

●刘长俊 主编

混凝土配合比设计计算手册

金达应 唐 明 编著

辽宁科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土配合比设计计算手册/刘长俊主编. -沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994.2

ISBN 7-5381-2022-X

I. 混…

II. 刘…

III. ①混凝土-配合料-配合比-设计-手册

②配合比-配合料-混凝土-设计-手册

③配合料-配合比-混凝土-设计-手册

IV. TU528.062-62

辽宁科学技术出版社出版
(沈阳市和平区北一马路108号 邮政编码 110001)
辽宁省新华书店发行 地方国营新民印刷总厂印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: $15 \frac{1}{4}$ 字数: 320,000

1994年2月第1版

1997年5月第4次印刷

责任编辑: 刘 红 枫 岚	版式设计: 李 夏
封面设计: 君 文	责任校对: 李 雪
插图: 张 辉	春 茹

印数: 14, 001 - 19, 000

定价: 18.00 元

内 容 提 要

本书是通过作者的长期工程施工、科研和教学实践以及大量资料的归纳整理而写成的。全书共三篇八十六章,系统地介绍了65种混凝土配合比设计的原则、方法和步骤,还介绍了砂浆配合比设计的原则、方法和步骤,对每种配合比设计计算都列举了一个计算实例;对与混凝土有关的原材料、质量标准与检验、外加剂掺量的计算、优化设计等也作了一定的介绍。全书完全实行了我国现行最新的建筑材料规范和建筑施工规范,还严格认真地执行了国家标准和ISO国际标准关于物理量表示法及其运算规则的规定。取材新颖、内容丰富。不论从哪方面讲,该书都是一部全新的标准的混凝土配合比设计技术的实用性工具书。

本书可供建工、建材、交通、水利、冶金、化工、电力、港口、铁路、航运、地质、军工等部门,从事混凝土工程的科研、设计、施工管理的人员和大中专院校的师生参考。

前 言

在所有现代建筑材料中，混凝土是最古老、用量最大、用途最广的材料之一。无论是超高层的摩天大楼，或是深层的地下建筑、隧道长廊；从陆地到江河、海洋，从几千度的高温工程到零下 170℃ 的低温工程，从几千万立方米的大坝到几克的特种材料，都离不开混凝土。随着科学技术的不断进步和混凝土在性能和制造工艺方面的优点，在未来的 21 世纪，用量将更多，有人预测：到 2000 年全世界混凝土每年的消耗量将达到 150—170 亿吨。

近 30 年来，在材料科学、细观力学、断裂力学、流变学、水泥化学等学科发展的影响下，混凝土材料科学得到了迅速发展。混凝土的品种日益增多。高强、超高强混凝土，轻质、超轻质混凝土，许多特种混凝土相继出现，施工方法的不断更新，更促进了混凝土材料的迅速发展。上百种的新型外加剂的开发和使用，扩大了混凝土的功能和应用范围，各种掺和材的使用，不仅降低了混凝土的成本，而且改善了混凝土的性能，扩大了混凝土品种。

混凝土科学是一门应用科学。应用科学是以取得最大经济效益为目标的。材料科学的目标是按指定性能设计和制造材料，那么，合理的选材，科学的配比组合，正是实现这一目标的根本保证，混凝土工程实践证明，只有合理选材、科学的配比优化才能取得最大的技术、经济效益。

所谓混凝土配合比设计就是按照工程设计和施工的要求选择适用于制作所需混凝土的材料，根据工程设计中指定的混凝土性能和经济原则，选择混凝土组分的最佳配合比和用料量。

混凝土配合比设计是在混凝土工程施工时必须首先考虑的重要工作。配合比设计的好坏，直接关系到混凝土性能、强度的高低以及使用范围的大小；关系到建筑工程的质量、造价以及建筑寿命。

广义的混凝土配合比设计技术有着悠久的历史，人们在长期的实践中，掌握了原始混凝土的配比方法，建造了举世闻名的重要建筑，约 2000 年前的建筑大师维特鲁菲斯的著作中就有较详细的记载。水泥混凝土配合比设计的基本理论和应用技术的研究可以追溯到上世纪末，当时，许多国家的混凝土专家，根据本国的材料和工程特点完成了相适应的混凝土配合比设计理论研究和大量的适用性技术研究。

