

工程机械驾驶室设计与安全技术

王继新 李国忠 王国强 编著



化学工业出版社

工程机械驾驶室设计与安全技术

王继新 李国忠 王国强 编著

GONGCHENGJIXIE
JIASHISHI SHEJI
YU ANQUAN JISHU



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

工程机械驾驶室设计与安全技术/王继新, 李国忠, 王国强
编著. —北京: 化学工业出版社, 2009. 8

ISBN 978-7-122-06141-6

I. 工… II. ①王…②李…③王… III. ①工程机械-驾
驶室-设计②工程机械-驾驶室-安全技术 IV. TU6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 105886 号

责任编辑: 周 红

装帧设计: 关 飞

责任校对: 郑 捷

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张 20 字数 401 千字 2010 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

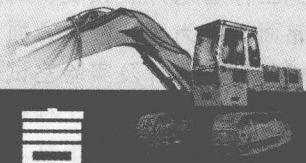
购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究



前言

20 世纪末期,随着我国工程机械日益崛起,工程机械产品生产已经实现由合作制造到中国制造的逐步转变。多种方式的技术创新提升了我国工程机械行业的技术水平,随着技术上逐渐接近国外先进水平,国产品牌已经占到我国工程机械市场的 90% 以上。同时我国工程机械产品源源不断地销往世界 100 多个国家和地区,得到越来越多客户的青睐,产品的自主研发和创新已经成为我国工程机械产业实现由“制造大国”向“制造强国”转变的必经之路。

长时间以来,工程机械生产企业都把对驾驶室的设计看作是整机设计的一项附属工作,多是仿制国外产品,很少设置专门设计机构对其进行深入研究和开发创新。直到进入 20 世纪末期,产品的自主研发才成为企业发展的生命线,工业造型设计在工程机械产品开发中的应用,才越来越被重视,驾驶室的人性化设计、安全设计、舒适性设计,开始列入新产品开发的重要内容。

看似简单的驾驶室,实际上是技术密集型和劳动密集型相结合的产品。说它技术密集,是因为驾驶室设计除涉及与工业生产有关的机械设计知识、生产工艺知识、钣金加工知识、涂装知识外,还涉及人机工程学、工业造型设计、装饰艺术、色彩设计、取暖制冷和通风、防振隔声、密封、照明、结构分析和试验等各方面技术。说它劳动密集,是因为驾驶室的生产制造,除使用机械外,仍有很多机械无能为力而必须由手工操作来完成的部分,如驾驶室的焊接件和钣金件都需逐个手工打磨抛光和补焊,涂装作业的刮腻子、磨平,给焊缝处打密封胶、装密封条等也必须由手工完成。不难看出,手工操作往往还是保证产品质量的重要一环。

尽管工程机械驾驶室设计和汽车车身设计有很多相同之处,但工程机械工作环境、作业特点和机械构造有很大差别,决定了工程机械驾驶室设计独有的特点。主要表现在:工程机械驾驶室大部分属于有骨架驾驶室;工程机械驾驶室虽然都属于非承重结构,但对安全驾驶室承受侧载、垂直载荷、纵向载荷和侧向吸收变形能的要求要比汽车车身严格得多;出口产品的驾驶室必须有符合国际标准要求的 ROPS 和 FOPS。而对 ROPS 和 FOPS 设计方法和试验方法的研究,在我国工程机械行业刚刚起步,还有大量工作需要完善和研究,对已取得的经验和教训需要总结提高。目前,虽有汽车车身设计方面的书籍,但满足不了工程机械驾驶室设计的要求。

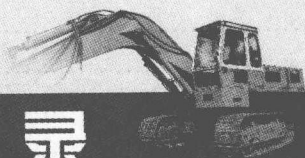
工程机械行业对驾驶室设计研究工作普遍开展较晚，时至今日在图书市场还未见有关工程机械驾驶室设计的书籍面市。为了弥补这方面设计资料的缺少，笔者结合多年教学工作和参与工程机械驾驶室设计及实验室试验的实践，在参阅了大量国内外文献的基础上，编写了本书，旨在为从事工程机械驾驶室设计人员和实验人员提供一点可供参考的资料，特别是为刚刚走上技术岗位的见习工程师们在开始他们的专业工作时作为实践指南，并力图通过实用理论和设计实例的介绍，让技术人员在自己的具体设计中有所借鉴。

