

地下综合管廊在不同环境的深基坑工程设计

梁志辉

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 地下综合管廊是一种现代化、集约化的城市公用基础设施,是促进城市可持续发展的必然要求,目前国内关于综合管廊深基坑设计方面的研究尚有欠缺。以某城市地下综合管廊为工程背景,综合分析综合管廊深基坑特点,针对基坑周边不同环境的特点,结合基坑特性,在不降地下水的情况下,提出了不同深基坑围护结构设计方案,并得到某城市地下综合管廊工程实际应用,为同类工程提供一定参考。

关键词: 地下综合管廊;深基坑;围护结构设计

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)09-0292-05

0 引言

地下综合管廊^[1]是一种现代化、集约化的城市公用基础设施。在城市化快速发展进程中,推进综合管廊建设,是实施城市化发展战略、促进城市可持续发展的必然要求。

管廊的基坑支护方式设计主要与基坑深度、地质条件和周边环境有关。综合管廊的基坑是典型的狭长基坑,针对此特点,周秋月等^[2]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^[3]动态分析了管廊基坑开挖对邻近隧道变形的影响。杨建雄^[4]等对放坡开挖和钻孔灌注桩基坑围护方案界定了适用范围。吴显伟等^[5]提出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。总体而言,对于地下管廊的深基坑设计方面研究欠缺。

拟建某地下综合管廊沿线地质条件复杂,局部地方分布地下市政管线,基坑深度超过7 m。本文以该管廊深基坑支护设计为案例,讨论、分析在不同环境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

拟建某城市地下综合管廊全长约7.5 km,覆土厚度在2~6 m之间,断面大小为8.8 m×3.9 m,具体尺

寸如图1所示,分为燃气舱(1.7 m×3.1 m)、电力舱(2.2 m×3.1 m)和给排水舱(3.5 m×3.1 m),主要容纳电力电缆、给水、通信、燃气、中水、污水六类管线。

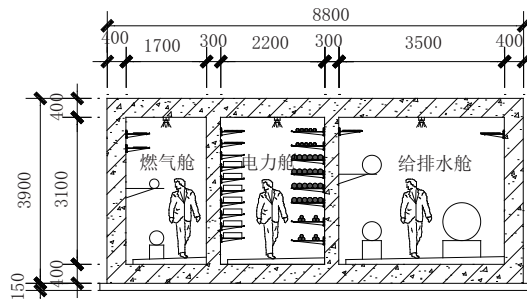


图1 综合管廊断面图(单位:mm)

1.1 地下综合管廊总体设计方案

拟建城市地下综合管廊总体路线沿着在新建道路北侧的机动车道和机非隔离带下敷设管廊,设有通风口、管线分支口、吊装口、参观出入口、端井、倒虹段及交叉口等。管廊西侧工程起点处设置端井1座,沿线经过4条现状路,交叉口位置设置地下交叉口4座,通风口每200 m设置一座,吊装口为400 m设置一座,管线分支口设置在道路交叉口和地块的中间段,于下穿现状河和远期规划河道位置设置倒虹段,终点与现状综合管廊连通。另外,在下穿高速公路桥涵处,根据远期高速公路规划要求,综合管廊应分叉经过,如图2所示。

1.2 综合管廊基坑总体设计方案

管廊基坑沿线土层从上至下分别为:杂填土、粉质黏土、泥炭质土(淤泥)、有机质土、黏土、圆砾、粉土、含砾黏土,具体物理参数指标详见表1。地下水位为0.80~3.80 m,赋存于粉土、圆砾、砾砂中的孔隙水及赋存于黏土中的上层滞水,以及藕塘内的淤泥(属

