

# 地下管线施工中的泥水平衡顶管设备应用技巧

## The Application Technology of Slurry Balance Pipe Jacking Equipments in Underground Pipeline Construction

许先雄<sup>1</sup>, 谭丽清<sup>1</sup>, 刘 锋<sup>2</sup>

XU Xian-xiong<sup>1</sup>, TAN Li-qing<sup>1</sup>, LIU Feng<sup>2</sup>

(1. 广东金东建设工程公司, 广东广州 510080; 2. 福建莆田 73661 部队, 福建莆田 351100)  
(1. Guangdong Jindong Construction Co. Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510080, China;  
2. Fujian Putian 73661 Troops, Putian, Fujian, 351100, China)

**摘要:**介绍地下管线顶管施工中泥水平衡顶管设备的应用技巧,以期帮助正确处理地下管线施工期间出现的泥水管线堵塞、刀盘卡死、机头自转、纠偏失控、泥水冒顶、管材爆裂、顶不动、后座墙顶裂等各种问题,充分发挥顶管设备的功效。

**关键词:**顶管 设备操作 泥水平衡 泥水循环 纠正偏差

**中图分类号:** TU607, TU990.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2009)03-0201-03

**Abstract:** This paper introduced the application technology of slurry balance pipe jacking equipments in underground pipeline construction, which can help to correctly solve various problems such as water pipe plug, stuck knife disk, rectification out of control, die autorotation, slurry roof fall, pipe burst, top fixed, top wall of rear seat split during the underground pipeline construction. This application technology will fully develop the effectiveness of top pipe equipments.

**Key words:** top pipe, equipment operation, slurry balance, slurry cycling, deviation correction

近年来,我们使用泥水平衡顶管设备在淤泥、砂层、杂填土、粘土层、强风化、中风化等复杂地质中进行从直径 500~1200 管径的地下管线顶管施工,施工时由于地质条件和现场条件都较为复杂无法采用明沟开挖埋管,其间出现过泥水管线严重堵塞、刀盘卡死、机头自转两周、纠偏失控、泥水冒顶、管材爆裂、顶不动、后座墙顶裂等多种问题。我们针对这些问题认真地探研了泥水平衡顶管设备,总结出其正确操作的方法和技巧。

### 1 开顶前的设备准备技巧

#### 1.1 主机及配套设备选择

根据顶进方案选择适当的顶管设备类型及其附属配套直接关系到顶进的质量和工期。我们根据施

工现场的地质钻探资料、覆土深度、顶距、现场环境要求等因素,选择刀盘类型、机头动力、泥水泵、主顶力等参数符合的设备,以及泥水分离装置等附属设备(表 1)。排泥泵的扬程( $H$ )视井深( $h$ )和顶距( $L$ )而定,要求  $H > 0.095(L + 40) + 1.1h$ 。

表 1 顶管设备选用

设备	适用地质	微风 化土	中风 化土	强风 化土	粘土	杂填 土	砂层	淤泥
刀盘 类型	滚轮刀		●	●				
	铲形刀			●	●	●	●	●
	TCC				●	●	●	●
刀盘 动力	$N > 10.26nD^3$		●	●	●	●	●	●
	$N > 7.18nD^3$			●	●	●	●	●
	$N > 1.4nD^3$				●	●	●	●
	$N > 2.05nD^3$					●	●	●
泥水 分离器	网箱	●	●			●	●	●
	自然沉淀	●				●	●	
	组合式泥 水分离器	●	●	●		●	●	

表示勉强可以,●表示完全可以;N:功率,n:转速,D:盘径。

#### 1.2 顶管设备性能测试

开机前要对刀盘、水阀开关机构、纠偏机构、变

收稿日期:2009-07-02

作者简介:许先雄(1975-),男,助理工程师,主要从事工程基础施工工作。

送器及仪表、视听传送装置进行全面的性能测试。刀盘检测刀盘本体、刀具头完好性,刀盘启动、空载、模拟转动的电压、电流或油压,以及流量的数值。水阀开关机构检测进出水阀开关的灵活性、准确性,位置状态显示正确性,油压工作值和极限值。纠偏机构检测各油缸伸缩量、位置的可靠性、灵活性,位置显示的准确性,油压工作值和极限值。变送器及仪表检测进排泥口水口压力、土压/泥水仓压力、纠偏量、机头转角、倾角、转速/转动状态的显示。视听传送装置检测声音音质、视频成像的清晰度和稳定性。各设备的数值正常范围参照设备厂家给出的技术参数。这样才能确保所有设备从进洞开始至出洞之时的连续运行过程中,功能完整、安全可靠。

