

## 聚丙烯纤维混凝土应用现状及浅见

罗毅<sup>1</sup>, 张云广<sup>1</sup>, 金德才<sup>2</sup>

(1. 云南华能澜沧江水电有限公司, 云南 昆明 650011; 2. 四川二滩建设咨询有限公司, 四川 成都 610021)

**摘 要:**随着聚丙烯纤维混凝土在国内应用范围日趋扩大,对其认识也更加深入,但因其应用时间不长,尚缺乏系统的试验分析和研究工作,资料不全,在使用过程中带有一定程度上的盲目使用纤维之混乱现象。针对目前现状,提出一些浅见,供同行参考。

**关键词:**聚丙烯纤维混凝土;砂浆老化试验;纤维材质老化试验;塑性裂缝

**中图分类号:**TV43;TV42

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2004)01-0032-03

近年来,纤维混凝土的应用范围日趋扩大。由于聚丙烯纤维的应用时间不长,在我国尚缺乏系统的试验分析和研究工作,所以资料不全。在实际施工中也未对聚丙烯纤维的影响给予足够的观察分析。因此,造成了一定程度上盲目使用纤维之混乱现象。针对目前现状,作者提出一些浅见,供同行参考。

### 1 过分宣传了纤维的作用

目前,笔者所见的资料几乎都认为纤维加入混凝土中是有百利而无一害的。甚至有人认为,无论是在混凝土还是在喷混凝土中,只要加入纤维,裂缝便不复存在或者极少存在之说,称“聚丙烯纤维为混凝土裂缝克星”。

其实并非如此。虽然合成纤维对抑制混凝土塑性裂缝确实较为有效,但据经验,对混凝土的后期干缩裂缝作用不大,对温度裂缝很难有所作为。在二滩工程的泄洪洞施工中,衬砌为 C50 混凝土,设计厚度为 80~100 cm,但由于超挖,按浇筑方量计算,实际平均厚度约为 160 cm。由于硅粉混凝土出现了大量裂缝,为减少裂缝,使用了当时从新加坡进口的合成纤维,但并没有起到抑制裂缝的作用,在拆模后 3~5 d 观测,同样出现大量裂缝。后来采用内部循环水冷却方法,混凝土几乎没有再出现裂缝。另外,纤维混凝土在实际施工过程中,坍落度损失也比较快,同时粘性较大,致使长运输后,较难入仓。这样容易导致施工现场人员在入仓口或者搅拌运输车内加入生水,造成强度不稳定。

对于喷混凝土,在干喷混凝土中,显然不宜掺入聚丙烯纤维,主要是由于聚丙烯纤维在喷出后四处飘散,大量纤维不能和混凝土一同喷到喷射面上,同时,纤维在喷到喷射面上的混凝土,对混凝土产生了“架空”作用,使喷混凝土容易呈“米花糖”状或者“蜂窝”状。即使在湿喷混凝土中,对于国产的通常使用的小型湿喷机,也容易出现上述现象。另外,一些聚

丙烯纤维在混凝土中不易分散,在喷混凝土中存在少量结团现象。这已经在小湾工程的喷混凝土施工实践中得到证实。这种结果不仅无利,反而有害。

### 2 选择纤维的盲目性

可以说,纤维之所以能改变混凝土的性能,最根本的原因在于其塑性。反之,如果混凝土中的纤维失去塑性,变成脆性材料,则纤维混凝土的特殊性能也就不复存在。所以,选择纤维时,需要考虑的首要因素必然是纤维的抗老化性能。多数试验表明,聚丙烯纤维对酸和碱具有很强的抵抗力,在老化过程中,其强度损失率也很小。但是,不同的聚丙烯纤维在老化过程中,其弹性的丧失——表现为纤维伸长率的丧失,则相差甚大,见表 1。

表 1 南京水科院进行的砂浆老化试验结果表

试 验 情 况	比 较 情 况				
	无纤维砂浆		掺入纤维		
	0		0.9		
聚丙烯纤维掺量 /kg·m <sup>-3</sup>	实测 指标	保留率 /%	实测 指标	保留率 /%	
老化前	抗压强度 /MPa	28		30.3	
	抗拉强度 /MPa	3.8		4.0	
	抗弯强度 /MPa	8.81		9.38	
老化 250 h	抗压强度 /MPa	46.1	162	49.8	165
	抗拉强度 /MPa	4.22	111	10.69	127
	抗弯强度 /MPa	9.75	111	41.0	114
老化 500 h	抗压强度 /MPa	34.2	120	41.0	135
	抗拉强度 /MPa	4.74	125	85.72	5.72
	抗弯强度 /MPa	8.63	98	11.5	120

