

| 贵州省交通建设系列科技专著 |

贵州机制砂高性能 混凝土工程应用

PROJECT APPLICATIONS OF MANUFACTURED-SAND
HIGH-PERFORMANCE CONCRETE IN GUIZHOU

贵州省交通运输厅 组织编写

蒋正武 梅世龙 康厚荣 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

贵州省交通建设系列科技专著

贵州机制砂高性能 混凝土工程应用

贵州省交通运输厅 组织编写
蒋正武 梅世龙 康厚荣 编 著



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书为“贵州省交通建设系列科技专著”中的一本。全书全面总结了贵州省近年来在交通建设中机制砂高性能混凝土的工程应用实践,主要包括机制砂高性能混凝土定义与发展、机制砂高性能混凝土施工技术、普通机制砂高性能混凝土及各类特种机制砂高性能混凝土,如机制砂自密实混凝土,超大粒径骨料机制砂自密实混凝土,机制砂水下抗分散混凝土,机制砂抗扰动混凝土,机制砂高强混凝土,机制砂超高泵送混凝土等生产、制备技术及其在交通建设中典型重大工程案例中的应用实践与分析。

本书可供交通、市政、建筑、水运专业从事混凝土工程、混凝土材料、混凝土施工的研究、设计、施工人员使用,也可作为大专院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

贵州机制砂高性能混凝土工程应用 / 蒋正武, 梅世龙, 康厚荣编著; 贵州省交通运输厅组织编写. —北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015. 11

(贵州省交通建设系列科技专著)

ISBN 978-7-114-12592-8

I. ①贵… II. ①蒋… ②梅… ③康… ④贵… III. ①高强混凝土—研究 IV. ①TU528.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 257575 号

贵州省交通建设系列科技专著

书 名: 贵州机制砂高性能混凝土工程应用

著 者: 蒋正武 梅世龙 康厚荣

责任编辑: 周 宇 牛家鸣

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

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: 17.5

字 数: 410 千

版 次: 2015 年 11 月 第 1 版

印 次: 2015 年 11 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12592-8

定 价: 65.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

贵州省交通建设系列科技专著

编审委员会

主任：王秉清 陈志刚

副主任：罗强 潘海

委员：康厚荣 熊文 龙平江 刘彤 赵伟

冯伟 任仁 杨贵平 张胤 徐仕江

章友竞 刘金坤 许湘华 张林 梅世龙

粟周瑜 丁志勇 李黔刚 母进伟 何志军

龙万学 邓卫东 杨建国 李华国 胡江碧

吴春颖 王丽铮 彭运动 郭忠印 彭元诚

刘学增 吴立坚 马旭东

总主编：罗强

副总主编：康厚荣

总序

Perface

古往今来,独特的地形地貌赋予贵州重峦叠嶂山高谷深的隽秀之美,但山阻水隔也桎梏着贵州经济社会发展的步伐。打破交通运输瓶颈,建设内捷外畅的现代综合交通运输体系,与全国同步迈向小康,一直是贵州人的夙愿。

改革开放特别是进入“十二五”以来,党中央、国务院及交通运输部等国家部委高度重视贵州经济社会发展。2012年年初,国务院出台支持贵州发展的国发2号文件,将贵州省经济社会发展的战略规划上升到国家层面。贵州省委、省政府立足当前、着眼长远,提出坚持把交通作为优先发展的重大战略,举全省之力加快交通基础设施建设。2012年以来,贵州省先后启动了高速公路建设、水运建设三年会战,普通国省干线公路建设攻坚,“四在农家·美丽乡村”小康路行动计划,“多彩贵州·最美高速”和“多彩贵州·平安高速”创建等一系列行动,志在“十二五”末,通过交通大建设一举打破大山的束缚,畅通经济发展的交通网络。

广大交通建设者紧紧抓住发展的历史机遇,凝心聚智,在广袤的黔山秀水之间,用光阴和汗水构筑贵州面向未来的交通新格局。“十二五”期间,全省交通基础设施建设将完成投资4500亿元,新建成高速公路3600公里,高速公路通车总里程将突破5100公里,全省88个县(市、区)将全部通高速公路。乌江、赤水河建成四级航道700公里,改写了贵州无高等级航道的历史。建成构皮滩水电站翻坝枢纽工程,实现乌江航道全线通航。曾经的黔道天堑正变成康庄大道,一张以高速公路为骨架、国省干线公路为支撑、县乡公路为脉络、小康路为基础的四级公路路网正在形成,“扬帆赴江海”指日可待。

