (6) 錾子的切削刃应保持锋利，头部的毛刺应及时用砂轮磨去。
- (7) 合理安排錾削操作时间，避免疲劳操作。
- (8) 刃磨錾子时，必须遵守砂轮机的安全使用规程。

思考题



1. 錾子的种类有哪些？各应用在什么场合？
2. 锤子的握法有几种？哪种握法较好，为什么？
3. 錾削时，什么是楔角、后角、前角？它们对錾削操作会有何影响？
4. 錾削平面时，常用的起錾方法有哪几种？
5. 利用台虎钳进行板料錾切时，有何注意事项？
6. 试述錾削加工的安全生产要求。

第6章 孔加工

孔加工是钳工工作的重要内容。孔的加工方法大致可分为两类：一类是在实心材料上加工出孔，即用麻花钻、中心钻等进行钻孔；另一类是对已有的孔进行再加工，即用扩孔钻、镗钻、铰刀等进行扩孔、镗孔、铰孔。

特别是在航空维修领域，螺栓、铆钉等紧固件孔处易产生疲劳裂纹，需要及时对受损的孔表面进行处理，可以采用钻孔、铰孔等加工方法进行修复。

思政之窗

川航“中国民航英雄机组”事迹启示我们，只有在平时工作中不断强化安全风险意识，将安全风险管控贯穿于安全工作的全过程，熟知预案内容，强化各种预案的实际演练，才能确保在发生突发事件时做到沉着冷静、果断及时应对。时刻绷紧“风险在眼前，隐患在身边”这根弦，变事后监管为事前防控、变被动监管为主动监管、变低效监管为高效监管，使风险防控意识不断加强，安全风险防控水平不断提高。

民航人要加强严格要求、遵章守纪的机务作风建设，培养学生具有规章意识、风险意识、举手意识、红线意识（“四个意识”）。

6.1 钻孔加工设备

钳工常用的钻孔设备有台式钻床、立式钻床、摇臂钻床。另外，当钻孔直径较小（一般在6 mm以内），工作场地要求较灵活的场合时，还可以使用手电钻、气钻。

1. 台式钻床

台式钻床简称台钻，是一种放在工作台上使用的小型钻床。台钻质量轻，移动方便，转速高（最低转速为400 r/min），一般用来钻直径13 mm以下的孔。图6.1是一种钳工常见的台式钻床，可用于小型工件上的各种孔加工。

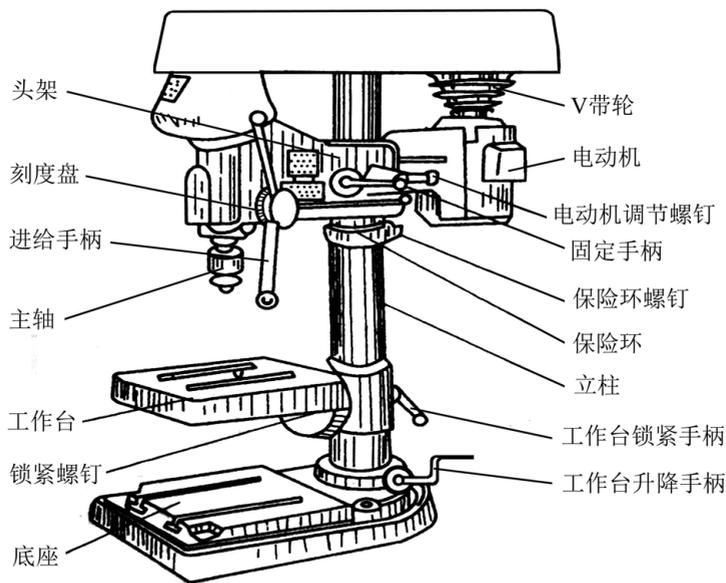


图 6.1 台式钻床

使用时，拧松工作台锁紧手柄，工作台可以转动，也可以通过手柄进行升降，调定后用锁紧手柄固定。工件较小时，可将工件放在工作台上钻孔；工件较大时，可把工作台移开，直接放在钻床底座上钻孔；当松开锁紧螺钉后，工作台还可以在垂直平面内左右倾斜 45° 。扳动进给手柄来实现进给运动，进给量可以通过刻度盘来读取。

调节时，拧松电动机调节螺钉后通过调整 V 带轮，可使主轴获得五种不同的转速。拧松固定手柄，头架连同电动机和 V 带轮，可在立柱上进行上下移动，还可绕立柱轴线转动，待调整到适当位置后用固定手柄锁紧。若需调低头架，先把保险环调节到合适位置，用保险环螺钉锁紧在立柱上，然后略放松固定手柄，靠头架的自重落到保险环上，再把固定手柄拧紧。

2. 立式钻床

立式钻床简称立钻，如图 6.2 所示，其规格用最大钻孔直径表示，常用规格有 25 mm、35 mm、50 mm 等几种。与台钻相比，立钻刚性好，功率大，有冷却装置，允许采用较大的切削用量，因此可获得较高的加工精度和生产效率。

立钻通过调整主轴变速箱手柄可获得不同的主轴转速，调整进给变速箱手柄可获得不同的进给量，主轴转速和进给量变化范围大，而且可以自动进给，可适应不同材料的钻孔加工，还可进行扩孔、镗孔、铰孔、攻螺纹等多种加工。立钻适用于单件与小批量生产中的中、小型零件的加工。

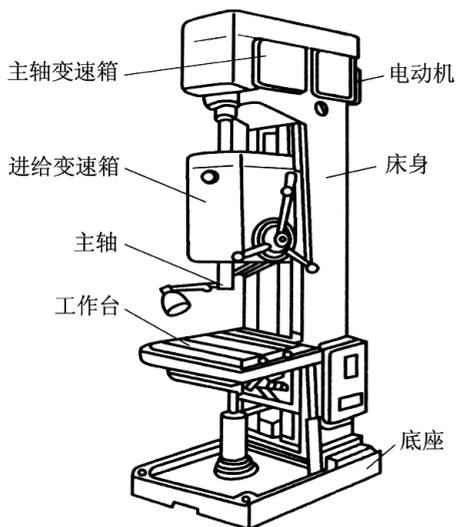


图 6.2 立式钻床

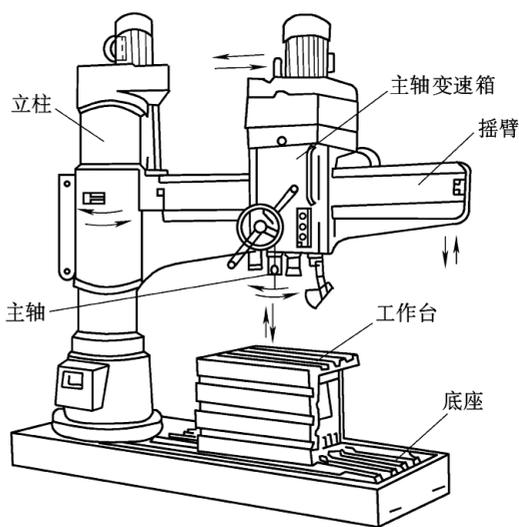


图 6.3 摇臂钻床

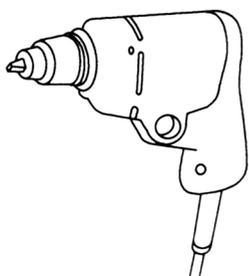
3. 摇臂钻床

摇臂钻床的外形如图 6.3 所示，操作时通过移动主轴，调整刀具位置来对准被加工工件的中心，而无须移动工件，因此使用时比立钻方便。

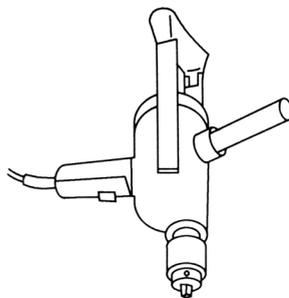
摇臂钻床的主轴转速范围和进给量大，既可进行钻孔、扩孔、镗孔、攻螺纹等加工，也可进行镗平面、环切大圆孔、镗孔等多种加工。摇臂钻床适用于大型、多孔工件的加工。

4. 手电钻

手电钻是一种手持电动工具，外形如图 6.4 所示。手电钻使用的电源有 220 V 和 380 V 两种，主要用于钻直径 12 mm 以下的孔。手电钻携带方便，操作简单，使用灵活，适用于不便使用钻床的场合，因此应用比较广泛。



(a) 手枪式



(b) 手提式

图 6.4 手电钻

6.2 钻孔用钻头

1. 麻花钻

麻花钻是钻孔时的常用刀具，一般用高速钢制成，其工作部分经热处理淬硬至 62~65 HRC。

麻花钻的结构由柄部、颈部、工作部分组成，其中工作部分又分为导向部分和切削部分，如图 6.5 所示。

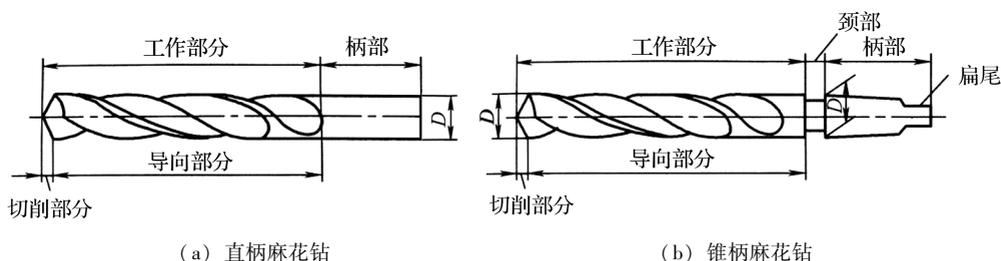


图 6.5 麻花钻的组成

(1) 柄部。柄部是麻花钻的夹持部分，用来传递钻孔时所需的扭矩和轴向力。根据柄部形状的不同，麻花钻分为直柄和锥柄两种。直柄所能传递的扭矩较小，其钻头直径一般小于 13 mm。当钻头直径大于 13 mm 时，一般都采用锥柄（莫氏锥柄分为 1~6 号，直径越大，柄号越大），以传递较大的扭矩。锥柄的扁尾既能增加传递的扭矩，又能避免工作时钻头打滑，还能供拆卸时敲击钻头用。

(2) 颈部。颈部位于柄部和工作部分之间，在磨制钻头时供砂轮退刀用，钻头的规格、材料、商标一般均刻在颈部。

(3) 导向部分。导向部分有两条对称的螺旋槽，可用来构成切削部分的几何形状，排除切屑并输送冷却液。除了两条螺旋槽外，还有两条狭长的、螺旋形的、高出齿背 0.5~1.0 mm 的棱边（刃带），直径前大后小，略有倒锥度，这样可以减少钻头与工件孔壁间的摩擦。导向部分在钻孔时起引导钻削方向和修光孔壁的作用，同时也是切削部分的备用段。

(4) 切削部分。切削部分也称刀刃，承担主要的切削工作。

2. 麻花钻切削部分的几何形状

标准麻花钻切削部分的几何形状由六面（两个前刀面、两个主后刀面和两个副后刀面）、五刃（两条主切削刃、两条副切削刃和一条横刃）组成，如图 6.6 所示。

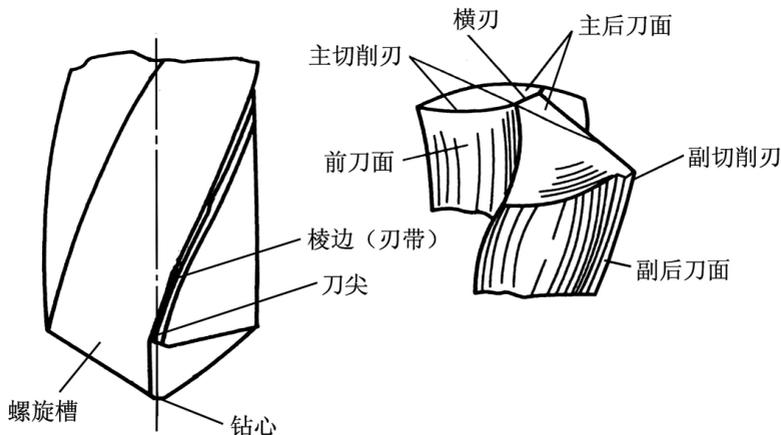


图 6.6 麻花钻切削部分的几何形状

- (1) 两个前刀面：是指工作部分的两个螺旋槽表面。
- (2) 两个主后刀面：是指钻头顶端的两个螺旋圆锥表面。
- (3) 两个副后刀面：是指与工件孔壁接触，略低于棱边的两个圆柱表面。
- (4) 两条主切削刃：是指前刀面与主后刀面所形成的两条交线。
- (5) 两条副切削刃：是指前刀面与副后刀面所形成的两条交线。
- (6) 一条横刃：是指两个主后刀面所形成的交线。

麻花钻的主切削刃与副切削刃的交点称为刀尖；钻头工作部分沿轴心线的实心部分称为钻心，它连接两个螺旋形刃瓣，以保持麻花钻的强度和刚度。

图 6.7 为麻花钻主切削刃上任意一点的切削平面、基面、主截面的相互位置，三者互相垂直。

(1) 切削平面：主切削刃上任意一点的切削平面是由该点的切削速度方向和这点上切削刃的切线所构成的平面。主切削刃上任意一点的切削速度方向是以该点到钻心的距离为半径，以钻心为圆心所作圆周的切线方向，也就是该点与钻心连线的垂直方向。

(2) 基面：主切削刃上任意一点的基面是通过该点，与该点切削速度方向垂直的平面，即通过该点与钻心连线的径向平面。主切削刃上各点的基面是不同的。

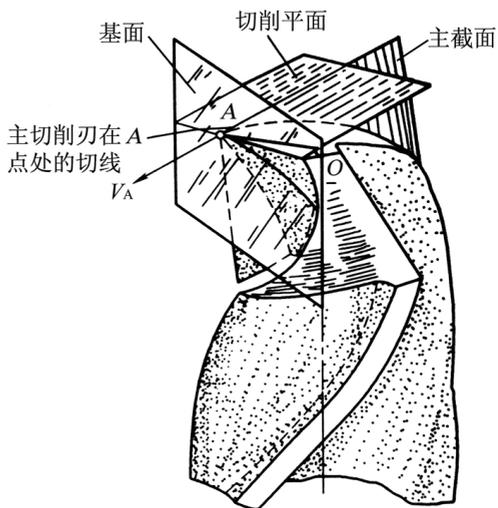


图 6.7 麻花钻的辅助平面

(3) 主截面：主切削刃上任意一点的主截面是通过主切削刃上任意一点，垂直于切削平面和基面的平面。

标准麻花钻的切削角度包括顶角、螺旋角、前角、后角、横刃斜角，如图 6.8 所示。

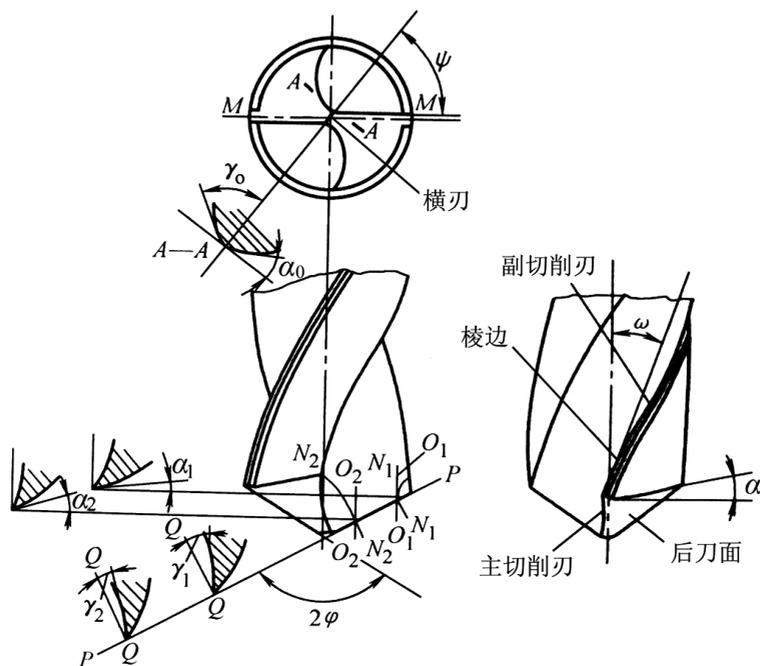


图 6.8 标准麻花钻的切削角度

(1) 顶角 2φ ：又称锋角，是指两主切削刃在其平行平面内投影的夹角。标准麻花钻的顶角为 $118^\circ \pm 2^\circ$ ，主切削刃呈直线。当顶角 $> 118^\circ$ 时，主切削刃呈凹形曲线；当顶角 $< 118^\circ$ 时，主切削刃呈凸形曲线。

顶角小，刀尖角大，工作时钻头的轴向阻力小，易散热，但切屑易卷曲，不便排屑，不易输入切削液；顶角大，钻尖强度也大，但切削刃短，导致定心较差，钻出的孔径易变大。刃磨时，应根据加工条件决定顶角的大小，钻硬材料时顶角磨得大些，钻软材料时顶角磨得小些。

(2) 螺旋角 ω ：是指主切削刃上最外缘处的螺旋线切线与钻头轴心线之间的夹角。在钻头的不同半径处，螺旋角的大小是不相同的，外缘处的螺旋角最大，靠近钻心处的螺旋角最小。标准麻花钻的螺旋角为 $18^\circ \sim 30^\circ$ 。

(3) 前角 γ ：是指主切削刃上任意一点处的前刀面与基面之间的夹角。主切削刃各点上的前角大小是不相同的，自外缘向中心逐渐减小，最靠近外缘处的前角最大可达 30° ，靠近中心处的前角约为 0° ，靠近横刃处的前角约为 -30° 。



前角大小决定了材料切除的难易程度和切屑在前刀面上的摩擦阻力大小。前角越大，切削越省力。

(4) 后角 α ：是指主切削刃上任意一点处的主后刀面与切削平面之间的夹角。主切削刃各点上的后角大小是不相同的，外缘处最小，自外向内逐渐增大，其作用是减少主后刀面与切削面之间的摩擦。

(5) 横刃斜角 ψ ：是指横刃与主切削刃在钻头端面内的投影之间的夹角。它是刃磨麻花钻时形成，其大小与后角、顶角大小有关，当后角磨得偏大时，横刃斜角就会减小，横刃就比较长。标准麻花钻的横刃斜角为 $50^\circ \sim 55^\circ$ 。

3. 标准麻花钻的刃磨

麻花钻在使用过程中，其切削部分容易变钝，需要刃磨以保持锋利。刃磨高速钢钻头一般采用粒度为 F46~F80、硬度等级为中软级（K、L）的氧化铝砂轮（又称刚玉砂轮）。刃磨麻花钻时，主要刃磨两个主切削刃及其后刀面。

1) 刃磨要求

标准麻花钻的刃磨要求包括以下几点：

- (1) 两条主切削刃的长度应相等，并对称于轴线；
- (2) 顶角 2φ 应符合要求，钻软材料时顶角可小些；
- (3) 后角 α 应符合要求，确保主后刀面低于主切削刃，并使主后刀面光滑；
- (4) 横刃斜角 ψ 为 $50^\circ \sim 55^\circ$ 。

2) 刃磨方法

(1) 操作者应站在砂轮机侧面，右手握住钻头的头部，左手握住柄部，将钻头的主切削刃置于水平状态，钻头轴线与砂轮圆柱面母线所成的夹角等于顶角的一半， φ 为 $58^\circ \sim 60^\circ$ ，如图 6.9 所示。

(2) 刃磨时，将主切削刃略高于砂轮水平中心平面处先接触砂轮，右手握住钻头的前端作为定位支点，使钻头绕自己的轴线缓慢转动，同时施加适当的刃磨压力，使整个钻头的后刀面都能磨到。

(3) 左手握住钻头的柄部，配合右手缓慢地做下压运动，下压角度为 $8^\circ \sim 30^\circ$ ，刃磨压力逐渐增大，以便磨出后角 α ，并按螺旋角旋转钻身 $18^\circ \sim 30^\circ$ ；返回时，使钻尾呈扇形自下而上摆动至水平状态，用力要逐渐减小。刃磨时两手动作的配合应协调、自然，刃磨时的压力变化如图 6.10 所示。

(4) 将钻头翻转 180° ，刃磨另一条主切削刃。

(5) 刃磨过程中，应将两个主后刀面反复轮换，直至达到刃磨要求。

3) 刃磨后的检查

刃磨后的麻花钻，可以用角度样板检查钻头顶角 2φ 的大小是否符合要求，用目测法检查两条主切削刃的长短、高低以及它的后角等。

目测时，应将钻头垂直竖在与眼等高的位置上进行观察，由于视差影响会感觉到左

刃高、右刃低，此时应将钻头转过 180° ，再进行观察。多次反复对比后，觉得两刃基本对称即可，若发现两刃有差异必须再次刃磨处理。

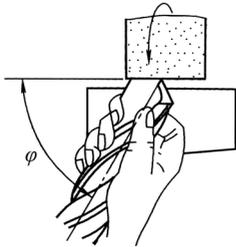


图 6.9 刃磨顶角

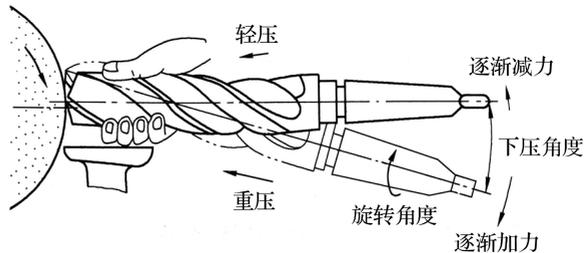


图 6.10 刃磨主切削刃

4) 刃磨时的注意事项

(1) 刃磨钻头时，钻尾向上摆动时不得高出水平线，以防磨出负后角；钻尾向下摆动时不能太多，以防磨掉另一条主切削刃。

(2) 刃磨压力不宜过大，并随时检查两主刃的长度、对称度，以及钻头顶角的大小。

(3) 刃磨过程中应经常蘸水冷却，以防钻头刃部因过热退火而降低硬度。

4. 群钻

群钻是在麻花钻的基础上经刃磨改进出来的一种新型钻头，具有切削效率高、工作寿命长、钻孔质量好等优点。根据使用用途的不同，分为标准群钻、薄板群钻等。

1) 标准群钻

标准群钻主要用来钻削钢材，其结构特点是在标准麻花钻上磨月牙槽、修磨横刃和磨出单面分屑槽，如图 6.11 (a) 所示。

(1) 磨月牙槽：在主后刀面上对称地磨出两个月牙槽，将主切削刃分成三段，即外刃 (AB 段)、圆弧刃 (BC 段)、内刃 (CD 段)。圆弧刃增大了钻心处的前角，使切削省力。主切削刃被分成了几段，有利于断屑、排屑。圆弧刃在孔底上切削出一道圆形肋，能限制钻头的摆动，加强了定心作用。

(2) 修磨横刃：把横刃磨短，使其为原来长度的 $1/5 \sim 1/7$ ，使新形成的内刃前角增大，减小了轴向力，提高了钻头的切削性能。

(3) 磨出单面分屑槽：在外刃上磨出凹形分屑槽，有利于排屑和减少切削力。

2) 薄板群钻

将标准麻花钻的两条主切削刃磨成圆弧形切削刃，两条切削刃的外缘和钻心处形成三个刃尖，如图 6.11 (b) 所示。外缘处刃尖与钻心处刃尖在高度上仅差 $0.5 \sim 1.5 \text{ mm}$ ，

当钻头尚未钻穿时，两圆弧刃已在工件上切出环形槽，起到良好的定心作用，保证了钻孔的质量。

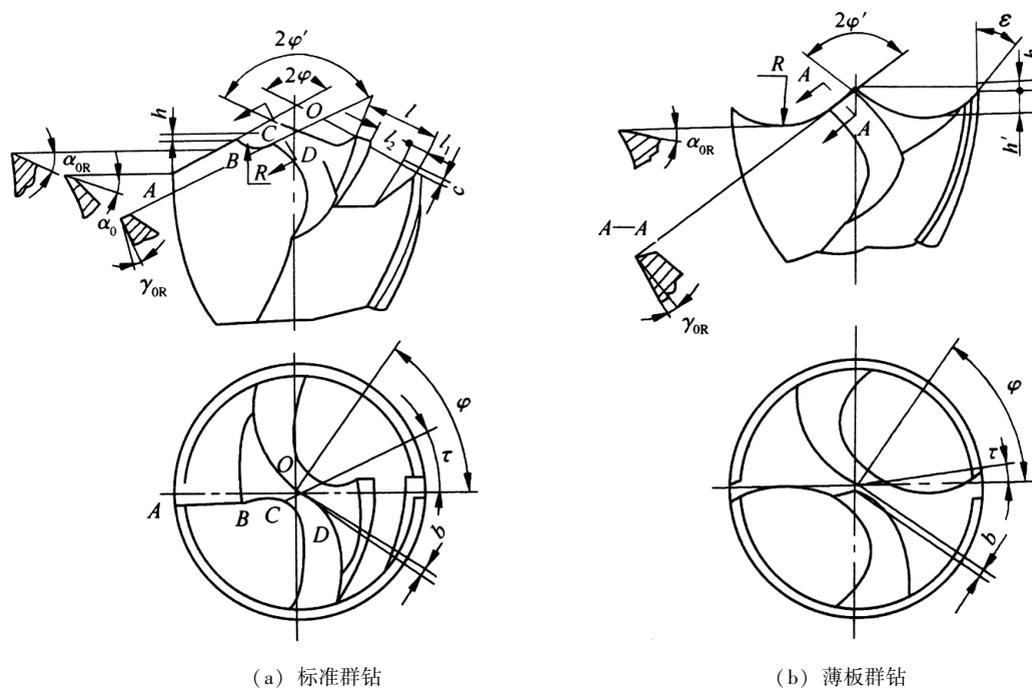


图 6.11 群钻

5. 中心钻

中心钻专用于工件端面上钻出中心孔，主要用于利用工件端面孔定位的零件加工及麻花钻钻孔初始的定心。按其结构形式的不同，中心钻分为普通中心钻、复合中心钻等，如图 6.12 所示。

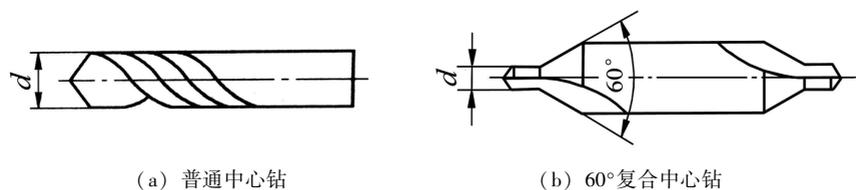


图 6.12 中心钻

6.3 钻孔

钻孔是指用钻头在实心材料上加工出孔的操作。钻孔的加工精度一般在 IT10 级以下，表面粗糙度 Ra 为 $12.5 \mu\text{m}$ 左右。因此，钻孔一般用于精度要求不高的孔的加工，或作为孔的粗加工。

1. 钻孔前的准备

根据图样尺寸的位置要求，划出孔位的十字中心线，检查划线位置无误后打上样冲眼。样冲的使用方法见图 2.15。样冲眼的位置要准，尺寸可适当大一些，这样可使钻头的横刃预先落入样冲眼的锥坑中，钻孔时就不易偏离中心。

若孔径较大时，为便于钻孔时的检查，可划出检查圆或检查方框，如图 6.13 所示。

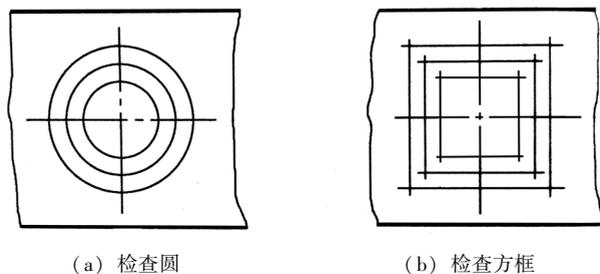


图 6.13 孔位检查线

2. 钻头的装拆

1) 钻头的装夹工具

钻头常用的装夹工具包括钻夹头和钻套。

钻夹头可用来夹持直径 13 mm 以下的直柄钻头，其外形如图 6.14 所示。其柄部的外圆锥面与钻床主轴的内圆锥孔配合安装，头部的三个夹爪具有自动定心的功能，可用钥匙扳手实现同时合拢或张开，用以夹紧或松开钻头。

钻套又称过渡套，可用于装夹直径 13 mm 以上的锥柄钻头，依据其内外锥锥度的不同分为 5 个型号，详见表 6-1。

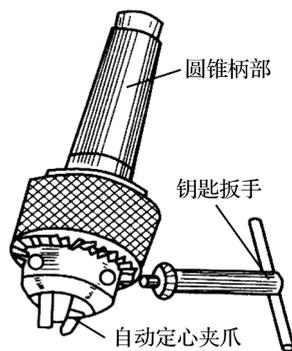


图 6.14 钻夹头



表 6-1 钻套的规格及应用

钻头型号	内圆锥孔	外圆锥面	适用钻头直径/mm
1号	1号莫氏锥度	2号莫氏锥度	$\Phi 6 \sim \Phi 15.5$
2号	2号莫氏锥度	3号莫氏锥度	$\Phi 15.6 \sim \Phi 23.5$
3号	3号莫氏锥度	4号莫氏锥度	$\Phi 23.6 \sim \Phi 32.5$
4号	4号莫氏锥度	5号莫氏锥度	$\Phi 32.6 \sim \Phi 49.5$
5号	5号莫氏锥度	6号莫氏锥度	$\Phi 49.6 \sim \Phi 65$

2) 直柄麻花钻的装拆

先将麻花钻柄部插入钻夹头的内孔中，夹持长度不能太短，一般取柄部长度的 $2/3$ 或 $3/4$ ，以提高钻头刚性及减少钻头摆动。将钥匙扳手压紧在钻夹头的定位孔内，再顺时针方向旋转，通过夹头套带动三个卡爪合拢，达到夹紧钻头的目的，如图 6.15 所示。

为避免钻头在工作时打滑，应对钻夹头的三个定位孔均进行旋紧。钻头安装后，可以打开钻床电源开关，检查钻头是否有明显摆动的异常现象。

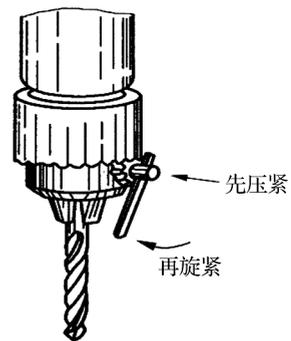
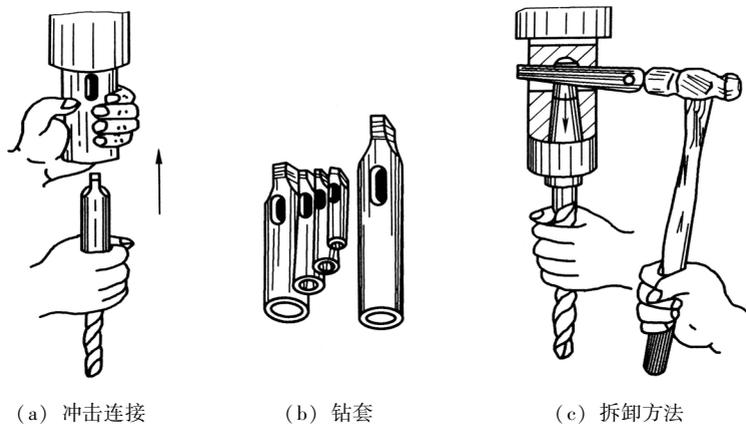


图 6.15 直柄麻花钻的装夹

3) 锥柄麻花钻的装拆

当钻头锥柄和钻床主轴锥孔的莫氏锥度号相同时，可直接将钻头装入钻床主轴内，连接时应使矩形舌部的长边方向与主轴上的长圆孔中心线方向一致，利用加速冲力装接，如图 6.16 (a) 所示。若钻头锥柄的莫氏锥度号较小，不能直接装到钻床主轴上时，需在钻头外面装一个的钻套，钻套的外形如图 6.16 (b) 所示，然后将钻头和钻套一起装入钻床主轴。

拆卸时，可将楔铁带圆弧的边向上插入钻床主轴侧边的长圆孔内，左手握住钻头，右手用锤子锤击楔铁尾部，即可取下钻头，如图 6.16 (c) 所示。



(a) 冲击连接

(b) 钻套

(c) 拆卸方法

图 6.16 锥柄麻花钻的装拆

3. 工件的夹持

钻孔时,应根据钻孔直径的大小、工件的形状及大小的不同,采用不同的夹持方法,以确保钻孔的质量和安

1) 用手握持

当外形较大的工件钻直径 8 mm 以下的小孔,而工件又可以用手握牢且不会发生事故时,才允许用手直接拿稳工件进行钻孔。

钻孔前,应对工件握持位置上锋利的棱边进行倒角,以防刮手。钻孔时,为提高钻孔的安全性,最好将工件侧边紧靠着工作台上的螺钉等其他零件,避免工件晃动,如图 6.17 所示。

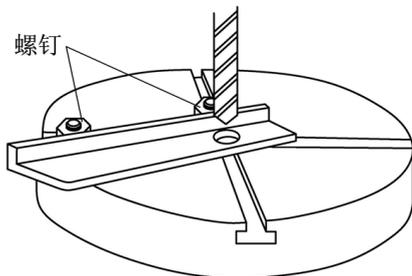


图 6.17 工件侧面用螺钉靠住

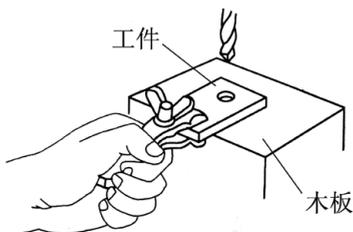


图 6.18 手虎钳夹持

2) 手虎钳夹持

在小型工件或薄板件上钻直径较小的孔时,可用手虎钳夹持,如图 6.18 所示。钻孔时,应在工件下面垫上木板。

3) 平口钳夹持

该方法适用于中、小型平整工件的夹持,如图 6.19 所示。当钻孔直径大于 8 mm 时,要用螺钉或压板将平口钳固定在工作台上。工件装夹时,应使工件表面与钻头轴线垂直,夹持面应尽可能大些,以避免钻孔时工件松脱。钻通孔时,可在工件下面垫上垫铁,以避免钻坏平口钳。

4) 压板夹持

对于不适合使用平口钳夹持的较大工件、异形工件以及钻孔直径 10 mm 以上的工件,可用压板、螺栓、垫铁将它固定在工作台上,如图 6.20 所示。使用压板夹持方法时应注意以下几点:

(1) 垫铁应尽量靠近工件,压板厚度应适当,以减少压板的弯曲变形。

(2) 螺栓应尽量靠近工件,使工件获得较大的压紧力。

(3) 垫铁应略高于工件被压表面,避免工件在夹紧过程中移动。

(4) 已加工的被压表面应先垫上衬垫,以免压出印痕。

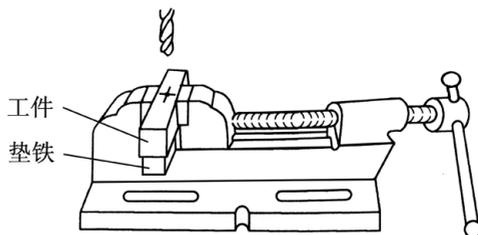


图 6.19 平口钳夹持

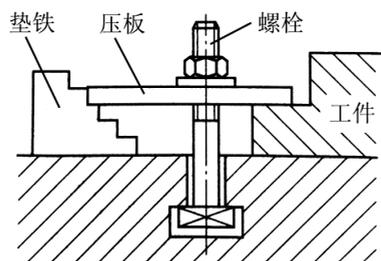


图 6.20 压板夹持

5) V 形铁夹持

在圆柱形工件上钻孔时，可用 V 形铁装夹。装夹时，应使麻花钻轴线垂直通过 V 形铁的对称平面，保证钻孔的中心线通过工件轴线。当钻孔直径超过 10 mm 时，还要用压板压紧工件，如图 6.21 所示。

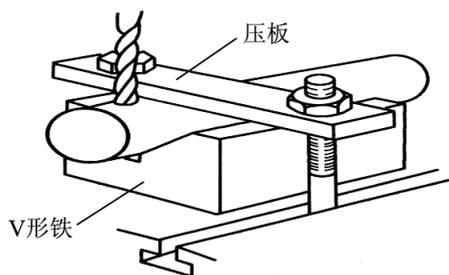


图 6.21 V 形铁夹持

6) 三爪卡盘夹持

在圆柱形工件的端面钻孔时，可用三爪卡盘装夹，如图 6.22 所示。

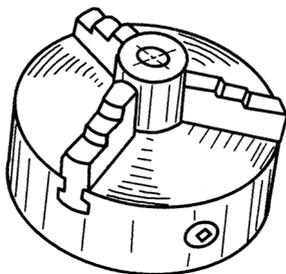


图 6.22 三爪卡盘夹持

4. 切削用量与切削液

1) 切削用量的概念

钻孔时的切削用量主要指切削速度、进给量和背吃刀量，如图 6.23 所示。

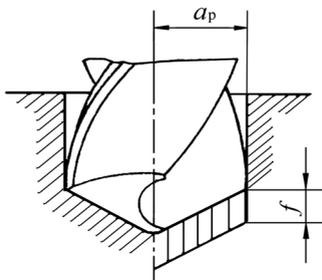


图 6.23 钻孔时的进给量和背吃刀量

(1) 切削速度 (v): 是指钻孔时钻头切削刃最外缘处的线速度。其计算公式为:

$$v = \pi Dn/1000 \quad (6-1)$$

式中, D —— 钻头直径, 单位为 mm;

n —— 钻头的转速, 单位为 r/min;

v —— 切削速度, 单位为 m/min。

(2) 进给量 (f): 是指钻头每转一圈后沿其轴线方向移动的距离, 其单位为 mm/r。

(3) 背吃刀量 (a_p): 是指已加工表面与待加工表面之间的距离, 其大小为钻头直径 D 的一半。

2) 切削用量的选择

选择切削用量的目的是在保证工件的加工精度和表面粗糙度, 保证麻花钻合理的刀具寿命的前提下, 最大限度地提高生产效率, 同时不允许超过钻床的功率与钻床、钻头、工件、夹具等的强度和刚度。

钻孔时, 背吃刀量由钻头直径决定, 因此只需考虑切削速度、进给量。切削速度的增大, 直接引起切削温度的升高和摩擦的增大; 进给量过大, 会导致表面粗糙度和精度变差。因此, 钻孔时选择切削用量的基本原则是: 在允许范围内, 尽量先选用较大的进给量, 当进给量受到表面粗糙度及钻头刚度限制时, 再考虑选择较大的切削速度。

钻孔的切削用量应根据钻头直径、钻头材料、工件材料、表面粗糙度等几方面决定。表 6-2 给出了高速钢标准麻花钻的进给量, 当钻孔材料较硬或较黏, 孔的精度要求较高和表面粗糙度值要求较小, 或者钻孔较深、钻头较长、刚度和强度较差时, 应取较小的进给量。



当钻头的直径和进给量确定后，切削速度应按钻头的使用寿命选取合理的数值。表 6-3 给出了部分常用材料的切削速度，当钻孔直径较小、深度较大或工件的硬度较高时，应取较小的切削速度。

表 6-2 高速钢标准麻花钻的进给量

钻头直径 D (mm)	<3	3~6	6~12	12~25	>25
钻头直径 f (mm/r)	0.025~0.05	0.05~0.10	0.10~0.18	0.18~0.38	0.38~0.62

表 6-3 常用材料的切削速度

加工材料	低碳钢	中高碳钢	合金钢	灰铸铁	球墨铸铁	铜合金	铝镁合金
切削速度 v (m/min)	21~27	12~22	10~18	15~27	12~30	20~48	75~90

例如：用直径 D 为 12 mm 的钻头，以切削速度 v 为 24 m/min 进行钻孔，由式 (6-1) 可求得，钻床主轴的转速为： $n \approx 640$ r/min。

3) 切削液的选择

为使钻头充分散热冷却，减少钻头与工件、切屑之间的摩擦，消除黏附在钻头和工件表面上的积屑瘤，降低钻削阻力和钻削温度，提高钻头寿命和孔壁表面质量，钻孔时可注入充分的切削液。

钻削钢、铜、铝合金和铸铁等金属材料时，一般可采用 3%~8% 的乳化液，以起到充分的冷却作用。在不锈钢、耐热钢等高强度材料上钻孔时，可采用硫化切削油，以减少摩擦和切削阻力。钻有机玻璃、铸铁、铝合金材料时，还可以使用煤油作为切削液。

5. 钻孔操作

1) 起钻

钻孔前，先调整工件位置使钻头中心对准样冲眼。判断钻头中心是否对准钻孔位置时，要在两个相互垂直的方向上进行观察。当观察到已对准后，右手下压进给手柄的同时，左手顺时针转动主轴，用钻尖铤一个小窝，检查铤窝是否与检查圆同心或与划线交点对中，若稍有偏离，可移动零件找正，或用样冲将冲眼加大矫正。

打开电源开关，轻轻下压进给手柄，使钻头在工件上钻出一个圆锥形的钻坑（钻坑直径约为钻头直径的 1/2），再次检查铤窝是否与检查圆同心或与划线交点对中，若仍有偏离，可用窄錾在偏离的相反方向凿出几条槽，如图 6.24 所示，便可逐渐将偏斜部分矫正过来。



钻孔操作技术

2) 手动进给操作

当起钻达到钻孔的位置要求后,即可开始正式钻孔。进给时,进给力应均匀,且不可过大,以免钻孔轴线歪斜,如图 6.25 所示。特别是钻直径小或深度大的孔时,进给力要小,并要经常退钻排屑,以免钻头因切屑阻塞而扭断。

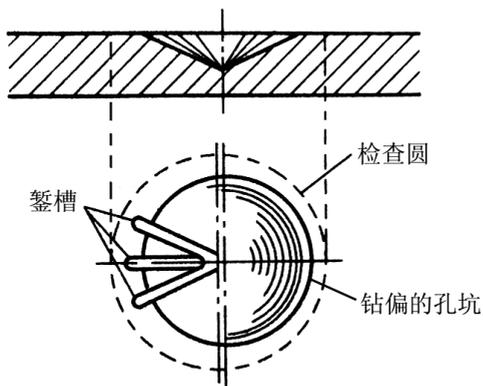


图 6.24 镗槽纠正钻偏的孔

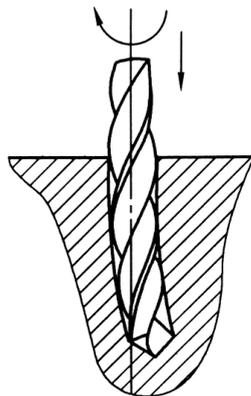


图 6.25 钻孔时的轴线歪斜

当钻孔即将钻穿时,此时钻头的轴向阻力会变小且噪声会变大,必须减小进给量,避免钻头在钻穿的瞬间抖动而影响钻孔质量,防止钻头折断,或钻头被工件卡住后造成工件甩出等事故。如果钻孔为不通孔,钻孔深度可以通过进给手柄对应的刻度盘进行读取,或者按孔的深度在钻头上调整挡块或做标记,并通过测量实际钻孔深度来检验。

