

★ 精湛施工技术 ★ 典型工程范例



QIAOLIANG JIEGOU
ZHILIANG KONGZHI JISHU YU
GONGCHENG SHILI

桥梁结构 质量控制技术与 工程实例

张 南 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

QIAOLIANG JIEGOU
ZHILIANG KONGZHI JISHU YU
GONGCHENG SHILI

桥梁结构 质量控制技术与 工程实例

张 南 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

全书共 10 章,第 1 章概述,强调桥梁结构质量控制的意义及桥梁结构全面质量控制的重要环节;第 2~5 章介绍钢筋混凝土工程、预应力混凝土工程、灌注桩基工程、沉井基础工程等质量控制要点与典型工程实例;第 6~9 章介绍梁桥、拱桥、斜拉桥、悬索桥等主要桥型的结构特点,阐述其结构质量安全控制的原理、标准和重点,结合典型的工程实例,分析常见质量问题的原因及处理方法;第 10 章介绍现代桥梁结构检测、监测新技术及相关实例。

本书可作为桥梁施工技术人员参考用书,也可作为高等学校桥梁工程专业方向的教学参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

桥梁结构质量控制技术与工程实例/张南编著. —北京:
中国电力出版社, 2010. 11

ISBN 978-7-5123-1127-5

I. ①桥… II. ①张… III. ①桥梁结构—工程施工—质量控制
IV. ①U443 ②U445. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 227595 号

中国电力出版社出版发行

北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:梁 瑶 电话:010-63412605

责任印制:郭华清 责任校对:闫秀英

印刷厂印刷·各地新华书店经售

2011 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

700mm×1000mm 1/16·24.75 印张·488 千字

定价:68.00 元

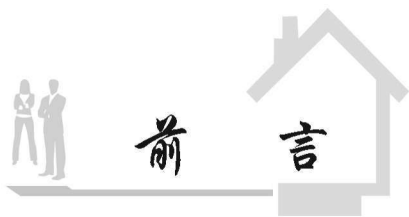
敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话 (010-88386685)



随着我国交通运输事业的迅速发展,桥梁建设规模也日益扩大。桥梁工程作为交通基础设施建设的重要组成部分,其质量问题直接关系到桥梁结构在施工、运营阶段的安全,事关交通运输的正常运行和人民群众的生命安全,是桥梁工程界必须重视且全社会都关注的重要内容。特别是近年来屡屡发生的桥梁坍塌事故,更加引起了桥梁界、各级政府部门及全社会的极大重视和关注。如何设计、施工出高质量的桥梁结构,并保证桥梁在施工及运营期间的安全,不仅是桥梁界的技术问题,也是对社会和人民负责的责任问题。因此,作为桥梁工作者,应具有对国家和人民高度负责的精神,掌握桥梁结构的专业技术知识,特别是关于桥梁结构质量安全问题的相关专业知识,才能在所从事的桥梁设计、施工、管理等过程中,运用相关专业知识,保证桥梁结构的质量与安全。

本书第1~9章介绍桥梁结构质量控制中现行规范的相关规定,论及桥梁结构常见质量问题以及处理措施。第1章概述,强调桥梁结构质量控制的意义及桥梁结构全面质量控制的重要环节;第2~5章介绍钢筋混凝土工程、预应力混凝土工程、灌注桩基工程、沉井基础工程等质量控制要点与典型工程实例;第6~9章介绍拱桥、拱桥、斜拉桥、悬索桥等主要桥型的结构特点,阐述其结构质量安全控制的原理、标准和重点,结合典型的工程实例,分析常见质量问题的原因及处理方法。

现代桥梁结构质量控制,将向着桥梁结构全寿命质量控制方向发展,包括施工和运营阶段全过程的质量控制。因此,先进的桥梁检测、监测技术是保证桥梁结构全寿命质量与安全的重要技术手段。本书第10章介绍现代桥梁结构检测、监测新技术,结合桥梁工程实例,阐述这些新技术在桥梁结构质量安全控制中的作用。主要内容包括桥梁施工阶段质量检测,先进无损检测技术,以及梁桥、拱桥、斜拉桥、悬索桥等主要桥型的监测监控技术。其中还包含了许多先进监测技术,如光纤传感监测技术、GPS监测技术,无线传感监测技术等。

