

复杂地质条件下的管槽开挖支护探讨

孙安¹, 邹振², 史慧婷³

(1. 广东省建筑设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510010; 2. 广州市电力工程设计院有限公司, 广东 广州 510220; 3. 广州市城市规划勘测设计研究院有限公司, 广东 广州 510060)

摘要: 管槽开挖支护是市政管道工程中需经常面对的课题。其既是工程的重难点,也是影响工程造价的重要组成部分。以深厚软弱土、全/强风化岩层、中厚砂层或卵石透水层、地下未明重要管线等情况为例,探讨在复杂地质条件下的管槽开挖支护难题。针对上述地层,通过地基注浆处理与长短支护桩设计、新型挡土板支护或引孔后回填再插入钢板桩、水下混凝土封底联合基坑外降水、逆作法开挖支护或压入式顶管等方法,可有效解决深厚软弱土地管槽支护成本高、全/强风化岩层中压桩困难、中厚砂层或卵石透水层中坑底涌水难施工、地下未明重要管线状况下无法提前打桩等技术难题,从而保证复杂地质条件下的管道敷设。

关键词: 长短支护桩; 引孔后回填; 水下混凝土封底; 逆作法; 压入式顶管

中图分类号: TU43

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)09-0350-04

Discussion on Excavation and Support of Pipe Trench under Complex Geological Conditions

SUN An¹, ZOU Zhen², SHI Huiting³

(1. Guangdong Architectural Design and Research Institute Group Co., Ltd., Guangzhou 510010, China; 2. Guangzhou Electric Power Engineering Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510220, China; 3. Guangzhou Urban Planning Survey Design Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510060, China)

Abstract: Excavation and support of pipe trenches are the common issue in municipal pipeline engineering, which is not only the key and difficult point of the project, but also an important component that affects the engineering cost. Taking the deep and weak soil, fully/strongly weathered rock layers, medium thick sand or pebble permeable layers, and underground unclear important pipelines as the examples, the difficulties of pipe trench excavation and support under complex geological conditions are discussed. For the above-mentioned strata, the methods such as foundation grouting treatment and design of long and short support piles, new retaining plate support or backfilling after drilling and then inserting steel sheet piles, underwater concrete bottom sealing combined with external dewatering of the foundation pit, reverse excavation support or forced pipe jacking can effectively solve the technical problems such as high cost of pipe trench support in deep and weak soil sites, difficulty in pressing piles in fully/strongly weathered rock layers, difficulty for construction when water inrush at the bottom of pits in medium thick sand or pebble permeable layers, and inability to drive piles in advance under unknown important underground pipeline conditions, thus ensuring the pipeline laying under complex geological conditions.

Keywords: long and short support piles; backfilling after drilling; underwater concrete bottom sealing; reverse method; forced pipe-jacking

0 引言

管道工程作为基础建设的重要组成部分在国民经济与生活中发挥重要作用。管道敷设主要分开挖和非开挖两种,其中开挖施工占据较大比重。在管道埋深不深情况下,管道开挖施工常规做法是先提

前打入支护桩再开挖到底后进行埋管敷设。实际工程中,由于地下地质情况的复杂性及不可预测性,导致管道开挖施工常面临众多棘手的难题。如何解决这些难题就成为管道工程顺利与否的关键所在。

1 工程概况

一般而言,影响管道开挖施工的主要因素有管道埋深、周边地表环境及地下地质状况。前两者条件较为单一且可提前预知,而地质状况因其多变及

收稿日期: 2025-03-05

作者简介: 孙安(1986—),男,硕士,高级工程师,从事市政结构与岩土设计工作。

复杂性而难以全面的预知判断。复杂的地质状况包括:淤泥为主的软弱土层、坚硬的全/强风化及以上岩层、深厚透水砂层或卵石层、地下未明管线等障碍物、孤石、建筑/生活垃圾为主的杂填土层等情况,及上述情况的各种组合^[1]。按照勘察设计规范等要求,查明场地地层、地下管线等是一切设计与施工的前提和基础,以此来保证设计正确与施工安全。但由于勘察钻孔为点状分布,相隔有一定距离,因此对管线这种线性工程一般只能大概掌握而难以完全准确判断其每一处地方的地质情况。因每一种复杂地质状况对管道施工而言都是一种挑战,这就需要对各复杂地质状况有大致的预判和针对性的解决措施,以最大可能做到施工方案安全高效,同时又经济环保。

