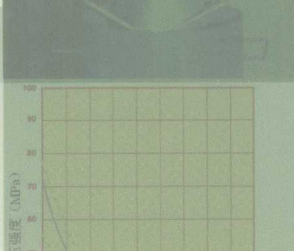
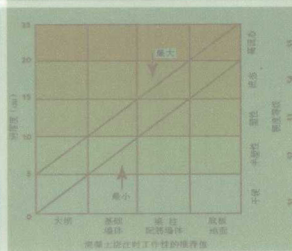
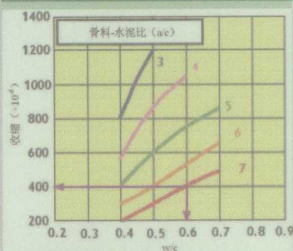
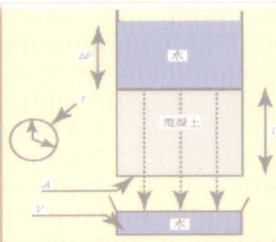


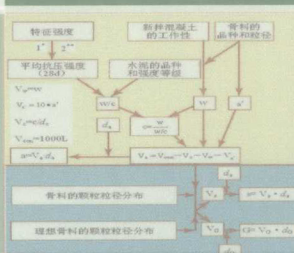
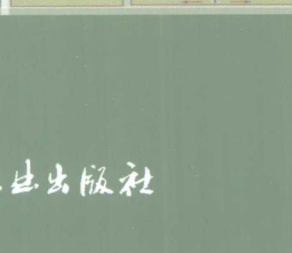
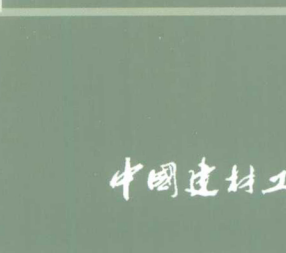
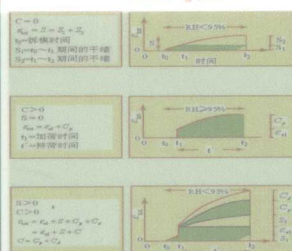
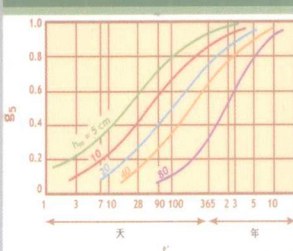
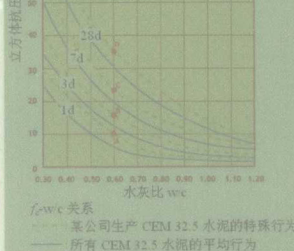
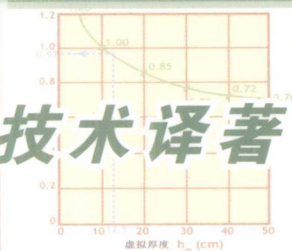
混凝土配合比设计

CONCRETE MIX DESIGN

[意] Mario Collepardi
Silvia Collepardi 著
Roberto Troli
刘数华 李家正 译



世界混凝土最新技术译著



中国建材工业出版社

世界混凝土最新技术译著

混凝土配合比设计

CONCRETE MIX DESIGN

[意] Mario Collepardi, Silvia Collepardi, Roberto Troli 著
刘数华 李家正 译

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土配合比设计/ (意) 科勒帕蒂 (Collepari, M.),
(意) 科勒帕蒂 (Collepari, S.), (意) 特洛里
(Troli, R.) 著; 刘数华, 李家正译. —北京: 中国建材
工业出版社, 2009. 6

书名原文: Concrete Mix Design

ISBN 978-7-80227-573-7

I. 混… II. ①科…②科…③特…④刘…⑤李… III. 混
凝土—配合料—比例 IV. TU528.062

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 069104 号

内 容 简 介

本书是欧洲最新的混凝土配合比设计专著, 介绍了简易和复杂混凝土配合比设计方法。在配合比设计中, 考虑了混凝土的流变性能、力学性能、弹性性能、化学性能、干缩、徐变、热学性能、颗粒粒径分布等参数及其相关数学模型, 并依据这些数学模型进行配合比设计, 以确定混凝土的组成材料。

