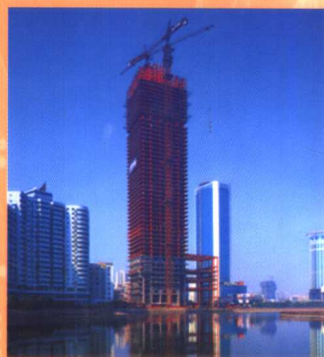


中华人民共和国国家标准

《钢结构设计规范》 专题指南

《钢结构设计规范》编制组 编著



中国计划出版社

T1391.01-65



中华人民共和国国家标准

《钢结构设计规范》专题指南

《钢结构设计规范》编制组 编著

中国计划出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中华人民共和国国家标准《钢结构设计规范》专题指南 / 《钢结构设计规范》编制组编著. —北京: 中国计划出版社, 2003. 11

ISBN 7-80177-246-6

I. 中... II. 钢... III. 钢结构-设计规范-中国-指南 IV. TU391.04-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 094106 号

中华人民共和国国家标准
《钢结构设计规范》专题指南
《钢结构设计规范》编制组 编著

☆

中国计划出版社出版
(地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)
(邮政编码: 100038 电话: 63906413 63906414)

新华书店北京发行所发行
河南富华印刷包装有限公司印刷

787×1092 毫米 1/16 11.25 印张 276 千字
2003 年 11 月第一版 2003 年 11 月第一次印刷
印数 1—20100 册

☆

ISBN 7-80177-246-6/TU·138

定价: 20.00 元

编写人员名单

(以姓氏笔划为序)

王国周	陈以一	陈绍蕃	但泽义	沈祖炎
赵熙元	张耀春	俞国音	崔佳	夏正中
夏志斌	陶红斌	聂建国	黄友明	童根树
戴国欣	魏明钟	魏潮文		

前言

《钢结构设计规范》GBJ 17—88（以下简称“原规范”）经建设部批准于1989年7月1日起在全国施行至今已达13年。在这期间，与使用规范有关的许多情况均发生了变化，这些变化都促使对原规范进行修订，以便发挥国家标准在国民经济建设中的作用。这些变化主要有：

1. 与原规范相关的许多国家标准最近两年都已先后进行修订，因此，不对原规范进行修订就不能与有关规范配套使用。

例如：确定原规范中钢结构设计原则的国家标准《建筑结构设计统一标准》GBJ 68—84已修订为《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001，其中关系密切的主要修改点有：①对结构构件承载能力极限状态的可靠指标 β 作了最小值的硬性规定。以适用于钢结构的延性破坏为例，新标准中规定安全等级为一级、二级和三级时的 β 值分别不应小于3.7、3.2和2.7。取消了老标准中“当有充分根据时，各类材料的结构设计规范中采用的 β 值可作不超过 ± 0.25 幅度调整”的注。这表明新标准要求的安全指标 β 值已作了相应的提高。符合当前我国钢产量已处于世界领导地位和建设部领导的指示精神，是适当提高我国钢结构设计总体安全度的具体体现。②新标准中新提出了“结构的设计使用年限”的要求，并规定设计使用年限分为1~5年、25年、50年、100年及以上等四个级别，分别适用于临时性结构、易于替换的结构构件、普通房屋和构筑物、纪念性建筑和特别重要的建筑结构。新标准中对“设计使用年限”定义为：“设计规定的结构或结构构件不需进行大修即可按其预定目的使用的日期。”而对老标准中即已提出、现仍保留的“设计基准期”一词定义为：“为确定可变作用及与时间有关的标准性能等取值而选用的时间参数”作了更具体的规定。除上述提到的两点外，《建筑结构可靠度设计统一标准》中还有许多新规定，这里不一一列举。

又如与原《钢结构设计规范》配套使用的国家标准《建筑结构荷载规范》GBJ 9—87，由于《建筑结构可靠度设计统一标准》的修改也已相应作了大量修改，已修订为《建筑结构荷载规范》GB 50009—2001，其中关于荷载的组合规则作了较大的修改，摒弃了“遇风组合”的旧概念，对荷载的基本组合增加了由永久荷载效应控制的组合，在正常使用极限状态设计中对短期效应组合分别给出了标准和频遇两种组合，对所有可变荷载的组合给出了各自的组合值系数。《建筑结构荷载规范》中的许多修改，必然影响原《钢结构设计规范》中的有关规定。

再如钢材的国家标准最近也作了很大的改变。以广为应用的碳素结构钢为例，原《钢结构设计规范》中所依据的是国家标准《普通碳素结构钢技术条件》GB 700—79，推荐采用其中的3号钢，而今该钢材标准已修改为《碳素结构钢》GB/T 700，原先的3号钢已为Q235钢代替，这不仅是牌号不同，钢材相应的技术条件也已作了修改。同样，原《钢结构设计规范》中推荐采用的低合金结构钢16Mn和15MnV钢，目前也已分别为新牌

号 Q345 钢和 Q390 钢所代替。随之而来钢材的各种强度设计值也势必改变。上述相关国家标准的修订,说明了对《钢结构设计规范》GBJ 17—88 进行修订的必要性。