围绕贵州交通发展中出现的科技需求,贵州省交通运输厅组织开展了一批省部级重大科研项目攻关,重点突破一批关键、共性技术难题,在支撑工程建设、引领行业创新发展方面成效显著。在山区复杂条件下大型桥梁建设技术方面,形成了千米级悬索桥、高墩大跨刚构桥和钢管混凝土拱桥等设计施工成套技术,有力支撑了坝陵河大桥、清水河大桥、鸭池河大桥、赫章大桥、木蓬大桥等一批世界级桥梁建设工程,实现了我省桥梁建设技术的大跨越;针对西部山区复杂地质地形条件,从勘察设计、建设施工、养护管理和生态环保等方面系统开展基础研究和

技术开发,形成一批山区高速公路修筑技术,其成果居国内先进水平,有力支撑了复杂山区环境下高速公路项目建设;在山区航道整治、船型标准、通航枢纽建设等方面取得的创新性成果,促进了贵州航运工程的发展;完成了“贵州乌蒙山区毕都高速公路安全保障科技示范工程”等交通运输部科技示范项目,有力推动了交通科技成果推广应用;以“互联网+便捷交通”推进智慧交通建设,率先开展智能交通云的建设和应用。交通运输科技成果连续3年获得贵州省科技进步和成果推广一等奖。

为展现在公路、水路和交通安全、信息化建设等方面取得的技术成就,促进技术交流,加大推广应用,贵州省交通运输厅组织编写了“贵州省交通建设系列科技专著”。这套科技专著的出版,对传承科技创新文化,提升交通科技水平,深入实施科技兴省战略,促进贵州经济社会快速发展,意义重大、影响深远。

交通成就千秋梦,东西南北贯黔中。编撰这套系列科技专著,付出的是艰辛、凝结的是智慧、反映的是成绩,折射了交通改变地理劣势、奋斗推动跨越的创新精神,存史价值较高,是一笔当代贵州的可贵财富。

王精

2015年10月

前 言

Foreword

高性能混凝土是现代混凝土技术发展的必然方向,目前已广泛应用于交通、市政、建筑、水运等工程领域。高性能混凝土是以耐久性为首要设计目标,以全寿命周期过程质量控制为主要技术手段,以满足不同工程要求的性能而制备的匀质性混凝土,如工作性、耐久性、适用性、强度、体积稳定性等。高性能混凝土不是混凝土的一个品种,而是强调混凝土的性能或者质量水平,是一种重视混凝土生产与施工全过程质量控制的理念与技术。住房和城乡建设部及工业和信息化部于2014年联合发文推广高性能混凝土,并成立高性能混凝土推广应用技术指导组,在全国加快全面推广高性能混凝土。贵州省因河沙资源严重缺乏,采用机制砂全面替代河沙在混凝土工程推广应用是混凝土行业可持续发展的必然选择。

近年来贵州省交通系统一直致力于在交通建设工程中研究并推广应用机制砂高性能混凝土。本书是部分工程应用实践的总结,共11章,第1章主要介绍了机制砂高性能混凝土定义与发展情况;第2章、第3章介绍了机制砂高性能混凝土对原材料的基本要求和普通机制砂高性能混凝土施工技术;第4章介绍了机制砂大体积混凝土技术;第5章、第6章、第7章、第8章主要介绍了各类特种机制砂高性能混凝土的制备技术与工程应用,分别是机制砂自密实混凝土、超大粒径骨料机制砂自密实混凝土、机制砂高强混凝土、机制砂超高泵送混凝土等;第9章、第10章分别介绍了机制砂混凝土抑制碱集料反应技术和耐腐蚀技术;第11章介绍了特殊季节机制砂混凝土施工需要注意的问题。

本书由同济大学蒋正武教授主编与审阅,由同济大学与贵州省交通运输系统有关单位及部门分工负责编写,具体分工为:同济大学蒋正武教授编写第1章;贵州高速公路集团有限公司梅世龙编写第3章;谢明宇、何荷编写第2章;贵州省交通运输厅康厚荣、贵州高速公路集团有限公司管桂平编写第4章;贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司吕晓舜、贵州省公路工程集团有限公司周大庆编写第5章;贵州高速公路集团有限公司石大为、沈仪平编写第6章;贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司陈尚江、贵州省公路工程集团有限公司尤诏、任达成编写第7章;贵州高速公路集团有限公司陶志山、张平编写第8章;贵州高速公路集

