

# 1:1 Test Study on Cutting and Irrigating Process by Pre-linling Equipment

Wang Xiuying<sup>1</sup>, Yang Jikai<sup>2</sup>, Wu Xiaowei<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Civil Engineering, Beijing Jiao Tong University, Beijing, China

<sup>2</sup>Beijing Shouer Engineering Technology Co.ltd, Beijing, China

## Email address:

xywang@bjtu.edu.cn (Wang Xiuying), 13901206386@139.com (Yang Jikai), wuxiaowei17@163.com (Wu Xiaowei)

## To cite this article:

Wang Xiuying, Yang Jikai, Wu Xiaowei. 1:1 Test Study on Cutting and Irrigating Process by Pre-linling Equipment. *Science Discovery*. Vol. 4, No. 6, 2016, pp. 444-449. doi: 10.11648/j.sd.20160406.26

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

**Abstract:** With the higher requirements for the safety, quality, environmental protection of construction and the increasingly growing labor costs, it is imperative to promote the mechanization of the tunnel construction. Pre-lining technology as a mechanized tunnel construction method between the shallow-buried tunneling method and the shield tunneling method, can not only rapid excavatemechanized, but also effectively control the ground subsidence. In this paper, the pre-lining technology was used to simulate the tunnelconstructionin weak surrounding rock, andground deformationwas also monitored. It was showedthat the vertical and horizontal displacements of the strata were small, alsowas the and the groove deformation, which can meet the requirements for tunnel construction. And pre-lining construction methodwas more advanced compared with the traditional mechanical pre-cutting method.

**Keywords:** Tunnel Construction, Pre-lining, Ground Deformation

---

## 直进式预衬砌设备切灌过程1:1试验研究

王秀英<sup>1</sup>, 杨积凯<sup>2</sup>, 吴小维<sup>2</sup>

<sup>1</sup>土木建筑工程学院, 北京交通大学, 北京, 中国

<sup>2</sup>北京首尔工程技术有限公司, 北京, 中国

## 邮箱

xywang@bjtu.edu.cn (王秀英), 13901206386@139.com (杨积凯), wuxiaowei17@163.com (吴小维)

**摘要:** 目前, 中国对施工安全、质量、环保等要求越来越高且劳动力成本的日益增长, 大力提升隧道建设的机械化水平已经势在必行。预衬砌技术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, 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。本文模拟了软弱围岩预衬砌施工, 并对施工过程中的地层变形进行了监测, 结果表明, 地层的竖向、水平位移较小, 槽段自身的变形也较小, 可以适应软弱围岩隧道施工的要求。与传统机械预切槽工法相比, 全新的隧道预衬砌施工方法更具优势。

**关键词:** 隧道施工, 预衬砌, 地层变形

---

## 1. 引言

长期以来,中国的隧道建设大量采用人力作业,机械化水平不高。随着国家对施工安全、质量、环保等要求的提高以及劳动力成本的日益增长,大力提升隧道建设的机械化水平已经势在必行[1]。众所周知,隧道施工素有“怕软不怕硬”的说法,可见,软弱围岩隧道施工的难度是隧道界有目共睹的,拱顶崩塌、掌子面失稳、底鼓、初期支护严重变形等已经成为常见问题[2]。而隧道的完整性及使用寿命完全依赖于洞室周围应力的转移和传递,当洞室周围的围岩完全不能承受偏移的应力流时,洞室则会坍塌,因此为保证施工安全,若成拱效应不会自然产生时,则需人工超强拱部预支护形成成拱效应[1, 3-5]。

