

# 两河口水电站尾水调压室临时桥机岩壁梁设计

高贵华

中国水利水电第十六工程局有限公司 福建 福州 350000

**摘要:** 因地制宜针对地下厂房受场地限制垂直运输难度大的特点,充分利用地形增设岩壁梁架设临时桥机,解决了工程施工难点,加快了施工进度,节约了施工成本。通过两河口水电站尾水调压室临时桥机岩壁梁设计参数选择及设计方法的总结,为地下厂房施工临时运输提供了方案。

**关键词:** 地下厂房;尾水调压室;临时桥机;岩壁梁设计

## 1 概述

### 1.1 工程概况

两河口水电站尾调室采用长廊型阻抗式,总长190.00m,上、下室开挖跨度分别为19.90m和18.40m,顶拱高程2650.10m,总高度79.90m。尾调室中间设一道岩柱隔墙,隔墙顶开挖高程2629.50m,隔墙宽度16.00m,在隔墙高程以下,尾调室分为1#和2#尾调室,1#尾水调压室长92.00m,2#尾水调压室长82.00m。

为满足尾水调压室后期混凝土施工,要求增加一台临时桥机,作为调压室下部室身施工材料、人员的运输工具,因此在尾调室拱座下方增加了岩臂梁。

### 1.2 工程地质条件

尾调室地层岩性为 $T_3lh^{2(2)-①}$ 层变质粉砂岩及 $T_3lh^{2(1)}$ 、少量的 $T_3lh^{2(3)}$ 、 $T_3lh^{2(2)-②}$ 粉砂质板岩夹砂岩,岩石坚硬。本段内仅有 $f_{12}$ 、 $f_4$ 断层在2#尾水调压室露出,段内断层、挤压破碎带不发育。优势裂隙主要有①、⑥-1、②-1

与④等4组,其中裂隙以①、⑥-1两组较发育,同一部位一般发育2~3组,裂隙间距0.2~0.5m。该段 $T_3lh^{2(2)-①}$ 层细砂岩、变质粉砂岩为中厚层—互层状结构, $T_3lh^{2(1)}$ 粉砂质板岩夹砂岩为中厚层—镶嵌结构,岩体较完整—完整性差,围岩类别为Ⅲ<sub>1</sub>类; $T_3lh^{2(2)-②}$ 粉砂质板岩以镶嵌结构为主,岩体完整性差,围岩类别为Ⅲ<sub>2</sub>类; $T_3lh^{2(3)}$ 粉砂质板岩为中厚层—镶嵌结构为主,岩体完整性差,围岩类别为Ⅲ<sub>1</sub>类;断层及其影响带围岩为Ⅳ~Ⅴ类<sup>[1]</sup>。

