HUNNINGTU PEIZHI QIANGDU
HE YANSHOU QIANGDU DE QUEDING FANGFA

混凝土配制强度和验收强度的确定方法

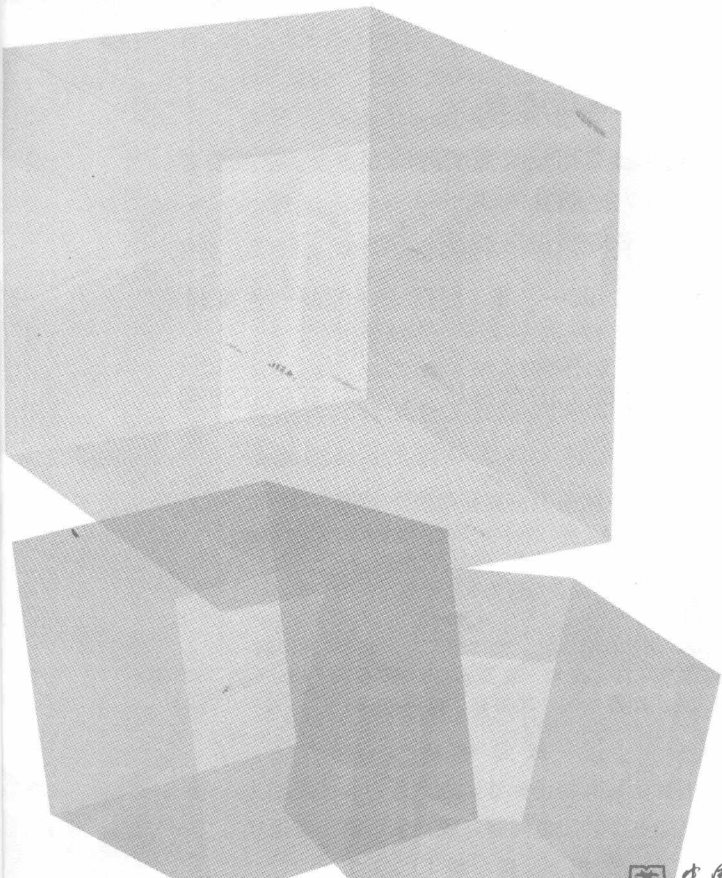
戴镇潮 著

中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS
中国电力出版社
www.cepp.com.cn

HUNNINGTU PEIZHI QIANGDU
HE YANSHOU QIANGDU DE QUEDING FANGFA

混凝土配制强度和验收强度的确定方法

戴镇潮　著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

混凝土的配制强度和验收强度是混凝土质量管理中最重要的指标，关系到工程的安全和造价，应根据混凝土强度的实际情况，运用数理统计方法加以确定。然而，过去和现行的一些确定混凝土配制强度和验收强度的方法，有的没有将强度都按正态分布计；有的强度标准差没有按已知计；有的没有考虑抽取试件组数的影响；有的只考虑生产方利益；有的则只考虑使用方风险；还有的甚至仍采用原始的经验法……致使所得配制强度和验收强度不正确，也不统一。针对存在的问题，本书提出以按正态分布计的设计强度，强度标准差按已知计，全面应用数理统计方法确定混凝土配制强度和验收强度的方法。

本书可供混凝土质量管理、试验研究、结构设计、生产施工的工程技术人员学习，也可供相关专业的大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土配制强度和验收强度的确定方法/戴镇潮著.
北京：中国电力出版社，2008.8
ISBN 978-7-5083-7635-6

Ⅰ.混… Ⅱ.戴… Ⅲ.混凝土—配制—强度理论
Ⅳ.TU528.062

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 094588 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 100044 http://www.cepp.com.cn)
航远印刷有限公司印刷
各地新华书店经售
*
2008 年 8 月第一版 2008 年 8 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 5.125 印张 128 千字
印数 0001—2000 册 定价 **20.00** 元

序　一

《混凝土配制强度和验收强度的确定方法》一书介绍了有关数理统计知识、混凝土的强度和设计强度、混凝土强度标准差等基本概念，针对混凝土配制强度确定方法的演进过程和混凝土验收强度的几种确定方法作了全面的分析和评论，结合工程实际进行理论分析，提出了不同的混凝土配制强度和验收强度确定方法，是一本涉及混凝土生产和验收的专业性著作。

