



徐至钧*

北京恒富房地产公司

陈普查

中国石化总公司长岭炼化公司

摘要 应用聚丙烯纤维已成为提高混凝土和砂浆抹面的抗裂性、韧性、抗疲劳性及防水性能的重要途径。文章系统地介绍了美国希尔兄弟化工公司生产的单丝聚丙烯纤维（简称杜拉纤维）的特性、功能及作用机理、强度标准、使用说明，并列出了大量的应用实例。

关键词 建筑工程 聚丙烯纤维 特性 功能 应用

聚丙烯纤维具有提高砂浆和混凝土的抗裂、韧性和抗疲劳等性能，已引起工程界的广泛关注。目前国产的聚丙烯纤维还处在试验阶段，而美国希尔兄弟化工公司生产的单丝聚丙烯纤维简称杜拉纤维（英文缩写 DFRC）已在我国广泛应用。此种纤维是美国所产混凝土和砂浆专用纤维的一种品牌，在北美、澳洲以及亚洲均得到广泛应用。杜拉纤维是由加有抗老化剂的聚丙烯树脂经热熔、拉丝、表面涂敷与短切等工序制成的，其主要特点是：

比重小（0.91），抗拉强度高（ $\geq 270\text{MPa}$ ），弹性模量低（3.8 GPa）；抗老化性好；耐化学侵蚀（抗碱与抗酸性均好）；浸泡在水中可分散成为单丝，不结团；与水泥浆粘结性好；（6）保水率低（ $< 0.1\%$ ）。

杜拉纤维的外观为切成一定长度的白色纤维束，每一束有几百根单丝纤维，每根单丝纤维具有很规矩的圆形截面，通常其纤维直径为 $33\mu\text{m}$ 或 $48\mu\text{m}$ 。目前杜拉纤维在国内可提供的产品有三种长度规格，长度为 4.8mm 与 9.5mm 的纤维主要用于水泥砂浆，而长度为 19mm 的主要用于混凝土。

1 杜拉纤维的功能及作用机理

1.1 有效提高混凝土或砂浆的抗裂能力

在建筑实践中杜拉纤维已成为一种非常有效的提高砂浆及混凝土抗裂能力的材料。杜拉纤维经特殊的生产工艺进行表面处理，同水泥基料有极强的粘结力，从而有效控制混凝土塑性收缩、干缩等非

结构性裂缝的产生；同时，无数的纤维单丝在混凝土内部形成的乱向撑托体系可以有效阻碍骨料的离析，保证混凝土早期均匀的泌水性，从而阻碍了沉降裂纹的形成。试验表明，体积掺量为 0.05%（约 $0.5\text{kg}/\text{m}^3$ ）的杜拉纤维混凝土，同普通混凝土相比，抗裂能力提高近 70%（见表 1 和表 2）。

表 1 杜拉纤维可提高混凝土的抗裂能力

纤维规格/mm	体积掺量/(kg/m^3)	裂纹减少量/%
P305 4.8(3/16in)	0.6	76.6
P305 4.8(3/16in)	1.2	96.1
P1510 9.5(3/8in)	0.6	89.6
P1510 9.5(3/8in)	1.2	100

表 2 杜拉纤维水泥砂浆与素砂浆的裂缝情况对比

试样	计权的裂缝宽度 A/mm	裂缝长度 B/mm	$A \times B$ / mm^2	$A \times B$ 的加和值/ mm^2	对比百分比/%
素砂浆	2.0	268.2	536.4	945.9	100
	1.0	208.7	208.7		
	0.5	401.6	200.8		
掺纤维砂浆 (体积掺量为 0.5%)	2.0	0	0	104.4	11.0
	1.0	0	0		
	0.5	208.8	104.4		
掺纤维砂浆 (体积掺量为 0.7%)	2.0	0	0	47.3	5.0
	1.0	0	0		
	0.5	94.6	47.3		
掺纤维砂浆 (体积掺量为 1.0%)	2.0	0	0	0	0
	1.0	0	0		
	0.5	0	0		

1.2 显著提高混凝土或砂浆的抗渗防水性能

杜拉纤维可以降低混凝土表面的析水与集料的离析，使混凝土中直径为 $50 \sim 100\text{nm}$ 和 $> 100\text{nm}$ 的孔隙含量显著减少，从而极大地提高了混凝土或砂浆的抗渗能力。实测表明，体积掺量为 0.05% 的

