

建筑结构新规范系列培训读本

钢 结构

设计规范理解与应用

崔 佳 | 魏明钟
赵熙元 | 但泽义 编著

GANGJIEGOUSHEJIGUIFANLIJIEYUYINGYONG

中国建筑工业出版社

建筑结构新规范系列培训读本

钢结构设计规范理解与应用

崔 佳 魏明钟
赵熙元 但泽义 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构设计规范理解与应用/崔佳等编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2004
(建筑结构新规范系列培训读本)
ISBN 7-112-06337-X

I. 钢... II. 崔... III. 钢结构—设计规范—技术
培训—教材 IV. TU391-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 008926 号

建筑结构新规范系列培训读本
钢结构设计规范理解与应用

崔佳 魏明钟 编著

赵熙元 但泽义

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
新华书店经销
北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22 字数: 536 千字
2004 年 3 月第一版 2004 年 3 月第一次印刷
印数: 1—10,000 册 定价: 28.00 元

ISBN 7-112-06337-X
TU·5592(12351)

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)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

自 1988 年国家标准《钢结构设计规范》GBJ 17—88 发布之后，我国建筑钢结构经历了历史上最快速发展的时期，88 规范的许多条文亟待进一步完善和补充。在规范修订和管理单位北京钢铁设计研究总院的主持下，自 1997 年开始《钢结构设计规范》GBJ 17—88 进行全面修订。修订过程中规范修订组总结了原 GBJ 17—88 规范存在的问题与不足，针对我国建筑钢结构快速发展的市场背景，吸收了国内外最新研究成果，数易其稿，完成了新的《钢结构设计规范》GB 50017—2003。

本书介绍了《钢结构设计规范》GB 50017—2003 中对材料、计算方法以及构造要求等的理论和试验依据，力图帮助读者对新规范有比较系统、全面和清晰的理解。同时，还介绍了在实际工程中如何具体应用规范条文，以及在实际应用中应注意的一些问题。

为适合广大工程技术人员阅读，本书在公式推导和规范修订背景材料介绍中，较全面具体，但对繁琐的数学、力学问题未进行详细的叙述，只指出出处供读者查阅。全书共分为十一章，除第一、二章外，其余各章的编排及章名与规范正文相一致，以便对照阅读。

我国建筑钢结构领域知名的老一辈专家赵熙元为本书的编撰倾注了大量的心血，并为各章内容进行了初步的铺垫。不幸的是，书稿尚未完成，赵老却因病溘然辞世。在此，谨以此书表达我们对赵老深深的怀念。

由于作者的水平有限，同时，所做工作难免存在一些局限性，书中的一些疏漏和不当之处，还望读者批评指正。

第 1 版前言

人类对材料感兴趣，是因为材料具有对人类有用的“性能”。对性能的分析方法都与材料的“结构”有关，或者采用“相关法”，建立性能与结构之间的相关关系，然后再通过结构的改变去控制性能；或者采用“过程法”，从外因如何通过材料的内部结构而发生的变化，去深入地理解与控制性能。因此，材料的结构及其转变——合金相及相变，在材料科学与工程这个领域中，占有重要的地位。

全世界的科技资料数量每年以指数函数的关系在迅速地积累，这使教师在选材上，对内容的深度和广度的平衡上，遇到了很多的困难，但是，在另一方面，学科的进展却使貌似不同的许多现象得到了物理本质的统一，这将为教与学的少而精提供基础。

更重要的是，教学与科研的实践影响了我们学术思想的形成和发展。在 20 世纪 60 年代，北京钢铁学院金属物理专业采用五年半的学制，对合金相与相变这部分的内容讲授得较细致。柯俊同志担任马氏体转变及扩散的讲授，我担任合金相理论及脱溶沉淀方面的讲授，并编写了有关讲义；随后，杜国维、倪瑞澄、田中卓、周政谦四位同志分别承担了这些内容的讲授。在 20 世纪 70 年代中期，我讲授了合金相及相变的全部内容，并编写了讲义《金属物理——第一分册》。在 80 年代，杜国维、田中卓、高配钰、朱逢吾、姚玉琴五位同志，在四年制的教学计划下，先后担任了讲授任务；我则突出了“能量”的作用，开设了“合金热力学”课程，编著了《合金能量学》一书。当然，二十余年来，在金属物理和金属材料领域内，我们也进行了各种类型的科学研究。本书便是在这些教学和科研的基础上，参考国外一些教科书及专著编写而成的。

作为教材或教学参考书，本书强调基础、方法和应用。各章都注意到基本概念的阐明和基础知识的介绍，还示例地介绍了各种问题的处理方法。在应用方面，本书既注意到基础课程的内容在合金相及相变中的应用，也示例地介绍了合金相与相变知识在解决金属材料实际问题时的应用。

