

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2020.01.006

复杂条件下地下综合管廊深基坑支护技术研究

吴显伟, 刘媛, 童欣

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘要: 管廊基坑支护因其自身特点具有一定的特殊性和复杂性。以某地下综合管廊基坑支护为案例, 分析管廊基坑特点及支护重难点, 探讨在地质条件复杂、深厚软土分布、周边环境受限、管廊节点众多等复杂条件下, 管廊深基坑支护的优化方案设计, 旨在类似条件下的地下综合管廊基坑支护设计施工提供参考。

关键词: 地下综合管廊; 基坑支护; 优化设计; 复杂条件

中图分类号: TU94⁺²

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2020)01—0032—05

Deep Foundation Pit Supporting Technology of Underground Integrated Pipe Gallery Under Complicated Conditions

WU Xianwei, LIU Yuan, TONG Xin

(Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430010, China)

Abstract: The foundation pit support of the pipe gallery has certain specialty and complexity due to its own characteristics. In this paper, the support of a certain underground comprehensive gallery foundation pit is taken as a case study to analyze the characteristics and supporting difficulties of the gallery foundation pit. The optimization scheme design of deep foundation pit support under complicated geological conditions, deep soft soil distribution, limited surrounding environment and numerous pipe gallery nodes were discussed. This paper can provide reference for the support design of underground tunnel foundation pit under similar conditions.

Keywords: underground integrated pipe gallery; foundation pit support; optimized design; complicated conditions

地下管线综合廊道(日语为“共同沟”, 英文为“Utility Tunnel”)就是指将两种以上的城市管线集中设置于同一人工空间中, 所形成的一种现代化、集约化的城市基础设施。发展共同沟, 已成为城市可持续发展的重要方向^[1]。从国内外综合管廊的发展可以看出, 我国具有起步晚、规模小、发展速度缓慢的特点。究其原因主要是没有相应的法律法规, 限制了综合管廊在我国的发展; 综合管廊前期的建设成本较高, 限制了综合管廊的广泛应用; 同时, 我国目前市政基础设施的管理与运营机制, 限制了综合管廊的发展^[2]。而随着我国城市化建设的快速

发展, 城市地下综合管廊的应用越来越广泛^[3]。

就综合管廊而言, 杨剑等^[4]曾对综合管廊在地震下土体液化后的变形、结构内力变化进行了分析。岳庆霞等^[5]利用 Rayleigh 地震波得出地下综合管廊结构变形以整体弯曲变形为主。周秋月等^[6]通过监测分析得出了钢板桩 + 钢支撑应用于综合管廊基坑具有很好的效果。裴行凯等^[7]动态分析了基坑开挖对邻近隧道变形的影响。总体而言, 目前对综合管廊基坑的研究还比较欠缺, 且大多研究均是针对综合管廊基坑施工完成后的力学响应分析。

目前国内地下综合管廊的建设以明挖法为主,

综合管廊因其开挖断面小、跨度长、周边环境紧张、地质条件复杂等特点,给基坑的开挖及支护造成一定的困难与挑战。因此,如何在复杂条件下安全、快速、经济地进行地下综合管廊基坑的施工变得至关重要^[8]。

拟建某地下综合管廊沿线地质条件复杂、深厚软土大面积分布、周边环境受限、管廊节点众多,本文以该管廊基坑支护优化设计为案例,讨论、分析在复杂条件下的地下综合管廊基坑支护的特点及方案设计,为同类工程提供一定参考。

1 工程概况

拟建地下综合管廊位于湖北省某市,入廊管线包括供热、供水、燃气、电力、广电以及各种通信管线。地下综合管廊断面为两舱形式,包括综合舱、燃气舱,管廊标准断面尺寸为 $B \times H = 6.2 \text{ m} \times 3.8 \text{ m}$ 。两舱共设置有进风口、吊装口、排风口、逃生口、人员出入口等170余处节点,形状、尺寸各异。地下综合管廊全长为6349 m,均采用明挖施工。

