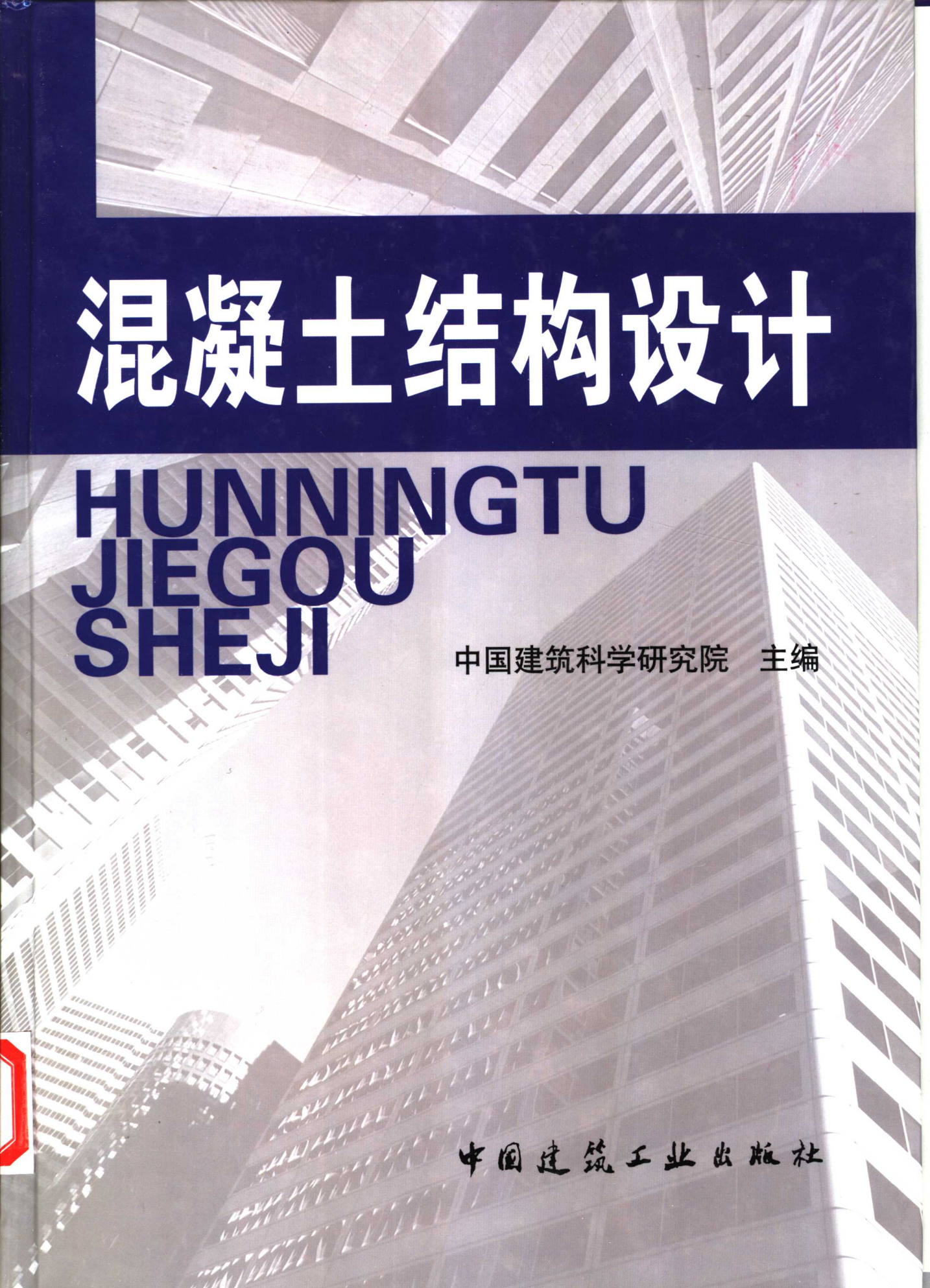


The background of the cover features a low-angle, upward-looking photograph of several modern skyscrapers. The buildings are characterized by repetitive window patterns and structural elements, creating a sense of height and architectural complexity. The sky is a pale, hazy blue.

混凝土结构设计

HUNNINGTU
JIEGOU
SHEJI

中国建筑科学研究院 主编

中国建筑工业出版社

混凝土结构设计

中国建筑科学研究院 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计/中国建筑科学研究院主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2003

ISBN 7-112-05984-4

I. 混… II. 中… III. 混凝土结构—结构设计
IV. TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 073787 号

本书根据《混凝土结构设计规范》GB 50010 编写。全书共有混凝土结构设计规范的发展、设计基础、设计计算、构造与构件和构件抗震设计等 5 章。书中重点阐述混凝土极限状态设计原则、设计计算和构件等,并介绍规范主要规定制订的主要依据和如何取舍决策等。

本书可供建筑结构设计人员、科研人员和大专院校师生阅读。

* * *

责任编辑 蒋协炳

责任设计 孙 梅

责任校对 王金珠

混凝土结构设计

中国建筑科学研究院 主编

*

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

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22 字数: 544 千字

2003 年 11 月第一版 2003 年 11 月第一次印刷

印数: 1—3,000 册 定价: 51.00 元

ISBN 7-112-05984-4

TU·5259(11623)

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.china-abp.com.cn>

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

前 言

执笔人 李明顺

《混凝土结构设计》一书同其他类似的钢筋混凝土结构教材、理论专著或手册等有所不同,其独特之处在于具有以下特点:

(1)对应《混凝土结构设计规范》GB 50010 各章、节,将重点放在了规范各项主要规定制订时的主要依据和如何取舍决策上。作为依据来源包括国内外文献分析、国内主要试验结果、综合比较择优结果等。这是第一次如此系统公开发表。它是规范发展的一种记载,使读者和设计人员对规范做到既知其然,又知其所以然,对规范不仅仅停留在简单地遵守执行上,而可有利于主动地依据客观实际情况作合理的区别对待。此外,也为设计人员、高等学校学生、教师和科研工作者提供了珍贵资料。另一个重要目的是,在时隔数年后再次进行规范修订时,编制人员可能有所更换,但可从中了解《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 的规定,当时是依据什么材料制订的,考虑了哪些因素,有利我国规范的连续性和进一步向前发展。

(2)本书各章、节的执笔人是经挑选的。他们主要是规范各章、节、条的直接参与者。由他们执笔撰写本书相应的章、节,保证了对规范各章、节、条的解读是第一手资料,具有权威性、真实性和可信性。

《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 是根据建设部建标[1997]108 号文要求进行的。由中国建筑科学研究院会同清华大学、天津大学、重庆大学、湖南大学、东南大学、河海大学、大连理工大学、哈尔滨工业大学、西安建筑科技大学、中国建筑设计研究院、北京市建筑设计研究院、中国轻工业北京设计院、首都工程有限公司、铁道部专业设计院、交通部水运规划设计院、西北水电勘察设计院、冶金材料行业协会预应力委员会等 17 个单位的 27 名专家组成编制修订组(名单见附件),历时 4 年余完成全部修订任务,于 2002 年被批准发布实施。

《混凝土结构设计规范》为国家标准,具有技术法规性质,规范内凡注明为强制性条文的,现已经为建设部批准,必须严格执行,其余的为推荐性的属自愿采用。

在规范编制修订过程中,工作原则采取协商一致,共同确认的原则,坚持成熟一条,修订一条的方针,凡不必要修订的条文,保持原规范的稳定性,坚持促进技术进步和国际接轨的原则。对先进国家的先进标准规范采取积极借鉴态度。编制修订工作严格按程序进行。工作程序为:建议稿—初稿—征求意见稿—送审稿—总校对稿—报批稿—上报审批。

编制修订组内部既有明确分工负责制,又有密切协作配合机制。

编制修订组下设 4 个组:

第 1 组负责人 胡德炘 陈 健

第 2 组负责人 白生翔 沙志国

第3组负责人 吴学敏 白绍良

第4组负责人 孙慧中 程懋堃

上述4个组按对规范各章、节分工,分别承担本书有关章、节编写工作。

第1组负责规范1~6章,本书的第2章,编审人胡德炘,负责本组的组织、内容审核、文稿协调统一与编排;其中,预应力部分由陶学康负责。

第2组负责规范7~8章,本书的第3章的编审人白生翔,参加第3章文稿审核的还有康谷贻同志。

第3组负责规范9、10章,本书的第4章构造与构件,编审人徐有邻。

第4组负责规范第11章,本书的第5章,编审人孙慧中。

以上各组的负责人和本书各章的编审人在规范修订过程以及本书撰写中发挥了骨干作用,做出了突出贡献,特此加以说明。

本书主编李明顺、副主编徐有邻。

附件:《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 主要起草人名单:

李明顺 徐有邻

白生翔 白绍良 孙慧中 沙志国 吴学敏 陈 健 胡德炘 程懋堃 王振东

王振华 过镇海 庄崖屏 朱 龙 邹银生 宋玉普 沈聚敏 邸小坛 吴佩刚

周,氏 姜维山 陶学康 康谷贻 蓝宗建 干 诚 夏琪俐

此外,虽未参加修订组,但实际参加了修订讨论和撰写本书有关章、节的还有叶列平(清华大学)、王铁成(天津大学)、傅剑平(重庆大学)。

目 录

前 言

第一章 混凝土结构设计规范在我国的发展	1
第二章 设计基础	7
第一节 极限状态设计原则	7
第二节 耐久性设计	18
第三节 材料的强度	24
第四节 结构分析	39
第五节 预应力混凝土结构构件的设计要求	67
第三章 设计计算	73
第一节 正截面承载力计算	73
第二节 偏心受压柱考虑二阶效应的实用计算方法	90
第三节 斜截面受剪承载力计算	121
第四节 扭曲截面承载力计算	150
第五节 疲劳承载力验算	166
第六节 裂缝控制验算	185
第七节 受弯构件挠度验算	209
第四章 构造与构件	219
第一节 伸缩缝	219
第二节 混凝土的保护层	229
第三节 钢筋的锚固与连接	235
第四节 纵向受力钢筋的最小配筋率	249
第五节 支座负弯矩钢筋的延伸长度	254
第六节 板、梁的设计与构造	264
第五章 混凝土结构构件抗震设计	273
第一节 抗震设计原则及一般规定	273
第二节 材料	278
第三节 框架梁的抗震设计	279
第四节 框架柱和框支柱的抗震设计	286
第五节 框架节点设计与构造	302
第六节 剪力墙的抗震设计	336
第七节 预应力混凝土结构构件抗震设计	342