全书分三部分: 原理篇、模型篇和实例篇, 内容丰富、方法新颖、专业性较强。本书既可以作为建筑师和土木工程师、建筑承包商、混凝土生产商的工具书, 又可以用作高校教师、学生的教学参考书, 还可以作为混凝土专家、学者的科研用书。

混凝土配合比设计 (CONCRETE MIX DESIGN)

[意] Mario Collepari, Silvia Collepari, Roberto Troli 著

刘数华 李家正 译

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 710mm×1000mm 1/16

印 张: 13

字 数: 236 千字

版 次: 2009 年 6 月第 1 版

印 次: 2009 年 6 月第 1 次

书 号: ISBN 978-7-80227-573-7

定 价: 35.00 元

著作权合同登记图字: 01-2009-3060

本社网址: www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 88386906

前 言

混凝土配合比设计是一个传统课题，很多混凝土工作者做了大量工作，但给我们的感觉是难有新意。2008年9月，我收到了 Collepardi 教授的最新专著《CONCRETE MIX DESIGN》（《混凝土配合比设计》）。初读此书，便感慨万分：原来混凝土配合比设计还有这么丰富的内容！

根据混凝土性能要求的不同，此书将混凝土配合比设计分为简易配合比设计和复杂配合比设计，并分别进行介绍。简易配合比设计主要基于混凝土的性能与组成材料的关系，此处的性能只包括新拌混凝土的工作性和硬化混凝土28d特征强度。它们的关系主要取决于水泥的强度等级和骨料的粒径。复杂配合比设计同样是基于混凝土的性能与组成材料的关系，但此处的性能还包括耐久性、渗透性、早期强度、抗折强度或抗拉强度等；同时，还必须考虑新拌混凝土的运输时间和温度以及化学外加剂对其工作性的影响。

国内当前的混凝土配合比设计主要依据室内试验，而此书中配合比设计主要基于数学模型：混凝土的流变性能、力学性能、弹性性能、化学性能、干缩、徐变、热学性能、颗粒粒径分布等参数的数学模型。数学模型贯彻始终，并依据这些数学模型进行配合比设计，确定混凝土的组成材料，使配制的混凝土能够满足各项设计性能指标。

本书由武汉大学刘数华博士、长江科学院李家正博士翻译。在本书的翻译和出版过程中，得到了武汉大学方坤河教授、清华大学阎培渝教授的指导和帮助，在此深表感谢。

由于译者水平有限，难免有不当之处，敬请读者指正。

刘数华 博士

2009年4月

水资源与水电工程科学国家重点实验室，武汉大学

目 录

主要符号	1
------	---

第一篇 原 理

第1章 混凝土配合比设计原则和方法	9
1.1 配合比设计的原则	9
1.2 配合比设计的方法	10
1.2.1 简易配合比设计	10
1.2.2 复杂配合比设计	19

第二篇 模 型

第2章 流变性能	25
2.1 混凝土的工作性	25
2.2 几种典型混凝土结构的推荐骨料最大粒径	27
2.3 混凝土拌合物浇注时的工作性与结构类型的关系	27
2.4 混凝土搅拌后的工作性	29
2.5 拌合用水量与骨料最大粒径和搅拌后工作性的关系	30
2.5.1 骨料的含水率	32
2.5.2 骨料含水率对拌合用水量的影响	33
2.5.3 以工作性检验拌合用水量	37
2.5.4 化学外加剂对拌合用水量的影响	40
2.6 骨料最大粒径对混凝土内空气体积的影响	40
2.7 泵送混凝土的配合比设计	41
2.7.1 用于泵送混凝土的砂子的颗粒粒径特征	42
2.7.2 如何确定泵送混凝土中砂子和石子的搭配	43

