



高等教育“十二五”规划教材

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套教材

矿山特种结构设计

Kuangshan Tezhong Jiegou Sheji

主 编 任建喜 侯俊锋
副主编 邱继生 刘朝科 熊光红
主 审 郭秉山

中国矿业大学出版社



高等教育“十二五”规划教材

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套教材

矿山特种结构设计

主 编 任建喜 侯俊锋

副主编 邱继生 刘朝科 熊光红

主 审 郭秉山

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书根据 2011 年国家住房和城乡建设部颁布的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》中有关设计类课程内容的要求编写,书中的矿山特指煤矿。本书是土木工程专业矿井建设专业方向卓越工程师教育培养计划企业教师 and 高等学校教师共同授课的专业课程教材。根据我国新颁布的有关规范编写,吸收了最新的煤矿特种结构的部分研究成果。主要内容包括绪论、天轮平台、钢凿井井架、钢筋混凝土立井井壁、生产井架与井塔、煤仓、胶带输送机走廊等内容。本书内容理论联系实际,着力培养学生分析和解决实际工程问题的能力。

本书可作为普通高等院校土木工程专业矿井建设、地下工程、岩土工程及城市地下空间工程等专业的本科教材,也可作为普通高等院校土木工程专业建筑工程方向、采矿工程、工程力学、安全工程等专业本科生的参考书,也可供从事煤矿特种结构勘察、设计、施工、监理、监测及科研管理工作的相关技术人员参考使用,也可用做煤矿相关专业技术人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

矿山特种结构设计 / 任建喜,侯俊锋主编. — 徐州:

中国矿业大学出版社,2014.8

ISBN 978-7-5646-2375-3.

I. ①矿… II. ①任… ②侯… III. ①矿山—结构设计—
高等学校—教材 IV. ①TD21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 140453 号

书 名 矿山特种结构设计

主 编 任建喜 侯俊锋

责任编辑 杨 洋

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

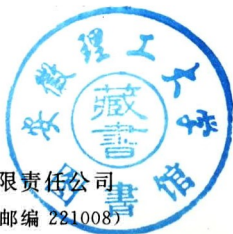
印 刷 中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 14.25 插页 1 字数 360 千字

版次/印次 2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

定 价 21.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



前 言

煤矿特种工程结构是指煤矿建设和生产过程中具有特种用途的工程结构,如立井井壁、凿井井架、永久井架、井塔、地上煤仓、井下煤仓、胶带输送机走廊等。由于煤矿特种结构边界条件的复杂性,煤矿特种结构设计的荷载取值具有特殊性,编写一本实用的煤矿特种结构设计方面的教材显得十分必要。

2010 年国家教育部开始实施卓越工程师教育培养计划,要求解决高等学校工科教育中普遍存在的学生动手能力差和适应工作慢的问题。土木工程专业作为一个应用性很强的专业,学生的实验教学 and 实践能力教学急需加强,矿井建设是土木工程专业的一个重要专业方向,培养强能力、高素质矿井建设人才是时代的需要。本书充分考虑到我国现代化大型煤矿建设及“智慧矿井”建设的实际,可以满足千万吨级煤矿和千万吨级矿区建设的需要,教学内容紧密联系矿井建设的实际。本书根据我国新颁布的有关规范编写,并吸收了最新的煤矿特种结构方面的部分科研成果。

本书根据 2011 年国家住房和城乡建设部颁布的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》中有关设计类课程内容的要求编写。本书的内容适合企业教师 and 高校教师共同授课使用。需要指出的是,本书中的矿山特指煤矿。为提高本书的教学效果,建议通过认识实习、生产实习和科研实践,让学生深入煤矿现场,采用理论与实践相结合的方法开展教学。

本书第 1 章由任建喜编写,第 2 章由刘朝科编写,第 3 章由邱继生编写,第 4、5、7 章由侯俊锋编写,第 6 章由熊光红编写。本书第 1 章的照片由西安科技大学李政平高级工程师提供。本书主编为任建喜和侯俊锋,副主编为邱继生、刘朝科和熊光红,全书由任建喜统稿。郭秉山教授为主审。

