

第二届全国混凝土
膨胀剂学术交流会
论文集

建筑结构裂渗 控制新技术

中国土木工程学会混凝土及预应力混凝土学会
混凝土外加剂专业委员会

中国建材工业出版社

建筑结构裂渗控制新技术

(第二届全国混凝土膨胀剂学术交流会论文集)

中国土木工程学会混凝土及预应力混凝土
学会混凝土外加剂专业委员会

中国建材工业出版社

(京)新登字 177 号

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构裂渗控制新技术:第二届全国混凝土膨胀剂学术交流会议论文集/《建筑结构裂渗控制新技术》编委会编.
北京:中国建材工业出版社,1998.8
ISBN 7-80090-783-X

I. 建… II. 建… III. ①建筑结构-裂渗-控制-文集②混凝土-膨胀剂-学术会议-文集 IV. T03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 22336 号

建筑结构裂渗控制新技术

*

中国建材工业出版社出版(北京海淀区三里河路 11 号)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京管庄永胜印刷厂激光照排
北京管庄永胜印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:26.375 字数:650 千字
1998 年 8 月第 1 版 1998 年 8 月第 1 次印刷
印数:1—3000 册 定价:48.00 元
ISBN 7-80090-783-X/TU·171

前 言

自 1994 年在泰安市召开首届全国混凝土膨胀剂学术交流会以来,我国混凝土膨胀剂的研究、生产和应用取得了显著成就。为总结和推广这些成果,中国土木工程学会混凝土及预应力混凝土学会混凝土外加剂专业委员会定于 1998 年在南昌市召开第二届全国混凝土膨胀剂学术交流会。本届会议共收到论文 80 余篇。涉及内容十分广泛,实用性强。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和工程技术人员。他们为本届会议提供了许多有价值的论文。尤其是我国混凝土界老前辈吴中伟院士、为大会撰写了论文,指出混凝土膨胀剂的今后发展方向,使论文集增添光彩。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 1994 年以来,经过 4 年之努力,我国膨胀剂品种从单一功能向多功能发展,研制出一些低碱和高效膨胀剂,以及适用于高温高压和大坝的专用膨胀剂。这一研究领域十分活跃、成果累累。在膨胀剂生产方面,厂家从 40 余个发展至 80 余个,分布全国。膨胀剂年销量从 1993 年的 12 万吨,到 1997 年增至 25 万吨,4 年间翻一番。累计达到 88 万吨,折合补偿收缩混凝土量近 2000 万立方米。居世界首位。在我国各种混凝土外加剂销量中,膨胀剂名列前茅,占总销量一半。部分已销售国外。在膨胀剂应用技术研究方面,进一步完善了结构自防水,无缝设计施工、大体积混凝土裂缝控制和刚性防水屋面四大技术。开发了膨胀剂在高性能混凝土、灌注桩、钢管桩和自应力混凝土压力管等最新应用技术,大大促进了设计、施工的技术进步。有的应用技术已达到国际先进水平。国家科委和建设部对膨胀剂的生产和推广应用给与了肯定和支持。

随着我国商品混凝土和高性能混凝土的发展、跨世界基础设施工程之需要,我们要研制补偿收缩性能更好和自应力更高的新型膨胀剂;完善多功能复合膨胀剂生产与应用技术,基础理论研究工作尚需加强。贯彻执行新修改的《混凝土膨胀剂》建材行业标准,工厂管理向 ISO 9000 国际接轨,进一步提高我国混凝土膨胀剂的质量,把膨胀剂的应用进一步推广到城建、水电、铁道、煤炭、海工、核能和航天等工程领域。

由于缺乏经验,加之时间仓促,本论文集存在错误在所难免,恳请各位专家指正。

《第二届全国混凝土膨胀剂学术交流会》

论文编辑委员会

一九九八年五月

主编:游宝坤

编委会委员:方瑞良、顾德珍、陈嫣兮、韩立林、李光明、陈富银、颜享吉、何 丹

论文作者一览表

中国建筑材料科学研究院 吴中伟、游宝坤、姚 燕、方瑞良、韩立林、颜享吉、陈富银
李光明、王栋民、江云安、何 丹、吴万春、赵顺增、张利俊
黄春江、董同刚、李应权、邵中军、张秀梅、王显斌、唐金树
张淑珍、文寨军、傅守娣、白 杰、刘 超、刘 立、王保安
丁 锐、吴 勇、曹淑萍

