

# 混凝土聚丙烯纤维的发展与应用

盛黎明<sup>1</sup> 邓运清<sup>2</sup>

(1.铁道专业设计院技术处 北京 100020 ;2.铁道专业设计院路桥处 北京 100020)

**摘要** 通过介绍混凝土专用聚丙烯纤维的研究与发展情况及国外对聚丙烯纤维用于混凝土的规定和使用情况,了解聚丙烯纤维工作机理和工程设计要求。

**关键词** 纤维混凝土 聚丙烯纤维 纤维网 发展 应用

纤维在提高混凝土性能方面扮演着日益重要的角色。混凝土的发展已有 100 多年历史,高强度在很长时间里是努力的目标,被认为是优质混凝土的特征。但是,混凝土是脆性材料,其韧性差、抗疲劳能力低、易产生裂纹、抗冲击碎裂性差。多年来,工程技术人员从原材料、配合比、外加剂、制造工艺、养护工艺等多方面加以研究改进,虽取得了一些成效但不理想,因此,混凝土的高性能化才是解决问题的关键。

复合化是水泥基材料高性能化的主要途径,纤维增强是其核心。自 20 世纪 70 年代,纤维增强水泥基复合材料发展起来,钢纤维、玻璃纤维已较早地应用于混凝土,可以从多方面改善混凝土的性能。关于钢纤维、玻璃纤维的应用领域和使用情况已趋明确,我国于 1992 年颁布了钢纤维的设计使用标准规范。随着材料加工技术的进步,专用于混凝土的聚丙烯纤维研制成功,使纤维混凝土技术进入一个新的阶段。

## 1 纤维混凝土

纤维对混凝土性能的提高,必须具备:(1)分布均匀;(2)与混凝土的握裹性强;(3)材料本身抗腐蚀、抗碱集料反应强;(4)材质的抗拉强度高等条件,缺一不可。并以此来提高混凝土的抗裂、抗碎、抗渗水、抗折、抗冲击、抗疲劳等综合性能。钢纤维与合成纤维都对混凝土强度有提高,因材质不同钢纤维提高的幅度略大些。由于合成纤维成本低,当其在混凝土中均匀分布后,能提供更好的韧性。混凝土是硬性材料,合成纤维是软性材料,这种刚柔相济的办法能提高混凝土坚韧性。在合成纤维中聚丙烯材料的强度、耐腐蚀性、抗碱反应优于其它纤维。

## 2 用于混凝土的聚丙烯纤维

收稿日期:2001-08-20

第一作者简介:盛黎明(1959—),女,高级工程师,1982年毕业于西南交通大学桥梁专业,工学学士。

关于聚丙烯是否可用于混凝土一直存在争议。20 世纪 80 年代初期,美国军队工程师的混凝土专家为解决军用混凝土工事在受炮火攻击后的抗碎问题,同时也为解决军事工程的耐久性问题,测试、研究了很多种材料和方法。最后确认,在混凝土中加入一定量的聚丙烯纤维效果最好。混凝土专家与美国最大的化工产品企业——合成工业公司的聚丙烯材料专家共同研制用于混凝土的专用纤维,并于 1984 年成功研制出混凝土聚丙烯纤维——“FIBERMESH”,中文译为“纤维网”。这是世界上第一种成功用于混凝土增强的聚丙烯纤维。

### 2.1 纤维网

纤维网是一种网状结构的聚丙烯纤维束,它从各个角度解决了聚丙烯纤维用于混凝土所遇到的问题。

(1)集束形网状结构在混凝土中拌和时先呈束状大面积分布,搅拌中期每束中的 5 个~8 个小束纤维被分离出来,受骨料冲击后展开成网形,并随着搅拌冲击被撕开成不规则单丝,达到均匀分布的目的。这种被称之为“二次分布法”的均匀分布方式与某种同样可均匀分布的钉书针式排状钢纤维是一个原理,完全解决了分布均匀的问题。

(2)与混凝土的握裹性问题,钢纤维以做成波浪状或两端弓形来解决握裹性问题。在合成类纤维中,有多种单丝纤维截面成圆形,纤维丝面光滑,无法达到良好的握裹性。纤维网在拌和时撕裂成丝,界面被撕成毛糙状,加上在纤化工程中使纤维截面成矩形,与混凝土有很强的握裹力。

(3)聚丙烯具有很高的耐腐蚀性,耐酸碱性极高,使之在混凝土中能保持原有的材质性能。

(4)纤维网在本身材质强度上比其它类聚丙烯纤维更好,这是由于其加工工艺是一种纤化工艺,原料中不含再生链、烯、炔材料,抗拉强度可达 700 MPa 以上,而普通聚丙烯纤维抗拉强度约 300 MPa。这些特点使纤维网在硬化混凝土中发挥作用,并能达到 ASTM C-1116、ASTM C-1018 规范<sup>[2]</sup>中的要求,是目前聚丙烯纤维类

铁道标准设计 RAILWAY STANDARD DESIGN 2002(6)

