

大潭拱坝外掺 MgO 混凝土仿真计算分析

高亚瑛¹, 李永见²

(1. 广州市白云区水利技术推广服务中心, 广东 广州 510408; 2. 广东省水利电力勘测设计研究院, 广东 广州 510170)

摘要:在大潭拱坝仿真计算分析基础上, 对外掺 MgO 混凝土快速筑拱坝技术的可行性、掺量选择、掺量分区设计等进行了分析研究, 结果表明, 外掺 MgO 混凝土快速筑坝技术是可行的, 但从方便施工的角度考虑, 全坝宜采用一个合适均匀的掺量。
关键词:外掺 MgO 混凝土; 掺量设计; 仿真分析; 大潭拱坝
中图分类号:TV42⁺4; TV642.4⁺3 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-7647(2003)05-0014-02

大潭拱坝位于广东省乳源瑶族自治县境内, 为变圆心、变半径、等厚度混凝土双曲薄拱坝。大潭拱坝采用外掺 MgO 混凝土快速筑拱坝技术建造, 坝顶高程 141.40 m, 坝顶拱圈中心线弧长 150.09 m, 中心角 97°43'16", 半径 88.00 m; 坝底最低开挖高程 76.0 m, 最大坝高 65.4 m, 坝底厚 12 m, 宽高比 0.18。

1 仿真计算参数

大潭拱坝仿真计算采用整体浇筑式拱坝仿真程序 SIMUL1 进行。程序适用 150 m 以下的任意几何形状拱坝的仿真计算, 可以自动根据用户输入的实际施工及运行情况计算应力和拱端推力的变化发展过程, 计算所用参数如下。

a. 外掺 MgO 混凝土配合比。大潭拱坝采用的外掺 MgO 混凝土配合比如表 1 所示。

表 1 外掺 MgO 混凝土配合比 kg/m³							
MgO	水	水泥	粉煤灰	砂	粗骨料		
					< 5 mm	20 ~ 5 mm	80 ~ 40 mm
视具体情况	126	171.8	57.3	579	600	450	450

b. 外掺 MgO 混凝土的弹性模量。大潭拱坝外掺 MgO 混凝土各龄期混凝土弹性模量采用经验公式计算, 整个坝体采用相同的弹性模量, 各龄期混凝土弹性模量值见表 2。

表 2 外掺 MgO 混凝土各龄期弹性模量							
龄期/d	3	5	7	28	90	360	最终
弹性模量/10 ⁴ MPa	1.79	1.99	2.12	2.60	2.89	3.06	3.10

c. 外掺 MgO 混凝土的自生体积变形。参照有关

文献^[1~3]的测试方法, 根据试验成果资料, 大潭拱坝外掺 MgO 混凝土的自生体积变形见表 3。

表 3 外掺 MgO 混凝土的自生体积变形														
MgO 掺量 /%	温度 /℃	不同试验龄期自生体积变形/10 ⁻⁶												
		3 d	7 d	14 d	28 d	60 d	90 d	130 d	180 d	360 d	540 d	730 d		
0	20	2.0	4.0	6.1	8.6	12.6	16.6	29.9	31.1	32.8	33.3	33.7		
3.5	20	4.5	9.6	15.3	23.1	30.8	34.5	46.6	48.7	51.8	52.9	53.4		
3.5	30	9.5	19.8	30.7	42.0	52.0	56.6	62.5	64.5	67.3	68.3	68.9		
3.5	40	14.1	32.6	47.5	59.8	70.1	74.3	76.4	78.2	80.6	81.4	81.8		
3.5	50	24.7	50.2	67.2	80.1	88.1	91.2	93.4	94.6	96.4	96.9	97.2		
4.5	20	5.1	10.8	17.6	26.3	34.3	39.5	47.3	49.4	52.4	53.5	54.1		
4.5	30	9.0	20.5	33.4	48.7	64.0	70.1	73.7	76.8	81.1	82.7	83.5		
4.5	40	17.8	42.0	58.4	74.5	88.0	93.1	98.6	101.0	104.4	105.6	106.2		
4.5	50	29.0	62.6	90.9	103.8	113.5	117.6	122.0	123.8	126.4	127.2	127.7		
5.5	20	6.0	12.8	18.8	27.5	37.5	41.3	47.9	49.8	52.5	53.5	54.0		
5.5	30	10.8	24.8	38.7	56.0	72.0	78.3	81.7	85.0	89.7	91.4	92.3		
5.5	40	20.8	51.4	65.6	86.5	103.3	108.9	114.2	117.1	121.0	122.4	123.2		
5.5	50	35.4	78.0	103.8	120.7	131.9	136.0	139.1	140.9	143.4	144.2	144.6		

