

钢结构

设计禁忌手册

上官子昌◎主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TU391.04-62/7

2008

钢结构设计禁忌手册

上官子昌 主编

机械工业出版社

本书的编写内容是将钢结构设计中涉及到的常见问题采用“禁忌”提示的方法进行归纳,分析原因并采取相应的改正措施,引用了规范、规程的有关规定。主要包括:基本设计规定,材料、结构构件设计,连接计算,构造要求,塑性设计,钢管结构,钢与混凝土组合梁的设计,钢结构建筑物的抗震设计。本书内容源于规范,具有较强的实用性和可操作性,方便查阅,适于建筑结构设计人员使用,也可供相关技术人员和大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计禁忌手册/上官子昌主编. —北京:机械工业出版社, 2008.4

ISBN 978-7-111-23844-7

I. 钢… II. 上… III. 钢结构—结构设计—技术手册
IV. TU391.04-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第045089号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:范秋涛 版式设计:霍永明 责任校对:王欣

封面设计:王奕文 责任印制:李妍

北京中兴印刷有限公司印刷

2008年5月第1版第1次印刷

184mm×260mm·10.5印张·248千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-23844-7

定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379773

封面无防伪标均为盗版

《钢结构设计禁忌手册》

编写人员

主 编 上官子昌

参 编 (按姓氏笔画排序)

冯义显 巩晓东 刘秀民 吕克顺

李冬云 张文权 张晓霞 张 敏

高少霞 隋红军

前 言

钢结构在建筑工程领域，尤其是在高层、超高层建筑、大跨度空间结构、轻钢建筑等方面，得到了广泛的应用，并带动了其他环保建筑材料的发展。钢结构具有强度高、自重轻、安装容易、抗震性能好等特点。近年来，我国相继颁布执行了新的规范、规程，但由于新旧规范、规程许多内容有所不同，以及钢结构类型繁多，使钢结构设计更为复杂。这就需要我们结构设计人员不断充实钢结构设计思维，学习先进的设计经验，突破传统结构约束，正确理解设计规范，以不断适应新形势的要求。

本书的编写内容是将钢结构设计中涉及到的常见问题采用“禁忌”提示的方法进行归纳，分析原因并采取相应的改正措施，引用了规范、规程的有关规定。本书主要包括：基本设计规定，材料、结构构件设计，连接计算，构造要求，塑性设计，钢管结构，钢与混凝土组合梁的设计，钢结构建筑物的抗震设计。本书内容源于规范，具有较强的实用性和可操作性，方便查阅，适于建筑结构设计人员使用，也可供相关技术人员和大专院校相关专业师生参考。

本书在编写过程中得到了有关领导和专家的帮助，在此一并致谢。由于作者的学识和经验所限，虽经编者尽心尽力但书中仍难免存在疏漏或未尽之处，敬请有关专家和读者予以批评指正。

编 者

目 录

前言

1 基本设计规定	1
禁忌 1 在钢结构设计文件中, 没有对所采用的钢材和连接材料的质量、性能提出明确的要求	1
禁忌 2 承重结构没有按规定的承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计	1
禁忌 3 设计钢结构时, 没有根据结构破坏可能产生的后果, 采用不同的安全等级	2
禁忌 4 按承载能力极限状态设计钢结构时, 没有考虑荷载效应的基本组合、偶然组合和标准组合	3
禁忌 5 计算结构或构件的强度、稳定性以及连接的强度时没有采用荷载设计值	5
禁忌 6 对于直接承受动力荷载的结构, 没有按规定计算	5
禁忌 7 计算吊车梁或吊车桁架及其制动结构的疲劳和挠度时, 吊车梁荷载没有按作用在跨间内荷载效应最大的一台起重机确定	5
禁忌 8 设计钢结构时, 荷载与结构的重要性系数没有按现行国家标准的规定采用	5
禁忌 9 计算重级工作制吊车梁及其制动结构的强度、稳定性以及连接的强度时, 没有考虑由于起重机摆动引起的横向水平力	6
禁忌 10 梁与柱连接不符合相关规定	11
禁忌 11 钢材、铸钢件的强度设计值未按规定采用	11
禁忌 12 连接的强度设计值未按规定采用	14
禁忌 13 对于一些工作处于不利条件的结构构件和连接, 强度设计值没有乘以相应的折减系数	18
禁忌 14 设计时未对结构或构件的变形规定相应的限值	20
2 材料	22
禁忌 1 没有选用合适的钢材牌号和性能, 导致出现脆性破坏	22
禁忌 2 承重结构和构件采用 Q235 沸腾钢的情况不符合相关规定	22
禁忌 3 承重结构采用的钢材不合格	22
禁忌 4 对于需要验算疲劳的结构钢材, 未具有常温冲击韧度的合格保证	23
禁忌 5 铸钢件采用的铸钢材质不符合相关规定	24
禁忌 6 当焊接承重结构采用 Z 向钢时, 其材质不符合相关规定	24
禁忌 7 焊条电弧焊焊接采用的焊条, 不符合相关规定	25
禁忌 8 采用的焊丝和焊剂不符合相关规定	28
禁忌 9 采用的普通螺栓不符合相关规定	38
禁忌 10 采用的高强度螺栓不符合相关规定	38
3 结构构件设计	40
禁忌 1 梁的抗弯强度计算不符合相关规定	40
禁忌 2 梁的其他强度计算不符合相关规定	41