冶金部建筑研究总院 顾德珍

长江科学院 吴超寰、董维佳 张远曙、王仲华

南京水利科学研究院 林宝玉、单国良、袁 兵

苏州混凝土水泥制品研究院 过寿先、冯金之、陈承寿、张廷寿

上海建筑科学研究院 盛丽芳、周保卫、贺鸿珠、俞品莲、杨国平

重庆市建筑科学研究院 肖保怀、孟昭富、王治中

安徽省建筑科学研究院 刘莉芳、廖绍锋

江苏省建筑科学研究院 缪昌文、蒋建新、张建雄

山东省建筑科学研究院 鲁统卫、周 泳、王 谦、周惠南

山东省建材科研设计院 张明征、张玉忠

江西省建筑科学研究院 李 莉、朱世友

江西省建材科研设计院 刘松柏、方春霖

辽宁省建设科学研究院 叶 明、李明柱

陕西省建筑科学研究院 屈志中

乌鲁木齐市建筑科学研究所 冯 旗

广西水电科学研究所 何玉珍

福州市建筑科学研究所 陈鹏声、林文东、张栋林

内蒙古建筑研究所 周爱如

水电部基础处理公司科研所 李际春

荆州市建筑科学研究所 蒋庆辉

山东省建筑科学研究所 韩军洲

山西四建科研所 赵德光

清华大学土木系 童 良

西安交通大学 张若筠 李 霞

武汉水利电力大学 李亚杰

东北大学 姜绍飞、刘之洋

浙江省工业大学 史美生、史如平、田思进

长沙铁道学院土木建筑学院 谢友均、刘宝举、尹 建、龙广成

重庆建筑大学建筑城规学院 陈集珣、吴寿保、任世漫

后勤工程学院 陈寒斌
中国市政工程东北设计院 胡国晶
徐州市第二建筑设计院 蒋宁芳、袁继平、赵后奎、聂平、陈玉如
柳州市城市规划设计院 吴国兴
化工部第一胶片厂设计室 朱宝建、任瑞清
中建一局六公司
中建一局三公司 汪筑平、狄艳、殷海涛
中建六局一公司 周晔
中建八局二公司 叶万春
中建八局东海开发建设总公司 朱毓泉
北京城建一公司 白忠恩、刘心燕、邓文伟、魏越、教学平
北京城建四公司 金志云、武晓东
北京城建集团硷公司 路来军、刘继忠、刘明均、毋淮周
东电三公司一分公司 杨永建
铁二局建筑工程处 潘永光、许德臻
铁道部十七局五处 杨建国
铁道部十八局五处 徐银龙
铁道部建厂局一处 管希增
内蒙电建公司三公司 赵建国
十八冶一公司 沈培荣
广州市四建公司 李崇铭、梁艺通
解放军总后工程总队 楚威昆
武汉市第一市政公司
天津市政三公司 叶宏临
绍兴市第五建筑公司 周汉万、吴樟林、王马兴、金建华
重庆市第一建筑集团公司 杨再富、陈希才
南京特种建材股份有限公司 胡立刚、冯君
广东江门市江山建材实业公司 苏坤建、陈东林、徐奇威、刘源强
北京利力新技术开发公司 包科祥、武新力、张秋生
北京贝斯特有限公司 王全志、金云、陈子清
厦门银桥实业公司 孙文祥、盛传亮
中银大厦工程部 杨忠国
深圳机场指挥部 张兆纯、唐建华
吉林红山铜矿 闻奎武
石家庄市特种水泥厂 李乃珍、金国萱、赵君英、刘翠华 肖山虎
浙江省肖山市百灵特种水泥厂 蔡九德、陈志超、张根华
广西横县白水泥厂 龙志谋
安徽省巢湖速凝剂总厂 蒋圣华
重庆市江北建材厂 潘先文

目 录

前言

专论

1. 重视质量积极创新 (1)
2. 我国混凝土膨胀剂的发展近况 (4)
3. 我国混凝土膨胀剂的发展及方向 (10)

第一章 材料—研究

1. UEA 水泥砂浆与混凝土长期性能的研究 (12)
2. U 型高效混凝土膨胀剂(UEA—H) (19)
3. 低碱 UEA—H 膨胀剂的开发 (24)
4. AEA 混凝土膨胀剂的性能及应用 (29)
5. AJ 型复合膨胀泵送剂的性能与应用 (33)
6. PNC—3 型混凝土流化膨胀剂及其在工程中的应用 (37)
7. FS—Ⅲ(低碱)混凝土膨胀剂的研制与工程应用 (41)
8. JEA 系列膨胀防水剂 (45)
9. TEA 混凝土膨胀剂 (51)
10. JM—Ⅲ型(抗裂、防渗)混凝土高效增强剂 (54)
11. LJ 型低掺量混凝土膨胀剂的研究 (58)
12. 延滞性微膨胀水泥的生产与应用 (61)
13. 复合膨胀剂的生产与应用 (73)
14. 膨胀剂对特种砼的补偿收缩作用 (77)
15. 正确认识砼膨胀剂 提高建筑工程质量 (80)
16. 膨胀剂与水泥的适应性和长期膨胀性 (84)
17. UEA 在砼中对水泥的适应性 (92)
18. UEA 混凝土膨胀剂对碱-骨料反应的影响 (94)
19. 前苏联的补偿收缩混凝土 (103)
20. 浅谈膨胀剂生产的控制方法 (108)

第二章 结构——工程科学

1. 结构防水理论与实践 (110)
2. 超长大钢筋混凝土结构 UEA 无缝设计施工新方法 (117)
3. 超长蓄水构筑物设计与施工 (123)

4. 地下工程如何使用好 UEA 补偿收缩混凝土	(128)
5. 地下构筑物混凝土裂缝控制	(132)
6. UEA 砼侧墙裂缝的分析	(141)
7. 高层建筑地下室侧墙裂缝及处理对策	(144)
8. 补偿收混凝土提高海工建筑物耐久性的新途径	(146)
9. 三峡工程抗冲磨高性能混凝土研究阶段报告	(153)
10. UEA 补偿收缩砼现浇刚性屋面的设计与施工	(162)
11. 我国刚性防水屋面的现况与发展	(166)
12. 深圳体育场看台板的裂渗控制	(170)
13. 使用砼膨胀剂延长伸缩缝间距的设计与探讨	(174)
14. 自应力钢管轻骨料混凝土轴压短柱的性能分析	(177)
15. PEA 膨胀剂在桩基中的应用研究	(183)
16. 大体积结构混凝土工程的温差补偿效果	(190)

