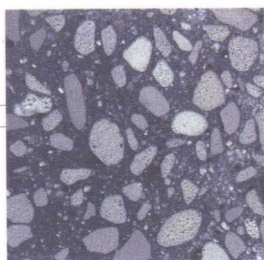


第 五 届



混凝土膨胀剂及其 裂渗控制技术

赵顺增 刘立 主编

全国混凝土膨胀剂 学术交流会论文集

DiwuJie Quanguo Hunningtu Pengzhangji
Xueshu Jiaoliuhui Lunwenji

中国建材工业出版社

混凝土膨胀剂及其 裂渗控制技术

——第五届全国混凝土膨胀剂学术交流会论文集

赵顺增 刘 立 主编

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土膨胀剂及其裂渗控制技术: 第五届全国混凝土膨胀剂学术交流会论文集/赵顺增, 刘立主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2010.10 (2010.10 重印)

ISBN 978-7-80227-844-8

I. ①混… II. ①赵… ②刘… III. ①混凝土-膨胀剂-学术会议-文集②混凝土结构-裂缝渗流-学术会议-文集 IV. ①TU528.042.4-53②TU37-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 182734 号

内 容 简 介

本书汇总了 2006 年至今我国混凝土膨胀剂研究和应用领域的新产品、新技术等优秀论文 80 篇。作者都是多年从事混凝土膨胀剂研究、生产和应用的科技工作者, 他们从新材料、新机理、新工艺、工程应用和节材减排等各个角度展示了近年来膨胀剂和补偿收缩混凝土方面的最新成果。全书内容丰富、资料翔实, 对提高混凝土工程质量、建筑节能和发展低碳建筑体系方面具有一定参考作用。

混凝土膨胀剂及其裂渗控制技术

——第五届全国混凝土膨胀剂学术交流会论文集

赵顺增 刘 立 主编

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: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 28

字 数: 699 千字

版 次: 2010 年 10 月第 1 版

印 次: 2010 年 10 月第 2 次

书 号: ISBN 978-7-80227-844-8

定 价: 60.00 元

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

编辑委员会

顾问：游宝坤

主编：赵顺增 刘 立

副主编：李乃珍 刘加平 王勇威

委员：（以姓氏笔画为序）

丁小富	丁庆军	丁 威	丁 铸	王子明	王少江
王正顺	王志洪	王栋民	王 勇	毛子龙	方瑞良
邓庆洪	邓 敏	田 倩	冯心礼	冯建平	朱卫中
刘松柏	刘 超	刘福全	齐冬有	江云安	安同富
苏坤建	杨长辉	杨全兵	李光明	李家正	吴翠娥
冷发光	宋少民	张巨松	张利俊	张国梁	陈改新
陈 靖	陈 靖	苑立东	朋改非	周爱如	郑孔锡
郝廷宇	姜政尉	祝烨燃	袁 兵	钱晓倩	高延继
黄春江	阎培渝	董同刚	蒋玉川	韩立林	程占莲
鲁统卫	谢永江	路来军	蔡九德	管学茂	潘先文
燕琳珠					

前 言

从 1994 年首届全国混凝土膨胀剂学术交流会在山东泰安召开以来，每隔四年召开一次的全国混凝土膨胀剂学术交流会，汇总了当时我国混凝土膨胀剂研究和应用的最新成果，为推动膨胀剂行业的发展起到了巨大作用。

今年在上海召开的是第五届全国混凝土膨胀剂学术交流会。

2006 年至今，混凝土膨胀剂应用技术又有许多新发展，不仅涌现出一批新的基础研究和应用技术成果，更重要的是 2009 年颁布实施了两部新标准——JGJ/T 178—2009《补偿收缩混凝土应用技术规程》和 GB 23439—2009《混凝土膨胀剂》，对行业未来的发展将产生重大影响。JGJ/T 178—2009《补偿收缩混凝土应用技术规程》是行业期盼多年的一部应用技术标准，也是世界上首部补偿收缩混凝土应用技术标准，它总结了过去二十多年我国混凝土膨胀剂和补偿收缩混凝土的应用成果，展现和规范了“结构自防水”、“超长结构无缝设计施工”、“大体积混凝土抗裂”等补偿收缩混凝土三大应用技术成果；GB 23439—2009《混凝土膨胀剂》进一步提高了混凝土膨胀剂的技术指标。这两部标准的实施，为膨胀剂和补偿收缩混凝土今后健康发展奠定了坚实的基础。

