

风动潜孔锤钻进技术在北京地铁降水中的应用研究

李 博

(北京市地质工程公司,北京 100143)

摘 要:介绍了风动潜孔锤钻进技术在北京地铁工程降水中的施工实验,通过与其它成井工艺进行比较,讨论了引入该技术到北京地铁工程降水施工中的可行性与必要性。

关键词:风动潜孔锤钻进;地铁降水;降水井;滤水管

中图分类号:P634.5⁺6;TU46⁺3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)04-0045-04

Application Research on Pneumatic Down-the-hole Drilling Technology in Beijing Subway Dewatering Engineering/Li Bo (Beijing Geo-engineering Company, Beijing 100143, China)

Abstract: This paper introduces the construction experiment of pneumatic down-the-hole hammer drilling technology in Beijing subway dewatering engineering; and by the comparison with other well completion technologies, the discussion was made on the feasibility and necessity of introducing this technology to Beijing subway construction with a positive conclusion.

Key words: pneumatic down-the-hole hammer drilling; subway dewatering; dewatering well; filter pipe

0 引言

随着我国城市化进程步伐的加快,城市地下轨道交通建设正在如火如荼的进行。以北京市为例,从 1965 年开始修建到 2000 年复八线开通运营,总里程不足 100 km,而 2000~2010 年的 10 年间,累计运营里程已经超过 500 km,并且规划了“三环、四横、五纵、七放射”的轨道交通网络的宏伟蓝图。以目前的发展状况看,施工里程数在不断增加,施工深度在逐步加大,同时施工技术也在不断提高,这就要求辅助施工工艺——降水施工要不断完善其工艺,以克服从以前的降潜水到现在的承压水、从降深几米到现在的十几米所增加的难度。

针对如此大的降深,一般采用管井降水。目前管井的成井工艺主要有正、反循环,冲击钻、旋转钻等,施工机械体积大、成孔时间长、对地面交通影响大、不灵活,成井过程中产生的泥浆、渣土对环境的影响较大,增加了施工成本。风动潜孔锤施工技术由于其成孔口径小,在北京地区地铁降水工程中尚属新的尝试。

1 必要性分析

1.1 潜孔锤常规用途

潜孔锤钻具的问世至今已有半个世纪,最初是在采石和露天采矿中用于钻进爆破孔。风动潜孔锤

由于在硬岩和卵砾石地层的钻探中取得了良好的效果而得到广泛应用,并且随着对其破碎机理、结构设计、工作介质、工作参数等研究工作的不断深入,目前潜孔锤钻进技术应用领域已发展到矿床勘探、小口径水井钻凿、坑内钻探、土木工程钻探以及在水下和冻土层进行特种工程钻探等各种钻探领域。因而,潜孔锤钻进技术已成为日臻完善的一种常规钻探技术,并且风动潜孔锤钻进工艺技术也随着工程建筑市场的要求在不断地完善充实,适用范围也在不断地创新和突破。

1.2 目前地铁降水井施工常规方法

北京地形总体表现为西北高,东南低,区域水文地质条件主要受永定河、潮白河等冲洪积作用控制,地下水主要赋存于冲洪积扇砂卵石层及砂层中,具有明显的水平分带和垂直分层特点。

由于北京地区地层总体上西部卵石粒径大,东部粒径小,目前地铁降水施工中西部多采用冲击钻、旋转钻,东部多采用正反循环钻进工艺。由于以上工艺施工机械体积大、成孔时间长,对地面交通影响大、不灵活,成井过程中产生泥浆、渣土、噪声等对环境的影响较大,而且泥浆护壁大大增加了后续洗井等工作的难度,影响了出水量和降水效果,增加了施工成本。

1.3 更新工艺的必要性

收稿日期:2010-10-29; 修回日期:2011-02-24

作者简介:李博(1983-),男(汉族),辽宁新民人,北京市地质工程公司工程师,勘察技术与工程专业,从事岩土工程施工管理及研究工作,北京市海淀区田村路 39 号,keats66@163.com。