长期的建设实践中,欧洲国家发展了丰富多样的隧道超前支护技术,常用的有超前小导管、管棚、水平旋喷桩等[6, 7],因此可以根据围岩级别及性质的不同,制定针对性的超前支护措施。在我国,超前小导管、管棚的运用已经非常普遍,近几年水平旋喷技术在下穿工程、复杂地质隧道也逐渐得到重视,发挥了很好的作用。机械预切槽技术是在隧道开挖前,采用专门的切槽机械沿着隧道外轮廓线按预定的厚度和长度切槽,并及时在槽内喷射或灌注混凝土形成超前衬砌薄壳(预衬砌),待预衬砌达到一定强度后(通常要求4~6小时达到开挖强度),即可进行下部土体全断面开挖[8-10]。预切槽技术开挖断面不拘泥于圆形,可以灵活多变,中国从上世纪80年代开始关注预切槽技术,但是由于预切槽机械的研制较为困难,而国外又没有商品化机械,因而,该项技术在我国迟迟未得到发展。近年来,随着对隧道建设机械化程度要求的提高,该项技术再次得到重视。2014年,中国北京交通大学张召对对切槽长度、搭接长度及切槽厚度等参数进行了分析及数值模拟,确定了当切槽长度5m时适宜的搭接长度为0.5m,成槽长度12m时,适宜搭接长度位为3m,且两种情况下适宜的切槽厚度为35cm[11]。2015年,中国北京交通大学韩任贤

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,指出了预衬砌受力最薄弱之处为拱脚内侧[12]。

本文通过对笔者单位自主创新研发的预衬砌设备进行隧道施工模拟试验,并主要研究了切灌过程对地层变形的影响。研究对设备功能的完善和该项技术在中国的应用具有积极意义。

## 2. 预衬砌技术简介

直进式预衬砌技术是通过在特定形制的机架上安装的带掘进钻头的金属箱体,即掘进箱体,依靠液压传动,沿着隧轴线方向掘进、出土,掘进至设计深度后,一边回退一边通过掘进箱体的内置管路灌注混凝土,从而在隧道开挖线外近距离形成以箱体为模的板状混凝土构件。依法沿拱架环向施作多个此种板状混凝土构件,并依序相嵌搭接形成一连续拱壳,便在隧道开挖线外近距离形成隧道开挖前的预衬砌。在预衬砌的保护下,视土质情况,必要时适当进行掌子面加固,可安全地进行隧道全断面的机械化开挖。开挖时保留一定长度的剩余预衬砌,即可进行下一循环作业。

## 3. 预衬砌技术隧道施工模拟试验

作为预衬砌技术的首次工业化试验,本次试验主要目的在于测试预衬砌设备切槽、灌注混凝土过程机械的各项功能参数,检查预衬砌的搭接效果,分析切灌过程地层的变形特性。图1为试验场地设计情况,试验土层为原始耕地,上方为堆积土层。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。

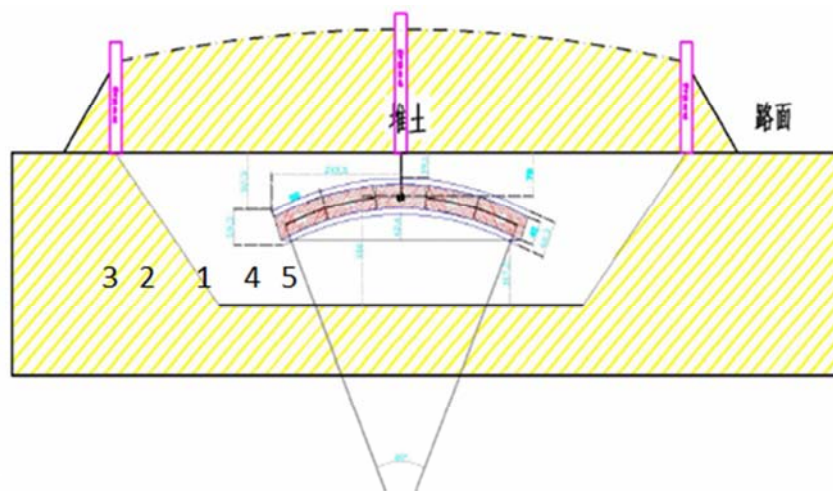


图1 试验场地情况。

本次试验一次成模宽度为0.98米,厚度0.4米,施工长度为9米。本试验段共施工5槽(如图1),开挖4.9米;

