

高速铁路

自密实混凝土技术

李化建 ● 编著



GAOSU
TIELU

ZIMISHI HUNNINGTU JISHU



化学工业出版社

高速铁路

自密实混凝土技术

李化建 ● 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以高速铁路为工程背景，以自密实混凝土在板式无砟轨道中的应用为立足点，从板式无砟轨道用自密实混凝土技术要求、自密实混凝土性能表征评价技术、基于施工性能的自密实混凝土配制技术、自密实混凝土施工技术、面向全过程的自密实混凝土质量控制技术以及自密实混凝土常见问题与对策等方面，系统地阐述了高速铁路自密实混凝土应用过程的基础理论问题、应用技术问题以及标准规范问题，旨在推进自密实混凝土在高速铁路工程以及其他领域现浇混凝土结构中的规模应用。

本书力求从工程现场问题入手来解决高速铁路自密实混凝土应用过程的技术难题，实用技术与基础理论并重，内容丰富，图文并茂，可供铁路、建材、建筑、交通、水利工程及相关专业设计、研究、试验、施工与监理等方面技术人员以及大专院校师生学习参考。

自密实混凝土技术

图书在版编目 (CIP) 数据

高速铁路自密实混凝土技术/李化建编著. —北京: 化学工业出版社, 2018.9
ISBN 978-7-122-32575-4

I. ①高… II. ①李… III. ①高速铁路-铁路施工-混凝土施工 IV. ①U238

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 149123 号

责任编辑: 韩霄翠 仇志刚
责任校对: 宋 夏

文字编辑: 孙凤英
装帧设计: 王晓宇 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$ 字数 379 千字 2018 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 98.00 元

版权所有 违者必究

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com



序

Foreword

高速铁路工程建设质量问题是影响运营安全和效率效益的重大问题，一些混凝土隐蔽工程的质量控制长期困扰着建设、施工和监理单位，尽管在管理上采取了强化的信息化手段和更为严厉的处罚措施，但是，质量隐患和安全风险依然存在。我在京沪高速铁路工作的时候，为解决 CRTSⅡ型板式无砟轨道的板下 CA 砂浆充填层充填质量问题，先后开展揭板试验长达半年时间，虽然有的单位不断改进施工工艺，但试验的结果仍不理想。实质上这种无法振捣的板下砂浆层，施工工艺固然重要，更为重要的还是提升 CA 砂浆材料的性能，将施工工艺改进和配合比优化相结合，才能灌注出符合标准的充填层。所以，要解决隐蔽工程施工质量问题，不仅要加强管理、强化工艺，在材料上寻求保障也是非常必要的一条途径。

中国研发出 CRTSⅢ型板式无砟轨道以后，板下灌注的自密实混凝土不仅要具有充填调整的作用，还要能和预制的轨道板紧密结合形成复合式结构，从而对自密实混凝土提出了更高的要求。尽管我们已经积累了 CA 砂浆充填层的工程经验，但是，与 CRTSⅠ型、Ⅱ型板不同的是，CRTSⅢ型板下设置了门型钢筋和底层钢筋，自密实混凝土的可施工性就更为重要。近日，化建博士将其《高速铁路自密实混凝土技术》书稿送来并嘱我作序，认真阅读之后，对自密实混凝土的自身智能动力特性有了更深入的了解，并对化建博士提出的利用材料性能解决由施工因素导致的结构质量和耐久性问题表示认同。

化建博士在京沪高速铁路建设过程中，就高性能混凝土和道岔区板下自密实混凝土给我提供了很多帮助，后来他在盘营、沈丹、郑徐高速铁路 CRTSⅢ型板式无砟轨道自密实混凝土方面作了大量的工作。《高速铁路自密实混凝土技术》一书是化建博士及其团队在高速铁路自密实混凝土方面的最新研究成果及其工程应用的总结与升华。该书从应用的角度去探讨理论问题，从标准的角度去规范应用过程的控制问题，体现了基础理论与应用技术及工程实践的统一，既有理论深度，又具实用价值，对大专院校相关专业师生、科研院所科技人员及工程技术人员具有重要的参考价值。

我和化建博士曾讨论过隧道衬砌混凝土问题，能否提升其自充填、自密实性能，以解决既有混凝土衬砌的不密实问题，对解决衬砌开裂掉块意义重大，化建博士正开展相关的研究。我相信，该书的出版对推进智能动力型混凝土在工程中应用意义重大。

