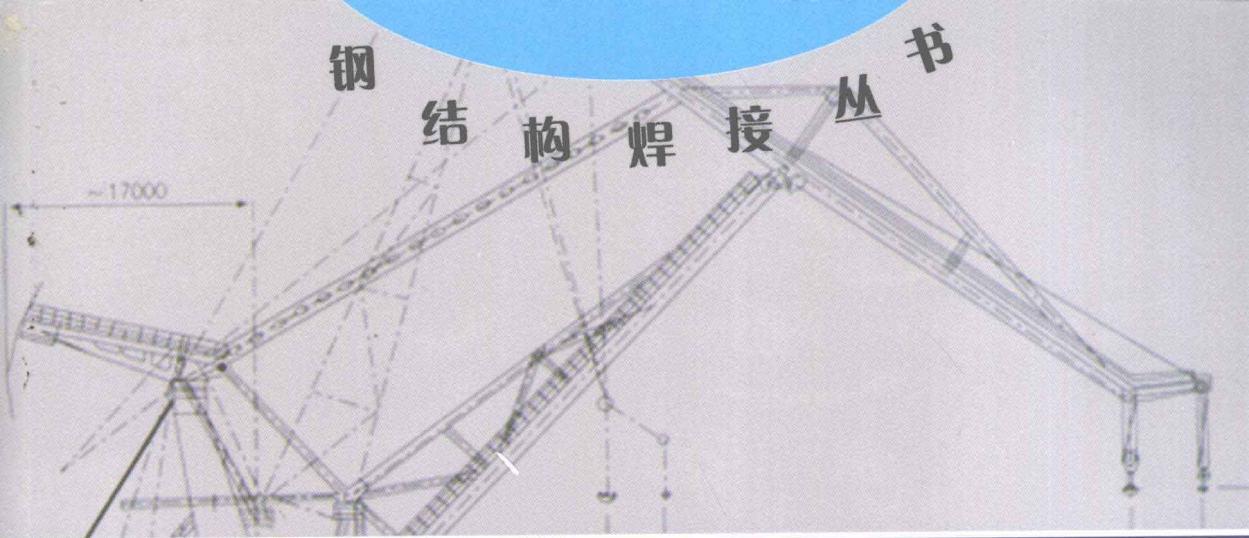


钢 结 构 焊 接 丛 书



起重机钢结构 焊接制造技术

付荣柏 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



钢 结 构 焊 接 丛 书

起重机钢结构焊接 制造技术

付荣柏 编著



机 械 工 业 出 版 社

全书主要包括起重机钢结构的技术要求、工艺装备钢材和焊接材料、焊接工艺、钢轨焊接、起重机钢结构变形的基本理论、主梁焊接变形、日照变位计算、钢结构变形规律及控制、起重机钢结构制造工艺、制造实例、钢结构焊接质量检验及火焰矫正方法。

本书可供从事起重机钢结构及其他焊接结构设计、制造、焊接工艺设计、焊接质量检查的技术人员阅读。也可供有关大型企业，如钢铁公司设备管理技术人员和起重机监理人员参考。还可供大、中专院校起重运输机械专业和焊接专业师生及科研院所相关技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

起重机钢结构焊接制造技术/付荣柏编著. —北京: 机械工业出版社, 2008. 12

(钢结构焊接丛书)

ISBN 978 - 7 - 111 - 25670 - 0

I. 起… II. 付… III. 起重机械 - 钢结构 - 焊接 IV. TH210.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 186119 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 吕德齐 版式设计: 霍永明

责任校对: 魏俊云 封面设计: 陈 沛

责任印制: 乔 宇

北京京丰印刷厂印刷

2009 年 4 月第 1 版 · 第 1 次印刷

169mm × 239mm · 31.25 印张 · 2 插页 · 606 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 25670 - 0

定价: 59.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379772

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着我国国民经济的高速发展，起重机制造业也空前发展，20 世纪 70 年代之前我国仅有几家国营企业生产起重机。现在生产起重机的厂家中，除国营企业外，还有民营企业，仅大连地区就有十几家。过去我国不能制造大型的冶金起重机和港口起重机，如岸边集装箱起重机等。如今我国已能独立自主生产制造。

然而我国生产起重机的质量还存在许多问题，如某些厂家生产的起重机在用户安装使用后，短时期就出现钢结构局部焊缝裂纹、结构件断裂等严重问题；常见的有桥架变形、主梁下挠或上拱度不足、小车啃道等问题。这些问题主要是产品设计或焊接制造等技术问题。因此应提高专业技术人员理论水平和技术工人的理论知识是非常必要的。