杜拉纤维混凝土比普通混凝土抗渗能力提高60%~70% (见表3)。另外各种墙体抹面时,在砂浆中加入适量的杜拉纤维,可有效阻止开裂并达到良好的抗渗效果,实践证明,加入杜拉纤维后,施工简便,砂浆强度提高(见表4)。

表3 杜拉纤维混凝土与普通混凝土在不同养护时间下水迁移量对比

试样	2d	7d	21d	28d	总数	二者对比/%
普通混凝土	0	1.0	1.7	2.6	5.3	100
杜拉纤维混凝土	0	0	0.4	1.6	2.0	38

表4 杜拉纤维砂浆的技术性能

水泥:砂	纤维掺量 (kg/m ³)	抗压强度 /MPa		抗折强度 /MPa		外加 压力 /MPa	渗水 高度 /cm
		1d	3d	1d	3d		
1:2.5	0	26.7	31.0	6.2	7.2	12	10
1:2.5	1	28.9	35.2	6.7	7.9	12	6

1.3 增强混凝土抗冲击性能,降低混凝土的脆性

杜拉纤维混凝土的弹性模量低于普通混凝土,即其极限拉伸率高于普通混凝土,故在动荷载与冲击荷载作用下可吸收能量,从而提高混凝土的变形能力,并相应降低混凝土的脆性;杜拉纤维独特的表面处理工艺使其可以和水泥基料紧密地结合在一起,极大地保持了混凝土的整体强度,阻碍了混凝土中裂缝的迅速扩展,增强了混凝土的抗冲击力,这一特点使之非常适用于高速公路、加油站的停车场、仓库地面等工程。

1.4 提高混凝土的抗冻能力和耐火性

在混凝土中加入杜拉纤维,可以缓解温度变化引起的混凝土内部应力的作用,阻止微裂缝的扩展,同时,混凝土抗渗能力的提高也有利于其抗冻能力的提高。当混凝土内含有大量均匀分布的杜拉纤维单丝时,在火焰中因纤维的熔化(其熔点为165℃)而形成的水汽可由混凝土内部孔隙逸出,防止构件在火灾中发生爆裂。

2 杜拉纤维混凝土强度标准

根据文献[2],通过对杜拉纤维系列试验数值的分析,提出了与混凝土设计规范(GB50010-2001)相适应的杜拉纤维混凝土强度标准,见表5~8,以供设计、施工者参考。另外表9列出了杜拉纤维混凝土与普通混凝土的强度对比,从表中可见杜拉纤维混凝土的抗压强度、抗折强度、劈裂抗

拉比普通混凝土都有明显提高。

表5 不同等级杜拉纤维混凝土的强度标准值/(N/mm²)

项目	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
轴心抗压 f_{cDK}	24.5	28	31.5	35	38.5	42	45.5	49	52.5	56
弯曲抗压 f_{cmDK}	30.5	35	39.5	44	48	52.5	57	61.5	66	70.5
抗拉 f_{tDK}	2.70	2.95	3.15	3.40	3.60	3.80	4.00	4.20	4.40	4.55

表6 不同等级杜拉纤维混凝土的强度设计值/(N/mm²)

项目	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
轴心抗压 f_{cdS}	18	20.5	23	26	28.5	31	33.5	36	39	41.5
弯曲抗压 f_{cmdS}	23	26	29	32.5	36	39	42	45.5	49	52
抗拉 f_{tdS}	2	2.20	2.35	2.50	2.65	2.80	2.95	3.10	3.25	3.40

表7 不同等级杜拉纤维混凝土的弹性模量 E_{cn} /($\times 10^4$ N/mm²)

C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
3.00	3.15	3.25	3.35	3.45	3.50	3.55	3.60	3.65	3.70

表8 不同等级杜拉纤维混凝土的变形模量 E_{DK} /($\times 10^4$ N/mm²)

纤维掺率 P_f	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
0.67	1.50	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85	1.90	1.95	2.00
0.8	1.55	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85	1.90	1.95	2.00	2.05
1.0	1.60	1.70	1.80	1.85	1.90	1.95	2.00	2.05	2.10	2.15

注:用本表列的 P_f 值时,可用直线内插法求得变形模量。

表9 杜拉纤维混凝土与普通混凝土对比

名称	龄期/d	普通混凝土	杜拉纤维混凝土
抗压强度/MPa	7	14.62	15.17
		15.03	15.24
	14	20.62 20.75	21.24 21.38
抗折强度/MPa	7	2.62	2.83
		2.69	2.85
	28	3.72 3.65	3.93 3.90
劈裂抗拉/MPa	7	2.21	2.28
		2.14	2.28
	28	2.90 2.90	3.10 3.17
弹性模量 ($\times 10^4$ MPa)	28	1.87	1.82
		1.92	1.79
		1.85	1.89
		1.88	1.81