2 深厚软弱土

深厚软弱土情况下管道施工的挑战在于管槽的支护成本。为了管槽基坑安全,支护体系需

同时满足整体稳定性、抗倾覆、抗隆起、土反力及抗踢脚破坏等验算。为达到这些验算,支护桩需取到相当的长度才能满足,这无疑增加了工程成本,这对一般的工程是难以接受的。比如广州南沙大部分地区,其地表下的淤泥软弱土层可达 10~25 m 厚。在此情况下,开挖深度为 3 m 的管槽即便采用 18 m 长的拉森钢板桩也是难以满足计算要求。为此,针对深厚软弱土层场地的管道施工,需考虑采用如下有效措施,以达到安全且尽量经济的目的。

2.1 坑内地基土加固

采用坑内地基土加固可以有效提高坑内土的重度、粘聚力及内摩擦角等力学性能,从而提高坑内土的被动土压力,以更容易满足基坑支护体系的各种安全指标。常用的坑内地基土加固方法有:搅拌桩(旋喷桩)地基加固、水泥注浆加固、化学注浆加固,地基土加固形式有:满堂加固、裙边加固、格栅加固、抽条加固等。由于管槽宽度相对较窄,坑内加固地基土可同时兼做管道地基以减少建设成本,故管槽坑内地基土加固较多采用满堂注浆加固或搅拌桩(旋喷桩)裙边加固几种方式。需注意的是,由于管道敷设对管底以下的地基土而言并不增加额外荷载,对于已完成大部分固结的软弱土而言,地基土加固深度可不用穿透整个软弱淤泥层。因管道运营后期即便有变形也是沉降量较小的次固结沉降量,不会对管道运行造成太大影响^[2]。根据已有工程经

验,采用坑内地基土加固能大大减少支护桩的长度和支撑道数,可减少综合成本 10%~30%。

2.2 长短支护桩

长短支护桩设计是最近提出的一种新支护理念,即支护桩不采用全部等长,而是采用长短结合的方式(见图 1)。其中长桩控制抗倾覆和抗隆起等指标,短桩满足整体稳定和变形即可。这主要是基于相对于抗倾覆和抗隆起而言,基坑整体稳定的安全系数更大,更容易满足。一般长桩和短桩可采用 1:1 或 1:2 的比例交错布置,通过这种方式,既满足了基坑整体安全,同时又有效降低了工程成本^[3]。长短支护桩在珠三角地区已有不少工程采用,取得了较好的效果。

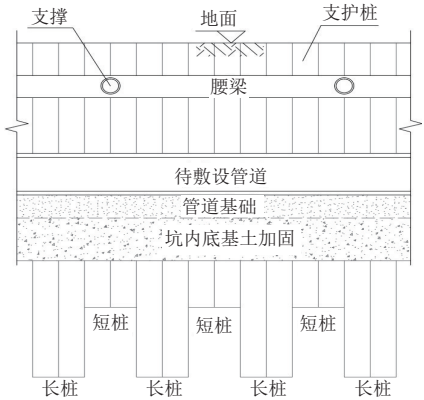


图 1 坑内地基土加固及长短桩立面示意图

3 全/强风化岩层

已有工程经验表明,当岩土体实测的标贯击数大于 24 时,采用振动或静压钢板桩方式已难以压入。具体到实际工程中,在支护桩长的范围内,常见有硬塑土层或全/强风化及以上岩层,其标贯击数往往大于 24。这种情况下常规施工方案已不再适用,需考虑调整施工方法或采取针对性的措施。

3.1 新型挡土板支护

在管道埋深不深时(小于 2.5 m),当桩长深度范围内有较硬岩土层时,钢板桩是难以压入,而采用诸如灌注桩等方式则实施成本较高,传统的针对浅基坑的挡土板逆作支护又难以满足计算要求。这时可考虑采用改进后的新型挡土板支护方式(见图 2)。即采用简易的地质勘探钻机预成孔,成孔直径 130 mm,成孔间距及孔深(也即支护桩长)根据计算确定。一般孔间距可取 1~2 m,孔深 4~6 m。成孔后插入 $\phi 114 \times 8$ 钢管,再开挖至地表下 0.5~1 m 后架设腰梁^[4]。腰梁采用双拼槽钢或工字钢,搁置在焊接

于钢管的三角架上。随后设立圆管钢支撑,钢支撑水平间距取钢管间距的2~3倍且不大于4 m。挡土板采用横向放置的钢模板或木模板,边挖边压入于钢管外侧。模板两侧相应位置各预留2个15 mm直径孔洞,通过钢丝绑扎与相邻模板连接,同时也方便施工后的回收利用。

