

# 地铁铺轨门吊升吨改造技术研究与应用

谭付达

(中铁十七局集团有限公司铺架分公司 山西 太原 030032)

**摘要:** 借助 CAD 三维建模验算, 通过加固铺轨门吊结构, 更换高功率的运行机构和电气元器件, 在不改变铺轨门吊的外形尺寸的情况下, 也能大幅度增加设备起重吨位。实践证明, 通过技术改造, 地铁铺轨门吊升吨改造技术是可行的, 通过技术改造, 以较小的投资, 可在短期内提高设备适用范围和经济价值, 为施工单位提高设备效能途径方面提供了借鉴。

**关键词:** 地铁铺轨门吊; 改造; 适用范围; 经济价值

## 0 引言

地铁隧道铺轨施工中铺轨门吊是进行吊运轨排、钢筋、混凝土等材料必不可少、使用最频繁的起重机, 是政府安监部门重点检查的一种施工机械。传统铺轨作业使用的铺轨门吊额定起重吨位为 10t, 近几年因浮置板减振道床等减振道床技术快速发展, 相应的钢筋笼轨排重量不断增加, 进而要求加大设备起重吨位, 以增加施工安全储备。目前, 北京、广东、江苏等地住建委对两台联吊的起重机额定起重吨位作出了新的要求, 施工单位常规的 10t 铺轨门吊已无法满足这些地区施工规范要求, 面临淘汰, 针对新规要求, 目前市场上已出现了相适的应起重机械。但其制造周期长, 价格昂贵, 耗能高, 且新购设备, 淘汰旧设备会增加企业经营成本, 若可以对传统铺轨门吊进行改造, 使其性能满足铺轨工艺要求, 能为企业节约大量经营成本。对此, 中铁十七局有限公司铺架公司和河南鹏飞起重机械有限公司共同研究铺轨门吊升吨改造技术, 并在无锡地铁 4 号线铺轨施工中开展了相关的测试工作。

通过对现有 10t 铺轨龙门吊进行结构、运行机构和电气改造、提高其额定起重吨位, 满足国内不同地区铺轨工艺要求, 以达到投资小、改造周期短、

降低能量损耗等目的, 弥补现有设备起重吨位不足和适用范围窄的缺点, 提高铺轨门吊的使用效率和适用范围, 满足日益变化的铺轨工艺要求。

铺轨门吊升吨改造技术研究测试于 2021 年 6 月 在无锡地铁 4 号线施工现场改造试验了 2 台, 并进行了安全可靠和运行稳定相关测试, 在各项测试结果达到预期并稳定投入生产 3 个月 后, 于 2021 年 10 月再次改造 10 台, 同年 12 月份投入生产, 通过 1 年运行测试验证了改造技术安全可靠。

