

第四届全国混凝土膨胀剂学术交流论文集

游宝坤 赵顺增/主编

混凝土膨胀剂 及其应用

——混凝土裂渗控制新技术

HUNNINGTU
LIESHEN KONGZHI
XIN JISHU

中国建材工业出版社

第四届全国混凝土膨胀剂学术交流会论文集

混凝土膨胀剂及其应用 ——混凝土裂渗控制新技术

游宝坤 赵顺增 主编

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

混凝土膨胀剂及其应用:混凝土裂渗控制新技术/游
宝坤,赵顺增主编. —北京:中国建材工业出版社,
2006. 11

ISBN 7-80227-161-4

I. 混... II. ①游...②赵... III. ①混凝土-膨胀
剂-文集②混凝土结构-裂缝渗流-控制-文集

IV. ①TU528.554.24-53②TU37-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 128662 号

混凝土膨胀剂及其应用
——混凝土裂渗控制新技术
游宝坤 赵顺增 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: 43.25

字 数: 1072 千字

版 次: 2006 年 11 月第 1 版

印 次: 2006 年 11 月第 1 次

定 价: 78.00 元

网上书店: www.ecool100.com

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 委 会

主 编：游宝坤 赵顺增

副主编：李乃珍 陈旭峰 鲁统卫 刘加平

编委会委员（按姓氏笔划为序）

丁小富	方瑞良	王栋民	王 勇	江云安	王志洪	王军民
叶 明	卢安琪	李光明	李应权	朱卫中	柯穗城	史如平
刘 立	刘松柏	吴万春	陈富银	陈智丰	仲晓林	吴菊珍
何 丹	周爱如	齐冬有	纪创新	刘绪光	刘福全	高振华
苏慕珍	苏坤建	许明志	董同刚	董兰女	邵中军	陈鹏声
陈 靖	姚 彬	杨思忠	苑立东	屈志中	侯维红	黄善良
张利俊	闫培渝	欧阳东	张志强	凌良敏	袁 兵	雷秀英
潘先文	席耀忠	嵇 琳	韩立林	蔡文尧	颜亨吉	

前 言

中国硅酸盐学会混凝土与水泥制品分会膨胀与自应力混凝土专业委员会和中国土木工程学会混凝土及预应力混凝土分会混凝土外加剂专业委员会，联合于2006年11月在深圳召开第四届全国混凝土膨胀剂学术交流会。本届会议共收到论文135篇，涉及内容广泛，论文作者都是多年从事混凝土膨胀剂研制、生产和应用的科技工作者和工程技术人员，为本届会议提供了有较高学术水平和应用价值的论文，部分论文选自已发表的优秀论文。在此，我们向所有论文作者表示衷心感谢。

混凝土膨胀剂是改善混凝土抗裂防渗性能，提高工程耐久性的外加剂。自2002年以来，经过四年的努力，我国膨胀剂品种有所增加，以回转窑生产的膨胀熟料，用于生产低掺低碱的高性能膨胀剂的比例不断增加，质量有较大提高。但是，假冒伪劣膨胀剂仍存在，影响了膨胀剂的声誉，应引起各方重视和共同抵制。

混凝土膨胀剂应用技术研究也取得了长足进步，不断完善了补偿收缩混凝土结构自防水、无缝设计施工和大体积混凝土裂渗控制三大应用技术。开发了膨胀剂在高性能混凝土、钢管混凝土、纤维混凝土、大面积预应力楼板、水电、港工和核工业设施等领域的应用技术。在此基础上，建设部标准定额司审定和颁布《补偿收缩混凝土设计和施工应用技术导则》，这是广大科技工作者多年研究和工程实践的成果。该导则对指导我国补偿收缩混凝土正确应用具有重大意义！

20余年来，我国混凝土膨胀剂从无到有，从小到大，据不完全统计，2005年全国膨胀剂销量约100万吨，占混凝土外加剂总量的40%左右，这体现了膨胀剂在混凝土外加剂中占有重要地位。

另外，《混凝土膨胀剂》标准将提升为国家标准，修订工作正在进行中，这对进一步提高我国混凝土膨胀剂质量和监管力度，具有现实意义，各膨胀剂生产企业应为此作出努力。

北京奥运会申办成功后，混凝土膨胀剂已成功应用于奥林匹克国家体育场、水立方游泳馆、奥林匹克国际会议中心、首都国际机场第三航站楼、北京地铁等重大工程。膨胀剂的应用遍布全国许多重大工程，这是行业的骄傲！但是，应该清醒地看到，行业内存在的问题也不少，我们希望混凝土膨胀剂的科技工作者，研制质量更好的产品，企业生产过硬的产品和提供良好的技术服务，尤其应进一步提高应用技术水平，为我国的建设作出更大贡献。

