

# Brief Discussion on the Small Caliber Pipe Roof Method with the Lock Catch and Its Application

**Yang Jikai, Wu Xiaowei**

Beijingshouer Engineering Technology Co., Ltd, Beijing, China

**Email address:**

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

**To cite this article:**

Yang Jikai, Wu Xiaowei. Brief Discussion on the Small Caliber Pipe Roof Method with the Lock Catch and Its Application. *Science Discovery*. Vol. 4, No. 6, 2016, pp. 456-461. doi: 10.11648/j.sd.20160406.28

**Received:** November 15, 2016; **Accepted:** December 2, 2016; **Published:** December 12, 2016

**Abstract:** The role of pipe roof method and its development were introduced in this paper, also, the problems of its construction technology were analyzed according to its application. It was found that because of construction equipment and construction technology, there are still some defects in the existing technology such as more difficult construction, higher cost, larger disturbance, longer construction period, and scarcely any project case about the pipe roof with the lock catch in China. Based on the field practice and the foreign experience, the small caliber pipe roof with the lock catch technology was researched and its construction principle, process, characteristics, the application taking the southward line of Beijing subway line 8 under cross the subway line 10 project in China were also recommended in this paper, it was showed that the supporting intensity of the small caliber pipe roof method with the lock catch can meet the settlement requirements of undercrossing important structure building, and the smaller ground disturbance, lower cost promise a broad application prospect.

**Keywords:** Pipe Roof, Lock Catch, Underground Space, Small Caliber, Ground Disturbance

---

## 对小口径锁扣管幕工法及应用的研究

**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:** 介绍了管幕工法的作用及发展概况, 并根据管幕工法的应用情况, 分析管幕施工技术存在的问题, 发现现有管幕技术受制于施工设备和施工工艺等因素, 普遍存在施工难度大、费用高、扰动大、工期较长且中国国内鲜有锁扣管幕的成功案例等问题。结合现场实践及国外经验提出了小口径锁扣管幕施工方法, 并详细讲述了其施工原理、方法、施工特点, 并依托于中国北京地铁8号线南延下穿地铁10号线管幕工程介绍了小口径锁扣管幕的应用情况, 实践表明小口径锁扣管幕支护强度能满足下穿重要构筑物的沉降要求, 并且小口径管幕还有地层扰动小、整体造价低等优势, 具有广阔的应用前景。

**关键词:** 管幕, 锁扣, 地下空间, 小口径, 地层扰动

---

## 1. 引言

### 1.1. 管幕方法发展概况

管幕工法是利用钢管在地下预先密排并相互咬合形成钢管帷幕,在此帷幕结构的保护下进行开挖,从而建造大断面地下空间的暗挖技术。管幕钢管一端嵌入施工前方围岩内部,另一端固定在初期支护结构或端头支撑梁上,从而有效的进行荷载传递,避免局部的应力集中而失稳。其作为一种超前支护方法,结构刚度及强度均优于管棚,且多采用顶管机施工,能够有效排土,地层扰动小,另外,其管间依靠锁扣止水或采用冻结法、水平旋喷等工艺形成连续的止水帷幕,而管棚多采用注浆止水,无法形成连续的止水帷幕。相比之下,管幕方法具有管棚无法比拟的优势,下穿管幕法主要应用于下穿重要构建筑物。

管幕工法作为一种安全可靠的地下暗挖技术,起源于日本,迄今已有几十年的发展历程,1962年首次应用于日本东海道新干线第一热海隧道工程,其后在意大利、韩国、新加坡等地下空间建设中均有应用。1990年新意法创始人Pietro提出的蜂窝拱状施工技术首次应用于米兰城市威尼斯车站,该车站外径30m,隧道拱顶距地面仅4m左右,其使用顶管设备在隧道顶部并排顶进直径为2.1m的混凝土管,并依靠横向拱使混凝土管连接成拱,有效防止了施工过程中因地层应力变化而导致的沉降变形[1],该技术的成功应用促进了管幕施工技术的发展及推广,1984年,中国首次应用管幕工法修建香港地下通道[2]。目前随着地下空间的开发,中国的管幕施工技术不断发展和应用。

