

# 地下车站逆作工法经济性分析

赵秀杰

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063 // 高级工程师)

**摘要** 为合理选择城市轨道交通地下车站施工工法,通过分析3个典型地下车站的施工方法设计、数据和工程实践,获得以下结论:①地下4层或更深车站,或基坑深度超过30 m的结构,采用盖挖逆作工法,相对于明挖顺作,土建投资可节省5.3%~7.5%;地下3层站,或基坑深度20~30 m的结构,土建投资可节省2.3%~5.4%;地下2层站或基坑深度20 m以内的结构,土建投资与明挖基本接近,逆作工法稍高。②地下4层站或更深结构(基坑超过30 m,地质条件差,环境复杂)推荐采用盖挖逆作工法;地下3层站或是基坑深度20~30 m的结构,可以优先比选逆作工法;地下2层站或基坑深度20 m以内结构,一般环境下采用明挖法施工。

**关键词** 地下车站;明挖顺作;盖挖逆作;绿色建造;经济性分析

**中图分类号** U121

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.05.012

## Economic Analysis of Reverse Construction Method of Underground Station

ZHAO Xiujie

**Abstract** In order to reasonably select construction method for urban rail transit underground stations, through design and research, data analysis and engineering practice of three typical underground station construction methods, the conclusions are as follows: 1) For underground station with four floors or deeper, or structure with foundation pit deeper than 30 m, adopting cover-excavation reverse method can save construction investment by 5.3%~7.5% compared to adopting open excavation; saving by 2.3%~5.4% for three-floor underground station or foundation pit with a depth of 20~30 m; for structure of two-floor underground station or foundation pit depth less than 20 m, the civil construction investment of reverse method is close to that of open excavation, if not slightly higher. 2) Cover-excavation reverse method is recommended for four-floor underground station or deeper structure (foundation pit more than 30 m, poor geological condition and complex environment); cover-excavation reverse method is preferred for three-floor underground station or structure with foundation pit depth of 20~30 m; open excavation method is generally a-

adopted for two-floor underground station or structure with foundation pit depth less than 20 m.

**Key words** underground station; open excavation in sequence; cover excavation in reverse; green construction; economic analysis

**Author's address** China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

城市轨道交通地下车站一般采用明挖法和暗挖法施工。暗挖法因受控地质条件和功能局限,应用较少。明挖法一般又分为明挖顺作法和盖挖逆作法。盖挖逆作法施工,采用车站主体与基坑支护结构相结合,根据施工需要设置一定数量的工作孔,从上往下开挖车站基坑,从上往下施工各层结构,利用各层梁板结构替代明挖法内支撑系统,开挖至基坑底,结构封底即完成地下结构主体施工。这种利用车站结构替代传统内支撑的逆作施工工法,因为支护刚度大,安全可靠,应用越来越多。

目前城市轨道交通地下车站,最常见的为地下2层、3层站,少量地下1层、地下4层或更深车站。本文结合3个典型地下站,对明挖顺作和盖挖逆作两种工法经济性作精细分析和对比研究。

## 1 地下2层站施工方法经济性分析

某地下标准2层站,基坑深度约17 m,地质条件以粉质黏土为主,局部有淤泥质土层,地下水丰富。

采用明挖顺作法施工,围护结构采用800 mm厚地连墙,局部有淤泥质土采用搅拌桩加固;设置4道内支撑,第1道混凝土支撑,第2、3、4道为 $\Phi$ 800 mm的钢支撑,设一道倒换撑。结构方案如图1所示。

