

聚丙烯纤维混凝土的研究现状及探讨

贺常乐 (广州宏达工程顾问有限公司 510635)

欧志华 (湖南科技大学土木工程学院 411201)

摘要: 近几年来,聚丙烯纤维混凝土由于具有抗裂、防渗、韧性好且成本不高等优良的特性而逐步得到广泛使用,本文就聚丙烯纤维混凝土的研究现状及亟待解决的几个问题做简要分析。

关键词: 聚丙烯纤维 混凝土 研究现状

1 国内外研究现状与水平

自 1824 年水泥问世及随之诞生混凝土以来,至今已有近 200 年的历史,并发展成为当前最大宗的人造材料。近 10 多年来,人们又把耐久性作为混凝土追求的主要目标,并引入超细活性掺和料,作为混凝土的重要组成部分,从而发展了具有高耐久性、高流动性和体积稳定性,并具有一定强度的高性能混凝土 (High Performance Concrete, 缩写为 HPC),成为近期混凝土技术的主要发展方向。

混凝土的固有弱点是因脆性而容易产生裂缝。普通混凝土的抗拉强度与抗压强度只有 9% 左右,高强混凝土则更低,仅为 6% (当混凝土的强度等级超过 C45 时),脆性显著,对早期开裂非常敏感。随着混凝土强度的提高,其断裂韧性、结构延性和抗震性能均会降低。当结构受弯时,荷载等于破坏荷载的 15%~20% 时就会产生裂缝 (这时钢筋的应力远小于屈服极限),裂缝扩展会造成结构物抗渗性能降低,并使构件容易受到介质侵蚀,影响结构物的耐久性。在结构设计时因裂缝宽度的限制,高强混凝土的“高强”的优越性往往得不到充分

的利用。

除了作用荷载之外,混凝土裂缝产生的原因通常有:收缩 (包括塑性收缩、干燥收缩、自干燥收缩和碳化收缩)、热变形、化学反应 (如碱-集料反应、延迟钙矾石) 和其它因素 (如沉降、环境、钢筋锈蚀、施工质量)。

混凝土的裂缝问题一直困扰着人们,人们也在从不同途径解决这一问题,如掺膨胀剂、掺高聚物化学材料、掺高效减水剂和超细矿物掺和料、施加预应力等,但这并不能从根本上解决混凝土本身固有的延性和韧性问题;钢管混凝土具有较好的延性,应用范围却受到限制;活性粉末混凝土 (Reactive Powder concrete, 缩写为 RPC) 是一种超高性能混凝土,可以使混凝土的断裂能提高 2 个数量级,不过其原材料和工艺要求较高。相比之下,在混凝土中掺入微细纤维的纤维混凝土不仅能够提高混凝土本身的延性和韧性,增强混凝土的抗裂能力,而且对原材料和工艺几乎没有特别的要求,成本增加不大 (甚至有可能降低)。

钢纤维增强混凝土最早出现在 1849 年,法国花匠莫尼尔在水泥中加入细铁丝网制成花盆和种桔树用的

(1) PVC 防水卷材在广州地铁中使用,节约了成本,简便了隧道初期支护与二期支护的防水程序。

但是在二期支护浇捣钢筋混凝土过程中容易使 PVC 卷材产生破损或者 PVC 卷材的粘接、焊接过程中与封闭后卷材与卷材出现的脱落、松边、脱胶、断焊等原因造成 PVC 防水卷材的破损,一旦有破损,丰富的地下水就会串通,使二期支护与一期支护之间充满地下水,形成很多地铁支护外墙长期浸泡在地下水中,对地铁外支护是一个不可忽视的长期腐蚀现象。

(2) 若采用聚合物干粉防水砂浆 (益胶泥) 和喷涂聚脲组成的复合防水材料在二支护层之间的刚柔相济的防水层,就能确保二期支护外墙不存在在地下水长期浸

泡受损问题。

(3) 采用上述复合防水层很容易发现渗漏点、渗漏线、渗漏面,在封闭前容易修补,容易完善,施工速度用喷涂方法又快又好。

(4) 由于上述复合防水层的造价是 PVC 防水卷材的 2 倍 (PVC65~70 元 /m² 包工包料;复合防水 140~150 元 /m²),所以目前要大面积推广,还有一定困难,笔者认为可以分二步走,第一步:在重要车站以及少数区间、联通道等地方,采用上述复合防水层的方法;第二步:随着经济的发展,科技水平的提高,降低复合防水造价,全部采用干粉砂浆与有机涂料组成的复合防水层,也不会太远。●

