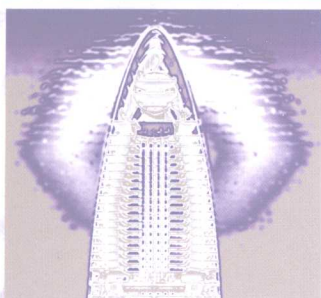


钢与混凝土组合结构



理论与实践

主编 刘维亚 编著 钟善桐 姜维山 刘维亚
朱聘儒 白力更 邵永健

中国建筑工业出版社

钢与混凝土组合结构 理论与实践

主 编 刘维亚
编 著 钟善桐 姜维山 刘维亚
朱聘儒 白力更 邵永健

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢与混凝土组合结构理论与实践/刘维亚主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2008
ISBN 978-7-112-09785-2

I. 钢… II. 刘… III. 钢筋混凝土结构: 组合结构
IV. TU375

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第189960号

本书主要介绍钢管混凝土、型钢混凝土、钢与混凝土组合梁及压型钢板-混凝土组合楼板四大类组合结构的理论研究的成果、工程实例及相关设计、计算方法和施工要点。既有系统的理论和应用的介绍,又有大量详细的实际工程设计资料。

本书可供土建专业的科研、教学、设计、施工等广大工程技术人员使用。

* * *

责任编辑: 郭洪兰

责任设计: 郑秋菊

责任校对: 王雪竹 安 东

钢与混凝土组合结构理论与实践

主 编 刘维亚

编 著 钟善桐 姜维山 刘维亚

朱聘儒 白力更 邵永健

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京千辰公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 35 1/4 字数: 880 千字

2008 年 6 月第一版 2008 年 6 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 85.00 元

ISBN 978-7-112-09785-2

(16449)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

随着我国经济的发展,一座座崭新的建筑拔地而起,这不仅仅满足了人们工作、生活的需要,更促进了建筑技术的迅猛发展,尤其是钢与混凝土组合结构的发展。从中国建筑学会结构分会高层专业委员会2004年对我国已建150米以上高层建筑的统计来看,钢-混凝土组(混)合结构所占的比例从1998年的18%上升至23%,200米以上的32栋建筑中,钢-混凝土组(混)合结构有15栋,接近50%。需要注意的是,这里所统计的主要是高层建筑的主体结构体系,如果按各建筑中所采用的钢-混凝土组合梁、板等来计算,组合结构所占的比例还会更高。在建的世界最高建筑之一的环球金融中心,从主体结构体系到楼盖系统都是采用钢-混凝土组合结构。正在建设的432米高的广州西塔和正在设计的439米高的深圳京基金融中心等超高层建筑也都是采用钢-混凝土组合结构。因此,可以说钢与混凝土组合结构的发展已经进入到工程建设不可缺少的阶段。这种迅猛的发展也促进了钢与混凝土组合结构的理论研究和工程实践。

本书正是为了满足钢与混凝土组合结构的发展需要,以近年来钢与混凝土组合结构的研究成果为基础,对钢管混凝土、型钢混凝土、钢与混凝土组合梁及压型钢板-混凝土组合楼板四大类组合结构的试验研究和理论分析进行了较为详细的探讨;提出了钢-混凝土组合结构构件设计计算方法,并结合工程需要编写了大量的设计计算实例,从而方便了广大读者对相关理论的理解和应用。本书还分别对不同的组合结构提出了相应的施工技术要求,提供了大量的实际工程设计资料。

本书由刘维亚负责主编、姜维山教授对全书进行了审稿。全书共分为五章,各章主要内容及作者分别为:

第一章 绪论及结构材料 刘维亚

第二章 钢管混凝土结构 钟善桐

第三章 型钢混凝土组合结构 刘维亚(第一、三、四、八、九、十节)、姜维山(第二、五、六、七节)

