

# 超前小导管注浆技术在浅埋暗挖法隧道施工中的应用研究

张泽辉<sup>1</sup> 吴远佳<sup>2</sup>

北京市政路桥股份有限公司

**摘要:**随着国民经济的高速发展,山区隧道项目建设出现大量浅埋暗挖地下隧道工程,隧道地下工程遇到不良地质需要地层预加固,超前小导管预支护隧道辅助施工功法具有工艺简单,施工安全成本低等优点,在浅埋暗挖隧道工程中得到广泛应用。小导管注浆可以改变围岩力学性能,通过小导管与浆液提高围岩力学参数。研究分析浅埋暗挖隧道工程特点,探讨超前小导管技术在浅埋暗挖法隧道工程施工中的应用。

**关键词:**超前小导管;注浆技术;浅埋暗挖法;隧道施工应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.02.044

21世纪地下工程建设进入高峰期,隧道工程建设项目不断增多。地下工程包括山区桥梁隧道与各种市政工程,隧道开挖对岩体产生扰动产生二次应力分布,对隧道地面附近道路产生不利影响。近年来浅埋暗挖法以其灵活多变等优势得到广泛应用,由于地下隧道埋深浅,施工中需要采取有效的地层预加固措施保证隧道施工安全<sup>[1]</sup>。目前辅助施工方法包括管棚法、超前小导管等,水平高压旋喷法施工设备多;超前小导管施工利用手持风钻可进行钻研工作作为隧道施工辅助工法在穿越浅埋等不良地段施工中得到广泛应用。

## 一、浅埋暗挖隧道工程施工分析

随着现代化建设不断加快,新世纪我国地下工程建设进入高峰期。由于地层复杂多变及特殊环境条件,浅埋暗挖法在地铁隧道中得到不断完善使用。浅埋暗挖法是在地铁第四纪软土中开创的新方法,地层超前预加固技术是利用浅埋暗挖法修建城市隧道施工的重要环节。超前预加固技术为隧道施工辅助措施,超前小导管注浆技术在浅埋暗挖法隧道工程中得到广泛应用。隧道工程中超前预支护技术主要针对浅埋不良地层提出,工法选择关系到施工安全,浅埋地层施工中工作面不能自稳必须在开挖前对工作面前方围岩合理预加固处理,采用打入钢插板等技术措施使松散岩土体得以胶结。

隧道开挖中浅埋暗挖法采用多种辅助措施加固围岩,具有管超前、短开挖与快封闭等特点<sup>[2]</sup>。对隧道围岩预加固抵抗开挖造成应力重分布,使支护体围岩形成整体,充分调动围岩自承能力提高稳定性。隧道埋深不同确定围岩压力计算方法不同,松软破碎围岩中取最高限 $H_p=2.5q$ 。浅埋暗挖隧道特点是开挖中造成地层损

失引起地面不规则变形,硐室开挖后隧道拱顶承载能力低,需要对浅埋暗挖隧道预支护减小压力值。浅埋暗挖隧道长期施工实践中遵循严注浆、强支护与勤测量的主导思想。地铁隧道开挖时根据不同围岩地质情况等因素综合考虑后采取全断面法。隧道进出洞施工是安全施工的关键环节,通过超前支护控制隧道开挖引起代表沉降是关键问题。按超前加固范围分为稳定掌子面辅助法与改善围岩辅助工法。稳定掌子面辅助工法根据措施机理分为开挖断面分割,改良岩体性状与支护围岩性超前支护等。改善整体围岩辅助工法是在大范围内稳定地层方法,包括超前深孔帷幕注浆,冻结法等。

浅埋暗挖法施工破坏围岩原有应力平衡状态,如何控制施工引起围岩土层变形,对工程施工具有重要实际意义。控制围岩变形需要改善围岩环境提高承载力,选择合适的施工方法<sup>[3]</sup>。隧道开挖经常遇到地下水作用,围岩土质疏松内摩擦角小软弱结构面多,土层中的水分得不到控制会导致部分土层发生超固结现象。地下水破坏作用控制后需要提高围岩承载力,超前干预加固施工中很多采用注浆技术,在开挖岩体中对扰动破坏围岩体注射砂浆等,改善围岩破坏度增强弹性模量提高承载力<sup>[4]</sup>。旋转适合的施工方法需要从开挖机械设备等多方面因素综合考虑,为减小开挖对围岩造成扰动尽量选用部分开挖法。一两次衬砌间布设高材料防水层,采取预注浆加固地层后开挖破碎围岩保证稳定性。

