高等学校教材

专科适用

金属结构制造与安装

长春水利电力高等专科学校 张政 主编

高等学校教材

专科适用

金属结构制造与安装

长春水利电力高等专科学校 张政 主编

水利电力出版社

439197

内 容 提 要

本书是高等专科学校金属结构与焊接专业教材。全书共分十章。第一章至第四章主要介绍金属结构制造厂的分类、组成、布置及生产的工艺流程；常用机械设备；金属结构零部件的制造及部件的装配。第五章至第九章阐述水利水电工程中常用的平面钢闸门、弧形钢闸门及压力钢管的制造与安装。第十章介绍金属结构防腐蚀的内容。

本书除作为教材外，还可供从事金属结构尤其是从事水工金属结构制造与安装的工程技术人员参考。

高等学校教材
专科适用

金属结构制造与安装

长春水利电力高等专科学校 张政 主编

*

水利电力出版社出版
（北京三里河路6号）
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
北京市地矿局印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 12.25印张 276千字
1995年11月第一版 1995年11月北京第一次印刷
印数0001—1530册
ISBN 7-120-02408-6/TG·6
定价 9.60 元

前　言

本教材是根据原能源部机械类专业教学协作组会议决定编写的。本书主要适用于高等专科学校金属结构与焊接专业、机械类专业使用。也可供从事金属结构尤其是从事水工金属结构制造与安装的工程技术人员参考。

全书共分十章，内容分为三大部分：第一部分为基本和通用部分，包括金属结构制造厂的分类、组成、布置及生产的工艺流程；常用机械设备的结构、性能、工作原理、操作方法及注意事项；金属结构零部件的制造工艺及部件的装配方法。第二部分为专业结构部分，包括水工金属结构中常用的平面钢闸门、弧形钢闸门、压力钢管的制造与安装。第三部分主要介绍金属材料的腐蚀机理、腐蚀程度的评定、常用防腐蚀措施及防腐蚀施工工艺。

本教材根据几年来教学的实践经验，从工程的实际需要出发，不仅系统地阐述了金属结构制造的基本工艺，还着重总结了我国多年来在水工金属结构制造与安装方面的经验，教材的通用性、针对性和实用性都很强。全书采用的基本符号、基本术语、计量单位、质量检查及允差要求，主要根据《水工建筑物金属结构制造》、(SLJ201—80)《安装及验收规范》(DLJ201—80)、《水工建筑物金属结构焊接技术规程》(SDZ008—84)。

参加本书编写的有：长春水利电力高等专科学校张政(第一、二、三、四章)，葛洲坝水电工程学院姜明杰(第五、六、十章)，华北电力学院唐歆熙(第七、八、九章)。本书由张政担任主编，东北勘测设计研究院洪永灿担任主审。

在编写本书过程中，得到水利电力系统诸多同志的支持、帮助与建议，特致谢意。

由于编者水平所限，书中难免有不妥之处，欢迎读者批评指正。

编　者

1994年12月

目　　录

前　言

第一章　绪论 …… 1

第一节　我国金属结构发展概况 …… 1

第二节　金属结构制造厂的分类及组成 …… 2

第三节　金属结构厂的布置及生产工艺流程 …… 3

第二章　金属结构制造与安装的常用机械设备 …… 5

第一节　常用机械设备的分类 …… 5

第二节　钢材矫正机械 …… 5

第三节　下料机械 …… 7

第四节　加工机械 …… 9

第三章　金属结构零部件的制造 …… 14

第一节　金属构件下料过程中的板厚处理 …… 14

第二节　钢材的矫正 …… 19

第三节　放样和号料 …… 26

第四节　下料 …… 39

第五节　零件的预加工 …… 45

第六节　零件的弯曲 …… 48

第四章　金属结构的部件装配 …… 54

第一节　装配的技术基础 …… 54

第二节　装配的夹具和吊具 …… 55

第三节　装配前的准备工作 …… 60

第四节　焊接结构的装配 …… 62

第五章　平面钢闸门的制造 …… 71

第一节　概述 …… 71

第二节　平面钢闸门的组成及门叶的主要结构 …… 71

第三节　闸门制造施工准备 …… 73

第四节　门节的拼装 …… 76

第五节　门叶的焊接 …… 81

第六节　门叶质量检查及焊接变形的修复 …… 86

第七节　平面钢闸门的厂内整体预组装 …… 90

第六章　弧形钢闸门的制造 …… 94

第一节　概述 …… 94

第二节　弧门制造的准备工作 …… 96

第三节　弧门主要零部件的制造 …… 99

第四节　门叶的拼装与焊接 …… 102

第五节　弧形闸门支臂的制造 …… 104

第六节　弧形闸门厂内总体预组装 …… 106

第七章　平面钢闸门的安装 ……111
第一节　门槽埋件的安装 ……111
第二节　门体的组装 ……118
第三节　支承的安装 ……121
第四节　止水的安装 ……123
第五节　门叶的吊装及调试 ……126
第八章　弧形钢闸门的安装 ……128
第一节　弧形闸门埋件的安装 ……128
第二节　支臂的组装 ……134
第三节　门叶的组装 ……137
第四节　门体的吊装及调试 ……138
第九章　压力钢管的制造与安装 ……142
第一节　概述 ……142
第二节　压力钢管的制造 ……147
第三节　压力钢管的安装 ……164
第十章　金属结构防腐蚀 ……175
第一节　金属材料腐蚀机理 ……175
第二节　金属腐蚀程度的评定 ……179
第三节　金属结构常用防腐蚀措施 ……180
第四节　常用防腐蚀施工工艺 ……184
参考文献 ……190

第一章 绪　　论

第一节　我国金属结构发展概况

金属结构的制造和使用是我国科技文明辉煌的一页。远在秦始皇时期（公元前246～210年），就已有用铁做桥墩的历史。到公元前六七十年间，又成功地用熟铁建造了铁链悬桥，这就是举世公认的最古老的铁桥。铁链悬桥是用锻铁为环、环环相扣成链、以链作为悬式承重结构。其后建造的铁链桥不下数十座之多，其中有云南的源江桥，贵州的盘江桥，四川的泸定大渡河桥等。泸定大渡河铁链桥建于公元1696年，该桥净跨长100m，桥宽2.8m，由9根桥面铁链和四根桥栏铁链构成，每根铁链重达1.5t。桥台由条石砌成，铁链锚固在直径为20cm，长度为4m的生铁锚桩上。它比英国用铸铁建造的欧洲第一座跨度只有31m的拱桥要早83年，比俄国的第一座铸铁桥要早88年，比美洲第一座跨度为21.3m的铁链桥要早105年。

中国古代在金属结构方面虽有卓越的成就，但由于长期的封建统治和近百年来帝国主义的侵略与掠夺，使得我国的冶金工业与金属结构制造业的发展受到严重阻碍。解放前我国自己没有一定规模的设计力量和制造企业，在水工钢结构方面，则几乎是空白，到1949年解放时，全国的钢产量才只有15.8万t。

解放以后，我国金属结构的科学技术和工程建设有了较大的发展，金属结构在设计、制造和安装方面的水平有了很大的提高。全国已拥有一支从设计、制造到安装施工的具备一定水平的金属结构队伍。更为可喜的是大专院校中的金属结构专业从无到有、从弱到强，正在为国家培养着一批又一批金属结构方面的专业人才。

在桥梁建设方面，如果说1957年建成的武汉长江大桥还有苏联专家参与的话，那么在1968年建成的南京长江大桥则是我国工程技术人员和工人的杰作。从设计、制造到施工全是我国独立完成的，其规模、难度和技术水平都远远超过武汉长江大桥，它标志着我国桥梁技术已进入世界先进水平。

在水利水电建设方面，各种大型水工钢结构更是比比皆是，结构的几何尺寸、重量越来越大，难度越来越高，技术要求越来越严。新安江、刘家峡、丹江口、白山、葛洲坝等一大批水利水电工程象雨后春笋般的建立起来。举世闻名的葛洲坝水利枢纽工程，是当前我国最大的水利水电工程，其金属结构总量达7.3万t，其中包括各种闸门78种514扇，各种启闭设备31种109台，其它金属结构52种369套。特别是一号和二号船闸，闸室全长280m，净宽34m，可以通过万吨级巨轮。巨型人字门，一扇高34.5m，宽19.7m，平放在地面上比一个篮球场还大，人称天下第一门。这样大的闸门关门挡水时滴水不漏，其制造精度之高，举世罕见。

金属结构在其它方面的应用实例也很多，如西安秦始皇陵兵马俑陈列馆70m跨度的三

铰拱钢结构；210m高的上海电视塔；194m高的南京跨江线路塔；325m高的北京环境气象桅杆；北京工人体育馆94m直径的悬索结构以及上海万人体育馆圆形平板网架结构等。所有这些成就都标志着我国在金属结构的科研、设计、制造和施工方面达到了很高的水平。

第二节　金属结构制造厂的分类及组成

一、金属结构制造厂的分类

（一）按工厂规模和生产能力划分

工厂可分为大型、中型和小型三类，见表1-1。

表 1-1　　按生产能力工厂分类

制造厂类别	每年产品的吨数(t)
小　型	12000～24000
中　型	25000～39000
大　型	40000以上

（二）根据制造厂生产的机械化程度划分可分以下四类：

（1）低级机械化工厂；

（2）半机械化工厂；

（3）机械化工厂；

（4）高度机械化工厂。

生产的机械化程度，可参考表1-2所列工厂工作的平均指标来进行衡量。

表 1-2　　工厂工作的平均指标

工厂的类别	每年一个生产工人的产量 (t/人)	每个生产工人所占有的吊车起重量 (t/人)	每个生产工人所需要的电动机装配容量数 (kW/人)	每吨产品电力的消耗量 (kW·h)
低级机械化的	23～35	0～0.1	1.5	0～90
半机械化的	35～47	0.1～0.25	3.0	90～130
机械化的	47～65	0.25～0.35	5.0	130～140
高度机械化的	65～88	0.35～0.45	7.0	140～150

（三）根据制作产品的不同划分

可分为专门化和综合性的制造厂。专门化制造厂（如制杆厂、容器厂等）虽然具有某些优点，但由于市场的竞争及市场对某些产品的需求不均，不能使工厂的负荷总处于饱满状态，故综合性的制造厂具有较明显的优越性。

二、金属结构厂的组成

金属结构制造厂作为一个独立系统，一般由下列几部分组成。

（一）主要生产车间

主要生产车间是工厂的一线生产部门，它包括：

（1）钢材仓库和准备车间，它主要负责材料验收，分类存放，并在供料前进行矫正。

（2）放样车间，它的工作是根据施工图制成实际尺寸的样板，以供加工车间号料用。

（3）零件加工车间，在此车间内进行号料、切割、制孔、边缘加工和弯曲等工序。

（4）半成品仓库，用来存放装配前已制作好的零、部件。

（5）装配车间，主要负责结构的装配、焊接、螺栓连接、铆前扩孔、铆接、铣端和钻安装孔等工序。

（6）油漆装运车间，负责已制成结构件的油漆和装运工作。

（二）辅助生产车间

辅助生产车间是为主要生产车间服务的，所属车间有：

（1）机修车间，负责厂属设备的修理。

（2）电修车间，负责本厂电器设备的修理。规模较小的工厂也可不设电修车间，而在各车间内设置一个电工班，负责本车间的电器修理。

（3）工具车间，负责制造工厂内需要的各种工具。若规模较小的工厂，此项工作可由机修车间负责。

（4）金工车间，负责工厂的机械加工任务。

（5）焊条车间，在大型结构厂内才设此车间，负责制造焊条。

（6）动力车间，包括空气压缩站、氧气站、乙炔站、变电所、供热、供水及通风设备等。

（7）铸工、锻工车间，负责铸、锻件的加工制造。

（8）运输机构，负责铁路、公路运输及厂内各种运输车辆及车库管理。

（9）仓库，包括成品仓库及发货室、燃料仓库、涂料及化学材料仓库、木材仓库、配件及设备仓库、消耗性材料及劳保用品仓库等。

应该指出，上述这些车间和机构的设置并不是固定的模式，应根据工厂规模及生产能力的大小而定。有的车间可以合并，有的车间可以不设置，有时车间下面还可设工段，工段下面还可分班组等。

（三）管理后勤机构

（1）主要管理科室，包括厂长办公室、总工程师室、财会室、设备科、劳资科、人事科、生产科、计划科、供销科。

（2）主要技术科室，包括设计科、工艺科、质检科、实验室、资料室。

（3）后勤辅助科室，包括基建科、总务科、宣传科、技安科、教育科、保卫科、工会、卫生所、子弟学校、离退办、食堂等。

关于机构的设置，各工厂应根据具体情况，本着精减机构的精神，能减的要减，该并的要并，要充分发挥各科室的效能，提高办事效率。

第三节　金属结构厂的布置及生产工艺流程

一、金属结构厂的布置

产品从投料到制成产品出厂，需要经过多道工序和多工种的配合，比如要经过钢材质量检查及验收、投料、矫正、放样、零部件制造、装配、油漆及装运等一系列工序。按照这个工序工作，称为流水作业法。金属结构制造厂的布置，应根据流水作业的要求，作周密细致的考虑，尽量避免或减少工件制作时的倒流，以缩短生产周期，提高工效。图1-1表

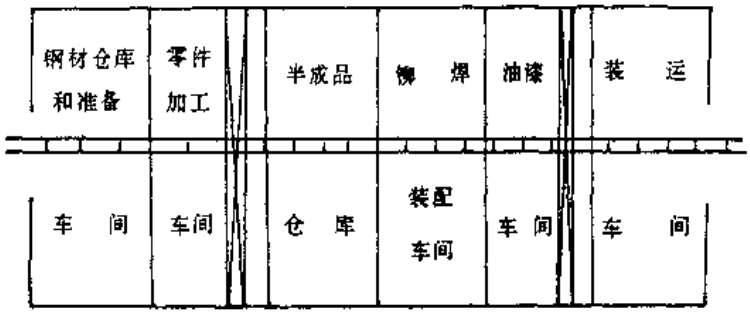


图 1-1　钢结构制造厂平面图

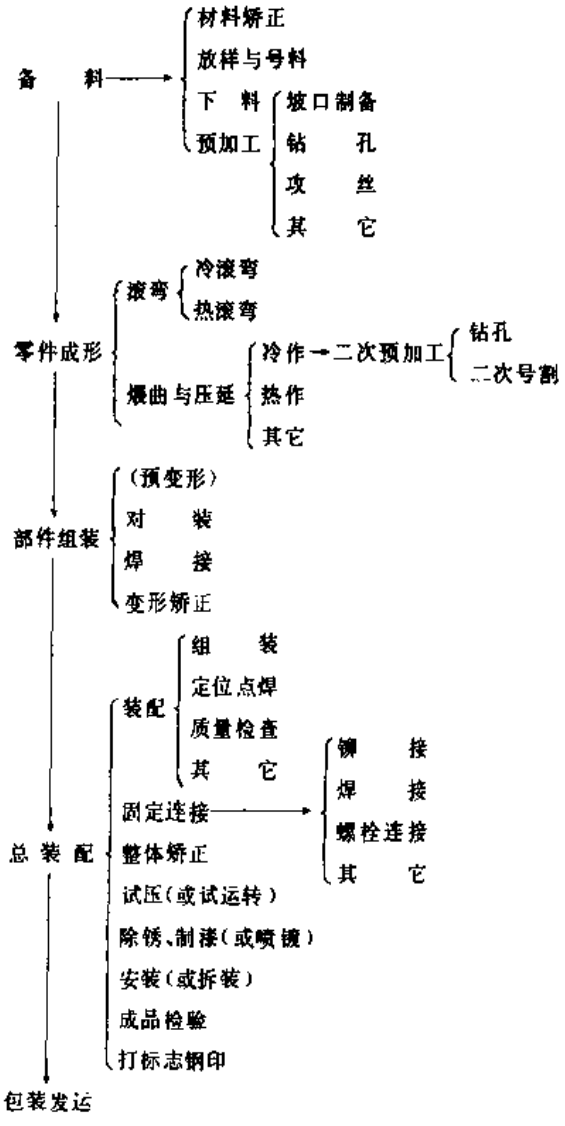
示钢结构制造厂按流水作业要求布置的平面图。

二、生产工艺流程

金属结构产品，不论品种如何、结构繁简、规模大小，其制造程序基本相同，只是某些比较简单的产品，制作时少一些工序而已。

制作产品时，其生产工艺流程如表1-3所示。

表 1-3　　金属结构的生产工艺流程表



第二章　金属结构制造与安装的常用机械设备

第一节　常用机械设备的分类

金属结构制造与安装中常用的机械设备很多，按其用途的不同主要分为下列几种：

一、钢材矫正机械

用于矫正钢板不平度的有滚板机，矫正型钢不直度的有型钢矫正机。

二、下料机械

常用的下料机械有：

剪板机，主要剪切直线下料。

自动切割机与数控切割机，可切割直线和曲线下料。

锯床，主要用于型材、棒材的切割下料。

联合冲剪机，可用于板材、型材和棒材的剪切下料与冲裁。

三、加工机械

在大型钢结构制造中常用的加工机械有刨边机、卷板机、压力机及各种切削机床。

四、焊接设备

常用的焊接设备有交流焊机（焊接变压器）、直流焊机、各种自动和半自动焊机，以及硅整流焊机等。

五、起重设备

常用的起重设备有千斤顶（分螺旋和液压两种）、手拉葫芦、绞磨、电动卷扬机、电动葫芦、汽车吊、轮胎吊、各种门式起重机、桥式起重机、塔式起重机等。

六、运输设备

有各种汽车、平板拖车、火车等。

在钢结构制造过程中，除上述常用的设备外，还有锻造设备、铸造设备、乙炔发生设备、空气压缩设备、风铲、手电钻，以及各种专用胎、夹具等。

第二节　钢材矫正机械

钢材在轧制、运输、装卸、堆放过程中，产生的表面不平、弯曲、扭曲等变形超过技术规定的范围时，必须在划线下料之前进行矫正。采用机械矫正时，常用的矫正机械有下列几种。

一、滚板机

滚板机也称为辊式矫平机，主要用于板材的矫正。滚板机的结构有多种形式，常用的是两排轴辊的。按照轴辊轴线的相对位置，又可分为平行式和不平行式两种，见图2-1。

439197

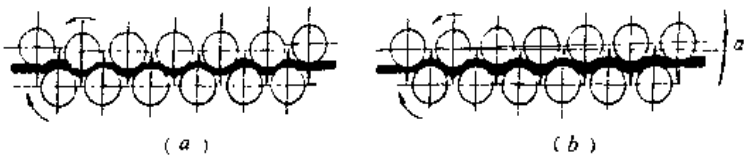


图 2-1 滚板机工作示意图

(a)平行式；(b)不平行式

这两种滚板机的工作原理是相同的，当不平的钢板进入滚板机后，受到上下两排交错排列的轴辊滚压，经过反复弯曲延展，板料原有的收缩区域变为松弛，而原来的松弛区域，虽然也得到延展，但比紧缩处的放松程度要少，从而调整了板料的松紧，使钢板的不平度得到矫正。

轴辊的布置，一般是上辊数比下辊数多一辊，上下辊之间的距离可由专门机构调整。有的是上部轴辊固定，下部轴辊调整；有的是下部轴辊固定，上部轴辊调整；从而使两排轴辊之间保持一定的距离，以满足矫正不同钢板厚度的需要。

滚板机的辊径、辊数的选择与矫正钢板的厚度有关。表 2-1 所列数据，可供选择时参考。从表中看出，随板厚的增加，辊径增大而辊数减少，这说明矫正厚钢板的轴辊少，而矫正薄钢板的轴辊多。

表 2-1 滚板机的选择

辊径(mm)	板厚(mm)	辊数	辊径(mm)	板厚(mm)	辊数
40	1.6	11~13	210	19	5
50	2.0		280	25	
90	4.5		320	32	
150	12	7~9	360	40	
200	11		400	50	

对没有设置滚板机的中小型工厂，在矫正厚钢板时，可采用卷板机、压力机等代替滚板机进行矫正。

二、型钢矫正机

型钢矫正机也称为型材辊式矫直机，其工作原理与滚板机相同。型钢矫正机结构的外形如图 2-2 所示，所采用的辊轮设在支架外呈悬臂式，这样便于根据矫正不同型材的需要，更换不同形状的辊轮，详见第三章第二节。

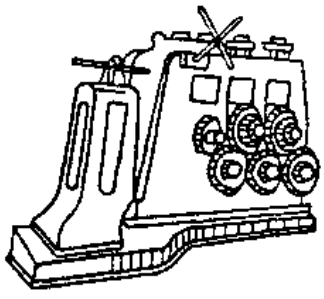


图 2-2 型钢矫正机外形图

为便于型材的导入和送出，在矫直机的入口和出口处装有导向用的立辊，型钢在导向立辊和矫直辊的作用下，通过反复弯曲、延展来达到矫正的目的。

矫直机有固定辊距式和可变辊距式两种，前者矫直型材的尺寸范围较窄，后者矫直型材的尺寸范围要宽些。

型钢矫正机有七辊和九辊，除可矫直角钢、槽钢和工字钢外，还可矫直钢轨、方钢、

圆钢及H型钢等多种型材。

第三节　下　料　机　械

下料的方法有剪切、冲裁、锯切、气割等。一般对于较薄的大块板料多采用剪板机剪切。对于超过剪板机工作能力的厚板可采用气割。对扁钢、圆钢及型钢可采用锯切。而对于不锈钢、铝、钢、铸铁等则可采用等离子切割。

一、剪床

（一）龙门剪床

龙门剪床又称剪板机，见图2-3所示。它的工作原理与人们日常使用的剪刀相似，其上下剪刃由机械传动。

剪板机是板材剪切中应用最广的剪床，其优点是：操作简单，进料方便，剪切速度快，精度高，特别适用于剪切长而直的板料。

龙门剪床有较重的铸铁床身，两侧分别装有轴承座和轴承，用以支承横轴，横轴两端装有齿轮。在两轴承座之间的轴上装有带连杆的偏心轮，连杆的下端与上下移动的刀架相连，上剪刃片倾斜地固定在刀架上，下剪刃片固定在床身上并呈水平布置，上剪刃片与下剪刃片相交的倾斜角称为剪切角。

龙门剪床的上剪刃是利用偏心机构和离合器的作用来实现上下运动的。偏心轮旋转一周，带动上刀架上下剪切一次。

为保证操作中的安全和防止钢板在剪切时移动，在剪床台面上设有压料装置和栅板。为了能够剪切相同尺寸的板料，在剪刃的前后还设有可调节的定位挡板，见图2-4。

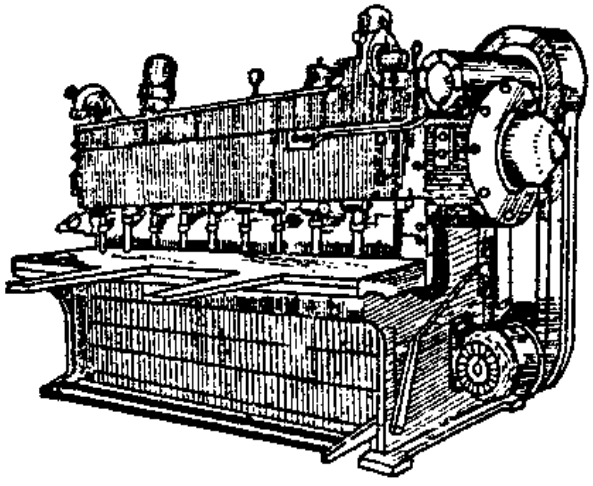


图 2-3　龙门剪床

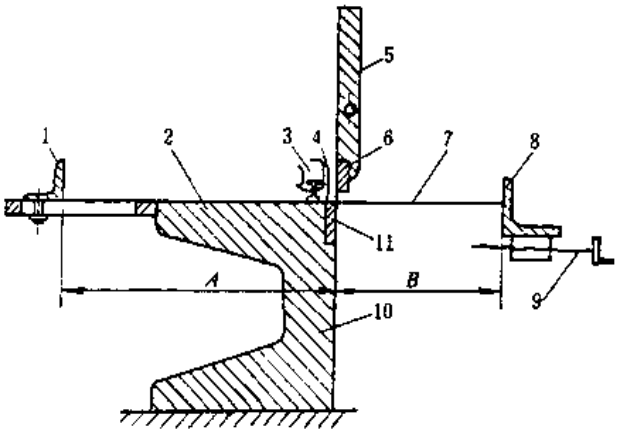


图 2-4　龙门剪床的工艺装备示意图

1—前挡板；2—床面；3—压料板；4—栅板；5—剪床滑块；6—上刀片；7—板料；8—后挡板；9—螺杆；10—床身；11—下刀片

龙门剪床的操作方法：

（1）将钢板表面清理画线后放在剪床台面上，把剪切线的两端对准下剪刀刃。启动压料装置，压紧钢板，脚踏离合器，开动机器剪板。

（2）剪切相同尺寸的板料时，应按所需尺寸固定住前挡板或后挡板，校正第一块板

料尺寸合格后，即可进行剪切。如生产数量较大，应经常进行检查和调整。

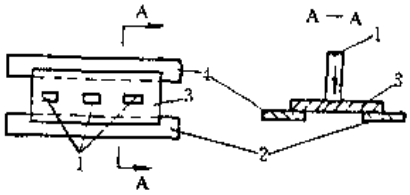


图 2-5 加装垫板剪切板料

1—压力装置；2—被剪钢板；3—压板；4—垫板

（3）剪切窄条板时，如果压料装置压不住板料，必须用加垫的方法，把料压紧，见图2-5。

（4）剪切薄板料时，千万不能将两块钢板重叠在一起剪切，以免发生设备事故。

（5）两人或两人以上同机操作时，必须密切配合。指挥和控制离合器应由一人负责。

（6）剪切不同厚度的钢板时，上下两剪刃片之间的间隙是不相同的。其间隙值的调整，可利用增、减剪刃片与刀架间垫片的厚度即可。间隙值的大小，可参考表2-2采用。

表 2-2 龙门剪床上、下剪刃片间的间隙值

钢板厚(mm)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
间 隙(mm)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.6

（二）横入式斜口剪床

如图2-6所示，横入式斜口剪床上的被剪板料可以由剪口横入，它主要用于剪切直线，并能分段进行，故剪切长度不受限制。与龙门剪床相比，其剪切角较大，剪切变形亦大，且操作麻烦。一般情况下，用它剪切薄而宽的板料较好。

（三）型钢剪床

型钢剪床可以剪切角钢、槽钢、圆钢等型材。它的结构、性能及操作方法与上述剪床基本相同。但剪切不同断面形状的型钢时，其上、下剪刃的形式也不相同，见图2-7。

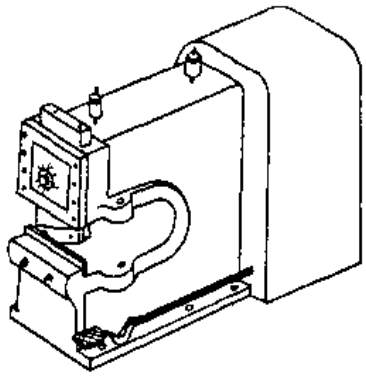


图 2-6 横入式斜口剪床

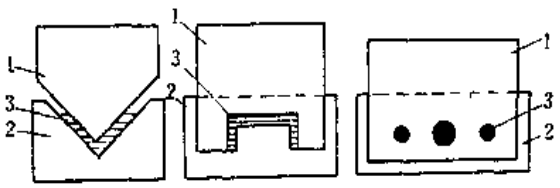


图 2-7 型材的剪切

1—上剪刃；2—下剪刃；3—被剪型材

（四）联合剪冲机床

图2-8所示为一种联合剪冲机床。它由斜口剪1、型钢剪3和冲头4组成。它可以剪切钢板和各种型钢，并能冲压小零件。

除上述几种下料剪床之外，还有圆盘剪床、振动剪床，可用于剪切较薄的板料，由于这些剪床在钢结构制造中用得不多，故不多述。

二、锯床

（一）弓锯床

弓锯床的应用很广泛，可用它锯切扁钢、圆钢、方钢和各种型钢。弓锯床的运动方式和手锯相似，它是通过曲柄盘的旋转带动锯条作往复运动。锯条行程的长短可在曲柄上调整，外形见图 2-9 所示。锯削时，工件夹紧在锯床上，锯条承担锯削阻力。锯条的压力来自弓锯本身自重和锯弓上可移动的重锤。为避免锯条回程时在工件上的摩擦，回程时锯弓可自动提高。

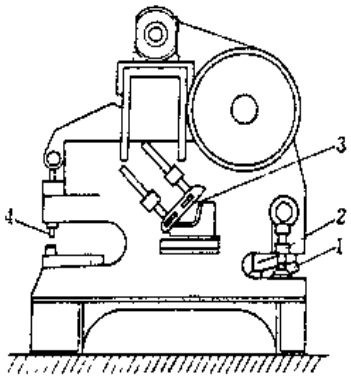


图 2-8 联合剪冲机床

1—上刀片；2—压杆；3—型材剪切头；4—冲头

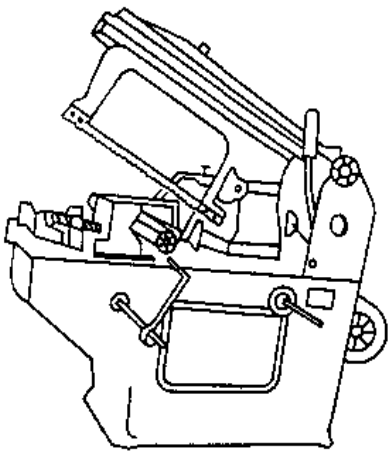


图 2-9 弓锯床

（二）砂轮锯

砂轮锯是利用树脂粘合剂和橡胶粘合剂制成的薄片砂轮进行锯削的，它具有一定的弹性和抛光作用。其强度较大，切削效率较高，能在高速下进行工作。切削时，其圆周线速度可达40～50m/s，既可切削0.5mm厚的薄铁皮，又可切削100mm厚的工件。

使用砂轮锯时，要充分注意安全。切削前，要检查砂轮的防护罩是否安好，砂轮片有无裂纹；操作时，砂轮旋转的径向不得站人，以防砂轮片破裂飞出伤人。同时，切削时在火花飞溅的范围内不得堆放易燃物品，以免发生火灾。

第四节 加 工 机 械

一、刨边机

刨边机主要用于在下列情况时对板料进行刨边工作：

（1）承受动荷载作用的构件，需要去掉板料边缘组织受损害的区域（如剪切时的冷作硬化区域）及毛刺状裂。

（2）为焊接结构中的焊口刨制坡口（厚板）或刨边缘（薄板）。

（3）对端部承压直接传递内力的构件，可对端面进行刨平。

刨边机的结构如图2-10所示，主要由床身、横梁、立柱、压紧装置和走刀箱等组成。从图中可看出，床身 7 的两端安置在两个立柱 1 上，在两根立柱之间连接压料横梁 3，在

横梁下安置一排压紧装置 2，压紧装置可通过气压、液压或螺旋机构将置于床身上的钢板压紧。床身的一侧安装齿条与轨道 8，齿条与导轨上安置走刀箱 5，刨刀装在刀架 4 上，依靠电动机 6 通过传动装置，驱动刨刀沿齿条与导轨进行往复运动。

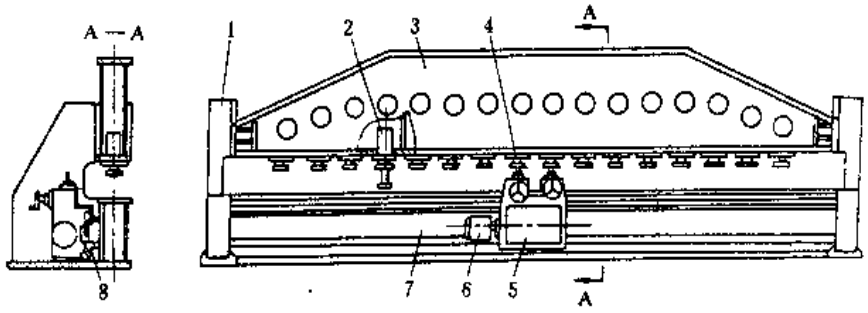


图 2-10　刨边机结构示意图

1—立柱；2—压紧装置；3—压料横梁；4—刀架；5—走刀箱；6—电动机；7—床身；8—齿条与轨道

刀座的往返由电气自动控制，行程可根据工件的长短调整。一般在往返行程中可分别由两把刀具进行切削。

刨边机的刨削长度一般为0.5~15m。当工件的长度大于刨削长度时，可移动工件进行刨边，对相同厚度的短板料可几块压在一起进行刨削，以提高生产效率。

二、卷板机

用于滚弯钢板的机械叫卷板机，又叫滚弯机。

卷板机在金属结构制造中应用很广，其基本类型有对称式三辊卷板机、不对称式三辊卷板机和四辊卷板机三种，如图2-11所示。

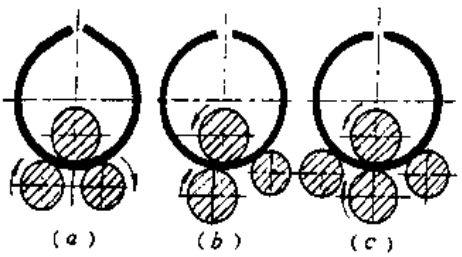


图 2-11　卷板机轴辊的排列

(a)对称式三辊；(b)不对称式三辊；(c)四辊

（一）对称式三辊卷板机

这种卷板机的三根辊轴呈等腰三角形对称布置，两根下辊轴的一端装有大小相同的齿轮，这两个齿轮同时与一个主动齿轮啮合，因此，两个下辊轴为主动轴，其旋转方向相同，旋转速度相等，轴线固定不动。上辊轴是从动轴，两端支承在可以上下移动的轴承支座上，故可作垂直方向的调整。大型卷板机上辊轴的上下移动由电动机通过减速装置驱动，小型卷板机则由手动螺旋机构控制。为了便于取出卷成的圆筒，可用压轴装置压住上辊轴的一端，另一端用翻倒机构将轴承支座翻倒，即可取出圆筒。工作时，上辊轴压紧并压弯钢板产生摩擦力，下辊轴往复转动，即可对板料进行滚弯。如果经过一次滚压达不到曲率要求，可适当降低上辊位置，反复滚压直至合格为止。

利用对称式三辊卷板机卷板时，由于结构上的原因，被卷钢板的两端各留有一段无法弯曲的直线段，直线段的长度等于两个下辊轴中心距离的一半。

对称式三辊卷板机尽管存在上述缺点，但由于它的结构简单，造价较低，因此应用较为广泛。

为了克服上述缺点，可以采用下列方法：

（1）压弯法：在滚弯之前，先将钢板两端的直线段用压力机压成所需要的曲率，图

2-12所示为在压力机上预弯钢板头部。

（2）胎压法：当钢板厚度小于16mm时，可先用2倍厚的钢板滚压出一块胎具，再将板料放在胎板上滚压两头，曲率用样板控制，见图2-13。考虑钢板变形的回弹，胎板的曲率应比钢板所需曲率稍大，具体数字可由经验决定。

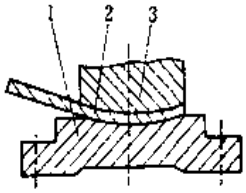


图 2-12 在压力机上预弯坯料
1—下模；2—坯料；3—上模

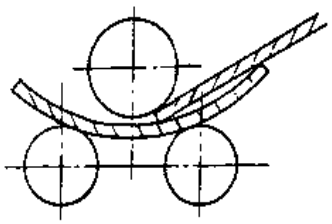


图 2-13 胎压法

（3）焊滚法：对于直径较大而板料较薄的圆筒，滚到两端部重合时，进行现场焊接，修磨焊缝，再来回滚压几次即可。采用这种方法因占用卷板机工时太多，会降低生产效率。

（4）预留余量：下料时板料两端预留直线段的长度，待滚弯成形后，将余量切去。

（二）不对称式三辊卷板机

这种卷板机能克服上述存在的缺点。由于其上辊和下辊的水平距离很小，另一个下辊放在侧面亦称侧辊。卷板时，在起始端虽仍有直线段，但在末端则无直线段。只要在第一次滚完后将工件掉过头来再滚一次，直线段就可消除。但这种卷板机也存在不足，由于它的辊轴是不对称排列，因此，两个下辊轴受力不均，靠近上辊轴的下辊轴受力很大，工作时容易产生弯曲变形。故此种卷板机多为轻型，用于滚压较薄的钢板。

（三）四辊卷板机

四辊卷板机与不对称式三辊卷板机比较，多了一个侧辊。当拿去两侧辊中的任何一个时，即构成不对称式三辊卷板机。用左侧辊和上下辊滚压右端钢板，用右侧辊和上下辊滚压左段钢板，这样就可消除直线段，滚压出所需全部曲率。这种卷板机的生产效率虽然很高，但构造复杂，造价高，因此应用并不普遍。

四辊卷板机，通常上辊轴为主动辊轴，其轴心位置不动。下辊轴能垂直升降调整距离，以适应滚压不同的板厚。两侧辊可沿上辊轴中心方向调节，以适应滚压不同的曲率。

三、压力机械

压力机械主要用于矫正变形、压弯、压边、冲孔、装配、锻造等作业中。

压力机按驱动滑块的动力不同，可分为液压驱动、机械驱动及压缩空气驱动三种。这三种压力机中，液压和机械驱动的应用较多。气压机只局限于5t以下的小型压力机，应用较少。

（一）液压机

液压机是用液体作为介质传递功率。按工作液体的种类不同，液压机可分为水压机和油压机两种。油压机具有防腐蚀、防锈和润滑性能好等优点，近十多年来发展迅速，应用很广。

液压机是利用帕斯卡定律的原理而获得巨大压力的。其结构形式有柱式和悬臂式。

图2-14表示柱式水压机，它由上横梁 5 、不动横梁 1 、四根导向钢柱 2 组成一个封闭的框架，框架承受全部工作载荷。工作缸 6 、14和提升缸 7 形成一体，固定在上横梁 5 上，工作缸内的活塞 4 和提升缸中的活塞 9 分别与可动横梁 3 和上横板10相连。可动横梁又通过两根拉杆 8 与上横板连接，并可沿四根导柱作上下运动。

工作时，上模装在可动横梁上，下模装在底座的工作台上。当高压液体由管路13进入工作缸 6 时，活塞 4 推动可动横梁 3 下降，将位于上、下模之间的材料压制成形。要提升上模时，则使高压液体由管路12进入提升缸 7 中，使活塞 9 上升带动装有上模的可动横梁 3 升起，同时将工作缸中的液体沿管路13排出。为了防止工作时高压液体的泄漏，在缸与活塞间应装有密封圈11。

图2-15表示悬臂式水压机，它由床身 1 和底座 4 等组成。床身上有工作缸 8 和活塞 7 ，压力头 6 装在活塞下部，用以装夹和固定上模。床身侧面装有压力表 2 和操纵器 3 ，底座 4 上有一个工作台 5 ，用它来安装下模和放置零件。为便于运送工件，在床身 1 上还装有悬臂吊杆 9 。悬臂式水压机的工作原理与柱式水压机相同。

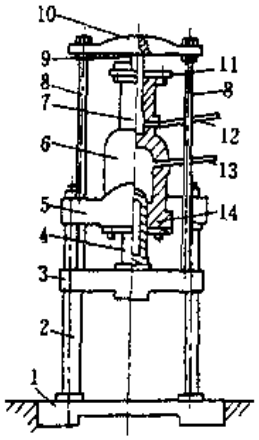


图 2-14　柱式水压机

1—不动横梁；2—导向钢柱；3—可动横梁；4—活塞；5—上横梁；6、14—工作缸；7—提升缸；8—拉杆；9—活塞；10—上横板；11—密封圈；12，13—管路

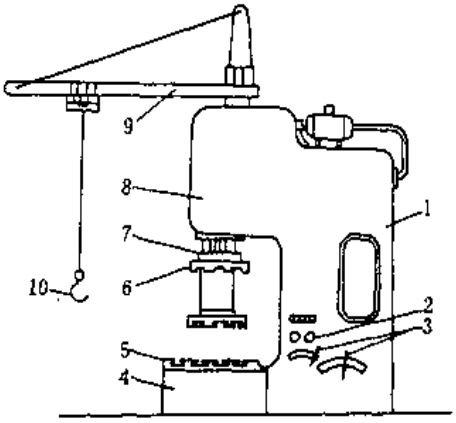


图 2-15　悬臂式水压机

1—床身；2—压力表；3—操纵器；4—底座；5—工作台；6—压力头；7—活塞；8—工作缸；9—悬臂吊杆；10—吊钩

（二）机械压力机

机械压力机的形式有很多种，目前工厂中常用的为丝杠压力机，它是利用惯性力通过丝杠传递压力的一种压力机械，故又名摩擦压力机。

图2-16表示摩擦压力机的结构，在床身 1 的上方有两个支架 8 ，支架支持着水平轴 9 和摩擦轮10、11。螺丝母座 4 安装在横梁 3 内与丝杠 5 的多头螺纹相配合。丝杠 5 的上端与传动轮 7 相连，下端与压力头 6 （也称滑块）相连，其作用是由传动轮旋转产生的惯性使压力头作上下运动。传动轮位于左右摩擦轮中间，与摩擦轮分别保持10mm左右的间隙。传动轮的外缘包有牛皮或橡皮摩擦带，用来增加摩擦力。丝杠的下端有一个抱闸和闸轮12，当压力头升到上极限位置时，抱闸抱住闸轮，使压力头及相连的丝杠与传动轮停止转动。

按下手柄13，经过一系列杠杆的传动，使水平轴向右移动，这时左摩擦轮和传动轮接触，使之产生旋转并带动丝杠与压力头上的上模一起下降，进行冲压。若提起手柄，则右摩擦轮和传动轮接触，使传动轮带动丝杠与压力头上的上模向上升起。

丝杠压力机的吨位在30～1000t之间，它的动作灵活，能满足中、小型零件的冲压工作，故应用比较广泛。

（三）气压机

气压机是以压缩空气为动力的一种压力机械，它可分为单缸直压式和多缸杠杆式。

图2-17为单缸直压式气压机，风缸2固定在机身1的上端，当搬动三通开关3时，压缩空气就沿着风管进入风缸，并推动活塞7和压缩弹簧6使连在一起的丝杠顶杆5、压力头8与上模一起向下移动，完成冲压工作。关闭开关3，风缸与大气相通，风缸排气，在弹簧力的作用下，活塞上移，恢复原来的位置。

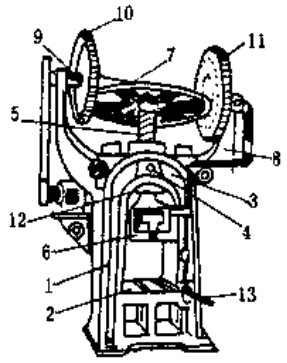


图 2-16　摩擦压力机

1—床身；2—工作台；3—横梁；4—螺母座；5—丝杠；6—压力头；7—传动轮；8—支架；9—水平轴；10、11—摩擦轮；12—抱闸；13—手柄

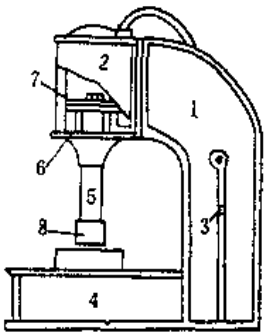


图 2-17　单缸直压式气压机

1—机身；2—风缸；3—三通开关；4—工作台；5—丝杠顶杆；6—弹簧；7—活塞；8—压力头

第三章　金属结构零部件的制造

金属结构零部件的制造，是金属结构制造的基础，也是金属结构制造过程中最关键的工序之一。零部件制造的好坏直接影响着整个金属结构的质量。

第一节　金属构件下料过程中的板厚处理

实际生产中应用的金属结构产品，其外形是多种多样的。在制造这些产品时，首先遇到的一个问题，就是如何将任一外形的构件图展画成平面图。一般而言，画展开图时，为使问题简化，都以薄板为对象，不考虑板厚的影响，因薄板的厚度很小，可忽略不计。但当板厚t>1.5mm，零件尺寸要求又精确时，作展开图就必须考虑板厚的影响，否则会产生零件尺寸不准，质量不高，甚至造成废品。为消除这种影响，展开放样时必须对板厚进行处理。板厚处理的主要内容就是如何确定中性层的位置，进而确定构件的展开长度、高度及相贯构件的接口等。

一、板料弯曲中性层位置的确定

当板料弯曲时，外层纤维受拉而伸长，内层纤维受压而缩短，在伸长与缩短之间存在着一个长度保持不变的纤维层，称为中性层。形状为曲线形构件的展开长度，应以构件的中性层长度为准。

如图3-1(a)所示的圆筒，在平板弯曲过程中，圆筒的外层受拉而伸长，内层受压而缩短，只有中性层既不伸长，也不缩短，等于平板原有的长度。图3-1(b)为圆筒板厚处理的展开图，即圆筒的展开长度等于中性层的长度。

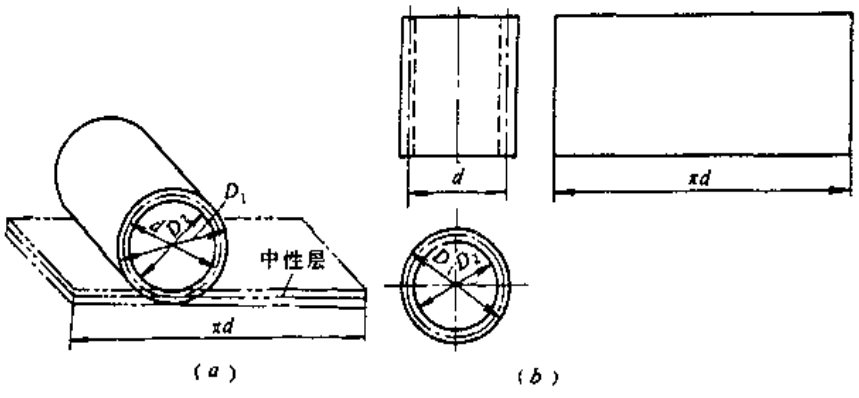


图 3-1　圆筒的板厚处理

(a)圆筒中性层；(b)圆筒经板厚处理的展开图

弯板中性层位置的改变与弯曲半径 r 和板厚 t 的比值有关。当$\frac{r}{t}$＞5时，中性层近于

板厚正中，即与板料中心层重合；若$\frac{r}{t}\leqslant 5$时，中性层的位置靠近弯曲中心的内侧，见图3-2所示。相对弯曲半径$\frac{r}{t}$愈小，则中性层向内侧移动愈大，这是由于塑性弯曲时，弯板厚度变薄，其断面产生畸变的结果。

中性层与内弧的距离可由下式计算：

$$s = t x_0 \tag{3-1}$$

式中 t——板厚（mm）；

x_0——移动系数，见表3-1。

表 3-1　　中性层位置移动系数 x_0

r/t	≤0.25	0.5	0.8	1	2	3	4	5	≥7.5
x_0	0.2	0.25	0.3	0.35	0.37	0.4	0.41	0.43	0.5

注　r为弯曲件内弧半径，mm。

如图3-1的圆筒，若内径$D_2=300$mm，板厚$t=30$mm，则中性层直径d可由上式求得：

由$\frac{r}{t}=\frac{300}{2\times 30}=5$，从表3-1查得$x_0=0.43$

$$\therefore \quad s = t x_0 = 30\times 0.43 = 12.9(\text{mm})$$

则
$$d = D_2 + 2s = 300 + 2\times 12.9 = 325.8(\text{mm})$$

根据中性层直径d即可求得下料长度L为：

$$L = \pi d = 3.1416\times 325.8 = 1023.5(\text{mm})$$

二、单件的板厚处理

单件的板厚处理主要考虑展开长度及制件的高度，下面举例说明不同形体的板厚处理。

（一）圆锥管的板厚处理

圆锥管的展开图为一扇形，用厚板制成的圆锥管，大、小口展开弧长应分别取大、小口中性层为直径的圆周长度。为确保制件高度尺寸符合图样要求，大口展开半径应取中性层的圆锥母线长。图3-3(*a*)所示为正截头圆锥管，已知尺寸为D_1、d_3、t及h，经板厚处

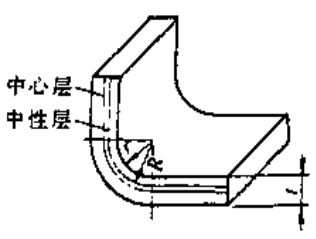


图 3-2　圆弧弯板的中性层

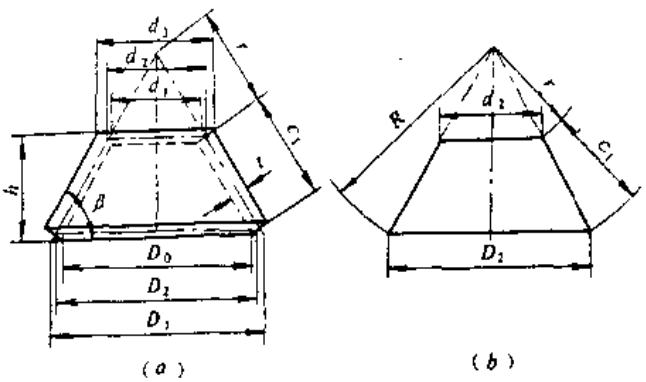


图 3-3　圆锥管的板厚处理

(*a*)实样图；(*b*)放样图

理得D_2、d_2、r及c_1，图3-3(b)为处理后的放样图。

放样尺寸，也可通过近似计算方法求得：

$$r=\frac{d_2 c_1}{D_2-d_2} \tag{3-2}$$

$$R=r+c_1 \tag{3-3}$$

$$d_2=d_3-t\sin\beta \tag{3-4}$$

$$D_2=D_1-t\sin\beta \tag{3-5}$$

$$c_1=\frac{h-t\cos\beta}{\sin\beta} \tag{3-6}$$

$$\mathrm{tg}\beta=\frac{2h}{D_1-d_3} \tag{3-7}$$

式中 r——小口展开半径（mm）；

R——大口展开半径（mm）；

D_1——大口外径（mm）；

d_3——小口外径（mm）；

D_2——大口放样中心径（mm）；

d——小口放样中心径（mm）；

c_1——锥管素线长（mm）；

t——板厚（mm）；

β——锥底角。

（二）方管的板厚处理

如图3-4所示，方管内壁的四角均为直角，方管在折曲成形时，内壁四边长度不变，但内壁以外的板拉伸变形较大。因此，方管放样长度应以内壁为准。

如果方管是由四块板拼焊而成，则视拼接的情况不同而作不同的板厚处理。例如相对的两块板夹住另两块板时，则相邻两板的下料宽度就有所不同，一块应按内壁下料，另一块应按外壁或板厚中心下料。

（三）弯折件的板厚处理

矩形断面构件的展开料长按内壁计算这一原则，也适用于其它呈任意角的折线形断面的构件。图3-5所示还表明了弯曲方向不同时展开长度的计算方法。

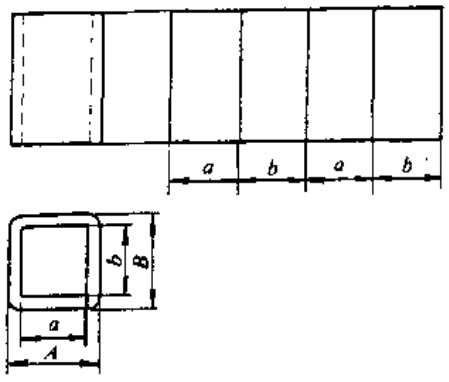


图 3-4 方管的板厚处理

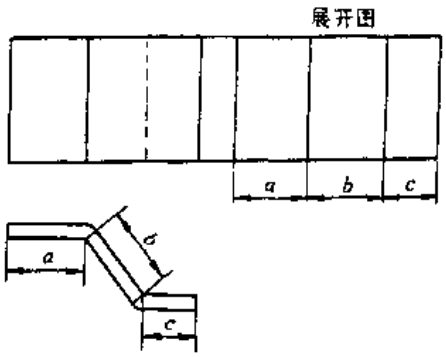


图 3-5 折弯件的板厚处理

（四）圆方过渡接头的板厚处理

图 3-6 所示，圆方过渡接头的几何形状，具有圆管、方管、圆锥管的综合特征，其板厚处理应按圆、方、锥三管板厚方法进行。即，底口按方管以内壁四边长作展开；顶口按圆管中性层（一般为中心层）直径 d 来确定展开周长；为保证构件的高度尺寸，放样图的高度应取上下口中性层的垂直距离 h。图 3-6(b)即为圆方过渡接头经过板厚处理的放样图。

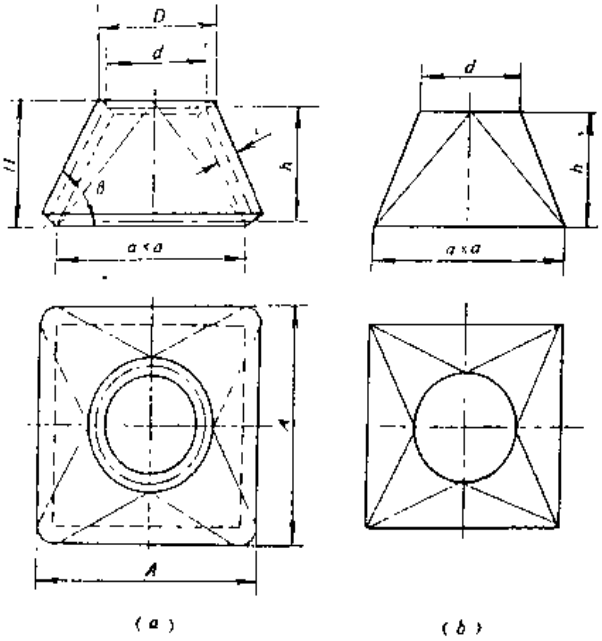


图 3-6 圆方过渡接头的板厚处理

(a)实样图；(b)放样图

放样图中的尺寸 d、a 及 h 也可通过近似计算求得：

$$\mathrm{tg}\beta = \frac{2H}{A-D} \qquad (3\text{-}8)$$

$$a = A - 2t\sin\beta \qquad (3\text{-}9)$$

$$d = D - t\sin\beta \qquad (3\text{-}10)$$

$$h = H - t\cos\beta \qquad (3\text{-}11)$$

式中 A——底口外边长（mm）；

D——顶口圆外径（mm）；

H——圆方过渡接头高度（mm）；

t——板厚（mm）；

β——斜面倾角。

三、相贯件的板厚处理

相贯构件也称为组合件，其板厚处理除要解决各形体展开尺寸的问题外，还要处理好形体相贯的接口线。下面举例说明：

（一）等径直角弯头的板厚处理

当采用厚板制成两节等径直角弯头时，如不经过板厚处理，则两等径拼接接口处就会产生轴线的外部为内壁接触、内部为外壁接触，而中部有较大的间隙（缺肉）的现象，而且板越厚间隙越大，同时两管轴线交角及管长也都相应发生变形，如图3-7(a)所示。如不进行板厚处理，便不能保证构件的尺寸要求。

从上述分析中看出：圆管弯头的板厚处理，应分别从断而的内、外圆引素线作展开。即两管内壁接触部分以圆管内壁高度为准从断面的内圆引素线；外壁接触部分以圆管外壁高度为准从断面的外圆引素线；中间则取圆管的板厚中心层高度。具体作法如下：

（1）如图3-7(b)，用已知尺寸画出两节弯头的主视图和断面图；

（2）4 等分内外断面半圆周，等分点为 1、2、3、4、5。由等分点引上垂线，得与结合线的交点1′—5′；

（3）在主视图底口延长线上取1—1 = $\pi(D-t)$，并作 8 等分。由等分点引上垂线，

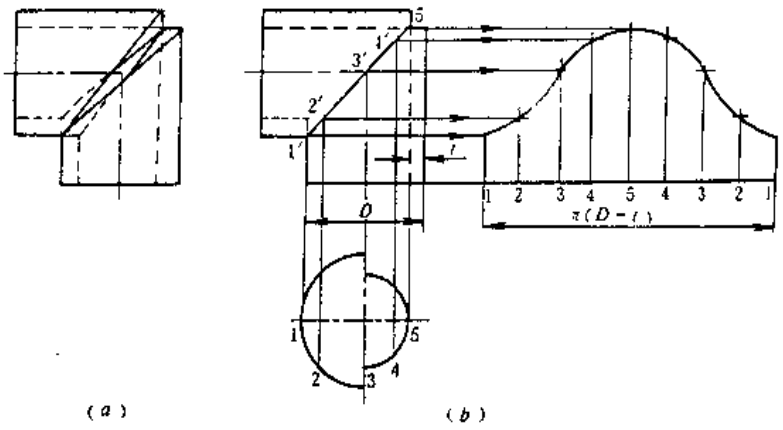


图 3-7　等径直角弯头的板厚处理

(a)没经板厚处理；(b)经板厚处理后作展开

与结合线各点1′—5′向右所引水平线对应交点连成光滑曲线，即得弯头展开图。

以上对两节等径直角弯头板厚处理的原则和作图方法，也适用于其它类似的构件，但具体情况要作具体分析。

（二）异径直交三通管的板厚处理

图3-8所示为异径直交三通管。当考虑板厚时，由左视图可知上面支管的内壁与下面主管的外壁相接触，所以支管展开图中各素线长以内壁高度为准；主管孔的展开长度应以主管与支管接触部分的外壁弧长 L 为准；大小圆管的展开长度均按各管的平均直径计算。

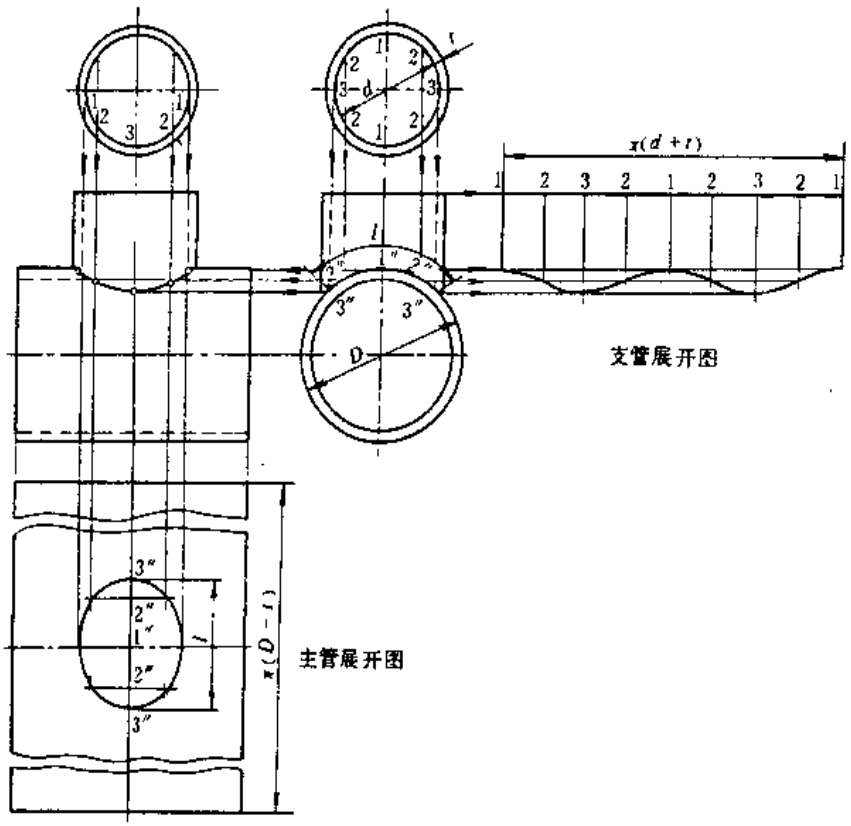


图 3-8　异径直交三通管的板厚处理

综上所述，可得出相贯构件板厚处理的一般原则是：展开长度以构件的中性层尺寸为准，通过计算求出；展开图中曲线高度是以构件接触处的高度为准。根据这一原则，可对不同形体相贯件进行板厚处理，作出符合实际的展开图。

第二节 钢材的矫正

板材或型材由于受外力或残余应力等因素的影响，往往产生一定变形，凡变形量超过技术规定范围的，必须进行矫正。矫正就是把变形恢复到技术规定范围内的工艺方法。

一、矫正的基本方法

钢材变形的矫正，按其是否加热，分冷作矫正和加热矫正两种。在具体矫正时，如采用手工进行的称为手工矫正；如在专用矫正机上进行的称为机械矫正。

（一）冷作矫正

在常温下对钢材变形进行矫正的方法叫做冷作矫正。

冷作矫正的基本原理，就是借外力的作用，使单位面积上的矫正力超过屈服强度，而小于极限强度，使钢材发生塑性变形来达到矫正的目的。冷作矫正钢材变形一般采用放松、压缩两种手段。

（1）放松：对工件变形的压缩区进行放松，使压缩区得到扩展，钢材内部的松紧情况被调整，工件即被矫正。

（2）压缩：对工件变形的松弛区进行压缩，使松弛区域紧缩。钢材内部的松紧情况被调整后，其变形亦被矫正。

必须指出：冷作矫正时容易使钢板产生冷硬现象，这种矫正方法只适用塑性较好的钢材变形的矫正，同时不能在负温严寒下进行，因为一般钢材在严寒下容易脆裂。

（二）加热矫正

对变形钢材预先加热到一定温度进行矫正，这种方法叫加热矫正，简称热矫正。热矫正方法有全部加热和局部加热两种。

（1）全加热矫正：全加热矫正是指在工件变形区域全部加热后的矫正。全加热矫正时，其温度范围一般在700～1000℃之间，因温度过高，会引起钢材过热，如温度低于700℃，又容易产生热脆。加温使钢材变软后，再用手工或机械进行强力矫正。全加热要消耗较多能源，因此，只有在材料较硬和工件变形严重不适于冷作矫正时才被采用。

（2）局部加热矫正：局部加热矫正是利用金属热胀冷缩的物理特性，使钢材发生反变形。矫正时，其局部加热的温度和位置，应视变形的具体情况而定。

局部加热矫正时，常使用氧—乙炔焰或其它火焰，故常把局部加热矫正叫做“火焰矫正”。

局部加热矫正使用的工具较简单，操作方便，不受工件大小、变形位置和结构复杂程度的限制，因而得到广泛的应用。但只适用于塑性较好的金属材料，不适用于高合金钢、铸铁等脆性材料。

二、手工矫正

采用手工矫正时，常用的工具有大锤（分平头、直头和横头三种）、手锤（又称锄头，有圆头、直头和横头多种）、型锤（分平锤、摔子、压弧锤等），见图3-9。

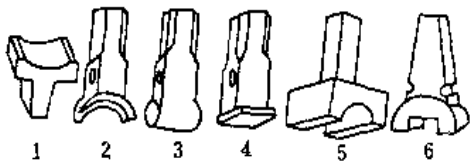


图 3-9 型锤

1、2、5、6—为型锤；3—压弧锤；4—平锤

常用的机具有调直器、固定拉紧器、千斤顶以及铆钉枪（又称风锤）等，见图3-10。

（一）板材的手工矫正

（1）薄板的手工矫正：薄板变形的主要原因是由于板材在轧制过程中因受力不均而使内部组织松紧不一而产生的，见图3-11。

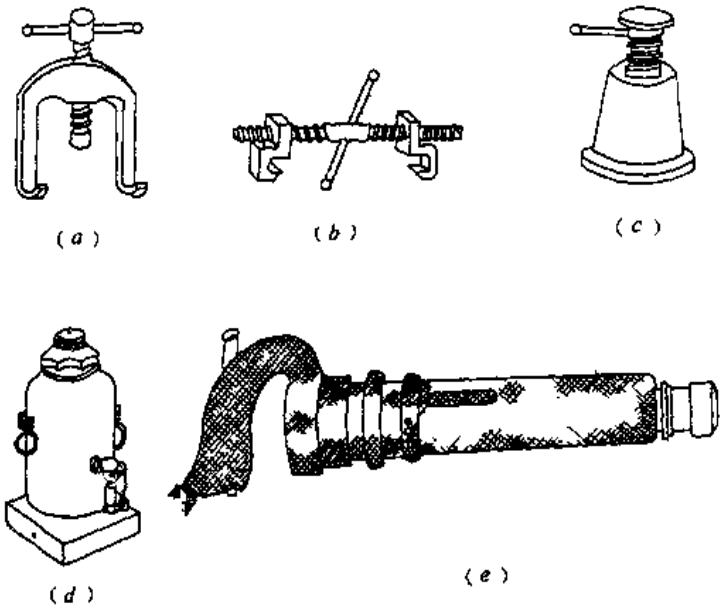


图 3-10 矫正工件中常用的机具

(a)调直器；(b)固定拉紧器；(c)螺旋千斤顶；(d)油压千斤顶；(e)铆钉枪

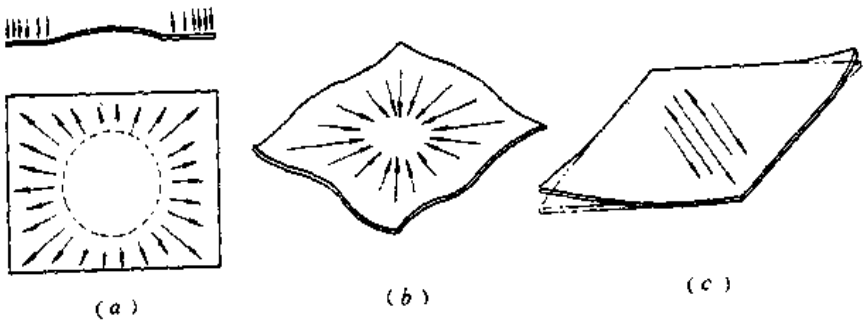


图 3-11 薄板的矫平

(a)中间凸起；(b)边缘成波纹形；(c)对角翘起

图3-11(a)表示薄板中部凸起的变形，矫正时，可在凸起处上面垫厚板并用卡子压紧，然后由凸起部分的周围开始向四周锤击，越往边缘则锤击的密度越大，锤击力越重，则凸起部分就会消除。必须指出，矫正时不能直接锤击凸处，因为薄板的刚性差，锤击凸处，

会使变形进一步扩大。若薄板表面有几处突起，则应先在凸起的交界处轻轻锤击，使若干个凸起处合并成一个，然后再锤击四周而展平。

图3-11(*b*)表示薄板边缘成波纹形变形，矫正时应从四周向中间逐渐锤击，锤击密度和锤击力亦应逐渐加大，使中间部分伸长而矫正。

图3-11(*c*)表示对角翘起的扭曲变形，矫正时可沿垂直于翘起对角线的方向进行锤击，使其延伸而矫正。

（2）厚板的手工矫正：厚板的手工矫正，常用以下两种方法。

1）直接锤击凸起处，采取这种矫正方法的锤击力必须大于材料的屈服极限，才能迫使凸起处受到强制压缩而矫平。

2）锤击凸起区域的凹面，锤击凹面时，可用较小的锤击力，仅使材料在凹面扩展，迫使凸面受到相对压缩而矫平。

厚钢板产生扭曲变形时，可沿其扭曲方向和位置，采用反变形的方法进行矫正。

必须指出，由于厚钢板的刚性较大，完全采用手工矫正有一定的困难，往往与加热矫正等方法结合进行。在有条件的工厂里，厚钢板已很少采用手工矫正。

（二）型材的手工矫正

1.角钢的手工矫正

角钢的变形有扭曲、弯曲和两面不垂直等形式。手工矫正时，一般应先矫正扭曲，然后矫正弯曲和两面的垂直度。

（1）角钢扭曲的矫正，如图3-12所示，对于小角钢的扭曲可直接用叉子扳扭。但对于较大的角钢则应斜置于平台边缘进行锤击矫正。对有严重扭曲而不能采用冷作矫正时，应采用加热的方法进行矫正，工件加热后应垫上平锤再进行锤击。如加热的工件较大，应待其冷却后才能移动，以免产生新的变形。

（2）角钢弯曲的矫正，角钢弯曲变形有内弯和外弯两种形式。矫正时可选择一合适的钢圈，将角钢放在钢圈上，锤击凸部，使其发生反向弯曲而矫正，见图3-13。

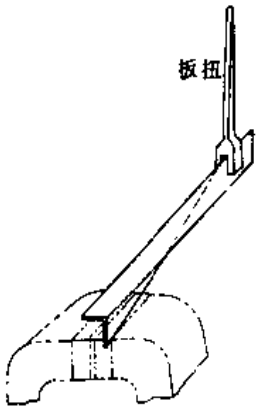


图 3-12　角钢扭曲的矫正

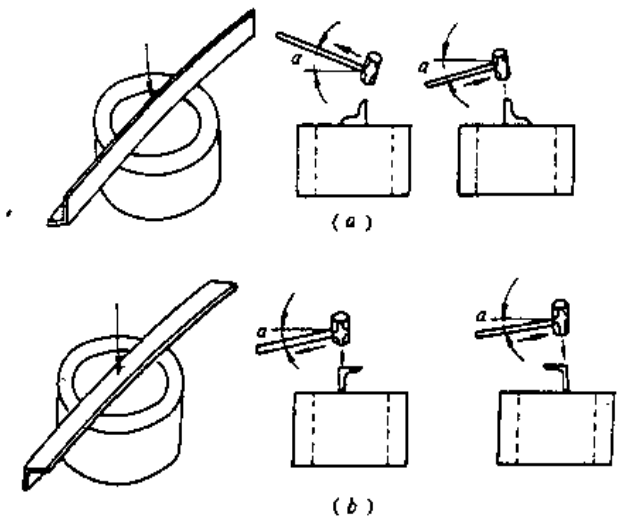


图 3-13　角钢弯曲的矫正

(*a*)角钢外弯；(*b*)角钢内弯

矫正角钢弯曲时，为防止角钢翻倒，锤柄应稍抬高或放低一α角度（约5°左右），并在锤击的同时稍带拉力或推力。

（3）角钢两面不垂直的矫正，手工矫正角钢两面不垂直的变形时，应采用V形槽垫铁或平台作垫，将角钢置于上面，进行锤击矫正。

图3-14表示角钢两面夹角大于90°的手工矫正，锤击角钢边缘时，打锤要正，落锤要稳，以防工件震动或歪倒伤人。

图3-15表示角钢两边夹角小于90°的手工矫正。矫正时应用平锤垫在角钢小于90°的区段里，再用大锤打击平锤进行矫正。

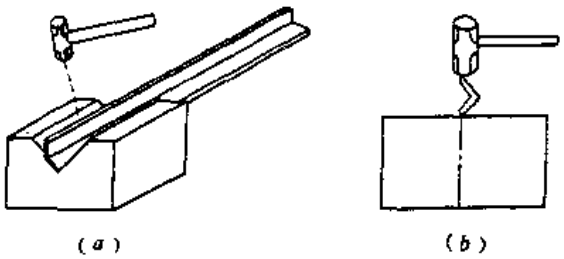


图 3-14　角钢大于90°的手工矫正

(a)用V形槽垫铁；(b)用平台作垫

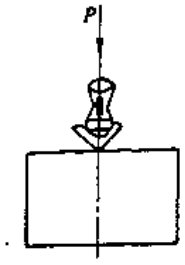


图 3-15　角钢小于90°的手工矫正

2.槽钢的手工矫正

槽钢的变形有弯曲、扭曲和翼板凹凸变形等形式。由于它的刚性比角钢大，采用手工矫正时，仅适用于规格较小的槽钢。

（1）槽钢弯曲的矫正，槽钢的弯曲分立弯和旁弯两种，矫正时可将槽钢凸部朝上，置于两根平行圆钢组成的简易矫正台架上，如果是立弯，锤击点应选择在凸处的腹板上，以防翼板变形。如果是旁弯，则用大锤锤击两侧翼板，见图3-16。

（2）槽钢扭曲的矫正，矫正时，可将槽钢斜置于平台上，使扭曲翘起部分伸出平台之外，用羊角卡将槽钢压住，锤击伸出平台翘起部分的一边，使其反向扭转，锤击点应边锤击边向平台移动，然后调头进行同样的锤击，直至矫直为止，见图3-17。

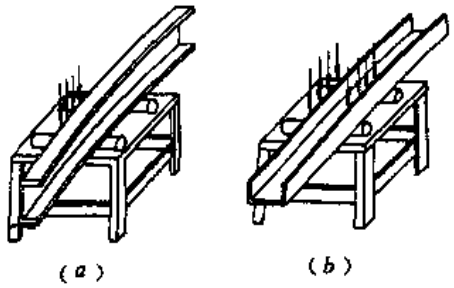


图 3-16　槽钢弯曲的手工矫正

(a)立弯的矫正；(b)旁弯的矫正

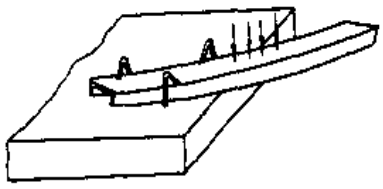


图 3-17　槽钢扭曲的手工矫正

（3）槽钢翼板凹凸变形的矫正，如图3-18所示，矫正翼板外凸时，可用大锤顶住翼板凸起附近平的部位，或将大锤横顶凸起处背部，然后用大锤锤击凸起处，即可矫平。矫正翼板凹陷时，可将翼板平放于平台上，直接用大锤打击凸起处，或在凸起处垫平锤，再用大锤打击，亦可矫平。

3.工字钢的手工矫正

工字钢的截面较大，强度和刚度都较高，因此，在采用手工矫正变形的同时，要配合使用相应的机械和加热等方法。

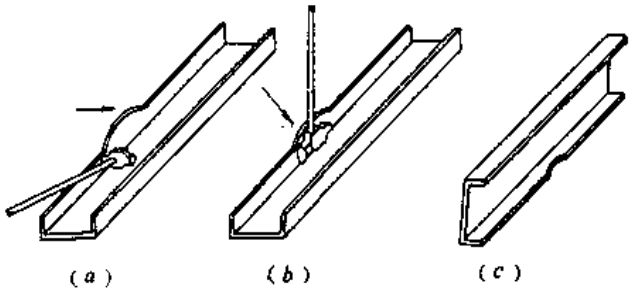


图 3-18 槽钢翼缘变形的手工矫正

(a)用大锤垂直顶住翼板；(b)用大锤横向顶住翼板；(c)翼板凹陷的矫正

（1）工字钢翼板旁弯的矫正，对于小规格的工字钢，旁弯又较小时，可以冷作矫正。矫正时，可将工字钢放在平台上，并在适当的距离垫上支撑，可用手锤打击两翼板的凹处，使之扩展而矫直。也可用大于材料屈服点的锤击力，直接锤击翼板的凸边，迫使凸边受到压缩而矫直。

工字钢翼板的旁弯，还可用调直器调直。矫正时将调直器两个挂钩挂在翼板的凹边上，转动板把，使丝杠压块顶压凸边，使工件略呈反弯曲，同时锤击原凹边，使之扩展，工件即可得到矫正，见图3-19。

（2）工字钢立弯的矫正，工字钢的刚度较大，当其变形不能直接采用锤击矫正时，可配合采用加热矫正。加热长度要大于工件变形区的长度，一般多采取分段进行。

对于小规格工字钢腹板立弯的矫正，可在变形处加热后往平台上摔打，再用平锤修理调直。

对于较大规格工字钢腹板的立弯，为防止矫正时腹板变形，矫正前应预制相应的规铁。为保持腹板在矫正中的平整，还可预制如图3-20所示的“串联式规铁”。规铁是用厚度不大的钢板中间钻孔用铁丝串联而成，其一侧形状应与工字钢断面外形相符。

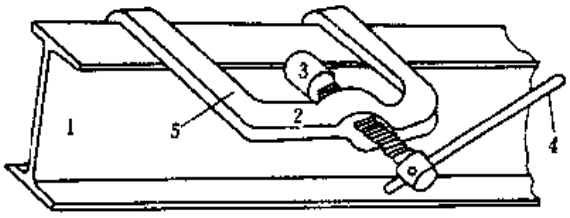


图 3-19 用调直器调直工字钢翼板旁弯

1—工字钢；2—调直器；3—压块；4—板把；5—挂钩

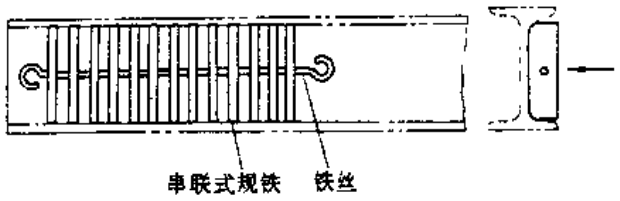


图 3-20 用串联式规铁矫正工字钢腹板立弯

三、机械矫正

板材或型材的机械矫正应在专用矫正机或压力机上进行。矫正前应对机械的完好情况严格检查，操作时要严格遵守安全操作规程。

（一）板材的机械矫正

1.滚板机矫正钢板

板料矫正前，应检查钢板的变形情况，调整两排轴辊的间隙，经过试运转之后，方可进行矫正。

矫正时，为使板料受到足够的压力，进料口上下轴辊之间的垂直间隙应略小于板料的厚度。为使板料得到平直，出料口的上下轴辊间隙不宜小于板厚。

有的板料如在滚板机上一次难以矫平，可以经过多次滚压。如经多次滚压仍不能矫平时，可在工件变形的紧缩区放置一条厚度约为0.5～2mm的软钢板条（加垫），再经滚压，工件的加垫处便可获得较大的延展，去掉垫条后，再进行滚压即可矫平。

如有的钢板有严重的局部凸起，难于直接输入滚板机矫正时，应先用火焰将局部凸起处基本矫平后，再输入滚板机矫正。

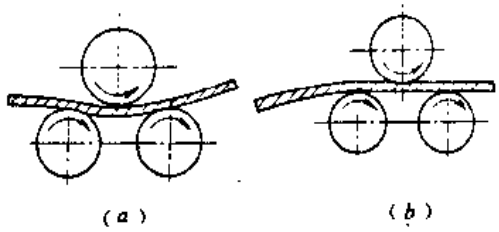


图 3-21　用卷板机矫平钢板示意图

(a)第一次滚压；(b)第二次滚压

2.卷板机矫正钢板

在没有滚板机的情况下，利用卷板机也可矫平钢板。

（1）厚板的矫正，如图3-21所示，先将钢板放在卷板机上滚出适当的弧度，然后翻转板料，调整卷板机上下轴辊的间距，再滚压，使原有弧度产生反变形，经过反复滚压，直到矫平为止。

（2）薄板和小块钢板的矫正，矫正时，可采用大面积的厚钢板做垫，在垫板上摆放薄板或厚度相同的小块钢板合并一起滚压即可矫平。

3.压力机矫正厚板

（1）厚板弯曲的矫正，用压力机矫正厚板时，应先矫正急弯，后矫正慢弯。如图3-22所示，在凹面两侧加支撑，在凸起处施加压力，使工件在强力作用下略呈反变形，以便留出回弹量。当受力点下面空间高度较大时，应放上厚度低于支撑点高度的垫铁，见图3-23(a)。图3-23(b)、(c)、(d)表示厚板出现局部弯曲的矫正方法。

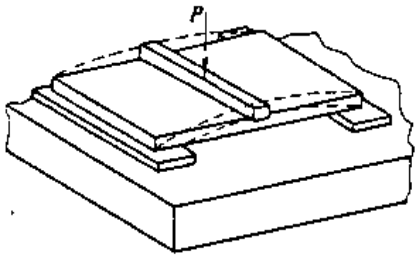


图 3-22　在压力机上矫正厚钢板

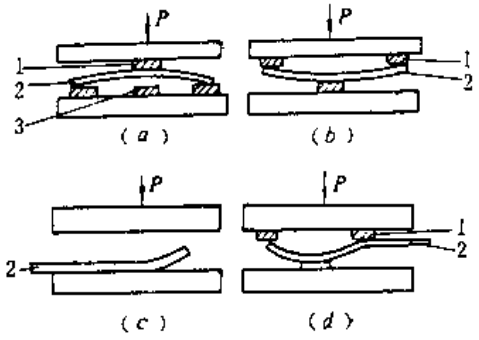


图 3-23　厚钢板弯曲的矫正

1—压杠；2—工件；3—垫铁

（2）厚板扭曲的矫正，矫正时，应在翘起的对角上放置压杠，而在另一对角下支垫，压杠与支垫应平行放置，且距离要均匀。加压时，如果反变形过大，可不必翻转工件，只将支垫与压杠的位置调换，再加适当压力矫正即可，见图3-24。如一块板料同时存在扭曲和弯曲变形时，应先矫扭曲，后矫正弯曲。

