

无水砂卵石地层地铁盾构施工风险管理

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2月9日; 录用日期: 2022年2月22日; 发布日期: 2022年3月9日

摘要

随着城市化的发展,人们对地铁行业的需要越来越高,地铁项目建设同样也引起了高度关注。地铁项目建设离不开盾构施工,地铁盾构施工自动化程度高,能提高施工效率,应对复杂环境,但也存在安全风险因素,其中,盾构施工的安全风险管理是非常重要的环节,在地铁盾构施工的安全风险管理的过程中,必须考虑施工风险管理存在的安全问题和采取何种措施进行风险管理。本文分别从风险识别、风险评估、风险评价及风险控制几个方面对盾构施工风险管理进行了研究,结合乌鲁木齐地铁一号线无水砂卵石地层盾构施工过程,提出一系列无水砂卵石地层地铁施工风险的管理措施,以期为相关地铁盾构施工风险管理提供工程经验。

关键词

无水砂卵石, 施工安全, 地铁盾构, 风险管理

Risk Management of Metro Shield Construction in Anhydrous Sand and Pebble Stratum

Lijuan Gao

Traffic Construction Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi Xinjiang

Received: Feb. 9th, 2022; accepted: Feb. 22nd, 2022; published: Mar. 9th, 2022

Abstract

With the development of urbanization, People's travel is more and more needed, and the construction of the subway has aroused widespread public concern. The shield construction method will be used in subway construction, which is efficient and automated in a complex environment, but there are certain risk factors, so safety risk management is very important. When risk man-

agement is carried out, the safety problems existing in construction and the measures to be taken should be taken into account. This paper discusses the risk management of shield construction from four aspects of risk, combined with the shield construction process of anhydrous sand and pebble stratum in Urumqi Metro Line 1, which provides practical experience for relevant construction risk management.

Keywords

Anhydrous Sand Pebble, Construction Safety, Subway Shield, Risk Management

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. 引言

盾构法施工虽然有着很多优点,但也存在着诸多风险隐患,其中面临的风险包括地质、环境、机械使用、施工人员行为活动等多个方面,在无水砂卵石地层地铁盾构施工中,存在着盾构选型风险、盾构始发、达到和转场风险、盾构掘进风险、下穿构(建)筑物风险、回填区施工风险等多种施工风险,在盾构掘进时容易造成不利影响,损坏盾构刀盘、刀具,影响土压平衡,造成施工推进困难等。通过对无水砂卵石地层地铁盾构施工进行风险管理,尽可能减少施工风险造成的不利影响,从而减少成本,用低成本达到项目目标。

2. 地铁盾构施工风险管理概述

风险管理是通过研究项目环境的不确定性,对可能遇到的风险进行识别、量化,再通过分析、估计和评价,提供一个有效的事先方案,合理减少或转移风险,从而降低损失,控制成本。风险管理也被应用于轨道交通领域,地铁盾构施工风险管理即管理人员在地铁工程建设时进行风险识别、评估、制定风险应对措施,从而减少项目施工中存在的风险,把各种损失破坏控制在可接受的水平[1]。在管理项目风险时,应主动预防风险的发生。项目风险管理的系统性很强,项目可能出现各种问题,要从整体上进行判断。面对不断变化的风险,必须采取简易策略。

乌鲁木齐轨道交通一号线场地的主要地层为无水砂卵石地层,无水砂卵石形态上近似于椭球形,如下图1所示。无水砂卵石地层作为力学不稳定地层,颗粒与颗粒之间的粘聚力小,空隙较大,在无水条件下灵敏性高,含水量极低,可能在施工过程中对盾构机造成一定的损伤,或者掘进时出现地表沉降、塌陷等问题。



Figure 1. Sand and pebble appearance

图 1. 砂卵石样貌

2.1. 施工风险管理介绍

风险管理主要包括风险识别、风险估计、风险评价、风险控制。风险识别首先是要认识到工程建设中存在何种风险。风险估计是通过概率统计法来定量估计风险的发生概率和可能造成的损失。风险评价基于风险识别和估计,得到风险可能发生的程度,结合相关安全标准,确定需要采取何种控制措施。风险控制是通过定性定量分析来制定应对风险的具体措施和策略。主要流程如下图 2 [2]。