从以上施工工艺的分析中可以看到,引进风动潜孔锤施工工艺到地铁降水施工,能够克服并解决许多目前施工中存在的问题和难点,给降水施工带来了新思路,能够显著提高社会效益和经济效益。

井孔空隙,强度高,可用于大功率水泵工作环境。基于井内平面尺寸的考虑,拟采用PVC管作为最终试验方案的滤水管。对比见图2。

2 技术可行性分析

2.1 确定水泵型号及管井类型、直径

风动潜孔锤技术在北京地铁降水工程中是否成功的关键是这种工艺能否达到设计的单井出水能力,在水文地质条件满足要求的情况下,要达到单井出水能力主要取决于井结构和水泵参数,而常规使用的风动潜孔锤套管钻进工艺制约了井结构和水泵体尺寸,因此应从水泵参数来确定井结构和风动潜孔锤套管钻进各项参数。

目前北京地铁降水常用的潜水泵型号规格为:

175QJ × × - × × :机组径向最大尺寸 168 mm,适用井径 175 mm 以上;

150QJ × × - × × :机组径向最大尺寸 143 mm,适用井径 150 mm 以上。

考虑泵管连接和电缆需要空间,决定最终采用 $\text{O}219\text{ mm}/11\text{ mm}$ (外径/壁厚) 钢管或 $\text{O}200\text{ mm}/10\text{ mm}$ (外径/壁厚) PVC 管作为井管,井管和泵体的关系见图1。

表1 地铁降水潜水泵常用型号规格

规格	泵量 $/(m^3 \cdot h^{-1})$	扬程 /m	适用井径 /mm
150QJ5-100	5	100	
150QJ10-50	10	50	
150QJ20-33	20	33	150 以上
150QJ20-39		39	
150QJ32-30	32	30	
150QJ32-36		36	
150QJ32-42		42	
150QJ63-30	63	30	
150QJ63-36		36	
150QJ63-42		42	

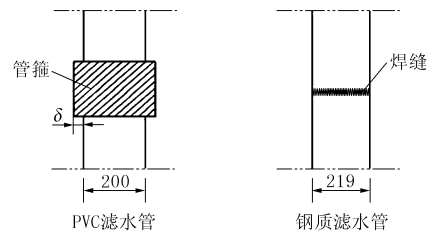


图2 两种不同井管对比图

2.2 确定潜孔锤系列参数

潜水泵类型和井管直径确定之后,风动潜孔锤钻进工艺中的套管便成了关键因素。套管直径较小时,对钻孔设备、辅助设备等参数要求较低,钻进也较容易,但它不仅要满足水泵和井径的尺寸要求,套管直径较大时,对钻孔设备、辅助设备要求较高,成本很高,成孔速度也降低,对周边环境的影响也较大。因此选用最佳套管直径,使其环向最小内径大于所选井管外径,既保持有包滤网、填滤料的空间,又不会发生拔管时带出井管的事故发生,这是本次试验的一个关键环节。

目前国内常用的潜孔锤及跟管钻具如图3所示。

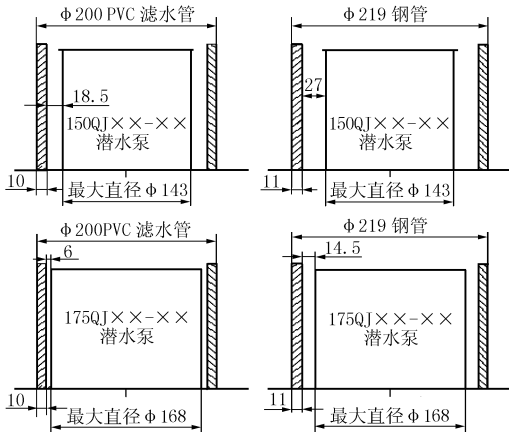


图1 $\text{O}200\text{ PVC}$ 井管、 $\text{O}219$ 钢管和 150QJ、175QJ 系列潜水泵关系图

根据表1的数据,滤水管的直径要大于 150 mm 才能满足井内下泵的要求,考虑到井内汇水面积的要求,滤水管的直径要达到 200 mm 以上才能满足额定出水量的要求,200 mm 及以上的滤水管可选用 PVC 管和钢管 2 种材料。两种材料适用于不同的水文地质、工程地质条件和井深条件。对于该项试验,2 种管材在技术上运用都是可行的。PVC 管价格低廉,使用方便,但强度相对较低,大功率水泵工作时易破坏。钢管价格相对较高,采用焊接对接,不占用

