

高土石坝防渗墙混凝土性能试验

姚汝方

(西北农林科技大学水建学院,陕西 杨凌 712100)

摘要 结合工程实践,对高土石坝防渗墙混凝土的性能进行试验研究。采用 3 种比表面积的低热水泥、不同的粉煤灰掺量、聚羧酸系减水剂和引气剂设计了 12 种配合比,并进行了混凝土性能试验。试验结果表明,采用粗颗粒低热水泥、高性能减水剂和引气剂以及掺 40% 质量分数的粉煤灰,可以配制出弹性模量与抗压强度之比仅为 710 的高强度、低弹性模量且工作性能优良的防渗墙混凝土。此外,该混凝土 28 d 强度仅为 24.8 MPa,而 90 d 强度高达 45.8 MPa,早期强度增长非常缓慢,有利于工程施工。

关键词 抗压强度 弹性模量 防渗墙 混凝土 土石坝

中图分类号 :TV543+.82 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2009)04-0044-03

Experiment on the concrete properties of cutoff wall of high earth-rock dam//YAO Ru-fang(*Water Resources and Architecture Engineering College, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China*)

Abstract :The concrete properties of the cutoff wall of a high earth-rock dam were studied and conclusions were made with consideration of experience gained in engineering practice. Twelve mix proportions were designed to test the concrete properties using low thermal cement with three different specific surface areas and different contents of fly ash, polycarboxylic acid type water-reducers and air-entraining agents. The experimental results indicate that a mix of coarse-grained low thermal cement, a high performance water reducer, an air-entraining agent, and a 40% content of fly ash can create high-strength cutoff wall concrete with a low elastic modulus. The ratio of the elastic modulus to compressive strength of the concrete is only 710, and its workability is significantly improved. Moreover, the early strength of cement develops slowly: the compressive strength of 28 days is 24.8 MPa and that of 90 days is 45.8 MPa, which benefits engineering construction.

Key words :compressive strength; elastic modulus; cutoff wall; concrete; earth-rock dam

混凝土防渗墙是在松散透水地基或土石坝(堰)体中以泥浆固壁连续造孔、在泥浆下浇筑混凝土筑成的、起防渗作用的地下连续墙^[1],是保证地基稳定和大坝安全的工程措施^[2],混凝土防渗墙的形式有桩柱式和槽孔式 2 类^[3]。

混凝土防渗墙问世之初,墙体材料主要为普通混凝土,但是,由于普通混凝土防渗墙弹性模量高出周围覆盖层地基弹性模量数百倍乃至近千倍,防渗墙相对为一刚性体,当地基承受上部荷载产生压缩变形时,混凝土防渗墙顶部将承受远大于上部土柱的荷载,同时墙体两侧也将承受很大的摩擦力,特别是墙体两侧不平衡力会使墙体产生弯曲与剪切变形。由于这种因素的影响,在工程运用中造成墙体应力超过混凝土设计强度,从而使墙体开裂,甚至造成墙体破坏^[4]。随着水利水电工程施工技术和设计水平的提高,工程技术人员根据墙体内力计算,发现

降低墙体材料的弹性模量对降低墙体的内力十分有效。对于适用于承受高水头、高应力条件的高坝深基础防渗的混凝土材料来说,要求其具有很高的强度,但相应的其早期强度也较高,发展过快,这将不利于施工中接头孔的钻凿,如何有效地降低防渗墙混凝土的早期强度也是一个亟待解决的问题。基于此,为了降低高强混凝土防渗墙的早期强度和弹性模量,有必要对其配合比和性能进行试验研究。

1 防渗墙混凝土性能要求

某水电站枢纽工程拦河大坝为砾质土直心墙堆石坝,坝轴线长度为 573.5 m,最大坝高 186 m,建在 70 m 深的砂砾石覆盖层上,用混凝土防渗墙作为基础防渗。根据防渗墙工程所处的现场环境,为了满足防渗、受力和施工要求,对混凝土技术性能提出以下具体要求:7 d 抗压强度小于或等于 10 MPa,28 d 抗