d. 外掺 MgO 混凝土的线膨胀系数。混凝土线膨胀系数主要取决于粗骨料品种, 计算中线膨胀系数 α_c 取 $0.6 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ①。

e. 外掺 MgO 混凝土的徐变系数。外掺 MgO 混凝土各龄期混凝土徐变系数见表 4。

表 4 不同龄期外掺 MgO 混凝土徐变系数						
试验龄期 τ/d	徐变系数					
	3 d	14 d	28 d	90 d	360 d	终值
3	0.676	0.969	1.112	1.342	1.541	1.649
7	0.533	0.785	0.915	1.136	1.348	1.486
28	0.341	0.523	0.624	0.810	1.015	1.190
90	0.225	0.354	0.430	0.578	0.758	0.948
360	0.133	0.215	0.266	0.371	0.514	0.704

作者简介:高亚瑛(1976—),女,助理工程师,主要从事水利水电工程设计、施工与管理等工作。
①崔雪华,刘峰,邓敏,等.氧化镁延迟性膨胀水泥的膨胀规律及其影响因素.氧化镁混凝土筑坝技术文集.电力工业部、水利部水利水电规划设计总院,1994。

2 计算成果及分析

2.1 仿真计算成果

分别计算了如表 5 所示的 16 种工况.在对计算成果进行分析时,主要分析上游坝面和下游坝面的主拉应力极值变化规律,其中最大应力、位移及其发生点、出现期如表 6 所示.

表 5 仿真计算成果

工况	MgO 掺量 /%	膨胀影响系数	最大主压应力 σ_1 /MPa		最大主拉应力 σ_2 /MPa	
			上游面	下游面	上游面	下游面
1	不掺	不计自身微膨胀	2.488 0	3.735 3	-2.509 8	-1.557 6
2	不掺	考虑自身收缩	2.427 3	4.027 8	-2.938 8	-1.682 9
3	3.5	考虑自身收缩	3.041 3	2.408 1	-1.084 7	-0.945 8
4	4.5	考虑自身收缩	3.129 6	2.276 1	-1.055 7	-1.025 2
5	5.5	考虑自身收缩	3.130 1	2.258 9	-1.050 1	-1.042 4
6	3.5~4.5	考虑自身收缩	3.093 7	2.290 5	-1.060 9	-0.966 4
7	3.5~5.5	考虑自身收缩	3.071 9	2.375 8	-1.052 7	-0.964 4
8	4.5~3.5	考虑自身收缩	3.071 9	2.375 8	-1.084 1	-1.014 7
9	4.5~5.5	考虑自身收缩	3.127 1	2.250 3	-1.044 6	-1.031 3
10	5.5~3.5	考虑自身收缩	3.075 3	2.385 8	-1.091 7	-1.051 6
11	5.5~4.5	考虑自身收缩	3.130 8	2.280 1	-1.069 1	-1.072 5
12	5.5	0.6	2.845 4	2.851 9	-1.446 0	-1.073 1
13	5.5	0.8	2.989 1	2.590 3	-1.089 0	-0.955 9
14	5.5	1.2	3.270 4	2.379 8	-1.009 1	-1.240 7
15	5.5	1.4	3.408 3	2.510 4	-0.963 2	-1.402 6
16	5.5	1.6	3.541 4	2.626 0	-0.917 4	-1.515 1

注:工况 6~11 为坝体自上至下由前一个掺量均匀过渡到后一个掺量.