第四章 压型钢板-混凝土组合楼板设计 白力更

第五章 钢与混凝土组合梁 朱聘儒 邵永健

参加本书工作的还有:王玉良、金雪峰、巴桂江、吴真一、项兵、张建辉、林超伟、刘超、刘细林、曾锋等人,在此一并感谢。

在本书编写过程中,于庆荣教授、史庆轩教授、任庆英总工程师、王启文总工程师、王兴法总工程师、周定总工程师、张同亿副总工程师等有关专家和学者给予了热情的帮助和支持,在此表示衷心的感谢。

本书还得到了中国建筑设计研究院、深圳华森建筑设计工程顾问有限公司同仁们的关心和支持,在此也表示衷心的感谢。

鉴于编写工作受时间等因素的影响，加之水平有限，难免有错误或不妥之处，恳请广大读者批评指正。部分观点和见解是作者对相关问题的理解，也欢迎广大读者共同探讨，以促进我国钢与混凝土组合结构的发展。

作者

二〇〇八年岁初于深圳华侨城

目 录

第一章 绪论及结构材料	1
第一节 绪论	1
一、概述	1
二、基本设计原则	1
第二节 结构材料	4
一、结构钢	4
二、国产钢材	5
三、国外钢材的使用	11
第三节 组合结构中常用钢材	13
一、型钢混凝土中型钢	13
二、钢管混凝土中钢管	13
三、压型钢板	14
第四节 钢材连接件	18
一、焊接材料	18
二、栓钉、螺栓及锚栓	19
第五节 钢筋混凝土材料	22
一、钢筋	22
二、混凝土	23
第二章 钢管混凝土结构	24
第一节 概述	24
一、应用推广阶段	24
二、提高和发展阶段	26
第二节 钢管混凝土构件的基本性能	29
一、钢管混凝土轴心受压	29
二、钢管混凝土轴心受拉	35
三、钢管混凝土受纯剪	37
四、钢管混凝土的统一理论和设计指标的合理性	39
五、混凝土徐变和收缩及环境温度与焊接	46
六、圆形、多边形和方形钢管混凝土性能的系列化	52

七、空心 and 实心钢管混凝土性能的系列化	62
第三节 钢管混凝土轴心受压构件的稳定	66
一、单管圆钢管混凝土轴心受压构件的稳定	66
二、格构式钢管混凝土轴压构件的稳定	69
三、方钢管混凝土轴压构件的稳定	71
第四节 钢管混凝土构件设计	73
一、各国设计规范的设计方法	73
二、钢管混凝土轴心受压构件	79
三、钢管混凝土轴心受拉构件	89
四、钢管混凝土受扭和受剪构件	91
五、钢管混凝土受弯构件	92
六、钢管混凝土构件在复杂应力状态下的设计	97
第五节 钢管混凝土构件的节点设计	104
一、单钢管混凝土柱的节点	104
二、格构式钢管混凝土柱的节点	121
三、钢管混凝土柱节点的设计	125
第六节 钢管混凝土构件的抗震性能	128
一、钢管混凝土构件在循环荷载作用下的弯矩-曲率关系	128
二、钢管混凝土构件在循环荷载作用下的 $P-\Delta$ 关系	134
三、圆钢管混凝土柱和钢梁组成的单层框架的抗震性能	146
四、钢管混凝土空间桁架的动力性能	154
五、钢管混凝土柱的抗震验算	158
第七节 钢管混凝土构件的抗火设计	160
一、钢管混凝土构件抗火性能研究的重要性	160
二、钢管混凝土抗火性能的影响因素和模化处理	161
三、火灾时钢管混凝土柱截面的温度场和耐火极限	164
四、防火保护层厚度的计算	173
五、防火材料的种类和性能	175
第八节 钢管混凝土在工业建筑中的应用	178
一、钢管混凝土在工业厂房中的应用	178
二、钢管混凝土在设备构架中的应用	182
三、钢管混凝土柱在送变电杆塔中的应用	186
第九节 钢管混凝土在高层建筑中的应用	188
一、高层钢管混凝土结构的发展和特点	188
二、钢管混凝土高层建筑典型工程	191
三、钢管混凝土柱在住宅建筑中的应用	209
第十节 钢管混凝土构件的制作与施工	217
一、钢管混凝土构件的施工特点	217
二、钢管柱的制作与安装	217