收稿日期: 2022-09-30

作者简介: 梁志辉(1993—),男,硕士,工程师,从事地下结构设计工作。

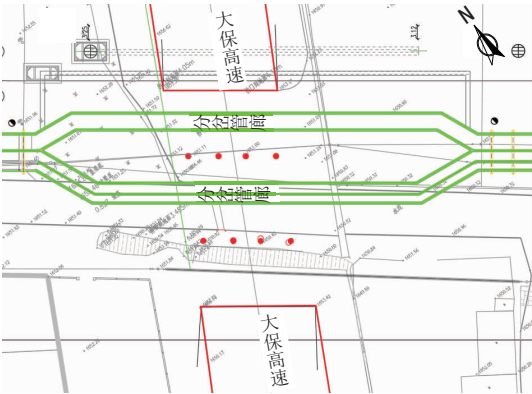


图 2 下穿高速公路平面图

弱含水层),地下水主要接受大气降水下渗补给。

管廊基坑周边主要为空地和拆迁房,部分工段需下穿高速公路,附近有燃气管线、给水管、房屋建筑、高压铁塔等。

综合考虑周边环境、地质环境、基坑深度,降水措施、成本、施工水平等因素,在不同环境下需要采取不同的基坑支护设计方案,具体详见表 2。

表 1 基坑支护设计参数表				
层序号	岩土层名称	天然容重 $r/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	快剪内聚力标准值 C_k/kPa	快剪内摩擦角标准值 $\varphi_k/(\text{^\circ})$
①	杂填土	1.70*	12*	5*
① ₁	耕植土	1.60*	12*	5*
① ₂	淤泥	1.49	5.71	1.39
②	粉质黏土	1.87	32.34	9.89
② ₁	粉质黏土	1.86	23.13	5.29
② ₂	粉质黏土	1.87	38.72	12.32
② ₃	粉土	1.93	20.41	19.55
③	泥炭质土(淤泥)	1.30	10.59	2.45
③ ₁	含有机质土	1.82	21.53	5.60
③ ₂	黏土	1.73	22.17	5.01
④	粉质黏土	1.90	34.39	10.32
④ ₁	圆砾	2.00*	0*	30*
④ ₂	粉质黏土	1.87	25.98	7.47
④ ₃	粉土	1.95	22.05	17.66
⑤	黏土	1.83	43.52	12.56
⑤ ₁	含砾黏土	1.81	28.9	9.14
⑤ ₂	粉土	1.93	18.40	15.93

注:* 为经验值。

表 2 基坑围护总体设计方案

基坑深度 /m	基坑宽度 /m	特殊地质	周边环境	基坑围护设计方案	
5~7.0	26.3~32.3	无	无	放坡开挖 + 土钉墙	两级放坡(1 : 1.25)+ 二级坡 2 排($\phi 48\times 3$ 钢管土钉, 长度 6 m 间距 1.5 m, 角度 15 $^\circ$)
7.0~8.0	26.3~32.3	边坡存在泥炭质土	藕塘(水源丰富)	放坡开挖 + 土钉墙 + 深截水沟	两级放坡(1 : 1.25)+ 二级坡 2 排($\phi 48\times 3$ 钢管土钉, 长度 6 m 间距 1.5 m, 角度 15 $^\circ$)+ 截水沟(3 $\times$ 1.5 m)
5.7~7.2	10.4	坑底为有机质软土层	房屋、现状燃给水管	拉森钢板桩	拉森钢板桩(12 m)+ 两道支撑($\phi 609\times 16$ 间距 5 m)+ 坑底旋喷桩加固 3 m
10.8	33.6	边坡存在有机质土	无	放坡开挖 + 拉森钢板桩	一级放坡 (1 : 1.25)+ 拉森钢板桩 (12 m)+ 两道支撑 ($\phi 609\times 16$ 间距 5 m)
7~8.0	32.3~34.8	无	无	放坡开挖 + 土钉墙	两级放坡(1 : 1.25)+4 排($\phi 48\times 3$ 钢管土钉, 长度 7 m 间距 1.5 m, 角度 15 $^\circ$)
8~9.0	38.8~41.8	无	无	放坡开挖 + 土钉墙	两级放坡(1 : 1.50)+4 排($\phi 48\times 3$ 钢管土钉, 长度 9 m 间距 1.5 m, 角度 15 $^\circ$)
8~9.0	38.8~41.8	坑底为泥炭质土	无	放坡开挖 + 土钉墙	两级放坡(1 : 1.50)+4 排($\phi 48\times 3$ 钢管土钉, 长度 9 m 间距 1.5 m, 角度 15 $^\circ$)+ 坑底加固(双液注浆坑底以下 3 m)
9.0~11.5	38.3~42.9	无	无	放坡开挖 + 土钉墙	三级放坡(1 : 1.25)+ 二级 1 排 + 三级 2 排($\phi 48\times 3$ 钢管土钉, 长度 7 m 间距 1.5 m, 角度 15 $^\circ$)
5.2	6.5/7.2	坑底有机质软土层	桥桩、现状污水管、现状燃气管	钻孔灌注桩 + 止水帷幕	$\phi 800$ 钻孔灌注桩(间距 1.2 m, 长 12 m)+ $\phi 600$ 高压旋喷桩(坑底以下 3.0 m, 间距 0.45 m)+ 首道支撑($\phi 609\times 16$ 间距 5 m)坑底加固 2.5 m
9~13	10.8~11.3	无	现状道路交叉口	钻孔灌注桩 + 止水帷幕	$\phi 800$ 钻孔灌注桩(间距 1.2 m, 长 24 m)+ $\phi 600$ 高压旋喷桩(坑底以下 4.5 m, 间距 0.45 m)+3 道支撑($\phi 609\times 16$ 间距 5 m)