禁忌 3	钢梁整体失去稳定性	44
禁忌 4	钢梁局部失去稳定性	46
禁忌 5	轴心受力构件强度计算不符合相关规定	48
禁忌 6	轴心受力构件刚度不符合要求	49
禁忌 7	实腹式轴心受压构件不符合整体稳定性设计要求	50
禁忌 8	实腹式轴心受压构件不符合局部稳定性设计要求	55
禁忌 9	格构式轴心受压构件不符合设计要求	57
禁忌 10	拉弯和压弯构件强度计算不符合相关规定	61
禁忌 11	拉弯和压弯构件刚度不符合要求	63
禁忌 12	实腹式压弯构件不符合整体稳定性设计要求	63
禁忌 13	格构式压弯构件不符合整体稳定性设计要求	64
4	连接计算	67
禁忌 1	焊缝质量等级选用不合理	67
禁忌 2	对接焊缝强度设计不符合相关规定	67
禁忌 3	直角角焊缝的强度计算不符合相关规定	68
禁忌 4	设计过程中,忽略了斜角焊缝带来的影响	69
禁忌 5	没有考虑正面角焊缝的受压强度	70
禁忌 6	普通螺栓受剪连接产生破坏形式	71
禁忌 7	普通螺栓的受拉连接不符合相关规定	72
禁忌 8	兼受剪力和拉力的普通螺栓,没有考虑破坏形式	72
禁忌 9	高强度螺栓摩擦型连接设计不符合相关规定	73
禁忌 10	高强度螺栓承压型连接设计不符合相关规定	74
禁忌 11	螺栓或铆钉产生破坏	75
禁忌 12	没有根据具体情况增加螺栓或铆钉的数目	75
禁忌 13	梁与柱刚性连接时,设置柱腹板的横向加劲肋不符合规定	75
禁忌 14	连接节点处板件的计算不符合规定	78
5	构造要求	81
禁忌 1	焊接结构采用焊前预热或焊后热处理不合理	81
禁忌 2	结构的支撑系统设置不合理	81
禁忌 3	焊缝金属未与主体金属相适应	81
禁忌 4	在设计中任意加大焊缝	81
禁忌 5	焊件厚度大于 20mm 的角接接头焊缝,没有采用收缩时不易引起层状撕裂的构造	82
禁忌 6	不等厚(宽)焊件对焊连接时,未将板宽或板厚切成斜面	82
禁忌 7	角焊缝的最小厚度不合理	83
禁忌 8	角焊缝的焊脚尺寸过大	83
禁忌 9	侧面焊缝的焊脚尺寸大而长度过小	83
禁忌 10	在搭接连接中,搭接长度不合理	83
禁忌 11	螺栓或铆钉的距离不符合相关要求	84
禁忌 12	对直接承受动力荷载的普通螺栓受拉连接没有采用防止螺母松动的有效措施	84
禁忌 13	横隔的间距设置不合理	85
禁忌 14	节点处相邻焊缝之间的最小净距不合理	85