起重机钢结构同其他钢结构一样，都是由钢板、型钢经气割、组装、焊接等工序而完成的。大型的起重机钢结构长达百米，其主梁腹板、盖板对接焊缝都长几米或几十米，焊缝要求焊透，射线或超声波检查焊接质量。而且还有长达几米至上百米的角焊缝，并有平焊、立焊、横焊、仰焊等焊缝。结构件的焊接残余变形，如挠曲变形、扭曲变形、板件的波浪变形等，比一般焊接结构件控制变形的难度更大些。因此能掌握大型起重机钢结构的制造焊接技术，也就能掌握其他焊接结构件的制造焊接技术。

本书介绍起重机钢材及焊接材料基本知识及选择，及国内外普遍应用于起重机钢结构的焊接方法：焊条电弧焊、 CO_2 气体保护焊、富氩混合气体保护焊和埋弧焊的工艺要点。同时介绍了起重机钢轨的焊接。本书较系统地介绍了桥式、门式起重机、冶金起重机和港口集装

IV

箱起重机的主梁、端梁、桁架、小车架、支腿等典型构件的焊接工艺过程，以及桥架支腿组装研配焊接过程。

本书深入浅出地介绍了起重机钢结构制造中的关键技术，如起重机主梁腹板的预拱度估算，包括焊接变形计算及拱度曲线的选择公式，曲线各点值的计算，还有露天太阳照射下主梁温度变位计算，主梁火焰加热修复变形的计算；以及主梁在制造中焊接变形规律和控制变形方法，如主梁弯曲和扭曲变形的控制方法。本书从理论上分析了结构件残余应力的产生及影响，提出减小残余应力，避免焊缝和母材裂纹及焊接变形的具体方法。书中还介绍了火焰矫正主梁腹板波浪变形的最佳方法，采用这种方法可使火焰矫正后主梁腹板的平面度得到提高。书中列举的实例均是作者在生产实践中的成功实例，具有实用价值。

本书是作者从事起重机钢结构焊接 40 多年生产实践和理论研究的结果，在学术理论上有所突破和创新。有些内容曾在《焊接学报》、《焊接》、《起重运输机械》等杂志上以论文形式发表，并获得省、市级优秀论文奖，其中“起重机箱形主梁腹板的波浪变形”一文被世界学术成果研究院评为 2006 年“世界重大学术成果特等奖”，并载入《世界重大学术成果精选》(华人卷)。作者 1991 年编著的《起重机钢结构制造工艺》一书荣获 1978 ~ 1996 年度大连市优秀著作奖。

本书是作者古稀之作，难免会存在一些问题，请读者批评指正。

付荣柏

目 录

前言

第一章 概论	1
第一节 起重机钢结构的种类和特点.....	1
第二节 起重机钢结构技术要求.....	7
第三节 起重机钢结构焊接质量	14
第四节 钢材除锈与预处理	20
第二章 起重机钢结构焊接工艺的选择	23
第一节 钢材及焊接材料	23
第二节 焊接施工的技术要求	44
第三节 焊条电弧焊	67
第四节 CO ₂ 气体保护焊与富 Ar 混合气体保护焊.....	84
第五节 埋弧焊.....	102
第三章 工艺装备	116
第一节 吊具.....	116
第二节 胎具.....	122
第三节 其他工艺装备.....	126
第四章 起重机钢轨的焊接	130
第一节 钢轨.....	130
第二节 钢轨对接封闭焊.....	133
第三节 钢轨开坡口对接.....	136
第五章 钢结构件残余应力	139
第一节 焊接残余应力产生及分布.....	139
第二节 焊接残余应力对焊接结构的影响.....	146
第三节 减小焊接残余应力的方法.....	157
第四节 火焰加热对材料性能及残余应力的影响.....	162
第六章 焊接结构的变形规律	177
第一节 焊接变形种类.....	177
第二节 焊接方法和焊接参数对焊接变形的影响.....	181
第三节 焊接梁、柱弯曲变形计算.....	186
第四节 焊接收缩变形.....	197

第五节	焊接梁、柱、盖板和腹板波浪变形	202
第六节	露天作业焊接箱形梁温度变位计算	206
第七节	自重引起的主梁下挠	215
第七章	梁的变形控制	217
第一节	主梁腹板下料预拱度估算	217
第二节	预拱度曲线	220
第三节	焊接工字梁变形控制	227
第四节	箱形梁焊接变形控制	231
第五节	应力状态下焊接变形规律及预应力法	236
第六节	桥架变形控制	238
第八章	梁的制造工艺	245
第一节	板材的切割和拼接	245
第二节	箱形主梁半成品组装与焊接	255
第三节	箱形主梁整体组装焊接	258
第四节	梁的接头处理	265
第五节	偏轨箱形主梁工艺要点	271
第六节	梯形主梁工艺要点	291
第七节	端梁工艺要点	295
第九章	其他构件的制造工艺	300
第一节	小车架工艺	300
第二节	支腿工艺要点	308
第三节	门式起重机下横梁工艺要点	313
第十章	桁架制造工艺	322
第一节	型材备料	322
第二节	地样线及定位胎	322
第三节	T形杆件	324
第四节	桁架整体组装与焊接	325
第十一章	桥架组装及门腿研配	329
第一节	通用桥式起重机桥架组装	329
第二节	主端梁栓接桥架的组装特点	332
第三节	门式起重机桥架组装	337
第四节	门腿研配	349
第五节	集装箱门式起重机桥架门腿研配实例	360
第十二章	制造工艺实例	374
第十三章	钢结构变形的火焰矫正	393

