

# 外加剂对混凝土抗裂性能影响的试验研究

胡红梅,刘冬冬,余彬彬

(厦门大学建筑与土木工程学院土木工程系,福建 厦门 361000)

**摘要** 通过圆环试验,研究了 4 种常用减水剂和 UEA 膨胀剂对混凝土收缩开裂的影响。结果发现:聚羧酸系和萘系高效减水剂对净浆开裂龄期均有延缓作用,但影响规律却不尽相同。随着聚羧酸系减水剂掺量的增多,试件开裂龄期逐渐缩短,抗裂性能下降,而随着萘系减水剂掺量的增多,试件开裂龄期逐渐增长,抗裂性能提高。UEA 膨胀剂在 6%~12%范围的等量内掺,有明显的减缩作用。

**关键词** 混凝土;收缩开裂;减水剂;膨胀剂

## 1 研究背景

20 世纪 80 年代,随着世界范围内的混凝土耐久性危机的出现,许多结构物在服务不到 20 年的时间就出现恶劣破坏。裂缝问题的解决具有紧迫性、现实性和必要性,将会创造显著的经济效益与社会效益。虽然国内外对混凝土裂缝的成因和控制开展了大量研究,并从各方面提出了技术措施,但裂缝问题并没有从根本上得到有效遏制,迄今关于商品混凝土早期收缩裂缝仍是学术界热衷于研究的课题,更是工程界迫切期望解决的工程难题。

另一方面,随着科学技术的发展,施工中对混凝土的性能提出了新的要求,如何满足这些要求有多种途径,化学外加剂在混凝土中的使用是一种效果显著和经济的方法,对其广泛应用使其成为混凝土中必不可少的第五组分。它可以显著改变和提高混凝土的流变性能,凝结硬化时间、强度和耐久性,同时,还可以节约水泥,节能利废,具有其他材料组分不可替代的作用。目前在工程中常用的外加剂主要有减水剂、膨胀剂、缓凝剂、防冻剂、引气剂等。但是,外加剂的掺入对混凝土收缩开裂的影响,还没有系统的研究。本文即对工程建设中常用的减水剂和膨胀剂对混凝土早期开裂的影响进行了大量的试验研究和分析。

## 2 试验材料

(1)水泥:采用“建福”牌 42.5 级普通硅酸盐水泥。

(2)减水剂:①科之杰 point-s 聚羧酸高效减水剂,固含量 3.0%;②西卡 1220 聚羧酸高性能减水剂,固含量 22.74%;③科之杰 point-400 萘系缓凝高效减水剂,固含量 30%;④宏发 FS-R 萘系缓凝高效减水剂,固含量 22.14%。

(3)膨胀剂:北京华新技术有限公司生产的 UEA-H 膨胀剂。

## 3 试验方法

试验采用《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082-2009 推荐的环约束试验法。本方法主要适用于胶凝材料体系初龄期的抗裂性能评价。所用抗裂试模的主要部件包括底座、侧模、芯模和上盖。芯模用钢制成,芯模顶

面有凹槽,其他部件可用有机玻璃制成。抗裂试模成型试件的外径为 $(140 \pm 1)$ mm,内径为 $(90 \pm 1)$ mm,高为 $(25 \pm 1)$ mm。

## 4 试验结果及分析

据调查,厦门地区目前使用最多的即为上述几种外加剂,其使用量约占总使用量的 93%。本文即对这几种外加剂分别进行了试验研究。

### 4.1 减水剂对混凝土收缩开裂的影响

为了探寻减水剂掺量对水泥净浆早期收缩开裂的影响,本试验固定水胶比为 0.32,通过改变每种减水剂的掺量,检测不同减水剂品种与掺量对净浆收缩开裂的影响。每种减水剂掺量以及净浆开裂时间测试试验结果分别如表 1、图 1 所示。

从试验结果中可以看出,在四种减水剂中,掺加聚羧酸系和萘系减水剂都对试件开裂龄期有延缓作用,并且掺聚羧酸系减水剂的试件抗裂性能优于萘系减水剂。从四种减水剂抗裂龄期因子的线性拟合图上可以看出西卡 1220、point-s 这两种聚羧酸系减水剂,随着减水剂掺量的增多,试件开裂龄期逐渐缩短,抗裂龄期因子逐渐减小,而 point-400、宏发 FS-R 这两种萘系减水剂,随着减水剂掺量的增多,试件开裂龄期逐渐增长,抗裂龄期因子逐渐增大。

