

苏丹麦洛维大坝塑性混凝土防渗墙配合比设计研究

黄永成

(中国水利水电第七工程局 海外事业部, 四川 成都 611730)

摘 要:介绍了麦洛维大坝防渗墙塑性混凝土性能要求以及对配合比设计进行的试验及分析选择,阐述了国外对塑性混凝土的要求及基本设计依据。

关键词:苏丹;麦洛维;塑性混凝土;防渗墙;配合比设计

中图分类号:TV543;TV47;TV43

文献标识码:B

文章编号:1001-2184(2008)02-0101-04

1 工程简介

麦洛维大坝工程位于苏丹首都喀土穆以北大约350 km的尼罗河上,由世界知名设计咨询公司——德国拉美尔公司设计,电站总装机容量125万kW,主要由右岸土堤、右岸面板堆石坝、溢流坝、混凝土非溢流坝、厂房、左岸粘土芯墙坝、左岸面板堆石坝、左岸土堤、引水渠及灌溉取水口等建筑物组成,坝体总长9700 m。为当前中国公司在海外承建的最大的水利水电工程。

工程左岸粘土芯墙坝最大坝高84 m,全长841 m,部分坝体采用抛填砂石组成,主体采用粘土芯墙防渗,其下部因有20多m深的沉积砂层,设计采用塑性混凝土+帷幕灌浆进行防渗。防渗墙位于粘土芯墙坝粘土防渗层中心轴处,全长381 m,桩号5+579~5+960,设计顶面高程263.4 m,墙体厚1.2 m,防渗墙伸入基岩4 m,相应河槽段基岩顶高程213.0~245.0 m。防渗墙塑性混凝土总工程量约为18667 m³。防渗墙两端分别接3块长度为8 m的低塑性混凝土过渡块。

2 工程依据的设计规范

(1)美国石油协会规范13 A:钻孔流动性材料标准。

(2)美国石油协会规范13 B-1:钻孔流动性材料推荐标准试验程序。

(3)ASTM C143:坍落度标准试验方法。

(4)ASTM C136:粗细骨料筛分试验方法。

(5)EM1110-2-1906 试验室土工试验标准——渗透试验、无侧限抗压强度试验和三轴试验。

收稿日期:2007-10-18

3 塑性混凝土设计考虑

根据设计目标要求,防渗墙应有最小的渗透性和抗侵蚀性,因此,要求塑性混凝土具有充分的和易性、稳定性、强度和变形能力,以使周围土的变形裂缝最小;能抵抗55 m水头的侵蚀破坏。

基于这些要求,推荐塑性混凝土的目标性能为:坍落度:220 mm±30 mm;28 d侧限抗压强度:≥0.6 MPa;28 d三轴试验弹性模量(平均值): $E \leq 200$ MPa(最大值 $E \leq 350$ MPa);三轴试验破坏时的变形:≥3.5%;渗透系数:≤ 1×10^{-8} m/s。

4 原材料

4.1 水泥

水泥采用埃及ECC水泥,各项性能指标符合BS12/1996 42.5标准和合同要求。

4.2 膨润土

膨润土采用印度油田化工厂生产的钠基膨润土,各项指标符合OCMA标准等级DFCP4。

4.3 水

采用经沉淀后的尼罗河水。

4.4 骨料

采用工地生产的人工砂(粒径0~4.75 mm、表1)和人工骨料(粒径4.75~19 mm、表2)。

5 配合比设计

考虑到水灰比低时混凝土弹性模量较高,水灰比高时强度和渗透性又难以满足设计要求,参考其它国外工程资料,初步选定水灰比范围为2.6~3.1,同时,考虑到膨润土对新鲜混凝土的稳定性和减少混凝土泌水和分离的作用,为充分发挥膨润土的效果,降低膨润土在拌和时的膨化时间,根据相关工程资料及德国著名基础处理公

表 1 人工砂(粒径 0~4.75 mm)筛分试验结果表

筛孔尺寸 /mm	通过率 /%	
	ASTM C33 标准	试验结果
9.5	100	100
4.75	95~100	99.8
2.36	80~100	88.1
1.18	50~85	62.9
0.60	25~60	36.1
0.30	5~30	14.3
0.15	0~10	2.5
0.075	0~3	0.5

表 2 人工骨料(粒径 4.75~19 mm)筛分试验结果表

筛孔尺寸 /mm	通过率 /%	
	ASTM C33 标准	试验结果
25.0	100	100
19.0	90~100	100
9.5	20~55	27.8
4.75	0~10	2.4
2.36	0~5	0.3