试验段超前衬砌上仰角度 $1.43^\circ$ ,覆土厚度在1.5米~3米。超前衬砌固化材料为C30商品混凝土;试验尝试纵向插入2

根 $\phi 20$ 螺纹钢筋，用以提高预衬砌纵向结构抗拉强度。本次试验切槽及灌注混凝土的顺序为3号、2号、1号、4号、5号槽段，2014年7月11日开始预切槽段施做并于7月12日完成3号槽段混凝土灌注，7月18日完成4号槽段的混凝土灌注并在1、2之间顺利插入一根钢筋，下午完成5号槽段的施做。7月19日，完成5号槽段的混凝土灌注并顺利在其两侧成功插入钢筋。图2、3所示为现场切槽灌注及4号槽段插入钢筋过程，图4为形成的预衬砌拱。其中图2，是掘进设备掘进至设计深度后，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。图3即是在掘进设备回退过程时，边灌注混凝土，边人工将钢筋插入掘进设备的内置通道，随设备的逐渐回退，钢筋逐步切入到混凝土中，实现预制件的加筋。多个孔位施做完成后，相邻预制件相互咬合成一整体，即形成统一的预衬砌拱，在预衬砌拱的保护下进行机械化开挖。



图4 形成的预衬砌拱。

## 4. 预衬砌设备施工过程地层变形

### 4.1. 切槽灌注过程地表变形分析

为了了解直进式预衬砌设备施工过程地层变形情况，在地表设9个观测点，分别布置于施工区域的正上方，和东西两侧，如图5所示。观测点设好之日起，每天两次，直到施工结束。施工时在各槽段切槽、机械回退、混凝土浇筑过程中分别观测3次。



图2 现场切槽及灌注混凝土过程。



图3 槽段插入钢筋试验。

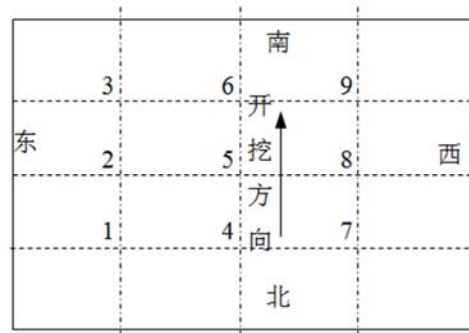


图5 开挖段地表测点布置图。

图6给出了测点在切灌试验过程中当日的竖向位移。由图可以看出每天的竖向位移都是呈现波动状态，这是由于钻臂钻进的时候会挤压上部土体，在图上表现为上升，钻臂拔出时土体又会下降，在图上表现为下降。上升位移最大值为13mm，出现在7号测点；下降最大位移为11mm，出现在4号测点。4号测点由于在7月12日2号槽段出现坍孔所以出现了急剧下降，及时处理后后续几天位移减小。