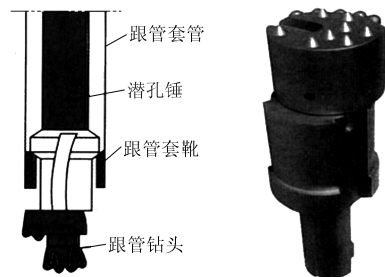


图3 潜孔锤锤头、套管及管靴示意图

根据表2中所列参数,应选 $\text{O}273\text{ mm}$ 套管系列

较为合理。因此套管、管靴和井管之间的环状空间关系如图 4 所示。

表 2 潜孔锤套管、锤头、管靴通经常见规格

套管规格 (外径)/mm	潜孔锤 规格	套管靴 通径/mm	套管规格 (外径)/mm	潜孔锤 规格	套管靴 通径/mm
89	QCW70	69	178	QCW130	147
108	QCW80	86	194	QCW130	165
127	QCW100	102	219	QCW170	184
146	QCW100	120	245	QCW170	205
168	QCW100	138	273	QCW200	230

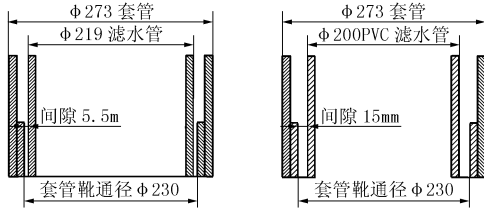


图 4 两种滤水管和 Ø273 mm 套管之间关系图

(Q^m)、第四纪全新世冲洪积层(Q_4^{al+pl})、第四纪晚更新世冲洪积层(Q_3^{al+pl})、第三纪四大层。本场区普遍范围内 10 m 以下至第三纪沉积层以上均为卵石层或其与砂层夹层,最大粒径可达 20 余厘米。

地下水情况:在钻孔深度 50 m 范围内实测一层地下水,为层间潜水(三),水位标高为 22.88 m(水位埋深 25.46 m),含水层为卵石⑦层、卵石⑨层,含水层主要接受侧向径流及越流补给,以侧向径流和人工开采的方式排泄。含水层厚 12 m 左右。其水位季节变化规律一般在 5~7 月份水位较低,在 11 月至来年 3 月水位较高,年变化幅度一般在 3~4 m。

3.2 施工方法的选择与尝试

由于该地区处于永定河冲积平原中部,砾石较大,最大粒径根据现场暗挖情况可达 28 cm,不排除施工时遇到更大漂石的可能性,于是降水井设计采用乌卡斯冲击钻成孔。但在施工一段时间后,发现乌卡斯成孔施工时间较长,对地面交通影响大,施工噪声震动大,对附近居民生活产生一定的影响,同时采用泥浆护壁对成井质量、出水情况均有一定的影响,洗井剂的使用、泥浆清理运输无形中都加大了施工成本。

3.3 风动潜孔锤钻进施工试验

3.3.1 钻探设备及附属工具

潜孔锤型号为 SL-400; AtlasXAVS786-CDH 空气压缩机,最大风压 1.4 MPa,风量 23.46 m³/min; HTYM500 型锚固水井钻机,外形尺寸 5600 mm × 2100 mm × 3000 mm,质量 6.5 t; Ø89、127 mm 地质钻杆;附属设备有 100 t 拔管器和发电机。

