

文章编号:1001-4179(2013)S1-0099-02

# 新疆严寒地区某 RCC 坝裂缝预防及处理措施

达吾然

(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:**新疆某水利枢纽 RCC 大坝最大坝高 121.5 m,碾压混凝土工程量约 254 万 m<sup>3</sup>。工程地处西北寒冷地区,施工期间要经历“冷、热、风、干”等恶劣气候考验,对大坝混凝土保温措施提出了较高要求。详细介绍了坝体越冬过程中采取的保温措施。简述了裂缝产生原因及处理措施。分析表明,施工中要尤为注意春季保温被揭除后,寒潮对混凝土产生冷击作用而导致的开裂。

**关键词:**寒潮;混凝土裂缝;保温措施;RCC 坝

中图分类号:TV642.3 文献标志码:A

## 1 工程概况

新疆某大坝工程为全断面碾压混凝土重力坝,坝顶高程为 745.5 m,坝顶宽 10 m,坝顶总长 1 570 m。大坝下游坝坡 1:0.75,坝基最低高程为 624.0 m,最大坝高 121.5 m。全坝分为左岸阶地坝段、左岸岸坡坝段、主河床坝段、右岸岸坡坝段、右岸阶地坝段。不同部位横缝间距为 15~20 m,横缝均为永久横缝,全坝共分 83 个坝段。

由于坝址处气候极为寒冷,本工程碾压混凝土施工期主要为每年的 4 月中旬~10 月中旬。其中,4~5 月份气温较低、风大,6~9 月气温高、干燥,水份蒸发快,只有 9 月中旬~10 月中旬气候比较适合进行碾压混凝土施工。这种间歇式的施工方法及恶劣的气候条件使该大坝混凝土具有独特的温度应力时空分布规律,增加了碾压混凝土坝的温控与防裂难度。严寒条件下的半成品和成品混凝土的越冬保护及层面保护也是必须考虑的问题之一。

## 2 碾压混凝土裂缝分类

按裂缝出现部位及表现形式,碾压混凝土裂缝可分为以下 2 种类型。

(1) 大坝越冬层面混凝土裂缝。一般为纵向裂缝,深度一般为 10 cm 左右,个别深度约 1.0~2.0 m,

此类裂缝数量不多,但纵向一般贯穿 2~3 个坝段。

(2) 大坝碾压混凝土裂缝。大部分为纵向裂缝,个别为横向裂缝和沿缝面的水平裂缝,纵向及横向裂缝深度以表层裂缝为主(2~5 cm),部分为浅层裂缝(20~60 cm)。水平裂缝深度不等,大部分为浅层裂缝,水平深度为 10~60 cm,个别为深层裂缝,水平深度大于 3 m。

## 3 裂缝成因分析及预防

### 3.1 大坝越冬层面混凝土裂缝

严寒地区碾压混凝土重力高坝上下游越冬层面温度应力超标,容易引发裂缝,对此需采取严格的温控措施。该工程碾压混凝土施工至 2007 年 10 月 26 日时,坝体浇筑顶高程为 645.0 m,此时当地即将进入冬季,上下游坝面采取永久保温和临时保温相结合的保护措施。大坝上游面保温采用“聚氨酯防渗涂层(厚 2 mm)+粘贴 XPS 板(厚 5 cm)+回填坡积物”的保温防渗结构型式。其中,越冬面以下 2.5 m 范围内的上游面采用“聚氨酯防渗涂层(厚 2 mm)+粘贴 XPS 板(厚 10 cm)+回填坡积物”的保温防渗结构型式。大坝下游面保温采用“粘贴 XPS 板(厚 10 cm)+外涂防裂聚合物砂浆+耐碱网格布”的保温结构型式。大坝侧表面保温措施采用粘贴 10 cm 厚 XPS 板。大坝越

冬面保温措施为:首先在越冬面铺设一层塑料薄膜(厚0.6 mm),然后在其上铺设两层2 cm厚的聚乙烯保温被,再在上面铺设13层2 cm厚棉被,最后在顶部铺设一层三防帆布。为加强保温及防止侧面进风,在越冬面上下游侧用砂袋垒1.0 m高、0.8 m宽的防风墙,在保温被周边及越冬面以下2.6 m范围内喷涂10 cm厚聚氨酯硬质泡沫。监测数据表明,在冬休期间,越冬层面温度一般为 $11^{\circ}\text{C} \sim 16^{\circ}\text{C}$ ,保温效果较好。

在第二年揭开保温被后首先进行坝面裂缝检查,结果并未发现裂缝。为避免坝面混凝土温度下降较快造成混凝土的冷击,于3月中旬至4月初逐步揭开混凝土的保温被。但因工程工期较紧,加之4月份气温凉爽,有利于碾压混凝土施工和温控防裂,所以在保温被揭开后立即进行碾压混凝土浇筑前的仓面准备工作。由于上下游模板在越冬之前已经拆除,模板安装、仓面清理工作量很大,所需时间也较长。加之4月份晚间气温较低,寒潮频繁,虽然对仓面进行了夜间临时覆盖,但在备仓过程中很难避免局部混凝土受气温冷击,致使混凝土局部开裂。