拟建管廊周边环境较为复杂,管廊沿现状道路布置。局部临近池塘、建筑物等,且与现状道路、管线有多处交叉。

场地沿线地势整体较平缓,管廊设计地面标高为17.0 m~20.7 m,基底标高5.8 m~17.2 m,基坑开挖深度 $H = 3.5 \text{ m} \sim 13.2 \text{ m}$ 。基坑支护重要性等级为一级;局部开挖深度小于6 m支护段重要性等级为二级。

1.1 工程地质条件

拟建场地位于长江中游,汉江盆地东缘,属剥蚀堆积低垆岗及冲积堆积地貌单元。场地地质条件较为复杂,根据野外勘探成果并结合室内土工试验成果,场区岩(土)层自上而下岩性特征如下所述:

①素填土(Q^m):灰黄、褐灰色,松散,土质不均,以黏性土为主,混夹建筑垃圾及少许碎块。回填年限约5年左右。揭露厚度0.00 m~6.60 m。

②淤泥质黏土(Q_4^1):灰黑色,流塑,湿,饱和,土质不均匀,含少许腐殖物,略有腥臭味。揭露厚度0.00 m~13.30 m。

③黏土(Q_4^{al}):褐灰、黄灰色,可塑,局部软塑,土质均匀。揭露厚度0.00 m~13.90 m。

④淤泥质黏土(Q_4^1):深灰色,流塑,湿,饱和,土质不均,含少许腐殖物,有腥臭味。揭露厚度0.00

m~12.00 m。

⑤细砂(Q_4^{al}):褐灰、黄灰色,湿,稍密,土质均匀,夹薄层粉土,主要成分为石英、云母片及黏土矿物等。揭露厚度0.00 m~10.40 m。

⑥-1粉质黏土(Q_4^{al}):灰黄、褐灰色,可塑,土质均匀,局部间夹薄层粉细砂。揭露厚度0.00 m~14.60 m。

⑥-2粉质黏土(Q_4^{al}):暗黄色,硬塑,土质均匀,含铁锰质结核,局部含较多砂粒、碎石。揭露厚度0.00 m~22.60 m。

⑥-3粉质黏土(Q_4^{al}):灰褐、灰黄色,可塑,土质均匀,局部间夹薄层粉细砂。揭露厚度0.00 m~16.50 m。

⑦淤泥质黏土(Q_4^1):深灰、褐灰色,流塑,湿,饱和,土质不均匀,含少许腐殖物,略有腥臭味。揭露厚度0.00 m~8.30 m。

⑧-1细砂(Q_4^{al}):青灰色,湿,稍密,土质均匀,间夹薄层粉土、粉砂。揭露厚度0.00 m~11.80 m。

⑧-2粗砂(Q_4^{al}):灰褐色,湿,中密,土质均匀,底部含较多砾砂、卵砾石。揭露厚度0.00 m~8.50 m。

⑨粉质黏土(Q^{el}):褐黄色,硬塑,土质均匀,含灰白色高岭土团块及褐黑色铁锰质薄膜,底部含风化残余的砂粒。揭露厚度0.00 m~16.70 m。

⑩-1强风化砂岩K:暗紫红色,岩石风化强烈,原岩结构构造不清晰,砂砾结构,泥质胶结,岩芯多呈碎块状。钻探未揭穿。

⑩-2中风化砂岩K:暗紫红色,岩石风化中等,砂砾结构,泥质胶结,裂隙发育,岩体较破碎,岩芯多呈短柱状,采取率65%~75%,RQD值达35%左右,岩质软,岩体基本质量等级为V级。钻探未揭穿。

1.2 水文地质条件

场区内地下水类型主要为上层滞水、承压水及基岩裂隙水。上层滞水赋存于杂填土中,主要受大气降水补给;孔隙承压水赋存于第⑤层及第⑧层砂中,勘察期间测得第⑤层、第⑧层水位标高分别为6.75 m、2.35 m;裂隙水分布于第⑩层砂岩中,裂隙水埋藏较深,水量不丰,对施工影响不大。

