

# 大断面陡斜坡洞室混凝土钢模台车施工技术

张 伟

中国水电建设集团十五工程局有限公司第二工程公司 陕西 西安 710016

**摘 要:** 为保证大断面陡斜坡洞室混凝土钢模台车的施工安全, 本文以新疆大石门水利枢纽工程为依托, 采用理论分析、工程应用等方法开展了大断面陡斜坡洞室混凝土钢模台车施工关键技术研究。通过理论计算对钢模台车进行安全受力校核, 并制定切实可行的大断面陡斜坡洞室混凝土钢模台车施工关键技术。研究表明: 采用了液压顶推行走控制系统, 能够提高台车运行安全性, 降低了施工难度, 同时在确保安全、质量的前提下, 加快洞衬施工进度。

**关键词:** 大断面; 陡斜坡洞室; 钢模; 台车

## 1 工程概况

新疆大石门水利枢纽工程表孔溢洪洞洞身段长度500.84m, 由进口反弧段、上平段、抛物线段、斜井段及挑流鼻坎段组成。其中反弧段长14m, 上平段长291m, 设计坡比10%, 抛物线段长46.21m, 斜井段长121.63m, 设计坡比40%, 挑流鼻坎段长28m。

标准断面混凝土采取先浇筑底板混凝土, 在底板上安装台车行走轨道, 轨道采取70型重轨, 重轨下焊接20mm厚钢板, 钢板上设计有两排直径为22mm的孔, 孔距40cm, 在混凝土面钻孔, 插Φ20钢筋固定行走轨道。为了保证台车运行安全, 在台车上焊接牵引耳板, 采用2台10t矿用稳车分别配1门动滑轮和1门定滑轮同步牵引前行(稳车钢丝绳先通过动滑轮, 后通过定滑轮, 最后固定在动滑轮上), 台车就位后采用6台10t手拉葫芦将台车牵引固定在底板混凝土两侧墙的钢筋上。混凝土采用拌和站集中拌料, 10m<sup>3</sup>混凝土罐车水平运输, 现场拖式混凝土泵入仓。

本工程洞身断面大, 斜井坡度陡, 安全行走难度大, 因此需要合理的措施来保证钢模台车的稳定性。

## 2 钢模台车安全性计算

### 2.1 计算原理

按照《建筑工程大模板技术规程》(JGJ74-2017)确定模板荷载及荷载效应组合, 在承载能力计算时模板荷载效应组合为倾倒混凝土时产生的荷载、振捣混凝土时产生的荷载以及新浇筑混凝土对模板的侧压力三项之和; 在抗变形计算时只考虑新浇筑混凝土对模板的侧压力<sup>[1]</sup>。

#### 1) 新混凝土对模板的水平侧压力标准值

按照《建筑工程大模板技术规程》(JGJ74-2017)附录B, 模板荷载及荷载效应组合B.0.2规定, 可按下列二式计算, 并取其最小值:

$$F = 0.22\gamma_c t_0 \beta_1 \beta_2 V^{1/2} \quad F = \gamma_c H$$

式中: F-新浇筑混凝土对模板的最大侧压力(kN/m<sup>2</sup>);

$\gamma_c$ -混凝土的重力密度(kN/m<sup>3</sup>)取25 kN/m<sup>3</sup>;

$t_0$ -新浇混凝土的初凝时间(h), 可按实测确定, 现场提供初凝时间要求为6小时, 当缺乏实验资料时, 可采用 $t = 200/(T+15)$ 计算;

T-混凝土的温度(25°C);

V-混凝土的浇灌速度(m/h); 现场提供的浇筑速度不大于为1.5 m/h, 浇筑时注意两侧对称, 最大混凝土浇筑不等高为1米;

H-混凝土侧压力计算位置处至新浇混凝土顶面的总高度(m), 取8.6m;

$\beta_1$ -外加剂影响修正系数, 不掺外加剂时取1.0; 掺缓凝外加剂取1.2, 该工程取1.2;

$\beta_2$ -混凝土坍落度影响系数, 当坍落度小于100mm时, 取1.10, 不小于100mm, 取1.15。本计算方案混凝土坍落度为180mm, 取1.15。

$$\begin{aligned} F &= 0.22\gamma_c t_0 \beta_1 \beta_2 V^{1/2} \\ &= 0.22 \times 25 \times 6 \times 1.2 \times 1.15 \times 1.51^{1/2} \\ &= 55.77 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= \gamma_c H \\ &= 25 \times 8.6 = 215 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

混凝土对模板的水平侧压力取二者中的较小值,  $F = 55.77 \text{ kN/m}^2$ 作为模板水平侧压力的标准值。

2) 倾倒混凝土时产生的水平荷载标准值, 考虑倾倒混凝土产生的水平活荷载标准值取4 kN/m<sup>2</sup>(泵送混凝土)。

3) 振捣混凝土时产生的水平荷载标准值

振捣混凝土时产生的水平荷载标准值取4 kN/m<sup>2</sup>。

#### 4) 水平侧压力的荷载组合

按照《建筑工程大模板技术规程》(JGJ74-2017)附录B.0.3, 确定各荷载分项系数如下:

新浇混凝土时对模板侧面的压力 $\gamma_1 = 1.2$ ; 活荷载分项系数 $\gamma_2 = 1.4$ ;

##### ① 承载能力计算的荷载设计值

$$F = 55.77 \times 1.2 + 4 \times 1.4 + 4 \times 1.4 = 78.1 \text{ kN/m}^2$$

##### ② 抗变形能力计算的荷载设计值

$$F = 55.77 \times 1.2 = 66.9 \text{ kN/m}^2$$

#### 2.2 钢模台车安全措施校核计算

钢模台车在隧洞坡比为1:2.5的坡面行走, 前进的动力为4个液压油缸推进, 采用2台10t矿用稳车分别配1门动滑轮和1门定滑轮同步牵引安全防护(稳车钢丝绳先通过动滑轮, 后通过定滑轮, 最后固定在动滑轮上), 就位后6台手拉葫芦牵引防护, 其行走示意图见图1, 安全措施的校核计算如下:

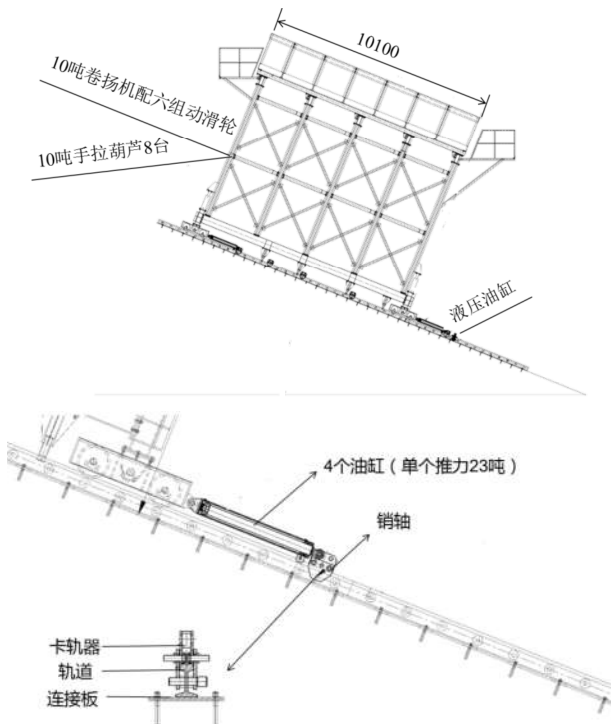


图1 钢模台车在斜井行走示意图

钢模台车自重80t(含辅助设备和人员机料3t), 在 $21.8^\circ$ 的纵坡上的下滑力为:  $800 \text{ kN} \times \sin 21.8^\circ = 297 \text{ kN}$ , 钢材间滚动摩擦系数取 $\mu = 0.05$ , 钢模台车推动前进的摩擦力为:  $\mu \times 800 \times \cos 21.8^\circ = 37 \text{ kN}$ . 安全系数K取1.5, 则需要的推力为501kN。

##### (1) 液压油缸的推力校核

台车行走用液压油缸推动前行, 油缸一端连接在钢

模台车行走轮耳板处, 另一端连接在卡轨器上, 整套台车配4个直径140液压油缸推进, 前后各两组, 单个油缸推力为 $3.14 \times (140/2)^2 \times 15 \text{ Mpa} = 231 \text{ kN}$ , 4个油缸的推力为924kN。924 > 501kN, 油缸的推力满足要求。

##### (2) 10t矿用稳车的拉力校核

2台10吨矿用稳车各配滑轮组牵引, 稳车的拉力为 $100 \times 3 \times 2 = 600 \text{ kN}$ 。

$600 > 501 \text{ kN}$ , 稳车的拉力满足要求。

##### (3) 卡轨器销轴的受力计算

在70型重轨的腹板上间隔0.5m设计有一个 $\Phi 45$ 的孔, 卡轨器销轴采用机械性能8.8级M39\*200的高强钢, 通过该孔固定液压油缸的一端, 通过计算每个销轴能承受的剪力为312kN。4台液压油缸共计4个高强螺栓可承受的剪力为1248kN > 501kN, 卡轨器销轴受力满足要求。

通过以上计算可知, 钢模台车的运行是安全的。

### 3 施工关键技术

#### 3.1 基础面清理

采用钢钎、高压风水枪等将建基面的上松动岩块、石渣等杂物清理干净后通知监理工程师, 协调设计单位地质工程师进行地质编录和组织四方进行隐蔽工程验收, 合格后再次进行仓面清理, 达到基础面无杂物、无松动岩块、无积水等方可开始安装钢筋。