禁忌 15	焊接梁翼缘板设置不合理	85
禁忌 16	焊接吊车桁架不符合要求	86
禁忌 17	焊接梁的工地拼接采用的连接方式不合理	87
禁忌 18	起重机钢轨的接头构造不能保证车轮平稳通过	87
禁忌 19	钢结构防锈和防腐蚀措施不得当	87
禁忌 20	设计使用年限不小于 25 年的建筑物, 对使用期间不能重新涂装的结构部位 未采取特殊的防锈措施	88
禁忌 21	柱脚在地面以下的部分采用了高强度等级的混凝土包裹	88
禁忌 22	受高温作用的结构没有根据其情况采取相应的防护措施	88
6	塑性设计	90
禁忌 1	塑性设计时, 钢材的力学性能未满足相关要求	90
禁忌 2	塑性设计截面板件的宽厚比不符合要求	90
禁忌 3	受弯构件的抗弯强度不符合要求	91
禁忌 4	受弯构件的抗剪强度不符合要求	91
禁忌 5	压弯构件的强度不符合要求	92
禁忌 6	压弯构件的稳定性不符合要求	92
禁忌 7	在构件出现塑性铰的截面处, 未设置侧向支承	93
禁忌 8	所有连接未具有足够的刚度	94
禁忌 9	当板件采用手工气割或剪切机切割时, 未将出现塑性铰部位的边缘刨平	94
禁忌 10	在塑性铰区域制作孔洞时, 未采用钻孔和先冲后钻孔	94
7	钢管结构	95
禁忌 1	钢管的径厚比或宽厚比过大	95
禁忌 2	热加工管材和冷成型管材采用钢材不合格	95
禁忌 3	随意忽略节点偏心矩产生的影响	95
禁忌 4	钢管节点构造不符合要求	96
禁忌 5	搭接支管不符合要求	97
禁忌 6	支管与主管的连接焊缝不符合要求	97
禁忌 7	主管和支管均为圆管的直接焊接节点承载力不符合规定	98
禁忌 8	矩形管直接焊接节点的承载力不符合规定	103
8	钢与混凝土组合梁的设计	107
禁忌 1	混凝土翼板的有效宽度设计不合理	107
禁忌 2	完全抗剪连接组合梁的抗弯强度未按规定计算	108
禁忌 3	部分抗剪连接组合梁在正弯矩区段的抗弯强度未按规定计算	109
禁忌 4	组合梁抗剪连接件的承载力设计不合理	110
禁忌 5	折减系数取用不合理	112
禁忌 6	位于负弯矩区的栓钉抗剪承载力未予折减	113
禁忌 7	连接件的布置不符合规定	113
禁忌 8	组合梁的挠度计算不符合规定	115
禁忌 9	抗剪连接件的设置不符合相关规定	117

禁忌 10	栓钉连接件的设置不符合相关规定	117
9	钢结构建筑物的抗震设计	119
禁忌 1	在没有特殊要求下, 钢结构房屋的抗震措施未以 12 层为界区分	119
禁忌 2	钢结构在多遇地震下的阻尼比采用不恰当	119
禁忌 3	钢结构在地震作用下的内力和变形分析不符合规定	120
禁忌 4	钢框架构件及节点的抗震承载力验算不符合规定	120
禁忌 5	中心支撑框架构件的抗震承载力验算不符合规定	122
禁忌 6	偏心支撑框架的设计计算不符合规定	123
禁忌 7	钢结构构件连接未按地震组合内力进行弹性设计	124
禁忌 8	框架柱的长细比不符合规定	125
禁忌 9	框架柱板宽厚比不合理	126
禁忌 10	梁与柱的连接构造不符合要求	127
禁忌 11	梁与柱刚性连接时, 柱在梁翼缘上下各 500mm 的节点范围内, 未采用坡口全熔透焊缝	128
禁忌 12	中心支撑杆件的长细比和板件宽厚比不符合相关规定	128
禁忌 13	中心支撑节点的构造不符合要求	129
禁忌 14	偏心支撑框架消能梁段的钢材屈服强度大于 345MPa	129
禁忌 15	消能梁段的构造不符合要求	129
附录		132
附录 A	柱的计算长度系数	132
附录 B	轴心受压稳定系数	144
附录 C	梁的整体稳定系数	148
附录 D	桁架节点板在斜腹杆压力作用下的稳定性计算	152
附录 E	疲劳计算的构件和连接分类	154
参考文献		157

1 基本设计规定

禁忌 1 在钢结构设计文件中，没有对所采用的钢材和连接材料的质量、性能提出明确的要求

【分析】

在设计文件（如图纸和材料订货单等）中应注明的一些事项，这些事项都是与保证工程质量密切相关的。其中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，凡是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。试验结果中屈服点的平均值 μ_{fy} 乘以试验影响系数 μ_{k0} （对 Q235 类钢可取 0.9，对 Q345 类钢可取 0.93）与钢材标准中屈服点 f_y 规定值的比值 $\mu_{fy}\mu_{k0}/f_y$ 不宜小于 1.09（对 Q235 类钢）和 1.11（Q345 类钢），变异系数 $\delta_{KM} = \sqrt{(\delta_{k0})^2 + (\sigma_{fy}/\mu_{fy})^2}$ 不宜大于 0.066，式中 δ_{k0} 可取 0.011， σ_{fy} 为屈服点试验值的标准差。对符合上述统计参数的钢材，且其尺寸的误差标准不低于我国相应钢材的标准时，即可采用《钢结构设计规范》（GB 50017—2003）规定的钢材抗力分项系数 γ_R 。焊缝的质量等级应根据构件的重要性和受力情况按《钢结构设计规范》（GB 50017—2003）有关规定选用。对结构的防护和隔热措施等其他要求亦应在设计文件中加以说明。