综上,越冬层面裂缝产生的主要原因是4月份晚间气温较低及寒潮频繁所致。为此,在施工过程中要根据温控理论计算,结合现场气温与混凝土表面实测温度,逐步拆除临时保温被,保温被完全揭开时根据环境气温最终确定,即当越冬层面混凝土温度与日平均气温温差小于 $3^{\circ}\text{C}$ 时,保温被可完全揭开,揭开后要及时进行混凝土施工,尽量避免混凝土受气温冷击。

## 3.2 大坝碾压混凝土裂缝

### 3.2.1 横向裂缝与纵向裂缝

横向裂缝一般发生在坝段中部,纵向裂缝主要发生在上下游方向坝块中部附近,其裂缝产生的主要原因为:①高温期浇筑的混凝土温度较高,混凝土降温过程中发生开裂;②气温骤降或寒潮对碾压混凝土造成冷击所致。根据温控仿真计算,在寒潮或气温骤降下等连续降温过程中,上游面、下游面、浇筑顶面混凝土应力都有较大增长,但因为采取了临时保温措施,老混凝土与新浇混凝土应力并未超标。实际施工过程中,也据此采取了严格的临时保温措施,但局部因施工入仓等原因无法做到覆盖保温,致使裸露在寒潮冷击作用下产生局部裂缝。综上,气温骤降或寒潮对混凝土的冷击作用是坝体碾压混凝土产生裂缝的主要原因之一。另外高温时段温度监测数据显示,高温期浇筑的三级配区混凝土最高温度约为 $35^{\circ}\text{C} \sim 37^{\circ}\text{C}$ ,在混凝土温降过程中应力增长较快,顺水流方向及垂直水流方向应力均超标,造成混凝土拉裂。

### 3.2.2 水平裂缝

大坝水平裂缝数量较少,从裂缝性状来看,其长度较短、缝宽较窄,一般为表层或浅层裂缝,主要原因可能是上部混凝土浇筑层较薄所致。在碾压混凝土施工过程中,在保证浇筑质量的前提下,应加快碾压混凝土浇筑速度,尽快覆盖上层混凝土。

## 4 裂缝处理方法

### 4.1 大坝越冬层面混凝土裂缝

该处裂缝主要为纵向裂缝,深度一般为10 cm左右,个别深度约1.0~2.0 m。主要采用化学灌浆、沿缝面设置并缝钢筋的处理办法。

### 4.2 大坝碾压混凝土裂缝

大部分为纵向裂缝,少部分为横向裂缝,个别为沿缝面的水平裂缝。

(1)纵向裂缝。对于深度较小的表层裂缝,采用骑缝布设并缝钢筋的处理办法;对于浅层裂缝和深度较大的裂缝,采用化学灌浆,沿封面设置并缝钢筋的处理办法。

(2)横向裂缝。对于深度较小且分布于上游二级配区以外的表层裂缝,采用骑缝布设并缝钢筋的处理办法。对于上游发生在二级配区或贯穿上游二级配区的裂缝,无论是浅层裂缝还是深层裂缝,均采用化学灌浆并骑缝布设并缝钢筋的处理办法,部分裂缝埋设了铜止水。

(3)水平裂缝。对于沿碾压混凝土缝面产生的上下游水平裂缝,此类裂缝水平深度一般为1 m左右,主要采用化学灌浆的处理办法。

本工程裂缝化学灌浆采用高压无气灌浆技术。灌浆材料采用HK-G-2低黏度环氧树脂。该技术利用灌浆机产生的持续高压,将化学浆液灌注到混凝土内部缝隙中,挤走缝中的水、气,完全填满缝隙,达到补强止水的目的。该方法无需开槽、封缝(大于3 mm的缝及所灌注裂缝的侧面则需进行简单的封缝处理,以免浆液溢出过多)。开口灌浆时,浆液由裂缝深处至缝面溢出,压力随之衰减至零。与现有传统技术比较,该方法在施工原理、施工速度上都有较大的优势。根据取芯检测成果看,灌浆体整体密实饱满,经修补后的混凝土能达到原设计标准,起到了补强兼永久性堵漏的效果。并缝钢筋一般设置两层,主筋采用 $\Phi 25$ 二级钢筋,间距200 mm,长度根据裂缝部位及深度采用2.25, 3.0, 4.5 m三种。分布筋采用 $\Phi 20$ 二级钢筋,间距

时,产生最大拉应力为 3.21 MPa,最大压应力为 13.70 MPa;土体状态为中密时,最大拉应力为 2.56 MPa,最大压应力为 11.70 MPa,均超过了 C20 混凝土抗拉及抗压极限值。

