

# 浅析碾压混凝土拱坝裂缝处理

李维斌

华电西藏能源有限公司巴玉分公司 西藏 山南 856000

**摘要：**碾压混凝土大坝是近年来广泛应用的一种改良型坝型，其主要是采用干硬性混凝土作为筑坝主要材料，通过分层铺筑、碾压浇筑成大坝的一种工艺。与普通常规混凝土相比，干硬性混凝土具有快硬早强、机械化程度和施工效率高、造价低等特点，可极大节约工期，因此备受水利、市政、公路行业青睐。本文主要是根据两座水电站碾压混凝土双曲拱坝出现的坝面及坝体裂缝，通过成因分析、处理方式、处理效果进行探究，希望可以为其他同类型项目裂缝缺陷处理提供参考。

**关键词：**碾压混凝土；双曲拱坝；裂缝处理

碾压混凝土是一种高强度、高密度的混凝土，通过振动器和辊子进行碾压，以增加混凝土的密度和均匀性。相比于传统的重力式混凝土坝，碾压混凝土拱坝具有更好的耐久性和抗震性能。它们还可以在较小的空间内提供更大的水容量，并具有更好的导流和泄洪能力。因此，在选择和建造碾压混凝土拱坝时，需要充分考虑地质条件和工程要求，以确保安全和可靠性。相较于一般的混凝土，碾压混凝土添加了大量粉煤灰，这使得水泥的用量相对减少。这一改变带来了一个显著的优势：水泥水化过程中的绝热温升幅度显著降低。然而，在实际的工程中，尤其是在高温季节，由于外界温度高、原材料温度高、混凝土出机口及入仓温度也高，加之碾压混凝土的施工速度快、层间间歇时间较短，如果浇筑过程中的热量不能及时散失，便有可能导致混凝土结构产生具有危害性的裂缝。因此，如何解决碾压混凝土裂缝问题，是施工过程的难点<sup>[1]</sup>。

## 1 工程概况

案例一：贵州某水电站拦河大坝为双曲拱坝+左岸重力坝，拱坝型式为碾压混凝土双曲拱坝，最大坝高136.2m。大坝在碾压混凝土浇筑施工过程中和投产运行后均出现了裂缝，主要裂缝分布情况如下：（1）施工阶段：施工期出现裂缝主要有深层贯穿性裂缝、未贯穿深层裂缝、表层及浅层裂缝等，其中Ⅱ类及以上裂缝（宽度0.2mm以上）共计约20条，其主要分布在大坝顺水流向，且主要集中在上游坝面，裂缝长约6~45m，深约0.62~46m，裂缝表面宽度为0.2~5mm，平均宽度1.068mm。（2）运行阶段：该水电站于2007年11月22日顺利完成72小时试运行后正式投入商业运营，2009年汛期后业主对大坝进行全面检查时，在大坝溢流表孔堰顶、中孔启闭机室顶板和侧墙外侧离大坝下游面较近部

位、中孔底部检修通道顶板等部位查出裂缝，部分裂缝缝口处析出白色钙质，局部裂缝有渗水现象<sup>[2]</sup>。

案例二：四川某水电站拦河大坝为碾压混凝土抛物线双曲拱坝，最大坝高132.0m；坝顶宽7.0m，坝底厚26.0m，宽高比0.197。坝体防渗采用二级配碾压混凝土防渗。坝体除基础垫层、泄洪中孔及表孔、闸墩、下游消能防冲建筑物等采用常态混凝土外，其余均采用碾压混凝土。该水电站大坝左岸于2014年1月中旬浇筑至坝顶，2014年3月中旬发现大坝左坝段上下游坝面及坝顶均出现裂缝。经统计，上游坝面裂缝2条，长度分别为22.46m、44.97m，缝宽为1mm~3mm，平均缝宽1.76mm。下游坝面裂缝7条，长度5.62m~23.73m，缝宽为1mm~3mm。坝顶裂缝1条，缝宽约0.9mm，属于贯穿性裂缝。

