

钢结构^的检测鉴定与加固改造



GANGJIEGOU DE JIANCE JIANDING YU JIAGU GAIZAO

郭兵 雷淑忠 编著 ●

中国建筑工业出版社

钢结构的检测鉴定与加固改造

郭 兵 雷淑忠 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢结构的检测鉴定与加固改造/郭兵,雷淑忠编著.

北京:中国建筑工业出版社,2006

ISBN 7-112-08293-5

I. 钢… II. ①郭…②雷… III. ①钢结构—检测
②钢结构—加固 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 038530 号

钢结构的检测鉴定与加固改造

郭 兵 雷淑忠 编著

*

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

北京天成排版公司制版

北京市书林印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19 1/4 字数: 464 千字

2006 年 6 月第一版 2006 年 6 月第一次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 32.00 元

ISBN 7-112-08293-5

(14247)

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.cabp.com.cn>

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

本书依据现行的检测、鉴定、加固技术标准和有关结构设计规范，系统地介绍了钢结构的检测原理与技术，可靠性鉴定与评估，钢结构加固原理与技术，以及工程改造中的钢结构技术措施，内容全面具体，技术适用配套。为了便于读者的理解和应用，最后还提供了大量的国内外工程实例。

本书可供从事钢结构工程设计、施工、监理、质检、鉴定及维修等各类技术人员参考，也可供高校有关专业的师生使用。

* * *

责任编辑：岳建光

责任设计：董建平

责任校对：张景秋 王金珠

前 言

我国各类工业与民用建筑的设计使用寿命一般为 50 年,除了需要对新建建筑物进行质量检测以外,随着时间的推移以及各种自然灾害和人为因素的影响,已有建筑物的局部或整体也可能丧失正常使用功能,甚至危及生命和财产安全。因此,对建筑物进行检测、鉴定和加固,是抵抗天灾人祸、保护人民生命财产安全和国家财富所不可缺少的重要手段。

另外,随着我国国民经济和科学技术的持续快速发展以及城镇规划的逐步完善,人们对生产、生活条件的要求逐步提高,许多已有建筑物甚至是新建建筑物已经不满足生产、生活的需求,需要依据现行的技术标准对其进行局部或整体改造,以适应新的使用功能要求。

近 20 年以来,由于国家的大力支持和市场的旺盛需求,我国钢结构发展迅猛,被称为建筑行业的“朝阳产业”。各类钢结构企业应运而生,但专业技术人才相对匮乏,工程质量控制水平低下,以至于在一些钢结构工程中出现了严重的技术经济不合理现象,甚至造成了许多工程质量事故,损失惨重。

钢材具有轻质高强、抗震性能好、施工速度快等特点,不仅在钢结构工程的加固与改造中不可替代,在混凝土和砌体结构的加固、改造中也广泛应用。因此广大的设计、施工、管理人员及高校师生,迫切需要一本专门介绍钢结构检测、鉴定、加固、改造的书籍,本书正是基于这一认识而编写的。

本书紧密结合我国现行的检测、鉴定、加固技术标准和有关结构设计规范,系统反映了有关钢结构检测、鉴定、加固、改造方面的先进研究成果和典型工程经验,内容全面、具体,可操作性强。为了便于读者理解和应用,最后一章提供了 40 多个国内外各类工程的实例与分析。

本书的编者是从事钢结构教学、科研、工程应用多年的专业教师。第 1 章、第 2 章、第 6 章、第 7 章由山东建筑大学的郭兵博士编写;第 3 章、第 4 章、第 5 章由山东建筑大学的雷淑忠博士编写;全书由郭兵统筹定稿。

在本书的编写过程中,得到了山东省土木结构诊断改造与抗灾工程技术研究中心、山东建筑大学工程鉴定加固研究所等单位和个人的大力支持,并提出了很多宝贵的意见和建议,在此一并致谢。

