

钢结构技术培训教材之二

上海市金属结构协会

钢结构技术

规范、规程概论

GANGJIEGOU JISHU

GUIFAN GUICHENGAILUN

秦效启 编著



版社



TU391

2

451593

钢结构技术培训教材之二
上海市金属结构协会

钢结构技术规范、规程概论

秦敦启 编著

同济大学出版社

内 容 提 要

本书详细讲述了我国现行的钢结构技术规范体系以及规范、规程制定的准则,并且简述了现行设计、施工规范、规程的适用范围和防火、防腐措施。

通过本书的学习,使读者能了解我国现行钢结构技术规范体系,熟悉各种结构规范、规程的应用范围及应用中应注意的问题。

本书按照建设部相关文件精神而编写,为上海市钢结构建筑制作安装管理人员和技术人员必读书之一,也可作为全国相关专业的培训教材。

DZ25/23
责任编辑 卞玉清
封面设计 陈益平 20

钢结构技术规范、规程概论

秦效启 编著

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号 邮编:200092)

新华书店上海发行所发行

浙江新昌印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:8.25 字数:210 千字

1999 年 4 月第 1 版 1999 年 4 月第 1 次印刷

印数:1—6000 定价:16.00 元

ISBN7-5608-2025-5/TU·310

前 言

改革开放以来,随着经济建设的发展,钢结构的应用日益广泛。为此,建工系统的广大工程技术人员从提高工程质量出发,迫切需要系统地学习钢结构技术规范、规程。为适应这一需要,作者应上海市金属结构协会的委托编写《钢结构技术规范、规程概论》一书。

全书共分五章。第一章讲述我国现行规范体系,目的是使学员对规范有一个全面系统的认识,建立规范是一个体系的概念。使他们在处理工程问题时,杜绝不同体系的规范之间简单混用的现象发生。第二章讲述规范、规程制定的准则。目的是让学员对现行规范采用的以概率理论为基础的极限状态设计法有所了解,并使学员初步建立设计、施工规范一体化的观念。第三、四两章简述现行设计、施工规范、规程。目的在于告诉学员各种规范、规程等的适用范围,使学员在遇到具体问题时知道应该去找哪本规范、规程。第五章介绍防火与防腐。

由于作者本人水平有限,加之时间仓促,又缺乏编写此类书的经验,错误和不妥之处在所难免,望读者斧正。

序

建筑钢结构是一个新事物。90年代以来,特别是近几年来发展很快。一些超高层建筑、工业厂房建筑、大桥建筑、高架立交、体育和文化场馆的网架结构、塔桅建筑等,采用钢结构的越来越多。现在,钢结构已开始进入住宅领域。随着我国钢产量的不断增长,钢结构建筑必将成为新的建筑经济增长点。

由于我国现代建筑都是以混凝土结构为主,从事建筑施工的管理人员和技术人员对混凝土结构比较熟悉,而对钢结构的制作和施工技术相对比较生疏。因此,重视对建筑钢结构的专业培训,让一大批从事建筑施工的工程技术人员和管理人员进行知识更新,这对于提高他们的技术素质,确保工程质量,发展钢结构事业,是非常必要和十分紧迫的一项任务。

上海市金属结构协会组织专家编写了一套钢结构专业培训的系列教材。这套教材既有一定的基础理论知识,又总结了施工实践过程中的一些经验,比较适应广大工程技术人员和管理人员更新知识的需要,具有一定的实用性。希望从事建筑施工、特别是从事钢结构制作和安装的广大工程技术人员和管理人员,能积极参加钢结构专业培训,取得合格证书,在建设工程中发挥更好的作用。

上海市建设委员会副主任 黄健之

1998.12.25

目 录

第一章 规范体系	(1)
第一节 与钢结构有关的现行规范、规程、规定、标准及其代号	(1)
第二节 规范体系.....	(3)
第二章 规范、规程等制定的准则	(6)
第一节 钢结构设计方法的发展.....	(6)
第二节 基于概率理论的极限状态设计法.....	(7)
第三节 材料和构件质量控制	(15)
第三章 设计规范、规程应用简述	(17)
第一节 钢结构设计规范(GBJ 17—88)	(17)
第二节 冷弯薄壁型钢结构技术规范(GBJ 18—87)	(28)
第三节 网架结构设计与施工规程(JGJ 7—91)	(42)
第四节 高层建筑钢结构设计暂行规定(DBJ 08—32—92)	(59)
第五节 轻型钢结构设计规程(DBJ 08—68—97)	(76)
第六节 钢管混凝土结构设计与施工规程(CECS 28:90)	(78)
第七节 设计中应注意的几个问题	(82)
第四章 施工规范、规程应用简述	(87)
第一节 钢结构工程施工及验收规范(GB 50205—95)	(87)
第二节 钢结构工程质量检验评定标准(GB 50221—95)	(106)
第三节 其他.....	(109)
第五章 钢结构防火与防腐	(110)
第一节 钢结构防火.....	(110)
第二节 钢结构防腐.....	(120)

