

DOI: 10.7672/sgjs2025010028

地铁车站暗挖段拱盖法施工关键技术研究*

陈之明

(中铁十八局集团第三工程有限公司,河北 涿州 072750)

[摘要] 以地铁车站暗挖段拱盖法施工为研究对象,全面分析了施工过程中的关键技术。首先介绍了拱盖法在地铁车站工程中的应用优势,包括减少导洞数量、简化施工流程、降低地层扰动以及减少地面沉降等。接着分析了拱盖法对围岩条件的适应性,指出该方法特别适用于风化岩层,尤其是上软下硬的土岩复合地层。然后详细探讨了施工过程中涉及的关键技术,包括扣拱施工、大拱脚施工等。特别强调在实际工程中,需深入研究初期支护关键技术,并根据具体工况选择合适的初期支护方式和施工方案。

[关键词] 地铁车站;拱盖法;暗挖;初期支护;施工技术

[中图分类号] TU758.11

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)01-0028-05

Study on Key Technologies of Arch Cover Method in Underground Excavation Section of Subway Station

CHEN Zhiming

(China Railway 18th Bureau Group Third Engineering Co., Ltd., Zhuozhou, Hebei 072750, China)

Abstract: Taking the construction using the arch cover method of the underground excavation section of a subway station as the research object, the key technologies in the construction process are comprehensively analyzed. Firstly, the application advantages of the arched cover method in subway station engineering were introduced, such as reducing the number of pilot tunnels, simplifying the construction process, reducing stratum disturbance, reducing land subsidence, etc. Then, the adaptability of the arched cover method to surrounding rock conditions was analyzed, and it is pointed out that this method is especially suitable for weathered rock strata, especially for upper-soft lower-hard soil-rock composite strata. Next, the key technologies involved in the construction process are discussed in detail, including buckle-arch construction, large arch foot construction, and so on. It is particularly emphasized that in the actual project it is necessary to study the key technology of initial support in depth and select the appropriate primary support method and construction scheme in accordance with the specific working conditions.

Keywords: subway station; arch cover method; underground excavation; initial support; construction

0 引言

地铁车站暗挖段采用拱盖法施工^[1-2],其施工质量和安全性直接影响地铁线路的稳定运行和乘客的出行安全。拱盖法通过初期支护和二次衬砌相结合,利用岩土体本身的承载能力来支撑和保护地下结构。本文以浆水泉路站为例,深入分析了暗挖段拱盖法施工过程中的关键技术,包括围岩稳定

性分析、施工监测与反馈、初期支护设计与施工、二次衬砌施工工艺等,旨在为地铁隧道工程施工提供全面的理论支持和实践指导。

1 工程概况

浆水泉路站位于济南市经十路与浆水泉路交叉口南侧,沿经十路呈东西向布设。车站北侧邻近经十路辅路,辅路北侧为浆水泉立交桥;南侧为环山汽车维修有限公司和精工伟业维修厂,南端紧邻山东省妇幼保健院,东侧为卓越时代广场商务办公楼。该站采用地下3层岛式设计,公共区域位于地下2层。车站全长248.7m,标准段宽20.2m。在穿

* 中国铁建股份有限公司2022年度科技研究开发计划及资助课题(2022-C1);中铁十八局集团有限公司2022年度科研创新项目(C2022-051)

[作者简介] 陈之明,硕士,工程师,E-mail: proteus33@163.com

[收稿日期] 2024-11-24

越浆水泉路段时,采用了二次衬砌拱盖法施工,暗挖段长度为 58m。二次衬砌结构总宽 22.3m,总高 20.19m,其中侧导洞毛洞高约 6.4m,宽 7.9m;中导洞毛洞高约 6.35m,宽度为 6.3~8.5m。暗挖段主要穿越地层包括中风化灰岩(破碎)和 中风化灰岩,覆盖土层为杂填土和 中风化灰岩(破碎)。此外,二次衬砌结构拱顶覆土厚度约为 8m。