（二）型材的机械矫正

（1）用型钢矫正机矫正型材：型钢矫正机的结构及工作原理，在第二章中已经讲述。利用型钢矫正机矫正各种型钢时，只需更换相应外形的辊轮，通过矫正机的滚压，即可将型钢矫正。图3-25表示用型钢矫正机矫正角钢、槽钢、方钢及工字钢的示意图。

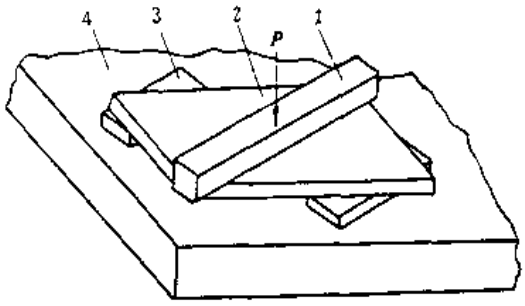


图 3-24　在压力机上矫正厚板扭曲的方法

1—压杠；2—工件；3—支撑(垫)；4—工作台

（2）用压力机矫正型材：利用压力机矫正型钢时，应预制相应的垫铁（支撑）和规铁，规铁的外形，应与各种型钢断面内部形状和尺寸相同，以防工作受压时歪倒或撤除压力后回弹。用压力机矫正时，均应留出一定的回弹量。用压力机矫正型钢，方法比较简单，下面仅以图示说明。

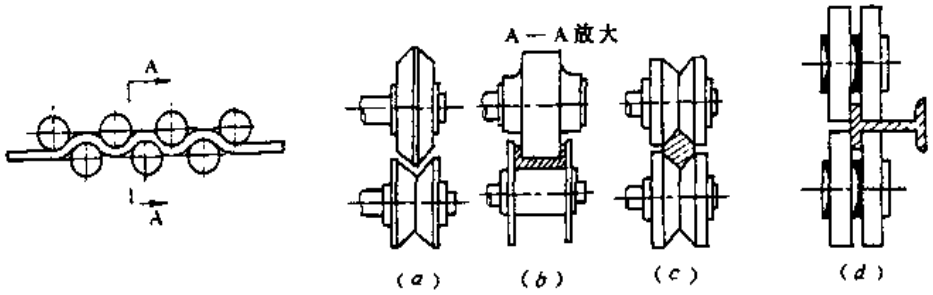


图 3-25　型钢矫正机工作示意图

(a)角钢矫正；(b)槽钢矫正；(c)方钢矫正；(d)工字钢矫正

图3-26表示在压力机上矫正角钢弯曲的示意图。

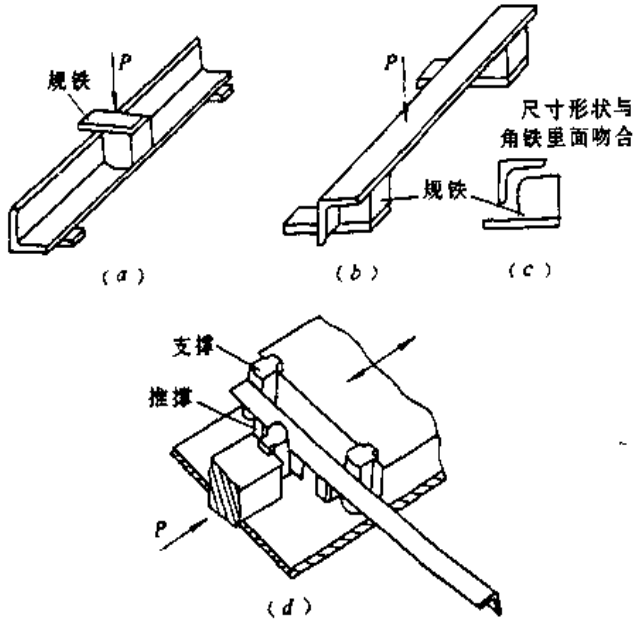


图 3-26　在压力机上矫正角钢弯曲示意图

(a)角钢平面在下的压力矫正；(b)角钢平面在上的压力矫正；(c)规铁；(d)用顶床矫正角钢

图3-27表示角钢两面不垂直的压力矫正。

图3-28表示槽钢对角翘起的压力矫正。

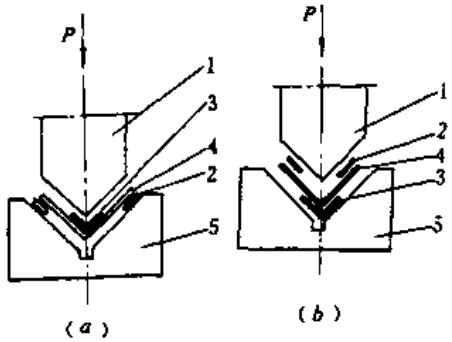


图 3-27　角钢两面不垂直的压力矫正

(a)大于90°的矫正；(b)小于90°的矫正

1—上胎；2—垫铜；3—规铁；4—工件；5—V形下胎

图3-29表示槽钢立弯的压力矫正。

图3-30表示槽钢旁弯的压力矫正。

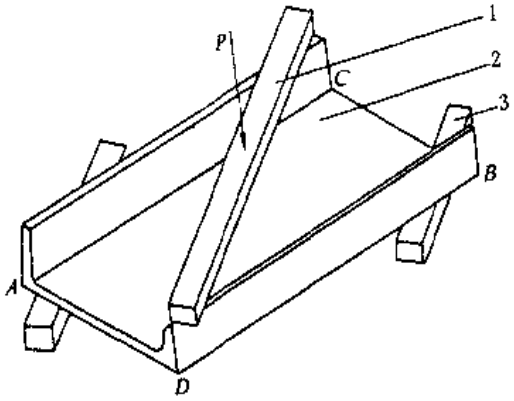


图 3-28　槽钢对角翘起的压力矫正

1—压铁；2—工件；3—垫铁

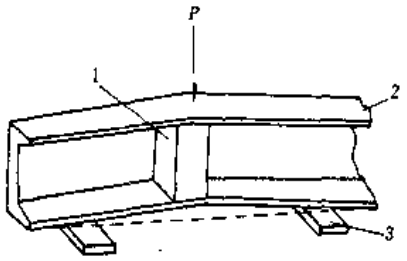


图 3-29　槽钢立面弯曲的压力矫正

1—规铁；2—工件；3—支撑

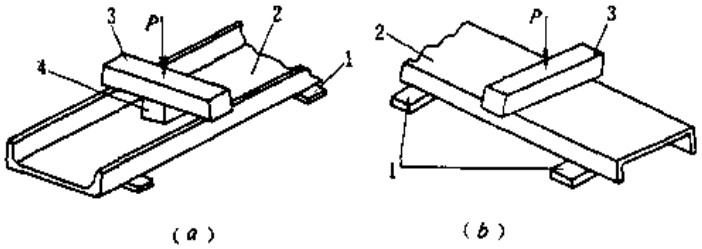


图 3-30　槽钢旁弯的压力矫正

(a)向里弯曲；(b)向外弯曲

1—垫铁；2—工件；3—压铁；4—规铁

图3-31表示工字钢立弯和腹板弯曲的压力矫正。

图3-32表示工字钢翼板倾斜的机械矫正。

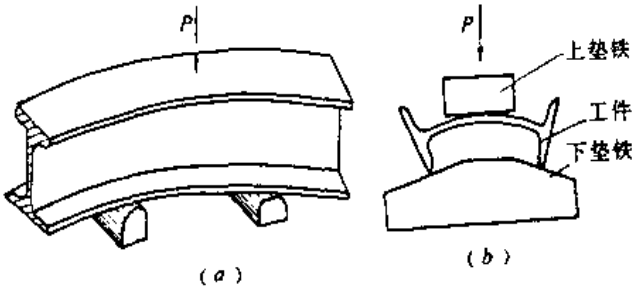


图 3-31　工字钢立弯和腹板弯曲的压力矫正

(a)立弯；(b)腹板弯曲

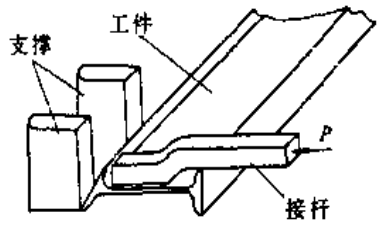


图 3-32　工字钢翼板倾斜的机械矫正

第三节　放样和号料

放样和号料是制造金属结构的第一道工序，它对保证产品质量、缩短生产周期、节约原材料等都具有重大影响。由于放样和号料直接反映了构件的平面图形和真实尺寸，使一

些繁琐的计算工作得以减少。

一、放样

放样是根据工作图的要求，用1:1的比例，按正投影原理，把构件反映在样台或平板上，画出图样，此图叫实样图，又叫放样图。画放样图的过程叫做放样。

放样图与工作图有着密切的联系，但二者又有以下区别。

工作图的比例不是固定的，可按不同的比例放大或缩小，而放样图的比例只限于1:1；工作图是按国家制图标准绘制的，在工作图上必须具有构件尺寸、形状、光洁度、标题栏和有关技术说明等内容，而放样图只用细线条来确切反映工件的实际尺寸；工作图上不能随意增减线条，而放样图上则可根据需要增加辅助线或去掉与放样无关的线条。

（一）常用量具和工具

放样和号料常用的量具和工具，一般有以下几种。

1.常用量具

（1）木折尺：常用的木折尺有两种：一是四折木尺 其长度为500mm；二是八折木尺，其长度为1m。木折尺一般用于常温下测量精度要求不高的工件。

（2）钢板尺：钢板尺有公制和英制两种尺寸刻度。它的规格较多，常用的为1 m长度。

（3）钢卷尺：常用的规格为1m或2m，较长的有20m、50m的钢卷尺称为盘尺。

（4）直角尺：直角尺又称弯尺，它由长短两直尺互成直角制作而成，主要作测量构件垂直度或画垂线用。

（5）内、外卡钳：内、外卡钳是辅助测量用具。内卡钳主要用于测孔的直径，见图3-33；外卡钳则用于零件外部尺寸的测量，见图3-34。

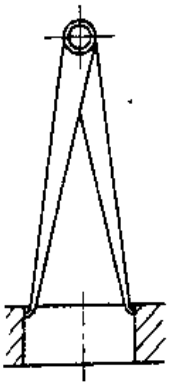


图 3-33 内卡钳及应用

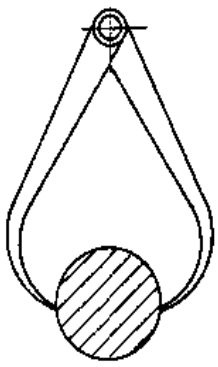


图 3-34 外卡钳及应用

（6）游标卡尺：它是比较精确的测量用具，其精度可达0.02mm。它用于小零件内外尺寸的测量，见图3-35。

2.常用工具

（1）划规：用于截取尺寸、画弧或画圆。

（2）地规：用途与划规相同，多用于大型构件的放样，构造如图3-36所示。

（3）样冲：如图3-37所示，样冲主要用于放样和号料时打记号或冲样冲眼，便于划

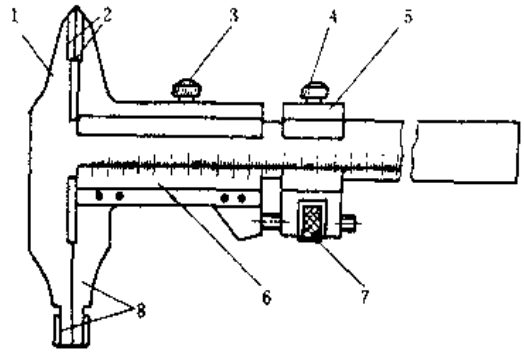


图 3-35 游标卡尺

1—主尺；2—上量爪；3、4—紧固螺钉；5—微动装置；6—副尺；7—转动螺母；8—下量爪



图 3-36 地规

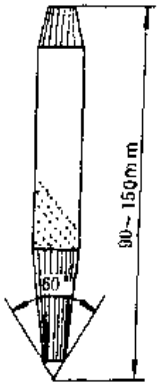


图 3-37 样冲

线或加工中定位与找正。

（4）划针：号料，放样时用画针代替石笔使用，精度较高。

（5）小手锤：常用于敲击样冲打记号等，一般重为200g左右。

（6）粉线：多用棉质细线，缠在粉线轴上，作为大型结构放样时弹画直线用。

（7）钢丝：在结构的放样、装配或安装工作中，常用细钢丝作结构的基准线或控制线，其直径通常为0.5~1.0mm。

（8）线锤：用于检测铅垂度，其重量一般为0.5kg。

（9）座弯尺：主要用于各种型钢的号料和检查小构件的垂直度，见图3-38。

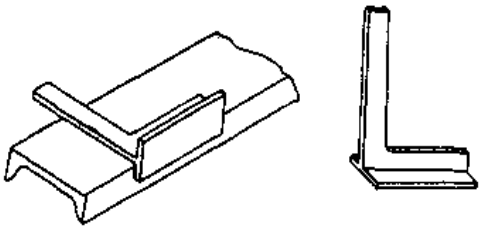


图 3-38 座弯尺

（10）勒子：勒子主要用于型钢号孔时画中心线，见图3-39。

（11）辅助工具：在放样与号料过程中，根据施工需要，可制作一些辅助工具。图3-40(*a*)、(*b*)所示分别为号角钢、槽钢时用的过线板；图3-40(*c*)、(*d*)所示为样杆卡子。

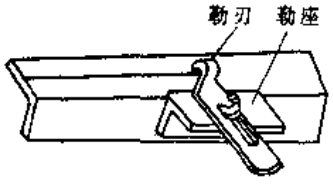


图 3-39 勒子及其应用

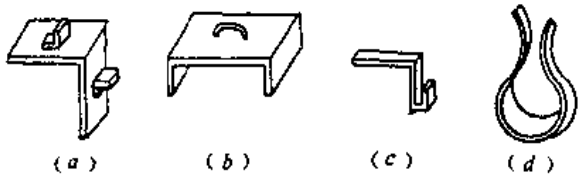


图 3-40 号料辅助工具

(*a*)、(*b*)过线板；(*c*)、(*d*)样杆卡子

（二）放样程序

在长期制作金属结构的生产实践中，形成了以实尺放样为主的多种放样方法。随着科学技术的发展，又出现了光学放样、电子计算机放样等先进技术，并在逐步推广应用。但

目前广泛采用的，仍然是实尺放样，故下面着重介绍实尺放样的过程。

1.放样间与放样台

实尺放样要在放样间的放样台上进行。制作金属构件的放样台，是用铸铁或用厚度12mm以上的低碳钢板所制成。钢板接缝应铲平磨光，板面要平整，板下面需用枕木或型钢垫起。放样台局部不平度，允许误差在5m²内±3mm。

放样间应光线充足，便于看图和画线。放样时，为使线型清晰，常在板面涂上带胶白粉。

2.实尺放样程序

实尺放样就是采用1:1的比例进行放样。下面以普通金属结构为主，介绍实尺放样的程序。

（1）线型放样

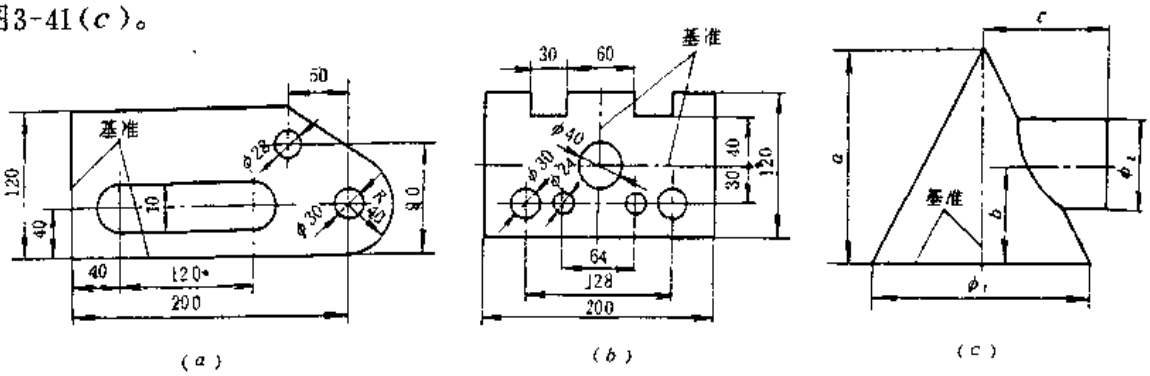
线型放样就是根据施工需要，绘制构件整体或局部轮廓的投影基本线型。

1）根据所要绘制图样的大小和数量多少，安排好各图在样台上的位置。为节省放样台的面积，大型结构的放样，允许采用部分视图重叠的方法。

2）选定放样画线基准。放样画线基准，是放样画线时，用来确定其它点、线、面位置的依据。在施工图上，用来确定点、线、面相对位置的基准，称为设计基准。放样画线基准，通常与设计基准是一致的。

在平面上确定图形的位置，需要两个独立座标，所以放样画线时每个图要选取两个基准。

放样画线基准一般可按下面三种方式选择：①以两个互相垂直的线（或面）作为基准，见图3-41（*a*）；②以两条中心线为基准，见图3-41（*b*）；③以一个平面和一条中心线为基准，见图3-41（*c*）。



（*a*）　（*b*）　（*c*）

图 3-41　放样画线基准（单位：mm）

应当指出，各视图中的基准线，无论采用何种方法画出，都必须十分准确，保证必要的精确度。

3）线型放样以画出设计要求必须保证的轮廓（或其它）线型为主，对那些因工艺要求面可能变动的线型则可暂时不画。

4）进行线型放样，必须严格遵守正投影规律。放样时，无论画出的是构件的整体图或局部图的几面投影，都必须符合正投影关系，以保证投影的一致性。否则将不能正确反映构件的形状和大小，更无法进行结构放样和展开放样。

5）对于具有复杂曲面的金属结构，可采用平行于投影面剖切，画出一组或几组线型，来表示结构的完整形状和尺寸。

（2）结构放样

结构放样就是在线型放样的基础上，按施工要求进行工艺性处理的过程。它包含如下的内容：

1）确定各部结合位置及连接形式。在实际生产中，由于材料规格及运输、加工条件的限制，往往需将原设计中的整件分为几部分加工、组合。这就需要施工者根据构件实际情况，正确、合理地确定结合部位置及连接形式。此外，对原设计中的连接部位结构形式，也要进行工艺分析，对不合理的部分，应提出修改意见。

2）根据加工工艺及工厂实际生产加工能力，对结构原设计中某些部位或部件，在不降低原设计强度的条件下，给以必要的改动。

3）计算或量取零部件料长及平面零件的实际形状，绘制号料草图，制作号料样板、样杆及样箱；或按一定格式填写数据，供数控切割使用。

4）根据各加工工序的需要，设计胎具或胎架，绘制各类加工、装配草图；制作各类加工、装配用样板。

必须指出，进行结构的工艺性处理，一定要在不违背原设计要求的前提下进行。凡对结构要作较大的改动，必经设计部门或产品使用单位有关技术部门的书面同意，并由本单位技术负责人批准，方可进行。

（3）展开放样

展开放样是在结构放样的基础上，对不反映实形或需展开之部件，进行展开以求实形的过程。其具体内容为：

1）板厚处理：根据构件的组合情况考虑板厚的影响，利用前面讲述的板厚处理方法，画出欲展开构件的单线图。

2）展开作图：利用已画出的构件单线图，运用投影理论和板金展开的基本方法，作出构件的展开图。

3）根据已作出的构件展开图，制作号料样板。

（三）样板、样杆的制作

放样过程中，在结构放样和展开放样之后，便着手制作各种样板。

1.样板的分类

按其用途通常分为以下几类。

（1）号料样板，它是供号料或号料同时号孔的样板。图3-42表示一个炉底板单一的号料样板。样板上注有尺寸、钢号及件数等记号。

（2）成形样板，它是用于检验成型加工零件的形状、角度、曲率半径及尺寸的样板。它又可分为：①卡型样板，用于检查弯曲件的角度或曲率的样板，分为内卡和外卡两种，见图3-43所示。②验型样板，主要用于检查成形加工后零件整体或某一局部的形状和尺寸。对于具有双重曲度的复杂构件，常需制作一组样板或样箱。验型样板有时也兼做二次号料用，见图3-44。

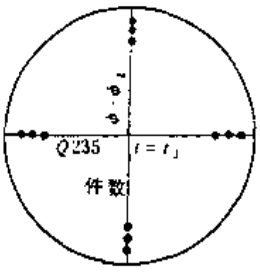


图 3-42 炉底板号料样板

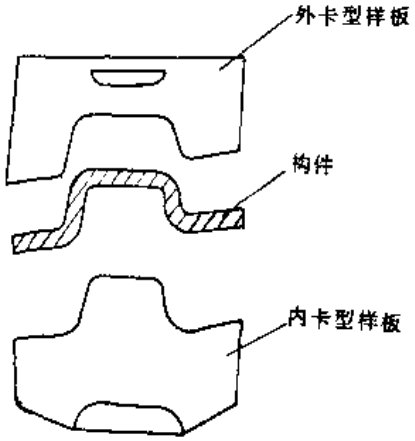


图 3-43 内、外卡型样板

（3）定位样板，用于确定构件之间相对位置（如装配线、角度、斜度）和各种孔口的位置和形状。图3-45所示为一装配定角度样板。

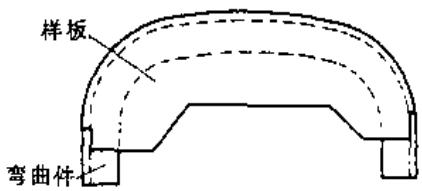


图 3-44 验型样板

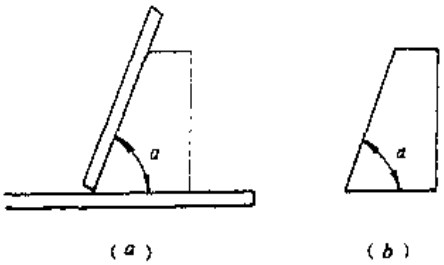


图 3-45 装配定角度样板

(a)样板使用；(b)样板

（4）样杆，样杆主要用于定位，有时也用于简单零件的号料。定位样杆上应标有定位基准线。

2.样板、样杆的材料

制作样板的材料，一般采用0.5～2mm的薄钢板。当样板较大时，为减轻重量，可用板条拼成花格骨架。中、小型件一般用0.5～0.75mm铁皮制作。为节约钢材，对精度要求不高的一次性样板，可用黄纸板或油毡纸制作。

样杆一般用25×0.8mm或20×0.8mm的扁钢条或铅条制作，亦可用铁棍、木材等作成。木质样杆的断面尺寸通常为8×20mm和25×25mm二种规格。

3.样板的制作

样板是画样后加工面成的，其画样方法主要有两种。

（1）画样法，即按零件图的尺寸，直接在样板料上画出所需样板的图样。展开号料样板及一些小型平面零件样板多用此法制作。

（2）过样法，这种方法又分不覆盖过样和覆盖过样两种，多用于简单平面图形零件的号料样板。①不覆盖过样法，就是通过作垂线或平行线，将实样图中的零件形状、位置过渡引画到样板料上的方法。图3-46所示的角钢号孔样板，就是通过不覆盖过样法画出的。②覆盖过样法，就是把样板料覆盖在实样图上，再根据事前作出的延长线，画出样板的方法。图3-47所示为桁架连接板样板，就是通过覆盖过样法画出的。

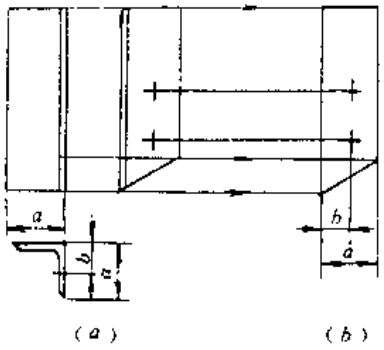


图 3-46 不覆盖过样法

(a)实样图；(b)样板

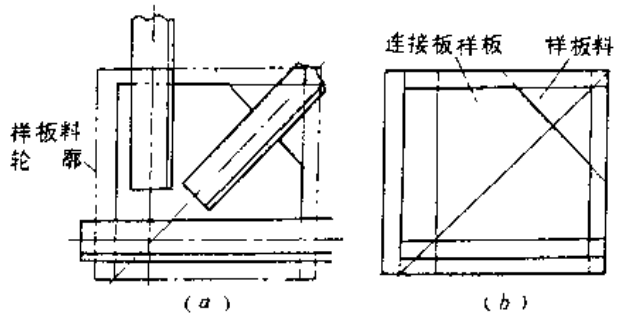


图 3-47 覆盖过样法

(a)实样图；(b)样板

4.样杆的制作

对于又长又大的型钢号料、号孔，采用钢卷尺量，既麻烦又不精确。因此，在批量生产时常用样杆来号料。

图3-48所示的实样图，可用过样法将角钢孔和长短位置过到样杆上，孔的记号方向应与角钢两面的孔相对应。

样杆制出后，上面标注的记号除与样板的要求相同外，还要标明边心距、孔径。

如角钢的两端具有一定形状时，可以作一个成型样板来补充样杆的号料；当型钢较短且两端具有一定形状时，可直接作号料样板，见图3-49。

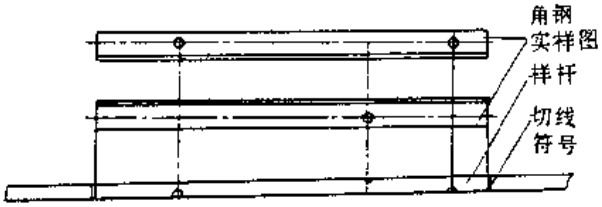


图 3-48 样杆的制作

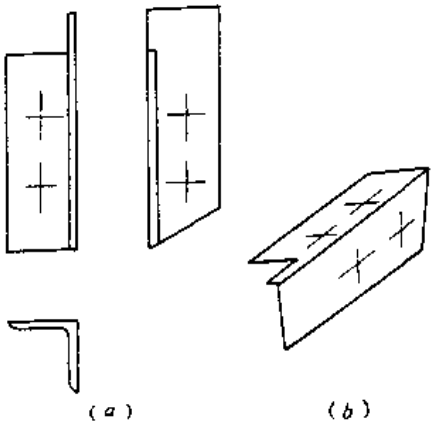


图 3-49 角钢号料样板

(a)实样图；(b)样板

5.常用的加工符号

在制作样板和进行号料、或某些构件在制造加工时，要标注各种加工符号。目前在放样号料时常用的符号有以下几种，列于表3-2中，以供使用。

（四）零件的加工余量与放样允许误差

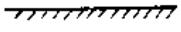
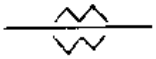
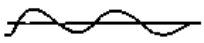
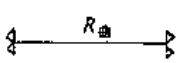
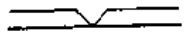
1.零件的加工余量

产品在制造过程中要经过许多工序，在各个工序中不可避免地要产生一定的加工损耗。为了保证零件尺寸，一般下料时要留加工余量，可参考下列数值取用：

（1）自动氧气切割时的加工余量为2～3mm。

（2）手动氧气切割时的加工余量为3～4mm。

表 3-2　　铆工常用的符号

序号	名称	符号	序号	名称	符号
1	板缝线		5	余料切线（斜线为余料）	
2	中心线		6	弯曲线	
3	R 曲线		7	结构线	
4	切断线		8	刨边加工	

（3）氧气切割后还需进行切削加工的加工余量为4～5mm。

（4）剪切后还需进行切削加工的加工余量为3～4mm。

（5）板件厚度应按具体工艺留足加工余量。

对于焊接结构的构件，除需留足加工余量外，还应考虑焊接及火焰矫正变形的收缩量。收缩量的数值，在后面具体结构的制造中将有阐述。

2. 放样的允许误差

放样过程中，由于受到放样量具及工具精度以及操作水平、视线差异等因素的影响，放样图会出现一定的尺寸偏差。把这种偏差限制在一定的范围之内，就叫做放样的允许误差，见表3-3。

表 3-3　　常用放样允许误差（mm）

序号	名称	允许误差	序号	名称	允许误差
1	十字线	±0.5	6	两孔之间	±0.5
2	平行线和准线	±0.5～1	7	样杆、样条和地样	±1
3	轮廓线	±0.5～1	8	度板和地样	±1
4	结构线	±1	9	加工样板	±1～2
5	样板和地样	±1	10	装配用样杆、样条	±1

二、号料

利用样板、样杆、号料草图及放样得出的数据，在板料或型钢上画出孔的位置和零件的真实形状，以及与连接构件的位置线、加工线等，并注出加工符号，这一工作过程称为号料。

（一）号料方法

为了做到合理使用和节约原材料，必须最大限度地提高原材料的利用率。常用的号料方法有以下几种。

（1）集中号料法：由于材料的规格及号料的零件多种多样，为了合理使用原材料，减少材料的浪费，应把相同厚度的钢板零件和相同规格的型钢零件，集中在一起号料，这种方法称为集中号料法。

（2）套料法：为了使每块钢板得到充分的利用，同时又能方便下道工序的剪切，在号料时要精心安排板料零件的形状位置，把相同厚度的各种不同形状的零件，在板料上做到统筹安排，长短搭配，凸凹相就进行套料，这种方法称为套料法。

上述两种方法同时使用时，称为集中套排号料，如图3-50所示。

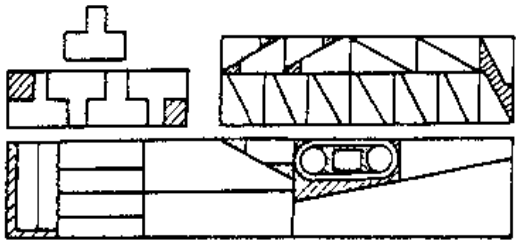


图 3-50 集中套排号料

（3）统计计算法：在型钢下料时常用统计计算法。由于原材料有一定的长度，而零件的长短不一，为了节约材料，应将相同规格型钢零件的长度归纳在一起，先把较长的排出来，然后根据余料的长度，再排较短的零件，直至整根料被充分利用为止。这种先行统计安排再号料的方法，称为统计计算法。

（二）号料允许误差

金属结构中的所有零件，几乎都要经过号料工序，为确保构件质量，号料画线的误差，不得超过表3-4所规定的允许误差值。

表 3-4 常用号料允许误差(mm)

序号	名称	允许误差	序号	名称	允许误差
1	直线	±0.5	6	料宽和长	±1
2	曲线	±0.5~1	7	两孔（钻孔）距离	±0.5~1
3	结构线	±1	8	铆接孔距	±0.5
4	钻孔	±0.5	9	样冲眼和线间	±0.5
5	减轻孔	±2~5	10	扁铲（主印）	±0.5

三、型钢弯曲料长计算

（一）型钢弯曲形式

金属结构中常用的型钢有角钢（分等边、不等边）、槽钢和工字钢数种。由于结构的要求，经常需要把各种型钢弯曲成不同的形状。

（1）内弯与外弯：当曲率半径在角钢（或槽钢）内侧的弯曲，叫做内弯，见图3-51(*a*)、(*c*)；

对于不等边角钢，如大面弯后仍为平面的叫大面内弯或外弯；如小面弯后仍为平面的则叫小面内弯或外弯。

（2）立弯与平弯：当曲率半径与工字钢（或槽钢）的腹板处在垂直位置时的弯曲，叫做立弯，见图3-52(*a*)；当曲率半径与工字钢（或槽钢）的腹板处在同一平面内的弯曲，叫做平弯，见图3-52(*b*)。由此可见，槽钢或工字钢的内弯与外弯，实际上也是立弯。

（二）型钢弯曲切口料长

型钢弯曲切口号料在现场下料工作中占有很大比重，号料时必须依据图纸要求画出实样图，根据实样图制作样板、样杆或用直尺直接在工件上进行号料，见图3-53所示。

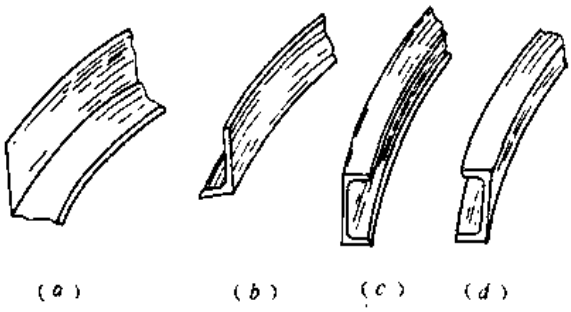


图 3-51 内弯与外弯

(a)角钢内弯；(b)角钢外弯；(c)槽钢内弯；(d)槽钢外弯

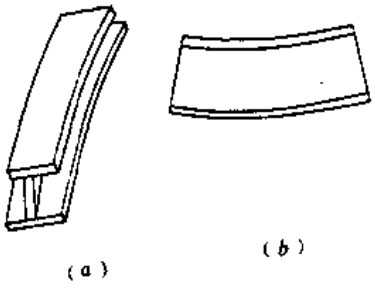


图 3-52 立弯与平弯

(a)立弯；(b)平弯

型钢切口号料比较简单，下面仅以角钢和槽钢为例，通过图示说明料长及切口形状，所得数据可供号料使用。

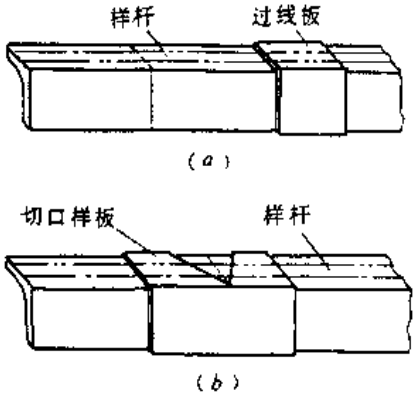


图 3-53 型钢上号料

1.角钢弯曲料长及切口形状

（1）角钢内弯90°，料长及切口形状如图3-54所示。图中c值为角钢切口边肢宽减去肢厚。

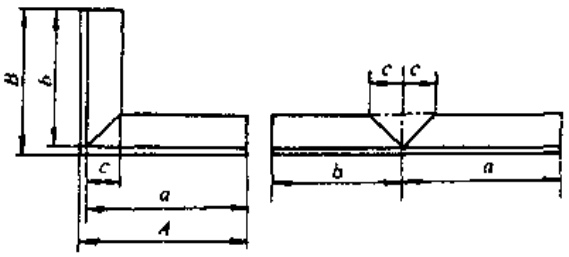


图 3-54 角钢内弯90°料长及切口形状

（2）角钢内弯任意角（锐角），料长及切口形状如图3-55所示。图中c值可由下式计算：

$$c=(b'-t)\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2} \tag{3-12}$$

式中 b'——角钢切口边肢宽（mm）；

t——角钢肢厚（mm）；

α——角钢内弯角度。

当角钢切口内弯成各种正多边形角钢框时，其切口宽L值（即$L=2c$）可用表3-5中列

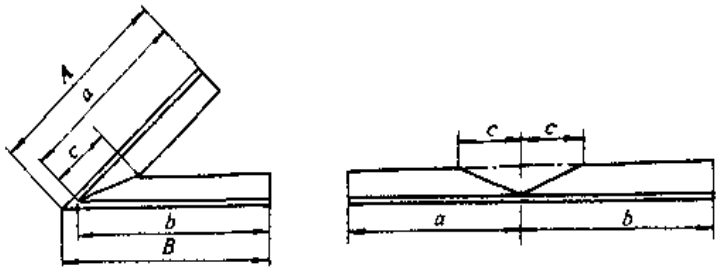


图 3-55 角钢内弯任意角料长及切口形状

出的简化公式计算。

表 3-5　　正多边形切口宽计算表

边　数	夹角 a	切口宽 L 计算公式	边　数	夹角 a	切口宽 L 计算公式
3	60°	$3.464(b'-t)$	6	120°	$1.154(b'-t)$
4	90°	$2(b'-t)$	7	128°	$0.974(b'-t)$
5	108°	$1.452(b'-t)$	8	135°	$0.826(b'-t)$

例如，用∟50×5角钢内弯成正六边形，见图3-56所示，其切口宽：

$$L=1.154(b'-t)=1.154(50-5)=51.93\text{mm}$$

（3）角钢内弯90°圆角，料长及切口形状如图3-57所示。其中图(a)为切口位于分角线上，图(c)为切口位于直角边线上，图(b)、图(d)分别为其切口形状及料长。

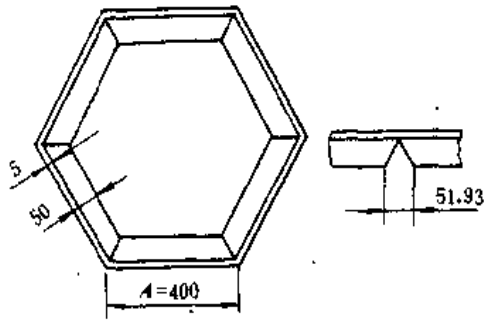


图 3-56　内弯正六边形角钢框的切口（单位：mm）

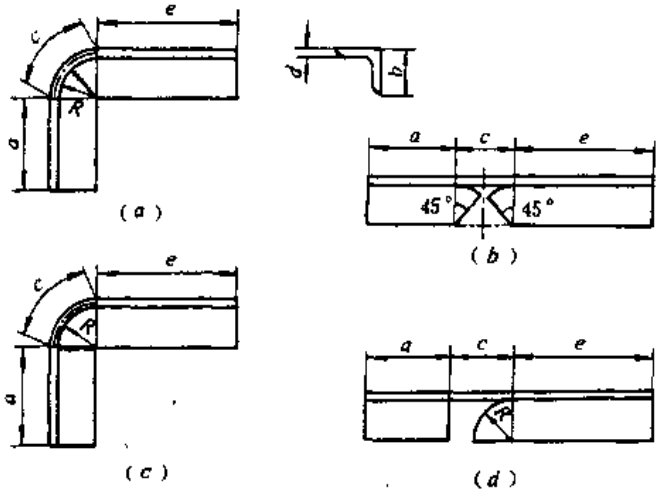


图 3-57　角钢内弯90°圆角料长及切口形状

图中：

$$c=\frac{\pi}{2}\left(R-\frac{t}{2}\right) \tag{3-13}$$

式中　c——弯曲面的中心弧长（mm）；

R——内弧半径（mm）；

t——角钢肢厚（mm）。

（4）角钢外弯矩形框，料长按内壁长度确定如图3-58所示。

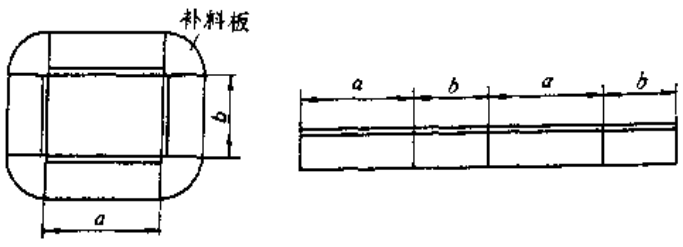


图 3-58　角钢外弯矩形框

2.槽钢弯曲料长及切口形状

（1）槽钢平弯任意角圆角，料长及切口形状如图3-59所示。

图中：

$$c=\frac{\pi a\left(h-\frac{t}{2}\right)}{180^{\circ}} \qquad (3\text{-}14)$$

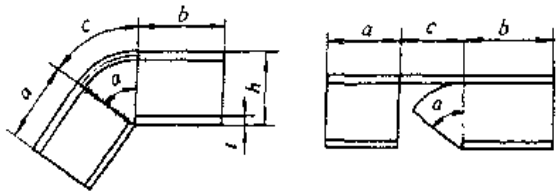


图 3-59 槽钢平弯任意角圆角料长及切口形状

式中 c——弯曲立面的中心弧长（mm）；

h——槽钢高度（mm）；

t——槽钢翼缘厚度（mm）；

a——弯曲角度。

（2）槽钢平弯矩形框，料长及切口形状如图3-60所示。

图中：

$$c=h-t \qquad (3\text{-}15)$$

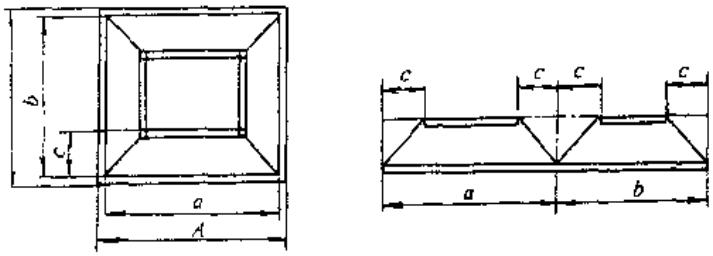


图 3-60 槽钢矩形框料长及切口形状

（三）型钢不切口弯曲料长

型钢不切口弯曲时，其计算展开长度，应由中性层的长度确定。

1.角钢弯曲料长计算

角钢的断面是不对称的，所以中性层的位置不在断面的中心，而在位于偏向角钢根部的重心处，即中性层与重心重合。中性层与角钢边缘的距离Z_0值，与角钢断面尺寸有关，可直接从型钢表中查出。

1）角钢内弯或外弯任意角料长计算，如图3-61所示，已知尺寸为l_1、l_2、R、a及角钢规格，设料长为L，则

$$L=l_1+l_2+\frac{\pi a(R\pm Z_0)}{180^{\circ}} \qquad (3\text{-}16)$$

式中 l_1、l_2——角钢直边长度（mm）；

R——角钢内弧或外弧半径（mm）；

Z_0——角钢重心距（mm）。

用上式计算外弯时，括号内取正号，计算内弯时取负号。

当角钢内弯或外弯成直角时，用$a=90^{\circ}$代入上式，则得料长计算公式如下：

$$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi}{2}(R \pm Z_0) \tag{3-17}$$

式中符号与上同。

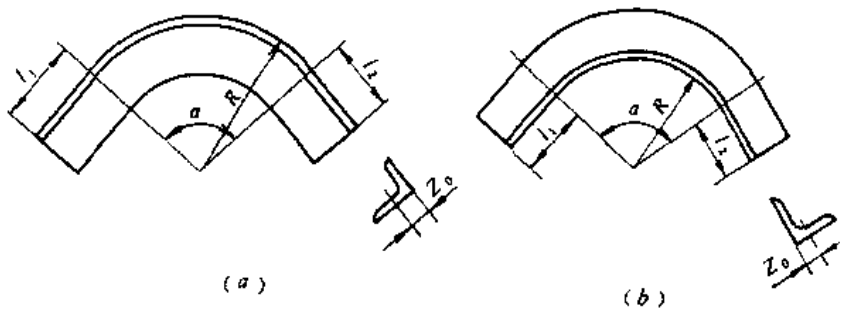


图 3-61　角钢内弯或外弯任意角

(a)内弯任意角；(b)外弯任意角

（2）角钢圈料长计算，图3-62所示为外弯或内弯角钢圈，已知尺寸为D、a、b，设料长为l，则

$$l = \pi(D \pm 2Z_0) \tag{3-18}$$

式中　D——角钢圈内径或外径（mm）；

Z_0——角钢重心距（mm）。

计算外弯时，括号内取正号，计算内弯时取负号。

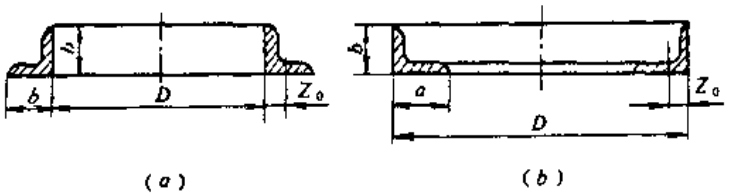


图 3-62　内弯或外弯角钢圈

(a)外弯角钢圈；(b)内弯角钢圈

2.槽钢弯曲料长计算

（1）槽钢平弯90°料长计算，槽钢平弯中性层与槽钢断面的中心层重合，料长计算应以中心层长度为准。如图3-63所示，已知尺寸为l_1、l_2、R及h，设料长为L，则

$$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi}{2}\left(R + \frac{h}{2}\right) \tag{3-19}$$

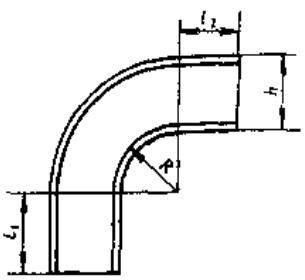


图 3-63　槽钢平弯90°

式中　l_1、l_2——槽钢直边长度（mm）；

R——内弧半径（mm）；

h——槽钢高度（mm）。

（2）槽钢外弯任意角料长计算，如图3-64所示，已知尺寸为l_1、l_2、R及a，设料长为L，则

$$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi a(R + Z_0)}{180^\circ} \tag{3-20}$$

式中 l_1、l_2——槽钢直边长度（mm）；

R——内弧半径（mm）；

a——弯曲角度；

Z_0——槽钢重心距（mm）。

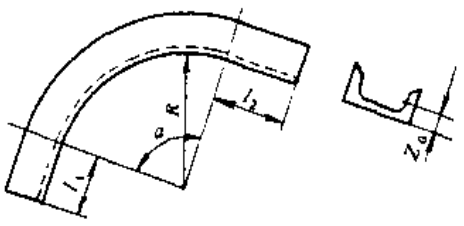


图 3-64 槽钢外弯任意角

（3）平弯槽钢圈料长计算，图3-65所示为一平弯槽钢圈，其内径为D，槽钢高度为h，设料长为L，则

$$l=\pi(D+h) \tag{3-21}$$

（4）外弯槽钢圈料长计算，图3-66所示为一外弯槽钢圈，其内径为D，重心距为Z_0，设料长为L，则

$$l=\pi(D+2Z_0) \tag{3-22}$$

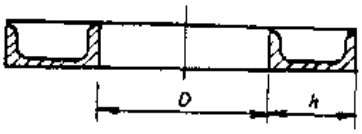


图 3-65 平弯槽钢圈

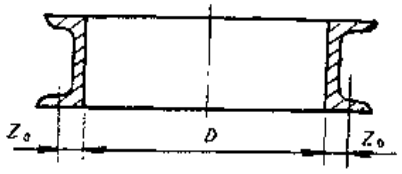


图 3-66 外弯槽钢圈

第四节 下 料

金属结构零件用料的剪裁工作叫做下料。下料的方法有剪切、冲切、锯切、气割等。

一、剪切

剪切是铆工下料时的主要方法，分为机械剪切和手工剪切两种。

（一）机械剪切

利用剪切机械对材料施加剪切力，进行剪切加工，叫做机械剪切。常用的机械有龙门剪床、横入式斜口剪床、型钢剪床、联合剪冲机床等，其结构及操作方法，在第二章中已经讲述。这里仅就几种常用剪切机械的特殊工艺要求作一简介。

（1）龙门剪床：利用龙门剪床剪切钢板时，一条剪缝是一次剪完的。因此，剪切时，必须依靠锁死式压料装置先有效的压料，限制板料的翻转和移动，然后才能剪切，保证剪切按确定的位置进行，从而提高剪切质量。对过于狭窄的板料，如利用垫板亦不能压住时，是不能剪切的。

（2）横入式斜口剪床：横入式斜口剪床剪切时，一条剪缝需分段延续剪切。因此，初剪正确与否，是保证整条切缝质量的关键。所以，要求初剪时，将钢板上的剪切线对准下刃口，第一次剪切不宜过长，约5mm左右，以后再以20～30mm的长度剪切数次，直到剪开长度达200mm左右，足以卡住上、下剪刃时，才算初剪完成。以后，只要将板料向剪口内推足，对准剪切线剪切即可。

槽入式斜口剪床一般无压料装置，剪切时要求用手压住板料的下剪刃侧（不能离剪口太近），以维持平衡，保证剪切质量。

（二）手工剪切

手工剪切分手动剪切机剪切和剁切两种。

（1）手动剪切机剪切：手动剪切机是利用杠杆原理制成的一种结构简单的剪切机具，如手剪刀、台剪等，主要用于小型薄板料。其剪切原理与日常生活中用的剪刀相同。

（2）剁切：剁切就是利用剁子压在板料的剁切线上，用大锤锤击剁子，逐小段地对薄板进行剁切。

手工剪切在大、中型钢结构制造中用得不多，故不多述。

（三）剪切加工对材料性能的影响

钢材经过剪切加工会使材料产生不同程度的变形和引起边缘产生冷加工硬化的不良影响，剪切后应注意消除。

（1）剪切引起材料程度不同的变形。例如窄而长的条形板料剪切后将产生明显的弯曲和扭曲，对其变形必须进行矫正。

（2）剪切使材料边缘产生冷加工硬化。钢板厚度小于25mm时，硬化宽度在1.5～2.5mm范围内，在制造重要结构或剪切后尚需冷冲压加工时，必须经过铣削、刨削或进行热处理，以消除硬化现象。

二、冲切

（一）冲切原理

冲切金属材料的方法常用的有机械冲切和手工冲切两种。利用模具进行的冲切工作，与剪切过程相似，是以一套凸模与凹模的刃口代替剪床的上下剪刃，凸模与凹模有一定的间隙。当凸模开始接触板料下压时，板料即受到轻微的挤压和弹性弯曲，并在凸模的边沿产生塑性变形，随着凸模的下压，这种塑性变形逐渐加大，最后当凸模的压力超过材料的最大抗剪力时，板料被切断。在冲切过程中，材料产生的变形可分为三个阶段：弹性变形阶段、塑性变形阶段和断裂阶段。

冲模间隙的大小对冲切会产生不同的影响：当间隙正常时，断裂汇合的好，断裂面平整且垂直于板面；当间隙过小时，断裂纹不能连接，冲切零件上部有毛刺和齿状边缘；当间隙过大时，零件断面有拉断的毛刺。

（二）冲切模具

冲切模具简称冲模，其结构形式很多，金属结构制造中常用的有以下几种。

（1）简单冲切模：简单冲切模的特点是，凸模与凹模的搭配关系没有直接的导向装置。这种模具结构简单，产品成本低，一般在冲床每一个行程中，只能完成落料或冲孔一道工序。它主要用于尺寸精度要求不高，轮廓形状简单的零件的冲切。这种模具安装调整不方便，安装时凸模直接固定在冲床滑块上，凹模则固定在冲床工作台上，一般板料、角钢和槽钢等的冲孔或切口多用这种冲模，见图3-67。

（2）导柱冲切模：图3-68所示为导柱冲切模，它依靠模具上导套来导向，以保持凸凹模周边有均匀的间隙。这种模具导向作用好、耐用、安装和使用方便，适于大批量生产。

（3）复合冲切模：复合冲切模可在冲床的一次行程中完成两道工序，如落料与冲孔、落料与压延成形、成形与修边等。

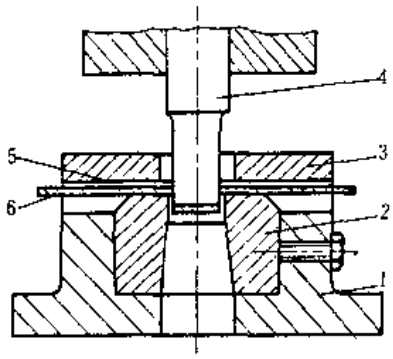


图 3-67　简单冲切模

1—凹模固定座；2—凹模；3—刚性卸料板；4—凸模；5—模具间隙；6—板料

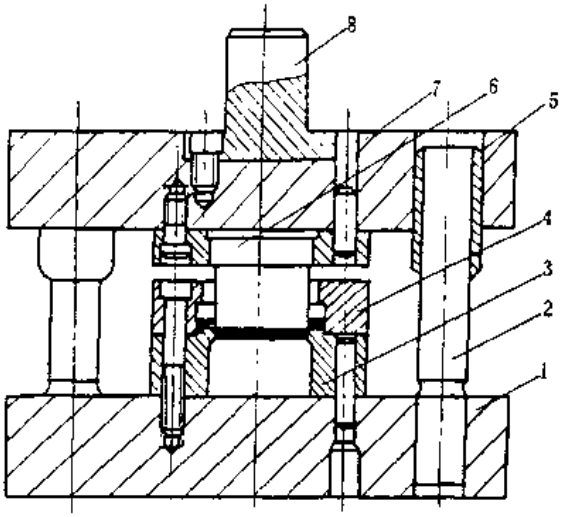


图 3-68　导柱冲切模

1—下模板；2—导柱；3—凹模；4—卸料板；5—导套；6—凸模；7—上模板；8—尾柄

图3-69所示为落料与冲孔的复合冲切模，这种模具的工作过程如下：

落料时，压料板 1 首先嵌制板料，冲切成所需要形状的零件，中间孔处冲出的余料经下模板孔推出。在冲床回程时，由于卸料板 2 的作用，将周边废料顶出。这种模具冲切的零件质量好，工效高，适于大批量生产，其缺点是制造复杂。

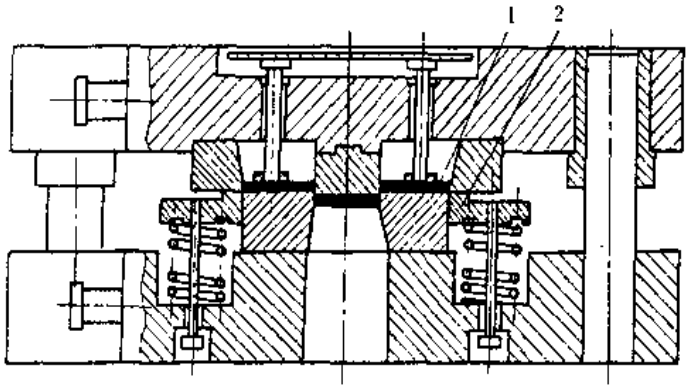


图 3-69　复合冲切模

1—压料板；2—卸料板

（三）冲切加工的一般工艺要求

（1）搭边值的确定：为保证冲切件质量和模具寿命，冲切时材料在凸模工作刃口外侧应留有适当的宽度，即所谓搭边。搭边值 a 一般可根据冲切件的板厚 t 按如下关系确定：

圆形零件　　$a \geqslant 0.7t$

方形零件　　$a \geqslant 0.8t$

（2）合理排样：合理排样，就是要保证必要的搭边值的前提下，尽量减少废料，这是降低生产成本的有效途径。图3-70(a)为合理排样，图3-70(b)为不合理排样。

各种冲切件的具体排样方法，应根据冲切件形状、尺寸和材料规格灵活考虑。

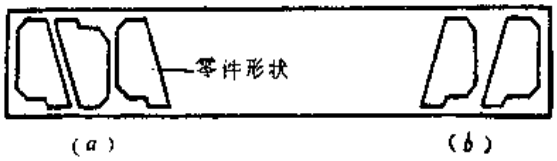


图 3-70 排样

(a)合理排样；(b)不合理排样

（3）可能冲切的最小尺寸：零件冲切加工部分尺寸越小，则所需冲切力也越小。但尺寸不能过小，否则将造成凸模单位面积上的压力过大，使其强度不够。零件冲切加工部分的最小尺寸，与零件的形状、板厚及材料的机械性能有关。采用一般冲模在软钢料上所能冲出的最小尺寸如下：

圆形零件最小直径 = t；

方形零件最小边长 = $0.9t$；

矩形零件最小短边 = $0.8t$；

长圆形零件两直边最小距离 = $0.7t$。

（4）使用冲床时应注意的事项：①使用前，对冲床各部分要进行检查，并加注润滑油。②安装模具时，要使模具压力中心与冲床压力中心相吻合，并要保证凸、凹模间隙的均匀。③启动开关后，空车试转 3 ～ 5 次，检查操纵装置及运转状态是否正常。冲切时要精神集中，不能随意踩踏板，要防止手伸向模具间或头部接触滑块，以免发生事故和造成废品。④不能冲切过硬或经过淬火的材料，而且冲床绝不允许超载工作。⑤停止冲切后，须切断电源或锁上保险开关。冲切出的零件及边角料应及时运走，保持冲床周围无工作障碍。⑥长时间冲切，要检查模具有无松动，间隙是否均匀。

三、锯切

通过锯齿的切削运动，把钢材分离，称为锯切。锯切常用于切断型钢或小型板材，它分为手工锯切和机械锯切两种。机械锯切在第二章中已经讲述，下面仅就手工锯切作一简介。

手工锯切的工具是手锯，它由锯弓和锯条两部分组成。锯弓是用来夹持和拉紧锯条的工具，分固定式和可调式两种，图3-71所示为可调式锯弓。手工锯切时的步骤和方法如下：

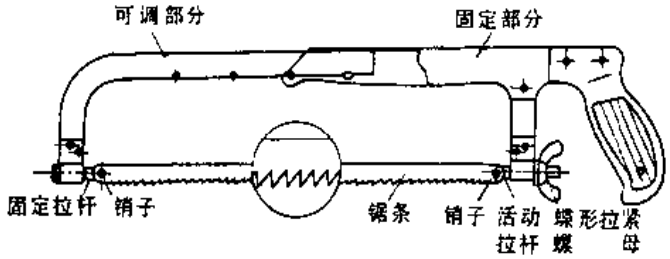


图 3-71 可调式锯弓

（1）根据工件的材料及厚度选择合适的锯条，应保证同时锯切的齿数多于两个。

（2）将锯条装在锯弓上，锯齿应向前。锯条松紧要合适，否则锯切时易折断锯条。

（3）夹紧工件时，锯缝位置离钳口应近一些，以免锯切时颤动折断锯条。

（4）起锯时，锯条应成约小于15°的倾斜，且锯弓往复行程要短，压力要轻，锯条与工作表面垂直。锯成锯口后，应逐渐将锯条放平锯削。

（5）锯切时，锯弓应直线往复，不可摆动。前推时加压，用力均匀，返回时从工件上轻轻滑过。锯削速度不宜过快，每分钟往复约30～60次。锯削时用锯条全长工作，以免锯条中部迅速磨钝。锯钢料时应加机油润滑。快锯断时，用力要轻。

（6）应根据不同形状的材料，确定锯切方法。锯切角钢时，应先锯角钢棱边。锯切管子时，应使锯条沿管壁转换角度锯，见图3-72。

四、气割

采用氧—乙炔焰进行切割，称为气割。它是根据某些金属被加热到一定温度时，在氧气流中能够剧烈氧化（即燃烧）的原理来进行切割的。

气割的过程由金属预热、金属燃烧和氧化物被吹除三个阶段组成。

气割的方法有手工气割、机械化气割和自动化气割多种，下面分别进行简介。

（一）手工气割

手工气割时所采用的设备装置如图3-73所示，它由氧气瓶、减压器、乙炔发生器、回火保险器、乙炔管道、氧气管道和割炬等组成。

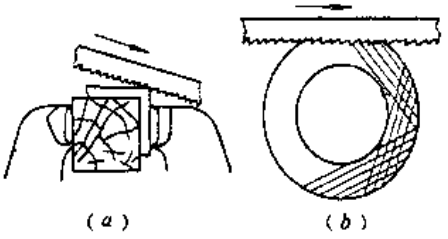


图 3-72　角钢与管子的锯切

(a)角钢锯切；(b)管子锯切

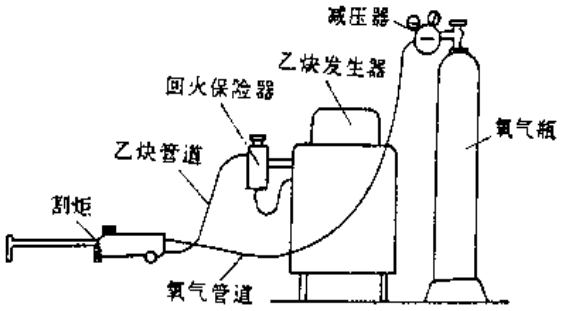


图 3-73　手工气割时的设备示意图

乙炔发生器是制造和贮存乙炔的设备。回火保险器的作用就是截住回火气流，保证乙炔发生器的安全。氧气瓶是贮存和运送高压氧气的容器。减压器是用来调节氧气工作压力的装置。氧气和乙炔管道的作用是将氧气和乙炔气输送到割炬中去。割炬的任务则是使乙炔气与氧气混合构成预热火焰，并在割炬中心喷出高压氧气流，进行切割。

手工气割的过程及操作方法如下：

（1）点燃预热火焰，将切割处的金属预热至燃烧温度（即燃点）。碳钢在纯氧中的燃点为1100～1150℃，将气割处预热至呈红色状态，即完成预热阶段。

（2）缓慢开启切割氧气阀门，把切割氧气喷射到温度达燃点的金属上，金属便开始剧烈燃烧并产生大量氧化物（熔渣），由燃烧时放出的大量的热，使氧化物熔化成液体，这一过程为燃烧阶段。

（3）液态氧化物受切割氧气流的压力而被吹走（这是氧化物被吹走阶段），这样上层的金属氧化时产生的热传至下层和邻近金属，使下层和邻近的金属预热到燃点，直至形成割缝，使金属分离。

（4）若从钢板中部开始切割时，要在钢板上先割出孔，再按切割线进行切割。割孔时也要先进行预热。

（5）气割过程中，若嘴头产生鸣爆并发生回火现象，应迅速关闭预热氧气和切割氧气阀门，阻止氧气倒流入乙炔管内，使回火熄灭。处理完毕后，应先检查割炬的射吸能力，然后才能重新点燃割炬。

（6）切割临近终点时，嘴头应略向切割前进的反方向倾斜，以便钢板下部提前割透，使收尾时割缝整齐。当到达终点时，应迅速关闭切割氧气阀门，并将割炬抬起，再关闭乙炔阀门，最后关闭预热氧阀门。

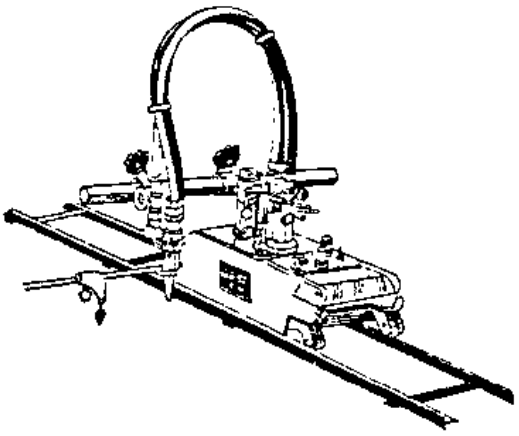


图 3-74　半自动气割机

（二）机械化和自动化气割简介

（1）半自动气割：图3-74所示为半自动气割机的一种。它由可调速的电动机拖动，沿轨道可做直线运动，如改装半径杆，可做圆周运动。这样，便能对直线和圆弧进行切割。半自动气割机除能自动行走外，其它切割程序都由手工操作。

（2）光电跟踪气割机：它由光电跟踪台和自动切割机两大部分组成。切割时，将图样置于光电跟踪台上，利用光电头对图纸上线型的光电效应发出电信号，输入自动切割机的控制系统，控制自动切割机的运动和切割动作，从而完成气割工作。

对于形状复杂的零件，将图样画成和零件相同大小，采用光电跟踪气割机切割，效果很好。

（3）数控气割机：它是将操作指令以数码表示，然后将数码穿成纸带，纸带的穿孔工作可由人工或电子计算机完成。用光电输入机将纸带上的编码信号输送到专用电子计算机内，经过运算后即发出相应的电信号，控制执行机构，完成预定的切割任务。数控气割机的结构组成如图3-75所示。

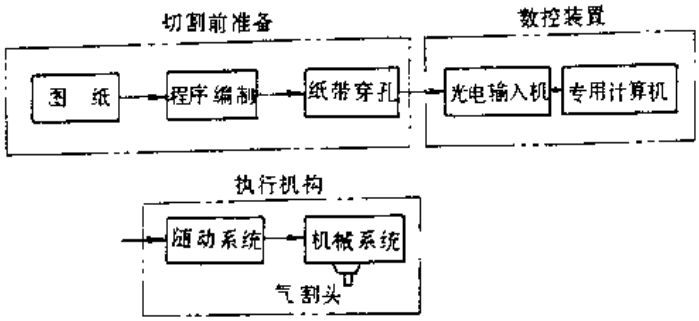


图 3-75　数控气割机基本结构框图

五、等离子弧切割及其它切割

（一）等离子弧切割

将电弧强迫集中“压缩”，可以获得一种比普通电弧温度更高，能量更集中的热源——等离子弧。其温度高达15000～30000℃，现有的任何高温金属和非金属材料都可被其熔化。等离子弧切割就是利用高温的等离子弧为热源，将被切割的金属或非金属局部熔化，同时用高速气流将已熔化的金属或非金属吹走而形成狭窄切口。等离子弧能切割不锈钢、铝、铜、铸铁以及其它难熔金属和非金属材料。而且切割速度高，热影响较小；工件变形小，切口窄、质量好，成本低；故在生产中应用日益广泛。

图3-76所示为等离子弧切割装置，当两极通电起弧后，在断面很小的喷嘴内通入3~5个大气压的冷却气体（如氮、氩、氢或其它混合气体），电弧的外围被冷却气体包围压缩，迫使通过弧柱的电流向弧柱中心密集，从而增加了粒子相互碰撞的机会，使气体电离。高温电弧的等离子体具有很高的导热性和导电性，其焰流在具有一定压力（4~5个大气压）的气体保护吹送下，以极大的速度从喷嘴口喷出，使被切割材料的切口处立即熔化，并被高速气流吹走（其中一部分被烧损），从而使材料分离。

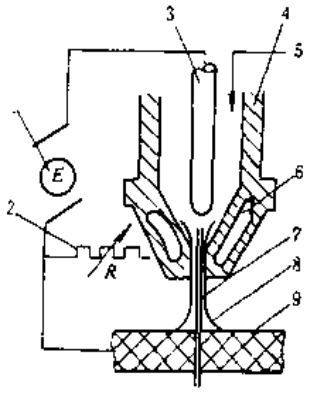


图 3-76　等离子弧切割
1—直流电源；2—限流电路；3—柱状电极；4—喷嘴；5—冷却气体；6—喷嘴冷却水；7—等离子体焰流；8—气体绝缘套；9—工件

（二）电弧气刨

利用电弧的高温作为热源，使金属的某一部分在此高温状态下熔化，同时又用高压空气的气流把熔化金属吹走，这一工艺方法叫做电弧气刨。它主要用于焊道清根，也被用于加工坡口及切割。图3-77是电弧气刨的示意图，刨钳接正极，工件接负极，通电后，在碳棒与工件接近处产生电弧，使金属熔化，高压气流随即把熔化的金属吹走，完成刨削。操作时要注意掌握排渣的方向，收弧时要把熔化的钢水排除。

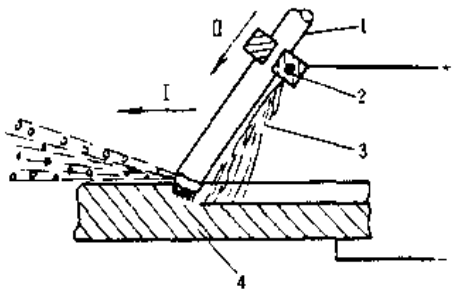


图 3-77　电弧气刨示意图
1—碳棒；2—刨钳；3—气流

电弧气刨有如下特点：

（1）比手工用风铲效率高；

（2）操作方便，只要能放进气刨枪的地方都能使用；

（3）氧一乙炔焰不能切割的高碳钢、铸铁、不锈钢等，均可用电弧气刨，但切割质量较差。

第五节　零件的预加工

金属结构零件的预加工主要是指在零件上进行的钻孔、攻丝、刨边、开坡口等项工作，以便为进一步拼接及装配作准备。

一、钻孔

（一）钻孔的基本概念

用钻头在实心工件上制作孔的工作叫钻孔，见图3-78。钻孔时工件不动，钻头要同时完成旋转和直线向下两种运动，即切削和进给运动。

（二）钻孔机具

（1）钻头夹：装夹直径在13mm以内的直柄钻头之用，须配合钻钥匙使用，见图3-79所示。

（2）钻头套：装夹锥柄钻头之用。其规格有5种，见图3-80所示。最大的五号钻头

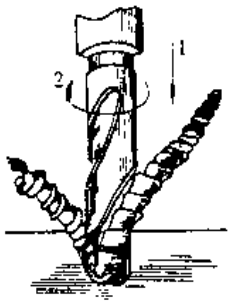


图 3-78 钻孔

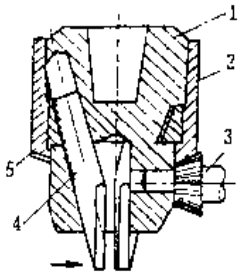


图 3-79 钻头夹

1 夹头体；2—夹头套；3—钥匙；
4 夹爪；5—内螺纹圈

套的钻头直径可达65mm。

（3）楔铁：从锥形套筒中卸出钻头的专用工具，使用方法见图3-81。

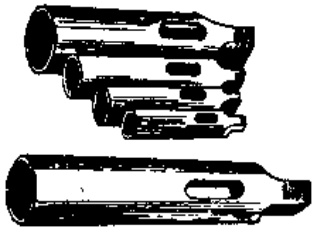


图 3-80 钻头套

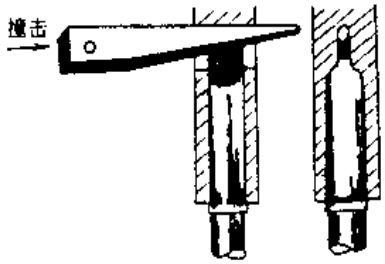


图 3-81 楔铁的使用方法

（4）V形铁：用来放置圆柱形工件，它的种类较多，往往与压板螺栓配合使用压紧工件，见图3-82所示。

（5）压板及压板螺栓：用来压紧钻孔工件，见图3-83所示。

（6）虎钳：供钻孔时装夹小型工件用，见图3-84所示。

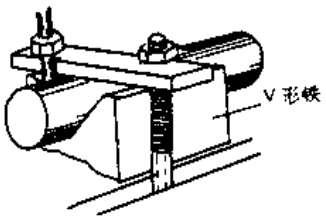


图 3-82 V形铁及使用方法

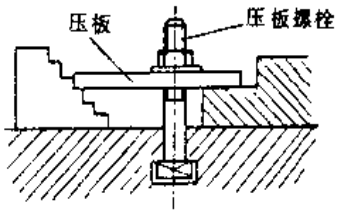


图 3-83 压板及压板螺栓的使用

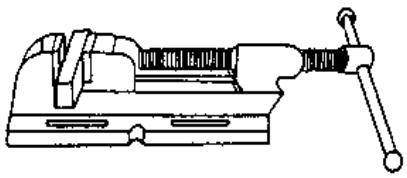


图 3-84 虎钳

上述钻孔时应用的夹具，是常用的通用工具，对于批量较大，形状特殊的工件，往往还有专用的胎夹具。

（三）钻孔方法及安全技术

（1）钻孔之前，工作台面上不准堆放刀具、量具及其它物品，钻孔时工件一定要夹紧，钻通孔时要垫块或使钻头对准工作台的槽，以免损坏工作台。

（2）工作前应穿戴好规定的劳保用品，钻孔时，禁止戴手套、围围巾和露发辫，以免发生事故。

（3）钻孔开始时，应使钻头对准孔中心，先试钻一浅坑，经矫正好之后再进行钻削。

（4）钻孔过程中，要经常用冷却润滑液进行冷却和润滑，并进行器械消屑，禁止用手直接消屑，要防止长屑随钻头旋转。

（5）孔将钻透时，要减少进给量，以免发生事故。

（6）钻直径大于30mm的大孔时，应分两次钻削。先用0.5～0.7倍孔径的钻头钻孔，然后再用所需孔径的钻头扩孔，这样可减少轴力，保护机床，提高钻孔质量。

（7）停车之后，才允许用手去松开钻头夹，松、紧钻头夹时必须用钥匙，不允许击打。

（8）凡离开工作岗位、停电、设备有异声、装卸钻头、变速、润滑设备、修理设备、扫铁屑等都要停车。

二、攻丝

用丝锥在孔壁上切削出内螺纹称为攻丝。攻丝的步骤和方法如下，见图3-85所示。

（1）选用相应的钻头钻底孔，并对孔口倒角。底孔的直径可通过查表法或用下面经验公式计算：

对于钢和塑性较大的材料

$$D = d - t \qquad (3\text{-}23)$$

对于铸铁或脆性材料

$$D = d - (1.05 \sim 1.1)t \qquad (3\text{-}24)$$

式中 D——底孔直径（mm）；

d——螺纹外径（mm）；

t——螺距（mm）。

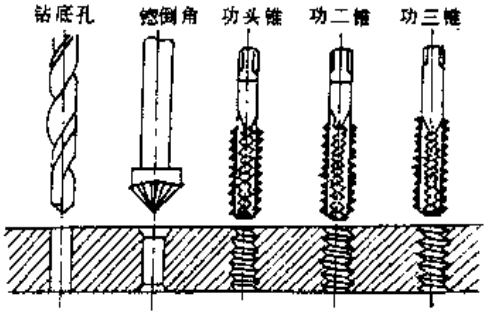


图 3-85 攻丝的基本步骤

（2）工件的装夹位置必须正确，应使螺孔中心线置于水平或垂直位置，使丝锥中心线与底孔中心线重合，然后对丝锥稍加压力并顺时针转动铰手。当切入1～2圈时，应检查丝锥的位置是否正确，如不正确时应进行校正。

（3）攻丝时，当起削刃切进后就不必再加压力，两手均衡用旋转力进行攻丝。每当旋转1/2～1圈时，应反转1/2圈，使切屑碎断后排除，以免切屑堵塞，损坏丝锥。

（4）攻丝时，必须以头锥、二锥、三锥顺序攻削，三支丝锥切削的分配比例为60%、30%、10%。头锥攻完后，用二、三锥攻时，先用手将丝锥旋入后再用铰手攻，以防与原螺纹错位而造成乱扣。

（5）攻丝时要经常润滑，以减小切削阻力，提高螺纹表面粗糙度。

三、开坡口

为了保证焊接质量和强度要求，对中、厚板的拼接或某些工件的焊接接头都要开坡口。开坡口的形式与材料的种类、厚度、产品的机械性能等因素有关。

坡口的形式及选择坡口的原则在钢结构及焊接课程中都有介绍，这里主要讲述开坡口的方法。

（一）机械刨边加工

机械加工坡口是在刨边机或铣边机上进行的，它可以刨、铣各种型式的坡口，是大、

中型工厂中制作坡口的主要方法。

（二）气割坡口

气割坡口包括手工气割和半自动气割机切割。其操作方法和使用的工具与气割相同。不同处是在操作的时候，要将割炬嘴倾斜成坡口所需要的角度，对准切割线进行切割即可。若采用双嘴或三嘴的半自动气割机，一次便可切割成单面的V形或X形坡口。

气割坡口简单易行，效率高，能满足开V形或X形坡口的要求，已被广泛采用。但是切割后须将氧化铁残渣清理掉。

（三）风铲加工坡口

风铲是一种风动工具。风铲通入压缩空气后，内部的弹子可往复冲击风铲头，使之具有切削能力。

风铲头的切削角度以50°左右为宜，角度小了强度低；角度大了切削阻力大。初铲时，可小开风门，风铲后端稍稍抬起，将铲头切入板内，即可开足风门进行铲削。为减小铲削阻力和摩擦，防止铲头发热退火，铲头要适当沾润滑剂。

风铲可加工V形和X形坡口，但操作费力，噪音大，目前已很少使用。

使用风铲时要特别注意安全，铲切的前方不准站人，以防风铲头误射伤人。停铲时，应立即把风铲头卸下。

（四）电弧气刨坡口

电弧气刨是目前已被广泛应用的一种工艺方法，其特点是：比风铲生产效率高；特别适于仰、立位的刨切，无震耳噪音，并能减轻劳动强度。但刨削时烟雾大，需良好的通风条件。电弧气刨主要用于焊道清根、刨除焊接缺陷、清除铸件上的毛边、开坡口等。采用电弧气刨开坡口时，如配合采用砂轮机修磨，将会提高坡口的质量。

第六节 零件的弯曲

零件的弯曲是指用人工或机械工艺方法，将工件弯曲成所需要的形状。弯曲成形在金属结构制造中应用很广。

弯曲工件按是否加热，可分为冷弯和热弯。在常温下将工件弯曲成形叫做冷弯；将工件加热到一定温度后再进行弯曲称为热弯。大多数工件弯曲成形是在常温下进行的。

弯曲工件按操作方法，可分为压弯、滚弯、折弯和手工弯曲。本节主要介绍目前金属结构制造中应用较多的压弯、滚弯等方法。

一、压弯

（一）压弯时材料的变形过程

在压力机床上使用弯曲模进行弯曲成形的加工方法，称为压弯。

压弯成形时，材料的弯曲变形可分为自由弯曲、接触弯曲和校正弯曲三种方式。图3-86所示，是工件在V形模上进行三种方式弯曲的变形过程。弯曲开始时，凹模的两个圆角处支撑着工件，凸模下端圆角与工件接触，这时，凸凹模上有三条线与工件接触，见图3-86(*a*)。工件在凸模的作用下产生变形，工件的圆角半径r_1是自然形成的，它在大于压

模的圆角半径内变化，这种弯曲方式叫做自由弯曲；若工件弯曲到直边与凹模表面平行，其两翼在长度ab上与凹模形成两个接触面，这时停止弯曲，则弯曲件的角度等于模具的角度，而弯曲圆角半径r_2仍靠自然形成，见图3-86(b)，这种弯曲方式叫做接触弯曲；若凸模下降到终极位置，工件完全与凸凹模接触，见图3-86(c)，这种弯曲方式叫做校正弯曲。

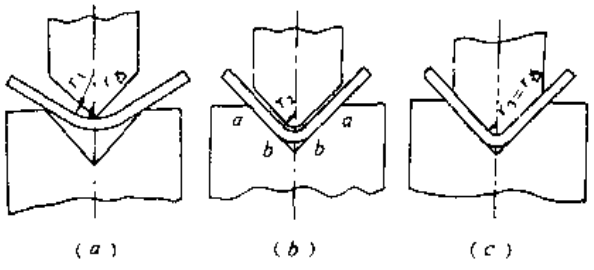


图 3-86 材料压弯时的三种变形方式
(a)自由弯曲；(b)接触弯曲；(c)校正弯曲

从上述压弯过程看出，凹模上支撑的两个点间的距离是一个变数，凸模越往下，支点距离越近，则所需要的弯曲力越大。故采用自由弯曲时，所需压弯力最小，但工作时靠调整凹模槽口的宽度和凸模的下死点位置来保证加工零件的形状，批量生产时弯曲件质量不稳定，所以它多用于小批量生产中，大型零件的压弯；采用接触弯曲或校正弯曲时，可由模具保证弯曲件精度，质量较好而且稳定，但所需弯曲力较大，且模具制造周期长，费用高，多用于大批量生产中的中、小型零件的压弯。

（二）弯曲时的回弹

工件弯曲成形时，被弯曲材料的变形是由弹性变形过渡到塑性变形的，在塑性变形的同时，总有一部分弹性变形存在。而弹性变形部分在卸载时要恢复原态，这样弯曲材料内层被压缩的金属又有所伸长，而外层被拉长的金属又有所缩短，使弯曲件的曲率和角度发生变化，这种现象叫做回弹。回弹的角度叫回弹角或回跳角。回弹现象的存在，直接影响到弯曲件的几何精度，必须加以控制。

影响回弹的因素很多，目前还无法用公式计算出回弹值的大小，一般都采用试验方法来求得回弹值。下面介绍采用接触弯曲或校正弯曲时，依靠模具来解决回弹问题的措施。

（1）修正模具形状。在单角弯曲时，可将压模角度减小一个回弹角；在U形弯曲时，可将凸模壁作出等于回弹角的倾斜度，或将凸模和凹模底面作成弧形曲面，利用曲面部分的回弹补尝两直边的张开，见图3-87(a)。当弯曲弧较长时，则多采用缩小模具圆弧半径的办法来解决回弹的问题。

