

藏木水电站导流明渠温度控制防裂措施

黄永贵

(中国人民武装警察部队水电第三总队,四川成都 610036)

摘要:重点介绍了藏木水电站导流明渠工程施工期温度控制标准,通过对温度应力有限元仿真计算结果进行分析,制定出施工过程中需要采取的几项防裂措施并予以实施,效果较好。

关键词:混凝土;温控;防裂;藏木水电站;措施

中图分类号:TV7;S624.4⁺4;TV431

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2012)02-0192-03

1 概述

藏木水电站是雅鲁藏布江干流中游桑日至加查峡谷段规划5级电站中的第4级,上游衔接街需电站,下游为加查电站,采用混凝土重力坝坝型。正常蓄水位高程3310 m,坝顶高程3314 m,最大坝高116 m,最大底宽95.1 m。

藏木水电站位于高原温带季风半湿润气候地区。加查气象站(测站高程3260 m)位于电站坝址下游约15 km处,保存有自1978年至今的实测降水、气温、蒸发、湿度等资料。根据对1978~2004年实测资料进行统计,多年平均气温为9.2℃,极端最高气温和极端最低气温分别为32℃、-16.6℃;多年平均降水量为540.5 mm,历年一日最大降水量为51.3 mm;多年平均相对湿度为51%,历年最小相对湿度为零;多年平均风速为1.6 m/s,多年最大风速为19 m/s,相应风向SE;多年平均蒸发量为2075.2 mm。

藏木水电站导流明渠布置在河床左岸,是电站施工期导流的主要泄水建筑物,采用全断面混凝土结构,明渠轴线的长773.5 m,包括进口段、与泄洪坝段结合段、消力池段及出口段;进口高程3248 m,出口高程3243 m,渠底宽35 m,渠身采用矩形断面(图1)。明渠右岸墙最大底宽8 m,最大墙高45 m,建基面高程3220~3239.97 m。导流明渠混凝土的一部分属于大体积混凝土,一部分属于准大体积混凝土,结构形式复杂,且存在有渠坝结合、新老结合、长时间间歇、渠内外温差大等不利因素。

导流明渠施工期从2009年9月~第三年10

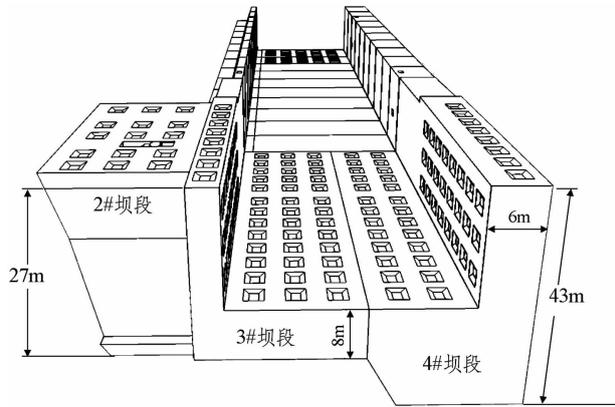


图1 导流明渠坝0-010~坝0+225.5段示意图

月,明渠混凝土浇筑时间为第二年11月~第三年10月,工期12个月;自第三年11月河道截流至第六年11月明渠封堵,导流明渠泄水期历时36个月;第七年12月进行明渠内两孔溢流坝段施工。

2 混凝土温度控制标准

混凝土温度控制标准由混凝土升程计划、边界条件及混凝土自身热学性能计算出水化热温升,根据重力坝设计规范选定允许基础温差,进而确定出各部位混凝土最大允许温度(表1)。

低温季节(11月~次年3月上旬)浇筑混凝土,采用模板内衬保温材料,以保证混凝土表面放热系数 $\beta \leq \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$ 。气温骤降来临前,对龄期未满28 d的混凝土采用 $\beta \leq 10.8 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$ 的保温材料进行全面防护,并对棱角部位采取加强措施;鉴于3月中下旬、4月和10月日温差大,混凝土浇筑过程中采用 $\beta \leq 10.8 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$ 的保温材料进行保护。明渠使用过

表 1 允许最大温度

单位:℃

温度分区	混凝土分区	月 份		
		5~9	3月中下旬,4~10	11~2,3月中旬
强约束区	底板及齿槽	28	28(表面保护后)	≤28(保温后)
弱约束区	左边墙(距底板8m范围)	28	28(表面保护后)	≤28(保温后)
自由区	左边墙(距底板8m范围外)	32	30(表面保护后)	≤30(保温后)

