

CCS项目双护盾硬岩掘进机调向控制及姿态调整

杨飞

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川成都 610072)

摘要:结合厄瓜多尔 CCS 项目 HK 9.1 m 直径双护盾硬岩掘进机(S-672)施工过程中遇到的调向及姿态问题进行了分析总结,制定出了适合该 TBM 的掘进调向和姿态调整方式。

关键词:TBM;调向控制;姿态调整;非正常姿态;滚动;CCS 项目

中图分类号:TV7;TV554+.2;TV52

文献标识码:B

文章编号:1001-2184(2014)04-0021-04

1 概述

随着双护盾 TBM 广泛使用于不同地质条件下的隧洞开挖,其隧洞掘进方向的控制与工程质量有着直接关系。在采用双护盾施工的隧洞项目中,一般采用的是管片安装一次成型的支护模式,若出现掘进方向过快或过猛,会对主机设备造成一定的损坏,亦给管片的安装造成一定困难。对其进行处理,必定会在时间及隧洞成型质量上出现一定的问题。

在 TBM 掘进过程中,因地质条件或设备自身问题会造成 TBM 出现机头下沉、滚动、正 V 字形或反 V 字形的非正常姿态等,若对其不及时进行处理调整,会对设备造成极大地损坏,并且会造成预支管片出现滚动等问题。

CCS 项目位于厄瓜多尔共和国 Napo 和 Sucumbios 省内,其输水隧洞总长 24.83 km,设计引水流量为 222 m³/s,设计内径 8.2 m,采用全衬砌结构形式。输水隧洞遇到的主要地质问题有高地应力、高地温、涌水等。其中高地应力区内构造运动剧烈,断层较发育,岩性以坚硬、性脆的火山岩和侵入岩为主,易产生地应力聚集,可能会发生变形、崩解、岩爆等破坏现象。钻孔注水实验表明,隧洞上覆岩体多属弱透水(砂岩、石灰岩)或透水(火山岩),少量为不透水层(页岩、侵入岩),岩体本身不易发生规模较大的集中渗流、涌水或爆发性突水。但受地质构造力影响,局部可能会遇到突水(构造裂隙水)。高地应力和涌水给 TBM 施工带来不同的挑战和考验。该输水隧洞采用 2 台双护盾掘进机施工为主,其中 S-672 TBM2 完成

收稿日期:2014-07-07

13.4 km 的工程量。

2 控制掘进方向的因素

CCS 项目 S-672 TBM2 采用的是 VMT 导向系统,VMT 导向系统提供给操作手比较直观的 TBM 姿态及掘进方向的趋势信息。掘进方向控制的最终目标是趋近或吻合隧洞设计轴线,达到隧洞成型的设计要求及质量要求。掘进方向的影响因素是多方面的,如操作手自身的因素、盾体自重、TBM 姿态及滚动、地质原因、滚刀磨损程度等。

2.1 操作手自身因素

操作手在 TBM 操作、设备保护、规避风险中起到决定性的作用,操作室是整个 TBM 的控制中心与指挥中心。操作手需具备对专业的理解。对地质情况有一般性的了解,如地质表达的含义,各种地质现象的特性,推力的简单计算,导航系统坐标的简单计算,扭矩的组成,对转弯半径的理解等;对 TBM 工作原理的理解,如对 TBM 运行中各项参数的理解,TBM 盾体的长度、直径、尾盾间隙等;对管片的理解,如转弯时的管片安装,管片的选择与尾盾的关系等。操作手不仅是操作机器,而且要时刻关注设备的运行情况,操作手要有良好的身心素质,遇事要进行冷静的分析处理,切勿慌张忙乱。

2.2 盾体自重

S-672 双护盾硬岩掘进机由 2 个主要部分组成:撑靴盾和前盾(两个盾体通过推进油缸相互连接)。前护盾内有刀盘、刀盘支撑体、刀盘驱动马达、变速箱和主轴承。撑靴盾内有撑靴系统、辅助推进系统。硬岩掘进机既可以通过撑靴盾的

支撑单元在隧洞中沿径向充分撑住,在地质条件差的情况下也可以支撑在已安装好的管片上。在掌子面岩层不足以稳定刀盘的情况下,就会出现 TBM 调向难以控制的状况,一般表现为机头快速下沉,造成 TBM 姿态出现偏差,从而给 TBM 调向工作带来极大的困难,严重时会造成设备损坏。

