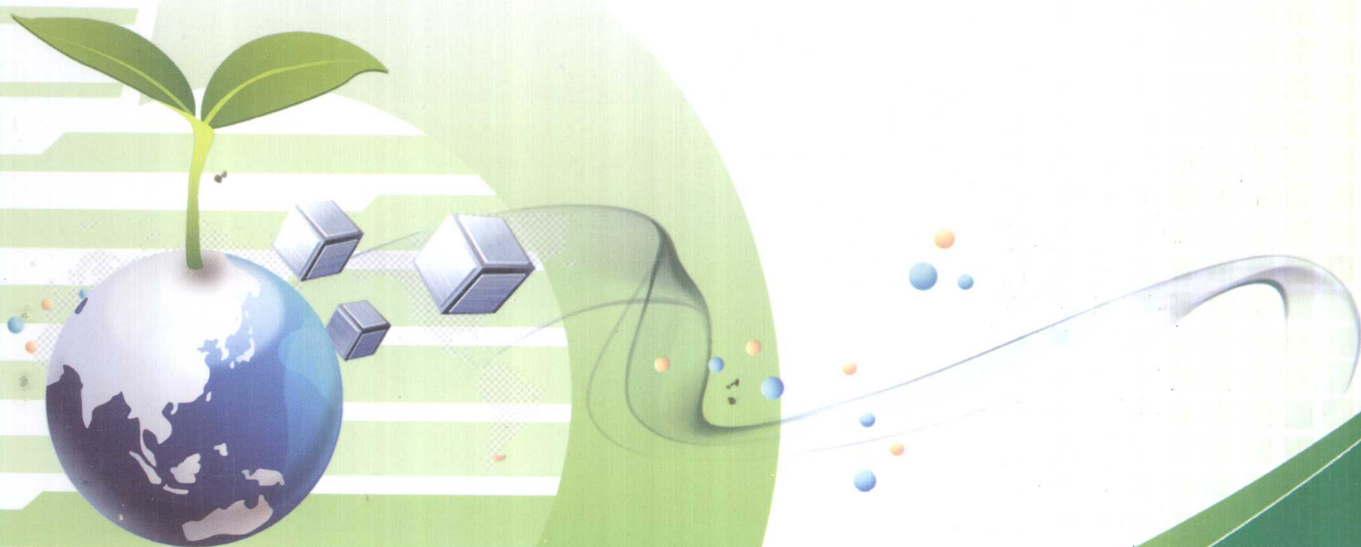


混凝土低碳技术国际学术研讨会暨第九届
全国高性能混凝土学术研讨会论文选编

混凝土低碳技术与 高性能混凝土

HUNNINGTU DITAN JISHU YU GAOXINGNENG HUNNINGTU

© 中建商品混凝土有限公司 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

混凝土低碳技术国际学术研讨会暨第九届
全国高性能混凝土学术研讨会论文选编

混凝土低碳技术与 高性能混凝土

中建商品混凝土有限公司 编



机械工业出版社

本书为混凝土低碳技术国际学术研讨会暨第九届全国高性能混凝土学术研讨会论文集。本书从主题报告、混凝土耐久性、化学外加剂、矿物掺合料、再生砂石材料、混凝土工程应用几个方面择录了国内外数十篇商品混凝土最新的技术及管理方式改进的文章,涉及到混凝土可持续发展中的诸多问题,涵盖了建工、水利、公路、桥梁、混凝土制品等多个领域。论文内容丰富、涉及面广、研究深入、联系实际,为混凝土的“低碳”化发展提供了大量的技术信息和工程经验。希望能带给相关专业技术人员、科研人员、管理人员以参考和启迪。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土低碳技术与高性能混凝土/中建商品混凝土
有限公司编. —北京:机械工业出版社, 2010. 11
ISBN 978-7-111-32365-5

I. ①混… II. ①中… III. ①混凝土施工-节能-国
际学术会议-文集②高强混凝土-国际学术会议-文集
IV. ①TU755-53②TU528.31-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第209383号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:薛俊高 责任编辑:薛俊高 范秋涛
版式设计:霍永明 责任校对:任秀丽 吴美英
封面设计:张静 责任印制:杨曦
北京京丰印刷厂印刷
2011年1月第1版·第1次印刷
210mm×285mm·24印张·1插页·737千字
标准书号:ISBN 978-7-111-32365-5
定价:78.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

