

岩土工程

TSP - 202 探测系统在新保纳隧道地质超前预报中的应用研究

李 忠

(石家庄铁道学院, 石家庄 050043)

[摘 要]就 TSP - 202 地质超前预报系统在实际地质超前预报工作中所产生的预测精度误差的问题,提出了采用构造地质力学的手段、概率论和材料力学的理论来调整系统探测搜索角,以实现精度校正的方法,经在新保纳隧道的现场试验,取得了良好的效果。

[关键词]TSP - 202 地质超前预报系统 构造地质力学 概率论

[中图分类号]TU94 [文献标识码]A [文章编号]0495 - 5331(2002)01 - 0086 - 04

0 前 言

新保纳隧道是株六复线的重点工程,工程地质条件与水文地质条件复杂。由此引起的诸如岩爆、突泥、塌方等地质灾害对施工危害极大。为了保证隧道施工的安全、提高施工的经济效益,必须对围岩体中的地质构造尤其是断裂构造的位置、规模、特征等进行快速准确的超前预报。

TSP - 202 地质超前预报系统是目前利用物探方法进行隧道施工地质超前预报诸多系统中较为有效的一种。它利用一个或两个高灵敏度的地震波接收器,广泛收集由布置在隧道单侧壁上多个地震激发点产生的地震波及其在围岩传播中遇到不同反射界面时的反射波,通过分析反射界面所在的位置,进而结合具体的地质情况,预测影响施工的断层破碎带的位置、宽度、产状等。

1 问题提出

由于地震波在岩石中以球面波的形式传播,地震波接受器收到的震波信息包括:直达波、反射波、随机噪音声波及其它与反射界面无关的杂音信号。为此,TSP - 202 系统专用软件特设有 P6 - DME 滤波器,用来加强在以某个角度与隧道轴线相交界面范围内的反射波信号。DME 所增强的信号介于最大搜索角度“ $\delta_{\max}$ ”与最小搜索角度“ $\delta_{\min}$ ”之间的范围内。搜索角“ δ ”与空间角“ γ ”间的关系(图 1)为:

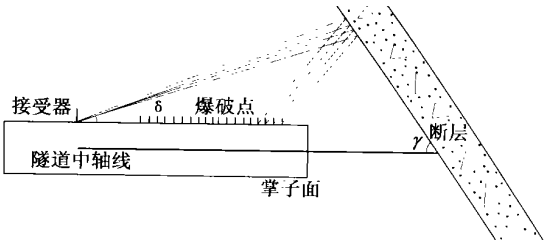


图 1 TSP - 202 探测系统工作原理示意图

$$\delta = 90^\circ - \gamma \quad (1)$$

对于不同的施工地区,其地质构造、地层组合以及岩石特征均不尽相同,如果不能根据实际情况选取恰当的搜索角 δ ,对地质信息及探测数据进行解译和分析,则预测的结果与实地将产生较大误差,地质超前预报的精度也难以保证。因此,确定合理的搜索角是提高 TSP - 202 地质超前预报系统探测精度的关键所在。

2 利用地质力学理论确定合理的搜索角 δ

确定一个地区的合理的搜索角就必须首先确定该地区的主体构造的优选产状,然后根据它们与施工隧道中轴线的交角求出其特有的空间角,进而确定该地区的合理的搜索角。

2.1 空间角 γ 的确定

一个地区空间角 γ 是由这个地区具有代表性地质构造的产状及施工隧道中轴线的走向产状共同决定的。其计算公式为:

$$\text{空间角 } \gamma = | \text{主体地质构造走向优选产状} - \text{施工隧道中轴线走向产状} | \quad (2)$$

[收稿日期]2000 - 10 - 25;[修订日期]2001 - 01 - 12;[责任编辑]李石梦。

[作者简介]李 忠(1968 年 -),男,讲师,1996 年毕业于中国地质大学,获硕士学位,长期从事地质超前预报工作和地基稳定性研究工作。

其具体的步骤如下：

1) 对节理、断裂构造的产状进行分析

由在新保纳隧道所进行的地质调查资料可知：该隧道所处的地区地质构造以节理、断层构造等脆性构造为主，该地区岩石在以 NEE~SWW 方向挤压、NNW~SSE 方向拉张为特征的局部构造应力场的作用下，形成了下列几个方向的断裂：(1) 走向 NE70°，张性正断层；(2) 走向 NW290°，压扭性断层；(3) 走向 NNE20°，压扭性断层；(4) 走向 NE45°，压扭性断层。