1.1 工程与水文地质条件

浆水泉车站的地下主要由杂填土、中风化石灰岩(破碎)、碎裂岩、断层角砾、断层泥夹角砾、岩溶化泥灰岩、泥灰岩和角砾岩组成,基底位于 中风化石灰岩(破碎)和角砾岩之上,如图 1 所示。在暗挖段区域,主要位于 中风化石灰岩(破碎)中,围岩等级为 V 级。值得注意的是,部分钻孔揭示溶洞全填充状态,施工期间地下水位受大气降水影响剧烈波动,最高水位通常出现在 7 月下旬至 9 月中旬,最低水位则出现在 5 月中旬至 7 月中旬,勘察期间最高年变幅达 30m。为确保施工安全,降水方案中在暗挖两侧明挖基坑中各设置 3 口降水井,持续降低水位。

1.2 管线情况

在车站暗挖段的上方存在多种地下管线设施,包括天然气管、供热管、热水管、蒸汽管、污水管、雨水管、电力管沟、电信综合管、交通信号管和路灯管等。天然气管为直径 325mm 的钢管,埋深约 1.68m;供热管为 2 根直径 273mm 的钢管,埋深约 1.9m;热水管为 2 根直径 426mm 的钢管,埋深约 1.4m;蒸汽管为直径 800mm 的钢管,埋深约 2.6m;污水管为直径 600mm 的混凝土管,埋深约 2.85m;雨水管为直径 800mm 的混凝土管,埋深约 3.6m;电力管沟宽 2m,南侧埋深约 3.7m,北侧埋深约 6.6m;电信综合管为 400mm×300mm 的铜管,埋深约 1.6m;交通信号管和路灯管分别为 200mm×200mm 和 200mm×100mm 的铜管。

1.3 主要断面设计参数

在地铁车站暗挖段施工中,超前支护方案采用直径 406mm、壁厚 12mm、长度 12m 的钢管幕和直径 42mm、壁厚 3.5mm 的超前小导管,用于加强对围岩的支护效果。初期支护采用厚度 350mm 的 C25 喷射混凝土,辅以 HW250×250×9×14 型钢支架,间隔 0.5m,确保结构稳定。钢筋采用双层 $\phi 8@150 \times 150$ 钢筋网,配以 $\phi 22$ 纵向连接筋,交叉布置,有助于保证支护稳定性。锁脚锚管直径 42mm,壁厚 3.5mm,长度 5m,提供抗浮性能。拱脚部分采用人工挖孔桩,并结合 R25 中空锚杆加固,以稳定围岩。超前帷幕注浆方案采用长、短结合注浆方法,确保注浆均匀覆盖,稳固围岩。注浆范围涵盖开挖轮廓线外 2m 至轮廓线内 1m 的区域(见图 2)。

2 拱盖法基本原理

2.1 施工原理

拱盖法的创新之处在于将传统的盘梁拱(PBA)施工方法与大拱脚设计相结合,形成更稳定、更安全的地下工程施工方案^[3-4]。这种方法充分利用了下覆围岩的承载能力和稳定性,减少了地表沉降和地下水渗透等负面影响,保护了周边建筑物和地下设施的完整性。在结构力学上,拱形结构能将外部荷载通过拱顶传递至支撑点,减轻地下工程对周围土体的挤压和变形,降低地表建筑物沉降和变形风险。在土体力学上,拱形结构施工和应用能均匀分配土体内部应力,减少压缩和沉降,提高土体的承载能力和稳定性。在地下水力学上,拱形结构具有良好的防水性能,能有效阻止地下水渗透和侵蚀,保护建筑物和地下设施免受水质污染和结构损坏。

工程实践经验表明,拱盖法在长期工程实践中得到了广泛应用和验证,技术和设计方法也不断优化,为地下工程施工的安全和高效提供了保障。在确保拱盖整体稳定性方面,拱形结构下覆基岩的纵