分析认为,掺入适量聚羧酸系减水剂,通过其表面活性作用、络合作用、静电排斥力和立体排斥力等来阻碍或破坏水泥颗粒的絮凝结构,尤其分散稳定作用,使混凝土更加均匀稳定,从而在很大程度上减小了混凝土的收缩开裂。但随着其掺量的增大,水泥石内部毛细孔的细化效应随着掺量的增加而愈发显著,而毛细孔的细化使得毛细孔应力增大,而导致水泥石的自收缩增大,因此,随着水化的不断进行,水泥石的自收缩随着减水剂掺量的增加而增大,从而对外表现为水泥净浆试件开裂龄期变短。掺入萘系高效减水剂,由于其引气作用,使水泥石内毛细孔加粗,从而减小水泥硬化时收缩产生的内应力,使其开裂龄期延长,且随萘系高效减水剂掺量的增加,水泥石的开裂龄期也不断增大。

表 1 减水剂品种及掺量对水泥净浆抗裂性能的影响试验设计及结果

减水剂品种	分组编号	掺量 /%	折固量 /%	开裂龄期 /h			开裂龄期平均值	抗裂龄期因子
point-s 聚羧酸系	01-1	0.8	0.24	65.4	70.0	--	67.7	2.67
	01-2	1.0	0.30	57.0	59.0	61.3	59.1	2.33
	01-3	1.2	0.36	50.0	48.7	52.5	50.4	1.98
	01-4	1.4	0.42	38.7	40.0	49.1	42.6	1.68
	01-5	1.6	0.48	40.3	34.8	34.1	36.4	1.43
	01-6	0	0	23.7	28.9	23.6	25.4	1.00
Point-400 萘系	02-1	1.5	0.45	--	9.8	10.8	10.3	1.11
	02-2	1.7	0.51	11.0	11.0	11.1	11.1	1.19
	02-3	1.9	0.57	11.2	12.0	12.2	11.8	1.26
	02-4	2.1	0.63	13.1	12.2	12.5	12.6	1.35
	02-5	2.3	0.69	14.0	12.3	13.6	13.3	1.42
	02-6	0	0	11.4	9.2	7.3	9.3	1.00
西卡 1220 聚羧酸系	03-1	0.6	0.14	--	47.8	43.2	45.5	2.46
	03-2	0.8	0.18	40.5	39.2	37.6	39.1	2.11
	03-3	1.0	0.23	31.7	35.6	35.3	34.2	1.85
	03-4	1.2	0.27	29.8	29.6	27.6	29.0	1.57
	03-5	1.4	0.32	23.7	24.2	26.3	24.7	1.33
	03-6	0	0	17.7	19.3	--	18.5	1.00
宏发 FS-R 萘系	04-1	2.5	0.55	19.8	21.5	22.7	21.3	1.15
	04-2	3	0.66	22.2	24.5	23.9	23.5	1.27
	04-3	3.5	0.77	28.1	26.3	25.1	26.5	1.43
	04-4	4	0.88	28.2	29.4	28.5	28.7	1.55
	04-5	4.5	0.99	30.0	32.1	28.5	30.2	1.63
	04-6	0	0	17.7	19.3	--	18.5	1.00

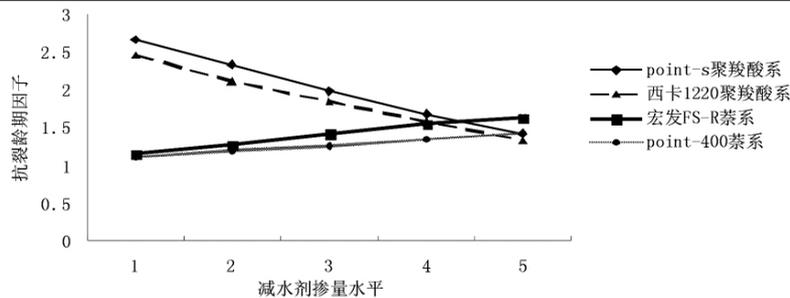


图 1 减水剂对净浆开裂的影响曲线

4.2 膨胀剂对混凝土收缩开裂的影响

UEA 膨胀剂中掺有水化较慢的明矾石,在水化早期、中期(7~14d)都可产生一定数量的钙矾石而产生膨胀来填充和堵塞混凝土中的毛细通道和孔隙。这是因为硫铝酸钙类是利用水泥在水化早期生成水化产物硫铝酸钙而使体积发生膨胀,水化产物钙矾石,其体积为水化前的 2.5 倍。

