

文章编号: 1001-4179(2004)07-0006-02

聚丙烯纤维和氧化镁在面板混凝土中的应用

朱自先

(武警水电第一总队第二支队, 贵州 黔西 551501)

摘要:洪家渡水电站面板堆石坝属200 m级高面板坝, 面板混凝土的防裂技术是一个重要的研究课题。洪家渡大坝面板混凝土配合比设计的基本思路是在满足设计要求的强度、耐久性及良好的施工和易性的前提下, 重点考虑其抗渗防裂问题。经过大量的试验论证之后, 采用了在混凝土中掺加聚丙烯纤维和轻烧氧化镁的方法。已完工的一期面板到目前为止仅发现10条小于0.2 mm的细微裂缝, 大大低于同类坝型的水平。聚丙烯纤维和轻烧氧化镁双掺技术的应用, 在面板混凝土的防裂中发挥了明显的作用。

关键词:面板混凝土; 混凝土配合比; 聚丙烯纤维; 轻烧氧化镁; 洪家渡水电站

中图分类号: TV431 **文献标识码:** A

1 概述

洪家渡水电站位于贵州省黔西县与织金县交界的乌江北源六冲河上, 是我国实施“西部大开发”战略的龙头工程。电站装机540 MW, 大坝属混凝土面板堆石坝, 坝高179.5 m, 为国内在建的同类型坝中第一高坝。大坝面板属长宽比较大的混凝土薄板结构, 斜长约298 m, 分3期浇筑, 最大长度129 m, 厚度0.3~0.91 m。这种超大的薄板结构, 防裂、止裂是技术难题。在注重坝体填筑施工质量, 减少坝体变形的同时, 如何从原材料及混凝土配合比方面使混凝土面板不裂或少裂, 以及在产生裂缝以后, 如何有效阻止裂缝的发展, 是面板混凝土配合比设计所要考虑的重点内容。

针对国内已建面板堆石坝的面板均存在不同程度的裂缝, 洪家渡大坝面板混凝土配合比设计的基本思路是在满足设计要求的强度、耐久性及良好的施工和易性的前提下, 重点考虑其抗渗防裂问题。经过大量的试验论证之后, 采用了在混凝土中掺加聚丙烯纤维和轻烧氧化镁的方法。试验结果表明, 掺加聚丙烯纤维可以有效提高混凝土的极限拉伸值, 使混凝土具有较高的拉压比, 降低弹性模量, 从而增强其适应变形的能力, 并在混凝土初裂以后, 提高混凝土的断裂韧度, 使混凝土具备一定的止裂能力; 掺加轻烧氧化镁可以有效补偿混凝土收缩, 减少混凝土干缩变形和线膨胀系数, 从而使混凝土具有不裂或少裂的特性。这两项技术措施的采用有效地改善了洪家渡水电站大坝面板的抗裂性能, 取得了良好的效果。已完工的一期面板到目前为止仅发现10条小于0.2 mm的细微裂缝, 大大低于同类坝型的水平。聚丙烯纤维和轻烧氧化镁双掺技术的应用, 在面板混凝土的防裂中发挥了明显的作用。

2 聚丙烯纤维混凝土

聚丙烯纤维是由丙烯聚合物或共聚物制成的烯烃类纤维,

密度为 0.9 g/cm^3 , 强度高, 为中性材料。把聚丙烯纤维掺入混凝土中, 能显著改善混凝土的变形性能(包括极限拉伸率、弹性模量、弯曲韧性、干缩等), 提高混凝土防裂抗冲刷能力, 在水电工程的钢筋混凝土面板和地下工程的锚喷支护及抗磨蚀要求高的水工建筑物等方面有广阔的应用前景。20世纪70年代, 英国西部海岸工程曾在砌筑防波堤的混凝土块体中掺入剁碎的聚丙烯纤维; 进入80年代后, 美、英、德、日等国对聚丙烯纤维混凝土进行了大量的研究, 取得了一系列有价值的成果。近年来, 应用纤维作为混凝土掺合料已被世界上60多个国家所接受, 其应用领域涉及公路路面、机场跑道、桥梁、隧道、港口、码头、水工建筑物等工业与民用建筑混凝土工程。

我国聚丙烯纤维混凝土的研究和应用起步较晚, 20世纪90年代中期以来, 在我国广东、山东、上海、河北等地的公路、桥梁工程中进行了应用, 取得了一些成功的经验, 但目前在水电工程中的应用还处于探索阶段。