2.3 TBM 的姿态及滚动

这里所谈到的 TBM 姿态主要是指 TBM 前盾和撑靴盾体的相对位置,TBM 前盾及撑靴盾体的滚动。TBM 本身具有自动滚动纠正的功能,但有时也会出现无法正常纠正的问题,若出现姿态问题,要及时进行处理。若出现正“V”字或反“V”字等姿态时,在岩层较好的情况下也不能进行可控的调向或调向偏差过大,此时会造成隧洞成型质量问题或滚刀损坏、管片安装困难、油缸损坏等问题。

2.4 地质原因

在 TBM 施工过程中会遇到不同岩层,以及岩层节理发育的方向、掌子面岩层软硬不均、撑靴盾体及前盾外侧围岩大面积垮塌等。在软弱围岩中,撑靴压力不宜太高,否则可能会压碎洞壁岩石,造成坍塌;撑靴压力的大小取决于洞壁岩石的完整性及其饱和抗压强度。撑靴部位由于围岩抗压强度不能抵抗撑靴的反力,易造成撑靴打滑,致使撑靴部位遭受二次扰动,从而引起调向困难、不可控。在硬岩情况下,调向相对比较稳定,但在对刀具磨损较严重后还是可能造成 TBM 调向难以控制。在 CCS 项目 S-672 TBM2 前期施工过程中遇到多次问题,严重影响 TBM 的管片安装质量和整个隧洞成型质量。

2.5 滚刀的磨损程度

对于 TBM 调向,滚刀的更换和日常维护尤为重要,其对 TBM 的掘进参数和掘进方向具有决定性作用。CCS 项目 S-672 TBM2 一般使用刀具的数量为:滚刀(单刃)53 把、中心双刃滚刀 4 把(滚刀直径为 19in,1in=2.54 cm)。其中刀号为 58、59、60、61 的四把边滚刀对调向影响较大。在岩层较硬的情况下,边刀磨损过量直接导致机头快速抬头或快速朝一边滑动而难以控制;反而在岩层较软的情况下,边刀若为新刀或没有较大磨损,机头极易快速下沉且方向不宜控制。

3 解决措施

为了及时进行 TBM 轴线调整,更好地控制掘进方向,激光器的安装应准确,应定期对 VMT 的测量点进行校准,保证 VMT 导向偏差在 ± 50 mm,从而给 TBM 调向提供良好的基础。在 CCS 项目 TBM2 作业过程中,根据不同的掘进方式,我们总结出了一套操作理论,用以指导操作手的掘进工作,从而更好地进行了调向和姿态控制。在 S-672 TBM2 操作过程中,一般情况下,对刀盘转矩、电流大小、推力制定了一组参考值,其中刀盘转矩最大为 $4.5 \text{ MN} \cdot \text{m}$ 、电流大小为最大值的 80%、推力最大为 17 500 kN。在此参考值下进行调向和姿态调整,可以保证对主轴承、主机油缸、刀盘结构、滚刀等起到保护作用。

3.1 对于操作手自身因素引起的故障

操作手应该随时注意操作界面的掘进参数变化以及 TBM 所处的姿态,并时刻观察皮带出渣情况及岩石变化情况等。针对不同情况制定不同掘进参数的设定,以最优方案进行 TBM 掘进。而且操作手必须要规避风险,更好地保护 TBM 设备上的人员安全、设备安全及隧洞成型质量等,并确保 TBM 的掘进效率。

要求操作手本人应具有较好的专业素质和心理素质,在调向处理问题上要冷静分析,对自己的每一个操作负责,最大限度地避免因操作失误引起的设备损坏和施工质量问题等。

3.2 对于盾体自重问题

在不同的地质情况下,作为操作手,在操作过程中应尽量避免主推缸油缸 A 组行程大于 C 组,若 A 组油缸大于 C 组油缸行程,在掘进过程中,机头会快速下沉而难以控制;若遇到不良地质条件,其掘进过程肯定会遇到机头趋势难以控制等问题。此时,应尽快进行姿态调整,最大限度地保证设备安全。

3.3 TBM 姿态和滚刀问题

在操作过程中,应尽量避免 TBM 姿态扭曲或出现异常姿态,如正“V”字形、反“V”字形、滚动严重等。出现此类问题后,切勿盲目进行掘进工作,应停止掘进,要求电气人员对液压和电气系统进行检查,若正常则可开始进行姿态校正,以保证 TBM 正常运行。对于姿态问题,在掘进过程中要保证 TBM 前盾体和撑靴盾体的趋势方向要趋向隧洞设计轴线,前盾和撑靴盾的中心轴线要在同