赵国堂

2018年4月

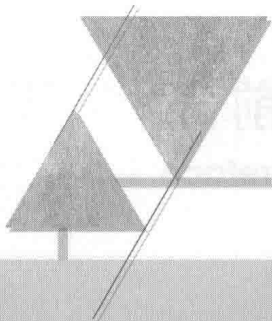


前言

Preface

自密实混凝土因其高流动性、高填充性以及高间隙通过性等突出特点,被应用于钢筋比较密集以及振捣较为困难的混凝土结构中。自密实混凝土在高速铁路中的应用始于京津城际铁路无砟轨道的道岔区,并在 CRTSⅢ型板式无砟轨道中得以推广应用。高速铁路自密实混凝土层封闭结构空间与柔性隔离层基础的特殊使用场合以及自密实混凝土性能自身的高敏感性,决定了高速铁路高性能混凝土的复杂性以及规模施工的不可控性。基于现场施工人员对自密实混凝土知识的匮乏以及现浇结构自密实混凝土质量控制的难度大,因此萌生了写作《高速铁路自密实混凝土技术》一书的念头。

本书围绕着自密实混凝土在高速铁路无砟轨道结构应用中存在的问题,从板式无砟轨道自密实混凝土评价指标与标准(新拌混凝土、硬化混凝土以及实体结构)、原材料要求、配制与性能、施工技术、质量控制以及常见问题与对策等方面,系统阐述了高速铁路的自密实混凝土关键技术。第1章阐述了自密实混凝土的内涵与起源,分析了自密实混凝土敏感性内涵,重点讨论高速铁路与其他领域用自密实混凝土的异同,提出高速铁路自密实混凝土技术的关键难点。第2章根据高速铁路自密实混凝土层服役环境、结构特征以及施工方式等,分析自密实混凝土在模腔中的运动状态,提出了高速铁路新拌混凝土评价指标;从结构承载力、服役耐久性等方面,提出了自密实混凝土硬化体的评价指标;基于实体结构的客观真实模拟提出了自密实混凝土工艺性试验;阐述了国内外自密实混凝土性能指标的表征技术,并提出了自密实混凝土稳定性评定的新方法。第3章研究了原材料对自密实混凝土性能的影响规律,尤其是流变性能、稳定性能以及剪切变形性能等,根据技术可行、经济合理的原则,并结合我国高速铁路混凝土原材料生产控制水平,给出了高速铁路自密实混凝土用原材料的技术指标。第4章分析了国内外自密实混凝土配合比设计方法,综合考虑可操作性、可实施性,提出了基于性能的高速铁路自密实混凝土制备技术;阐述了配合比参数对自密实混凝土拌合物性能影响规律,揭示了自密实混凝土力学性能、收缩行为的时变规律,研究了自密实混凝土硬化体的抗氯离子渗透性及其抗冻性。第5章介绍了自密实混凝土生产质量控制技术,探讨了原材料波动对自密实混凝土性能的影响,提出了自密实混凝土用原材料均质性控制要求;研究了自密实混凝土生产过程的关键参数,提出了自密实混凝土生产过程投料顺序、搅拌时间以及搅拌功率等建议指标。第6章介绍了自密实混凝土施工过程关键环节,包括施工设备、施工工艺以及施工控制参数等,分析了施工工艺对自密实混凝土性能的影响,分施工前、施工过程中以及施工后三个阶段,介绍自密实混凝土质量控制,重点强调容易造成自密实



混凝土性能敏感性因素的质量控制要点。第7章针对自密实混凝土原材料敏感性、温度敏感性、施工敏感性以及时间敏感性特征,结合高速铁路条状结构分布、自密实混凝土层结构隐蔽性特征、自密实混凝土需求分散等现实问题,以高速铁路 CRTSⅢ型板式无砟轨道自密实混凝土层这一特殊结构,提出了高速铁路自密实混凝土“四固二强”的管理理念,即固定原材料、固化配合比、固化施工工艺、固化施工装备,强化工艺性试验和强化过程管理。第8章在分析自密实混凝土常见问题出现原因的基础上,结合实际工程案例,给出了自密实混凝土常见问题的解决途径。本书从理论的角度来阐述自密实混凝土中复杂的应用技术问题,其主要特点为以高速铁路为工程背景,力求做到理论联系实际,以科研成果为基础,实现技术与管理的有机结合。

本书在写作的过程中得到了中国铁路总公司赵国堂主任、中国铁道科学研究院谢永江研究员的鼓励与支持。感谢赵国堂老师对本书的写作风格、写作提纲提出的建设性意见以及为本书作序。感谢中国铁道科学研究院铁道建筑研究所领导的大力支持和帮助。特别感谢我的同事谭盐宾、易忠来、朱长华、杨鲁、李林香、仲新华等对自密实混凝土试验工作的辛勤付出,感谢我的学生黄法礼、王振、张勇、李亚龙、陶建强、孙德易等所做的大量试验研究工作和文字整理工作。自密实混凝土主要应用于京沪高速铁路、盘营客专铁路、武汉城际铁路、沈丹客专铁路以及郑徐高速铁路等工程,在此向所有建设单位与施工单位的辛勤劳动表示感谢。最后,感谢我的爱妻王聪慧与我的孩子,是他们给予我信念与力量。

本书是在国家自然科学基金项目“无砟轨道充填层自密实混凝土流动过程能量耗散机制研究”(51378499)、“混凝土施工过程流变行为及其微结构形成机制”(51578545)和铁道部科技开发计划项目“岔区板式无砟轨道自密实混凝土材料试验研究”(2009G022-A)等科研课题资助下取得的,特此致谢。本书的出版得到了化学工业出版社的支持,特此致谢!

