去学水电站引水隧洞斜井滑模安全分析与计算

郑宗权
(中国葛洲坝集团第二工程有限公司,四川 成都 610091)

摘 要:去学水电站引水隧洞斜井衬砌采用滑模施工,介绍了滑模的原理、优点及组成。从施工布置及结构特点进行了分析与计算,用以指导现场施工,保证了衬砌施工质量及施工安全。

关键词:斜井;滑模;结构;计算;去学水电站
中图分类号:TV7;TV52;TV554;TV544 **文献标识码**: B **文章编号**:1001-2184(2017)04-0046-03

1 工程概述

四川硕曲河去学水电站引水隧洞压力管道立面采用斜井布置,斜井角度为53.81°,高程2 179.193 m以上采用钢筋混凝土衬砌,衬砌总长度为87.53 m。衬砌混凝土厚60 cm,衬砌后内径为7 m。混凝土标号为C25、二级配、衬砌工程量为1 834.8 m^3。

2 施工现状及施工程序

2.1 施工特点

通过比对后认为:滑模具有施工速度快、机械化程度高、混凝土连续性好、表面光滑、无施工缝、材料消耗少、灵活组装并可重复使用等优点。

2.2 施工布置

混凝土由布置在下拥沟旁的HZS90拌和系统供料,4台9 m^3混凝土搅拌运输车运料。斜井井内布置1套BOX真空溜管,溜管贴斜井井底布置,混凝土由搅拌车运输至压力管道上平洞后卸料至BOX真空溜管受料斗内,再经溜管溜放至滑模平台中心受料斗,最后由滑模平台上布置的8条分料溜槽均衡溜送入仓。

2.3 施工程序

开挖基础面验收→先浇块混凝土施工→安装操作平台→送料系统搭设→提升系统安装→固定提升系统→滑模安装→调试完毕→试运行→滑模验收→斜井钢筋绑扎、接长→预埋件安装→混凝土入仓→滑模提升→下一循环。

3 滑模的组成

3.1 滑模的工作原理

斜井滑模的工作原理即借助液压爬升牵引系统带动模板逐步滑动上升,可以使混凝土连续浇筑,混凝土浇筑与滑模提升交替进行,直到混凝土浇筑完毕。

3.2 滑模结构的组成

滑模主要由滑模模体系统、牵引系统、运料小车系统三大部分组成,用LSD连续拉伸式液压千斤顶沿钢绞线爬升提升滑模模体,钢绞线与斜洞段的洞轴线平行。

3.2.1 滑模模体装置

滑模模体主要由模架中主梁、上操作平台、钢筋平台、模板平台、抹面平台、后吊平台、滑模模板、前行走支撑及滚轮、后行走支撑及滚轮、抗浮花蓝螺杆、支模花蓝螺杆、受力花蓝螺杆、纠偏液压千斤顶、支模环形框架、中心框架等部件组成。模架中主梁长度为15 m,截面长×宽=2 m×2 m,整体主要是用角钢和槽钢等型钢焊接而成的桁架结构。

上操作平台、钢筋平台、模板平台、抹面平台和后吊平台均为型钢焊接构件,通过M16×50 mm螺栓与模架中主梁连接,其上满铺钢跳板或木跳板。上操作平台用于递运材料、浇筑混凝土以及对下层操作空间起安全防护作用;钢筋平台用于堆放钢筋和绑扎钢筋,模板平台用于搁置模板,抹面平台用于修整墙面,后吊平台用于检修和施工后的处理工作。

滑模模板搁置在模板平台上。整个模板为椭

收稿日期:2017-04-10

www.powerfco.com

圆形,上口大、下口小,锥度为 8‰。滑模模板通过支模花篮螺杆与支模环形框架连接,拔模锥度可以通过支模花篮螺杆调节,通过抗浮花篮螺杆可以防止模板在混凝土浇筑时上浮,确保施工质量。

支模环形框架和中心框架使用型钢焊接而成的框架结构,中心框架通过螺栓与模架中主梁紧固连接;支模环形框架外侧通过支模花篮螺杆与模板连接,内侧通过纠偏液压千斤顶和受力花蓝螺杆与中心框架连接。

纠偏千斤顶共两个,用于纠正模体偏移。一旦纠偏工作完成,通过受力花篮螺杆锁住模板位置。

3.2.2　牵引机具及设施

牵引机具及设施主要由预应力钢绞线及连接器、穿心式液压千斤顶、液压控制站、P38 行走轨道组成。

预应力钢绞线直径为 15.24 mm,规格为 15-7A5。整个滑模采用两根钢绞线进行提升作业,钢绞线锚固端锚深为 15 m,锚固水泥浆水灰比为 0.4。通过受力计算得知,滑模最大提升拉力为 700 kN,钢绞线强度满足滑模混凝土施工规范要求。