一条直线上。在S-672 TBM2上,我们采用换步纠正的方法,在换步过程中利用 Brake 键调整撑靴盾的姿态,即俯仰角、辅助缸行程差值、盾尾管片间隙等。

3.4 地质因素

在软岩情况下,应保证撑靴压力在180 bar左右。一般情况下,当掘进速度高于50 mm/min时必须密切关注皮带出渣量的大小,考虑皮带承渣量的能力。如若超出皮带承渣量则必须进行掘进参数的调整,保证设备正常运行。在硬岩情况下,应保证撑靴压力在240 bar左右,若岩石过硬,将造成各项掘进参数过高,可根据参考值进行掘进参数的调整。在换步过程中,要对撑靴盾体进行控制。在保护设备的最大限度下进行TBM调向控制和TBM姿态调整。

3.5 滚刀磨损程度影响因素

在日常的换刀过程中,应结合最近两天岩层的变化情况确定换刀方案。切勿大面积一次性更换,如此实施不仅加大了刀具耗损量,而且给TBM调向控制造成了一定困难。在日常工作中,应加强操作手和刀盘维护人员的沟通工作,使刀盘维护人员对岩层变化有一定的了解,从而制定出适合不同岩石变化情况的换刀方案。

4 S-672 TBM2 调向控制及姿态调整研究

在正常掘进条件下,我们尽量保证TBM运行效率最高,保证正常生产进度及设备的安全。在TBM调向过程中,TBM的姿态对于调向尤为重要。在S-672 TBM2的操作过程中,一般情况下,对刀盘转矩、电流大小、推力制定了一组参考值,其中刀盘转矩最大为4.5 MN·m、电流大小为最大值的80%、推力最大为17 500 kN。在S-672 TBM2的操作中,我们常用的调向方法和姿态调整方法及操作过程中的注意事项介绍如下。

在具体的调向过程中,当掘进方向偏离隧洞设计轴线 ± 30 mm内,基本调向控制原则是“以稳为主”,不进行调向,仅在此范围内进行控制。当掘进方向偏离隧洞设计轴线 ± 30 mm时,进行掘进方向的调整,将每一掘进循环调整在5 mm以内为好,否则会引起管片安装困难等问题的出现。一般油缸行程设置参数如下:主推行程1.87 m,辅助油缸行程2.35 m。CCS项目采用管片砌衬的方式进行支护,管片有两种类型:左环和右

环。可通过管片的选型对盾尾间隙进行控制,但仅允许以一环左环、一环右环的方式进行管片安装。一般情况下,一左环一右环安装完成后,在操作室辅助缸左右两组油缸行程显示基本上一致(排除因非正常原因引起的管环转动造成的行程差异)。

4.1 在双护盾模式下对掘进方向进行的控制

在S-672 TBM2调向过程中,我们基本上依照的原则是“以撑靴盾位置定TBM调向控制”。在前期操作调向过程中,发现TBM极易向右偏移,尽管主推行程左侧行程小于右侧行程,但是依据VMT导向系统测出TBM向右偏移且偏移较快,导致我们调向控制不可控,成为不可控制因素。

在双护盾模式下,一般要求主推上下两组油缸行程差值最大为12 cm(A组和C组),左右两组油缸行程差最大为6 cm(B组和D组),但尽量避免主推行程A组大于C组的情况出现。而对于辅助油缸,一般要求上下两组油缸差值在7 cm以内(A组和C组),左右两组油缸差值在3 cm以内(B组和D组且在理论上管片平面垂直TBM所处轴线)。在S-672 TBM2上采用Brake组控制键在换步过程中进行辅助油缸行程控制,并保证A组行程大于C组,其行程差值保证在0~7 cm(此范围参考撑靴盾体的仰角进行控制,仰角一般保证在0~4 mm/m,保证管片在换步过程中不会产生较大错台、变形和损坏,且保证为下一环的安装提供合适的盾尾间隙),保证右边行程大于左边行程不大于3 cm(此差值克服机头向右偏离的差值),从而给主推行程差值控制提供参考,使调向变成很准确的可控调整。在换步过程,我们不仅要控制差值,还要从换步声音和换步速度上判断盾尾间隙是否控制合理及撑靴盾体与围岩的相对间隙是否合适。在双护盾模式时要保证选择“Displacement thrust cylinder negative”选项,对所有辅助油缸进行多次收回和顶出动作,以确保采用校正油缸来调整辅助油缸位置。

4.2 在单护盾模式下对掘进方向的控制

在长距离不良地质条件下,一般采取单护盾模式进行掘进,以保证管片的安装质量。如若继续采取双护盾模式掘进,会出现撑靴盾滑动造成已安装管片的破损及TBM姿态失去控制从而造