同时利用构造应力场节理统计方法，对隧道施工区内的 3000 余条节理、断裂的产状进行分析，得出其各组主要节理、断裂构造的优选产状如图 2 所示，为：

- (1) 340°∠78°；(2) 200°∠81°；
- (3) 300°∠70°；(4) 134°∠67°。

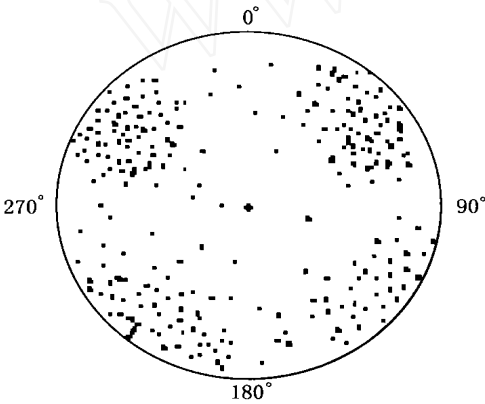


图 2 新保纳隧道节理、断裂产状投点密度图
(别尔麦科夫网)

NWW290 走向的节理占总数的 41.2 %；NE70 走向的节理占总数的 40.4 %；NNE20 走向的节理占总数的 10.5 %；NE45 走向的节理占总数的 7.9 %

2) 对节理与断裂构造的相关性进行分析

在遇到掌子面前方的主体断裂构造之前，常常可以首先观测到与其相伴生的 l_1 节理带，距离主断裂构造带越近， l_1 节理出露的频率越高，数量越多， l_1 节理带的影响宽度也越大。因此，分析节理与断裂构造的相关性，从已知的优选节理的产状去推知掌子面前方的主体断裂构造的产状，是提高地质超前预报的精度重要的一种方法。该方法有固体力学和概率论两方面的证据。

(1) 地质力学的证据

由固体力学的原理可知，力在固体中是以波的形式向外传播的。而断裂形成的过程，就是应力释放的过程，也就是伴生节理形成的过程(图 3)。

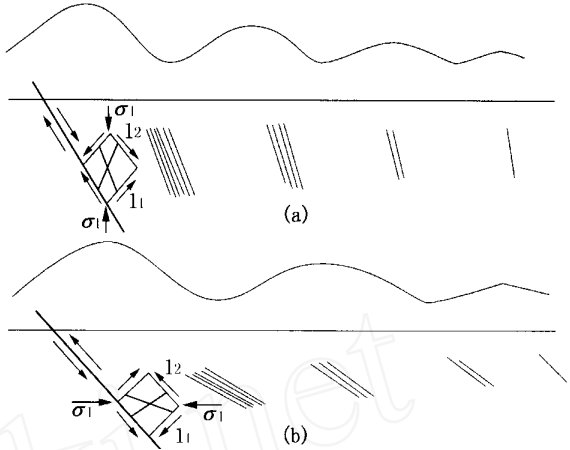


图 3 正断层(a)、逆断层(b)与伴生节理形成力学原理图

在逆断层形成的过程中，断层面两侧的岩石受到 σ_1 水平方向的挤压，岩石以剪裂形式沿着一组以共扼剪节理出露的破裂面发生断裂，其中一组是 l_1 节理，另一组是 l_2 节理。它们的走向与主断层面一致， l_1 节理的倾向与主断层面一致，但倾角小于主断层面的倾角； l_2 节理的倾向与主断层面相反。随着 σ_1 的持续作用， l_1 节理带逐渐形成，并随着断层的运动而得到加强，且随着构造应力的波动传播，呈现出从断层带开始由近及远、由密变稀的变化规律；而 l_2 节理却渐渐弱化，到后期多为其它节理所交切取代。同样在正断层的形成过程中也有类似的伴生构造产生。

这两种断层与伴生构造的关系特征如下：

逆断层与其伴生节理走向相同，倾角大于伴生节理的倾角。

正断层与其伴生节理走向相同，倾角小于伴生节理的倾角。

这说明断裂构造与附近走向相同的节理在成因上是密切相关的。

(2) 概率论的证据

由现场节理统计结果表明：

走向 70°左右节理与走向 290°左右节理占出露节理总数： $P(A_1) = 0.81 P_0$ 。

其它方向走向节理占出露节理总数： $P(A_2) = 0.19$ 。

在走向 70°或走向 290°的节理发育的区段，NE70 或 NW290 的断裂出露概率： $P(B | A_1) = 0.93$ 。其它方向节理发育的区段，NE70 或 NW290 的断裂出露概率： $P(B | A_2) = 0.07$ 。

