

PA-10 型钢管柱安装机的研制及 在新型 PBA 工法施工中的应用

陈根龙, 宋 刚, 崔淑英, 邵玉涛, 陈晓君

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:介绍了新型 PBA 工法所使用的 PA-10 型钢管柱安装机的结构、性能参数与自动调垂原理。对比传统 PBA 工法,采用 PA-10 型钢管柱安装机的新型 PBA 工法具有成孔效率高、调垂精度高、施工周期短、经济效益高等优势。结合哈尔滨市地铁 2 号线省政府站钢管柱施工案例,中桩的测量放样结果显示安装机调垂精度完全符合设计需求,证明了 PA-10 型钢管柱安装机的研制是成功的。PA-10 型钢管柱安装机的应用,在减轻工人劳动强度的同时,极大地提高了施工的安全系数与施工质量,对于地铁车站建设向机械化、自动化发展方面具有重大意义,也符合现代城市轨道交通建设的发展趋势。

关键词:钢管柱安装机;城市轨道交通;地铁;新型 PBA 工法

中图分类号:TU69 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)07-0080-05

Development of PA-10 Steel Pipe Column Mounting Machine and Its Application in New PBA Method/CHEN Gen-long, SONG Gang, CUI Shu-ying, SHAO Yu-tao, CHEN Xiao-jun (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: The structure, performance parameters and automatic adjusting verticality principle of PA-10 steel pipe mounting machine, which is used in new PBA method, are discussed. Compared with the traditional PBA method, this new PBA method has the advantages of high efficiency, high precision of adjustable verticality, short construction period and high economic benefit. According to the steel pipe column construction case of Provincial Government station of Harbin metro Line 2, the measurement lofting result of the middle pile shows that the adjusting verticality accuracy meet the design requirements, which proves the successful development of PA-10 steel pipe mounting machine. By the application of PA-10 steel pipe mounting machine, the labor intensity of workers is reduced; and at the same time, both the construction safety coefficient and the construction quality are greatly improved, which has great significance for the development of subway station construction toward the mechanization and automation and is in line with the development trend of modern urban rail transit construction.

Key words: PA-10 steel pipe mounting machine; urban rail transit; metro; new PBA method

0 引言

在地铁车站施工中采用传统的 PBA 工法时,由于导洞比较狭窄,其断面形状一般为 3 m 宽、5 m 高的马蹄形,钢管柱的吊装主要依靠人工使用简易门架配以电葫芦来进行下放操作,洞内空间狭窄、光线不充足,较为危险。此外,钢管柱安装的垂直度靠人工下入孔底进行定位的方式来保证。就需要提前下入钢护筒到孔底来进行孔壁维稳,此钢护筒属于临时维稳部件,开挖时要进行破坏拆除,费时费力,经济效益差。由此可见,全靠人工施工,钢管柱的安装精度较差、危险性也比较大,因此,急需研发一款结

构紧凑和具有吊装、安放、调垂钢管柱的设备,来完成钢管柱施工。

基于此,我所研制出 PA-10 型隧道钢管柱安装机(以下简称“安装机”),主要应用于新型 PBA 工法中钢管柱的吊放与安装,其调垂功能由高精度倾角传感器保证,可使钢管柱的垂直度误差控制在 2‰以内。钢管柱安装机采用电机作为动力源,以电机带动的液压泵作为油源来完成各个动作,且各动作间彼此独立,可复合操作、可独立操作。采用的 PLC 控制器基于 canopen 协议,功能强大、接线简单、拓展能力强,还配有无线遥控器、PLC 显示器。

收稿日期:2017-05-24; 修回日期:2017-06-06

作者简介:陈根龙,男,汉族,1988 年生,地质工程专业,硕士,从事城市轨道交通工程施工设备智能机械化研究工作,河北省廊坊市金光道 77 号,47221905@qq.com。

1 安装机的结构部件与设计参数

安装机的主要部件为:底盘、调垂支腿、抱闸、电机、主卷扬、副卷扬、液压油箱、油扇、吊臂等,在操作上共计有 12 个动作,分别由 12 片高灵敏度电磁比例阀控制,其液压系统回路分别为:4 条液压支腿回路、2 条液压行走回路、2 条液压卷扬机回路、变幅回路、吊臂伸缩回路、抱紧回路、支顶回路。其主要部件如图 1 所示。

