

高“冷热风干”地区 RCC 坝仿真计算及温控防裂措施

李^{1 2} 侍克斌¹ 冯晓辉³

(1. 新疆农业大学水利与土木工程学院 新疆 乌鲁木齐 830052 ;
2. 新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局 新疆 乌鲁木齐 830000 ; 3. 山东大学生命科学学院 山东 济南 250100)

摘要 : 冷热风干 ’恶劣气候条件下 RCC 坝的温控防裂问题十分复杂 ,对某 RCC 坝从施工期到运行期最高挡水坝段坝体温度场和温度徐变应力进行三维有限元仿真计算。计算结果表明 ,采用浇注温度为 16 ℃、一期和二期冷却、全年保温的整体方案 ,除个别部位需进一步采取措施外 ,其他部位均能满足防裂要求。介绍混凝土浇注期间和浇注后期所采用的温控防裂措施 ,认为采取临时和永久保温措施、管道通水冷却、配合比优化和坝体结构优化是进一步防裂的主要手段。

关键词 :RCC 坝 ;温控防裂 ;有限元仿真 ;冷热风干

中图分类号 :TV642.3 ;TV698.2+31 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2008)06-0044-05

Simulation computation and temperature control measures for crack-prevention studies on RCC gravity dam in cold hot windy and dry areas//LI Sheng^{1 2} , SHI Ke-bin¹ , FENG Xiao-hui³(1. College of Hydraulic and Civil Engineering ,Xinjiang Agricultural University , Urumqi 830052 , China ; 2. Xinjiang Irtysh River Basin Development Project Construction Authority , Urumqi 830000 , China ; 3. College of Life Science , Shandong University , Ji 'nan 250100 , China)

Abstract : The temperature control measures for crack prevention in the ' cold hot windy and dry ' climate conditions is a complex problem. In this paper a three-dimensional finite element simulation of temperature field and stress for a dam section of a certain RCC dam with the highest water level during construction and operation is described. The computational results show that the method that adopts 16℃ as the construction temperature , cooling in the first and second stage and heat preservation throughout the whole year can meet the crack-prevention demands with several exceptional positions. The temperature control measures for crack prevention in and after the concrete pouring stage are introduced and the temporary and permanent heat preservation , conduit cooling and optimization of mixture ratio and dam structures are regarded as the main measures for further crack prevention.

Key words : RCC dam ; temperature control for crack prevention ; finite element simulation ; cold hot windy and dry

“ 冷热风干 ”地区 RCC 坝的温控防裂问题是当前国内外温控研究的前沿课题。在“ 冷热风干 ”恶劣气候条件下 ,RCC 坝的温控防裂问题十分复杂 ,国内外尚无成功经验可借鉴。“ 冷 ”是指新疆北部地区冬季气温极低 ,且寒潮频繁 ,多年最低气温为 -49.8 ℃ ,降温幅度 4d 达到 41.4 ℃ ;“ 热 ”是指夏季气温极高 ,且太阳辐射极强 ,多年最高气温达 40.1 ℃ ;“ 风 ”是指风力强劲 ,年平均风速为 1.8 m/s ;“ 干 ”是指空气干燥 ,相对湿度低 ,容易引起混凝土干缩变形 ,年平均降雨量为 183.9 mm ,年平均蒸发量达 1915.1 mm。笔者通过对新疆北疆某供水工程 RCC 坝温度场和温度应力进行仿真分析 ,确定温控标准 ,制定温控防裂综合工艺 ,取得了温控参数等实践数据。

1 大坝仿真边界条件

大坝为 RCC 重力坝 ,最大坝高为 121.5 m ,上游面 672 m 高程以上为垂直面 ,672 m 高程以下坝坡为 1:0.15 ,下游坝坡为 1:0.75 ,坝顶宽 10 m ,坝顶全长 1570 m。主河床最高挡水坝段混凝土升程计划为 :基础垫层混凝土第 3 年 4 ~ 6 月达 624 m ;碾压混凝土第 3 年 5 ~ 10 月达 645 m ,第 4 年 4 ~ 10 月达 699 m ,第 5 年 4 ~ 5 月达 710 m ,第 5 年 6 ~ 9 月达 745.5 m。主河床坝段起止桩号为 0 + 439 ~ 0 + 754 ,共 315 m ,横缝间距为 15 m。

