

羊曲水电站溢洪道溢流面混凝土防裂技术研究

韩振宝 陈杰

中国安能集团第二工程局常州分公司

DOI:10.32629/hwr.v4i9.3364

[摘要] 为实现羊曲水电站溢洪道溢流面混凝土无裂缝目标,在进行溢流面混凝土施工前,对裂缝产生诱因进行了全面分析。结合工程实际,将溢流面混凝土结构优化、综合的全过程混凝土温控措施作为控制重点,并重点分析了综合的全过程温控措施在该工程上的应用。通过前期技术筹划及施工过程中的严格控制,实现了溢流面混凝土无裂缝的目标,节约了工程施工成本,为其他类似工程设计和施工提供了经验。

[关键词] 水利水电工程; 溢洪道溢流面; 混凝土防裂; 温控措施

中图分类号: TV331 **文献标识码:** A

1 工程概况

羊曲水电站位于青海省海南州兴海县与贵南县交界处,电站地处内陆高原,海拔高,具有高原气候特点。是黄河干流龙羊峡水电站上游“茨哈、班多和羊曲”三个规划梯级电站的最下一级,枢纽工程主要由拦河大坝、左岸泄洪消能建筑物和右岸引水发电建筑物等组成。挡水建筑物采用混凝土面板堆石坝,坝顶高程EL2721m,最大坝高150m。左岸泄洪消能建筑物由左岸3孔溢洪道及1孔泄洪洞组成。溢洪道为3孔。溢洪道堰顶高程EL2697.5m,工作闸门孔口尺寸15.0m×17.5m(宽×高);溢洪道由引渠段、堰闸段、泄槽段及出口鼻坎等组成,溢流面混凝土最大单仓仓面展开长70.8m、仓面宽16m、厚度0.8~2.2m不等。

溢洪道混凝土浇筑总长607.50m。建筑物整个溢流面面积达29160m²,溢流面混凝土裂缝为易发的混凝土病害,如若采取措施不加以控制,势必影响溢洪道工程功能的发挥及安全运行。

2 溢流面混凝土裂缝成因分析及危害

2.1 溢流面混凝土裂缝成因分析

(1) 温度应力作用。混凝土的硬化过程,是水泥发生水化作用的过程。水泥水化伴随发热的化学反应,水化热会使混凝土温度升高,由水化热引起的绝热温

升可达三四十摄氏度。混凝土是不良导体,导热系数很小。大体积混凝土内部温度升高,散热很慢,内外温差和温度梯度过大,引起胀缩不均,产生温度应力。当温度应力超过混凝土的抗裂能力时,混凝土将产生裂缝。混凝土浇筑初期,外界温度骤降,也将产生表面裂缝。

(2) 分层分块不合理。混凝土本身会产生收缩和膨胀,在凝固和运行过程中因干湿交替或缺少水化用都会产生收缩和膨胀,当混凝土分层分块不合理时,溢流面不能作为一个整体适应变形,就会因收缩和膨胀产生裂缝。羊曲水电站左岸溢洪道工程溢流面为涡线曲线,根据设计图纸,溢流面厚度在0.8~2.2m之间,其下层混凝土设计为台阶状,台阶的尖角处溢流面混凝土厚度约1.2m,其他部位平均厚度约2m,受混凝土水化热和混凝土自身应力作用,容易在台阶尖角处形成应力集中,易产生裂缝。

(3) 基础约束影响。混凝土基础面不平整,会对混凝土底部产生约束,混凝土热胀冷缩发生变形时,会在基础部位会产生拉应力,而混凝土抗拉能力远小于抗压力,当达到抗拉强度上限,致混凝土断裂而产生裂缝。此类裂缝的宽度可能会很大,有时候甚至会贯穿整个构件,后果严重。

(4) 混凝土施工质量控制不严。混

凝土施工过程中原材料控制不满足要求,就会降低混凝土强度,部分骨料含行碱活性成分,与水泥中的碱就会发生碱活性反应,引发混凝土膨胀、开裂、甚至破坏溢流面整体结构。混凝土施工过程中施工缝处理不到位、浇筑不连续、振捣不密实、后期养护不到位等都可能