司——宝峨公司的施工设计经验,采用对膨润土先拌成泥浆并膨化一天后再掺入进行塑性混凝土拌和的方式。

5.1 骨料参数

根据德国规范 DIN 18123,当最大骨料粒径为 20 mm 时,塑性混凝土要求骨料颗粒级配曲线介于包络线 B 和 C 之间。根据本工程砂与小石级配情况,确定砂与小石比例为 40%:60%,混合后的骨料级配曲线见图 1。

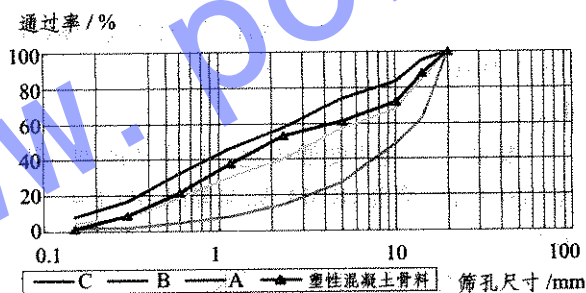


图 1 塑性混凝土骨料级配曲线示意图

表 3 不同膨润土浆液马氏试验结果表

用水量 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	膨润土 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	马氏稠度			pH 值
		1 min	3 h	24 h	
1 000	60	31	32	36	7.5
1 000	90	35	40	68	8
1 000	120	60	117	/	8

5.2 膨润土浆液

膨润土浆液浓度一方面要保持新鲜混凝土的和易性,以避免骨料分离和混凝土泌水;另一方面,在满足可操作和施工的前题下浓度应尽可能大,以减少泵送浆液数量和储浆池的尺寸。一般情况下,当马氏稠度在 100 s 时仍然可以拌和和泵送;但当马氏稠度 > 60 s 时,将增加混凝土的拌和时间。不同膨润土浆液马氏试验结果见表 3。

根据试验结果,推荐本工程采用膨润土浆液性能见表 4。

表 4 本工程推荐采用的膨润土浆液性能表

用水量 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	膨润土 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	密度 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	马氏时间 /s
963	100	1 063	45

5.3 配合比试验

本工程初步选取 7 个不同配合比进行试验,配合比参数见表 5。

室内试验拌和方法:小石 + 膨润土浆 + 拌和水,用自落式搅拌机拌和 5 min,再加砂拌和 5 min。

5.4 塑性混凝土试验要求与方法

拌和完成后进行坍落度试验,并进行坍落度损失检验。为保证现场塑性混凝土的施工质量,要求 4 h 后坍落度大于 150 mm。然后成型试件进行无侧限抗压强度试验、三轴渗透试验、三轴剪切试验并计算三轴弹性模量和破坏时的三轴应变。

三轴渗透试验:先进行试件饱和,然后在有效围压 400 kPa 下进行固结,保持试件在水力坡度

表 5 配合比试验参数表

配合比号	水灰比	膨润土 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	砂率 /%	砂 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	小石 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	水泥 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	水 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
MW1	3.0	35	60	872	580	131	394
M2	2.8	35	60	872	580	140	391
M3	2.8	40	60	793	528	155	434
M4	2.6	40	60	793	528	166	431
M5	2.8	35	60	793	528	155	434
M6	2.6	35	60	872	580	149	388
M7	3.1	40	60	793	528	142	440

$i=100$ 条件下进行渗透试验,当连续 3 次相临 5

min 内渗透量变化小于 20% 时,试验结束。

三轴剪切试验:采用饱和固结不排水三轴试验方法,保持围压分别为 200、500、700 kPa,进行剪切试验,剪切试样变形速率为 0.02% /min,并以最大应力的 70% 和 30% 的应力应变计算塑性混凝土的弹性模量。

