70t 地铁出渣门吊优化设计及主结构计算

丁文娟
（中铁十一局集团汉江重工有限公司　湖北　襄阳　441006）

摘要：现在地铁隧道断面加大，盾构机掘进速度也在加快，随着出渣量越来越大，对配套的地铁出渣门吊要求越来越高。70t 地铁出渣门吊是根据公司以往 45t、55t 地铁出渣门吊在施工现场使用情况及目前地铁施工的使用需求，对门吊主结构、起升机构、小车架、大车运行机构、电控系统等进行全面优化设计，提高设备适用性、安全性、可靠性，并且有效地降低了设备成本，提升了产品的市场竞争力。本文主要介绍了 70t 门吊各部件优化设计的详细内容，以及门吊主结构计算和有限元分析等。

关键词：地铁出渣门吊；优化设计；有限元分析

0　引言

随着城市的发展，为满足人们的出行便利，越来越多的大中型城市开始修建地铁，世界各国大城市发展的经验都证明，只有以大运量的公共交通尤其是地铁作为城市交通的骨干，才能有效缓解交通拥堵，提高城市交通的效率。地铁是高密度、特大型、综合性轨道交通运输系统，是大城市轨道交通发展的必然结果。地下施工主要采用明挖法、浅埋暗挖法和盾构法，其中盾构法由于施工进度较快，节省人工成本且相对安全等特点，在地下施工中占据重要地位。在施工过程中，由盾构挖出的大量渣土需从地底运至地面再运出城市，而与盾构设备配套的多是地铁出渣门吊。

现在地铁隧道断面加大，盾构机掘进速度也在加快，随着出渣量越来越大，对配套的地铁出渣门吊的要求越来越高。不仅起重量大、速度快、工作级别高、使用频繁，还要提高出渣门吊的安全性、可靠性及稳定性，因此 70t 地铁出渣门吊将满足客户需求，是未来地铁出渣门吊的发展趋势。本文主要对 70t 地铁出渣门吊优化设计进行详细阐述，并对主结构进行计算与分析。

1　70t 地铁出渣门吊结构组成及性能参数

1.1　结构组成

70t 地铁出渣门吊采用 U 型结构，主要由门架结构、起重小车、大车走行机构、电气系统和附属结构等组成。结构示意图见图 1。

1.2　性能参数

70t 地铁出渣门吊的参数设计，根据地铁施工单位具体使用要求设定，具体性能参数见表 1。

2　优化设计

2.1　主起升减速机选型优化

主起升减速机由传统的软齿面圆柱齿轮减速机更改为 HK 型加长轴模块化高精减速机。该类型减速机采用仿欧式设计，具有强度高、承载能大、结构紧凑、体积小、重量轻和噪音小等特点，同时具有全面的冷却散热系统，有效地提高整机工作效率及部件使用寿命，特殊的迷宫式或带独立油脂密封腔的双密封结构能防止润滑油泄漏

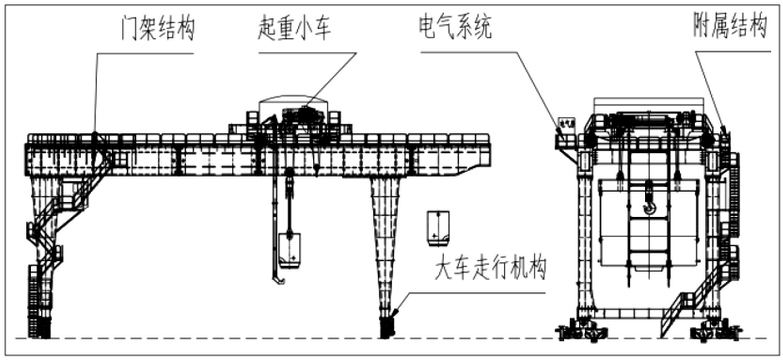

图 1　70t 地铁出渣门吊结构示意图

表 1　70t 地铁出渣门吊性能参数表

项目	参数	项目	参数
起重量	70t/25t	小车运行速度	0 ～ 25m/min
跨度	36m	大车运行速度	0 ～ 30m/min
悬臂	单侧有效 5m	整机工作级别	A6
起升高度	+10m/-40m	适应坡度	3‰
主钩起升速度	0 ～ 15m/min	工作状态风力	6 级
副钩起升速度	0 ～ 17m/min	非工作状态风力	11 级

