

Preliminary Study on Tunnel Pre-lining Method and Machine

Yang Jikai, Wu Xiaowei

Beijingshouer Engineering Technology Co., Ltd, Beijing, China

Email address:

13901206386@139.com (Yang Jikai), wuxiaowei17@163.com (WuXiaowei)

To cite this article:

Yang Jikai, Wu Xiaowei. Preliminary Study on Tunnel Pre-lining Method and Machine. *Science Discovery*. Vol. 4, No. 6, 2016, pp. 431-435. doi: 10.11648/j.sd.20160406.24

Received: November 15, 2016; **Accepted:** December 2, 2016; **Published:** December 9, 2016

Abstract: Mining method was mainly used for the tunnel construction in many areas of our country, which requires more human resources relatively. With the labor force increasingly, the application of mining method was relatively limited. Pre-lining technology was used to build the pre-lining arch shell in the tunnel arch before the tunnel was excavated. With the protection of the pre-lining arch shell, the whole section or step excavation method were prior choice to realize the mechanized excavation, further to improve the construction efficiency and to save the labor costs. It was showed that the pre-lining equipment has good match with the pre-lining construction method and can meet the requirements of the pre-lining technical.

Keywords: Tunnel, Pre-lining, Mining Method

隧道预衬砌工法与设备初步研究

杨积凯, 吴小维

北京首尔工程技术有限公司, 北京, 中国

邮箱

13901206386@139.com (杨积凯), wuxiaowei17@163.com (吴小维)

摘要: 隧道施工, 很多国家和地区主要采用矿山法, 该法所需人力资源相对较多, 在劳动力日趋紧张的中国, 矿山法的应用相对受限, 预衬砌技术是在隧道开挖之前在隧道拱部形成预衬砌拱壳, 在预衬砌结构保护作用下进行全断面或台阶法开挖, 有利于实现机械化开挖, 提高施工效率, 也节约了人力成本。经实验验证预衬砌设备与预衬砌施工方法匹配性良好, 能够满足预衬砌技术要求。

关键词: 隧道, 预衬砌, 矿山法

1. 前言

随着交通建设的迅速发展和人民生活水平的提高, 对隧道施工的安全、质量、进度要求越来越高, 而且中国劳动力资源也日趋紧张, 因此隧道的机械化施工成为必然趋势。

机械预切槽法是近年来迅速发展的一项适于复杂地质条件的独特的预支护隧道施工技术, 其是在隧道开挖前, 利用特制的链式机械刀沿断面周边连续切割出一

条厚约数十厘米, 深数米的窄槽, 在切槽的同时应用切到一体化的混凝土灌注设备注入混凝土, 形成一个连续的起预先支护作用的混凝土拱壳[1-4]。该工法最早始于美国, 1950年应用于美国修建福特-阮道尔水库工程, 但因技术条件限制, 该工法未得到进一步发展, 直到1969年法国工程师采用该法解决了城市地区硬岩地区震动问题后, 才在法国得到了发展, 并开发了三代预切槽机械[2-9]。日本从20世纪80年代初开发了超前支护施工技术, 如LAP法, New PLS法等, 并开发出钻孔式钻

槽机, 此后, 预切槽技术在法国、意大利、日本等国家得到了较为广泛的应用。

预切槽技术在中国应用较少, 主要原因为其缺乏相配套的施工设备, 使得封水问题尚不能解决, 且由于国内外地质差异, 国外该工法的配套设备在我国尚不能应用, 进一步限制了我国隧道施工的发展。因此, 该技术在国内尚无实际应用成果。上世纪90年代, 中国铁道科学研究院铁道建筑研究所提出以土质和软岩隧道为对象的预切槽机械及其施工工艺的研究方案[10], 但由于种种原因, 研究工作没有得到继续。