压强度小于或等于 25 MPa ,90 d 抗压强度大于或等于 45 MPa ,90 d 弹性模量小于或等于 33 000 MPa ,90 d 抗渗等级大于或等于 W12 ,坍落度为 18 ~ 22 cm ,扩散度为 34 ~ 40 cm ,初凝时间大于或等于 6 h ,终凝时间小于或等于 24 h ,混凝土密度大于或等于 2 100 kg/m³ ,1 h 后坍落度保持值大于 15 cm。

2 防渗墙混凝土配制思路

大坝防渗墙混凝土的技术性能要求表明 ,该混凝土是具有特殊强度发展规律的高抗压强度、低弹性模量、高抗渗等级、大流动性的混凝土。

对防渗墙混凝土而言 ,45 MPa 的抗压强度应属于高强的范畴^[5] ,弹性模量小于或等于 3.3×10^4 MPa ,要求防渗墙混凝土的弹性模量小于 C45 强度等级混凝土的 28 d 弹性模量^[6]。所以 ,相对来说 ,小于或等于 3.3×10^4 MPa 的弹性模量也应属于低弹性模量的范畴。按防渗墙性能指标要求计算出来的弹性模量与抗压强度之比为 733(小于 1 000) ,而配制出来的混凝土弹性模量与抗压强度比小于 733 ,应该说是真正的高强度、低弹性模量混凝土^[6]。除此之外 ,大坝防渗墙混凝土的强度增长特别缓慢 ,强度发展规律特殊 ,7 d 强度不超过 10 MPa ,28 d 强度不超过 25 MPa ,而 90 d 强度要求达到 45 MPa ,从 28 ~ 90 d 其强度要增长近 50% ,这和 C45 普通混凝土的强度发展规律正好相反。此外 ,还要求混凝土抗渗等级大于或等于 W12 ,这是因为大坝防渗墙要承受很高的水头 ,为了起到防渗的作用 ,必须具备高抗渗性能。

从以上分析可以看出 ,配制该大坝防渗墙混凝土的难点在于满足高强度的基础上 ,如何降低混凝土的弹性模量 ,同时又使混凝土的早期强度增长缓慢 ,后期强度增长率高。基于此 ,拟采取以下措施来配制大坝防渗墙混凝土。

a. 采用低热水泥配制混凝土。因为混凝土的强度发展规律主要取决于水泥的强度发展规律 ,低热水泥的强度发展规律和设计要求的混凝土强度发

展规律相似 ,这是因为低热水泥的成分较硅酸盐水泥有很大差别 ,其 C₂S 的质量分数不低于 40% ,C₃A 的质量分数不大于 5% ,而硅酸盐水泥中这 2 种成分的质量分数分别为 15% ~ 37% 和 7% ~ 15%^[7]。

b. 调整水泥的比表面积 ,使水泥的颗粒更粗 ,这样水泥的水化更加缓慢 ,可以充分地利用其后期增长的强度。

c. 采用较低的水灰比。水灰比是影响混凝土强度的主要因素 ,低水灰比是混凝土具有较高强度的保证。

d. 大量掺加粉煤灰。粉煤灰具有改善混凝土性能的特殊效应 ,能够降低混凝土的早期强度而提高其长龄期强度和抗渗性能 ,同时改善混凝土的工作性能 ,节约水泥 ,降低混凝土的成本^[7-8]。更为重要的是 ,随着粉煤灰掺量的增加 ,混凝土的弹性模量将下降^[9]。

e. 掺加引气剂可提高混凝土的抗渗性能和降低混凝土的弹性模量^[7]。

f. 掺加高性能减水剂 ,以实现混凝土的大流动性和良好的工作性能。

3 混凝土配合比和性能试验

3.1 混凝土原材料

试验采用当地 42.5 强度等级的低热硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥 ,其中低热硅酸盐水泥有 3 种 ,比表面积分别为 355 m²/kg ,305 m²/kg 和 210 m²/kg ,GB200—2003^[10]要求 P·LH42.5 水泥的比表面积大于或等于 250 m²/kg。某热电厂生产的Ⅱ级粉煤灰 ,工程现场砂石系统生产的Ⅱ级配区人工中砂 ,5 ~ 20 mm 和 20 ~ 40 mm 二级配人工碎石 ,聚羧酸系和萘系高效减水剂以及 AIR202 型引气剂。