3 杜拉纤维掺入量及使用说明

杜拉纤维掺入量,对于1m³混凝土掺量为0.9~1.3kg,1m³砂浆掺量为0.7~0.9kg,但最低掺量不低于0.5kg/m³,根据砂、石料、水泥用量的变化及工程对抗裂的要求,可适当增加掺量,但最高掺量不超过1.8kg/m³。杜拉纤维有1kg装和15kg装,它同混凝土骨料、外加剂、掺合料和水泥都没有任何冲突,对搅拌设备也没有特殊要求。

施工时,可根据配比直接将整袋纤维投入搅拌机或分次投入。对搅拌及施工工艺没有特别要求,只要适当保证搅拌时间即可使用。

(1) 使用方法。根据建议掺量及每次搅拌之混凝土方量,准确称量纤维,砂石料准备好后,将纤维投入搅拌机,将集料连同纤维一起加水搅拌,搅拌完成后随机取样,如纤维已均匀分散成单丝,则混凝土可投入使用;若仍有成束纤维则可延长搅拌时间 30s,即可使用。加入杜拉纤维的混凝土与普通混凝土施工及养护工艺完全相同。

(2) 注意事项。加入杜拉纤维后,混凝土粘聚性增强,坍落度有很小的损失,但不会对工作性能有不利影响。如确需提高坍落度,绝不可加大用水量,只能稍增大减水剂用量。加入杜拉纤维的混凝土,仍应严格按照国家有关规程施工及养护,不可懈怠。对皮肤过敏者,应尽量避免皮肤直接接触。皮肤如发生轻微不适,可用水冲洗。

4 工程应用实例

杜拉纤维已在我国的工业及民用建筑、路桥、水泥制品、防水等工程中广泛应用,见表 10。

表 10 杜拉纤维在国内较重要工程中的应用实例

工程项目	用途	掺量/(kg/m ³)
1、工业及民用建筑工程		
(1)地下室、屋面、水池、化污池等抗裂自防水砼		
广州名汇商业城	四层地下室之底板(80cm厚 C40 砼)、侧墙(45cm厚 C40 砼)等刚性本体防水及抗裂	0.5
广州新中国大厦	5层地下室的 C60 砼抗裂抗渗底板、侧墙及 C80 砼钢管混凝土柱等	0.7
深圳市民中心	30000m ² 大型地下室底板、侧墙等	0.7
重庆环卫粪码头	化粪池底板、挡墙、池盖	0.9
重庆朝天门广场	17000m ² 大面积观景平台抗裂、抗渗	0.9
(2)抗裂防水砂浆		
广州同德国安居工程	高层建筑轻质砖外墙抹灰,以纤维取代钢丝网	0.9
广州路灯基地大楼	内外墙砂浆抹灰	0.8
广州新大厦	轻质墙体外墙抹灰	0.9
建设部示范小区武汉南湖花园宝安苑	内外墙抹灰、天面、停车场、路面、游泳池等	0.8
(3)转换层大梁、楼板等大体积混凝土		
石化焦炭塔框架	顶层 2.0m 厚大板	0.89
广州丽景湾五栋	转换层大梁及楼板	0.7
重庆世界贸易中心	60 层高层建筑的 C60 砼大断面连续深梁抗裂及增强韧性	0.9
重庆渝海地王广场	转换层大梁	1.0
(4)停车场、上人屋面、水渠等抗磨损、冲击、冲刷设施		
广州天河名门大厦	三层停车场磨损面层	1.3
武汉江岸区堤防	抗冲刷保护层	0.9
新疆某机场停机坪工程	用于巨大温差、干燥及冲击的抗裂、抗磨、抗冻	1.4
内蒙乌海农用灌溉水渠	细石砼衬砌	0.9
(5)喷射混凝土		
华北制药厂、河北某煤矿	喷射混凝土薄壁结构,加固工程等	0.6
广州颐景轩工程	锚喷网基坑加固喷射混凝土,喷射混凝土抗裂、抗冲击,大量减少回弹损失,降低施工成本	0.6
2、路桥工程		
武汉长江二桥	铺装层维修	1.36
长江三峡大坝 E-120 栈桥	引桥路面,改善路面韧性、耐磨、抗冲击性能,抗裂及延长路面寿命	1.7
京珠高速广州段收费站	低磁路面,抗裂,抗冲击,耐磨损	0.9
广州北环高速公路	路面维护,增强路面弯拉强度,改善路面抗冲击韧性,以保障路面质量,延长使用寿命	0.9