2. 改革开放以来,国内各种钢结构建筑的兴建,包括各种大跨度钢结构、高层及超高层建筑钢结构和轻型钢结构等,如“雨后春笋”发展很快,一些新兴的钢结构制造、安装企业纷纷崛起,例如 20 世纪 80 年代中期发展起来的浙江杭萧钢结构公司经过 18 年的持续发展,已经成为一家集设计、制造、安装为一体,年产钢结构 30 万吨以上的大型钢结构专业公司。通过与全国著名企业、大专院校的专家教授精心合作,培养造就了大批钢结构设计、制造、安装的专业人才。自 90 年代以来承接了上汽集团奇瑞公司厂房(25 万平方米)、新疆广汇建材物流园(多层 57 万平方米)、杭州瑞丰国际商务大厦(高层 5 万平方米)、武汉国际证券大厦(超高层 12 万平方米)等全国众多大型工程项目的设计与施工,取得了骄人的业绩。由此可见,在全国钢结构建筑的大量设计中积累了许多成功的经验,钢结构的设计规范应对之及时进行总结和采用;另一方面,原规范反映出的一些设计问题也亟待解决。例如原规范第 8.1.3 条规定焊接结构中焊件的厚度,低碳钢不宜大于 50mm,低合金钢不宜大于 36mm,因而在第 3.2.1 条中也只给出了上述厚度以下钢材的各种强度设计值。实际上超高层建筑钢结构和各种重型厂房中厚度为 80mm、90mm 等厚钢板已早在应用,不对原规范有关部分进行修订,势必影响工程建设设计的顺利进行。

3. 国内各工程设计、施工单位,科研机构 and 高等院校近年来充分总结了我国工程设计中多年以来成熟的实践经验和原规范实施以来的使用经验,开展了有关专题的科学研究并相继取得了成果,但这些内容在制定原规范时由于有的还未研究或有的还未取得成果而无法列入规范,而今亟应补充列入。例如由厚板($t \geq 40\text{mm}$)组成的轴心受压构件,目前应用较多,在原规范中其柱子曲线因当时对厚板柱未深入研究只能笼统地将其归属为 c 曲线,而今则有了研究成果,可分别按不同截面形式和不同屈曲方向分别列为 a、b、c 和 d 4 条柱子曲线(d 曲线是新增的),可使设计取得更经济和合理的结果。又如对节点连接的板件,原规范中无计算公式,而今则根据研究成果就有条件列入,解决了过去桁架节点板厚度只能查设计手册确定的问题。新研究成果的补充,可使修订后的规范更为完善。

4. 近十多年来,国外一些主要的钢结构设计规范相继进行了修订。加入 WTO 后,我国的规范应尽量与国外的主要设计规范“接轨”,吸取他们的先进经验为我所用。前面已提到的近年来我国的钢材国家标准进行了很大的修订,主要都是参照了国际标准化组织(ISO)的相关标准修订而成。

上述 4 点简要地说明了对原规范亟需进行修订的必要性。据此,北京钢铁设计研究院《钢结构设计规范》国家标准管理组遵照建设部建标[1997]第 108 号文通知的要求,会同全国有关单位于 1997 年 12 月组成了修订编制小组,对原规范进行了全面修订。2001 年 12 月在北京召开了现规范的部审会议,由建设部聘请各有关行业的专家对修订后的规范“送审稿”进行了评审。随后,根据评审意见于 2002 年 6 月完成“报批稿”送建设部审批。

此次修订的技术依据主要有:

1. 原规范实施以来各方面的反馈意见,包括修订前向各有关单位再次征求意见。
2. 与本设计规范相关的我国国家标准的最新修订版。
3. 国内各有关单位近年来完成的有关科研成果和大量钢结构工程的实践经验总结。

4. 国外主要国家的钢结构设计规范的最新修订版本及有关资料。

5. 以本规范修订稿与有关的其他新、旧标准作不同的组合,进行工程试设计对比的设计总结。

对原规范进行修订的要求是使修订后的规范具有先进性、合理性和可操作性,并尽可能地与国外先进规范“接轨”。

根据试设计的总结,按《建筑结构荷载规范》GB 50009—2001 和《钢结构设计规范》GB 50017—2003 (以下简称现规范)设计的结构物,其用钢量一般都比按上述两种老规范设计的有不同程度的少量增加。例如,对单层重型工业厂房和公路收费站屋顶网架,其用钢量一般约增加 3%~4%。崔佳等人合写的“《钢结构设计规范》GB 50017—2003 荷载及设计指标的变化对钢结构用钢量的影响”一文中对此作了介绍(此文载《建筑结构学报》2002 年 6 月,第 23 卷第 3 期),可以参阅。用钢量之所以增加,主要是由于现规范中荷载及各种设计指标的取值作了较大的调整,此外对原规范中某些不甚合理的规定也已作了修订。现各举一例作为说明:①老荷载规范中各地雪、风等的基本值是根据 30 年一遇统计得出的,而现行荷载规范则是根据 50 年一遇得出的,因此荷载基本值增大了约 10%。②现规范中 Q345 钢(即原规范中的 16Mn 钢)的抗力分项系数 γ_R 由 1.087 改为 1.111,因此其抗拉、拉压和抗弯的强度设计值由原来的 315N/mm^2 降低为 310N/mm^2 ,仅此一项用钢量即可能增加 1.6%。诸如此类或因荷载值调高,或因钢材设计指标调低而使结构用钢量有少量增加,对此是否可理解为结构的可靠度(或安全度)合理的加大,而不是修订后的“倒退”。