混凝土和基岩的热力学参数见表 1。冷却水管采用高强度聚乙烯管 ,外径 32 mm ,内径 30 mm ,每卷

基金项目 :新疆水利水电工程重点学科基金(xjzdxk-2002-10-05) 新疆高校科研计划重点资助项目(xjEDU2005H109)
作者简介 :李 (1976—)男 ,四川渠县人 ,硕士 ,从事水利水电工程建设管理工作。E-mail :lisheng999@126.com
通讯作者 :侍克斌 (1957—)男 ,甘肃民勤人 ,教授 ,从事坝工设计及施工技术研究。E-mail :xndsg@sina.com

长 200 m ,导热系数为 1.67 kJ/(m·h·℃) ,拉伸屈服应力不小于 20 MPa。保温材料为 XPS 挤塑板 ,导热系数为 0.028 kJ/(m·h·℃)。

混凝土徐变度 C 拟合公式为

$$\alpha(t, \tau) = (A_1 + B_1 \tau^{-C_1}) [1 - e^{-D_1(t-\tau)}] + (A_2 + B_2 \tau^{-C_2}) [1 - e^{-D_2(t-\tau)}] \quad (1)$$

式中 :t 为混凝土加载龄期 ;t - τ 为混凝土持荷时间 ;A₁ ,B₁ ,C₁ ,D₁ ,A₂ ,B₂ ,C₂ ,D₂ 为材料特性参数。

2 三维有限元仿真计算分析

分析原理^[1-3] :在准确边界条件下 ,应用三维有限元程序计算大坝运行期准稳定温度场 ,并以此作为温差计算起点 ,对大坝从施工期到运行期进行仿真模拟分析 ,全面系统地分析温度场及温度徐变应力 ,确定坝体温控标准。计算软件为 ANSYS。

2.1 温控防裂方案设计及温控标准

经过多种方案筛选优化 ,采用浇注温度为 16℃、一期和二期冷却、全年保温的整体方案。强约束区混凝土浇注温度不大于 16℃ ,每年 4~10 月浇注 ,其余为越冬期 ,越冬保温 ,高温期保湿降温 ,低温期散热。永久保温材料为 10 cm 厚 XPS 挤塑板或

聚氨酯喷料。在约束区、坝体度汛缺口部位和高温施工部位埋设冷却水管一期和二期通水冷却。初步确定各月份浇注温度控制标准(表 2) ,典型坝段为主河床最高挡水坝段。

2.2 最高挡水坝段坝体温度场有限元分析

由热传导理论^[4-5] ,准稳定温度场和有热源混凝土坝不稳定温度场 $T(x, y, z, \tau)$ 在区域 R 内分别满足方程(2)和(3)^[3,6-7] :

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{\partial \theta}{\partial \tau} \quad (3)$$

式中 : $\frac{\partial T}{\partial \tau}$ 为温度随时间的变化率 ;a 为导温系数 ;θ 为混凝土绝热温升。

稳定温度场仿真计算成果约为 7℃。非稳定温度场仿真计算成果为 :基础垫层区 T_{max} = 21.0℃ ,出现位置为 y = 94.2 m ,z = 1.2 m ,出现时间为第 105 天 ;强约束区 T_{max} = 32.0℃ ,出现位置为 y = 91.7 m ,z = 5.7 m ,出现时间为第 140 天 ;弱约束区 T_{max} = 33.3℃ ,出现位置为 y = 9.3 m ,z = 37.5 m ,出现时间为第 425 天 ;非约束区 T_{max} = 36.7℃ ,出现位置为 y = 48.6 m ,

