

文章编号:1003-4722(2003)05-0074-03

## 微膨胀聚丙烯纤维混凝土在桥面防水铺装中的应用

刘其伟<sup>1</sup>,吴赞平<sup>2</sup>,朱俊<sup>1</sup>,严乐中<sup>2</sup>,王键<sup>1</sup>

(1. 东南大学交通学院,江苏南京 210096; 2. 江苏宁沪高速公路股份有限公司,江苏南京 210000)

**摘要:**从防水机理、材料选择、配比设计、施工方法等方面介绍了微膨胀聚丙烯纤维混凝土在某桥桥面防水铺装中的应用情况,实践证明,微膨胀聚丙烯纤维混凝土是一种较好的刚性本体防水材料。

**关键词:**纤维混凝土;桥面;防水;铺装

**中图分类号:** TU528.572;U443.33 **文献标识码:** A

## Application of Micro-Expansive Polypropylene Fiber Concrete to Bridge Deck Waterproof Surfacing

LIU Qi-wei<sup>1</sup>, WU Zan-ping<sup>2</sup>, ZHU Jun<sup>1</sup>, YAN Le-zhong<sup>2</sup>, WANG Jian<sup>1</sup>

(1. College of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. Jiangsu Nanjing-Shanghai Expressway Stock Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

**Abstract:** This paper presents the application of micro-expansive polypropylene fiber concrete (MEPFC) to a bridge deck waterproof surfacing in aspects of waterproof mechanism, material selection, proportioning design and construction method. The practical application proves that MEPFC is a fairly good rigid waterproof material.

**Key words:** fiber concrete; bridge deck; waterproof; deck surfacing

### 1 工程背景

沪宁高速公路江苏段跨越运河的某桥,主桥为三向预应力混凝土连续箱梁桥,跨径布置为(42.5+65+42.5)m,分左右两幅,每幅桥面宽12.5m。在该桥进行加固期间,发现箱内有多处渗漏水,主要以顶板、腹板漏水为主。从桥面也可观察到多处开裂,表明桥面在多种因素的影响下,其防水能力已明显下降或局部失效。大量积水积存在梁体内,将加速内部预应力及普通钢筋的锈蚀,影响桥梁结构的耐久性,是该桥的安全隐患。而如果不对桥面铺装进行防水处理,就不能根治箱梁渗、漏水的现象,因此需要重新翻做桥面铺装层,以隔绝外界水源。

这次的桥面防水铺装设计在各方面的广泛调

查、对比分析和判断的基础上,提出了既能满足功能、受力要求,又能便于维修施工的方案,即三层结构形式:微膨胀聚丙烯纤维混凝土调平层+FYT柔性防水层+AC-20 I型改性沥青混凝土面层。

### 2 微膨胀聚丙烯纤维混凝土自防水技术方案

水泥混凝土(调平层)从本质上来说应该是具有防水功能的,但现实中其防水功能往往失效。造成水泥混凝土防水功能失效的原因有很多,主要的有:混凝土施工质量差、浇捣不密实从而在其内部形成各种形状的缝隙孔洞;混凝土由于收缩形成裂缝;温度或荷载应力过大造成裂缝。针对这些原因,工程技术人员制成了各种防水混凝土,主要有外加剂防

收稿日期:2002-10-29

作者简介:刘其伟(1961-),男,副教授,1983年毕业于同济大学桥梁工程系,工学学士,1995年毕业于东南大学道桥专业研究生班,现为同济大学博士研究生。

水混凝土和补偿收缩防水混凝土等。近年来,人们逐渐认识到:作为混凝土自防水结构,抗渗的前提是抗裂,不裂就不渗。而普通防水混凝土和外加剂防水混凝土不具有膨胀性能,没有抗裂功能,即使它们的抗渗性很高,混凝土收缩开裂就会失去整体防水能力。所以,具有抗裂防渗双重功能的微膨胀聚丙烯纤维混凝土成了结构自防水的理想材料<sup>[1]</sup>。

聚丙烯纤维混凝土可以增强混凝土结构的抗疲劳、抗冲击、耐磨损和抗裂、阻裂能力,以及提高韧性和抗渗性,可有效阻止混凝土内部和表面裂缝的扩展或延缓裂缝的出现,用于桥面防水是一种比较理想的材料。本大桥桥面防水铺装调平层混凝土采用聚丙烯纤维(美国杜拉纤维)混凝土,同时加入 UEA—H 高效混凝土膨胀剂,以适当考虑早强、微膨胀。

### 2.1 微膨胀聚丙烯纤维混凝土的防水机理

在混凝土中掺入聚丙烯纤维后,聚丙烯纤维与水泥基体有极强的结合力,可以迅速而轻易地与混凝土材料混合,分布极其均匀、彻底,每立方厘米的混凝土中有将近 20 条纤维丝,故能在混凝土内部构成一种均匀的乱向支撑体系<sup>[2]</sup>。

