

官地水电站地下厂房桥机安装起吊系统设计

陈居森, 陶建祝

(中国水利水电第七工程局有限公司机电安装分局, 四川 彭山 620860)

摘要:为增加官地水电站地下厂房安装起吊设备的起吊能力,根据桥机主梁的质量,选择天锚加卷扬系统的起吊方式。详细介绍安装起吊系统的设计过程,包括起吊梁的设计、起吊梁强度校核、天锚系统起重部件校核等。计算结果表明,官地水电站地下厂房桥机安装起吊系统满足安全要求,起吊梁的主横梁和纵梁的强度、挠度都能满足安全要求,构件的强度、刚度、裕度较大,起吊系统稳定可靠。

关键词:地下厂房;桥机安装;起吊系统;官地水电站

中图分类号:TV547.3

文献标志码:B

文章编号:1006-7647(2013)S2-0033-03

1 官地水电站地下厂房桥机主梁起吊方式

1.1 技术参数

官地水电站主厂房布置2台450t+450t双小车桥式起重机,主要技术参数如下:桥机跨度27.8m;主梁质量83t;小车质量70t;桥机轨顶距安装间地面高差13.5m;桥机轨顶距厂房拱顶高差16m;主梁外观尺寸29000mm×3000mm×3057mm(长×宽×高);桥机主梁质量83t;桥机主梁加行走机构质量96t;主梁起升高度13.5m。

1.2 桥机主梁起吊方式的选择

作为地下厂房安装主要起吊设备——桥机,随着机组转子质量的增加,桥机起吊能力需增大,桥机主梁的结构尺寸及质量也将有所增加。受地下厂房结构尺寸的限制,桥机安装成本会因安装手段不同而产生很大的差异。根据官地水电站桥机主梁的质量,可以选用1台汽车吊单独吊装、2台汽车吊抬吊、天锚加卷扬系统吊装3种方式^[1-2]。

a. 1台汽车吊单独吊装。根据桥机主梁质量、主梁尺寸、主梁起升高度,需选用1台150t履带式起重机。

b. 2台汽车吊抬吊。根据汽车吊抬吊安全要求,单台汽车吊仅能起吊回转半径内额定起吊质量的80%负荷,需按52t起吊质量进行选型。根据桥机主梁质量、主梁尺寸、主梁起升高度,需选用2台130t汽车吊。

c. 天锚加卷扬系统吊装。为缩短桥机安装工

期,可在安装间将大车行走机构与主梁装配完成后进行整体吊装,吊装质量96t。根据厂房岩石情况,在安装间拱顶预埋12根 $\varnothing 32$ 圆钢。为使每根圆钢受力均匀,再制作一个起吊梁,起吊梁和其他起重设备一起组成天锚系统。根据吊装质量和天锚系统的自重,天锚系统额定承载能力按108t设计,最大起吊能力按135t设计。

由于官地水电站远离城市,大型设备进出场困难,同时考虑到安装成本和工期,拟采用第3种方案吊装主梁和小车。

2 起吊系统的设计

起吊系统由起吊梁、卷扬机、导向滑车、地锚及钢丝绳等构成。

2.1 起吊梁的设计

起吊梁由底板、锚杆、纵梁、横梁、主横梁组成,每6根锚杆1行设置1条纵梁,在每1列2根锚杆之间设置1条次横梁,把12根锚杆联系在一起联合承载。在锚杆的中心位置设置一主横梁,在主横梁的中心设置一个总起吊能力为160t的8门滑轮组连接的中心吊点。荷载通过主横梁传递到纵梁上,再由纵梁把荷载分配到各根锚杆上。为了使12根锚杆能比较均匀地分配荷载,起吊梁应具有较大的刚度^[3-4]。起吊梁结构形式见图1,起吊梁主横梁纵梁截面见图2。

