

# 新疆吉林台一级水电站大坝钢筋混凝土面板 冰期变形监测分析

贡保臣<sup>1</sup>, 郝佳圣<sup>2</sup>, 梁圆圆<sup>1</sup>, 尚 宏<sup>1</sup>, 陈 竞<sup>1</sup>

(1. 北京木联能工程科技有限公司, 北京 100011; 2. 北京华可实工程技术有限公司, 北京 100025)

**摘要:** 冬季吉林台一级电站气温较低, 面板受坝前冰层推力影响而产生较大变形。监测资料的分析结果说明冬季面板坝在冰推力作用下变形特征, 为今后冰期安全运行积累经验, 也为高寒区面板设计提供参考资料。

**关键词:** 面板坝; 冰期; 冰推力; 挠度变形; 接缝变形

## 0 概述

吉林台一级水电站位于喀什河中游的吉林台峡谷段中部, 西距尼勒克县城 32km。电站装机容量为 460MW, 总库容 25 亿 m<sup>3</sup>, 设计洪水位为 1420.0m, 死水位 1380.0m, 拦河坝为混凝土面板砂砾堆石坝, 最大坝高 157.0m, 坝顶长 445m。上游坝坡 1:1.7, 下游平均坝坡 1:1.96。面板面积 75250m<sup>2</sup>, 最大斜长 256.7m。坝轴线上游部分采用河床砂砾石填筑, 下游部分为爆破开挖料填筑。枢纽地区多年平均气温 5.7℃, 极端最高气温 37.9℃, 极端最低气温 -39.9℃, 多年平均降雨量 353.4mm, 多年平均蒸发量 1471.8mm。2007 年底至 2008 年初, 电站地区气温较低, 水库坝前库水结冰, 最大冰层厚度 35cm, 随着库水位不断下降, 面板前冰层有不断增厚趋势, 为了防止由于冰冻对面板和垂直缝、周边缝止水结构的破坏, 采取了人工破冰的方式进行防护。为了评价冰盖对面板以及面板间止水结构的影响, 专门对这一时间段观测结果进行分析, 对面板形态变化特征进行描述, 对止水等结构变化进行评价, 为今后的冰期大坝运行提供参考资料。

## 1 水库水位及水温观测

水库水位自 2007 年 11 月开始下降, 2007 年 12 月份水库水位下降 3.17m, 平均每天下降 0.106m; 2008 年 1 月份库水位下降 3.954m, 平均每天下降 0.128m; 2 月份自 1411.384 高程 (2 月 1 日) 下降至 1406.824 高程 (2 月 28 日), 下降 4.56m, 每天平均下降 0.163m。

大坝面板在不同高程观测变化规律是: 库底温度持续降低, 1320 高程以上库水温受气温影响而随季节变化, 库水表面变化明显, 其中 T-1-08 (埋设高程 1408.220) 随气温波动较大, 目前测试温度在 1℃左右。T-1-08 每天进行 2 次测量, 所测现象反映了气温的变化趋势, 在 2008 年 1 月 18 日左右有一温度急剧下降期, 曲线出现“弯曲”, 2 月 15 日也存在一温度下降期 (见图 1)。从所有温度计观测结果可以看出, 在 1340 高程以上的水温在冬季都逐步降低, 并且随季节而周期性变化。T-1-08 在 2 月份才漏出水面, 测温一直偏低, 未到 0℃以下, 说明面板被冰层覆盖, 面板不会冻涨破坏。J-1-31 为水平缝测缝计测得温度过程线, 所测温度在 2007 年 12 月中旬低于 0℃, 且变化幅度大 (见图 2)。