全书共分九章。第 1 章为引论，通过对比，讨论了“相”及“结构”的有关概念；通过分类，阐明了相变的特征。在此基础上，采用了如下所示的编写体系。

目 录

前 言

第一章 概 述	1
第一节 钢结构的设计要求	1
第二节 钢结构设计规范的历史概况	1
第三节 在设计文件中对材料质量的要求	3
第二章 材 料	5
第一节 钢材的种类和牌号	5
第二节 钢材的选用	12
第三节 钢结构的连接材料	20
第三章 基本设计规定	34
第一节 设计原则	34
第二节 荷载和荷载效应的计算	46
第三节 设计指标	56
第四节 结构和构件的容许变形	64
第四章 受弯构件的计算	72
第一节 梁的强度	72
第二节 梁的整体稳定	78
第三节 梁的局部稳定	96
第五章 轴心受力构件和拉弯、压弯构件的计算	114
第一节 轴心受拉构件和轴心受压构件	114
第二节 拉弯构件和压弯构件	151
第三节 构件的计算长度和容许长细比	168
第四节 受压构件的局部稳定	189
第六章 疲劳计算	200
第一节 最大应力法	200
第二节 常幅疲劳的应力幅法	202
第三节 变幅疲劳的等效应力幅	206
第四节 吊车梁和吊车桁架的疲劳计算	210

第五节 疲劳计算的特点和讨论	211
第七章 连接计算	214
第一节 焊缝连接	214
第二节 普通螺栓连接	231
第三节 高强度螺栓连接	234
第四节 螺栓群的计算	239
第五节 组合工字梁翼缘连接	248
第六节 支座	248
第七节 梁与柱的刚性连接	250
第八节 连接节点处板件的计算	253
第九节 混合连接	256
第八章 构造要求	259
第一节 一般要求	259
第二节 焊缝连接的构造要求	266
第三节 螺栓连接和铆钉连接	274
第四节 结构构件的构造要求	278
第五节 大跨度屋盖结构	295
第六节 提高寒冷地区结构抗脆断能力的要求	296
第九章 塑性设计	298
第一节 一般要求	298
第二节 构件的计算	305
第三节 长细比限制和构造要求	307
第十章 钢管结构	311
第一节 一般要求	311
第二节 连接焊缝的计算	315
第三节 管节点处的主管承载力	318
第十一章 钢与混凝土组合梁	327
第一节 一般要求	327
第二节 组合梁的截面设计	334
第三节 组合梁连接件的设计	342

第一章 概 述

钢结构与其他结构材料相比具有其本身的特性：首先，钢结构由单一人工材料（钢材）作成，组织比较均匀，接近各向同性，符合力学的基本假定，因而钢结构的计算主要根据力学原则，计算结果的不定性较小，较为可靠。其次，钢材的质量虽较大，但由于强度高，强度与质量密度之比较大，因而钢结构反而比其他材料的同等结构较轻，这对运输、安装带来很大的方便，较适用于大荷载和大空间的结构。此外，建筑用钢材具有良好的塑性和韧性，适宜在动态荷载下工作，因而受动力作用较大的构件（如吊车梁）以及地震区的建筑采用钢结构较为有利。而且，钢结构构件一般在金属结构厂制作，施工机械化，运输和安装也较简便，可使钢结构的施工期限大为缩短，建筑能很快投入使用。

但是，钢结构由于焊接残余应力和其他缺陷的影响，在低温或动力很大的情况下可能发生脆断。另外，如防护不好，容易锈蚀。钢材在高温时变软，必要时应采用防火措施。这些问题，设计者应给予特别注意。

第一节 钢结构的设计要求

1. 钢结构及其构件应安全可靠，即能安全地承受预期的各种有关荷载。因而必须具有足够的承载力和稳定性。钢构件一般壁薄且较细长，稳定问题特别突出。

2. 要满足使用要求和耐久性。使用要求包括变形和振幅的限制；耐久性主要应注意抗腐蚀和防火。

3. 要满足经济要求。最优的设计除安全适用外，应做成成本最低、重量最轻、制作和安装劳动力最省、工期最短、维护方便的结构。

为了实现上述设计要求，应掌握各种荷载的特性和量值以及它们应有的组合，具备合理选择钢材和连接材料的能力，能选用最优结构方案和最先进的设计方法，使钢结构设计做到技术先进，经济合理，安全适用，确保质量。为此，设计人员应熟悉现行《钢结构设计规范》的内容，并了解其来源和制订背景，以便针对各种实际工程情况灵活应用。