笔者所在单位在机械预切槽的基础上提出了隧道预衬砌技术。其是集顶管施工技术、长螺旋混凝土施工技术及隧道拱架支护技术有机融为一体的新型隧道支护技术。2014年, 中国北京交通大学张召对预切槽开挖黄土隧道变形规律及掌子面稳定性研究, 对并对切槽长度、搭接长度及切槽厚度等参数进行了分析及数值模拟, 确定了适宜的切槽技术参数[11]。2015年, 中国北京交通大学韩任贤研究了软弱围岩预衬砌结构承载能力, 并通过模型实验及数值计算对预衬砌结构进行了承载力分析, 确定了预衬砌结构的受力分析[12]。本文对预衬砌技术及进行了详细介绍, 并通过实际模拟实验, 对预衬砌工法的各工艺进行了系统性分析和验证。

2. 隧道预衬砌工法介绍

预衬砌法是一种介于浅埋暗挖法和盾构法之间的一种机械化隧道施工方法——机械化程度比盾构法低而高于一般的矿山法。在预衬砌的保护下并根据需要在隧道掌子面进行适当的加固, 就能安全地进行隧道的全断面机械化开挖。该方法不仅能安全的进行机械化的快速隧道施工而且能有效控制地面沉降。

2.1. 工法原理介绍

预衬砌即先衬砌后开挖, 是一种全新的隧道施工方法。预衬砌通过在特定形状的机架上安装带掘进头的箱体结构, 掘进头连同箱体沿着隧道方向掘进, 掘进到位后一边回退一边灌注混凝土从而在开挖线外形成以箱体为模的混凝土预制件。沿着拱架环向施作多个这种板状预制件并在隧道开挖线外搭接形成一拱壳, 这种拱壳就是超前衬砌, 超前衬砌可以为隧道衬砌的一部分甚至全部。每个循环的预衬砌结构相互拼接形成统一的整体结构, 见图1。在超前衬砌的保护下并适当进行掌子面加固, 可安全地进行全断面的隧道机械化开挖。通过保留一定长度的剩余衬砌即可进行下一循环作业。多循环后即可在隧道开挖线外近距离形成隧道开挖前的预衬砌。

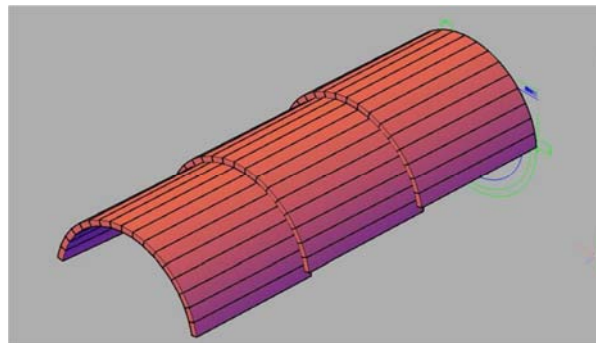


图1 隧道预衬砌结构。

2.2. 施工步骤

预衬砌技术是类似于微型盾构的一项技术, 其在隧道开挖前, 通过成槽技术和混凝土灌注技术等最终实现了预衬砌结构的施工, 主要包括设备安装、掘进成槽、灌注混凝土、置入型钢或钢筋, 混凝土预制件咬合等步骤其施工步骤如下:

步骤一: 对施工设备进行安装调试, 并根据预衬砌施工工位进行设备定位;

步骤二: 启动设备, 掘进灌注装置以一定的上仰角掘进成槽至设计深度, 边缘工位施工时, 分两次掘进成槽, 一是对边缘工位掘进, 二是对因上仰角产生的盲区进行掘进;

步骤三: 边回退掘进灌注装置边灌注混凝土, 掘进灌注装置回退至距槽口1米左右时, 通过动力输出轴仓泵送速凝剂并同混凝土搅拌混合, 直至混凝土灌入至槽口, 以及时封堵槽口; 为提高衬砌拱的抗剪强度, 在灌注的混凝土中设置加强构件, 所述加强构件为型钢或钢筋; 当所述加强构件为型钢时, 型钢采用顶进设备在混凝土初凝前振动顶进; 当加强构件为钢筋时, 在灌注混凝土前, 将钢筋置于螺旋出土仓中, 在混凝土灌注时, 逐步将钢筋置入到混凝土中;