本届学术交流会和论文集出版，得到中国建筑材料科学研究总院水泥与新型建材研究所、北京中岩特种工程材料公司、深圳市陆基建材技术有限公司、天津豹鸣股份有限公司、重庆江北特种建材有限公司、浙江省合力新型建材有限公司、江苏博特新材料有限公司、武汉三源特种建材公司、石家庄功能建材公司等科研单位和企业的赞助，特此表示感谢。

本论文集错漏在所难免，恳请各位专家指正。

中国硅酸盐学会混凝土与水泥制品分会 膨胀与自应力混凝土专业委员会
中国土木工程学会混凝土及预应力混凝土分会 混凝土外加剂专业委员会

二〇〇六年十一月

目 录

专 论

谨慎应用 不断提高	吴中伟(1)
我国混凝土膨胀剂发展的回顾和展望	游宝坤(4)
浅论无机膨胀剂	苏慕珍 杨思忠 王军民(10)
多学科结合,实现裂缝控制	李乃珍 游宝坤 赵顺增(16)
论膨胀剂的不可替代性	王栋民(22)
关于混凝土抗裂材料的选择	游宝坤 韩立林 李应权(27)
科学使用膨胀剂需要注意的问题	阎培渝(33)
关于膨胀混凝土若干问题的讨论	席耀忠(37)
关于地下室防水设计的讨论	游宝坤 侯维红 凌良敏(44)
膨胀剂在商品混凝土应用中存在的问题	陈旭峰 游宝坤(48)

第一章 基础理论与材料研究

HCSA 高性能混凝土膨胀剂性能研究

.....	赵顺增 刘立 吴勇 曹淑萍 刘福全 雷秀英 康春生(52)
HCSA 膨胀剂与化学外加剂、水泥的适应性研究	赵顺增 刘立(60)
有效应用混凝土膨胀型外加剂的探索	王蔚 刘加平(67)
膨胀剂颗粒级配研究	李乃珍 刘翠华 谢敬坦 张立新 雷亚光(72)
关于膨胀剂颗粒级配对膨胀剂性能的影响	游宝坤(80)
膨胀剂颗粒组成对膨胀收缩性能的影响	赵顺增 刘立(82)
膨胀剂的颗粒组成与限制膨胀率的关系	方瑞良 ¹ 姚彬 ² 周容 ² 饶居香 ² 韩开洪 ² 刘佳龙 ² (90)
利用磷石膏研制混凝土高效膨胀剂	王勇(95)
膨胀剂在高性能混凝土中的应用研究	鲁统卫 刘永生 韩军洲 李占印(99)
膨胀混凝土在负温条件下膨胀与强度性能及其作用机理	王栋民 左彦峰 龙俊余 李俏 扈士凯 熊卫峰(106)
三峡临时船闸大体积补偿收缩混凝土的研究	胡利民 朱洪波(112)
膨胀剂不同取代法和掺量对混凝土强度与限制膨胀率的影响	姚彬 谢兵 吴影 高才维 潘德兰 雷淑明 方瑞良(117)
NEA 混凝土膨胀剂的研制与开发	周爱如 罗昊昊 刘琼 周颖洁 于世泳(124)
AUA 系列膨胀剂的研制及在部分工程上的应用	刘源强 ¹ 罗喜龙 ² 徐卓涛 ³ (128)
掺超细矿渣和膨胀剂的高性能混凝土试验研究	张向军 郑秀夫 叶青(134)

补偿收缩混凝土工程结构内部应力——应变情况实测介绍

.....	赵顺增 游宝坤 刘立 韩立林(140)
NC-P 系列低碱膨胀剂的工程应用	肖斐 张世良 鲁统卫 王谦(145)
一种测量内约束混凝土收缩应力的新方法	赵顺增 刘立 姚燕 黄鹏飞(149)
水泥混凝土变形测量器具准确度分析与研究	赵顺增 ¹ 刘立 ¹ 吴万春 ¹ 杨东升 ² (155)
补偿收缩混凝土限制膨胀率简便试验方法的探索	姚彬 谢兵 周容 韩开洪 饶居香 方瑞良(162)
检测混凝土膨胀剂过程探讨	殷仁镗(167)
关于建材行业标准 JC 476—2001《混凝土膨胀剂》的修改意见	赵海洋(168)
两例混凝土工程开裂数理分析	李占印 王锦明 西祝 鲁统卫(174)
氧化镁混凝土的研究与应用	陈昌礼 李承木(179)
补偿收缩混凝土有效膨胀的研究	赵顺增 刘立(185)
隧道窑法煅烧膨胀熟料的工业性试验	李光明 潘先文 张志强 姚彬(192)