## 1 地铁铺轨门吊升吨改造技术介绍

10t 地铁铺轨门吊主要由主梁、支腿、运行机构和电气系统构成, 如图 1 所示, 其起重原理是通过电气控

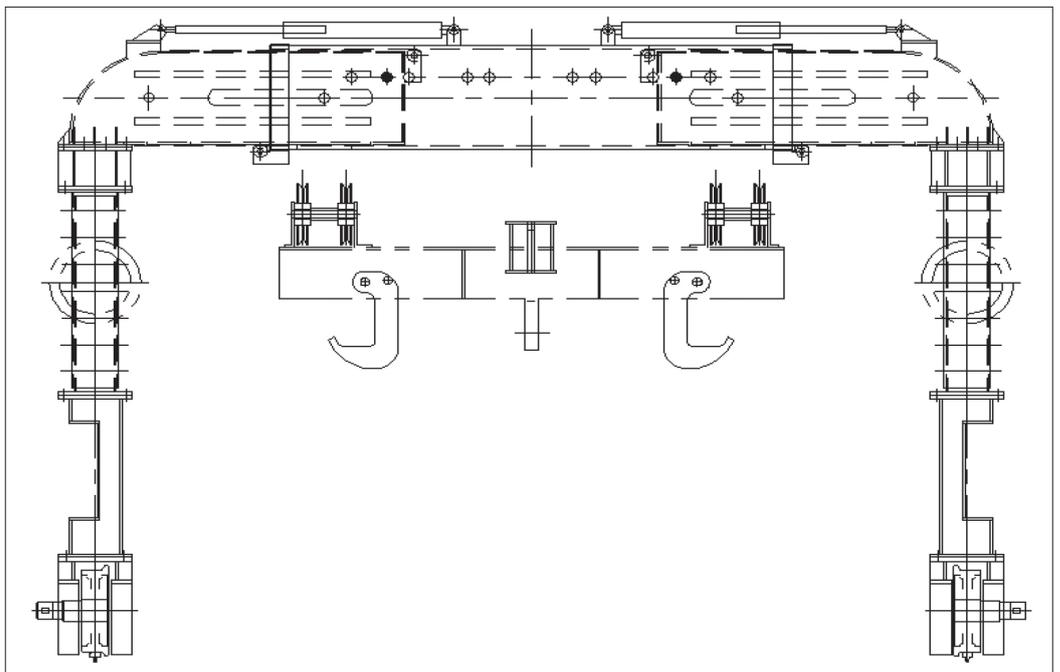


图 1 10t 地铁铺轨门吊结构示意图

制系统控制2台3T-9M电动葫芦升降达到升降起吊机具的目的,移动原理是通过电气系统控制行走电机控制设备行走。改造前设备额定起重吨位为10t,通过加固主梁、更换运行机构、升级电气系统使设备额定起重吨位变为15t,满足项目施工方案中起重机最低吨位要求,改造后的铺轨门吊外形结构尺寸满足隧道施工界限要求。

### 1.1 改造原理

根据地铁铺轨门吊工作原理,要提升其起重吨位主要解决2个问题:

第一,解决地铁铺轨门吊结构承重问题,确保改造后结构承重满足吊装安全要求;

第二,解决地铁铺轨门吊电气系统问题,确保设备改造后电气系统运行稳定。

本次改造通过验算结果分析后进行有针对性地改造。

### 1.2 改造方案

主梁四周增加腹板加固,副梁加圈筋,伸缩管加内筋板,计算验证使之达到15t吊力之弯矩要求,支腿方钢厚度由8mm更换成12mm。

吊具贴板加强,使之达到15t吊力之弯矩要求,轨道钩轴增大为55mm 2支。

原设备上2台3T-9M电动葫芦变更为2台5T-9M电动葫芦,钢丝绳由 $\phi 13\text{mm}$ 改为 $\phi 15.5\text{mm}$ ,走行电机功率由 $1.5\text{kW} \times 2$ 变为 $3\text{kW} \times 2$ 。

