



以专家的高度，
给您面对面的指导和帮助

钢结构设计 误区与释义

百问百答

视野·方法·经验·数据

丁芸孙 刘罗静◎编著



人民交通出版社
China Communications Press

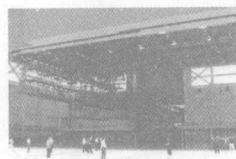
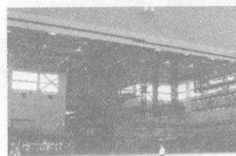


以专家的高度，
给您面对面的指导和帮助

钢结构设计 误区与释义

百问百答 视野·方法·经验·数据

丁芸孙 刘罗静◎编著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书为我国著名钢结构专家丁芸孙的心血之作,以提出问题、阐明意义的方法,结合现行规范,详细总结了多年来从事钢结构设计的经验和思考。从安全度、荷载、稳定、支座假定和支座设计、支撑、预应力钢结构、设计概念与合理选型等二十五个方面解释了规范中不明确和与实际工作中有一定出入的内容。

本书可对一线的钢结构设计、制作、安装及其他钢结构从业者提供有力的帮助,同时也可供参加结构注册工程师考试的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计误区与释义百问百答 / 丁芸孙等著. —北京:
人民交通出版社, 2008.10
ISBN 978-7-114-07169-0

I. 钢… II. 丁… III. 钢结构—研究 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 072601 号

书 名: 钢结构设计误区与释义百问百答

著 作 者: 丁芸孙 刘罗静

责任编辑: 邵 江

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×960 1/16

印 张: 17.75

字 数: 228 千

版 次: 2008 年 10 月 第 1 版

印 次: 2008 年 10 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07169-0

定 价: 35.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

Preface 前言

近年来钢结构得到前所未有的发展,技术人才缺乏和建设速度较快的矛盾愈来愈大。如何提高钢结构从业人员的技术水平和经验,是一个迫在眉睫的问题。目前钢结构的参考书很多,但由第一线钢结构设计工程师撰写的书却很少,因此作者在2006年9月编写,由中国建筑工业出版社出版了《网架网壳设计与施工》一书,该书反应较好,有相当高的实用价值。但该书共80万字,仅设计部分就有60余万字,光看一遍所费时间就很可观,而目前大家工作繁忙,看含大量内容的书有一定困难,因此作者将在北京、上海、徐州等地钢结构技术交流会上的研讨内容及结构注册工程师课程中的讲稿,以小册子形式汇集出问题并进行讲解。根据作者的钢结构工作经验,所收集到的问题都是工程实践中有用的问题,包含了必要的数据、实践经验与广泛吸取大量的专家教授论文专著后得出的结论。本小册子实为读书笔记,作者力争对问题作出简明分析,弄清来龙去脉,找出问题所在,特别是正确领会规范、正确使用规范,对规范中可能有的、未提及、不明确、欠合理、不协调的部分加以解释,并尝试提出解决问题的办法,以供大家探讨。作者力求用最简明的文字,使大家看后即清楚问题,更新知识,避开误区,对于篇幅较大的问题,则提出参考文献出处。本小册子不求公式推导,只求概念清楚。

由于小册子参考摘录了很多专家教授的专著与论文并请教有关问题,在此特一并致谢,文中难免有些内容未详细说明出处敬请原谅。

由于作者经验水平有限,错误之处难免,特请指正。感谢丁静帮助整理文稿。

丁芸孙

2008年4月

Contents 目 录

一、安全度	1
二、荷载	6
三、稳定	24
四、支座假定与支座设计	35
五、温度应力和支座沉陷	60
六、抗震	63
七、疲劳与吊车	72
八、支撑	82
九、钢材	95
十、构件设计	104
十一、焊接	127
十二、空心焊接球节点	136
十三、螺栓球节点	148
十四、高强螺栓板节点及螺栓连接	159
十五、钢管相贯节点	166
十六、混合节点及铸钢节点	185
十七、验收试验加固预警	188