混凝土配合比设计原理最初是从强度的计算理论开始的，其中贡献较大的具有重要影响的有法国学者 R·费莱 (Feret) 强度公式；美国波特兰水泥协会的 D·A·阿伯拉姆斯 (Abrams) 的水灰比定律；瑞士混凝土专家保罗米 (Bolomey) 公式；挪威教授 I·雷茨 (Lyse) 的强度公式；美国教授 A·N·泰尔博特 (Talbot) 和 F·E·理查尔特 (Richart) 的水泥空间比学说；美国著名混凝土专家 T·C·鲍威尔斯 (Powers) 的凝胶空间比学说。

集料的粒度和级配理论研究从本世纪初至 50 年代较为重视，这一理论的核心是从集料的粒度和级配出发，探求最大密度的混凝土，达到最高的强度。其中主要有美国学者 W·B·富勒的最大密度的理想级配曲线；瑞士保罗米

物理量的正确表示及运算

混凝土配合比设计不仅需要用到许多繁杂的公式作定量的计算，而且还涉及到如何贯彻执行国家现行建筑材料和建筑施工规范的问题，所以物理量的正确表示及运算与混凝土配合比设计的严密性、科学性息息相关。正确地掌握和运用国家标准和国际标准化组织 (ISO) 关于物理量的表示方法及运算规则，将会使混凝土配合比设计计算更加科学化、规范化和准确化。

一、量、单位和数值

物理现象或物体的可定量测量的属性，称之为物理量或可测量，简称为量。凡量的符号，均以斜体的拉丁字母或希腊字母表示。

物理量是定性和定量地描述物理现象的，这样的量可以分为种种范畴。在每一范畴内，只包括那些可以互相比较的量。若把此范畴内的某一个量选作为一种用于比较的参考量，则用此量可以去量度该范畴内的其它物理量，此参考量即为计量单位，简称为单位。显然，该范畴内的其它物理量，均可用该单位与一个数值（或纯数）的乘积来表示，此数值（或纯数）称之为量的数值。即

物理量 = 数值 $\times$ 单位 或 量 = 数值 $\times$ 单位
若用符号 A 表示量，则上关系式通常可表示为

$$A = \{A\} \cdot [A]$$

式中 $[A]$ ——量 A 的单位；

$\{A\}$ ——是以 $[A]$ 为单位的数值。

例如， $t = 25^\circ\text{C}$ ； $f_c = 32.5\text{MPa}$ 。

凡单位的符号，均以正体表示，且单位符号与数值之间空半格。

应当指出，单位与量纲的概念和定义不同。关于这方面的讨论，可参阅刘天和：《量的基本概念及量和单位的关系》，化学通报，1983. 9. 56—61。

涉及到量、单位和数值的公式，运算时遵守代数运算法则，即

$$\text{量/单位} = \text{数值}$$

或

$$A/[A] = \{A\}$$

例如， $t = 25^\circ\text{C}$ 可表示为 $t/^\circ\text{C} = 25$ ； $f_c = 32.5\text{MPa}$ ，可转写作 $f_c/\text{MPa} = 32.5$ ； $\rho_c = 3.1\text{g}/\text{cm}^3$ 可转写作 $\rho_c/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}) = 3.1$ 。

显然，若把 ρ_c 的单位略掉写作 $\rho_c = 3.1$ 是错误的，同样 $t = 25$ 、 $f_c = 32.5$ 等写法也是错误的，即量 $\neq$ 数值。

无量纲量的单位是 1，通常不写。例如相对分子量（过去称分子量） M_r 为无量纲量，即 $M_r(\text{O}_2) = 32$ ，而 O_2 的摩尔质量 $M(\text{O}_2) = 32\text{g}/\text{mol}$ ，二者不同。