由于作者经验及水平有限,错误和不足之处在所难免,恳请同行专家及广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 钢结构的特点	1
1.1.1 钢结构的优点	1
1.1.2 钢结构的缺点	3
1.2 极限状态和概率极限状态设计法	5
1.2.1 钢材的破坏形式	5
1.2.2 钢结构的极限状态	5
1.2.3 概率极限状态设计法	6
1.3 钢结构常见失效类型和原因	9
1.3.1 失效的定义	9
1.3.2 失效的类型	9
1.3.3 失效的常见原因	10
1.3.4 防范失效的一般性措施	12
1.4 钢结构检测鉴定及加固改造的目的和意义	13
第 2 章 材料性能及检测	15
2.1 钢的分类与牌号	15
2.1.1 钢的分类	15
2.1.2 钢的牌号	15
2.2 钢的微观结构	16
2.2.1 钢的晶体结构	16
2.2.2 晶体结构中的缺陷	17
2.2.3 钢材强化的微观机理	18
2.3 钢的化学组成与分析	19
2.3.1 钢的化学组成	19
2.3.2 钢的化学成分分析	24
2.4 钢材的性能及检测	26
2.4.1 钢材性能的分类	26
2.4.2 力学性能试验取样位置	26
2.4.3 室温拉伸试验及性能检测	29
2.4.4 疲劳试验及性能检测	35
2.4.5 硬度试验及性能检测	36
2.4.6 弯曲试验及性能检测	37
2.4.7 冲击试验及性能检测	38

2.4.8 厚度方向性能试验及检测	39
2.5 焊接材料及焊接性能的检测	41
2.5.1 焊接材料	41
2.5.2 焊接性能及其检测	42
2.6 紧固件材料及性能检测	48
2.6.1 紧固件的种类	48
2.6.2 紧固件材料及性能检测	49
2.7 涂装材料及性能检测	51
2.7.1 钢材表面的处理	51
2.7.2 防腐涂料及性能检测	52
2.7.3 防火涂料及性能检测	56
第3章 结构构件的检测	60
3.1 概述	60
3.1.1 检测的范围和分类	60
3.1.2 检测程序及内容	61
3.1.3 现场检测的方法与要求	62
3.1.4 检测抽样方案	63
3.2 焊接连接的检测技术	65
3.2.1 常见焊接缺陷	65
3.2.2 焊缝质量等级和检验原则	67
3.2.3 焊缝外观检测	68
3.2.4 焊缝内部缺陷检测	70
3.3 螺栓连接的检测技术	80
3.3.1 普通螺栓实物最小载荷检验	80
3.3.2 高强度螺栓连接摩擦面的抗滑移系数检验	81
3.3.3 扭剪型高强度螺栓连接副预拉力复验	84
3.3.4 高强度大六角头螺栓连接副扭矩系数复验	85
3.3.5 高强度螺栓连接副施工扭矩检验	86
3.3.6 连接的其他检测内容	86
3.4 构件几何尺寸的检测	87
3.5 构件缺陷和损伤的检测	93
3.5.1 钢构件缺陷的检测	93
3.5.2 钢构件损伤的检测	93
3.6 结构构件变形的检测	94
3.6.1 变形的允许偏差和容许值	94
3.6.2 变形的检测方法	96
3.7 构造的检测	98
3.8 涂装的检测	99
3.9 地基基础的检测	101
3.9.1 地基的检测	101

3.9.2 基础的检测	101
3.10 结构构件性能的检测	102
3.10.1 钢结构性能的静力荷载检验	102
3.10.2 结构动力测试方法和要求	103
3.11 厂房及网架的检测要点	104
3.11.1 厂房的检测	104
3.11.2 网架的检测	106