混凝土低碳技术国际学术研讨会 暨第九届全国高性能混凝土学术研讨会

主办单位

中建商品混凝土有限公司
中冶高性能混凝土工程技术中心
中国硅酸盐学会高性能混凝土委员会

协办单位

北京交通大学
北京建筑工程学院
中冶集团建筑研究总院高性能混凝土研究院
武汉市商品混凝土管理站

学术委员会

ACADEMIC COMMITTEE

- ◇顾问 问：冯乃谦 笠井芳夫
- ◇主任委员：苏波
- ◇副主任委员：朋改非 郝挺宇 李崇智 张君
- ◇委员：(按姓氏拼音排名)
- | | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 陈改新 | 邓德华 | 丁建彤 | 丁庆军 |
| 丁铸 | 封孝信 | 傅智 | 高建民 |
| 何真 | 华建民 | 惠云玲 | 季元生 |
| 冷发光 | 李昕成 | 林长农 | 马保国 |
| 马骁 | 牛全林 | 彭波 | 施淑芬 |
| 石云兴 | 宋少民 | 孙振平 | 唐明 |
| 王栋民 | 王发洲 | 王元 | 吴德龙 |
| 邢锋 | 杨德斌 | 杨华全 | 叶跃中 |
| 张德成 | 张国志 | 张树河 | 朱稚石 |

组织委员会

ORGANIZING COMMISSION

- ◇主任委员：吴文贵
- ◇副主任委员：吴徽 张晓秋 吴延宏
- ◇委员：王军 秦援 刘玉亮 赵日照
华建民 武铁明 顾晴霞
- ◇秘书长：王军
- ◇副秘书长：祝磊 赵日照
- ◇秘书：王艳 王海亮 于振猛 杨文
梅群 吴雄 代瑞平

前 言

混凝土是目前世界上用量最多、应用最广泛的人工制备的建筑材料，随着建筑业的迅速发展，对混凝土的需求也日益增大，2009年水泥用量达到16.5亿t，用其制备的混凝土产量超过30亿m³，消耗了大量的资源和能源。自2009年哥本哈根联合国气候变化会议召开以来，“低碳”一词已成为人们关注的热点。作为工程建设中不可或缺的建筑材料——混凝土，无论从选材方面，还是在生产、管理方面，仍处于高资源消耗、高排放的阶段，混凝土资源的有效使用直接关系到能源、资源消耗和生态环境保护等国家重大战略问题，是需要迫切研究的重大课题。如果能在混凝土的产量日益增加的发展过程中，通过技术、管理等手段发展“低碳混凝土”，那么会给企业以及社会带来巨大效益。

本书从混凝土耐久性、化学外加剂、矿物掺合料、再生砂石材料、混凝土工程应用几个方面择录了国内外数十篇商品混凝土最新的技术及管理方式改进的文章，涉及到混凝土可持续发展中的诸多问题，涵盖了建工、水利、公路、桥梁、混凝土制品等多个领域。论文集内容丰富、涉及面广、研究深入、联系实际，为混凝土的“低碳”化发展提供了大量的技术信息和工程经验。

由于时间仓促，编者水平有限，书中难免有错误和不当之处，敬请读者予以指正。

会议组织委员会

目 录

前言

一、主题报告

高性能混凝土技术发展现状及展望	郝挺宇 苏波 (3)
低碳技术预应力高性能混凝土管桩的研制	冯乃谦 (10)
(日文) RC 构造物のコンクリートの型枠取外しから竣工検査までに行う 非破壊試験	笠井芳夫 (20)
(译文) 钢筋混凝土结构的混凝土从脱模到竣工检查的非破坏性试验	笠井芳夫 (29)
(日文) 日本混凝土耐久性研究的综述	西林新藏 (34)
(英文) Low-carbon concrete through early age carbonation process	Yixin Shao (59)
(日文) 曲げひび割れを有するコンクリートの中性化と鉄筋腐食に関する 実験的研究	大野義照 中川隆夫 (67)
(日文) 海洋架橋の塩害対策	大城武 (77)
混凝土收缩研究热点与进展	张君 侯东伟 高原 (84)
预拌混凝土的绿色生产	吴文贵 向卫平 王军 高育欣 徐芬莲 (90)

二、混凝土耐久性

铝质材料对碱硅酸反应膨胀性的影响	封孝信 胡晨光 苗小磊 (99)
氧化物组成对无机矿物聚合物砂浆抗硫酸盐侵蚀性的影响	王晴 胡英泽 马凯凯 (105)
融雪剂对混凝土中钢筋侵蚀及耐久性影响	李文婷 高培伟 耿飞 (111)
基于 RCM 快速氯离子迁移法的混凝土氯离子扩散系数的研究	李士伟 王明军 李超 (116)
砂浆中钢筋锈蚀的临界氯离子浓度试验研究	李遵云 杨林 屠柳青 鄢佳佳 (120)
无机盐对混凝土收缩影响的研究	廖超 葛勇 袁杰 寇建岭 李倓 余萍 (125)
混凝土结构耐久性分析	任铮铖 赵梦凝 (129)
浅谈混凝土工程中常见裂缝	张勇涛 陈机构 (134)

