

【西霞院反调节水库工程专辑】

# 西霞院水电站主厂房吊车梁结构设计

褚丽, 刘增强, 夏磊, 穆林

(黄河勘测规划设计有限公司, 河南 郑州 450003)

**摘要:**运用传统的结构力学法对西霞院工程电站主厂房吊车梁进行了全面的结构计算分析和设计。计算出了各跨度吊车梁在吊车荷载作用下的绝对最大弯矩、最大剪力, 据此进行了梁的配筋计算、裂缝宽度验算及挠度计算。西霞院主厂房吊车梁施工完成后顺利通过了吊车梁荷载试验, 保证了吊车的良好运行。

**关键词:**主厂房吊车梁; 结构设计; 西霞院水电站

中图分类号: TV731 文献标识码: A doi:10.3969/j.issn.1000-1379.2009.10.018

西霞院水电站共安装4台水轮发电机组, 单机容量为35 MW, 总装机容量140 MW, 主厂房左端与泄洪闸相连, 右端为安装间。主厂房分两层, 即发电机层和水轮机层, 机组安装高程为117 m, 相应水轮机层高程为124.5 m, 发电机层高程为131 m, 主厂房屋顶高程为152.6 m。主厂房全长为179.6 m、宽为73.3 m、高为63.6 m。

## 1 吊车梁布置

西霞院主厂房采用1台250/50/10 t × 20.5 m (工作级别M5) 电动桥式起重机, 桥机承担的主要任务是机组安装、钢屋面吊装、混凝土浇筑等。桥机轨距20.5 m, 最大轮压439 kN。根据主厂房柱距确定吊车梁梁长范围为5 200 ~ 6 875 mm, 共29跨, 吊车梁采用钢筋混凝土T形截面。

## 2 吊车梁结构设计

根据吊车起重量、主厂房柱间距, 初步拟定T形钢筋混凝土吊车梁的梁高、翼缘宽度及厚度。吊车在吊车梁上运动产生竖向荷载、横向水平荷载和沿吊车梁纵向的水平荷载。纵向水平荷载是指吊车制动力, 其沿轨道方向由吊车梁传给钢筋混凝土柱, 计算吊车梁截面时不予考虑。吊车梁的竖向荷载标准值采用吊车最大轮压或最小轮压。吊车沿轨道运行、起吊、卸载以及工件翻转时将引起吊车梁振动, 特别是当吊车越过轨道接头处的孔隙时还将发生撞击。因此, 在计算吊车梁及其连接强度时吊车竖向荷载应乘以动力系数。吊车梁结构计算主要内容: 各跨度吊车梁在吊车荷载作用下的绝对最大弯矩、最大剪力, 梁的配筋、裂缝宽度及挠度。

梁的计算长度: 吊车梁两端支承于柱子的牛腿上, 按简支梁计算。简支梁的计算跨度 $L_0$ 可取下列两种方法计算结果的较小值:

$$L_0 = L_n + a$$

$$L_0 = 1.05L_n$$

或

式中:  $L_n$  为梁的净跨度;  $a$  为梁的支承长度。

(1) 梁的内力计算。梁上荷载有自重、桥机轮压。依据《水工建筑物荷载设计规范》(DL 5077—1997), 分项系数取值自重为1.05、桥机轮压为1.1, 桥机轮压需乘以1.05的动力系数。梁上出现的绝对最大弯矩计算公式<sup>[1]</sup>:

$$M_{\max} = R \left( \frac{1}{2} - \frac{a_1}{l} \right)^2 \frac{l}{2} - M_{cr}$$

式中:  $R$  为梁上荷载的合力;  $l$  为梁的计算跨度;  $M_{cr}$  为荷载 $P_{cr}$ 的作用点弯矩为最大时,  $P_{cr}$ 左边的荷载对 $P_{cr}$ 作用点的力矩之和;  $a_1$  为梁上合力 $R$ 与 $P_{cr}$ 的作用线之间的距离。