3.3.2 钻进参数

3.3.2.1 转速

根据岩石性质、钻头直径、冲击器的冲击功、冲击频率来确定。

$$n = fd / (\pi D)$$

式中: n ——转速; f ——潜孔锤冲击频率; d ——钻头上切削具直径; D ——钻头直径。

3.3.2.2 钻压

主要与钻头的直径和岩石性质有关。一般每厘米钻头直径施加 0.9 kN 即可,Ø200 mm 左右钻孔最佳压力范围为 15~18 kN。

3.3.2.3 供风量

供风量主要与钻杆与孔壁之间的环状间隙有关,其计算公式为:

$$Q = 47.1 K_1 K_2 (D^2 - d^2) V$$

2.3 确定风动潜孔锤施工降水井工序

地铁降水施工多在北京的主要街道和居民区,街道路面下的市政管线错综复杂,并且在居民区若采用潜孔锤施工噪声太大。为了解决以上问题,对降水井施工拟采用两步工序,即钻孔上部采用人工挖孔方式,下部采用潜孔锤施工,这样既可保护地下管线和设施,又可以在无噪声下施工,并为潜孔锤钻进时排渣提供空间,这样做不仅完全适合北京地区西部地层,而且在孔口稍加处理,就可将潜孔锤施工所产生的噪声和排渣全部消纳在上部人工挖孔段,解决了两个困扰北京地铁施工的最大难题。

2.4 确定最终试验步骤

经过对现状的分析、对以往地源热泵成井施工经验的借鉴,决定在北京地铁 6 号线一期车公庄站项目尝试风动潜孔锤成井试验。试验分 3 个阶段进行,从 Ø146 mm 到 Ø183 mm 再到 Ø273 mm,逐步加大钻具直径,加大降水井孔径,从而加大泵量,提高出水能力。本文主要介绍 Ø183 mm 口径施工试验。

3 应用试验

3.1 工程概况及水文地质条件

北京地铁 6 号线一期车公庄站位于北京市西城区官园桥西侧车公庄大街路面下,沿车公庄大街东西向设置,车站为分离岛式,车站主体采用 PBA 工法全暗挖进行,底梁标高一般为 22.67 m,局部加深处为 20.53 m,施工竖井结构底标高为 20.80 m。

依据勘察报告,按地层沉积年代、成因类型,将本工程场地勘探范围内的土层划分为人工堆积层

式中: Q ——送风量, m^3/min ; K_1 ——孔深修正系数, $K_1 = 1 \sim 1.1$; K_2 ——孔内涌水系数, $K_2 = 1 \sim 1.5$; D ——套管直径; d ——钻杆外径; V ——上返风速, $15 \sim 25 \text{ m/s}$ 。

根据上述公式计算,送风量只需达到 $1.44 \text{ m}^3/\text{min}$ 即可,现取 $14 \text{ m}^3/\text{min}$ 。计算风量见表3。

表3 钻杆内径与风量关系表

钻杆内径/mm	计算风量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1})$
89	70.6
128	61.3
168	49.1
219	28.2

通过风量计算可以看出,增大钻杆外径能大大降低对空压机风量的需求。

3.3.3 钻孔结构与抽水实验

(1)施工时为防止对地下管线的破坏,采用对比管线图纸、人工探孔挖至原状土的办法。施工试验时人工探坑挖至 8 m ,为了便于钻机就位,将场地平整后填土至孔口 2 m 位置。

(2)采用风动潜孔锤成孔,钻进至 36 m 终孔。其中地面标高 48.5 m ,水位标高 21.5 m ,有效滤水段 9 m 。

(3)套管直径 183 mm ,钻头直径 149 mm ,管靴内径 149 mm ,终孔后下入外径 140 mm 、壁厚 4 mm 的井管,其中井管下部 9 m 为加工梅花形孔的滤水管,上部 27 m 为无缝钢管。

(4)下入水泵型号为 $125\text{QJ}32-40$,设计出水量 $32 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程 40 m ,转速 2850 r/min ,功率 5.5 kW ,效率 64% ,外径 125 mm 。

(5)单井抽水:孔内静止水位标高 21.50 m ,降深 5.2 m ,按照单井出水量公式 $q = 2\pi rl \frac{\sqrt{K}}{15}$ (其中 l 为过滤器有效长度, m ; r 为管井半径, m ; K 为渗透系数, m/s), $Q = qs_w$ (s_w 为降深, m), 计算得:出水量 $24.05 \text{ m}^3/\text{h}$,实测涌水量 $25.16 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