本书参考了国内外相关文献资料,在此谨向这些文献作者们以及致力于自密实混凝土研究的学者们表示衷心的感谢!碍于自密实混凝土在高速铁路工程中应用较少、涉及专业较多,再加上作者学识水平有限,书中疏漏之处在所难免,敬请批评指正!

李化建
2018年4月

1.1 自密实混凝土的起源与分类 / 2	
1.2 自密实混凝土的特点 / 3	
1.2.1 自密实混凝土性能敏感性 / 3	
1.2.2 自密实混凝土的性能特点 / 4	
1.2.3 自密实混凝土的优势 / 5	
1.2.4 自密实混凝土可能存在的劣势 / 6	
1.3 自密实混凝土规范性文件 / 7	
1.3.1 日本 / 7	
1.3.2 欧洲 / 7	
1.3.3 美国 / 7	
1.3.4 英国和德国 / 7	
1.3.5 中国 / 8	
1.4 自密实混凝土在高速铁路工程中的应用 / 9	
1.4.1 CRTS II 型板式无砟轨道岔区 / 9	
1.4.2 CRTS III 型板式无砟轨道 / 9	
1.5 自密实混凝土在高速铁路中应用存在的问题 / 9	
1.6 自密实混凝土相关术语 / 11	
参考文献 / 13	
2.1 新拌自密实混凝土性能与评价技术 / 16	
2.1.1 新拌自密实混凝土性能要求与分类 / 16	
2.1.2 新拌自密实混凝土性能评价技术 / 19	
2.2 新拌自密实混凝土稳定性的评价技术 / 27	
2.2.1 混凝土稳定性机理 / 27	
2.2.2 自密实混凝土稳定性评价方法 / 31	
2.2.3 自密实混凝土静态稳定性影响因素 / 39	
2.2.4 简化柱状法表征自密实混凝土静态稳定性 / 45	
2.2.5 自密实混凝土工作性能与其静态稳定性间的关系 / 49	
2.3 高速铁路自密实混凝土拌合物性能评价指标 / 55	
2.3.1 无砟轨道自密实混凝土层结构特点 / 55	

1

绪论

1

2

高速铁路自密实混凝土性能要求与评价技术

15

3

自密实混凝土 用原材料

69

- 2.3.2 高速铁路无砟轨道自密实混凝土施工方法 / 59
- 2.3.3 高速铁路自密实混凝土评价指标 / 61
- 2.4 高速铁路自密实混凝土硬化体性能评价指标 / 62
- 2.5 高速铁路自密实混凝土工艺性试验评价指标 / 63
 - 2.5.1 自密实混凝土工艺性试验的目的 / 63
 - 2.5.2 自密实混凝土工艺性试验评价指标 / 63
- 2.6 自密实混凝土工作性能的模拟 / 65
- 参考文献 / 66

- 3.1 自密实混凝土与高性能混凝土用原材料的异同 / 70
 - 3.1.1 相同点 / 70
 - 3.1.2 不同点 / 70
- 3.2 原材料对自密实混凝土工作性能的影响 / 72
 - 3.2.1 粗骨料最大粒径 / 72
 - 3.2.2 细骨料 / 73
 - 3.2.3 功能型外加剂 / 75
 - 3.2.4 矿物掺合料 / 78
- 3.3 原材料对自密实混凝土流变性能与剪切变形行为的影响 / 78
 - 3.3.1 胶凝材料组成 / 79
 - 3.3.2 粗骨料最大粒径 / 82
 - 3.3.3 黏度改性材料类型 / 84
 - 3.3.4 小结 / 87
- 3.4 自密实混凝土用原材料技术要求 / 87
 - 3.4.1 水泥 / 87
 - 3.4.2 矿物掺合料 / 88
 - 3.4.3 细骨料 / 91

4

自密实混凝土的 配制与性能

101

- 3.4.4 粗骨料 / 92
- 3.4.5 减水剂 / 94
- 3.4.6 引气剂 / 94
- 3.4.7 黏度改性材料 / 95
- 3.4.8 膨胀剂 / 97
- 3.4.9 拌合水 / 97
- 3.4.10 纤维 / 98