当钻孔深大于孔径 3 倍的深孔时,钻头应经常退出,以便及时排屑和冷却。当钻孔直径超过 30 mm 时,应分两次钻削,先用 0.5~0.7 倍孔径的钻头钻孔,再用所需直径的钻头扩孔。

3) 在斜面上钻孔的方法

用普通麻花钻在斜面上钻孔,由于单边受力会使钻头偏斜而钻不进工件,一般可采用以下几种方法:

(1) 先用中心钻钻一个较大的锥度窝后,再钻孔,如图 6.26 (a) 所示。

(2) 将钻孔斜面置于水平位置装夹,在孔中心铤一浅窝,如图 6.26 (b) 所示,然后把工件倾斜装夹,把浅窝钻深一些,最后将工件置于正常位置装夹再钻孔。

(3) 在斜度较大的面上钻孔时,可用与孔径相同的立铣刀铣一个平面后,再钻孔,如图 6.26 (c) 所示。

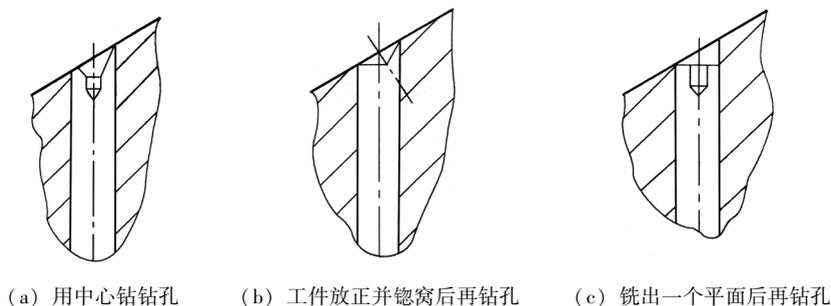


图 6.26 在斜面上钻孔的方法

4) 钻半圆孔的方法

为避免钻头的径向力不平衡，可以把两个工件合并一起钻孔，或选择一块与工件材料相同的垫铁与工件夹在一起钻孔，如图 6.27 (a) 所示。若两孔有相交时，可在已加工的孔中嵌入与工件相同材质、相同形状的材料后再钻孔，如图 6.27 (b) 所示。

若在不同材料的工件上钻孔时，钻孔前的样冲眼可偏向较硬的材料一边，钻头长度应尽量短些，钻头的横刃应尽量窄些。

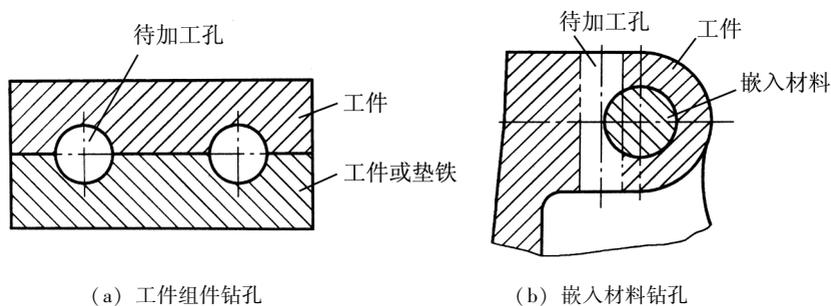


图 6.27 钻半圆孔的方法

6.4 钻孔质量分析及安全要求

1. 钻孔常见问题分析

钻孔时，经常产生的问题包括孔径超差、孔位偏移、孔歪斜、钻头折断等，其产生原因见表 6-3。

表 6-3 钻孔时常见的问题及其产生原因

序号	常见问题	产生原因
1	孔径大于规定尺寸	①钻头两主切削刃长度不等, 角度不对称; ②钻床主轴有摆动, 钻头弯曲或装夹不好产生摆动
2	孔壁粗糙	①钻头不锋利; ②进给量太大; ③切削液的选择不当或供给不充分
3	孔位偏移	①划线或样冲眼中心不准, 或者工件安装不当; ②钻头横刃太长, 定心不准; ③开始钻孔时, 孔钻偏却没有校正
4	孔中心线歪斜	①钻头与工件表面不垂直; ②进给量太大, 使钻头弯曲变形; ③工件内部组织密度不均, 有砂眼
5	孔呈多棱状	①钻头两主切削刃长度不等, 角度不对称; ②钻头后角太大
6	钻头折断	①钻头已磨钝仍继续钻孔; ②进给量太大, 或孔快钻通时未减小进给量; ③切屑堵塞钻头螺旋槽后, 未及时退钻排屑; ④钻孔中心线歪斜仍继续钻孔; ⑤工件没夹紧, 钻孔时产生松动; ⑥钻黄铜等软金属或薄板料时, 后角太大, 前角没修磨造成扎刀
7	切削刃迅速磨损	①切削速度过高, 切削液选择不当或供给不足; ②钻头刃磨角度与材料的硬度不相适应; ③进给量太大; ④工件硬度不均匀或有砂眼

2. 钻孔的安全要求

- (1) 钻孔时不准戴手套, 袖口必须扎紧, 女生应戴工作帽且头发不能露出外面。
- (2) 工件应夹紧 (在大工件上钻小孔且容易用手握紧除外), 防止发生事故。
- (3) 钻通孔时, 应使钻头对准工作台的槽孔, 或在工件下面垫上垫块, 以免钻坏工作台。
- (4) 启动前, 应检查钻床主轴上不能有钻夹头的钥匙扳手、斜铁, 工作台面上不准放置钻头、量具及其他物品; 启动后, 应待钻床运转平稳后再进行钻孔加工。
- (5) 钻孔时头不准与旋转主轴靠得太近, 而且应戴上防护眼镜, 以防切屑飞入眼睛。



- (6) 钻孔过程中应经常退钻断屑，避免切屑堵塞钻头。
- (7) 不准用手拉切屑和用嘴吹碎屑，切屑应用毛刷清除，并尽量在停车后进行。
- (8) 通孔即将被钻穿时要特别小心，必须减小进给量，以防产生事故。
- (9) 严禁在开车状态下装拆工件，在主轴变速、检验工件、清洁工作台或钻孔出现异常情况时必须先停车。
- (10) 清洁、维护钻床或加润滑油保养钻床前，必须切断电源。

6.5 其他孔加工方法

1. 扩孔

扩孔是指用扩孔钻或麻花钻等刀具对工件已有的孔进行扩大孔径的操作，如图 6.28 所示。

1) 扩孔的特点

扩孔可获得较好的几何形状和较小的表面粗糙度，其尺寸精度可达 IT10~IT9，表面粗糙度可达 $6.3\sim 3.2\ \mu\text{m}$ 。因此，扩孔可作为要求不高的孔的最终加工，也可作为精加工（例如铰孔）前的预加工。

与钻孔相比，扩孔的特点为：

- (1) 背吃刀量 a_p 已经大大减小，切削阻力小，切削条件好。
- (2) 产生的切屑体积小，排屑容易。

扩孔时，背吃刀量 a_p 的计算公式为：

$$a_p = (D - d)/2 \quad (6-2)$$

式中， D ——扩孔后的直径，单位为 mm；

d ——扩孔前的孔径，单位为 mm。

2) 麻花钻扩孔

用麻花钻扩孔时，由于钻头横刃不参与切削，轴向阻力小，进给省力。但因钻头外缘处前角较大，易把钻头从钻头套中拉下来，造成扎刀，因此应把钻头外缘处的前角修磨得小一些。

扩孔前，通常先用直径为 0.5~0.7 倍的麻花钻钻孔，再用所需直径的麻花钻扩孔。扩孔时的切削速度为钻孔的 1/2，进给量为钻孔的 1.5~2 倍。

实际生产时，常用麻花钻替代扩孔钻进行扩孔。若必须使用台式钻床，钻削直径

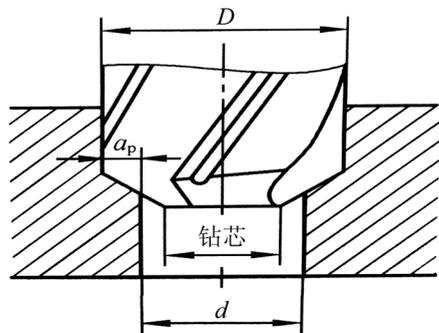


图 6.28 扩孔

13 mm 以上的孔时, 可先用直柄麻花钻钻孔, 再用 1/2 in 的小柄麻花钻扩孔到所需的直径。

3) 扩孔钻扩孔

扩孔钻是用来进行扩孔的专业刀具, 其结构形式较多, 按装夹方式的不同可分为直柄、锥柄 (见图 6.29)、套式三种。与麻花钻相比, 扩孔钻具有以下特点:

- (1) 切削刃数量多 (一般为 3~4 个), 导向性好, 切削平稳;
- (2) 中心处不切削, 切削刃不必由外缘延续到中心, 无横刃, 避免横刃的不良影响;
- (3) 钻心粗, 螺旋槽浅, 刚性好, 可选择较大的切削用量。

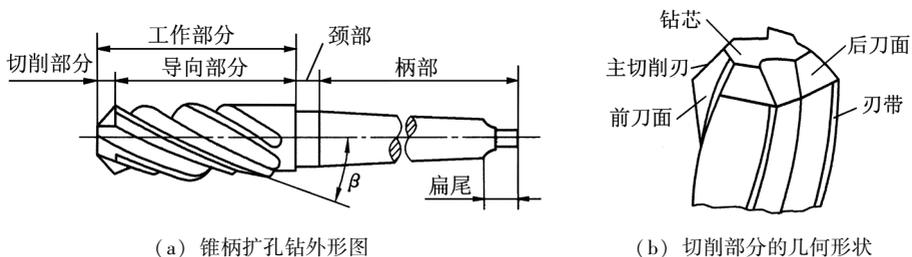


图 6.29 扩孔钻

扩孔前, 通常先用直径为 0.9 倍的麻花钻钻孔, 再用所需直径的扩孔钻扩孔。由于扩孔钻扩孔时具有切削平稳、加工质量高、生产效率高优点, 可适用于批量生产。

2. 铤孔

铤孔是指用铤钻 (或改制的钻头) 在孔口表面铤出一定形状的孔或表面的加工方法。其作用是为了保证孔与连接件具有正确的相对位置, 保证孔端面与孔中心线的垂直度, 使连接更可靠。铤孔加工主要分为铤圆柱形埋头孔、铤圆锥形埋头孔、铤安放垫圈用的凸台平面等。

1) 铤钻的种类及用途

柱形铤钻用于铤圆柱形埋头孔, 其结构如图 6.30 (a) 所示。铤钻前端带有导柱, 与已有的孔配合起定心作用, 其结构分为整体式和装卸式两种。

锥形铤钻用于铤圆锥形埋头孔, 其结构如图 6.30 (b) 所示。铤钻顶角分为 60°、75°、90°、120° 四种, 其中 90° 的铤钻应用最广。

端面铤钻用于铤平与孔轴线垂直的孔口端面、凸台平面, 其结构如图 6.30 (c) 所示。专用端面铤钻主要为多齿端面铤钻, 普通端面铤钻由镗刀杆和高速钢刀片组成。

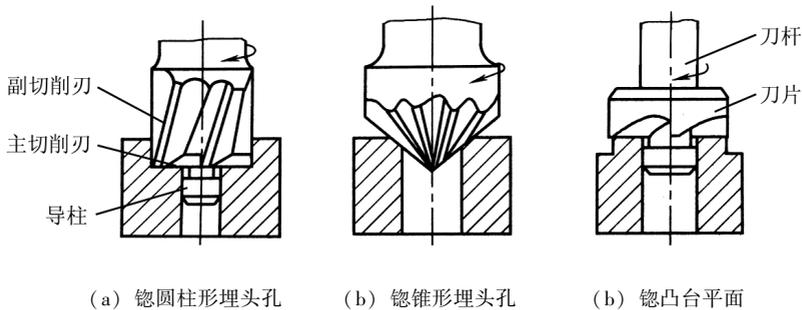


图 6.30 铰孔

2) 铰孔时的注意事项

铰孔方法与钻孔方法基本相同。但由于铰孔加工中会产生刀具振动，容易在铰削的端面或锥面上出现振痕，因此在操作时应注意以下几点：

- (1) 用标准麻花钻改制的铰钻应尽量短，以减少加工时的振动。
- (2) 要适当减小铰钻的后角和边缘处的前角，以防扎刀。
- (3) 铰钻的刀杆和刀片都要装夹牢固，工件要压紧。
- (4) 切削速度为钻孔时的 $1/3 \sim 1/2$ ，可利用钻穿停机后主轴的惯性来铰削，尽量减少振动以获得较小的表面粗糙度值。

(5) 标准铰钻的进给量可取钻孔时的 $2 \sim 3$ 倍，标准麻花钻改制铰钻的进给量可参照相同直径的钻孔进给量。

(6) 铰钢材料工件时，应在导柱和切削表面上加注切削液。当铰至要求深度时，停止进给后应让铰钻继续旋转几圈，然后再提起。

3. 铰孔

铰孔是用铰刀从工件孔壁上切除微量金属层，以提高其尺寸精度和表面质量的加工方法。铰孔的尺寸精度可达 $IT8 \sim IT7$ ，表面粗糙度 Ra 值可达 $0.8 \mu\text{m}$ 。

1) 铰刀的特点

铰刀是铰孔的切削刀具，其特点如下：

(1) 切削刃数量多（ $6 \sim 12$ 个），容屑槽很浅，刀刃截面大，故刚性和导向性比扩孔钻更好。

(2) 铰刀本身精度高，而且有校准部分，可以校准和修光孔壁。

(3) 铰刀加工余量很小（粗铰 $0.15 \sim 0.35 \text{ mm}$ ，精铰 $0.05 \sim 0.15 \text{ mm}$ ），切削速度很低，故切削力小、切削热少。

2) 铰刀的分类

由于铰孔的使用范围很广，因此铰刀的种类也很多。按使用方式的不同，铰刀分为

手用铰刀和机用铰刀。按加工孔形状的不同，铰刀分为圆柱形铰刀和圆锥形铰刀。按容屑槽形状的不同，铰刀分为直槽铰刀和螺旋槽铰刀。

(1) 手用铰刀

普通手用铰刀应用最为广泛，其结构由柄部、颈部、工作部分组成，其中工作部分又分为切削部分和修光部分，如图 6.31 所示，各部分的作用如下：

- ①柄部，用于夹持，传递扭矩。
- ②颈部，用于退刀，刻规格、材料、商标。
- ③切削部分，引导铰刀头部进入孔内后，承担铰削余量的切削。
- ④校准部分，起导向、修光孔壁作用，并保证铰孔的直径。

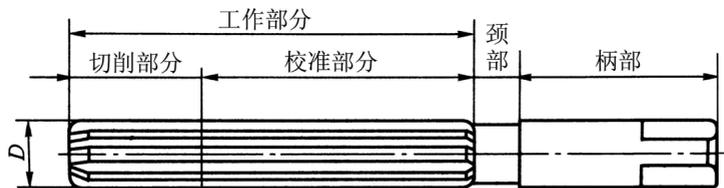


图 6.31 手用铰刀

(2) 机用铰刀

机用铰刀可以安装在钻床或车床上进行铰孔，其外形如图 6.32 所示。

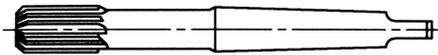


图 6.32 机用铰刀

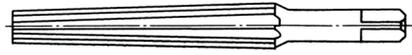


图 6.33 圆锥形手铰刀

(3) 圆锥形手铰刀

圆锥形手铰刀可用来铰削圆锥孔，其外形如图 6.33 所示。根据孔锥度的不同，主要分为 1:10 锥铰刀、1:30 锥铰刀、莫氏锥铰刀、1:50 锥铰刀四种。

(4) 螺旋槽手铰刀

螺旋槽手铰刀的切削刃沿螺旋线分布，因此铰孔时切削连续平稳，铰出的孔壁光滑，其外形如图 6.34 所示。

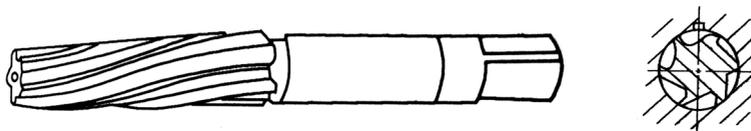


图 6.34 螺旋槽手铰刀



(5) 可调式手铰刀

图 6.35 为可调式手铰刀，刀体上开有 6 条斜槽，将 6 条相同斜度的刀片嵌入槽内，刀片的两端用调整螺母压紧。通过调节两端螺母，推动刀片沿斜槽移动，达到调节铰刀直径的目的。

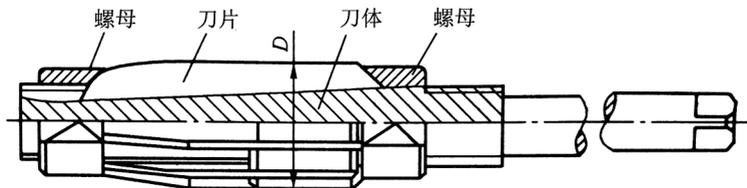


图 6.35 可调式手铰刀

3) 铰孔用量与切削液

(1) 铰削余量

铰削余量是指上道工序（钻孔或扩孔）完成后留下的直径方向的加工余量。铰孔时的切削余量直接影响孔的加工精度和表面粗糙度。铰削余量太小，难以去除上道工序留下的刀痕，质量达不到要求，还会使铰刀产生严重的啃刮现象，增加了铰刀的磨损；铰削余量太大，各切削刃的负荷大，切削热增多，孔径胀大，孔表面的粗糙度值增大，精度降低。

选择铰削余量时，应考虑铰孔的精度、表面粗糙度、孔径大小、材料软硬以及铰刀类型等因素。表 6-4 列出了高速钢铰刀铰孔时的铰削余量参考值。

表 6-4 铰削余量

(单位: mm)

铰孔直径	<5	5~20	21~32	33~50	51~70
铰削余量	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3	0.5	0.8

(2) 机铰时的切削速度和进给量

用高速钢铰刀铰削不同材料的工件，切削速度分别为：铰削钢件取 4~8 m/min，铰削铸铁件取 6~8 m/min，铰削铜件取 8~12 m/min。进给量分别为：铰削钢件及铸铁取 0.5~1 mm/r，铰削铜或铝材料取 1~1.2 mm/r。

(3) 切削液的选用

铰削的切屑一般都很细碎，容易黏附在刀刃上，甚至夹在孔壁与铰刀的校准部分之间，将已加工表面刮毛，使孔径扩大。切削过程中产生的热量积累过多，容易引起工件和铰刀的变形，从而降低铰刀的使用寿命，增加产生积屑瘤的机会。因此，在铰削中必须采用合理的切削液，用于冲掉切屑、散热和提高铰孔质量。

在钢材料铰孔时，一般加 10%~20% 的乳化液，材料为铸铁时一般不用冷却液，材

料为铝时加煤油。

4) 手工铰孔的操作方法

手工铰孔是利用手用铰刀，结合铰杠、扳手等装夹工具进行的铰孔方法。手工铰孔时，通常用手扳动铰杠，铰杠带动铰刀旋转，对孔完成切削加工，其操作步骤如下：

(1) 起铰。用右手抓住铰杠中部，尽量使铰刀与孔同轴，在铰刀对准孔后将其插入孔中。右手向下施加一定的压力，同时配合左手按顺时针方向旋转铰杠，铰2~3圈后，进入正常的进铰阶段。

(2) 进铰。两手施加的压力应均匀、平衡，进给时不要用大力压铰杠，要随着铰刀的旋转轻轻加力，均匀进给，使铰刀缓慢地伸入孔内，以获得较好的表面质量。

(3) 退铰。铰削完成后，继续按顺时针方向旋转铰刀，同时慢慢用力向上抬铰杠，退出铰刀。

为了获得较好的表面质量，铰孔操作时还应注意以下几点：

- ① 工件要夹正，薄壁件的夹持力不能过大，以免工件产生变形。
- ② 铰削前，应在孔表面及铰刀上加切削液。
- ③ 尽量使铰刀与孔的中心重合，铰刀不得摇摆且不能有侧向压力。
- ④ 铰孔过程中或铰刀退出时，铰刀均不能反转。
- ⑤ 要变换铰刀每次停歇的位置，以消除铰刀常在同一处停歇而造成的振痕。
- ⑥ 铰削过程中铰刀被卡住时，不要用猛力扳转铰杠，以防铰刀折断，应退出铰刀，清除切屑，检查铰刀是否有磨损、崩刃等状况。
- ⑦ 铰通孔时，铰刀的校准部分不能全部露出孔位，以免将孔的下端划伤。
- ⑧ 使用完毕后，应将铰刀擦拭干净并涂上机油，放置时应保护好切削刃，以防受损。

思考题

1. 常用的钻床有哪几种？各适用于什么场合？
2. 麻花钻由哪几部分组成？各部分的作用是什么？
3. 简述钻孔时工件的夹持方法和适用条件。
4. 为防止钻孔的位置偏移，起钻对中时有何要求？
5. 钻孔操作过程中，有哪些安全要求？
6. 试比较钻孔、扩孔、铰孔、铰孔四种孔加工方法的差异。

第7章 螺纹加工

螺纹的种类很多,为便于企业的生产、零部件的装配和维护,将螺纹牙型、公称直径、螺距均符合我国国家标准(GB)的螺纹称为标准螺纹。航空紧固件常用的标准有波音公司标准(BAC)、美国航空标准(NAS)、美国空军海军标准(AN)、美国陆军标准(MS)。飞机结构在定期维护中需要拆卸、分解或更换的部位,以及需要较高抗拉强度和刚度的部位,通常采用螺纹紧固件进行连接。

在飞机结构件的维护和修理中,需要及时对受损的螺纹紧固件进行修复,以恢复其原有的承载能力。对受损的常用三角形螺纹,一般采用钳工的攻螺纹和套螺纹方法来修复。

攻螺纹也称为攻丝,是指用丝锥在工件的孔内切削出内螺纹的操作。套螺纹也称为套丝,是指用板牙在圆杆上切削出外螺纹的操作。

思政之窗

学习“大国工匠”方文墨的先进事迹。方文墨26岁获得第六届“振兴杯”全国青年职业技能大赛机修钳工冠军,现为中航工业集团的首席技能专家。他创造的“0.003 mm加工精度”被称为“文墨精度”,改进的铁合金专用丝锥,能提高工效4倍,每年节约人工成本和材料费46万余元。

机务人员要弘扬自主创造的“大飞机精神”,善于改革创新,勇于创先争优,树立敢于攀登、挑战自我的信心,培养学生全面分析问题、解决问题的能力。

7.1 螺纹加工工具

攻螺纹工具主要有丝锥、铰杠,套螺纹工具主要有板牙、板牙架。

1. 丝锥

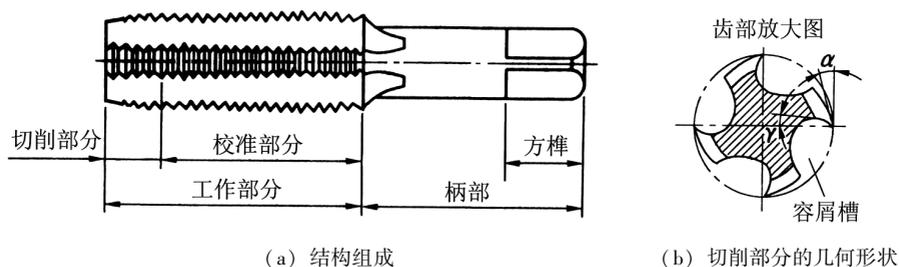
1) 丝锥的结构

丝锥是用来切削内螺纹的刀具,一般采用高速钢或合金工具钢制成,并经热处理淬硬。其结构如图7.1(a)所示,它由工作部分和柄部组成,其中工作部分又分为切削部分和校准部分。

(1) 切削部分。切削部分磨出锥角，使切削负荷分配在几个刀齿上，这不仅可使攻丝操作省力，不易造成丝锥的崩刃或折断，而且为刀刃的切削起着良好的引导作用，保证螺纹孔的表面质量。

(2) 校准部分。校准部分具有完整的齿形，用来校准已切出的螺纹，并引导丝锥沿轴向前进。

(3) 柄部。柄部包括圆柱部分和方榫。圆柱部分通常刻有丝锥的规格和厂家标识；方榫用于夹持丝锥，传递切削扭矩。



(a) 结构组成

(b) 切削部分的几何形状

图 7.1 手用丝锥的结构

2) 丝锥的几何参数

丝锥的工作部分沿轴向有 3~4 条容屑槽，用于容纳和排出切屑、注入润滑液、形成切削刃和前角。

丝锥的前角 γ 和后角 α 可在与端面平行的平面内标示，如图 7.1 (b) 所示。前角应适应于工件的材料，一般为 $8^\circ \sim 10^\circ$ 。在切削部分，手用丝锥的后角一般为 $6^\circ \sim 8^\circ$ ，机用丝锥的后角一般为 $10^\circ \sim 12^\circ$ ；在校准部分，手用丝锥没有后角，机用丝锥经铲磨后形成很小的后角，以减少摩擦和挤压。

3) 丝锥的分类

丝锥因其制造简单，使用方便，因此种类很多。按使用方法的不同，丝锥可分为手用丝锥和机用丝锥。按使用用途的不同，丝锥可分为普通螺纹丝锥、圆柱管螺纹丝锥和圆锥管螺纹丝锥。按螺纹粗细的不同，丝锥可分为粗牙和细牙两类。

(1) 手用丝锥。为了合理分配攻螺纹时的切削负荷，提高丝锥的耐用度和螺孔质量，通常将整个切削量分配给几支丝锥来完成，成套使用。M6~M24 的丝锥一般为两支一套，M6 以下及 M24 以上的丝锥一套有三支，细牙丝锥不论大小均为两支一套。成套丝锥的切削量分配方式有锥形分配、柱形分配两种。在锥形分配的一套丝锥中，每支丝锥的螺牙公称直径和螺距均相同，只是切削部分的长度和锥角不同。

手用丝锥一般采用合金工具钢或轴承钢制造。图 7.2 为



图 7.2 手用丝锥的区分

两支一套的手用丝锥外形图，其分为头锥和二锥。头锥的锥角较小，切削部分较长，有5~7个不完整的齿，以便逐步切入；二锥的锥角较大，切削部分较短，不完整齿约为2个。

(2) 机用丝锥。机用丝锥用于机床上加工内螺纹，因切削速度较高，故常用高速钢制造。其结构如图7.3所示，与手用丝锥相比，机用丝锥的切削部分较短，柄部有一环形槽以防止丝锥从夹头中脱落。

(3) 管螺纹丝锥。管螺纹丝锥用于管子接头、法兰盘等零件上攻制螺纹孔，有圆柱形、圆锥形两种。圆柱管螺纹丝锥的外形如图7.4所示，但其工作部分较短，可用来攻各种圆柱螺纹。圆锥管螺纹丝锥可用来攻圆锥螺纹，其直径从头部到尾部逐渐增大，但螺纹牙形始终与丝锥轴线垂直，以保证螺纹牙形两边都保持良好的接触。

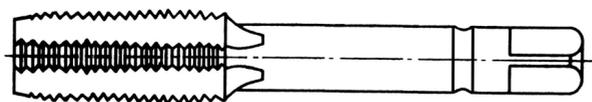


图 7.3 机用丝锥

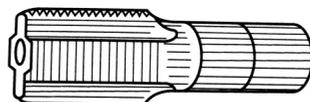


图 7.4 圆柱管螺纹丝锥

2. 铰杠

铰杠也称为铰手，是手工攻丝时用于夹持和扳转丝锥的工具。根据其外形的不同，铰杠分为普通铰杠和丁字铰杠两类。

普通铰杠又分为固定式和可调式两种，如图7.5所示。固定式普通铰杠的方孔尺寸和柄长符合一定的规格，使丝锥的受力不会过大，丝锥不易被折断，因此操作比较合理，但由于其通用性差，一般只用于攻 M5 以下的螺纹孔。

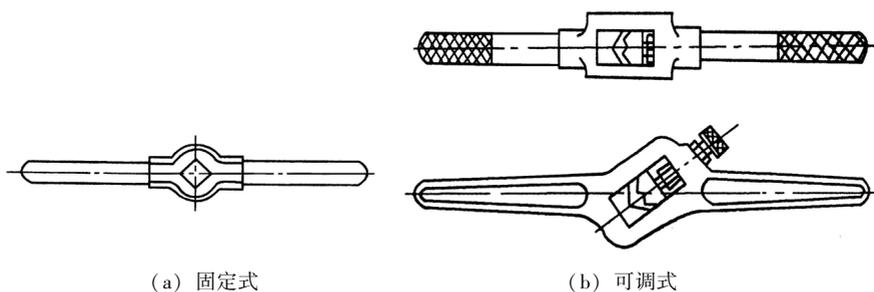


图 7.5 普通铰杠

可调式普通铰杠可以调节方孔尺寸，故应用范围较广。铰杠的规格用其长度表示，常用的可调式铰杠共有6种规格，使用时可根据丝锥的规格大小，参考表7-1选用。

表 7-1 可调式普通铰杠的适用范围

铰杠规格/mm	150	230	280	380	580	600
适用丝锥范围	M5~M8	M8~M12	M12~M14	M14~M16	M16~M22	M24 以上

若需攻制台阶旁边或机体内部的螺孔，螺孔周围没有足够空间使普通铰杠整周旋转时，应使用丁字铰杠，如图 7.6 所示。丁字铰杠也有固定式和可调式两种。可调式丁字铰杠有一个四爪的弹簧夹头，用以装夹 M6 以下的丝锥。固定式丁字铰杠一般用于大尺寸丝锥，并按实际需要定制。

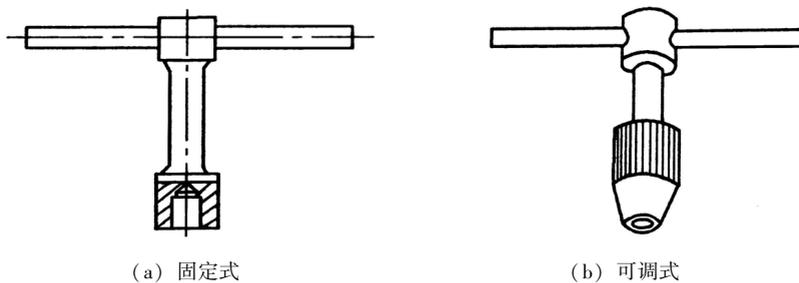


图 7.6 丁字铰杠

3. 板牙

板牙是用来切削外螺纹的刀具，一般由合金工具钢制成，并经热处理淬硬。常用圆板牙的外形像一个圆螺母，只是在它上面钻有 3~5 个排屑孔，并形成切削刃，如图 7.7 所示。

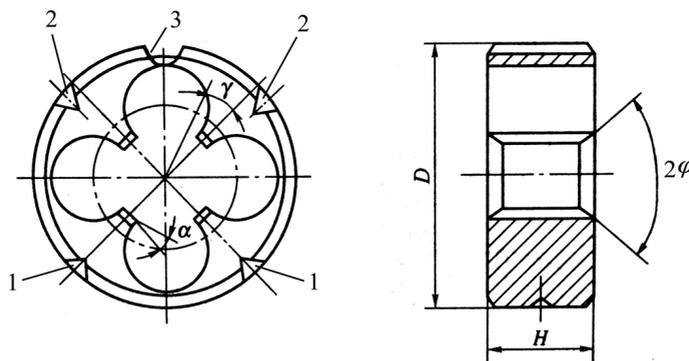


图 7.7 圆板牙

1. 定位螺钉锥孔；2. 调整螺钉锥孔；3. V 形槽

圆板牙两端的锥角 2ϕ 部分是切削部分，锥角大小为 $40^\circ \sim 50^\circ$ 。切削部分的表面是经过铲磨而成的阿基米德螺旋面，形成后角 α ，后角大小为 $7^\circ \sim 9^\circ$ 。圆板牙的前刀面为



曲线形，前角 γ 的大小沿着切削刃变化，螺纹小径处前角最大，螺纹大径处前角最小。圆板牙的中间一段为切削时的校准部分，并在套螺纹时起导向作用。

对于 M3.5 以上的圆板牙，其外圆上有两个定位螺钉锥孔、两个调整螺钉锥孔和一条 V 形槽；对于 M3.5 以下的圆板牙，其外圆上有一个定位螺钉锥孔、一个调整螺钉锥孔和一条 V 形槽。定位螺钉锥孔的轴线通过板牙中心，是用来将圆板牙固定于板牙架中，以传递扭矩。调整螺钉锥孔的轴线不通过板牙中心，当校准部分因磨损而使螺纹直径变大以致超出公差范围时，可用锯片砂轮沿 V 形槽切割出一条通槽，用板牙架的紧固螺钉顶入板牙的偏心锥孔，使圆板牙的螺纹尺寸缩小，其调节范围为 0.1~0.25 mm。

4. 板牙架

板牙架也称为板牙扳手，是手工套丝时用于夹持和扳转板牙的工具。板牙架依据板牙外形规格的不同而配套选用，图 7.8 为一种常用的圆板牙架外形图。



图 7.8 圆板牙架

7.2 攻螺纹

1. 螺纹底孔直径的确定

攻螺纹时，丝锥的切削刃除起切削作用外，还会对螺孔表层金属产生较强的挤压作用，导致金属凸起并向牙尖流动。若底孔直径与螺纹小径相同，螺牙顶端与刀齿根部没有间隙，挤压的金属会卡住丝锥，造成丝锥的崩刃、折断和螺牙的损坏。若底孔直径钻得太大，会使螺纹的牙形高度不够，不能形成完整的牙形。因此，螺纹底孔直径应比螺纹小径略大。

螺纹底孔直径的大小，要根据工件的材料性质、螺纹的规格大小来考虑。底孔直径可按下列经验公式计算：

钢和塑性较好的材料：

$$D_{\text{底}} = D - P \quad (7-1)$$

铸铁和塑性差的材料：

$$D_{\text{底}} = D - (1.05 \sim 1.1)P \quad (7-2)$$

式中， $D_{\text{底}}$ ——螺纹底孔直径，单位为 mm；

D ——螺纹大径，单位为 mm；

P ——螺距，单位为 mm。

2. 手工攻螺纹的操作方法

1) 攻螺纹前的准备

- (1) 划线，打样冲眼，钻底孔。
- (2) 孔口倒角。

工件上螺纹底孔的孔口要倒角，且倒角处的直径应略大于螺
纹大径，以使丝锥切削部分在开始起攻时容易切入材料，避免攻丝后孔口形成毛刺。通
孔的孔口两端都要倒角，以防止攻螺纹时孔口处被挤压出凸边，避免孔口处的螺牙崩
裂。孔口倒角可以采用如下几种方法：

①用锥形铤钻在钻床上倒角。

②用大直径的麻花钻在台钻上倒角。工件应固定可靠，以防止在倒角时产生旋转；
开始倒角时，为避免工件与钻头的不对中、孔口毛刺导致的钻头振动，可在钻床不开机
的状态下，左手顺时针转动主轴，右手逐渐加压进给手柄，以完成工件的孔口倒角。

③用大直径的麻花钻手工倒角。工件可用台虎钳夹持固定，钻头的切削部分压紧在
孔口后顺时针用力旋转。为避免手工倒角时钻头的刀刃割伤手指，操作时应戴上手套或
将钻头的手持部分用胶纸包裹。

2) 工件的装夹

工件的装夹位置应合适，尽量使螺孔中心线置于垂直或水平位置，这样攻螺纹时容
易判断丝锥轴线是否垂直于工件表面。

3) 头锥攻丝

(1) 丝锥选用。选用所需规格的丝锥，手用丝锥通常是两支一套或三支一套，参
照图 7.2，分清头锥、二锥、三锥（如有的话），选用头锥。

(2) 丝锥装夹。铰杠的方孔应夹持丝锥的方榫，避免夹到丝锥的圆柱部分。

(3) 头锥起攻。丝锥在起攻时，要尽量把丝锥放正。起攻方法有以下两种：

①右手掌心按住铰杠中部，沿丝锥轴线用力加压；左手配合做顺向旋转，如图 7.9
(a) 所示。

②两手握住铰杠两端，均匀施加压力，并将丝锥顺向旋转，如图 7.9 (b) 所示。

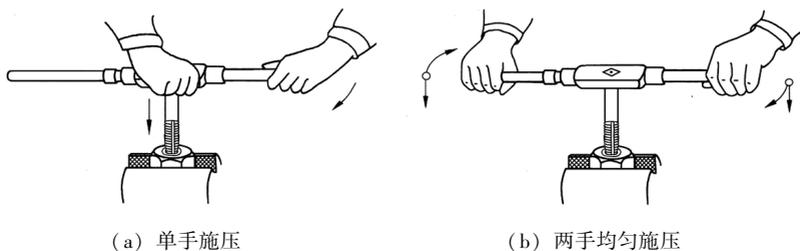


图 7.9 头锥的起攻方法



攻螺纹操作



丝锥起攻时，应保证丝锥中心线与孔中心线重合，不能歪斜。当丝锥的切削部分攻入1~2圈后，用目测或直角尺从前后、左右两个方向进行检查，如图7.10所示。若丝锥出现较明显的歪斜时，不能强行矫正，应将丝锥反转退回开始状态后重新起攻，否则易造成丝锥崩刃或折断。当丝锥切入3~4圈后，丝锥已找准位置，不应再有明显的歪斜。当丝锥切入5~6圈，其切削部分全部切入工件后，起攻阶段完成，便可进入正常的攻丝阶段。

(4) 正常攻丝。深入攻丝时，双手握住铰杠两端，无须再对丝锥施加压力，只需均匀转动铰杠使丝锥自然旋进，否则会损坏螺牙。正常攻丝时还应注意以下几点：

①攻丝时应加切削液润滑，以减小切削阻力，降低螺孔表面粗糙度值和延长丝锥的寿命。攻钢件时可用机油，攻铸铁时可加煤油，螺纹质量要求高时可加工业植物油。

②每顺时针方向旋进1圈后，就要倒转1/4~1/2圈，使切屑碎断后容易排除，避免因切屑阻塞而将丝锥卡住，如图7.11所示。

③攻通孔时，丝锥校准部分不能全部出头，以免损坏螺牙。

④攻不通孔时，可在丝锥上做好深度标记，并要经常退出丝锥，排除孔内的切屑。特别是将要攻到孔底时，更应及时排出孔底的积屑，以免丝锥因切屑阻塞而折断。

(5) 丝锥退出。可先用铰杠平稳反向转动，当能用手旋动丝锥时停止使用铰杠，避免丝锥产生摇摆、振动而损坏螺纹。若需使用铰杠反向旋出时，为防止损伤螺纹和损坏丝锥，应先用左手的食指和中指轻轻夹住丝锥柄部，右手将铰杠反转，退出丝锥。

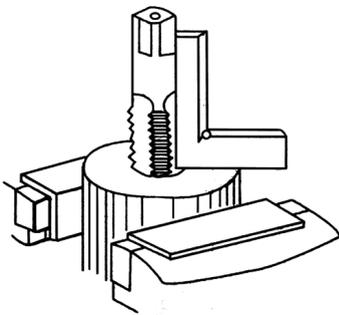


图 7.10 用直角尺检查垂直

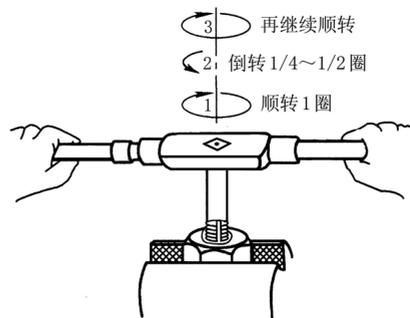


图 7.11 攻丝时的断屑方法

4) 二锥攻丝

头锥攻丝完成后，换二锥进行攻丝。起攻时，先确保丝锥中心线与孔中心线重合，而且不能对丝锥施加压力，可先用手把丝锥沿顺时针方向直接旋入已攻的螺纹孔内，以避免损坏孔内的原有螺纹。待丝锥找正位置后，用手不能继续旋入时，可用铰杠自然旋进。

若该套丝锥中还有三锥，再换三锥复攻。

5) 螺纹的质量检查

攻丝后的螺纹孔，可用相同公称直径、牙距的量规进行质量检验。若螺纹孔的精度要求不高时，也可以采用相同公称直径、牙距的螺栓，检查螺栓是否旋入顺畅、松脱等。

7.3 套螺纹

1. 套螺纹前圆杆直径的确定

套螺纹时，金属材料因受板牙的挤压而产生变形，螺纹牙尖会被挤高一些，因此套螺纹前的圆杆直径应比螺纹大径稍小。圆杆直径太大，板牙难以切入；圆杆直径太小，套出的螺纹牙形不完整。圆杆直径可按下列经验公式计算：

$$d_{\text{杆}} = d - 0.13P \quad (7-3)$$

式中， $d_{\text{杆}}$ ——套螺纹前圆杆直径，单位为 mm；

d ——螺纹大径，单位为 mm；

P ——螺距，单位为 mm。

为了使板牙起套时，容易对准工件和切入材料，圆杆端部应倒角，如图 7.12 所示，倒角后锥体的最小直径应略小于螺纹小径，避免螺纹端部出现锋口和卷边。

2. 套螺纹的操作方法

(1) 工件夹持。套螺纹时的切削力矩较大，且工件多为圆杆，易出现偏移或转动，需要用 V 形块或软金属板作衬垫，才能夹持牢固又不夹伤圆杆表面。另外，工件伸出钳口的长度，在保证螺纹长度的前提下应尽量短些。

(2) 板牙安装。选用规格与板牙相配的板牙架，将板牙的定位槽对准板牙架的定位线后装入，再用固紧螺丝拧紧。

(3) 起套。套螺纹时的起套方法与攻螺纹时的起攻方法相同，右手掌心按住板牙架中部，沿板牙轴线施加压力，左手配合做顺向旋进。操作时应保证板牙端面与圆杆轴线的垂直，转动要慢，压力要大。当板牙切入 1~2 圈后，应目测检查和校正板牙的位置，不能歪斜，否则切出的螺纹牙形一面深一面浅。当板牙切入 3~4 圈，其切削部分全部切入工件后，便可进入正常的套丝阶段。

(4) 正常套丝。正常套丝时不能对板牙施加压力，只需自然旋进，并经常倒转断屑，如图 7.13 所示，以免损坏螺纹和板牙；另外还要加切削液，以减小螺纹的表面粗糙度，延长板牙的使用寿命。

