

小断面隧道矿山法快捷化施工技术

黄小勇

惠州市铭浩建设工程有限公司 广东 惠州 516086

摘要：本文围绕解决小断面隧道因断面空间限制矿山法开挖施工机械化效率低的施工难题，而展开了研究并提出了一套小断面隧道矿山法快捷化施工技术。本文详细阐述了小断面隧道矿山法快捷化施工技术中的地表袖阀管注浆、履带式破碎机、多功能运输台车等关键技术在小断面隧道矿山法施工中的应用原理、实施要点等内容，展现了该技术的应用对提升小断面隧道的施工效率及保证施工质量、安全的效果尤为显著，为类似小断面隧道施工提供了技术参考。

关键词：矿山法；地表袖阀管注浆；履带式破碎机；多功能运输台车

引言：随着我国地下空间开发利用，不断设计出各种用途的小断面隧道，小断面隧道的施工具有重要意义。随着建设需求的日益增长，对施工效率的要求也不断提高。矿山法作为一种传统且广泛应用于隧道施工的方法，在小断面隧道施工中面临着新的挑战与机遇。小断面隧道由于其空间狭窄、施工条件复杂等特点，传统的矿山法施工往往存在进度缓慢、工序繁琐等问题。在当今快节奏的建设环境下，迫切需要研究和开发小断面隧道矿山法快捷化施工技术。这不仅关乎工程项目的工期和成本，更对整个地下工程建设行业的发展有着深远影响。因此，对小断面隧道矿山法快捷化施工技术的探索和实践成为当前隧道工程领域研究的热点之一，其成果将为提高小断面隧道施工质量和效率提供有力支持。

1 传统小断面隧道矿山法的施工特点

1.1 施工空间限制

小断面隧道内部空间狭窄，机械设备的停放、操作以及材料的堆放都受到很大制约。施工人员的作业空间也极为有限，增加了施工难度和安全风险。

1.2 地质条件影响大

小断面隧道施工更容易受到复杂地质条件的干扰，如软土地层、破碎带等。这些不良地质条件可能导致隧道坍塌、涌水等事故，增加施工过程中的支护和处理难度。

1.3 施工工序协调困难

由于空间有限，不同施工工序之间的转换和协调难度增大。例如，开挖、出渣、支护等工序在狭小空间内难以高效衔接，容易造成施工延误等问题。

2 新型小断面隧道矿山法快捷化施工技术概述

根据小断面隧道施工环境的特点同时结合矿山法施工特点，围绕在确保施工质量和安全的前提下如何提升施工效率的难题，展开了研究，经科学研究和实验

证，最终提出了一套小断面隧道矿山法快捷化施工技术。该技术结合了隧道围岩超前预加固技术、小型机械配合开挖出渣施工方法、创新研制的多功能运输台车等技术，不仅保证了施工质量和施工安全，同时还大大提升了施工效率，缩短了施工工期，降低了施工成本，具备良好的社会效益，可为各类市政、水利工程的小断面隧道提供借鉴意义。

3 小断面隧道矿山法快捷化施工工艺

3.1 隧道围岩超前预加固技术

因拟建隧道所在位置地层岩体较为松散，围岩类别为IV级或V级，基岩裂隙水对工程影响程度较大，以及覆土深度不足时，采用套管护壁水冲法成孔后，用袖阀管分段注浆工艺对隧道范围地层进行加固止水。注浆宽度为洞身范围6m内，注浆孔呈梅花形布置，注浆深度至拱顶及隧道底标高。具体操作要点如下：

1、测量放样：根据已布设好的控制点坐标，计算引孔的坐标位置，使用全站仪放出孔位，用水准仪测量地面高程，确定引孔深度。

2、钻孔：采用套管护壁水冲法钻进成孔，钻进深度应达到注浆固结段。钻进过程中要做好记录，为注浆作业提供参考数据。

3、下管：首先根据引孔深度连接袖阀管，袖阀管上口露出地面20cm，将连接好的袖阀管下口用尖底封好；然后将袖阀管下入孔中，要确保袖阀管下到孔底。

4、洗孔：用高压水对孔内进行清洗，减少孔内沉淀和泥浆比重。

5、封口：在孔口周围的地面到地面以下1m的距离范围内采用速凝水泥砂浆封堵，以防止注浆过程中冒浆现象的发生。

6、注浆：采取分段式注浆，每段注浆长度为注浆步

距。注浆材料采用普通水泥单液浆，水泥单液浆配比W:C = 0.8:1。注浆设备采用ZBSB—70—11型注浆泵，钢管开口长度为注浆步距长度，注浆步距选取1m，可有效地减少地层不均一性对注浆效果的影响。注浆过程中，每段注浆完成后，向上或向下移动一个步距的芯管长度。注浆时，宜采用提升设备移动。每完成3m注浆长度，要拆掉一节注浆芯管。注浆结束后，在注浆管上口盖上闷盖，以便于复注施工。