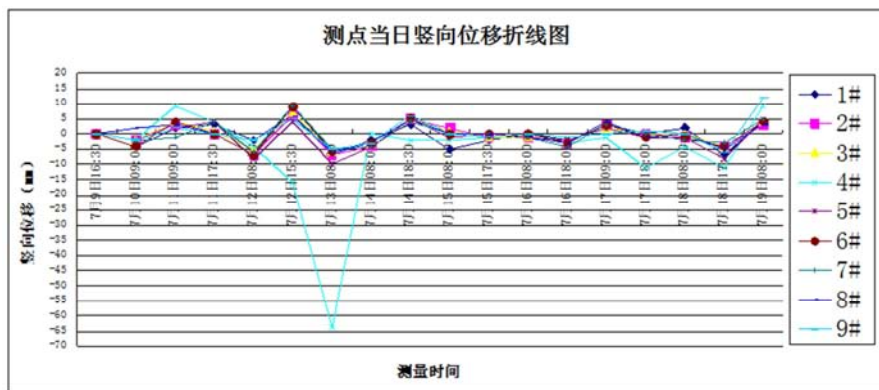


图6 测点当日竖向位移。

图7给出了测点在施工过程中累计的竖向位移。由图可以发现除了4、7号测点之外其余测点的累计竖向位移并没有出现较大的变动。4号测点受2号槽段坍孔影响数据不

准确，可不予考虑。7号测点在中间时累计位移较大，但之后和其他测点一样趋于平稳值。累计最大沉降值为13mm。

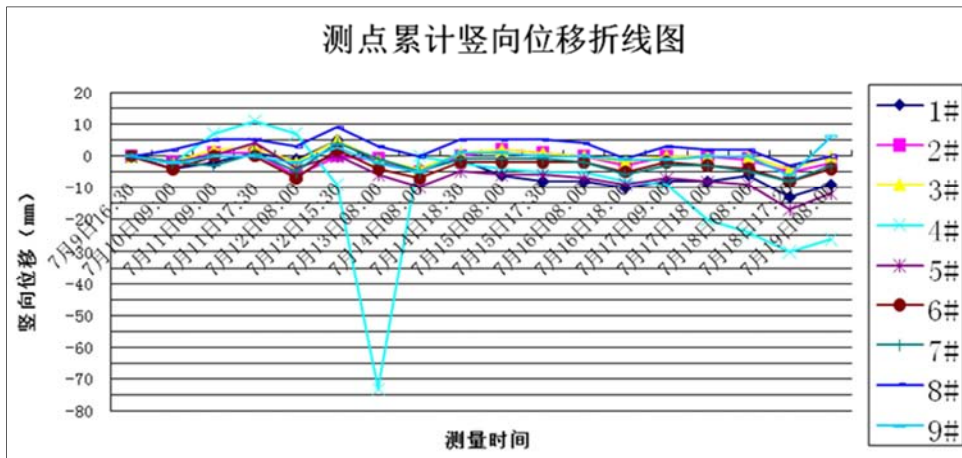


图7 测点累计竖向位移。

图8给出了测点沿预衬砌纵向开挖方向（南北方向）的当日水平位移。由图可以发现当日水平位移变化并不大，基本在1mm以内，向北位移最大值出现在7月12日4号点处，为21mm，向南位移最大值出现在6号点处，约为15mm。