步骤四: 进行下一工位的施工, 相邻工位混凝土预制件通过咬合工艺实现咬合; 所述咬合工艺有两种: 一种是掘进成槽时在掘进灌注装置收土仓一侧或两侧安装刀口, 掘进灌注装置前进时可对相邻工位的混凝土进行切割, 产生一定形状的咬合槽, 相邻工位预制件通过咬合槽咬合; 另一种是在相邻施工工位混凝土灌注完毕后, 在相邻工位的混凝土预制件之间打入型钢, 实现相邻工位混凝土预制件咬合;

步骤五: 沿拱形机架环向施作多个混凝土预制件后, 环向预制件组成一弧形拱壳, 即预衬砌结构;

步骤六: 在步骤五施工完成的预衬砌结构下进行隧道开挖, 开挖深度要小于步骤五中所述弧形拱壳的长度, 保留一定长度的拱壳以便与下一循环预衬砌结构有效搭接;

步骤七: 以步骤六开挖结束位置作为新的掌子面, 重复步骤一至六, 直至全部预衬砌施工完成。

2.3. 工法特点介绍

相比于传统的机械预切槽技术及隧道超前支护方法, 隧道预衬砌技术具有其独特的技术特点:

- (1) 预衬砌法施工过程较为简单，可分为构筑预衬砌拱壳及工作面开挖两大步骤。该工法的施工为单纯重复性的工艺过程，可大幅度缩短工期，降低造价。
- (2) 该工法的掘进一般采用微型盾构的方法，可以适应于各种地层。
- (3) 掘进及水泥混凝土灌注过程中引起的土体变形微小，对地层基本无扰动。衬砌结构形成后，隧道开挖时有预衬砌的保护，保证了开挖的安全并能有效控制地层沉降。
- (4) 与传统机械预切槽法不同，该工法不是横向切槽而是纵向微型盾构，能够对端头部位进行封水保压，能针对较难施工的含水隧道，且能一次性施工10米以上。

3. 预衬砌设备

预衬砌设备的主要功能是针对软岩及未固结地质条件，隧道在开挖前先行切槽注浆，形成混凝土拱壳，实现掌子面超前径向和轴向预支护，然后再进行工作面挖掘，

可有效防止地层发生各向位移，确保施工安全。其不仅可以作为临时支护甚至可以作为永久支护。

该设备实现隧道预置拱圈施工基本原理是，在钻机安装在拱型架上调整好上仰角，外差角后。钻孔螺旋出土并注入混凝土，连续上述动作。形成一个连续的起预先支护作用的保护壳，然后将保护壳下面的土体挖出。并配有电脑检测控制系统，具有安全性高，定位准确，施工速度快，成本低等特点。

3.1. 设备构造

预衬砌设备主要分为主机和后台两大块，其中主机主要包括掘进灌砂机和拱形机架，掘进灌砂机内设有出土仓、收土仓及混凝土灌注通道。螺旋钻具安装在出土仓内，切削钻头至于主机最前端，以进行土体切削。后台主要包括液压泵站，泥浆泵站高压混凝土泵等。共同实现设备主机定位及切槽控制功能，螺旋出土功能，混凝土加筋功能、切槽端头部位封水保压功能，以及相邻槽体的咬合功能。主机及切削钻头见图2，图3，主要技术参数见表1



图2 隧道预衬砌设备主机。



图3 切削钻头。

表1 预衬砌设备主要技术参数。

项目	单位	技术参数	
成槽厚度	m	0.4	
单程成槽宽度	m	0.95	
单程成槽长度	m	10	
动力头输出转速	r/min	20	
动力头输出扭矩	Nm	28	
动力头给进能力	t	45	
给进回退速度	m/min	2.5	
配备动力	主机	KW	150
	拱架	KW	30
整体重量	主机	t	14.5
	拱架	t	26

