大型盾构机钢套筒一体转体及平移的方法

Method for Integrally Rotating and Translating Steel Sleeve of Large Shield Machine

陈国昌

Guochang Chen

广东欣龙隧道装备股份有限公司
中国·广东 江门 529700
Guangdong Xinlong Tunnel Equipment Co., Ltd.,
Jiangmen, Guangdong, 529700, China

【摘要】论文介绍了盾构机在钢套筒接收后,利用多组钢球组将盾构机与钢套筒一体平移后 180° 转体再始发的一种方法。运用 Solidworks 对钢套筒及钢球组进行三维建模、使用 Abaqus 进行受力分析对本次大型盾构机钢套筒一体平移及 180° 转体具有重大的指导意义。

【Abstract】The paper introduces a method for shield machine to make use of multiple groups of steel balls to translate shield machine and steel sleeve into one body and then to rotate 180 degrees after the shield machine is received by steel sleeve. Three-dimensional modeling of steel sleeve and steel ball group by Solidworks and stress analysis by Abaqus are of great guiding significance to the integral translation and 180 rotation of steel sleeve of this large shield machine.

【关键词】盾构机;钢套筒;平移

【Keywords】shield machine; steel sleeve; translation

【DOI】10.36012/etr.v2i3.1364

1 引言

孟加拉卡纳普里河底隧道项目位于孟加拉国吉大港市郊区卡纳普里河入海口位置,隧道连接卡纳普里河东、西两岸,为国家重要交通工程。隧道在河底分离两管盾构,单条隧道长 2450m,采用单台开挖直径为 12.16m 气垫式泥水加压平衡盾构机掘进施工。盾构先行掘进左线隧道盾构机套筒内接收后,盾构机钢套筒一体在底板满铺钢板上利用垂直油缸和水平油缸顶升调平,支座底部安装滑动钢球平移后并 180° 转体,进行右线二次始发准备^[1]。

2 盾构转体施工工艺流程

盾构机转体包括盾构空拼管片拆除、盾构机管路整理及与 1# 台车约束的解除和悬臂设备的临时加固。安装垂直顶升油缸系统后进行盾构机调平,拆除调坡支墩后沿隧道轴线顶推至指定位置后平移,就位后不断更换油缸反力后靠,使盾构机及套筒沿旋转轴心进行 180° 转体施工,就位后调坡^[2]。

3 盾构平移转体主要施工过程

3.1 盾构转体准备条件

对工作井使用 30mm 钢板进行铺设,工作井底板钢板铺设完成后,立即对表面进行打磨,根据盾构顶推、平移和转体路径,按照顶推前端钢板不得高于后端,平整度标准进行打磨。

3.1.1 机、电、液及泥水管路整理

利用牵引油缸反向顶推台车后,完成盾构机与后配套分离前,对 1# 台车负载泥水管路、机电液管路和线缆、1# 台车与盾构机间牵引油缸等机构进行约束解除,并进行必要整理。

3.1.2 盾构转体空间及路径

盾构机顶推至平移路径前,对盾构机原位转体中心进行定位,钢套筒转体为筒身转体,转体前拆除端盖圆环及延长钢环,转体直径为 19555mm,转体中心为工作井横向中线与右线隧道中线交点,此时距离左侧端墙距离为 2253mm,前后端墙距离 523mm,洞门侧端墙暗柱距离为 2197mm,背洞门侧暗柱 3256mm。由于洞门内凹,端头转体空间略有增加,间距为 685mm;明挖暗埋段未设加深段,下部无内凹空间,空间无增加,因此转体中心可向前移动 343mm,前后端空间为 866mm。

3.1.3 盾构平移、转体反力支座设计

盾构机及套筒平移、转体均采用千斤顶液压油缸顶升系统顶进,通过增加或调整油缸垫块、不断移动反力支座位置实现平移和转体动作。盾构平移或转体反力支座采用 2cm 厚钢板焊接框槽和缀板组成,反力架设置框型千斤顶限位槽,千斤顶限位槽与定力反力支座采用双 U 形活动铰接连接。千斤顶前顶推面与钢套筒底座同样采用双 U 形活动铰接连接,以实现转体过程中的顺利位移,避免频繁加垫不同角度顶铁和转换反力支座位置。

3.2 盾构机调平与滑移钢球的安装

3.2.1 盾构机及钢套筒的顶升与调平(二次始发前反向操作)

