

现代混凝土实用技术丛书

(第二版)

# 现代混凝土 配合比设计手册

张应力 主 编  
杨柏科 周玉华 副主编

XIANDAI HUNNINGTU PEIHEBI SHEJI SHOUC



人民交通出版社  
China Communications Press

013046825

TU528-62  
02-2

现代混凝土实用技术丛书

# 现代混凝土配合比设计手册

(第二版)

张应立 主 编  
杨柏科 周玉华 副主编



人民交通出版社



北航

C1652529

TU528-62  
02-2

01308282

## 内 容 提 要

本书在扼要阐述混凝土配合比设计的基本原则与原理的基础上,详细地介绍了国内外普通混凝土、特种材料混凝土、特种性能混凝土、特种施工方法混凝土、掺外加剂混凝土、沥青混凝土等 100 多种混凝土的原材料技术要求、配合比设计方法、步骤及设计实例。本书具有混凝土配合比设计百科全书的功能。

本书对从事混凝土配合比设计、混凝土施工的工程技术人员具有比较实用的参考价值,同时亦可供混凝土科研人员、大专院校师生及混凝土结构设计人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代混凝土配合比设计手册/张应立主编. —2 版

·—北京:人民交通出版社,2013.5

ISBN 978-7-114-10048-2

I. ①现… II. ①张… III. ①混凝土—配合比设计—手册 IV. ①TU528.01-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 201973 号

现代混凝土实用技术丛书

书 名:现代混凝土配合比设计手册(第二版)

著 作 者:张应立 杨柏科 周玉华

责任编辑:曲 乐 李 喆

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:58.75

字 数:1480 千

版 次:2002 年 11 月 第 1 版

印 次:2013 年 5 月 第 2 版 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10048-2

定 价:138.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

## 第二版前言

《现代混凝土配合比设计手册》于2002年出版以来,先后重印六次,深受广大读者欢迎,令作者欣慰的是本手册得到了广大读者的认可,值此第二版出版之际,特向支持、关心本手册的广大读者致以深深的谢意。

随着改革开放的不断深入、国民经济的持续发展和科学技术的迅速发展,建筑行业混凝土技术也得到了相应的发展,诸如对很多混凝土技术标准进行了修订,出现不少新型混凝土配合比设计方法。为适应新形势的需要,在保持本手册原有整体结构、章节编排及突出理论与实践相统一的特色之外,本着吐故纳新、去粗取精的宗旨,对本手册进行修订,力求更为简明实用,以满足广大读者的需要。

本手册此次修订的主要内容是:删除水泥、砂石集料、拌和用水及粉煤灰等掺和料技术标准,一律采用现行的国家和行业新标准;剔除一些较为陈旧的混凝土配合比设计内容,增加了耐热混凝土、耐海水混凝土、导电混凝土、防爆混凝土、抗冻混凝土、大体积混凝土、自密实混凝土、商品混凝土、绿化混凝土、小砌块混凝土、粉煤灰轻集料混凝土、城市步行道路混凝土(透水性混凝土)配合比设计及水工砂浆配合比设计等内容;充实完善了轻集料混凝土、粉煤灰混凝土、高强混凝土、高性能混凝土、泡沫混凝土、防水抗渗混凝土、喷射混凝土、离心混凝土及水下不分散混凝土等配合设计及参考配合比;对第一版错漏之处进行了纠正及补充,使之至臻完善,从而进一步增强了本手册的科学性、系统性与实用性,相信会受到广大读者的欢迎,成为广大读者的良师益友。

本手册由张应立主编,杨伯科、周玉华副主编,参加编写的还有张峥、吴兴惠、周玉良、周玥、刘军、耿敏、周琳、程世明、杨再书、张莉、吴兴莉、李家祥、梁润琴、邓尔登、唐猛、王丹、王正常、谢美、贾晓娟、陈洁、张军国、毕韬、王登霞、连杰、杨雪梅、陈明德、张举素、张应才、唐松惠、王正荣、张举容、王杰、李祥云、侯勇、程力、钱璐、薛安梅、徐婷、黄月圆、李守银、王海、陆彩娟、方汪键、郭会文、王杰、王美玲、智日宝、王威振、车宣雨。全书由张梅(高级工程师)、申爱琴(教授)审定。在编写与修订过程中,曾得到中国建筑业混凝土协会、贵州路桥工程有限公司领导、专家的大力支持与帮助,值此本书第二版出版之际,特向各位领导、专家、审稿者和引用文献的原著者表示由衷感谢!