钢结构设计

误区与释义百问百答

十八、预应力钢结构	194
十九、门式刚架与框架、拱	197
二十、围护结构	218
二十一、组合楼板,圆钢管混凝土,矩(方)形钢管混凝土	222
二十二、大跨机库,会展中心,体育场馆,拱形波纹板,腹板 开洞梁拱,张拉弦桁架,索托结构,树枝结构,广告 牌,不锈钢铝合金钢网架,防腐防火等	252
二十三、多层钢结构顶上直升机停机坪荷载	259
二十四、钢结构各设计施工,材料标准及设计标准目录	261
二十五、设计概念与合理选型	270
附表 t_x 、 t_y 系数表	271
参考文献	272

一、安全度



1. 网(壳)架高次超静定结构是否比平面结构可靠度高

一般来说,网(壳)架高次超静定结构要比平面结构更可靠。自从美国哈特福特 $109\text{m} \times 92\text{m}$ 网架倒塌后,有的专家认为网架会连锁破坏,多次超静定优点发挥不出来。国内也有试验得出,网架中一根杆件破坏,另外一根随之破坏,但是试验本身并不符合实际。根据 Mero 规程,第一根杆破坏,第二根杆再破坏时安全度 $K=1$ 即可,这是体系可靠度,而试验的安全度完全靠施加荷载,第一根破坏,第二根荷载无法降低,安全度不降当然跟着破坏,所以实际上网(壳)架的高次超静定安全度仍然比平面结构大。当然也不能忽略优化满应力的缺点,如对缺陷比较敏感。有的规定提出网架相邻杆件断面只能相差 $1 \sim 2$ 级,以防连锁破坏,如按上述意见,将出现大面积人工调整,尤其附近腹杆将加大很多,是不合理的,由以上分析,也无必要。如一根杆件断了,力也是向左右平行杆件重分布。由于断掉一根杆件后,其附近杆件安全度可降低,左右平行杆件可以承受,故附近腹杆也不需加大。

自然界万物结构都是遵循力学原则的,有些更是高度完善的“建筑构件”。空间结构即来源于自然界,外形处理这一新的课题被提出来,人类吸收自然界有用的结构作为建筑形式。但自然界结构的用料节约、技术高明是人类望尘莫及的。如鸡蛋壳是最完



好的壳体,其厚度仅为直径的 $1/120$;而蜘蛛网的强度相当于钢材的十几倍,并且施工简单,一道工序(蜘蛛爬过)吐丝结网即成完整的整体,而人类只能先生产原料再生产杆件,最后还要拼装。



2. 我国规范的可靠度设计与过去方法有何不同^[2]

安全度是安全可靠与经济合理的最佳平衡点。过去最早的安全度设计方法是定值法,即凭经验设定一个安全度,不够科学。第一水准即前苏联的三系数法(超载系数、均质系数、工作条件系数)是半理论半概率的。三系数法是安全度设计的一大进步,缺点是荷载材料分别用概率统计,没有根据不同结构、不同构件的重要性加以区别,工作条件系数的取值也不科学。第二水准是现在用的近似概率法——一次二阶矩法,即以 50 年内不大修的失效概率为基准。事物没有绝对安全的,都存在失效概率。失效概率约十万分之一是人可以接受的上限,如打针、游泳等。据统计每年因结构破坏造成的人员死亡概率为 10^{-6} 。然而使用概率很难测定,如钢材过去的废品限值 240,是工厂验收标准,与概率无关。现用保证率 97.8% 的 235,二者接近是一种巧合。自重可以以概率来统计,但标准差很小,所以用了平均值来统计。风载用 50 年一遇的 10min 平均值作为过去经验值,不是概率。第三水准即全概率,这是根本做不到的,因为很多人为主观的因素是无法统计的。目前国外很多规范未采用可靠度设计方法,他们认为安全所需要考虑的不确定性非常复杂,不是统计数学以概率可以描述和处理的,如重要性、失效后果、破坏性质、造价等因素难以分析。不定性包括物理不定性(材料)、统计不定性(样本)、模型不定性(计算模型与结构实际不同),虚拟失效概率会造成不可揣摩和模糊不清,不如安全度直观,并可能造成概念上的混乱。