采用盖挖逆作法,围护结构采用1 000 mm地连墙,与主体结构侧墙构成“叠合墙”结构;利用车站主体结构梁板作为基坑内支撑系统;车站主体结

构钢管混凝土柱兼作施工临时立柱;结构方案如图 2 所示,差异工程量及投资对比如表 1 所示(仅对比

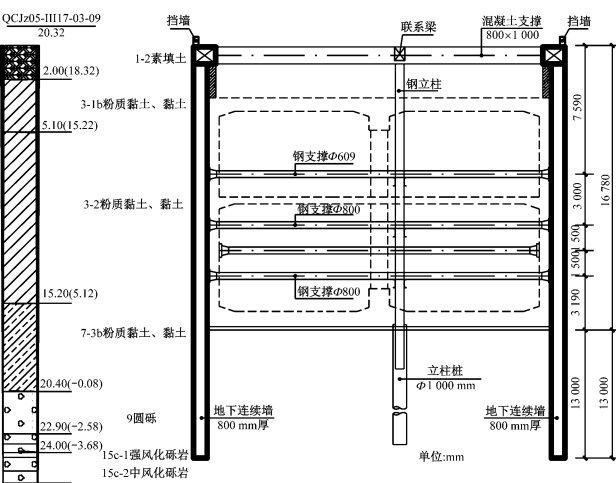


图 1 明挖顺作结构方案图

差异工程量,相同的结构工程量不参与计算对比)。

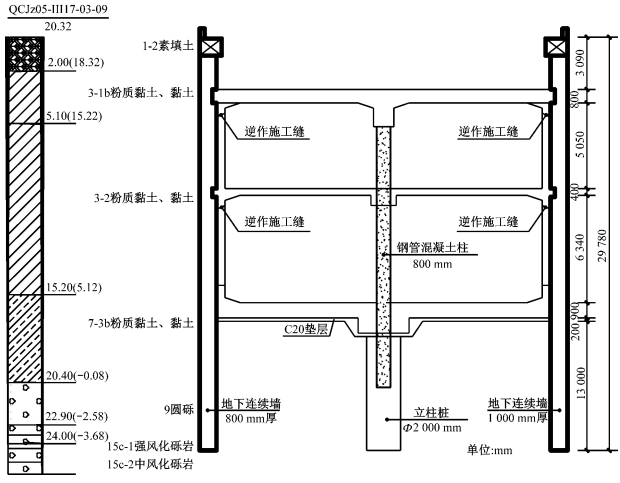


图 2 盖挖逆作结构方案图

表 1 地下二层站明挖顺作与盖挖逆作差异工程量及投资对比表

| 开工项目    | 明挖顺作                    |                          |         | 开工项目     | 盖挖逆作                    |                          |         |
|---------|-------------------------|--------------------------|---------|----------|-------------------------|--------------------------|---------|
|         | 工程量                     | 综合单价                     | 投资/万元   |          | 工程量                     | 综合单价                     | 投资/万元   |
| 混凝土支撑   | 705.7 m <sup>3</sup>    | 2 200.0 元/m <sup>3</sup> | 155.3   | 地模       | 2 083.9 m <sup>3</sup>  | 800.0 元/m <sup>3</sup>   | 166.7   |
| 钢支撑     | 2 618.5 t               | 4 400.0 元/t              | 1 152.2 | 钢管混凝土柱钢材 | 162.8 t                 | 4 281.8 元/t              | 69.7    |
| 临时钢立柱   | 159.9 t                 | 4 000.0 元/t              | 64.0    | 钢管混凝土柱砼  | 340.9 m <sup>3</sup>    | 750.0 元/m <sup>3</sup>   | 25.6    |
| 侧墙混凝土   | 6 818.4 m <sup>3</sup>  | 1 680.0 元/m <sup>3</sup> | 1 145.5 | 侧墙混凝土    | 4 708.8 m <sup>3</sup>  | 1 680.0 元/m <sup>3</sup> | 791.1   |
| 桩基础(空桩) | 382.0 m <sup>3</sup>    | 800.0 元/m <sup>3</sup>   | 30.6    | 钢管柱定位费用  | 46.0 根                  | 100 000.0 元/根            | 460.0   |
| 桩基础(实桩) | 273.2 m <sup>3</sup>    | 2 400.0 元/m <sup>3</sup> | 65.6    | 桩基础(空桩)  | 2 423.7 m <sup>3</sup>  | 786.0 元/m <sup>3</sup>   | 190.5   |
| 脚手架和模板  | 10 419.5 m <sup>3</sup> | 300.0 元/m <sup>3</sup>   | 312.6   | 桩基础(实桩)  | 1 733.3 m <sup>3</sup>  | 2 450.0 元/m <sup>3</sup> | 424.7   |
| 混凝土框架柱  | 425.7 m <sup>3</sup>    | 2 320.0 元/m <sup>3</sup> | 98.8    | 地连墙      | 17 434.9 m <sup>3</sup> | 3 300.0 元/m <sup>3</sup> | 5 753.5 |
| 地连墙     | 13 947.9 m <sup>3</sup> | 3 300.0 元/m <sup>3</sup> | 4 602.8 | 明挖土方     | 25 627.0 m <sup>3</sup> | 108.0 元/m <sup>3</sup>   | 276.8   |
| 明挖土方    | 94 585.4 m <sup>3</sup> | 108.0 元/m <sup>3</sup>   | 1 021.5 | 盖挖土方     | 68 958.4 m <sup>3</sup> | 138.0 元/m <sup>3</sup>   | 951.6   |
| 合计      |                         |                          | 8 648.6 | 合计       |                         |                          | 9 110.1 |

