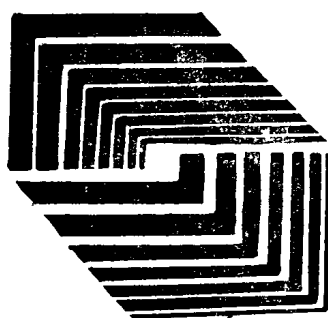


建筑结构设计新编

钢筋混凝土结构设计

胡 松 林 编

杨俊悌 郑洪国 审校



安徽科学技术出版社

前 言

国家标准混凝土结构设计新规范(送审稿),是中国建筑科学研究院组织全国部分高等学校、科研及设计单位的同行经过十多年的大量试验和理论研究的结果,后经规范修订组充分酝酿讨论,在1986年3月提出,已报城乡建设环境保护部和国家计委审批。

目前,全国广大高等学校师生及土建工程技术人员对新规范极为关注,迫切需要学习参考读物。为此,作者根据各专题组的研究报告、规范修订组编的《钢筋混凝土结构设计及构造》以及个人学习心得体会编写了此书。先是以学习新规范征求意见稿简介出现,在南京建筑工程学院油印出版。后在金陵职业大学及南京建工学院工民建专业和北洋大学——天津大学江苏校友会所组织的混凝土、砌体、地基基础及结构抗震新规范讲习班上讲授,又作了修改。

由于作者在理解上难免有不当之处,敬请读者批评指正。

本书手稿由傅功义、袁发顺等同志抄写,全部底图由陈弘、时蓬春同志精心描绘,谨在此表示谢忱。

编者

1986年8月

责任编辑：陈小秀 解安华
封面设计：王士龙

建筑结构设计新编(丛书之二)
钢筋混凝土结构设计

胡松林编
杨俊悌 郑洪国 审校

*

安徽科学技术出版社出版
(合肥市跃进路1号)
新华书店经销 安徽新华印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/32 印张：4.125 字数：86,000

1988年2月第1版 1988年2月第1次印刷

印数：00,001—15,000

ISBN7-5337-0074-0/TU·3 定价：0.90元

目 录

第一章 绪论	1
第一节 我国结构设计规范的历史回顾	1
第二节 现行规范 TJ10-74 的存在的主要问题	3
第二章 近似概率设计的基本概念	7
第一节 可靠度指标	7
第二节 材料的设计指标	11
第三章 正截面强度计算	15
第一节 概述	15
第二节 受弯构件的抗弯强度	19
第三节 偏心受压构件	20
第四节 偏心距增大系数	24
第五节 其他	25
第四章 斜截面抗剪强度	35
第一节 概述	35
第二节 简支梁的抗剪强度	36
第三节 连续梁及约束梁的抗剪强度	38
第四节 预应力混凝土梁的抗剪强度	39
第五节 框架柱的抗剪强度	40
第六节 抗剪强度的限制条件	41
第五章 斜截面抗扭强度	44
第一节 概述	44
第二节 纯扭抗扭强度	47

第三节	预应力混凝土构件的抗扭强度	49
第四节	弯剪扭构件的抗扭强度	50
第五节	截面限制条件	54
第六节	其他	54
第六章	裂缝及变形计算	58
第一节	抗裂度计算	58
第二节	裂缝宽度验算	62
第三节	变形验算	64
第七章	冲切、局部承压及疲劳强度	68
第一节	板的冲切强度	68
第二节	局部承压强度	71
第三节	疲劳验算	72
第八章	叠合梁、深梁及牛腿	77
第一节	叠合梁设计	77
第二节	深梁设计	80
第三节	牛腿设计	83
第九章	若干构造方面的问题	85
第一节	板、梁、柱及剪力墙的构造规定	85
第二节	预埋件、预制构件的接头及吊环	87
第三节	钢筋的锚固与搭接	90
第十章	钢筋混凝土构件的抗震设计	92
第一节	概述	92
第二节	构件抗震构造措施等级	92
第三节	材料选用	94
第四节	框架梁、柱及排架柱抗震设计	95
第五节	框架节点	98
第六节	剪力墙	99