三、化学外加剂

绿色外加剂与低碳混凝土技术	李崇智 何光明 (141)
木质素磺酸盐接枝共聚萘系高效减水剂 的研究	刘艳玲 高建明 邓璇 汪廷秀 陈虾敏 陈国忠 (145)
类水滑石型分子容器-萘系减水剂的插层与缓释	郑广军 邵炜 刘行宇 肖宏军 (150)
缓慢释放型聚羧酸系减水剂的合成与性能研究	李崇智 王海刚 吴昊 何光明 (156)
免蒸养盾构隧道管片混凝土的外加剂研究	陈凯 江海民 吕寅 丁庆军 (162)
引气剂与聚羧酸系减水剂相容性的研究	王海刚 李崇智 (168)
聚羧酸系高效减水剂的应用研究	马保国 朱艳超 谭洪波 郑兵 高立 (172)

羧系减水剂与水泥相容性研究	李俊 姜浩 向飞 徐少华 张勇 (177)
聚羧酸减水剂对普通混凝土表观气泡缺陷的影响及 处理措施	郑广军 陈景 周金钟 邓均 夏远英 (181)

四、矿物掺合料

大掺量矿物掺合料活性粉末混凝土的水化与微观结构	彭艳周 陈凯 丁庆军 (187)
一种低碳水泥若干物理性能的研究	牛全林 王忠礼 张明辉 (194)
偏高岭土对水泥及混凝土强度的影响	邢楠 侯云芬 杜小满 (197)
火山岩粉在砂浆和混凝土中的作用效应研究	龙广成 马昆林 冯俊德 谢友均 (202)
粉煤灰对砌筑砂浆工作性能的影响	耿健 (209)
高掺量粉煤灰水泥砂浆及净浆抗溶蚀性能研究	蔡新华 何真 孙海燕 范福平 (214)
水化硅酸钙中掺入 Al^{3+} 对其矿物组成的影响	封孝信 田青 胡晨光 (223)
采用电阻率法测定水泥水化活化能	魏小胜 肖莲珍 (227)
复杂胶凝体系的分形结构研究	孙华 黄修林 丁庆军 (233)
大体积混凝土中复合胶凝材料水化行为 模拟研究	宋晓波 陈凯 江海民 何永佳 丁庆军 (238)
从混凝土角度谈水泥的生产	柳学忠 罗吉祥 黄辉 (244)

五、再生砂石材料

(英文) Study on Practical Application of Recycled Aggregate Used Concrete Solid Waste	CUI Zhenglong FENG Naiqian TANAKA Reiji (255)
矿山尾矿资源化利用现状与途径探讨	骆菁菁 高培伟 黄明喜 张红波 (259)
矿尾砂在水泥混凝土中的应用	郭伟 秦鸿根 (266)
石屑在预拌混凝土中的应用研究及探讨	陈景 孙克平 徐芬莲 (268)
C50 人工砂预拌混凝土的配制及应用	徐仁崇 桂苗苗 杨善顺 刘君秀 (272)
人工砂 MB 值影响因素的研究	牛威 陈家琰 (277)

六、混凝土工程应用

高速铁路高性能混凝土的研制及在武汉火车站 中的应用	王军 徐芬莲 刘中心 吴小强 陈景 (283)
苏通大桥不同结构部位高性能混凝土配制与应用研究	秦鸿根 孙伟 张亚梅 潘钢华 (291)
承台 C35 低温升大体积混凝土水化热仿真分析	余立志 罗永传 刘开阳 (299)
C80 高强高流态机制砂混凝土在成都群光大陆广场 的应用	高育欣 徐国栋 陈景 吴业蛟 余祥鏢 (303)
高性能混凝土在槟城二桥项目中 的应用	李顺凯 屠柳青 刘松 邓翀 张国志 (310)
赣州赣江大桥锚碇大体积混凝土配合比设计	罗永传 余立志 刘开阳 (315)
桥梁高性能混凝土外观质量控制措施试验研究	刘松 陈丽 徐超 李顺凯 鄢佳佳 (320)
混凝土结构收缩的原位监测及裂缝控制探讨	潘冬明 汪建斌 李干椿 何正斌 顾晴霞 (324)
(英文) Properties of High Performance Alkali-activated Slag	

Pavement Concrete	WU Yonggen CAI Liangcai FU Yawei (328)
纵连轨道板混凝土配合比试验研究	吴志刚 郝挺宇 涂玉波 李德军 (334)
硫铝酸盐预拌商品快硬混凝土作为道路快速修补	
材料的应用	曾波 邬长森 张春林 张杰君 李彦昌 (338)
钢管混凝土自应力仿真分析及最佳配合比设计	吕寅 江海民 刘其彬 陈凯 丁庆军 (343)
沿空留巷巷旁充填混凝土的设计与性能研究	张高展 王雷 孙道胜 王春林 (348)
抛填骨料混凝土: 一种水泥混凝土低碳	
排放技术	沈卫国 杨世启 徐东兵 施力 张玲 石学文 (354)
含气量对自密实微膨胀钢管混凝土的性能影响研究	王焕刚 张志刚 陈久恒 白岚 (361)
干密度小于 1400kg/m^3 轻骨料混凝土长	
距离泵送	王海亮 景凌 陈小龙 周宇飞 孙克平 王军 (366)
用于航道整治的特干硬性机制混凝土配合比研究	孙爱国 (370)
C55 自密实混凝土在桥梁加固工程中的应用	鄢佳佳 吴雄 雷宇芳 (374)