2.2 溢流面混凝土裂缝危害

导致混凝土产生危害的裂缝。土工混凝土的裂缝除影响建筑物外观形象外,对高流速水流区,由于高速水流会在贯穿性裂缝内形成负压,增大底板等部位外水压力,在高速水流空蚀的作用下,会导致混凝土裂缝发展增大,严重时甚至会掀起底板,影响工程的安全运行和功能发挥,导致工程使用寿命缩短,甚至会导致工程失事。

通过考察,与羊曲水电站类似的几个工程溢洪道溢流面均存在不同程度的裂缝,都进行了化学灌浆处理,而处理费用高,影响电站的外观质量。因此,研究溢洪道溢流面防裂技术,解决裂缝问题,不但可以提高水电站溢洪道工程的施工质量,为类似工程施工提供参考,还可以大大减少后期混凝土缺陷处理的费用。

3 应对溢流面混凝土裂缝前期技术筹备

通过结合以往工程实践,并查阅、调研类似项目的溢流面混凝土防裂施工技

术, 深入分析溢洪道溢流面混凝土可能产生裂缝的各种因素并研究对策。主要技术成果有以下三方面: 一是制定了溢流面混凝土裂缝控制目标; 二是将混凝土温度应力作为溢流面混凝土裂缝的主要诱因, 改变传统混凝土温控思路, 由控制混凝土出机口温度和浇筑温度为主的传统温控思路转变到控制混凝土的最高温度及混凝土内外相对温差为主的综合的、全过程的温控思路; 三是对可能诱发溢流面裂缝的其他因素全面剖析, 研究对策, 对溢流面结构设计做了部分优化。

3.1 制定溢流面混凝土裂缝控制目标

通过技术改进, 预期最大程度地减少混凝土表面龟裂, 杜绝混凝土浅层和深层裂缝产生, 做到溢流面一次成型, 外观质量优良, 不用做任何裂缝缺陷处理。

3.2 技术筹备工作主要内容

(1) 将混凝土温度应力作为溢流面混凝土裂缝的主要诱因, 将混凝土温控措施严格落实到位, 并将其作为预防溢流面混凝土裂缝产生的主要手段。

(2) 溢流面设计结构及分层厚度对混凝土裂缝的影响: 根据设计图纸要求, 溢流面厚度在 0.8~2.2m 之间, 其下层混凝土设计为台阶状, 台阶的尖角处溢流面混凝土厚度约 1m, 其他部位厚度最大约 2.2m, 受混凝土水化热和混凝土自身应力作用, 容易在台阶尖角处形成应力集中, 易产生裂缝, 因此将溢流面下层混凝土设计为缓坡面可以避免出现应力集中现象, 预计能有效减少裂缝的产生。为避免因台阶尖角处形成应力集中而产生的裂缝, 与设计、监理讨论研究后, 将台阶尖角做了钝化处理。将溢流面下层混凝土的台阶型式变更为缓坡面。

(3) 强度标号差异较大的两种混凝土直接结合对混凝土裂缝的影响: 根据施工进度计划要求, 溢流面及其下层混凝土需要连续施工, 其时间间隔较短, 溢流面混凝土标号设计为 C50 混凝土, 其下层混凝土设计标号为 C20, 两种混凝土标号差异过大, 其产生水化热量不同, 可能

出现层间结合不好而导致裂缝产生。针对上下两层混凝土标号差异过大问题, 经与设计监理单位探讨后, 将溢流面下层 C20 混凝土提高到 C30 标号, 并在两种混凝土分区线设置了连接钢筋, 加强混凝土的结合。

4 主要裂缝控制措施综合的全过程温控技术

根据混凝土裂缝产生机理分析与研究成果表明, 混凝土裂缝产生的主要原因是由于混凝土内外温差引起的温度应力超过混凝土抗拉强度, 进而将解决混凝土裂缝问题转化为解决混凝土内外温差问题。因此, 如何采取有效措施做好混凝土温控, 是避免混凝土产生裂缝的主要手段。