第一章 规范体系

第一节 与钢结构有关的现行规范、 规程、规定、标准及其代号

随着我国基本建设事业的蓬勃发展和钢结构理论研究的不断深入以及应用技术的不断进步,近年来,国家有关部委组织全国部分设计单位、施工单位、高等院校的专家陆续制定、修定了一批钢结构设计、施工规范、规程及与其配套的材料、配件标准。这些规范、规程的制定对贯彻执行国家的技术经济政策、节约钢材、确保钢结构工程的质量和安全、促进钢结构技术进步等方面起到了十分重要的作用。

与钢结构有关的现行规范、规程、规定及材料、配件标准有几十本之多,为了让学员了解整个规范体系,本节将常用的规范、规程、规定、标准及其代号作为一节,集中展示在学员面前。

一、与钢结构设计有关的规范、规程、规定及其代号

1. GBJ 17—88 钢结构设计规范
2. GBJ 18—87 冷弯薄壁型钢结构技术规范
3. JGJ 7—91 网架结构设计与施工规程
4. DBJ 08—32—92 高层建筑钢结构设计暂行规定
5. DBJ 08—68—97 轻型钢结构设计规程
6. CECS 28:90 钢管混凝土结构设计与施工规程

二、与钢结构施工有关的规范、规程、标准及代号

1. GB 50205—95 钢结构工程施工及验收规范
2. GB 50221—95 钢结构工程质量检验评定标准
3. JGJ 81—91 建筑钢结构焊接规程
4. JGJ 82—91 钢结构高强螺栓连接的设计施工及验收规程
5. JGJ 78—91 网架结构工程质量检验评定标准
6. JGJ 75.1—91 钢网架螺栓球节点

三、材料标准及代号

1. GB 700—88 碳素结构钢
2. GB 1591—88 低合金结构钢
3. GB 5676—85 一般工程用铸造碳钢
4. GB 3077—82 合金结构钢技术条件
5. GB 699—88 优质碳素结构钢技术条件
6. GB 1300—77 焊接用钢丝
7. GB 5117—85 碳钢焊条
8. GB 5118—85 低合金钢焊条

四、型钢、钢带、钢板的标准及代号

1. GB 9787—88 热轧等边角钢尺寸、外形、重量及允许偏差

2. GB 9788—88 热轧不等边角钢尺寸、外形、重量及允许偏差
3. GB 9946—88 热轧 L 型钢尺寸、外形、重量及允许偏差
4. GB 706—88 热轧工字钢尺寸、外形、重量及允许偏差
5. GB 706—88 热轧槽钢尺寸、外形、重量及允许偏差
6. GB 11263—89 热轧 H 型钢尺寸、外形、重量及允许偏差
7. YB 231—70 无缝钢管
8. YB 242—63 直径 5 ~ 152mm 电焊钢管
9. GB 6723—86 通用冷弯开口型钢
10. GB 6724—86 冷弯波形钢板
11. GB 6728—86 结构用冷弯空心型钢
12. YB(T) 29—86 焊接圆钢管及焊接镀锌钢管
YB(T) 30—86
13. GB 702—86 热轧圆钢和方钢品种
14. GB 704—83 热轧扁钢品种
15. GB 708—65 轧制薄钢板品种
16. GB/T 3277—91 花纹钢板
17. GB/T 12755—91 建筑用压型钢板

五、紧固件的标准及代号

1. GB 3098.1—82 紧固件机械性能
2. GB 191—81 普通螺纹公差与配合
3. GB 5780—86 C 级六角头螺栓
4. GB 5782—86 A 级、B 级六角头螺栓
5. GB 41—86 C 级 I 型六角螺母
6. GB 6170—86 A 级、B 级 I 型六角螺母
7. GB 95—85 C 级平垫圈
8. GB 97.1—85 A 级平垫圈
9. GB 97.2—85 A 级平垫圈倒角型
10. GB 852—88 工字钢用方斜垫圈
11. GB 853—88 槽钢用方斜垫圈
12. GB 98—88 止动垫圈技术条件
13. GB 93—87 标准型弹簧垫圈
14. GB 859—87 轻型弹簧垫圈
15. GB941—87 弹性垫圈技术条件
16. GB/T 1228—91 钢结构用高强度大六角头螺栓
17. GB/T 1229—91 钢结构用高强度大六角螺母
18. GB/T 1230—91 钢结构用高强度垫圈
19. GB/T 1231—91 钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件
20. GB 3632—83 钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副型式与尺寸
21. GB 3633—82 钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副技术条件