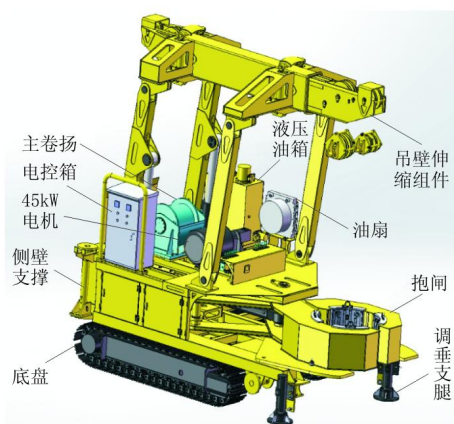


图 1 PA-10 型钢管柱安装机主要结构部件

依据新型 PBA 工法对钢管柱的安装精度、质量等要求,设计钢管柱安装机的性能参数如表 1 所示。

表 1 PA-10 型钢管柱安装机性能参数

项 目	单 位	参 数
适用隧道截面(宽×高)	m	4×4.8
行进外形尺寸(长×宽×高)	m	6.4×2.6×3
工作外形尺寸(长×宽×高)	m	5×2.6×(4.8~5.3)
总质量	t	17.8
供电电压	V	380
总装机功率	kW	45
系统压力	MPa	28
调垂精度	‰	2
适用最大钢管柱直径	mm	1000
主卷扬提升力	t	28
副卷扬提升力	t	8
控制方式	遥控/线控/手动	

依照设计图纸,计算钢管柱安装机的总质量为 18 t,而通常所用的竖井天车的额定起重量为 10 t,为方便设备运入导洞中,设计安装机拆为 3 部分,见图 2。

2 安装机的核心创新点

PA-10 型钢管柱安装机的核心创新点是一键调垂功能,可保证钢管柱的垂直度在 2‰ 以内。

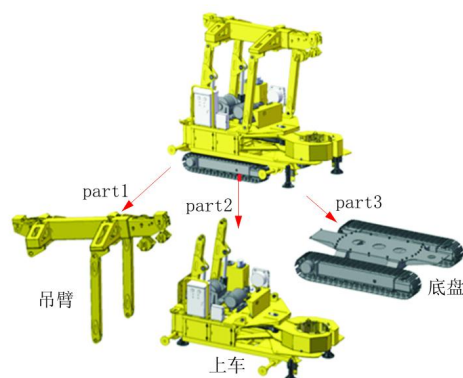


图 2 PA-10 可拆为 3 部分

其原理是:已标定好的传感器(清零状态)置于工具节上,因工具节为非铅直状态,传感器有一定角度。其 X 轴与 Y 轴角度参数以 PDO 报文形式通过 CAN 总线实时传给 EPEC3724 控制器,控制器接收数据后,经逻辑判断,以 PWM 脉宽信号形式控制 4 个支腿的小流量电比例阀的开启度来升降各个支腿油缸。由于支腿油缸动作导致钢管柱垂直度变化,倾角传感器立即将数据反馈给控制器,控制器再经过逻辑判断来调控各个支腿油缸的升降,如此多次调控,直至传感器(已标定好的) X 、 Y 数值均控制在 0.1° 以内才停止。其调垂原理流程图如图 3 所示。

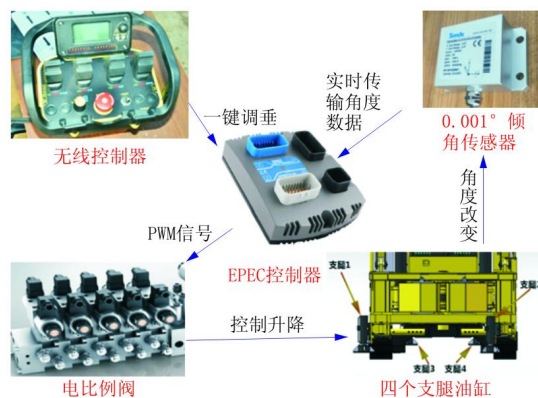


图 3 调垂原理

3 安装机的工程应用

3.1 工程概况

哈尔滨市地铁 2 号线省政府站外包尺寸全长 192.3 m,标准段净宽 21.3 m,为地铁 2 号线与 4 号线换乘的中间站,位于中山路与中宣街交汇处,沿中山路南北方向布置。中山路为哈尔滨主干道,区域周边重要政府机构、学校较多。若采用明挖法或盖挖逆作法,则需围挡十字路口,势必会占用较大面积,对地面交通影响严重,甚至可能造成局部地区的

