

# 浅析化学灌浆在坝体裂缝处理中的应用

胡清焱, 王抗, 张国寿, 侯丽君

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川成都 610072)

**摘要:**老挝色拉龙一级水电站采石场岩石为砂岩,利用该砂岩骨料浇筑的大坝2 m厚各坝段常态混凝土底板均出现了不同程度的贯穿性裂缝,因裂缝成因复杂,处理难度大,给工程安全带来了潜在的威胁。对裂缝成因进行了分析,对处理方案进行了总结,形成了成熟的化学灌浆施工工艺,可为今后大坝裂缝处理提供参考。

**关键词:**砂岩;坝体裂缝;处理;色拉龙一级水电站;化学灌浆

**中图分类号:**TV7;TV52;TV543

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2018)05-0029-04

## 1 概述

老挝色拉龙一级水电站以发电为主,主要建筑物由碾压混凝土重力坝、溢流坝、坝式取水口、坝后式发电厂房、主变GIS楼及尾水渠等组成,水库总库容为9.53亿 $m^3$ ,额定水头46 m,电站装机容量为70 MW,安装2台混流式机组,年平均发电量为2.7亿 $kW \cdot h$ 。

枢纽区拦河大坝为碾压混凝土重力坝,混凝土坝顶全长459 m,坝顶高程219.5 m,最大坝高64.5 m,从左岸至右岸依次为长175 m的左岸重力坝段,长71 m的溢流坝段(布置4个溢流孔),长19 m的导流底孔坝段,长34 m的厂房进水口坝段,长160 m的右岸重力坝段。

大坝分为23个坝段,坝基 $C_{90}20$ 二级配常态混凝土底板为固结灌浆的盖重层,上部为碾压混凝土坝体。

(1)大坝坝基地质条件。大坝建基面主要为 $J^{2-4}$ 厚层砂岩,间夹泥质粉砂岩、粉砂质泥岩或泥岩透镜体,基础下部岩性为砂岩与泥质粉砂岩、粉砂质泥岩及泥岩互层,软硬相间。各岩层之间接触良好,结合紧密,但泥质粉砂岩、粉砂质泥岩及泥岩强度低,为软岩或较软岩。 $J^{2-4}$ 层砂岩中见透镜体状泥质粉砂岩、粉砂质泥岩或泥岩夹层。

(2)采石场地质条件。原设计的1#料场因砂岩整体品质较低,进场后已废弃,采用新开辟的2#、4#料场替代原1#料场,目前使用的2#料场为主料场。2#料场距坝址约3 km,开采面积为4.4万 $m^2$ ,有用料厚度为2~7.3 m,平均为4.6 m,主要

为青灰色砂岩,砂岩单轴饱和抗压强度为40.4~82.9 MPa,平均强度为66.2 MPa,属中硬岩。

坝体裂缝主要集中在2 m厚的常态混凝土底板上,裂缝为纵横向的贯穿性裂缝,各坝段裂缝数量不等,分布较为随机,裂缝宽度约为1~4 mm,深2 m,出现时间主要集中在底板常态混凝土浇筑后的3~15 d内,通过裂缝测缝计观测,发现裂缝发育一个月后基本趋于稳定。

## 2 裂缝成因分析及影响

### 2.1 裂缝成因分析

(1)砂岩坝基地质问题。坝址区为砂岩地质条件,坝基砂岩水平向缓倾向下游分布,前期勘探钻孔和进场后开挖揭露出的实际地质情况表明,水平向夹层裂隙较发育,夹层为粉砂质泥岩和泥质粉砂岩,层厚约10~15 cm,为软弱层;同时,坝基局部泥质粉砂岩开挖后遇水较易风化崩解,使坝基承载力不均匀,导致坝体出现贯穿性裂缝。

(2)砂岩骨料问题。由于采石料场岩性为砂岩,而砂岩抗压强度相对较低、稳定性差(较离散),成品骨料压碎值偏高,骨料线膨胀系数大,吸水率高、易软化,磨耗性高,转运和搅拌过程中易产生石粉,部分指标接近或已超出规范要求,对混凝土强度有一定的影响。为保证混凝土强度,在增加水泥用量后导致坝体水化热偏高。

(3)现场混凝土温度控制问题。工程区地处老挝南部,旱季白天气温相对较高,昼夜温差较大。尽管采取了对混凝土出机口温度控制、坝体冷却水管通水流量控制、日常性的养护、重点部位保温膜覆盖等温控措施,但只能在一定程度上制