2.2 起吊梁强度校核

假定12根锚杆受力均匀,起吊梁载荷按135t

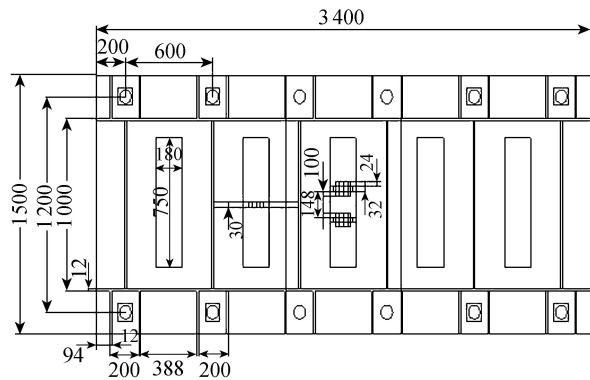


图1 起吊梁结构设计(单位:mm)

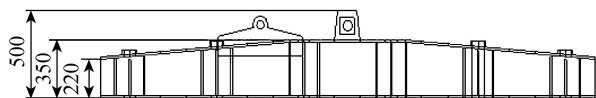


图2 起吊梁主横梁纵梁截面(单位:mm)

设计。每根锚杆承受的拉力 F 、每条纵梁承受的集中力 P 、主横梁的中点产生最大弯矩 M_1 、主梁两端产生的最大剪力 V_1 、纵梁中点产生的最大弯矩 M_2 、纵梁两端产生的最大剪力 V_2 分别为

$$F = \frac{M}{n} \quad (1)$$

$$P = \frac{M}{n_1} \quad (2)$$

$$M_1 = \frac{MgL_0}{8} \quad (3)$$

$$V_1 = \frac{Mg}{2} \quad (4)$$

$$M_2 = \frac{Mg}{24}(3\text{ m} - 0.6\text{ m} + 0.04\text{ m}) \quad (5)$$

$$V_2 = \frac{Mg}{4} \quad (6)$$

式中: M 为起吊梁载荷, $M=135\text{ t}$; n 为锚杆数, $n=12$; n_1 为纵梁数, $n_1=12$; g 为重力加速度, $g=10\text{ m/s}^2$; L_0 为纵梁孔间距, $L_0=1.2\text{ m}$ 。

计算得出: $F=112.5\text{ kN}$, $P=675\text{ kN}$, $M_1=202.5\text{ kN}\cdot\text{m}$, $V_1=675\text{ kN}$, $M_2=137.25\text{ kN}\cdot\text{m}$, $V_2=337.5\text{ kN}$ 。起吊梁的主梁、纵梁、次横梁的截面确定为“工”字形。起吊梁的材料选用 16 Mn, 所用钢板厚度为 12~20 mm, 因此钢材的抗拉、抗压、抗弯强度设计值 F_0 取 315 MPa。

主横梁截面的抵抗矩 W 、主横梁容许的挠度值最小高度 H_1 、腹板厚度 t 、翼缘所需截面积 A 、翼缘所需宽度 B 计算公式分别为

$$W = \frac{1.2M_1}{F_0} \quad (7)$$

$$H_1 = 7\sqrt[3]{W} - 300\text{ mm} \quad (8)$$

$$t = \sqrt{H_1}/3.5 \quad (9)$$

$$A = \frac{W}{H_1 - 2t_1} - \frac{(H_1 - 2t_1)t}{6} \quad (10)$$

$$B = \frac{A}{t_1} \quad (11)$$

计算得出: $W=0.77\times 10^6\text{ mm}^3$; $H_1=341\text{ mm}$, 取 $H_1=350\text{ mm}$; $t=5.2\text{ mm}$, 取整数 10 mm; $A=1\,891\text{ mm}^2$; $B=118.18\text{ mm}$ 。根据起吊梁主横梁纵梁的实际截面尺寸(图 2), 计算得出截面的抵抗矩 W 为 $1\,608\text{ cm}^3$ 。

主横梁的抗拉、抗压、抗弯强度 F_1 , 纵梁的抗拉、抗压、抗弯强度 F_2 , 主横梁的挠度 Y , 锚杆与梁下翼板连接焊缝长度 L 、锚杆与梁翼板连接焊缝焊脚高度 K 计算公式分别为

$$F_1 = \frac{M_1}{W} \quad (12)$$

$$F_2 = \frac{M_2}{W} \quad (13)$$

$$Y = \frac{PL^3}{48EJ_x} \quad (14)$$

$$L = \pi d \quad (15)$$

$$K = \frac{\sqrt{2}F}{\tau L} \quad (16)$$

式中: W 为主横梁截面的抵抗矩, 取 $W=1.608\times 10^6\text{ mm}^3$; E 为弹性模量, $E=206\text{ GPa}$; J_x 为惯性矩, $J_x=25.9\times 10^6\text{ mm}^4$; d 为锚杆直径, $d=36\text{ mm}$; τ 为焊缝抗剪设计值, $\tau=185\text{ MPa}$ 。

