

文章编号:1001-4179(2015)06-0045-04

# 丹江口初期工程大坝上游面水上裂缝检查与处理

黄朝君, 杨小云, 夏 杰

(南水北调中线水源有限责任公司, 湖北 丹江口 442700)

**摘要:**在丹江口大坝加高工程中,需对已运行40余年的老混凝土坝裂缝缺陷进行全面检查处理,以保证加高后的坝体安全。论述了在不影响枢纽正常运行的前提下,开展大坝上游面水上裂缝检查与处理的方法,包括裂缝的分类、检查方法,及处理施工技术等。裂缝处理后的检查表明,大坝上游面水上裂缝已得到全面有效控制,处理较果较好。目前,上述裂缝处理区已全部淹没于水下,检查未发现渗漏点,表明裂缝处理达到了预期效果。

**关 键 词:**大坝裂缝; 裂缝修补; 混凝土坝; 丹江口水利枢纽

**中图法分类号:** TV698

**文献标志码:** A

**DOI:**10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.06.014

丹江口初期工程混凝土坝上游面水上(库水位142.50 m)裂缝等缺陷在加高工程正常蓄水后将全部淹没于水下,在水的浸蚀与压力作用下,其破坏危害性更大,检查处理难度也更大。因此,必须在加高工程正常蓄水前对低水位运行期的水上裂缝进行彻查处理。在保证枢纽正常运行及防洪度汛的前提下,与一般坝体裂缝缺陷的检查处理相比,对上游面水上裂缝缺陷的检查处理是一项时间性更强,技术更为复杂,实施难度更大,安全、质量、进度管理与控制要求更高的隐蔽工程。

初期工程混凝土坝上游面水上裂缝缺陷检查与处理的施工程序为:混凝土表面清理→裂缝检查→裂缝处理→水泥基渗透结晶型防水材料涂刷→养护。受库水位的制约,施工历经多个枯水期(自2006年冬开始至2012年12月)方完成施工,施工质量符合大坝加高工程要求。目前,初期工程混凝土坝上游面水上裂缝处理后已全部淹没于水下,效果良好。本文主要论述丹江口初期工程混凝土坝上游面水上(高程142.5~162.0 m)裂缝的检查方法与处理施工技术<sup>[1-2]</sup>。

## 1 分区、分类及检查重点

### 1.1 上游坝面水上、水下区域划分

大坝上游面裂缝检查安排在枯水期进行,以尽量

扩大上游面水上区域的检查面积,减少水下检查的潜水深度。丹江口初期工程水库设计死水位为140.0 m,考虑到裂缝检查工作需要一定的周期,因此,上游坝面以142.5 m为界,分为水上区域和水下区域。

### 1.2 分类标准

为合理分析大坝裂缝情况并进行科学统计,有针对性地研究了不同类别裂缝的处理方案。参考其它工程大体积混凝土裂缝的分类标准,并结合初查情况,将初期工程混凝土坝裂缝分为4类,分类标准如下。

(1) I类。一般缝宽小于0.2 mm,缝深不大于30 cm,性状表现为龟裂或呈细微规则特性。

(2) II类。表面(浅层)裂缝,一般缝宽0.2~0.3 mm,缝深30~100 cm,平面缝长3~5 m,呈规则状。

(3) III类。表面深层裂缝,缝宽0.3~0.5 mm,缝深100~500 cm,缝长大于5 m,或平面大于等于1/3坝块宽度,侧面大于1~2个浇筑层厚,呈规则状。

(4) IV类。缝宽大于0.5 mm,缝深大于500 cm,侧(立)面长度大于5 m,或平面上贯穿全坝段。

### 1.3 检查重点

根据裂缝的分类和性质,将贯穿上游面的III、IV类裂缝、贯穿坝段的坝顶纵横向裂缝和水平层间缝、水下裂缝定义为危害性裂缝。

收稿日期:2015-01-03

作者简介:黄朝君,男,统计师,注册咨询(投资)工程师,主要从事水电工程项目建设管理工作。E-mail:hcj@zxsys.com

检查重点是大坝表面的危害性裂缝、廊道内的渗水裂缝、坝体内层间弱面或水平层间缝的力学特性。

## 2 水上裂缝缺陷检查

### 2.1 检查目的与方法

(1) 检查目的。分析裂缝对大坝加高工程的影响,为设计处理方案提供依据,具体目的为:① 查清危害性裂缝,为分析该类裂缝对加高工程的影响提供依据,要求查清危害性裂缝的产状和深度;② 对上游面水上裂缝进行全面详查,为设计上游面水上裂缝处理方案提供依据;③ 结合初期坝顶层间钻孔取芯和注水试验等,核查上游面水上水平层间缝高程,判别裂缝类别,为处理提供依据。