## 2 结构设计方案

尾水调压室混凝土施工专用桥机设计起重量为20t,桥机轨距17.5m,吊高72m,吊钩至轨道中心最小距离为3m。

岩壁梁锚杆实施范围:安装间厂(纵)0+207.77~厂(纵)0+016.77上下游边墙及岩壁梁端部。结构设计计算具体详见附件及附图。

### 2.1 断面尺寸及锚杆参数选择

#### 2.1.1 岩壁梁断面尺寸详见附图1

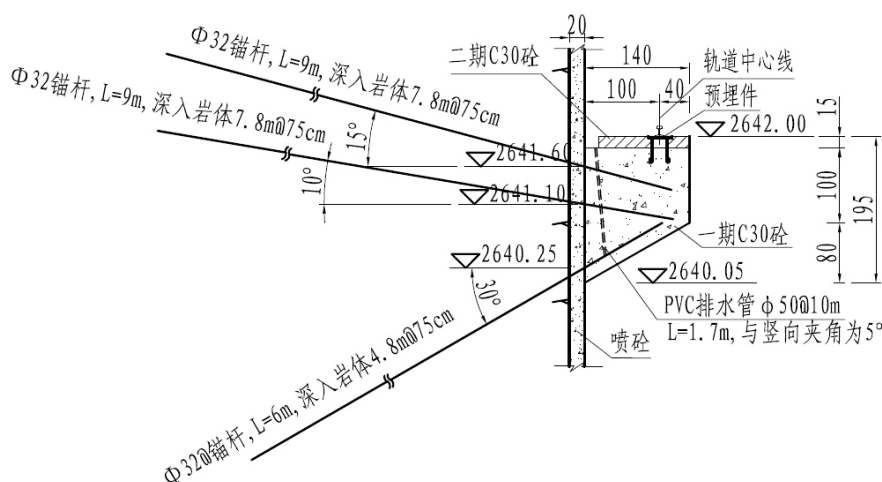


图1 岩壁梁断面尺寸

#### 2.1.2 锚杆参数的选定

两排受拉锚杆均选用Φ32Ⅲ级螺纹钢, L = 9.0m。角度上倾,第一排水平夹角为15°,第二排水平夹角为10°。

设计强度值均为400Mpa,锚杆横向间距为75cm,入岩7.8m,外露1.2m。

受压锚杆选用Φ32Ⅲ级螺纹钢, L = 6.0m,角度下倾,

水平夹角为30°，设计强度400Mpa，锚杆间距为75cm，入岩4.8m，外露1.2m。

## 2.2 相关技术要求

岩壁梁浇筑的施工缝分段长度以不大于12m为宜，并设置键槽。

## 3 岩壁梁计算

### 3.1 单位梁长锚杆用量的确定

#### 3.1.1 极限力学平衡原理计算法

临时桥机上游下游侧各新增加一个岩壁梁，岩壁梁设计计算简图2如下：

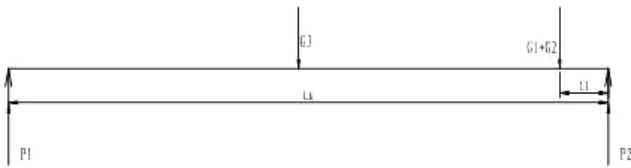


图2 岩壁梁设计计算简图

当吊物小车位于极限位置时作用于岩壁梁的力最大。计算作用于侧岩壁梁的最大力 $P_2$ ，采用极限平衡原理进行计算， $P_2$ 计算公式如下：

$$P_1 + P_2 = G_3 + G_1 + G_2$$

$$P_1 L_k = G_3 L_k / 2 + (G_1 + G_2) L_1$$

式中： $L_k$ —临时桥机跨度（轨道间距离），取17.5m；

$L_1$ —桥机吊钩距离轨道中心线极限距离，取1.45m；

$G_1$ —桥机小车及吊具重量，暂取6.977t；

$G_2$ —桥机最大吊重，取20t；

$G_3$ —桥机自重，取35.264t；

$\gamma_d$ —荷载结构系数，取1.2。

$P_2$ —当吊物小车位于上下游极限位置时，作用于岩壁梁的力。

经代值计算 $P_2 = 42.37t$ ， $P_k = \gamma_d P_2 = 50.84t$ 。

当吊物小车位于极限位置时，岩锚梁受力为均布荷载。桥机轮距为5m，取单位长度1m段受力分析，每轮作用力为 $P_v = P_k / 2 = 25.42t$ 。

#### 3.1.2 岩壁梁锚固锚杆与水平成15°或10°度角布置

岩壁梁采用 $\Phi 32$ 的锚杆与调压室边墙相连，取1.0m长的岩壁梁

采用极限受力平衡进行分析：

$$P_v + G = P \cdot \sin \theta + F$$

$$F = f \cdot P \cdot \cos \theta$$

上式中：

$P_v$ —桥机作用于岩壁梁的力， $P_v = 25.42t$ ；

$G$ —单位长度岩壁梁的自重和桥机轨道重量，钢筋砼密度取2.5t/m<sup>3</sup>，轨道取43Kg/m；

$P$ —钢筋承受的极限拉力；

$F$ —岩壁梁砼与调压室边墙的摩擦力；

$f$ —岩壁梁砼与调压室边墙的摩擦系数，取0.5。

经代值进行计算得：当 $\theta = 15^\circ$ 时， $P = 40.18t$

当 $\theta = 10^\circ$ 时， $P = 46.26t$

锚杆截面面积所组成的纵向受力钢筋的总截面面积为：当 $\theta = 15^\circ$ 时 $A_s \geq \frac{P}{f_y} = 1116\text{mm}^2$ ，当 $\theta = 10^\circ$ 时 $A_s \geq \frac{P}{f_y} = 1285\text{mm}^2$ ，Ⅲ级钢筋的极限抗拉强度为360N/mm<sup>2</sup>， $\Phi 32$ 的钢筋截面面积为804.2mm<sup>2</sup>，经计算单位长度的岩壁梁需设置的锚杆数为：当 $\theta = 15^\circ$ 时 $n = \frac{1116}{804.2} = 1.39$ 根，取2根；当 $\theta = 10^\circ$ 时 $n = \frac{1285}{804.2} = 1.6$ 根，取2根。考虑岩壁梁安全系数为2，故岩壁梁需设置 $2 \times 2 = 4$ 根锚杆进行锚固。锚杆长9.0m，外露长度按钢筋砼的钢筋锚固长进行计算（ $\geq 35d$ ），故外露长度取1.2m，锚杆孔口1.0m范围内设置自由段，抗拉锚杆共设置两排，按间距0.75m，排距0.5m进行施工。在岩壁梁下拐点设置一排长6.0m，外露1.2m的受压 $\Phi 32$ 锚杆，锚杆与竖向的夹角为60°，间距0.75m。