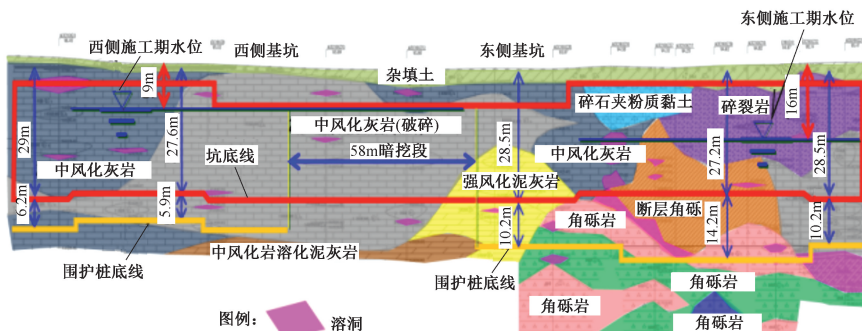


图 1 工程与水文地质条件

Fig. 1 Engineering and hydrogeological conditions

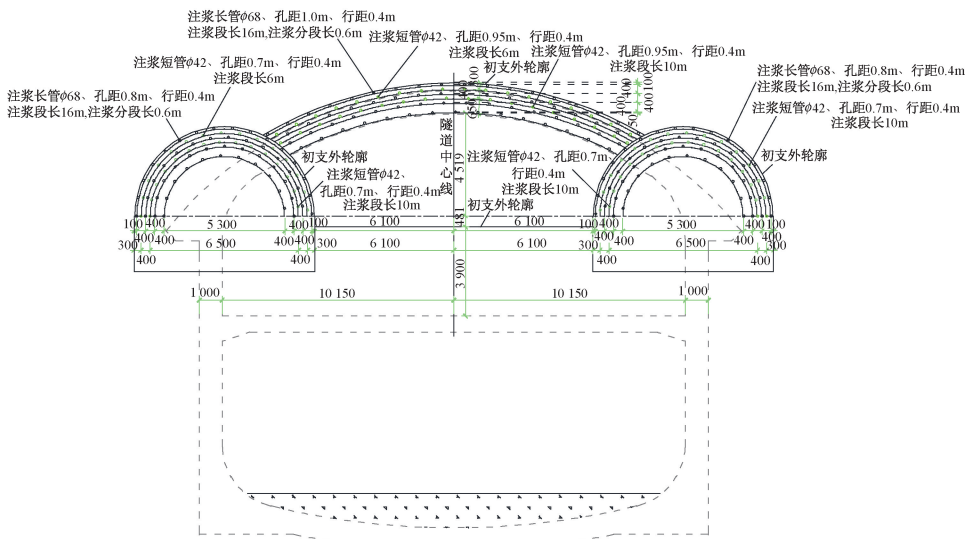


图2 长短管注浆纵断面

Fig. 2 Longitudinal section of grouting for long and short pipes

向冠梁设计能将上部荷载均匀传递至基岩,增强结构的承载能力和稳定性。此外,为确保高边墙围岩的稳定性,还结合人工挖孔桩支护、预应力锚索和锚喷支护技术,成功应对了复杂地质环境和溶洞等挑战,确保地下空间施工安全可靠。与此同时,为控制地层沉降并保护施工结构,还采取了减振爆破和松动爆破等措施,以降低施工过程中对地层和结构的扰动,确保施工安全。

2.2 施工步骤

在拱盖法施工过程中,首先,初期支护扣拱作业通过小导洞固定拱部结构,然后利用大拱脚方案将初期支护与二衬结构支撑在稳定的基岩上,形成稳固的拱盖结构。这种设计不仅确保了施工的安全性,还降低了施工复杂度和成本。此外,拱盖法施工工序简化,避免了大规模爆破作业,减少了对周围环境的干扰,地面沉降也较小,有效降低对地表建筑物和交通运行的影响。因此,该方法在地铁站等工程项目中具有广泛的适用性和优势,为工程施工提供了可靠、高效的解决方案。

拱盖法的实施步骤包括以下几个方面:①在设计阶段,根据地质条件、工程要求和施工环境,确定拱盖结构的形式、尺寸和材料,并制定施工方案和技术措施;②施工准备阶段,完成现场勘察、基础准备和材料采购等工作,为后续施工做好充分准备;③在拱顶施工阶段,通过小导洞固定拱部结构,并利用大拱脚方案将初期支护与二衬结构支撑在稳定基岩上,形成坚固的拱盖结构;④进行地下空间作业,在拱盖的保护下,进行地下盖挖逆作或顺作施工,开展地下空间的开挖和结构建设;⑤施工监

