

定向钻进敷设电缆保护管轨迹优化设计研究

魏志强

(福建省电力勘测设计院,福建 福州 350003)

摘要:在老旧城区内采用定向钻进敷设地下管线,常常需要从已有的各类地下建(构)筑物或管线下穿过,方案设计时就应考虑新建管道与之安全距离的取值问题。以厦门市某 110 kV 电力电缆的定向钻进工程的实际需求为出发点,在对国内现有规程规范及工程实例调查的基础上,对电力电缆保护管定向钻进敷设安全距离取值的影响因素进行分析,优化工程定向钻进敷设方案,指导该工程的建设,并为类似工程建设提供参考。

关键词:水平定向钻进;电力电缆;保护管;地下管线敷设;安全距离

中图分类号:U453.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)12-0085-05

Optimal Design of Directional Drilling Trajectory in the HV Cable Protection Pipes Laying Construction/WEI Zhi-qiang (Fujian Electric Power Survey & Design Institute, Fuzhou Fujian 350003, China)

Abstract: Being restricted by the environment and according to the urban planning, some HV cables have to be laid under the existing buildings or pipelines, the values taking for safety distance should be calculated in the trajectory design. In this paper, a case of directional drilling project is discussed, which is 110kV HV transmission cable line in Xiamen. According to the existing technical codes in China and based on the engineering cases investigation, the analysis was made on the influencing factors on the safety distance value taking for electric power cable protection pipe laying to optimize the pipe laying trajectory. Xiamen 110kV HV cable protective pipes have been laid successfully under the ground, which can provide references for similar construction.

Key words: HDD; electric power cable; protection pipe; underground pipeline laying; safety distance

0 引言

作为一种成熟的非开挖工艺,水平定向钻进技术被广泛应用于煤气、电力、通讯、给水排水、天然气等城市管线工程的建设中,尤其是在不具备开挖的闹市区、古迹保护区、过路段、过河段等区域,更是体现出了极大的经济效益和社会效益^[1]。由于该项技术的优越性,自 20 世纪 70 年代开始首次应用以来,几十年之间的技术研究已使得该项技术取得了长足的发展,但是以往的研究都集中于提高工艺本身上,对于定向钻进与地下已有管线或构筑物交叉穿越距离的取值及其对钻进轨迹影响的研究较少,工程技术人员从不同角度作出的设计轨迹差异大,可供借鉴的工程实例也较少。

为了规范定向钻进敷设电力电缆保护管的施工,国家电网公司先后发布了设计、施工及验收等方面的企业标准^[2-3],同时福建省和中国非开挖行业协会也都发布了相应的地方或行业技术标准^[4-5],用于指导定向钻机敷设管线,这些相应的规定都为定向钻进敷设电力电缆保护管轨迹设计提供了依

据,限于设计手段,前述规程主要都集中于作图法。

国内外众多的学者都对定向钻进施工引起周边扰动的机理和安全距离取值进行了研究:张晓光^[6]介绍了非开挖技术敷设管道在武钢中的应用;宗全兵等人^[7]首次提出了可以采用定向钻机敷设管道;史晓亮等人^[8]在实际非开挖工程施工中,应用计算机模拟技术指导钻孔轨迹设计,使实际轨迹线与设计钻孔轨迹基本相符,实现最优化施工;张德龙^[9]采用 Visual Basic 语言和 Auto CAD 绘图工具实现了采用空间轨迹实施绘制钻孔轨迹的目的;刘涛^[10]、罗武胜^[11]等人分别从理论计算的角度,对定向钻进轨迹的控制参数进行研究,提出了施工过程中钻机误差。

随着城市化进程的不断加快,在老旧城区内采用定向钻进敷设地下管线,常常需要从已有的各类地下建(构)筑物或管线下穿过,此时就需要评估已有地下构筑物或管线受定向钻进施工的影响大小,方案设计时就应考虑新建管道与之安全距离的取值问题。