2 管廊深基坑工程设计难点分析

2.1 狭长基坑

某城市地下综合管廊全长 7.5 km, 基坑深度为

5~13 m, 基坑开挖宽度 14~34.8 m, 属于典型的狭长基坑, 基坑开挖长度一般在 60~80 m 进行施工流水作业, 因而基坑长边中部受力最为不利, 需要增加围护支护结构, 减小跨度, 或者在场地有利的地方进行

放坡开挖,卸掉土压力减压措施。

2.2 地质环境复杂

地下综合管廊基坑开挖,需清理表层杂填土,所以该土层对基坑基本无影响。但是基坑坑底或边坡会遇软弱地基土、特殊膨胀土地层、粉土层,且含水层有富水性、透水性中等,对于基坑工程,此类地层土对基坑工程不利。因此,需要进行特殊设计解决此类工程问题,防止出现基坑垮塌、隆起,地表沉降等事故。

2.3 周边环境复杂

在基坑深度 1~3 倍范围内,沿线分布有燃气管线、给水管道、藕塘、房屋建筑、高压铁塔,高速公路桥桩等。基坑周边构筑物距离基坑边分布距离见下表 3。

表 3 基坑周边环境分布表

类型	基坑边最小距离 /m	沿线长度 /m	备注
燃气管线	2.0	30	两根 DN250
给水管道	5.0	20	一根 DN300
藕塘	3.0	60	水丰富
房屋建筑	8.0	10 栋	—
高压铁塔	5.0	3 座	—
桥桩	3.0	8 根	—

3 不同环境深基坑围护结构设计

《建筑基坑工程技术规程》(JGJ 120—2012)^[6]中规定,基坑设计需要保证基坑周边建(构)筑物、地下管线、道路的安全和正常使用,并能保证主体地下结构的施工空间。针对以上基坑工程难点,深基坑设计既要遵循规范要求,又要满足施工安全快捷需求。

3.1 放坡开挖 + 土钉墙 + 深截水沟

放坡开挖 + 土钉墙形式一般适用于土质良好,周围环境宽阔且基坑深度要求较浅的情况,施工简单方便^[7-8]。

深基坑两侧周边为藕塘,藕塘内水量由上游不断补充,沿线地下水埋深 5~6 m,基坑深度为 7~8 m,地质条件中含有杂填土、泥炭质土,边坡自稳定性差。一般情况是基坑开挖前是设置降水井降水。但是此地质情况中水的渗流路径主要透过杂填土侵蚀边坡,顺着边坡渗透到泥炭质土层,随着基坑开挖深度变大,渗流路径形成越明显,从而导致边坡失稳。

针对以上情况,深基坑设计重点设计应是降水和边坡的稳定性,一般情况会采用降水井深度设置到坑底以下 1~2 m 降水,但是从项目周期和成本控制来看,此方法成本和时间会加大。

本次设计利用天然隔水层(粉质黏土层)+设置较深的辅助截水沟,从根源上截断水源。具体设计如图 3 所示。边坡采用 1:1.25 的坡比,分两级坡进行开挖,并打两排土钉,在基坑边外设置 3.5×1.5 m 的辅助截水沟。经过启明星 7.0 计算,基坑设计各项指标均满足规范设计要求,详见表 4,实际现场效果良好,基坑边坡无水渍,安全稳定,经济效益良好,施工便捷。施工完毕后,将截水沟回填即可。