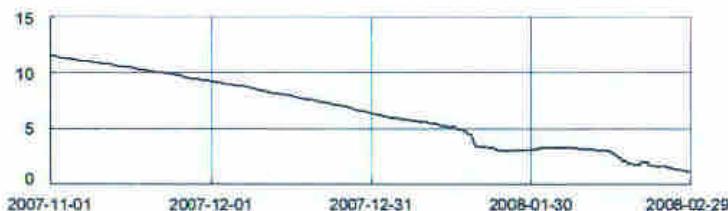


图 1 T-1-08 温度计 (1408 高程) 温度过程曲线图

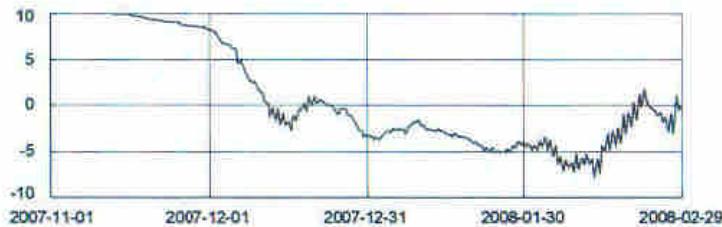


图 2 J-1-31 测缝计 (1420 高程) 温度过程曲线图

## 2 冰期各观测项目变化情况

整理 2007 年 11 月至 2008 年 2 月底观测资料，分析面板变形特征有：

(1) 大坝面板水平缝测值主要受气温和库水位影响，测值中部开合度大于两侧。由于 2008 年初气温偏低，所测最大张开度测值均出现在 1 月份，进入 2 月份后，测值有所减小，测值趋向平稳。对比 06~07 年低温时段，2008 年测值略大 1~3mm，并且中间大于两岸，最大观测值为 7mm。

(2) 垂直缝测缝计位移测值受温度和库水位影响而周期变化，水位上升（同时温度升高）时段，压性缝闭合位移增大，张性缝张开位移增大；水位下降（同时温度降低）时段，压性缝闭合位移减小，张性缝张开位移减小。2008 年冰期时段，1418 高程以上测缝计观测规律是：压性缝（中部面板）出现张开位移，最大值 1.5mm，日最大变幅 0.5mm（同期仪器测温最大温差 8℃左右）。

(3) 挠度变化值左岸大于右岸，上部大于下部，说明冰推力影响了大坝面板上部形态，并发生了挤压变形。在冰期内面板顶部挠曲值变化幅度较大，左岸大于右岸。

(4) 面板钢筋计和应变计和往年变化规律相同，水面以上面板由于昼夜温差大钢筋应力测值变化幅度增大，个别部位出现钢筋应力拉压变换频繁。

(5) 环趾板渗压计监测结果表明左岸 p-1-10 有渗透压力增大情况出现。但总渗流量观测结果表明渗流量比去年同期同水位比小 20L/s。

具体表现形式为面板上部（高程 1408）表现为受冰推力作用，挠度增大，垂直缝变形为张开并且随温度变化规律明显。比较面板各部位在温度持续下降期和温度上升期面板变形情况，评价冰盖对面板的作用，对防止面板破坏，采取保证安全措施提出依据。

## 3 冰期大坝面板变形观测成果

### (1) 面板垂直缝开合位移观测

1396 高程以下测缝计观测特征表现为压性增加趋势，数值范围和同期（同时间或同高程）相比变化不大。J-1-27 测缝计变化规律是自 12 月份气温下降后呈张开趋势，观测表明最大测值 1.50mm（2007 年最大测值 1.21mm），为最低气温时测值 (-8.5℃)，日变幅最大 0.5mm。见下图 3。

