

# 大吨位预锚在石泉水电站 坝体加固工程中的应用

王泰恒 高钟璞 夏可风

**【提要】** 大吨位预应力锚固以其价格合理、加固效果显著、见效快而得到广泛重视。石泉水电站经过经济技术比较选用预应力锚固方案加固坝体，通过优化设计，认真施工，30束6~8MN级锚索的应用获得成功。取得显著经济、社会效益，并为扩大预应力锚固技术的应用和发展提供了有利条件。

**关键词** 大吨位 预应力锚固 坝体加固

单孔预应力达6MN~8MN的大吨位预应力锚固，以其价格合理，施工方便、加固效果显著、见效快而日益受到水电工程界的广泛重视，应用日益广泛。自从1987年首根6MN级预应力锚索在水工建筑物中投入使用以来，目前已有50余束大吨位锚索应用在水电工程中，石泉水电站采用大吨位锚固技术对混凝土坝体进行补强加固就是最新的一例。

## 一、加固工程由来

石泉水电站位于汉江上游、陕西省石泉县境内，是以发电为主的大(2)型水利枢纽。大坝为混凝土重力坝，坝顶长353m，最大坝高65m，电站总装机135000kW，1973年投入发电，大坝运行正常。1989年石泉大坝第一次安全定期检查认为“按现行规范要求，石泉水电站校核洪水标准应由500年一遇，改用千年一遇。经计算当遇千年一遇洪水时，部分左、右非溢流坝段坝踵出现0.029~0.413MPa拉应力，故需对坝体采取补强措施并在坝顶加设实体防浪墙。”通过对包括预应力锚固方案在内的三个方案的分析比较，预应力锚固方案以其施工方便，不影响电站正常运行，工期短，加固位置优越，见效快，节省投资、比较经济而被选中。

## 二、预应力锚固方案简介

预应力锚固方案是在坝顶垂直向下钻孔，使其穿过坝体，深入到基岩一定深度，将预应力锚索锚固于基岩中，通过后张预应力消除坝基及坝踵拉应力。经计算，为消除千年一遇洪水所产生的拉应力，所需总的预应力为145826.18kN。

### 1. 单孔张拉吨位及锚索布置

综合考虑布置要求、张拉锚固体系及施工技术水平、造价等因素，设计采用29束单孔张拉吨位为5884kN(6MN级)的锚索，一孔张拉吨位为7840kN(8MN级)的试验性锚索，整个工程共计30束大吨位锚索。加固锚索布置在左、右岸非溢流坝段，约90m长范围内。各坝段锚索布置根数按需用吨位确定，其中3、24、25坝段布置两排锚索，锚索排距2.5m，间距3m。30个锚索孔最深75m，最浅42m，平均62m。锚索布置见图1。

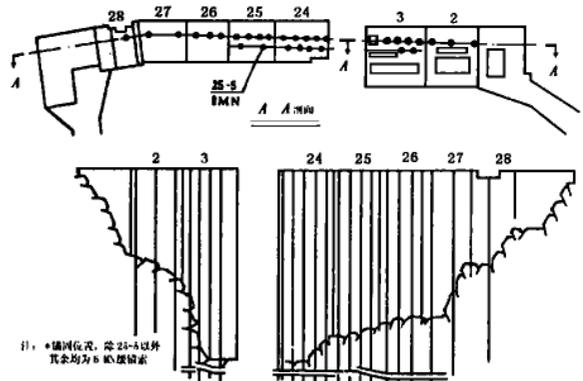


图1 预锚孔位布置

### 2.2 锚索结构

6MN级锚索束体由33根、8MN级锚索由43根钢绞线组成，内锚段为直线型。钢绞线公称直径15.24mm，公称截面积140mm<sup>2</sup>，最小破断力为260.7kN。张拉控制应力 $\sigma \leq 0.7R_y$ 。

锚索外锚头由锚具、垫板和混凝土垫座组成。锚具型号为OVM15—33和OVM15—43。内锚头为水泥胶结直线形，设计锚固段长10m。锚索孔径为240mm(6MN)和300mm(8MN)。