第二章 补偿收缩混凝土及其抗渗控制技术的研究

关于补偿收缩混凝土的结构设计	游宝坤 李乃珍(195)
现代建筑工程中混凝土收缩裂缝特点及应对措施 ...	赵顺增 刘立 黄鹏飞 朱鹭佳(203)
混凝土工程防裂技术	舒华彬(212)
超长大面积无梁屋盖板的施工技术	鲁统卫 郑国峰 郭蕾 吕金环(219)
超长地下室无缝设计的实践	沈金 裘涛(225)
大体积混凝土裂缝控制和施工设计	康德君 李永斌 李勇军 韩鹏 冯丽娜 刘振东(231)
大体积混凝土裂缝的分析和施工技术措施	蔡文尧(237)
补偿收缩混凝土的设计及应用技术研究	江云安 金欣 王延生(243)
超长结构混凝土的成功实践	史美生 史如平(247)
中山同仁嘉园地库工程超长结构裂缝控制技术	杨海滨 俞海荣(251)
大型钢管混凝土工程冬期施工	何晓慧 黄群 方晶 周云卿(255)
在 AEA 膨胀剂中复掺有机短纤维的研究	江云安 路新瀛 蒋圣华(258)
南宁市汇春广场底板 C35 防水混凝土膨胀性能及配合比试验与施工应用	杨仲英(261)
UEA 膨胀剂在三向应力混凝土中的应用与施工注意事项	赵顺增(265)
聚丙烯纤维对补偿收缩混凝土的影响	鲁统卫 郭蕾 李占印 管西祝(270)
膨胀和减缩两种技术途径对于高性能混凝土收缩变形的影响...	田倩 刘加平 缪昌文(276)
膨胀剂与钢纤维协同增强轻骨料混凝土研究	李国新 李勤 杨俊芬 伍勇华 刘宗仁(282)
膨胀剂在污水处理厂等池体超长结构工程中的应用	李晖 苑立东(287)
混凝土裂缝控制系统	刘松柏 柴天红 吴金国 王志洪 谢卫和(292)
Saho-HF 膨胀剂在泵送混凝土中等量取代胶凝材料对混凝土坍落度损失和强度的影响研究	胡建松 ¹ 李中华 ¹ 卢朝君 ² 江云安 ³ (298)

第三章 混凝土膨胀剂在工程中的应用

- 超长超宽钢筋混凝土无缝施工在北京奥林匹克公园国家会议中心配套设施项目的综合应用技术 戈祥林¹ 郭群² 陈新¹ 田宇¹ 杨家龙² (303)
- 天津岩帅 YS 膨胀剂在国家体育场及奥林匹克公园中心区地下联系通道工程中的试验与应用 李彦昌 王海波 刘国华 (308)
- 大体积混凝土裂缝控制技术在中央电视台文化中心地下室的应用 韩全卫 郭群 杨家龙 (319)
- ZY 膨胀剂在杭州盛元·慧谷工程中的应用 汪丽 董同刚 (323)
- ZY 补偿收缩混凝土在苏州科技新天地工程超长大体积底板中的应用 李应权 韩立林 游宝坤 王邦国 王干 谈滢涛 (326)
- ZY 补偿收缩混凝土在首都机场西区应急改造工程中的应用 侯维红 万建军 冯子龙 何丹 (331)
- 补偿收缩清水混凝土在首都机场 3 号航站楼的研究与应用 皮全杰 胡紫日 陈机构 卢明法 (336)
- 补偿收缩混凝土应用中的几点认识 吴其群 董同刚 (340)
- 广州(新)白云机场地下室桩筏基础板大体积混凝土温控防裂措施研究 边振华 (345)
- 广州(新)白云机场补偿收缩纤维混凝土技术 欧阳东 (351)
- 补偿收缩混凝土在湖南通程星沙商业广场工程中的应用 韩立林 何丹 张明 (355)
- 国典大厦地下室大体积高强度等级混凝土裂渗控制技术实施方案 李志强 张荣新 刘金星 (359)
- ZY 补偿收缩混凝土在河南地区工程的应用 邵中军 冯金松 (364)
- 高性能 HCSA 在杨柳青购物广场工程中的应用 刘立 苏伍明 张伟 (370)
- UEA 在呼和浩特国宾馆防水工程中的应用 周爱如 毕兴威 罗昊旻 刘琮 乔志 彭云山 (377)
- 温州市新国光商住广场地下室混凝土工程的裂缝控制 何丹 黄春江 方鸿强 (380)
- 补偿收缩混凝土在超大面积薄板工程中的应用 鲁统卫 郑国峰 韩军洲 (383)
- ZY 膨胀剂在重庆市鸡冠石污水处理厂的应用 王学年 张志强 姚彬 (389)
- 补偿收缩混凝土在天津芥园道水厂的应用 雷秀英 刘福全 (392)
- 补偿收缩混凝土在绍兴污水处理厂中的应用 李克亮 陈健 黄国泓 卢安琪 (396)
- 污水处理厂粗格栅与细格栅防水混凝土施工技术 李彦洲 周建发 赵莉 韩杰 (400)
- 超长无缝施工技术在上海市白龙港城市污水处理厂工程中的应用 奚松林 王勇 薛建伟 马月峰 (404)
- 北京工业大学第三教学楼超长结构的抗裂施工技术 刘立 朱鹭佳 朱洪杰 李建河 (409)
- ZY 膨胀剂在重庆海关综合大楼主体工程的应用 舒华彬 张志强 李光明 姚彬 (415)
- 安钢东区花苑地下车库 ZY 膨胀混凝土的施工与应用 邓建平 郭群 韩全卫 张辉 (419)
- 超长无缝施工技术在中科宏圣大厦地下工程中的应用 赵文娟 (425)