通过表 1 可知,本地下 2 层站,明挖顺作和盖挖逆作两种工法投资基本接近,逆作工法因为地连墙厚度提高一个规格,地连墙和桩基础投资增加,而盖挖逆作相对明挖顺作内支撑减少的投资相对较少。因此,盖挖逆作相对明挖顺作工法投资稍高。

## 2 地下 3 层站逆作施工经济性分析

某地下 3 层站,车站主体基坑深度 26 m,2 层附属外挂基坑深度 17.8 m,1 层换乘大厅基坑深度 10.9 m。地质条件以黏土、粉质黏土、粉细砂为主,地下水丰富。

采用明挖顺作法施工,围护结构采用 1 000 mm 厚地连墙;设置 5 道内支撑,第 1、3 道为混凝土支

撑,第 2、4、5 道为  $\Phi$  800 mm 的钢支撑,设 1 道倒换撑<sup>[1]</sup>。结构方案如图 3 所示。

采用盖挖逆作法施工,围护结构采用 1 000 mm 厚地连墙,与主体侧墙构成“叠合墙”结构;利用车站梁板作为基坑内支撑系统;主体钢管混凝土柱兼作施工临时立柱,结构方案如图 4 所示,两种工法差异工程量及投资对比如表 2 所示(仅对比差异工程量,相同的结构工程量不参与计算对比)。

本站采用盖挖逆作,可将部分地下 2 层、地下 1 层区域与地下 3 层主体合并为一个基坑整体逆作法施工,相对于明挖顺作,减少投资 2 419 万元,占土建总投资的 5.4%;若分期逆作实施,减少投资 1 030 万元,占土建总投资的 2.3%。采用盖挖逆作