团有限公司许涤平、杨志刚编写第9章；贵州省交通运输厅董翔、贵州公路工程集团有限公司母进伟、胡涛编写第10章；贵州高速公路集团有限公司周勇、严敏编写第11章。贵州高速公路集团有限公司、贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司、贵州公路工程集团有限公司、贵州桥梁建设集团有限责任公司、贵州路桥集团有限公司等单位提供相关工程技术资料。同济大学多名博士、硕士研究生邓子龙、袁政成、马敬畏、肖鑫、周磊、仇铄、赵楠等同学参与了资料、文字整理等工作，在此一并表示感谢。

本书内容不仅是贵州省机制砂高性能混凝土的理论研究、科研与工程实践的积累，也参考了国内外大量的技术文献资料。在此一并向相关作者和研究机构表示谢意。另外，由于机制砂高性能混凝土仍处于研究和实践阶段，书中错误之处难免，敬请广大读者不吝赐教、指正。

作者

2015年9月

目 录

Contents

第 1 章 绪论	1
1.1 高性能混凝土的定义与发展	1
1.2 机制砂高性能混凝土的发展与分类	3
1.3 贵州省机制砂高性能混凝土的发展应用	12
本章参考文献	13
第 2 章 机制砂高性能混凝土原材料的基本要求	15
2.1 机制砂生产与技术控制	15
2.2 水泥	20
2.3 矿物掺和料	20
2.4 粗集料	22
2.5 外加剂	23
2.6 水	24
2.7 原材料的储存	25
本章参考文献	26
第 3 章 机制砂普通强度高性能混凝土工程应用	27
3.1 概述	27
3.2 机制砂普通强度高性能混凝土的配制与性能	28
3.3 机制砂普通强度高性能混凝土施工质量保障	37
3.4 C30 机制砂普通强度高性能混凝土在毕都高速北盘江特大桥 5 号~10 号墩桩基中的应用	47
3.5 C30 机制砂普通强度高性能混凝土在水盘高速北盘江特大桥中的应用	53
3.6 C40 机制砂普通强度高性能混凝土在清水河特大桥 1 号~9 号墩身中的应用	55
本章参考文献	61

第 4 章 机制砂大体积混凝土工程应用	63
4.1 概述	63
4.2 机制砂大体积混凝土的配制与性能	65
4.3 机制砂大体积混凝土施工质量保证	67
4.4 C30 机制砂大体积混凝土在北盘江特大桥承台工程中应用	70
4.5 C40 机制砂大体积混凝土在马岭河特大桥承台工程中应用	82
4.6 C40 机制砂大体积混凝土在武佐河特大桥承台工程中应用	85
本章参考文献	94
第 5 章 机制砂自密实混凝土工程应用	96
5.1 概述	96
5.2 机制砂自密实混凝土的配制与性能	100
5.3 机制砂自密实混凝土施工质量保证	105
5.4 C35、C50 机制砂自密实混凝土在清水河特大桥桩基及索塔中的应用	107
5.5 C50 机制砂自密实混凝土在北盘江特大桥索塔中的应用	116
本章参考文献	122
第 6 章 机制砂超大粒径骨料自密实混凝土工程应用	125
6.1 概述	125
6.2 机制砂超大粒径骨料自密实混凝土配制与性能	128
6.3 机制砂超大粒径骨料自密实混凝土施工质量保证	149
6.4 机制砂超大粒径自密实混凝土在惠兴高速第七合同段公路工程中应用	153
本章参考文献	156
第 7 章 机制砂高强混凝土工程应用	158
7.1 概述	158
7.2 机制砂高强混凝土的配制与性能	159
7.3 机制砂高强混凝土施工质量保证	173
7.4 C50 机制砂高强大体积混凝土在赫章特大桥墩身中的应用	178
本章参考文献	182
第 8 章 机制砂超高泵送混凝土工程应用	184
8.1 概述	184
8.2 机制砂超高泵送混凝土的配制与性能	186
8.3 机制砂超高泵送混凝土施工质量保证	189
8.4 C50 机制砂超高泵送混凝土在清水河特大桥索塔工程中应用	191
8.5 C50 机制砂超高泵送混凝土在北盘江特大桥索塔工程中应用	193