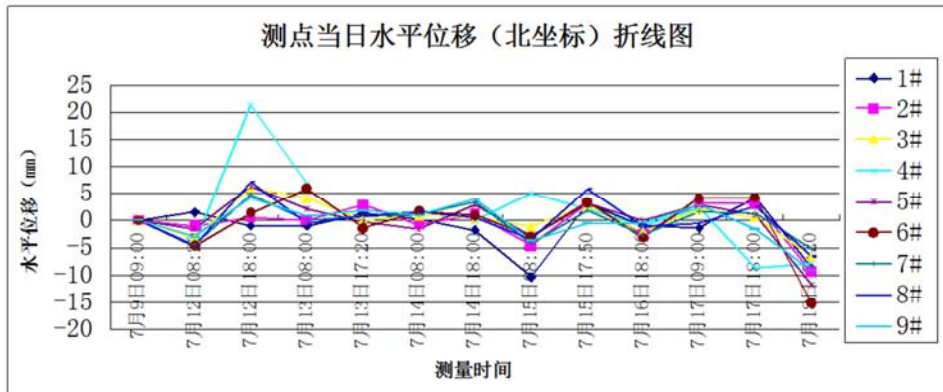


图8 测点南北向当日水平位移。

图9给出了测点沿预衬砌纵向的累计水平位移。由图中可以看出各点的累计南北向位移最大为5号测点，向北偏移了12mm，1号点向南偏移最大偏移15mm。

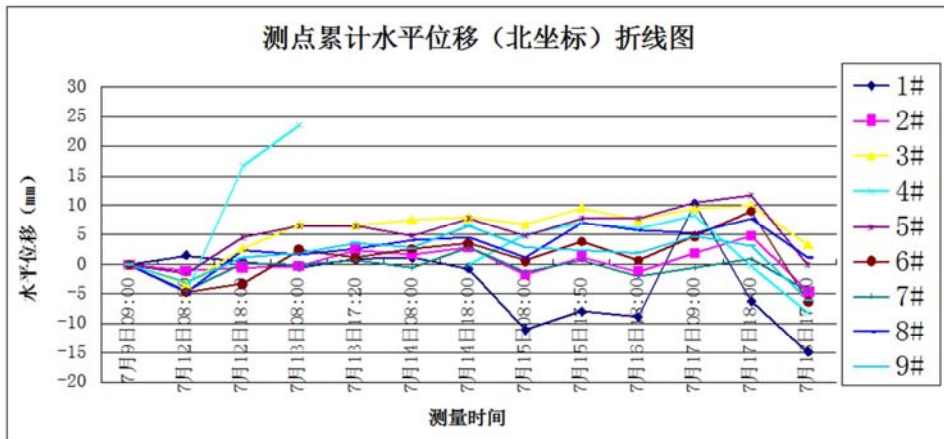
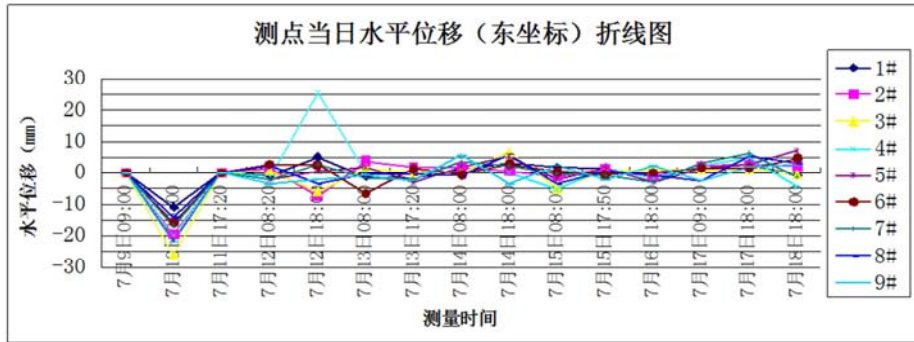


图9 测点南北向累计水平位移。

图10给出了测点在东西向（即与预衬砌纵向垂直的方向）的水平位移。由图中看出切灌过程当日东西向水平位移变化基本在5mm以内，向西位移最大值出现在4号点7月12日处，为25mm。向南位移最大值出现在2、6号测点处，约为7mm。



