

严寒干旱地区 RCC 重力坝的保温防裂措施

牛万吉¹,王建平²,罗清萍²,张 康¹

(1.新疆水利水电勘测设计研究院 新疆 乌鲁木齐 830000 ;
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)

摘要 :针对某严寒干旱地区 RCC 重力坝所在地“冷、热、风、干”的气候特点 ,分析了温度裂缝产生的原因 ,并主要从加强混凝土的表面保温着手 ,结合工程实际 ,利用有限元法进行坝体表面温度和温度应力的仿真分析。研究表明 :表面保温是防止混凝土产生裂缝的有效措施之一 ,根据现场施工条件 ,采取对已浇筑的坝体表面粘贴 5 cm 厚 XPS 板并回填土进行保温的综合表面保温措施。

关键词 :RCC 重力坝 ;温度裂缝 ;温控防裂 ;混凝土表面保温

中图分类号 :TV642.3 ;TV698.2+31 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2009)01-0044-03

Research on the heat preservation and crack-prevention measures for RCC gravity dam in severely cold and dry area//
NIU Wan-ji¹ , WANG Jian-ping² , LUO Qing-ping² , ZHANG Kang¹(1. Xinjiang Survey and Design Institute for Water Resources and Hydropower , Urumqi 830000 , China ; 2. Xinjiang Administration Bureau for Ertix River Basin Development and Water Project Construction , Urumqi 830000 , China)

Abstract : The reason for the temperature crack of the RCC gravity dam sited in a high cold area with a cold , hot , windy and dry climate is analyzed in this study . Combined with practical engineering , a finite element simulation analysis of surface temperature and temperature stress of the RCC dam with strengthening surface heat preservation is made . The results show that the surface thermal isolation can be considered as one of the best methods of concrete cracks prevention . According to on-site construction condition , the poured dam body is plastered with 5 centimeter-thick XPS boards and backfilled with soil on the surface to achieve comprehensive surface thermal isolation .

Key words : RCC gravity dam ; temperature crack ; temperature control ; surface heat preservation of concrete

1 工程区气候特征

某工程主坝全断面采用 RCC 重力坝 ,最大坝高 121.50 m ,坝长 1 490 m ,坝体混凝土总浇筑方量 260 万 m³ ,其中碾压混凝土 235 万 m³。防渗保温面积上游面 8.5 万 m² ,下游面 10.0 万 m²。坝身上布置 4 个表孔、1 个中孔和 1 个底孔。

该工程所在地区气候条件恶劣 ,主要表现为“冷、热、风、干”四大特点。“冷”是指冬季气温低 ,且寒潮频繁 ,降温幅度大 ,持续时间长 ,自 11 月至翌年 4 月上旬为冬季低温期 ,极端最低气温为 - 49.8℃ ;“热”是指夏季气温高 ,太阳辐射强 ,持续高温期集中在 6~8 月 ,极端最高气温为 40.1℃ ;“风”是指该地区风力强劲 ,年平均大风日数为 33 d ,春夏季(4~8 月)大风日数为 3~6 d ,以春季 5 月平均风速最大 ,为 3.3 m/s ,多年平均风速为 1.8 m/s ,最大风速为 25 m/s ;“干”是指该地区空气干燥 ,相对湿度低 ,多年平均相对湿度为 60% ,4~9 月平均相对湿度低于

50% ,容易引起混凝土干缩变形 ,温控防裂面临极大的挑战。因此 ,加强施工期混凝土温度控制(包括控制浇筑温度、控制混凝土最高温度、埋设冷却水管、加强表面保温等) ,对防止坝体产生裂缝、保证工程安全运行有非常重要的作用。

2 RCC 重力坝产生温度裂缝的原因

严寒地区 RCC 重力坝产生温度裂缝的原因是混凝土的温度变形受到了约束^[1]。一种情况是混凝土浇筑在较坚硬的基岩或老混凝土上 ,初期混凝土升温膨胀 ,受岩石或老混凝土的约束 ,混凝土内部产生较小的压应力 ,后期温降压应力抵消 ,温度继续下降 ,混凝土收缩 ,受基岩或老混凝土的约束 ,混凝土内部将产生较大的拉应力。这种情况一般只要采取适当措施就可以防止混凝土开裂。但要注意若基础混凝土在早期遇到气温骤降就会产生表面裂缝 ,在后期混凝土降温过程中混凝土内部的拉应力会使表面裂缝向纵深发展 ,形成破坏大坝整体性的贯穿裂缝。