计算得出: $F_1=125.9\text{ MPa}<F_0=315\text{ MPa}$; $F_2=85.3\text{ MPa}<F_0=315\text{ MPa}$; $Y=0.38\text{ mm}$; $L=113\text{ mm}$; $K=8.29\text{ mm}$ 。

为了安全起见, 焊缝焊高 K 取 16 mm, 并在下翼板上、下侧双面焊接, 以加强锚杆与梁下翼板焊缝连接的强度。

由上述计算结果可知, 起吊梁的主横梁、纵梁的强度、挠度都能满足安全要求, 其他构件的强度、刚度、裕度较大, 稳定可靠^[5]。

2.3 天锚系统起重部件校核

2.3.1 卷扬机及起吊钢丝绳选型

钢丝绳校核安全倍数为

$$i \geq \frac{Sa}{U} \quad (17)$$

式中: S 为单根承重钢丝绳的额定破断拉力, kN; a 为承重的钢丝绳根数; U 为包括吊篮平台、提升机构和电器系统等在内的自重及额定载荷, kN。

考虑起吊时最大载荷为 960 kN, 加上滑车和钢丝绳质量, 桥机吊装最大负荷取 1 080 kN, U 值取最大负荷的 125%, 即 1 350 kN。

主起升采用 8 门滑车 16 根钢丝绳受力, 安全倍数 $i=5$, 由式(17)计算得出 $S<422\text{ kN}$, 查表得型号为

1520Ø28钢丝绳的破断拉力为447 kN,符合安全要求。

起吊钢丝绳采用4根钢丝绳受力,受力见图3。负荷试验时按起吊最大质量的125%考虑,主起升单根钢丝绳最大垂直负荷为337.5 kN。安全倍数*i*=6,由公式(17)计算单根钢丝绳所受破段拉力 $F_0=S=6\times 337.5\text{ kN}\div\cos\alpha=2\,338\text{ kN}$ (钢丝绳最大夹角不超过60°,α取30°),查表得型号为1520Ø65钢丝绳的破断拉力为2383 kN,满足安全要求。

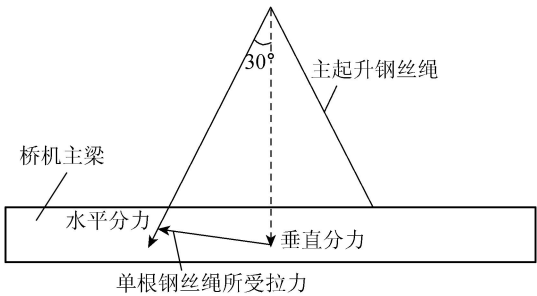


图3 起吊钢丝绳受力分析示意图

因此,卷扬机钢丝绳采用Ø28,起吊钢丝绳采用Ø65即可满足起吊安全要求。

2.3.2 侧锚、导向地锚强度校核

起吊梁起吊最大起吊负荷为135 t(125%负荷试验最大承载负荷),由8门滑轮组连接,由式(17)计算得出侧锚两端的钢丝绳受力 $F_0=84\,375\text{ N}$ 。

侧锚由2根圆钢焊接成,取不均匀系数 $K=1.2$,最大受拉力 $T=F_0\times 1.2/2=84\,375\text{ N}\times 1.2/2=50\,625\text{ N}$ 。侧锚用Ø36圆钢,截面积 $A=1\,017.36\text{ mm}^2$,取许用拉应力 $[f]=160\text{ N/mm}^2$,许用剪应力 $[f_v]=100\text{ MPa}$ 。由锚筋受力分析图(图4)可知,侧锚受轴向拉力 $P=50\,625\text{ N}\times\cos 45^\circ+50\,625\text{ N}\times\sin 8^\circ=42\,842\text{ N}$;侧锚受剪力 $Q=50\,625\text{ N}\times\cos 8^\circ-50\,625\text{ N}\times\sin 45^\circ=14\,335\text{ N}$ 。侧锚拉应力 $\sigma_0=P/A=42\,842\text{ N}/1\,017.36\text{ mm}^2=42.11\text{ MPa}<160\text{ MPa}$,侧锚剪应力 $\tau_0=Q/A=14\,335\text{ N}/1\,017.36\text{ mm}^2=14.09\text{ MPa}<100\text{ MPa}$ 。综上所述可知,侧锚的安全系数满足要求。

