

城市地铁超大断面暗挖车站二衬拱盖施工技术

赵俊杰

南京地铁建设有限责任公司

摘要：大断面拱盖暗挖施工相较于小断面暗挖隧道施工难度更大，成本更高，施工工期更长，南京地铁七号线清凉山站拱盖法暗挖隧道断面面积476m²，高度20.4m，最大跨度28.6m，结合现场实际情况优化，形成城市地铁超大断面二衬拱盖施工工法施工技术，根据围岩的承载能力和稳定性使用弱爆破的方法进行上部拱盖的初支施工，拱盖两端的拱脚支撑在稳定的支撑体上，大拱脚设置两条2m*2.2m的纵向托梁，上部拱盖初支、衬砌施工完成后，利用拱的稳定性，在拱盖的保护下形成一个相对稳定施工空间，再进行下部的开挖以及仰拱、边墙的衬砌施工。二衬拱盖施工工法施工过程中监测数据稳定，安全性较高，且区别于传统拱盖双层初支施工，工期有效缩短，经济效益也有效提高。

关键词：城市地铁超大断面；暗挖车站；二衬拱盖

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.24.053

引言

目前，位于城市繁华地段的地铁、车站、隧道越来越多，为了弱化施工带来的影响，在一些地质条件允许的地方，大跨度隧道采用拱盖法进行施工。拱盖法更能合理利用岩土组合的地层性质，达到增加基底承载面积、提高承载能力。在城市地铁大断面隧道施工过程中，充分考虑施工难度、施工工期、工程成本及效益，传统的双层初支拱盖在城市地铁的工期及成本控制上难度较大。本文以南京地铁七号线清凉山站拱盖暗挖隧道施工为实例，充分考虑现场施工安全、施工难度，从施工组织、工艺要求等方面，详细阐述了城市地铁超大断面二衬拱盖施工工法的关键技术要点。

一、工程概况

南京地铁七号线清凉山站主体明挖段为地下七层结构，基坑尺寸为：54.7m（长）×30.7m（宽）×47.9m（深），拱盖法暗挖段长度110.8m。车站站后停车线暗挖段总长度430.2m，其中包含四线大跨段103m，双线大跨段327.2m。暗挖段设置两座明挖竖井（2、3号竖井，分别为地下七、八层结构，兼做出入口、风道永久结构），开挖深度均在51米左右，采用倒挂井壁法施工。

二、工艺原理及特点

（一）工艺原理

拱盖法是拱和盖的结合工法，是在PBA（柱洞法）工法基础上发展的盖挖法施工和扣拱施工的结合，一般

应用于采用暗挖钻爆法施工的地铁车站。拱盖法工程原理是先利用围岩的承载能力和稳定性在不爆破和弱爆破的条件下进行上部拱盖施工，拱盖两端的拱脚支撑在稳定的支撑体上，拱盖施工完成后，利用拱的稳定性，在拱盖的保护下形成一个相对稳定施工空间，再进行下一步工序施工。常规的初衬拱盖法仅作为施工的一个支撑体系使用，不作为设计结构主体；本文研究实例采用了二衬一次扣拱成形的方案，既作为拱盖保护下的支撑体系，又可当作后期结构使用。拱盖法施工主要技术难点在于拱盖体系施工。拱盖体系由拱盖和拱脚支撑体系组成。拱顶土体和拱脚支撑稳定是保证施工安全的关键。

（二）工法特点

二衬拱盖法施工工艺适用于隧道大断面开挖（断面面积不小于300m²）、岩层强度高、开挖与衬砌不要求同步实施的矿山法隧道衬砌施工。经工程实例检验，并不断总结有以下几方面特点：

1. 较其他PBA、初支拱盖等工法工序少，爆破次数少，扰动次数少；
2. 支护简单，初支拆除少，废弃工程量小；
3. 导洞与导洞间的连接点少，支护体系有保证；
4. 拱盖形成后，即可大面积组织开挖作业，效率高、工期大幅缩短。