第三章 施工——工程实践

1. 多功能 UEA—H 砼在武商百盛国际配售中心工程中的应用	(196)
2. 北京东方广场补偿收缩混凝土性能研究	(204)
3. UEA 补偿收缩砼在机场建设中的应用	(210)
4. 深圳机场 114m×108m 超长超宽结构抗裂分析	(215)
5. UEA 补偿收缩砼在福州长乐国际机场航站楼的应用	(218)
6. UEA—H 混凝土在深房商业大厦地下结构自防水工程中的施工与应用	(221)
7. AEA 在鱼峰山商业城工程的应用	(225)
8. UEA 补偿收缩砼在平和堂商贸大厦地下室的应用	(228)
9. 超长施工技术在马连道工业品仓储批发中心的应用	(232)
10. CEA—B 复合膨胀剂在力鸿花园 8# 楼工程的应用	(235)
11. CEA—B 混凝土在中国国际科技会展中心的应用	(240)
12. UEA 无缝设计施工新技术在银兴商业城中的应用	(243)
13. 希格玛中心地下室大体积防水砼的施工技术	(249)
14. 应用 UEA 与 NFD 双掺技术解决金宇大厦地下工程防水与防冻技术	(255)
15. UEA 在海渤湾电厂冷却塔中的应用	(259)
16. UEA 膨胀剂在长春市污水厂工程中的应用	(262)
17. 厦门莲花广场超长大钢筋砼底板施工技术	(265)
18. UEA 砼在江西省中行高层住宅楼工程中的应用	(268)
19. 大面积抗裂混凝土薄板的施工	(272)
20. 应用 UEA 混凝土实现大面积超长结构无缝施工	(274)

21. UEA 混凝土在石家庄北国商城地下室的应用	(278)
22. AEA 砼无缝设计与施工技术应用厦于厦门第一广场超长结构	(283)
23. AEA 在广安大厦地下室结构中的应用	(285)
24. AEA 混凝土在中新城地下室超长结构中的应用	(288)
25. UEA—H 膨胀剂在北京宝鼎广场地下工程的应用	(290)
26. AEA 在海口市人行综合楼地下室大体积混凝土中的应用	(293)
27. AEA 补偿收缩混凝土在南方地下工程中的应用	(295)
28. UEA 膨胀剂在盐渍土地区建筑中的应用	(298)
29. 微膨胀流塑混凝土在钢管柱中的应用	(304)
30. 微膨高强锚固浆体研究及其应用	(312)
31. “U”型水泥锚杆	(321)
32. UEA 膨胀混凝土在地下室和屋面防水工程中的应用	(325)
33. 荆州市社会保险事业局工程大体积混凝土承台的施工	(329)
34. 绍兴百大商城地下室自防水泵送砼的施工	(331)
35. U 型膨胀剂和 AT 缓凝高效减水剂复合在苏州地区的应用	(334)
36. 泵送 UEA 混凝土的试验研究与实践	(337)
37. U 型膨胀剂在大型框架梁结构工程中的应用	(341)
38. UEA 膨胀混凝土在屋面工程中的应用	(343)

第四章 膨胀剂在高性能混凝土的应用

1. UEA 在高性能砼中的应用	(348)
2. UEA 高性能混凝土在首都国际机场新航站楼中的应用	(352)
3. PNC 膨胀剂在 C ₆₀ 高强泵送砼中的应用	(357)
4. 高强 UEA 砼在超高层地下室的应用	(359)
5. 矿渣粉掺合料的性能及其与 UEA 双掺的应用	(364)
6. 膨胀剂在免振捣砼中的应用	(368)
7. 掺 UEA 和 UPFA 的免振高强高性能混凝土的研究	(372)
8. UEA—H 配制高性能特细砂混凝土及工程应用	(377)
9. 掺膨胀剂的 C ₆₀ 高性能混凝土及应用	(380)

第五章 标准

1. 《混凝土膨胀剂》建材行业标准 JC476—1998	(387)
2. 混凝土膨胀剂标准(JC476—92)修订编制说明	(394)
3. 实施《混凝土膨胀剂》(JC476—92)建材行业标准调研报告	(399)

重视质量 积极创新

中国工程院院士 吴中伟

补偿收缩砼在我国已应用了 20 年(1978~1998),膨胀剂年产量已超过 25 万 t,累计已达 150 万 t。20 年来,用膨胀剂配制的补偿收缩砼用量估计达到 3500 万 m³,对砼工程防渗防裂,提高功能发挥了重要作用,数量之大为各国之冠,这是科研、设计、施工、生产各方面共同努力的结果,尤其科研起到重要的先导作用。

20 年来,我在会议和文章中反复强调补偿收缩砼必须从原材料到施工,坚持质量第一。不少研究、生产单位也重视现场服务与设计、施工人员一起把好质量关,这一传统应该坚持下去。但从 1997 年起,有些设计、科研与高校的专家学者反映,补偿收缩砼工程裂漏事故有随用量激增而增多之势,值得深思和警惕。应总结经验教训,把我国补偿收缩砼的研究与开发应用提高到一个新水平。

一、补偿收缩砼开裂的一般规律

根据游宝坤教授级高级工程师的调研材料,可归纳如下规律:

1. 结构自防水砼底板一般不开裂。
2. 结构自防水砼墙体出现裂缝的机会较多。可归纳出如下规律:
 - (1)南方地区比北方地区多,西部地区比东部地区多,热天浇注的砼比春秋浇注的砼多;
 - (2)高标号砼比较低标号的砼多;
 - (3)配筋较密(指墙中构造筋间距较小)开裂少;
 - (4)脱模时间晚的开裂多,有的产生在脱模之前,脱模后裂缝加多加宽。
3. 生产与施工控制不严的,裂缝机会最多
 - (1)膨胀剂质量差,有的工厂对进厂原料质量不把关,无检测手段,不合格产品也流入市场。有的膨胀率还不到 0.02%,补偿收缩能力差。
 - (2)有的砼搅拌站和施工单位,少掺膨胀剂,砼基本不膨胀,补偿收缩能力极小,起不到抗裂作用。
 - (3)砼浇注后,不养护或养护不重视,尤其边墙养护较困难,养护措施跟不上。
 - (4)砼配合比不合适,尤其水灰比控制不严格。
 - (5)砼终凝前的抹压马虎,易出现表面的早期塑性收缩沉降裂缝。

二、补偿收缩砼开裂的原因

以上规律都能得到理论解释,掌握了开裂主次原因,就能提出预防措施。在我的书中讲过,砼开裂主要由于限制条件下的收缩。收缩分干缩、冷缩、早期塑性收缩与自收缩四种。不同条件、部位、环境中四种收缩先后主次不同,当收缩变形超过砼极限延伸率时,或收缩产生的应力超过当时砼的抗拉强度时就开始出现裂缝,在匀质较好的钢筋砼中,裂缝位置较有规律性。

1. 干缩 砼内水分散失引起收缩,表层先于和多于内部,裂缝由外向内发展。保潮养护,最好用蓄水法,既防止失水,还向内部补给水分,对水胶比低的高性能砼(HPC)更重要。补偿收缩砼因限制膨胀率不大,主要目的是防止干缩和增加砼密实性达到防渗免裂。

2. 冷缩 砼结构各部分热量散失引起收缩。温差大,降温快(温度梯度大),容易开裂。夏季砼与大体积砼内部初始温度高,散热到稳定温度,这温差决定体积收缩值,如超过极限延伸率就开裂。表层受外界温度变化,温度梯度大,降温快,尤其反复多次,由微缝扩宽或发展为可见裂缝。暴露面大的砼,常出现较多的冷缩裂缝。温差大的坝面为了减少外界气温变化的影响,要加保温层。地下和非暴露条件下,冷缩影响较小。为限制温差范围,必须将砼硬固前的初始温度尽量减少,一方面适当增加砼限制膨胀率,在补偿干缩之外,一定的补偿冷缩能力。另一方面,过去将大体积砼的最小尺度(厚度)规定为1m~2m,现在水泥用量增加,0.5m厚的墙板中心,水化热造成的温差也能形成微裂以至可见裂缝,日后发展成渗水缝。所以冷缩已受到普遍关注。

3. 早期塑性收缩 只限于表层砼。在初凝前因表面蒸发快,内部水分补充不上,出现表层砼干缩,生成网状细裂缝。HPC等泌水或不泌水的砼,在大风干热天气最易发生,常见于路面、楼板、护坦等工程。及早抹压,可以消除,否则不仅有损美观,还将以此为基础发展为大缝。及早喷施养护剂或盖薄膜,防止过快蒸发,可以防治。有人将其他原因如不均匀沉降引起的未凝固前的收缩,也列入早期塑性收缩。

4. 自收缩 水泥水化前后,绝对体积总是减少,按前人计算约8%的体积减缩,这是砼自收缩的来源。只在与外界隔绝情况下出现,例如大体积砼内部,自收缩引起裂缝自内向外。干缩冷缩则自外向内。由于HPC等低水胶比砼的出现,自收缩问题引起愈多的重视,延长潮湿养护是对自收缩与自干(Self desiccation)引起开裂的最有效防止方法。

其他如碳化收缩等不在补偿之列。施工中留下的冷缝以至蜂窝狗洞等也是补偿收缩之力所不及。

三、注意重点

1. 膨胀剂质量的保证与提高,这是提高补偿收缩砼质量的根本。尤其由于使用范围不断扩大,要求砼性能不断提高,因此修订《砼膨胀剂》标准,提高膨胀率指标,限制碱含量并向低掺量方向发展是十分必要的。

2. 保潮养护是最重要的环节,普通砼养护应十分强调,更何况膨胀砼,尤其HPC等低水胶比砼中掺加膨胀剂。当水胶比低于0.4时,水化水已不足,如不及时补水,则水化停止,干缩继续,强度不增,裂缝将提前发生。国外为了保证充足养护,建议将养护列入承包合同中专项工程计价项目,我国在补偿收缩砼工程中可设立养护奖。

3. 后浇缝不能省,并视工程进度,规定填缝最短期限,一般1个月龄期干缩可能达40%,3个月达60%,在可能多的干缩出现后填缝最为有利。我们应对后浇缝的工艺简化与可靠下工夫。补偿收缩砼可适当延长后浇缝间距,缩短填缝时间。

4. 及早修补与谨慎对待薄弱易渗易裂的部位,重视各工序的质量检验。

四、知识经济时代召唤科技创新

我国膨胀剂与补偿收缩砼在数量上已领先于世界,但科技水平与管理水平并不先进,创新

更少。要在国内进一步发展和打入国际市场,必须依靠科技走在前面。

到 2010 年我国基础设施建设与住宅建筑需要大量优质砼,HPC 将大量应用,将膨胀剂掺入 HPC 是必然的趋势,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!