交通瘫痪。同时,也会对区域内的政府部门、学校以及周边居民的日常生活造成较大影响。而省政府站主体所处的地层均为粉质粘土,加之前有哈尔滨市地铁1号线哈工大站施工经验,哈尔滨市地铁2号线省政府站较适宜采用暗挖法。

3.2 隧道施工采用新型PBA工法

原设计为暗挖双层岛式车站。按照传统的PBA工法,应设计为上下双层8导洞的方案:在上层导洞内,做两侧边桩与两中桩以及顶纵梁和桩顶的冠梁;在下层做底纵梁与条基。此方案在小导洞内成桩较为容易,但是由于导洞过多,对地面沉降的影响较大,加之地下水的降深较大、抽水时间长、排水量大,非常不利于沉降控制与施工质量控制。

经专家论证,省政府站采用新型PBA工法施工,为单层四导洞施工方案。首先,在导洞开挖方面,就能省去一半导洞量,经济效益十分显著;其次,减少一半的导洞,极大地减弱了群洞效应,很大程度上减小了施工造成的地面沉降量;再者,采用新型PBA工法,当施工到地下水位时再采取降低地下水位措施即可,而传统施工法在挖掘第二层导洞就要开始降水,很大程度上缩短了降水的时间,节约大量地下水资源与降水经费。

新型PBA工法有着诸多优点,与传统PBA工法相比,其优势之处在于:

(1)中桩与边桩的钻孔采用大口径高扭矩反循环钻机来进行施工,有着钻进行程大、抗扭能力强、钻进效率较高、井壁维稳能力强、孔底清洁残渣少等特点,钻孔直径800~2000 mm。

(2)2个中导洞内使用钢管柱安装机进行钢管柱施工成桩。采用钢管柱安装机后,钢管柱的吊装与下放,全程使用无线遥控器操作,机械化程度高、安全系数高。单根中桩可省去钢护筒的4万元支出,并且使用钢管柱安装机配合新型PBA工法,可省去第二层导洞的开挖,保守估计可节省1600万元的经费支出,经济效益十分显著。钢管柱的最终定位,可使用安装机的自动调垂功能,依靠高精度传感器可保证钢管柱垂直度的误差在2‰以内。

采用新型PBA工法,钢管柱安装与调垂就要依靠PA-10型钢管柱安装机。

3.3 使用PA-10型钢管柱安装机施工关键技术

3.3.1 钢管柱安装机调垂原理

当钢管柱安装机的抱闸抱紧钢管柱的时候,在

忽略少许弹性变形的情况下,将安装机与钢管柱视为刚性连接体。通过安装机的四条支腿的升降,就可以调节钢管柱的垂直度。

钢管柱安装机调垂依据的是已标定好的传感器,用高精度传感器控制工具节的铅垂度。依据新型PBA工法的工艺流程,钢管柱的工具节是钢管柱安装时公用的,单根钢管柱施工完毕后,工具节是需要拆卸下来。所以,只需将高精度传感器置于工具节上法兰面的特定位置,人工调节工具节铅垂度后,将传感器数值清零,传感器就会默认工具节铅垂状态下为相对零点,使用一键调垂功能,PLC控制器将控制四条支腿油缸的伸缩,将工具节调整到铅垂状态。

3.3.2 钢管柱工具节的标定

钢管柱安装机为消除工具节加工时的垂直度误差,下放钢管柱前需先对工具节进行标定,具体步骤为,工具节上下法兰面分别划线找中心,在上法兰面中心打重锤,下放至下法兰面,当重锤中心与下法兰面中心重合时,关闭电动机后,立即清零传感器即可。工具节标定时,抱闸夹持工具节的位置及抱紧油缸的压力值进行标记和记录,工具节每次使用时均在相同压力下夹持相同位置,防止由于工具节的不圆度和不垂直度误差造成的调垂结果不精确。工具节倾角传感器的上方安装有万向水平仪,倾角传感器清零后,拍照记录万向水平仪气泡偏移方向和位置,此后每根桩调垂结束后,与标定时的气泡位置进行对比,以此验证调垂结果是否准确。