南京水科院曾对两种聚丙烯的老化进行了试验,结果表明,两种聚丙烯纤维的伸长率的保留率相差极大,见表 2。

目前我国对专为混凝土所用的合成纤维尚未有统一的材质标准。用户在对纤维进行选择时,缺乏技术指标依据,同时,一般的试验室又不能对纤维材质本身进行试验。即便是得到了试验结果,则如何判定纤维是否合格是以生产厂家提供的技术指标为依据,还是以其他为依据。如果以生产厂家的技术指标

表2 纤维材质老化试验比较结果表

试验条件	老化时间/h	测试项目	第一种纤维		第二种纤维	
			实测指标	保留率/%	实测指标	保留率/%
裸露丝	0	断裂强度 /MPa	119.2		285.2	
		伸长率 %	484		99	
无遮盖	24	断裂强度 /MPa	53	44	154.2	54
		伸长率 %	<5	<0.01	35	35
2 mm 砂浆遮盖	48	断裂强度 /MPa	100.7	85	295.6	91
		伸长率 %	109.7	23	80	80
2.4 mm 砂浆遮盖	125	断裂强度 /MPa	88.6	74	214.2	75
		伸长率 %	44.2	9.1	66.9	68
2.5 mm 砂浆遮盖	250	断裂强度 /MPa	101.1	85		
		伸长率 %	59.2	12		
3.8 mm 砂浆遮盖	250	断裂强度 /MPa	114	96	274.6	96
		伸长率 %	89.8	19	81.4	82
5.0 mm 砂浆遮盖	500	断裂强度 /MPa	116.3	98	280.5	98
		伸长率 %	163.6	34	98	99

为依据,则不同厂家的指标又不同,甚至相差较大。而目前评价纤维对混凝土改善的试验常常是混凝土的抗压强度、抗折强度等试验,不能充分反映纤维对混凝土根本性能——断裂能、延展性(断裂韧性)的改善。

另外,不同种类的纤维,即便是同种类的聚丙烯纤维,也因性能不同而适宜于不同的目的。而国内目前尚缺乏这些比较试验研究,厂家的资料又几乎不作说明,从而也造成了选择纤维的盲目性。

选择混凝土专用合成纤维,如聚丙烯纤维,纤维的抗老化能力是决定纤维混凝土是否能长期发挥其特殊性能的关键因素。由于纤维在老化过程中最敏感的技术变化是其伸长率的变化,而纤维的弹性是影响纤维混凝土最根本的技术性能,也是能明显区别不同聚丙烯纤维性能的指标,所以,在老化过程中,纤维伸长率的变化是选择纤维的最重要指标。

此外,纤维对混凝土的力学性能的最大改变,不是提高了其抗压强度、抗折强度等,而是极大地提高了混凝土的断裂能、延展性。所以,从混凝土试验而言,应当以混凝土的断裂能、延展性的指标来评价不同纤维的工程应用质量。

目前没有专门的混凝土用纤维抗老化试验方法,可采用如下标准(南京水科院即采用该标准):①《塑料氙灯光源曝露实验方法》GB9344-88;②ASTM D4355-92“Standard Test Methods for Deterioration of Geotextiles from Exposure to UV Light and Water-Zenon-Arc Apparatus”;③《纺织玻璃纤维、纱线、断裂强力和断裂伸长的测定》GB/T7690.3-1987。

### 3 施工所关心的问题——纤维的易分散性

不同的纤维,其分散性不同。就同一纤维而言,在不同的混凝土中其分散性也不相同。而目前,在我国工程实际应用中,也没能给予足够的重视。从小湾工程喷混凝土的纤维使用情况可略见一斑。对于工程施工,纤维首先应当具有较好的施工适应性。对于工程施工,主要关心的是:①在拌和过程中,纤维的易分散性;②纤维对混凝土坍落度的影响;③纤维在硬化混凝土中的分散性以及排列情况。

不同的纤维在拌和过程中的分散性相差较大。小湾工程中,在确定小湾大桥桥面板纤维混凝土选用纤维时,在现场对4种聚丙烯纤维进行了对比试验。其中只有一种具有良好的分散性,可不拆包装,直接掺入拌和机内。其余3种纤维需要人工将纤维抖落、分散,即使这样,纤维在拌和物中的分散情况亦差。4种纤维对坍落度也存在明显不同的影响。

