

7
**JIANMING GANGJIEGOU
SHEJI YU JISUAN**

简明钢结构 设计与计算

牟在根 主 编
孙仁范 副主编
崔正秀 主 审
钟善桐



人民交通出版社

China Communications Press

简明钢结构设计与计算

Concise Design and Compute of Steel Structures

主 编 牟在根
副主编 孙仁范 崔正秀
主 审 钟善桐

人民交通出版社

内 容 提 要

本书按照最新颁布实施的《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)编写。内容丰富、新颖,在简明阐述设计方法、要点及构造要求的同时,包含很多常用的钢结构构件设计算例,这些都是本书编者多年设计经验的总结。本书编排合理,简明易懂,是钢结构设计工作者良好的参考书,也可供广大施工单位、科研院校相关专业人士参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

简明钢结构设计与计算 / 牟在根主编. —北京: 人民交通出版社, 2005.7

ISBN 7-114-05665-6

I. 简… II. 牟… III. ①钢结构—结构设计②钢结构—结构计算 IV.TU391

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第079741号

书 名: 简明钢结构设计与计算

著 作 者: 牟在根

责任编辑: 武晓涛

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) 85285656, 85285838, 85285995

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: 北京宝莲鸿图科技有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 30.5

插 页: 1

字 数: 776 千

版 次: 2005年9月 第1版

印 次: 2005年9月 第1次印刷

书 号: ISBN7-114-05665-6

印 数: 0001~4000 册

定 价: 50.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

随着我国国民经济的迅速发展,钢结构在建筑结构中应用的比率越来越高,尤其是在高层与超高层建筑、大跨度空间结构、桥梁结构等建筑物中大量采用钢结构或钢与混凝土组合结构,为钢结构的进一步发展提供了很广阔的发展空间。20世纪80年代以来,东部沿海地区引进国外轻钢建筑,促进了国内各种钢结构厂房的建设,并在北京、上海、深圳各地相继兴建了数十幢高层钢结构建筑和亚运村等一大批体育馆建筑,迎来了我国钢结构建筑发展的第一次高峰。20世纪90年代至今,我国钢产量迅猛提高,在短短的几年内,中国已成为世界产钢大国,2002年的钢产量已达1.9亿吨,成为世界第一钢材生产大国。同时,随着我国冶金企业不断调整产业结构,钢与钢材的品种、规格日渐增多,建筑配套产品日益齐全,为在建筑工程中应用钢材提供了有利的条件。国家的建筑技术政策也由以往的限制使用钢材转变为积极推广应用钢材,从而出现了规模更大、技术更新的局面,充分展现了钢结构建筑以高技派的手法带来现代生活的新气息。现在不论是大跨度的体育场馆、会展中心、候机大厅、会堂剧场,还是超高层的办公楼、饭店、住宅,乃至大面积的工业厂房、仓库,无不见到钢结构的踪影。目前钢结构的大量发展一方面代表了我国建筑技术水平的发展,另一方面也暴露了钢结构人才的匮乏,不论是设计或施工方面都急需有经验的技术人员。因此,在钢结构领域的教育与再教育就成为当务之急,而提供好的学习、参考用书的必要性也就不言而喻了。

在本书的编写过程中,以现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)、《钢—混凝土组合结构设计规程》(DL/T 5085—1999)、《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(CECS 102:2002)、《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99—98)等规范和规程为依据,并考虑工程技术人员的設計习惯,从构件的设计与计算要点入手,结合计算实例和工程设计实例,深入浅出、简明扼要地进行了说明,在内容上包括:钢结构概念设计、构件的连接计算、屋面构件及钢屋架、抗侧力构件的设计与计算、轻钢结构的设计与计算、钢—混凝土组合结构以及钢结构防锈及抗火设计等,附录中列入了常用的设计图表,以便设计计算时参考。

全书由车在根任主编,孙仁范和崔正秀任副主编,并由钟善桐教授主审。各章节的编写人员为:第一章第一~六节车在根、第七节崔正秀;第二章孙仁范和王彦兵;第三章张举兵;第四章车在根;第五章张举兵;第六章第一~四节尚自端和李达、第五节崔正秀;第七章崔正秀;附录车在根。值得一提的是:在本书的编写过程中,我们参考和引用了钟善桐、陈富生、邱国桦、范重、周学军、罗福午、刘大海、杨翠如、张培信、宋曼华、汪一骏、赵西安、李国强等教授和专家们公开出版的书籍的部分内容,在此谨向上述作者表示感谢。