收稿日期:2016-06-23;修回日期:2016-09-19

作者简介:魏志强,男,汉族,1962 年生,高级工程师,从事电网工程的建设管理和研究工作,福建省福州市五四路 268 号,Weizq@fedi.cn。

在对现有定向钻进敷设管道规定进行调查的基础上,结合厦门市某 110 kV 电力电缆的保护管敷设要求,基于现有地质调查和地下构筑物及管线调查数据,对新建 4 孔 110 kV 电缆和通讯光缆保护管定向钻进敷设的轨迹进行优化设计,提出了适用于工程实际的标准横断面图、平面轨迹、纵剖面轨迹的设计方案,同时针对在市政道路下方穿越的特点,提出了周边地层变形控制的要求与做法。工程实践证明,该技术方案是可行的,方案不仅指导了工程建设,还可为后续类似工程的建设提供依据。

1 交叉穿越安全距离取值

目前可用于指导电缆保护管工程定向钻进轨迹设计的主要是国网企业标准^[2]和福建地方标准^[4],二者对于定向钻进保护管与已有地下管线或构筑物的安全距离取值有所不同。

1.1 国网企业标准

国网企业标准《定向钻进敷设电力电缆管道工程标准第 1 部分:设计技术规范》在 5.2.9 条对最终回扩孔与建筑物或既有地下管线的距离做出了如下规定:

(1)在建筑物基础侧方敷设时,与建筑物基础的侧面水平距离 ≤ 1.5 m,且应在持力层扩散角范围以外;

(2)在建筑物基础下方敷设时,应经有关部门批准和设计验算后确定敷设深度;

(3)与既有地下管线平行敷设时,净距应为最终回扩直径的 2 倍以上,并不得小于 0.6 m;

(4)从既有地下管线上部交叉敷设时,垂直净距 > 1.5 m;

(5)从既有地下管线下部交叉敷设时,垂直净距应符合下列要求:粘性土地层应大于最终回扩直径的 1.0 倍,粉土地层应大于最终回扩直径的 1.5 倍,砂土地层应大于最终回扩直径的 2.0 倍,垂直净距 ≤ 0.5 m。

1.2 福建省地方标准

福建省地方标准《水平定向钻进管线铺设工程技术规范》在 5.3.8 条对最终回扩孔与建筑物或既有地下管线的距离做出了如下规定:

(1)铺设在建筑物基础以上时,与建筑物基础的水平距离 ≤ 1.5 m;

(2)铺设在建筑物基础以下时,与建筑物基础

的侧面水平距离必须在持力层扩散角范围以外,尚应考虑土层扰动后的变化,扩散角 $\leq 45^\circ$;

(3)在建筑物基础下方敷设时,必须经验算后确定敷设深度;

(4)与既有地下管线平行敷设时, $\varnothing 200$ mm 以上的管线,净距应为最大扩孔径的 2 倍以上; $\varnothing 200$ mm 以下的管线,净距 ≤ 0.6 m;

(5)从既有地下管线上部交叉敷设时,垂直净距 > 0.6 m;

(6)从既有地下管线下部交叉敷设时,垂直净距应符合下列要求:粘性土地层应大于最终回扩直径的 1.0 倍,粉土地层应大于最终回扩直径的 1.5 倍,砂土地层应大于最终回扩直径的 2.0 倍,小直径管道($\varnothing < 100$ mm)垂直净距 ≤ 0.5 m。

2 工程概况

厦门某 110 kV 输电线路工程位于厦门市海沧区,主要沿着翁角路、山边洪路架(敷)设。线路从新建芸伟 110 kV 出线,采用架空线约 1.8 km,经电缆杆下地,下穿翁角路后再上已有的鼎康 II 回 9 号塔,架空接至鼎美 110 kV 变电所。线路途经区原始地貌属剥蚀残丘,由于周边工程建设需要,场地经人工整平处理过,目前线路经过地段多为已建道路绿化带。地势由西北向东南倾斜,沿线路均有道路可通行,交通便利。