（三）适用范围

适用于大断面（隧道断面面积不小于300m²）、岩层强度高、开挖与衬砌不要求同步实施的矿山法隧道衬砌施工。

三、施工工艺及技术要点

（一）施工工艺流程

二衬拱盖法总体施工工艺流程为：φ108超前大管棚施工→洞门打设φ42超前小导管及注浆加固→左上导洞I₁、右上导洞I₂开挖支护→I部贯通后，左下导洞II₁、右下导洞II₂开挖支护→II部贯通后，开挖支护中上导洞III部→预留IV部核心土，III部贯通后，施作拱盖左右两侧纵梁→拆除临时支撑，施作拱圈二衬→拱圈衬砌施工完毕后再开挖中下IV部。

单个循环开挖支护流程为：测量放出开挖轮廓线→爆破开挖→初喷→装载机出渣，处理欠挖→钢架安装（拱架、网片、连接筋安装）→打设锁脚锚杆（系统锚杆）→喷浆。

二衬结构施工流程为：初支基面处理→铺设防水

→→二衬钢筋绑扎→→衬砌台车定位, 关堵头模→→衬砌混凝土浇筑→→混凝土等强, 拆模养护→→下一组衬砌。

(二) 施工技术要点

1. 施工前准备

隧道拱盖施工前, 应对地下水进行降、堵、排, 采用因地制宜的综合处理方式进行处理, 确保施工过程作业面无积水, 同时做好地层超前加固处理, 开挖后及时进行初期支护以及初支背后注浆, 严格控制沉降, 并通过监测数据适时施作拱盖。

2. 分部开挖

车站采用拱盖法施工, 为满足设置大拱脚的需要, 车站断面拱部开挖宽度需进一步增加, 相应增加了工程风险。为了控制工程风险, 隧道拱部采用双侧壁导坑法施工, 断面分为六部开挖。以新奥法基本原理为依据, 初期支护采用钢拱架、挂钢筋网片、喷混凝土柔性支护体系, 及时施作初衬使断面及早闭合, 以充分利用围岩的自承能力, 控制围岩变形。施工步序图见图1, 施工步骤如下:

第一步: 在车站主体与暗挖交叉口处, 沿暗挖纵向在拱部打设 $\phi 108$ 大管棚, 并进行注浆加固。

第二步: 马头门施工段, 在拱盖部位架立拱架并在洞口打设超前小导管、注浆, 以保证洞口围岩破碎段施工安全。

第三步: 测量组在基坑侧壁上放出 I 1、I 2 部开挖轮廓线, 作业队根据开挖轮廓线开挖2m, 初喷4cm厚C25早强混凝土以确保作业人员安全。沿暗挖线路纵向架立拱架和横、竖向临时支撑。拱架之间C22螺纹钢连接, 间距1m; $\phi 8$ 钢筋网, 网格间距 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$; 拱脚采用 $L=4\text{m}$ 的D25锁脚锚杆加固。

第四步: I 部开挖支护贯通后, 测量组在基坑侧壁上放出 II 1、II 2 部开挖轮廓线, 作业队根据开挖轮廓线开挖2~5m, 提高 I 部横撑, 初喷4cm厚C25早强混凝土以确保作业人员安全。沿暗挖线路纵向洞门处架立拱架和横、竖向临时支撑。拱架之间C22螺纹钢连接, 间距1m; $\phi 8$ 钢筋网, 网格间距 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$; 拱脚采用 $L=4\text{m}$ 的D25锁脚锚杆加固。II 部下部横撑架设封闭后, 可根据现场地质及监测情况拆除 I 部临时横撑, 若两周内监测情况稳定, 变化速率小于控制值的1/4则拆除 I 部临时横撑。

第五步: II 部开挖支护贯通后, 测量组在基坑侧壁上放出 III、IV 部开挖轮廓线, 作业队根据开挖轮廓线开挖1~2m, 对原来 I 部、II 部临时支撑搭设的系统锚杆进行割除, 初喷4cm厚C25早强混凝土以确保作业人员安全。沿暗挖线路洞门处纵向架立拱架。拱架