3. 为什么吃透规范、灵活处理是保证质量、经济合理的关键

我国规范条文多达 15 万条,数量很多,现又提出“黑体字”条

一、安全度

文,即一般条文可不遵守,只要不出问题就不惩罚;若违反了黑体字条文,即使不出问题也要惩罚,即不允许违反。国外规范指南性较大,设计余地较大,我国规范则带有一定强制性;国外规范经常修改补充,我国修订时间间隔较长。因此规范是双刃剑,既规范了行业的行为准则,也限制了技术发展。虽然近年我国规范进步很大,尤其网(壳)架规程是全世界唯一的专门规程,但我们也应该在吃透规范的基础上在实践探索中前进,设计应走在规范的前面。



4. 规范编号

规范规程:GB——国标强制,GB/T——推荐(主要用于材料);
行业标准:JGJ——建设部,YB——冶金部;
标准化协会:CECS;
地区性标准:DB。



5. 国外可靠性指标控制

国际 ISO 可靠性指标:疲劳极限状态可靠性指标取 2.3~3.1,而结构承载力取为 3.1、3.8 或 4.3。疲劳强度可靠性指标是根据检查可靠性而选择,通过检查探伤,及时发现裂纹并修复。对于连接承载力,欧洲 ECS 如构件抗力分项系数用 1.1,连接为 1.25;可靠性指标,构件为 3.0,连接为 4.5。

正常使用状态国外分可逆与不可逆两种情况。受力消失即可恢复时为可逆(变形,振动)。不可逆(裂纹) $\beta=1.5$,可逆 $\beta=0$,可在处理时参考。国内无此类划分。



6. 变形对围护结构的影响,了解规范对变形控制的原因

表 1-1^[4]表示了不同变形对围护结构产生的影响。



表 1-1

相对挠度和位移	能见与否	问 题
$\leq h/1\ 000$	不能见	砖砌体开裂
$h/500$	不能见	间隔墙开裂
$h/300 \sim L/300$	能见	装修损坏,加筋墙开裂,顶棚楼面损坏,围护结构渗漏
$L/200 \sim L/300$	能见	困扰观感,轻质隔墙和展示窗损坏
$L/100 \sim L/200$ $h/100 \sim h/200$	能见	面层损坏,门、窗和滑门开启受阻

注: h ——楼层高度;

L ——弯件跨度。



7. 设计计算采用弹性而截面计算采用弹塑性的矛盾

目前设计计算基本上采用弹性,而截面计算采用弹塑性,这是全世界都存在的矛盾,而塑性设计能解决此矛盾。国际上采用塑性设计的例子也不少,我国规范(即《钢结构设计规范》(GB 50017—2003),以后简称“规范”)也与国际接轨,采用了塑性设计。塑性设计即是允许出现一系列塑性铰,允许截面塑性发展引起内力重分布,但以一系列塑性铰转化为机动体系(即破坏机构体)为极限状态。由于经验不足,目前塑性设计的应用仅限于两层及两层以下框架、超静定梁。塑性设计中因为第一次加载后产生残余变形,在第二次加相同荷载时可能产生比第一次更大的变形。国外对塑性设计的安定荷载比较注意,如弹性弯矩和残余弯矩之和刚好等于塑性铰弯矩,此为安定性定理,即为安定荷载,但由于一般情况下安定荷载接近机动,因此可以不计算,但遇到可变荷载超过标准值时,应验算安定荷载。总之,塑性设计还存在一些问题没有解决,国内外设计师尚未真正采用塑性设计。



8. 楼板的振动频率控制^[4]