（2）采用加压校正法。若将上模做成如图3-87(b)所示的形状，减少凸模与工件的接触面积，加大对弯曲部位的压力。在弯曲结束时，采用这种对弯曲部位进行加压校正的

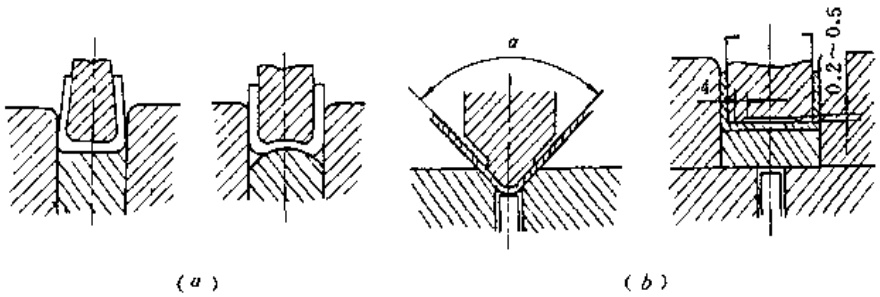


图 3-87 利用模具形状、结构解决弹复

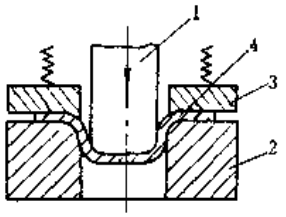


图 3-88 利用压边装置减少弹复
1—凸模；2—凹模；3—压边装置；4—工件

方法，可使圆角处材料均接近受压状态，从而减少回弹。

（3）增加压边装置。见图3-88，以尽量减小模具间隙的办法，可在一定程度上减少回弹。

（三）压弯工艺要求

（1）选择压力机床时，要同时满足所需弯曲力和压弯工作所需空间尺寸范围两个要求。

（2）安装压弯模时，应使模具压力中心与压床压力中心吻合，上模的上平面与下模的下平面要平行，上、下模间隙要均匀，装卡要牢固。

（3）弯曲工件的直边长度，一般不得小于板厚的两倍，以保证有足够的弯曲力矩。若小于两倍时，可将直边适当加长，弯曲后再行切除。

（4）为防止压弯工件横截面畸变，板料弯曲宽度一般不得小于板厚的三倍。若小于三倍时，应将几个件并在一块板上弯曲，弯曲后再切开。

（5）局部需要弯曲边缘的零件，为避免角上弯裂，应预先钻出止裂孔，或将弯曲线向外平移一定距离，见图3-89所示。

（6）弯曲带孔的工件，孔的位置不宜安排在弯曲变形区，以免孔变形。不可避免时，可先弯曲后钻孔。

（7）弯曲件圆角半径较小时，为避免弯裂，应注意坯料的表面质量，除去剪断面上的毛刺及其它表面缺陷，或将质量差的表面放在弯曲内侧，使其处于受压状态而不易开裂。

（8）长的板材或型材弯曲后，容易产生扭曲。为避免出现扭曲，在压弯过程中，变形部分应始终处在模具的夹持状态下，见图3-90。

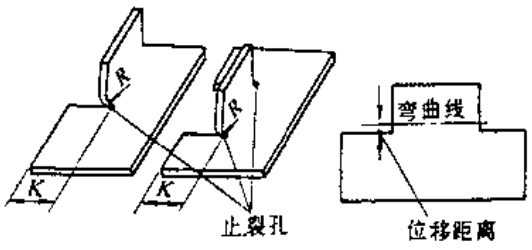


图 3-89 局部弯曲

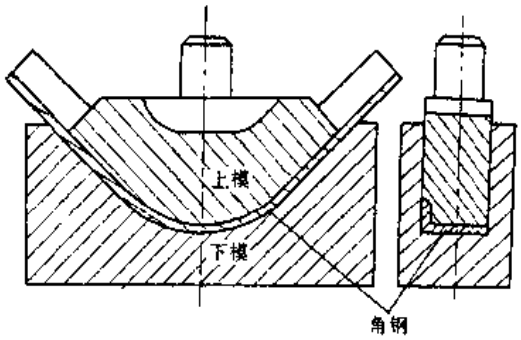


图 3-90 角钢压弯时的模具夹持

（9）对于容易出现裂纹的工件可采用多次压弯法，即每次压弯一定量，经过几次压弯最后成型。

（10）对于较硬的材料，如果允许，可先进行回火或退火后再压弯。也可采用热弯，但加热温度要控制好，加热面温度要均匀，弯曲中注意不使模具温度过高，以防变形。

（11）当模具较短，工件较长时，可采用分段压弯法。具体方法有两种：

一种方法是，压出一段后，移动工件压下一段，两段之间重叠20～30mm，每次弯曲角度不能过大，一般为20°～25°左右。这种方法效率低，不易掌握。

另一种方法是先压成一段，移动工件再压制下一段，两段间隔20～30mm，见图3-91，然后使两段间的接头处于模具的中间，再压到底便成。这种方法效率高，易掌握。

（12）弯曲成型操作，应严格按照有关安全技术规程进行。

二、滚弯

在卷板机或滚床上进行弯曲成形加工的方法称为滚弯。滚弯是将板材或型材，通过旋转的辊轴使之弯曲的一种工艺方法。凡属圆筒形或圆锥形产品，如锅炉、油罐、压力钢管、弧形钢闸门的面板等，一般都采用滚弯的方法来制造。

关于卷板机的结构、类型在第二章中已经介绍，这里着重阐述一下卷板机的工作原理及滚弯工艺。

（一）卷板机的工作原理

在卷板机上滚制圆筒，其板材的弯曲是借助上辊轴向下移动所产生的压力达到的。见图3-92。

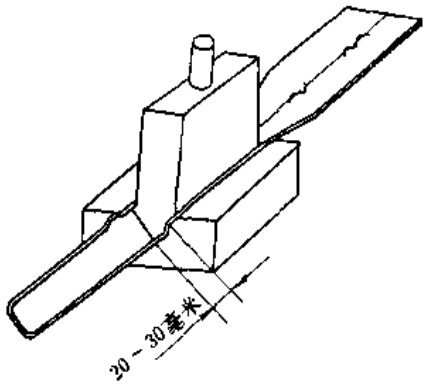


图 3-91　分段压弯法

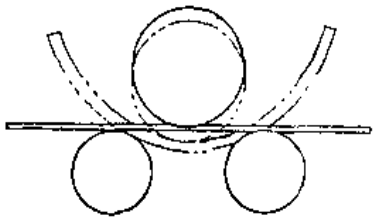


图 3-92　滚弯过程

当上辊轴下降时，板材产生弯曲，又由于下辊轴的转动，板材依靠上、下辊轴间的摩擦力朝着下辊轴旋转的方向向前移动，使板材受压位置连续不断地发生变化，将板材在滚压的范围内制成圆弧。

滚弯的实质就是连续不断的压弯。和压弯一样，在滚弯的过程中，板材的外层受拉，内层受压，中性层不变。

滚弯通常不能一次滚压成形，而反复的冷滚压会引起材料的冷加工硬化。当弯曲件变形程度很大时，这种冷加工硬化现象将十分显著，致使滚弯件的使用性能严重恶化。因此，冷滚压成形的允许弯曲半径应受到限制，通常取$R \geqslant 20t$（t 为板厚），当$R < 20t$时，则应进行热弯❶。热滚时，应将钢材加热到950～1100℃，终了温度不得低于700℃。

（二）滚弯工艺

1.圆筒形工件的滚弯

圆筒形工件的表面，除竖线是直线外，没有其它任何直线。根据上述几何特征，滚弯圆筒形工件时，在操作方法上要掌握如下几点：

（1）板料在上下辊轴之间的位置必须放正，务必使板料上的素线与辊轴中心线严格保持平行，否则滚出来的工件会出现歪扭，见图3-93(*a*)所示。为了便于对正板料，有的

❶ 水工建筑物金属结构制造、安装及验收规范规定：
钢管允许冷卷的管径和管壁关系为
碳素钢（含碳量<0.22%）　$D>33t$
低合金钢　$D>40t$　（D 为内径，t 为壁厚）

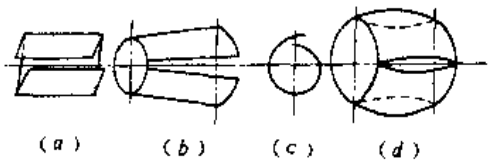


图 3-93　滚弯圆筒时可能出现的缺陷

(a)歪扭；(b)曲率不一；(c)滚压过多；(d)鼓肚

卷板机在辊轴的表面刻有1～3mm深的定位槽。如没有定位槽，可用90°弯尺进行校正。

（2）凡属滚制圆筒形工件，上下辊轴必须保持平行。如果上下辊轴不平行而产生倾斜，则造成一端曲率大，而另一端曲率小，使工件产生锥度，见图3-93(*b*)。

（3）调节辊轴间的距离，以控制滚弯工件的曲率。如果辊轴之间的距离控制不好，就会出现曲率过大或过小的现象，见图3-93(*c*)。为了控制曲率，滚弯开始后要不断地用样板进行测量和调整。

（4）要防止出现鼓肚现象，见图3-93(*d*)。造成鼓肚现象的原因可能是由于设备引起的，也可能是由操作引起的。例如，较细长的辊轴因受力过大而出现弯曲，会引起鼓肚现象；而在操作时若一端压得过紧，会使工件产生喇叭形状。为避免这一现象而将另一端压紧时，也会产生鼓肚现象。解决的办法，是在圆筒初步滚好后，如发现鼓肚，可在圆筒鼓肚和下辊轴之间放一块垫板一起滚压便可解决。垫板的厚度要根据滚弯件的厚度和鼓肚的大小来决定，一般为2～6mm。

（5）滚弯前应将辊轴和板料表面清理干净，并把气割留下的残渣和焊接留下的疤痕铲去，磨平，以免碰伤工件和辊轴。

（6）较大的工件，滚弯时必须与吊车配合，以免由于钢板的自重，使已弯好的工件回直或折弯变形。

2.锥形工件的滚弯

从表面上看，使两根下辊轴保持平行，上辊轴保持倾斜，即可滚出锥形工件，但实际上还需解决板料两端不同的移动速度问题才能使板料成形。

锥形工件两端的曲率不同，展开长度也不相同，因此要求两端有不同的滚弯速度。解决这一问题有两种方法：

一是采用分段滚弯的方法，如图3-94所示。即在板料的内表面画出若干竖线，将板料划分为若干小段。滚弯时将上辊轴与每一小段的中线对正下压，在小段内来回滚压，滚完一段后随即移动板料再滚下一段。这种方法是通过分段滚压板料来形成锥面两口的进给速度差的。分段越多，则锥面成形越好。

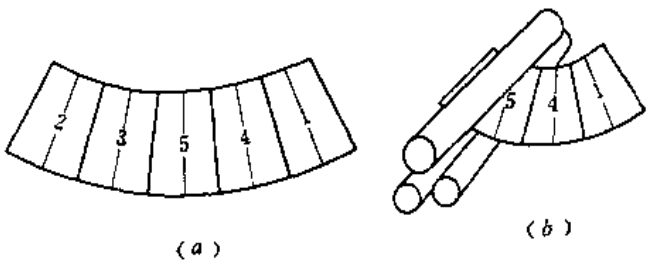


图 3-94　锥面的分段滚制

(a)坯料分段及滚制顺序；(b)卷板机上分段滚制

二是采用小口减速法，如图3-95所示。上辊轴呈倾斜位置，在小口端加一减速装置（可设一根顶柱或安置两根滚柱），滚弯时可将圆锥筒小口边缘靠紧减速装置，以增加小口边缘在滚弯时的摩擦力，使小口的进给速度减小，从而达到滚弯锥形工件的目的。

3.型钢的滚弯

型钢截面形状比较复杂，滚弯时除要保证达到需要的曲率外，还要注意防止受力不均面引起附加变形。在卷板机上滚弯型钢有以下两种方法：

（1）利用钢模套的滚弯。这种方法是将形状与型钢截面形状相适应的钢模套，套在卷板机的辊轴上，使型钢在钢模套的夹持下滚弯成形。图3-96表示角钢外滚弯情况，滚弯时，需将两副钢模套分别装在两根下辊轴上。如要内滚弯角钢，则只需一副钢模套套在上辊轴上即可。

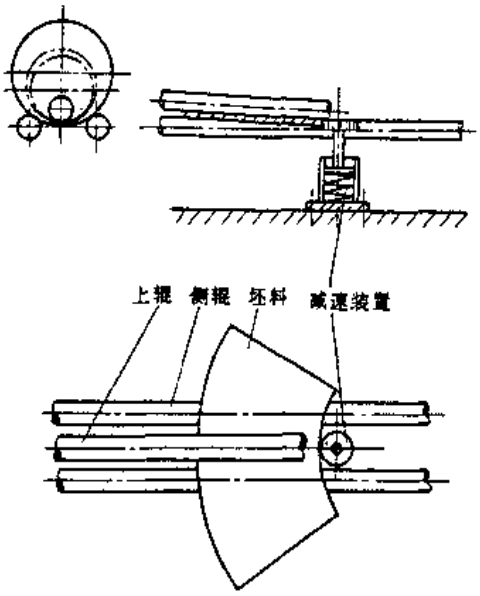


图 3-95　小口减速法滚制锥面

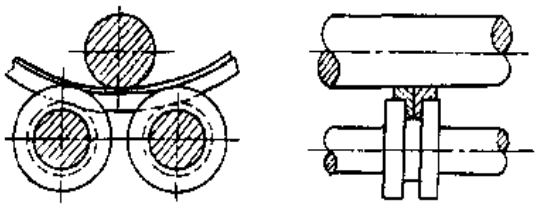


图 3-96　角钢外滚弯

（2）不利用钢模套的滚弯。这种方法是将型钢直接置于卷板机的辊轴间滚弯，它主要用于截面形状对称型钢的曲率弯曲。如截面形状不对称型钢采用此法滚弯时，则应想办法使其组成对称结构后再滚弯。例如角钢滚弯应采用正反两根并列，点焊后同时滚弯，但点焊不得高出角钢平面。

第四章　金属结构的部件装配

任何机械或金属结构都是由许多部件组成的。而一个部件则是由两个或更多的零件所组成。将各个零件按照一定的位置、尺寸关系和精度要求组成部件的过程叫做部件装配。而将各个部件和零件按照一定的技术条件，组成整体结构的过程叫做整体装配，简称总装。本章将主要介绍部件的装配。

金属结构的装配工作，对产品的质量影响很大。既使产品设计正确，零件制造合格，如果装配工艺不恰当，也会使产品达不到技术要求。因此进行构件装配时，必须采取正确的装配工艺，保证部件的装配质量。

第一节　装配的技术基础

一、装配的基本条件

进行金属结构的装配，必须具备定位、夹紧和测量三个基本条件。

（一）定位

定位就是确定零件在空间的位置或零件间的相对位置。图4-1所示在平台上组装工形梁，其两翼板2的相对位置是由腹板1和挡铁5来定位，腹板的高低位置由垫铁3来定位，而平台工作面既是整个工形梁的定位基准面，又是结构装配的支承面。

（二）夹紧

夹紧就是借助外力使零件准确到位，并将定位后的零件固定。图4-1中翼板与腹板间相对位置确定后，可通过铁楔或气动夹具将工件夹紧。

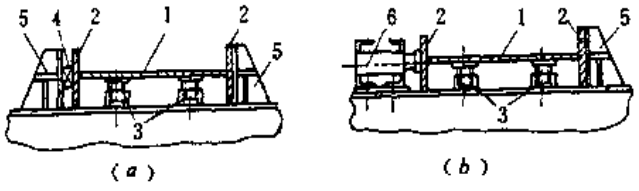


图 4-1　用胎具装配工形梁示意图

1—腹板；2—翼板；3—垫铁；4—铁楔；5—挡铁；6—气动夹具

（三）测量

测量是指在装配过程中，对零件间的相对位置和各部尺寸进行一系列的技术测量，从而衡量定位的准确性和夹紧效果，以保证装配工作的质量。如图4-1中所示的工形梁装配定位夹紧后，需测量两翼板的平行度、腹板与翼板的垂直度、工形梁高度尺寸等项指标。

上述三个基本条件是相辅相成的，缺一不可。没有定位，夹紧就变得毫无意义，而没有夹紧，就不能保证定位的准确性和可靠性，倘若没有测量，定位无法正确进行，也无法判定装配的质量。因此，研究装配技术，总是围绕这三个基本条件来进行。

二、定位基准及其选择

（一）定位基准

在结构装配过程中，必须根据一些指定的点、线、面来确定零件或部件在结构中的位

置，这些作为依据的点、线、面称为定位基准。

如图4-2所示，圆锥台漏斗上各件间的相对位置，是以轴线和M面为定位基准确定的。再如图4-3所示的四通接头，装配时支管Ⅱ、Ⅲ在主管Ⅰ上的相对高度是以H面为定位基准而确定的，而支管的横向定位则以主管轴线为定位基准。

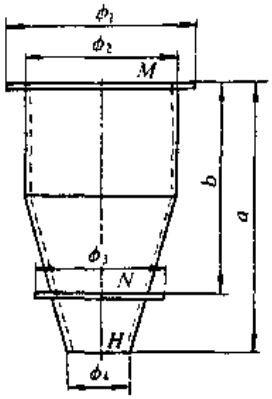


图 4-2　圆锥台漏斗

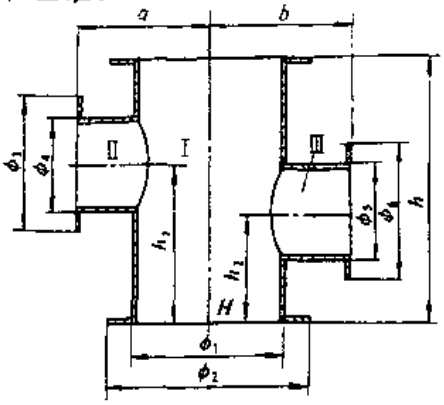


图 4-3　四通接头

（二）定位基准的选择

为保证装配质量，较好地安排零、部件装配顺序和提高装配效率，通常根据下列原则来合理选择定位基准。

（1）尽量选用设计基准作定位基准，这样可以避免因定位基准与设计基准不重合而引起的定位误差。在选择定位基准时，还应考虑，如工件表面有平的和不平的部位，则应以平面作为定位基准；若工件上有两个平面都可作为基准面，则应选择较大的一面作为基准面。

如图4-2所示的圆锥台漏斗，M面为设计基准之一。根据使用要求，装配时应保证大、小两个法兰盘上M、N面之间的距离。若选用M而为定位基准，M、N两面间的距离仅由b一个尺寸来保证，其定位误差仅是尺寸b的误差。若选用小面H为定位基准，则小法兰盘的装配定位应由a和a b两个尺寸来保证，其定位误差是这两个尺寸误差之和，显然误差要比前者大。

（2）同一构件上与其它构件有连接或配合关系的各个零件，应尽量选用同一定位基准，这样才能保证构件安装时与其它构件的正确连接或配合。如图4-3所示四通接头的两支管Ⅱ、Ⅲ以同一轴线和H面为定位基准就能满足上述要求。

（3）应选择精度较高，而又不易变形的零件表面或边棱作为定位基准，这样就能避免由于基准面、线的变形而造成的定位误差。

（4）所选择的定位基准应便于装配中的零件定位与测量。

在装配过程中，如遇外形不整齐、装配时不便于确定基准而的工件，应以设计基准为基础，采用地样、支承或胎具等辅助基准进行装配。

第二节　装配的夹具和吊具

一、装配夹具

装配夹具，是指在装配中用来对零件施加外力，使其获得可靠定位的工艺装备。

装配夹具对零、部件的紧固方式有夹紧、压紧、拉紧、顶紧(或撑开)等四种，见图4-4。

金属结构装配工作中常用的夹具按夹紧力的来源分手动夹具和非手动夹具两大类。手动夹具包括：螺旋夹具、杠杆夹具、楔条夹具、偏心夹具等。非手动夹具包括：气动夹具、液压夹具、磁力夹具等。

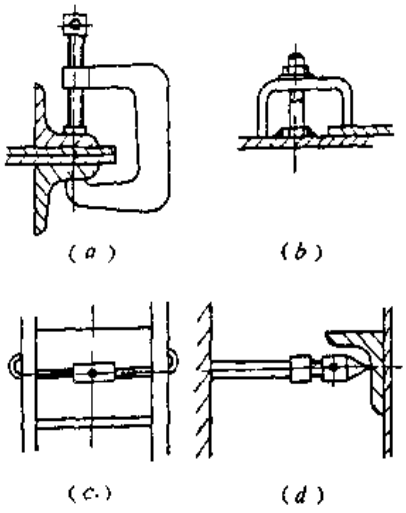


图 4-4 装配夹具的夹紧方式

(a) 夹紧；(b) 压紧；(c) 拉紧；(d) 顶紧

(一) 手动夹具

1. 螺旋夹具

螺旋夹具是通过丝杆与螺母间的相对运动传递外力以紧固零件的，它具有夹、压、拉、顶、撑等多种功能。现场常用的螺旋夹具有弓形螺旋夹、螺旋顶、螺旋拉紧器和螺旋压紧器。

(1) 弓形螺旋夹。它是利用丝杆起夹紧作用。在选择或设计弓形螺旋夹时，应使其工作尺寸H、B与被夹紧零件的尺寸相适应，见图4-5，并具有足够的强度和刚度。在现场作业时，可根据实际情况选择不同规格的这种夹具。

(2) 螺旋顶。螺旋顶也叫螺旋推撑器，它在装配工作中起顶紧或撑开作用，同时还可用于矫正。图4-6 (a) 是最简单的螺旋顶具，它由丝杆、螺母、圆管组成，其头部是尖的，不利于保护零件表面，只适用于顶撑表面精度要求不高的厚板或较大的型钢。图4-6 (b) 所示，在丝杆头部增加了垫块，顶、撑时不会损伤工件，也不易打滑，上述两种均为单向螺旋顶。图4-6 (c) 为双向螺旋顶，在丝杆两端分别具有左、右旋向的螺纹，可在双向起顶、撑作用。

(3) 螺旋拉紧器。螺旋拉紧器又叫调整器，它是起拉紧作用的工具。图4-7 (a) 所示为简单的单向螺旋拉紧器。旋转螺母，即可起拉紧作用。图4-7 (b)、(c)、(d) 为双向螺旋拉紧器，使用时转动螺母或丝杆，使两端的螺杆进或退亦可起到拉紧或放松的作用。

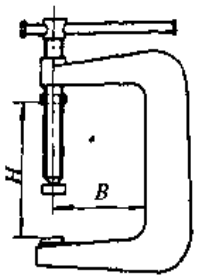


图 4-5 弓形螺旋夹的工作尺寸

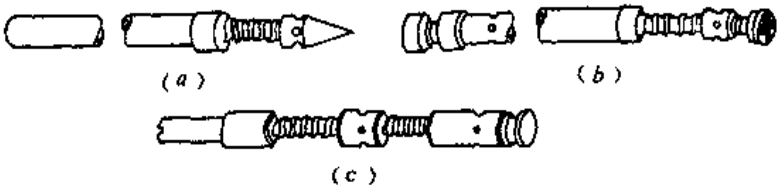


图 4-6 螺旋推撑器

(a)、(b) 单向螺旋顶；(c) 双向螺旋顶

(4) 螺旋压紧器。如图4-8所示，使用时常将支架临时点焊在工件上，再利用丝杆压紧可起到调平板缝 [见图4-8 (a)] 或压紧零件的作用 [见图4-8 (b)]。

2. 杠杆夹具

凡是利用杠杆的增力使工件被夹紧的夹具叫做杠杆夹具。这种夹具制作简单，使用方便，通用性强，在装配中应用很广。

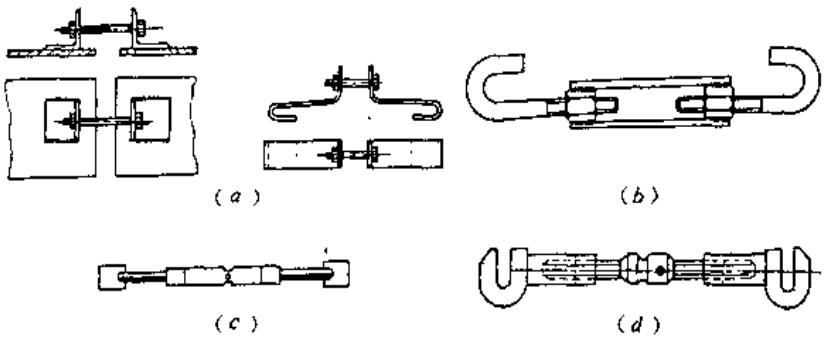


图 4-7 螺旋拉紧器

(a) 单向螺旋拉紧器;(b)、(c)、(d) 双向螺旋拉紧器

图4-9所示为装配中常用的几种简易杠杆夹具。此外，撬杠也可作杠杆夹具使用。

3.楔条夹具

楔条夹具是利用楔条的斜面将外力转变为夹紧力，以便达到夹紧工件目的的一种夹具。常用的楔条夹具有两种基本形式：

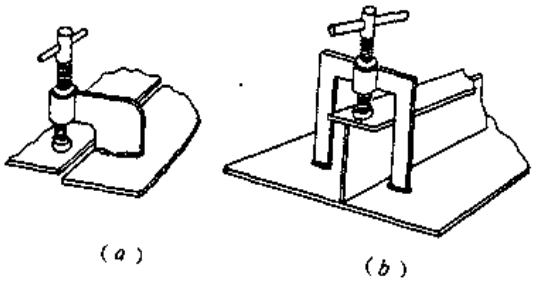


图 4-8 螺旋压紧器的形式与应用

(a) 调平板缝作用；(b) 压紧零件作用

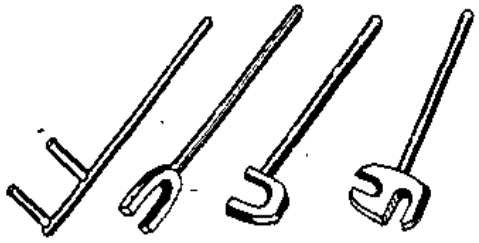


图 4-9 常用的几种简易杠杆夹具

(1) 直接接触。如图4-10(a)所示，这类夹具是将楔条与工件直接接触来夹紧工件。由于楔条直接在工件上摩擦，被夹紧的工件将随楔条的推进面产生移动，因此需预先设置挡铁来阻止工件的移动。

(2) 间接接触。如图4-10(b)所示，这类夹具是楔条通过中间元件，把夹紧力传到工件上，由于楔条没有与工件直接摩擦，工件可保持在原位置夹紧。

为了保证楔条夹具在使用中能自锁，楔条或楔板的楔角 α 应小于摩擦角，一般采用 $10^\circ \sim 15^\circ$。如斜度过大，夹具将不能自锁而易于松动。

4.偏心夹具

偏心夹具是利用一种转动中心与几何中心不重合的偏心零件来夹紧的。这种夹紧装置的动作比螺旋夹具的速度快，但由于偏心轮的偏心距受到限制，其夹紧力较小，只能用于无振动或振动小的场合。

偏心夹具根据工作表面外形的不同，分为圆偏心轮和曲线偏心轮两种形式。前者制造容易，应用较广。

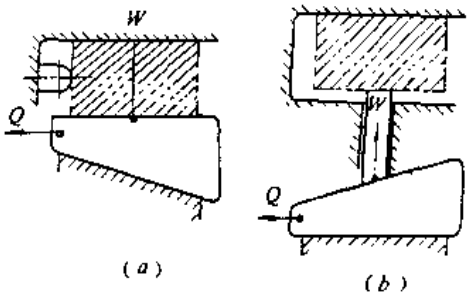


图 4-10 楔条夹紧的基本形式

(a) 直接接触；(b) 间接接触

图4-11所示为圆偏心轮夹具，图（a）以弹簧作为支点，图（b）以固定销轴作为支点。当操纵手柄，偏心轮绕轴转动时，横杆绕支点旋转，从而把工件夹紧。

（二）非手动夹具

1.气动夹具

气动夹具是利用压缩空气的压力通过机械运动施加夹紧力的夹紧装置。它的结构主要由气缸和夹具两部分组成。气缸的构造虽有多种形式，但常用的却是单向气动和双向气动两种。

单向气动气缸，见图4-12(a)所示。主要由缸体3、前盖2、活塞5、活塞杆1、密封环6、压垫7、弹簧4和后盖8等组成。这种气缸的特点是只有一个方向进气来推动活塞工作，而活塞的复位则由弹簧的弹复力来推动。由于弹簧不能做得太长，致使单向气动气缸的有效行程较小。

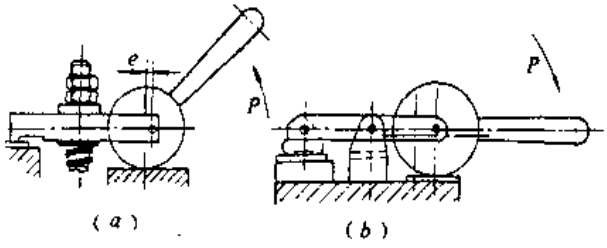


图 4-11　偏心夹具

（a）以弹簧作为支点；（b）以固定销轴作为支点

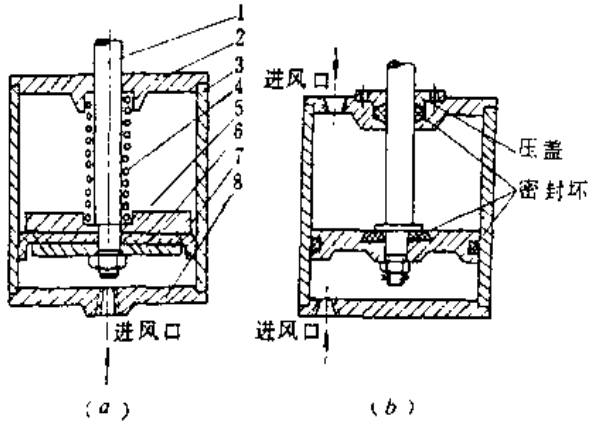


图 4-12　气动夹具气缸结构

（a）单向气动气缸；（b）双向气动气缸

双向气动气缸，见图4-12(b)所示。其特点是，可在活塞的两侧分别进气，活塞的进退都由压缩空气推动。双向气缸由于不用回程弹簧，所以有效行程较长，适应范围较大。

气动夹具气缸的安装方式有固定的和非固定的，并可根据使用需要安装成卧式、立式或倾斜式。

气动夹具的结构有两种基本形式：一是将气缸的压力直接通过活塞杆、垫块和挡板作用在工件上，这叫直接作用式气动夹具，如图4-13(a)所示。另一种属于复合夹具，它在夹紧压板与气缸活塞杆之间增加了一个杠杆，以改变压紧力的方向或增加压紧力，这叫间接作用气动夹具，如图4-13(b)所示。

2.液压夹具

液压夹具和气动夹具的工作原理相似，夹具的结构也基本相同。不同的是液压夹具缸内的介质是油或水。这种夹具的优点是：比气动夹具的压紧力大，夹紧可靠，工作平稳。其缺点是液体容易泄漏，辅助装置多，维修不便。

3.磁力夹具

磁力夹具主要靠磁力吸紧工件，它分为永磁式和电磁式两种类型，应用最多的是电磁式磁力夹具即电磁铁。其结构较简单，由导线、开关、机壳和铁芯组成。操作也很方便，

只要把它摆好位置，按动电路开关，通电即可吸紧工件。用后，拨动开关断电即可。这种夹具不仅操作方便，而且不损伤工件表面。

金属结构装配时，使用电磁铁的方法很多。图4 14(*a*)表示利用电磁铁作支点，通过杠杆把两个工件压紧；图4-14(*b*)表示利用一块电磁铁把对接的两块钢板拉平；图4 14(*c*)表示利用电磁铁吸住螺旋顶压器，并通过丝杆把T形梁和钢板压紧；图4-14(*d*)表示用电磁铁做支点通过杠杆把角铁压紧在钢板上。

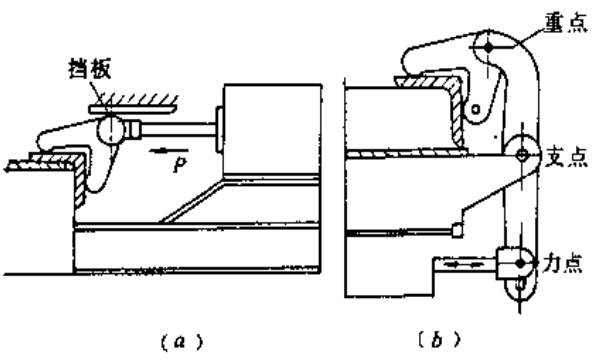


图 4-13 气动夹具的结构形式
(*a*) 直接作用式；(*b*) 间接作用式

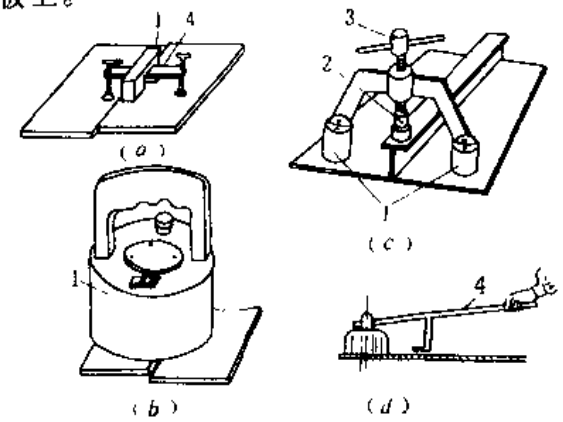


图 4-14 磁力夹具及其应用
(*a*) 压紧工件；(*b*) 钢板拉平；(*c*) 吸住螺旋顶压器；
(*d*) 角铁压紧
1—电磁铁；2—丝杠；3—螺旋压紧器；4—杠杆

二、装配专用吊具

装配中常用的专用型钢吊具有下列几种：

（一）横吊梁

横吊梁是一种用型钢或钢板焊制而成的横梁，其下方附有吊挂重物的吊钩。利用横吊梁吊运各种型钢时，可避免或减少型钢在吊运中的变形。若用两台起重机同时操作用钢板组成的箱形横吊梁，则可起吊很重的重物。

（二）偏心式吊具

图4-15(*a*)、(*b*)所示为几种不同结构的偏心式吊具，用它可以吊起垂直或水平的钢板件。

（三）槽钢的吊具

图4-15(*c*)所示为起吊单根槽钢用的吊具。吊具上的缺口可挂住槽钢的翼板，为防止槽钢从缺口里滑出，可以回转安全挡铁挡住槽钢。

（四）厚钢板的吊具

图4-15(*d*)所示为厚板吊具的结构。起吊时，应先将槽形板点焊在钢板上，吊环的一端钩住槽形板，拧紧压紧螺杆，即可将钢板吊起。这种吊具由于钢板上两处受力，即使受到一些冲击也能安全工作。目前在工厂用来起吊钢板的吊具中，有的不用槽形板，采用横吊梁在钢板上数处同时用压紧螺杆拧紧，也可安全的将很长的钢板吊起。

（五）工字钢的吊具

图4-15(*e*)所示为起吊工字钢专用的杠杆式吊具。起吊时，将吊具钩住工字钢一侧翼

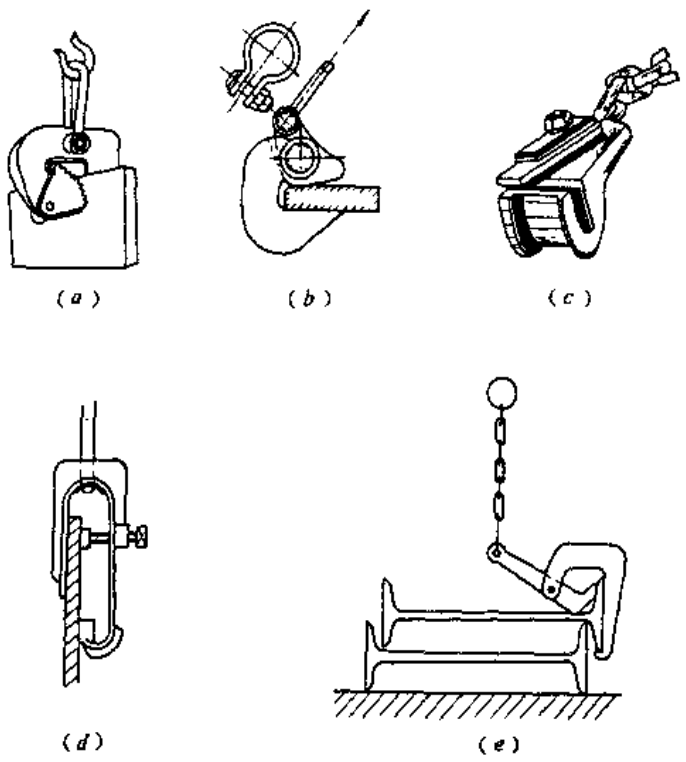


图 4-15　型钢吊具

(a)、(b) 几种不同结构的偏心式吊具；(c) 起吊单根槽钢用吊具；(d) 厚板吊具；(e) 杠杆式吊具

板的下端，起吊杠杆由于受力旋转便使吊具两处钩住工字钢翼板，从而将工字钢吊起。

第三节　装配前的准备工作

装配前的准备工作，是装配工艺的重要组成部分，准备工作的好坏，会直接影响装配的效率与质量。因此在金属结构装配之前，必须作好下列有关的技术和生产准备工作。

一、熟悉产品图纸和工艺规程

产品图纸和工艺规程是整个装配准备工作的主要依据，通过熟悉图纸和工艺规程，应达到如下的目的。

（1）了解产品的特性、用途、结构特点、数量和装配技术要求，并依此确定装配方法。

（2）了解各零件间的相互位置关系、连接形式、装配尺寸和精度，以便选择定位基准和装配夹具。

（3）了解各零件的数量、材质及其特性。

二、工具、量具、夹具的准备

装配前要对所需的工具、量具、夹具作周密的准备。

常用的工具有大锤、手锤、錾子、手砂轮、撬杠、板手及各种画线用的工具。

常用的量具有钢卷尺、平尺、水平尺、线锤、直角尺及各种检验零件定位情况的样板等。

装配中的各种夹具按上节中介绍的选用。如根据不同结构的具体情况，装配前还可准

备一些专用的工具、夹具。

三、装配的工作台和胎架

在装配工作中，用来支承工件的有各种装配平台和装配胎架。

（一）装配平台

装配平台一般水平设置，它的工作表面要求达到一定的平直度和水平度。铆工中常用的装配平台有以下几种：

（1）铸铁平台：铸铁平台是由一块或多块经过表面加工的铸铁制成。它坚固耐用，工作表面精度较高。为便于夹紧工件，在铸铁平台上设有许多孔和勾槽。

（2）钢结构平台：钢结构平台是由厚钢板和型钢组合而成，有时也将钢板直接铺在地面上构成简易的钢结构平台。它的工作表面一般不经切削加工，所以平直度和水平度比铸铁平台差，常用于拼接钢板或装配精度要求不高的工件。

（3）导轨平台：这种平台是由很多根导轨安装在混凝土基础上制成的，它是装配大型构件用的工作台。每条导轨的上表面都要经过切削加工，并有紧固工件用的螺栓沟槽。

（4）水泥平台：这种平台是用钢筋混凝土制成的。制作时，在适当位置上预埋一些拉环、桩厥和交叉设置的扁钢，作为装配时固定工件之用。这种平台适用于拼接钢板、框架等大型构件的装配作业。

（5）电磁平台：这种平台的台身是用钢板和型钢制成的，在平台内安置许多电磁铁，通电后，可将工件吸住在平台上。电磁平台多用于板材的拼接，因为电磁铁对钢板的吸附作用能有效地减少焊接变形。

（二）装配胎架

当工件结构不适合用装配平台作支承时，就需要制做装配胎架来支承工件，以便进行装配。

装配胎架按其功能分为通用胎架和专用胎架。图4-16（*a*）所示为装配圆筒形工件的通用胎架，它由两根辊筒平行地装在固定支架上所组成，辊筒间保持一定距离。在装配不同直径的圆筒形工件时，均可用它对工件进行支承定位。

图4-16（*b*）所示是装配某一封头的专用胎架，构成胎架支承工作面的模板，是通过放样得出实际形状然后加工面成的。这种专用胎架，只适用对形状、尺寸单一的工件装配所用。

装配胎架应符合下列要求：

（1）胎架工作面的形状应与工件被支承部位的形状相适应；

（2）胎架结构应便于在装配中对工件施行装、卸、定位、夹紧等操作；

（3）胎架上应画出中心线、位置线、水平线和检验线等，以便于装配中对工件进行校正和检验；

（4）胎架必须安置在坚固的基础上，并具有足够的强度和刚度，以免在装配过

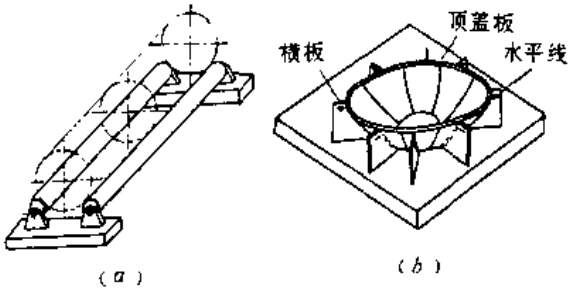


图 4-16　装配胎架

（*a*）通用胎架；（*b*）专用胎架

程中基础下沉或胎架变形。

四、零、部件预检和防锈

产品装配前，对于从上道工序转来或从零件库中领取的零、部件及装配中所用的辅助材料，都要进行核对和检查，以便于装配工作的顺利进行。预检零、部件的主要内容包括：

（1）按图纸和工艺文件检查零、部件的形状、尺寸、材质和加工精度；

（2）查对零、部件的数量；

（3）准备与工件材质相应的电焊条，使定位焊和焊接的焊条相同；

（4）按工艺规定检查螺栓、螺母等辅助零件的规格、材质。

装配前还要对零、部件的连接处的表面进行打毛刺、除污垢、除锈等清理工作，并要在清理后，按技术要求进行防锈处理。对于零、部件在装配后难于施行清理、防锈处理的部位，也应在装配前采取措施。

五、安全措施

在装配工作中，大多属于多工种联合作业，涉及不安全的因素较多，故对安全措施要给予高度重视。在装配前的准备工作中，也要充分考虑。例如：氧气瓶和乙炔发生器要放在离人行道和火源较远的地方；消防用具安放在取用方便的地方；所有的吊具，都要进行严格的检查；接电的地方，要有预防触电的措施；高空作业的安全带要经严格检查等。

第四节　焊接结构的装配

一、焊接结构的装配方法

焊接结构的装配，常用的方法有：画线装配法、仿形复制装配法、胎具装配法、平放装配法、立装法和倒装法等。这些方法可以单独使用，但多数是结合使用。任一结构的装配工作中，均应结合实际情况，同时采用多种方法，以提高焊接结构的装配质量和生产效率。

（一）画线装配法

画线装配法基本上有两种：

（1）地样装配法。地样装配法是装配工作中常用的一种方法。装配前，将构件的装配样图按1∶1的实际尺寸直接绘制在装配平台上，然后根据地样图来装配构件。这种方法主要用于桁架、框架或用板材制造的容器等结构的装配。

图4-17所示是利用地样装配法装配一钢桁架，装配时，先在平台上画出桁架的地样，然后依照地样将零件组合起来。

图4-18所示为多瓣球形封头的地样装配。装配时，在平台上画出封头俯视图的上、下口线和接缝线，在下口线的外周焊上辅助定位挡铁，然后将封头瓣片的底边紧靠挡铁，并对准下口线，用角尺或吊线锤检验上口边缘的位置，使其对准平台上的上口线，这样将各瓣片定位，并点焊组装。封头组装完后，应对上口的圆度、齐平情况进行检查和校正，然后扣上封盖。

（2）接合线装配法。图4-19所示为柱脚的装配，它是以画在工件底板上的中心线和

接合线作定位线，来确定槽钢、靴梁和三角形肋板的位置的。

（二）仿形复制装配法

仿形复制装配法主要用于断面形状对称的焊接结构。例如桁架结构的装配就是采用地样装配法和仿形复制装配相结合的方法。下面仅就钢桁架中部件装配说明仿形复制法的应用。图4-20(*a*)所示为钢桁架弦杆，制造时在平台上先装配角钢和连接板，见图4-20(*b*)。连接板和角钢间点焊固定，成为单面结构，以此作为仿形样板进行复制，即可装配出相同的单面结构，见图4-20(*c*)。当一批构件的单面结构装配完后，再分别在每个单面结构上装配另一角钢，见图4-20(*d*)，即可完成整个部件的装配。如果把弦杆扩大为整个钢桁架，上述装配过程，就是利用仿形复制法装配钢桁架。

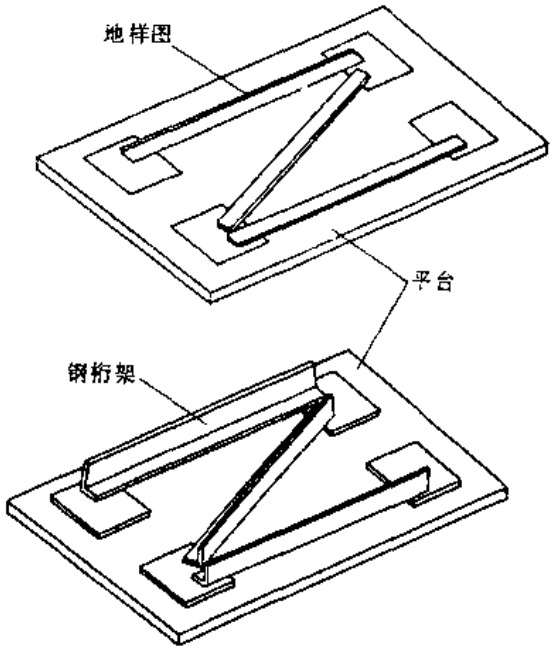


图 4-17 钢桁架的地样装配

（三）胎具装配法

胎具是指符合工件几何形状或轮廓的模型（内模或外模）。用胎具装配焊接结构具有产品质量好，生产效率高等特点。对于批量生产的板材结构或型材结构的装配，在条件适合的情况下，应当考虑采用胎具装配。

如前所述，图4-16(*b*)所示为罐封头装配用的凹形胎，它是以封头的外皮尺寸为准的。罐封头的装配也可采用以里皮尺寸为准的凸形胎制作，见图4-21。显然采用胎具装配的产品质量和生产效率比地样装配的要高。

（四）平放装配

平放装配法主要用于细而高的结构装配中，如输电铁塔等。采用这种方法是将直立的构件平放在地面上进行装配，然后再在使用地点直立安装。它的优点是减少高空作业，操作安全，加大作业面，生产效率高。对于圆筒形结构，也可平放在如图4-16(*a*)所示的装

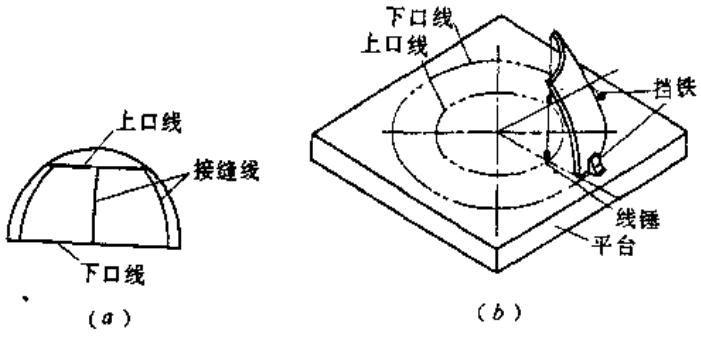


图 4-18 多瓣球形封头的地样装配
(*a*) 装配样图；(*b*) 地样装配

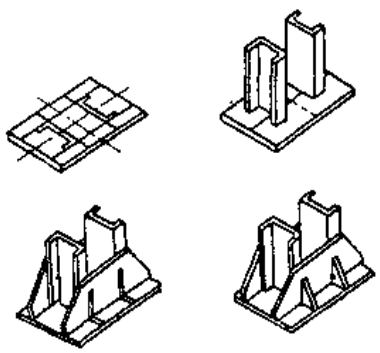


图 4-19 接合线装配法

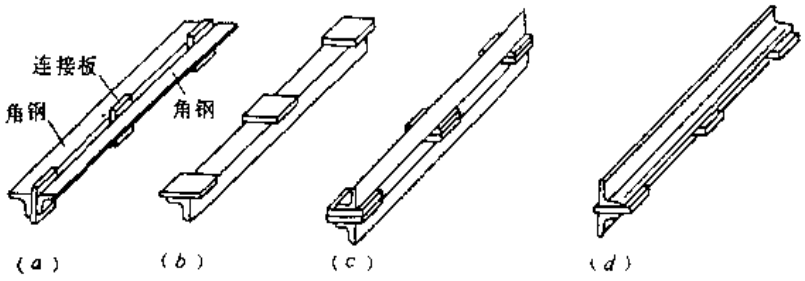


图 4-20 仿形复制装配

(a) 钢桁架弦杆;(b) 装配角钢和连接板;(c) 装配出单向结构;(d) 完成装配

配胎架上进行装配，或在滚轮支承座上对接圆筒，见图4-22。

（五）立装法

图4-23所示为圆筒的立式装配。这种装配方法是将一节圆筒立放在平台上找平，然后将上节圆筒吊上，在接口处的适当位置焊上压马和松紧螺丝，用压马、螺旋顶或楔铁夹具等对管口进行初调。再用一根角钢焊在筒体上端中心并挂上一条重锤线，检测两节圆筒中心是否同心，找正后，再用松紧螺丝将接口拉紧，施定位焊后进行焊接。

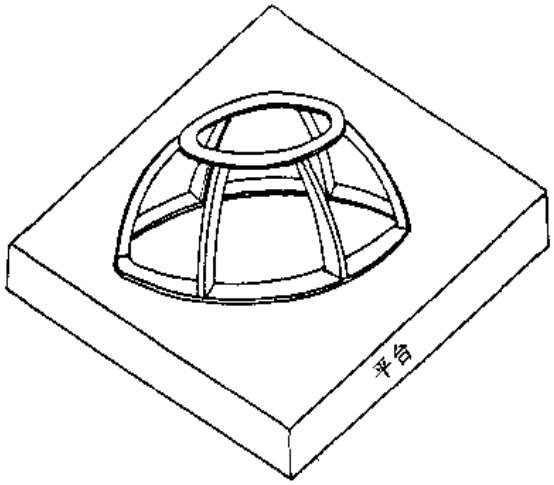


图 4-21 装配封头凸形胎示意图

（六）倒装法

倒装法是指工件在装配中所处的位置与使用时位置相反的一种装配方法。图4-24所示的翻斗车车体装配，就采用了将车体倒置过来，以车体敞口平面与工作台接触的倒装法。

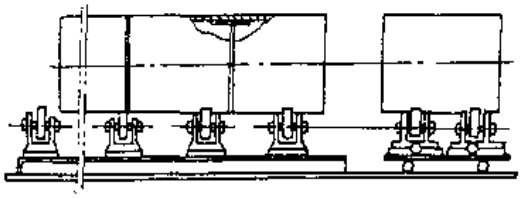


图 4-22 在滚轮支承座装配圆筒

采用倒装法的原因是：为便于选择装配基准面；制造胎具和操作方便；产品结构不适合正装；减少高空作业等。

（七）装配中定位焊的一般要求

在焊接结构的装配过程中，要用定位焊来固定各焊件之间的相互位置，以保证整个结构件得到正确的几何形状和尺寸。

定位焊缝将作为正式焊缝留在焊接结构之中，故对所使用的焊条及焊工操作技术的要求应与正式焊缝相同。如发现定位焊缝有缺陷时，应铲除重焊，不得留在焊缝内。

进行定位焊时应注意以下事项：

（1）定位焊的两端应该圆滑，以利于焊接接头处容易焊透。

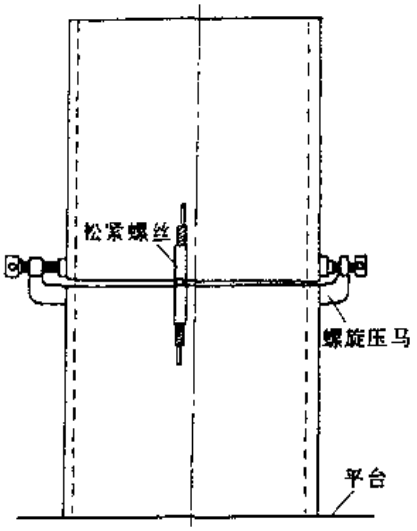


图 4-23　圆筒的立装

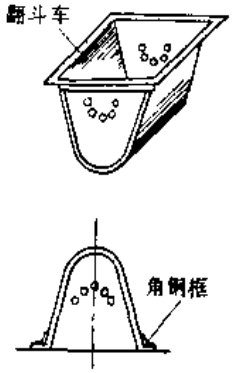


图 4-24　翻斗车倒装角钢框

（2）焊件在焊接时如需预热，则定位焊时亦应预热。两者预热温度应该相同。

（3）定位焊为间断焊，工件温度较正式焊接时要低，为增加热量使其易于焊透，故焊接电流应较正式焊接时高10%～15%。

（4）定位焊的尺寸可按表4-1选用。但对个别起重要作用的部位，可适当增加定位焊的焊缝尺寸及数量。

表 4-1　　定位焊的参考尺寸（单位：mm）

工件厚度	焊点长度	焊点间距	焊点高度
2～5	20～25	100～150	一般焊点高度应为正式焊缝高度的一半左右
5～10	25～30	150～250	
>10	30～35	250～350	

（5）在焊缝交叉处、焊件边缘和焊缝方向急烈变化处不要进行定位焊。可在离开30～50mm处进行定位焊，见图4-25。

（6）对强行装配的结构，定位焊的长度应适当加大。

（7）在低温下焊接时定位焊缝易开裂，为防止开裂，应尽量避免强行装配后进行定位焊，定位焊的长度亦应适当加大，必要时可采用碱性低氢型焊条，并特别注意定位焊后应尽快进行焊接，避免中途停顿和间隔时间过长。

二、简单部件的装配

（一）钢板的拼接

钢板拼接是最基本的部件装配，多数钢结构的制作都要先进行这道工序。钢板拼接分为厚板拼接和薄板拼接。

（1）厚板拼接。图4-25所示为厚板拼接的一般方法：先将钢板按顺序排列在平台上，用铁刷或砂轮在接缝处除锈去污，然后将各板靠紧，或按要求留出一定间隙。如接缝处不平，可用压马调平，即可进行定位焊。当板缝对接采用自动焊时，应将定位焊处铲出沟槽，使定位焊的高度不影响自动焊的质量。图4-25所标注定位焊的位置和尺寸可供参考。

（2）薄板拼接。薄板拼接容易产生波浪变形，需要采取专门的防变形措施。例如将拼接薄板周边点焊固定，接缝处放上压铁，然后进行焊接，即可防止薄板拼接时的波浪变形。又如，若采用电磁平台拼接，其拼接质量和效率将大大提高，见图4-26。

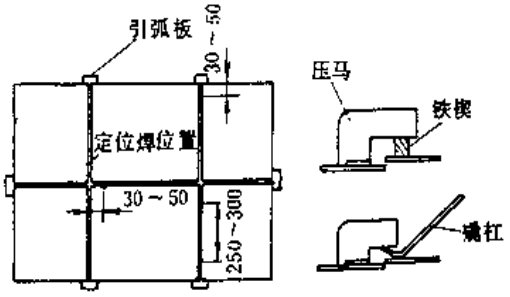


图 4-25　厚板拼接

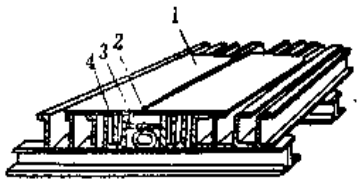


图 4-26　在电磁平台上拼接钢板

1—工件；2—焊药；3—充气软管；4—电磁铁

（二）T型梁的装配

T型梁是由翼板和腹板两个零件组合而成。结构虽然简单，但装配方法有多种。

（1）划线定位装配。先将腹板和翼板矫直、矫平，除去表面污物和边缘毛刺，然后在翼板上划出腹板的位置线，并打上样冲眼。将腹板按位置线立于翼板上，用角尺找正垂直度，然后进行定位焊。定位焊后再经检验校正，才能焊接。这种方法一般适用于小批量或单件生产时采用，见图4-27。

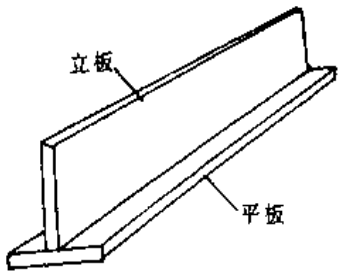


图 4-27　T型梁划线定位

（2）用胎具装配。图4-28所示为在工作台上用胎具装配T型梁的方法。

装配前先对胎具进行检查与调整，装配时把腹板立在翼板上并同胎具靠实，端面对齐，用压紧螺栓将工件夹紧，即可施加定位焊。这种方法不用划线定位，省去找正工作，操作方便，生产效率高，适用于大批量生产时采用。

（3）用反变形法装配。为便于翼板反变形，可制作专用工作台，见图4-29(*b*)，在翼板中间垫上板条，用弓形螺旋夹具夹紧翼板，使翼板产生角度变形。也可将两根T型梁同时装配，把它们的翼板背靠背的夹紧，见图4-29(*c*)。这种方法可以不设专用工作台，

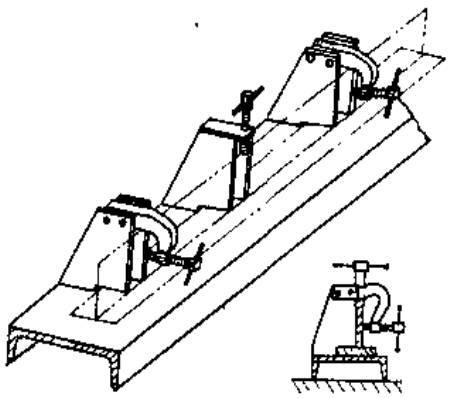


图 4-28　T型梁的装配胎具

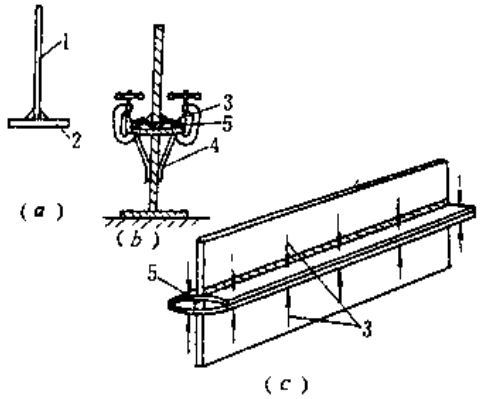


图 4-29　反变形法装配T型梁

1—立板；2—平板；3—弓形螺旋夹；4—专用工作台；5—垫条和夹紧位置

一次可装配和焊接两个工件。

（三）工字梁的装配

装配工字梁一般采用胎具平装方法，见图4-1。操作时常用楔形、螺旋、气压或液压夹具进行夹紧。

装配前，对夹具的尺寸要进行检查调整，腹板下垫铁的高度要使腹板和翼板的相对位置符合图纸要求。装配时，先把腹板平放在垫铁上，再吊入两个翼板立放在腹板的两侧，三个零件对齐用弯尺找正后，就可打紧楔铁，或用气动类夹具把翼板和腹板压紧，施加定位焊。如果工字梁端部有连接板等零件时，为保证其外形尺寸，便于工字梁与其它部件的连接，应在腹板和翼板焊接并矫正后再进行装配。

如果采用反变形法装配，则应用压力机等先压出翼板的反变形角度后，再进行装配。

（四）箱形梁的装配

如图4-30所示，箱形梁主要由腹板2、翼板1和4，以及筋板3所组成。装配前如板料长度不够时应先进行拼接，翼板、腹板划线切割后应分别矫正平直。装配时先将上盖板4放在平台上，画出腹板和筋板的位置线，并打上样冲眼。各筋板应按位置线垂直装配于上翼板上，用弯尺检验垂直度后点焊定位，再吊装两腹板，使它紧贴筋板并立于上翼板上与翼板保持垂直，用弯尺检查校正后，施行定位焊。

两腹板装配完毕后，应由焊工按一定的焊接程序先进行箱形梁内部焊缝的焊接。如箱形梁为桥式起重机的承重结构，为保证旁弯，应先焊筋板与里侧腹板的角缝，后焊外侧角缝，然后焊筋板与上翼板的平角缝。焊完矫正后，再装配下翼板1并进行点焊，完成整个箱形梁的装配并经检查合格后，再焊接翼板与腹板的焊缝。为保证箱形梁具有一定的上拱度，一般先焊下翼板与腹板的两条角缝，最后焊上翼板与腹板的两条角缝。如箱形结构为弧门的支臂，则焊接时应防止旁弯和上拱的变形。

三、桁架结构的制作与装配

为了帮助读者能系统掌握金属结构零、部件的制造与装配知识，下面以桁架结构为例，采用制作工艺卡的形式，介绍其制作与装配的全过程，供大家参考。

桁架结构整体草图如图4-31所示。下面按工艺过程进行介绍。

（一）号料

（1）当原材料的变形超过允许误差时应进行矫正。

（2）利用划线台制作样杆、样板。

（3）原材料预留的加工余量见第三章第三节有关内容。

（4）进行号料，所有的孔可一次号成（火曲的角钢在火曲后再号孔）。

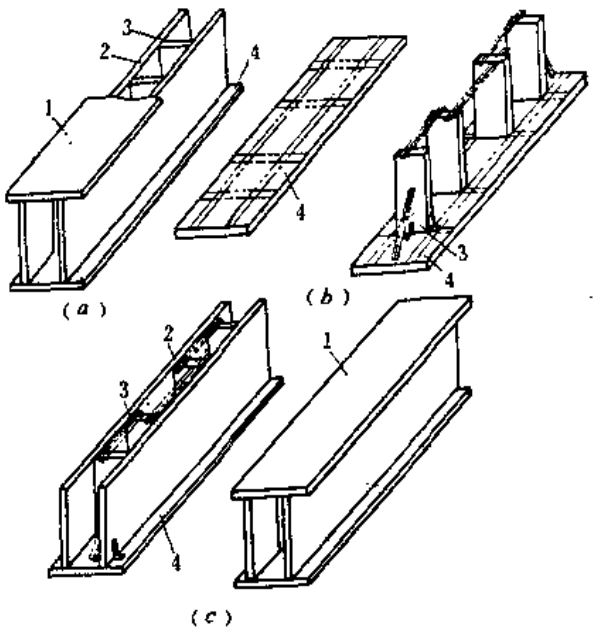


图 4-30 箱形梁的装配

1—下翼板；2—腹板；3—筋板；4—上翼板

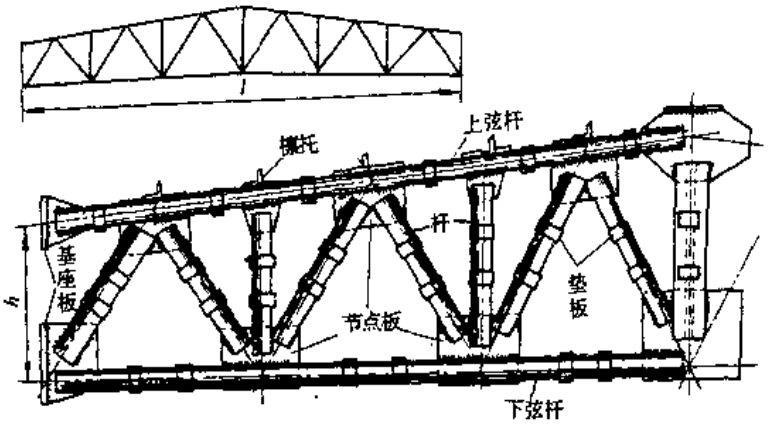


图 4-31　桁架结构整体草图

（二）加工

（1）将已号材料进行切割。同样规格（长度）的角钢或垫板数量较多时应采用挡板剪断。实际切割线与预定切割的偏差应≤ ± 2 mm，并除去毛刺。

（2）对切割后的钢板矫平。

（3）屋脊拼接角钢火曲后应去棱。角钢应用样板检查，要求见图4-32，表面不平度应≤ 1 mm。

（4）钻孔，所有眼孔一次钻完。当下弦端部基座板与柱的连接用精制螺栓或铆钉时，基座板一般应用钻模钻孔。眼孔偏移中心≤0.5mm。

（5）端部基座板刨平后其表面的倾斜公差和孔边距的公差如图4-33所示。

（三）零件的装配与焊接

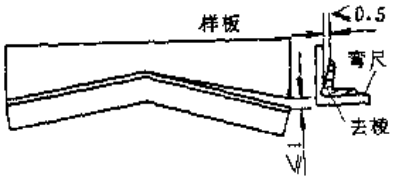


图 4-32

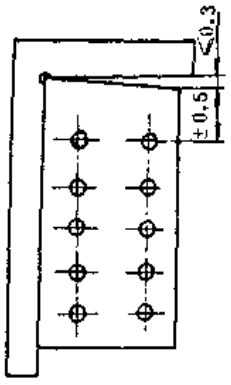


图 4-33

（1）上下弦端部基座板的装配方法，可从下列二项中选择一种。①利用压力机将基座支承板压成反变形，然后进行装配，见图4-34。②先装配，然后组合成对称焊缝用夹具防止变形，见图4-35（1）。

（2）于船形位置焊接该组合件的焊缝，见图4-35（2），焊肉较大时，可用多层多道焊，第一层必须用ϕ4焊条。

（3）基座板焊后最大偏差≤ 1 mm，见图4-36。

（四）装配

采用仿型装配法：

（1）用粉线在工作台上划出实样，实样要求精确。

（2）在上下弦角钢外侧边缘上点焊定位角钢，见图4-37。

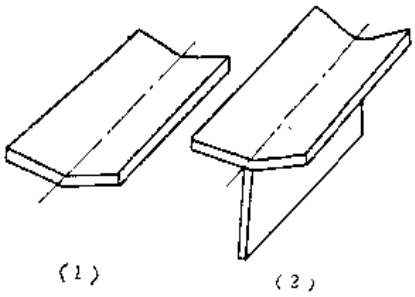


图 4-34

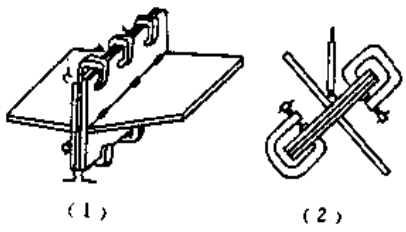


图 4-35

（3）按零件位置将垫板和节点板放在实样上，摆上下弦角钢，见图4-38(1)。上下弦角钢的重心线与设计位置的偏差应＜2mm。

（4）放置竖杆和斜杆，并点焊，杆件重心线与设计位置的偏差应＜2mm，长度方

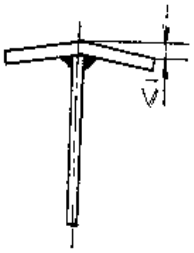


图 4-36

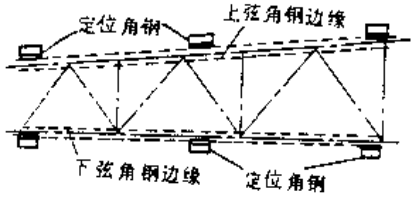


图 4-37

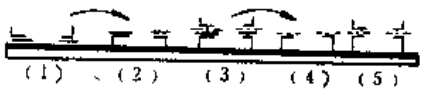


图 4-38

向错移应＜5mm，定位焊焊条牌号应与正式焊缝相同。焊条直径用4mm，定位焊高度小于正式焊缝高度的一半。

（5）将已拼好的半扇桁架翻转180°如图4-38(2)。

（6）将已拼好的半扇桁架作为样模，仿形装配另半扇桁架如图4-38(3)。

（7）将上半扇桁架翻转180°如图4-38(4),在其上装配另半扇角钢即成为整扇桁架。见图4-38(5)。

（8）为防止桁架两端部节点板相对位置的偏移或倾斜，可采用图4-39所示的样板夹紧。

（9）整扇装配结束后，需经工长或质检料检查。

（五）焊接

（1）对焊缝区进行必要的清洁工作。

（2）焊上下弦中部拼接节点焊缝。焊接顺序为：

1）节点板与弦杆角钢肢背处角缝；

2）节点板与弦杆角钢肢尖处角缝；

3）弦杆角钢与拼接角钢外侧肢尖角缝；

4）弦杆角钢与拼接角钢内侧肢尖角缝。

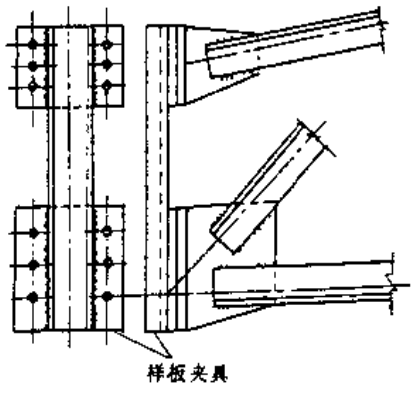


图 4-39

（3）焊大扇，其顺序见图4-40。

1）焊上下弦节点板外侧焊缝；

2）焊上下弦节点板内侧焊缝；

3）焊腹杆与节点板的连接焊缝，见图4 41。

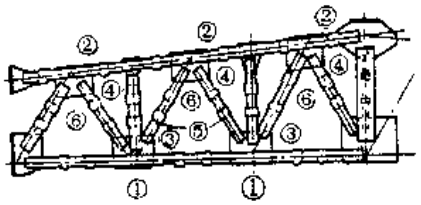


图 4-40

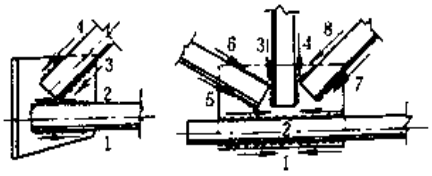


图 4-41

4）焊杆件间垫板的焊缝，先肢背，后肢尖。

（六）质量标准

（1）半成品质量标准如下：

1）板长与宽误差≤±2mm；

2）角钢长度误差≤±2mm；

3）孔中心距离误差≤±1mm；

（2）成品质量标准如下：

1）跨度L：

L <25m时，误差<7 mm；

L >25m时，误差为$\frac{L}{2500}$，且≤10mm；

2）弯曲度f：

误差为$\frac{L}{1500}$且≤10mm；

端部高度误差≤±3mm。

第五章　平面钢闸门的制造

第一节　概　　述

在水利水电工程中，广泛应用各种钢闸门，它是水工建筑物中的重要组成部分。闸门在水工建筑物中的作用是挡水、控制水流、根据要求局部或全部开启闸门泄放水流、调节上下游水位、放运船只木排、排冰排污等。

随着水利水电事业的不断发展，闸门已达到相当大的规模，有的重达数百吨，单扇闸门的挡水面积达数百平方米，而承受的水压力达10万kN以上。这样巨大的闸门，对制造、运输、安装调试提出了更高的要求。

闸门的种类及型式较多，目前尚无统一通用的分类方法，一般可根据闸门的工作性质、形状特点、孔口形式、使用材料、作用水头等进行分类。

按闸门的工作性质不同可分为工作闸门、事故闸门、检修闸门等；按孔口的形式不同可将闸门分为露顶式闸门和潜孔式闸门；按制造闸门的材料和方法的不同，可分为钢闸门，铸铁闸门、木闸门、混凝土闸门及塑料闸门；按闸门形状特点可分为平面闸门、弧形闸门、人字闸门、拱形闸门、履带式闸门等。

工作闸门是水工建筑物正常运行时所使用的闸门。可以关门挡水，亦可根据需要在不同的开度下放水。事故闸门因有时需要快速关门所以也叫做快速闸门。在该闸门所控制的水道中发生故障或事故时，闸门自动关闭，切断水流，以防事故进一步扩大。检修闸门系指建筑物或设备检修时用于挡水的闸门，以保证检修工作的顺利进行。

在各种材料制造的闸门中，由于钢材的组织均匀、各向强度相等、且具有良好的物理机械性能，特别是焊接性能优越，强度高，同时，焊接钢闸门的自重相对轻，变形小且易于控制和矫正，不透水性好，可承受很大的水压力……等等，所以焊接钢闸门在水利水电工程中应用很广泛。而其中尤以平面钢闸门应用最为普遍。下面我们将讨论有关平而钢闸门的焊接制造。

第二节　平面钢闸门的组成及门叶的主要结构

一、平面钢闸门的组成

平面钢闸门一般包括三个主要组成部分，即活动部分（门叶）、埋设部分和启闭部分。门叶是用于关闭孔口或开启放水的挡水体；埋设部分包括底坎、门枕、主轨、副轨、反轨、侧轨、门楣（露顶式平面闸门无门楣）等，埋设在门槽的二期混凝土中。门叶的水荷载通过埋设部分传递到土建结构上去。启闭部分用于控制门叶的启闭，以达到控制水流的目的。平面闸门的组成如图5-1所示。

二、门叶的主要构造

挡一个孔口的闸门叫一扇门叶，由于运输条件的限制和起重设备起重量的限制，一扇闸门又分为几节。一般都按水平方向分节。门叶由面板、主梁、边梁、水平次梁、垂直次梁和支承行走部分等组成。梁系与面板形成刚性的整体，面板为四周固定支承，强度高，受力条件好，而且结构也较为简单。

三、门叶的布置

平面钢闸门梁格布置的形式有纯主梁式、主次梁式和普通式三种。其中普通式在工程上应用较广。如图5-2所示。

梁系的连接形式亦有三种，齐平连接、降低连接和层叠连接，如图5-3。工程上应用

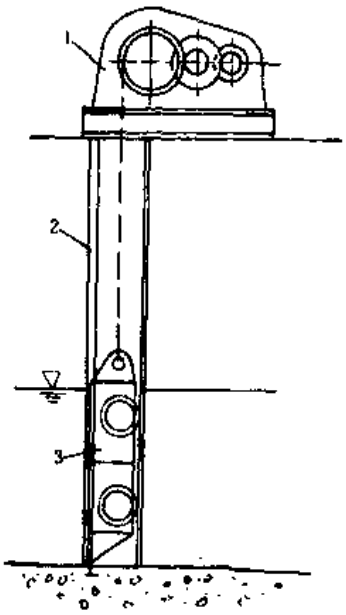


图 5-1 平面闸门的组成

1—启闭机；2—埋件部分；3—门体部分

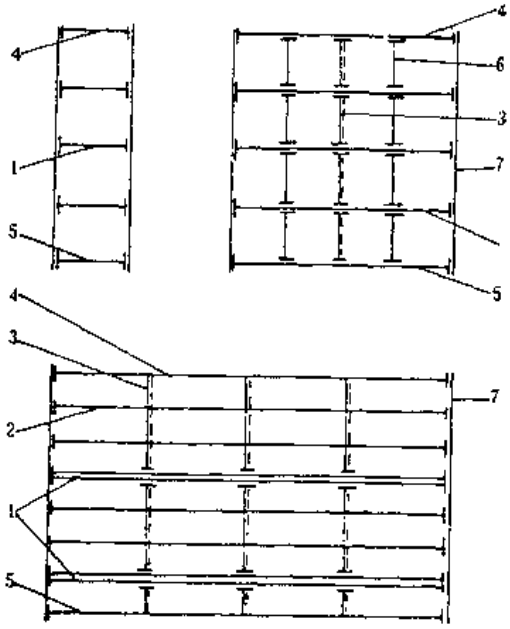


图 5-2 梁格布置

1—主横梁；2—水平次梁；3—竖向联接系；4—顶横梁；5—底横梁；6—竖直次梁；7—边梁

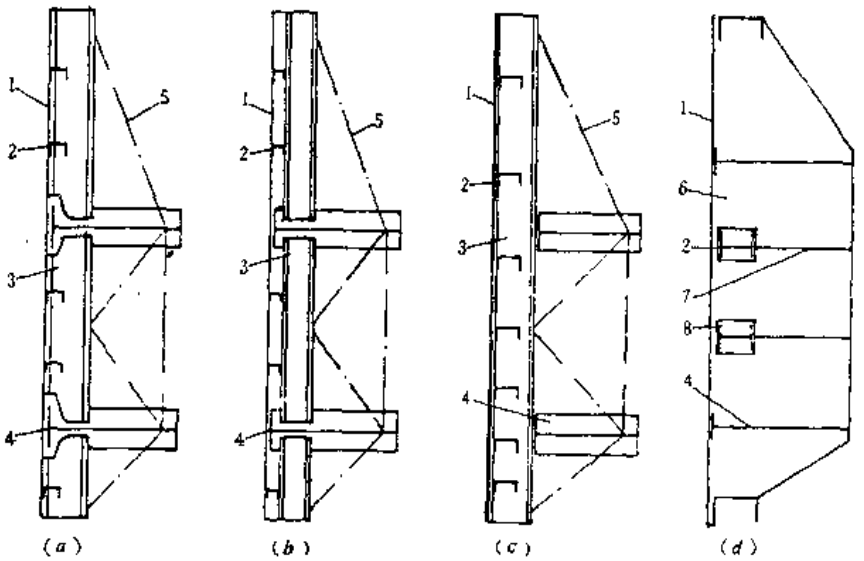


图 5-3 梁系连接形式示意图

（a）齐平连接；（b）降低连接；（c）层叠连接；（d）具有竖向隔板的齐平连接

1—面板；2—水平次梁；3—竖直次梁；4—主横梁；5—竖向联接系；6—竖向大隔板；7—筋板；8—开孔

较多的是具有竖向隔板的齐平连接。

平面钢闸门的构造形式较多，各有其特点和应用条件，在此以应用较广的普通式有竖向隔板的齐平连接平面钢闸门为例，论述平面钢闸门制作的有关问题。

第三节　闸门制造施工准备

金属结构零部件的制造及部件装配在第三章和第四章已经分专题论述过，平面钢闸门的零部件制造和部件装配工艺过程和要求大致相同，因此这部分内容从略，这里仅从闸门拼装开始论述。

闸门拼装工期的长短、拼装质量的优劣等与拼装前的各项准备工作密切相关。归纳起来，准备工作包括这样几项内容：

一、技术准备

技术准备包括技术人员，技术工人和技术资料的准备。

（1）闸门的制造，特别是大型闸门的制造，是一项十分重要和要求很严的工作。要求实行总工程师负责制，下设责任工程师和技术员。总工程师负责闸门制造的施工组织设计、工艺设计、全面负责制作的一切技术问题；责任工程师和技术员在总工程师领导下负责一些具体的技术工作的实施。

（2）有经验的、熟练的技术工人是施工中的骨干力量。班长、组长、领班等必须由这些骨干担任。施工前，要由技术人员向施工人员进行技术交底。交底内容包括施工内容，工程量的大小，施工程序、施工方法、技术要求、工期长短、安全措施等。参与制造的技术工人应具有上岗合格证。

（3）闸门的零部件图和总装配图，这是拼装的依据。图纸按照有关闸门制造的技术标准设计，从面保证生产合格产品。

（4）编制闸门拼装工艺卡（拼装方案）。拼装工艺卡是闸门拼装过程的具体施工措施和技术要求。根据闸门大小、结构特点、工期要求制定出符合实际、切实可行的工艺方案，其目的是指导施工，有计划组织生产，既可提高速度，又便于保证质量，使生产者、检验者都心中有数。工艺卡要作为原始记录保存，以备查寻。工艺卡有拼装过程工艺卡和焊接施工工艺卡。