收稿日期:2018-08-08

约坝体裂缝的进一步发育。

## 2.2 裂缝对坝体安全的影响

(1)形成渗漏通道。若坝体上游裂缝处理不好,在大坝蓄水后会形成渗漏通道,进而影响上游灌浆廊道等建筑物的使用功能;同时有可能沿上游面裂缝发生水力劈裂,使裂缝进一步发育,形成贯穿性裂缝而危及坝体安全;或带走混凝土内的部分元素,锈蚀钢筋,亦会降低坝体的耐久性。

(2)改变坝体应力分布。坝体出现裂缝后,会使坝体内部的应力重新分布,出现应力集中区,导致上游块压应力集中,下游块拉应力集中,这些

应力集中部位有可能会超过混凝土的抗拉强度,造成混凝土局部破坏,进而影响到大坝的整体安全和稳定。

## 3 裂缝处理材料及设备

### 3.1 裂缝处理材料

(1)YDS 环氧灌浆材料。裂缝灌浆采用高渗透性的 YDS 环氧树脂灌浆材料,可灌入 0.01 mm 的微小裂缝,且其具有强度高、粘结性好、流动性好等特点,浆液凝固后能很好地和混凝土粘结在一起,使结构物恢复其整体性。YDS 环氧浆材的主要指标见表 1。

表 1 YDS 环氧浆材主要指标表

浆材型号	抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	剪切强度 /MPa	粘结强度 /MPa	抗渗压力 /MPa	初始粘度 s	浆液密度 /g·cm <sup>-3</sup>
标准要求	≥70	≥10	≥8	≥4	≥1.2	< 30	≥1
检验结果	83	15	15.8	5.1	1.3	13	1.1

注:检验依据《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》(HC/T1041-2007)。

(2)预缩砂浆。拌制良好的预缩砂浆具有较高的抗压、抗拉强度,与原混凝土的粘结强度亦较

高,常用于修补混凝土裂缝和其他缺陷。预缩砂浆施工配合比见表 2。

表 2 预缩砂浆施工配合比

水灰比	稠度 /cm	用水量 /kg	水泥用量 /kg	粉煤灰 /kg	砂用量 /kg	膨胀剂 /10%	高性能减水剂 /1%
0.29	手握可成团	155	481	53	1475	53	5.34

### 3.2 裂缝处理设备

为保证裂缝处理质量与高效施工,造孔采用 YT-28 型手风钻和电钻,灌浆设备为 DH-512

微型高压电动注浆机,洗孔设备采用 SDB-6.3 型手动试压泵冲洗,打磨采用角磨机。微型高压电动注浆机性能参数见表 3。

表 3 DH-512 微型高压电动注浆机性能参数表

型号	灌浆压力 /MPa	流量 /L·min <sup>-1</sup>	料斗容积 /L	额定电压 V/Hz	转速 /r·min <sup>-1</sup>	额定功率 /kW	重量 /kg
DH-512	20~50	0.8	2	220/50	2 800	0.56	7.5

## 4 裂缝处理施工工艺及方案

### 4.1 裂缝处理工艺

凿 U 型槽→造孔→高压水洗孔及压水检查→用风吹干裂缝积水→表面镶缝及埋设灌浆管→化学灌浆→表面处理。

### 4.2 裂缝处理方案的实施

#### 4.2.1 凿 U 型槽

沿裂缝缝面用电镐凿 5 cm×5 cm(宽×深)的 U 型槽,然后用高压水将槽内缝面冲洗干净,观察缝口的状况;对渣粒或浆皮封住缝口的地方用薄刀片挑开缝口,再用高压水冲洗,待缝面干燥后进行贴嘴以及打斜孔处理。

#### 4.2.2 造孔施工

(1)采用 YT-28 手风钻钻孔,孔径 32 mm。沿缝两侧钻斜孔(深孔),孔深 2 m,孔距 1.5 m,梅花型布置;孔距裂缝中心线 38.8 cm,钻孔角度为 15°,该孔在缝深 1.5 m 处交叉,钻孔均斜穿裂缝。

(2)在两灌浆孔中心线上,沿裂缝两侧交错布置浅孔(灌浆孔兼作排气孔),电钻造孔,孔径 15 mm,孔深 40 cm,孔距 1.5 m,梅花型布置;孔距裂缝中心线 7.8 cm,钻孔角度为 15°,该孔在缝深 29 m 处交叉;钻孔均斜穿裂缝。