第4章 钢结构的可靠性鉴定与评估

4.1 概述	108
4.1.1 鉴定的分类	108
4.1.2 鉴定的方法	109
4.1.3 鉴定程序及工作内容	110
4.2 民用钢结构建筑可靠性鉴定	115
4.2.1 一般规定	115
4.2.2 鉴定评级的层次和等级划分	118
4.2.3 钢构件鉴定评级	122
4.2.4 子单元安全性鉴定评级	125
4.2.5 子单元正常使用性鉴定评级	129
4.2.6 民用钢结构建筑的综合鉴定评级	133
4.2.7 鉴定报告的编写要求	133
4.3 工业钢结构厂房可靠性鉴定	134
4.3.1 一般规定	134
4.3.2 鉴定评级的层次和等级划分	134
4.3.3 结构布置和支撑系统的鉴定评级	136
4.3.4 地基基础的鉴定评级	137
4.3.5 上部承重结构系统的鉴定评级	138
4.3.6 围护系统的鉴定评级	139
4.3.7 工业厂房的综合鉴定评级	140
4.4 民用钢结构建筑适修性评估	142
4.5 钢结构耐久性评估	143
4.6 钢结构房屋危险性鉴定	144
4.6.1 评定方法	144
4.6.2 构件危险性鉴定	145
4.6.3 房屋危险性鉴定	148
4.6.4 危房及危险点处理	150

第5章 钢结构加固技术

5.1 概述	152
5.1.1 加固的原则	152
5.1.2 加固方法及程序	153

5.1.3	荷载	154
5.1.4	材料	155
5.1.5	计算的基本规定	156
5.2	改变结构计算图形的加固法	156
5.2.1	一般规定	156
5.2.2	改变结构计算图形的一般方法	156
5.3	加大构件截面的加固法	160
5.3.1	概述	160
5.3.2	计算的一般规定	160
5.3.3	轴心受力构件的加固计算	161
5.3.4	受弯构件的加固计算	163
5.3.5	拉弯、压弯构件的加固计算	165
5.3.6	构造与施工要求	168
5.4	连接的加固与加固件的连接	169
5.4.1	一般规定	169
5.4.2	焊缝缺陷的修复	170
5.4.3	焊缝连接的加固	170
5.4.4	螺栓和铆钉连接的加固	173
5.4.5	加固件的连接	173
5.4.6	构造与施工要求	174
5.5	裂纹的修复与加固	175
5.5.1	一般规定	175
5.5.2	修复裂纹的方法	175
5.6	吊车梁系统的加固	177
5.6.1	一般规定	177
5.6.2	吊车梁系统的加固	178
5.7	主要钢构件的加固要点	178
5.7.1	钢柱的加固	178
5.7.2	钢梁的加固	183
5.7.3	钢屋架、托架的加固	186
5.8	地基基础的加固方法	188
5.8.1	基础补强注浆加固法	189
5.8.2	加大基础底面积法	189
5.8.3	加深基础法	191
5.8.4	其他地基加固方法	191
5.8.5	既有建筑地基事故的补救措施	191
5.9	施工安全与工程验收	192
5.9.1	施工安全	192
5.9.2	工程验收	193

第6章 钢结构改造技术 194

6.1	概述	194
-----	----	-----

6.1.1	改造的基本原则	194
6.1.2	改造的可行性研究	195
6.2	加层改造	196
6.2.1	加层的主要工作内容	197
6.2.2	加层的方法	198
6.2.3	加层常见问题	201
6.2.4	加层基础设计	202
6.2.5	直接加层法	205
6.2.6	外套结构加层法	207
6.2.7	改变荷载传递加层法	208
6.3	扩建改造	208
6.3.1	平面扩建	208
6.3.2	改变荷载扩建	212
6.4	纠偏改造	212
6.4.1	建筑物倾斜的原因	212
6.4.2	纠偏的基本原则	215
6.4.3	纠偏的方法	215
6.5	基础托换	220
6.5.1	锚杆静压桩法	221
6.5.2	树根桩法	222
6.5.3	坑式静压桩法	223
6.5.4	深基础的安全支护	224
6.6	托梁拔柱	226
6.7	整体位移	227
6.8	节能改造	229
第7章	工程实例与分析	230
7.1	检测鉴定实例	230
7.1.1	材料性能检测鉴定	230
7.1.2	结构可靠性鉴定	232
7.1.3	工程事故检测鉴定	239
7.1.4	国外工程事故典例	251
7.2	加固实例	255
7.2.1	钢结构加固	255
7.2.2	混凝土结构采用钢结构技术加固	263
7.2.3	地基基础加固	266
7.3	改造实例	269
7.3.1	加层改造	269
7.3.2	扩建改造	273
7.3.3	纠偏改造	275
7.3.4	托梁拔柱	277