本届论文集汇总了 2006 年至今在《膨胀剂与膨胀混凝土》期刊发表的优秀论文和投稿。本届大会的论文共计 80 篇，论文作者都是多年从事混凝土膨胀剂研究、生产和应用的科技工作者。这些文章从新材料、新机理、新工艺、工程应用和节材减排等各个角度展示了近年来膨胀剂和补偿收缩混凝土方面的最新动态。在此对作者们的辛勤工作表示真诚的感谢！另外也对大力支持和赞助本次大会的企业表示衷心的感谢！

本次大会期间，还将成立中国混凝土与水泥制品协会膨胀混凝土分会。成立协会，将进一步凝聚行业的力量，整合行业资源，规范行业发展。相信在协会这个新的平台上，膨胀剂和补偿收缩混凝土行业将会得到更大的发展。

今年也是我国混凝土科学一代宗师，中国工程院资深院士吴中伟先生逝世十周年。是吴总亲自指导和开创了我国的膨胀混凝土事业。吴总生前对膨胀剂行业倾注了巨大的心血，莅临了第一、第二届全国混凝土膨胀剂学术交流会，并发表了重要意见。如“补偿收缩混凝土的新动向”、“重视质量 积极创新”。吴总生前重要活动很多，但是凡与膨胀剂和补偿收缩混凝土有关的活动，他总是推掉其他活动，亲自出面指导，并积极提携后辈。膨胀剂和补偿收缩混凝土事业能够发展到今天的规模，与吴总生前的教导和支持是分不开的，我们要牢记吴总“爱祖国，惜寸阴”的教诲，继承吴总未竟的事业，传承他的学术思想，积极、健康、有序地发展膨胀剂事业，这才是对他老人家最好的缅怀。

我们坚信，随着国民经济发展，基础建设规模持续增加，膨胀剂和补偿收缩混凝土在提高混凝土工程质量、建筑节能和发展低碳建筑体系方面将发挥重大作用。

由于时间紧迫，本论文集在编辑整理过程中难免有错漏，恳请各位专家指正。

中国硅酸盐学会膨胀与自应力

混凝土专业委员会主任委员

赵顺增

2010年8月

目 录

专 论 及 综 述

品德高尚 学术超前——纪念吴中伟院士逝世十周年	游宝坤 (3)
混凝土膨胀剂行业的现状和发展方向	赵顺增 游宝坤等 (6)
一分为二看膨胀剂的使用	阎培渝 (11)
氧化镁膨胀剂的研究现状	莫立武 邓 敏 (14)
外掺氧化镁混凝土性能研究综述	李家正 陈 霞等 (24)
膨胀剂应用的可开发处女地	游宝坤 (31)
高性能膨胀混凝土——节能减排的好技术	赵顺增 (35)
我国刚性防水技术的发展	游宝坤 赵顺增等 (38)
关于地下工程的综合防水技术	齐冬有 韩立林等 (44)
混凝土结构防裂应用技术对比分析	丁 鹏 王谷丰 (50)

基础理论与材料性能研究

膨胀水泥浆体收缩——膨胀平衡点湿度的研究	赵顺增 郑万康等 (59)
采用温度应力试验机研究补偿收缩混凝土的开裂敏感性	郭 飞 刘加平等 (65)
HCSA 膨胀剂在高掺量粉煤灰混凝土中作用效果的试验研究	李 飞 覃维祖 (71)
膨胀混凝土干燥收缩落差的研究	赵顺增 刘 立等 (76)
膨胀剂在复合胶凝体系中的膨胀效能评估	冯竟竟 苗 苗等 (84)
广义的补偿收缩混凝土及补偿效率	李乃珍 谢敬坦 (92)
轻集料对补偿收缩混凝土限制膨胀率的增益作用	赵顺增 刘 立 (100)
抑制水化热型混凝土膨胀剂 HCSA-R 的性能	赵顺增 刘 立 (105)
温控型混凝土膨胀剂研究	李乃珍 谢敬坦等 (109)
高性能混凝土膨胀剂可控性生产试验研究	吕明军 臧同昌等 (114)
SN 型膨胀剂对水泥性能的影响	刘 超 (118)
SN 型膨胀剂对混凝土性能的影响	刘 超 李 峥 (124)
WG-CMA 的抗裂防水性能及其耐久性研究	刘 航 罗建成等 (129)
S-AC 新型混凝土膨胀剂的性能研究	吴翠娥 阮海涛等 (134)
高钙膨胀剂的研究与应用	董同刚 黄春江等 (141)
全补偿型混凝土膨胀剂及其对高强混凝土干缩的补偿	李乃珍 谢敬坦等 (148)
补偿收缩混凝土的抗氯离子侵入性研究	张利俊 蒋玉川等 (154)

