

钢筋混凝土结构研究报告选集

国家建委建筑科学研究院 主编

中国建筑工业出版社

钢筋混凝土结构研究报告选集

国家建委建筑科学研究所主编

中国建筑工业出版社

本书系无产阶级文化大革命和批林批孔运动以来，在钢筋混凝土和预应力混凝土结构方面的部分科研成果汇编，内容包括：结构的安全度问题、材料的性能、结构构件的计算和构造以及单层厂房考虑整体空间作用的研究等。

本书可供土建结构设计人员、研究人员和土建专业大专院校师生参考。

钢筋混凝土结构研究报告选集
国家建委建筑科学研究院主编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米¹/₁₆ 印张：34¹/₈ 字数：785 千字
1977年5月第一版 1977年5月第一次印刷
印数：1—10,230册 定价：2.50元
统一书号：15040·3266

毛主席语录

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

独立自主、自力更生。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

前 言

在毛主席无产阶级革命路线指引下，近几年来，我国有关建筑设计、施工、科研和教学单位，以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，深入批判修正主义，贯彻执行**独立自主、自力更生**的方针，坚持科学研究为无产阶级政治服务，为工农兵服务，与生产劳动相结合的方向，开门搞科研，实行工人、干部和技术人员“三结合”，对钢筋混凝土结构的材料性能、设计计算和构造等问题，进行了比较广泛的调查研究和科学实验，初步总结了我国自己的实践经验。现将部分研究报告汇编成集，以利这些成果在社会主义建设中发挥作用。

这些研究报告，反映了设计革命以来，特别是无产阶级文化大革命和批林批孔运动以来，群众性建筑结构改革和结合生产实际开展理论研究工作取得的一些成果。

本选集由我院会同有关单位集体选编，选入的研究报告主要是一九七四年以前完成的。在这些研究报告的编写和出版的过程中，得到了全国许多单位和同志的热情支持和帮助，在此谨向他们表示感谢。本选集中如有不当和错误之处，请读者批评指正。

国家建委建筑科学研究院

一九七六年五月

目 录

钢筋混凝土结构的安全度问题·····	1
混凝土的几个基本力学指标·····	21
冷拉钢筋和冷拔低碳钢丝的几个问题·····	37
常温下钢筋松弛性能的试验研究·····	55
Ⅳ级钢筋闪光对焊接头的疲劳性能·····	66
Ⅳ级钢筋闪光对焊工艺及质量问题的研究·····	76
钢筋在低温下的性能及应用·····	87
钢筋混凝土双向受弯构件正截面强度的简化计算·····	104
钢筋混凝土梁的抗剪强度计算·····	125
受拉边倾斜梁斜截面抗剪强度的试验研究·····	153
钢筋混凝土偏心受压构件的纵向弯曲·····	182
钢筋混凝土双向偏心受压构件的强度计算·····	201
钢筋混凝土环形截面偏心受拉构件强度的试验研究·····	216
钢筋混凝土受弯构件变形和裂缝的计算·····	237
钢筋混凝土轴心受拉构件裂缝宽度的计算·····	290
抗裂度塑性系数 γ ,取值方法的改进·····	298
预应力混凝土构件施工阶段的计算·····	316
预应力混凝土梁在集中荷载作用下局部应力的试验研究·····	331
钢筋混凝土双肢柱的计算方法·····	349
钢筋混凝土双肢柱的刚度折减系数·····	385
钢筋混凝土牛腿的试验研究·····	397
钢筋混凝土空腹牛腿的试验研究·····	420
钢筋混凝土屋架的次应力问题·····	444
单层厂房排架考虑整体空间作用的研究·····	459

钢筋混凝土结构的安全度问题

钢筋混凝土结构安全度研究组*

一个合理的结构设计，应当要求在现有技术水平的基础上用较少的材料和比较经济的费用获得安全适用的结构物。在具体进行结构物的设计时，总是需要对作用在结构物上的荷载种类及大小，结构物的工作情况及破坏形态，施工质量可能存在的影响，以及所用材料的强度与变形性能等做出判断与假定，并以此作为设计的前提条件。由于对这些前提条件认识上的局限性，在进行设计时总是需要引入必要的安全储备。这种安全储备的大小，习惯上用所谓“安全度”的概念来表示。

很显然，如果结构物安全度太大，虽然可以达到满足结构安全的目的，但是将会使结构物多用材料，造成人力和物力的浪费；反之，如果安全度过小，虽然结构物所用的材料减少了，但如果达到不合理的程度，则有可能影响结构物的正常使用，有的还可能造成事故。因此在结构设计中，安全和经济是对立的统一。也同自然界和人类社会的其他事物一样，既有矛盾的一面，又有统一的一面；矛盾是绝对的，统一是相对的；在一定的条件下，两者还可以互相转化。