【措施】

在钢结构设计文件中，应注明建筑结构设计使用年限、钢材牌号、连接材料的型号（或钢号）和对钢材所要求的力学性能、化学成分及其他的附加保证项目。此外，还应注明所要求的焊缝形式、焊缝质量等级、端面刨平顶紧部位及对施工的要求。

禁忌 2 承重结构没有按规定的承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计

【分析】

《建筑结构可靠度设计统一标准》（GB 50068—2001）规定，各种建筑结构应采用“以概率理论为基础的极限状态设计法”。极限状态的定义为：结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足某一规定功能的要求，此特定状态称为该功能的极限状态。各种承重结构均应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。

承载能力极限状态为结构或构件达到最大承载能力或达到不适于继续承载的变形的极限状态。

正常使用极限状态为结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值的极限状态，在钢结构构件中包括变形和振动等。

如何理解这些极限状态呢？现举例说明。图 1-1a 为一桁架结构中的拉杆，截面无孔

削弱, 设计时应进行下列方面的计算:

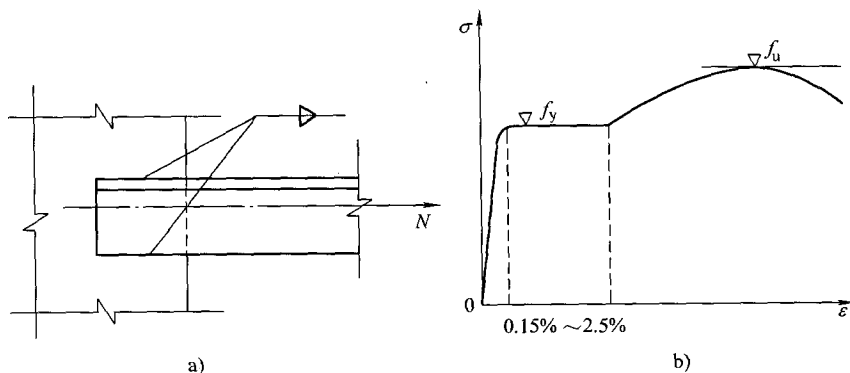


图 1-1 拉杆的设计

- 1) 按承载能力极限状态, 需要进行拉杆的强度计算和端部连接焊缝计算。强度计算是以毛截面屈服作为极限状态, 即:

$$N \leq N_y = Af_y \quad (1-1)$$

然后截面中的应力达到钢材屈服点, 此拉杆并没有被拉断, 也就是没有达到最大承载能力。但是, 从钢材的应力-应变曲线(图 1-1b, Q235 钢)中可以看到, 应力达到屈服点 f_y 后应变可以达到 2.5% 左右, 也就是材料每米伸长 25mm, 如果此杆件长为 5m, 则总伸长可达 125mm。拉杆发生这样大的变形, 肯定会影响整个桁架的工作, 不但使整体桁架下塌, 而且使受力体系改变。因此, 无孔眼削弱的拉杆的强度计算应属于“不适于继续承载的变形”的极限状态。

至于端部连接焊缝的计算, 是以焊缝破坏作为极限状态的, 就应属于达到“最大承载能力”的极限状态。

2) 验算拉杆的长细比, 使长细比不超过容许长细比, 应属于“正常使用极限状态”。拉杆长细比过大时, 可能会因自重而明显下垂, 也可能在动力影响下发生较大振动, 这些都会影响它的正常使用。

【措施】

承重结构应按下列承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计:

- 1) 承载能力极限状态包括: 构件和连接的强度破坏、疲劳破坏和因过度变形而不适于继续承载, 结构和构件丧失稳定, 结构转变为机动体系和结构倾覆。
- 2) 正常使用极限状态包括: 影响结构、构件和非结构构件正常使用或外观的变形, 影响正常使用的振动, 影响正常使用或耐久性能的局部损坏(包括混凝土裂缝)。

禁忌 3 设计钢结构时, 没有根据结构破坏可能产生的后果, 采用不同的安全等级

【分析】

建筑结构安全等级的划分, 按《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001) 的规定应符合表 1-1 的要求。

表 1-1 建筑结构的等级

安全等级	破坏后果	建筑物类型
一级	很严重	重要的房屋
二级	严重	一般的房屋
三级	不严重	次要的房屋

注：1. 对特殊的建筑物，其安全等级应根据具体情况另行确定。

2. 对抗震建筑结构，其安全等级应符合国家现行有关规范的规定。

对一般工业与民用建筑钢结构，按我国已建成的房屋，用概率设计方法分析的结果，安全等级多为二级，但对跨度等于或大于 60m 的大跨度结构（如大会堂、体育馆和飞机库等屋盖主要承重结构）的安全等级宜取为一级。

