

石灰岩粉替代粉煤灰在碾压混凝土中的应用

李月华, 周平, 郑强

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610072)

摘要: 由于碾压混凝土施工体量大, 对掺合料需求高, 特别是在高活性混合材料(粉煤灰)资源缺乏的地区必然会导致碾压混凝土生产成本高、经济效益差。因此, 研究石灰岩粉在混凝土中应用的新技术具有很高的经济效益与社会价值。

关键词: 石灰岩粉; 碾压混凝土; 技术; 应用; 节能环保; 南欧江五级水电站

中图分类号: TV7; TV544; TV52; TV42

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2020)04-0074-04

Application of Limestone Powder Instead of Fly Ash in Roller Compacted Concrete

LI Yuehua, ZHOU Ping, ZHENG Qiang

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610072)

Abstract: Due to the large construction volume of roller compacted concrete (RCC) and the high demand for admixtures, especially in the areas where the resources of high active admixture (fly ash) are scarce, the production cost of RCC will be high and the economic benefits will be low. Therefore, the study of the new technology of applying limestone powder in concrete has high economic benefits and social value.

Key words: limestone powder; RCC; technology; application; energy conservation and environment protection; Num Ou 5 Hydropower Project

1 概 述

南欧江五级水电站位于老挝丰沙里省境内, 该省粉煤灰资源缺乏, 若从中国、泰国或越南采购, 其公路运输距离均在 700 km 以上, 仅运输成本一项将大大增加混凝土造价^[1]。该水电站从环保和节约投资的角度考虑, 借鉴柬埔寨甘再水电站、蒙古泰西尔水电站的经验, 针对粉煤灰资源缺乏的具体情况, 因地制宜地开展了采用磨细石灰岩粉作为混凝土掺合料的应用与研究。相关厂家因地制宜就近采用昂邓料场和梦晒料场的石灰岩料源生产石灰岩粉, 用罐车运至南欧江五级水电站拌和楼, 距离仅 58 km, 有效降低了材料成本、运输成本及转运周期, 为进一步研究石灰岩粉作为混凝土掺合料的新技术奠定了有利的先决条件。

国内研究石灰岩粉部分替代粉煤灰在碾压混凝土大坝中的应用已有先例。但因国内规范的限制, 暂无完全替代粉煤灰作为碾压混凝土掺合料

的工程实例。因此, 该工程对石灰岩粉的使用在老挝的水电工程中尚属首次。

2 应用目标

对碾压混凝土涉及到的原材料进行品质检测, 其检测结果应符合相关品质要求。当检测骨料具有碱活性危害时, 其不能作为石灰岩粉料源的生产或不能使用石灰岩粉作为混凝土的掺合料, 应选择抑制碱活性反应的粉煤灰作混凝土掺合料, 从而为研究混凝土掺合料方向确定了目标。

根据对混凝土的设计要求进行相关配合比的参数设计, 并经试验论证分析出掺粉煤灰和石灰岩粉后混凝土性能的差异, 从混凝土本身性能方面对石灰岩粉能否作为混凝土掺合料进行了评价, 进一步肯定了石灰岩粉作为混凝土掺合料的实际意义。

通过对比掺粉煤灰和掺石灰岩粉混凝土的配合比及其性能试验结果的差异, 分析石灰岩粉作为混凝土掺合料的技术可行性。

在上述研究成果的基础上, 从原材料来源、原材料用量、设备投资、温控措施费用等方面进行经

收稿日期: 2020-05-25

济比较,在综合满足各项要求的前提下,实现石灰岩粉替代粉煤灰作为碾压混凝土掺合料的应用。

3 原材料^[2]

3.1 水泥

水泥采用越南生产的PC40(42.5级)硅酸盐水泥,其比表面积为 $330\text{ m}^2/\text{kg}$,初终凝时间分别为138 min、187 min,28 d抗压强度为47.1 MPa,抗折强度为7.1 MPa,碱含量为 $0.71\text{ kg}/\text{m}^3$,安定性合格。

3.2 掺合料^[3]

掺合料采用越南产Ⅱ级粉煤灰和老挝产石灰岩粉。

(1)粉煤灰性能为:细度15.8%,烧失量6.14%,需水量比93%,游离氧化钙0.79%,含水量0.3%,;流动度比122%,碱含量 $1.38\text{ kg}/\text{m}^3$ 。

(2)石灰岩粉性能为:细度16.3%,密度 $2710\text{ kg}/\text{m}^3$,需水量比98%,活性指数64%,含水量0.3%,流动度比122%,碱含量 $0.14\text{ kg}/\text{m}^3$ 。