一、主题报告

高性能混凝土技术发展现状及展望

郝挺宇, 苏波

中冶建筑研究总院有限公司, 北京, 100088

摘 要 为实现人类社会的可持续发展, 传统混凝土技术必须走节省资源、节省能源、与环境协调发展的道路, 实现低碳化、高性能化。高性能混凝土以提高耐久性为核心, 是实现混凝土结构低碳化的重要技术手段。本文综述了高性能混凝土技术的发展现状, 并对该项技术在土木工程中应用的几个问题进行了分析。

关键词 高性能混凝土; 低碳化; 基础设施; 耐久性

Review of application and future development of High Performance Concrete

HAO Tingyu, SU Bo

Central Research Institute of Building and Construction Co. Ltd,
MCC Group Beijing, 100088

Abstract: For the sustainability of human beings, concrete industry should head in such a way that can save resources and energy, develop friendly with environment. High performance concrete (HPC) can play above role and may be called an important form of low-carbon concrete. In this paper, the application and future direction of HPC was reviewed. And several questions related of using HPC in infrastructures were analyzed.

Key words: high performance concrete, low-carbon technology, infrastructures, durability

1 前言

低碳化是世界各国为应对气候变化、拯救人类赖以生存的地球而提出的应对措施, 我国政府也正结合实际国情努力推进低碳化。2009年11月26日, 我国政府郑重承诺: 到2020年单位国内生产总值二氧化碳排放量比2005年下降40%~45%。为实现这个目标, 各行业均已把低碳化技术作为自身的重要发展方向。作为传统高能耗、高污染的混凝土工业, 必须满足国家降低碳排放量的要求, 走向“低碳化”, 走可持续发展的道路, 而高性能混凝土技术即是实现混凝土工业低碳化的重要手段。

2 何谓高性能混凝土

2.1 定义及特征

在世界范围内, 对高性能混凝土的定义至今尚未统一。

美国混凝土学会 (American Concrete Institute, 简称 ACI) 1998 年定义^[1]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合、浇筑和养护方法, 未必总能大量地生产出这种混凝土。” ACI 对此定义做了解释: “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 (HPC)。例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, 早期、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。”可见此定义注重混凝土的高工作性、体积稳定性及耐久性。

日本不少学者认为高性能混凝土是高强、超高强与高流态混凝土。特别是自密实免振混凝土在日本

得到很大发展^[2]，这对降低工人劳动强度、减少施工时的环境噪声、保证浇筑质量有特殊意义。

我国自 1980 年前后开始研究高强混凝土，目前应用主要集中在高层建筑和大型桥梁。近十年来对高性能混凝土也开展了大量工作，并于 2006 年颁布了中国工程建设标准化协会标准《高性能混凝土应用技术规程》(CECS 207: 2006)，其中对 HPC 的定义^[3]为：“高性能混凝土是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。”此定义中所提的“三高”，首先是高耐久性的要求。

2.2 与高强混凝土的关系

高强度是混凝土技术百余年来的努力方向。自从 1824 年波特兰水泥问世，1850 年出现钢筋混凝土以来，作为重要的结构材料，强度一直是混凝土的主要性能指标；加之混凝土强度决定于密实性，后者与耐久性密切相关，因此高强度一直认为是优质混凝土的特征。随着强度与孔隙率关系和水灰比定则等的建立，长期以来，强度成为配合比设计以及生产和应用的首要性能指标，甚至是唯一的指标。高强化的发展道路决定着水泥生产，决定着混凝土工艺也向高强度发展。20 世纪 50 年代以前，各国混凝土强度都在 30MPa 以下，30MPa 以上即为高强混凝土；50 年代 34MPa 以上为高强混凝土；60 年代以来提高到 41~52MPa；现在 50~60MPa 高强混凝土开始用于高层建筑与桥梁工程。外国学者预测，21 世纪混凝土平均强度将超过 50~60MPa；100MPa 以上的超高强混凝土将大量用于结构工程，混凝土的高强趋势是很明显的。

高性能混凝土概念的提出不过十多年的历史，其实可看作是高强混凝土 (High Strength Concrete, 简称 HSC) 的延伸和发展。在欧洲等地，HSC 和 HPC 常常并称。在我国，有一段时期也把二者联系在一起，认为高性能混凝土必然是高强混凝土。但 HPC 并不等于 HSC。高强混凝土可从强度等级上直接定义，如 C80、C100 等；高性能混凝土无法仅用强度指标定义，其概念的提出首先是基于耐久性的要求。而高强混凝土在收缩开裂、脆性等问题上很敏感，并不必然保证高耐久性。