补偿收缩混凝土高温性能试验研究	蒋玉川 张利俊等 (161)
补偿收缩混凝土平板构件的应力-应变研究	赵顺增 刘立 (167)
干空养护补偿收缩混凝土的性能研究	张巨松 彭丙杰等 (173)
盐溶液浸蚀对掺石粉补偿收缩混凝土强度的影响	方瑞良 姚彬等 (181)
石粉替代水泥和盐溶液浸蚀对砂浆强度的影响	姚彬 周廷容等 (187)
硬石膏制硫酸联产水泥新工艺	潘先文 李光明 (193)
硬石膏制硫酸联产水泥及其混凝土性能试验	姚彬 周廷容等 (198)
MgO 膨胀剂的晶格特性与膨胀性能的研究	杜兆金 刘加平等 (201)
MgO 水化动力学及温度敏感性分析	王育江 田倩等 (207)
轻烧 MgO 膨胀剂的制备与性能研究	张守治 刘加平等 (213)
制备工艺参数对轻烧氧化镁膨胀剂性能的影响	张守治 刘加平等 (219)
掺 MgO 膨胀剂水泥浆体变形特性的研究	闫战彪 刘加平等 (224)
外掺 MgO 混凝土的膨胀及其在约束条件下的强度	李延波 邓敏等 (229)
碾压混凝土外掺 MgO 安定性试验研究	刘立 赵顺增等 (234)
80℃加速养护评定外掺 MgO 膨胀剂混凝土的安定性	邓敏 莫立武等 (241)

混凝土膨胀剂在工程中的应用

补偿收缩混凝土为奥运工程再立新功	游宝坤 赵顺增等 (249)
混凝土膨胀剂在世博工程中的应用	刘秀红 (255)
SY-G 型膨胀剂在广州亚运城综合项目中的应用	林鹏 (259)
南水北调中线惠南庄泵站工程膨胀混凝土性能研究	王少江 夏新平 (264)
滨州银座商厦超长钢筋混凝土结构设计	毛子龙 谭凤国等 (269)
补偿收缩混凝土的计算问题思考	史美生 史如平 (275)
HCSA 在中国剧院艺术广场地下车库的应用	王锋安 岳泽等 (277)
高流态混凝土在国家体育场的研究与应用	胡紫日 皮全杰等 (284)
国家体育场工程结构混凝土耐久性研究	安同富 刘建江等 (289)
补偿收缩混凝土在上海东方体育中心工程中的应用	朱王怡 (297)
补偿收缩混凝土技术在超长屋面结构施工中的应用	王红兵 蒲德强等 (302)
石家庄文化广场无缝施工技术	金治锋 冯建东等 (307)
HCSA 膨胀剂在赤峰云铜 10 万 t 铜电解工程中的应用	王谷丰 丁鹏等 (311)
超长混凝土结构基础无缝施工技术实例	张婵 张国梁等 (316)
超长基础底板混凝土裂缝控制技术	于圣付 (321)
补偿收缩混凝土在杭州城市芯宇大体积混凝土中的应用	高鹰飞 蔡九德等 (326)
大体积超长混凝土结构冬期无缝施工技术	鲁统卫 张士良等 (330)
商品混凝土与无缝施工	金治锋 兰森等 (337)
现浇混凝土产水构筑物裂缝成因及预防措施浅析	翟文生 (340)
直径 50m 污水二沉池混凝土无缝施工	王勇威 肖斐等 (344)
HCSA 膨胀剂在沈阳长岛仙女湖大型地下工程中的应用	康春生 黄有申等 (348)