第一节	火焰矫正梁的变形规律·····	393
第二节	火焰矫正基本参数选择及操作·····	402
第三节	半成品结构件火焰矫正·····	411
第四节	箱形梁和工字梁的火焰矫正·····	418
第五节	桁架结构火焰矫正·····	437
第六节	起重机桥架变形火焰矫正·····	443
第十四章	检测·····	454
第一节	检测工具及仪器·····	454
第二节	桥架的检测·····	460
第三节	走行梁和支腿的检测·····	468
第四节	小车架检测·····	471
第五节	焊接质量的检测·····	474
附录	·····	476
附表 1	缺陷限值·····	476
附表 2	剖分 T 型钢截面尺寸、截面面积、理论重量及截面特性·····	481
附表 3	热轧 H 型钢截面尺寸、截面面积、理论重量及截面特性·····	485
参考文献	·····	490

第一章 概 论

起重机钢结构是起重机的重要组成部分，约占起重机总重量的 40% ~ 90%，制造成本占总成本的 1/3 以上。钢结构制造质量是评价起重机整体质量最重要的因素之一。掌握起重机钢结构的制造工艺，对于保证起重机产品的质量、提高生产效率、降低生产成本具有十分重要的意义。

第一节 起重机的种类和特点

桥式类型起重机是应用最为广泛的一种起重机，其钢结构在制造技术上很有典型性。掌握了它的制造技术，对于其他起重机的钢结构，例如臂架、塔架等的制造都可借鉴，不难举一反三。

桥式类型起重机钢结构可分为桥架、门架和小车架等。

一、桥架

通常把桥式起重机的主梁与端梁等部件组成的结构称为桥架。门式起重机和装卸桥等主梁和上横梁等部件组成的上部结构也称为桥架。

(一) 正轨箱形梁桥架

正轨箱形梁桥架如图 1-1 所示，它是由两根主梁和两根端梁构成，主梁外侧分别设有走台。

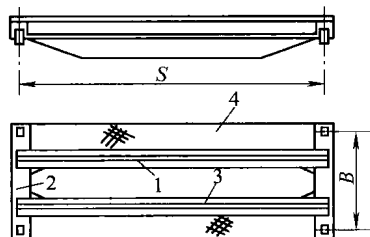


图 1-1 正轨箱形梁桥架

钢结构的特点：

- 1) 主梁与端梁通过连接板焊接在一起，形成刚性结构。为运输方便，在端梁中间设有接头，通过连接板和角钢使用螺栓连接。这种结构运输方便、安装容易。
- 2) 小车轨道通过焊在主梁上的压板固定于盖板中央，故称正轨箱形梁。这种主梁上部焊缝较多，制造过程中主梁变形量较大。
- 3) 工艺性好，主梁、端梁等部件可采用埋弧焊和自动气体保护焊，生产效率高。尤其箱形梁桥架比四桁架桥架的高度小，适用于厂房和仓库内使用。

(二) 偏轨箱形梁桥架

偏轨箱形梁桥架是由两根偏轨箱形梁和两根端梁构成。

钢结构的特点：

1) 小车轨道是安装在上盖板边缘主腹顶处，如图 1-2 所示。小车轮压力直接作用在主腹板上。

2) 偏轨箱形梁的高度与正轨箱形梁一样，但高、宽比很接近，即 $H/B=1\sim 1.2$ 。这种结构形式，主梁的刚度比正轨箱形梁大。主梁在制造过程中，焊接下挠变形量也较小。

3) 由于偏轨箱形梁是宽形梁，可以省掉走台，使制造简化。

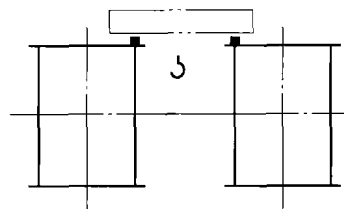


图 1-2 偏轨箱形梁桥架

(三) 偏轨空腹箱形梁桥架

偏轨空腹箱形梁桥架的结构与偏轨箱形梁桥架基本相似，只是副腹板上开设许多带镶边的矩形孔洞，如图 1-3 所示。

钢结构的特点：

1) 偏轨空腹箱形梁由于在副腹板开孔，既能减轻自重，又能使梁内通风散热，对梁内放置运行机构和电气设备提供了有利条件，同时增加梁内亮度，便于维修。桥架外观也颇为美观。