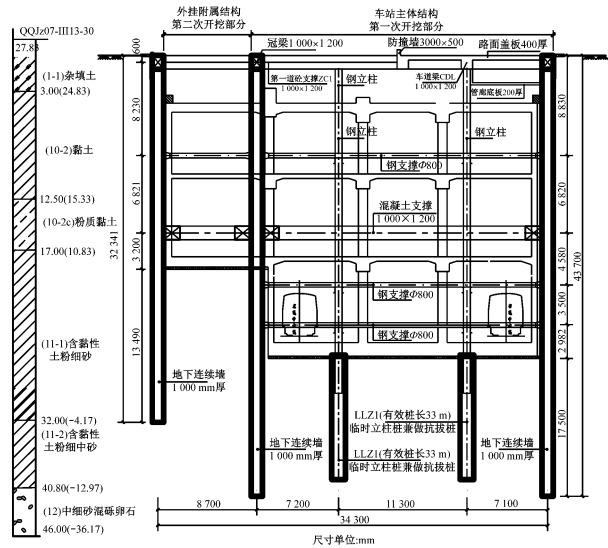


图 3 明挖顺作结构方案图

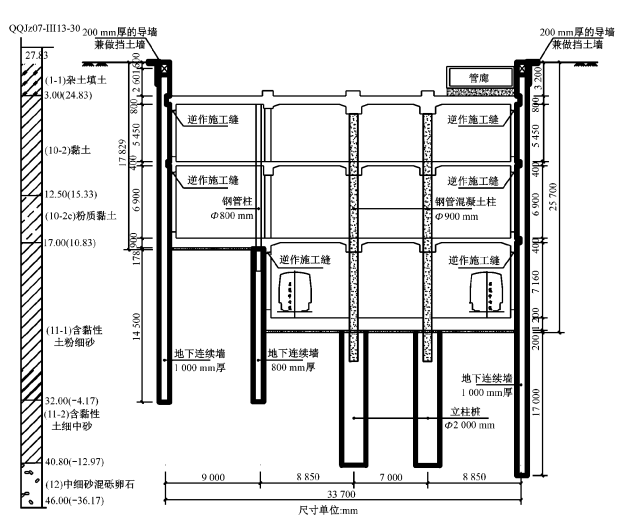


图 4 盖挖逆作结构方案图

表 2 地下三层站明挖顺作与盖挖逆作差异工程量及投资对比表

| 项目     | 明挖顺作方案                   |                        |          | 项目    | 盖挖逆作方案                   |                        |          |
|--------|--------------------------|------------------------|----------|-------|--------------------------|------------------------|----------|
|        | 工程量                      | 综合单价                   | 投资/万元    |       | 工程量                      | 综合单价                   | 投资/万元    |
| 地下连续墙  | 42 705.0 m <sup>3</sup>  | 3 400 元/m <sup>3</sup> | 14 519.7 | 地下连续墙 | 42 705.0 m <sup>3</sup>  | 3 400 元/m <sup>3</sup> | 14 519.7 |
| 混凝土支撑  | 6 879.9 m <sup>3</sup>   | 2 200 元/m <sup>3</sup> | 1 513.6  | 混凝土土模 | 5 821.5 m <sup>3</sup>   | 950 元/m <sup>3</sup>   | 553.0    |
| 钢支撑    | 5 048.7 t                | 4 400 元/t              | 2 221.4  | 钢管柱   | 799.7 t                  | 8 800 元/t              | 703.7    |
| 临时钢立柱  | 371.3 t                  | 4 000 元/t              | 148.5    | 填心混凝土 | 1 197.5 m <sup>3</sup>   | 750 元/m <sup>3</sup>   | 89.8     |
| 侧墙混凝土  | 12 376.0 m <sup>3</sup>  | 1 680 元/m <sup>3</sup> | 2 079.2  | 临时钢立柱 | 61.0 t                   | 4 000 元/t              | 24.4     |
| 桩(空桩)  | 2 746.9 m <sup>3</sup>   | 800 元/m <sup>3</sup>   | 219.7    | 钢管柱定位 | 95.0 根                   | 100 000 元/根            | 950.0    |
| 桩(实桩)  | 3 430.8 m <sup>3</sup>   | 2 400 元/m <sup>3</sup> | 823.4    | 混凝土侧墙 | 8 840.0 m <sup>3</sup>   | 1 680 元/m <sup>3</sup> | 1 485.1  |
| 脚手架和模板 | 24 137.5 m <sup>3</sup>  | 300 元/m <sup>3</sup>   | 724.1    | 桩(空桩) | 11 716.7 m <sup>3</sup>  | 800 元/m <sup>3</sup>   | 937.3    |
| 混凝土框架柱 | 1 877.2 m <sup>3</sup>   | 2 330 元/m <sup>3</sup> | 437.4    | 桩(实桩) | 7 219.4 m <sup>3</sup>   | 2 400 元/m <sup>3</sup> | 1 732.7  |
| 明挖土方   | 264 762.3 m <sup>3</sup> | 108 元/m <sup>3</sup>   | 2859.4   | 明挖土方  | 44 230.0 m <sup>3</sup>  | 108 元/m <sup>3</sup>   | 477.7    |
| 半截墙及破除 | 3 655.0 m <sup>3</sup>   | 3 800 元/m <sup>3</sup> | 1388.9   | 盖挖土方  | 220 532.3 m <sup>3</sup> | 138 元/m <sup>3</sup>   | 3 043.3  |
| 合计     |                          |                        | 26 935.3 | 合计    |                          |                        | 24 516.7 |