【措施】

设计钢结构时，应根据结构破坏可能产生的后果，采用不同的安全等级。

一般工业与民用建筑钢结构的安全等级应取为二级，其他特殊建筑钢结构的安全等级应根据情况另行确定。

禁忌 4 按承载能力极限状态设计钢结构时，没有考虑荷载效应的基本组合、偶然组合和标准组合

【分析】

荷载效应的组合原则是根据《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001) 的规定，结合钢结构的特点提出来的。对荷载效应的偶然组合，《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001) 只作出原则性的规定，具体的设计表达式及各种系数应符合专门规范的有关规定。对于正常使用极限状态，钢结构一般只考虑荷载效应的标准组合，当有可靠依据和实践经验时，亦可考虑荷载效应的频遇组合。对钢与混凝土组合梁，因需考虑混凝土在长期荷载作用下的蠕变影响，故除应考虑荷载效应的标准组合外，尚应考虑准永久组合（相当于原标准 GBJ 68—1984 的长期效应组合）。对于承载能力极限状态，结构构件应按荷载效应的基本组合和偶然组合进行设计。

1. 基本组合

对于基本组合，应按下列极限状态设计表达式中最不利值确定：

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

$$\gamma_0 (\gamma_G S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qi k}) \leq R(\gamma_R, f_k, a_k, \dots) \quad (1-3)$$

对于一般排架、框架结构，式 (1-2) 及式 (1-3) 可采用下列简化极限状态设计表达式：

$$\gamma_0 (\gamma_G S_{Gk} + \psi \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} S_{Qi k}) \leq R(\gamma_R, f_k, a_k, \dots) \quad (1-4)$$

式中 ψ ——简化设计表达式中采用的荷载组合值系数；一般情况下可取 $\psi=0.90$ ，当只有一个可变荷载时，取 $\psi=1.0$ ；

γ_G ——永久荷载分项系数，当其效应对结构不利时，对由可变荷载效应控制的组合

(式 1-2) 应取 1.2; 对由永久荷载效应控制的组合 (式 1-3) 应取 1.35; 当其效应对结构有利时, 一般取 1.0; 对结构的倾覆、滑移或飘浮验算, 应取为 0.9;

γ_{Q1} 、 γ_{Qi} ——第 1 个和第 i 个可变荷载分项系数, 一般取 1.4, 对标准值大于 4kN/m^2 的工业房屋楼面结构的活荷载应取 1.3; 当可变荷载效应对结构有利时, 取为 0;

S_{Gk} ——永久荷载标准值的效应;

S_{Q1k} ——在基本组合中起控制作用的一个可变荷载标准值的效应;

S_{Qik} ——第 i 个可变荷载标准值的效应;

ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合值系数, 其值应符合《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) 的规定。

上述式 (1-2) ~ 式 (1-4) 中荷载效应的基本组合仅适用于荷载效应与荷载为线性关系的情况。所采用的荷载系数与结构规范中的抗力分项系数 γ_R 是相应的; 其实, 荷载分项系数还有 $\gamma_G=1.1$ 和 $\gamma_Q=1.3$ 这一组, 假使采用这一组, 则 γ_R 必须重新确定, 其值必然要加大, 这样才能使构件可靠指标尽可能地与目标可靠指标接近。

2. 偶然组合

对于偶然组合, 极限状态设计表达式宜按下列原则确定: 偶然作用的代表值不乘以分项系数; 与偶然作用同时出现的可变荷载, 应根据观测资料和工程经验采用适当的代表值。具体的设计表达式及各种系数, 应符合专门规范的规定。

对于正常使用极限状态, 结构构件应分别采用作用效应的标准组合、频遇组合和准永久组合进行设计, 使变形、振幅、加速度、应力和裂缝等作用效应的设计值符合下式要求:

$$S_d \leq C \quad (1-5)$$

式中 S_d ——变形、裂缝等作用效应的设计值;

C ——设计对变形、振幅、加速度、应力和裂缝等规定的相应限值。

变形、裂缝等作用效应的设计值 S_d 应符合下列规定:

$$1) \text{ 标准组合: } S_d = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik} \quad (1-6)$$

$$2) \text{ 频遇组合: } S_d = S_{Gk} + \psi_{11} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{qi} S_{Qik} \quad (1-7)$$

$$3) \text{ 准永久组合: } S_d = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Qik} \quad (1-8)$$

式中 $\psi_{11} S_{Q1k}$ ——在频遇组合中起控制作用的一个可变荷载频遇值效应;