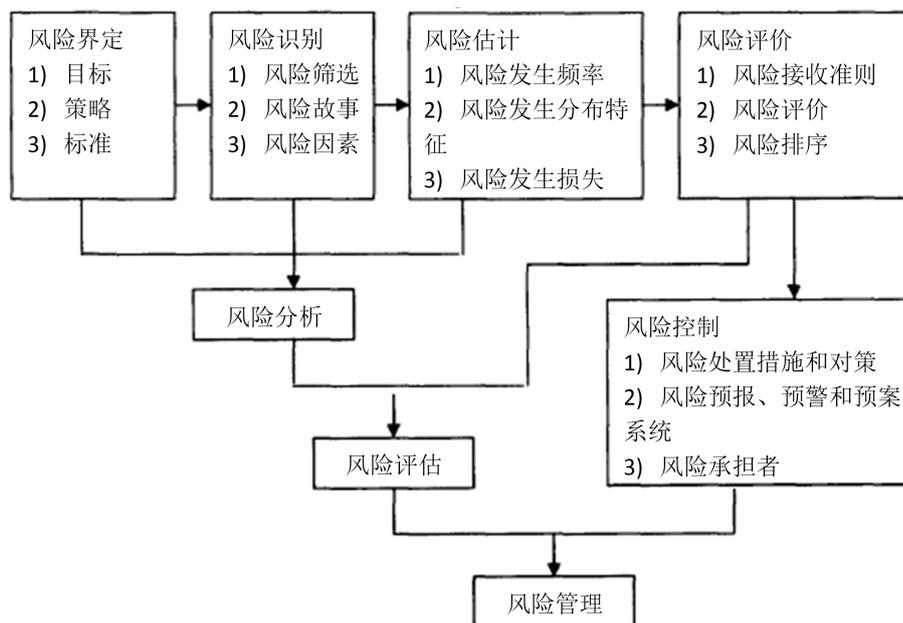


Figure 2. Risk management process
图 2. 风险管理流程

2.2. 盾构施工风险管理研究难点

地铁盾构施工风险管理仍存在一些不足,难点大致有以下四个方面:

1) 风险管理意识不够

很多管理者没有意识到应利用风险管理技术抵御和转移风险来减少损失,当采取风险保留和不合理的风险转移的方法,这是非常危险的,一定程度上阻碍了我国工程项目风险管理的发展。

2) 工程风险识别困难

对事故现场产生的信息数据搜集力度不够,信息的缺乏会影响到风险定量分析的质量和结果判定。

3) 可用参考资料缺少

在进行风险评价时,可进行参考的资料不多,在初期发展时,需要专家和有经验的工作人员进行定性的评价,难以量化成科学的定量指标[3]。

4) 风险管理手段落后

面对日益复杂的地铁隧道工程项目,不能局限于传统的风险评估方法,要把科学创新的风险评价方法与传统方法相结合,虽然有大量的专家学者对风险管理问题进行补充研究,但因其风险因素及其关系较为复杂,还缺乏深入的研究。

3. 无水砂卵石地层地铁盾构施工风险管理措施

地铁的风险管理是独特的,在建设工程情况复杂,具有不同于一般工程风险的特点。地下管网复

杂，地铁盾构施工相对麻烦，且施工会对地面带来扰动，要及时做好疏导，防止对施工人员造成危险；另一方面，准备工作量较大，对施工技术要求较高，尽管盾构法施工越来越广泛地应用到地铁建设中，但存在施工过程繁杂、强度大、难点多等诸多风险，必须要具备先进的工艺，且要求管理人员有较高的素质。本节将结合乌鲁木齐轨道交通一号线施工过程，从四部分对无水砂卵石地层地铁盾构施工风险管理进行介绍。

3.1. 风险识别

一般来说，风险处于潜伏状态，通过风险识别，可以识别出潜在的风险和导致风险的因素、可能产生的后果以及其他相互影响。风险识别最好采取多种方法相结合才能完整地识别风险源。风险识别主要包括现场勘察法、专家调研法、文献综述法、检查表法、情景分析法等。在无水砂卵石地层地铁盾构施工中存在着很多的安全风险，在对该部分进行管理的时候需要有效地识别存在的风险，这是制订相应安全风险措施的关键，从而能确保后续工作的有效开展[4]。无水砂卵石地层地铁盾构施工风险识别在实际施工中尚无统一的意见，一般流程如下图3所示。