2004年,中国上海中环线北虹路地道采用管幕结合箱涵顶进工法施工,钢管幕由80根直径970mm,壁厚10mm,单管长度为126m的钢管组成,由泥水平衡顶管机顶进形成口字型管幕。箱涵为矩形双孔钢筋混凝土结构,横断面尺寸为34.2m×7.85m,共分8节,每节长度4~18m不等[3]。施工过程中,地表沉降始终控制在4cm左右。作为管幕-箱涵推进法在大陆的首个应用工程,该工程取得了圆满成功,被国际非开挖协会评选为2006年度非开挖协会金奖。2011年,中国北京首都机场捷运系统穿越机场跑道段同样采用管幕-箱涵推进法施工。管幕结构由60根直径为970mm,壁厚16mm,单管长度为232m的钢管组成,管幕施工完成后,在管幕结构的保护下进行箱涵顶进施工,箱涵横断面尺寸为23.2×8.55m,共分13节,双向逐步推进,直至最后贯通[4-6]。2012年,中国港珠澳大桥珠海连接线拱北隧道创新性的采用曲线管幕+水平冻结法施工。其中,管幕由36根直径1620mm,长度为255m钢管组成,钢管顶进过程中通过顶管机配备的UNS导向系统确定顶管机的方位,倾角等,进而实现顶进过程机头的纠偏。管幕施工结束后,采用冻结法进行管间封水,形成冻土帷幕。拱北隧道管幕是目前国内地质情况最复杂、管幕世界最长、断面最大的曲线管幕群。该工程的顺利完成,标志着我国管幕技术上升到了一个新高度[7-10]。黎轩,王啟铜等人以该管幕工程为依托,通过室内模拟试验和施工现场使用情况,对采用的钢套管接收装置进行优化和改进,并形成不同工况条件下钢套管接收技术优选表[9]。李志宏,李剑同样以港珠

澳大桥拱北隧道曲线顶管管幕施工为依托,通过模型试验、数值模拟、现场试验等手段对曲线顶管管幕间相互影响进行了研究,分析了顶管对土体的累积扰动、土体应变以及管土接触压力、轨迹影响等规律特征。结果表明:顶管顶进过程中,顶管机头前方的地表发生隆起,机头前方土体横、纵向应变增大;模型试验所得土体的位移及应变变化规律与数值模拟结果一致[10]。

### 1.2. 管幕方法局限性

纵观管幕发展历程,其施工多采用泥水平衡顶管机进行施工,钢管直径一般在600mm~1600mm,属于大口径管幕。该方法能够实现全断面切削土体,但对于长距离顶管施工,通常要设置中继间传递顶力,同时为了有效降低顶进阻力,需进行注浆减摩。因此受制于施工设备,材料及工艺等方面因素,大口径管幕施工费用相对比较高,且施工工艺的复杂性及顶管的工效大大制约了管幕施工工效,一般比施工开挖工期长的多。比如港珠澳大桥拱北隧道2012年7月开工建设,计划与港珠澳大桥主体工程在2016年底同步建成通车,但仅管幕施工就耗时两年之多,施工周期较长,使得港珠澳大桥香港口岸和连接线无法在2016年准时完工,较长的施工周期同时增加了施工成本。而且,现有管幕施工方法地层扰动相对较大,易引起较大的沉降变形,以北京首都机场捷运系统穿越机场跑道口字型管幕施工为例,其上层管幕施工导致机场跑道整体产生明显下沉,总体呈现扁“U”型分布,其中最大沉降值超出管幕施工沉降要求,对于底层及两侧管幕施工引起的土体及地表下沉更为明显,部分区域沉降接近20mm,在一定程度上给飞机正常运营带来威胁[6]。