徐州金穗大厦地下工程高性能补偿收缩混凝土的应用

- 刘立 赵顺增 吴万春 曹淑萍 吴勇(430)
- 国际投资大厦补偿收缩混凝土应用情况 李建芬(435)
- 补偿收缩混凝土在南京国际广场中的应用 陈兵¹ 黄善良² 冯建平² 袁兵²(439)
- YS 膨胀剂在宁发花园东苑工程中的应用 王亚梯(444)
- 补偿收缩混凝土在内蒙古诚信数码大厦工程中的应用
- 罗昊旻 周爱如 毕兴威 杨清俊 刘琼(448)
- 北京顺义国际学校补偿收缩混凝土应用情况 王贵星(451)
- 混凝土结构无缝施工技术在首都机场的应用 段成涛(454)
- 首都机场扩建工程地下超长墙无缝连续施工 马大勇(458)
- 苏州工业园区商业街 F 城超长地下室裂渗控制技术 薛炳泉 周建启 凌良敏(461)
- 超大型地下室底板及侧墙混凝土超长结构无缝施工技术 林李山(466)
- 无缝施工技术在南京方正大厦超长底板的应用 雷孝宝(473)
- 东方家园长沙店地下工程无缝防水施工技术 何丹 韩立林 白雪(476)
- SL 微膨胀防水剂在重庆市解放碑地下人防工程的应用 李实民 姚彬 张志强(479)
- 膨胀加强带在高层建筑地下室设计中的运用及施工技术 李正鸿(483)
- 300.5m 超长结构工程的综合施工技术 金振 严琦 按彩霞(486)
- 超长结构底板混凝土无缝施工 刘彦宏(489)
- 钢筋混凝土水池无收缩缝的设计与应用 张忠球 易军(493)
- SL 微膨胀防水剂在重庆石板坡长江大桥南引道地下车库工程的应用
- 李效椿 夏恒 张志强 姚彬(496)
- C80 超长结构地下停车场施工
- 许金波¹ 徐壮² 王惠权² 蒙桂琴² 于强³ 曹华³ 谢晓明¹(500)
- 南宁市新华书店图书大厦转换梁裂缝控制措施 李永贵 王非平(503)
- TEA 膨胀混凝土用于大型地下室的设计与施工措施 史美生 邓庆洪 史如平(506)
- ZY 膨胀剂在安钢东区花苑混凝土结构自防水中的应用
- 韩全卫 邓建平 郭群 谢会来 王劲 季晨光(509)
- 混凝土膨胀剂在内蒙古的开发与应用 周爱如 克宁 王平 罗昊旻 刘琼(515)
- 大体积抗渗混凝土冬季施工的质量控制 周威 刘恒文(519)
- 补偿收缩混凝土在水坝除险加固工程中的应用 董兰女 倪雪金 程占莲(522)
- 高性能混凝土在伊犁特克斯河恰甫其海水利枢纽工程中的应用
- 贺传卿 李永贵 王怀仪 高建新(525)
- HLC-I 在船闸廊道混凝土中的应用 祝烨然 卢安琪(531)
- FK 防水剂在珊溪水库工程引水隧道中的应用 梅顺康(539)
- 新型减缩膨胀剂在高性能混凝土中的应用
- 陈富银 胡英臣 曾晓辉 刘开明 杨晓峰(542)
- AEA 膨胀剂在面板堆石坝工程中的应用研究 江云安 金欣 陈双权(547)
- 高性能混凝土在水工混凝土中的应用 魏江勇(551)
- 混凝土面板防裂技术在珊溪水库工程的应用 谢礼仪(555)