程中,对于明渠右边墙外侧面需采取混凝土表面放热系数 $\beta \leq 6.3 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$ 的保温措施。

3 温度应力仿真计算

3.1 计算的基本条件

根据温度控制边界条件研究成果、运行方式和材料试验成果,采用三维有限元深入分析计算了明渠及明渠坝段稳定(准稳定)温度场及温度徐变应力。大坝结合段总长 83 m,左边墙宽 4.5 m,高 20.5 m,右边墙宽 6 m,高 20.5 m,底板宽 35 m,最厚处为 26.5 m;2#坝段一期混凝土底宽 12

m,顶宽 20.7 m,高 29 m;基岩宽度方向延伸 30 m,深度方向延伸 30 m。在建立计算模型过程中选用空间六面体八节点进行等参元剖分,浇筑块连同地基划分为 116 118 个单元,共 126 854 个节点。基岩上下游和左右岸方向按绝热处理,导流明渠在分缝处上下游和左右岸方向边界条件为绝热;基岩底面加全约束,基岩其余四面加垂直约束,导流明渠混凝土在分缝处为自由面。计算模型见图 2、3。

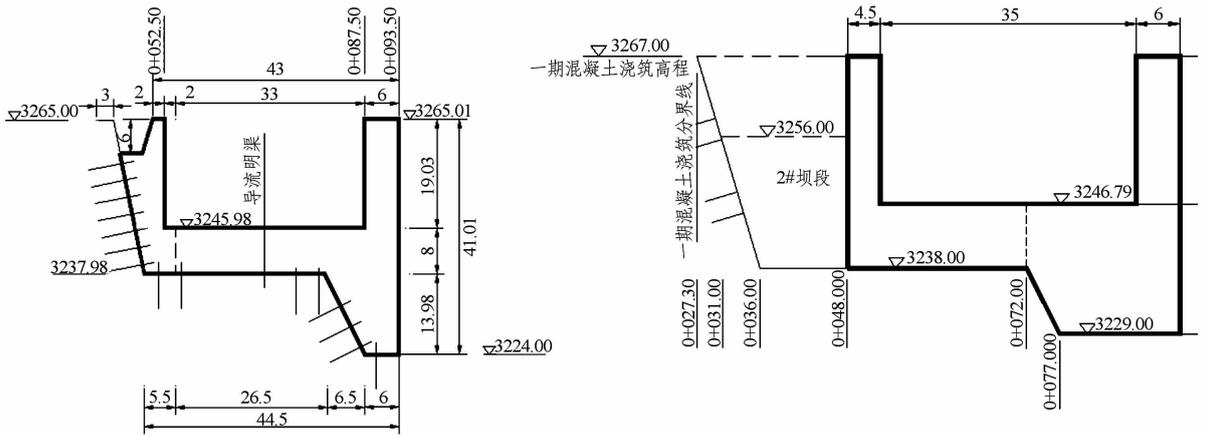


图 2 导流明渠结合段、消力池段断面尺寸示意图

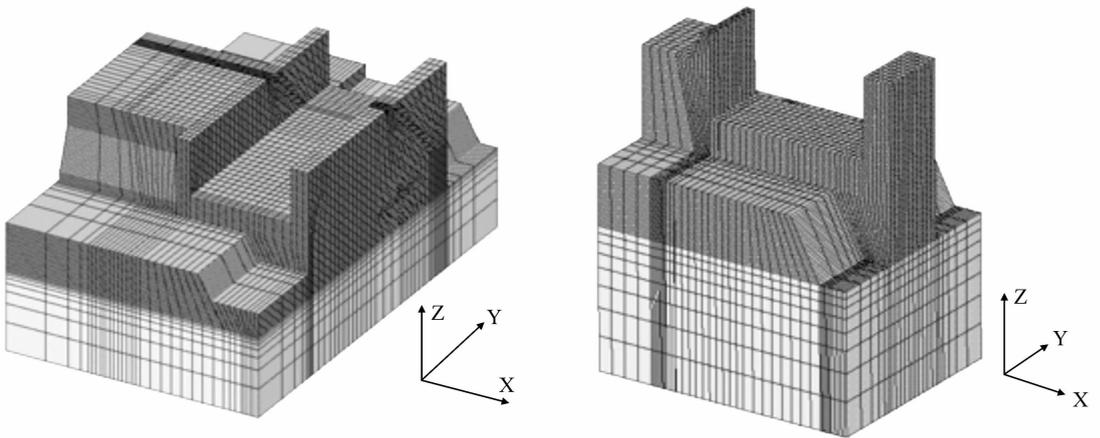


图 3 导流明渠结合段、消力池计算模型示意图

3.2 计算结果

导流明渠结合段的混凝土浇筑块体长度大于

40 m,根据重力坝设计规范,其基础容许温差为 $14\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。结合设计浇筑温度及保温情况下明渠结合段和消力池典型断面特征点应力计算结果,确定导流明渠混凝土强约束区和弱约束区的容许基础温差为 $16\text{ }^{\circ}\text{C}$,自由区的容许基础温差为 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4 敏感性分析