铁丝水泥桶。1885 年法国工程师用细铁条增强水泥,制成一艘水泥船并获得专利。1910 年,美国人 Porter 把薄钢片掺入混凝土中改善混凝土的抗拉强度和抗冲击性并获得专利。但直到 1963 年 J.P. Romualdi 和 J.B. Batson 关于纤维混凝土增强理论研究报告的发表,钢纤维混凝土的研究和应用才有了较快的发展。合成纤维则是开始于 1965 年 Goldfein 建议用聚丙烯纤维作为混凝土掺合料,建造美国工兵部队的防爆建筑,随后,由于其优良的品质和低廉的价格,聚丙烯纤维混凝土迅速推广应用,据悉,目前美国所用混凝土总量中合成纤维混凝土约占 7%,超过先期研究的钢纤维混凝土(占 3%)。

我国在 20 世纪 70 年代开始了钢纤维混凝土技术的研究和应用,后来成立了中国土木工程学会纤维水泥与纤维混凝土学术委员会,并从 1986 年至今已经召开了十届纤维水泥与纤维混凝土学术会议,合成纤维则是 20 世纪 90 年代初,随着美国本土生产、能够应用于纤维混凝土的有机纤维投入商业渠道流入我国而在我国开始研究和应用,并取得了长足的发展,1998 年 5 月,国家建设部主办了“美国杜拉纤维技术研讨会”,并在同年 6 月由建设部科技发展促进中心印发了《美国杜拉纤维技术研讨会会议纪要》。随着我国自主研发的价格低廉、性能优良的合成纤维的大量出现,合成纤维在我国混凝土中的应用越来越广泛。其中“聚丙烯合成纤维网在桥面混凝土铺装层中的应用”已经成为建设部 2003 年度推广应用的技术。

纤维混凝土是一种复合材料。纤维增强混凝土的机理主要有两种理论:一种是基于复合材料的混合定律,认为纤维混凝土的诸性能(如强度等)是纤维与混凝土这些性能的加和值;另一种是建立在断裂力学基础上的纤维间距理论,认为混凝土的破坏是因为其内部的微裂缝、空隙等初始缺陷,在外力作用下产生应力集中引起的,而微细纤维对裂缝尖端产生反向的应力场,从而降低裂缝尖端的应力集中程度,使得裂缝的发展受到约束,纤维混凝土的抗裂强度因而增加。

通常根据纤维的弹性模量把纤维分成高弹模纤维(如钢纤维、玻璃纤维和碳纤维等)和低弹模纤维(包括天然的有机纤维如纤维素纤维和合成纤维如聚丙烯纤维、尼龙纤维);根据纤维的长度把纤维分成非连续的短纤维和连续的长纤维。

聚丙烯(polypropylene)(单体分子式为 C_3H_6)

是一种结构规整的结晶型聚合物,为乳白色、无味、无毒、的热塑性塑料,由它制成的纤维具有下列优点:(1)质轻:密度为 $0.90\sim 0.91g/m^3$;(2)熔点高($165^\circ C$);(3)化学稳定性好,耐酸碱;(4)表面疏水,不会被水泥浆浸湿。主要缺点是与基体间的粘结较差。

目前,聚丙烯短纤维已经作为混凝土的次要加筋材料广泛用于混凝土中,由于微细,比表面积大,若每 m^3 混凝土掺入 1kg 聚丙烯纤维,可使 $1cm^3$ 混凝土中分布有近 20 条纤维丝,故纤维能够在混凝土内部构成一种均匀的三维乱向支撑体系,从而产生一种有效的二级加强效果。

目前在混凝土使用的聚丙烯纤维主要有拉丝聚丙烯纤维、膜裂聚丙烯纤维、聚丙烯网状纤维。

从目前国内研究水平来看,主要集中于对聚丙烯纤维增强混凝土的物理、力学性能的研究:华渊等的研究表明与基准混凝土相比,随着纤维体积率的增加($0\sim 1.1\%$),纤维混凝土的抗压强度变化很小,抗折强度则提高了 $12\sim 26\%$,韧性也随之增加,它们提出了聚丙烯纤维混凝土的裂纹发展规律,定性分析了增韧机理。

综合已有的研究成果,掺入适量的聚丙烯纤维对混凝土具有阻裂、增韧,增加抗拉、抗弯和抗剪、耐疲劳强度的作用,可以明显改善混凝土的延性和耐久性,加上其价格低廉,在广泛使用高性能混凝土中具有良好的应用前景。

2 存在的问题

2.1 对聚丙烯纤维阻裂效果的认识

目前,还有很多人都认为聚丙烯纤维仅仅能够限制混凝土硬化前的塑性裂缝,而对硬化后混凝土裂缝的发展没有限制作用。这个认识是基于“混合定律”,因为聚丙烯纤维的弹性模量比硬化前的塑性混凝土的要高,比硬化混凝土的要低。而现在很多试验均表明,聚丙烯纤维对硬化混凝土也有明显的阻裂作用,这主要考虑到“纤维间距理论”。

2.2 对聚丙烯纤维阻裂效果的评价方法

《纤维混凝土结构技术规程》(CECS 38:2004)采用的方法是:测定受约束“平板式试件”经风干后的裂缝的名义面积。本人认为,这种方法对混凝土的塑性阶段和 3d 前的收缩裂缝的评价可能有效,对混凝土 3d 以后的裂缝评价需要试验检验。此外,对自干燥收缩较大