4.1 传统混凝土温控思路及当前温控现状

传统的温控思路是将混凝土出机口温度和浇筑温度作为混凝土温控重点, 通过制冷系统加工的冰片、冷水来拌制混凝土等措施, 使出机口温度满足要求; 通过预埋冷却水管并通冷水等措施来控制混凝土最高温度, 以实现混凝土温控目的。总体来说分三个阶段来实现, 即混凝土初始温度阶段温度控制、混凝土水化热温升阶段温度控制和混凝土后期防止外界气温急剧骤降措施的温度控制, 重点在混凝土水化热温升阶段温度控制。各阶段理论、计算方法、措施方案等均系统成熟, 成本较高、温控措施复杂, 实施难度较大。但因水利水电工程项目的特殊性及其复杂性, 即使按要求进行温控管理, 也不能确保混凝土不产生裂缝, 因此, 需探索一套适用可行、操作方便、经济合理的温控方案。

4.2 调整混凝土温控思路

在传统的混凝土温控思路及当前温控现状基础上, 根据混凝土裂缝产生机理, 结合羊曲水电站工程实际情况及类似工程施工经验, 综合提出羊曲水电站溢洪道溢流面混凝土温控思路, 具体如下:

(1) 温控思路转变。由控制混凝土出机口温度和浇筑温度为主的传统温控思路转变到控制混凝土的最高温度及混

土内外相对温差为主的综合的、全过程的温控思路。

(2) 混凝土初始温度阶段温度控制。骨料风冷、冷水拌制、水泥预贮、低温溜管入仓、二次投料拌和技术。

(3) 混凝土水化热温升阶段温度控制。优化施工配合比、高掺粉煤灰、预埋冷却水管并通冷水、仓面喷雾形成局域低温小气候、双层覆盖保温保湿。

(4) 混凝土后期防止外界气温急剧骤降措施。双层覆盖保温, 滴管保湿。

4.3 各阶段混凝土温控措施

4.3.1 混凝土初始温度阶段温控措施

(1) 骨料风冷。利用早晚温差, 清晨利用大型鼓风机经地弄通风道送风对骨料进行散热预冷。经实测此方法可使骨料温度较外界温度低 3~5℃。

(2) 混凝土拌制技术与运输。在不增加水泥用量的前提下, 通过改变投料顺序即先加入砂子、石及 60% 的水, 搅拌均匀后再加入水泥搅拌。分两次进行混凝土拌和, 能使水泥颗粒充分分散包裹在骨料表面, 避免产生水泥团, 充分发挥水泥活性, 加大水泥与骨料之间的黏结力, 进而提高混凝土抗拉强度。并对混凝土运输设备 20 吨自卸汽车设置遮阳棚避免热辐射。

(3) 水泥预贮。每批水泥进场后提前入罐储存降低水泥温度。

(4) 低温溜管入仓。溜管内管采用直径 $\Phi 350\text{mm}$ 钢管、外管采用 $\Phi 450\text{mm}$ PVC 管, 在内管外壁附 $\Phi 40\text{mm}$ PVC 花管, 通 10℃ 冷却水, 降低混凝土溜管温度, 同时避免阳光直接照射溜管, 以降低或限制混凝土经溜管垂直下落过程中外部环境导致混凝土温升、下落过程中摩擦及势能转化为动能的热量。经查阅相关资料, 混凝土垂直运输过程中温度上升 0.3~0.5℃。

4.3.2 混凝土水化热温升阶段温控措施

混凝土水化热温升阶段温度控制是混凝土温控的重点和关键时期, 同时此阶段也是混凝土最容易产生裂缝的高发阶段。如何采取措施延缓混凝土水化热

温升,使混凝土温度峰值尽可能相对较晚,即混凝土内外温差尽可能小,同时提高混凝土早期强度,以致于由内外温差引起的温度应力不超过混凝土抗拉强度避免裂缝产生,从而达到总控制目标。根据影响混凝土水化热温升的环节和因素,采取具体措施有:

(1)优化施工配合比。通过借鉴以往工程混凝土施工配合比,结合设计技术及规范要求、原材料特性及当地高原气候环境,对优化配合比进行生产性试验检验,得出最终施工配合比,在满足混凝土各项设计指标的前提下,每方混凝土水泥用量较原配合比减少约70kg。