附录 279

附录 1 本书引用的相关技术标准 279

附录 2 常用型钢、钢板的截面尺寸允许偏差 283

附录 3 JGN 型结构胶性能 288

附录 4 风级、风速与风压的对应关系 289

附录 5 积雪厚度与雪压的关系 290

附录 6 钢构件外形尺寸主控项目的允许偏差 291

附录 7 结构或构件的变形容许值 292

参考文献 294

第 1 章 绪 论

建筑是人们为了满足生产、生活或其他需要而创造的物质的、有组织的空间环境，分为建筑物和构筑物两大类。随着社会的发展、科学技术的进步和人们需求的不断变化，当今的建筑已是一个非常复杂而庞大的组合体系，不但与多门学科和知识相关，同时还受到政治、经济、文化、宗教等的深刻影响。因此，在预期寿命内建筑是否安全可靠、能否正常使用，是设计者、制作者和使用者最关心的问题。

无论是建筑物还是构筑物，都必须有赖以支撑的承重骨架，称为结构体系。当结构体系的主要材料采用钢材时，该种结构就称为钢结构。除了钢结构之外，还有木结构、砌体结构、混凝土结构以及组(混)合结构等多种。建筑是否安全可靠，在很大程度上取决于其结构体系，具体来说，就是取决于结构体系的设计方法、试验方法、检测鉴定方法，这些方法不但与结构类型、结构材料有关，还受到结构的自然老化、损伤、各种灾害和结构所处环境、使用条件等因素的影响。

1.1 钢 结 构 的 特 点

建筑结构是否安全可靠，不但涉及到生命和财产的安全，还会造成一定的社会影响。因此，我们首先要对建筑结构的特点有一个全面的了解。由于钢结构主要是由钢板、热轧型钢或冷弯薄壁型钢，通过各种连接、制造、组装而成，与其他材料的建筑结构相比，具有不同的特点。

1.1.1 钢结构的优点

(1) 强度高，质量轻

建筑钢材与其他建筑材料诸如混凝土、砖石和木材相比，强度要高得多，弹性模量也高，因此结构构件质量轻且截面小。结构的轻质性可以用材料的质量密度与强度的比值 α 来衡量， α 值越小，结构相对越轻。建筑钢材的 α 值为 $1.7 \times 10^{-4} \sim 3.7 \times 10^{-4} \text{m}^{-1}$ ，木材为 $5.4 \times 10^{-4} \text{m}^{-1}$ ，钢筋混凝土约为 $18 \times 10^{-4} \text{m}^{-1}$ 。以相同跨度且承受同样荷载的简支屋架为例，钢屋架的重量最多不过是钢筋混凝土屋架的 $1/4 \sim 1/3$ ，冷弯薄壁型钢屋架甚至接近 $1/10$ 。

由于在同样受力条件下的钢结构自重轻，不但可以显著减小地震作用，进而减小结构内力，还可以降低基础的造价，这个优势在软土地区更加明显。此外，构件轻巧也便于运输和安装。因此，钢结构特别适用于超高层、大跨度建筑，重型工业厂房，以及桥梁、塔桅等构筑物，国内外有许多著名建筑均采用钢结构或钢与其他材料组成的组(混)合结构，见表 1-1。

