



混凝土结构性能 评定和检测

潘景龙 著

黑龙江科学技术出版社

混凝土结构性能评定和检测

潘景龙 著

黑龙江科学技术出版社

责任编辑 徐晓飞

封面设计 张秉顺

版式设计 王 莉

混凝土结构性能评定和检测

HUNNINGTU JIEGOU XINGNENG PINGDING HE JIANCE

潘景龙 著

出 版 黑龙江科学技术出版社

(150001 哈尔滨市南岗区建设街 41 号)

电话(0451)3642106 电传 3642143(发行部)

印 刷 阿城市印刷包装有限公司

发 行 黑龙江科学技术出版社

开 本 850×1168 1/32

印 张 11.5

插 页 2

字 数 294 000

版 次 1997 年 2 月第 1 版·1997 年 2 月第 1 次印刷

印 数 1—5 000

书 号 ISBN 7-5388-2846-X/TU·184

定 价 15.00 元

内 容 简 介

本书系统地论述了混凝土结构的变形、抗裂和承载力等结构性能的评定和检测方法,详细介绍了评定和检测工作中必须遵循的有关现行国家标准、规范和各种规定。书中还以附录形式介绍了混凝土结构材料的力学性能的评定和检测方法。

本书可供从事结构设计、施工、质量监督和质量检测等工程技术人员参考,亦可作为土建类有关专业师生的教学参考书。

前 言

“百年大计,质量第一”是我国建设的基本方针。

混凝土结构作为我国的一种主要建筑结构体系,可能由于设计考虑不周,或施工的某些缺陷而造成不能满足预期的使用功能,甚至对国家财产和人民生命造成重大损失。科学地进行质量检验,无疑为避免或减少这种可能性的出现具有重要作用。

我国对混凝土结构质量检验工作十分重视。60年代以前,虽未见到统一的质量检验法规,但在一些全国通用性标准图集中,均能见到对其质量标准和相应检验方法的规定。1960年,建筑工程部颁发了“预应力混凝土施工及验收规范”(建规3—60),从强度、刚度、抗裂性等几方面规定了预应力混凝土结构、构件应有的质量标准和相应的检验方法。随着“钢筋混凝土结构设计规范”(TJ 10—74)的制订和实施,1976年我国颁布了“建筑安装工程质量评定验收标准——钢筋混凝土预制构件工程”(TJ 321—76),这是一部具有中国特色的混凝土结构构件质量法规,十多年来的实践表明,它为提高我国混凝土构件

质量起了重要作用。随着结构设计理论和混凝土结构科学的发展,1989年我国颁布了新的“混凝土结构设计规范”(GBJ 10—89),为适应这一新的情况,1990年和1992年又相继颁布了“预制混凝土构件质量检验评定标准”(GBJ 321—90)和“混凝土结构试验方法标准”(GB 50152—92),这些新标准在内容的完整性、系统性和严密性方面达到了一个更高层次,它必将为提高混凝土结构构件的质量作出贡献。

混凝土结构或构件的质量大体可由其原材料质量、外观质量(包括几何尺寸,表面缺陷等)和结构性能三个方面的因素决定。其中结构性能将直接影响到建筑物的可靠性,而历来被设计、施工、建设单位所重视。质量检验就其广义而言,包含有对检验对象的检查或试验,又有根据检查或试验结果对检验对象的质量优劣或合格与否进行评定的内容。然而,这两方面又密切相关,这是因为不同的检查或试验方法,即使对同一个检验对象,也常常会获得不同的结果。因此,必须有统一的评定标准和与此相适应的检查或试验方法。这正是本书要讨论的混凝土结构的结构性能检验的主要内容。

本书根据“建筑结构设计统一标准”(GBJ 68—84)“建筑结构荷载规范”(GBJ 9—84)、“混凝土结构设计规范”(GBJ 10—89)、“预制混凝土构件质量检验评定标准”(GBJ 321—90)和“混凝土结构试验方法标准”(GB

50152—92)等现行国家标准,由浅入深地讨论了建筑结构所受作用(荷载)、材料强度、结构抗力等参数的变异性和结构可靠度等基本概念,从而引出混凝土结构、构件的结构性能的评定标准及由此相应的检测方法。其目的是使结构设计人员能根据评定标准准确地给出评定指标及相应的检验参数;使质量检验人员能懂得怎样按检验法规要求科学地去作结构性能的检测工作;使生产单位能正确理解国家标准中对混凝土结构的结构性能有哪些要求;使建设单位懂得怎样从结构性能方面去验收混凝土结构工程,以维护自己的利益。