第一章 混凝土结构设计 规范在我国的发展

执笔人 李明顺

一、发展进程

第一阶段 照搬照抄阶段

《混凝土结构设计规范》与其他材料结构规范一样,在 1949 年前没有一本本国自己的材料结构设计规范。新中国成立后,立即在全国范围内展开了大规模经济恢复建设,急迫需要保证工程功能及质量的各材料结构设计规范。当时既无条件也无能力立即着手编制自己的材料结构设计规范,惟一可行的办法就是全盘照搬照抄原苏联相应的各种材料结构全套设计规范。这种照搬照抄原苏联规范阶段可以说一直持续到 1970 年。我国从 20 世纪 60 年代虽已开始筹划编制我国本国的设计规范,原建筑工程部在 20 世纪 60 年代后期先后批准发布了《钢筋混凝土结构设计规范》BJG 21—66,其实质内容与原苏联规范 HNTY 123—55 一模一样,仅把个别术语的译名重新定义和加以命名。如将原“材料匀质系数”改为材料系数;原荷载超载系数改为荷载系数等。这是我国混凝土结构设计规范发展的照搬照抄阶段。

第二阶段 自主制(修)订规范的起步阶段

在大规模的工业及民用建筑的建设中日益突显规范发展滞后所带来的问题,特别是原苏联撤走苏联专家后,直接与规范有关的资料来源受阻。不能自主制(修)订本国规范,在政治上与我国的大国地位也极不相称。我国原建筑工程部批准颁布的 BJG 21—66,根本没有预应力混凝土结构设计内容。该规范与当时建设需要之间的差距愈来愈大。原国家建设委员会主管标准部门于 1971 年组织及开展了一轮全面制(修)订工程建设标准规范活动。经努力于 1974 年颁布了一批各材料结构设计规范。此时,混凝土结构设计规范,主要参照原苏联预应力混凝土结构设计规范 CH 10—57,增加了预应力混凝土结构设计内容,修改了过于陈旧的斜截面承载力设计理论与设计方法,那时已开始吸收了一些英美先进标准规范内容,但当发现两者差别较大时,仍以原苏联规范为准进行套改,此外,也依据我国自己力量试验与设计经验增加了个别新问题设计内容。编制修订组内部争论激烈,在达成一致后普遍感叹称这次修订为“脱胎未换骨”,其中一个重要原因就是缺乏本国自己试验研究成果,难

以用“数据说话”。“脱胎未换骨”是我国混凝土结构设计规范发展第二阶段特点。

第三阶段 跨越式发展阶段

在改革开放政策指引下,从一切以原苏联规范为蓝本的思想禁锢中解放出来,在工程建设标准主管部门的领导与支持下以改革开放为动力加快发展,放开眼界,大抓基础工作,迈开大步跨越式追赶世界先进水平。混凝土结构设计规范管理组,在工程建设主管部门的支持下,抓紧时间有计划有明确目标的组织有关高等学校、科研单位及少量设计单位参加,针对现行规范存在的问题和工程建设中存在的带有普遍意义的新技术、新材料、新结构问题连续进行了五批规范研究课题研究,由规范管理组组织,依靠专家选项,依靠标准主管部门的经费补助,依靠各参加单位同行专家的使命感与责任心、积极性以自筹经费为主,每批课题约有 10 个专题,试验研究报告数百篇,出版研究报告选集三册。这一举措极大地提高了我国混凝土结构基础研究水平,大大增强了消化吸收国际先进经验的能力,用较短的时间缩小了与国际先进水平的差距。例如《钢筋混凝土结构设计规范》BJG 21—66 是照搬照抄原苏联规范 HNTY 123—55,其斜截面承载力计算,是以数学上求极值理论求得斜截面破坏时斜裂缝的最大水平投影长度,在此长度范围内的箍筋可用以抵抗剪力。但这个理论用于钢筋混凝土结构,由于材料的不连续性和各向异性,使计算结果与试验结果差别甚大,且过高地估计了斜截面承载力。通过试验发现一个梁的斜截面承载力随剪跨比不同而不同,其破坏形态也显著不同,小剪跨时呈斜压破坏形态,在中等剪跨时呈剪压破坏形态,大剪跨时呈斜弯破坏形态,斜截面承载力试验结果一般也小于原规范计算结果,故在 20 世纪 80 年代那新一轮房屋建筑材料结构设计规范制(修)订时,把从忠实 BJC 21—66 套改出发的 TJ 10—74 又大大向前推进一步,转以利用本国试验结果为主。另一个更为突出的例子是受扭构件设计方法。BJG 21—66 和 TJ 10—74 只有纯扭情况的设计,而实际上极少有纯扭状况,通常都是弯矩、剪力、扭矩同时作用的状况。通过规范科研课题的试验证明,扭矩与弯矩、剪力同时作用时不是简单叠加关系,而它们之间有自身的相关关系,剪—扭共同作用时,其相关关系服从一个圆曲线规律,其他国家也有相同结论,故在 20 世纪 80 年代那新一轮修订的混凝土结构设计规范补充了弯、剪、扭共同作用时扭曲截面承载力设计方法,而且给出了相关关系,还给出了纵向钢筋与箍筋共同抗扭的合理关系,此外,还提出了变角桁架计算模型可以解释破坏现象与试验结果。事实表明,GBJ 10—89 那批材料结构设计规范的制(修)订突破了照搬照抄原苏联规范模式对我们的束缚,达到或基本达到当时的国际水平。