(2) 检查方法。上游面水上裂缝检查一般安排在枯水季节视库水位情况进行,采用人工直接检查法,先普查后详查。普查采用船、吊篮(右连及深孔坝段)、望远镜目测(厂房坝段、18号坝段)等,按照裂缝所在坝段进行编号,记录裂缝部位、宽度、走向等信息,并绘制裂缝图。裂缝部位描述采用高程标记法标注,宽度采用塞尺检查,走向采用目测法测量,裂缝深度采用凿槽、钻孔压(注)水、压风、孔内电视录像、物探等手段进行检查。详查在大坝上游表面清洗后进行。对渗漏严重的坝体及廊道裂缝相对应的上游坝面,应进行特别仔细的检查,并留下相关影像资料。对规模较大的裂缝检查应进行专门设计。用钻孔方式检查裂缝深度时,钻孔布置应避免破坏初期工程混凝土坝体内的隐蔽设施,尽量减少对上游面防渗层的破坏,严格控制钻孔深度,并在钻孔前考虑妥善的封孔措施。所有裂缝深度检查孔,检查完成后均应及时采用 M20 防水砂浆进行封孔,必要时进行表面防水处理。

### 2.2 检查范围与任务内容

(1) 检查范围。混凝土坝共 58 个坝段,即右 13~44 号坝段。考虑到两岸与土石坝连接等情况,大坝加高工程左岸 42~44 号坝段位于左岸土石坝心墙下游、右岸右 8~右 13 号坝段位于水库内,挡水坝段为右 9~41 号坝段。根据加高工程重要性,大坝上游面水上区域裂缝检查主要对象为大坝加高后的挡水坝段。检查实施时,根据检查项目划分,上游面水上裂缝范围为右连右 9~7 号坝段、8~13 号深孔坝段、18 号坝段、25~32 号厂房坝段、34~41 号左连坝段。

(2) 任务内容。查清水上区域所有裂缝的外观描述性参数(如裂缝的位置、分布、长度、宽度等)。规模较大或重要部位裂缝的深度和连通性是上游面水上裂缝检查的主要任务,其内容包括:① 对裂缝进行登记

(填表和绘制分布图)、分类,对 I 类裂缝一般可不作统计,其它类裂缝均应进行统计;② 选择性状较差的 II 类裂缝抽查其深度;③ 对 III 类以上裂缝全面检查其深度;④ 配合坝体廊道内裂缝检查,查清渗水裂缝的渗水来源、缝面渗水压力;⑤ 配合坝体内水平层间缝或层间弱面检查,了解层面力学性状以及与上游面的贯通情况。

### 2.3 检查情况

(1) 上游面水上裂缝检查从 2006 年冬季开始,至 2008 年 11 月底基本完成。共完成检查面积约 17 620 m<sup>2</sup>,查出裂缝共计 398 条,总长 6 044.76 m。其中,II 类裂缝 368 条,总长 5 501.68 m;III 类裂缝 1 条,总长 26.50 m;IV 类裂缝 29 条,总长 516.58 m。

(2) 上游面水上裂缝一般为 II 类浅表性裂缝,长度较小,缝宽为 0.1~0.2 mm。III 类裂缝条数较少,水平裂缝长度较竖向裂缝大,主要以水平层间缝为主。竖向裂缝以 II 类裂缝为主,主要集中在左、右连、18 号坝段和深孔坝段,其中 18 号坝段中部竖向裂缝规模较大,从坝顶延伸至水面以下。水平裂缝的特点是以 II 类裂缝较多,长度小,集中在左、右连、深孔及厂房 25~31 号坝段。IV 类裂缝数量少,但长度较大,主要发生在 2~右 6,右 3,18 号和 41 号坝段,为贯穿坝段上游面的水平裂缝。

检查发现的危害性裂缝主要有 18 号坝段、36 号坝段上游面竖向裂缝;右连 2~右 6 坝段上游面高程 143.0 m 及以上水平层间缝;25 号坝段高程 150.0, 154.0, 156.0 m 及 41 号坝段高程 155.5, 158.5 m 的水平层间缝。