另外,虽然管幕定义中均提到锁扣,其可以使管幕形成封闭式钢管帷幕,能够有效止水。但锁扣管幕仅仅停留在理论阶段,目前中国尚无锁扣管幕的成功案例。港珠澳大桥珠海连接线拱北隧道采用“管幕法+冻结法”复合支护方案[8],管幕间采用冻结施工,在一定程度上解决了封水问题,但施工周边土体容易因冻胀作用使地表发生隆起,若钢管间采用锁扣连接,该问题则不存在。

## 2. 小口径锁扣管幕

### 2.1. 小口径锁扣管幕施工原理

针对管幕施工的局限性,笔者单位开创性的将螺旋出土技术、顶管技术和管幕施工技术相结合,在现有技术基础上进一步发展了小口径锁扣管幕施工方法。小口径锁扣管幕通常指钢管直径小于 $\phi 500\text{mm}$ 的管幕,目前较多采用的钢管规格为 $\phi 299\text{mm}$ 、 $\phi 245\text{mm}$ 等。其以单根钢管顶进为基础,多根钢管平行排布,管间采用锁扣通长连接,在开挖线外形成封闭式钢管帷幕结构,为开挖作业提供可靠保护。

### 2.2. 小口径锁扣管幕施工方法

小口径锁扣管幕采用螺旋出土套管跟进工艺进行施工,施工设备为螺旋出土顶管管幕机,施工时管幕钢管作为套管,内部安装带有专用钻头的螺旋钻杆。管幕机提供

螺旋钻杆的旋转动力和套管的顶推力。管幕机顶进时，螺旋钻杆向钻头传递钻压和扭矩切削土层，并将钻渣由管内螺旋排到孔口管外。这样边顶进、边切削、边出渣，将管幕钢管逐段向前顶进。每根钢管的两侧均焊接有提供下一孔位钢管滑行并卡位的轨道即锁扣。后续孔位钢管顺着上个孔位的锁扣顶进，锁扣将管与管横向扣接，在开挖线外形成钢管帷幕。管幕结构纵向成梁、横向成拱，为开挖作业提供了可靠的保护。单循环施工流程见图1，其中左侧管幕头部制作、锁扣制作及入孔位置清理调整等是作为该循环的准备工作，准备工作完成后进行钢管对位及锁扣嵌插，调整好方位后启动设备进行钢管顶进，在顶进过程中，为保证顶进方向，要及时进行面向角，倾角等数据记录，若发现顶进角度有偏差，应及时采取有效措施进行纠偏，单根钢管顶进完成后，焊接钢管继续顶进，直至该孔位所有钢管顶进完成，顶进结束后，将螺旋钻杆从钢管内拔出，根据需要进行角度复核，完毕后，移动设备，进行下一孔位的钢管顶进工作。