第十一章 预应力混凝土构件设计概要	101
第一节 概述.....	101
第二节 计算的一般规定	102
第三节 构造要求	107
附录	110

第一章 绪 论

第一节 我国结构设计规范的历史回顾

建国前，我国结构设计无统一的规范可循，直到1975年，我国交通部的公路桥涵设计规范和铁道部的铁路工程设计规范第二篇中桥涵设计还在用容许应力设计方法。

首先采用破坏阶段设计方法的是苏联规范 $\text{HиТУ}3-49$ 。它以混凝土的等效极限强度和钢筋的废品流限限值为基础作为标准强度，并在标准荷载上乘以安全系数 K 来建立表达式。这种方法可以通过结构试验来加以验证，已属于塑性极限设计范畴。

我国建筑工程部的钢筋混凝土结构设计暂行规范 $\text{结}6-55$ 便是参照苏联规范 $\text{HиТУ}3-49$ 制订的。1964年的交通部水运工程混凝土和钢筋混凝土结构设计规范(试行)及水运工程预应力钢筋混凝土设计规范(试行)，还有1965年水力电力部的水工建筑物混凝土及钢筋混凝土试行规范(试行)，也都采用破坏阶段设计方法。

从结构可靠度的观点来看，容许应力设计法的容许应力和破坏阶段设计法的安全系数都是凭经验确定，未考虑荷载及材料强度的变异性，属于定值法设计。

五十年代中期，苏联进入了极限状态方法设计阶段，其钢筋混凝土结构设计规范是 $\text{HиТУ}123-55$ ，标准荷载及材料

标准强度已采用数理统计方法确定, $S^b = \bar{S}(1 + 3c_{vs})$, $R^b = \bar{R}(1 - 3c_{VR})$, 属于偏小概率统计, 失效概率为0.135%, 设计强度则分别引入材料的匀质系数, 设计荷载则引入超载系数, 对构件引入的工作条件系数, 是根据调查分析确定的。极限状态则有三种, 即承载力极限状态、变形极限状态和裂缝极限状态。由于表达式采用了不同的荷载及材料强度的超载系数和材料匀质系数, 因此, 也算是多系数的半经验和半概率极限状态设计法。从结构可靠度理论的观点已进入概率设计, 属于水准一的半概率法。

目前, 除少数规范已进入水准二的近似概率法外, 七十年代的苏联规范 CHиП21-75, 英国规范 CP110 和八十年代美国规范 ACI-318-83 等都属于半概率法水平。我国规范 BJG 21-66 及 TJ10-74 也都属于这个水平。只是前者为多系数表达式, 后者则为多系数统计分析后用单一系数表达。

由于超载不一定是最不利的, 因此, 我国规范 BJG21-66 将超载系数改称为荷载系数, 而材料的均质系数改为材料强度系数。

我国规范 TJ10-74 考虑到 BJG21-66 中采用的小概率统计, 无论是钢材还是混凝土, 其标准强度或强度最低值定得太低, 直接将材料的设计强度定为 $R = \bar{R}(1 - 2C_{VR})$, 相应的失效概率为2.27%, 同时荷载系数一律取为1.2。

TJ10-74 将单一安全系数定义为 $K = K_1 K_2$, 其中 $K_1 = 1.2$

即荷载系数, $K_2 = \frac{\bar{R}(1 - 2c_{VR})}{\bar{R}(1 - 3c_{VR})}$ 为材料强度系数, 对延性破

坏的构件, c_{VR} 取钢材的变异系数, 对脆性破坏的构件 c_{VR} 取混凝土的变异系数。

从七十年代中期开始，世界各国都进一步重视结构安全度的研究。国际标准化组织 ISO 委托欧洲的许多重要国际组织，通过国际合作，编制了“结构统一标准规范的国际体系”，已从1978年开始分六卷陆续出版发行。这个体系是以近似概率法为基础，将各结构规范统一到水准二的水平。

1979年2月国家建委下达了制定“建筑结构设计统一标准”的任务，由中国建筑科学研究院负责，成立了领导小组。该统一标准编制完成后，经过有关部门会审，作为国标 GBJ 68-84 批准自1985年初起试行。

GBJ68-84 明确规定采用以概率论为基础的极限状态设计原则，结构构件的可靠度用可靠度指标度量，结构的极限状态可分为承载力极限状态及正常使用极限状态二类，采用多系数表达式。还对材料和构件的质量控制提出了明确的要求。