第二节 钢结构设计规范的历史概况

解放前由我国自行设计的建筑钢结构很少，也没有自己的设计规范。

解放初期在恢复生产（主要是钢铁生产）的过程中，为修复、加固、改建或扩充钢结构建筑的需要，在东北地区曾制订了钢结构设计的内部规定。但直至1954年才正式公布了我国有史以来第一本《钢结构设计规范》（规结4—54）。其设计方法属定值法，要求设计构件或连接的应力不超过某一定值（容许应力）。容许应力取为钢材屈服点的废品限值（即抽样检查时，钢材实际屈服点低于此限值作为废品）除以一安全系数。安全系数由经

验判断。这本规范使用时间很短。

在上世纪 50 年代,开始出现了一种新的设计方法,极限状态设计法,它把影响结构安全的因素视为随机变量,指出应对这些随机变量进行概率分析。显然这种设计方法比安全系数由经验判断的容许应力法更为合理。1956 年 12 月,国家基本建设委员会发出通知,采用苏联 1955 年颁布的规范 HиTY 121-55 作为我国的《钢结构设计规范》。这本规范采用三系数(超载系数、匀质系数、工作条件系数)的极限状态设计法。由于只有少量设计参数,如钢材设计强度、风荷载、雪荷载等单独采用了概率分析,其他仍采用经验值。这种设计方法属于半概率、半经验的范畴。但从当时的情况来看,将这种方法正式列入规范作为结构设计的准则,在世界上还是领先的。

上世纪 60 年代初期,我国开始着手制订钢结构设计规范,1964 年完成讨论稿,以后由于“文化大革命”开始,此稿未能批准。70 年代初又重新制订,至 1974 年批准发行了 TJ 17-74(试行)规范,才结束了借用前苏联规范的历史。TJ 17-74 规范采用容许应力表达式,但安全系数采用了多系数分析、单系数表达,基本上算是半概率、半经验的设计法。

在 1974 年前后同时颁布了各种建筑结构设计规范,但表达式各不相同。钢结构、薄壁型钢结构和木结构采用应力表达式,但钢筋混凝土结构、砖石结构和地基基础却采用内力表达式。

1974 年以后,由中国建筑科学研究院负责,组织全国各有关单位对结构可靠度和概率设计方法进行大规模的研究,于 1984 年经国家计划委员会批准颁布了《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68-84),作为修订各种结构设计规范的设计原则。该标准规定采用“以概率理论为基础的极限状态设计法”,并用分项系数的设计表达式,使设计方法前进了一大步。

钢结构方面,在北京钢铁设计研究总院主持下,1974 年以后组织全国几十个单位对 TJ 17-74 规范(试行)中存在的问题进行了理论和试验研究,在近 10 年内完成 100 多项研究成果,其中约一半正式通过鉴定。规范管理组还收集了 10 多本国外新规范,为修订规范进行了较充分的准备。1988 年 11 月经建设部批准颁布了《钢结构设计规范》(GBJ17-88)。

自 1997 年以来,根据建设部 97 建标字第 108 号文的要求,由北京钢铁设计研究总会同国内 15 个单位成立了钢结构设计规范修订组,负责对 GBJ 17-88 规范作全面修订。修订组对原规范存在的问题与不足,结合国内建筑钢结构飞速发展所积累的实践经验及其对规范提出的要求,以及国内外在建筑钢结构领域的科研成果等多方面情况进行了深入的研究和剖析,提出了修订大纲。五年来编制组认真总结了国内的实践经验和科研成果,听取了多方面的意见和建议,补充了必要的试验研究工作,并参考国内、外有关规范的规定,完成了新的《钢结构设计规范》(GB 50017-2003)。

GB 50017 规范有十一章七个附录,按《工程建设标准编写规定》的要求,增加了第二章“术语和符号”,将原第二章的材料并入了第三章(为叙述方便,本书第二章仍为材料),后取消了原第十一章“圆钢、小角钢的轻型钢结构”,将原第十二章“钢与混凝土组合梁”改为第十一章。在附录中增加了构件变形限值的内容以及桁架节点板的稳定计算,取消了单位换算关系、螺栓有效截面和梁腹板局部稳定计算等三项,故最终比 GBJ 17-88 规范减少了一章和一个附录。通过这次修订,原规范的章节数和排序均略有调整,相当一

部分条款的内容有较大的修改、补充和完善。

GB 50017 规范在设计原则上是以《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068)为依据,在术语、符号等方面则遵守《工程结构设计基本术语和通用符号》(GBJ 132—90)和《建筑结构设计术语和符号标准》(GB/T 50083—97)的规定。

用冷弯薄壁型钢制作的结构,虽同属钢结构的范畴,但由于使用材料本身的特点,设计时应符合《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)的要求。此规范与GB 50017—2003规范既有共同性,又有特殊性,甚至有些情况(如钢管结构)没有严格区分。可以认为这两本规范为“姊妹”规范。