滑模轨道采用 P38 型钢轨,轨道支撑为"人"字形普通桁架,施工速度较快,整体结构可靠、稳定。滑模前行走机构滑过轨道连接节点后,拆除其下边一节。

滑模提升的前卡式穿心液压千斤顶型号为 YCQ250 型(额定油压 50 MPa),共两个;1 台 JZMB1000 液压泵站(主顶油路 31.5 MPa,夹持油路 10 MPa)、1 套 JZKC-6 控制系统及高压油管。

3.2.3　运料小车系统

运料小车系统主要由 10 t 变频双绳双筒卷扬机、钢丝绳、限载装置、平衡油缸及钢结构运料小车组成。10 t 变频双绳双筒卷扬机配 6×19 丝、准 32(钢芯)钢丝绳牵引钢结构运料小车,小车质量为 4.5 t,10 t 卷扬机布置在井口平地上。

滑模组成情况见图 1。

4　滑模分析与计算

4.1　荷载计算

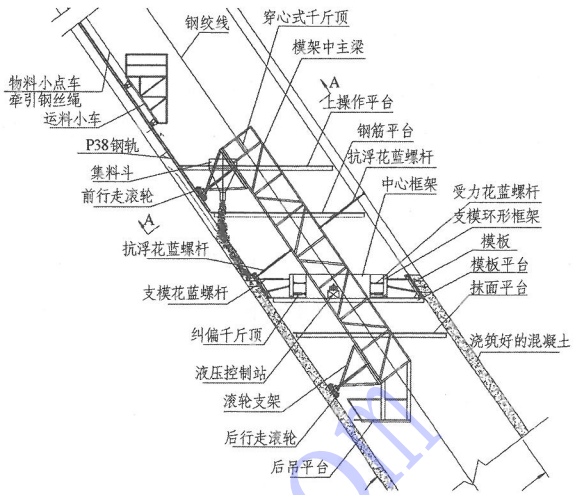

图 1　滑模组成示意图

(1)整个滑模系统重量 $G=19\ 383.148$ kg;

(2)模板总面积 $S=$周长×高$=24.686\times1.2\approx29.623(\mathrm{m}^2)$;

(3)考虑施工人员及设备荷载(取 $q_{施max}=2.5\ \mathrm{kN/m^2}$)、钢模板与混凝土的摩阻力(取 $q_{摩max}=3\ \mathrm{kN/m^2}$)、倾倒混凝土时模板承受的冲击力(取 $q_{倾max}=4\ \mathrm{kN/m^2}$),这些荷载沿斜井轴线方向的分荷载为:$q=q_{施max}\times\sin53.8°+q_{摩max}+q_{倾max}\times\cos53.8°=2.5\times\sin53.8°+3+4\times\cos53.8°\approx7.367(\mathrm{kN/m^2})$;

(4)滑模系统的总牵引力 F 为:

$F=G\cdot\sin53.8°+q\cdot S=19\ 383.148\times\sin53.8°+736.7\times29.623\approx37\ 349.166(\mathrm{kg})\approx37.349(\mathrm{t})$。

取 1.5 倍的安全系数,设计总牵引力按 60 t 计算。

4.2　钢绞线验算

钢绞线 A15.24 mm 的最小破断拉力为 250 kN,每束钢绞线由 4 根组成,共两束、8 根,总破断拉力$=250\times8=2\ 000(\mathrm{kN})$,故钢绞线安全系数 $k=2\ 000/600=3.33$。

4.3　滑模模板的强度和刚度计算

滑模模板的结构组成为:面板为 4 mm 厚 Q235 钢板,竖向次肋为 100×4 mm 钢带(间距 $l_y=700$ mm),横向主肋和横边框均为 12 号热轧槽钢(间距 $l_y=350$ mm),竖边框为 126 mm×10 mm 钢带。

4.3.1　面板的计算

钢面板与主次肋采用断续焊焊接成整体，钢面板被分成若干矩形方格，根据矩形方格长宽尺寸的比例，可以把钢面板当作单向板或双向板计算。当长宽比大于 2 时，单向板可按三跨或四跨连续梁计算；当长宽比小于 2 时，按四边支承在纵横肋上的双向板计算。该滑模模板按双向板设计，浇筑混凝土时，模板面板主要承受水平荷载 q_2。

