

综合管廊工程设计中的经济比选

夏胡亮

(上海千年城市规划工程设计股份有限公司, 上海市 201108)

摘要: 在综合管廊工程设计中,为使方案同时满足功能需求、结构安全及经济适用的要求,通常需对多个方案进行比选,且最终方案需满足结构安全、功能适配、经济合理等多维度要求。方案比选内容主要集中于管廊布置方案、围护结构形式及基坑地基加固等环节。以上海某综合管廊工程为研究对象,针对上述三个方面展开深入分析与研究,通过量化计算获取可靠数据,旨在为设计人员的方案比选工作提供可参考的经济指标,从而在确保工程功能需求与结构安全的前提下,实现项目经济适用性的最优化。

关键词: 综合管廊;管廊设计;围护结构;地基加固;经济比选

中图分类号: TU990.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0414-06

Economic Comparison and Selection in Design of Utility Tunnel Engineering

XIA Huliang

(Shanghai Millennium Urban Planning and Engineering Design Co., Ltd., Shanghai 201108, China)

Abstract: In the design of utility tunnel projects, to make the scheme simultaneously meet the requirements of functional needs, structural safety and economic applicability, it is usually necessary to compare multiple schemes. The final scheme must satisfy multi-dimensional requirements such as structural safety, functional adaptation and economic rationality. The content of scheme comparison mainly focuses on the layout scheme of utility tunnel, the form of the enclosure structure, the reinforcement of foundation pit foundation, and the other links. Taking a utility tunnel project in Shanghai as the research object, the in-depth analysis and research on the above three aspects are conducted, and the reliable data are obtained through quantitative calculation. Its aim is to provide reference in terms of economic indicators for designers in scheme comparison to realize the optimization of economic applicability of the project on the premise of ensuring the functional needs and structural safety of the project.

Keywords: utility tunnel; utility tunnel design; enclosure structure; foundation reinforcement; economic comparison and selection

0 引言

随着城市化进程加速,空中的电缆、地下的管线日益增多,“马路拉链”、“空中蜘蛛网”等城市问题逐渐凸显,综合管廊是能够集约化解决上述问题的有效途径。地下综合管廊,是指敷设于城市地面以下,用于容纳两类及以上公共设施管线或专业管线的构筑物及附属设施。

近十年内,大量学者发表了关于综合管廊的研究论文,研究范畴广泛且深入。从规划设计层面,聚焦于综合管廊的布局优化,考量如何依据城市不同区域的功能定位、发展潜力及管线需求特征,构建科

学合理的管廊网络,以提升城市空间利用效率并降低建设成本。例如,城市地下综合管廊规划与设计^[1]、地下综合管廊设计与施工技术创新等^[2]。在施工建设领域,针对综合管廊在不同地质条件、荷载工况下的结构力学性能研究成果丰硕。例如,基于复杂地质条件的地下综合管廊混凝土施工技术研究等^[3-12]。在发展与运营管理方面,学者们关注综合管廊的智能化运维体系构建,涵盖基于物联网、大数据、人工智能等新兴技术的管廊设施状态监测、故障预警、智能巡检等研究内容,旨在提升管廊运营的安全性与可靠性,降低运维成本。例如,地下综合管廊在城市可持续发展中的应用研究等^[4-17]。

综上,当前国内学者对管廊的规划、设计、施工、运维都进行了大量研究,但是在管廊工程设计中的经济比选较少涉及。研究通常在综合管廊工程设计

收稿日期: 2025-07-25

作者简介: 夏胡亮(1986—),男,本科,工程师,从事工程造价工作。

中,通过几种方案比选,来确定最佳的方案,所选方案既要技术上可行,又要经济上合理。在综合管廊造价中,土建结构的费用占比往往高达 70%~80%。土建结构中又分标准段、特殊段、各类型进出口、监控中心等,其中标准段的费用往往占比 60% 以上。重点分析综合管廊标准段的土建结构比选,以上海某管廊为例,利用数据对比分析获得参考经济指标。