第三节 在设计文件中对材料质量的要求

为确保工程质量,在设计文件中必须对所采用的钢材和连接材料的质量、性能提出明确的要求,同时尚应写明对施工的其他要求。

1. 对钢材性能的要求: 钢材的牌号

应与有关钢材的现行国家标准或其他技术标准相符;对钢材性能的要求,凡我国钢材标准中各牌号能基本保证的项目可不再列出,只提附加保证和协议要求的项目,而当采用其他尚未形成技术标准的钢材或国外钢材时,必须详细列出有关钢材性能的各项要求,以便按此进行检验,而检验这些钢材时试件的数量不应小于30个,否则将缺乏代表性。再根据各项性能指标试验数据(重点是屈服点)的统计分析结果来判定这种钢材的可靠性。其中屈服点统计分析的具体步骤为:

(1) 首先求出所有试件屈服点的平均值 μ_{fy} 、标准差 σ_{fy} 和变异系数 $\delta_{fy} = \sigma_{fy}/\mu_{fy}$, 材性的这种变异性可用参数 k_f 表示, 亦即 $\delta_{fy} = \sigma_{fy}/\mu_{fy} = \delta_{kf}$ 。

(2) 考虑到在试验室中测出屈服强度 f_y 值将受到加荷速度和试验设备柔度的影响而不能如实反映试件的实际强度, 需要引入一个参数 k_0 来综合反映试验设备柔性和加荷速度的影响:

$$k_0 = k_j \cdot k_r$$

$$\delta_{k_0} = (\delta_{k_j}^2 + \delta_{k_r}^2)^{\frac{1}{2}}$$

式中 k_j 、 k_r ——分别表示加荷速度和试验设备柔性的影响;

δ_{k_0} 、 δ_{k_j} 、 δ_{k_r} ——分别表示 k_0 、 k_j 和 k_r 的变异系数。

根据研究, Q235 钢和 Q345 钢的 μ_{k_0} (k_0 的平均值) 可分别取为 0.90 和 0.93, δ_{k_0} 可取为 0.011。

(3) 用参数 k_M 表示结构构件材性的不确定性, 以综合考虑材性的变异性 k_f 和实际材性与试件测试值之间的差异 k_0 ,

$$k_M = k_0 \cdot k_f$$

$$\delta_{k_M} = (\delta_{k_0}^2 + \delta_{k_f}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta_{kf} = \delta_{fy} = \sigma_{fy}/\mu_{fy}$$

由此即可求得所用钢材实际材性的统计数据, 即屈服点的平均值 μ_{k_0} 、 μ_{fy} 及其与该钢

材屈服点的标准值 f_{yk} 的比值 $\beta = \frac{\mu_{10} \cdot \mu_{1y}}{f_{yk}}$ 以及变异系数 δ_{LM} 。根据 β 和 δ_{LM} 即可确定其抗力分项系数 γ_R 。在一般情况下, 当 $\beta \geq 1.09$ (相当于 Q235 钢) 和 1.11 (相当于 Q345 钢) 且 $\delta_{LM} \leq 0.066$ 时, 便可采用本规范规定的 γ_R 值。

2. 关于焊缝的质量等级

为了避免在过去设计中对焊缝质量等级的选用尚存在不合理的现象, 规范 7.1.1 条根据结构的重要性、荷载特性、焊缝形式、工作环境以及应力状态等情况对焊缝质量等级的选用作出了较具体的规定以便于设计人员执行。

需要说明的是设计规范过去没有今后亦不会规定焊缝的质量等级, 因为这不是设计规范的职责范围。设计的任务以往仅仅是根据《钢结构工程施工及验收规范》(现在是《钢结构工程施工质量验收规范》) 中规定的焊缝质量等级进行合理的选用而已。按理, 验收规范只规定验收标准, 可不规定焊缝质量的级别。现在原施工规范的国家标准已经作废, 为解决焊缝质量等级的归属问题, 最好能按国际惯例, 在即将修订的“钢结构工程制作与安装”的行业标准中对焊缝的施工质量及其等级作出具体规定。在国外, 钢结构的焊缝没有质量等级, 但他们在施工标准中对各类钢结构的焊缝施工质量均有很具体的规定, 如美国的钢结构焊接规范 AWS D1.1^[1,2], 而这些规定与设计要求是协调的。所以, 他们在设计文件中就不再对焊缝质量提出要求, 仅笼统地提出有关焊接施工及焊缝质量均应符合 AWS D1.1 的要求即可。

3. 对施工的其他要求

对结构的防护和隔热措施、构件或零件的端部刨平顶紧部位以及对施工的其他要求等亦应在设计文件中加以说明。

参 考 文 献

- [1.1] 戴国欣, 李龙春, 夏正中. 建筑结构钢新材性参数的统计分析. 建筑结构, 2000 年第 4 期
- [1.2] 美国钢结构焊接规范 ANSI/AWS D1.1