由于编者水平所限和时间紧迫,书中论述不当或错误之处在所难免,衷心希望读者们予以批评指正。

编者
2005年5月



第一章 钢结构概念设计与基本规定	1
1.1 概念设计	1
1.2 设计原则	3
1.3 荷载和荷载效应计算	6
1.4 设计与计算中有关的系数	11
1.5 按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计钢结构时的有关限制和规定	18
1.6 地震作用和结构抗震验算	22
1.7 材料选用与设计指标	27
第二章 钢结构构件的连接计算	37
2.1 基本规定	37
2.2 钢结构连接材料	40
2.3 钢结构的连接	43
2.4 梁和柱节点	69
2.5 梁与柱的连接计算	77
2.6 梁与梁拼接的连接计算	97
2.7 次梁与主梁的连接计算	112
2.8 柱与柱的拼接连接计算	120
2.9 钢柱柱脚连接设计	128
第三章 屋面构件及钢屋架	145
3.1 压型钢板	145
3.2 檩条设计	160
3.3 天窗架设计	172
3.4 钢屋架设计	188
第四章 钢结构的抗侧力构件设计与计算	217
4.1 支撑体系的计算	217
4.2 钢板剪力墙的计算	227
4.3 内藏钢板支撑剪力墙的设计	230
4.4 带竖缝混凝土剪力墙板的设计	237
第五章 轻型钢结构设计与计算	246
5.1 轻型钢结构的特点与应用	246
5.2 刚架的设计与计算	250
5.3 刚架的主要节点设计与支撑设置	271
5.4 门式刚架的计算实例	277

第六章 钢—混凝土组合结构	289
6.1 钢筋混凝土材料	289
6.2 压型钢板与混凝土组合楼板的设计与计算	290
6.3 型钢与混凝土组合梁结构的设计与计算	297
6.4 型钢混凝土结构设计与计算	310
6.5 钢管混凝土结构设计与计算	323
第七章 钢结构防锈以及抗火设计	343
7.1 钢结构防锈	343
7.2 钢结构抗火	344
附录	357
附录 A 建筑用钢材的强度、化学成分及力学性能	357
附录 B 热轧圆钢、方钢的规格及截面特性	364
附录 C 各类钢管的规格及截面特性	367
附录 D 热轧角钢的规格及截面特性	375
附录 E 热轧工字钢、槽钢的规格及截面特性	383
附录 F 热轧 H 型钢的规格及截面特性	390
附录 G 热轧 T 型钢的规格及截面特性	395
附录 H 普通焊接 H 型钢的规格及截面特性	397
附录 I 国外部分 H 型钢的规格及截面特性	401
附录 J 冷弯薄壁型钢的规格及截面特性	418
附录 K 建筑用压型钢板型号及截面特性	429
附录 L 压型钢板及其零配件	436
附录 M 普通螺栓和高强度螺栓承载力设计值	445
附录 N Q235 钢、Q345 钢锚栓选用表	453
附录 O 高强度螺栓及圆柱头焊钉	456
附录 P 钢管混凝土构件的规格及截面特性	462
参考文献	481

第一章 钢结构概念设计与基本规定

1.1 概念设计

1995年5月在荷兰阿姆斯特丹召开的第五届国际高层建筑会议上,发布的全世界最高的100幢超高层建筑,采用全钢结构的有56幢,采用钢—混凝土组合结构(包括型钢混凝土结构)的有26幢,采用钢筋混凝土结构仅有18幢^[15]。

20世纪80年代我国改革开放之后,东部沿海地区引进国外轻钢建筑,促进了国内各种钢结构厂房的建设,并在北京、上海、深圳各地相继兴建了数十幢高层钢结构建筑和亚运村等一大批体育馆建筑,迎来了我国钢结构建筑发展的第一次高峰。20世纪90年代至今,我国钢产量有了迅猛的提高,在短短的几年内,中国已成为世界上产钢大国,2002年的钢产量是1.9亿吨,成为世界第一钢材生产大国。同时,随着我国冶金企业不断调整产业结构,钢与钢材的品种、规格日渐增多,建筑配套产品日益齐全,为建筑工程用钢提供了有利的条件。国家的建筑技术政策也由以往的限制使用钢材转变为积极推广应用钢材,从而出现了技术更新的局面,充分展现了钢结构建筑的高技派手法,为现代生活带来了新气息。现在不论是大跨度的体育场馆、会展中心、候机大厅、会堂剧场,还是超高层的办公楼、饭店、住宅,乃至大面积的工业厂房、仓库,无不见到钢结构的踪影。

钢结构的大量发展一方面代表了我国建筑技术的发展水平,另一方面也暴露出钢结构人才的匮乏。对于钢结构建筑物的设计而言,要求工程技术人员首先进行建筑工程的概念设计,它包括建筑方面的概念设计和结构方面的概念设计两大部分。在建筑工程的概念设计阶段中,要求在环境的布局 and 治理、建筑的空间和形式、结构的体系和材料、施工的方法和效益之间协调一致,并能做到在功能上、结构上,以及美观和建造上都能得到统一。