本书特点是:将桥梁结构质量控制与桥梁结构特点及施工技术等结合起来进行综合叙述,将桥梁结构全寿命质量控制与先进监测技术结合进行介绍,使读者能结合规范的规定与工程实例来理解桥梁结构质量控制的原理、标准、重点及具体的施工技术和方法,以及运用先进的监测技术对桥梁结构进行科学的全寿命质量控制。书中选编的66个工程实例,包含了多数桥梁质量控制中的典型问题和技术措施,内容和技术覆盖面宽,为桥梁结构质量控制的经典范例,具有一定的代

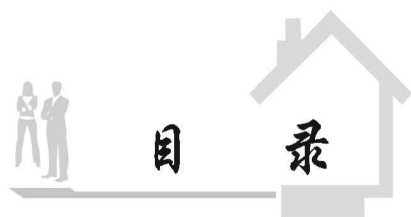
表性，其精湛的施工技术和处治工程问题的经验，值得桥梁施工技术人员参考借鉴。本书力图对于预防桥梁结构的质量问题和安全事故，有一个较为系统的规范引用、专业知识介绍和工程实例的综合汇集，以结合桥梁工程实例的方式来学习实践规范中的施工技术要求，使本书具有较好的工程实用性，更利于集中、系统地查阅相关知识与工程实例，是桥梁施工技术人员可供参考的工程技术用书，也可作为高等学校桥梁工程专业方向的教学参考用书。

在本书编写中参考并引用了一些相关技术规范和文献，已列于参考书目中，在此对这些作者们表示衷心的感谢。

研究生许琦、樊文才、阙水杰、朱恒怡等参与了本书部分文字录入的工作，再次表示感谢。

由于作者水平及时间有限，书中难免有不足之处，还有许多典型工程实例未能收集到本书中，敬请广大读者指正。

编著者



前言

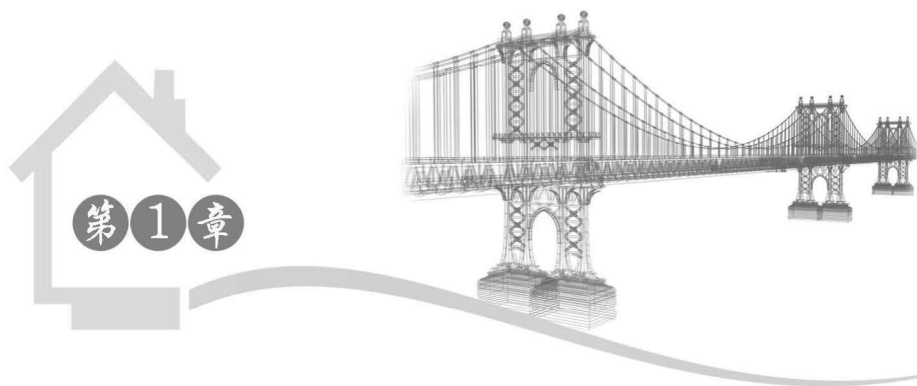
第 1 章 概述	1
1.1 桥梁结构质量控制的意义	1
1.2 桥梁结构全寿命过程质量控制	2
第 2 章 钢筋和混凝土质量控制	4
2.1 钢筋材质规定与施工要求	4
2.2 钢筋质量标准	10
2.3 混凝土材料要求	12
2.4 混凝土配合比要求	18
2.5 混凝土拌制与运输要求	20
2.6 混凝土浇筑与养护要求	23
2.7 混凝土的抗冻、抗渗及防腐蚀	27
2.8 高强度混凝土	29
2.9 热期、雨期混凝土施工要求	31
2.10 混凝土质量检验和质量标准	33
2.11 常见质量问题及防止措施	35
2.12 工程实例	38
工程实例一：江苏南京双桥门立交桥混凝土施工质量控制	38
工程实例二：江苏南通小海互通立交桥混凝土施工质量控制	41
第 3 章 预应力混凝土工程质量控制	45
3.1 预应力混凝土的特性	45
3.2 预应力混凝土施工要求	46
3.3 预应力混凝土质量检验和验收标准	59
3.4 常见质量问题及处理措施	60
3.5 工程实例	63
工程实例一：某立交桥后张预应力混凝土施工质量控制	63
工程实例二：嘉兴太史桥预应力施工质量控制	65
工程实例三：太原西北环西矿街大桥真空辅助压浆技术	67