$\psi_{qi} S_{Qik}$ ——为第 i 个可变荷载准永久值效应。

其他符号意义同前。

注: S_d 的计算公式仅适用于荷载效应与荷载为线性关系的情况。

【措施】

按承载力极限状态设计钢结构时, 应考虑荷载效应的基本组合, 必要时尚应考虑荷载效应的偶然组合。

按正常使用极限状态设计钢结构时, 应考虑荷载效应的标准组合, 对钢与混凝土组合梁, 尚应考虑准永久组合。

禁忌 5 计算结构或构件的强度、稳定性以及连接的强度时没有采用荷载设计值**【分析】**

根据《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001), 结构或构件的变形属于正常使用极限状态, 应采用荷载标准值进行计算; 而强度、疲劳和稳定属于承载能力极限状态, 在设计表达式中均考虑了荷载分项系数, 采用荷载设计值 (荷载标准值乘以荷载分项系数) 进行计算, 但其中疲劳的极限状态设计目前还处在研究阶段, 所以仍沿用原有的按弹性状态计算的容许应力幅的设计方法, 采用荷载标准值进行计算。钢结构的连接强度虽然统计数据有限, 尚无法按可靠度进行分析, 但已将其容许应力用校准的方法转化为以概率理论为基础的极限状态设计表达式 (包括各种抗力分项系数), 故采用荷载设计值进行计算。

【措施】

计算结构或构件的强度、稳定性以及连接的强度时, 应采用荷载设计值 (荷载标准值乘以荷载分项系数); 计算疲劳时, 应采用荷载标准值。

禁忌 6 对于直接承受动力荷载的结构, 没有按规定计算**【分析】**

结构或构件的位移 (变形) 属于静力计算的范畴, 故不应乘以动力系数; 而疲劳计算中采用的计算数据多半是根据实测应力或通过疲劳试验所得, 已包含了荷载的动力影响, 故亦不再乘以动力系数。因为动力影响和动力系数是两个不同的概念。

【措施】

对于直接承受动力荷载的结构: 在计算强度和稳定性时, 动力荷载设计值应乘以动力系数; 在计算疲劳和变形时, 动力荷载标准值不乘以动力系数。

禁忌 7 计算吊车梁或吊车桁架及其制动结构的疲劳和挠度时, 吊车梁荷载没有按作用在跨间内荷载效应最大的一台起重机确定**【分析】**

在吊车梁的疲劳计算中只考虑跨间内起重量最大的一台起重机的作用, 是因为根据大量的实测资料统计, 实际运行中吊车梁的最大等效应力幅常低于设计中按起重量最大的一台起重机满载和处于最不利位置时算得的最大计算应力幅。

将吊车梁及吊车桁架的挠度计算由过去习惯上考虑两台起重机改为明确规定按起重量最大的一台起重机进行计算的原则符合正常使用的概念, 并和国外大多数国家相同, 亦满足了跨间内只有一台起重机的情况。

【措施】

计算吊车梁或吊车桁架及其制动结构的疲劳和挠度时, 吊车梁荷载应按作用在跨间内荷载效应最大的一台起重机确定。

禁忌 8 设计钢结构时, 荷载与结构的重要性系数没有按现行国家标准的规定采用**【分析】**

结构重要性系数 γ_0 应按结构构件的安全等级、设计工作寿命并考虑工程经验确定。

对设计工作寿命为 25 年的结构构件，大体上属于替换性构件，其可靠度可适当降低，重要性系数可按经验取为 0.95。

在现行国家标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) 中，将屋面均布活荷载标准值规定为 0.5kN/m^2 ，并注明“对不同结构可按有关设计规范将标准值作 0.2kN/m^2 的增减”。《钢结构设计规范》(GB 50017—2003) 参考美国荷载规范 7-95 的规定，对支承轻屋面的构件或结构，当受荷的水平投影面积超过 60m^2 时，屋面均布活荷载标准值取为 0.3kN/m^2 。这个取值仅适用于只有一个可变荷载的情况，当有两个及以上可变荷载考虑荷载组合值系数参与组合时（如尚有灰荷载），屋面活荷载仍应取 0.5kN/m^2 。

【措施】

设计钢结构时，荷载的标准值、荷载分项系数、荷载组合值系数、动力荷载的动力系数等，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) 的规定采用。

结构的重要性系数 γ_0 应按现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001) 的规定采用，其中对设计使用年限为 25 年的结构构件， γ_0 不应小于 0.95。

注：对支承轻屋面的构件或结构（檩条、屋架、框架等），当仅有一个可变荷载且受荷水平投影面积超过 60m^2 时，屋面均布活荷载标准值应取为 0.3kN/m^2 。

禁忌 9 计算重级工作制吊车梁及其制动结构的强度、稳定性以及连接的强度时，没有考虑由于起重机摆动引起的横向水平力

【分析】

由重级工作制起重机在行驶时摆动引起的横向水平力俗称卡轨力。规范中规定的起重机横向水平荷载是小车起动或制动时产生的，过去曾称横向制动力。而卡轨力则是由起重机桥架沿纵向行驶时因车身摆动而引起的，这两种力实际上互不相关。