在结构设计中如何正确地确定结构的安全度，不仅是一个较为复杂的具体技术问题，而且更是一个十分重要的技术政策问题。在制定结构设计的安全度时，必须以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，认真贯彻执行鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义的总路线，以及党对基本建设的各项方针政策，符合既安全可靠、又经济合理的基本要求。

我们于 1971 年组成钢筋混凝土结构安全度研究组，对此问题进行了调查研究。几年来，在无产阶级文化大革命和批林批孔运动的推动下，我们调查总结了各设计、施工和使用单位有关安全度方面的实践经验，分析比较了过去规范和国内外资料中关于安全度的表达方法及取值原则，在很多设计、施工单位帮助下，经过大量的统计与计算，提出了经验与统计相结合的单一安全系数极限状态设计方法。本文将对这一设计方法作一简要的介绍。

一、安全度的意义及其应考虑的因素

结构设计总是需要一定的安全储备。所谓结构的安全度，简单说来就是指在正常设

* 参加本文工作的有：清华大学、国家建委建筑科学研究院、冶金工业部北京钢铁设计院、第四设计院、陕西省建筑工程局、陕西省建筑工程局科学研究所、陕西省第一建筑设计院、西安市混凝土构件预制厂、西安冶金建筑学院、广东省建筑设计院、广东省建筑工程公司、水利电力部东北勘测设计院、轻工业部第二设计院、北京市建筑设计院。

计、施工和使用的情况下，结构物对抵抗各种影响安全的不利因素所必须的安全储备的大小。而对于那些由于设计错误、施工质量低劣，以及不合理使用等所造成的不利影响，在结构设计安全度中一般均不予考虑。

为了保证所设计的结构物具备必要的安全度，在各国的设计规范及有关资料中有着不同的考虑方法。例如：允许应力设计方法，破坏阶段设计方法，多系数极限状态设计方法，全概率设计方法等等。在这些方法中，除了内力分析系根据不同的工作状态以外，就是以不同的方法考虑影响结构安全度的各种因素。例如，在多系数的设计方法中，采用超载系数和匀质系数或荷载增大系数和材料强度折减系数等几套分开的系数来考虑荷载与材料强度的变异性，并以此来考虑整个结构的安全度；又如在全概率设计方法中，则把影响结构安全的各种因素（如荷载、材料强度及施工质量等）当作数理统计学中的随机变量，结构的安全度即为考虑这些随机变量时结构物不出现破坏（或其他影响结构使用的状态）的概率；再如在采用单一安全系数的各种设计方法中，则是在一定的设计荷载与材料设计强度取值条件下，应用某个大于1的系数来表示结构在正常设计、施工和使用情况下安全储备的大小。

为了在制定结构设计安全度时能正确地考虑各种影响结构安全的因素，下面对各主要因素的性质和特征作一简要的分析。

1. 标准荷载的取值与超载

在结构设计中所用的标准荷载是指结构在正常情况下较有可能出现的最大荷载。当前，除了部分住宅、办公楼和某些工业车间的楼面荷载以及风、雪荷载的标准值是根据一定的调查研究和统计分析确定的以外，其他仍多采用传统数值。

事实上，作用在工程结构上的荷载值，有一些并不完全符合上述定义的标准荷载，例如，有些屋面、楼面填充材料的容重、薄壁构件的自重以及施工荷载，在正常情况下就有可能出现超载，即大于设计时所用的标准荷载。此外，即使在结构上经常作用的荷载值符合上述定义的标准荷载，在结构设计中还应考虑由于偶然因素而可能出现的超载。

2. 材料强度的变异

按规范进行结构设计时，材料的设计强度系取材料检验标准或有关规范中规定的废品限值或检验最低值。按照我国冶金部钢筋标准的规定，钢筋的废品限值系按一定的抽样检验制度确定的钢筋出厂检验指标，从数理统计学的观点来看，正常生产的钢筋，其实际强度仍有相当一部分低于此废品限值，实际统计结果也证明了这一点。混凝土的强度也是这样，即使抽样检验的试块符合施工验收规范中规定的检验最低值，该批混凝土中，实际强度仍有可能低于此值。此外，由于材料生产工艺的波动，以及试件试验条件的不同，试件的强度同构件中材料的实际强度也可能存在一定的差别。

3. 计算假定的误差

结构设计时取用的有关支承条件、计算图形，以及材料塑性与徐变、温度等计算假定，在不同程度上与结构实际情况存在着一定的差别。对这些因素尽管一般应进行专门的计算，但由于分析方法的近似性以及认识上的局限性，有时仍须在结构安全度中适当考虑。对于一些受力复杂的结构，当仅进行一般的简化计算时，也应比一般结构适当增加安

全度。

4. 施工质量的影响

根据施工验收规范规定, 构件尺寸及钢筋位置等都允许存在一定的偏差, 这些偏差对结构的安全度有不同程度的影响。当钢筋混凝土屋架上弦的截面尺寸偏差为正负 5 毫米时, 对强度的影响为 7% 左右。根据调查分析^[12], 厚为 18 厘米的楼板, 钢筋位置的偏差可达正负 2 厘米, 对强度的影响可达 10% 左右。此外, 构件施工时的局部缺陷也会部分地影响结构的安全度。