高效膨胀剂在福雅花园地下人防工程的应用	李文慧	李 娜等	(352)
补偿收缩混凝土在绿色建材试验楼的应用总结	赵顺增	田学超等	(356)
HCSA 混凝土膨胀剂在滨州地区的应用	谭凤国	毛子龙等	(360)
NC-P 低碱膨胀剂的性能研究与工程应用	肖 斐	王勇威等	(366)
UEA-D 在聊城市新东方国际商住楼工程中的应用	游宝坤	阮兴群等	(372)
补偿收缩混凝土在昌乐中医院综合楼等工程的应用	吕明军	王孝胜等	(376)
综合抗裂技术在上海日月光中心的应用	周海波	章 瑄等	(381)
高抛自密实钢管混凝土的配制与工程应用	马雪英	杨 欣等	(386)
C50 钢管微膨胀混凝土在沈阳地铁保工街车站中的应用	张海洋	吴桂华等	(392)
补偿收缩混凝土在云南铜业股份有限公司部分工程中的应用	丁 鹏	王谷丰	(398)
HCSA 膨胀剂在西安一钢管混凝土拱桥工程中的应用	南 峰	伍勇华等	(405)
无收缩高强灌浆料施工工艺探讨	郑国华	刘绪光	(409)
减水剂渣在水泥中的应用研究	蔡九德	马国栋等	(414)
聚丙烯网状纤维混凝土的研究与应用	张 婵	杨华龙等	(419)
南昌市青山湖隧道防水设计介绍	欧阳锦	陈 屹	(423)

标准与检验方法

《补偿收缩混凝土应用技术规程》颁布实施	游宝坤	赵顺增	(431)
《补偿收缩混凝土应用技术规程》的意义	刘绪光	游宝坤	(433)

专 论 及 综 述

品德高尚 学术超前

——纪念吴中伟院士逝世十周年

游宝坤

今年2月，吴中伟先生的夫人张凤棣女士送给我们一扇画作，并书写“今年是吴中伟院士驾鹤西去十周年。十年来，中伟的行为举止和音容笑貌，无时无刻都在与我相伴，令我魂萦梦绕，难以释怀。在中伟远行十年之际，我将他生前诗句的意境画成扇面，现予相赠。恕画技粗糙，谨表怀念之情。”我们十分感谢她老人家的赠物，更为她对吴先生的深厚怀念而感动。中国工程院资深院士、我国水泥混凝土科学一代宗师吴中伟先生离开我们已经十年了，作为他的学生，我们写这篇纪念他的文章，以表达我们对他深深的怀念和崇高敬意！



爱祖国 惜寸阴

吴中伟

吴中伟仙逝后，他的夫人张凤棣整理出版了《吴中伟院士诗选》《寸阴集》《寸思集》。我们获取赠书，深感荣幸。由此我们了解到，吴中伟先生不但是个科学家，也是一位文学修养很高的诗人。他从1997年先后写了500余首诗词，内容丰富，涉猎面宽广，通过他的诗词、咏景，颂扬祖国美好的水光山色民风；感时，忧国忧民，针砭时弊，与祖国的前途和民族的命运紧紧相连；抒怀，抒发纯真的乡情、亲情和友情。他给人以热爱生活、热爱祖国、珍惜光阴的强烈感染，对后人教益颇深。



曹永康、游宝坤在吴中伟院士铜像前留念

概念,对普通混凝土高性能化具有深远意义,高性能混凝土已在我国广泛推广,由此大量利用工业废渣,节省大量水泥,减少 CO_2 排放,这对我国节能减排,改善生态环境和提高混凝土质量已产生巨大的社会效益和经济效益,吴先生功德无量,他不愧被誉为我国水泥混凝土科学一代宗师!

