

# 泄洪洞衬砌混凝土渗水裂缝处理探讨

陈林枫

(中国水利水电第七工程局有限公司 海外事业部,四川 成都 610081)

**摘要:**泄洪洞衬砌混凝土渗水裂缝在处理过程中一般选择高渗透改性环氧浆材,采用先进的无损贴嘴灌浆施工工艺,使裂缝处理效果满足设计质量要求。对C70高标号硅粉混凝土裂缝可以选择环氧树脂注浆或特细水泥注浆工艺,处理后可满足设计强度要求。

**关键词:**隧洞混凝土;高强混凝土;裂缝处理

**中图分类号:**

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2013)06-0053-03

## 1 泄洪洞混凝土衬砌裂缝形成原因分析

近些年来,由于水电工程规模的不断升级扩大,导致导流泄洪工程隧洞断面也在越变越大,其混凝土衬砌采用的设计标号也越来越高,有C30、C40、C50乃至出现C70高强度硅粉混凝土。

一般来讲,泄洪洞早期混凝土裂缝主要与混凝土因水泥水化热引起的内外温差和干燥引起的内外湿差(特别是拆模后)有关。混凝土浇筑后,因水泥水化热作用引起温度升高较快,加上混凝土的导热性能很差,导致混凝土内外出现温差。由于材料的热胀冷缩性,引起内部受压,外部受拉。当混凝土此时的抗拉强度小于外部温度拉应力时就要出现裂缝。有些部位在拆模(龄期2~3d左右)时出现裂缝,有些部位在拆模1~2d内出现裂缝。混凝土早期裂缝一般为表面裂缝,方向不定,数量较多。

后期裂缝产生原因分析:混凝土后期裂缝主要由基础温差引起,与浇筑施工分段分块尺寸、弹性模量、围岩弹模等因素有关。对于衬砌厚度大于1m的隧洞混凝土,当衬砌混凝土段温度由最高降低至最低(或稳定温度)时产生的拉应力大于混凝土的抗拉应力,此时的混凝土就会产生裂缝。

中外水电工程统计资料表明,对于C30混凝土段(块),若控制基础温差为21℃(对应最高温度为31℃左右),衬砌浇筑分段长度应在15m以内,可以防止混凝土出现裂缝;对于C70高标号硅粉混凝土,若控制基础温差为37℃(对应最高温度为45℃左右),衬砌浇筑分段长度大于15

m,其拉应力大于C70高标号硅粉混凝土 $[\sigma]$ 值3.5MPa,将会产生裂缝;若控制基础温差为46℃(对应最高温度为54℃左右),衬砌浇筑分段长度大于6m,将会产生裂缝。

由于水泥用量大,加上围岩硬度大、弹模高等原因,尽管采用低温混凝土浇筑,其最高温度亦超过允许标准。在隧洞衬砌混凝土浇筑成形后,结构混凝土由于受到内外温差所引起的温度应力影响,产生不均匀收缩而出现裂缝。

对于隧洞混凝土裂缝的处理,一般采取防渗堵漏和补强加固的方式,对裂缝可以进行化学灌浆处理。

## 2 浆材

### 2.1 一般隧洞混凝土裂缝处理化学浆材的选择

目前的裂缝处理一般采用高渗透改性环氧浆材,但其均存在一定的局限性,故需研究环保型、低粘度、无收缩、抗老化强、粘接强度高且能满足温度裂缝反复收缩开裂处理要求的弹性改性环氧浆材。化学浆材选择应掌握的原则为:

(1)可灌性。所选化学浆材必须能够灌入裂缝,充填饱满,灌入后能凝结固化,以达到补强和防渗加固的目的。

(2)耐久性。所选用材料在使用环境条件下性能稳定,不易起化学变化并且与混凝土裂缝有足够的粘接强度,不易脱开,特别是对于一些活动裂缝和不稳定裂缝。

由于水工地下隧洞衬砌混凝土裂缝具有开度较小、外水压力大、浆液较难灌入的特点,一般处理要求为:既要满足补强,又要防渗堵漏。灌浆材

收稿日期:2013-10-25

料一般采用高渗透改性环氧浆材。在渗水裂缝处理过程中采用了EAA、CW、LPL 3种高渗透改性环氧浆材。

以上3种材料各具优缺点。EAA、CW属糠醛、丙酮改性系列,具有亲水性、粘度低、可灌性较好等优点;缺点是凝固时间长、脆性大,不适宜对变化的裂缝进行处理;LPL浆材属活性稀释剂改性系列,具有亲水性、凝固时间短、脆性小、浆材本身不收缩的优点;但缺点是粘度大,对于细小裂缝可灌性差。

## 2.2 高强硅粉混凝土裂缝处理

采用环氧树脂注浆材料和特细注浆水泥材料进行处理。

## 3 裂缝处理采用的方法

裂缝处理采用的方法主要有开槽埋管法和打斜孔埋管法、无损贴嘴法。开槽埋管法由于对原混凝土结构破坏较大,浆材损耗大,开槽处难以修复好等问题已普遍不再采用;打斜孔埋管法能解决开槽法的诸多不利,但存在管容耗浆大,微细粉尘易堵塞缝面而影响灌浆质量,但其施工简单,故经常被采用;无损贴嘴法是目前处理裂缝最先进的办法,具有工艺简单、无钻孔、无孔容耗浆、易找准裂缝、对混凝土无损伤、成本低等优点。

采用无损贴嘴法的难点是渗水缝的贴嘴,而采用ECH水下粘结胶进行渗水缝的贴嘴最大能承受1.3 MPa的压力,从而为贴嘴法处理渗水裂缝提供了条件。

### 3.1 无损贴嘴法

#### 3.1.1 工艺特点

(1)不破坏混凝土的整体性,适合薄型结构裂缝的处理。

(2)由于是从缝的表面进行打磨冲洗,可以避免微细粉尘对灌浆的影响,从缝口进浆可灌性得到了保证。

(3)使“以浆赶水”、多点依序同步灌浆成为可能。

(4)贴嘴封缝采用多点同步灌浆无损灌浆工艺,可在不破坏混凝土结构的条件下极大地提高可灌性,裂缝的灌入深度也能满足要求,加之使用低粘度、低收缩的化灌浆材,可以达到“堵水、保护钢筋、恢复结构整体性”的效果。

(5)工艺简单、复灌率低,可节约昂贵的化学

浆材,降低成本,加快施工进度。

#### 3.1.2 工艺流程

工艺流程:注浆嘴加工→打磨→冲洗→裂缝描述→贴嘴→封缝→压风检查→灌浆→注浆嘴清除→质量检查。

#### 3.1.3 技术要求

(1)注浆嘴加工。在外径为6 mm、长度大于6 cm的铜管一端焊上边长3~4 cm、厚1.5 mm左右的方形铁片,铁片中间开直径等于铜管外径的进浆孔,铁片周边钻排列规则的小孔。

(2)打磨。采用砂轮机沿裂缝的两边各打磨20 cm的宽度,除去混凝土表面杂物,以免影响注浆嘴的粘贴及封缝效果。

(3)冲洗。冲洗是贴嘴法施工最重要的工序,使用高压冲毛机沿裂缝开口向两边冲洗,以保证缝口敞开、无杂物。

(4)裂缝描述。用刻度放大镜测量裂缝宽度,并对裂缝走向及缝长进行描述,用以调整布置注浆嘴间距及灌浆压力。

(5)贴嘴。根据裂缝描述进行注浆嘴的布置:规则裂缝缝宽小于0.3 mm时按间距20 cm布嘴,缝宽大于0.3 mm时按间距30 cm布嘴;不规则裂缝的交叉点及端部均布置注浆嘴。将ECH-I型胶抹在注浆嘴底板上,贴嘴时用定位针穿过进浆管,对准缝口插上,然后将注浆嘴压向混凝土表面后抽出定位针,定位针未粘附胶则认定注浆嘴粘贴合格。