本书参考了大量的教材、论文、专著、网络信息等资料,有的参考文献没有列出,在此本书作者向所有列出和未列出的参考资料的作者致以衷心的感谢。

郭秉山教授在百忙之中对本书的内容进行了严格细致的审查,提出了许多

建设性意见和建议,使本书的质量得到了提高,作者对郭秉山教授的辛苦工作表示真诚的谢意。

本书的出版得到了西安科技大学教材建设委员会的大力支持,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平和时间,本书存在的缺点和不足恳请读者批评指正。

作 者

2014 年 6 月

目 录

1 绪论	1
1.1 矿山特种结构的主要类型及其用途	1
1.2 本课程的主要内容与学习方法	4
思考题	5
2 天轮平台	6
2.1 天轮平台的型式与构造	6
2.2 天轮平台的荷载	10
2.3 天轮梁	13
2.4 天轮平台主梁	17
2.5 天轮平台设计算例	19
思考题	46
3 钢凿井井架	47
3.1 钢凿井井架的型式与构造	47
3.2 钢凿井井架荷载及荷载组合	56
3.3 钢凿井井架主体井架的计算	61
3.4 钢凿井井架基础的设计计算	63
3.5 钢凿井井架稳定性验算	65
3.6 V形钢管凿井井架设计实例	66
思考题	92
4 钢筋混凝土立井井壁	93
4.1 井壁形式及计算参数选取	93
4.2 井壁在侧压力作用下的内力计算	97
4.3 井壁结构参数设计与稳定性验算	100
4.4 井壁强度验算	104
4.5 井壁竖向配筋计算	106
4.6 井壁环向配筋计算	109
4.7 井筒壁座计算	113
4.8 工程算例	117
思考题	142

5 生产井架与井塔	143
5.1 生产井架与井塔的特性	143
5.2 井架分类与选型	145
5.3 钢井架的组成	145
5.4 钢井架的荷载计算	148
5.5 钢井架的荷载组合	150
5.6 钢井架主要尺寸及结构设计计算要点	153
5.7 井塔的组成和布置	157
5.8 井塔结构形式与选型	161
5.9 钢筋混凝土井塔的荷载	161
5.10 钢筋混凝土井塔结构动力计算和抗震设计	165
思考题	167
6 煤仓	168
6.1 煤仓的类别及其组成	168
6.2 地上煤仓的布置原则	171
6.3 地上煤仓荷载效应及贮料压力	174
6.4 地上煤仓结构设计	180
6.5 地上煤仓构造措施	194
6.6 地下煤仓简介	202
思考题	205
7 胶带输送机走廊	206
7.1 胶带输送机走廊布置原则及结构选型	206
7.2 走廊荷载	212
7.3 地震作用及效应组合	213
7.4 钢筋混凝土梁式廊身内力计算	218
7.5 钢筋混凝土支承框架计算步骤	219
思考题	220
参考文献	221

1 绪 论

煤炭在我国一次性能源消耗中所占的比例为 70% 左右。我国正在建设的有十四个大型煤炭基地,分别是神东、晋北、晋中、晋东、陕北、黄陇(华亭)、鲁西、两淮、河南、云贵、蒙东(东北)、宁东、新疆。国家在大力推进煤炭、煤层气等资源的协调开发和基础设施的高效利用。在大型煤炭基地内,一个矿区原则上由一个主体开发,但一个主体也可以开发多个矿区。按照资源赋存、运输、水资源等条件 and 环境承载能力确定区域煤炭开发规模和开发强度,在大型整装煤田和资源富集地区优先建设大型和特大型现代化煤矿。鼓励建设坑口电站,优先发展煤、电一体化项目,优先发展循环经济和资源综合利用项目。新建大中型煤矿应当配套建设相应规模的选煤厂。煤炭产量能否大幅度增长,取决于许多因素。就煤炭工业自身来说,决定因素之一在于能否把矿井建设速度搞上去。其中,矿井地面建筑物与结构物的建设,对矿井建成投产的速度有着十分重要的意义。在矿井地面建筑物与结构物中,矿山特种结构往往又是其中的关键工程。为此,研究煤矿特种工程结构的设计方法对我国煤炭工业的发展具有重要的意义。需要指出的是,本书的矿山特种结构中的“矿山”特指煤矿矿井,本书讲解的内容适用于煤矿的特种结构设计。