2) 制造比偏轨箱形梁麻烦、费工

偏轨空腹箱形梁结构在冶金起重机上应用较多。

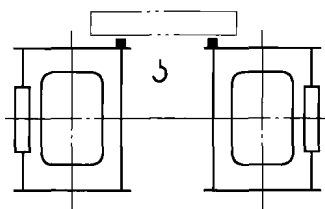


图 1-3 偏轨空腹箱形梁桥架

(四) 单主梁桥架

单主梁桥架采用一根主梁。与小车轮的布置相应，主要有垂直反滚轮单主梁、水平反滚轮单主梁和梯形单主梁，如图 1-4 所示。

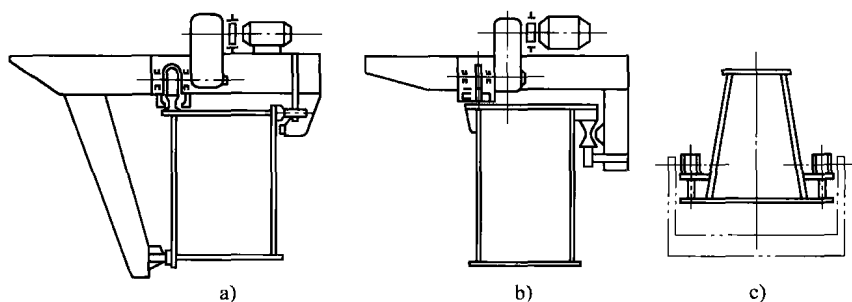


图 1-4 单主梁截面形式

a) 水平反滚轮主梁 b) 垂直反滚轮主梁 c) 对称轨道梯形主梁

1. 垂直反滚轮单主梁

主梁制造工艺性同偏轨箱梁一样。用户使用维修方便，但小车的垂直轮压较大，适用于起重量较小的起重机。

2. 水平反滚轮主梁

小车的垂直轮压始终等于小车及载荷重,适用于起重量较大的起重机。缺点是吊钩一侧的水平滚轮不便于维修和更换。

3. 对称轨道的梯形主梁

由一根主梁代替两根主梁的作用。虽然梁的截面大些,但比双梁制造成本要低得很多。

这种结构形式适用于起重量较大,跨度较大的门式起重机或装卸桥。

(五) 四桁架桥架和单腹板开式桥架

四桁架桥架是由主桁架、辅助桁架、上水平桁架、下水平桁架以及箱形端梁构成,横截面设置斜支承以保持空间结构几何不变,如图1-5所示。上水平桁架表面一般都铺有走台板。在桥架适当部位配置机电设备。

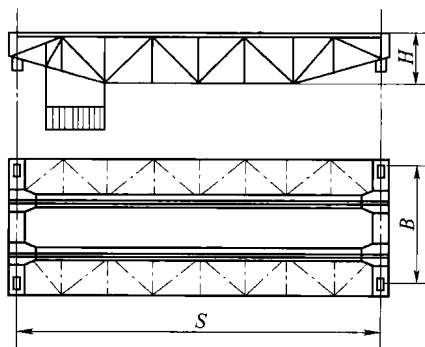


图 1-5 四桁架桥架

钢结构特点:

- 1) 四桁架桥架比一般其他形式的双梁桥架轻。
- 2) 四桁架桥架制造时焊接变形较小,容易控制。
- 3) 四桁架桥架杆件较多,制造工作量较大。
- 4) 四桁架桥架占空间较大,厂房高度要求较大。

除大跨度门式起重机或装卸桥采用四桁架结构外,其他应用已日趋减少。

单腹板开式结构桥架在技术要求上与四桁架式桥架有很多共同处。其特点是自重小、制造简便;但由于水平刚度和抗扭刚度小,上翼缘主焊缝开裂比较普遍,现已很少生产。

(六) 主端梁栓接桥架

电葫芦单梁桥式起重机大多采用焊接Ⅱ形梁(或模压Ⅱ形梁),下部焊接工字钢的结构形式。对上述桥架及起重量为5~125t的双梁偏轨箱形梁桥式起重机,主梁与端梁可采用螺栓连接,如图1-6所示。

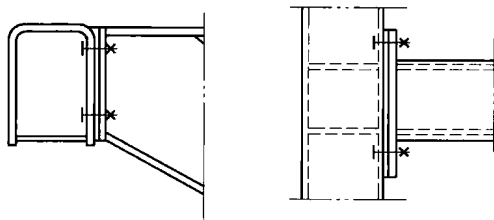


图 1-6 主端梁栓接桥架

钢结构特点:

- 1) 主梁、端梁单独制造,便于机械化生产,生产效率高、成本低。
- 2) 运输较方便,尤其海上运输,占空间小、运费低。

这种结构形式在国外应用比较普遍,如德国德马克公司威特起重机厂生产的5~125t通用桥式起重机就采用这种结构形式。

二、门架

门架包括上部结构——桥架、下部结构——支腿、拉杆和走行梁(下横梁)等。常用的有以下几种。

(一) 电葫芦单主梁门式起重机门架

其上部结构为桁架(或模具压制Ⅱ形梁),下部焊一根工字钢,以便悬挂电葫芦,如图 1-7 所示。其结构简单,制做容易。

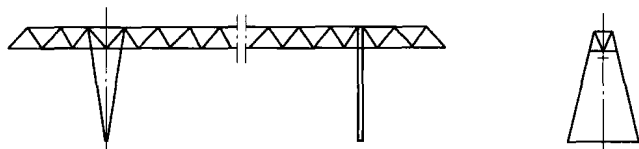


图 1-7 电葫芦单主梁门式起重机

(二) 小车式单主梁门式起重机门架

根据支腿的结构形式不同分为两种。

1. L 形单主梁门架

上部结构为单主梁,支腿制成 L 形,截面为箱形。支腿与主梁、支腿与走行梁连接均采用法兰对接,如图 1-8 所示。

2. C 形单主梁门架

上部结构为单主梁,支腿制成 C 形,截面为箱形。支腿与主梁、支腿与走行梁连接均采用联接板栓接,如图 1-9 所示。

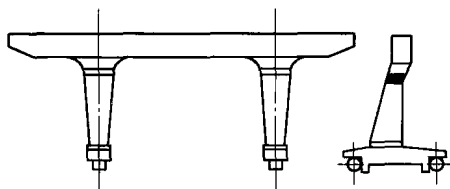


图 1-8 L 形单主梁门架

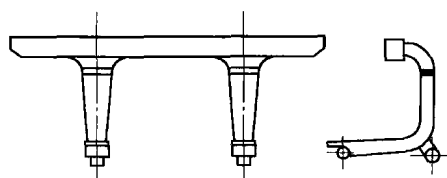


图 1-9 C 形单主梁门架

(三) 双梁门式起重机门架

其上部结构与桥式起重机的双主梁桥架基本相似,如图 1-10 所示。门架支腿结构形式与主梁结构形式是相协调的,当主梁采用桁架式,则支腿也相应采用桁架式。通常主梁采用箱形结构,支腿采用箱形或管形结构。

(四) 装卸桥门架

装卸桥与门式起重机并无严格区别,它们的结构和受力情况相似。装卸桥钢结构的特点是跨度较大($S > 35\text{m}$);门架有两种支腿:一条为刚性支腿,另一条为挠性

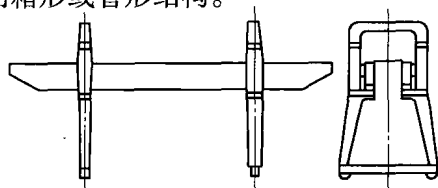


图 1-10 双梁门式起重机门架

支腿，如图 1-11 所示。

装卸桥门架有两种形式：

- 1) 板结构形式，如箱形截面结构和梯形截面结构等。
- 2) 桁架结构形式，这种结构自重轻，制造过程焊接变形小。

（五）岸边集装箱起重机门架

这种起重机应用于港口装卸，有能升起的臂架梁伸向船

上。臂架梁与主梁铰结一起，可形成通长的桥梁由陆地通向船上，通过升降小车装卸集装箱。上部由主梁、臂架梁、上横梁、A 形架和前后拉杆等构成桥架。下部结构由支腿、支撑梁、下横梁、门梁和斜拉杆等构成门架，如图 1-12 所示。

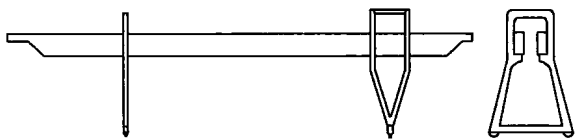


图 1-11 箱形装卸桥门架

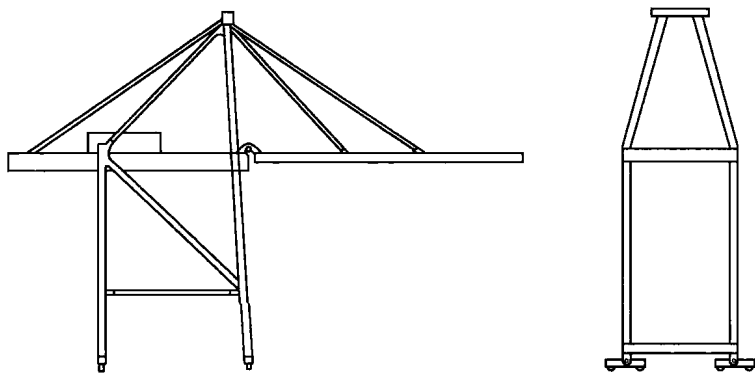


图 1-12 岸边集装箱起重机门架

三、小车架

由于小车架外形比桥架小，通常把它当成一个独立部件来生产。

小车架按结构形式可分为两种：一种是双主梁起重机小车架；另一种是单主梁起重机小车架。

双主梁起重机小车架如图 1-13 所示，由纵梁 1、2、3 和走行梁 4、5 组成。纵梁多为焊接的箱形梁或 T 字梁。走行梁为焊接的箱形梁。纵梁和走行梁也可采用模压型，如图 1-14 所示，小车轮轴承直接嵌入在梁的两端，结构较轻。尺寸较大的小车架需按运输要求分段制造，采用螺栓或铆接联接。小车架上的电动机、减速器、制动器和轴承等支座，通常先加工，装配时焊接。