本章参考文献·····	195
第 9 章 变质岩机制砂混凝土碱集料反应抑制技术的工程应用 ·····	197
9.1 概述·····	197
9.2 贵州地区变质岩机制砂特性·····	199
9.3 变质岩机制砂混凝土碱集料反应抑制与控制技术·····	203
9.4 变质岩机制砂混凝土的配制与性能·····	211
9.5 变质岩机制砂混凝土施工质量保证·····	221
9.6 变质岩机制砂混凝土在厦蓉高速工程中应用·····	222
本章参考文献·····	225
第 10 章 机制砂耐腐蚀混凝土工程应用 ·····	227
10.1 概述·····	227
10.2 机制砂耐腐蚀混凝土的配制与性能·····	228
10.3 机制砂耐腐蚀混凝土的施工质量保证·····	243
10.4 C50 机制砂耐腐蚀混凝土在沙坝大桥桩基、承台工程中的应用·····	246
本章参考文献·····	259
第 11 章 特殊季节、条件下机制砂高性能混凝土施工控制技术 ·····	260
11.1 冬期施工技术·····	260
11.2 夏(热)期施工技术·····	263
11.3 附加防水与防腐蚀措施施工技术·····	264
本章参考文献·····	268

第1章

绪论

1.1 高性能混凝土的定义与发展

高性能混凝土自 20 世纪 80 年代出现以来,对其的定义或含义,国际上迄今为止尚没有一个统一的解释,早期各个国家不同人群有不同的理解。一般说来,高性能混凝土是指高强、高耐久性、高工作性混凝土。一些美国学者更强调高强度和尺寸稳定性(北美型),欧洲学者更注重耐久性(欧洲型),而日本学者偏重于高工作性(日本型)。美国混凝土学会(ACI)曾给出的较为正式的定义为:高性能混凝土是符合特殊性能组合和匀质性要求的混凝土,采用传统的原材料和一般的拌和、浇筑与养护方法,往往不能大量地生产出这种混凝土。所指特性主要包括易于浇筑、振捣不离析、早强、长期力学性能、抗渗性、密实性、低水化温升、韧性、体积稳定性、恶劣环境下的较长寿命。该定义仍然强调拌和物的均质性,认为高性能混凝土不是混凝土的一个品种而是强调混凝土的“性能”(performance)或者质量、状态、水平,或者说是一种质量目标,是一种重视混凝土生产与施工全过程质量控制的理念。对不同的工程,高性能混凝土有不同的性能强调重点,即“特殊性能组合”。ACI 的定义提出后,逐渐被世界各地的混凝土研究者和工程技术人员所接受,成为混凝土研究和工程应用的行为准则^[1,2]。

大多数学者承认单纯高强不一定耐久,而提出高性能则希望既高强又耐久。可能是由于发现强调高强后的弊端,1998 年美国 ACI 又重新定义高性能混凝土,修订为:“高性能混凝土是符合特殊性能组合和匀质性要求的混凝土,如果采用传统的原材料组分和一般的拌和、浇筑与养护方法,未必总能大量地生产出这种混凝土。”ACI 对该定义所做的解释是:“当混凝土的某些特性是为某一特定的用途和环境而制定时,这就是高性能混凝土。如下面所列举的这些特性对某一用途来说可能是非常关键的:易于浇筑、振捣时不离析、早强、长期的力学性能、抗渗性、密实性、水化热、韧性、体积稳定性、恶劣环境下的较长寿命。因为高性能混凝土的许多特性是相互联系的,改变其中之一常会使其他的特性发生变化,当混凝土为某一用途生产而必须考虑若干特性时,则每一个特性都必须清楚地规定在合同文件中”。

1998 年 ACI 定义与 1990 年 ACI、NIST 定义的区别是:前者把“早强”列入“特殊性能组合”作为可选性能之一,而不是必要的强调。而欧洲混凝土学会和国际预应力混凝土协会,则将高性能混凝土定义为水胶比低于 0.40 的混凝土。在日本,将高流态的自密实混凝土(免振混凝土)称为高性能混凝土,强度一般为 40~45MPa,混凝土中除水泥外,还有矿渣粉、粉煤灰及膨胀剂。也有一些部门根据其专业的特点对高性能混凝土提出具体的要求,如 1995 年美国

联邦公路管理局(Federal Highway Administration, FHWA)将高性能混凝土分成4级,每级在与强度和耐久性有关的8个参数上都规定了定量的指标。

美国公路战略研究计划(Strategic Highway Research Program, SHRP)提出高性能混凝土用于公路工程应满足:①水胶比 ≤ 0.35 ;②300次冻融循环,相对动弹模 $\geq 80\%$;③抗压强度 $4h \geq 17.2\text{MPa}$,或 $24h \geq 34.5\text{MPa}$,或 $28d \geq 68.9\text{MPa}$ 。该定义偏重于早强,定义了一个特定的高性能混凝土,缺乏普遍适用性。用于桥梁尤其是大跨度桥梁的高性能混凝土应满足:①水胶比 ≤ 0.40 ;②强度 $\geq 41.4\text{MPa}$;③徐变率低。