1 工程概况

上海某管廊道路规划红线宽度为 45 m。综合管

廊拟设于道路东侧的机动车道、非机动车道及人行道下。

综合管廊共设 4 舱:燃气舱、220 kV 电力舱、110 kV 电力舱、综合舱(上水、通信、10 kV 电力)。其结构外尺寸为 12.15×3.85 m。其中,燃气舱内尺寸为 3 200×2 400 mm,220 kV 电力舱内尺寸为 3 200×2 700 mm,110 kV 电力舱内尺寸为 3 200×2 700 mm,综合舱内尺寸为 3 200×3 000 mm。综合管廊水平布置标准横断面详如图 1 所示,水平布置基坑标准段围护剖面图如图 2 所示。

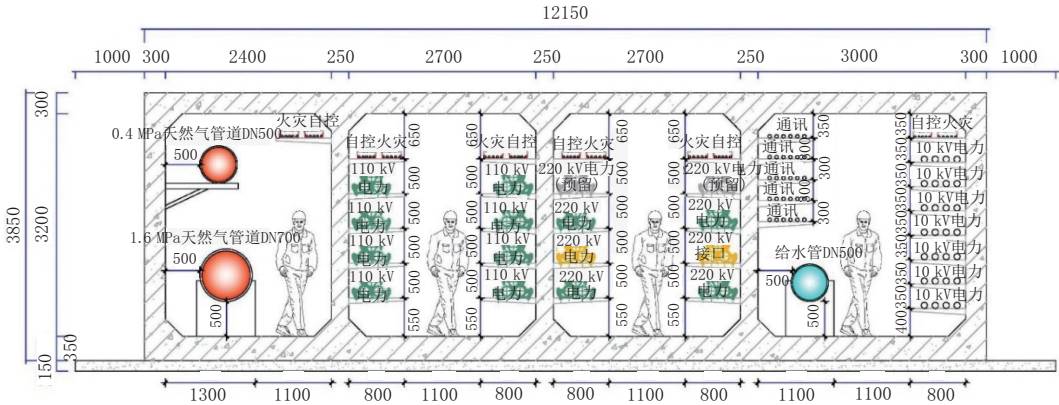


图 1 水平布置标准断面布置图(单位:mm)