5.5 试验结果

不同配合比坍落度损失试验结果见图 2。

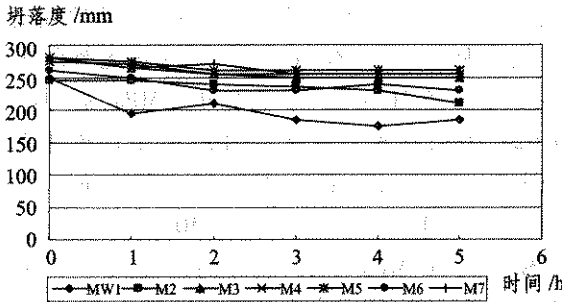


图 2 坍落度损失曲线示意图

不同配合比各龄期混凝土无侧限抗压强度发展关系见图 3。

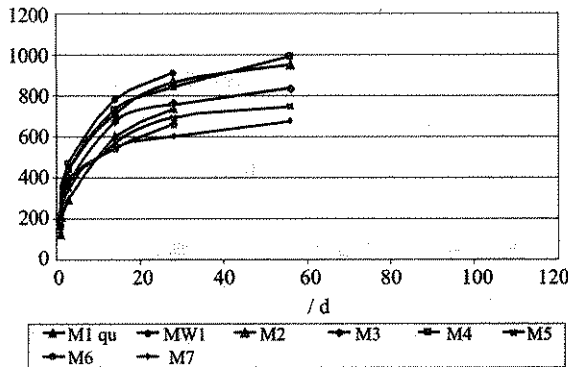


图 3 混凝土无侧限抗压强度发展关系示意图

不同配合比三轴渗透试验结果见表 6。塑性混凝土 28 d 龄期试验结果汇总见表 7。

表 6 三轴渗透试验结果表

项目	数值			
配合比号	M2	M3	M4	M6
渗透系数 /m · s ⁻¹	4.3 × 10 ⁻⁹	3.3 × 10 ⁻⁹	3.4 × 10 ⁻⁹	4.3 × 10 ⁻⁹

表 7 塑性混凝土 28 d 龄期试验结果汇总表

配合比号	无侧限抗压试验			三轴试验		
	强度 /MPa	弹模 /MPa	弹模 /MPa	强度 /MPa	破坏变形 /%	渗透系数 /m · s ⁻¹
M1	0.761	204				
	0.717	172				
平均	0.739	188				
M2	0.836	150	105	1.611 (δ3 = 200 kPa)	6.7	5.2 × 10 ⁻⁹
	0.887	243	256	1.604 (δ3 = 200 kPa)	6.7	3.0 × 10 ⁻⁹
			152	1.616 (δ3 = 200 kPa)	8.0	4.8 × 10 ⁻⁹
平均	0.862	197	171	1.610 (δ3 = 200 kPa)	7.1	4.3 × 10 ⁻⁹
M3	0.742	203	218	1.318 (δ3 = 200 kPa)	5.9	3.6 × 10 ⁻⁹
	0.784	278	190	1.387 (δ3 = 200 kPa)	6.6	3.2 × 10 ⁻⁹
			112	1.130 (δ3 = 200 kPa)	6.3	3.2 × 10 ⁻⁹
平均	0.763	241	173	1.278 (δ3 = 200 kPa)	6.3	3.3 × 10 ⁻⁹
	0.804	320	273	1.436 (δ3 = 200 kPa)	5.6	2.3 × 10 ⁻⁹
M4	0.842	322	318	1.550 (δ3 = 200 kPa)	5.8	3.2 × 10 ⁻⁹
	0.881	330	161	1.268 (δ3 = 200 kPa)	5.3	3.8 × 10 ⁻⁹
平均	0.842	324	251	1.418 (δ3 = 200 kPa)	5.6	3.4 × 10 ⁻⁹
	0.758	284				
M5	0.678	229				
	0.644	195				
平均	0.693	236				
	0.895	343	307	1.660 (δ3 = 200 kPa)	5.9	5.2 × 10 ⁻⁹
M6	0.922	317	315	1.664 (δ3 = 200 kPa)	6.1	3.0 × 10 ⁻⁹
	0.914	254	192	1.406 (δ3 = 200 kPa)	7.4	4.8 × 10 ⁻⁹
平均	0.910	305	271	1.576 (δ3 = 200 kPa)	6.5	4.3 × 10 ⁻⁹
	0.639	212				
M7	0.547	187				
	0.635	293				
平均	0.607	231				

6 成果分析

从上述试验结果可见:

(1) 7 个配合比的新鲜混凝土性能均满足设

计要求;

(2) 渗透系数全部小于 1 × 10⁻⁸ m/s, 在水力坡度 i = 100 时渗透稳定, 没有出现紊流;

(3) 7个配合比破坏时的变形均大于(或等于)3.5%;

(4) M2和M3的三轴弹性模量平均值均小于(或等于)200 MPa;

(5) 所有配合比无侧限抗压强度都大于0.6 MPa。

7 施工用塑性混凝土配合比的确定

最初在招标文件中的塑性混凝土配合比设计指标要求(28 d龄期):渗透系数小于 10^{-8} m/s, 无侧限抗压强度大于1 MPa, 弹性模量小于500 MPa, 能抵抗55 m水头的侵蚀破坏。在实际施工中, 根据防渗墙所处地层为砂土层、墙体周围砂土料弹性模量较低(一般为50 MPa左右)的特点, 出于设计考虑, 塑性混凝土的弹性模量宜为周围土弹性模量的3~5倍, 因此, 设计修改了塑性混凝土设计指标, 要求三轴弹性模量平均值 ≤ 200 MPa, 最大不超过300 MPa。考虑到弹模较低时混凝土强度达到1 MPa较困难, 以及防渗墙所处高程及承受水压力侵蚀情况, 并给予了一定安全考虑, 要求混凝土最低强度为0.6 MPa。当然, 在保持低弹模的设计标准条件下, 混凝土强度越高, 对工程越有益。