(2) 材料均匀，塑性、韧性好，抗震性能优越

国内外已建著名钢结构建筑实例

表 1-1

类 别	工 程 名 称	规 模	结 构 体 系	建 造 年 代
超高层 建 筑	美国芝加哥希尔斯大厦	高 442m	钢 结 构	1974
	中国上海金贸大厦	高 420.6m	钢 结 构	1998
	美国纽约世界贸易中心	高 417m	钢 结 构	1973
	中国深圳帝王大厦	高 384m	钢 结 构	1996
	美国纽约帝国大厦	高 381m	钢 结 构	1931
大跨度 建 筑	英国伦敦千年穹顶	直径 320m	张拉膜结构	1999
	美国新奥尔良超级穹顶	直径 207m	双 层 网 壳	20 世纪 70 年代
	美国亚特兰大体育馆	186×235m	张 拉 结 构	1996
	日本福冈体育馆	直径 222m	开合钢结构	1993
	中国国家大剧院	长轴 212m	钢 结 构	2004 年主体封顶
桥 梁 塔 桅	日本明石海峡大桥	主跨度 1991m	悬 索 桥	1998
	中国江阴长江大桥	主跨 1385m	悬 索 桥	2002
	法国巴黎埃菲尔铁塔	高 320.7m	钢 结 构	1889
	中国上海东方明珠电视塔	高 468m	混 合 结 构	1994

由于钢材组织均匀，接近各向同性，而且在一定的应力幅度内几乎是完全弹性的，弹性模量大，有良好的塑性和韧性，为理想的弹性—塑性体。钢结构的实际工作性能比较符合目前采用的理论计算模型，因此可靠性高。

钢材塑性好，可以使钢结构不会因偶然超载或局部超载而突然断裂破坏；钢材韧性好，有利于钢结构适应振动荷载，地震区房屋采用钢结构比其他材料的工程结构更耐震。钢结构一般是地震中损坏最少的结构，表 1-2 所列为 1985 年墨西哥 8.1 级大地震中，钢框架与混凝土框架的破坏对比情况，即能说明这一点。

1985 年墨西哥地震震害统计

表 1-2

结 构 类 型	建 造 年 代				
	破坏程度	1957 年以前	1957～1976 年	1976 年以后	合 计
钢 框 架	倒 塌	7	3	0	10
	严重破坏	1	1	0	2
混凝土框架	倒 塌	27	51	4	82
	严重破坏	16	23	6	45

(3) 制造简单，工业化程度高，施工周期短

钢结构所用的材料单纯，且多是成品或半成品材料，加工比较简单，并能够使用机械操作，易于定型化、标准化，工业化生产程度高。因此，钢构件一般在专业化的金属结构加工厂制作完成，精度高，质量稳定，劳动强度低。

钢构件在工地拼装时，多采用简单方便的焊接连接或螺栓连接，钢构件与其他材料构件的连接也比较方便。有时钢构件还可以在地面拼装成较大的单元甚至拼装成整体后再进行吊装，可以显著降低高空作业量，缩短施工工期。施工周期短，使整个建筑更早地投入使用，不但可以缩短资金流动周期，而且提前收到投资回报，综合效益高。

(4) 密闭性好

钢材及其连接(如焊接)的水密性和气密性都比较好, 适宜做要求密闭的板壳结构, 如高压容器、油库、气柜、管道等。

(5) 构件截面小, 有效空间大

由于钢材的强度高, 构件截面小, 所占空间也就小。以相同受力条件的简支梁为例, 混凝土梁的高度通常是跨度的 $1/10\sim 1/8$, 而钢梁约是 $1/16\sim 1/12$, 如果钢梁有足够的侧向支承, 甚至可以达到 $1/20$, 有效增加了房屋的层间净高。在梁高相同的条件下, 钢结构的开间可以比混凝土结构的开间大约 50%, 能更好地满足建筑上大开间、灵活分割的要求。柱的截面尺寸也类似, 避免了“粗柱笨梁”现象, 室内视觉开阔, 美观方便。