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在缺点和不足,敬请专家和广大读者不吝批评指正,谢谢!

作 者  
2013年1月

# 前言

混凝土是现代主要建筑材料之一,也是目前世界上生产量最大的人造材料。据统计,20世纪60年代全世界混凝土的平均用量不到20亿吨,70年代已超过30亿吨,到80年代已达50亿~60亿吨,而90年代则达80亿吨,到2000年估计可达100亿吨,每年每人平均消耗量约1.54t,这是任何其他材料难以比拟的。混凝土将成为21世纪用量最大、用途最广的建筑材料已是人们的共识。其原因是混凝土具有原材料丰富易得,施工简便,可浇筑成各种形状,能适应各种使用环境,配制成所需强度,具有耐久、防渗、保温、耐火、耐蚀、防射线、节约能耗、减少环境污染、成本较低等特点。混凝土工程不仅可以创造良好的居住环境,而且还可利用结构群体构成现代化城市优美的风貌。

在现代土建工程中的铁路与公路的隧道、大桥,水利水电的大坝、电站,河道整治中的河堤、河坝,工业与民用建筑等各项工程中,混凝土对整个工程的质量和成本影响,起着举足轻重的作用。然而,在影响工程质量与成本的诸多因素中,配合比设计乃是成败的关键,对于那些经验还不丰富的混凝土配合比设计人员来说,选准一套适当的配合比方案,是至关重要的。

随着科学技术的发展和建筑结构形式与造型的多样化,各种混凝土层出不穷,品种繁多,且在日新月异地发展。新型混凝土有其特殊的性能和施工方法,适合于某些特殊领域,有些已在国内外得到广泛应用。为适应我国经济建设的需要,更好地满足社会各界对混凝土越来越高的要求,以适应各种混凝土对于不同品种的原材料、不同技术性能的要求,提供在不同生产工艺、设备及质量管理条件下的混凝土配合比设计的思路和方法,作者广泛收集国内外资料,历时十余年,几易其稿,编写了《现代混凝土配合比设计手册》。

编写本书的宗旨是:将广大混凝土工作者的生产实践经验和科研成果,以及国内外的先进技术归纳整理,以飨广大读者。

本书从实用出发,坚持理论联系实际的原则。因此,在分别介绍了国内外100多种混凝土配合比的设计原理、方法、步骤的同时,详细介绍了每种混凝土配合比设计实例。

书中所使用的标准是现行标准,如有新标准出台,请按新标准使用。

本书通俗易懂,文字流畅,深入浅出,图文并茂,具有配合比设计百科全书之功能,无论遇到哪种混凝土需要进行配合比设计时,便可以从容不迫地在此手册中寻找到的满意的答案。因此,此手册对从事混凝土工程的技术人员具有指导性作用和实用价值。

本书由张应立主编,杨柏科、申爱琴副主编。参加编写和提供资料的还有周玉华、张福、赵朋志、苏知咸、张梅等。在编写过程中,曾得到中国建筑业混凝土协会专家们的指导、帮助和铁道部都匀桥梁厂领导的大力支持,全书由高级工程师陈功审定。桥梁厂等单位的技术图书室为本书提供了不少宝贵资料,书中还引用了一些作者的著作、文献、资料。值