针对混凝土的收缩开裂,掺入膨胀剂配制补偿收缩混凝土被认为是一种解决问题的有效技术途径。本文主要从以下两个方面探讨了存在的问题。①UEA 膨胀剂掺量对防裂的影响,②水胶比变化带来的问题。因此,本文分别进行两组试验来研究这两个因素的影响。首先,固定水胶比为 0.32,改变膨胀剂的掺量设计为第 5 组;第二,固定膨胀剂掺量为 10%,改变水胶比设计为试验的第 6 组。两组试验结果列于下表 2。

从试验结果可以看出,当水胶比固定 0.32 时,随着 UEA

膨胀剂的掺加量的增多,开裂龄期变长,特别是在当 UEA 质量代替率大于 6%以后,开裂龄期有较明显幅度的延长,在此之前开裂龄期随 UEA 掺量增加而增幅缓慢。当 UEA 质量代替率超过 12%后,开裂龄期却反而有所提前,这说明膨胀剂掺量一旦超过 12%,由于膨胀剂过度膨胀的作用,反而使得水泥净浆试块过早开裂。详见图 2。

固定膨胀剂掺量在 10%,当水胶比小于 0.28 时,开裂龄期变化幅度很小,可以看出,当水胶比小于 0.28 时,膨胀剂膨胀作用明显受到抑制。当水胶比大于 0.32 以后,膨胀剂在抗早期开裂中起到了明显的作用效果。随着水胶比的增大,开裂龄期一直增长,幅度改变稍大。在水胶比大于 0.28 以后,开裂龄期幅度的改变说明了膨胀剂只有在一定的水胶比作用下,其作用才能得以发挥。详见图 3。

图 4 分别是未掺加 UEA 和 UEA 掺量为 10%混凝土的 SEM 分析,经过放大 1000 倍后,可以明显发现,掺加了 UEA

后改变了水泥石水化之后的结构形貌 (a) 图中水化产物针片状物明显,结构孔隙大 (b)图中水化产物的空间结构能形

比较(a)均匀、连续稳定,孔隙小,总体来说结构致密程度较(a)好。

表2 UEA 掺量、水胶比对水泥净浆抗裂性能影响的试验设计及其结果

分组编号	水胶比	UEA 替代率 /%	时间平均值	开裂时间比值
05-1	0.32	0	29.4	1.00
05-2	0.32	3	31.8	1.05
05-3	0.32	6	43.1	1.47
05-4	0.32	10	126.0	4.29
05-5	0.32	12	132.0	4.49
05-6	0.32	15	91.8	3.12
06-1	0.20	10	14.6	0.50
06-2	0.24	10	14.7	0.50
06-3	0.28	10	17.0	0.58
06-4	0.32	10	126.0	4.29
06-5	0.36	10	130.1	4.43
06-6	0.40	10	153.2	5.21
06-8	0.44	10	166.8	5.67
06-9	0.48	10	-	-