全书共分 10 章，分别介绍了工程机械覆盖件及其特点，工程机械驾驶室总体布置设计，工程机械驾驶室设计中的人机工程学应用，驾驶室造型设计、普通驾驶室设计、舒适性设计及驾驶室安全保护结构设计，驾驶室安全结构性能试验方法，国外货车驾驶室设计技术现状及实验室试验方法等内容。

受水平和条件所限，书中难免有不妥之处，诚恳地欢迎各位读者批评指正。

编者

目 录



第 1 章 工程机械覆盖件	1
1.1 覆盖件在工程机械上的位置	1
1.2 工程机械覆盖件的成型特点	2
1.2.1 工程机械覆盖件质量要求	3
1.2.2 工程机械覆盖件的结构特点	3
1.2.3 工程机械覆盖件成型特点	4
1.3 覆盖件与结构件的材料及性能	9
1.3.1 工程机械覆盖件和结构件常用钢材	10
1.3.2 金属板材性能及试验方法	16
1.3.3 金属板材性能参数与成型性的关系	22
1.3.4 覆盖件用玻璃钢	24
1.3.5 工程机械用涂料和胶粘剂	27
第 2 章 工程机械驾驶室总体布置设计	33
2.1 工程机械驾驶室的类型	33
2.2 工程机械驾驶室总体布置设计	36
2.2.1 驾驶室内部布置设计	36
2.2.2 操纵装置的布置	38
2.2.3 人体模板的应用	46
2.2.4 工程机械驾驶室司机操纵及总体布置设计的相关标准	46
2.3 操纵器的设计	47
2.3.1 操纵器设计的一般原则	47
2.3.2 操纵器的形状和式样	48
2.3.3 操纵器的大小	48
2.4 仪表板的布置	50
第 3 章 工程机械驾驶室设计中的人机工程学应用	53
3.1 人体尺寸及人体数据应用	53
3.1.1 人体尺寸	53

3.1.2 人体数据的应用	58
3.2 设计用人体模板和模型	61
3.3 视野特性	63
3.3.1 视野和色觉视野	63
3.3.2 视色觉和颜色恒常数	64
3.3.3 视错觉	65
3.3.4 视觉特征	65
3.4 作业环境	66
3.4.1 热环境	66
3.4.2 噪声环境	67
3.4.3 振动环境	70
第4章 工程机械驾驶室造型设计	75
4.1 工程机械驾驶室造型设计的内涵	75
4.2 驾驶室造型设计的程序和方法	76
4.2.1 造型设计的程序	76
4.2.2 造型设计的方法	77
4.2.3 工程机械驾驶室造型设计要点	80
4.3 驾驶室造型设计内容与形式的关系	83
4.4 工程机械驾驶室造型设计及形式美原理	84
4.4.1 形态的种类	84
4.4.2 基本造型元素及运用	84
4.4.3 形象设计	86
4.4.4 肌理	88
4.4.5 形式美原理	89
4.5 驾驶室装饰件造型设计	91
4.6 驾驶室外形及室内造型效果图绘制	94
4.6.1 透视投影的基本知识	94
4.6.2 透视投影图的绘制	96
4.7 驾驶室的涂装工艺和色彩设计	98
第5章 工程机械普通驾驶室结构设计	104
5.1 驾驶室骨架设计	104
5.1.1 骨架杆件的配置	105
5.1.2 杆件截面形状与刚度的关系	105
5.1.3 骨架结构中的应力集中	107
5.1.4 骨架杆件的内力分析	108
5.2 驾驶室板壳零件设计	108