附带提出:美国混凝土月刊国际版 1997 年 9 月发表内维尔等“收缩变形的整体观”叙述各种收缩的分析与防治,并举 HPC 各种结构中的例证,很有参考价值,建议译载本论文,请认真学用。

我国混凝土膨胀剂的发展近况

教授级高级工程师 游宝坤

一、发展近况

1994年9月20日~25日,中国土木工程学会砼及预应力砼学会砼外加剂专业委员会在山东省泰安市召开了全国首届砼膨胀剂学术交流会,并出版了论文集。

首届学术交流会总结了我国自七十年代末以来砼膨胀剂研究、生产和应用的辉煌成就,令人鼓舞。目前我国已研制出十多个膨胀剂品种,主要是钙矾石型,其次是氧化钙型和氧化镁型。在膨胀剂应用技术研究方面,提出了结构自防水、延伸或取消结构后浇带,大体积砼裂缝控制,刚性防水屋面,提高灌注桩承载力和自应力砼压力管等最新应用技术。其中《UEA 补偿收缩砼防水工法》已列入国家级工法(YJGF22-92),“补偿收缩砼刚性防水屋面”已列入《防水工程技术规范》。有的应用技术达到国际先进水平。从第一届交流会至今,四年来膨胀剂的生产与应用又有新的发展。

砼膨胀剂的研究与应用硕果累累,尤其科研、设计和生产形成一条龙,强化了科研成果转化为生产力。从而大大促进了我国膨胀剂的生产发展。据不完全统计,我国膨胀剂生产厂家至今有70余个,其中UEA厂家有25个,明矾石膨胀剂(EA-L, EA-C, FN-M)厂家有10个,铝酸钙膨胀剂厂家6个,复合膨胀剂厂家2个, PNC、PPT、FS、JEA、TEA等膨胀剂厂家20个,膨胀剂生产过程与水泥生产差不多,涉及窑与磨设备。为提高产品质量与稳定性,已实现微机配料半自动化生产的厂家有中国建材院北京中岩特种工程材料公司,江西省特种水泥厂,天津豹鸣集团,山东寿光砼外加剂厂,南京特种建筑材料股份有限公司,沈阳东陵膨胀剂厂等。

1988年以前,全国膨胀剂年销量仅3000吨左右,1988年以后,其销售量逐年上升,1989年突破1万吨,1994年18万吨,1995年突破25万吨大关,1996以后受建筑形势影响,销量增长缓慢。其中U型膨胀剂年销量占总销量的80%左右。从销售市场来看,长江以北地区占65%,长江以南占35%,南方市场潜力尚很大,西北、西南地区发展较慢,有待大力开发。我国膨胀剂年销量已大大超过日本年销5万吨的水平,居世界之首。从1980年~1997年,我国累计销售膨胀剂约150万吨,其中1993年~1997年五年中销售量占100万吨(见图1)。尽管1996年我国建设形势有所控制,但随着膨胀剂的应用从城市转入“农村”的水电、煤炭、铁道等系统,其销量仍会保持良好势头。

由于防水卷材和涂料只能治标不能治本,工程界对结构自防水越来越认识到它的重要性,也认识到抗渗的前提是抗裂。膨胀剂的补偿收缩功能正是解决砼收缩开裂的较理想材料,所以,它在砼外加剂中异军突起。全国砼外加剂总销量约50万吨,其中砼膨胀剂占一半。

二、混凝土膨胀剂的生产发展

由于膨胀剂的制造工艺不同,我国膨胀剂的质量正从高碱向低碱,从高掺量向低掺量,从单一型向多功能型的方向发展。80年代初,安徽省建筑科研所在我院的明矾石膨胀水泥基础

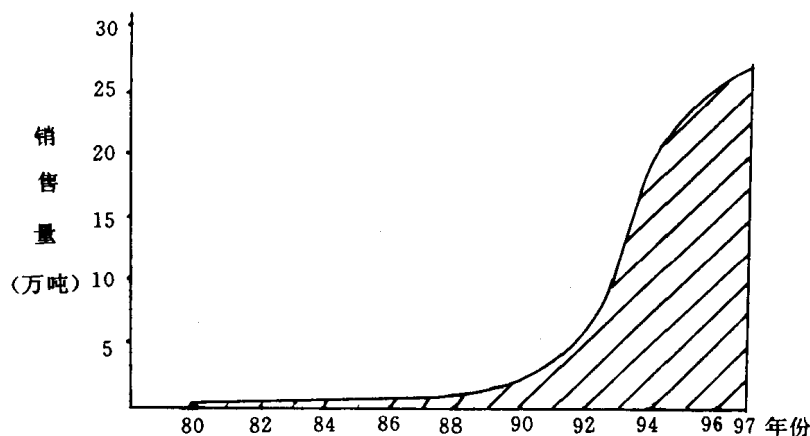


图1 全国砼膨胀剂年销量的发展

上,研制成功明矾石膨胀剂(EA-L)。这种膨胀剂效能较低,掺量15%,且含碱量超过2.5%。1985年起,中国建材院研制成功U型膨胀剂(UEA),铝酸钙膨胀剂(AEA)和复合膨胀剂(CEA)。它们是以明矾石 $[2KAl_3(SO_4)_2(OH)_6]$ 和石膏($CaSO_4$)为基础,分别加入特制的膨胀熟料粉磨而成,膨胀源主要是钙矾石($C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)。1990年后,山东省建科院和山东省建材院分别研制成功PNC和JEA膨胀剂。1995年后,浙江工业大学的TEA,北京祥业公司的PPT-Ⅲ,北京利力公司的FS-Ⅲ,中国建筑技术发展中心的EA等牌号膨胀剂进入市场。至今有10多个品种。这是可喜的发展。

