

# 乌鲁木齐地铁一号线无水砂石回填区盾构施工分析与控制

高丽娟

新疆维吾尔自治区交通建设管理局, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2022年1月26日; 录用日期: 2022年2月15日; 发布日期: 2022年2月22日

## 摘要

盾构施工会造成土体变形, 给施工区域周边建筑物以及施工作业产生不利影响。在松散的无水砂卵石回填区进行盾构施工, 这种安全隐患更大, 就需要提前对施工作业中可能存在的风险做出一些调整和优化。本文首先将对无水砂卵石回填区地铁盾构施工进行总体的风险分析, 然后以乌鲁木齐地铁一号线无水砂卵石回填区为背景, 进行盾构施工风险分析并提出风险控制措施和实际工程效果。

## 关键词

盾构施工, 轨道交通, 穿越回填区

# Analysis and Control of Shield Construction in Anhydrous Sand Backfill Area of Urumqi Metro Line 1

Lijuan Gao

Traffic Construction Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi Xinjiang

Received: Jan. 26<sup>th</sup>, 2022; accepted: Feb. 15<sup>th</sup>, 2022; published: Feb. 22<sup>nd</sup>, 2022

## Abstract

Shield construction will cause soil deformation and adversely affect the surrounding buildings and construction operations. When shield construction is carried out in loose anhydrous gravel backfill area, this kind of hidden danger is bigger, so it is necessary to make some adjustment and optimization to the possible risks in construction operation in advance. In this paper, the overall risk analysis of shield construction in anhydrous gravel backfilling area is carried out at first, and then

the risk analysis of shield construction in anhydrous gravel backfilling area of Urumqi Metro Line 1 is carried out and the risk control measures and actual engineering effects are proposed.

## Keywords

Shield Construction, Rail Transit, Through Backfill

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 概述

回填土是由人类活动产生并堆积而成的土，再将土回填或者挪用到其他地方进行铺垫。因是人工进行回填所以其围岩稳定性极差，回填区整体土层松散，组成复杂，就导致在盾构土压仓内不能良好出渣，若回填区土层没有进行有效的改良，则掌子面极易发生坍塌，并使得出渣量不能进行有效控制，极易造成超挖，严重时发生区域地表塌陷；回填区中由于是人工进行回填就难免会存在外来坚硬物，再加之其本身存在的卵石颗粒，在该地层进行盾构作业时，会加速刀盘、刀具磨损。盾构法应用在城市轨道建设中时，会对线路两端的地表建筑不可避免的会产生一些影响，尤其是盾构穿过像回填区这种特殊地质时。因此，由于回填区土质组成复杂，整体软弱，在进行轨道施工作业时，存在掌子面及拱顶局部塌方、除渣量失控、刀具磨损严重、地基沉降、对周围已有建筑物产生不利影响等风险[1] [2] [3] [4]。

## 2. 工程概况

乌鲁木齐一号线盾构施工区间是在宣大区间，盾构掘进路线是从宣仁墩站西端头井开始一直到大地窝堡站东端头结束，区间施工作业地貌整体为山前倾斜冲、洪积砾质平原区。没有明显凸起地形，整个施工区间南高北低。该区间地面标高在 653.7~664.9 m 范围内，局部相对差在 1~2 m 范围内。施工的区间内并无褶皱和断裂，见图 1。

## 3. 乌鲁木齐一号线盾构施工风险分析

经过勘察该地段地层 0~7 m 为咋填土层，7~13.5 m 为无粘结卵石为主，13.5 以下为戈壁料层。依据工程勘察报告，由于本段杂填土为采坑回填土，成为基本与天然土层相同，只在部分存在生活垃圾和建筑垃圾，因此判断回填土分布范围比较困难，为验证勘察成果，采用了瞬变电磁物探方法联合钻孔相互验证，钻孔采用旋挖钻进，开挖直径 1 m，钢护筒跟进开挖，如图 2。

经过验证道路表层 0.5 为沥青混凝土硬化路面，1~7 m 为公路路基处理换填层。主要以砂石为主。垫层之下为采砂坑回填土，其中建筑弃土占 70%、筛砂石约占 15%、建筑垃圾约占 10%、生活垃圾约 5%、分布无明显规律，整体比较松散，潮湿。建筑弃土为周围工程施工时开挖的原始弃土，与周围天然土层相差不大。回填区平面和深度范围分布见图 3、图 4。

乌鲁木齐市地铁一号线土建 16 标宣仁墩站~大地窝堡站盾构区间局部为下穿卵石回填区的浅埋隧道。整个施工区间卵石孔隙率超过 40%、粒径在 60 mm 上的粒料在 73.9% 以上、不超过 2 mm 的粒料仅为 0.7%，级配相对单一，没有任何粘结，稳定性差。在该地层进行盾构施工存在以下问题：土压力不稳定且不易保持、地层移动和沉降、除渣量失控、刀具磨损严重、对周围已经存在的建筑物造成潜在的风险。上述问题需要在线路调整、土层稳定性改良、提高盾构设备可靠性等方面提出相应措施应。