电缆选用 DN200 的 MPP 电缆保护管,3 孔敷设 110 kV 电缆,1 孔敷设通讯管,合计 4 孔,定向钻进平面上的路径长约 76 m,钻进轨迹需先后从 1 道排洪渠、4 根地下管线下方穿过,下穿越难度大。

3 工程地质条件

线路区由地表向下出露的地层岩性依次为:第四系人工填土、冲洪积堆积物、淤积物及风化基岩,成分主要由素填土、粉质粘土、粗砂、砂质粘性土、全风化花岗岩、强风化花岗岩等组成。沿线地层分布、岩性及土层力学参数如表 1 所示^[12]。

4 轨迹优化设计

定向钻进轨迹优化设计,包括了标准横断面的优化(即回扩终孔孔径大小)、平面轨迹优化和纵剖面优化设计,其中纵剖面优化设计是设计的重点和难点。

表 1 定向钻进穿越区域的地层及地质参数

土层名称	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	c/kPa	$\varphi/(\text{^\circ})$	土层结构说明
素填土	17.5	10.0	5.0	海积,褐黄、灰色,局部混砂 15%,饱和,流塑,局部呈湿、软塑状,厚 3.00~10.0 m
粉质黏土	18.5	25.0	20.0	灰黄色,湿,冲洪积成因,可塑,主要成分由粘、粉粒组成,局部含砂颗粒约 20%,韧性及干强度中等,无摇振反应,湿土切面无光泽,层厚 0.8~9.5 m,平均厚度 3.9 m
砂质粘性土	19.0	22.0	25.0	褐黄、灰白色,硬塑,系花岗岩风化残物,主要由长石已风化成次生粘土矿物及少量细粒组成,含大于 2 mm 的颗粒 10%~15%,岩心泡水易软化、崩解,层厚 3.7~16.6 m,平均厚度 8.8 m
全风化花岗岩	20.0	28.0	26.0	全风化,灰黄、灰白色,原岩结构特征清晰,但岩石矿物组织已完全破坏,主要由长石等易风化矿物已风化成粘土矿物及少量细粒组成,含大于 2 mm 的颗粒 15%~20%,岩心呈坚硬土状,层厚 2.0~14.2 m,平均厚度 8.8 m

4.1 回拖终孔标准断面优化设计

水平定向钻进敷设电缆保护管的主要目的是为了 满足电缆的敷设需求,做标准断面优化设计之前,首先要明确电缆保护管的孔数、规格及材质。

由于该工程为 110 kV 电缆,根据载流量的计算结果,电缆含铜芯、绝缘层、护层等结构的设计的外径为 110 mm,根据相关规程的要求^[2],应选用 DN200 的 MPP 电缆保护管,管的壁厚为 8 mm,即每根保护管道外径为 216 mm。

由于该工程仅敷设单回路电缆,对于电缆本体需采用 3 孔保护管,加上专用通信保护管 1 孔,合计 4 孔,即定向钻进回拖扩孔必须含有 4 孔的 MPP 电缆保护管。

根据规程及典型设计的要求,定向钻进回扩终孔必须在所有电缆保护管外径外接圆的直径的 1.2 倍以上,结合现有定向钻进机械的能力,回扩终孔的直径为 600 mm,优化设计后的典型断面见图 1。

理论上的回扩终孔孔径为 600 mm,但实际上由于泥浆护壁或其他因素导致孔壁坍塌等因素,会使得有效孔径小于 600 mm,故而从电缆保护管的质量保证和风险控制角度而言,采用比所回拖电缆保护管外壁更大的终孔孔径,是十分必要的。

4.2 平面轨迹设计

定向钻进敷设电力电缆保护管,平面轨迹需要

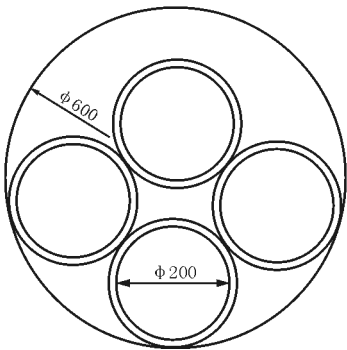


图 1 定向钻进回拖扩孔标准断面

考虑 2 方面的内容:

- (1) 工作坑及接收坑位置及施工场地要求;
- (2) 管线交叉穿越范围内的地下构筑物的位置。

该工程在道路的南侧,沿着电缆线路方向的场地较为开阔,可作为水平定向钻进的工作坑;北侧虽然临近已有的围墙,但是还是具备摆放电缆保护管的场地,可作为接收坑。

通过对电缆定向钻进轨迹范围内的地下构筑物进行调查,在钻进敷设影响范围内不存在对变形敏感或较为重要的管线或构筑物。故本工程采用平面直线定向钻进的方案。平面轨迹设计如图 2 所示。

4.3 纵剖面轨迹设计

剖面轨迹的优化是定向钻进敷设管线的核心内容之一,除了需要考虑定向钻机工艺本身的要求之外,还必须考虑所敷设管道的力学性能、地下已有构筑物及管线的安全距离。

通过工程详勘阶段的调查,在拟敷设管道的轴线两侧各 10.0 m 范围内具有 5 根管(渠)与本工程保护管的轴线交叉,被交叉的管道或地下构筑物的情况汇总见表 2。

首先确定交叉穿越决定性地下构筑物。一般情况下,决定轨迹曲线形状的主要是在造斜段的管线和轨迹中间处的管线。

该工程的工作坑阶段,位于道路远侧的绿化带,周边主要的影响构筑物为已建的两基双回路 110 kV 角钢塔,但距离定向钻进轴线最近的铁塔基础也超过 9.2 m,在安全范围之外,故不影响纵向剖面轨迹线。

该工程的接收坑位于道路北侧的绿化带,坑周边主要有某厂房围墙、已建的本工程电缆终端杆基础、10 kV 电缆管和污水管。

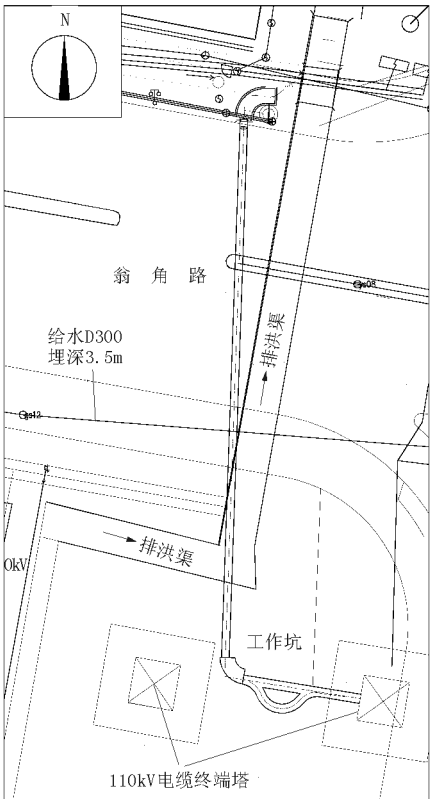


图2 定向钻进平面轨迹

表2 定向钻进交叉地下管线(渠)汇总表

序号	类别	管径	材质
1	污水管	DN300	钢筋混凝土
2	雨水管	DN400	钢筋混凝土
3	给水管	DN300	钢管
4	燃气管	DN100	
5	排洪渠	4.5 m 宽×6.0 m 深	浆砌片石

由于 10 kV 电缆线路工程埋深较大,通过平面优化,可从线位上避开。由于第一根的 DN500 的污水管埋深为 4.0 m,与定向钻进轨迹的造斜段冲突较大,需对其进行局部改造,以腾出以后的地下空间。

