

# 地铁车辆段施工风险分析和防控技术研究

刘学虎

中国水利水电第十一工程局有限公司

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6628

**[摘要]** 地铁车辆段施工受地质条件、周边环境、结构形式等多重因素影响, 施工中存在较大风险防控难度。为系统分析和防范地铁车辆段施工中的各种风险, 文章通过归类分析和模糊综合评价相结合的方式, 构建了施工风险评估体系, 对具体工程建设中的风险因素进行了识别判定, 最终提出针对性的防控技术措施。研究表明, 文中所建工程风险重点出现在施工风险(环境、技术、组织维度)、履约风险、效益风险及经营风险四方面, 其中施工风险中的地质条件复杂、周边环境干扰、叠层结构协同问题及效益风险中的投资管控问题尤为突出, 针对性防控措施可确保工程建设目标顺利达成。

**[关键词]** 地铁车辆段; 施工风险; 灰类分析; 模糊综合评判; 防控技术

**中图分类号:** TV52 **文献标识码:** A

## Study on Risk Analysis and Prevention and Control Technology of Metro Depot Construction

Xuehu Liu

China 11th Water Conservancy and Hydropower Engineering Bureau Co., Ltd.

**[Abstract]** The construction of subway depot is influenced by many factors, such as geological conditions, surrounding environment and structural form, so it is difficult to prevent and control risks in the construction. In order to systematically analyze and prevent all kinds of risks in the construction of subway car depot, this paper constructs a construction risk assessment system by combining classified analysis with fuzzy comprehensive evaluation, identifies and judges the risk factors in specific engineering construction, and finally puts forward targeted prevention and control technical measures. The research results show that the risks of the project in this paper mainly appear in four aspects: construction risk (environment, technology and organization dimension), performance risk, benefit risk and operation risk, among which the complex geological conditions, surrounding environment interference, laminated structure coordination and investment control in benefit risk are particularly prominent, and targeted prevention and control measures can ensure the smooth achievement of the project construction objectives.

**[Key words]** subway depot; Construction risk; Grey analysis; Fuzzy comprehensive evaluation; Prevention and control technology

## 引言

地铁车辆段作为城市轨道交通建设中的枢纽配套设施, 在整个城市交通中发挥着重要作用。但是地铁车辆段在施工中容易出现各种复杂地质条件, 同时受周边环境的影响, 在工程建设中易出现各类风险因素, 易影响工程的进度和质量, 甚至还会出现安全事故。因此系统分析地铁车辆段中的风险因素, 制定采取有针对性的防控措施, 对于确保工程项目的顺利实施具有重要作用。

## 1 工程概况

深圳15号线同乐车辆段与29号线一期停车场合址共建, 采

用“地面+地上”叠建方案。15号线车辆段位于地面一层, 主要厂房库房为地面一层建筑; 29号线停车场设于15号线盖板正上方, 为二层盖板结构, 内设停车列检库、洗车库、调机工程车库等设施, 配套7m宽主干道及4m宽次干道, 设两处出入口与规划湖滨路相连。15号线盖板上盖区域规划景观公园及绿地, 配置篮球场等户外健身场地。由于整体项目投资大, 施工复杂, 所以必须做好施工期间的各方面风险分析和有效防控。

## 2 施工风险分析

结合同乐车辆段双线双层施工特性及项目实际条件, 参考轨道交通车辆段风险识别通用方法, 从施工风险、履约风险、效

益风险及经营风险四大维度,系统梳理出32项具体风险因素。如表1所示。

表1 施工中的风险类别及因素

风险类别	具体风险因素
施工风险	(环境类)人工填土风险、软土风险、风化孤石风险、基岩起伏风险、台风风险、暴雨风险、高温风险、高压线迁改风险、河道改移风险、深惠城际穿越风险、军事用地与居民区影响风险、教育用地协调风险
	(技术类)叠层结构协同风险、大跨度厂房施工风险、桩基施工风险、盖板施工风险
	(组织类)征地拆迁风险、工期压力风险、资源配置风险、多专业交叉风险、消防风险、高空作业风险、触电风险、应急救援风险
履约风险	合同条款履约风险、质量履约风险、安全履约风险、协作履约风险
效益风险	投资超支风险、成本控制风险、收益未达预期风险、资金周转风险
经营风险	市场波动风险、政策调整风险、运维经营风险、品牌声誉风险