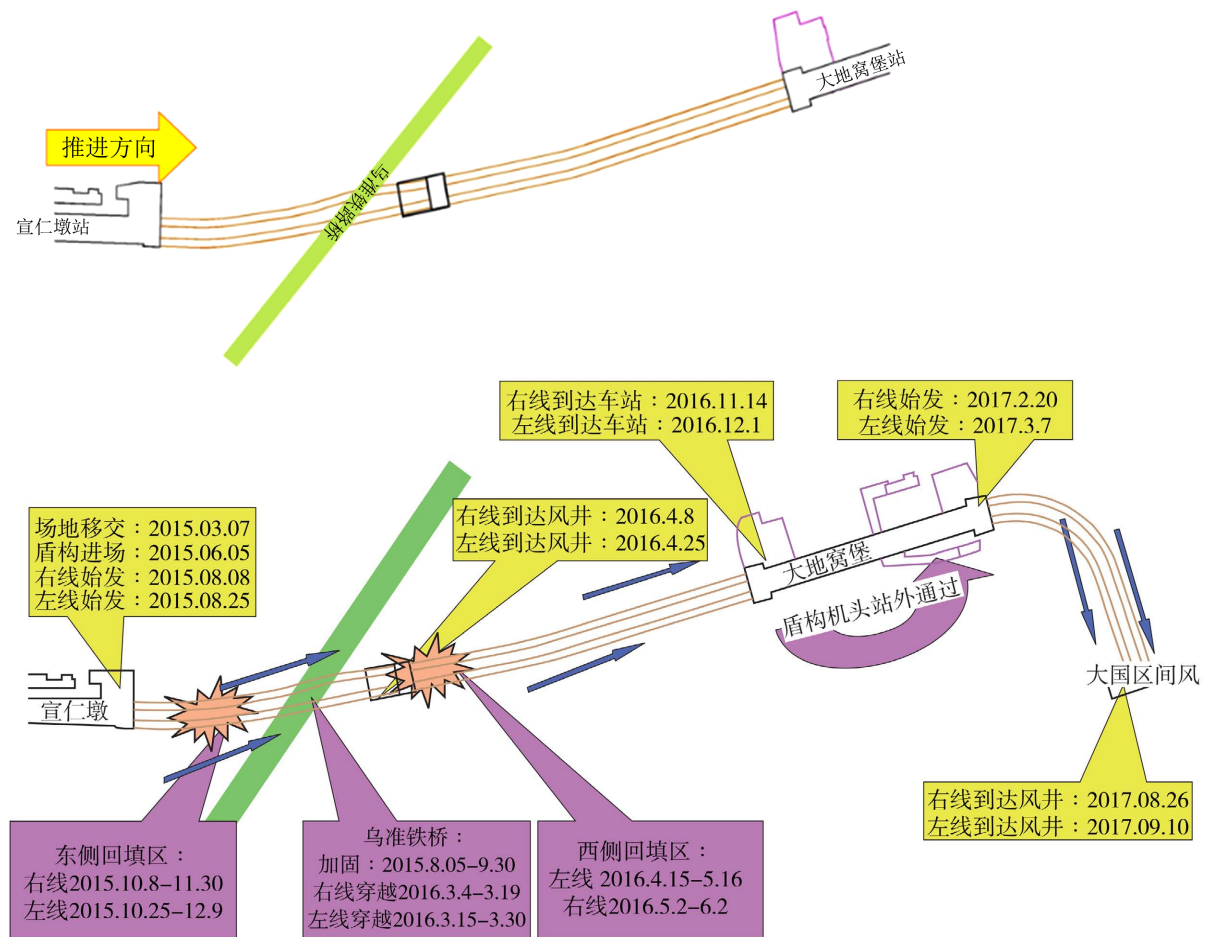


Figure 1. Schematic diagram of shield tunneling in Xuanda zone  
图 1. 宣大区间盾构推进示意图

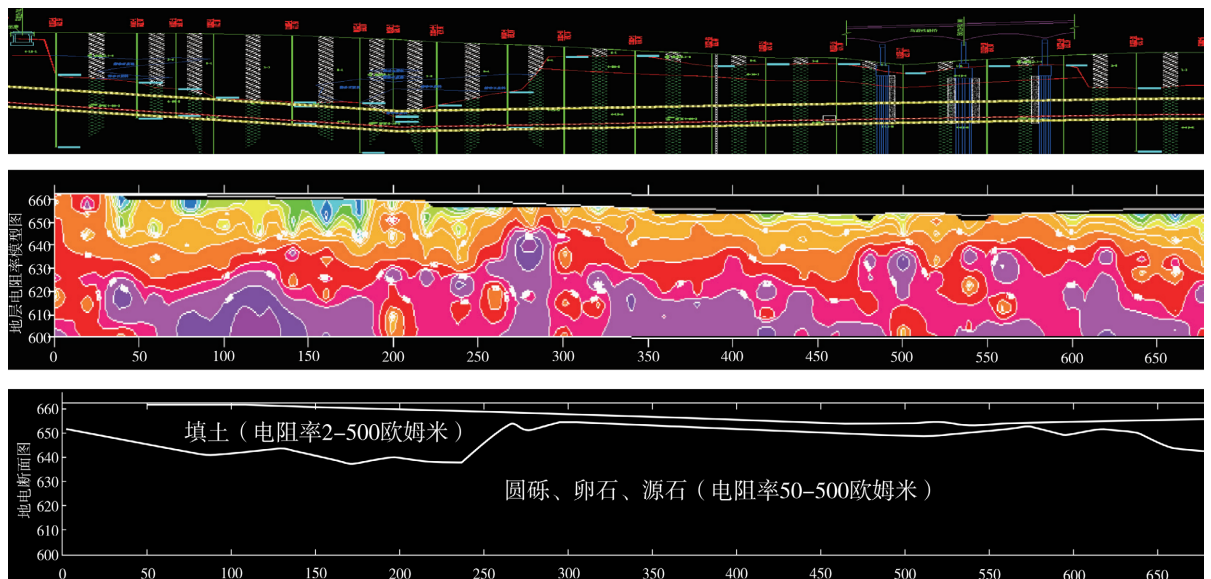


Figure 2. Backfill exploration using transient electromagnetic geophysical method  
图 2. 瞬变电磁物探方法回填区勘探