第二章 材 料

自 GBJ 17—88 规范颁布施行以来，我国钢结构的钢材标准和连接材料的标准几乎全部进行了修订。修订的基本思路是与国际接轨，即向 ISO 靠拢。相对于旧标准来说，改动较大；对材料的质量要求亦有所提高。

第一节 钢材的种类和牌号

建筑结构用钢的钢种主要是碳素结构钢和低合金结构钢两种。在碳素结构钢中，建筑钢材只使用低碳钢（碳含量 $C \leq 0.25\%$ ）。低合金结构钢是在冶炼碳素结构钢时增添一些合金元素炼成的钢，目的是提高钢材强度、冲击韧性、耐腐蚀性等而又不太降低其塑性。低合金结构钢的碳含量和低碳钢相近又增加了合金元素，因而对焊接有更高要求。钢材的冶炼方法一般由供方自行决定，需方有特殊要求时应在合同中注明。

建筑结构钢和桥梁用结构钢的牌号统一由代表屈服点的汉语拼音字母 Q、厚度 $t \leq 16\text{mm}$ 时钢材的屈服点值 (N/mm^2) 和质量等级符号 (A、B、C、D、E) 等三个部分按顺序组成，其中碳素结构钢在质量等级符号后面还要加上脱氧方法符号共四个部分组成，桥梁用钢为与建筑用钢相区别，在屈服点值后面另加汉语拼音符号 q (桥)。质量等级符号 A、B、C、D、E 分别表示不要求冲击试验、冲击试验温度为 $+20^\circ\text{C}$ 、 0°C 、 -20°C 、 -40°C 。如 Q345-A 表示屈服强度为 $345\text{N}/\text{mm}^2$ 且不要求做冲击试验的钢材，Q420q-C 表示屈服强度为 $420\text{N}/\text{mm}^2$ 且要求具有 0°C 冲击韧性的桥梁钢。

现将建筑钢结构中可供使用的钢材分述如下。

一、规范推荐使用的钢材牌号

1. 《碳素结构钢》(GB/T 700—88) 中的 Q235 钢，相当于过去的 3 号钢，但质量更好。其实，必要时亦可采用 Q215 钢（相当于过去的 2 号钢），除屈服强度稍低外，因其碳含量较低、塑性好，故可焊性和冷加工性（如冲压成型）均较好。可用于在常温下工作的承重结构。

Q235 钢共分 A、B、C、D 四个质量等级，A、B 级钢按脱氧方法可为沸腾钢（符号 F）、半镇静钢（符号 b）或镇静钢（符号 Z），C 级钢为镇静钢，D 级钢为特殊镇静钢（符号 TZ）；脱氧方法符号中的 Z 和 TZ 在牌号中可省略不用。据了解，现在基本上已不生产半镇静钢，故设计中不宜采用。

各不同等级（A 级除外）的 Q235 钢，其化学成分和力学性能均能保证（生产厂有试验数据作为交货条件），故不需要再提出附加保证条件。A 级钢能保证力学性能，可附加保证冷弯，但不附加保证冲击值；在化学成分中不保证碳、锰的含量（不作为交货条件），故不宜用于焊接承重结构，必要时仅当对每批来料钢材进行补充化验证明其含碳量均不大

于0.22%时（或对每批钢材进行焊接试验证明其可焊性合格后）方可用于次要的焊接结构。

Q235-B·F级钢的厚度（直径）一般不大于25mm，以免厚度大时质量不易保证（如焊接时产生层状撕裂等），对厚度大于25mm的钢材应采用Q235-B级镇静钢。虽然用连续铸锭生产的钢材全是镇静钢，但考虑到目前国内尚有少量模铸，故规范仍保留沸腾钢。在旧的钢材标准《普通碳素结构钢》（GB 700—79）中镇静钢的屈服强度比沸腾钢约高5%，但在新标准GB/T 700—88中屈服强度仅与钢材厚度有关，与脱氧方法无关。

钢材一般以热轧（包括控轧）状态交货，根据需方要求，经双方协议，也可以正火处理状态交货（A级钢除外）。

2.《低合金高强度结构钢》（GB/T 1591—94）中的Q345、Q390和Q420钢。其中使用最多亦比较成熟的是Q345钢，它相当于过去的16Mn钢但质量更好。Q390钢相当于过去的15MnV钢但质量有所提高。Q420钢是新列入的高强度钢，其相当的钢材15MnVNq曾用于九江长江大桥，即新的《桥梁用结构钢》中的Q420q。低合金结构钢不能生产沸腾钢（怕合金元素在钢水沸腾时逸出），故全部为镇静钢。