结构的概念设计是在对建筑物所在地区的规划和自然环境、建筑意图、使用功能需要的理解,以及对资金状况、材料来源和建筑条件有所了解的情况下,确定结构的总体方案、结构体系以及细部构造等。结构概念设计主要是对力学概念、材料性能、结构体系和建筑技术的熟练运用,同时还应具备审美的眼光、工程的意识和丰富的实践经验。在结构概念设计过程中,要进行整体的考虑、全面的比较、快速的估算、综合的评价,而且要在尽可能短的时间内进行果断的选择。当然,有时也可能要经历一个反复比较的过程,甚至还要进行一些模拟试验。总之,结构概念设计的目的是在初步设计前为新设计的工程项目设想一个概念性的总体方案,使今后的钢结构设计、施工和使用都能够做到又快又好,还节省材料的目的。

要做好结构概念设计,必须重视和尊重业主代表,建筑和设备主持人,施工人员的要求、思路、观点和意见,结构专业与其他专业之间的矛盾可以在相互了解、协商和探讨中得到满意的解决。概念设计的成果是在初步设计以前的设计构思,以及综合考虑规划、建筑、结构、设备、施工等诸多方面关系后所形成的建筑物总体设计方案。因此,对于结构的概念设计来说,要根据长期安全使用的要求、建筑设计的需要、技术经济的可能,以及结构受力分析的结果,完成以

下几方面的内容^[22]：

- ①确定主体结构的结构体系；
- ②选择主要的结构用材料；
- ③考虑关键部位的构造措施；
- ④合理建议先进的施工技术。

以上都是为建筑物的初步设计和施工图阶段设计服务的。

在结构概念设计阶段,尤其对具有抗震设防要求的建筑物来讲,其抗震设计的最基本原则是“小震不坏,中震可修,大震不倒”。也就是在遇到多遇烈度地震时(50年中超越概率为63.2%),结构一般不应受损或不需修理;在遇到基本烈度地震时(50年中超越概率为13%),允许结构某些部位进入塑性状态,吸收并耗散地震能量,震后结构经一般修理可继续使用;在遇到罕遇烈度地震时(50年中超越概率为2%~3%),结构不致倒塌或发生危及生命安全的严重破坏。按此原则进行建筑物的抗震设计,至少可以避免人员伤亡的情况。此外,还要注意地震的消能减震技术,比如隔震、耗能、增加延性、设置阻尼系统等。隔震是指在建筑物底座处设置合成橡胶支座、滚轴、套筒柱、滑板等装置,获得柔性效果,改变该建筑物振动时的基本周期,使其和地震引发地面运动的卓越周期不同,达到减震效果。同时,还要设置一些阻尼器,以便降低因地震产生的振幅。耗能是指将地震时地面运动的卓越周期进行一次结构的周期转变,即允许地震能量进入建筑物,被该建筑物抗震结构体系中某些构件所设的耗能装置吸收。这些耗能系统中有金属系统、摩擦系统、粘弹性系统、粘滞和半粘滞系统等,他们都能使地震能量转化为结构中的热量而部分消失。延性是指材料、结构构件或结构体系利用非弹性变形阶段的变形吸收能量的能力,使结构在可接受的变形范围内吸收能量而不破坏。

结构概念设计是在对力学、结构、材料、建筑以及施工与管理等知识的认识,对建筑、结构和设备功能需求的理解,对设计、施工和使用实践的领会以及长期对工程经验的总结的基础上来确定结构的总体设计方案。其具体的原则有以下几方面^[22]：