1.1 矿山特种结构的主要类型及其用途

1.1.1 矿山特种结构的主要类型

由于煤矿生产与加工工艺的要求,煤矿地面建(构)筑物是保证煤炭开采与加工中不可缺少的一部分(图 1-1,图 1-2)。煤炭由井下开采提升到地面及进一步加工、运输、装载等,需经一系列的操作过程。为了布置各种设备,为供生产过程、辅助修理工作及工人进行生产与日常生活之用,需修建大量不同类型的地面建(构)筑物。这些建(构)筑物,除应满足一般



图 1-1 煤矿工业广场鸟瞰图之一

建(构)筑上的要求外,还应满足煤矿开采、加工和运输等特殊要求,因而决定了煤矿工程结构的特殊性,通称其为矿山特种结构。矿山特种结构包括立井、凿井井架、生产井架、井塔、煤仓和胶带输送机走廊等。

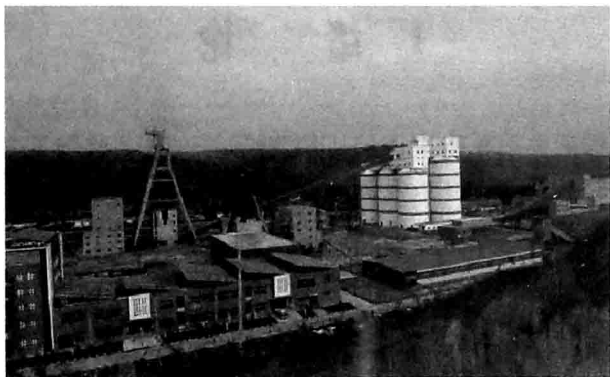


图 1-2 煤矿工业广场鸟瞰图之二

1.1.2 主要矿山特种结构的用途

(1) 立井

立井又称竖井,为直接与地面相通的直立巷道(图 1-3,图 1-4)。专门或主要用于提升煤炭的叫做主井;主要用于提升矸石、下放设备器材、升降人员等辅助提升工作的叫做副井。井筒:① 从水井口到井底的筒状四壁或空间。② 采矿、修建长隧道和地下铁道时开凿的联系地面和地下巷道的通道。立井井筒一般由单层或者双层钢筋混凝土浇筑而成。



图 1-3 立井井筒

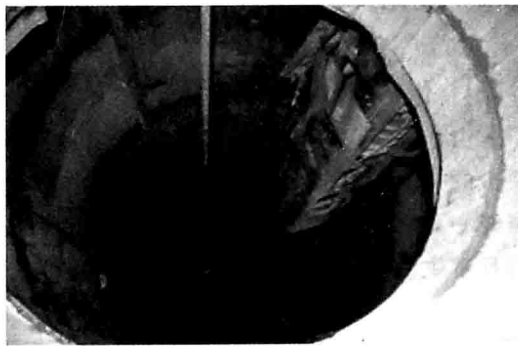


图 1-4 立井井筒掘砌工作面

(2) 凿井井架

凿井井架指凿井专用的井口大型立体构筑物,安装有天轮(图 1-5,图 1-6)及其他设备。有木井架、钢井架、混凝土井架和砖井架等。目前,凿井井架多使用钢井架(图 1-7,图 1-8)。

