

引文格式:路军富,张宏鑫,裴起帆.铁路隧道施工阶段监测等级划分方法及应用[J].现代隧道技术,2023,60(1):202-208.

LU Junfu, ZHANG Hongxin, PEI Qifan. Classification Method of Monitoring Level in Railway Tunnel Construction Phase and Its Application[J]. Modern Tunnelling Technology, 2023, 60(1): 202-208.

铁路隧道施工阶段监测等级划分方法及应用

路军富¹ 张宏鑫¹ 裴起帆²

(1.成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室,成都 610059; 2.中铁二院工程集团有限责任公司,成都 610031)

摘要:铁路隧道施工阶段监控量测是保障信息化施工的重要手段,目前关于隧道监控量测项目及内容主要通过围岩级别定性判定,未建立统一的量化评价体系。基于风险分析理论,依据隧道发生风险概率指数与风险后果指数,建立铁路隧道施工阶段监测等级及划分方法。将未确知测度理论作为风险概率指数评价方法,选取岩石风化程度、岩石质量指标和单轴饱和抗压强度等8个影响指标,构建指标测度函数,结合改进层次分析法对各评价指标进行赋权,依照置信度识别准则判定风险概率指数,定量计算监测等级指数确定监控量测等级及相应的监测内容。以渝昆铁路小草坝隧道为例,对该隧道3个里程区段进行施工阶段监测等级划分,评价结果显示DK344+200~DK344+220区段监测等级为C。

关键词:铁路隧道; 监控量测; 风险分析理论; 监测等级

中图分类号:U458.1

文献标识码:A

1 引言

由于岩土介质与地下结构相互作用的复杂性和地下工程的隐蔽性、重要性,使得隧道工程在施工阶段的稳定安全都非常依赖于监测工作。但是,当前隧道结构施工阶段监测等级划分方法尚未建立,隧道监测断面布置和传感器布设无统一的原则,有些风险较大的隧道区段可能会遗漏监测,导致隧道监测的无效性,因此有必要构建铁路隧道施工阶段监测等级划分方法。

许学良等^[1]针对当前存在的监测体系不完善、制度不完善、技术标准缺失、检测效率低、技术单一等问题,提出了一套集隧道结构安全检测、状态实时监测、信息采集与通信、动态预警于一体的铁路隧道全生命周期检测监测体系;丁彦杰^[2]针对高地应力软岩隧道初期支护变形破坏、钢架扭曲、侵限拆换等问题,基于兰渝铁路木寨岭隧道工程,采用人工监测和自动化监测的综合手段对木寨岭隧道支护应力进行了长期监测,提出可将监测应力分为四个等级;规

范^[3-5]中关于隧道结构监测断面布设位置及监测内容并无详细要求,主要根据不良地质分布特征人为主观选取监测断面位置及监测内容,缺少科学合理的监测断面布设原则以及行之有效的监测技术方案。

本文基于风险分析理论和未确知测度理论,结合改进层次分析法对各评价指标进行赋权,建立铁路隧道施工阶段监测等级划分方法,确定隧道区段的监测等级,设计各监测等级对应的监测内容,并将此方法应用于渝昆高铁小草坝隧道项目,确定各区段监测等级与监测项目。

2 隧道监测等级评定及划分方法

2.1 监测等级指数评定

隧道施工过程中,某区段监控量测的重要性程度与该区段风险发生的概率和风险后果有关,有时发生风险概率大但后果较轻,可以减少监测;有时某区段风险概率较小但后果为灾难性的,此时需加强监测。基于此,提出隧道安全监测等级的概念来判定监测的重要程度。

收稿日期:2022-05-21

修回日期:2022-07-06

基金项目:国家自然科学基金项目(51978088);SKLGP国家重点实验室自主课题(SKLG2021Z007)。

作者简介:路军富(1978-),男,工学博士,教授,主要从事隧道及地下工程方面的研究工作,E-mail:lujunfu@126.com.