上述两个案例中大坝的高度、坝型、裂缝发育发展程度均有很高相似度，裂缝宽度大部分都达到1mm以上，远超过规范的0.2mm<sup>①</sup>，若不予处理，很有可能会对大坝的稳定性、耐久性、承载力和安全运行造成严重影响，因此裂缝的处理是必须的，但是若要处理到位，必须先了解清楚裂缝产生的主要成因，这样才能对症下药、事半功倍。

## 2 裂缝分类及成因

混凝土裂缝指的就是混凝土结构由于内外因素的作用，致使物理结构发生变化从而出现裂缝的现象。而裂缝是混凝土结构物承载能力、耐久性及防水性降低的主要原因。

### 2.1 裂缝分类

常见的混凝土裂缝类型较多，经不完全统计主要类型如下：（1）收缩裂缝：混凝土在硬化过程中会发生收缩，造成内部应力增大，从而导致裂缝的形成。这种裂缝通常呈平行线条状，出现在混凝土表面或混凝土构

件的内部。(2) 温度裂缝: 混凝土在受热或受冷时会发生体积膨胀或收缩, 产生温度应力, 从而导致裂缝的形成。热胀冷缩引起的温度裂缝在混凝土表面或深部出现, 形状不规则。(3) 荷载裂缝: 当混凝土承受超过其承载能力的荷载时, 会产生过大的应力, 导致混凝土发生裂缝。这种裂缝通常呈垂直或近垂直于荷载方向的线状或网状。(4) 增缝裂缝: 为了控制混凝土的裂缝width (宽度), 设计人员在混凝土结构中设置了预留断裂, 称为增缝。增缝裂缝是有意设置的, 以减缓裂缝的扩展和缩小影响范围。(5) 水蚀裂缝: 当混凝土结构长期接触水和湿度时, 会导致浸泡和侵蚀, 使混凝土强度下降, 从而形成裂缝。水蚀裂缝通常呈细长或宽裂缝。无论是哪种类型的裂缝, 其成因通常涉及材料性质、设计或施工问题, 如不当的混凝土配合比、钢筋布置不当、施工缺陷等。因此, 在混凝土结构的设计和施工中, 应注意这些因素, 并采取相应的措施来预防和修复裂缝。此外, 由于原材料选用不当、入仓方式不当、振捣不到位等施工原因也会导致混凝土产生裂缝。

## 2.2 裂缝产生的成因

### 2.2.1 常见裂缝的成因:

#### (1) 内因产生的裂缝

由于混凝土自身原因产生的裂缝。混凝土的主要成分是水、水泥、砂石骨料, 其中水泥在拌和、浇筑过程中会与水产生化学反应, 进而释放大量的热量即水化热, 混凝土温度会升高, 而随着水化反应的逐步结束混凝土温度会随之降低, 此时, 混凝土早已终凝成为固态, 温度的降低会导致收缩, 混凝土内部不可避免的出现了裂缝, 但是只要宽度在规范允许范围内, 可以不做处理。

#### (2) 外因产生的裂缝

由于外部因素导致混凝土出现的裂缝, 比如基础不均匀沉降、外部荷载应力超过混凝土应力极限、气候环境变化(如气温、湿度、气压)引起混凝土特性发生改变等等。

### 2.3 案例中裂缝成因分析

经查两个电站大坝浇筑过程文字资料及影像资料, 各项指标均符合规程规范和设计标准, 基本可以排除施工因素。经外请专家现场踏勘论证得出结论, 裂缝主要成因是混凝土本身干缩裂缝和温度裂缝。

混凝土干缩裂缝是由于混凝土在硬化过程中由于水分蒸发和水泥凝固收缩而引起的。干缩裂缝通常发生在混凝土表面或构件的内部。成因常见有两种情况, 第一种为水分蒸发, 即混凝土在刚浇注后, 内部的水分会逐