我国主要膨胀剂的组成

表1

膨胀剂品种	代号	基本组成	膨胀源
U-I型膨胀剂	UEA-I	硫铝酸钙熟料,明矾石,石膏	钙矾石
U-II型膨胀剂	UEA-II	硫酸铝盐熟料,明矾石,石膏	钙矾石
U型高效膨胀剂	UEA-H	硅铝酸盐熟料,明矾石,石膏	钙矾石
复合膨胀剂	CEA	石灰系熟料,明矾石,石膏	CaO、钙矾石
铝酸钙膨胀剂	AEA	铝酸钙熟料,明矾石,石膏	钙矾石
明矾石膨胀剂	EA-L	明矾石,石膏	钙矾石

从表1可见,我国膨胀剂大多以明矾石作为一个特殊膨胀组分,而明矾石中含有 K_2O 和 Na_2O ,其含碱量 $R_2O=2\% \sim 4\%$ 。根据各种膨胀剂工艺配方不同,膨胀剂的含碱量有很大差异(见表2)。为了减少混凝土中的碱—骨料反应的影响,北京市建委于1995年颁发了京建科(1955)5号文件,规定“每立方米混凝土因掺外加剂加入的碱量不得超过1000克”。所以,研制低碱膨胀剂是十分必要的。从表2可见,按水泥用量 $400kg/m^3$ 计算,明矾石类膨胀剂带入混凝土的含碱量为 $1.5kg/m^3 \sim 1.8kg/m^3$,而UEA、CEA、AEA小于 $1kg/m^3$ 。近年来,中国建材院研制成功的第三代UEA、我院与天津豹鸣集团研制成功的低碱UEA,石家庄市特种水泥厂研制生产的高效UEA,其含碱量都小于0.8%,带入混凝土的碱量小于 $0.5kg/m^3$ 。这些低碱量膨胀剂的出现,适应了高性能混凝土发展。

混凝土的补偿收缩效能与膨胀剂的掺量有直接关系,掺量从15%降至10%~12%是个进步。我们应进一步研究掺量小于10%或更低的高效能膨胀剂,这应是今后的研究方向。但应指出,不管何种膨胀剂,在规定掺量下,应达到补偿收缩混凝土的技术要求(GBJ119-88):水养14d限制膨胀率 $\geq 0.015\%$,空气中6个月的干缩率 $\leq 0.045\%$ 。抗压强度 $\geq 20MPa$ 。我们发现,

不同品种膨胀剂的含碱量

表 2

膨胀剂品种	含碱量 (%)	标准掺量 (%)	C-400kg/m ³ 砼的膨胀剂 掺量(kg/m ³)	膨胀剂带入的 含碱量 (kg/m ³)
UEA-I	1.0~1.5	12	48	0.65~0.80
UEA-II	1.7~2.0	12	48	0.82~0.94
UEA-H	0.5~0.8	10	40	0.25~0.35
CEA	0.4~0.6	10	40	0.20~0.25
AEA	0.5~0.7	10	40	0.20~0.28
EA-L	2.5~3.0	15	60	1.53~1.80

有的厂家从商业竞争出发,故意把规定掺量降低,这是不科学和不负责的弄虚作假手法。

近年来,为适应商品混凝土的需要,我国已研制成功并投入生产以膨胀剂为母料,掺入各种化学外加剂复合成多功能膨胀剂。例如我院北京中岩特材公司、南京特材公司,山东寿光混凝土外加剂厂,沈阳东陵膨胀剂厂等生产的缓凝泵送型、早强泵送型、防冻泵送型和高性能型 UEA-H,天津豹鸣集团生产的 UEA-M,北京贝斯达公司生产的 CEA-B,北京利力公司的 FS-III,北京祥业公司的 PPT-III,山东建科院的 PNC-III,中国建研院的 JP-I 等。这种多功能膨胀剂的优点是:性能优良,适用于各种施工季节的补偿收缩泵送混凝土,减少搅拌站投料工序和误差,受到用户欢迎。

我国主要生产钙矾石型膨胀剂,近年,以氧化钙和钙矾石复合型和氧化镁型膨胀剂也有生产,其中南京化工学院研制的氧化镁膨胀剂属延迟膨胀型外加剂,以 3%~5% 掺入中热水泥拌成低热微膨胀混凝土,应用于大坝基础等部位获得成功。随着我们对 CaO、MgO 烧成工艺控制及其水化速度控制的深入认识,这两种膨胀剂将在某些特定工程得到应用。

必须指出,我国膨胀剂厂已有 70 多个,形成生产能力已达 150 万吨,即使努力几年达到 80 万吨销量水平,也只能发挥 50% 生产能力,因此,必须控制生产规模,生产厂家不宜过多,而应重在提高产品质量,发展新品种。