参考文献 / 98

4.1 自密实混凝土配合比设计方法 / 102

- 4.1.1 配合比设计方法 / 106
- 4.1.2 配合比设计关键参数 / 109

4.2 配合比参数对自密实混凝土工作性能的影响 / 113

- 4.2.1 单位粉体含量 / 113
- 4.2.2 含气量 / 114
- 4.2.3 砂率 / 115

4.3 配合比参数对自密实混凝土剪切变稠性能的影响 / 116

- 4.3.1 水胶比 / 116
- 4.3.2 坍落扩展度 / 121
- 4.3.3 含气量 / 124
- 4.3.4 粗骨料体积分数 / 126
- 4.3.5 小结 / 128

4.4 自密实混凝土的力学性能 / 128

- 4.4.1 原材料与配合比参数对自密实混凝土强度的影响 / 131
- 4.4.2 自密实混凝土抗压强度发展规律 / 134
- 4.4.3 自密实混凝土抗折强度发展规律 / 136
- 4.4.4 自密实混凝土弹性模量发展规律 / 138
- 4.4.5 自密实混凝土抗压强度和抗折强度、弹性模量之间的关系 / 139
- 4.4.6 自密实混凝土的黏结强度 / 142

5

高速铁路自密实混凝土生产质量控制技术

171

- 4.5 自密实混凝土的体积稳定性 / 142
 - 4.5.1 塑性阶段收缩变形性能(塑性收缩) / 142
 - 4.5.2 竖向塑性收缩率 / 146
 - 4.5.3 硬化阶段收缩变形性能(干缩变形和自身收缩变形) / 147
- 4.6 自密实混凝土的耐久性能 / 153
 - 4.6.1 抗氯离子渗透性能 / 153
 - 4.6.2 抗盐冻性能 / 155
 - 4.6.3 抗水冻性能 / 155
- 4.7 自密实混凝土配合比参数要求 / 158
 - 4.7.1 自密实混凝土配合比组成耐久性要求 / 158
 - 4.7.2 自密实混凝土配合比参数要求 / 159
- 4.8 新型自密实混凝土材料 / 162
 - 4.8.1 高强自密实混凝土 / 162
 - 4.8.2 高聚物自充填混凝土 / 164
- 参考文献 / 168

- 5.1 自密实混凝土的生产 / 172
 - 5.1.1 自密实混凝土性能要求与控制 / 174
 - 5.1.2 自密实混凝土原材料管理 / 178
 - 5.1.3 自密实混凝土搅拌 / 181
 - 5.1.4 工艺性试验 / 183
 - 5.1.5 现场验收 / 184
- 5.2 搅拌方式对自密实混凝土流变性能的影响 / 184
 - 5.2.1 投料顺序 / 184
 - 5.2.2 搅拌时间 / 187
 - 5.2.3 搅拌速率 / 189
- 5.3 小结 / 192
- 参考文献 / 192

- 6.1 自密实混凝土的施工工艺 / 196
 - 6.1.1 自密实混凝土的施工工序 / 196
 - 6.1.2 自密实混凝土的灌注工艺 / 199
- 6.2 模板技术 / 201
 - 6.2.1 模板要求 / 201
 - 6.2.2 模板创新技术 / 202
- 6.3 自密实混凝土的输送技术 / 205
 - 6.3.1 外部输送技术 / 205
 - 6.3.2 内部输送技术 / 206
- 6.4 施工质量控制关键技术 / 208
 - 6.4.1 施工前质量控制 / 208
 - 6.4.2 施工中质量控制 / 211
 - 6.4.3 施工后质量控制 / 212
- 6.5 CRTSⅢ型无砟轨道自密实混凝土特殊季节施工控制 / 214
 - 6.5.1 自密实混凝土冬季施工管理 / 214
 - 6.5.2 自密实混凝土夏季施工管理 / 216
- 6.6 CRTSⅢ型无砟轨道自密实混凝土智能化灌注设备研究 / 219
 - 6.6.1 自密实混凝土智能化灌注车功能的确定 / 219
 - 6.6.2 自密实混凝土智能化灌注车的研制 / 220
- 参考文献 / 222

- 7.1 自密实混凝土施工质量控制要点 / 224
- 7.2 固定自密实混凝土材料 / 227
 - 7.2.1 固定自密实混凝土原材料 / 227
 - 7.2.2 固定自密实混凝土配合比 / 228
- 7.3 固化自密实混凝土施工 / 229
 - 7.3.1 固化自密实混凝土生产 / 229
 - 7.3.2 固化自密实混凝土施工工艺 / 231
- 7.4 固化自密实混凝土施工人员 / 231
 - 7.4.1 细化人员分工 / 231
 - 7.4.2 强化人员培训 / 232