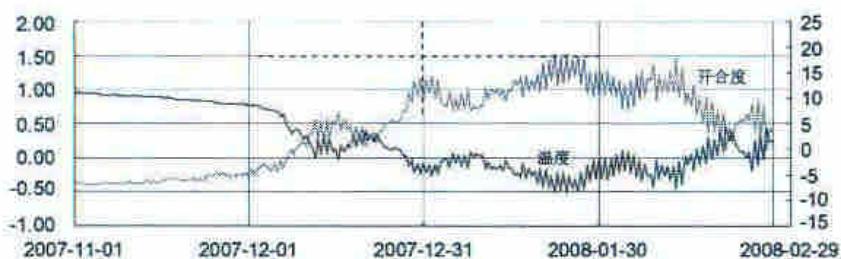


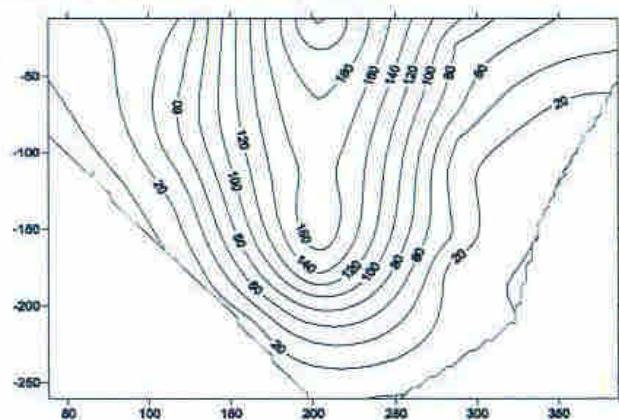
图 3 J-1-27 开合度、温度时间过程曲线

坝 0+124.97 断面最上部 J-1-28, 埋设高程 1418.36, 最大测值为 1.84mm, 为最低温度测值 2008 年 1 月 24 日夜, 温度近 -10℃, 比 07 年最大测值大 0.5mm。坝 0+293.3 断面垂直缝受压收缩, 上部测缝计 J-1-26、J-1-28 均由于冬季气温低而表现为张开状态。由于受冰冻影响, 2008 年 1 月 15 日后 1418 高程以上变化加大, 到 1 月 26 日逐渐减缓, 昼夜缝隙变化幅度近 0.5mm。

大坝水平缝主要受气温和库水位影响, 测值变化不大, 中部开合度大于两岸。2008 年 1 月份由于温度较往年偏低, 所测最大张开度测值均出现在 1 月份, 进入 2 月份后, 测值有所减小, 测值趋向平稳, 无异常情况。对比 06~07 年低温时段, 08 年初水平缝开度最大值出现在低温时段, 1 月 18 日, 最大值略高于上年度同时期 1~3mm, 并且中间大于两岸最大值为 7.00mm。

#### (2) 面板挠曲变形观测

主控监测断面坝 0+203m 和坝 0+119.847m、坝 0+288.281m 三个断面, 在面板表面共布置 27 支测倾计(电平仪), 监测面板法线方向的挠曲变形。由于面板变形受库水位变化影响, 面板各部位会发生不同程度的挠曲变形。大坝 0+119 断面面板挠曲度 2008 年 2 月挠曲度变化较大, 大于 2007 年同时期测值, 并且在面板顶部, 明显收到冰推力影响, 在高程 1408 以上有较大变化, 挠曲变形达到 15cm 左右。大坝面板 0+203 断面挠曲变形值较大, 最大挠曲变形 26cm, 0+288 断面挠曲变形较小, 最大挠曲变形点位于该断面的 1346 高程。顶部从 2007 年 11 月份开始开始挠曲度增大明显, 说明受到冰推力作用明显。在冰期从数值分析, 面板顶部挠度变化较大, 且大坝左岸面板变形大于右岸。面板中部在冰期内变化幅度达 6.5cm, 左岸变化幅度为 6cm, 右岸变化幅度 4cm。最大值发生在温度上升期 2 月 15 左右, 为冰盖融化期。大坝面板挠曲变形示意图见图 4~图 6。