另外, 民用建筑中的管道很多, 如果采用钢结构, 可在梁腹板上开洞以穿越管道, 如果采用混凝土结构, 则不宜开洞, 管道一般从梁下通过, 要占用一定的空间。在楼层净高相同的条件下, 钢结构的楼层高度要比混凝土的小, 可以减小墙体高度, 并节约室内空调所需的能源, 减小房屋维护和使用费用。

(6) 节能、环保

与传统的砌体结构和混凝土结构相比, 钢结构属于绿色建筑结构体系。钢结构房屋的墙体多采用新型轻质复合墙板或轻质砌块, 如高性能 NALC 板(配筋加气混凝土板)、复合夹心墙板、幕墙等; 楼(屋)面多采用复合楼板, 例如压型钢板—混凝土组合板、轻钢龙骨楼盖等, 符合建筑节能和环保的要求。

钢结构的施工方式为干式施工, 可避免混凝土湿式施工所造成的环境污染。钢结构材料还可利用夜间交通流畅期间运送, 不影响城市闹市区建筑物周围的日间交通, 噪声也小。另外, 对于已建成的钢结构也比较容易进行加固和改造, 用螺栓连接的钢结构还可以根据需要进行拆迁, 也有利于保护环境和节约资源。

1.1.2 钢结构的缺点

(1) 结构构件刚度小, 稳定问题突出

由于钢材轻质高强, 构件不但截面尺寸小, 而且都是由型钢或钢板组成开口或闭口截面。在相同边界条件和荷载条件下, 与传统混凝土构件相比, 钢构件的长细比大, 抗侧刚度、抗扭刚度都比混凝土构件小, 容易丧失整体稳定; 板件的宽厚比大, 容易丧失局部稳定; 大跨度空间钢结构的整体稳定问题也比较突出, 这些都是钢结构设计中最容易出现问题的环节。古今中外因丧失稳定而引起的工程事故不胜枚举, 见表 1-3。另外, 构件刚度小, 变形就大, 在动力荷载作用下也容易振动。

国内外钢结构事故典例 表 1-3

类 别	工 程 名 称	事 故 简 述
高 层 建 筑	美国纽约世界贸易中心	高 417m, 钢框架体系, 建筑面积 83.6 万 m ² 。2001 年 9 月 11 日倒塌, 主要原因是飞机撞击及火灾
	美国肯帕体育馆	承重结构为三个钢框架, 屋盖桁架通过高强度螺栓连接悬挂在框架上。1979 年 6 月屋盖塌落, 主要原因是高强度螺栓长期在风荷载作用下发生疲劳破坏

续表

类 别	工 程 名 称	事 故 简 述
大跨度 建 筑	美国哈特福特体育馆	网架屋盖结构, 91.4mm×109.8m。1978 年 1 月在雪荷载作用下倒塌, 主要原因是超载导致压杆失稳
	中国深圳国际展览中心	网架结构, 7200m ² 。1992 年 9 月 4 号展厅倒塌, 主要原因是暴雨造成屋面积水过多, 荷载加大
	中国西丰县鹿城市场	压型钢板拱形结构, 1.42 万 m ² 。2001 年 1 月塌落, 主要原因是半跨雪荷载引起局部失稳
	中国上海某研究所食堂	悬索结构, 直径 17.5m。使用 20 年后整体塌落, 主要原因是钢索锈蚀
桥 梁	加拿大魁北克大桥	1907 年加拿大魁北克大桥在施工中倒塌, 75 人遇难, 主要原因是悬臂的受压下弦失稳
	德国柏林某公路桥	1938 年 1 月, 柏林附近一座公路桥在低温下断裂, 主要原因是残余应力过大, 导致低温冷脆
	美国塔科悬索桥	悬索结构, 跨度 853m。1940 年 11 月在风速不到 20m/s 的情况下, 因发生很大扭转振动而倒塌