(6)封缝。贴嘴3 h后用堵漏灵胶泥将渗水缝口封堵住,2 h后用碘钨灯将混凝土表面烘干并用无水酒精洗抹一遍;待干后刮抹一层ECH-II型粘胶;当其不粘手时再刮抹ECH-III型面胶3遍,待ECH-III型面胶基本固化后,用堵漏灵加固形成中间高、两边低的伞形封盖。

(7)压风检查。封缝完成并养护2 h后即可进行压风检查各孔的贯通情况,风压小于0.25 MPa;对于不串通的孔应查明原因并进行分析和处理。

(8)灌浆。采用多点同步灌注方式,从下至上,由宽至窄,逐步推进,采用Lily CD-15双组分注射泵灌注LPL浆材。施工中采用稳压慢灌的方式,每孔纯灌时间不少于90 min,以保证灌浆质量。灌浆压力随缝宽的增大而降低。

(9)注浆嘴的清除。灌浆结束48 h后铲除注

浆嘴,混凝土表面采用环氧胶泥封堵平整。

(10)质量检查及验收。灌后质量检查在注射树脂 LPL 灌浆结束 7 d 后进行。①压水检查:现场布骑缝孔,冲击钻造孔(孔径 18~20 mm、孔深 10~15 cm)后,采用单点法压水,压水检查压力为 0.3 MPa。②合格标准:压水检查透水率  $q \leq 0.1 \text{ Lu}$ 。③钻孔取芯:取芯直径 89 mm,并进行岩芯鉴定、描述,绘制钻孔柱状图。

### 3.1.4 特殊情况处理

#### 3.1.4.1 渗漏点的复灌

对于有规律的渗漏点,采用原施工方法进行复灌。对单独的渗漏点采用打辅助孔的方法进行复灌,先在渗漏点贴嘴、封缝,然后用冲击钻在距渗漏点 10 cm 处沿原裂缝钻 3 个辅助斜孔(孔径 18~20 mm,孔距 10~20 cm,倾角  $50^\circ$ ,孔深 25 cm),并预埋外径为 6 mm 的铜管,再用堵漏灵进行封堵埋管。在渗漏点贴嘴及封缝、辅助孔埋管及封堵完成后,其他工序按原方法进行施工。

#### 3.1.4.2 浆液配比出现问题时的处理

灌浆时如出现长时间不进浆且浆液粘度增加,即浆液配比出现问题。处理方法是打开机箱盖,清理两活塞杆运行系统,直至两活塞杆运行同步后,排弃部分混合液,然后重新注浆。

#### 3.1.4.3 复灌后仍局部渗水的处理

(1)对经复灌后仍有渗水的部位采用嵌缝措

表 1 龄期 14 d 的强度指标及适用条件表

抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	与混凝土粘结强度 /MPa	与钢材粘结强度 /MPa	被修补的混凝土表面 允许温度 / $^\circ\text{C}$	可修补裂缝宽度 /mm
64	27	3	9	3~40	0.2~0.5

孔径 6 mm、孔深 10 cm、孔距 30 cm 左右。②用高压风水枪冲洗裂缝及周围混凝土表面,并用高压空气吹净缝内积水。③在钻孔处安装灌浆嘴,同时用 Sika731 环氧砂浆封闭裂缝及灌浆嘴底座,固化 24 h。④把分别包装的 Sika752A、B 两种材料按 2:1 的比例在干净的容器内混合并搅拌 3 min。⑤用环氧注浆泵将拌合好的浆液注入裂缝内,竖向缝自下而上,水平缝自一端向另一端,逐孔灌注,灌注压力为 0.4~0.6 MPa。⑥自然状态下养护,达到一定强度后用砂轮机把表面打平磨光。