二、量方程和数值方程

描述量之间关系的方程称作量方程。例如混凝土的试配强度 f_{sh} 的计算公式为

$$f_{sh} = f_{cc} + 1.645\sigma_0$$

式中 f_{cc} ——混凝土设计强度；

σ_0 ——施工单位的混凝土强度标准差的历史统计水平。

在量方程中，只允许量纲相同的、可以相互比较的同一类物理量或量的项方可用加、减号或相等号相联结。因为，在国际单位制 (SI) 中或我国法定计量单位中，具有相同量纲的物理量或量的项，其 SI 单位也相同。量方程中不应包含或暗含有特定的单位，这种方程在概念上最清楚，应用也方便。故上方程式是正确的，不需再注明 f_{sh} 、 f_{cc} 和 σ_0 的单位。

描述数值之间关系的方程叫作数值方程。例如 $2 \times 4 = 8$ 。

很明显，根据量、单位和数值之间的关系，量方程 $\neq$ 数值方程。例如，边长为 2 m 的立方体体积计算作 $V = 2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 8 \text{ m}^3$ 或 $V = (2 \times 2 \times 2) \text{ m}^3 = 8 \text{ m}^3$ 是正确的，而 $V = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ m}^3$ 的计算是错误的。同样道理，测定砂浆强度时的立方体试件表示成 $7.07 \times 7.07 \times 7.07 \text{ cm}$ 是不准确的，应表示为 $7.07 \text{ cm} \times 7.07 \text{ cm} \times 7.07 \text{ cm}$ 立方体试件。

所以，运算时不要把量和量的数值或不要把量方程和数值方程相混淆。例如，已知 20 g O_2 气占有 5L 的容器，求其密度 ρ_{O_2} 。过去的求法为

$$\rho_{\text{O}_2} = m/V = 20/5 = 4 \text{ g/L}$$

或

$$\rho_{\text{O}_2} = m/V = 20/5 = 4$$

此二种写法都不对，因 20/5 是数值方程，而 m/V 是量方程，二者不等，不能用等号相连。其正确的算法为：

$$\rho_{\text{O}_2} = m/V = 20 \text{ g}/5 \text{ L} = 4 \text{ g/L}$$

或

$$\rho_{\text{O}_2}/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1}) = (m/\text{g})/(V/\text{L}) = 20/5 = 4$$

所以，在进行量方程运算时，一定要把单位带进方程中进行计算。

三、经验方程的准确表达方法

例如，物质的恒压摩尔热容 $C_{p,m}$ 与温度 T 之间的经验方程为：

$$C_{p,m} = a + bT + cT^2$$

式中 a 、 b 、 c 是经验常量，其数值与单位有关。 a 、 b 、 c 的 SI 单位分别为 $(\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$ 、 $(\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-2})$ 、 $(\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-3})$ ，热力学温度 T 的单位为 K，故上述 $C_{p,m}$ 式的表达是正确的。例如， H_2 气的恒压摩尔热容的正确写法如下：

$$C_{p,m}(\text{H}_2) = [29.1 - 0.84 \times 10^{-3} (T/\text{K}) + 2.01 \times 10^{-6} (T/\text{K})^2] \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

或

$$C_{p,m}(\text{H}_2)/(\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) = 29.1 - 0.84 \times 10^{-3} (T/\text{K}) + 2.01 \times 10^{-6} (T/\text{K})^2$$

式中 T/K 是 T 的数值。

而以往的写法是：

$$C_{p,m}(\text{H}_2) = (29.1 - 0.84 \times 10^{-3} T + 2.01 \times 10^{-6} T) \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

