

# 核电工程聚丙烯纤维混凝土配合比试验与应用

朱大伟 吴昊 刘洪斌

中国电建集团核电工程有限公司

**摘要:** 在混凝土施工中,一些体积大、面积大、结构复杂、地下隐蔽的工程结构,需要采用高强度、大流动性的混凝土。在施工成型后,混凝土内部应力又大又复杂,尤其是变截面部位会产生应力集中,易发生收缩裂缝,甚至垮塌。本文设计的纤维混凝土有效克服了以上难题,并成功应用于核电工程施工中。经过验证,该纤维混凝土的施工工艺、结构强度、耐久性均达到相关要求。

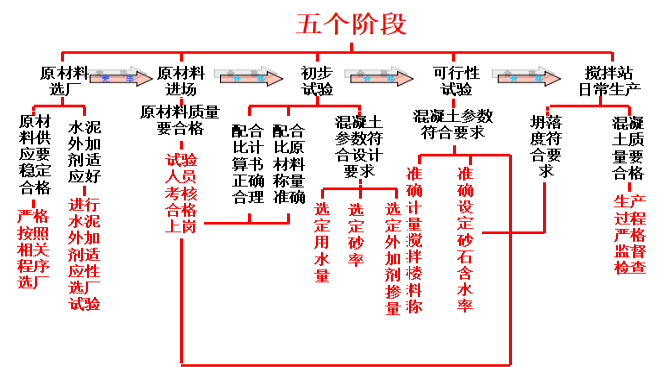
**关键词:** 核电; 纤维混凝土; 抗裂混凝土; 配合比设计; 裂缝

## 引言

在混凝土施工中,一些体积大、面积大、结构复杂、地下隐蔽的工程结构,需要采用高强度、大流动性的混凝土,在施工成型后,混凝土内部应力又大又复杂,尤其是变截面部位会产生应力集中,易发生收缩裂缝,甚至垮塌。如何提高混凝土的耐久性,如何控制混凝土冷缩及干缩所产生的裂缝、开裂,成为混凝土设计及施工过程中的技术难点与重点。

以往通过掺入粉煤灰、矿粉、膨胀剂等材料解决此类问题,虽有一些效果但是因养护、环境等因素仍然无法彻底解决。经研究表明,聚丙烯纤维混凝土可以有效的提高混凝土的抗裂、抗渗、抗冲击、抗冻性能,逐渐成为提高混凝土性能的重要手段之一,随着纤维混凝土的广泛应用,进一步研究高性能纤维混凝土有着较高的工程前景。

本文将从以下“五个阶段”阐述聚丙烯纤维混凝土配合比设计及在核电工程中的应用。



## 一、工程背景

某核电工程主厂房、PX泵房、GD廊道、汽轮机基础等众多工程部位中采用了大体积混凝土的设计,为了防止早期裂纹及提高混凝土耐久性采用聚丙烯纤维混凝土。聚丙烯纤维是一种无毒、不吸水、密度低、直径小、导电导热低、耐酸碱的材料,可以有效的改善混凝土的性能。

## 二、聚丙烯纤维混凝土配合比确定

### (一) 原材料选取情况

1. 拌合水: 选用自来水,检测参数如下: PH值8.3; 不溶物8mg/L; 可溶物9mg/L;  $Cl^-$ 含量10.07mg/L;  $SO_4^{2-}$ 含量

1.65mg/L; 碱含量14.32mg/L。

2. 水泥: 选用广州某公司生产P·042.5核电专用水泥,检测参数如下: 抗折强度5.9MPa(3d)、9.7MPa(28d); 抗压强度28.7MPa(3d)、58.3MPa(28d); 细度 $310m^2/kg$ ; 标准稠度用水量26.8%; 初凝时间123min; 终凝时间192min; 安定性合格。

3. 粉煤灰: 选用珠海某发电厂生产,检测参数如下: 类别F类; 等级I级; 细度8.0%; 需水量比90%;  $Cl^-$ 含量 $<0.5\%$ ; 烧失量0.88%。

