

新保纳隧道地质超前预报 中概率论的应用

汪琦¹ 李忠²

(1. 石家庄铁路工程学校 石家庄 050043; 2. 石家庄铁道学院 石家庄 050043)

摘 要 就新保纳隧道地质超前预报工作中所遇到的方法优选、塌方概率等问题以概率论的方法进行了初步的探讨,并为正确的地质超前预报工作提供了理论依据。

关键词 铁路隧道 地质超前预报 塌方 概率

1 前言

现代科学技术的发展日新月异,其中一个重要的特点就是概率统计的方法日益渗透到各个领域。特别是在以对未知范围进行探测为主的地质超前预报工作中的作用尤为明显。

众所周知,断层是隧道中常见的地质构造,由它引起的岩爆、塌方、突泥等一系列不良地质现象均是对隧道施工危害极大的地质灾害。就断层发生的位置、规模、类型进行准确的预报,对于减轻灾害损失,保证施工安全具有重要的意义。

新保纳隧道是株六复线重点工程,全长 2 170 m,隧道穿越的地层中、类围岩占 50%,断裂构造发育,且沿断裂破碎带易形成溶洞、暗河、突水等不良地质现象。

本文结合新保纳隧道地质情况,利用岩石力学、

土力学、构造地质学的方法,将隧道围岩中影响地质超前预报精度的因素定量化,再以概率论的方法分析其中事件发生的概率,寻找最佳的预测方式及最佳的预测对象。

2 最佳地质超前预报方法的选择

地质超前预报的方式多种多样,一般分为以下 3 种:

- (1) 传统的地表地质调查法(a_1)。
- (2) 以利用人造地震波为主的 TSP - 202、TSP - 201、VSP 等仪器物探方法(a_2)。
- (3) 以地质前兆定量预测法为主的应用构造地质学方法(a_3)。

据现有新保纳隧道中近 6 000 多条断层节理的野外资料及对其预测资料的分析统计后,得出上述 3 种方法各自探测到 1 条断层的概率为

$$P(a_1) = 0.30$$

$$P(a_2) = 0.80$$

$$P(a_3) = 0.91$$

只有第 1 种方法探测到断层而其余方法未探测

收稿日期:1999-12-06;修回日期:2000-01-18
第一作者简介:汪琦(1969—),女,讲师。1991年毕业于内蒙古大学数学系。电话:(0311)7084997

3 马险峰等. 神戸市地铁车站的震害及修复. 铁道工程学报,1998(增刊)

4 雷谦荣译. 地震对地下洞室的破坏. 地下空间,1992(4)

5 傅冰骏. 对我国岩石力学与工程学科发展的若干思考. 见:面向国民经济可持续发展战略的岩石力学与岩土工程,1998

6 胡聿贤. 地震工程学. 北京:地震出版社,1989

7 Xuehui An et al. The collapse mechanism of a subway station during the great HANSHIN earthquake. Cement and concrete composites,1997(17)

8 Senzai samata et al. A study of the damage of subway structures during the 1995 HANSHIN - AWAJI earthquake. Cement and concrete composites, 1997(19)

9 Hiroomi iida, Toshio, Nozomu yoshida et al. Damage to DAIKAI subway station. Special Issue of Soils and foundations, 1996

到断层时,断层实地验证准确率 $P(B|A_1) = 0.25$ 。

第1种、第3种方法探测到断层而其余方法未探测到断层时断层实地验证率 $P(B|A_2) = 0.82$ 。

3种方法均探测到断层时,断层实地验证准确率 $P(B|A_3) = 0.99$ 。

因为3种探测的结果是相互独立的,即: $P(a_1)$ 、 $P(a_2)$ 、 $P(a_3)$ 是相互独立的。由概率乘法公式可知,当用3种方式同时对1条断层进行探测时,仅第1种方法探测到断层的概率为

$$P(A_1) = P(a_1) P(a_2) P(a_3) = 0.0054$$

仅第2种方法未探到断层的概率为

$$P(A_2) = P(a_1) P(a_2) P(a_3) + P(a_1) P(a_2) P(a_3) + P(a_1) P(a_2) P(a_3) = 0.1874$$

3种方法都探到断层的概率为

$$P(A_3) = P(a_1) P(a_2) P(a_3) = 0.2184$$

据全概率公式

$$P(B) = P(A_i) P(B|A_i)$$

再由贝叶斯公式

$$P(A_i|B) = \frac{P(A_i) P(B|A_i)}{\sum_{i=1}^n P(A_i) P(B|A_i)}, i = 1, 2, 3 \dots$$