(4) 虽然变形模量对砂卵石基础最大压应力影响不大(最大压应力在土体为稍密时是 0.52 MPa,在土体状态为中密时是 0.46 MPa),但由于对应砂卵石基础的允许承载力低,计算结果已超过各工况下承载力允许值。

### 3.2 强夯后 3 种工况成果分析

(1) 3 种工况的底板下游竖向变位最大值均出现在 6 号闸墩左边闸墩处,这是由于下部覆盖层深度沿泄洪闸段从右至左依次变深,在此产生位移最大。虽然 4、5 号闸段下部砂卵石层厚度也较大,但其闸室处在 4 号闸左边闸墩的顶托作用下,使变位从右至左反而依次减小,最后导致最大位移产生于 6 号闸墩处。最大值分别为:正常工况 6.40 cm,设计工况 3.60 cm,校核工况 4.20 cm,均小于规范的允许值 15 cm。

(2) 3 种工况下相邻闸段变形差最大值均出现在 3 号闸与 4 号闸,这是由此处闸基位于软硬交界面,引起变形不协调所致。其值分别为:正常工况 0.458 cm,设计工况 0.291 cm,校核工况 0.332 cm,均远小于规范的规定值 5 cm,不会导致止水破坏。

(3) 3 种工况下 4 号闸左边闸墩处均出现应力集中现象,正常工况下应力集中值最大,最大压应力为 10.3 MPa,最大拉应力为 1.83 MPa。其次是校核工况,最大压应力为 8.73 MPa,最大拉应力为 1.63 MPa。

设计工况最大压应力为 6.85 MPa,最大拉应力为 1.54

MPa。产生应力集中的原因是由于 4 号闸左边闸墩直接置于基岩上,而整个闸室右边又处于弹模较低的砂卵石层上,故由于弹模差异大而导致应力集中。但应力集中度仅在正常工况下接近 C20 混凝土的抗拉、抗压允许值,其余闸段均未出现超过结构承载能力的应力水平。

(4) 砂卵石地基处的最大压应力均出现在 11 号闸的右边闸墩处,主要原因是右边闸墩尺寸较大。最大值分别为:正常工况 0.42 MPa,设计工况 0.33 MPa,校核工况 0.37 MPa,均小于强夯过后的砂卵石承载力 0.60 MPa。压应力最小值出现在 4 号闸段左侧,原因是由 4 号闸左边闸墩置于基岩上,限制了左侧底板在竖直向的变形。最小值分别为:正常工况 0.21 MPa,设计工况 0.15 MPa,校核工况 0.18 MPa,均未出现拉应力现象,即闸底板不会出现脱腔现象。

(5) 闸墩底部 Z 向应力主要表现为压应力,仅在 4 号闸段左侧有拉应力出现,其大小分别为:正常工况 0.71 MPa,设计工况 0.47 MPa,校核工况 0.62 MPa,均未超过 C20 混凝土的抗拉极限值 1.10 MPa。

## 4 结 语

龙凤水闸地基施工中采用强夯的工程措施后,除正常工况下 4 号闸左侧拉压应力接近混凝土抗拉及抗压极限值外(但仍在规范允许范围内),其余部位均未出现过大的应力集中,且变形均符合相关规范要求。说明强夯基本达到工程预期的地基处理效果,明显提高了基础的强度和弹模、减少了软弱地基后期的沉降量。

(编辑:郑毅)

(上接第 100 页)

300 mm,长度根据裂缝长度而定。检测成果显示,裂缝未出现继续延伸趋势,并缝效果良好。

## 5 结 语

混凝土裂缝产生的原因较为复杂,如结构尺寸、混凝土材料及配合比、温度控制及防裂措施不当、施工方法及工艺不当、混凝土养护不当等都有可能成为混凝土开裂的原因。在该工程的碾压混凝土施工过程中,采取了多种防裂措施,如优化混凝土配合比,降低混凝土水化热温升、增加储料堆高度、采用保温廊道和遮阳廊道、采用骨料二次风冷方案、控制浇筑层厚度和上下层浇筑间歇时间、掺加缓凝高效减水剂、混凝土运输车

保温、在坝体浇筑仓外增设喷淋(雾)系统制造仓面小气候和保温覆盖、坝体埋设冷却水管进行多期通水冷却、越冬层面混凝土保护等一系列温控防裂措施,温控仿真分析表明,坝体拉应力没有超过允许拉应力。在经历 2007 年冬季 -30℃ 的严寒考验后,坝体未因内外温差过大而开裂,表明保温对减小内外温差具有重要意义。但在揭开保温被后的施工过程中,寒潮对混凝土产生的冷击作用是混凝土开裂的主要原因,施工过程中需根据气温变化情况做好临时保温覆盖工作。混凝土在出现裂缝后,经修补也能达到原设计标准,满足坝体混凝土的安全、整体性及耐久性要求。

(编辑:郑毅)