补偿收缩混凝土在巫山长江大桥钢管混凝土拱桥中的应用	李晖 周雪(560)
广东东莞水道大桥钢管混凝土配合比设计与施工	丁庆军 ¹ 彭艳周 ¹ 何永佳 ¹ 胡曙光 ¹ 赵智强 ² 潘大鹏 ² (566)
C50 ~ C55 钢管微膨胀顶升泵送混凝土的配制技术和在工程中的应用	吴菊珍 顾政民(572)
C100 自密实微胀钢管混凝土在深圳南方国际广场的应用	郭增荣(576)
UEA-E 高效复合膨胀剂在黄金埠电厂大体积混凝土的应用	涂胜华 王志洪 谢卫和(582)
补偿收缩混凝土在倒 T 形叠合板楼(屋)盖中的应用	蒋青青 刘汉朝(585)
改性聚丙烯纤维、YS 膨胀剂双掺技术在北京出版发行物流中心的研究应用	沙峰(590)
聚丙烯纤维增强膨胀混凝土阻裂抗渗性能研究*	孙道胜 邓敏 唐明述 黄小明 谭麦秋(598)
往平电业公司办公楼地下室结构自防水及无缝施工技术	阮兴群 陈富银 董玉驹 穆艳君 王军 曾晓辉(602)
JM-Ⅲ抗渗防裂剂与聚丙烯纤维在商品混凝土中的复合应用	徐铮澄(606)
ZY 补偿收缩混凝土在建业联盟新城中的应用	李延峰 周现民(609)

第四章

水泥基灌浆材料	(613)
《水泥基灌浆材料》建材行业标准的编制说明	颜亨吉 何丹 仲晓林(618)
后张预应力孔道灌浆现状	冯大斌 董建伟 孟履祥(622)
HL-HGM 高强无收缩灌浆料性能及其应用实践	董兰女 程占莲 李弘飞(626)
NC-L 灌浆料的性能与应用	郭蕾 鲁统卫 李占印(630)
水泥基灌浆料专用膨胀剂的研究	齐冬有* 汪智勇 韩桂华 嵇琳(636)
高强无收缩灌浆料在加固植筋工程中的应用	曲燕 丛玉华 朴坤(641)

第五章 企业论坛

试论混凝土膨胀剂产业可持续发展之路	陈旭峰(644)
重应用技术的研究,提高成功率,把膨胀剂事业推向新的高度	柯穗城(649)
科技为先 质量为本	潘先文(652)
发展是企业永恒的主题	王介仁(655)

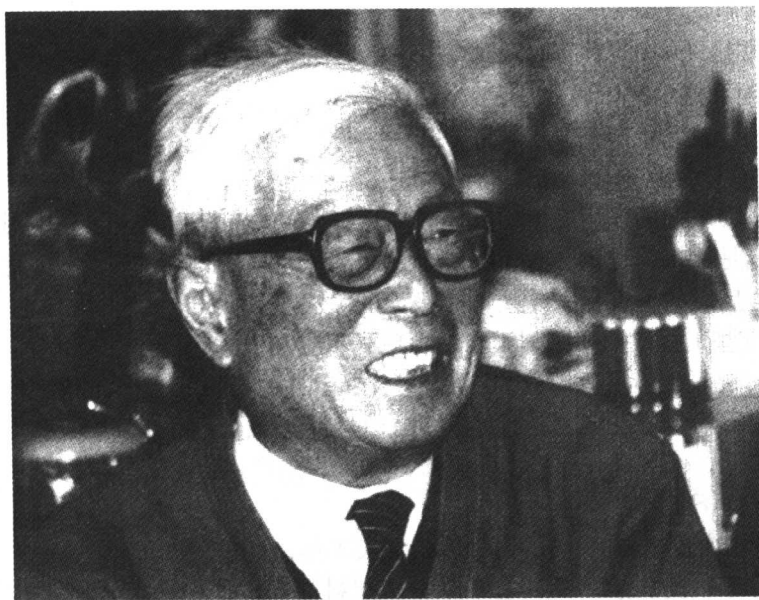
专 论

谨慎应用 不断提高

——在北京市混凝土膨胀剂质量与应用研讨班上的发言

吴中伟

(中国工程院院士)



编者按 吴中伟院士对我国混凝土膨胀剂的开发与应用一直给予特别的关注，这是吴中伟院士1996年12月的一次有关膨胀剂的重要讲话。现在把他整理发表，具有重要指导意义。

1. 建筑要成为国民经济的支柱产业。我国人口多，每年军工的房屋和有关建筑物要达到几亿平方米，要确保工程的质量，还要不断发展提高，这是十分艰巨的任务。

2. 混凝土膨胀剂用量并不多，但是作用却很大。产品质量不好，就会起不好作用，我们一定要对得住国家和人民，千万要谨慎小心。

3. 从1957年中国开始生产自应力混凝土，推广应用了几十万平方米，效果良好。1978年正式推出膨胀水泥。在毛主席纪念堂的混凝土结构后浇缝施工中我们采用了膨胀水泥。膨

胀剂在北京用得早，用得多，是研究开发和生产应用的中心。1988 年，UEA 膨胀剂成功应用于奥林匹克体育中心田径场等亚运会工程，在工程界影响很大。当前膨胀剂一年生产应用 20 多万吨。应该说形势发展是好的，但存在的问题也是多的，假冒伪劣和施工问题都有不少，生产厂家和施工工地都应当负起责任。