掺入掺合料后的水泥胶砂强度见表1。

表1显示:越南PC40水泥中掺入30%~

表1 掺合料对水泥胶砂强度影响的检测结果表

水泥品种	掺合料名称 掺量/%	掺后抗压强度/胶砂强度/%				掺后抗折强度/胶砂强度/%				掺后流动度/流动度/%	
		3 d	7 d	28 d	90 d	3 d	7 d	28 d	90 d		
越南PC40	0	30/100	40.3/100	51/100	53.5/100	6.2/100	7.7/100	8.3/100	8.4/100	165/100	
	越南Ⅱ级粉煤灰	30	20.6/69	26.3/65	37.3/73	43.8/7	5.1/82	6.1/79	7.2/87	7.5/89	201/122
	40	17.9/6	23.4/58	34.2/67	42.8/8	5/81	5.4/70	5.8/70	6.8/81	211/128	
	50	12.5/42	17.3/43	25.2/49	33.1/62	3.8/61	4.6/60	5.4/65	6.3/75	221/134	
	60	8.8/29	10.9/27	21.1/41	30.5/57	2.7/44	3.5/45	4.9/59	5.9/70	215/130	
	石灰岩粉	30	22.2/74	28/69	34.1/67	36.7/69	5.4/87	6.2/81	6.9/83	7.2/86	175/106
	40	21.8/73	23/57	27.1/53	28.2/53	4.6/74	5/65	6.6/80	6.9/82	171/104	
	50	13.6/45	16.7/41	20.2/40	22.8/43	3.8/61	4.5/58	5.0/60	5.4/64	172/104	
	60	9.1/30	11.3/28	13.6/27	15.1/28	2.6/42	3.6/47	4.6/55	4.9/58	160/97	

60%的掺合料(粉煤灰、石灰岩粉),水泥胶砂28 d、90 d抗压强度及抗折强度随掺合料的掺量增加而相应降低。

比较石灰岩粉与粉煤灰作为水泥胶砂的掺合料:掺用石灰岩粉3 d、7 d龄期的强度普遍高于掺用粉煤灰的强度,而掺用石灰岩粉28 d、90 d龄期的强度大部分低于掺用粉煤灰的强度;水泥胶砂流动度随掺合料(石灰岩粉掺60%除外)的掺量增加而普遍增大。

3.3 骨料

骨料选用老挝南欧江五级水电站工程昂料场生产的人工砂石骨料。相关试验性能参数符合规范要求,质量较好。

(1)细骨料性能:Ⅱ区中砂,细度模数2.94,表观密度 $2690\text{ kg}/\text{m}^3$,堆积密度 $1530\text{ kg}/\text{m}^3$,石粉含量8.4%,吸水率1.5%,粒径小于0.075 mm的微细颗粒含量为3.4%。

(2)粗骨料性能:采用5~20 mm、20~40 mm、40~80 mm三级粒径组成的合成级配,其中三级配5~20 mm碎石占比20%,20~40 mm碎

石占比30%,40~80 mm碎石占比50%,孔隙率为46%,吸水率为0.82%,含泥量为0.6%,针片状颗粒含量为3.3%,压碎指标9.2%。二级配5~20 mm碎石占比40%,20~40 mm碎石占比60%。孔隙率为42%,吸水率为0.95%,含泥量为0.5%,针片状颗粒含量为3%,压碎指标为9.4%。

3.4 骨料的碱活性

昆明勘测设计研究院出具的《采用石灰岩粉作为混凝土掺合料研究专题报告》指出:经砂浆长度法检测评定为非活性骨料(碱-硅酸反应);“混凝土棱柱体法试验”38周龄期混凝土最大膨胀率为0.0208%,初步判定其不具有碱活性。为保证工程质量,仍然要求对混凝土总碱量进行控制。

3.5 外加剂

外加剂采用成都双利新型建材有限公司生产的SL-4缓凝高效减水剂、SL引气剂,其试验性能参数如下:

(1)SL-4缓凝减水剂:减水率18%,泌水率比52%,含气量3.3%,凝结时间之差初凝+280

min,终凝+260 min;3 d、7 d、28 d 抗压强度比分别为 136%、134%、130%。

(2) SL 引气剂:减水率 7.9%,泌水率比 55%,含气量 4.8%,凝结时间之差初凝+6 min,终凝-5 min;3 d、7 d、28 d 抗压强度比分别为 96%、96%、96%。