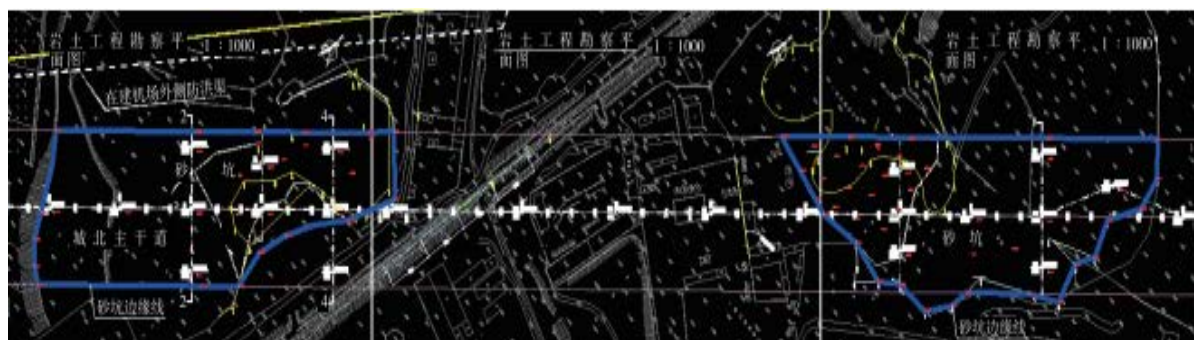


Figure 3. Plane distribution range of backfill area

图 3. 回填区平面分布范围

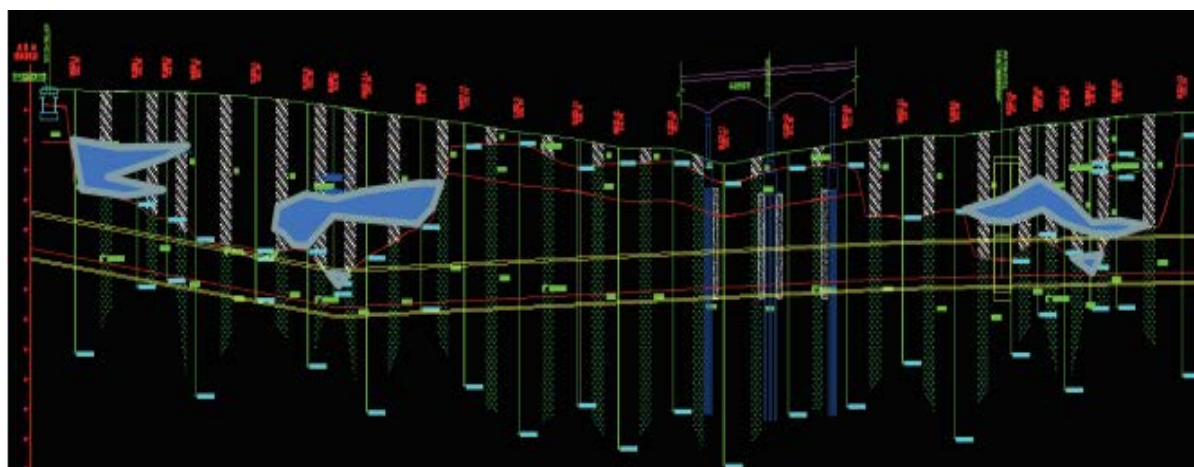


Figure 4. Depth distribution of backfill area

图 4. 回填区深度分布情况

#### 4. 乌鲁木齐地铁一号线回填区盾构施工风险控制

本节基于乌鲁木齐地铁一号线回填区盾构施工风险分析的结果，给出回填区盾构掘进线路调整、注浆加固、刀盘刀具优化等施工风险的控制措施及其控制效果。

##### 4.1. 回填区盾构掘进路线调整

根据区间岩土工程勘察报告成果，考虑到回填区的土质的特殊情况，盾构施工保持与车站两侧线路坡 28% 坡度，调整东侧 28% 坡长以及中间线路的坡度；西侧由于已经开始了部分施工，纵坡将不做调整，如图 5。

##### 4.2. 回填区注浆加固设计

对回填区注浆加固首先应进行外围注浆加固，形成一道封闭的止浆墙(约 1 m 厚)。止浆墙材料使用水泥及水玻璃，内部加固材料为水泥浆，具体操作见图 6~10。

进行钻进作业前，施工场地应根据相关规定进行规整，在施工过程中应保证钻孔设备在现场能够进行作业和移动。在钻孔作业中如遇到因地质变化产生的突发情况，应当进行详细记录。钻孔作业暂时停止时，应对钻孔周围进行清理保护，尽量保护钻孔不受外界原因而发生堵塞或进入异物对施工和钻头产生影响，钻孔施工应按照先导孔、施工孔、钻孔冲洗和注浆钻孔的验收等步骤进行。