本书作者戴镇潮同志自参加工作以来，长期在水利水电工程的工地上从事大坝混凝土的试验研究、质量控制和检验及施工技术工作，先后参加了浙江黄坛口、江西上犹江、浙江新安江、浙江富春江、四川映秀湾、湖北葛洲坝、河北潘家口、江西万安等十余个大中型水电站工程的建设，退休前为武警水电第二总队技术处总工程师、高级工程师。曾主持及参加完成了多个工程的混凝土试验和与混凝土相关的课题研究，有丰富的工程经验。戴镇潮同志结合工程实践，积累和收集了与混凝土相关的工程试验资料进行分析研究，发表论文数十篇，取得了较多的研究成果，其人学风严谨，工作认真负责，兢兢业业，值得大家学习。

武警水电部队是一支承担国内外大中型能源、交通工程建设任务，以部队建制为组织形式的大型综合性基本建设队伍，具有水利水电工程施工总承包特级资质。先后承建近百项国家大中型水利水电工程，其中长江三峡永久船闸、河北潘家口水利枢纽、江西万安水利枢纽、广西天生桥二级水电站、广西龙

滩水电站、西藏直孔水电站等工程混凝土量达数百万 m^3，配备世界先进水平的大型成套施工设备，年浇筑混凝土 500 万 m^3。

李光强

武警水电指挥部主任、少将

序　二

混凝土的使用已有约200年历史，由于混凝土的强度高、耐久性好、施工性能优越、工艺简单、原材料来源广、成本较低、适用于各种自然环境，因此发展很快，已成为世界上的主要建筑材料，几乎所有的土木工程都离不开混凝土。水利水电工程更是以混凝土作为主体材料，一个大、中型水电站的混凝土量往往可达数百万 m^3，如葛洲坝水利枢纽为1042万 m^3，三峡水利枢纽混凝土总量达2794万 m^3。为了确保工程质量，在满足设计要求的前提下，如何经济合理地配制出合格的混凝土，如何科学地判断生产的混凝土是否满足工程要求显得十分重要，这就需要通过正确地确定混凝土强度的控制指标——配制强度和合格评定指标——验收强度来实现。

由于混凝土组成材料（水泥、砂石料、掺合料、外加剂等）性能的波动，拌和称量的误差，以及取样的随机性和试验误差等因素的影响，生产出的混凝土强度不可能是定值，会在较大的范围内变化，是一个接近于正态分布的随机变量。因此，混凝土生产的变异性需要应用数理统计方法分析，混凝土的配制强度和验收强度需要应用数理统计方法加以确定，不应将混凝土强度当作定值，采用经验法来确定。

在本书中，作者对混凝土的配制强度和验收强度有关的基本概念作了解释。简明扼要地介绍了概率论、数理统计，以及与工程密切相关的随机变量、误差、抽样检验等数理统计基本知识；专题论述了混凝土标号与强度等级的演变及强度标准差的重要性。根据国际标准化组织（ISO）的建议和我国的规定，特别强调强度等级是以强度正态分布的5%分位值来划分的；设计

强度标准值与设计强度等级值相同，是设计要求强度正态分布的5%分位值，比设计强度平均值低1.645倍强度标准差；试件强度平均值的验收强度应大于设计强度平均值；配制强度应大于试件强度平均值的验收强度等。指出了使用混凝土试件平均值确定强度等级、将设计强度标准值当作定值或平均值等的错误概念。

在混凝土中应用数理统计方法，既要了解混凝土性能，具有实践经验，又要有一定的数理统计知识。工程技术人员通常掌握混凝土性能，但对数理统计缺少研究，而数理统计的学者则恰好相反，两者兼备并能结合起来的工程技术人员和学者相对较少。本书作者将两者有机地结合起来，在著作中强调混凝土强度应按正态分布计，应用数理统计方法，消除经验因素，科学合理地确定配制强度和验收强度，并在著作中提出一些新的观点和方法。作者以科学的态度，分析了欧洲、美国、前苏联，以及我国各种验收标准的配制强度和验收强度的确定方法，指出存在的问题，提出了具体的改进建议。