(3)裂缝处理效果。经过处理的裂缝可以进行随机取芯检查,从芯样外观可以看到:注浆材料充满裂缝空隙,与混凝土结合很好,抗压强度试验

结果均满足设计强度要求。施。开槽槽深  $\times$  槽宽为 5 cm  $\times$  5 cm,并在槽内每隔 1.5 m 用电钻打一个  $\varphi 22$  的排水孔,孔深大于 70 cm;从孔底部埋 1 根铝管,在管口用堵漏灵封闭将水引出;将槽面清洗干净并尽量烘干,若无法烘干则在缝面用堵漏灵先堵水,然后涂环氧基液,再用丙乳砂浆锤填密实并满足过流面平整度要求。嵌缝后再在表面粘贴玻璃丝布防渗,玻璃丝布宽 15 cm。粘贴方法为:先将缝面清理干净,均匀刷一层 1438 胶,再贴一层玻璃丝布,三胶二布。对于灌浆后延伸的裂缝,若渗水不大或不渗水,则直接在缝面粘贴玻璃丝布并延伸 1 m 左右。

(2)待丙乳砂浆封闭 7 d 后封闭引水管孔。先用干塑性水泥砂浆填充并用细钢筋捣密实;在距孔口 5 cm 时,改用预缩砂浆填充密实,对其表面涂刷环氧胶泥。

### 3.2 环氧注浆处理

根据技术规范要求,凡是裂缝宽度大于 0.5 mm 或是长度大于 1.5 m 的裂缝均应进行处理。泄洪洞 C70 高标号硅粉混凝土裂缝主要采用环氧树脂和特细水泥注浆进行处理。

(1)注浆材料 SiKa752 环氧树脂浆材为双组分化灌材料,按比例混合后,可在自然状态下或潮湿的混凝土表面无收缩固化。SiKa752 环氧树脂力学强度指标及适用条件见表 1。

(2)裂缝处理步骤:①用冲击钻沿裂缝钻孔,

结果均满足设计强度要求。

### 3.3 特细水泥注浆处理

(1)注浆材料。特细水泥因其细度(最大颗粒通过  $d_{95} < 9.5 \mu\text{m}$ ,比表面积  $> 16\,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ )有别于普通水泥,故在使用时将特细水泥添加 3% 的外加剂(Sika Intraplast HE50)与水混合。特细水泥的力学强度指标及适用条件见表 2。

表 2 特细水泥强度指标及适用条件表

水灰比	密度 / $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$	与混凝土 粘结强度 / $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	抗压强度 /MPa			修补裂缝 宽度 /mm
			1 d	7 d	30 d	
0.55 ~0.65	27	3	23	45	60	0.2

(2)裂缝处理步骤。其施工方法及操作与环  
(下转第 104 页)

表1 方案修改后经济性分析比较表

部位	隧洞长度 变化 /m (1)	开挖面积 变化 /m <sup>2</sup> (2)	衬砌面积 变化 /m <sup>2</sup> (3)	产值变化 /RM (4)	实际产值影响 /RM (5)
上平段	173.69 - 100 = 73.69	25.69 - 22.09 = 3.6	6.83 - 6.19 = 0.64	1 110 866.43	1 191 630.67
斜井段	26.48 + 26.84 = 53.32	22.09 - 20.43 = 1.66	6.83 - 4.53 = 2.3	1 097 862.53	1 239 971
	69.74 - 180.31 = -110.57	23.76 - 20.43 = 3.33	4.9 - 4.53 = 0.37	-2 276 644.04	-2 379 859.24
下平段	112.33 - 69.3 = 43.03	渐变段变化忽略	渐变段变化忽略	648 671.23	648 671.23
小计	59.49			580 756.15	700 413.66
		灌浆产值变化		287 888	287 888
合计				868 644.15	988 301.66
总计		两条隧洞		1 737 288.3	1 976 603.32