第四阶段 实施全面与国际接轨阶段

从 1997 年开始了新一轮房屋建筑材料结构规范全面修订工作。在这一阶段国民经济迅速发展,综合国力大大提高,同时正值我国加入 WTO 前夕。在此轮规范修订中各材料结构规范除必须密切结合我国自己的自然地理、气候、材料资源等特点以及行之有效的工程实践经验外,凡能与国际接轨问题在编制指导思想上明确要与国际接轨,这是一个总的指导原则。“与国际接轨”的理解是指要尽最大可能努力与正式颁布的国际标准接轨,对尚无国际标准的问题,应与国外先进标准进行借鉴与沟通并互相定量比较,不搞闭关自守、更不能像在计划经济年代死卡材料用量指标的办法,必须强调科学性、密切结合实际情况把确保工程质量、保证人身安全、保护环境、节约能源等社会效益放在首位;标准规范必须适应全面

建设小康社会的要求,以后还应定期适时进行修订,更新内容。

混凝土结构设计规范在此次全面修订前曾经历 1992、1996 年两次局部修订。此次全面增加和更新了一系列重大问题,增加了其科学合理性和先进性。新增加和更新的重大问题约有 20 余项,均涉及与国际接轨问题,从而使全面修订后的新《混凝土结构设计规范》基本做到了与国际接轨要求。例如在材料方面,以新Ⅲ级钢筋(HRB400)为钢筋混凝土用的主导品种,以高强钢丝、钢绞线为预应力混凝土用的主导品种。在规范中取消了在我国贫穷经济年代广为流行的冷拔低碳钢丝和冷拉钢筋材料,这两类工地自行冷加工的材料,其强度低、延性差。混凝土强度等级增加了 C70、C80,取消了 C7.5、C10 两个等级。

以往混凝土构件斜截面承载力设计,因材料强度低,以混凝土抗压强度为设计计算基本系数,而国际发达国家普遍采用的混凝土抗拉强度为基本参数。为与国际接轨,也为适应高强混凝土构件抗剪特性,本次修订坚决全部改为以混凝土抗拉强度为基本系数,并引入国际先进标准刚刚按试验结果引进的截面高度影响的内容($\geq 2m$),本次修订按公开发表的试验报告引入了高度影响系数以及混凝土强度影响系数。

在我国快速发展的大规模城市建设中高层建筑如雨后春笋拔地而起,人民对建筑功能的要求日益多样化,要求一些建筑物必须具有大空间、大开间,甚至将一幢高层建筑下部做商店上部做办公或旅店住宿,其变化处设置转换层,转换层常有用厚板转换。这些变化要求使大跨双向受力的平板结构大量增加,如筏形基础、板柱结构,转换层平板结构等。这种平板结构防止冲切破坏是保证工程安全的一项关键技术。在我国 20 世纪 80 年代以前房屋很少遇到这类问题,这是伴随我国经济快速发展出现的新问题。平板冲切破坏不同于斜截面剪切破坏,受到国际上普遍关注,最近国际结构混凝土协会(fib)专门出版了专刊。我们查阅国外公开刊物有关此方面论文,同时发现美国 ACI 规范先后多次改进冲切设计方法前后经历了约 20 年时间。经查对文献论证,一致认为借鉴 ACI 规范是可行和可取的,经计算比较,新增加了引起冲切破坏的集中力长短边比值影响;冲切破坏面最不利周长影响,其中包括柱形状系数(指中柱、边柱、角柱)影响,它与欧洲规范 2(试行)的同类结构计算结果亦比较接近,这是与国际接轨的又一例。

再如混凝土结构斜截面疲劳设计,我国的规范科研疲劳课题组试验发现斜截面疲劳试验中总是弯起钢筋首先疲劳破坏,而我国规范一直沿用将混凝土、竖向箍筋、弯起钢筋三者简单叠加方法构成斜截面承载力。本次修订放开眼界看到日本建筑学会的钢筋混凝土规范,提出箍筋和弯起钢筋有相关关系,服从应变圆规律,当弯起钢筋弯起角度 45° 时其应力在疲劳时是箍筋的 2 倍,于是本着与国际接轨的精神,更由于有本国试验验证,经分析了我国沿用 30 年的叠加方法,明确提出不提倡普通钢筋混凝土斜截面等价的混合使用箍筋和弯起钢筋,这有利于保证了疲劳结构的工程质量。

本轮建筑结构各材料结构设计规范修订普遍总结了上一轮规范实施以来的实践经验,利用了在两轮之间国内完成的有关科研新成果,借鉴了美国、欧洲以及 CEB-FIP 等国际组织编制的有关规范(包括模式规范)的先进经验,普遍考虑了适当调整建筑结构可靠度的要求,经专家讨论论证,普遍征求多方面意见建议,建设部标准定额司召开了专门审查会议,专题讨论会,校对、试设计等一系列程序把关。纵观这一轮建筑结构各材料结构设计规范恰如其分地估价:全面修订后的规范总体上实现和基本实现了与国际接轨(包括内容、术语、符号、计量单位)要求,融入了世界发展的主流中。当然,这一阶段的发展尚未结束。