将吊车梁分为6等分, 在轮压作用下逐个求出各个截面的最大弯矩, 画出弯矩包络图, 同样可求出剪力包络图(图1)。

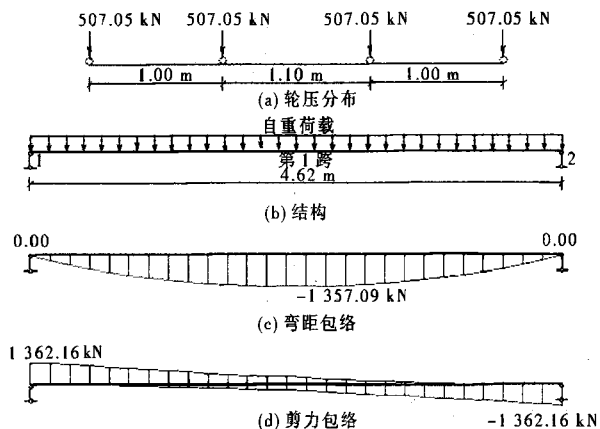


图1 吊车梁弯矩、剪力包络示意

(2) 梁的配筋计算。按照《水工混凝土结构设计规范》(SL/T191—96), 求出梁的弯矩设计值:  $M = \gamma_0 \phi M_{\max}$ , 其中:  $\gamma_0$  为结构重要性系数, 对于安全级别为 I、II、III 级的结构分别取1.1、1.0、0.9;  $\phi$  为设计状况系数, 对于持久状况取1.0, 短暂

收稿日期: 2009-08-10

作者简介: 褚丽 (1982—), 女 (满族), 辽宁葫芦岛人, 助理工程师, 主要从事水利水电工程设计工作。

E-mail: chulily@163.com

状况取0.95,偶然状况取0.85。根据弯矩设计值计算配筋。

(3)裂缝宽度验算。矩形、T形及I形截面的钢筋混凝土受拉、受弯和偏心受压构件,按荷载效应的短期组合(并考虑部分荷载的长期作用影响)及长期组合的最大裂缝宽度  $W_{max}$  分别按下式计算:

$$W_{max} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \frac{\sigma_{ss}}{E_s} (3c + 0.10 \frac{d}{\rho_{te}})$$

$$W_{max} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \frac{\sigma_{sl}}{E_s} (3c + 0.10 \frac{d}{\rho_{te}})$$

式中:  $\alpha_1$  为构件受力特征的系数,对受弯和偏心受压构件取1.0,对偏心受拉构件取1.15,对轴心受拉构件取1.3;  $\alpha_2$  为钢筋表面形状的系数,对变形钢筋取1.0,对光面钢筋取1.4;  $\alpha_3$  为考虑荷载长期作用影响的系数,对荷载效应的短期组合取1.5,对荷载效应的长期组合取1.6;  $c$  为最外层纵向受拉钢筋外边缘至受拉区底边的距离,当  $c < 20$  mm 时取20 mm,当  $c > 65$  mm 时取65 mm;  $d$  为钢筋直径,当钢筋用不同直径时,  $d$  改用换算直径  $\frac{4A_s}{u}$ ,此处  $u$  为纵向受拉钢筋截面总周长;  $\rho_{te}$  为纵向受拉钢筋的有效配筋率;  $\sigma_{ss}$ 、 $\sigma_{sl}$  为按荷载效应的短期组合及长期组合计算的构件纵向受拉钢筋应力;  $E_s$  为钢筋弹性模量。

$\rho_{te}$  按下式计算:

$$\rho_{te} = \frac{A_s}{A_{te}} \quad (\text{当 } \rho_{te} < 0.03 \text{ 时取 } \rho_{te} = 0.03)$$

式中:  $A_{te}$  为有效受拉混凝土截面面积,对受弯、偏心受拉及大偏心受压构件,  $A_{te}$  取其重心与受拉钢筋  $A_s$  重心相一致的混凝土面积,即  $A_{te} = 2a_s b$  ( $a_s$  为  $A_s$  重心至截面受拉边缘的距离,  $b$  为矩形截面的宽度),对有受拉翼缘的倒T形及I形截面,  $b$  为受拉翼缘宽度,对全截面受拉的偏心受拉构件,  $A_{te}$  取拉应力较大一侧的钢筋的相应有效受拉混凝土截面面积,对轴心受拉构件  $A_{te}$  取  $2a_s l_s$ ,但不大于构件全截面面积 ( $l_s$  为沿截面周边配置的受拉钢筋重心连线的总长度);  $A_s$  为受拉区纵向钢筋截面面积,对受弯、偏心受拉及大偏心受压构件,  $A_s$  取受拉区纵向钢筋截面面积,对全截面受拉的偏心受拉构件  $A_s$  取拉应力较大一侧的钢筋截面面积,对轴心受拉构件  $A_s$  取全部纵向钢筋截面面积。

受弯构件  $\sigma_{ss}$ 、 $\sigma_{sl}$  计算公式如下:

$$\sigma_{ss} = \frac{M_s}{0.87h_0A_s}$$

$$\sigma_{sl} = \frac{M_l}{0.87h_0A_s}$$

式中:  $h_0$  为截面有效高度;  $M_s$  为荷载效应短期组合最大弯矩;  $M_l$  为荷载效应长期组合最大弯矩。

(4)挠度的计算。钢筋混凝土受弯构件的挠度应分别按荷载效应的短期组合(并考虑部分荷载长期作用的影响)及长期组合所对应的长期刚度  $B_l$  进行计算,在正常使用极限状态下的挠度值可按材料力学公式求得,仅需将  $B_l$  代替公式中弹性体刚度  $E_1$  即可。