3.2. 设备匹配性测试

根据施工工艺要求,我们对预衬砌设备的螺旋出土功能,混凝土加筋功能、以及相邻槽体的咬合功能等进行了测试。其中,混凝土加筋功能是在灌注混凝土前,将钢筋置于掘进灌砂机的螺旋出土仓中,在混凝土灌注时,逐步将钢筋置入到混凝土中;相邻槽体咬合功能是在掘进成槽过程中,在掘进灌砂机2侧连接潜孔锤,当掘进灌砂机向前掘进时,潜孔锤会对旁边槽位的混凝土预制件进行规则性破碎并形成一凹形槽,灌注混凝土时混凝土亦会填充凹形槽,从而实现相邻槽体混凝土预制件的咬合。

3.2.1. 施工平面布置

实验模拟实际隧道施工环境,施工平面布置图见图4。在掘进区域进行人工覆土,覆土厚度为1.5-3米,初步计划成槽5个(窄槽宽度为0.98米,厚度为0.4米,长度约9米),即由5个混凝土预制件进行咬合形成预衬砌拱。

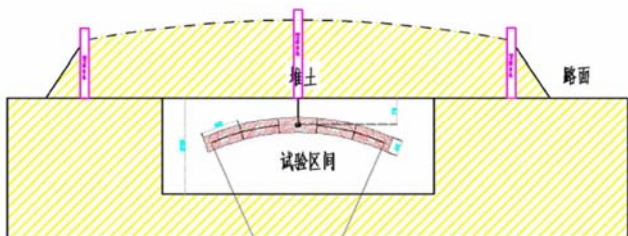


图4 施工平面布置图。

3.2.2. 成拱施工流程

本次实验主要施工步骤:

步骤一: 场地清理,对施工设备进行安装调试,确定开挖轮廓线后,根据施工工位进行设备定位;

步骤二: 启动设备,设备边掘进边出土,利用运输车辆将土体及时从现场转移清除;

步骤三: 掘进至设计深度后,边回退设备边灌注混凝土,设备回退至距槽口1米左右时,通过动力输出轴仓泵送速凝剂并同混凝土搅拌混合,直至混凝土灌入至槽口,以及时封堵槽口;