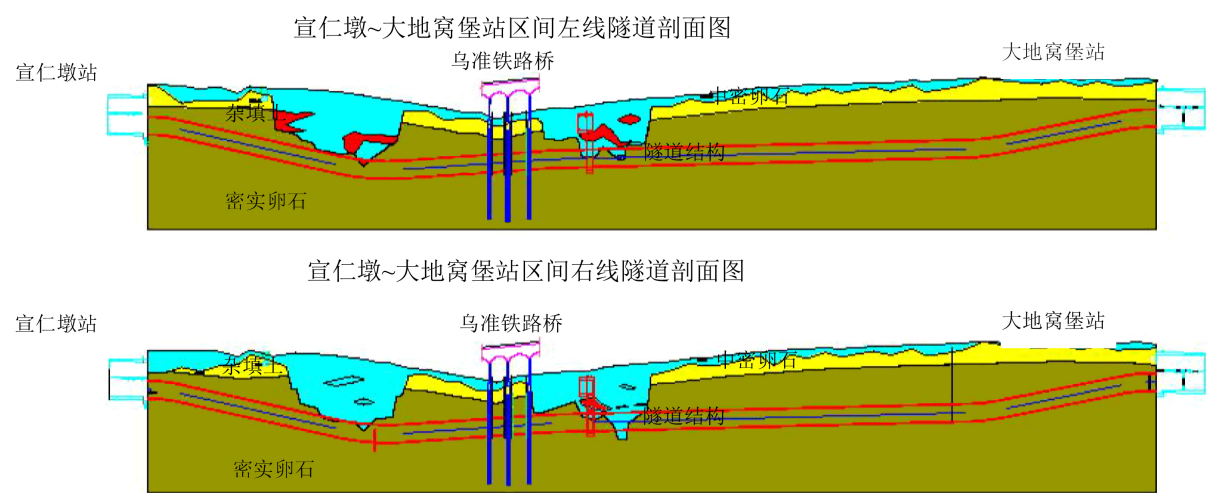


Figure 5. The adjusted tunnel profile of Xuanrendun-Dadi Wopu interval  
图 5. 调整后的宣仁墩 - 大地窝堡区间左右线隧道剖面图

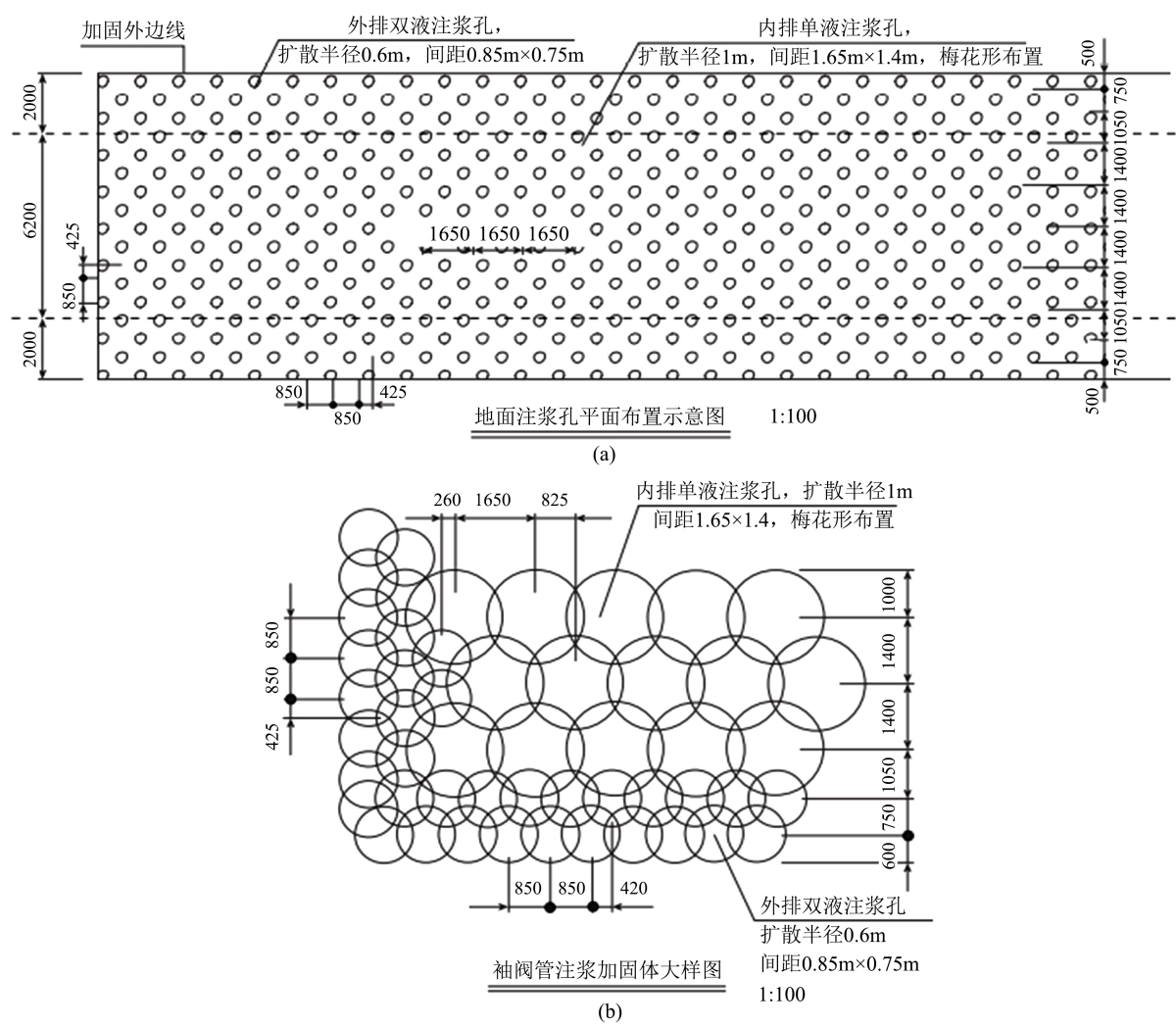
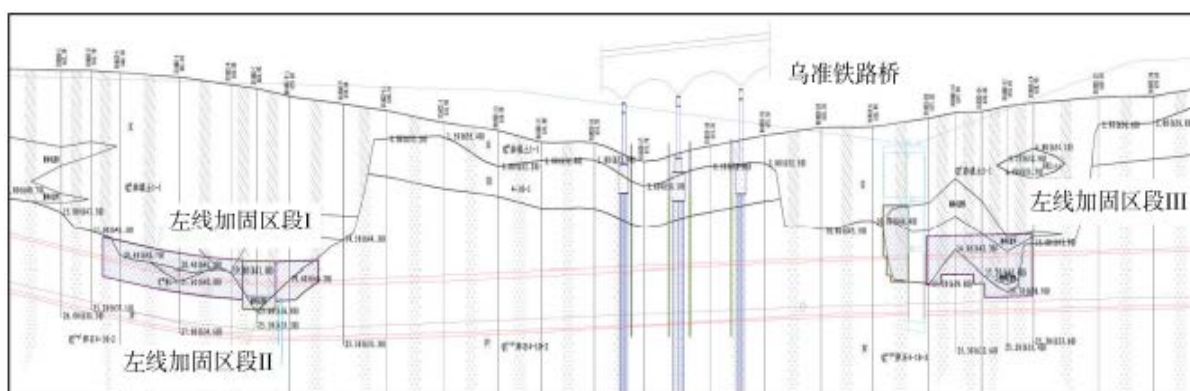