在使用中需注意的事项有：

（1）钢材一般以热轧、控轧、正火及正火加回火状态交货，交货状态应在合同中注明，否则由供方选择；

（2）对A级钢仍需进行冷弯的补充检验，其他等级的钢，如供方能保证冷弯试验结果符合GB/T 1591—94规定的要求，可以不作检验；

（3）若对GB/T 1591—94规定的力学性能以外有新的要求时，应由供、需双方协商确定；

（4）化学成分中的V、Nb、Ti、Al为细化晶粒元素，根据钢种和工艺要求，在冶炼时可同时使用或部分使用或不使用。当钢中不加入细化晶粒元素时，不进行该元素含量的分析，也不予保证。除各牌号A、B级钢外，钢中应至少含有一种细化晶粒元素；如这些元素同时使用，则至少应有一种元素的含量不低于规定的最小值。为改善钢的性能，各牌号A、B级钢亦可加入V或Nb或Ti等元素，其含量应符合表中规定，如不作为合金元素加入时，其下限含量不受限制。因此，当设计对细化晶粒元素的含量有所要求时亦宜在设计文件和订货合同中注明。

二、《高层建筑结构用钢板》（YB4104—2000）

这是最近为高层钢结构或其他重要建（构）筑物用钢板制订的行业标准，其性能与日本《建筑结构用钢材》（JIS G3136—1994）相近，而且在质量上有下列改进：

（1）降低了硫、磷含量和焊接碳当量；

（2）提高了屈服点并缩小其波动范围；

（3）提高了冲击功值；

（4）增加弯曲试验；

（5）厚度方向性能可以保证到Z35级别。

钢板的牌号是在屈服点数值后面加上代表高层建筑的汉语拼音字母（GJ）接着是质量等级符号（C、D、E），如Q345GJC；对厚度方向性能钢板，在质量等级符号前还要加上

厚度方向性能级别，例如 Q345GJZ25C。

其化学成分和力学性能分别见表 2.1 和表 2.2。

高层建筑结构用钢板的化学成分

表 2.1

牌号	质量等级	厚度 mm	化学成分 (%)								
			C	Si	Mn	P	S	V	Nb	Ti	Als
Q235GJ	C	6 ~ 100	≤ 0.20	≤ 0.35	0.60 ~ 1.20	≤ 0.025	≤ 0.015	—	—	—	≥ 0.015
	D		≤ 0.18								
	E		≤ 0.18								
Q345GJ	C	6 ~ 100	≤ 0.20	≤ 0.55	≤ 1.60	≤ 0.025	≤ 0.015	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.01 ~ 0.10	≥ 0.015
	D		≤ 0.18								
	E		≤ 0.18								
Q235GJZ	C	> 16 ~ 100	≤ 0.20	≤ 0.35	0.60 ~ 1.20	≤ 0.020	见表 2	—	—	—	≥ 0.015
	D		≤ 0.18								
	E		≤ 0.18								
Q345GJZ	C	> 16 ~ 100	≤ 0.20	≤ 0.55	≤ 1.60	≤ 0.020	见表 2	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.01 ~ 0.10	≥ 0.015
	D		≤ 0.18								
	E		≤ 0.18								

注：Z 为厚度方向性能级别 Z15、Z25、Z35 的缩写，具体在牌号中注明。有关厚度方向性能的其他要求见相关标准 (GB/T 5313)。

高层建筑结构用钢板的力学性能

表 2.2

牌号	质量等级	屈服点 σ_s (MPa)				抗拉强度 σ_b (MPa)	伸长率 δ_s (%)	冲击功 A_{kv}		180°弯曲试验		屈强比 σ_s/σ_b
		钢板厚度 (mm)						纵向	J	钢板厚度 (mm)		
		6 ~ 16	> 16 ~ 35	> 35 ~ 50	> 50 ~ 100					温度 °C	不小于	
Q235GJ	C	≥ 235	235 ~ 345	225 ~ 335	215 ~ 325	400 ~ 510	不小于 23	0	34	2a	3a	不大于 0.80
	D							-20				
	E							-40				
Q345GJ	C	≥ 345	345 ~ 455	335 ~ 445	325 ~ 435	490 ~ 610	22	0	34	2a	3a	0.80
	D							-20				
	E							-40				
Q235GJZ	C	—	235 ~ 345	225 ~ 335	215 ~ 325	400 ~ 510	23	0	34	2a	3a	0.80
	D							-20				
	E							-40				
Q245GJZ	C	—	345 ~ 455	335 ~ 445	325 ~ 435	490 ~ 610	22	0	34	2a	3a	0.80
	D							-20				
	E							-40				