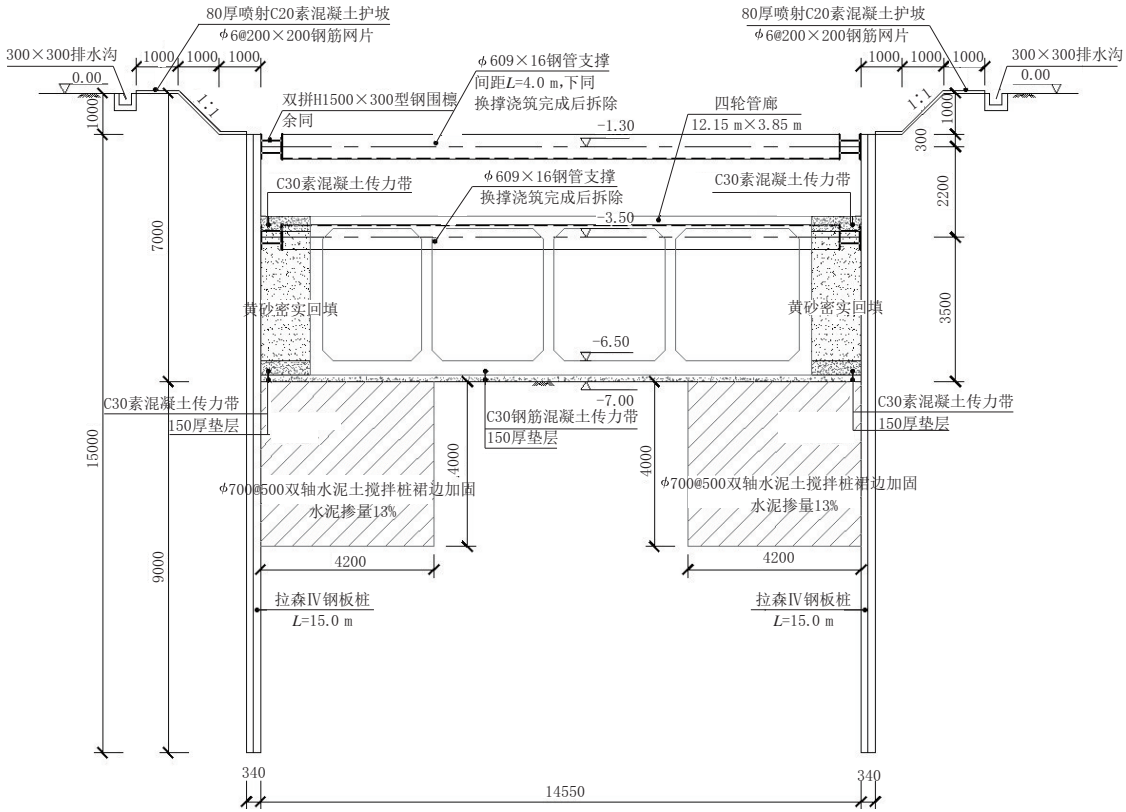


图 2 水平布置标准段围护剖面图(单位:mm)

该标准段结构费用按每延米计算,结构费用拆分为四个部分:标准主体结构、喷射混凝土+拉森桩围护结构、基坑地基加固、土方及降水(回填砂)。

计算工程量:标准主体结构为现浇钢筋混凝土,工程量按混凝土方量为 12.72 m³;围护结构采用拉森 IV 钢板桩(L=15.0 m),上部放坡处 80 厚喷射 C20 素

混凝土护坡,围檩采用双拼 H500×300 型钢围檩,支撑采用 $\phi 609 \times 16$ 钢管支撑两道围护,围护结构的工程量按打入的拉森 IV 钢板桩(L=15.0 m)工程量为 5.708 t;基坑地基加固采用 $\phi 700 @ 500$ 双轴水泥搅拌桩加固(水泥含量 13%),加固土体的工程量为 33.6 m³;土方、降水(回填砂)的工程量按开挖土方的工程量计算,工程量为 104.85 m³,如表 1 所示。

表 1 管廊标准段结构造价

序号	名称	工程量	单价/元	合价/万元	占比
1	标准主体结构/m ³	12.72	4128	5.25	45%
2	喷射混凝土+拉森桩围护结构/t	5.708	3775	2.15	18%
3	基坑地基加固-搅拌桩/m ³	33.60	410	1.38	12%
4	土方、降水(回填砂)/m ³	104.85	285	2.99	25%
每延米造价合计/m		1.00		11.77	100%

2 方 法

2.1 对比内容

以该管廊的标准段为研究对象,从管廊布置方案、围护及支撑形式、基坑地基加固三个维度进行比选分析。

2.2 管廊布置方案

上述断面为 4 舱水平布置,适用于基坑周边场地开阔、周边没有建筑物、对土体变形要求不高的地段,而且该方案有施工速度快、工程造价相对较低的优点。若周围建筑物较近、地下情况复杂,没有较大的布置宽度,则要考虑叠层布置或者缩减舱室。以下为叠层布置方案。因为舱室叠层后,基坑深度大幅增加,两侧的围护形式不得不由拉森 IV 钢板桩围护调整至钻孔灌注桩+旋喷桩止水的围护。综合管廊叠层布置方案标准横断面如图 3 所示,基坑标准段围护剖面图如图 4 所示。

对比 4 舱水平布置,叠层布置管廊每延米单价由 11.77 万元增加至 24.23 万元,增加 12.46 万元,增加比例 106%,如表 2 所示。

分析原因得出以下几点。

一是标准主体结构因底板和侧墙加厚等原因,工程量增加至 16.63 m³,致使费用增加 1.61 万元,增加比例 31%。

二是围护结构由拉森 IV 钢板桩围护调整至钻孔灌注桩+旋喷桩止水围护,致使费用增加 8.89 万元,增加比例 412%。

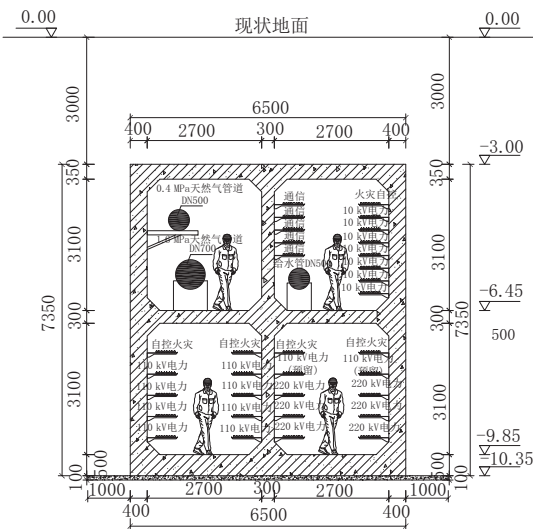


图 3 叠层布置方案标准断面布置图(单位:mm)