此本书出版之际，特向关心和支持本书的各位领导、专家、审定人及引用文献的原编著者，表示由衷感谢。

由于这部书涉及面广，内容较多，作者知识有限，实践经验不足，如有错误不妥之处，敬请专家们和广大读者不吝批评指教，谢谢！

作 者

2002 年 4 月

## 符号使用说明

- $f_{cu,0}$ ——混凝土配制强度(MPa)
- $f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值(MPa)
- $f_{ce}$ ——水泥 28d 抗压强度实测值(MPa)
- $f_{ce,g}$ ——水泥强度等级值(MPa)
- $m_{wa}$ ——掺外加剂时每  $1m^3$  混凝土中的用水量(kg)
- $m_{c0}$ ——基准配合比混凝土每  $1m^3$  的水泥用量(kg)
- $m_{g0}$ ——基准配合比混凝土每  $1m^3$  的粗集料用量(kg)
- $m_{s0}$ ——基准配合比混凝土每  $1m^3$  的细集料用量(kg)
- $m_{w0}$ ——基准配合比混凝土每  $1m^3$  的用水量(kg)
- $m_c$ ——每  $1m^3$  混凝土的水泥用量(kg)
- $m_g$ ——每  $1m^3$  混凝土的粗集料用量(kg)
- $m_s$ ——每  $1m^3$  混凝土的细集料用量(kg)
- $m_w$ ——每  $1m^3$  混凝土的用水量(kg)
- $m_{cp}$ ——每  $1m^3$  混凝土拌和物的假定质量(kg)
- $\gamma_c$ ——水泥强度等级值的富余系数
- $\beta$ ——外加剂的减水率(%)
- $\beta_s$ ——砂率(%)
- $\rho_c$ ——水泥密度( $kg/m^3$ )
- $\rho_g$ ——粗集料的表观密度( $kg/m^3$ )
- $\rho_s$ ——细集料的表观密度( $kg/m^3$ )
- $\rho_w$ ——水的密度( $kg/m^3$ )
- $\alpha$ ——混凝土的含气量百分数(%)
- $\rho_{c,t}$ ——混凝土表观密度实测值( $kg/m^3$ )
- $\rho_{c,c}$ ——混凝土表观密度计算值( $kg/m^3$ )
- $\delta$ ——混凝土配合比校正系数
- $P_g$ ——石子的空隙率(%)
- $V_s$ ——砂子体积( $m^3$ )
- $V_g$ ——石子体积( $m^3$ )
- $M_k$ ——砂子细度模数
- $P_s$ ——砂子的空隙率(%)
- $V_{sg}$ ——砂石混合集料总体积( $m^3$ )
- $m_{sg}$ ——砂石混合集料总质量(kg)
- $w_s$ ——砂子的含水率(%)
- $w_g$ ——石子的含水率(%)
- $\rho_{sg}$ ——混合集料加权平均密度( $kg/m^3$ )
- $w_{sg}$ ——混合集料含水率(%)
- $m_{F0}$ ——粉煤灰混凝土粉煤灰用量(kg)

$\rho_A$ ——混合集料表观密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $\rho'_A$ ——混合集料视密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $K_a$ ——混凝土含水量(%)  
 $K_b$ ——减水系数  
 $\sigma$ ——混凝土强度的标准差(MPa)  
 $C_v$ ——混凝土强度的离差系数  
 $\rho'_g$ ——粗集料视密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )  
 $\rho'_s$ ——细集料视密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )  
 $f_2$ ——砂浆抗压强度平均值(MPa)  
 $f_{m,0}$ ——砂浆试配强度(MPa)

其余符号含义详见书中所注。

# 目 录

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第一章 混凝土配合比设计的基本原则与原理   | 1   |
| 第一节 混凝土配合比设计的基本原则      | 1   |
| 第二节 混凝土配合比设计的基本原理      | 2   |
| 第二章 普通混凝土配合比设计         | 6   |
| 第一节 常见普通混凝土配合比设计       | 6   |
| 第二节 单粒级普通混凝土配合比设计      | 36  |
| 第三节 最经济水泥用量普通混凝土配合比设计  | 40  |
| 第三章 特种材料混凝土配合比设计       | 54  |
| 第一节 轻集料混凝土配合比设计        | 54  |
| 第二节 普通大孔混凝土配合比设计       | 67  |
| 第三节 无砂大孔混凝土配合比设计       | 70  |
| 第四节 轻集料大孔混凝土配合比设计      | 75  |
| 第五节 特细砂混凝土配合比设计        | 78  |
| 第六节 浮石轻混凝土配合比设计        | 87  |
| 第七节 泡沫混凝土配合比设计         | 88  |
| 第八节 石膏混凝土配合比设计         | 97  |
| 第九节 硫黄混凝土配合比设计         | 100 |
| 第十节 彩色混凝土配合比设计         | 101 |
| 第十一节 白色混凝土配合比设计        | 105 |
| 第十二节 上釉混凝土配合比设计        | 107 |
| 第十三节 钢纤维混凝土配合比设计       | 108 |
| 第十四节 植物及其他有机纤维混凝土配合比设计 | 118 |
| 第十五节 玻璃纤维混凝土配合比设计      | 121 |
| 第十六节 聚合物水泥混凝土配合比设计     | 126 |
| 第十七节 聚合物浸渍混凝土配合比设计     | 129 |
| 第十八节 树脂混凝土配合比设计        | 134 |
| 第十九节 低收缩聚酯混凝土配合比设计     | 138 |
| 第二十节 硅酸盐混凝土配合比设计       | 139 |
| 第二十一节 煤矸石混凝土配合比设计      | 144 |
| 第二十二节 灰砂硅酸盐混凝土配合比设计    | 149 |
| 第二十三节 矿渣及全矿渣混凝土配合比设计   | 154 |
| 第二十四节 钢(铁)渣混凝土配合比设计    | 166 |
| 第二十五节 液态渣混凝土配合比设计      | 167 |