### 1.3 顶管设备安装与调整

设备现场安装主要是主顶机架和管线的安装,调整的重点是主顶机架的基准位垂直标高(基准位依管材是以导轨或顶环定位而定),其调整步骤为:(1)根据放线坐标准确安装好激光经纬仪,并以此开始调整主顶机架的方位。(2)调整主顶机架中线水平位置,使之与设计顶进轴线垂直投影重叠。(3)调整主顶机架前端基准位(靠近止水环第一个调整支承点处)的标高,使之符合设计要求。(4)调整主顶机后端调整支承点,使主顶机架轴线(指:定位于主顶机架的管材轴线)的倾角等于设计纵坡。(5)重复三、四步骤,使主顶机架轴线的标高、纵坡完全符合设计要求为止。(6)调整主顶机架中间各调整支承点,使之均匀受力。(7)用高标号混凝土充填主顶机架后背与后座墙之间的缝空隙。最后在管线安装完毕后,需进行空转试车。按要求观察其功能,检查泥水管线接口有否漏水。

正确安装和调整好设备才能保证机头进洞时的位置和方向准确,以及在顶进过程中主顶机架的牢固和稳定。

## 2 顶管施工中的主要操作控制技巧

### 2.1 泥水循环

在泥水平衡顶管施工中,泥水循环系统的主要任务,一是使送进机头的泥水与机头正前方的土压及地下水压形成平衡,防止塌方引起地陷和地面隆起。二是把刀盘切削下来的泥土,以泥水为载体连续运送到地面。因此,泥水的正常循环是操作者的第一关注点,操作者要做好监视和排除异常工作。

#### 2.1.1 泥水循环的监视

监视泥水循环是否正常主要有两个指标:流量

和压力。流量大小要求一般不小于 $80\sim 90\text{m}^3/\text{h}$ 。泥水颗粒为 $0.25\sim 1.5\text{mm}$ (如中、细砂)时流量取上限,泥水颗粒小于 $0.2\text{mm}$ (如粘土)时可以取下限。判断流量大小可以由安装在系统的流量计直接读数得出。如果系统没有安装流量计,还可以通过观察回水出口水头射程来判断,如果忽略空气阻力和泥水密度变化等引起的误差影响,其近似计算公式为: $L=0.77\text{tg}\alpha+1.26\cos\alpha(H+\sin^2\alpha)^{1/2}$ ,式中 $L$ 为泥水射程, $\alpha$ 为出水射角, $H$ 为出口高度。压力测量点一般设在机头的进水口( $P_i$ )、回水口( $P_o$ )、泥水仓( $P_h$ )等处。各点压力可以观察通过摄像头传送回来安装在机头的压力表读数或由传感器通过变送器变送回来的数据。泥水经过泥水仓后都会有一定的压力损失。一般来说, $P_i - P_o \geq 0.01\sim 0.03\text{MPa}$ ;  $-0.01\text{MPa} \leq P_h \leq 0.02\text{MPa}$ ;  $P_i = h_i \times (L_i + 40)$ ,其中 $h_i$ 为扬程损失系数( $7.5 \times 10^{-4} \sim 1.06 \times 10^{-3}$ ), $L_i$ 为顶进距离(m)。