1.3 岩土设计参数

根据本工程岩土工程勘察报告,基坑支护设计参数见表1。

表 1 基坑支护设计参数一览表

地层编号及 岩土名称	天然重度 γ /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	c/kPa	$\varphi/(\circ)$
①素填土	17.6	15.0	10.0
②淤泥质黏土	17.3	13.0	7.0
③黏土	18.0	19.0	11.0
④淤泥质黏土	17.4	13.0	7.0
⑤细砂	18.2	0.0	26.0
⑥-1 粉质黏土	18.4	22.0	12.0
⑥-2 粉质黏土	19.4	36.0	15.0
⑥-3 粉质黏土	18.3	21.0	11.0
⑦淤泥质黏土	18.0	13.0	7.0
⑧-1 细砂	19.0	0.0	29.0
⑧-2 粗砂	19.5	0.0	34.0
⑨粉质黏土	19.4	38.0	17.0
⑩-1 强风化砂岩	21.0	30.0	24.0
⑩-2 中风化砂岩	23.0	0.0	45.0

2 复杂地下综合管廊基坑特点及支护重难点

2.1 典型的狭长型基坑

地下综合管廊属于线性构筑物,为典型的狭长型基坑,具有较大的长宽比。此类狭长型基坑的长边效应明显存在。基坑端头部位的受力优于长边,长边跨中往往会出现更显著的水平位移^[9]。

支护结构设计时应适当增加基坑长边跨中刚度、减小支撑间距、及时支护,以减小长边效应对基坑的影响,确保基坑建设期施工安全^[10-11]。

2.2 管廊结构复杂、节点众多

地下综合管廊结构复杂,除两舱标准断面外,另设置有进风口、吊装口、排风口、逃生口、人员出入口等共 170 余处。节点尺寸、开挖深度各异,人员出入口开挖深度最浅为 3.5 m,进风口、排风口开挖深度最深约 8 m~9 m。基坑支护设计时应根据不同节点尺寸、开挖深度进行分区设计施工。

2.3 地质条件极为复杂

管廊沿线跨度较长,地质条件复杂、变化大。岩(土)层数多达十余层,沿线岩(土)层性质、地层起伏和层厚差异性大。

场地土质条件差,沿线大面积分布有较深厚淤泥质软土,最厚达 13.30 m。

基坑支护设计时应根据地质条件,分区段分别进行支护设计,重点关注深厚软土区段的基坑支护设计、施工。

2.4 周边环境紧张

拟建项目周边环境极为紧张,管廊位于现状道

路非机动车道下方,距离车行道边线仅 1.5 m,局部临近池塘、建筑物等。

基坑支护设计时应应对周边道路、池塘、建筑物进行避让,并给以相应保护及监测措施,以确保周边道路、构筑物及基坑自身的安全。

另外,在设计时应特别注意临近构筑物对基坑产生的荷载、现状道路与拟建管廊间的不均匀沉降等问题。

2.5 地下障碍物多

管廊所处现状道路下方存在部分既有管线,且在路口交叉处存在大量横穿基坑的给水、电力、通信、燃气等现状管线。

在基坑支护设计、施工前应采用测绘、物探等手段,准确查明地下管线的分布,对既有管线进行避让、监测、迁改。道路交叉口存在横穿管线时,管廊设计为倒虹段,开挖深度显著加深,基坑支护时应予以特别重视。

另外,拟建管廊周边有一现状混凝土给水管道,设计时应考虑管道漏水的可能。对于基坑侧壁为透水层区段应给与一定止水措施。

3 典型断面基坑支护方案

鉴于本项目自身特点,基坑支护主要采用垂直支护方式,以具有止淤、止水的支护措施为主。

根据基坑沿线地质条件、周边环境情况、基坑开挖深度、坡顶超载的不同,采用 SMW 工法桩、钻孔灌注桩、拉森钢板桩等多种支护手段相结合,分区段、针对性的进行地下管廊基坑支护施工。

3.1 SMW 工法桩(插一跳一)+一道钢管内支撑

综合管廊标准预制段及缆线、管线出口等节点,开挖深度较浅小于 7 m;地质条件较好,仅局部含淤泥质黏土,且淤泥质土层较薄。采用 SMW 工法桩+一道钢管内支撑作为围护结构。工法桩采用 $\Phi 650@450$ mm 三轴搅拌桩内插 HM500 \times 300 型钢@900 mm,钢管撑规格 $\Phi 609 \times 10@4\ 000$ mm。典型支护断面详见图 1。