与国外相比，我国工程中应用的混凝土强度长期偏低 (C15~C20)，近年来有所提高。据统计，2002 年天津市施工的混凝土强度等级在 C30 以下的占 82%，上海目前也是以 C30 为主体。2004 年，北京地区强度等级超过 C50 的混凝土占 5% 左右，而中国香港特别行政区为 81%。所以从我国具体情况出发，不宜把高强度作为高性能混凝土的首要条件。国内不少单位以中等强度等级的混凝土为对象，进行普通混凝土高性能化的研究^[4,5]，对提高我国基础设施建设质量意义重大。如果现在将高性能混凝土的强度规定在 50~60MPa 以上，则用途很受限制，大大妨碍了 HPC 的推广应用；更重要的是窒息了 HPC 向“绿色高性能混凝土”的发展 (减少水泥用量、节约水泥熟料、多用工业废渣做掺合料等)。

2.3 高性能混凝土与结构耐久性

高性能混凝土现在之所以备受重视，其关键原因有二：一是人们对可持续发展的关心，必须为高能耗和严重污染环境的硅酸盐工业寻找出路，在配置混凝土时尽量少用熟料；二是希望用 HPC 解决钢筋混凝土结构普遍存在的耐久性不足问题。这个层面理解，可将高性能混凝土看作以耐久性和可持续发展为基本要求并适合工业化生产施工的混凝土。

中国重大基础设施建设的投资动辄几十亿、上百亿，而类似三峡大坝、青藏铁路、西气东输、南水北调、京沪高速铁路等超级工程的投资更是以千亿计，这些混凝土工程耐久性的好坏和服役寿命的长短是混凝土工作者倍加关注的重大问题。在吸取发达国家因混凝土结构耐久性不足导致维修和重建费用居高不下的教训后，近年来我国对大型工程也提出了 100 年或更长的设计寿命。要想保证在百年服役期内混凝土结构的耐久性，需从结构、材料等诸多方面提出措施，并付诸实施。在材料领域中，首先需选用的即是高性能混凝土。如正在兴建的杭州湾跨海大桥、已建成的青藏铁路，均采用了 HPC 技术。

3 高性能混凝土研究新进展

3.1 HPC 结构裂缝问题研究

国外早在 20 世纪 80 年代末即已发现,随着水胶比的降低和活性掺合料的加入,高强混凝土早期开裂趋势比过去明显增加。其实低水胶比和活性掺合料也是高性能混凝土的特征,工程中应用的 HPC 也常出现收缩与开裂,困扰业主及工程界。出现这种问题的原因之一是高性能混凝土的早期自收缩。

近年来,国内外对 HPC 自收缩的机理、影响因素和抑制措施进行了大量研究。如由大连理工大学等承担的国家自然科学基金重点项目:“混凝土结构裂缝的形成与发展机理及控制技术研究”,从结构和材料两方面深入研究了影响混凝土早期开裂的因素,提出了评价裂缝风险程度的方法和模型。

另外,为了能在实验室对比不同 HPC 配合比开裂的趋势,不少单位开展了收缩测量装置及设备的研究。清华大学、哈尔滨工业大学等单位还在借鉴国外设备的基础上开发了成套的检测设备,有些已进入中国土木工程学会的标准^[6],为实验室从开裂角度优选混凝土配合比提供了可行的方案。

3.2 大掺量矿物掺合料 HPC

与普通混凝土相比,高性能混凝土的原材料中必须有高效减水剂和矿物质掺合料,如粉煤灰、矿渣粉等。大掺量矿物掺合料可以配制耐久性很好的高性能混凝土。

过去我国一直将矿渣与水泥熟料共同粉磨生产矿渣水泥,再用以配制混凝土,由于二者易磨性不一,矿渣细度不足,影响其功能发挥。欧洲许多国家则是分开磨细水泥熟料和矿渣,然后将二者混合,矿渣占此类混合水泥的比例最高可达 80% 甚至 95%,主要用于修建隧道、船闸和码头挡墙等大体积混凝土,可以有效防止早期温度开裂,抑制碱-骨料反应。如荷兰的东谢尔德海闸,为 52 孔预应力结构,混凝土用量 50 万 m³,设计寿命 250 年,初始 80 年内不需维修,采用的就是大掺量(65%)磨细矿渣水泥,水胶比 0.4。

更符合混凝土技术发展方向、被称为绿色 HPC 技术的是大掺量粉煤灰混凝土,对环境保护和节约资源具有重大意义。我国火电厂燃煤灰渣年排放量已达 1.4 亿 t,应大量利用这种工业副产品配制高性能混凝土。1985 年以来,加拿大矿产能源部技术中心在 Malhotra 主持下,系统研究了大掺量粉煤灰混凝土,选取了北美地区共 20 个产地的粉煤灰,其性能大体相当于我国的 II、III 级灰,混凝土典型配比为:每方水泥用量 150kg、粉煤灰 200kg(粉煤灰占胶凝材料的 57%)、水 120kg,通过高效减水剂将水胶比控制在 0.32~0.33,通过引气控制含气量在 5%~6%,28d 混凝土抗压强度 30~40MPa,90d 40~50MPa,1 年 50~60MPa。