唯一的增强型纤维,称之为“混凝土次要加强筋”。

## 2.2 聚丙烯纤维的“增强型”与“外掺料型”

以聚丙烯为代表的合成纤维,因材质不同、使用性能不同、类别不同,对混凝土的作用也不同,绝不能认为每一种聚丙烯纤维的作用是相同的。ASTM C-1116与ASTM C-1018规范中确定了标准并阐明了区别,即合成纤维(聚丙烯)掺入混凝土因对混凝土的作用不同而分为2种:(1)外掺料型纤维仅用于在混凝土早期减少塑性收缩开裂,不起次要加强作用;(2)增强型纤维在硬化的混凝土中控制收缩裂缝之前,提供增强作用(称混凝土次要加强筋),可代替焊接金属网用作桥面体系的裂缝控制系统。ASTM C-1116规范Ⅲ类4.1.3节明确了聚丙烯纤维类型的区别标准,如纤维混凝土“一级韧性指数 $I_3 \geq 3$ ”。

## 2.3 增强型聚丙烯纤维——纤维网

纤维网在研制后做了一系列试验,以评定其应用价值,美国韦博特(Webster)工程师协会通过4年的研究试验,给出结论:纤维网除了有对混凝土其它性能提高外,对混凝土结构体有一个重大贡献,即纤维网可以保护和延缓混凝土结构体主钢筋不受腐蚀,从而提高整体结构的寿命。该论文发表于1991年在香港召开的“国际纤维混凝土会议”上。

美国权威建筑评估机构ICBO(International Conference of Building Officials)按规范认定纤维网为“增强型聚丙烯纤维”,对含有0.1%体积量纤维网的混凝土进行测试,其一级韧性指标 $I_3 \geq 3.519$ 。

## 3 增强型纤维用于铁路桥面保护层

为提高铁路混凝土桥的耐久性,必须使防水层不被破坏,保持良好的防水性能,设计使用增强型纤维混凝土——纤维混凝土增强,取代原钢丝网混凝土设计,使保护层有较高的抗拉强度、抗弯强度、抗冲击性、抗疲劳强度、耐磨、良好的韧性及抗裂止裂能力,在设计中曾用钢纤维取代了防裂金属网。

纤维混凝土的发展,使设计时有了多种选择。参照国际规范,在新型铁路混凝土桥防水层保护层中首次设计了使用合成纤维即Fibermesh纤维网和耐碱玻璃纤维,这两种软纤维属增强纤维,满足施工要求,降低了材料成本,提高了施工简便性。

## 4 纤维网的应用

纤维网于1987年商品化以来,已在世界60多个国家得到广泛应用。如美国丹佛机场,英国希斯罗机场跑道和停机坪,达拉斯联合银行大厦复合楼板,挪威奥胡

铁道标准设计 RAILWAY STANDARD DESIGN 2002(6)

陆集装箱码头,香港文化中心广场地面等。聚丙烯纤维在我国一直处于研究阶段,自1996年纤维网进入中国以来,已在中国数百个工程中得到应用,涉及道路、桥梁、水利大坝、机场、码头、电力工程、军事工程等。

位于西安市二环路的金花路高架桥,车流量大,为减少修复,提高质量,在桥面的混凝土铺装中加入纤维网,通车6年,路面状况完好。

山海关船厂15万t级修船坞坞室底板表层原设计为70mm厚的钢筋混凝土,选用直径6mm的钢筋加强,经过试验和一系列有针对性的技术研究,最终确定用纤维网替代钢筋网,混凝土各项指标均符合设计要求与规范要求。自1998年至今,未发现质量问题,不仅加快了施工进度,还节约资金2万余元。

广州市北环高速公路,第3期工程用纤维网替代了原设计的钢纤维,不仅节约了成本,也避免了钢纤维出现的锈蚀和易扎破轮胎而造成安全隐患;而且聚丙烯纤维带来路面的柔韧性,使行车更舒适。

现在,纤维网正大量应用于秦沈客运专线的箱梁、T梁桥面保护层混凝土,不仅因为纤维网比钢纤维、耐碱玻璃纤维成本低,而且在使用中极为简便,受到施工人员的好评。从施工单位的使用报告中可以看出,纤维网使用效果良好。

## 5 结语

高品质的聚丙烯纤维用于混凝土工程,是纤维混凝土的发展方向,不同的工程设计,应选择相应的纤维类型。由于聚丙烯纤维网在铁路工程设计中初次使用,施工人员对纤维的使用方法、工作机理以及评定方法存在一些疑虑和问题。总之,随着纤维混凝土技术的发展,聚丙烯纤维将会为高性能混凝土提供一个良好的途径。

## 我国首列大型移动式焊轨列车问世

由中国铁路工程总公司宝鸡工程机械厂与法国吉斯玛公司合作生产的我国首列具有国际先进水平的大型移动式焊轨列车,于2002年5月下旬交付乌鲁木齐铁路局工务大修机械化养路段投入使用。

大型移动式焊轨列车由13辆平车和7辆棚车连挂组成,按作业顺序分别配置有钢轨吊装、传送、矫正、除锈、焊接、测试、冷却、焊后矫正、粗磨、精磨设备和发电车,可根据需要焊接任意长度的标准无缝钢轨。用户称:“大型移动式焊轨列车的投入使用,使铁路无缝线路换轨大修结束了人工焊接的历史,标志着我国新的无缝线路焊接时代的开始。” 据《人民铁道》