原规范共有 12 章、201 条和 8 个附录。修订后的现规范中共有 11 章(删去原第 11 章)、237 条(不包括第二章术语和符号)和 7 个附录(删去原附录二、六和七,新增附录 A 和附录 F),其中新增及对原条文进行修改的约 150 条,占原有条文 201 条的 75%。因此这次修订的面较广,为全面修订。

在规范第一次修订工作会议上,大家对本规范的性质统一了认识,认为《钢结构设计规范》应该是一本通用性较强的基础性规范,其内容应包括设计各种钢结构时所共同需用的规定,如各种设计指标和各基本构件和连接的计算和构造要求等。针对某一结构体系所特有的内容应列入各种设计规程或设计手册。修订本编制组在向各方面征求意见时,不少单位提出修订后的规范中应增加有关门式刚架和高层建筑钢结构等的设计规定。鉴于针对这些特定结构的设计已有相应的设计规程,故对这些意见未予采纳。对原规范中的第十一章“圆钢、小角钢的轻型钢结构”,在对送审稿的审查会议上多数人认为这章内容是在 20 世纪 70 年代条件下制定的,目前情况下已不宜再列入国家标准,建议取消。原规范的附录六和附录七即“螺纹的有效面积”和“非法定计量单位和法定计量单位的换算关系”也都应该是设计手册中的内容,不宜列入国家标准,现规范中已将其取消。

下面按章次列举《钢结构设计规范》GB 50017—2003 中的主要修订内容。

1. 第 1 章 总则

新老规范中均包含 6 条,其中主要有 3 条作了修改,第 1.0.2 条说明现规范的适用范围,增添了“……其中,由冷弯成型钢材制作的构件及其连接应符合现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的规定”。这是鉴于目前很多钢结构房屋建筑中经常同时使用冷弯型钢与普通热轧型钢。例如屋盖结构中的屋架由热轧角钢或 T 形钢组成,

而檩条则采用 Z 形钢、屋面采用压型钢板等冷弯成型的钢材制成。因此, 就应分别满足本规范和 GB 50018 这两个规范的规定。这是因为热轧和冷成形两种钢材的技术性能有所不同之故。

现规范第 1.0.3 条中添加了按本规范设计时应同时使用现行的与本规范配套的《建筑结构荷载规范》等内容。这点应引起设计人员的注意, 不能在采用《钢结构设计规范》GB 50017 时, 而荷载规范又采用修订前的 GBJ 9—87。此外, 设计地震区的钢结构时还必须与新修订的《建筑抗震设计规范》等配套使用。

第 1.0.5 条规定了在结构设计文件中必须注明的事项, 目的是与钢结构制造和安装单位“沟通”, 以保证工程质量。内容包括所用钢材的牌号, 连接材料的型号和对钢材所要求的力学性能、化学成分及其他附加保证项目等。修订后特别增加必须说明的内容有: 该结构的设计使用年限、焊缝的形式、焊缝的质量等级、刨平顶紧部位以及对施工等的其他要求。要注意这条是强制性条文, 全文用黑体字印刷。如不严格执行将受到高额罚款等处罚。

对钢材和连接材料的说明必须符合新修订的钢材和连接材料的国家标准。过去设计人员习惯使用的钢材标号如 3 号钢、16Mn 钢等已废止不用, 不能再出现在设计图纸上。过去用钢材的老国家标准时, 强调钢材的炉种, 认为平炉钢的质量最好, 而目前由于冶炼技术的进步, 平炉钢因价格昂贵已很少采用, 而为氧气转炉钢所替代。新的钢材国家标准中明确规定: 除非需方有特殊要求, 并在合同中注明, 冶炼方法一般由供方自行决定。

对设计图纸上的所有焊缝都应注明所要求的焊缝质量等级, 以便在制造和安装时根据《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205—2001 对焊缝的质量进行检验。现规范第 7.1.1 条给出了根据焊缝的重要性、荷载特性和焊缝形式等情况选用焊缝质量等级的原则规定, 供设计人员使用。

2. 第 2 章 术语和符号

本章是根据建设部建标 [1996] 626 号文《工程建设标准编写规定》而新增加的。术语一节中列出了《建筑结构设计术语和符号标准》GB/T 50083—97 中没有的术语共 32 个, 每个词后列出英文译名和简单定义。符号一节则按类别分别以汉语拼音字母或希腊字母的次序列出。本规范各章中所用符号除第一次出现时作出解释外, 以后出现时一般不再作说明。常用的重要符号在第 2 章中集中列出, 可方便查用。原规范中也集中列出了符号, 本次修订时作了较多的补充。

3. 第 3 章 基本设计规定

本章包含原规范的第二章材料和第三章基本设计规定。主要的修改内容有:

(1) 增加了“荷载和荷载效应”一节。着重提出了对无支撑框架宜采用考虑变形对内力影响的二阶弹性分析方法。取消了吊车梁(桁架)设计中原规范中规定的吊车横向水平荷载增大系数, 给出了重级工作制吊车梁(桁架)考虑吊车摆动产生的横向水平力的计算公式。