法施工,利用主体结构梁板系统作为内支撑系统,基坑支护整体刚度大,安全度高,因此可将不同深度分区施工的基坑合并为一个基坑整体施工,既减少了分区隔离墙,降低了工程投资和施工难度,又加快施工进度,缩短了工期,一举多得。

3 地下 4 层站逆作施工经济性分析

某地下 4 层站,基坑深度 35 m,位于长江边,地质条件差,周边环境复杂,为保证安全和控制变形,通过工程类比和计算分析,可以采用两种明挖方案:方案一,围护结构采用 1 500 mm 厚地连墙,设置 7 道内支撑和 1 道倒换撑,其中第 1、3、5 道为混凝土支撑,其余为钢管撑,如图 5 所示;方案二,围护

结构采用 1 200 mm 厚地连墙,设置 8 道内支撑和 2 道倒换撑,其中第 1、2、3、5 道为混凝土支撑,其余为钢管撑,如图 6 所示。为有效控制地下水渗流稳定(尤其是承压水抗突涌稳定性),将车站主体四周地连墙落入基岩,同时采用压力注浆加固墙趾沉渣,彻底隔断基坑内外水力联系,形成可靠的落底式止水帷幕<sup>[2]</sup>。

盖挖逆作法施工,采用支护结构和主体结构全面相结合的支护方案<sup>[3]</sup>:① 围护结构采用 1 500 mm 厚地连墙,围护地连墙和主体侧墙构成“叠合墙”结构;② 主体结构梁板系统作为基坑开挖阶段围护结构的水平支撑系统,各层板施工过程根据出土需要留设一定数量临时出土孔;③ 主体结构永久