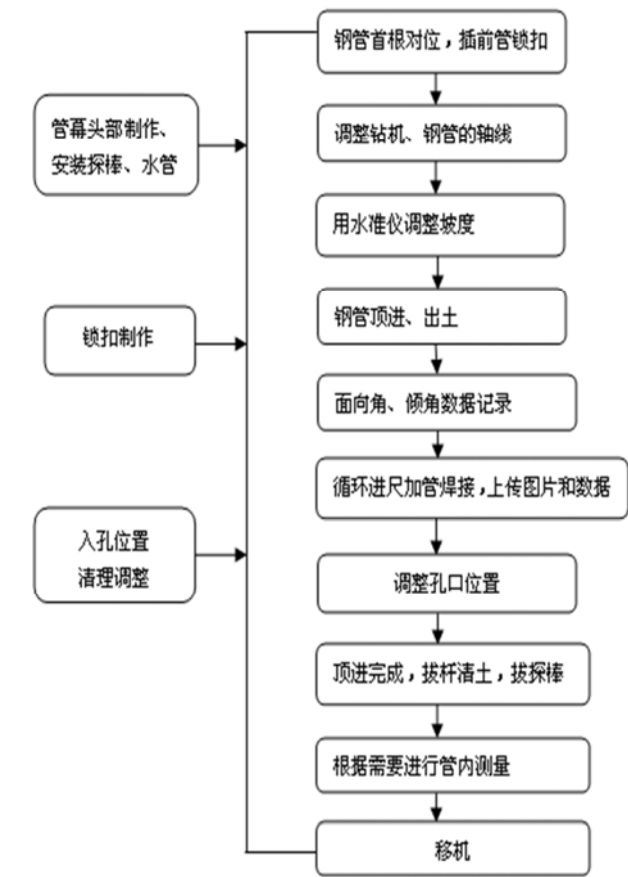


图1 小口径管幕施工流程。

2.3. 施工特点

作为一种地下空间施工方法，小口径锁扣管幕工法具有其独特的特点：

- (1) 螺旋出土套管跟进工艺避免了地层的变形
- 小口径锁扣管幕采用螺旋出土顶管方式的管幕机，螺旋出土套管跟进工艺在一定程度上可以避免地层的变形。

管幕施工时，管幕机提供螺旋钻杆的旋转动力和套管的顶推力。钢管向前顶进时，螺旋钻杆向钻头传递钻压和扭矩切削土层，并将钻渣由管内螺旋排到孔口管外。钢管顶进过程中，因土体切削导致水平应力减小，另一方面土体因为顶推力而使水平应力增加，因此通过调整顶进速度及螺旋钻杆的旋转速度，可使土体的应力变化基本维持在平稳状态，使土体扰动降到最低[11-14]。常见的螺旋钻具形式见图2，图3

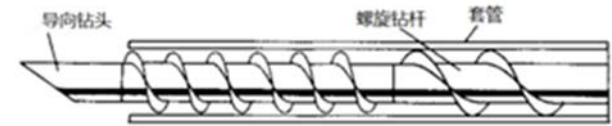


图2 楔形板式螺旋钻具。

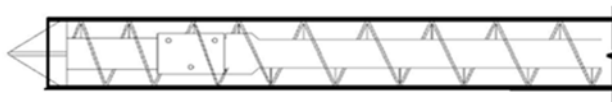


图3 可伸缩式螺旋钻具。

(2) 拉大锁扣尺寸增加管幕钢管连接强度

小口径管幕若无锁扣，同管棚区别不大。在锁扣的作用下，相互独立的钢管相互拼接成为一个整体，大大提高了支护结构的强度。锁扣形式和尺寸在很大程度上影响着相邻钢管间连接的牢固性和管幕结构的强度。小口径锁扣管幕常用的锁扣形式见图4

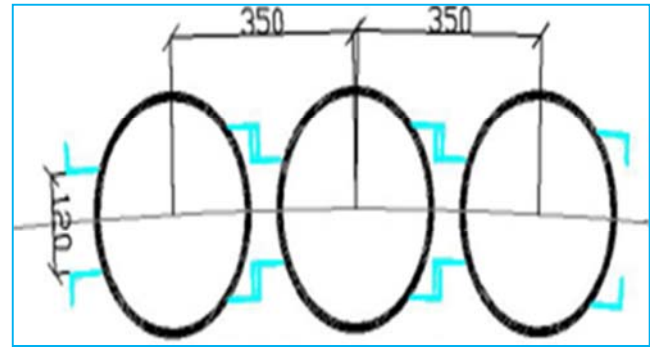


图4 管幕常用锁扣形式。

实际施工中，我们会根据实际地层情况及施工要求采用不同尺寸的锁扣尺寸。锁扣尺寸指的是公扣或母扣上边缘与下边缘的距离，当锁扣尺寸较大时，公扣及母扣的上下边缘越接近钢管的上下两端，此时，相邻钢管之间的约束力越大，连接强度较高，在实际的施工中常采用此方法增加管幕钢管连接强度。