|            |                     |            |
|------------|---------------------|------------|
| 第二十六节      | 蒸压磷尾矿砂混凝土配合比设计      | 168        |
| 第二十七节      | 碱矿渣高强混凝土配合比设计       | 169        |
| 第二十八节      | 粉煤灰混凝土配合比设计         | 173        |
| 第二十九节      | 粉煤灰泵送混凝土配合比设计       | 198        |
| 第三十节       | 普通高强粉煤灰混凝土配合比设计     | 206        |
| 第三十一节      | 高压养护粉煤灰加气混凝土配合比设计   | 216        |
| 第三十二节      | 常压养护粉煤灰加气混凝土配合比设计   | 229        |
| 第三十三节      | 高钙粉煤灰混凝土配合比设计       | 237        |
| 第三十四节      | 粉煤灰硅酸盐混凝土配合比设计      | 238        |
| 第三十五节      | 粉煤灰陶粒混凝土配合比设计       | 240        |
| 第三十六节      | 预应力粉煤灰陶粒混凝土配合比设计    | 244        |
| 第三十七节      | 高强粉煤灰陶粒混凝土配合比设计     | 245        |
| 第三十八节      | 粉煤灰页岩混凝土配合比设计       | 247        |
| 第三十九节      | 无集料粉煤灰轻质混凝土配合比设计    | 248        |
| 第四十节       | 粉煤灰免蒸制品配合比设计        | 250        |
| 第四十一节      | 粉煤灰冷压制品配合比设计        | 252        |
| 第四十二节      | 硅灰超高强混凝土配合比设计       | 252        |
| 第四十三节      | 掺粉煤灰轻集料混凝土配合比设计     | 255        |
| <b>第四章</b> | <b>特种性能混凝土配合比设计</b> | <b>258</b> |
| 第一节        | 高强混凝土配合比设计          | 258        |
| 第二节        | 高性能混凝土配合比设计         | 266        |
| 第三节        | 干硬性混凝土配合比设计         | 274        |
| 第四节        | 预应力混凝土配合比设计         | 278        |
| 第五节        | 自应力混凝土配合比设计         | 284        |
| 第六节        | 流态混凝土配合比设计          | 287        |
| 第七节        | 防水抗渗混凝土配合比设计        | 304        |
| 第八节        | 膨胀水泥防水混凝土配合比设计      | 310        |
| 第九节        | 补偿收缩混凝土配合比设计        | 312        |
| 第十节        | 掺铝粉的微膨胀混凝土配合比设计     | 318        |
| 第十一节       | 耐酸混凝土配合比设计          | 320        |
| 第十二节       | 耐碱混凝土配合比设计          | 327        |
| 第十三节       | 耐油混凝土配合比设计          | 330        |
| 第十四节       | 耐热混凝土配合比设计          | 332        |
| 第十五节       | 耐火混凝土配合比设计          | 337        |
| 第十六节       | 耐海水混凝土配合比设计         | 350        |
| 第十七节       | 导电混凝土配合比设计          | 358        |
| 第十八节       | 防爆混凝土配合比设计          | 362        |
| 第十九节       | 抗冻混凝土配合比设计          | 364        |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 第二十节 防射线混凝土配合比设计·····          | 365        |
| 第二十一节 抗冲耐磨混凝土配合比设计·····        | 376        |
| 第二十二节 振动挤压混凝土配合比设计·····        | 385        |
| 第二十三节 贫混凝土配合比设计·····           | 390        |
| 第二十四节 快硬混凝土的配制·····            | 393        |
| <b>第五章 特种施工方法混凝土配合比设计·····</b> | <b>397</b> |
| 第一节 隧道混凝土配合比设计·····            | 397        |
| 第二节 道路混凝土配合比设计·····            | 401        |
| 第三节 压力灌浆混凝土配合比设计·····          | 408        |
| 第四节 水下浇筑混凝土配合比设计·····          | 410        |
| 第五节 高压力水下灌注混凝土配合比设计·····       | 433        |
| 第六节 水工混凝土配合比设计·····            | 435        |
| 第七节 泵送混凝土配合比设计·····            | 442        |
| 第八节 喷射混凝土配合比设计·····            | 453        |
| 第九节 钢纤维喷射混凝土配合比设计·····         | 467        |
| 第十节 碾压混凝土配合比设计·····            | 467        |
| 第十一节 碾压混凝土简化配合比设计·····         | 483        |
| 第十二节 大体积混凝土配合比设计·····          | 486        |
| 第十三节 离心混凝土配合比设计·····           | 491        |
| 第十四节 小砌块混凝土配合比设计·····          | 494        |
| 第十五节 自密实混凝土配合比设计·····          | 497        |
| <b>第六章 掺外加剂混凝土配合比设计·····</b>   | <b>504</b> |
| 第一节 掺减水剂的普通混凝土配合比设计·····       | 504        |