第4章	灌注桩基础质量控制	70
4.1	一般规定	70
4.2	钻孔灌注桩	70
4.3	钻孔施工	72
4.4	清孔	73
4.5	灌注水下混凝土	73
4.6	挖孔灌注桩	76
4.7	承台	77
4.8	质量检验及质量标准	77
4.9	常见质量问题及处理措施	78
4.10	工程实例	83
	工程实例一：祁临高速公路洪洞铁路立交桥钻孔灌注桩基础 施工质量控制	83
	工程实例二：溶洞地区桥梁灌注桩基础的质量控制	85
	工程实例三：马水河特大桥挖孔灌注桩施工方法与质量控制	88
	工程实例四：冲击层溶蚀地区桩基础施工技术	91
	工程实例五：涌砂地质条件下的桩基施工技术	94
第5章	沉井基础质量控制	99
5.1	沉井基础施工规定及质量检验标准	99
5.2	沉井基础常见质量问题及处理措施	107
5.3	工程实例	109
	工程实例一：南宁永和大桥南岸桥台沉井基础施工	109
	工程实例二：施州大桥基础沉井施工	113
	工程实例三：芜湖长江大桥软基沉井施工技术	116
	工程实例四：胶新铁路五龙河大桥沉井基础施工技术	120
	工程实例五：益阳资江三桥沉井施工工艺	125
	工程实例六：京九铁路黄河特大桥滩地沉井施工	127
	工程实例七：江阴长江公路大桥北锚沉井施工	131
	工程实例八：虎头山大桥沉井施工技术	140
	工程实例九：海口世纪大桥主墩沉井施工	143
第6章	梁桥质量控制	149
6.1	梁桥施工技术要求	149
6.2	梁桥质量验收标准	164
6.3	常见质量问题及处理措施	165
6.4	工程实例	168

工程实例一：某特大跨度连续刚构主梁下挠及箱梁裂缝成因分析	168
工程实例二：广州富力桃园大桥箱梁合龙区域裂缝成因分析及加固	171
工程实例三：预应力混凝土连续箱梁桥腹板裂缝成因分析	173
工程实例四：某变截面连续箱梁桥病害分析与处治	176
工程实例五：重庆碚东嘉陵江大桥 0 号块施工关键技术	178
工程实例六：日东高速公路京杭运河特大桥合龙段质量控制	182
工程实例七：大跨径预应力混凝土连续刚构桥箱梁整体悬浇技术与质量控制	186
工程实例八：黄草乌江大桥连续刚构关键施工技术	191
工程实例九：党家沟大桥长联大跨刚构-连续组合弯梁桥悬灌关键技术	197
第 7 章 拱桥质量控制	203
7.1 拱桥施工技术要求	203
7.2 拱桥质量验收标准	218
7.3 常见质量问题及处理措施	221
7.4 工程实例	223
工程实例一：大跨石拱桥施工技术	223
工程实例二：刚性系杆刚性拱桥的施工技术	226
工程实例三：钢管混凝土系杆拱桥主拱肋灌注施工技术	228
工程实例四：钢管混凝土拱桥钢拱肋及钢管混凝土施工质量控制	230
工程实例五：钢管混凝土拱桥主拱肋混凝土灌注质量与线形控制	235
工程实例六：钢管混凝土拱桥混凝土质量缺陷处理	238
第 8 章 斜拉桥质量控制	240
8.1 斜拉桥施工技术要求	240
8.2 斜拉桥质量验收标准	244
8.3 常见质量问题及处理措施	245
8.4 工程实例	249
工程实例一：斜拉桥主墩承台大体积混凝土施工质量控制技术	249
工程实例二：斜拉桥主塔施工质量控制技术	251
工程实例三：斜拉桥拉索施工技术	257
工程实例四：部分斜拉桥施工质量控制技术	260