二、新版《混凝土结构设计规范》的修订原则

《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 总结了上一版规范 GBJ 10—89 发布以来在全国的实践经验;借鉴了国际上先进国家混凝土结构设计规范的经验,其中特别是 CEB-FIP 公布的模式规范 MC 90、欧洲规范 2(NVE2)《混凝土结构设计》,美国 ACI 318 规范;吸收了混凝土结构设计规范管理组织开展的五批规范科研成果;遵照 1999 年建设部召开的建筑设计可靠度会议“会议纪要”提出的对建筑设计可靠度予以适当调整,提高一点的精神;与《建筑结构荷载规范》、《建筑结构可靠度设计统一标准》、《建筑抗震设计规范》等五本相关标准规范进行协调;进行了新规范的试设计;向全国有关设计单位、高等院校、科研单位有关专家广泛征求意见;由建设部标准定额司召开了专门审查会议;对规范修订中的重大问题举行了多达数十次专题性座谈讨论会;在规范报批前进行了总校对。通过以上严格程序把关,新版《混凝土结构设计规范》增加了一批新内容,修改了一批重大问题,共十一章七个附录,以全新面目奉献给广大设计人员。

在四年多的修订过程中,始终贯彻在规范总则所说“技术先进、安全适用、经济合理、确保质量”16 字方针,但具体实施中具体体现处理以下五种关系上:

1. 处理安全与经济的关系

混凝土结构是土建工程应用最为普遍的主体结构,而混凝土结构规范是确保混凝土结构安全可靠的最低要求。制定混凝土结构各种计算、构造的出发点与前提是确保工程安全适用,而实现确保工程的安全适用目的,首先是一项综合技术经济政策问题,从技术而言离不开结构选型的合理性,力学模型的合理性,概念设计的合理性等,不能简单地与多用材料等同起来;修订中的目标是追求安全与经济的最佳平衡。建设部于 1999 年 7 月召开了建筑设计可靠度会议,会议邀请了 45 位专家参加,最后会议纪要明确指出:(一)我国大量的工业与民用建筑实践表明,现行结构设计规范的可靠度指标,在正常设计、正常施工、正常使用条件下可以保证安全且较经济;(二)当前出现的质量事故与规范规定的设计可靠度指标无关,而是由各种非正常的人为错误,违反规范要求造成的…;(三)现行规范结构设计可靠度设定水平反映了我国几十年的实践经验,但随着国家经济发展和我国综合国力提高,专家们认为有必要对结构设计可靠度做适当调整。建设部标准定额司明确指出,要把结构设计可靠度提高一点的要求,以上这些分析与估价就是本轮规范修订时对结构设计可靠度调整的政策依据。用可靠指标衡量,本轮建筑结构规范包括混凝土结构设计规范,结构可靠指标提高了 7.8%~14.2%。

2. 处理与国际接轨的关系

由于世界经济全球化的发展趋势和中国正式加入了 WTO,要求我国的标准规范应与国际接轨,积极参加国际竞争。但必须清楚认识到房屋不同于一般工业产品,因为房屋是一种不能流动而且寿命期特长的商品,中国建筑的房屋,其基本用户对象是居住在本国土地上居民,至今国际上尚无一本具体的各国可以通用的国际规范。这是因为各国的地理、气候、环境、土地、人口、习惯、经济均有所不同。我们通常说与国际接轨一般指与国际标准接轨,而国际标准则指由 ISO(国际标准化组织)发布的标准,这种标准通常是关于基本原则、基本规定、基本设计方法的规定,而不给具体的指标,便于各国可以采纳。我们对此种与国际接轨原则持积极态度。例如我国的建筑结构可靠度设计统一标准就是贯彻这一原则,与国际标准 ISO 2394《结构可靠性总原则》接轨。坚持与国际接轨不是生硬的照抄照搬。

3. 处理简化与精确复杂的关系

鉴于《混凝土结构设计规范》是一本通用规范层次的规范,覆盖面较宽,遇到许多混凝土结构在不同受力状态下的设计计算问题,随处都会遇到简化和精确复杂关系问题。规范编制修订时坚定地树立为广大设计人员服务的思想,在保持必要计算精度前提下力求做到实用、简化,把简化择优作为一项编制原则对待。打开规范会发现有许多简化处理的事例,这些都是编制人员苦心思索的结果。例如剪扭共同作用时剪—扭的相关关系本来服从 $1/4$ 圆曲线,要求写出圆曲线方程,规范编制时把 $1/4$ 圆曲线、简化为三折线,把圆方程简化为线性插入关系。这次仍有专家依然主张采用 $1/4$ 圆曲线,后经修订组讨论,按简化择优原则仍然采用三折线。规范编制时力求简化、实用,但随着对客观事物认识的深化,目前现行规范对某些问题考虑的因素较以往规范要深化得多,这不能用“复杂”来形容,而是深化的结果,只不过深化中力求用简化实用方法加以表达。高明的简化是一件很不简单的过程,应当说我们这方面做得尚不够令人满意。

4. 处理技术先进与落后的关系

本次规范全面修订过程中,总结了自 GBJ 10—89 实施以来的实践经验,发现这一阶段我国在房屋工程建设中涌现出一大批技术新成果,也发现有一批以往的技术应加以淘汰。我们的原则是积极促进技术进步。例如,在钢筋混凝土结构中将新Ⅲ钢筋(HRB400)作为主导品种钢筋代替以往一统天下的Ⅱ级钢筋(HRB335);在预应力混凝土结构中以 1860MPa 低松弛钢丝线、钢丝为主导品种,代替以往低效的冷拉钢筋和冷拔低碳钢丝。应当指出,规范列入的内容应当是成熟的,不追求、不代表是全国最先进的。

总之,通过规范积极促进技术进步是规范编制中又一编制原则。但规范是面向全国,有地区性、条件性的技术成果则不适宜列入全国性的通用规范中,故而成熟性是进入规范的起码要求。