本书著者从1954年起，一直在大、中型水利水电工程的工地上，从事混凝土的试验、研究，质量控制和检验，及施工技术工作，曾主持及参加完成了多个工程的混凝土试验和与混凝土相关的课题研究，有丰富的经验，并结合实践进行理论研究，发表论文50余篇，在一些领域中有独到的见解。例如，提出衡量砂子粗细的指标应为细度模数，不应采用平均粒径；经理论推导和实测资料证明混凝土的强度标准差和变异系数都随强度平均值变化；现场质量控制是关键，快速测定混凝土强度意义不大；现场同条件养护的试件测定结构混凝土强度不可靠等。

由于对专业的执著追求和强烈的责任感，著者退休后仍关注并潜心研究混凝土的有关技术问题，特别是混凝土配制强度和验收强度的确定方法，收集了有关工程资料，翻阅了相关文献，孜孜不倦地完成了本书的写作。本书的出版，将有助于对混凝土强度的控制和合格评定，也将促进数理统计方法进一步

在混凝土中应用。本书是土木工程技术人员的一本良好读物，也是从事混凝土研究人员和制定标准有价值的参考资料。

梅锦煜

2008年6月

前　　言

混凝土的配制强度和验收强度是混凝土质量管理中最重要的指标，关系工程的安全和造价，如何确定两种强度一直是业内十分关注的问题。随着对混凝土强度认识的提高，即由最早认为是定值，改为随机变量，并大多按正态分布计，配制强度和验收强度的确定方法也由经验法向采用数理统计方法改进。但是由于混凝土强度是定值的错误观念没有完全消除，又因经验法最简便，至今国内外仍有一些规范（标准）依旧采用经验法确定配制强度和验收强度。而由于理解及采用的参数不同，应用数理统计确定配制强度和验收强度的方法的则多种多样，直至今天尚未得到一种符合混凝土强度实际情况的、全面正确地应用数理统计的方法。为了探寻正确的方法，作者对过去和现行的一些确定配制强度和验收强度的方法进行了评析。针对存在的问题，本书提出以按正态分布计的设计强度为基础，强度标准差按已知计算，以按均值衡量的一次计量抽样检验方案，确定试件强度平均值的验收强度和配制强度；再在所得预期强度分布的基础上，以样本最小值随样本增大而减小的统计规律，或以一次计数抽样检验方案，确定试件强度最小值的验收强度。

本书首先在第一章介绍了有关的数理统计知识，因为确定混凝土配制强度和验收强度必须应用数理统计方法；第二章主要讲述对混凝土的强度的认识由定值改进为正态分布，以及设计强度指标——强度等级的定义，这是确定混凝土配制强度和验收强度的基础；第三章讨论混凝土强度标准差的特性——①随质量控制水平提高而减小，②随强度提高而增大，③都是未知的，④少量试件的强度标准差不定性很大，指出准确预估强

度标准差是确定混凝土配制强度和验收强度的关键；第四章论述混凝土配制强度确定方法的演进，指出经验法和半概率半经验法存在的问题，应该改用全概率法；第五章对混凝土验收强度的多种确定方法及相关的规范（标准）加以评析，指出各自存在的问题；第六章提出以按正态分布计的设计强度为基础，强度标准差按已知计，全面应用数理统计方法确定配制强度和验收强度的方法。

本书的出版得到中国人民武装警察部队水电指挥部主任李光强少将、前总工程师梅锦煜少将的大力支持，并详细审阅书稿，提出许多宝贵意见，且为本书撰写序言，在此表示衷心感谢。

由于水平有限，特别是数理统计学的知识水平有限，书中难免有错，敬请读者指正。

作者

2008 年 3 月 12 日

CONTENTS 目录

第一章 有关的数理统计知识[1、2]

在现代生产和科研中，抽样方法、数据采集、分析推断以及进行质量管理、工艺改革、研制新产品等都需应用数学，其中数理统计是应用较多的。因此，掌握一定的数理统计知识对生产管理人员和科技工作者是十分必要的。

混凝土是由多种材料组成的非均质硬化体，每一种材料的性质变化和配料计量误差都会引起强度等性能的变化，所以混凝土的生产管理和试验研究也需应用数理统计。掌握数理统计知识，将有助于正确认识和处理混凝土的许多问题，如强度是随机变量，不是定值，十分接近正态分布，实际多按正态分布计，不应按定值或单值计；混凝土的实际真实强度是不可知的，试件强度不等于实际真实强度，只是实际真实强度的估计值，试件取得越多估计值越准确，随机抽样才有代表性等。混凝土的配制强度和验收强度，也只有应用数理统计方法才能得到正确的结果。