表 1 混凝土和基岩热力学参数

混凝土 部位	混凝土 等级	比热容/ ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot$ $^{\circ}\text{C}^{-1}$)	导热 系数/ ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-1}\cdot$ $\text{h}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$)	导温 系数/ ($\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$)	线膨胀 系数/ ($10^{-6}\cdot$ $^{\circ}\text{C}^{-1}$)	最终绝热 温升/ $^{\circ}\text{C}$	密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	抗压弹性		自身体积变形/		抗压强度/		28 d	90 d
								模量/GPa		10^{-6}		MPa		抗拉 强度/ MPa	极限拉伸 强度/ 10^{-4}MPa
								28 d	90 d	28 d	90 d	7 d	28 d		
上游死水位 以下外部	C ₁₈₀ 19 W10F100	0.918	8.23	0.003 7	9.19	22.68	2430	28.1	36.9	- 12.6	- 16.5	14.6	23.3	1.78	0.82
下游水位变动区 以上外部	C ₁₈₀ 19 W6F200	0.902	8.38	0.003 8	9.12	21.90		28.5	37.3	- 12.1	- 17.4	11.3	20.2	1.56	0.83
其余外部	C ₁₈₀ 19 W10F300	0.951	8.49	0.003 8	9.25	22.94	2415	30.6	38.5	- 11.5	- 13.0	16.6	25.8	1.91	0.84
内部 650 m 以上	C ₁₈₀ 14 W4F50	0.897	8.57	0.003 5	9.01	17.42		23.6	34.1	- 21.7	- 19.8	10.8	20.6	1.63	0.75
内部 650 m 以下	C ₁₈₀ 19 W4F50	0.884	8.34	0.003 8	8.96	17.61	2428	24.6	33.6	- 20.4	- 23.2	12.1	19.5	1.50	0.74
基础垫层	C ₂₈ 19 W8F100	0.982	8.59	0.003 9	9.38	33.23		36.9		13.6	27.3	22.5	32.0	2.68	0.84
溢流面下层	C ₂₈ 24 W8F200	0.985	8.63	0.003 6	9.45	33.84		41.0		- 8.9	- 9.2	24.6	33.4	2.76	0.87
溢流面	C ₂₈ 40 W8F300	0.994	8.82	0.003 7	9.58	52.33		45.0		- 7.3	- 8.4	39.8	47.8	3.84	1.15
地基岩			6.87	0.003 9	7.00		2730	15.0							

注 :基岩泊松比 μ 为 0.23。

表 2 浇注温度控制标准

月份	多年各月极端最高气温/℃	多年各月极端最低气温/℃	温控标准		
			强约束区 ▽624~▽645 m	弱约束区 ▽645~▽665 m	非约束区 ▽665 m 以上
4	31.0	-17.7	自然入仓	自然入仓	自然入仓
5	34.7	-5.9	≤16℃	≤16℃(下旬), 自然入仓(上旬、中旬)	自然入仓
6	39.2	-0.3	≤16℃	≤16℃	≤18℃
7	42.2	4.7	≤16℃	≤16℃	≤18℃
8	38.7	0.6	≤16℃	≤16℃	≤18℃
9	35.2	-6.0	≤16℃(上旬、中旬), 自然入仓(下旬)	≤16℃(上旬), 自然入仓(中旬、下旬)	自然入仓
10	28.4	-19.3	自然入仓	自然入仓	自然入仓

$z = 61.5 \text{ m}$ 出现时间为第 525 天。最高挡水坝段中横剖面施工期末第 904 天温度等值线见图 1。

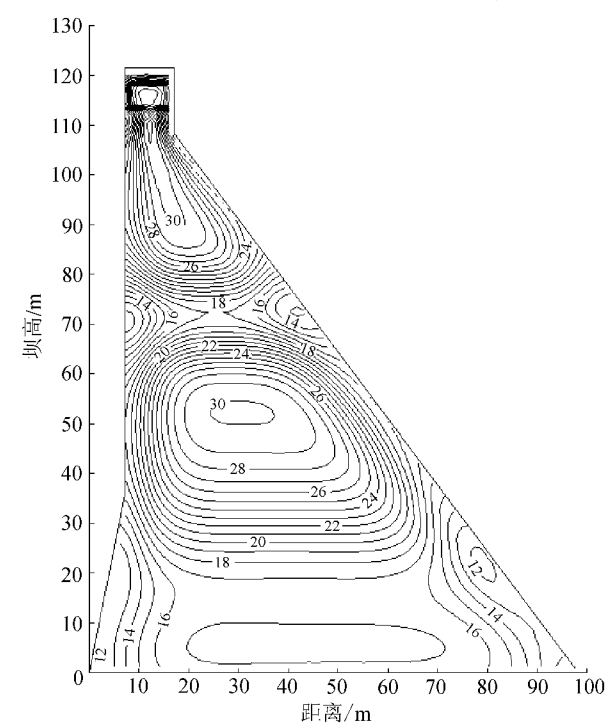


图 1 最高挡水坝段中横剖面施工期末第 904 天温度等值线 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