本书采用教学用书的方式论述问题,目的是使读者不仅懂得应该怎样去做结构性能的评定和检测工作,而且理解为什么要这样做。考虑到实际结构、构件的多样性,在试验方法方面不局限于国家标准规定的内容,而作了较为系统的介绍。书中附有大量例题,以增强读者开展相应工作的实际能力。对于采用“非破坏性试验”结果的结构性能评定,我国尚无统一的评定标准,作者根据国内外有关资料和实践经验,作了必要的介绍,可供参考。本书有一个较大篇幅的附录,它具有手册作用,摘录了混凝土结构有关材料力学性能方面的国家最新标准和相应的检测方法,包括非破损试验方法,从而使本书从混凝土结构的材料性能到它的结构性能的评定和检测形成较为完整的体系。

尽管本书作者具有近 40 年从事结构、材料检验工作的实践经验,是“混凝土结构试验方法标准”(国家标准 GB 50152—92)主要起草人之一,但对国家新标准,新规范的领会、理解还不很深入,书中难免存在许多谬误之处,务请读者批评指正。

潘景龙

1995 年 10 月于哈尔滨建筑大学

目 录

第一章 结构的可靠度..... (1)

- 第一节 描述随机变量的数学方法..... (1)
- 第二节 结构上的作用和作用效应..... (6)
- 第三节 结构材料的力学性能指标 (12)
- 第四节 结构构件的抗力 (21)
- 第五节 结构的极限状态与可靠度 (23)
- 第六节 混凝土结构设计的实用设计表达式 (31)

第二章 结构性能的评定 (45)

- 第一节 概述 (45)
- 第二节 承载力评定指标 (49)
- 第三节 抗裂和裂缝宽度评定指标 (64)
- 第四节 变形评定指标..... (108)
- 第五节 荷载试验不充分条件下的结构性能评定..... (115)

第三章 结构性能的检测..... (124)

- 第一节 概述..... (124)
- 第二节 检验用量测仪表..... (127)
- 第三节 试验装置和加载设备..... (148)

第四节	试验方案·····	(176)
第五节	检验荷载值的确定·····	(185)
第六节	加载程序·····	(203)
第七节	试件·····	(210)
第八节	变形量测·····	(219)
第九节	裂缝检测·····	(260)
第十节	承载力确定·····	(268)
第十一节	安全与防护措施·····	(279)
附录 I	混凝土结构用钢筋的机械性能及其试验方法·····	(281)
附录 II	钢筋焊接接头及焊接制品的机械性能试验方法 及评定·····	(300)
附录 III	混凝土强度的检验评定·····	(308)
附录 IV	普通混凝土力学性能试验方法·····	(313)
附录 V	钻芯法检测结构混凝土强度·····	(325)
附录 VI	超声回弹综合法检测混凝土强度·····	(331)
附录 VII	回弹法检测混凝土抗压强度·····	(345)
参考文献	·····	(358)

第一章 结构的可靠度

第一节 描述随机变量的数学方法

结构设计规范由定值设计概念逐步转变为非定值设计概念,是由于对设计参数(荷载、材料强度、结构抗力等)本身具有变异性的认识逐步深入,引入处理具有变异性参数的数学方法——概率论和数理统计的结果。因此,要了解结构设计的基本思想,必须对这一领域内的基本概念有所认识。

一、随机变量

关于随机变量的概念,这里不从抽象的定义出发,而用实例来说明。容易理解,标准尺寸的红砖块重是在一定范围内变动的。从某厂生产的一批具有正常含水率的红砖中随机取一块(称抽样),称其重量,它小于等于(或大于等于)某一重量的事实可能出现或不可能出现的事件称为随机事件。由随机事件决定的变量称随机变量。这里抽样就是随机事件,而红砖块重就是随机变量。显然后者随抽样不同而异,形成一变量数列。

二、概率和密度函数

在数理统计中,描述随机事件出现可能性的量称为概率。在上例中,它可理解为出现红砖重量小于等于(或大于等于)某一重量的可能性,并用百分比表示的一个数值。

如何给出这个概率值呢?这就需要研究随机变量的分布规律。仍以标准规格的红砖块重为例来说明,从某砖厂正常生产的具有正常含水率的大批红砖中随机取一个子样,共有 n 块,为了反映实