显然，此表达式混淆了量、单位和数值之间的关系或混淆了量方程和数值方程之间的关系，式中各项的单位不相同，不能相加，所以此表达式是错误的。

四、量方程运算时的使用单位

量方程运算时，应在方程中尽量全部采用 SI 单位。若采用非一贯单位，须作单位换算。

国际单位制 (SI) 是由 SI 单位、SI 词头和 SI 单位的十进

倍数与分数单位三部分构成的。SI 单位包括 SI 基本单位、SI 辅助单位和 SI 导出单位。

SI 单位是一贯单位。所谓一贯单位，系指在一个单位制中，导出单位与基本单位间的数学关系式的系数为1时，这一导出单位是这个单位制的一贯单位。例如，米（m）是 SI 基本单位之一，立方米（ m^3 ）为其导出单位， $1\text{m}^3=1(\text{m}\cdot\text{m}\cdot\text{m})$ ，导出单位 m^3 与基本单位 m 的数学关系式的系数为1，故 m^3 是国际单位制中的一贯单位。再例如，压力（压强）的单位帕〔斯卡〕（Pa）是 SI 基本单位 m、kg、s 的导出单位，且 $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2=1(\text{m}^{-1}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2})$ ，即 Pa 与 m、kg、s 的数学关系式系数为1，故 Pa 为国际单位制中的一贯单位。一贯单位与基本单位构成一贯单位制。显然，国际单位制中的全部 SI 单位均是一贯单位。而由 SI 词头和 SI 单位构成的 SI 单位的十进倍数与分数单位（kg 除外），虽然也是国际单位制的单位，但它不是 SI 单位，因而也不是一贯单位。例如长度单位之一的厘米（cm）是基本单位米（m）的分数单位，它与基本单位之间的数学关系式的系数不等于1，即 $1\text{cm}=0.01\text{m}$ ，故 cm 不是 m 的一贯单位。

因为 SI 单位是一贯单位，且国际单位制是在米制基础上发展起来的近代化的一贯单位制，所以在进行量方程或物理量的运算时，当所有的参量均采用 SI 单位时，则无须作单位换算，也无须对量方程加任何新的系数，直接即可得出以 SI 单位（即 SI 基本单位或其导出单位）表示的结果，无须对所得结果的单位作任何分析和说明。国家法定计量单位的使用方法中，推荐使用这种方法（见国家计量局办公室编，《计量工作文件选编》，76页，中国计量出版社，1987）。若使用非一贯单位，须作单位的换算。

例如，混凝土配合比设计时，采用绝对体积法（简称体积法）来计算砂、石的用量时，是假设混凝土的体积等于各组成材料绝对体积之总和。以往计算时要用到下面公式：

$$\frac{C_0}{\rho_c} + \frac{S_0}{\rho_s} + \frac{G_0}{\rho_G} + \frac{W_0}{\rho_w} + 10\alpha = 1000$$

式中 C_0 、 S_0 、 G_0 、 W_0 ——分别为构成 1m^3 混凝土时所用的水泥、砂、石、水的质量；

ρ_c 、 ρ_w 、 ρ_s 、 ρ_G ——分别为水泥、水的密度和砂、石的视密度；

1000——指 1m^3 的体积为 1000L；

α ——混凝土含气量百分数，在不使用引气剂时 α 取 1。

而且在各量的后面还注上了单位等。由前述一、二可知，该表达式混淆了量、单位和数值之间的正确关系或混淆了量方程与数值方程之间的关系，所以该表达式是不准确的或者说是错误的。其准确的、规范化的表达应该是：

$$\frac{C_0}{\rho_c} + \frac{S_0}{\rho_s} + \frac{G_0}{\rho_G} + \frac{W_0}{\rho_w} + 0.01\text{m}^3 \cdot \alpha = 1\text{m}^3$$

此时，该方程式可以完全使用 SI 单位，即全部使用 SI 基本单位及其导出单位，即质量的单位为 SI 基本单位 kg，密度的单位为基本单位的导出单位 kg/m^3 。由此式算得的砂、石用量的单位肯定是 kg，无须作其它分析和猜想。

本书考虑到人们的习惯，在计算混凝土砂、石用量时，保留了习惯表达式的结构外形，而写作如下形式：

$$\frac{C_0}{\rho_c} + \frac{S_0}{\rho_s} + \frac{G_0}{\rho_G} + \frac{W_0}{\rho_w} + 10\text{L} \cdot \alpha = 1000\text{L}$$