工程实例五：斜拉桥主梁线形施工控制技术	266
第 9 章 悬索桥质量控制	272
9.1 悬索桥施工技术要求	272
9.2 常见技术难点及质量问题	287
9.3 工程实例	290
工程实例一：悬索桥主塔大体积深水承台施工技术	290
工程实例二：悬索桥主塔超深承台钢板桩围堰施工技术	294
工程实例三：悬索桥锚碇基础地下连续墙施工技术	299
工程实例四：悬索桥隧道式锚碇设计与施工技术	301
工程实例五：悬索桥锚碇大体积混凝土施工温度裂缝控制技术	305
工程实例六：悬索桥锚碇大体积混凝土温度控制技术	308
工程实例七：悬索桥主缆架设施工技术	313
工程实例八：悬索桥主缆索股架设常见问题分析及处理	317
工程实例九：悬索桥主缆除湿防腐技术	320
工程实例十：悬索桥钢桥面环氧沥青混凝土铺装质量控制技术	323
第 10 章 桥梁施工质量检测与监控	328
10.1 桥梁施工阶段质量检测	328
10.2 先进无损检测技术	330
10.3 桥梁施工监控	332
10.4 工程实例	334
工程实例一：低应变反射波法检测桥梁基桩施工质量	334
工程实例二：某桥梁缺陷桩的综合检测与加固补强	336
工程实例三：地质雷达检测混凝土箱梁桥蜂窝缺陷	339
工程实例四：苏通大桥斜拉桥主塔大型群桩基础监测	340
工程实例五：悬索桥锚碇沉井基础施工监控	342
工程实例六：光纤应变传感器在连续梁桥施工监测中的应用	345
工程实例七：预应力混凝土连续梁桥悬臂施工监控	347
工程实例八：铁路上承式钢管混凝土拱桥转体施工监控	349
工程实例九：中承式钢—混凝土组合梁钢拱肋拱桥施工监控与 成桥检测	353
工程实例十：独塔单索面预应力混凝土斜拉桥悬臂拼装 施工监控	356
工程实例十一：多塔部分斜拉桥施工监控	359
工程实例十二：钢箱—混凝土箱混合梁斜拉桥施工监控	362
工程实例十三：自锚式悬索桥施工监控	365

工程实例十四：大跨度悬索桥基准索股架设施工监控	368
工程实例十五：GPS 实时监测系统在大跨度斜拉桥施工 监控中的应用	372
工程实例十六：无线传输技术在桥梁桩基托换施工 监测中的应用	375
工程实例十七：无线监测系统在连拱桥改造施工监控中的应用	379
参考文献	382



概 述

1.1 桥梁结构质量控制的意义

随着我国交通运输事业的迅速发展，桥梁建设规模也日益扩大。桥梁工程作为交通基础设施建设重要组成部分，其质量问题直接关系到桥梁结构在施工、运营阶段的安全，事关交通运输的正常运行和人民的生命安全，是桥梁工程界以及全社会都关注的重要内容。特别是近年来屡屡不断发生的桥梁坍塌事故，更加引起了桥梁界、各级政府部门及全社会的极大重视和关注。仅以 2007 年为例，国内外就发生多起严重的桥梁坍塌事故：