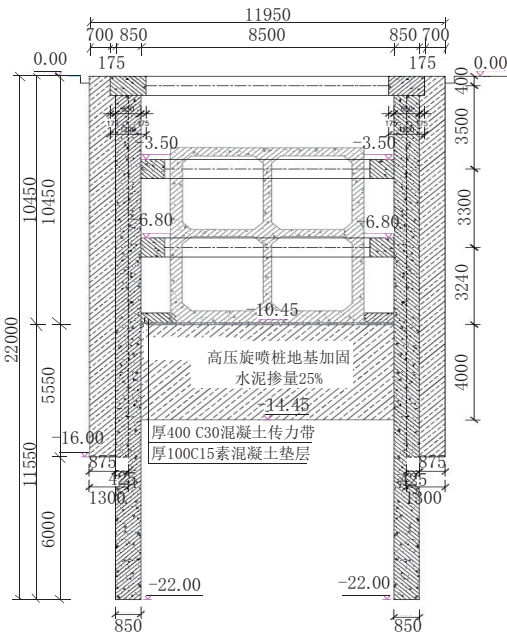


图 4 叠层布置方案基坑标准段围护剖面图(单位:mm)

表 2 叠层布置方案比选

序号	名称	工程量	单价/元	合价/万元	占比
1	标准主体结构/m ³	16.63	4 128	6.86	28%
2	钻孔桩围护结构/m ³	23.78	3 886	9.24	38%
3	旋喷桩止水帷幕/m ³	32.15	560	1.80	7%
4	基坑地基加固-旋喷桩/m ³	34.00	1 046	3.56	15%
5	土方、降水(回填砂)/m ³	88.82	312	2.77	11%
每延米造价合计/m		1.00		24.23	100%

三是受基坑地基加固深度等影响,施工工艺由水泥搅拌桩调整为旋喷桩,致使费用增加 2.18 万元,增加比例 158%。

四是土方工程的量虽然减少,但因土方开挖深度增加导致该指标的单价增加了 27 元,该项费用减少 0.22 万元,减少比例 7.3%。

由此可见,因为布置形式的调整,导致围护结构变化,从而对费用影响非常巨大。管廊布置方案中,叠层布置的费用远大于水平布置,在场地充分的情况下应采用水平布置,在没有现场条件设置的情况下才可考虑叠层布置。

2.3 围护及支撑形式

目前该管廊的标准段围护采用拉森桩围护,在明挖法施工中,常用的围护形式还有型钢水泥土搅拌墙(Soil Mixing Wall, SMW 工法)、钻孔灌注桩、地下连续墙等,因冠梁、支撑跟围护结构通常相结合形成围护体系,故结合将其进行整体分析。各种围护的适用范围和环境影响、造价都差异较大,如表 3 所示,我们着重分析造价部分。因围护调整,内部的标准主体结构、基坑地基加固、土方工程没有变化,故可以单独分析。

表 3 围护方案比较表

序号	比较内容	拉森钢板桩	SMW 工法	钻孔灌注桩	地下连续墙
1	适用基坑开挖深度/m	<7	8~12	8~15	>15
2	综合造价	较低	一般	较高	最高
3	环境影响	小	小	小	小
4	围护施工周期	短	一般	较长	长
5	周边土体变形	相对较大	较小	较小	较小

2.3.1 拉森桩围护

围护结构采用拉森Ⅳ钢板桩(L=15.0 m),上部放坡处 80 厚喷射 C20 素混凝土护坡,配套围檩采用双拼 H500×300 型钢围檩,配套钢支撑采用 2 道 φ609×16 钢管。拉森Ⅳ钢板桩(L=15.0 m)工程量为 5.708 t,围护结构每延米单价 2.15 万元,如表 4 所示。