#### 2.1.2 泥水循环异常的排除

当泥水循环过程中,流量或压力指标超出上述参考值时,就表明泥水循环出现异常,操作人员必须开始采取措施予以排除。常见的异常现象,及其发生原因和排除措施如表2所示。

### 2.2 纠正偏差

操作者熟练地掌握纠正偏差的技巧,才能使顶进的管材轴线满足设计要求。

#### 2.2.1 轴线偏离原因与判断

顶管施工过程中顶管轴线出现偏离一般分为位置偏离和方向偏离两种。几乎所有泥水平衡顶管设备,都可以从安装在机头里的光靶上的激光点位置来判断机头是否有位置偏离。激光点在光靶的偏离位置与机头实际偏离位置是关于圆点对称关系。对安装有倾斜仪的设备,可以根据倾斜仪的读数与设计值比较大小来判断有无发生方向偏离。产生轴线偏离的原因一般有:(1)进洞前机头方位定位不准确;(2)洞口有较大的空腔,使机头进洞时发生栽头;(3)沿线土层相对密度发生变化,使机头掘进面受力不均匀,从而引起机头轴线方向变化;(4)沿线土层承载力不够,机头下沉;(5)泥水循环控制不当,使掘进面掏空,导致机头前进方向改变。

#### 2.2.2 纠正偏差的方法

纠正偏差是利用安装在机头前后节之间的2~4根纠偏油缸伸缩,改变机头前端的前进方向后,在继续顶进过程中向原设计位置逐渐修正,而获得纠偏效果。(1)按照光靶上激光点偏方向,将该方向的

表2 泥水循环常见的异常及其排除措施

异常现象	产生原因	排除措施
没有流量 ( $Q_1, Q_2 = 0, Q_3 = 0$ )	1. 水箱液面低于抽水口或阀门没打开 ( $P_1 = 0, P_2 = 0$ )。 2. 泥水管线完全堵塞 ( $P_1, P_2$ 不一定为零)。	1. 往水箱加水,把阀门打开。 2. 通过分配水阀反冲清理管路,甚至拆卸管路逐节通管。
流量不足 ( $Q_1, Q_2$ 低于参考值)	1. 泥水管线开始堵塞。 2. 顶程过长。 3. 水泵叶片磨损严重。	1. 暂停顶进,内旁通冲管;通过分配阀反冲清洗管路。 2. 加中继水泵。 3. 更换水泵叶片。
排泥泵振动	1. 进水泵与排泥泵流量设定值不合理 ( $Q_1 > Q_2$ )。 2. 排泥泵吸空 ( $Q_1 > Q_2$ )。 3. 排泥泵缺相运行 ( $Q_1 > Q_2$ ; 某相电流为零)。	1. 将排泥泵设定值调低或增大进水泵设定值。 2. 检查和修复漏气之处并排气。 3. 查清缺相所在,重新接好。
排泥泵有异声或不转动	1. 排泥泵被杂物卡住。 2. 排泥泵电机过载保护。	1. 通过分配水阀或拆卸管道清除杂物。 2. 查清过载所在,按动复位键。
机头泥水进出口压力差 ( $P_1 - P_2$ ) 偏大	根本原因是机头泥水进出口堵塞: 1. 顶进速度太快超过排泥能力导致。 2. 泥土太粘,需要更长与水充分混合的时间所致。 3. 有杂物堵塞回水口。	1. 降低顶进速度或暂停顶进。 2. 采用慢速顶进 (5~20mm/min) 或掺砂改良土质。 3. 暂停顶进,采用反冲清除杂物。
泥水冒顶	根本原因是泥水仓压力偏高 ( $P_h > 0.04\text{MPa}$ ): 1. 回水管堵塞所致。 2. 进水泵设定值过大。 3. 顶程过长,引起背压增加 (顶程 > (18.88~33.34) 覆土厚度) 所致。	1. 暂停顶进,采用旁通和反冲清除堵塞。 2. 调低进水泵设定值。 3. 降低顶进速度或加装中继水泵。