## 二、隧道工程超前小导管注浆技术研究

隧道建设方法包括明暗挖法与盾构法等,浅埋暗挖是距离地表较近的地下工程暗挖施工方法,由于其独有对复杂地层适应性面对突发工况具有很高的灵活性,浅埋暗挖法施工在国内外隧道工程建设中得到广泛应用。浅埋暗挖法工作面为开式工作面,施工中要考虑隧道开挖稳定性,隧道开挖引起地层不稳定沉降影响地下管线破坏,需要采取相应的地层超前预加固技术减小开挖对建筑物的不利影响,目前我国超前预加固技术达到一定水平,但对小导管注浆加固等技术研究不够完善。

围岩自承能力是隧道围岩开挖后破坏原有稳定平衡状态初始应力重新分布,围岩强度不能支撑二次应力围岩变形扩大导致隧道冒落坍塌,围岩内应力随着岩体变化相应调整,由围岩表面向深部形成塑性软化区与弹性区<sup>[5]</sup>。围岩弹性区应力过大导致塑性区扩张转化为软化区,围岩采取注浆加固后可以改善工程性质。预支护是

通过对隧道围岩自承力 $P$ 在围岩开挖后原始内应力 $P_0$ 发生改变后力学关系阐述, 预支护技术是隧道开挖前工作面四周插入管棚等支护技术, 使隧道横断面形成拱形连续体。隧道施工中常用的超前支护方法包括水平旋喷注浆法等。应根据围岩工程水文地质条件等情况确定地层预加固技术, 管棚与锚杆支护技术应用广泛。

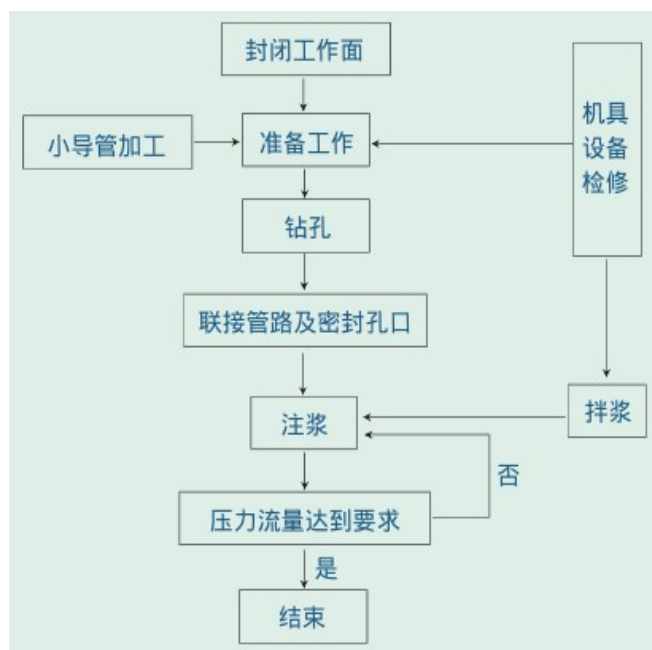


图1 小导管注浆施工流程图

随着各国不稳定地层隧道的实践提出地层预加固技术措施, 国内外常用的预加固技术包括锚杆、水平旋喷注浆等<sup>[6]</sup>。岩石隧道施工预加固应用最广泛的锚杆技术具有施工方便等特点, 但在城市地铁隧道中用金属锚杆作为地层预加固工程实例较少。图1小导管注浆施工流程图, 小导管作为超前预加固在隧道工程中得到广泛应用, 小导管是 $\phi 32-60\text{mm}$ 的钢管制成, 在拱部开挖轮廓线向前上方倾斜。注浆小导管饱满搭接可在隧道轮廓线形成厚度结构, 通过注浆加固软弱围岩起到预支护的作用。小导管注浆特点是比水平旋喷注浆法容易控制; 小导管注浆充填浆液将围岩和小导管紧密粘结形成共同变形体, 提高隧道稳定性具有较好的防水能力。

隧道开挖时扰动开挖面周围土体, 小导管注浆加固区域导管紧密粘结, 开挖前改变围岩应力状态使弹性模量提高减小泊松比。注浆加固层起到承载拱的作用, 使围岩塑性区出现范围减小延缓出现时间。隧道超前小导管注浆施工机理包括渗透劈裂与压密注浆, 围岩注浆后材料通过挤压等作用将土体孔隙中空气水挤出, 注浆材料与土体化学反应中某些元素与注浆液元素形成新的物质, 加固效应包括骨架、增充与组合效应。隧道围岩注浆后土体孔隙充填浆液减少孔隙率, 通过挤压提高地层密度形成止水圈达到止水防渗的作用。小导管锚杆作用