注：Z 为厚度方向性能级别 Z15、Z25、Z35 的缩写，具体在牌号中注明。

各牌号所有质量等级钢板的碳当量 C_{eq} 或焊接裂纹敏感性指数 P_{cm} 应符合表 2.3 的相应规定。采用熔炼分析值并根据式 (2.1) 或式 (2.2) 计算碳当量或焊接裂纹敏感性指数。一般以计算碳当量交货，除非另有协议规定。

$$C_{eq} (\%) = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 \quad (2.1)$$

$$P_{cm} (\%) = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B \quad (2.2)$$

高层建筑结构用钢板的碳当量和焊接裂纹敏感性指数限值

表 2.3

牌 号	交货状态	碳当量 C_{eq} (%)		焊接裂纹敏感性指数 P_{cm} (%)	
		≤ 50mm	> 50 ~ 100mm	≤ 50mm	> 50 ~ 100mm
Q235GJ	热轧或正火	≤ 0.36	≤ 0.36	≤ 0.26	
Q235GJZ					
Q345GJ	热轧或正火	≤ 0.42	≤ 0.44	≤ 0.29	
Q345GJZ	TMCP	≤ 0.38	≤ 0.40		

注：TMCP 表示温度—形变控制轧制。交货状态应在合同中注明，否则将由供方选择。

三、其他可供选用或代用的钢材

1. 优质碳素结构钢 (GB699)

价格较贵，仅在特殊情况下使用，其中 20 号钢 15Mn 钢可代替 Q235 钢。

2. 桥梁用结构钢 (GB/T 714—2000)

其质量等级有 C、D、E 三级，性能优于相应的碳素结构钢 (GB/T700) 和低合金高强度结构钢 (GB/T 1591)，主要是对碳、硫、磷的含量控制更严，低合金钢厚板的屈服强度较高，负温冲击功高等，可用于工作条件恶劣的构件，如特重级工作制吊车的吊车梁或类似结构。

为与建筑结构钢相区别，在牌号中的屈服点数值后面加上汉语拼音符号“桥 (q)”，如 Q235qC、Q420qE 等。

3. 一些专用结构钢

(1) 《锅炉用碳素钢和低合金钢板》(GB 713—97)；

(2) 《船体用结构钢》(GB 712—88)；

(3) 《压力容器用钢板》(GB 6654—1996)。

这些专用结构钢大多是在碳素结构钢或低合金结构钢的基础上冶炼而成，质量要求更高，检验也更严格。其特点是有害元素含量低、晶粒细、组织致密、但价格也较贵。这些钢材的牌号表示方法与低合金结构钢的旧标准相同，即自左向右依次列出其平均碳含量的万分数和各合金元素的符号及其含量的百分整数。每种合金元素的平均含量小于 1.5% 时不标注其含量，≥ 1.5%、2.5% 等时则在该元素后标注 2、3 等数字。如 16Mn 钢，其平均碳含量为 0.16% (0.12% ~ 0.2%)，平均锰含量 1.4% (1.2% ~ 1.6%)、< 1.5%，故 Mn 后面未标注数字。为与一般的碳素结构钢和低合金结构钢相区别，专用钢就在牌号后加上专业用途的汉语拼音字母，如 C (船)，R (容)、g (锅) 等，如 16MnR 即表示 16Mn 压力容器钢。在必要时，可用这些专用钢来代替力学性能相当的建筑结构钢。

4. 生产厂自行开发的钢材新品种

经鉴定合格，其各种性能指标均能符合我国钢材标准者亦可使用，但应按第一章的要求对这种钢材进行足够数量的检验和统计分析来确定其抗力分项系数 γ_R 的取值。

四、当工作条件需要时应采用的钢材

1. 耐候钢

当处于外露环境，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。我国现有国标有：《高耐候性结构钢》（GB/T 4171—1984）和《焊接结构用耐候钢》（GB/T 4172—1984）。后者的性能见表 2.4。

焊接结构用耐候钢性能

表 2.4

钢 号	化学成分 (%)							机械性能		
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	f_y (N/mm^2)	f_u (N/mm^2)	δ_5 (%)
16CuCr	0.12 ~ 0.2	0.15 ~ 0.35	0.35 ~ 0.55	≤ 0.04	≤ 0.04	0.2 ~ 0.4	0.2 ~ 0.6	245	≥ 400	22
12MnCuCr	0.08 ~ 0.15		0.6 ~ 0.1				0.3 ~ 0.65	294	≥ 421	20
15MnCuCr	0.1 ~ 0.19		0.9 ~ 1.3				0.3 ~ 0.65	343	≥ 490	20
15MnCuCr·QT	0.1 ~ 0.19		0.9 ~ 1.3				0.3 ~ 0.65	441	≥ 550	20