6

高速铁路自密实 混凝土施工质量 控制技术

195

7

高速铁路自密实 混凝土应用管理 技术

223

8

自密实混凝土常见问题与对策

235

- 7.4.3 实施一把手负责制 / 232
- 7.5 强化自密实混凝土工艺性试验 / 232
- 7.6 强化自密实混凝土施工过程检测 / 233
 - 7.6.1 强化过程检查 / 233
 - 7.6.2 树立重检慎修理念 / 233

8.1 自密实混凝土常见问题的汇总 / 236

- 8.1.1 日本对自密实混凝土技术问题总结 / 236
- 8.1.2 欧洲相关规范对技术问题总结 / 240

8.2 高速铁路自密实混凝土拌合物性能常见问题与对策 / 242

- 8.2.1 拌合物流动性不足 / 243
- 8.2.2 自密实混凝土离析和泌水 / 244
- 8.2.3 自密实混凝土气泡上浮 / 245
- 8.2.4 自密实混凝土工作性能快速损失 / 245
- 8.2.5 自密实混凝土工作性能返大 / 246
- 8.2.6 自密实混凝土超缓凝 / 247

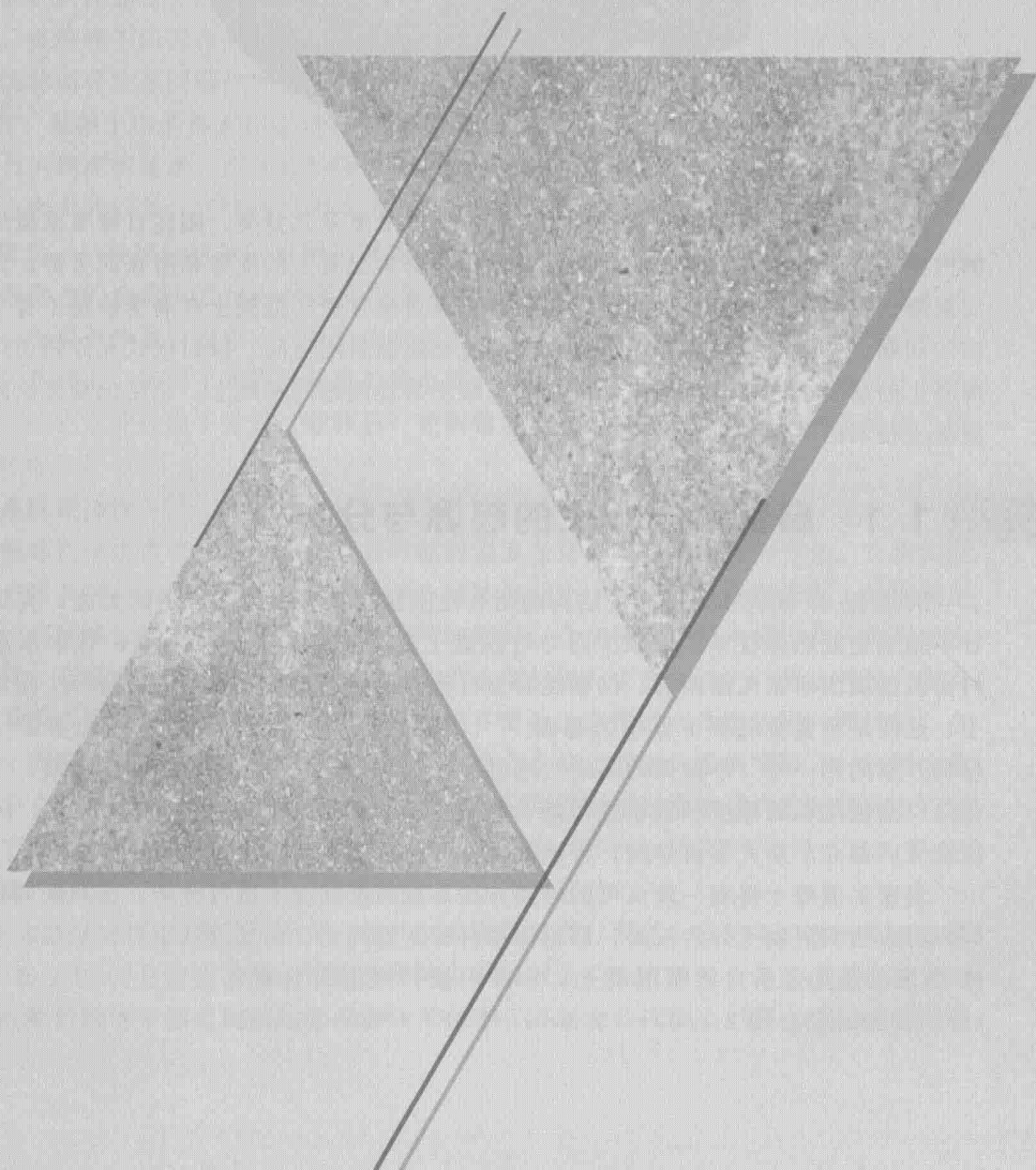
8.3 高速铁路自密实混凝土硬化体的问题与对策 / 248

- 8.3.1 自密实混凝土充填层表面泡沫层 / 249
- 8.3.2 离缝（自密实混凝土与上部结构分离） / 249
- 8.3.3 自密实混凝土的收缩裂缝 / 250
- 8.3.4 自密实混凝土的塑性开裂 / 251
- 8.3.5 自密实混凝土表面工艺性气泡 / 252
- 8.3.6 浮浆层 / 252
- 8.3.7 充填层表面水纹 / 253
- 8.3.8 充填层贯穿孔 / 254
- 8.3.9 充填层灌注不饱满 / 254
- 8.3.10 充填层四周疏松多孔 / 255

参考文献 / 256

1

绪论