3 外掺轻烧氧化镁微膨胀混凝土

近几年来, 用外掺轻烧氧化镁微膨胀混凝土的延期膨胀性能来补偿混凝土的温度应力, 是混凝土防裂筑坝技术之一。其优点是简化温控措施, 降低工程造价, 有效地防止基础混凝土裂缝。1989年在浙江石塘水电站进行机口外掺试验块的浇筑。此后, 福建水口水电站、广东青溪水电站大坝基础混凝土以及贵州东风水电站大坝基础深槽混凝土采用此项技术取得了良好的经济效益。

4 洪家渡面板混凝土配合比的确定

4.1 原材料的选用

水泥: 选用贵州水泥厂生产的乌江牌P.042.5水泥。

粉煤灰: 为凯里火电厂生产的I级灰。

骨料: 骨料为洪家渡水电站砂石系统生产的灰岩人工砂石

收稿日期: 2004-05-10

作者简介: 朱自先, 男, 武警水电第一总队第二支队, 工程师。

料。碎石热膨胀系数小,粒形规整、清洁、坚硬。砂子颗粒级配符合 I 区山砂,级配和石粉含量均满足 C30 以上混凝土要求,其细度模数为 2.50,其中粒径小于 0.16 mm 的占 15.1%。

外加剂:采用山西黄河化工有限公司生产的“红浪牌”UNF-2C 高效减水剂、AE 引气剂。

拌和用水:拌和用水为洪家渡工地生产用水。

氧化镁:为海城市东方滑镁公司生产。

聚丙烯纤维:为四川华神化学建材有限公司生产的“好亦特”聚丙烯微纤维,物理化学指标见表 1。

表 1 “好亦特”聚丙烯纤维的物理化学指标

密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	熔点 /°C	燃点/ °C	导 热 性	碱 阻 抗	抗拉 强度/ MPa	杨氏 弹模/ MPa	纤维 长度/ mm	吸 水 性
0.9-1.0	155-165	≥550	低	碱防护	≥500	3 500	19	表面吸水

4.2 配合比参数确定

(1) 设计要求。 C_{28} 30 抗渗不小于 W12,抗冻不小于 F100。结合工地施工水平,混凝土配制强度应不小于 38.0 MPa。根据原材料品质及前期试验成果,确定水灰比为 0.40,用 123、132、140、145 kg/m^3 4 个用水量进行复核试拌,坍落度控制在 70~90 mm;含气量控制在 4.0%~5.0%;砂率根据现场取样试验结果在 36% 左右合理调整;中小石比例为 50:50;减水剂掺量根据坍落度进行调整;引气剂掺量按 4.0%~5.0% 的含气量确定(前期试验表明:含气量 0.5 h 损失在 1.0% 左右,为使运输到仓面后的含气量控制在设计要求的 4.0%~5.0%,室内试拌时按 5.0%~6.0% 进行控制)。

(2) 氧化镁掺量。从贵州水泥厂的水泥化学分析表明,乌江 P.042.5 水泥中 MgO 的含量在 2.0% 左右,选择 MgO 掺量为 3.4%,这样在掺用 25% 的粉煤灰的情况下,胶材总量中的 MgO 总含量控制在 5.0% 以内,满足国家标准要求;在水泥中掺 3.4% 氧化镁进行水泥净浆压蒸试验,安定性合格,说明 3.4% 的掺量是安全的。

(3) 聚丙烯纤维掺量。根据掺量分别为 0.7、0.9、1.10 kg/m^3 的室内试拌成果来看,上述不同掺量对混凝土的力学性能没有明显的影响规律,混凝土抗压、抗拉强度、抗压弹模以及极限拉伸值等指标均接近,其中抗压强度与基准混凝土(同配比不掺聚丙烯纤维混凝土)接近,属同一强度等级,其余指标均略高于基准混凝土。抗渗、抗冻性能也均能达到设计要求。因此,根据厂家建议以及考虑工程成本因素,选择掺量为 0.9 kg/m^3 。

4.3 室内试拌成果

根据以上配合比参数进行的室内试拌成果见表 2、表 3。

表 2 室内试拌配合比

水胶 比	砂率/ %	材料用量/($kg \cdot m^{-3}$)						聚丙烯 纤维/kg	MgO	外加剂掺量/%	
		水	水泥	粉煤灰	砂	小石	中石			减水剂	引气剂
0.40	36.0	123	231	77	203	506	758	0.9	3.4	1.00	0.005
0.40	36.0	132	247	83	698	620	620	0.9	3.4	1.00	0.003
0.40	35.5	140	262	88	678	616	616	0.9	3.4	0.75	0.004
0.40	35.0	145	272	91	662	615	615	0.9	3.4	0.75	0.004