之间C22螺纹钢连接, 间距1m; $\phi 8$ 钢筋网, 网格间距 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 。开挖支护III的同时, 进行 II 1、II 2 部拱脚部位纵梁施工。

第六步: 预留IV部核心土, 分段拆除临时支撑施作二衬。

第七步: 拱圈二衬施作完成后, 再开挖IV导坑。

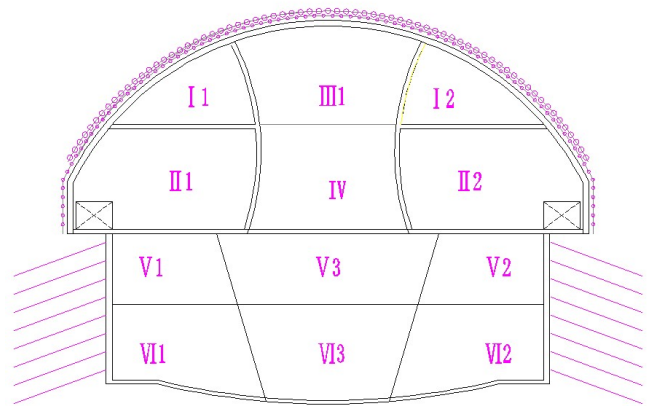


图1 二衬拱盖法施工步序图

3. 衬砌支撑体系

二衬拱盖支撑体系采用了梳形模和台车两种工法, 经综合对比, 前期使用梳形模方案, 施工便利性及工效不佳, 后期均调整为台车衬砌支撑体系。本文将两种方案均予以概述。

(1) 梳形模衬砌支撑体系

拱圈二次衬砌支架使用梳形模+盘扣支架+核心土形式支撑, 一次浇筑而成, 断面为异形断面, 二衬厚度最小900mm, 最大3370mm。

(2) 台车衬砌支撑体系

模板台车模板纵向长度6m, 台车模板纵向由4节模板(4节1.5m)组成, 模板面板厚度为12mm。模板之间采用定位销定位、螺栓连接。在模板设置有作业窗、泵送管接口和排气注浆口等。

4. 拱脚稳定性措施

(1) 拱脚开挖方式

为保证拱脚部位的围岩稳定, 采用主动支护方式。首先, 要加强支护, 保证隧道侧墙稳定性; 其次, 拱脚部位设置纵向托梁(二衬暗梁), 不仅能够优化拱脚部位结构防水, 而且能够起到变形协调和受力传递的作用, 使得局部的变形突变或受力集中能够纵深传递, 从而保证隧道整体稳定。最后拱盖大拱脚部位采用人工开挖。

(2) 拱脚地基加固

纵梁地基采用预应力锚杆支护等加固措施, 确保纵梁下侧墙岩体完整性, 以保证拱盖上部荷载通过托梁均

匀传递到基岩上,确保隧道中下部施工安全。

5. 拱盖以下分部开挖及支护

第八步:待上部衬砌完毕,分段开挖V导坑(为保证两侧拱脚稳定,开挖顺序:V3→V1或V2),V3(两侧各留衬砌面以内2米围岩,放坡开挖1:0.5,同时对开挖边坡进行5cm喷射混凝土临时支护),V3开挖完成后,开挖V1/V2部(开挖时错进3-5米)开挖施作初期支护(单循环进尺2米),开挖长度为不超过20米暂停V1/V2部开挖,待端头衬砌施工完成后再向前开挖中间岩体。

第九步:待V1/V2部开挖完成20米时暂停V1/V2部开挖,分段开挖VI(VI3→VI1或VI2)导坑,施作初期支护(单循环进尺2米,相邻工序导坑开挖时错开5m以上)。当开挖完成VI部不超过14米左右时暂停开挖,VI3以1:0.75边坡放坡开挖。依次施作第一组、第二组及第三组衬砌,待第三组衬砌施工完成后,方可启动第九步,否则仅可单组开挖,每组8-12米,开挖下断面进尺不得大于10米。