4. 膨胀剂的抗裂防渗机理一定首先要搞清楚。扬长避短，应用于地下、水工工程最能发挥其优势。

混凝土变形性能差，抗拉能力低。膨胀剂就是要限制和抵消混凝土收缩引起的拉应力和变形。

如果我们把极限延伸率（或称作开裂的极限值）定为 S_k ，限制膨胀率为 ε ，拉伸变率为 C ，干收缩率为 S_D ，温度收缩着为 S_T 。

则它们之间的关系是：

普通混凝土 $|\varepsilon - (S_D + S_T - C)| > |S_k|$ 开裂

膨胀混凝土 $|\varepsilon - (S_D + S_T - C)| < |S_k|$ 不裂

通常膨胀剂主要是抵消 S_D ，但大体积混凝土 S_T 就成为主要因素了，要辅以其降低水化热和控制温升措施。

S_k 值 通常是 1×10^{-4} ，有时达到 $2 \sim 3 \sim 4 \times 10^{-4}$

S_D 在温带地下建筑物中通常是 $3 \sim 5 \times 10^{-4}$

在干燥地区建筑物中通常是 $5 \sim 10 \times 10^{-4}$

S_T 每降低 10°C 约为 1×10^{-4}

要充分发挥膨胀剂的作用，生产、施工应用都要精心，都要注意质量。减少混凝土的开裂和渗漏，不只是保持工程整体性和外观完好，而且关系到工程的耐久性能（防止钢筋锈蚀和防止碱骨料反应的危害）一定要给予极大的关注才是。

5. 近几年有些工程使用膨胀剂不当，出现了不应发生的问题。主要是由于（1）膨胀剂用量不足；（2）混凝土浇灌后期养护不足。（3）有的是膨胀剂与水泥和其他外加剂匹配不当，或搅拌使用不均匀所造成。（4）有些高标号混凝土（C40 ~ C60）水化热较高，温升大，而水灰比又低，密实好，养护水份又难渗入，于是产生自干裂。早期强度过高，也使有效潜在膨胀力发挥不出来。

6. 针对实践中的问题，我们还要做系统切实工作：

（1）保证膨胀剂的质量，要从选好原料，配料准确，严格工艺控制和出厂检验，做好工地服务各个环节的工作。

（2）保证正确施工，配比要正确，要认真养护。复合其他外加剂是一个好办法，但不可滥用，否则将会引起不好的效果。

（3）要进一步研究开发新的产品，提高规格，以适应新的工程需要。比如降低膨胀剂碱含量，以减缓碱骨料反应的危害。

还要修订产品的标准。促进研究与生产发展。

（4）生产厂要努力提高膨胀剂的质量，严禁假冒伪劣产品，在合理竞争下扩大产品销售。

（5）政府监督引导也是十分重要的，要通过适当的办法，提高企业与产品的素质。

（6）最后讲一讲碱骨料反应问题（即 AAR 问题）。

规定每 1 立方米混凝土由于外加剂带入的碱量限于 1kg 是不是过高了一些，要研究再降低才是。国外对这一点是限制很严的。

不是到处都是 AAR，也不是有碱活性骨料的地方就一定会发生 AAR。一定要有三个条件：碱、碱活性骨料和水存在。

掺粉煤灰可以抑制 AAR。矿渣水泥也会抑制 AAR。不一定全要用上高标号非矿渣水泥。用粉煤灰和矿渣都有好处。

施工一定要注意 AAR，在美国承包商对 AAR 事故是要负责赔偿的，切不可不注意这一点。

我在《补偿收缩混凝土》和《膨胀混凝土》著作中，总结了补偿收缩混凝土理论，它是一门混凝土科学，但比较年轻，尚需要不断研究，在工程实践中总结经验教训。掺膨胀剂的补偿收缩混凝土是建筑结构裂渗控制一项有效措施，从这点意义出发，混凝土膨胀剂是可持续发展的行业，但必须不断提高膨胀剂的质量和应用技术水平。希望大家共同努力。

我国混凝土膨胀剂发展的回顾和展望

游宝坤

普通水泥混凝土由于干缩和冷缩等原因,往往导致开裂和劣化。人们希望有这样一种水泥,它在凝结硬化时能产生一定量的膨胀,以抵消其收缩,从而消除因混凝土收缩而引起的各种弊端。从另一种角度,人们探索能否用水泥水化所产生的膨胀来张拉钢筋,以达到机械预应力的目的。经过 50 多年之努力,膨胀混凝土已成为特立的学科。由此,混凝土膨胀剂应运而生。

配制补偿收缩混凝土时,多用混凝土膨胀剂,也可用膨胀水泥;配制自应力混凝土时,多用自应力水泥,也可用混凝土膨胀剂。

本届年会收到论文 135 篇,内容广泛、实用,学术水平较高,从各方面反映我国近年来混凝土膨胀剂开发取得很大成绩,也存在一些问题,值得我们好好总结,以利本行业的持续健康发展。