(3) 主要部位裂缝情况如下。右连坝段查出裂缝 166 条,总长 1 576.26 m,其中 IV 类裂缝 20 条,总长 246.26 m;III 类裂缝 1 条,长 26.50 mm;II 类裂缝 145 条,总长 1 304.25 m。以 II 类裂缝居多,IV 类裂缝主要出现在 2~右 6 坝段,共 14 条,总长 151.26 m。

8~13 号深孔坝段共检查出裂缝 105 条,总长 1 578.4 m,主要为 II 类及以下裂缝。其中,II 类裂缝 105 条,总长 1 548.2 m;IV 类裂缝 1 条长 30.2 m(11 号坝段)。

在 18 坝段上游面(高程 142.5~160.0 m)共检查出裂缝 10 条,总长 506.80 m。其中,II 类裂缝 7 条,总长 376.40 m,均为水平层间缝;IV 类裂缝 3 条,总长 130.40 m,为 2 条(18Y-1、18Y-3)竖向裂缝及 1 条水平和竖向层间缝,对 2 条竖向裂缝深度采用钻孔声波检测法检测深度,约延伸到高程 142.5 m 以下。其中 18Y-1 缝宽 0.4~1.5 mm,平均缝宽 1.16 mm,缝长 24.50 m(高程 140.2~160.0 m),缝深为 6.95 m

(测孔孔深 7.0 m);18Y-3 缝宽 0.40~0.85 mm,平均缝宽 0.70 mm,缝长 8.20 m(高程 142.0~150.0 m),缝深检测为 2.58 m。以前曾对这 2 条裂缝在高程 144.0~155.0 m 段采用柔性材料进行过嵌缝处理。

25~32 号厂房坝段共检查出裂缝 59 条,总长 1 065.95 m。其中,Ⅱ类裂缝 56 条,总长 1 010.53 m;Ⅳ类裂缝 3 条,总长 55.42 m(25 号坝段)。高程 149.0 m 以上多为水平层间缝,其中 25~28 号坝段高程 150.0 m 存在 1 条贯通上游面的水平层间缝,通过查阅施工资料得知为施工长间歇层面。

33~41 号左连坝段检查发现的裂缝主要为Ⅱ类及以下裂缝,Ⅳ类裂缝在 41 号坝段。41 号坝段Ⅳ类裂缝 2 条,总长 55.3 m,为高程 155.50 m 及 158.5 m 水平裂缝,位于左岸土石坝黏土心墙与混凝土坝接头区域。

### 3 裂缝处理施工技术

#### 3.1 施工组织、程序和工程量

(1) 施工组织。根据处理部位的特点,开展施工组织设计,主要是风、水、电和作业平台等。搭设水上浮式施工平台,配合搭设三角架施工平台进行施工。施工人员、工机具及材料通过交通运输船运送到浮式施工平台,再垂直吊运到三角架施工平台上。水上施工设置了安全防护栏,施工人员穿救生衣、挂救生绳。

(2) 施工程序。Ⅱ类裂缝处理程序为:裂缝表面清理→凿槽→槽底嵌填 SR2 止水材料→槽内左右边埋锚筋→槽口回填聚合物砂浆抹平→养护。

Ⅲ、Ⅳ类裂缝处理程序为:裂缝表面清理→凿槽→骑缝钻孔、埋灌浆管→嵌缝或缝口封闭→试气检查→化学灌浆→取芯检查质量→凿燕尾槽→槽内凿“V”形槽、嵌填 SR2 止水材料→燕尾槽底粘贴 SR 防渗盖片→设置锚筋→燕尾槽内回填聚合物砂浆抹平→养护。

(3) 工程量。在下游面和坝顶面裂缝处理后,按大坝加高总进度要求,从 2007 年 10 月开始处理上游面水上区域裂缝,并于 2012 年 12 月完成。共处理裂缝 398 条,总长 6 074.11 m(包括 2~右 6 坝段)。其中,Ⅱ类裂缝 368 条,总长 5 529.03 m;Ⅲ类裂缝 1 条,长 26.50 m;Ⅳ类裂缝 29 条,总长 518.58 m;25 号坝段钢筋混凝土保护板 27.35 m<sup>3</sup>,钢筋制安 1.77 t,挑梁及横缝凿槽 1.76 m<sup>3</sup>,粘贴 SR 防渗盖片 104.14 m<sup>2</sup>。

