

文章编号:1001-5485(2009)02-0053-04

掺磷渣粉全级配混凝土性能试验研究

石妍,李家正,杨华全

(长江科学院 水利部水工程安全与病害防治工程技术研究中心,武汉 430010)

摘要:试验研究掺磷渣粉全级配混凝土的力学、变形及抗渗性能,并与湿筛混凝土进行对比,期望为理论研究和工程实践提供参考。结论表明:全级配与湿筛混凝土试件抗压强度差别不大,全级配混凝土的轴拉强度约为湿筛试件的60%~73%;全级配混凝土的轴拉强度小于劈拉强度。全级配混凝土的抗压弹模比湿筛小试件高,大骨料的存在对泊松比影响不大,受影响最大的是极限拉伸性能。全级配及湿筛混凝土试件的28d抗渗等级都达到W10,但前者更能真实地反映大体积混凝土的抗渗性。

关键词:磷渣粉;全级配混凝土;强度;变形;抗渗性能

中图分类号:TU528 **文献标识码:**A

全级配混凝土即粗骨料混凝土,是最大粒径为120~150mm的大体积混凝土,粗骨料含量高达60%~70%^[1],全级配混凝土中胶凝材料含量、骨料含量及粒径等,与湿筛混凝土完全不同,他们的力学、变形等性能差别也很大。因此早在20世纪70年代中期^[2],美国肯务局制定的混凝土重力坝和拱坝的设计准则中就明确规定,大坝混凝土的强度、弹性模量等特性的测试,必须采用包括全部级配骨料的全级配混凝土,同时规定试件最小尺寸必须大于最大骨料粒径的3倍,亦即在大坝设计时采用的混凝土特性参数,必须采用全级配混凝土大试件试验获得。由于全级配混凝土试件体积大,需要大吨位的加载设备,对试验技术及试验设备要求都很高,相应试验成本也随之升高,这方面的试验研究不太多。磷渣粉活性与矿渣不相上下,作为水泥混凝土掺和料在大坝中的应用具有广阔前景,但目前的开发和利用还处于起步阶段,因此,本文基于掺磷渣粉的全级配混凝土试验,对成型养护方法及硬化性能进行研究,期望为理论研究和工程实践提供参考。

1 原材料及配合比

试验采用原材料包括:42.5中热硅酸盐水泥,系贵州江电葛洲坝水泥厂生产;瓮福黄磷厂生产的电炉磷渣(80 μ m筛筛余10%以内);II级粉煤灰来自贵州凯里电厂;试验用砂为某工程烂泥沟砂石系统加工的灰岩人工砂,碎石由某工程观景料场灰岩轧制而成,

骨料的品质符合DL/T 5144-2001的相关技术要求。掺磷渣粉混凝土全级配试验配合比见表1。

表1 全级配混凝土试验配合比

Table 1 Mix of full-graded concrete

水胶比	磷渣粉 /%	粉煤灰 /%	砂率 /%	级配	外加剂	
					JG-3/%	FS/%
0.50	15	15	25	四	0.65	0.007

2 试验方法

全级配混凝土的试验方法按照DL/T5100-2001《水工混凝土试验规程》进行。每个龄期成型1组,每组3个试件。强度试件尺寸为450mm×450mm×450mm,抗压弹模及泊松比试件尺寸为 Φ 450mm×900mm,极限拉伸试件尺寸为450mm×450mm×1350mm,抗渗试件尺寸为 Φ 450mm×450mm。

全级配混凝土大试件采用室外自然洒水养护,同时成型的湿筛小试件分别采用标准养护和平行养护。标准养护指养护温度20℃±3℃,湿度95%;自然洒水养护指按武汉市室外温度养护,洒水并覆盖湿麻袋保湿,试件的成型时间为夏季,平均气温25℃~30℃,冬季室内平均气温10℃~20℃。

全级配混凝土抗压强度试件在20000kN的压力试验机上观测,劈拉强度及弹模在5000kN的压力试验机上观测,抗压弹模的变形分别采用150,300mm的应变片及千分表进行观测。

收稿日期:2008-03-05

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50539010)及948项目(2000606)

作者简介:石妍(1979-),女,河南新乡人,博士,主要从事水工建筑材料研究,(电话)027-82926347(电子信箱)shiyao817@yahoo.com.cn。

3 试验结果与分析

3.1 强度

混凝土抗压强度试验结果见表2,全级配与湿筛试件的抗压强度比较见图1。混凝土抗拉强度试验结果见表3。

表2 混凝土抗压强度试验结果

Table 2 Results of concrete compressive strength

编号	试件尺寸	成型方法	养护条件	抗压强度/MPa			
				7 d	28 d	90 d	180 d
Q1	150 mm×150 mm×150 mm	湿筛	标准养护	20.5	32.6	42.3	48.4
Q2	450 mm×450 mm×450 mm	全级配	自然洒水养护	27.7	36.7	40.3	41.9
Q3	150 mm×150 mm×150 mm	湿筛	自然洒水养护	27.8	34.9	39.0	42.6

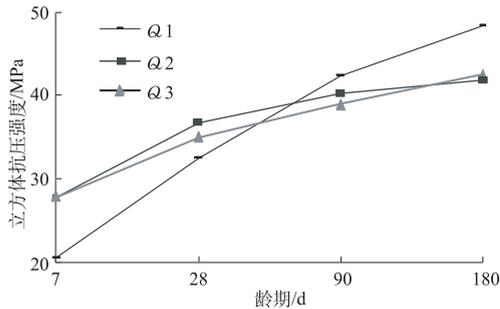


图1 全级配与湿筛试件的抗压强度比较图

Fig. 1 Compressive strength contrast between full graded and wet-sieved concretes

试验结果表明:①自然洒水养护时,全级配混凝土7 d龄期的立方体抗压强度与湿筛混凝土基本相当,28 d龄期和90 d龄期的抗压强度比湿筛小试件略高,180 d龄期的抗压强度相当。②标准养护的湿筛试件,早期抗压强度较低,但后期增长快,最终强度最高。③全级配混凝土的抗拉强度约为湿筛混

表3 混凝土抗拉强度和极限拉伸值试验结果

Table 3 Results of concrete tensile strength and ultimate tensile strain

编号	试件尺寸	抗拉强度/MPa								极限拉伸值/ $\times 10^{-6}$			
		7 d		28 d		90 d		180 d		7 d	28 d	90 d	180 d
		轴拉	劈拉	轴拉	劈拉	轴拉	劈拉	轴拉	劈拉				
Q2	450 mm×450 mm×1 350 mm	1.02	1.30	1.67	1.73	1.91	2.15	2.25	2.53	33	46	55	60
Q3	100 mm×100 mm 八字模	1.70	-	2.29	-	3.15	-	3.36	-	70	85	92	95
Q2/Q3:全级配/湿筛		0.60		0.73		0.61		0.67		0.47	0.54	0.60	0.63

表4 混凝土抗压弹模和泊松比试验结果

Table 4 Results of concrete compressive elastic modulus and Poisson's ratio

编号	试件尺寸	成型方法	养护条件	抗压弹模/GPa				泊松比			
				7 d		28 d		90 d		180 d	
				7 d	28 d	90 d	180 d	7 d	28 d	90 d	180 d
Q1	Φ150 mm×300 mm	湿筛	标准养护	27.9	38.2	41.8	43.7	0.21	0.23	0.24	-
Q2	Φ450 mm×900 mm	全级配	自然洒水养护	37.2	38.1	43.9	45.7	0.23	0.23	0.23	0.24
Q3	Φ150 mm×300 mm	湿筛	自然洒水养护	31.5	34.2	39.4	42.4	0.21	0.23	0.24	-
Q2/Q3:全级配/湿筛				1.18	1.11	1.11	1.08	1.10	1.00	0.96	-

凝土的60%~73%;全级配混凝土轴拉强度小于劈拉强度;全级配的抗拉弹模稍大。

分析原因^[3],全级配混凝土与湿筛小试件立方体强度相当或略高,并不违背尺寸效应对混凝土强度的影响规律,湿筛小试件由于砂浆含量高,含气量大,对混凝土强度有降低作用,全级配试件虽然骨料粒径较大,骨料含量较多,试件尺寸大,但混凝土中的含气量较少,且粗骨料的骨架作用大,这些因素的相互影响最终导致全级配混凝土试件的强度并不比湿筛小试件低。

全级配混凝土大试件的抗拉强度较湿筛小试件的小,这是因为胶凝材料用量是影响混凝土抗拉强度的主要因素,湿筛混凝土提高了其胶凝材料的相对用量,因而其劈拉强度比全级配混凝土高^[3];而且因为粗骨料的界面结合随着骨料粒径的增大,因泌水、振捣不实等产生的薄弱面也随之增加,降低了抗拉强度^[4]。所以,全级配混凝土大试件的劈拉强度会较相应湿筛混凝土小试件低。有关文献中的结论也证实了这一点^[5]。

全级配混凝土轴拉强度小于劈拉强度,这是因为在劈拉试验时,破坏面是指定的;而在轴拉时,断裂面总是发生在薄弱面上。在全级配混凝土中由于大骨料的存在,它的胶结面、大骨料底部可能存在的水隙,使其薄弱断面产生应力集中的可能性比湿筛混凝土试件更大,故相对来说全级配混凝土的劈拉强度要大一些^[1]。

3.2 变形

3.2.1 抗压弹模和泊松比

全级配及湿筛混凝土抗压弹模和泊松比的试验结果见表4,全级配及湿筛的抗压弹模比较见图2。试验结果表明:

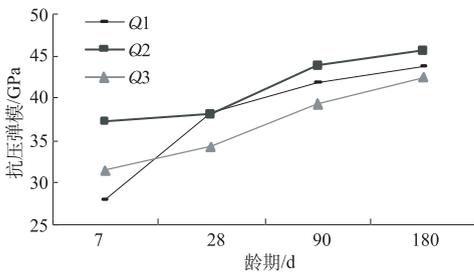


图2 全级配及湿筛的抗压弹模比较图
(应变片法)

Fig. 2 Compressive elastic modulus contrast between full graded and wet-screened concretes

全级配混凝土的抗压弹模比湿筛小试件高,用千分表方法和应变片方法测量的结果基本一致;对于湿筛试件,标准养护下的早期抗压弹模较低,但后期增长快,最终高于自然洒水养护的抗压弹模;全级配试件与小试件的泊松比均在0.21~0.24之间,两者基本相同,可见大骨料的存在及养护条件对泊松比的影响较小。

7 d时,全级配大试件的弹性模量是湿筛小试件的1.18倍;180 d龄期时,该值为1.08。早龄期时大小试件的弹模比相差较大,随着龄期的增长,该比值逐渐减小。这主要是早龄期时,大试件中大石及特大石所起的骨架作用较明显,而随着龄期的增长,混凝土强度增加,其骨架作用相对减弱。因此,随着龄期的增长,全级配与湿筛混凝土弹性模量逐渐接近。二滩全级配混凝土圆柱体大试件的平均弹性模量与相应湿筛小试件的比值,在28,180,365 d时分别为1.22,1.07和1.02;大河口全级配混凝土圆柱体大试件的弹性模量与相应湿筛小试件的比值在28 d龄期时为1.18。从大小试件弹模比来看,本次试验的结果与其它试验成果相吻合^[6]。

3.2.2 极限拉伸值

混凝土极限拉伸值试验结果见表3。由表3可知,全级配混凝土与湿筛混凝土试件的极限拉伸比值为47%~63%,随着龄期的发展两者差距逐渐缩小。这个比值在几个参数比值中是最低的,可见大骨料的存在对混凝土的极限拉伸性能影响最大。混凝土的极限拉伸值与灰浆率直接相关,湿筛试验去除粒径大于40mm的粗骨料,使得极限拉伸试验试件的灰浆率大于全级配混凝土的灰浆率;而且因为粗骨料的界面结合随着骨料粒径的增大,因泌水、振捣不实等产生的薄弱面也随之增加,降低了极限拉伸值,所以,湿筛所得混凝土极限拉伸值大于全级配混凝土的极限拉伸值^[4]。

3.3 抗渗性能

全级配混凝土抗渗试验结果见表5。可见,全

级配混凝土大试件及湿筛小试件28 d抗渗等级都达到W10;相比之下,全级配试件90 d渗水高度达到15 cm,几乎是湿筛试件5.2 cm的3倍,究其原因,是湿筛后骨料大量减少,混凝土结构密实度增加,所以渗透性小。因此,湿筛试件提高了大体积混凝土本身的密实性,没有真实地反映混凝土的抗渗性。

表5 混凝土抗渗试验结果

Table 5 Results of concrete impermeability test

编号	试件尺寸	级配	养护条件	28 d 抗渗等级	90 d 渗水高度/cm	90 d 抗渗等级
Q2	Φ450 mm × 900 mm	全级配	自然洒水	W10	15	>W10
Q3	Φ150 mm × 300 mm	湿筛	自然洒水	W10	5.2	>W10

4 结论

为真实反映掺磷渣粉全级配混凝土的性能,本文开展了掺磷渣粉全级配混凝土的试验研究,通过力学、变形及抗渗性能比较,得出以下结论:

(1) 掺磷渣粉全级配与湿筛混凝土试件相比,7 d立方体抗压强度基本相等,28 d和90 d略高,180 d相当;全级配混凝土的抗拉强度约为湿筛混凝土的60%~73%;全级配混凝土的轴拉强度小于劈拉强度。

(2) 全级配混凝土的抗压弹模比湿筛小试件高,全级配试件与湿筛小试件的泊松比均在0.21~0.24之间;大骨料的存在对混凝土的极限拉伸性能影响最大,全级配混凝土的极限拉伸值仅为湿筛试件的47%~63%。

(3) 全级配及湿筛混凝土试件的28 d抗渗等级都达到W10,但前者更能真实地反映大体积混凝土的抗渗性。

参考文献:

- [1] 王仲华,陈如华.三峡大坝全级配混凝土力学性能试验研究[J].长江科学院院报,1998,15(1):1-5.
- [2] ACI Committee 207. Mass concrete[R]. Detroit: Journal of the American Concrete Institute, 1987.
- [3] 杨成球,吴政.全级配混凝土基本力学特性试验研究[J].水利水电科技进展,2000,20(3):29-32,60.
- [4] 方坤河.碾压混凝土材料、结构与性能[M].武汉:武汉大学出版社,2004.
- [5] A.M.内维尔.混凝土性能[M].李国泮,马贞勇,译.北京:中国建筑出版社,1983.
- [6] 李光伟,吴政.溪洛渡水电站人工骨料全级配混凝土性能试验研究[J].水电站设计,1999,15(2):101-107.

Experimental Study on Full-graded Concrete Properties with Phosphorus Slag Power

SHI Yan, LI Jia-zheng, YANG, Hua-quan

(Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: The mechanics, deformation and permeability of full-graded concrete with phosphorus slag power were studied, and contrasted with those of wet-screened concrete. Results show as follows: Both compressive strengths have a little difference; Tensile strength of the former is 60% to 73% of the later; The compressive elastic modulus of the large specimen is higher than that of the small specimen; The effect of large aggregates on ultimate tensile value is remarkable than on Poisson's ratio; Both impermeability grades at 28 d all reach W10, but the former can better reflect the true impermeability of large volume concrete.

Key words: Phosphorous slag powder; full-graded concrete; strength; deformation; impermeability

~~~~~  
(上接第 52 页)

[4] 国家测绘局. 1:5 万数字高程模型(DEM)生产技术规范[M]. 北京:中国地图出版社,1998.

[6] 胡 鹏. 数字高程模型精度评定的基本理论[J]. 地球信息科学,2003,(3):64-69.

[5] 张红梅. 水库库容和淤积量精密测量及计算方法研究[J]. 武汉大学学报(工学版),2003,5(36):26-29.

(编辑:赵卫兵)

## Reservoir Capacity Calculation and Accuracy Analysis Based on Grid DEM

TAN De-bao, SHEN Shao-hong

(1. Yangze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China;

2. School of remote sensing and engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** Reservoir capacity is a key index of water resource in the area of reservoir and it is a crucial parameter to design and operate a water control project. In traditional reservoir capacity calculation, a planimeter is used to obtain a reservoir capacity from topographic maps and large scale topographic maps are needed if high accuracy is required. In this paper, a reservoir capacity calculation approach based on grid DEM is proposed. The data organization and interpolation accuracy of DEM are analyzed. In comparison with traditional and DEM-based reservoir capacity calculation methods, advantages and disadvantages of each method are discussed. Taking Three Gorges Project as example, a self-design software of reservoir capacity calculation is developed and compared with commercial software, Erdas and Arcinfo. Experimental results approve that reservoir capacity calculation approach based on grid DEM has characteristics of high accuracy, fast computation speed and widespread application.

**Key words:** 3s technology; DEM; reservoir capacity calculation; accuracy