主要是锚固围岩中不稳定土体, 主要包括悬吊、挤压与组合原理。小导管施工后前端支撑在掌子面前方未开挖围岩中, 将掌子面上方围岩荷载分散传递到前方围岩上减少围岩压力。小导管加工成花管注浆孔呈梅花状等间距分布, 注浆材料通过注浆孔压入隧道围岩在施工中起到浆液通道的作用。

### 三、隧道工程超前注浆小导管设计施工工艺

我国是多山岭重丘的国家, 早期公路建设中山区公路盘山绕行, 改革开放后公路隧道建设得到快速发展。浅埋暗挖法由于其灵活多变等优点在隧道工程中广泛应用。小导管超前支护是隧道浅埋暗挖法施工常见的支护方式, 在软土中开挖按照相应入射角设置小导管, 注浆材料扩散固结在软层周围起到棚护加固的作用。超前小导管支护技术是隧道开挖中的关键工艺, 在应用时可以与钢拱架联合增强隧道开挖的安全性。超前小导管注浆后可以改善隧道开挖工作面环境, 与隧道地层结构融合, 确保施工工作面稳定性。

超前小导管注浆预加固是隧道施工的辅助工法, 适用于自稳时间短的砂层等松散地层, 超前小导管注浆支护需要从布置形式等方面设计。注浆小导管布置形式包括扇形半圆形、上部双层与单侧布置等, 小导管布置应根据隧道地质条件等情况确定布设范围, 小导管前端支撑在掌子面前方未开挖地层中, 小导管间搭接长度不小于 $1\text{m}$ 构成预支护加固系统。小导管参数包括直径、长度与外插角, 小导管直径应根据隧道地质条件和断面尺寸等情况选择, 小导管直径过大提高费用不利于钻孔打入; 直径小小导管作为浆液通道影响注浆。小导管长度与隧道掌子面土体坍落高度 $H$ 和角度 $\phi$ 有关, 小导管长度计算公式为 $L=1+Hc1g\phi+0.5$ ,  $H$ 为围岩坍落高度 $\text{m}$ ,  $L$ 为小导管长度 $\text{m}$ ,  $\phi$ 为围岩坍落角度 $^\circ$ 。隧道开挖时掌子面土体坍落角度 $\phi < 60^\circ$ , 应根据工程现场情况确定小导管长度。

地下洞室开挖后洞周围改变原来初始应力状态, 小导管注浆改变围岩初始应力状态起到支撑梁和锚杆的作用。小导管注浆可以改变围岩力学性, 加固围岩原理与锚杆相似, 注入地层浆液填充等方式赶走土颗粒间空气水分, 浆液将原来松散土粒胶结成整体形成新结构。小导管注浆效果取决于工艺及参数运用, 不同地质条件采用注浆工艺与参数不同。施工中要注意调查分析地质情况阅读设计文件做好准备工作, 重点加强钻孔打小导管与浆液制作等环节控制。根据设计采购施工所需小导管及制作浆液所需材料, 注浆机按动力分为风动与电动, 施工中应根据现场情况选择合理的注浆机械。施工中为保证注浆效果可靠施工前进行现场原位注入实验, 注入工法压力与速度等因素影响注效果。

### 四、超前小导管注浆技术在浅埋暗挖法隧道工程中的应用

某山区隧道工程自西向东布置，左线设置2组平曲线半径为3000m，最小纵坡2.0%，区间所在地层主要为粉土层含少量粉砂，隧道区间内管线分布复杂周围建筑物较多，主干道车流量大地面动载对隧道区间施工影响大。按照浅埋暗挖法施工原则采取超前小导管注浆加固地层，采用钢筋格栅钢架+喷射砼联合支护形式，施工中超前小导管注浆加固地层影响隧道开挖的施工安全。超前小导管注浆施工包括封闭工作面、小管安装等工序，小管由 $\phi 42 \times 3.25$ 普通焊管制成，为防止漏浆不在尾部1.0mm范围内钻孔，避免打设小导管时端部开裂影响注浆管连接。