我国高性能混凝土的工程应用开始于一些需要长的安全使用寿命或处于恶劣环境中的重点工程,如高速铁路、跨海大桥、超高层建筑、大型水利工程和地铁等。近年来各行业制定了一些标准规范,指导高性能混凝土的应用。这些标准规范对于高性能混凝土的定义大同小异。《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)关于高性能混凝土的定义:“用混凝土的常规材料、常规工艺,在常温下,以低水胶比、大掺量优质掺和料和较严格的质量控制制作的高耐久性、高尺寸稳定性、良好工作性及较高强度的混凝土。”

原铁道部2005年颁布施行的《客运专线铁路高性能混凝土技术条件》详细规定了各种环境中使用的高性能混凝土的原材料、配合比设计、制备、施工与质量检验等。中国工程标准化协会发布的《高性能混凝土应用技术规程》(CECS 207—2006),关于高性能混凝土的定义:“采用常规材料和工艺生产的能保证混凝土结构所要求的各项力学性能并具有高耐久性、高工作性和高体积稳定性的混凝土,称之为高性能混凝土。”

《公路桥涵施工技术规范》(JTJ/T F50—2011)关于高性能混凝土的定义:“采用混凝土的常规材料、常规工艺,在常温下,以低水胶比、大掺量优质掺和料和严格的质量控制措施制作的,具有良好的施工工作性能且硬化后具有高耐久性、高尺寸稳定性及较高强度的混凝土。”中国建筑科学研究院正在编写的《高性能混凝土应用技术指南》关于高性能混凝土的定义为:“以建设工程设计和施工对混凝土性能特定要求为总体目标,合理选用优质常规原材料,掺加外加剂和合理掺量的矿物掺和料,采用较低水胶比并优化配合比,通过绿色和预拌生产方式以及严格的施工措施,制成符合本指南技术要求的、具有优异综合性能的混凝土。”

在我国学术界,对高性能混凝土定义的争议更多。冯乃谦在其1996年出版的《高性能混凝土》著作中开宗明义地指出:“高性能混凝土必须是高强度的,因为一般情况下高强度对耐久性有利,同时他认为高性能混凝土发展的物质基础是现在有了好的掺和料和减水剂,因此高性能混凝土必须掺掺和料。”冯乃谦的这些观点代表了当时我国大多数混凝土学者对高性能混凝土的认识^[3]。

吴中伟针对当时科研界过度追求高强度的趋向,及时提出“有人认为高强度必须高耐久性,这是不全面的,因为高强混凝土会带来不利于耐久性的因素”。高性能混凝土还应包括中等强度混凝土,如C30混凝土。吴中伟高度重视耐久性,并早在1986年就提出高强未必一定高耐久,低强也不一定就不耐久的观点是非常有前瞻性的,而且今天他的这个观点也是正确的。我国著名的混凝土科学家吴中伟教授进一步定义高性能混凝土为一种新型高技术混凝土,是在大幅度提高普通混凝土性能的基础上采用现代混凝土技术制作的混凝土,它以耐久性作为设计的主要指标,针对不同用途要求,对下列性能有重点的予以保证:耐久性、工作性、适用性、强度、体积稳定性以及经济合理性^[4]。1997年3月吴中伟教授在**高强高性能混凝土**会

议上又指出,高性能混凝土应更多地掺加以工业废渣为主的掺和料,更多地节约水泥熟料,提出了绿色高性能混凝土(Green High Performance Concrete, GHPC)的概念^[5,6]。

清华大学廉慧珍教授认为“高性能混凝土不是混凝土的一个品种,而是达到工程结构耐久性的质量要求和目标,是满足不同工程要求的性能和具有匀质性的混凝土。高强不一定耐久,高流动性也不是任何工程都需要的,也不是只要有掺和料就能高性能;混凝土的质量不是试验室配出来的,而是优选配合比的混凝土由生产、设计、施工和管理人员在结构中实现的,开裂的就不是高性能混凝土,除了特殊结构(如临时性结构)外,没有什么混凝土结构不需要耐久。针对不同工程的特点和需要,对混凝土结构进行满足具体要求的性能和耐久性设计,比笼统强调高性能混凝土的名词更要科学”。在这里,高性能混凝土强调的是混凝土的“性能”或者质量、状态、水平,或者说是一种质量目标,对不同的工程,高性能混凝土有不同的强调重点(即“特殊性能组合”)。