(2)采用低热水泥,高掺粉煤灰、外掺MgO。通过优化施工配合比,将粉煤灰掺量由设计推荐的15%提高至30%,大大降低水泥用量,同时采用低热水泥,有利于降低混凝土水化热温升。通过外掺2%的MgO,加上原水泥中已含有的2%的MgO,其MgO含量为4%。利用MgO的微膨胀性来补偿混凝土因水化热温升引起的温度应力,提高混凝土抗裂能力,有效控制混凝土裂缝。

(3)预埋冷却水管并通冷水。在仓面按2m×2m间距埋设内径为Φ28mm壁厚为2mm的高密度聚乙烯PVC冷却水管,在浇筑完成后立即通水冷却,以削减水化热温升和减少混凝土内外温差,混凝土温度与水管进水口的水温差值控制在20~23℃,冷却持续时间为28d。

(4)仓面喷雾形成局域低温小气候。在混凝土浇筑仓面安装喷雾机,喷洒5~10℃冷水,使之雾化形成局域低温小气候环境,降低混凝土入仓、浇筑、封仓

温度,同时减少阳光直射,补偿混凝土流失的水分。喷雾形成局域低温小气候,仓面环境温度较外界气温低3~5℃左右。

(5)双层覆盖保温保湿。模板拆除后在混凝土表面覆盖一层0.3mm厚的塑料膜,将混凝土与空气隔离以防止混凝土水分挥发,随即在塑料膜上覆盖麻袋,喷洒自然水或低温水以保持麻袋湿润,避免太阳光直射混凝土使温度升高。

4.3.3混凝土后期防止外界气温急剧骤降措施

随着时间推移,混凝土会经历从最高温度缓慢降至相对稳定温度的温降阶段。此阶段同样要控制混凝土内、外相对温差,主要受气候环境温度、混凝土特性及混凝土环境等影响,采取外掺MgO和双层覆盖保温、滴管保湿措施,能有效控制混凝土裂缝。

5 取得的成果与存在的不足

5.1取得的成果

羊曲水电站溢洪道溢流面混凝土工程采取了综合的全过程温控措施,裂缝控制取得的主要成果体现如下:经参建四方联合检查,第三方物探检测均未发现裂缝,结构尺寸满足设计要求,实现了溢洪道溢流面无裂缝的目标,解决了溢流面混凝土裂缝技术难题。

降低温控成本。此法与传统温控方案相比,溢流面每方混凝土可作节省5.57元,整个溢洪道溢流面C50混凝土约5.4万m³,总计节约成本约30万元。

5.2存在的不足

经分析与总结认为主要存在两方面的不足:一是采用的温控理论、措施等均引用常态大体积混凝土温控的相关参

数,与溢流面特殊结构可能存在一定差异,需进一步论证与完善;二是温控思路与措施仅通过羊曲水电站溢洪道溢流面工程总结出来,可能存在局限性,还需在后继类似项目或其他常态、碾压混凝土中应用与实践并完善。

6 结论

通过前期技术筹划,对溢流面混凝土裂缝产生原因的深入分析,找出产生裂缝的主要诱因并采取应对措施,并将综合的全过程温控作为避免裂缝产生的主要手段,羊曲水电站溢洪道溢流面混凝土工程实现了溢流面混凝土无裂缝的目标,解决了溢洪道溢流面混凝土裂缝技术难题,为类似工程施工和设计提供了经验;同时作为混凝土裂缝控制重要措施,溢流面混凝土温控思路及措施适用简单、操作方便、成本较低、节能环保且具有施工速度快、社会效益显著等特点,在施工与设计值得推广应用与借鉴。

[参考文献]

- [1]李培.大体积混凝土的温控和防裂技术研究[J].科技资讯,2007,(20):82-83.
- [2]赵顺波.混凝土结构温控防裂分析[M].中国水利水电出版社,2013.
- [3]戴志清,周建华,孙昌忠.混凝土温度控制及防裂[M].中国水利水电出版社,2016.
- [4]何鹏.水电工程大体积混凝土温度裂缝控制及实例分析[M].中国建筑工业出版社,2013.
- [5]李仕武.浅谈水利水电工程大体积混凝土施工过程中的温度措施[J].工程技术(文摘版),2016,(004):121.