体积用升(L)为单位，显然密度的单位就是千克每升(kg/L)，

只有这样才能保证量纲相同的同一类量的项相加、减和用等号相连。

五、量的对数表示方式

只有数值（纯数）才能取对数和作 e 的指数。即 $\ln x$ 和 e^x 中的 x 为一个无量纲的数值（纯数）。若 X 为有量纲的物理量，则 dx/x 必为无量纲量。而 $dx/x = d\ln x$ ，则 $d\ln x$ 必为无量纲量。积分为无限多个连续微分之和，故 $\int d\ln x$ 也必为无量纲量。积分结果

$$\int d\ln x = \ln x + C$$

式中 $\ln x$ 、 C 亦必为无量纲量。

$\ln x$ 为无量纲量，令无量纲量 $y = \ln x$ ，写成指数形式为

$$e^y = x$$

e^y 为无量纲量，故 x 必为无量纲量。

x 本来为有量纲量，为何又转化为无量纲量呢？证明如下：

设 x 为有量纲量， $[x]$ 为 x 的单位，则 $x/[x]$ 为 x 的数值。则 dx/x 可转写作

$$\frac{dx}{x} = \frac{dx/[x]}{x/[x]} = d\ln \frac{x}{[x]}$$

$$\int d\ln \frac{x}{[x]} = \ln \frac{x}{[x]} + C$$

所以 $\ln x$ 中的 x 应为一个数值 $x/[x]$ 。

$$\text{若} \quad y = \ln \frac{x}{[x]},$$

$$\text{则} \quad e^y = x/[x]$$

显然， y 及 $x/[x]$ 皆为无量纲的数值。

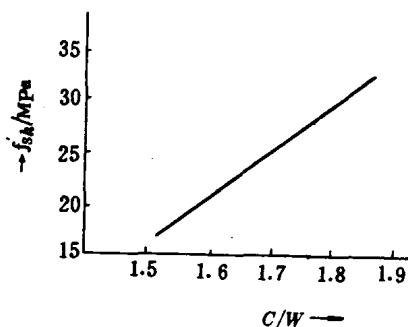
综上所述,只有数值(纯数)才能取对数、才能作 e 的指数。所以,一个物理量 x 只有先转化为数值 $x/[x]$ 之后方可取对数。例如,浓度 c 的单位为 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,则 c 的对数应准确的表示为 $\ln \frac{c}{[\text{c}]}$ 或 $\ln\left(\frac{c}{\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}}\right)$

六、表格的栏头和图的坐标的标注方式

数据表中列出的和图线上读出的常常是数值(纯数),所以表格的栏头和图的坐标应符合量、单位和数值的关系式,即表格的栏头中的量应除以单位变成数值表示,图的坐标量也应除以其单位来表示。参见下表和图。

白水泥强度极限值

水泥标号	抗压强度/MPa			抗折强度/MPa		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d
325	11.8	18.6	31.9	2.5	3.6	5.4
425	15.7	24.5	41.7	3.3	4.5	6.3



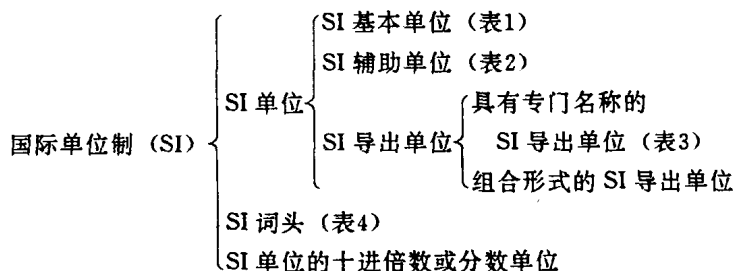
强度与灰水比关系线

七、计量单位

国务院
1984年2月发布了《关于在我国统一实行法计量单位的命令》。国际单位制(Le Systeme International

d'Unites) 是我国法定计量单位的基础, 一切属于国际单位制的单位都是我国的法定计量单位。国际单位制的国际简称为 SI。

国际单位制的构成为:



我国的法定计量单位还包括国家选定的非国际单位 (表 5)。

SI 基本单位

表1

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克 (公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安 [培]	A
热力学温度	开 [尔文]	K
物质的量	摩 [尔]	mol
发光强度	坎 [德拉]	cd