另一种情况是在混凝土浇筑初期(一般在龄期 6~20 d 以内),当暴露的坝体遇到外界气温骤降,内部混凝土仍具有较高温度,内部热胀的混凝土约束了表层骤冷混凝土的自由收缩变形,因历时短,加荷速度快,混凝土的徐变性能发挥不充分,约束接近于 100%,当拉应力超过其极限抗拉强度时,就会出现表面裂缝。当表面裂缝形成以后坝体仍然长期暴露,如混凝土的内部温度较高,由于内部混凝土继续降温,形成非线性温度场,混凝土各单元之间变形不一致,形成约束,也将产生温度应力,这种温度应力将在表面裂缝端部形成应力集中,使表面裂缝向纵深发展。如果这些裂缝坝块接近基础约束区,可使基础贯穿裂缝向约束区以上发展;如果这些表面裂缝出现在脱离基础约束区的部位,则将发展成深层裂缝。所以,防止裂缝首先要防止表面裂缝,特别是基础部位、上游迎水面或其他结构应力集中的部位。

根据丹江口工程现场实测资料^[1],混凝土浇筑后的前 5 d 一般不会产生裂缝,绝大多数(92%)的裂缝都发生在浇筑后 6~20 d 之间。

诸多温控仿真计算成果显示,由水化热和初始温差所引起的表面裂缝,采取综合温控措施后基本上可以避免。但由寒潮、气温年变化及日变化等所产生的表面裂缝,则需采用其他温控措施方能避免。理论分析与工程实践经验都表明,表面保温是防止混凝土产生裂缝的有效措施之一。

3 保温防裂措施研究

3.1 温控仿真计算成果

针对该工程的特点,进行了三维有限元仿真计算分析,主要结果如下:①6~8 月份浇筑温度 17℃,其他月份浇筑温度为旬平均气温。②上下层温差小于或等于 12℃,内外温差小于或等于 15℃。③应埋设冷却水管进行混凝土冷却。④坝体表面需进行永久保温,上游设置 8 cm 厚保温层,下游设置 10 cm 厚保温层,坝顶设置 10 cm 厚保温层。

3.2 温控措施

该工程施工过程中,主要采取了以下温控措施:①在满足设计强度的前提下,尽量选用水化热低的水泥,优化混凝土配合比,降低绝热温升。②坝体横缝间距采用 15 m。③控制混凝土浇筑温度小于或等于 15℃。④高温季节尽量在夜间低温时段浇筑混凝土,加快混凝土入仓速度,进行仓面喷雾,减少热量倒灌。⑤及时关注天气预报,寒潮来临时,做好层面的保温工作。⑥在秋冬低温季节和气温骤降时,将孔口部位进行严密封闭保护。⑦埋设冷却水管。采用高强度聚乙烯管,外径 32 mm,内径 28 mm,水管间距 1.5 m,通水流量为 0.9 m³/h,通水方向每天转换 1 次,采用河水进行冷却。⑧表面保温,采用保温

材料对坝体表面进行永久保温,同时考虑该地区昼夜温差较大、寒潮频繁的特点,在浇筑层面上采用保温材料进行临时保温。冬季停浇前,越冬层面采用临时保温措施。

3.3 保温材料的选择

保温材料^[2]是指为防止建筑物或设备的热量散失(如蒸汽管道、暖房)或隔绝外界热量传入(如制冷管道、冷库)而使用的材料。对保温材料的基本要求是:①导热系数不大于 0.29 W/(m·K);②密度不大于 500 kg/m³;③压缩强度不大于 0.4 MPa;④具有较好的防腐性能,符合环保要求,工艺性好,造价便宜等^[2]。目前国内常用的坝面保温材料主要有挤塑聚苯乙炔泡沫板(简称 XPS 板)、聚氨酯硬质泡沫等,这 2 种保温材料的主要技术指标见表^[3-5]。