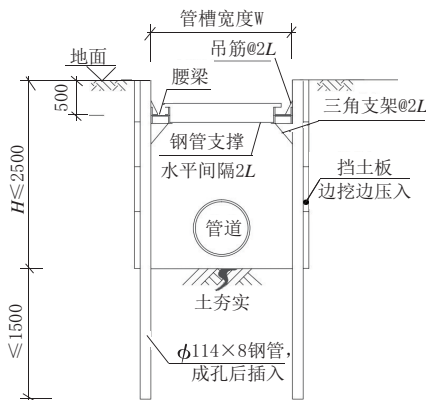


图2 新型挡土板支护剖面图(单位:mm)

新型挡土板支护结合了支护桩与挡土板的特点,将施工方便、成本较低的插入式钢管与挡土板结合,形成土压力—挡土板—钢管—钢支撑的传力体系,可较好适应全/强风化岩层埋深较浅的情况,解决了支护桩难以压入的问题,成本低,施工速度快,具有较强的适用性。

3.2 引孔回填再打入

新型挡土板支护适用于管槽深度不大2.5 m情况。当管槽深度大于2.5 m时,由于水土压力的增大及管槽基坑风险增加,因此新型挡土板支护就不太适用,此时需采用钢板桩或槽钢等刚度更大的支护体系。如支护桩长深度范围内出现全/强风化岩层或其他硬塑土,则需考虑采用引孔方式施工^[5]。对全风化岩等硬塑状土,在场地允许情况下,可采用600 mm直径长螺旋钻机引孔,孔长同支护桩长,孔间距可取600 mm。对半岩半土或成岩地质,此时需采用功率更大的800直径旋挖桩机进行引孔,孔与孔之间咬合不小于150 mm。引孔完毕后,回填质量比为1:4:15的水泥:砂:黏土混合物并压实,要求压实系数不小于0.92^[6]。回填完毕后再压入支护桩,从而解决支护桩难以插进地层的难题。引孔回填示意图见图3。

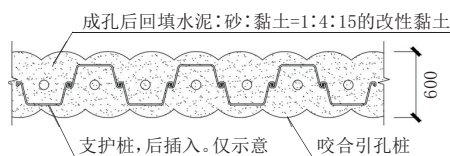


图3 引孔回填示意图(单位:mm)

4 中厚砂层或卵石透水层

中厚砂层或卵石透水层主要的问题在于丰富的地下水。在支护桩不能有效隔断中厚砂层或卵石透水层情况下,如地下水埋深小于管道埋深,或地下水承压水头足以发生突涌或流土时,此时需要提前降水,为管道施工创造无水施工作业面,以确保作业安全。

4.1 水下混凝土封底

当地下水水头高出管底不多时,可考虑直接采用水下混凝土封底技术。封底混凝土可采用C25水下混凝土,厚度可控制在0.3~0.8 m。封底之后,隔绝了坑内水与坑外地下水的连接通道,此时再排除坑内积水敷设管道。由于封底混凝土具有良好的承载力和整体性,因此管道可不用再作地基处理,而直接利用封底混凝土作为管道基础^[7]。需要注意的是,为方便后期拔除,支护桩在压入前需提前在与水下混凝土接触的那部分表面涂抹黄油,以减少与水下混凝土之间摩擦力,方便后期拔出。

4.2 基坑外降水

当地下水水头高出管底较多时,采用水下混凝土封底难以杜绝突涌等破坏。为此需考虑基坑外降水措施。基坑外降水方法一般有:电渗井点法、单层轻型井点法、喷射井点法、真空井点法、管井井点法等。除电渗井点法不适用透水层外,其余四种方法皆可用于中厚砂层或卵石透水层的降水。当地下水水量比较丰富时,优先采用管井井点降水;地下水水量一般时,采用其他3种降水方法即可满足要求^[8]。降水前应先设计好井的布置及施工工艺并在降水前进行相关试验。需要注意的是,采用基坑外降水时,需严格监测降水期间对周边环境尤其是周边建构筑物的影响。当降水期间周边有较大沉降时,还需采用回灌井等措施进行补水。

5 地下未明重要管线

受限于现有探测技术,地下通常有基础资料不详、未能探明的一些管线,其中不乏有高压电缆、燃气管、输油管、给水管等重要或具有一定危险性的管线。一般地,管线埋深越深,管线采用化学塑料而非金属,或采用塑料材料进行外包,都越不容易探出其存在的具体位置。即便现在有较为精确的陀螺仪空间定位技术,但如管线没有预留足够的空间进入陀螺仪,那对管线的定位也是棘手的难题。根据现有