第3章 力学性能	45
3.1 混凝土的抗压强度	45
3.2 水泥的欧洲标准	46
3.3 强度与其他参数的简化关系	48
3.3.1 强度等级 32.5 水泥配制的混凝土立方体抗压强度	49
3.3.2 强度等级 42.5 水泥配制的混凝土立方体抗压强度	50
3.3.3 强度等级 52.5 水泥配制的混凝土立方体抗压强度	50
3.3.4 强度等级 32.5 水泥配制的混凝土圆柱体抗压强度	51
3.3.5 强度等级 42.5 水泥配制的混凝土圆柱体抗压强度	52
3.3.6 强度等级 52.5 水泥配制的混凝土圆柱体抗压强度	53
3.4 如何改进 f_c 和 $\frac{w}{c}$ 的关系	54
3.4.1 如何改进预测结果与试验结果的关系	55
3.4.2 20℃ 以外 f_c 和 $\frac{w}{c}$ 的关系	56
3.4.3 如何修正含气量对预测强度的影响	57
3.4.4 如何评价促凝剂或缓凝剂对 f_c 与 $\frac{w}{c}$ 关系的影响	59
3.4.5 如何考虑轻骨料对 f_c 与 $\frac{w}{c}$ 关系的影响	59
3.5 混凝土的特征强度 f_{ck}	60
3.5.1 以准则 1 评价 f_{ck}	61
3.5.2 以准则 2 评价 f_{ck}	61
3.6 混凝土的抗折强度和抗拉强度	62
第4章 弹性性能	64
4.1 弹性模量与抗压强度的关系	64
4.2 E 与 f_{mc} 的近似关系式	65
第5章 耐久性能	67
5.1 混凝土的耐久性	67
5.2 混凝土的渗透系数	68
5.3 暴露等级	70
5.3.1 暴露等级 XC; 碳化引起的腐蚀	70
5.3.2 暴露等级 XD; 除海水外的氯化物侵蚀	71

5.3.3	暴露等级 XS:海水中氯化物对钢筋的腐蚀	72
5.3.4	暴露等级 XF:冻融循环引起的损伤	73
5.3.5	暴露等级 XA:天然土壤中的混凝土	74
5.3.6	暴露等级 XA:与侵蚀水接触的混凝土结构	75
第6章 干缩性能		77
6.1	混凝土的干缩	77
6.2	干燥时间对收缩的影响	79
6.3	环境湿度对收缩的影响	79
6.4	虚拟厚度对收缩的影响	80
6.5	配筋对收缩的影响	80
6.6	骨料弹性模量对收缩的影响	81
6.7	满足配合比设计要求的混凝土结构的干缩	82
6.8	根据干缩预测模型确定混凝土配合比	84
6.9	根据干缩调整混凝土配合比	88
第7章 徐变性能		91
7.1	由收缩、弹性应变和徐变引起的变形	91
7.2	徐变的估算	92
7.3	环境的相对湿度对徐变的影响	93
7.4	养护龄期 and 水泥强度等级对徐变的影响	94
7.5	混凝土材料组成对徐变的影响	95
7.6	混凝土结构厚度对徐变的影响	96
7.7	持荷时间对徐变的影响	97
7.8	骨料弹性模量对徐变的影响	97
7.9	如何根据混凝土的要求和材料特性估算徐变	98
7.9.1	瞬时弹性应变 ε_{el7} 的确定	98
7.9.2	干缩 S 的确定	98
7.9.3	徐变 C 的确定	101
7.9.4	总变形 ε_{tot} 的确定	105
7.10	根据徐变进行混凝土配合比设计	106
第8章 热学性能		112
8.1	热膨胀系数	112
8.2	混凝土的导热系数	113

8.3	混凝土的热扩散系数	114
8.4	混凝土的比热	114
8.5	水泥的水化热	115
8.6	搅拌时混凝土的温度	116
8.7	混凝土浇注后的温度及温度梯度	117
8.7.1	温度梯度与开裂风险	118
8.7.2	水化热引起的混凝土最大温度	119
8.8	混凝土的蒸汽养护	124
8.8.1	混凝土蒸养强度与 20℃ 下 28d 抗压强度的关系	124
8.8.2	混凝土材料特性的影响	129
第9章 骨料的颗粒粒径分布		133
9.1	颗粒粒径分布	133
9.2	混凝土中固体颗粒的理想颗粒粒径分布	135
9.3	骨料的颗粒粒径分布	136
9.3.1	$D_{\max}$ 对 Fuller 曲线的影响	138
9.3.2	水泥用量对 Bolomey 等式的影响	138
9.4	骨料的理想颗粒粒径分布与最佳颗粒粒径分布	139
9.4.1	图像法	139
9.4.2	数值法	141