01-23 工业设计 22年6月中 第17期.indd 3　2022/7/17 12:50:16

和污物进入。相较于传统减速机，其性能参数相当，但自重减少 25%，占用空间减少 40%。

2.2　卷筒组优化

优化前卷筒组与减速机采用齿轮连接盘连接，这种结构对加工精度要求较高，卷筒组套入减速器齿形轴端时安装比较困难，安装过程中和安装后均无法检查。

优化后卷筒组与减速机采用 DC 型卷筒联轴器连接。该联轴器采用端面连接，传动效果更好，噪音更小，同时在联轴器上有刻度线用以检查卷筒偏斜度，安装、检查更方便，同时保证了安装精度。卷筒组由长轴式改为半轴式，减重约 0.4t。

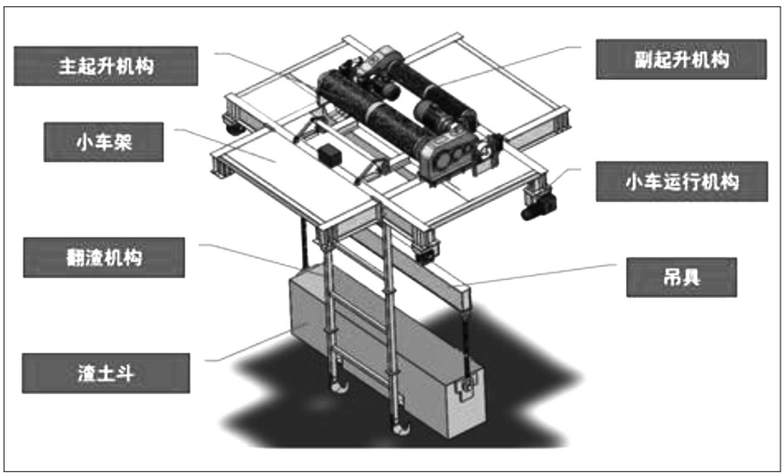

图 2　小车架优化示意图

2.3　超载传感器优化

起升超载传感器由轴承座式改为销轴式。轴承座式传感器需通过两个传感器叠加计算，安装时必须保证水平，否则使用时就会出现测试不准的情况；而且卷筒转动时，由于受到钢丝绳位置的影响，也会使轴座受力产生偏差。销轴式传感器为一体式，直接承受钢丝绳的拉力，受力明确，准确度高，受外界影响因素少。

2.4　大车运行机构优化

大车运行机构设有手轮夹轨器，起重机正常工作时，夹轨器的夹钳离开轨道；当起重机停止工作时，操作手轮夹住轨道，防止起重机滑动。可选配电动铁楔，工作状态下随时可以起到制动作用。同时在沿海或者风力较大的地方，可以设置地锚或缆风绳等驻车装置，保证起重机遇大风时的驻车安全。

2.5　门架结构优化

门架结构由主梁、支腿和下横梁组成，均为箱型结构。主梁、支腿和下横梁经优化设计减小截面，共减重约 8t。为满足不同施工条件下的跨度需求，可在两侧支腿与主梁连接处设置长法兰固定座，实现变跨要求，变跨步距为每 100mm 一变。主梁也可设中间节段，满足更大范围跨度变化的需求，主梁截面设计按安装跨度最大时校核，现场只需根据实际情况安装或拆除中间节段就能实现变跨要求。主梁两侧预留悬臂接口，悬臂可拆卸。

2.6　小车架优化

对小车架结构布局进行优化，去除了定滑轮组下的长横梁，小车架结构减重约 1.8t，结合起升机构的优化，整个小车减重约 3t。在小车架主体结构上增加旋转车架，旋转车架通过高强螺栓连接在小车架主体结构上，安装拆卸方便；只需将小车运行机构拆装到旋转车架上，就可实现起重小车的 90° 旋转，满足两个方向倒渣的需求（图 2）。

2.7　电控系统优化

电控系统采用以 PLC 为核心的控制系统，确保门吊运行安全、稳定。门吊各机构均采用变频器驱动，启停平稳、运行速度可调，起升做闭环矢量控制，编码器实时反馈防止溜钩。主要元器件使用施耐德或同等品牌，质量可靠。在安全监控系统方面，提供多种选配，满足不同用户的定制化需求，包括：本机视频监控；本机安全监控；远程视频、安全监控。选配系统可实现门吊运行参数的全方位采集，实时反馈设备运行和维护状态。另外，远程监控平台对设备集中管理也提供了便利，管理层可以根据设备状态，合理安排生产调度、设备的保养维护。

3　主结构计算

3.1　主要参数

（1）各部件质量：

主梁：96.8t，小车加吊具：48.4t，支腿（单根）：4.45t，下横梁（单根）：2.26t，联系梁（单个）：2.85t，大车运行（单个）：4.38t；

（2）额定载荷：70t；

（3）动载荷系数：取 1.089；

（4）静态刚度：跨中刚度取 $f_1 \leqslant L/750$（L 为支承跨度，36000mm）；悬臂刚度取 $f_2 \leqslant L_2/350$（L_2 为有效悬臂，5000mm）；