4. 砂: 阳江某石料厂人工砂、中砂,检测参数如下: 表观密度 $2610kg/m^3$ ; 松散堆积密度 $1440kg/m^3$ ; 松散堆积孔隙率46%; 堆积密度 $1570kg/m^3$ ; 堆积密度空隙率41%; 细度模数2.6; 石粉含量1.0%; 泥块含量0.2%。

5. 石: 机碎石, 5~16mm连续级配碎石, 16~31.5mm单粒级级配碎石,按照一定比例混合后的5~31.5mm连续级配碎石,检测参数如下: 松散堆积密度 $1440kg/m^3$ ; 松散堆积孔隙率45%; 堆积密度 $1550kg/m^3$ ; 堆积密度空隙率41%; 针片状含量4.3%; 含泥量0.2%; 泥块含量0.2%。

6. 外加剂: 江苏某有限公司生产JM-VIII型高效减水剂,检测参数如下: 减水率18.0%; 含气量2.8%; 泌水率比33.6%; 抗压强度比140%(3d)、133%(7d)、128%(28d)。

7. 纤维: 深圳市某公司生产聚丙烯纤维,检测参数如下: 类型束状单丝; 直径 $29.20\mu m$ ; 长度19.05mm; 抗拉强度716.5MPa; 断裂伸长率26.9%; 耐碱断裂强度保留率99.4%; 弹性模量5590.2MPa; 自分散性好。

### (二) 配合比设计思路

水胶比及胶凝材料最低用量满足施工技术规格书要求; 尽可能的降低水及水泥用量; 出机坍落度控制在 $120\pm 20mm$ 之间; 保证混凝土良好的和易性。具体如下:

1. 根据坍落度、碎石最大粒径、查表推算、并经外加剂减水率折算,确定用水量。
2. 根据混凝土设计强度、核电技术规格书胶凝材料用量要求,确定水胶比、水泥用量、粉煤灰用量。
3. 根据产品说明及施工技术要求,确定聚丙烯纤维用量。
4. 砂率分别选用38%、39%、40%、41%、42%,进行试验对比,确定最佳砂率。
5. 根据外加剂厂家推荐掺量,结合水混合外加剂适应性试验数据并考虑产品经济性,选取外加剂掺量。
6. 测试混凝土拌合性能优化调整配合比。

### (三) 聚丙烯纤维混凝土配合比初步试验及性能

经过大量试验及对比,确定最佳配合比并检测混凝土各项性能,见表1、表2。在此过程中要确保人员能力满足试验要求; 各试验设备计量准确可靠; 对原材料进行充分检测并了解材料各项性能(重视外加剂与水泥的适应性能力); 试配用砂石料必须经过晾晒,达到表面风干,其含水率应小于1%,避免以往试配中因砂含水率检测偏差造成配合比中用水量与实际用水量偏差较大的问题; 水泥每次取样应足够一个配合比试配及初步试验的用量,随取随用,不宜超过3天。

表1 混凝土配合比

编号	标号	混凝土配合比(kg/m <sup>3</sup> )							设计坍落度(mm)
		水	水泥	砂	碎石5-31.5mm	外加剂	粉煤灰	纤维	
01	C40P10	177	350	689	1100	5.22	80	0.9	120±20

表2 试验室配制混凝土试验性能

编号	标号	混凝土出机温度 ℃	混凝土出机坍落度 mm	经时坍落度mm			抗压强度MPa			抗渗等级 实测值
				1h	1.5h	3d	7d	28d		
01	C40P10	26	120	110	100	35.8	40.2	54.7	>P12	

(四) 配合比可行性试验及性能

混凝土初步试验各项指标合格后，在混凝土搅拌站进行可行性试验（模拟实际生产），并测试混凝土各项性能指标，见表3。在此过程中要确保搅拌站人员能力满足试验要

求，搅拌站称量准确可靠，混凝土罐车排尽存水，搅拌机与混凝土罐车要用原配合比混凝土刷机，可行试验前要测试骨料含水率并计入配合比，搅拌过程要规范并有检测人员旁站监督。