(3) 生产井架

生产井架是指煤矿生产时井口的大型立体构筑物(图 1-9)。根据井筒的使用功能不同,建在主井井口的称为主井井架,建在副井井口的称为副井井架。

(4) 井塔



图 1-5 天轮平台局部之一

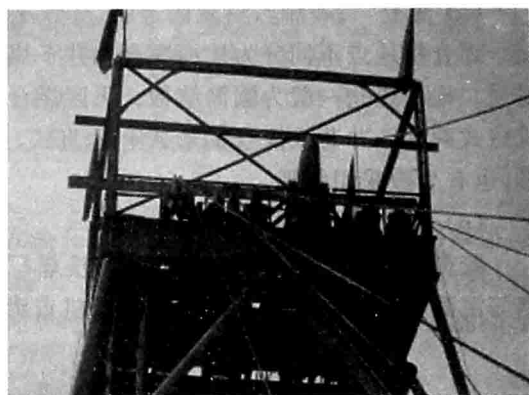


图 1-6 天轮平台局部之二



图 1-7 立井凿井井架之一

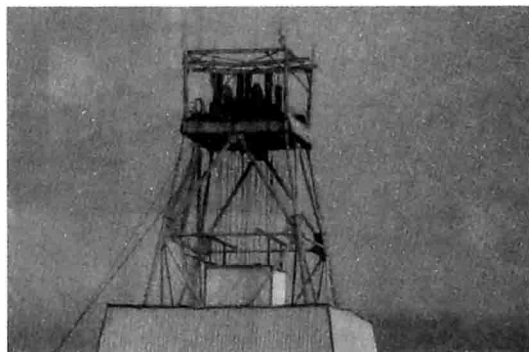


图 1-8 立井凿井井架之二

井塔是安装塔式摩擦式提升机的地面高构筑物(图 1-10)。建在立井井口,多绳摩擦式提升机安装在其上部,根据井筒的使用功能不同,建在主井井口的称为主井井塔,建在副井井口的称为副井井塔,建在混合井井口的称为混合井井塔;其结构为多层钢筋混凝土结构。



图 1-9 生产井架

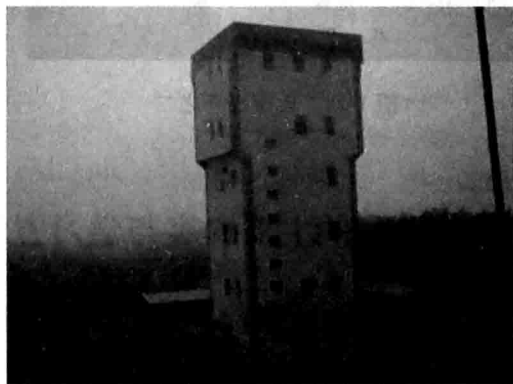


图 1-10 井塔

(5) 煤仓

煤仓按地点不同分为地面煤仓和井下煤仓两种(图 1-11,图 1-12)。井下煤仓也叫采区煤仓。地面煤仓一般为圆筒结构。采区煤仓根据煤炭存储的形式不同可以分为井巷式和机械式两种。井巷式煤仓的形式有垂直式、倾斜式和混合式三种,煤仓断面多为圆形或拱形,也有少数采用矩形。

(6) 胶带输送机走廊

胶带输送机走廊是指地面煤仓与洗煤厂之间胶带输送机所处的走廊,一般为钢结构或钢筋混凝土结构(图 1-13)。胶带输送机走廊也叫煤矿地面栈桥。

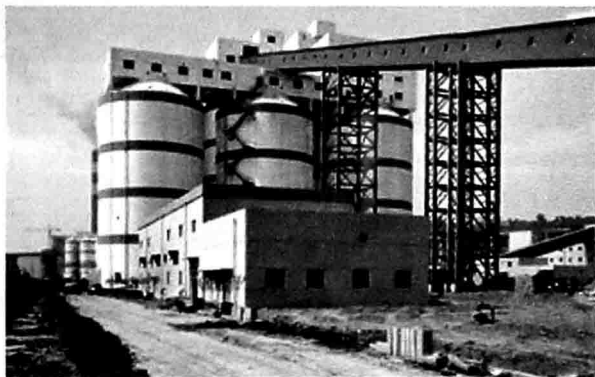


图 1-11 地面煤仓之一



图 1-12 地面煤仓之二



图 1-13 胶带输送机走廊(栈桥)

1.2 本课程的主要内容与学习方法

1.2.1 主要内容与学习任务

本课程是土木工程专业矿井建设、地下工程、岩土工程专业方向的专业课,是一门理论性及应用性较强的课程。本教材以煤矿建井期间特种结构的施工顺序编写:天轮平台、凿井

井架、立井井筒、生产井架和井塔、地面煤仓和地下煤仓、胶带输送机走廊等。

本课程的学习任务是:使学生掌握矿山(煤矿)的主要特种结构的类型、设计理论、计算方法和构造要求,为毕业设计及毕业后从事矿山特种结构的设计、施工准备有关的基本知识,培养学生运用有关设计规范、规程、技术政策以及综合分析问题的能力。