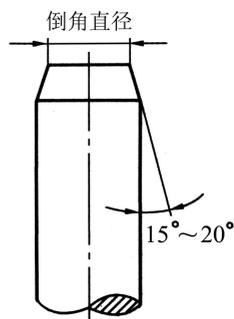


图 7.12 圆杆端部倒角

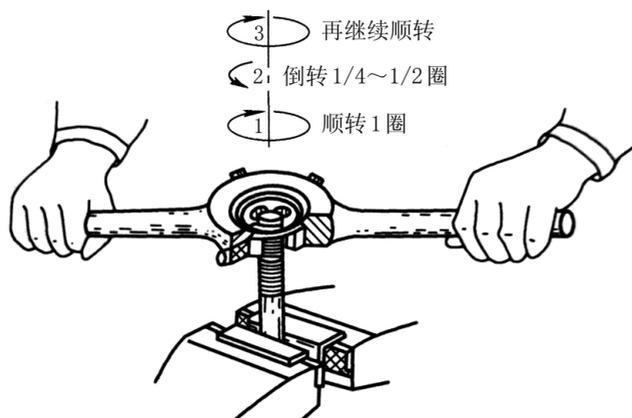


图 7.13 套螺纹的操作方法

7.4 螺纹加工质量分析及安全要求

1. 螺纹加工常见问题分析

螺纹加工时常见的问题包括螺纹烂牙，螺纹牙形不完整，丝锥折断、丝锥或板牙的刀刃损坏等，表 7-2 列出了螺纹加工时常见的问题及其产生原因。

2. 螺纹加工的安全要求

- (1) 工件的孔口、杆端必须先倒角，以便丝锥或板牙的切入，避免损伤其切削刃。
- (2) 必须以头锥、二锥、三锥的顺序选用丝锥，使用顺序不能弄错。
- (3) 起攻、起套时要控制好两手的压力，及时从两个方向进行垂直度的校正。
- (4) 操作过程中，若感到旋入费力时，应反转断屑、添加润滑油；若旋入仍费力或断续发出“咯咯”的响声时，应停止旋入，查明原因或反转退出丝锥、板牙。
- (5) 攻不通孔螺纹时，可在丝锥上做标记，并经常退出丝锥进行排屑，避免丝锥折断或达不到深度要求。
- (6) 丝锥、板牙用完后要擦拭干净，丝锥应隔开放置，以免损伤其切削刃。

表 7-2 螺纹加工时常见的问题及其产生原因

序号	常见问题	产生原因
1	螺纹烂牙	①攻螺纹时底孔直径太小，套螺纹时圆杆直径太大； ②孔口、杆端的倒角太小，导致起攻或起套困难，左右摆动； ③未正确添加切削液，排屑不畅或未经常倒转断屑； ④操作时两手用力不均，螺牙切出后丝锥、板牙仍出现晃动； ⑤加工强度低或直径小的螺纹时，已切出完整的牙形后仍继续施加压力； ⑥换用二、三锥时，与已有螺纹没旋合好就强行攻削，或进行强行校正
2	螺纹歪斜	①起攻、起套时的丝锥、板牙位置不正，未做垂直度检查； ②孔口、杆端倒角不良，两手用力不均导致切入时歪斜
3	螺纹牙形不完整	①攻螺纹时底孔直径太大，套螺纹时圆杆直径太小； ②丝锥、板牙的刀刃磨损，或切入后仍出现晃动
4	螺纹表面粗糙	①工件材料太软，切削液选用不合适； ②丝锥、板牙出现左右晃动，机攻时切削速度过快
5	丝锥折断、丝锥或板牙的刀刃损坏	①攻螺纹时底孔直径太小，套螺纹时圆杆直径太大； ②工件材料过硬或夹有硬点、杂质； ③操作时两手用力不均，丝锥、板牙出现歪斜，或歪斜后强行矫正； ④未正确添加切削液，操作时不经常倒转排屑； ⑤丝锥、板牙的刀刃出现崩刃或磨损过多时，仍继续进行螺纹切削； ⑥丝锥碰到孔底、板牙碰到底面时，仍继续扳转； ⑦丝锥、板牙硬度高，掉落在地上时崩刃、摔坏

思考题



1. 试述丝锥各结构部分的名称及作用。
2. 攻丝前，螺纹底孔的孔口为什么要倒角？
3. 在攻丝过程中，丝锥为什么要经常反转？
4. 在钢件上攻 M12 的螺孔，并套出相应的螺杆，求钻孔直径和圆杆直径。

第二部分

钣金结构修理

本章对民航固定翼飞机的基本构造进行介绍，让学生认识飞机的基本构造，熟悉各结构的功用和名称。学生通过学习了解飞机各类结构的受力，从根本上掌握各构件修理的基本原则；认识飞机钣金结构修理工作常用工具及耗材，熟练掌握钣金加工基本技能，有利于提高飞机维修的基本素养，保证维修质量的提高。本章对应 FAR-AC65.15A 的内容。

技能目标

1. 掌握常见固定翼飞机的结构名称、功能及分区；
2. 了解结构件的放样方法；
3. 熟悉结构修理用工具和手册的使用；
4. 掌握损伤结构的基本修理流程；
5. 认识常用结构修理工具及耗材；
6. 熟练掌握钣金加工技能；
7. 掌握 SRM 手册的介绍与应用。



钣金常用工具

培训学时建议

最少 56 学时。

第 8 章 飞机结构概述

固定翼飞机结构通常由 5 个部分组成，它们分别是机身、大翼、舵面、安定面和起落架，对于大型固定翼飞机而言，还包括发动机短舱，如图 8.1 和图 8.2 所示。

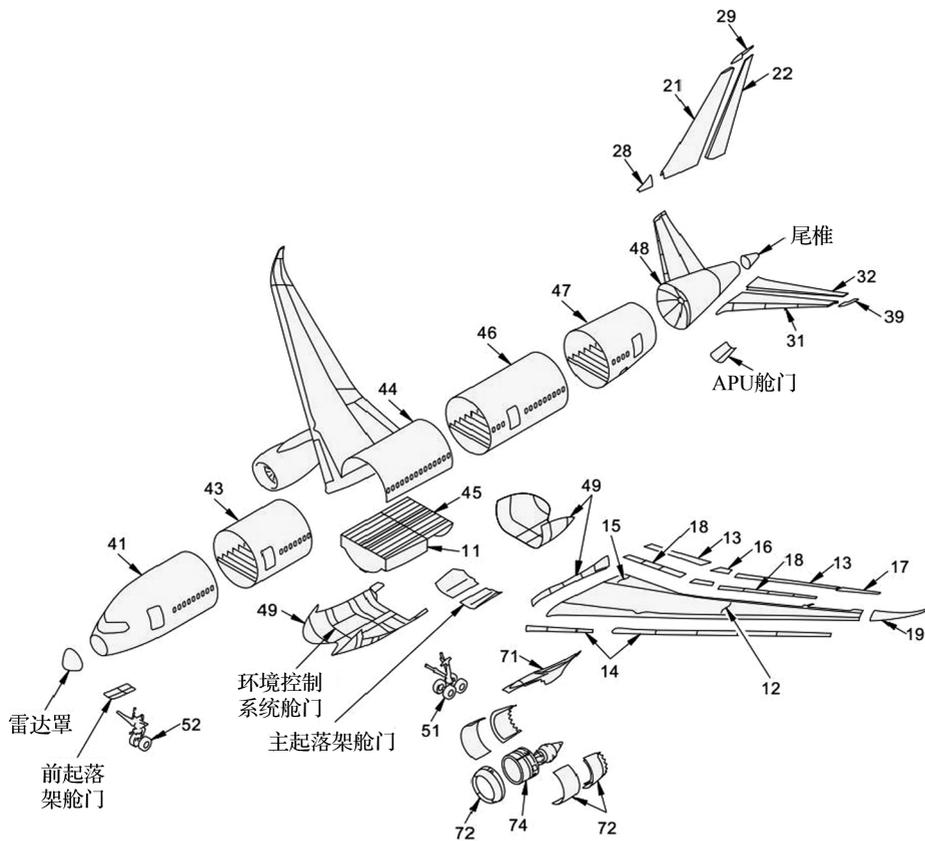


图 8.1 波音 787 飞机基本结构

11. 中央翼盒；12. 主大翼盒型件；13. 后缘襟翼；14. 前缘缝翼；15. 固定大翼后缘；16. 襟副翼；17. 副翼；18. 扰流板；19. 大翼翼尖；21. 垂尾；22. 方向舵；28. 垂尾整流罩；29. 垂尾尖；31. 水平安定面；32. 升降舵；39. 水平安定面翼尖；41. 41 段机身；43. 43 段机身；44. 44 段机身；45. 45 段机身；46. 46 段机身；47. 47 段机身；48. 48 段机身；49. 翼身整流罩；51. 主起落架；52. 前起落架；71. 短舱吊架；72. 进气道整流罩和反推；74. 发动机核心组件

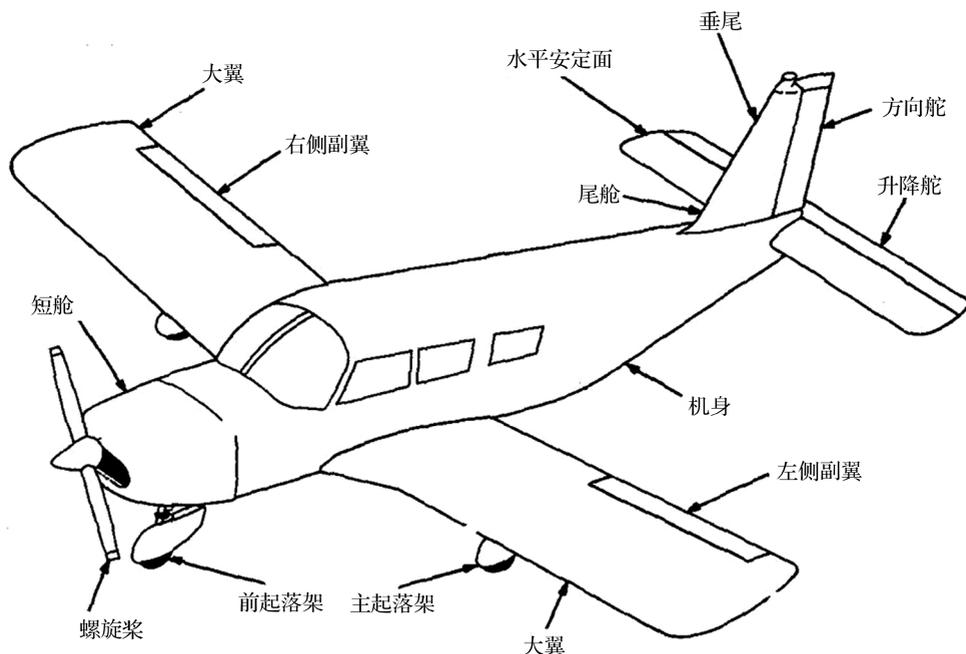


图 8.2 小型固定翼螺旋桨飞机基本结构

飞机结构件由种类繁多的材料构成，例如，复合材料、铝合金、钛合金、钢等。构件彼此之间的连接方式包括：铆接、螺接、焊接或胶接等。飞机结构件由小到大的组织方式是：零件—合件—部件（组件）—系统—整体。

例如，一根长桁是一个典型的零件，长桁、腹板和紧固件等可以组成一段翼梁，翼梁与一些墙和蒙皮等可以组成大翼油箱，翼尖、整流罩等构成部件，作为部件的大翼、襟翼、副翼以及操纵机构构成机翼的结构功能系统，最后各个功能系统装配在一起组成整架飞机。

8.1 机身

机身是飞机的主体结构，它的主要功用是容纳货物、操纵机构、附件、旅客和其他设备等。在单发飞机上，机身的另一个作用是容纳发动机。在多发飞机上，发动机可以在机身内部，也可以安装在机身外侧或者安装在大翼上。机身的构造可以根据其他部件的尺寸和安装方式产生很大变化。飞机机身大致可以分为桁架式机身和硬壳式机身两大类。

1. 桁架式

对于桁架式机身，如图 8.3 所示，管状的钢结构如梁、支柱或杆通过焊接连在一起，其中所有的钢管都可以承受拉力和压力作为主承力结构，框架外部通过覆盖编织布或

铝合金板件材料来构成光滑的气动外形。在一些轻型、单发的小飞机上，该类构型常常使用铝合金材料的管状或实心杆件交叉连接做框架，杆件的连接方式常采用螺接或铆接。

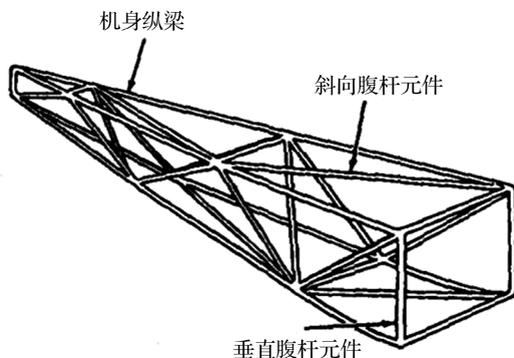


图 8.3 三角形桁架机身结构

2. 硬壳式

硬壳式（单壳式）机身的机身蒙皮或外部覆盖物为主承力结构。该类构型又可以分为：①硬壳式；②半硬壳式；③加强外壳型。硬壳式机身结构（见图 8.4）使用普通框（Formers）、机舱壁板和加强框组件形成机身内部骨架，外面覆盖的蒙皮是该结构的主承力结构。由于机身没有其他可作为主承力的构件，其蒙皮的强度和刚度必须足够大以维持机身的强度和刚度。因此，在硬壳式机身结构中，最重要的问题是在保证飞机不超重的前提下如何尽可能地满足飞机机身强度的要求。

为克服制造过程中硬壳式机身强度/重量比值过小的问题，人们设计了另外一种半硬壳式机身。半硬壳式机身在硬壳式机身的普通框、加强框组件和机舱壁板的基础上又在纵向增加了加强件。加强外壳型机身增加了整圈的隔框来提高蒙皮支撑强度。同一飞机的不同机身段可能属于以上三种类型机身的任一种，但大多数情况下飞机较多采用半硬壳式机身。

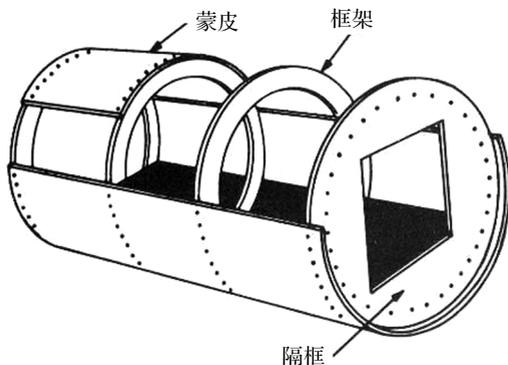


图 8.4 硬壳式机身结构



半硬壳式机身主要用铝合金和镁合金制作，在高温区也会用到钢结构和钛合金。机身的纵梁主要用于承担弯曲载荷，纵梁通常可以跨过几个支撑点。桁条同样作为纵向结构分布在纵梁之间，可以在纵向辅助加强。桁条相较于纵梁来说数量多，重量轻。横向上机身的结构件有普通框、加强框和机舱壁板，这些横向构件中重量较大的分布在传递集中载荷或者与其他结构有连接的铰接点附近，例如，机身与大翼连接点、机身与发动机连接点或者机身与安定面的连接点等。半硬壳式机身如图 8.5 所示。

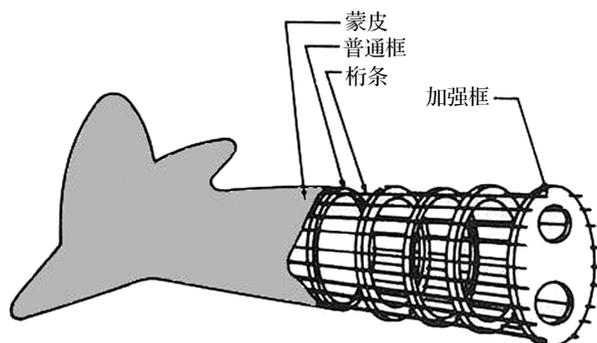


图 8.5 半硬壳式机身

纵向构件桁条可以在刚度和强度上对纵梁起到辅助加强作用，与蒙皮直接连接到一起，起到维持蒙皮外形的作用。横向的构件例如机舱壁板、普通隔框和加强隔框，与纵梁和桁条通过角片连接固定。上述纵向、横向的构件连接在一起构成了坚固的机身框架。

机身环形件、隔框和机舱壁板等结构都属于机身横向构件，它们在构造细节上存在差异。有些制造厂商会把横向的支撑叫作隔板，但其他制造商可能称同样的横向支撑构件为隔框。因此，对于特定飞机的详细说明最好参考制造厂商的说明书或注释。

桁条和纵梁可以承受由于机身弯矩导致的拉力或压力。桁条通常是由一种铝合金通过铸造、拉伸或组装而成的各种截面形状的纵向构件。纵梁，类似桁条的纵向构件，通常也由铝合金制作而成，但它可以是单个构件，也可以是多个构件的组合件。

每种单独的构件无法独自给机身提供足够的强度，各种构件一般首先用角片、铆钉、螺母和螺栓或螺钉连接在一起。角片是连接纵向和横向构件的一种支撑架。纵梁之间的支撑架一般指的是腹板元件，腹板的安装常常与梁的方向垂直或成一定角度连接。

金属蒙皮或其他材料制作的机身覆盖物通过铆接方式连接到纵梁、机舱隔板和其他结构元件上，并传递载荷。机身蒙皮的厚度是变化的，其厚度主要依据该部分承担的外载荷或由特殊位置的内应力水平决定。

半硬壳式机身在应用中有很多优点。机舱隔板、隔框、桁条和纵梁的组合方法使得机身容易实现外部流线形状，同时还可以提高结构件的强度和刚度。其最突出的优点是

机身的刚度和强度不必依赖于某一种构件的刚度和强度，这意味着半硬壳式机身由于是应力-蒙皮结构，可以在存在较大损伤情况下依然保证机体结构的连接强度。

机身的门、检查盖板和起落架舱门等，提供了一些飞机附件和其他设备的快速接近开口。由制造商提供的飞机维护手册（AMM）的勤务列表指明了设备的安装位置及其接近位置的勤务门或勤务盖板。

8.2 大翼

大翼是设计用来在飞机高速飞行中提供升力的、有特定表面外形的结构。对于特定机型的翼型设计，主要考虑以下几个因素：飞机的尺寸、载重、用途、巡航和滑跑速度，另外还有爬升角度等。对于固定翼飞机的大翼，一般将其区分为左大翼和右大翼，左、右参考飞行员的左右区分。

大多数飞机的大翼设计为悬臂式，即大翼除了与机身连接处外没有其他额外的支撑架。蒙皮是大翼的零件之一，它可以承受一部分大翼的应力。另外，还有一部分飞机的大翼使用了斜支撑，例如支柱、拉索等，来辅助大翼承受外界的气动载荷和地面载荷。大翼结构中同时采用了铝合金和镁合金材料。结构的内部翼展方向的骨架由梁和桁条组成，弦向（从前缘到后缘）由翼肋和隔框组成。翼梁是大翼最基础性的元件。蒙皮与内部元件相连，也可以承受一部分大翼的应力。飞行中，加载到大翼上的有效载荷首先通过蒙皮将外力传递到各个翼肋，然后再传递到翼梁。翼梁既可以承受均布载荷，又可以承受由机身、起落架和发动机及其短舱、吊架等传来的集中载荷。

大翼可以像机身一样分段拼装。其中常见的一种就是由一段中央翼盒加两段外翼和翼尖组成。另外一种常见构型将大翼做成一体，中央部分与机身固定。

大翼的检查用开口或接近门一般都布置在大翼下表面。另外，在大翼的下表面较低的位置还会布置排水孔，以便潮湿空气积累的水分排出。在有些机型上，大翼上会布置专门的步行通道，这些位置可以安全地踩踏。另外，有些机型会在两侧大翼下表面设置顶升点。

大翼上不同的点位主要通过站位来确定，大翼的0位位于机身的中轴线，大翼其他部分的站位都从中心站位0处往外侧以英寸为单位测量。

总体上说，大翼结构常常基于以下三种形式设计：①单梁式；②多梁式；③盒式梁。不同的制造商可能会在上述三种基础设计形式下进行改型。

单梁式大翼结构只安装了一根翼展方向梁元件。翼肋和隔板用来维持截面的翼型。尽管严格意义上的单梁式大翼很少见，但是它的一种改型，在大翼的尾缘增加轻型梁或剪切腹板比较常见。

多梁式大翼结构有多根翼展方向的梁元件。为了保持大翼外形，翼肋和隔板也是其常用元件。

盒式梁结构的大翼一般有一道前梁、一道后梁，还有连接用隔板用来提高结构强度



和保持大翼外形。有些机型上，在隔板和平滑的蒙皮之间会布置蜂窝式结构件，使大翼可以承受更高的拉力和压力载荷。另外一种情况是，纵向（翼展方向）会使用加强条替代蜂窝结构。飞机大翼中比较常用的一种形式是大翼上蒙皮内部采用蜂窝结构加强，下表面采用加强条加强的混合加强方式。

1. 大翼构型

大翼的外形和尺寸主要依据飞机的飞行参数。图 8.6 展示了几种典型的从大翼前缘到后缘的俯视图外形。

除了上述几种大翼前后缘俯视翼型的要求，大翼还可以根据飞行参数要求进行设计，例如，大升力、平衡或稳定性高的翼型。图 8.7 展示大翼的内部构造。

大翼的特征参数会导致其他设计参数的改变。翼尖可以是方形、圆形甚至尖的。不论前缘还是后缘的迹线，都可以是直的或弯曲的，甚或一侧直的另一侧弯曲的。另外，两侧边缘都可以有掠角，这样翼尖比翼根会窄很多。大多数现代飞机采用如图 8.6 所示的后掠翼形式。

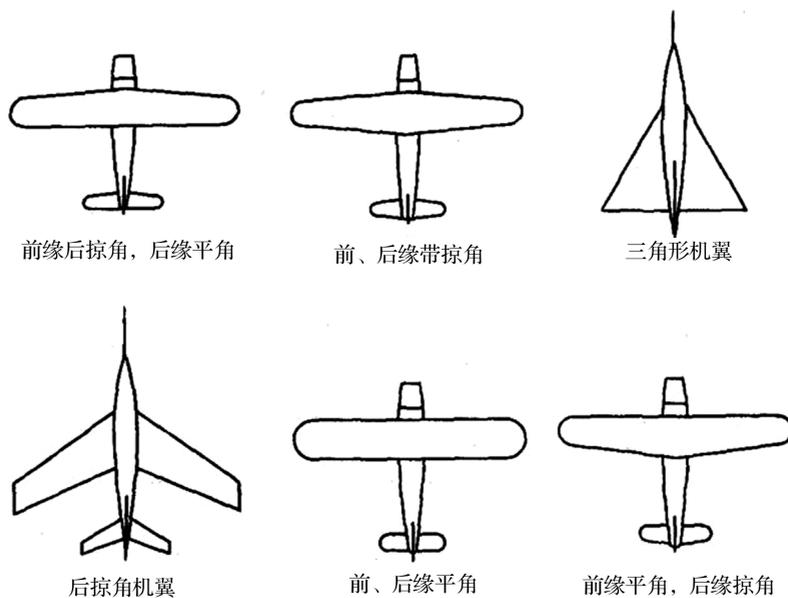


图 8.6 典型的大翼前后缘外形

2. 翼梁

大翼的主结构包括翼梁、翼肋或隔板，还有桁条或加强筋，如图 8.7 所示。

翼梁是大翼的最基础零部件，它对应机身的纵梁。翼梁与飞机的横轴平行，一般是与大翼的附件、水平梁或桁架系统相连。

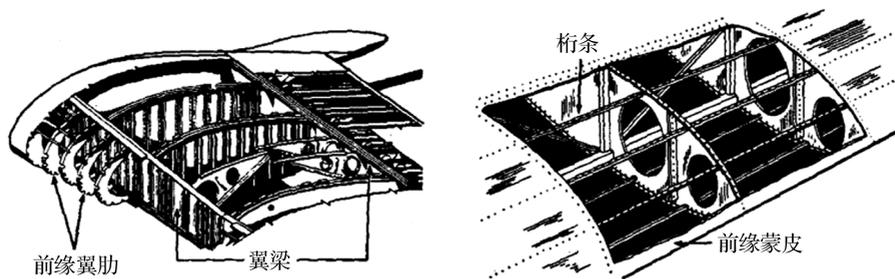


图 8.7 大翼内部构造

翼梁的制作可以是金属或木质材料，其强度可以根据特定的飞机要求来设计。现代飞机大多采用实心的拉伸铝合金或由铆接在一起的锻造铝合金材料制作翼梁。

木质材料的翼梁此处不再介绍。金属结构翼梁的主要构型如图 8.8 所示。大多数翼梁由锻造铝合金材料分段制造，中间铆接铝合金腹板，提供额外的面内剪切力。

图 8.8 给出了很多基本类型的翼梁，生产中可能会同时用到几种类型翼梁的组件。例如，一段翼梁可以有纯板材的腹板或者带加强立柱的腹板结构（见图 8.9）。腹板结构通常由实心板材和加强立柱铆接在一起，加强立柱可以提高腹板的抗失稳能力。有些腹板结构会不采用加强立柱，有的会在腹板上开减重孔。

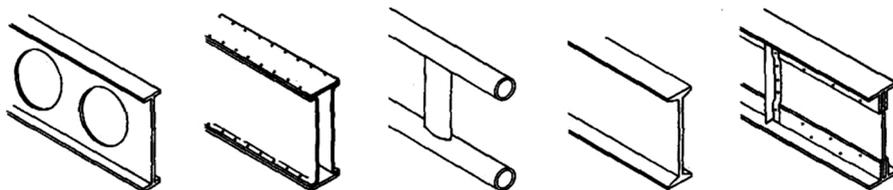


图 8.8 金属翼梁剖面形状

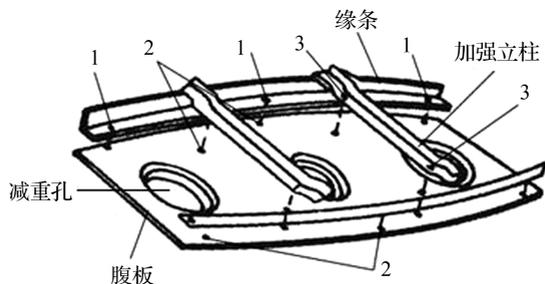


图 8.9 腹板梁结构

注：1，2，3 为各构件上的工艺孔。



结构设计可以采用“破损-安全”设计理念，也就是说，在一个复杂结构中，一个元件破坏后剩余的健康结构仍旧可以承受原设计载荷。

图 8.10 展示了一种“破损-安全”结构。这种结构由两部分组成，上侧部分由上缘条和上腹板铆接而成。下侧部分为挤压型材，由下缘条和腹板组成。这两部分再通过中间的拼接条组成一体。一旦上、下缘条中任意一条破坏，剩余部分可以继续承载设计载荷，这便是所谓的“破损-安全”特性。

通常情况下，大翼都有两根翼梁，一根靠近大翼前缘，另外一根在翼弦剖面靠近后缘的 2/3 处。无论哪种类型的飞机，翼梁对于大翼来说都是最重要的承力构件。大翼其他所有可承力结构件存在外载荷时，都可以将产生的应力传递到翼梁。

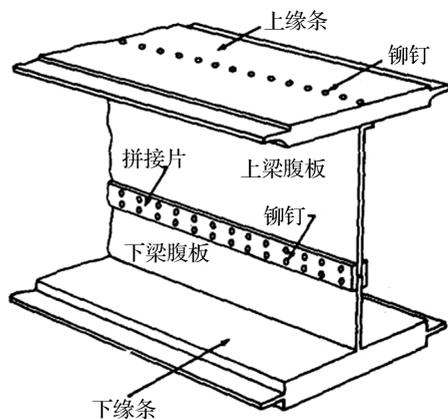


图 8.10 梁结构的“破损-安全”设计

3. 翼肋

翼肋是组成大翼框架的横向的主要结构，通常布置在大翼前缘到后缘之间。翼肋确定了大翼垂直剖面方向的弧度，同时可以将蒙皮和桁条的载荷传递到翼梁。翼肋还常用于副翼、升降舵、方向舵和安定面内。

木材和金属都可以用来制作翼肋。一般情况下翼肋和翼梁的材料要保持一致。图 8.11 展示了一种机型的金属材料翼肋结构。

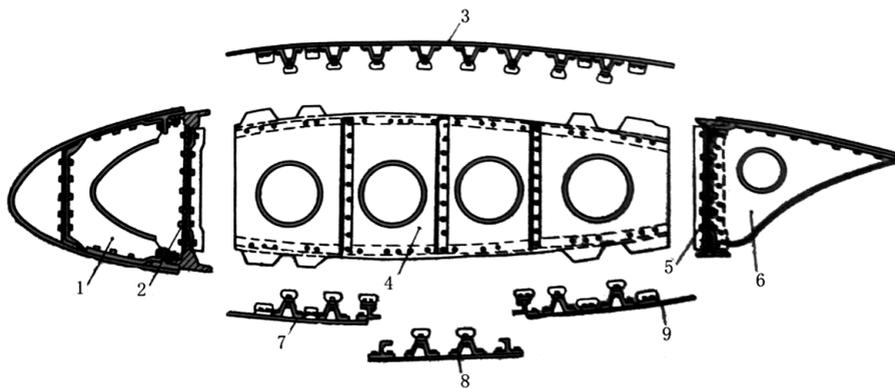


图 8.11 一种机型的翼肋

1. 机翼前段；2. 前翼梁剖面；3. 上壁板；4. 翼肋腹板；5. 后翼梁剖面；
6. 机翼后段；7. 下壁板 I；8. 可卸壁板；9. 下壁板 II

图 8.12 展示了一段木质机翼的内部翼肋、翼梁等结构。作为前后缘翼梁的辅助结构，图中还展示了副翼翼梁（纵墙）。这种梁结构只在大翼翼展跨度的一部分内，并且可以为副翼提供铰接支点。另外，图 8.12 中展示了翼肋的辅助结构，称为“普通翼肋”或“一般翼肋”，除此以外图中还展示了前缘翼肋和根翼肋。前缘翼肋又称为伪翼肋，因为该种翼肋只从大翼前缘跨到前梁或稍过一点的距离。前缘翼肋为机翼前缘外形提供了准确的曲率，并起到支撑作用。翼肋或普通翼肋从大翼的前缘延伸到后梁甚或到后缘。大翼的翼根肋一般位于大翼根部与机身连接处，且可以承受较大应力的肋段。根据连接的位置和方式，翼根肋还被称作隔板翼肋，或者当大翼在压力载荷下翼根肋可以跟翼梁一起承受压力载荷时则被称为承压翼肋。

由于翼肋属于横向较弱的结构，在一些木质结构机翼里都会在翼肋的上下侧增加加强带，用来提高翼肋的横向稳定性。

拉力线（拉力杆）和反拉力线（反拉力杆）为大翼在翼弦方向提供了约束力，拉力线设计用于抵抗沿翼弦方向往后方的力；反拉力线设计用于抵抗沿翼弦往前方的力。

大翼安装支座是用来将大翼与机身相连的机构。

翼尖往往设计成可拆卸件，通过螺栓连接到大翼的外侧壁板。翼尖采用可拆卸设计，主要是因为飞机的翼尖容易损坏，尤其在地面滑跑或维护中更容易受损。

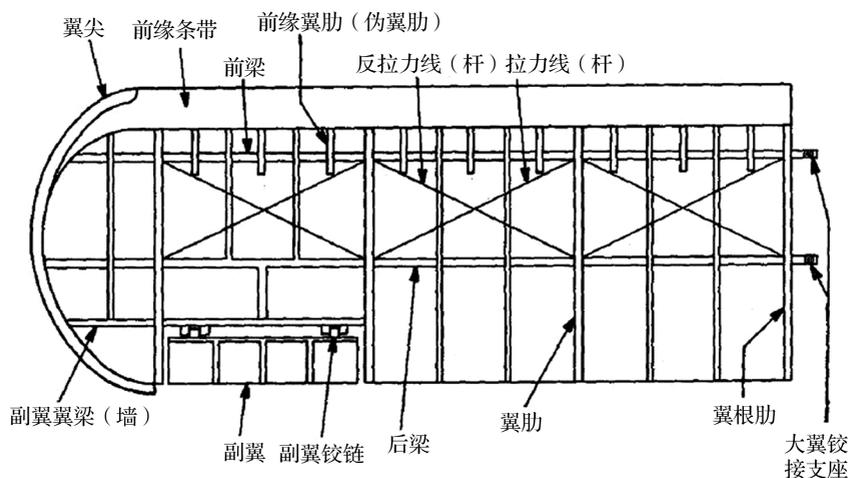


图 8.12 翼肋与翼梁的基本构型

图 8.13 展示了一段大型固定翼飞机的翼尖结构。翼尖由铝合金零件组装而成，翼尖的盖板采用埋头螺钉固定到翼尖上，翼尖通过 4 个 1/4 in 的螺钉固定到内部翼梁上。翼尖的前缘安装有防冰管道。大翼的热引气排风口位于翼尖上方。航向灯位于翼尖中部，在驾驶舱内无法直接观察到。作为翼尖航向灯操作的指示，有些翼尖会在前缘安装发光装置与航向灯同时工作。

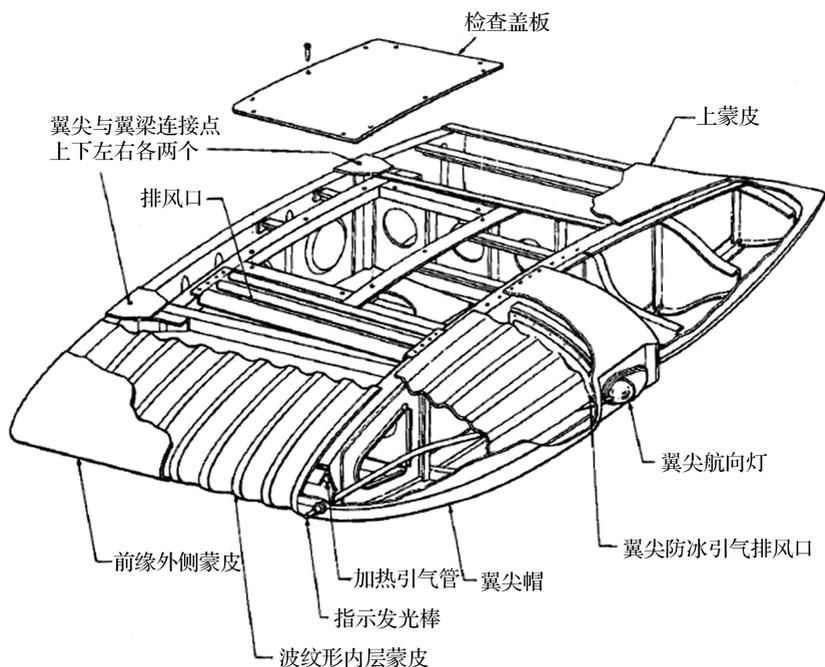


图 8.13 可拆除式翼尖

对于全金属结构的大翼悬臂梁段，图 8.14 给出了其详细构造。机翼的该段结构由翼梁、翼肋和上下蒙皮组成。该类结构的翼段大多数都是应力-蒙皮结构。

上、下蒙皮均由几部分铝合金板材组装而成，对大翼可以起到加强作用，同时提高大翼的刚度。该类机翼内部不直接作为密封油箱，而是采用内部加装密封性能良好的软囊再储存燃油。内部可以布置燃油隔断或燃油储存罐的大翼被称为“湿机翼”。

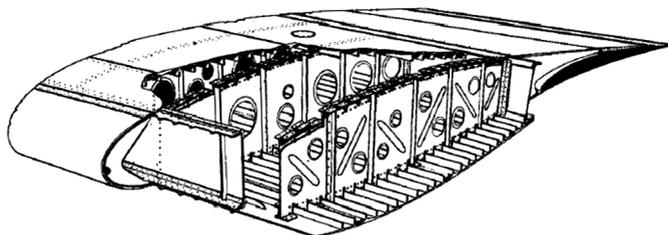


图 8.14 化铣加工的全金属机翼段

采用盒式梁结构的机翼如图 8.15 所示，该种构造不仅可以提高机翼的强度，还可以减轻重量，如果采取合理的密封，它还可以作为油箱使用。

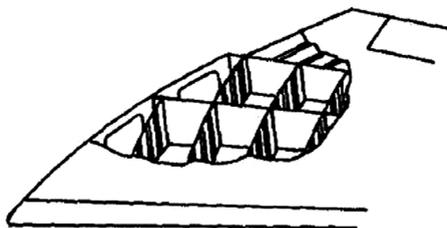


图 8.15 化钛的盒式梁机翼

在制造机翼、安定面、隔板、地板、舵面以及调整片中，铝合金蜂窝芯和玻璃纤维蜂窝材料都有所使用。铝合金蜂窝材料由夹在中间的铝箔蜂窝芯和两层铝合金面板组成。玻纤蜂窝芯材料由夹在中间的玻璃纤维蜂窝芯和上下两层玻纤布组成。

8.3 短舱和吊舱

短舱或吊舱是外形为流线型的封闭结构，一般在多发飞机上用来容纳发动机。在多发飞机上的短舱一般外部是圆形或椭圆形的流线形状，常布置在大翼的上方、下方或前缘。单发飞机短舱一般布置在机身的前端，并且短舱作为流线型机身的延伸。

发动机短舱或吊舱由蒙皮、整流罩、传力结构件、防火墙和发动机安装座组成。蒙皮和整流罩在最外部，它们可以由铝合金板材、不锈钢、镁合金或钛合金制作而成。不论采用哪种材料制作，蒙皮和整流罩一般都通过铆钉连接到内部框架上。

短舱或吊舱的内部框架与机身的内部框架相似，主要包括：纵向构件，纵梁和桁条；横向（垂直方向）构件，隔板、环形框以及隔框。

防火墙是将发动机舱与飞机其他部分隔离的结构。其舱壁通常由不锈钢制成，在有些机型上也采用钛合金材料。

发动机安装座与防火墙连接在一起。发动机通过螺栓、螺母和橡胶减震垫/板连接到安装座上。发动机安装座的设计应满足安装的一些特殊要求，例如，安装位置、安装方式和安装尺寸、类型和发动机自身的特性要求等。通常发动机支座是一个独立的单元，能够快速地从飞机结构上离位。安装座的材料一般是焊接的铬/钼钢管，对于较高应力水平的安装座还会采用锻造的铬/镍/钼材料。

为减少飞行中的阻力，起落架在高速或大型飞机上需要在飞行中收起。在飞机上容纳起落架的舱称为机轮舱。通常也将机轮舱视为短舱，在部分飞机上起落架还可以收进大翼或机身内部的空间。

整流盖板指在发动机或附件段以及发动机安装区和防火墙区域需要经常接近并且可以拆除的盖板。很多大型活塞式发动机的外部都由橘红色的整流盖板包覆。整流盖板安装在防火墙的安装座上，可以打开的整流罩有一侧会通过铰链固定。



在涡喷发动机上，整流盖板可以提供光滑的气动外形，还可以保护发动机。发动机的整个冷却系统包括进气道前缘整流盖板，上、下铰接的可离位式整流板和固定的整流板。典型的上、下铰接的可打开式整流罩如图 8.16 所示。

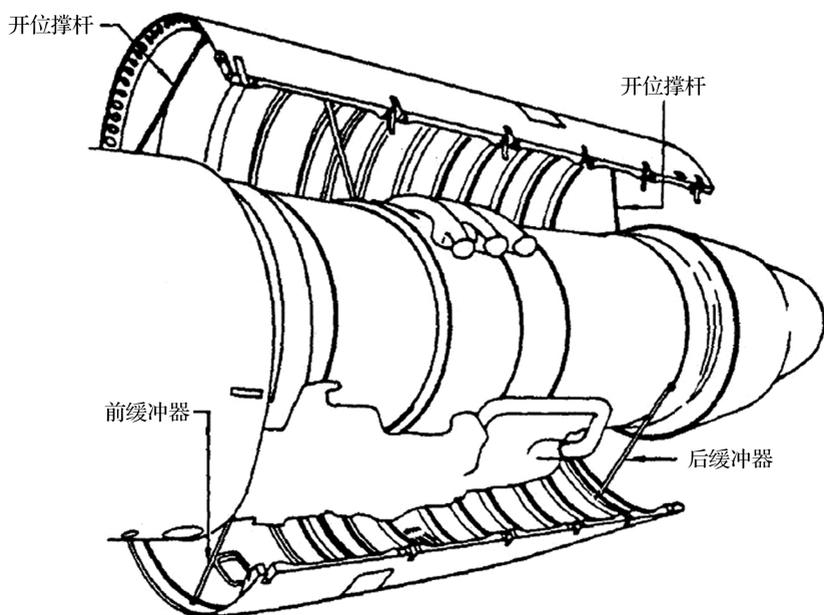


图 8.16 侧方位安装的涡喷发动机整流罩

8.4 尾部

尾部又被称为尾段，在很多飞机上主要由一段尾椎、固定面板和活动面板组成。

尾椎主要作用是作为机身的收尾部分起到封闭作用，并使尾部为流线型。尾椎的结构组成与机身的构造相似，但是其重量要比机身轻很多，主要原因是尾椎属于非主承力构件。

一般情况下，尾部的其他部件相比尾椎的结构强度都要高。这些构件包括帮助飞机飞行稳定的固定面板和帮助控制航向的活动面板。固定面板被称为水平安定面和垂直安定面，活动面板被称为方向舵和升降舵，如图 8.17 所示。

垂直安定面的构造与机翼的构造相似，它同样

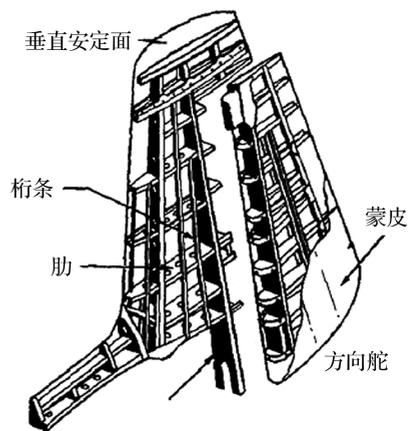


图 8.17 垂尾的构造

有梁、翼肋、桁条和蒙皮。其内部受力与机翼的受力情况也类似。由空气动力引起的弯矩、扭矩和剪切力从一个结构件传递到另一个构件。每一类零件承担一部分应力，并将剩余的力传递给其他零件，残余载荷的应力逐步传到翼梁，然后通过翼梁传递给机身结构。

8.5 飞行控制舵面

固定翼飞机的航向控制由飞行控制舵面围绕横轴、纵轴和立轴的转动形成。飞机航向控制设备通过铰接或平移的方式，在飞机的起飞、巡航和着陆中控制飞机的姿态，可以将它们分为两大类：主飞行操纵舵面和辅助操纵舵面。

主飞行操纵舵面主要包括：副翼、升降舵和方向舵。副翼铰接在大翼两端的尾缘。升降舵铰接在水平安定面的尾缘。方向舵铰接在垂直安定面的后缘。

主飞行操纵舵面在结构形式上很相似，只是它们的尺寸、形状和连接方式有差别。从结构上来说，舵面与全金属的机翼很像。它们通常也是围绕一根梁或扭力管结构，由铝合金材料制造而成。翼肋通过金属的连接片与前梁、后梁结构连接到一起。很多情况下翼肋采用铝合金板件制备。翼肋往往不是完整的金属板件制成，一般由锻压或冲压工艺制作的翼肋上都带有拔缘的减重孔。