1 混凝土膨胀剂发展回顾

混凝土膨胀剂 (Expansive Agent for Concrete) 是在膨胀水泥基础上发展而来的一种混凝土外加剂,在现场掺入硅酸盐水泥中可拌制成膨胀混凝土。日本是最先开发膨胀剂的国家,1962 年,日本大成建筑技术研究所购买了美国 A. Klein 的 K 型膨胀水泥专利,在此基础上,研制成功硫铝酸钙膨胀剂 (Calcium Sulfo-Aluminate, 简称 CSA),它是用石灰石、矾土和石膏配制成生料,经电融烧制成一种含无水硫铝酸钙 $C_4A_3\bar{S}$ 、CaO 和 $CaSO_4$ 的熟料,然后粉磨成膨胀剂。1969 年,日本水泥公司出售名为“阿沙那波卡”CSA 膨胀剂。在水泥中内掺 CSA (等量取代水泥重量) 8% ~ 10% 可拌制成补偿收缩混凝土,内掺 15% ~ 25% 可拌制成自应力混凝土。

我国膨胀剂开发经历三个时期:

1. 从膨胀水泥到膨胀剂的转变期

1980 年以前,我国主要研制膨胀水泥,由于销路和应用问题,难以推广。后转为混凝土膨胀剂的研究。1974 年,中国建筑材料科学研究院游宝坤、邓慎操和陈全行等,研制成功类似日本 CSA 的硫铝酸钙膨胀剂,与日本电融法的区别是,采用回转窑烧结法制成 CSA 熟料,粉磨至比表面积为 $2\,000 \sim 3\,000\text{cm}^2/\text{g}$ 制成膨胀剂。

1979 年,安徽省建筑科研院金树青、刘莉芳等在明矾石膨胀水泥基础上,研制成功明矾石膨胀剂 (EA-L),由不煅烧明矾石与石膏粉磨而成,在水泥中掺入 15% ~ 18%,可拌制成补偿收缩混凝土。由于其掺量大、碱含量高,目前已被淘汰。

2. 膨胀剂开发期

1985 年后,中国建筑材料科学研究院王延生、张桂清、江云安等研制成功氧化钙-硫铝

酸钙型的复合膨胀剂 (CEA)。用含 f -CaO 为 40% ~ 50% 的膨胀熟料, 与明矾石和石膏粉磨而成。其后, 又研制成功用铝酸盐水泥熟料、明矾石和石膏磨制而成的铝酸钙膨胀剂 (AEA)。1986 年游宝坤、韩立林、吴万春和李乃珍等研制成功 U 型膨胀剂 (UEA), 用特制硫铝酸盐熟料、明矾石和石膏粉磨而成。UEA、AEA 和 CEA 三种产品均通过部级技术鉴定, 其中 UEA 膨胀剂及其应用获国家科技进步二等奖, UEA 和 AEA 是国内膨胀剂的主导产品, 生产厂家约 30 个, 占国内总销量的 70% 左右。

与此同时, 同济大学研制出早强型硫铝酸盐膨胀剂, 长江科学院研制出大坝混凝土膨胀剂。1985 年, 南京化工学院研制成功氧化镁膨胀剂, 用于水电站坝基混凝土。

1990 年, 山东省建筑科研院研制成功以明矾石和石膏为主原料的 PNC 膨胀剂, 1992 年, 山东省建材研究院研制成功 JEA 膨胀剂, 浙江工业大学研制出 TEA 膨胀剂, 江西省建材院开发了 HEA 膨胀剂等, 这些膨胀剂均属硫铝酸钙类, 掺量为 10% ~ 12%。

1992 年我国制定了《混凝土膨胀剂》建材行业标准 JC 476, 统一了试验方法和技术指标, 但对膨胀剂掺量和碱含量未作规定, 标准水平较低, 对质量较差的膨胀剂约束力不够。随着我国对混凝土碱-集料反应的重视, 1998 年对该标准进行了修订, 规定膨胀剂的碱含量 $\leq 0.75\%$ 。标准检验时的内掺量不得大于 12%。1999 年, 为与国际接轨, 我国实施 ISO 水泥标准, 因此, 在 2001 年对该标准进行第三次修订 (JC 476—2001), 对膨胀剂质量提出了更高的要求。与膨胀剂有关的《水泥基灌浆材料》建材行业标准 JC/T 986—2005 已颁布。

3. 膨胀剂的发展期

2000 年后, 以中国建材院为代表, 对混凝土膨胀剂进行了深入持续的研究, 实现了产品的更新换代。北京中岩特种工程材料公司分别以特制铝酸钙水泥熟料和铝酸钙-硫铝酸钙水泥熟料作为膨胀组分, 研制出掺量为 6% ~ 8% 的 ZY[®]膨胀剂。唐山北极熊特种水泥公司对硫铝酸钙水泥熟料进行改性, 再将该熟料与石膏、石灰石磨制成 CAS 膨胀剂。石家庄市功能建材公司以铝酸盐熟料、硫铝酸盐熟料、石膏和分散剂磨制成 FEA 膨胀剂。中国建材院水泥与新材研究所与天津豹鸣建材公司研制 HCSA、重庆江北特材公司生产低碱低掺量 ZY 膨胀剂, 广西云燕特种水泥公司生产低掺量 AEA 膨胀剂。