(1)全面考虑原则

结构概念设计时,对建筑、结构和施工等各个方面应作全面的考虑。同时,应注意使用、功能、美观、技术和经济方面的要求,还要正确对待整体、局部及它们之间的关系。

建筑方面应考虑空间、尺度、联系等使用要求,采光、通风、防火等功能要求,美学、形式、风格等美观要求。

结构方面应考虑结构整体和关键部位受力、变形的合理性,主要构件的连接、构造的牢固性,所选结构体系、形式的可靠性、经济性和新颖性以及结构所用材料的耐久性。

施工方面应考虑取材的现实性,成型的可能性,做法的合理性以及施工技术的先进性等。

(2)功能协调原则

结构概念设计应尽可能做到结构与建筑、设备和施工方法的功能协调,以便取得更大的效能和效益。

建筑功能的协调,要做到建筑体型与结构体系相协调,建筑使用与结构布置相结合,建筑分区与结构分段相一致等。

设备功能的协调,要做到设备系统与结构布置相对应,设备线路与结构构件相顺通,设备部件与结构构造相匹配等。

施工方法的综合协调,可将模板作为结构构件的组成部分并考虑构件受力元素和受力状态与施工过程中的做法相一致等。

(3)实际出发原则

结构概念设计必须从实际情况出发,认真考虑当地固有的自然条件、人文条件和资源条件,处理所遇到的问题,只有这样才能使所做的概念设计方案充分满足未来使用时的实际需要。

(4)精益求精原则

结构概念设计往往是多种方案比较优选的过程,所以设计的每一步都要认真仔细地分析比较,方能择优确定概念设计方案。

(5)减轻自重原则

结构所受的竖向荷载的85%以上是建筑物自重,而且地震作用与建筑物自重成正比,所以减轻自重是一条重要的结构概念设计的原则。

(6)空间作用原则

建筑物是一个空间结构,结构概念设计应考虑建筑物内各部分结构的空間作用,使所设计的建筑结构刚度加大、内力减小、受力性能得到改善。

(7)受力合理原则

结构概念设计需要运用力学原理来处理结构构件的一般受力分析问题。

(8)优化选型原则

结构概念设计归根到底是确定主体结构体系及其联系,所以可以用分析比较的方法进行优化选择。

①优化结构体系。根据环境、使用、建筑和荷载情况优化选择合理的结构体系,如框架结构、支撑结构、筒体结构等。

②优化结构布置。在满足使用要求和建筑意向的前提下,优化布置楼盖水平系统、柱墙等竖向支撑系统和基础系统,其中重要的原则是平立面宜规则、对称,具有良好的整体性以及竖向刚度宜均匀、避免突变。

③合理构造做法。重点是结构构造做法与建筑构造要求相一致;结构的理论构造要求与施工的实际构造做法相一致。

总之,建筑工程的概念设计是设计的灵魂,也是整个建筑过程中的灵魂,它为完成初步设计和施工图阶段设计提供了正确的概念和思路。因此,概念设计是非常重要的,优秀的概念设计是设计人员具有高素质和高修养的具体表现。

1.2 设计原则

1.2.1 设计方法

钢结构设计除疲劳计算按容许应力幅计算,应力按弹性状态计算外,其他则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。

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。

①承载能力极限状态:这种极限状态对应于结构、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:这种极限状态对应于影响结构、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。

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的安全等级取为二级,其他特殊建筑钢结构的安全等级可根据具体情况进行确定。

1.2.2 荷载组合

按承载力极限状态设计钢结构时,例如计算强度和稳定性,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。考虑到钢结构主要为单一材料制成,故在承载力极限状态设计时,采用应力表达式,而按塑性设计强度计算和组合结构计算时,则采用内力表达式。

按正常使用极限状态设计钢结构时,例如验算变形和长细比,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。

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,也就是荷载标准值乘以相应的荷载分项系数;计算疲劳和正常使用极限状态的变形时,应采用荷载标准值。

1.按承载力极限状态设计

对于承载能力的极限状态,应按荷载效应的基本组合和偶然组合计算,并采用式(1-1)进行结构设计:

$$\gamma_0 S \leq R \tag{1-1}$$

式中: γ ——结构重要性系数,对安全等级(表 1-1)和设计使用年限(表 1-2)为一级或 100 年以上、二级或 50 年、三级或 5 年的结构构件可分别取为 1.1、1.0、0.9,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;

S ——荷载效应组合的设计值;

R ——结构构件抗力的设计值,应按有关建筑结构设计规范的规定确定。

建筑的安全等级 表 1-1

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.地基基础设计安全等级及按抗震要求设计时建筑的安全等级,尚应符合国家现行有关规范的规定。

结构的设计使用年限分类 表 1-2

类 别	设计使用年限(年)	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

(1)对于基本组合,荷载效应组合的设计值 S 应从下列组合值中取最不利值确定:

①由可变荷载效应控制的组合,按式(1-2)设计:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \Psi_{Qi} S_{Qik} \tag{1-2}$$

式中: γ_G ——永久荷载的分项系数;

γ_{Qi} ——第 i 个可变荷载的分项系数;

S_{Gk} ——按永久荷载标准值 G_k 计算的荷载效应值;

S_{Qik} ——按可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值, 其中 S_{Qik} 为诸可变荷载效应中起控制作用者;

Ψ_{Qi} ——可变荷载 Q_i 的组合值系数。

②由永久荷载效应控制的组合, 按式(1-3)设计:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \Psi_{Qi} S_{Qik} \quad (1-3)$$