群井抽水:直线布置抽水井 4 眼,间距 4.8 m ,各参数与单井抽水试验相同。观测点位置距离边缘井 15.4 m ,距离非井垂直距离 9 m 。按照潜水井群干扰抽水任意点降深计算公式 $h = \sqrt{H^2 - \frac{Q}{1.366K} [\lg R - \frac{1}{n} \lg(x_1, x_2, \dots, x_n)]}$ (H 为含水层厚度, m ; h 为水头, m ; Q 为基坑涌水量, m^3/d ; x 为观测点到各井点中心距离, m ; R 为影响半径, m) 计算得降深 0.38 m 。实测 48 h 群抽稳定降深 0.42

m (见表4),各项参数与理论计算有较好的吻合。

表4 群井抽水降深-时间关系

时间 /h	降深 /m	时间 /h	降深 /m	时间 /h	降深 /m	时间 /h	降深 /m
0.25	0.15	4	0.25	14	0.33	38	0.42
0.5	0.15	5	0.27	18	0.35	42	0.42
0.75	0.17	6	0.29	22	0.37	48	0.42
1	0.20	8	0.30	26	0.38		
2	0.22	10	0.31	30	0.39		
3	0.22	12	0.32	34	0.41		

3.3.4 施工难点与解决方法

3.3.4.1 施工难点

钻头管靴、降水井管与水泵的尺寸配合上分别只有 9 mm 和 7 mm 的间隙,如何保证终孔下井管提套管时井管不被带出以及保证水泵的正常下入是关键。

在进行施工试验时,第一次给滤水井管包裹过滤纱网,采用传统的缠绕方法,用布带和铅丝固定,但在下入井管后提套管的过程中,发生了井管被带出现象。提至第三根钻杆 ($3 \sim 4.5 \text{ m}$) 时,井管跟随套管向上运动,无论如何转动井管、人为施加压力都不见效,最后只能将井管拔出,重新清孔及下放井管。将套管及井管全部拔出后发现,第一根滤水管的纱网已经全部被带至第二根滤水管接头处。

3.3.4.2 解决方法

施工时应严格控制钻孔垂直度,保证缠绕滤水纱网质量,选择适合的水泵型号,并注意水泵、出水管与电缆的下放和安装。

采用胶粘及透明胶带缠绕粘接的方法对滤水管纱网进行固定,尽量减少因为缠绕纱网使井管加粗并被套管带出的可能性。另外在井管连接方式上我们将井管加工成子母接头,并在母的一端四周打孔,下放井管时子母对接后用电焊将所打孔焊平,这样既保证了井管的连接强度又避免螺丝、帮条焊等连接方式对孔径、管径造成的改变,施工中取得了良好的效果。

3.3.4.3 其它注意事项

(1)纱网与透明胶带一定紧密缠绕,密贴于井管;(2)每根花管起始处严格控制胶粘质量;(3)钢管下放必须垂直对正,再行焊接;(4)钢管焊接后如有焊瘤突出,应用角磨机将其与井管磨平;(5)水泵缆线与排水管安装应尽量平直,避免过多缠绕;(6)下管后及时拔套管,避免砂土堆积,争取一次下放成功。

(下转第52页)

定位,在钻具同一母线上前后各取一点,通过两点空间坐标计算其方位、倾角。准确而较经济的一种方法是:用水平尺(精度2 mm/m)定钻具倾角,方位通过吊线确定。放孔位时,除了孔位点外,在孔位点上方和钻机后面还有两点,这三点构成一垂直平面,然后在钻具上找出一母线与钻具中心线在同一垂直平面内,通过吊张,使钻具的母线在放孔三点构成的垂直平面内即可。这一方法要求放孔三点必须正确。