表 4 拉森桩围护分析表

序号	名称	工程量	单价/元	合价/万元	占比
1	喷射混凝土护坡/m ²	6.840	259	0.18	8%
2	拉森桩/t	5.708	1 924	1.10	51%
3	钢围檩(双拼 H500×300 型钢)/t	1.33	2 595	0.35	16%
4	φ609 钢支撑/t	2.06	2 595	0.53	25%
每延米造价合计/m		1.0		2.15	100%

2.3.2 型钢水泥土搅拌桩墙(SMW 工法)

当围护结构采用型钢水泥土搅拌桩墙时,设计如下:φ850@600 SMW 工法桩,内插 700×300 型钢,插一跳一,桩长 15 m,如图 5 所示,设两道 φ609×16 钢管支撑,第一道间距 8 m、第二道间距 4 m。

型钢水泥土搅拌桩墙(L=15.0 m)工程量为 25.32 m³,围护结构每延米单价 2.53 万元,如表 5 所示。

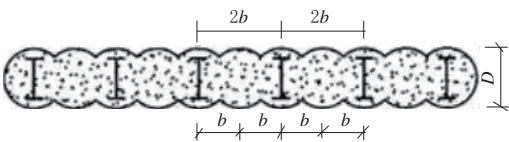


图 5 型钢水泥土搅拌桩墙平面示意图

表 5 SMW 工法围护分析表

序号	名称	工程量	单价/元	合价/万元	占比
1	型钢水泥土搅拌桩墙-搅拌桩/m ³	25.32	290	0.73	29%
2	型钢水泥土搅拌桩墙-插拔型钢及使用费/t	3.15	2 080	0.66	26%
3	钢筋混凝土围檩/m ³	1.920	2 949	0.57	22%
4	钢围檩(双拼 H500×300 型钢)/t	0.66	2 595	0.17	7%
5	φ609 钢支撑/t	1.55	2 595	0.40	16%
每延米造价合计/m		1.0		2.53	100%

2.3.3 钻孔灌注桩+旋喷桩止水围护

当围护结构采用钻孔灌注桩时需配合使用旋喷桩止水帷幕,设计如下:φ800@1000 钻孔灌注桩,桩长 15 m,设 2 道 φ609×16 钢管支撑,第一道间距 8 m、第二道间距 4 m。止水帷幕选用 φ800 双重管高压旋喷桩,内排@1000,外排@500,水泥掺量 25%,桩长 14 m,同时钻孔桩内侧设置 100 mm 厚挂网喷射混凝土,如图 6 所示。

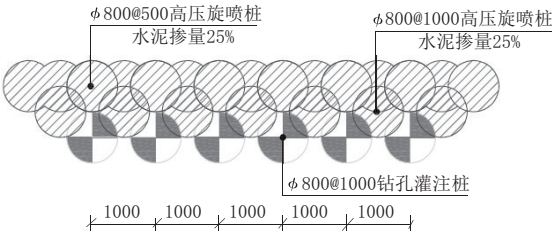


图 6 钻孔灌注桩+旋喷桩止水围护平面示意图(单位:mm)

钻孔灌注桩(L=15 m)工程量为 15.08 m³,旋喷桩工程量为 42.2 m³,围护结构每延米单价 8.6 万元,如表 6 所示。

表 6 钻孔灌注桩+旋喷桩止水围护分析表

序号	名称	工程量	单价/元	合价/万元	占比
1	钻孔灌注桩/m ³	15.08	3 142	4.74	55%
2	喷射混凝土护面/m ²	14.00	259	0.36	4%
3	旋喷桩/m ³	42.20	560	2.36	27%
4	钢筋混凝土围檩/m ³	1.92	2 949	0.57	7%
5	钢围檩(双拼 H500×300 型钢)/t	0.66	2 595	0.17	2%
6	φ609 钢支撑/t	1.55	2 595	0.40	5%
每延米造价合计/m		1.0		8.60	100%