22. GB 10433—89 圆柱头焊钉

六、焊接接头型式与尺寸的标准及代号

1. GB 985—88 气焊、手工电弧焊及气体保护焊缝坡口的基本型式与尺寸
2. GB 986—88 埋弧焊焊缝坡口的基本型式与尺寸

第二节 规范体系

钢结构设计、施工规范、规程和其他材料的结构规范、规程一样是技术性法律文件,是广大设计、施工工程技术人员必须共同遵守的原则。因此,对从事钢结构设计与施工的技术人员来说,学习和掌握钢结构设计与施工规范就显得十分必要。因为只有充分理解和掌握规范,方能准确地执行和贯彻规范。

任何国家的结构规范都有一套完整的规范体系。在具体讲述钢结构设计与施工规范的应用之前,本节先介绍我国钢结构设计与施工规范在整个规范体系中的地位,使学员从全局上把握规范。

我国钢结构工程所涉及的标准、规范从总体上可划分为五个层次。第一个层次为规范制定的原则;第二个层次为荷载代表值的取用;第三个层次为各种结构设计规范;第四个层次为与设计规范配套的施工规范;第五个层次为与设计、施工相配套的各种材料、连接方面的规程、标准等。另外,根据工程所处的环境条件,还将涉及到防火、防腐、抗震等方面的有关规范、规程、标准等。

属于第一层次的规范有:《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—84),《建筑结构设计通用符号、计量单位和基本术语》(GBJ 83—85),《建筑结构制图标准》(GBJ 105—87)。

属于第二个层次的规范为《建筑结构荷载规范》(GBJ 9—87)。

属于第三个层次的规范为上节所列与钢结构设计有关的六个规范、规程。

属于第四个层次的规范为上节所列与钢结构施工有关的规范、标准、规程等。

属于第五个层次的规范、标准为上节所列材料标准、紧固件标准及焊接接头型式与尺寸标准等。

对有抗震设防要求的钢结构建筑,其设计和施工尚应符合《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89)和上海市标准《建筑抗震设计规范》(DBJ 08—9—92)的规定。对有防火要求的建筑,尚应符合《建筑设计防火规范》(GBJ 16—87)和《高层民用建筑设计防火规范》(GBJ 45—82)等防火规范中对钢结构构件的要求。在防腐方面,尚应满足《建筑防腐工程施工及验收规范》(GB 50212—91)和《工业建筑防腐设计规范》(GB 50046—95)的要求。各层次规范的相互关系如图 1-2-1。

在现行规范体系中,《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—84)是最高层次的标准。它不仅是制定《工业与民用建筑结构荷载规范》、钢结构设计的各种规范应遵守的准则,也是制定《混凝土结构设计规范》、《砌体结构设计规范》、《木结构设计规范》、《建筑地基基础设计规范》、《建筑抗震设计规范》等应遵守的原则。它不仅适用于建筑物(包括一般构筑物)的整个结构以及组成结构的构件和基础的设计,而且还适用于结构的使用阶段以及结构构件的制作、运输与安装等施工阶段。因此,有关的建筑结构施工及验收规范以及其他标准均是按照其规定的原则制定的。