2007 年 5 月 13 日，江苏常州运村大桥坍塌；

2007 年 6 月 15 日，广东九江大桥遭船撞击坍塌；

2007 年 7 月 31 日，美国加利福尼亚州奥罗维尔高速路桥垮塌；

2007 年 8 月 1 日，美国明尼苏达州密西西比河大桥运营中坍塌；

2007 年 8 月 13 日，湖南凤凰县沱江大桥施工中垮塌；

2007 年 9 月 1 日，巴基斯坦南部卡拉奇一座桥梁垮塌；

2007 年 9 月 9 日，印度安得拉邦首府海得拉巴一座在建立交桥坍塌；

2007 年 9 月 26 日，越南南部芹苴与永隆之间的一座在建大桥坍塌；

2007 年 11 月 8 日，阿联酋迪拜马里纳区一座在建大桥发生垮塌。

这些触目惊心大桥坍塌事故，造成了巨大的损失。在桥梁建设工程中，有些上百年的桥梁至今仍然屹立，而有些桥梁，运营不长的时间就发生坍塌，更有的在施工过程中就发生垮塌，令人深思。

如何预防这些桥梁事故的发生，是国计民生的大事。桥梁工程，百年大计，质量安全，责任重大。桥梁工作者必须具有对国家和人民高度负责的精神，严格遵照和执行国家的规范、规程，掌握桥梁结构的专业技术知识，特别是关于桥梁

结构质量安全控制的相关专业知识,才能在所从事的桥梁工程勘测、设计、施工、监理、运营管理等过程中,科学运用相关专业知识,保证桥梁结构的质量和安全。

1.2 桥梁结构全寿命过程质量控制

现代桥梁具有大型、复杂、设计施工难度大的显著特点。桥梁结构的全寿命过程质量控制包括桥梁从规划立项到建成运营的全过程,是一个综合的系统工程。主要的环节有:规划立项、勘测设计、施工兴建、检测试验、运营管理等。每个环节对桥梁结构的质量都有重要的作用,不容忽视。

勘测设计阶段主要对所建桥梁进行实地勘测、资料收集、规划设计、初步设计、技术设计、施工图设计等工作。通过对交通量及增长率的调查、水文情况的调查和测量、地质情况的钻探等工作,为桥梁设计提供依据,从而制订合理的桥梁规划设计,编制设计任务书,提出桥梁设计要求。根据设计任务书的桥梁设计要求,进行初步设计,包括提供进一步的水文资料和勘探资料,进行桥式方案比选,编制施工组织设计及概算,并提出设计、施工中需要解决的技术难题和科研项目。技术设计主要研究解决桥梁结构设计中的技术难题。施工图设计主要进行桥梁结构各构件的分析计算设计、绘制施工详图,编制施工设计和施工预算。

在勘测设计阶段,每一步的具体工作,都对以后建成的桥梁结构质量有重要的作用。例如,对交通量及其增长率的调查和预测,关系到确定桥梁的荷载等级,特别是若干年后,随着交通量的增长,所建桥梁能否承受日益增长的交通荷重,事关日后桥梁结构的质量安全。现在许多既有桥梁已经不堪负担超量交通荷重,而出现质量问题和安全隐患,这与当年修建桥梁时的交通量增长预测不足、桥梁荷载等级偏低有一定的关系。河道的水流稳定性、洪水强度、河床冲刷情况、航道要求、船舶运输等,对桥梁的桥位选择、结构体系和分孔、桥墩设计有重要的作用,特别是防止因冲刷过大,以及洪水、船只撞击桥墩而导致的桥梁坍塌事故有十分重要的作用。正确和详细的地质钻探资料,对处理不良地质条件,采取相应的技术措施,防止桥梁基础事故,保证桥梁基础的质量有重要的作用。合理选取的桥式方案、正确的桥梁结构分析、设计详细的桥梁整体和局部施工图,科学的施工方案等,对桥梁结构在施工和运营中的质量安全都有直接的作用。

施工兴建阶段更直接关系到桥梁结构的质量和安全,这个阶段应高度重视桥梁结构质量控制。施工队伍的人员素质和专业技术水平、施工方案的制订、施工机具的检验、结构材料的检验、施工质量管理监督机构的资质等,都是保证桥梁结构质量与安全十分重要的内容。