5. 结构的破坏性质及破坏影响程度的差别

由于结构形式、配筋情况及所用材料的不同, 结构的破坏性质可能有很大的差别。有一类结构在破坏时表现为有警告的塑性破坏特征; 而另一类结构则表现为突然的无警告的脆性破坏特征。从对破坏的发生是否能够预防的观点来看, 脆性破坏的结构的安全度应比塑性破坏的结构要高。

根据构件在结构物中所处的部位及其功能的不同, 其破坏后影响的范围及其修复的难易程度也将不同。显然, 对那些破坏后影响范围小、容易修复的构件, 安全度可以小一些; 反之, 对于那些一旦发生破坏, 波及范围很大, 修复十分困难的构件, 其安全度就应当大一些。

此外, 建筑物在使用上的差别也是很大的。对于有重大政治意义或历史价值的建筑物, 结构构件的安全度需要作特殊考虑。

由上可见, 影响结构安全度的因素很多, 情况十分复杂。在研究结构安全度问题时, 对各有关因素决不能孤立地、形而上学地进行处理, 而是要对具体问题具体分析, 考虑其有机联系、相互影响, 抓住主要矛盾加以解决; 要逐步应用数理统计方法进行科学分析, 但也不可夸大数理统计的作用, 以免造成理论脱离实际的后果。

二、结构设计方法的演变

历史上早期的结构设计方法, 是通过实践经验或者荷载试验来确定其承载能力的。我国劳动人民很早就根据实践经验的总结, 成功地设计和建造了许多建筑物, 如隋朝李春设计的赵州桥一直保留到现在。16 世纪末, 意大利伽利略利用对结构物进行试验的方法来求得结构的安全荷载, 从此, 也就在结构设计中提出了安全系数的问题。

19 世纪, 由于弹性力学及材料试验等科学的发展, 基于弹性理论的允许应力设计方法发展起来, 并在相当长的时间内普遍应用于结构设计中。这种方法的基本要点就是按弹性理论求出结构的内力, 采用某一低于材料试验所得弹性极限的允许应力, 以此来保证结构设计所必要的安全度。

20 世纪中期, 随着对各种结构性能的进一步了解, 提出并使用了按破坏阶段设计及塑性设计等方法。这些方法的特点都是考虑了结构在破坏阶段的工作状况, 而用大于 1 的安全系数来增大设计荷载以达到保证结构安全的目的。

20 世纪 50 年代以后, 随着对结构性能的研究更加深入, 数理统计在结构设计中的应

用,以及实践经验的不断丰富,出现了极限状态设计方法。到目前为止,按照对安全度的分析及表达方式的不同,在这种设计方法的领域内又提出了半概率或全概率、多系数或单一系数表达的多种形式。全概率方法目前还处于理论研究阶段,实用上均采用半概率方法,其基本特点是将结构的工作状况区分为若干个极限状态,通过数理统计分析和历史经验总结等途径分别确定荷载和材料强度的保证概率及安全系数,以保证结构在使用期间不致出现某个不允许的极限状态。

从以上各种设计方法的演变过程,可以看出以下几点基本趋势:

- 1.从结构的内力计算来看,由于分析方法的进一步精确化,特别是在考虑了结构物破坏阶段的性能以后,使计算结果更加符合结构的实际工作情况,从而更加合理地发挥了材料的作用,保证了结构的安全。

- 2.随着数理统计学在结构设计中的应用,对某些影响结构安全度的因素(如作用在结构物上的某些荷载、结构物所用材料的强度等)的变异规律,有了进一步了解,可以通过调查研究与统计计算,按照某个规定的保证率来确定某些设计荷载与材料设计强度。

- 3.随着对影响结构安全度各因素的逐个分析及对其认识的进一步深化,不仅发现其中部分因素可以通过统计分析来研究其变异规律,而且也看到还有若干非统计因素,需要依靠经验来判断,尤其是在最后确定结构设计的安全度大小时,必须经过综合分析及实践经验的总结,采用经验与统计相结合的办法,才能得到满意的效果。

- 4.由于结构的内力计算逐渐精确,以及荷载、材料强度和施工质量等因素对结构安全度的影响进一步明确,结构安全度的取值较过去更加合理,表达方式也更为简明。例如:20世纪初期,国外的钢筋混凝土结构,拉、压构件大约都取4倍使用荷载作为安全储备;而现在,拉、弯构件的平均强度安全系数为1.80左右,受压构件为2.0左右。