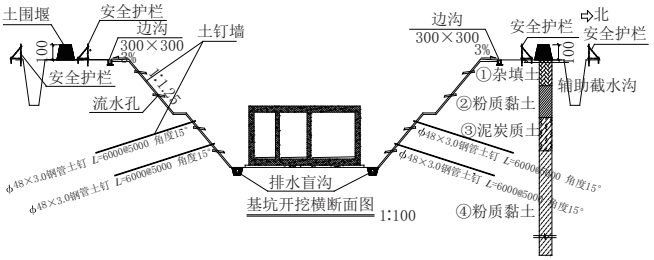


图 3 深基坑放坡形式(单位:mm)

表 4 深基坑围护结构设计计算结果表

类型	基坑深度 /m	基坑安全等级	整体稳定安全系数	抗倾覆安全系数	土钉抗拔安全系数	墙底抗隆起稳定安全系数	坑底抗隆起稳定安全系数	地表沉降 /mm	渗透稳定性系数
放坡开挖 + 土钉墙 + 深截水沟	7~8	二级	一级放坡 1.57(1.3) 二级放坡 1.4(1.3)	—	2.39(1.6)	3.28(1.6)	—	—	2.04(1.5)
钢板桩 + 内支撑围护结构	5.7~7.2	二级	2.13(1.3)	1.4(1.2)	—	2.16(1.9)	3.02(1.6)	19.5(35~45)	1.98(1.5)
放坡开挖 + 钢板桩 + 内支撑围护结构	10.8	二级	一级放坡 1.52(1.3) 二级放坡 1.53(1.3)	1.25(1.2)	—	2.86(1.9)	3.35(1.6)	22.8(35~45)	3.20(1.5)
钻孔灌注桩 + 止水帷幕 + 内支撑围护结构	5.2	一级	2.06(1.35)	1.37(1.25)	—	2.39(2.20)	2.82(1.8)	9.4(25~35)	3.11(1.6)

附注:()内数值为规范数值。

3.2 钢板桩 + 内支撑围护结构

综合管廊基坑深度在 5.7~7.2 m 时,地下水位埋深 2~3 m,周边环境存在燃气管线、市政给水管,且距离坑边在 1 倍基坑范围内,同时管线不允许出现废除或搬迁情况时,为保证其正常使用功能,需要对其保护。

由于管廊基坑底为③₁含有机质土层,为软土层,物理力学性质差,渗透系数大,地下水容易进入坑底,不能作为管廊基础。同时,若将其作为基坑底部,会导致基坑隆起,影响基坑安全^[9-10]。

针对以上情况,设计考虑采用拉森钢板桩 + 内支撑 + 坑底加固的结构支护形式,如图 4 所示。钢板桩具有止水性能好、造价比钻孔灌注桩便宜、安全环保、施工便捷、可回收利用、不占用场地的特点。基坑深度 5.7~7.2 m,基坑宽度为 10.4 m,采用 12 m 拉森钢板桩,设置两道 $\phi 609$ 钢管支撑,坑底进行高压旋喷桩加固 3 m,能有效控制基坑变形,保证基坑施工安全,同时能保护管线正常使用。

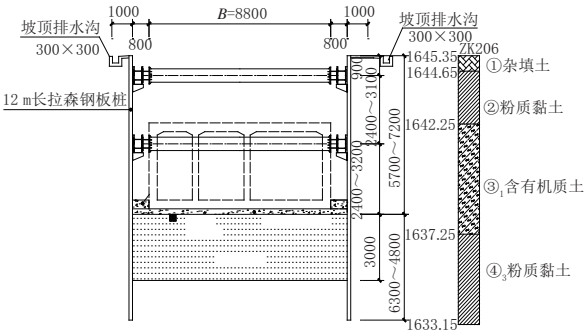


图 4 钢板桩支护结构设计图(单位:mm)

经启明星 7.0 计算,设计计算结果详见表 4,能满足规范要求。通过现场实际监测得出,管线沉降最大为 5 mm,基坑地表最大变形 25 mm,说明此设计方法基坑安全有效,节约时间,经济合理,还能减少对基坑周边土体的扰动,保证周边管线和基坑的安全。

3.3 放坡开挖 + 钢板桩 + 内支撑围护结构

综合管廊交叉口位置处,一般情况下基坑深度深,大约为 10.8 m,占地面积超过。即使周边环境空旷,也不建议采用直接放坡开挖。另外,③₁含有机质为软弱层,空隙率大,渗水性好,易形成渗流路径,造成④粉土层遇水易液化,直接放坡开挖会导致边坡失稳,造成人员伤亡,经济损失的后果。