| 第二节 掺引气剂的普通混凝土配合比设计·····       | 509        |
| 第三节 掺高效减水剂的高强混凝土配合比设计·····     | 510        |
| 第四节 掺外加剂的防水混凝土配合比设计·····       | 513        |
| 第五节 掺速凝剂的喷射混凝土配合比设计·····       | 520        |
| 第六节 掺减水剂的大体积混凝土配合比设计·····      | 522        |
| 第七节 掺减水剂的泵送混凝土配合比设计·····       | 525        |
| 第八节 掺外加剂的预制混凝土配合比设计·····       | 526        |
| 第九节 掺外加剂的流动混凝土配合比设计·····       | 531        |
| 第十节 加气混凝土配合比设计·····            | 532        |
| 第十一节 掺外加剂配制不同用途混凝土的配合比设计·····  | 544        |
| 第十二节 铁尾矿加气混凝土配合比设计·····        | 546        |
| <b>第七章 沥青混凝土配合比设计·····</b>     | <b>553</b> |
| 第一节 普通沥青混凝土配合比设计·····          | 553        |
| 第二节 耐腐蚀沥青混凝土配合比设计·····         | 572        |
| 第三节 水工沥青混凝土配合比设计·····          | 573        |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 第四节 彩色沥青混凝土配合比设计·····            | 587        |
| 第五节 工地沥青混凝土配合比简易设计·····          | 588        |
| <b>第八章 砂浆配合比设计·····</b>          | <b>590</b> |
| 第一节 砌筑砂浆配合比设计·····               | 590        |
| 第二节 抹灰砂浆配合比设计·····               | 595        |
| 第三节 防水砂浆配合比设计·····               | 600        |
| 第四节 抗冲耐磨水泥砂浆配合比设计·····           | 602        |
| 第五节 抗冲耐磨聚合物砂浆配合比设计·····          | 604        |
| 第六节 高强度喷射砂浆配合比设计·····            | 611        |
| 第七节 沥青砂浆配合比设计·····               | 613        |
| 第八节 水下沥青砂浆配合比设计·····             | 616        |
| 第九节 粉煤灰砂浆配合比设计·····              | 617        |
| 第十节 高掺量原状粉煤灰砂浆配合比设计·····         | 620        |
| 第十一节 粉煤灰双灰粉砂浆配合比设计·····          | 622        |
| 第十二节 水工砂浆配合比设计·····              | 626        |
| <b>第九章 混凝土配合比设计中的新技术应用·····</b>  | <b>629</b> |
| 第一节 早期推定混凝土强度在配合比设计中的应用·····     | 629        |
| 第二节 1h 推定混凝土强度用于配合比的简捷设计·····    | 640        |
| 第三节 按不同水泥强度等级调整混凝土设计配合比·····     | 648        |
| 第四节 混凝土水灰比的快速测定·····             | 652        |
| 第五节 混凝土试配强度确定新方法·····            | 655        |
| 第六节 混凝土配合比设计主要数据的合理取值·····       | 656        |
| 第七节 按砂浆富余率、水泥浆富余率进行混凝土配合比设计····· | 662        |
| 第八节 混凝土配合比设计砂率速算公式·····          | 666        |
| 第九节 混凝土配合比设计中粗集料人工级配简便测算法·····   | 668        |
| 第十节 混凝土配合比设计中用砂石混合比重法计算砂石用量····· | 670        |
| 第十一节 混凝土混合集料获得所要求级配的几种方法·····    | 674        |
| 第十二节 混凝土配合比计算尺·····              | 684        |
| 第十三节 混凝土设计配合比现场修正新方法·····        | 689        |
| 第十四节 用排水法计算砂子的含水率·····           | 691        |
| <b>附录·····</b>                   | <b>694</b> |
| 一、混凝土配合比设计的基本知识·····             | 694        |
| 二、混凝土应用外加剂的基本知识·····             | 709        |
| 三、商品混凝土配合比设计·····                | 726        |
| 四、绿化混凝土配合比设计·····                | 733        |
| 五、城市步行道路混凝土(透水性混凝土)配合比设计·····    | 735        |
| 六、国外水下不分散混凝土配合比设计·····           | 736        |
| 七、抗拉强度控制的混凝土配合比设计·····           | 741        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 八、国外轻集料混凝土配合比设计示例 .....     | 747 |
| 九、蒸压养护高强水泥制品配合比设计 .....     | 764 |
| 十、国外压力灌浆混凝土配制示例 .....       | 771 |
| 十一、寒冷条件下浇筑混凝土的配合比设计 .....   | 784 |
| 十二、炎热条件下浇筑混凝土的配合比设计 .....   | 785 |
| 十三、国外加气混凝土配合比设计 .....       | 787 |
| 十四、用图表计算确定混凝土配合比 .....      | 793 |
| 十五、统计学在混凝土配合比设计中的应用 .....   | 851 |
| 十六、混凝土标号与混凝土强度等级的换算关系 ..... | 865 |
| 十七、常用耐火混凝土参考配合比 .....       | 866 |
| 十八、普通混凝土参考配合比 .....         | 897 |
| <b>参考文献</b> .....           | 924 |