对于施工而言,纤维在混凝土中的易分散性非常重要。即便纤维本身的力学性能、抗老化性能等再好,但如果在实际拌和中,难于很好地分散于混凝土中,使混凝土尽可能地形成各向同性,力学性能尽可能地趋于均匀,就不能使结构充分发挥作用。如果混凝土中明显存在缠绕、结团的纤维,则在混凝土中加入纤维不但无益,反而有害。

为了保证施工的正常进行,得到良好性能的纤维混凝土,必然要求纤维在拌和过程中易于分散,且分散状态良好。

选用纤维,应当对其分散性进行实验。方法如下:①在现场(而非试验室)进行实地拌和,将纤维成团地放入拌和机中,观察其分散情况;②在已经拌和后的混凝土中,随意取出一定重量的混凝土拌和物,水洗该混凝土,收集纤维,进行干燥处理,称其重量;③将拌和物按2~5 cm厚度摊铺,观察纤维的分散情况。对于网状纤维,同时需观察其是否真正被撕开,成为丝状纤维。在摊铺开的混凝土中,取相同面积的混凝土,水洗后进行干燥处理,再测定纤维重量。

### 4 目的不明确

不同工作条件下的混凝土,为达到其特殊的目的,就需要具有其特殊性能。例如,桥面板混凝土主要解决的是在动荷载作用下混凝土抵抗疲劳破坏的能力;公路面板混凝土需要具有抗疲劳和抗磨蚀的能力;严寒条件下的混凝土需要具有良好的抗冻融能力;贮水设施混凝土则首先考虑其抗渗能力。

目前的实际状况是,采用纤维的目的不明,没有主要的目的,更没有提出期望的指标。譬如,考虑大坝混凝土时,就施工方面首先主要需要解决混凝土

的温控问题,在混凝土寿命期内主要解决抗渗问题和体积稳定性问题。这就需要提出明确的温控指标,抗渗指标以及抗冻指标等。又如,若主要目的是改善混凝土的抗疲劳性能,则应明确,在一定条件下,抗疲劳次数是2万次,还是1万次。若主要希望其改善高层建筑结构的抗震问题,则主要是需要提高混凝土的“韧性”,这就需要明确混凝土的断裂性能指标。

对于小湾工程,将来若导流洞底部或者边墙下部采用纤维,则主要目的应当是提高混凝土的耐磨性。若在水轮机蜗壳Ⅱ期混凝土中加入纤维,其目的应当是提高混凝土的抗疲劳能力。在喷混凝土中加入纤维,主要目的应当是提高喷混凝土的整体性。

采用纤维混凝土应当明确其主要目的及期望达到的指标。只有这样,在选择纤维种类、确定最优掺量时才有依据。否则可能造成纤维混凝土的滥用。

由于合成纤维的材质种类较多,即便是聚丙烯纤维,也基本可分为单丝纤维,网状纤维,结构纤维。细软的单丝纤维,适于薄层的混凝土或者砂浆的塑性裂缝防止和阻止薄层混凝土或砂浆已有裂缝的发展。网状纤维,由于其具有较大的比表面积,且表面较为粗糙,能提供更大的与混凝土间的摩擦力,所以在铁路隧洞中,主要与钢纤维配合混用,以减少隧洞衬砌混凝土裂缝的产生。若为重载作用下的混凝土结构提供更高的承载能力,使结构在出现裂缝情况仍然能继续发挥作用,抑制裂缝的发展,则最好是采用结构纤维。纤维弹性模量以及抗拉强度也对纤维混凝土性能产生影响。弹性模量较小的纤维,对抑制混凝土的塑性裂缝较好,但对承载条件下结构裂缝发展的阻止作用则不如弹性模量较大的纤维。

即便是裂缝,也由于出现原因不同,基本可分为混凝土塑性裂缝(早期干缩裂缝)、后期干缩裂缝、静载使用下产生的裂缝和振动产生的裂缝等。据有关资料显示,干缩裂缝仅占混凝土裂缝总数的10%。如果是这样,则塑性干缩裂缝所占比例就更少。以混凝土的干缩而论,干缩是一个长期过程,干缩裂缝的产生极为复杂,至今也不能较为准确的进行计算分析,一般是依据经验推测。一般的单丝纤维对抑制混凝土的塑性(混凝土终凝前)干缩裂缝较为有效。

