

水泥细度对碾压混凝土性能的影响

蔡跃波¹, 石 泉², 丁建彤¹, 陈 波¹, 龚 英¹

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 新疆维吾尔自治区水利厅, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要:为探索粗磨水泥用于碾压混凝土的可行性,研究了普通硅酸盐水泥与用水泥熟料磨制的2个细度的粗磨水泥对碾压混凝土工作性、抗压强度、轴拉性能、耐久性及绝热温升的影响。结果表明,粗磨水泥减小了混凝土的VC值,提高了混凝土的施工性能,粗磨水泥配制的碾压混凝土满足设计要求,且强度有较大的富余;与普通硅酸盐水泥相比,粗磨水泥降低混凝土绝热温升8.3~12.3℃。

关键词:水泥细度;碾压混凝土;工作性;力学性能;绝热温升;耐久性

中图分类号:TV431

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2010)02-0075-04

Influences of cement fineness on properties of roller compacted concrete//CAI Yue-bo¹, SHI Quan², DING Jian-tong¹, CHEN Bo¹, GONG Ying¹(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Department of Water Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830000, China)

Abstract: In order to investigate the feasibility of application of coarse ground cement in roller compacted concrete (RCC), the influences of the ordinary Portland cement and 2 kinds of coarse ground cement ground by cement clinker on the workability, compressive strength, tensile properties, durability and adiabatic temperature rise of RCC were studied. The results show that the coarse ground cement reduces the VC value of the concrete and improves its construction performance. The RCC prepared by the coarse ground cement satisfies the design requirements and its mechanical properties have considerable surplus. The 2 kinds of coarse ground cement in this study reduces the adiabatic temperature rise of 8.3~12.3℃ compared with the ordinary Portland cement.

Key words: cement fineness; roller compacted concrete; workability; mechanical property; adiabatic temperature rise; durability

为避免温度裂缝的产生,大型水利水电工程大体积混凝土施工,除在结构设计和施工工艺方面进行改进外,还希望水泥的水化热尽量低。龙滩、锦屏、官地等水电站工程^[1-2]均采用限制比表面积的中热硅酸盐水泥。GB 200—2003规定,中热硅酸盐水泥熟料要求硅酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)的质量分数应不超过55%,铝酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)的质量分数应不超过6%,游离氧化钙的质量分数应不超过1%。除规定抗压及抗折强度要求外,还要求3d水化热小于或等于251 kJ/kg,7d水化热小于或等于293 kJ/kg。受水泥原材料成分及生产工艺的限制,一般水泥厂均需经过专门的工艺研究和试验,才能生产合格的中热硅酸盐水泥,使水化热相对较低的中热硅酸盐水泥的应用受到了制约。因此,有必要找到一种水化热低、生产工艺简单的水泥。

西北地区某水利枢纽碾压混凝土坝由于地处高

寒、高温差地区,昼夜温差和年较差大,施工期间会带来25~60℃的坝体内外温差。在现有的温控防裂措施基础上,如何进一步提高混凝土的抗裂性是一个迫切需要解决的问题。采用水泥熟料直接生产细度较大、比表面积小的粗磨水泥来配制低热混凝土是一个具有良好技术经济性的方案^[3]。在兼顾力学性能要求的同时,直接通过细度来控制水泥的水化热,不必像中热硅酸盐水泥那样,考虑水泥熟料的矿物成分及其比例。粗磨水泥不仅能降低早龄期混凝土的开裂风险,而且有利于提高混凝土的耐久性^[4-6]。同时也扩大了水泥原材料的来源,简化了生产工艺,降低了能耗。

本文针对工程需要,研究了普通硅酸盐水泥及采用水泥熟料磨制的粗磨水泥对碾压混凝土的工作性、力学性能、耐久性及绝热温升等性能的影响,论证采用粗磨水泥配制碾压混凝土的技术可行性。

基金项目:国家自然科学基金委员会、二滩水电开发有限责任公司雅砻江水电开发联合研究基金(50539040);水利部公益性行业科研专项经费项目(200701014)