在确定轨迹底部高程时,其影响因素有 2 个,即与排洪渠之间的安全距离和造斜段的轨迹曲线。为了对这段轨迹进行优化,根据相关规程^[2-5,13]的要求,在粘性土地层中,定向钻进回拖扩孔的外壁与排洪渠之间的距离应大于 1.0 倍,即 0.6 m,终孔孔径中心与排洪渠的结构外壁的距离应不小于 0.9 m。由于该工程的粘性土含粉质粘土含砂超过 20%,而残积砂质粘性土则为花岗岩残积物,浸水后其砂性土的性状较为明显,而另一方面,定向钻进过程都采用泥浆护壁,导向钻进和回拖扩孔过程都存在一个

向周边地层渗水的过程,故从安全角度考虑,采用砂性土的安全距离较为稳妥。此时,定向钻进回拖终孔中心与排洪渠外壁之间的安全距离为 1.50 m。

由于本次交叉穿越排洪渠的埋深较深,且其距工作坑的平面距离较近,要在短距离内将剖面的轨迹高程降低至排洪渠底部,必须采用较大的入土角度,同时为了满足永久性电缆井的位置需求,将电缆的 2 号井(中心位置)设置在距离排洪渠 12.0 m 处,将井的底部高程加深至 7.0 m。

对于接收坑,由于其距市政道路边缘仅 0.4 m,为保证定向钻进及回拖扩孔过程不对市政道路的地面产生扰动,进而影响路面结构的安全,也同样采取了加大出土角度的做法,接收坑的底部高程保持与后续电缆沟一致,即 1.0 m。

定向钻进轨迹的剖面设计参数及其与已有地下管线或构筑物的距离见表 3。剖面轨迹设计如图 3 所示。

表3 轨迹设计参数

序号	类别	设计参数	安全距离/m
1	入土角	20°	
2	出土角	20°	
3	最大埋深	8.4 m	
4	DN300 污水管		迁改
5	DN400 雨水管		6.75
6	DN300 给水管		5.20
7	DN100 燃气管		7.00
8	排洪渠		1.52

4.4 周边地层变形控制方案设计

在老旧城区内修筑电力电缆工程,一般多具有周边环境复杂、对地层变形控制严格等特点。本次工程从新建的双向六车道市政道路下方穿过,回拖终孔孔径较电缆保护管外径大,管道敷设完成后,理论上仍有 48% 的空隙率。施工结束后,该空隙内存在护壁泥浆,短期内可满足稳定要求,但是由于周边地层为砂质粘性土,浸水后力学参数迅速降低,随着护壁泥浆浆液的渗漏,存在孔壁坍塌、进而造成上覆土层较大变形的风险。

为了合理控制该风险,在回拖电缆保护管后,采用 1: 1 的水泥浆进行置换,置换采用导管泵送的措施,注浆压力控制在 0.15 ~0.2 MPa 之间,从工作坑封孔注浆开始,以接收坑持续冒浆结束。置换后的标准断面图见图 4。