5.3 车门设计	110
5.3.1 旋转式车门的构造	111
5.3.2 车门附件	115
5.3.3 车门的布置	118
5.4 白驾驶室的焊接装配工艺	119
5.5 工程机械普通驾驶室设计中的有限元分析	120
5.5.1 利用有限元法对普通驾驶室进行结构分析的基本原理	120
5.5.2 矿用卡车驾驶室有限元分析实例	122
第6章 工程机械驾驶室舒适性设计	129
6.1 驾驶室的降噪与减振	129
6.1.1 驾驶室内噪声与控制	130
6.1.2 驾驶室的弹性振动与隔振	133
6.2 驾驶座椅的选用	145
6.3 驾驶室的通风与温度调节	147
6.3.1 驾驶室的通风	149
6.3.2 驾驶室采暖与制冷	151
6.3.3 驾驶室的隔热与密封	155
6.4 驾驶室内饰与舒适性	157
第7章 工程机械驾驶室安全保护结构设计	159
7.1 设置驾驶室安全保护结构的意义	160
7.2 驾驶室安全保护结构的国内外研究概况	161
7.2.1 ROPS 和 FOPS 的国际标准制定过程	161
7.2.2 ROPS 和 FOPS 试验与理论研究概况	163
7.2.3 当前安全保护结构研究存在的问题	164
7.3 ROPS 和 FOPS 的结构类型	165
7.4 安全保护结构的挠曲极限量 (DLV) 和座椅标定点 (SIP)	167
7.5 安全驾驶室设计方法	169
7.5.1 安全骨架设计与计算特点	170
7.5.2 安全驾驶室 ROPS 设计的基本原则和塑性设计	171
7.5.3 ROPS 用钢	177
7.5.4 安全驾驶室 ROPS 结构与性能要求	178
7.5.5 ROPS 非线性有限元分析方法	182
7.5.6 安全驾驶室 ROPS 设计实例与性能仿真	193
7.6 外置式 ROPS 设计	210
7.6.1 外置式 (独立式) ROPS 结构的设计基本要求	210
7.6.2 外置式 ROPS 设计方法	211

7.6.3 外置式 ROPS 设计实例	213
7.6.4 外置式 ROPS 有限元分析实例	215
7.7 基于能量吸收控制的翻车保护结构 (ROPS) 设计方法	218
7.7.1 翻车保护结构的能量吸收控制设计方法	218
7.7.2 能量吸收控制设计的数值模拟	225
7.7.3 ROPS 能量吸收控制设计法的设计步骤	231
7.8 安全驾驶室落物保护结构 (FOPS) 设计	232
7.8.1 安全驾驶室 FOPS 的结构特点和性能要求	232
7.8.2 装载机安全驾驶室的 FOPS 设计	233
7.8.3 安全驾驶室 FOPS 的性能计算机仿真	234
7.9 外置式落物保护结构 (FOPS) 设计	244
7.9.1 与 ROPS 一体的外置式 FOPS 结构的特点与设计	244
7.9.2 外置式与 ROPS 一体的 FOPS 计算机仿真实例	245
第 8 章 液压挖掘机驾驶室安全结构设计	250
8.1 液压挖掘机司机防护装置的性能要求	250
8.2 液压挖掘机驾驶室独立落物防护装置设计	252
8.3 液压挖掘机驾驶室防护装置性能仿真实例	256
8.3.1 大型液压挖掘机顶防护装置 (FOPS) 性能仿真	256
8.3.2 大型液压挖掘机前防护装置性能仿真	260
8.3.3 结果讨论	263
8.3.4 小型挖掘机防落物及防倾翻结构性能仿真	263
第 9 章 工程机械驾驶室安全保护结构试验	269
9.1 整机现场试验	269
9.2 ROPS 的实验室试验	272
9.2.1 翻车保护结构的实验室试验方法	272
9.2.2 ROPS 和机架在试验台上的安装	273
9.2.3 试验温度和材料	275
9.2.4 挠曲极限量 (DLV) 的应用	276
9.2.5 翻车保护结构 (ROPS) 试验加载程序	276
9.2.6 翻车保护结构 (ROPS) 实验室试验评价	279
9.3 翻车保护结构 (ROPS) 试验的变形模式与失效机理	281
9.3.1 翻车保护结构 (ROPS) 性能试验的总体规律	281
9.3.2 侧向加载试验变形模式与失效机理	282
9.3.3 垂直加载试验变形模式与失效机理	290
9.3.4 纵向加载试验变形模式与失效机理	291
9.4 落物保护结构 (FOPS) 实验室试验	295