控与调整阶段,随着施工的进行,及时监测施工过程中的各项参数和指标,并根据实际情况进行调整和优化,以确保施工顺利进行和结构安全^[5-6]。

综上所述,拱盖法在施工过程中充分考虑了地质条件、结构稳定性和施工环境等因素,通过合理的设计和科学的施工措施,为地下工程的顺利实施提供了可靠保障。

2.3 施工方案比选

在暗挖地铁车站的施工过程中,常见的技术方案包括全逆作法、全顺作法以及半逆作半顺作施工方式。全逆作法具有较高的安全性和可靠性,能够降低施工风险和工程质量,但由于爆破技术的应用,可能存在对中板结构保护力度不足的问题,容易导致安全隐患。此外,逆向水平接缝过多、接触位置质量不过关和防水措施不当等问题也可能导致带水作业现象,从而影响施工进度和施工质量。全顺作法则在施工进度上相对较快,有利于土石方挖掘和作业面结构施工的连续和有序开展,然而初期支护设计往往需要对拱部地层进行加固,导致成本较高,并且可能影响周边围岩的稳定性。半逆作半顺作施工方式综合了上述两种方法的优势,在二次衬砌拱盖的保护下,能够进行洞内土石方的挖掘和结构施工,确保施工过程的稳定和保护周边环境^[7-8]。

以浆水泉路站暗挖段为例,该站位于济南市的经十路与浆水泉路交叉口附近,是一处人员和车流量较大的区域,周边建筑物为高层公寓楼,人流密集,交通导改难度大。此外,受限于施工场地狭窄,无法采取有效隔离措施。因此,在对施工环境和周

边建筑物、人员通行安全进行综合评估后,浆水泉路站暗挖段选择了半逆作半顺作拱盖法施工方案。该方案在二次衬砌拱盖的保护下,能够有效减少施工对周边环境的影响,同时确保施工过程的稳定与顺利进行,为工程施工提供安全保障。同时,在施工过程中,还需严格监控施工参数,及时调整和优化,以确保工程质量和施工安全。

3 施工关键技术

3.1 大拱脚施工

大拱脚施工通过岩石的承载能力,将初期支护和二次衬砌结构均匀支撑在岩壁两侧,形成拱盖形状^[9]。浆水泉路站的地质勘查报告显示,站点冠梁下围岩抗压强度在 40~90MPa,边桩承载能力符合工程需求。大拱脚施工包括钢管幕施作、超前小导管施作、1,2 号导洞开挖和注浆、钢花管注浆以及冠梁浇筑(见图 3)。冠梁施作完成后分段架设拱盖初支,待初支达到设计强度后分段对初支背后空腔进行 C20 素混凝土回填,并补充注浆。1,2 号导洞所有分部分项工程全部完成后开挖 3,4 号导洞,分上下台阶开挖。施作超前小导洞时,要求同一侧的两导洞前后错开不小于 10m,以防止结构应力集中和坍塌风险。

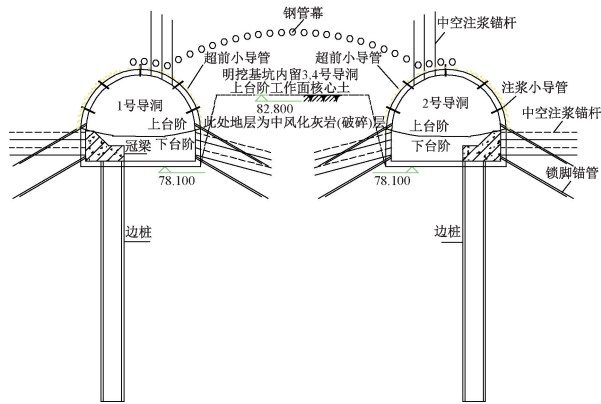


图 3 大拱脚施工

Fig. 3 Construction of large arch foot

此外,钢管幕施工从隧道的两侧同时进行,采用分段推进的方式,确保施工稳定性和结构完整性。钢管幕的接收端在达到设计长度后,通过接收井进行精确对接,并采用注浆加固,确保接收时结构稳定。