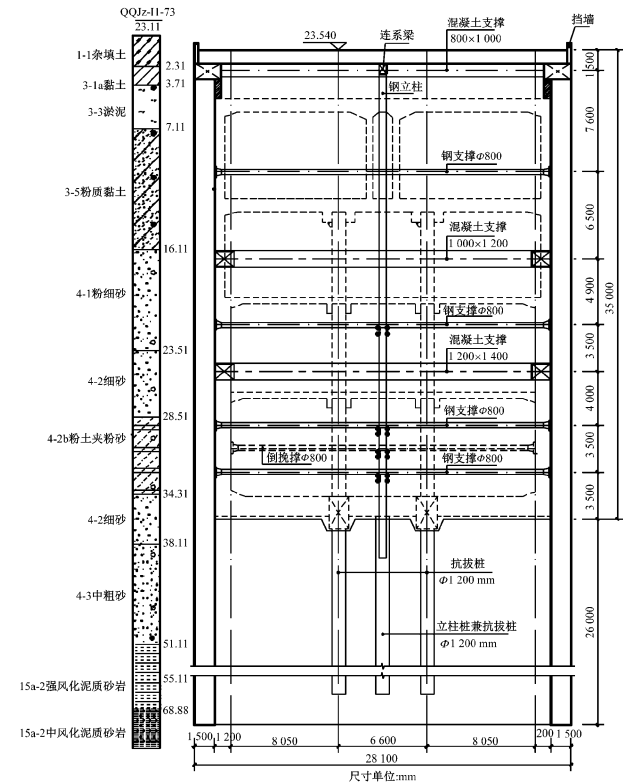


图5 方案一结构横剖面图

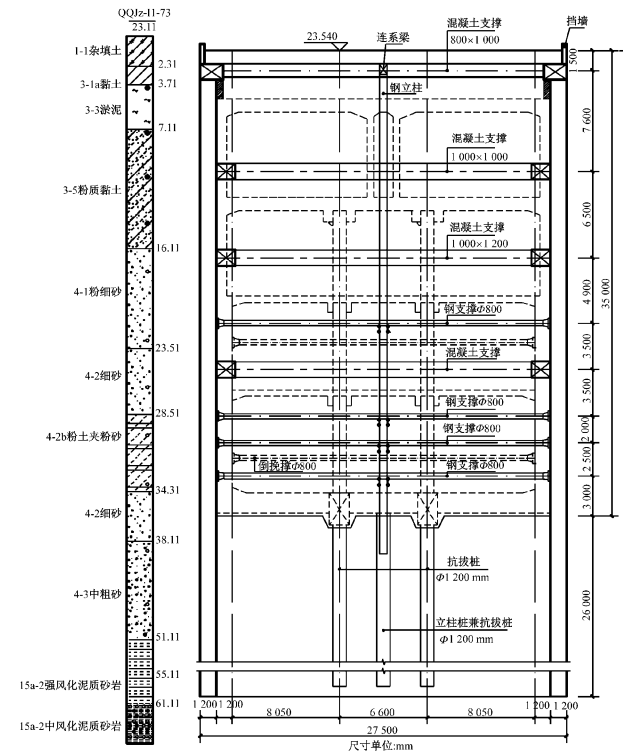


图6 方案二结构横剖面图

柱(钢管混凝土柱)兼作楼板支撑系统的临时支承柱,钢管混凝土柱基础采用钻孔灌注桩。具体支护方案如图7所示。

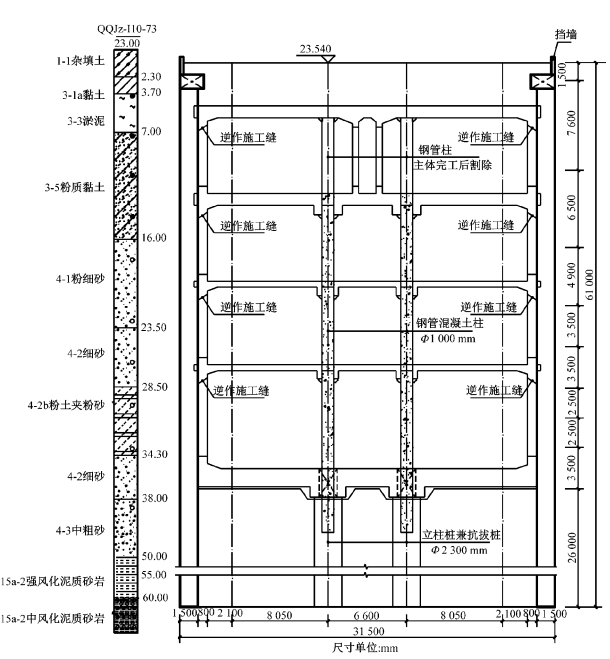


图7 方案三结构横剖面图

为控制差异沉降变形引起的次应力,地连墙和立柱桩均插入中风化岩;同时,对入岩钻孔灌注桩端和地连墙墙趾沉渣进行高压注浆加固,有效控制桩、墙在逆作施工荷载下的绝对沉降,使相邻立柱以及立柱桩与临近基坑围护墙之间的差异沉降不大于1/400柱距,且不大于20mm。

通过表3可知,工程投资方案一最大,方案二其次,方案三再次。方案三1500mm地连墙盖挖逆作方案,相对于方案一1500mm厚地连墙明挖顺作,节省投资4321万元,占工程总投资约7.5%;相对于方案二1200mm地连墙明挖顺作,节省投资3044万元,占总投资约5.3%。采用盖挖逆作法施工,节省了大量的内支撑,降低了工程投资<sup>[4]</sup>。