吴中伟先生另一突出贡献是他为我国开创和指导膨胀混凝土的研究与应用。在 20 世纪 50 年代末,他指导以曹永康为首的课题组研究硅酸盐自应力水泥及其自应力混凝土管道的生产和应用。后来逐步形成自应力管道生产行业,产生巨大的经济效益和社会效益。

吴中伟先生在 1979 年撰写的《补偿收缩混凝土》专著出版。在我国首次提出补偿收缩混凝土理论,他认为膨胀混凝土的发明与应用是科技界变害为利的一个范例,在限制条件下,混凝土适度膨胀可提高结构的抗裂性和抗渗性,获得更大的技术经济效益。

1985 年,我院分别研制成功 UEA、AEA、CEA 混凝土膨胀剂。吴中伟先生十分支持,指导我们开展掺膨胀剂的补偿收缩混凝土的研究与应用。为此,在曹永康和王文义所长的支持下,1988 年我院与 35 个膨胀剂厂家和兄弟科研所成立了科龙抗裂防渗技术中心,当时,吴中伟先生已辞去许多社会职务,他却甘当该中心的技术顾问,并出席中心的成立大会,发表了热情洋溢的讲话,给我们极大的鼓舞和支持。

1991~1996 年,我们分别在大连、北京和南京召开三届科龙中心技术交流会,吴先生都在百忙中出席会议,给我们作学术报告,提高我们对补偿收缩混凝土理论的认识,他提出把该混凝土应用于地下、水工等抗裂防渗工程中,比较容易推广,可取得显著的经济效益。尽管他年事已高,与我们一起深入工地,指导如何用好膨胀剂,他要求我们不断总结经验教训,提高补偿收缩混凝土的应用技术水平,把科研成果转变为生产力。

1994 年,首届混凝土膨胀剂学术交流会在山东泰安召开,参会单位 68 个共 108 人,吴中伟先生在会上发表了“补偿收缩混凝土的新动向”报告,他在肯定成绩基础上,提出应加强膨胀剂的应用研究并不断提高膨胀剂工艺和性能的研究。

1988 年,第二届全国混凝土膨胀剂学术交流会在南昌召开,参会单位 82 个共 168 人。当时,他的身体健康欠佳,但是,他在夫人陪同下欣然出席会议,发表了“重视质量,积极创新”报告,他对膨胀剂年销量已超过 50 万 t 十分高兴,给予高度评价。同时,他严肃指出“有些设计、科研与高校的专家学者反映,补偿收缩混凝土工程裂漏事故有随膨胀剂用量激增而增多之势,值得深思和警惕,应总结经验教训,把我国补偿收缩混凝土的研究和应用

由我院主办,广东惠州纵横红墙化学建材公司出资铸造的吴中伟院士铜像于 2007 年 10 月 20 日隆重揭幕。吴中伟先生的夫人张凤棣邀请了 20 名专家参加,我与曹永康教授等荣幸被邀,赴惠州参加纪念吴先生的仪式,并在吴先生思忆座谈会上发言。

吴中伟先生的科研成就很多,20 世纪 60 年代,他提出“混凝土中心质学说”为水泥基复合材料研究奠定了理论基础。20 世纪 90 年代初,他提出“绿色混凝土”新

重视质量 积极创新 中国混凝土膨胀剂 吴中伟 (1928-2000) 享年 72 岁

膨胀剂在我国已用了 20 年 (1978-1998)。膨胀剂生产已近 25 年，估计 20 年来膨胀剂用量已达 3500 万吨，对混凝土膨胀剂的发展起到了重要作用，数量之大也居各国之冠。这个科研成果是：全国各方面共同努力的结果，尤其感谢吴中伟先生的带头作用。

20 年来我在会议和文章中反复强调膨胀剂必须从原材料到施工，坚持质量第一，不少研究生产单位也衷心感谢服务设计施工人员和一起把质量关。这一传统应该坚持下去。但从 97 年起，有些设计科研单位和学者反映，膨胀剂质量参差不齐，质量问题增多，值得深思和警惕。

四、混凝土膨胀剂要勇于创新。膨胀剂在数量上已充足，但膨胀剂的质量水平并不先进，创新更少。要在国内进一步发展和打入国际，必须勇于创新，走在前面。

到 2010 年我国基础设施建设和住宅建设需要大量优质膨胀剂，HPC 将大量应用。将膨胀剂掺入 HPC 是必然趋势，只有重视质量，不断创新，才能加速这一发展进程，否则自毁前程，触目惊心！

吴中伟先生遗稿

提高到一个新水平。”他给我们的留言是“将膨胀剂掺入 HPC 是必然趋势，只有重视质量，积极创新，才能加速这一发展进程，否则，自毁前程，殷鉴不少！”吴中伟先生给我们指明方向，又敲起警钟，值得我们永远铭记。这是他老人家向膨胀剂行业同仁的最后一次讲话。不幸的是，他老人家在 2000 年初因病逝世，我们失去了可敬的导师！