三、管内混凝土施工	224
四、管内混凝土的质量检验	227
符号	227
参考文献	231
第三章 型钢混凝土组合结构	232
第一节 概述	232
一、概况	232
二、型钢混凝土组合结构在国内的应用	234
三、型钢混凝土组合结构的研究情况	237
四、型钢混凝土组合结构的特点	238
五、型钢混凝土结构设计理论	239
第二节 型钢混凝土结构的基本性能	240
一、普通材料型钢混凝土结构	240
二、型钢混凝土短柱的受力性能	247
三、高强混凝土和高强型钢型钢混凝土结构	252
第三节 型钢混凝土梁的极限状态及计算	256
一、型钢混凝土梁的正截面极限状态	256
二、型钢混凝土梁的正截面受弯承载力计算——公式法	261
三、特征曲线法受弯承载力计算	271
四、型钢混凝土梁斜截面极限状态	272
五、型钢混凝土梁受剪承载力计算	274
六、型钢混凝土梁的抗弯刚度	276
七、型钢混凝土梁的裂缝宽度计算	278
八、型钢混凝土梁正常使用极限状态计算	281
第四节 型钢混凝土柱的极限状态及计算	283
一、型钢混凝土偏心受压柱的极限状态	283
二、型钢混凝土柱正截面承载力计算	285
三、型钢混凝土柱斜截面承载力计算	296
第五节 型钢混凝土梁柱节点	299
一、型钢混凝土梁柱节点的工作条件	299
二、型钢混凝土梁柱节点的破坏过程	300
三、型钢混凝土梁柱节点构造原理	303
四、型钢混凝土梁柱节点的受力机理及受剪承载力计算	306
五、型钢混凝土结构节点构造	313
第六节 型钢混凝土剪力墙	316
一、概述	316
二、型钢混凝土剪力墙的破坏形态	317
三、型钢混凝土剪力墙承载力计算	319

四、钢板钢筋混凝土组合剪力墙	326
第七节 柱脚	333
一、概述	333
二、非埋入式柱脚与埋入式柱脚的力学特性和传力机制	333
三、埋入式柱脚	335
四、非埋入式柱脚	339
五、柱脚设计例题	344
第八节 型钢混凝土构件的构造	348
一、型钢混凝土构件的设计原则	348
二、型钢混凝土构件的一般构造要求	348
三、梁的设计及构造要求	349
四、柱的设计及构造要求	350
五、梁柱节点设计要求	351
六、柱脚设计	352
七、型钢混凝土剪力墙设计	353
八、墙内配置钢板支撑的剪力墙的设计	355
九、型钢混凝土构件内型钢的接头设计	356
第九节 高层建筑型钢混凝土组合结构的设计	357
一、型钢混凝土结构体系	357
二、结构的选型和布置	358
三、设计实例	362
第十节 型钢混凝土的施工	391
一、型钢混凝土结构的施工顺序	391
二、型钢的制作与安装	391
三、钢筋的绑扎	395
四、混凝土的浇筑	395
符号	396
参考文献	399
第四章 压型钢板-混凝土组合楼板设计	403
第一节 概述	403
一、概况	403
二、组合楼板设计规程规范	404
第二节 压型钢板及施工阶段设计	404
一、次梁间距(板跨)的确定	404
二、压型钢板选择	405
三、压型钢板施工阶段设计	406
第三节 组合楼板计算要点	408
第四节 使用阶段组合楼板设计	410