# 第一章 混凝土配合比设计的基本原则与原理

混凝土配合比设计,其过程包括两个相关的步骤:①选择混凝土的适宜组分(水泥、集料、水及外加剂);②求出它们的相应数量(配合比),使之尽可能经济地配制出工作性、强度和耐久性合适的混凝土。这些比例将随混凝土所用的具体组分而定,而组分本身又取决于其用途。也可以考虑其他指标,诸如为了使收缩率和徐变趋于最小值,或为了周围特别的化学介质而设计。然而,尽管在配合比设计的理论方面已经做了大量的工作,但它仍停留在经验方法上。而且,虽然许多混凝土性质是重要的,但大多数设计方法主要是以某一指定的工作性和龄期时达到规定的抗压强度为基准。这是假设如果达到规定抗压强度,则其他性质(如抗冻融性等)也将得到满足。

## 第一节 混凝土配合比设计的基本原则

混凝土配合比设计就是根据工程要求、结构形式和施工条件来确定混凝土的组分,即水泥、集料、水及外加剂的配合比例。

### 一、配合比设计的基本参数

- (1)混凝土的强度要求——强度等级。
- (2)所设计混凝土的稠度要求——坍落度或维勃稠度值。
- (3)所使用的水泥品种、强度等级及其质量水平,即水泥强度等级值的富余系数 $\gamma_c$ 。
- (4)粗细集料的品种、最大粒径、细度以及级配情况。
- (5)可能掺用的外加剂或掺和料。
- (6)除强度及稠度以外的其他性能要求。

### 二、配合比设计的基本原则

配合比设计的基本原则,就是按所采用的材料定出既能满足工作性、强度及耐久性和其他要求且又经济合理的混凝土各组成部分的用量比例。

#### 1. 工作性

一个设计适当的配合比,必须易于浇筑并用现有设备能完全捣实,易修饰性必须得到满足,离析和泌水应降至最小,原则上应是供应工作性满足要求而又便于浇筑的混凝土。有关工作性的需水量,主要取决于集料的特性而不是水泥的特性。如果工程需要,应当以增加砂浆用量重新设计配合比来改善工作性,而不是单纯地用更多的水或更多的细集料来改善工作性。因此,为了获得良好的混凝土拌和料,配合比设计者与工程承包者之间的合作是必不可少的。

#### 2. 强度及耐久性

一般来说,各种混凝土规范要求一个最小抗压强度。这些规范还包括允许水灰比和最小

水泥用量等的限制,保证这些要求不相互矛盾是很重要的。在实际工作中,28d 强度未必最重要,可以用其他龄期强度控制设计。

规范还可能要求混凝土满足某些耐久性要求,例如抗冻融性或化学侵蚀性。考虑这些要求,可以对水灰比或水泥用量作进一步的限制,此外还可以要求使用外加剂。

因此,配合比设计的步骤,应包括令人满意地解决上述所有的要求。因为这些要求不能同时使之最佳,所以有必要采用某些折中办法(如在强度与工作性之间)。必须记住的是,除非采用正确的浇筑、抹面和养护,否则即使是一个“完善的”配合比也不能正确地实现。