### 3 基于灰类分析和模糊综合评价的施工风险分析方法

本文采用灰类分析与模糊综合评判相结合的方法,对同乐车辆段四大类风险进行量化评估,核心思路是通过灰类分析确定风险等级边界<sup>[1]</sup>,利用模糊综合评判处理风险因素的模糊性与不确定性,最终实现风险等级的科学判定。

#### 3.1 评估指标体系构建

基于风险识别结果,构建三层风险评估指标体系:

(1) 目标层(A): 同乐车辆段总体风险;

(2) 准则层(B): 施工风险(B1)、履约风险(B2)、效益风险(B3)、经营风险(B4);

(3) 指标层(C): 32项具体风险因素(C1-C32),对应2.1节识别的各类风险因素。

#### 3.2 灰类分析设定

##### 3.2.1 灰类等级划分

将风险等级划分为5个灰类,分别为极低风险(G1)、低风险(G2)、中风险(G3)、高风险(G4)、极高风险(G5),对应的风险等级值区间为[0, 0.2)、[0.2, 0.4)、[0.4, 0.6)、[0.6, 0.8)、[0.8, 1.0]。

##### 3.2.2 灰数白化权函数

采用三角白化权函数描述各灰类的隶属特性,以中风险(G3)为例,白化权函数为:

当 $x \in [0.3, 0.4)$ 时,  $f_3(x) = (x - 0.3) / 0.1$ ;

当 $x \in [0.4, 0.6)$ 时,  $f_3(x) = 1$ ;

当 $x \in [0.6, 0.7)$ 时,  $f_3(x) = (0.7 - x) / 0.1$ ;

其余区间 $f_3(x) = 0$ 。

其余灰类白化权函数按类似逻辑设定,确保函数连续且覆盖全部风险等级值区间。

#### 3.3 模糊综合评判流程

##### 3.3.1 确定指标权重

采用层次分析法(AHP)确定各层级指标权重,邀请10名轨道交通工程施工、设计、监理及项目管理领域专家,对各指标重要性进行打分,构建判断矩阵并通过一致性检验。最终确定准则层权重:  $B_1=0.45, B_2=0.25, B_3=0.18, B_4=0.12$ ; 指标层权重根据准则层权重分解确定,其中高风险指标C3(风化孤石风险)、C6(深惠城际穿越风险)、C7(高压线迁改风险)、C10(叠层结构协同风险)、C25(投资超支风险)权重相对较高。

##### 3.3.2 构建模糊评判矩阵

组织专家对各指标层风险因素进行评分,评分范围0-10分,对应风险等级值0-1.0。根据评分结果,构建准则层对目标层、指标层对准则层的模糊评判矩阵<sup>[2]</sup>,其中 $R_{ij}$ 表示第i个准则层指标下第j个指标层指标对某风险等级的隶属度。

##### 3.3.3 综合评判计算

采用模糊矩阵乘法计算综合评判结果,即 $A=W \times R$ ,其中W为权重向量,A为综合评判向量。结合灰类分析结果,通过最大隶属度原则确定各风险因素及总体风险的等级。

## 4 风险评估结果

#### 4.1 指标权重分配

准则层权重中,施工风险(0.45)占比最高,是同乐车辆段风险防控的核心重点;履约风险(0.25)次之,直接影响项目合规交付;效益风险(0.18)与经营风险(0.12)占比相对较低,但关乎项目全周期收益与可持续性。指标层中,深惠城际穿越风险(C6)、高压线迁改风险(C7)、风化孤石风险(C3)、叠层结构协同风险(C10)、投资超支风险(C25)权重位列前五,均超过0.05,为需优先管控的关键风险因素。