(3) 面向角导向方法能大幅提高控制精度

精度控制是小口径锁扣管幕的施工重点和难点之一。钢管顶进过程中，施工钢管与成孔钢管锁扣间存在一定的偏转间隙（见图5）。在钢管顶进过程中，由于偏转间隙的存在，施工钢管易发生偏转而导致施工钢管的位置与设计位置发生偏差，若不及时纠正，施工钢管可能会严重脱离设计轨迹，引起较大的土体变形，甚至会发生公母扣



脱离、侵线等现象。小口径锁扣管幕施工方法采用面向角导向方法及时进行角度纠偏，确保钢管顶进精度。

所谓面向角导向是采用导向设备对钢管顶进进行预导向或预控制，根据成孔钢管的面向角及倾角变化情况，对施工钢管的角度及方位变化进行判断和定位。如若需要施工钢管逆时针偏转，则应及时在锁扣位置处加垫块，以阻止其顺时针偏转，见图6。采用此方法，可提高整个施工的控制精度。

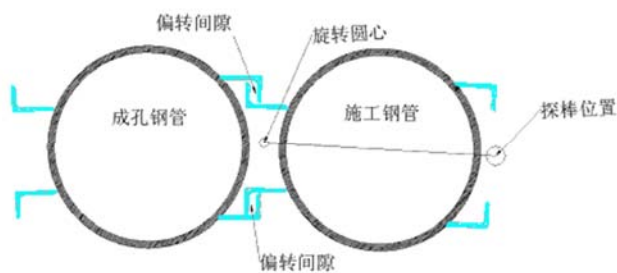


图5 偏转间隙示意。

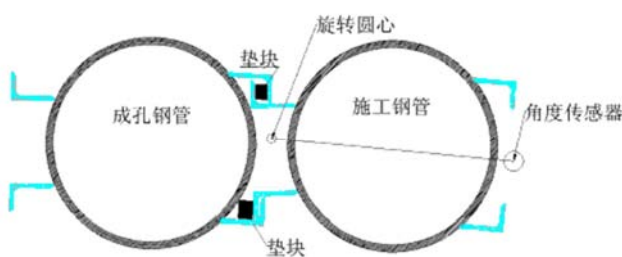


图6 面向角导向示意。

#### (4) 长短程结合的管幕机提高了工作效率

小口径锁扣管幕采用长短程结合的专利设备SE-GMJ-1200螺旋出土跟管顶进管幕机施工（见图7）。管幕机设有短行程的顶推油缸及长行程的传动马达、传动链

条，可实现管幕钢管的快速顶进及机头的快速回拖，二者有效结合，提高了施工工效。

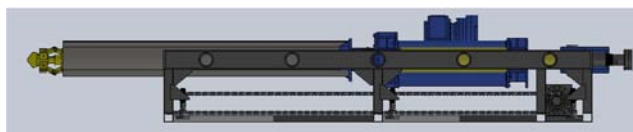


图7 螺旋出土跟管顶进管幕机。

### 3. 小口径锁扣管幕施工应用

小口径锁扣管幕工法在中国已成功应用于多个下穿工程，比如胶州（中国）人防工程、成都市（中国）成华区致力路下穿铁路工程、北京地铁8号线南延下穿地铁10号线等。本文以北京地铁8号线南延下穿地铁10号线为工程背景，介绍小口径锁扣管幕的应用情况。

#### 3.1. 工程概况

北京地铁8号线三期木樨园桥南站～大红门站区间线路沿南苑路南北铺设。区间正线564.485m，采用矿山法施工。左右线向南均下穿凉水河后进行人防段施工，进而下穿既有10号线盾构区间。既有10号线盾构区间距离开挖拱顶约2.5m，线间距11m，掌子面距离盾构区间水平距离最近8m。

#### 3.2. 工程地质条件

正线下穿既有盾构区间范围内，自上而下依次为杂填土层、粉细砂层、卵石⑤层、粉质粘土层、粉细砂层、卵石⑤层、粉土⑥2层，存在潜水（三），人防拱部粉细砂层与卵石层中间夹杂粉质粘土层，详见图8。人防段施工过程中，通过对地层进行观察记录，拱顶卵石⑤层局部夹杂粉质粘土层，厚度30~50cm，粘质粘土与粉细砂层存在界面水，开挖过程中有流沙。