一、正截面计算	410
二、组合楼板的纵向受剪（剪切-粘结、粘结-滑移）计算	413
三、组合楼板斜截面抗剪和集中荷载下抗冲切验算	420
四、正常使用下极限状态验算	420
第五节 组合楼板的构造要求	422
一、压型钢板	422
二、配筋要求	423
三、端部构造	423
第六节 耐火与耐久性	424
一、耐火性能	424
二、防腐设计	429
第七节 组合楼板施工	430
一、压型钢板的质量要求	430
二、吊装及堆放	430
三、放样	431
四、铺设	431
五、钢梁上的固定	431
六、混凝土浇筑	431
七、现场切割	432
第八节 设计计算例题	432
符号	437
参考文献	438
第五章 钢与混凝土组合梁	440
第一节 概述	440
一、钢与混凝土组合梁的一般情况	440
二、组合梁的截面组成	440
三、高层钢结构中的组合楼盖	443
第二节 一般规定	444
一、组合梁截面的混凝土翼板计算宽度	444
二、组合梁的换算截面	445
三、组合梁的材料选用	445
四、组合梁中钢梁的板件宽厚比	446
第三节 连续组合梁的内力分析	447
一、连续组合梁的工作截面	447
二、单跨变截面组合梁的位移计算公式	448
三、多跨连续组合梁的内力分析	451
四、连续组合梁的塑性分析法	452
五、计算算例	453

第四节 组合梁截面的塑性承载力计算	459
一、组合截面正弯矩承载力计算	459
二、组合截面负弯矩承载力计算	462
三、组合截面竖向受剪承载力计算	465
四、负弯矩区段组合梁钢部件的稳定验算的探讨	466
第五节 抗剪连接件设计	468
一、抗剪连接件的形式	468
二、抗剪连接件的试件与试验	468
三、抗剪连接件的承载力设计值	469
四、组合梁抗剪连接件的塑性设计法	471
五、抗剪连接件的构造要求	474
六、部分抗剪连接组合梁的设计要点	474
第六节 混凝土翼板的界面受剪	476
一、概述	476
二、混凝土的界面抗剪强度	476
三、混凝土翼板及板托的横向钢筋设计	478
四、板托的构造	480
第七节 组合梁的挠度及裂缝宽度验算	481
一、一般规定	481
二、组合梁的截面刚度	481
三、部分抗剪连接组合梁的挠度近似计算	482
四、连续组合梁负弯矩区混凝土翼板的最大裂缝宽度计算	483
符号	484
参考文献	486
附录 A 型钢规格及截面特性	488
A1 H 型钢和部分 T 型钢	488
A2 热轧轻型 H 型钢	496
A3 焊接 H 型钢	497
A4 冷弯型钢及双焊缝方、矩形钢管	508
A5 结构用钢管	525
附录 B 钢结构施工质量要求	536
B1 焊缝外观质量标准及尺寸偏差	536
B2 钢构件组装的允许偏差	538
B3 钢结构工程焊接质量标准	539
B4 多层及高层钢结构中构件安装及主体结构总高度的允许偏差	540

附录 C 部分压型钢板型号及截面性质	542
C1 压型钢板断面	542
C2 部分压型钢板截面性质	543
附录 D 组合楼板刚度计算	544
D1 我国常用的方法	544
D2 ASCE 标准提供的计算方法	544
附录 E ASCE 剪切-粘结系数 m 、 k 确定的标准试验方法	547
E1 引言	547
E2 组合板构件试验	547
E3 已有的试验数据	551
E4 组合楼板性能测试	551

第一章 绪论及结构材料

第一节 绪 论

一、概述

钢-混凝土组合结构是一种新型的结构形式,它充分发挥了钢与混凝土两种材料的优良特性——钢材具有良好的抗拉强度和延性,而混凝土材料则具有优良的抗压强度和较大的刚度,并且混凝土的存在提高了钢材的整体屈曲和局部屈曲性能,由两种材料结合而成的组合结构在地震作用下具有良好的强度、刚度、延性以及较好的耗能能力。随着对该类结构研究的逐步深入,钢-混凝土组合结构逐渐被应用于各类工业与民用建筑和桥梁、码头等土木工程中,成为多层和高层建筑优先选用的结构形式之一,特别在抗震设防等级较高的地区比常用的钢筋混凝土结构和钢结构更具优势。随着建筑高度的增加、跨度的增大、建筑体形的多种变化,带来建筑的超限和不规则问题,为解决这些问题,常采用钢-混凝土组合结构或混合结构来实现建筑师的意图。