（5）拼装闸门之前，必须提供零部件制造和部件装配的原始质量检查记录。用于拼装的零部件必须是合格的。不合格的零部件必须经上道工序进行处理，合格方可投入拼装。

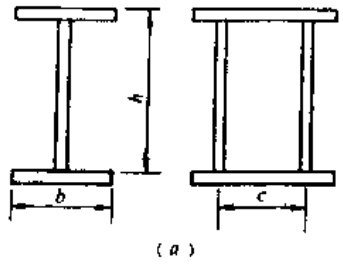
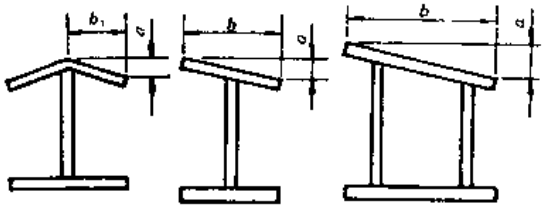
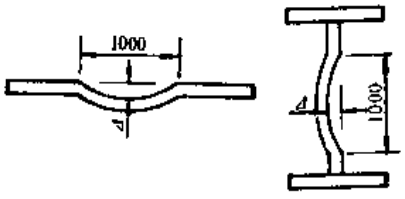
平面钢闸门单个构件制造的允许偏差见表5-1。

二、工器具和有关设备的准备

闸门拼装过程中，结构工种（铆工）常用的工器具包括手锤、大锤、卷尺、钢板尺、粉线、钢丝线、划规、锤球、水平尺、角尺、划针、手弓锯、扳手等。电焊工种常用的工器具包括电焊帽、电焊钳、把线、刨锤、钢丝刷、毛刷、割枪、烤枪、螺丝刀、手钳、拔手等。

设备包括起重机、水准仪、经纬仪、电焊机、烘箱、磁力电钻、手提砂轮机、乙炔发

表 5-1　　单个构件制造的允许偏差（mm）

序号	项目及代号	简　　图	允许偏差
1 2 3	构件宽度b 构件高度h 腹板间距c	（a）	±2
4	翼缘板对腹板的倾斜度a	（b）　（c）	$a\leqslant\frac{b_1}{150}$，且不超过2，图（b） $a\leqslant0.003b$，且不超过2，图（c）
5	腹板对翼缘板的中心位置的偏移e	（d）	2
6	腹板的局部凹凸不平度Δ	（e）	每米范围内不超过2
7	扭　曲		长度不大于3 m的构件不应大于1，每增加1 m，递增0.5，且最大不超过2
8	正面（受力面）弯曲度		构件长度的$\frac{1}{1500}$，且不超过4
9	侧面弯曲度		构件长度的$\frac{1}{1000}$，且不超过6

生器、自动切割机……等。起重机的类型可根据拼装场地的不同而选择，如：室内拼装可选用桥式起重机较方便，室外（露天）拼装可选用龙门式起重机，门座式起重机等。如果是临时性拼装场地，还可选用汽车吊，履带吊等。起重机的起重量，可根据最重的一节门

的重量考虑。电焊机可根据闸门设计的要求选用直流电焊机或交流电焊机。若选用交流电焊机，为了电弧气刨的需要，还要另配一台或两台直流电焊机。电焊机的数量，可按一节门叶或两节门叶同时进行焊接考虑，另外加点焊需要的电焊机，则为电焊机总数。

三、拼装场地的准备

拼装场地包括拼焊平台的搭设；起重机的布置；电焊机房、乙炔发生器间和工作间的安排、供水、供电、压缩空气的供应等。

拼装场可布置在室内，亦可在露天。有条件的，以在室内为好。

当车间较小而闸门拼装工作量较大时，车间内无法布置拼装场，则必须布置在露天。露天场地要尽可能靠近车间，以方便零部件的运输和制造工作的统一组织指挥。室外拼装场的布置见图5-4。

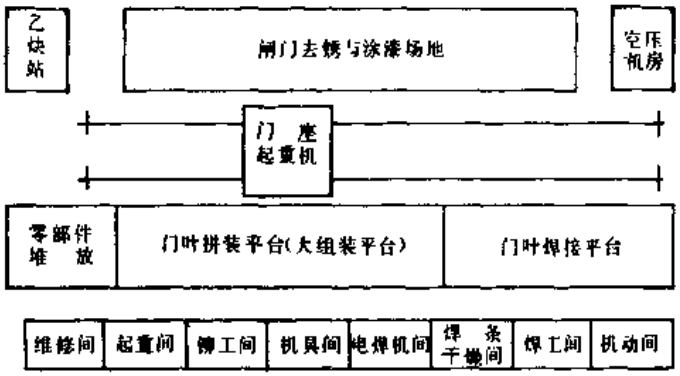


图 5-4 闸门拼焊露天场地布置示意图

由于一般金属结构厂或金结车间并不固定制作平面闸门这种单一的产品，因此，拼装场地的布置既要考虑平面闸门拼装的需要，也要兼顾到可能从事其它金结工程的要求，如埋件、弧形闸门、桥架、屋架、塔架等等。

室外拼装场，要设置一台门座式起重机（或门座塔机、龙门起重机等）。起重机的工作半径可根据生产规模而定。乙炔气由乙炔站集中供应，可用埋管和接管送到现场，以方便使用。乙炔站距明火和焊接场所不得小于10m。空压机房距施工现场应控制一定距离，以减小噪声对现场施工的影响。从空压机房用埋管向现场提供压缩空气，供现场吹扫、风铲、电弧气刨用风。电焊机集中布置在一个机房内，便于集中供电和集中控制。制作合格并准备用于拼装的零部件堆放在平台的一端，以备随时使用。已制作焊接完毕的门节可堆放在门机下面，注意放平，防止变形，以备闸门的大组装。

拼装平台的结构见图5-5。平台的大小视最大单节门的尺寸考虑，若是同时拼装两节门叶也可按两倍尺寸考虑。平台的底层浇混凝土的支墩，支墩要求有一定的埋深，结实可靠。支墩顶部预埋连接钢板，中间层放置较大号的工字钢，其间距按1.5～2m考虑，工字钢与

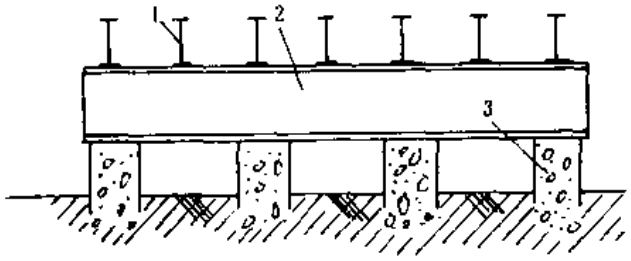


图 5-5 门叶拼装平台结构示意图

1—较小工字钢；2—较大工字钢；3—混凝土支墩

支墩焊牢。上层布置较小号工字钢或小钢轨，与中层工字钢垂直焊牢，间距约0.5～1m，各工字钢顶面要求调平，尽可能在同一平面内，平台顶面离地面约1m的距离。

第四节　门节的拼装

所谓门节拼装就是将已制造合格的零部件拼焊成单节门叶。平面闸门有多根主横梁，高度方向尺寸较大，考虑到运输条件的限制（如果需要铁路运输，平板车正常运输高度不大于3.5m，三级超限高度不大于3.9m，若是短距离的公路运输，如10km以内，其高度可达6m），通常将一扇闸门沿高度方向分成几节，每节两根主横梁，其高度视运输要求而定。

一、面板的拼接

平面钢闸门面板的厚度，大中型闸门一般为8～16mm，且不可小于6mm，整块面板的面积又较大，只能用多块钢板拼焊而成。

1.拼接缝设计

面板拼接缝的设计是一项细致的工作，既要考虑钢板材料的平面尺寸，尽最大限度充分利用钢材，减少边角料的浪费，又要考虑到工艺上的要求，见图5-6。归纳起来，有这样几个方面：

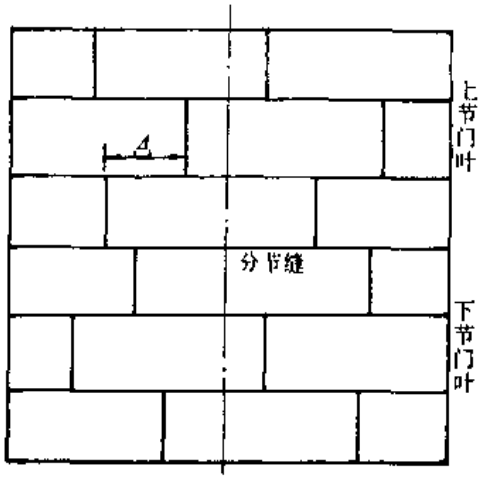


图5-6　面板拼板示意图

（1）钢板长度方向沿水平方向布置，下料宽度既要保证板边线的平直整齐，又要使切去的边废料最少。

（2）各垂直接缝上下必须错开200mm以上，使水平缝与垂直缝形成“丁”字相接。

（3）所有的水平接缝均要避开主横梁的前翼缘、水平次梁等。对于垂直缝与主横梁、水平次梁相交时，应将相交部分焊缝的补强高度铲平。

2.平板

单块钢板在下料之前应在滚板机上进行矫平。如果钢板比较平直，有时也可不必矫平。对于没有滚板机的制造单位，可利用卷板机代替滚板机进行矫平。

3.下料

根据面板拼接缝的设计，各块拼板的几何尺寸是已知的，这种尺寸是设计尺寸。在钢板上画线后要切割下料，这就要预留切割余量；钢板下料后要刨边，必须预留刨边加工余量；焊缝的焊接会引起收缩变形，使钢板尺寸变小，也要预留焊缝收缩余量；画线下料过程中温差的影响也不能忽视，比如：夏天中午气温高达38℃，在太阳下钢板温度可达68℃，而早晚的气温下降到25℃，若下料长12m，在这种温差下，长度变化值为$\Delta L = \alpha T L = 0.000012 \times 43 \times 12000 = 6.19$mm，这么大的变化会影响闸门质量的。

（1）切割余量及边缘加工余量问题，如果用火焰切割下料，切割余量与切割方法、钢板厚度、割嘴的大小有关。一般情况下，预留切割和加工余量可参考第三章第三节内容确定。

（2）对接焊缝的收缩余量问题，对接焊缝在焊接过程中，对钢板进行了不均匀的局部加热，从而引起焊缝的收缩。这种收缩表现在两个方面，即沿着焊缝长度方向的纵向收缩和垂直于焊缝方向的横向收缩。

焊接收缩量的大小，可以用公式估算。比如King推荐对接焊缝纵向收缩量的计算式为

$$\Delta L = \frac{0.12 \times I \times L}{10000 \times t} \tag{5-1}$$

式中 I ——焊接电流（A）；

L ——焊缝长（mm）；

t ——对接板厚度（mm）。

对接焊缝横向收缩可用下式估算：

$$\Delta = \frac{0.2 \times A}{t} + 0.05d \tag{5-2}$$

式中 A ——焊缝横截面积（mm^2）；

t ——对接板厚（mm）；

d ——拼接缝间隙（mm）。

对接焊缝横向收缩量还可根据坡口型式的不同用下式估算：

对于60°的V型坡口：

$$b = 1.15t + (1.7 \sim 3.7)\text{，mm} \tag{5-3}$$

$$\Delta = (0.1 \sim 0.11)\ b\text{，mm} \tag{5-4}$$

对于60°的X型坡口：

$$b = 0.577t + (2.85 \sim 4.85)\text{，mm} \tag{5-5}$$

$$\Delta = 0.11b + (0.5 \sim 0.7)\text{，mm} \tag{5-6}$$

式中 b ——焊缝表面宽（mm）；

t ——板厚（mm）；

Δ ——横向收缩量（mm）。

对于V型坡口背面用电弧气刨清根后再焊接的，另外加刨焊收缩量为：0.7～1.0mm/每次。

由于影响焊接收缩量大小的因素很多，用公式计算收缩量时很难将诸多因素都考虑进去，因此，各结构厂在生产实践中，可以结合本厂的具体条件，或者对产品进行试制，或者焊接试验片，通过对焊接变形进行实际测量，找出本厂产品的收缩规律，制定切合本厂实际的工艺措施和收缩量。

若不便进行试验，或产品量不大，也可不必试验。一般情况下，对于钢材，对接焊缝的纵向收缩量可取0.15～0.30mm/m，横向收缩量近似按表5-2选取。

对接焊缝的纵、横向收缩量既可计算，又可实测，但在闸门实际制作过程中，面板的面

表 5-2　　对接焊缝横向收缩近似值（mm）

钢板厚	V 型坡口	X 型坡口	钢板厚	V 型坡口	X 型坡口
5	1.3	1.2	15	2.0	1.8
6	1.3	1.2	16	2.1	1.9
7	1.4	1.2	17	2.2	2.0
8	1.4	1.3	18	2.4	2.1
9	1.5	1.3	19	2.5	2.2
10	1.6	1.4	20	2.6	2.4
11	1.7	1.5	21	2.7	2.5
12	1.8	1.6	22	2.8	2.6
13	1.9	1.6	23	2.9	2.7
14	1.9	1.7	24	3.1	2.8

积大、纵横向焊缝多，影响因素又比较复杂，而闸门要求又比较高，几何尺寸以毫米计，即使计算准确，也很难保证在下料、对装、焊接后面板的几何尺寸能符合规范的要求。因此，可采取预留较多的余量，等单节门叶焊接完后，再按设计要求修切面板的余量，以保证质量要求的尺寸。对于单节门叶的整块面板，一般在长和宽两个方向上都预留30～50mm的修切余量，这样就比较稳妥。

4. 对接缝的焊接

如图5-7所示，面板的对接焊缝有垂直短缝和水平长缝。为了减小焊接内应力及由此而产生的变形，保证焊接质量，可考虑采用这样几点措施：

（1）焊接顺序：焊接面板时，应先将所有垂直短缝1、2焊完，再焊水平长缝3。采用这种焊接顺序，先焊垂直短缝时，所受到的限制很小，再焊水平长缝时，可以较为自由地变形，产生内应力的倾向也小得多，从而大大地减小波浪变形和产生裂纹的倾向。

在此还要特别强调一点，施焊时应注意丁字接头处的焊接质量，在施焊过程中必须采取措施保证丁字接头部位不产生缺陷。如图5-8所示，先进行短的垂直缝焊接时，应从水平缝上起弧并在另一条水平缝上收弧，待垂直缝焊满后，用风铲或砂轮机将水平缝上的焊块去掉，使该处形成光滑的坡口，再焊水平缝，这样就可以保证丁字接头处的焊接质量。

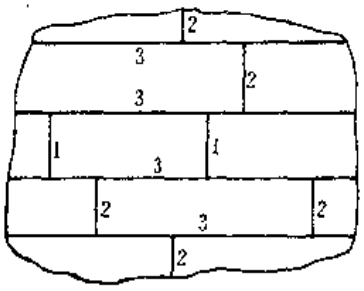


图 5-7　面板对接缝焊接顺序

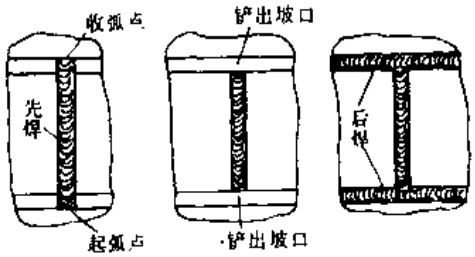


图 5-8　面板丁字接头的焊接过程

（2）采用恰当的对接坡口形式可以减小甚至消除角变形。由于焊缝两面熔敷金属量不相等以及先后焊接的差别，使焊缝两面的焊接收缩量不相等，从而造成角度变形。

对于较薄的面板，可以开V型坡口，先封底，并焊一至两道，翻面清根，将背面清根

部分焊满，再翻面将焊缝全焊完。也可将正面焊缝全焊满，待门节组装焊接之后翻面，根据角变形大小确定清根深度，角变形大的清根深一点，角变形小的清根浅一点，便可调整角变形。对于较厚的面板，可以开X形坡口，两面坡口深度一般不等，先焊较深一面的坡口，翻面清根，同样，根据角变形大小确定清根深度以调整角变形。

实际施工中，为了更好掌握变形规律，最好先焊几块试验片，总结出符合自己实际的坡口型式、施焊顺序、清根深度等，从而较好地控制面板的角变形。

（3）锤击焊缝：锤击焊缝法在焊接中的应用长达四十年之久，但对锤击及其影响仍缺乏系统科学性的资料。

锤击法是使用头部$R3 \sim R5$mm圆角、重约0.3～0.5kg的小扁锤对焊缝进行锤击锻打的方法。通过锻打，使焊缝金属延展伸长，补偿焊接的收缩，以达到减小内应力和变形的目的。施工时，每焊完一道，立即进行锤击，将焊道表面打成密密的小麻点即可。进行锤击时的温度，应当维持在100～150℃之间或在400℃以上，应避免在200～300℃之间锤击，因为此温度金属正处在蓝脆性阶段，锤击容易造成焊缝裂纹。

一般不锤击第一层焊道和最后一层盖面，中间各层均可进行锤击。不锤击第一层主要是为了避免产生根部裂纹。不锤击最后一层盖面，是因为最后一层盖面较薄，锤击会引起表面材料的冷作硬化，而表面层不再施焊，没有加热退火的过程，从而降低焊缝金属的韧性。同时，表面焊道形成较美观的鱼鳞状波纹，锤击形成的麻坑会影响表面的美观。

减小面板对接焊缝引起的内应力和变形的方法很多，例如选择合适的焊接规范、焊接工艺、强制变形等，这里不再论述了。

三、单块门叶拼装

（一）普通具有竖向隔板的齐平连接平面钢闸门的拼装

这种型式的平面闸门在工程中应用最为广泛。如图5-9所示，这种闸门的拼装顺序为：面板→主横梁（大梁）→水平次梁→隔板→两端边梁。具体步骤如下：

（1）铺设面板并在面板上划线定位（放大样）。将合格的面板铺到已搭设好的平台上并调整水平。首先用粉线放出门叶中心线，打上冲眼，用铅油做好标记。其次放出各主横梁、水平次梁、隔板等的位置边线（注意，不能放出各构件的拼装中心线，因为这些中心线在拼装构件后被盖住），或距边线一定距离（约50～100mm）放出检查线，将这些线打上冲眼，用铅油作出标记。

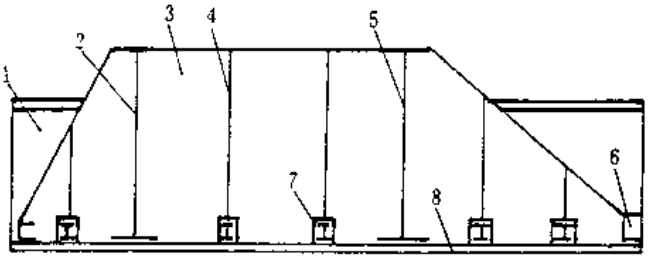


图 5-9　门叶拼装顺序示意图

1—边梁；2　A主横梁；3—大隔板；4—筋板；5—B主横梁；6—顶梁；7—水平次梁；8—面板

划线定位之后，要对其进行检查。检查内容包括上下边距、左右边距、行距、对角线差、面板扭曲等。

划线定位时，要注意加入焊接收缩余量，一般可按1/1000的收缩余量考虑；其次，面板焊缝与主梁前翼缘、水平次梁、隔板等相交的部分要铲平或磨平，以保证拼对间隙不超过1mm。

（2）拼*A*主梁。按面板上已划好的定位线吊立*A*主梁，将腹板调整到垂直位置，可可用吊线锤的方法进行调整。合格后，点焊临时支撑，如图5-10。临时支撑上也可有花篮螺丝，用以调整主梁的垂直。调整前翼缘两边与面板之间的间隙，使其不超过1mm。间隙超过1mm的部分可点焊压码调整，如图5-11所示。间隙合格沿长度方向将翼缘与面板点焊牢固。点焊间距300～400mm，点焊长30～50mm。

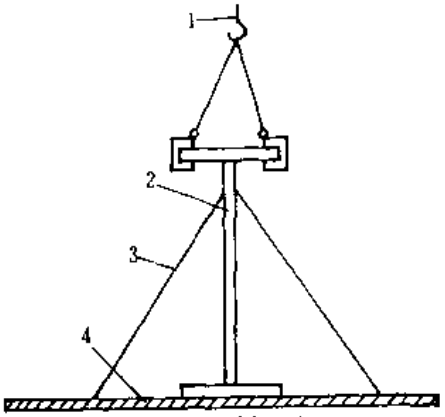


图 5-10　拼*A*主梁

1—吊具；2—*A*主横梁；3—临时支撑；4—面板

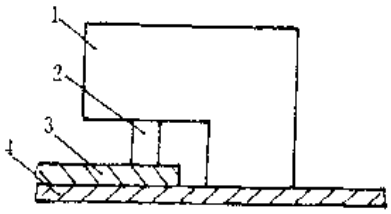


图 5-11　压码示意图

1—压码；2—楔子板；3—翼缘板；4—面板

（3）拼水平次梁。将调直合格的水平次梁按定好的线位放上，检查与面板之间的间隙，超过1mm的部分用压码压实，点焊牢固。

（4）拼*B*主梁左边的全部隔板。隔板上无翼缘的三条边，即与*A*、*B*主梁连接的两边及与面板连接的一边，这三条边在拼装中要起定位作用，必须经过刨边加工，并检查合格。

在*A*主梁腹板上放出拼对隔板的位置线，此线必须与面板上放出的线相吻合。吊立隔板并进行调整，要求隔板与面板、隔板与*A*主梁腹板必须垂直，用大直角尺检查；所有拼对间隙不大于1mm，用塞规检查。间隙超过1mm的部位用拉码调整，合格后按要求点焊。

必须指出，隔板的三边是经刨削加工的，拼对时，主梁腹板、面板必须与隔板边靠拢，以隔板边定位。当出现间隙过大或拼对有困难时，不能随便用割枪对隔板进行修割。这一步如图5-12所示。

（5）吊装*B*主梁。方法与吊装*A*主梁相同。此时一方面*B*主梁的腹板要与各个隔板靠拢，间隙不超过1mm，同时前翼缘还要与面板上的位置相等。调整各处间隙、位置、垂直度等，合格后点焊。

（6）拼对右边隔板、吊装顶梁。方法与要求同前。要注意的是，同一横断面上的左、中、右三块隔板要在同一直线上，不要产生错位，这样受力条件较好。

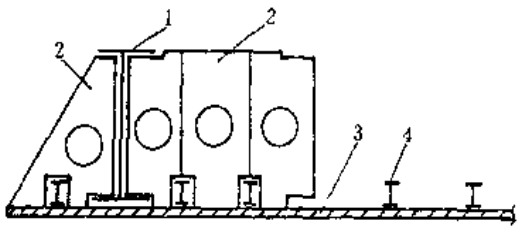


图 5-12　拼对水平次梁和大隔板

1—*A*主梁；2—大隔板；3—面板；4—水平次梁

（7）拼装两端部边梁。将两边梁吊装就位，调整好几何位置、垂直度，边梁腹板与主梁腹板顶紧，前翼缘与面板对齐，后翼缘与主梁的后翼缘对齐，调整间隙符

合要求，点焊牢固。

（8）单块门叶拼装质量检查。单块门叶拼装完毕，交给焊接工序之前要进行整体质量检查，如图5-13所示。检查的项目有：①两根上横梁后翼缘中心线的平行度及间距，其误差不超过2mm。②主梁后翼缘中心线与两边梁后翼缘中心线交点的对角线长度差不大于2mm。门叶扭曲（即两条对角线在几何中心0点的不重合度）不大于2mm。③两边梁的间距l，误差不大于2mm。④隔板的位置、间距、平直度、垂直度等是否符合要求。⑤所有拼对部位的间隙符合要求。

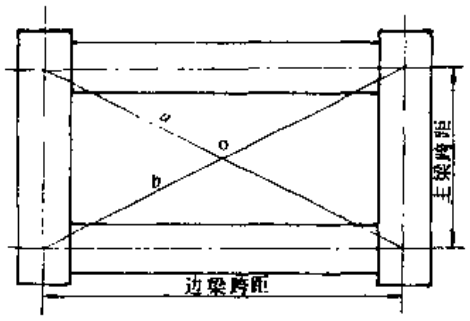


图 5-13　单节门叶几何尺寸检查

检查时必须注意，所有检查的几何尺寸要在设计值的基础上加1/1000的焊接收缩余量。

检查合格后，要作出原始记录。

（二）其它型式平面钢闸门的拼装

其它型式的平面钢闸门，如降低连接、层叠连接等，其拼装顺序、方法和要求与前述闸门基本相同。一般可按下述拼装原则进行：

（1）拼装每一步都要按质量要求施工、检查，不能留隐患；

（2）拼装顺序由下而上，先内后外，以拼装方便、速度快为原则；

（3）加强监督和检查。

第五节　门叶的焊接

每节单块门叶拼装完之后，可交焊接工序，在进行门叶正式焊接之前，要进行以下几项工作。

一、正式焊接前的准备工作

（1）制定焊接工艺措施（焊接工艺卡）。门叶在拼装后的焊缝基本上是角焊缝，这是其特征之一；其二，焊缝多，焊接量大。一节50t重的门叶，约有400余m的焊缝，且焊缝高都不小于4mm；其三，焊缝集中。50t一节门叶的400余m焊缝就集中在约60余m^2的范围之内；其四，又是多个焊工同时进行焊接，热量集中。所有这些，势必引起较大的焊接应力和变形。焊接工艺卡就是要针对这些具体情况，制定合理的焊接工艺，尽量减小焊接应力，并控制变形在允许范围之内。

（2）焊接平台。门叶拼装完并经检查合格后，一般应就地进行焊接，不要移动位置。如果拼装平台有限而必须移动时，首先要对门叶吊点处进行加固性焊接，以防止起吊过程由于门叶的重量将吊点处的点焊拉裂，造成事故；其二，门叶吊运到焊接平台上以后，要重新调平，门叶下的支垫数不得少于四点，平台的地基要坚固，焊接过程中，支垫点处的地基不得自动下沉。如图5-14。

（3）正式焊接前应进行加固性点焊。门叶在拼对过程中所进行的点焊一般都比较短，

且焊脚低，为了防止正式焊接过程中出现的应力将点焊拉裂，应对点焊处进行加固性点焊。

二、钢闸门的焊缝分类与质量标准

按SLJ201—80标准的规定：

（一）闸门的焊缝按其受力和重要程度分

1.一类焊缝

（1）闸门主梁、边梁、支臂的腹板、翼缘板的对接焊缝；

（2）闸门吊耳板和吊杆的对接焊缝；

（3）闸门主梁与边梁的连接角焊缝；

（4）转向吊杆的连接角焊缝。

2.二类焊缝

（1）闸门面板的对接焊缝；

（2）闸门主梁、边梁、支臂的翼缘板与腹板的连接角焊缝；

（3）闸门吊耳板与门叶的连接角焊缝。

3.三类焊缝

不属于一、二类焊缝的其它焊缝（设计有特殊要求者例外）。

（二）焊缝的质量标准

（1）所有焊缝均应进行外观检查。质量标准符合表5-3的规定；

（2）一、二类焊缝的内部质量应选用超声波或射线，按下列规定进行检查：

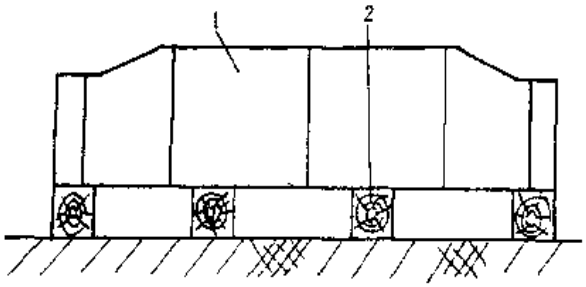


图 5-14 门叶调平焊接

1—门叶；2—支垫

1）超声波探伤的检查长度占焊缝全长：

一类焊缝不少于50%；

二类焊缝不少于30%。

2）射线透照的检查长度占焊缝全长：

一类焊缝不少于20%；

二类焊缝不少于10%。

3）用超声波探伤，当发现可疑波形、而又不能准确判断时，应辅以其他方法检查，进行综合判断。

（3）不合格焊缝的补充检查和返修应符合下列规定：

1）一类焊缝探伤检查发现有不能允许的缺陷时，应在延伸方向或可疑部位加倍补充检查，如补充检查仍不合格，则应对该焊工在该条焊缝上所有焊接部位或整条焊缝进行检查；

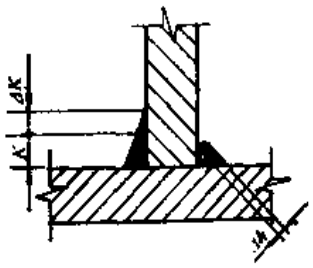
2）二类焊缝探伤检查发现有不能允许的连续缺陷时，应酌情在延伸方向作补充检查，必要时对该焊工在该条焊缝上所有焊接部位进行检查；

3）同一部位的返修次数一般不应超过两次，超过两次的返修应经施工单位技术负责人批准，并作好记录。

需要注意：补充检查的长度，射线透照不少于250 mm，超声波探伤不少于500 mm。

（4）焊缝射线检查工作应按《电力建设施工及验收技术规范(金属焊缝射线检查篇)》

表 5-3　　焊缝外观检查质量标准

序号	项　　目	允许缺陷尺寸（mm）	简　　图
1	裂纹、夹渣	不允许	
2	咬边（t 为板厚）	$t \leqslant 10$，咬边深度不大于0.5 $t > 10$，咬边深度不大于1.0，连续咬边长度不应大于100，两侧咬边累计长度不应大于焊缝全长的10%	
3	对接焊缝加强高度（Δh 为加强高度）	$t \leqslant 10$，$\Delta h = 1.0 \sim 2.0$ $t > 10$，$\Delta h = 2.0 \sim 3.0$	 （a）
4	焊缝宽度	盖过每边坡口 2 ～3，并平缓过渡	
5	角焊缝尺寸和加强高度（K 为焊脚高）	$K = 6 \sim 12$，$\Delta K = \begin{matrix}+1.5\\-1.0\end{matrix}$，$\Delta h < 1$ $K > 12$，$\Delta K = \begin{matrix}+2\\-1\end{matrix}$，$\Delta h < 1.5$	 （b）
6	气　　孔	一类焊缝：不允许有气孔 二类焊缝：1.0直径气孔，每m不多于3个，其间距不小于20 三类焊缝：1.5直径气孔，每m不多于3个，其间距不小于20	

DJ 60—79规定进行。一、二类焊缝内部质量应按下列规定评定：

1）凡在透照底片上发现有裂纹的焊缝，应评为不合格；

2）凡在透照底片上发现有沿焊缝坡口方向的未熔合，或双面施焊的对接焊缝根部接合处有未焊透的焊缝均应评为不合格；

3）气孔和夹渣的合格级别应符合表5-4的规定；

4）不能焊背缝且无垫板的对接焊缝，根部未熔透深度不应大于板厚的20%，最大不超过 3 mm。当未焊透的深度在板厚的11%～20%范围内，则其总长度不得超过全长的1/2；

5）开坡口的角焊缝，如设计上无特殊要求，根部允许未焊透（不包括岔管分叉处的角焊缝），未焊透的深度不应大于板厚的25%，最大不超过 4 mm；

6）超声波探伤的焊缝内部质量亦按本条规定评定。

三、焊接变形及减小焊接变形的措施

如前所述，门叶的焊缝多，焊接量大，所以，门叶的焊接变形总会产生的。我们的目的就是探讨门叶在焊接过程中的变形规律及减小焊接变形的措施，以保证焊接后门叶的质

表 5-4　　气孔和夹渣的合格级别

序　号	结构类别	符合DJ 60—79焊缝质量等级	
		一类焊缝	二类焊缝
1	钢　管	I	II
2	闸　门	I	II
3	拦污栅		III

量满足标准的要求。

（一）焊接变形

影响门叶焊接变形的因素是多方面的，所以焊接过程中出现的变形也是错综复杂的。归纳起来，门叶的焊接变形可分为局部变形和整体变形两大类。

（1）局部焊接变形：这种变形对门叶整体的几何尺寸没有影响或影响不大，但影响局部的受力强度、止水效果及外形美观。例如：当拼对间隙过大时可能引起局部的鼓包或凹陷；翼缘板的不对称焊接可能造成不垂直；面板上下边缘的局部变形则可能影响止水效果等。

（2）焊接整体变形：门叶焊接整体变形有整体横向弯曲变形、整体纵向弯曲变形，以及整体几何尺寸的改变。由于门叶拼装后大多数焊缝位于面板这一侧，一般情况下，门叶焊接后这种整体弯曲变形有在面板这一侧凹进的趋势；如果焊接工艺的正确或由于预留反变形等原因，也可能出现面板凸出的整体弯曲。门叶整体弯曲示意图见图5-15。

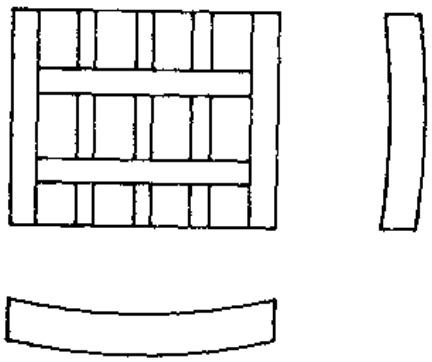


图 5-15　门叶整体变形示意图

门叶的整体弯曲，规范SL J201—80 中规定应凸向迎水面，当面板位于门叶的上游侧作挡水面时，则面板应外凸。这个方向的整体弯曲对闸门的工作是有利的。

门叶的整体扭曲变形就是门叶的四角不在同一平面内。这种整体变形直接影响止水效果，同时使主轮（或胶木滑道）的受力不均匀，产生过大的内应力。严重时甚至不能进入门槽。产生扭曲变形的原因大致有这样几个方面：①焊接前的检查疏忽，使拼对中的扭曲导致焊后的扭曲；②焊前门叶的移动导致扭曲，又未能及时矫正，导致焊后的扭曲；③焊接平台地基不牢固，在焊接过程中，地基的不均匀下沉导致焊后的扭曲；④焊接工艺不当或施焊人员不按工艺要求进行焊接；⑤其它原因等。

整体几何尺寸缩小及两对角线不等，这是焊接收缩变形的必然结果。整体几何尺寸如果收缩后小于设计值，也会影响闸门的正常工作。比如：当门叶的总宽小于设计值时，两边梁的跨距也缩小，导致边梁中心偏离主轨承压中心。门叶的两对角线不相等，则门叶变成菱形，上下边与两侧边不垂直，闸门下落关门时，底边倾斜而导致底止水的漏水，或两侧水封的压缩量不均匀而漏水。

（二）减小焊接变形的措施

门叶的变形可能由于拼装所致；可能由于平台不均匀下沉所致；也可能由于吊装、放

置不当或焊接工艺不当所致。在此仅讨论减小焊接变形的措施。

1.预留焊接收缩余量

为了弥补焊接收缩后整体几何尺寸的减小，根据实践经验，在拼装时预留1 1000的焊接收缩余量，是比较切合实际的，焊后一般能满足要求。也可以根据自己的经验进行适当调整，但总体在1/1000左右。

2.在门叶拼装中注意顶紧所有接缝

在拼装中尽可能将接缝顶紧，局部间隙不超过1mm，这是减小焊接变形的有效办法。拼装间隙越大，敷熔的金属量也越多，所引起的焊接变形也越大。当局部间隙过大时，严禁在间隙处加填塞物进行焊接，而应该在大间隙处先进行堆焊，堆焊到间隙合格再拼装焊接。

为了减小拼装间隙，要求下料准确，进入拼装的零部件必须是合格的。

3.制定合理的焊接工艺

焊接工艺制定是否合理，对减小门叶的焊接变形具有十分重要的意义。要制定出合理的焊接工艺，必须具备一定的实践经验。闸门焊后的整体变形是无法用计算方法确定的。有实践经验的人制定出的焊接工艺一般是能控制门叶变形的。由于变形情况较复杂，焊接工艺也并非一成不变，有时要在焊接过程中根据变形的具体情况进行调整。

焊接工艺包括焊接规范、焊接程序、焊工人数、工位号及焊接方法等。

（1）焊接规范：焊接规范的选择应按焊接课程的内容确定。值得提出的是，同时进行焊接的多个焊工必须严格按工艺卡中的规定进行施焊。所用的焊接规范，如焊条直径、电流强度、焊接层次、焊接速度、焊接顺序、焊接方法、焊接方向等都要一致。

（2）焊接程序：以门叶垂直中心线（或隔板）、主梁中心线等为界，将整个门叶划分为几个对称的焊接区域（划分时应为偶数而不要为奇数），如图5-16所示。焊接时必须由中心向外侧对称分段逆向施焊。

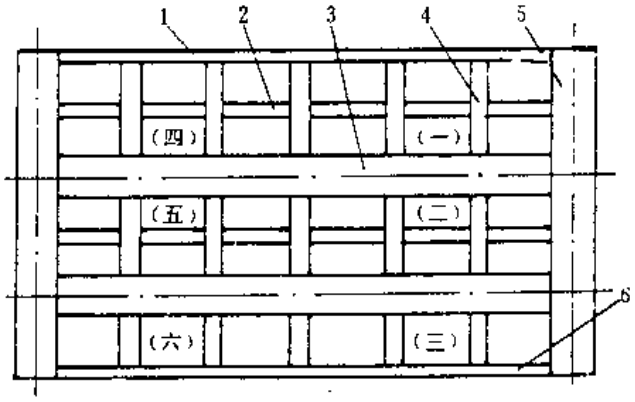


图 5-16 门叶焊接分区域示意图

1—顶梁；2—水平次梁；3—主梁；4—隔板；5—边梁；6—底梁

焊接的顺序可以这样安排：第一步：隔板连接：①隔板后翼缘与主梁后翼缘平缝；②隔板腹板与主梁后翼缘角缝；③隔板与主梁立缝；④隔板与筋板立缝。第二步：梁系与面板之间连接的平角缝，从中间向四周对称、分段、退步焊接。第三步：两边梁连接缝：①边梁与主梁连接焊缝；②水平次梁与边梁腹板连接缝；③边梁与面板连接缝。第四步：翻转门叶气刨清根后，焊面板迎水面焊缝（如制作面板时，迎水面焊缝已焊完，此步从略）。

（3）焊工数和工位号：焊工数就是同时参与焊接的工人数。一般说来，是按门叶划分的焊接区域数决定的。也可以根据焊缝的不同和对称的原则决定焊工数。在门叶的焊接过程中，焊工数也并不是一成不变的，可以根据需要作适当调整，有时八个人，有时也可

能十个人或六个人，成偶数变化。工位号就是每个焊工必须焊接的位置的代号。在焊接工艺卡中，对于焊工数和工位号都要作出明确的安排和规定。

（4）焊接方法和要求：这方面的内容在焊接工艺卡中规定得很完整也很具体，现举例如下：①焊接前必须对焊缝进行清理，可用钢丝刷清理或烤枪烘烤，烘烤应按要求进行。②闸门应在自由状态下进行焊接，不得强行固定。③对于一、二类焊缝必须由合格焊工进行焊接。④施焊时，某一单元、某一部分的焊缝应连续焊完，不宜中断。⑤采用对称分段焊法，分段长度可为100～200mm。⑥多层多道焊时，层间接头应错开30mm以上。⑦短弧操作，直流反接。⑧焊缝形状系数（即熔宽/熔深）控制在1.3～2.0为宜。⑨对大断面的焊缝，焊条摆动的宽度不超焊条直径的3～4倍，每层焊接厚度不超过焊条直径的1.5倍。⑩焊条在焊接方向与钢板间的夹角为60°～80°之间，焊接时不得随意挑弧……等。

4.加强变形监测和控制

焊接过程中门叶的变形是一个很复杂的问题，受到很多因素的影响和制约，而且这些因素在整个焊接过程中又在不断变化。比如：周围环境气温早、中、晚的变化会影响到变形；同时参加焊接的各焊工的施焊速度、焊接电流等也在不断变化，造成焊接线能量的变化，也会影响到变形等。因此，在施焊过程中，有可能出现异常变形。为了避免出现这种情况，应派专人对门叶的变形情况随时进行监测，以便随时发现问题并及时处理。

对于出现整体弯曲，若是按规范要求凸向迎水面，且不超过允许值，则是正常的；若是凸向相反的方向则必须进行调整。可以用调整焊接线能量的方法，用改变焊接顺序的方法，用改变门叶支垫点等方法加以控制。

第六节　门叶质量检查及焊接变形的修复

门叶在拼装完之后，要进行一次全面的质量检查，不合格不得移交焊接工序进行焊接；门叶在焊接过程中，随时要进行变形的监测；全部焊完之后，还要进行一次质量检查。合格时要作出记录，不合格要进行处理修复。

一、门叶制造质量要求

制造、组装的允许偏差见表5-5，焊接质量要求见焊缝质量标准。

二、检查方法

（1）门叶的横向弯曲和纵向弯曲的检查。门叶的横向弯曲通过主梁中心线检查，纵向弯曲通过两边梁中心线检查。测点布置于主梁和边梁的后翼缘中心线处，间距1.5～2.0m，在梁的两端及中间应布置测点，测点数为奇数。

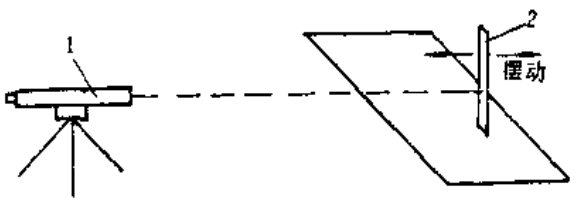


图 5-17　水准仪测平直度示意图

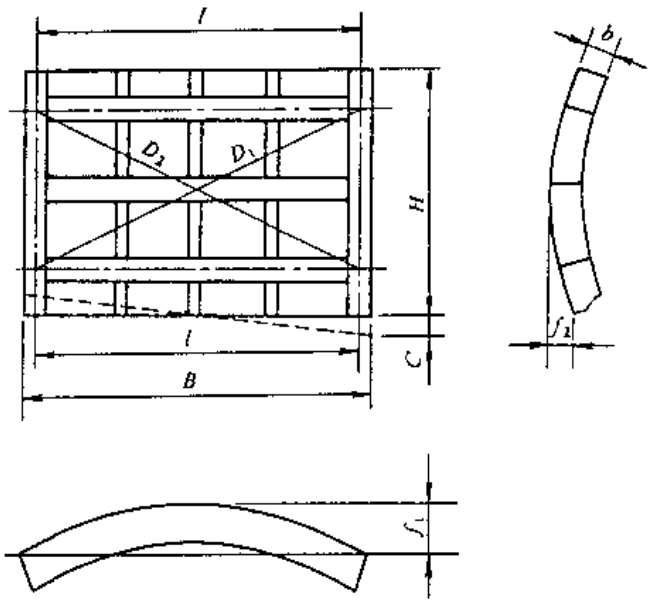
1—水准仪；2—钢板尺

具体检查时，在门叶附近架立水准仪，水准仪的高度，比待测点高出100mm为宜，太高会使读数出现误差。测量读数时，应将钢板尺前后稍加摆动，读取最小值，如图5-17所示。

（2）门叶扭曲检查。扭曲值可用水

表 5-5　　平面闸门门叶制造、组装的允许偏差（mm）

简图



序　号	项目及代号	门叶尺寸	允许偏差
1	面板与梁组合面的局部间隙		1.0
2	门叶横向的弯曲度f_1		$\frac{B}{1500}$，且不超过6
3	门叶竖向的弯曲度f_2		$\frac{H}{1500}$，且不超过4
4	门叶厚度b	门厚：≤500 501～1000 >1000	±3 ±4 ±5
5	门叶外形高度H 门叶外形宽度B	门高或门宽：≤5000 5001～10000 10001～15000 >15000	±5 ±8 ±10 ±12
6	对角线相对差D_1-D_2	取门高或门宽中尺寸较大者： ≤5000 5001～10000 10001～15000 >15000	 3 4 5 6
7	扭曲	门宽：≤10000 >10000	3 4
8	面板局部凹凸不平度	面板厚度t： 8～10 10<t<16 ≥16	每米范围内不超过： 6 5 4
9	两边梁中心距	门宽：≤10000 >10000	±3 ±4

续表

序号	项目及代号	门叶尺寸	允许偏差
10	两边梁不平行度 $f \quad l$	门宽：≤10000	3
		门宽：>10000	4
11	侧止水螺孔中心至门叶中心距离		±1.5
12	顶止水螺孔中心至门叶底缘距离		±3
13	门叶底缘不平度		2
14	门叶底缘倾斜度 C		3
15	止水座面不平度		2
16	两边梁底缘（或承压板）不在同一平面内的偏离值		2
17	自动挂钩定位孔（或销）中心距		±2
18	纵向隔板错位		2

注 1. 门叶横向弯曲度通过各横梁中心线测量，竖向弯曲通过两边梁中心线测量。门叶整体弯曲应力求凸向迎水面，如出现凸向背水面时，其弯曲度不应大于3mm、但图纸有规定者，则应符合图纸规定；
2. 门叶宽度B和高度H的对应边的偏差值应力求正负一致（本规定适用于其他型式的闸门）。

准仪测量，亦可拉线检查。用水准仪检查时，水准仪的架立及钢板尺读数的方法与前述相同。每节门叶取四点，即上下主梁中心线与两两边梁中心线的交点，用水准仪测出这四点的读数，再计算门叶扭曲值，即：

$$\text{扭曲值} = \left| \frac{(\text{一对角线两点读数之和}) - (\text{另一对角线两点读数之和})}{2} \right|$$

这种方法检查扭曲比较准确，而且可以和整体弯曲的检查同时进行。

拉线检查扭曲时，所用线为放样下料时的丝线，四个人在对角拉两根线，通过对角四点，再用钢板尺测量两线在交点的不重合距离即是门叶的扭曲值。四人拉线要均匀适度，用力太大线被拉断，用力太小又不准确。这种方法简单、方便、灵活，但测量精度差。

（3）门叶几何尺寸检查。进行几何尺寸检查之前，应对测量用的钢卷尺进行校验。校验应由负责测量的部门进行，经过校验的钢卷尺方可使用。

用钢卷尺进行悬空测量时，两人用力拉紧，钢卷尺会伸长，所以在测量时要根据测量距离和拉力大小进行修正，修正值见表5-6［摘自TJ231（四）—78］。

测量时若钢尺不悬空，而是放在门叶上，此时拉力很小，不必进行修正。

门叶焊接完之后，进行几何尺寸检查应以设计尺寸为标准。

（4）局部不平度的检查。面板、腹板等的局部不平度可用1m的钢板尺进行检查。将1m的钢板尺侧放在钢板上，配合塞尺，便可检查出局部不平度。

表 5-6　　用钢尺测量跨度的修正值

跨度（m）	拉力（kg）	钢尺截面尺寸（mm）			
		10×0.25	13×0.2	15×0.2	15×0.25
		修正值（mm）			
10.5	10	2	2	1	1
13.5		2	2	2	1
16.5		2	2	2	0
19.5		3	2	1	0
22.5	15	6	5	4	2
25.5		6	6	4	2
28.5		7	6	4	2
31.5		7	6	4	1

注　1.测量时所得钢尺上的读数加上修正值即为实际跨度；
2.测量时钢尺和桥架温度应一致，并不应受风力而飘动。

三、门叶焊接变形的修复

门叶的焊接，只要工艺正确并加强监控，变形一般是不会超标的。但有时也会出问题，使整体变形值超标。有的局部变形是不可避免的。所以，门叶焊完之后，对这些变形要进行矫正。

常用矫正方法有机械力矫正法和火焰矫正法两种。

机械力矫正法是利用机械力（如压力机、千斤顶、螺丝、重物等）进行顶、压、拉等办法，使构件产生与焊接变形相反的塑性变形，以抵消焊接变形，从而达到矫正的目的。

火焰矫正法就是利用对金属构件进行不均匀的局部加热所产生的变形去抵消因焊接而引起的变形，以达到矫正的目的。

对于制造闸门常用的Q235钢和16Mn钢，具有良好的火焰矫正性能。使用火焰矫正对其机械性能几乎没有影响。

（1）面板上、下边缘角变形的修复：面板上、下边缘与水平次梁的角焊缝焊接后，面板边缘会产生角变形，如图5-18所示。这种变形会影响水封的安装及止漏效果。这种变形在门叶焊接中无法避免，必须进行矫正。

这种变形的矫正一般使用火焰矫正法。矫正时，应根据角变形的大小采用点状加热或线状加热。有时变形较大，为了加强矫正的效果，可以用水火矫正法，并辅用千斤顶进行顶压，变形是可以矫平的。

（2）整体横向弯曲的修复：当门叶横向弯曲变形超标时，可将门叶凸出面朝上平放，两端部支垫，中间悬空，如图5-19所示，用火焰在上表面呈线状加热，并在主梁的上翼缘附近的腹板呈三角形加热，还可以在门叶的中部压上重物，利用加热后的收缩和重量矫正变形。

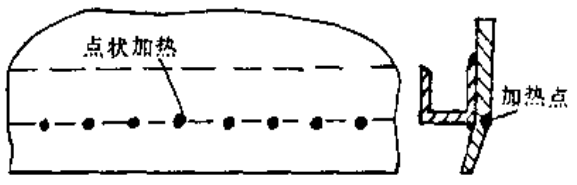


图 5-18　面板边缘角变形的修复

（3）门叶扭曲的修复：门叶扭曲值

超标，可用机械力强制顶压进行修复或火焰加热加机械力顶压同时进行修复。

如果有条件，可设专用矫正平台，用油压机（或其他形式的压力机）进行矫正，不但效果好、速度快、且易于掌握。

用机械力进行矫正修复时，值得注意的是要掌握好卸去外力后门叶的回弹量。如果矫正过量，回弹小，则会出现反向变形。所以，一般难于一次矫正合格，可分步矫正直至合格。

用火焰加热矫正扭曲变形也是可行的。由于火焰加热时其横向收缩变形大于纵向收缩变形，所以，将门叶平放平台上呈自由状态，支垫起向下的两对角，沿上翘的两对角方向呈线状加热。加热一遍，检查一次，直至合格。注意不要在一条线上重复加热，可在平行线上加热，见图5-20。

当门叶扭曲较大时，可用火焰加热与机械力顶压配合进行矫正，一般是可以达到矫正目的的。

（4）门叶局部不平的矫正：门叶的面板、腹板等在焊接之后可能出现局部的凸凹不平（俗称鼓包），这种局部不平超过规定值时，也要进行矫平。图5-21表示面板的下凹变形。此时可用线状加热立板凸起的部分，利用加热后产生的角变形使下凹的面板恢复平整。对于腹板上出现的鼓包，从凸起部分的侧边平的地方开始进行线状加热，逐步向凸起中心围拢，直至矫平。注意不能从凸起中心开始加热，这样达不到预期的效果。

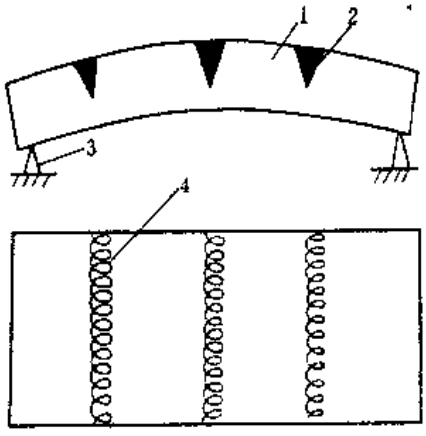


图 5-19　门叶整体横向弯曲的修复

1—门叶；2—三角形加热；3—支垫；4—表面加热

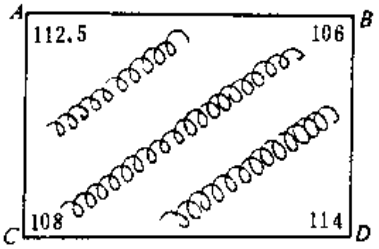


图 5-20　火焰法矫正门叶扭曲

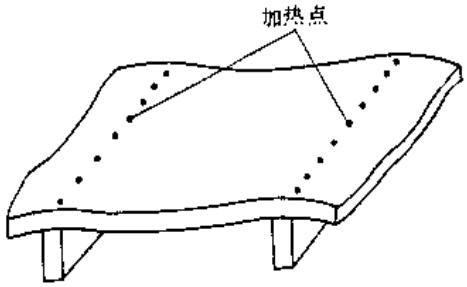


图 5-21　面板不平的火焰矫正

第七节　平面钢闸门的厂内整体预组装

由于每扇平面闸门沿高度方向分节，单节门叶加工合格后，要进行整扇闸门的预组装。预组装的目的，就是将分开制造的门叶，按一扇闸门的设计要求，组装成整体，以满足几

何形状、几何尺寸和变形允许值的要求；同时，在预组装中还要进行起吊装置、反向装置、侧向装置、承压装置（胶木滑道或主轮装置）、水封座等附件的装配或预装配。

一、搭设预组装平台

组装平台只要平行、等高地搭设两条即可。平台的相对高度一般为0.6～0.8m，平台的跨度L必须保证闸门正、反两面都能进行组装。平台的长度根据组装单元而定，平台长度应大于组装单元长度3m左右。当一扇闸门高度过大时，可分为两个组装单元（即两大节，每大节包括2～3小节门叶）。闸门总高不太大时，一般就不分大节，一次组装一扇闸门。

组装平台要求有足够的强度和刚度，除了承受闸门的重量外，还要能承受闸门移动调整时的千斤顶的压力，以及闸门组装完后立门时的局部过大的压力。平台的顶面不平度控制在5mm之内。组装平台见图5-22。

二、闸门组装

（一）门节组合的选择

在闸门制造中，相同规格的闸门一般有多扇，因此相同规格的小节门叶也就有多节。这就存在一个用哪几节门叶组合为一扇闸门的问题。在门叶制造完毕后，都存在有变形、误差、各小节门叶的变形、误差又各不相同。比如，门叶的长、宽、高、对角线长、扭曲、跨度等，各小节门叶检查的结果都不一致。在闸门组装时，应选择边梁跨距、门叶厚度相等或接近，以及各小节门叶高度相加等于或接近设计高度的那些小节门叶组合为一扇闸门。

如果只生产一扇闸门，各规格的门叶只有一节，就不存在选择的问题。

（二）中心线和对角线的调整

将选择好的各节门叶按顺序吊放于平台上，使面板朝上。首先调整各节门叶的中心线在一条直线上，使节间的间隙为2mm左右。中心线和间隙调好之后，再检查总对角线长度，要求两对角线长度差不超过允许值。若超过允许值，可适当调整各节间的间隙，使间隙一端大一端小，以满足对角线的要求。合格后在每条间隙的两端点焊定位挡板，防止已调好的中心线及对角线发生变化，如图5-23所示。

（三）闸门调水平

以每小节门叶边梁中心的两端定点，作为调平的基准点，每节门叶四点。架立水准仪，用千斤顶，

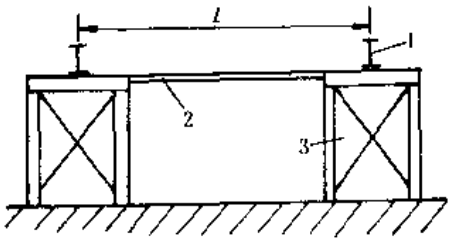


图 5-22　组装平台结构示意图

1－轨道钢；2－连系杆；3－支墩

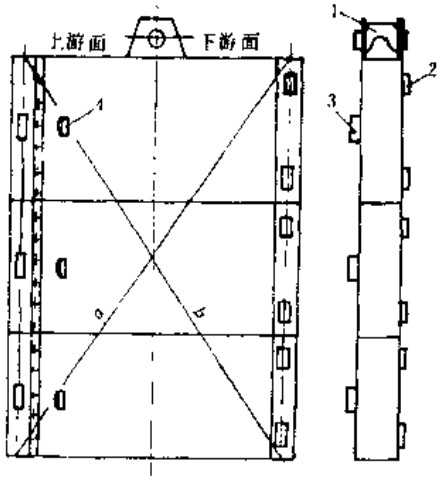


图 5-23　闸门拼装示意图

1－吊头；2－胶木滑道；3　反向装置；4－侧向装置

楔子板等将各节门叶调在同一水平上，误差不超过允许值，在边梁处的面板错牙不超过1mm。

在调平过程中会遇到门叶扭曲对闸门调平的影响问题。若门叶扭曲过大，应先矫正再进行组装。若扭曲值在规定之内，或超差很小，可将门叶的扭曲值上下左右均匀分布，使整扇闸门的不平度尽可能最小。

在闸门调平中，应尽量使面板调平，各节门叶在厚度上的误差集中到背面去。这样，面板比较平整，对水封座的组装有利，而集中到背面的误差，由胶木滑道或主轮装置来补偿调整。

值得注意的是，一扇闸门由几小节门叶，（如三小节门叶组成时），上、中、下三节门叶的扭曲方向应两两相反，这样可以保证整扇闸门的扭曲值为最小。如果三小节门叶的扭曲方向相同，则在保证调平的情况下，整扇闸门的扭曲值会增大，并且总是大于各小节门叶的扭曲值。如图5-24所示，三小节门叶的扭曲均为4mm，是合格的。如果按（*a*）图组合，各节门叶的扭曲方向相同，在要保证面板接缝错牙不超过1mm的条件下，不论怎样调整，整扇闸门的扭曲值和面板不平度总大于4mm，虽然各节门叶是合格的，但整扇闸门是不合格的。若如（*b*）图，各节门叶的扭曲也是4mm，由于扭曲方向相反，组装起来后，整体扭曲和面板不平度仍为4mm，且接缝错牙为零，这样，整体质量较好。

（四）质检和标记

整体组装完后，要进行质量检查。检查内容包括扭曲、不平度（沿两边梁中心线检查），面板错牙、边梁腹板错牙、对角线长度、整体高度、两边梁中心跨距、两边梁后翼缘错牙等。检查合格之后作出记录。

由于小节门叶是运输单元，组装合格后并不焊接成整体。但已组装好的闸门为了方便安装现场的再组装，应作出标记并进行可靠的定位。

如图5-25所示，在两边梁中心线的面板上打上规定距离（如100mm）的两个冲眼，并用铅油对这些冲眼作出明确的标记。

所谓定位就是把已经组装合格的各节门叶之间相互位置关系用定位板的方法固定下来。如图5-26所示。在两边梁接缝处的面板上，边梁腹板上，边梁后翼缘上分别点焊定位板。此外，在每小节门叶的固定位置用钢印打上门叶的编号，并用铅油作上明显标记。

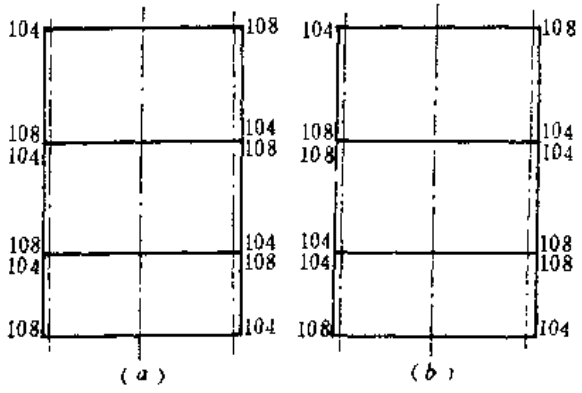


图 5-24　闸门扭曲调整

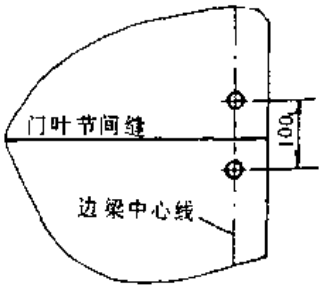


图 5-25　门叶定位标记

三、闸门附件组装

平面闸门的附件包括吊头、侧向装置、反向装置、止水装置、支承装置（胶木滑道或主轮）等。由于闸门仍要以小节为单位运到现场，这些附件到现场进行组装。对于几何尺寸和重量较小的闸门，若运输条件允许，可在厂内整体制造并组装附件，整体运到现场安装。

闸门附件组装见闸门安装部分。

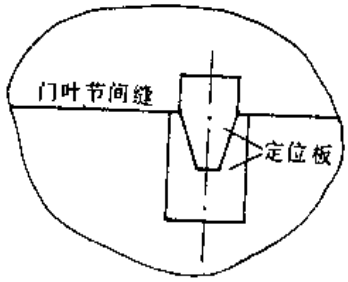


图 5-26　门叶节间定位板

第六章　弧形钢闸门的制造

第一节　概　　述

弧形闸门是水利水电工程中广泛应用的门型之一。它具有结构简单、所需闸墩的高度和厚度较小、没有影响水流流态的门槽、启闭力小、操作方便、埋件少等优点。但同时又有所需闸墩较长、无互换性、不能提出孔口以上进行检修、总水压力集中于支座处，对土建结构不利等缺点。这种门型常用于水工建筑物上作为工作闸门。

弧形闸门有露顶式和潜孔式两种。露顶式弧门的门顶露出上游水位以上，没有顶止水，只有侧止水和底止水，面板曲率半径R一般取门高的1.0～1.5倍。潜孔式弧门有顶止水、顶止水与门楣接触，它与侧止水、底止水形成封闭的“⊏⊐”型止水。面板曲率半径可取门高的1.1～2.2倍。弧门支铰一般布置在下游侧，其高程要考虑到不受水流和漂浮物冲击的影响。露顶式弧门如图6-1所示。

弧形闸门主要由门叶、支臂和支铰等三大部分组成。闸门在结构上必须具有足够的强度和整体刚度，并具有良好的工艺性，方便制造、运输、安装、防锈蚀和检修，并尽可能节省钢材。按主梁布置方式的不同，弧门可分为主横梁式和主纵梁式。梁系的连接形式又分为同层连接（等高连接）和层叠连接（非等高连接）等形式。目前常选用的有主横梁同层布置、主纵梁同层布置和主纵梁层叠布置三种形式。

主横梁同层布置的型式见图6-2所示，由水平次梁、垂直次梁（大隔板）和主横梁共同组成梁格。梁格的长短边比例一般为1.5～3.0，且长边与主梁的轴线方向相同，面板支承在梁格上并与梁格焊接成整体，支臂与主横梁用螺栓连接而构成刚性之框架。这种结构的优点在于整体刚性好，结构简单，适用于宽高比比较大的孔口。

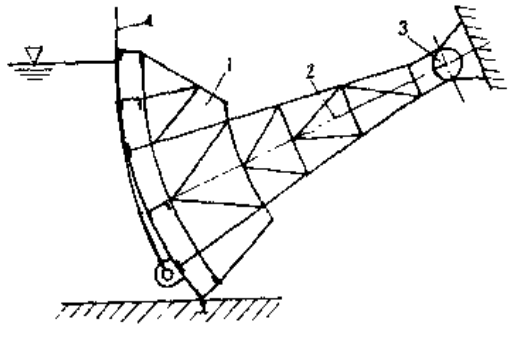


图 6-1　露顶式弧形闸门

1—门叶；2—支臂；3—支铰；4—启闭钢绳

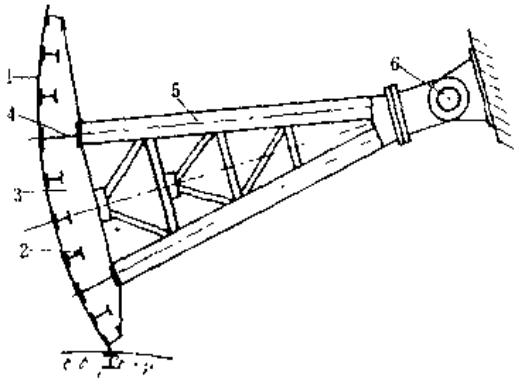


图 6-2　主横梁同层布置

1—面板；2—水平次梁；3—隔板；4—主横梁；5—支臂；6—支铰

主纵梁层叠布置如图6-3所示，水平次梁与垂直次梁组成梁格，面板支承在梁格上且与梁格焊成整体。梁格与两条主纵梁相连，主纵梁再与支臂以螺栓连接而组成主框架。这

种结构的特点是便于分段，安装拼门简便，但梁系的连接高度增大了，且整体刚性不如同层布置好。这种结构形式适用于宽高比比较小的场合。

主纵梁同层布置如图6-4所示，两根主纵梁与多根垂直次梁平行且前端（与面板连接端）平齐，并与面板焊成整体。横梁支承在垂直次梁上，其后端与主纵梁齐平。主纵梁与支臂用螺栓连接而成为主框架，其特点是面板直接参与主纵梁的工作，降低了梁格的高度而增加了整体刚度。但主纵梁的制造加工要求较高，安装拼门较困难。适用于宽高比比较小的弧门。

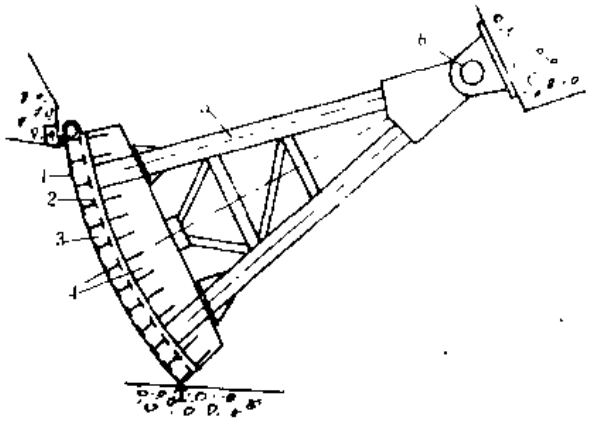


图 6-3　主纵梁层叠布置

1－面板；2－水平次梁；3－垂直次梁；4－主纵梁；5－支臂；6－支铰

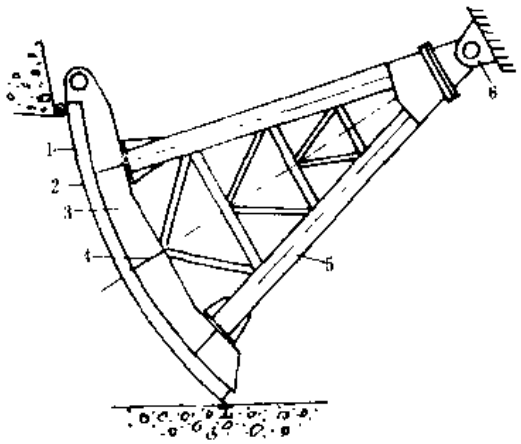


图 6-4　主纵梁同层布置

1－面板；2－垂直次梁；3－主纵梁；4－横梁；5－支臂；6－支铰

主横梁式弧形闸门的支臂与主横梁组成框架有三种型式，如图6-5。其中，Ⅰ型框架结构简单，且由于主横梁的悬臂部分的负弯矩而减小了跨中的正弯矩，从面用钢较省。但需要特定的土建支承条件，如露顶式弧门要增设支承闸墩或支承横梁，这就增加了土建工程量。不过，在潜孔式孔口上则提供了天然的支承条件，因而应用较多。

Ⅱ型框架，斜支臂支承在闸墩的牛腿上，既具有Ⅰ型框架的优点，又不增设支承结构，这是其有利的一面。但斜支臂在工作中产生侧向推力，支臂和支铰的几何关系较为复杂，给制造和安装增加了一定的难度。这种型式多用于大跨度弧门。

Ⅲ型框架结构简单，制造安装方便，但由于跨中弯矩较大，因而用钢材较多，只在闸孔空间受到限制时应用。

主横梁式弧形闸门多采用双主梁布置，每侧支臂的肢数与主横梁数相同。双主梁为等荷布置，两根主梁之间的距离要满足制造、运输和安装的要求。随着大型水利水电工程的日益增多，门高增大，三肢杆及多肢杆支臂的弧门也有所应用。

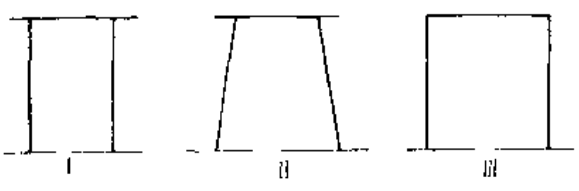


图 6-5　主横梁式弧门的主框架型式

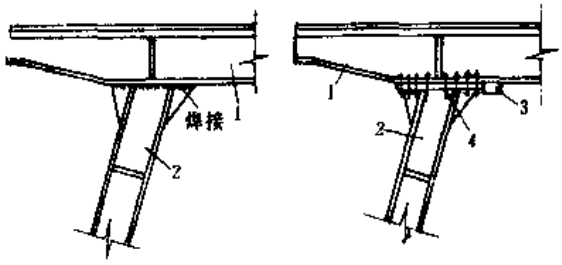


图 6-6　弧门支臂与主横梁连接形式

1－主横梁；2－支臂；3－抗剪板；4－连接螺栓

支臂与主横梁的连接要求具有足够的强度、刚度和可靠性。连接的方法有焊接和螺栓连接两种，见图6-6。焊接连接由于其不可拆性及其安装定位不方便而一般不再使用。螺栓连接则无上述不足，而且利用抗剪板承受连接部分的横向剪力，使得螺栓只承受弯矩产生的拉力，可大大减小螺栓尺寸且工作安全可靠，所以这种连接方法应用较广。

第二节　弧门制造的准备工作

弧形钢闸门技术要求较高，制造工艺较为复杂。施工准备工作包括场地、设备及材料的准备；已加工好的零部件要进行复检；弧形切割轨道的制作；放样平台、门叶拼装弧形台及总预组装台的搭设等。

一、场地布置

弧形闸门制作场地包括零部件制作场地、门叶拼焊场地和总体预组装场地。与平面钢闸门相比，弧门有其特殊性，它的面板、大隔板、边梁等呈弧形，这些部件的加工制造就有特殊的要求。

零部件的制作场地应安排在车间内。应将钢板、型钢的矫正、放样下料，刨边加工，面板卷弧，零部件的对装、焊接，零部件的矫正等工序布置成流水作业线。

闸门的弧形件、卷弧用的样板、下料用的弧形轨道等都需放大样，因此车间要有足够大的放大样平台，其大小可根据弧门的规模而定，最大尺寸最好按弧门曲率半径确定。平台表面要水平且光滑平整，结构上要有足够的强度和刚度。

门叶拼装和总体预组装场地可视弧门大小而定，较小的弧门，场地布置在厂内则比较方便，对于大型弧门则一般布置在露天。

弧形闸门的露天拼装场地与平面闸门的露天拼装场地相比，两者的基本要求是相同的。由于弧形闸门的特殊性，拼焊台要根据曲率半径搭设成弧形的，总体预组装台要考虑门叶、支臂、支铰的组合等。

二、门叶拼焊弧形台

在弧形闸门的制造中，门叶一般采用卧式拼装法，即面板的凹面朝上，梁系在其上的拼装方法。因此，使用这种拼装方法，毫无例外地需要搭设弧形拼焊台。

（一）弧形台的曲率半径问题

搭设拼焊弧形台首先遇到的就是曲率半径问题。众多弧门制造单位的实践表明，弧门在制造焊接过程中，不仅与平面闸门一样存在纵向的和横向的收缩变形，而且还存在沿径向的收缩变形，使得弧门在拼装焊接之后，曲率半径发生变化。因此，搭设弧形台必须考虑这一因素的影响，使制造出来的弧门的曲率半径符合规范的要求。

弧门在拼装焊接后，其曲率增大、曲率半径都是减小的。其减小量 ΔR 的大小，与弧形面板的弧长 S 及弧门的曲率半径 R 有关。一般在面板弧长两端沿径向的收缩变形量 Δ 约为面板弧长的0.4/1000～0.5/1000，如图6-7所示。

（1）弧形台曲率半径计算式：如前所述，由于弧门焊接的径向收缩变形，使得变形后的曲率半径小于变形前的曲率半径。为了使焊接后的曲率半径符合设计要求，则放样下

料、拼焊台等的曲率半径均要放大，下面是求取放大的曲率半径R'的计算式。

如图6-8所示，设：

$\overset{\frown}{AMA'}$为所设计的面板弧长；$\overline{OA}=R$为设计曲率半径；2α为面板弧长所对的圆心角；$\overline{MN}$为设计弧的矢高。

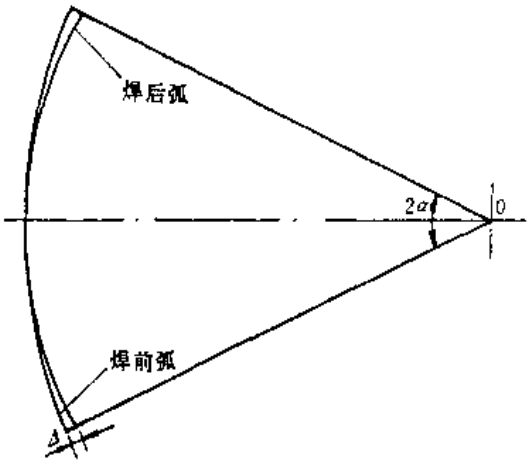


图 6-7　门叶焊接径向变形

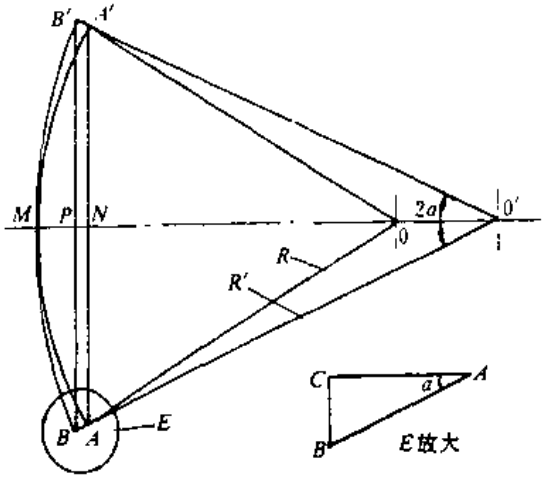


图 6-8　放大样曲率半径R'的计算

现将$\overline{OA}$沿径向延长Δ得B点，同理得到B'点，用B、O、B'三点共圆法得到另一曲率中心O'点，设：$\overline{O'B}=R'$为放大的曲率半径；$\overset{\frown}{BMB'}$为放大的弧长；$\overline{MP}$为放大弧长的矢高。

因为Δ与设计曲率半径R相比非常小，一般约为1/2000～1/3000，与设计面板弧长$\overset{\frown}{AMA'}$相比也非常小，约为1/2000，因此，可以认为$\overset{\frown}{AMA'}\approx\overset{\frown}{BMB'}$，并认为$A$和$A'$点既在$\overline{OB'}(\overline{OB})$线上，又在$\overline{QA'}(\overline{OA})$线上。这样，由图中的几何关系可知：

$$(R')^2=(O'P)^2+(PB)^2$$
$$=(O'M-PM)^2+(NA+BC)^2$$

式中
$$O'M=R'$$
$$PM=NM-NP=R-R\cdot\cos\alpha-\Delta\cdot\cos\alpha$$
$$NA=R\cdot\sin\alpha$$
$$BC=\Delta\cdot\sin\alpha$$

代入上式得：

$$R'=\frac{[R-(R+\Delta)\cos\alpha]^2+(R+\Delta)^2\cdot\sin^2\alpha}{2[R-(R+\Delta)\cos\alpha]}\qquad(6-1)$$

根据此式，已知设计曲率半径R、圆心角2α及变形尺寸Δ，可求得放大的曲率半径R'。这其中的关键是Δ的选择是否合理、各制造厂可根据自己的经验适当选取，使闸门焊接后的曲率半径符合设计和规范的要求。

（2）用现场放大样法求曲率半径R'：仍如图6-8所示，在放样平台上首先定出中心O点，放出设计弧$\overset{\frown}{AMA'}$的大样，使$\overset{\frown}{AMA'}$等于设计弧长，$\overline{AA'}$等于设计弦长，2α等于设计圆心角。再沿径向放大Δ分别得到B点和B'点，利用B、M、B'三点共圆法求得O'点，则$O'B$即为放大的曲率半径。大样放出后，量取弦长$\overline{BB'}=C$，矢高$\overline{MP}=h$，则有：

$$(R')^2 = (R' - h)^2 + \left(\frac{C}{2}\right)^2$$

即
$$R' = \frac{4h^2 + C^2}{8h} \qquad (6\ 2)$$

求得了放大的曲率半径R'，则弧形台的曲率半径按R'施工搭设。

（二）弧形台的结构形式

弧形台的结构形式，根据曲率半径是否可调而分为可调弧形台和固定式弧形台。图6-9是钢结构式固定弧形台，基础部分浇混凝土并在表面预埋基础钢板，钢板带锚筋。型钢制作的立柱焊牢在钢板上，各立柱之间加焊纵横向的连接角钢，以增强整体稳定性和刚度。在等高立柱顶水平焊接轨道钢（或型钢），卷成弧形的角钢（或工字钢）焊在水平的轨道钢上。弧形角钢按放大曲率半径R'卷弧，安装调整焊接时，根据半径R'用坐标法控制其弧度，用水准仪进行测控。弧形角钢的间距按面板下料宽度而定，考虑每条面板有两条角钢支撑，角钢要错开面板纵缝，以方便其焊接。这种弧形台的稳定性和刚性均较好，面板下的空间大、方便施工，但耗用钢材较多，且曲率半径不可调整。这种弧形台适合于同一种型号弧门的批量生产。

可调式弧形台与固定式弧形台的基本结构相同，只是在立柱顶固定简易的螺旋千斤顶，千斤顶上支承台架。利用千斤顶即可按要求改变弧形台的半径R'。因此，这种结构的弧形台机动灵活，调整方便，多种不同弧度的闸门可以共用一个弧形台。这对于专业厂制造不同型号弧门是很有利的。

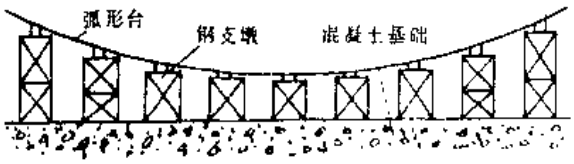


图 6-9　钢立柱固定式弧形台

三、总体预组装平台

由于运输条件的限制，大型弧门的门叶、支臂等也要分节制造。按规定，分节制造的弧门在出厂之前，必须进行总体预组装。整体组装的目的：①检查各制造单元的质量是否合格。对于不合格者，要在厂内处理好。②按整体组装的质量要求进行调整、修正，以保证闸门组合整体质量合格。③给现场安装提供有关技术数据以及现场再组装的控制点、控制线和定位板等。

整体组装的方法，可以有两种。其一，门叶卧式组装法。此种方法门叶凹面朝上平卧拼焊弧形台上，调整好几何尺寸、接缝、扭曲等，进行临时性加固，以保证整体刚度，避免组装其他部件时变形。之后，立式组装支臂、支铰等。这种方法，门叶平卧，总体重心低，调整方便，不需另外搭设整体组装平台。但是，由于支臂和支铰要立装，高空作业，需要搭高的排架，支臂支铰调整困难，特别两支铰的同心度要求较高，在空中调整特别困难。因此，一般都不采用这种方法。其二，门叶立式组装法，如图6-10所示。这种方法，支臂的下肢水平放置，门叶立起，由于门叶立起重心高，安全特别重要。但支臂和支铰的位置低，调整方便，空中作业少，因此一般均采用这种方法。

立式组装法要求另外搭设专用组装平台。如图6-11所示，在地面放出组装平台的x　x和y　y线，根据支铰的设计跨距$L = L_1 + L_2$，定出支铰支墩的位置，每条支臂布置2 ～ 3 个

支墩，再根据支铰中心高程、门叶水平垫板高程及面板曲率半径R定出面板底缘定位线y_1-y_1，如图6-12所示。

支墩用混凝土结构（或钢结构），顶面预埋钢板，以便支臂调整固定之用。支墩顶面高程，由支臂下肢水平放置并留一定的调整余量（约为50mm左右）决定。门叶底缘的水平垫板相当于弧门工作中的底坎，有一定强度和水平度的要求，可用较厚的钢板经刨削加工，先安装找正找平并加固，后浇混凝土的办法埋设。

在弧形闸门的制造安装中，有时制造和安装是同一个单位的同一批人员，为了加快工期，节省投资，不进行厂内整体预组装，将各节门叶、支臂、支铰等直接运到现场安装。制作中存在的问题，在现场安装中进行处理。实践证明，这种方法也能满足质量要求。