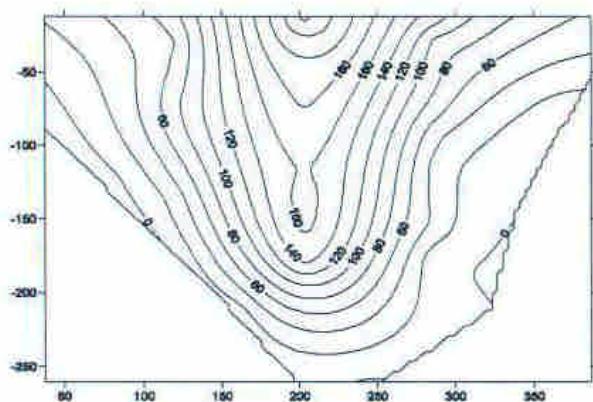


图5 2008年1月(最低温时)大坝面板挠曲变形示意图

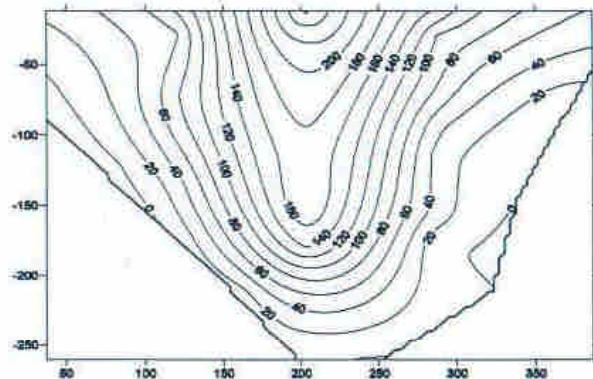


图6 2008年2月(冰盖消融期)大坝面板挠曲变形示意图

### (3) 大坝面板应变、钢筋应力观测

大坝上部钢筋计观测(顺坡向)成果呈现的规律是：相同高程的钢筋应力呈相同变化规律。高程1320以上部位钢筋计出现较大压应力，最大值发生在0+203断面的钢筋计R-1-04(高程1320)和R-1-06(高程1350)，向上和向左右岸应力值相对减小，高程1370以上部位钢筋应力值受水温影响，和温度变化相关：温度降低，面板钢筋压应力减小，测值接近0，并有向拉应力转换趋势；高程1395以上，钢筋计测值在冬季气温低时呈拉应力状态，但测值较小。钢筋计应力变化受库水位影响，表现为同一高程各钢筋计变化过程、变化幅度相同。这和面板变形观测存在一致性，说明面板钢筋处于正常受力状态。

应变观测值主要受库水温和库水位影响，在库水位下降时，水平向和斜45°方向都是应变增大，其中水平向增大明显，垂直向变化和钢筋计相同，存在拉-压-拉的不同应力状态变化，观测值变化较为规律，应力应变无异常情况出现。

## 4 冰推力对面板作用

水库大坝面板在冰期内，库水位继续下降，面板顶部由于冰盖的作用产生了一定程度变形。为防止冰层推力作用对面板和止水结构的破坏，进行了人工凿冰处理，冰层“爬升”现象有所缓解，对面板和止水结构起到了有效的保护，但是面板1408高程左右，挠曲度增大，说明冰推力较大。左岸(阴面)由于日照时间短，温度较右岸低，冰层较厚，冰推力较大，面板挠度变形较右岸大2cm，靠近左岸垂直

缝变形也比右岸变化幅度大。

冰期面板变形特征呈现出的规律性有以下几点：

(1) 冰期冰盖对面板的推力有很大的破坏力。随着气温的降低，冰层增长逐渐增大。面板被冰推力破坏的案例很多，例如某抽水蓄能电站上池由于气温连续降低，面板被剪断。并且对垂直缝止水结构有挤压破坏，对周边缝有张开挤压作用，导致渗漏。

(2) 大坝混凝土面板由于坝轴线长，日照时间、坝前水面线长度、地形等不同，两岸出现差异，象吉林台一级电站左岸日照时间短，温迪低，冰层厚，冰推力大，面板变形较大。

(3) 温度下降期，冰推力逐渐增大，冰层增厚，面板前会出现“冰爬”现象。由于吉林台一级电站的水位连续下降，人工凿冰的影响，所以“冰爬”现象不是很突出。尤其要注意的是温度上升期，由于冰盖的融化，冰推力此时达到最高值，对面板的破坏作用最大。观测结果说明吉林台一级电站大坝面板前 2 月中旬消融比较明显，面板变形值最大。

(4) 由于没有进行冰推力测值的观测，建议在下个年度对大坝气象进行观测，如气温、降雨(雪)量、风速等物理量，这样可以分析冰盖发展趋势，掌握破冰、防冰时机。

## 5 面板保护措施建议

吉林台一级水电站大坝处于前三年蓄水期，规范规定为初蓄期，各项观测按规范测次要求满足规范要求，各项测值处于稳定状态。

冰期面板观测结果显示，2008 年年初最低气温时段，由于冰的推力作用大坝面板出现较大挠度变化，止水结构部分被挤压。冰盖的作用对大坝面板和止水结构有可能造成破坏，目前昼夜温差较大，容易对面板造成破坏，应增加巡视检查频次，及时对面板进行详细检查。

为了防止冰冻破坏，一般采取措施有：

- (1) 面板表层抹防冻、保温、润滑材料进行保护。
- (2) 从坝前一定深度(水温较高)抽水进行对流置换表层低温水，或布管在低温时段抽高温水在面板前保持流动。