这次修订的国标混凝土结构设计规范送审稿便是遵照 GBJ68-84 进行修订的。

第二节 现行规范 TJ10-74 存在的主要问题

现行规范 TJ10-74 主要的问题可归结为以下五个方面：

1. TJ10-74 颁布以来已有十多年了，它的编制是在“文化大革命”后期，不可避免地有“左”的影响。例如，对多系数的表达式就过分地夸大了它过繁的一面，而概率统计总是必须通过荷载效应及抗力效应的各项统计参数来实现的。又如对沿用苏联的极限平衡计算方法，过于强调了未考虑极限应变的一面，而基于刚塑性假定的极限平衡计算方法是塑性力学的上限解，对它完全否定显然是不合适的。目前，国际

上钢筋混凝土结构设计规范的发展趋势都是采用多系数表达式的极限状态计算体系，在承载力极限状态设计中，一般都引入极限应变和平截面假定，从而确定表达式的限制条件。对正常使用极限状态，则引入材料的应力应变关系和平截面假定，可以根据弹塑性力学方法计算构件截面的应力及应变，进而求得内力和变形关系。

2. TJ10-74 编制时，除对混凝土及钢材的材性进行了大量的调查和试验外，构件试验和设计表达式的修改侧重在抗剪强度和受弯构件的变形裂缝方面。经历了唐山、海城等几次大地震，发现其抗剪强度表达式不能满足可靠度指标要求；对连续梁及框架柱抗剪更是缺少试验数据；在变形和裂缝方面，急需补充偏心受力构件的试验数据和表达式。同时，由于过去缺少自己的试验数据，因而直接引用国外数据或设计方法的其他方面，也都要重新考虑，才能心中有数，形成我国自己的特色。

3. 我国现行的各种结构设计规范格调极不统一。例如钢筋混凝土结构设计规范TJ10-74是多系数的半概率极限状态设计法，砖石结构设计规范GBJ3-73是破坏阶段设计法，钢结构设计规范TJ17-74和木结构设计规范GBJ5-73则是容许应力设计法(加入调整系数)。同样是钢筋混凝土结构设计规范，TJ10-74和水工钢筋混凝土结构设计规范SDJ20-78、港口工程技术规范JTJ200-82等也不一致。现根据国家建委和计委的要求，必须统一在“建筑结构设计统一标准”GBJ 68-84上。因此TJ10-74的修订势在必行。

4. 我国已在1981年参加了国际标准化组织ISO，成为该组织团体会员。该组织下属的几种结构设计标准的分组织经常轮流主持召开国际学术会议和工作会议，因此，有关规范

名称及体系、符号等必须尽可能与国际标准相近，才可以互相交流和借鉴，不断提高规范的质量。将钢筋混凝土结构设计规范的名称改为混凝土结构设计规范；将砖石结构设计规范改为砌体结构设计规范，以及统一采用国际标准的分项系数设计表达式及符号、计量单位和基本术语等都是由此出发。TJ10-74 显然不符合这个要求。因此，在现阶段要尽可能地向ISO委托编制的1978年出版的 CEB/FIP 模式规范靠拢，开展对TJ10-74的修订工作。

5. TJ10-74对混凝土标号仍采用原边长为200mm 的立方体试块来确定，经过长期酝酿，由中国建筑科学研究院提出了双改方案，即混凝土标准试块由原来的边长200mm立方体试块改为边长为150mm立方体试块，混凝土强度的统计分位值由TJ10-74 原来规定的平均强度减去一倍标准差改为平均强度减去 1.645 倍标准差。此双改建议已经过审议通过后由建设部批准。这次TJ10-74 的修订，对混凝土的质量要求和控制检验，实际上提出了更高的要求。过去的混凝土施工验收规范规定最低标号或统计强度分位值大体相当于失效概率为15%，现在的标准按平均强度减 1.645 倍标准差约相当于失效概率的5%。