拉森钢板桩在市政基坑工程中的应用中,长度一般有 6、9、12 m 三种类型,对于深度超过 10 m 的基坑显然满足不了安全要求。钻孔灌注桩造价昂贵,没有利用周边环境空旷的特点,采用该方案设计会造成浪费。

针对基坑深、地质情况复杂的情况,充分利用周边环境空旷、放坡开挖和钢板桩的优点,可采用如图 5、图 6 的基坑支护方式。在①素填土和②粘土层范围内,首先按照坡比 1 : 1.25 放一级坡,坡面喷锚防护;再在③₁含有机质土层范围内,从坡台处打入 12 m 拉森钢板桩,设置两道 $\phi 609$ 钢管撑,控制基坑变形,保证基坑稳定性,还能防止水渗流坑底,降低坑底土体的强度。

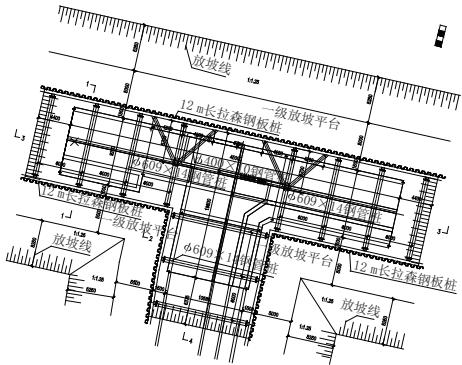


图 5 放坡开挖 + 钢板桩支护平面图(单位:mm)

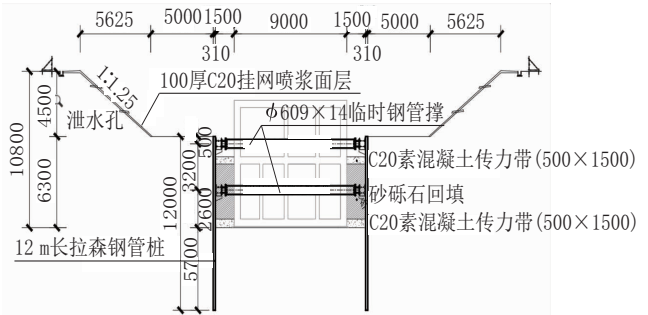


图 6 放坡开挖 + 钢板桩支护剖面图(单位:mm)

本设计通过将这两种围护方式的优点结合,设计计算结果各项指标满足规范要求,详见表 4。实际现场取得了良好的效果,缩短工期,经济效益明显,既可以防水又可以保证基坑的安全。

3.4 钻孔灌注桩 + 止水帷幕 + 内支撑围护结构

地下综合管廊线位下穿高速公路桥梁,同时桥梁存在燃气管线、现状 DN1000 污水管时,如图 7 所示,基坑开挖深度 5.2 m,污水管距离基坑坑边 3 m,桥墩距离坑边 5.5 m,现状燃气管线可以改迁,

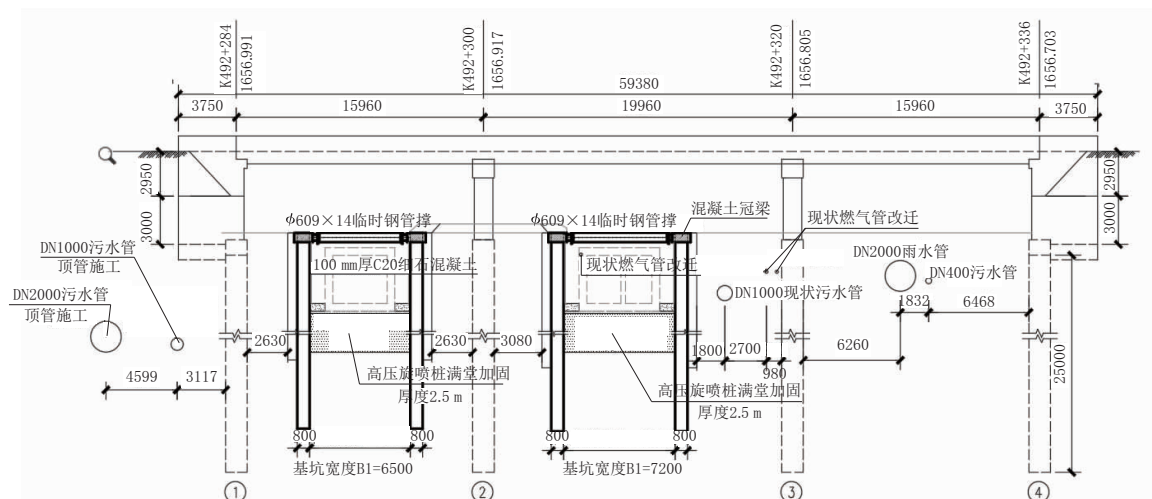


图7 基坑、桥墩、管线相对位置关系图(单位:mm)