#### 3.2 处理施工技术

上游面水上裂缝处理分别采取沿缝切凿嵌缝槽、化学灌浆、嵌填 SR2 塑性止水材料、粘贴 SR 防渗盖片、盖片保护等方式处理。

(1) Ⅰ类裂缝处理。除有专门要求外,一般结合坝面防护一并处理。

(2) Ⅱ类裂缝处理。采用清面,切凿“U”形槽,以 SR2 进行缝口封堵,回填聚合物砂浆的防护方式进行处理。① 裂缝表面处理。用小锤、钢丝及砂布将沿裂缝两边各 10 cm 宽的混凝土表面浮渣及油污清理干净。② 凿槽。在裂缝表面处理完成后,以裂缝为轴线切凿“U”形槽,槽口宽为 15 cm,深度 10~12 cm。③ 嵌缝和缝口封闭。在嵌缝前用高压风将裂缝周边水份吹干,槽底 4 cm 深度范围嵌填塑性止水材料 SR2,槽口 6~8 cm 深度范围回填聚合物砂浆并抹平,槽内左右边交错布置锚筋。对于竖向或斜向缝,凿槽区域为裂缝长度范围并向两端外延 50 cm。水平缝的凿槽区域由缝端外延 50~80 cm。当一个坝段同一高程有多条不连续的Ⅱ类水平缝时,处理范围应贯穿整个坝段。所有槽口的聚合物砂浆表面应与所在部位上游坝面平齐,不应出现明显的凹凸不平。聚合物砂浆回填后覆盖毛毡保湿养护 7 d。Ⅱ类裂缝处理见图 1。

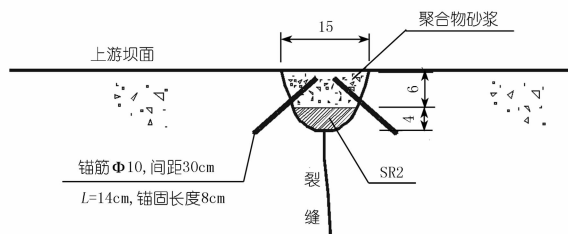


图 1 Ⅱ类水上裂缝处理示意(尺寸单位:cm)

(3) Ⅲ、Ⅳ类裂缝处理。对于有外观要求的部位,(145 m 高程以上)裂缝采用嵌入式处理,以保持坝面平整。对于其它部位,裂缝处理则可采用外贴式,以减少工程费用。嵌入式处理的构造示意见图 2,工艺程序及要求如下。

裂缝表面处理:用小锤、钢丝及砂布将裂缝两边各 10 cm 宽的混凝土表面浮渣及油污清理干净,水上部位粘贴灌浆嘴的地方采用棉丝蘸丙酮进行清洗。凿除表面的蜂窝麻面后用砂浆修复抹平。

化学灌浆:钻骑缝孔(孔径 20 mm,孔深 15~20 cm,孔距 30 cm 左右)埋灌浆管(嘴),灌浆材料选用 LPL,试气压力 0.2~0.3 MPa,灌浆压力一般为 0.3~0.4 MPa。

沿裂缝凿宽 60 cm、深 10 cm 的燕尾形槽,凿槽范围顺缝端延伸 80 cm,当一个坝段同一高程有多条不连续的水平裂缝且包含至少一条Ⅲ、Ⅳ类裂缝时,处理范围应贯穿整个坝段。槽底不平整度不大于 1 cm,必要时采用切割或打磨方式整平。

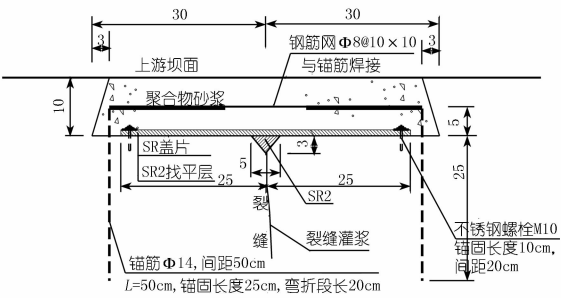


图2 裂缝嵌入式处理构造示意(尺寸单位:cm)