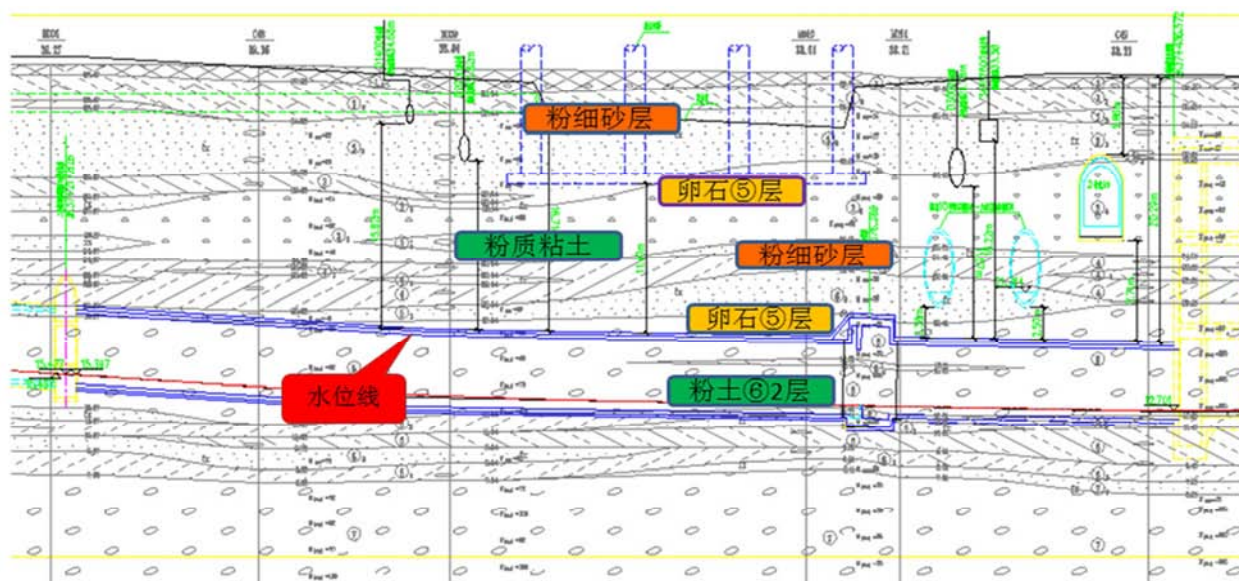


图8 地质剖面示意图。

3.3. 施工方案

为保证地铁10号线的正常运营和暗挖隧道施工安全，木~大下穿区间采用Φ299\*10mm小口径锁扣管幕方法进行超前支护施工。管幕施工布置图见图9。主要施工参数如下：

- (1) 管幕采用Φ299\*10mm热轧无缝钢管侧面焊接锁扣，锁扣材料为40\*63\*5mm角钢，通过锁扣将施工钢管连接在一起，形成整体支护；
- (2) 沿结构开挖轮廓线外侧650mm布置管幕，相邻管间距350mm；
- (3) 管幕长度：根据本工程情况，单根长度40m，每节长6m，单洞共计29根。