数理统计学的范畴十分广泛，并且建立在比较高深的数学理论基础上，本章只从实用的角度简要地介绍与确定混凝土配制强度和验收强度有关的数理统计知识，详细的请阅读参考文献和其他数理统计学的书籍。

第一节 概率论和数理统计

概率论是研究大量偶然事件的概率规律性的科学。概率就是事件发生的可能性。任何事件的概率都在 0 和 1(100%)之间。必然事件的概率为 1；不可能事件的概率为 0；有时发生有时不发生的事件称为随机事件或偶然事件，其概率在 0～1 之间。概率十分小接近于 0 的事件称为小概率事件。譬如，混凝土的抗

压强度大于抗拉强度是必然事件；反过来，混凝土的抗拉强度大于抗压强度是不可能事件；混凝土可能合格，也可能不合格，则属于随机事件，合格的概率在 0～1 之间；强度很高和很低的发生概率很小，属于小概率事件。

数理统计学是以概率论为基础，对观测统计资料进行分析研究，导出其概率规律性的科学。

在混凝土中，如研究哪些因素对混凝土性能有影响，影响程度有多大，相互间的关系；混凝土质量的均匀性，强度的分布形状，如何进行质量控制和抽样检验，以及制订结构设计规范和合格验收标准等，都需应用数理统计学。

第二节　随　机　变　量

随机变量是量化了的随机事件。随机变量就可用数学方法进行计算和分析，这就是数理统计的任务。

随机变量有离散型和连续型两种。只能取有限个或可数个不同的值，称离散型随机变量，如计数抽样检验产品样本的不合格品个数等；在某一区间中能取任何值的，称连续型随机变量，如混凝土的强度等。

一、随机变量的特征数[3]

特征数是描述随机变量特征的有效工具。最重要的特征数是数学期望（平均值）和方差（或标准差），及由标准差和平均数组成的复合型特征数——变异系数。

1. 数学期望（平均值）

随机变量 ξ 的平均值 μ 就是数学期望 $E(\xi)$。代表随机变量的平均水平，表示随机变量概率分布的集中位置。

离散型随机变量的数学期望 $E(\xi)$，是随机变量 ξ 的所有可能取值 $x_1, x_2, \cdots, x_n, \cdots$ 以相应的概率 $p_1, p_2, \cdots, p_n, \cdots$ 为权值的加权平均值，见式(1-1)。

$$E(\xi) = \mu = x_1 p_1 + x_2 p_2 + \cdots + x_n p_n + \cdots = \sum_i x_i p_i \qquad (1\text{-}1)$$

连续型随机变量的数学期望 $E(\xi)$，等于变量 x 乘以概率密度函数 $f(x)$，在随机变量的所有可能取值范围内的积分。见式(1-2)：

$$E(\xi)=\mu=\int_{-\infty}^{+\infty}xf(x)\mathrm{d}x \tag{1-2}$$

2. 方差和标准差

方差和标准差是衡量随机变量偏离平均值程度的指标。方差 $\mathrm{Var}(\xi)$的开方根为标准差 σ。标准差又称均方根差、方根差、离中差等。

离散型随机变量的方差见式(1-3)：

$$\mathrm{Var}(\xi)=\sigma^2=\sum_i p_i\left[x_i-E(\xi)\right]^2 \tag{1-3}$$

离散型随机变量的标准差见式(1-4)：

$$\sigma=\sqrt{\sum_i p_i\left[x_i-E(\xi)\right]^2} \tag{1-4}$$

连续型随机变量的方差见式(1-5)：

$$\mathrm{Var}(\xi)=\sigma^2=\int_{-\infty}^{+\infty}\left[x-E(\xi)\right]^2f(x)\mathrm{d}x \tag{1-5}$$

连续型随机变量的标准差见式(1-6)：

$$\sigma=\sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty}\left[x-E(\xi)\right]^2f(x)\mathrm{d}x} \tag{1-6}$$