主梁之导向轮改为前置式,主轴由35mm改为55mm,达到2.5t单支压强,四绳最大吊力为10t,左右吊力达到15t以上。

对电线进行改造,由2.5平方增大为4平方。对电箱进行扩容,由3201接触器改为5011,达到用电要求。

每台设备增设30kW 升压稳压器1台,使之二次升压,达到使用要求。

增强基础刚性,钢支墩间距 $\leq 1200\text{mm}$ ,钢支墩底板采用M16的膨胀螺栓锚固。

### 1.3 验算过程

#### 1.3.1 主梁承重计算

铺轨门吊伸缩主梁最大跨度为3800mm,其结构如

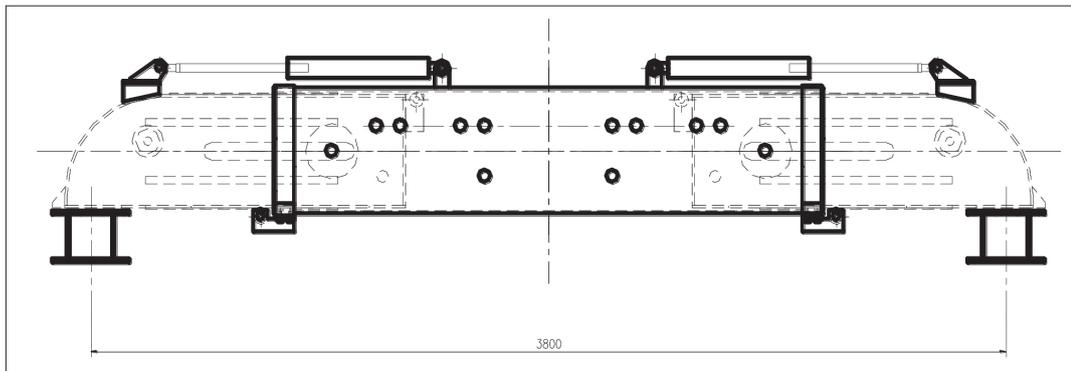


图2 10t地铁铺轨门吊主梁结构示意图

图2所示。

在最大跨度时工作为最危险情况,主梁计算按其较小截面进行核算,通过梁的截面面积计算梁的惯性矩,从而求其最大变形量和安全系数。为放大安全系数和计算简便,按主梁中点应力集中的情况进行计算,通过CAD建模计算,铺轨门吊在原主梁的四周增加腹板加固,副梁加圈筋,伸缩管加内筋板后,在最大载重15t,最大跨度3800mm起吊时,主梁受最大弯矩 $142500\text{N} \cdot \text{m}$ ,最大内应力为88.88MPa,最大变形为2.3mm,安全系数为2.64,能够满足使用要求。

#### 1.3.2 支腿承重验算

铺轨门吊立柱4根,受力计算长度4200mm,在截面厚度由8mm更换成12mm后,通过CAD建模计算惯性矩数据,其中 $I_x=48324300$ , $A=8504$ 。

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{48324300}{8504}} = 75.39\text{mm}$$

铺轨门吊立柱的柔度(长细比):铺轨门吊立柱受压,在结构上下两端属于螺栓联接,按中心压杆的情况进行工况考虑,由于在结构上下两端属于螺栓联接,按较接方式进行长度系数的选择,考虑到实际工作中,不能完全限制位移,将 $\mu$ 值适当放大,取 $\mu=1.2$ :

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{1.2 \times 4200}{75.4} = 66.8$$

由机械设计手册查得,对于Q235材料的 $\lambda_1=100$ , $\lambda_2=60$ ,本次计算立柱柔度为 $\lambda=66.8$ ,属于中柔度杆,需要按中等柔度压杆进行校核临界应力。

查表 $a=30400$ , $b=112$ ,代入计算的临界应力为:  
 $\sigma_s=30400-112 \times 66.8=22918\text{N}/\text{cm}^2=229\text{MPa}$

铺轨门吊设备自重约5T,最大载荷15t,动载系数参考取值1.2,实际最大受力计算如下:

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{(15000 \times 1.2 + 5000) / 4}{85.04} = 67.62\text{kg}/\text{cm}^2 = 6.76\text{MPa}$$

安全系数由常用零件规定的稳定性安全系数参考表查得矿山和冶金设备压杆稳定性安全系数4~8,实际计算的安全系数 $S=229 \div 6.76=33$ ,因此是安全的。

计算结论:更换立柱后铺轨门吊立柱的柔度(长细比)为66.8,属于中等柔度杆,立柱稳定性安全系数为33,是安全的,可满足承重要求。

#### 1.3.3 电动葫芦起吊能力计算

原2台3T电动葫芦起吊吨位

$=3 \times 2 \times 2 = 12t < 15t$  不满足要求, 通过计算换成 2 台 5t 电动葫芦  $=5 \times 2 \times 2 = 20t > 15t$ , 功率可满足要求。

铺轨门吊单台起重机构共有 2 台 5t 电动葫芦 (增加滑轮组, 将 2 钢丝绳结构改为 4 钢丝绳), 每根钢丝绳额定载荷为 2.5t (5t 电动葫芦原结构为 2 钢丝绳), 则在增加滑轮组的情况下, 电动葫芦提升系统的最大吊重能力为  $2.5t \times 4 \text{绳} \times 2 \text{台} = 20t$ 。

本次设计改造设置的铺轨门吊最大载荷吊重为 15t, 那么在最大载荷情况下, 电动葫芦提升系统本身的安全系数为  $S_2 = S_1 \times (20/15) = 2$  (5t 电动葫芦本身的安全系数  $S_1 = 1.5$ )。

在额定吊重 15t 时, 每股钢丝绳承受的拉力为  $15/8 = 1.88t$ , 钢丝绳直径为 15.9mm, 查表得知, 其最小破断拉力为 149kN, 按 14t 计, 则钢丝绳的使用安全系数为  $14 \div 1.88 = 7.4$ 。