5. 处理现规范与原规范的关系

规范是广大设计人员设计中经常查用的设计依据。发达国家的混凝土结构设计规范每隔几年就进行局部修订或全面修订;把保持规范自身的连续性与适当发展有机结合起来,这是反映一个国家该种规范成熟性重要标志。本轮《混凝土结构设计规范》全面修订的一个重要原则:原规范仍然适用的条文保持不变,甚至文字表达方法也不变,不要为改而改,要改的条文内容必需有的放矢,有实质性变化。纵观 GB 50010—2002 修订有三种情况:

(1)新增加的内容:如结构分析,耐久性规定,深受弯构件、混凝土的多轴强度和本构关系,后张预应力钢筋常用束形的预应力损失,与时间相关的预应力损失,板柱节点计算中等效集中反力设计值。此外,还有双向剪切承载力设计等。此类内容约占全部规范内容的 15%。

(2)有重大修订的内容约占全本规范内容的 $1/3$ 。

(3)保持和基本保持原规范内容占全部规范内容的 50% 左右。

原 GBJ 10—89 仅有二条结构分析内容,在当年审查会议上专家认为结构分析内容不够,建议将这二条取消,会后编一本结构分析的专门规程。但 GBJ 10—89 发布后因种种原因这本结构分析规程计划并未兑现,致使 GBJ 10—89 成了混凝土结构截面设计规范。世界各国混凝土结构设计规范一般都有结构分析专门章节。为弥补这个不足,本次修订增设了结构分析一章,并且借鉴模式规范 MC 90 及本国研究成果,增加了“混凝土多轴强度和本

构关系”附录,向混凝土结构力学迈出了坚实一步。

深受弯构件指跨高比 $2 < l_0/h < 5$ 的受弯构件,其斜截面抗剪承载力有其自身的特色,这是我国现代建筑多样化、大型化出现的新情况,要求规范及时予以反映。

双向剪切承载力设计,是因为利用计算机进行结构空间分析,柱通常承受斜向剪力作用,必须考虑双向剪切的相关关系。

以上是混凝土结构设计规范本次修订过程中比较具体的几项修订指导原则。

第二章 设计基础

第一节 极限状态设计原则*

执笔人 胡德圻

一、建筑结构的可靠度

1. 我国与国外安全度比较

从荷载标准值、荷载分项系数、材料强度标准值、材料分项系数及承载力公式中的计算系数等方面进行对比(表 2-1-1~表 2-1-4)。

荷载标准值(kN/m ²)		表 2-1-1
国 别	住 房	办 公 室
中 国	2.0(1.5)	2.0(1.5~2.0)
美 国	1.92	2.4
英 国	1.5~2.0	2.5
欧 洲	2.0	3.0

表 2-1-1 中括号内数值为我国原《建筑结构荷载规范》GBJ 9—87 规定的楼面活荷载标准值,比国外低。新荷载规范将楼面活荷载标准值从 1.5kN/m² 提高到 2.0kN/m²,与国外接近。

荷载分项系数		表 2-1-2
国 别	恒 荷 载	活 荷 载
中 国	1.2	1.4
美国混凝土结构	1.4	1.7
美国钢结构	1.2	1.6
英 国	1.4	1.6
欧 洲	1.35	1.5

表 2-1-2 中中国、英国、欧洲规范的荷载分项系数对混凝土结构和钢结构是相同的;美国历来是不同的(美国混凝土学会将 2002 年版 ACI 318 规范中的荷载分项系数取与表中美国钢结构相同)。我国荷载分项系数比国外低。

* 本节主要参加人员:陈健、庄崖屏、兰宗建、胡德圻。

混凝土试块尺寸及强度标准值的保证率

表 2-1-3

国 别	形 状	尺 寸 (mm)	保 证 率	换 算 系 数
中国	立方体	150×150×150	95%	1.0
美国	圆柱体	φ150×300	/	0.8
英国	立方体	150×150×150	95%	1.0
欧洲	圆柱体	φ150×300	95%	0.8

我国混凝土试块强度标准值的取值标准与国际上是一致的。表中换算系数是以立方体试块为准,是对常用强度等级的混凝土而言的,例如圆柱体 C20 相当于立方体 C25。对高强混凝土的换算系数国际上尚无定论。

材料分项系数及承载力公式中的系数

表 2-1-4

国 别	钢 筋	混 凝 土
中 国	$\gamma_s = 1.1 \sim 1.2$	$\gamma_c = 1.4$ $0.9 \times 0.67 f_{\text{cuk}} / 1.4 = 0.43 f_{\text{cuk}}$ $(\gamma_c = 1.35$ $0.67 f_{\text{cuk}} / 1.35 = 0.5 f_{\text{cuk}})$
美 国	$\gamma_s = 1/0.9 = 1.1$ (拉) $1/0.7 = 1.43$ (压)	$\gamma_c = 1/0.7 = 1.43$ $0.8 \times 0.7 \times 0.85 \times 0.8 f_{\text{cuk}} = 0.38 f_{\text{cuk}}$
英 国	$\gamma_s = 1.05$ (拉) $1/0.7 \sim 1/0.8 = 1.43 \sim 1.25$ (压)	$\gamma_c = 1.5$ $0.35 \sim 0.4 f_{\text{cuk}}$
欧 洲	$\gamma_s = 1.15$	$\gamma_c = 1.5$ 有附加偏心