### 三、大吨位预锚施工

石泉大坝加固工程具有单孔吨位大、锚索孔

深,束体长、孔径大,工艺严格等特点,施工中主要采取以下工程措施。

#### 1. 利用小钻机钻大口径深孔

选用液压工程钻机,采用回转钢粒法成孔,为保证斜率满足设计要求,从提高钻机稳定性,就位准确度,及提高钻具刚度等方面进行严格控制,因而30个锚索孔,孔斜率最大为0.28%,最小为0.113%,平均为0.185%,取得较好效果。

2. 利用大口径预锚进行围岩灌浆,很好地完成了利用预锚孔进行帷幕补强和围岩固结灌浆任务,减少了工程量,收到良好效果。

#### 3. 防止内锚段浆体开裂的措施

(1) 锚固浆体采用高强、早强、微膨胀、可灌性好,对钢材不产生腐蚀的水泥浆体。浆体的高强和微膨胀性能,使其粘结强度增大,对防止内锚段开裂有重要作用。掺加适量膨胀剂后,可产生0.5~1.5MPa的自应力,此种自应力在约束状态下可进一步提高浆体粘结强度。浆体的膨胀性能在待凝7~14d后基本稳定,无后期膨胀危险。实测浆体强度:14d可达50MPa以上,28d可达70MPa。预锚张拉后,内锚段无滑移现象,收到良好效果。

(2) 锚索编制处理:在内锚段上部、靠近自由段的1m范围内增设环状螺旋筋,防止或限制荷载增大时浆体可能产生的裂纹。

(3) 确定合理张拉日期,考虑到内锚段处于基础深处,温度较低,为给浆体强度和自应力发展留有足够时间,预锚张拉时间定为浆体待凝20d后进行。

#### 4. 预锚张拉方式

施工中采用了4种方式完成预锚张拉工作:方式一用两台6MN级千斤顶串连方式整束张拉;方式二用单台6MN级千斤顶整束张拉;方式三将预调吨位提高,再用6MN千斤顶整束张拉;方式四用小吨位千斤顶分组张拉锚索,8MN级锚索用此种方法张拉,张拉采用分阶段分级循环张拉工艺逐根逐步将荷载张拉到设计值。

#### 5. 编束方式

采用“松紧”适度的编束原则来编制束体,使自由段束体相对“松散”,但不散乱,以提高锚索自由段传力性能。

### 四、预锚试验观测

#### 1. 锚固安全度验证试验

采用缩短锚根长度方法来验证锚根安全性,将10m长的锚根缩短至5.53m,张拉至5890kN,稳压30min,锚索未见异常,经计算10m长锚根最小安全系数大于1.8。

#### 2. 孔道摩阻试验

采用反复循环张拉束体方法,通过绘制荷载—位移变化曲线,判定锚孔孔道摩阻预应力损失平均为2.5%。

#### 3. 锚固效果验证试验

通过安装在外锚头处的测力环,对3个锚孔荷载进行为期一个月和一年的观测。在一个月观测期内,3孔荷载平均降幅在0.19%~1.5%之间,在1年观测期内荷载平均降幅为0.61%。总的看来,3个试验孔张拉锁定预应力损失平均为6.81%,孔道摩阻损失2.5%,预应力1年内损失小于1%,总的预应力损失小于10.31%,小于设计估算值。

#### 4. 群锚效应试验

目的是了解后张锚索对相邻已锁定锚索的影响。试验孔间距为2.5~3.0m。通过对3个已锁定孔荷载的观测分析,群锚效应不明显,此种结果对混凝土质量较好的坝体来讲,是正常的。

#### 5. 8MN级预锚观测

8MN级预锚孔孔深为68.5m,孔径大于280mm,在锚具下装有8MN级测力环,束体由43根钢绞线组成,采用小千斤顶,分组张拉工艺安装预应力,该孔总的张拉荷载达到7890kN,锁定荷载为7682kN。7d观测资料显示,预应力总的趋势是在下降,但下降幅度不到1%,在24h内观测到的最大降幅为1.39%(锁定21.5h观测值),在6d观测期内最大降幅为0.91%(锁定4d后的观测值),说明8MN级锚索预应力吨位稳定,锚索运行正常,锚固效果良好。

### 参考文献

- 1 T.H 汉纳 锚固技术在岩土工程中的应用,中国建筑工业出版社,1987.
- 2 L.Hobst、J.Zajic 岩层和土体的锚固技术,冶金部建筑研究总院,1988.
- 3 程良奎、刘启琛 岩土锚固工程技术的应用与发展,万国学术出版社,1996.