由图1可见,不同厚度的混凝土与干缩率和时间之间的关系也不相同。由于单丝聚丙烯纤维主要对塑性裂缝的抑制发挥作用,所以,对于很厚的混凝土,大量的干缩在后期才发生,则聚丙烯纤维单丝不能对裂缝产生有效的抑制作用。对于后期(一般为20d后)所形成的干缩裂缝则由于一般单丝纤维的弹性

模量较小,而此时一旦产生干缩裂缝,则在临近裂缝产生时,以及产生后,裂缝紧邻区存在较大的拉应力,故弹性模量较小的聚丙烯纤维单丝纤维效果不如弹性模量较大的钢纤维。这也就是目前铁路隧洞混凝土衬砌采用聚丙烯纤维与钢纤维混合使用的原因所在——塑性裂缝的抑制由聚丙烯纤维承担,而后期干缩裂缝以及其它原因造成的具有较大内部拉应力形成的裂缝主要由钢纤维抑制。

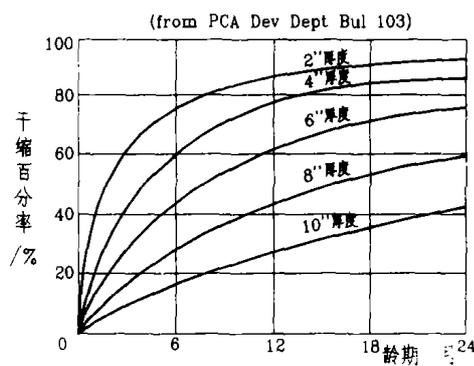


图1 不同厚度混凝土干缩-时间曲线图(相对湿度为50%)

使用纤维的主要目的不明,以及对不同纤维的不同特性不明,同样造成了选择纤维的盲目性。

## 5 掺量确定的随意性

几乎所有的聚丙烯纤维生产厂家和商家及一些工程技术人员,所推荐的均为 $0.9 \text{ kg/m}^3$ ,而不论纤维混凝土所处的环境和需要改善的不同性能。

“ $0.9 \text{ kg/m}^3$ ”的用量主要是针对于抑制混凝土的“塑性裂缝”而言的,绝非普遍适用。即便是对“塑性裂缝”,如果认为这一掺量普遍适用,实际上是否定了不同厂家的纤维存在着的性能差异。

同一掺量不可能使混凝土所有的性能指标都达到最佳状态。换言之,为了使主要的性能指标达到较好状态,就必然需要改变目前这种“一个掺量适合所有的性能”之作法。

确定适宜掺量的科学方法,首先应当明确需改

表3 三峡混凝土抗冲耐磨最佳掺量试验结果表

成型时间	混凝土种类	纤维掺量 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	弹模 / $\times 10^4 \text{ MPa}$		抗冲耐磨 / $\text{h} \cdot (\text{kg}/\text{m}^2)^{-1}$
			5 d	28 d	
1998-05-26	空白混凝土	/	3.11	3.23	1.04
		美国网状	1.5	2.83	3.17
1998-05-26	聚丙烯纤维	2.5	2.96	3.20	1.94
		3.5	3.00	3.34	1.71
1998-06-22	上海尼龙	1.5	2.92	3.38	1.34
		2.5	3.12	3.46	1.38
		3.5	2.92	3.35	1.42
1998-07-02	江苏聚丙烯	1.5	2.21	2.92	2.00
		2.5	2.40	3.03	1.89
		3.5	2.50	2.89	2.14

(下转第38页)

此过程中,作为项目日常管理主体的监理工程师有着举足轻重的作用。

(3)土石方工程开挖、支护工作中,工程安全与施工安全关系密不可分。保证工程安全才能更好地实现施工安全,施工安全也间接地保证了施工质量、进度,从而促进工程安全。

(4)承包商全员、全过程、全方位重视安全,始终不渝地坚持安全措施的“落实、落实、再落实”,是实现一切安全目标的唯一有效途径。落实过程中,监理工程师应充分发挥“强化剂”作用。

(5)安全、质量、进度、效益不是不可调和的矛盾,任何工程都存在实现四者共赢的最佳结合点。正确处理四者之间关系,安全就会成为质量、进度、效益的有力保障和坚实基础。

(6)安全技术措施费的足额及时到位与合理使用,是保证安全管理工作顺利开展的重要物质基础。

(7)电力系统改制之后,虽然原国家电力公司有

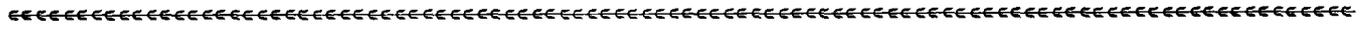
关文件、规定及规程均不再具有强制性,但新组建的各大发电集团均表示继续执行国家电力公司《电力建设安全健康与环境管理工作规定》。所以,施工安全控制与质量控制、进度控制、投资控制将继续成为施工监理的重要内容。水电安全文明施工水平与国际、国内其它土建行业纵向、横向比较均需极大提升,监理工程师任重而道远。