3.2 扣拱施工

扣拱施工分为两部分,首先是导洞初期支护扣拱与背后回填混凝土施工,技术人员需加固初期支护结构。冠梁施作完成后分段架设拱盖初支,待初支达到设计强度后分段对初支背后空腔进行 C20 素混凝土回填,并补充注浆。1,2 号导洞所有分部

分项工程全部完成后开挖 3,4 号导洞(分上下台阶开挖,前后错开 7m)并施作超前小导管,要求两导洞前后错开不小于 10m。其次是二次衬砌扣拱施工,利用自行式液压模板台车或支架分段作业。待 3 号导洞开挖 16m,4 号导洞开挖 6m 后,先将洞门至 6m 范围(分两段施作,每段施作步长 3m)的二衬拱盖施作完成,然后继续开挖导洞,待导洞贯通后,施作剩余二衬拱盖(见图 4)。

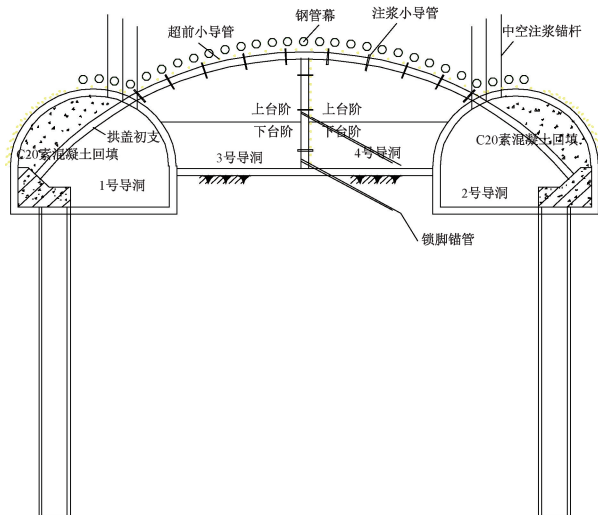


图 4 扣拱施工

Fig. 4 Construction of arch closure

根据实际工程监测,浆水泉路站拱部最大沉降量为 10mm,地表最大沉降量为 15mm,均在设计允许范围内。施工过程中持续对拱部及地面的沉降进行监测,并根据数据及时调整施工参数,确保施工安全。

4 施工重难点及应对措施

4.1 管线保护

在地铁车站暗挖施工中,保护地下管线是关键任务^[10]。地下管线种类繁多,包括雨水管、污水管、给水管、电力管和天然气管等,这些管线与施工结构距离较近,渗漏水问题突出,存在潜在事故风险。为此,采取以下措施。

1) 探测与分级处理:深入探测地下建筑物和管线,评估其位置、重要性、变形敏感性及处理难易程度,进行分级处理。必要时预埋注浆管并跟踪注浆。施工前检查并堵漏污水管、雨水管和给水管,制定临时排水预案。

2) 技术措施:在拱部设置钢管幕和超前小导管,并注入水泥浆,施作中空注浆锚杆,固定围岩。采用短进尺施工,每次进尺 0.5m,监测管线并根据结果调整施工方案。避免爆破作业,使用机械挖掘。注浆前进行现场试验,控制注浆压力和半径。

3)超前地质预报与探测:分析地质资料,实施超前地质预报和支护管控。接近管线时,进行超前水平探孔,探明水文地质状况,排出残留水。使用TXU-150钻机探测,探测长度为15m,每个断面设置3个探测孔。遇渗水情况提前注浆加固封堵,使用水泥-水玻璃双液浆。探测期间技术人员全程记录地质参数。

4.2 环境保护

由于开挖作业时间较长,并需破除主拱与边洞连接处的初期支护,减少对围岩的扰动和对周边环境的影响至关重要,采取措施如下。

1)机械开挖:避免钻爆施工,使用悬臂掘进机,严格控制超欠挖,保持隧洞轮廓线良好,减少围岩扰动,降低地表沉降。施工管理严格标准化,实时分析土质变化,确保施工安全,降低环境影响。

2)周边建筑物调查与监控:对穿越地段周边建筑物进行详细调查,作为施工期间制订监测和保护措施的依据。全过程监测地表沉降、洞内收敛、拱顶下沉、底部隆起及邻近建筑物和管线等,及时调整隧道支护参数,合理安排工期。