在一些小型或低速飞机上，舵面多使用一些编织物覆盖。但是在涡喷类飞机上，为提高舵面的强度，面板都采用金属板材。

舵面初始的设计理念都是实现单一功能，随着飞机的发展，单个舵面可能会有多个功能。例如，俯仰方向舵的舵面就兼有副翼和升降舵的功能；襟副翼兼有副翼和襟翼的功能；一种可平移的水平尾翼段既可以当作水平安定面，又可以当作升降舵使用。

次要的辅助操纵舵面包括的构件有：配平片、平衡片、伺服片、襟翼、扰流片和前缘襟翼等。这些辅助舵面的主要功能是减少主操纵舵面工作时的阻力，为飞行中的飞机进行配平和平衡，减小飞机降落时的速度，缩短降落时的滑跑距离，还可以在飞行中帮助飞机改变巡航速度。这些辅助舵面一般都连接在或收纳在主操纵舵面上。

1. 副翼

副翼属于主要控制舵面，也是大翼的重要组成部分。副翼可以在设计好的弧形的轨道槽内滑动，往往通过铰接方式与副翼梁或机翼后梁相连。副翼通过机翼内可以横向移动的撑杆来驱动它在固定轭内转动。在传统的副翼构型里，副翼铰接在靠大翼外侧的尾缘。

在控制系统内，两侧副翼是联动的，其运动方向相反。当一侧的副翼向下运动来提高升力时，机身另一侧的副翼向上运动减小升力。这种相反的运动使得飞机大翼一侧的升力大于另外一侧，从而使飞机实现滚转运动。

副翼内的一段金属翼肋的剖面图如图 8.18 所示。为使得副翼有一定的操控灵敏性，其铰接点位于副翼前缘附近。安装在副翼梁上的角形作动杆结构被牢固地与副翼操纵钢索相连。

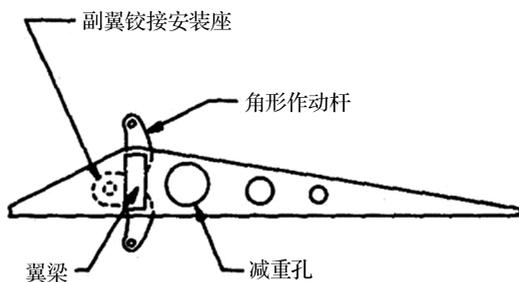


图 8.18 襟翼翼肋侧视图

大型固定翼飞机大多采用全金属结构副翼，还有一部分使用玻璃纤维复合材料的尾缘。副翼至少通过四个连接点与大翼后梁铰接在一起。

大型涡喷飞机的所有操纵舵面在图 8.19 里有显示。如图 8.19 所示，大翼的每一侧各有两段副翼。副翼的一段位于大翼靠近翼尖的尾缘，另一段位于翼根的中央翼段的尾缘。

大型涡喷发动机上的横向操纵机构要远比轻型飞机的复杂。低速飞行时，所有的操控舵面都要为飞机提供最大的稳定性，参与其中的包括 4 段副翼、襟翼和扰流板。在高速飞行阶段，襟翼被收起，外侧副翼被锁定，与操纵机构脱离。

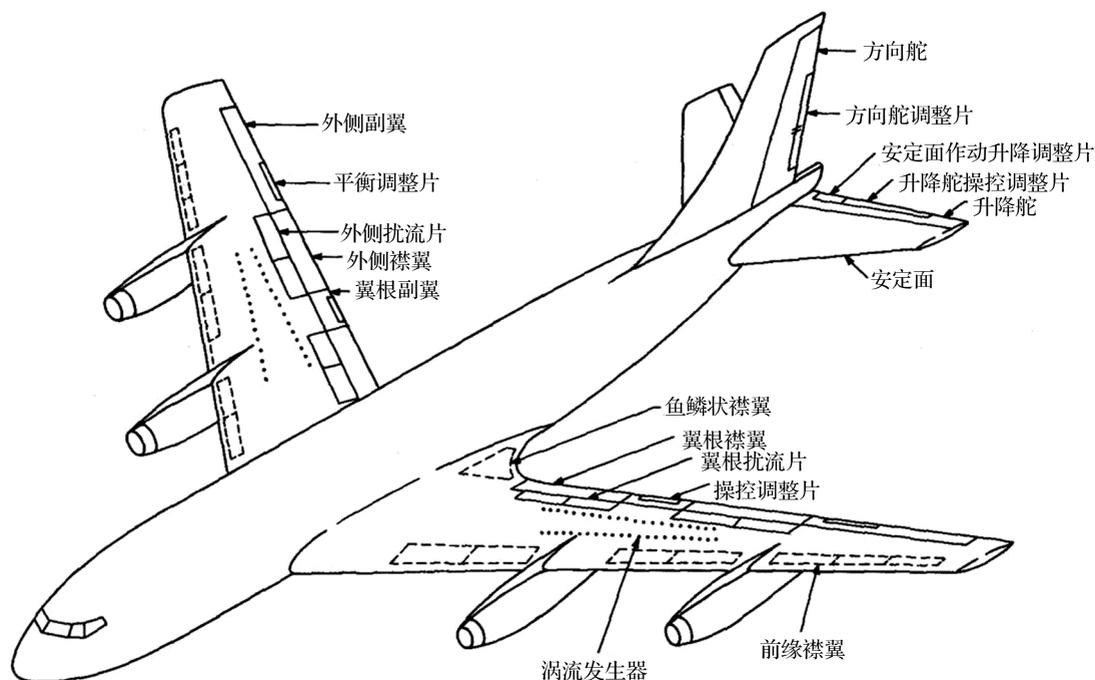


图 8.19 大型涡喷飞机的舵面

翼根副翼的外蒙皮主要使用铝合金蜂窝芯板。露在外部的蜂窝芯边缘用密封胶密封，外层涂覆保护漆层。副翼前端从铰接轴线往前逐渐收窄。两侧的翼根副翼位于左、右外侧副翼之间，铰接在翼根的尾缘。铰接点从大翼往后伸出，与副翼的铰接轴承相连，起到连接副翼的作用。

外侧副翼的结构由前缘翼梁和翼肋构成，外侧覆盖铝合金蜂窝芯板。带有连续铰链的外侧副翼的前缘上有开槽，开槽的目的是与编织物密封条的下摆吻合。

外侧副翼位于大翼翼尖段一侧的尾缘。铰接点从大翼往后伸出，与副翼的铰接轴承相连，起到连接副翼的作用。

副翼的平衡板（见图 8.20）可以减少为保持副翼在平衡位置的外部作用力。平衡板可以由铝合金蜂窝芯蒙皮粘接到铝合金框架上组成，也可以做成外部覆盖铝合金蒙皮的帽形加强筋结构。副翼前缘与大翼结构间的间隙为副翼的作动提供了空间，也能通过板上的密封结构控制气体流过。

空气动力在平衡板上的作用力取决于副翼的位置。当副翼在飞行中偏向流线两侧的任意一边时，板的两侧就产生了压差。这个压差力作用到平衡板上，可以为副翼的作动提供辅助力。当副翼的偏转角较小时，平衡板不需要提供作用力，因为只需要很小的手动力来控制调整片的转动。当副翼向一侧的偏转角较大时，平衡板两侧的气压差会逐渐变大，压差造成平衡板收到一个额外的气动力。平衡板上的这个压差力与副翼两侧的压差力刚好相反，使得副翼的操纵更省力。

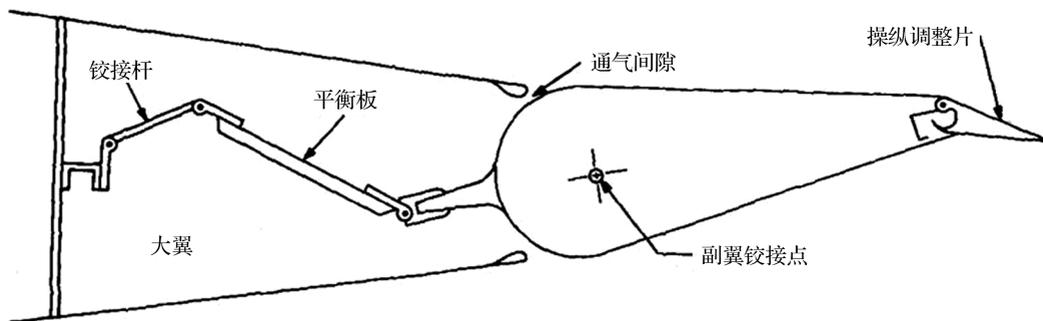


图 8.20 副翼结构

2. 机翼的飞行辅助操纵舵面

机翼的飞行辅助操纵舵面包括后缘襟翼、前缘襟翼、减速板、扰流板和前缘缝翼。飞机上的辅助襟翼操纵面的数量和类型不是确定的，主要根据飞机的类型和尺寸而定。

襟翼可以在飞行中为飞机提供额外的升力。它们可以帮助降低着陆速度，从而缩短降落时的滑跑距离，这使得飞机在进近阶段不用提高速度的情况下增加向下的偏转角。另外，襟翼还可以帮助缩短起飞时的滑跑距离。

大多数后缘襟翼都被铰接在副翼内侧机翼后缘。前缘襟翼也很常见，大多数安装在



大型的高速飞机上。当襟翼在“上”（或收起）位置时，它们等同于大翼的部分边缘。当襟翼在“下”（或伸出）位置时，襟翼绕铰支点旋转，并下降与大翼翼弦夹角为 $45^\circ \sim 50^\circ$ ，这增加了大翼的曲度，改变了大翼表面的气流，提供了更大的升力。

图 8.21 为常见襟翼类型。普通襟翼在收起位置时相当于机翼的尾缘，它包括机翼尾缘的上下表面。

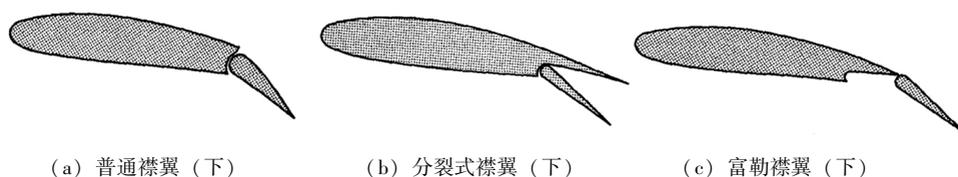


图 8.21 襟翼

一般分裂式翼肋在正常情况下被收起在大翼后缘的下方，呈流线型。分裂式襟翼与普通襟翼有相似之处，但是它的襟翼后缘的上半部分不随着襟翼一起下垂。这种襟翼也被叫作分裂边襟翼，一般它是一块前缘被包裹，并且通过若干个点铰支的金属板结构。

对于需要更大翼面来提供升力的机型，富勒襟翼也常常被采用。这种襟翼在收起状态与分裂式襟翼相似。但与分裂式襟翼不同的是，分裂式襟翼的前缘被固定在一个不能移动的旋转轴上，富勒襟翼的涡轮-蜗杆结构可以驱动襟翼前缘在襟翼下垂的同时还可以向后移动。富勒襟翼的运动方式，达到了一般襟翼的功能要求，同时，在襟翼后退时还增加了大翼的面积。

大型涡喷飞机上用到的一种三段式襟翼，如图 8.22 所示。这种类型的后缘襟翼可以在飞机起飞和降落阶段提供更高的升力。襟翼的每一段都由前、中、后三部分组成。襟翼的每一部分的弦线长度可以完全展开，最大限度地增加襟翼面积。各部分襟翼件的缝隙可以防止襟翼上方的气流面分离。

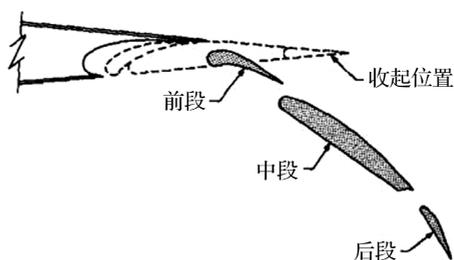


图 8.22 三开槽分段式后缘襟翼

前缘襟翼（见图 8.23） 작동方式与普通襟翼相似，前缘襟翼铰接在大翼前缘下方， 작동时前缘襟翼往下方偏转，增大了大翼的弧度。前缘襟翼与其他类襟翼一同使用。



图 8.23 前缘襟翼剖面图

大型多发涡喷飞机上的前缘襟翼位置如图 8.19 所示。双侧大翼都安装有三组克鲁格襟翼。襟翼以及其内部整体式翼肋和加强筋都由镁合金铸造件加工而成。每段襟翼的主要传动机构为扭力管，主要由镁合金铸造而成，扭力管一般横穿并安装在襟翼的前缘内部。

每段前缘襟翼由三个鹅颈铰链与大翼的固定前缘连接，每段襟翼的后缘还安装了铰接整流罩。图 8.24 显示了一段典型的在收起位的前缘襟翼，图中虚线是展开位置。

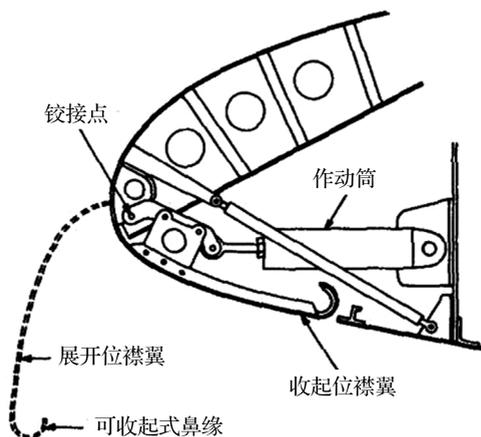


图 8.24 前缘襟翼

减速板，常被称作俯冲襟翼或俯冲刹车，可以在飞行中帮助飞机减速。这种刹车方式一般在飞机紧急降低高度或者接近跑道降落时使用。刹车襟翼的制作形状和安装位置根据飞机的不同和刹车目的的不同稍有差别。

扰流板可以安装到机身的某些部件上，也可以在大翼的表面。机身上的扰流板尺寸较小，可以在机身光滑的气动表面形成扰流，进而产生阻力。大翼上的扰流板类似多个手指的槽，突出于大翼的上、下表面，可以将平滑的气流打乱。一般情况下空气扰流板由电信号控制的开关控制，液压作动。

另一种类型的气动刹车是扰流板和减速板的组合。典型的一种组合是位于大翼上方、副翼前的扰流板。当飞行员同时使用扰流板和气动刹车装置时，可以降低飞机的飞行速度并保持横向较好的操控性。

扰流板是飞机的辅助飞行控制面，安装在大翼的上表面，一般与副翼一起作动，辅



助飞机减速的同时还可以使飞机保持较好的横向操控性能。

大多数扰流板组件可以对称作动，并可以辅助空中刹车。其他系统都安装有独立的地面和空中扰流板。扰流板通常是胶接结构，由上下蒙皮盖板和中间蜂窝芯构成。

3. 调整片

调整片是一种结构最简单，但很重要的结构件，它可以辅助飞机的操控，一般安装在舵面的尾缘。尽管调整片不能够替代舵面，但它铰接安装到舵面的尾缘可以让飞机有更卓越的操控性能。

除了少数轻型飞机，大部分飞机都安装有可以操纵的调整片，但某些飞机上的调整片只能在飞机位于地面时才能够调整配平。

8.6 起落架

起落架是在飞机起降或停场时支撑飞机的组件。起落架的减震支柱可以在飞机降落和滑跑中吸收震动。通过收放机构，起落架可以收起或放下。根据起落架的布置方式，可以分为前三点式起落架和后三点式起落架布局。前三点式起落架布局的飞机，由前轮进行导向，飞机的尾部为防止擦伤或撞击都有相应保护装置。通过机轮和轮胎起落架在降落或滑跑过程中与地面形成了稳定的接触。机轮的刹车装置使飞机在地面时可以减速或停止。

8.7 蒙皮和整流罩

飞机光滑的外部表层被称作蒙皮。蒙皮覆盖了机身、大翼、尾椎、短舱和吊舱。蒙皮的常用材料是经过热处理的铝合金，热处理工艺起到防腐和加强作用。镁合金和不锈钢也会被少量使用。蒙皮材料的厚度是变化的，主要根据蒙皮所受的内部应力和传递载荷而定。为了使机身与大翼或其他构件连接部分表面有光滑的气动外形，这些连接区域常采用圆弧形状过渡的板件。这种板件或蒙皮被称作整流罩，通常情况下整流罩是可以拆卸的，以便接近常常需要维护的部件，但是也有部分整流罩通过铆接与飞机结构件相连。

8.8 门和检查口盖

机身门允许在正常或紧急情况下旅客上、下飞机。同时，它们还包括勤务门或手动操作的排水孔。检查门为飞机构件的检修提供接近通道。出入口门或检修门都采用铰接

或可移除式安装方式。它们在关闭位时通过锁扣、锁机构、螺纹、快卸装置或隐藏式锁扣固定。可以拆装的进出口门和检修门常打有钢印识别码，该钢印与它们内部的部件号码一致，其他门类也采用钢印法来标记该门内的部件。

8.9 结构的主要受力形式

在飞机结构设计中每一寸的机翼、机身，每一根翼肋、翼梁，甚至一个金属支座都必须充分考虑制造它所用材料的物理性能。每一个零部件必须能承受加载在该零部件上的载荷，载荷的确定过程称为应力分析。了解结构所承受的应力不仅仅是为了机械性能，还可以避免不恰当的修理导致的结构内应力变化。

所有飞机的受力形式都可以归纳为五大类，如图 8.25 所示，它们分别是：①拉力；②压力；③扭力；④剪力；⑤弯矩。

一般“应力”与“应变”是对应的。应力指物体内部抵抗变形的内力，应变是物体在应力作用下的变形。

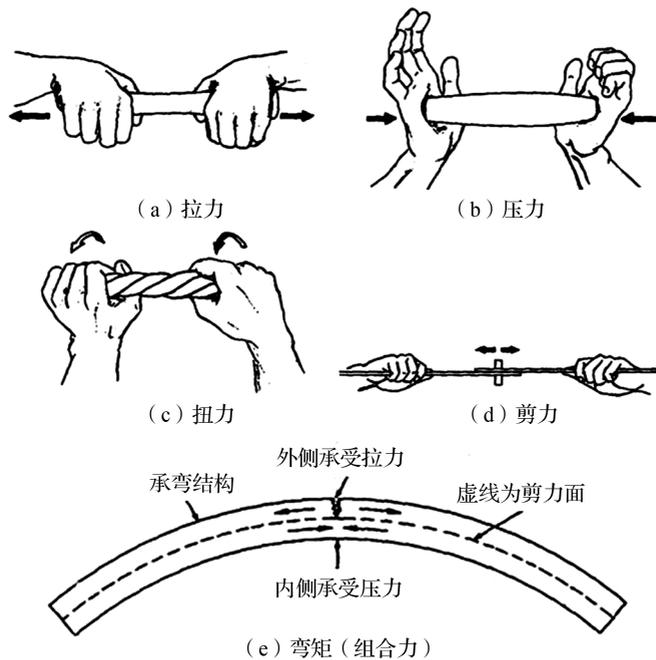


图 8.25 飞机结构件的五种受力形式

拉力可以抵抗向两端分开的外力。飞机发动机推动飞机前进，空气阻力阻止飞机前进，飞机上便有了拉力。拉力的单位是 kgf/cm^2 （帕斯卡）或 psi （磅/平方英寸），它



由加载在结构上的外力除以受力结构的截面积得到。压力可以抵抗向中心挤压的外力。其单位与拉力相同。扭力可以使物体产生扭转，飞机在巡航阶段，发动机会对机身有扭力。面内剪力会导致材料层与层之间发生滑移。两块被铆钉连接的板件会在贴合面给铆钉剪力。飞机上的螺钉、螺栓、铆钉等都承受剪力。弯矩是压力和拉力的组合。

以下是一些飞机上常见的零部件的受力情况。图 8.26 是飞机大翼的典型受力形式，飞行中大翼上蒙皮主要承受面内挤压力，下蒙皮主要承受拉力，同时翼根承受较大的弯矩。在地面，大翼上蒙皮主要承受拉力，下蒙皮承受压力，翼根的弯矩也与飞行中反向。图 8.27 是直升机旋翼主轴的受力，旋转的轴类部件主要承受扭矩力，扭矩力是拉力和压力的合力。

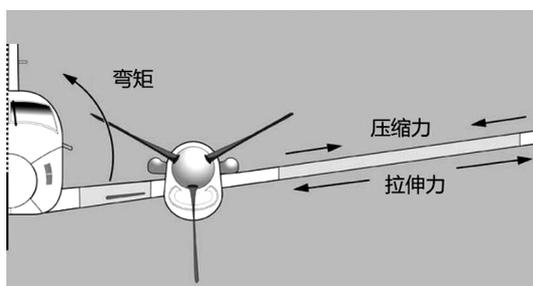


图 8.26 飞行中的大翼受力

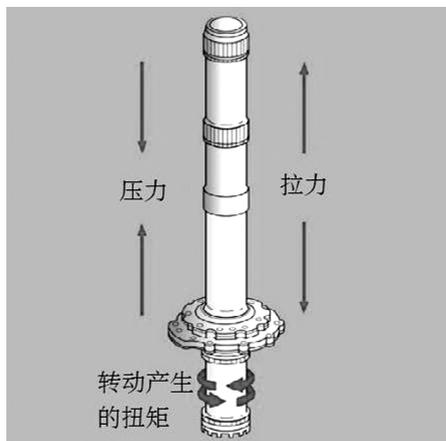


图 8.27 直升机主轴受力

思政之窗

孙滨生：巧手慧心“敲铸”钣金人生。他一直在昌飞从事直升机钣金零件加工制造工作，一干就是 35 年。扎根于航空钣金制造一线的孙滨生，把每一个钣金零件都当

成精品来打造。飞机生产过程中，零部件的加工必须相当精准，不能出丝毫差错。“有困难、找老孙”成为昌飞公司钣金领域的一个习惯，而孙滨生从来都没有让大家失望。

机务人员应当发扬机务作风，树立使命感和责任感，严格要求自己，甘于在平凡的一线岗位上做出不平凡的业绩。

思考题

1. 大型固定翼飞机结构的主要组成部分有哪些？
2. 简述机身的主要功用和分类。
3. 简述大翼的主要功用和三种主要的设计形式。
4. 大翼内部的主要结构件有哪些？
5. 大型固定翼飞机的主飞行控制舵面有哪些？辅助飞行舵面有哪些？
6. 结构件的主要受力形式有哪些？

第 9 章 飞机结构的分类、站位与分区

9.1 飞机结构的分类

根据结构修理手册，飞机结构可分为初级结构和次级结构。初级结构又可以分为主要结构（PSE）和其他类。其具体分类方法如图 9.1 所示。

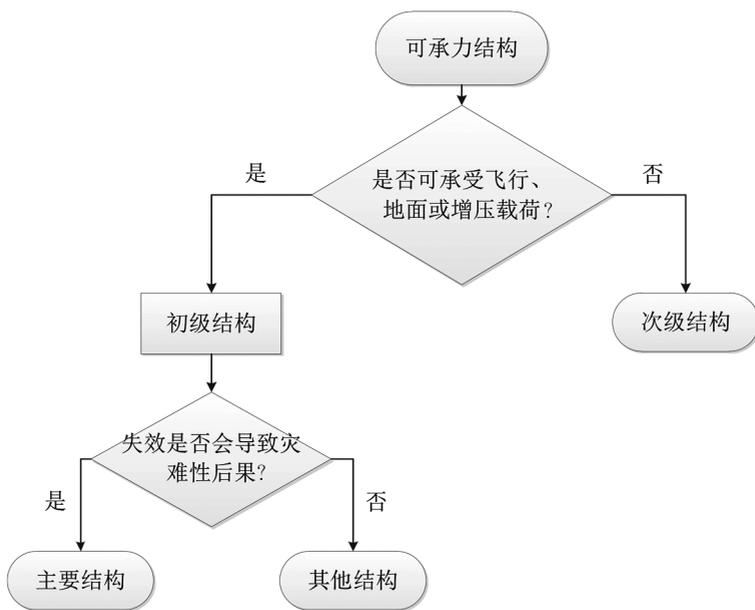


图 9.1 结构分类图

初级结构指可以承受飞行载荷、地面载荷或增压载荷的结构。初级结构又可以分为两类，主要结构（PSE）和其他结构。飞机上大多数的初级结构都是主要结构，主要结构往往还被称作重要结构件（SSI）。PSE 可以承受飞行载荷、地面载荷或增压载荷，一旦该类结构失效，会导致飞机发生灾难性事故。其他类初级结构则不属于主要结构。

次级结构只能承受一定的气动载荷或其自身的惯性力载荷。多数次级结构主要作

用是为飞机提供光滑的气动外形。

图 9.2 展示了波音 737-800 飞机初级结构和次级结构的分类。

另外，有一些主要结构属于疲劳敏感结构（FCBS），FCBS 一般不包括次级结构件，例如一些支架和夹片。疲劳敏感结构包括机身结构的蒙皮、长桁、剪切带和隔框等。

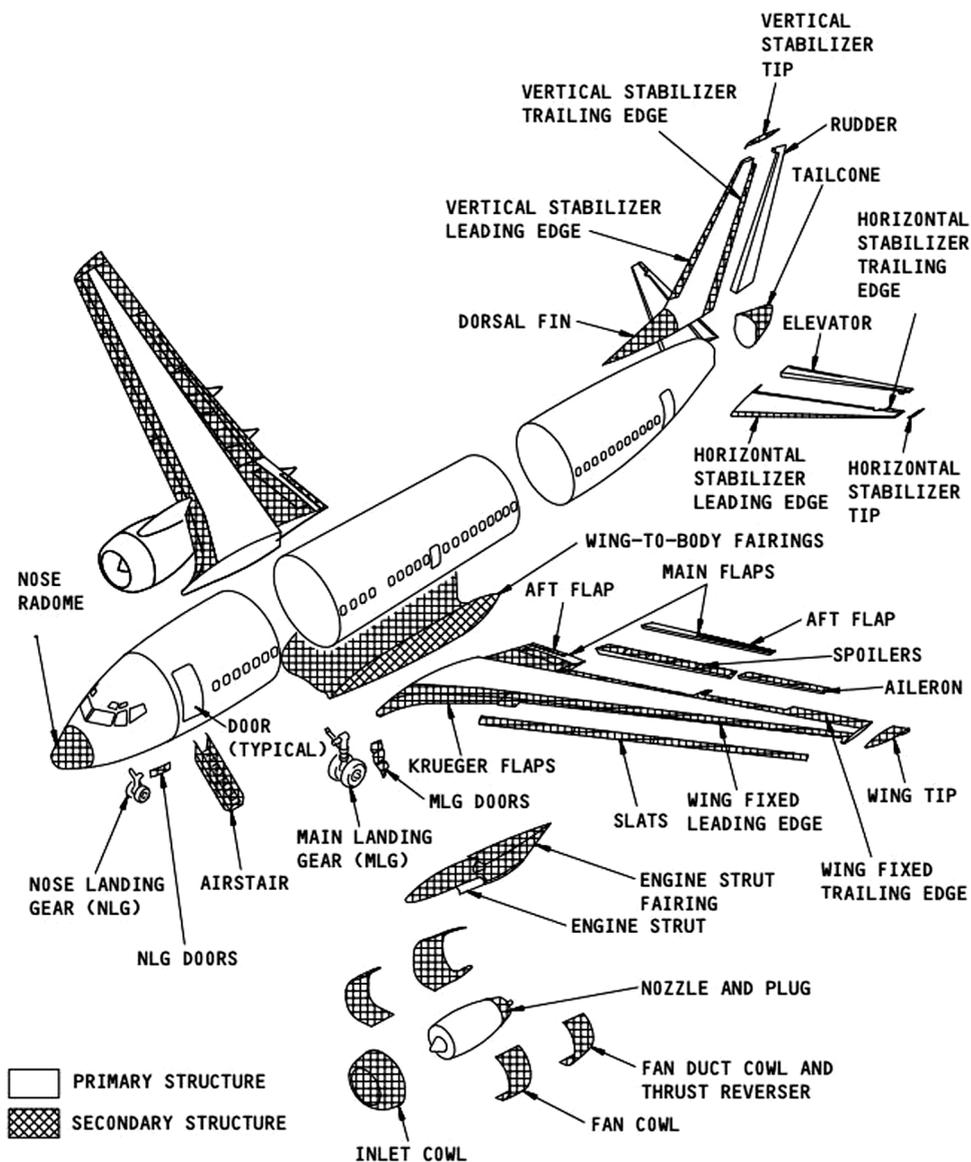


图 9.2 波音 737-800 飞机的初级结构和次级结构



9.2 飞机结构的站位与分区

为便于确定飞机上具体的位置，本部分主要介绍飞机的参考坐标体系以及机身、大翼和尾翼的站位。图 9.3 为波音 787-800 飞机的主要参考面和参考线的定义。

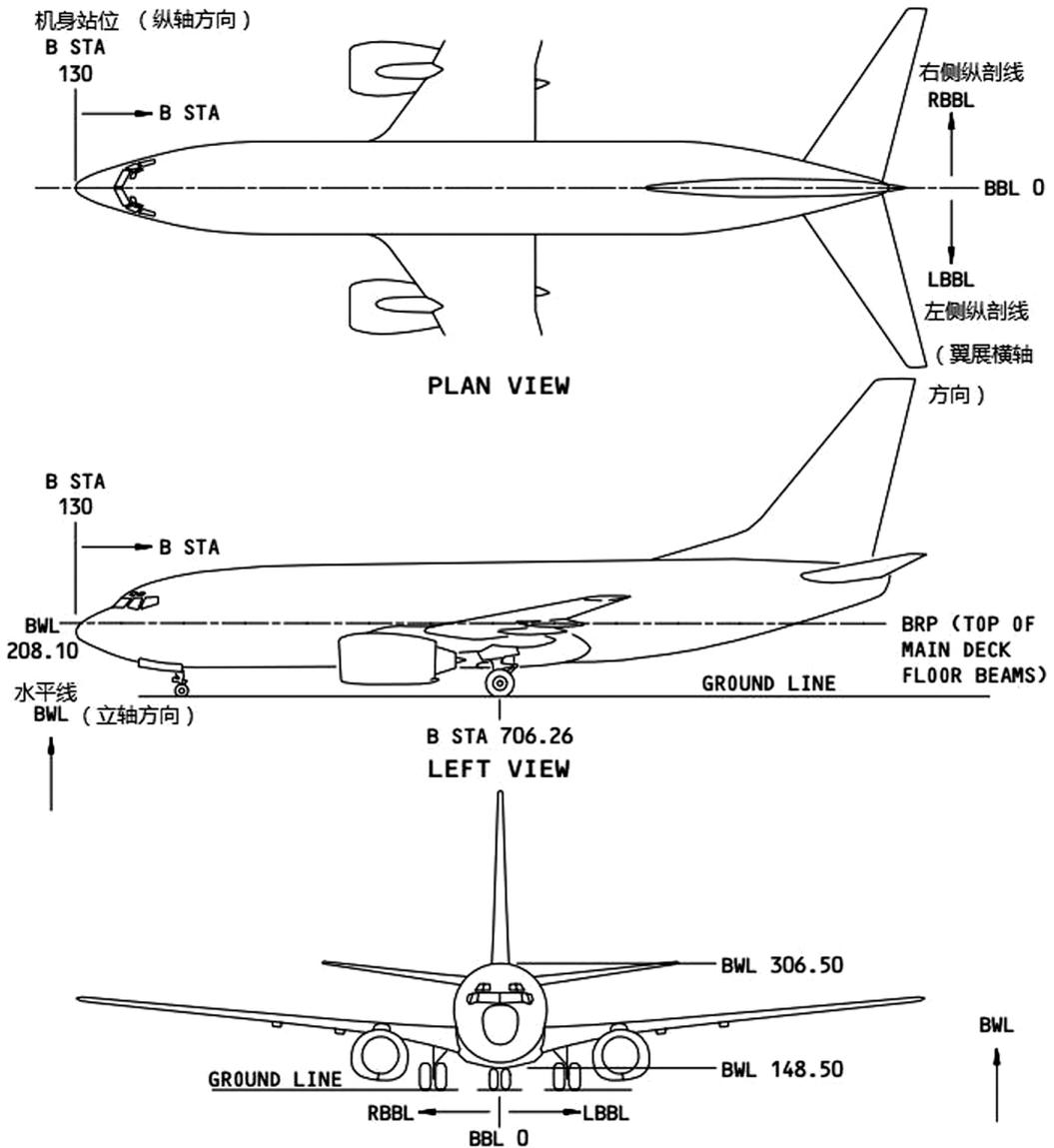


图 9.3 波音 787-800 飞机参考平面及参考线

1. 机身参考基准与尺寸

图 9.4 为波音 737 飞机的机身站位图，图中沿机身纵轴方向所标注数字通常情况下为机身参考点到基准参考点的距离（有例外），其单位为英寸。

图中 STA (Station)，为机身纵向站位，对应飞机纵轴，该坐标的参考原点在机身纵轴前方的某一点处；BL (Buttock Line) 为机身纵剖线，对应飞机翼展方向横轴，以机身的中线为参考基准，向左或向右依次为 LBL 和 RBL；WL (Water Line) 为水平线，对应垂直方向的立轴，以机身下方的水平面为基准。

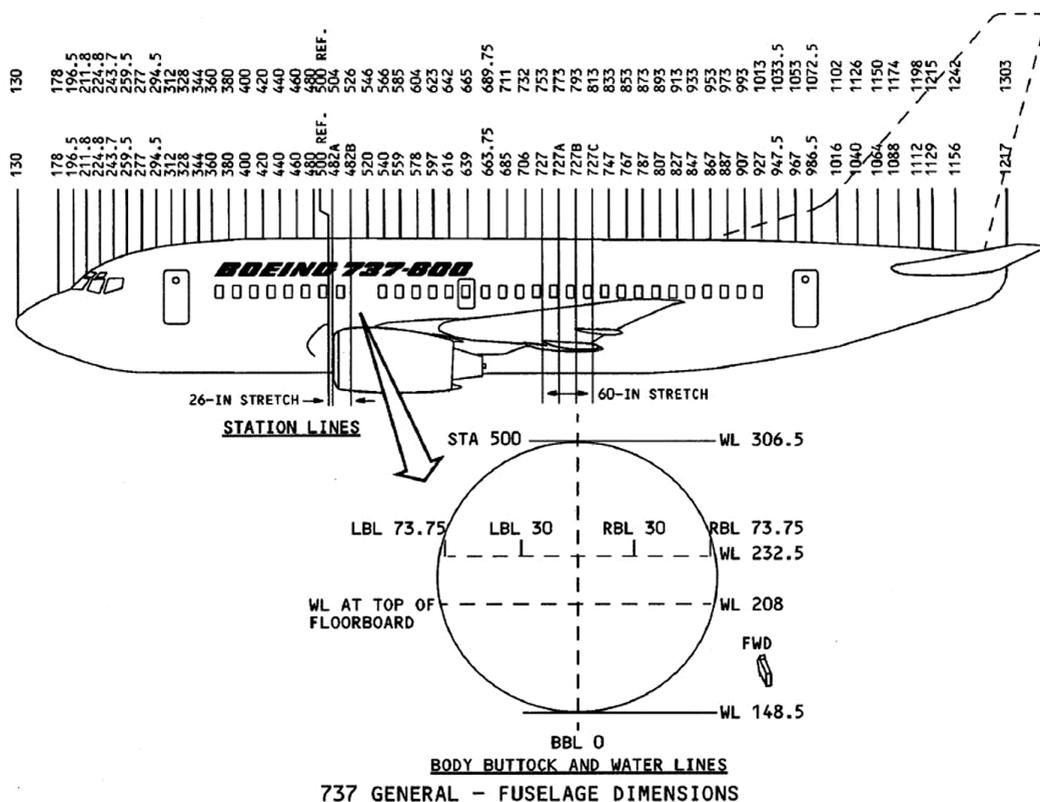


图 9.4 波音 737 系列飞机机身尺寸

2. 大翼参考基准与尺寸

图 9.5 为波音 737 飞机大翼的站位图。根据安装部件的不同有多个参考基准，其中 WSTA (Wing Station) 为大翼展向站位。WBL (Wing Buttock Line) 为机翼的纵剖线，该参考基准与机身的纵剖线参考基准重合。另外还有 FSS (Front Spar Station)、RSS (Rear Spar Station)、LE STA (Leading Edge Station) 和 SLAT STA (Slat Station) 四个站位。

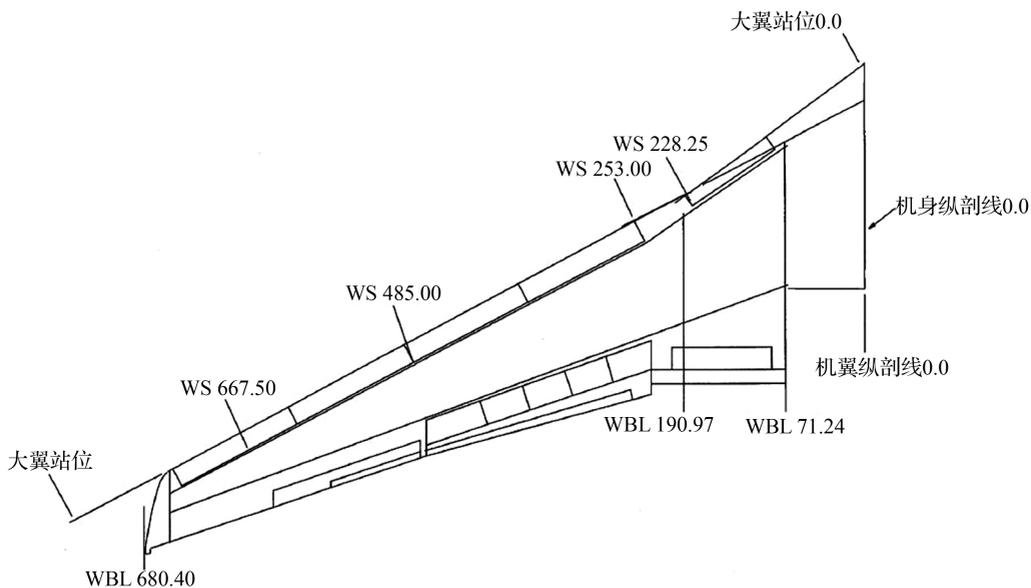


图 9.5 波音 737 飞机大翼站位图

3. 垂直安定面参考基准与尺寸

图 9.6 为波音 737 飞机的垂尾站位图，它有四个参考站位基准，FIN STA（Fin Station）垂尾站位；LE STA（Leading Edge Station）前缘站位，其参考原点在图中也有标识；另外还有 RUD STA（Rudder Station）和 FIN WL（Fin Waterline）。

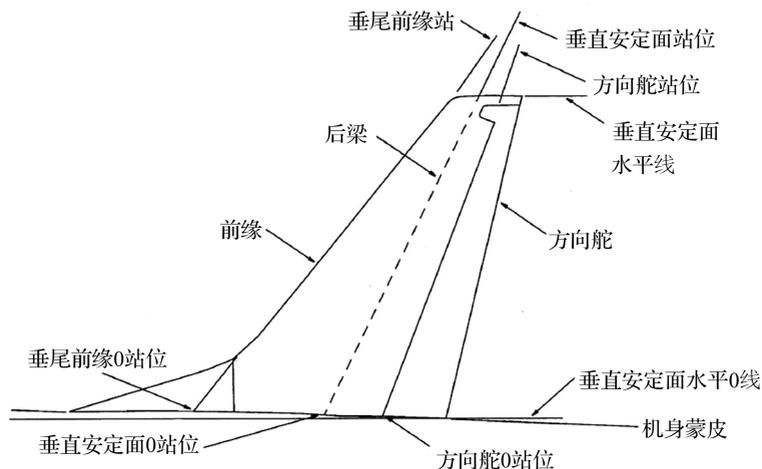


图 9.6 波音 737 飞机垂尾站位图

4. 水平安定面参考基准与尺寸

图 9.7 为波音 737 飞机的水平安定面站位图，它同样有四个参考站位基准：STAB BL (Stabilizer Buttock Line) 安定面纵剖线；ELEV STA (Elevator Station) 升降舵站位，参考基准如图 9.7 所示；另外还有 LE STA (Leading Edge Station) 和 STAB STA (Stabilizer Station)。

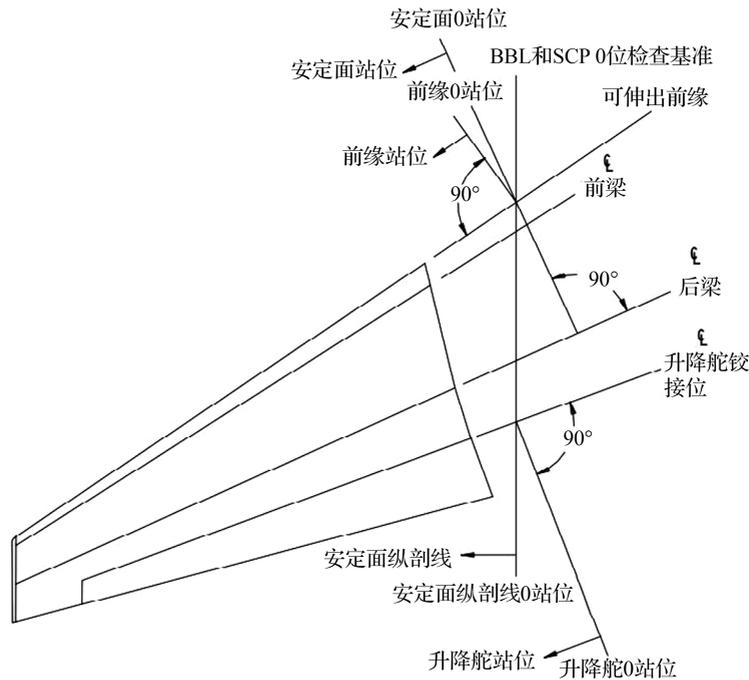


图 9.7 波音 737 飞机水平安定面站位图

注：BBL——机身纵剖线；
SCP——安定面弦线。

5. 飞机结构的分区

图 9.8 为波音 737 飞机的结构分区图，每个区域对应三位数的编码，便于查找飞机的零部件和定位。主要分区又可以划分为子分区，子分区又被分为区域。表 9-1 给出了几种机型的分区编码。

表 9-1 不同机型的分区编码

区域	波音 737-300/400/500	波音 737-600/700/800/900	空客 A319/320/321
100	上半机身	下半机身	下半机身至增压区
200	下半机身	上半机身	上半机身至增压区



续表

区域	波音 737-300/400/500	波音 737-600/700/800/900	空客 A319/320/321
300	左大翼	尾椎	安定面
400	右大翼	发动机短舱及吊架	短舱
500	左短舱	左大翼	左大翼
600	右短舱	右大翼	右大翼
700	尾椎	起落架及其舱门	起落架
800		门类	门类