(2) 材料全按新的国家标准给出, 除原有相当于 Q235 钢、Q345 钢和 Q390 钢外, 新增补了 Q420 钢。

(3) 对钢材材性提出了较严格的要求。按新的钢材国家标准, 调整了有关设计指标。

(4) 对结构和构件变形的规定在规范正文中只提设计原则,将具体的变形限值编为附录 A。同时对个别条款如第 3.5.1 条中亦新增加了“当有实践经验或有特殊要求时,可根据不影响正常使用和观感的原则对附录 A 的规定进行适当地调整”的一般规定。此外,还新增了对横向结构或横向构件的起拱要求和单层厂房在风荷载标准值作用下框架柱顶水平位移和层间相对位移限值的规定。对吊车的挠度计算改为按跨间起重量最大的一台吊车考虑,并对附录 A 表 A.1.1 中吊车梁的挠度限值作了调整,以符合正常使用极限状态的要求。

4. 第 4 章 受弯构件的计算

第 4.1 节强度中对集中荷载在腹板高度上边缘的假定分布长度公式作了调整,取:

$$l_z = a + 5h_y + 2h_R$$

代替原规范中式 (4.1.3-2), 即:

$$l_z = a + 2h_y$$

这主要是根据国外的研究和试验结果,将荷载在梁翼缘部分的分布角度由 1:1 加大为 1:2.5。本节其他内容无实质上的修改。

第 4.2 节整体稳定及附录 B 中,主要修改点有:

(1) 增加了热轧 H 型钢截面简支梁的整体稳定系数 φ_b 的规定。

(2) 修改了 φ'_b 的计算公式。当 $\varphi_b > 0.6$ 时,取 $\varphi'_b = 1.07 - 0.282/\varphi_b \leq 1.0$ 代替原规范中的附表 1.2 及计算公式,即:

$$\varphi'_b = 1.1 - 0.4646/\varphi_b + 0.1269/(\varphi_b^{1.5})$$

原规范中的 φ'_b 是试验统计曲线的拟合公式,不是理论公式。现用新公式取代,误差很小,但可简化计算并与《冷弯薄壁型钢结构技术规范》中的同类公式形式上保持一致。

(3) 对附录 B.5 中 T 形截面当弯矩使翼缘受拉时的 φ_b 近似公式由原规范中的 $\varphi_b = 1.0$ 修改为:

$$\varphi_b = 1 - 0.0005\lambda_y \sqrt{f_y/235}$$

提高了 φ_b 的精确度。

第 4 章中修改最多的是腹板的计算,可以说是进行了全面的修改,即取消了原规范第三节“局部稳定”中由直接计算求加劲肋间距的公式和整个附录二“梁腹板局部稳定的计算”。

在现规范第 3 节“局部稳定”中修改了单项临界应力的计算公式,考虑了腹板中初始缺陷的影响和非弹性工作时的修正,原规范中假定腹板为理想平直和无限弹性,显然不符合实际。对多项应力组合下的腹板屈曲相关公式也作了相应的修改。

众所周知,腹板屈曲后因产生薄膜应力的张力场而具有屈曲后强度,而原规范中对此未加考虑。现新增第 4.4 节,对承受静力荷载和间接承受动力荷载的梁的腹板,规定可不计算其局部稳定而利用其屈曲后强度,可获得相应的经济效果。

对腹板计算的上述两项新增内容,以后将作专门介绍。

5. 第 5 章 轴心受力构件和拉弯、压弯构件的计算

在第 5.1 节“轴心受力构件”的计算中作了如下修改:

(1) 对单轴对称截面的压杆绕对称轴失稳的验算,改用考虑弯扭屈曲的换算长细比代替原先采用按弯曲失稳的长细比 λ_y ,使计算更符合实际。对常用的单角钢和双角钢组合 T 形截面列出了换算长细比的简化公式。

(2) 对厚度 $t \leq 40\text{mm}$ 的各种截面分成 a、b、c 三类,根据截面形式和残余应力的分

布两个因素对原规范作了少量调整。如对焊接箱形截面,原规范中划为 b 类,而现行的规范中则区分板件宽厚比是否大于 20,当板件宽厚比大于 20 时为 b 类,而小于等于 20 时则为 c 类,见现规范表 5.1.2-1。

对板厚 $t > 40\text{mm}$ 的工字形截面和箱形截面新增了分类表(见现规范表 5.1.2-2)。

(3) 增加了适用于厚度大于 40mm 的 d 类截面的 $\lambda \sim \varphi$ 曲线。

(4) 修改了减小受压构件和梁及压弯构件受压翼缘侧向无支承长度的中间侧向支承,支撑力的计算方法。

原规范中借用压杆假想剪力 $\frac{Af}{85\sqrt{235}}\sqrt{\frac{f_y}{235}}$ 作为支撑力,理论上存在缺陷,不符合实际。现修改为(当中间有一侧向支承时):

$$F_{bl} = N/60$$

此外,还增加了对柱间有 m 道等间距侧向支承时,及被撑构件为多根柱的柱列时的支撑力计算公式,见现规范第 5.1.7 条。

对第 5.2 节“拉弯构件和压弯构件”的修改较少,仅对验算稳定的两个公式中的欧拉力 N_{Ex} 考虑了抗力分项系数后改用了 $N'_{Ex} = \pi^2 EA / (1.1\lambda_x)^2$,对等效弯矩系数 β_{mx} 作了局部修改。