楼板的振动频率在 $2 \sim 8\text{Hz}$ 范围内,有感界限为 $0.5g$ (g 为重

一、安全度

力加速度),人活动可产生频率 1~4Hz,一般设计采用 5Hz(特殊情况如舞蹈学校可采用 8Hz)。加拿大规范对于 7~20m 跨度的单向简支梁有下式要求:

$$f_1 = 156 \sqrt{\frac{EI_1}{qL_1^4}} \quad (1-1)$$

式中: E ——弹性模量,MPa;

I_1 ——钢梁截面惯性矩,截面为组合梁时把混凝土换算为钢, mm^4 ;

L_1 ——跨长,mm;

q ——梁上恒载,N/mm。

裸楼板阻尼取为 3%,有吊顶及家具 6%,有隔墙 12%,如楼板支承在主梁上, $1/f^2 = 1/f_1^2 + 1/f_2^2$,其中 f_2 为支承在与次梁板垂直的立梁上的楼板频率。

9. 资料介绍

当圆管 $D < 70\text{mm}$,方管 $h < 90\text{mm}$ 时,其破坏呈脆性,因此安全度应适当加大 10%。^[2]



钢结构设计

误区与释义百问百答



二、

荷 载



1. 自重分项系数为何分 1.2 和 1.35

分项系数用 1.35 是在恒载控制时,如采用 1.2 则安全度会比活载占控制时低,因此采用 1.35 是为了弥补安全度。



2. 活载要不要取不利位置

平板网架的活载不必要取不利位置,历来都未考虑;一些对不对称荷载较敏感的结构(如拱、筒壳等)则需要考虑。



3. 活载面积的折减

《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS 102:2002) 3.2.2条附注:对受荷水平投影面积大于 60m^2 的刚架构件,活载可取不小于 0.3kN/m^2 的值,很值得探讨。活载实质上是安全储备,而门架本身结构比较单薄,梁柱节点、柱与基础的简易节点,都肯定是半刚性节点中较弱者,而计算中却均定为刚性节点,计算模型与实际构造不符,是非常薄弱的环节。而将活载扣到 0.3kN/m^2 也可能是大面积门架倒塌的原因之一。目前,国际上即使不可能有雪载的中东、非洲,也没有按照活载小于 0.5kN/m^2 进行设计的。

美国 MBMA 规定:不上人屋面活载为 20lb/ft^2 (相当于

二、荷载

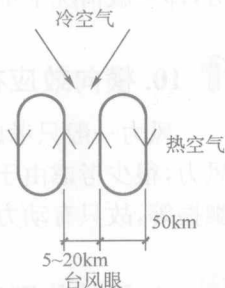
0.96kN/m²),面积大于 56m² 时,可折减为 0.58kN/m²;英国规范 BS 6399 规定活载为 0.75kN/m²,在雪载下用 0.6kN/m²。

💡 4. 附加荷载何时需按集中荷载考虑

超过 25kg/m² 的附加荷载需考虑有无集中荷载,例如 25kg 重的空调机在檩条计算中即需按集中荷载计算。

💡 5. 台风是怎样形成的^[5]

台风一般发生在南北纬 5°~20°,水温 27~30℃,一般发生在 7~10 月间,其中 8 月最多。台风眼内风平浪静,冷空气由空气交流而形成,到地面缺水份而蒸发,因地面摩擦而减弱,如图 2-1 所示。太平洋叫台风,大西洋叫飓风,印度洋叫旋风。



💡 6. 我国要不要考虑龙卷风

虽然龙卷风范围小、时间短、破坏惊人,但我国龙卷风少,不需考虑。

💡 7. 不同时距与 10min 风速推算系数

β ,见表 2-1、表 2-2,各国一致 $\omega_0 = v_0^2/1600$ (kN/m²)

图 2-1

表 2-1

时距	1h	10min	5min	2min	1min	0.5min	20s	5s	瞬时	(美国 3s)
β	0.94	1	1.17	1.16	1.2	1.26	1.28	1.39	1.5	(约 1.45)