3.2 SMW 工法桩(密插)+二道钢管内支撑+被动区加固

进风口、排风口等节点开挖深度较深,约 8 m~9 m;基坑侧壁、基底分布有大量淤泥质土,厚度较厚约 6 m~9 m。采用 SMW 工法桩+二道钢管内支撑作为围护结构。工法桩采用 $\Phi 650@450$ mm 三轴搅拌桩内插 HM500 \times 300 型钢@450 mm。被动区采用三轴搅拌桩作为基坑底被动区加固。典型支护断面详见图 2。

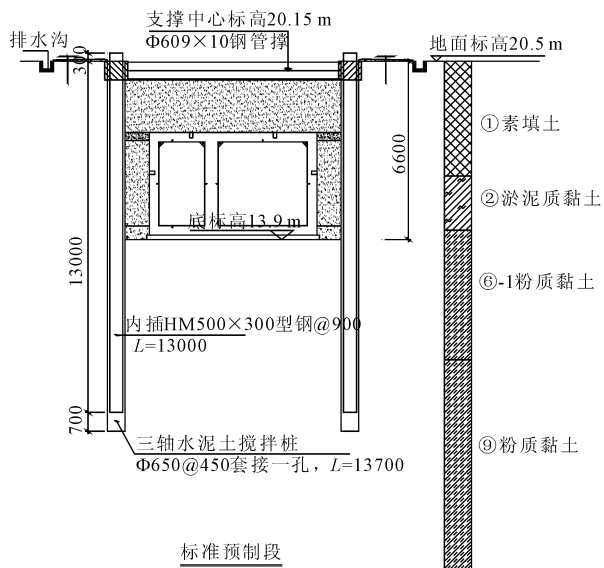


图 1 典型支护断面设计 1(单位:mm)

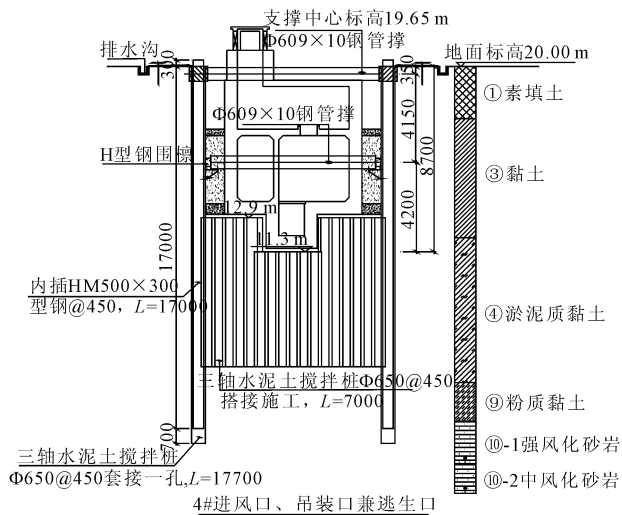


图 2 典型支护断面设计 2(单位:mm)

3.3 钻孔灌注桩 + 一至二道内支撑 + 被动区加固
管廊交叉口、倒虹段,开挖深度较深约 10 m ~ 14 m,基坑侧壁、基底分布有极深厚淤泥质土,层厚约 10 m ~ 13 m;另有部分区段临近现状房屋等构筑物,现状荷载较大。设计采用 Φ1100@1 400 mm 钻孔灌注桩 + 一至二道内支撑,其中第一道内支撑采用 700 × 700@9 000 mm 钢筋混凝土撑,第二道支撑采用 Φ609 × 10@4 000 mm 钢管撑。支护桩边采用三轴搅拌桩作为围护结构兼做止水帷幕。被动区采用三轴搅拌桩作为基坑底被动区加固。局部环境条件允许下,基坑上部 1.0 m ~ 2.5 m 采用 1:1.25 放坡卸载。典型支护断面详见图 3。