作者简介:蔡跃波(1958—),男,江西铅山人,教授级高级工程师,硕士,从事水工材料研究。E-mail: ybcail@nhri.cn

1 原材料及试验方法

水泥 :某水泥厂专门试生产的 2 种细度的粗磨水泥(水泥熟料磨细后加 5% 的石膏),比表面积分别为 304m²/kg 和 336m²/kg ;某工程采用的比表面积为 398 m²/kg(典型细度)的 P·O 42.5 水泥。水泥的化学成分及基本性能指标 ,见表 1 和表 2。

粉煤灰 :细度 6.0% ,需水量比 99% ,烧失量 5.70% ,密度 2.26 g/cm³。

水洗天然砂 :饱和面干吸水率 1.14% ,表观密度 2 610 kg/m³ ,细度模数 2.44。

粗骨料 5 ~ 20 mm ,20 ~ 40 mm ,40 ~ 80 mm 三级配片麻黄岗岩。饱和面干吸水率分别为 1.40% ,1.10% ,0.84% ,表观密度分别为 2 640 kg/m³ ,2 660 kg/m³ ,2 660 kg/m³。

石粉 :石灰石粉 ,0.080 mm 筛余量为 6% ~ 9%。

外加剂 :聚羧酸系缓凝型高效减水剂及引气剂。

按照 SL352—2006《水工混凝土试验规程》进行碾压混凝土配合比设计及相关性能试验。按照 GB/T 12959—2008《水泥水化热测定方法》溶解热法进行水化热测试。

2 水泥的水化热及物理力学性能

2.1 水泥水化热

水化热测试采用无锡建仪仪器机械有限公司生

产的 SHR-650 II 型水化热测定仪进行。3 种水泥的水化热见表 3。

从表 3 可以看出 ,C304 和 C336 水泥的水化热明显降低。与较细的 PO398 普通硅酸盐水泥相比 ,C304 水泥各龄期的水化热分别降低了 12% ,7% ,16% 和 14% ;C336 水泥的水化热分别降低了 11% ,1% ,10% 和 9%。应注意到 ,普通硅酸盐水泥已掺加了 9% 的混合材 ,但它的水化热依然较熟料磨制的粗磨水泥高出 10% 左右。在熟料矿物成分大致相同的情况下 ,减小水泥的比表面积是降低水化热的有效措施。同时还可以看出 ,以 28 d 龄期的放热量为基准时 ,粗磨水泥的放热速率与普通硅酸盐水泥基本相当 ,因此 ,不会出现早期放热量低、后期放热量高的现象。

2.2 水泥的物理力学性能

比较 3 种水泥 3 d ,7 d ,28 d 和 90 d 龄期的力学性能指标 ,如表 4 所示。C304 和 C336 水泥 28 d 龄期的胶砂抗压强度分别为 37.4 MPa 和 39.8 MPa ,均小于 42.5 MPa。2 种粗磨水泥各龄期的胶砂抗压强度虽小于 PO398 水泥 ,但粗磨水泥的后期强度仍有较大增长空间。2 种粗磨水泥 3 d 和 7 d 胶砂抗折强度明显小于 PO398 水泥 ,但 28 d 和 90 d 龄期的胶砂抗折强度已接近于 PO398 水泥。水泥细度对 28 d 之内的强度有较大影响 ,但对抗折强度的影响小于对抗压强度的影响。

表 1 水泥的化学成分										%
水泥编号	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	fCaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	R ₂ O
C304	59.64	22.88	5.32	3.96	2.06	0.90	2.04	0.76	0.64	1.14
C336	58.40	22.56	5.62	3.66	2.74	0.97	2.00	0.77	0.65	1.16
PO398	59.53	22.84	5.03	3.95	2.27	0.90	2.76	0.67	0.59	1.02

表 2 水泥的基本性能指标									
水泥编号	比表面积/ (m ² ·kg ⁻¹)	80 μm 筛余/%	密度/ (g·cm ⁻³)	标准稠度 需水量/%	凝结时间/min		安定性		
					初凝	终凝			
C304	304	10.1	3.12	25	159	206	合格		
C336	336	7.5	3.12	26	157	210	合格		
PO398	398	0.7	3.08	28	210	270	合格		