在第 5.3 节中,修改了桁架交叉腹杆中压杆在平面外计算长度的规定,使其所包括的情况更全面,见现规范第 5.3.2 条。

对等截面柱的框架稳定计算,原规范中只绝对地区分为两种情况:有侧移框架和无侧移框架,而实际情况常有介于这两个绝对情况间的框架。如把这类框架一律视为原规范的有侧移框架,将增大柱截面而多费钢材。现规范中把框架分为三类:无支撑纯框架(相当于原规范的有侧移框架)、强支撑框架(相当于原规范中的无侧移框架)和弱支撑框架(即介于中间情况的框架)。提出了这三类框架的界定方法和柱计算长度的计算方法,使之更符合工程实际而取得经济效果。见现规范第 5.3.3 条。

在第 5.4 节“受压构件的局部稳定”中,根据最新的理论和试验研究结果,修订了原规范中 T 形截面受压构件中为保证局部稳定对腹板高厚比的限值,从而为剖分 T 形钢的应用创造了条件。

6. 第 6 章 疲劳计算

主要作了如下两点修改:

(1) 对需要进行疲劳计算的应力变化循环次数 $n \geq 10^5$ 次调整为 $n \geq 5 \times 10^4$ 次,是参考了国外的规定并结合建筑钢结构的实际情况,扩大了需要计算疲劳的范围以增加相关结构的安全度。

(2) 对疲劳计算的构件和连接分类(现规范附录 E)中的项次 1~5 和项次 14 的说明作了修改。

7. 第 7 章 连接计算

本章的主要修改点有:

(1) 明确提出了对选定焊缝质量等级的原则和规定,方便设计人员使用。

(2) 修改了斜角角焊缝计算厚度的计算方法。

(3) 对高强度螺栓的摩擦型连接,调整了部分摩擦面的抗滑移系数,对一个螺栓的

预拉力 P 值改用螺栓材料的抗拉强度为准, 考虑必要的系数按螺栓的有效截面计算得出, 因而对性能等级为 8.8 级的高强度螺栓的预拉力 P 有较大的提高。例如对 M22 的 8.8 级螺栓原规范中 $P = 135\text{kN}$, 而现规范中 $P = 150\text{kN}$, 增大了 11%。

(4) 对高强度螺栓的承压型连接作了如下的修正: 连接处构件接触面的处理仅要求清除油污及浮锈; 每个高强度螺栓沿杆轴方向受拉的承载力设计值原规范为 $N_t^b = 0.8P$, 现改为 $N_t^b = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^b$, 对 8.8 级螺栓取 $f_t^b = 400\text{N/mm}^2$, 对 10.9 级螺栓取 $f_t^b = 500\text{N/mm}^2$; 不要求在抗剪连接和同时抗剪和抗拉的连接中其 N_t^b 不得大于摩擦型连接 N_v^b 的 1.3 倍。

(5) 新增了梁柱刚性连接处的计算规定。

(6) 增加了平板支座和球形支座的规定, 修订了弧形支座和辊轴支座的计算公式。

8. 第 8 章 构造要求

本章中修改和增添的条文最多。原规范本章共 60 条, 现为 71 条, 其新增和修改的条文为 32 条, 为原规范条文的 53%, 其中大部分是个别修改, 重点增加的有 3 处: 其一是“柱脚”部分, 增加了目前应用较多的插入式柱脚、埋入式柱脚和外包式柱脚有关设计和构造规定; 其二是增加了大跨度屋盖结构的有关构造要求和设计规定; 其三是增加了提高寒冷地区结构抗脆断能力的构造要求。此外, 还增加了有关钢结构防腐蚀、防锈和防火的条文。本章共有强制性条文 4 条, 应引起注意。

9. 第 9 章 塑性设计

主要修改有两点: 其一是取消了原规范中的第 9.1.3 条, 即在塑性设计时, 有关钢材和连接强度的设计值应乘折减系数 0.9。认定此点根据不足。其二是把对进行塑性设计的结构钢材应满足的力学性能正式列入条文内, 包括钢材的强屈比 $f_u/f_y \geq 1.2$, 伸长率 $\delta_5 \geq 15\%$ 和钢材抗拉强度 f_u 的应变 ε_u 不应小于屈服点 f_y 的应变 ε_y 的 20 倍, 即 $\varepsilon_u \geq 20\varepsilon_y$ 。

10. 第 10 章 钢管结构

首先, 在圆管结构的节点承载力计算方面, 除对原规范已有的平面节点承载力计算公式根据收集到的最新试验数据进行比较分析后作了个别修正外, 还增补了空间管节点 TT 型节点和 KK 型节点的节点承载力计算公式。其次是新增了方管 (包括矩形管) 的节点强度计算公式和有关构造规定。

11. 第 11 章 钢与混凝土组合梁

主要修改点有四。其一是增加了连续组合梁负弯矩部位的计算方法; 其二是增补了楼板为压型钢板混凝土组合板的组合梁的计算方法和构造要求; 其三是增补了“部分抗剪连接”的组合梁的计算方法和构造要求; 其四是修订了挠度计算方法。经此补充和修订后使本章的应用范围大大扩展。此外, 对原规范中的圆柱头栓钉连接件的承载力设计值计算公式作了局部修改。还取消了组合梁设计中原规范关于钢梁的强度设计值应乘折减系数 0.9 的规定。