注: ① 圆括号中的名称, 是它前面的名称的同义词, 下同。

② 方括号中的字, 在不易引起混淆、误解的情况下, 可以省略。去掉方括号中的字即为其简称。无方括号的单位名称、简称与全称同, 下同。

SI 辅助单位

表2

量的名称	单位名称	单位符号
[平面]角	弧度	rad
立体角	球面度	sr

具有专门名称的 SI 导出单位

表3

量的名称	SI 导出单位			
	名称	符号	其他表示式	
			用 SI 单位示例	用 SI 基本单位
频率	赫[兹]	Hz	—	s^{-1}
力, 电力	牛[顿]	N	—	$m \cdot kg \cdot N^{-3}$
阻力, 阻强, 应力	帕[斯卡]	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot N^{-3}$
能[量], 功, 热量	焦[耳]	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
功率, 辐[射能]通量	瓦[特]	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
电荷[量]	库[仑]	C	—	$s \cdot A$
电压, 电动势, 电位, (电势)	伏[特]	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
电容	法[拉]	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^{-1}$
电阻	欧[姆]	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
电导	西[门子]	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁通[量]	韦[伯]	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
磁通[量]密度, 磁感应强度	特[斯拉]	T	Wb/m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
电感	亨[利]	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}C$	—	K
光通量	流[明]	lm	—	$cd \cdot sr$
[光]照度	勒[克斯]	lx	lm/m^2	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$

(Bolomey)的抛物线理想曲线；美国 C·A·G·魏莫斯 (Weymouth) 的粒子干扰学说；美国 D·A·阿伯拉姆斯 (Abrams) 的细度模数配合法；加拿大工程师 L·N·爱德华 (Edwards) 的表面积配合法；法国 R·万利特 (Vallete) 的间断级配理论等。

此外，人们又在实验配合法方面开展了研究，其中，绝对体积法、假定容重法、恒定用水量理论、最佳砂率和砂浆拨开系数、“b/b₀比”定则、集灰比和典型级配等对解决各国和地区的配合比设计问题都起了重要作用。

随着现代混凝土技术的不断发展，工程规模日益扩大，商品混凝土日益普及，特种混凝土越来越多，混凝土的基本材料由过去的 4 种变为 6 种，甚至更多，因此，对混凝土配合比设计的要求越来越高，新的设计方法和优化配制混凝土的技术发展非常迅速，现代混凝土配合比设计技术已发展成土木工程技术人员的重要基本功和现代混凝土施工质量的重要保证。

编写本手册的目的，就在于为土木工程、建筑材料等方面的广大工程技术人员提供一本系统实用、内容丰富的全新的混凝土配合比设计技术的实用性工具书，使广大工程技术人员，在工程实际中遇到有关混凝土配合比设计的问题，只要查阅本手册，一般均可得到解决，取得满意的结果。

本手册编写时，完全执行了我国现行最新的建筑材料规范和建筑施工规范，还严格认真地执行了国家标准及 ISO 国际标准关于物理量表示法及其运算规则的规定。

参加本手册编写人员及分工为：金达应撰写第二篇的第三、四、六至十四章、十六至六十二章，第一、二、十五章的部分内容，第三篇的第一、五至十二章，曾提出初稿。唐

明撰写第一篇各章，第二篇的六十五章，第三篇的第十三章。刘长俊撰写第二篇的第五、六十三、六十四章，第一、二、十五章的部分内容，第三篇的二、三、四章，物理量的正确表示及运算，主审并用最新规范、国家标准及 ISO 国际标准关于物理量的表示及其运算规则统编了全书。

编写本手册时查阅和参考了诸多国内外文献著作，同时进行了配合比设计资料调查，得到了多方的支持和帮助。特此，谨向诸位专家、教授、研究人员和工程师，致以深深的谢意。

由于编者水平有限，书中错误和不当之处在所难免，恳望读者批评指正，不胜感谢。

编著者

1993 年 7 月