9.4.1	落物保护结构的实验室试验方法	295
9.4.2	落物保护结构 (FOPS) 变形模式和失效形式	299
第 10 章 国外货车驾驶室设计技术现状及实验室试验方法简介		303
10.1	国外货车驾驶室设计技术现状及发展趋势	303
10.2	国外货车驾驶室实验室试验方法简介	306
参考文献		308

第 1 章

工程机械覆盖件

件是指驾驶室内部的盖板，它们常被覆盖上内饰件或被驾驶室其它零件所挡住，一般不能被直接看到，当然有的也可以从内部直接看到，如地板、仪表板、车门内盖板等。图 1-1 为某 ZL50 装载机覆盖件位置图。

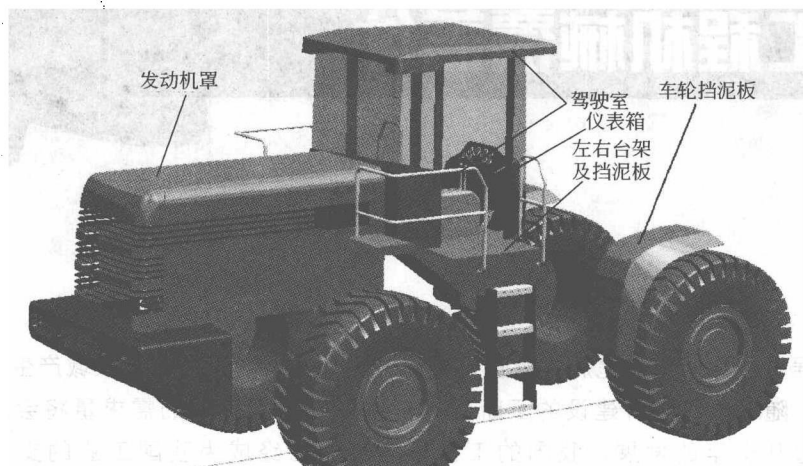


图 1-1 某 ZL50 装载机覆盖件位置图

装载机、压路机、平地机等工程机械的驾驶室覆盖件形状多是三维平面形状；对液压挖掘机等驾驶室覆盖件，还有许多三维曲面形状，对这类零件用一般的平面图样常常难以准确表达其形状和尺寸。因此，制造时不仅要有覆盖件图样，同时还要有主模型（或数据、样件）以及根据主模型制造出来的各种工艺模型和样板来作为制造和检验的依据。

1.2 工程机械覆盖件的成型特点

工程机械覆盖件一般都是尺寸较大的空间直线型平面结构，少数为空间曲面结构；所用的板材要比汽车覆盖件板材厚得多，且对板材的质量要求低于汽车覆盖件，汽车覆盖件板材厚度一般为 $0.8 \sim 1.2\text{mm}$ ，而工程机械覆盖件板料厚度通常为 $1.5 \sim 3.0\text{mm}$ ；工程机械产品是属于多品种、多规格、小批量生产，这就决定了工程机械覆盖件成型不可能像汽车那样采用大批量的冲压成型技术生产线；对大多数的工程机械空间直线平面结构覆盖件，多数是采用机械折弯成型或用单模具压型，而只对少数空间曲面结构采用冲压成型或单模具压型，这样做可以大大降低设备成本和制造成本。当然这样做的结果会在一定程度上降低覆盖件的制造精度和外观质量，只要精心操作，不断改进生产工艺，还是能满足工程机械生产要求的。从长远考虑，建立专业化的生产线（生产厂），实现覆盖件专业化和机械化生产是提高工程机械外观质量的一个值得研