3.3.3 钢管柱下监测的标定

中桩钢管柱长度多在15 m左右,是由多节钢管柱以螺栓相连接,一键调垂后读取下监测传感器数据,可作为参照依据。具体方法:将下监测组件安放于第一节钢管柱内壁的固定板上(靠强磁力与固定板连接),下放第一节钢管柱(见图4),然后将标定好工具节与第一节钢管柱相连,抱闸抱紧工具节,使用一键调垂功能,待调垂结束后,关闭主电机,此时将下监测倾角传感器的角度清零(即设置相对零点),下监测传感器的标定结束。

3.3.4 钢管柱的下放与一键调垂

工具节传感器与下监测传感器标定好后,移出工具节后,即可逐节下放钢管柱。钢管柱间连接依靠环形排列的18个M20螺栓。当螺栓安装完毕后,需要将扭力扳手的扭矩设置到410 N·m,然后

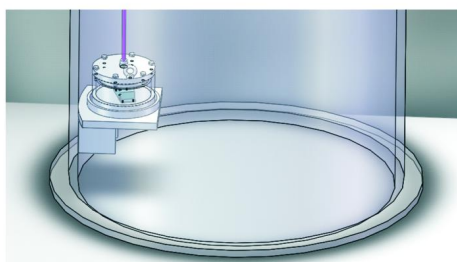


图 4 PA-10 型钢管柱安装机下监测安装

使用扭力扳手对每个螺栓进行扭力校核,待校核合格后,才可下放钢管柱。

待下放完毕,将传感器置于工具节既定位置。调节四条支腿,保证履带离开地面后,才可使用一键调垂功能。由于抱闸抱紧钢管柱,这样就会导致前车质量较重,连接体的重心相对单一车身是前移的,为保证车身不至于倾覆,原则上应保证前车的高度高于后车身,再使用一键调垂功能。

调垂结束后检查下监测传感器的角度变化,理论上上下监测角度为零,但由于各节钢管柱存在加工误差,实际下监测的角度会发生变化,若角度经换算后,下端偏移距离超过要求尺寸,则需提起已下放的钢管柱,重新选择合格的钢管柱进行下放。确定钢管柱垂直度满足要求后,将下监测组件提升出即可。

单次钢管柱一键调垂结果如图 5。



图 5 PA-10 型钢管柱安装机调垂结果

3.4 安装机应用效果

省政府站是哈尔滨市地铁 2 号线地铁中唯一应用暗挖新型 PBA 工法施工的工地,之前虽有哈尔滨市地铁 1 号线哈工大站的施工经验,可两工地的工程地质条件大相径庭,其钻进参数、钻头选配、灌注工艺,都需试桩摸索。

依据勘察报告显示,省政府站地层情况如表 2 所示。

实际钻孔,依据土渣显示,与勘察报告较为契合,

表 2 省政府站地层情况

地质年代	成因类型	层号	岩土名称	均厚/m
全新统	人工填土	1-1	杂填土	2.63
		1-2	素填土	1.57
更新统	冲洪积	4-1	粉质粘土	3.74
		4-2	粉质粘土	3.56
		4-2-4	粉质粘土	2.31
中更新统	湖积	5-1	粉质粘土	3.26
		5-2	粉质粘土	6.02

钻进速度比较平稳,10 h 左右即可成。受大口径反循环钻机与调垂机的尺寸限制,不可在相邻桩进行钻孔与钢管柱同时施工,需要进行“跳钻”施工,施工到标尾再“跳钻”施工旋回,如此施工还可降低一定的施工风险。

哈尔滨市省政府站钢管组的安装较为顺利,未出现任何异常情况。表 3 列举了部分钢管柱安装的测量放样成果。

表 3 省政府站钢管柱安装测量放样部分成果

桩位	设计值		实测值		偏差值		
	里程/m	偏距/m	里程/m	偏距/m	里程/mm	偏距/mm	中心/mm
B06	21712.466	-4.900	21712.462	-4.905	-4	-5	6.4
B08	21725.466	-4.900	21725.460	-4.901	-6	-1	6.1
B14	21764.466	-4.900	21764.462	-4.897	-4	+3	5.0
B18	21790.466	-4.900	21790.465	-4.901	-1	-1	1.4