据全概率公式：

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

及贝叶斯公式:

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

计算可知: $P(A_1|B) = 0.983$; $P(A_2|B) = 0.017$ 。

这充分说明走向 NE70°左右的节理与走向 NWW290°左右的节理是分别与走向 NE70°左右的断裂与走向 NWW290°左右的断裂紧密相关的。

以走向 NE70°左右的节理与走向 NWW290°左右的节理作为预测标志即可确定所要预测的新保纳隧道中主要断裂构造的产状,进而确定它们的空间角。

3) 确定空间角 γ

新保纳隧道的主要断裂走向产状已确定,最大:

SSW 200°;最小:SEE 110°;

新保纳隧道的走向产状:SE 135°;

由空间角 γ 运算公式(2)可以算出新保纳隧道的空间角 γ : 最大:65°,最小:25°

2.2 搜索角 δ 的确定

由搜索角 δ 运算公式(1)可算出新保纳隧道的搜索角 δ :最大:65°,最小:25°。

图 4、图 5 分别显示了搜索角 δ 介于 0°~30° 间和搜索角 δ 介于 25°~65° 间的原始探测人造地震波信息处理图,可以看出,当以一个较符合实际地质情况的搜索角度去处理探测地震波信息时,不但信息量会大大增加,而且对断裂的预测结果精度也会大大提高(表 1)。