式中变量含义同式(1-2)中变量。

(2)对于一般排架、框架结构, 基本组合可采用简化规则, 并按下列组合值中取最不利值确定:

①由可变荷载效应控制的组合, 按式(1-4)设计:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} \quad (1-4a)$$

$$S = \gamma_G S_{Gk} + 0.9 \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} S_{Qik} \quad (1-4b)$$

式中变量含义同式(1-2)中各变量。

②由永久荷载效应控制的组合仍按式(1-3)采用。

(3)对于偶然组合, 荷载效应组合的设计值可按式(1-5)确定:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + S_{Ak} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \Psi_{Qi} S_{Qik} \quad (1-5)$$

式中: S_{Ak} ——按偶然荷载代表值 A_k 计算的荷载效应值。与偶然荷载同时出现的其他荷载可根据工程经验采用适当的代表值。

2. 按正常使用极限状态设计

对于正常使用极限状态, 应根据不同的设计要求, 采用荷载的标准组合、频遇组合或准永久组合, 并采用下列设计表达式进行结构设计:

$$S \leq C \quad (1-6)$$

式中: C ——结构或构件达到正常使用要求的规定限值, 如变形、裂缝、振幅、加速度、应力等的限值。

(1)对于标准组合, 按式(1-7)采用:

$$S = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \Psi_{Qi} S_{Qik} \quad (1-7)$$

(2)对于频遇组合, 按式(1-8)采用:

$$S = S_{Gk} + \Psi_n S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \Psi_{Qi} S_{Qik} \quad (1-8)$$

式中: Ψ_n ——可变荷载 Q_1 的频遇值系数;

Ψ_{Qi} ——可变荷载 Q_i 的准永久值系数。

(3)对于准永久组合, 按式(1-9)采用:

$$S = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \Psi_{Qi} S_{Qik} \quad (1-9)$$

式中变量含义同式(1-7)、式(1-8)中变量。

1.2.3 相关规范、规程及标准

钢结构设计应贯彻执行国家的技术经济政策,做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量,而且必须正确地选用并遵守下列相应的技术规范、规程与标准:

①《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)(以下简称《统一标准》)规定了各种建筑结构设计应采用的理论及设计原则,是制定各类建筑结构设计规范所遵循的基本依据。

②《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)(以下简称《荷载规范》)规定了各类常用荷载的取值标准、方法及相应的各种系数等。

③《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)(以下简称《抗震规范》)为地震区建筑物设计所应遵循的规范。

④《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)(以下简称《钢结构规范》)为进行型钢、钢板、组合梁等钢结构构件设计时应遵循的基本规范。

⑤《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)(以下简称《薄钢规范》)为设计薄板冷弯成型的型钢应遵循的专门规范。

⑥《型钢混凝土组合结构技术规程》(JGJ 138—2001)(以下简称《钢混规程》)为设计型钢与混凝土组合结构时,应遵循的专门规定。

⑦《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS 102:2002)(以下简称《刚架规程》)为设计门式刚架轻型房屋钢结构时应遵循的专门规程。

⑧《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99—98)(以下简称《高层钢结构规程》)为设计高层钢结构建筑时应遵循的基本规定。

⑨《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045—95)(以下简称《防火规范》)为设计高层民用建筑时应满足的防火要求和规定。

⑩当设计钢管混凝土结构时,尚应遵循《钢管混凝土结构设计与施工规程》(CECS 28:90)(以下简称《钢管规程》)的专门规定。

⑪设计钢结构时,尚应了解有关钢结构施工验收的相应要求,也就是《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)(以下简称《钢结构验收规范》)中有关质量检验、尺寸公差标准等要求。

⑫钢结构设计时,在符号、基本术语等方面还应满足《建筑结构设计术语和符号标准》(GB/T 50083—97)(以下简称《符号标准》)的规定。

总之,设计钢结构时,应从工程实际情况出发,合理选用材料、结构方案和构造措施,并应满足结构在运输、安装和使用过程中的强度、稳定性和刚度的要求,优先采用定型和标准化的结构和构件,减少制作、安装工作量,符合防火要求,注意结构的抗腐蚀性能。而且在钢结构设计图纸中应对所采用的钢材、连接材料的性能指标及施工要求作出充分和明确的规定。

1.3 荷载和荷载效应计算

1.3.1 结构上的作用

结构上的作用是指引起结构变形和内力的原因。直接作用通称荷载;间接作用,如地基变形、混凝土收缩、温度变化和地震等,则不能称作荷载。

结构上的荷载可分为三大类:永久荷载,又称恒载,例如结构自重、土压力等;可变荷载,又称活载,例如楼面活荷载、积灰荷载、风荷载、雪荷载等;偶然荷载,又称特殊荷载,例如爆炸力、撞击力等。