我国近年来也陆续开展了大掺量粉煤灰混凝土的研究。清华大学的研究表明,控制水胶比在 0.36 以下,掺入占胶凝材料总量 50% 的 II 级粉煤灰,混凝土 60d 的强度也能达到 60MPa 以上。1996 年在 204 国道江苏段上曾用 42.5 级普通硅酸盐水泥和掺量为 50% 的当地 III 级粉煤灰,配制成大掺量粉煤灰混凝土铺筑了 150m 长的试验路段,经检测没有表面裂缝,强度设计满足要求,使用效果满意。

3.3 高性能混凝土用化学外加剂

混凝土外加剂的应用是混凝土技术发展的重要革命。在混凝土中掺入一定量的减水剂能显著改善和提高混凝土拌合物性能、力学性能、耐久性能,极大地拓展了混凝土应用范围,高强混凝土、泵送混凝土、自密实混凝土等离开高效减水剂的应用几乎是不可能实现的。

混凝土减水剂的发展大体经历了普通减水剂、高效减水剂、高性能减水剂三个阶段。最先出现的减水剂品种是木质素磺酸盐,1935 年美国的 Master Builder 的 EW. Scaiptrt 以纸浆废液为原料成功的合成木质素磺酸盐减水剂(Pozzolotn),并于 1937 年申请了美国历史上第一个减水剂专利。20 世纪 60 年代以后混凝土减水剂进入了最具历史意义的时期,由于混凝土要求具有更高的强度和更大的流动度,普通减

水剂已不能满足要求,因而高效减水剂应运而生。其中1962年日本花王公司最先成功研制了以工业萘为原料的萘系高效减水剂,命名为麦地高效减水剂,1964年德国成功地研制了以磺化三聚氰氨和甲醛为主要原料的密氨树脂高效减水剂。这两类减水剂减水率达15%以上,远大于普通减水剂(10%左右),并且不引气,适用于配制高强度大流动性混凝土。随着混凝土技术的发展,20世纪末出现了另一类减水剂,它的掺量小(0.2%),减水率高(>30%),混凝土流动性能优异,由于其合成机理和减水机理都不同于已有的减水剂,因此称其为第三代减水剂——高性能减水剂,即聚羧酸高性能减水剂。上述各类减水剂的研究与应用在我国也同样取得显著成果,以中冶集团建筑研究总院为代表的一批国内企业已成功地开发了聚羧酸高性能减水剂,并取得了广泛应用。

与传统的减水剂相比,聚羧酸高性能减水剂有如下特点:

(1) 掺量低、减水率高 按折固计算,聚羧酸高性能减水剂掺量一般为0.2%左右(0.15%~0.2%),是萘系掺量的1/4,在此掺量下,其减水率一般在25%~30%之间,极限掺量0.5%时,可达45%以上,大大超过萘系减水剂的减水率(18%),此特点适用于高强混凝土。

(2) 保塑性好 由于聚羧酸高性能减水剂的分子结构呈梳型,自由度大,因而与萘系减水剂相比,在同样原材料条件下,掺聚羧酸高性能减水剂混凝土拌合物性能和流动保持性能明显要好,且很少存在泌水离析现象。

(3) 收缩率低 掺聚羧酸高性能减水剂混凝土的体积稳定性与萘系等第二代减水剂混凝土相比,有较大的提高。试验研究表明:掺聚羧酸减水剂混凝土28d收缩率比约为102%左右,掺萘系减水剂一般为110%左右。因而大大降低了结构混凝土的开裂机率,提高了混凝土的耐久性。

(4) 总碱含量降低 试验表明,不同减水剂钾、钠含量,羧酸为0.2%~0.5%,而第二代减水剂为5%~15%。大大地降低了外加剂引入混凝土中的碱含量,降低了发生碱骨料反应的可能性,提高了混凝土的耐久性。

(5) 绿色环保 聚羧酸高性能减水剂合成生产过程不使用甲醛和其他任何有毒原材料,生产与长期使用于工程对人体无伤害,对环境不造成污染。而萘系等第二代减水剂是一类对环境污染较大的化工合成材料,并且其污染是结构性的,在生产过程和使用过程中均存在,而且无法克服。因而聚羧酸高性能混凝土减水剂属绿色环保材料。