本书将对规范修订后需作详细说明的内容分专题介绍。

目 录

前言

一、基本设计规定	(1)
1. 关于重级工作制吊车梁上由吊车摆动引起的横向水平力	(1)
2. 关于框架结构的内力分析	(2)
二、材料选用和设计指标	(8)
1. 材料选用	(8)
2. 设计指标	(10)
三、钢材的材性统计分析及新设计规范的安全度	(12)
1. 国产建筑结构钢材性参数分析	(12)
2. 《钢结构设计规范》GB 50017—2003 的总体安全度	(14)
四、受弯构件的计算	(19)
1. 梁腹板局部稳定	(19)
2. 腹板的屈曲后强度	(28)
五、轴心受力构件和拉弯、压弯构件	(33)
1. 轴心受压构件	(33)
2. 压弯构件和框架柱	(41)
3. 减小压杆计算长度的支撑	(46)
4. 强支撑框架和弱支撑框架	(57)
六、疲劳计算	(62)
1. 概述	(62)
2. 设计表达式	(62)
3. 连接分类 ($S-N$ 曲线族)	(66)
4. 常幅疲劳与变幅疲劳以及欠载效应与欠载效应的等效系数	(68)
5. 其他	(70)

七、连接计算	(71)
1. 焊缝连接	(71)
2. 普通螺栓连接	(88)
3. 高强度螺栓连接	(90)
4. 组合工字梁翼缘连接	(96)
5. 梁与柱的刚性连接	(96)
6. 连接节点处板件的计算	(99)
八、构造要求	(103)
1. 一般要求	(103)
2. 焊缝连接的构造要求	(106)
3. 螺栓连接和铆钉连接	(113)
4. 结构构件的构造要求	(115)
九、塑性设计	(129)
十、圆管结构	(131)
1. 概述	(131)
2. 平面相贯节点的静力强度	(132)
3. 焊接要求及焊接强度计算	(137)
4. 空间相贯节点的静力强度	(138)
5. 节点刚度	(140)
6. 反复荷载作用下的节点承载性能	(141)
十一、方管及矩形管结构	(144)
1. 直接焊接方、矩形管结构的优点和应用范围	(144)
2. 节点形式和构造要求	(145)
3. 杆件和平面管节点的承载力	(148)
4. 国内外方、矩形管节点承载力计算公式的安全系数比较	(154)
5. 例题	(154)
十二、钢-混凝土组合梁	(158)
1. 概述	(158)
2. 抗剪连接件设计	(159)
3. 部分抗剪连接组合梁的设计	(161)
4. 钢-混凝土叠合板组合梁	(162)
5. 组合梁挠度计算	(163)
6. 连续组合梁的设计计算	(165)
7. 结论	

一、基本设计规定

新修订后的规范第3章包含5节,即设计原则、荷载和荷载效应的计算、材料选用、设计指标和结构或构件变形的规定。其中材料选用和设计指标两节将在下一专题中介绍。设计原则一节主要介绍本规范除疲劳计算外采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,用分项系数设计表达式进行计算,这与原规范的规定相同,只是由于设计统一标准和荷载规范的修订,因此有些条文也作了相应的修改。第5节“结构或构件变形”的规定已在本书前言中作了简要介绍,这里对上述第1节和第5节将不多作说明。下面将重点介绍荷载和荷载效应计算中的两条,即现规范的第3.2.2条和第3.2.8条。

1. 关于重级工作制吊车梁上由吊车摆动引起的横向水平力(现规范第3.2.2条)

工业厂房中由吊车产生的荷载在《建筑结构荷载规范》中已有明确规定,但该规范中规定的吊车横向水平荷载只是考虑了桥式吊车上由横行小车的制动而产生的荷载。事实上吊车行走时由于桥架横向摆动和桥架歪斜行走而产生的另一种横向水平荷载(俗称为卡轨力)对重级工作制吊车来讲常远大于荷载规范中规定由小车制动而产生的荷载。1974年颁布的《工业与民用建筑结构荷载规范》TY 9—74中对此卡轨力对重级工作制吊车梁的影响曾用吊车横向水平荷载的增大系数来考虑。鉴于此种重级工作制吊车梁往往只能采用钢吊车梁,因而在20世纪80年代修订荷载规范时把吊车横向荷载增大系数这一条文取消,而把它移入《钢结构设计规范》GBJ 17—88(见原规范第3.1.8条)。用横向荷载增大系数来考虑卡轨力,主要是参考了前苏联20世纪50年代的有关设计规范。这个办法有两点不甚合理。其一是卡轨力和小车横向制动力是两种不同原因产生的力,现用小车横向制动力乘以增大系数来考虑卡轨力的影响,不甚合理;其二,条文对验算吊车梁的稳定性和强度、对计算吊车梁、制动梁和柱相互间的连接强度采用两种不同的增大系数,前者的增大系数为后者的1/2,根据似乎不足。过去按此办法设计的重级工作制吊车梁上翼缘附近时有发生损坏而需修补。20世纪70年代前苏联的设计规范中也已取消了增大系数这一规定。

现规范取消了原规范中第3.1.8条,而改为现规范的第3.2.2条。新条文主要是根据赵熙元高工的工作提出的(参见《钢结构》期刊1992年第2期“重级工作制吊车横向水平力计算的建议”,其要点是:

(1) 明确提出由吊车横向摆动而引起的横向水平力按下式计算:

$$H_k = \alpha P_{k\max}$$

式中 H_k ——作用于每个吊车轮压处此水平力的标准值;

$P_{k\max}$ ——吊车最大竖向轮压标准值;

α ——系数,对一般软钩吊车,取 $\alpha=0.1$;抓斗和磁盘吊车宜采用 $\alpha=0.15$;硬钩

吊车宜采用 $\alpha = 0.2$ 。

这里规定 H_k 与 $P_{k\max}$ 成正比, 而不是与横向制动力成正比。

(2) 明确提出此水平力不与荷载规范中的横向水平力同时考虑。

(3) 对吊车梁和连接的计算采用相同的 H_k 值。赵熙元的文章中分析, 新规定的横向水平力与美国规范中规定的大致相当。通过试设计, 按新规定的横向水平力设计的吊车梁可能用钢量比前有所增加 (约 5%), 不过这种增加增大了吊车梁的安全度, 是合理的 (前面已说到, 按过去的计算, 吊车梁上翼缘附近时有损伤发生, 说明其安全度不足)。

2. 关于框架结构的内力分析 (现规范第 3.2.8 条)

现规范中新增了第 3.2.8 条, 对框架结构的内力分析作了规定, 其内容可归纳为:

(1) 框架可采用一阶弹性分析。

(2) 对 $(\sum N \cdot \Delta u) / (\sum H \cdot h) > 0.1$ 的有侧移框架宜采用二阶弹性分析, 此时应在每层柱顶处附加考虑假想水平力 H_{ni} ; 其值为:

$$H_{ni} = \frac{\alpha_y Q_i}{250} \sqrt{0.2 + \frac{1}{n_s}} \quad (1.1)$$

式中 $\sum N$ ——所计算楼层各柱轴心压力设计值之和;

$\sum H$ ——产生层间侧移 Δu 所计算楼层及以上各层的水平力之和;

Δu ——按一阶弹性分析求得的所计算楼层的层间位移; 当按上述不等式确定是否需采用二阶弹性分析时, Δu 可近似采用层间相对侧移的容许值 $[\Delta u]$ 代替, $[\Delta u]$ 见现规范附录 A.2;

h ——所计算楼层的高度;

H_{ni} ——第 i 层柱顶的假想水平力 [角标 n 代表假想力 (notional force), i 代表第 i 层];

Q_i ——第 i 楼层的总重力荷载设计值;

n_s ——楼层总层数 (number of stories);

α_y ——钢材的屈服强度 (yield strength) 影响系数; 对 Q235 钢, $\alpha_y = 1.0$; 对 Q345 钢, $\alpha_y = 1.10$; 对 Q390 钢, $\alpha_y = 1.20$; 对 Q420 钢, $\alpha_y = 1.25$ 。

(3) 当采用二阶弹性分析时, 可用下列近似公式计算各杆杆端弯矩 M_{II} (下角标罗马字 II 代表二阶分析的结果) 为:

$$M_{II} = M_{Ib} + \alpha_{2i} M_{Is} \quad (1.2)$$

式中 M_{Ib} ——假设框架无侧移时 (braced) 按一阶弹性分析求得的各杆杆端弯矩 (下角标罗马字 I 代表一阶分析);

M_{Is} ——框架侧移 (side sway) 时按一阶弹性分析求得的各杆杆端弯矩;

α_{2i} ——考虑二阶效应第 i 层杆件杆端弯矩增大系数。

$$\alpha_{2i} = \frac{1}{1 - \frac{\sum N \cdot \Delta u}{\sum H \cdot h}} \quad (1.3)$$

(4) 当计算得的 α_{2i} 大于 1.33 时, 宜增大框架柱的刚度 EI 。

下面对上述有关框架分析的规定作出简单说明。

(1) 关于一阶弹性分析和二阶弹性分析

所谓弹性分析是指结构处于弹性工作阶段。一阶分析时力的平衡条件按变形前的杆件轴线建立，而二阶分析中则按发生变形后的杆件轴线建立。《结构力学》中介绍的方法和位移法都是一阶弹性分析，《结构弹性稳定》中计算结构稳定性用的则都是二阶弹性分析。为了说明二者的区别，现以图 1.1 所示悬臂柱当自由端作用轴心荷载 P 和水平荷载 H 的例子进行比较。图中均以自由端为坐标原点。