钢结构设计时,对荷载的取值应根据不同的设计要求采用不同的荷载代表值。

1. 荷载标准值

荷载标准值是指在结构的使用期间,在正常情况下出现的最大值,它是荷载的基本代表值,通常要求具有 95% 的保证率。对各类荷载标准值的取值,《荷载规范》规定如下:

(1) 永久荷载标准值

对于变异性不大的结构自重,可按结构构件的设计尺寸与材料单位体积的自重计算确定;对于变异性较大的材料和构件(如现场制作的保温材料,混凝土薄壁构件等),自重的标准值当对结构不利时取上限,反之取下限。常用材料和构件的自重见《荷载规范》附录 A。

(2) 可变荷载标准值

《荷载规范》给出了各种可变荷载标准值、组合值系数、频遇值系数及准永久值系数,可直接查表取用。楼面、屋面均布活荷载标准值及其相关的系数见表 1-3 和表 1-4。

民用建筑楼面均布活荷载标准值及其组合值、频遇值和准永久值系数 表 1-3

项 次	类 别	标准值 (kN/m ²)	组合值系数 Ψ_c	频遇值系数 Ψ_f	准永久值系数 Ψ_q
1	(1)住宅、宿舍、旅馆、办公楼、医院病房、托儿所、幼儿园	2.0	0.7	0.5	0.4
	(2)教室、试验室、阅览室、会议室、医院门诊室			0.6	0.5
2	食堂、餐厅、一般资料档案室	2.5	0.7	0.6	0.5
3	(1)礼堂、剧场、影院、有固定座位的看台	3.0	0.7	0.5	0.3
	(2)公共洗衣房	3.0	0.7	0.6	0.5
4	(1)商店、展览厅、车站、港口、机场大厅及其旅客等候室	3.5	0.7	0.6	0.5
	(2)无固定座位的看台	3.5	0.7	0.5	0.3
5	(1)健身房、演出舞台	4.0	0.7	0.6	0.5
	(2)舞厅	4.0	0.7	0.6	0.3
6	(1)书库、档案库、贮藏室	5.0	0.9	0.9	0.8
	(2)密集柜书库	12.0			
7	通风机房、电梯机房	7.0	0.9	0.9	0.8
8	汽车通道及停车库:				
	(1)单向板楼盖(板跨不小于 2m)				
	客车	4.0	0.7	0.7	0.6
	消防车	35.0	0.7	0.7	0.6
	(2)双向板楼盖和无梁楼盖(柱网尺寸不小于 6m×6m)				
	客车	2.5	0.7	0.7	0.6
	消防车	20.0	0.7	0.7	0.6

续上表

项次	类别	标准值 (kN/m ²)	组合值系数 Ψ_c	频遇值系数 Ψ_f	准永久值系数 Ψ_q
9	厨房:				
	(1)一般的	2.0	0.7	0.6	0.5
	(2)餐厅的	4.0	0.7	0.7	0.7
10	浴室、厕所、盥洗室:				
	(1)第1项中的民用建筑	2.0	0.7	0.5	0.4
	(2)其他民用建筑	2.5	0.7	0.6	0.5
11	走廊、门厅、楼梯:				
	(1)宿舍、旅馆、医院病房、托儿所、幼儿园、住宅	2.0	0.7	0.5	0.4
	(2)办公楼、教室、餐厅、医院门诊部	2.5	0.7	0.6	0.5
	(3)消防疏散楼梯,其他民用建筑	3.5	0.7	0.5	0.3
12	阳台:				
	(1)一般情况	2.5	0.7	0.6	0.5
	(2)当人群有可能密集时	3.5			

注:1.本表所给各项活荷载适用于一般使用条件,当使用荷载较大或情况特殊时,应按实际情况采用。
2.第6项书库活荷载当书架高度大于2m时,书库活荷载尚应按每米书架高度不小于2.5kN/m²确定。
3.第8项中的客车活荷载只适用于停放载人少于9人的客车;消防车活荷载是适用于满载为300kN的大型车辆;当不符合本表的要求时,应将车轮的局部荷载按结构效应的等效原则,换算为等效均布荷载。
4.第11项楼梯活荷载,对预制楼梯踏步平板,尚应按1.5kN集中荷载验算。
5.本表各项荷载不包括隔墙自重和二次装修荷载。对固定隔墙的自重应按恒荷载考虑,当隔墙位置可灵活自由布置时,非固定隔墙的自重应取每延米长墙重(kN/m²)的1/3作为楼面活荷载的附加值(kN/m²)计入,附加值不小于1.0kN/m²。