(2) 钢材耐热性好, 但耐火性差

钢材随着温度的升高, 性能逐渐发生变化。温度在 250℃ 以内时, 钢材的力学性能变化很小, 达到 250℃ 时钢材有脆性转向(称为蓝脆), 在 260~320℃ 之间有徐变现象, 随后强度逐渐下降, 在 450~540℃ 之间时强度急剧下降, 达到 650℃ 时, 强度几乎降为零。因此, 钢结构具有一定的耐热性, 但耐火性差。

《钢结构设计规范》(GB 50017) 规定, 当钢构件表面长期受辐射热达到 150℃ 以上或在短时间内可能受到火焰作用时, 应采取有效的防护措施(如加隔热层等); 有特殊防火要求的建筑, 钢结构更需要用耐火材料围护。对于钢结构住宅或高层建筑钢结构, 应根据建筑物的重要性等级和防火规范加以特别处理。例如, 采用蛭石板、蛭石喷涂层、石膏板或 NALC 板等加以防护。防火处理使钢结构的造价有所提高。

(3) 钢材耐腐蚀性差, 应采取防护措施

钢材易于锈蚀, 处于潮湿或有侵蚀性介质的环境中更容易因化学反应或电化学作用而锈蚀, 因此, 钢结构必须进行防腐处理。一般钢构件在除锈后涂刷防腐涂料即可, 但这种防护措施并非一劳永逸, 需相隔一段时间重新维修, 因而其维护费用较高。

对于有强烈侵蚀性介质、沿海建筑以及构件壁厚非常薄的钢构件, 应进行特别处理, 如镀锌、镀铝锌复合层等, 这些措施都会相应提高钢结构的工程造价。目前国内外正发展不易锈蚀的耐候钢, 此外, 长效油漆的研究也取得进展, 使用这种防护措施可延长钢结构寿命, 节省维护费用。

(4) 钢结构在低温或其他条件下, 可能发生脆性断裂

钢材在负温环境中, 塑性、韧性逐渐降低, 达到某一温度时韧性会突然急剧下降, 称为低温冷脆, 对应温度称为临界脆性温度。低温冷脆也是国内外一些钢结构工程在冬季发生事故的主要原因之一(表 1-3)。

另外, 钢材在反复荷载、复杂应力、突然加载、冷作及时效硬化、焊接缺陷等条件下也容易脆断。

1.2 极限状态和概率极限状态设计法

1.2.1 钢材的破坏形式

有屈服现象的钢材，如规范推荐的几种结构钢，或者没有明显屈服现象但能发生较大塑性变形的钢材，如热处理钢材，一般属于塑性材料。没有屈服现象或塑性变形能力很小的钢材，则属于脆性材料，如铸铁。

钢结构需要用塑性材料制作。所谓塑性材料，是指由于材料原始性能以及在常温、静载并一次加荷的工作条件下，能在破坏之前发生较大塑性变形的材料。钢材塑性变形能力的大小不仅取决于钢材原始化学成分、熔炼和轧制条件，也取决于钢材所处的工作环境和条件，即使原来塑性表现较好的钢材，改变了工作环境和条件，如低温冲击，也会呈现脆性材料的特征。

超过屈服点即有明显塑性变形产生的构件，当应力达到极限强度时将在很大变形的情况下断裂，这就是塑性破坏，也称作延性破坏。塑性破坏的端口常为杯形，并因晶体在剪切之下相互滑移的结果而呈纤维状，色泽发暗。塑性破坏前，因为有很大的塑性变形发生，且变形持续时间较长，很容易及时发现并采取措施予以补救，不至于引起严重后果。另外塑性变形后出现的内力重分配，使结构应力趋于均匀，可以提高结构的承载能力。

与此相反，没有塑性变形或者只有很小塑性变形时即发生的破坏，是脆性破坏。脆性破坏断口平直，并因各晶粒往往在一个平面内断裂而呈光泽的晶粒状。由于破坏前没有明显的征兆，无法及时察觉和采取补救措施，而且个别构件的断裂常引起整个结构的坍塌，危及生命和财产安全，后果严重，损失较大。因此，设计、制造和使用过程中，必须注意防止脆性破坏的发生。