表4为明挖顺作与盖挖逆作两种工法对比。

采用逆作法施工,主要具有如下优点:①利用结构梁板作为内支撑系统,可最大限度控制变形,安全度高;②盖挖顶板完成后可以作为施工场地,恢复地下管线和地面交通;③以板代撑,节省工程费用;④无内支撑,施工速度快;⑤逆作采用钢管混凝土柱,抗震性能更优;⑥无需大量凿除混凝土支撑,绿色施工,保护环境和自然,与绿色建造发展理念吻合。

通过对盖挖逆作工程全过程监测跟踪实践,总结如下:盖挖逆作,不受气候条件制约,风雨无阻,科学施工组织,施工速度快,工期短;超大超深、形

表 3 地下 4 层站明挖顺作与盖挖逆作差异工程量及投资对比表

| 明挖顺作方案   |                         |                        |        |                        |        | 盖挖逆作方案  |                        |                        |        |
|----------|-------------------------|------------------------|--------|------------------------|--------|---------|------------------------|------------------------|--------|
| 开工项目     | 单价                      | 方案一                    |        | 方案二                    |        | 开工项目    | 方案三                    |                        |        |
|          |                         | 工程量                    | 投资/万元  | 工程量                    | 投资/万元  |         | 工程量                    | 单价/元                   | 投资/万元  |
| 地下连续墙    | 3 400 元/m <sup>3</sup>  | 55 254 m <sup>3</sup>  | 18 786 | 47 851 m <sup>3</sup>  | 16 269 | 地下连续墙   | 54 090 m <sup>3</sup>  | 3 400 元/m <sup>3</sup> | 18 391 |
| 混凝土支撑    | 2 200 元/m <sup>3</sup>  | 12 814 m <sup>3</sup>  | 2 819  | 16 771 m <sup>3</sup>  | 3 690  | 混凝土地模   | 6 192 m <sup>3</sup>   | 950 元/m <sup>3</sup>   | 588    |
| 钢支撑      | 4 400 元/t               | 5 585 t                | 2 457  | 6 427 t                | 2 828  | 脚手架和模板  | 41 278 m <sup>2</sup>  | 150 元/m <sup>2</sup>   | 619    |
| 临时钢立柱    | 4 000 元/t               | 671 t                  | 268    | 671 t                  | 268    | 钢管柱(永久) | 1 042 t                | 8 800 元/t              | 917    |
| 侧墙混凝土    | 1 680 元/m <sup>3</sup>  | 23 181 m <sup>3</sup>  | 3 894  | 23 181 m <sup>3</sup>  | 38 94  | 填心混凝土   | 2 127 m <sup>3</sup>   | 750 元/m <sup>3</sup>   | 160    |
| 侧墙防水(差值) | 18 030 元/m <sup>2</sup> | 30 m <sup>2</sup>      | 54.09  | 18 030 m <sup>2</sup>  | 54.09  | 钢管柱定位   | 72 根                   | 120 000 元/根            | 864    |
| 桩(空桩)    | 800 元/m <sup>3</sup>    | 6 204 m <sup>3</sup>   | 496    | 6 204 m <sup>3</sup>   | 496    | 内衬墙混凝土  | 14 645 m <sup>3</sup>  | 1 680 元/m <sup>3</sup> | 2 460  |
| 桩(实桩)    | 2 400 元/m <sup>3</sup>  | 5 833 m <sup>3</sup>   | 1 400  | 5 833 m <sup>3</sup>   | 1 400  | 桩(空桩)   | 9 618 m <sup>3</sup>   | 800 元/m <sup>3</sup>   | 769    |
| 脚手架和模板   | 300 元/m <sup>3</sup>    | 41 278 m <sup>3</sup>  | 1 238  | 41 278 m <sup>3</sup>  | 1 238  | 桩(实桩)   | 8 970 m <sup>3</sup>   | 2 400 元/m <sup>3</sup> | 2 153  |
| 混凝土框架柱   | 2 330 元/m <sup>3</sup>  | 3 226 m <sup>3</sup>   | 752    | 3 226 m <sup>3</sup>   | 752    | 明挖土方    | 59 180 m <sup>3</sup>  | 108 元/m <sup>3</sup>   | 639    |
| 明挖土方     | 108 元/m <sup>3</sup>    | 367 665 m <sup>3</sup> | 3 971  | 367 665 m <sup>3</sup> | 3 971  | 盖挖土方    | 308 350 m <sup>3</sup> | 138 元/m <sup>3</sup>   | 4 255  |
| 合计/万元    |                         |                        | 36 137 |                        | 34 860 |         |                        |                        | 31 816 |