成掘进方向不可控制的情况。在切换单护盾模式时,要保证选择“Displacement thrust cylinder positive”选项,对所有辅助油缸进行多次收回和顶出动作,以确保采用校正油缸来调整辅助油缸位置,以保证在单护盾模式下掘进不会造成安装好的管环快速转动(非正常转动)。在单护盾模式时,一般要保证主推上下两组行程差值设置在 10 cm 以内(A 组大于 C 组),将左右行程差值控制在 ± 5 cm 以内。将辅助油缸上下两组油缸差值控制在 7 cm 以内(TBM 调向趋于稳定);对于左右油缸行程的控制,以双护盾模式下对其差值控制要求为准。每一掘进行程 TBM 调向保证在 5 mm 以内,以保证盾体与围岩之间间隙均匀,不会对围岩造成破坏性的扰动。

4.3 在混合模式下掘进

在不良地质情况进行掘进时,采用单护盾模式掘进也会出现撑靴盾体下沉且难以控制的情况,从而给方向控制带来困难。对于单护盾出现的此类问题很难进行校正,而采用双护盾模式则很容易进行调整。但在混合模式下进行掘进必须尽量少地对围岩造成损坏,一般采用双护盾掘进 20 cm 行程后换步调整撑靴盾体的仰角并以差值的小换步模式进行姿态调整,多次采用小换步模式进行调整以达到正常的 TBM 姿态,再改用单护盾模式进行掘进。小换步模式将岩层扰动的可能性降到最低,从而保证了岩层的稳定性,纠正了 TBM 姿态,并给掘进方向的控制提供了准确的控制基础。

4.4 TBM 滚动的调整

TBM 滚动主要是参考前盾体滚动和撑靴盾体的滚动值。一般出现滚动问题后,首先要求电气人员进行查看是否滚动并纠正系统故障。只有在排除了电气故障后,才可以采用手动模式进行滚动调整。在正常双护盾模式掘进下不会有滚动异常情况发生,除非出现因电气原因造成滚动自动纠正系统不能正常运行的情况;如若出现,仅采用反转刀盘的方式即可解决,或在换步过程中进行自动调整。

一般情况下,采用单护盾模式掘进会出现前盾和撑靴盾体的滚动值为负值(与刀盘转向有直接关系)的情况。由于岩层关系不能切换双护盾模式进行掘进,就必须在单护盾模式下掘进而调

整滚动值。在滚动调整过程中,先调整前盾体的滚动值(其滚动值在 ± 3 cm 内均为正常值),主要采用手动开启“Manuel anti-roll system front shield Left/Gripper Right”选项(其作用为前盾滚动由负值向正值调整)和“Manuel anti-roll system front shield Right/Gripper Left”(正值向负值调整)。对于撑靴盾体的滚动只可以在推进中自动纠正。具体的操作方式如下:先将稳定器压力降到最低或直接收回→根据实际情况选取前盾调整手动模式选项→启动刀盘(刀盘转速 1 r/min 左右),纠正滚动变化值为 5→稳定器顶出为最大压力、取消前盾纠正选项、停止刀盘→进行正常掘进,纠正撑靴盾体的滚动变化值为 5 时停止掘进→重复进行上述步骤进行调整,直至达到正常值。

5 结 语

笔者对厄瓜多尔 CCS 项目 S-672 TBM2 调向控制和姿态调整进行了分析和总结,并制定出了一套适合此 TBM 正常运行的操作调向方法及注意事项。CCS 项目 S-672 TBM2 在施工过程中取得了优异成绩,隧洞成型质量大幅度提升,笔者总结出了以下几个特点:

(1) TBM 掘进方向在 ± 30 mm 内,调向原则以稳为主;掘进方向偏离隧道设计轴线大于 ± 30 mm 时进行方向调整,掘进每一个行程调整为 5 mm 以内为最佳调向原则。

(2) TBM 在双护盾模式下其换步过程结合 Brake 控制组进行控制,可以进行撑靴盾体的调整,保证撑靴盾体仰角为 0~4 mm/m,在管片一左环一右环安装的平面上,辅助油缸上下差值为 0~7 mm,左右油缸差值最大为 3 mm。

(3) 保证 TBM 以正常姿态掘进,使 TBM 可以更加准确地调向,保证管片的安装质量并最大限度地保护设备。

(4) 在不同的地质条件下,操作手要合理的选择单护盾模式、双护盾模式、混合模式等,最大限度地规避风险,保护设备及工作人员的安全,保证 TBM 的施工效率、质量等。

作者简介:

杨 飞(1987-),男,陕西商洛人,助理工程师,学士,从事 TBM 操作工作。

(责任编辑:李燕辉)