检测、监测是保证桥梁结构质量与安全的重要手段。在桥梁桩基质量检测,混凝土、钢材、预应力钢绞线、预应力张锚机具等检测,桥梁结构的应变和位移监测,成桥静载试验,动载试验,施工中的实时监控等技术环节中,检测、



监测数据的准确可靠，检测、监测技术的高效先进，直接关系到桥梁结构质量的评定与监控，有利于桥梁结构质量问题的及时发现与处理，排除桥梁结构安全事故隐患。

桥梁交付使用后的运营管理是保证桥梁结构质量安全不可忽视的重要环节。随着现代交通运输的发展，交通量不断增长，车流密集、超重等对已建桥梁的质量安全形成了巨大的压力。既有桥梁运行车辆超载、不利的自然环境、材料性能的退化等综合因素影响下，承载力逐渐下降，隐藏着质量安全隐患。这都需要对运营中的桥梁进行长期的实时健康监测，以及对车流、超载的限制等措施，来实现对桥梁在运营寿命期间的质量安全控制。

因此，桥梁结构的质量安全控制应该贯穿在桥梁从规划、设计、施工、运营全寿命过程中，其中某个环节的疏忽都有可能酿成严重的质量安全事故，必须高度重视每个技术环节。

本书将对施工和监测技术这两部分与桥梁结构质量安全较为直接关联的内容进行阐述和工程实例介绍，供读者在桥梁工程建设、管理中参考和借鉴。



钢筋和混凝土质量控制

钢筋和混凝土材料的材质，以及钢筋工程、混凝土工程的质量是桥梁结构质量控制的重要内容。JTJ 041—2000《公路桥涵施工技术规范》对桥梁结构中的钢筋材质与施工，混凝土材质与施工已有明确的规定。严格按照 JTJ 041—2000《公路桥涵施工技术规范》的规定进行施工，许多桥梁结构质量问题都可以得到解决。本章有关钢筋和混凝土的材质与施工质量要求引自 JTJ041—2000《公路桥涵施工技术规范》。

2.1 钢筋材质规定与施工要求

普通钢筋是混凝土结构中的主要受力材料，对于结构的强度、刚度、延性和耐久性等有着至关重要的作用。钢筋材质的好坏是保证桥梁结构质量和安全的关键，钢筋的加工、连接、安装等施工环节对桥梁结构的质量有重要的作用。

1. 一般规定

(1) 钢筋混凝土中的钢筋和预应力混凝土中非预应力钢筋必须符合现行 GB 1499.1—2008《钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋》、GB 1499.7—2007《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》、GB 13788—2000《冷轧带肋钢筋》、GB 701—2008《低碳钢热轧圆盘条》的规定。其力学、工艺性能可参见表 2-1。环氧树脂涂层钢筋的标准可按照现行 JG 3042—1997《环氧树脂涂层钢筋》执行。

(2) 钢筋必须按不同钢种、等级、牌号、规格和生产厂家分批验收，分别堆存，不得混杂，且应设立识别标志。钢筋在运输过程中，应避免锈蚀和污染。钢筋宜堆置在仓库（棚）内，露天堆置时，应垫高并加遮盖。