3.2 混凝土配合比

采用 12 组低热硅酸盐水泥配合比进行了混凝土性能试验 ,混凝土配合比的选取见表 1 ,同时用普通硅酸盐水泥进行了对比试验。混凝土性能试验结

表 1 防渗墙混凝土配合比

编号	水胶比	水泥比表面积/ (m ² ·kg ⁻¹)	水泥/ kg	水/ kg	砂/ kg	小石/ kg	中石/ kg	粉煤灰/ kg	减水剂/ kg	引气剂/ g
L1	0.3372	210	387	145	730	657	438	43	1.72	12.9
L2	0.3378	210	360	152	695	626	417	90	1.80	13.5
L3	0.3725	210	240	149	778	702	330	160	2.00	12.0
L4	0.3386	210	280	149	778	702	330	160	2.00	12.0
L5	0.3675	210	240	147	778	702	330	160	2.00	12.0
L6	0.3609	305	460	166	703	607	405	0	2.30	13.8
L7	0.3500	305	252	147	775	698	329	168	1.68	12.6
L8	0.3700	305	240	148	757	711	334	160	2.00	12.0
L9	0.4000	355	291	168	701	662	389	129	3.44	12.9
L10	0.4196	355	322	193	696	651	350	138	2.30	13.8
L11	0.3700	355	280	148	775	698	329	120	3.60	12.0
L12	0.3500	355	240	140	724	706	330	160	2.40	12.0

表 2 防渗墙混凝土性能试验成果

编 号	水胶比	扩散度/ cm	坍落度/ cm	砂率/ %	密度/ (kg·m ⁻³)	气体体积 分数/%	粉煤灰 质量分数/%
O1	0.3700	40	20	42	2 326	4.1	20
O2	0.3700	39	21	40	2 311	4.0	25
L1	0.337 2	40	22	40	2 342	4.6	10
L2	0.337 8	39	20	40	2 327	4.7	20
L3	0.372 5	39	21	43	2 365	4.8	40
L4	0.338 6	38	20	43	2 357	4.7	30
L5	0.367 5	41	22	43	2 326	4.9	30
L6	0.360 9	39	21	41	2 318	4.8	0
L7	0.350 0	38	19	43	2 329	4.6	40
L8	0.370 0	38	19	42	2 343	4.6	40
L9	0.400 0	39	20	40	2 325	4.7	30
L10	0.419 6	40	20	41	2 370	4.8	30
L11	0.370 0	37	19	43	2 358	4.7	30
L12	0.350 0	38	19	40	2 347	4.5	40

编 号	抗压强度/MPa				弹性模量/GPa			抗渗等级		凝结时间/h		1 h 坍落度 保持值/cm
	7 d	28 d	60 d	90 d	28 d	60 d	90 d	60 d	90 d	初凝	终凝	
O1	30.8	39.4		47.5			40.1		> W12	23.2	26.1	18.3
O2	29.5	38.1		46.9			42.7		> W12	26.5	29.4	19.5
L1	13.5	31.9	41.1							12.5	25.1	19.3
L2	27.0	45.2	57.7							13.2	23.8	20.2
L3	9.9	24.8	35.5	45.8	27.6	28.2	32.5	> W12	> W15	11.3	24.2	18.5
L4	14.5	27.9	38.3	48.3	29.5	30.7	37.1	> W12	> W15	12.8	24.6	17.6
L5	12.1	26.5	37.7	47.6	28.8	29.2	35.4	> W12	> W15	13.1	23.7	18.9
L6	15.5	43.7	49.5							11.5	24.4	19.1
L7	12.1	37.9	47.6							12.3	24.8	17.5
L8	12.5	35.6	46.7							13.5	23.7	17.8
L9	15.9	33.3	45.3							12.7	25.3	18.8
L10	16.2	34.8	48.5							12.3	24.9	17.5
L11	18.6	34.6	48.9							11.6	25.2	20.1
L12	15.3	33.7	38.8							13.2	24.7	19.3

果见表 2。

3.3 混凝土性能试验结果分析

a. 用普通硅酸盐水泥配制的混凝土早期强度发展太快,不利于施工中接头孔的钻凿,弹性模量较高,不能满足要求。表 2 中编号为 O1 和 O2 的配合比使用的是普通硅酸盐水泥。

b. 低热硅酸盐水泥强度发展规律与所要求的混凝土较一致,随着水泥比表面积的减小,用其配制的混凝土早期强度逐渐降低,对所选用的 3 种低热硅酸盐水泥而言,随着粉煤灰掺量的增加,其早期强度也逐渐降低。

c. 当水泥的比表面积足够小时,可以配制出基本满足性能要求的混凝土,但要大量掺加粉煤灰。该试验编号为 L3 的配合比试验结果基本满足性能要求,在施工中用该配合比配制的混凝土取样试验结果也满足设计要求,从而也验证了该配合比的合理性。

d. 虽然满足性能要求的配合比水泥用量仅仅为 240 kg,掺粉煤灰的质量分数达到了 40%,但混凝土却能达到 W15 等级的高抗渗性能,这应该和掺用优质的外加剂和粉煤灰有关。高性能的外加剂和优

质的粉煤灰均能提高长龄期混凝土的抗渗性能,两者作用的叠加足以保证混凝土具有很高的抗渗等级,而较小的水泥用量和较大的粉煤灰掺量也是降低弹性模量的保证。

e. 编号为 O1 和 O2 的配合比采用的是萘系高效减水剂,编号为 L1 ~ L12 的配合比采用的是聚羧酸系高效减水剂,从凝结时间来看,聚羧酸系高效减水剂能够有效调节混凝土的凝结时间,使其满足施工工艺要求,同时,聚羧酸系高效减水剂也能使混凝土坍落度长时间得到保持。故为满足施工工艺对混凝土拌和物性能的要求,应选择能够调节凝结时间、坍落度损失小的高性能外加剂。

f. L3 和 L5 配合比的水胶比虽然只有 0.005 的差别,但力学指标的试验结果却有明显不同,这说明水胶比对混凝土力学性能的影响显著,由于设计要求很高,所以在选择水胶比时必须十分精确。

4 结 论

要配制具有特殊强度发展规律的高强度、低弹性模量、高抗渗等级的防渗墙混凝土 (下转第54页)

质量损失率也逐渐降低,两者具有良好的一致性。其原因在于两者均依赖于混凝土的抗压强度。但冲磨质量损失率的实测值较撞磨质量损失率小,因为冲磨质量损失率为用来模拟混凝土抵抗水流及其中的固体颗粒高速冲击和磨损的能力,其冲击能量较磨耗试验的冲击小(模拟船舶对混凝土的撞磨作用)。

2.4 混凝土撞磨质量损失率与抗压强度的关系

混凝土抗冲击性能、抗冲磨性能和耐撞磨性能均依赖于混凝土的抗压强度,且水灰比是影响其耐撞磨性能的主要因素,水灰比越小,抗压强度越大,其耐撞磨性能越高^[6-7]。但混凝土撞磨质量损失率和其抗压强度的定量关系如何?笔者对此做了初步的研究。取表2中采用P·O32.5水泥制备混凝土的耐撞磨试验结果,得出混凝土抗压强度和其撞磨质量损失率的关系,见图3。对图3中的试验结果进行回归分析^[8]。结果表明,混凝土500次撞磨质量损失率和其抗压强度存在幂函数关系 $y = 261.26x^{-0.7627}$,相关系数达到0.88。因此,可以通过混凝土抗压强度推算其撞磨质量损失率,这为船闸混凝土或其他具有撞磨特性的混凝土耐撞磨性能预测提供了参考依据。

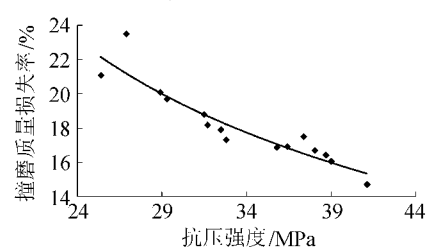


图3 混凝土撞磨质量损失率和抗压强度的回归曲线

回归公式表明,随着混凝土养护龄期的增长,混凝土的抗压强度增大,其耐撞磨性能也会提高。采用“三掺技术”配制的闸室墙混凝土的后期强度较素混凝土有较大的提升,因此其后期耐撞磨性能会好于素混凝土。

3 结 论

a. 与落锤法和水下钢球法相比,采用洛杉矶磨耗法测试和评价船闸闸室墙混凝土的耐撞磨性能科学合理,经济实用。

b. 混凝土抗冲击性能越好,其耐撞磨性能越好,混凝土的抗冲磨性能越好,其耐撞磨性能也越好。混凝土的耐撞磨性能和抗冲击性能、抗冲磨性能具有较好的一致性。

c. 采用P·O32.5制备的混凝土500次撞磨质量损失率和其抗压强度的回归曲线为 $y = 261.26x^{-0.7627}$,相关系数达到0.88。说明混凝土抗压强度越大,其撞磨质量损失率越低,耐撞磨性能越

好。因此,可以通过混凝土抗压强度推算其撞磨质量损失率,这为船闸混凝土耐撞磨性能的预测提供了参考依据。

参考文献:

[1] 冯乃谦.新混凝土实用大全[M].北京:科学出版社,2005.
[2] 杨春光.水工混凝土抗冲磨机理及特性研究[D].陕西:西北农林科技大学,2006.
[3] 王学森.耐磨混凝土配合比试验研究[J].混凝土,2002(4):45-47.
[4] 林小松,杨果林.钢纤维高强与超高强混凝土[M].北京:科学出版社,2002.
[5] 吴胜兴,周继凯.混凝土动态特性及其机理研究[J].徐州工程学院院报,2005,20(1):15-29.
[6] 冯长伟,李思胜,秦鸿根.闸室墙混凝土抗冲击和耐撞磨性能的影响因素研究[J].混凝土与水泥制品,2008(2):38-42.
[7] 冯长伟.闸室墙高性能混凝土抗裂和耐撞磨性能的研究[D].南京:东南大学,2008.
[8] 庞超明,秦鸿根.试验设计与混凝土无损检测技术[M].北京:中国建材工业出版社,2006:44-62.

(收稿日期:2008-09-03 编辑:骆超)

(上接第46页)必须使用合适的原材料来改进混凝土的性能,同时合理选取配合比参数。采用粗颗粒的低热硅酸盐水泥,大量掺加粉煤灰,同时联合使用新一代聚羧酸系减水剂和高性能的引气剂,可以使混凝土的各种性能满足工程应用要求。

参考文献:

[1] 《水利水电工程施工手册》编委会.地基与基础工程[M].北京:中国电力出版社,2004.
[2] 高钟璞.大坝基础防渗墙[M].北京:中国电力出版社,2000.
[3] 林昭.碾压式土石坝设计[M].郑州:黄河水利出版社,2003.
[4] 刘志红.浅谈塑性混凝土防渗墙在水利水电工程中的应用[J].水利技术监督,2000,8(3):22-25.
[5] 白永年.中国堤坝防渗加固新技术[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
[6] SL/T191—96.水工混凝土结构设计规范[S].
[7] 李亚杰.建筑材料[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
[8] 卢剑虹.冶勒水电站坝基防渗墙的混凝土配合比研究及应用[J].水电站设计,2006,22(1):29-33.
[9] 刘数华,方坤河.粉煤灰对水工混凝土抗裂性能的影响[J].水力发电学报,2005,24(2):73-76.
[10] GB200—2003.中热硅酸盐水泥低热硅酸盐水泥低热矿渣硅酸盐水泥[S].

(收稿日期:2008-09-09 编辑:方宇彤)