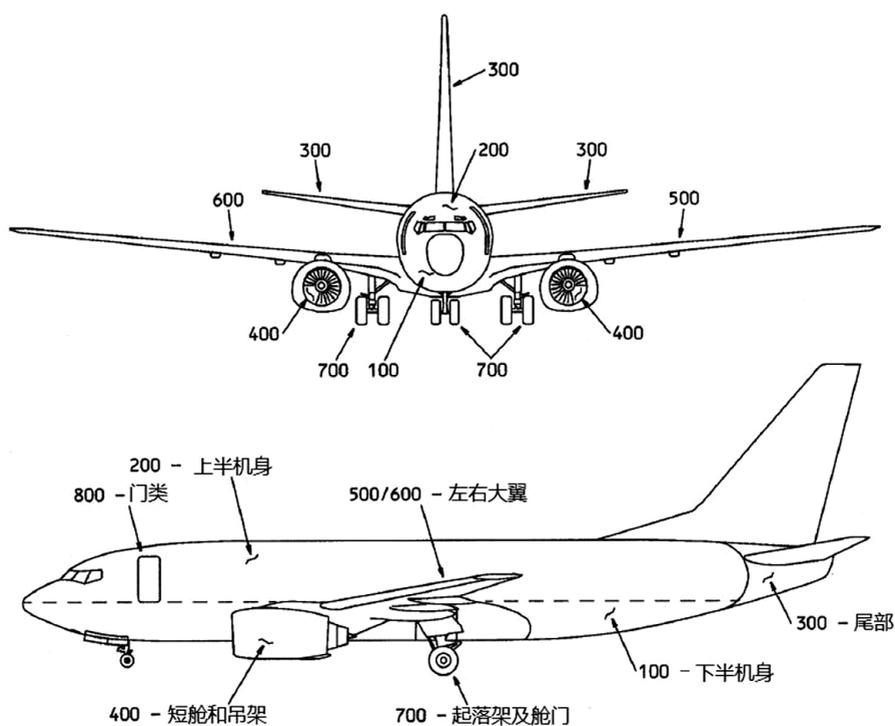


图 9.8 波音 737-800 飞机的分区

思考题

1. 依据波音 SRM 手册，飞机的结构件是如何进行分类的？
2. 如何通过飞机的站位来描述飞机上某一具体位置？
3. 简述波音 737 飞机的分区编码。
4. 简述空客 A320 飞机的分区编码。

第 10 章 飞机结构修理常用工具和材料

10.1 结构修理常用材料

熟悉飞机结构修理常用材料是进行结构修理的前提，民用航空器常用的材料可以分为金属材料和非金属材料两大类。金属材料以其优异的性能在现代社会生产、生活、科研等方面是必不可少的物质。鉴于复合材料的可设计性、高比强度、高比模量等优异性能，复合材料在民用航空器上也得到了大量应用。另外，一些橡胶和陶瓷材料在飞机上也有大量应用。

思政之窗

陈超是江西洪都集团的钣金工人，他用技能为自己代言。在钣金成型领域，陈超既是“技能大师”，也是“救急高手”。2009年，在某重点型号设备的制造工作中，陈超所在的钣金厂承担着该型号进气道双曲面内蒙皮（蛇形件）零件试造任务，“特急件，赶进度，上面要求我们2天内拿出零件交付给初装单位”，在领导支持下，陈超迅速组织了一支团队攻关该项目。连续奋战18个小时后，零件顺利交付喷漆，圆满完成了攻坚任务。

机务人员应当磨炼自己的意志，以机务工作为荣，努力提高维修技能，争先创优。同时，机务人员在工作中要敢于挺身而出，攻坚克难，为飞机的安全飞行保驾护航。

民用航空器选用材料的原则主要是降低飞机结构的重量，提高飞机的结构效率，所以飞机结构应选用轻质、高强度和高模量的材料。为确保飞机的安全性和经济性，还应综合考虑材料的韧性、疲劳和断裂特性、耐蚀性以及材料的市场价格。

金属按其成分不同，可分为纯金属和合金。下面以飞机上常用的铝合金、钛合金和钢构件为例进行说明。

1. 铝及铝合金

工业纯铝是银白色的金属，它的比重仅为钢铁比重的1/3。它的导电性、导热性很高，热膨胀性较大。纯铝还有良好的反辐射热性能，受到辐射热时，温度升高慢，常用



作涡轮喷气发动机的隔热铝箔。

纯铝在大气中具有良好的耐蚀性。这是因为纯铝与氧有很强的亲和力，生成均匀而致密的 Al_2O_3 薄膜，将铝和空气隔绝起来。

纯铝的强度很低，但塑性很高，可以进行冷压加工。用途：冶炼铝合金，用作铝合金表面的包覆材料，制作铆钉、铝箔，代替铜作导电材料。

铝合金按加工方法不同，分为变形铝合金和铸造铝合金。在国际变形铝合金的标记中，铝锰合金（3000 系列）和铝镁合金（5000 系列）是防锈铝合金，铝铜合金（2000 系列）是硬铝合金，铝锌合金（7000 系列）是超硬铝合金，而铝镁硅合金（6000 系列）是锻铝合金。铝锌系列的铸造铝合金液态时流动性较好，适于铸造成型。

图 10.2 是飞机上常用的一种 2024 铝合金。



图 10.1 工业纯铝



图 10.2 2024 铝合金及其应用

按国际通行标注方法（以美国标准为例）进行标记，如图 10.3 所示。

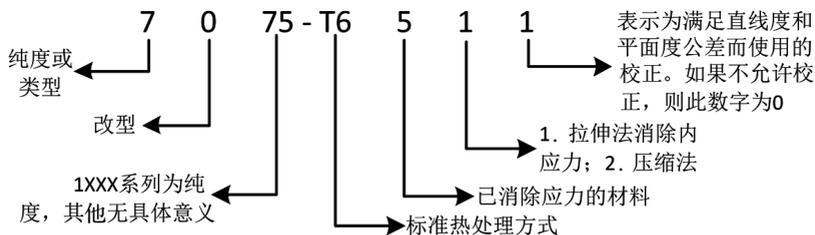


图 10.3 美标铝合金的标识

2. 钛及钛合金

纯钛是白色金属，熔点为 $1668^{\circ}C$ ，密度为 $4.5 g/cm^3$ 。纯钛的强度不高，塑性好。杂质氧、氮、氢、碳、硅、铁等会使钛的强度大大提高，使塑性有所降低。其中氢的影响最严重，其含量超过 0.015% ，便引起显著的氢脆。

表 10-1 给出几种钛合金的性能及应用。

表 10-1 几种钛合金的性能及应用

合金	热处理状态	强度 KSI	供应形式	应用范围	特点
商业纯钛	退火	50~80	板材	门槛、引气管、防火墙、非结构接头	比不锈钢更好的比强度，优秀的抗腐蚀性能及成形性
Ti-3Al-2.5V	冷加工和应力释放，退火	100~125	管材	波音 757/767 高压液压管	比钢件轻，减轻重量
Ti-6Al-4V	退火，BEAT 退火，固溶与时效	120~160	板材、锻件、铸件、挤压件	起落架区域、防火墙、风挡框架、襟翼接头、地板骨架、液压接头、紧固件	比钢件轻，减轻重量；比铝件节省空间
Ti-6Al-6V-2Sn	固溶与时效	150~170	板材、锻件	波音 747 上主要用于起落架和机翼接头、襟翼支撑件	强度更高的钛合金，重量更轻
Ti-10V-2Fe-3Al	固溶与时效	180	锻件	波音 757 的耳轴轴承箱、辅助襟翼滑轨、门铰链，波音 737 吊架上接头	减轻重量
Ti-13V-11Cr-3Al	固溶与时效	200~230	弹簧	起落架和门区域的弹簧	减轻重量

钛合金的比重较小，而强度几乎接近合金钢，抗蚀性又不低于不锈钢。在 400℃ 以下，钛合金的机械性能变化很小，耐热性大大超过铝合金。

航空工业中使用较多的钛合金是 TC4 合金。这类合金属于钛铝钒系合金，它具有较好的综合机械性能，在 400℃ 下组织稳定，有较高的热强度。合金的热塑性良好，适用于锻造和锻压成型，可用多种方法焊接，接头强度可达基体强度的 90%。

3. 碳钢与合金钢

钢是以铁和碳元素为主要成分的合金，它的含碳量一般在 0.02%~2.11% 之间。钢材按照化学成分不同，分为碳素钢和合金钢两大类：碳钢=铁+碳+少量的杂质（锰、硅、硫、磷等）；合金钢=碳钢+合金元素。

钢按用途不同，分为结构钢、工具钢和特殊性能钢。结构钢，用来制造各种工程结构和机器零件；工具钢，用来制造各种工具；特殊性能钢，包括不锈钢、耐热钢、耐磨钢等。

钢按化学成分不同，分为碳钢和合金钢。碳钢，按含碳量可分为低碳钢（含碳量 ≤0.25%）、中碳钢（0.25% < 含碳量 ≤0.6%）和高碳钢（含碳量 >0.6%）。合金钢，按合金元素含量可分为低合金钢（合金元素总含量 ≤5%）、中合金钢（合金元素总含



量在 5%~10%) 和高合金钢 (合金元素总含量>10%)。

钢按钢材中所含有害杂质磷、硫的含量,可分为普通钢、优质钢和高级优质钢。合金钢的牌号标识如图 10.4 所示,表 10-2 为波音飞机常用的合金钢材料。

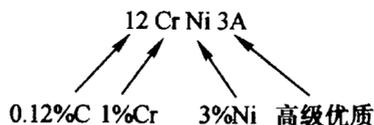


图 10.4 合金钢的标识

表 10-2 波音飞机常用的合金钢材料

合金	强度 (KSI)	材料形式	应用区域	使用原因
4340M	275~300	棒材和锻件	起落架组件、襟翼滑轨、襟翼滑架、接头	高的比强度和高弹性模量
4330M	220~240			
9N1-4Co-0.30C	220~240	棒材和锻件	发动机后固定组件	极强的高温稳定性和高强度
304/321/347	最小 75	板材	厨房、厕所的门槛,装饰片	良好的加工性
21-6-9	142~162	管材	液压系统、仪器线路	优秀的抗腐蚀性能、高强度和加工性能 (厚度大于 0.063 in)
304/321/347	最小 75			
17-4PH	180~200	铸件	控制杆、接头和机匣	优秀的抗腐蚀性能和良好的加工性能
	150~170			

10.2 结构修理常用工具

在钣金加工中,常用的工具及设备包括:气钻、铤钻、台虎钳、定位钳、定位销、铆钉剪、铆枪、顶铁、拉铆枪、压窝模、引孔器、锉修工具、打磨工具、剪板机等。



气钻的介绍

1. 气钻

气钻是飞机铆接工作中常用的工具之一。常见的结构形式有:手持枪式气钻、弯角气钻、90°直角气钻等。图 10.5 为一种手持式直角气钻。

为了保证气钻正常使用、延长使用寿命和发挥最大功能,平时必须注意维护。气钻的使用与维护要求如下:

保证供给足够的工作气压。输气管路要安装油水分离器,以防止水和油污进入风钻。对连续使用的气钻,每日工作前,从气钻进气口加入几滴润滑油。装、卸钻头时要



图 10.5 气钻和钻头

用钻钥匙，不准用铁锤或冲子击打钻夹头，以免将气钻主轴损伤或使之变形，影响气钻的精度。

2. 钻头

机械加工中加工孔的刀具分为两类：一类是在实体工件上加工出孔的刀具，如扁钻、麻花钻、中心钻和深孔钻等；另一类是对工件上已有的孔进行再加工的刀具，如扩孔钻、铰钻、铰刀及镗刀等。

麻花钻是制孔时常用的一种钻头。如图 10.6 所示，标准麻花钻的结构由柄部、颈部、工作部分组成。柄部包括钻柄和颈部，钻柄供装夹用。工作部分又分为切削部分和导向部分。导向部分在钻孔时起引导钻头方向和修光孔壁的作用。

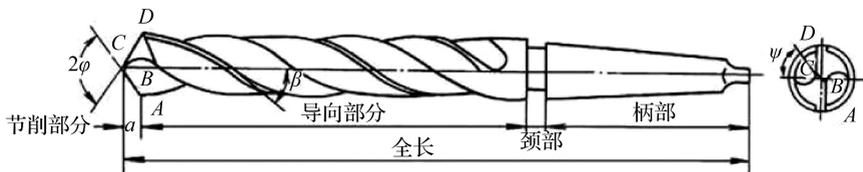


图 10.6 麻花钻的基本构造

3. 气动冲击铆枪

冲击铆枪是冲击铆接实心铆钉时经常使用的工具之一，它一般与顶把配套使用。图 10.7 为冲击铆枪与其配套工具。

使用冲击铆枪时应注意：不能随意开空枪，以免损坏机件；应保持规定的进气压力；应“先顶紧，后开枪”；“轻—重—轻”是锤击铆钉时按压按钮的规律。在使用时常注油润滑。

顶把的形状和重量可以分别根据工况和所冲击铆钉强度进行选择。铆窝在选用的时候要根据所冲击的铆钉头型来确定，一般铆窝分为平头铆窝和带凹槽的铆窝，带凹槽的铆窝又可以根据所冲击铆钉的头型再进行细分。



铆枪的介绍



图 10.7 铆接工具



4. 定位销

定位销又称穿心夹、弹簧销、可利克定位销，它有多种形式，如图 10.8 所示。定位销常用于薄板件的临时紧固和定位，一般用于总厚度在 3 mm 以内的连接件上。图 10.9 是其中一种应用压钳配合定位销钳使用的一种定位销。



定位工具的认识与使用



图 10.8 定位销



图 10.9 应用压钳操作的定位销

5. 铆钉剪

在没有所需长度的普通实心铆钉时，可使用铆钉剪把铆钉剪切成所需要的长度。铆钉剪，如图 10.10 所示。使用旋转式铆钉剪时，把铆钉插入适当孔中时，在铆钉头下面放上所需要数目的垫片，铆钉杆的长度就取决于这垫片的数目。铆钉剪像一把钳子一样，盘刀旋转就会把铆钉杆切成适当长度。



图 10.10 铆钉剪

6. 铤窝器

铤窝器常用的刀头角度包括 90° 、 100° 和 120° 等，它主要用于加工安装埋头钉的锥形孔，其铤窝深度可以通过外侧限位套的调整来控制，铤窝后的角度由所选用的铤窝刀头的锥度而定。图 10.11 为一种组合式铤窝器。



铤窝器视频



图 10.11 铤窝器分解和调节

7. 夹钳

夹钳主要在零件装配过程中用夹紧力临时固定工件之间的相对位置。在图 10.12 中，从左到右依次为 C 形夹、平口大力钳和扳手夹。

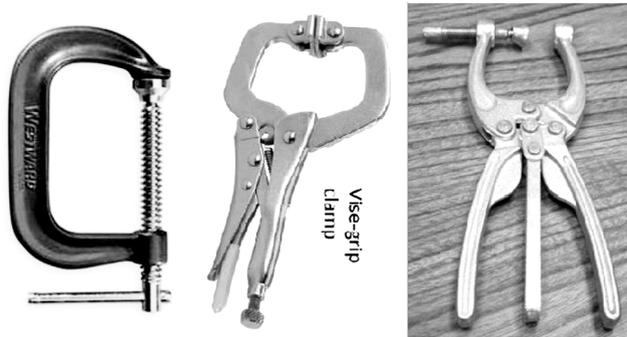


图 10.12 几种夹具

8. 台虎钳

台虎钳，如图 10.13 所示，主要安装于工作台面，加持力较大，适合钳工或钣金加工时夹持固定零部件。

9. 剪切工具及设备

剪切是钣金工应用的主要下料方法。它具有生产效率高、剪断面比较光洁、能切割板材及各种型材等优点。如图 10.14、图 10.15 和图 10.16 所示，航空常用剪切工



图 10.13 台虎钳



具和设备有左弯剪、直剪、右弯剪、台剪和脚踏剪板机等，以上剪切工具和设备可根据被剪切材料的强度和具体工作状况进行选择使用。

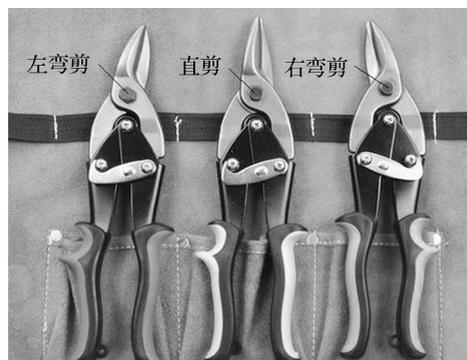


图 10.14 手持式剪刀



图 10.15 无喉台剪



图 10.16 脚踏剪板机



剪切设备

10. 折弯机

手工弯曲常用的设备是手动折弯机，它主要用来弯曲简单的直线零件。典型的折弯机如图 10.17 所示。

11. 压铆工具

使用压铆法铆接时，要用到压铆工具，图 10.18 是两种压铆工具。



图 10.17 手动折弯机



图 10.18 压铆工具

思考题

1. 国际变形铝合金中 2xxx、3xxx、5xxx、6xxx和 7xxx分别代表哪种铝合金？
2. 试分析 2024-T3 材料的物理特性。
3. 简述钛合金的物理、化学特性。
4. 钢材常用于飞机上哪些零部件？
5. 简述气钻的使用方法与安全注意事项。
6. 简述铆枪的使用方法与安全注意事项。

第 11 章 钣金放样与折弯

用板料制成各种立体构件前，要先根据构件的零件图画出其展开图，然后按展开图下料、加工成型，或者再由焊接、扣缝或铆接等将零件连接起来制成构件。

在板料表面 1:1 地画出零件展开图的方法称为放样。放样的基本原理是将复杂零件各部分的投影尺寸，按实际展开，随后组合成一个完整的展开形状。放样的基本方法有四种：平行线展开法、三角形展开法、射线展开法和近似展开法。

11.1 平行线展开法

当构件由棱柱或圆柱面构成时，可沿构件表面假想的棱线（素线）将构件切开，然后将其表面沿着与棱线垂直的方向依次摊平在一个平面上，便可得到该构件的展开图。由于棱线在摊平前、后是互相平行的，利用这一特性找出这些平行棱线间的距离及其长度，即可得到展开图。按这一原理绘制展开图的方法，称为平行线展开法。

(1) 棱柱管的侧面都是四边形，而且棱线相互平行。因此，只要求出各侧棱和底边的实长，就可以画出棱柱表面的展开图，如图 11.1 所示。

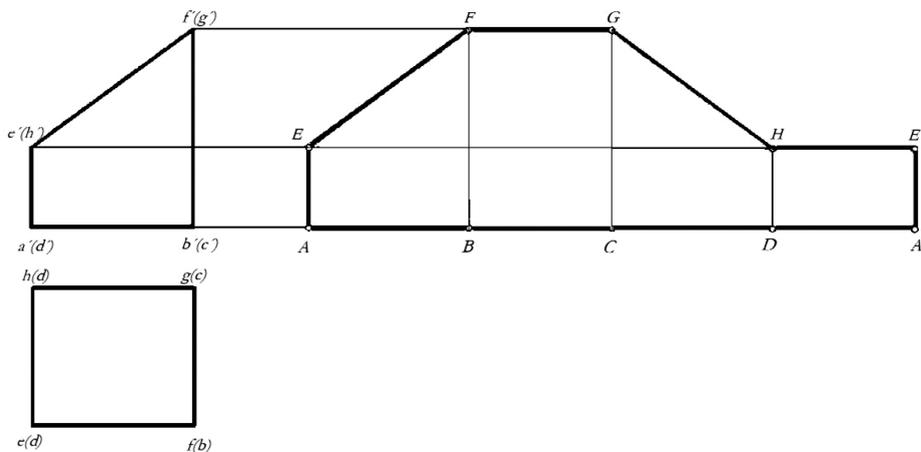


图 11.1 四棱柱管的展开

(2) 正圆柱表面的展开图是一个以柱高为 H ，以 πD (D 为圆柱直径) 为底的矩形，当正圆柱被一平面 P 斜截，其上下面不平行，顶面被平面 P 斜截的为椭圆，下底为圆，如图 11.2 所示。

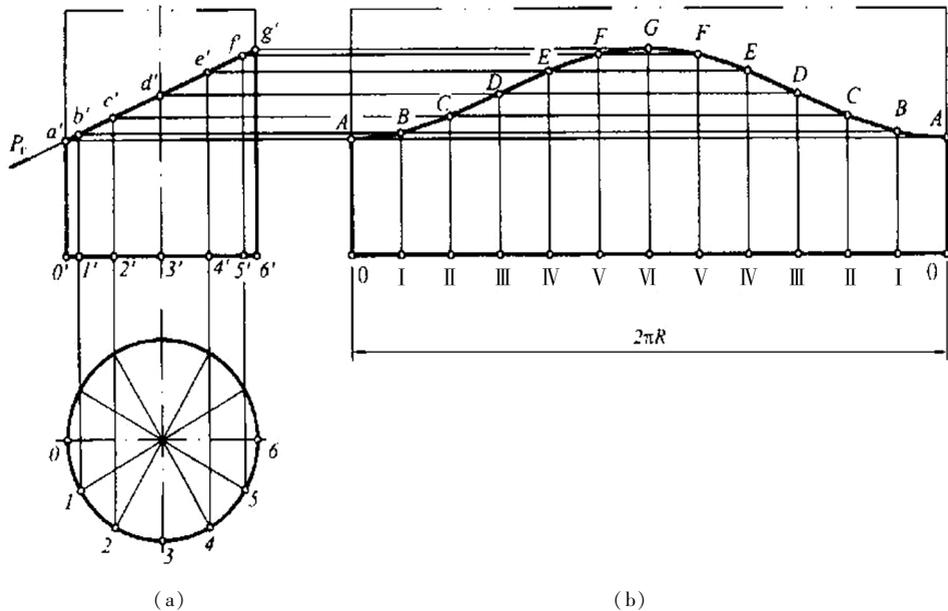


图 11.2 斜截正圆柱表面的展开

11.2 射线展开法

对于棱锥面或圆锥面的构件，假设沿其棱线（素线）将构件切开，然后将表面打开，摊平在平面上，便得到展开图。锥面的棱线在展开前汇于锥顶，展开后仍交于一点，因此这种方法称为射线展开法。

(1) 正圆锥的特点是表面所有素线长度相等，圆锥母线为它们的实长线，展开图为一扇形，如图 11.3 所示。

(2) 当正圆锥被一正垂面 P 斜截，其表面展开后如图 11.4 所示。

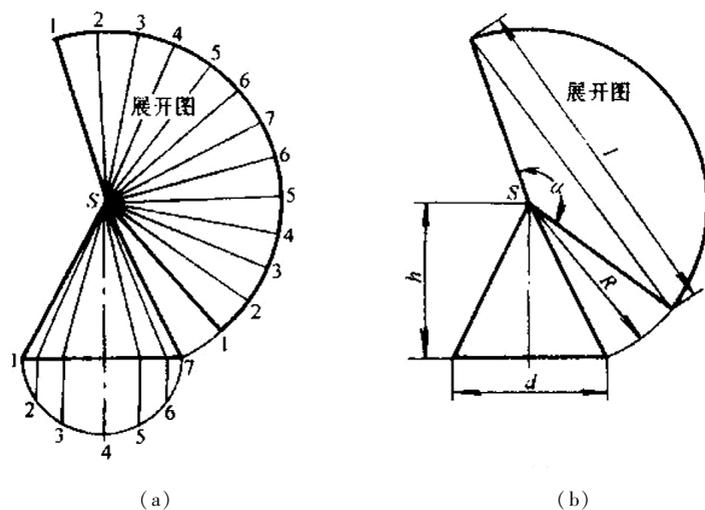


图 11.3 正圆锥的展开

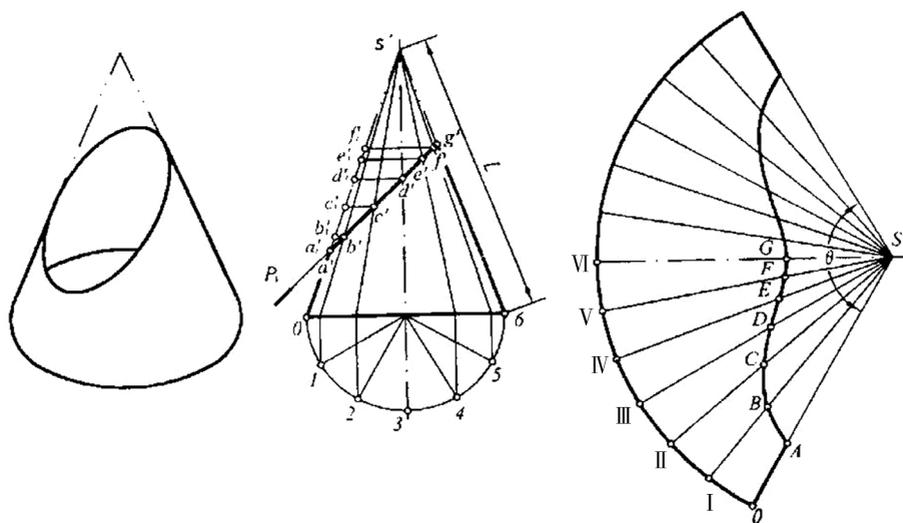


图 11.4 斜截头正圆锥表面的展开

11.3 三角形展开法

三角形展开法是以立体表面棱线（素线）为主，并画出必要的辅助线，将立体表面分割成一定数量的三角形平面，然后求出每个三角形的实形，并依次画在平面上，从而得到整个立体表面的展开图。三角形展开法适用于各类形体，只是精确程度有所

不同。

由图 11.5 的主、俯视图可知，正四棱锥筒的上口和下口的各线段在视图中反映实长，而四条棱线及对角线为一般位置线，不反映实长。四条棱线及对角线可用直角三角形法求其实际长度。

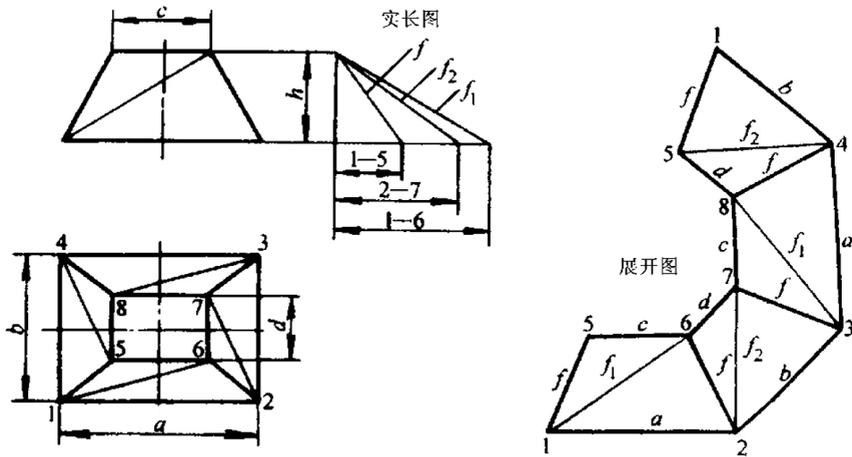


图 11.5 正四棱锥筒的展开

11.4 近似展开法

曲线面中所有棱线均为曲线，相邻两棱线不能构成平面的，则为不可展面，例如球面等，如图 11.6 所示。

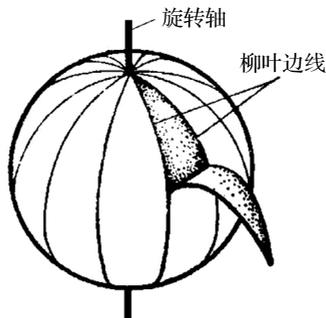


图 11.6 柳叶式展开球面

为满足生产的需要经常要画出不可展曲面的展开图，这只能采用近似的方法作图。



其方法是将不可展曲面分为若干小块，使每一部分的形状接近某一可展面，然后画出其展开图。图 11.7 为球面采用柱面法的近似展开的示意图。

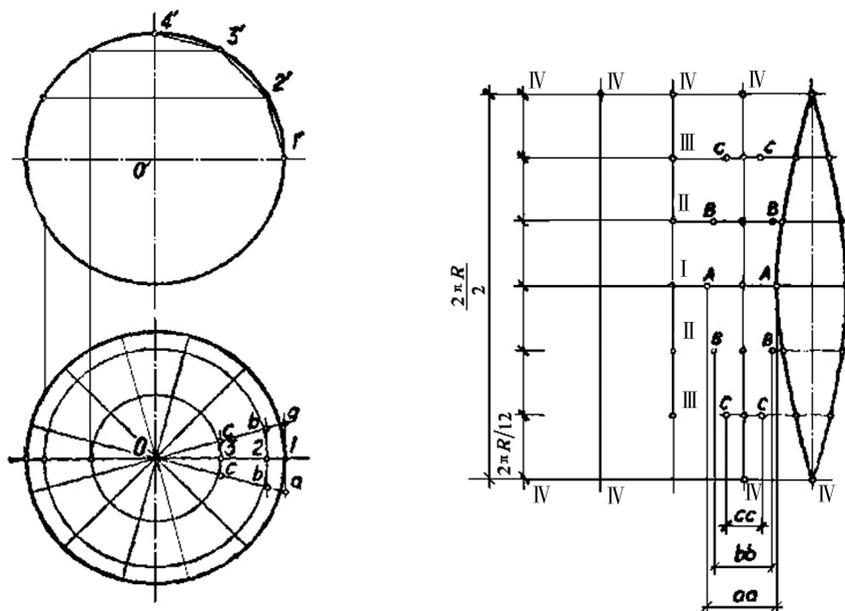


图 11.7 球面的近似展开

11.5 折弯的展开计算

根据金属材料的塑性变形，将毛坯弯成一定曲率、一定角度而形成所需零件形状的过程叫作弯曲。飞机的许多零、构件都是通过弯曲工艺实现的。弯曲按工艺操作形式不同可分为手工弯曲和机械弯曲两类。

1. 最小弯曲半径

板料的弯曲半径是指曲面内边的弯曲半径。板料的最小弯曲半径是指材料在不发生破坏的情况下，所能弯曲的最小曲率半径，以 R_{\min} 表示。制作工件时，板料的弯曲半径应大于或等于该材料的最小弯曲半径。这种弯曲不会使板料的强度产生破坏性的减弱。如果弯曲的半径过小，即小于最小弯曲半径，就会使材料弯曲处的机械性能受到很大的损害、引起撕裂。因此，材料的最小弯曲半径是零件的弯曲极限。值得注意的是，采取适当的工艺措施，可以在一定程度上改变材料的最小弯曲半径。板料的最小弯曲半径与材料种类、热处理状态和板料厚度等有关。

影响最小弯曲半径 R_{\min} 的因素有：

- (1) 材料的塑性指标。塑性指标 (δ 、 ψ) 越高, R_{\min} 越小。
- (2) 材料的厚度。厚度小, R_{\min} 小, 厚度大, R_{\min} 大。
- (3) 材料纤维方向与弯折线的夹角。垂直时 R_{\min} 最小, 平行时 R_{\min} 最大。以 20 号钢为例, 当弯折线与纤维方向所成角度为 90° 时, $R_{\min} = 0.3 t$; 45° 时, $R_{\min} = 0.4 t$; 平行时, $R_{\min} = 0.8 t$ 。
- (4) 板料的边缘及表面状态。边缘有毛刺、冷作硬化、表面划伤等缺陷, 弯曲时易裂, 弯曲前要清除边缘毛刺并用砂纸打磨光滑, 弯边交接处应钻止裂孔。

2. 弯曲工件的回弹

众所周知, 弯曲时, 材料的变形由弹性变形过渡到塑性变形。通常在材料发生塑性变形时, 总还有部分弹性变形存在, 弹性部分在卸载后, 会恢复原态, 以致弯曲材料内层被压缩的金属又有所伸长; 外层被拉伸的金属又有所缩短, 结果使弯曲件的曲率和弯曲角度发生小量的变化, 这种现象称为回弹, 如图 11.8 所示。由于回弹存在, 它影响弯曲件的准确度, 所以, 在制作弯曲件时要考虑消除回弹的影响, 保证工件要求。

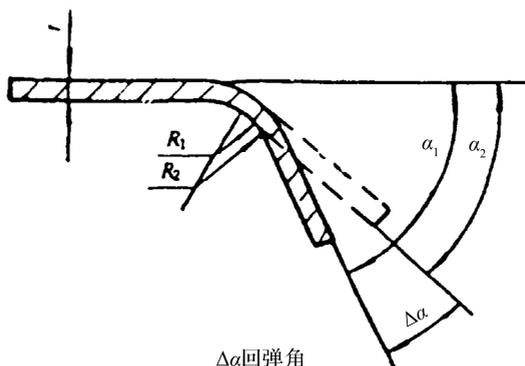


图 11.8 弯曲工件的回弹

影响回弹的因素如下:

- (1) 材料的机械性能、屈服强度或弹性模数 E , E 值越大时, 回弹越大。
- (2) 变形程度, 即相对弯曲半径 R/t 值大, 变形程度小, 回弹大。反之 R/t 值小, 回弹小。
- (3) 弯曲角度, 弯曲角度大则变形部位长, 累积回弹量大。
- (4) 弯曲形状及弯曲方式, 一般形状复杂回弹小, 手工弯曲比冲模弯曲回弹量大。生产中, 一般通过试弯, 再采取克服回弹的措施。

3. 弯曲件的折弯展开长度计算

板料弯曲时, 内层材料 ab 受压缩短, 外层材料 $a''b''$ 受拉伸长, 板厚度中间靠内层有一层材料 $a'b'$ 不伸长也不缩短, 被称作中性层, 如图 11.9 所示。因此, 折弯件的展

开长度可以由中性层长度不变的性质来计算。

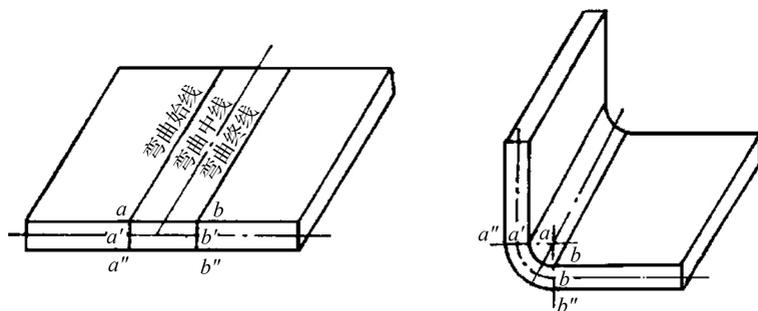


图 11.9 板料弯曲时的变形

一种算法是可以按中性层展开进行计算，如图 11.10 所示，弯曲件展开长度由直线段和圆弧段组成，其中任意角度中性线弧长 L_3 的计算公式为：

$$L_3 = \frac{\pi\varphi}{180^\circ} \cdot (R + x_0t) = 0.0175(180^\circ - \alpha)(R + x_0t) \quad (11-1)$$

式中， x_0 ——中性层位置系数。

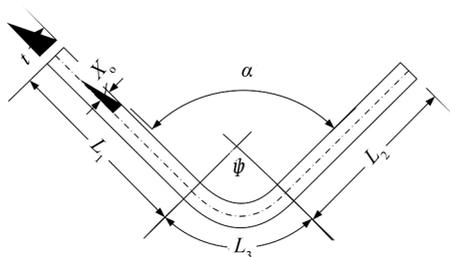


图 11.10 任意角度弯曲件展开

零件不论有几个弯角，皆可按上述方法算出弧长，之后各长度相加得出展开长度。当 $\alpha=90^\circ$ 时，则有

$$L_3 = \frac{\pi}{2}(R + x_0t) \quad (11-2)$$

另外，对于薄板单角并近似直角的弯曲件，如图 11.11 所示，可以按公式 $L=a+b-(R/2+t)$ 计算；对于弯 180° 且 $R/t \approx 0.1$ 时的弯曲件，如图 11.12 所示，按公式 $L=A+B-t/2$ 计算。

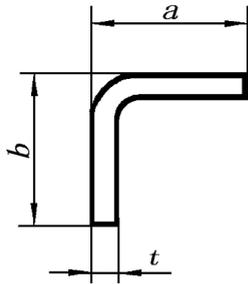


图 11.11 单角直角弯曲件

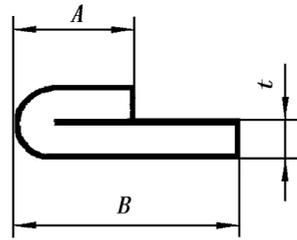


图 11.12 180°单角弯曲件

思考题

1. 简述放样的定义。
2. 平行线展开法和射线展开法分别适用于哪些立体零件的平面展开?
3. 什么叫最小折弯半径? 影响最小折弯半径的因素有哪些?
4. 什么叫回弹? 影响回弹的因素有哪些?
5. 简述中性层的定义。
6. 简述如何利用中性层计算折弯件的展开长度。

第 12 章 结构类常用紧固件

飞机制造和维修中要用到数以千计的紧固件和小元件，正确选用和合理使用航空紧固件，是保证飞机连接强度、正常工作，并可靠、安全、高效运行的必要条件。

飞机结构上常用的紧固件包括铆钉、螺纹紧固件和特种紧固件等。

12.1 螺纹紧固件



航空紧固件

螺纹类紧固件包括螺栓、螺钉、螺母等。多数情况下螺纹紧固件需要配合其他元件一起使用，这类元件有垫圈、弹簧垫圈、销、钉等。我们将它们归到此类一块介绍。在欧美飞机上，经常用到的航空紧固件编号类型有以下四种：

BAC ——波音规格，如 BACB30 螺栓、BACR15 铆钉；

AN ——美国海军规格；

NAS ——美国国家航空标准；

MS ——美国军用标准。

航空螺栓按其用途不同，可以分为常用螺栓和专用螺栓。按其精度不同，它可以分为普通螺栓和高精度螺栓。另外，它还可以按头型进行分类，有凸头型或埋头型两类，凸头型中有六方头、半圆头、扁圆头、12 角等；埋头型中有十字槽型、一字槽型、内六角型等。按材料不同，它可以分为不锈钢螺栓、钛合金螺栓、合金钢螺栓、铝合金螺栓等。

航空螺栓表面镀铬或镀锌，以提高其防腐性能和抗疲劳性能。波音飞机大多数采用 BACB30 或 AN、NAS 型的螺栓。图 12.1 是部分螺栓的标识。

如图 12.2 所示，螺栓的直径 D 指螺栓无螺纹部分（光杆）的直径；螺栓长度 L 是指螺栓头底部到螺杆尽头的总长； G 为螺栓光杆部分的长度。

美国空军和海军标准的发动机螺栓牌号是从 AN73 到 AN81 排列的。它是一种六方头的镍钢螺栓，加厚的螺栓头侧面开有打保险用的小穿心孔。螺栓直径以 $1/16$ in 为单位，长度以 $1/8$ in 为单位。AN 系列发动机螺栓的实际直径应该是牌号数减去 70 再乘以 $1/16$ in。例如，牌号为 AN74-6 的发动机螺栓直径是 $1/4$ in，长度为 $3/4$ in。

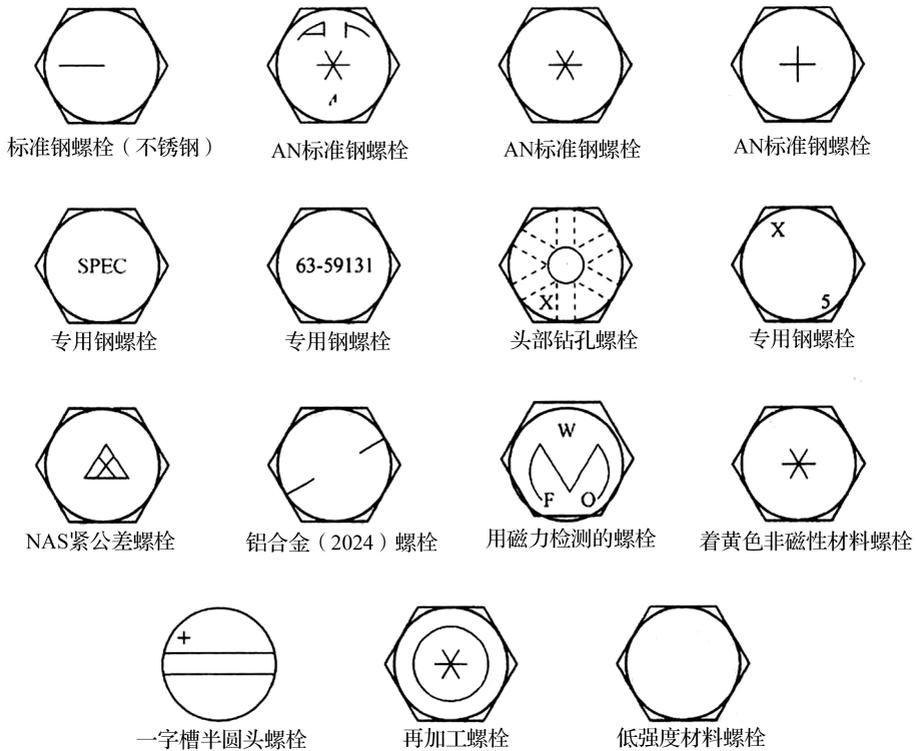


图 12.1 螺栓的标识

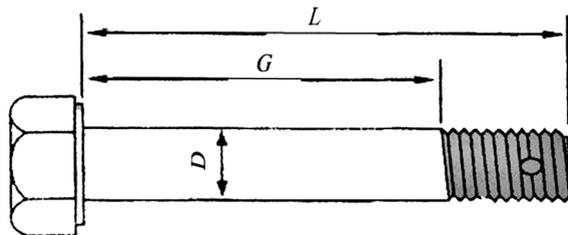


图 12.2 AN 螺栓的直径、长度和光杆长度

12.2 常用航空螺母和垫圈

1. 航空螺母

用于航空螺母的材料有：碳钢（表面镀镉）、不锈钢材、2024 铝合金（表面阳极化处理）等。



航空螺母分为两大类：自锁螺母和非自锁螺母。非自锁螺母在固定后要采用开口销、保险塞、防松螺母等外部保险方式来保证螺母的紧固性；而自锁螺母则自带保险性能，一般不需要特别采用保险措施。