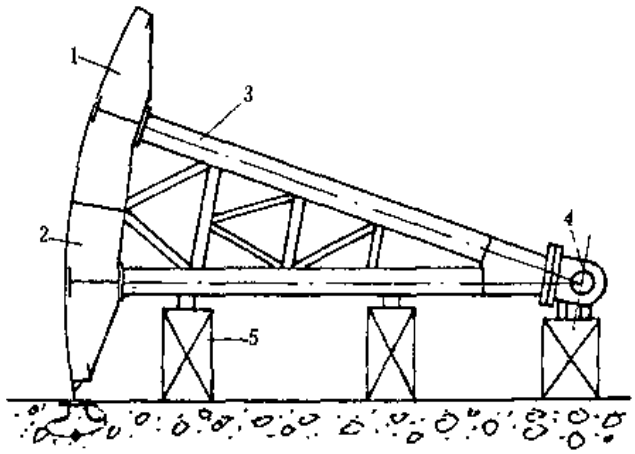


图 6-10　门叶立式组装法

1—上节门叶；2—下节门叶；3—支臂；4—支铰；5—支墩

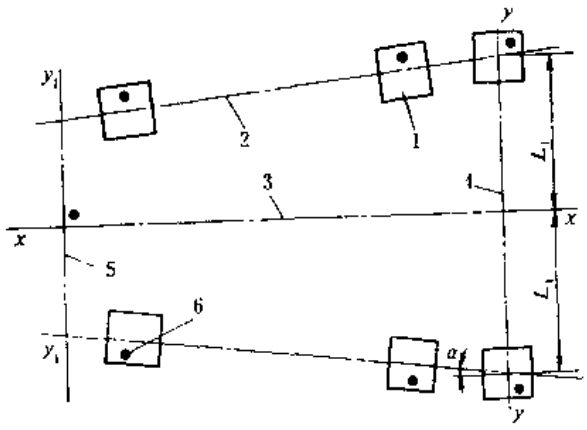


图 6-11　整体组装控制线及高程点

1—支墩；2—支臂中心线；3—弧门中心线；4—支铰中心线；5—面板外缘与底坎交线；6—高程点

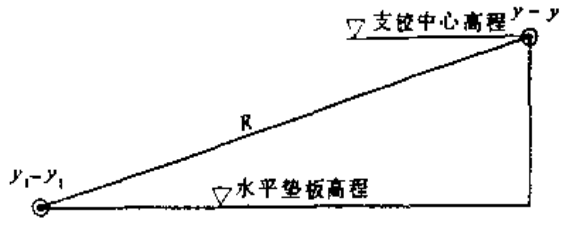


图 6-12　垫板与支铰中心高程

第三节　弧门主要零部件的制造

弧形闸门与平面闸门相比，它们的零部件的制造有许多共同点，也有不同之处。主要不同之处在于弧门弧形件的制造。这些弧形件有的用卷板机卷成，有的下料成弧形，它们都是弧门的主要零部件。下面分别介绍。

一、弧门面板的制造

弧形闸门面板的面积一般较大，由多块钢板拼焊而成。与平面闸门类似，首先要进行拼板设计。拼板原则和要求与平面闸门基本相同，但也有弧门的一些特殊要求。由于面板有一定的弧度，必须经过卷板工序，因此钢板长度方向应为垂直布置。

大型弧门面板厚度一般都在10mm以上，必须开坡口。对于较薄的面板，可以开单面

V型坡口；对于较厚的面板，可以开双面不对称的V型坡口，如图6-13所示。也可以开其他型式的坡口，可根据板厚和开坡口的条件而定。

面板卷弧在卷板机上进行。检查样板的曲率半径要按面板内表面放大的曲率半径制作，弧线的线轮廓度控制在0.3mm以内，样板不宜过小，要求弦长在1.5m以上，减小弧度误差。

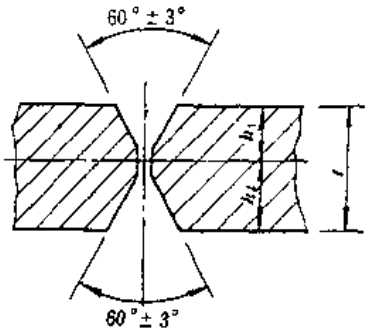


图 6-13　双面不对称V型坡口

面板拼焊在弧形台上进行。首先要检查弧形台的质量，弧度用（1/5～1/4）R'长的弧形样板检查合格，对角扭曲在允许范围之内，结构符合设计要求，刚度、稳定性足够。

根据面板拼板图的编号，逐块地将卷弧合格的面板吊放在弧形台上，根据门叶中心线及放好的大样图，调整好面板的位置，就可以逐条对接缝拼对点焊。拼对顺序：各节门叶先拼水平的短横缝，再拼较长的纵缝，最后各节门叶的节间分缝也拼对点焊，但不焊接，待整扇弧门拼装焊接结束后，再将节间分缝的点焊割开。

整扇弧门的面板拼对点焊之后，必须进行质量检查。检查内容包括：中心线、门宽、弧长、弦长、弦高、对角线长、扭曲、错牙、接缝间隙、点焊长度等，并用（1/5～1/4）R'长的样板检查各部位的弧度。其中，对于小型弧门扭曲和弦高的检查用拉线的方法进行便基本上能满足要求；但对于大型弧门，拉线检查方法的误差较大，可以用水准仪测高并配合计算的方法进行检查。

经检查合格的面板，方可交焊接工序进行面板的焊接。当然，焊接之前，负责的技术人员要制定出合理的焊接工艺卡，并向施焊人员交底。焊接工艺卡的内容较多，要求很详细。在此只以较厚面板开不对称V型坡口为例，说明面板的焊接程序。①先背缝封底，从中间向外焊，八名焊工（也可以六名或四名）均匀分布，先焊短横向对接缝，后焊较长的纵缝。每条焊缝采用间跳焊接法。②内弧对接缝同时用两台电弧气刨清根，将所有缺陷及未焊透的全部清除。③8名焊工对称分布，从中间向外焊接。以一个台班全部焊完较好（节间分缝不焊）。焊缝要求均匀美观，呈鱼鳞状，加强高度在1～2mm之间为宜。④未焊满的背焊缝（即外弧焊缝），待门叶整体焊接成型并经检查合格后，再将门叶翻而进行平焊作业为宜。因为外弧焊缝要求美观，仰焊作业困难。全部焊完之后，要进行焊缝的外观和无损探伤检查，不合格焊缝按要求进行处理。

二、弧门边梁的制造

弧门的边梁，包括其腹板和翼缘板，都要以面板外缘放大的曲率半径R'为基准，求得相应的曲率半径。腹板的两边是弧线，一边是内弧，一边是外弧。此两弧线的关系，是以边梁高H为距离的同心圆的等距弧线。

边梁腹板的画线下料，可以有两种方法。第一种方法为样板法，即在放样平台上放出腹板的大样，根据大样，做出准确的样板，再用样板直接在钢板上画线下料。这种方法准确、方便，效率高，易于在钢板上进行排料，材料的利用率高，特别适合批量下料。第二

种方法为坐标法，如图6-14所示，取$x-y$坐标，外弧中点与坐标原点重合，根据几何关系$y=R_{外}-\sqrt{R_{外}^2-x^2}$，将横坐标$x$每距100mm取一点，计算出相应的$y$值，例表如表6-1所示。根据一系列的$x$和$y$值，在坐标上描出相应的点，在负$x$方向与正$x$方向相对应描点（与$y$轴对称），再用1m的钢尺侧向弯曲，将所有点连成光滑的曲线即可。内弧可用同样方法画出。

表 6-1　　弧形边线坐标计算表

x（mm）	x^2	$\sqrt{R^2-x^2}$	$y=R-\sqrt{R^2-x^2}$
100			
200			
⋮			

腹板弧线的下料要求准确，可用弧形轨道自动切割机下料，亦可用数控切割机下料。要保证下料的质量，弧形轨道是关键。轨道与切割弧线也是等距的同心圆弧线。轨道要求加工准确。为了一轨多用，有的将轨道制成可调弧度的，根据下料弧线进行调整。

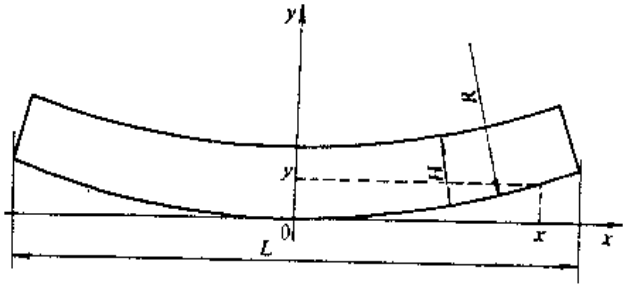


图 6-14　边梁腹板坐标计算下料

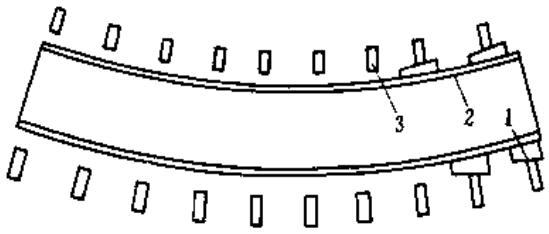


图 6-15　边梁对装平台

1—楔子板；2—边梁翼缘板；3—码子

边梁翼缘板的弧度，要求与腹板的弧度相配合。卷弧时，要求用1.5m以上的样板检查，方法与面板卷弧相同。

腹板与翼缘板的对装，其方法与工字梁对装方法相同，只不过要使用弧形对装胎具，如图6-15所示。

三、大隔板（即纵梁）的制造

隔板在整扇弧门上既起到纵梁的作用，同时，其外弧又将决定弧门面板的弧度。在门叶拼装过程中，面板内弧与隔板的外弧是靠紧的，所以隔板是很重要的构件。

隔板的画线下料仍可用样板法和坐标法。外弧用自动切割机或数控切割机下料，由于目前尚无较好的设备对外弧（特别是

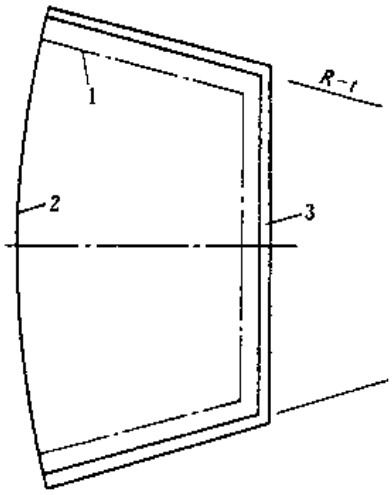


图 6-16　隔板制作

1—检查线；2—外弧线；3—刨边余量3～5mm

半径较大的外弧）进行机加工，因此要求外弧下料准确。其余三条直线边，在画线时要留出刨边余量，并用样冲打出检查线，用刨边机刨边，如图6-16所示。

第四节　门叶的拼装与焊接

门叶拼装之前，面板内弧对接缝全部焊接完毕，经检查合格；各种构件经检查合格，方可进行门叶拼装。

首先，根据设计图纸在面板的内弧面放样。放出各主梁、水平次梁、隔板等的位置边线（注意：不能放出各梁及隔板的中线，以免拼装时各构件将线遮住而无法对装）。放样要注意加上焊接收缩余量，按千分之一考虑。先放出门叶中心线，再用水准仪配合，放出各构件位置边线。放样经检查合格，打上样冲眼，用铅油作出明显标记。根据所放出的大样，与各构件重合的部分焊缝的加强高度均要用风铲铲平，以便接缝紧密。

门叶拼装如图6-17所示，拼装顺序和平面闸门大体相同，故此从略。

为了保证弧门的质量，拼装过程中应注意这样几个问题：（1）各拼接缝要顶紧，不留间隙、局部间隙不超过1mm；（2）各构件最好是在自由状态下进行拼装，有时允许正常的、力量不大的顶和拉，但要防止强行顶拉造成过大的内应力。如果拼装中发现错位较大，则不能强行顶和拉，此时应找出错位的原因，从而采取相应措施进行处理；（3）拼装隔板时，面板内弧面应向隔板的弧形边靠拢，而主横梁的腹板要向隔板的直线边靠拢，并且不准用割枪修割隔板，因为隔板是经刨边加工并有严格几何尺寸要求的，在拼装中实际上起基准的作用；（4）装各筋板，既要保证垂直度（即相互垂直），又要保证顶紧。

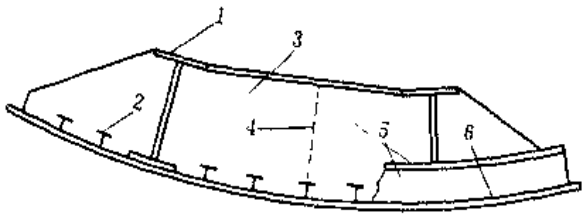


图 6-17　弧门门叶拼装图

1—主横梁；2—水平次梁；3—隔板；4—对接缝；5—边梁；6—面板

门叶整体拼装完，按规范要求及设计资料进行检查，合格后作出焊接前的拼装记录。

参加门叶焊接的焊工必须持有有关部门颁发的合格证书方能参加焊接。

拼装过程中点焊所使用的焊条，应与正式焊接时所使用的焊条牌号一致，并遵守相同的焊接工艺规程。如果拼装点焊不足，则应进行整体焊接前的加固性点焊，以避免焊接时的内应力将点焊拉裂，造成过大变形。

门叶的焊接顺序，各厂家不尽相同，但原则是一致的，即分区对称焊接，从内向外，尽可能减小变形。图6-18为某弧门焊接顺序图。①焊接隔板后翼缘与主梁后翼缘平缝及隔板腹板与主梁后翼缘角缝。②焊主梁与隔板立缝。根据大横梁的数量可使用不同的焊工数。对于有二根主横梁的弧门，可安排四名焊工，代号分别为A、B、C、D。1、2、3、4为焊接顺序，由内向外进行焊接。角焊缝可根据焊高要求而分层施焊。第一层可用分段退步焊法，其余各层则自下而上一次焊完。主焊缝的分段退步焊法，总体是从上往下，而每段则是从下往上，分段长度以两根（或三根）焊条所能焊接的长度为宜。③焊接主横梁与两根边梁连接的角焊缝。仍由四人分区对称焊接，焊接方法与②相同，这样，受热均匀对称，从而

减小变形。④焊接隔板的立筋板。可增至八人，仍分区对称施焊，由于主筋板焊缝的高度较小，可用分段退步焊法一次焊成。⑤焊接小横梁与边梁的连接缝、角焊缝、筋板与小横梁的平角缝等。⑥梁系之间的焊缝全部完成，可进行面板与梁系框架连接缝的焊接。其中，先焊主横梁与面板连接的平角缝、隔板与面板之间的平角缝。分区对称、分段退步焊法；次之焊小横梁与面板的平角缝，可用分区间跳焊法、分段退步焊法。⑦将门叶翻身，用气刨清根后再焊面板迎水面焊缝。

为了保证整扇闸门的焊接质量，减小焊接内应力和变形，在焊接过程中要严格按照焊接工艺要求施焊。并有专人对门叶的几何尺寸进行监测，以便随时调整焊接工艺，控制焊接变形。焊接前后对门叶至少要进行三次几何检测：第一次是在焊接之前；第二次是在梁系形成整体刚性框架之后；第三次是在全部焊接完毕之后。每次检测都要作出完整的记录，以便掌握其中的规律。

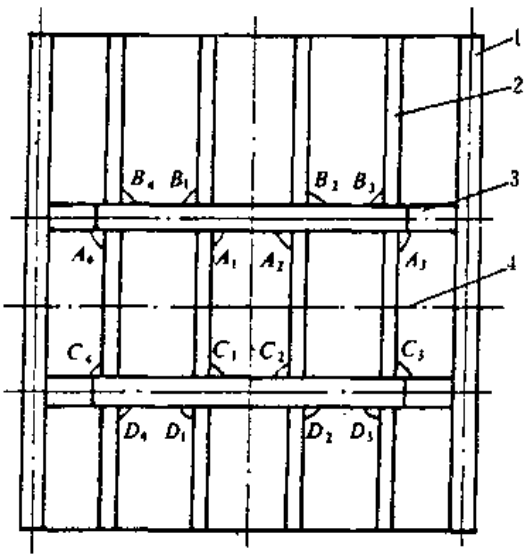


图 6-18 门叶焊接顺序

1—边梁；2—隔板；3—主横梁；4—节间对接缝

门叶经过组装和焊接之后，不产生变形是不可能的，问题在于要人为地控制其变形。或者减小内应力引起的变形；或者使内应力引起的变形相互抵消一部分。门叶变形的大小主要取决于构件加工的质量，拼装方案的正确性和焊接工艺的合理性。通常，门叶的拼装方法，焊接工艺并不是唯一的，在施工过程中，这些也并不是一成不变的，要具体情况具体分析，细心观察，详细记录，经过实践、总结、理论分析、再实践的过程，逐步改进，臻于完善。

弧门门叶在焊接过程中，常见变形及一般处理办法可分为：

（1）门叶两边梁跨距L不符合设计要求。这是较难达到质量要求的项目之一。为此，可从两方面考虑，其一是积累资料、统计分析、掌握焊接的横向收缩变形的规律，预留较准确的横向收缩余量；其二，如果没有充分的把握，也可采用后装边梁法，待梁系框架焊接成型后，再拼装边梁。这种方法简单易行，且能保证质量。

（2）门叶扭曲。规范对门叶的扭曲有一定的要求，扭曲过大时，使闸门组装困难，工作中止水效果差，对潜孔式弧门甚至无法正常工作。实践表明，产生扭曲有如下可能的原因：其一，胎具本身的扭曲造成门叶的扭曲（这是必须避免的）；其二，胎具地基不结实，受雨天影响，造成不均匀下沉；其三，焊接工艺不合理，或焊接人员不严格遵守工艺规范。这其中的关键是随时观测，发现问题或有出问题的趋势时，及时采取措施。若待全部焊完之后才发现过大的扭曲，再行处理就比较困难。

门叶全部焊完之后，经检测，若扭曲超过标准规定，必须进行处理。矫正方法，与平面闸门相近似，即利用门叶的自重加机械力的办法进行矫正。利用这些方法，一般扭曲是可以矫正过来的。若扭曲超标准很小，在制造过程中也可不必处理，待弧门大组装及安装

过程中，适当调整就可消除这些不大的扭曲。若弧门扭曲特大，利用上述方法已无法矫正过来时，则必须慎重从事，提出可靠的处理方案，一般是切开几条对扭曲影响最关键的焊缝，再利用上述矫正方法将扭曲矫正过来，合格后将切开的焊缝按要求重新施焊。

（3）门叶的横向弯曲变形。由于门叶断面上焊缝分布不均匀，靠面板侧的焊缝众多，背面侧的焊缝少，经过焊接收缩变形，一般情况下会出现面板横向凹进的弯曲变形，如图6-19所示，正向弧门，面板外缘弧面为挡水面，按规范要求，面板应凸向迎水面，所以产生变形方向与规范要求不一致的情况，这对闸门工作是不利的。

要解决这个问题可以从两方面考虑，其一是主横梁反变形法。即在主横梁制造过程中，有意使其产生一定的凸向迎水面的弯曲。反变形量可根据经验而定，经验不足时，可参照规范要求凸向迎水面的最大弯曲值考虑。这种方法对防止向背面的横向弯曲是有效的。其二是焊后的矫正处理，这种方法就比较困难，而且费人力物力，还会拖延工期。但采用机械力加火焰矫正的方法，是可以矫正横向弯曲的。

（4）门叶顶部、底部以及分节处面板的定位变形。如图6-20所示，由于这些部位面板边缘无筋板，一般都是悬空的，经角焊缝的焊接面引起角变形。其矫正方法与平面闸门一样。

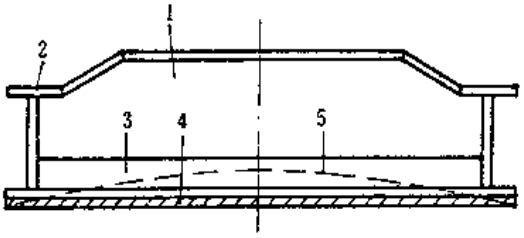


图 6-19　门叶横向变形方向

1—主横梁；2—边梁；3—水平次梁；4—面板；5—横向弯曲方向

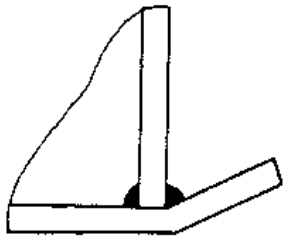


图 6-20　面板边缘角变形

第五节　弧形闸门支臂的制造

弧形闸门的支臂有平行支臂和斜支臂之分。由于斜支臂受力合理，用料省，所以，双主横梁斜支臂弧门应用广泛。下面以这种支臂为例，介绍制造方法。

一、斜支臂的结构

支臂分为上下两肢（大型弧门有分为三肢的），其夹角为 2θ，如图6-21所示。

两肢之间，用竖杆、斜杆、连接板等连成刚性的整体。支臂与主横梁连接端有顶板，用螺栓与主横梁的后翼板连接，采用抗剪板承受斜支臂在接触面上的剪力，如图 6-22 所示。

抗剪板与顶板端部要求接触良好，不允许有间隙，所以，应进行刨削加工。支臂的另一端用底板与支铰以螺栓连接。顶板与主横梁、底板与支铰之间的结合面要求紧密，也必须刨削加工。螺栓孔应该配钻，以保证装配质量。

支臂的上下两肢一般设计成箱形结构（小型弧门支臂亦有工字断面结构的）。各肢又有内外之分；靠孔中心的翼缘板为内翼缘板，靠闸墩侧的为外翼缘板；对每条支臂面言，

有2θ角，2θ夹角内边的为内腹板，外边的为外腹板（工形截面只有一个腹板）；对夹板而言，靠中心的为内夹板，靠闸墩的为外夹板，按规范要求夹板要弯成ϕ角。

竖杆一般设计成焊接工字型断面结构，斜杆常用型钢制作，如槽钢、角钢或工字钢等。

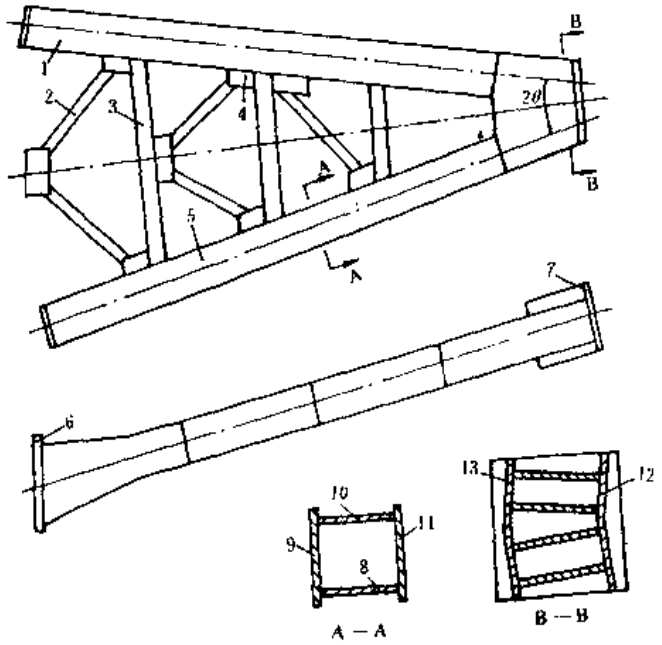


图 6-21 斜支臂结构示意图

1—上肢；2—斜杆；3—竖杆；4—连接板；5—下肢；6—顶板；7—底板；8—外腹板；9—外翼缘板；10—内腹板；11—内翼缘板；12—内夹板；13—外夹板

二、放大样下料

斜支臂弧门是一复杂的空间几何体系，各零件的几何尺寸，可以用几何计算方法求出，但在下料时，都必须经过放大样，求出与设计相一致的各零件的几何尺寸和形状，从而避免差错。

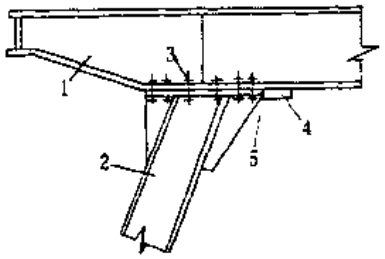


图 6-22 抗剪板安装

1—主梁；2—支臂；3—连接螺栓；4—抗剪板；5—接触面刨平并接触良好

应当指出，用放大样求出的只是各零件的设计尺寸，下料的几何尺寸还要加上焊接收缩量ΔL_1、火焰校正收缩量ΔL_2，加工余量ΔL_3，则零件下料的实际尺寸L'为

$$L' = L + \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 \qquad (6-3)$$

式中 L——为设计尺寸。

当零件数量较多、几何形状复杂时，可制作样板下料。

三、部件组装

每条支臂包括上下肢、竖杆、斜杆等部件。各部件单独拼装、焊接、矫正，合格方可进入支臂的组装。这样可减少支臂组装的工作量和工期，同时减少组装后的焊接量，从而避免大量焊接造成的变形。

支臂上下肢的制作，视其大小和长短，可分段制造，也可整条制造。大型弧门的支臂，长达10～20m，重达30～60t，考虑到运输条件的限制及安装中技术上的要求，有的将支臂分成两段或三段制作（例如，在工厂可将支臂组装成直支臂和角形支臂，详见第八章第二节），到安装现场再拼接。若运输条件允许、支臂也可不分段而整体制造，但先不装顶板和底板，而端预留调整修切余量，待弧门大组装时，根据曲率半径的要求进行修切。

箱形断面支臂的拼对方法与普通箱形梁的拼对方法相同（见第四章第四节）。但要注意不同点，即要注意腹板、翼缘板有内外的区别，顶板端有倾斜方向的问题。

四、支臂预组装

组成支臂的各个零部件制造完成后，在厂内应进行支臂的预组装，同时还要与门叶进

行总体预装配。全部合格后，才能把支臂拆开运到工地，在安装前进行正式组装与焊接。支臂在工地上进行组装的方法与工厂预组装基本相同，同时组装后才能进行焊接。为避免重复，故将支臂的组装与焊接的内容在第八章第二节中进行阐述。

第六节　弧形闸门厂内总体预组装

根据有关规范的要求，弧门出厂前，要进行总体预组装，将已制造合格的门叶、支臂、支铰等，按设计要求组装为一体，但它们之间并不连接，组装合格后，仍将它们分开。

预组装的目的：①最后确定支臂的总长，将端部预留的多余部分切去；②确定各节门叶之间、门叶与支臂之间、支臂与支铰之间的连接关系及配合情况；③对组装成整体的弧门进行各项技术指标的检查，不合格处要处理，对检查数据作出记录；④对合格的整扇弧门，标出控制点、控制线并焊定位板等，为弧门的工地再组装提供方便。

弧门厂内总体预组装的步骤和方法如下：

（1）在总组装台上测放出控制线和控制点，包括支铰中心线、支臂中心线、整体中心线、面板外缘与底坎的交线等，并在各支墩及预埋底板上测出相对高程，作出标记点。

（2）将左右两支铰吊装就位（可不带铰座），调整位置、跨距、找好两支铰孔的同心度和倾斜度，如图6-23。根据测放出的中心线和高程点，通过两支铰孔挂转动中心钢丝线，此线的高程、中心位置、水平度要调整准确，以此作为调整支铰、测量面板曲率半径的基准线。如图6-24所示，支臂下肢的中心线水平布置，转动中心与下肢中心在同一水平面内，根据面板外缘曲率半径R即可确定支铰中心高程▽及距离a值，从而定出支铰中心（转动中心）的位置。

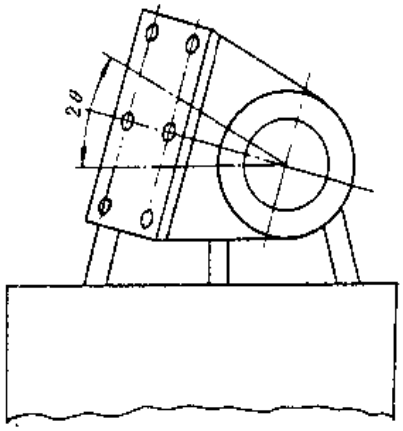


图 6-23　支铰调整

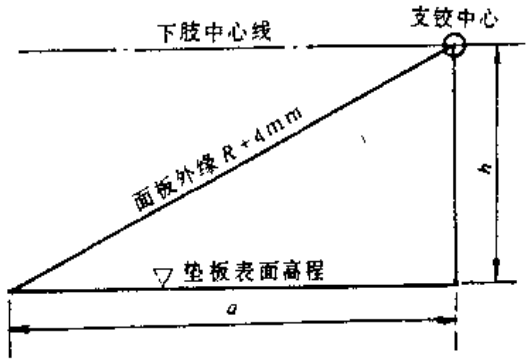


图 6-24　确定支铰中心

如图6-11，调整支铰相对于整体中心线的距离L_1，其误差不超过±1mm。

如图6-23，调整支铰仰角2θ，使下肢水平放置时，支臂与支铰的位置、角度相吻合。

如图6-25所示，调整两支铰孔的同心度和倾斜度。每个支铰孔两端各沿圆周方向均匀测八点。用微调内径千分尺配合干电池耳机进行测量（电测法）。测量时，将位于钢丝端的千分尺沿轴向稍作摆动，读取最小值，如图6-26所示。

两支铰跨距、仰角、孔中心调整合格，用点焊固定在支墩上。

支铰仰角2θ可这样调整：在支铰底板上取标定长度L（在平行于中心线的立边上取，尽可能取长一点），如图6-27，根据θ 角计算a 的长度，即$a = L \cdot \sin\theta$，在A点挂锤球，过B点测量B点到锤线之间的距离等于a 长即可。

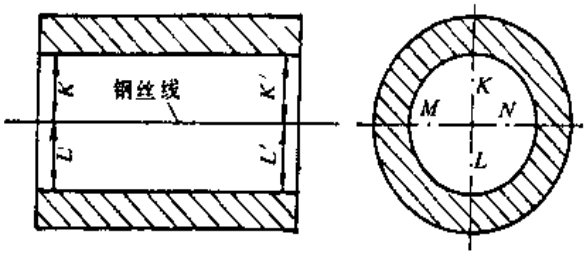


图 6-25　支铰孔同心度测量

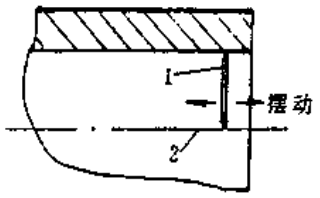


图 6-26　孔半径测量

1—内径千分尺；2—中心钢丝线

（3）将左（或右）支臂吊立支墩上，在摘钩之前，初调支臂的中心、水平、高程、垂直等。两边焊上有调整螺丝（花篮螺丝）的拉杆，以便支臂的固定和调整。拉杆焊完后才能摘钩，以免支臂倾倒，如图6-28。

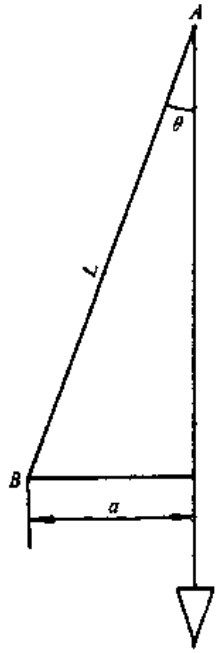


图 6-27　测定铰链的仰角2θ

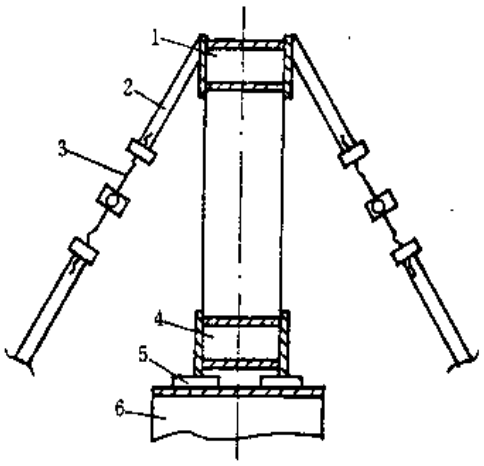


图 6-28　支臂调整与固定

1—上肢；2—角铁；3—拉紧器；4—下肢；5—垫块；6—支墩

左右支臂调整方法相同。首先将支臂端部与支铰底板靠拢，调整下肢中心高程及中心位置，并调整上肢中心与下肢中心在同一铅垂面内，如图6-29．在上肢顶焊一支架、挂垂球，垂球置入废机油桶中加以阻尼，防止摆动，测量a、b、c、d等几个尺寸，几个尺寸相等，垂直就调好。

支臂端部与支铰底板的连接调整，可与支臂的调整同时进行。这个调整有两个要求：其一是要检查支臂端部与支铰顶板（注：此时支臂底板由于配钻连在支铰顶板上未拆下）接合的间隙，各部分均要求顶紧，局部间隙过大，作堆焊处理，过长的余量要进行修切；其二要求调整支臂中心与支铰中心相吻合，如图6-30。

支臂调整完毕后，进行有关几何尺寸的检查，包括开口尺寸，左右支臂跨距，对角线长，如图6-31和图6-32所示。开口尺寸$c = d$，支臂跨距$a = b$，对角线长$L_1 = L_2$，支臂到中

心的距离$a_1 = a_2$，$b_1 = b_2$，两下肢之间的对角线长$L_1' = L_2'$，两支臂的垂直度等。

检查合格，对支臂进行加固性固定：下肢与支墩之间点焊挡板，上肢除螺丝拉杆外，增加不带螺丝的斜拉杆，两上肢之间点焊支撑，以提高加固的刚度和强度，承受立弧门时的作用力。

支臂加固之后，其端部与底板（点焊在支铰顶板上配钻孔的支臂底板）可进行点焊，四周边每边点焊三段，每段长100mm左右，此缝暂不焊接，待到现场安装时，支臂与支铰已用螺栓连成整体，支臂底板与支铰顶板周边点焊，再进行焊接，这样可防止支臂底板四周因焊接而引起的角变形，保证了底板连接的紧密性。

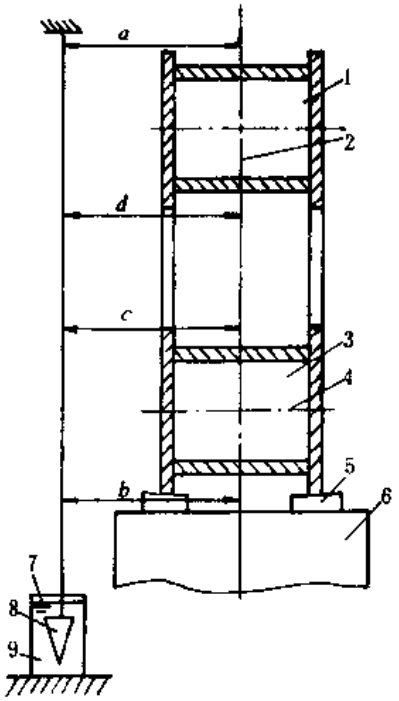


图 3-29 支臂调整

1—上肢；2—支臂垂直中心；3—下肢；4—下肢水平中心；5—调整板；6—支墩；7—废机油；8—锤球；9—油桶

有的厂家在总体预组装时不用真铰链，而用假支铰代替，甚至不用支铰，用所拉钢丝代替支铰，这样可省点投资和时间，但由于支铰的加工往往互换性差，这会造成未来安装施工中意想不到的问题，在安装现场再处理这些问题，反而耽误工期，影响防洪发电，结果反而损失更大。所以，还是用真支铰组装为妥，组装完还要编号、打钢印做标记，以便现场安装。

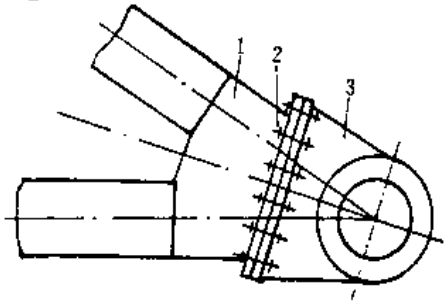


图 6-30 支臂与铰链连接

1—支臂；2—连接螺栓；3—铰链

（4）组装大型弧门的门叶一般根据主横梁的数量而分节——双主梁弧门分为上下两节或数节。

吊装前，先在下节门分缝处的大隔板上焊接吊耳两个。吊耳的位置，要考虑下节门叶吊起时的直立位置与组装位置基本吻合，如图6-33所示，这就大大方便了与支臂的连接并

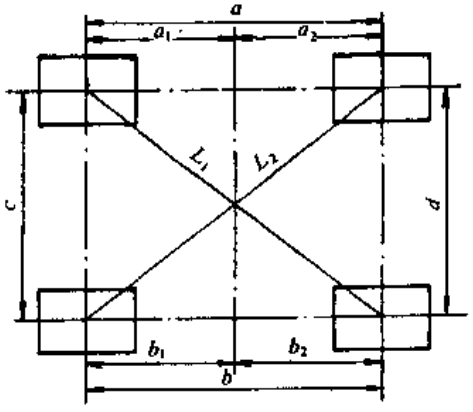


图 6-31 支臂开口端几何尺寸检查

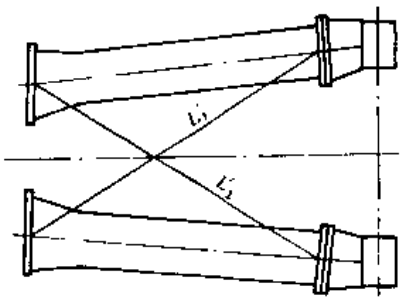


图 6-32 支臂下肢水平对角线测量

简化了调整工作。门叶落下时，注意面板底缘与预埋底板上的定位挡板靠拢，并且门叶中心与底板上放出的中心重合、下主横梁的后翼缘顶板与下肢端靠拢，在门叶与支臂之间焊上调整螺丝，拉住门叶，用经纬仪配合调整门叶的中心的垂直度，合格后，在地面底板上点焊挡板，将门叶面板底缘的两边挡住，以防止门叶滑动，一切稳妥了，摘去吊钩。

调整螺丝如图6-33所示，两根短角钢分别焊在隔板后翼缘上和支臂上，螺杆焊在隔板角钢上，利用双螺母调整支臂端部与顶板之间的间隙。首先使端部与顶板靠拢，用长钢卷尺检测面板的曲率半径，在门叶两边沿下肢中心进行检测，从支铰孔中心的钢丝线到面板外缘，如图6-34，注意钢尺与弧门中心线要平行，还要注意拉钢尺的修正值，测量读数加上修正值，就是曲率半径的真实值。由于支臂长度有修切余量，按设计半径R加支臂两端顶板和底板的焊接收缩量，将支臂多余的长度切去，并在支臂端切出单边坡口。

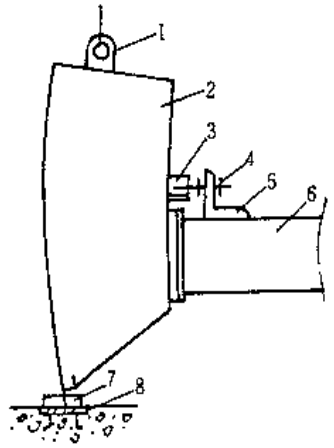


图 6-33 立下节门叶

1—吊耳板；2—下节门叶；3—角钢；4—调整螺丝；5—角钢；6—下肢；7—挡板；8—底垫板

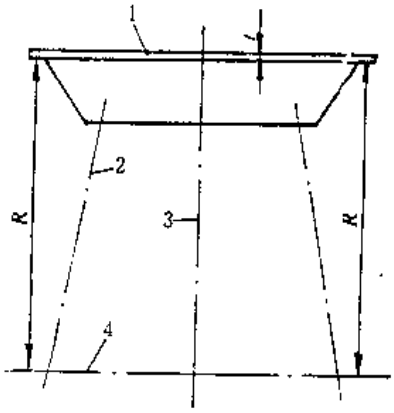


图 6-34 弧门曲率半径测量

1—面板；2—支臂中心；3—弧门中心；4—支铰中心

仍利用调整螺丝调整门叶与支臂端部靠拢，检查间隙，要求顶紧。测量面板曲率半径，此时要求测量门叶两端上中下三点，面板外表面曲率半径按设计半径R加4mm控制（焊接支臂两端顶板和底板的收缩值），测量方法与前述相同，合格后，在支臂端部与门叶之间焊上临时固定挡板以加固。

在下节门叶两端顶部及两边梁顶部点焊就位挡板，如图6-35所示，呈倒八字形，以便上节门叶落下时能准确就位。在上节门叶上端面板的适当位置焊两块吊耳，吊耳板要有足够的强度，吊起门叶时方便就位，如图6-36所示。

吊起上节门叶，落在下节门上，进行调整。调整的内容包括：①上下两节门的中心线对齐，且同在一垂直面内；②面板接缝，边梁腹板接缝、隔板接缝等不能错牙；②上节门叶的曲率半径仍按R + 4mm控制，支臂长度余量仍切去，其方法与下肢相同；④两节门叶对接缝的间隙要控制在允许范围之内。调整好后，点焊挡板进行固定。

整体组装就绪，检查组装质量，包括几何形状、几何尺寸、间隙大小等，作出记录。用经纬仪定出面板左右侧水封孔的垂直中心线，如图6-37。

总体预组装合格的弧门，为了运输，仍要拆开为几大件。为了方便现场安装，以免搞混，应对拆开的部件进行编号，打钢印，并设置定位板和组装标记。门节之间，在面板及

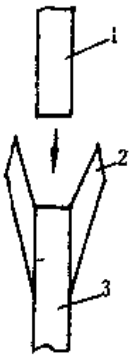


图 6-35 就位挡板

1—上节门；2—就位挡板；3 下节门

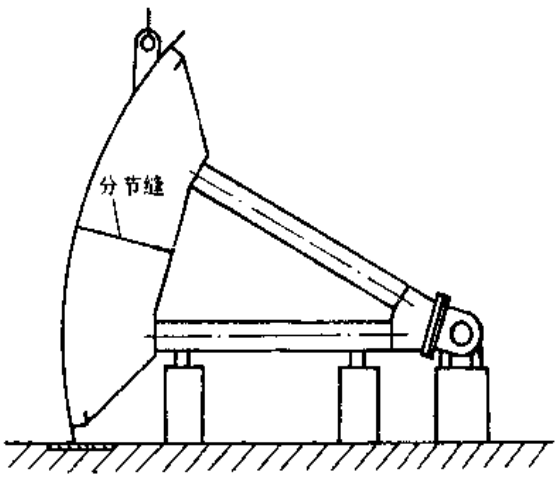


图 6-36 吊立上节门叶

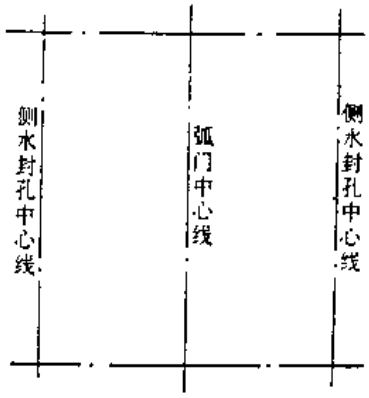


图 6-37 在面板上定两侧水封孔中心线

边梁上点焊四对凸凹型定位板，保证上下门节对中及各对接缝不走样；安装标记包括门叶中心线、吊耳中心线，支臂中心线、支臂与支铰连接处中心线、支臂与主横梁连接处中心线、主横梁后翼板中心线，水封孔中心线等，这些中心线打上样冲眼、钢印号、作明显标记。

将弧门各部件拆开，其程序与组装相反，注意安全。面板朝上平放门叶，钻所有的水封孔，可用磁力电钻进行。

按设计要求，进行表面防腐处理。

弧门的水封、侧轮等到安装现场再进行安装。

弧门制造质量标准见表8-3及有关规范。

第七章　平面钢闸门的安装

第一节　门槽埋件的安装

平面闸门的埋件是指埋设在混凝土内的门槽固定构件，包括底坎、主轨、副轨、反轨、侧轨、止水座板、护角、门楣及胸墙等，见图7-1

一、安装埋件前的准备工作

安装埋件前，要仔细地阅读设计图纸，明确设计要求并做好以下准备工作：

（1）准备场地。场地的设置地点要考虑现场所能采用的起重机械，以利于吊运；要便于埋件的堆放、检查、调整及除锈刷漆工作；还要考虑场地选址不受土建施工的干扰，兼顾门叶的组装等。

吊装埋件使用门式起重机最方便，这时，场地设置在大坝下。当不便使用机械或无吊装机械时，必须设法利用地形地物采用土法吊装，如设立独立扒杆或人字扒杆，用卷扬机吊装等，见图7-2。

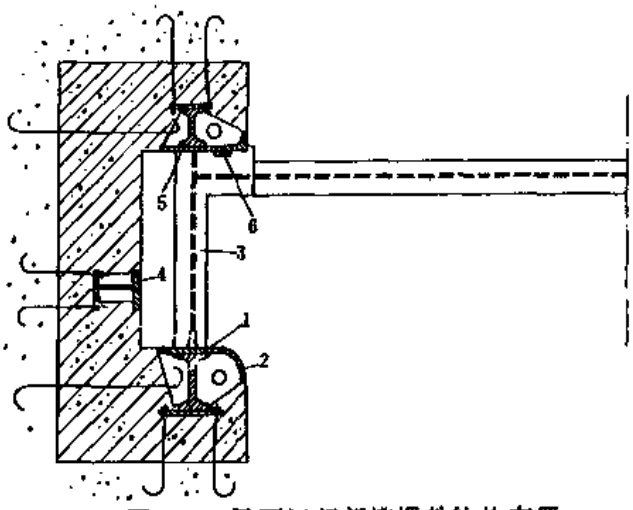


图 7-1　平面闸门门槽埋件结构布置
1—主轨；2—护角；3—底坎；4—侧轨；5—反轨；6—止水座板

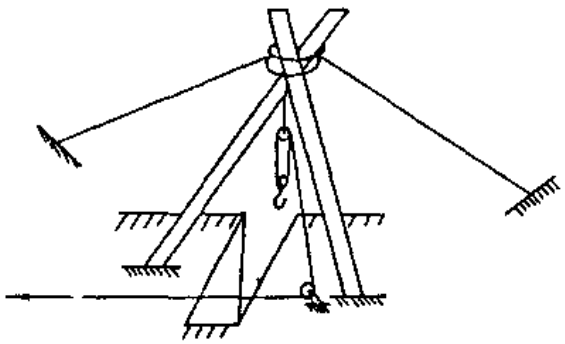


图 7-2　土法吊装埋件

（2）检查埋件和校正变形。施工单位自制门槽埋件时，必须参照设计要求并作出质检记录。在外地制造的埋件，应防止运输过程中变形。当运到工地后，应按图纸清点数量并检查构件质量。构件变形不能超过表7-1的允许偏差，超出时必须进行处理。

检查埋件的结构变形有两种方法，一种是用水平仪直接测出埋件的相对误差，另一种是用拉钢丝线（或0.5mm锦纶丝线）法测量埋件变形值。图7-3所示为用拉钢丝线法测量构件变形。按照力学观点，两个支点选在构件全长$2/9L$处时，因埋件自重而产生的挠度最小。

埋件变形的校正方法，可按照实际情况确定。一种方法是用压力机或千斤顶强制矫形，见图7-4。另一种方法是用氧炔火焰加热，利用构件本身金属热胀冷缩进行矫形，这种方法

表 7-1　　构件制造的允许偏差（mm）

序号	变形和偏差名称	构件表面未经加工		构件表面经过加工
		工作范围内	非工作范围内	
1	工作面弯曲度	构件长度的1/1500且不超过3	构件长度的1/1500且不超过4	构件长度的1/2000且不超过1
2	侧面弯曲度	构件长度的1/1000且不超过4	构件长度的1/1000且不超过5	构件长度的1/1000且不超过2
3	工作面局部凸凹不平度	每米范围内不大于1，且不超过2处	每米范围内不超过4	每米范围内不大于0.5且不超过2处
4	扭　曲	长度不大于3m的构件，不应大于1，每增加1m，递增0.5，且最大不超过2	长度不大于3m的构件，不应大于2，每增加1m，递增0.5，且最大不超过3	0.5
5	相邻构件组合处的错位	不大于2，且应平缓过渡	应平缓过渡	不应大于0.5

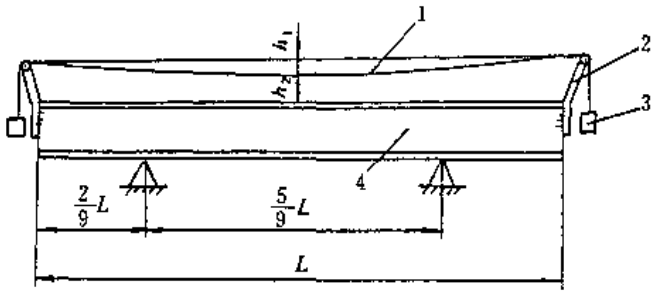


图 7-3　拉钢丝法测量构件变形

1—钢丝；2—线架；3—重锤；4—主轨

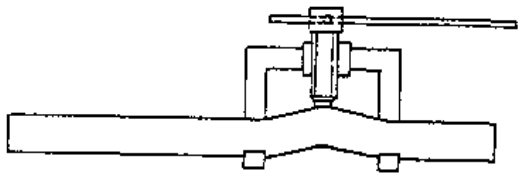


图 7-4　用弯道器来矫正构件的变形

一定要由矫形经验丰富的工人采用。

（3）设置控制点。安装控制点应明显、牢固和便于使用。先由安装单位提交控制点草图及精度要求，然后配合测量单位在现场测绘。测量单位应尽快提交正式测量放点记录发送有关单位周知，共同保护测点。测量放点记录将作为施工的交接验收文件之一。

底坎安装的平面样点如图7-5所示。平面样点的高程可以高于底坎顶面100mm左右，兼作高程控制点。

底坎的高程样点也可单独设置，如图7-6所示。

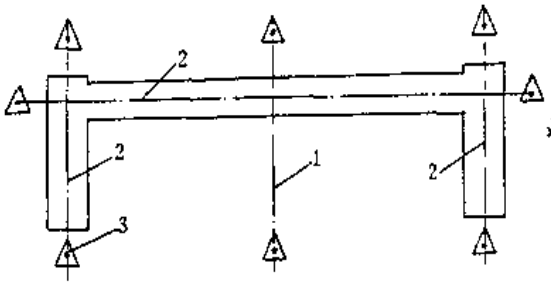


图 7-5　底坎安装的平面样点

1—孔口纵向中心线；2—中心控制线；3—控制点

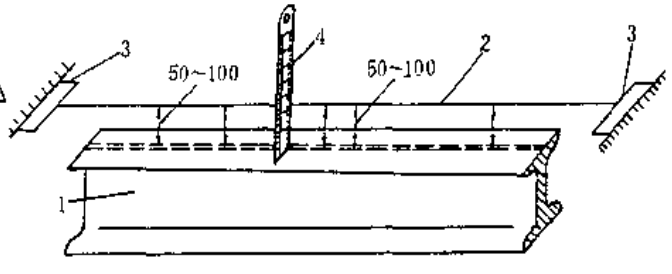


图 7-6　底坎安装的高程控制

1—底坎；2—控制基准线；3—线架；4—钢板尺

（4）处理预埋插筋。埋件安装固定用的插筋，一般由土建单位依据设计图纸在一期混凝土中预埋。其伸出长度不小于150mm。安装前，对外伸过长的插筋要提前切割并校直，对漏埋的要加以过渡处理如图7-7所示。

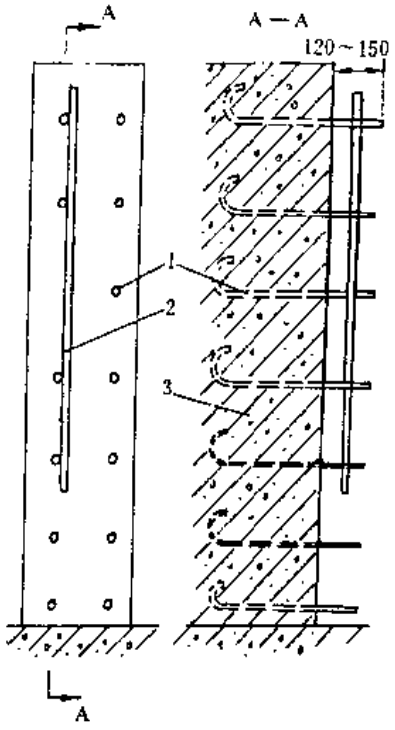


图 7-7 漏埋插筋处理

1—原插筋；2—过渡处理连接钢筋；3—一期混凝土

（5）加工螺旋拉紧器和加固锚钩。埋件安装前要加工足够数量的加固锚钩和螺旋拉紧器。其材料一般采用Q235钢筋，直径≥19mm。拉紧器的数量，每根轨道需配置2～4个。加固锚钩弯制成直角状，短边不小于100mm。

二、底坎安装

底坎常用结构如图7 8所示。

底坎安装前，要做好两项准备工作：

（1）把预埋插筋焊成整体支架。其架面高程一般要低于底坎底平面10～20mm，以便留出一定的调整裕度，待底坎吊装就位后，利用调整螺栓和千斤顶调整底坎至规定高程。

（2）设置底坎安装控制点。底坎安装的平面样点和高程控制点见图7 5和图7-6。底坎安装的中心线布置见图7-9。

底坎安装时，利用门槽两侧已放好的控制点，拉一根钢丝线，找正底坎的高程，每隔0.5m测量一点，要求

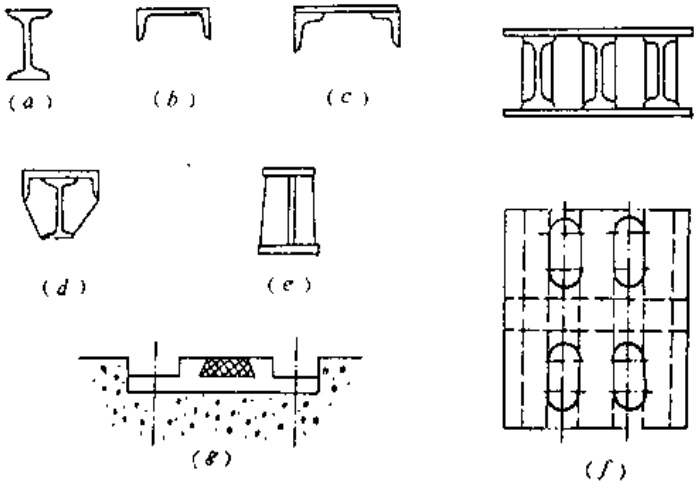


图 7-8 底坎常用结构

高程误差控制在±5mm之内。底坎安装的中心线是利用已设置的门槽中心线和孔口中心线来控制的，使中心线偏差a与b均不得超过±5mm。工作表面的扭曲值f视顶面宽度B而定，一般应小于1～2mm。f值的确定，需要在底坎顶面的上方拉两根水平钢丝线，其间距c略小于底坎顶宽B，每隔0.5m分别测出这两根钢丝线距底坎顶面的高程，其最大差值即为扭曲值f。底坎两端相对高程差视底坎的长度而定，一般应小于2～3mm。底坎

是门槽埋件安装的基础，调整好后必须支撑加固牢靠，以防止浇注二期混凝土时震捣走样。

三、主轨安装

主轨结构形式有两种，第一种是滑动支承轨道，结构如图7-10所示，图中将其分为四种形式，适用于层压胶木滑动支承。轨道常作成2～3m长一段，以便运输。第二种是滚动支承轨道，结构如图7-11所示，图中（a）、（b）适用于轮压大于50t以上的重负荷支承；（c）、（d）适用于50t以下的支承。铸造轨道长度时常作成2～3m为一安装单元；辗压或型钢轨道每根长度为6～10m。

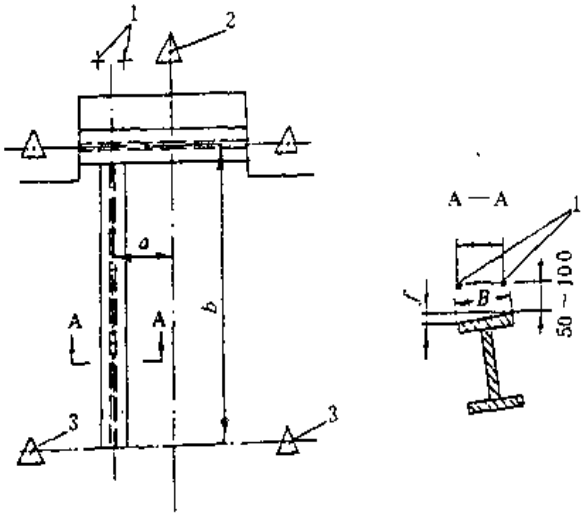


图 7-9 底坎安装的中心线布置（单位：mm）

1—高程控制点；2—门槽中心线控制点；3—孔口中心线控制点

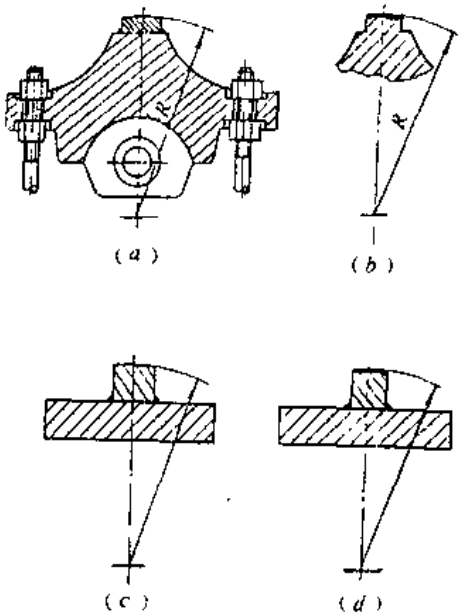


图 7-10 胶合木滑动支承轨道

（a）焊不锈钢工作面的铸造轨道；（b）埋焊不锈钢工作面的铸造轨道；（c）焊不锈钢工作面的焊接轨道；（d）埋焊不锈钢工作面的焊接轨道

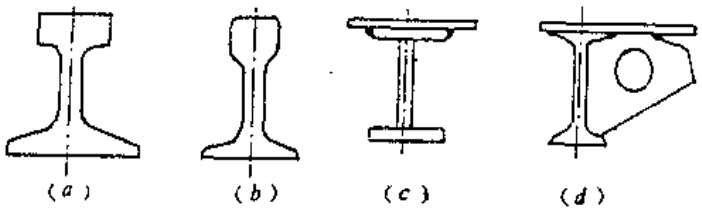


图 7-11 滚动支承轨道形式

在门槽埋件中，主轨是主要承力构件。安装前要全面检查门槽部位的一期混凝土尺寸是否符合图纸要求；对主轨的变形应予校正；对预埋插筋必须处理；加工足够数量的加固锚钩；并请测量单位测量放点。图7-12所示为安装主轨、反轨及侧轨的控制点布置图。图中A、B、C三点为主轨安装的控制点（也叫基准点），一般设置在距待测表面50～100mm处。采用此测量值可使用小钢板尺且便于携带，尤其在高空作业时，便于单手测量。

控制基准线采用直径≤0.5mm的锦伦丝线，其拉伸强度大。吊装主轨的捆绑位置沿全长从上至下1/3处比较好。主轨吊装入槽前，须解除绑好的基准线的一端，以防止撞断。主轨一经就位，立即恢复基准线，以便调整。

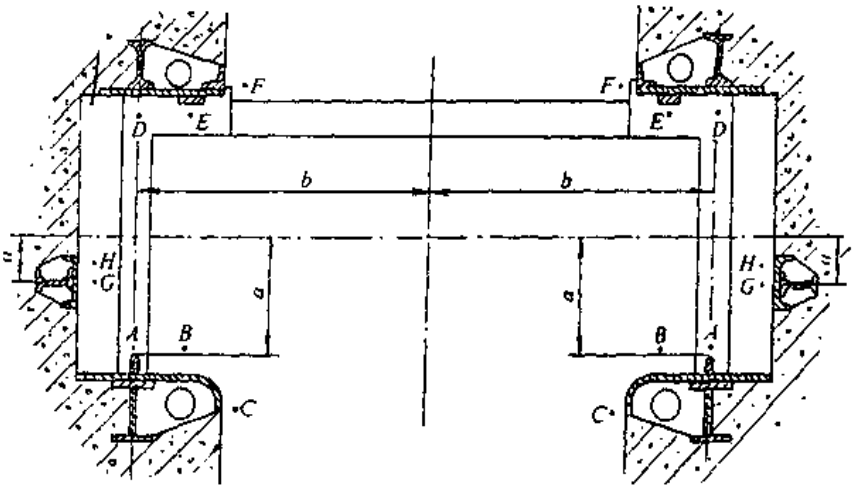


图 7-12　主轨、反轨、侧轨控制点布置图

用门式起重机或土法将主轨吊入门槽，可以在主轨下部捆绑一根粗麻绳，靠人力辅助控制吊装。主轨底部落在底坎上，将轨道上端迅速焊上两个拉紧器或穿上两个螺栓，拧上螺母，将螺栓另一端与预埋插筋焊接后才可松钩。调整工作同时依据A、B、C三根基准线，见图7-12，从下端开始，逐步向上进行，每隔0.5 m测量轨道和基准线间的距离，当轨道的上、下两端读数相同时，即表示轨道前后左右已立正。若在中部测量的距离与上下两端不相符，则表明轨道中部有里弯或外凸现象，应用千斤顶或调整螺栓强制调整到符合要求为止，并采用加固锚钩电焊加固。最后全面测量主轨的安装误差，在工作范围内，主轨加工面，a^{+2}_{-1} mm，$b\pm3$ mm；在工作范围外，主轨加工面，a^{+3}_{-1} mm，$b\pm4$ mm。主轨轨头表面的扭曲值f与轨头宽度有关，一般f在0.5～1.0 mm范围内。轨头的错牙应不大于0.5 mm，超过时应在凸端开斜坡过渡。处理方法可用手砂轮打磨平。为防止浇注二期混凝土时破坏主轨的安装精度，要求将支撑加固牢靠，加固锚钩直径不应小于预埋插筋直径，其两端与主轨及插筋的电焊搭接长度均不小于50 mm（双面焊平）或不小于100 mm（单面焊平）。加固锚钩每隔500 mm高程不少于一对。

四、反轨和侧轨的安装

闸门升降时，反轨和侧轨起导向作用，其结构形式如图7-13所示。反轨和侧轨安装方法与主轨相同，其控制点设置见图7-12，安装允许偏差见表7-2。

五、门楣安装

门楣的结构形式如图7-14所示。门楣安装前必须实测配合部位的有关尺寸，请测量单

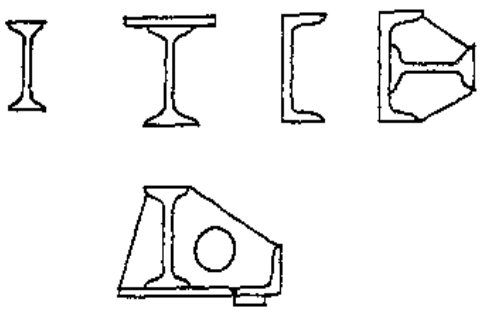


图 7-13　反轨、侧轨结构形式

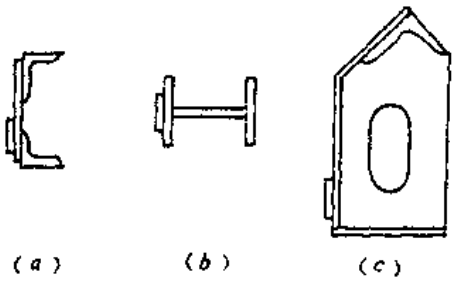
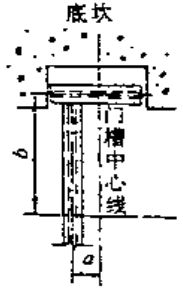
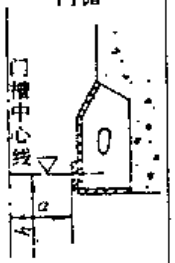
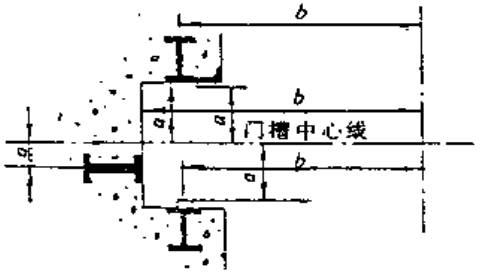
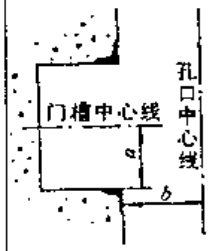
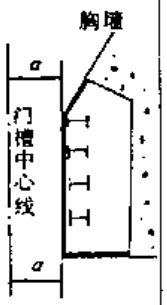
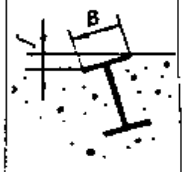
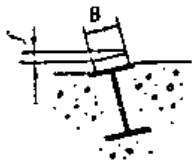
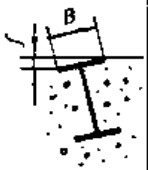
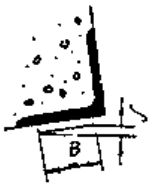


图 7-14　门楣的结构形式

表 7-2　　平面闸门门槽埋件安装的允许偏差（mm）

序号	埋件名称		底坎	门槽	主轨 加工	主轨 不加工	侧轨	反轨	侧止水座板	护角兼作侧轨	胸墙 单作止水 上部	胸墙 单作止水 下部	胸墙 不单作止水 上部	胸墙 不单作止水 下部
	简图		底坎 	门槽 	主轨、侧轨、反轨、侧止水座板 					护角兼作侧轨 	胸墙 			
1	对门槽中心线a	工作范围内	±5	+2 −1	+2 −1	+3 −1	±5	+3 −1	+2 −1	±5	+5 −0	+2 −1	+8 −0	+2 −1
		工作范围外			+3 −1	+5 −2	±5	+5 −2		±5				
2	对孔口中心线b	工作范围内	±5		±3	±3	±5	±3	±3	±5				
		工作范围外			±4	±4	±5	±5		±5				
3	高程	▽	±5											
4	门槽中心对底坎面距离		±5	±3										
5	工作表面一端对另一端的高差	l≥10000	3											
		l<10000	2											
6	工作表面波状不平度	工作范围内	2	2					2					

续表

序号	埋件名称		底坎	门槽	主轨		侧轨	反轨	侧止水座板	护角兼作侧轨	胸墙			
											单作止水		不单作止水	
					加工	不加工					上部	下部	上部	下部
7	工作表面组合处的错位	工作范围内	1	0.5	0.5	1	1	1	0.5	1	2	2	4	4
		工作范围外			1	2	2	2		2	1	1	1	1
	工作表面扭曲 f	简图	底坎 	门槽 	主轨 		侧轨 	反轨 	侧止水座板 	护角兼作侧轨 				
8		工作范围内表面宽度 $B<100$	1	1	0.5	1	2	2	1	2				
		$B=100\sim200$	1.5	1.5	1	2	2.5	2.5	1.5	2.5				
		$B>200$	2		1	2	3	3		3				
		所有宽度												
	工作范围外允许增加值				2	2	2	2		2				

注 1. L 为闸门宽度；

2. 构件每米至少应测一点；

3. 胸墙下部系指和门槽组合处；

4. 门槽工作范围高度：静水启闭闸门为孔口高；动水启闭闸门为承压主轨高度。

位测量放点，焊接控制点线架如图7-15所示。线架一般焊在侧轨的非工作部位。吊装前还要做好以下准备工作：在与控制基准线相对应的门楣面板上以及不锈钢水封座板的中心处打上样冲眼作为标记，将门楣与侧轨连接处的坡口开好，在轨道上定出门楣的横向中心高度线，在轨道内侧焊上两个托脚，将门楣吊落在托脚上，稍加调整即可达到安装要求。每隔500mm测量一次。

另外，门楣的倾斜度检查，可以在不锈钢止水座板面前上下拉两道钢丝线，测量a_1与a_2值。根据不同的止水座板宽度B，倾斜值在1～1.5mm之间为合格。

门楣安装完毕，其不锈钢止水座板面与两侧轨道的止水座板面在空间是一"⌐"形平面，止水面接头处错牙不得大于0.5mm，以免漏水。在门楣背面与预埋插筋之间用加固锚钩电焊牢固。

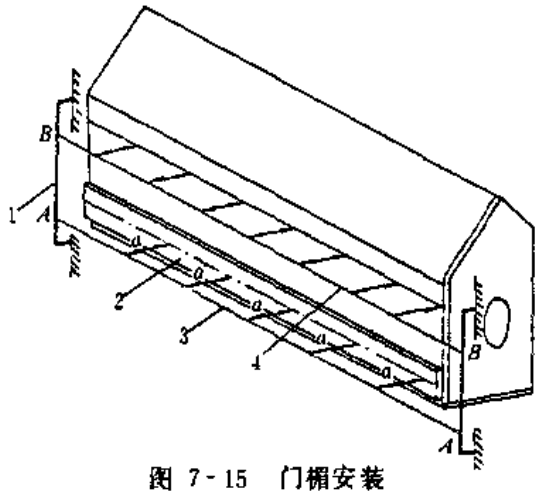


图 7-15 门楣安装

1—线架；2—不锈钢水封座板；3—控制线A；4—控制线B

第二节 门体的组装

大型闸门在出厂前，要对分块制造的各部分编号，门叶要进行预组装并做出组装记录。闸门运到工地后的组装。一般有两种方法：

一、在门槽附近搭设平台组装

这种方法施工场地开阔，工作条件好，容易保证组装质量。但必须具备起吊整扇门叶入门槽的设备。

（1）搭设组装平台。组装平台的场地要平整、坚实，一般与埋件的检查和调整场地统筹考虑。平台一般用几层道木垫底，上面再用相当断面的大型钢梁或型钢支承，为保证刚度，在两根大钢梁之间用斜支撑焊成整体，另外用螺旋拉紧器和扒锯子把钢梁、道水垛以及预埋地锚连接好。组装平台形式如图7-16所示。平台长度要比整扇门叶高度长3～4m，平台宽度要保证闸门正反两面都可以组装，还要考虑门叶翻身时，侧轮不能与平台干扰。平台搭设的高度一般为0.6～0.8m，以仰焊作业和工作方便为原则。平台表面的不平度应控制在±3mm以内。

（2）门体组装顺序。门体由于运输过程中的碰撞以及时效等原因可能产生变形，因此在组装前先要对分块门体进行检查、处理。按编号将分块门体吊上平台，用千斤顶、拉紧器、楔铁和码子等工具进行调整，使门体达到规范要求。门体的组装方法及质量要求与平门制造时厂内预组装相同。

（3）组合缝焊接。门体的焊接，主要问题是控制变形量。在施焊前要根据门体结构特点及质量要求编制焊接工艺规程以指导焊接工作。闸门焊缝多为一、二类焊缝，焊接工作必须由经过考试的合格焊工来承担，并从焊前准备、焊接检验诸方面严格把关，才能保

证组合缝焊接质量。图7-17为闸门门体焊接顺序，应由偶数焊工先对称焊接左右边梁腹板立缝，然后焊门体中间隔板立缝或纵梁与主梁间的焊缝，接着焊下翼缘的平缝，最后焊面板对接焊缝。施焊的焊接规范、焊条直径、电流强度、焊肉大小、焊接层次、焊接速度、焊接方向都应力求一致。长度超过1000mm以上的焊缝应采用从中央反向分段退焊法，以减小焊接变形，每段长度以150～300mm为宜如图7-18所示。厚度较大的缝缝应采用多层多道焊。焊条应烘干后使用。在正式焊接前的装配点焊应遵守相同的工艺条件，焊点厚度不应超过正式焊缝的二分之一，一般厚为 4 ～ 6 mm，长30～60mm。

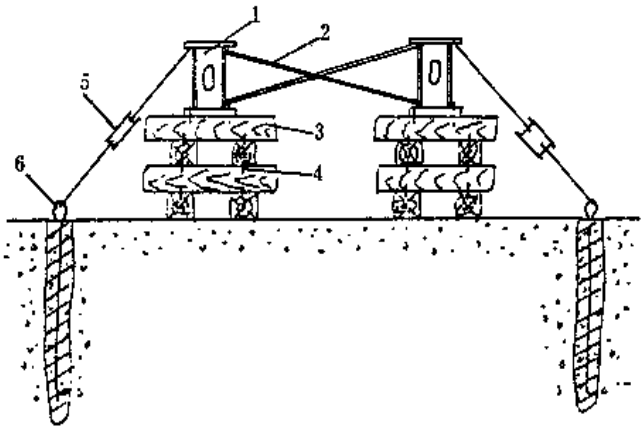


图 7-16　平面闸门组装平台

1—钢梁；2—斜支撑；3—道木；4—扒锯子；5—螺旋拉紧器；6—地锚

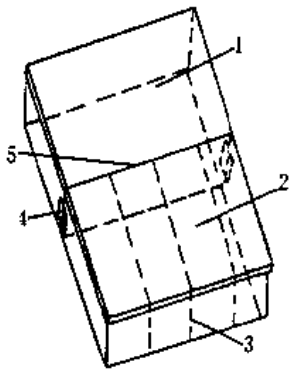


图 7-17　闸门门体焊接顺序

1—上块门体；2—下块门体；3—中间隔板；4—左右边柱连接缝；5—面板对接线

二、在门槽内组装

当不具备起吊整扇门叶的设备时，也可在门槽内组装闸门。组装方法有下面两种：

1.在闸门底坎上组装

此法适用于行走支承为滚轮式的闸门。在底坎上设置两个等高的活动钢支墩为组装平台，高度500～600mm，钢支墩布置如图7-19所示。

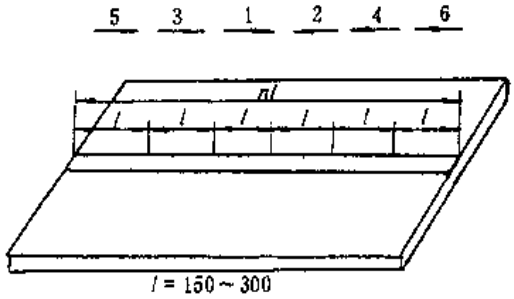


图 7-18　中央反向分段退焊法

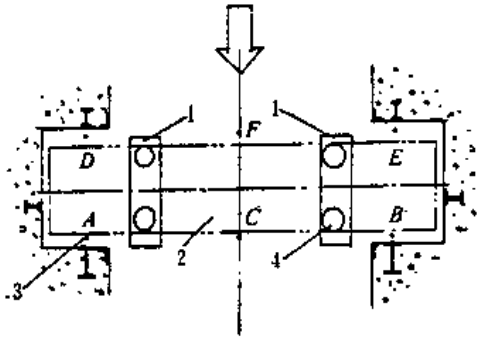


图 7-19　钢支墩布置

1—支墩；2—门体；3—测量基准点；4—千斤顶

分块门体依次吊入门槽，其组装工作如图7-20所示，在门体前吊重锤线，利用千斤顶、螺旋拉紧器调正门叶的垂直度，使其扭曲和倾斜值均≤ 2 mm。门叶的组合缝焊接与在门槽旁搭设平台时相同。

门叶焊接结束后，先吊住门叶，割除临时支撑。然后吊起整扇门叶略向下游平移，以

满足侧水封及反向支承安装距离的要求。侧水封及反向支承安装完毕，应检查对角线长度差、水封不平度、水封表面至反向支承表面的高度差均应满足设计要求。侧轮安装视门叶布置而定，在深孔闸门中，由于孔口上部有胸墙的影响，侧轮应设在闸门的两侧，见图7-21*a*。由于门叶一般距侧墙间距很小，在门槽内无法组装侧轮，故应事先安装在门叶上一起吊入门槽。如侧轮设在门叶下游面时，见图7-21(*b*)，也可考虑在门叶入槽后再安装。

主轮的安装也视在门叶上的布置而定。图7-22中，(*a*)为简支轮；(*b*)为轮座式，可在门槽内组装；(*c*)为悬臂式，应在门槽外预先组装，随门叶一同吊入。

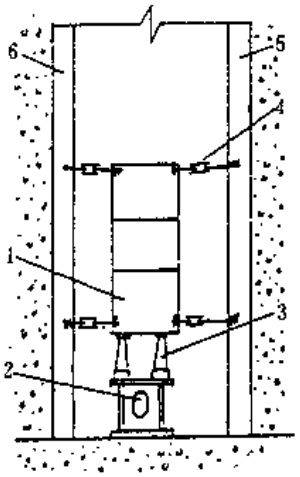


图 7-20　在底坎上组装闸门的布置

1—下门体；2—钢支墩；3—千斤顶；4—拉紧器；5—主轨护角；6—反轨护角

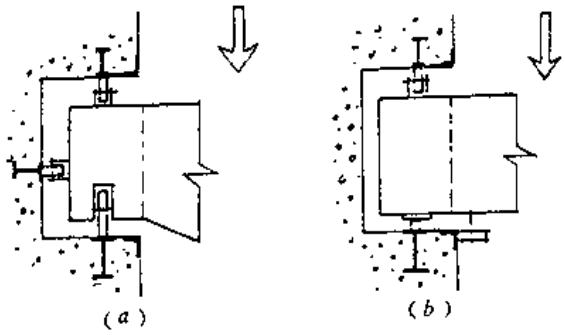


图 7-21　侧轮安装

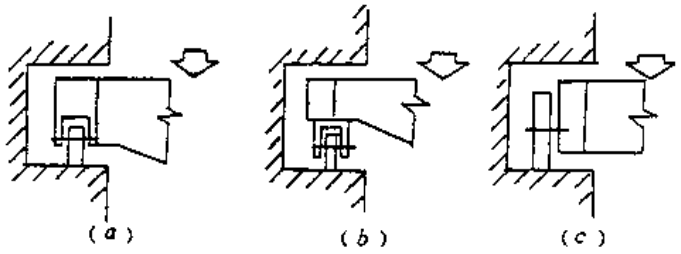


图 7-22　主轮安装

(*a*) 简支轮；(*b*) 轮座式；(*c*) 悬臂式

在门叶上游方向的安装工作做完后，吊起门叶，撤除底部钢支墩，使门叶处在悬空状态，用千斤顶支承在主导轨上，将门叶向上游方向平顶，人为预紧，将侧水封超量地压紧止水面，给门叶下游面与主导轨面间留出台车安装的空隙。为防止门叶顶紧量消失，在上游面用拉紧器拉紧门叶后，才能松除门叶下游面的千斤顶。接着沿门叶的高度方向，测量台车安装空隙并做记录，以确定台车各自应加垫的厚度。台车细部结构如图7-23所示。

台车装好后即可松除上游方向的拉紧器，将门叶调正位置，检查水封接触、预压量情况及各轮是否都与主轨面接触，全部合格后，在浇水润滑水封面的情况下，作门叶吊装试验。

2.在门槽非工作段组装

当平面闸门采用滑动支承时见图7-24。因门槽的净空间比较小，不能在底坎上进行组装，可按图7-25的布置形式在门槽非工作段（孔口高度以外）的部位组装。其组装方法基

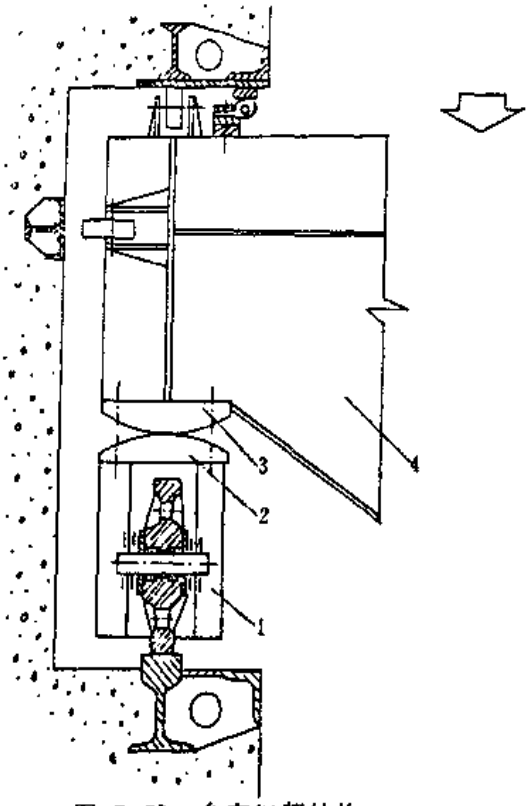


图 7-23　台车细部结构

1—主轮箱；2—弧形支座；3—弧形板；4—门叶

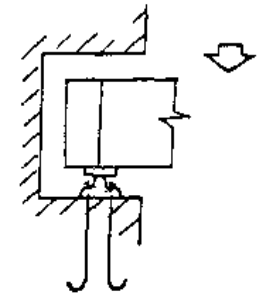


图 7-24　滑动支承

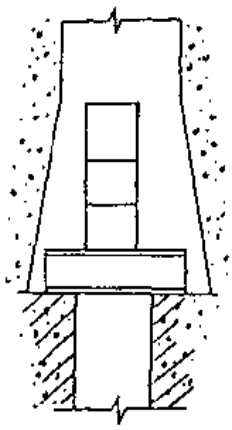


图 7-25　在门槽非工作段组装

本上与在底坎上的组装方法相同。

第三节　支 承 的 安 装

闸门的行走支承包括主要支承和辅助支承两部分。主要支承是指安装在闸门边梁上的主轮或滑道，它传递水压力。辅助支承指起导向作用的反轮和侧轮。支承形式分为滑动支承和滚动支承两类。