吴中伟先生逝世十年了，我国混凝土膨胀剂生产和应用取得了巨大成就，年销量已达百万吨，并成功应用于北京奥运会、首都国际机场航站楼、天津、南京、沈阳地铁和众多高层建筑地下工程等。但是，有些厂家不重视膨胀剂质量，甚至生产伪劣产品，严重影响膨胀剂的声誉。近年，行业多为外界诟病，印证先生生前的警告，我们必须反思，否则，我们对不起先生的教诲和重托！我们相信，为了膨胀剂行业的生存和发展，众多有识之士在吴中伟先生英灵感召下，提高社会责任心，把膨胀剂质量抓上去，不断提高其应用技术水平，我们的膨胀剂事业将会迎来新的春天！

混凝土膨胀剂行业的现状和发展方向

赵顺增 游宝坤 刘 立

(中国建筑材料科学研究总院绿色建材国家重点实验室, 北京 100024)

【摘 要】 本文综合分析了我我国混凝土膨胀剂行业的现状, 认为以 CaO 为主要膨胀源的膨胀剂应该是今后膨胀剂的发展方向。这类膨胀剂对养护水的依赖程度低, 能够节约大量高品质铝矾土和石膏资源, 而且其膨胀相 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 在完成膨胀作用之后, 可以进一步与高性能混凝土中掺合料所含的活性 SiO_2 反应, 生成 C-S-H 凝胶, 对补充大掺量掺合料混凝土的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 提高其抗碳化性能具有重要作用。

【关键词】 混凝土 膨胀剂 现状 发展 方向

膨胀水泥、膨胀剂和膨胀混凝土历经国内外众多学者半个多世纪的潜心研究, 已经成为水泥基材料科学的一个重要分支, 仅我国长期或短暂从事过该领域的研究者就不下千人。对膨胀混凝土研究和应用比较多的国家是苏联、美国、中国和日本。其中美国和日本以小膨胀的补偿收缩混凝土为主, 苏联则以大膨胀的自应力混凝土为主, 美国和苏联用膨胀水泥制造膨胀混凝土, 日本则在普通混凝土中掺膨胀剂制造膨胀混凝土。由于基础建设规模减少, 且在美国, 由于产业结构调整等因素, 已经没有小规模的特种水泥生产企业, 现在美国和俄罗斯膨胀水泥的用量都不大, 日本膨胀剂的价格约为 120 日元/kg, 价格昂贵, 故只用于高品质的水泥制品、干混砂浆和部分抗裂要求很高的建筑结构。

中国在 20 世纪 90 年代以前主要用膨胀水泥制造大膨胀的自应力混凝土, 用于自应力水泥压力管; 90 年代之后则主要用膨胀剂制造补偿收缩混凝土, 用于钢筋混凝土结构抗裂防渗。由于我国小水泥厂众多, 劳动力成本低, 加之采取了与日本不同的膨胀剂生产技术路线, 因此膨胀剂的价格很低, 推广迅速, 目前年销售量约 100 万 t, 使用量大面广, 大多应用良好, 但也不乏失败的案例, 在业界引起一些争议, 亦有学者对此进行了分析讨论。笔者认为其缘由是多方面的, 需要认真加以总结分析, 特别要从膨胀剂行业找问题, 只有解决好这些问题, 膨胀剂与膨胀混凝土行业才能健康发展。

1 行业状况

我国膨胀剂行业虽然经过二十多年的发展, 但尚未摆脱产品技术水平较低、市场比较混乱的状况。国内现有膨胀剂生产企业近百家, 膨胀剂年销售量约 100 万 t。其中年销售量上万吨的企业约有 20 家, 其销售量约占总量的 60%, 这些企业大多生产检验程序完善, 能够按照标准生产。但是, 也有一些企业不按标准生产, 甚至搞假冒伪劣的东西, 低价扰乱市场, 个别企业的产品售价仅 300~400 元/t, 尚不够生产合格产品的原材料成本。大部分客户对膨胀剂不了解, 图便宜, 不知道产品差价背后可能意味着巨大的质量差距, 规范的企业