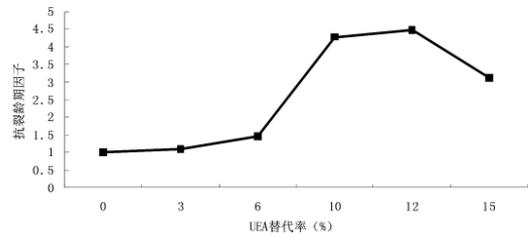


图2 净浆开裂龄期随 UEA 代替率的变化关系图

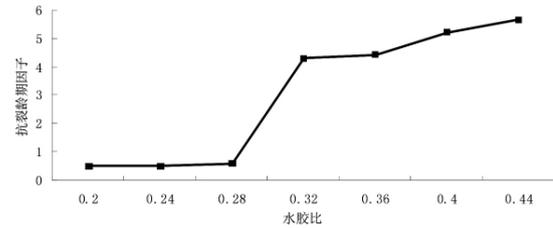
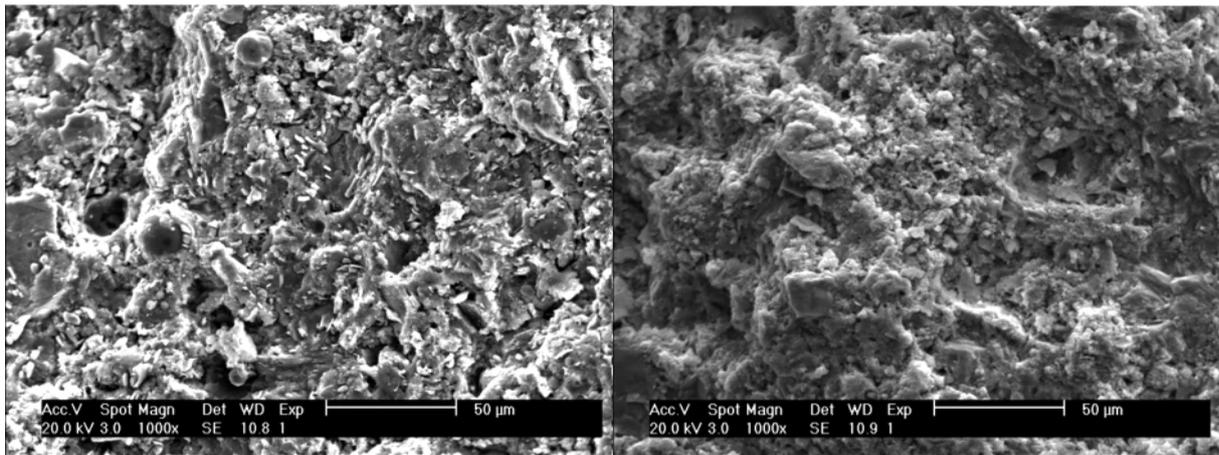


图3 掺入膨胀剂的净浆开裂龄期随水胶比的变化关系图



(a) 未掺加UEA

(b) UEA掺量为10%

图4 水泥净浆 SEM 图像

### 5 结论

(1)聚羧酸系高效减水剂对水泥净浆开裂龄期有延缓作用,随着聚羧酸系减水剂掺量的增多,试件开裂龄期逐渐缩短,即抗裂性能下降。相比较而言,聚羧酸系高效减水剂在降低混凝土开裂敏感性方面要大于萘系减水剂。

(2)萘系高系减水剂对水泥净浆开裂龄期有延缓作用,随着萘系高效减水剂掺量的增多,试件开裂龄期逐渐增长,抗裂性能提高。

(3)UEA 膨胀剂在 6%~12%范围的等量内掺,有明显的减缩作用。因此,对抗裂性能要求高的混凝土建议掺入膨胀剂。

#### 参考文献

[1] Aitein,Pierre-Claude,Cements of yesterday and today: Concrete of tomorrow,Cement and Concrete Research[J], 2000 (9) :1349- 1359.  
 [2] 韩素芳,耿维恕. 钢筋混凝土裂缝控制指南(第二版)

[M].北京:化学工业出版社,2006.

[3] 阎培渝,廉慧珍. 用整体论方法分析混凝土的早期开裂及其对策[J].建筑技术.2003,34(1).  
 [4] Kyung-Hwan Min et al. Shrinkage characteristics of high-strength concrete for large underground space structures[J].Tunnelling and Underground Space Technology, 2010 (25) :108- 113.  
 [5] Emma Boghossian et al. Use of flax fibres to reduce plastic shrinkage cracking in concrete [J].Cement & Concrete Composites,2008 (30) :929- 937.  
 [6] Yvonne Theiner et al.Numerical prediction of crack propagation and crack widths in concrete structures [J]. EngineeringStructures,2009 (31).  
 [7] 中国工程院土木水利与建筑系部. 混凝土结构耐久性设计与施工指南 [M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2004. (下转第13页)

水稳类基层碾压成型后应及时覆盖、洒水养生,目前我国高速公路路面基层的早期养生方式主要有4种:薄膜覆盖养生、稀浆封层养生、麻袋覆盖养生和土工布覆盖养生。其中前两者通过密封保持基层内部的水分以提供养生环境,称之为覆盖密封养生;后两者以适时补充水分来保持基层的湿度,称之为覆盖补水养生。相关的试验表明,相对于麻袋覆盖补水养生而言,薄膜覆盖密封养生提供了较高的温度和相对稳定的温湿度条件,薄膜覆盖密封养生条件下养生环境更稳定,可促进早期强度的形成,有利于抗裂性的提高,而且节约了养生用水。养生时基层失水量应尽量控制在2%以内,且至少养生7d以上才能铺筑沥青面层。养生期间要封闭交通,严禁车辆通行和堆放构件、管线等重物。