3.4 高性能混凝土渗透性研究

混凝土结构耐久性与混凝土材料本身的渗透性密切相关,尤其是表层混凝土,是抵御水、CO₂等有害介质侵蚀的第一道防线。混凝土结构自建成起自身存在大量不连通的微裂缝,在环境因素及应力作用下,这些微裂缝不断扩展直至连通,此时混凝土的渗透性决定了水或有害介质进入内部的速度,从而决定了劣化发展的速度。裂缝扩展(由混凝土断裂能控制)加速了水等介质的渗透速度,也加速了劣化进程。交互作用模型如图1所示。

从图1可知,混凝土的劣化与其微观结构和侵蚀性介质的传输有关,混凝土的渗透性取决于其自身的微结构和饱水程度,是决定混凝土性能劣化的关键因素。因此可通过检测混凝土的渗透性来评估其耐久性。

高性能混凝土既然以耐久性为首要指标,必须建立起评价耐久性的指标体系。影响耐久性的因素很多,但以渗透性为最重要的指标。

我国《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GBJ 82—1985)中规定了一些混凝土耐久性试验方法,已沿用20多年,但这些方法建立的基础是过去的水灰比较大的混凝土,对今天的高性能混凝土已不完全合适。如其中规定的渗水法评价渗透性的试验方法标准,对强度等级在C30以下的混凝土是适用的,但对在C30以上等级的混凝土无法应用。目前C35、C40、C60甚至更高等级的混凝土在工程中已屡见不鲜,传统实验室用国家标准的渗水法已无法评价这些混凝土渗透性的优劣^[4]。目前国际上主要用混凝土抗氯离子扩散的能力评价HPC的渗透性。

中国土木工程学会主编的《混凝土结构耐久性设计与施工指南》(CCES 01—2004)中推荐了两种

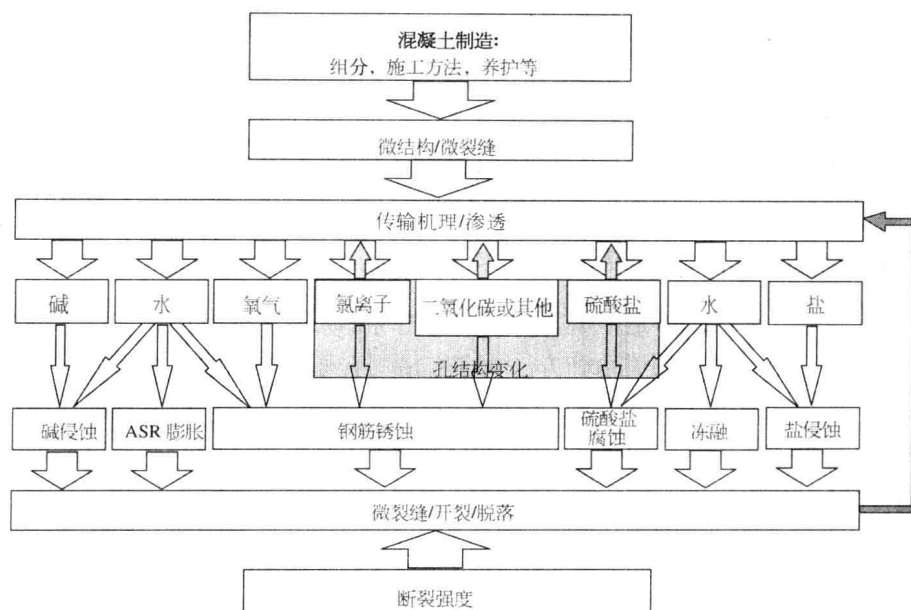


图1 混凝土性能劣化交互作用模型

快速测定混凝土中氯离子扩散系数的试验方法；分别是 RCM 法和 NEL 法。除此之外，国内许多部门在用电量指标评价 HPC 的渗透性，主要依据的方法是美国 ASTM C1202。所以在指南中对不同设计使用年限，规定了混凝土抗渗性有两个值：56d 电量值和 RCM 法测得的氯离子扩散系数（DRCM）。如处于滨海地区浪溅区的桥墩（北方）其环境作用等级为 III-E，若设计使用年限为 50 年，其 56d 电量值需小于 1000C，或者 DRCM 小于 $6 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ （28d 龄期）。目前在铁路、港工等部门也开始使用这些反映混凝土渗透性的指标来表征结构的耐久性和使用年限。

4 高性能混凝土应用中应注意的几个问题

4.1 原材料波动带来的问题

在正常情况下，高性能混凝土实现的难点之一是原材料波动的问题，主要表现在以下几个方面：

(1) 粗骨料的颗粒形状及级配 与普通混凝土相比，高性能混凝土要求粗骨料在一定的粒径范围内，粒形好，级配符合要求，空隙率低（40% 以下），这样配制的混凝土用水量低，拌合物性能好，界面缺陷少。但我国目前大部分石子的生产都采用鄂式破碎机，当破碎强度较高的岩石时，产生的针片状颗粒就多，而且破碎颗粒越小，针片状颗粒就越多。大多数采石场都将 10mm 以下的颗粒分出另作他用，于是所销售的石子实际上并不符合国家标准中的级配要求，且针片状含量超标，空隙率大（一般在 45% ~ 50%）。这种状况的石子对混凝土性能影响很大。解决的方法是改进破碎技术和工艺。