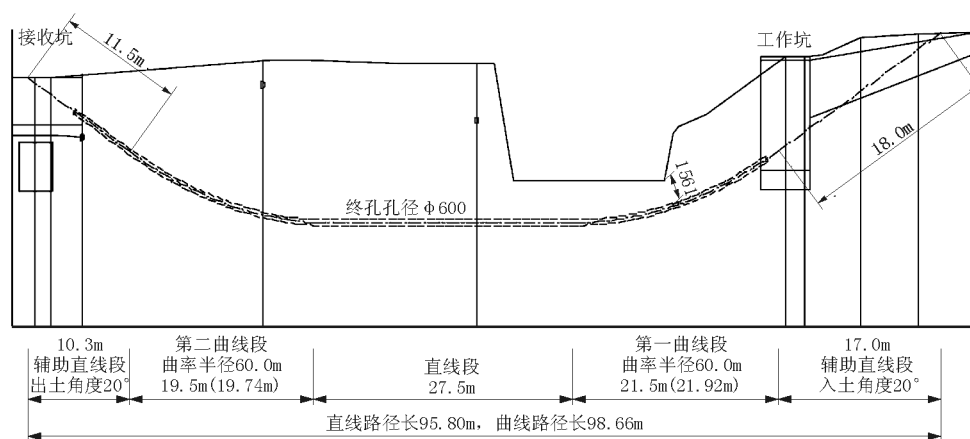


图3 水平定向钻进剖面图

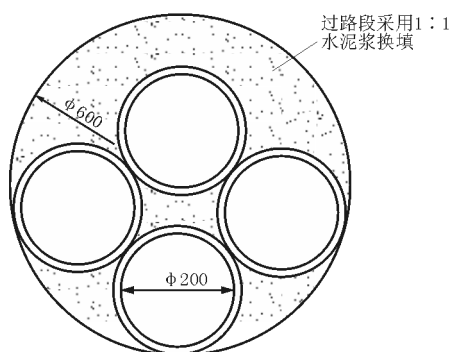


图4 泥浆置换标准断面图

5 施工实施

施工过程选用了XZ320型定向钻机,钻进采用 $\varnothing 73$ mm导向钻杆,并采用3次扩孔的方法将回拖终孔孔径扩至600 mm,钻进及扩孔过程采用泥浆护壁,成孔后一次回拖4根MPP电缆保护管。

施工过程中,在定向钻进沿线每隔20 m布设一个沉降监测点,监测显示,最大的地表沉降量为12 mm,小于设计要求的30 mm的控制标准,而且沉降主要位于工作坑和接收坑两侧,在道路上的沉降量接近0,地层变形控制效果较好。

在定向钻进结束后,采用将导向钻进的探测头拆下,随机选取某一根MPP保护管进行回拖,在地面复测轨迹,从竣工复测的轨迹来看,导向钻进的轨迹基本上符合了原设计的平面位置及高程的要求,满足国家电网公司企业标准的验收要求。

6 结语

以厦门市某110 kV电缆保护管的定向钻进轨

迹设计为对象,详细介绍了电缆保护管轨迹设计的影响因素和优化设计内容,尤其针对纵剖面的轨迹优化设计上,详细介绍了轨迹的出土、入土设计、交叉穿越设计、沉降控制等措施,且工程的顺利实施验证了设计方案的可行性,可为类似工程的设计和施工提供参考。

参考文献:

- [1] 马保松. 非开挖工程学[M]. 北京:人民交通出版社,2008.
- [2] Q/GDW 1797.1—2013,定向钻进敷设电力电缆管道工程标准第1部分:设计技术规范[S]. 国家电网公司企业标准,2013.
- [3] Q/GDW 1797.2—2013,定向钻进敷设电力电缆管道工程标准第2部分:施工及验收规范[S]. 国家电网公司企业标准,2013.
- [4] DBJ 13-102—2008,水平定向钻进管线铺设工程技术规范[S]. 福建省工程建设地方标准,2013.
- [5] 水平定向钻进管线铺设工程技术规范(试行)[S]. 中国非开挖技术协会,2013.
- [6] 张晓华. 水平导向钻进管线敷设技术在武钢非开挖工程中的首次应用[J]. 非开挖技术,2005,22(5):8-10.
- [7] 宗全兵,李月莲. 非开挖技术与铺管工程的优化设计[J]. 西部探矿工程,1999,(5):65-66.
- [8] 史晓亮,段隆臣,侯树刚,等. 导向钻进非开挖轨迹优化设计[J]. 煤田地质与勘探,2001,29(6):62-63.
- [9] 张德龙,蒋荣庆. 非开挖导向钻进实际轨迹的控制设计[J]. 吉林大学学报,2003,33(5):246-248.
- [10] 刘涛,王伯雄,崔园园,等. 水平定向钻进的轨迹误差分析与优化[J]. 清华大学学报(自然科学版),2011,(5).
- [11] 罗武胜,鲁琴,徐涛,等. 水平定向钻进轨迹最优设计方法研究[J]. 岩土工程学报,2005,27(6):726-728.
- [12] 黄清保,黄文义,陈东乾. 鼎美—芸伟110kV线路工程地质勘察报告[R]. 福建福州,2015.
- [13] CECS 382:2014,水平定向钻法管道穿越工程技术规程[S].