表 6 最大应力、位移值

项 目	最大值	出现点	发生期序
拉应力	-1.050 1 MPa	左边 55 节点(上游面)	28 期
压应力	3.130 1 MPa	左边 55 节点(上游面)	28 期
位 移	-14.878 mm	左边 78 节点(向上游)	29 期

2.2 仿真成果分析

a. 外掺 MgO 混凝土快速筑拱坝的可行性.由表 5 可知,仿真计算的应力数值一般而言会较常规计算有增加,而掺 MgO 后,应力指标有明显改善,仿真计算的应力指标已在工程可接受的范围内.不掺 MgO、不计混凝土自身微膨胀时,全坝最大主拉应力为 -2.509 8 MPa;不掺 MgO、考虑混凝土自身收缩时,全坝最大主拉应力为 -2.938 8 MPa;而掺入 3.5% MgO 时,全坝最大主拉应力为 -1.084 7 MPa,掺入 5.5% MgO 时,全坝最大主拉应力为 -1.050 1 MPa,可见掺入 MgO 的补偿作用是明显的,大潭拱坝采用外掺 MgO 混凝土快速筑拱坝技术方案是可行的.

b. 外掺 MgO 掺量选择.由表 5 中工况 3,4,5 的计算结果可知,当掺量在 3.5%~5.5% 范围以内时,随着掺量的增加,最大主拉应力从 -1.084 7 MPa 下降到 -1.050 1 MPa、最大主压应力从 3.041 3 MPa 增加到 3.130 1 MPa,主拉应力有一定程度的改善,主压应力略有增加.可见对大潭拱坝工程而言,掺量越大,应力条件越好.

c. 外掺 MgO 掺量分区设计.表 5 中工况 6~11 是各种掺量分区的计算结果,可见不同的掺量分区设计方案之间的应力差别微小,且与不考虑分区的工况之间的应力差别也很微小,总体而言,掺量上大下小的补偿效果较上小下大的略差.

d. 膨胀量敏感性分析.表 5 中工况 12~16 是外掺 MgO 膨胀量敏感性计算结果.计算结果反映的一般规律是在一定范围内膨胀量大,补偿效果好;后期膨胀量大,补偿效果好.但具体到大坝上游面和下游面,其补偿效果的变化规律尚不完全一样:膨胀影响系数从 0.6 逐步加大到 1.6 时,上游面最大主拉应力从 -1.446 0 MPa 下降到 -0.917 4 MPa,最大主压应力从 2.845 4 MPa 上升到 3.541 4 MPa;下游面最大主拉应力先从 -1.073 1 MPa 下降到 -0.955 9 MPa(膨胀影响系数 0.8),而后又上升至 -1.515 1 MPa,最大主压应力先从 2.851 9 MPa 下降到 2.379 8 MPa(膨胀影响系数 1.2),而后又上升至 2.626 0 MPa.由此可见外掺 MgO 可以改善大坝上下游面的应力状况,膨胀量越大,对上游坝面应力状况越有利,而对于下游坝面,则应选取合适的膨胀量,使应力达到最佳值.

3 结 论

a. 根据仿真计算的结果可知,掺入 MgO 后明显减小了上下游面拉应力值及上游面拉应力区的范围,可见外掺 MgO 的补偿作用是明显的,因此采用外掺 MgO 混凝土快速筑拱坝技术是可行的.

b. 由外掺 MgO 混凝土对大坝上游面和下游面的补偿效果变化规律可见,外掺 MgO 可以改善大坝上下游面的应力状况,膨胀量越大,对上游坝面应力状况越有利,而对于下游坝面,则应选取合适的膨胀量,使应力达到最佳值.因此如何兼顾上下游坝面的应力状况,选取合适的掺量,是外掺 MgO 掺量设计的一个主要问题.

c. 不同的掺量分区设计方案之间的应力差别微小,且与不考虑分区的工况之间的应力差别也很微小,总体而言,掺量上大下小的补偿效果较上小下大的略差.但从方便施工的角度考虑,全坝宜采用一个合适均匀的掺量.

参考文献:

- [1] 李承木,杨元慧.氧化镁混凝土自生体积变形的长期观测结果[J].水利学报,1999(3):11~14.
- [2] 李承木.外掺 MgO 混凝土自生体积变形的长期研究[J].四川水力发电,1999(2):68~72.
- [3] 李承木.外掺 MgO 混凝土的基本力学与长期耐久性能[J].水利水电科技进展,2000,20(5):30~35.

(收稿日期:2002-11-16 编辑:熊水斌)