3.2 小型机械配合开挖出渣施工方法

因拟建隧道穿越的地层主要为中风化石英砂岩、微风化石英砂岩，穿越地质出现软硬岩石层交界面，且有三处存在断层。根据拟建隧道穿越不同硬度的岩石层，为提升施工效率避免受地质断层的影响，经对比分析，取消了传统的静爆法及单一机械设备掘进施工，最终决定采取悬臂式掘进机+履带式破碎机组合式的多种机械设备相结合的掘进施工方法（悬臂式掘进机适用于较软岩层的开挖施工，履带式破碎机适用于地质硬岩（ $\geq 100\text{MPa}$ ）时的开挖施工）。

拟建隧道穿越地质为较软岩时，可采用悬臂式掘进机+5t渣土车配合开挖出渣。

悬臂式掘进机的截割方式是从扫底开始截割，再按S型左右循环向上的截割路线逐级截割以上部分。本项目选用右旋截割头截割硬岩，先由右向左从扫底开始截割，再按从左至右、自下往上的方式逐步进行截割，如图3-2所示。掘进过程中应按设计要求开挖每次循环进尺长度不大于为3榦（即3m）。在切削同时铲板部耙爪将切削下来的碴装入第一运输机，第一运输机转运至第二运输机，第二运输机直接装入出碴车运出洞外，从而保证开挖与出渣同时进行。从底部开挖到顶部完成后，进行二次修整以达到准确的设计断面。待本循环开挖土石全部清运出洞后，悬臂掘进机退出工作面停放斜坡道，为架设工字钢架、打设锁脚锚杆、喷射素混凝土提供工作空间。

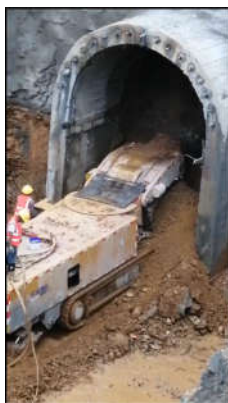


图3-2 悬臂式掘进机施工作业

拟建隧道拟穿越地质为硬岩（ $\geq 100\text{MPa}$ ）时，采用履带式破碎机+装载机组合式小型机械设备进行隧道开挖出渣施工，以降低掘进难度及截齿消耗量，提高工作效率。

根据硬岩层的特点，利用履带式破碎机的优势，在施工时先采用360履带式破碎机开挖，从掌子面底部水平打出一条槽后采取自下而上陆续破除，每次循环进尺长度不大于为3榦（即3m）。360履带式破碎机退出后采用装载机铲起石碴运出洞外装车运到弃土场，洞内石碴铲完后因隧道断面小360履带式破碎机无法旋转且无法开挖到边脚，第二次开挖采用360履带式破碎机修整欠挖、拱脚等，经测量测出无欠挖机械退出，采用装载机铲起石碴运出洞外临时堆放洞口。

经实践证明，在穿越软硬不同的岩石层时，选择不同的掘进设备，不仅可以减少对地层的扰动，同时还可以提升掘进的施工效率，并降低施工成本。

3.3 多功能运输台车的研制

由于有限的作业空间的限制，隧道内无法使用大型机械来运输安装工字钢架及钢筋网片等材料，若采取人工来运输安装工字钢架及钢筋网片，运输量大消耗人工多，工作效率低且存在一定的安全风险。且在小断面隧道开挖过程中，出渣施工需要开挖机械单向频繁进出隧道，每次开挖机械进出隧道都需要反复搭设、拆除施工操作平台，耗费大量人工和时间，严重影响施工效率。