阎培渝教授认为,中国工程界仍然强调高性能混凝土是具有优异综合性能的混凝土,多着眼于具体的原材料选择和配合比设计,对于全过程质量控制理念关注不够,不重视施工过程对于高性能混凝土在结构中的表现的影响。由于许多人认为使用高性能减水剂和合理掺量的矿物掺和料所配制的混凝土就是高性能混凝土,忽视了全过程的质量控制,因此将一些人为因素造成的工程质量事故归咎于高性能混凝土,对高性能混凝土提出质疑,认为应该取消“高性能混凝土”这个名词,此观念在我国混凝土学术界与建设工程技术界引起很多争论。

自从美国提出高性能混凝土这一概念,近几十年来,始终没有一个统一的或者标准的定义。尽管目前对高性能混凝土的确切定义仍然存在争议,但有两点是明确的,高性能混凝土是以耐久性为主要设计目标的,以混凝土全寿命周期全过程质量控制为主要技术手段,且是混凝土技术发展的主流方向。

高性能混凝土是在高强混凝土基础上的发展出来的,也可说是高强混凝土的进一步完善。高强混凝土仅仅是以强度的大小来表征或确定其何谓普通混凝土、高强混凝土与超高强混凝土,而且其强度指标随着混凝土技术的进步而不断有所变化和提。而高性能混凝土则由于其技术物性的多元化,诸如良好的工作性(施工性)、体积稳定性、耐久性、物理力学性能等等而难以用定量的性能指标给高性能混凝土定义。

从材料的“性能”含义而论,既包括力学性能的概念,也包括了一些非力学性能的概念,如高填充性、不离析、抗渗性、抗侵蚀性、体积稳定性。

因此,混凝土的技术进步不能以高强为目标,而应是高性能,单纯以高抗压强度来表征混凝土的高性能是不确切的。从高强向高性能方向发展是必然趋势。高性能混凝土应根据工程要求,包括不同强度等级的高性能混凝土,如普通强度的高性能混凝土和高强高性能混凝土。

1.2 机制砂高性能混凝土的发展与分类

1.2.1 机制砂特性及其生产

沙作为混凝土的主要原材料之一,包括天然沙和机制砂。目前我国沙石年产量达 20 亿 t

以上。其中天然沙是一种地方性资源,短期内不可再生,也不利于长距离运输。随着我国基础设施建设的日益发展,由于天然沙资源逐渐短缺、价格上涨,以及山区交通不便,公路建设材料运输困难,同时出于环境保护的需要,机制砂替代天然沙已成为混凝土行业可持续发展的一种趋势。

从 20 世纪 60 年代起,因为一些建设工程的环境条件所限,我国水电、建筑部门就开始用当地石材进行机制砂的生产工艺、技术性能和应用于混凝土的研究,并开始在工程上使用。从 70 年代起,贵州省已在建筑上大规模使用机制砂,并制定了地方标准。此后,云南、重庆、广东、福建、浙江、河北、山西等省(市)都有了机制砂的生产线。几十年大量的工程实践,证明了使用机制砂在经济上是合理的,技术上是成熟的。国外,美、英、日等工业发达国家使用机制砂也有几十年的历史,将机制砂纳入其国家标准的时间至少 30 年以上^[7-14]。

贵州省因资源与环境的限制,机制砂一直用于各类混凝土工程中。2008 年贵州省颁布了《贵州省高速公路机制砂高强混凝土技术规程》(DBJ 52-55—2008)地方标准,更进一步促进了机制砂在交通工程中的广泛应用。机制砂也逐渐从普通混凝土向高强、高性能混凝土中应用。

然而机制砂的材料特性与普通河沙有很大的区别,这也使得机制砂混凝土配合比设计、生产、施工等方面也存在差异。因此,本节结合贵州省机制砂特点,分析了机制砂的品质特点及在混凝土行业中应用存在的问题,并提出相应的对策建议,以期对我国机制砂的生产、管理及混凝土行业中应用等方面起到借鉴与指导意义^[10]。

目前,机制砂的品质及其在混凝土中应用存在的问题,主要包括以下几个方面:

(1) 机制砂的级配

机制砂的级配,一般呈现典型的“两头大中间小”的特点,其中大于 4.75mm 颗粒较多,一般 2.36mm 筛余可以高达 40%,而小于 0.075mm 的石粉颗粒可以高到 10%。如果不经过处理,很难达到国家标准的要求。这主要是由机制砂的母岩品质与机制砂生产工艺所决定的。不良级配导致采用机制砂配制的混凝土较为散,需要提高砂率增强黏聚性;此外,不良级配以及级配情况不稳定,容易导致混凝土状态波动较大,保坍性差。机制砂优点在于可以进行级配调整进而确保其质量,但是增加工艺及成本,导致在实际生产中很少有机制砂生产企业专门去调整级配。