表 3 3 种水泥的水化热									
水泥编号	比表面积/ (m ² ·kg ⁻¹)	水化热/(J·g ⁻¹)				与 28 d 水化热的比值			
		3 d	7 d	14 d	28 d	3 d	7 d	14 d	28 d
C304	304	230	273	310	340	0.68	0.80	0.91	1.00
C336	336	234	290	329	360	0.65	0.81	0.91	1.00
PO398	398	263	293	368 *	396 *	0.66	0.74	0.93	1.00

注 : * 表示估算值 ,按照水化热与龄期的双曲函数关系推算而得(双曲函数形式 $Q(t)=Q_{\infty} * t/(a + t)$,其中 Q_{∞} 为最终水化热 , t 为龄期 , a 为水化热达到一半时的龄期)。

表 4 水泥的力学性能指标								
水泥编号	抗折强度/MPa				抗压强度/MPa			
	3 d	7 d	28 d	90 d	3 d	7 d	28 d	90 d
C304	4.5	5.7	7.8	8.3	20.2	27.3	37.4	42.9
C336	5.1	6.0	8.1	9.1	23.3	30.3	39.8	49.5
PO398	6.2	7.4	8.4	9.2	28.4	35.7	45.3	59.3

人们对粗磨水泥应用的担心主要来自于其较低的早期强度。对于内部碾压混凝土而言,实际温度场下,混凝土的温度长期处在高于标准养护的20℃的状态,在这种情况下,混凝土强度的发展要比标准养护试件的强度快^[7]。这有助于消除对早期强度不足的担忧。

3 混凝土试验

3.1 混凝土配合比

某水利枢纽内部碾压混凝土设计要求:强度等级为 R₁₈₀15W4F50,强度保证率为 80%,极限拉伸值大于 0.70×10⁻⁴,VC 值为 5~8 s。

试验所用碾压混凝土配合比见表 5。考虑到普通硅酸盐水泥中掺有 9% 的混合料,以保证水泥熟料和胶凝材料的质量相同为原则,设计混凝土配合比。通过试拌发现,当 P304 混凝土采用的减水剂和引气剂掺量与 PO 和 P336 混凝土相同时,混凝土已有坍落度,因此适当降低该配合比外加剂的量。

3.2 试验结果及分析

3.2.1 混凝土力学、变形及耐久性能

混凝土工作性、抗压强度、轴拉性能、抗冻及抗渗性能试验结果见表 6。

P304 混凝土在减水剂用量比 PO 混凝土低 0.1% 的情况下,VC 值仍明显降低、含气量增大,主要是因为粗磨水泥比表面积小、需水量低。在骨料级配相同的情况下,粗磨水泥会明显改善碾压混凝土的工作性能,加速液化泛浆,降低 VC 值,提高施工性能。

粗磨水泥尽管会降低抗压强度,但仍然能够配制满足要求的碾压混凝土。P304 和 P336 混凝土 180 d 龄期的强度分别为 24.5 MPa 和 27.8 MPa,明显大于 180 d 龄期的配制强度要求(17.9 MPa)。强度富余程度高达 37% 和 55%。这从另外一个方面消

除了人们对粗磨水泥在 28 d 龄期强度低于 42.5 MPa 的担忧。

在 180 d 龄期时,P304 混凝土轴心抗拉强度比 P336 混凝土的略高,且与 PO 混凝土基本相当;P304 和 P336 混凝土的极限拉伸值均与 PO 混凝土的基本相当,且均满足 180 d 龄期的极限拉伸值设计要求(0.70×10⁻⁴);P304 混凝土的抗拉弹性模量比 P336 混凝土的略高,与 PO 混凝土的差异不大。可见,虽然粗磨水泥配制的混凝土 90 d 龄期的轴拉性能稍逊于 PO 混凝土,但在 180 d 龄期时已基本相当。