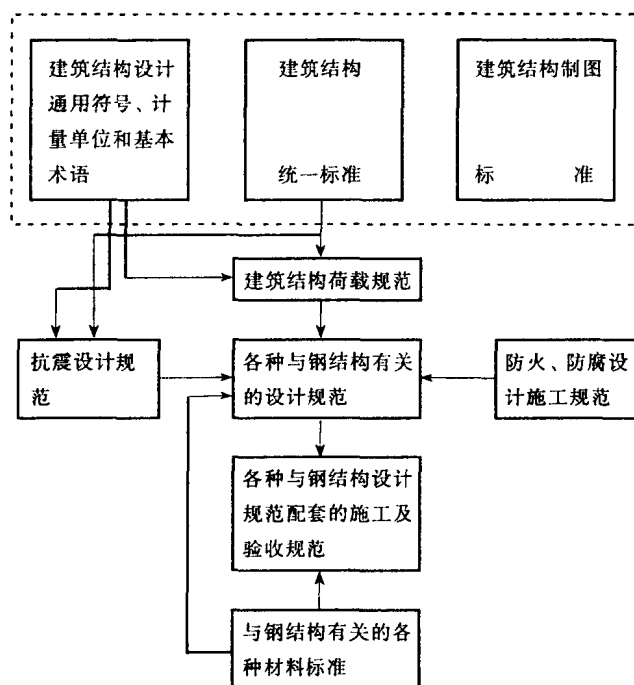


图 1-2-1 各种规范之间的相互关系

在统一标准中规定了结构可靠度的定义和建筑结构设计的安全等级,以概率理论为基础的结构极限状态设计原则,结构上的作用,荷载代表值的确定,材料性能和几何参数代表值的确定,结构构件的极限状态设计表达式,材料和构件的质量控制等。有关这一部分的内容将在第二章设计方法中深入浅出地加以介绍。

《建筑结构设计通用符号、计量单位和基本术语》(GBJ 83—85)分总则、通用符号、计量单位和基本术语四个部分。并附有习用的非法定单位与法定计量单位的换算关系表。该标准起到了统一各种结构规范符号、用语、计量单位的作用。

《建筑结构设计荷载规范》(GBJ 9—87)是根据《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—84)规定的原则制定的,其符号、计量单位及基本术语符合《建筑结构设计通用符号、计量单位和基本术语》(GBJ 83—85)的要求。该规范分总则、荷载分类和荷载效应组合、楼面和屋面活荷载、吊车荷载、雪荷载、风荷载等六章。并附有常用材料和构件的自重表,楼面等效均布活荷载的确定方法、工业建筑楼面活荷载等内容。

由于《荷载规范》是按《统一标准》规定的原则制定的,因此在施行时,必须与根据《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—84)编制的各项建筑结构设计国家标准、规范配套使用,不得与未按(GBJ 68—84)编制的各项建筑结构设计国家标准混用。如《工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程》(JCJ 4—80)、《高层建筑箱形基础设计与施工规程》(JCJ 6—80)、《烟囱设计规程》(GBJ 51—83)、《钢筋混凝土筒仓设计规程》(GBJ 77—85)等均未根据《建筑结构设计统一标准》制定,所以不能与《建筑结构设计荷载规范》(GBJ 9—87)配套使用。第三层次中所列几种钢结构规范,都是以《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—84)规定的原则制定的,可以与《建筑结构设计荷载规范》(GBJ 9—87)配套使用。《建筑结构设计荷载规范》(GBJ 9—87)依据第一层次的标准制定,同时又为第三层次的规范提供了荷载代表值及其组合方式,所以称其为第二层次的规

范。

本节所列第三、第四层次的规范、规程是在第一层次所列标准的指导下,采用第二层次规范规定的荷载代表值及其组合方式、第五层次规范中所规定的材料,为不同类型钢结构的设计与施工而制定的规范、规程。该部分内容是本教材的核心,将在以下各章节中详细讨论。

第五个层次的标准,既是制定各种钢结构规范的依据又是施工现场材料检验的标准。

《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89)是根据《建筑结构统一标准》(GBJ 68—84)修订的,可以与钢结构设计与施工方面的规范、规程配套使用。该规范是各类建筑抗震设防的依据。它按建筑物的重要性将建筑物进行分类,并提出了各类建筑的设防标准,对抗震设计的基本要求、场地、地基和基础、地震作用和结构抗震验算等均作了具体规定。在单层工业厂房一章,对单层单跨及等高多跨钢结构厂房的抗震设计作了较详细的规定。上海市标准《建筑抗震设计规程》(DBJ—9—92)是在国家标准《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89)的基础上,结合上海地震烈度为6、7度,场地类别为IV类的自然条件,吸收科研成果和生产实践经验,为适应上海市基本建设发展需要而制定的。(DBJ—9—92)与国家标准(GBJ 11—89)相比,将地震影响系数曲线中的周期由3秒延长至10秒,增加了多层钢结构厂房、多层钢结构民用房屋、网架结构的抗震设计内容。高层建筑钢结构的抗震设计在国家标准(GBJ 11—89)及上海市标准(DBJ—9—92)中虽均未作具体规定,但其抗震设计原则对高层钢结构建筑是适用的。上海市标准《高层建筑钢结构设计暂行规定》(DBJ 08—32—92)参照国家标准(GBJ 11—89)对高层建筑钢结构设计时的地震作用及其作用下的结构分析作出了具体规定。网架结构的地震作用及其内力应按《网架结构设计施工规程》(JGJ 7—91)中的有关规定进行计算。