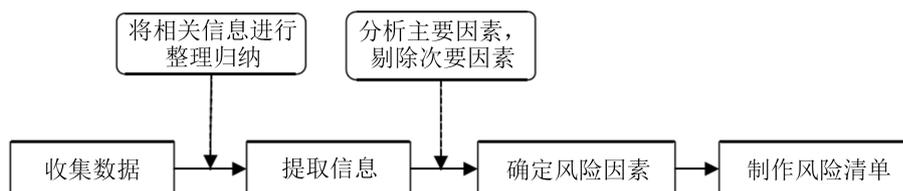


Figure 3. Risk identification process

图3. 风险识别流程

乌鲁木齐轨道交通一号线地势南高北低，地面构筑物较多，人流量和车流量并不密集，但地下管线分布复杂，管线大部分位于砂卵石地层中。在乌鲁木齐地铁一号线的施工中，无水砂卵石地层的力学性质是导致风险的主要原因。针对于乌鲁木齐轨道交通一号线，风险识别后的主要风险因素包括：

- 1) 在建设过程中地质条件复杂且存在不确定性，现有技术不能得到准确的地质状况，会影响地铁的设计和施工，造成坍塌等安全事故。
- 2) 地下管线分布复杂不利于开挖，此外，管线埋置深度也有差异。
- 3) 无水砂卵石地层造成刀具磨损严重以及换刀困难等问题。
- 4) 地表相邻建构筑物多，也会影响地铁开挖，带来风险。

3.2. 风险估计

在充分掌握盾构施工风险因素并对风险因素进行分析的基础上，还需要做进一步的风险估计，即测算出盾构施工过程中某一时期、某一风险发生的概率，估计并预测可能造成的损失，有助于为进一步制订风险管理计划、提供风险管理措施提供科学准确的依据[5]。风险估计的主要过程是先调查搜集数据，在盾构施工过程中不断丰富数据和资料，从而建立风险模型，即对地铁盾构施工过程中存在的潜在风险的发生概率、后果等进行量化分析，进行更科学、更准确的描述，最后进行风险概率和后果估计，采用合适的方法考虑每一个风险事件发生的概率和可能造成的后果。风险估计的内容包括：风险事件发生的可能性、风险事件的后果严重程度、风险事件的影响范围和风险事件发生时间。

3.3. 风险评价

多个行业广泛应用了风险评价，在进行风险评价时，有定性和定量两类，具体评价方法很多，各有

优缺点。近些年国内专家学者对于无水砂卵石地层地铁盾构施工风险的研究采用了多元化的风险评价方法。其中，一些常用的评价方法如下[6]。

1、定性分析法

1) 核查表法应用广泛，可作为快速、简单的危害评估方法，或者在更为详细的评估之前，可先利用核查表法进行初步的评估。核查表法适用于缺乏工程经验的人员使用[7]，只能对核查事件进行简单的描述，局限于评估人员的个人经验和制作者的经验和能力。

2) What-If 分析是进行安全风险评价较为简单和常用的方法。安全风险评价人员以 What-If 的方式讨论各种风险问题并整理出答案，当安全风险评价者经验丰富时就不会浪费太多人力和时间。

3) 事件树分析法也是风险评价的方法之一，其特点是定性与定量相结合进行分析，具有直观的优点，可以应用于复杂工程，还可用于重大事故危害的评估，该方法最好通过小组的形式使风险评价更为完整，还可以应用在化工领域和机械制造领域。

4) 风险评价矩阵是风险评价有效的分析方法之一，通过矩阵的形式用图形表达风险程度。在进行最终评估时，可选取其中最严重的后果作为衡量风险后果的严重性等级[7]。

2、定量分析法

1) 层级分析法

层级分析法是建立一个数学模型，通过将复杂的问题经过优先排列顺序，把问题在不同的层面进行分析，根据专家的意见进行评估，把复杂问题简单化，具有一定的实用性，操作简单，应用广泛。

2) 蒙特卡洛数值模拟方法

在研究不确定因素问题的决策中，只考虑最好、最坏和最可能三种情况。当不确定因素较多时，可能会出现偏差。该方法利用抽样技术，通过选取足够多的随机样本，代入风险评估数学模型计算，得出风险发生的概率，进而确定风险评估等级。

3) 神经网络法

通过模拟动物神经网络工作机制，建立数学模型，反映内在规律，具有良好的适应能力，近年来迅速发展，逐步应用于地下工程风险评价。

4) 作业条件危险评价法

此方法是对潜在危险源作业环境中事故发生的可能性、可能导致的后果进行风险评价。在地铁项目施工安全风险评价中，由专家组根据标准打分并进行风险等级评价，该方法应用简单[8]。