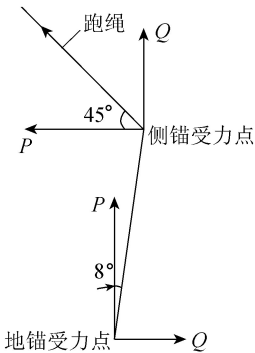


图4 侧锚、导向地锚受力分析示意图

a. 地锚点校核。地锚由2根圆钢焊接成,取不均匀系数 $K=1.2$,最大受拉力 $T=84\,375\text{ N}\times 1.2/2=50\,625\text{ N}$ 。地锚用Ø36圆钢,其截面积 $A=1\,017.36\text{ mm}^2$,取许用拉应力 $[f]=160\text{ MPa}$,许用剪应力 $[f_v]=100\text{ MPa}$ 。地锚受轴向拉力 $P=50\,625\text{ N}\times\cos 8^\circ=50\,132\text{ N}$,地锚受剪力 $Q=50\,625\text{ N}-50\,625\text{ N}\times\sin 8^\circ=43\,579\text{ N}$,地锚拉应力 $\sigma_0=P/A=50\,132\text{ N}/1\,017.36\text{ mm}^2=49.27\text{ MPa}<160\text{ MPa}$,地锚剪应力 $\tau_0=Q/A=43\,579\text{ N}/1\,017.36\text{ mm}^2=42.84\text{ MPa}<100\text{ MPa}$ 。综上所述可知,地锚的安全系数满足要求。

b. 锚杆埋设深度校核。锚杆选用Ø36圆钢,单根锚杆埋设长度取1800 mm,单根锚杆与混凝土接触面积为2035 cm²,取锚杆与混凝土接合力为39.2 N,故单根锚杆的拉拔力为79772 N;为增大地锚、侧锚安全系数,现导向地锚及侧锚每组均采用4根锚杆联合受力,取一组锚杆联合受力系数为0.8,故地锚、侧锚的整体拉拔力为79772 N×4×0.8=255270.4 N,为进一步增强锚杆的抗拉拔力,采取在锚杆底部开叉打倒楔的方式。锚杆圆钢屈服强度按235 MPa计算,锚杆圆钢本身的截面积为1018 mm²,单根圆钢的最大屈服强度为239230 N。因此,锚杆埋设深度取1800 mm后,其拉拔力大于锚杆本身的屈服强度,其埋设深度能够满足锚杆受力要求。

c. 对卷扬机选型校核。从上述对地锚和侧锚校核的分析中可知,卷扬机单根牵引绳的拉力 $F_0=84\,375\text{ N}$,故选择16 t的卷扬机。

3 结 语

本文详细分析了官地水电站地下厂房天锚加卷扬系统的设计过程,该起吊系统安装完后进行125%负荷试验,各个部件都处于完好状态。在桥机主梁吊装时,天锚系统稳定可靠运行,为按期完成桥机安装任务打下了坚实的基础。

参考文献:

[1] 张龙强,任凭. 大型水电站桥机安装工艺要点[J]. 中国高新技术企业,2012(29): 52-54.
[2] 金仁兴. 预制U型梁架桥机安装技术[J]. 建筑机械化,2012,33(10): 45.
[3] 吴永健,罗云. 三里坪电站桥机安装及负荷试验[J]. 葛洲坝集团科技,2012(2): 69-71.
[4] 胡均平,张灵,史天亮. 液压静力压桩机起吊系统动态特性的研究[J]. 郑州大学学报:工学版,2008,29(4): 137-140.
[5] 汪雅棋,温华兵,沈超明,等. 600t起重船起吊系统强度校核及应力测试分析[J]. 起重运输机械,2010(10): 19-23.

(收稿日期:2013-07-22 编辑:骆超)