1.2.2 钢结构的极限状态

我国钢结构设计的基本原则是要做到技术先进、经济合理、安全适用和确保质量。因此钢结构设计要解决的根本问题是在结构的可靠性和经济性之间选择一种最佳的平衡，使由最经济的途径建成的结构能在规定的使用年限内(表 1-4)，以适当的可靠度满足各种预定的功能要求。

设计使用年限分类(GB 50068)

表 1-4

类 别	设计使用年限	示 例
1	5	临时性结构
2	25	易于替换的结构构件
3	50	普通房屋和构筑物
4	100	纪念性建筑和特别重要的建筑结构

我国《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068)、《工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50153)对结构规定的功能要求是：

- (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;
- (4) 在设计规定的偶然事件发生时及发生后, 仍能保持必要的整体稳定性。

当整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求时, 此特定状态就称为该功能的极限状态。和其他建筑结构一样, 钢结构的极限状态分为承载能力极限状态、正常使用极限状态两大类。

承载能力极限状态是指结构或构件达到最大承载能力或出现不适于继续承载的变形。比如, 强度破坏、丧失稳定、疲劳破坏、结构倾覆、结构变为机构体系或构件出现过度的塑性变形等。正常使用极限状态是指结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值, 比如, 出现影响正常使用或外观的变形、振动, 影响正常使用或耐久性的局部破坏(包括裂缝)等。

强度破坏是指构件的某一截面或连接件因应力超过材料强度而导致的破坏。例如, 有孔洞的钢构件在消弱截面处被拉断, 即属于一般的强度破坏。钢结构还有一种特殊情况的强度破坏, 即在特定条件下可能出现低应力状态的脆性断裂, 如材质低劣、构造不合理或者低温等因素, 都会促成这种断裂。

钢构件因截面小且组成构件的板件较薄, 使得失稳成为承载能力极限状态的一个极为重要的方面。压应力是使构件失稳的原因, 除轴心受拉构件外, 轴心受压构件、受弯构件、压弯构件都不同程度上存在压应力, 都有可能丧失稳定性, 因此, 失稳在钢结构中具有普遍性。不过, 有些局部失稳现象并不构成承载能力的极限。

疲劳断裂是微观裂缝在连续重复荷载作用下不断扩展直至断裂的脆性破坏。许多工程中钢构件承受循环重复荷载作用, 如桥梁、吊车梁等。出现疲劳断裂时, 截面上的应力低于材料的抗拉强度, 甚至低于屈服强度, 端口可能贯穿于母材, 也可能贯穿于连接焊缝, 或者贯穿于母材及焊缝。疲劳断裂的危险性较大。

由于建筑钢材具有良好的塑性变形能力, 并在屈服后还会强化, 设计钢结构时可以考虑适当利用材料的塑性, 但是利用钢材的塑性工作阶段不应导致过大的变形, 否则会导致结构或构件不适于继续承载。

承载能力极限状态绝大多数是不可逆的, 一旦发生就会导致结构失效, 因此必须慎重对待。正常使用极限状态中的变形和振动, 通常都在弹性范围内, 并且是可逆的。对于可逆的极限, 可靠度方面的要求可以适当放宽一些。

1.2.3 概率极限状态设计法

结构设计的目的是在于保证所设计的结构和构件在正常建造和使用过程中能够满足预期的安全性、适用性和耐久性要求, 因此结构设计的基本要求是: 各种荷载在结构中所产生的效应, 如内力和变形等, 不大于结构(包括连接)由材料性能等所决定的抗力或规定限值。

但是由于各种因素都具有不确定性, 如作用在结构上的荷载潜在着出现高值的可能性, 而结构材料的性能也潜在着出现低值的可能, 因此即使设计者采用了相当保守的设计方案, 施工者采用了最好的材料和施工方案, 在结构投入使用后, 谁也不能保证它百分之百可靠, 只能对所设计的结构功能做出一定的概率保证。