单主梁门式起重机小车根据起重机车轮支撑情况，可有多种形式。最常见的垂直反滚轮式如图 1-15 所示。这种小车架可分成两部分：上部车架和下部支腿。支腿上座板与小车架非吊具侧下部用螺栓联接。水平反滚轮式小车架与垂直反滚轮式小车架结构相似，但支腿在小车架吊具一侧，如图 1-16 所示。

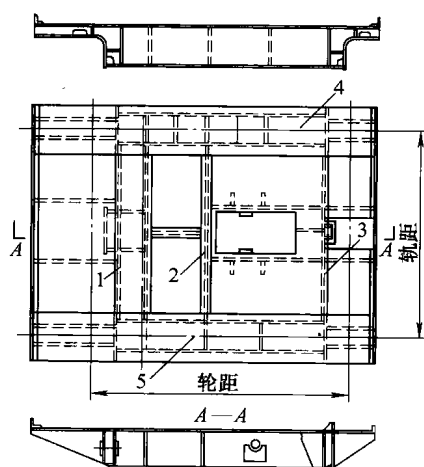


图 1-13 双主梁式小车架
1、2、3—纵梁 4、5—走行梁

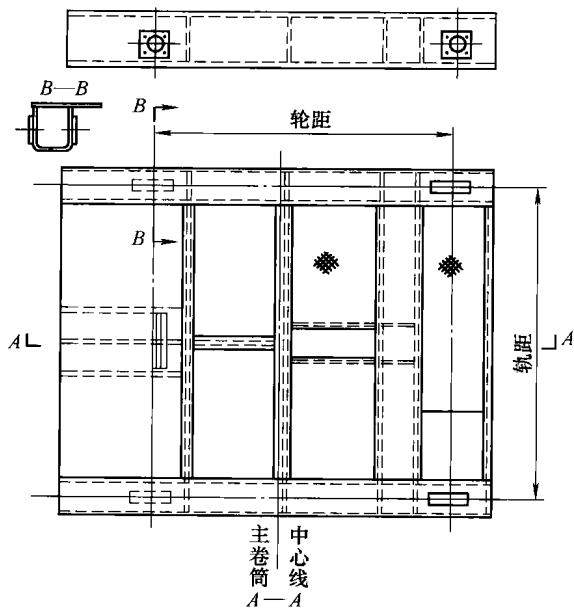


图 1-14 模压双主梁式小车架

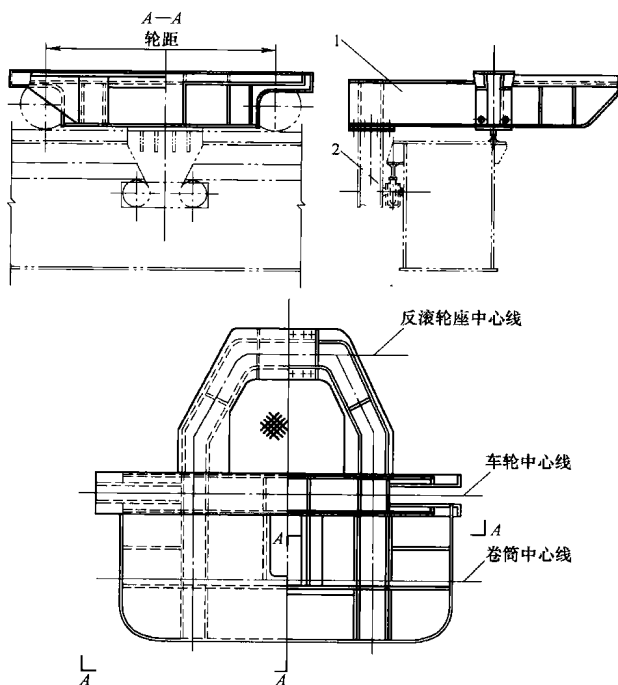


图 1-15 垂直反滚轮式小车架
1—上部车架 2—支腿

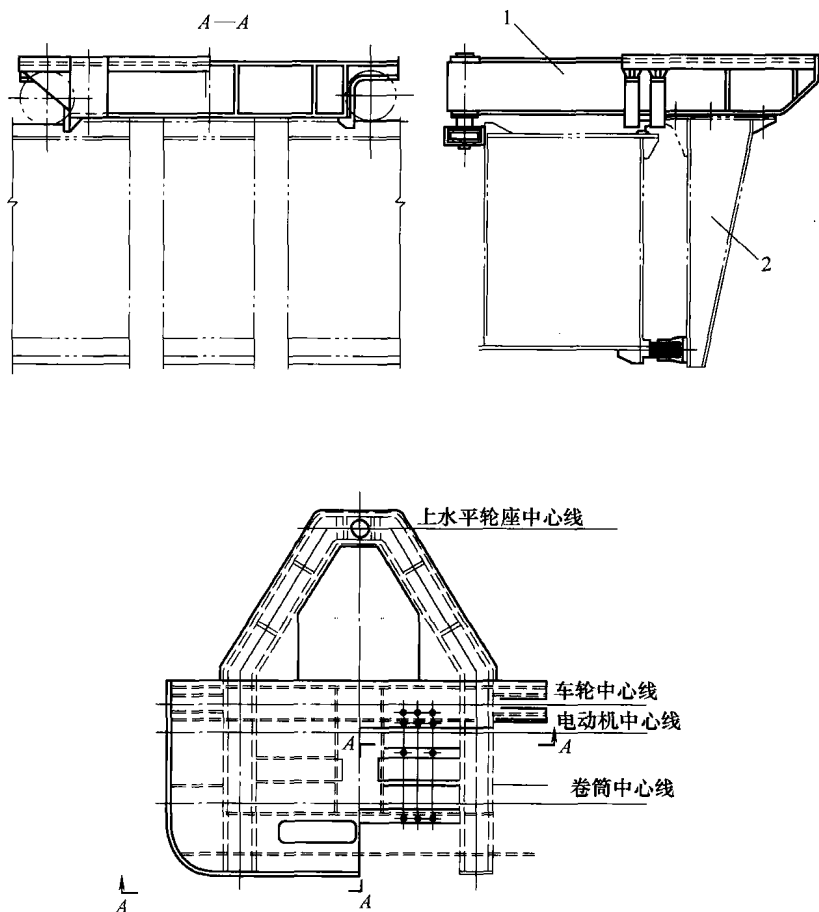


图 1-16 水平反滚轮式小车架

1—上部车架 2—支腿

第二节 起重机钢结构技术要求

一、桥架、门架的技术要求

(一) 主梁上拱度及上翘度

主梁沿梁长方向以跨端连线为基准，跨中的预制向上拱起值称为跨中上拱度，简称主梁上拱度，用“ f ”表示，如图 1-17a 所示。门式起重机和装卸桥等起重机的跨外悬臂部分，沿悬臂长度方向，同样以跨端（支腿处）连线为基准，悬臂端向上翘起值称为主梁悬臂端上翘度，简称主梁上翘度，用“ f' ”表示，如图 1-17b 所示。