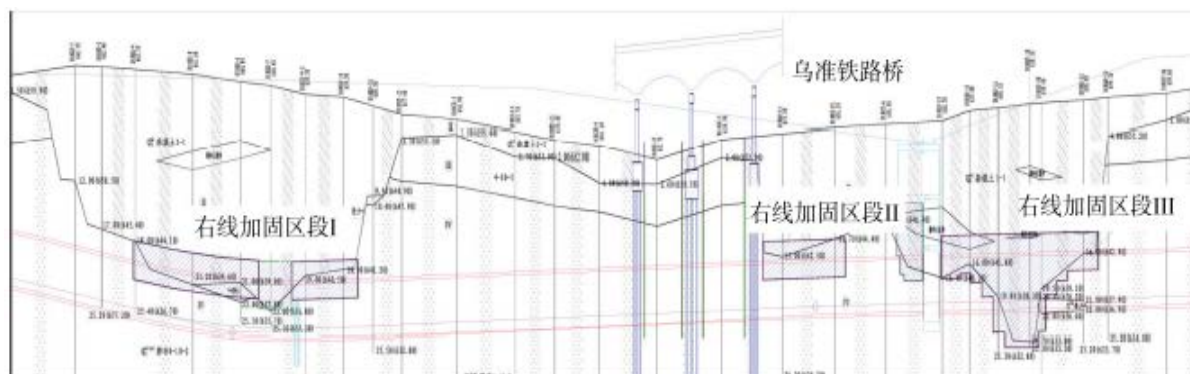
Figure 6. Grouting diagram  
图 6. 注浆示意图



**Figure 7.** Site drilling layout  
**图 7.** 现场钻孔布置图



**Figure 8.** Grouting profile (left line)  
**图 8.** 注浆剖面图(左线)



**Figure 9.** Grouting profile (right line)  
**图 9.** 注浆剖面图(右线)

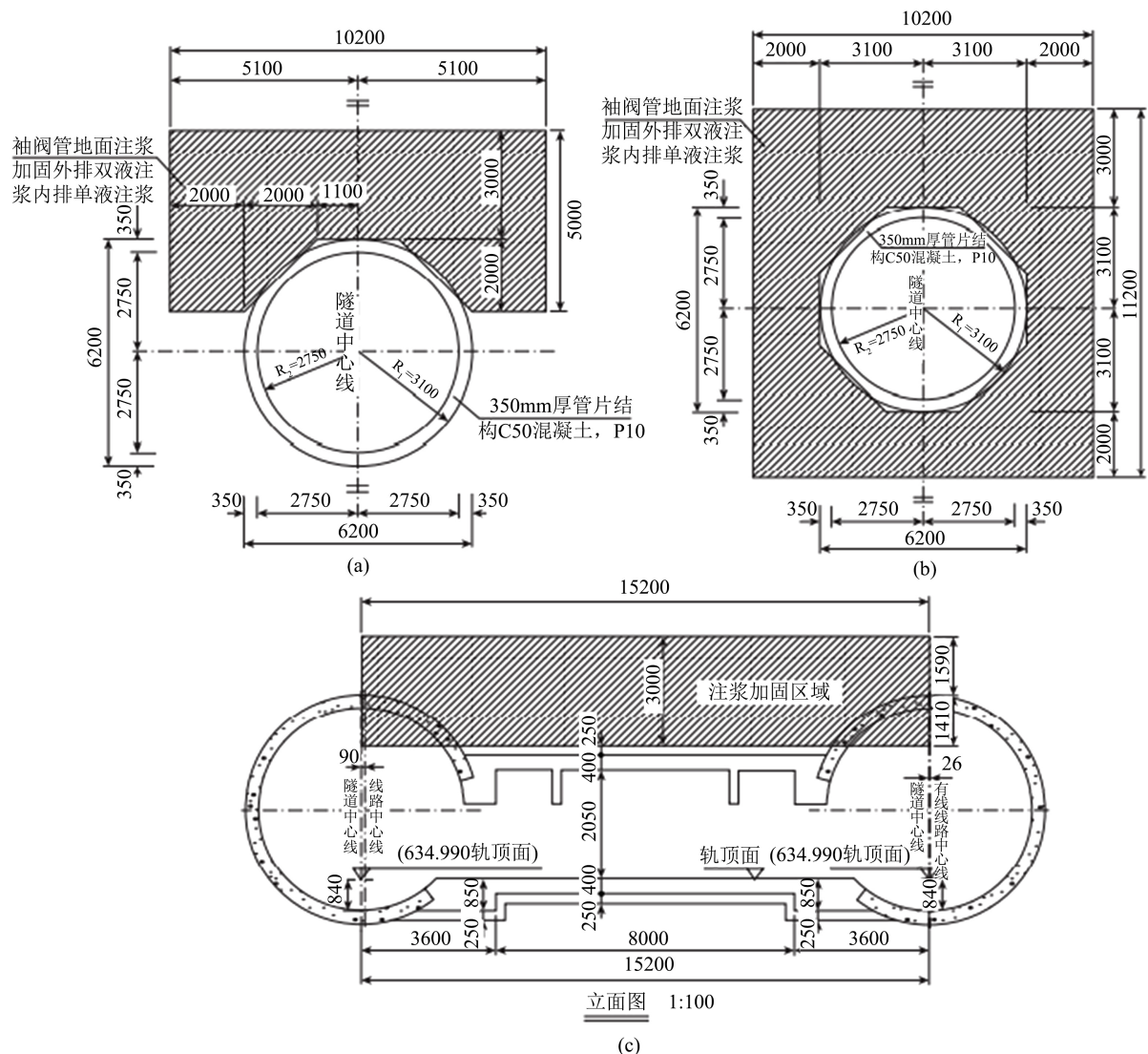


Figure 10. Large sample drawing of different reinforced sections  
图 10. 不同加固断面大样图

### 4.3. 回填区盾构刀盘刀具优化

#### 1) 盾构刀盘布置

为应对在砂卵石回填区的盾构施工, 盾构机刀盘结构为准面板设计, 辐条搭配面板的主要结构, 整体开口率达到 40%, 整个刀盘上进行平均分布并在中心位置预留开口位置。面板表面焊接耐磨复合钢板增加面板的耐磨能力, 并在外圈梁周围焊接合金刀具, 并设计有保护刀具和刀箱的保护块。这一做法可以降低盾构施工过程中对刀具和面板的磨损, 增加使用寿命, 见图 11。

刀盘整体采用焊接结构, 并使用双向旋转, 刀盘通过法兰盘和液压马达进行连接, 可以有效的传递扭矩和推力, 减少不必要的能量损耗, 提高施工效率。采用刀盘和承压隔板相对运动、加装搅拌棒等设计, 可以有效提高渣土的输出能力, 防止渣土堆积。刀盘中心部位为整体铸钢锻造, 使用螺栓和焊接的方式和周围部件进行连接, 提高刀盘整体强度和刚度, 保证盾构机能够在回填区施工。刀具更换则采用在刀盘背后进行换装, 并加装挡板, 提高更换刀具的效率和安全性。



