

软土地质条件下雨污管道安装关键技术研究

张吉平

中国电建集团港航建设有限公司 天津 300450

摘要:软土地基的特殊工程性质给雨污管道安装带来显著挑战,这类土壤表现出高含水量、低承载力和显著压缩性等不利特征。本文系统阐述了管道工程实施过程中的关键技术体系,重点包括地基加固的创新方法、施工过程的精确控制以及长期运维的保障措施。研究结果表明,采用复合地基处理技术能够有效改善软土力学性能,通过智能化监控手段可以确保管道安装质量,建立完善的维护机制则能保障系统长期稳定运行。这些关键技术的集成应用为软土地区管道工程建设提供了可靠的技术路径。

关键词:软土地质条件;雨污管道安装;挑战;关键技术

本文依托于烟台市金山湾排洪防涝应急基础设施建设项目,该项目位于山东省烟台市牟平区金山湾,项目施工范围位于广河和汉河入海口两岸位置,主要施工内容为新建雨水管道约13.3km,污水管道约20km;新建污水泵站2座,新建雨水泵站5座,生态修复总面积约为64公顷。施工区域内原始地貌为养殖池和盐田,地基承载力弱,其承载力特征值小于80kPa,因此该区域对地下管道工程提出了更高要求。软黏土和淤泥质土具有明显的流变特性,在外部荷载作用下会产生持续变形,严重影响管道系统的安全运行。传统施工方法往往难以适应这种特殊地质条件,经常导致管道不均匀沉降和接口损坏等问题。近年来,随着市政建设标准的提升,软基管道工程技术取得重要突破。新型地基处理工艺、智能化施工控制方法和现代化检测技术不断涌现,为工程质量提供了有力保障。本文基于软土工程特性分析,系统研究管道安装全过程的关键技术,旨在为类似工程提供技术借鉴。

1 软土地质条件下雨污管道安装面临的挑战

软地基处理是指对地基进行加固、改良或置换等措施,以提高地基的承载力和稳定性。在软土地区,地基土壤往往具有较高的压缩性和较低的承载力,难以满足上部结构对地基的要求。因此,进行软地基处理是确保工程质量和安全的关键步骤。

1.1 软土地基承载力不足

软土地基承载力欠缺是首要技术难题,此类土壤一般有着高含水量、大孔隙比以及低强度的特性,其天然地基承载力大多时候低于80kPa,难以契合管道及回填土体的荷载

需求。在管道沟槽开挖进程中,软土边坡容易出现滑移变形状况,沟底土体在施工机械作用下会产生回弹情况。更为麻烦的是,在地下水位较高的软土区域,开挖过程中很容易引发涌水涌砂现象,严重危及施工安全。这些问题直接对管道基础稳定性造成影响,要是处理不妥当,可能致使管道安装阶段就出现基础失稳问题。基于此,在施工过程中,应根据具体工程情况选择合适的软地基处理方法和开挖技术,确保施工顺利进行。

1.2 管道不均匀沉降控制难

软土地基在承受附加荷载时会出现固结沉降现象,因土质分布存在不均衡状况,这种沉降大多时候呈现出十分突出的不均匀特性。这种差异沉降会致使管道产生额外应力,一旦应力超出管材强度,就会引发接口脱开、管体开裂等质量方面的问题。在管道接口、转弯处以及支管连接部位,鉴于刚度发生变化以及应力集中,更易于出现差异沉降^[1]。工程实践可说明,在软土地区,即便使用柔性接口管道,要是基础处理不合适,依旧有可能因长期不均匀沉降而出现渗漏问题。

1.3 长期运行维护成本高昂

软土地基之上的管道在投入使用以后依旧会持续出现沉降现象,这样的沉降过程有可能会延续数年时间。在这段时间当中,管道系统需要经常开展高程调整以及接口维护工作,这些维护作业直接使得人工以及材料成本有所增加,还可能对管道系统的正常服务功能造成影响。因为软土地区管道损坏的风险比较高,维护单位需要配备专门的检测设备以

及应急队伍，这些都会让全生命周期的运营成本加重。某些处于深厚软基区域的管道项目，其后期维护费用甚至有可能达到初始投资的数倍之多。

1.4 环境影响敏感度高

软土地基处理大多时候要运用桩基、注浆之类相对剧烈的工法，而这些工法有可能对周边土体产生扰动，影响邻近建筑物的安全。在城区开展施工时，管道沟槽开挖会引发地面沉降，给地下管线以及道路结构带来不利影响，并且软基处理所使用的化学浆液存在环境污染风险，需要采取严格的防控措施。这些环境敏感性使得施工单位要采用更为精细化的施工方案以及更严密的过程监测，这在无形中增加了工程管理的复杂程度。