《建筑防火规范》(GBJ 16—87)和《高层民用建筑防火规范》(GBJ 45—82)对房屋的耐火等级及钢构件的耐火极限作了规定,它是我国建筑钢结构防火设计的依据。

建筑防腐设计在《钢结构设计规范》(GBJ 17—88)、《冷弯薄壁型钢技术规范》(GBJ 18—87)、《网架结构工程质量检验评定标准》(JGJ 78—91)中均有相应的规定。防锈的分级及钢基层的处理等规定于《工业建筑防腐蚀设计规范》(GB 50046—95)、《建筑防腐施工及验收规范》(GB 50212—91)中。

第二章 规范、规程等制定的准则

第一节 钢结构设计方法的发展

工程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。为实现这一原则,人们在不断地探求合理的设计方法,这些方法即成为规范、规程制定的准则。

建国初期,我国钢结构设计规范《钢结构设计标准试行草案》(规结 4—54)是按容许应力法制定的。其设计表达式为

$$\sigma = \sum N_i / A \leq f_y / K \quad (2-1-1)$$

式中 σ ——构件材料的计算应力;

$\sum N_i$ ——由各种荷载产生的总内力;

A ——构件截面的几何特征;

f_y ——材料的屈服强度;

K ——安全系数。

按照这一设计准则制定的规范,凭经验可以做到保证质量、安全适用,但根本谈不上技术先进,经济合理。因为在容许应力设计法中,无法反映荷载的随机性、材料的随机性及构件截面几何尺寸的变异性等。对不同受力状态下的构件,安全系数 K 并不代表构件的真实安全系数。容许应力法按弹性方法计算构件的应力,对考虑塑性变形后能提高构件承载力的构件与考虑塑性变形后不能或较少、提高构件承载力的构件其安全储备存在着较大的差异。

1957 年以后,我国建委推荐采用极限状态设计法。该方法对结构设计规定两种极限状态,即承载能力极限状态和在标准荷载作用下的变形极限状态。对荷载和材料强度认为是随机的。因而在设计表达式中引进三个系数,即荷载的超载系数,材料的匀质系数及结构或构件的工作条件系数。其表达式为

$$N = \sum C \alpha_i n_i N_i^b \leq \phi(m, K, R^b S) \quad (2-1-2)$$

式中 N ——荷载最不利组合产生的内力;

N_i^b ——第 i 个标准荷载;

n_i ——相应于标准荷载的超载系数;

α_i ——单位荷载引起的内力;

C ——荷载组合系数;

ϕ ——构件的承载力;

R^b ——材料的标准强度;

K ——材料的匀质系数;

m ——工作条件系数;

S ——构件的几何特征值。

其中, K 是按统计方法确定的, n_i 是根据试验性设计结果选取的, m 是按经验确定的。

这一方法和容许应力法相比,大大前进了一步,其特点是在一定程度上考虑了材料强度和荷载的随机性,提出了极限状态设计的观点。但不难看出,对荷载的随机性统计不足,工作条件系数尚处在经验阶段。其表达式和容许应力设计法相比繁琐得多。

1974 年开始执行的我国自行编制的《钢结构设计规范》(TJ 17—74)在分析前两种设计方法利弊的基础上提出了半概率半经验多系数分析单一系数表达的容许应力设计法。即取容许应力设计法的简单表达形式,以结构的极限状态为依据,对影响结构安全度的诸因素,按数理统计方法并结合我国多年的工程实践经验,进行多系数分析,在此基础上求出单一的安全系数。其表达式为

$$\sum N_i^b = \frac{\sigma_s S}{K_1 K_2 K_3} = \frac{\sigma_s S}{K} \quad (2-1-3)$$

式中 N_i^b ——由标准荷载产生的内力;

σ_s ——标准规定的钢材屈服点;

S ——构件几何特征;

K_1 ——荷载系数;

K_2 ——材料系数;

K_3 ——调整系数;

K —— $K = K_1 K_2 K_3$, 为总安全系数。

以 K 为总安全系数的表达式可变化为

$$\sigma = \frac{\sum N_i^b}{S} \leq \frac{\sigma_s}{K} = [\sigma] \quad (2-1-4)$$

这种设计思想是将结构抗力取得足够低,将各种作用效应取得足够大,只要结构的设计抗力大于结构的综合作用效应,结构就安全了。式(2-1-4)中的 K 常被人误认为是安全系数。