4.1 对气温、日照等因素进行分析

考虑到西藏温差变化大的特点,由气温(日照、寒潮等)引起的温度应力通过计算得知,在施工期,若寒潮袭击来临时,如果及时采取保温措施进行保护(混凝土表面放热系数为 $209\text{ kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot^{\circ}\text{C})$),则日温变幅对混凝土的温度几乎没有影响,从而表明混凝土的温度几乎不受寒潮袭击的影响。在高温季节,考虑到导流明渠混凝土右边墙内侧是河水,其外侧暴露在空气中,由于水温受早晚天气的影响很小,气温昼夜温差大,且存在太阳辐射的影响,从而在右边墙混凝土的内外形成较大温差,故在分析时考虑对右边墙外侧添加 2 cm 厚的聚氨脂喷涂泡沫进行保护(此时混凝土表面的放热系数为 $140\text{ kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot^{\circ}\text{C})$)。聚氨脂喷涂泡沫无毒、无污染、自重轻、强度高、导热系数低,使用寿命长,与混凝土有良好的粘接能力。在对右边墙暴露在空气中的外壁添加 2 cm 厚的泡沫塑料板进行保护后,可以使混凝土表面温度降低,其最高温度为 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$,内外温差引起的应力也降至 0.75 MPa ,对改善右边墙混凝土的应力有一定成效。

4.2 控制措施敏感性分析

4.2.1 混凝土浇筑层厚敏感性分析

通过分析混凝土浇筑厚度对混凝土温度的影响得知,在高温季节浇筑时, 1.5 m 和 2 m 的浇筑厚度对导流明渠左边墙和明渠底板的区别较小, 3 m 的浇筑厚度时混凝土最高温度波动较大,薄层浇筑情况下底板下部最高温度小,上部温度相反却较大。常温季节浇筑时,浇筑厚度对导流明渠左边墙的影响与高温季节浇筑时情况相似。低温季节浇筑时, 1.5 m 的浇筑厚度下最高温度最小, 3 m 浇筑厚度下的最高温度包络线波动较大。

由此可见,导流明渠为全断面混凝土,浇筑时散热条件受季节的影响较大。 3 m 浇筑厚度下,浇筑层的内外温差较大;而 1.5 m 和 2 m 的浇筑

厚度下混凝土的温度差异很小。因此,导流明渠混凝土浇筑宜采用 2 m 的厚度。

4.2.2 浇筑温度敏感性分析

通过分析得知,控制浇筑温度可以有效改善混凝土的温度场,浇筑温度能够降低 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$,可以使导流明渠左边墙混凝土最高温度降低 $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4.2.3 冷却降温敏感性分析

施加冷却水是施工中常用的一种方法,能有效地降低混凝土的最高温度,通过模拟计算及对照经验数据得知,冷却水管采用聚乙烯水管,外半径为 1.6 cm ,内半径为 1.4 cm ,导热系数 $\lambda = 1.66\text{ kJ}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C})$,冷却水比热 $c = 4.187\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$,采用 $1.5\text{ m}\times 1.5\text{ m}$ 布置冷却水管,通水历时 14 d ,可以使混凝土温度降低 $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

5 低温季节温控措施研究

大体积混凝土虽然表面温度很低,内部温度却因水化热而急剧上升。为了减小内外温差和基础温差,浇筑温度越低越有利,但最好不超过 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因此,大体积混凝土低温季节施工的浇筑温度一般以 $5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为宜。

同时,在低温季节施工时,内贴一层土工膜和 3 cm 厚的泡沫保温板,且混凝土表面等效放热系数为 $151\text{ kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot^{\circ}\text{C})$,可以使混凝土浇筑完毕后强度能得到充分发展。