1.2.2 学习方法

本课程采用理论教学和课程设计相结合的方法开展教学工作。为便于学习,每章后均附有思考题,思考题主要用于巩固基础理论。课程设计将在理论教学完成后进行,课程设计的时间为2周,根据专业方向的不同,课程设计有不同的设计任务。对于实施卓越工程师计划的学生,课程设计将在设计院完成。

思 考 题

1. 矿山特种结构包括的主要建(构)筑物有哪些?
2. 煤矿各主要特种建(构)筑物的功能是什么?

2 天轮平台

作为安装提升和悬吊设备天轮的天轮平台是煤矿立井凿井施工过程中的重要承载结构。本章主要介绍天轮平台的型式与构造、荷载选取及天轮平台的设计计算方法。

2.1 天轮平台的型式与构造

天轮平台位于凿井井架顶部,通常由钢结构梁组成的框形平台结构,主要用来安设提升和悬吊设备的天轮。天轮由天轮梁支撑,并直接承受全部提升物料和悬吊掘砌设备的荷载,然后荷载经由天轮依次传递给天轮梁、天轮平台主梁、凿井井架最后传递给基础。天轮平台是由四条边梁和一条中梁组成的“日”字形框架,如图 2-1 所示。天轮梁一般成双出现在天轮平台上,承托提升天轮和悬吊天轮。天轮梁在天轮平台的位置以井内施工设备布置而定。主梁和天轮梁的选型应根据计算确定,需要满足强度、刚度和稳定性要求。

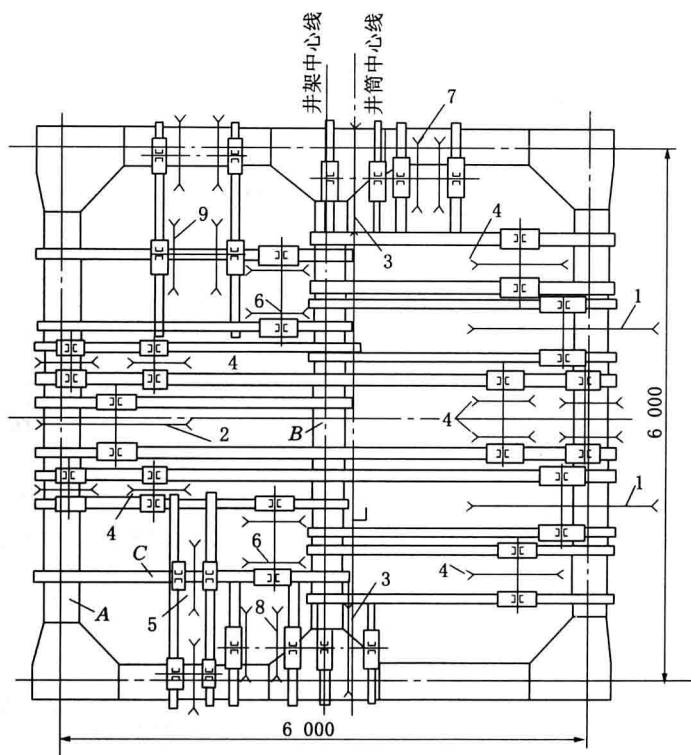


图 2-1 天轮平台平面布置图

A——边梁;B——中梁;C——天轮梁;

1,2——提升天轮;3——吊盘天轮;4——稳绳天轮;5——安全梯天轮;6——吊泵天轮;

7——压风管天轮;8——混凝土管天轮;9——风筒天轮

天轮平台的型式通常采用正方形。天轮平台的平面尺寸亦即凿井井架的顶部尺寸,其取决于井筒直径和提升与悬吊设备的天轮数量及其布置。在满足使用要求的前提下,应该尽量缩小天轮平台的尺寸,常用的 I~V 型天轮平台尺寸为 $5.5\text{ m} \times 5.5\text{ m} \sim 7.5\text{ m} \times 7.5\text{ m}$,一般以 0.5 m 为模数。