对非稳定温度场计算成果分析得知:基础垫层区计算最大温度为 21.0°C , 小于允许最高温度 23°C (基础容许温差 16°C + 稳定温度 7°C), 满足规范要求。强约束区和弱约束区基础容许温差分别为 12°C 和 14.5°C , 计算得出允许最高温度分别为 19°C 和 21.5°C , 均小于计算最大温度 32.0°C 和 33.3°C 。但在坝体计算温度场中, 最大温度仅出现在外部混凝土的局部区域, 该局部区域温度超出允许最高温度, 而其他区域则稍微超过或未超过允许最高温度, 基本满足规范要求。非约束区域温度较高。

2.3 最高挡水坝段坝体温度徐变应力有限元分析

根据虚功原理, 混凝土结构在热、力作用下单元温度徐变应力矩阵方程为^[3 6-7]

$$K_{ne} \Delta \delta_{ne} = \Delta P_{ne}^s + \Delta P_{ne}^c + \Delta P_{ne}^T + \Delta P_{ne}^o + \Delta P_{ne} \quad (4)$$

式中: K_{ne} 为单元刚度矩阵; $\Delta \delta_{ne}$ 为单元结点位移增量向量; ΔP_{ne}^s 为瞬态徐变等效荷载; ΔP_{ne}^c 为 n 时段基本徐变增量等效荷载; ΔP_{ne}^T 为单元温差变形增量等效荷载; ΔP_{ne}^o 为自生体积变形增量等效荷载; ΔP_{ne} 为 n 时段单元结点力增量。

2.3.1 温度徐变应力仿真计算成果

施工期最大温度应力: $\sigma_{x\max} = 1.2 \text{ MPa}$, 出现位置在 $x = 7.5 \text{ m}$, $y = 28.7 \text{ m}$, $z = 75 \text{ m}$ 处, 出现时间为第 664 天; $\sigma_{y\max} = 2.4 \text{ MPa}$, 出现位置在 $x = 7.5 \text{ m}$,

$y = 43.9 \text{ m}$, $z = 21 \text{ m}$ 处, 出现时间为第 326 天; $\sigma_{z\max} = 3.6 \text{ MPa}$, 出现位置在 $x = 0 \text{ m}$, $y = 0.24 \text{ m}$, $z = 1.2 \text{ m}$ 处, 出现时间为第 362 天。最大综合应力: $\sigma_{x\max} = 1.2 \text{ MPa}$, 出现位置在 $x = 7.5 \text{ m}$, $y = 28.7 \text{ m}$, $z = 75 \text{ m}$ 处, 出现时间为第 664 天; $\sigma_{y\max} = 2.3 \text{ MPa}$, 出现位置在 $x = 7.5 \text{ m}$, $y = 43.9 \text{ m}$, $z = 21 \text{ m}$ 处, 出现时间为第 362 天; $\sigma_{z\max} = 3.01 \text{ MPa}$, 出现位置在 $x = 0 \text{ m}$, $y = 0.24 \text{ m}$, $z = 1.2 \text{ m}$ 处, 出现时间为第 514 天。

运行期最大温度应力: $\sigma_{x\max} = 2.1 \text{ MPa}$, 出现位置在 $x = 7.5 \text{ m}$, $y = 12.2 \text{ m}$, $z = 121.5 \text{ m}$ 处, 出现时间为第 2362 天; $\sigma_{y\max} = 2.0 \text{ MPa}$, 出现位置在 $x = 7.5 \text{ m}$, $y = 88.05 \text{ m}$, $z = 4.2 \text{ m}$ 处, 出现时间为第 2542 天; $\sigma_{z\max} = 3.5 \text{ MPa}$, 出现位置在 $x = 0 \text{ m}$, $y = 97.4 \text{ m}$, $z = 1.2 \text{ m}$ 处, 出现时间为第 2542 天。最大综合应力: $\sigma_{x\max} = 2.1 \text{ MPa}$, 出现位置在 $x = 7.5 \text{ m}$, $y = 12.2 \text{ m}$, $z = 121.5 \text{ m}$ 处, 出现时间为第 2362 天; $\sigma_{y\max} = 2.2 \text{ MPa}$, 出现位置在 $x = 0 \text{ m}$, $y = 97.4 \text{ m}$, $z = 1.2 \text{ m}$ 处, 出现时间为第 2542 天; $\sigma_{z\max} = 3.7 \text{ MPa}$, 出现位置在 $x = 0 \text{ m}$, $y = 97.4 \text{ m}$, $z = 1.2 \text{ m}$ 处, 出现时间为第 2542 天。