#### 4.2 综合评判结果

通过模糊综合评判与灰类分析计算<sup>[3]</sup>,同乐车辆段总体风险等级为中风险(综合评判值0.49),各准则层风险等级如下:

(1) 施工风险: 中高风险(0.57),核心风险为深惠城际穿越、高压线迁改、风化孤石处理、叠层结构协同;

(2) 履约风险: 中风险(0.46),核心风险为质量履约不达标、协作方履约不到位;

(3) 效益风险: 中风险(0.43),核心风险为投资超支、成本控制失效;

(4) 经营风险: 低中风险(0.36),核心风险为建材价格波动、政策调整影响。

#### 4.3 关键风险因素分析

文章重点对中高风险及高风险因素进行系统分析:

(1) 深惠城际穿越风险(高风险)。深惠城际盾构区间与车辆段桩基施工存在相互影响,若桩基施工与盾构施工时序冲突,易导致盾构隧道扰动或桩基成桩质量缺陷,需严格协调施工顺序及防护措施。

(2) 高压线迁改风险(高风险)。高压走廊迁改涉及管廊建设、电力部门协调等多个环节,迁改时序不确定将直接影响车辆段西侧110m宽施工区域的开工时间,可能导致总工期延误。

(3) 风化孤石风险(中高风险)。风化孤石分布随机,探测难度大,易造成桩基施工卡钻、塌孔,不仅影响施工进度,还可能导致桩身垂直度超标、承载力不足,需针对性优化施工工艺。

(4) 叠层结构协同风险(中高风险)。双线双层结构柱网对齐精度要求高,荷载传递路径复杂,施工过程中若支撑体系刚度不足或施工顺序不当,易导致结构变形超标,影响使用功能。

(5) 投资超支风险(中高风险)。施工期间建材价格波动、设计变更频繁,易导致工程造价超出预算,若未及时管控,将直接影响项目效益目标达成。

## 5 施工风险防控技术措施

### 5.1 施工风险防控

#### 5.1.1 环境类风险防控

地质风险防控方面,针对不同地质条件采取差异化措施:

(1) 场内人工填土区域采用换填+分层碾压工艺,换填材料选用A、B组填料,基坑开挖前通过轻型井点降水降低地下水位,喷锚支护边坡且坡率控制在1:1.5以内;

(2) 新圳河左支流附近软土区域采用换填法(换填深度 $\geq 2\text{m}$ ,级配砂石填料),路基段软土采用桩径500mm、桩间距1.2m的水泥搅拌桩加固,确保地基承载力 $\geq 150\text{kPa}$ ;

(3) 风化孤石与基岩起伏区域,施工前运用地质雷达结合钻孔探测明确分布及基岩面标高<sup>[4]</sup>,桩基施工采用冲击钻搭配金刚石钻头,遇孤石时分层破碎,基岩起伏区采用变截面桩基设计。

自然环境与周边环境风险防控方面:

(1) 台风、暴雨、高温天气建立预警机制,台风季加固设施、暂停高空作业,暴雨前完善排水系统,在高温时段调整施工时间并配备防暑物资;

(2) 高压线迁改成立专项协调小组,与管廊建设单位、电力部门建立常态化沟通,明确2024年12月前完成迁改,同步推进非影响区域施工;

(3) 河道改移采用“先建后拆”方案,新建暗涵按百年一遇洪水流量设计,设置临时排水通道,交叉处采用盾构下穿工艺;

(4) 深惠城际协同施工签订协议,明确2024年3月前完成盾构下穿,桩基施工避开隧道影响范围,无法避让时采用跳桩工艺,设置沉降监测点(监测频率 $\geq 1$ 次/天,预警值 $\leq 10\text{mm}$ )。