在我国,解放前钢筋混凝土结构的设计和施工技术十分落后,没有统一的设计规范,设计方法采用允许应力法,结构安全度很保守。解放后,随着社会主义建设事业的蓬勃发展,生产技术水平不断提高,钢筋混凝土结构设计方法也由按弹性理论的允许应力计算过渡到考虑材料塑性的按破坏阶段计算,1956年以后又采用了极限状态设计方法,安全度也有了合理的降低,节约了材料和降低了造价。1966年我国正式颁布《钢筋混凝土结构设计规范》(BJG21-66)。在预应力混凝土结构设计方面,1959年以前采用按破坏阶段计算方法,1959年以后也开始采用极限状态设计方法,1970年出版的《预应力混凝土结构设计及施工》一书,提出了以材料标准强度为基础的单一安全系数极限状态设计方法^[2],结构的安全度经多系数分析后用单一安全系数来表达,在调查分析我国工程实践经验的基础上,对过去预应力混凝土结构采用的设计方法作了改进,不少单位在结构设计中曾采用了这种方法。表1为我国钢筋混凝土结构设计方法的演变及安全系数取值的比较。

经过无产阶级文化大革命,设计战线上的广大职工批判了修正主义路线,认真贯彻执行独立自主、自力更生的方针,坚决走我国自己工业发展的道路。在设计革命运动中,他们创造了很多新材料、新工艺、新结构和新的计算方法,例如:新的低合金钢筋品种,冷拔低碳钢丝预应力构件,轻型屋面构件,薄壁工字型柱,以及厂房结构考虑空间作用的计

表 1
我国钢筋混凝土结构设计方法的演变及安全系数取值值的比较

结构种类 采用设计方法 构件受力特征	钢筋混凝土结构				预 应 力 混 凝 土 结 构		
	解放以前	1949~1955年	1956~1966年	1966年~	1952~1959年		1970年~
	弹性理论 允许应力法	单一安全 系数破坏 阶段法	极 限 状 态 法	极 限 状 态 法 (BJG 21-66)	单一安全系数破坏阶段法		单一安全系数极限状态法
					软 钢	硬 钢	
					2.5	2.0($\frac{p}{g} > 2$)	1.90
受弯、受拉等	2.5	1.8 $2.0(\frac{p}{g} > 2)$	1.52~1.69	1.52~1.69	1.8 $2.0(\frac{p}{g} > 2)$	2.5 $2.8(\frac{p}{g} > 2)$	1.50 1.90
轴心受压、小偏心受压等	4.0	2.0 $2.2(\frac{p}{g} > 2)$	1.82~2.12	1.82~2.12	2.0 $2.2(\frac{p}{g} > 2)$	—	1.90
斜截面受剪	—	2.2 $2.4(\frac{p}{g} > 2)$	—	—	2.2 $2.4(\frac{p}{g} > 2)$	2.2 $2.4(\frac{p}{g} < 2)$	1.80 2.00

注：1. 钢筋混凝土构件反算安全系数时，混凝土为 200 号，强度取标准值。钢筋为 3 号钢，在 1949~1955 年一栏中，强度取 2850kg/cm²，在反算 1956~1966 年及 1966 年~两栏时强度取 2650kg/cm²。

2. 预应力混凝土受弯、受拉构件反算安全系数时，混凝土用 300 号，强度取标准值。钢筋为双控冷拉 5 号钢，在 1952~1959 年一栏中强度取 5000kg/cm²，在反算 1960 年一栏及 1970 年~两栏中，强度取 4500kg/cm²。

3. 极限状态设计方法反算安全系数时，荷载系数加权平均值取 1.20。

4. 括号中的 p/g 为活载产生的内力与静载产生的内力之比。

5. 轴心受压构件含钢率范围为 0.4~3.0%，小偏心受压构件含钢率范围为 0.2~2.0%。

算等。通过生产实践和科学实验，人们对材料和结构性能的认识更加丰富。这些都对结构设计的安全度提出了新的问题，需要进一步改进结构安全度的取值及表达方法。本文阐述的经验与统计相结合的单一安全系数极限状态法，是对钢筋混凝土结构安全度取值及表达方法的一个改进。

三、“三系数”极限状态设计方法的分析

50年代以后，一些国家开始采用多系数极限状态设计方法，我国1966年颁布的《钢筋混凝土结构设计规范》(BJG21-66)也采用了这种方法。在这种方法中，根据结构的使用要求和工作特征，将结构计算区分为三种极限状态，即：承载能力极限状态，变形极限状态，以及裂缝形成和开展的极限状态；把影响结构安全的因素用荷载系数、材料强度系数和工作条件系数来考虑（简称“三系数”法）。其强度设计的原则是，构件中可能出现的最大内力值不得大于构件承载能力的可能最小值，表达式为：

$$\sum n_i N_i^0 \leq \Phi(m_i, K_g, R_g^0, K_h, R_h^0, \dots, S) \quad (1)$$

式中 n_i ——荷载系数（或称超载系数）；

N_i^0 ——标准荷载作用下产生的内力；

K_g, K_h ——钢筋和混凝土的材料强度系数；

R_g^0, R_h^0 ——钢筋和混凝土的标准强度；

m_i ——工作条件系数；

S ——截面几何特征。

材料计算强度取值以 $\bar{R} - 3\sigma$ （ $\bar{R}$ 为材料的平均强度， σ 为材料强度的均方根差）为准，即材料计算强度的保证率为99.86%。荷载系数按照不同的荷载（恒载和各种活载），取值在1.10~1.40范围内变动。