常用的非自锁螺母有普通螺母、槽顶螺母、承剪螺母、普通六方头和薄型六方头螺母等。

图 12.3 为各种类型的非自锁螺母。

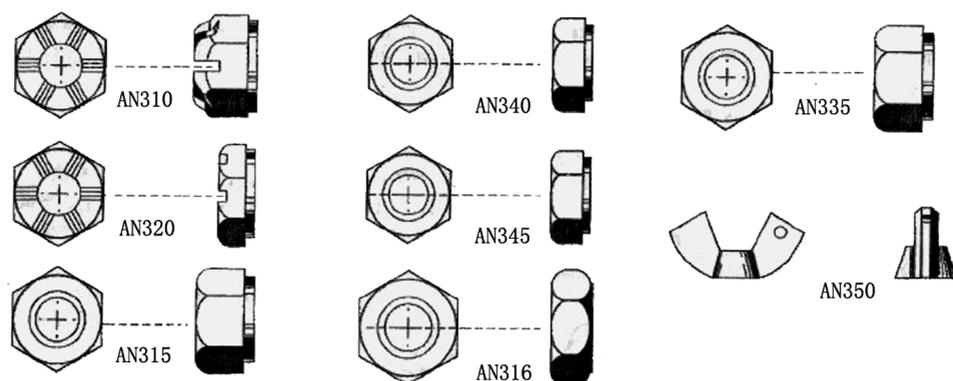


图 12.3 各种类型的非自锁螺母

自锁螺母或锁螺母按自锁结构设计，或设计有锁紧装置，使螺母在装配后能保持锁紧。常见的锁螺母有两种：纤维（尼龙）型和全金属型。

几种自锁螺母参考图 12.4。

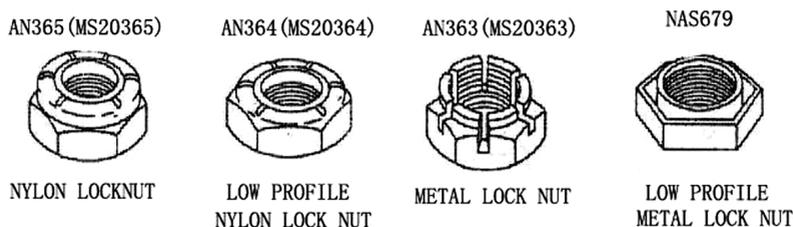


图 12.4 自锁螺母

2. 垫圈

常用的垫圈有普通型、簧板型和专用型。垫圈可以起到使承荷面受力均匀的作用，在修正螺母紧固螺栓后的光杆段长度时，还可以用来调节开口销插孔位置、防止螺栓因振动而松脱。

普通平板型垫圈如 BACW10AK * WP 和 AN960、AN970，用于六方螺母下面，提供

承载面，作为衬圈，调整螺杆长度。垫圈材料有铝、钢、不锈钢。铝制垫圈用于铝或镁构件，防止电化腐蚀。

弹簧垫圈的材料为弹簧钢，是一种有开口并且经过扭转的垫圈。安装后弹簧垫圈的弹力可增加螺母的摩擦阻力，使紧固件避免因振动而松脱。

在现代的民用航空器结构中，常用的垫圈有两种：AN395 和 AN936。AN395 最常见，AN936 是一种相对薄的垫圈，一般用在飞机结构的内沿或外缘上。

常见的航空垫圈形式如图 12.5 所示。

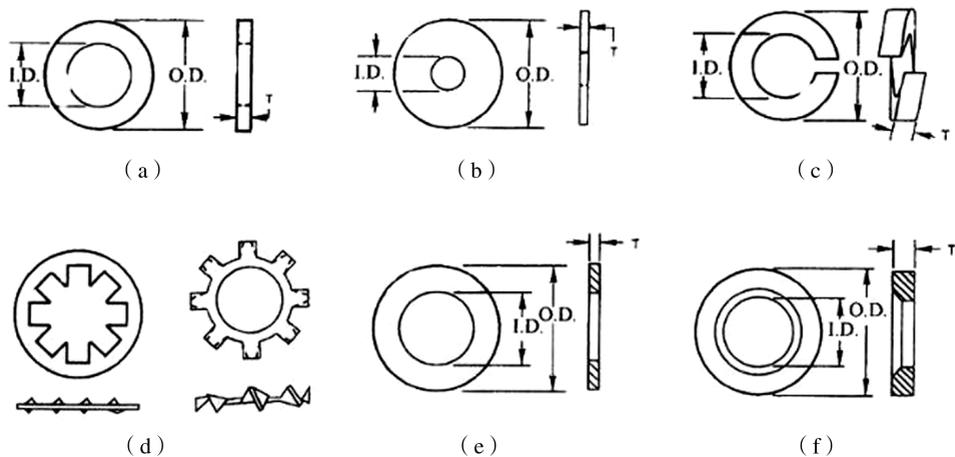


图 12.5 各种类型的垫圈

12.3 航空螺钉

航空螺钉也是在航空器中最常用的螺纹紧固件之一。螺钉有三种基本类型：机械螺钉、结构螺钉和自攻螺钉。其中，自攻螺钉在飞机上较少使用。

(1) 机械螺钉常用于装饰板、地板、管路支架等。装配精度为二级松配合。常见的机械螺钉有：凹头机械螺钉、沉头机械螺钉、圆头机械螺钉、扁圆头机械螺钉和六方头机械螺钉。

(2) 结构螺钉由经过热处理的合金结构钢制成，它和螺栓有一样的强度。螺纹规格符合美国国际细螺纹 (NF) 标准，安装所需的公差类似于 AN 标准的六方头螺杆。结构螺钉如图 12.6 所示。

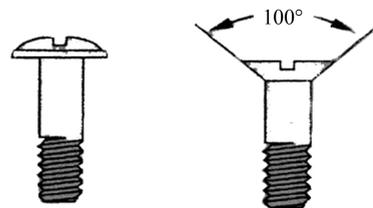


图 12.6 常用航空螺钉



(3) 一般应用于飞机结构上的销钉有滚柱销、销轴销钉、开口销、锥形销等。销钉的作用是承受剪切力和打保险。

12.4 高锁螺栓

高锁螺栓有很多种类，在民航常见的有 HI-LOKS, HI-LITES, CHERRYBUCKS 等。高锁螺栓由螺栓杆和螺母组成。螺栓杆部分与一般螺栓基本一样，分为光杆部分和螺纹部分，但它的螺杆尾部端头只有内六角孔，装配时用于固定螺杆；螺母不同于普通螺母，由两部分组成，顶部（分离部）为外六角形状，内部不制螺纹，下部（锁环）为圆锥形，内部制有螺纹。顶部与下部连接的过渡区为细颈，强度比上、下部分较低。高锁螺栓的典型安装如图 12.7 所示。

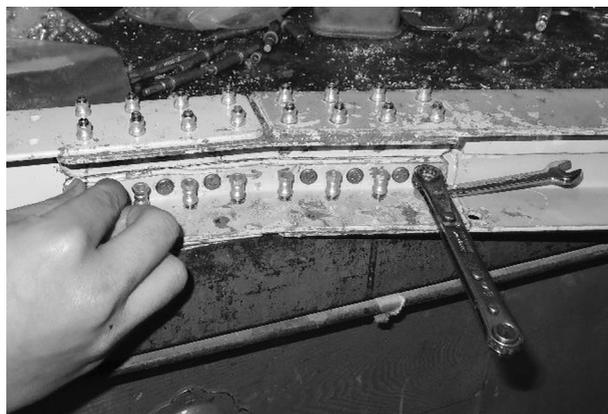


图 12.7 高锁螺栓的典型安装

高锁螺栓具有足够的强度，能承受较大的剪切和挤压载荷。它能从单面紧固，一般用于普通螺栓难以安装的地方，或者要求紧固扭矩值严格并且很少拆卸的场合，无须力矩扳手。

在铆钉无法满足强度要求的地方，使用非铝合金构件修理的地方，或者修理材料的厚度超过原有紧固件直径两倍的情况下，采用高锁螺栓进行连接。

在航空器结构修理中，对于厚度在 0.08 in 以上的构件，通常采用 Hi-Lock 螺栓作为紧固件。

施工过程应用到的工具有：套筒扳手和内六角扳手（艾伦扳手），或者专用工具。高锁螺栓装配时，先用内六角扳手（艾伦扳手）固定螺杆，将螺母旋入，用外六角扳手或套筒将螺母拧到装配位置后，继续转动直至螺母上部与下部断开，此时装配就完成了。

施工工具和操作如图 12.8 所示。

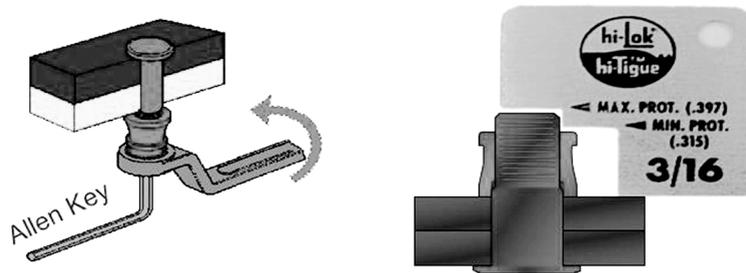


图 12.8 高锁螺栓施工和检查

对于高锁螺栓的长度确定，可以使用勾尺量出构件的夹层厚度，其光杆长度应等于测量所得的夹层厚度。因为大多数情况下，测量所得的夹层厚度并不一定与螺栓的光杆长度吻合，这时要选取与夹层厚度值相近的光杆长度的高锁螺栓。

在安装时高锁螺栓的光杆长度不能小于夹层厚度，即螺纹和过渡区域不能进入夹层厚度里面。如果螺栓的光杆较长，可以在露出夹层部分的光杆处加垫片。

高锁螺栓的拆除方法如下：

(1) 用镊子将钉套切开，冲出铆钉，其过程如图 12.9 所示。

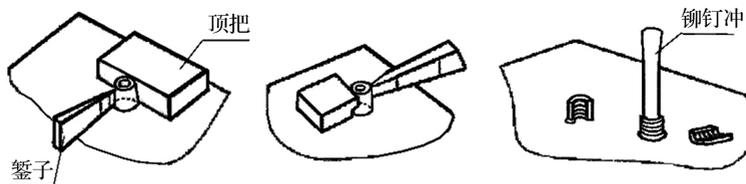


图 12.9 用镊子镊开钉套拆卸

(2) 用手动拆套钳将钉套剪开。手动拆套钳的结构形式如图 12.10 所示。

(3) 用螺母破切器将螺母锁套破坏，再用平冲将钉杆冲出。或者借助专用的高锁螺栓拆卸工具拆除。螺母破切器如图 12.11 所示。

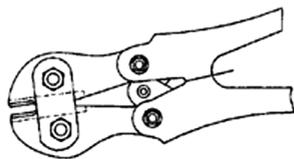


图 12.10 手动拆套钳



图 12.11 螺母破切器



12.5 常用实心铆钉

在铆接工艺中，铆钉以一个金属销钉的形式将两件或多件板材铆合在一起，形成牢固的连接。应用于飞机制造和修理的铆钉有两大类，即普通实心铆钉和专用铆钉。

1. 实心铆钉分类

普通实心铆钉的一端为铆钉头，另一端为待成型铆头，又称镦头。铆钉头在生产时已成型。镦头则是铆钉置入铆钉孔中后，通过敲击或挤压使铆钉杆尾端形成的铆钉头。普通实心铆钉主要承受剪力。

铆钉按装配后铆钉头是否凸出被连接件表面分为凸头铆钉和埋头铆钉，如图 12.12 所示。

凸头铆钉按铆钉头的截面形状又分为半圆头铆钉、扁圆头铆钉、通用头铆钉和平锥头铆钉等。这些凸头铆钉用来铆接飞机内部结构零件以及气动外形要求低的蒙皮。其中平头铆钉一般在客改货中有应用。

埋头铆钉又称沉头铆钉，它的头型为平顶锥面式，埋头锥角有 78° 、 100° 和 120° 等几种，其中应用最广泛的是 100° 埋头铆钉。埋头铆钉用于气动外形要求较高的外表面及要求平整的内部结构。

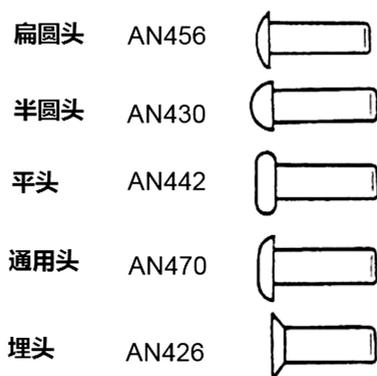


图 12.12 不同头型铆钉

航空用的实心铆钉通常由铝合金、不锈钢和蒙乃尔合金等材料制成。不同材料制成的铆钉，其性能不一样。为了区别铆钉材料的不同，通常在铆钉头端面上制出规定的标记，以便识别。例如，在铆钉头端面上制有凹点、凸点、凸划、凸十字等标志来表示铆钉的材料。常见铆钉材料、代号、铆钉头端面标志以及特点和应用见表 12-1。

表 12-1 铆钉材料、代号、标记及特点

铆钉材料	代号	铆钉头端面标记	特点及应用
1100	A	无任何标记	1100 为含铝 99% 的纯铝, 用其制造的铆钉硬度低, 耐腐蚀, 主要用于整流罩和客舱内设施的铆接
2117	AD	有一凹圆点 	2117 是以铜为主要合金元素的铝合金, 具有足够的强度, 抗腐蚀性好, 用之前无须进行任何处理, 有“外场铆钉”之称, 广泛用于飞机铝合金构件的铆接
2017	D	有一凸点 	2017 也是以铜为主要合金元素的铝合金, 具有较高的强度。在铆接前必须进行热处理降低其硬度, 并在 1 h 内铆接完毕, 否则铆钉就会变得很硬无法铆接。通常将 2017 铆钉热处理后立即放入低于 0℃ 的冰箱内, 在使用之前取出, 故称之为“冰箱铆钉”。铆接后 1 h 左右只具有其额定强度的一半, 约四天时间才能达到其额定强度。它用于强度要求较高的飞机铝合金结构件
2024	DD	 有两凸横杠	强度比 2017 稍高些以及其硬化期更短, 热处理后或从冰箱中取出后须 10 min 内铆接完毕, 否则铆钉变硬无法铆接。它用于强度要求最高的飞机铝合金结构件上
5056	B	有凸十字 	5056 是以镁为主要合金元素的铝合金, 约含镁 5% 左右, 应用于飞机镁合金结构件上
7050	E	有凸圆环* 	7050 是以锌为主要合金元素的铝合金, 它的强度比 2024 更高一些, 用 7050 制的铆钉主要用于高强度铝合金结构件上, 在波音 767 飞机上它取代了 2024 材料制的铆钉
蒙乃尔	M	有两凹点 	蒙乃尔 (Monel) 具有高强度和高抗蚀性, 用于铆接飞机上合金钢构件, 有时可替代不锈钢铆钉
不锈钢	F	有一凹槽** 	不锈钢铆钉的抗腐蚀能力极强, 应用于不锈钢材料或高温耐腐蚀的场合, 如飞机防火墙等

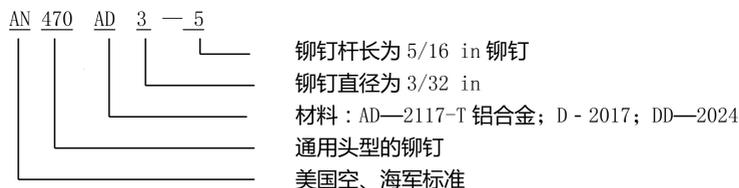
注: 表*——也有三条呈放射状的凸杠;

**——也有无任何标记的。

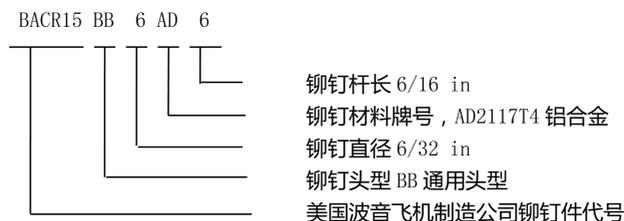


2. 铆钉件号的识读

AN 系列铆钉件号识读举例：



美国波音飞机制造公司对铆钉的型号规格也制定了编码标记。例如：



3. 普通实心铆钉的选择

选择铆钉主要指的是选择铆钉的材料、钉杆直径、长度以及钉头形状。选择铆钉的类型时，应考虑到连接处的静强度、气动光滑性、腐蚀控制、要铆接材料的种类和厚度以及铆接件在飞机上的位置等几方面的因素。

(1) 铆钉头型。铆钉头型的选择应该由安装位置确定。对于具体修理作业，要选用的铆钉头类型可参照修理部位周围区域上的铆钉头类型来确定。一般规则是：对于要求光滑气动外形的部位，例如，从机翼前缘到翼剖面最厚处，从机身头部到其横截面最大处等部位，飞机蒙皮、进气道等部位，其气动性能要求较高，一般选择沉头铆钉铆接；当蒙皮较厚又有特殊要求时，通常选择 90°沉头铆钉，否则选择 100°或 120°沉头铆钉；飞机内部构件通常选择半圆头铆钉，或者平锥头铆钉；密封构件通常选择 120°半沉头铆钉，或者大扁圆头铆钉。

(2) 铆钉材料。对于铆钉材料的选择，铆钉的材料与被铆件的材料在力学性能方面应当比较接近，应具有尽可能相当的热膨胀系数，两种材料之间不应产生电化学腐蚀。

铆钉主要承受剪切力和挤压力，同时钉杆与孔壁互相挤压，使构件孔壁承受挤压力。为了保证构件与铆钉任何一方不首先破坏，铆钉的材料强度应与构件的材料强度相等。但在飞机结构修理中，更换铆钉比较容易，而更换构件比较困难，因此，通常规定铆钉的材料强度略低于构件的材料强度。

(3) 铆钉直径。对于铆钉直径的选择，铆钉直径应当与铆接厚度相对应。铆接厚

度是指被铆接件的总厚度。如果在薄板材上采用直径过大的铆钉，那么即使使用适当的铆接力，也可能在铆钉头周围造成不良的裂纹。另一方面，如果对厚板材选择太小直径的铆钉，则铆钉的剪切强度就不能满足传递连接载荷的要求。

构件越厚，铆钉直径越大，构件越薄，铆钉直径越小。一般情况下可以按如下经验公式确定铆钉直径，即：

$$d \approx 2 \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i} \quad (12-1)$$

式中， d 为铆钉直径， δ_i 为第 i 块被连接零件的厚度。

对于夹层厚度相对较薄的构件，通常是板材厚度小于 1.2 mm (0.05") 时，铆钉直径可以按板厚的 3 倍数值来选取铆钉直径。在实际制造或修理过程中，选用铆钉应当遵循设计文件或维修手册规定的铆钉直径、规格。

在飞机装配和修理中，常用的铆钉直径 d 的范围一般在 3/32~3/8 in (国产公制铆钉的直径是 2.6~10 mm) 之间。

(4) 铆钉长度。对于凸头铆钉来说，铆钉长度是指不包括铆钉头的杆长；对于埋头铆钉，铆钉长度则是指它的全长。就铆钉长度的选择而言，铆钉长度必须保证能作出合格的铆钉镦头，铆钉过长或过短都会造成铆接废品。

根据图 12.13，为保证形成合格的镦头，铆钉长度 l 的计算公式表示如下：

$$l \approx \sum_{i=1}^n \delta_i + 1.5d \quad (12-2)$$

式中， l 为铆钉的长度， δ_i 为第 i 块被连接零件的厚度， d 为铆钉直径。

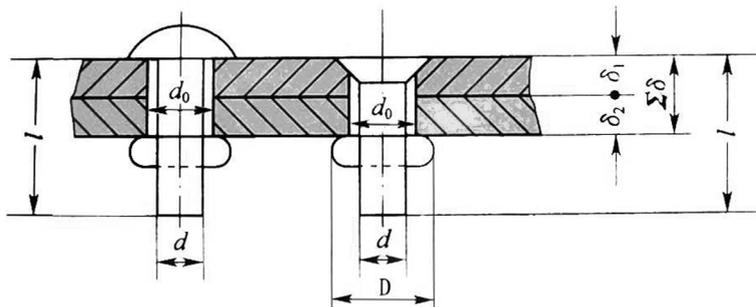


图 12.13 铆钉长度计算示意图

另外，欧美国家在图纸上标记铆钉时习惯用十字坐标标注法。例如，波音公司在图中采用如图 12.14 所示的表示方法。



图 12.14 波音公司图样的铆钉标准

其中，NW 象限是标记铆钉基本符号的，它用两个或三个字母来表示铆钉的类型及材料。

NE 象限是标记铆钉名义直径和铆钉方向位置的，标记由数字或数字与字母组成。数字表示铆钉名义直径尺寸，以 1/32 in 为计量单位表示；字母是用来表示铆钉头方向的，字母 N 表示铆钉头在近端（边），字母 F 表示铆钉头在远端（边）。若无字母，则表示铆钉头的方向可以自由选择。

SE 象限是标记铆钉长度的，用数字表示铆钉长度，以 1/16 in 作为计量单位表示。

SW 象限是标记制铆钉孔的要求和方法的。标记由字母或字母与数字组成。字母 C 表示镗窝，D 表示压窝，跟在字母后面的数字表示压窝层数。

12.6 拉铆钉

铆工从铆接件的一侧，单人实施铆接操作，称为单面铆接。单面铆接常使用拉铆枪对拉铆钉进行铆接，所以单面铆接也常称为拉铆或盲铆。单面铆接适用于通路不好的封闭部位。单面铆接还具有节省人力、降低劳动强度、铆接变形小及无锤击噪声等优点。常见的单面铆接有拉铆钉铆接和螺纹铆钉铆接。图 12.15 为 Cherry Max 拉铆钉。



图 12.15 Cherry Max 拉铆钉

该种连接形式具有连接的夹紧力大，铆钉长度适应的夹层厚度范围较大，抗疲劳性能好，适用于受力较大的密封结构等特点，铆接工具为匹配拉断力的拉铆枪。国外拉铆钉品牌有 HUCK-LOCK、CHERRYLOCKS、OLYMPIC-LOCKS、CHERRYMAX 等。

思考题



1. 航空常用螺纹紧固件有哪些?
2. 简述高锁螺栓的使用场合及其拆装方法。
3. 常用实心铆钉是如何进行分类的?
4. 识读铆钉件号 BACR15BB6D6。
5. 铆钉选用主要从哪四个方面考虑?

第 13 章 损伤结构件的处理

飞机结构修理遵循的基本原则包括：等强度原则、等刚度原则和对称性原则。

前述基础知识是为开展飞机结构件的损伤修理工作做铺垫，本部分针对损伤结构的基本修理流程做简要介绍，其具体流程包括：损伤的分类、检查，损伤信息的收集，可允许损伤的判断和维修方案的确定。

13.1 损伤的分类

导致飞机结构损伤的因素主要包括偶然损伤、疲劳损伤和腐蚀损伤三种。偶然损伤包括雷击、鸟击、冰雹或人为失误等因素；疲劳损伤主要指结构件在交变载荷下发生的裂纹等损伤；腐蚀的产生要有两个必要条件：电位差的存在和腐蚀通道的连接。

偶然损伤的表现形式主要有：刮伤、擦伤、划伤、穿孔、凹坑、弯曲、静强度开裂和弯折等。图 13.1 为一鸟击导致的复合材料雷达罩的损伤。



图 13.1 鸟击损伤

疲劳损伤的主要表现形式是疲劳开裂。疲劳裂纹根据其形成的过程可以分为疲劳源形成阶段、疲劳裂纹扩展阶段和快速断裂阶段。图 13.2 为机身对接处的应力集中区域一段疲劳裂纹。疲劳损伤不及时发现容易导致较严重的灾难性后果。

腐蚀损伤包括均匀腐蚀、分层腐蚀、点蚀、微生物腐蚀、丝状腐蚀、应力腐蚀等类型。图 13.3、图 13.4、图 13.5 为常见的几种结构件腐蚀损伤。

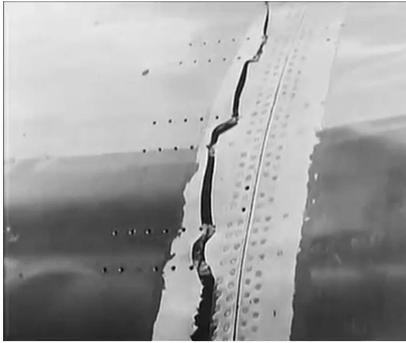


图 13.2 疲劳裂纹



图 13.3 长桁的分层腐蚀



图 13.4 表面点蚀

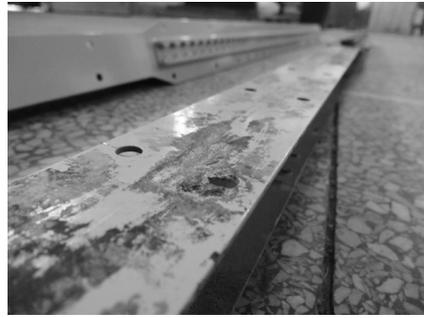


图 13.5 地板梁的丝状腐蚀

现代飞机复合材料用量也越来越多，复合材料的常见损伤类型如图 13.6 所示。

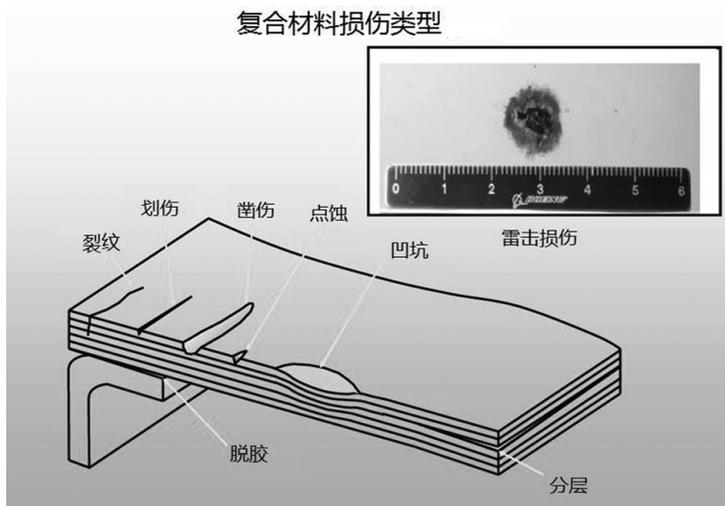


图 13.6 复合材料损伤分类



1. 紧固件松动的检查

在铆钉或孔受损伤后，铆钉在孔中就会发生松动，根据以下特征检查铆钉是否松动：

(1) 当压动铆钉头周围的构件时，蒙皮离开铆钉头并形成目视可见的明显间隙，说明铆钉已松动。

(2) 铆钉松动后，铆钉头与埋头窝将因摩擦而产生金属粉末。这种粉末与污物附在铆钉头与钉孔之间的缝隙内而呈现黑圈。所以，检查航空器时，如果发现铆钉周围有黑圈，表明铆钉已松动。

(3) 在机身密封舱部位上的铆钉，如果铆钉头背气流的一边形成黑色尾迹，这说明铆钉已松动，同时也表明蒙皮的内表面可能产生腐蚀。

(4) 一般钉头倾斜或铆钉松动将成群地出现，并且钉头多半向同一方向倾斜。如果铆钉头出现倾斜，但成群地出现，并且不是向同一方向倾斜，这种铆钉头倾斜可能是由于铆接质量不高引起的。

(5) 通常应该用大一号（直径加大 1/32 in）的铆钉替换这些铆钉。同样，如果铆钉孔不圆，扩孔后也用大一号的铆钉来更换。

2. 腐蚀损伤的检查

铝合金的腐蚀表现为常在蒙皮边缘或铆钉头周围呈现白色或灰白色的粉末。对于机身增压舱蒙皮上的铆钉，如果在铆钉头的后部出现黑色尾迹，表明该铆钉降低了连接和密封作用。由于铆钉孔漏气，当机身内充压时，就很容易使潮气进入到蒙皮接缝中去，从而产生腐蚀。

腐蚀产物的体积通常比原金属的体积大，所以，积累的腐蚀产物可使蒙皮鼓起，从而使蒙皮在铆钉处呈现微凹现象。

铆钉断头或变形，说明蒙皮内表面可能产生腐蚀。

如果蒙皮上出现针眼大小的目视可见的小孔，这也说明蒙皮可能产生了腐蚀。

存在碎屑或污染物处，可能会产生腐蚀。

为防止铝合金部件过快腐蚀，波音公司用“包铝层”方法进行防腐。包铝层指由铝合金芯层和两侧各约占地板总厚度的 2.5% 的纯铝涂层组成的板材。纯铝涂层为芯层提供双重保护，防止铝合金基体与任何腐蚀剂接触，并保护芯层免受氧化的影响。

处理包铝材料时必须谨慎，以免损坏保护涂层。如果合金内部暴露在外，可能会引起腐蚀和应力集中的形成。

13.2 损伤的检查与信息收集

结构件产生的损伤有些可以目视检查，有些则不容易接近或损伤不在构件表面的需要借助工具来识别。

1. 目视损伤检查

目视检查是航空器完整性检查的最基本、最常用的检查方法，也是保证飞行安全的重要检查手段之一。在进行无损检测之前，凡是能目视到的部分都必须经过目视检查。

在进行目视检查时，因环境条件不同，检查技术要求不同，视线可达性和视力局限性及所要达到的检查目的不同，还必须借助其他工具实现目视检查（称为光学—目视检查），目视检查常用的配套工具包括手电（或头灯）、反光镜、放大镜等简单辅助工具。另外，目视检查还可以分为一般目视检查和详细目视检查。

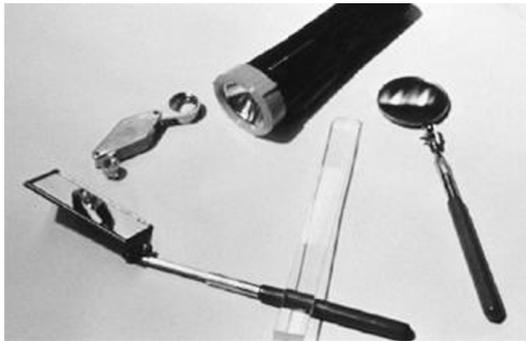


图 13.7 目视检查工具

借助于强光手电筒目视检查表面裂纹，方法如图 13.8 所示，检验人员应将手电筒朝向自己，并将手电筒保持与表面成 $5^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 角。绝不要使手电筒的反射光束直接射到眼睛，应使眼睛保持在反射光束之上。

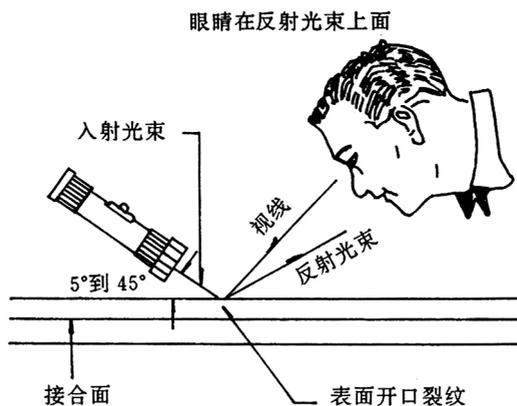


图 13.8 借助手电筒的详细目视检查



2. 其他无损检测手段

其他方法还有孔探法、涡流、X射线、超声波、磁粉检测、荧光剂渗透等。

孔探仪是具有多种用途的光学检测工具，可用于各种各样视力极限所不能看到部位的检查。它是目视检查的重要工具，在航空维修中已得到广泛应用。通过发动机检查孔，采用孔探仪检查燃烧室的裂纹、烧蚀，叶片的烧伤、变形、打伤，以及采用孔探仪检查起落架作动筒壁的裂纹和腐蚀等损伤。

航空器损伤的检查是涡流检测法（见图 13.9）的一个重要应用方面。涡流检测可以用来检查航空器导电构件的疲劳损伤和腐蚀损伤。高频涡流可检测试件表面或近表面的损伤，而低频涡流可检测构件隐蔽面或内层构件的损伤。

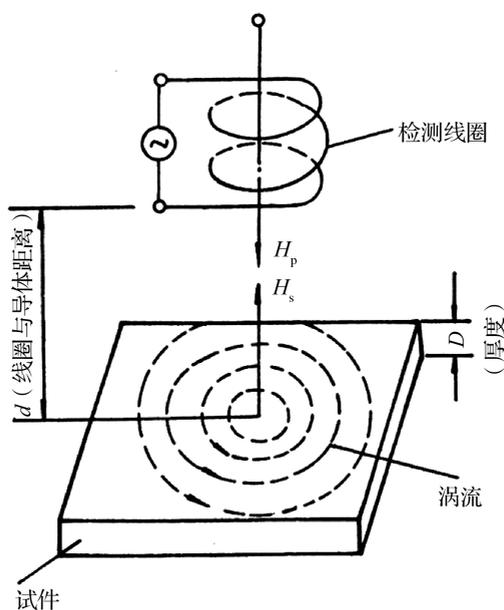


图 13.9 涡流检测法原理

射线检测法是利用某些射线能穿透物质并且能使胶片感光或使某些荧光物质发光的特性，对试件进行探伤。通常，易于穿透物质的射线有 X 射线、 γ 射线和中子射线等。

射线检测结果便于长期保留。这种检测方法不但可检测出表层构件的损伤，还可以检查内层构件的损伤。它可用于检测航空器的疲劳损伤和其他损伤（如腐蚀损伤）。

射线检测方法可用于航空器的原位检查。对目视可达性差或被其他构件覆盖的结构件，如蒙皮下的桁条、框和肋等，用其他检测方法难以实施检测时，采用射线照相法对发现结构中隐蔽性损伤是较为有效的。

超声波检测就是将高频声束（频率在 20 kHz 以上）射入被检材料，经过不同介质

分界面会发生反射，检测者分析反射声束信号，便可确定缺陷或损伤的存在及其位置。

超声波检测法可用来检测航空器裂纹损伤和腐蚀损伤，以及用来确定清除损伤后的构件厚度。用超声波检测裂纹损伤时，只要声束方向与裂纹面夹角达到一定要求，就可清晰地显示出裂纹损伤。超声波对微小缺陷或损伤敏感，但采用超声波检测只能检查探头可接触构件的损伤。

磁粉检测是通过检测漏磁来发现缺陷的一种无损检测方法。当铁磁试件被磁化后，若试件存在表面或近表面的缺陷，会使试件表面产生漏磁。

渗透检测法可以用来发现目视检查难以发现的表面开口的小裂纹或不连续性。它适用于大多数航空材料，并对各种类型结构给出可靠的显示结果。表 13-1 给出了几种检测方法的适用范围。

表 13-1 不同检测方法的适用范围

检查方法	主要用途
敲击法	复合材料分层或脱胶
超声波	金属结构的厚度，金属结构连接区贴合面的腐蚀
	复合材料结构分层
涡流	高频：非磁性金属表面
	中频或低频：非磁性金属连接区
渗透	表面裂纹
红外热成像	探测水分或分层、脱胶
X 射线	裂纹，积水或贴合面腐蚀

3. 损伤信息的收集

收集损伤信息是判断可允许损伤并确定加强修理方案的先行步骤。所要收集的主要信息包括：飞机信息，损伤类型、损伤尺寸及其位置。

飞机信息主要包括飞机的机型和编号、维修的级别和损伤发现日期。损伤类型主要记录飞机的损伤属于哪一类损伤。损伤尺寸信息主要包括损伤程度尺寸和损伤位置尺寸。损伤程度尺寸是描述损伤的长度、宽度，在有些损伤如凹坑或擦伤还需要测量其损伤深度；损伤位置尺寸主要是测量损伤到相应的局部参考坐标的距离，例如凹坑最深点到最近的隔框和长桁的位置。测量时要根据具体损伤类型来确定损伤尺寸的测量方法。一般测量精度为 0.01 in（公制：1 mm）。图 13.10 为一飞机蒙皮擦伤的尺寸测量，100 mm×90 mm 为其损伤程度尺寸，120 mm×30 mm 为其损伤位置尺寸。

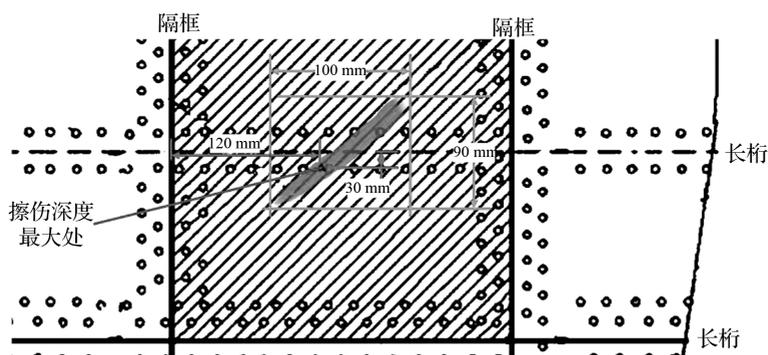


图 13.10 擦伤的尺寸测量

损伤位置的描述分为局部定位基准和整体定位基准，局部定位基准与上述位置尺寸的描述是一样的。整体定位基准就是说明损伤所处的区，可以借助损伤临近的开口或零部件来描述损伤的位置。另外，还需要进一步拍照，便于工程师确认损伤位置，一般需要拍总体信息照片以及详细信息照片。

13.3 可允许损伤的判断

结构的损伤信息获取后，要使用合理的方法清除损伤，然后根据 SRM 手册进一步确定损伤的图纸、设计厚度和材料的种类等信息。通过手册可以判断在一定期限内损伤是否影响飞机的安全运行，如果构件不影响飞机运行安全也不需要加强修理，并且损伤未超出手册的可允许损伤（ADL），则归为可允许损伤。该类损伤经过简单处理后，飞机可以放行。图 13.11 为 SRM 手册内对凹坑损伤的可允许损伤判断，对于波音 737-800 飞机的机身蒙皮可允许损伤可在 53-00-01 部分查找。

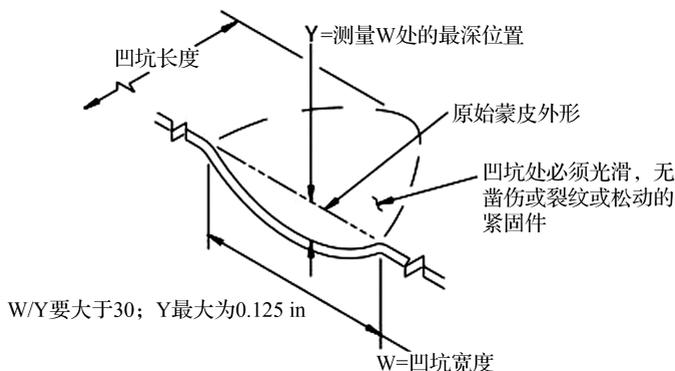


图 13.11 凹坑的可允许损伤

13.4 损伤结构的处理

当飞机结构件的损伤超出 SRM 手册的可允许损伤 (ADL) 时, 要对损伤结构件进行加强修理, 恢复其原设计强度。加强修理的要求包括结构件的静强度、刚度、腐蚀、疲劳和损伤容限以及满足经济性要求。SRM 给出了大多数结构件的典型损伤修理, 超出 SRM 手册的维修需要根据飞机设计要求制定加强修理维修方案, 报官方得到适航批准再实施。

SRM 手册中对典型机身蒙皮的加强修理可以参见图 13.12。其具体施工步骤如下:

- (1) 制作修理补片;
- (2) 确定所用紧固件, 对修理补片进行预装配;
- (3) 钻孔或铰孔, 去除毛刺;
- (4) 对结构表面进行防腐处理;
- (5) 安装修理补片和衬片;
- (6) 安装完成后进行防腐处理;
- (7) 按要求涂缓蚀剂。

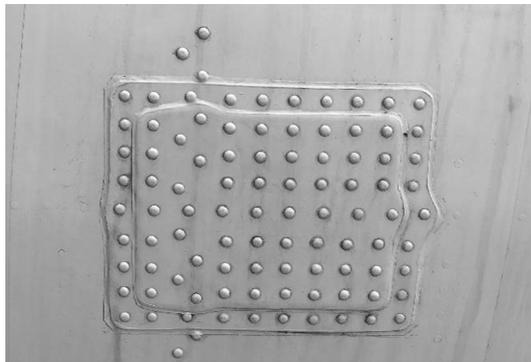


图 13.12 典型机身蒙皮加强修理

图 13.13 为一典型的蒙皮贴补修理的实施方案。其中, 原蒙皮为被加强修理构件; 加强片可以帮助结构恢复损失的强度和刚度; 衬片或垫片起到填平切割区域或防止应力集中的作用; 铆钉紧固件可以传递剪切力, 并将补片、衬片与被修理构件连接在一起。

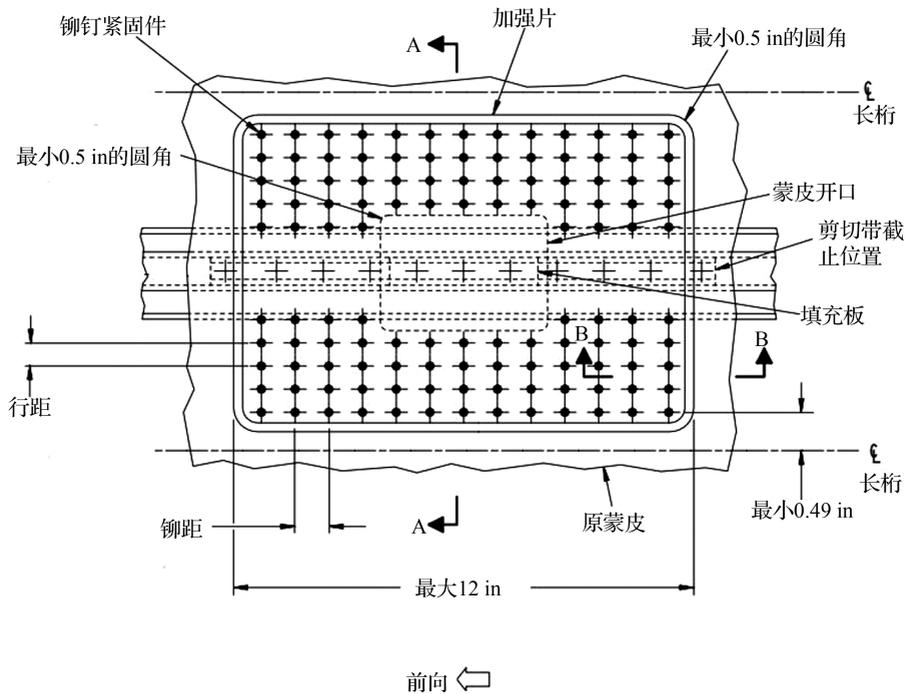


图 13.13 蒙皮贴补修理

思考题

1. 简述结构件损伤处理的主要流程。
2. 根据损伤产生的原因，简述结构件的主要损伤分类。
3. 常用的无损检测方法有哪些？
4. 结构损伤报告需要收集哪些损伤信息？
5. 简述机身蒙皮损伤加强修理的基本流程。

第 14 章 钣金加工技能

飞机结构修理方案确定后，机务人员需要根据制定的工卡施工。遵守飞机维修企业的施工工卡要求，结合国赛和世赛飞机维修项目的比赛要求，本章主要从以下几个方面讲解钣金加工工卡施工有关的技能训练内容，主要包括：钣金件的剪切与下料、钣金件冷加工成型、铆钉排布、钻孔、铆接技术和铆钉拆除技能等。

14.1 剪切与下料

剪切加工的方法很多，但其实质都是通过上、下剪刀对材料施加剪切力，使材料发生剪切变形，最后断裂分离。下面以斜口剪为例，说明剪切加工中材料的变形和受力状况、剪切加工对剪刀几何形状的要求及剪切力的计算等基础知识。