计算可得

$$P(A_1|B) = 0.003635$$

$$P(A_2|B) = 0.4138$$

$$P(A_3|B) = 0.5821$$

由上述结果可知,同时运用3种方法时与同时运用第1、3种方法时,对同一条断层探测的准确率虽有一定差别,但后者仍可达到较好的预测精度,这就充分说明只要正确、合理地运用地表地质调查法与以地质前兆定量预测法为主的应用构造地质学法,再加上以详尽细致的掌子面观测,就可以在节省大量资金(一次物探的耗资在3000~6000元)的前提下达到很好的预测效果。

3 新保纳隧道塌方可能性的分析

3.1 影响塌方的各类因素概率统计方法

由于自然界的地质因素变化很多,其中的规律不易寻找,故笔者尝试用概率统计的方法探寻影响塌方的各类因素概率。其具体作法如下:

(1)尽可能多地统计断层资料,然后从中把主要影响塌方的各类因素分离出来。

(2)再把影响塌方的各类因素分门别类,分别进

行统计。

计算公式为

$$P = \frac{n}{N}$$

式中: P —某一影响塌方因素导致发生塌方的概率;

N —某一塌方因素出现的数目;

n —某一塌方因素发生塌方的数目。

本文在统计了国内外60多座隧道、共计430条各类断层的基础上,分别对其发生塌方的概率进行了分析,其具体结果如表1所示。

表1 影响塌方的各类因素概率统计

影响塌方因素	统计总数 N	发生塌方数 n	概率 P	直方图
正断层	320	240	75 %	
逆断层	110	17	15 %	
不同破碎带的	硬岩 > 3 m	79	73.4 %	
	硬岩 < 3 m	131	36.6 %	
	软岩 > 1 m	107	93 %	
	软岩 < 1 m	113	45.1 %	
不同含泥量的破碎带	硬岩 > 30 %	61	81 %	
	硬岩 < 30 %	149	33.6 %	
	软岩 > 10 %	90	85.5 %	
	软岩 < 10 %	130	62.3 %	
不同破碎带量的	硬岩 > 15 %	83	67.5 %	
	硬岩 < 15 %	127	37.8 %	
	软岩 > 10 %	109	90.8 %	
	软岩 < 10 %	111	48.6 %	
汇不同破碎带数目的带交	1 条	187	21 %	
	2 条	100	76 %	
	3 条	144	98 %	

注:表中黑色部分表示塌方断层,白色部分表示该类型断层

3.2 新保纳隧道各种影响塌方因素的分析

对于新保纳隧道中影响塌方的各类因素的分析就是在上述基础之上,结合新保纳隧道现场的地质观测结果进行的。具体结果如表2所示。

可由全概率公式与贝叶斯公式,计算出该隧道塌方时各种影响塌方因素发生的概率,见表3。

表 2 新保纳隧道各类塌方因素引起塌方的概率

塌方因素	正断层	逆断层	不同宽度的破碎带				不同含泥量的破碎带				不同含水量的破碎带				不同数目 交汇的破碎带		
			硬岩		软岩		硬岩		软岩		硬岩		软岩		1 条	2 条	3 条
			> 3 m	< 3 m	> 1 m	< 1 m	> 30 %	< 30 %	> 10 %	< 10 %	> 15 %	< 15 %	> 10 %	< 10 %			
出露 概率	0.85	0.10	0.15	0.85	0.43	0.57	0.46	0.54	0.42	0.58	0.22	0.78	0.48	0.52	0.67	0.28	0.05
引起塌 方概率	0.75	0.15	0.734	0.366	0.93	0.451	0.81	0.336	0.855	0.623	0.675	0.378	0.908	0.486	0.21	0.76	0.98

表 3 新保纳隧道塌方时各种因素发生的概率

塌方因素	正断层	逆断层	不同宽度的破碎带				不同含泥量的破碎带				不同含水量的破碎带				不同数目 交汇的破碎带		
			硬岩		软岩		硬岩		软岩		硬岩		软岩		1 条	2 条	3 条
			> 3 m	< 3 m	> 1 m	< 1 m	> 30 %	< 30 %	> 10 %	< 10 %	> 15 %	< 15 %	> 10 %	< 10 %			
塌方时 各种因素 发生概率	0.977	0.023	0.261	0.739	0.646	0.354	0.673	0.327	0.498	0.502	0.335	0.665	0.633	0.367	0.349	0.528	0.123

根据分析计算结果,可以得出以下结论:

- (1)新保纳隧道中最有可能引起塌方的断层是正断层。
- (2)新保纳隧道中硬岩断层破碎带宽度小于 3 m、或软岩断层破碎带宽度大于 1 m 时易引起塌方。
- (3)新保纳隧道中硬岩断层破碎带含泥量大于 30 %时极易塌方,而软岩断层破碎带的含泥量与塌方相关性不大。
- (4)新保纳隧道中软岩断层破碎带含水量大于 10 %易引起塌方,硬岩断层破碎带含水量小于 15 %时易引起塌方。
- (5)新保纳隧道中最易发生塌方的交汇断层数是 2 条。