### 3. 经济性

混凝土的成本是由材料、人工和设备费用所构成。但是,除某些特种混凝土外,人工及设备费大都与所生产混凝土的种类和性质无关。因此,在确定不同配合比设计的相对费用中,材料费是非常重要的。因为水泥比集料昂贵得多,将水泥用量减至最低是降低混凝土造价唯一的最重要因素。一般来说,为达到降低水泥用量的目的,可采用有可能充分浇筑密实的最小坍落度,或采用切实可行的集料最大粒径,或采用最佳含砂率,并且当工程需要时,更可使用适当的外加剂。应该注意到,除成本外,使用低水泥用量还可使收缩率降低,并且使水化热较小。但是,如果水泥用量太低,则将减弱混凝土的早期强度,并使混凝土的均匀性处于更不利的条件。

具体配合比设计的经济性,还应与施工工地所要求的质量控制等级有关。但由于混凝土固有的变异性,混凝土平均强度必须大于规定的最低抗压强度。至少在小工地上,“超标准”设计的混凝土比经济效率较高但要严格控制质量的混凝土更为便宜。

## 第二节 混凝土配合比设计的基本原理

混凝土配合比设计的基本原理是建立在混凝土和混凝土混合料的性能变化规律的基础上的。如普通混凝土的配合比有四个基本变量:水泥、水、细集料和粗集料,可分别用  $C$ 、 $W$ 、 $X$  和  $Y$  表示单位体积混凝土的用量,配合比设计就是要确定这四个基本变量。为此,必须建立起四个表示各未知数之间相互关系的方程。这些方程体现出混凝土和混凝土混合料性能的变化规律。

### 一、确定用水量的方程——需水性定则

这个定则表示在实际应用的情况下,混凝土混合料的流动性与用水量之间的依赖关系。在不同的配合比设计方法中,都直接或间接地采用了这个基本定则。混凝土每  $1\text{m}^3$  的用水量可用式(1-1)计算,也可查表选用。

$$m_{w0} = \frac{10}{3}(T + k) \quad (1-1)$$

式中:  $T$ ——坍落度(cm);

$k$ ——集料常数。

### 二、确定水灰比和水泥用量的方程——水灰比定则

水灰比定则阐明水和水泥的质量比与混凝土抗压强度之间的依赖关系。利用这个定则,就可以根据混凝土配制强度确定水灰比。

混凝土的强度与水灰比在 0.4 ~ 0.84 近似地呈线性关系,其一般的表达式为:

$$\frac{W}{C} = \frac{\alpha_a f_{ce}}{f_{cu,0} + \alpha_a \alpha_b f_{ce}} \quad (1-2)$$

式中:  $\frac{W}{C}$ ——水灰比;

$f_{cu,0}$ ——配制强度 (MPa);

$\alpha_a$ 、 $\alpha_b$ ——回归系数;

$f_{ce}$ ——水泥的实测强度 (MPa), 计算公式为:

$$f_{ce} = \gamma_c f_{ce,g}$$

其中  $f_{ce,g}$ ——水泥 28d 抗压强度等级值 (MPa),

$\gamma_c$ ——水泥强度等级富余系数, 按 1.00 ~ 1.13 取值。

在当地缺乏配合比实际资料的情况下, 回归系数可按表 1-1 采用。

回归系数  $\alpha_a$ 、 $\alpha_b$  选用表

表 1-1

| 系 数 \ 石子品种 | 碎 石  | 卵 石  |
|------------|------|------|
| $\alpha_a$ | 0.46 | 0.48 |
| $\alpha_b$ | 0.07 | 0.33 |

知道了  $\frac{W}{C}$  及  $m_{w0}$  后, 即可按式 (1-3) 求得水泥用量  $m_{c0}$ :

$$m_{c0} = \frac{m_{w0}}{\left(\frac{W}{C}\right)} \quad (1-3)$$

### 三、确定集料总用量的方程——绝对体积法和假定质量法的假设

利用以上两个定则算出单位体积混凝土的用水量和水泥用量后, 即可应用绝对体积法或假定质量法算出单位体积混凝土中的集料总用量 (绝对体积或质量)。

#### 1. 绝对体积法 (又称体积法)

这个方法是假设混凝土组成材料绝对体积的总和等于混凝土的体积, 因而得下列方程:

$$\frac{m_{c0}}{\rho_c} + \frac{m_{s0}}{\rho_s} + \frac{m_{g0}}{\rho_g} + \frac{m_{w0}}{\rho_w} + 10\alpha = 1000 \quad (1-4)$$

$$\beta_s = \frac{m_{s0}}{m_{s0} + m_{g0}} \times 100\%$$

式中:  $m_{c0}$ 、 $m_{s0}$ 、 $m_{g0}$ 、 $m_{w0}$ ——分别为每  $1\text{m}^3$  混凝土中水泥、砂、石、水的用量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$\rho_c$ 、 $\rho_w$ 、 $\rho_s$ 、 $\rho_g$ ——分别为水泥、水的密度, 砂、石的视密度 (单位  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 计算时换算成  $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $\rho_c$  可取 2.9 ~ 3.1,  $\rho_w = 1.0$ ;