2 软土地质条件下雨污管道安装关键技术

2.1 地基处理创新技术

雨污水管道开挖是在城市道路、广场等地方进行管道埋设的施工过程。该过程需要挖掘一定深度的土方，以便将管道埋入地下。在开挖过程中，需要注意保护周围环境和地下管线，避免对周边设施造成损害。地基处理环节的技术创新有着关键作用，它直接关联着整个管道系统的基础稳定性。目前比较成熟地基处理办法有预应力管桩复合地基技术以及真空预压排水固结法。预应力管桩可穿透软土层抵达持力层，构建起稳定的竖向支撑体系，它的单桩承载力能达到200kN以上，可有效改善软基的承载性能。真空预压法则是依靠布置竖向排水板以及水平排水管，在覆盖密封膜之后施加负压，促使软土中的孔隙水快速排出，加快地基固结过程^[2]。这种方法可以让软土含水量降低15%以上，承载力提高2至3倍，对于中等深度的软基处理，水泥搅拌桩复合地基呈现出独特优势，借助机械搅拌把水泥浆与软土充分混合，形成有较高强度的水泥土桩体^[3]。这些桩体与桩间土共同发挥作用，形成稳定的复合地基，其承载力特征值一般能达到150kPa以上，完全可契合管道基础的承载要求。

2.2 雨水管道安装设计

在地基得到有效加固的基础上，雨水管道的安装设计需充分考虑其承受外荷载与适应地基变形的双重能力。设计中采用的Ⅱ级钢筋混凝土柔性接头A型承插口管，正是应对软土工况的优选方案。其管体本身由Ⅱ级钢筋混凝土制成，具有较高的结构强度和刚度，能够有效抵抗覆土荷载及地面活载产生的垂直压力。更为关键的是其“柔性接头”设计，

通常采用橡胶密封圈位于承插口内的形式。这种接口允许相邻管节之间发生微小的转角位移和轴向位移，从而赋予管道系统一定的形变适应能力。当软土地基发生轻微的不均匀沉降或水平位移时，刚性管道可能因应力集中而破坏，而柔性接口管道则能通过自身的偏转及变形来适应和补偿这种不均匀沉降，将局部应力释放，避免管体开裂。在安装过程中，承插口橡胶圈的安装位置与压缩量必须精确到位，以保证其初始密封性能；管道就位后，应及时进行胸腔回填，选择合适的材料并采用分层对称夯实工艺，以形成对管道的有效侧向支撑，共同构建一个稳定且具备一定柔性的管-土系统。管道铺设现场如图1所示。



图1 管道铺设现场

2.3 污水管道安装设计

对于污水管道，其介质特性与防渗要求更为严格，故常推荐采用高密度聚乙烯(HDPE-IW)六棱结构壁管。此种管材以其独特的材料性能与结构设计展现出卓越的适应性。高密度聚乙烯材料本身具有优异的柔韧性、耐腐蚀性和极高的水力粗糙系数（意味着输水能力强）。其“六棱结构壁”是一种典型的中空异型结构，通过在管壁中构建规则的空腔，在保证管材环刚度的前提下，显著节约了材料用量并降低了自重。这种“刚柔并济”的特性使其在软土地基中表现优异：足够的环刚度确保了管道抵抗外部土压力的能力，防止管体被压扁；而固有的柔韧性则使其能够伴随地基沉降协调变形，分散集中应力。HDPE-IW管采用胶圈连接，承插连接过程类似于“插插座”，将管材的插口插入另一根管材的承口即可，无需复杂的设备，相比于热熔连接或法兰连接，胶圈承插连接速度极快，一个接口通常只需几分钟即可完成，大大缩短了工期；橡胶圈在管道承口的压缩腔内被压缩产生自密封效应，产生持续的径向压力，形成第一道密封；

当管道内有水时,水压会推动胶圈进一步压紧,形成更强的密封效果,即“水压越高,密封越好”,同时能够适应管道因内压、温度变化引起的微小变形,而不会破坏密封完整性。这对于保护地下水环境免受污水污染至关重要。施工时,管道基础应铺设砂砾垫层并整平夯实,为柔性管道提供均匀支撑;回填材料与压实度控制更是重中之重,必须严格遵循规范,确保管道上下侧支撑刚度的连续性,最大化发挥其结构性能优势。图2为软土地基中的管道安装图。