表 2-2

重现期	5 年	10 年	15 年	20 年	30 年	50 年	100 年
γ	0.609	0.73	0.799	0.846	0.914	1	1.124



钢结构设计

误区与释义百问百答



8. 我国风载是否比国外小很多

我国目前按 10min 风速计算风载,美国按 30~40s,两者相差较大,但美国允许风载时应力提高 1.33 倍。我国安全度偏低 $K=1.41 \sim 1.45$,小于英美的 1.67。美国现在规范为 3s,风压比我国大 $1.45^2 / 1.33 = 1.58$ 倍。



9. 风要不要考虑疲劳

风分为平均风(稳定风)和脉动风(称阵风脉动)。稳定风是长周期的风,远远大于脉动风,本质是动力,但设计一般按静力考虑,因此英国 BS 5950 规范规定:在脉动风不是主要情况下,不考虑疲劳,即一般情况下不考虑疲劳,特殊的风才考虑疲劳。



10. 横向效应在什么情况下考虑

风力一般只考虑顺风力,我国的风压、阵风、风振都仅考虑顺风力,很少考虑由于风的涡旋引起的弯与扭的耦合振动,如驰振、颤振等,故只有动力失稳时才考虑横向风,在桥梁中较多考虑。



11. 风的体型系数

一般高度小于 18m、檐口高度小于房屋最小尺寸即可按门架规程取定体型系数;而有的以 $L/H \leq 4$ 为分界,在设计中哪本规范规定受力大即用哪本,是不合理的。因为 18m 为界的两本规范依据不同试验数据,是分别使用的,并不需要两者兼顾。美国即明确规定 18m 以下采用 MBMA,18m 以上采用 UBC。



12. 门架规程的风体型系数与荷载规范相比对门架有何影响

《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS 102:2002)和

二、荷载

《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)两者的差别在于门架规范向上风大,而荷载规范水平风大,结果是门架规程偏安全。

💡 13. 门架规程风载为何要乘 1.05

国外一般低矮房屋在海岸线时应乘以 1.1,我国并未区分海岸线地区,统一乘以 1.05。

💡 14. 部分开敞与开敞建筑如何判定

部分开敞即一面墙开口超过其余墙面和屋面开口面积的总和、并大于该墙面面积的 5%,在开口大时其内部风力也应加大为 $-0.3 \sim +0.6$ 。开敞建筑指开口超过墙面面积的 50%。

💡 15. 端部门架如何算风力

当端部风载加大区域小于柱距时,端部门架也应按风力加大考虑。

💡 16. 门架坡度 $> 10\%$ 能否用门架规程风体型系数

门架规程的风载体型系数是考虑坡度 $\leq 10\%$ 而制定的,如果超过 10% 门架体型则体型系数应加大 10% 。

💡 17. 航空航天的风洞试验能否用于建筑

过去风洞试验都用航空航天的试验设备,但建筑在地面高度 600m 以内的边界层风速是改变的,与航空航天高空不同,风速变化将引起气流流动及风压值改变,对于有尖角的建筑,如平顶房屋即一般厂房,其气流层的分离点在尖角处,风速变化影响小;而对于曲面结构其风速在变,引起气流分离,其分离 S 是变化的,如图 2-2 所示。因此,曲面应采用风速变化的风洞试验,而平屋顶可以



近似用航天航空风洞试验。

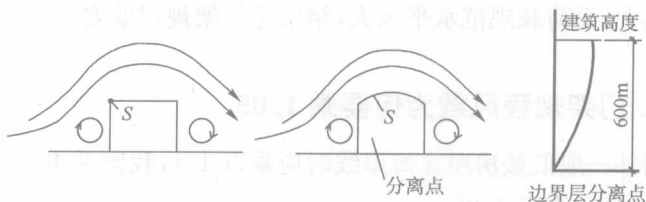


图 2-2



18. CFD(计算流体力学)能否代替风洞试验^[6,8,9]

CFD的测量系统不会对流体产生干扰,可以避免风洞试验缩尺而带来的相似的问题。CFD对于流动参数选择有灵活性,价格也便宜,在航空航天方面已使用很成熟,而在土建行业刚起步,对于湍流分离等复杂问题还未彻底解决,但风洞试验也存在更多问题,因此可以CFD来代替风洞试验。