最高挡水坝段中横剖面温度应力包络线见图 2。

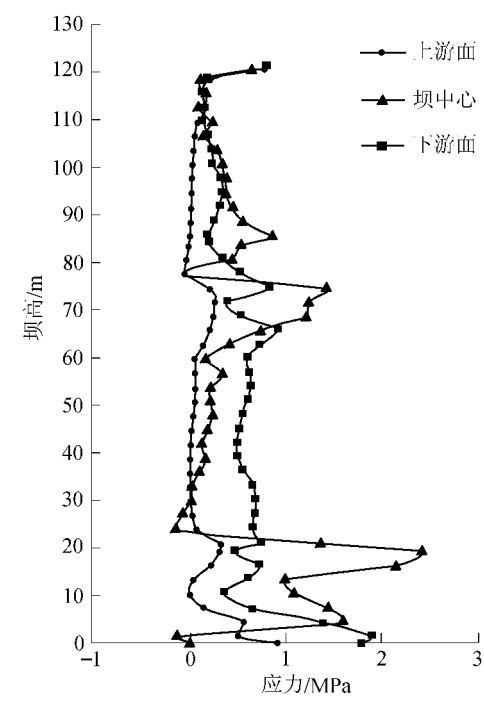


图 2 最高挡水坝段中横剖面典型点 $\sigma_{y\max}$ 包络线

2.3.2 温度徐变应力成果分析

经仿真计算, 采取综合温控措施后可有效地减小温度应力, 河床坝段坝体应力大部分区域可控制在允许应力范围内。但坝体的个别点(基础常态混凝土垫层、越冬层面及坝踵、坝趾部位), 坝体表面、结构变化部位的拉应力较大, 超出允许应力范围。建议在这些局部区域采取如预冷混凝土骨料、对碾压混凝土仓面喷雾及薄层浇注等其他多种温控措施。

3 高温季节温控防裂综合工艺

新疆北疆供水工程坝址碾压混凝土仓气温最高 38℃,最低 22℃。经仿真分析,采用浇注温度为 16℃、一期和二期冷却、全年保温的整体方案后,除个别部位需进一步采取温控措施外,其他部位基本满足抗裂要求。温控混凝土参数平均值统计见表 3,温度倒灌曲线见图 3。

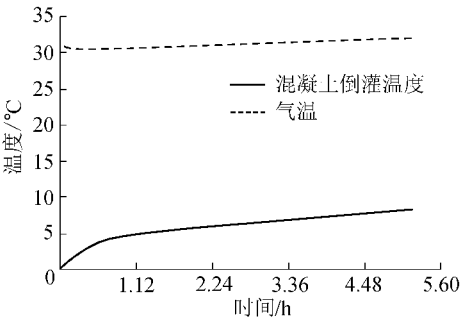


图 3 碾压混凝土施工温度倒灌曲线

3.1 浇注及浇注前期温控措施

3.1.1 优化配合比

在满足混凝土强度的前提下,选用高效缓凝减水剂、粉煤灰、石粉掺和料,以减少单位体积水泥用量,降低水化热。选用比表面积为 288 m²/kg 的粗颗粒水泥,以降低绝热温升。碾压混凝土典型配合比为:水 90 kg/m³,水泥 65 kg/m³,粉煤灰 105 kg/m³,石粉 64 kg/m³,砂 577 kg/m³,小石 449 kg/m³,中石 599 kg/m³,大石 449 kg/m³,减水剂 1.528 kg/m³,引气剂 0.102 kg/m³,含气量为 3.5%。混凝土的强度等级为 C₁₈₀19W4F50。

3.1.2 拌和过程中的温控措施

拌和水降温:修建蓄水池存储拌和水,上面搭凉棚,在高温季节采取制冷措施。骨料降温:要求堆料高度大于 8~10 m。建立制冷厂,在储料仓内采用一次和二次风冷粗骨料。设备降温:在水泥、粉煤灰储罐表面涂上白漆;风冷料仓外壁贴 5 cm 厚聚苯乙烯板;皮带机廊道铺设 5 cm 厚彩钢板;拌和楼料仓外壁贴 10 cm 厚聚苯乙烯板;冷风机、氨回气管、低压循环贮液器、冷水池、冷冻水管用 3 cm 厚橡塑泡沫材料包 3 层;各料仓进口装自动启闭盖板。