(8)加入 WTO 以后,企业安全保证体系认证正在成为管理潮流。提高包括监理单位在内的建设各方的安全综合管理水平,已不仅仅是目前国内水电工程建设的实际需要,而且成为中国水电企业生存发展和进入国际市场之必须。

作者简介:

韦海超(1969-),男,陕西户县人,四川二滩建设咨询有限公司总监,高级工程师,爆破工程师,从事水电、公路工程监理工作;

罗建中(1964-),男,云南呈贡人,四川二滩建设咨询有限公司工程师,从事水电工程监理工作。



(上接第 34 页)

善的性能,然后针对该性能,通过认真而全面的试验确定适宜的掺量。例如,对于混凝土塑性裂缝,则需要进行裂缝权值指数试验并进行现场实验;对于混凝土的抗冲击性能和抗碎性能,则应当进行混凝土

抗冲击试验,振动重载下的承重结构,当然就需要进行混凝土的延展性(断裂韧性)试验。只有通过认真而全面的试验,才能确定适宜的掺量。

由表 3、表 4 和表 5 可知,不同厂家、不同纤维、不同掺量,对混凝土性能的影响有着较明显的不同。

表 4 小湾大桥纤维混凝土比较试验表

混凝土强度等级	水灰比	厂家	纤维	坍落度	含砂情况	析水情况	粘聚性	分散性	7 d 抗折强度 /MPa	28 d 抗折强度 /MPa	7 d 抗压强度 /MPa	28 d 抗压强度 /MPa
C40	0.42	西安博特	网状	25	偏少	无	较好	好	4.6	5.8	*	46
		中纺科研院	单丝	25	偏少	少	一般	不好	4.2	5.3	*	39.7
		山东泰安	单丝	60	适中	少	较好	不好	3.1	3.9	21	25.7
		四川华神	单丝	35	适中	无	较好	不好	4	4.7	26.3	37.3
C50	0.38	西安博特	网状	45	适中	无	较好	好	6.3	7.2	49.4	56.8
		中纺科研院	单丝	20	适中	无	较好	不好	5.7	7.5	54.3	47.1

说明:C40 配合比为:滇西红塔 PMH525 水泥 328 kg,减水剂 0.8%,细骨料 746 kg,粗骨料(5~20 mm)1 218 kg,纤维 1.8 kg;C50 配合比与 C40 配合比材质相同;水泥 500 kg,细骨料 610 kg,粗骨料 1 131 kg,纤维 1.8 kg。

表 5 聚丙烯纤维对塑性裂缝的阻裂效应比较表

项 目	试 验 编 号					
	Con	FM1	FM2	CF1	DF1	SF1
纤维品种	~	C 品牌	C 品牌	A 品牌	B 品牌	钢纤维
纤维掺量 /kg · m <sup>-3</sup>	0	0.9	1.8	0.9	0.9	50
塑性裂缝宽度 /mm	1.084	0.782	0.439	0.471	0.550	1.028

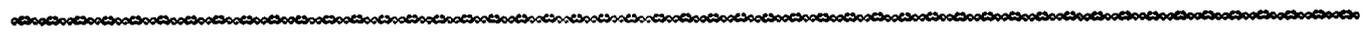
说明:表 5 中数据摘自《低掺量聚丙烯纤维在混凝土中的效应分析》。

作者简介:

罗毅(1963-),男,云南罗平人,云南华能澜沧江水电有限公司高级工程师,学士,从事水电工程技术与管理工

张云广(1969-),男,河南民权人,云南华能澜沧江水电有限公司高级工程师,学士,从事水电工程技术与管理工

金德才(1965-),男,云南会泽人,四川二滩建设咨询有限公司市场开发部兼技术开发部主任,工程师,从事技术及项目管理工作。



(上接第 23 页)

3 设备安装及制造图

设备安装及制造图是由设备制造商提供的。当该设备由 ET/IC2 承包商进行安装时,工程师将向

承包商提供这些图以供承包商安装时进行参考。

作者简介:

杨谦(1963-),男,四川宣汉人,四川二滩建设咨询有限公司副总经理兼总工程师,高级工程师,工程硕士,从事水电工程技术与管理工