19. 筒壳、球壳等风体型系数各国规范出入较大,该如何处理^[7]

目前在我国规范及澳、美及前苏联规范中筒壳风体型系数都不太接近,由于风荷的复杂性与风洞试验的不完善,有出入是正常的。目前的澳、美、前苏联比较安全(见图 2-3),如果有体型相似的风洞试验也应多做一些验算。穹顶即球壳风体型系数,目前我国规范可以用,最好也按英国荷载手册再验算[可参考《网壳结构设计》(尹德钰等,中国建筑工业出版社出版)]。

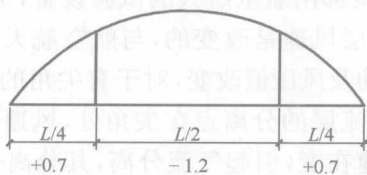


图 2-3

二、荷载

由于风的复杂性,各国规范不一致,一般应取最大值来验算。

我国规范当球壳下无圆柱筒时,穹顶的体型系数与前苏联较为接近,但比前苏联的全面。前苏联的系数与矢高比无关,这是不合理的。我国规范分为 $f/l > \frac{1}{4}$ 、 $f/l \leq \frac{1}{4}$ 两种情况,其缺点是缺少球壳下有圆柱筒情况的风力,而英国风荷载手册(如图 2-4 所示)分为 f/l 分别为 0.5 和 0.1 两种情况,范围又比我国规范窄一些。我国规范包括 $f/l < \frac{1}{4}$ 的情况,但却未包括球壳下有圆柱筒情况。目前有的风洞试验认为有无圆柱筒出入不大,但试验数据较少,实际中还宜分两种情况计算。

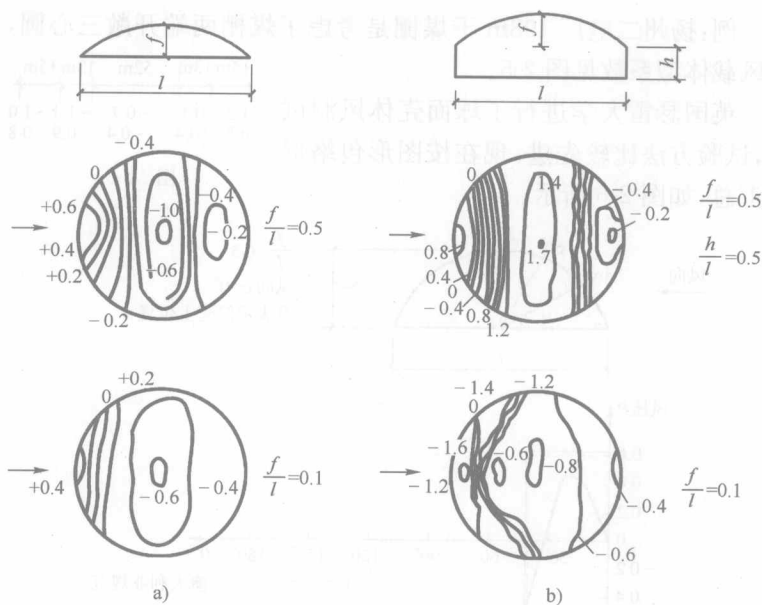


图 2-4

我们对落地拱 $f/l_0 = 0.5$ 的情况将各国规范作一对比,如表 2-3 所示($\alpha=0$,按照惯例体型系数“+”为压力,“-”为吸力)。