纤维的加入犹如在混凝土中掺入巨大数量的微细筋,这些纤维筋抑制了混凝土开裂的过程,提高了混凝土的断裂韧性,因此,在混凝土中加入杜拉纤维,是控制混凝土塑性收缩、干缩等非结构性裂缝的有效手段。试验表明,同普通混凝土相比,体积掺量 0.05% (约 0.5 kg/m<sup>3</sup>) 的杜拉纤维混凝土抗裂能力提高近 70%。同时,均匀分布在混凝土中彼此相粘连的大量纤维起了“承托”骨料的作用,降低了混凝土表面的析水与集料的离析,从而使混凝土中直径为 50~100 nm 和大于 100 nm 的孔隙的含量大大降低,从而有效地提高了混凝土的抗渗能力。测试表明,0.05% 体积掺量的杜拉纤维混凝土比普通混凝土抗渗能力提高 60%~70%。

UEA 混凝土膨胀剂(英文名 United Expansion Agent 简称 UEA)是由硫铝酸钙熟料或硫酸铝熟料与石膏组成的复合型膨胀剂,通常内掺(等量取代)10%~14%于水泥中,可拌制成补偿收缩混凝土。它的防水原理是:将 UEA 加入普通混凝土中,拌水后产生大量膨胀性结晶水化物—水化硫铝酸钙即钙矾石,使混凝土产生适度膨胀,其自由膨胀率为  $\epsilon_1$  为 0.04%~0.06%,在钢筋和邻位的约束下,其限制膨胀率  $\epsilon_2$  为 0.02%~0.04%,可在混凝土中建立 0.2~0.7 MPa 的预压应力,从而抵消混凝土在硬化过程中产生的全部或部分拉应力,达到抗裂的目的。

此外,普通混凝土系非匀质多孔结构,内部存在着许多毛细孔、沉降孔隙和接触孔,是渗水通道。UEA 补偿收缩混凝土水硬化时产生的钙矾石晶体是针状或细柱状结构,在有限制的情况下,钙矾石晶体在这些孔隙或微裂缝内生长,起到填充、堵塞或切断毛细孔等渗水通道的作用,使水泥石的总孔隙率降低,而且孔径变小,形成致密的水泥石结构,从而大大提高混凝土的抗渗能力<sup>[1]</sup>。

### 2.2 关于微膨胀聚丙烯纤维混凝土的几点认识

(1) 微膨胀聚丙烯纤维混凝土阻裂效应的意义不仅在于有效地阻止了早期混凝土塑性裂缝的发生和发展,其意义更在于通过提高材料介质的连续性,能使硬化后混凝土的性能得到显著改善。对于桥面混凝土,由于所承受的弯拉荷载和反复冲击荷载,对混凝土内原生裂隙数量和尺度的敏感性较高,原生裂隙在数量和尺度上的减小对提高其使用性能是非常有利的。但由于微膨胀聚丙烯纤维混凝土的阻裂效应尚很难通过试验进行定量的评价,容易造成对其使用效果的低估<sup>[1]</sup>。

(2) 桥面混凝土主要承受车辆反复冲击造成的疲劳作用,因此,抗动荷载能力的强弱更接近真实的材料使用性能水平,而小试件抗压或抗折强度则是在试验机加载速率下测得的准静载强度。有关试验结果表明:虽然掺入聚丙烯纤维对混凝土的准静载强度无显著影响,却能使混凝土的抗冲击能力和抗疲劳能力显著提高。

## 3 微膨胀聚丙烯纤维混凝土配合比的设计

### 3.1 混凝土原材料的选择

水泥:选用海螺牌 P. O 42.5 普通硅酸盐水泥。主要性能如下:① 细度,在 0.08 mm 方孔筛上的筛余百分率为 2.6%;② 初凝时间 160 min,终凝时间 195 min;③ 安定性,采用雷氏法测得雷氏夹针尖端增加的距离平均为 2 mm;④ 强度,水泥砂浆 3 d 抗压强度 35.7 MPa,3 d 抗折强度 5.7 MPa。

粗集料:选用 5~20 mm 连续级配石灰岩碎石,产地宜兴园田。碎石表观密度 2.715 g/cm<sup>3</sup>,压碎值 8.9%,含泥量 <1%。

细集料:选用中砂,来源长江。表观密度 2.598 g/cm<sup>3</sup>,细度模数 2.64,含泥量 <3%。

UEA:采用 UEA—H 高效混凝土膨胀剂。主要特点是:① 含碱量低。以 12% UEA—H 掺入混凝土中,带来的碱量(R<sub>2</sub>O)不超过 1 kg/m<sup>3</sup>,从而可以防止碱—骨料反应导致混凝土结构的破坏。②

掺有低碱 UEA-H 的混凝土拌合物工作性得到改善,坍落度损失大大减小,克服了普通 UEA 的这一缺点。③ UEA-H 含有较高的活性氧化铝成分,经水化反应可生成较多的膨胀结晶水化物—钙矾石,使混凝土产生较大的膨胀,补偿收缩效果更好,且性能稳定。④ 多功能 UEA-H 兼有减水早强作用,施工时不需要添加其他化学外加剂,操作工序少,与水泥相容性好,利于混凝土搅拌站和现场使用。