究的课题。

1.2.1 工程机械覆盖件质量要求

工程机械覆盖件的加工制造,应满足以下要求。

① 有较高的尺寸精度。它包括轮廓尺寸、孔位尺寸、局部形状的各种尺寸等,以保证焊装或组装的准确性、互换性以及驾驶室、发动机罩等构件外观形状的一致性和美观性。

② 有保证覆盖件造型风格的形状精度。特别是外覆盖件必须保证其形状精度,对具有三维空间曲面形状的冲压件或压型件,还必须与主模型相符合,以体现驾驶室、发动机罩、机棚等构件的造型风格。

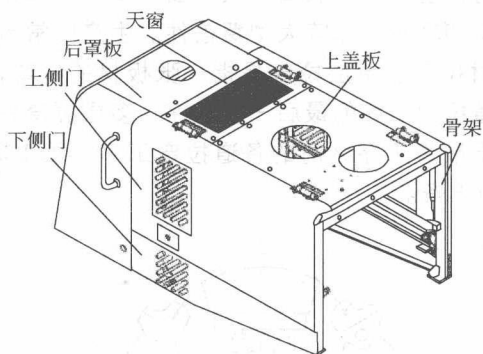
③ 外覆盖件表面不允许有明显的波纹、皱纹、凹痕、压痕等缺陷,棱线应清晰、平直,曲线应圆滑、过渡均匀。

④ 刚性好。覆盖件在成型过程中,材料应有足够的塑性变形,以保证零件具有足够的刚性,使工程机械在行驶和作业中受振时不产生较大噪声,以减轻驾驶人员的疲劳,更不能因振动产生早期破坏。

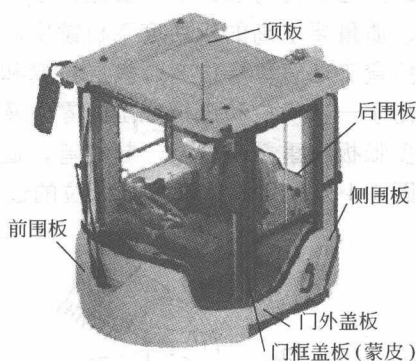
⑤ 有良好的成型工艺性。即在一定的生产条件下,能够较容易地安排折弯、压弯和冲压成型工艺及模具的设计,能够最经济、安全、稳定地获得高质量的产品。

1.2.2 工程机械覆盖件的结构特点

图 1-2 所示为某型装载机发动机罩^[1]、驾驶室门框外盖板(蒙皮)、前后围板、侧围板和顶盖的典型覆盖件。从结构形状及尺寸上看,这类零件有以下主要特点。



(a) 某型装载机发动机罩



(b) 装载机驾驶室

图 1-2 工程机械覆盖件结构示例

① 总体尺寸大。例如,驾驶室顶盖的毛坯尺寸可达 1560~1540mm。

② 相对厚度小。工程机械覆盖件板料厚度一般为 1.5~3.0mm,相对厚度

(板厚与毛坯最大尺寸之比)最小值可达 0.004。

③ 形状复杂。不能用简单的几何方程式来描述其空间曲面,即使是平面空间结构,也往往需要几次折弯才能成型。例如,驾驶室门框蒙皮,一般需要 4~5 次折弯才能形成所需要的空间结构,顶盖要压出加强筋等。