以乌鲁木齐地铁一号线的盾构施工为例，此项目采用层次分析法进行风险评价，创建的乌鲁木齐地铁一号线盾构施工风险层次分析模型如图 4。

3.4. 风险管理措施

国家与施工单位对施工安全高度重视，制定应对施工风险防范措施非常重要[9]。地铁盾构施工可以提高整体施工水平，但不能忽视其中的风险隐患，需通过优化管理手段，提升盾构技术的安全性，将管理工作做到位，对无水砂卵石地层盾构风险进行合理性规避[10]。为减少风险的发生，还需要做好风险监控，要贯穿于整个风险管理过程，不仅要监测管理措施实施效果，也要监测风险因素的变化。下面将从五个方面介绍无水砂卵石地层地铁盾构施工管理措施，以期提高施工管理水平和施工风险防范能力。

1) 地质层面：在无水砂卵石地层中盾构施工时，可以采取添加泡沫来降低砂卵石对刀盘的磨损，提高设备的使用寿命[11]，但单纯的一种方法难以把无水砂卵石变成流塑性状态，在施工过程中要重视砂卵石地层的力学性质，可以优化泡沫类型，多次注浆。另一种方法是，使用无轴螺旋[12]，卵石输出能力强，此外，调整盾构掘进参数，控制好掘进速度，保证区间隧道的顺利贯通[13]。

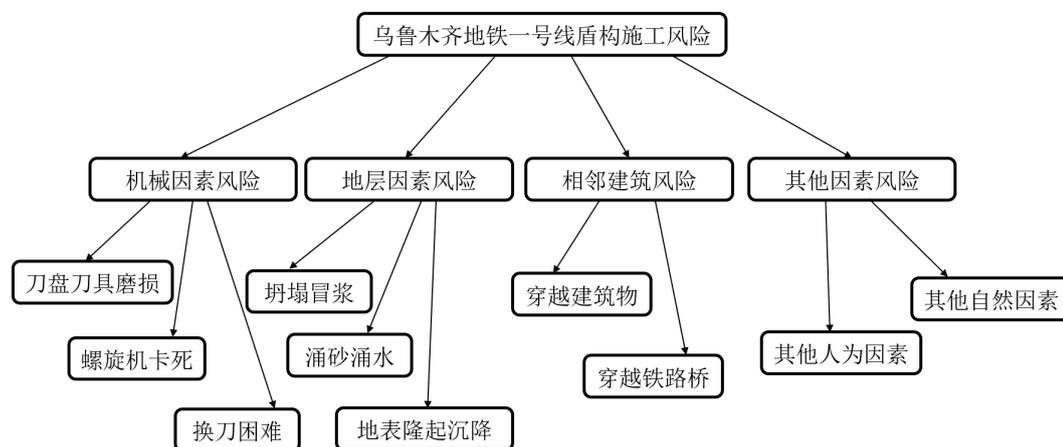


Figure 4. Risk identification process

图 4. 层次分析结构图

2) 技术层面：技术交底工作要做到位，尽可能降低风险发生的概率，减少风险损失，其中包括开工前的技术交底和施工中的技术交底工作。无水砂卵石地层地铁盾构施工工艺流程复杂，施工环境更为艰苦，容易造成安全生产事故。一是要做好前期准备工作，二是要在施工过程中，遵守操作程序，合理规避风险，三是分析已发生的事故，从中找到防范重点，有针对性地推动盾构安全施工，实现全过程的施工管理[14]。

3) 组织层面：及时调整人事组织结构，规范施工流程。在地铁施工中，人为因素非常重要，要提高一线管理人员的安全意识，及时检查反馈，处理问题[15]，尽可能减少现场施工人员的违规操作、危险操作；其次要加强相关人员风险管理意识，实施风险管理责任制和考核制，做到责任落实到个人；要对施工人员进行定期体检和能力考察，防止因自身能力不足而影响工作。

4) 管理层面：主要提高项目参与各方的素质能力、增强责任意识和风险意识，减少风险和风险损失。要普及安全教育，通过多种方式对施工现场人员进行安全教育普及工作；要控制地铁施工阶段的安全风险，加强施工安全作业教育，对新进工人进行系统的安全教育。在工人转岗之前，必须进行转岗前的安全教育工作，帮助转岗员工快速适应新的工作内容。另外，对班组长进行安全技术培训，对违章人员加强安全教育。