备注:(1)上下平段主要结算的开挖单价为6 722.22 RM/m,衬砌单价为8 352.64 RM/m,产值变化值(4) = (1) × 6 722.22 + (1) × 8 352.64,隧洞实际开挖中发生变化的每m<sup>3</sup>开挖单价成本约180 RM,衬砌成本每m<sup>3</sup>约700 RM,实际产值影响(5) = (1) × 6 722.22 + (1) × (2) × 180 + (1) × 8 352.64 + (1) × (3) × 700;(2)上下弯段单价按照斜井单价结算,斜井开挖单价为10 523.9 RM/m,衬砌单价为10 066.17 RM/m,产值变化值(4) = (1) × 10 523.9 + (1) × 10 066.17;实际上下弯段变化的每m<sup>3</sup>开挖成本约220 RM,衬砌成本每m<sup>3</sup>约1 000 RM;竖井变化的每m<sup>3</sup>开挖成本约300 RM,衬砌成本每m<sup>3</sup>约1 300 RM。上下弯段实际产值影响(5) = (1) × 10 523.9 + (1) × (2) × 220 + (1) × 10 066.17 + (1) × (3) × 1 000;竖井段实际产值影响(5) = (1) × 10 523.9 - 69.74 × (2) × 300 + (1) × 10 066.17 - 69.74 × (3) × 1 300;(3)隧洞长度增加,回填灌浆量增加,增加灌浆孔数50个,每个孔单价为5 757.76 RM;(4)结算按照马来西亚马币林吉特(RM)结算,1 RM ≈ 1.9 RMB(人民币)。

商为赶回滞后工期,解决小倾角、长斜井的相关施工难题,将斜井成功地修改为竖井,取得了以下效果。

(1)保证了电站原设计的装机容量不受影响。

(2)使施工难度降低,工期缩短,确保了工程按期发电。

(3)有效避免了在扩挖过程中石渣堵塞导井

等安全隐患,机械化程度高,施工更安全。

(4)降低了开挖、衬砌、灌浆和金属结构的施工直接成本和间接成本,又额外增加了产值,综合效益值约500万马币,折合人民币950万人民币。

作者简介:

李海原(1978-),男,四川金堂人,项目副经理,工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第55页)

氧树脂灌浆类似;不同之处是环氧树脂灌浆是沿缝面钻孔插入灌浆管,而特细水泥灌浆不需要钻孔,只需沿缝面每隔30~50 cm安装一只管座,管座上连接支管,竖直缝从一端到另一端,逐孔灌注,灌浆压力约0.6~1.2 MPa。

(3)裂缝处理效果。根据取芯结果得知,水泥变形应与混凝土接近,进行抗压试验时,其满足设计强度要求。对于有渗水的裂缝,采用特细水泥方法效果要比Sika环氧树脂好,但采用特细水泥方法价格高于Sika752方法30%~40%。因此,处理高标号硅粉混凝土裂缝时,要根据实际情况选择不同的修补方法。

#### 4 结 语

隧洞混凝土裂缝处理难度较大,而渗水裂缝的处理难度则更大。一般混凝土裂缝采用高渗透改性环氧浆材进行无损贴嘴灌浆,处理效果可满

足设计质量要求。泄洪工程由于采用C70高标号硅粉混凝土,其出现裂缝的几率较C40以下混凝土的部位高。从裂缝产生的时间看,早期裂缝居多。从表面裂缝、深层裂缝、贯穿裂缝类型看,C70高标号硅粉混凝土中深层裂缝、贯穿裂缝较C40以下混凝土多。按照技术规范,凡是缝宽大于0.5 mm的裂缝均应进行处理。无损贴嘴灌浆、环氧树脂注浆和特细水泥注浆三种方法工艺成熟,处理后的抗压强度均可满足设计质量强度要求。

参考文献:

- [1] 朱伯芳.大体积混凝土温度应力与温度控制[M].北京:中国电力出版社,1999.
- [2] 混凝土结构设计规范,GB50010—2002[S].

作者简介:

陈林枫(1967-),男,陕西礼泉人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)