自密实混凝土是指拌合物具有高流动性、高间隙通过性和高抗离析性，浇筑时仅靠其自重作用而无需振捣便能均匀密实成型，且硬化体具有和传统振捣混凝土相当的力学性能、耐久性能以及体积稳定性的混凝土^[1,2]。自密实混凝土是一种具有极高工作性能的混凝土，虽然没有从流动性指标上来定量描述自密实混凝土，但通常将坍落扩展度大于550mm的混凝土称为自密实混凝土，如图1.1所示。

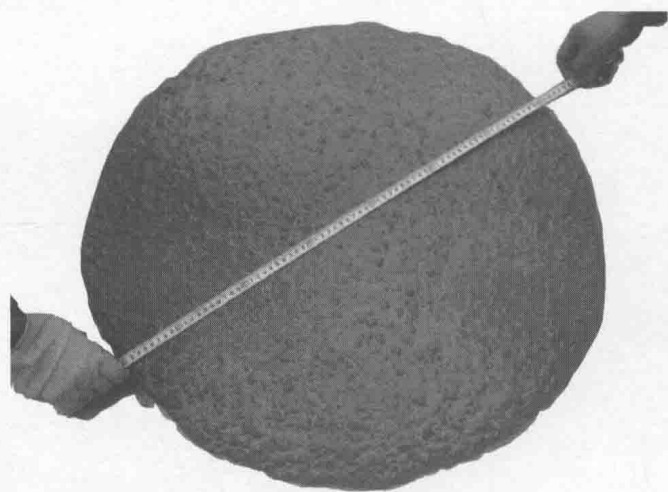


图 1.1 自密实混凝土

本章将主要介绍自密实混凝土的定义、历史沿革及其分类，阐述自密实混凝土敏感性的内涵，基于自密实混凝土的性能特点分析自密实混凝土的优势和潜在的劣势；介绍自密实混凝土在高速铁路工程中的应用现状，重点讨论自密实混凝土在高速铁路工程应用中存在的问题。并针对板式无砟轨道自密实混凝土层的封闭空间，探讨板式无砟轨道用自密实混凝土的新要求，在分析国内外自密实混凝土共性问题的基础上，总结出高速铁路自密实混凝土技术的关键难点。

1.1 自密实混凝土的起源与分类

20世纪80年代初，混凝土结构的耐久性问题在日本引起了广泛的关注，究其原因是日本施工企业熟练技术工人减少而导致混凝土施工质量下降。1986年，日本东京大学冈村甫教授提出研制无需振捣、仅靠混凝土自重作用便能密实充填到模板每一个角落的混凝土，这便是自密实混凝土思想的起源^[3,4]。1988年，冈村甫教授在东京大学采用市售原材料开发的第一号“不振捣的高耐久性混凝土”，并确认了该混凝土自身收缩、干缩、水化热以及硬化后的强度和致密性等综合性能与传统振捣混凝土相当。1996年，冈村甫教授在美国德克萨斯大学讲学时，将该混凝土称为自密实高性能混凝土^[3]。

自密实混凝土得到一致认可的分类方法是按照配制技术进行分类，按照配制技术的不同可将自密实混凝土分为三类，即粉体系自密实混凝土、黏度改性系自密实混凝土以及粉体-黏度改性复合系自密实混凝土。标准中按扩展度将自密实混凝土分为三类，即SF1（550~650mm）、SF2（660~750mm）和SF3（760~850mm），对于扩展度为SF3级别