事实上,绝对安全的建筑是不存在的,人们只能赋予结构一定的可靠度。半概率设计法对结构构件的可靠度没有给出一个明确的量化指标,这种设计方法有待进一步改进。

现行钢结构设计规范中的计算方法是按《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—84)规定的准则制定的。即采用以概率理论为基础的一次二阶矩极限状态设计法,亦称近似概率法。采用该计算方法,结构构件的可靠度可用可靠度指标度量。为了使设计人员应用方便,采用分项系数表达式进行计算。

第二节 基于概率理论的极限状态设计法

《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—84)提出了以概率理论为基础的极限状态设计法。该方法以结构完成预定功能作为设计准则,并由此规定出两种极限状态,即承载能力极限状态和正常使用极限状态。对结构完成预定功能的能力用概率来度量。为了便于学习,在本节作为预备知识给出随机现象和随机变量、概率的概念,然后讲述结构功能要求及极限状态方程等,在此基础上,讲述极限状态设计法。

一、预备知识

1. 随机现象和随机变量

自然界和人们的活动中经常遇到各种各样的现象,这些现象大体上分两类:一类为必然现象,如在标准大气压下,纯水加热到 100℃ 就沸腾;另一类就是随机现象,如某建筑单位生产的同一批 C₆₀ 级混凝土,取样制作 10 组试件,标准养护 28 天进行强度试验,其结果是各不相同的(表 2-2-1),最低为 58.0,最高为 69.1,其余都在 58.0 ~ 69.1 之间。像这种在同样条件下制作的试件,在同样条件下进行试验,其结果不完全相同,对于某一组试件而言,试验前

完全无法预测它的强度指标,也就是说,它所试验出的强度指标有许多种可能结果,我们称这类现象为随机现象,它所表现出来的性质叫做现象的随机性。

表 2-2-1 C60 混凝土实测抗压强度 f_{cu}

组件号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{cu,i}$	59.1	60.0	67.0	63.0	62.5	58.0	69.1	65.0	63.2	65.2

从哲学上讲,任何事情的发生都有其客观规律性,为什么会产生随机现象呢?因为每一现象都是有无穷多个因素支配和控制的,控制所有这些因素并且考察其中每一个因素的作用,原则上是无法做到的。因此,在研究事物的现象时,人们只能局限于决定该事物现象的最基本的因素,所谓在同样条件下的试验实质上是指可以控制的基本条件,如前例中对同一批 C60 混凝土试件的试验,可控制为相同的养护条件,在同一台试验机上,按同样的操作过程进行试验。但除了可控制的因素外,还存在大量的、时隐时现的、变化多端的、无法控制的因素,如混凝土中每个石子的形状、排列、强度等。当我们对各组试件进行重复试验时,这些因素的效应是不同的,不确定的和不能完全预测的。这样就使得强度试验结果带有随机性。

在不同现象中,随机性的作用结果也不完全一样,在某些现象中,随机因素的作用极小,可以忽略不计,在有些现象中,随机因素起着基本的作用。对我们工程技术人员来说,所关心的许多现象都带有随机性,也就是说,其结果是不可预测的。

我们把在同样条件下的重复试验叫做随机试验,将其试验结果称为随机事件。如上例中混凝土强度指标 f_{cu} 不低于 61 是一个随机事件,混凝土强度指标 f_{cu} 低于 61 也是一个随机事件,混凝土强度指标在 61~65 之间的事件也是一个随机事件。

工程中的随机现象往往表现为数量,这些量是变量,因为它们在各次重复试验中可能取不同的值;它们的取值带有随机性,因为事先无法预知在一次试验中究竟取何值,故称其为随机变量。如前例中的混凝土强度指标 f_{cu} 就是一个随机变量。研究随机事件,首先就应该弄清楚随机变量的分布规律。分布规律的直观表现常采用直方图。即在平面坐标的横向坐标上选取一段足以包括最大最小试验观测值的范围,并将这个范围划分为合适的区间,然后计算每一区间的试验数,并画成直线条,以其高度代表该区间的试验次数。上例中混凝土强度 f_{cu} 的直方图示于图 2-2-1。