第三篇 实 例

第10章 实 例		155
10.1	实例 1: 普通混凝土	155
10.1.1	不掺用高效减水剂	155
10.1.2	掺用高效减水剂	158
10.1.3	对比	159
10.2	实例 2: 考虑抗折强度	160
10.3	实例 3: 考虑耐久性要求	164
10.4	实例 4: 考虑更严酷的耐久性要求	169
附录 中欧混凝土配合比设计对比		174

主要符号

- a —— 1m^3 混凝土中饱和面干骨料的用量, kg/m^3 ;
- a' ——混凝土的含气量, %;
- A_B ——Bolomey 系数;
- A_c ——混凝土的截面积;
- A_d ——外加剂的掺量(占水泥质量的比例), %;
- a_m ——加入搅拌机的骨料用量, kg/m^3 ;
- A_s ——配筋率, 即钢筋混凝土结构截面中, 钢筋截面积所占比值, %;
- a_w ——吸水率;
- b —— 1m^3 混凝土中骨料的固体体积, L;
- b_0 —— 1m^3 紧密堆积骨料中的固体体积, L;
- c ——混凝土的水泥用量, kg/m^3 ;
- C ——徐变;
- C_B ——固体材料(骨料 + 水泥)中, 水泥所占比例, %;
- C_c ——水泥的比热;
- C_{con} ——混凝土的比热;
- C_d ——干燥徐变;
- CEM I ——硅酸盐水泥;
- CEM II A/S-B/S——矿渣硅酸盐水泥;
- CEM II A/D——硅粉硅酸盐水泥;
- CEM II A/P-B/P-A/Q-B/Q——天然(P)或人工(Q)火山灰硅酸盐水泥;
- CEM II A/V-B/V-A/W-B/W——硅质(V)或钙质(W)粉煤灰硅酸盐水泥;
- CEM II A/T-B/T——煅烧页岩硅酸盐水泥;
- CEM II A/L-B/L——石灰石硅酸盐水泥;
- CEM II A/M-B/M——复合硅酸盐水泥;
- CEM III A-B-C——矿渣水泥;
- CEM IV A-B——火山灰水泥;
- CEM V A-B——复合水泥;
- C_g ——骨料的比热;
- C_p ——纯徐变、基本徐变;

C_s ——砂的比热;
 C_w ——水的比热;
 d ——骨料粒径;
 D ——耐久性;
 d_a ——饱和面干骨料的表观密度, kg/L;
 d_b ——饱和面干骨料的紧密堆积密度, kg/m³;
 d_c ——水泥的密度, kg/L;
 D_c ——密实度;
 D_{ht} —— t 时刻的硬化程度;
 $D_{\max}$ ——骨料的最大粒径;
 d_w ——水的密度, kg/L;
 d_{con} ——饱和面干混凝土的表观密度, kg/m³;
 d_{fa} ——粉煤灰的密度, kg/L;
 d_{fcon} ——饱和面干、完全密实状态下混凝土的表观密度, kg/m³;
 d_g ——饱和面干石子的密度, kg/L;
 d_s ——饱和面干砂子的密度, kg/L;
 d_{sf} ——硅灰的密度, kg/L;
 E ——弹性模量;
 E_a ——骨料的弹性模量;
 E_{con} ——混凝土的弹性模量;
 $E_{\text{con}/t}$ —— t 时刻混凝土的弹性模量;
 E_{cp} ——水泥浆基体的弹性模量;
 $E_{\text{cp}/t}$ —— t 时刻水泥浆基体的弹性模量;
 E_{is} ——初始切线模量;
 E_{ss} ——割线模量;
 F_c ——密实系数;
 f_c ——试件的抗压强度;
 f_{ck} ——特征强度;
 f_{cms} ——蒸养后的平均抗压强度;
 f_{cmst} ——蒸养 t 天后的平均抗压强度;
 f_{cms28} ——蒸养 28d 的平均抗压强度;
 f'_{cm28} ——20℃ 养护 28d 的平均抗压强度;
 f_{cu} ——立方体抗压强度;
 $f_{\text{cu}/\text{ck}}$ ——立方体特征强度;