产生起重机卡轨力的原因，首先是起重机轮的水平偏斜。由于起重机本身的缺陷，两侧主动轮直径有误差或前进速度不一致，使起重机纵向运行时两侧不同步；桥架平面上两对角线不相等形成菱形。若桥架平面刚度不足，这种菱形状态会逐渐加剧，这样，会使起重机轮水平偏斜（图 1-2）。另外，由于安装误差，也可能造成起重机轮水平偏斜。

起重机轮水平偏斜使起重机一方面沿着轨道作直线运动，一方面作旋转运动，或者使起重机偏斜于轨道前进。此种不规则运动受到轨道约束之后，起重机轮缘与轨道直接挤压，给予轨道很大的水平力，这种水平力（图 1-2 中的 H_A 、 H_C ）就是卡轨力。

起重机在卡轨状态下前进时，起重机轮水平偏斜使整个起重机平面旋转，卡轨力又迫

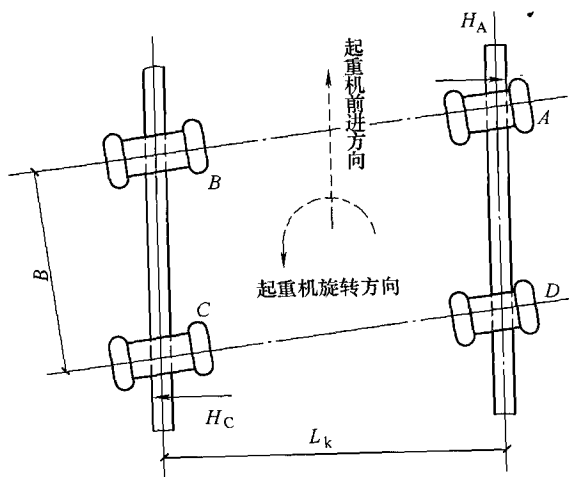


图 1-2 起重机轮水平偏斜引起的卡轨力

使起重机反方向旋转,这两种运动会造成起重机前进中不断摇摆。

其次,轨道及吊车梁偏离设计位置,曲曲折折,使厂房两侧轨道中心距离大于或小于起重机桥梁的跨度,也是产生卡轨的重要原因。不过这种现象在正常使用情况下,容易及时发现和避免。

另外,两列柱子的不均匀沉降也会引起单侧卡轨。在地质条件较差的地区最容易发生这种情况;需经垫高一侧吊车梁,使两侧轨道标高相同,才能纠正。

综上所述,产生卡轨力的原因较多,卡轨现象也各不相同,图 1-2 所示为起重机对角外缘卡轨。其他还有对角内缘卡轨,同侧内缘或外缘卡轨,两侧内缘或两侧外缘卡轨等;有时沿轨道长度方向某一段为内缘卡轨,某一段又为外缘卡轨。但起重机轮的水平偏斜是造成卡轨力的最主要因素,因而对角外缘或对角内缘卡轨较为常见。

除上述因素外,产生卡轨力的原因尚有:

- 1) 起重机受力的偏心。
- 2) 起重机的负荷状况。
- 3) 起重机起吊和运行的速度。
- 4) 起重机桥架的平面刚度,即起重机的长宽比等因素有关,而这些因素又和起重机的类型和用途密切相关。

由上述这些因素产生的卡轨力,在各种桥式起重机运行过程中都可能产生,只是随起重机工作制的不同,对吊车梁(或吊车桁架)结构产生的影响有很大差别而已。中、轻级工作制起重机因操作不频繁,大车行驶速度亦不快。根据我国的实践经验,卡轨力对吊车梁(或桁架)构件及连接的影响亦较小,可忽略不计。但是根据对钢结构厂的调查和卡轨力的测定,发现对重级工作制起重机,尤其是夹钳起重机和刚性料耙起重机,荷载规范规定的横向水平荷载值远远不够。这种起重机操作频繁,昼夜不停,起重机经常满负荷,且运行速度较快(超过 100m/s),容易使桥式起重机发生平面变形,从而使起重机轮和轨道磨损,造成起重机摇摆前进,发生巨大的卡轨力。因此,《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)规定:计算重级工作制吊车梁(或吊车桁架)及其制动结构强度和稳定性以及连接的强度时,应考虑由吊车梁摆动引起的横向水平力(卡轨力),此水平力不与荷载规范规定的横向水平荷载同时考虑。