的一些工程经验,对老城区的管线物探准确率多在 50%~70% 之间。在不清楚地下管线具体位置的情况下如贸然打入支护桩,轻则破坏现有管道造成片区停工停产,重则危及生命安全,产生重大生产安全事故。由于现有老旧城区地下管网密集,这种未能探明的管线可以说时有发生,遇到这种情形,在不能调整管线路由的情况下,需要采用特殊的措施以解决具体问题。

5.1 逆作法开挖支护

逆作法开挖的优势在于可逐渐暴露未知的物体,从而避免盲目施工导致的风险。逆作法采用边开挖边支护的方式,先施工管道两侧的混凝土墙体,墙体厚度视土质情况取 0.3~0.5 m,高度控制在 0.6~1.0 m 一节。同时,在两侧墙体之间每 4 m 左右设置一道隔墙。为便于管道敷设,此隔墙底需高出管道顶 0.5 m 以上。这样,两侧混凝土墙体与隔墙形成了较好的稳定结构体系。人工开挖过程中,如暴露出未知的管线,则在做好相应的管道保护之后可继续下挖,直到挖出开挖深度范围内所有的管线。最后,浇筑好底板封底后便可进行敷设管道等工作^[9]。在混凝土墙超挖过程中,如遇地下水很小或可以控制,则采用明排方式处理地下水。如土质较差难以自稳或地下水比较多,则应先在混凝土墙外侧确保能钻孔的地方钻孔注浆提前对周边土体进行固化。注浆固化在处理软土的同时也带有止水功能,待凝固达到一定强度后再向下开挖。如图 4 所示为南方某城市中心城区在现有快速路一侧施工的、埋深 4.5~5.5 m 的 d1200 排污管道项目。施工前电力权属单位告知下方有多根 10 kV 高压电缆穿过,因电缆管采用牵引方式施工,其具体标高与平面位置不定,仅知其两端出入点位置,最大埋深约 7.2 m。勘测单位查勘多次也未能探出其准确位置。基于高压电缆的重要性及危险性,现场最终采用逆作法开挖支护方式,在下挖过程中采用物探仪器+人工辅助开挖提前准确找出电缆线位置并加以保护,确保了管道工程的安全实施。

5.2 压入式顶管

现场施工中,当暴露出的重要管线不能迁改或迁改成本较大时,此时可考虑采用压入式顶管(见图 5)。与传统的前置机头顶管工艺不同,压入式顶管并不设置前置机头,而是采用前端敞开,尾端用千斤顶加压顶进管道的方式。为避免管道前端阻力大,一般采用截面面积小的钢管而非混凝土管进行



图 4 逆作法开挖支护现场图

顶进,必要时可对前端进行削尖处理。顶管之前,需先调整好钢管和千斤顶方位,同时对顶管开洞口处的土体进行水平注浆加固 1 m 以防止顶进过程水土涌出。顶进过程钢管之间采用焊接或机械接驳,顶至终点后,同样采用注浆工艺对管道终点附近土体进行固化,最后对管内已被钢管隔离出的土体进行机械或人工清除作业,从而避免了顶管过程中涌水涌砂等不确定风险^[10]。

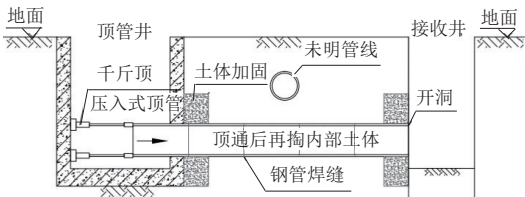


图 5 压入式顶管剖面示意图

为减小顶管过程的摩擦力,在钢管外侧涂刷防腐剂后,可在钢管内外侧再快速涂刷一层减摩黄油,从而减小钢管顶进过程中的阻力。

6 结 语

- (1)对于深厚软弱土层,采用坑内加固土体及长短支护桩的形式可在确保安全的同时有效降低工程成本;
- (2)当遇到全/强风化岩层时,对埋深浅的管道可采用新型挡土板支护,对埋深深的管道则采用引孔后回填土的方式插入支护桩;
- (3)中厚砂层或卵石透水层情况下,根据水头大小不同选用水下混凝土封底或基坑外降水的方法解决带水作业问题;
- (4)有地下未明重要管线时,采用非常规的逆作法开挖支护技术或压入式顶管技术,可有效避免常规施工方法对管道的潜在破坏,从而确保管道的顺利敷设。

参考文献:

[1] 候剑. 复杂地质深埋污水管沟槽支护开挖施工技术研究[J]. 工程技术研究, 2021(21): 54-55.