3.6 拌和及养护用水

符合要求的饮用水。

4 碾压混凝土配合比

表 2 碾压混凝土拌和物性能成果表

序号	水胶比	砂率 /%	用水量 /kg·m ⁻³	掺合料种类及掺量	级配	外加剂		V _C /s	凝结时间 h:min		凝结时间 h:min		备注
						SL-4 缓凝高效减水剂	SL 引气剂		室外		室内		
									初凝	终凝	初凝	终凝	
				粉煤灰									
1	0.45	38	90	60%	二	1.00%	2/万	3.7	6:20	8:05	7:40	9:50	碾压
2	0.45	38	94	石粉 45%	二	1.00%	2/万	4.5	3:40	4:35	4:55	6:10	混凝土

4.3 碾压混凝土力学性能及耐久性性能试验成果^[5]

碾压混凝土力学性能及耐久性性能试验取得

表 3 碾压混凝土力学性能及耐久性性能试验成果表

序号	级配	水胶比	掺合料种类及掺量	抗压强度 /MPa		劈拉强度 /MPa		静力抗压弹性模量×10 ⁴ /MPa		干缩(湿胀)率 ε _t ×10 ⁻⁶		抗冻性试验		抗渗性试验		
				28 d	90 d	28 d	90 d	28 d	90 d	28 d	90 d	50 次冻融循环		抗冻等级	平均渗透高度 /mm	抗渗等级
												相对弹性模量 /%	质量损失率 /%			
1	二	0.45	粉煤灰 60%	23	28.8	1.8	2.5	3.042	3.402	173	218	88.2	2.01	>F50	73	>W6
2	二	0.45	石粉 45%	27.0	28.4	1.9	2.3	3.265	3.336	280	291	86.1	2.23	>F50	78	>W6

和粉煤灰的碾压混凝土各项性能均较好,掺石灰岩粉碾压混凝土的各项性能可以满足碾压混凝土的设计指标要求,符合作为碾压混凝土掺合料技术的可行性;但掺石灰岩粉的碾压混凝土拌合物性能、力学性能、稳定性能、耐久性性能均略低于

4.1 碾压混凝土设计技术指标^[4]

根据昆明勘测设计研究院编制的图纸及有关技术要求,南欧江五级水电站碾压混凝土设计技术指标为:强度等级 C₁₈₀15W2F50,三级配;强度等级 C₁₈₀20W6F50,二级配。设计龄期及保证率均为 180 d,P=80%,V_C 值均为 20~12 s,坍落度均为 40~60 mm。

4.2 碾压混凝土拌和物性能

碾压混凝土拌和物性能成果见表 2。

的抗压强度、劈拉强度、弹性模量、干缩(湿胀)率、抗渗、抗冻等各项性能成果见表 3。

由上述试验结果得出以下结论:掺石灰岩粉

掺粉煤灰的碾压混凝土性能,变态混凝土强度高 于碾压混凝土。

4.4 碾压混凝土配合比

在实际施工中使用的碾压(变态)混凝土配合比见表 4。

表 4 碾压(变态)混凝土配合比表

编号	碾压混凝土强度等级	配合比 (胶材:砂子:石子:水)	水胶比	砂率 /%	掺合料种类:掺量 /%	每 m ³ 混凝土材料用量 /kg·m ⁻³						
						水泥	掺和料	细骨料	粗骨料 /级配	水	SL-4	SL
1	C ₁₈₀ 20W6F50	1:3.96:6.52:0.46	0.46	38	石灰岩粉:45	112	92	808	1331/二	94	2.04	0.0408
2	C ₁₈₀ 15W2F50	1:4.57:8.95:0.5	0.5	34	石灰岩粉:50	82	82	749	1467/三	82	1.64	0.0328
3	C ₁₈₀ 20W6F50	1:4.68:7.17:0.5	0.5	40	粉煤灰:60	72	108	842	1291/二	90	1.98	0.036
4	C ₁₈₀ 15W2F50	1:5.04:9.55:0.53	0.53	35	粉煤灰:65	53	98	761	1443/三	80	1.66	0.0302

老挝南欧江流域发电公司《南欧江五级水电站石粉作为掺合料的混凝土配合比咨询评审会会议纪要》(NamOu-MM-O-01(2014))的内容:

经充分的试验及技术论证,流域公司规划的在南欧江五级水电站采用石灰岩粉作为混凝土掺合料是可行的。

5 实际效果及经济效益分析

老挝南欧江五级水电站于2014年4月开始采用石灰岩粉做为碾压混凝土掺合料,自施工以来,通过对试验检测、芯样检测、坝体安全运行及经济效益等相关数据进行分析得知其结果达到预期效果。