#### 3.1.3 最大轮压计算法

#### 3.1.4 岩壁梁锚固锚杆与水平成15°或10°度角布置

岩壁梁采用 $\Phi 32$ 的锚杆锚固在尾水调压室边墙上，锚杆与水平成15°或10°度角布置，取1.0m长的岩壁梁采用极限受力平衡进行

分析：

$$P_v + G = P \cdot \sin \theta + F$$

$$F = f \cdot P \cdot \cos \theta$$

上式中：

$P_v$ —桥机作用于岩壁梁的轮压， $P_v = 226\text{KN}$ ；

$G$ —单位长度岩壁梁的自重和桥机轨道重量，钢筋砼密度取25KN/m<sup>3</sup>，轨道取0.43KN/m；

$P$ —钢筋承受的极限拉力；

$F$ —岩壁梁砼与调压室边墙的摩擦力；

$f$ —岩壁梁砼与调压室边墙的摩擦系数，取0.5。

经代值进行计算得：当 $\theta = 15^\circ$ 时， $P = 378.39\text{KN}$

当 $\theta = 10^\circ$ 时， $P = 421.41\text{KN}$

锚杆截面面积所组成的纵向受力钢筋的总截面面积为：当 $\theta = 15^\circ$ 时 $A_s \geq \frac{P}{f_y} = 1051\text{mm}^2$ ，当 $\theta = 10^\circ$ 时 $A_s \geq \frac{P}{f_y} = 1170\text{mm}^2$ ，Ⅲ级钢筋的极限抗拉强度为360N/mm<sup>2</sup>， $\Phi 32$ 的钢筋截面面积为804.2mm<sup>2</sup>，经计算单位长度的岩壁梁需设置的锚杆数为：当 $\theta = 15^\circ$ 时 $n = \frac{1051}{804.2} = 1.3$ 根，取2根；当 $\theta = 10^\circ$ 时 $n = \frac{1170}{804.2} = 1.45$ 根，取2根。考虑岩壁梁

承担调压室下部的施工,施工强度高,岩壁梁运行的安全至关重要,故取安全系数为2,所以1.0m长的岩壁梁需设置 $2 \times 2 = 4$ 根锚杆进行锚固。锚杆长9.0m,外露长度按钢筋砼的钢筋锚固长进行计算( $\geq 35d$ ),故外露长度取1.2m,锚杆孔口1.0m范围内设置自由段,自由段锚杆外涂5mm厚沥青麻丝,抗拉锚杆共设置两排,按间距0.75m,排距0.5m进行施工。在岩壁梁下拐点设置一排长6.0m,外露1.2m的受压 $\Phi 32$ 锚杆,锚杆与竖向的夹角为 $60^\circ$ ,间距1.0m。

岩壁梁锚固锚杆与水平成 $15^\circ$ 或 $10^\circ$ 度角布置较安全合理。抗拉锚杆共设置两排,锚杆间距为75cm,第一排锚杆距岩壁梁上部40cm,锚杆与水平的夹角为 $15^\circ$ ;第二排锚杆距第一排50cm,锚杆与水平的夹角为 $10^\circ$ 。在岩壁梁下拐点设置一排长6.0m,外露1.2m的受压锚杆,锚杆与竖向的夹角为 $60^\circ$ ,间距75cm。另外,1#联系洞洞口段岩壁梁将岩壁梁第一排和第二排锚杆调整为预埋钢筋,后施工锚固段砼(1#交通联系洞后期封堵砼),距洞口下方增加一排水平锚杆,间距50cm。

### 3.2 截面尺寸的确定及配筋计算

#### 3.2.1 截面尺寸的确定

混凝土梁体锚固在岩壁上,受力近似于牛腿(如下图所示),不同于一般的横向梁,它属于弯曲变形结构,按悬臂牛腿限制斜裂缝为控制条件确定梁体高度,按下式进行验算( $a \leq h_0$ )以相应数值代入下式计算:

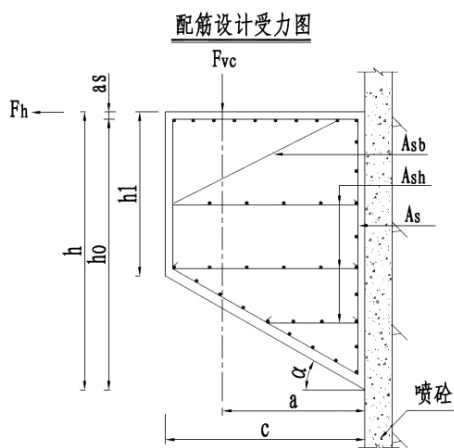


图3 配筋受力计算图

$$F_v \leq \beta \left( 1 - 0.5 \frac{F_h}{F_v} \right) \frac{f_{tk} b h_0}{0.5 + \frac{a}{h_0}}$$

式中:  $F_v$ 作用在岩壁梁顶部的竖向设计值 $F_v = 50.84t$   
 $F_h$ 作用在岩壁梁顶部的水平设计值,取1倍吊重为20t;  
 $\beta$ 裂缝控制系数,对水电厂房取 $\beta = 0.7$ ;

竖向力作用点至岩壁的水平距离,取 $a = 1000mm$ ;

$b$ 岩壁梁宽度,取单位长度1000mm进行计算;

$h_0$ 岩壁梁与岩壁交接的垂直截面有效高度;

$f_{tk}$ 为砼轴心抗拉强度,C30砼强度等级取 $f_{tk} = 2.01$ ;

$a_s$ 为砼保护层,取 $a_s = 50mm$ 。

$\alpha$ 为岩壁梁下拐点的水平角为 $29.7^\circ$

经计算 $h_0 = 795mm$ ,由于岩壁梁运行的安全至关重要,因此 $h_0$ 取1750mm, $h = h_0 + a_s = 1750 + 50 = 1800mm$ 。外边缘高度 $h_1 \geq h/3 = 1800/3 = 600mm$ ,取 $h_1 = 1000mm$ ,岩壁梁挑宽 $c = 1400mm$ 。

#### 3.2.2 配筋计算

##### 3.2.2.1 箍筋

取1m段岩壁梁进行分析,由于受竖向力所受的受拉钢筋和承受水平拉力所需的受力钢筋的总面积:

$$A_s \geq \gamma_d \left( \frac{F_v a}{0.85 f_y h_0} + 1.2 \frac{F_h}{f_y} \right) A_{s1} + A_{s2}$$

式中:  $\gamma_d$ 钢筋砼结构的结构系数,取1.20;

$F_v$ 作用在岩壁梁顶部的竖向设计值, $F_v = 50.48t$ ;

$F_h$ 作用在岩壁梁顶部的水平设计值,取1倍吊重为20t;

经计算: $A_s \geq 1131mm^2 + 800mm^2 = 1931mm^2$ ,因此在1m段岩壁梁内配置 $5\Phi 28@200$ ( $A_s = 3079mm^2$ )箍筋。

##### 3.2.2.2 弯起钢筋和分布筋及拉筋

岩锚梁的剪跨比 $a/h_0 = 1000/1500 = 0.67 > 0.3$ ,应设弯起钢筋,其截面积不小于承受竖向力的受拉钢筋截面面积的2/3, $1931 \times 2/3 = 1287mm^2$ ,且不小于 $0.0015bh_0 = 0.0015 \times 1400 \times 1000 = 2100mm^2$ ,因此在1m段岩壁梁内布置 $5\Phi 28@200$ ( $A_{sb} = 3079mm^2$ )的弯起钢筋。

纵向分布筋(沿箍筋周边)布置 $\Phi 22@200$ (150),纵向分布筋(梁体内)布置 $\Phi 16@200$ 。横向拉筋布置 $\Phi 18@200$ 共三层<sup>[2]</sup>。

## 4 结论

4.1 岩臂梁是一种通过锚杆(或锚索)将吊车梁锚固在岩壁上的特殊结构形式,采用岩壁梁这种结构型式,可以充分利用围岩的承载力,减少梁、柱等工程量。

4.2 通过实践验证,岩壁梁锚固锚杆与水平成 $15^\circ$ 或 $10^\circ$ 度角布置可满足设计安全要求。

4.3 采用增设岩壁梁架设临时桥机可以解决地下厂房场地狭小,起吊设备布置难的特点,可以最大程度消除施工干扰,加快工程建设工期,降低施工成本<sup>[3]</sup>。

## 参考文献

[1]吴新邦.岩锚式吊车梁的设计.水力发电.1995;(5).  
 [2]王裕湘.鲁布革水电站地下厂房岩壁吊车梁设计.水力发电.1998  
 [3]陆晓敏.地下厂房岩壁吊车梁力学分析及设计.河海大学学报.2006