主梁制造时,从下料开始就要制出上拱度和上翘度,不允许强制起拱(翘)。如若主梁的上拱度是靠主梁下部焊缝集结力形成的,则主梁经过长期使用及自然时效,焊接形成的局部纤维收缩逐渐伸长,内应力消失,而形成主梁下挠。选择制造主梁上拱度,各国标准不尽相同。如果设计时主梁的刚度较大,焊缝尺寸较小,则主梁上拱值可取得小些。德国德马克公司威特起重机厂桥式起重机偏轨箱形梁比正轨箱形梁刚度大,焊缝尺寸又较小,焊接内应力小。该公司起重机制造标准中规定:重型起重机主梁上拱度为 $f = \frac{0.3S}{1000} \sim \frac{S}{1000}$ 。

我国 GB/T 14405—1993《通用桥式起重机》、GB/T 14406—1993《通用门式起重机》两个标

准中,规定桥架组装后,主梁上拱度 $f = \left(\frac{0.9}{1000} \sim \frac{1.4}{1000} \right) S$; 主梁悬臂端翘度 $f' = \left(\frac{0.9}{350} \sim \frac{1.4}{350} \right) L_1$ 。

(二) 主梁水平弯曲

主梁水平弯曲是指主梁在水平方向的弯曲,用“ f ”表示,如图 1-18 所示。主梁向走台侧弯曲为外弯,以“+”号表示;主梁向吊具方向弯曲为内弯,以“-”号表示。

我国 GB/T 14405—1993《通用桥式起重机》中规定,桥架组装后,主梁允许水平弯曲 f : 正轨箱形梁 $f \leq \frac{S_1}{2000}$, 其中 S_1 为实测距离。 $Q \leq 50t$