此外刀盘还配有四根牛腿、四根主梁和副梁以提高整体的稳定性，盘面进行均匀开口，并在中心部位预留足够面积进行开口，提高渣土的输出能力，确保渣土能够顺利通畅的进入土仓，使得土仓中数据能够及时反馈，方便进行调整。刀盘还具有泡沫注入口(6个)和刀盘搅拌棒泡沫注入口(2个)，也采用了背装式设计以便进行更换和清洗，提高整体施工效率。

刀盘整体使用液压驱动模式，由八组液压马达提供驱动力，整个液压系统采用密封设计，密封预计使用寿命在 5000 小时以上。



Figure 11. Shield cutter head diagram

图 11. 盾构刀盘图

## 2) 回填区盾构刀具优化

a) 刀具类型。刀具是根据不同的地层环境，考虑每种刀具掘进时对地层破坏方式的不同进行选择和设计，刀盘也可在面对不同施工环境时可以进行更换，从而保证盾构施工的正常进行，目前刀具主要分为滚刀、撕裂刀、刮刀、方齿刀。其中由于滚刀和撕裂刀刀座相同，可以在施工过程中进行互换，见表 4.1。根据前期进行卵石回填区盾构施工的经验，造成盾构施工停滞不前的主要原因是区间中心滚到支座磨损造成刀具漏油等。作为盾构的主要刀具，正滚刀失效形式为刀圈磨损、刀圈断裂、浮动密封损坏及漏油和轴承损坏。目前我国自主生产的刮刀和齿刀在质量和使用寿命上都跟进口刮刀和齿刀基本相同。在一般施工过程中这两种刀具一般为一次性使用，不考虑二次使用。通过考虑不同的挖掘条件进行对滚刀的保护并进行及时的更换刀具从而达到保护刀具的目的，提高盾构施工的整体效率，见表 1。

b) 卵石地层盾构刀具配制。盾构机在进行作业时，根据卵石大小的不同处理方式也不同，当卵石粒径不超过 300 mm 时可直接通过刀盘开口进入土仓内进行输出，当卵石粒径超过 300 mm 时，需要先使用刀具破碎在送入土仓内进行输出。因此卵石地层和回填区进行盾构作业有所区别，应及时更换不同的刀具进行施工，见表 2、图 12。

c) 回填区盾构刀具配制。及时调整刀具能够提高穿过砂石回填区的效率，当回填区整体卵石粒径较大、数量较多时。为应对此类情况应及时进行刀具的调整和优化，确保施工进度，保证盾构施工能在预定时间内完成，见表 3、图 13。