表 1 2 种保温材料的主要技术指标

保温材料	表观密度/ (kg·m ⁻³)	压缩强度/ MPa	吸水率/ %	导热系数/ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	尺寸 稳定性 系数/%
XPS 板	30~45	0.2~0.4	≤0.2	≤0.030	≤2.0
聚氨酯 硬质泡沫	30~60	0.17~0.40	≤1.5	≤0.024	<2.0

XPS 板是以聚苯乙烯树脂加上其他原辅料与聚合物,通过加热混合时注入发泡剂后挤塑成型的硬质泡沫塑料板。它具有完美的闭孔蜂窝结构,是一种理想的绝热保温材料。XPS 板操作工艺简单,易施工,只需在 XPS 板上涂抹黏结剂,然后将涂抹好的 XPS 板粘贴在混凝土表面上,最后在 XPS 板表面涂刷 1 道防水涂料即可。XPS 板质量较轻,易于转运,适合高空粘贴作业。人工粘贴作业时,系上安全带,使用固定在模板支架上的软梯或直接在模板下支架上进行操作,施工方便。混凝土表面粘贴 XPS 板厚度均匀,不因人为操作因素而出现厚度不均的现象,涂刷防水剂后的 XPS 板表面与混凝土表面颜色相近,外观效果较好。

聚氨酯硬质泡沫是以氰酸酯、多元醇、发泡剂等为基本原料,施工时两组分进入喷涂机械中混合喷出,呈雾状,在空气中发生反应,产生高闭孔率泡沫,具有防水和保温功能的新型材料。聚氨酯硬质泡沫喷涂需借助空压机、喷涂机等设备,喷涂时需离开坝面一定距离,喷涂平整度不易控制。施工完成后,聚氨酯表面受外界气候影响宜老化变色,影响外观质量。

经综合比较,该工程选用 XPS 板作为坝体表面保温材料。

3.4 2007 年浇筑混凝土保温方案及实施

根据坝址区地形条件及施工进度安排,2007 年浇筑的混凝土大部分在地面以下(图 1),可采用回填干燥土的方案(方案 1)进行表面保温。针对方案 1 进行仿真计算分析,计算结果表明,混凝土温度

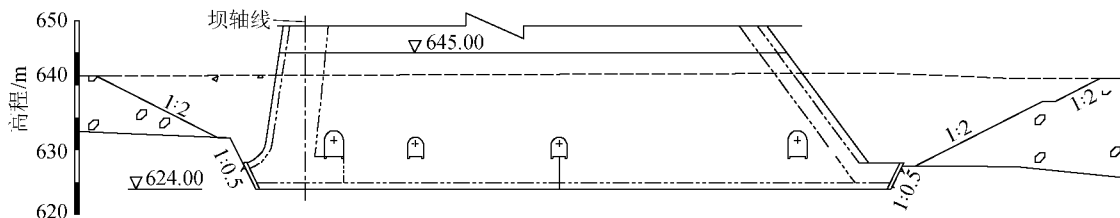


图1 2007年坝体浇筑进度

应力控制在2.0 MPa以内,满足混凝土抗裂要求,填土保温的方案是可行的(图2)。

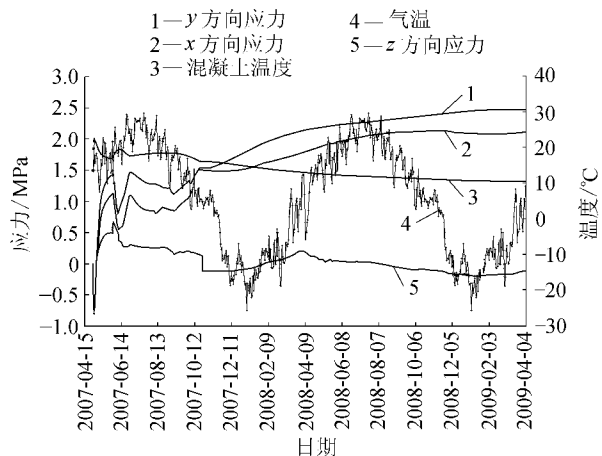


图2 方案1坝体表面温度及应力变化过程线

方案1要求填土保持干燥,因施工现场存在基岩渗水,这就要求必须对填土做防渗处理,防止外界渗水过多进入填土中。如果不采取防渗措施,外界渗水进入土中,填土将浸泡在水中,针对此情况(方案2)进行计算,计算结果表明:由于填土浸水饱和,坝体表面应力基本都超标,不能满足抗裂要求(图3)。应力超标的主要原因是蓄水时表面混凝土温度与水温温差较大,受冷击所致,混凝土温度应力达到4.0 MPa,不能满足混凝土抗裂要求。