(2) 机制砂的石粉含量

机制砂在生产过程中,会不可避免地产生一定量的石粉。机制砂中适量的石粉对混凝土是有益的,有适量石粉的存在,弥补了机制砂配制混凝土和易性差的缺陷,同时,它的掺入对完善混凝土细集料的级配、提高混凝土密实性都有益处。此外,有学者提出石粉起到了晶核的作用,诱导水泥水化产物结晶,加速水化产物的生产,从而提高了强度。因此,在《水泥混凝土用机制砂》(JT/T 819—2011)中,机制砂的石粉含量根据配制混凝土的强度等级分别定为 3%、5%、7%。

实际工程中采用的机制砂,石粉含量一般是远远超过国标中的规定。经过大量试验表明,在机制砂的亚甲蓝 MB 值满足国标要求的情况下,石粉含量较高对混凝土没有明显的不利影响。对于机制砂中石粉含量,应该有个正确的认识,在亚甲蓝 MB 值小于 1.4 时,可以适当放宽石粉含量的要求,没有必要为了刻意降低石粉含量而采用水洗,导致大量细颗粒流失,严重

影响混凝土的工作性及强度。如果必须采用水洗工艺,可以考虑掺入一定量的粉煤灰等掺和料,以弥补机制砂细颗粒较少的不足。

标准中石粉含量要求严格,尤其对高强混凝土。实践证明,适宜的石粉含量是有利于混凝土的工作性与耐久性。实际生产中,很多时候是因石粉中含泥量过高引起混凝土拌和物性能不良,从而导致在很多混凝土工程中,均限制石粉含量。

(3) 机制砂的含泥量

严格意义上来讲,含泥量指标无法用来定量表征机制砂的品质,因为在标准中,将天然沙中粒径小于 $75\mu\text{m}$ 的颗粒定义为泥,将机制砂中粒径小于 $75\mu\text{m}$ 的颗粒定义为石粉,通过亚甲蓝试验来检测石粉中究竟是碎石破碎过程中形成的粉末还是泥土。亚甲蓝试验时,由于膨胀性黏土矿物具有极大的比表面,很容易吸附亚甲蓝染料,而细集料中的非黏土性矿物质颗粒的比表面相对要小得多,且并不吸收任何可见数量的染料,亚甲蓝值表示用染料的单分子层覆盖其试样黏土部分的总表面积所需的染料量。亚甲蓝值与黏土含量乘以黏土比表面的乘积成正比。因此,亚甲蓝试验可以定性的表征机制砂中含泥量的高低。

机制砂石粉中,如果含泥量过高,对混凝土是有害的,不仅影响混凝土的工作性,而且还影响混凝土的强度及耐久性,应严格限制其含量。控制机制砂中含泥量方法大多采用水洗,但在机制砂的生产过程中,宜把除土处理放在原料加工前进行,如直接采用水洗后的碎石加工机制砂,加工后尽量保留和利用机制砂的石粉。

(4) 机制砂的表面形态

机制砂的表面一般较为粗糙,棱角尖锐。机制砂表面形态导致在相同用水量的情况下,混凝土坍落度较低,但表面粗糙有利于加强细集料和浆体之间的黏结。研究表明,用机制砂配制的混凝土,水胶比较天然沙混凝土放大 0.05 后,其强度不但不降,反有提高。

机制砂的表面形态,受生产设备与工艺的影响较大。冲击式破碎机生产机制砂粒型呈圆形颗粒状,粒形较好,并利用圆锥破碎机对机制砂产品细碎整形,可以改善机制砂的表面形态,提高机制砂的质量。

(5) 机制砂与外加剂的匹配问题

机制砂在配制添加外加剂的混凝土时,对外加剂的反应比天然沙敏感。国内外大量研究表明,聚羧酸减水剂(PCE)对黏土非常敏感,主要是因为 PCE 的支链插入了黏土中,导致其在黏土表面吸附量很大,成为 PCE 推广应用过程中的难题。现在的解决办法主要是在 PCE 分子结构上增加一些对黏土选择吸附的支链,或者选择加入一些高价阳离子,使得黏土吸附饱和,从而减少对 PCE 分子的吸附。因此,严格控制机制砂的含泥量,可以提高机制砂与外加剂的适应性。

1.2.2 我国机制砂生产技术水平

1) 机制砂生产技术水平概况^[15]