#### 5.1.2 技术类风险防控

叠层结构施工中,柱网按对齐设计确保截面统一,施工遵循“先下层后上层”顺序,待下层结构强度达到设计强度80%后再开展上层施工;盖板施工采用分层浇注工艺并设置后浇带。桩基施工前通过试桩确定成孔参数,严格管控钻孔、清孔、钢筋笼吊装、混凝土浇筑及养护环节,避免断桩问题。大跨度厂房施工优化支撑体系设计,加强结构稳定性实时监测。

#### 5.1.3 组织类风险防控

征地拆迁推进上,提前与产权单位、政府部门对接制定详细计划,优先清理施工红线内南山区看守所、交警扣车场等建构筑物;工期管理采用横道图与网络图结合优化工序衔接<sup>[5]</sup>,地基处理与主体结构施工部分搭接,总工期控制在56个月内,设置弹性工作期应对外部影响;多专业协同明确接口与责任分工,土建优先完成预埋件、预留孔施工,机电安装提前介入,铺轨工程分区域推进。安全管理完善消防、高空作业、触电防控体系,配备应急救援物资并定期演练。

#### 5.2 履约风险防控

在合同中必须细化相关条款的关键节点、技术标准及违约责任,并建立履约跟踪台账,定期对台账进行核查。质量履约需要形成三级验收体系,重点核查双层结构强度、防水性能等环节的关键技术指标是否符合施工质量,同时加强施工过程的旁站监理。此外,还需要与深惠城际、电力部门等方面签订协作补充协议,明确沟通机制和履约要求,通过定期会议及时解决施工中的分歧。

#### 5.3 效益风险防控

在施工期间,一是需要针对投资控制,形成动态预算管理体系,实时跟踪工程造价,严控非必要设计变更。二是要与核心建材供应商签订长期供货协议锁定价格,有效控制材料,价格波动。三是做好成本优化控制,通过施工工艺优化、施工现场材料设备使用管理等措施减少施工成本投入,并建立成本考核机制,将成本责任落实到各个班组。四是做好资金周转,及时与建设单位沟通,确保工程款及时支付,合理规划融资节奏降低成本。

#### 5.4 经营风险防控

为应对市场波动,需要构建材料价格监测机制,实时掌握价格动态并储备替代材料。而在运维方面,需要建立专业的运维团队,做好各类设备的日常保养,以此来降低故障率。同时针对施工中的各种舆情问题也必须及时进行处理,维护项目形象。

## 6 结语

地铁车辆段施工由于受多重因素影响,风险防控难度较大。在具体工程建设中,需要通过系统的风险评估方法量化评估施工中的各类关键高风险因素,并围绕施工风险、履约风险、效益风险及经营风险等各方面制定有针对性的防控措施,从而确保

工程建设质量的合格达标。在后续工程推进过程中,还需要根据施工实际情况动态调整风险评估结果及防控措施,加强施工过程监测与预警,以保证既定工程建设目标的顺利达成。

#### [参考文献]

[1]支运成.轨道交通联络线施工安全风险管控研究[J].建筑机械化,2025,46(08):89-92.

[2]李根柱.地铁轨道工程施工风险管理策略研究[J].运输经理世界,2024,(36):4-6.

[3]魏军涛.地铁项目建设施工风险管理的实践与经验分享

[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(27):60-62.

[4]谷家相.地铁车站土建施工安全风险控制措施研究[J].工程技术研究,2024,9(08):131-133.

[5]沈高.基于G-COWA的地铁车站深基坑施工风险评价[J].现代城市轨道交通,2024,(02):118-123.

#### 作者简介:

刘学虎(1991--),男,汉族,甘肃会宁人,研究生;当前职称:工程师;研究方向:土木工程施工,城市轨道交通,双层车辆段施工技术,城市轨道交通车辆段施工组织。