步骤四: 移动设备,重复步骤二、步骤三直至该掌子面所有工位施工完毕。施工流程见图5

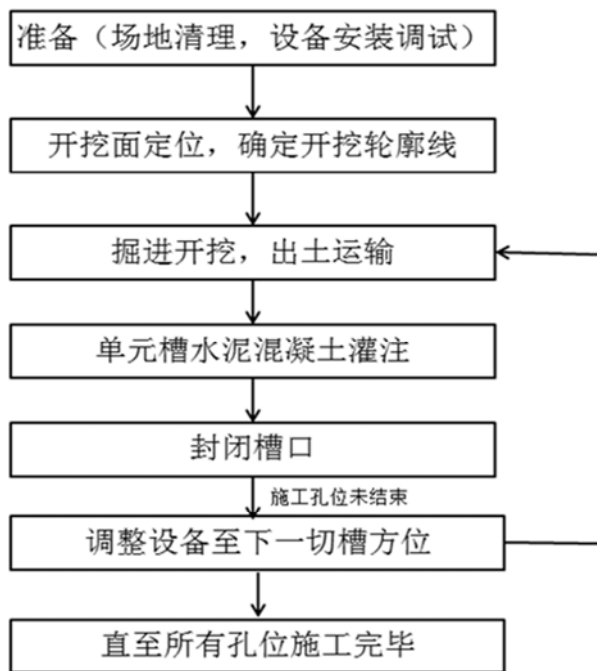


图5 隧道预衬砌施工流程。

3.2.3. 实验效果

经过一个施工流程后,发现预衬砌设备与工法匹配性良好,主要体现在成槽效果良好,混凝土灌注效果良好,相邻槽体预衬砌预制件咬合效果良好,且实现了混凝土加筋功能,槽口封闭效果良好等。混凝土灌注图见图6,即掘进至设计深度后,槽体成形(见图7),边回退掘进设备,边通过后台向掘进设备的内置管路中泵送混凝土,直至该槽体混凝土灌注完成,掘进设备停止回退。当施做中间槽位时,为了实现相邻混凝土预制件的相互咬合,在成槽时,通过掘进设备1侧的附加机具对已成形的预制件进行部分切割,从而形成一凹槽即环向咬合槽(见图8),当施工槽位混凝土灌注后,即可实现相邻槽位的混凝土预制件咬合。当所有槽位施做完成后,即形成一预制件相互咬合的预衬砌拱,在预衬砌拱的保护下进行机械化开挖,(见图9)高效又安全。



图6 混凝土灌注。



图7 掘进成槽效果图。



图8 环向咬合槽。



图9 在预衬砌结构保护下模拟隧道开挖。

4. 结论

当前，劳动力日趋紧张，机械化施工率亟待提高，经实验证明，隧道预衬砌可以实现全断面开挖，从而取代传统矿山法施工，大大提高了隧道施工的机械化水平，施工效率和安全系数大大提高。该工法工序简单，地层扰动小，适用范围较广，特别适用于软弱围岩隧道的修建。而且，

预衬砌设备组成构造相对简单，造价低，而且灵活性远高于盾构机，且能实现掘进成槽、混凝土灌注、混凝土预制件咬合等功能，满足隧道施工方法需求，与预衬砌工法匹配性良好。综上，预衬砌技术能够适应复杂地质和环境的隧道施工方法和机械化作业方式，符合隧道建设的发展需求，具有广阔的市场前景。

致谢

本文为北京市科委重大项目《隧道预衬砌施工工法及设备研究》(Z151100002715017)的阶段性成果之一。

参考文献

- [1] 唐经世. 隧道预切槽施工法与机械[J]. 筑路机械与施工机械化, 2001 (1): P37-38.
- [2] BCazenave, YLeGoer. MechanicalPrecutting[J]. NorthAmericanTunneling, 1996:P71-79.
- [3] 王秀英. 机械预切槽法开挖软土隧道地层变形研究[J]. 岩土力学, 2005, 26 (1): P140-144.
- [4] 王全贤. 大直径盾构隧道在北京地铁工程中的应用[J]. 都市轨道交通, 2012, 25 (5): P99-104.
- [5] 李孔明. 预切槽工法修建隧道的模型试验及结构设计研究[D]. 北京, 北京交通大学, 2011: P1-P103.
- [6] 郝焯江, 贺美德, 赵坤、王秀英. 机械预切槽法施工机械结构详析与模型[J]. 中北大学学报(自然科学版). 2013, 34(1):p86-p92.
- [7] 王秀英, 刘维宁, 赵伯明, 等. 预切槽技术及其应用中的关键技术问题[J]. 现代隧道技术, 2011, 48 (3): P22-27.
- [8] 张铖. 减轻隧道施工爆破对地面振动影响的掘进方法[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1996 (3): P52-58.
- [9] 王秀英, 张铖, 吕和林, 周明亮. 机械预切槽法开挖软土隧道地层变形研究[J]. 岩土力学, 2005 (1): P140-144.
- [10] 翁伯康, 王慨慷, 张成满. 隧道预切槽机及其施工方案探讨[J]. 铁道建筑技术. 1996, 4:P10-P13.
- [11] 张召. 预切槽法开挖黄土隧道地层变形规律及掌子面稳定性研究[D]. 北京, 北京交通大学, 2014: P1-88.
- [12] 韩任贤. 软弱围岩隧道锁脚锚杆受力及预衬砌结构承载能力研究[D]. 北京, 北京交通大学, 2015: P1-108.