3)技术措施:采取注浆加固、超前支护、短进尺施工和及时封闭等技术措施,减少对围岩的扰动,确保开挖稳定性,降低对环境的影响。开挖前进行围岩注浆加固,采用超前小导管和钢管幕设置,确保围岩稳定,每次进尺控制在0.5m以内,开挖完成后及时进行初期支护和封闭。

5 结语

拱盖法是地铁车站常用的施工方法,具有导洞数量少、工序简化、扰动小、地面沉降小、支护简单、废弃工程量少、成本低等优点。一旦形成拱盖结构,可实现大面积作业,提高工程效率并缩短工期,特别适用于施工场地狭小和交通导改受限的情况。

参考文献:

[1] 张亮. 拱盖法车站设备区管线夹层设计[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(9): 248-251, 258.
ZHANG L. Design of pipeline mezzanine in equipment area of arch cover method station[J]. Urban rail transportation research, 2023, 26(9): 248-251, 258.

[2] 马全武, 雷刚, 刘明明, 等. 拱盖法暗挖地铁车站风道接主体进洞技术方案分析[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(9): 46-50.
MA Q W, LEI G, LIU M M, et al. Analysis of the technical scheme of duct connection with main body of subway station in concealed excavation by arch cover method[J]. Urban rail transportation research, 2023, 26(9): 46-50.

[3] 资斌全, 资鹏, 李鸿磊. 浅埋大跨度暗挖车站单层初支拱盖法技术研究[J]. 工程建设与设计, 2023(11): 171-173.
ZI B Q, ZI P, LI H L. Research on the technology of single-layer primary support arch cover method for shallow buried large-span concealed excavation station[J]. Engineering construction and design, 2023(11): 171-173.

[4] 贾世涛, 张志勇, 宋波, 等. 拱盖法车站施工过程地层沉降规律及适用性分析[J]. 铁道建筑技术, 2020(5): 100-103, 108.
JIA S T, ZHANG Z Y, SONG B, et al. Analysis of ground settlement law and applicability during construction of station by arch cover method[J]. Railway construction technology, 2020(5): 100-103, 108.

[5] 赵文强. 基于设计方案及施工工法比较的青岛暗挖地铁车站技术经济分析[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2018.
ZHAO W Q. Technical and economic analysis of Qingdao concealed subway station based on the comparison of design scheme and construction method[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2019.

[6] 叶家强, 丁静泽. 盾构通过后隧道风井暗挖施工技术研究[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(1): 142-147, 157.
YE J Q, DING J Z. Research on the construction technology of concealed excavation of tunnel air shaft after shield passage[J]. Construction technology, 2024, 53(1): 142-147, 157.

[7] 贺维国, 李若舟, 袁勇, 等. 地铁车站交叠式群洞结构施工过程动态安全变化对比研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(12): 75-80.
HE W G, LI R Z, YUAN Y, et al. Comparative study on dynamic safety changes during construction of interlocking group cave structures in subway stations[J]. Urban rail transportation research, 2023, 26(12): 75-80.

[8] 宫志群, 王永志, 廖少明, 等. 地铁车站明暗挖施工引起的地表沉降叠加效应研究[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(3): 6-13.
GONG Z Q, WANG Y Z, LIAO S M, et al. Study on the superposition effect of surface settlement caused by open and concealed excavation construction in subway stations[J]. Construction technology, 2024, 53(3): 6-13.

[9] 华福才, 雷刚, 刘明明, 等. 暗挖拱盖法地铁车站拱部结构矢跨比影响分析[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(1): 28-32.
HUA F C, LEI G, LIU M M, et al. Analysis of the influence of vector-to-span ratio on the arch structure of subway stations with concealed arch cover method[J]. Urban rail transportation research, 2023, 26(1): 28-32.

[10] 杨秀才. 复杂地层特大断面车站拱盖法施工监测数据分析与应用[J]. 工程建设与设计, 2022(22): 180-182.
YANG X C. Analysis and application of construction monitoring data of arch-cover method for mega section stations in complex strata[J]. Engineering construction and design, 2022(22): 180-182.