一、滑动支承安装

滑道的材料及结构形式有木支承见图7-26，金属支承见图7-27和压合胶木滑道支承见图7-28。

压合胶木滑道在主要闸门上用得较多，图7-28中(a)为整体铸造式，图7-28(b)为可拆卸装配式。其安装方法有两种：第一种是胶木滑道夹槽底部接触面经过加工，用垫铁调整其高程后，与闸门边柱翼缘用螺栓固定。这种安装方法对接触面有如下要求：①贯穿间隙Δ不应大于0.3mm，每段长度不超过100mm，累计长度不大于滑道全长的15%；②局部间隙$\Delta \leqslant 0.3$ mm，间隙宽度$b \leqslant L/10$，累计长度不超过滑道长度的25%。

安装好的胶木滑道应以止水座板面为基准进行复测，其允许偏差见表7-3。

第二种安装方法是在第一种安装方法的基础上，再在夹槽底部的接触面浇一层环氧树脂填料，这样可以增加滑道安装的接触面，克服第一种方法的缺点，但在安装工作中增加了接触面的处理（除锈、去油等）以及环氧树脂浇灌等工作。环氧树脂浇灌工艺本书从略，

表 7-3　　胶木滑道安装允许偏差

序　号	滑道跨度L（m）	滑道工作面的最高点与最低点的差（mm）	胶木滑道跨度的允许偏　差（mm）	单块滑块倾斜度（mm）	
				长度≤500	长度>500
1	≤5	≤2	±2	≤0.5	1
2	5～10	≤2	±2		
3	>10	≤2～3	±3		

可参阅有关资料。

二、滚动式主支承安装

滚动式主支承与滑动支承相比，摩擦阻力小，所需启门力小，但结构较复杂，所需钢材多。滚动式行走支承装置有滚轮和滚柱两种形式。滚轮支承比滑动支承的摩擦阻力要小3～7倍。滚柱支承的摩阻力更小，但构造复杂，使用较少，故不多述。

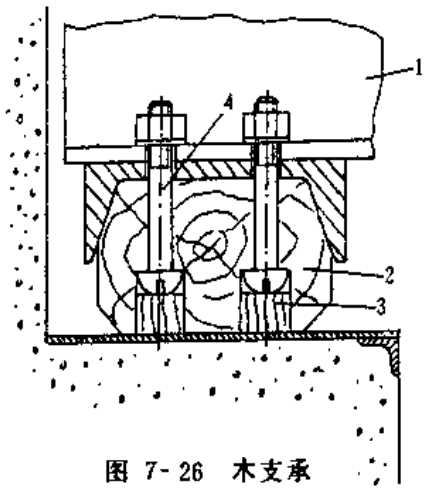


图 7-26　木支承

1—门叶；2—木滑道；3—塞木；4　螺栓

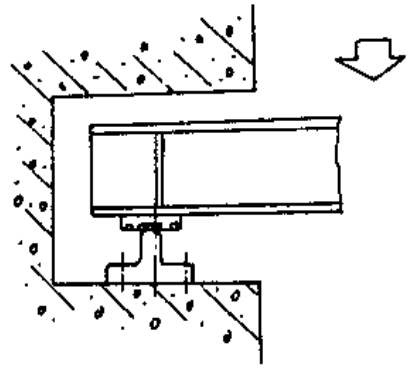


图 7-27　金属支承

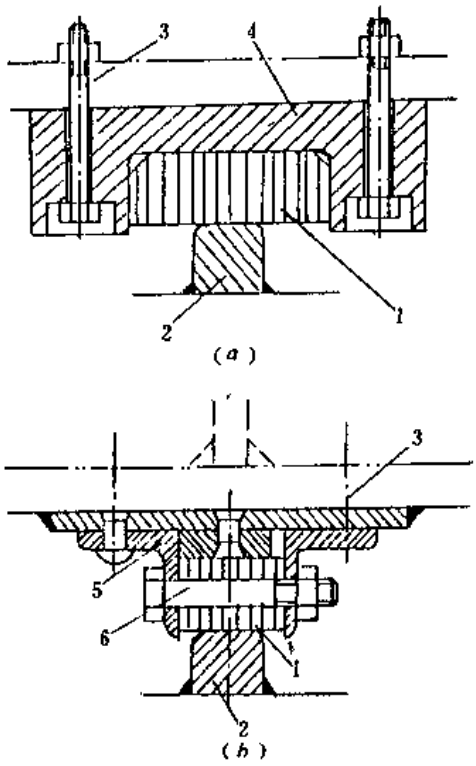


图 7-28　压合胶木滑道

（a）整体铸造式；（b）装配式

1—胶合木滑道；2　轨道；3—螺栓；4—铸钢夹槽；5—角钢；6—螺栓

滚轮支承的形式如图7-29所示，为使各轮调至同一平面，与轨道有比较好的接触，多采用偏心轴结构。如图7-30所示。偏心轴两端支承处的中心在同一轴线上，而其中段与滚轮接触处中心线与轴线偏离5mm（可得调整裕度10mm）。轴的一端焊有一个固定圆板，圆板上有八个等分圆周孔，用四只螺钉连接在滚轮支座板外侧的四个螺孔上。安装时转动偏心轴，可将所有滚轮调整在同一平面上，然后再将轮轴固定在边梁腹板上。

还有一种方法可以调整滚轮安装位置，即将支承板（边梁腹板）上的轴孔直径比轴径

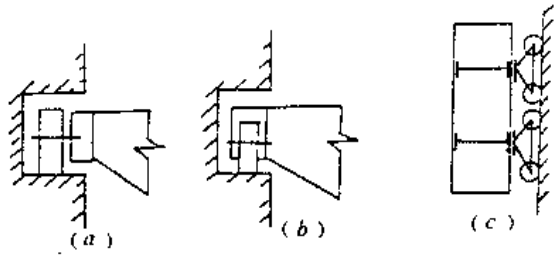


图 7-29 滚动支承形式

(a) 悬臂轮；(b) 简支轮；(c) 台车式

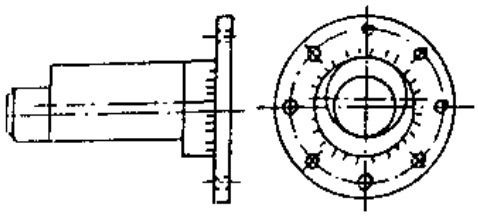


图 7-30 偏心轴

大10～15mm，同时在支承板外侧各加一块加强板（即浮动板），待闸门组装时所有轮子的踏面调整在同一平面后，再与支承板焊死见图7-31。

三、辅助支承安装

辅助支承即导向装置，由侧轮、反轮或滑块组成。侧轮的布置形式见图7-21。侧轮与反轮在安装前，要把各部零件分解、清扫、注油，而后装配成整体与门叶连接。调整侧轮轮轴至门叶中心线的距离偏差≤2mm，再以各侧轮座板的螺栓孔为样板，在边梁腹板上定好位置后钻螺栓孔。为避免螺栓孔处漏水，必须在底板处加橡皮垫，其厚度不小于8～10mm，其上的螺栓孔直径应比螺栓公称直径小2mm。侧轮面与侧轨面的间隙一般为10～20mm。

反轮的形式如图7-32所示。静水启闭的小型闸门可采用形式（a），仅在门叶上安装滑块，构造简单，但摩擦阻力大些。对跨度大的露顶式平面闸门，常采用形式（b）。对跨度大、水头较高、动水启闭的闸门往往采用形式（c）或形式（d），以缓冲吸震。反轮安装主要检查水封表面与反轮轮缘面间的距离，应与设计值相符，同时水封的压缩量亦应与设计值相符。

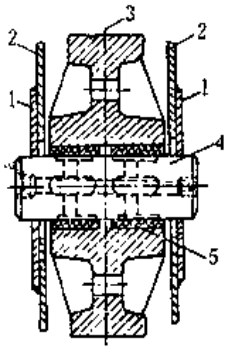


图 7-31 滚轮细部结构

1 浮动板；2—边梁腹板；3—滚轮；4—轴；5 轴衬

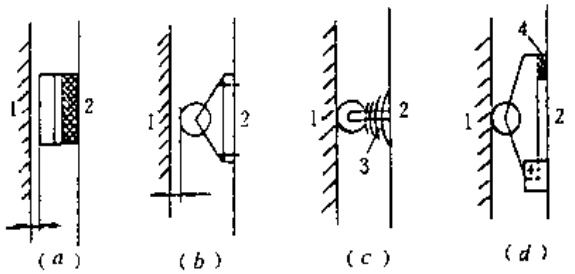


图 7-32 反轮

1—反轨；2—门叶；3—板簧；4—橡皮垫

第四节 止水的安装

为了堵塞门叶与埋件接触面之间的空隙而设置止水装置。止水失效，会造成闸门漏水，引起埋件的气蚀破坏。漏水量过大，还会引起闸门的振动。因此对止水装置的要求是密封可靠、摩擦力小、结构简单耐用、维修方便。常见止水橡皮断面形式如图7-33所示。

橡皮水封的安装顺序是钻孔（或冲孔）、胶接与安装调整。

（1）止水橡皮钻孔。把门叶水封座板处清扫干净、在螺孔周围涂上白粉笔，将止水橡皮抬放于水封座上，对好安装部位，用圆头手锤轻打涂粉笔的螺孔部位，并翻面放于木方上，再用专用橡皮钻头按粉笔印记逐个钻孔。专用橡皮钻头如图7-34所示，用45号钢制成，刀刃口经淬火处理。

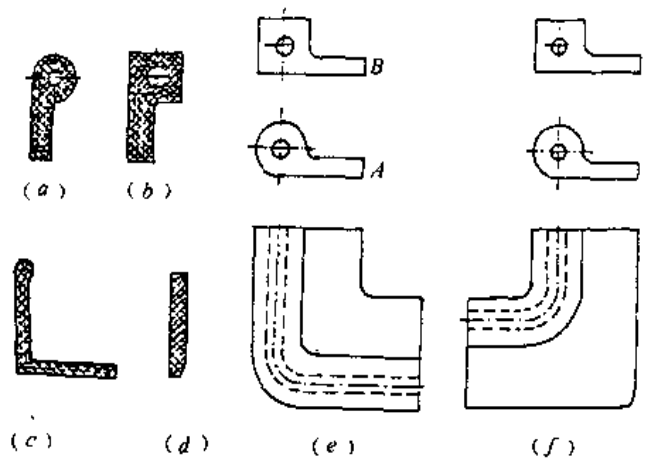


图 7-33 止水橡皮断面形式

(a) P形；(b) 方头P形；(c) L形；(d) 条形；(e)，(f) 转角橡皮

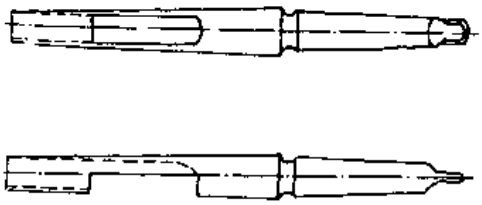


图 7-34 专用橡皮钻头

为避免从螺孔处漏水，橡皮螺孔直径要比螺栓直径小2mm。钻孔时，橡皮应处于自由状态并放平直，手电钻要垂直向下用力，不能用力过猛，以免橡皮受钻头过度挤压面钻成非圆孔。在钻孔过程中，可以将钻头放入水中冷却散热后再继续钻。钻孔后应随即把水封标上号码，以便对号装孔。止水橡皮的螺孔应严禁火烫。

（2）橡皮水封接头粘接工艺。橡皮水封到货尺寸不一定符合要求，在需要水封对接或转角水封与直水封的接头时，就得在工地采用热压粘接工艺。

水封接头的粘接，先要做一个如图7-35所示的铁模具，铁模中的空断面按水封橡皮的形状而制作，铁模分上下两半，用螺栓连接，为了夹紧水封橡皮，在截面厚度方向的尺寸要比胶接的水封薄2mm。

粘接的水封接头，为增加搭接长度，常需锯断、修锉成如图7-35(b)所示的斜坡状，搭接长度一般为水封厚度的8倍。锉好的接头要干净，上下两半接触要良好，接触面要用甲苯或汽油洗净，凉干后用棕刷把预先配制的胶合剂涂抹在结合面上，待胶合剂略干（即不粘手）时，用一块生胶用力拉薄至0.5~1.0mm左右并放在接缝之间，露出多余的生胶要修剪平整，在接头处包上一层水泥袋纸或上一层滑石粉以便于脱模，然后把待胶接水封放入模内，先把模具两端定位螺栓拧紧，合模前先固定卡紧板见图7-36。合模时拧紧螺钉和连接螺栓，将压紧待粘接的水封放入电热箱内见图7-35(a)，插入温度计，升温140~160℃之间，保温45min至1h，切断电源后，空冷至100℃以下可放入冷却池内，不烫手即可开模。

上述热压粘接所用胶合剂的配制方法如下，先把生胶片（代号1165、厚1.2mm）用汽油洗净，剪成小块，加120号汽油，按生胶：汽油≈1:1.5的重量比，放入容器密封浸泡48小时，搅拌成糊状，当泡透和浓度均匀后就可使用。否则还要多浸泡一些时间。

（3）止水橡皮安装调整。把止水橡皮放在水封座板上，盖上角钢盖板，穿上螺栓均匀拧紧，应保证螺栓头低于止水橡皮8mm以上。用水平仪配合测量止水不平度，即检查

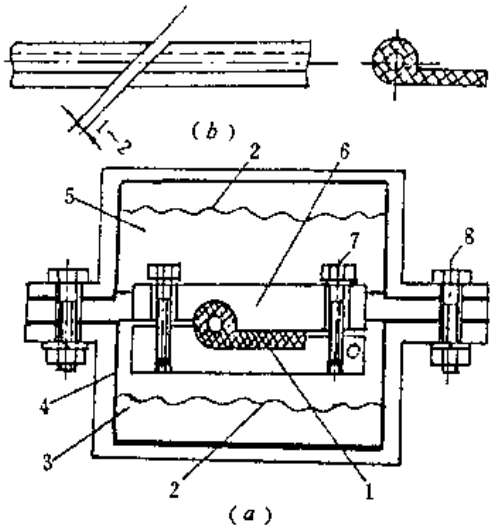


图 7-35 水封接头粘接及铁模具

1—P 型橡皮；2—3 kW电炉丝；3—加热箱下部；4 石棉布；5—加热箱上部；6—铁模具；7—螺钉；8—螺栓和螺母

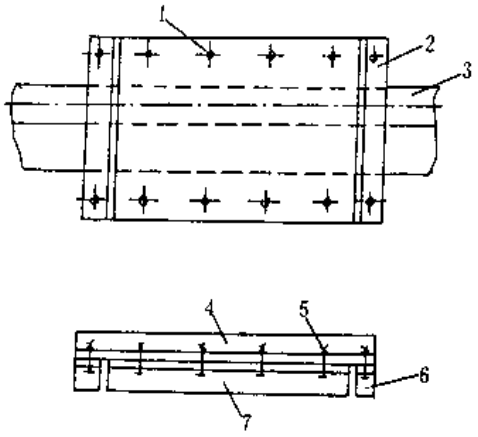


图 7-36 空位固定压板结构

1—螺孔；2—定位压板；3—P 型橡皮；4 -上模；5—螺栓；6—固定压板；7 - 下模

橡皮水封圆头表面的高程，每隔0.5 m测一点，误差不超过 2 mm，超过时，通过在止水橡皮下面加薄橡皮垫的方法，使水封头表面高度一致。调整用橡皮垫可剪成如图7-37所示的形状。

还有一种用木靠尺校正平面的方法如图7-38所示。将一面刨平，长约 2 m的木尺在侧止水座面与顶止水座面逐渐交叉靠平，遇有凸起处，即用手砂轮磨去、遇低凹处则加调整用平垫。如此重复数次，即可得一个平直的面。此法可用于初调整。

安装要求：两侧止水中心距离B和顶止水中心至底止水底缘距离H的偏差均不应超过 ±3 mm，止水不平度不应超过 2 mm，水封

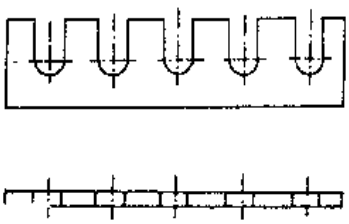


图 7-37 调整用橡皮垫

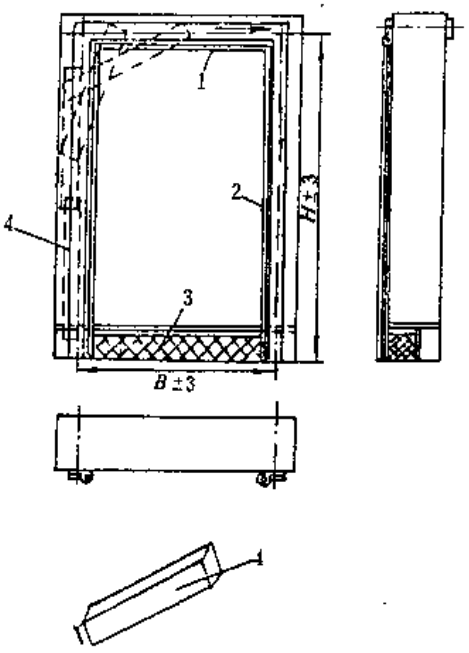


图 7-38 用木靠尺校正平面

1—顶止水；2—侧止水；3—底止水；4—木靠尺

对角线长度差不得超过其长度的1/1000，最大绝对值不大于±10mm。闸门处于工作位置，压缩量应符合设计要求，允差$^{-2}_{1}$mm。实践证明，根据门槽埋件跨度（宽度）的实测尺寸来控制止水橡皮的压缩量，有利于保证止水的安装质量。

第五节　门叶的吊装及调试

门叶吊装要根据现场情况选用不同的方法。

一、利用自然地形吊装

当闸门需要从闸门井孔口吊入工作位置时，可利用附近的山坡设立桅杆吊装如图7 39所示。桅杆系用电铲支臂与角钢加固而成，上端用四股缆风绳与地锚固定，为增大回转半径，这四股缆风绳各装置滑轮组，作桅杆俯仰之用，其中的钢丝绳活头分别通向固定的卷扬机。

组装好的门叶入槽前，先用卷扬机、滑轮组、滚杠等将其移至洞口处，门顶朝向洞口。开动控制桅杆俯仰的固定卷扬机，使桅杆顶部吊点朝下对准闸门井口，然后在桅杆顶的定滑轮组与闸门顶部的动滑轮组之间穿绕钢丝绳，钢丝绳一端活头经启闭机室侧墙的地锚引向卷扬机。开动卷扬机把闸门拽向启闭机室，当桅杆上吊钩能够接触到闸门吊耳时，便可把门叶吊起离地并进入启闭机室内，之后，停止上升、检查安全无问题后，把闸门下落到孔口上临时锁定。拆去侧墙上地锚，准备在水封处浇水润滑，然后把闸门吊入门槽。

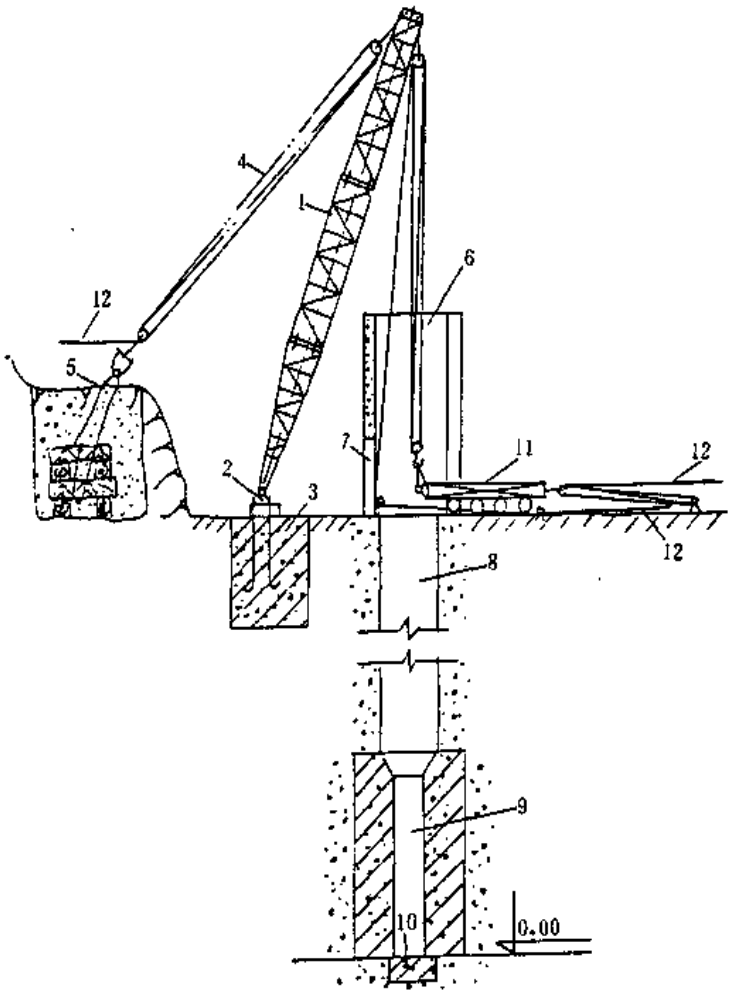


图 7-39　利用自然地形吊装布置

1—桅杆；2—固定铰座；3—混凝土坑；4—缆风绳；5—地锚坑；6—启闭机室；7—大门；8　闸门井；9—门槽；10　底坎；11—门叶；12- 溜绳

二、利用启闭机吊装

若闸门起吊前启闭机已安装好，则直接用启闭机进行吊装不仅安全而且省事。在吊装前，要检查验收启闭机的安装质量，如制动装置是否可靠。在吊装过程中，要注意各部件的运转情况是否正常，如发现异常现象则应停机检查、分析原因并处理。

有条件时，可利用门式起重机吊装闸门。

闸门安装完，要在无水情况下作全行程启闭试验。试验前必须清除门叶上和门槽内所有杂物。启闭时应在水封处浇水润滑，并应检查滚轮转动情况、闸门升降有无卡阻现象、止水橡皮有无损伤等。

闸门全部处于工作位置后，应用灯光、塞尺等方法检查止水橡皮的压紧程度，不应有透亮现象或间隙。如闸门为上游止水，则应在支承和轨道接触好以后再检查，主轮的全部轮子应调整在一个平面内与主轨接触。水封压缩量不够的地方要通过局部加垫的方法来调整，以免漏水。规范规定，闸门在承受设计水头的压力下，通过橡皮止水的漏水量不应超过0.1L/s。在安装埋件时，埋件的安装偏差应尽量控制为都是上偏差，或都是下偏差，这样有助于根据埋件的实测尺寸来调整水封压缩量。

单吊点的平面闸门应作静平衡试验，方法为：将闸门吊离地面100mm，通过滚轮或滑道中心测量上下游方向与左右方向的倾斜，倾斜度不应超过门高的1/1000，且不大于8mm。

第八章　弧形钢闸门的安装

第一节　弧形闸门埋件的安装

弧形闸门埋件包括底坎、弧门侧轨、支铰座的支承埋件等。潜孔式弧形闸门，还设有顶部固定止水座板（门楣）等。图8-1为潜孔弧形闸门埋件布置情况。

一、底坎安装

弧门底坎多由型钢或钢板焊制而成。其安装方法与平面闸门底坎安装相同，此外，还必须检查底坎中心至支铰中心的半径R值，误差不得超过±5mm。

弧门埋件安装的允许偏差见表8-1。

二、弧形侧轨安装

弧门侧轨呈弧形，一般侧向止水座板和侧轮导板做成一体，上面镶有不锈钢条，以提高止水效果、防锈和减少摩擦。弧门侧轨结构的断面形式主要有如图8-2所示的三种。

弧门侧轨的安装步骤：

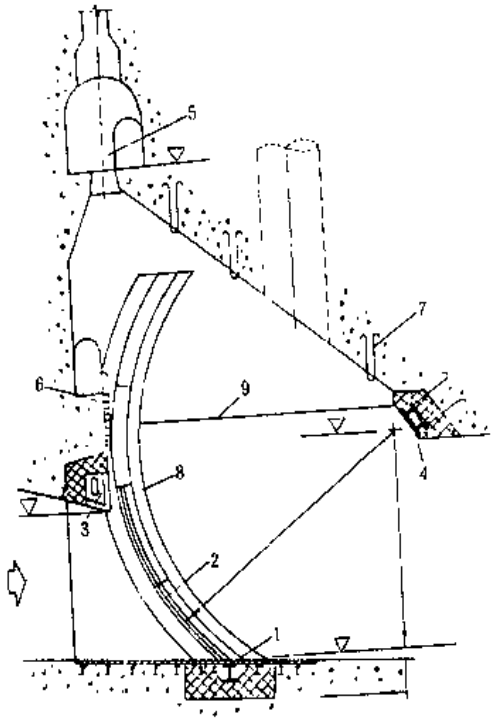


图 8-1　潜孔弧门埋件布置情况

1—底坎；2—弧形侧轨；3—门楣；4—支铰座下面埋件；5—启闭机室；6—爬梯；7—预埋吊环；8—混凝土预留槽；9—检修平台

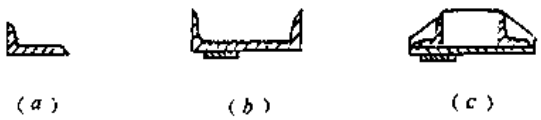


图 8-2　弧门侧轨结构

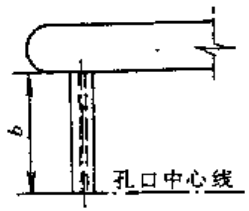
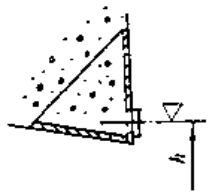
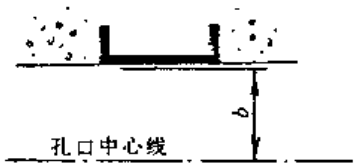
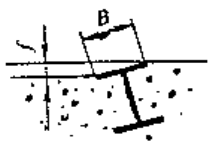
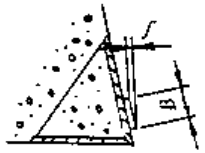
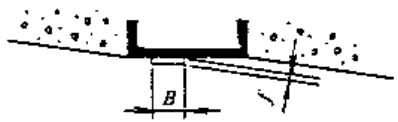
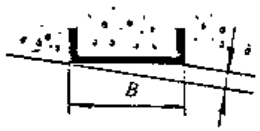
(a)不等边角钢构件；(b)槽钢上镶焊不锈钢；(c)钢板与型钢焊制镶焊不锈钢

（1）预留槽处理。为使预留槽净空尺寸满足安装调整的要求，检查预埋插筋的情况，漏埋的要处理，插筋伸出长度保留150mm左右并校直。

（2）设置控制点。为检查垂直度和扭曲度，必须在侧墙上适宜的外露钢筋头上设置控制点S_1、S_2、S_3和S_4，以形成两个“Π”形控制基准平面S和S'，如图8-3所示。带有活套的线3可以在线1和线2上沿水流方向移动。控制基准面距侧止水座板面最好取50～100mm之间的一个整数值。测量线3距侧轨面所得数值偏差就是对孔口中心线的偏差。

弧形侧轨安装，除了控制侧轨板的垂直和扭曲度之外，同时还应调整控制侧止水板中心至支铰中心的半径R，误差不超过±5mm。由于半径值一般都是十余米，用钢卷尺测量不易拉紧，往往影响读数的准确性，因此一般将控制半径R转换成控制如图8-3所示的b_n

表 6-1　　弧形闸门埋件安装的允许偏差（mm）

序号	埋件名称		底坎	门楣	侧止水座板		侧轮导板
					潜孔式	露顶式	
	简图						
1	里程		±5	$\pm^{2}_{1}$			
2	高程		±5				
3	门楣中心至底坎面距离 h			±3			
4	对孔口中心线 b	工作范围内	±5		±2	$^{+3}_{-2}$	$^{+3}_{-2}$
		工作范围外			$^{+4}_{-2}$	$^{+6}_{-2}$	$^{+6}_{-2}$
5	工作表面一端对另一端的高差	$L\geqslant 10000$	3				
		$L<10000$	2				
6	工作表面波状不平度		2	2	2	2	2
7	工作表面组合处的错位		1	0.5	1	1	1
8	侧止水座板和侧轮导板中心线的曲率半径				±5	±5	±5
9	工作表面扭曲 f	简图					
		工作范围内表面宽度 $B<100$	1	1	1	1	2
		工作范围内表面宽度 $B=100\sim200$	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5
		工作范围内表面宽度 $B>200$	2		2	2	3
		工作范围外允许增加数值			2	2	2

注　1. L 为闸门宽度；
2. 安装时门楣一般为最后固定，宜按门叶实际位置调整；
3. 工作范围指孔口高度；
4. 构件每米至少测一点；
5. 潜孔式侧止水座板如为不锈钢，其组合处错位为0.5mm；
6. 组合处错位应磨成斜坡。

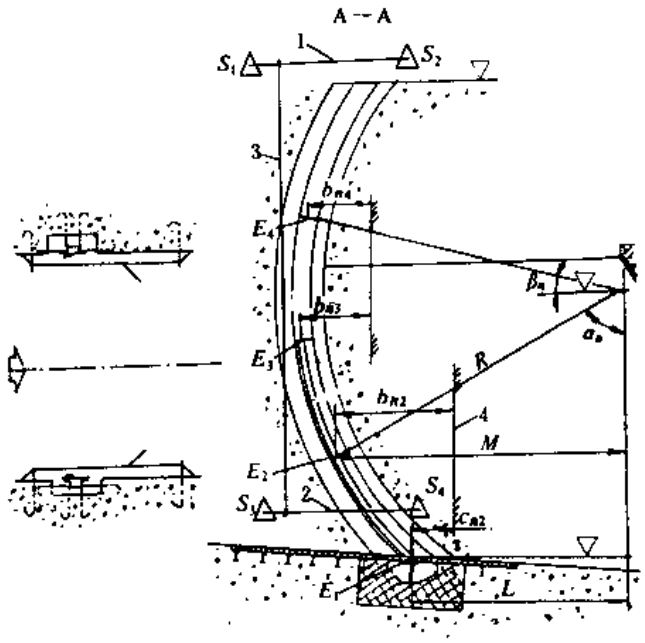


图 8-3 弧形侧轨安装控制基准

值。b_n为各节侧轨止水座板中心至基准线的水平距离。基准线 4 或 5 由测量队放在侧墙上。例如安装第一节侧轨时控制b_{n2}值和E_1点。

$$b_{n2} = M - L + C_{n2} = R\sin a_n - L + c_{n2} \tag{8-1}$$

式中 b_{n2}——第一节侧轨止水座板中心E_2点至基准线 4 的水平距离(mm)；

l——底坎中心E_1至支铰中心的水平距离(mm)；

M——E_2点至支铰中心的水平距离(mm)；

a_n——侧止水座板中心 E 点在不同高度时与支铰中心所夹角度(度)；

当$a_n > 90°$时，$a_n = 90° + \beta_n$，式中$\sin a_n$用$\cos\beta_n$代替。

c_{n2}——由控制点的设计者提供，一般先使b_n值为小于1.5m的一个整数，据此算出$C_{n2} = b_{n2} - R\sin a_n + L$。

安装调整完毕，由有经验的安装工人用力拉紧钢卷尺，直接测量出半径 R 的数值与偏差。

（3）侧轨预拼装。检查各分节的接缝间隙、坡口角度和不锈钢止水面的波浪度。不合要求则用手砂轮修整处理，使波浪度小于0.5mm。在每节侧轨的止水座板两端打冲眼，做出组装记号，焊上吊耳。

（4）侧轨安装。吊装露顶式弧形侧轨时，使用门式起重机最为方便，也可以在侧轨上方闸墩顶部预埋吊环，使用卷扬机吊装就位。吊装顺序为自下而上，先调整好下节侧轨并加以固定，再吊上一节，依次安装到顶。经全面检查安装允差合格后，再焊接加固锚钩。焊接时要采取正确的焊接工艺，以防止侧轨埋件因焊缝收缩过多而变形。

三、支铰座下面的支承埋件安装

弧形闸门支铰座下面的支承埋件一般有三种形式：图8-4(*a*)为钢筋绑扎的锚架；图8-4(*b*)为型钢组合的座垫式；图8-5为支承钢梁。

这三种支承埋件的安装过程说明如下：

（1）露顶式弧形闸门支铰座埋件——锚架式的安装。在混凝土浇筑到闸墩牛腿时，把已绑扎好的锚架吊上牛腿与闸墩主筋对应位置进行焊接。安装位置要符合设计要求。一期混凝土外伸钢筋浇筑之后会有不同程度的偏差，必须在安装支铰座之前采用钢筋（或钢板）焊接过渡来处理。

（2）潜孔弧形闸门支铰座埋件——座垫式的安装。安装座垫的预埋插筋为ϕ30mm左右的钢筋，按设计要求预埋在一期混凝土中，见图8-6。控制基准线 1 和 2 测放到左右

牛腿侧墙上，将距孔口中心线的b值测点测放到牛腿上相应点y，b值允差为±1.5～2mm，高程▽距底坎偏差为±2mm，控制基准面距埋件的安装平面为50～100mm间的一整数值。埋件调整好后要加固，交土建单位浇筑二期混凝土。浇筑之后要复测并作记录。

（3）潜孔弧门支铰座埋件——支承钢梁的安装。闸室的空间要有足够的吊装尺寸并预埋好吊环。吊装钢梁前要按图8-5所示焊好左右钢梁支架并加固。钢梁安装的控制基准线与座垫式基本相同。弧形闸门铰座的基础螺栓中心位置偏差不应大于1mm。支承钢梁的里程、高程和对孔口中心线的偏差不应超过±1.5mm。钢梁的倾斜度见图8-7，按其水平投影L的偏差值来控制，其偏差不应大于$L/1000$。

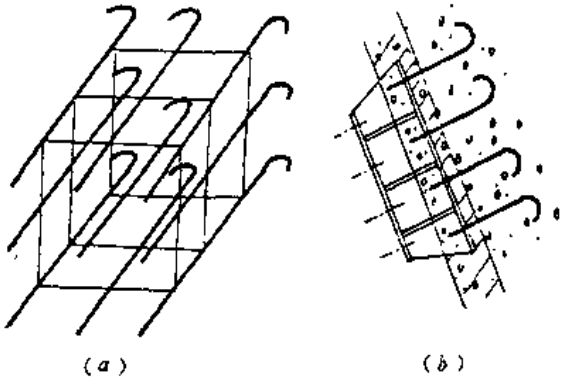


图 8-4 弧门支铰座埋件安装
(a)锚架式安装；(b)座垫式安装

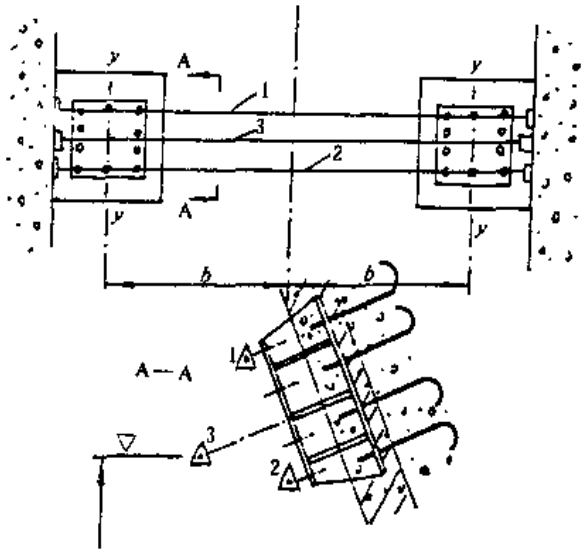


图 8-6 座垫式安装

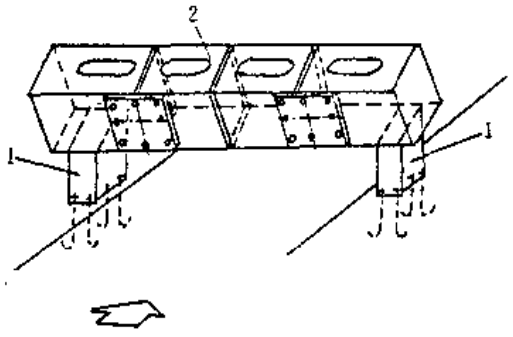


图 8-5 支承钢梁安装

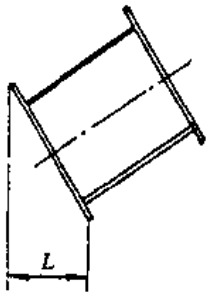


图 8-7 钢梁的倾斜度

四、支铰座安装

弧形闸门支铰座是主要部件，它使闸门绕铰轴转动而启闭，它将支臂传来的全部水压力和一部分闸门自重传递给闸墩。支铰座材料常采用ZG25～ZG45铸钢。支铰座结构形式如图8-8所示，其中图（a）所示结构简单，制造安装较方便，适用于中、小弧门。

1.支铰座安装前的准备工作

（1）清扫干净轴孔、辐板根部等处，对支铰座进行编号；

（2）在适宜吊点处焊一个吊耳，以便吊装就位调整；

（3）检查底部基础螺栓孔几何尺寸、支铰座下面支承埋件螺栓几何尺寸，以便配套

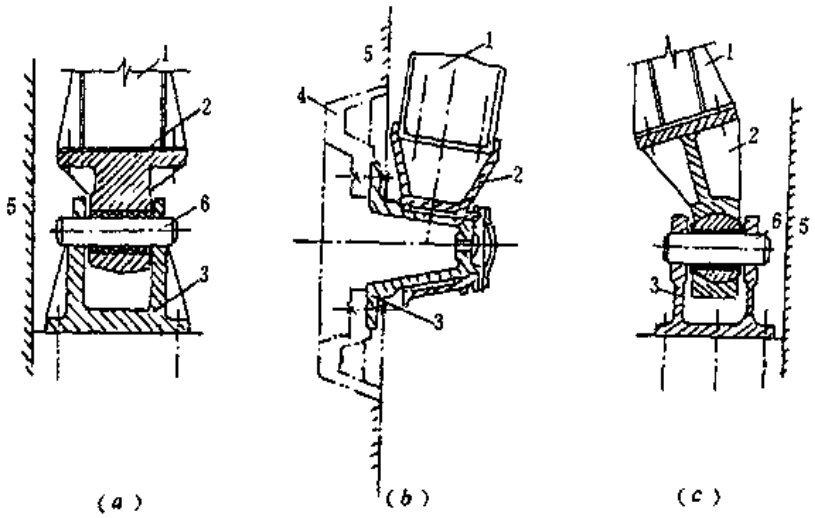


图 8-8 支铰座结构形式

(a) 圆柱铰；(b) 圆锥铰；(c) 球形铰

1—支臂；2—支铰链；3—支铰支座；4—支承环；5—闸墩；6—支铰轴

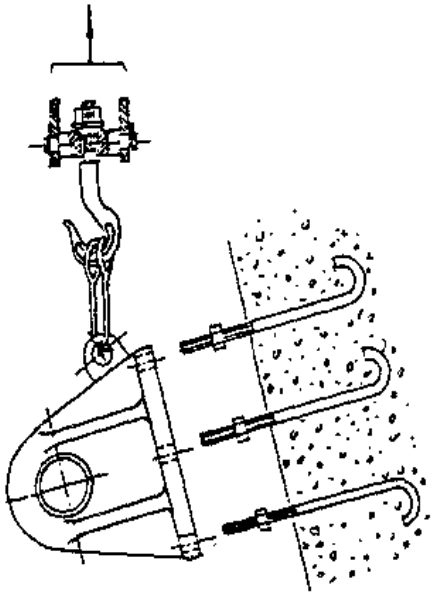


图 8-9 支铰座吊装

安装。

2.支铰座吊装调整

支铰座吊装就位前，先在预埋螺栓上安装调整螺母，如图8-9所示。当支铰座吊升至基础螺栓前，用人工摆正并对准螺栓慢慢推入，如有少数螺栓卡住现象，应处理螺栓位置，使螺栓与支铰座螺孔间留有较均匀的间隙，快速旋上螺母，经检查无误方可摘钩。调整工作可用千斤顶、拉紧器、调整螺母等。

图8-10为支铰座安装控制基准，基准线3穿过左右支铰座的四个轴孔，基准线 a 和 c 距支铰座加工底面为50～100mm间的一整数值。调整后，使支铰座的里程、高程、倾斜度以及轴孔的同心度达到设计要求。同时要控制调整支铰座的跨度，图8-10(b)中在牛腿表面上测放的y-y线是根据孔口中心线定出的，调整 b 值达到偏差要求。

支铰座位置调整找正后，焊接加固锚钩，注意控制焊接变形量，使加固的锚钩与原有的预埋螺栓形成一整体钢架，具有足够的刚度和强度。经复测合格交付土建单位浇注二期混凝土。

潜孔弧形闸门支铰座安装方法与露顶弧门支铰座安装基本相同。但潜孔弧门支铰座安装在闸室里进行，在运输、吊装、测量、调整及照明等方面均比露顶弧门支铰座安装困难得多。所以必须事先安排好准备工作、吊装措施等。

支铰座安装的允许偏差见表8-2。

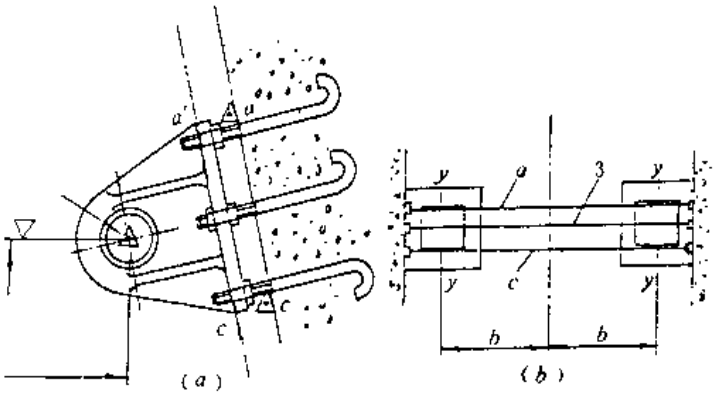


图 8-10　支铰座安装控制基准

五、潜孔式弧门顶部固定止水安装

潜孔弧门顶部固定止水的作用是：在闸门关闭时，它和侧止水与底止水一起堵塞门叶与埋件周界的间隙，以防漏水；另一个作用是当闸门开启时，使其止水紧贴在门叶弧面上，以阻止高压水从上游射向门叶顶部，避免损坏水封并减少闸门振动。顶部固定止水常见形式见图8-11。

表 8-2　支铰座安装的允许偏差（mm）

序　号	项　　目	允许偏差
1	铰座中心对孔口中心距离	±1.5
2	里　　程	±2
3	高　　程	±2
4	铰座轴孔倾斜度	0.1%
5	两铰座孔轴线相对位置的偏差	2

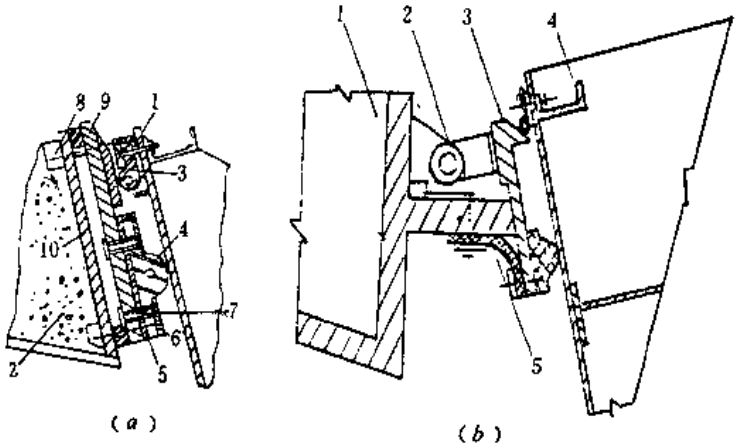


图 8-11　弧门顶止水

(a)固定顶止水结构；(b)摆动式顶止水结构

固定式顶止水如图8-11(a) 所示。安装时，先将定位板10预埋在胸墙 2 上，螺栓孔用黄油填满并塞紧，防止浇筑一期混凝土时砂浆流入孔中不易清除。待弧门安装完毕，把止水座板 9 吊装就位，穿上调节螺栓 8，再装上平橡皮 5 和Ω形止水橡皮 4，拧紧水封螺栓7（或将构件4、5、6与 9 预装好），然后将闸门启闭数次以调整水封压缩量，改变止水座板 9 后面的空隙与平橡皮垫 5 的厚度来达到设计要求。再由土建单位用环氧砂浆回填水封座板与定位板10之间的间隙。

摆动式拐臂水封如图8-11(b) 所示。这种结构止水的连续性和严密性比较好，橡皮不

易磨损，安装质量容易保证。埋件上的拐臂3可以绕铰轴2摆动，拐臂上的Ω形止水橡皮紧贴在弧门面板上，平橡皮垫5的厚度可调整以改变其刚性，门叶上的P形止水橡皮又压紧在拐臂的止水面上。可摆动式拐臂水封也是两道顶止水。安装时先预埋固定座板1，再装活动铰2，后装拐臂上的平橡皮垫5和Ω形止水橡皮，最后装弧门面板上的P形橡皮。

由于在弧门制造过程中，难以消除焊接变形的影响，由此造成弧门面板横向不直度以及局部不平度的偏差。另外，门叶、支臂受水压后产生弹性变形使门体后退，所以顶止水漏水是目前不易解决的难题，安装时应注意提高质量。

第二节　支臂的组装

支臂与门叶主横梁的连接、有电焊和螺栓连接两种形式如图8-12所示。图（a）结构简单，焊接变形难于控制，一经焊上后无法拆卸，很少采用。图（b）一般配合抗剪板使用，应用最多。

支臂与活动支铰的连接方式有两种，如图8-13所示。图（a）所示为支铰顶板与支臂底板通过螺栓连接，两板间设置稍带斜度的抗剪键起减载作用。图（b）所示为支臂插入支铰的侧板，用精制螺栓（或铆接）连接支臂的翼缘板，螺栓承受剪切力，这种连接方式用于弧门工作承受双向水头的时候。

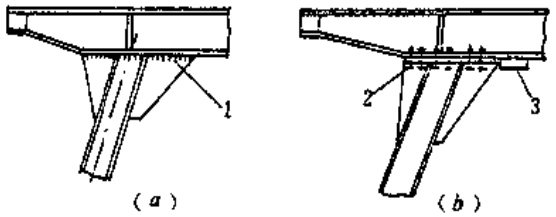


图 8-12　支臂与主横梁连接方式

（a）电焊连接；（b）螺栓连接

1—焊缝；2—螺栓；3—抗剪板

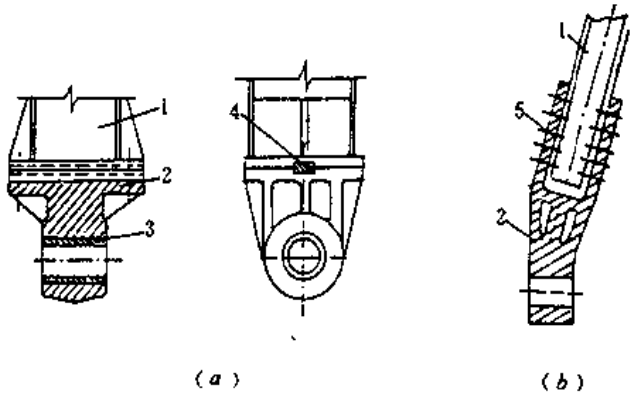


图 8-13　支臂与活动支铰的连接方式

1—支臂；2—支铰；3—轴套；4—抗剪键；

5—连接螺栓

支臂组装包括以下内容：支臂臂杆和连接杆的组装；活动支铰与支铰座的连接；支臂与支铰的连接；支臂与主梁的连接。

一、支臂臂杆和连接杆的组装

大型弧门支臂组成后的整体尺寸太大，所以是以单件或组合件的形式运到工地再进行组装的。图8-14所示为直支臂组装。组装一般在混凝土支墩平台上进行。每个支墩顶面预埋一块钢板，要求各个支墩顶面高程相对误差不超过2mm，支墩距地面高度约1m左右。平台形成的夹角应与支臂轴线夹角一致。混凝土支墩平台形式如图8-15所示。

直支臂组装时，先将直臂杆1和角形臂杆2吊上支墩，按图纸尺寸找正臂杆中心轴线，然后装上竖杆4，用点焊点固，使支臂形成一个具有“A”字形的刚性构架，再将其它竖

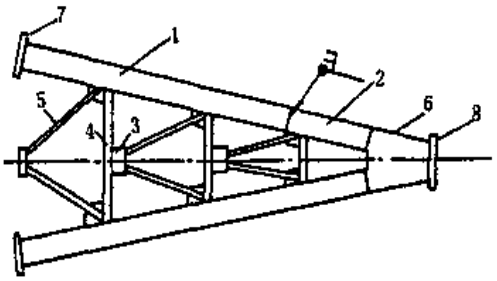


图 8-14 直支臂组装

1—直臂杆；2—角形臂杆；3—节点板；4—竖杆；
5—斜杆；6—夹板；7、8—连接板（顶底板）

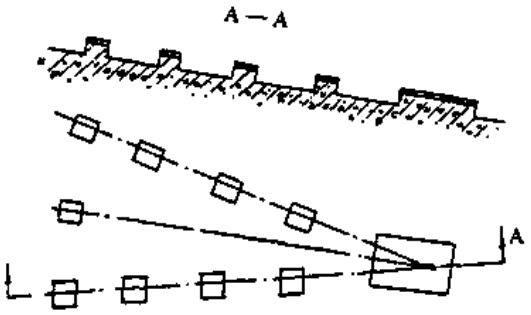


图 8-15 支臂组装混凝土支墩平台

杆、节点板和斜杆依次装好，点焊牢固。支臂与主梁连接板 7 及与活动支铰的连接板 8 应在制造时分别与门叶上的螺孔及与活动支铰上的螺孔配钻，以防止错位安装螺栓困难。与门叶的连接板 7 一般用螺栓固定在主梁后翼板上运往工地，待安装调整好后才正式与臂杆焊接。

组装时要控制支臂开口处弦长 b，其允许偏差：当 $b<4$m 时，允差为 ± 2mm；4m $<b<$ 6m 时，允差为 ± 3mm；$b>6$m 时，允差为 ± 4mm；同一个支臂的两臂杆长度 L 值不得超过 ± 3mm；左右两个支臂长度相对差不大于2mm；支臂侧面扭曲不应大于2mm，上下支臂侧面，在同一断面上的倾斜值不应超过5mm。

斜支臂的组装如图8-16所示，组装方法与直支臂相同。不同处在于，当支臂与主横梁水平连接时，在支铰处两臂杆具有一个空间扭角 $[\phi=\arcsin(\sin\theta\,\mathrm{tg}\alpha)]$，见图8-17。在组装时，要保证扭角的正确，否则将影响门叶整体关系，使弧门不能正常启闭。

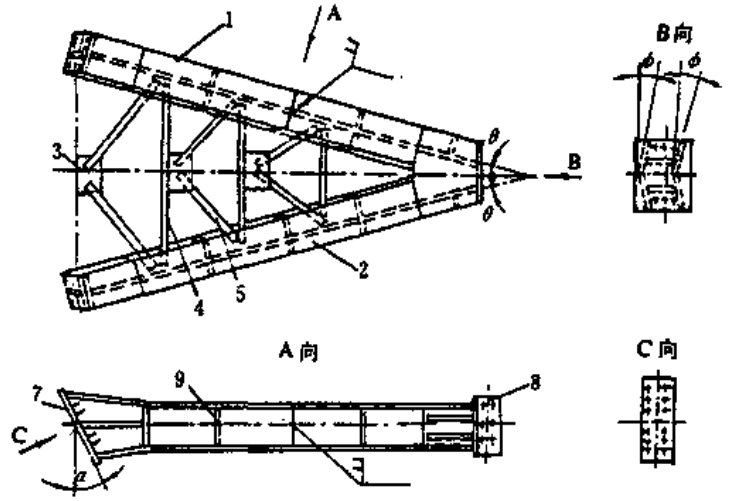


图 8-16 斜支臂组装

由图8-18看出，斜支臂组装时，可在支臂翼缘处采取加垫的方法来保证设计扭角值，加垫厚度 Δ 决定于 ϕ 角的大小且与翼缘板宽度 B 成正比。

$$\Delta = B\sin\phi \tag{8-2}$$

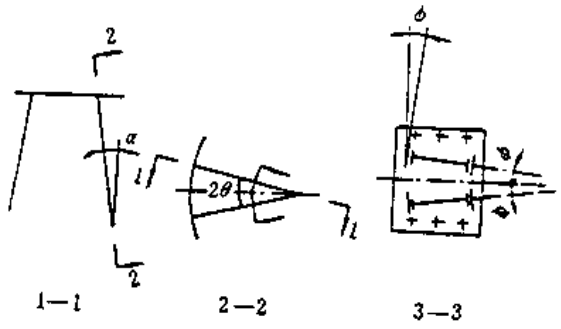


图 8-17 斜支臂空间扭角

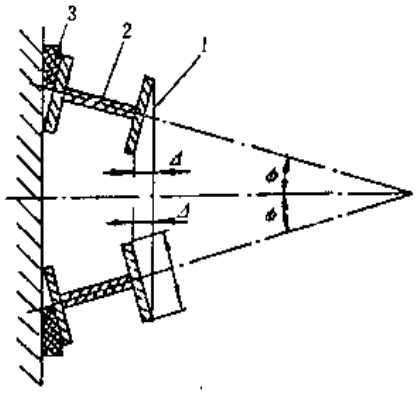


图 8-18 斜支臂组装加垫

1—平台平面线；2—臂杆；3—加垫

支臂组装完成经点焊检查合格后，即可进行焊接。焊接的顺序为：如在工厂把支臂主杆组装成直臂杆和角形臂杆，则角形臂杆的焊接顺序为：先焊竖杆与支臂主杆的连接焊缝，再焊臂杆与夹板的焊缝（先焊臂杆翼板与夹板的对接缝，后焊臂杆腹板与夹板的角缝）。其余焊缝在工地组装后的焊接顺序为：先焊直臂杆与角形臂杆的对接缝，其次是竖杆与臂杆的连接缝，然后是节点板与支臂及竖杆的连接缝，最后是斜杆与节点板的连接缝，如斜杆为角钢，焊接时应先焊肢背，后焊肢尖。

二、活动支铰与支铰座的连接

活动支铰、支铰轴和支铰座共同组成弧形闸门的支承铰。安装前准备工作如下：

（1）清扫注新油：将活动支铰、支铰座轴孔和外表面以及油路清洗干净并注入黄油。

（2）焊接吊耳：为便于吊装，在活动支铰外表面焊接吊耳。吊耳位置的选择以闸门启闭全行程中，吊耳与支铰座不产生干涉为原则。

（3）测量轴径：支铰轴一般用45号钢制成，表面镀铬。支铰轴和轴套的配合，一般选用$\frac{H8}{d11}$或$\frac{H9}{d11}$。清洗完支铰轴，要用外径千分尺测量轴径公差值。个别轴径过大时，应进行机械加工处理。

（4）编号配套：在轴径公差值已记录的基础上，将活动支铰、支铰轴和支铰座编号配套。

（5）制作专用穿轴工具：图8-19所示，穿轴工具由螺栓1（同止轴板固定螺栓规格相同）和多孔钢板焊接而成。

活动支铰、支铰轴与支铰座的连接过程如下：

吊装活动支铰就位，再用另一套起重工具吊装支铰轴就位且对准支铰座轴孔用力推入，晃动活动支铰，使已穿过支铰座一个轴孔的支铰轴对正活动支铰孔，用大锤慢慢地打入，然后改用穿轴专用工具，用千斤顶将轴压入。图8-20所示为用专用穿轴工具安装的过程。当轴穿入约一半时，吊装支铰轴的工具可松脱。注意支铰轴穿好后，位置要对正止轴板，穿上弹簧垫圈，拧紧螺钉，安装好油杯。检查一下活动支铰转动是否灵活。

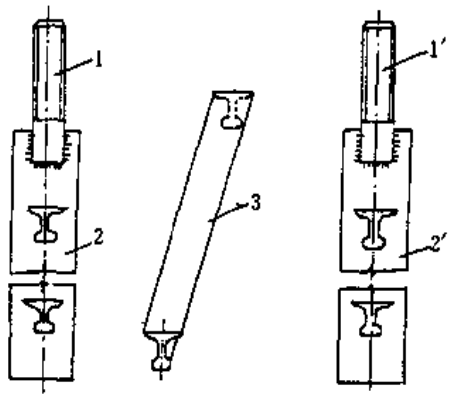


图 8-19 穿轴工具

1、1'—螺栓；2、2'—钢板；3—小钢轨

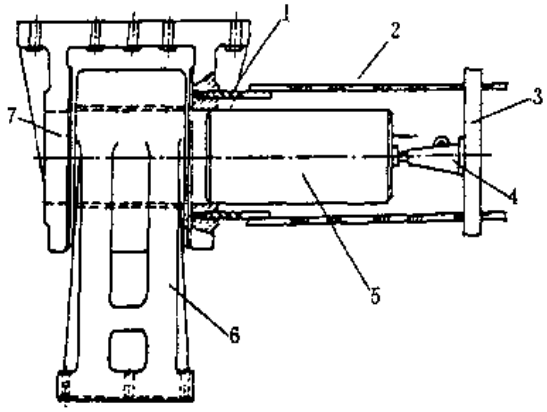


图 8-20 穿轴过程

1—螺栓；2—钢板；3—小钢轨；4—千斤顶；5—支铰轴；6—活动支铰；7—支铰座

三、支臂与活动支铰的连接

支臂的底板与活动支铰的连接螺孔应用配钻方法加工，然后将底板与角形支臂临时定位，点焊牢固，等待安装。

吊起整体支臂，同时也用另一起吊工具转动活动支铰与支臂底板对齐，快速拧上安装螺栓，装上抗剪键，再用对称法拧紧全部螺栓。将支臂另一端落于溢流坝面上或闸室底坎近处，等待与弧门门叶连接。

第三节 门叶的组装

弧形闸门门叶考虑到运输等原因而设计成分块门体，在厂家制造时应进行预组装，运到工地后再组装成整体门叶进行吊装。也可在工地安装时，将分段门叶逐段吊装就位，经调整检查合格后直接焊接。

门叶运到工地后，要设置平台进行组装，露顶弧门组装平台一般设置在门槽近旁的开阔场地，而潜孔弧门可在隧洞进口处设置组装平台。

组装平台用道木垛、型钢和钢梁搭设。平台高度的确定原则应有利于组装调整和仰焊面板的对接焊缝等项工作。

门叶组装顺序与平面闸门门叶组装基本相同。首先对分块门体进行检查、调整，然后将其依次吊上平台，按厂家的预组装记号进行组装，控制组装的几何尺寸偏差在允差范围内，然后焊接组合缝。门叶组装几何尺寸的检查如图8-21所示。

门叶组装主要检查项目的允许偏差见表8-3。

门叶几何尺寸全部调整合格后，先用

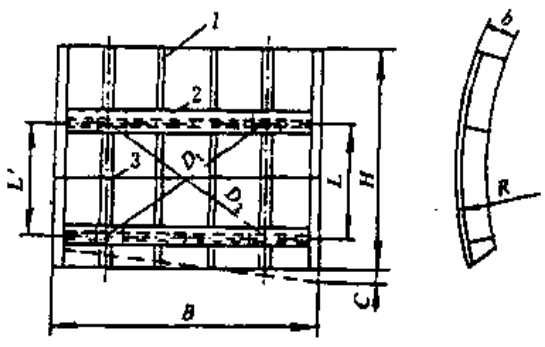


图 8-21 门叶组装尺寸检查

1—纵梁；2—主横梁；3—分块焊缝

表 8-3　　弧形闸门门叶制造、组装的允许偏差（mm）

序号	项目	门叶尺寸	允许偏差		备注
			潜孔式	露顶式	
1	门叶横向不直度	门宽≤5000	3	6	通过各主、次梁或横向隔板的中心线测量
		5001～10000	4	7	
		>10000	5	8	
2	门叶高度和宽度	门宽或门高			
		≤5000	±5		
		5001～10000	±8		
		10001～15000	±10		
		>15000	±12		
3	对角线相对差 D_1-D_2	取门宽或门高中尺寸较大者			在主梁与支臂组合处测量
		≤5000	3		
		5001～10000	4		
		>10000	5		
4	扭曲	门宽 ≤5000	2		在主梁与支臂组合处测量
		门宽 >5000	3		
		门宽 ≤5000	3		在门叶四角测量
		门宽 >5000	4		
5	面板局部凹凸不平度	面板厚度 t	每米范围内不超过		
		8～10	4	6	
		10<t<16	4	5	
		>16	3	4	
6	顶止水座板面不平度		2		
7	侧止水座板面不平度		2		侧止水装于门叶两侧与面板垂直

定位焊固定，组合缝的焊接顺序与平门门叶组装时相同。门叶组装好后，即可进行清扫、除锈、刷漆或喷镀工作。

第四节　门体的吊装及调试

门体吊装及调试分五步进行：

一、门叶运输

露顶式弧门门叶组装好后可以用门式起重机直接吊运至门槽。

潜孔弧门门叶一般在隧洞进口处组装，组装好后，用土法吊起门叶，撤除组装平台，将门叶放在运输台车或硬杂木制成的船形拍子上，用钢丝绳、手动葫芦捆扎好，利用卷扬机、滑轮、地锚等运至闸室，如图8-22所示。

运输前要清除沿线可能妨碍闸门通过的锚筋等物，在转弯处设置地锚。图8-22(b) 所示用船形拍子运输大件，此法适用于寒冷地区冬季施工，因地面上有冰，拖运起来方便。

二、门叶吊装

露顶弧门门叶用门式起重机吊运至门槽工作位置，另用一套起重工具起吊已经安装在支铰座上的支臂，使支臂对准用螺栓固定在上梁后翼板上的连接板，用手动葫芦拉紧并使接触面贴紧，然后调整几何尺寸，点焊后便可焊接连接板。

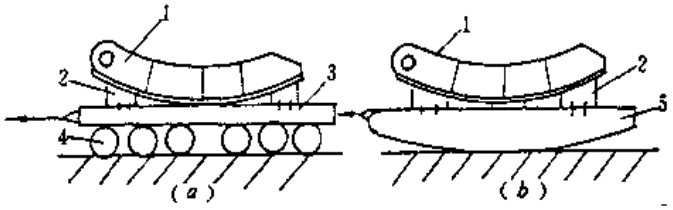


图 8-22 门叶运输

1—门叶；2—道木；3—运输台车；4—滚杠；5—船形拍子

潜孔弧门门叶运入闸室前，吊起已经安装在支铰座上的支臂并锁紧。运至闸室的门叶通过起吊转换的办法使门叶竖起，门叶顶部设置一吊点，门叶底部必须用钢丝绳缆住，以便门叶缓缓地起吊，避免门叶刚离开地面时晃动太大而撞坏底水封。起吊时，统一指挥各卷扬机协同动作。图8-23所示为某泄水洞潜孔弧门门叶与支臂吊装布置图。

底止水可以在门叶起吊前安装，也可以在门叶与支臂连接好后，与侧止水及顶止水一起安装。两种方法各有利弊。前者在门叶起吊过程中容易撞坏、而后者不如第一种方法施工方便。究竟采用哪种方法，要根据具体条件而定。

三、门叶与支臂连接、调整和焊接

支臂与连接板的连接有三种方式，见图8-24所示。

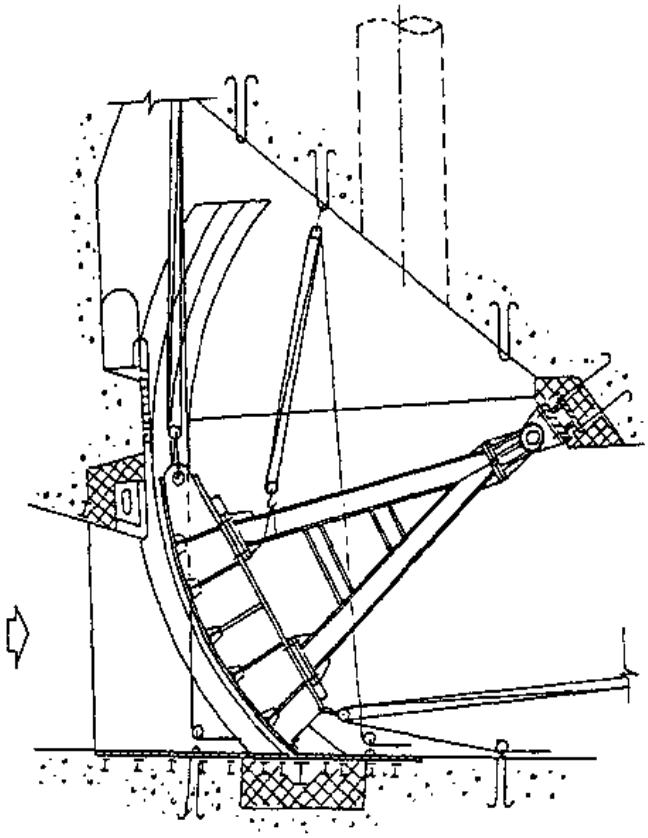


图 8-23 潜孔弧门门叶与支臂吊装连接布置图

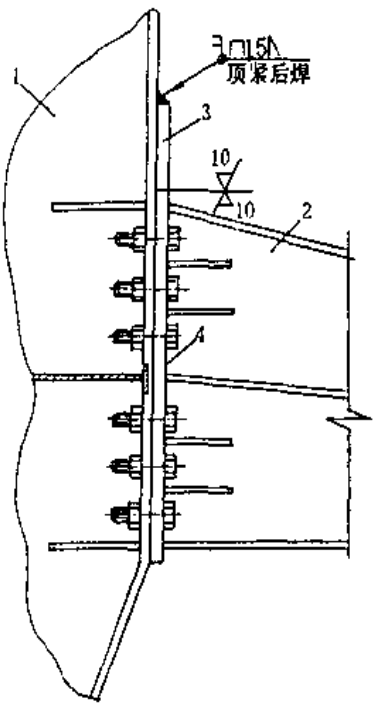


图 8-24 支臂与连接板的连接

1—门叶；2—支臂；3—抗剪板；4—连接板

第一种，支臂上的连接板原已点焊在支臂一端上，对准主梁后翼板的螺孔后，用手动葫芦拉紧，使接合面贴紧，穿上螺栓并对称地均匀拧紧，待闸门整体尺寸调整合格后、正式焊接。

第二种，支臂上连接板已经用螺栓和主梁后翼缘板连接好，把支臂对准原组装标记处，用手动葫芦拉紧，支臂下方点焊托板定位，支臂与连接板四周焊缝点焊固定，等待调整、焊接。

第三种，支臂上连接板原已经与支臂一端焊接好，对准螺孔，穿上螺栓均匀拧紧即可。

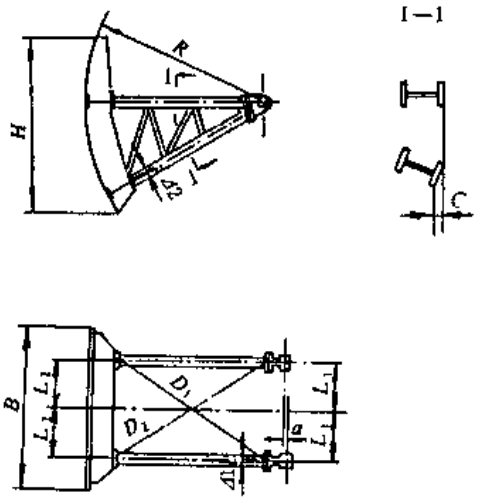


图 8-25 弧形闸门整体组装检查的部位

调整工作要求：铰轴中心至面板外缘的曲率半径偏差，对露顶弧门不应超过±7mm，两侧相对差不应大于5mm；对潜孔弧门不应超过±4mm，两侧相对差不应大于3mm；对角线相对差$D_1-D_2\leqslant 3$mm；上下支臂侧面，在同一断面上的倾斜值$c\leqslant 5$mm；支臂中心至门叶中心距离L_2偏差$\leqslant\pm 2$mm。图8-25为弧门整体组装检查的部位。

门叶在以上安装过程中，为了确保安全，支臂连接板与门叶尚未穿上组装螺栓或连接板未与支臂点焊固定之前，千万不能松去吊钩，以免门叶在倾斜状态滑倒，发生事故。要松钩前，应做好防滑等安全措施。

闸门整体组装调整之后，应在左右侧轨和门楣处用千斤顶把门叶顶固，在底坎上电焊2～3个角钢防滑挡块，以防止万一手动葫芦松链，使已完成的调整工作遭破坏。

支臂与连接板的焊接，通常由偶数焊工采用对称焊法（即两个支臂连接板同时进行焊接）。先焊加强筋板，后焊连接板四周角焊缝。要经常测量弧门面板外缘至铰轴中心的曲率半径等重要的几何尺寸并作出记录，以便发现问题及时处理。

抗剪板必须顶紧连接板的边缘，其接触表面的粗糙度为$\frac{10}{\sqrt{}}$。抗剪板一般是在整个门叶安装之后再进行电焊。

四、侧止封、侧轮及顶水封安装

支臂与连接板焊接之后，卸下手动葫芦，松开在侧轨和门楣处顶紧的千斤顶。经复查闸门整体组装几何尺寸合格后，再安装侧水封。

侧水封安装有三种方式：

第一种，在门叶吊装入槽前，就把侧水封安装好，这种方式多用于中小型露顶弧门，且对安装工期要求较紧。

第二种，门叶吊装前，先装好一边的侧水封，门叶就位后，用千斤顶将门叶顶向装好侧水封的一边，顶进8～10mm，以便给另一边的侧水封留出安装空间。另一边的侧水封也安装就位后，撤除千斤顶，使闸门处于正常位置。

第三种，两边侧水封均在闸门就位后，实测出侧水封螺栓孔中心线距侧轨止水座板的

距离，然后在侧止水橡皮上钻孔进行安装。这种方式容易满足侧水封压缩量的要求，安装质量比较好，门叶吊装亦很方便。

侧水封安装的允差，两侧止水中心距离的偏差不应超过±3mm，止水不平度不应超过2mm。闸门处于工作部位后，止水橡皮的压缩量应符合图纸规定，允差为$^{+2}_{-1}$mm。

侧轮安装最好将门叶升起处于非工作段，人站在两侧检修平台上进行安装。侧轮安装前要分解，清扫、注新油。为保证两侧轮滚动平面至侧轨板的距离满足设计要求，可以通过改变侧轮至边梁腹板间平橡皮垫的厚度来达到目的。

顶水封安装，将闸门处于工作位置，实测出门叶面板、止水座板面与门楣止水面之间的距离，据此值钻孔并安装顶水封。一般在闸门运转试验时，调整顶水封橡皮的压缩量使其合乎图纸要求。

顶止水安装的要求是：顶止水中心至底止水底缘距离的偏差不应超过±3mm，止水不平度2mm，顶止水橡皮压缩量应符合设计要求，一般允差$^{+2}_{-1}$mm。

水封安装时，顶水封侧水封及底水封接头部位要仔细处理，经验表明，这些地方极易漏水。

五、弧形闸门整体检查及试验

弧形闸门的永久性启闭机安装完毕，即可进行闸门整体检查，这是在闸门作全行程启闭试验前所作的最后一次全面检查，必须认真细致地做好。

试验前必须清除启闭机室内、门叶隔板内部及顶部、门槽内所有杂物及障碍物，并检查吊杆、钢丝绳、滑轮的连接情况。启闭时，应在顶水封及侧止水橡皮处用水管浇水润滑。闸门启闭过程中应检查铰轴转动情况，闸门升降有无卡阻，止水橡皮有无损伤等现象。

试验中可能出现的问题及处理办法：

（1）门体偏向一侧，致使一边侧水封橡皮压缩量过大，而另一边的侧水封达不到设计要求。处理方法如下：①如果经测量断定，门叶中心线偏离了孔口中心线，则要在支铰处调整支铰链与支铰座侧面间的垫圈厚度使门叶中心线与孔口中心线一致，则两边侧水封橡皮压缩量不均的情况即能改善。②在侧轮处改变橡皮垫的厚度，也可以强制把门体顶向侧水封压缩量偏小的一侧。③检查闸门两个吊点上钢丝绳的松紧程度是否一致，并进行调整，使闸门平稳地升降。

（2）闸门顶水封橡皮撕裂，说明止水橡皮压缩量过大（被障碍物刮破撕裂的情况除外），应更换已撕裂的顶水封，仔细地实测门体顶水封与门楣相应位置的间隙值，从而判定顶水封橡皮的压缩量是否过大，然后安装新水封。

（3）水封橡皮压缩量不够，经灯光或塞尺检查，如局部压缩量不够时，可通过局部加平垫或再用力拧紧水封螺丝，使橡皮变形，多挤出一些，以增大水封压缩量。

（4）支铰处在闸门启闭过程中有响声和振动。这说明两支铰或轴线有偏斜别劲的现象，严重的应调整处理，或减小支铰轴直径，增大配合间隙。

第九章　压力钢管的制造与安装

第一节　概　　述

一、压力钢管的用途、分类和布置形式

压力钢管是水电站输水建筑物的组成部分，它是在承受水库、压力前池或调压室中水压力的条件下，将水引入蜗壳，推动水轮机转动，或者将水引入其它设备，以满足供水的要求。图9-1为压力钢管的一种布置形式。

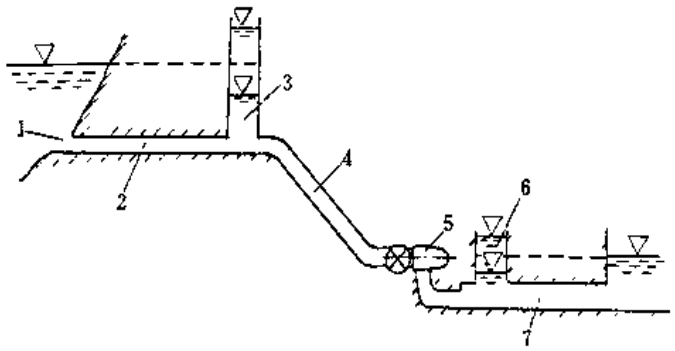


图 9-1　压力钢管布置形式

1—进水口；2—压力竖洞；3—上游调压室；4—压力钢管；5—水轮机；6—下游调压室；7—尾水隧洞

压力钢管的类型很多。

1.按压力钢管的布置形式分类

（1）坝内式钢管。如图9-2(a)所示，坝上游设有进水口拦污栅和闸门，压力钢管穿过坝身，厂房布置在坝后。图9-2(b)表示钢管渐变段的变化规律。

（2）隧洞式钢管。如图9-3所示，这种钢管埋设于引水隧洞的混凝土内，安装比较困难。

（3）露天式钢管。这种钢管直接裸露于大气中，也称为明管，如图9-4所示。明管主要优点是便于检查和维护，缺点是受气温变化影响大，结构比较复杂。

2.按压力钢管的工作条件分类

（1）明管（明钢管）；

（2）埋管（埋藏式钢管）。

3.按压力钢管的结构及材料分类

（1）焊接管。焊接管系在工厂卷制成一定曲率的瓦片，然后焊接好纵缝而成为管段。相邻管段的纵缝应错开，且不要布置在横断面的水平轴线或垂直轴线上，而应与轴线夹角大于15°，如图9-5所示。焊接管的直径$D \leqslant 33t$（t为管壁厚）和$t \geqslant 34mm$时，应进行热处

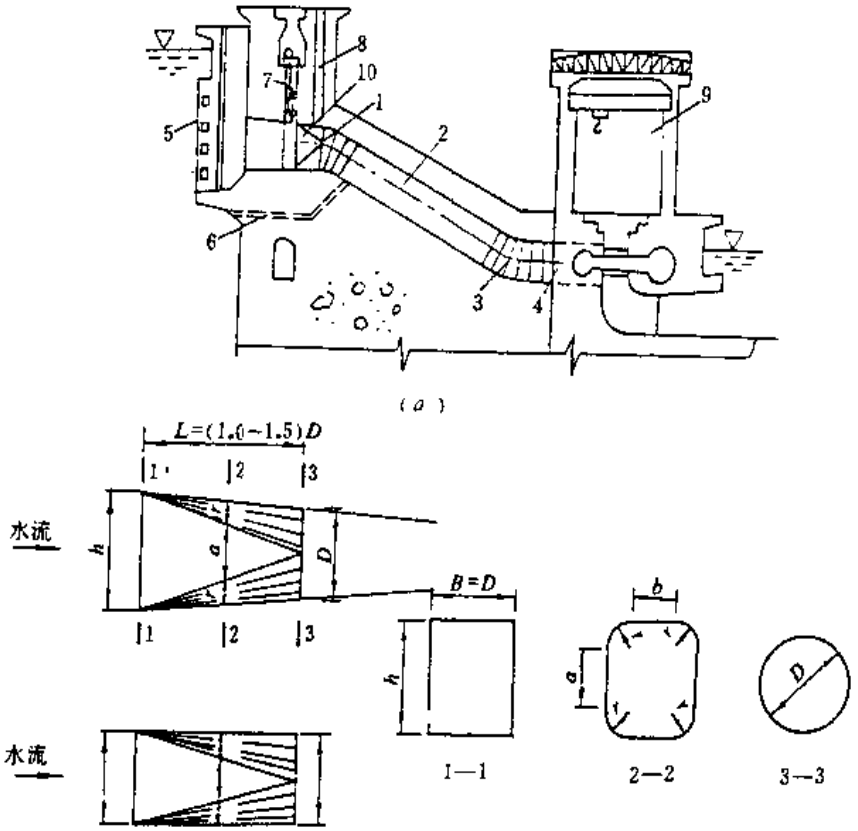


图 9-2 坝内式钢管

(a)整体图；(b)钢管渐变段的变化规律

1—上弯段；2—斜段；3—下弯段；4—水平段；5—拦污栅；6—旁通管；7—闸门槽；8—通气孔；9—厂房；10—钢管渐变段

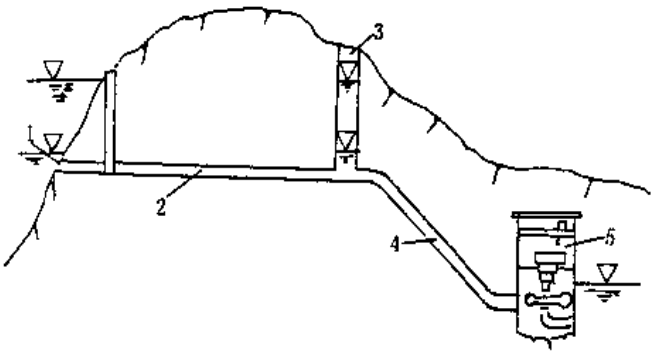


图 9-3 隧洞式钢管

1—进水口；2—引水隧洞；3—调压井；4—压力钢管；5—地下厂房

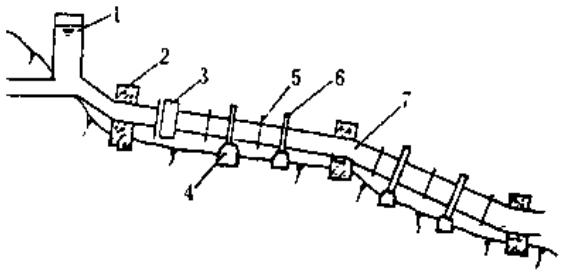


图 9-4 露天式钢管

1—调压井；2—镇墩；3—伸缩节；4—支墩；5—加劲环；6—支承环；7—钢管

理，以消除由于冷加工和焊接而造成的钢材塑性降低和应力集中现象。

（2）无缝钢管。无缝钢管是经工厂轧制且没有纵缝的管节，管节之间须用法兰盘或横向焊缝连接。无缝钢管性能可靠，但因受制造条件限制，一般直径在600～1200mm，适用于高水头、小流量的情况。