考虑盾构机总重为 1400t,套筒内填料重量为 240t,套筒自身重量为 600t,油缸约 20t,合计总重量为 2260t。按单边 10~200t 和 10~120t 配置顶升油缸。利用套筒支座预留的油缸箱安装顶升油缸,从刀盘前端至后单侧分别为 5 个 200T 千斤顶和 5 个 120T 千斤顶,千斤顶活塞杆工作长度均为 1100mm。油缸箱外焊接钢筋作为固定千斤顶防护装置,同时油缸活塞杆下安装活动撑靴,移动升降油缸活塞杆与地面球形支撑板连接位为平面,球形支撑板可实现由于路面不平或有坡度时的自行调节。

顶升油缸均为双作用缸,盾构机及钢套筒顶升时,油缸上腔供油,活塞杆为固定状态,即缸筒处于上升顶起盾构机及钢套筒,调平时油缸下腔供油,缸筒为固定状态,活塞缸上升。每个油缸均配置位移感应器和位移开关,在油缸同时或单独升降时检测位移量,反馈信号至 PLC,按设定位移量移动以达到预期坡度,以便取出或放置调坡支墩。同时油缸设置压力检测点,异常时能够立即停止工作处理。

3.2.2 滑移和转体钢球安装

钢套筒安装时,预先在底座中间安装 38 组平移转体钢球组,每个钢球组由 3 个 $\phi 100$ 钢球组成,3 个钢球集中安装在三角钢板上,上部由自调心半球支座连接以适应基面不平整,支座上部与套筒底座焊接。钢套筒底座下井安装时,预先翻转 90°进行转体钢球组安装后翻转,安装定位。盾构机利用垂直顶升油缸调平后拆除调坡支墩,在调坡支墩安装位置间焊接两侧平移转体钢球,左右各 5 组。盾构机平移、转体利用钢球组共计 48 组,与底板预铺钢板间滚动摩擦,协同作业。钢球组安装根据底座钢结构和平移、转体需求进行均布,两侧对称布置各 5 组转体钢球组。

3.3 盾构机平移施工

拆除套筒调坡支墩,支座外侧 10 组钢球组安装完成后,操作液压工作平台回缩油缸,使钢球组均匀触地,通过洞口侧墙与套筒基座间设置千斤顶,盾构机沿轴线向大里程方向平移 2700mm。盾构机及钢套筒水平方向顶推距离为 19981mm,过程中为减少支座焊接量,利用支垫顶铁顶推。

3.4 盾构机 180° 转体

盾构机转体按钢板面与钢球的滚动摩擦系数 0.05(钢球与钢板摩擦,取 1.5 倍安全富余),选择转体用油缸总推力为 115t,设计 2~63t(20MPa)、行程 1100mm 的油缸用于转体。转体油缸安置在支座油缸箱内,采用双 U 形活动铰连接两端,

与盾构机及套筒支座呈 45°角,油缸行程 1100mm,辅助顶铁长 700mm,按单次顶升长度 1800mm 计,转体角度为 9.5°,单次顶推长度为 1144.5mm(利用工装),计划转体 20 次(不含微调就位和过程纠偏)。

盾构 180°转体过程中,当出现斜向转体推力过大或易出现转体拟定位移超限时,可利用一组对角油缸作为转体动力,另一组对角油缸作为限位或平衡,使盾构机按照设计线路转体。

4 盾构接收钢套筒结构验算

4.1 计算总述

本报告根据设计要求及施工现场实际情况,针对钢套筒接收盾构机的要求,在 Solidworks 中建立三维模型,并将模型数据导入 Abaqus 进行有限元分析前处理、求解,获取分析结果,以确认钢套筒的可行性。

4.2 问题描述

盾构到达接收是盾构施工中的重大风险之一,通常需要在盾构机到达前对其地表上方区域进行加固处理,以防发生喷涌或其他风险。尤其在富水沙层或者周边环境复杂时,钢套筒接收技术在保证盾构出洞工期、安全、质量、成本等方面的优势强于传统接收方式。本次使用的气垫式泥水平衡盾构机总重 1400t,盾构直径 12.12m。

4.3 有限元建模

根据钢套筒图纸和施工方要求,在 Solidworks 中有限元建模。

4.4 导入 Abaqus 中处理

4.4.1 软件信息

所用有限元分析软件为: ABAQUS, 采用单位制为 mm、N、MPa。为加快分析,将整个结构拆分成两部分来进行分析,分割面理想化为对称约束。

4.4.2 材料定义

钢套筒的材料为 Q235B 钢材,据此设定材料属性如下:①密度 $7.85 \times 10^{-9} \text{ton/mm}^3$;②杨氏模量为 $2 \times 10^5 \text{MPa}$;③泊松比为 0.3。