3.4 拉森钢板桩 + 一道钢管内支撑
人员出入口开挖深度较浅,为 3.5 m,采用 IV 型拉森钢板桩 + 一道钢管内支撑的支护形式。桩长 9 m,

钢管撑规格 Φ325 × 12 mm,支护结构断面详见图 4。

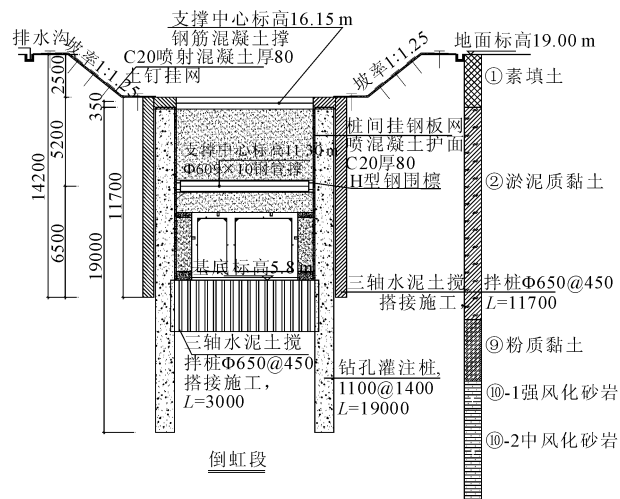


图 3 典型支护断面设计 3(单位:mm)

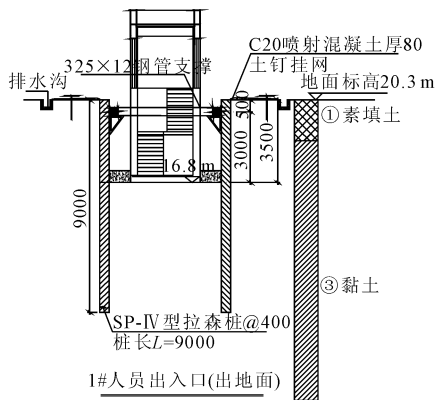


图 4 典型支护断面设计 4(单位:mm)

4 关键施工技术

4.1 土方开挖

针对此类狭长型基坑,应充分考虑“时空效应”,遵循分区、对称、平衡的原则,分段、分块、分层的进行支护、土方开挖施工。分层开挖深度一般为 2.0 m ~ 4.0 m,在深厚淤泥质土地层中,分层开挖深度不宜大于 1.0 m。

分块开挖降低了基坑支护施工难度,有效控制和减小基坑及地层位移,同时加快了施工进度,能合理利用场地、人力及材料资源,具有较好的安全性及经济效益^[12]。

4.2 三轴搅拌桩施工

三轴水泥土搅拌桩采用 Φ650@450 三轴搅拌桩设备,桩体施工必须保持连续性,形成水泥土搅拌墙,确保防渗可靠性。三轴水泥土搅拌桩采用 P.042.5 水泥,水泥掺入量不低于 20%,建议水灰比为 1.5 ~ 2.0。

施工时桩机就位应对中,平面允许偏差 ± 20 mm,三轴搅拌桩桩机立柱导向架垂直度偏差不应大于 $1/250$;三轴水泥土搅拌桩搅拌下沉与提升应保持匀速下沉与匀速提升。浆液试块 28 d 无侧限抗压强度应不小于 0.6 MPa。

4.3 工法桩型钢的加工、插入及回收

型钢尺寸为 $HM500 \times 300$,腹板厚度 11 mm,翼缘厚度 15 mm。型钢宜采用整材,分段焊接时应采用坡口等强焊接。

拟回收的型钢,插入前应在干燥条件下清除表面污垢和铁锈,并涂敷减摩材料。

型钢宜在水泥土墙施工后 30 min 内插入,插入前应检查其垂直度和接头焊缝质量,插入时采用定位导向架。型钢宜依靠自重插入,当插入困难时可采用辅助措施下沉。

型钢起拔宜采用专用液压起拔机。型钢拔出时,应加强对围护结构和周边环境的监测。型钢回收后,应进行校正、修复处理^[13]。

4.4 钻孔灌注桩施工

钻孔灌注桩设计强度等级为 C30,灌注桩施工前须进行试成孔试验。对易坍塌或流动的软弱土体,应根据成桩工艺采取改善泥浆性能等措施,保证成孔质量,以防塌孔。

灌注桩桩位允许偏差为 ± 50 mm。桩顶标高的施工误差不得超过 ± 100 mm,桩底标高的施工误差 -0 mm \sim $+300$ mm。垂直度允许偏差为 $1/100$,桩身因扩颈造成局部突出不应大于 100 mm^[14]。