2.3.4 围护方案对比分析

SMW 工法对比拉森桩围护,围护每延米单价由

2.15 万元增加至 2.53 万元,增加 0.37 万元,增加比例 17.4%。

分析原因得出以下几点。

一是型钢水泥土搅拌桩墙 1.39 万元、拉森桩 1.1 万元,两项费用相近。

二是围檩由两道钢围檩调整至一道钢筋混凝土围檩+一道钢围檩,费用增加 0.39 万元。

钻孔灌注桩+旋喷桩止水围护对比 SMW 工法围护,围护每延米单价由 2.53 万元增加至 8.6 万元,增加 6.07 万元,增加比例 240%。

由此可见,三种围护方式造价由低到高依次为拉森桩围护、型钢水泥土搅拌桩墙(SMW 工法)围护、钻孔灌注桩+旋喷桩止水围护。SMW 工法和拉森桩围护方式成本接近,可根据现场施工周期、施工条件相应选择工法。而钻孔灌注桩+旋喷桩止水围护方式成本较高,可以在上述两种方法受限的情况下考虑使用,如高压线受控范围、高架桥下等。地下连续墙适用基坑深度在 15 m 以上,管廊施工中很少达到如此深度,同时该措施的费用较钻孔灌注桩结合旋喷桩止水围护方案更高,故本次分析中不纳入对比。

2.4 基坑地基加固

基坑地基加固种类有很多种,常用的是水泥土搅拌桩、高压旋喷桩等,根据加固部位分裙边加固、抽条加固、满堂加固等。水泥土搅拌桩和高压旋喷桩的优缺点如表 7 所示。

表 7 水泥土搅拌桩、高压旋喷桩的优缺点

名称	优点	缺点
水泥土搅拌桩	1. 成桩速度快、效率高; 2. 无振动及噪声; 3. 不污染环境	1. 钻机体积较大、高度高; 2. 不适用于人工填土层
高压旋喷桩	1. 钻机体积小,施工占地少; 2. 振动小、噪声较低; 3. 成桩深度较大	1. 产生泥浆污染环境; 2. 成本较高

本项目中采用了 $\phi 700@500$ 双轴水泥土搅拌桩裙边加固,加固深度 4 m。本次对比加入三轴水泥土搅拌桩、高压旋喷桩进行对比分析。

2.4.1 双轴水泥土搅拌桩

$\phi 700@500$ 双轴水泥土搅拌桩按裙边加固方式设置,加固宽度两侧各 4.2 m、深度 4 m,钻进空搅工程量 58.8 m³、加固工程量 33.6 m³,地基加固每延米单价 1.37 万元,综合单价 406.71 元/m³。

2.4.2 三轴水泥土搅拌桩

$\phi 850@600$ 三轴水泥土搅拌桩裙边加固,地基加固每延米单价 1.09 万元,综合单价 326.05 元/m³。与

双轴比较,地基加固每延米单价降低 0.28 万元,费用降低 20%,是因为双轴水泥土搅拌桩钻进空搅单价 88.14 元/m³,三轴水泥土搅拌桩钻进空搅单价 33.65 元/m³,降低 54.49 元/m³,考虑到大型机械施工效率更高,导致单位体积的施工单价变低,故综合单价降低较多。

2.4.3 高压旋喷桩

本项目加固深度为 11 m,双重管机型常规加固深度在 10 m 以内,故采用三重管机型。每延米管廊的钻孔工程量 13.13 m,旋喷桩加固工程量 33.6 m³,地基加固每延米单价 1.89 万元,综合单价 446.9 元/m³。与双轴搅拌桩比较,地基加固每延米单价增加 0.52 万元,费用增加 38%。

2.4.3 地基加固对比分析

由此可见,三种加固方式造价由低到高依次为三轴搅拌桩、双轴搅拌桩、高压旋喷桩。三轴搅拌桩经济性最高、适用范围较大,在满足现场施工周期、施工条件下相应优先使用。

3 结 语

对管廊设计中的管廊布置方案、围护结构形式、基坑地基加固三方面进行对比分析,得出以下结论。

(1)在管廊布置方案中,叠层布置的费用远高于水平布置,因此,在场地条件允许时应优先采用水平布置,仅在现场条件受限无法采用水平布置的情况下,方可考虑叠层布置。

(2)在围护及支撑形式比选中,在满足结构安全和施工高效的基础上,管廊围护可选用拉森桩围护或 SMW 工法;若上述两种方法受限时,再考虑采用钻孔灌注桩+旋喷桩止水围护方案。

(3)在基坑地基加固比选中,三轴水泥土搅拌桩的经济性最优且适用范围较广,因此在满足现场施工周期及施工条件的前提下,应优先选用。

尽管不同管廊工程存在显著的个体差异,但因其具备土建工程的属性,在造价影响因素方面存在可归纳的共性规律。具体而言,管廊布置方案、围护及支撑形式的选择以及基坑地基加固方式的确定,是影响管廊工程经济性的 3 大核心要素。通过选取典型工程案例^[18-21],对上述要素与造价的关联关系进行量化分析与计算,可形成数据化的分析报告,研究成果可为后续管廊工程项目的设计工作提供科学依据,助力设计人员在满足工程功能需求与结构安全要求的前提下,实现项目的经济适用性。

参考文献:

[1] 张华,李强.城市地下综合管廊规划与设计[M].北京:中国建筑工业出版社,2019.