图2 软土地基中的管道安装图

2.4 安装工艺精准控制

在软土地区开展管道安装工作,务必要构建起贯穿全过程的质量控制体系。施工前期需开展详尽的地质勘察工作,获取精确的土层参数,以此为管道基础设计提供相应依据。于沟槽开挖阶段,要依据土质状况来确定适宜的边坡坡度,若有必要则采用钢板桩支护方式,以此防止沟槽出现坍塌现象。针对地下水位较高的地段,需采取井点降水举措,将水位降低至槽底以下0.5米,以保证施工可在干燥的环境中进行。在管道安装进程中,要严格把控槽底高程以及坡度,运用激光水准仪实施精准测量,保证管道安装位置精准无误。回填作业应分层开展,每层厚度不超过30厘米,借助小型压实机械认真夯实,保证回填密实度可达到设计规定的要求。在管道安装完毕后,还需建立长期的监测系统,定期对管道沉降情况进行观测,及时察觉并处理异常变形问题。凭借运用这些精细化的安装工艺,可切实提升管道安装质量,保证工程实现长期稳定运行。

2.5 施工过程实时控制

施工之前要开展详细的地质勘察工作,借助静力触探以及十字板剪切试验等方式来获取精确的土层参数,以此为管

道基础设计提供相应依据。在沟槽开挖阶段,需对边坡稳定性进行实时监测,依据土质状况动态调整支护方案。针对地下水位较高的地段,要采用自动化降水系统,借助水位监测装置控制降水设备的运行,保证施工可在干燥环境下开展。管道安装过程中,要运用高精度测量仪器全程监控,使用电子水准仪和全站仪严格把控管道的高程与平面位置,保证安装精度符合设计要求^[4]。在回填作业时,依靠密度检测仪实时监测压实度,保证每层回填土可达到规定的密实度标准。现代工程施工中还引入了基于物联网的智能监测系统,在管道关键位置安装应变计以及沉降观测点,实时采集管道应力变形数据,为施工决策提供科学依据。这些实时控制措施共同构成了一个完整的质量保障体系,让施工人员可及时发现问题并采取纠正措施。

2.6 长期运行维护技术

现代管道维护中管道机器人检测技术被广泛应用,那些配备高清摄像头与传感器的智能设备可定期进入管道内部,精准检测管道变形、裂缝以及接口渗漏等状况。基于监测数据的预测性维护系统可依据管道沉降趋势分析,预测可能出现故障的位置,提前拟定维护计划。对于已出现不均匀沉降的管段,可运用注浆抬升技术,经精确计算注浆量与压力,使沉降管段恢复至设计高程。在管道维护里,非开挖修复技术呈现出较大优势,像采用紫外光固化内衬修复技术,可在不破坏路面的前提下对管道进行整体加固,该技术施工速度快,对周边环境影响较小。建立管道全生命周期管理系统也颇为关键,此系统能整合管道从设计、施工直至运营维护的所有数据,为管道的长期安全运行给予决策支持^[5]。借助定期开展管道健康状况评估,结合历史维护记录以及实时监测数据,可科学制定维护计划,合理安排维护资金,保证管道系统始终处于良好运行状态。

3 结语

综上所述,软土地质条件下的雨污管道安装需要构建完整的技术体系。通过复合地基处理技术提升基础承载力,采用智能化施工控制确保安装精度,建立全生命周期维护体系保障长期稳定运行,这三个方面共同构成了应对软土挑战的系统解决方案。未来随着新材料和新工艺的不断发展,软土地基管道施工技术将持续完善,为城市基础设施建设提供更加可靠的技术支撑,推动市政工程建设水平不断提升。

参考文献:

- [1] 高永强. 软土地质工艺管道的敷设 [J]. 化工设计通讯, 2021, 47(6):13-16.
- [2] 李建勇, 熊勇杰, 张海亮, 郑康, 钱金成, 凌杨. 不良地质大直径雨污管道顶进施工技术 [J]. 国防交通工程与技术, 2018, 16(1):42-44+80.
- [3] 孙晓锋, 吕纪佑, 周斌. 软土地区地下排水管道设计和施工要点研究 [J]. 工程技术研究, 2023, 8(17):192-194.
- [4] 沈崖冰. 软土地基排水管道基础处理的方法及策略 [J]. 中国市政工程, 2013(2):36-38+46.
- [5] 孙青山, 林治. 雨污管道巡检机器人控制系统设计 [J]. 中国高新科技, 2025(15):102-104.

作者简介: (1984—), 男, 汉族, 山东省沂源县, 大学本科, 高级工程师, 研究方向市政工程施工技术。