为了解决以上难题，以小型卡车底盘为台车架体基本结构，并在两侧及顶部用钢管搭设支撑架体，采用木板及钢筋网片满铺施工操作平台，每层平台之间设置上下梯道，从而组装多功能运输车，如图3-3所示。多功能运输车可在狭窄的隧道内通行，通过支撑架体来运转工字钢架及钢筋网片，同时还可作为主体结构施工时的操作平台。多功能运输车的组装简单，操作方便，大大减少人工用量，提高施工效率，节约工期，提高施工过程的安全保障。



图3-3 多功能运输台车

3.4 隧道主体防水施工要点

1、隧道采用全包防水,在隧道初期支护与二次衬砌间铺设1.5mm厚EVA防水板和350g/m²无纺布。施工缝处设置中埋式橡胶止水带一道,同时外包背贴式橡胶止水带。

2、首先用多功能运输台车将单幅无纺布固定到预定位置,用专用射钉将无纺布与专用热熔衬垫固定在喷射混凝土上,专用热熔衬垫按梅花型布置,水泥钉长度不得小于5cm。

3、然后用作业台车将防水板固定到预定的位置,用手动电热熔接器加热,使防水板焊接在固定无纺布的专用热熔衬垫上。防水板采用自动双缝热熔焊机,按预定的温度、速度焊接,单条焊缝的有效焊缝宽度不小于1.5cm。焊接后两条缝间留有一条空气道,用于空气检测器检测焊接质量。焊接前先除尽防水板表面的灰尘再焊接,防水板搭接宽度须大于10cm。

3.5 二次衬砌施工要点

1、隧道的配筋通过多功能运输台车焊接绑扎,隧道的二衬施工采用全液压自动行走的整体衬砌台车,台车整体模板板块由面板、支撑骨架、铰接接头、作业窗等组成,当衬砌断面较大,所承受荷载较大时,支撑骨架制成桁架结构,并尽量减少板块接缝数量。模板及支架具有足够的强度、刚度、稳定性和抗上浮能力。台车设计便于整体移动、准确就位。

2、混凝土浇筑采用两台输送泵左右同时对称灌注,既缩短衬砌时间,又防止钢模台车偏移。混凝土衬砌泵送灌注施工中辅以插入式振动棒捣固。当混凝土浇至作业窗下50cm,作业窗关闭前,将窗口附近的混凝土浆液残渣及杂物清理干净,涂刷脱模剂,将其关紧。封顶采用顶模中心封顶器接输送管,逐渐压注混凝土封顶。当挡头板上观察孔有浆溢出,即标志封顶完成。

3、混凝土拆模时的强度应符合设计要求。当设计未提出要求时,侧模应在混凝土强度达到8MPa以上,且其

表面及棱角不因拆模而受损时,方可拆除。

4、采用专用隧道二衬混凝土移动式养护台架进行拆模后的养护作业,台架外侧设一环洒水养护喷嘴,开启进水开关后,水雾均匀喷洒到二衬砼表面,纵向移动台架,完成需养护段二衬砼养护,根据施工条件,确定洒水喷雾间隔时间,确保二衬砼养护效果。

4 结束语

综上所述,小断面隧道矿山法快捷化施工技术可采用隧道围岩侧向注浆施工工艺,减小了基岩裂隙水对隧道施工的影响,确保了掘进施工安全,同时在隧道掘进过程中采取悬臂式掘进机结合带式破碎机的开挖方式,大大提高了隧道的开挖速度,在隧道围岩主体结构施工过程中采用了多功能运输车,减少人工用量,提高施工效率。该技术的实施提高了小断面隧道的工作效率和安全保障,有较高的推广和应用的价值。

参考文献

- [1]钟玉刚.复杂地质条件下小断面隧道快速施工技术[J].铁道建筑技术,2013,(09):28-32.
- [2]李春.悬臂掘进机开挖浅覆土硬岩小断面电力隧道施工技术[A].《施工技术(中英文)》杂志社、亚太建设科技信息研究院有限公司,2022年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(中册)[C].济南轨道交通集团有限公司;施工技术编辑部,2022:355-358
- [3]吴发展,孟佑强.步履式衬砌台车在小断面隧道中的应用[A].《施工技术》杂志社、亚太建设科技信息研究院有限公司,2020年全国土木工程施工技术交流会论文集(上册)[C].中铁隧道集团二处有限公司;施工技术编辑部,2020:85-89
- [4]王梯普,李远征,魏武巍,张汉,李泉智,李春早.悬臂式掘进机在小断面隧道掘进工程中的应用[J].采矿技术,2019,19(04):101-104.