渐蒸发, 导致混凝土体积收缩。特别是在干燥和高温环境下, 水分蒸发速度更快, 可能引起干缩裂缝形成。第二种情况为混凝土收缩性引起的, 即水泥水化过程中的化学反应导致混凝土体积减小, 产生干缩应力。这种收缩应力可能超过混凝土的抵抗能力, 导致裂缝形成。混凝土干缩裂缝是常见的问题, 但通过合理的设计和施工措施, 可以有效地预防和控制干缩裂缝的发生和扩展。

混凝土温度裂缝是由于混凝土内部和外部温度变化引起的裂缝。这些裂缝主要发生在散热条件较差的大体积混凝土结构中, 如水工建筑物、大坝、桥梁等。影响因素主要为三方面, 首先为水泥水化热, 混凝土浇筑后, 水泥与水发生水化反应, 释放大量热量。由于大体积混凝土结构断面较厚, 内部热量不易散失, 导致混凝土内部温度升高。当混凝土表面散热较快时, 内外温差增大, 产生温度应力, 从而引发裂缝。其次是由于环境温度变化引起的, 混凝土结构在施工过程中和运行过程中, 受到外部环境变化的影响。当环境温度波动较大时, 混凝土表面和内部温度差异增大, 导致温度裂缝的产生。再次是由于混凝土收缩引起, 混凝土在硬化过程中, 由于水泥水化反应和混凝土内部水分蒸发, 导致混凝土体积收缩。当收缩受到约束时, 内部应力增大, 容易产生温度裂缝。在实际工程中, 根据具体情况, 还需结合设计、施工和运行维护等多方面因素, 制定针对性的温度裂缝防控方案。

## 3 裂缝处理方式

混凝土裂缝常见处理方法有结构补强法、填充法、混凝土置换法、灌浆法、电化学防护法等。而作为挡水建筑物尤其是碾压混凝土大坝, 其防渗要求更高、处理方式选择上更应慎重。

本文上述两个案例均采用化学灌浆法对裂缝进行处理, 迄今运行效果较好。2010年8月, 案例一业主单位对化学灌浆处理的裂缝取芯检查, 共取芯3处, 取出芯样完整, 化学灌浆填缝严密, 粘结牢固, 质量合格。案例二业主单位在2014年通过化学灌浆等措施对裂缝进行处理后, 经过2014~2021年雨季和库区及电站运行的检验, 工程运行状况良好。坝面裂缝未继续发展、原裂缝封闭效果良好, 说明该经验可以借鉴参考<sup>[3]</sup>。

经总结两个电站的裂缝处理经验, 其主要处理方法如下:

根据裂缝出现的时期不同, 处理方法按照施工期、运行期分别如下:

#### (1) 施工阶段产生裂缝

根据裂缝分类不同处理方法分别如下:

①表层及浅层裂缝：进行化学灌浆处理。

②贯穿性裂缝处理：针对较为严重的贯穿性裂缝，沿裂缝前缘凿槽用C25环氧砂浆回填后再浇筑C20纤维微膨胀混凝土柱封闭；水平裂缝设4层并缝钢筋，凿槽后用纤维M25砂浆回填，部分在裂缝上游面设置铜止水。对缝宽超过1.5mm的进行超细水泥灌浆，对缝宽小于1.5mm的直接进行化学灌浆。

裂缝灌浆后的缝面，沿缝面两侧各打磨20cm（共40cm宽），深7cm，用高压水冲洗表面干净，最内侧沿裂缝贴GBW遇水膨胀止水条，用环氧砂浆填充，最外表面涂刷PCS柔性防护材料。

#### （2）运行阶段产生的裂缝

根据现场勘查情况将裂缝分类进行处理，裂缝分类及处理方法如下：

① I类裂缝（表面缝宽 $\delta < 0.2\text{mm}$ ）只做缝口保护处理。沿缝20cm范围用钢丝刷刷毛（应超过裂缝两端40cm），并用丙酮清洗干净；缝面干燥后批刮一层PSI-HY环氧胶泥。