表 2-1-4 中括号内数值为我国原《混凝土结构设计规范》规定的轴心受压构件的混凝土强度设计值,已达到混凝土立方体试块强度标准值 f_{cuk} 的 50%,明显比国外高。新混凝土规范调低至相当于 $0.43 f_{\text{cuk}}$ (新混凝土规范将原混凝土规范中轴心受压构件承载力设计值乘以系数 0.9,见新混凝土规范公式(7.3.1),并将混凝土材料分项系数 γ_c 从 1.35 调高至 1.4)。

从以上几方面对比可见,原荷载规范和原混凝土规范规定的安全度与国外相比总体偏低,偏低程度各有不同,简述如下。

钢筋混凝土结构与钢结构比较,钢结构安全度与国外比偏低较少,钢筋混凝土结构偏低较多。

混凝土结构中的预应力混凝土结构与钢筋混凝土结构比较,预应力混凝土结构安全度与国外比较接近,钢筋混凝土结构偏低较多。这是因为我国预应力钢丝和钢绞线的材料分项系数为 1.47,比国外高,普通钢筋的材料分项系数为 1.1,与国外大致持平。

钢筋混凝土结构中的受拉构件与受压构件比较,受拉构件的安全度与国外比偏低较少,受压构件偏低较多。

综合上述分析比较和我国工程实践,设计规范在安全度方面主要需作如下调整:

- (1) 提高荷载标准值的取值标准;
- (2) 提高荷载分项系数取值;

(3)降低混凝土抗压强度设计值(是指在混凝土强度等级相同的前提下);

(4)在实施上述(1)、(2)两点的前提下,降低预应力钢筋的材料分项系数,提高抗拉强度设计值。

这一轮《建筑结构可靠度设计统一标准》、《建筑结构荷载规范》、《混凝土结构设计规范》修订工作已经完成。从这三本标准、规范来看,上述四点调整设想的最后落实结果概述如下:

(1)新荷载规范对提高荷载标准值的取值标准向前迈出一大步;

(2)新统一标准未能将荷载分项系数取值提高(主要原因是这次已提高荷载标准值,若同时再提高荷载分项系数,一次提高过多,新、原荷载规范变化过大),但增加了永久荷载效应控制的组合,从而使永久荷载效应为主的结构构件的安全度有所提高;

(3)新混凝土规范对降低混凝土抗压强度设计值取得了实质性进展;

(4)因荷载标准值提高但荷载分项系数未提高,所以预应力钢筋抗拉强度设计值仅作小幅提高。

2. 有关规范修订情况

(1)建筑结构可靠度设计统一标准

《建筑结构设计统一标准》GBJ 68—84 的内容主要是可靠度,因此这次修订名称改为《建筑结构可靠度设计统一标准》。统一标准对建筑结构可靠度和极限状态设计原则作出了统一规定,制定建筑结构荷载规范以及各类材料的建筑结构设计规范均应遵守统一标准的规定。

1)设计使用年限

我国对建筑结构设计使用年限一直缺乏明确规定,新统一标准首次正式提出了设计使用年限的概念,这是促进我国建筑结构耐久性设计很重要的一步。

设计使用年限的定义为:设计规定的结构或结构构件不需进行大修即可按其预定目的使用的时期。

建筑结构的设计使用年限分为四个类别,见表 2-1-5:

设计使用年限分类

表 2-1-5

类 别	设计使用年限(年)	示 例
1	5	临时性建筑
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

设计使用年限就是房屋建筑在正常设计、正常施工、正常使用和维护下所应达到的使用年限,如达不到这一年限,则意味着在设计、施工、使用和维护的某一环节上出现了非正常情况,应查找原因。所谓“正常维护”包括必要的检测、防护及维修。

在第 279 号中华人民共和国国务院令《建设工程质量管理条例》(朱镕基总理于 2000 年 1 月 30 日签发)第四十条和第四十二条中,分别规定了房屋建筑主体结构工程的最低保修期限为设计文件规定的该工程的合理使用年限,以及建设工程在超过合理使用年限后需要继续使用的,产权所有人应当委托具有相应资质等级的勘察、设计单位鉴定,并根据鉴定结

果采取加固、维修等措施,重新界定使用期。从这里可以看出,合理使用年限的界定,是一件很重要的工作,但在第 279 号国务院令中,并没有具体规定建筑结构的合理使用年限是多少。

ISO 2394《结构可靠性总原则》中提出了 Design working life 设计工作寿命。表 2-1-5 就是根据 ISO 2394 列出的,考虑到 ISO 2394 中的设计工作寿命与第 279 号国务院令中的合理使用年限的含义是相当的,为避免国内工程界误解,因此在新统一标准中用了设计使用年限这一术语,但其英文译名仍用 Design working life,以免在国际学术交流中引起误解。

2) 安全等级与可靠指标

建筑结构设计时,应根据结构破坏可能产生的后果(危及人的生命、造成经济损失、产生社会影响等)的严重性,采用不同的安全等级,安全等级的划分以及每一安全等级所应达到的承载能力极限状态的最低可靠指标 β ,应符合表 2-1-6 的规定。

建筑结构的的安全等级与结构构件的可靠指标

表 2-1-6

安全等级	破坏后果	建筑物类型	结构构件的可靠指标 β	
			延性破坏	脆性破坏
一级	很严重	重要的房屋	3.7	4.2
二级	严重	一般的房屋	3.2	3.7
三级	不严重	次要的房屋	2.7	3.2