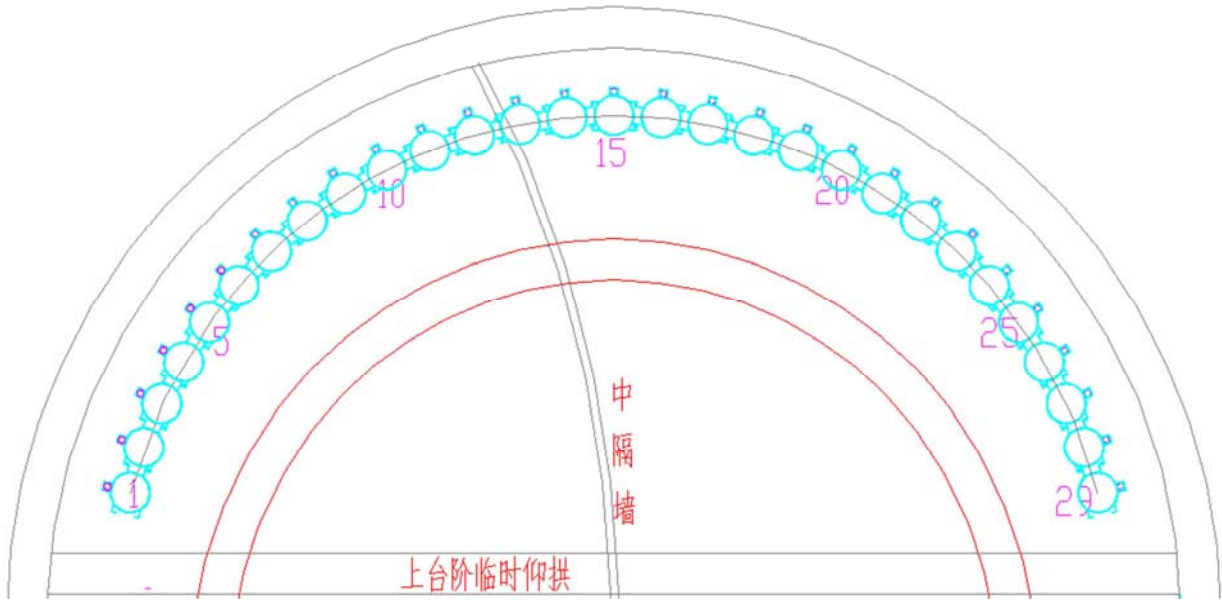


图9 管幕施工布置图。

3.4. 沉降控制

既有10号线距离开挖拱顶约2.5m，掌子面距离既有线最近8m，设计要求既有线的沉降变形控制在-3mm~+2mm范围内，施工过程中采取了以下多种措施多角度进行施工控制，管幕顶进过程中既有线南侧隧道最大累计沉降1.6mm，既有线北侧隧道最大累计沉降2.6mm。保证既有地铁10号线的正常运营。沉降曲线图见图10、图11。

- (1) 出土量控制  
施工过程中严格调整顶进速度控制螺旋出砂量，确保实际出砂量≤计算出砂量，减少对地层的扰动，保证顶进、切削与出土同步进行。
- (2) 注浆控制  
每根管幕钢管全部顶进后，立即注入水泥浆，以补偿因土体切削、地层松散变形导致的水平应力减小，有效控制地层的扰动变形。
- (3) 施工同步监测技术  
管幕钢管顶进及注浆过程，采用监测仪器跟踪监测，指导施工。
- (4) 调节钻头位置  
将钢管内穿入螺旋钻杆，通过调节螺旋钻与管口的相对位置，从而平缓改变钢管施工轨迹；一般地层中，螺旋钻缩至管内施工顶进时，钢管管口平稳下扎；螺旋钻伸出管内施工顶进时，钢管管口平稳上抬；螺旋钻齐平管口施工顶进时，钢管维持设定角度平稳前进。