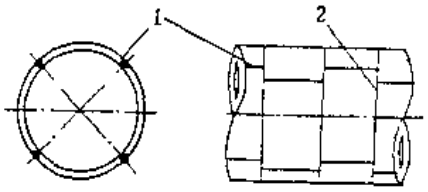


图 9-5 焊接管纵缝与横缝的布置
1—纵缝；2—横缝

（3）箍管。箍管是在无缝钢管或焊接管上套以钢箍而成。

在这几种管中，焊接管应用最普遍。

4.按压力钢管的供水方式分类

（1）单元供水压力钢管。如图9-6(*a*)(*b*)所示，这种供水方式系每一台机组由一根专用压力钢管供水。其结构简单，运行可靠。当某一条钢管或进水口闸门进行检修或发生故障时，只影响与之相连的一台机组工作，而其它机组不受到影响，照常运行。所以适用于压力钢管管道较短以及单机流量较大的低水头电站这两种情况。

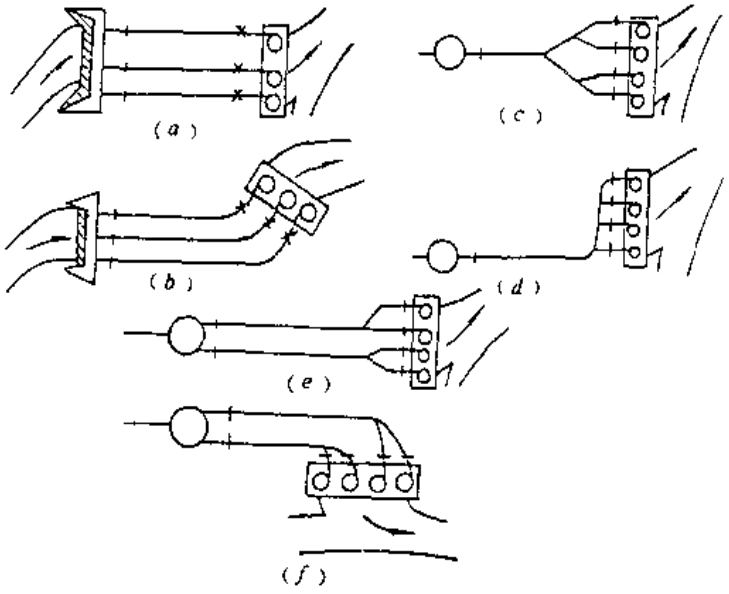


图 9-6 压力钢管的供水方式

（2）联合供水压力钢管。如图9-6(*c*)、(*d*)所示，用一根大的钢管向几台机组供水，需设置分岔管，并在每一台机组前设置事故闸门。这种供水方式节省钢材，但可靠性差，当压力总管出现问题或进行检修时，影响全厂停机。

（3）分组供水压力钢管。如图9-6(*e*)、(*f*)所示，每根钢管向数台机组供水。分组供水的特点介于单元供水和联合供水之间，它适用于压力钢管较长，机组台数较多和容量比较大的情况。

5.按压力钢管管道的连续性分类

（1）设有伸缩节的分段式钢管。这种钢管因温度变化而引起的应力较小，但构造复杂，伸缩节的制造、安装比较困难，容易漏水。在明管中常采用分段式结构。

（2）不设伸缩节的连续式钢管。连续式钢管在承受不均匀的沉陷或温度变化时，将产生较大的超静定应力，对安装、拼合的要求也较高。在埋管中常采用连续式结构。

典型的温度伸缩节如图9-7所示。

二、压力钢管的组成部分

压力钢管的主要组成部分有主管、岔管、渐变管、锥管、加劲环、支承环、伸缩节和进人孔等。

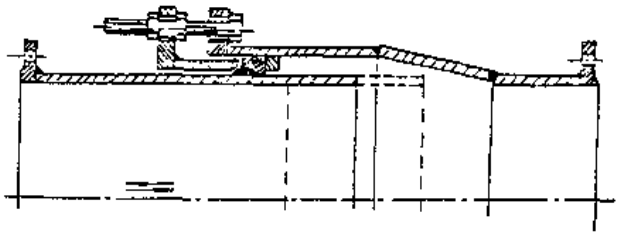


图 9-7 典型的温度伸缩节

压力钢管的最主要部分，当然是承受水压力的管壳。如前所述，大部分管节呈直圆筒形，这叫主管。仅在分岔处、变径段、弯曲段才做成岔管、锥管、弯管等形状。为使水流和应力分布平顺，锥管的圆锥角一般不大于7°。由于钢管道很长，管壳总是分节制造安装的。管节的长度视设计、制造、运输和安装条件以及板材的尺寸大小所决定。大型钢管管节长度一般为1.5～3m。

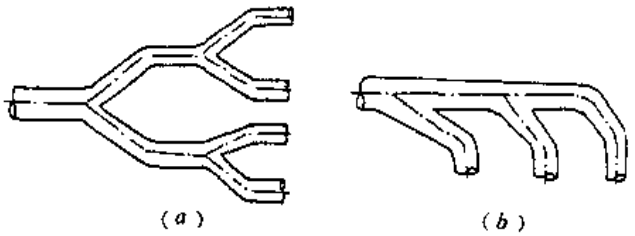


图 9-8 岔管类型
(a)Y型；(b)y型

岔管分为Y型和y型，如图9-8(a)和(b)所示。Y型岔管结构对称，对水流量分配均匀，但分岔管较长。而y型岔管的优缺点与前者相反，但结构比较复杂，水头损失相当大。

渐变管是将闸门后的矩形断面过渡到圆形断面的钢管渐变段管段，如图9-2(a)(b)所示。

光滑的圆管能承受很大的内压力，但因属薄壳结构，刚性很差，容易失稳皱曲。通常在管壳外面每隔一定间距设置一道加劲环来增加管壳的刚度。图9-9所示为三种加劲环的断面形式。埋管可不设加劲环，但有时其外壳加设一些锚片或锚筋，如图9-10所示，以使钢管更好地锚固于混凝土中。

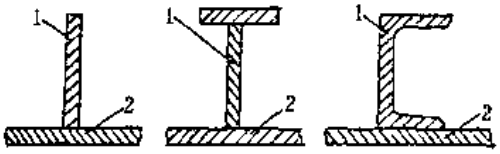


图 9-9 加劲环的三种断面形式
1—加劲环；2—管壁

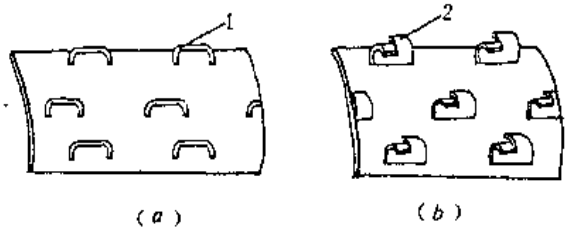


图 9-10 加设锚片或锚筋的钢管
1—锚筋；2—锚片

明管通过支承环架设在支墩（又名支座）上，支墩的间距一般在6～12m。支承环和支墩承受法向分力而允许钢管沿轴线方向变位。支墩分为三种形式：滑动式、滚动式和摆动式。图9-11所示为滑动式支墩，图(a)为鞍式支墩，钢管放于鞍形混凝土支墩上，在鞍座上常设金属支承面，并加有润滑剂，以减小摩阻力。这种结构适于直径在1m以下的钢管。图(b)为支承环式支墩，两点支承，摩阻力相对小一些，适用于直径2m以下的钢管。

滚动式支墩是在支承环与墩座之间加圆柱形辊轴，如图9-12所示。它的摩阻力小，适

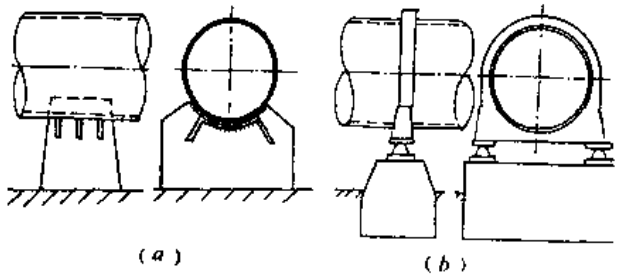


图 9-11 滑动式支墩
(a)鞍式；(b)支承环式

用于直径2m以上的钢管，但由于辊轴直径比较小，不能承受较大的垂直载荷，故使用受到限制。

摆动式支墩在支承环与墩座之间设一摆动短柱，当钢管伸缩时，短柱以铰轴为中心前后摆动，如图9-13所示。这种结构摩阻力很小，承载大，适用于大直径钢管。

明管在转弯处，需设置镇墩，将钢管完全固定，如图9-14所示。镇墩的功用是承受因水管方向改变而产生的轴向不平衡力。当水管的直线段超过150m时，在直线段的中间也应设置镇墩，此时伸缩节可布置在中间镇墩两侧的等距离处。图9-14为封闭式镇墩，图9-15为开敞式镇墩。前者结构简单，对钢管的固定作用好，应用较多；后者易于检修，但使用钢材较多，受力不均匀，用于作用力不大的地方。镇墩需要一定的重量，一般用混凝土浇制。

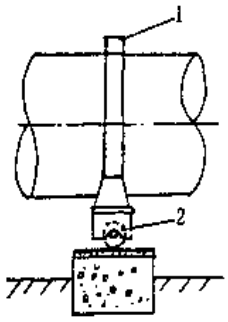


图 9-12 滚动式支墩
1—支承环；2—辊轴

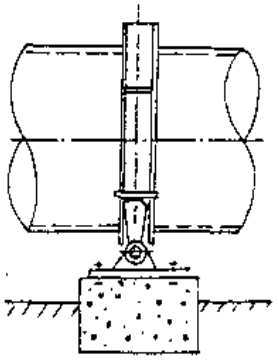


图 9-13 摆动式支墩

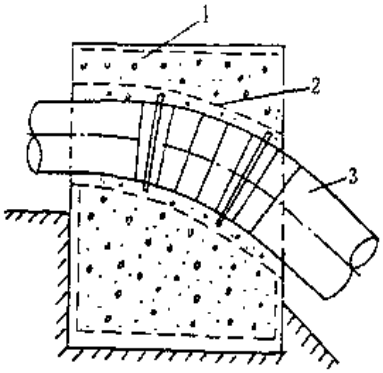


图 9-14 封闭式镇墩
1—混凝土；2—环向筋；3—钢管

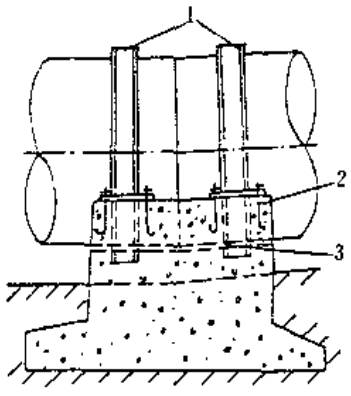


图 9-15 开敞式镇墩
1—锚定环；2—锚栓；3—灌浆处

进人孔用于钢管的检修而设置，如图9-16所示，常做成450～500mm直径的圆孔，上面用盖板密封。进人孔最好设置在镇墩附近，以便固定钢丝绳，吊篮和布置卷扬机等。

有的钢管在安装后暂不通水（例如相应的水轮机尚待安装），则在钢管末端或内部设置堵头（也叫闷头）。小型钢管堵头可做成平面形，大的须做成锥形、椭圆形或球形，如图9-68。

压力钢管必须附设各种设备，例如通气管、旁通管、排水管、放空管及各种闸阀等，但这些设备不作为钢管的一部分而按附设的独立部件考虑。

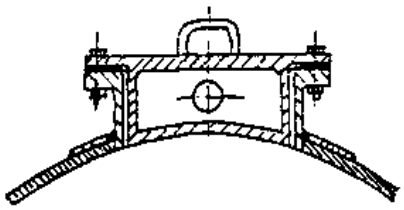


图 9-16 进人孔

第二节 压力钢管的制造

压力钢管的制造工序分为瓦片制造、单节组装和大节组装。瓦片制造主要指钢材经过下料、卷板等工序制成的半成品；单节组装是将分块瓦片经对圆、焊接等工序制成管节；而大节组装是在厂内把数个管节组装成起重和运输条件允许的大节，以缩短安装工期。

一、制造准备

压力钢管制造准备工作主要包括组织制造人员、配备施工机械和布置钢管厂。

钢管制造需要下列工种：铆工、焊工、起重工、探伤工和油漆工等。

施工机械有卷板机、刨边机、半自动切割机、手提砂轮机、乙炔发生器、电焊机、空压机、风铲、探伤设备、喷涂设备以及吊装瓦片和钢管的起重设施，如移动式门机、电动葫芦等。

有的水电站的全部瓦片在工厂制造，而后运至工地再进行对圆、组装；也有的电站，其瓦片在工地制造和组装。两种情况的工作内容和工作量差别很大，由此决定着钢管厂的布置也就不同。

钢管厂布置首先考虑设置足够数量的对圆平台，这是组装管节的主要作业场地，在对圆平台上要进行调圆、上支撑、装加固环以及焊接等工序工作。

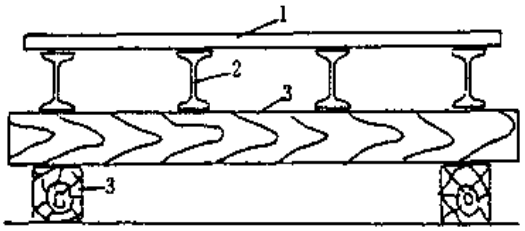


图 9-17 钢板平台

1—钢板；2—型钢；3—方木

对圆平台主要形式有三种：

（1）钢板平台。钢板平台是在方木和型钢上铺设一定厚度的钢板而成，如图9-17所示。这种平台容易铺设，表面平整，但需钢材量较大。

（2）混凝土型钢平台。先把场地清扫、夯实、平整，然后在上面浇筑一层15～20cm厚的混凝土，沿圆周方向每隔1～1.5m开凿长为500～600mm，宽度120～150mm的预留槽，埋设20号工字钢，然后浇筑二期混凝土。所有工字钢顶面应调整并加固齐平，且高出混凝土面70mm左右如图9-18所示。

（3）混凝土支墩平台。在对圆位置，沿着钢管四周浇筑混凝土支墩，如图9-19所示。支墩间距最好为1～1.5m，支墩高出地面300mm左右，每个支墩上各埋设一个顶部平整的自锁螺旋，这样可以较精确地调节螺栓顶面的高程。这种形式的平台除用于对圆外，还可

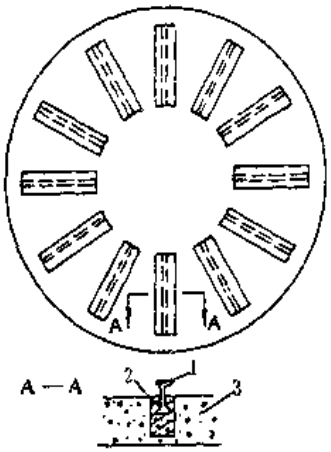


图 9-18 混凝土型钢平台

1—工字钢；2—混凝土槽；
3—混凝土平台

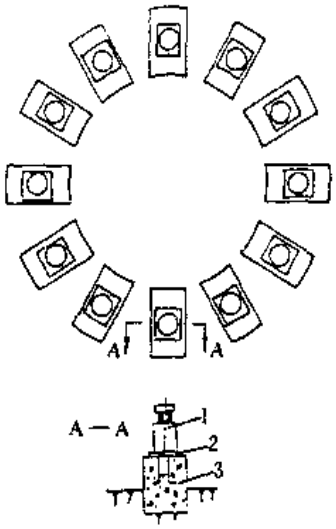


图 9-19 混凝土支墩平台

1—螺旋；2—预埋钢板；
3—混凝土支墩

用于上加固环、焊接以及大节组装等项工作。

钢管厂要设置数个下料平台，以进行划线、切割等工作。厂内要设置卷板设备，以便进行钢板的卷制工作。下文所述及的岔管制造、伸缩节制造以及钢管的焊接工作都要考虑适当的场地，便于吊运、制造。钢管厂的两侧要布置移动式起重机的轨道。探伤结果分析室最好也设置在厂内或附近。

二、下料

制作瓦片的钢板在下料前应进行检查。检查内容包括检验钢板与合格证上牌号是否相符；钢板表面有无裂缝、疤结、夹渣、重皮等缺陷；重要工程的钢板应进行超声波检查；对变形大的钢板应予以矫形。经检查合格的钢板再根据规格、尺寸，然后编号分放，以便下料。下料包括划线、切割和刨边三项工作。

1.划线

钢板划线的允许偏差如下：长度和宽度允差为±1mm；对角线相对差的允差为2mm；对应边相对差的允差1mm；矢高（曲线部分）允差±0.5mm。

在钢板上划线，下面垫以方木，使其保持平整。由于钢管形状不同，划线方法也就不同，最简单的直管划线。

（1）直管划线。假设瓦片的长度为a，宽度为b，所谓直管划线就是在钢板上划出一个长边为a，宽边为b的矩形，直管划线的方法很简单，可参见图9-20和图9-21所示。

划线完毕，检查对角线长度基本相等，便可划出坡口加工线、钢管中心线并打上洋冲眼，用白铅油标出管节号、水流方向及坡口加工角度，以便切割。

（2）弯管划线。弯管划线一般采用样板，在管节多时，能提高效率。图9-22(a）为某一节弯管的主视图和左视图，图9-22(b)为展开图。由于曲线是对称的，则样板只要作成1/4即可。

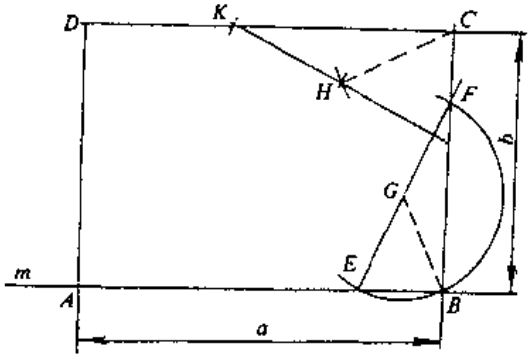


图 9-20　直管划线的第一种方法

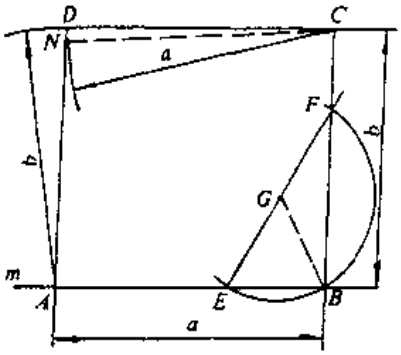


图 9-21　直管划线的第二种方法

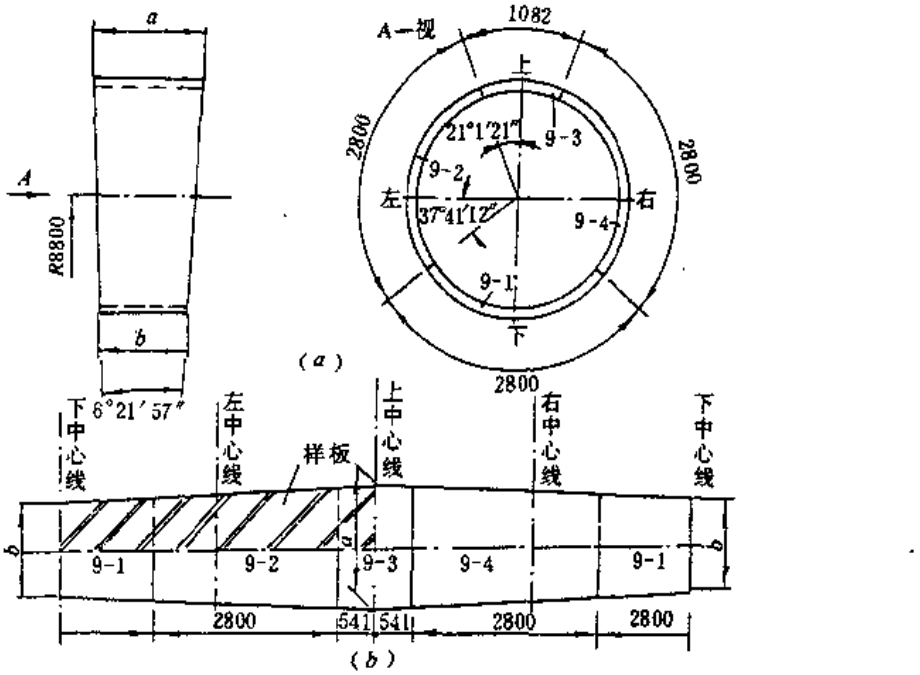


图 9-22　弯管划线

样板用厚为0.3～0.5mm的薄铁皮制作，一节弯管的样板通常做成几块，每块样板长2m左右，应在其邻接处做出明显标记。样板的制作方法如图9-23所示。

弯管样板的制作步骤如下：①在薄铁皮一角处划出x轴线和y轴线，并在适当高度处作出x轴线的平行线，即M线；②在x轴线和M线上，分别按图纸上的坐标值划出等分点x_1、x_2、x_3…和x_1'、x_2'、x_3'、…；③连接x_1x_1'，x_2x_2'…，并在其上按图纸上y坐标值量出坐标点a_1，a_2，a_3…；①连接a_1、a_2、a_3…，即得所求样板曲线；⑤用铁剪刀剪下样板，用锉刀修整毛刺，用白铅油标出管节号等。

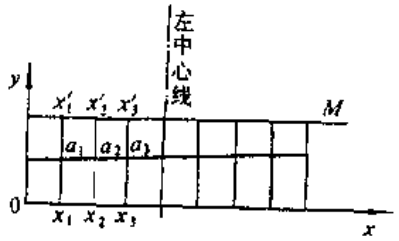


图 9-23　弯管样板

（3）锥管划线。锥管的几何图形投影为一圆台，如图9-24所示。

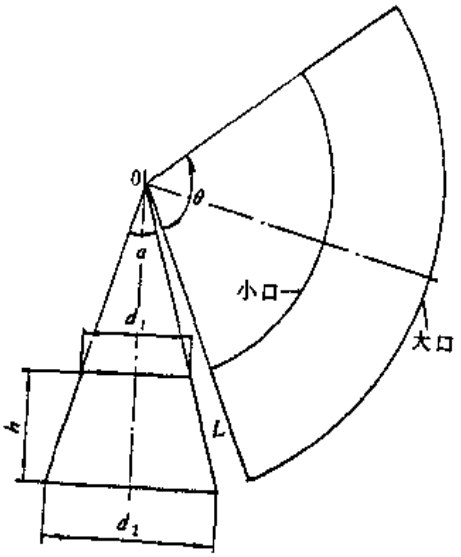


图 9-24　圆台及其展开图

假设圆台上底直径d_1，下底直径d_2，高为h，母线长度L，则此圆台的锥顶角α为

$$\alpha = 2\sin^{-1}\frac{d_2 - d_1}{2L} \tag{9-1}$$

此圆台展开后的圆心角θ为

$$\theta = \frac{d_2 - d_1}{2L} \times 360° \tag{9-2}$$

当同一规格尺寸的锥管节数较多时，用样板划线可提高效率。由于大口与小口的展开图上的曲率半径不同，必须分别制作样板。样板长度一般为半块瓦片的长度。大口与小口的弧度样板曲线可以划在同一张样板上，以使用方便，如图9-25所示。样板制作步骤如下：①在薄铁皮上划出x、y坐标，原点为0；②在y轴上下等距作平行于x轴的M、N两条平行线；③在平行线上按图纸坐标划出等分点x_1'、x_2'…及x_1、x_2…；④连接x_1x_1'、x_2x_2'…并延长，在其上按图纸上y坐标值量出坐标点a_1'、a_2'…及a_1、a_2…；⑤连接$a_1'a_2'$…及a_1a_2…诸点即为样板曲线，再连接曲线上下两个端点，样板的划线即告完成，剪切下来即为样板。

图9-26所示为锥管划线，瓦片母线长$CG = L$，大口弓形高为a，小口弓形高为b。用样板对锥管划线的步骤如下：①在钢板上划出矩形$ABCD$（其中$AD = BC = b$），令CD为大口弦长，于是大口的弦落在CD线上，而小口的弦落在AB线上；②在矩形的纵向中心线上量得大口与小口的弓形高a、b，得出控制点F、E；③在AB线上，从y轴线分别向两个方向各量出小口弦长的1/2，得控制点G、H；④在CD线上，从y轴线分别向两个方向各量出大口弦长的1/2，得控制点C、D；⑤连接C、G和D、H，得锥管两端的边线；⑥沿控制

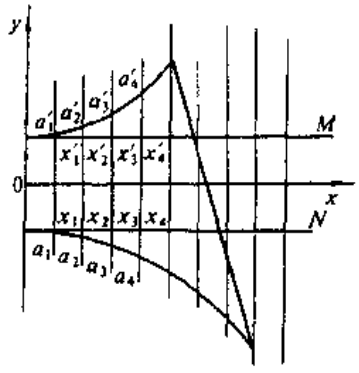


图 9-25　锥管划线的样板

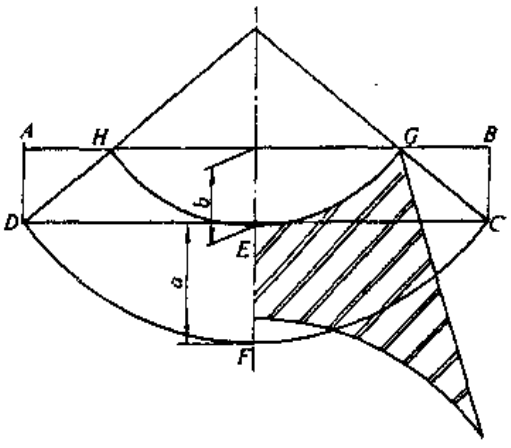


图 9-26　锥管划线

点G、E和H、E分别铺上图9-25样板，划上小口曲线，再沿控制点C、F和D、F铺上样板划上大口曲线，锥管划线完毕。

（4）渐变管划线。图9-2(b）所示渐变管段，是衔接闸门后的矩形断面过渡到圆形断面的连接管段，其采用圆角过渡，即在方形断面的四角上，以小圆弧连接并使圆弧半径逐渐变大，以至四个圆弧最后连成一个圆，如图9-2(b)截面3-3所示。

为施工方便，圆弧的中心位置和半径按直线规律变化，同时，一般布置闸门宽度B与管道直径D相等，而立面上的收缩角一般取$\alpha=6°\sim8°$。为减少制造安装的工作量，渐变段不宜过长，而为了满足水流条件，它又不宜太短，一般渐变段长度取高压管道直径的1～1.5倍为宜。

了解渐变管的渐变规律，根据其有关视图和截面形状，可根据第三章第一节圆方过渡接头内容画出渐变管的展开图。

（5）岔管划线。岔管的类型很多，将在下面介绍。现在以常用的Y型岔管为例说明岔管线线方法。图9-27所示Y型岔管，将主钢管对称地分为两岔。圆筒形主管半径R，轴线$A0$。两个岔管各是一节锥形管，锥顶角为2β，锥管末端半径为r，锥管的顶点为B，主管轴线$A0$和锥管轴线$B0$所夹锐角为α，图中$ac(a_1c)$和CD表示主管与两个岔管两两相贯的相贯线投影。

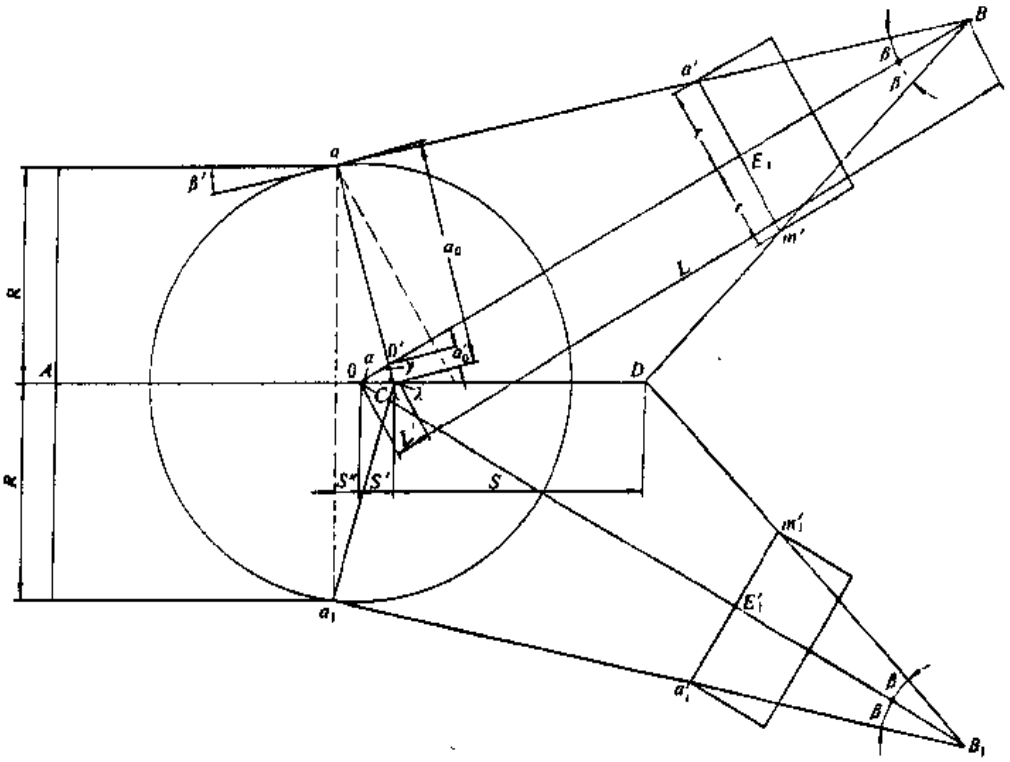


图 9-27　标准Y型岔管几何尺寸

根据设计要求，主管与岔管的交角（分岔角）α及支锥管的锥角β有最佳的选择角度。α小，则水流条件好，但若α角过小，加固梁（在D点处）的施工将很困难，一般α在22.5°～30°之间。β角一般在12.5°～17.5°之间选用，以利于主、支管衔接平顺，而且有利

于应力分布和水流条件。β与α的配合，要使体型上的不连续角β'尽量小些，一般β'小于10°～15°。当R、α及β三值选定后，Y型岔管的主要轮廓就已确定。

图9-27中，CD线位于两支岔管对称平面上时必定是平面曲线，但Ca及Ca_1都不一定是平面曲线，而从受力和制造上讲，这里需设置加固梁，我们希望它成为一条平面曲线。由几何学知，如果三根管子能公切于一个球（内分切球），则它们的相贯线就成为平面曲线。

由以上分析可以得出绘制Y型岔管轮廓线的步骤如下：①画出主管轮廓及其轴线$A0$；②作$0B$（及$0B_1$），使其与$A0$所夹锐角为α，即为分岔管轴线；③以0为圆心，R为半径作一内切圆；④根据选定的半锥顶角β，作上述圆周的两条切线，交主管边线于a及a_1，交分岔管轴线于B及B_1，交对称线于D；⑤过a及a_1作直线ac及a_1c，使与$0D$所形成的锐角$\lambda\left(\lambda=\mathrm{tg}^{-1}\dfrac{\cos\beta+\cos\alpha}{\sin\alpha}\right)$交对称轴于$C$，则$aCDm'a'$及$a_1CDm'a_1'$即为两个分岔管的轮廓，$aC$、$a_1C$及$CD$就是这三根管子两两相贯的三条相贯线。

2.切割

钢板划线后，根据标明的坡口角度以及切割线等符号进行切割。切割钢板常用机械切割和气割两种方法。切割后，用砂轮机磨去氧化铁，修出钝边。

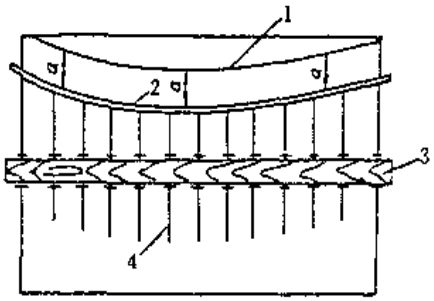


图 9-28　切割导轨示意图
1—切割线；2—扁铁；3—硬方木；4—螺栓

当切割弯管、锥管及岔管的曲线部分时，为使切口形状规格，需使用类似靠模的导轨。导轨用槽钢煨成所需曲线形状。也有的导轨为固定在木架上的扁铁，通过螺栓调节成所需曲线形状，如图9-28所示。

3.刨边与坡口

钢板划线切割后，有的需用刨边机刨边或加工出坡口，以提高焊接质量。坡口角度主要由刨刀控制。坡口的具体形式与尺寸见表9-1。

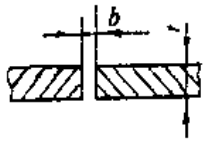
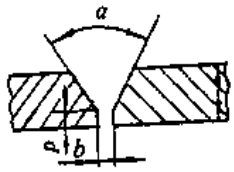
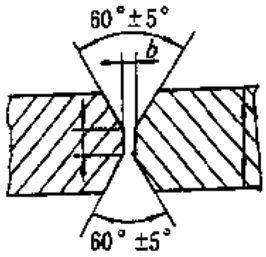
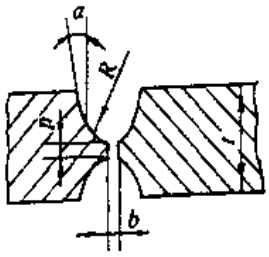
一般普通低合金钢经过切割，表面淬硬，所以，要先用硬质合金刨刀刨去硬层，然后才能用高速工具钢刨刀刨削坡口。

三、卷板与修弧

卷板机的结构、工作原理及卷板工艺在第二、三章中已经介绍，下面着重叙述卷板后的修弧工作。

瓦片卷好后，用样板检查弧度。当钢管直径$D>6$m时，样板弦长1.5m，样板与瓦片的间隙不应超过2.5mm。若有局部偏差，应进行弧度的修正（简称修弧）。如图9-29所示，常用氧炔火焰来修弧。当瓦片曲率半径偏大，即弧度偏小时，令焊炬在瓦片的内皮上作等速直线移动，偏差值越大，则焊炬移动速度越慢，以提高温度，加大变形。当偏差值小时，则可间断地逐点加热。冷却后，即可修正弧度，如图9-29（a）所示。图9-29（b）是瓦片弧度偏大时的修弧方法，令焊炬在瓦片的外皮上等速直线运动。

表 9-1　　常见焊缝坡口形式（mm）

序号	适应厚度	基本型式	基本尺寸			焊接方法
1	3～6		t	≥3～3.5	>3.5～b	手工电弧焊
			b	$0^{+1.0}$	$1^{+1.5}_{-1.0}$	
	6～20		t	>6～20		埋弧焊
			b	0^{+1}		
2	3～26		t	≥3～9	>9～26	手工焊（封底或不封底）
			α	70°±5°	60°±5°	
			b	$1^{\pm1}$	2^{+1}_{-2}	
			p	$1^{\pm1}$	2^{+1}_{-2}	
	10～30		t	≥10～20	>20～30	埋弧焊（双面焊）
			α	60°±5°	60°±5°	
			b	0^{+1}	0^{+2}	
			p	$7^{\pm1}$	$10^{\pm1}$	
3	12～60		t	≥12～60		手工电弧焊
			b	2^{+1}_{-2}		
			p	2^{+1}_{-2}		
	24～60		t	≥24～60		埋弧焊
			b	0^{+2}		
			p	$6^{\pm1}$		
4	40～60		t	≥40～60		手工电弧焊
			α	10°±2°		
			b	2^{+1}_{-2}		
			p	2^{+1}_{-2}		
			R	6～8		
	150～160		t	≥50～100	>100～160	埋弧焊
			α	10°±2°	6°±2°	
			b	0^{-2}		
			p	$8^{\pm1}$		
			R	$10^{\pm1}$		

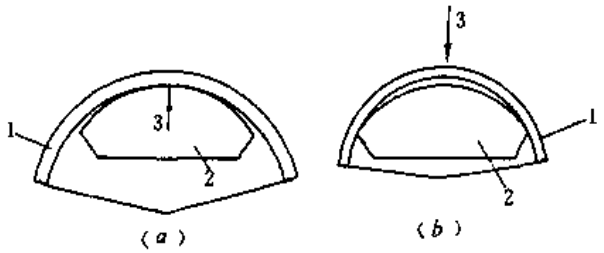


图 9-29 氧块火焰修弧

1—瓦片；2—样板；3—焊炬

四、对圆组装

瓦片经钢板下料、边缘加工、卷板与修弧等工序完成后，应进一步进行对圆、调圆、上加固环组装成管节。

1.对圆

对圆就是把几块瓦片对成整圆。这道工序在钢管厂内对圆平台上进行。对圆时要注意钢管周长、焊缝间隙、钢板错牙和管口平整。对圆后，钢管实际周长与设计周长差不应超过 $\pm 3D/1000$。相邻管节周长差，当板厚小于10mm时，不应大于6mm；当板厚大于或等于10mm时，不应大于10mm。钢管纵缝对口错位不应大于板厚的10%，且不大于2mm；环缝对口错位不应大于板厚的15%，且不大于3mm。

常用两种方法进行对圆。

（1）用码子、楔铁对圆：吊装瓦片至对圆平台上，两端管口的间隙、错牙调整好，用拉板固定，然后用码子、楔铁调整中间错牙。这种方法适用于各种厚度钢板，但以后去除码子会在管壁上面留下焊疤。焊疤低于母材时，要补焊平整；高于母材时，要用风铲铲平或用砂轮机磨平。

（2）用专用夹具对圆：如图9-30所示，先将下管口调整好并点焊住，再把夹具放在上管口，用撬棍撬动夹具中间的瓦片，由下而上，逐步调整错牙和间隙，用点焊固定。必须注意，点固焊缝一定要保证质量。这种对圆方法仅适用于变形不大的钢管，其优点是消除了焊疤，管壁光滑。

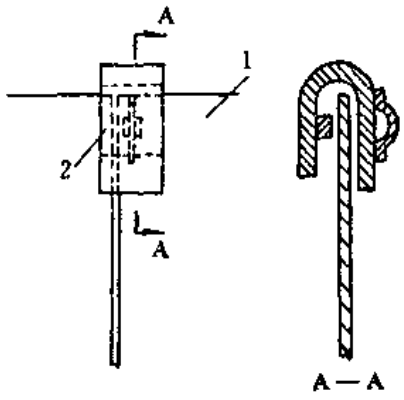


图 9-30 专用夹具

2.调圆

调圆即调整钢管为一定的圆度，以便于以后组装。常用调圆方法有：用米字形活动支撑调圆和用单顶杆调圆。调圆后，钢管椭圆度不应大于 $3D/1000$。

米字形活动支撑如图9-31所示，是调圆专用大型工具设备，它由黑铁管和型钢制成，支撑的端部有的采用螺旋千斤顶结构，也有的利用螺旋拉紧器结构。米字形活动支撑的优点是支点多，已调好的各点基本上不受其它点调圆的影响，效率比较高。缺点是支撑重量大，需用吊车等起重设施。

调圆后的钢管，是否要装上角铁或黑铁管支撑，要视钢管刚度大小而定。刚度大的钢管可以不上支撑，但刚度小的钢管必须加支撑，以防止钢管在堆放、运输、安装和浇筑混凝土时变形。支撑的另一个目的是兼起脚手架作用。加设支撑应该考虑以下问题：

（1）先安装的两节钢管要上支撑，以保持一定的圆度，为以后安装其余各节钢管打好基础。

（2）和伸缩节相邻的钢管一定要上支撑，以免影响伸缩节的圆度。

（3）浇筑混凝土管段的最末一节钢管要上支撑，以防止浇筑混凝土过程中管口变形。

（4）安装时，要勤于检查管口椭圆度，遇偏差值过大时，可加设临时支撑，以改善之。

3.上加固环

钢管外围上加固环的目的是增加钢管抗外压的稳定性。钢管可能承受以下几种外压：浇筑混凝土时的压力；明管放空时通气设备引起的负压；埋藏式钢管放空时的外压；灌浆压力；钢管在运输、安装和运行过程中受到的外力作用等。

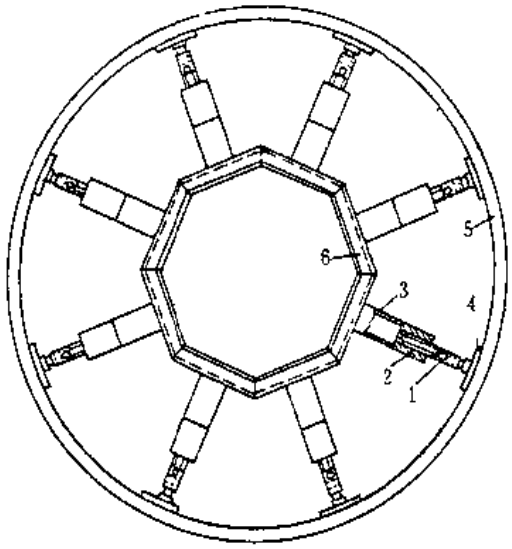


图 9-31 米字形活动支撑

1—螺旋；2—螺母；3—黑铁管；4—弧形垫板；5—钢管；6—箱形梁

加固环有三种形式，如图9-9所示，分别是扁钢加固环、丁字形加固环和槽钢（或角钢）加固环。丁字形和槽钢加固环刚性较大，与混凝土结合性也较好，但制造费事，弯曲应力较大。加固环的间距根据设计要求确定。这里介绍扁钢加固环的制作方法：

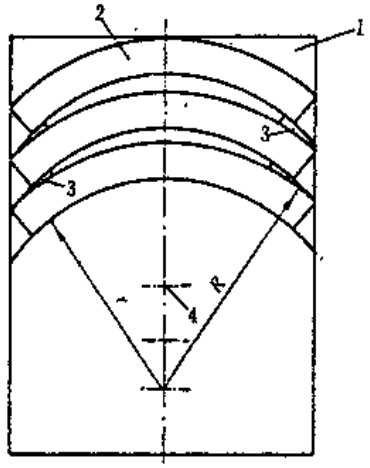


图 9-32 在钢板上切割加固环

1—钢板；2—加固环；3—最后切割的小段；4—圆心

（1）用钢板切割：如图9-32所示，划出钢板中心线，作为待切割的加固环的圆心轨迹。用划规划出加固环的内、外弧线及两边的径向线，用样板校核后，打洋冲眼，然后进行切割。

（2）用胎具热煨：弧形平板胎具用螺栓或点焊固定于平台上。胎具厚度略薄于加固环，胎具的弧度应考虑加劲环热煨成型后，冷却收缩对弧度的影响量。煨制时，先将待热煨的加固环在炉内加温至1100℃左右，加温一段，煨制一段，直到煨成。

加劲环与钢管的组装间隙，不应大于3mm。

4.大节组装

为了缩短安装工期，在考虑起重和运输允许的条件下，应尽量在工厂内就把数个单节钢管组装成大节。

大节组装工序是：把要组装的第一节钢管竖放于平台上，再吊上另一节钢管，对好下中心，焊上挡板；用撬棍、千斤顶、码子和楔铁等工具先调整两节钢管间隙，然后从某处开始分两个工作面压缝，压缝时必须使错牙均匀地分布在整个圆周上，否则错牙最后将集中在一小段上，造成超差过大，无法压缝。

压缝可采用单根顶杆进行，也可配合使用码子、楔铁和拉板。单根顶杆是一根两端带螺旋千斤顶的黑铁管，它能固定并可绕一根立柱旋转，且能小范围内升降。压缝工作完毕，点焊固定，以后正式焊接环缝。

五、岔管制造

根据体型和加固方式，分为下列五种：

（1）三梁岔管。图9-27所示为Y型三梁岔管，图9-33为y型三梁岔管。三梁岔管是用三根首尾相接的曲梁（U形梁及两根腰梁）作为加固构件，以承受不平衡的水压力。

（2）内加强月牙筋岔管。内加强月牙筋岔管用一个完全嵌入管体的月牙筋板代替三梁岔管的U形梁，以改善U形梁的应力状态，其U形梁嵌入管体内的结构如图9-34所示。

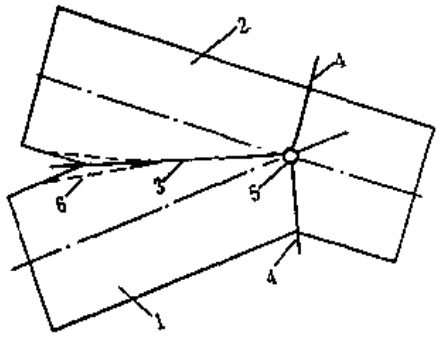


图 9-33 y型三梁岔管

1—主管；2—支管；3—U形梁；4—腰梁；5—连接柱；6—导流板

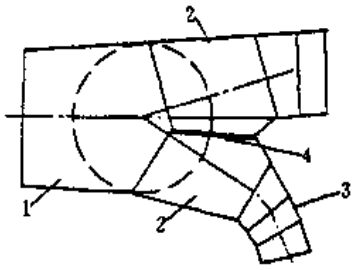


图 9-34 内加强月牙筋岔管

1—倒锥主管；2—顺锥管；3—弯管；4—月牙筋

（3）贴边岔管。如图9-35所示，贴边岔管是在相贯线的周围用加强板加固，加强板与管壁焊接成整体。贴边岔管的特点是加强板的刚度小于上述加固梁，故应用范围以中等压力的地下埋管为宜。

（4）球形岔管。球形岔管由球壳、主管、支管、补强环和导流板等组成，如图9-36所示。球壳为球面，主管、支管与球壳通过补强环连接。补强环一般为锻件，制造工艺要求高。导流板的作用是改善流态，其顶部和底部均开有充水孔。球形岔管目前在国外较多采用，可用于大中型电站。

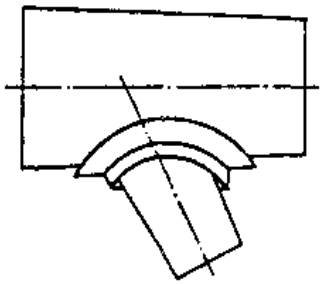


图 9-35 贴边岔管

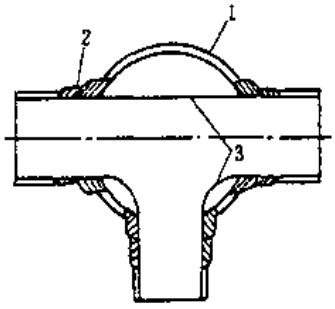


图 9-36 球形岔管

1—球壳；2—补强环；3—导流板

（5）无梁岔管。无梁岔管是在球形岔管的基础上发展而成的，如图9-37所示。它由球壳锥壳和柱壳组成，是空间壳体结构，可用于大中型地下埋管，利用围岩共同受力。

下面以异径y型岔管为例讨论三梁岔管的制造及组装方法。

1.三梁岔管制造

图9-38所示为异径y型岔管的一种形式。

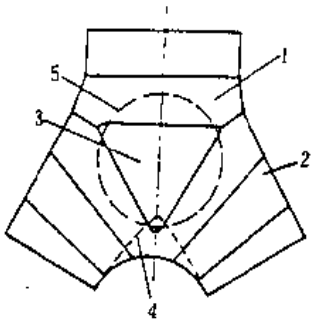


图 9-37 无梁岔管

1—倒锥；2—顺锥；3—球壳；4—导流楔体；5—导流吊顶

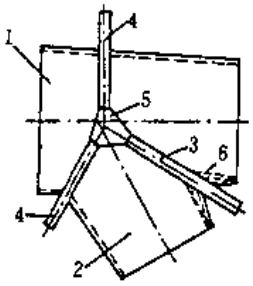


图 9-38 异径y型岔管

1—主管；2—支管；3—U形梁；4—腰梁；5—连接柱；6—导流板

（1）管壳制造：详见前述岔管划线部分。

（2）U形梁和腰梁制作；U形梁和腰梁的横截面常用T形和矩形两种形式。T形梁由钢板焊成。U形梁和腰梁按照图纸下料后，检查其内侧弧度和不平度，若偏差大，应予修正，以保证和管壳装配焊缝间隙。对于大直径岔管的U形梁，因断面大，多采用锻钢。

（3）连接柱和导流板制作；U形梁及腰梁的断面很大，在其结合处，有很大的应力集中，为改善受力状态，在结合处设有棱柱体连接柱或圆钢连接柱，如图9-39所示。棱柱体连接柱多经锻制，而圆钢连接柱一般用圆钢切割并车削而成。

导流板如图9-40所示，照图下料、钻孔、卷板，组装时适当调整弧度后焊于管壳和U形梁上。

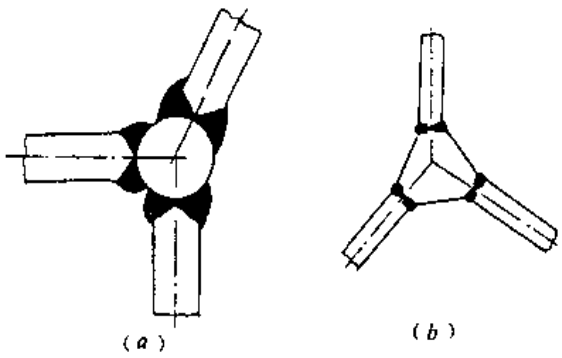


图 9-39 连接柱形式

(a)圆钢连接柱；(b)棱柱体连接柱

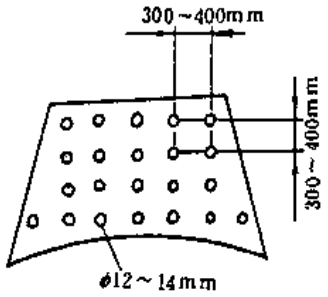


图 9-40 导流板

2.三梁岔管组装

第一种组装方法是先组装连接柱，U形梁和腰梁，后组装主管和支管。组装关键是控制中心，高程和倾斜度。仍以图9-38所示异径y型岔管为例加以说明。

（1）连接柱。U形梁和腰梁的组装。在钢板平台上调整左右两个连接柱的位置，用楔子板调整两个连接柱的坡口加工面，使其处于同一平面内，经水平仪检查合格后，用拉

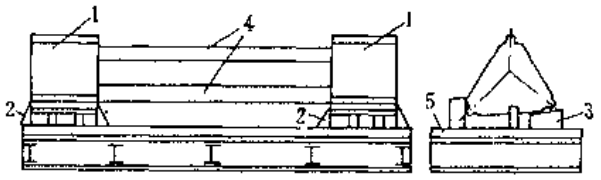


图 9-41　在平台上组装连接柱

1—连接柱；2—拉板；3—模铁；4—连接型钢；5—组装平台

板固定于平台上，连接柱间用型钢焊牢，如图9-41所示。

在U形梁对称中心线背部焊一吊耳，将U形梁吊放于已组装好的连接柱上临时支撑，再调整坡口中心、间隙和垂直度，合格后用拉板固定，如图9-42所示。

将组装好的U形梁和连接柱吊起，竖放于平台的支座上，支座由型钢焊成。在连接柱和U形梁的加工面上，挂垂球调整其垂直度，进而可用经纬仪和水平仪检查，合格后，用型钢加固在平台上，如图9-43所示。

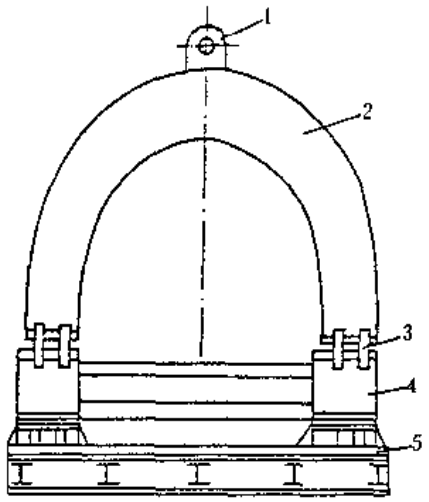


图 9-42　U形梁和连接柱的组装

1—吊耳；2—U形梁；3—拉板；4—连接柱；5—组装平台

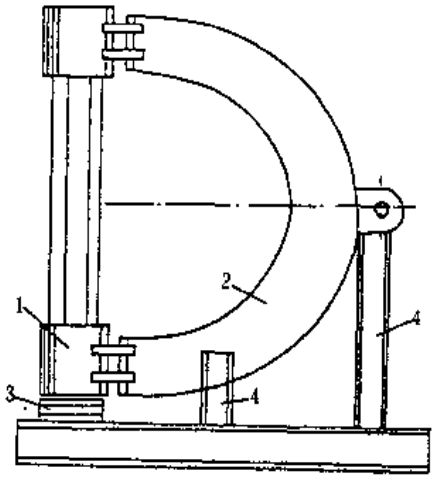


图 9-43　U形梁位置的找正

1—连接柱；2—U形梁；3—支座；4—型钢支撑

按图纸在连接柱的端面上校核三根梁和主管、支管中心线的交点A、0。这两点在厂家制造时要打上洋冲眼标记。然后将经纬仪对准A、0两点，以U形梁中心线为基准线，分别在平台上放出两根腰梁的中心线和主管、支管中心线，如图9-44所示。

分别吊装两根腰梁，调好梁与连接柱间坡口的中心和间隙，再根据已放好的中心线，检查腰梁的垂直度，合格后，固定于平台上，梁与连接柱间用拉板焊接，三根梁之间用型钢加固成整体，以防止焊接变形，如图9-45所示。

组装之后即可焊接。由于焊接收缩的影响，焊缝处要产生纵向变形和角变形，角变形对梁的几何位置尺寸影响很大，要加以控制。由于U形梁厚度大，刚度大，焊缝宽，还易产生裂缝。因此常采取以下措施：焊前预热，采用多道焊、分段退焊、焊后用石棉布遮盖保温等。

（2）主管、支管的组装。将已组成管段的主管和支管吊入两梁之间，按平台上的测量中心线和梁的高程点调整主管和支管中心与高程。合格后，修正焊缝间隙、压缝、点焊。

组装后，岔管主管及支管管口中心的偏差不应超过±5mm。如果运输条件允许，宜焊成整体出厂。

（3）主管、支管和三根梁的焊接。如图9-38所示，先焊支管和U形梁3、腰梁4，其次焊主管上游段和两个腰梁4，最后焊主管下游段和腰梁4、U形梁3。也可以先焊接U形梁和管壁，而后同时焊两个腰梁4。

第二种组装三梁岔管的方法是在平台上放出主管、支管和梁的中心线.如图9-46所示，先固定上游主管1的位置，再依次安装腰梁2、腰梁3、支管4、U形梁5、下游主管6和连接柱7。

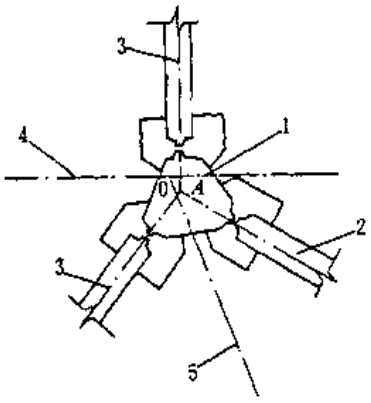


图 9-44 在平台上放出三根梁中心线和主管、支管中心线

1—连接柱；2—U形梁中心线；3—腰梁中心线；4—主管中心线；5—支管中心线

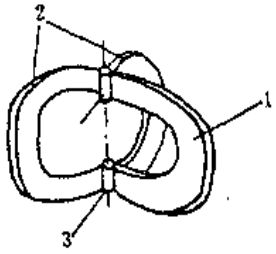


图 9-45 连接柱、U形梁和腰梁组装好的岔管骨架

1—U形梁；2—腰梁半环；3—连接柱

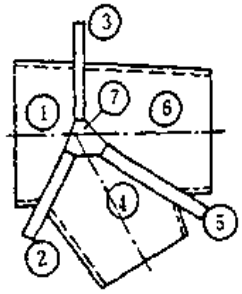


图 9-46 y型岔管的第二种组装方法

第三种组装方法是主管的上、下游段不必沿梁断开，而是做成一个完整的锥管，然后在锥管外壁划出支管中心线，预装上支管，调整主管、支管的中心和高程，合格后，即在主管上划出切割线，再拆下支管，割去开口部分的钢板，重新连接主管、支管，修正坡口间隙，装上三根梁和连接柱，最后焊接。

三梁岔管的后两种组装方法适用于U形梁断面不大的岔管，第三种组装方法还常用于U形梁不插入的岔管。

3.岔管的退火处理

岔管结构复杂，梁与管壁厚薄比相差大（有的达8倍之多），焊缝宽，填充金属多。焊接时温度分布不均匀，结构的刚度又阻碍热变形的自由发展，因而产生较大的焊接应力，为了消除这些应力，恢复焊缝热影响区钢材的韧性，大型岔管一般在焊接后要进行退火处理。在工厂，一般有专用的退火炉。

六、钢管焊接

压力钢管的焊接应遵守《水工建筑物金属结构焊接技术规程》(SDZ 008-84)。压力钢管的纵缝、环缝等均属一、二类焊缝，其焊接工作必须由经过考试合格的焊工来承担。焊前必须根据材料的可焊性、结构特点、设计要求、设备能力、施工环境等因素编制焊接工艺。根据钢板的板厚、化学成分、淬硬性、结构刚度、焊缝形式、环境温度及焊接材料等因素考虑是否需要采取预热及焊后热处理措施。

手工电弧焊和埋弧自动焊是常采用的两种方法。

1.手工电弧焊接

（1）纵缝焊接：纵缝焊接是在钢管对圆后进行。此时，钢管中心线垂直于对圆平台。因是立焊，必须使用短弧焊接，焊条垂直于焊缝或略向下倾斜，一般不超过15°，自上至下分段退焊。第一层焊接最重要，坡口间隙小的，沿焊缝中心直线运弧，要焊得薄些；间隙大的，略作折线摆动，以加宽焊道；局部间隙大的，可先用小电流在坡口两侧沿焊缝堆焊，以缩小其间隙，然后再焊中间一道焊肉，以减小焊接应力。立焊运弧方法如图9-47所示。

封底焊后，以后各层焊接可采用正月牙形或折线形运弧，焊至两侧应稍作停留，以保证有一定熔深，避免夹渣。在焊至盖面层前一层时，焊道中间要平，不得把两侧坡口边烧掉，留出2mm左右的深度，以便焊接盖面层。

盖面层采用反月牙形运弧，焊缝中间要略为高出，边缘和母材过渡要光滑，力求成型美观。纵缝焊接后，用弦长为$D/10$，且不小于500mm的样板检查纵缝处弧度，其间隙不应大于4mm。

（2）环缝焊接：大节组装时的环缝为横焊，为使焊缝收缩均匀一致，减小应力，根据管径大小可采用对称逆向分段退焊法，图9-48所示为四名焊工同时施焊的顺序。

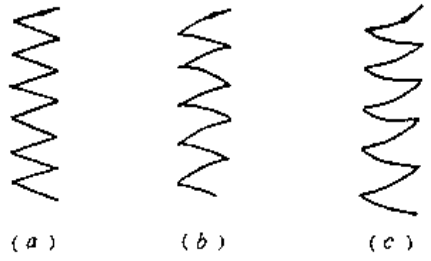


图 9-47 立焊运弧方法

(a)折线；(b)正月牙形；(c)反月牙形

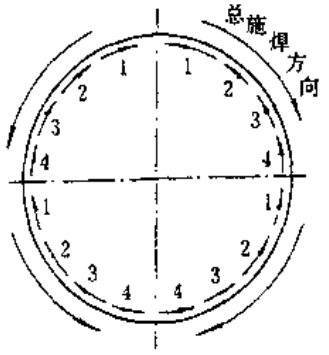


图 9-48 四人对称焊接顺序

焊接环缝时，第一层焊道要求焊透。第二层焊接时，焊条夹角见图9-49所示，每条焊道要覆盖前一条焊道的二分之一，可用斜线运弧或小环形运弧，如图9-50所示。焊盖面层前一层时，应留出2～3mm深度；焊盖面层时，焊接中间焊道速度要慢，以便成型美观。正缝焊完，再清根焊背缝。

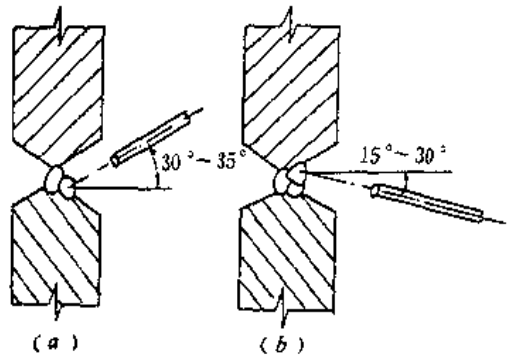


图 9-49 横缝时焊条夹角

(a)焊第二层第一道焊缝；(b)焊第二层第二道焊缝

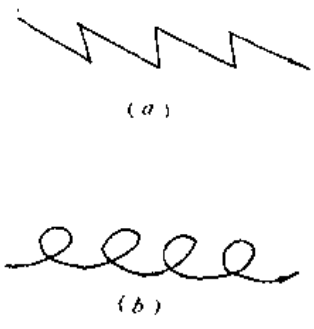


图 9-50 横焊运弧方法

(a)斜线运弧；(b)小环形运弧

两侧焊缝近于立焊，上下焊缝分别是平焊和仰焊，仰焊要求电弧更短，焊接电流比平焊小20%左右，焊条一般垂直于焊缝，但根据焊缝间隙，稍作前后倾斜。

（3）加固环焊接：焊接顺序是先焊加固环接头，后焊加固环和管壁间的角焊缝。由于加固环断面厚度相对管壁要大得多，所以焊接角焊缝时，接近薄板一面的焊条角度一般要小一些。

加固环的对接焊缝应与钢管纵缝错开100mm以上。

（4）凑合节焊接：凑合节处的焊缝焊接，由于焊后收缩应力很大，容易产生裂缝，施焊时，应配合风铲头锻打，以促使焊缝金属延伸，减小应力。锻打的风铲头磨成半径5mm左右的圆头。第一遍和最后一遍的焊接，不必用锻打。

蜗壳段凑合节环缝的焊接除采取以上锻打措施外，还须将凑合节一侧的环缝坡口开成V形，贴上背板，如图9-51所示，待浇筑完二期混凝土再焊。

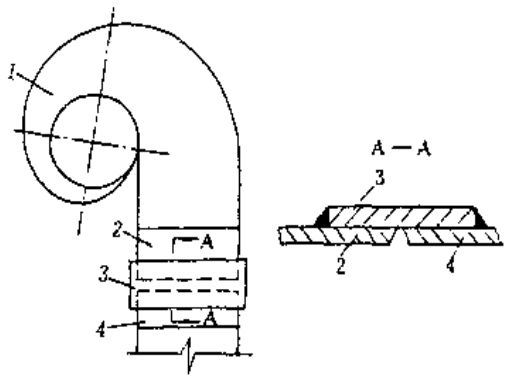


图 9-51 环缝贴背板的焊接方法

1—蜗壳；2—钢管；3—背板；4—凑合节

2.埋弧自动焊

埋弧自动焊与手工电弧焊相比具有焊接速度快，焊缝质量好，焊工工作条件得到改善等优点，但其焊接是在钢管滚动的条件下进行的，而弯管、岔管等无法滚动，就不能施焊，所以，埋弧自动焊在使用上受到一定的限制。

（1）焊接过程中自动调整简单原理：埋弧自动焊的自动化是通过送丝机构和小车行走机构的自动化来实现的。对小车自动化的要求是行走速度均匀，方向和速度可以调节。对送丝机的要求是容易引弧，保证电弧稳定燃烧并在焊接结束时填满弧坑。

送丝的方法有两种，第一种送丝方法是送丝速度随着弧长的变化而变化。当弧长变长，电弧电压增高，送丝速度加快；当弧长减短，电弧电压降低，送丝速度相应减慢，自动恢复到原来弧长。第二种送丝方法是等速送丝制，送丝速度在焊接过程中始终保持不变，弧长靠焊丝的熔化速度变化进行自身调节。第一种送丝制焊机，适用于电源电压波动幅度较大的场合，第二种送丝制焊机，适用于电源电压波动幅度较小的场合，两种焊机都普遍采用。

（2）滚焊台车：采用滚焊台车滚动钢管，使焊缝移至水平位置，以便自动焊接。滚焊台车由两个单体车架组成，在焊接时，用型钢连成整体。根据需要可进行单节、双节或多节钢管焊接。滚焊台车要有足够刚度。滚焊台车为无级变速。对滚轮的平行度和相对高差有严格要求。

（3）纵缝焊接：埋弧自动焊的纵缝焊接是先焊内缝，后在顶部焊背缝。

焊前准备包括以下工作：

除净焊丝表面的铁锈和油污，按照说明书要求在烘炉里烘焙焊剂。

将钢管纵缝转至台车上的水平位置并清扫干净焊缝。

将用型钢制成、盛满焊剂的焊剂垫置于焊缝下面，在焊剂垫的两端和中间顶上千斤顶，使焊剂垫贴紧焊缝，松紧适中。

在焊缝上铺设导轨并放上自动焊小车，使导电嘴基本对准焊缝。

空载检查小车行进情况，校核焊丝及导向器是否对准焊缝。

调整焊丝与引弧板处接触的松紧程度。为便于引弧，电弧电压和焊接电流事先可调至略大于预定数值，而焊接速度则一次调至预定值。

放下焊剂，其高度为20～60mm为宜。

按起动按钮，引燃电弧，合闸使小车自动行走，焊接开始。观察电流、电压是否合乎规范要求，若有波动，应及时调整或停止焊接。背缝在顶部施焊，要注意熔透情况。焊接12mm以上钢板，需用大功率焊接电源，多丝多层焊接。

（4）环缝焊接：环缝焊接有两种方式，目前多采用的一种方式是，焊机放在钢管上按已定速度前进，而钢管则以大小相等，方向相反的线速度转动。这种方式不受钢管的椭圆度和轴向位移的影响。另一种方式是钢管在台车上旋转，而焊机固定，要求钢管刚性大，椭圆度和轴向位移小，这样焊接才能稳定。

环缝焊接时，应在水平或稍滞后的位置引弧，环缝焊接的引弧与熄弧处应与纵缝错开100mm以上。

环缝焊接一是设置焊剂垫，不过这种结构比较复杂；二是手工焊封底，省去焊剂垫，但手工封底工序有时因气体在背面不易逸出而产生气孔；三是将坡口开成Y形，钝边为8～10mm，局部间隙大的，用手工焊封底，焊完内缝背面用炭弧气刨清根4～6mm，再焊背缝。此法工序简单，若焊接规范选择合适，可保证质量，因而用得较多。

七、伸缩节制造

在温度变化或支座作不均匀沉陷时钢管管壳会产生巨大应力，因此在明管中应设置伸缩节，使钢管适应这些变化。伸缩节有两种，一种能适应较大的不均匀沉陷，除了允许轴向伸缩外，还应允许径向轻微移动，这种伸缩节的结构就比较复杂。

这里我们仅介绍第一种，即单作用伸缩节。目前常采用两种形式，套筒式伸缩节和法兰盘式伸缩节。

1.法兰盘式伸缩节的组装

法兰盘式伸缩节是由法兰盘、钢管、内套管、压环、盘根等组成。其组装工序如下：

（1）钢管组装。组装要点同前。

（2）法兰盘组装。如图9-52所示，在工地用螺栓连接把分半的法兰盘组成整圆。

（3）法兰盘和钢管组装。用码子和楔铁调整法兰盘和钢管间隙，焊接法兰盘和管壁的角焊缝。注意采用小电流，防止烤坏盘根。

（4）组装内套管。组装要点同钢管组装。

（5）法兰盘和内套管组装。如图9-53所示，将内套筒吊放于垫板上，用码子和楔铁调整内套管和法兰盘间隙，合格后，用拉板将钢管和内套管焊牢。

（6）装入盘根。盘根接头应斜接，相邻两圈的盘根接头应错开500mm以上。装上压环，拧上螺栓，压紧盘根。

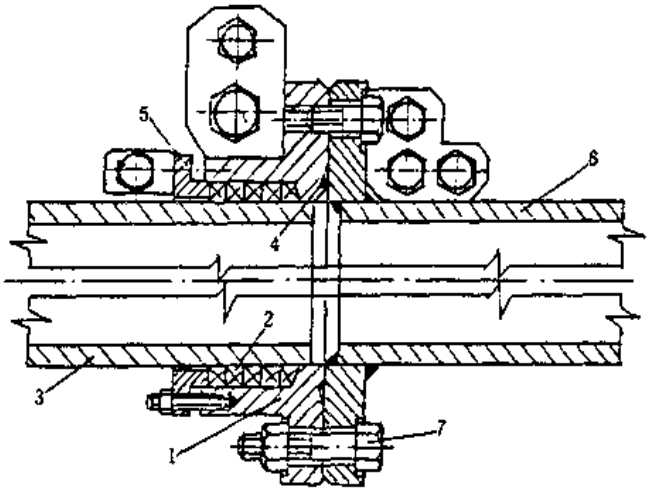


图 9-52　用螺栓连接的法兰盘式伸缩节

1—法兰盘；2—石棉盘根；3—内套管；4—橡皮密封圈；5—压环；6—钢管；7—螺栓

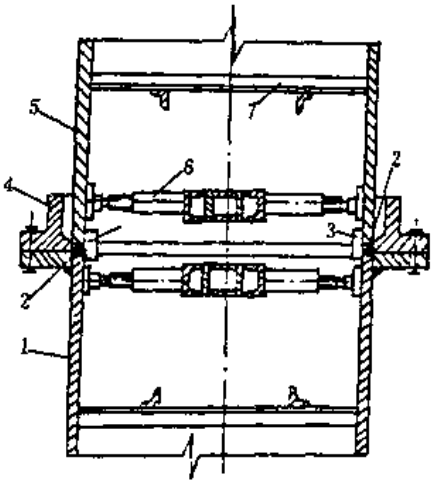


图 9-53　法兰盘和内管组装

1—钢管；2—垫块；3—拉板；4—法兰盘；5—内套管；6—米字形支撑；7—井字支撑

2.套筒式伸缩节组装

套筒式伸缩节由内套管、外套管、压环和盘根等组成，如图9-54所示。

其组装顺序如下。

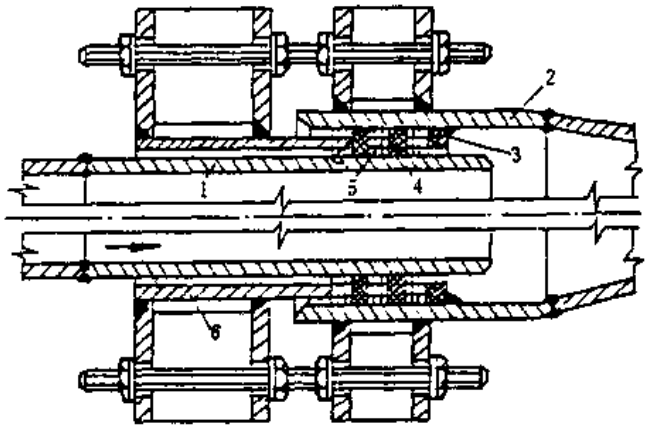


图 9-54　套筒式伸缩节

1—内套管；2—外套管；3—盘根盒；4—石棉盘根；5—橡皮盘根；6—压环

（1）外套管组装：①对圆焊接。控制弧度、圆度，用样板检查（当2m＜D≤6m时，样板长度为1m；当D＞6m时，样板长度为1.5m），其间隙在纵缝处不应大于2mm；其它部位不应大于1mm。在套管的全长范围内，检查上、中、下三个断面。②调圆上支撑。外套管或内套管和止水压环的实际直径与设计直径的偏差不应超过$\pm 3D/1000$，且不超过± 2.5mm，测量的直径不应少于四对。

（2）盘根盒焊接：盘根盒焊于外套管上，注意防止倾斜，能使盘根均匀压住盘根盒，止水良好。

（3）止水压环组装：与外套管组装相同。

（4）压环和外套管组装：在外套管的盘根盒上，按八点放置垫块，其高度等于盘根高度。将压环吊放于垫块上，并用楔铁调整好压环和外套管间隙，合格后即塞上塞块固定。同时复测压环上口的圆度要合格。

（5）加劲环安装焊接：如图9-55所示。严格控制加固环的弧度，使加固环在自由状态下紧贴管壁，间隙不大于1mm，以免影响压环和外套管的圆度。注意采用正确的焊接

工艺，以免引起外套管和压环周长收缩过多。

（6）钻孔：外套管上的加固环与压环上的加固环，其螺栓孔要一次钻成，以保持同心。

（7）内套管组装：与钢管组装相同。

（8）内、外套管组装：将内套管吊放于拉板上，用码子、楔铁调整内、外套管间隙。内、外套管间的最大和最小间隙与平均间隙差不应大于平均间隙的10%。调整合格后，用拉板按八点将内、外套管焊牢，如图9-56所示。

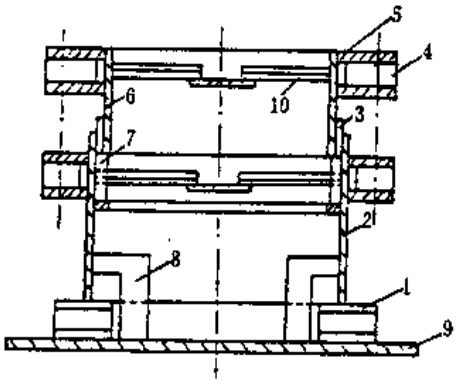


图 9-55 压环外套管、加固肋组装

1—工字钢；2—外套管；3—塞块；4—隔板；5—加固环；6—压环；7—垫块；8—拉板；9—钢板平台；10—米字支撑

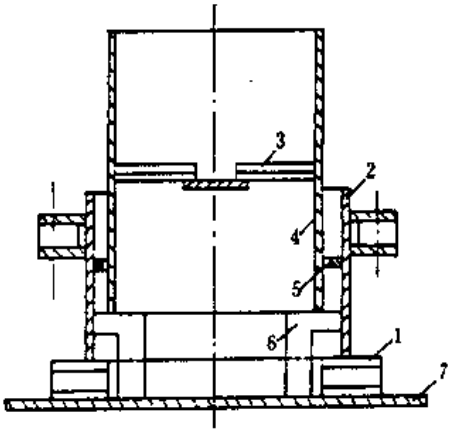


图 9-56 内套管和外套管组装

1—工字钢；2—外套管；3—米字形支撑；4—内套管；5—盘根盒；6—拉板

（9）盘根安装：在内、外套管之间塞入盘根，橡皮盘根应制成整圈填入，每圈接头应斜接，相邻两圈接头应错开500mm以上。然后，按原位置吊上压环，拧紧螺栓。

第三节 压力钢管的安装

这里主要介绍坝内式钢管及隧洞式钢管的安装。

一、安装前准备工作

安装前，要按照图纸清查各节钢管的质量，在钢管的左、右中心和下中心处作出明显标记，在钢管的适宜位置处焊上吊耳以利于吊装。具体准备工作如下。

（1）加固件埋设：钢管安装后，必须与支墩和锚栓焊牢，防止在浇筑混凝土时位移，为此需要在每节钢管两侧、底部的混凝土墙上预埋锚栓（锚筋），同时在首末节钢管以及适当间隔处埋设工字钢，如图9-57所示。

（2）支墩埋设及轨道安装：支墩应有足够的强度和稳定性，以保证钢管在安装中不发生位移和变形。支墩用混凝土浇筑而成，其位置设在加固环下面，以承受钢管自重和沿轨道滑移时的推力。支墩的墩顶上须预埋一块钢板（300×300×10mm）。支墩的纵向间距主要考虑钢管在轨道上滑移时不致因重量过大面使轨道变形过大，其横向间距一般为$\frac{2D}{\pi}$，

以保持钢管的稳定。

支墩上所敷设的轨道常用38kg/m或43kg/m的规格，轨顶高程一般低于已安装好钢管的加固环的高程80mm左右为宜，轨道可用角钢固定于墩顶钢板上。若两节相邻轨道接头处于两个支墩的中间，则接头处须用连接板焊牢，同时下面要用型钢支撑。

鞍式支墩的顶面弧度，用样板检查，其间隙不应大于2mm。

滚轮式（也叫滚动式）和摆动式（也叫摇摆式）支墩垫板的高程和纵横中心的偏差，不应超过±5mm；与钢管设计轴线的不平行度不应大于2/1000。滚轮式和摆动式支墩安装后，应能灵活动作，不应有任何卡阻现象，各接触面应接触良好，局部间隙不应大于0.5mm。

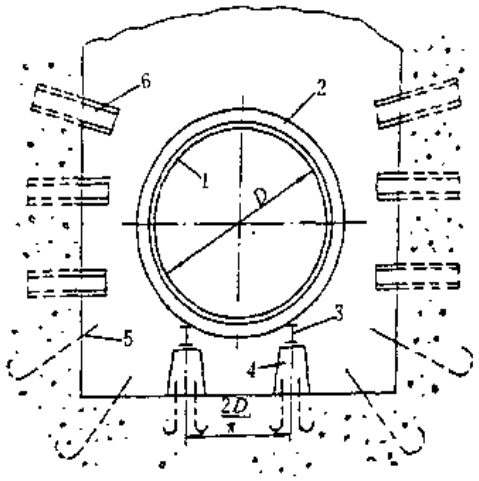


图 9-57 钢管安装前预埋件布置

1—钢管；2—加固肋；3—轨道；4—混凝土支墩；5—预埋锚栓；6—预埋工字钢

（3）施工机械的安放：这里指卷扬机、电焊机等机械在钢管安装前要运至现场就位，如电焊机既要尽量接近焊接区，又不妨碍钢管运输就位。

（4）安装控制点的测放：为检查钢管管口中心的高程和里程，每个管节或管段的管口下中心和左右中心都应设置控制点，控制点设在钢管两侧和底部混凝土的线架小钢板上或平整的混凝土面上，用洋冲眼或红铅油作出明显标记，并妥为保护，防止碰撞或被水冲掉。

（5）钢管运输线路的检查：钢管从钢管厂运至安装现场所用运输工具可能是汽车、平板拖车、运输台车或轮船等，可以采用水平、斜坡、垂直和空中与水上运输的任意形式。其运输方案应预先设计，运输工具要预先准备、检查。隧洞式钢管吊装就位前，要检查隧洞断面有无欠挖之处，一般边、顶拱净空不小于600mm，底拱不小于800mm，所有隧洞转弯处，应保证最长管道能通过，并且每隔一段距离扩大某一侧开挖面，作为电焊机的移动室和钢管运输就位时施工人员的安全室。