屋面均布活荷载

表 1-4

项次	类别	标准值 (kN/m ²)	组合值系数 Ψ_c	频遇值系数 Ψ_f	准永久值系数 Ψ_q
1	不上人的屋面	0.5	0.7	0.5	0
2	上人的屋面	2.0	0.7	0.5	0.4
3	屋顶花园	3.0	0.7	0.6	0.5

注:1.不上人的屋面,当施工或维修荷载较大时,应按实际情况采用;对不同结构应按有关设计规范的规定,将标准值作0.2 kN/m²的增减。
2.上人的屋面,当兼作其他用途时,应按相应楼面活荷载采用。
3.对于因屋面排水不畅、堵塞等引起的积水荷载,应采取构造措施加以防止;必要时,应按积水的可能深度确定屋面活荷载。
4.屋顶花园活荷载不包括花圃土石等材料自重。

考虑到作用在楼面上的活荷载不可能同时满布在所有楼面并达到最大值,故在确定梁、墙、柱和基础的荷载标准值时,应将楼面活荷载标准值予以折减。表 1-5 为活荷载标准值的折减系数,表 1-6 为活荷载按楼层数的折减系数。

设计楼面梁、墙、柱及基础时,楼面活荷载标准值的折减系数

表 1-5

注:楼面梁的从属面积应按梁两侧各延伸二分之一梁间距的范围内的实际面积确定。

活荷载按楼层数的折减系数

表 1-6

墙、柱、基础计算截面以上的层数	1	2~3	4~5	6~8	9~20	>20
计算截面以上各楼层活荷载总和的折减系数	1.00(0.90)	0.85	0.70	0.65	0.60	0.55

注:当楼面梁的从属面积超过 25m^2 时,采用括号内的系数。

(3)可变荷载准永久值

可变荷载准永久值是指在规定的期限内经常达到或超过的荷载值,它对结构的影响在性质上仅次于永久荷载,如室内的家具和固定设备的荷重等。

可变荷载准永久值,应取可变荷载标准值乘以荷载准永久值系数 Ψ_q ; Ψ_q 可在《荷载规范》或表 1-3 和表 1-4 中查到,其他情况根据工程经验判断确定。

(4)可变荷载的频遇值

可变荷载频遇值是指在结构上时而出现的较大荷载值。对于可变荷载,在设计基准期 T 内,具有较短的总持续时间 T_x ($T_x/T \leq 0.1$) 或较少的发生次数 η_x 的特性,从而使结构的破坏危险性减缓。

可变荷载频遇值,应取可变荷载标准值乘以荷载频遇值系数 Ψ_f ; Ψ_f 可在《荷载规范》或表 1-3 和表 1-4 中取用。

(5)可变荷载组合值

当结构承受两种或两种以上可变荷载时,应采用组合值作为可变荷载的代表值,多种可变荷载同时达到预计最大值的概率显然比一种可变荷载达到预计最大值的概率要低,因此在结构设计中,引入组合值系数对可变荷载标准值予以折减。

可变荷载组合值,应取可变荷载标准值乘以荷载组合值系数 Ψ_c ; Ψ_c 可在《荷载规范》或表 1-3 和表 1-4 中取用,其他情况根据工程经验判断确定。

2. 荷载设计值及荷载分项系数

荷载设计值,其值大体相当于结构在非正常使用情况下荷载的最大值,比荷载标准值具有更大的可靠度。荷载设计值等于荷载标准值与荷载分项系数的乘积,而荷载分项系数是考虑荷载超过标准值的可能性,用来调整对结构计算可能造成的可靠度的严重差异,它一般用于承载能力极限状态的计算。

1.3.2 结构内力分析

建筑结构的内力一般按结构静力学方法进行弹性分析,此时结构构件截面允许有塑性变形发展,符合《钢结构规范》第9章的超静定结构可以采用塑性分析。

对于框架结构的内力分析,设计人员一般都采用结构力学中常用的一阶弹性分析。因此,《钢结构规范》也首先规定:框架结构可采用一阶弹性分析,考虑到对横向刚度较弱的框架仍采用一阶弹性分析,不考虑 $P-\Delta$ 效应,分析结果会产生较大的误差,有鉴于此,对框架结构《钢结构规范》规定当符合下列条件时,采用二阶弹性分析:

$$\frac{\sum N \cdot \Delta u}{\sum H \cdot h} > 0.1 \quad (1-10)$$

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 的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侧移,当确定是否采用二阶弹性分析时, Δu 可近似采用层间相对位移的容许值 $[\Delta u]$, $[\Delta u]$ 见《钢结构规范》附录 A 第 A.2 节;

h ——所计算楼层的高度。

式(1-10)左端的分母是水平荷载对楼层的倾覆力矩,而分子则是变形派生的二阶倾覆力矩。当派生力矩不超过原始力矩的 10% 时,可以忽略其效应。

当采用二阶弹性分析时,应在每层框架柱顶附加一假想水平力 H_{ni} :

$$H_{ni} = \frac{\alpha_y Q_i}{250} \sqrt{0.2 + \frac{1}{n_s}} \quad (1-11)$$

式中: Q_i ——第 i 楼层的总重力荷载设计值;

n_s ——框架总层数;当 $\sqrt{0.2 + 1/n_s} > 1$ 时,取此根号值为 1.0;