天轮平台一般由 4 根边梁和一根中梁(边梁和中梁统称主梁)以及若干天轮梁组成。有时还设置用来支承天轮梁的支承梁(天轮梁和支承梁统称副梁)。主梁和副梁组成天轮平台的梁系结构,如图 2-1 所示。天轮平台的边梁和中梁即主梁,由于承受很大的竖向荷载和水平荷载,采用普通型钢不够经济,所以它们通常采用由三块钢板焊成的工字形截面组合梁[图 2-2(a)],或者采用加强的轧制工字型钢[图 2-2(b)]。如果主梁还承受很大的轴向荷载,则梁的截面有时采用上翼缘(受压翼缘)加强的形式[图 2-2(c)、图 2-2(d)]。

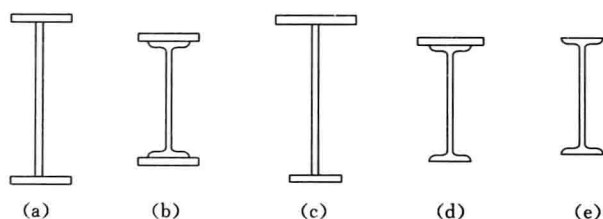


图 2-2 天轮平台的构件截面形式

天轮平台上的天轮梁和支承梁即副梁通常都选用轧制的工字型钢[图 2-2(e)]。只有当梁的计算内力较大或者缺乏大型号工字钢时,才考虑采用焊接工字形截面组合梁。

天轮梁通常直接支承在边梁和中梁上,或者彼此相互支承,有时还支承于专设的支承梁上。

当天轮梁支承在主梁上时,其长度要求搭接时超过主梁不少于 150 mm ,以便在其上钻孔,用 U 形螺栓将其与主梁固定,为了避免在边梁和中梁的翼缘上钻孔而降低承载能力,并保证井架能够多次重复使用,主梁上不准打孔,亦不准焊接。

天轮梁与天轮梁、天轮梁与支承梁之间通常都采用连接角钢和螺栓进行连接,如图 2-4 所示。

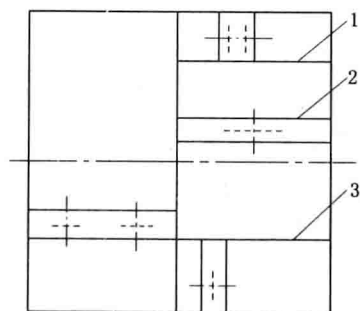


图 2-3 天轮平台副梁

1——支承梁;2,3——天轮梁

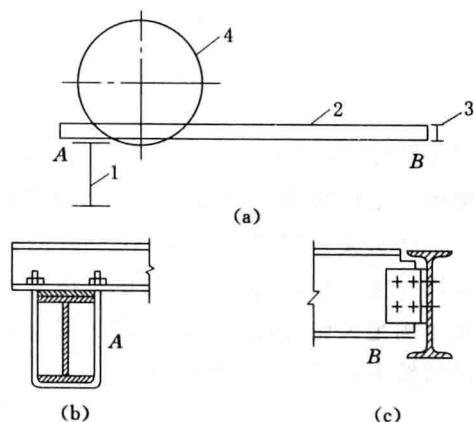


图 2-4 天轮梁的连接

1——主梁;2——天轮梁;3——支承梁;4——天轮

天轮平台主梁之间彼此用连接板相连接,如图 2-5 所示。在梁的上、下翼缘及外侧都采用连接板,连接板一端焊在一根主梁上,而另一端用螺栓与另一根主梁相连接。两根主梁的腹板用肋板或角钢相连接,肋板焊在一根主梁的腹板上,而另一根主梁的腹板与肋板相叠合,并用螺栓连接。