耐候钢的强度级别与常用的建筑结构钢基本一致，技术指标也相近，但其抗腐蚀能力却高出 2~4 倍。现在正研究有同等抗腐蚀能力的焊缝金属和焊接工艺，使耐候钢能逐步推广应用到钢结构中去。

2. 厚度方向性能钢板 (GB/T 5313)

当采用厚度 $t \geq 40mm$ 的钢材时，为避免焊接时产生层状撕裂，常需采用抗层状撕裂的钢材，称为“Z 向钢”。

钢板在三个方向的机械性能是有差别的：沿轧制方向性能最好；垂直于轧制方向的性能稍差；沿厚度方向性能则又次之。用一般质量的钢轧成的钢材，尤其是厚钢板，局部性的分层现象往往难于避免。分层主要来源于钢中的硫、磷偏析和非金属夹杂等缺陷，而这种缺陷在钢锭头部比底部严重，因此，轧制钢材来自钢锭头部部分的夹层较多。对于重要的结构，一要对钢材进行探伤检查，限制局部分层部位和面积；二是避免在分层处焊接，以免垂直于板面的焊缝收缩应力使钢板开裂；三是设计时要避免垂直于板面受拉。在某些情况下，避免钢材沿厚度方向受拉不大可能，如图 2.1 所示的刚架节点，柱的翼缘板受有厚度方向的拉力，还要加上内外焊缝（主要是加劲肋焊缝）的收缩应力，就有可能造成层间撕裂。如果此刚架节点是高层或超高层结构的节点，柱的翼缘板较厚，层间撕裂的可能性和危险性就比较大。

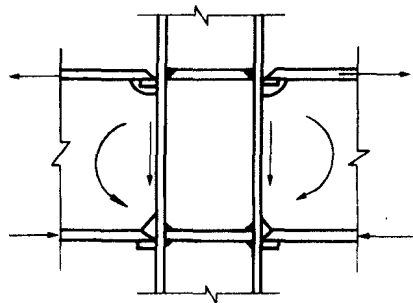


图 2.1 刚架节点

为解决这个问题，最好采用 Z 向钢板。

这种钢板是在某一级结构钢（称为母级钢）的基础上，经过特殊冶炼、处理的钢材，其含硫量为一般钢材的 1/5 以下，截面收缩率在 15% 以上。

我国生产的 Z 向钢板的标志是在母级钢钢号后面加上 Z 向钢板等级标志 Z15、Z25、Z35，Z 字后面的数字为截面收缩率的指标（%），其附加性能如表 2.5 所示。

Z 向钢板的附加性能 (GB 5313—85)

表 2.5

等 级	含硫量 (%) ≤	板厚方向截面收缩率 (%), ≥	
		3 个试样平均值	单个试样值
Z15	0.01	15	10
Z25	0.007	25	15
Z35	0.005	35	25

高层和超高层建筑钢框架柱的翼缘板往往需用 Z15 或 Z25 钢，也可从经济条件考虑，与梁刚性连接范围内用 Z 向钢，柱的其他部位采用一般钢材。对于受动力作用和大气环境恶劣的重要结构，如海上采油平台的关键构件和重要构件，在承受较大板厚方向拉力部位，有可能需要采用 Z35 钢。

由于 Z 向钢在我国目前尚待进一步研究和发展，生产成本高，大量供应也存在困难。如果在厚度方向受拉的重要构件选用一般钢材时，应逐张进行超声波探伤，主要检查其是否有分层和非金属夹杂等缺陷。探伤范围主要为焊缝区域以及钢板四周边 100mm 宽度的区域。

关于确定厚度方向必需的断面收缩率 ψ 的方法，其计算公式为：


$$\psi = \sum_{n=A}^E [\psi]_n = [\psi]_A + [\psi]_B + [\psi]_C + [\psi]_D + [\psi]_E \quad (2.3)$$

其中各影响因素所需的断面收缩率 $[\psi]_n$ 的参考值列于表 2.6 中。当 $[\psi]_n$ 为负值时表示该影响因素有利于抗层状撕裂；对 D 项进行分析时要根据结构的具体情况慎重处理。

关于 ψ 的计算示例见表 2.7。

各影响因素所需的断面收缩率 $[\psi]$ 。

表 2.6

项 次	影 响 因 素		$[\psi]_n$
A	焊脚尺寸 h_f	当 $h_f \leq 50\text{mm}$ 时， $[\psi]_A = 0.3h_f$ 。 由此得出如： $h_f \leq 10\text{mm}$ $h_f = 20\text{mm}$ $h_f = 30\text{mm}$ $h_f = 40\text{mm}$ $h_f = 50\text{mm}$	3 6 9 12 15
B	焊缝型式和焊缝位置		-25