④ 有的零件轮廓内部带有局部形状。例如,图 1-2 中驾驶室门外板开有窗口形状。

⑤ 工程机械外覆盖件多采用小圆角直线型或斜线型造型。

1.2.3 工程机械覆盖件成型特点

工程机械的生产特点和造型特点决定了其覆盖件的成型特点。

(1) 弯曲加工成型 大部分覆盖件主要采用拉弯、折弯、单模压弯成型,即弯曲加工成型。这是因为工程机械中的很多机种都是属于力量型机械,因此,对其整体造型并不要求速度感和动感。例如,目前对推土机、装载机、压路机等工程机械的覆盖件造型仍以直线为主,局部采用小圆角过渡,以体现机械挺拔有力的特点。当然,采用直线型结构也具有工艺简单的特点,这也是与我国工程机械现有生产装备水平和生产成本有关。

弯曲加工是将金属板材、管材或型材经辊弯、压弯、拉弯或折弯等自由弯曲方法成型^[2],所得的零件壁厚均匀并具有一定角度。这种加工方法适宜零件形状相对简单,小批量或单件生产加工,是工程机械驾驶室覆盖件的主要压力加工方法。

① 拉弯加工。拉弯加工是利用凸模上顶对板料施加拉力,使两边被夹紧的板料产生不均匀的应力和变形,并随板料与凸模型面逐渐完全贴合而弯曲成型的加工方法。拉弯加工法主要适用于弯曲材料塑性好、表面积大、曲率变化缓和光滑、质量要求高的双曲面飞机蒙皮、客车和轿车车体等大型覆盖件。生产中常用的拉弯工艺有单层拉弯、多层拉弯和型材拉弯。单层拉弯是指一张板材的拉弯,适用于一次横拉和纵拉成型的零件及多道拉弯工序的最后一道工序;多层拉弯是指多张板材重叠起来,一起拉弯,适用于最终工序之前的各道拉弯工序。图 1-3 和图 1-4 分别为蒙皮横拉的过程与设备。

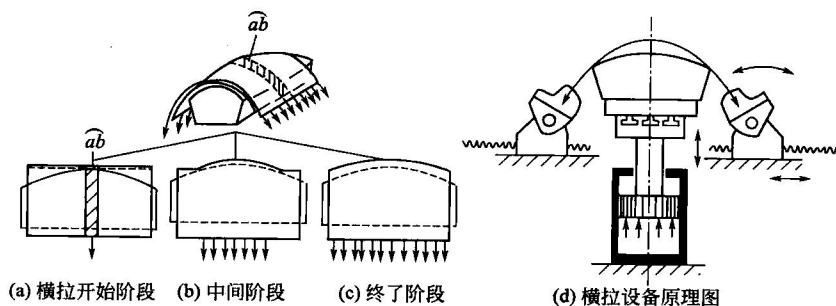


图 1-3 蒙皮横拉的过程及设备

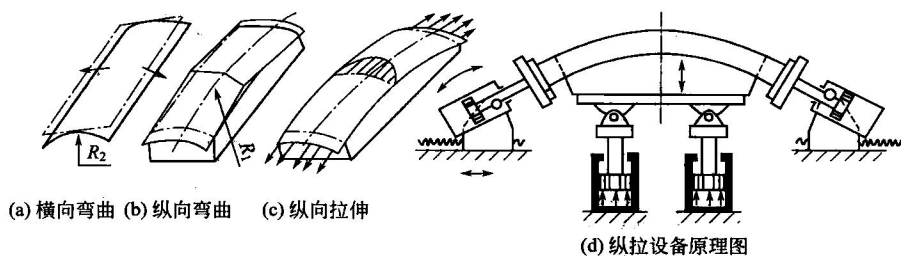


图 1-4 蒙皮纵拉的过程及设备

② 压弯加工。压弯加工是利用压弯模通过冲头在压力机上将经过分离工序得到的板料、型材毛坯，在常温下弯曲成一定角度和曲率半径的工艺方法。并以毛坯形状特点分为板材、型材在模具内压弯成型和角材、管材在模具外压弯成型。

在压力机上使用 V 形或 U 形模进行压弯加工是最基本的弯曲形式。可将板材一次弯曲成 V 形或 U 形形状，其受力和变形过程，如图 1-5 所示。

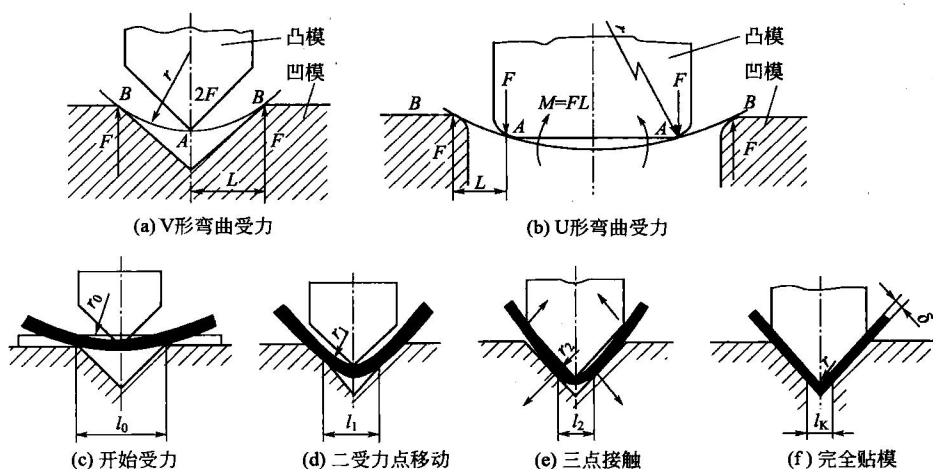


图 1-5 板料弯曲受力状态及板料 V 形弯曲过程

生产批量小或单件生产的压弯成型可使用通用模具，由于生产批量大或零件形状的要求，可用专用模具压弯成型。采用专用模具成型一般有两种方法，即一次成型法和两步成型法。对生产批量大，精度要求高的零件，如冷弯外卷边槽形件加工，多选用一次成型的复合模或连续模，如图 1-6 所示；对生产批量小，精度要求不高的同样件可采用两步成型法（图 1-7）。无论采用哪种方法，在模具设计时，模具的结构应保证在合模过程中，只在零件确定的弯曲位置上进行弯曲，以确保内外角弯曲位置在弯曲过程中不发生变化，从而能满足零件形状和尺寸的要求。

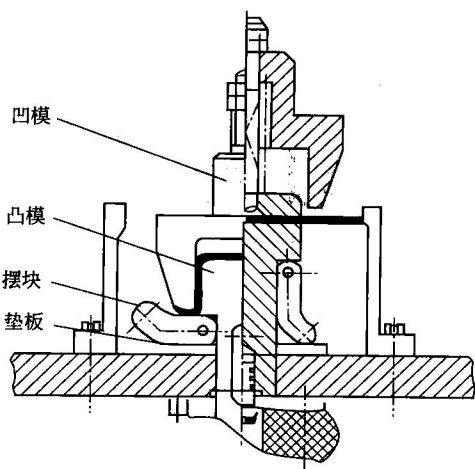


图 1-6 外卷边槽形件一次成型

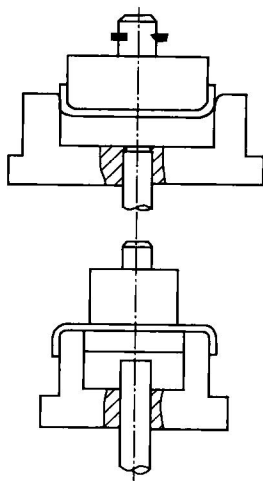


图 1-7 外卷边槽形件二次成型

为了获得合格的弯曲加工零件，制定合理的加工工艺十分重要。首先是弯曲坯料尺寸计算应准确。压弯件坯料尺寸是指其平板坯料的长度，即其展开长度。根据中性层展开法，计算压弯件的展开长度就是计算弯曲件中性层的长度，即计算弯曲件各直边长度与各弯曲区域应变中性层弧长之和，如图 1-8 所示。