《钢结构设计规范》(GBJ 17—1988)对卡轨力的考虑采用了对荷载规范规定的起重机横向水平荷载乘以增大系数的做法,增大系数的取值是参照前苏联“冶金工厂重级工作制厂房钢结构设计技术条件”(TY—104—53)的规定。并根据我国于 1972 年在上钢五厂均热炉车间对夹钳起重机的卡轨力进行测定的结果确定的,其中连接计算的增大系数为构件计算增大系数的一倍。从理论上讲,对卡轨力采用增大系数的处理方式是有缺陷的,因为小车制动力和大车卡轨力的起因是截然不同的,不能混在一起考虑;同时对没有小车的特殊起重机(如桥式螺旋式卸车机),按原规范《钢结构设计规范》(GBJ 17—1988)就算不出卡轨力,这显然是不合理的。另外,根据前苏联的经验,用增大系数代表的卡轨力亦不能完全反映实际情况,按此进行设计的吊车梁系统构件及连接仍然有缺损现象。因而有一些学者和设计单位又相继提出了一些计算卡轨力的公式,对增大系数提出了质疑。他们的研究分析证明卡轨力的大小与起重机跨度 L_K 成正比,与起重机一侧两边车轮之间的距离 B (代表起重机宽度)成反比,与主动轮的牵引力成正比。其中牵引力是与垂直轮压

成正比的,所以可认为卡轨力与最大垂直轮压 P_{\max} 成正比。据此,卡轨力的表达式为

$$H = \alpha \frac{L_K}{B} P_{\max} \quad (1-9)$$

式中 α 是系数,与起重机构造形式、特点和用途、工作制以及厂房结构情况有关,应通过各种不同情况的实测结果分析确定。但由于很难获得足够充分的实测资料,故尚难以直接用此公式来计算卡轨力。再说该公式还是比较复杂,而且亦不能反映影响卡轨力的全部因素。总之,由于影响卡轨力的因素很多,要精确计算卡轨力是十分困难的,比较现实的方法只能用半经验半理论的公式进行计算。

因此,前苏联在 1972 年及以后的钢结构设计规范中已不再出现增大系数,而在建筑法规范荷载及其作用(СНИП II 6—74)中,对重级工作制起重机的卡轨力计算采取了一种简化的半经验半理论的方法,即不论计算吊车梁或连接均统一规定为 $T_H = 0.1P_H$ (P_H 为起重机最大轮压的标准值),并认为卡轨力 T_H 的作用方向是可逆的,且不与小车的制动力同时考虑。

在其他国家的规范中,考虑卡轨力的思路和前苏联是一致的,如不区分吊车梁和连接,仅给出统一的计算方法,但对于特殊情况则另行考虑;在取值上,日本亦规定为 $0.1F_{\max}$ 。但是他们并不区分起重机的工作制,即各种工作制的起重机都要考虑卡轨力。

综上所述,我们认为前苏联对卡轨力的考虑方法是可取的,即不分构件与连接统一取值且仅限于重级工作制起重机;在取值上与其他国家亦比较协调,只是需要对特殊性质(用途)的起重机另行考虑。

现行规范 GB 50017—2003 在计算卡轨力时采用了 $H_K = \alpha P_{k,\max}$ ($P_{k,\max}$ 为最大轮压标准值)的表达式,其中 α 系数的取值是针对我国有代表性的 9 种重级工作制起重机,采用不同的计算方法(包括我国《钢结构设计规范》(GBJ 17—1988)规范、起重机规范、前苏联和美国的方法)算出的卡轨力,经过对比分析而得出来的,详见表 1-2。

这样做不仅可以概括各国的经验而且可以反映特殊起重机的情况。最终提出取 $\alpha = 0.1$ (对一般重级工作制软钩起重机)、 $\alpha = 0.15$ (抓斗或磁盘起重机)、 $\alpha = 0.2$ (硬钩起重机)。从调查研究可知,过去设计的吊车梁在上翼缘附近的损坏仍然较多,因此适当加大卡轨力是有必要的。根据试设计的结果,由此而带来的整个吊车梁构件钢材消耗量的增加一般为 5% 左右。

事实上,在设计中即使考虑了卡轨力亦不能保证绝对没有问题,因为卡轨力的大小还与施工质量和使用维修有很大关系,因此必须重视下列各点:

- 1) 卡轨力主要来自起重机,首先应对起重机有严格要求;起重机桥架应有足够的水平刚度和垂直刚度,车轮的水平偏斜应控制在最小误差内。使用单位应对起重机进行正常检查、维修,发现有偏斜应立即处理。尤其是使用多年的起重机可能出现疲劳破损或变形,更应经常维护。
- 2) 吊车梁及轨道的安装误差必须符合施工及验收规范的要求;使用中若出现吊车梁及轨道的平直度不满足要求时,必须立即采取措施。
- 3) 轨道与吊车梁的连接,应尽可能采用可靠的形式,避免使用中轨道偏移。最好研究设计出一种在卡轨力作用下有一定弹性的连接形式,例如,将压板与轨道下翼缘上表面接触处粘垫富有弹性的材料等,这对减小卡轨力有一定的作用。