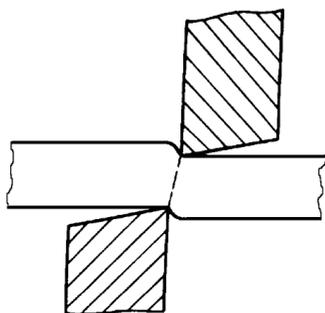


图 14.1 剪切过程

剪切时，材料置于上、下剪刀之间，在剪切力的作用下，材料的变形和剪断过程如图 14.1 所示。

在剪刀口开始与材料接触时，材料处于弹性变形阶段。当上剪刀继续下降时，剪刀对材料的压力增大，使材料发生局部的塑性弯曲和拉伸变形（特别当剪刀间隙偏大时）。同时，剪刀的刃口也开始压入材料，形成塌角区和光亮的塑剪区，这时在剪刀口附近金属的应力状态和变形是极不均匀的。随着剪刀压入深度的增加，在刃口处形成很大的应力和变形集中。

当此变形达到材料极限变形程度时，材料出现微裂纹。随着剪裂现象的扩展，上、下刃口产生的剪裂缝重

合，使材料最终分离。

在材料剪断面上具有明显的区域性特征，可以明显地分为塌角、光亮带、剪裂带和毛刺四个部分，如图 14.2 所示。

塌角 1 的形成原因是当剪刀压入材料时，刃口附近的材料被牵连拉伸变形的结果；光亮带 2 由剪刀挤压切入材料时形成，表面光滑平整；剪裂带 3 则是在材料剪裂分离时形成，表面粗糙，略有斜度，不与板面垂直；而毛刺 4 是在出现微裂纹时产生的。

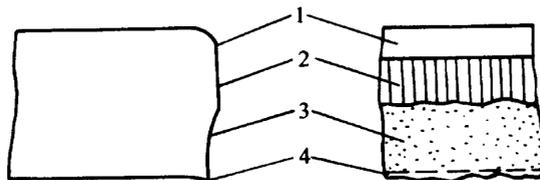


图 14.2 剪断面状况

1. 塌角; 2. 光亮带; 3. 剪裂带; 4. 毛刺

剪断面上的塌角、光亮带、剪裂带和毛刺四个部分在整个剪断面上的分布比例，随材料的性能、厚度、剪刀形状、间隙和剪切时的压料方式等剪切条件的不同而变化。

剪刀口锋利，剪刀容易挤压切入材料有利于增大光亮带，而较大的剪刀前角，可增加刃口的锋利程度。

当剪刀间隙较大时，材料中的拉应力将增大，易于产生剪裂纹，塑性变形阶段较早结束，因此光亮带要小一些，而剪裂带、塌角和毛刺都比较大。反之，当剪刀间隙较小时，材料中拉应力减小，裂纹的产生受到抑制，所以光亮带变大，而塌角、剪裂带等均减小。然而，间隙过小或过大均将导致上、下两方面的裂纹不能重合于一线。当间隙过小时，剪断面出现潜裂纹和较大毛刺；当间隙过大时，剪裂带、塌角、毛刺和斜度均增大，表面极粗糙。

若将材料压紧在下剪刀上，则可减小拉应力，从而增大光亮带。此外，材料的塑性好、厚度小，也可以使光亮带变大。

综上，增大光亮带，减小塌角、毛刺，进而提高剪断面质量的主要措施是增强剪刀刃口锋利程度，剪刀间隙取合理间隙的最小值，并将材料压紧在下剪刀上等。

1. 手剪工具

(1) 直口剪——剪切刃为直线，用于剪切直线轮廓的板料，如图 14.3 (a) 所示。

(2) 弯口剪——剪切刃为曲线，用于剪切曲线轮廓的零件，如图 14.3 (b) 所示。弯口剪根据剪刀的弯曲方向分为左剪和右剪两种。

(3) 手提气动剪——半机械化的手剪工具，其剪切厚度可达 2.5 mm，见图 14.3 (c)。

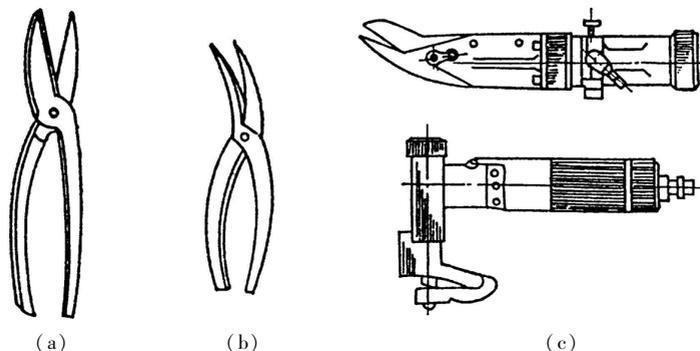


图 14.3 手剪工具

2. 手工剪切下料

手工剪切下料是钣金技能的重要组成部分。手工剪切一般可剪切厚度 2 mm 以内的铝板或厚度为 1 mm 左右的钢板。手工剪切操作及要点如下：

(1) 右手握剪把，如图 14.4 所示，剪把不能露出掌心太长，但尾端又不能握在手掌中。

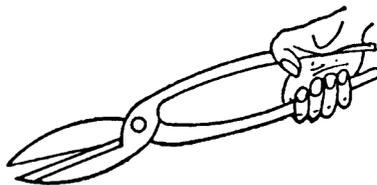


图 14.4 正确握剪方法

(2) 左手持料，按剪切方向送进，并使上剪刀与剪切线对正。

(3) 剪切时，要用上剪刀压住材料，并使剪口与材料成一角度。

(4) 剪切时，两刃口只张开剪刀全长的 $\frac{3}{4}$ ，剪切中，剪刀不完全合拢，应留 $\frac{1}{4}$ 剪刀长，如图 14.5 所示。

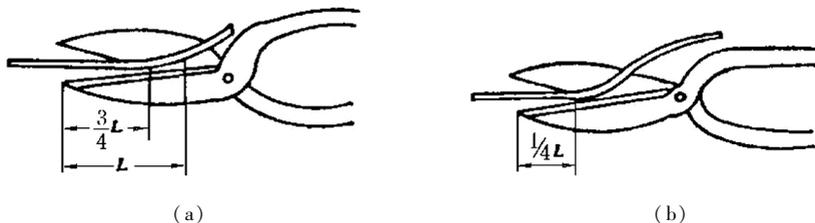


图 14.5 剪刀工作状态

(5) 剪凹角应先钻止裂孔或在凹角处留一定距离不剪开，用手掰下连接处，再锉修到剪切要求，如图 14.6 (a) 所示；对角形件先锯开角根再剪开，如图 14.6 (b) 所示。

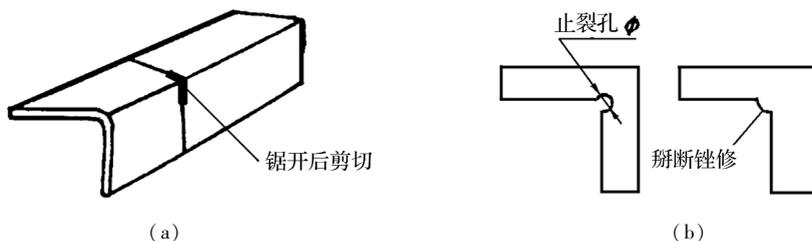


图 14.6 剪切凹角及角材

(6) 剪切时，剪切方向以剪切刃口不遮住剪切线为准。

(7) 剪切内孔的方法是先在板料上开一个大孔，再用弯口剪采用螺旋线方式逐渐扩大。剪切大的内孔较好的方法是采用振动剪剪切。



3. 手动剪床

常用的手动剪床有弓形剪床、无喉剪床和四方剪床。这些都是靠人力操作进行剪切的。

1) 手动拔剪

手动拔剪又称杠杆台剪，如图 14.7 所示。手动拔剪用来剪切直线轮廓毛料，可剪切厚度 3 mm 的铝板，与厚度 2 mm 的钢板。

2) 弓形剪床

如图 14.8 所示，弓形剪床用于剪切那些不能切开边缘，要从薄板中部剪下不规则曲线的场合。上刀口固定，下刀口可移动。机器是由与下刀口相连的手柄控制的。

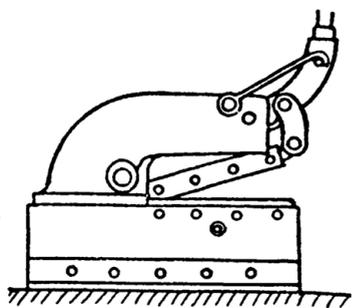


图 14.7 手动拔剪

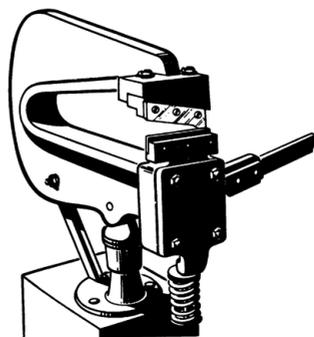


图 14.8 弓形剪床

3) 无喉剪床

这种手动剪床以其结构而得名，如图 14.9 所示，它没有喉咙，材料在剪切长度方向上无任何阻碍，可切割任何长度的薄板，并且金属可在任何方向上移动，以便切割不规则的形状。切刀（上刀刃）用手柄控制。切割厚度为 10 号的低碳金属板和厚度为 12 号的不锈钢最好使用各种无喉式剪切机。

4) 四方剪床

四方剪床只能剪切直线边。它主要由一个固定到床体上静止不动的下刀刃和一个固定到十字头上移动的上刀刃及机架等组成，如图 14.10 所示。剪切机装有一个弹簧，平时，弹簧把上刀刃和脚踏板提起，保持在待剪切位置。有的四方剪床，在剪床台面上刻有刻线，以便对齐板料。

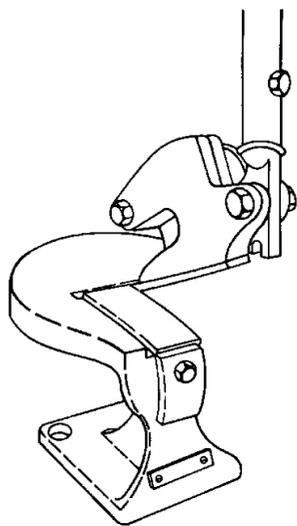


图 14.9 无喉剪床

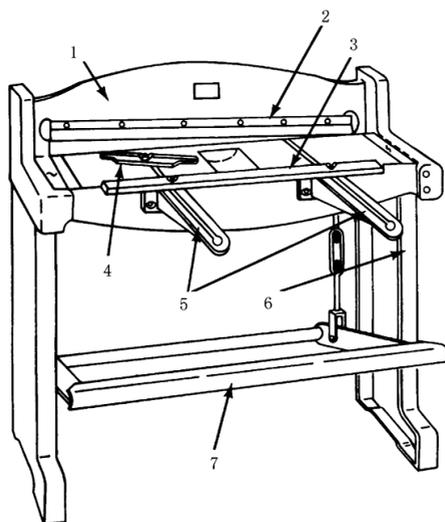


图 14.10 四方剪床

1. 十字头；2. 切刀；3. 前定位装置；4. 斜定位装置；5. 伸出臂；6. 机架；7. 脚踏板

当剪切时，将薄板装在剪床台面上，在刀刃前把要剪切的边与剪床的切割边对齐。当压下夹板使薄板紧紧卡在平面上后，把脚放在踏板上，向下踏，使上刀刃向下运动，进行剪切。

另外，还有剪切机剪切下料，主要是利用上下刀刃为直线的刀片或旋转滚刀片的剪切运动来剪裁板料毛坯。常见的剪切机有直剪剪切机、滚剪机和振动剪等。

14.2 钣金件冷加工成型

对于可进行冷加工的铝合金零件，例如 2017-T4 或 2024-T3 等，影响其冷加工变形性能的因素包括：金属的成分和组织、晶粒方向、温度、变形速率、金属截面形状以及摩擦与润滑状况等。在进行冷加工过程中要充分考虑以上影响因素。飞机机身常见的一些挤压件和钣金件有蒙皮、隔框和桁条等，如图 14.11 和图 14.12 所示。修理中通常需先把修理件进行冷加工变形和热处理，再将其安装到待修理的部位。



图 14.11 隔框



图 14.12 长桁



铝合金材料在进行冷加工过程中会产生回弹，回弹方向与材料所受外力方向相反，冷加工过程中要考虑到回弹的影响。此外，材料在塑性变形中还遵循体积不变、最小阻力定律和材料本身的成型极限的限制。上述因素在设计冷加工零件时应合理利用。

钣金材料的冷加工主要包括：板料折弯、收放边、拔缘、辊弯等工艺。

1. 折弯

在桁条、腹板或连接角片等飞机零件的修理中，常用到折弯工艺来制作一些修理用加强结构件。折弯前需要先根据成型件的尺寸计算毛料尺寸，即折弯件的展开计算，此部分内容在第11章中已经有讲述。

在手动折弯机折弯操作中，需要在折弯件一侧画出折弯参考线。折弯参考线（见图14.13，和图14.14中箭头所示），一般从板料被上、下模具夹住一侧的切线 b 向切线 a 的方向退一个折弯半径 R 的距离来确定，板料画线一侧为折弯后圆弧内侧。此处的切线 a 和 b 均指板料圆弧段和直线段的分界线。



折弯操作

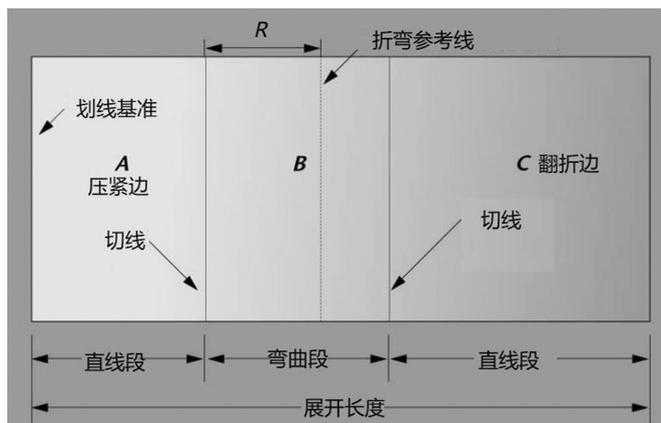


图 14.13 折弯参考线的确定

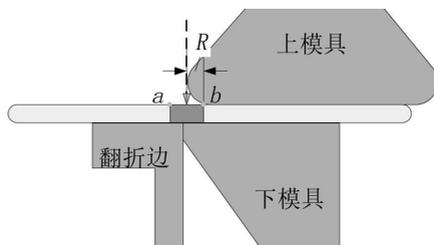


图 14.14 折弯参考线与折弯模具位置关系

折弯操作时要注意以下事项:

- (1) 板料的金属晶粒方向要与折弯参考线方向垂直;
- (2) 折弯板料边缘毛刺要去除干净;
- (3) 折弯时速度要缓, 保证材料所受力为准静力加载;
- (4) 折弯参考线要与上模具边缘切线对齐, 如图 14.14 中虚线所示;
- (5) 设计的板料折弯半径不能小于材料的最小折弯半径。

思政之窗

“大国工匠”王伟是上海飞机制造有限公司钣金制造车间的组长、特级技师, 完成了 C919 飞机蒙皮的精准校形, 使机身展现出最美弧线。他告诉记者, 校形工作的技巧在于对金属成型的精准控制。“看似不经意的敲敲打打, 其实每一下都是稳扎稳打, 每一处都是准确落点。” C919 的蒙皮为新材料铝锂合金, 长达 3 m 的大尺寸变厚度蒙皮校形, 要求加工误差在 0.25 mm 以内, 相当于四根头发丝的直径。最后, 王伟加工的舱体与工装之间的缝隙, 让 0.09 mm 的塞尺都无法通过, 将公差缩小到了接近标准公差的 1/3。

在飞机维修技能训练过程中, 要培养学生精益求精的工作态度, 注重细节问题, 勇于攻克难点, 不断取得进步。

2. 收边与放边

飞机结构中圆筒形零件一般为薄壁结构, 为增强其结构受力, 防止圆筒形零件失稳, 往往会在圆筒形零件的内部或外部增加类似机身隔框的结构。这类加强件与圆筒形零件外部连接的型材一般需要进行放边操作, 而与圆筒形零件内部连接的型材一般需要进行收边操作。

金属板料或者角形件的一边经过敲打使金属晶粒收缩, 材料变短, 板厚增加的塑性变形过程称为收边, 如图 14.15 所示。在成型过程中使金属板料或角形件一边边缘的材料变薄伸展的操作称为放边, 如图 14.16 所示。

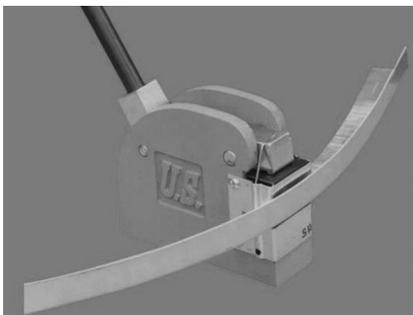


图 14.15 收边操作

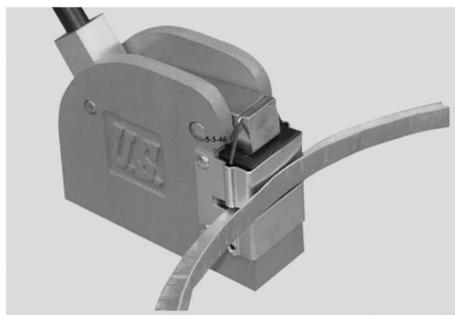


图 14.16 放边操作



收边的方法主要有折波收边、搂边收边、橡皮收边和收边机收边等。收边时,为使制作零件弯边处的多余材料不折叠,先要在毛料边缘“起波”,使纤维沿纵向变短,然后在防止波纹向两侧伸展恢复的情况下,将波消平,这样材料就被收起来了。

在收边工作过程中,由于连续不断地锤击板料,板料易产生冷作硬化现象。对材料敲击越多,则冷作硬化加剧、变形抗力增加,严重时会产生裂纹。为使收边工作顺利进行,防止裂纹产生,操作方法要恰当,对于变形程度大的工件要安排中间退火。

收边的质量分析见表 14-1。

表 14-1 收边质量分析

序号	故障内容	原因分析	排除方法
1	拱曲	收边量不足	应在拱曲范围内酌量收边
2	翘曲	收边过量	在翘曲范围内,在与平台接触处酌量放边
3	外形不对	①收缩不够,外形大; ②收缩过量,外形小	①增加收缩量; ②适当排放
4	角度不对	①平面不平; ②收、放量不当	针对具体原因排除
5	材料折叠	折波尺寸不对,产生死皱	折波高度、宽度相等
6	榔头印痕	①锤击不均; ②侧击	①均匀锤击; ②防侧击
7	裂纹	①死皱或者重叠; ②冷作硬化未及时退火; ③应力集中	①正确折波; ②增加中间退火; ③应随时修光边缘毛刺和凹陷

放边的方法主要有手动打薄放边和拉薄放边等。

打薄能使毛料得到较大的延伸变形,一般先用窄口榔头后用圆头榔头敲击。打薄放边的效果较为显著,但是毛料变薄不均匀,内应力大,操作不当时表面质量低。

拉薄是用木榔头在厚橡皮或软木墩上捶打要放的边,利用橡皮或木墩软而有弹性的特点,使材料伸展拉长。其特点是变薄均匀,内应力小,表面较光滑,但变形过程中工件易拉裂。一般在成型弧度不大,材料较薄的情况下使用。放边质量分析见表 14-2。

表 14-2 放边质量分析

序号	故障内容	原因分析	排除方法
1	翘扭	①捶放面与铁砧不平行; ②捶击根部引起	①放平捶展; ②捶展范围靠外缘 3/4 平面范围内

续表

序号	故障内容	原因分析	排除方法
2	外形与样板不符	捶放量不当	①小于样板应增加捶放量； ②大于样板要适当收边
3	捶痕	①用力不均； ②工具不当	①锤要击平； ②增加接触面，新木榔头要先在平台上打毛
4	裂纹	①边缘不光； ②捶击集中； ③冷作硬化； ④变形量过大	①修光边缘，发现裂纹及时排除； ②捶击要均匀； ③增加中间退火工序； ④改进操作方法

需要说明的是内孔拔缘是飞机内部结构常用的一种工艺，它可以解决飞机装配中的一些工艺问题，同时还能起到减重的作用，如图 14.17 所示。

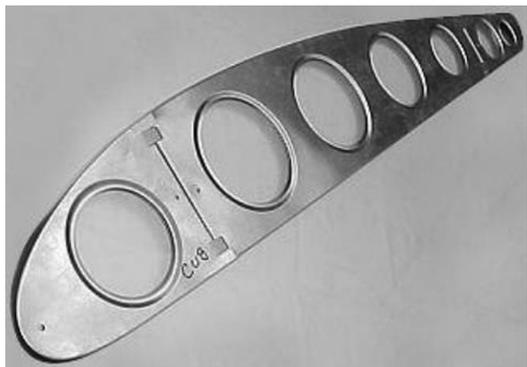


图 14.17 翼肋上的拔缘孔

拔缘是指在板料的边缘，利用手工捶击的方法制出一定高度曲线的弯边零件。

拔缘通常用来制造有弯曲边缘（如翻起的孔边缘、圆周边缘）类的零件，此类零件的目的是提高零件的抗拉、抗压、抗弯扭的能力，并增强零件的刚度，增加抗失稳能力。在飞机构件上，它通常用于制作机翼或隔框腹板的外边缘，或内孔边缘。

拔缘分为外拔缘和内拔缘。用收边制造凸曲线弯边零件的方法称作外拔缘；用放边制造凹曲线弯边零件的方法称作内拔缘，如图 14.18 所示。外拔缘时，圆环部分要沿中间圆形部分的圆周径向改变位置而成为弯边。但是它受到其中三角形多余金属的阻碍，采用收边的方法，使外拔缘弯边增厚。内拔缘时，内侧圆环部分要沿外侧圆环部分的圆周径向变换位置而成为弯边，由于受到内孔圆周边缘的牵制不能顺利地延伸，所以采用放边方法，使内拔缘弯边变薄。

拔缘的主要障碍是裂纹，产生裂纹的原因与材料性能、厚度、弯边相对高度



(H/R)、毛料边缘状态有关,还与操作方法、工具选用、成型过程材料冷作硬化、未及时退火有关,需要根据具体情况进行分析。

手工拔缘的工具除上述收边和放边用的工具外,还有不同形状的砧座、角顶和手打模等。

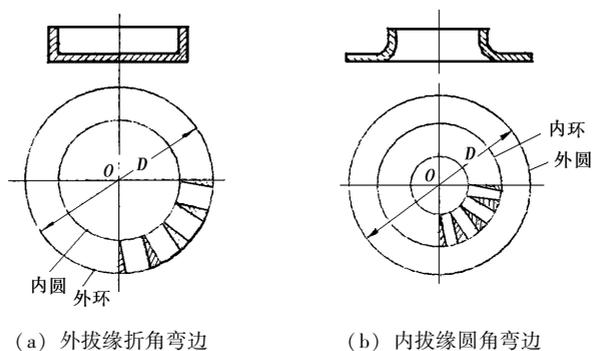


图 14.18 拔缘的种类和形式

冷加工工艺还包括大量的辊弯钣金零件,主要用于飞机的机身、机翼蒙皮,或者单曲度的整流包皮。其形状主要是等厚度或不等厚度的圆筒形、圆锥形零件等。在大翼前缘以及发动机整流罩前缘的损伤修理中,一些修理用补片零件也需要用辊弯工艺进行加工。此外,冷加工还包括旋压、冲压等多种其他工艺,本书不再展开讲述。

3. 滚弯

在滚床上对坯料进行连续弯曲成型的加工方法称为滚弯,如图 14.19 所示。滚弯时,坯料置于滚床的上、下辊轴之间,当上辊轴下降时,坯料便受到弯曲力矩的作用,发生弯曲变形。由于上、下辊轴的转动,并通过辊轴与坯料间的摩擦力带动坯料移动,坯料受压位置连续不断地发生变化,从而形成平滑的弯曲面,完成滚弯成型。

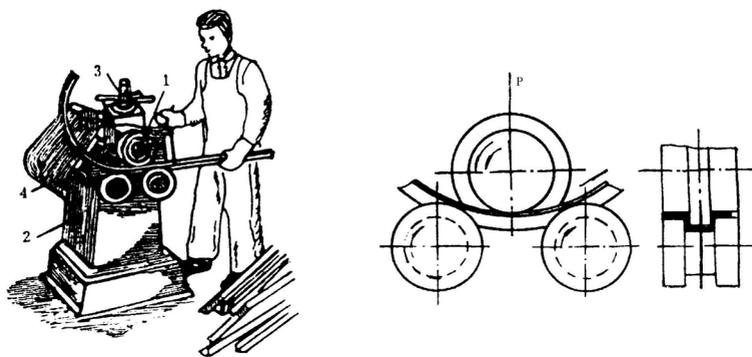


图 14.19 三轴滚弯机滚弯示意图

1. 上滚轮; 2. 下滚轮; 3. 手柄; 4. 导轮

滚弯可将板料弯成圆管、圆柱面或圆锥面等。如果在滚床上配用适当的工艺设备，还可以滚弯各种型材。滚弯件的曲率取决于辊轴间的相对位置、板料的厚度和力学性能。上、下辊轴的相对位置越近，弯曲的曲度就越大。调整辊轴间的相对位置，可以将板料弯成小于辊轴曲率的任意曲率。由于存在回弹，滚弯件的曲率不等于上辊轴的曲率。

一个工件往往需多次的滚弯才能达到所需的形状，而多次的冷滚压会引起材料的冷作硬化。当弯形件变形程度很大时，这种冷作硬化现象将十分显著。因此，在必要时需对该弯形件进行退火处理。

滚弯机床包括滚板机和型材滚弯机。由于滚弯加工的大多是板材，而且滚板机附加一些工艺装备，也能进行一般的型材滚弯，所以滚弯机床以滚板机为主。

滚板机的基本类型有对称式三辊滚板机、不对称式三辊滚板机和四辊滚板机三种。这三种类型的滚板机的辊轴布置形式和运动方向如图 14.20 所示。

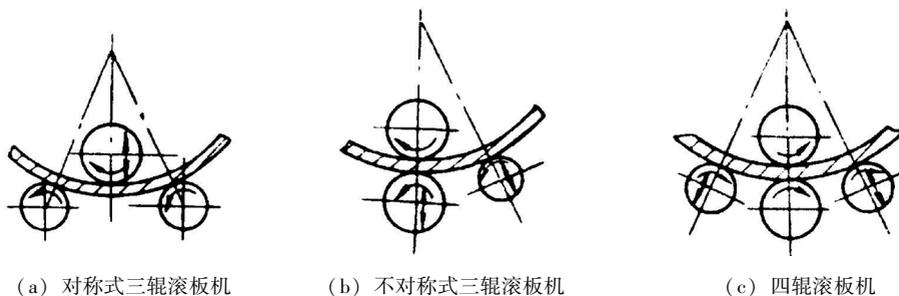


图 14.20 滚板机辊轴的布置形式及运动方向

板料滚弯的步骤是：预弯（压头）、对中和滚弯。

1) 预弯

板料滚弯时，两端总有剩余直边。在不同类型的滚弯机上滚弯，剩余直边的长度是不同的。由于剩余直边部分在滚弯时得不到弯曲，所以要进行预弯，而且预弯的长度要大于理论剩余直边的长度。常用的预弯方法有手工预弯和压力机预弯。手工预弯是将板料置于圆钢或钢轨上，用锤敲击弯曲剩余直边部分。这种方法适用于厚度较小的板料预弯。压力机预弯是在压力机上将板料的剩余直边部分用压弯模弯曲。这种方法适用于厚度较大的板料预弯。在预弯中应经常用弯曲样板检查弯曲件的曲率，直到预弯曲度达到规定的弯度。

2) 对中

对中的目的是使工件的弯曲线与辊轴线平行，保证滚弯后的工件形状准确，否则滚弯后工件将出现扭斜。对中的方法一般采用目测法，即用眼睛来观察上辊或下辊的外形线是否平行于板料的边缘来对中。也可利用滚弯机上的挡板或下辊轴上的对中槽来对中。

3) 滚弯

板料对中后，通常采用多次进给法滚弯。



当用对称式三辊滚板机滚弯时，先调节上辊位置使板料发生初步的弯曲，然后来回滚动，当板料移至边缘时，应根据板边与辊轴的相对位置，检查板料对中位置是否准确，然后，再逐步调节上辊下压滚弯，使板料的曲率半径逐步减小，直到达到规定的要求。一般来说，每次上辊的下压量约5~10 mm。材料、板厚、板宽及弯曲半径不同，上辊的每次下压量也不同。板料较薄，板宽不大，材料的变形抗力较小，每次下压量应小一些；反之可大一些。上辊的每次下压量不能太大，否则坏板料的变形程度很大，板料与下辊的摩擦力太小，将无法带动板料滚动实现滚弯。在滚弯中应经常用样板检验滚弯的曲率半径。考虑到回弹的影响，滚弯须适当地弯曲过量，这样，卸载后，其弯曲半径正好达到所要求。

在不对称式三辊滚板机上滚弯时，根据材料的厚度调节下辊使板料能随着上下辊的转动而移动。通过调节侧辊的位置来达到所需的弯曲半径。其余的操作基本上与对称式三辊滚板机滚弯的情况相同。

14.3 铆钉的排布

根据被连接件的相对位置不同，构件的连接形式可以分为搭接、对接、角接等形式。被连接件上根据铆钉排列的形式不同，可以分为平行排列和交错排列两种连接形式，如图14.21所示。

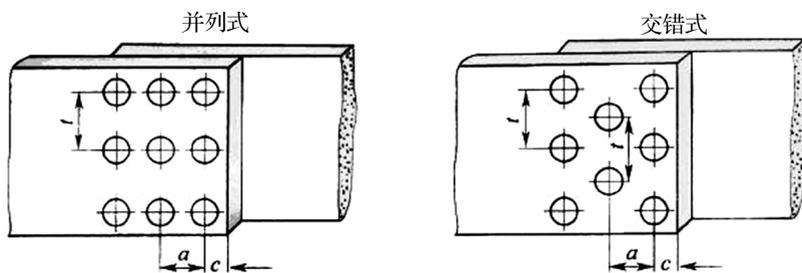


图 14.21 铆钉的两种排列形式

在飞机铆接结构中，铆钉通常都是成排成列地布置在结构中。在一排铆钉中，相邻两个铆钉中心之间的距离，称为铆距 t ；一排铆钉的中心线与它相邻的另一排铆钉中心线之间的距离，称为排距 a ；边缘一排铆钉的中心线至构件边缘的垂直距离，称为边距 c 。

当铆接构件两端承受拉力时，板件承受拉力，铆钉承受剪力，板件与铆钉互相挤压承受挤压力。铆距 t 过小，板件的强度降低，容易在拉应力下破坏；边距 c 过小，板件的边缘就容易剪切破坏，边距过大，补片受力时边缘容易翘曲，读者可尝试自行分析。为防止不合理的铆钉布置导致局部结构失效，铆钉排布应当尽量均匀。

参考 SRM 手册和相关咨询通告，推荐：

$c = (2 \sim 2.5) d$, 针对不同结构件也有 $c = (2 \sim 3) d$;

$t = (4 \sim 6) d$;

$a = 0.75d$ (交错排列) 或 $a \approx d$ (平行排列)。

当然, 上述取值还应当根据具体工作, 并从结构件的具体类型、用途和受力特点等方面进一步确定。图 14.22 为 SRM 手册中一种典型修理方案的铆钉排布。

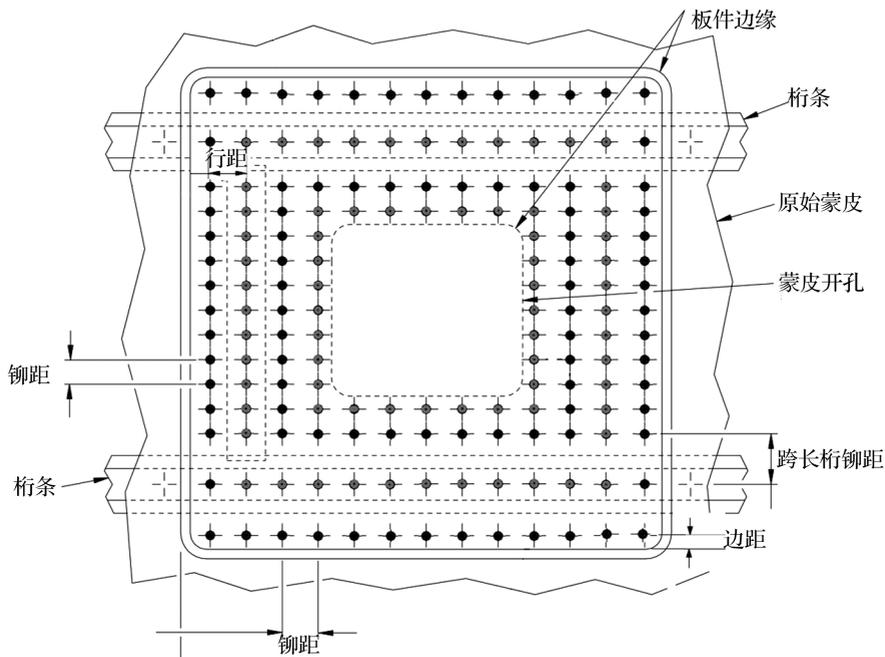


图 14.22 铆钉排布示意图

14.4 制孔与镗窝

要进行铆接工作必须先制作铆钉孔。然而铆钉孔的质量直接影响铆接的质量, 所以对铆钉孔有如下要求。

1. 制作铆钉孔

铆钉孔的质量直接影响铆接的质量, 所以对铆钉制孔质量有如下要求:

(1) 铆钉孔径应略大于铆钉杆径, 约 0.1 mm 。普通铆接用铆钉孔直径与铆钉直径的关系见表 14-3。



表 14-3 铆钉孔直径及其极限偏差

(单位: mm)

铆钉直径	2.0	2.5	2.6	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
铆钉孔直径	2.1	2.6	2.7	3.1	3.6	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1
铆钉孔 极限偏差	+0.1			+0.15			+0.2			
更换同号铆钉时 孔极限偏差	+0.2					+0.3				

- (2) 铆钉孔表面应光洁, 其粗糙度 $R_a \leq 6.3 \mu\text{m}$ 。
- (3) 铆钉孔不允许有棱角, 铆钉孔圆度应在铆钉孔直径极限偏差内。
- (4) 铆钉孔边不允许有裂纹、棱角、破边和毛刺。
- (5) 铆钉孔边的毛刺应清除, 允许在孔边形成深度不大于 0.2 mm 的倒角。
- (6) 铆钉孔轴线应垂直于零件表面, 允许由于孔的偏斜而引起铆钉头与零件贴合面的单向间隙不大于 0.05 mm, 但在成排铆钉内不多于 10%。
- (7) 铆钉孔边缘不应进入钣金件和型材件圆角内, 要保证铆钉头不能搭在圆角台阶上。
- (8) 复合材料上的铆钉孔, 孔壁应光滑, 不应有分层、划伤、劈裂和纤维松散等缺陷存在。
- (9) 在楔形件上铆钉孔轴线应垂直于楔形角的角平分线, 如图 14.23 所示。

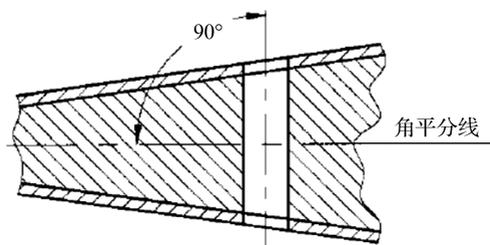


图 14.23 楔形角零件上的制孔

思政之窗

在猎鹰 L15 高级教练机的生产过程中, 铆工龙建军专门“攻坚克难”。《大国工匠》里面提到过一个案例, 在某次装配猎鹰教练机前风挡的过程中, 由于打孔误差, 造成重复打孔, 从而导致风挡结构强度不足, 整个零件必须报废, 仅此一项就造成 80 多万元的经济损失。猎鹰教练机一件边条翼上有上千颗铆钉, 由于每个铆钉、每个零件都经过精准的计算, 所以打孔就必须格外精准, 如果一个铆钉孔偏差 0.1 mm, 那么误差积累下来就会导致零件报废, 龙建军铆接的每一颗铆钉都能做到零公差。正是由于龙建军的完美加工, 才实现了零件设计的目标。

每颗铆钉在飞机上都有其重要作用。机务人员要立足岗位，提高技能水平，让飞机上每一颗铆钉的安装都符合误差要求。

钣金零件上制孔方法有：按划线钻孔，按导孔钻孔，按钻模钻孔，引孔。

(1) 按划线钻孔就是用通用量具划线钻孔。其特点是：快速，方便，简易可行，但准确率低、效率低，适用于新机试制和临时修理。

(2) 导孔钻孔就是按铆钉位置预先制出较小的孔，装配定位后，按导孔钻出装配孔。特点是：需要事先协调装配关系，确定制孔位置，效率较高，常用于批生产。

(3) 按钻模钻孔就是利用带有铆钉孔的钻模作为导套来钻孔。为了保证孔的位置准确（并保证孔的垂直度）、互换，而采用的方法。如图 14.24 所示。

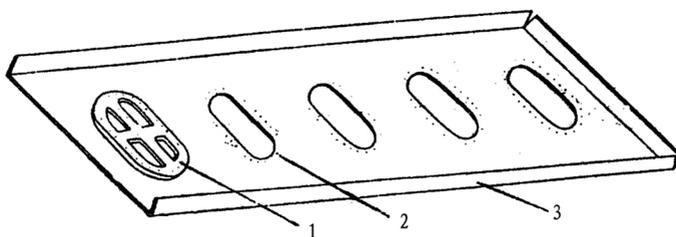


图 14.24 按钻模钻孔

1. 钻模；2. 螺钉（铆钉）孔；3. 油箱底板

(4) 在飞机维修中，拆卸下的某些构件检查修复后依然保留使用，而与其装配的构件是新制作的，这时就存在孔位的问题。按维修规范，要求利用原有的孔位。因此，就需要采用引孔方法。工作中，可以使用原报废零件的孔位进行引孔，或者使用孔复制器（引孔器）。引孔器的使用与操作见图 14.25。

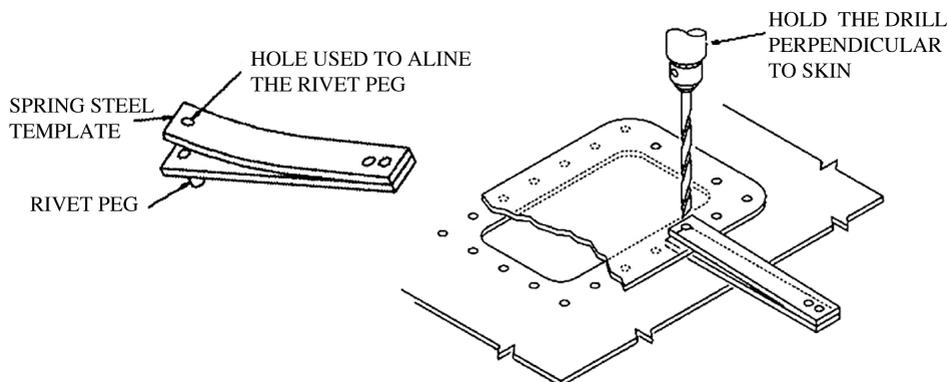


图 14.25 引孔器的使用



引孔器由两个重合的板片组成，下板片上有一个与原孔直径一样的销柱，上板片上有一个同轴同直径的孔。使用时，将下板片上的销轴插入原来的（原构件）孔里，将新构件（对正位置）放入引孔器的上、下板片之间。用相同直径的钻头通过上板片的孔在新构件上钻孔。

机务人员在做钻孔工作时应当注意劳动安全保护，佩戴护目镜，禁止戴棉线手套。

工作开始前，应检查气钻的状态，检查气钻的夹头在工作状态的跳动度是否在合理范围内。选择合适的钻头并确认钻头刃口锋利。夹持钻头时应夹持钻柄长度的2/3左右，并检查工作状态下钻头的跳动度是否符合要求。

钻孔过程中，应先找正、对中，将钻头横刃对准划线中心，使孔中心与划线中心一致，保证铆钉排列整齐。钻头要与工件表面垂直，保证孔的垂直度。修理手册要求钻孔时钻头中轴线应垂直于工件表面，且最大倾斜角控制在 $\pm 2^\circ$ 范围内，见图14.26。

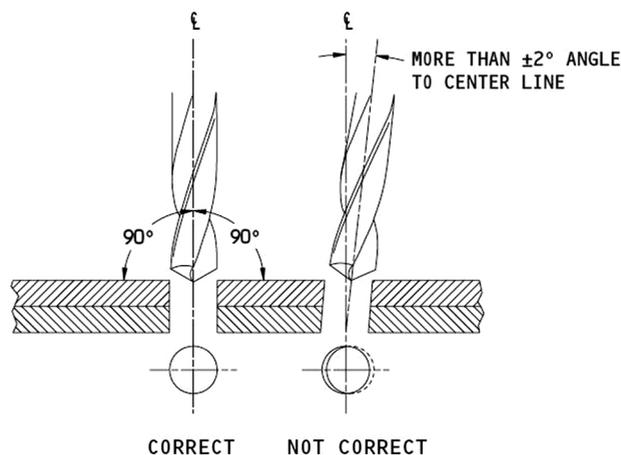


图 14.26 钻孔时钻头的正确角度

钻孔结束后，应当去除孔边缘的毛刺，再进行下一步工作。

对于要求垂直度或内壁精度较高的孔，可以借助钻孔导向块来保证钻孔垂直度，在加工终孔时采用铰刀铰孔，提高孔的内壁光洁度。

常见钻孔故障分析及改进措施见表14-4。

表 14-4 常见钻孔故障分析及改进措施

序号	故障内容	故障产生原因	改进措施
1	孔歪斜	钻头不垂直钻孔部位	检查好垂直度后再钻孔
		工件放置偏斜	

续表

序号	故障内容	故障产生原因	改进措施
2	孔径大于规定尺寸	钻头直径选错, 钻头弯曲	正确选择钻头直径
		钻头主切削刃不等长	刃磨钻头至要求
		钻夹头偏摆量过大	钻前空转检查合格后再用
3	孔径小于规定尺寸	钻头直径磨损	更换合格钻头
		钻头顶角过小	正确刃磨钻头顶角
4	孔形不圆呈多棱形	钻头两主切削刃不等长、角度不对称	刃磨钻头至要求
		钻头主切削刃不光滑	
		钻头摆动	钻头装夹后检查偏摆, 合格后再用
5	孔径外面大里面小	钻头不锋利	钻头刃磨锋利
		钻较厚工件排屑不畅	勤退钻头排屑
		握钻不稳, 气钻摇摆	钻削时, 握稳气钻, 防止摇摆
6	孔口有毛刺	钻头不锋利, 螺旋槽产生积屑瘤	钻头刃磨锋利, 清除积屑瘤
		孔将要钻透时用力过大	孔将要钻透时减小进给力
7	孔位钻偏或跑钻	钻头横刃太长、定心不准	适当磨短横刃, 在孔中心处先打冲点, 钻头对准后再钻孔; 开始起钻转速要低
		气钻启动时转速太快	
8	钻头折断	钻头主刀刃磨钝, 钻孔时强力推进	钻头刃磨锋利, 用力适当
		孔钻穿时用力过大	孔将要钻透时减小进给力
		钻削时钻头被卡住, 强行用力拽气钻	钻头卡住时用手轻力反向旋转钻头
		钻边孔时, 钻头轴线偏斜弯曲过多	注意保持钻头轴线不偏斜
		过分摇晃气钻	保持气钻稳定, 不摇晃