槽内骑裂缝切割宽 5 cm、深 3 cm 的“V”形槽,“V”形槽内回填塑性止水材料 SR2。

燕尾形槽底粘贴 SR 防渗盖片(宽 50 cm),盖片粘贴前采用 SR2 找平,槽内设置锚筋与钢筋网,再用聚合物砂浆填平,保湿养护 7 d。

对于采用外贴式处理的Ⅲ、Ⅳ类水上裂缝,其处理构造见图 3。工艺程序及要求为:先对裂缝进行贴嘴灌浆;再沿裂缝凿宽 5 cm、深 3 cm 的“V”形槽,并顺缝端延伸 80 cm,清理打磨裂缝两侧各 60 cm 范围并冲洗干净;“V”形槽内回填塑性止水材料 SR2,跨裂缝粘贴 SR 防渗盖片(宽 1 m),盖片外部采用宽 1.2 m、厚 20 cm 钢筋混凝土板保护,板内设置钢筋网;外部浇筑钢筋混凝土保护板,并采用锚筋固定。

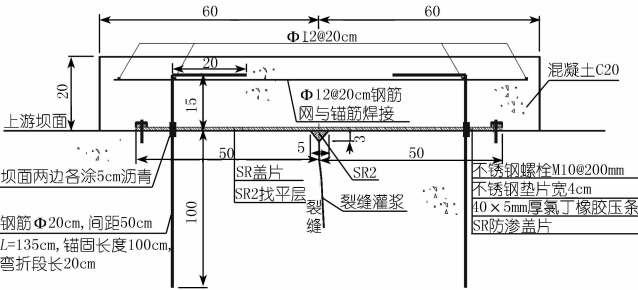


图3 裂缝外贴处理构造示意(尺寸单位:cm)

(4) 25 号坝段上游面裂缝处理。该坝段存在 3 条贯穿整个坝段的水平层间缝,高程分别为 150.0、154.0、156.0 m,采用“裂缝灌浆 + 凿槽回填 SR2 + 粘贴 SR 防渗盖片 + 钢筋混凝土保护板”的综合措施处理,实际处理高程范围 143.9 ~ 157.0 m。有 3 条Ⅱ类裂缝进行了化学灌浆,3 条(25Y-2、3、6)Ⅳ类裂缝按Ⅲ、Ⅳ类裂缝进行了灌浆,灌浆材料为 LW。钢筋混凝土保护板(C20 一级配)厚 20 cm。钢筋网为 Φ8 mm 5 cm × 5 cm,距保护板表面 10 cm。钢筋混凝土保护采用锚杆及混凝土挑梁固定。

(5) 水平裂缝与横缝贯通部位处理。当水平裂缝

与横缝贯通时,采用裂缝端头封闭加局部横缝灌浆的方式处理。具体要求为:① 裂缝端头封闭。当水平缝与横缝贯通时,在距横缝 30 cm 处骑水平裂缝钻水平孔,钻孔深度穿过大坝横缝止水埋设部位 50 cm,钻孔孔径 76 mm,孔位偏差控制不大于 2 cm,孔向偏差不大于 1%。孔内填塞 SR2 止水材料,孔口 6 cm 深度处填塞聚合物砂浆。② 横缝灌浆。在水平裂缝与横缝贯通处上下各 30 cm 处骑横缝钻灌浆封闭孔,孔径 56 mm,孔深 80 cm。孔内填塞 SR2 止水材料。对两封闭孔间的横缝采用 LW 材料进行贴嘴化学灌浆,灌浆压力不大于 0.1 MPa。

3.3 裂缝处理质量监测

上游面水上裂缝处理完毕后,对裂缝缝口封闭及裂缝灌浆质量进行了全面检查。其中,裂缝缝口封闭质量检查是在缝口封闭施工完成 3 d 后进行的。检查人员用小锤敲击砂浆表面,声音清脆者质量良好,声音沙哑或有“咚咚”声者,说明内有结合不良现象,必须凿除重补。对所有灌浆的裂缝,灌后均采取压水(2 个孔)或骑缝钻孔取芯的方式进行了质量检查。检测结果表明,裂缝灌浆后缝面浆液充填饱满,粘结良好,缝面漏水率小于 0.03 Lu,符合设计要求。

为观测裂缝处理效果及裂缝变化情况,有针对性地埋设了裂缝计、钢筋计和渗压计等监测仪器,并进行了长期连续监测。裂缝计监测数据表明,各测点开合度测值在 -0.30 ~ 0.71 mm 之间,最大开合度变化幅度小于 0.3 mm,绝大多数测点的渗流量逐年减小。