标准差恒取正值，不取负值；量纲与随机变量的相同。

3. 变异系数

变异系数 Cv 是衡量随机变量相对离散程度的特征数，见式(1-7)：

$$Cv=\sigma/\mu \tag{1-7}$$

式中 σ 和 μ 的计量单位相同，所以 Cv 无量纲，用小数或百分数表示。

二、随机变量的概率分布

概率分布就是不同随机变量出现的概率大小的分布。

随机变量的概率分布有很多，都可以其特征数运用数学方法加以描述。本书应用到的有正态分布、Student t 分布、χ^2 分

布、二项分布。

1. 正态分布

由众多微小的、互不影响的独立的偶然因素产生的随机变量，其概率分布为正态分布。正态分布十分普遍地存在于各种随机事件中，被广泛应用于概率论和数理统计学中，是最重要的分布，见图 1-1。

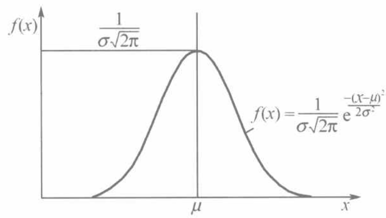


图 1-1　正态分布曲线

图 1-1 中正态分布曲线的数学表达式，即正态随机变量 x 的概率密度函数，见式(1-8)：

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \tag{1-8}$$

式中　μ——平均值；

σ——标准差；

π——圆周率，数值取 3.1416；

e——自然对数的底，数值取 2.7183。

式(1-8)表明，正态分布曲线的形状决定于平均值 μ 和标准差 σ 这两个特征数。μ 决定曲线中心的位置；σ 决定曲线的高矮、宽窄。所以 μ 和 σ 确定后正态分布的位置和形状就确定了。通常用 $N(\mu,\sigma^2)$ 表示正态分布。当 $\mu=0$，$\sigma=1$，是为标准正态分布，记为 $N(0,1)$。

除了 μ 和 σ 外，正态分布中还有一个十分重要的数值，称为正态偏差，或称概率度，是以 σ 衡量随机变量 x 与数学期望(平均值)μ 之间的距离的值，以 t 代表，即：

$$t=\frac{x-\mu}{\sigma} \tag{1-9}$$

在标准正态分布 $N(0,1)$ 中，$\mu=0$，$\sigma=1$，则 $t=x$，所以 t 就是标准正态分布的随机变量。

图 1-2 为标准正态分布，其累积概率 p 与相应的正态偏差 t_p 的关系，由式(1-8)得：

$$p=\int_{-\infty}^{t_p}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{x^2}{2}}dx \tag{1-10}$$

于是就可得不同 t_p 的 p，列于表 1-1，这就是累积标准正态分布表。

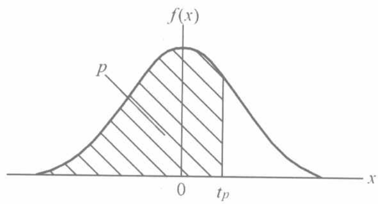


图 1-2　标准正态分布中 p 与 t_p 的关系

表 1-1 中只列出 $p\geqslant 50\%$的 t_p 值，未列出 $p<50\%$的 t_p 值。因为标准正态分布对称于纵坐标，则 $t_p=-t_{1-p}$，或 $t_{1-p}=-t_p$。故有了 $p\geqslant 50\%$的 t_p 值，就可得 $p<50\%$的 t_p 值，只是这时的 t_p 为负值。例如 $p=40\%$，得 $t_{0.4}=-t_{1-0.4}=-t_{0.6}=-0.25$；反过来，如已知正态偏差为$-1.28$，查表 1-1 得 $p=90\%$时的 $t_{0.1}=1.28$，得$-1.28=t_{1-0.9}=t_{0.9}$，则得正态偏差为-1.28 的 $p=10\%$。

表 1-1 只列出 $t_p=0\sim 3$ 的 p 值，t_p 大于 3 的 p 值及更详细的可由数理统计书籍中的正态分布表查得。

为便于查找，表 1-1 中将常用的 t_p 和 p 值以粗体字示出。

由以上所述可知正态分布的特点：

（1）有一个高峰，在曲线中心，即在横坐标为平均值 μ 处。峰值为$1/\sigma\sqrt{2\pi}$。标准差 σ 越小，峰值越高，曲线分布越窄越