实际情况,希望子样容量即 n 愈大愈好。将其逐块称重,获一变量数列。显然这列数参差不齐,从某一最小值到最大值连续地分布,因此,称它为连续型随机变量。从它的最小值到最大值等间距地划分若干区间(每一区间称组),统计这列随机变量落入每一个区间内的变量个数,这个数称频数。取每一个区间的中间值(平均值,称组中值)代表该组的红砖块重量,则可获得如图 1.1-1 所示的频数直方图。将该图的纵坐标除以子样容量 n ,直方图形状不变,此时称为频率直方图。可以想象,当子样容量增大,并使各组间距变小,则频率直方图的外形将向图中的曲线靠拢,在数理统计中,这根曲线被称为随机变量概率密度分布曲线。经数学处理,可获表示这根曲线的函数关系为

$$y = f(x) \quad (1.1-1)$$

式中 $f(x)$ ——密度函数。

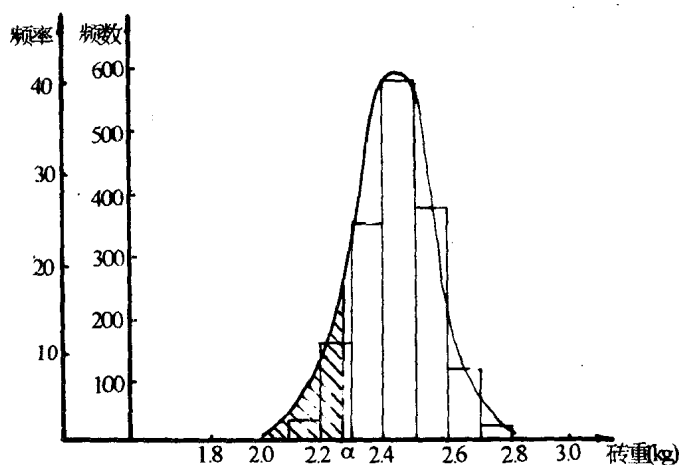


图 1.1-1 频数、频率直方图

容易证明,该曲线和 x 轴间的面积等于 1,它的物理含义就是抽样时红砖块重落在 $(-\infty, +\infty)$ 范围内的可能性为 100%,这就是概率为 1 的含义。当然这是一种理论上的结果,实际红砖块重量不可能为负值。同理,红砖块重小于等于 a 这一事出现的可能性——概率为图 1.1-1 中阴影的面积,用数学形式表示即为

$$P(a \leq x) = F(x = a) = \int_{-\infty}^a f(x)dx \quad (1.1-2)$$

式中 $P(a \leq x)$ ——随机事件 $a \leq x$ 的概率;

$F(x)$ —— x 的分布函数。

在讨论上述红砖块重抽样的随机事件时,按图 1.1-1 计算概率是有条件的,即仅适合被调查的砖厂,而且是正常生产,具有正常含水量的红砖。如果调查的是全国范围内砖厂的红砖,则结果就适合于全国范围使用。因此,在调查统计时,一定要注意子样的代表性。

利用上述方法,对具有变异性指标的不同物理量(如材料强度、荷载等)进行统计分析,可获得它们各自的分布曲线和密度函数。在混凝土结构中,通常有正态分布、对数正态分布、极值 I、极值 II 型分布等(几种不同类型)。其中正态分布是最常见、最简单的,在复杂的概率运算中,常把其它分布经数学处理后转变为正态分布,再进行各种其它运算。

三、统计特征值

分布曲线有两个重要的统计特征值,它们是算术平均值 μ 和均方差 σ 。

算术平均值是代表随机变量数列平均水平的特征值。根据这个定义可得

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1.1-3)$$

式中 x_i ——随机变量数列第 i 个样品的值；

n ——子样容量。

算术平均值用来估计母体的数学期望，数学期望即是母体的算术平均值。如红砖块重的例子，若将某厂生产的全部红砖逐块称重，而后取其平均值，即为该厂生产的红砖块重的数学期望。其实它是不可能获得的，因为某厂的红砖在不断地生产，永远称不尽。因此，数学期望是可望不可及的，只能用子样的平均值去估计它。

均方差是衡量随机变量取值离散程度的特征值。例如有两组混凝土试块抗压强度，第Ⅰ组为 20, 20.8, 19.2MPa；第Ⅱ组为 22.7, 18.0, 19.3MPa，它们的平均值都为 20.0MPa，而每组各个强度对平均值的偏差之代数和都等于零，因而看不出哪一组的离散程度大一些。但如将每组中每个偏差的平方求和，再除此组子样容量，得方差后再开方，就得均方差，即

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}} \quad (1.1-4)$$

在此例中，第Ⅰ组为 0.65MPa，第Ⅱ组为 1.98MPa。显然两组的离散性有很大差别。因此，均方差反映了随机变量数列的离散程度。在另一些问题中，可用均方差估计随机变量的取值范围，例如下面将要讲的，对于合格 C20 级混凝土，有 95% 的把握 (0.95 概率) 说，其实际强度不低于 $(20 - 1.645\sigma)$ MPa。