经过 20 年的努力, 我国混凝土膨胀剂质量的发展经历了高碱高掺、中碱中掺和低碱低掺的三个阶段, 如表 1 所列, 膨胀剂的主要组成列于表 2。

表 1 膨胀剂质量发展的三个阶段

阶段	年份	碱含量 (%)	掺量 (%)	品牌代表
高碱高掺	1980 ~ 1985	1.8 ~ 2.0	15 ~ 20	EA-L
中碱中掺	1986 ~ 1997	0.80 ~ 1.0	10 ~ 12	UEA-I、UEA-II、AEA、CEA、PNC
	1998 ~ 2000	0.50 ~ 0.75	10 ~ 12	UEA-III、AEA、CEA、PNC、HEA
低碱低掺	2000 ~	0.25 ~ 0.50	6 ~ 8	UEA-H、ZY、CSA、FEA

表 2 我国主要膨胀剂的组成情况

膨胀剂品种	品牌	基本组成	标准掺量 (%)	碱含量 (%)	膨胀水化产物
明矾石膨胀剂	EA-L	明矾石、石膏	15	1.8~2.0	钙矾石
U-I 型膨胀剂	UEA-I	硫铝酸盐熟料、明矾石、石膏	12	1.0~1.5	钙矾石
U-II 型膨胀剂	UEA-II	硫铝酸盐熟料、明矾石、石膏	12	0.8~1.2	钙矾石
U-III 型膨胀剂	UEA-III	硅铝酸盐熟料、明矾石、石膏	12	0.5~0.75	钙矾石
ZY 型膨胀剂	ZY	硫酸钙-硫铝酸钙熟料、石膏	8	0.3~0.5	钙矾石
铝酸钙膨胀剂	AEA	铝酸盐水泥、明矾石、石膏	8	0.5~0.7	钙矾石
分散性膨胀剂	FEA	铝酸盐-硫铝酸盐熟料、石膏、分散剂	8	0.5~0.7	铝矾石
复合膨胀剂	CEA	石灰系熟料、明矾石石膏	8	0.5~0.7	氢氧化钙, 钙矾石

我国膨胀剂开发较晚, 1990 年销量为 1.8 万 t, 随着掺膨胀剂的补偿收缩混凝土结构自防水、超长结构无缝设计和施工方法以及大体积混凝土裂渗控制三大应用技术的推广, 膨胀剂的销量逐年递增, 1994 年达 18 万 t, 1998 年达 30 万 t, 2003 年达 80 万 t, 2005 年达 100 万 t, 居世界同类产品之首。见图 1。

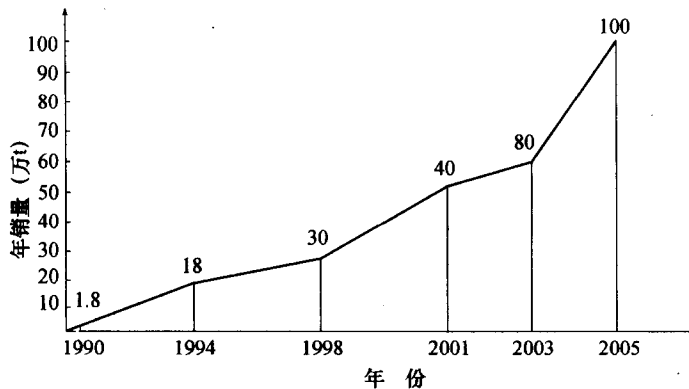


图 1 混凝土膨胀剂的年销量的趋势

2 膨胀混凝土的研究与应用

2.1 国外概况

1936 年法国洛西叶 (Lossier) 研制出一种硫铝酸钙膨胀水泥, 但是, 由于在实际上控制膨胀的难度较大, 而判定为没有实用价值。

1943 年, 前苏联米哈依洛夫 (В. В. Михайлов) 把研制成功的不透水膨胀水泥, 成功应用于二次世界大战中被破坏的钢筋混凝土构筑物和地下工程防潮层, 以及堵漏和修补工程。1955 年前后, 米哈依洛夫创造了硅酸盐膨胀-自应力水泥 (国外称为 M 型水泥), 开始用于地下工程, 如地下铁道预制拱环的接缝和防渗等, 并推广到压力输水管。70 年代在机场、公路、大跨度薄壳、轻集料膨胀混凝土匣子结构以及大面积 (1 500m²) 无缝的楼板、屋面板等工程广泛使用, 这些工程所用的膨胀混凝土实际上均属于补偿收缩的性质。1975 年,