还能够按照标准组织生产, 起码有一定的质量保证。但是这几年市场竞争太激烈, 加上膨胀剂目前还没有立竿见影的检验方法, 一些不法者“两张铁锹”闹革命, 在城市周边租个场地, 弄些粉煤灰、矾砂等冒充膨胀剂, 甚或勾结混凝土生产商直接倒卖进货单据, 共同图利, 蒙骗业主, 这些行为严重败坏了行业的声誉。也有一些混凝土生产企业, 一味贪图便宜, 厂家做得再垃圾, 只要售价低, 一样卖得好。可以说, 低价低品质膨胀剂将使行业走向覆灭的不归之路。

值得欣慰的是, 行业中也有一些企业, 坚持质量第一的原则。尽管经营困难, 但是不降低品质, 努力做品牌、做行业。这些企业是膨胀剂行业的中流砥柱, 要为他们鼓掌、喝彩! 我们相信行业内浮躁的不法商业行为, 会随着市场的成熟和行业的规范而逐步消失, 膨胀剂和膨胀混凝土行业也将进一步焕发新貌!

2 技术现状

目前我国生产的膨胀剂, 其膨胀源大都是水化硫铝酸钙(钙矾石)。从水化机理来看, 在水泥石中, 由各种 CaO 、 Al_2O_3 、 SO_3 来源所形成的钙矾石都可能引起膨胀。我国大多数的膨胀剂采取的是固定 CaO 、 SO_3 来源, 变换 Al_2O_3 来源的技术路线, 即 CaO 由硅酸盐水泥水化提供, SO_3 由硬石膏提供, 通过改变 Al_2O_3 来源, 如铝酸钙(高铝水泥熟料)、硫铝酸钙(硫铝水泥熟料)、明矾石、含铝矿渣、煅烧矾土、高铝煤矸石、高铝粉煤灰、煅烧高岭土、地开石等, 各生产厂据此制定不同的生产配方, 形成不同的膨胀剂。所以我国的膨胀剂一般是用硬石膏和含可溶 Al_2O_3 的矿物配制而成, 且很多企业基于成本考虑, 大多采用价格较低的含 Al_2O_3 矿物原料, 因此膨胀剂的膨胀能较小。薛君环认为, 钙矾石是通过液相溶解扩散析晶过程形成; 游宝坤认为, 在硅酸盐水泥体系中, 生成的钙矾石以凝胶状为主, 其吸水肿胀为膨胀驱动力。所以这类膨胀剂的膨胀取决于以下三个条件:

(1) 硬化水泥浆体中水分的保证

笔者认为, 理论上水泥浆体中的拌合水完全能够满足膨胀剂水化生成钙矾石的需要, 但是, 由于钙矾石需要在液相中通过溶解扩散析晶形成, 所以在钙矾石形成过程中, 需要外界提供充足的水分, 除用于钙矾石的结合水外, 更主要是提供水化反应环境, 降低溶液浓度, 促进反应, 这也是钙矾石类膨胀水泥(剂)特别强调早期水养护的原因。

(2) 提供 Al_2O_3 的矿物在饱和 CaO 溶液中的溶解度

除反应条件外, 钙矾石的生成速度和生成量还取决于矿物的溶解度, 由于膨胀剂大多含有 50% 左右的硬石膏, 且其来源比较单一, 溶解度也大致相同, 因此膨胀性能主要取决于含 Al_2O_3 矿物的活性和溶解度, 一般溶解度大, 膨胀也大。不同含 Al_2O_3 矿物的活性和溶解度相差很大, 游宝坤曾经对不同情况的明矾石溶解度进行过研究, 认为不同产地的明矾石, 由于成矿原理不同, 其溶解度有较大差别, 即使相同产地的明矾石, 经过 700℃ 热处理后, 其溶解度大幅度提高。相同矿物尚且如此, 不同矿物之间的差别可想而知。所以, 目前我国钙矾石类膨胀剂的性能差异主要是受含 Al_2O_3 矿物影响, 使用煅烧的 Al_2O_3 含量较多的熟料, 其膨胀要大得多。