表3 搅拌站生产混凝土试验性能

编号	标号	混凝土出机温度 ℃	混凝土出机坍落度 mm	经时坍落度mm			抗压强度MPa			抗渗等级 实测值
				1h	1.5h	3d	7d	28d		
01	C40P10	28	130	115	105	32.7	37.7	53.2	>P12	

三、聚丙烯纤维混凝土核电工程应用

(一) 混凝土生产注意事项

1. 炎热气候施工，应降低混凝土入模温度，可采取以下措施：水泥、粉煤灰原材料进场温度严格控制在60℃以下；搅拌站采用冷水机组，确保拌合水温度5℃以下；采取措施给混凝土罐车罐体降温。
2. 加强原材料进场检测，控制原材料性能稳定性（如水泥和粉煤灰细度、外加剂减水率等）；搭建骨料棚，防止混凝土骨料含水率因雨雪天气造成较大波动，确保混凝土性能稳定性。
3. 严格执行混凝土开盘检测程序，混凝土开盘性能满要求后方可进行正式生产；混凝土生产过程中，每隔1.5小时对搅拌站进行混凝土性能抽检。
4. 合理调度混凝土生产，最大限度缩短混凝土出搅拌机

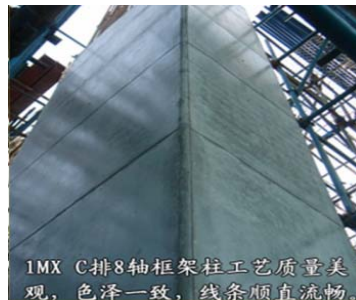
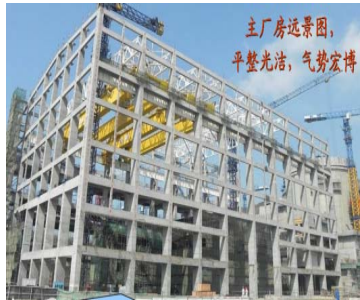
到现场浇筑的时间；运输和浇筑过程中严禁任何形式的加水作业。

5. 合理布置混凝土现场振捣点，振捣过程要防止出现过振或欠振，振捣时要垂直快插慢拔，应避免振捣钢筋、模板。

6. 混凝土浇筑完毕后要做好养护工作，根据当地天气情况采取养护混凝土措施，必要时应搭建养护棚。

(二) 混凝土工程效果

混凝土施工后，我们一直在跟踪检测混凝土的生产质量及施工效果。在整个施工过程中，生产纤维混凝土约10万m<sup>3</sup>，留置试块2000多组，混凝土抗压强度合格率100%，抗渗、抗冻合格率100%，核电工程实体也没出现有害裂缝、开裂等问题，现场工程实体表面观感达到较高的水平（见后图），其质量满足核电要求，限裂效能等级达到一级，具有良好的早期抗裂性能，提高了混凝土结构的耐久性，创造了良好的经济效益。



四、结论

1. 聚丙烯纤维与水泥基有着极强的亲和力，当加入混凝土经搅拌后，可以快速、均匀、乱向的分布在混凝土中，形成一种立体的网状支撑体系，对混凝土抗裂性能起到了有效的增强效果。
2. 由纤维构成的网状体系有效降低了混凝土的骨料离析及表面泌水，可以大大减小混凝土内部的孔隙率，在混凝土中加入聚丙烯纤维后可以增强混凝土的抗渗性能。
3. 聚丙烯纤维在混凝土内部可以有效的削弱由于温差产生

的内部应力，阻碍混凝土的裂缝产生，加入聚丙烯后大大提高了混凝土的抗冻性能。

4. 掺入一定量的聚丙烯纤维后，混凝土的力学性能、抗渗性能、抗裂性能完全满足施工技术及标准要求，对我国类似核电工程有重要的指导意义。

参考文献

[1] 虞孝伟. 掺聚丙烯纤维抗裂防渗混凝土的研制与应用[J]. 商品混凝土. 2006