小导管注浆原理是在隧道掌子面周安间距将小导管打入地层，使浆液通过小导管渗透到地层孔隙，小导管注浆可以止水在工作面乡村自承拱。隧道区间分为标准段与人防段断面形式，人防段环向间距20cm，外倾角为 $5-7^\circ$ ，人防段每米布置73根。区间小导管采用 $\phi 42$ mm热轧无缝钢管长3.0m，小导管特殊制作加工，短钢管一端焊上 $\phi 6$ mm钢筋制成箍，孔位呈梅花形式布置。超前小导管注浆设计采用水泥玻璃双液浆，水玻璃采用浓度40-50Be'，地层含有粉砂采用水泥玻璃双液浆。改性水玻璃浆液为硫酸与水玻璃配制，稀释浓度为12-20%的稀硫酸，根据现场实验按照1:0.5的比例将稀硫酸配制成改性水玻璃浆液，改性水玻璃浆液配比为1:1-1:0.5。超前小导管施工受限封闭开挖掌子面喷射砼厚度100mm，导管安置应根据设计要求数量布置孔眼，采用风煤钻井钻孔放慢速度，达到设计速度后用风镐将小导管打入孔内，孔位允许偏差为40mm。

表1 不同方法加固的土体实验数据

水玻璃浓度Be°	稀硫酸浓度%	外加促进剂	注浆压力MPa	固砂体单轴抗压强度
25	15	NaHCO <sub>3</sub>	0.3	0.15
30	15	NaHCO <sub>3</sub>	0.3	0.42
30	15	NaHCO <sub>3</sub>	0.5	0.51
35	15	NaHCO <sub>3</sub>	0.5	0.51
35	15	NaHCO <sub>3</sub>	0.8	0.53

表2 步距实验数据

步距m	当日沉降最大值mm	一周累计沉降值mm
12	-4.87	-20.8
15	-1.22	-15.29
16	-0.62	-2.68
17	-0.53	-4.61
20	-0.54	-2.38

超前小导管注浆施工要求改性水玻璃将夜适用于砂土性，根据注浆孔注浆量控制配置，将浆液倒入容器中接风管，采用高压风将浆液注入孔内。表1不同方法加固的土体实验数据，注浆时相邻孔位需错开，注浆顺序由上而下。注改性水玻璃将夜沙土终压不大于0.5Mpa，水泥玻璃双液浆终压为1.2-1.5Mpa。表2步距实验数据。注浆中压力上升达到终压可结束，现场开挖检验采用小导管注浆将加固粉土固结成整体，提高掌子面前方土体强度，减少应力释放产生围岩松弛，土体大面积坍塌现象出现。施工中对地表沉降量测数据分析发现，隧道内沉降最大累计沉降为7mm，监测数据显示沉降趋于稳定。工程导洞步距确定依据地下工程规范要求，在初期开挖施工中上部左右导洞步距在12-20m。导洞步距在16m时地表车念经数值较小，将上部导洞步距定为16m。

结语

随着山区公路工程建设的推进，桥梁隧道工程项目不断增多。隧道开挖面临地质条件复杂等问题，需要采取有效的施工技术保证施工安全。超前小导管注浆技术起到超前锚杆的作用，小导管施工简单方便，对操作空间适应性较强，对降低地层渗水是有有效的施工方法。工程中根据建筑物选用不同注浆机具与合理施工参数，小导管超前支护方式应用有效控制地表沉降与结构变形，为隧道浅埋暗挖施工提供借鉴，通过工程实践为浅埋暗挖法地铁隧道超前支护积累施工经验。不同地质条件隧道工程对小导管要求存在差异，小导管注浆安装中应明确注浆配置比例，有效增强隧道掌子面的稳固性。

参考文献

[1]江慧元.小导管超前支护技术在隧道浅埋暗挖法施工中的应用分析[J].工程建设与设计,2022,(16):125-127.

[2]王杨.可塑粉质黏土地层浅埋暗挖隧道开挖支护模拟试验研究[D].山东大学,2021.

[3]吴冰强.浅埋暗挖大跨隧道近距离下穿既有隧道的施工风险评估与力学行为研究[D].西南交通大学,2021.

[4]田越增.浅埋暗挖技术在市政工程隧道施工中的应用研究[J].建筑技术开发,2019,46(17):39-40.

[5]姜浩,姜亮亮.小导管超前支护技术在隧道浅埋暗挖法施工中的应用[J].低温建筑技术,2019,41(03):86-88.

[6]秦晋.浅埋暗挖法隧道施工技术应用研究[J].居舍,2019,(01):55.

作者简介:张泽辉,男,1993-01-20,云南省楚雄彝族自治州大姚县,本科,助理,汉,道桥隧施工。