污水管无法搬迁,桥梁底下施工净空间仅为4.5 m,坑底存在③₁有机质土层。

针对施工作业环境有限,周边存在管线、桥墩的情况,拉森钢板桩受限于净空高度无法实施,放坡对高速公路桥墩、现状污水管有很大影响。经过现场调研,可使用小型旋挖机挖孔,做钻孔灌注桩,作为围护桩结构。

如图8所示,基坑支护方式采用 $\phi 800$ 钻孔桩+止水帷幕+内支撑+坑底高压旋喷满堂加固的设计方案,桩长为12 m,桩间距1.2 m;止水帷幕为 $\phi 600$ 高压旋喷桩咬合200 mm,一道 $\phi 609$ 钢管支撑,启明星计算得出基坑变形小于10 mm,满足规范要求,具体详见表4

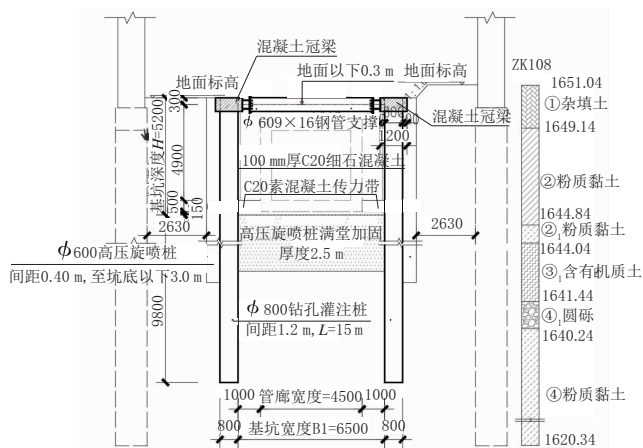


图8 钻孔灌注桩支护结构设计图(单位:mm)

现场实测,地表沉降小于8 mm,桥墩未出现倾斜变形,管线沉降小于3 mm,说明此设计方法合理。

4 结论及建议

(1)地下综合管廊深基坑设计时,需分析深基坑工程特点,综合考虑周边环境、地质环境、基坑深度,

降水措施、成本、施工水平等因素,在不同环境下需要采取不同的基坑支护设计。

(2)当周边环境空旷,深基坑深度范围7~8 m,同时透水土层埋深较浅的情况下,深基坑设计应当截断水源,分台阶开挖,优先选用放坡开挖+土钉墙+截水沟的形式。

(3)当周边环境存在地下管线,深基坑深度5.7~7.2 m,地下水位埋深2~3 m,不采取降水措施,深基坑设计应当优先选用拉森钢板桩+内支撑支护的形式。

(4)当基坑深度范围在10~11 m,地下水位埋深为4~5 m时,首先利用周边环境和有利的地质土层,优先采用放坡,卸掉土压,再根据土质条件进行钢板桩+内支撑支护的形式。

(5)当基坑开挖对1倍基坑范围内周边环境有很大影响时,基坑深度超过5 m,需要严格控制基坑变形,深基坑设计应当采用钻孔灌注桩+止水帷幕+支撑结构的支护形式。

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] 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.
- [3] 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.
- [4] 杨建雄,苏四代,施春贤,等.保山中心城市地下综合管廊基坑围护方案研究[J].价值工程,2019,38(23):193-195.
- [5] 吴显伟,刘媛,童欣.复杂条件下地下综合管廊深基坑支护技术研究[J].水利与建筑工程学报,2020,18(01):32-36.
- [6] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].
- [7] 李盖.管廊基坑稳定性及变形特性研究[D].济南:山东大学,2018.
- [8] GB 50330—2013 建筑边坡工程技术规范[S].
- [9] GB 50838—2015 城市综合管廊工程技术规范[S].