从表 3 试拌成果可以看出,由于加入了聚丙烯纤维和氧化镁,混凝土拌和物的粘性特别强,坍落度损失很快,试拌时温度为 18℃,坍落度损失前 0.5 h 在 50% 左右,后 0.5 h 为 25% 左右。和不掺纤维和氧化镁的同配比混凝土相比,用水量要增加 10 kg

以上,因而胶凝材料用量要增加 20 kg 以上。

表 3 室内试拌成果

含气量/ %	历时坍落度/mm			历时损失率/%		抗压强度/MPa		抗渗	抗冻
	0 h	0.5 h	1.0 h	0.5 h	1.0 h	7 d	28 d	标号	标号
5.0	55	20		60		24.9	36.5	>W12	>F100
5.7	82	40	30	51	63	28.4	43.0	>W12	>F100
5.7	85	45	34	47	60	36.2	43.6	>W12	>F100
6.0	118	50	35	58	70	37.8	45.5	>W12	>F100

从试拌成果看,配比 2、3 较其他配比更能满足施工设计要求,且技术、经济合理,确定为施工配合比。

4.4 施工配合比

根据室内试拌的成果,提出施工配合比如表 4、表 5。

表 4 面板混凝土施工配合比

编号	设计 强度	设计 坍落度/ cm	设计 含气量/ %	粉煤灰 掺量/ %	砂率/ %	水 灰 比	外加剂掺量/%		MgO 外掺/ %
							UNF-2C 减水剂	AE 引气剂	
配比一	C30	7-9	4-5	25	36	0.4	1.0	0.003	3.4
配比二	C30	7-9	4-5	25	35.5	0.4	0.75	0.004	3.4

表 5 混凝土各材料用量

编号	水	材料用量/($kg \cdot m^{-3}$)					外加剂掺量/%			MgO
		水 泥	粉 煤 灰	砂 子	小 石	中 石	聚丙烯 纤维	UNF-2C 减水剂	AE 引气剂	
配比一	132	247	83	698	620	620	0.9	3.3	0.0099	11.2
配比二	140	262	88	678	616	616	0.9	2.625	0.014	11.9

5 施工质量控制

5.1 投料程序

聚丙烯纤维和氧化镁的加入,保障拌和均匀,是质量控制的关键。为此特别规定了投料程序:先加入细颗粒料(砂子和水泥、粉煤灰、聚丙烯纤维、MgO)投入并确保干拌 30~60 s,然后加水(包括减水剂、引气剂)和石子进行拌和 90~120 s。先干拌的目的是为了防止纤维结团,保证纤维和氧化镁的分布均匀,后加石子主要是为了避免 MgO 对石子的包裹,同时也能提高拌和效率,拌和系统所用搅拌设备为强制式拌和机。

5.2 坍落度控制

虽然面板是选择在冬季施工,阴天气温在 5℃ 左右,混凝土拌和物坍落度损失仍然特别快,0.5 h 坍落度损失 40% 以上,晴天超过 60%。并且由于纤维的影响,拌和物粘滞性很强,若坍落度低于 40 mm,虽能满足溜槽施工要求,但机口和运输设备出料非常困难,给施工造成很大不便。而滑模施工工艺要求又不允许有太大的坍落度,必须在机口和仓面对拌和物坍落度实施对比控制,并根据损失情况及时调整机口坍落度。

5.3 含气量控制

试验表明,与不掺引气剂的混凝土相比,每增加 1% 的含气量,保持水泥用量不变时,混凝土 28 d 抗压强度下降 2%~3%,保持水灰比不变时,混凝土 28 d 抗压强度下降 4.0%~6.0%。因此,必须严格控制引气剂掺量,使混凝土拌和物含气量既满足耐久性要求,又不至因过大而使混凝土出现低强度。

在小于 $1^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。初期通水削减了混凝土内部的温升峰值,使混凝土内部的最高温度满足了设计要求。闸室衬砌墙初期通水后,温度计实测温升曲线如图 1。

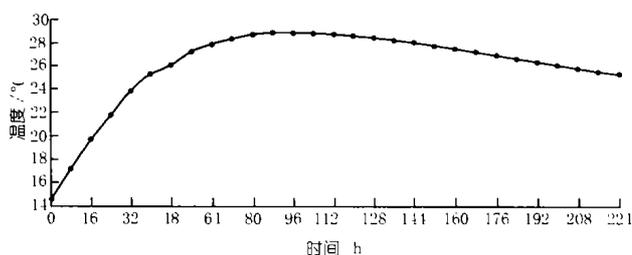


图 1 混凝土内部温升曲线

3.5 中期通水降低混凝土内外温差

为降低结构混凝土的内外温差,预防混凝土出现温度裂缝,每年的 9 月初即开始对当年 5~8 月份施工的大体积混凝土,10 月初对当年 4 月和 9 月浇筑的大体积混凝土,11 月初对当年 10 月浇筑的大体积混凝土进行中期通水。