（5）起升作业时最大风速：6 级，非工作时最大风速：11 级。

3.2　工况及载荷组合

根据 70t 地铁出渣门吊特点及规范要求，计算工况分为动载强度计算及静载刚度计算，根据主结构受力最不利状态，分为以下三种工况进行建模分析：

（1）工况 1：起重小车位于跨中起吊货物，是主梁受力最不利状态；

01-23 工业设计 22年6月中 第17期.indd 4　　2022/7/17 12:50:17

（2）工况 2：起重小车位于有效悬臂处起吊货物，是主梁悬臂受力最不利状态；

（3）工况 3：此时起重机为非工作状态，主梁和支腿迎风面承受 11 级大风。

门吊主结构主要起到竖直荷载、风载荷和坡道载荷作用，工作状态同时考虑冲击系数。

3.3　材料及许用应力

主要钢结构材料采用 Q235B，工况 1 和工况 2 的安全系数取 1.33，许用应力为 176.7MPa，工况 3 安全系数取 1.1，许用应力为 213.6MPa。

3.4　风载荷的计算

工作风压取 250N/m²（6 级风），非工作风压取 1000N/m²（11 级风），主结构所承受的风载荷见表 2。

3.5　有限元计算及分析

基于大型通用有限元软件，根据 70t 地铁出渣门吊的结构特点及工况，建立有限元模型（图 3）。

表 2　主结构风载荷

构件	风力系数	迎风面积 /m	折减系数	风高系数	工作风载荷 /N	非工作风载荷 /N
主梁	1.85	98.2	0.43	1.13	64947	293560
支腿	1.55	29.2	0.43	1	16180	64722

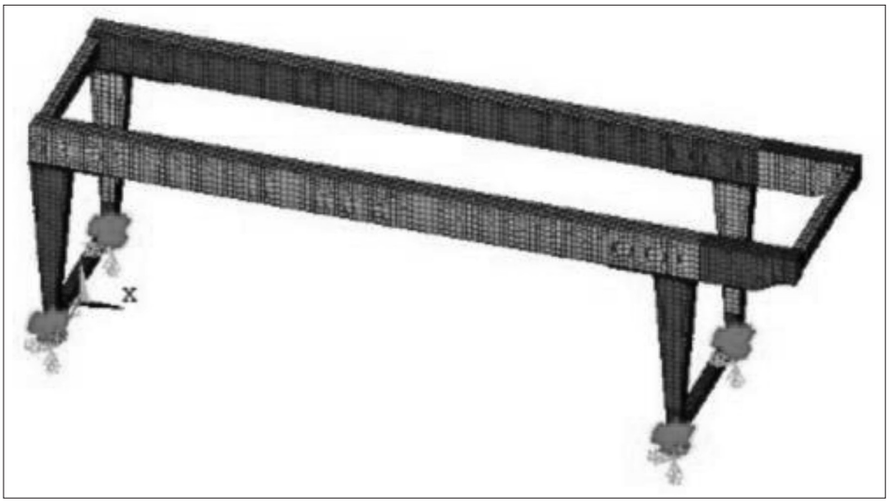

图 3　有限元模型及约束图

3.6　有限元计算结果

（1）工况 1：起重小车位于跨中起吊货物，最大应力位于主梁和固定座连接处，为 168.04MPa，跨中刚度为 34.18mm；

（2）工况 2：起重小车位于有效悬臂处起吊货物，最大应力位于主梁和固定座连接处，为 169.03MPa，有效悬臂处刚度为 10.7mm；

（3）工况 3：此时起重机为非工作状态，最大应力位于支腿和下横梁连接处，为 176.77MPa，整机刚度最大值为 12mm。

分析结果表明：在三种工况下其最大应力均小于许用应力，满足要求；跨中静态刚度小于跨中许用刚度 48mm，悬臂静态刚度小于悬臂许用刚度 14mm，满足要求。

4　结语

优化设计的 70t 地铁出渣门吊整机结构更加合理可靠，起升机构和大小车运行机构运行更加平稳安全，目前已成功应用于广州地铁 18 号线和 22 号线项目、成都地铁 17 号线项目、滁宁城际铁路（滁州段）二期项目和惠莞城际项目等。

参考文献：

[1]GB/T 3811-2008，起重机设计规范 [S].

[2] 张质文，王金诺，程文明，等．起重机设计手册 [M]. 北京：中国铁道出版社，2013.

[3] 蔡晨晨，陈力，朱勇．63T 双梁门式起重机整机结构有限元分析 [J]. 装备制造技术，2019，295(07)：142-145.

01-23 工业设计 22年6月中 第17期.indd 5　2022/7/17 12:50:17