3 组混凝土在 90 d 龄期时,抗冻及抗渗性能均已满足设计要求的 F50 和 W4,耐久性满足设计要求。

综合考虑混凝土各项设计指标值,当水泥比表面积降至 304 m²/kg 时,所配制的混凝土充分满足设计要求。文献[8]表明,当水泥比表面积降至 260 m²/kg 左右时,依然能满足混凝土的设计要求,因此要根据不同水泥的矿物成分来确定合适的细度。

3.2.2 混凝土绝热温升

应用粗磨水泥的最终目的是降低混凝土的绝热温升,提高混凝土的抗裂性。为考察粗磨水泥对混凝土绝热温升的降低效果,采用 HR-2 型混凝土热物理参数测定仪测定了 3 组混凝土的绝热温升(图 1)。

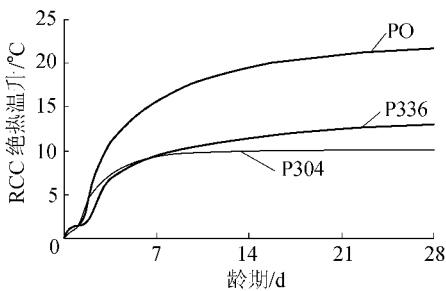


图 1 水泥细度对碾压混凝土绝热温升的降低效果

表 5 碾压混凝土配合比

混凝土 编号	所用 水泥	材料用量/(kg·m ⁻³)							
		水	水泥	粉煤灰	石粉	砂	粗骨料	减水剂	引气剂
PO	PO398	90	61	100	64	579	1503	1.446	0.096
P304	C304	90	55	106	64	579	1503	1.286	0.080
P336	C336	90	55	106	64	579	1503	1.446	0.096

注 粗骨料的比例为小石:中石:大石=30:40:30。

表 6 水泥细度对混凝土性能的影响

混凝土 编号	工作性参数					抗压强度/MPa			轴心抗拉 强度/MPa		极限拉伸值/10 ⁻⁴		抗拉弹性 模量/GPa	
	VC/s		含气量/%											
	出机	15 min	出机	15 min	7 d	28 d	90 d	180 d	90 d	180 d	90 d	180 d	90 d	180 d
PO	0.7	1.6	5.3	4.1	7.4	14.9	24.5	31.8	1.82	1.89	0.73	0.73	28.5	31.1
P304	0.3	0.5	8.0	5.4	4.8	10.2	16.6	24.5	1.50	1.89	0.66	0.73	24.9	33.7
P336	0.4	0.9	4.3	3.4	5.5	9.9	18.0	27.8	1.68	1.77	0.73	0.74	25.4	28.3

注 混凝土的抗冻性(90 d)均满足 F50,抗渗性均满足大于 W4 的要求。

表 7 RCC 绝热温升实测值及最终温升预测值

混凝土 编号	浇筑 温度/℃	绝热温升/℃					T_{∞} /℃	a	b
		1 d	3 d	7 d	14 d	28 d			
PO	21.0	1.4	9.3	15.5	19.5	21.9	22.4	0.257	0.778
P336	17.6	1.7	6.1	9.7	11.7	13.3	14.1	0.308	0.671
P304	19.2	1.1	6.5	9.2	10.0	10.1	10.1	0.372	0.988

注 拟合公式 $T = T_{\infty}(1 - e^{-\frac{b}{a}t})^{91}$ 其中 t 为龄期, T_{∞} 为最终温升值, T 为某龄期的绝热温升值, a 和 b 为拟合参数。

由图 1 可知,在潜伏期内,3 组混凝土温升基本接近,快速升温阶段,PO 混凝土的温升速度明显快于 P304 和 P336 混凝土。以 3 d,7 d,14 d 和 28 d 等 4 个龄期为例,与 PO 混凝土相比,P304 混凝土的温升值分别降低了 2.8℃,6.3℃,9.5℃和 11.8℃;P336 混凝土分别降低了 3.2℃,5.8℃,7.8℃,8.6℃。由表 7 给出的拟合结果可知,与 PO 混凝土相比,P304 混凝土的最终温升值降低了 12.3℃,P336 混凝土的最终温升值降低了 8.3℃。采用粗磨水泥降低绝热温升的效果非常显著。