#### 3.2 测量放样

测量队根据设计图纸施放出每一浇筑仓的几何尺寸控制点, 并标识清楚。现场技术人员根据测量控制点施放钢筋安装边线和模板安装边线, 并将控制点引出标记。

#### 3.3 钢筋运输、制安

(1) 按照设计图纸对钢筋进行配料, 并填写配料单, 经核对无误后送至钢筋加工场进行下料。钢筋制作过程中, 应对其进行调直、清污、除锈, 并对加工制作的成品料按规格、型号、使用部位码放, 挂牌标识。

(2) 钢筋运输, 由8t随车吊拉运至表孔溢洪洞出口挑流鼻坎段底板, 卸车后人工装运至钢筋运输小车上, 由坡面运输小车将钢筋运输至安装仓面, 钢筋工根据钢筋编号将钢筋转运至安装现场, 钢筋运输过程中, 应防止其变形。

#### 3.4 模板安装

##### (1) 钢模台车就位固定

标准段钢筋混凝土衬砌采用钢模台车施工, 台车长10.1m, 模板底部上下游端各设计有2个行走轮, 通过4个液压油缸推动前行至浇筑仓位置, 启动液压操作系统, 配合测量放线, 将各部位的模板就位, 完成台车就位, 台车移动过程中2台矿用稳车配1门动滑轮和1门定滑轮同

步前行（稳车钢丝绳先通过动滑轮，后通过定滑轮，最后固定在动滑轮上），就位后采用6台手拉葫芦将台车固定在底板混凝土两侧的钢筋上<sup>[2]</sup>。

### （2）钢模台车挡头模板安装

根据测量放样结果挂线安装挡头模板，挡头模板采用镜面木模板现场拼装，模板要求架设牢固，拼接严密，尺寸准确。模板外侧钉5cm×5cm方木条竖围圈增加其刚度，围圈间距25cm，方木条围圈外侧采用双钢管横围圈加固，围圈间距50cm，在纵横向围圈的交叉点（间排距50cm×50cm），采用蝴蝶卡配螺栓螺母的拉锚1道与仓面锚杆焊接连接，拉锚方向与水平方向夹角应大于45度，拉锚采用φ12钢筋加工，通过螺母调节模板至设计位置。

模板使用前涂刷一遍脱模剂以便脱模，脱模剂应适量以防止安装时污染钢筋或仓面。

### 3.5 止水安装

止水的安装尺寸严格按照设计图纸要求实施，止水加固采用木模板和U型钢筋固定，防止止水移位，安装位置偏差不大于5mm。橡胶止水接头采用硫化连接，搭接长度不小于15cm。

### 3.6 混凝土浇筑

（1）混凝土由钢模台车模板上预留的工作窗口进料、分层平铺的方式浇筑，每层铺料厚度30~40cm，两侧对称下料，均匀上升，混凝土振捣以插入式ZN70振捣器振捣为主，混凝土振捣时，振捣棒要快插慢拔，以混凝土不再显著下沉，表面不冒泡，开始泛浆为宜，上层混凝土振捣时须插入下层混凝土5cm。顶拱混凝土浇筑时，混凝土自底端向高端连续快速进料，混凝土泵在一

定时间内保持一定压力，使顶部混凝土尽量充填密实<sup>[4]</sup>。

### 3.7 拆模、养护

侧面挡头模板混凝土强度达到2.5MPa以上，保证其表面和棱角不因拆模而损坏时方可拆模，侧顶拱混凝土强度大于6MPa方可移出台车拆模。施工过程中在现场取样进行同条件养护，根据试块强度、气温等条件确定拆模时间。拆模后，对混凝土及时喷雾洒水养护，保持表面湿润，防止干缩及温降速率过大造成的危害。混凝土养护时间不少于28天<sup>[5]</sup>。

## 4 结语

本文选用可混凝土钢模台车施工工艺，能够满足大断面陡斜坡洞室施工要求；在前期设计阶段采用理论分析进行详细的荷载和模板应力分析，在施工中也取得了不错的效益，值得在同类工程中推广应用。

## 参考文献

- [1]吐尔洪·马合木提,廖若川.水工隧洞斜井混凝土钢模台车衬砌施工工法[J].水利建设与管理,2019,39(11):67-70+36.
- [2]樊宝龙.钢模台车在隧洞混凝土衬砌施工中的应用[J].交通世界, 2019(19):112-113.
- [3]李彬.微改进隧道衬砌钢模台车在长大隧道中的应用[J].广东公路交通, 2019,45(03):36-40.
- [4]任亚红.隧洞二次衬砌液压钢模台车的改装及应用[J].农业科技与信息,2018(19):115-116+120.
- [5]李明,张永,段科峰,袁赞.小断面隧洞双钢模台车快速衬砌施工技术[J].四川水力发电, 2018,37(05):59-61+153.