混凝土膨胀剂多用于结构工程,提高产品质量十分重要。据我们知道,有些厂家的生产设备十分落后,人工配料,没有完整化验室,缺乏检测手段,质量难以保证。个别厂生产假冒伪劣膨胀剂、扰乱市场,必须追究法律责任。1993 年 1 月正式实施《混凝土膨胀剂》建材行业标准 JC476-92 以来,绝大多数工厂按此标准生产膨胀剂,在工程中应用是良好的。但该标准中分一级品和合格品,由于某些原因,合格品占 50% 左右,而一级品比例有所下降。为了提高膨胀剂质量,与国际最先进的日本膨胀剂标准接轨,1997 年国家建材局给我院下达了修订《混凝土膨胀剂》标准的任务,修改后的标准内容是:取消合格品和一级品之分,只有一个等级,增加含碱量和含氯离子量两个指标,限制膨胀率定为水养 7d $\geq$ 0.025%、28d $\leq$ 0.10%,空气中 28d 的干缩率 $\leq$ 0.020%,各龄期强度指标适当下调 2MPa~3MPa。新标准主要提高膨胀剂的膨胀率,用以提高我国补偿收缩混凝土的抗裂防渗能力。我们希望各厂家按即将颁布的新标准生产膨胀剂,共同提高我国膨胀剂的质量水平。

三、我国砼膨胀剂应用技术的成绩

我院 UEA 补偿收缩砼自 1988 年问世以来,我们狠抓了应用技术的研究与开发,至今已在全国推广的有五项。

1. 结构自防水技术

在水泥中掺(替换水泥量)10%~12%的膨胀剂拌制成补偿收缩砼,其拌合、浇捣和养护方法与普通砼差不多,施工不复杂。其造价约比普通防水砼贵(10~15)元/m³。用它浇筑地下室、水工构筑物等,可不用外贴防水层。对于特别重要建筑物,外贴防水卷材,作为“双保险”。底板可作结构自防水,考虑边墙长且薄(30cm~40cm),受温差影响大,也可作外防水。不管何种情况,结构自防水是根本,抗裂比抗渗更重要,要抗裂就要补偿砼的收缩,要补偿砼收缩最好的途径就是加入膨胀剂。经过八年上千个防水工程实践和专家考察,1992年建设部施工管理司把“UEA 补偿收缩砼防水工法”列入国家级工法(YJGF22-92)。这标志我国结构自防水技术的重大突破,已在全国推广。近年来,CEA、AEA 膨胀剂和 PNC, JEA, HEA JP-1、PPT、FS 等膨胀剂应用于结构防水工程也取得不少成绩。建设部制定的“建筑技术政策纲要”(1996~2010年)中,明确规定:刚性防水选用补偿收缩混凝土结构自防水。政府主管部门的政策,无疑对我国膨胀剂开发应用给予有力的支持。

2. UEA 无缝设计施工技术

设计规范规定,考虑砼收缩变形,每 30m~40m 设一道后浇缝,不但施工麻烦,延长工期,而且留下渗水隐患。我们采用 UEA 补偿收缩砼,以膨胀加强带取代后浇缝,实现连续浇筑超长防水结构的新方法,见图 2。

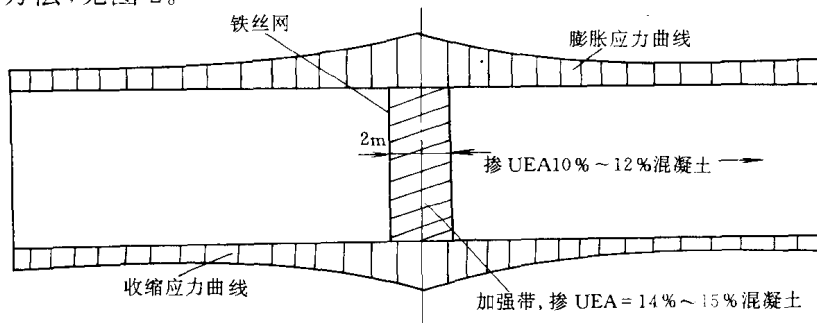


图 2 UEA 加强带替代后浇缝的示意图

该方法的原理是在结构收缩应力最大的地方给予相应较大的膨胀应力补偿。具体作法, UEA 加强带的宽度约 2m,带之间适当增加水平构造钢筋 15%~20%,带的两侧分别架设密孔铁丝网,防止砼流入加强带。施工时,先浇带外微膨胀(掺 10%~12%UEA)砼,浇到加强带时,改为大膨胀砼(掺 14%~15%UEA),该处砼强度等级比两侧砼高 0.5MPa。如此连续浇筑下去。

根据我院的《超长钢筋砼结构无缝设计与施工方法》(专利申请号 93117132.6),已应用于北京九龙游乐园水下龙宫(∅49m×12m),北京当代商城(90m×90m)广州站前地下商地(136m×67m),珠海三海大厦(130m×80m×1.8m),北京西客站(主楼 336m×102m,东西楼 187m×103m),福州长乐国际机场航站楼(348m×36m)等数十座超长地下建筑,获得成功。这种取消后浇缝的连续浇筑砼的方法,整体防水性好,大大缩短工期,但这种方法必须根据结构情况,灵活慎重应用。该方法已引起我国设计、施工界的巨大关注,正在全国推广。

3. 大体积结构砼裂渗控制新方法

随着我国高层建筑的发展,地下室底板越来越厚,强度等级也越来越高。近年来,冶建院的王铁梦高级工程师提出采用粉煤灰和缓凝剂作大体积防水砼,原理是降低砼的水化热,使综合温差 T 减少。用温差变形 $\alpha T \leq \epsilon_p$ (极限拉伸),结构就不会开裂。这对于强度等级低的 $C_{20} \sim C_{25}$