f_{cyl} ——圆柱体抗压强度;
 $f_{\text{cyl}/\text{ck}}$ ——圆柱体特征强度;
 f_f ——抗折强度;
 f_i ——钢筋混凝土结构收缩的修正系数;
 f_{mc} ——平均抗压强度;
 $f_{\text{mc}28}$ ——28d 平均抗压强度;
 f_t ——抗拉强度;
 g —— 1m^3 混凝土中饱和面干粗骨料的用量, kg/m^3 ;
 g' —— 1m^3 混凝土中绝对干燥粗骨料的用量, kg/m^3 ;
 g_i ——钢筋混凝土结构徐变的修正系数;
 g_m ——粗骨料的搅拌用量, kg/m^3 ;
 h ——骨料的含水率, %;
 h_g ——石子的含水率, %;
 h_m ——虚拟厚度;
 h_s ——砂的含水率, %;
 K ——确定特征强度的概论因数;
 K_c ——徐变和弹性应变之间的相关系数;
 K_E ——弹性模量和抗压强度之间的相关系数;
 K_f ——抗折强度和抗压强度之间的相关系数;
 K_p ——渗透系数;
 K_t ——抗拉强度和抗压强度之间的相关系数;
 l ——混凝土导热系数(λ)在不同相对湿度(RH)下的修正系数;
 m_d ——绝对干燥骨料的质量;
 M_f ——细度模数;
 M_{fb} ——按照 Bolomey 理论,理想骨料的细度模数;
 M_{fg} ——粗骨料的细度模数;
 M_{fs} ——砂的细度模数;
 m_{SSD} ——饱和面干骨料的质量;
 P_d ——骨料的筛分试验中,通过孔径 $d\text{mm}$ 筛的百分率, %;
 P_{sd} ——固体颗粒(水泥+骨料)通过孔径 $d\text{mm}$ 筛的百分率, %;
 $P_{0.3}$ ——骨料通过孔径 0.3mm 筛的百分率, %;
 $P_{0.15}$ ——骨料通过孔径 0.15mm 筛的百分率, %;
 q ——确定 b/b_0 的修正系数;
 Q ——水化热;

Q_t ——水泥水化 t 时刻的单位水化热, kJ/kg ;
 $Q_{\text{tot}/t}$ —— 1m^3 混凝土养护 t 时刻的水化热, kJ/m^3 ;
 RH ——相对湿度;
 s —— 1m^3 混凝土中饱和面干砂的用量, kg/m^3 ;
 S ——干缩;
 s' —— 1m^3 混凝土中绝对干燥砂的用量, kg/m^3 ;
 s_m ——砂子的拌合用量, kg/m^3 ;
 SSD ——饱和面干状态;
 S_0 ——混凝土试件 6 个月的标准收缩;
 S_1 ——混凝土的稠度等级:坍落度 $1 \sim 4\text{cm}$;
 S_2 ——混凝土的稠度等级:坍落度 $5 \sim 9\text{cm}$;
 S_3 ——混凝土的稠度等级:坍落度 $10 \sim 15\text{cm}$;
 S_4 ——混凝土的稠度等级:坍落度 $16 \sim 20\text{cm}$;
 S_5 ——混凝土的稠度等级:坍落度 $\geq 21\text{cm}$;
 t ——养护时间;
 t' ——持荷时间;
 t_c ——水泥品种;
 T_c ——水泥的温度, $^{\circ}\text{C}$;
 T_{con} ——混凝土的温度, $^{\circ}\text{C}$;
 T_s ——砂子的温度, $^{\circ}\text{C}$;
 t_{smax} ——最高温度下的蒸养时间;
 t_{sl} ——蒸养过程中预备养护时间;
 T_g ——石子的温度, $^{\circ}\text{C}$;
 T_{max} ——蒸养过程中的最高温度, $^{\circ}\text{C}$;
 T_w ——拌合水的温度, $^{\circ}\text{C}$;
 T_{w_g} ——石子中水的温度, $^{\circ}\text{C}$;
 T_{w_s} ——砂子中水的温度, $^{\circ}\text{C}$;
 v ——蒸养过程中的加热速度, $^{\circ}\text{C/h}$;
 V_a —— 1m^3 混凝土中饱和面干骨料所占体积, L/m^3 ;
 V_c —— 1m^3 混凝土中水泥所占体积, L/m^3 ;
 V_s —— 1m^3 混凝土中饱和面干砂子所占体积, L/m^3 ;
 V_w ——水的体积, L/m^3 ;
 w —— 1m^3 混凝土中的拌合用水量, kg/m^3 ;
 W ——新拌混凝土的工作性;