数理统计学可证明，当子样的容量 n ，不大时，利用式 (1.1—

4) 结果来估计母体均方差是有偏的, 应用下式的标准差 S 来代替 σ 估计母体均方差

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n - 1}} \quad (1.1 - 5)$$

数理统计中, 还用离散系数(变异系数) δ 来反映随机变量数列的离散程度, 变异系数由下式决定

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} \quad (1.1 - 6)$$

四、随机事件概率的计算

若随机变量的分布曲线、分布密度函数已知, 并获得了它们的统计特征值 (μ, σ) , 就能计算随机事件发生的概率。例如对于最重要的正态分布, 密度函数为

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1.1 - 7)$$

分布曲线如图 1.1-2 所示, 则随机变量取值不小于 $\mu - 2\sigma$ 出现的概率为

$$\begin{aligned} p[(\mu - 2\sigma) \leq x] &= F(x = \mu - 2\sigma) \\ &= \int_{\mu - 2\sigma}^{\infty} f(x) dx = 0.97725 \end{aligned} \quad (1.1 - 8)$$

即随机变量不小于 $\mu - 2\sigma$ 出现的概率为 97.725%, 小于此值的概率(称失效概率)为 2.275%。有时把概率称保证率, 如随机变量取

值不小于 $\mu - 1.645\sigma$ 的保证率为 95%，失效概率仅 5%（含义为小于 $\mu - 1.645\sigma$ 的可能性仅 5%）。

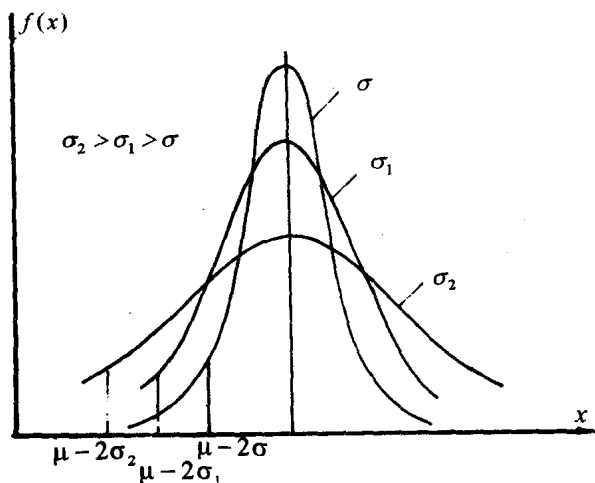


图 1.1-2 正态分布曲线

在结构设计中,把物理量(荷载、材料强度、几何尺寸等)的取值随机性称变异性或不(确)定性。因此,这些物理量的处理方法和随机变量相同。

第二节 结构上的作用和作用效应

一、荷载的分类

施加在结构上的集中荷载或分布荷载,以及引起结构外加变形或约束变形的原因称结构上受到的作用,前者称直接作用,后者称间接作用。地震、基础沉降、温度变化、焊接等因素引起结构外加变形,是一种间接作用。结构上的荷载是一种最常见的直接作用,是本书涉及到的重要内容。

荷载有不同的分类方法,通常按随时间变异的情况来分。

1. 永久荷载

永久荷载,俗称恒载、呆荷载。它是在给定的结构设计基准期(我国规定为 50 年)内,其值不随时间而变化,或其变化量与平均值相比可以忽略不计的荷载。例如结构自重的重力作用,土压力等。永久荷载通常用符号 G 来表示。

2. 可变荷载

可变荷载,俗称活荷载。它是指在给定的结构设计基准期内,其值随时间而变化,且其变化量与平均值相比不可忽略的荷载。如楼面活荷载、施工荷载、风荷载、雪荷载等。可变荷载通常用荷号 Q 来表示。

3. 偶然荷载

偶然荷载,是指在给定的设计基准期内不一定出现的荷载,但它一旦出现其值较大,而持续时间往往很短。例如爆炸力、龙卷风等荷载。地震虽然是一种间接作用,但它亦具有偶然荷载性质。

然而,不论何种荷载,它们均有变异性、不定性,是随机变量,其值在某一个范围内变动。例如结构自重引起的重力荷载,是永久荷载,其值对于一个已经建成的结构,可认为是确定性的(可能有含水率变动的影响),但在设计该结构时对它自重的估计,总有一定的偏差,只能按结构设计时的几何尺寸和理论密度去估计它的自重。实际上,施工后的结构实际尺寸,所用材料的实际密度与结构设计时的估计有一定差别。这样,结构的实际自重可能比设计时的估计值大,也可能小,有一定的随机性。又如某型号的混凝土预制圆孔空心板,有理论计算重量,但实际重量总是在这个理论重量的上下波动,恰好等于理论计算重量的可能性极小。可变荷载和偶然荷载的不定性更是显而易见。例如居民住宅楼面活荷载,经大量统计,每户有不同的家具、人口、物品,它们构成了不同的荷载;即使是同一户同一房间,在整个设计基准周期内,会经历多次人口、家具等方面的改变。这些因素均构成了楼面活荷载的不定性。