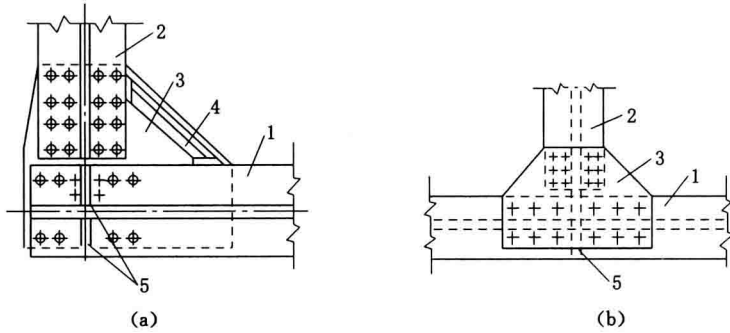


图 2-5 主梁之间的连接

1——边梁;2——中梁;3——连接板;4——加强角钢;5——梁的加劲肋

天轮在天轮梁上的支承方式,应尽量使天轮轴承座直接承在天轮梁的上翼缘上,如图 2-6(a)所示。但有时为了调整钢丝绳的高度,避免与井架构件相碰,而不得不将天轮轴承座安装的高于或低于天轮梁的上翼缘,如图 2-6(b)、图 2-6(c)、图 2-6(d)所示。或者增设导向轮,如图 2-7 所示。应该注意,不论采用哪种方式,天轮、钢丝绳与井架构件之间的安全间隙不得小于 60 mm。

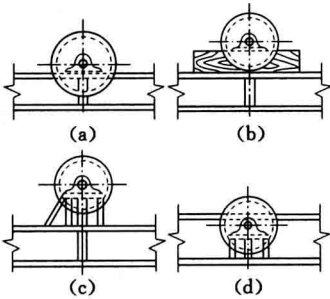


图 2-6 天轮支承方式

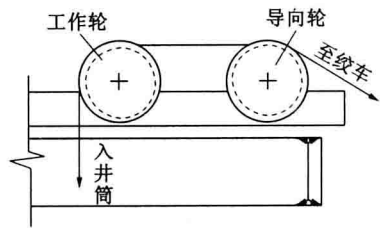


图 2-7 导向轮的布置

当天轮轴承座设在高于梁的上翼缘时,可垫以硬垫木[图 2-6(b)]、金属垫座[图 2-6(c)]或金属垫梁。金属垫座是由焊于梁上翼缘上的立板 1、竖直肋条 2 和平板 3 所组成,如图 2-8 所示。金属垫梁多用厚度为 8~10 mm 的钢板焊成,其构造如图 2-9 所示。

采用垫梁来抬高天轮轴承座的高度时,所需垫梁高度应该通过计算确定。

为了满足天轮外缘于天轮平台边梁上翼缘之间的距离不小于 60 mm 的要求,天轮轴心的升高可按式计算[图 2-10(a)]:

$$h \geq \sqrt{(R_1 + 60)^2 - \left(l - \frac{b}{2}\right)^2} \quad (2-1)$$

式中 R_1 ——天轮外缘半径,mm;

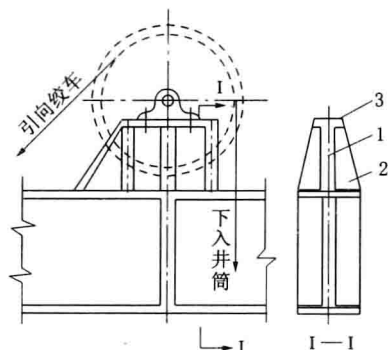


图 2-8 金属垫座

1——立板;2——竖直肋条;3——平板

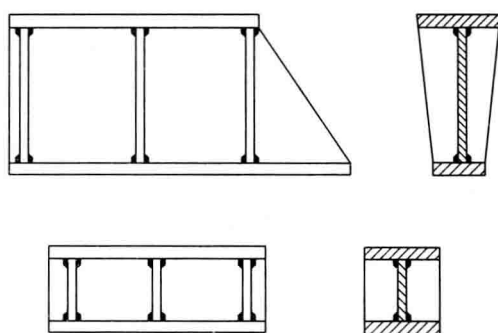


图 2-9 金属垫梁

 l ——天轮轴心至边梁中心线的水平距离, mm; b ——边梁宽度, mm。

为了避免钢丝绳与天轮平台边梁上翼缘相碰擦,天轮轴心的升高可按下式计算[图 2-10(b)]:

$$h \geq (l + \frac{b}{2} - R \sin \alpha) \tan \alpha - R \cos \alpha + \frac{60}{\cos \alpha} \quad (2-2)$$