图 1.1 (a) 为一阶弹性分析时的计算简图，其计算结果是：

固定端 A 的最大弯矩为 $M_I = Hh$

自由端的最大位移为 $\delta_I = Hh^3 / (3EI)$

位移公式见材料力学书籍，式中 δ_I 与 H 呈线性关系，与竖向荷载 P 无关。

图 1.1 (b) 和 (c) 为二阶弹性分析时的计算简图，其计算结果是：

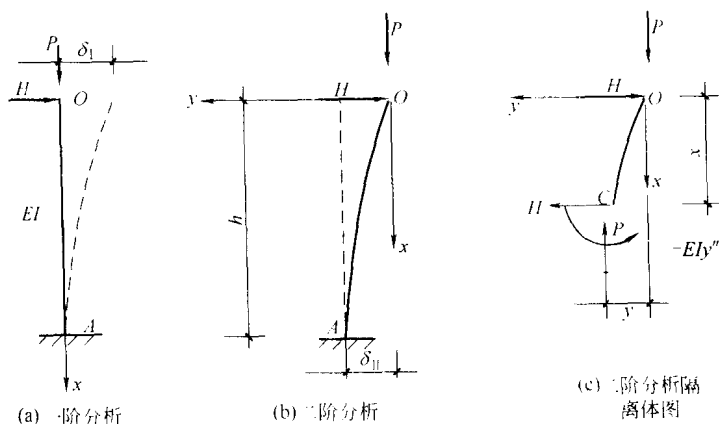


图 1.1 悬臂柱分析

固定端 A 的最大弯矩 $M_{II} = P\delta_{II} + Hh$

自由端最大位移为：

$$\delta_{II} = \frac{Hh^3}{3EI} \cdot \frac{3(\operatorname{tgu} - u)}{u^3} \quad (1.4)$$

式中 $u = h \sqrt{\frac{P}{EI}}$ ，由图 1.1 (c) 所示隔离体的平衡方程

$$EIy'' + Py + Hx = 0$$

求出弹性曲线 $y = f(x)$ ，取 $x = h$ 时可得 δ_{II} 。由 (1.4) 式可见，若荷载 H 与 P 按比例同时增加，即取 $H = \alpha P$ ， α 为一常数，即位移 δ_{II} 与 P 和 H 呈非线性关系。

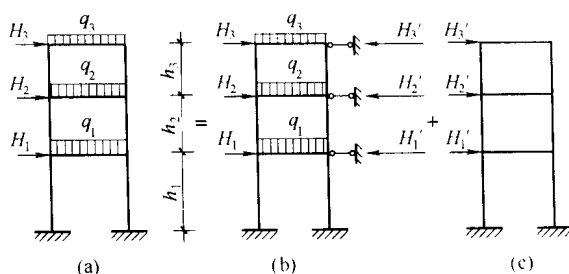
比较两种分析方法，可见二阶弹性分析的结果更接近于实际，但计算工作量则大大增加；结果的公式也较复杂且包含超越函数。考虑及此，对框架的内力分析，现规范规定当框架柱的刚度较小侧移较大时，即 $\sum N \cdot \Delta u > 0.1(\sum H \cdot h)$ 时才宜采用二阶弹性分析，同时还推荐了可用于框架二阶弹性分析的近似方法。

(2) 关于框架二阶弹性分析时杆端弯矩的近似解

在框架一阶弹性分析用弯矩分配法求解时，常可将求解分解成两步走。第一步是假设

框架有侧移的节点处各有一约束其侧移的支承,使框架成为无侧移框架 (braced frame) (如图 1.2b), 分析此框架得到各杆杆端弯矩 M_{lb} 和各假想约束处的约束力; 第二步是将各约束力反向作用在框架的各节点处 (如图 1.2c), 求得框架侧移时的各杆杆端弯矩 M_{ls} 。最后将图 1.2 (b) 与 (c) 的解叠加, 即得原框架图 1.2 (a) 的各杆杆端弯矩, 如下式所示:

$$M_l = M_{lb} + M_{ls} \quad (1.5)$$



$$(a) = (b) + (c)$$

图 1.2 框架一阶弹性分析

框架二阶弹性分析的近似解将利用一阶弹性分析的 (1.5) 式, 但对其中的 M_{ls} 项乘以增大系数 α_{2i} , 即:

$$M_{II} = M_{lb} + \alpha_{2i} M_{ls} \quad (1.6)$$

用此简化公式, 不需要进行复杂的计算, 因而计算得以大大简化。经分析, 当 $\sum N \cdot \Delta u / (\sum H \cdot h) \leq 0.25$ 时 (即 $\alpha_{2i} \leq 1.33$ 时), 简化公式 (1.6) 精度较高。规范规定当 $\alpha_{2i} > 1.33$ 时, 为避免过大误差宜增大框架结构的刚度, 重新计算。要注意的是上述公式 (1.5) 利用了叠加原理, 而公式 (1.6) 不是叠加原理, 只是二阶分析的一个近似公式。

二阶分析增大系数 α_{2i} 可利用图 1.1 所示的悬臂柱进行推导。按一阶弹性分析时分两步走, 可得一阶弹性分析时柱下端的弯矩, 即:

$$M_{lb} = 0, \quad M_{ls} = Hh \quad (a)$$

二阶弹性分析时, 柱下端的弯矩精确解为:

$$\begin{aligned} M_{II} &= Hh + P\delta_{II} \\ &= Hh + P \left(\frac{Hh^3}{3EI} \right) \frac{3(\operatorname{tg} u - u)}{u^3} \end{aligned} \quad (b)$$

$$\text{式中 } u \text{——参数, } u = h \sqrt{\frac{P}{EI}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{P}{P_E}}; \text{ 其中:} \quad (c)$$

$$P_E \text{——悬臂柱的欧拉荷载, } P_E = \frac{\pi^2 EI}{4h^2}。$$

现把 $\operatorname{tg} u$ 展开成级数:

$$\operatorname{tg} u = u + \frac{1}{3}u^3 + \frac{2}{15}u^5 + \frac{17}{315}u^7 + \dots \quad (d)$$

把 (c) 和 (d) 式代入 (b) 式第二项中的超越函数, 可得: