

某高拱坝围堰防渗墙混凝土配合比试验研究

杨田, 马腾

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川成都 610021)

摘要:试验结果证明书:在一定范围内通过增加膨润土参量、以石粉取代粉煤灰、适当降低混凝土容重等方式在一定程度上可以降低混凝土弹模,并保证其设计强度及抗渗要求。考虑到石粉降低弹模的效果明显,后期将进一步开展石粉级配和细度波动、掺量等对塑性混凝土性能的影响试验,论证其应用可行性,为最终确定混凝土配合比提供了试验方向和总体思路,同时也对类似工程具有一定的参考作用。

关键词:土石围堰;弹性模量;配合比;结果分析

中图分类号:TV642.4;TU473.5;TV543+.82

文献标识码:B

文章编号:1001-2184(2017)02-0136-04

1 工程概况

某水电站位于四川省凉山彝族自治州木里县境内,最大坝高155 m,电站为一等工程,工程规模为大(1)型。工程枢纽主要建筑物由挡水建筑物、泄洪消能建筑物及引水发电系统等组成,挡水建筑物采用混凝土双曲拱坝。工程采用全断面围堰截流,其上、下游围堰均采用心墙土石围堰结构形式。上游围堰最大堰高47 m,下游围堰最大堰高16 m,围堰基础采用塑性混凝土防渗墙防渗。由于枢纽工程工期较长,围堰使用年限超过4年,因此围堰工程的安全稳定性直接关系到整个枢纽工程的建设。防渗墙作为围堰工程的核心组成部分,对其进行前期试验研究以使其达到设计要求是十分必要的。

2 试验方法

2.1 弹性模量试验方法

按照DL/T 5303-2013,弹性模量测试中至少预压3次,最大预压应力约为试样破坏强度的20%,且不超过0.5 MPa,直至相邻两次变形值相差不大于0.006 mm为止。应变的标距为整个试件的长度,即300 mm。通过作图计算20%和40%极限破坏荷载之间的割线模量。该方法与长科院材料结构所在其进行三峡二期围堰塑性混凝土试验研究基础上编制的《塑性混凝土性能检测作业指导书》^[3]很接近。锦屏水电工程在进行塑性混凝土弹性模量检测时^[4],不进行预压,应变的标距为整个试件的长度,加荷速率为1kN/s,记

收稿日期:2017-02-25

录塑性混凝土的应力应变曲线,通过作图计算初始切线模量 E_0 。

本次配合比试验中,在不同阶段采用不同的弹性模量测试方法:

第一阶段(后文配合比编号13-22):采用圆柱体试件按照DL/T 5303-2013试验,预压2~3次到0.5 MPa。

第二阶段(后文配合比编号24-29):除了改为采用棱柱体试件并将预压荷载降低到0.22 MPa之外,其他与第一阶段相同。

第三阶段(后文配合比编号30-45):与第二阶段的区别是不再预压。

2.2 弹模试件蒸养快速养护试验方法

为了及时获得试验结果,在本次配合比试验中采用了蒸养快速养护弹模试件、并结合成熟度方法推算等效标养龄期的做法。具体过程如下:混凝土弹模试件成型后先在 20 ± 3 °C下静置48 h,脱模后,用塑料口袋装好放置在托盘上。为防止试件在蒸养过程中失水,向塑料口袋里注入温水淹没至试件约1/5左右的高度,水温控制在48 °C。将塑料袋用宽胶带封严,放入已经把温度调至48 °C并恒温的烘箱里面,在此温度下恒温养护9 d。

根据《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144-2015)中附录B,用成熟度法换算标养下的等效龄期。根据表B.0.3中温度T与等效系数 αT 关系表,养护温度控制在48 °C时,与标准养护(温度20 °C)的换算系数为2.97,据此可以计算出试件

静置2 d后再在48 ℃蒸养环境中养护9 d的等效龄期 $=9 \times 2.97 + 2 = 29$ d,基本相当于标准养护28 d的效果。

3 配合比试验

3.1 第一阶段试验

试验方案:一级配比,砂率68%,坍落度按 $210 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ 、含气量按 $6\% \pm 1\%$ 控制,掺减水剂和引气剂。通过调整粉煤灰、膨润土掺量以

及水胶比,组成6个试验组合,分别进行混凝土拌和物及硬化混凝土性能检测。为改善混凝土粉体级配,减少掺粉煤灰对混凝土后期弹模的影响,进一步降低混凝土弹性模量,利用现场资源,在原试验方案的基础上增加了3组石粉取代粉煤灰的试验组合。第一阶段配合比参数见表1,试验结果见表2:

表1 第一阶段配合比参数表

试验编号	水胶比	F /%	P /%	SP /%	砂率 /%	减水剂 /%	引气剂 1/万	单位材料用量/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$						
								W	F	P	SP	C	S	G
WYH-16	0.7	30	20	0	68	1.0	0.8	220	94	63	0	157	1 158	557
WYH-13	0.75	30	20	0	68	1.0	0.8	220	88	59	0	147	1 173	564
WYH-14	0.8	30	20	0	68	1.0	0.7	220	83	55	0	138	1 185	570
WYH-15	0.85	30	20	0	68	1.0	0.8	220	78	52	0	129	1 196	575
WYH-18	0.75	25	25	0	68	1.0	0.7	220	73	73	0	147	1 174	564
WYH-19	0.75	20	30	0	68	1.2	0.9	220	59	88	0	147	1 175	565
WYH-20	0.75	0	20	30	68	1.0	0.4	225	0	60	90	150	1 169	562
WYH-21	0.7	0	20	30	68	1.0	0	225	0	64	96	161	1 155	556
WYH-22	0.65	0	20	30	68	1.0	0	225	0	69	104	173	1 139	548

备注:F-粉煤灰、P-膨润土、SP-石粉、W-水、C-水泥、S-砂、G-小石

表2 第一阶段试验结果表

试验编号	坍落度/mm			含气量 /%	容重 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	抗压强度/MPa		轴压/MPa		弹模/MPa	
	0 min	30 min	60 min			7 d	28 d	28 d	28 d	28 d	
WYH-16	225	220	215	5.2	2 240	4.9	7.8	5.3	3 700		
WYH-13	235	224	213	6.1	2 240	4.1	6.8	4.2	3 500		
WYH-14	230	221	207	6.3	2 230	3.8	6.0	3.9	3 400		
WYH-15	230	230	219	5.0	2 240	3.4	5.4	3.8	3 200		
WYH-18	220	204	183	6.4	2 210	4.2	6.5	4.3	3 400		
WYH-19	218	207	174	6.9	2 190	3.8	5.9	4.5	3 300		
WYH-20	220	214	196	7.2	2 180	3.7	4.7	4.1	2 600		
WYH-21	215	195	172	7.3	2 190	4.7	5.9	4.4	2 200		
WYH-22	225	220	202	7.2	2 190	5.4	7.5	5.3	2 800		

3.2 第二阶段试验

第二阶段试验主要的技术手段是进一步提高砂率和膨润土用量,适当控制粉煤灰掺量。

试验方案:一级配比,砂率85%,粉煤灰掺15%,膨润土掺30%,掺减水剂和引气剂,扩散度按 $600 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$ 、含气量按 $6\% \pm 1\%$ 控制。考虑到石粉对降低弹模的贡献,本次试验还安排了一组掺石粉的系列组合,将砂率由第一阶段试验

的68%提高到80%。第二阶段配合比参数见表3,试验结果见表4:

3.3 第三阶段试验

试验方案:进一步增加膨润土掺量,膨润土用量在 140 kg/m^3 至 160 kg/m^3 ;增加混凝土含气量,使含气量控制在10%至15%;使用天然河砂代替人工砂。第三阶段配合比参数见表5、试验结果见表6:

表 3 第二阶段试验配合比参数表

试验编号	水胶比	F /%	P /%	SP /%	砂率 /%	减水剂 /%	引气剂 /万	单位材料用量 /kg · m ⁻³						
								W	F	P	SP	C	S	G
WYH-24	0.80	15	30	0	85	0.8	2.5	315	59	118	0	217	1 145	206
WYH-25	0.75	15	30	0	85	0.8	2.5	315	63	126	0	231	1 123	203
WYH-26	0.65	0	25	25	80	1.0	0.5	290	0	112	112	223	1 091	273
WYH-27	0.70	0	25	25	80	1.0	0.5	290	0	104	104	207	1 117	279
WYH-28	0.75	0	25	25	80	1.0	0.5	290	0	97	97	193	1 139	285

备注:F-粉煤灰、P-膨润土、SP-石粉、W-水、C-水泥、S-砂、G-小石

表 4 第二阶段试验结果表

试验编号	扩展度 /mm			含气量 /%	容重 /kg · m ⁻³	抗压强度 /MPa		轴压 /MPa	弹模 /MPa	弹强比
	0 min	30 min	60 min			7 d	28 d	28 d	28 d	
WYH-24	605	575	530	6.2	2 040	3.9	5.8	4.8	2 210	455
WYH-24	605	575	530	6.2	2 040	3.9	5.8	4.7	2 700	578
WYH-25	640	625	570	6.1	2 060	4.1	6.1	5.0	2 900	582
WYH-26	560	515	460	6.8	2 080	4.4	6.3	5.0	2 900	579
WYH-27	600	535	450	6.1	2 110	4.2	5.7	4.9	2 190	449
WYH-28	560	525	480	6.0	2 100	3.6	4.8	4.2	1 760	414

表 5 第三阶段试验配合比参数表

试验编号	水胶比	F /%	P /%	SP /%	砂率 /%	减水剂 /%	引气剂 /万	单位材料用量 /kg · m ⁻³						
								W	F	P	SP	C	S	G
WYH-40	0.75	0	35	0	85	0.60	20.0	300	0	140	0	260	1 024	185
WYH-41	0.75	0	35	0	85	0.60	28.0	300	0	140	0	260	978	176
WYH-42	0.75	0	35	0	85	0.60	60.0	300	0	140	0	260	931	168
WYH-43	0.7	0	37	0	85	0.60	30.0	300	0	159	0	270	953	172
WYH-44-1	0.8	0	35	0	85	0.60	25.0	290	0	127	0	236	1 020	186
WYH-44	0.8	0	39	0	85	0.60	1.0	290	0	141	0	221	1 132	206
WYH-45	0.72	0	35	0	85	0.50	17.0	280	0	136	0	253	999	182

备注:F-粉煤灰、P-膨润土、SP-石粉、W-水、C-水泥、S-砂、G-小石

表 6 第三阶段试验结果表

试验编号	扩展度 /mm			含气量 /%	容重 /kg · m ⁻³	抗压强度 /MPa		轴压 /MPa	弹模 /MPa	弹强比
	0 min	30 min	60 min			7 d	28 d	28 d	28 d	
WYH-40	605	/	/	13.0	1 910	4.7	5.9	5.2	2 340	454
WYH-41	550	/	/	13.0	1 850	3.8	4.8	4.6	2 030	445
WYH-42	500	/	/	14.5	1 810	3.6	4.6	3.8	1 470	391
WYH-43	525	/	/	13.5	1 840	4.3	5.4	3.7	1 790	482
WYH-44-1	540	/	/	14.0	1 840	3.3	4.2	2.8	1 270	450
WYH-44	590	/	/	9.2	1 990	3.3	4.3	3.1	1 500	489
WYH-45	520	/	/	14.5	1 830	3.6	4.7	4.2	1 940	458

备注:1、WYH-41 混凝土初凝 24 h50 min,终凝 42 h10 min;2、WYH-44-1、WYH-44、WYH-45 细骨料为天然河砂,试验龄期约 15 d。

4 试验结果分析

4.1 第一阶段实验结果分析

(1)在既定配合比参数下,不同试验组合的混凝土拌和物和易性良好,检测坍落度(经时损失)、含气量满足设计要求;

(2)混凝土抗压弹性模量较高,编号 WYH-21(轴压 4.4 MPa)弹模值最低,实测 2 200 MPa,大于设计值(1 750 MPa),不满足设计要求。

(3)固定水胶比(0.75)和掺合材总量,膨润土由 20%、25% 增加到 30%,抗压强度随之降低,相应弹模亦降低,弹强比分别下降 5%、10% 左右。这表明在该掺量范围膨润土增加对降低弹模有一定的作用。

(4)在配合比基本参数不变时,石粉取代粉煤灰,混凝土抗压强度相应降低;在混凝土同强度条件下,掺石粉较掺粉煤灰混凝土水胶比小 0.10 左右,但前者抗压弹模较低,平均降低弹模 25%,降弹效果明显。

4.2 第二阶段实验结果分析

(1)试验编号 WYH-24 配合比参数与乌东德、锦屏一级水电站基本一致,实测抗压强度(5.8 MPa)接近配制强度(5.3 MPa),但弹模 2 210 MPa 大于设计值。

(2)在混凝土抗压强度相同时,掺石粉混凝土在膨润土和砂率分别减少 5% 的情况下,其抗压弹模与不掺石粉的试验组合基本相当。

(3)试验编号为 WYH-28 的混凝土(轴压 4.2 MPa、渗透系数 2.57×10^{-8})弹模实测值 1 760 MPa,接近设计弹模值。

4.3 第三阶段实验结果分析

(1)在既定配合比参数下,不同试验组合的混凝土拌和物和易性良好,实测坍落度、含气量、凝结时间、容重满足设计要求。

(2)在配合比基本参数不变的条件下,混凝土容重由 $1 910 \text{ kg/m}^3$,降至 $1 850 \text{ kg/m}^3$ 、 $1 810 \text{ kg/m}^3$,混凝土抗压强度呈下降趋势,分别下降 19.1% 和 22.4%,弹模则相应分别下降了 13.2% 和 37.2%,弹强比亦呈下降态势。这表明提高混凝土含气量,降低混凝土容重,对降低混凝土弹模

是有效的。

(3)试验编号 WYH-42 混凝土弹强比最小(391),按该配合比方案配制混凝土,则计算抗压弹模为 1 654 MPa,满足设计要求。

(4)掺天然砂系列因试验龄期较短,混凝土强度较低,仅从弹强比试验结果看,使用天然砂较人工砂还看不出优势,试验结果还需进一步论证。

5 结语

本次试验为阶段性探索试验,针对本工程围堰防渗墙塑性混凝土低强低弹的特点,在保证混凝土强度及抗渗性能的基础上,通过多种配合比试验尽量降低混凝土抗压弹性模量,保证塑性混凝土具有较好的适应土石围堰变形的能力。从试验结果可以看出:在一定范围内通过增加膨润土参量、以石粉取代粉煤灰、适当降低混凝土容重等方式在一定程度上可以降低混凝土弹模,并保证其设计强度及抗渗要求。考虑到石粉降低弹模的效果明显,后期将进一步开展石粉级配和细度波动、掺量等对塑性混凝土性能的影响试验,论证其应用可行性,为最终确定混凝土配合比提供了试验方向和总体思路,同时也对类似工程具有一定的参考作用。

参考文献:

- [1] 高钟璞,安致文,王国民.小浪底水利枢纽上游围堰塑性混凝土防渗墙的施工[J].水力发电,1994,(3):10-12.
- [2] 陈武林.塑性混凝土及其在三峡工程二期围堰防渗墙的应用研究综述[J].中国三峡建设,1996,3(7):20-21.
- [3] 长江水利委员会长江科学院.塑性混凝土性能检测作业指导书[M],YRSRI-WP-04-14-1999,1999,6p.
- [4] 锦屏水电工程试验检测中心.锦屏水利水电枢纽工程围堰防渗墙塑性混凝土配合比试验研究报告(28d 成果报告)(JP2006-11-02)[R].2006年11月17日.

作者简介:

杨田(1988-),男,四川达州人,四川大学水工结构硕士,工程师,主要从事水电工程项目管理工作;

马腾(1990-),男,河南夏邑人,武汉大学水工结构硕士,工程师,主要从事水电工程项目管理工作。

(责任编辑:卓政昌)

巨亭水电站五孔泄洪闸门动水试验完成

4月9日,巨亭水电站顺利完成五孔泄洪闸门动水试验,为电站2017年防汛度汛工作提供了坚实保障。巨亭水电站工程规模属Ⅲ等中型工程,是嘉陵江上游干流上的首座电站,属径流式水电站。电站防汛任务重,五孔泄洪闸门的正常运用直接关系到下游人民群众生命财产安全和电站大坝安全。