在现行钢筋混凝土结构设计规范TJ10-74 颁发后，中国建筑科学研究院即组织了全国部分高等学校、科研及设计单位一百多家，展开了三批课题的试验研究，完成了大小试件试验约一万六千多项，写出了科研专题报告、论文及设计建议六百多份，在各级刊物、学报或内部发行，经过各种类型会议交流、讨论和审议，从而取得了大量宝贵的科学数据，提出了许多新的见解和实用建议，既为修订新规范打下了坚实的基础，又在全国性学术组织钢筋混凝土结构标准技术委

员会下成立了专题协作联系网——十几个学组，为开展学术活动和交流情报创造了必要的条件。

从1982年开始，中国建筑科学研究院会同部分设计、教学及科研单位派员组成了规范修订组，在各专题组研究成果的基础上着手修订规范条文。1983年底提出了修订建议24章239条，即为初稿。嗣后，1984年6月及1985年5月，又先后提出征求意见一稿及二稿。1986年3月提出的送审稿，已经过西安会议评议，报建设部及国家计委审批。

第二章 近似概率设计的基本概念

第一节 可靠度指标

我国国标建筑结构设计统一标准GBJ68-84称结构在规定时间内、规定条件下完成预定功能的概率为结构可靠度。

结构可靠度应采用以概率理论为基础的极限状态设计方法分析确定，计算结构可靠度采用的设计基准期为50年。

建筑结构的性能要求主要是：

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.在正常维护下具有良好的耐久性能。

4.在偶然事件发生时和发生后仍能保持必需的稳定性。

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。建筑结构安全等级的划分应符合下表要求：

表2-1 建筑结构的安全等级

安全等级	破坏后果	建筑物类型
一级	很严重	重要的工业与民用建筑
二级	严重	一般的工业与民用建筑
三级	不严重	次要的建筑物

当仅有荷载作用效应 S 及结构抗力效应两个基本变量时，结构按极限状态设计的表达式可以写成：

$$g(S, R) = R - S \geq 0 \quad (2-1)$$

其中： $S = S(\gamma_G, C_G, G_K, \gamma_{Qi}, C_{Qi}, Q_{iK} \cdots)$

$$R = R(\gamma_{Ri}, f_{Ki}, a_K \cdots)$$

荷载效应中 γ_G, γ_{Qi} 为永久荷载和各可变荷载的分项系数， G_K, Q_{iK} 为永久荷载和各可变荷载的标准值， C_G, C_{Qi} 为永久荷载和各可变荷载的荷载效应系数。

抗力效应中 γ_{Ri} 为结构构件的抗力分项系数， i 指不同材料， f_{Ki} 为材料性能的标准值， a_K 为几何参数的标准值。

荷载还应分别情况考虑短期效应和长期效应，还要考虑可变荷载的不利组合，分别按基本组合及偶然组合进行设计。

如抗力函数和作用力函数都为正态分布时，则函数 $Z = R - S$ 也必然是正态分布，在图2-1中， μ_z 为平均值， σ_z 为标准差， f_z 为正态分布概率函数。

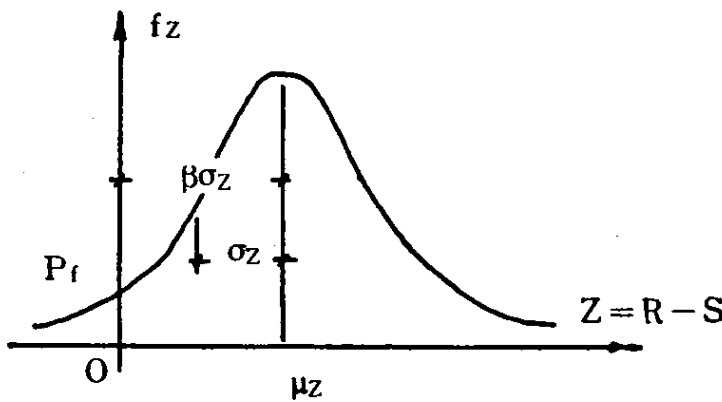


图2-1 构件承载力的概率分布曲线

$$f_z(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \text{EXP} \left[-\frac{(Z - \mu_z)^2}{2\sigma_z^2} \right] \quad (2-2)$$