目前国内外常用的组合结构有:钢管混凝土结构、型钢混凝土结构、钢与混凝土组合梁、压型钢板与混凝土组合板四大类结构。另外,随着对钢筋混凝土柱-钢梁的组合节点研究的不断深入,组合节点的应用也日益广泛。为使广大工程技术人员对各种组合结构受力的基本性能及其破坏形式、设计中应注意的问题及有关构造要求有更清楚的认识和了解,本书以下各章根据目前国内外最新研究成果和组合结构应用的实际情况,对各种组合结构的工作原理、设计要求进行了较为详细的介绍。

本书钢管、型钢、钢板及钢构件连接要求、钢筋与混凝土等部分设计指标均遵守现行有关规范、规程的相关要求,但随着对结构研究的深入,各类组合结构的计算、构造等也存在着和目前现行规范、规程有局部不一致之处,这是组合结构发展的标志,同时,这些不一致的部分需要广大科技工作者及工程技术人员共同探讨和研究。

二、基本设计原则

组合结构和其他各类结构一样,应遵守《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001 的要求。组合结构在规定的设计使用年限内应满足下列功能要求:

- (1) 在正常施工和正常使用时,能承受可能出现的各种作用;
- (2) 在正常使用时具有良好的工作性能;
- (3) 在正常维护下具有足够的耐久性能;
- (4) 在设计规定的偶然事件发生时及发生后,仍能保持必需的整体稳定性。

上述(1)、(4)两项是结构安全性的要求。在偶然事件(如地震、爆炸、车辆撞击等非正常事件)发生时,结构仍应保持必要的完整性。也就是说,可以出现某些局部的严重破坏,但不致引起建筑物的连续倒塌。美国纽约的世界贸易中心,在“9·11”事件后出现的整体倒塌,就是由于没有满足上述第(4)项要求而引发的。

第(2)项是结构适用性的要求。如应具有适当的刚度,以避免变形过大或在振动时出现共振等;又如,对高层建筑特别是高度超过150m的高层建筑,《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2002对其使用的舒适度有明确的要求等。

所谓“耐久性”是指建筑结构在正常维护条件下,应能完好地使用到规定的年限,不会因材料在长时间内出现的性质变化或外界侵蚀而发生损坏。

以上各项功能总称为建筑结构的可靠性。因此,可以概括地说,结构的可靠性是指结构在正常设计、正常施工和正常使用条件下,在预定的使用年限内(一般按50年考虑),完成预期的安全性、适用性和耐久性功能的能力。

在设计中,为了判断结构是否具备以上三方面的功能,《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001以概率理论为基础,取各项功能的“极限状态”作为判别条件。能够完成预定功能的概率称为可靠度或可靠概率(p_s),而结构不能完成预定功能的概率称为失效概率(p_f),一般采用 p_f 或其对应的可靠度指标(β)来度量。

我国现行《建筑结构可靠度设计统一标准》根据超过不同的极限状态后所带来的后果的严重程度将其分成承载能力极限状态和正常使用极限状态两大类。

(一) 承载能力极限状态

这种极限状态对应于结构或结构构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形。当结构或结构构件出现下列状态之一时,应认为超过了承载能力极限状态:

- (1) 整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡(如倾覆等);
- (2) 结构构件或连接因超过材料强度而破坏(包括疲劳破坏),或因过度变形而不适于继续承载;
- (3) 结构转变为机动体系;
- (4) 结构或结构构件丧失稳定(如压屈等);
- (5) 地基丧失承载能力而破坏(如失稳等)。

结构设计时,应根据结构破坏可能产生的后果(危及人的生命、造成经济损失、产生社会影响等)的严重程度,采用不同的安全等级,安全等级划分为三级,其对应的可靠指标见表1-1-1所列。

建筑结构的安全等级与可靠指标

表 1-1-1

安全等级	破坏后果	建筑物类型	可靠指标	
			脆性破坏	延性破坏
一级	超严重	重要建筑	4.2	3.7
二级	严重	一般建筑	3.7	3.2
三级	不严重	次要建筑	3.2	2.7