这种极限状态设计方法的优点是：

（1）在设计时将结构区分为几个极限状态，概念比较清楚，计算目标明确，计算时可按不同的极限状态规定不同的计算方法与安全度取值。

（2）材料强度和部分荷载的取值，采用数理统计的方法，在一定程度上反映了荷载和材料强度的变异规律，具有一定的科学性。

（3）采用三个系数，可对不同材料，荷载及工作条件区别对待，有一定的灵活性。

但是前一阶段的工程实践表明，“三系数”法也存在一些问题需要加以改进。主要是：

（1）作用在建筑结构上的荷载，情况复杂，种类繁多，当前除部分荷载采用统计分析方法来确定标准荷载值以外，其他仍凭传统经验确定。在这种情况下，将荷载系数取1.1~1.4，级差为0.1，表面上看来很精确，但由于某些标准荷载值本身与实际出入较大，因此，用这样分级很细的荷载系数并不一定能反映结构承受的荷载及荷载变异的真实情况。例如，民用建筑住宅的楼面活荷载，标准荷载值为150公斤/米²，调查证实，这个标

准荷载约相当于该荷载的平均值加两倍均方根差，如取荷载系数为1.4时，则相当于平均荷载加4~5倍均方根差，可见1.4的荷载系数值显然偏大。又如，构件自重的荷载系数取为1.1，而对近700块常用类型预制板实际称量的结果，自重平均超重为8.5%，即接近板的计算荷载，几乎将荷载的预留安全储备全部用去。至于填充、保温层等荷载，由于材料容重与厚度的变化均较大，超重情况就更为严重，某设计单位曾对两个车间屋面找平保温层约50个点进行抽查，其平均超重达14~30%。可以认为，笼统地取自重荷载系数为1.1，是造成那些以自重为主的屋面结构实际安全储备普遍偏小的一个主要原因。

由于不少活荷载的荷载系数偏大，而某些自重的荷载系数又偏小，因此有必要对部分活载和自重的荷载系数作某些调整，即减少一些活载的荷载系数值，加大一些自重的荷载系数值。这样，在一般情况下常用构件加权平均荷载系数的变化就不是很大的了，将各种荷载系数加以调整合并，取一定值，这在计算上也是比较简便可行的。

(2) 材料的计算强度取值以统计值 $\bar{R}-3\sigma$ 为准则，即取其保证率为99.86%，不能全面反映构件所需安全储备的大小。从材料的实际强度来看，在符合国家材料标准和正常施工的情况下，是极少出现规范中所规定的 $\bar{R}-3\sigma$ 这样低的数值的。例如，某单位曾经统计过一批200号混凝土试块的强度，实际最低的试块强度较按规范 $\bar{R}-3\sigma$ 的强度要高出25~30%（见图1）。又如，分析了一批Ⅱ级钢筋试件的试验结果，实际试件强度的最低值较按规范中的 $\bar{R}-3\sigma$ 的强度值要高出25%左右（见图2）。