聚丙烯纤维:采用美国杜拉纤维,它是一种以聚丙烯为原料、以独特工艺制造的高强聚丙烯单丝纤维。其产品主要参数如下:相对密度0.91;熔点 160℃;燃点 580℃;含湿量<0.1%;吸水性为无;拉伸极限 15%;抗拉强度 276 MPa;弹性模量 3 793 MPa;规格:3/4"(约 19 mm)用于混凝土或砂浆。掺量 0.9 kg/m<sup>3</sup>。

### 3.2 混凝土的配合比设计

表 2 取样试验强度指标

试块	抗压强度/MPa			抗折强度/MPa			劈裂抗拉强度/MPa			坍落度/mm
	3 d	5 d	7 d	3 d	5 d	7 d	3 d	5 d	7 d	
1	55.1	63.1	70.2	8.53	10.4	11.0	4.86	5.83	5.21	88
2	57.8	59.6	60.7	9.13	9.33	9.53	5.11	6.22	5.97	
3	57.1	62.4	63.6	9.07	11.1	9.53	4.63	5.83	4.89	
平均值	56.7	61.7	64.8	8.91	10.3	10.0	4.86	5.96	5.36	

## 4 微膨胀聚丙烯纤维混凝土调平层的施工

### 4.1 施工程序及施工要点

本次桥面防水铺装调平层混凝土浇筑采用由桥中间向两端全幅连续施工的方案。施工前要做好设备的检修及校验工作,浇筑调平层混凝土所需的各种材料须备足于桥两端,黄砂须过筛,碎石要冲洗,以保证质量达到要求。搅拌前做好现场砂石料的含水量测试,并调整水灰比。搅拌时,配合比严格按照要求进行,砂、石料、外加剂、水要过秤。UEA-H 和纤维应与水泥、砂、石等集料同时投入搅拌机,现场搅拌时间应比普通混凝土延长 1 min,使之均匀。拌好的料,用斗车送到现场,斗车在便道上行驶,用人工铺平。振捣方法采用 2 次振捣:先用小平板振捣,再用振动梁拖过,以使混凝土振捣均匀、密实、不漏振。找平时采用抹光机抹面加人工精抹,保证平整度在 5 mm 以内。调平层浇筑完在混凝土终凝后,及时覆盖草袋和塑料布保温保湿养护 5 d。

### 4.2 混凝土养护

膨胀混凝土水化时需水量大,在充足水分条件下 UEA 才能充分发挥作用。因此,本次调平层混凝土施工结束后,应立即覆盖草席和塑料布,并浇水

本次配合比设计按 JTJ 053-94《普通混凝土配合比设计规程》进行。混凝土设计强度等级 C50,坍落度 8 cm。设计要求:① 混凝土 3 d 抗压强度达到设计强度的 70%;② 混凝土 3 d 劈裂抗拉强度大于 4.0 MPa;③ 混凝土 3 d 抗折强度大于 4.0 MPa;④ UEA 用量为等量置换水泥用量的 10%;⑤ 每立方米混凝土掺杜拉纤维为 0.9 kg,相当于体积掺量的 0.1%。

经试配,确定理论配合比见表 1。

表 1 理论配合比

原材料	水泥	砂	石	UEA-H	杜拉纤维	水
用量	477	708	1 062	53	0.9	180

施工过程中,现场作了取样试验,试验得到的强度指标(标准养护条件)见表 2。

以上试验室检验结果表明,本次桥面防水铺装调平层混凝土配合比设计是成功的。

养生 5 d,以确保膨胀效应的发挥。

## 5 结 论

(1) 掺入 UEA 和聚丙烯纤维改善了新拌混凝土的和易性、均匀性,减少了泌水,但对混凝土拌合物的坍落度有 2~3 cm 的损失。

(2) 掺入 UEA 和聚丙烯纤维后,混凝土的抗拉强度和抗折强度有所提高,但不明显。

(3) 掺入 UEA 和聚丙烯纤维后,混凝土的抗渗性能和抗裂性能有较明显的提高。

总之,掺入 UEA 和聚丙烯纤维显著提高了混凝土的抗裂防渗性能,是混凝土结构自防水的有效手段之一。

## 参 考 文 献:

- [1] 游宝坤. 结构防水理论与实践[A]. 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. 第二届全国混凝土膨胀剂学术交流会论文集[C]. 北京:中国建材工业出版社,1998. 110-116.
- [2] 朱江. 聚丙烯纤维混凝土的防水性能及其应用[J]. 新型建筑材料,2002,(2):38-39.
- [3] 曹诚,刘兰强. 关于聚丙烯纤维对混凝土性能影响的几点认识[J]. 混凝土,2000,(9):49-51.