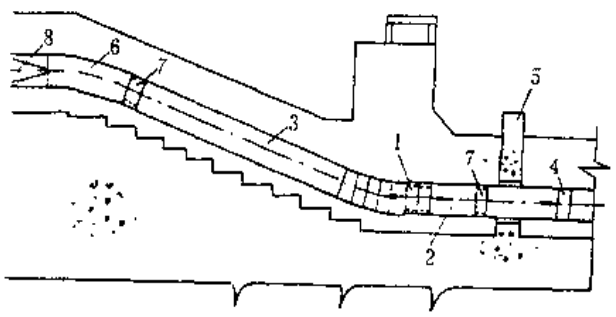


图 9-58 钢管安装顺序图

1—首装节钢管；2—水平段钢管；3—斜管和下弯管；4—蜗壳；5—厂房上游墙；6—上弯管；7—凑合节；8—渐变段

二、钢管安装及位置调整

（1）安装顺序：钢管由上平管、上弯管、斜管（或竖井钢管）、下弯管和下平管等组成。其安装顺序一般都是由下向上，先安装紧接下弯管下端的两节钢管，以此作为安装其余各节的基础，据此可分为两个工作面，分别向上，下游安装，如图9-58所示。有条件的现场，还可再开一个工作面，由接蜗壳段的钢管开始，向上游安装。

下弯管安装完毕，可以先浇筑二期混凝土，再依次安装斜管、上弯管。这是第一种安装方案。此方案特点是作为基础的钢管安装其质量能得到严格控制，但与土建单位多了一次交叉施工，工期较长。第二种安装方案是下弯管安装完毕后，继续装斜管，一直装到上弯管。这种方案可缩短安装工期，但考虑到多节钢管下滑重量增加，要特别注意钢管的加固。

（2）钢管吊装与运输就位：坝内式钢管一般用坝上起重设备直接吊装就位。但有时受施工场地布置等条件制约（如下弯管恰好处在施工栈桥下面时），不能直接吊入，必须采用经一段距离滑移的斜坡运输方式，如图9-58所示。所要滑移的钢管在吊入坝体前，应根据钢管的下中心位置，在加固环下面左右对称的地方，焊上两根雪撬形的槽钢（或角钢），以便将来用于滑移。

钢管在斜坡上向下滑移前，在距管口约200mm处焊上三个吊耳，如图9-60所示，由卷扬机控制逐渐下滑。下弯管最下面几节钢管离厂房上游墙近，若从上往下滑，所用时间长；若采用从下水平段往上拉的安装方法，能节省时间。就位时，先拉上几节钢管，使其比应就位的高程稍高些，临时固定好，待正式安装时，再逐节下放就位、调整。

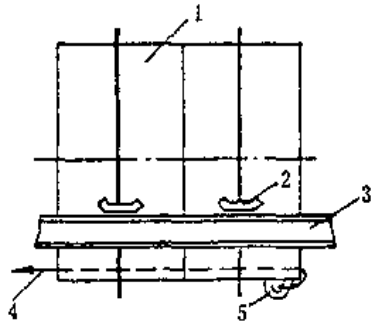


图 9-59　用于钢管滑移运输的雪撬形角钢

1—钢管；2—雪撬形角钢；3—轨道；4—钢丝绳；5—吊耳

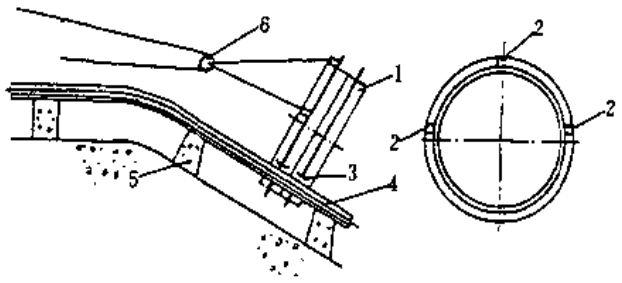


图 9-60　钢管在斜坡上向下滑移

1—钢管；2—吊耳；3—雪撬形角钢；1—轨道；5—支墩

隧洞式钢管的安装，斜井式与竖井式的有所不同，现以斜井式为例说明安装方法。斜井式钢管的安装方法基本上同于坝内式钢管，只不过因洞内空间狭小，施工困难多些，钢管只能从进口和厂房吊入，由下弯管分两个工作面安装，工期要长些。

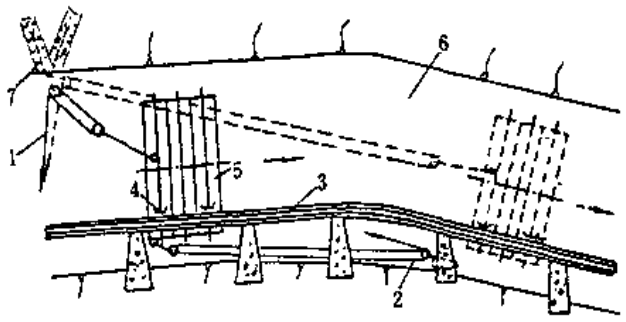


图 9-61　隧洞式钢管自上向下滑移安装法

1—卷扬机A上的滑轮组；2—卷扬机B上的滑轮组；3—轨道；4—雪撬形角钢；5—钢管；6—隧洞；7—砂浆锚杆

第一种安装方法，钢管从进口吊入，当其经上弯段向下滑移时，其倾斜角度不断变化，而悬挂钢丝绳的吊耳位置固定不变，因此，所产生的倾倒力矩不断变化，为防止意外事故的发生，需经常采用两套滑轮组，如图9-61所示。在要滑移的钢管加固环下面焊上雪撬形角钢，放在水平段上，将卷扬机A上的滑轮组穿好钢丝绳并

溜住，再将卷扬机B上的滑轮组的吊索挂在钢管底部并绞紧钢丝绳．然后，开动卷扬机B牵引钢管在水平段上向前滑行，同时配合逐渐放松溜住的滑轮组A；当钢管滑入上弯段后，坡度逐渐增加，这时，凭钢管自重已能下滑，便可拆除牵引滑轮组B，而仅用溜住的滑轮组A便可控制钢管逐渐下滑到安装位置。

第二种安装方法，有时从进口不能运入钢管，须从厂房运入，从下往上拉，这时须用两套滑轮组，四根等长的吊索挂在钢管的四个吊耳上，往上拉。已拉上的钢管要用预埋锚栓固定好，同时每节钢管必须用黑铁管或型钢支于岩石上，以确保安全。钢管在斜坡上滑移比较危险，为确保人身与设备安全，预埋锚栓应牢固，卷扬机制动装置必须可靠，起重钢丝绳及滑轮组、卡扣等应事先检查好，同时注意不准使用吊钩、滑轮，以防止脱钩等。

（3）钢管位置调整及要求：钢管安装的首要任务是严格控制先安装紧接下弯管的两节钢管的安装质量，以下简称为首装节。首装节一般在制造时就组成大节钢管，以增加其稳定性。钢管位置调整要求是控制管口中心、高程、里程偏差，管口椭圆度及环缝间隙。调整时，先调中心，用千斤顶或拉紧器支于支墩或轨道上，再用四个千斤顶将钢管均衡地顶至要求的高程，高程通过侧墙上设置的控制点拉线检查。当钢管中心、里程，高程和倾斜调整合格后，即撤去千斤顶，焊上临时活动支腿，再复查各项指标，若无变化，即把临时活动支腿焊死，并用型钢或黑铁管将钢管加固于预埋锚栓或工字钢上如图9-62所示。首装节钢管在加固时，为防止因焊缝收缩而造成已调整好位置的钢管位移，加固型钢必须有一端焊缝为搭接焊，而且须留在最后焊接，以减少变形量。焊接完，再复测钢管中心、里程、高程和倾斜等项指标，并作出施工记录。

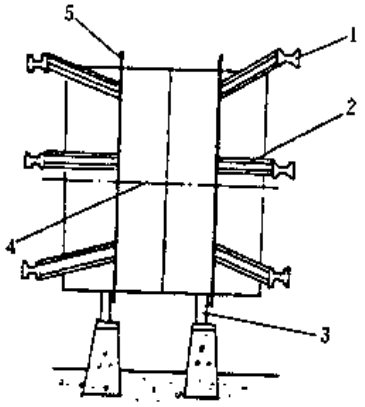


图 9-62　首装节钢管加固

1—预埋工字钢；2—加固型钢；3—临时活动支腿；4—管口中心线；5—加固环

钢管管口中心安装的允许偏差应符合表9-2的规定。

表 9-2　　钢管管口中心的允许偏差

序号	类别	钢管内径 D (m)	首装节管口中心的允许偏差 (mm)	与蜗壳、伸缩节、球阀、岔管连接的管节及弯管起点的管口中心允许偏差 (mm)	其它部位管节的管口中心允许偏差 (mm)
1	明管	$D\leqslant 3$	5	6	15
		$3<D\leqslant 6$		10	20
		$D>6$		12	25
2	埋管	$D\leqslant 3$	5	6	15
		$3<D\leqslant 6$		10	25
		$D>6$		12	30

首装节的里程偏差不应超过±5mm，弯管起点的里程偏差不应超过±10mm。管口椭圆度在安装后不应大于$5D/1000$。

弯管安装时，要调整各节弯管的下中心吻合及控制管口的倾斜。将吊装就位的下弯管下中心对准首装节钢管的下中心，若有倾斜，可在相邻管口上各焊一块挡块，在这两块挡块之间，用千斤顶（或大拉紧器）顶转(或拉紧)钢管，调整下中心一致。然后再调整相邻管口的环缝间隙，接着由下中心分两个工作面用码子、楔铁压缝。

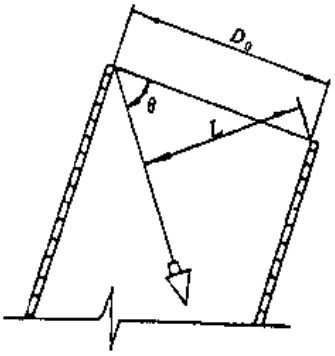


图 9-63　弯管倾斜度的测定

弯管倾斜度的测定，是通过在管口的上中心挂垂球，用钢卷尺测量管口下中心与垂线间的距离L值，如图9-63所示。然后计算理论值与实际值之差，确定弯管的倾斜误差。L的理论值照下式计算：

$$L = D_0 \sin\theta \qquad (9\text{-}3)$$

式中　D_0——钢管实测内径（mm）；

θ——在此截面上弯管的转角。

若弯管的倾斜度较小，可在支墩上用千斤顶或在地锚上焊拉紧器，通过顶、拉钢管来调整，也可以通过放大或缩小上、下中心部位的环缝间隙来改善。

弯管安装二、三节后，就应调整下中心吻合和管口倾斜，以免误差积累偏大，以后难处理，同时再复查首装节，看是否有位移发生。若万一发生偏移，必须重新调整加固，保证安装质量。然后，从首装节开始向下游侧安装水平段钢管，以增加首装节的稳定性。

斜管安装方法和弯管相同，但因是直管，就不必逐节检查，可以在安装几节后进行一次测量检查。

斜直管安装完毕，即可安装上弯管。如果安装步骤不是采取由下往上的办法，而是先悬空安装上弯管，则应先装上弯管下游侧的两节斜直管。如图9-64所示，安装前，在第二节直管下游管口150mm左右处，预埋二根或三根横跨管道的工字钢，要安装的斜直管便可依靠这几根工字钢和其它预埋锚栓，用千斤顶等工具进行调整。

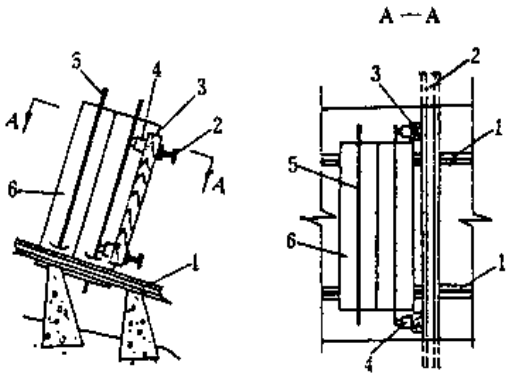


图 9-64　预埋工字钢悬空安装上弯管

1—轨道；2—预埋工字钢；3—方木；4—千斤顶；5—加固环；6—钢管

穿越厂房上游墙，接蜗壳段的几节钢管最好留出位置待以后安装。因厂房上游墙附近设有伸缩节，如果先装好这几节钢管并浇筑混凝土，便没有了调整的余地，以后和伸缩节连接压缝时就会产生很大应力，甚至出现裂缝，或者使伸缩节变形，由此处漏水。

当下弯管、水平管、斜管和上弯管等安装好，即可焊接，当环缝全部焊完后安装凑合节。注意在安装到接近凑合节的管段时，就要有意识的控制上、下游管口的中心偏差，以利于凑合节的安装。

凑合节分为整体式和分块式。整体式多用于控制里程的部位。沿斜管向上游安装上弯管时，其衔接处就要采用整体式凑合节。它的长度要比设计值长150～200mm，先制成管节，以后安装时，根据实测值再切割去多余部分。分坝式凑合节是将制成的瓦片逐块安装，先装下中心部位的瓦块，再沿两侧向上安装。瓦片在宽度方向上比设计值长200mm左右。

分块式凑合节有两种安装方法：第一种方法，用码子、楔铁把瓦片和装好的上、下游钢管压紧见图9-65（*a*），使瓦片在宽度方向上的多余值均布于上下游两侧，按实际划出切割线并切割。再沿两侧向上安装，当装至上中心瓦片时，如果这最后一块瓦片较短，则可将其吊入钢管内，再平提起压紧、划线，以后在管外切割。第二种安装方法见图9-65（*b*），把凑合节两端管口沿圆周方向分成200～300mm的若干等分，精确量出其上、下游间距，据此切割瓦片，再安装。这种安装方法质量较好，适用于小管径的钢管。大直径钢管最好用第一种方法安装凑合节。

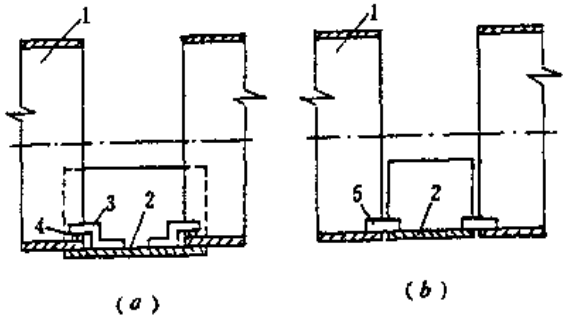


图 9-65　分块式凑合节安装

1—钢管；2—凑合节分块式瓦块；3—码子；4—楔铁；5—拉板

（4）伸缩节、岔管和闷头的安装：伸缩节一般在钢管厂制成整体，然后运到现场安装。为减小压缝时的应力，防止变形，伸缩节最好先和相邻的单节管节组成管段后再安装，因单节管节刚性小，容易压缝。安装伸缩节时，为了将其顶至规定高程，应把千斤顶顶在支墩上，切忌顶在已装好的钢管上，否则，会使伸缩节的内套管弹性变形，在割除支撑后，形变恢复，将引起伸缩节间隙的改变。

连接伸缩节内套管和钢管的连接板，须待钢管环缝全部焊接完，才可割除，否则，提前割除连接板，因焊缝收缩会使内套管外接量过大。伸缩节前后管节的支撑，应在浇筑完混凝土后割除，防止伸缩节变形。

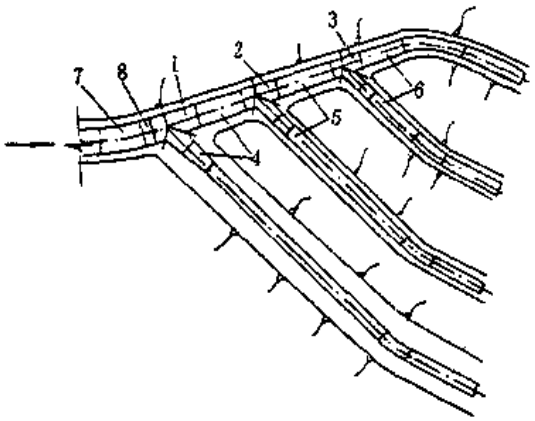


图 9-66　y型岔管的安装顺序

1、2、3—岔管；4、5、6—支管；7—主管；8—凑合节

岔管结构复杂，一般在厂家焊成整体，再运到工地安装。安装顺序原则上是先装岔管，后装支管。图9-66所示为y型岔管的安装顺序，安装时，先装岔管3及其支管6，再装岔管2及其支管5，后装岔管1及其支管4，最后装凑合节8，和上游已装好的主管7连接。

图9-67是另一种形式的岔管—Y型岔管。Y型岔管安装时，在球阀室上游部分，先装总岔管1和两侧支管，再装岔管2及其支管，装至球阀处，留一节不装（方框内的虚线管段），待球阀装好以后再装。球阀室下游侧的安装，先装岔管3，接着分

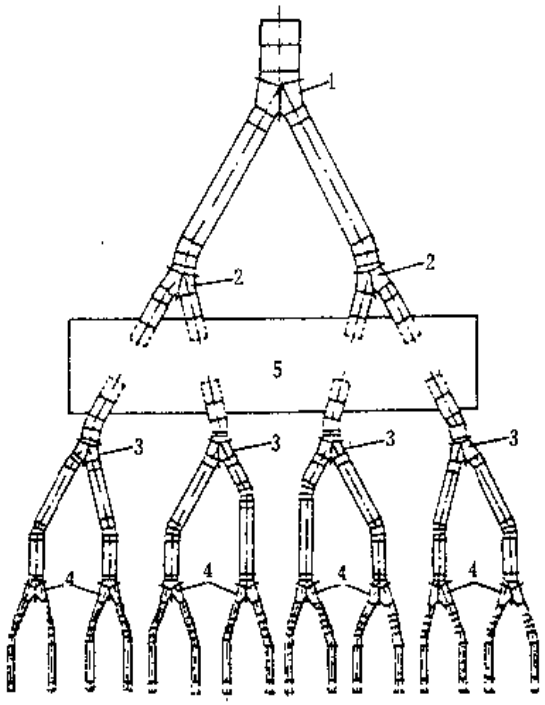


图 9-67　Y型岔管的安装顺序

1—总岔管；2—2号岔管；3—3号岔管；4—4号岔管；5—球阀室

别向上、下游安装，上游装至球阀处，仍留一节不装，待球阀装好后再装。下游装至4号岔管，待水轮机蜗壳装完，根据喷嘴位置进行安装。采用这种安装方法，岔管2和岔管4管口的几何中心一定要控制好，才能保证岔管与其它钢管连接的质量。

闷头的作用有两点，一是在钢管进行水压试验时，用以封闭钢管两端；二是当其一台机组运行时，用以封闭需要堵塞的其它几台机组钢管的下游管口，以防止水流进入厂房。常见闷头形式有平板闷头、锥管形闷头、椭圆形和球形闷头，如图9-68所示。后两种受力较好，但制造费事。

球形闷头常为焊接构件，由多块瓜瓣式瓦片和一小节锥管组成，如图9-69所示。制造方法是，先组装锥管，再在锥管管口上由两端向中间安装瓜瓣形瓦片，最后凑合于中部。先焊瓦片间纵缝，后焊球壳和锥管间环缝。

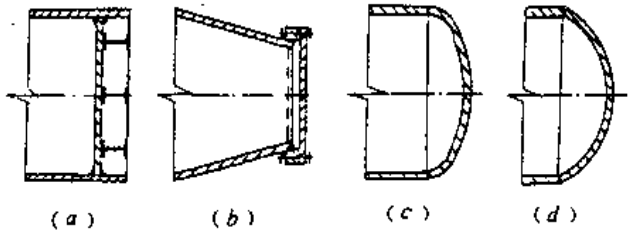


图 9-68　各种闷头

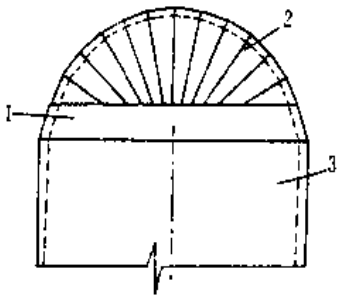


图 9-69　球形闷头

1—锥管；2—瓜瓣式瓦片；3—直管

椭圆形闷头在工地可用人工锻制，见图9-70，步骤如下：第一步是压凸。先把下好料的钢板毛坯置于耐火砖砌制的地炉上，用焦炭作燃料，加热到1100～1200℃左右，再用特制的长柄硬木锤从边缘向中心绕圆周方向逐圈锻打成型。终锻温度不得低于750℃。第二步是抹边，在胎具上依次进行，胎具只做成圆周的1/8～1/6，胎具的工作面就是闷头内表面所接触的曲面。要考虑闷头成型冷却收缩后的影响，应将胎具的实际尺寸做得略为大些，抹边是由上至下，沿圆周方向，边加热，边锻打，直至成型。成型后尚有余温时，用大锤和平垫铁锤锤击，以修整闷头的局部凸凹不平度，随时用样板检查，应考虑冷却收缩的影响，样板尺寸也略大于实际尺寸。

闷头安装有两种方式，一种是整体安装方式见图9-68(c)、(d)，将闷头与钢管管口处的环缝焊接合格即成。另一种是将闷头分成两块或四块在现场拼装的分块安装方式。安装时，考虑到焊缝收缩会引起管壁和混凝土的开裂，为此先焊接管壁和闷头间的焊缝，让其自由伸缩，施放出应力，然后焊接几块闷头间的连接缝。施焊时，为消除焊接应力，应配合锤击，或把连接缝处改焊盖板，变对接缝为搭接缝，以减小焊缝收缩的变形量。

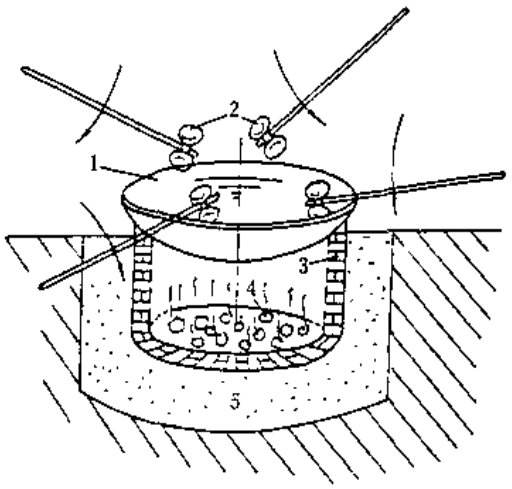


图 9-70 椭圆形闷头的人工锻制

1 闷头毛坯；2—木锤；3—耐火砖；4—焦炭；5—地基

三、安装中出现的一些问题及处理方法

（1）管口中心偏差过大。安装过程中，由于累积误差造成管口中心偏差过大，而用千斤顶、拉紧器等常规做法已无法调整达到规范要求时，则只能割开一条已装好的管口，重新调整环缝间隙。根据计算有时需要在这条管口上切去一定宽度的母材，然后压缝，来间接调整正在安装的管口中心。注意这种处理方法，所割开的管口尽量不选在弯管或锥管的管口上，处理的管口和调整几何中心要保持一段适当的距离，以求缓和钢管转角。

（2）周长偏差过大。若相邻管口的周长值偏差过大，则可将周长大的管节上的纵缝割开一、二条，再压环缝，然后先焊纵缝，后焊环缝。因现场切割坡口很难整齐，影响纵缝焊接质量，所以在施工中应尽量避免周长偏差过大的情况，为此在制造时就应该严格控制周长。

（3）环缝间隙过大。若由于椭圆度的影响，会造成管口端面不平，使环缝间隙过大，则可重新调整椭圆度，以调整环缝间隙过大的情况。若制造过程中，上加固环前，管口就不平，上加固环后，已成定型，尽管安装时环缝间隙过大，但钢管刚性大，很难处理，这种情况只有采用切割管口的办法解决。因此，上加固环前，一定注意钢管的调圆质量和管口的平整，同时要求管口和加固环的距离尽量不小于400mm。若由于瓦片边缘不齐，造成局部间隙过大时，可用堆焊法补救。

四、钢管焊接及焊后检查

钢管安装时，在现场存在焊接这一重要工序。钢管焊接后，必须对焊缝进行检查，目前，常用检查方法有焊缝外观质量检查、内部质量检查和水压试验这三种。

（1）外观质量检查。焊缝表面不允许有裂纹、夹渣；根据板厚的不同，咬边允许值有一定规定，如板厚$t>10$mm时，咬边深度不大于1.0mm；焊缝宽度盖过每边坡口2～3mm；焊脚高度应满足设计要求；气孔允许缺陷，一类焊缝不允许有气孔，而二类焊缝，1.0mm直径气孔，每米不多于3个，其间距不小于20mm。

（2）内部质量检查。钢管焊缝内部质量检查方法很多，常用的有煤油渗漏法，X射线探伤和超声波探伤。对重要的焊缝，如一、二类焊缝内部质量检查必须选用超声波或射

线探伤。

超声波是指向性很强，波长很短的一种单性波。它能在两种介质的交界面上产生折射和反射，反射回来的超声波再由接受器将声能变成电能，经放大在示波器的荧光屏上显示出波形，根据波形形状、长短可以大体估计缺陷大小及隐藏深度。探伤前，要将探伤表面清洗干净并经砂轮打磨后，用薄层机油作为耦合介质。

超声波检查长度按规定要求办。检查着重在焊缝接头处，交叉部位，经过处理的焊缝及容易出缺陷的部位。

X射线具有使照相底片乳胶感光和使荧光物质发射荧光的能力。当X射线照到钢板上，由于金属和其内部缺陷处密度不同，对X射线的吸收能力也就不同。X射线对金属缺陷处的穿透能力强，因此在冲洗后的底片上就留有黑度较大的影子，根据影子的大小、形状和深浅，就能分析、判断缺陷的性质。

X射线过剂量对人体有害，因此，应遵照安全操作规程使用。

经检查不合格焊缝应铲去重新补焊，补焊后必须重新检查。

水压试验是全面检验钢管制造、安装质量的一种方法，分为单节、局部和整体试验三种。水压试验前必须经过无损探伤。

图9-71所示为新型岔管作单节水压试验示意图。图中构件2为试验前要增加制造的一段连接管，以便和闷头相连接。试验后，和闷头一起割除。连接管或闷头上开有下列用途的小孔：加压泵连接管口、排气孔、充水孔、内壁测点引线孔和进人口。

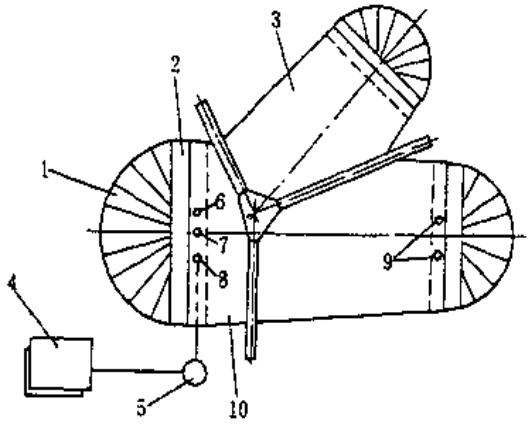


图 9-71 单节岔管的水压试验

1—闷头；2—连接管；3—岔管；4—加压泵；5—高压阀门；6—充水管；7—加压泵连接管口；8—排气孔；9—内壁测点引线孔；10—主管

水压试验前，对岔管全面清扫检查，安装应变片，然后再装最后一个闷头。正式试压时，先充水，充满后，在排气孔上装压力表，用加压泵缓慢升压至工作压力并保持10min；经检查钢管情况正常，仪表读数稳定，继续升至试验压力(为工作压力的1.25倍)，保持5min；再下降至工作压力，保持30min，并用0.5～1.0kg小锤在距焊缝两侧各15～20mm处轻轻地敲击。整个试验过程中应无渗水及其它异常现象。此试验一般循环作3～5次，以保证测读数据的稳定性。

图9-72为局部水压试验，多用于总岔管以下部位，其试验程序与单节水压试验相同。

整体水压试验一般在露天明管安装之后进行。当钢管很长时，要分段试验，以免上部管节承受压力超过试验压力。分段长度和试验压力视管壁厚度决定，每段工作压力大小由设计人员提供。

大直径明管若试验确有困难时，应经设计和施工单位研究同意，并报主管部门批准后，方可不作水压试验，但应按规定进行无损探伤检查，其焊缝检查长度，纵缝为100%，环缝

不少于50%。

五、管壁灌浆、钢管涂料及其它安装工作

隧洞式钢管和坝内式钢管在安装完毕、浇筑二期混凝土之后，要进行灌浆。灌浆有三种形式：①固结灌浆；固结隧洞四周破碎的岩石。②回填灌浆；填实隧洞内部浇筑不实的混凝土。③管壁灌浆；浇筑混凝土时，振捣不好，混凝土和管壁间留有间隙，要灌浆填实。

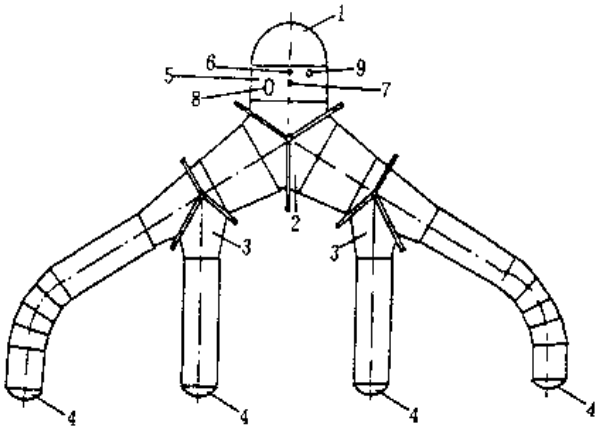


图 9-72 局部水压试验

1—球形阀头；2—1号岔管；3 2号岔管；4 椭圆形阀头；5—连接管；6—充水孔；7—排水孔；8—进人孔；9 测点引线孔

固结灌浆和回填灌浆形式的灌浆孔，在瓦片制作时，就定出位置，开孔并焊上补强板。灌浆后，由安装焊工将堵头焊死，如图9-73所示。

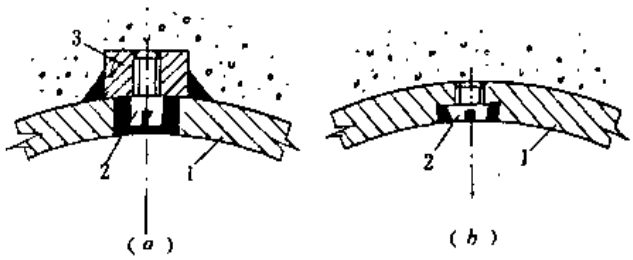


图 9-73 灌浆孔封堵

1—钢管；2—补强板；3—焊堵

管壁灌浆是混凝土浇筑后经检查确定的，临时在钢板上钻一个M20的螺孔，由此灌浆。灌浆后，拧上M20的螺栓并焊死。因此处没有补强板，是一处薄弱环节，必须注意焊接质量。还应注意，应由有经验的灌浆工来确定需要进行管壁灌浆的灌浆孔的位置，以免开废孔。

为了防止钢管在高压水下锈蚀，除锈工作应该彻底，钢管表面还需涂刷涂料加以保护。

钢管外壁对除锈和涂料的要求，可以略低于对内壁的要求。例如，对埋管来说，以后埋入混凝土部位的外壁，一般不再生锈。而钢管内壁常浸于高压水中，在多泥沙河流中，会受到严重磨损。其腐蚀快，维修工作非常困难且机会少，因此涂刷涂料来保护钢管的工作就相当重要了。除锈方法可参见第十章。

过去钢管涂料均使用油脂漆，随着高分子化学工业的发展，各种合成树脂原料被广泛地用于制作涂料。它们的机械强度、抗水渗透性、抗磨性能均有很大提高。常用的涂料有：

（1）油性红丹防锈漆：常用作露天式钢管外壁底漆，一般刷两道，因红丹有毒，不宜喷涂。

（2）铝粉铁红酚醛防锈漆：防锈性能优于前者，又不产生毒气，现已逐渐代替它。

（3）调合漆：不易粉化龟裂，用作外壁面漆，宜薄涂刷两道。

（4）胺固化环氧沥青漆：机械强度高，抗水性能好，它是由环氧沥青底漆或面漆加以固化剂乙二胺在干燥的容器内混合，经充分搅拌而成。保管与使用时，注意防潮、防毒。

（5）环氧型带锈涂料：这种涂料涂在带铁锈的钢板表面上，能在固化过程中逐渐把

铁锈转化为漆膜中的有用成分。因此，可省去繁重的除锈工作，值得推广。

涂料工作最好在安装前全部涂完，焊缝附近留出100mm，待以后钢管安装完在洞内补刷。涂料工作应注意劳动保护，以避免人身健康受到损害。值得一提的是，近年来有些单位采用外加电流阴极保护和涂料联合防腐的措施并已取得一定经验，为防腐工作开辟了新途径。此外还可采用喷镀锌、铝等办法更为耐久。

第十章　金属结构防腐蚀

金属材料和非金属材料在周围介质作用下，都会逐渐发生恶化变质、性能下降以及破坏，这都是腐蚀的结果。对于金属材料（主要是钢材）受周围介质的化学作用（主要是氧化作用）或电化学作用而引起损伤或破坏的现象称为腐蚀。我们平时所见到的，有的钢结构由于保护不善而出现的锈层，就是钢材被腐蚀的结果。

钢材因受到腐蚀而造成的危害是巨大的。英国政府组织的一个调查委员会，于1971年发表的“Hoar”报告中指出，英国每年因腐蚀造成的直接损失达13.65亿英镑，占其国民生产总值的3.5%；据美国国家标准局的调查，在1975年美国的防腐蚀费用高达700亿美元，占当年国民生产总值的4.2%；在日本，按金属腐蚀量估计，每年造成的钢材损失达400万t；我国1980年对200多个企业的调查，因腐蚀而造成的直接经济损失达300多亿元，约占这些企业生产总值的4%～5%；又据统计，全世界每年因腐蚀而报废的钢铁产品的重量，大约相当于当年钢材产量的1/2左右，其中约占年产量10%的废品根本不能回收利用。这是一个何等巨大的损失！

金属结构受到腐蚀，强度下降，承载能力减小，危及结构本身的正常工作，甚至引起严重事故。例如，水工闸门工作环境恶劣，腐蚀的程度尤为突出，某闸门使用15年，承载能力下降了1/3～2/3；某挡潮闸门，因受到海边大气腐蚀，有一孔发生失稳破坏；1967年12月美国的某大桥，因钢梁受应力腐蚀开裂加上腐蚀疲劳而突然塌入河中，造成46人死亡。

金属腐蚀造成的危害是严重的，也是多方面的。为了比较有效地减小和控制腐蚀，把腐蚀所造成的危害尽可能降到最低限度，必须采取各种有效的防腐蚀措施。

第一节　金属材料腐蚀机理

钢铁是由铁矿石用还原法制成的。根据热力学的观点，它处于自由能较高的不稳定状态，具有降低自由能、回到原始状态或其他稳定状态的倾向。也就是说，它在大气或腐蚀介质中，有自发腐蚀破坏的倾向。这是钢铁发生腐蚀的根本原因。

研究表明，腐蚀反应发生与否以及腐蚀速率与系统自由能变化ΔG有关；当反应产物的自由能低于反应物的自由能时，即$\Delta G<0$时，腐蚀反应可自发地进行，而且ΔG值负的越多，金属腐蚀的倾向就越大；反之，当$\Delta G>0$时，腐蚀反应不能自发地进行。金属腐蚀的结果是金属原子从金属点阵中转变为离子状态，形成可溶的金属氧化物、氢氧化物或较为复杂的络合物。

金属腐蚀的类型，根据腐蚀机理的不同，可分为化学腐蚀、电化学腐蚀和生物化学腐蚀三种。

一、化学腐蚀

金属材料在干燥气体中或在非电解质溶液（如酒精、石油等）中，其表面与介质发生化学反应而被腐蚀的现象称为化学腐蚀。例如，在高温下工作的金属构件，受氧气、二氧化硫、硫化氢和卤素等气体的腐蚀属于化学腐蚀。

从热力学上看，金属在大气中都会自发地氧化而成为氧化物，倘若这种氧化反应不停地进行下去，则金属会因氧化而完全腐蚀掉。但事实并非如此，主要是因为生成的氧化物在金属表面形成了氧化膜，该氧化膜对金属的继续腐蚀产生影响，有的氧化膜可减缓腐蚀速率，甚至使氧化反应完全停止。

氧化膜的保护作用，和氧化物的体积$V_{氧}$与氧化消耗的金属体积$V_{金}$之比$V_{氧}/V_{金}$有关。当比值小于1时，生成的氧化膜不能完全覆盖金属表面，不能起到保护金属的作用，氧化将继续进行下去；若比值大于1太多，则生成的氧化膜厚，膜越厚，内应力越大，当内应力超过氧化膜本身的强度，氧化膜就产生裂纹，甚至从金属表面剥落下来，这种膜也起不到保护作用；只有当比值在1～3的范围内，有可能生成比较致密而完整的氧化膜，这样的氧化膜对金属表面才具有保护作用。

金属在不导电的液体中的腐蚀，和气体腐蚀一样，也是化学腐蚀。此时，腐蚀速率在很大程度上取决于腐蚀产物的性质。如果能在金属表面形成致密的保护膜，则腐蚀就会减缓，否则，腐蚀将继续下去。

在实际工程中，金属构件的单纯化学腐蚀是很少见的，往往和电化学腐蚀混在一起。对于像水工闸门、压力钢管、启闭机等的腐蚀，电化学腐蚀起着主要作用。

二、电化学腐蚀

金属与周围的电解质产生电化学反应而发生的腐蚀叫电化学腐蚀。

在同一块金属材料上，往往内部含有各种杂质，这就形成了化学成分的不一致性；一般都存在着不同组织结构的区域，这就是组织结构的不均一性；在加工制造过程中，由于各部位的受力和变形不一样，形成物理状态的不一致性等。因此，使得金属各个微小部位的热力学稳定性存在差异。如果将这样的金属材料浸入到电解质溶液中，则稳定性低的部分，其电位就低，稳定性高的部分，其电位就高，由此而形成许多微小的短路腐蚀原电池，被称为腐蚀微电池。电位低的部位失去电子，并发生腐蚀。如图10-1所示，此时进行的反应是：

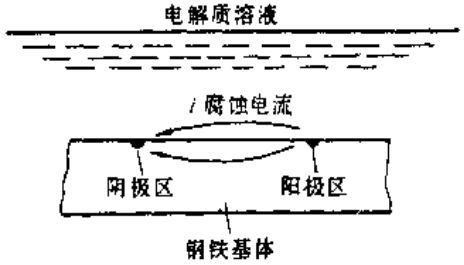


图 10-1 钢铁电化学腐蚀示意图

$$Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e$$

电位高的部位是阴极，电子由阳极传到阴极，并在阴极表面放电。若金属浸入中性盐溶液中，其放电方式为

$$O_2 + H_2O + 4e \longrightarrow 4OH^-$$

若在酸性溶液中，其放电方式又为

$$2H^+ + 2e \longrightarrow H_2\uparrow$$

假定阴极起始电位是$E_{阴}^{\circ}$，阳极的起始电位为$E_{阳}$、体系的电阻是R，起始腐蚀电流强度是$I_{腐}$，那么，根据欧姆定律则有：

$$I^{\circ}_{腐} = \frac{E^{\circ}_{阴} - E^{\circ}_{阳}}{R}$$

由此可知，阴阳极之间的电位差越大，腐蚀电流强度也越大，因而腐蚀速率也越大。体系的电阻越大，则腐蚀电流强度越小，腐蚀速率也就越小。当构成回路之后，由于电极极化，阳极电位向正方移动，阴极电位向负方移动，由此，阴阳极之间的电位差相应减小了，腐蚀电流也相应下降。可见，阴阳极极化，体系的电阻和阴阳极间的起始电位差，是影响电化学腐蚀速率的因素。

电极的极化，可以减小腐蚀电流，降低腐蚀的速率。但是，在腐蚀过程中，也存在减小电极极化的作用，叫做去极化作用。例如，搅拌电解液能使阳极表面附近的金属离子尽快扩散到电解液本体中去，又可使去极化剂H^+离子和O_2分子等更快到达阴极表面，加强了去极化作用。另外，去极化剂（阳极去极化剂如沉淀剂、络化剂等，阴极去极化剂H^+离子、O_2分子等）也可减小电极极化的作用。这样，在腐蚀过程中，极化作用与去极化作用同时存在，当极化作用占主导地位时，腐蚀速率就下降；若去极化作用占主导地位的话，则腐蚀速率就会增加。

三、生物腐蚀

生物腐蚀是由于有生命的生物的活动，直接或间接地对金属产生腐蚀。这些生物包括菌类、藻类、贝壳类等。

生物体内所发生的一切物理变化和化学变化统称之为代谢作用，生物靠其代谢作用面维持生命。生物代谢是导致生物腐蚀的主要原因。

生物腐蚀有三种形式：①使用有机物防腐蚀，有可能被生物消耗掉，则达不到预期防腐蚀的目的。这称之为生物摄取加速腐蚀；②碳化合物在厌氧菌或好氧菌的作用下，会产生酸或酸性物质，降低了水的pH值，促进了腐蚀；此外，硫酸盐还原菌的作用产生的硫化氢也会造成铁等金属的腐蚀，这是生物代谢产物加速腐蚀；③有机物多且细菌活动活跃区域氧浓度下降而成为阳极区，细菌活动少而氧溶解浓度高的区域成为阴极区，这就形成了氧浓差电池，从面加速了金属的腐蚀。例如铁细菌作用使铁生成三价的氢氧化铁，沉淀后形成水垢，其里外构成氧浓差电池，造成铁的腐蚀。

四、影响腐蚀的主要因素

如上所述，阴阳极的极化与去极化作用、体系电阻、阴阳之间的起始电位差等，是影响电化学腐蚀速率的因素。而各种内在的和外界的因素又直接或间接影响电极过程的进行。其内在因素诸如钢铁结构的表面状态、材料的性质、组成和结构、应力和变形等。外界因素如水的化学成分、离子浓度及其分布状况、水温、水的流速、杂散电流等。

（一）构件表面状态的影响

构件的表面状态包括加工的粗糙度、机械损伤、孔穴、焊接表面及缺陷、缝隙等，这些对金属的腐蚀都有一定的影响。在一般情况下，表面的粗糙度越低、越光洁，金属的耐腐蚀性能越好。但在强烈介质中，由于腐蚀的速率很快，不同的粗糙度对腐蚀的速率影响不大。表面损伤、缺陷等部位，都是最薄弱的地方，往往成为腐蚀源，易形成局部腐蚀。

粗糙表面较易腐蚀是因为其表面高低不平易于积水而形成腐蚀电池，低处的积水由于

氧难以到达而成为阳极，高处则成为阴极；其二，粗糙表面难以形成致密的保护膜，因此比光洁的表面腐蚀严重。

（二）材料化学成分的影响

金属的化学成分对其耐腐蚀性能有很大影响。一般而论，内部的杂质会降低耐腐蚀性能，但纯金属强度低，一般不采用。工程上多采用合金，一方面提高它的机械性能，同时又提高了耐腐蚀性。例如钢材，是铁、碳及少量Si、Mn、P等的合金，其耐蚀性能并不好，但若加入少量的Cu、Ni、Cr等元素，它的耐蚀性能就可大大提高。

（三）应力和变形的影响

构件在制造过程中，受到拉、压、扭、弯、冲击、焊接等作用，必然产生内应力和变形。在外力和腐蚀共同作用下，产生微裂纹，在工作过程中，裂纹以晶间形式或以穿晶形式扩散，到一定限度就形成应力腐蚀破坏。当构件承受交变应力作用时，与腐蚀介质联合作用构成的破坏形式叫做腐蚀疲劳。值得注意的是，交变应力与腐蚀共同作用时对金属构件的破坏，比它们单独作用时的破坏之和还大得多。

（四）介质的性质和浓度的影响

水具有一定的导电能力，它能微弱地电离出H^+离子和OH^-离子，即

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

溶液中，这两种离子的浓度决定溶液的酸碱性。两种离子浓度相当，溶液呈中性，pH = 7；H^+离子浓度大，pH＜7，溶液呈酸性；H^+离子浓度小，pH＞7，溶液呈碱性。

钢铁的腐蚀与氢离子浓度的关系可分为三种情况．在酸性较强的溶液里（pH＜4），由于氢在阴极放电和析出的效率增加，腐蚀的产物为可溶物质，腐蚀就随氢离子浓度的增大面加剧；在接近中性的溶液里（pH = 2～9），腐蚀几乎与pH值无关，这是因为在中性和接近中性溶液中腐蚀受氧的扩散速度控制，而氧的溶解度及其扩散速度基本上都不随pH值变化；在碱性溶液里（pH = 10～14），钢的腐蚀速度随pH值的增加而降低。这主要是因为腐蚀产物在强碱溶液中的溶解度大大降低，腐蚀电池的阳极过程受到了阻抑。

对于盐溶液，一般情况下，金属在中性盐溶液中的腐蚀速度最初是随着盐浓度的增加而增加，达到某一最大值时又会逐渐下降。这是因为盐浓度增加时，溶液的导电性增加，腐蚀过程易于进行，或由于氯离子等活性离子的存在，使金属的保护膜遭到破坏而加速了腐蚀。当盐浓度增加到一定数值后，由于氧在溶液中的溶解度随盐浓度的增加而减少，所以腐蚀速度反而下降。

一般河水、湖泊都是淡水，含盐量较低。海水含盐量较高，离子浓度也大，是一种较强的电解质。海水中含量最多的盐类是氯化钠，每公斤海水含NaCl 27.2g，占海水总含盐量的77.8%，而氯离子的含量占总离子数的55%。海水中的大量氯离子，使钢铁具有较高的腐蚀性，不可能建立钝化状态，所以钢铁在海水中比在淡水中腐蚀严重。

（五）相对湿度的影响

就金属构件在大气中的腐蚀情况，一般而论，相对湿度越大，越可能形成水膜，水膜保持的时间越长，金属构件越容易发生腐蚀。但是，对不同的金属，都有一个临界相对湿度，在低于临界相对湿度时，水膜非常薄，发生的是化学腐蚀，腐蚀速率很小；只有高于

临界相对湿度，水膜变厚，这时所发生的是电化学腐蚀，使腐蚀速度加快。临界相对湿度与金属的性质、表面状态、腐蚀产物的吸水性以及空气的污染程度等因素有关。

（六）温度及温度变化的影响

一般情况下，随着温度的升高，可以使阴、阳极反应速度加快，腐蚀速度加大。如在海水中，大约每升高10℃，腐蚀速率将增加一倍。在大气中，若温度的升高能使水膜干燥，也可能降低腐蚀速率。

温度的变化，也就是温差的存在，促使水蒸汽在金属表面凝集形成水膜，提供电化学腐蚀的条件。所以，一般在保存金属材料和金属制品的仓库中，尽可能保持恒温就是这个道理。

（七）水流速度的影响

水流速度增加，会促进钢铁的腐蚀。这是因为，速度的增加，加强了物质的对流作用，增加了氧的溶解量；同时，水体的流动使去极化作用加强，使腐蚀加快。

当流速很高时，水中挟带的磨粒对金属表面高速冲击，会产生冲蚀。对于船舶螺旋桨的叶轮及水轮发电机组的水涡轮，高速水流会产生负压区，使叶轮和水涡轮产生空泡腐蚀，也就是气蚀。对于江河淡水中的水电站水涡轮，用不锈钢制造会保持钝态，抵抗气蚀的能力大大增强。

（八）构件结构型式的影响

构件的结构型式对腐蚀也有一定的影响。构件在连接部位、螺栓、铆钉、焊缝等处，一般均为阳极区，容易受到腐蚀。结构件的窄缝、棱角、翼缘、易积水处、不便清理和不便保护处等易于受到腐蚀。所以，设计中应考虑使保护方便，构件上不存积水，或在易积水处钻孔排水。

设计中应避免电位差较大的两种金属相互接触，迫不得已时，应采取措施使它们相互绝缘。

（九）杂散电流的影响

杂散电流又称无定电流，它是由于导体绝缘不良面漏失出来的，比如城市中的有轨电车、无轨电车、施工中的焊接作业、实施阴极保护，直流电器运行等，其电流绝大部分在既定工作回路内流动，少部分电流漏出，杂散到既定工作回路之外的金属构件上去，形成杂散回路。当金属构件与直流工作回路仅有电解质溶液联系时，电流流入构件端为阴极，而流出构件端为阳极，则阳极区受到腐蚀。

据统计，流过一安培杂散电流，一年会腐蚀九公斤钢铁，焊接电流高达200～400A，产生的腐蚀将是严重的。

第二节　金属腐蚀程度的评定

金属的腐蚀是一个相当复杂的物理、化学过程，它受到多种因素的影响，而且这些影响又随时间不断地变化，其腐蚀过程的差别，使得腐蚀在破坏形式上的多样化。关于腐蚀程度的评定，各国都有不同的标准。这里介绍我国采用较多的两种方法。

一、以腐蚀重量评定的方法

金属在腐蚀过程中，必然伴随金属的溶解和腐蚀产物的存积，这样，腐蚀前后金属的重量会发生变化。这种评定法以腐蚀率表示腐蚀的程度，即在单位时间内，单位面积上腐蚀的金属的重量数。计算式为：

$$K = \frac{W_1 - W_2}{A \cdot t} \tag{10-1}$$

式中 K——腐蚀率［g/(m²·h)］；

W_1——腐蚀前金属的重量（g）；

W_2——腐蚀后金属的重量（g）；

A——金属的面积（m²）；

t——腐蚀的时间（h）。

二、以腐蚀深度评定的方法

金属的腐蚀，都在其表面进行。这样，随着腐蚀的不断进行，金属的厚度要变薄，用一年时间里金属腐蚀的深度（厚度）来评定腐蚀的程度，更为简单方便和直观，在工程上更为实用。此方法用下式换算：

$$H = \frac{K}{\rho} \cdot \frac{24 \times 365}{1000} = 8.76 \frac{K}{\rho} \tag{10-2}$$

式中 H——腐蚀率（mm/a）；

ρ——金属密度（g/cm³）。

将有关金属耐腐蚀性能标准列于表10-1至表10-3以供参考。

表 10-1　　中国金属耐腐蚀性能标准

级　别	腐蚀速率（mm/a）	评　价
1	<0.05	优　秀
2	0.05~0.5	良　好
3	0.5~1.5	可用，但腐蚀较重
4	>1.5	不适用，腐蚀严重

表 10-2　美国金属耐腐蚀性能标准

相对腐蚀性*	腐蚀速率（mm/a）
极　好	<0.02
较　好	0.02~0.1
好	0.1~0.5
中　等	0.5~1.0
差	1.5~5.0
不适用	>5.0

表 10-3　日本金属耐腐蚀性能标准

腐蚀速率（mm/a）	适用范围
<0.1	用于严格要求耐腐蚀的地方
0.1~1.0	用于不严格要求耐腐蚀的地方
>1.0	耐腐蚀性差，实用价值低

* 根据典型的铁基和镍基合金。

第三节　金属结构常用防腐蚀措施

由金属材料的电化学腐蚀机理可知，金属材料要产生电化学腐蚀，必须具备三个条件：

①金属表面存在电极电位差；②阴极和阳极之间有良好的接触；③阴极和阳极之间有互相连接的电解质溶液。这三个基本条件如果不满足时，金属结构就不会发生电化学腐蚀，而只发生化学腐蚀。因此，金属结构的防腐蚀措施都是围绕着如何杜绝这三个基本条件的产生来考虑的。

目前，防腐蚀的方法很多，归纳起来有这样几种：①设计时的防腐蚀。比如：在设计中预留腐蚀余量；结构型式上避免水分或腐蚀介质的残留；设计合理的表面形状；防止不同材料接触时的电偶腐蚀；使结构的应力尽可能均匀等。②金属结构在加工中的防腐蚀。例如：机加工中的冷却液应没有腐蚀性；先退火后加工，则残余应力小，可减缓腐蚀；热处理后工件表面残留的腐蚀性物质应及时清除等；③根据金属材料的腐蚀性能正确选择使用。④改善腐蚀环境。例如：采用恒温仓库可减小温差引起的腐蚀；用干燥剂防潮；会产生电偶腐蚀的不同材料不要堆放在一起等。⑤采用缓蚀剂防腐蚀。在腐蚀性介质中加入很少量的缓蚀剂，就能大大降低腐蚀率，甚至阻止腐蚀的继续发生，作用很大。⑥覆盖层保护。⑦电化学保护等。

在这些防腐蚀的方法中，对于金属结构的防腐蚀，工程上用得最多的是覆盖层保护和电化学保护。

一、覆盖层保护法

覆盖层保护法，就是通过一定的工艺方法在金属结构表面覆盖一层金属的或非金属的保护层，将构件与周围的腐蚀介质分离，从而起到保护的作用。

覆盖层的种类很多，按材料不同有金属覆盖层、非金属覆盖层、转化膜层；按工艺方法的不同有镀层、涂层、物理气相沉积、高温熔烧和低温烘烤等。这里介绍常用的涂料保护和喷锌保护。

（一）涂料保护

用涂料对金属进行保护是最古老的方法。它是在钢材的表面通过手工涂刷或机械喷涂等方法，形成粘结性良好的有机涂料或塑料保护层，既起到保护作用，又具有美观装饰功能。

涂层对金属的保护作用是多方面的。首先是隔离作用。钢铁与水或湿气接触时发生的腐蚀是腐蚀电池作用的结果，涂层的作用就是使金属表面与水或潮湿隔离开来。一般涂料都具有一定的透气性，抗渗透性较差。为了提高涂层的抗渗透性，可选用高分子材料作为成膜物质和选用鳞片状填料，并尽量少用或不用稀释剂以减少气孔，增加涂覆次数，一般为二道或三道，以增加涂层厚度。其次是钝化和缓蚀作用。例如红丹对钢铁起缓蚀作用，铬酸盐使钢铁表面钝化而防腐蚀。

涂料主要由油料（或树脂）、颜料、助剂和溶剂组成。按作用的不同分为：主要成膜物质，以油料为主要成膜物质的涂料叫油性漆；以树脂为主要成膜物质的涂料称为树脂漆；次要成膜物质是颜料，它能使涂料耐磨损、耐腐蚀、显示不同的颜色等；助剂有催干剂、固化剂、防潮剂等；溶剂是稀释剂，涂料成膜后全部挥发掉。

（二）热喷涂保护

热喷涂保护是将熔点较低（419℃）的锌或铝（667℃）等金属为原料，通过可控温度的火焰使其熔化，用喷枪将熔融的金属喷成雾状微粒，以高速喷射到工件表面，形成一层

金属镀层。在喷射中，这些雾状微粒受到空气冷却而成为半熔融状态，堆积到工件表面后，立即变形，并迅速地冷却收缩，牢牢地粘结在工件表面形成金属保护层。

根据熔化金属的热源不同，喷涂可分两类：气喷涂和电喷涂。气喷涂是以气体燃烧或爆炸作为热源，其中包括火焰喷涂和爆炸喷涂。火焰喷涂是以气体火焰将涂层材料加热到熔化或半熔化状态，借助压缩空气将其喷射到工件表面形成涂层。所用燃气通常为乙炔气体，以氧气助燃，形成氧一乙炔焰，温度可达3100℃。爆炸喷涂是将喷涂材料和一定量的氧一乙炔混合气注入特制的枪筒，而后点火引爆，产生爆炸能，将涂料熔化，在冲击波作用下高速喷射到工件表面而形成涂层。电喷涂则是以电弧作为热源或以阴、阳极之间形成的高温等离子电弧作为热源进行喷涂的工艺，前者称电弧喷涂，后者是等离子喷涂。

二、电化学保护

电化学保护是根据金属电化学腐蚀的机理，在被保护的金属构件上施加一定的保护电流或保护电位，从而防止和减轻构件的腐蚀的一种保护方法。电化学保护可分为阴极保护法和阳极保护法两种。

（一）阴极保护法

阴极保护是利用一个外加电源或一种连接在金属构件上的另一种活泼金属，往构件上不断输送电子，使腐蚀电池的阳极变为阴极或使阴阳极间电位差为零，使构件的腐蚀停止而得到保护的一种方法。

根据电化学腐蚀机理可知，置于电解液中的金属，由于表面的电化学不均匀性，会形成无数腐蚀电池，其电化学反应为

$$Fe-2e\longrightarrow Fe^{++}$$

金属铁作为腐蚀电池的阳极而失去电子，所以金属不断遭到腐蚀。如果对金属通以直流电流使其成为阴极，那么上述的阳极反应将向相反的方向进行，于是金属的腐蚀溶解就停止，从而得到保护。

根据对被保护金属提供阴极电流方法的不同，阴极保护又分为外加直流电源阴极保护法和牺牲阳极阴极保护法。

（1）外加直流电源阴极保护法：如图10-2所示，这种方法是利用一外加直流电源E，将被保护的金属构件与电源的负极相连，使之成为阴极，正极与辅助阳极相连、构成外加电流阴极保护回路。接通电路，电源便向工件施加阴极电流，其表面的电位就向负的方向变化，即阴极极化。当电位降到腐蚀电池的起始阳极电位时，构件就不腐蚀而得到保护。

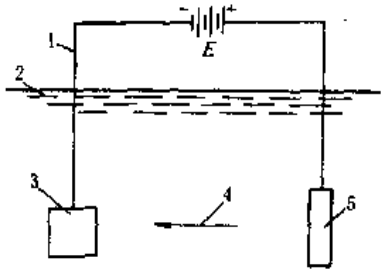


图 10-2　外加电流阴极保护示意图
1—导线；2—电解质溶液；3—金属构件；4—防蚀电流；5—辅助阳极

（2）牺牲阳极阴极保护法：如图10-3所示，这种方法不需要外加直流电源，而是在被保护的金属构件上连接一个电极电位更负的金属或合金，当这两种不同电极电位的金属同处于电解质溶液中，就构成一个大的腐蚀电池，电位更负的金属或合金成为这个大电池的阳极而被腐蚀，称为牺牲阳极，金属构件则成

为这个大腐蚀电池的阴极，由于发生阴极极化，从而受到保护。

还有一种与牺牲阳极保护相类似的保护方法是阳极性镀层法。即在钢铁表面电镀或喷涂上一层比钢铁电位更负的金属镀层，如锌、镉等。此时镀层不仅起隔离保护作用，而且当镀层遭到破坏时，在镀层与钢铁组成的腐蚀电池中，镀层为阳极，钢铁为阴极，受到阴极极化的作用，从而受到保护。

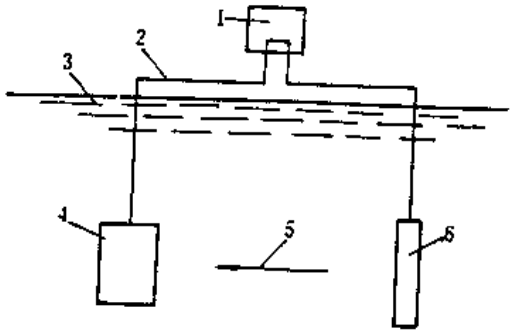


图 10-3 牺牲阳极阴极保护示意图

1—接线合；2—导线；3—电解质溶液；4—金属构件；5—防蚀电流；6—牺牲阳极

一种金属结构件是否能采用阴极保护，要根据介质的性质，金属材料的种类及构件外形是否复杂等具体条件而论。

首先，在构件周围必须存在导电介质，并且电流能在所组成的回路中顺利流过。海水、淡水、潮湿的土壤等都能满足导电的要求，构成回路的一部分。所以在这些介质环境下可以使用阴极保护方法。其次，凡是在腐蚀介质中能够进行阴极极化的材料，都可以用阴极保护的方法进行保护。如碳钢、铸铁、不锈钢、铜、铝等。另外，被保护的金属构件的外形不能过于复杂。形状越复杂，对电流的屏蔽作用越强，达不到最小电流密度，越容易产生腐蚀。此时只能增加阳极数量，并采用合理的阳极分布，可以改善保护效果，但使系统变得较为复杂，且一些局部仍可能得不到保护，故过于复杂的形状的构件，以不采用阴极保护为宜。

（二）阳极保护法

在电化学腐蚀的过程中，一方面阴极进行还原反应，同时在阳极进行着氧化反应。在氧化反应过程中，阳极溶解而受到腐蚀。人们研究发现，当电极上有电流通过时，其电极电位值与初始电位值是不同的，电极电位值对初始电位值产生了一定的偏离，这种现象称为电极的极化现象。当阳极的极化作用比较大，使阳极电位达到一定的正值时，阳极溶解速度大幅度下降，金属由容易腐蚀变得耐腐蚀，即由具有活性变得具有惰性，这就是金属发生了钝化。

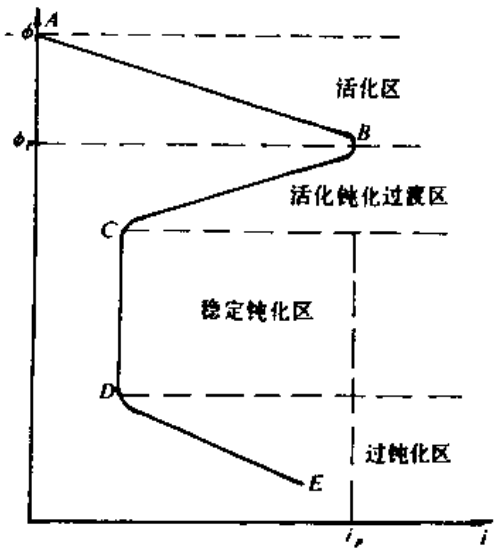


图 10-4 典型阳极极化曲线示意图

许多金属，如铁、不锈钢、铝等，能用外加阳极电流进行阳极极化的方法使其钝化。图 10-4 为典型的阳极极化曲线，由图可知，随着电流密度 i 的增大，阳极电位向正的方向变化而到达 B 点，AB 是活化区，金属正常溶解。到达 B 点，金属钝化开始，此时的电流 i_p 是致钝电流，此时的电位是致钝电位 ϕ_p。之后，电位继续正向移动，电流密度快速下降、金属溶解

速度急剧下降，此BC段为活化钝化过渡区。C点以后，电位继续变正，而电流密度只维持一个很小的值不变，金属完全处于钝化状态，叫稳定钝化区，此时可使金属的腐蚀降到最小的程度，若通过外加电流维持这个电流密度，就可以对金属达到保护的目的，这就是阳极保护的基本原理。过了D点，电位还变正的话，金属的腐蚀速度再次增大，DE段叫做过钝化区，可能是钝化膜遭到破坏所致。

某种金属能否使用阳极保护法进行保护，要看其在所用介质中能否钝化，致钝电流密度是否过大，维持电流密度是否较小，并且钝化区电位范围是否较宽。所以对金属要进行实验，在所用的介质中，用恒电位电化学法测得阳极的极化曲线，以确定能否进行阳极保护。

第四节　常用防腐蚀施工工艺

一、涂料保护施工工艺

（一）钢结构表面的处理

结构表面存在的污染物主要有灰尘、油污、铁锈、焊接飞溅物、旧的防蚀层等。为了使涂层与金属表面结合紧密，保证涂层的防护功能，必须将表面的污物去除，这项工作称为表面处理。

钢结构表面处理的方法很多，可归纳为三大类，即手工处理、机械处理和化学处理。这里介绍几种常用的方法。

（1）手工处理：人工处理是采用各种手工工具，包括铲刀、钢丝刷、砂布、毛刷、尖头锤、锉刀等工具清除结构件表面的尘土、铁锈、焊接飞溅物、旧保护层等的方法。这种方法工艺简单、不受周围条件限制，可多人同时作业；但劳动强度大、效率低、表面处理质量一般较差，仅适用于要求不高的地方。由于此法简便，不需专用设备，仍可以应用。

（2）机械处理：这种方法是利用风动或电动砂轮、钢丝刷轮、电动锤等机械进行表面处理的方法。这种方法效率高，质量也较手工处理好，但飞尘较多，对环境不利，而且窄缝和角落等部位无法处理。

（3）火焰清理：利用烤枪借助氧—乙炔焰的高温，清除构件表面的油污、铁锈、旧油漆等。该法设备简单，不受构件表面形状的影响。由于高温烧烤构件表面会引起构件的变形，所以，对于有严格几何形状和几何尺寸要求的钢构件，不宜用火焰清理法。

（4）化学处理：化学除油污是利用碱溶液对油脂的皂化作用，以除去油污。常用的碱溶液有氢氧化钠、碳酸钠、磷酸三钠等。化学法除旧漆是利用烧碱（碳酸钠）与生石灰发生化学反应生成苛性钠NaOH与旧漆层中的有机酸发生强烈的碱化分解作用，加上反应热，使旧漆层剥落。化学反应式：

$$Na_2CO_3 + CaO + H_2O \xrightarrow{放热} CaCO_3 + 2NaOH$$

该法成本低、安全。化学法除锈就是工程上俗称的酸洗。这种方法是用酸溶液清洗构件表面，酸与表面的氧化物起化学反应生成盐并溶解到溶液中，以达到除锈的目的。以盐酸为例，其化学反应式为

$$FeO + 2HCl \longrightarrow FeCl_2 + H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 6HCl \longrightarrow 2FeCl_3 + 3H_2O$$

$$Fe_3O_4 + 8HCl \longrightarrow 2FeCl_3 + FeCl_2 + 4H_2O$$

在清洗过程中，酸溶液对金属也会产生侵蚀作用，其反应式为：

$$Fe + 2HCl \longrightarrow FeCl_2 + 2[H] \qquad 2[H] \longrightarrow H_2\uparrow$$

生成的氢气一方面促使金属表面难溶解的氧化物的剥离，同时，生成的氢原子会渗入基体金属而发生氢腐蚀。所以，在酸洗中，常加入缓蚀剂以减缓对金属基体的侵蚀。缓蚀剂如环六亚甲基四胺，即俗称的乌洛托品。

酸洗后最好不要用碱水中和，因为残存的碱不但清除困难，而且对金属的保护危害更大。酸洗后可用清水冲洗，直至冲出的水呈中性为宜。

盐酸去锈配方，用工业盐酸15%～20%，乌洛托品0.5%～0.8%，水若干量，配制成溶液。

（5）干喷砂处理：这种方法借助压缩空气的高速流动，带动干燥砂粒从专用风砂枪高速喷射到金属表面，利用高速砂粒的冲击和摩擦，清除金属表面的各种污染物。喷砂处理效率高，处理的表面干燥清洁，可露出金属的光泽，具有一定的表面粗糙度，有利于涂层或镀层与金属基体的结合，这是目前工程上大量应用的方法，特别适用于大、中型工件，形状复杂的工件也适用。但这种方法要求场地大，喷砂时尘埃飞扬，污染环境。

吸出式干喷砂原理如图10-5所示，空气压缩机1产生的压缩空气，经气水分离器2除去水分，用胶皮管与风砂枪（喷嘴）5连接起来，从5喷出。容器3中盛晒干筛过的干净的砂粒也用胶管与喷嘴5相连，压缩空气喷射时在砂枪内形成负压，将砂粒吸入砂枪与压缩空气混合喷出。

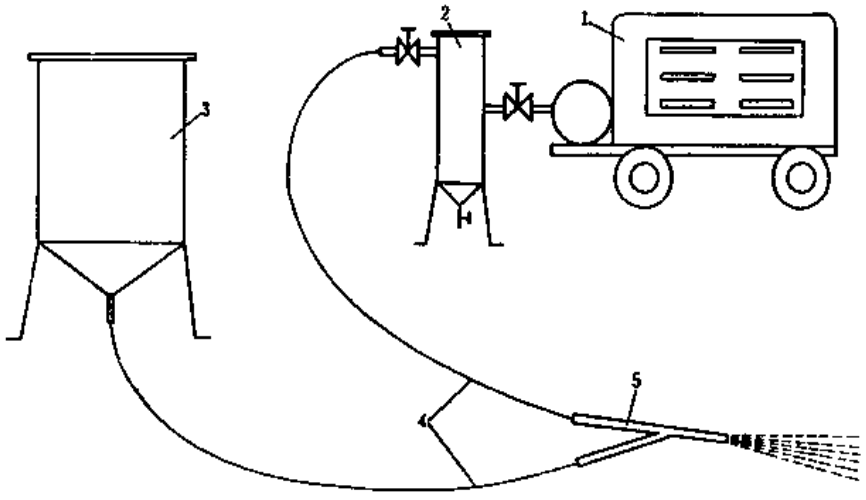


图 10-5　干喷砂处理原理及主要设备

1—空气压缩机；2—气水分离器；3—干砂容器；4—胶管；5—喷砂枪

喷射时，其方向应与自然风向一致，喷枪与工件表面呈70°左右的夹角，距工件10～15cm为宜。粒径大小及压缩空气压力与工件的关系见表10-4。

与喷砂处理相类似的一种处理方法是喷丸处理，工作原理相同，只是所用的磨料不是

表 10-4 工件厚度、空气压力、砂粒粒径之间的关系

工　　件	空气压力（MPa）	砂粒粒径（mm）
4mm厚以上钢构件	0.3～0.6	2.5～3.5
3mm厚以下薄钢板	0.1～0.2	1～2
1mm以下钢板及有色金属	0.05～0.15	0.5～1.0

砂粒，而是铁丸，碎钢丝，金刚砂等。

为了防止铁丸溅起伤人，这种方法多在密室中进行，且多用于小型的、结构不复杂的工件。

（6）高压水冲锈法：利用专用设备使水压上升到1.8～2.0MPa，通过喷嘴将高压水喷射到工件表面除锈。其优点在于无粉尘，对形状复杂的构件效果也好，使用灵活；但需要专用设备，且对坚硬的旧漆层难以除去。

（7）磷化处理：用磷酸锰铁、磷酸二氧锌、丁醇和乙醇等原料配制成磷化液，用毛刷涂于工件表面（或将工件浸入磷化液中），通过化学反应，在工件表面形成铁的磷酸氢盐薄膜。此膜不溶于水，有一定的耐腐性、耐热性和绝缘性，且此膜多孔，与金属结合牢固，有良好的涂漆性，所以，经喷砂处理的表面再用磷化处理，而后涂上油漆，其防护周期比不经磷化处理的油漆长五倍之多。磷化液的消耗量为0.08kg/m²左右，其费用约占油漆的10%。

工程上金属结构用的磷化液配方为

工业磷酸	70%
氧化锌	5%
丁醇	5%
乙醇	10%
水	10%

磷化处理的主要步骤：①表面喷砂处理、清扫，现出金属光泽；②用毛刷涂磷化液，要求均匀且遮盖完全；③静置24小时后，用清水冲洗直至pH＞5，接近中性即可停止；④注意工作人员的劳动保护。

（8）不除锈底漆：一般涂料在施工前都要求对金属表面进行处理，既费时费工，又使费用增加，从50年代开始，我国逐步发展起不去锈底漆。这种漆可以直接涂在有一定锈蚀的金属表面。它不仅具有防锈性能、耐老化性能、机械性能、面且可以将表面的锈蚀变成稳定的无害物质。一般适用于锈层50～100μm的钢结构表面。

这种漆分为转化型和稳定型。转化型带锈底漆是利用能与铁锈起反应的物质，把铁锈转化成无害的并且有一定保护作用的络合物与螯合物，并形成涂层附着在结构表面。属于这种底漆的如：H06—18与H06—17环氧缩醛带锈底漆，70型带锈底漆等。

（二）涂料的选择与施工

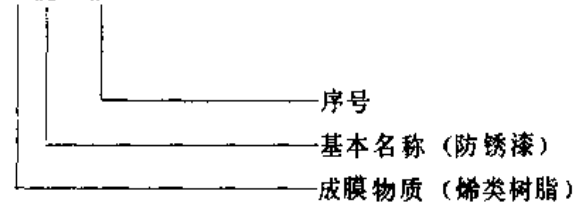
涂料的品种很多，根据主要成膜物质的不同，目前我国将涂料分为18类，并分别用拼音字母表示。

涂料命名的原则是：

全称＝颜料或颜色名称＋成膜物质名称＋基本名称。例如：灰醇酸磁漆，红丹环氧防锈漆。

涂料型号由三部分组成：第一部分为成膜物质代号，用汉语拼音字母表示；第二部分是基本名称，用两位阿拉伯数字表示；第三部分是序号，表示同类产品间的组成、配比、性能和用途的差别。

例：X 53—3



如前所述，涂料品种繁多，性能各异，在具体选用时要根据钢结构的工作条件、重要程度、使用周期、施工条件等的不同，选择合适的涂料。一般要求遮盖力强，保护性能良好，使用周期长，耐水性、抗老化性、弹性要好，耐电、适应温度变化、便于实施阴极保护、便于施工、易于干燥、价格合适、货源充足等等。具体选择时可参照有关产品资料。

涂料（油漆）施工有人工涂刷、空气喷涂和高压无空气喷涂等。

人工涂刷法适用于大部分涂料品种的施工。这种方法施工简单、机动灵活、不需要专用设备，但施工人员劳动强度大、工效低，施工质量较差，表面常有粗粒刷痕，有时漆膜不完整，施工人员的熟练程度对施工的质量影响很大。这种方法目前仍应用广泛，但一些快干挥发型油漆不能用人工涂刷。

涂刷的气温以15～20℃为宜，相对湿度在70%以下。涂刷时，必须待前一道油漆干燥后才能进行下一道油漆的施工，涂刷要均匀一致，毛刷沾漆不可过多，刷子浸漆部分长度不应超过毛长的1/3。涂刷顺序可先上后下，先左后右，先难后易，刷垂直面最后一次应由上而下进行，刷水平面时，最后一次应按构件边界主要方向进行。要用力涂刷，不能浮刷、不能漏刷等等。

空气喷涂是利用压缩空气，通过喷枪使涂料雾化，喷射到构件表面面形成漆膜。

喷漆也是常用的一种方法，其特点是劳动强度低、效率高、漆膜平整、光滑均匀、美观，手工难以刷到刷好的部位用喷漆可得到好的涂层。不足之处是漆雾散失较多，利用率低，损失20%左右的漆量，同时，散失的漆对周围环境有一定的影响。

油漆的用量，可以用公式进行计算：

$$G = \frac{tA\rho}{B} \tag{10-3}$$

式中 G——涂层耗漆量（kg）；

t——干涂层总厚度（m）；

A——涂层总面积（m^2）；

ρ——涂料密度（kg/m^3）；

B——涂料的固体含量（%）。

计算方法简单直观，若各参数取值准确，则计算结果也是准确的。但涂料的施工因影响因素较多，各参数难于准确取值。比如：漆层厚度很难做到厚薄均匀，涂覆面积因受结构形状的影响也不易准确、涂料的粘度、施工的工艺方法等也有影响，所以，计算的耗漆

量要通过实践予以修正。

油漆耗量也可用经验估算出来。通过多次的涂漆实践，得到一些经验数据，以此为依据估计耗漆量、这种方法比较准确。一般防锈漆按0.15kg/(道·m^2)左右考虑比较切合实际。也可通过试涂确定耗漆量。

二、喷镀锌、铝和涂料相结合的防腐蚀施工工艺

喷镀锌（铝）的工艺过程是：先对工件表面进行处理，通常是用干喷砂处理，使工件表面现出金属光泽。用一种特别的喷轮，以压缩空气为动力，传动装置推动锌丝通过喷嘴，并在氧—乙炔焰的加热下成为溶体，以压缩空气将其喷成雾状并以高速射向工件表面，立即冷却收缩，紧紧地结合在工件表面而形成保护层，为了提高保护效果和延长保护周期，一般在镀锌层表面还要封闭一道油漆。

喷锌设备包括产生压缩空气的部分，产生乙炔气的部分，供给氧气的部分以及喷射部分等。所用的锌丝以3mm直径为宜，纯度越高越好，高纯度锌层阴极保护作用强，可延长镀层的使用寿命。

工件表面处理合格应及时进行喷镀，最好不要超过24小时。若时间过长，表面受潮或二次生锈，要重新处理之后才能喷镀。否则，镀层与金属工件表面结合不牢，造成日后的成片剥落而失去保护作用。

喷镀时，喷距采用15～20cm比较好，距离过大过小对镀层均不利。喷射角用喷束中心线对工件表面的倾角度量，以55°为宜。喷角过大，特别是垂直喷射，雾状微粒堆积速度过快，空隙中的气体来不及排出就被封住，从面形成较多的微小空穴。同时，有部分高速微粒从工件表面反弹，造成微粒间的相互碰撞，减小了微粒的冲击力，也会降低微粒的附着力，造成镀层结构松散；若喷射角过小，过于倾斜，喷射的微粒在工件表面会产生滑移和飞散，既降低镀层的附着力，又散失掉部分镀料金属。实验表明，用65°喷射角喷镀的镀层，其抗剪强度最高，约为14MPa。

喷镀层的厚度一般为0.2～0.3mm，可用测厚仪进行检测，厚度应尽量均匀一致。为了防止镀层开裂剥落，必须分两次喷镀完成。因为一次喷镀过厚，在冷却过程中会产生过大的收缩应力而出现开裂卷曲，难以保证质量。第一层可完成70%～80%的厚度，第一层喷完，过半小时即可喷盖面层。喷盖面层之前，必须将第一层表面清理干净，以免两层结合不良。盖面层要求均匀，镀层完整。喷锌工艺常用参数如表10-5。

表 10-5　　喷 锌 工 艺 参 数

喷 枪 型 号	乙炔压力（MPa）	氧气压力（MPa）	压缩空气压力（MPa）
ZQP -1	0.1～0.15	0.11～0.16	0.45～0.6
SQP—1	0.04～0.05	0.4～0.5	0.5～0.65

喷镀层进行保护运行后，其工作机理有两种情况。镀锌层一般有10%左右的孔隙率。若孔隙率较小，锌层比较严密，锌层的消耗只是自身构成微电池的作用，其寿命主要取决于锌的纯度。若孔隙率偏大或锌层损坏，有电解液进入钢铁基体的通道，则锌层就要变成

阴极保护的阳极而被逐渐溶解。为了减缓锌层的消耗，延长保护时间，用涂料对锌层不可避免的孔隙实施封闭是行之有效的办法。

封闭锌层用的油漆要求粘度稍大，较好的封闭性能和耐磨性能。为了使油漆易于渗入锌层的孔隙，应在喷镀完后趁热涂刷，若锌层冷却下来，可将油漆加温40～50℃涂刷。

封闭涂料的选用，对于水下结构件可用沥青或环氧类涂料；对于干湿交替的结构件可选用氯化橡胶涂料；若是经常受阳光照射的结构可选含铝粉颜料的涂料。

实践证明，对锌层实施涂料封闭，投资不多且效益显著。

参 考 文 献

[1] 钟善桐．钢结构．北京：中国建筑工业出版社，1988

[2] 杨兆福．水工金属结构．北京：水利电力出版社，1989

[3] A．C切斯诺柯夫著（苏联）．钢结构制造．秋枫，何蓉合译．北京：重工业出版社，1955

[4] 冶金安装总公司编．钢结构制造工艺卡．北京：冶金工业出版社，1959

[5] 劳动人事部培训就业局编．铆工工艺学．劳动人事出版社，1986

[6] 安徽省水利局勘测设计院编．水工钢闸门设计．北京：水利出版社，1980

[7] 宋宏启，叶兆连编．闸门及启闭机的安装．北京：水利电力出版社，1984

[8] 潘家铮著．压力钢管．北京：电力工业出版社，1982

[9] 王世泽著．水电站建筑物．北京：水利电力出版社，1987

[10] 水利水电建设总局编．压力钢管的制作和安装．北京：中国工业出版社，1961

[11] 范崇仁主编．水工钢结构（第二版）．北京：水利电力出版社．1988

[12] 郑登有编．水工机械设备．北京：水利电力出版社，1985

[13] 江苏省水利局编．水工钢闸门防腐蚀．北京：水利电力出版社，1979

[14] 刘宝俊编著．材料的腐蚀及其控制．北京：北京航空航天大学出版社，1989

[15] 王增品，姜安玺编．腐蚀与防护工程．北京：高等教育出版社，1990

[16] 李金桂，王闽彦．腐蚀和腐蚀控制手册．北京：国防工业出版社，1988