出机口混凝土平均温度为 12.4℃,砂、水泥、粉煤灰、石粉、外加剂等未制冷,见表 3。混凝土出机口温度每降低 1℃需将水泥温度降低 8℃或水温降低 4℃或骨料温度降低 1.67℃。

3.1.3 运输过程中的温控措施

在混凝土运输过程中用帆布盖住自卸汽车,并减少运转次数。加强混凝土运输施工组织与管理,提高混凝土入仓速度。该工程混凝土运距 1.5 km,平均单趟用时 10 min,温度倒灌 1.4℃(图 3)。

3.1.4 浇注过程中的温控措施

合理组织施工,尽量利用早晚和夜间浇注混凝土。及时摊铺、碾压、保温,缩短混凝土暴露时间,保证从出料到碾压完毕间隔小于 2 h,尽量缩短层间结合时间。布置高压喷雾管,形成低温雾气,改变仓内小环境,增大湿度,减少 VC 值损失。如果仓面发白,可在振动碾运行中补水。在仓内配备彩条布,在阳光直射或刮风时,混凝土随摊铺随碾压随用彩条布覆盖。大仓面采用斜层碾压,添加 0.3% 的缓凝剂以延长初凝时间。

该工程混凝土平均浇注温度为 16.05℃,见表 3。从入仓到浇注、从浇注到摊铺下一层分别需要 42 min 和 278 min,温度倒灌分别为 3℃和 3.9℃(图 3)。高温季节碾压混凝土从出机到碾压到第二层覆盖温度升高了 3~8.3℃,在高蒸发、高辐射地区浇注混凝土热量倒灌强烈。

3.2 浇注后期温控防裂措施

3.2.1 坝体内部通水冷却(温升控制措施)

管道通水:用裂隙水进行一期冷却,在约束区、坝体度汛缺口部位和 5~9 月高温施工部位埋设冷却水管,水管垂直和水平间距均为 1.5 m,水温 10℃,浇注 60 cm 后通水,常态混凝土冷却 28 d,碾压混凝土冷却 21 d。第 2 年 4 月 1 日开始对已浇注坝体混凝土进行二期冷却,通 10℃水冷却 45 d,每个冷却区长 18 m,过渡区长 6 m,依次上升到▽685.5 m 结束。

3.2.2 隔热保温保湿措施

高温期间浇注混凝土,表面临时保温隔热材料选用 2 cm 厚泡沫塑料保温被。双层编织布夹 1~2 cm 厚有韧性、可收卷、导热系数不大于

表 3 温控混凝土参数平均值统计

检测项目	常温骨料温度/℃			一级风冷温度/℃			二级风冷温度/℃			砂温度/℃	水泥温度/℃	粉煤灰温度/℃	石粉温度/℃	水温度/℃
	大石	中石	小石	大石	中石	小石	大石	中石	小石					
日平均值	19.9	19.5	19.5	11.3	10.3	9.5	2.4	2.8	3.7	20.7	26.5	21.3	14.3	1.9
检测项目	气温/℃				湿度/%		VC值/s		含气量/%		密度/(kg·m ⁻³)			
	机口温度/℃	入仓温度/℃	浇注温度/℃	层末温度/℃	机口	仓面	机口	仓面	机口	仓面	机口	仓面	机口	仓面
10:00~22:00平均值	12.8	14.0	17.7	24.2	33.6	32.1	31.5	37.1	5.1	2.1	4.1	4.0	2372.0	2406.4
22:00~10:00平均值	12.0	13.4	14.4	17.7	24.1	23.6	44.8	58.2	3.5	2.4	4.2	3.7	2408.2	2412.8

0.15 kJ/(m·h·℃)的泡沫塑料。

根据有限元仿真分析,上下游坝面未出基坑部分贴5 cm厚XPS挤塑板,回填泥渣;已出基坑部分贴10 cm厚导热系数为2.02 kJ/(m·h·℃)的XPS挤塑板,边角喷聚氨酯,永久保温。度汛缺口部位临时保温材料选用聚氨酯硬质泡沫。