4 结 语

目前,在工程实践中,为了提高混凝土的抗裂性,往往采取预冷骨料、冰水拌和、预埋冷却水管、外部保温等技术措施。这些措施有效可行,但其经济成本高昂,增加施工工序。采用粗磨水泥有效地降低了水泥的水化热和混凝土绝热温升,能够配制满足力学、变形及耐久性要求的碾压混凝土。粗磨水泥降低了水泥磨制的能耗,不增加任何施工工序,改善了混凝土的施工性能,提高了混凝土的抗裂性。在碾压混凝土中应用粗磨水泥是可行的技术措施。

参考文献:

[1] 陆海,刘品洪,向开伟,等.龙滩工程中热水泥的研制与

生产[EB/OL].[2009-01-19].http://www.gxsti.net.cn.
[2] 中国电力工程招标中心.四川省雅砻江官地水电站中热硅酸盐水泥采购招标公告[EB/OL].[2008-07-14].http://www.cnbidding.com.
[3] 龚英.水泥细度对碾压混凝土抗裂性的影响[D].南京:南京水利科学研究院,2008.
[4] DALE P B,GAURAV S,JASON W. Early-age properties of cement-based materials I :influence of cement finenes[J].J Mat in Civ Engrg,2008,20(7) 502-508.
[5] DALE P B,EDWARD J G,CLAUS J H,et al. Effects of cement particle size distribution on performance properties of Portland cement-based materials[J]. Cement and Concrete Research,1999,29 :1663-1671.
[6] HAROLD W B,RICHARD W B. Coarse-ground cement makes more durable concrete[J]. Journal of the American Concrete Institue,1951,1 :353-360.
[7] 钱文勋,张燕迟,蔡跃波,等.考虑内部温度历史的大坝混凝土强度发展[J].水利水运工程学报,2008(4):50-53.
[8] 石泉,龚英,蔡跃波,等.水泥比表面积对碾压混凝土力学性能的影响[J].水利水运工程学报,2008(4):44-49.
[9] 朱伯芳.大体积混凝土温度应力与温度控制[M].北京:中国电力出版社,1999.

(收稿日期:2009-05-07 编辑:方宇彤)

· 简讯 ·

河海大学参建的苏通长江公路大桥获美国土木工程协会大奖

2010 年 3 月 26 日举行的美国土木工程师协会 2010 年度颁奖大会上,苏通长江公路大桥(简称苏通大桥)从入围的 5 项重大工程中脱颖而出,获得 2010 年度土木工程杰出成就奖。这是苏通大桥继荣获国际桥梁大会乔治理查德森奖、江苏省科技进步一等奖后获得的又一大奖,也是中国工程项目首次获此殊荣。颁奖委员会认为,苏通大桥是全球首座超千米跨径斜拉桥,在线性优美和技术领先的同时,在施工和环保方面保持了完美的平衡,是对现代桥梁建设理念很好的诠释,对今后桥梁建设和管理都有极大的促进。

河海大学参与了苏通大桥的建设,并在江苏省、交通部于 2005 年 10 月召开的“苏通大桥科技创新工作会议”上,成为唯一囊括 4 种奖项的单位,学校被授予“苏通大桥科技创新工作先进单位”,索塔地基基础稳定与安全监测专题组获评“苏通大桥科技创新工作先进班组”,陈志坚教授获评“苏通大桥科技创新工作先进个人”,朱俊高教授等撰写的论文《苏通大桥主桥墩超长桩群桩基础的工作性能》获评“优秀论文”。

美国土木工程协会成立于 1852 年,所服务的会员有来自 159 个国家超过 13 万的专业人员,是目前世界上最大、最有影响力的土木工程协会。该协会的土木工程杰出成就奖设立于 1960 年,用于表彰近期完成的在世界范围内对社会发展有重大贡献的土木工程项目及其团队领导人。

(本刊编辑部供稿)