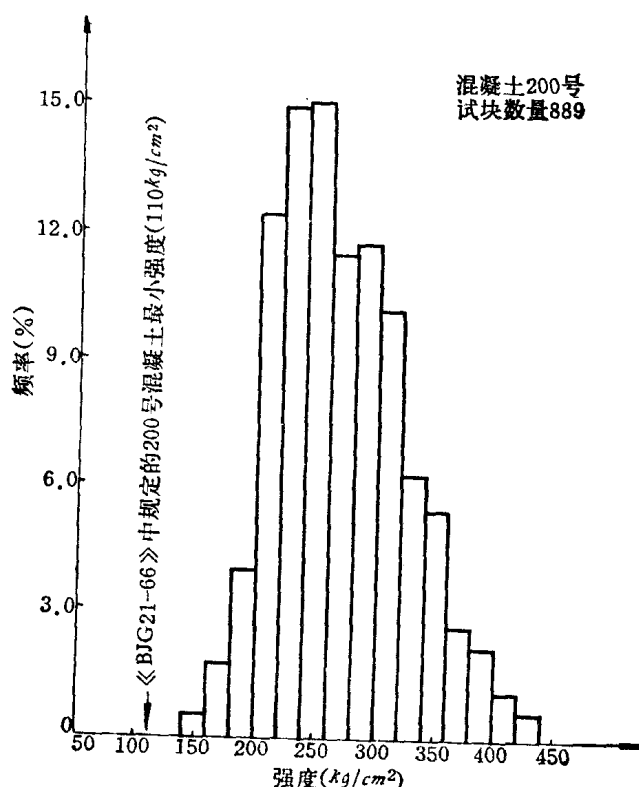


图1 混凝土强度的频率分布

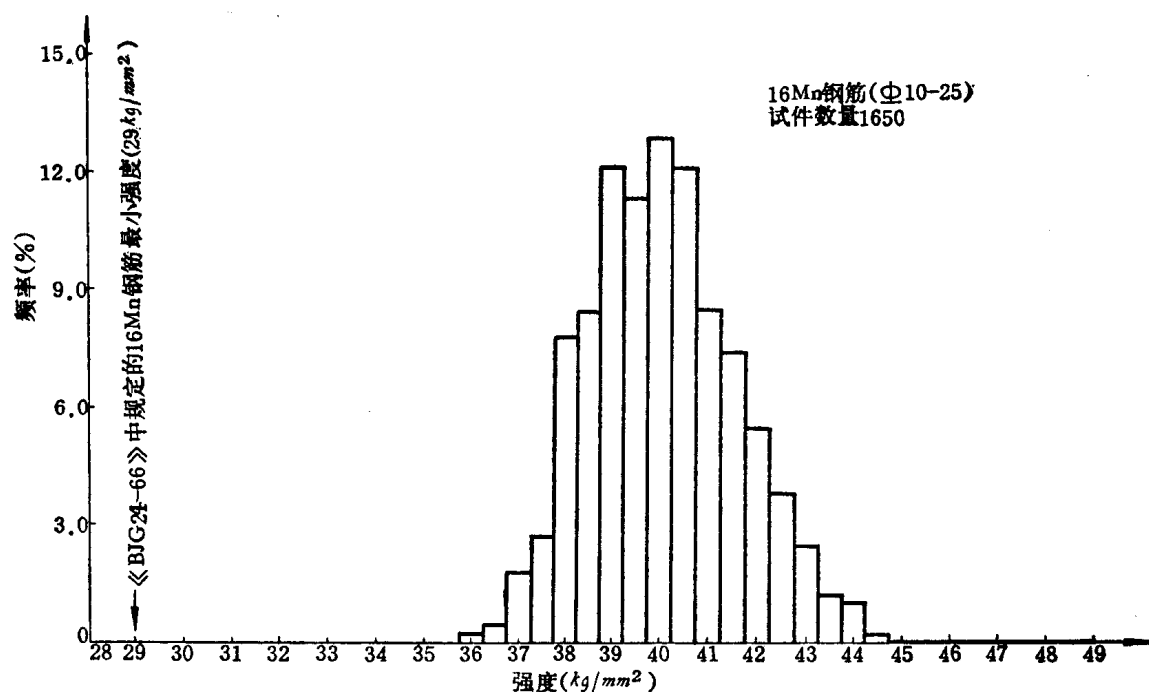


图 2 钢筋强度的频率分布

即使在统计中有个别强度低的数值，其性质也不是随机的。在小概率范围内经验分布情况和理论分布曲线会有很大的偏差，不适宜用一般随机变量函数来表示。

可见，材料计算强度采用 $\bar{R} - 3\sigma$ 为准则是不够合理的。

(3) “三系数”法中的工作条件系数在多数情况下均取 1.0，实际强度安全系数主要反映在荷载系数和材料强度系数上，因此，对影响结构安全度的其他因素，显然考虑得不够周密。

此外，由于“三系数”法中对荷载和材料强度进行孤立的分析，当钢筋的材料强度系数取 0.85~0.90 (数值较大)，混凝土的材料强度系数取 0.55~0.60 (数值较小) 时，就会产生下列两种情形：

①对于受拉构件，当材料强度系数取 0.90，平均荷载系数取 1.15 时，安全系数仅为 1.28，这显然偏低了。如果今后钢筋质量和匀质性进一步提高，安全系数还可能会更小；

②由于混凝土和钢筋的材料强度系数相差较大，因而构件安全系数的变化幅度也较大。例如，对于 200 号混凝土，用 I 级钢筋配筋的受弯构件，当含钢率由构造配筋至最大配筋率时，折算安全系数自 1.28 至 1.48 (荷载系数取 1.15)，相差达 15% 左右。

以上情况说明，“三系数”法虽有其优点，但仍存在一些问题需要改进。

四、经验与统计相结合的单一安全系数极限状态设计方法的基本概念

(一) 基本原则

通过以上对结构设计方法演变过程的分析，并根据我国规范 BJG21-66 实行以来的情

况，我们认为在拟定我国新的安全度取值及表达方法时，应遵循下列一些基本原则：

(1) 要体现党的路线、方针、政策，符合我国实际情况，做到技术先进，经济合理，安全适用，确保质量。

(2) 保留“三系数”极限状态设计方法中关于极限状态的基本概念，但对不同极限状态的划分，应更加明确和符合结构使用与受力的实际情况。

(3) 对影响安全度的各个因素，应根据具体情况具体分析。对其中一部分能够统计的因素（如部分荷载及材料强度的取值）应进行统计分析，使之能够保证某项规定的概率；对那些不属于概率论中随机变量或还不具备统计条件的其他多种因素（如荷载的偶然性变异、施工质量的偏差等），则应根据对过去工程实践的调查总结与分析比较，给予适当的安全储备。