4.2.2 采用初级定向孔施工法

从理论分析和施工来看,钻具、钻杆的重力作用是水平钻孔向下倾斜的最主要原因。故采用初级定向孔施工法,钻机安装成上倾角 $\leq 1\%$ (0.753°)。

4.2.3 开孔工艺

开孔时一定要采取措施对钻具扶正,而且间隙合适。这样钻具有2个固定点,才能保证钻孔开孔不发生弯曲。开孔钻进压力、转数必须尽量小,当钻头全部进入岩石之后,压力、转速可采用正常值。

5 结语

水平孔钻进与垂直孔相比,对设备、施工技术、人员要求更高,成孔难度更大,随着孔深的增加,辅助时间更长,孔内事故发生概率更大。因此,对水平孔钻进技术、施工工艺进行归纳、总结,具有重要的意义。ZK119孔终孔孔深350.15 m,孔深0.0~218.70 m为灰色、浅灰色中粗粒结晶灰岩;孔深218.70~221.38 m为泥质、炭质、硅质板岩;孔深221.38~257.40 m为结晶灰岩;孔深257.40~275.10 m为灰色、深灰色炭质、硅质板岩;孔深

275.10~279.74 m为灰绿色玄武质千枚岩;孔深279.74~282.97 m为炭质、硅质板岩夹灰岩;孔深282.97~350.15 m为灰色、深灰色结晶灰岩。全孔岩心平均采取率为99.6%,平均RQD为73.5%。

ZK119水平孔成功钻进,为地质人员分析上坝址左岸地下厂房工程地质特性提供了详尽和准确的第一手资料。钻进过程中遇到的问题及解决方法为以后的水平孔钻进提供了参考。

同样属于水平孔钻进的非常规技术,在城市的供水、煤气、电力、通讯、石油、天然气等地下管线铺设方面技术相对成熟,而水电水利工程地质水平孔钻进技术还停留在常规岩心钻进层面,成本高,效率低。为了提高水平孔钻探的钻进效率,减少起下钻的辅助时间和减轻繁重的体力劳动,应该在水平孔施工中推广绳索取心技术。

参考文献:

- [1] 隆东,李杰,向军文.物探与水平定向钻进在工程勘察取心中的结合应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,(12):42-44.
- [2] 董向宇.提高水平定向钻进用钻杆制造质量和应用水平的探讨[J].凿岩机械气动工具,2008,(1):19-22.
- [3] 傅文忠.水平定向钻进铺管若干问题探讨[J].山西建筑,2009,35(20):131-132.
- [4] 吕继昌,周晓敏.松软含水地层水平钻进[J].建井技术,1998,19(6):35-37.
- [5] 赵振江.水平定向钻进技术在地铁隧道大管棚施工中的应用[J].长江大学学报,2008,22(2):37-39.
- [6] 孙志峰.高精度水平锚索技术研究及在三峡工程中的应用[D].吉林长春:吉林大学,2006.

(上接第48页)

4 结语

风动潜孔锤钻进技术具有成井周期短、钻进效率高、钻孔保直精度高、成井后无需专门洗井、施工占地小、噪声小、污染小等特点,解决了以往施工工艺在漂、卵、砾石地层难于成孔,或成孔周期长、对地面交通影响大、成孔过程中产生大量泥浆、洗井质量差、施工成本高等一系列问题,可以应用于北京地区的降水施工。

但由于以往成孔口径小,如何改进钻具及施工机械以满足大口径降水井的施工要求,提高出水能力,是一个值得进一步研究的问题,同时应注意钻具

与井径、水泵型号的配合。另外推动施工工艺成熟性、稳定性,形成连续、流水作业,也需要在施工实践中不断改进。

参考文献:

- [1] 杜祥麟.潜孔锤钻进技术[M].北京:地质出版社,1988.
- [2] 刘家荣,王建华,王文斌,等.气动潜孔锤钻进技术若干问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):40-44.
- [3] 赵建勤,李子章,石绍云,等.空气潜孔锤跟管钻进技术与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(7):55-59.
- [4] 陈锡庆.空气潜孔锤钻进技术在西部缺水地区水井钻探中的应用[J].甘肃科技,2007,(11).
- [5] 北京市地质工程勘察院.北京地铁6号线一期工程勘察报告[R].北京:2009.