经对满足条件的两组配合比M2和M3进行

比较, M2配合比强度比M3高。因此, 决定选择M2配合比为本工程施工用配合比。

8 结语

现场塑性混凝土于2007年4月中旬开始生产, 7月上旬结束, 历时近3个月。采用一台BC50液压铣和一台DHG/C-2800液压抓斗, 圆满地完成了防渗墙的施工任务, 累计开挖浇筑96个板槽, 其中开挖面积为17 295.34 m², 塑性混凝土浇筑量为21 491.00 m³。平均28 d无侧限抗压强度为0.75 MPa, 最大为0.977 MPa, 最小为0.624 MPa; 在水力坡度 $i=100$ 时平均渗透系数为 8.2×10^{-9} m/s, 最大为 1.65×10^{-8} m/s, 最小为 7.25×10^{-9} m/s; 在围压为250 MPa时, 平均弹性模量为50 MPa左右, 破坏时应变大于5.3%。在围压为500 MPa时平均弹性模量为50 MPa左右, 破坏时应变大于10.9%; 在围压为750 MPa时平均弹性模量为30 MPa左右, 破坏时应变大于15.5%。各项性能指标满足设计要求。

作者简介:

黄永成(1968-), 男, 四川新都人, 副总工程师, 高级工程师, 学士, 从事水电工程国际项目管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

华能收购大士能源公司

3月14日, 华能集团公司宣布, 其全资拥有的新加坡公司——中新电力公司已与淡马锡签署了收购大士能源有限公司100%股权的协议, 交易价格为42.35亿新元(约合30亿美元)。为此, 华能集团公司向中新电力投资9.85亿美元。大士能源有限公司是新加坡三大电力企业之一, 成立于1995年, 业务范围包括发电、多元电力设施的开发、供应、贸易及零售以及其他相关服务。其发电资产包括设备先进、环保水平高的天然气联合循环发电机组和燃油机组。通过收购大士能源, 中国华能拥有了其267万kW的装机容量, 成为新加坡发电和电力零售市场的重要参与者。此项具有标志性意义的交易, 是华能成功收购海外电力公司的又一重大战略举措。在受益于跨地区的经济和电力需求快速增加的同时, 这次收购使华能成功进入成熟且稳定发展的新加坡经济领域, 为华能在亚洲领先的电力市场提供了一个立足点。新加坡电力市场近年来经历了一系列的改革, 已转变成一个透明及健全的电力市场。华能集团通过此项交易拥有了新加坡电力市场超过25%的市场份额。此项交易预计3月完成。雷曼兄弟担任了华能此项交易的独家财务顾问。中国进出口银行、中国银行以及由BNP、东方汇理、星展银行、华侨银行等组成的银团在融资方面给予了大力支持。淡马锡控股(私人)有限公司成立于1974年, 是一家总部位于新加坡的亚洲投资公司。该公司通过亚洲各地的分公司与办事处, 管理着1 080亿美元的资产, 主要集中在亚洲及欧美发达国家。

十局中标老挝南俄5水电站大坝工程

2月3日, 中国水电集团国际工程有限公司向十局发来中标通知书。授予水电十局承建老挝南俄5水电站BOT项目大坝标(C2标)。这是十局2008年取得的海外第一标。为该局海外市场开发迎来了开门红。南俄5水电站位于老挝南俄河上游右岸支流Nam Ting河上, 电站位于老挝北部山区, 坝址距首都万象300 km左右。主坝位于万象省。厂房位于邻近的川圹省。南俄5水电站装机容量 2×60 MW, 保证出力44.8 MW, 为年调节性能电站, 年发电量5.07亿kW·h。该电站的开发任务主要是发电, 以满足当地工农业建设用电的需要, 兼有减轻下游洪水灾害, 以及发展旅游、水产养殖等综合效益。南俄5水电站枢纽主要由首部枢纽、引水工程和厂区枢纽三部分组成。首部枢纽由挡水坝和电站进水口等建筑物组成; 引水工程由引水隧洞、调压室、压力管道等建筑物组成; 厂区枢纽包括主副厂房、开关站、运行楼等建筑物。十局中标的拦河坝为碾压混凝土重力拱坝, 大坝按500年一遇洪水设计, 10 000年一遇洪水校核, 坝顶高程1 103.00 m, 最大坝高99.00 m。