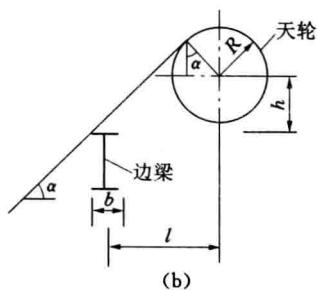
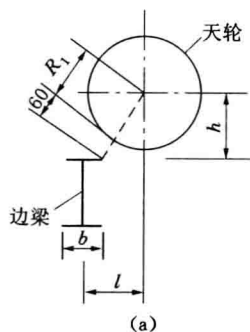
式中 R ——天轮半径; α ——钢丝绳的仰角。

图 2-10 天轮平台

如果按式(2-1)或式(2-2)算得的天轮轴心升高值小于或等于天轮梁高度与天轮轴乘座高度之和,则不必设置垫梁,否则必须设置垫梁,其高度可按下式计算:

$$\Delta h = h - h_1 - h_2 \quad (2-3)$$

式中 h_1 ——天轮梁高度; h_2 ——天轮轴承座高度; h ——天轮轴心的升高。

当天轮轴承座设在低于梁的上翼缘时,可在梁的腹板内设置垫座[图 2-6(d)]。采用此支承方式时,还应在梁上用槽钢或角钢做成的加强横撑,以保证梁在弯矩作用平面外的稳定性。由于这种支承方式比较复杂,所以一般采用较少。

天轮梁的腹板在天轮轴承处,通常应设置加劲肋,以保证腹板的局部稳定性。

2.2 天轮平台的荷载

2.2.1 荷载类型

作用在天轮平台上的荷载有恒载、活荷载和偶然荷载,主要包括:

- ① 天轮平台自重;
- ② 整套天轮重量(包括天轮及其轴承重量);
- ③ 悬吊凿井设备钢丝绳的拉力。

偶然荷载是指因偶然事件而作用在平台上的荷载,如提升钢丝绳拉断时的断绳荷载。对于提升天轮梁,即承受提升容器(吊桶或临时罐笼)荷载的天轮梁,计算时,钢丝绳的拉力应取钢丝绳的破断拉力,即按断绳荷载计算。而对于其他天轮梁,计算时钢丝绳的拉力则取钢丝绳的工作拉力,即按工作荷载计算。这是因为吊桶和临时罐笼是经常提升运动,而且运行速度较快,因此有可能发生与吊盘相撞、卡住,或提升严重过卷,或钢丝绳从天轮上滑脱等,因而引起断绳事故。至于其他悬吊设备则是每隔一定时间才上下移动一次,而且运行速度很慢,通常不超过 0.15 m/s,所以它们的悬吊钢丝绳一般不致被拉断。

2.2.2 悬吊设备钢丝绳工作拉力的确定

悬吊凿井设备钢丝绳的工作拉力,是指钢丝绳与天轮轮缘相切处的静拉力,它等于钢丝绳自重及其悬吊设备重量的总和。

有些凿井设备是用一根钢丝绳悬吊,如吊桶、安全梯和电缆等;有些是用两根钢丝绳悬吊,如吊盘、吊泵、风筒、压风管和混凝土输送管等。

当用一根钢丝绳悬吊时,钢丝绳的工作拉力可按下式计算:

$$S = Q + P(H + h) \quad (2-4)$$

当用两根钢丝绳悬吊时,每一根钢丝绳的工作拉力可按下式计算:

$$S = \frac{Q}{2} + P(H + h) \quad (2-5)$$

式中 Q ——悬吊于钢丝绳的凿井设备的重量;

P ——每米长钢丝绳重量;

H ——井筒最大掘进深度;

h ——井架天轮平台高度。

凿井设备重量 Q 包括设备自重、附属件重以及货载重量等,可以根据选用设备实际情况通过计算确定。

2.2.2.1 吊桶(或吊盘)悬吊重量

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2-6)$$

式中 Q_1 ——吊桶(或吊盘)自重;

Q_2 ——吊桶的附属件(滑架、钩头和连接装置等)重量,或吊盘上的砌壁材料和器材重量;

Q_3 ——吊桶提升矸石(或材料)重量,或吊盘上工作人员和工具重量。