(3)在 U 型槽中部缝口设骑缝孔,埋设 φ15PVC 管,为灌浆排气孔,间距 1.5 m,与深孔平行布置。

(4)钻孔自下而上顺序进行;所有孔(包括灌

浆孔和排气孔)均一次钻完。在混凝土表面采用预缩砂浆或其他方法粘贴灌浆贴嘴和灌浆斜孔。灌浆孔与灌浆嘴应粘贴牢固以保证灌浆效果。

#### 4.2.3 洗孔及压水试验

(1)洗孔:待全部钻孔完成后,采用高压水清洗缝面,冲洗自上而下逐孔进行,冲洗压力为0.2~0.3 MPa,直至缝面清洗干净为止(即缝面出水清净)。

(2)压水检查:洗孔结束后,采用压力水检查其是否畅通,并根据出水点打孔埋设排气管,封闭缝面,压水压力为灌浆压力的80%。

(3)压水检查结束后,用高压风吹干缝内的积水。

#### 4.2.4 嵌缝及预埋灌浆管

(1)骑缝孔的设置。骑缝孔为 $\phi 15$ PVC管,先将其插入U型槽内的预先钻孔位置,并将其固定。

(2)预缩砂浆的制备。将按比例配置的砂与水泥混合,并反复翻拌3~4次,使之混合均匀,再加水(水中已加入减水剂与引气剂)翻拌3~4次。砂浆的稠度以手捏成团、手松砂散、手面潮湿又析不出水为度。拌好后的砂浆仍为松散体,将其归堆存放0.5~1.5 h,使砂浆预缩。

(3)预缩砂浆的填充。预缩砂浆的填补施工按分层铺料捣实、逐层填补的程序进行。填补预缩砂浆前,先在接触面薄涂一层厚约1 mm、水灰比为0.45~0.5的水泥素浆,然后再分层填入预缩砂浆,每层铺料厚度为2~3 cm,用木锤拍打捣实至表面出现少量浆液为度。层与层之间应用钢丝刷刷毛,以加强层间结合,如此反复进行至预填表面为止。预缩砂浆应在拌制好后的2 h内用完。

(4)养护。施工完成4~8 h后,应用塑料薄膜覆盖,保温保湿。

#### 4.2.5 化学灌浆的施工

(1)浆液配制。根据厂家提供的浆液配合比进行掺配,并保持浆液温度在25℃以下,可在水中配浆(将容器置于水中,以达到降温效果),单次配浆量不宜过多。

(2)施工方法。自下而上依次灌注。先灌注最下部第一个孔,待上方孔出浆后,可改为上方孔灌注,也可封闭出浆孔,用原孔继续灌注,直至附

件孔全部出浆;灌注下方孔时,上方孔兼作排气孔。

(3)灌浆压力。可根据裂缝开度和混凝土强度确定灌浆压力,一般浅孔压力为0.2~0.3 MPa,深孔压力为0.3~0.5 MPa。

(4)如出现有未出浆的灌浆孔或排气孔,需重新钻孔进行补灌。

(5)灌浆结束标准。不吸浆后继续灌注10 min;或上方孔出浆后封闭下方灌浆孔,改为上方孔进行灌注,直至缝隙饱满。

#### 4.2.6 灌后缝面的处理

灌浆检查结束后,将排气管和贴嘴割除,采用砂轮机打磨平整,水泥灰浆填缝使其与原混凝土面外观相近。

#### 4.2.7 特殊情况的处理

(1)灌浆时出现长时间不进浆且浆液粘度增加,即浆液配合比出现问题。处理方法:打开机箱盖,排弃部分混合液,然后重新灌浆。

(2)灌浆过程中,若发现冒浆、漏浆,应根据具体情况采用嵌缝、表面封堵、限量、间歇灌浆等方法进行处理。

#### 4.3 灌浆质量的检查及验收

(1)压水检查。对进行过化学灌浆的混凝土裂缝,在浆材固化强度达到设计要求后应钻检查孔进行压水试验,孔口压力为50%~80%设计灌浆压力,最大压力为0.3 MPa,检查孔单孔吸水量应小于0.01 L/min;不合格时应进行补灌。

(2)对重要部位的裂缝灌浆后可进行声波检查,灌浆后的声波检查孔利用灌前的裂缝声波检查孔,通过灌浆前后声波波幅的对比分析判定灌浆效果。

(3)钻孔取芯。对重要部位的裂缝灌浆完成21 d后可进行钻孔取芯及钻孔全景图像检查,观察其缝面浆液结合和充填情况,并测定其力学指标是否达到相应部位混凝土的设计要求值。芯样试验内容主要为抗压强度和劈拉强度。

### 5 针对裂缝预防采取的综合措施

(1)坝体底板混凝土分块浇筑。设计各坝段常态混凝土底板宽度为20 m,长度在40~60 m之间,为整体结构,一仓浇筑完成。在右岸一期基坑底板浇筑过程中,出现了规律性较强的横向贯穿性裂缝(沿坝轴线方向),将底板均匀地分成了