纠偏油缸伸出来。(2)纠正偏差时,土质愈硬,顶进速度愈宜慢;向下纠正偏差(机头位置高偏)时,顶速度宜慢不宜快;反之,向上纠正偏差(机头位置低偏)时,宜快不宜慢;对于因土质疏松引起机头下沉的偏离,宜采用闷顶纠偏。其纠正偏差距离视纠正偏差效果和顶力上升量而定。(3)适时适量纠正偏差。理论上,只要激光点偏离靶心就要实施纠正偏差;但是实际操作上,只要机头倾角与设计的偏离在±5%之内,而且激光点偏离靶心不超过1cm,就不作调整,可以继续顶进。(4)纠正偏差参数的调整依据当前机头偏离的位置和方向而定,遵循方向优先原则。纠正偏差量可用近似公式计算:  $L = 0.0174D(B_p - B_s + 0.02H)$ , 式中  $L$  为纠正偏差方向油缸相对伸出量(mm),  $H$  为机头激光点位置偏离量(mm),  $D$  为管材内径(mm),  $B_s$  为设计倾角度,  $B_p$  为机头实际倾角度。最值得注意的是:为防止管间接口处脱离或漏水,纠偏角 ( $B = \arctg(L/D)$ ) 一般小于  $2.4^\circ$ , 最大不能大于  $3.3^\circ$ 。操作者应该在调整纠偏参数后,密切注意观察机头偏离状况的变化情况。需根据机头

最新偏离状况和趋势去修正纠偏参数,尽可能避免矫枉过正。

## 2.3 刀盘扭力与顶力

### 2.3.1 刀盘扭力

刀盘的扭力主要由刀盘切削土体的切削力、机头破碎腔破碎土体的破碎力、土体与刀盘之间的磨擦阻力组成。所以引起刀盘扭力异常增大,也是这三方面的原因。(1)顶进速度愈快、土质愈硬,切削力愈大。故在硬度较大的土质(如:强中化岩等  $N > 15$  的土质)中顶管,应采用慢速(10~20mm/min)顶进。(2)土质愈硬、块径愈大,破碎力愈大。在此土质(如大砾石)下顶管,如果刀盘扭力过大,就宜采用慢速和间歇式顶进方式。(3)土质粘性愈大,刀盘所受磨擦阻力愈大。这就是在胶粘土土质顶管时,经常出现刀盘扭力严重超载的原因所在。顶进方法有:被动措施是采用极慢速(5mm/min)和间歇式顶进方式;主动措施是往进水管内添加10%~30%细砂来减粘。其原理就是利用这些细砂在机头破碎腔内与粘土搅拌均匀后,土质往粉土类改良,使粘度大幅降低。这样刀盘所受的磨擦阻力就自然减少。此外,当机头回水口堵塞( $P_2$  严重偏小)时,因破碎腔充满泥土,同样会造成磨擦阻力骤升,导致刀盘扭力超载。

### 2.3.2 主顶力

计算主顶力的方法很多,对于操作者来说,一般只需按经验公式简单估算,做到心中有数就可以了。正常情况下,平均每米管长的顶力小于  $2t$ 。具有超挖特点的机头(如海瑞克 AV 系列泥水平衡顶管设备)顶力会更小(小于  $1t$ )。当每米顶力大于  $2t$  时,就必须注浆减阻来降低顶力。

顶管宜连续顶进,暂停时间一般控制在12h之内。如果停顶时间超过12h,必须每隔12h之内至少注浆1次(注浆量为:每平方米管材表面积  $0.05 \sim 0.01\text{m}^3$  浆液)。并在重新开顶前大量注浆(每平方不小于  $0.2\text{m}^3$ ),才能够取得较为明显的减阻效果,确保顶力在正常范围之内。否则就可能因顶力过大造成后座墙顶裂、管材顶爆、完全顶不动等后果而告失败。

注浆管数量和密度的设置,一般为每间隔1~5根正常管设置一根注浆管。孔隙率或渗透系数较大的土质,注浆管设置要密些。否则注浆时因土质疏松,大量浆液流失,而无法均匀附在管体外表面与土体之间去起减阻作用。

(下转第209页)

日记和自检表、组员之间 100% 相互检查并作好互检表、项目负责人 100% 抽查并作好抽检表、初审数据修改后项目负责人 100% 检查、评审数据修改后项目负责人 100% 检查,三级大质量检查验收包括各省内专家进行 100% 初步审查验收并提出初审检查修改意见、地调局专家组评审验收并提出评审检查修改意见和最后地调局专家组复核验收入库或社会共享服务。