在进行回填区盾构施工时，由于土质情况较为复杂，应密切关注盾构机扭矩大小的变化，出现异常情况时，可通过调整刀盘扭矩上限值保护刀盘和刀具，避免发生不必要的磨损。当发现扭矩整体偏大时，应及时向摩擦面和土仓内喷注泡沫等添加剂减小因摩擦产生的能量损耗，保证刀盘能够进行较高速运转。



Table 1. Shield tool form table  
表 1. 盾构刀具形式表

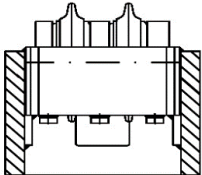
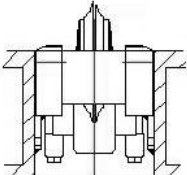
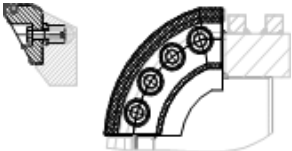

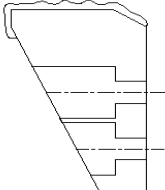
		
<p>双刃滚刀： 通常用于在岩石中掘进，进行大块石块破碎，刀刃和刀盘距离为 140 mm，可以更换撕裂刀。</p>	<p>单刃滚刀： 通常用于在岩石中掘进，进行大块石块破碎，刀刃和刀盘距离为 140 mm，刀盘和掌子面之间空间大，利于渣土的输出，可以更换撕裂刀。</p>	<p>弧形刮刀： 通常用于软土盾构作业，整体为斜面结构，有利于渣土的输出。在岩石进行盾构施工中可以磨损 15 mm。</p>
		
<p>撕裂刀： 用于石块的破碎，刀刃和刀盘距离为 160 mm。</p>	<p>方齿刀： 通常用于软土盾构作业，将切削进土仓中。通常允许磨损 20 mm。</p>	

Table 2. Pebble formation propulsion tool configuration table  
表 2. 卵石地层推进刀具配置表

序号	刀具名称	数量	刀高
1	17 寸中心双联滚刀	2	175 mm
2	中心可更换式双刃撕裂刀	2	175 mm
3	18 寸单刃滚刀	10	187.7 mm
4	可更换撕裂刀	19	187.7 mm
5	18 寸双刃滚刀	3	187.7 mm
6	边刮刀	8	130 mm
7	切刀	40	130 mm
8	保径刀	8	70 mm
9	焊接撕裂刀	23	150 mm
10	外圈梁保护刀	16 把保护刀 + 1 环合金保护刀	
11	超挖刀	2	20 mm (超挖量)

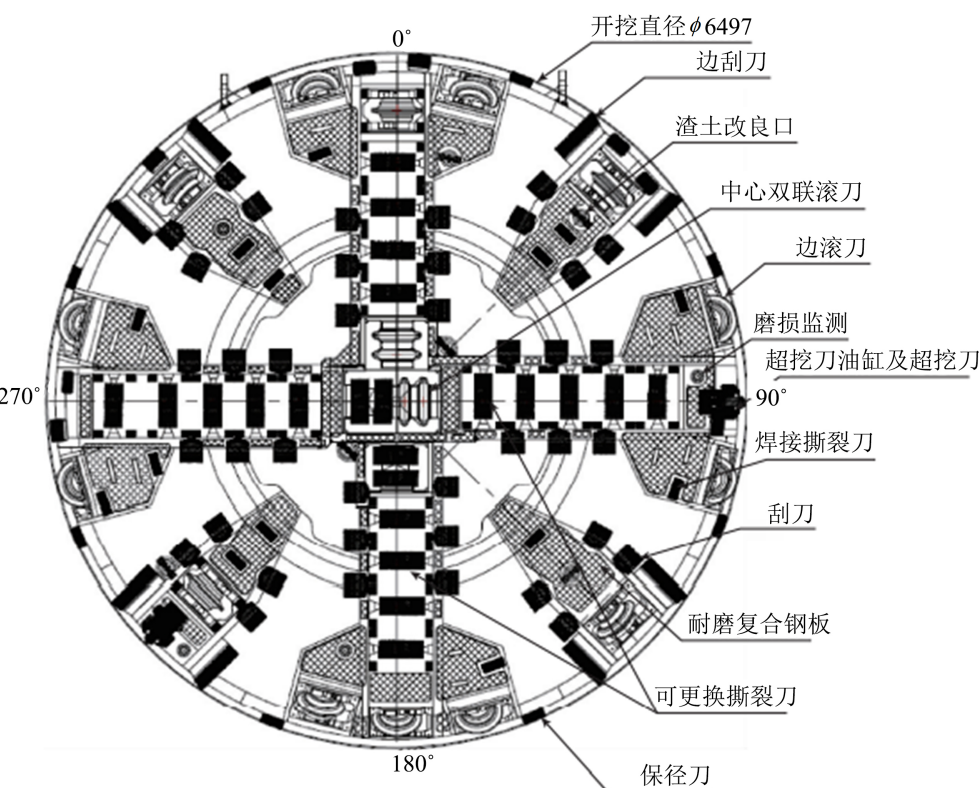


Figure 12. Normal propulsive tool configuration drawing for pebble formation  
图 12. 卵石地层正常推进刀具配置图