(3) 钙矾石的生成时机

钙矾石的生成时机, 即生成速度也决定膨胀的大小, 在水泥混凝土塑性阶段生成的钙矾

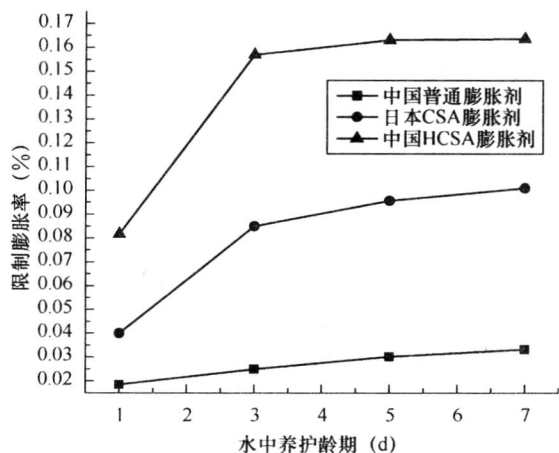


图1 不同膨胀剂的限制膨胀率比较

石不会产生有效膨胀，当混凝土强度很高的时候生成钙矾石会导致延迟膨胀，损害混凝土结构，赵顺增在研究补偿收缩混凝土有效膨胀时，认为混凝土强度5~20MPa是膨胀的最佳发展期，并将其定义为“有效膨胀窗口”。我国的普通膨胀剂膨胀速度较慢，即使理论计算其钙矾石的数量足够产生需要的膨胀，但是因为错过了有效膨胀窗口，所以限制膨胀率较小。

图1是三种膨胀剂的限制膨胀率，按照行业标准《混凝土膨胀剂》JC 476—2001标准规定的方法检验，统一内掺10%。可以看出，日本生产的CSA膨胀剂，采用煅

烧的纯熟料粉磨制成，主要矿物是 $C_4A_3\bar{S}$ 、 $CaSO_4$ 和 $f-CaO$ ，其膨胀能远大于我国的普通膨胀剂的膨胀性能。笔者在对 $C_4A_3\bar{S}-CaSO_4-f-CaO$ 体系膨胀剂进行研究的过程中发现，这种膨胀剂的膨胀分为两部分：一部分是游离氧化钙通过固相反应水化生成氢氧化钙产生体积膨胀；同时另一部分无水硫铝酸钙、石膏和氢氧化钙则通过溶解扩散析晶反应水化生成钙矾石，故该膨胀剂实为双膨胀源膨胀剂。HCSA是赵顺增等研制的新型混凝土膨胀剂，也是氢氧化钙和钙矾石双膨胀源膨胀剂，通过控制膨胀相生成数量和两个膨胀源的膨胀速度，获得比CSA更好的膨胀效果，是一种性能优越的新型混凝土膨胀剂。

3 技术标准

涉及膨胀剂和补偿收缩混凝土技术的两项核心标准已经颁布实施：一是新的产品国家标准GB 23439—2009《混凝土膨胀剂》；二是城乡与住房建设部行业标准JGJ/T 178—2009《补偿收缩混凝土应用技术规程》。这两项标准都是新制定的，其中GB 23439—2009《混凝土膨胀剂》标准实施后，原建材行业标准JC 476—2001《混凝土膨胀剂》即行废止。

根据国家新标准，膨胀剂检验掺量统一为10%，按限制膨胀率的大小，将其分为两种类型：I型的限制膨胀率为0.025%，是目前市场用量最广的普通膨胀剂；II型限制膨胀率为0.050%，是高品质膨胀剂，基本达到日本JIS A6202《混凝土膨胀剂》标准的技术要求。新标准既鼓励高膨胀能膨胀剂的发展，又顾及到低端产品，允许用工业废渣制造膨胀剂，体现了节能减排的主导思想，并增加了快速检验膨胀性能的参考试验方法，是一部先进实用的标准。

新制定的JGJ/T 128—2009《补偿收缩混凝土应用技术规程》，从结构设计、原材料、混凝土设计和制造以及施工等方面对补偿收缩混凝土应用技术进行了详细的规定，弥补了GB 50119—2003《混凝土外加剂应用技术规范》第8章涉及膨胀剂使用部分的不足，新增了无缝设计和结构自防水等新内容，具有更强的实用性和可操作性，是指导补偿收缩混凝土应用的重要技术文件。

另外，还有一些标准规定了需要使用膨胀剂和膨胀混凝土，如JC 861—2008《混凝土砌块(砖)砌体用灌孔混凝土》、GB/T 50448—2008《水泥基灌浆材料应用技术规范》、JC/T