其中,偏距偏差与里程偏差分别为钢管柱中心对设计中心的 X、Y 偏量,中心偏差为钢管柱中心实际偏差。依据设计文件的要求:桩位中心偏差 ≥ 20 mm,桩径偏差 ≥ 20 mm,桩身垂直度偏差 $\geq 5\%$ 。如表 3 所示,4 个钢管柱的中心偏差远远小于设计偏差;安装机可保证钢管柱的垂直度偏差控制在 2‰,远高于设计要求的 5‰。由此可见,钢管柱安装机施工效果十分出色,远超设计目标。钢管柱安装机在哈尔滨市地铁 2 号线省政府站的施工应用如图 6 所示。

4 结论

工程应用证明了 PA-10 型钢管柱安装机的研制是成功的。

(1) 安装机设计合理、结构紧凑、调垂精度高,完全满足新型 PBA 工法钢管柱施工对安装设备的需求。

(2) 采用新型 PBA 工法,从钻孔施工到钢管柱安装、灌注,在施工技术上有着机械化、自动化的进步,

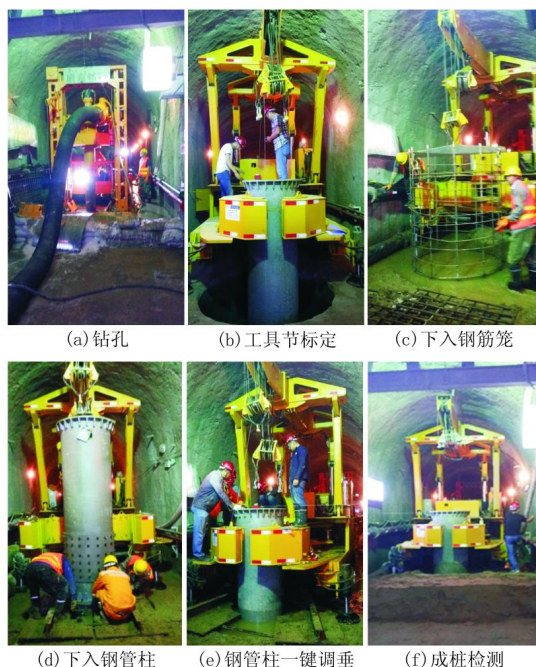


图6 钢管柱安装在哈尔滨市地铁2号线省政府站的施工

这也符合城市轨道交通的发展方向——“智能化保质、机械化减人”。

(3)在狭窄的导洞内,使用钢管柱安装机,可以极大程度上保证钢管柱安装精度,同时也消除了人工下入孔底进行操作的危险性。

(4)经济效益上,可免去一层导洞开挖、省去钢护筒的下放、缩减了降水投入,与此同时,施工周期

大幅缩短、管理成本也降低很多,经济效益十分可观。

参考文献:

- [1] 温继伟,陈宝义,许晖.北京地铁颐和园站管井降水技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):78-82.
- [2] 耿东阳,赵文,周永伟.地铁车站洞桩法开挖中板下土体的侧向作用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(3):71-73,81.
- [3] 苏嘉琦.北京地铁6号线物资学院站车站与隧道区间施工沉降控制技术研究[D].甘肃兰州:兰州交通大学,2014.
- [4] 张子真,丁海明,炊鹏飞,等.盖挖逆作法地铁车站中柱及基桩施工工艺优化[J].城市轨道交通研究,2014,(5):123-126,130.
- [5] 肖茜.北京地铁车站PBA工法施工对地表沉降影响的研究[D].北京:中国地质大学(北京),2014.
- [6] 陈丽敏.PBA工法钢管柱施工技术[J].国防交通工程与技术,2012,(S1):101-102.
- [7] 王文涛.PBA工法地铁车站导洞施工方案优化研究[D].北京:北京交通大学,2015.
- [8] 高辛财.大粒径卵石地层新型洞桩法暗挖车站技术分析与探讨[J].特种结构,2016,(2):51-59.
- [9] 肖昌军.北京地铁10号线劲松站PBA工法钢管柱安装施工技术[J].铁道标准设计,2008,(12):237-239.
- [10] 张庆.PBA工法新型钢管柱吊装台车的设计及应用[J].隧道建设,2016,36(10):1277-1281.
- [11] 高双涛.地铁PBA法暗挖施工的思考[J].施工技术,2016,35(S2):175-177.
- [12] 李骥.PBA工法地铁车站密贴下穿既有车站工程风险控制研究[D].北京:北京交通大学,2016.