结构在荷载或荷载效应作用下（所谓荷载效应是泛指由荷载产生的弯矩、剪力、轴力和扭矩等内力的组合设计值），其极限状态设计表达式为：

$$\gamma_0(\gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik}) \leq R(\gamma_R, f_k, a_k, \dots) \quad (1-1-1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数，对安全等级一级或设计使用年限为 100 年、二级或设计使用年限为 50 年、三级或设计使用年限为 5 年的结构构件分别取 1.1、1.0、0.9，但抗震设计中不考虑此系数；

γ_G ——永久荷载分项系数，可根据永久荷载对结构构件的承载力有利和不利情况分别取 1.0、1.2 或 1.35 的不同值，一般情况下取 1.2；

γ_{Q1} 、 γ_{Qi} ——第 1 个和第 i 个可变荷载分项系数，一般取 1.4，对楼面结构，当可变荷载标准值大于 4kN/m^2 时，取 1.3；

S_{Gk} ——按永久荷载标准值 G_k 计算的荷载效应值；

S_{Qik} ——按可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值；其中 S_{Q1k} 为诸可变荷载效应中起控制作用者；

ψ_{ci} ——可变荷载 Q_i 的组合值系数，当有风荷载时取 0.6；无风荷载时取 1.0；

$R(\cdot)$ ——结构构件抗力函数；

γ_R ——结构构件抗力或材料分项系数；

f_k ——材料强度的标准值；

a_k ——几何尺寸的标准值。

（二）正常使用极限状态

结构或结构构件出现下列状态之一时，应认为超过了正常使用极限状态：

- （1）影响正常使用或外观的变形；
- （2）影响正常使用或耐久性能的局部损坏（包括裂缝）；
- （3）影响正常使用的振动；
- （4）影响正常使用的其他特定状态。

为了保证结构或结构构件达到正常使用和耐久性的要求，应根据不同的设计目的，分别采用荷载效应的标准组合、频遇组合和准永久组合进行设计，使变形、裂缝等荷载效应的设计值符合式（1-1-2）的要求。

$$S_d \leq C \quad (1-1-2)$$

式中 S_d ——变形、裂缝等荷载效应的设计值；

C ——设计对变形、裂缝等规定的相应限值。

变形、裂缝等荷载效应的设计值 S_d 应符合下列规定：

$$\text{标准组合} \quad S_d = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik} \quad (1-1-3)$$

$$\text{频遇组合} \quad S_d = S_{Gk} + \psi_n S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{qi} S_{Qik} \quad (1-1-4)$$

$$\text{准永久组合} \quad S_d = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Qik} \quad (1-1-5)$$

第二节 结 构 材 料

一、结构钢

1. 通用要求

为保证承重结构的承载能力及防止在一定条件下出现脆性破坏,应根据结构的重要性、荷载特征、结构形式、应力状态、连接方法、钢材厚度和工作环境等因素综合考虑,选用合适的钢材牌号和材性,并应保证抗拉强度、伸长率、屈服点、冷弯试验、冲击韧性合格和硫、磷含量符合限值。

2. 焊接结构附加要求

(1) 含碳量

1) 钢材的含碳量不应超过焊接性能所规定的限值。

2) Q235D 级钢,含碳量小于 0.17%,硫、磷含量小于 0.035%,可焊性较好。

(2) 断面收缩率

1) 厚度较大的钢板,在轧制过程中存在着各向异性。由于在杆件的板件连接处常形成较强的约束,焊接时容易引起钢板的层状撕裂,因此要求钢板的断面收缩率不小于某一规定值。《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81—2002 规定,板件厚度 $t \geq 40\text{mm}$ 时应采用厚度方向性能钢板。

2) 采用焊缝连接的梁-柱节点和支撑节点,节点的约束较强。当钢板厚度 $t \geq 40\text{mm}$,并承受沿板厚方向的拉力作用时(包括强约束节点因焊缝收缩引起的拉应力),为防止钢材的层状撕裂,而采用 Z 向钢时,应附加“受拉试件板厚方向断面收缩率”不小于 Z15 级规定的要求。