5) 经济层面：对违章人员可以采用经济处罚，并加强安全教育，另外采取以利益为导向，正向激励的方式，使施工操作人员更加标准、规范[16]。

对乌鲁木齐地铁一号线盾构施工过程的风险因素，围绕无水砂卵石地层的潜在地质风险，地铁盾构施工中多采用针对性的风险应对措施进行管理，包括：盾构机选择及刀盘改造与优化、无水砂卵石地层渣土改良、地表沉降监测与预警以及地表塌陷控制等。在乌鲁木齐地铁一号线的盾构施工过程中，采用了改造原装刀盘的方法，来减少换刀次数，通过加入 10% 左右的泡沫来改变流动性，通过合理布置传感器来实现地表沉降监测，通过加强盾构掘进参数控制和实时监测来减少地表塌陷风险。

另外，可以对较大安全隐患的因素管控并制定风险应对措施，确保施工安全，包括以下五个方面。

- 1) 安全管理：应建立完整的事故应急预案，当发生事故时，做好现场调查和事故分析报告。
- 2) 施工技术管理：在垂直运输、水平运输、盾构进洞出洞等方面做好行车司机的安全教育。
- 3) 施工组织管理：管理人员必须做到分工明确，责任具体，对可能造成环境污染的垃圾废料要及时回收，妥善处理。
- 4) 施工设备管理：必须由专业人员操作并保养，使用大型机械设备时，应配备相应的指挥人员，检

查设备周围是否有施工人员,避免误伤。

5) 施工材料管理:各类施工材料要按规定摆放,定期检查数量及质量,进场前不合格材料不准验收。

4. 结语

地铁盾构施工作为地铁建设的重要环节,目前在施工过程中,还存在很多施工风险,要加强对地铁盾构施工的安全管理,避免出现盾构施工的安全事故,从而促进地铁建设安全、有序开展。本文介绍了风险管理的基本概念,介绍了风险管理的步骤和难点等,从风险识别、估计、评价、控制四个方面对无水砂卵石地层盾构施工风险控制展开研究,具体介绍了地铁盾构施工风险评价方法。另外,本文结合了乌鲁木齐地铁一号线,介绍了项目建设中盾构施工风险管理流程,通过介绍无水砂卵石这一特殊地质条件下的盾构施工风险,全面分析了其相应的应对管理措施,丰富了复杂地质条件的盾构施工经验,以期全面推进盾构法提供一定参考。

参考文献

- [1] 王胜楠. 地铁盾构施工风险识别、评估与预测[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2020.
- [2] 郭俊. 工程项目风险管理理论与方法研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2005.
- [3] 《建设工程项目合同与风险管理》编委会. 建设工程项目合同与风险管理[M]. 北京: 中国计划出版社, 2007.
- [4] 张鹤年, 伍进进, 席培胜, 陈凯祥, 钱敏. 城市轨道交通地下工程风险分析[J]. 安徽建筑大学学报, 2016, 24(2): 30-35.
- [5] 代腾龙. 地铁隧道盾构法施工安全风险管理研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2017(34): 52.
- [6] 李江飞. 基于贝叶斯网络的地铁项目施工风险评价研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [7] 陈远建. 地铁项目施工阶段安全风险管理研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2014.
- [8] 张思戡. 地铁安全施工风险因素综合评价分析研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2018.
- [9] 胡潘. 浅析地铁盾构施工的安全风险管理[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018(34): 32.
- [10] 贾建忠. 浅析地铁盾构施工的安全风险管理[J]. 中国住宅设施, 2021(5): 123-124.
- [11] 周秀普. 盾构法施工技术在无水砂卵石地层中的应用[J]. 市政技术, 2003, 21(4): 195-203.
- [12] 王锡军. 无水砂卵石地层盾构施工[J]. 建筑技术, 2011, 42(3): 217-220.
- [13] 王岩, 钱新, 李昉, 薛建领, 闫雷. 北京地铁无水砂卵石地层盾构施工技术难点及施工对策研究[J]. 铁道标准设计, 2013(8): 97-101.
- [14] 王义盛. 浅析地铁盾构施工的安全风险管理[J]. 工程建设与设计, 2018(14): 212-213.
- [15] 赵格义. 地铁盾构施工风险辨识与评估研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京林业大学, 2010.
- [16] 张轲轲. 地铁盾构施工风险管理[J]. 建筑技术开发, 2019, 46(14): 80-81.