(3) 钢筋应具有出厂质量证明书和试验报告单。对桥涵所用的钢筋应抽取试样作力学性能试验。



表 2 - 1 钢筋的力学、工艺性能

品种		公称 直径 /mm	屈服强度 R_{eL}/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	断后伸长 率 $A(\%)$	冷弯 180°	反向弯曲 正弯 90° 反弯 20°	应力松弛 $\sigma_{con}=0.7\sigma_b$	
外形	强度等级 牌号		不小于			d =弯心直径 a =钢筋公称直径		1000h 不 大于(%)	10h 不 大于(%)
热轧 光圆 钢筋	HPB235	6~22	235	370	25	$d=a$			
	HPB300		300	420					
热轧 带肋 钢筋	HRB335	6~25	335	455	17	$d=3a$	$d=4a$		
	HRBF335	28~40				$d=4a$	$d=5a$		
		>40~50				$d=5a$	$d=6a$		
	HRB400	6~25	400	540	16	$d=4a$	$d=5a$		
	HRBF400	28~40				$d=5a$	$d=6a$		
		>40~50				$d=6a$	$d=7a$		
冷轧 带肋 钢筋	HRB500	6~25	500	630	15	$d=6a$	$d=7a$		
	HRBF500	28~40				$d=7a$	$d=8a$		
		>40~50				$d=8a$	$d=9a$		
	CRB550	4~12	$\sigma_{p0.2}$ 440	σ_b 550	δ_{10} 8	$d=3a$			
	CRB650		$\sigma_{p0.2}$ 520	σ_b 650	δ_{100} 4			8	5
	CRB800		$\sigma_{p0.2}$ 640	σ_b 800	δ_{100} 4			8	5
	CRB970		$\sigma_{p0.2}$ 776	σ_b 970	δ_{100} 4			8	5
	CRB1170		$\sigma_{p0.2}$ 936	σ_b 1170	δ_{100} 4			8	5
低碳钢 热轧圆 盘条	Q195	5.5~30	195	不大于 410	30	$d=0$			
	Q215		215	435	28	$d=0$			
	Q235		235	500	23	$d=0.5a$			
	Q275		275	540	21	$d=0.5a$			

(4) 以另一种强度、牌号或直径的钢筋代替设计中所规定的钢筋时，应了解设计意图和代用材料性能，并须符合现行 JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》的有关规定。重要结构中的主钢筋在代用时，应由原设计单位作变更设计。

(5) 预制构件的吊环，应采用未经冷拉的 HRB235 级热轧钢筋制作。

2. 钢筋的加工

(1) 钢筋调直和清除污锈应符合下列要求：

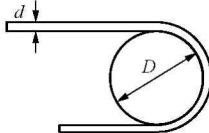
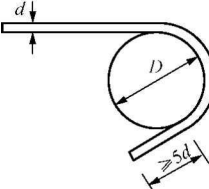
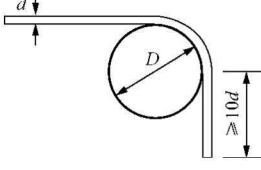
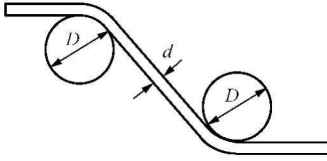
- 1) 钢筋的表面应洁净，使用前应将表面油渍、漆皮、鳞锈等清除干净。
- 2) 钢筋应平直，无局部弯折，成盘的钢筋和弯曲的钢筋均应调直。



3) 采用冷拉方法调直钢筋时, HRB235 牌号钢筋的冷拉率不宜大于 2%; HRB335、HRB400 牌号钢筋的冷拉率不宜大于 1%。

(2) 钢筋的弯制和末端的弯钩应符合设计要求, 如设计无规定, 应符合表 2-2 的规定。

表 2-2 受力主钢筋制作和末端弯钩形状

弯曲部位	弯曲角度	形状图	钢筋种类	弯曲直径 D	平直部分长度
末端弯钩	180°		HRB235	$\geq 2.5d$	$\geq 3d$
	135°		HRB335	$\phi 8 \sim \phi 25$ $\geq 4d$	$\geq 5d$
			HRB400	$\phi 28 \sim \phi 40$ $\geq 5d$	
	90°		HRB335	$\phi 8 \sim \phi 25$ $\geq 4d$	$\geq 10d$
			HRB400	$\phi 28 \sim \phi 40$ $\geq 5d$	
中间弯钩	90° 以下		各类	$\geq 30d$	

