

水泥比表面积对碾压混凝土力学性能的影响

石 泉¹, 龚 英², 蔡跃波², 丁建彤², 陈 波²

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

摘要: 为探索粗水泥用于提高碾压混凝土(RCC)抗裂性的可行性,首先要研究水泥比表面积对RCC力学性能的影响。测试了5种比表面积(258~413 m²/kg)的P·I水泥胶砂强度等物理性能,分析了这5种水泥配制的三级配RCC力学性能及极限拉伸值的差异。结果表明,比表面积为258 m²/kg的粗P·I水泥仍满足42.5水泥强度要求;RCC抗压强度、轴心抗拉强度基本不随水泥比表面积的变化而变化;粗水泥配制的RCC的28 d抗拉弹模较低且极限拉伸值较大,90 d、180 d的抗压强度增长率、轴心抗拉强度增长率及抗拉弹模增长率均较大,说明粗水泥有助于提高RCC的抗裂性能。

关 键 词: 碾压混凝土; 水泥比表面积; 力学性能; 极限拉伸值; 抗裂性能

中图分类号: TU502:TV642.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-640X(2008)04-0045-05

Fineness influence of cement on mechanical properties of RCC

SHI Quan¹, GONG Ying², CAI Yue-bo², DING Jian-tong², CHEN Bo²

(1. Department of Water Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830000, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: To investigate the possibility of improving cracking-resistance of RCC by using coarse cement, it is necessary to study relationship between specific surface area (SSA) of cement and mechanical properties of RCC. Physical properties of cements with five different SSAs (258~413 m²/kg) are tested, such as mortar strength. Mechanical properties and ultimate tensile strain capacity of five kinds of RCC mixed in cements with different SSA are compared. Results show that at 28 d, the compressive strength of mortar made with type P·I cement, of which SSA is 258 m²/kg, still meets the requirements (42.5 MPa); the difference of compressive strength and the difference of axial tensile strength among the five kinds of RCC are not remarkable. After 90 d, the growth rates of compressive strength, axial tensile strength and tensile elastic modulus of RCC are higher; at 28 d, the coarser the cement is, the lower the tensile elastic modulus of RCC becomes and the higher the ultimate tensile strain is. All this shows that the cracking-resistance of RCC can be improved by using coarse cement.

收稿日期: 2008-02-10

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项目(50539040);水利部公益性行业科研专项经费项目(编号 200701014)

作者简介: 石 泉(1964-),男,四川成都人,主要从事水利工程建设管理。E-mail: SHI.QUAN635@163.com

Key words: RCC; specific surface area of cement; mechanical properties; ultimate tensile strain capacity; cracking resistance

国内越来越多的 200 m 级或复杂条件下碾压混凝土(RCC)大坝的快速施工,对 RCC 抗裂性提出了越来越高的要求^[1,2]. 并且,近年来对水泥越来越细的趋势提出了强烈批评^[3-5],很多大坝混凝土已开始使用粗水泥. 锦屏水电工程中热硅酸盐水泥比表面积要求小于等于 310 m²/kg^[6];构皮滩电站的中热硅酸盐水泥比表面积控制在 316 m²/kg 左右^[7];拉西瓦电站水泥比表面积控制在 300 m²/kg 左右^[8]. Mehta^[9]指出,从混凝土耐久性考虑,细水泥并不优于粗水泥. 对于水灰比较低的高性能混凝土而言,粗水泥混凝土的使用年限可能长于细水泥混凝土. Carlson^[10]指出,粗水泥配制的混凝土抗裂性更好,且其中富含的未水化水泥对混凝土中的微裂缝可起到愈合作用. Harold^[11]对采用不同细度水泥的混凝土暴露于自然条件下 1 年的抗冻试验也表明,水泥越粗,砂浆内部的微裂纹越少,其混凝土抗冻融循环能力越强.

本文针对 RCC 大坝工程需求,研究粗水泥用于提高 RCC 抗裂性的可行性,探讨水泥比表面积对 RCC 力学性能的影响.

1 试验原材料及测试方法

试验采用实验室球磨机将硅酸盐水泥熟料和 5% 的天然二水石膏混合粉磨为 5 种细度的 P·I 水泥,其性能见表 1.

表 1 不同比表面积水泥的性能
Tab. 1 Physical properties of cements with different specific surface areas (SSA)

水泥 编号	比表面积 / $(\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1})$	凝结时间 / $(\text{h} : \text{min})$		密度 / $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	标准稠度 用水量 / $\%$	安定性
		初凝	终凝			
A258	258	2 : 28	3 : 15	3.13	23.8	合格
A289	289	2 : 37	3 : 25		23.9	
A325	325	1 : 43	2 : 20		24.0	
A360	360	1 : 33	2 : 22		24.1	
A413	413	1 : 34	2 : 22		24.4	

由表 1 可见,随着水泥比表面积的减小,水泥的初、终凝时间略有延长,有利于 RCC 层间结合,且最多延长不到 1 h;标准稠度用水量也逐渐减小.

粉煤灰:I 级灰,具体化学成分及含量为 SiO₂ (51.74%), Al₂O₃ (21.28%), Fe₂O₃ (5.70%), CaO (5.66%), MgO (3.12%), K₂O (1.14%), Na₂O (0.80%), TiO₂ (2.27%) 和 f-CaO (0.36%).

骨料:粗骨料为花岗岩,分 5 ~ 20 mm、20 ~ 40 mm 和 40 ~ 80 mm 三种粒级;细骨料为天然中砂,细度模数为 2.94.

外加剂:高效减水剂、引气剂.

按照 GB/T 17671-1999《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》,测试水泥胶砂强度.按照 SL 48-94《水工碾压混凝土试验规程》,测试 RCC 的抗压强度、轴心抗拉强度、抗拉弹模、极限拉伸值.

2 水泥胶砂强度

不同比表面积水泥的胶砂抗折、抗压强度试验结果见图 1.

由图 1(a)可见,随着水泥比表面积的减小,早期(3 ~ 7 d)胶砂抗折强度逐渐降低,7 d 后渐趋稳定.最粗

水泥与最细水泥相比,比表面积降低 37%,3 d、7 d、14 d 和 28 d 水泥胶砂抗折强度分别降低 34%、21%、8% 和 3%。不同比表面积的水泥,其 3 d 和 7 d 的胶砂抗折强度差别较大,至 28 d 时,强度基本相当。

由图 1(b)可见,胶砂抗压强度随水泥比面积的减小而降低。最粗水泥与最细水泥相比,比表面积降低 37%,3 d、7 d、14 d 和 28 d 水泥胶砂抗压强度分别降低 39%、41%、39% 和 28%。但最粗水泥(258 m²/kg)的 28 d 胶砂抗压强度仍满足 42.5 水泥的要求。

因此,水泥比表面对 3~28 d 龄期的胶砂抗压强度影响较大,但对 7 d 后的胶砂抗折强度影响较小。抗折强度是衡量抗拉强度的间接指标。仅从抗拉强度角度考虑,粗水泥对 RCC 抗裂性的影响较小。

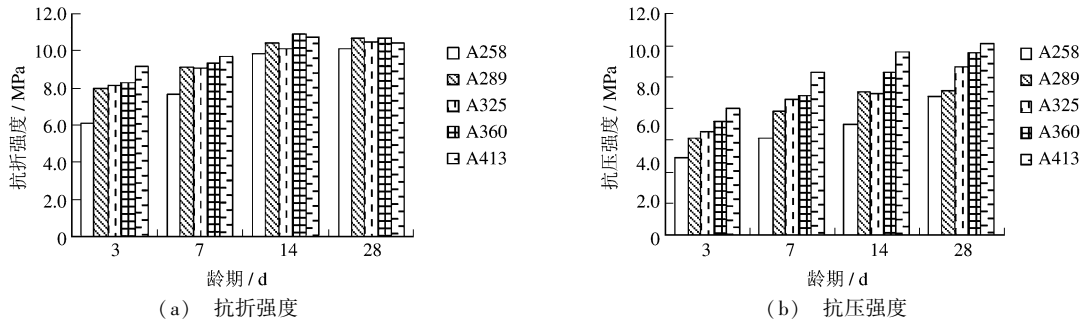


图1 水泥比表面积对胶砂抗折强度的影响

Fig. 1 Influence of SSA of cement on tensile strength and compressive strength of mortar

3 RCC 的力学性能

以 C₁₈₀15W4F50 为设计要求,5 种比表面积水泥配制的三级配 RCC 配合比见表 2。测试了 RCC 的抗压强度、轴心抗拉强度、抗拉弹模和极限拉伸值。

表 2 5 种比表面积水泥配制的 RCC 配合比及工作性

Tab. 2 Mixture proportion and work ability of RCC with five SSA of cement

编 号	水泥比 表面积 /(m ² ·kg ⁻¹)	水胶比	水 /(kg·m ⁻³)	水泥 /(kg·m ⁻³)	粉煤灰 /(kg·m ⁻³)	石 /(kg·m ⁻³)	砂 /(kg·m ⁻³)	引气剂 / %	减水剂 / %	VC / s	含气量 / %	砂率 / %
M258	258	0.67	95	57	85	1496	731	0.06	1.2	3.5	3.5	32.8
M289	289									4.0	4.0	
M325	325									4.3	3.5	
M360	360									4.6	3.4	
M413	413									5.0	3.3	

由表 2 可见,5 组 RCC 的性能均满足工程设计要求(VC 值 3~5 s,含气量 3.5%);相同配合比情况下,水泥越粗,其配制的 RCC 拌和物 VC 值越小。这也说明粗水泥有利于提高 RCC 的工作性。

3.1 抗 压 强 度

RCC 的 7、28、90 和 180 d 的抗压强度及相应的增长率(与 28 d 相比)分别见图 2。

由图 2(a)可见,5 组 RCC 的抗压强度在 90 d 时均超过 180 d 配制强度(17.9 MPa),RCC 各龄期抗压强度随水泥比表面积的变化规律不明显。最粗水泥(258 m²/kg)与最细水泥(413 m²/kg)所配制的 RCC 抗压强度差异在 180 d 时最大,但仅相差 8%(水泥比表面积相差 37%)。

由图 2(b)可见,RCC 的 7 d 抗压强度增长率随水泥比表面积的变化很小;RCC 的 90 d 和 180 d 抗压强度增长率均随水泥比面积的减小而增大,即粗水泥配制的 RCC 后期强度发展速率更快。

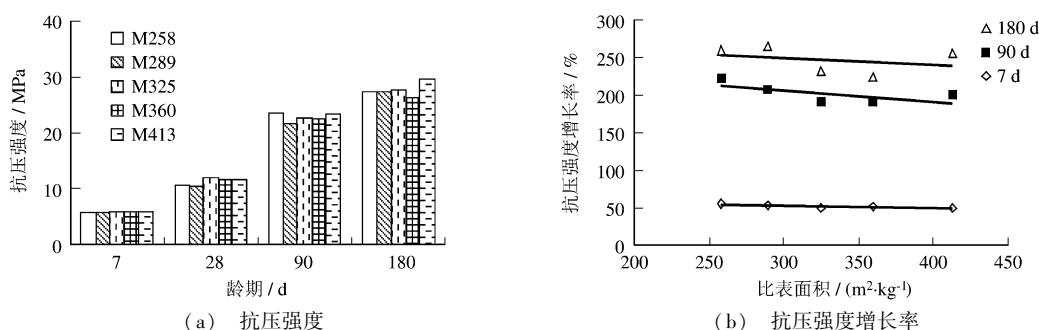


图 2 水泥比表面积对 RCC 抗压强度的影响

Fig. 2 Influence of SSA of cement on compressive strength of RCC

相对于水泥胶砂强度变化规律, RCC 抗压强度随水泥比表面积的变化并不明显. 这可能与水泥胶砂和混凝土两种体系的失效机理不同有关, RCC 的受压破坏主要取决于胶凝材料与骨料的薄弱界面区, 而不是砂浆强度.

3.2 轴心抗拉性能

5 种比表面积水泥配制的 RCC 轴心抗拉强度、极限拉伸值、抗拉弹性模量及其增长率(与 28 d 相比)分别见图 3. 由图 3 可见, 与 RCC 抗压强度相似, RCC 各龄期轴心抗拉强度随水泥比表面积的变化规律不明显, 除个别数值(与最细水泥对应的点)外, RCC 轴心抗拉强度增长率随水泥比表面积的减小而略微增大.

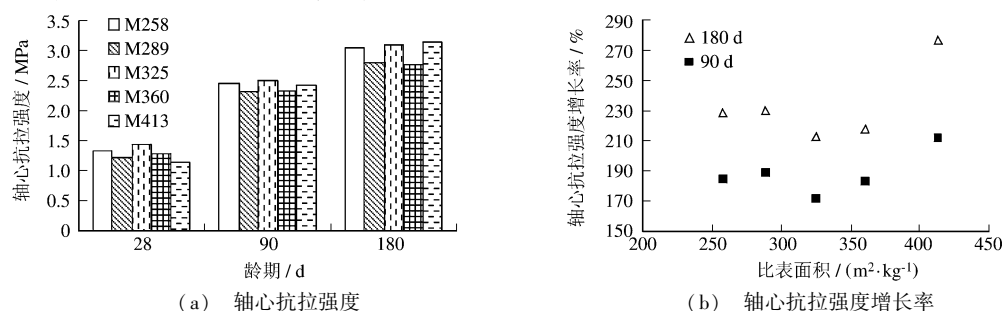


图 3 水泥比表面积对 RCC 轴心抗拉强度的影响

Fig. 3 Influence of SSA of cement on axial tensile strength of RCC

由图 4 可见, 水泥越粗, 其 RCC 的 28 d 抗拉弹模越低, 28 d 极限拉伸值越大. 这说明粗水泥能提高 RCC 的早期抗裂性能. 随着龄期的延长(90 d, 180 d), 粗细水泥配制的 RCC 抗拉弹模、极限拉伸值差异均不大. 可见, 粗细水泥配制的 RCC 后期轴心受拉性能基本相当.

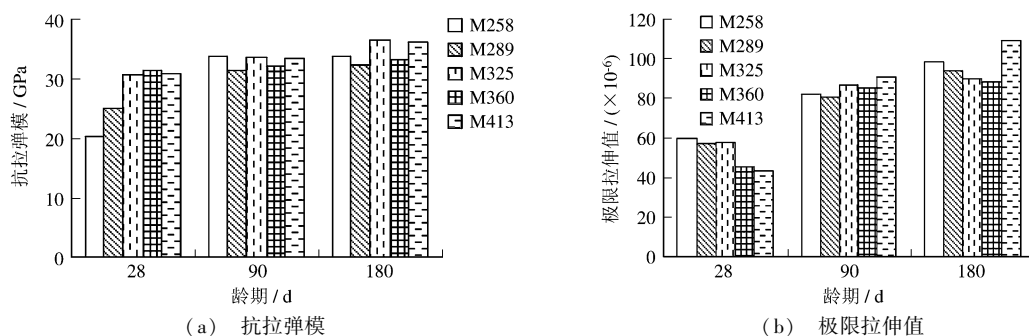


图 4 水泥比表面积对 RCC 抗拉弹性模量及极限拉伸值的影响

Fig. 4 Influence of SSA of cement on tensile elastic modulus and ultimate tensile strain of RCC

由图5可见,RCC的90 d,180 d轴心抗拉强度增长率、抗拉弹模增长率随水泥比表面积减小而增大,但极限拉伸值增长率随水泥比表面积减小而减小。这是由于粗水泥的水化速率慢,包围在水泥颗粒周围的水化产物结构不密实,使得游离水的扩散能力变强,促进未水化水泥颗粒进一步水化,使RCC后期强度及抗拉弹模仍持续增长。

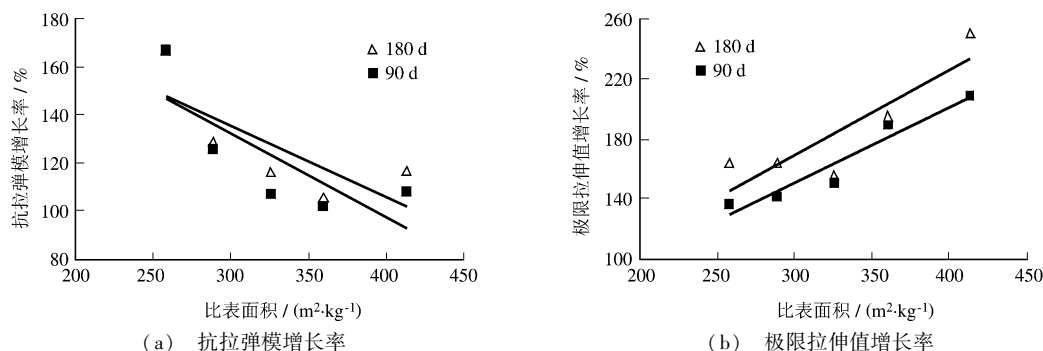


图5 水泥比表面积对RCC抗拉弹模增长率的影响

Fig. 5 Influence of SSA of cement on tensile elastic modulus growth rate and ultimate tensile strain growth rate of RCC

4 结 语

(1)水泥比表面积对胶砂抗折强度的影响比对胶砂抗压强度的影响要小。水泥比表面积低至 $258 \text{ m}^2/\text{kg}$,胶砂抗压强度仍满足42.5水泥的要求;

(2)水泥比表面积降至 $258 \text{ m}^2/\text{kg}$,其RCC的90 d抗压强度就已满足180 d配制强度要求;RCC各龄期抗压强度、轴心抗拉强度随水泥比表面积的变化差异均很小且变化规律不明显;

(3)粗水泥配制的RCC,其早期(28 d)抗拉弹模较低且极限拉伸值较大,这有利于提高RCC的抗裂性能;后期(90 d、180 d),则粗细水泥配制的RCC轴拉性能基本相当;

(4)粗水泥配制的RCC后期抗压强度增长率、轴心抗拉强度增长率、抗拉弹模增长率均高于细水泥配制的RCC,而后期极限拉伸增长率则较低。

总体而言,粗水泥配制的RCC早期抗拉弹模较低、早期极限拉伸值较大,有利于提高RCC的抗裂性能。比表面积约 $260 \text{ m}^2/\text{kg}$ 的粗水泥既能满足42.5水泥强度要求,又可尽量提高RCC的抗裂性能。

参 考 文 献:

- [1] 贾金生,陈改新,马锋铃,等译. 碾压混凝土坝发展水平和工程实例[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [2] 石 研,方坤河,董 芸,等. RCC坝在中国的分布及发展[J]. 红水河,2007,4(26):79-83.
- [3] Mehta P K, Burrows R W. Building Durable Structure in 21st Century[J]. **Concrete International**, 2001, (3): 437-443.
- [4] 廉慧珍,韩素芳. 现代混凝土需要什么样的水泥[J]. 水泥,2006,9:13-18.
- [5] Aitcin P C. Cement of Yesterday and Today Concrete of Tomorrow[J]. **Cement and Concrete Research**, 2000, (30): 1349-1359.
- [6] 中国采购与招标网. “四川省雅砻江锦屏水电工程中热硅酸盐水泥驻厂监造(四川)”招标公告[EB/OL]. [2007-09-06]. http://www.sdpc.gov.cn/zhgg/t20070904_157286.htm.
- [7] 黄爱兰. 中热水泥质量控制应注意的问题[J]. 水泥,2007,(11):17-18.
- [8] 任宗社,王世锬,张华臣. 拉西瓦水电站拱坝混凝土原材料及配合比优化[J]. 水力发电,2007,(11):11-15.
- [9] Mehta P K. Durability-Critical Issues for the Future[J]. **Concrete International**, 1997, 19: 27-33.
- [10] Carlson R W. Remarks on the Durability of Concrete[J]. **Journal of the American Concrete Institute**, 1939, 35: 359-364.
- [11] Harold W B, Richard W B. Coarse-Ground Cement Makes More Durable Concrete[J]. **Journal of the American Concrete Institute**, 1951, 22: 353-360.