Table 3. Backfill formation propulsion tool configuration table  
表 3. 回填区地层推进刀具配置表

序号	刀具名称	数量	刀高
1	17 寸中心双联滚刀	4	175 mm
2	18 寸单刃滚刀	29	187.7 mm
3	18 寸双刃滚刀	3	187.7 mm
4	边刮刀	8	130 mm
5	切刀	40	130 mm
6	保径刀	8	70 mm
7	焊接撕裂刀	40	130 mm
8	外圈梁保护刀	16 把保护刀 + 1 环合金保护刀	
9	超挖刀	2	20 mm (超挖量)

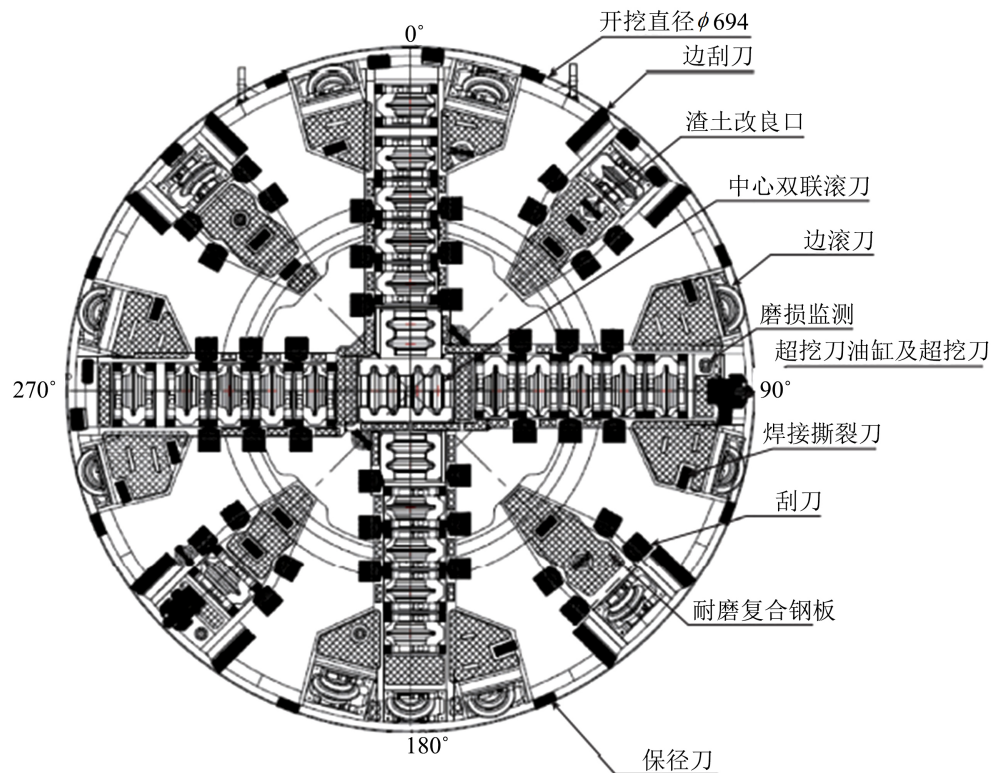


Figure 13. Backfill tool configuration diagram  
图 13. 回填区刀具配置图

#### 4.4. 回填区盾构施工风险控制效果

经过上述调整施工, 回填区盾构施工全过程均处于安全、稳定、快速、优质的可控状态, 盾构推进各项参数均正常, 地表下沉、周边既有管线沉降量均在允许范围内, 盾构穿越卵石回填区平均施工进度为 270 m/月。经监理和业主验收, 盾构隧道工程质量合格。

#### 5. 结语

回填区由于是人工活动产生, 其组成份复杂, 存在土压力不稳定且不易保持、地层移动和沉降、掌子面及拱顶局部塌方、除渣量失控、刀具磨损严重、路面沉降裂缝、周围建筑物不利因素影响。本文以乌鲁木齐市地铁一号线回填区盾构施工过程为背景, 对砂卵石回填区盾构施工中的风险分析与控制措施进行了细致介绍。经实践检验, 乌鲁木齐地铁一号线回填区盾构作业过程一直在掌控中, 并安全、高效、稳定的穿过了砂石回填区。盾构施工中各项参数影响都在允许范围内, 为以后类似情况提供了参考依据。

#### 参考文献

- [1] 章献. 浅谈穿越高层建筑群回填区浅埋隧道施工[J]. 四川水泥, 2019(3): 299.
- [2] 胡海涛. 隧道穿越深回填区防大变形开挖组合初支技术研究[J]. 建材与装饰, 2017(9): 263-265.
- [3] 张荣, 张宇川. 重庆轨道交通 10 号线穿越深回填区隧道结构方案研究[J]. 现代城市轨道交通, 2014(4): 48-51.
- [4] 张建波. 地铁隧道穿越回填区设计要点探讨[J]. 江西建材, 2014(5): 140.