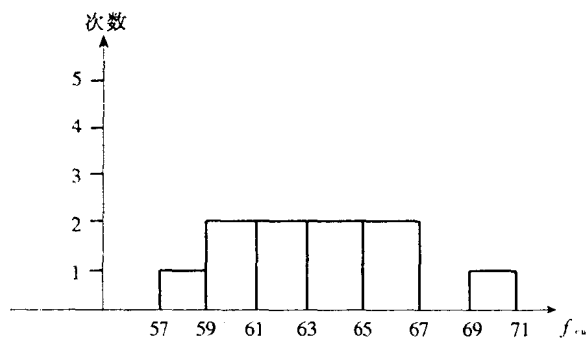


图 2-2-1 混凝土强度直方图

2. 概率

概率是指某一随机事件相对于其他事件发生的可能性。仍以 C60 混凝土的强度指标 f_{cu} 为例,在 10 组试验中,强度不低于 61 的试件组与全体事件组的比例为 $\frac{7}{10}$,强度低于 61 的事件组与全体试件组的比例为 $\frac{3}{10}$,强度在 61 ~ 65 之间的事件组与全体事件组的比为 $\frac{4}{10}$ 。我们称 $\frac{7}{10}, \frac{3}{10}, \frac{4}{10}$ 为上述 3 个事件在这 10 次试验中出现的频率。如果试验的件数足够多,这些频率也就代表了随机事件的概率。综上所述。随机事件具有统计规律性,概率的任务就是研究随机事件的统计规律性。确定某一事件发生的概率,首先要知道所有可能的结果,需要做大量的试验。

二、结构功能要求

建筑结构设计的基本目的,是在一定的经济条件下,赋予结构适当的可靠度,使结构在使用期限内满足各种预定功能的要求。为此,《建筑结构统一标准》(GBJ 68—84)规定:建筑结构必须满足下列功能要求:

1. 能承受在正常施工和正常使用时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. 在偶然事件发生时及发生后,仍能保持必要的整体稳定性。

上述 4 项功能要求中,第 1、第 4 项是对结构的强度和稳定性的要求,是安全性问题。第 2 项是对结构的适用性要求,如在正常使用条件下,结构构件不会产生过大变形,在振动荷载作用下将结构构件的振幅限制在一定的范围内等。第 3 项为耐久性要求,是指结构在正常维护条件下,不会随着时间的变化而丧失完成预定功能的能力,如因锈蚀而使构件截面减小,失去承载力等。第 4 项为整体稳定性要求,是指结构在偶然事件(地震、爆炸、撞击、火灾)发生时和发生后,虽有局部破坏,但不至于产生连续倒塌。

三、极限状态和极限状态方程

1. 结构的极限状态

结构能否完成预定功能是以极限状态来定义的,极限状态实质上是结构构件可靠和失效的一个界限状态。所谓可靠,可以这样理解:比如你买一台电视机,画面是否清晰,属于质量问题,而在规定的使用寿命期间,是否发生故障,是可靠性问题。如果经常发生故障,要送到商店维修,我们就说这个厂家生产的电视机不可靠。可靠的反面就是失效。结构的可靠性是指结构在规定的设计基准期内(一般为 50 年),在正常设计、正常施工和正常维护条件下,结构完成预定功能的能力,若不能完成预定功能,我们称其失效。

确定结构是否能够完成预定功能,《建筑结构统一标准》(GBJ 68—84)将结构所处的状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两类。

(1) 承载能力极限状态

这种极限状态对应于结构或构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形。当结构或构件出现下列情况之一时,即认为超过了承载能力极限状态:

- ① 整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡(如倾覆、滑移等);
- ② 结构构件或其连接因材料强度被超过而破坏(包括疲劳破坏),或因过度的塑性变形

而不适于继续承载;

- ③ 结构变为机动体系;
- ④ 结构或构件丧失稳定(如压杆屈曲等)。

(2) 正常使用极限状态

该极限状态对应于结构或构件达到正常使用或耐久性的某种限值。当结构或构件出现下列情况之一时,即认为超过了正常使用极限状态:

- ① 影响正常使用或外观的变形;
- ② 影响正常使用的振动;
- ③ 影响正常使用或耐久性的局部损坏(包括裂缝);
- ④ 影响正常使用的其他特定状态。

承载能力极限状态涉及到人身安全和财产损失,其出现的概率应当限制在一个很低的水平上。正常使用极限状态可理解为使用功能的破坏或结构质量的恶化,由于它对生命、财产危害较小,故其允许出现的概率可比承载能力极限状态出现的概率略高些。

有些国家的规范针对连续倒塌现象提出了破坏-安全极限状态,这种极限状态是指在局部破坏条件下结构的极限承载力。这种破坏现象会造成大量人员的伤亡和财产损失,虽然我国目前统计资料不足,但在《建筑结构统一标准》(GBJ 68—84)中提出了防止连续倒塌的设计原则。抗震设计中多道防线的设计思想就是这一原则的体现。