的自密实混凝土,石子最大粒径不大于16mm。

1.2 自密实混凝土的特点

1.2.1 自密实混凝土性能敏感性

自密实混凝土高粉体用量、高外加剂用量、低水胶比、低骨料用量的配合比特征以及高流动性决定了自密实混凝土的主要性能特点为高敏感性,具体表现为原材料敏感性、温度敏感性、施工敏感性以及时间敏感性。

(1) 原材料敏感性

原材料敏感性是指与传统振捣混凝土相比,自密实混凝土的性能(尤其是拌合物性能)受原材料质量波动影响较大。原材料质量波动包括两个方面,一是不同批次原材料之间的稳定性;二是同一批次原材料不同部位之间的均质性。针对不同批次原材料,应控制不同批次原材料性能指标的波动在一定范围内。第二种情况多发生于骨料和外加剂,对于骨料而言,骨料堆不同部位的细颗粒含量与含水率会存在一定差异;对于外加剂而言,主要是由于沉淀而导致不同部位外加剂的浓度不同。以细骨料含水率为例,当细骨料含水率变化1%时,混凝土中的单方用水量将变化6~10kg;当细骨料含水率增加1%时,自密实混凝土会出现离析泌水;当细骨料含水率减少1%时,自密实混凝土流动性变小,就会无法满足自密实的效果。《欧洲自密实混凝土指南》提出了新拌混凝土稳健性(robustness)的概念,一种设计较好的自密实混凝土,当用水量变化范围为5~10kg/m³时,新拌自密实混凝土的性能不能超出自密实混凝土拌合物规定的目标等级^[1]。有学者在系统研究砂率、粉煤灰掺量、胶集比、单方用水量及外加剂用量波动对自密实混凝土工作性和强度影响的基础上,确定了其投料精度控制范围,得出了骨料的波动对自密实混凝土质量影响较大的结论,并提出了骨料(砂和石)控制精度应在0.9%以内,这比普通混凝土要求的2%要高得多^[5]。

(2) 温度敏感性

温度敏感性是指自密实混凝土拌合物性能随温度变化而产生大幅度的变化。自密实混凝土的核心是其拌合物的自密实性能,由于自密实混凝土中胶凝材料用量较大、外加剂用量也较大,当环境温度较高或者原材料的温度较高时,会加快水泥的水化以及外加剂减水作用的发挥,自密实混凝土的工作性能也将随着温度的提高而加快损失,无法满足自密实的流动性需求。当环境温度较低时,由于外加剂在低温下发挥减水作用所需时间较长,自密实混凝土的工作性能可能出现“返大”现象,在冬季施工或者气温骤降时,一定要注意自密实混凝土工作性能的低温敏感性。因此,在自密实混凝土温度敏感性控制过程中,要确保自密实混凝土拌合物的入模温度为5~30℃^[6]。

(3) 施工敏感性

施工敏感性是指自密实混凝土拌合物性能经现场输送(泵送、自卸等)前后发生显著变化的特性。施工对自密实混凝土性能的影响主要表现为两个方面。一是泵送对自密实混凝土流动性能的影响,通常而言,泵送会降低自密实混凝土的流动性,但由于自密实混

土黏度较大,泵送自密实混凝土所需的压力也较大。二是自密实混凝土对模板的要求较高,由于自密实混凝土极高的工作性能,近似流体,一方面自密实混凝土对模板支撑刚度的要求很高,自密实混凝土对模板的侧压力增加,所以必须提高模板的支撑刚度;另一方面,自密实混凝土对模板的密封性要求很高,密封不好的模板经常会出现漏浆现象。当采用泵送施工时,一定要通过模拟试验来验证施工工艺,主要验证泵送后自密实混凝土的流动性能否满足施工要求,泵送后的含气量能否满足耐久性要求。通常而言,泵送会降低自密实混凝土的流动性,但对含气量的影响还没有定论^[7,8]。

(4) 时间敏感性

时间敏感性是指自密实混凝土搅拌完成后,拌合物工作性能随时间非线性变化,导致一段时间后工作性能显著降低,无法实现自密实功能。这也是由混凝土的半成品特性所决定的,混凝土不是我们的最终目标,而满足设计要求的结构才是我们所追求的最终目标。好的结构需要材料与施工的密切配合,对于传统振捣混凝土而言,当材料满足要求时主要是由人为因素影响较大的施工所决定的,而对于自密实混凝土而言,材料性能和施工效果都是靠自密实混凝土自身性能来实现,一旦自密实混凝土的工作性能损失,就无法浇筑出满足设计要求的结构。自密实混凝土的时间敏感性决定了在施工过程中必须要有良好的施工衔接和施工组织,保障在可施工时间内完成自密实混凝土的施工。自密实混凝土搅拌到入模的时间应控制在120min以内,美国ACI协会编制的《自密实混凝土(Self-Consolidating Concrete)》(ACI 237R-07)要求控制在90min以内^[9]。