[2] 陈华.地下综合管廊设计与施工技术创新[J].城市建设与设计,2021,10(3):45-56.

[3] 王明.城市市政工程中地下综合管廊的设计优化策略研究[J].工程管理,2020,28(2):78-89.

[4] 彭涛.综合管廊总体设计标准化探索[J].城市道桥与防洪,2019(2):196-201.

[5] 姜金标.城市地下综合管廊防水设计与施工方法的思考[J].居业,2019(7):17-18.

[6] 蔡源尧.城市地下综合管廊规划及设计[J].工程技术研究,2018(10):214-215.

[7] 王军,张帆.城市地下综合管廊规划与设计探讨[J].智能城市,2020,6(14):33-34.

[8] 曹立峰,李振宇,张长安.综合管廊建设关键技术及管理方法探究[J].市政设施管理,2017(2):5-8.

[9] 王强.地下综合管廊建设技术及其应用研究[J].建筑工程学报,2022,39(5):45-52.

[10] 张伟.综合管廊施工中的风险评估与控制策略[J].中国市政工程,2020,28(3):15-20.

[11] 赵刚,王磊.地下综合管廊施工技术与管理[J].城市道桥与防洪,2021,35(2):45-49.

[12] 孙兵.基于复杂地质条件的地下综合管廊混凝土施工技术研究[J].水泥,2025,(5):86-88.

[13] 陈士亮,余非余.城市地下综合管廊防水施工要点综述[J].现代工程科技,2024,3(23):45-48.

[14] 郑廷敏.城市地下综合管廊的施工技术探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2023(8):119-121.

[15] 高雪刚.城市地下综合管廊的设计和施工研究[J].城市住宅,2020,27(3):153-155;158.

[16] 朱厚正,浅谈城市综合管廊设计要点和施工方法及运维管理[J].产业与科技论坛,2019,18(17):220-221.

[17] 孙涛,陈伟.地下综合管廊在城市可持续发展中的应用研究[J].城市规划,2020,44(8):112-117.

[18] 李刚.城市地下综合管廊管理与发展现状分析[J].城市规划,2019,15(4):112-125.

[19] 徐奇,续元庆,王丽娟.城市综合管廊应用分析[J].石油规划设计,2019,26(2):35-38.

[20] 于晨龙,张作慧.国内外城市地下综合管廊的发展历程及现状[J].建设科技,2019(17):49-51.

[21] 刘慧慧,孙剑,李飞飞.城市地下综合管廊应用PPP模式的VFM评价[J].土木工程与管理学报,2016(7):122-126.

(上接第 386 页)

[10] Zhang Y, Liu C W, Li J, et al. Establishing Reality-Virtuality Interconnections in Urban Digital Twins for Superior Intelligent Road Inspection[J]. IEEE Robotics and Automation Letters, 2026 (11): 1378-1385.

[11] 田仲超.城市道路智能巡检系统的设计与应用[J].市政技术,2025,43(11):114-123.

[12] 黄文华,金闽华,陈虹燕,等.无人机在数字路政巡查中的应用研究——以绍兴市为例[J].交通科技与管理,2025,6(21):1-3.

[13] 杨长树.卫星遥感技术在交通执法巡查中的应用研究——以宁夏国省干线公路为例[J].交通建设与管理,2025(5):102-105.

[14] 蔡亚芬,刘宏凤,孔亮,等.高速公路无人机智能巡检系统应用探究[J].中国交通信息化,2025(11):95-98.

[15] 马宏勇,陈坚荣,王国平,等.无人机在高速公路营运巡查与指挥调度中的应用[J].中国交通信息化,2025(10):91-96.