基于风险分析理论及风险等级确定方法^[6,7],考虑隧道工程的特殊性,隧道监测等级指数可用隧道发生风险的概率指数与风险后果指数乘积来评定,即:

$$M=P_i C_i \quad (1)$$

式中: M 为隧道监测等级指数; P_i 为隧道发生风险概率指数; C_i 为隧道发生风险后果指数。

2.2 隧道监测等级划分

2.2.1 风险概率指数分级

隧道施工安全影响因素复杂,岩体特性、地下水状态、地应力、施工方法等均可能导致隧道塌方、涌突水灾害。因此,隧道施工中风险事故发生概率具有极大的不确定性,根据不同风险事件发生的概率不同,将风险事件发生概率划分为5个等级^[8],为便于定量分析,将不确定因素可能发生风险概率转化为概率指数,如表1所示。

表1 风险概率指数分级

Table 1 Classification of risk probability index

风险概率描述	很可能	可能	偶然	很少发生	不可能
概率范围	>0.3	0.03~0.3	0.003~0.03	0.000 3~0.003	<0.000 3
风险概率指数	5	4	3	2	1

2.2.2 风险后果指数分级

根据不同类型风险后果采用不同的评价等级,将发生风险事故所造成的损失或不利后果划分成5个等级^[9],为便于定量分析,将可能发生风险的后果等级的定性描述转化为风险后果指数,如表2所示。

表2 风险后果指数分级

Table 2 Classification of risk consequence index

后果定性描述	灾难性的	很严重的	严重的	较大的	轻微的
后果指数	5	4	3	2	1
人员伤亡数量/人	$F > 9$	$2 < F \leq 9$ 或 $SI > 10$	$1 \leq F \leq 2$ 或 $1 < SI \leq 10$	$SI = 1$ 或 $1 \leq MI \leq 10$	$MI = 1$
经济损失/万元	>1 000	300~1 000	100~300	30~100	<30
环境影响描述	永久且严重	永久但轻微	长期	临时但严重	临时且轻微
延误时间/(月/单一事故)	>10	1~10	0.1~1	0.01~0.1	<0.01

2.2.3 监测等级划分标准

基于风险可接受准则 ALARP 准则,建立风险概率指数和风险后果指数确定的风险等级矩阵^[8],如表3所示。基于风险等级矩阵和监测等级指数评定方法(式(1)),按照监测等级指数范围将铁路隧道施工阶段监测等级由低到高依次划分为A、B、C、D四个等级^[9]。由隧道风险可接受准则,确定各监测等级及监测措施,如表4所示。

表3 隧道风险等级矩阵

Table 3 Tunnel risk level matrix

风险概率指数 \ 风险后果指数	风险后果指数				
	轻微的	较大的	严重的	很严重的	灾难性的
	1	2	3	4	5
很可能	5	高度	高度	极高	极高
可能	4	中度	高度	高度	极高
偶然	3	中度	中度	高度	极高
很少发生	2	低度	中度	中度	高度
不可能	1	低度	低度	中度	高度

表4 铁路隧道施工阶段监测等级划分

Table 4 Classification of monitoring levels in railway tunnel construction phase

监测等级	接受准则	监测等级指数 M	监测措施
A级	可忽略	1~2	此等级风险较小,不进行监测
B级	可接受	3~6	此等级风险一般,选择进行监测
C级	不期望	8~12	此等级风险较大,必须进行监测
D级	不可接受	15~25	此等级风险最大,必须加强监测,如丰富监测内容,减小监测断面间距,增大监测频率

2.3 隧道监测项目设计原则

如何科学合理地选取监测项目,实现对隧道结构状态信息的最优采集是隧道施工阶段监测的关键。

基于风险分析理论设计铁路隧道施工阶段监测等级方法,监测项目布置也根据监测等级的优先级进行设计,监测等级越高,代表着当前里程区段发生隧道结构安全风险越大。高风险区段需要将可实施监测项目集中设置,满足监测结果相互对照和验证,实现各项目监测信息和结构力学状态共享。

参考相关文献^[10]中关于隧道监测项目的相关设计,同时考虑监测优先级、可实施性、监测效率、科学研究等多方面因素,建立铁路隧道施工阶段监测项目设计原则,详见表5。