目前,国内各地砂石生产除少数地区企业机械化程度较高外,大多数企业生产呈落后状态,效率低、质量差、成本高,对建筑工程质量有一定的影响。大多数小规模砂石厂通常是采用“两段一闭”式工艺流程,采用小型锤式破碎机或反击式破碎机进行制砂作业。锤式破碎机虽然具有产率高、便于维护和构造简单的特点,但也存在设备部分配件磨损较快的问题。采用这

些破碎设备不能有效控制砂颗粒的形貌和级配,机制砂产品粗大颗粒含量偏多,细度模数较大。

对于国内一些大型水利建设项目,往往配套相应的机制砂制砂设备,这类工艺模式主要为粗、中、细三段破碎再加上棒磨机。这种工艺设计理念可以概括为多破碎少研磨,以挤破代磨破,破碎研磨相结合。这样做的好处是可以按照工程实际需要,人为较稳定地控制人工砂的质量。然而能够采用这样完善的生产工艺的厂家少之又少,不符合国内砂石企业的生产实际。

2)传统机制砂生产工艺

(1)湿法生产工艺

该生产工艺是最早在国内采用的,也是最成熟的人工砂生产工艺,至今仍得到广泛的应用。工艺流程如图 1.1 所示。

制砂原料为制石系统按比例调节转来粒径 5~40mm 的集料到制砂调节仓,通过振动给料器给棒磨机喂料。棒磨机是湿法制砂的核心设备,为中心排矿的圆筒式棒磨机。物料和水从圆筒两端进入,筒内装有约 30t 不同直径的钢棒,圆筒转动时,物料在钢棒间研磨破碎,破碎后与水一起从圆筒中心排出,进入“螺旋分级机”,在叶片的搅动中进行清洗、分级。制石系统产生的 $\leq 5\text{mm}$ (或 $\leq 2.5\text{mm}$)的砂,也进入“棒磨机”(数量少时或进入“螺旋分级机”)。合格的砂进入脱水筛脱水后,输出到成品砂料堆,细颗粒的泥(石粉)随水排出。

(2)干法生产工艺

由于湿法制砂用水量大的问题,干法生产工艺在许多年前已被提出,由于粉尘回收工艺的限制,一直未能得到推广和应用,近年来在水电系统已有少量的应用。工艺流程如图 1.2 所示。

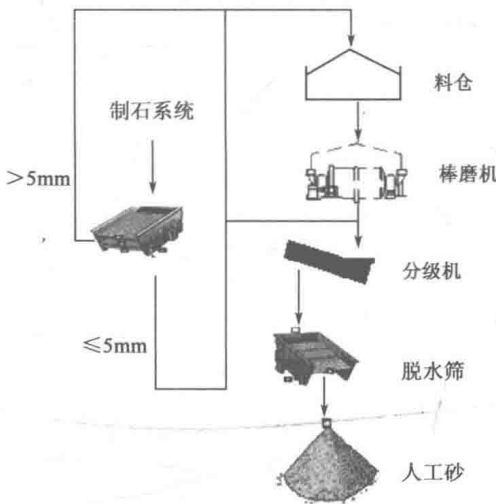


图 1.1 湿法生产工艺图

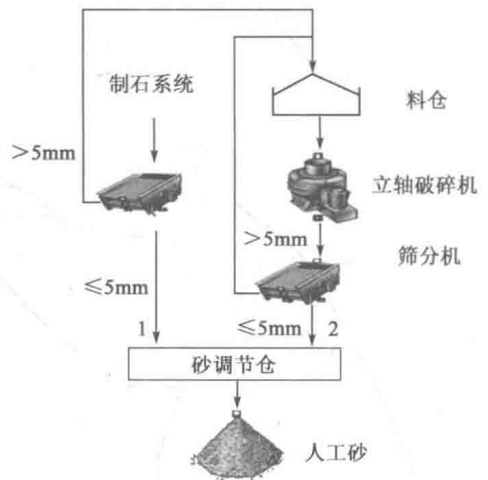


图 1.2 干法生产工艺图

干法工艺成品砂有两个来源:一是制石系统 $\leq 5\text{mm}$ 的部分;二是制砂系统生产的成品砂。制砂系统原料为制石系统按比例调节转来粒径 5~40mm 的集料到制砂调节仓,通过振动给料器给立轴冲击破碎机喂料。立轴冲击破碎机是干法制砂的核心设备,立轴破碎机分为石打铁型和石打石型,制砂采用的是石打铁型。转子将物料沿直径方向甩出,撞击到腔体的反击板上得到破碎。由于立轴破得到的产品不是完全砂,必须经隔筛将 $> 5\text{mm}$ 的物料返回到料仓,