碳纤维片材在混凝土加固结构中的应用

张瑞锦 (佛山市环市建筑工程有限公司 528000)

由碳纤维丝织制而成的碳纤维材料,是一种技术先进、科技含量高的新兴建材,具有强度高、密度小、抗腐蚀、抗疲劳、耐老化、耐高温、吸能减震、易粘贴、易剪裁、易隐蔽、使用方便等特点,近年来日渐引起国内工程界关注,并逐渐应用于建筑、市政工程混凝土结构的加固。

碳纤维片材加固混凝土结构技术是采用合成树脂将轻质高强的碳纤维片材牢固粘于混凝土结构物表面,形成复合结构,从而大幅度提高混凝土构件的承载力、抗震性能和耐久性,满足各项使用要求。碳纤维片材是碳纤维板和碳纤维布的总称。受弯构件将碳纤维片材粘贴于受拉区,可补充钢筋的不足;粘于梁的两侧,可提高梁的抗剪能力;缠绕于混凝土柱外侧约束了混凝土的侧向变形,可以提高柱的承载能力和柱的轴压比;缠绕于桁架的节点可使节点得到整体加固。

本文通过某办公楼改变使用功能的工程实例,探讨碳纤维片材加固混凝土结构技术的施工工艺及质量控制措施。

1 工程概况

某机关办公大楼九层楼面由原来的办公楼改变使用功能作档案库房,楼面荷载标准值由 2.0KN/m² 增加

到 8.0KN/m²。工程主要项目为八层柱、九层柱补强,九层梁面、板面及梁抗剪补强,九层结构梁、板底补强。需补强加固的九层楼面面积为 1500m²。梁采用碳纤维板加固,板、柱采用碳纤维布加固。使用的碳纤维片材及其粘结剂均为日本进口,其力学性能要求见表 1、表 2。

表 1 碳纤维增强复合材料性能要求

性能	碳纤维布	碳纤维板
抗拉强度标准值 f_{ctk}	$\geq 3000\text{MPa}$	$\geq 2000\text{MPa}$
弹性模量 E_{cf}	$\geq 2.1 \times 10^5\text{MPa}$	$\geq 1.4 \times 10^5\text{MPa}$
伸长率	$\geq 1.4\%$	$\geq 1.4\%$
重量或厚度	重量为 300kg/m ²	厚度为 1.4mm

表 2 配套粘结剂的性能要求

性能项目		指标要求	
胶体性能	压缩强度 (MPa)	≥ 70	
	拉伸强度 (MPa)	≥ 30	
	弯曲强度 (MPa)	≥ 40	
	弹性模量 (MPa)	$\geq 3.0 \times 10^3$	
粘结能力	粘结拉伸强度 (MPa)	金属 / 金属 (除底涂胶外)	≥ 30
		金属 / 混凝土	试验室 ≥ 2.5 且混凝土拉坏 现场 $\geq a_c f_{ctk}$ 且混凝土拉坏
	拉伸剪切强度 (金属 / 混凝土)	≥ 18	
工艺性能	可操作时间 (min) 20℃	> 60	
	适用温度 (℃)	5~40	
	混合后初粘度 (cps)	< 5000	

的低水胶比混凝土的评价不一定有效。

2.3 对聚丙烯纤维阻裂机理研究

目前认为,聚丙烯纤维的阻裂作用是因为纤维在混凝土中起到一种“桥联”效果。事实上,收缩受约束产生的拉应力和由于徐变释放的应力之间的相互影响,是硬化混凝土出现早期开裂的核心。混凝土裂缝的形成原因很复杂,除了应力场之外,包括收缩、徐变、温度场、湿度场等诸多因素,在混凝土中掺入聚丙烯纤维对这些性能(还有相关的因素如热膨胀系数,热传导系数)的影响对裂缝的形成和发展有待深入研究。而聚丙烯纤维对裂缝的细化作用,是否会细化混凝土的孔结构而增加混凝土的自干燥收缩也值得关注。

要综合考虑这些因素,目前单个无约束的试块试验

显然不够,必须要做在约束条件下的构件的试验。

在测定聚丙烯纤维混凝土强度时,对 3d 和 1d 强度关注较少,更多关注 3d 和 1d 甚至 12h 强度或许对分析纤维的阻裂机理有用。

此外,目前对掺入聚丙烯纤维后,混凝土的抗压强度有所降低的机理尚存争议。

2.4 对聚丙烯纤维阻裂的规律性总结

已有的研究表明掺入适量的聚丙烯纤维对混凝土具有阻裂、增韧,增加抗拉、抗弯和抗剪、耐疲劳强度的作用,可以明显改善混凝土的延性和耐久性。但不同强度、不同性质、不同原材料混凝土对聚丙烯纤维的上述性能有什么影响还要总结。●