胶材到货成本分别为:水泥 95 美元/t、石灰石粉 57 美元/t、粉煤灰 108 美元/t,工程各部位合计碾压混凝土量为 21 万 m³(碾压混凝土级配比例为二级配:三级配=25%:75%),在碾压混凝土中掺合料分别使用石灰岩粉和粉煤灰时的经济对比情况见表 5。

表 5 石灰岩粉与粉煤灰经济对比表

碾压混凝土级配	石灰岩粉碾压混凝土			粉煤灰碾压混凝土			石灰岩粉比粉煤灰每 m ³ 节约成本/美元	21 万 m ³ 碾压混凝土可节约成本	
	水泥	石灰岩粉	每 m ³ 成本/美元	水泥	粉煤灰	每 m ³ 成本/美元		万 /m ³	节约成本 /美元
二级配	112	92	15.884	72	108	18.504	2.620	5.25	137.55
三级配	82	82	12.464	53	98	15.619	3.155	15.75	496.912
合计							3.021	21	634.462

从表 5 得知:碾压混凝土中使用石灰岩粉做为掺合料比使用粉煤灰做为掺合料节约成本 634 462 美元。

6 结 语

在满足设计要求、保障构筑物质量和安全的同时,将石灰岩粉作为碾压混凝土掺合料的应用技术可行,对解决缺乏粉煤灰资源、降低工程造价及节能减排以及经济效益和绿色环保具有重要的意义,所取得的经验可在类似工程推广应用。

参考文献:

[1] 刘成林. 石灰岩粉作为掺合料全部代替粉煤灰在碾压混凝土

土中的成功运用[J]. 四川水力发电, 2016, 35(3): 83-85.
 [2] 水工混凝土配合比设计规程, DL/T 5330-2005[S].
 [3] 水工混凝土掺用粉煤灰技术规范, L/T 5055-2007[S].
 [4] 水工碾压混凝土试验规程, DL/T 5433-2009[S].
 [5] 水工混凝土耐久性技术规范, DL/T 5241-2010[S].

作者简介:

李月华(1977-),男,重庆开县人,高级工程师,从事建筑工程材料试验检测技术与管理工作;
 周平(1979-),男,四川成都人,工程师,从事建筑工程材料试验检测技术与管理工作;
 郑强(1976-),男,重庆荣昌人,工程师,从事建筑工程材料试验检测技术与管理工作. (责任编辑:李燕辉)

(上接第 44 页)

结合不紧密而引起的剥落返工率,节约了施工周期。同时,采用该方法对成型管片进行修补,对隧道内其他施工干扰较小,最大限度地减小了管片修补对工程工期的影响,具有良好的经济效益。

此外,采用该方法修复受损管片后,提高了成型管片环的整体稳定性,解决了成型管片的渗水、堵排问题,改善了成型管片的外观和形象,提高了汛期隧道行车的舒适性和安全性,确保了项目建成后的运营,取得了较好的安全效益。

7 结 语

高应力地区成型管片破坏后的修补技术应用范围广,不仅适用于公路隧道衬砌破坏后的修补施工,也适用于水利水电工程、铁路及城市地下铁路隧道中长输水隧洞(无压)等钢筋混凝土管片破坏后的修补,保证了修复后原破损部位具有较好的塑性和柔性,增强了破损管片对隧道沉陷变形的适应性,同时,破损修复位置的新材料对再次产生的裂缝具有一定的自愈能力,使修复后的管片

具有更好的密实性和防渗性,以及更好的抵抗应力的能力,阻止了在高地应力作用下管片破坏的持续发生,提高了隧洞运行期间的行车安全。

参考文献:

[1] 李文秋. 高应力地区施工管片破损原因分析及防治[J]. 铁道勘测与设计, 2010, 53(5): 62-64.
 [2] 赵运臣. 盾构隧道曲线段管片破损原因分析[J]. 西部探矿工程, 2002, 13(3): 75-76.
 [3] 刘亚辉. 新建盾构隧道穿越铁路应用技术[J]. 铁道建筑技术, 2015, 32(12): 67-70.
 [4] 邹家南. 高应力地区成型管片加固效果的数值试验研究[D]. 广州:华南理工大学, 2014.
 [5] 叶飞, 何川, 王士民. 隧道施工期成型管片受力特性及其影响分析[J]. 岩土力学, 2016, 33(6): 1801-1807, 1812.

作者简介:

陈维(1986-),男,湖北京山人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
 陈鑫(1991-),男,四川阆中人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作.

(责任编辑:李燕辉)