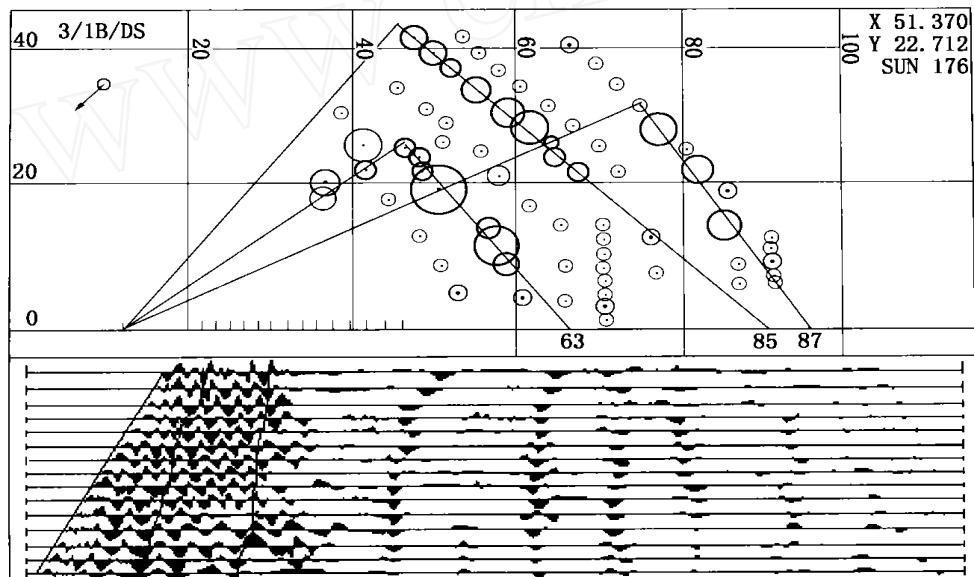


图 4 采用 0°~30° 搜索角时, TSP - 202 超前预报系统对所收集的地震波信息处理成果图

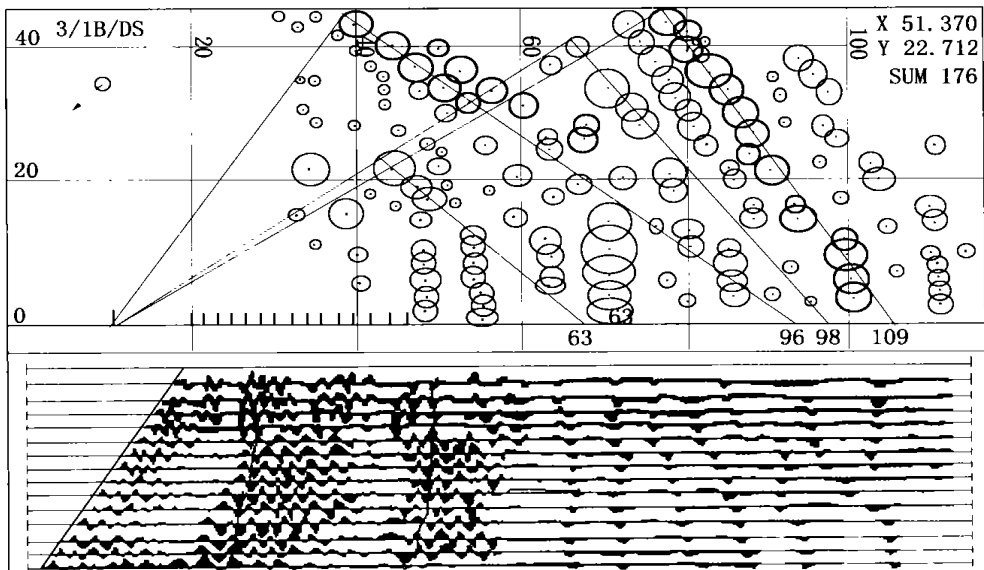


图 5 采用 25°~65° 搜索角时, TSP - 202 超前预报系统对所收集的地震波信息处理成果图

表 1 搜索角 δ 改变前后断层预测结果与实地对比表

断层编号	F ₂ (m)	F ₇ (m)	F ₁₉ (m)	F ₂₀ (m)	F ₂₂ (m)
δ 改变前里程	DK174 + 804	DK174 + 824	DK174 + 815	DK174 + 823	DK174 + 855
δ 改变后里程	DK174 + 804	DK174 + 830	DK174 + 818	DK174 + 827	DK174 + 869
断层实际里程	DK174 + 805	DK174 + 830	DK174 + 817	DK174 + 827	DK174 + 870

3 结束语

上述事例表明, TSP - 202 地质超前预报系统的预报精度, 虽然受到复杂地质情况的影响, 但只要采取正确的工作方法, 作好现场的地质调查工作, 选取合适的搜索角 δ 进行原始探测人造地震波信息的处理, 使得仪器探测工作以及数据分析处理工作

做到有的放矢, 目的明确, 才能在节约经费的前提下收到理想的地质超前预报效果。

[参考文献]

[1] 刘志刚. 煤矿构造学[M]. 北京: 世界图书出版社, 1990. 46~59.
[2] 何振起. 隧道施工掌子面前方不良地质预报[M]. 地球物理与中国建设. 北京: 地质出版社, 1997. 34~46.
[3] 梁之舜. 概率论与数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990. 58~68.

THE STUDY ON THE PROBLEM OF TSP - 202 SEISMIC
PREDICTION SYSTEM IN XINLUONA TUNNEL

LI Zhong

(Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043)

Abstract : Taking account of the theory and method of probability , tectonic geology and material mechanics , rudimentary treatment to the problems of TSP - 202 seismic prediction system in Xinluona tunnel has been discussed.

Key words: TSP - 202 seismic prediction system , tectonic geology , probability

第七次李四光地质科学奖获得者名单

李四光地质科学荣誉奖获得者：

- 叶连俊 中国科学院地质与地球物理研究所研究员、中国科学院院士
杨 起 中国地质大学(北京)教授、中国科学院院士
张彭熹 中国科学院青海盐湖研究所研究员、中国科学院院士
李四光地质科学奖野外地质工作者奖获得者：
潘元林 中国石油化工集团公司胜利石油管理局教授级高级工程师
蒋炳南 中国石油化工集团公司新星公司西北石油局教授级高级工程师
潘龙驹 中国有色金属矿产地质勘查中心地质资料馆教授级高级工程师
王启民 中国石油天然气集团公司大庆油田有限责任公司教授级高级工程师
吴奇之 中国石油天然气集团公司地球物理勘探局教授级高级工程师
骆耀南 四川省地质矿产勘查开发局教授级高级工程师
姜剑虹 中国煤炭地质总局黑龙江煤田地质局教授级高级工程师
王福同 新疆地质矿产局教授级高级工程师

李四光地质科学奖地质科技研究者奖获得者：

- 王铁冠 石油大学(北京)教授
龚再升 中国海洋石油总公司教授级高级工程师
廖椿庭 中国地质科学院地质力学研究所研究员
蒋 志 中国人民武装警察部队黄金指挥部教授级高级工程师

李四光地质教师奖获得者：

- 杜汝霖 石家庄经济学院(原河北地质学院)教授
何国琦 北京大学地质学系教授