钻孔的安全注意事项有如下:

(1) 钻孔操作时不可以戴手套, 袖口必须扎紧。
 (2) 用钻夹头装夹钻头时要用钻夹头钥匙, 不可用扁铁和手锤敲击, 以免损坏夹头和影响钻轴精度。工件装夹时, 必须做好装夹面的清洁工作。

(3) 工件必须夹紧, 特别在小工件上钻较大直径孔时装夹必须牢固, 孔将钻穿时, 要尽量减小进给力。在使用过程中, 工作台面必须保持清洁。

(4) 钻孔时不可用手和棉纱头或用嘴吹来清除切屑, 必须用毛刷清除, 钻头用钝后必须及时修磨锋利或更换新钻头。



气钻及其使用



2. 铤窝

当飞机结构上需要安装埋头铆钉时，就需要根据铆钉钉头形状选用铤窝器，在构件放置钉头一侧加工埋头窝。

选用铤窝钻时要注意根据孔径的大小、沉头窝的角度及部件结构，选择铤钻的大小、规格。首选带限制器的铤钻铤窝，确保铤窝的深度和垂直度。因铤窝处的空间太小或结构上的原因而不能使用带限制器的铤钻时，允许单独使用铤钻铤窝。在斜面上铤窝时应使用带球形的短导杆铤钻。当工件铤窝面用普通铤钻无法铤窝时可以使用反铤钻铤窝。在批量生产中，为提高生产效率，常采用复合钻，使钻孔铤窝一次完成。

铤窝工艺要求加工埋头窝的零件厚度应当大于铆钉钉头高度的 1.5 倍。

铤窝前，先检查铤钻的大小及角度是否符合要求，导销杆的大小是否合适，切屑刃是否锋利，然后调整限制器并在试件上试钻，使铤窝的深度达到要求。通常用铆钉或标准铆钉窝规检验窝的深度，最少要检验 5 个窝，合格后，再在工件上铤窝。在工件上铤窝也要先检验合格后，才能继续铤窝，铤窝过程中，每铤 50~100 个窝，必须自检一次铤窝的质量。

在铤窝过程中，一手握紧气钻，另一手要扶住限制器，防止导套旋转，磨伤工件表面；气钻要稳，不能抖动、进给力要均匀；铤钻要垂直工件表面，限制器前端面应与工件铤窝表面相贴合；在薄零件或刚性差的结构件上铤窝时，要防止进给压力太大，使工件反弹，影响铤窝质量。

窝孔故障缺陷分析及改进措施见表 14-5。

表 14-5 窝孔故障缺陷分析及改进措施

序号	故障内容	产生故障缺陷的主要原因	改进措施
1	窝孔浅	铤窝钻调整不合要求	重新调整铤窝钻至符合要求
		铤窝钻头未钻到位	铤窝钻头钻到位
2	窝孔铤大铤深	铤窝钻用错或调整不合要求	更换铤窝钻，调整至符合要求
		固定铤窝钻头及其导销的螺钉松动	紧固夹头和螺钉一定要固紧并经常检查其固紧情况
		固定限位螺母的螺钉松动，引起位移	
3	窝孔锥角不对	铤窝钻头用错	铤窝前检查铤钻是否符合要求
4	窝孔不圆，呈多棱形	铤钻未压紧，进给力不匀	压紧铤钻，保持匀速进给
		气钻转速太慢	气钻转速要适当
		气钻头跳动过大	修理或更换气钻
5	窝孔锥角尺寸不匀，一边大一边小	铤钻壳体端面未全部贴合铤窝面	铤钻壳体端面要贴合铤窝面
		孔歪斜	铤窝时，孔要垂直工件钻孔面

续表

序号	故障内容	产生故障缺陷的主要原因	改进措施
6	窝孔椭圆	镗钻导销与配合铆钉孔的间隙过大	镗窝前检查导销与孔是否一致
		镗钻的导销过短	更换过短的导销
7	窝孔边缘有毛刺	镗钻磨钝或损坏	更换镗钻
8	窝孔周围蒙皮磨伤	镗窝时限制器转动	用手扶住限制器, 防止转动
9	镗钻导销折断或脱落	导孔径小, 孔歪斜; 镗钻未对好, 强行镗窝	孔要合格, 镗钻正确引导后镗窝
		切屑夹在孔与导销之间, 强行拽镗钻	镗窝时勤排屑
10	压窝蒙皮边缘有压痕	压窝部位与压窝器不垂直	保持压窝部位与压窝器垂直
		压模间隙不均	压模间隙调整均匀
11	压窝后孔边撕裂或产生径向裂纹	初孔直径小	钻制初孔符合要求
		钻孔后未去毛刺	钻孔后一定要去除毛刺
12	产生窝缘裂纹	模具温度和保持时间不当	按规定的工艺要求进行压窝
		压窝间隙调整不合理	合理调整模具间隙

14.5 铆接



铆枪及其使用

根据铆钉成型的受力方式, 铆接分为冲击铆接和压力铆接两类。冲击铆接就是使用榔头或铆枪为工具, 借助冲击力使铆钉形成镦头而完成铆接的方法; 压力铆接简称压铆, 就是使用压力设备或工具, 以挤压的方式使铆钉形成镦头完成铆接的方法。

思政之窗

刘时勇, 中国航空工业集团成飞公司的飞机铆装钳工, 枭龙、歼 10、歼 20 等各型号上千架战机上都留下过他精湛的技艺。30 年来零失误, 刘时勇靠的是“笨功夫”和钻研劲儿。如今, 已经是首席技能专家和高级技师的刘时勇, 仍坚守在一线岗位。他开始了一项更为重要的工作——传承。“我们这个行当需要工匠精神, 要心细、胆大、有想象力。”

机务人员应当学习刘时勇在工作中坚持的“笨功夫”和钻研劲儿, 发扬工匠精神, 用“笨功夫”做精细活, 用钻研劲儿克服大难题, 立志做新时代的大国工匠。

在冲击铆接中, 根据铆枪和顶铁的位置不同, 又可以分为正铆法和反铆法。正铆法



也叫直接铆法，铆枪顶在即将成型的镦头一侧，顶铁在钉头一侧施铆。反铆法也称间接铆法，是将正铆法施工时的铆枪、顶铁的位置互换。其中，反铆法在飞机钣金件修理中应用更加广泛。

正铆法的优点如下：

- (1) 铆接构件不受力，不易产生变形，表面质量较好；
- (2) 镦头的形成与构件的厚度无关，能铆接较厚的构件；
- (3) 铆钉杆镦粗，形成镦头速度快。

正铆法的缺点如下：

- (1) 铆接时不能自动夹紧构件，需要有夹紧构件的工序，施工效率较低；
- (2) 由于铆枪直接锤击铆钉杆尾部，所以铆接构件内部必须具有较大的空间；
- (3) 顶铁重量大，比反铆法用的顶铁重4倍，且顶紧力大，劳动强度大。

反铆法的优点如下：

(1) 铆接时，由于构件受力，能彼此夹紧，可减少连接件之间的间隙，不需要夹紧工序，施工效率较高；

(2) 铆接构件的内部不需要有较大的空间，只要顶铁能够接近施工面就可以进行铆接；

(3) 顶铁重量比正铆法用的顶铁轻。

反铆法的缺点如下：

(1) 铆接构件受力，容易产生变形，表面容易产生质量缺陷，如铆缝变形、蒙皮碰伤、打伤等，降低表面质量；

(2) 铆接时构件必须产生振动，才能使顶铁撞击铆钉，因此不能铆接较厚的构件；

(3) 较厚连接件形成镦头速度慢，且质量有时达不到要求。

冲击铆接工作绝大多数工作量都是由两个铆工共同来完成的。但在结构件容许的条件下，也可由一名铆工来完成一定量的铆接工作，如图14.27所示。无论采取何种冲击铆接方法，铆工在铆接工作中都应遵循铆接操作要领。

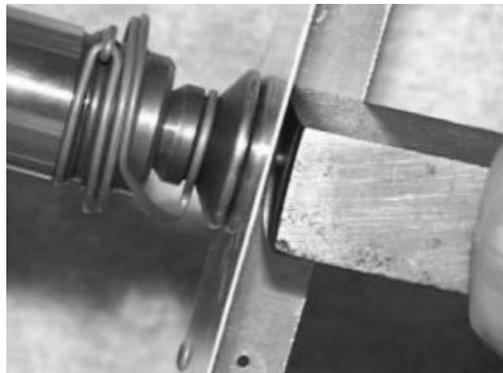


图 14.27 铆接施工

在铆接操作前，首先要注意劳动安全，然后根据铆钉直径、材料和铆接件结构特点选用合理型号、功率的铆枪及相应的窝头；合理选用顶把重量、形状；同时要检查窝头和顶铁工作面是否符合粗糙度要求。窝头安装后要先在木块上冲击试枪，检查冲击是否自如（见图 14.28）。

铆接工作开始后，主枪手要先轻按铆枪扳机点铆，试听声响，确认对方顶好，方可连续冲击铆接。窝头中心线和顶把工作面应始终保持与铆钉中心线相一致，如图 14.29 所示。



图 14.28 铆枪测试

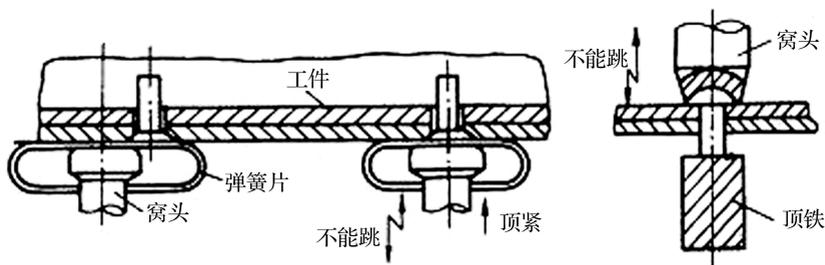


图 14.29 铆窝、顶铁在施工中的位置

铆接时主枪手和顶钉手配合要协调。通常采用敲击工件发出声响作为信号。一般规定：敲击一次表示已准备好（顶铁已顶好），可以铆接了；敲击两次表示铆接合格；敲击三次表示不合格。图 14.30 为反铆法的主要施工流程。

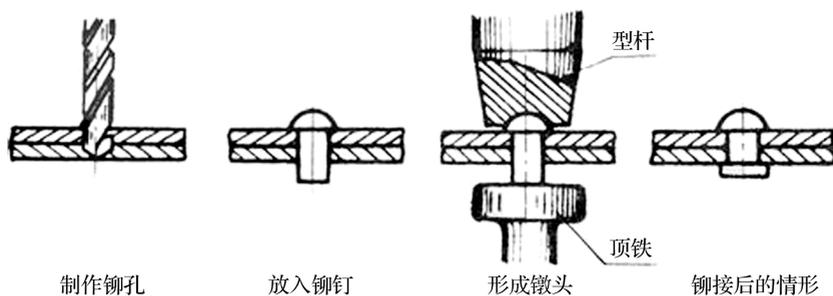


图 14.30 反铆法的主要施工流程

对于飞机构件的铆接来说，依据铆接件的结构，铆接应按一定顺序进行，通常采用中心法和边缘法，如图 14.31 和图 14.32 所示。

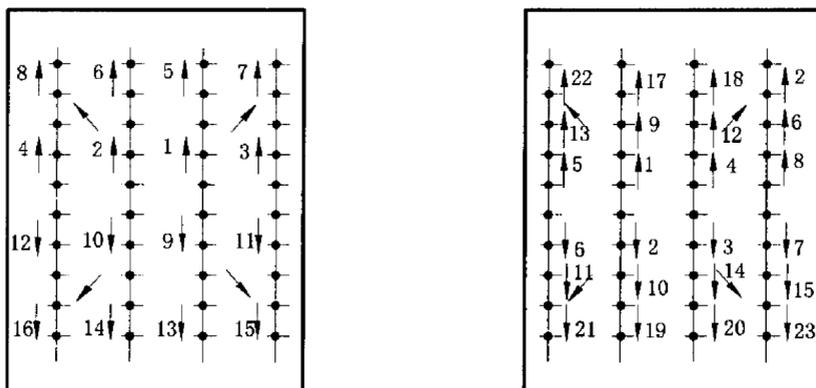


图 14.31 中心法铆接顺序

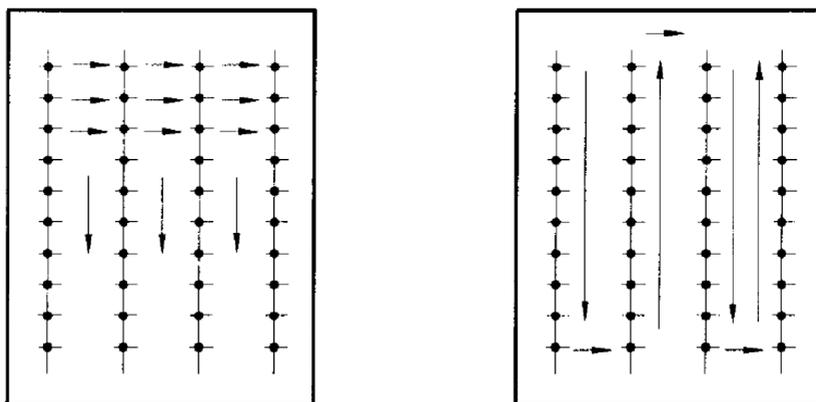


图 14.32 边缘法铆接顺序

铆接后的质量要求主要有以下几点：

- (1) 首先，铆接后的铆钉头表面不准有伤痕、压坑、裂纹等缺陷及其他机械损伤。
- (2) 钉头与铆接件的表面应贴合，允许有范围不超过 $1/2$ 圆周的间隙 (≤ 0.05 mm)，但在一排中这种铆钉数量不应超过 10%，且不允许连续出现。
- (3) 翼面上的埋头铆钉头凸出蒙皮的高度值应尽量在 0.02~0.05 mm 之间，机身上的埋头铆钉头凸出蒙皮的高度值应低于 0.1 mm。
- (4) 铆接后，被连接件的铆钉处不允许存在间隙，但在两个铆钉之间允许存在局部间隙，具体可允许间隙值见表 14-6。

表 14-6 铆接件铆钉间允许的间隙

(单位: mm)

蒙皮厚度	铆钉间距 (t)	允许间隙
≤ 1.5	> 40	≤ 0.5
1.6~2.0	≤ 40	≤ 0.3
> 2.0	20~40	≤ 0.2

(5) 铆钉头的周围蒙皮允许的凹陷见图 14.33, 凹陷量见表 14-7。

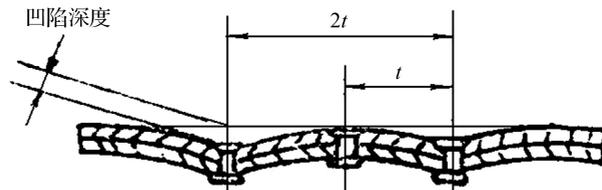


图 14.33 蒙皮下凹示意图

表 14-7 蒙皮允许的凹陷量

测量单元	部位	允许下凹量 (mm)
一个铆钉间距	一般结构	≤ 0.2
	进气道内部结构	≤ 0.4
	难铆接处	≤ 0.3
两个铆钉间距	一般结构	≤ 0.2
	多排铆钉, 间距小于 30 mm, 弯曲半径小于 300 处	≤ 0.3

(6) 铆钉镦头不允许有裂纹, 标准镦头应呈鼓形, 不允许成“喇叭形”或“马蹄形”。

镦头的尺寸包括形状、高度 (H) 和直径 (D) 三个参数, 如图 14.34 所示。镦头形状要求为腰鼓形, 高度 $H=0.5d$, 直径 $D \approx 1.5d$ 。

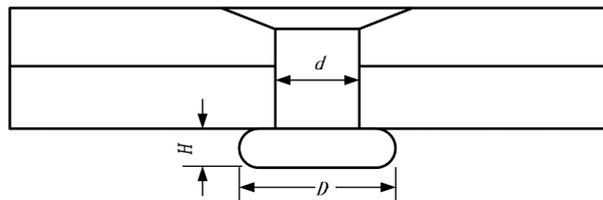


图 14.34 铆钉镦头的规格



在飞机结构中，有的铆缝两面都要求是平滑的表面，在这种情况下，一般采用双面埋头铆接形式。双面埋头铆接有三种形式，见图 14.35。

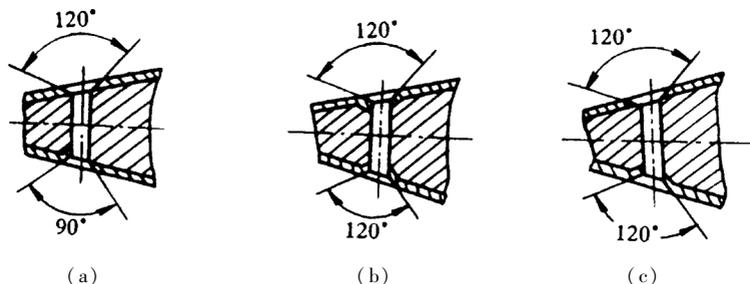


图 14.35 双面沉头铆接形式

双面沉头铆接操作要点如下：

- (1) 铆钉轴线应垂直于楔形件两斜面夹角的平分线。
- (2) 如果铆件为平面状，应垂直于工件。埋头铆钉头窝孔和镦头窝孔中心线应垂直于蒙皮表面。
- (3) 埋头铆钉窝的锥角应按产品图样中给定的铆钉型号来确定。
- (4) 不同的窝锥角要选用相应窝锥角的铤钻铤窝或相应锥角的模具压窝。
- (5) 铆接时尽量采用正铆法，以达到良好的质量要求。

楔形工件双面埋头铆接，铆枪窝头要垂直于被铆部位；顶铁在初铆时，其工作面应垂直于铆钉轴线，当埋头镦头快要形成时，顶把工作面应当与铆接件的铤窝孔所在平面平行，直至埋头镦头铆好。镦头质量检验可以用如图 14.36 所示的方法。

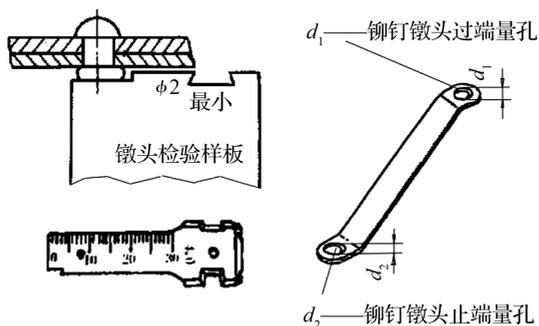


图 14.36 铆钉规检验铆钉镦头

常见铆接质量缺陷及分析见表 14-8。

表 14-8 常见铆接质量缺陷及分析

序号	缺陷种类	产生原因	改进措施
1	埋头铆钉钉头面凹进零件表面	①窝镗得太深	更换铆钉或加大铆钉
		②铆钉头高度太小	
2	埋头铆钉钉头凸出零件表面	①窝镗得太浅	①重新窝窝； ②更换铆钉
		②铆钉头高度太大	
3	铆钉头与钉窝之间有间隙	①钉头与窝的角度不一致	重新窝窝，用大一号铆钉铆接
		②钉窝偏斜	
4	钉杆在钉头下镢粗，钉头与零件有间隙	①铆接时窝头压力不够	更换铆钉或补铆
		②顶铁压紧力过大	
5	铆钉头与构件表面有单向间隙	①铆接时冲头倾斜	更换铆钉或补铆
		②铆接时铆孔不垂直	
6	铆钉镢头直径过大	①铆钉长度过长	更换铆钉
		②铆接力过大	
7	镢头偏移过大	①铆钉过长	更换铆钉
		②顶铁顶得不正确	
		③钉孔偏移	
8	零件间有间隙，钉杆在零件间镢粗	①铆接时零件贴合不好	拆除铆钉，排除夹层间隙后重铆
		②零件未被夹紧	
9	镢头高度过大，直径过小	①铆接时顶紧力不够或锤击时间过短	重新铆接
		②压铆机调整得不正确	
10	铆钉杆在钉孔内弯曲	铆孔直径过大	更换更大铆钉
11	镢头形状为喇叭形	①铆枪的功率太小或气压足	更换铆钉
		②顶铁的重量不够	
12	镢头偏斜	①铆接时顶铁的工作面与构件表面不平行	更换铆钉
		②工具工作面歪斜（压铆时）	
13	铆钉头或镢头打伤，镢头上有裂纹	①铆接时冲头或顶铁掌握不正确	更换铆钉
		②铆钉材料塑性不足	
14	铆钉头周围蒙皮下凹	①蒙皮与骨架之间有间隙	校正敲修
		②铆接时操作者不协调	
		③顶铁重量和铆枪功率不匹配	
15	蒙皮局部区域鼓动	①蒙皮本身有鼓动	在鼓动区域合理补充加强件
		②蒙皮和骨架贴合不好	
		③未按顺序铆接	



铆接的安全注意事项如下：

- (1) 铆接前应检查窝头和顶铁，不得有裂纹和毛刺。
- (2) 铆接前要检查气源压力，是否漏气。
- (3) 窝头安装在铆枪上应拴住保险（或用橡皮绳系牢在铆枪柄部），如图 14.37 所示，不铆接时不得扣动扳机，也不得对着工作物和人，防止失手撞击扳机，发生意外事故。

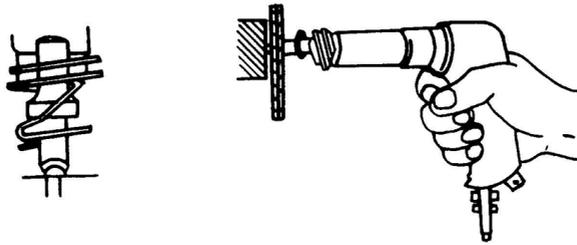


图 14.37 窝头拴住保险

(4) 铆接时，主枪手和助手均应戴好护听器（或护耳棉、护耳塞等），以减少噪音保护听力。

(5) 试铆枪时不能空打；不能在地面、操作台面或台虎钳等设备上试铆枪，这样做会损坏铆窝头与台面和设备。一定要顶在工作台面上的垫木板或厚胶皮上试枪。

(6) 铆枪要与铆钉中心对正，并与被铆工件表面垂直，不能打在工件表面。铆接过程一定要配合顶铁使用。

(7) 不管哪种铆接姿势铆接，持枪的胳膊一定要夹紧，铆枪要拿稳。

(8) 窝头、顶铁、冲子等工具产生飞边时，应及时磨修掉，防止使用中飞边崩出伤人。

(9) 只有在窝头压紧在铆钉头上，顶铁顶在铆钉杆上的时候方可开动铆枪，铆接完毕应立即取下窝头；铆枪先与铆钉顶紧后，再开动扳机（按钮），先轻打（轻按按钮），再重打（增加按钮行程），铆接快要完成时，也要轻打（适当放开按钮）。遵循“轻—重—轻”的操作方式。

(10) 在型架高层工作的铆工必须把工具放置在牢靠、稳妥的位置上，以防工具等物件坠落下层，在型架底层工作的铆工，必要时应戴上防护帽，防止高层物件坠落伤人。

(11) 铆接过程中，包括钻孔、镗窝的过程，一定要注意力集中，不可麻痹大意。

(12) 两人以上的配合工作，一定要协调好，配合钻孔、铆接一定要默契。

(13) 工作前要了解工况，工作中要观察环境，注意头上、脚下的其他工具、构件、设备、废弃品等。

(14) 除了铆接工具、设备，应用其他辅助工具时，要注意用电安全，防止触电、

误操作等；化学品如酒精、丙酮、胶液、油漆等要注意防火、防爆、防伤害和污染。

(15) 不在环境不允许的情况下工作，不在设备、工具和程序不清楚时工作。

(16) 要对所使用的耗材、工具和操作程序清楚，并保持工作环境的干净、整洁。

此外，拉铆钉施铆所用工具为拉铆枪，它有手动与气动两类。每一类都有很多形式及牌号以适合各种不同形式和不同直径的铆钉以及各种不同通路的铆接部位，有的则附有很多种类的转接器。图 14.38 为常见的手动拉铆枪和气动拉铆枪。

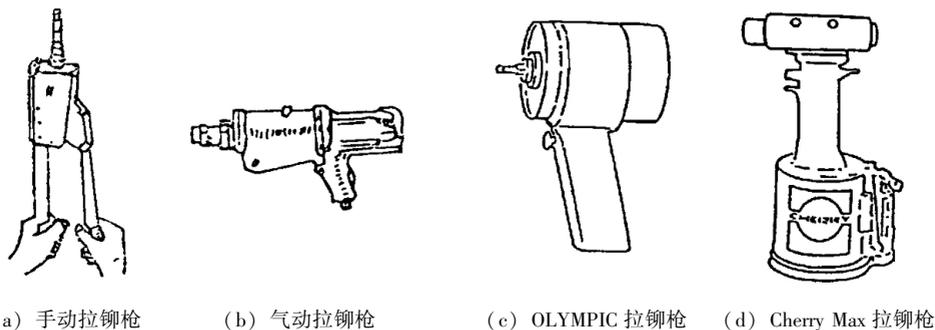


图 14.38 拉铆枪

拉铆钉的铆接质量与制孔质量、操作技能以及铆钉长度的选择是否合适有着密切的关系。为了保证质量，铆接前应先在与工件厚度相等的试验件上试铆，合格后再到工件上铆接。拉铆钉施铆工艺过程如下：

1) 制孔

通常采用钻—扩或钻—铰一体的复合钻来完成制孔。若为埋头铆钉，则在制孔后还要进行铤窝或压窝。拉铆钉对孔的直径及垂直度要求较高。在波音飞机上，制孔应满足 BAC5004-3 的要求。

2) 选用合适的拉铆枪及拉头

按铆钉的种类以及直径大小选用合适的拉铆枪。普通拉铆钉选用单动作的拉铆枪，带锁紧环的拉铆钉（Cherry Max 铆钉除外）则必须使用双动作的拉铆枪。

根据拉铆部位的可达性选用不同形状的拉头。

3) 施铆过程

将铆钉尾杆塞入拉铆枪的拉头内，拉头内的卡爪将铆钉夹住。将铆钉芯杆放入孔内，使拉铆枪垂直工件表面并压紧以消除连接件之间的间隙。当拉铆枪继续将芯杆往上拉，逐渐将钉孔全部填满并产生一定程度的干涉量，铆钉杆与铆钉体互相挤压，铆钉体填满铆孔，铆钉杆直径收缩，这个过程叫作拉丝过程。压入锁圈（如果有），拉铆枪的第二个动作将锁圈推入芯杆与钉套的锁紧环槽内。芯杆被拉断，完成拉铆。用铣平器将芯杆外露高出钉头的部分铣掉，而有些种类的铆钉因其断口与钉头基本平齐，因此就不用铣切。



14.6 铆钉的拆除



铆钉拆除工艺

当飞机上存在损伤或腐蚀的结构零部件时，往往需要先拆除损伤零部件，再进行更换或离位修理。此时需要钣金工拆除结构件连接用铆钉紧固件。

拆除铆钉应遵守下列规则：

- (1) 查阅资料，判断铆钉的规格、尺寸。
- (2) 拆铆钉一般用手动气钻，破坏性拆除时才允许使用镊子、打磨器等工具。
- (3) 选钻头。对公制铆钉来说，选用比铆钉直径小0.1 mm的钻头（铆钉直径大于5 mm以上时，可以选比铆钉直径更小一点的钻头，如0.15 mm）；对英制铆钉来说，可以选与铆钉直径一样的钻头，或者直径小一号的钻头。
- (4) 对于凸头铆钉，尤其是半圆头铆钉，一定要比较准确地找到铆钉中心才开始钻孔，在允许的情况下，可以锉平铆钉顶面，并用中心冲打出中心凹点，但要绝对注意不能使构件变形、受损。
- (5) 在起钻时，用钻头对准铆钉头中心，轻晃1~2下，用手转动钻夹头，使钻头横刃在铆钉头上旋一小坑（与使用中心冲的效果相当，但更有效率，且不容易使构件变形）。
- (6) 选铆钉冲。一般规定用比铆钉直径小0.1 mm的铆钉冲（平冲）。
- (7) 当钻头将铆钉头部分快要钻掉时，此时铆钉头与顶杆相连的材料厚度小于0.05 mm。用铆钉冲冲出铆钉杆，此时钉杆尾端用带凹孔的顶具顶牢工件。
- (8) 若钻孔时有偏斜（与中心轴线偏斜，则铆钉头与铆钉杆相连材料就不均匀，部分地方较厚），则应用铆钉冲插入孔中撬断铆钉头。
- (9) 如果起钻后发现孔与铆钉中心偏离，则稍微倾斜气钻钻头，使钻头尖指向材料较多的一侧，将孔中心纠正到铆钉轴线上。注意：钻头的倾斜角度（钻头轴线与铆钉中心轴线的夹角）不要超过5°，角度过大容易滑钻（钻头跑出铆钉向前冲），造成危险，或者划伤构件、折断钻头等。
- (10) 发现钻孔较深，且无法纠正钻头到铆钉中心时，应停止钻孔，用小锉刀将钻孔以上部分铆钉头材料锉掉，并重新在铆钉中心钻孔，直到达到步骤（7）所述的情况。
- (11) 使用铆钉冲冲出铆钉杆时，也要使铆钉冲轴线与铆钉轴线重合，并与构件表面垂直。铆钉镦头一面要用凹形工具（或木块）顶撑，防止构件弹性晃动与变形。
- (12) 用榔头敲击铆钉冲时，要准确，力量适当。
- (13) 不可直接用钻头将铆钉杆钻穿，这样很容易使拆除铆钉的孔形成椭圆形，或8字形。
- (14) 拆除小直径铆钉（直径 $\Phi 2.6$ mm， $\Phi 3$ mm， $\Phi 3.5$ mm，英制的 $3/32$ in、

1/8 in) 时, 因为所用钻头直径小, 钻头一定要与构件垂直, 并适当用力下压 (进给力要小一点), 否则钻头很容易折断。

(15) 拆铆钉过程中要做到: ①不伤构件; ②不伤孔壁; ③构件不变形。

铆钉拆除的基本操作方法如图 14.39 所示。

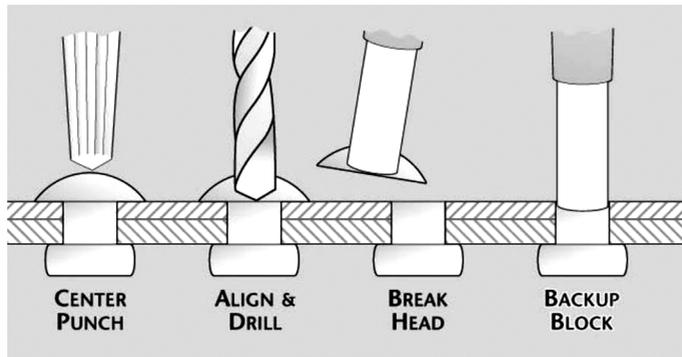


图 14.39 铆钉拆除步骤

另外, 钣金工作人员应当做到安全、文明施工, 具体要求如下所述。

- 应当谨记机务人员三十二字作风: 敬业爱岗、诚信务实、认真负责、遵章守纪、严谨规范、精益求精、吃苦耐劳、团结协作。

- 应当做到“三个敬畏”: 敬畏生命、敬畏规章、敬畏职责。
- 应当做到“四个意识”: 规章意识、红线意识、风险意识、举手意识。
- 应当做到“五个到位”: 准备到位、施工到位、测试到位、收尾到位、交接到位。

思考题

1. 剪切断口分区的名称是什么? 如何提高剪切质量?
2. 如何确定折弯参考线?
3. 什么叫作收边? 什么叫作放边?
4. 什么叫作拔缘? 拔缘的作用有哪些?
5. 简述边距、铆距和行距的含义。各自的取值范围是多少?
6. 简述铤窝钻的使用注意事项。
7. 简述铆接方法的分类及其优缺点。
8. 简述镢头形状、高度和直径的要求。

第 15 章 SRM 手册的介绍与应用

15.1 SRM 手册概述

飞机结构修理手册是维修单位对飞机结构进行修理的法定技术文件。它是非客户化手册。它详细说明了飞机结构及其修理的程序。

SRM 手册包括以下内容：

- (1) 结构材料的识别；
- (2) 结构可允许损伤的标准；
- (3) 典型结构零件损伤的修理方案；
- (4) 有关通用修理施工、材料方面的信息；
- (5) 修理工艺程序；
- (6) 所有涉及飞机结构完整性的资料。

在 SRM 中可获得如下信息：

(1) 结构材料的识别，包括合金牌号、热处理状态、外形工艺、表面防护工艺、修理中材料替代要求、紧固件件号和替代要求等。在需要对结构备件识别资料进行更换时，可依据该资料所提供的信息，提出订购建议。

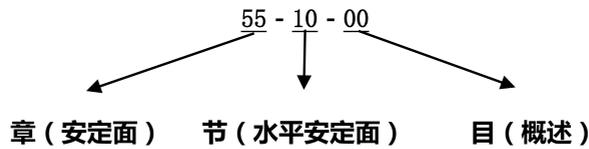
(2) 飞机结构主要结构元件图解说明，以及飞机校准检查标准和程序。

(3) 对于结构不同部位所出现的各类损伤作出图解介绍，并界定了可允许的损伤形式和界限（标准）及处置要求，对超过该标准的严重损伤，提供修理方案，此类方案均具有典型性。

15.2 SRM 的编排与编码

SRM 手册是按 ATA 规范 100 编排的。SRM 手册章节号的表示方法与飞机维修手册相同，由三个部分（六位数字）表示。每部分有两个数字。

例如：



SRM 手册的章号包括 ATA51~57 章，每章内容有 ATA 统一给定，具体是：

51 章——结构概述	Structures General
52 章——舱门	Doors
53 章——机身	Fuselage
54 章——发动机吊舱	Nacelles/Pylons
55 章——安定面	Stabilizers
56 章——窗户	Windows
57 章——机翼	Wings

节是对章的进一步细分，节号的第一个数字由 ATA 统一给定，第二个数字由运营人自己确定。每一章对应的节号的内容如下所示：

51 章节号编排如下：

51-00	概述
51-10	检查、清理损伤以及气动光滑性
51-20	工艺程序
51-30	材料
51-40	紧固件
51-50	飞机修理的支撑和对称性检查
51-60	控制表面平衡
51-70	修理

第 52~57 章是有关主要飞机部件的内容，节号是为专门的部件指定的。

52 章	舱门
52-00	概述
52-10	乘客/机组舱门
52-20	应急出口舱门
52-30	货舱门
52-40	勤务舱门
52-50	内部安装（固定）门
52-80	起落架舱门
53 章	机身
53-00	概述



- 53-10 机身 41 段
- 53-30 机身 43 段
- 53-60 机身 46 段
- 53-80 机身 48 段
- 54 章 发动机吊舱
 - 54-00 概述
 - 54-10 进气道整流罩
 - 54-20 风扇整流罩
 - 54-30 风扇管道整流罩和反推装置
 - 54-50 吊架
- 55 章 安定面
 - 55-00 概述
 - 55-10 水平安定面
 - 55-20 升降舵
 - 55-30 垂直安定面
 - 55-40 方向舵
- 56 章 窗户
 - 56-00 概述
 - 56-10 驾驶舱窗户
 - 56-20 客舱窗户
 - 56-30 门上窗户
 - 56-40 检查和观察窗
- 57 章 机翼
 - 57-00 概述
 - 57-10 中央翼
 - 57-20 外翼
 - 57-30 翼尖
 - 57-40 机翼前缘和前缘装置
 - 57-41 前缘
 - 57-43 前缘缝翼
 - 57-50 机翼后缘和后缘装置
 - 57-51 后缘
 - 57-53 后缘襟翼
 - 57-60 副翼
 - 57-70 扰流板

第三单元表示目，用来进一步描述细节内容。

- 例如：5x-xx
- 00 概述
 - 01 蒙皮和板
 - 02 结构完整性
 - 03 桁条和蒙皮加强件
 - 04 肋间桁条、支撑桁条
 - 05 大梁
 - 06 翼肋、隔框
 - 07 骨架
 - 08 翼肋
 - 09 隔框
 - 10 翼梁
 - 11 辅助梁
 - 12 龙骨梁结构
 - 13 梁
 - 14 起落架支撑结构
 - 15 门框结构
 - 16 边缘
 - 30 辅助的
 - 50 地板
 - 51 地板结构
 - 52 封严条
 - 53 货舱特殊结构
 - 70 整流带、条，蒙皮和板
 - 71 整流条包皮结构
 - 72 雷达罩和天线整流装置
 - 90 接头

手册中的页码（页段）及其表示的内容如下：

- 1~99 页——结构识别；
- 101~199 页——允许损伤界定；
- 201 页及以后——修理。

对于手册中的图页号，SRM 中图页号的编排与 AMM 是一致的。

在 1~99 页码中将以图 1 开始，按顺序排列；

在 101~199 页码中将以图 101 开始，按顺序排列；

在 201 页及以后的页码中将以图 201 开始，按顺序排列。



15.3 结构损伤报告

在使用 SRM 手册时，首先需要确定损伤类型，并提供详细的损伤报告。损伤报告是评估可允许损伤和制订修理方案的重要依据。损伤报告需要包括：飞机注册号，损伤零件所在的章—节—主题—页码，图纸号，生产序列号，损伤类型，损伤具体尺寸等信息。

15.4 可允许损伤的判定

根据飞机损伤结构所在“章—节—主题”的“Identification”资料信息，确定损伤结构的材料、热处理方式、设计厚度等参数。

再根据损伤所在的具体位置的结构件类型判断是否为可允许损伤，根据飞机损伤结构所在“章—节—主题”的“Allowable Damage”资料信息，判断损伤是否为允许损伤。一般损伤可以分为不可修理损伤和可修理损伤，可修理损伤又可以分为可允许损伤和不可允许损伤。其关系如图 15.2 所示。

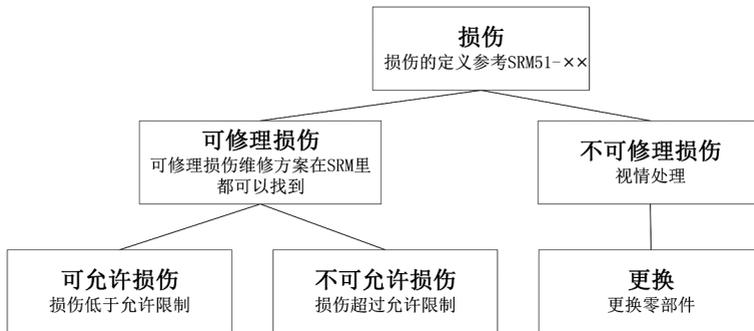


图 15.2 结构类损伤的规定

其中，可允许损伤指不影响结构完整性或者降低部件功能的轻微损伤，或者不需要加强修理或者换件修理的结构损伤。可允许损伤并不意味着不需要修理，对损伤区域去除所有尖角和毛刺，并抛光使其和完好区域圆滑过渡，是十分必要的。

不可允许损伤指已经超出可允许极限的损伤，但是其可以通过切除损伤区域和对其进行加强修补的方式来修理的损伤。

15.5 维修方案的确定

如果结构损伤超出允许损伤极限，根据损伤结构所在“章—节—子节”“典型修理”部分，查找有无“典型修理”方案。如果有“典型修理”方案，按照修理准则确定结构具体施工方案。如果没有“典型修理”，设计修理方案需要报批。

在 SRM 中，提供以下两种结构修理方案（SRM51-00-06）。

第一种是经过损伤容限评估的修理方案，包括 A 类、B 类和 C 类修理。

A 类修理，是指经过修理后，结构的检查间隔以及方法已经能够确保其持续适航性的永久性修理；

B 类修理，是指经过修理后，飞机飞行超过规定的飞行循环门槛值后，要求进行附加检查，以确保结构修理符合持续适航性要求的永久性修理。B 类修理要求在每个修理完成之后，确定开始进行结构修理附加检查的门槛时间和重复间隔时间。B 类修理的门槛值一般等于飞机设计寿命的 75%。

波音 737 的设计寿命是 75000 飞行循环，波音 737-200 飞机的机身结构外补修理的附加检查一般在 0.75×75000 个飞行循环后开始，并且每隔 12000 个飞行循环进行一次内部高频涡流检查。

如波音 737-800 前登机门外蒙皮的外部加强修理，就是 B 类修理。

C 类修理，是指经过修理后，改变了原结构的损伤容限特性，使得 MPD 的检查不能满足结构修理的检查要求，结构的强度或疲劳寿命不能满足修理的要求，必须在到达规定期限后，重新修理或更换成 A 类或 B 类修理。

第二种是没有经过损伤容限评估的修理方案，包括永久性修理、过渡修理和限时修理。

永久性修理，是指经过修理后，结构强度和耐久性都达到 MPD 的要求，不需要进行修理后的附加检查的修理。如机身蒙皮内部实心铆钉的加强修理。

过渡修理，是指经过修理后，结构只达到强度要求而耐久性（疲劳寿命）不需要附加检查的修理。

限时修理，是指经过修理后，结构只达到强度要求而耐久性没有保证的修理，MPD 检查时不能满足航空器的持续适航要求。这种修理必须进行附加检查并在一定时间内更换为永久性修理或过渡修理。

思考题



1. 简述 SRM 手册对应的 ATA 章节号及其对应标题。
2. SRM 手册可以查询哪些结构修理内容？



3. 如何使用 SRM 手册判断可允许损伤?
4. 简述 SRM 手册中的两种结构损伤修理方法的分类。

参考文献

- [1] 任仁良. 维修基本技能 (ME、AV) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [2] 黄方遒. 飞机维修工程基本技能指导 [M]. 北京: 中国民航出版社, 2012.
- [3] 简明钳工手册编写组. 简明钳工手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [4] 徐文德. 钳工工艺与技能训练 (含习题册) [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [5] 钟翔山, 钟礼耀. 实用钳工操作技法 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [6] 汪哲能. 钳工工艺与技能训练 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [7] 林立. 钳工工艺与加工技术 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2013.
- [8] 孔庆玲. 金工实训 [M]. 北京: 清华大学出版社, 北京交通大学出版社, 2012.
- [9] 金禧德. 金工实习 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- [10] 魏永涛, 刘兴芝. 金工实训教程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [11] FAA. Airframe & Powerplant Mechanics Airframe Handbook [M]. 1976.
- [12] Boeing. Boeing 787 Structure Repair Manual [Z]. 2014.
- [13] Boeing. Boeing 737-800 Structure Repair Manual [Z]. 2010.
- [14] 黄昌龙, 徐海蓉. 运输类飞机外场结构损伤抢修 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2019.
- [15] 孟忠文. 飞机结构修理 [M]. 北京: 中国民航出版社, 2016.