(4) 对所有影响结构安全度的因素，应进行全面的综合分析，对不同构件应区别对待，对过去规范中正确的部分应予以保留，不合理的部分应进行调整。

(5) 在安全度的表达方式上，应做到概念明确，使用简便，并力求能够用安全系数较为直接地反映结构安全储备的大小，以便于广大工农兵群众和设计人员掌握。

(6) 应有利于促进工程结构质量的提高和结构设计理论的进一步发展，当设计水平、施工和材料质量提高时，对结构的安全度及其相应的材料强度取值便于进行调整。

为了合理的解决这一问题，我国1970年出版的《预应力混凝土结构设计及施工》一书，曾提出了用单一安全系数表达的极限状态设计方法。在这个方法中，荷载采用标准荷载，钢筋及混凝土的强度采用标准强度。经过一段时间的使用，一般认为此法应用于预应力混凝土结构设计中还是较好的。但是，这一设计方法如作为钢筋混凝土及预应力混凝土结构都能适用的统一设计方法，则还存在一些问题。例如：大、小偏心受压构件的安全系数不衔接，因而在大、小偏心受压界限附近处理比较困难；对用钢丝和热轧钢筋混合配筋的构件安全系数不统一，因而对某些构件应用起来不够方便；在某些构件中，当配筋率不同时，钢筋用量与已有设计经验比较，变化幅度较大。

经过广泛征求意见和认真研究讨论，并经过若干单位对各类构件进行试设计比较，在吸收规范BJG21-66中“三系数”法和《预应力混凝土结构设计及施工》一书中单一安全系数法两者优点的基础上，提出了下述经验与统计相结合的单一安全系数极限状态设计方法。

(二) 极限状态的区分

根据对结构物在使用上不允许出现的损坏程度，将结构的工作状况区分为下列两种极限状态，即：

(1) 承载能力极限状态，即结构或构件达到最大承载能力时的极限状态。例如：在荷载作用下主要截面破坏；由于结构整体或局部破坏使结构变成机动体；结构整体或主要构件丧失稳定；重复荷载作用的疲劳破坏；以及某些结构由于滑移、倾覆而引起的丧失位置平衡，等等。避免这种极限状态是结构安全可靠的必要前提，对任何结构或构件均需按这种极限状态进行计算。

(2) 正常使用极限状态，即结构或构件达到不能正常使用时的极限状态。例如：

结构在使用期限内产生过大的变形；裂缝出现过早或开展过大；以及振动过大，等等。达到这种极限状态将使结构构件不能正常使用或耐久性不够。对某一结构或构件，应视其使用要求与结构性能，确定是否需要按这种极限状态进行计算。

（三）结构构件强度设计的基本表达式

我们认为，结构构件强度安全系数可归纳为荷载系数 K_1 、构件强度系数 K_2 和附加安全系数 K_3 三个主要组成部分，设计荷载采用荷载规范规定的标准荷载，材料设计强度以 $\bar{R}-2\sigma$ 为取值准则。这样，强度设计的基本表达式即为：

$$K_1 \sum N_i \leq \frac{1}{K_2 K_3} \Phi [R_h, R_g, \dots S] \quad (2)$$

整理后可得：

$$K_1 K_2 K_3 \sum N_i \leq \Phi [R_h, R_g, \dots S]$$

式中 N_i ——由标准荷载及其他作用而在结构中产生的内力；

R_h ——混凝土的设计强度；

R_g ——钢筋的设计强度；

S ——截面的几何特征。

荷载系数与构件强度系数的乘积为结构构件强度基本安全系数，即

$$K_j = K_1 K_2 \quad (3)$$

结构构件强度基本安全系数与附加安全系数的乘积为结构构件强度设计安全系数，即

$$K = K_j K_3 = K_1 K_2 K_3 \quad (4)$$

结构构件强度设计安全系数的工程意义是在材料强度具有 97.73% 保证率的条件下，对标准荷载而言结构所必须具有的最低安全储备。这一安全系数是设计时加以控制的，也是通过施工检验能够保证的。