6 工程施工中实施的温控与防裂措施

依据以上研究数据并参考西藏其他地区混凝土温控措施,藏木水电站导流明渠可以通过采用控制浇筑层厚、浇筑温度、冷却通水等方法有效降低混凝土开裂风险。

(1) 混凝土浇筑过程的温度控制。

浇筑温度对导流明渠混凝土最高温度的降温效果为 60% 左右,严格控制出机口温度及混凝土入模温度,能有效控制混凝土温升。施工过程中,采用拌和楼拌制预冷、预热混凝土并严格控制出机口温度,通过在运输设备上加盖保温材料以减小混凝土温度变化。在 $5\sim 8$ 月的高温季节,确保将浇筑温度控制在 $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,对混凝土内部通 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷却水,通水时间不少于 14 d ;11月~次年1月,浇筑温度不低于 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$,并对混凝土表面粘贴聚氨脂喷涂泡沫板保温;3月、4月、10月的常温季节,混凝土自然入仓,使用 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷却水(1.5 m

(下转第197页)

表 2 粉煤灰品质检验结果表

粉煤灰品种	密度 /g · cm ⁻³	细度 /%	烧失量 /%	需水量比 /%	含水量 /%	SO ₃ /%
A 品牌粉煤灰	2.4	8.4	4.8	95	0.24	1.21
B 品牌粉煤灰	2.42	8.9	3.2	94.6	0.17	1.76
DL/T5055-2007	/	≤12	≤5	≤95	≤1	≤3

表 3 两种粉煤灰不同掺量下混凝土抗压强度试验成果表

粉煤灰掺量 /%	A 粉煤灰(抗压强度 MPa)			B 粉煤灰(抗压强度 MPa)		
	7 d	28 d	90 d	7 d	28 d	90 d
0	16.3	23.8	25.4	16.3	23.8	25.4
30	14.1	22.6	28	12.5	20.3	23.5
40	13.3	21.4	29.4	11.6	19.4	25.9
50	12.7	20.6	30.2	10.7	18.5	26.3
60	11.6	19.8	32.6	8.8	17.6	27.2

表 4 I 级粉煤灰掺量与混凝土用水量关系表

粉煤灰掺量 /%	基准混凝土(W/C=0.50)				JM200 掺量 /‰
	A 粉煤灰		B 粉煤灰		
	/kg · m ⁻³	减水率 /%	/kg · m ⁻³	减水率 /%	
0	120	0	120	0	
10	114	5.0	116	3.3	
20	108	10.0	110	8.3	
30	103	14.2	104	13.3	0.06
40	98	18.3	101	15.8	
50	97	19.2	99	17.5	
60	95	20.8	97	19.2	

煤灰检测规程,增加玻璃微珠检测项目,杜绝磨细粉煤灰冒充 I 级粉煤灰的现象。

作者简介:

曹 钺(1976-),男,陕西宝鸡人,十一支队总工程师,工程师,学

(上接第 194 页)

×1.5 m 水管布置)通水 14 d,表面采用聚氨脂喷涂泡沫板粘贴。

混凝土浇筑过程中,对于整个导流明渠,不论是结合段,还是消力池段的混凝土,在各个浇筑季节,浇筑厚度对混凝土的影响较小。采用 2 m 厚度施工、在施工过程中采用薄层浇筑并适当延长层间间隔时间,可以降低水化温升。

(2)流水养生。

新浇筑混凝土达到终凝后,抽取雅鲁藏布江河水对整个仓面进行表层流水养生,该方法可有效削减水化热温升,降低明渠内部混凝土温度。在实施过程中,可以在混凝土表面设置钻有小孔的 φ7.62 cm 的 PVC 管,持续养生 14 d。

(3)模板拆除。

为了防止混凝土在拆模时边角破损,可以尽

量延长拆模时间至一周左右。
柴景波(1983-),男,河南长葛人,十支队实验室副主任,助理工程师,学士,从事试验检测工作。

(责任编辑:李燕辉)

量延长拆模时间至一周左右。

7 结 语

藏木水电站位于我国西南高海拔严寒地区,明渠混凝土做为大坝的一部分,温度控制与防裂是工程施工过程中的重要课题。通过进行温度应力有限元仿真计算并结合施工经验参数可知:明渠混凝土浇筑过程和养护期间,在多个部位出现温度引起的较大拉应力,极易产生温度裂缝。通过混凝土拌制、浇筑和养护期在现有施工条件下的降温、保温、材料、结构等一系列保温措施的落实,可以有效防止混凝土表面开裂,确保高原混凝土施工质量。

作者简介:

黄永贵(1967-),男,四川简阳人,十一支队支队长,高级工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)