w_a ——潮湿骨料带入搅拌机的水含量, kg/m^3 ;
 w_g ——潮湿石子带入搅拌机的水含量, kg/m^3 ;
 w_m ——加入搅拌机的液体水用量, kg/m^3 ;
 W_m ——混凝土搅拌后的工作性;
 W_p ——混凝土浇注时的工作性;
 w_s ——潮湿砂子带入搅拌机的水含量, kg/m^3 ;
 XA ——混凝土在化学侵蚀环境下的暴露等级;
 XC ——混凝土在大气环境下(碳化)的暴露等级;
 XD ——混凝土在除海水外的氯盐侵蚀环境下的暴露等级;
 XF ——混凝土在冻融循环环境下的暴露等级;
 XS ——混凝土在海水侵蚀环境下的暴露等级;
 XO ——混凝土在干燥环境下的暴露等级;
 α ——水泥的水化程度;
 β ——热膨胀系数;
 δ ——标准差;
 δ_T ——混凝土的热扩散系数;
 Δ_{fc} ——由于不完全振捣($D_c < 1$)或引气引起的强度损失;
 ΔW ——工作性损失;
 ΔT ——温差, $^{\circ}\text{C}$;
 ε ——应变;
 ε_{el} ——弹性应变;
 ε_t ——拉应变;
 ε_{tot} ——总变形;
 λ ——混凝土的导热系数;
 σ_c ——压应力;
 σ_f ——弯曲应力;
 σ_t ——拉应力。

第一篇

原 理

本篇主要介绍混凝土配合比设计的原则和方法，重点突出复杂混凝土配合比设计过程。

第1章 混凝土配合比设计原则和方法

1.1 配合比设计的原则

“配合比设计”主要是确定混凝土中各组成材料的用量，即 1m^3 混凝土中各成分的质量，以单位 kg/m^3 表示。配合比设计必须考虑以下几个方面：

■ 涉及新拌混凝土（Fresh Concrete）浇注的各种参数，如工作性、运输时间、温度、坍落度损失、配筋密度等。

■ 硬化混凝土（Hardened Concrete）的服役工程性能要求，如强度、耐久性、干缩、徐变、弹性模量等。

■ 可供选用的材料，即水泥^注、骨料及化学外加剂等。

混凝土配合比设计方面的工作已经开展了一百余年，并获得了丰富的经验。一方面，确定了一些新拌混凝土和（或）硬化混凝土性能的关系；另一方面，还确定了一些混凝土性能与组成材料的关系。这些关系主要表现为：

■ 水灰比（water-cement ratio, $\frac{w}{c}$ ）。水灰比是影响强度、耐久性、渗透性、干缩和徐变等混凝土性能的最重要的参数；

■ 骨料（Aggregate）的选择，包括骨料的种类（天然的或人工破碎的）和粒径。在水灰比一定的条件下，骨料会对混凝土的拌合用水量产生影响，进而影响水泥用量（ c ）以及由其决定的所有性能，如与水泥水化热相关的温度梯度、收缩等；

■ 化学外加剂（Chemical Admixtures）的应用，特别是减水剂。化学外加剂能够改善新拌混凝土和硬化混凝土的诸多性能，如工作性、抗压强度、耐久性等。

■ 水泥用量（ c ）。水泥用量也是混凝土的主要参数，它会对其他参数的确定产生影响。水泥的品种和强度等级是其两大重要指标。水泥的品种会对混凝土的性能，特别是混凝土结构的耐久性产生重要影响。例如，为了保护海

注 根据欧洲水泥标准，粉煤灰、磨细高炉矿渣、硅灰、磨细石灰石粉等矿物掺合料也算作是复合水泥的组成部分。