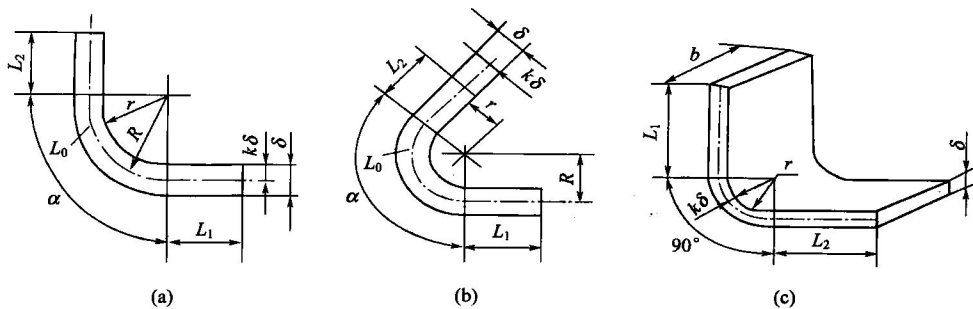


图 1-8 不同弯曲角时中性层位置及展开长度

为了计算应变区中性层弧长，须先确定应变中性层曲率 R 值，实际生产中常利用经验公式 $R=r+k\delta$ ，求出中性层位置值 R ，中性层位置确定以后，弯曲区域应变中性层弧长 L_0 可按以下通式计算

$$L_0 = \frac{\pi(r+k\delta)\alpha}{180^\circ} \quad (1-1)$$

式中 r ——压弯件的弯曲半径，mm；

δ ——板厚，mm；

α ——弯曲角度，(°)；

k ——弯曲变形系数，根据弯曲系数 $k=r/\delta$ 从表 1-1 中查取。

表 1-1 弯曲角为 90°时变薄系数 η 与 k 的数值 (10 钢、15 钢、20 钢)

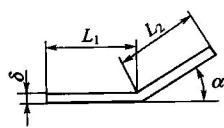
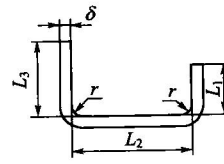
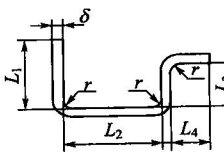
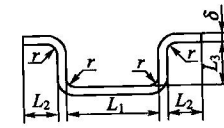
$k=r/\delta$	0.1	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	>4.0
η	0.82	0.87	0.92	0.96	0.99	0.992	0.995	1.0
k	0.32	0.35	0.38	0.42	0.445	0.47	0.475	0.5

板材坯料展开总长度 L 的计算公式为

$$L = \sum_1^n L_n + L_0 = L_1 + L_2 + \dots + \frac{\pi(r+k\delta)\alpha}{180^\circ} \quad (1-2)$$

实际生产中, 根据用途不同, 需要压弯的形状不同, 毛坯展开长度计算方法也不同, 但其展开长度计算步骤均相同, 常见弯曲件展开长度计算方法列于表 1-2, 可供设计中应用。

表 1-2 常见弯曲件展开长度计算方法 (公式)^[2]

弯曲形式	简 图	计 算 公 式	应用特点
	$r < 0.5\delta$ 的弯曲件毛坯展开长度		
单锐角 内侧弯		$L = L_1 + L_2 + \alpha/90^\circ \times 0.5\delta$	这类变形可用等体积法计算毛坯长度,但因弯曲变形时,圆角变形区和与其相邻的直边部分均产生变薄,故实际用修正过的公式计算
双角 U 形弯		$L = L_1 + L_2 + L_3 + 0.6\delta$ (一次同时弯曲两个角, Z 形也可用此式)	
三角弯形 (L 与 Z 尾相接)		$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + 0.75\delta$ (一次同时弯曲三个角) $L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \delta$ (分两次弯三个角)	
四角弯形 (Z 与 Z 尾相接)		$L = L_1 + 2L_2 + 2L_3 + \delta$ (一次弯成) $L = L_1 + 2L_2 + 2L_3 + 1.2\delta$ (分两次弯曲四个角)	