的正轨箱形梁只允许凸弯向走台侧。

对于偏轨箱形梁、单腹板及桁架,前者由于梁宽,水平刚性较大,较易控制水平

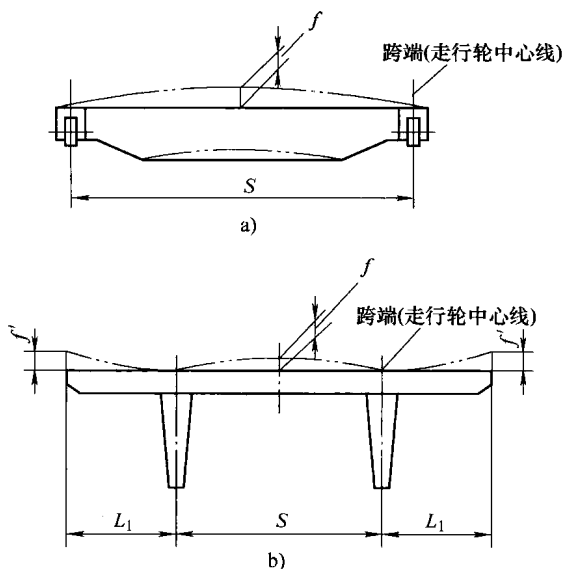


图 1-17 主梁上拱度

a) 桥式起重机桥架 b) 门式起重机门架

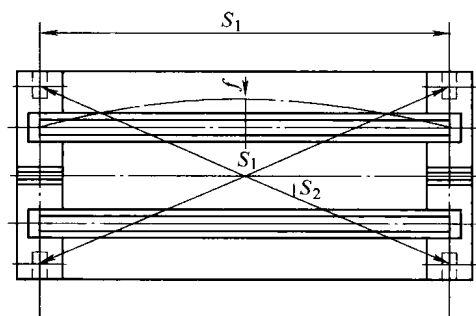


图 1-18 主梁水平弯曲

弯曲；后两种形式考虑到小车轨距及小车轨道中心线，对梁腹板中心线的偏移差不得过大，应满足后文第(八)、(十一)的规定。对正轨箱形梁不得超过 20mm，且弯曲方向必须向外；对偏轨箱形梁、桁架梁及单腹板梁最大不得超过 15mm。两个标准都规定水平弯曲应在离上盖板约 100mm 的腹板处测量。

(三) 主梁腹板波浪度

主梁腹板波浪度是主梁腹板有向内和向外凸凹不平的波浪变形，简称腹板波浪。

主梁腹板波浪对主梁的刚度、强度和腹板稳定都有影响。主梁腹板上部和下部有波浪变形，相当于这部分纤维有松弛现象。当主梁承受负荷后，只有其他纤维被拉长变形后，松弛的纤维才拉直而参予工作，因此影响主梁的刚度、强度和腹板的稳定。另外，当主梁喷涂油漆后，波浪变形相当明显，影响表面质量。

主梁腹板波浪度各国都有不同的规定。我国的上述两个标准都规定主梁腹板波浪度以测量长度 1m，其最大波峰离上盖板 $H/3$ 以内的区域 $\leq 0.7\delta$ (δ 为腹板厚)，其余区域 $\leq 1.2\delta$ ，如图 1-19 所示。

(四) 主梁盖板水平偏斜和腹板垂直倾斜

梁的组装焊接过程中，由于板件装配误差和焊接变形，形成梁盖板偏斜和腹板的倾斜。当梁产生扭曲变形时，沿梁长不同的截面将有相对的盖板偏斜和腹板倾斜，如图 1-20 所示。

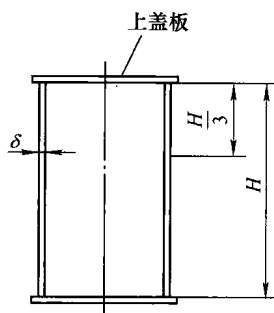


图 1-19 主梁腹板波浪区域示意图

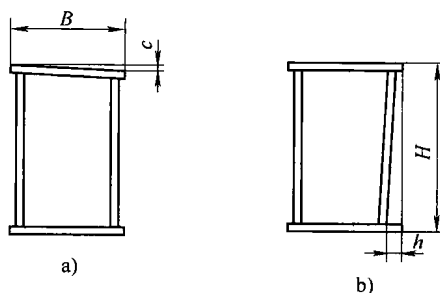


图 1-20 主梁盖板偏斜和腹板倾斜
a) 盖板偏斜 b) 腹板倾斜

我国标准规定，桥架主梁和双梁门架主梁上盖板偏斜 $c \leq \frac{B}{200}$ (B 为盖板宽度)。箱形梁腹板垂直倾斜 $h \leq \frac{H}{200}$ ，但对于单腹板梁及桁架梁垂直倾斜 $h \leq \frac{H}{300}$ ，测量应在长肋板或节点处。

(五) 同截面小车轨道高低差

两根主梁同一截面轨道高低不平将使小车倾斜，引起受力和运行状况的恶化。如各截面上高低差相差较大，而主梁和小车架的变形不足以补偿时，小车的