注：7月10日预衬砌槽段尚未施做，数据偏大应与试验前期场地准备工作有关，可不予考虑。（下图同）

图10 测点东西向当日水平位移。

图11给出了测点沿东西方向的水平位移。由图可见，4、9号测点向东偏移了3mm，其余点向南偏移，最大偏移13mm。

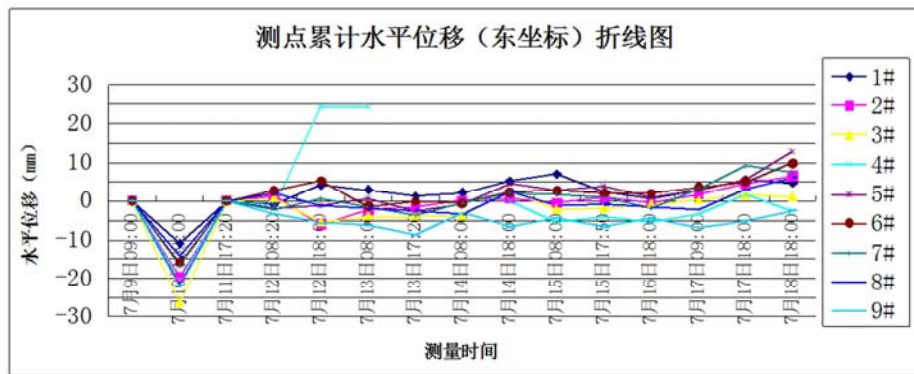


图11 东西向累计水平位移。

### 4.2. 切槽灌注过程孔内测点位移分析

为了掌握各槽段在切灌过程中的动态，采用切槽机具内置的激光测试装置对1、2、4、5号槽段在顶进、回退、浇筑过程中槽段顶部的位移进行了量测。如图12~15所示。

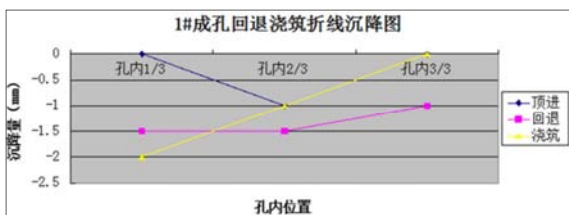


图12 1号槽段成槽过程测点的沉降量。

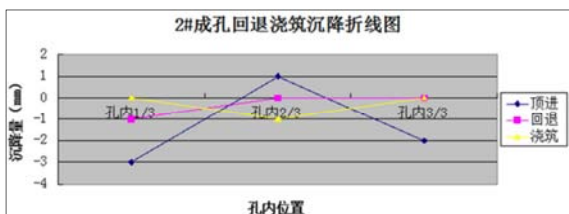


图13 2号槽段成槽过程测点的沉降量。

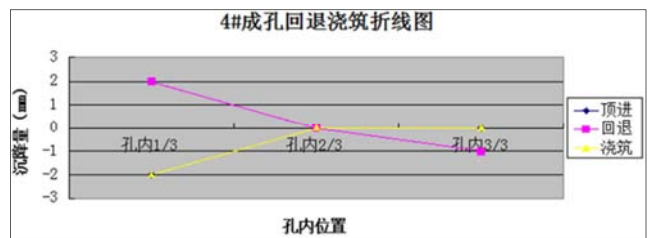


图14 3号槽段成槽过程测点的沉降量。

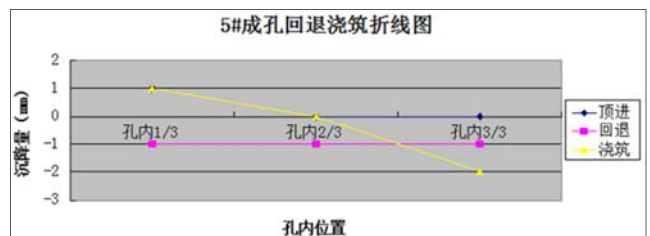


图15 4号槽段成槽过程测点的沉降量。

由图12~15可以看出，在顶进，回退，浇筑过程中测点的变化都在3mm范围内，可知槽段本身的变形很小。

## 5. 结论

预切槽法是软弱围岩隧道施工中一项极具发展前途的施工工法,国外预切槽机械没有走向商品化的原因在于其自身存在着链锯切槽灌注匹配困难、含水地层封水困难的缺陷,我们的机械研发应有自己的发展思路。因此我们根据中国国情对预衬砌技术进行了自主研发,并对研发的预衬砌设备进行了1:1工业化实验成功实现了预衬砌设备掘进成槽,混凝土灌注、加筋等的预定功能。

同时,切灌过程中对地层变形的监测表明,预衬砌设备在软弱地层浅覆土情况下切灌过程的地层沉降较小,槽段自身的变形也较小,能够适应软弱围岩隧道施工的要求。

试验表明,与传统机械预切槽工法相比,全新的隧道预衬砌施工方法实用性及适应性更广,当然,为使隧道预衬砌施工方法大规模应用于工程实践,尚需要在理论计算和实践相结合的基础上,尽快确定预衬砌施工方法的可靠性及各项工艺参数,完善设备,并在设计及施工规程上完善相关配套。

## 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)的阶段成果之一。

## 参考文献

- [1] 翟进营, 杨会军, 王莉莉. 新意法隧道设计施工概述[J]. 隧道建设, 2008, 24 (1): P46-P55。

- [2] 杜林林, 王秀英, 刘维宁. 软弱围岩隧道预衬砌支护参数研究[J]. 现代隧道技术, 2013, 50 (5): P80-86。
- [3] 肖广智, 魏祥龙. 意大利岩土控制变形(ADECO-RS)工法简介[J]. 现代隧道技术, 2007, 44 (3): P11-P15。
- [4] PietroLunardi. Design and construction of tunnels. Analysis of controlled deformation in rock and soils (ADECO-RS) [M]. 铁道部工程管理中心, 中铁西南科学研究院有限公司译. 北京: 中国铁道出版社, 2011:P1-P521。
- [5] 翟进营, 杨会军, 王莉莉“新意法”在国外隧道工程中的应用[J]. 隧道建设, 2008, 28 (4): P469-475。
- [6] 吴光华. 浅谈隧道超前支护及施工工艺[J]. 科技情报开发与经济, 2008, 18 (9): P195-196。
- [7] 朱永权, 宋玉香. 隧道工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2007: P1-P350。
- [8] 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。
- [9] 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。
- [10] 王秀英, 张斌, 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。
- [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。