灌注桩混凝土超灌长度不得小于一倍桩径,待灌注桩施工完毕,混凝土达到初凝应及时对空桩部分进行回填,回填材料可采用中粗砂或素填土,回填至现状地面标高。

4.5 拉森钢板桩施工

基坑每一步的开挖对钢板桩水平位移和弯矩的变化影响显著。钢板桩最大的水平位移增加和弯矩增量均在最后开挖步产生,最后的开挖步为综合管廊基坑开挖的关键和最危险步,基坑地表沉降随着开挖逐渐发展,最后一步开挖依然是沉降变形最大的关键施工阶段,做好最后步的施工开挖成为基坑支护安全的关键点^[15]。

5 结论

目前,我国城市地下综合管廊建设还较为滞后,建设经验相对不足。城市地下综合管廊因其特有的特征,在所涉及的地质条件、周边环境、开挖深度、施工工艺上表现出极大差异性 & 复杂性,涉及到的基

坑支护重难点问题也各不一样。

因此,地下综合管廊基坑支护设计在常规设计方案的基础上,应根据不同的地质、环境、施工条件,综合考虑安全、工期、经济等因素,制定具有针对性的支护方案,选择合理的施工技术。同时,应加强施工阶段的监测,制定针对性的环境监测及施工保护措施,进一步提高在复杂条件下城市地下综合管廊的建设技术。

参考文献:

- [1] 钱七虎,陈晓强. 国内外地下综合管线廊道发展的现状、问题及对策[J]. 地下空间与工程学报,2007,3(2):191-194.
- [2] 陈 馈,蔡建林. 城市地下综合管廊发展现状与对策[J]. 建筑机械化,2012,33(10):53-55.
- [3] 蔡智星. 城市地下综合管廊基坑施工技术探讨[J]. 福建建材,2018(8):92-93,109.
- [4] 杨 剑,王恒栋. 液化土中地下综合管廊的地震响应分析初探[J]. 地下空间与工程学报,2013,9(S1):1762-1769.
- [5] 岳庆霞,李 杰. 近似 Rayleigh 地震波作用下地下综合管廊响应分析[J]. 防灾减灾工程学报,2008,28(4):409-416.
- [6] 周秋月,余湘娟,高 磊,等. 南京市某综合管廊工程基坑监测分析[J]. 科学技术与工程,2014,14(23):277-280,316.
- [7] 裴行凯,倪小东. 深基坑开挖对临近既有地铁隧道的影响分析与对策[J]. 水利与建筑工程学报,2013,11(3):45-48.
- [8] 屈财魏,江一博,李 文,等. 城市综合管廊基坑施工变形及稳定性分析[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版),2018,30(2):84-89.
- [9] 刘 斌,邓 堉. 既有道路中地下综合管廊基坑开挖方案优化设计[J]. 城市道桥与防洪,2016(8):244-247,24.
- [10] 杨金华,夏元友,刘 毅,等. 狭长土岩组合基坑支护结构变形与受力变化规律的现场测试[J]. 武汉理工大学学报,2012,34(12):78-82.
- [11] 冯超元,张 勇. 佛山软土地区狭长型基坑长边效应研究[J]. 长江科学院院报,2018,35(7):106-110,116.
- [12] 顾晓卫,王 达,张 霄,等. 复杂小场地的狭长深基坑分块施工探讨[J]. 市政技术,2017,35(4):181-184.
- [13] 型钢水泥土搅拌墙技术规程:JGJ/T 199—2010[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [14] 建筑桩基技术规范:JGJ 94—2008[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [15] 张江涛,豆红强,王 浩. 滨海软土地区综合管廊基坑开挖钢板桩支护性状分析[J]. 水利与建筑工程学报,2016,14(6):120-122.