四、安全控制措施

(一) 施工前检查及监控量测

每循环施工前应全面检查工作面、机具设施是否处于安全状态,详细检查围岩及初期支护是否有变化,顶板和两帮是否稳定,如有松动和裂纹,应及时加固处理。当发现量测数据有突变或异变时,及时反馈并采取应急措施,保证施工作业安全。做好日常的施工监控量测,包括暗挖隧道、周边建筑物及管线、地面沉降等,以及爆破的振动监测,出现预警或异常,及时反馈、处理。

(二) 超前地质预报

施工前应严格按照相关要求做好超前地质预报,采用水平超前地质钻孔及TSP超前地质预报的方式,预报暗挖段地质情况,做好安全应对措施。

(三) 爆破安全措施

爆破施工前做好人员的疏散,警戒区域的隔离,爆破前的警报警示等,确保安全爆破。爆破完,须由专业爆破监理,进行安全排查,排除盲炮、瞎炮,排查危石,确保后续作业安全。

五、总结分析

(一) 经济效益分析

二衬拱盖工法在南京地铁七号线清凉山站衬砌施工中成功应用,省去了传统的初支拱盖的步骤,具有显著的经济效益;同时有效节省了工期,也成功降低了初支拱盖支护下隧道开挖的风险;提高了施工效率,保障了施工的安全性。

(二) 社会效益分析

随着城市的发展,繁华地段的地铁车站和隧道越来越多,为弱化施工带来的影响,在一些地质条件允许的地方,大跨度地下结构可采用二衬拱盖法进行施工。该工法能合理利用岩土组合的地层性质,达到增加基底承载面积,提高承载能力高效施工,节约成本和缩短工期的效果。超大断面二衬拱盖工法在本地地铁车站隧道的成功运用,解决了在大跨度地铁隧道建设中的一些技术难题,在国内类似工程项目中具有广阔前景。

结束语

二衬拱盖工法在南京地铁七号线清凉山站衬砌施工中成功应用,省去了传统的初支拱盖的步骤,具有显著的经济效益;同时有效节省了工期,也成功降低了初支拱盖支护下隧道开挖的风险;提高了施工效率,保障了施工的安全性。

随着城市的发展,繁华地段的地铁车站和隧道越来越多,为弱化施工带来的影响,在一些地质条件允许的地方,大跨度地下结构可采用二衬拱盖法进行施工。该工法能合理利用岩土组合的地层性质,达到增加基底承载面积,提高承载能力高效施工,节约成本和缩短工期的效果。超大断面二衬拱盖工法在本地地铁车站隧道的成功运用,解决了在大跨度地铁隧道建设中的一些技术难题,在国内类似工程项目中具有广阔前景。

参考文献

- [1] 魏天刚. 新奥法隧道施工技术[J]. 价值工程, 2013(5)
- [2] 谭朝军. 隧道新奥法施工中围岩量测技术的应用[J]. 建筑与工程, 2013(15)
- [3] 赵迎, 霍奇, 宋战平. 大跨暗挖车站叠合初支拱盖法施工适应性研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2019, 51(5)
- [4] 延军. 地铁大断面暗挖拱盖法施工技术[J]. 工程机械与维修, 2020(3)
- [5] 秦斌, 肖荣, 吴禹含. 大跨度隧道拱盖法施工适应性分析及关键施工技术[J]. 重庆建筑, 2020, 19(8)
- [6] 陈刚. 大跨暗挖车站拱盖法施工方案优化研究[J]. 路基工程, 2022(5)
- [7] 高晓刚, 尹学鑫, 崔凯. 浅埋超大跨多导洞拱盖法地铁区间导洞施工方案优化研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(8)
- [8] 高如, 刘明明, 陈琳. 上软下硬地层地铁车站二衬拱盖法施工及优化研究[J]. 河南城建学院学报, 2023, 32(2)