关于强度设计安全系数与构件抽样检验控制指标的关系，下面将作说明。

五、材料强度的取值和各系数的确定

根据本方法的基本概念及强度设计表达式的意义，材料强度及各系数的取值也有相应的规定，现分述如下：

（一）钢筋的设计强度

考虑到在规范BJG21-66中材料强度取值以 $\bar{R}-3\sigma$ 为准则的一些缺点，在本方法中受拉钢筋的设计强度一般按 $\bar{R}-2\sigma$ 的准则来确定，此时材料强度的保证率为97.73%，这与钢筋的检验验收标准基本上是一致的。从保证结构安全的观点来看，可以认为，这样取值在材料强度方面已具有足够的保证率，已考虑了材料强度的正常变异性；同时，从大量的统计结果来看， $\bar{R}-2\sigma$ 的数据与钢筋强度实际出现最低值的情况比较符合，可靠性较大。

根据几个主要钢厂钢筋强度的统计结果，热轧钢筋 $\bar{R}-2\sigma$ 的数值一般与冶金工业部颁标准《钢筋混凝土结构用热轧钢筋》(YB171-69)（简称“冶标”）规定的屈服点废

品限值相接近。例如Ⅱ级钢筋，一些主要钢厂最近几年来 $\bar{R}-2\sigma$ 的数值分别为32.71~34.33公斤/毫米²、34.05~34.40公斤/毫米²、33.06~35.07公斤/毫米²等，而“冶标”规定为34公斤/毫米²。为了便于同材料的检验标准统一起来，受拉热轧钢筋的设计强度即取等于“冶标”规定的钢筋屈服点废品限值。

应当指出，现行“冶标”规定的钢筋强度废品限值，主要是作为产品检验验收的标准，其保证性在很大程度上取决于生产条件、检验制度和考虑经济等因素。因此今后建立一个生产与使用统一考虑的以统计分析为基础的钢筋强度检验标准是十分必要的。

冷拉钢筋的设计强度，按照冷拉控制方法（双控和单控两种情况）给出，双控系指同时控制应力和伸长率，单控系指仅控制伸长率。根据冷拉钢筋强度的调查结果，当采用双控冷拉工艺时，冷拉钢筋的强度变异大小与冷拉时的测力系统和原材料机械性能有关，一般情况下其平均强度 $\bar{R}$ 略高于冷拉控制应力，而 $\bar{R}-2\sigma$ 值略低于冷拉控制应力，为了与检验标准统一和便于确定预应力钢筋的张拉控制应力，参照以往的经验，双控冷拉钢筋的设计强度即取冷拉控制应力值。当采用单控冷拉工艺时，由于受到原材料质量变异的影响，单控冷拉钢筋的强度变异较大，其平均值约为决定冷拉伸长率时所取用的冷拉控制应力值，因此，其设计强度即取低于该冷拉控制应力，以求与双控冷拉钢筋强度的保证率相当。

对于碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线和Ⅴ级钢筋，其设计强度均取 $0.8\sigma_s$ （ σ_s 为“冶标”规定的抗拉强度废品限值）。根据部分统计资料，碳素钢丝的 $\bar{R}-2\sigma$ 值与“冶标”规定的 σ_s 值大体接近，而 $0.8\sigma_s$ 是“冶标”规定的条件流限。Ⅴ级钢筋这样取值后，可以使钢筋应力不致用得过高。钢丝及Ⅴ级钢筋的强度取值经过这样处理后，可以避免那种过去在设计规范中按软硬钢分别取不同安全系数的弊病，而使基本安全数对各类钢筋及钢丝均基本相同。

冷拔低碳钢丝设计强度取值原则与碳素钢丝相同。根据我国各地区的使用经验和调查结果，可按不同的直径（ $\phi 3$ 、 $\phi 4$ 、 $\phi 5$ ）给出不同的设计强度；同时为了充分利用材料强度，可根据材料是否进行逐盘检验，以及原材料和冷拔工艺的差异分级分组给出设计强度，以便设计时能按实际情况选用。

（二）混凝土的设计强度

混凝土设计强度的取值原则与钢筋相同，亦以 $\bar{R}-2\sigma$ 为准则，即其保证率亦为97.73%。

根据现行《钢筋混凝土工程施工及验收规范》（GBJ10-65 修订本）对混凝土立方强度的规定：首先，在试配时应按设计标号提高10~15%选择配合比；同时，在检验时同批试块的抗压极限强度平均值不得低于设计标号，任意一组试块的最低值不得低于设计标号的85%，在同批试块中，低于设计标号的试块组数，当试块为3~5组时不得多于一组，当试块为6~16组时不得多于二组，当试块为17组以上时不得多于总组数的15%。这样，试块强度的合格率一般在85%以上。对符合此要求的混凝土进行强度统计的结果表明：一批混凝土试块强度的平均值 $\bar{R}$ 将比其标号 R 高出约一个均方根差 σ ，即 $R=\bar{R}-\sigma$ ，对于不同标号的混凝土强度，其 $\frac{\bar{R}-2\sigma}{R}$ 的数值约在0.80~0.86之间变化。将混凝土的设计强度取为 $\bar{R}-2\sigma$ （即 $R-\sigma$ ）能够与施工验收规范中关于试块强度最低值的规定相呼