上游面水上裂缝处理后,在汛前低水位时进行了外观检查,发现原渗水缝无渗水,外贴材料完好,嵌填的聚合物砂浆完好。在水位达到 160.00 m 后,在对应上游面水上裂缝处理区域的廊道内检查,发现原渗水裂缝不再渗水,没有新的渗漏点,仅埋设的排水管有少许渗水。

4 结 语

丹江口水利枢纽上游面水上裂缝的检查处理达到了消缺、防渗和加固的目的,满足了大坝加高的要求。丹江口大坝加高工程已于 2013 年 8 月 29 日通过国家蓄水验收。2014 年 11 月 1 日,丹江口水库水位已达 160.72 m,初期工程混凝土坝上游面水上裂缝处理区域已全部淹没于水下,检查未发现渗漏点,顺利通过蓄水后第一个高水位的考验,表明上游面水上裂缝检查处理达到了预期效果。

→联接吊杆拼装→新液压启闭机及液压泵站设备安装、调试、投入运行→6 台新液压启闭机及 3 座液压泵站和电气控制设备安装调试完成→旧液压泵站设备拆除→旧液压泵房拆除→旧液压泵房预留空腔处理→预留空腔回填混凝土浇筑→液压启闭机改造全部完成。

4 结 语

丹江口大坝 26 ~ 31 号坝段加高混凝土施工自 2007 年 10 月开始,至 2008 年 11 月完成;电站快速门液压启闭机系统改造自 2008 年 11 月开始,至 2013 年 4 月全部完成,基本上与电站机组改造同步进行。在确保枢纽安全运行的前提下,既保证了液压启闭机系

统改造的顺利进行,也将对电站发电运行的影响和损失降低到了最小。

目前,6 套液压启闭机及 3 套液压泵站和电气控制系统的运行稳定、可靠,且易于操作。

参考文献:

[1] 长江水利委员会长江勘测规划设计研究院. 丹江口水利枢纽大坝加高工程初步设计报告(修订本)[R]. 武汉:长江水利委员会长江勘测规划设计研究院,2004.

[2] 中国船舶重工集团公司国营第 388 厂. 丹江口大坝加高工程液压启闭机竣工资料[R]. 宜昌:中国船舶重工集团公司国营第 388 厂,2008.

(编辑:赵秋云)

Reformation of quick hydraulic hoist at inlet of Danjiangkou Hydropower Station

YUAN Yunqiao

(Water Sources Company of South-to-North Water Diversion, Danjiangkou 442700, China)

**Abstract:** In the dam heightening process of Danjiangkou Dam, the old hydraulic hoist system on the dam crest must be removed for a new one installation. In order to improve the reliability and automation of the system, the form of "one pump and two machines" was adopted by the new hydraulic hoist system. The heightening works were carried out under the normal operation of the power station. In order to reduce the impact on power generation, the construction scheme was determined as follows: the pre-reserved cavity for the old hydraulic hoist system was protected firstly when the power house monolith is heightened, and the devices were removed one by one after the heightening works completed; then the cavity was backfilled with concrete, and the new devices were installed one after another.

**Key words:** hydraulic hoist; technological reformation; construction scheme; Danjiangkou heightening works

(上接第 48 页)

参考文献:

[1] 王立,胡雨新,杨小云,等. 丹江口加高工程初期大坝混凝土缺陷检查技术[J]. 南水北调与水利科技,2014,(2):104-110.

[2] 康子军,李方清,杨小云. 丹江口大坝下游坡面裂缝检查与处理[J]. 湖北水力发电,2008,(5):40-43.

(编辑:郑毅)

Inspection and treatment of overwater crack of upstream surface of first-stage project of Danjiangkou Dam

HUANG Chaojun, YANG Xiaoyun, XIA Jie

(Water Sources Company of South-to-North Water Diversion, Danjiangkou 442700, China)

**Abstract:** The first-stage project of Danjiangkou hydro-complex has run for nearly 4 decades, the concrete cracks above water surface on the upstream dam surface should be inspected and repaired thoroughly so as to guarantee the safety of the heightened dam body. We demonstrate the inspection and repairing method for the cracks above the surface water under the premise of not interfering the normal operation of the old dam, including the classification of crack, inspection method of crack and treatment techniques of crack. The acceptance check shows that all the cracks above water surface on the upstream are controlled. Now all the treated cracks are immersed in water and no seepage problems occurred.

**Key words:** dam crack; crack repairing; concrete dam; Danjiangkou hydro-complex