在方案2的基础上,再对上游面粘贴5 cm厚的保温板,针对此方案(方案3)进行计算。计算结果表明:在考虑填土浸泡饱和的情况下,上游面粘贴5 cm厚保温板对坝体表面进行保温,混凝土温度应

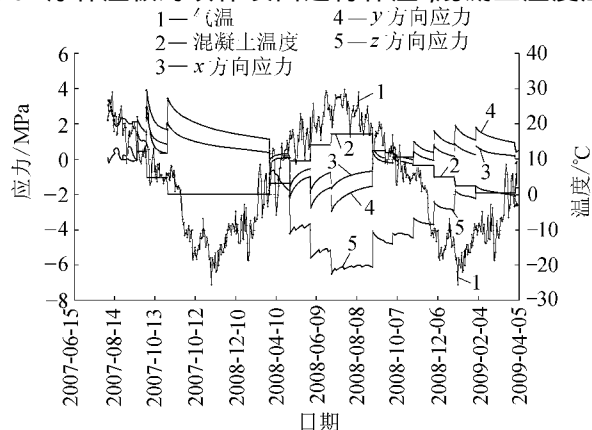


图3 方案2坝体表面温度及应力变化过程线

力控制在1.2 MPa以内,满足抗裂要求,此方案是可行的(图4)。

因此,坝体表面选定的保温方案如下:对已浇筑混凝土的坝体上游面粘贴5 cm厚保温板,并回填土进行保温。

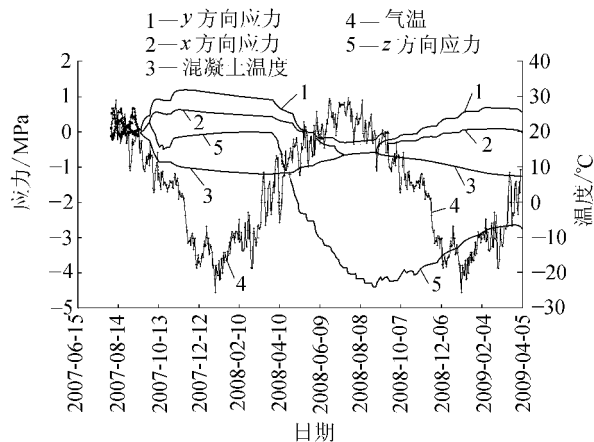


图4 方案3坝体表面温度及应力变化过程线

4 结 语

混凝土的保温目的是减少混凝土内外温差及混凝土表面温度梯度、防止表面裂缝,无论是在常温还是在负温下施工,均应重视混凝土表面的保温工作。由于碾压混凝土本身及其与周围环境相互作用的复杂性,裂缝的产生一般不是由单一的因素造成的,它的形成往往是多种因素共同作用的结果。因此,采用表面保温等综合温控措施只是RCC重力坝温控防裂的一个方面,还应尽可能采取其他措施来提高碾压混凝土自身的抗裂能力。

参考文献:

- [1] 龚召熊,张锡祥,肖汉江,等.水工混凝土的温控与防裂[M].北京:中国水利水电出版社,1999.
- [2] 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,2003:323-329.
- [3] 杜彬.聚氨酯硬质泡沫在大坝工程中的应用研究[J].水利水电科技进展,2002,22(4):14-16.
- [4] 杜彬,任宗社,周炳良.混凝土大坝表面喷涂聚氨酯保温保湿试验[J].水利水电科技进展,2007,27(2):62-65.
- [5] 黄清.新型的保温材料——挤塑聚苯乙烯保温板的制备[J].甘肃科技,2004,20(11):36-38.

(收稿日期 2008-01-18 编辑 骆超)