## 5 结束语

1:5 万地质图数据库建设是一项比较繁杂的工作,数据的质量,是建库成败的关键,严格控制数据的质量,是保证数据库质量的基础。在数据源等各种客观因素已经选择最佳的情况下,作者认为可以在操作过程中提高数据库的质量,譬如在建库的过程就要做出合理的部署,从建库开始到结束的每个过程都要严格控制数据的质量,尽可能的避免质量

上有可能出现的问题,并且对每个阶段的数据都要进行质量检查,进行层层把关、步步落实,尽量让各种人为的误差最小化,最终为国家提供高质量的空间数据库信息。

### 参考文献:

- [1] 陈为公,陈为标,蔡洪春,等.基于 MAPGIS 的地质空间数据库中数据质量的研究[J].地质与资源,2002,11(4):233-235.
- [2] 孙立梅,杨正萌,周文瑾,等.1:5 万数字地质图空间数据库的质量控制[J].吉林地质,2007,26(2):63-66.
- [3] 白玲,王小平.1:20 万数字水文地质图空间数据库建库的质量控制[J].资源环境与工程,2006,20(4):450-454.
- [4] 吴芳华,金澄,戴军.1:5 万矢量地图数据库建库的质量控制[J].解放军测绘研究所学报,22(4):5-9.

(责任编辑:韦廷宗)

(上接第 203 页)

## 3 泥水分离技巧

泥水分离是应用泥水平衡顶管设备进行顶管施工的一个非常重要的工序。泥水分离好坏直接影响顶进的速度和工地的文明施工。

### 3.1 泥水分离的方式

在实践中,我们分别使用过沉淀箱自然沉淀分离、网箱过滤分离、组合式泥水分离器等方法。自然沉淀,虽然成本低,但是占地面积大,分离速度慢,不太适合城市市区施工工地使用。网箱过滤分离,成本不高,占地面积小,但是脱水率不高,泥土含水量有 15% 左右,不宜马上直接外运,同时还需要吊机辅助吊运。组合泥水分离器的分离效率高,经分离后泥土含水量小于 6%,可以直接外运,但是不适用于粘度高的胶粘土和有机物含量高的淤泥。

### 3.2 泥水分离器使用保养要点

泥水分离器包含振动脱水部分,防松、防共振断最为关键。筛网、振动电机及偏心块、避振器的固定应列为每天点检和巡检对象。泥水分离器发出的异响多与这几个部位松动有关。操作者不能随意调整振动角和振幅等参数,以免共振断筛网。

操作泥水分离器要正确控制进入旋流器的水压,一般为 0.2~0.25 MPa,可以通过设在水泵上的调整螺丝调整。水压太小,分离效率低,水压太大,旋

流器内壁磨损大影响寿命。

要定期清洗筛网,才能防止筛网堵塞。尤其是分离淤泥和高粘性泥土时极易堵塞网孔,轻则造成脱水效率大幅下降,分离后的泥土含有大量的水,重则可将出水口完全堵塞导致根本不能工作。筛网堵塞,如果是因淤泥中的有机物堵塞网孔引起的,只要勤清洗筛网就可以顺利解决;如果是因为泥土太粘所致,就要不断往筛网上加水,延长粘土在筛网上可移动的时间来缓解,或者是往泥水循环管线内加砂减粘来改善。

## 4 结束语

随着社会发展,人们环保意识不断加强,城市的规划越来越严格,城市污水处理量越来越大,需要建设的污水管道不断地增加。污水管道敷设过去受施工现场条件限制,很多时候很难开挖,或者存在无法穿过河道等困难。随着顶管法日渐成熟,污水管道的布置可以越来越灵活,可以极大地满足人们对污水处理的要求。顶管法施工将成为市政工程施工中的一种常用工艺。在顶管施工中,熟练掌握和灵活应用操作技巧,无论对设备操作者还是对施工管理者都是非常重要的。有了它,即使是性能一般的国产设备,也能化腐朽为神奇,超水平发挥设备的优势。反之,再先进的进口设备,也难有作为。

(责任编辑:邓大玉)