4.4.3 单元选择及网格划分方案

模型划分单元选择 C3D10(10 节点四面体),网格划分。

4.4.4 载荷及边界条件处理

盾构机在钢轨内受导轨承托(混凝土作为安全储备),根据钢轨分布其受力。

4.4.5 结论

最大应力为 173.8MPa 以下(安全系数在 1.3 以上),最大位移 3.6mm,该钢套筒满足盾构机接收结构安全需求。

(下转第 31 页)

3.2 电机断相保护

异步电动机的断相类型可以归纳为两类,一类是指电动机外壳接线部分断开,另一类指的是电动机内部定子绕组导线的断开。这两种断相在本质原因上都是热负载过量所导致的,也就是在电流增大时导致的导线熔断。对于电机的断相保护的解决方法是使用一般的三级热继电器起保护作用。

3.3 电机的欠压保护

当电动机工作环境的输入电压过低或者外界原因导致系统电压骤然降低达不到电动机运转电压的时候,将会使得原本正常工作运转的电机出现疲倒、堵转,导致电动机产生高倍的过电流甚至短路,此时必须保护电机将故障电压切断。此类保护措施对于大功率如 30kW 及以上的电动机来说尤为重要。

3.4 电机的短路保护

短路故障发生时可能导致短路电流流经电机组成导体而出现不良的热效应与电动力效应,因此对于短路保护的任务应当是将该类不良效应所产生的影响在最短时间内降到最小。短号保护所采取的办法是加装断路器或熔断器以切断短路电流^[9]。

4 异步电动机的保养

以石化企业所用的异步防爆类型的方式电动机为例,工

作人员首先就应当根据选择的异步电动机上的铭牌数据进行转速、功率、电压等的校核计算,并且根据具体的工作环境与负载特性进行过载保护、断相保护以及可能出现的欠压情况进行加装相应的辅助设备如熔断器等,做好相应的应急准备工作。其次,需要做好日常巡视工作。最后,工作人员还应当对电动机进行定期小修,即在不抽芯的情况下对于电动机内外进行清洁与加注润滑油等,检查外壳与接地线及内部导线齿轮、转轴等。中修在一个较大的周期进行,也即在小修的基础上抽出铁心进行清洁、吹洗定、转子绕组等,有必要时进行更换以确保电机的正常运行。

5 结语

论文通过对异步电动机的特点及分类探讨了电动机在工作时的维护与保养问题,对于生产工作及电机的安全稳定运行有着重要意义。

参考文献

- [1]王刚.三相异步电动机维护保养与常见故障处理[J].科协论坛(下半月),2013(1):77-78.
- [2]李进,杨力,陈海涛.三相异步电机的维护管理[J].中国高新技术企业,2014(21):69-70.

(上接第 29 页)

5 转体钢球验算

钢套筒转体、平移时,由 48 套钢球组承担盾构机和钢套筒的自重,盾构机和钢套筒总重 2260t。

5.1 设计参数与计算荷载边界条件

5.1.1 设计参数

①钢球组基座:Q345B, $f=345\text{N/mm}^2$; ②钢球:GR15, $f=518\text{N/mm}^2$ 。

5.1.2 计算荷载和边界条件

盾构接收、平移和转体过程中,钢球组主要承受盾构机和钢套筒的自重,竖向荷载 2260t(其中盾构机 1400t,套筒结构 550t,其余考虑无法清理的填料及其他)。钢球与基座之间设置接触面,约束钢球组基座上端面的位移。

5.2 构件计算

通过 Abaqus 软件对钢球组、钢套筒进行模拟,通过计算分析,验算转体钢球受力情况。

5.2.1 钢球组强度计算

荷载作用下,钢球组的最大应力为 55.36MPa(位于钢

球与基座的接触面, $<345\text{MPa}$),满足强度要求。

5.2.2 钢球组变形计算

荷载作用下,钢球组的最大位移为 0.07mm(位于基座的最外侧),结构变形在可控范围内。

5.3 结论

经计算,该转体钢球组承载力在盾构平移、转体施工中能满足安全性要求。

6 总结

运用 Solidworks 对钢套筒及钢球组进行三维建模、使用 Abaqus 进行受力分析对本次大型盾构机钢套筒一体平移及 180°转体具有重大的指导意义。同时,本次大型盾构机钢套筒一体平移及 180°转体为盾构机的拆装及再始发大大节省了时间。

参考文献

- [1]陈韶章,洪开荣.复合地层盾构设计概论[M].北京:人民交通出版社,2010.
- [2]DS Solid Works 公司.Solid Works 高级装配教程(2012 版)[M].北京:机械工业出版社,2012.