1.2.2 自密实混凝土的性能特点

(1) 新拌混凝土性能

自密实或自充填是自密实混凝土的显著特征,即不需要人工振捣,仅依靠其自重便能充填和密实。自重是自密实混凝土流动的源动力,因此自密实混凝土又被称为智能动力混凝土(smart dynamic concrete)^[10]。这就要求自密实混凝土具备足够的工作性能,但由此可能会带来由于用水量过大导致的收缩开裂、胶凝材料用量过大导致的温度应力以及骨料下沉而导致离析泌水等问题。

(2) 早龄期性能

早龄期性能关注的主要是避免自密实混凝土产生原始缺陷。自密实混凝土的使用,避免了人工漏振、过振等施工缺陷而引起的耐久性不足,对于有抗冻要求的引气混凝土而言,还会减少由于振捣而造成的混凝土含气量损失过大导致抗冻性不足的问题。但自密实混凝土与传统振捣混凝土一样,具有塑性收缩和塑性开裂的风险。对比自密实混凝土与传统振捣混凝土(强度等级为30~50MPa)塑性收缩开裂可知^[11]:当蒸发速率适中(环境温度为20℃,相对湿度为50%),塑性开裂发生在凝固前及凝固过程中;当蒸发速率高(有风的条件),塑性开裂发生在塑性阶段,即在凝固之前;有风的条件下,自密实混凝土与传统振捣混凝土具有相似的塑性收缩和限制收缩,自密实混凝土开裂的宽度比传统振捣混凝土的要小;在蒸发速率较小的情况下,自密实混凝土具有比传统振捣混凝土高的塑性收缩,其原因是自密实混凝土泌水较少。

(3) 硬化体性能

硬化体性能是指混凝土要具有足够抵抗外部荷载、环境侵蚀以及抗裂的能力。混凝土的所有性能都是为了其硬化体结构能够满足设计要求,在设计使用年限内安全服役,因此自密实混凝土硬化体的性能必须具有足够的抵抗外部荷载和侵蚀的能力,这样才能确保自密实混凝土结构满足设计要求。所以,在自密实混凝土定义中特意强调自密实混凝土应具备与传统振捣混凝土相当的力学性能、耐久性能与体积稳定性。

1.2.3 自密实混凝土的优势

经过合理配合比设计与规范施工的自密实混凝土,由于独特的自密实特点,与传统振捣混凝土相比,具有无可比拟的技术与经济优势^[1,9,10]。

(1) 节约人力与设备

自密实混凝土依靠自重充填成型,免去了混凝土振捣工序。自密实混凝土具有自流平功能,减少了对混凝土表面的抹面收光等工作,可以节省部分施工人员。另外,自密实混凝土施工不需要购买和维护振捣、抹面等施工设备,节约了设备的投入。

(2) 缩短施工工期

自密实混凝土施工受人为因素影响小,更为方便快捷。自密实混凝土的大流动特性减少了频繁移动泵管和混凝土搅拌车,节省施工时间。工程实践证明,采用自密实混凝土施工,可以提高混凝土浇筑速度,缩短工程总施工工期;另外,还可以避免由于施工设备故障所耽误的施工工期。

(3) 提高结构耐久性

自密实混凝土的应用减少了由于施工工人误操作或漏操作所引起的施工质量问题,特别是一些无法或难以进行浇筑和振捣的部位。这不仅能解决传统振捣混凝土施工过程中的漏振、过振以及钢筋密集部位难以振捣的问题,还避免了由于振捣不足而引起的空洞、蜂窝、狗洞、麻面等质量缺陷,可保证钢筋、预埋件、预应力孔道的位置不因振捣而移位,显著提高了结构的耐久性。

(4) 设计灵活度大

自密实混凝土可用于传统振捣混凝土难以浇筑甚至无法浇筑的结构部位,可以浇筑成型形状复杂、薄壁和密集配筋的结构,因此提高了设计人员的设计空间,大大增加了结构设计的自由度和灵活度。

(5) 减少污染

自密实混凝土不需要振捣,大大减少了施工噪声,尤其对于一些需要强力振捣的结构部位,如纤维钢筋混凝土结构、预制结构等,在减轻噪声对施工工人危害的基础上,更有利于文明施工;另外,避免了振捣施工噪声对周围居民居住环境的影响,改善了施工工人的工作环境,确保了施工工地周围居民免受噪声的干扰。

(6) 社会和环境效益显著

与传统振捣混凝土相比,自密实混凝土配制需要粉体量更多,可以掺加大量的工矿业固体废弃物——如粉煤灰、矿渣粉、石粉等,具有显著的社会和环境效益。