3) Z 向性能级别为 Z15 级的钢板性能应符合国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313—1985 的规定。

(3) 钢材的冷弯性能

钢材的冷弯性能必须符合要求。

3. 抗震结构钢材的附加要求

(1) 钢材应具有能保持足够延性的良好可焊性。

(2) 钢材的“强屈比”应不小于 1.2,抗震设防烈度为 8 度和 8 度以上时,则不应小于 1.5,以确保结构具有足够的安全储备。强屈比是指钢材的极限抗拉强度实测值 f_u 与屈服强度实测值 f_{ay} 的比值。

(3) 钢材的拉伸试验应具有明显的屈服台阶。

(4) 钢材的伸长率应大于 20% (标距 50mm),以保证构件具有足够的塑性变形能力。

(5) 抗震类别为甲类或乙类的高层建筑钢结构,钢材的屈服强度平均值不宜超过其标准值的 30%,以避免构件的塑性铰位置发生不符合“强柱弱梁”等设计要求的转移。

(6) 钢材的冲击韧性必须得到保证。

(7) 抗震设防高层建筑中仅承受重力荷载的钢构件, 上述各项要求可适当放宽。

(8) 《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 规定, 板件厚度 $t \geq 40\text{mm}$ 时应采用厚度方向性能钢板。

4. 特殊构件附加要求

(1) 对处于外露环境、且对大气腐蚀有特殊要求的或在腐蚀性气态和固态介质作用下的承重结构, 宜采用耐候钢, 其质量要求应符合现行国家标准《焊接结构用耐候钢》GB/T 4172 的规定。

(2) 处于低温环境下的承重和承力钢构件, 其钢材性能尚应符合避免低温冷脆的要求。

(3) 重要的受拉或受弯的焊接结构以及需要验算疲劳的焊接结构, 其钢材的低温性能应符合表 1-2-1 的要求。这是因为脆断主要发生在受拉区, 危险性较大, 所以, 对受拉或受弯的焊接构件所使用的钢材的质量要求, 比对受压构件的质量要求更高。

重要焊接结构钢材的低温性能

表 1-2-1

室 外 气 温 钢 材 牌 号	-20 ~ -10℃	低于 -20℃
Q235	0℃ 冲击韧性合格保证	-20℃ 冲击韧性合格保证
Q345、Q390、Q420	-20℃ 冲击韧性合格保证	-40℃ 冲击韧性合格保证

二、国产钢材

(一) 钢材牌号

1. 选用原则

高层建筑钢结构, 应根据其构件的重要性和焊接要求, 选用不同等级的钢材。Q235 钢的质量标准, 应符合我国现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700—2006 的规定。Q345 钢、Q390 钢和 Q420 钢的质量标准, 应符合现行国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591—1994 的规定。

2. 适用钢材

(1) 高层建筑钢结构的钢材, 宜采用 Q235C、D、E 等级的碳素结构钢以及 Q345C、D、E 等级的低合金高强度结构钢。

(2) 重要的焊接构件宜采用碳、硫、磷含量较低的 C、D、E 级碳素结构钢和 D、E 级低合金结构钢。

(3) 屈服强度超过 350N/mm^2 的高强度钢材, 需经过充分研究, 证明其性能符合要求后, 方可在抗震设防的高层建筑钢结构中应用。若用于型钢混凝土构件中, 为使型钢芯柱的屈服应变小于混凝土压碎时的应变, 钢材的强度设计值不应超过 350N/mm^2 。

3. 不适用钢材

(1) Q235A 级钢和 Q345A 级钢, 因为不能保证冷弯性能、冲击韧性和焊接需要的低含碳量, 所以不能用于高层建筑中的主要承重和承力构件。Q390 钢及桥梁钢, 伸长率小于 20%, 不宜用于高层建筑钢结构。

(2) 下列情况的承重结构和构件, 不应采用 Q235 沸腾钢。