2.7 减小温差

夏季施工时,水泥、砂石等原材料应采取遮蔽措施,防止原材料温度过高;充分利用天然条件降低施工时的温差,如夜间施工等;基层碾压完毕后,若暂时不进入下一道工序,应在基层表面覆盖保温材料,以防止水分蒸发和温度骤然变化引起基层开裂。

2.8 调整水稳类基层施工时间

调查表明,基层施工时的温度、年温度梯度或多年的温度梯度决定了水稳类基层内产生的裂缝(特别是温缩裂缝)。

若水稳类基层施工时温度较低,经过夏季高温季节后就会产生膨胀性的裂缝和变形;反之,在高温季节施工的水稳类基层经过一个冷季节后会产生收缩裂缝。水稳类基层的开裂通常出现在施工完成后的两个月内,经过处理铺筑沥青面层过冬后的路面上很少产生新裂缝或反射裂缝。根据我国的气候特点,半刚性基层施工安排在春夏季比较合适。

3 结语

本文从水泥稳定类半刚性基层配合比、材料要求和施工工艺等方面探讨对抗裂性的影响,骨架密实型水泥稳定碎石与常规级配水泥稳定碎石相比,具有优良的抗裂性能和力学性能,不但可以减轻沥青路面的裂缝率,而且也提高了路面的承载力,从而提高了沥青路面的耐久性。同时,为了提高水泥稳定类半刚性基层的抗裂性,还应注意材料的选择和施工工艺要求。

参考文献

[1] JTG E51-2009,公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S]  
 [2] JTJ034-2000,公路路面基层施工技术规范[S]  
 [3] 张宏君.基于路用要求的半刚性基层抗裂评价与改善措施研究[D].长安大学博士学位论文,2009.6

(上接第3页)

[8] 蔡安兰,黄颖星,严生,等.水泥石的结构、组成与干缩性能的关系[J].材料科学与工程学报,2005,23(4):574-577,584.  
 [9] 杨长辉,王川,吴芳.混凝土塑性收缩裂缝成因及防裂措施研究综述[J].混凝土,2002,(5).

作者简介:胡红梅,女,教授,硕士生导师,研究方向与教学领域:高性能混凝土,海洋环境钢筋混凝土结构耐久性,新型建筑材料,固体废弃物再资源化利用。教学领域:土木工程材料、建筑材料、新型建筑材料、混凝土新技术等。

(上接第5页)

状态评估研究现状与展望.国防交通工程与技术,2006.  
 [3] 王有志,等.桥梁的可靠性评估与加固.北京:中国水利水电出版社,2002.  
 [4] 王根会.桥梁检测与维修加固.兰州:兰州大学出版社,2005.  
 [5] 中华人民共和国铁道部.铁路桥梁检定规范[M].北京:中国铁道出版社,2004:60-99  
 [6] 李科进.城市桥梁病害类型与养护维修措施探讨.经营

管理者,2011,(08)  
 [7] 李辉.钢筋混凝土梁式结构裂缝特征、机理与控制[J].四川建筑科学研究,2004,(01).  
 [8] 崔国喜,潘发晶,靳建立.混凝土桥梁补强加固技术.华北水利水电学院学报,2002,(03)

作者简介:付江涛(1981-),男,陕西汉台人,桥梁与隧道工程专业硕士研究生。

(上接第7页)

参考文献

[1] 王天稳.土木工程结构试验.武汉:武汉理工大学出版社,2003.  
 [2] 中华人民共和国铁道部.铁路桥梁检定规范[M].北京:中国铁道出版社,2004:60-99  
 [3] 中华人民共和国铁道部.TB10002.1-2005铁路桥涵设

计基本规范[S].北京:中国铁道出版社,2005.  
 [4] 中华人民共和国铁道部.TB10002.3-2005铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范[S].北京:中国铁道出版社,2005.

作者简介:丁红林(1986-),男,甘肃武山人,桥梁与隧道工程专业硕士研究生。