3.6 混凝土的养护

新浇混凝土采用常流水养护,有条件的则采用浸水养护。

低温季节采用了混凝土表面覆盖 EPE 保温被的方法以降低混凝土的内外温差,减少了混凝土表面温度裂缝的发生,防止了深层裂缝。

4 温控措施效果评估

通过采取综合温控措施,三峡船闸混凝土的最高温度均控制在设计允许值范围内。

(1) 通过控制混凝土原材料的温度和利用冰的融解热吸收水泥水化热,可有效地控制出机口温度,试验表明,骨料温度降低 1°C ,出机口的温度可降低 0.6°C 左右,而每方混凝土加 10 kg 的冰,可降低出机口温度 1°C ;

(2) 仓面喷雾所形成的小气候内的气温比周围环境气温低 6°C 左右;而采用遮阳篷可降低混凝土的温度回升 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$;

(3) 仓面覆盖 EPE 保温被可以降低混凝土浇筑温度 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$;

(4) 初期通水可削减大体积混凝土内部温升峰值 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$,对于衬砌墙而言,其效果更加明显,实测值表明,削减温升峰值在 $5\sim 6^{\circ}\text{C}$,再经过中期通水冷却,一般到 10 月份,夏季浇筑的大体积混凝土内部温度可降至 $21\sim 25^{\circ}\text{C}$,达到了设计要求。

5 结语

到目前为止,经过多次调查,船闸混凝土未发现危害性裂缝。

实践证明,三峡船闸混凝土施工中所采取的综合温控措施,对防止混凝土裂缝的发生起到了良好的控制效果。

(编辑:徐诗银)

(上接第 7 页)

5.4 浇筑

采用无轨滑模进行浇筑,用软轴振捣器在距滑模前缘 20 cm 以外振捣,严禁振捣器深入滑模内部,以防将滑模托起或造成滑模后部已成型的混凝土鼓出。滑模过后应及时抹面,并在 2 h 后进行二次抹面。

5.5 养护

采用云南亚西泰克模板有限公司生产养护密封剂养护,这在我国面板混凝土施工中首次使用。养护密封剂具有对喷淋后的混凝土表面养护和密封作用:① 能防止混凝土内部水分蒸发,利用其内部水分,对混凝土进行养护,防止混凝土产生裂缝;② 防紫外线辐射,能有效地保护面板混凝土中的聚丙烯纤维。混凝土表面完成养护密封剂的喷淋后,立即盖上塑料薄膜,接近初凝时,覆盖湿麻袋片保温。

6 质量评价

洪家渡电站大坝一期面板共抽取抗压试样 118 组,28 d 抗压强度平均值为 37.9 MPa ,最大值为 43.3 MPa ,最小值为 30.1 MPa ,标准差为 2.07 MPa ,保证率为 99.9% ,不低于设计强度值的百分率为 100% ;另抽取抗渗、抗冻试样各 2 组,检测结果均达到设计要求。从外观检查情况来看,面板表面平整、光滑、截止

本文完稿为止,仅发现小于 0.2 mm 的细微裂缝 10 条,且无贯穿性裂缝,与同类坝型相比,单位面积上的裂缝数量较少,裂缝宽度较小。说明面板施工质量良好,聚丙烯纤维和氧化镁的应用是成功的。

7 结语

(1) 聚丙烯纤维和氧化镁在洪家渡电站大坝一期面板混凝土中的应用情况表明,聚丙烯纤维和氧化镁的使用,对增强混凝土的断裂韧度,补偿混凝土自身体积收缩,从而避免或减少由于混凝土自身收缩变形而产生的裂缝,效果是明显的。

(2) 由于掺有 25% 的粉煤灰,后期强度储备较大,90 d 强度达 50 MPa 。实际工程中面板混凝土浇筑后并不会立即投入使用,因此可否考虑在结构受力许可的前提下,利用混凝土的长龄期(60 d 或 90 d)的强度,这样可放大水胶比,进一步降低胶凝材料的用量,降低工程成本。

(3) 虽然洪家渡电站发生的裂缝数量较少,通过对观测资料进行分析,认为这期面板发生裂缝的主要原因是由于混凝土本身干缩变形所引起。说明在 3.4% 掺量下,氧化镁的膨胀量还不足以补偿混凝土的收缩,是否可以突破规范界限,有待进一步试验研究。

(编辑:常汉生)