4.3.2　强度验算

$$\sigma_{\max}=\frac{M_{\max}}{r_x W_x}<f$$

式中　$M_{\max}$ 为板面最大计算弯矩设计值（N·m）；r_x 为截面塑性发展系数，$r_x=1$；W_x 为弯矩平面内净截面抵抗矩（mm^3）；$\sigma_{\max}$ 为板面最大正应力；f 为面板抗拉强度设计值（取 $f=215\ N/mm^2$）。

选面板小方格中最不利情况进行计算，即三面固定，一面简支（短边）。

由于 $l_y/l_x=350/700=0.5$，查《静力计算手册》，得弯矩系数 $K_{M_x^0}=-0.078$，$K_{M_x^0}=-0.114\ 6$，$K_{M_2}=0.009\ 9$，$K_{M_2}=0.053\ 4$，最大挠度系数 $K_f=0.004\ 63$。

取 1 mm 宽的板条为计算单元，荷载 $q_2=8.1\ kN/m^2$。

$$q=8.1\times10^{-3}\times1=8.1\times10^{-3}(N/mm)$$

求支座（肋）处弯矩：

$$M_x^0=K_{M_x^0}\cdot q\cdot l_{x\max}^0=-0.078\ 4\times8.1\times10^{-3}\times700^2=-311.17(N\cdot mm)$$

$$M_y^0=K_{M_y^0}\cdot q\cdot l_{x\max}^0=-0.114\ 6\times8.1\times10^{-3}\times700^2=-454.85(N\cdot mm)$$

面板的截面系数 $W_x=\frac{1\times4^2}{6}=2.67(mm^3)$

应力 $\sigma_{\max}=\frac{M_{\max}}{r_x W_x}=\frac{454.85}{1\times2.67}=170.35\ N/mm^2<215\ N/mm^2$，满足要求。

求跨中弯矩：

$$M_x=K_{M2}\times q\times l_{x\max}^0=-0.009\ 9\times8.1\times10^{-3}\times700^2=39.29(N\cdot mm)$$

$$M_y=K_{M2}\times q\times l_{x\max}^0=-0.053\ 4\times8.1\times10^{-3}\times700^2=211.94(N\cdot mm)$$

钢板的泊松比 $\nu=0.3$，需换算：

$$M_x^{(v)}=M_x+vM_y=39.29+0.3\times211.94=102.87(N\cdot mm)$$

$$M_y^{(v)}=M_y+0.3M_x=211.94+0.3\times39.29=223.73(N\cdot mm)$$

应力 $\sigma_{\max}=\frac{M_{\max}}{r_x W_x}=\frac{223.73}{1\times2.67}=83.79\ N/mm^2<215\ N/mm^2$，满足要求。

4.3.3　挠度计算

$$V_{\max}=K_f\cdot\frac{ql^4}{B_0}\leqslant[v]=\frac{h}{500}$$

式中　q 为滑模模板所承受的水平荷载（$q=8.1\times10^{-3}N/mm$）；h 为计算面板的短边长度（$h=l_y=350\ mm$）；B_0 为构件的刚度。

$$B_0=\frac{Eh_2^3}{12(1-v^2)}$$

式中　E 为钢材的弹性模量，取 $E=2.06\times10^5$（N/mm2）；h_2 为钢板厚度，$h_2=4\ mm$；ν 为钢板的泊松系数，$\nu=0.3$；K_f 为挠度计算系数，$K_f=0.004\ 63$；$V_{\max}$ 为板的计算最大挠度。

$$B_0=\frac{2.06\times10^5\times4^3}{12\times(1-0.3^2)}=1.21\times10^6(N\cdot mm)$$

$$则：V_{\max}=\frac{0.004\ 63\times(81\times10^{-3}\times350^4)}{1.21\times10^6}=0.47(mm)$$

$[v]=h/500=0.7\ mm>0.47\ mm$，满足要求。

5　结　语

施工程序及安全分析计算表明：斜井滑模能够连续不间断滑升，受力结构合理；滑模体积小、提升力大并可控制出力。现场浇筑混凝土运行实践说明：该系统能够连续不间断运行、设备性能稳定、施工效率高、缩短了施工工期；衬砌后的形体测量结果表明：成型尺寸准确，外观质量好，符合规范要求，可以推广应用。

作者简介：

郑宗权（1968-），男，湖北荆门人，项目总工程师，工程师，从事水电工程施工技术与管理工作.

（责任编辑：李燕辉）

www.powerfoo.com