注: 环氧树脂涂层钢筋当进行弯曲加工时, 对直径 d 不大于 20mm 的钢筋, 其弯曲直径不应小于 $4d$, 对直径大于 20mm 的钢筋, 其弯曲直径不小于 $6d$ 。

(3) 用于 HRB235 钢筋制作的箍筋, 其末端应做弯钩, 弯钩的弯曲直径应大于受力主钢筋的直径, 且不小于箍筋直径的 2.5 倍。弯钩平直部分的长度, 一般结构不宜小于箍筋直径的 5 倍, 有抗震要求的结构, 不应小于箍筋直径的 10 倍。弯钩的形式, 如设计无要求时, 可按图 2-1 (a)、(b) 加工; 有抗震要求的结构, 应按图 2-1 (c) 加工。

3. 钢筋的连接

(1) 钢筋的焊接与绑扎接头

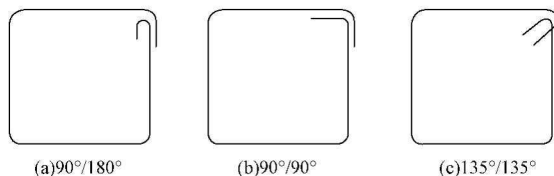


图 2-1 箍筋弯钩形式图

1) 轴心受拉和小偏心受拉杆件中的钢筋接头，不宜绑接。普通钢筋混凝土中直径大于 25mm 的钢筋，宜采用焊接。

2) 钢筋的纵向焊接应采用闪光对焊（HRB500 钢筋必须采用闪光对焊）。当缺乏闪光对焊条件时，可采用电弧焊、电渣压力焊、气压焊。钢筋的交叉连接，无电阻点焊机时，可采用焊条电弧焊。各种预埋件 T 形接头钢筋与钢板的焊接，也可采用预埋件钢筋埋弧压力焊。电渣压力焊只适用于竖向钢筋的连接，不能用作水平钢筋和斜筋的连接。钢筋的接头形式、焊接方法、适用范围应符合现行 JGJ 18—2003《钢筋焊接及验收规程》的规定。质量验收标准见 JTJ 041—2000《公路桥涵施工技术规范》附录 E-2。

3) 钢筋焊接前，必须根据施工条件进行试焊，合格后方可正式施焊。焊工必须持考试合格证上岗。

4) 钢筋接头采用搭接或帮条电弧焊时，宜采用双面焊缝，双面焊缝困难时，可采用单面焊缝。

5) 钢筋接头采用搭接电弧焊时，两钢筋搭接端部应预先折向一侧，使两结合钢筋轴线一致。接头双面焊缝的长度不应小于 $5d$ ，单面焊缝的长度不应小于 $10d$ （ d 为钢筋直径）。钢筋接头采用帮条电弧焊时，帮条应采用与主筋同级别的钢筋，其总截面面积不应小于被焊钢筋的截面面积。帮条长度，如用双面焊缝不应小于 $5d$ ，如用单面焊缝不应小于 $10d$ （ d 为钢筋直径）。

6) 凡施焊的各种钢筋、钢板均应有材质证明书或试验报告单。焊条、焊剂应有合格证，各种焊接材料的性能应符合现行 JGJ 18—2003《钢筋焊接及验收规程》的规定。各种焊接材料应分类存放和妥善管理，并应采取防止腐蚀、受潮变质的措施。

7) 电渣压力焊、气压焊、预埋件钢筋埋弧压力焊的技术规定，以及电弧焊中的坡口焊、窄间隙焊、熔槽帮条焊和钢筋与钢板焊接的技术规定可参照现行的 JGJ 18—2003《钢筋焊接及验收规程》的规定执行。

8) 受力钢筋焊接或绑扎接头应设置在内力较小处，并错开布置，对于绑扎接头，两接头间距离不小于 1.3 倍搭接长度。对于焊接接头，在接头长度区段内，同一根钢筋不得有两个接头，配置在接头长度区段内的受力钢筋，其接头的截面面积占总截面面积的百分率应符合表 2-3 规定。对于绑扎接头，其接头的截面面积