计算结论: 铺轨机在改用 2 台 5t 电动葫芦、通过增加滑轮组 (不考虑摩擦损耗)、最大载荷吊重 15t 的情况下, 提升系统安全系数为 2; 钢丝绳安全系数为 7.4; 主梁安全系数为 2.64, 可以满足使用要求。

#### 1.3.4 电器改造验算过程

由于电动葫芦功率增大 (由 2 台 9kW 变为 15kW, 行走部分由  $1.5kW \times 2$  变为  $3kW \times 2$  直接驱动), 单台总功率由 12kW 变成 21kW, 因此对电线进行扩容改造, 通过查表得知, 由 2.5 平方增大为 4 平方可满足要求, 对电箱进行扩容由 3201 接触器改为 5011 接触器, 可达到用电要求。

由于单机功率增大, 单区间用电总容量达到 70kW, 瞬间启动电流以 4 倍计算, 对原输电总电缆造成严重压强, 因此每台设备增设 30kW 升压稳压器 1 台, 使之二次升压, 可达到使用要求, 有效运行距离达 900m。

#### 1.3.5 基础改造验算过程

由于铺轨门吊在钢支墩支撑的柔性基础上行走, 为保证基础变形量在安全范围内须进行验算, 通过 CAD 建模计算受力分析, 钢支墩间距在最坏工况下受力时间距不能超过 1200mm, 钢支墩底板采用 M16 的膨胀螺栓锚固时其抗拔力和抗剪力才能满足安全要求。

## 2 现场测试

铺轨门吊升吨改造完成后在无锡地铁 4 号线铺轨现场进行试验测试, 分别进行了空载运行试验、额定重载试验相关测试。

### 2.1 空载运行试验测试

测试过程:

参与测试铺轨门吊: 001# 铺轨门吊

测试地点: 广石路站

模拟工况描述:

起始位置 → 空吊具下降 → 最低位置限位启动 → 空吊具上升 → 最高位置限位启动 → 循环 5 遍;

起始位置 → 前进 10m → 后退 10m → 循环 5 遍。

试验结果: 铺轨门吊空载升降平稳, 行走稳定, 限位器正常工作。

结论: 铺轨门吊空载运转正常。

### 2.2 额定重载运行试验测试

测试过程:

参与测试铺轨门吊: 001# 铺轨门吊

测试地点: 广石路站

操作箱重: 15.2t

测试仪器: 纳威克 OCS-GP20T 电子吊称

模拟工况描述:

起始位置 → 空吊具下降 → 吊箱起升到限位静止 → 静止 5min → 重载前进 10m → 重载后退 10m → 吊箱下降到地面 → 循环 5 遍。

试验结果: 铺轨门吊重载升降平稳, 行走稳定, 限位器正常工作, 主梁无明显变形。

结论: 铺轨门吊重载运转正常。

## 3 使用反馈

001# 铺轨门吊按技术改造方案进行改造后于 2021 年 6 月 15 在无锡地铁 4 号线施工现场按模拟工况进行了空载和重载试验, 在各项测试结果达标后于当月 28 号对改造好的 002# 进行测试验收, 同时模拟工况两台联吊, 吊运 25m 钢筋笼轨排测试性能效果, 在各项测试结果达到预期并稳定投入生产 3 个月后, 于 2021 年 10 月再次批量改造 10 台, 同年 12 月份投入生产。实践证明改造技术安全可靠, 且通过改造设备功效提升了 20%。

## 4 结语

无锡地铁 4 号线设备改造实践证明, 通过对铺轨门吊设备结构加固和电气系统升级, 铺轨门吊升吨改造技术是可行的。改造后设备运转稳定, 安全性好, 施工效率显著提高, 节能降耗明显。通过经济对比, 单台设备改造费用仅为采购费用的 25%, 可为施工企业节约大量成本。本次设备升级改造为地铁铺轨门吊等起重设备升吨改造提供了理论和实践借鉴。

### 参考文献:

- [1] 成大先. 机械设计手册 (第六版) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.
- [2] 赵小勇. 电动葫芦设计 [M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2014.
- [3] 冯清秀, 邓星钟. 机电传动控制 (第五版) [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2011.