1000——指  $1\text{m}^3$  的体积为 1000L;

$\alpha$ ——混凝土的含气量百分数 (%), 在不使用引气型外加剂时,  $\alpha$  取为 1;

$\beta_s$ ——砂率 (%)。

#### 2. 假定质量法 (又称质量法)

这种方法是假定混凝土混合物湿表观密度 (又称计算湿表观密度) 为已知, 因而, 可求出

单位体积混凝土的集料总用量(质量)。

当采用质量法时,应按式(1-5)计算:

$$m_{c0} + m_{g0} + m_{s0} + m_{w0} = m_{cp} \quad (1-5)$$

式中:  $m_{cp}$ ——每  $1\text{m}^3$  混凝土拌和物的假定质量(kg),其值可取 2 360 ~ 2 450。

#### 四、确定粗细集料比例的方程——颗粒级配问题

在建立第四个依赖关系上,即在处理颗粒级配的问题上,各种配合比计算方法有着不同的特点。

(1)最佳含砂率,即在保证混凝土强度与和易性要求的情况下用水量或水泥用量为最小时的含砂率  $\beta_s$ :

$$\beta_s = \frac{m_{s0}}{m_{s0} + m_{g0}} \times 100\% \quad (1-6)$$

因此,处理颗粒级配的问题也是确定最佳含砂率的问题。影响最佳含砂率的因素包括如下内容。

- ①最大粒径:随着最大粒径的增大,含砂率减小。
- ②粗集料品种:碎石混凝土的含砂率较卵石混凝土的大。
- ③细集料的粗细程度:用细砂时的含砂率较用粗砂时的小。
- ④水泥用量:随着水泥用量的增大,含砂率减小。

(2)美国混凝土协会根据下述规律建立第四个依赖关系:在单位体积混凝土中按捣实体积计的粗集料最佳用量,取决于粗集料最大粒径和细集料的细度模数,而与粗集料的形状无关。

为了便于使用,根据美国混凝土协会配合比设计资料,第四个依赖关系可简化为式(1-7):

$$m_{g0} = \left[ V_y + \frac{1}{10}(2.80 - M_k) \right] \times 1\,000\rho_g \text{ (kg)} \quad (1-7)$$

式中:  $\rho_g$ ——在干燥捣实状态下,粗集料的表观密度(kg/L);

$M_k$ ——细集料的细度模数;

$V_y$ —— $M_k = 2.80$  时单位体积混凝土粗集料的最佳用量,按捣实体积计,  $V_y$  可根据最大粒径按表 1-2 选择。

$V_y$  选择表

表 1-2

| 最大粒径(mm) | 10   | 20   | 40   | 80   |
|----------|------|------|------|------|
| $V_y$    | 0.42 | 0.61 | 0.72 | 0.80 |

显然,这个规律直接或间接地包含了上述所有影响最佳含砂率的因素。在水灰比和用水量为一定的情况下,水泥用量和集料的总量不变,  $m_{g0}$  随着  $M_k$  的增大而减少,这表示含砂率随着  $M_k$  的增大而增大。同时,粒形对粗集料空隙率的影响,已体现在同一集料最佳用量内,卵石的空隙率较碎石小,所以同一最佳用量的含砂率也小。在用水量为一定的情况下,水泥用量随着水灰比的增大而减少,水和水泥的绝对体积总和也减小。因此,集料绝对体积的总和增大,则在  $m_{g0}$  不变的情况下,含砂率增大。在水灰比为一定的情况下,根据需水性定则,用水量将随着最大粒径的增大而减少。因此,水和水泥绝对体积的总和也减小,集料的总量则增大;另一方面,最大粒径增大,含砂率则减小,所以  $V_y$  随着最大粒径的增大而有着较大幅度的增加。

(3)前苏联计算方法的特点是采用砂浆拨开系数,该法认为:在混凝土混合物中砂浆的体