几块;根据该现象,在左岸二期基坑底板浇筑中,设计人员将各坝段底板进行了分块,每块长度不超过20 m,各块间按施工缝处理进行凿毛、并设置 $\varphi 25$ 插筋连接,同时底板增设限裂钢筋,具体为满铺 $\varphi 25$ 钢筋,间排距为20 cm。通过该项措施,左岸二期基坑内的坝体底板裂缝明显少于右岸一期基坑,同时,横向裂缝进一步减少,证明该项裂缝处理措施对坝体底板裂缝起到了一定的遏制作用。

(2)采用碾压混凝土替代常态混凝土底板。该工程为全坝段固结灌浆,采用2 m厚的 $C_{90}$ 20常态混凝土作为固结灌浆的盖重层。由于采用砂岩骨料,因骨料自身的一些特殊属性使得常态混凝土水泥用量相对偏高,水化热偏大,较易出现坝体裂缝。实践中,通过优化,取消了2 m厚的常态混凝土底板,在建基面清基后,浇筑30 cm厚的钢筋混凝土垫层找平,然后直接进行碾压混凝土浇筑,碾压混凝土浇筑的第一层作为固结灌浆盖重层。如此实施,既减少了常态混凝土底板因水泥用量偏高而造成的坝体裂缝,又避免了因固结灌浆基础抬动带来的底板裂缝。实践证明:该项措施有效,后期浇筑的大坝底板均未出现裂缝。

## 6 结语

(上接第4页)

行了优化调整;为避免对人员造成惊吓,进而导致相关纠纷,在每次开挖爆破过程中,对于距离较近房屋中的人员进行了临时疏散,并在爆破前对周围房屋的居民采取提前通知预警等系列安全措施,下平段顺利穿过民房下部,安全、顺利地完成了爆破开挖施工。

隧洞掘进过程中,通过监测,4#民房最不利的情况下监测到的最大 $V$ 值为1.67 cm/s,未超过验算值1.72 cm/s,也未超过考虑实际情况的设定值2 cm/s,过程中也未对1#~5#房屋及新客运站造成任何影响,达到了预期目的。

## 7 结语

由于该项目的顺利实施,初步测算,安全影响分析及爆破方案的有效实施为项目业主在工程移民搬迁方面、损毁赔偿以及工期节约等方面节约投资近1 000万元。

由此可见,在该项目,安全影响分析为现场爆破开挖提供了强有力的理论依据和指导,避免了

该工程坝基及采石场均为砂岩地质条件。由于砂岩作为混凝土骨料存在一些先天性的缺陷,给配合比设计和现场混凝土浇筑质量控制带来了较大的挑战,导致坝体底板出现裂缝。坝体裂缝给大坝安全和稳定带来了潜在的隐患。裂缝出现后前期处于发育期,处理不当会影响裂缝的处理质量,给大坝安全留下隐患;处理不及时会延误关键线路工期,有可能使工程工期滞后一年而导致损失严重。通过该工程的实践和总结,采用化学灌浆进行坝体裂缝处理,处理后的底板裂缝钻孔取芯的各项物理力学指标均满足设计要求,经过孔内成像检测,裂缝内部的化学浆液饱满密实,达到了裂缝处理的效果。同时,提出了裂缝预防措施,对国内外同类型工程具有较高的参考意义和实用价值。

### 作者简介:

胡清焱(1972-),男,四川蓬溪人,高级工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

王抗(1974-),男,四川资阳人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

张国寿(1988-),男,甘肃武威人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

侯丽君(1979-),女,内蒙古赤峰人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

大量房屋搬迁和赔偿纠纷。该项目的安全影响分析研究应用是成功的,可以为类似环境条件下的工程施工提供一定的借鉴和参考。

### 参考文献:

- [1] 张继春. 工程控制爆破. [M]. 成都:西南交通大学出版社, 2003.
- [2] 叶海旺,房泽法,彭志刚. 爆破地震对结构的影响[J]. 爆破. 2002,23(1):25~30.
- [3] 爆破安全规程,GB6722-2003[S].
- [4] 魏晓林,郑炳旭. 爆破振动对邻近建筑物的危害[J]. 工程爆破,2000,25(3):65-73.

### 作者简介:

张永(1976-),男,四川广元人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

陈洪波(1970-),男,四川都江堰人,工程师,从事水利水电工程技术及管理工作;

李明(1975-),男,四川自贡人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

袁赞(1985-),男,湖北宜昌人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)