3.2.3 养护措施

混凝土收仓后覆盖保温被,初凝后用喷头自动喷淋和人工洒水,保湿养护不少于28 d,削减水化热温升。高温季节喷淋效果:保温被上比保温被下高12~29℃。

3.2.4 越冬层面

冬季停工,越冬层面覆盖3层棉被、1层聚乙烯膜,用砂袋压实。冬季混凝土内部温度达34℃以上,外部气温达-49.8℃,在过冬保温前,通河水中期冷却使坝体降温,以减少混凝土内外温差。

3.3 坝体结构优化措施

坝体结构优化:采用较小横缝间距,以减小基础对坝体的约束。主河床坝段横缝间距15 m,岸坡坝段横缝间距20 m。应力集中部位设诱导缝。

垫层结构优化:基于坝体基础常态混凝土垫层因长间歇而出现较大的拉应力,因此将常态混凝土垫层分横缝和纵缝,以减小基岩对混凝土垫层的约束,从而降低常态混凝土垫层的拉应力值。

3.4 其他温控防裂措施

孔洞部位:在秋冬低温季节、气温骤降和寒潮时,封闭廊道、中孔和底孔等部位,或采取加热措施,以防冷风贯通产生混凝土表面裂缝。牛腿处应加强温控和配筋。

模板拆除:拆除时间根据混凝土强度和内外温差而定,避免在夜间或气温骤降时拆模。低温季节拆模,如拆模后混凝土表面降温超过6℃应推迟拆模,或立即采取表面保温措施。

4 结 论

a. RCC坝产生裂缝的最主要原因是温度应力。

影响RCC坝温度应力的主要因素是坝体内外温差和基础温差。其中,影响坝体最高温度的4个要素是浇注温度、仓面温度倒灌、混凝土绝热温升、升层速度。采取制冷、保温措施可降低浇注温度,快速施工、降温保湿可减少温度倒灌,减少单位体积水泥用量可降低绝热温升,合理升层可避免温度应力集中。

b. 大坝三维有限元仿真分析与监测数据库反演分析相结合,可为施工提供有效的指导。

c. 采用临时和永久保温措施、管道通水冷却、配合比优化和坝体结构优化是进一步防裂的主要手段。

d. 在炎热、多风和干燥条件下施工要保证层间结合良好。加强牛腿、孔洞部位的温控与配筋。高“冷热风干”地区仓面补水是保证VC值的有效途径,它不影响混凝土强度和配合比。

e. 笔者认为,可通过进一步增加粉煤灰、石粉、矿渣粉等掺和料用量,减少单位体积水泥用量,降低绝热温升。

f. 进一步减缓重力坝下游面坡度,进行结构分缝,研究新材料性能,是未来RCC坝温控发展的主要方向。

参考文献:

[1] 潘家铮,郭之章.水工建筑物的温度控制[M].北京:水利电力出版社,1990.
[2] 孙恭尧,王三一,冯树荣.高碾压混凝土重力坝[M].北京:中国电力出版社,2004:308-340.
[3] 朱伯芳.大体积混凝土温度应力与温度控制[M].北京:中国电力出版社,1999:8-577.
[4] 张洪济.热传导[M].北京:高等教育出版社,1992.
[5] 奥齐西克 M N.热传导[M].俞吕铭,译.北京:高等教育出版社,1983.
[6] 库克 R.有限元分析的基本概念和应用[M].北京:科学出版社,1989.
[7] 王勋成,邵敏.有限单元法基本原理和数值方法[M].2版.北京:清华大学出版社,1997.

(收稿日期:2008-02-11 编辑:骆超)

· 简讯 ·

中国法学会环境资源法学研究会 2008 年会在河海大学召开

2008年10月17~19日,中国法学会环境资源法学研究会2008年会在河海大学召开。本次会议旨在全面贯彻落实科学发展观,促进我国水资源可持续利用与水生态环境保护的法制建设,构建环境友好型、资源节约型社会,维护生态安全,实现社会和谐。会议主题是“水资源可持续利用与水生态环境保护的法律问题研究”。会议由中国法学会环境资源法学研究会与中华人民共和国水利部联合举办,由河海大学与江苏省水利厅承办。来自从事水利及环境资源管理、环境资源法制工作和高等院校从事环境资源法学研究工作的260余位专家学者参加了本次会议。

(本刊编辑部供稿)