α_y ——钢材强度影响系数,其值:Q235 钢为 1.0;Q345 钢为 1.1;Q390 钢为 1.2;Q420 钢为 1.25。

对于无支撑的纯框架结构的二阶弹性分析,《钢结构规范》给出了近似计算公式。

当采用一阶分析时(图 1-1),框架杆件端弯矩 M_I 为:

$$M_I = M_{Ib} + M_{Is} \quad (1-12)$$

当采用二阶近似分析时,杆端弯矩 M_{II} 为:

$$M_{II} = M_{Ib} + \alpha_{2i} M_{Is} \quad (1-13)$$

$$\alpha_{2i} = \frac{1}{1 - \frac{\sum N \cdot \Delta u}{\sum H \cdot h}} \quad (1-14)$$

式中: M_{Ib} ——假定框架无侧移时(图 1-1b)按一阶弹性分析求得的各杆件端弯矩;

M_{1e} ——框架各节点有侧移时(图 1-1c)按一阶弹性分析求得的各杆件端弯矩;

α_{2i} ——考虑二阶效应第 i 层杆件的侧移弯矩增大系数。

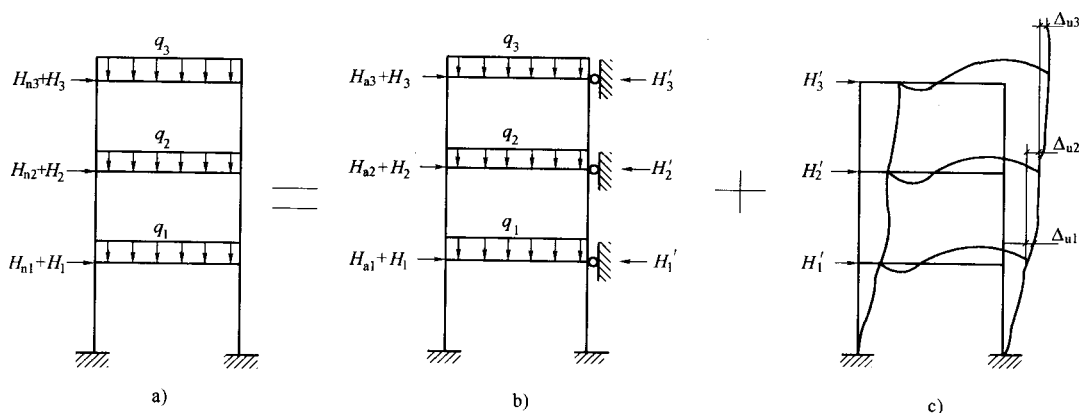


图 1-1 无支撑纯框架的一阶弹性分析

当 α_{2i} 大于 1.33 时,说明框架侧移刚度太小,宜增大框架结构的刚度。从式(1-13)可以看出,二阶效应只是使侧移弯矩 M_{1e} 增大,而无侧移弯矩 M_{2e} 并未增大。当式(1-10)左端不超过 0.1 时,增大系数 α_{2i} 不超过 1.1,二阶效应使杆端总弯矩增大的幅度小于 10%。

但这种二阶弹性分析不适用于山形门式刚架或其他类似的结构以及按《钢结构规范》第 9 章进行塑性设计的框架结构。

1.4 设计与计算中有关的系数

1.4.1 荷载分项系数

荷载效应基本组合的荷载分项系数,应按下列规定采用:

1. 永久荷载的分项系数

(1) 当其效应对结构不利时

- ① 对由可变荷载效应控制的组合,取 1.2;
- ② 对由永久荷载效应控制的组合,取 1.35;

(2) 当其效应对结构有利时

- ① 一般情况下,取 1.0;
- ② 对结构的倾覆、滑移或漂浮验算,取 0.9。

2. 可变荷载的分项系数

- ① 一般情况下,取 1.4;
- ② 对标准值大于 4kN/m^2 的工业房屋楼面结构的活荷载,取 1.3。

1.4.2 动力系数

对于建筑结构设计的动力计算,在有充分依据时,可将重物或设备的自重乘以动力系数后,按静力计算设计。