式中 $\sigma_z > 0, -\infty < \mu_z < \infty$

当 $\mu_z = 0, \sigma_z = 1$ 时, 称为标准正态分布, 此时坐标 0 点与 μ_z 重合。

通过积分变换, 可以计算 $z < 0$ 时的这部分面积, 即失效概率 p_f

$$p_f = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-\beta} \text{EXP} \left[-\frac{z^2}{2} \right] dz$$
$$= \phi(-\beta) = 1 - \phi(\beta) \quad (2-3)$$

可见, 在概率分析中, 失效概率 p_f 与可靠度指标 β 存在着对应关系, 主要取决于状态函数 Z , 当 Z 为正态分布时, 其关系如表 2-2 所示。

表 2-2 $\beta - p_f$ 的关系

β	1	1.64	2	3	3.71	4	4.5
$p_f (10^{-2})$	15.87	5.05	2.27	0.135	0.0104	0.00317	0.0000034

式 (2-3) 中 $\phi(\beta)$ 为 β 的标准化正态分布函数, 而 β 的定义是

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (2-4)$$

式中 $\mu_R, \mu_S, \sigma_R, \sigma_S$ 各为抗力效应 R 及作用力效应 S 的平均值及标准差, 可分别由各自的统计曲线确定。

在钢筋混凝土构件强度计算中, 作用力效应可由恒载 G 及活荷载 Q 引起, 则

平均值 $\mu_S = \mu_G + \mu_Q$

标准差 $\sigma_S = \sqrt{\sigma_G^2 + \sigma_Q^2}$

同样抗力效应可由钢及混凝土两种材料所构成，则
平均值

$$\mu_R = \mu_{st} + \mu_c$$

标准差

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_{st}^2 + \sigma_c^2}$$

当Z不是正态分布，而是对称正态分布或极值 I 型分布时，也可由概率分析算出不同的 β 及 p_f 值。

详细可参看有关可靠度的资料，此处从略。

“统一标准”GBJ68-84编制时曾经过计算，发现 尽管我国各结构设计规范在安全系数取值上相差较大，但可靠度指标总体上有一定规律，即当为表2-1的安全等级二级时的一般延性破坏构件，设计可靠度指标可取为3.2,而对同样的脆性破坏构件，设计可靠度指标可取为 3.7 。当安全系数为一级或三级时， β 值可相应增减0.5,设计可靠度指标如表2-3所示。

表2-3 构件承载力极限状态的 β 值

破坏类型	安全等级		
	一级	二级	三级
延 性	3.7	3.2	2.7
脆 性	4.2	3.7	3.2

如有长期使用经验和有充分依据，对表2-3的 β 值可作±0.25的调整。

对正常使用极限状态，可靠度指标 β 可取为1~2。

第二节 材料的设计指标

前节所述结构极限状态方程中有关使用效应的标准荷载和有关分项系数等。

抗力效应和各种结构设计规范有密切关系。

在混凝土结构设计新规范(送审稿)中, 钢筋和混凝土的标准强度分别用 f_{yh} 及 f_{ch} 表示, 而设计强度则分别要除以相应的材料分项系数 γ_{st} 及 γ_c , 即设计强度为:

$$f_s = \frac{f_{yh}}{\gamma_{st}}, \quad f_c = \frac{f_{ch}}{\gamma_c} \quad (2-5)$$

现行规范TJ10-74 规定的钢筋标准强度, 一般具有95%以上的保证率, 因此修订后的新规范(送审稿)仍然适用, 只是修订了设计强度。

对有明显物理流限的热轧钢筋是用“冶标”规定的屈服点为标准强度, 对无明显流限的钢筋, 则用“冶标”规定的极限抗拉强度为标准强度。

可以用对比的方法来推导确定钢材分项系数 γ_{st} 。例如对一组热轧钢筋的受拉构件:

$$\text{TJ10-74} \quad KN = A_g R_g \quad R_g = R_g^b$$

$$\text{新规范(送审稿)} \quad \gamma_s N = A_s \frac{f_{yh}}{\gamma_{st}}$$

由于: $A_g = A_s$, $R_g^b = f_{yh}$, 则得

$$\gamma_{st} = \frac{K R_g^b}{\gamma_s f_{yh}} \quad (2-6)$$

由于 $K=1.4$, $\gamma_s=1.2667$, 可求得 $\gamma_{st} = \frac{1.4}{1.2667} = 1.1053$