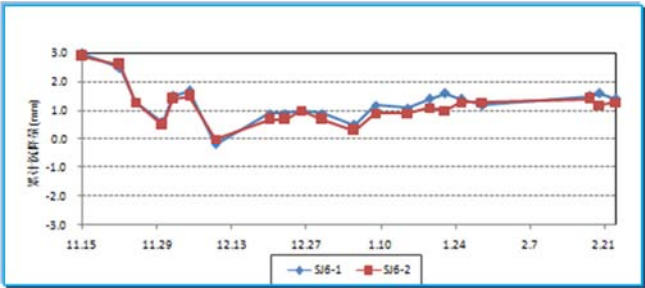


图10 既有线南侧隧道累计沉降。

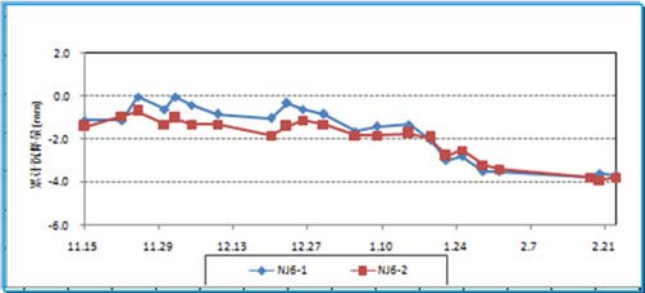


图11 既有线北侧隧道累计沉降。

3.5. 施工总结

该工程是首次采用小口径锁扣管幕作为超前支护主要措施下穿地铁运营线路，目前左右线管幕均已完成。管

幕距既有线不到1米,管幕位置多为卵石地层,施工风险较大。通过有效技术和安全措施保证了管幕施工精度并对地铁10号线的运行未产生任何影响。到目前为止既有线的最大变形小于3mm。

#### 4. 结论

小口径锁扣管幕采用螺旋出土套管跟进工艺进行施工克服了管幕施工现有技术无法成功引入锁扣的弊端,管间锁扣连接形成整体性钢管帷幕,结构刚度更强,止水效果更好;具有地层扰动小,施工精度高,且施工工效高等优势,对于地质复杂,地面沉降要求高、超浅覆盖等地下空间的建筑,小口径锁扣管幕是优先选择的超前支护方案。该技术在中国胶州人防工程,中国成都致力路下穿铁路工程、中国北京地铁8号线南延下穿地铁10号线等实际工程项目,取得了良好的效果,满足了施工超长度及低沉降要求。工程实践证明螺旋出土跟管顶进管幕机与小口径锁扣管幕工法匹配性良好。

#### 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] 陈晓轩.“蜂窝拱”隧道工法概述[J]. 青海交通科技, 2010, 1: 36-40。
- [2] 沈桂平, 曹文虹, 杨俊龙, 朱合华. 管幕法综述[J]. 岩土工程界, 2005, 9 (2): 7-29。
- [3] 陈鸿. 管幕工法在北虹路地道中的应用[J]. 地下工程与隧道, 2007, 1: 16-17。
- [4] 李兴高, 袁大军. 超长管幕在浅埋暗挖隧道下穿机场跑道施工中的应用[J]. 铁道建筑, 2014, 2: 67-69。
- [5] 岑冈. 封闭管幕保护下的箱涵顶进设计[J]. 科技创新导报, 2009, 3: 76-78。
- [6] 张月东. 横穿机场跑道捷运通道施工沉降控制研究[NH]. 2012: 17-22。
- [7] 李刚. 泥水平衡顶管机在拱北隧道曲线管幕工程中的应用[J]. 铁道标准设计, 2015, 4 (59): 98-100。
- [8] 张军, 胡向东, 任辉. 拱北隧道管幕冻结施工中限位管的冻结效果控制研究[J]. 隧道建设, 2015, 35 (11): 1157-1158。
- [9] 黎轩, 王启铜, 王道伟, 谢红明, 张鹏. 高水压复杂地质条件下管幕顶管接收技术优选[J]. 地质科技情报, 2016(2): P63-66。
- [10] 李志宏, 李剑. 曲线顶管管幕管间相互影响研究[J]. 现代隧道技术, 2015, 52 (3): P63-68。
- [11] 袁金荣, 陈鸿. 利用小口径顶管机建造大断面地下空间的一种新手段—管幕工法[J]. 地下工程与隧道, 2004, (1): 23-26。
- [12] 邢凯, 陈涛, 黄常波. 新管幕工法概述[J]. 城市轨道交通研究, 2009, (8): 63-67。
- [13] 房营光, 莫海鸿, 张传英. 顶管施工扰动区土体变形理论与实测分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(4): 601-605。
- [14] 魏纲, 徐日庆, 屠玮. 顶管施工引起的土体扰动理论分析及试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(3): 476-482。