续表 10 杜拉纤维在国内较重要工程中的应用实例

工程项目	用途	掺量/(kg/m ³)
3、水泥制品		
北京某复合板厂	水泥薄板(墙体装饰板)用于取代石棉	0.9
北京潮河构件厂	外墙保温墙板及预制件	0.7~1.0
广州某轻质混凝土砖厂	解决干缩裂缝、破损	0.9
广州番禺某珍珠岩砖厂	陶粒空心砌块及隔热瓦	0.6
4、其它用途		
成都某防水材料公司	涂料中掺加 4.8mm(3/16in)短纤	0.6
上海某防水材料公司	灰泥中掺加 9.5mm(3/8in)短纤	0.8
中山某防水材料公司	涂料中掺加 4.8mm(3/16in)短纤	0.6

注：限于版面，其它工程实例不再枚举

5 结束语

(1) 杜拉纤维改性混凝土较普通混凝土具有更优良的抗裂性能，在混凝土和抹灰中添加适量杜拉纤维是克服混凝土开裂的有效途径，尤其是塑性裂缝。

(2) 杜拉纤维泡水后不成团，这点国产纤维还做不到，目前正在进行国产化的试验，估计不久的将来可以应用国产聚丙烯纤维。

(3) 普通混凝土中添加杜拉纤维后，对混凝土强度没有明显影响，建议在石油石化系统的土建工

程中大面积推广应用。

参考文献

- 徐至钧. 杜拉纤维在混凝土工程中的应用. 建筑技术, 2001, (12)
- 苏健波. 杜拉纤维增强混凝土强度标准. 广东建材, 2001, (6)

* 徐至钧, 教授级高级工程师。现任北京恒富房地产公司总经理。通讯地址: 北京宣武区马连道中里一区二号楼, 邮编: 100055, 电话: 010-63448894

(编辑王力平 收稿日期 2001-08-02)

国家经贸委批准发布 19 项石化行业标准

国家经贸委最近批准 19 项石化行业标准，自 2002 年 5 月 1 日起实施。其标准名称、编号如下：

1 强制性标准 10 项

序号	标准名称	标准编号	代替标准编号
1	石油化工防火堤设计规范	SH3125-2001	
2	石油化工管道设计器材选用通则	SH3059-2001	SH3059-94、SH3059-1994
3	石油化工仪表及管道隔离和吸洗设计规范	SH3021-2001	SHJ21-90、SH3021-1990
4	石油化工仪表及管道伴热和隔热设计规范	SH3126-2001	SHJ21-90、SH3021-1990
5	石油化工仪表供气设计规范	SH3020-2001	SHJ20-90、SH3020-1990
6	石油化工剧毒、可燃介质管道工程施工及验收规范	SH3501-2001	SH3501-1997
7	石油化工工程建设交工技术文件规定	SH3503-2001	SH3503-93、SH3503-1993
8	石油化工设备安装工程质量检验评定标准	SH3514-2001	SHJ514-90、SH3514-1990
9	石油化工筑炉工程施工及验收规范	SH3534-2001	
10	石油化工企业燃料气系统和可燃性气体排外系统设计规范	SH3009-2001	SHJ9-89、SH3009-2000

2 推荐性标准 9 项

序号	标准名称	标准编号	代替标准编号
1	石油化工设计能量消耗计算方法	SH/T3110-2001	SYJ1029-82、SH/T3110-2000
2	石油化工钢储罐地基充水预压监测规程	SH/T3123-2001	
3	石油化工给排水水工艺流程设计图例	SH/T3124-2001	
4	石油化工钢制管道工程施工工艺标准	SH/T3517-2001	SHJ517-91、SH/T3517-1991
5	催化裂化装置轴流压缩机——烟气轮机机组施工技术规程	SH/T3516-2001	SHJ516-90、SH/T3516-1990
6	石油化工立式圆筒形钢制储罐施工工艺标准	SH/T3530-2001	SH3530-93、SH/T3530-1993
7	石油化工管式炉铬钼钢焊接回弯头技术规范	SH/T1327-2001	
8	炼油厂添加剂设施设计规范	SH/T3109-2001	SYJ1025-82、SH/T3109-2000
9	加工高硫原油重点装置主要设备设计选材导则	SH/T3096-2001	SH/T3096-1999

特邀通讯员 中化第十建设公司 罗家雄 (收稿日期 2002-05-14)