(2) 骨料含泥量的影响 国家标准对砂石含泥量有明确的规定，但实际状况由于成本、加工工艺、采集源地等因素影响，实际很多工程中使用的骨料含泥量均超标。根据某质量监督站在建的多个重点工程的原材料检测结果表明：砂石含泥量超标 50% 以上。由于含泥量超标形成的混凝土内部结构存在着严重的缺陷，降低了混凝土的耐久性能；同时为了保持混凝土的流动性，大大提高了外加剂的掺量，显著地增加了混凝土单方成本。试验表明：骨料含泥量达到 3% ~ 4%，外加剂掺量成倍增加，混凝土每方成本增加十几元。

(3) 胶结材料质量波动的影响 胶结材料质量波动主要表现为化学成分、细度、水泥的石膏相等方面的变化。这类变化带来混凝土相关性能的变化。如水泥越细，需水量越大，早期水化热大，对温控开裂不利。水泥的化学成分和石膏相发生变化带来混凝土拌合物性能变化，如坍落度损失快、泌水、外

加剂不适应等。粉煤灰的烧失量增大,带来外加剂掺量增大,拌合物性能下降。目前我国生产胶结材料的企业多,工艺技术及装备差距较大,因而质量波动影响是客观存在的。

(4) 外加剂性能波动的影响 外加剂性能波动对混凝土的影响主要表现在混凝土拌合物性能方面,如黏聚性不好,坍落度损失快,泌水等。目前国内生产外加剂的企业较多,很多小企业都是作坊式生产,技术水平低,工艺装备落后,质量控制水平相差很大,因而直接影响混凝土质量。

4.2 评价指标体系及试验方法标准

对高性能混凝土而言,传统的普通混凝土质量评价指标体系及试验方法标准已不适用。因目前国内尚未形成统一的方法与标准,评价的体系和方法大多在沿用普通混凝土的体系与方法基础上,增加了部分评价方法与指标,如采用氯离子侵入性的电量或扩散系数等评价混凝土的渗透性。因此建立高性能混凝土的质量评价指标体系及试验方法标准将是高性能混凝土工作重点之一。

4.3 施工质量的现场检测评定

众所周知,在实验室制作的混凝土试件与结构中的混凝土在浇筑、捣实和硬化条件等方面,具有不可避免的区别。所以除了在实验室对混凝土的配制进行控制和检测外,必须在现场对结构混凝土进行检测和验收。国际上开始发展结构混凝土的检测方法,主要是针对混凝土力学性能的检测,目前已有半破损法、非破损法和综合法等多种方法。目前针对高性能混凝土在工程上的应用日益增多,如何在现场检测评价高性能混凝土的施工质量成为一个重要问题。

5 结语及展望

虽然不同国家、不同学者对 HPC 的定义不同,但 HPC 由于具有高耐久性、高工作性和高体积稳定性等许多优良特性,被认为是目前全世界性能最为全面的混凝土,至今已在不少重要工程中被采用,特别是在桥梁、高层建筑、海港建筑等工程中显示出其独特的优越性,在工程安全使用期、经济合理性、环境条件的适应性等方面产生了明显的效益,因此被各国学者所接受,被认为是今后混凝土技术的发展方向。

高性能混凝土不仅具有良好的耐久性,提高结构的使用寿命,减少经济损失,同时高性能混凝土多掺加矿物掺合料,减少了水泥用量,使用了工业废物,对生态环境的保护和可持续发展做出了重大贡献。因此使用以耐久性为主要指标的高性能混凝土能够满足社会发展的需要、节约资源、有利于可持续发展,是实现混凝土工业低碳化的重要技术手段,对我国这样一个人均资源稀缺的国家具有重大的经济效益和社会效益。

展望未来,在高性能混凝土的研究与应用中需重点注意以下问题:

- 1) 高性能混凝土是以高耐久性为根本特征的混凝土,为使其在工程上成功使用,必须加强评价指标体系的建立和试验方法的标准化。
- 2) 研究工业废渣粉磨技术及各种材料之间的超叠加效应,发展大掺量矿物掺合料高性能混凝土具有重要的技术经济价值。
- 3) 施工现场对混凝土实体进行检测评定是保证高性能混凝土工程质量的重要手段。

参 考 文 献

- [1] 冯乃谦. 高性能混凝土结构 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [2] 吴中伟, 廉慧珍. 高性能混凝土 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- [3] 清华大学, 等. CECS 207: 2006 高性能混凝土应用技术规程 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2006.
- [4] 中建三局总承包公司. 普通混凝土高性能化研究与应用 [C]. 第 4 届全国高性能混凝土学术研讨会论文集,