大体积砼是有效的,但对于 C_{40} 以上砼,其水泥用量较多,一般在 $400\text{kg}/\text{m}^3 \sim 500\text{kg}/\text{m}^3$,即使使用粉煤灰取代部分水泥,砼的水化热仍相当高。可使砼内部最高温度达 $60^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$,当砼内外温差超过 25°C 时,有可能导致大体积砼出现贯穿的温差裂缝。控制砼温差裂缝在设计和施工方面已有许多成功经验,如掺入粉煤灰、缓凝剂、铺设冷却水管等,由于底板砼设计强度等级较高,如广州天汇大厦为 C_{40} ,青岛中银大厦(50层)为 C_{50} ,上海世界贸易商城($183\text{m} \times 109\text{m} \times 1\text{m}$)为 C_{40} ,福州东升广场 C_{40} 等,采用 UEA 砼控制温差裂缝获得成功。

我们知道,综合温差 $T = T_1 + T_2$,其中 T_1 为砼水化热最高温度与环境平均气温之差,施工规范要求 $T_1 < 25^\circ\text{C}$, T_2 为砼收缩当量温差, $T_2 = \epsilon_y(t)/\alpha$, ϵ_y 为砼收数值,对于普通砼,限制收缩率 $\epsilon_y = (2 \sim 3) \times 10^{-4}$,即 $T_2 = 20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$,而砼早期 10d~15d 的极限位伸很低,一般 $\epsilon_p = (1 \sim 2) \times 10^{-4}$ (考虑徐变),因而很容易出现裂缝。

而膨胀砼能产生膨胀效应,在 14d 的限制膨胀率 $\epsilon_2 = (2 \sim 4) \times 10^{-4}$ 它不但可补偿砼的收缩而且能降低砼的温差,按 $T_2 = \epsilon_2(t)/\alpha$,膨胀砼 $\epsilon_2 = 1 \times 10^{-4}$,则 $T_2 = 1 \times 10^{-4} = 10^\circ\text{C}$,如果 $\epsilon_2 = 2 \times 10^{-4}$,则可补偿温差 20°C ,这是很大的潜在温差补偿效应。对于温差变成 $T = T_1 - T_2$,使结构的温差变形 αT 小于砼的极限拉伸 ϵ_p ,防止大体积结构产生裂缝,这就是补偿收缩砼控制大体积结构砼裂缝的理论依据。工程实践表明, C_{30} 以上大体积砼裂渗控制难度较大,在国内数十个高层建筑中,采用掺入缓凝减水剂的补偿收缩砼浇筑大体积底板,获得佳良效果。

4. 刚性屋面防水技术

经过 20 多年的研究与实践,采用补偿收缩砼作刚性屋面比普通细石防水砼更好。其原由是提高了砼的抗裂性,以柔性分格缝缓解屋面的温差裂缝,这种在预制板或保温层上作 40mm 厚的 $\phi 4\text{mm}$, 150×150 双向钢筋补偿收缩砼屋面,已在江苏、浙江、江西、安徽等南方省市推广应用,获得良好效果,在北方省分也有推广,但主要解决好分格缝的嵌缝质量问题。

近年来,南方多采用现浇防水砼屋面,厚度 $10\text{cm} \sim 12\text{cm}$,配以 $\phi 8\text{mm}$ 150×150 双向钢筋,砼标号大于 C_{25} ,为解决现浇砼的抗裂防水问题,在水泥中掺入 $12\% \sim 13\%$ UEA 或其他膨胀剂,拌制成补偿收缩砼浇筑屋面,可连续浇筑 50m 不留后浇缝,如超过 50m,可用 UEA 加强带(2m 宽、掺 $14\% \sim 15\%$ UEA)取代后浇缝,连续浇筑 $80\text{m} \sim 100\text{m}$ 屋面不留缝,为防止温差变化,在加强带之间和屋面周边适当增加水平构造钢筋。浇筑完的屋面要加强水养护、养护期不小于 14d,随后,在屋面上架设通风隔热层。

这种补偿收缩砼结构自防水屋面在广东、广西、海南省等已推广应用,效果良好,类似这种屋面构造在体育看台应用十分成功,例如北京奥体中心田径场看台,厦门体育中心看台,深圳体育中心看台、绵阳体育看台、沈阳和平区人民体育场看台、天津和平区体育看台、非洲吉布提共和国体育中心看台等。累计约 14.6万 m^2 ,使用最长时间达 7 年之久,至今防水效果甚佳。这些实际应用表明,设计结构自防水屋面时,采用补偿收缩砼比普通防水屋面更为合理、可靠、造价仅增加 $(1.5 \sim 2) \text{元}/\text{m}^2$ 。

5. 膨胀剂在高性能混凝土中的应用

近年来,我国高性能混凝土(HPC)研究与应用的发展较快。吴中伟院士把 HPC 称之为“绿色混凝土”,并提出了它的发展趋势。

HPC 是一种工作性优良的高耐久性混凝土。吴中伟院士在 1994 年发表的“补偿收缩混凝土的新动向”文中指出:混凝土内部裂缝到可见裂缝,对安全使用期是有害的。因此,加入适量膨胀剂有利于减免早期内部裂缝,随着 HPC 的广泛采用,补偿收缩混凝土将能够在 HPC 中发