钢结构设计规范以相应于结构或构件各种功能要求的极限状态为依据规定其设计方法,这种设计方法称为极限状态设计法。

2. 极限状态方程

结构或构件的极限状态可用作用效应 S 和结构抗力 R 之间的关系来描述。作用效应 S 是指结构在各种作用下产生的内力和变形, R 是指结构构件提供的抗力和抗变形能力。比较 S 和 R 的大小关系就可以知道结构构件是否具有完成预定功能的能力。 S 和 R 的关系可概括为如下三种状态:

当 $R > S$ 时,结构构件处于可靠状态;

当 $R < S$ 时,结构构件处于失效状态;

当 $R = S$ 时,结构处于极限状态。

若用数学公式表达,则可写为

$$Z = R - S \begin{cases} > 0 & \text{结构处于可靠状态} \\ = 0 & \text{结构达到极限状态} \\ < 0 & \text{结构处于失效状态} \end{cases} \quad (2-2-5)$$

式中, Z 为 R 和 S 的函数, Z 的取值反映了结构完成预订功能的情况,故称其为功能函数。

$Z = R - S = 0$ 表示结构构件由可靠向不可靠转化的临界状态,故称其为极限状态方程。

四、抗力和作用效应的随机性

结构的抗力是由结构构件的材料强度、弹性模量、构件自身的截面尺寸和计算模式提供的。

构件材料的强度并不是一个定值,它和混凝土一样,每种钢材都有一个强度分布范围。以鞍钢 1980 年生产的 3 号钢(Q235)为例,其钢材屈服强度的统计结果如图 2-2-2 所示。其强度取值在 $225 \sim 385\text{N/mm}^2$ 之间。对于一个具体的板材试件而言,试验前并不知道它取什

么值。我们说钢材的强度具有随机性。

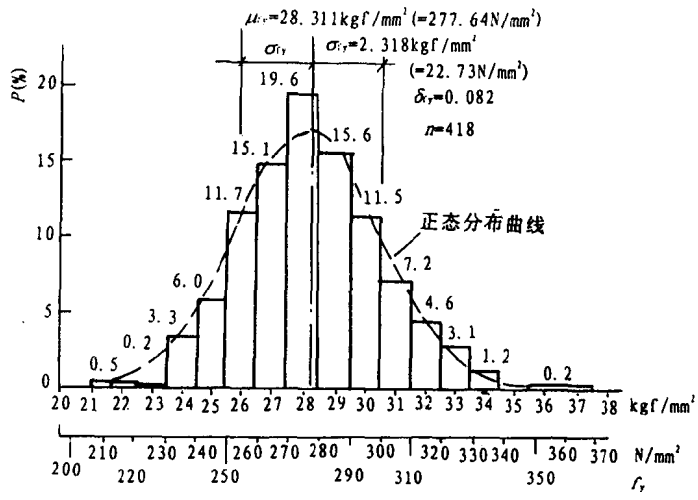


图 2-2-2 鞍钢生产的 Q235(A3F)钢型钢
($t \leq 15\text{mm}$, 1980), f_y 频率分布直方图*

构件的截面尺寸,受加工制作的影响,同样也不是一个定值,对攀钢 1980 年生产的工字钢截面实测结果,其面积和标准面积之比的直方图如图 2-2-3 所示。可见也是随机的。

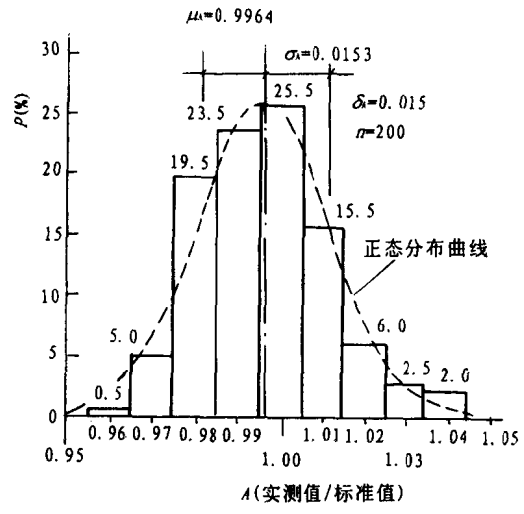


图 2-2-3 工字钢截面面积 A (实测值/标准值)频率
分布直方图(攀钢 1980 年,2 种规格)*

结构计算模式是在一定假设条件下建立的,只能是宏观上反映了结构提供抗力的能力,计算值和实验值之间仍存在一定的差异,这个差异对不同的构件而言,也表现出随机性。

综上所述,结构构件的抗力 R 应是一个随机变量。

结构上的作用分为直接作用和间接作用,直接作用是指施加于结构上的荷载,如结构自