注:延性破坏是指结构构件在破坏前有明显的变形或其他预兆;脆性破坏是指结构构件在破坏前无明显的变形或其他预兆。

表 2-1-6 对原统一标准主要作两点修改:

a. 原统一标准的可靠指标是对设计基准期而言的(设计基准期不分建筑结构类别统一取为 50 年),新统一标准的可靠指标是对设计使用年限而言的,因为结构的可靠度与结构的使用年限长短有关;

b. 可靠指标从表面上看没有改动,但实际上提高了。因为原统一标准规定,当有充分依据时,可对表中规定值作 0.25 幅度调整,其含意是可比表中规定值降低 0.25,例如安全等级为二级的结构构件,延性破坏的可靠指标可以低至 $3.2 - 0.25 = 2.95$,新统一标准取消这个规定,意即不可以低至 2.95, β 最低应为 3.2,这实质上是对我国建筑结构的可靠度要求提高了。

统一标准并不要求设计人员按规定的可靠指标 β 进行设计,而是将对可靠指标的要求转化为设计人员熟悉的设计表达式及各种分项系数。

(2) 建筑结构荷载规范

我国建筑结构安全度与国外相比偏低,从总体来看,荷载标准值的取值标准偏低及荷载分项系数偏低是导致安全度总体偏低的两大原因。新荷载规范对此作出针对性的修订。

1) 提高楼面活荷载标准值

《建筑结构荷载规范》GBJ 9—87 规定,住宅、宿舍、旅馆、办公楼、医院病房、托儿所、幼儿园的楼面活荷载标准值为 1.5kN/m^2 ,新荷载规范一律提高为 2.0kN/m^2 。并且在规范条文说明中说明,作为办公楼的楼面活荷载还应考虑会议室、档案室和资料室等的不同要求,一般应在 $2.0 \sim 2.5\text{kN/m}^2$ 范围内采用。

对原来不明确的装修荷载,新荷载规范明确需另行计算。

2) 提高基本风压、基本雪压的取值标准

原荷载规范以“30 年一遇”作为基本风压、基本雪压的取值标准,新荷载规范提高为“五十年一遇”。在取值标准上与国外大部分国家一致。基本风压、基本雪压从全国总体来讲因此提高约 10%,但并不是各地的基本风压、基本雪压全部在原荷载规范基础上提高 10%,而是根据新的全国范围内的统计数据,经全面统计分析后重新确定的。例如基本风压,原荷载规范北京 0.35kN/m^2 ,上海 0.55kN/m^2 ,新荷载规范北京 0.45kN/m^2 ,上海 0.55kN/m^2 ;基本雪压,原荷载规范北京 0.30kN/m^2 ,上海 0.20kN/m^2 ,新荷载规范北京 0.40kN/m^2 ,上海 0.20kN/m^2 。

需要指出的是,考虑到我国城市房屋的高度和密度日益增加,大城市中心地区的地面粗糙程度也有提高,原荷载规范在计算风荷载时地面粗糙度分为 A、B、C 三类,已不适应当前的实际情况,也考虑到大多数发达国家,例如美、英等国家的荷载规范,将地面粗糙度划分为四类,因而新荷载规范增设 D 类,D 类指有密集建筑群且房屋较高的城市市区。在 D 类范围内的建筑物,其风压高度变化系数 μ_z 较原荷载规范 C 类的 μ_z 有明显的降低,例如在离地面高度为 10m、100m 处,原荷载规范 C 类的 μ_z 分别为 0.71、1.79,新荷载规范 D 类的 μ_z 分别降为 0.62、1.27。对原荷载规范 C 类范围内的建筑物,因荷载规范修订,作用在建筑物上的风荷载标准值,是增加还是减少,不能一概而论。

3) 增加由永久荷载效应控制的组合

新荷载规范对于承载能力极限状态,增加了永久荷载效应控制的组合:

$$\gamma_G S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik} \quad (2-1-1)$$

式中 γ_G ——永久荷载的分项系数,在公式(2-1-1)中,当永久荷载的效应对结构不利时,取 1.35。详见本节三.2.(1)。

在 20 世纪 80 年代为编制结构设计规范而研究结构可靠度时,就已发现当结构自重占主要时,结构构件的可靠度相对偏低。为此,当时的结构设计规范如原混凝土规范就对此作出补充规定,如规定对某些承受恒载为主的构件,用提高安全等级来补漏,现增加公式(2-1-1)后,即可避免这种可靠度相对偏低的情况,同时可撤消这种补漏规定。

(3) 混凝土结构设计规范

原混凝土规范的混凝土强度设计值取值过高,是我国混凝土结构安全度偏低的重要原因之一。普通钢筋和预应力钢筋安全度上的剪刀差,也需要逐步适度调整。

1) 混凝土抗压强度设计值

原混凝土规范采用的混凝土抗压强度设计值明显高于国际上相同混凝土等级的抗压强度设计值,对此新混凝土规范作下列三点修改:

a. 取消弯曲抗压强度,原规范计算公式中用 f_{cm} 的改用 f_c ,这等于将混凝土抗压强度的安全系数提高了 10%。

b. 对轴心受压构件,在抗力计算中乘折减系数 0.9,以考虑偶然偏心的不利影响,也是为了轴压构件与偏压构件安全度的同步提高,这等于将轴压构件的安全系数提高 10%。

c. 将混凝土分项系数 γ_c 从 1.35 提高到 1.4。

综合以上三点,普通强度等级的混凝土安全系数新规范比原规范提高约 13%。