对应于荷载效应的短期组合(并考虑部分荷载长期作用的影响)时:

$$B_1 = \frac{M_s}{M_1(\theta - 1) + M_s} B_s$$

对应于荷载效应的长期组合时:

$$B_l = B_s / \theta$$

式中:  $B_s$  为受弯构件的短期刚度;  $\theta$  为考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数(当  $\rho' = 0$  时,  $\theta = 2.0$ ; 当  $\rho' = \rho$  时,  $\theta = 1.6$ ; 当  $\rho'$  为中间数值时,  $\theta$  按直线内插法计算。  $\rho'$  为纵向受压钢筋配筋率,  $\rho' = \frac{A'_s}{bh_0}$ ;  $\rho$  为纵向受拉钢筋,  $\rho = \frac{A_s}{bh_0}$ 。

出现裂缝的矩形、T形及I形截面构件钢筋混凝土受弯构件的短期刚度  $B_s$ ,可以按照下式计算:

$$B_s = (0.025 + 0.28\alpha_E\rho)(1 + 0.55Y'_f + 0.12Y_f)E_c b h_0^3$$

式中:  $Y_f$  为受拉翼缘面积与腹板有效面积的比值 [ $Y_f = (b_f - b)h_f/bh_0$ , 其中  $b_f$ 、 $h_f$  为受拉翼缘宽度及高度];  $Y'_f$  为受压翼缘面积与腹板有效面积的比值 [ $Y'_f = (b'_f - b)h'_f/bh_0$ , 其中  $b'_f$ 、 $h'_f$  为受压翼缘宽度及高度];  $\rho$  为纵向受拉钢筋配筋率;  $E_c$  为混凝土弹性模量;  $b$  为矩形截面宽度, T形或I形截面的腹板厚度;  $\alpha_E$  为钢筋弹性模量与混凝土弹性模量之比,即

$$\alpha_E = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2.0 \times 10^5}{3.0 \times 10^4} = 6.66667$$

根据文献[2]附录IV的第11种情况,按叠加原理可求得最大挠度值。

### 3 计算结果

(1)吊车梁内力计算结果见表1。

表1 吊车梁内力计算结果

梁号	计算跨度/m	最大弯距/(kN·m <sup>-1</sup> )	最大剪力/kN
L1、L2	4.62	1 357.1	1 362.2
L3、L4	5.38	1 756.7	1 479.8
L5、L6、L7	4.28	1 180.8	1 298.8
L8、L9	4.87	1 489.2	1 424.6

(2)吊车梁配筋计算结果见表2。

表2 吊车梁配筋计算结果

梁号	主筋面积/mm <sup>2</sup>	箍筋面积/mm <sup>2</sup>	选用钢筋
L1、L2	4 060	399	10φ25(4 906 mm <sup>2</sup> ) + φ14@100(615 mm <sup>2</sup> )
L3、L4	5 313	451	12φ28(7 385 mm <sup>2</sup> ) + φ14@100(615 mm <sup>2</sup> )
L5、L6、L7	3 519	372	10φ25(4 906 mm <sup>2</sup> ) + φ14@100(615 mm <sup>2</sup> )
L8、L9	4 478	427	10φ28(6 154 mm <sup>2</sup> ) + φ14@100(615 mm <sup>2</sup> )

(3)吊车梁裂缝宽度验算结果见表3。

表3 吊车梁裂缝宽度验算结果

梁号	短期组合最大裂缝宽度	短期组合允许值	长期组合最大裂缝宽度	长期组合允许值
L1、L2	0.134	0.40	0.143	0.35
L3、L4	0.117	0.40	0.125	0.35
L5、L6、L7	0.111	0.40	0.119	0.35
L8、L9	0.116	0.40	0.124	0.35

西霞院主厂房吊车梁施工完成后顺利通过了吊车梁荷载试验,承担了主厂房机组安装等大型、重型 (下转第38页)

(上接第 36 页)设备的吊装,吊车运行状况良好,表明吊车梁体型选择适当、结构设计合理。

(4)吊车梁挠度计算结果见表 4。

表 4 吊车梁挠度计算结果

梁 号	计算值	允许值
L1、L2	1/2 409	1/600
L3、L4	1/1 931	1/600
L5、L6、L7	1/2 988	1/600
L8、L9	1/2 298	1/600

#### 参考文献:

- [1] 龙驭球,包世华.结构力学教程[M].北京:高等教育出版社,1987.
- [2] 孙训方,方孝淑,关来泰.材料力学( I )[M].4 版.北京:高等教育出版社,2005.

【责任编辑 赵宏伟】