所有这些结论在隧道施工现场中均得到了很好的验证,对隧道施工和地质超前预报工作起到了一

定的辅助作用。充分地把概率论、隧道施工地质学理论与隧道施工有机的结合在一起,去解决隧道施工中的一难题,是一条行之有效的好办法。

参考文献

1 王梦恕. 21 世纪山岭隧道修建的趋势. 铁道工程学报, 1998(10)

2 马洪程. 以防为主防治结合治理隧道塌方. 铁道工程学报, 1998(10)

3 朱永全等. 隧道稳定性位移判别的概念及方法. 铁道工程学报, 1998(10)

4 彭祝等. Griffith 理论与岩爆的判别准则. 铁道工程学报, 1998(10)

5 梁之舜等. 概率论与数理统计. 北京:高等教育出版社, 1990

2001 年《铁道标准设计》征订启事

《铁道标准设计》月刊创办于 1957 年,是铁道部主管、铁道部专业设计院主办的国内外公开发行的科学技术类期刊,至今已出刊 454 期。由于信息量、转载量、引用量大而于 1992、1996、2000 年连续 3 次被评为全国中文核心期刊。

2001 年本刊将改为大 16 开本,每期可增加 2.5 万字。因此,价格由每本 4 元,全年 48 元,调整到每本 4.5 元,全年 54 元。现已开始办理 2001 年的订刊工作,欢迎单位和个人

订阅。

开户银行:工行北京朝阳支行关东店分理处

户名:铁道部专业设计院

地址:北京朝外大街 227 号

帐号:570016 - 59

邮编:100020

电话:31827(路),65520633(市)

RAILWAY CONSTRUCTION TECHNOLOGY

No. 6, 2000

Abstracts and Keywords

Discussion on tunnelling geological work and related techniques

Liu Zhigang

Abstract On the basis of analyses of the present situation of tunnelling geological work in China, the author discusses the importance of geological work for prevention of geological disaster during tunnel construction, and furthermore explains the main contents involved in tunnelling geological technique.

Keywords tunnel, construction, geological work

Construction technology of west cable tower of Chongqing Egongyan Yangtze River Suspension Bridge

Ji Zunzhong, Wang Weihong

Abstract This paper expounds the main construction method of west cable tower of Chongqing Egongyan Yangtze River Suspension Bridge, and gives a detailed description of construction technology of climbing form system with an inner climbing scaffold.

Keywords suspension bridge, cable tower, climbing form, construction

Mix-proportion design and high-lift pumping of extra fine sand concrete

Wang Weihong, Gao Zhishuang

Abstract C50 high-strength concrete was successfully prepared using improved extra fine sand as aggregate, and was pumped to a super-high elevation through adjusting size of crushed stone, sand percentage and slump and meliorating the workability of concrete using two kinds of admixture.

Keywords concrete, extra fine sand, mix-proportion, pumping

Earthquake-resistant behavior should be stressed in subway construction: Inspiration from Osaka-Kobe earthquake

Yu Xiang

Abstract Underground structure had been considered to have high aseismic performance in the past. There were few reports on serious damage on large underground structures caused by earthquake before Osaka-Kobe earthquake in 1995. However, a number of large structures including subway stations and tunnels were ruined in Osaka-Kobe earthquake, which made the aseismic capability of underground structure be suspected. Primary research indicates that the aseismic behavior of underground structures is different from that of structures above ground. In some cases, the damage on underground structures can al-

so be serious or even more serious than that of structures above ground.

Keywords earthquake, subway, damage

Application of probability theory to advance geological forecast at New Luona Tunnel

Wang Qi, Li Zhong

Abstract Primary exploration is carried out on advance geological forecast method optimization and collapse probability for New Luona Tunnel using probability theory, which provides theoretical favorable reference for effective advance geological forecast in tunnel construction.

Keywords railway tunnel, advance geological forecast, collapse, probability

Exploration on freezing-thawing resisting durability of concrete for marine (harbor) engineering

Xu Yunyue

Abstract Measures for improving freezing-thawing resisting durability of concrete for marine (harbor) engineering were presented, especially the effect of bubbling additive was analyzed. The quality control ways of concrete for marine (harbor) engineering were put forward. And a practical example accomplished at Huanghuagang Harbor of Hebei province was given at the end of this paper.

Keywords marine (harbor) engineering, concrete, freezing and thawing, durability

Overall structural calculation of DPK32 track laying machine with Return-to-Plane Method

Wang Shuping

Abstract This paper presents the successful experience of performing overall structural calculation of DPK32 track laying machine using a new advanced structure analysis method i. e. Return-to-Plane Method, including theoretical basis, modeling method, and comparison between calculation results and measured data. The said method can be applied to design calculation of practical engineering structures such as super large bridge crane, track laying machine, bridge erecting machine, gantry crane and emergency steel bridge.

Keywords track laying machine, structural calculation, Return-to-Plane