表 4 明挖顺作与盖挖逆作两种工法对比表

| 工法    | 安全 | 质量 | 投资 | 工期 | 防水性能 | 环境效益 | 施工难度 | 技术水平 |
|-------|----|----|----|----|------|------|------|------|
| 明挖顺作法 | 较高 | 高  | 高  | 长  | 好    | 低    | 适中   | 一般   |
| 盖挖逆作法 | 高  | 较高 | 较高 | 较长 | 较好   | 高    | 相对较大 | 相对较高 |

状不规则、环境复杂、地质条件差的基坑工程,采用盖挖逆作工法,明挖混凝土支撑数量越多,经济性和工期越有优势<sup>[5]</sup>。

当然,逆作工法也有一些问题需要克服:①逆作工程一般采用叠合墙,较明挖顺作结构,侧墙无柔性防水层,防水混凝土需精心施工,应高度重视逆作施工缝,提升混凝土结构自防水质量;②逆作施工关键技术(如立柱的选型、立柱定位工法、梁柱节点、差异沉降及施工设备),相对于明挖结构,施工工艺和质量管控要求稍高,需综合工程安全、工期、造价、环境保护、交通疏解及基坑工程的特点,具体问题具体分析,权衡利弊,综合选择。

4 结论

1) 通过以上 3 个实际工程的对比分析和工程实践,结论如下:地下 4 层或更深车站,或深度超过 30 m 地下结构,采用盖挖逆作工法,相对于明挖顺作法,土建投资可节省 5.3%~7.5%;地下 3 层站,或者基坑深度 20~30 m 结构,盖挖逆作相对于明挖顺作,土建投资可节省 2.3%~5.4%;地下 2 层站或者基坑深度 20 m 以下的结构,土建投资盖挖与明

挖基本接近,逆作稍高。

2) 综合安全、投资、工期、质量等多种因素,地下 4 层或更深车站,或基坑深度超过 30 m 结构,地质条件差,环境复杂,安全性和经济性要求高,推荐盖挖逆作工法;地下 3 层站或是基坑深度 20~30 m 结构,应综合比选逆作法施工;地下 2 层站,基坑深度小于 20 m,一般环境条件下优先采用明挖法施工。

参考文献

[1] 中铁第四勘察设计研究院集团有限公司. 武汉地铁七号线武昌火车站工法比选及风险评估专项研究报告[Z]. 武汉: 中铁第四勘察设计研究院集团有限公司,2013.

[2] 中铁第四勘察设计研究院集团有限公司. 武汉地铁七号线徐家棚站工法比选及风险评估专项研究报告[Z]. 武汉: 中铁第四勘察设计研究院集团有限公司,2013.

[3] 欧阳冬. 武汉地铁徐家棚站“公铁合建”结构方案研究[J]. 铁道工程学报,2014(8):84.

[4] 欧阳冬,沈婷,陈远洲,等. 广深港高铁深圳福田站逆作法施工与设计[J]. 建筑结构,2012(3):132.

[5] 欧阳冬. 南京地铁南京站逆作法施工与结构设计研究[J]. 城市轨道交通研究,2015(6):100.

(收稿日期:2020-08-13)