② II类裂缝（表面缝宽 $\delta \geq 0.2\text{mm}$ 及所有贯穿性裂缝）做骑缝化灌与缝口止水封堵处理。

③上游坝面正常蓄水位以下部位涂刷一层环氧胶泥。

#### （3）混凝土温控措施

在拱坝设计的规范中，我们并不会选择最高的温升和最大的温降作为计算温度应力的标准。相反，我们采用年最高（低）月平均气温与多年月平均气温的差值，作为正常设计温升（降），以此来推算温度应力<sup>[4]</sup>。据统计，大约有10%的拱坝事故与坝体裂缝的发展有关。而最不利于拱坝的温度条件通常是库空或低水位运行期间。在这段时间，坝体的上下游面大多暴露在大气中。如果遇到寒潮，裂缝通常会对称地出现在坝的两端，并且这些裂缝通常会贯通上下游，直达坝基。而高温则可能会导致在大坝下游面近坝基处产生顺坡裂缝。尽管只要我们查明原因并消除导致裂缝的因素，一般不会影响到大坝的安全。有些裂缝在水压力的作用下或者在改善温度条件后可能会闭合，但由于碾压混凝土拱坝的复杂的温度场和应力状态，我们仍应对这些裂缝的发生和发展保持关注。

如果混凝土的出机口和现场浇筑温度过高，可能会导致混凝土在后期出现温度过高的现象。在浇筑过程中，混凝土的浇筑温度加上内部的水化热确实会使坝体产生较高的温度。因此，在实际施工中，我们需要采取适当的措施来降低出机口和入仓温度。降低混凝土入仓口的温度需要考虑多个因素，包括混凝土中胶凝材料的用量、原材料自身的温度以及运输过程中的温度损失。如果条件允许，可以对骨料进行预冷处理。在高温季节浇筑混凝土时，可以在混凝土中加入冷水拌和，并尽量选择早晨或晚上进行施工<sup>[5]</sup>。同时，在混凝土浇筑后，及时采取通水冷却措施可以有效降低混凝土的温度，从而减小拉应力，避免结构产生贯穿性裂缝。因此，在后期的施工中，我们需要对混凝土进行通水冷却。

#### 4 结束语

本文对两座水电站碾压混凝土双曲拱坝出现的坝面及坝体裂缝开展研究，通过分析项目特点及裂缝成因，选择采用化学灌浆法对裂缝进行处理，结果表明，在采取上述处理措施后，两个电站的原裂缝得到了较好的控制，未进一步延伸发育。尤其是在坝面涂刷环氧胶泥后，经监测，案例二坝后总渗水量由2L/s减小到0.8/s，渗水量显著降低。同时，根据后期运营情况，坝面裂缝未继续发展、原裂缝封闭效果良好，说明此处理方案对大坝裂缝处理有显著效果，希望可以为其他同类型项目裂缝缺陷处理提供借鉴意义。

#### 参考文献

- [1]黎展眉.普定碾压混凝土拱坝裂缝成因探讨[J].水力发电学报,2001,1(1):96-102.
- [2]杨远斐,包腾飞,吕蓓蓓,等.碾压混凝土拱坝裂缝成因与防裂措施分析[J].人民黄河,2012,34(7):140-142,145.
- [3]陆文婷,李硕.化学灌浆在某碾压混凝土拱坝裂缝处理中的应用[J].东北水利水电,2012,30(11):31-32.
- [4]黎展眉.普定碾压混凝土拱坝裂缝成因探讨[C].//2004年全国碾压混凝土坝筑坝技术交流会论文集.贵阳:中国水力学会,2004:402-404.
- [5]李磊.浅析碾压混凝土拱坝裂缝处理与防裂控制[J].陕西水利,2021(8):253-255.