

# TSP 的应用及其与 SEG-2 数据文件格式间的转换

杨天春<sup>1</sup>, 吴燕清<sup>2</sup>, 王齐仁<sup>1</sup>

(1. 湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 煤炭科学研究总院 重庆分院, 重庆 400036)

**摘要:** TSP 超前地质预报系统目前在我国已得到了比较广泛的应用, 但厂家未提供其数据文件存储格式。为此, 在举例说明 TSP 的应用效果后, 笔者采用 UltraEdit 软件对多个 TSP 数据文件进行分析, 弄清了其原始数据的总体存储结构。另外, 还简单介绍了国际标准地震数据 SEG-2 文件的存储格式, 并在 Matlab 语言环境下编制了读取 SEG-2 数据文件与 TSP 数据文件的程序, 实现了将 SEG-2 文件转换成 TSP 数据文件的功能。因此, 在今后的工作中可直接应用 TSP 的数据处理软件包 TSPwin 来处理国产的超前地震数据。

**关键词:** TSP 超前地质预报系统; SEG-2 格式; Matlab 语言; 探地雷达

**中图分类号:** P631.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2007)01-0063-05

在过去的 10 多年里, 隧道施工技术有了长足的发展。目前, 我国隧道工程的数量越来越多, 长度越修越长, 速度越来越快, 埋深也越来越大。由于隧道工程的地质条件十分复杂, 为保证施工安全和高效, 超前地质探测就显得非常重要。常用的隧道长期(长距离)超前地质预报的方法主要有地面地质调查法、断层参数预测法和 TSP、HSP 等仪器探测; 而短期(短距离)超前地质预报方法主要有掌子面编录预测法、不良地质前兆预测法和探地雷达、红外线超前探水等仪器探测。各种方法都有其特点和适用范围, 但根据目前发表的各种文献来看, TSP(tunnel seismic prediction)探测是目前预报距离最长、适用范围最广、预报效果最好的超前预报方法。TSP 是瑞士安伯格测量技术公司(Amberg Measuring Technique Ltd.)于 20 世纪 90 年代初期研制的一套超前预报系统, 该系统采用地震波反射原理, 能长距离地预报隧道施工前方的地质变化。近几年, TSP 技术得到了我国技术人员的认同, 并在多项隧道工程中得到应用<sup>[1-3]</sup>。笔者就 TSP 的应用效果和其原始数据文件的读取, 以及如何将 SEG-2 地震数据转换成 TSP 数据文件进行探讨。

## 1 TSP203 的实践应用

位于湖南湘西的邵怀高速雪峰山公路隧道长 7.6 km, 最大埋深达 850 m, 是国内外罕见的特长深埋公路隧道。为保证隧道施工安全, 减少因地质灾

害或支护不当而导致大塌方带来的损失, 笔者应用 TSP203 隧道超前地质预报系统和 SIR3000 探地雷达, 对雪峰山隧道左线 ZK96+965~ZK97+183 区段进行了综合超前探测。

### 1.1 地质概况

根据对附近已开挖地段的地质调查可知, 地层为震旦系下统江口群长滩组微风化砂质板岩, 整体呈单斜构造, 岩层延伸较稳定, 产状  $120^\circ \angle 75^\circ \sim 80^\circ$ , 走向与隧道轴线大角度斜交。岩石呈块状结构, 厚层—巨厚层状构造, 岩石坚硬完整, 断续节理裂隙较发育, 发育间距一般 0.6~1.0 m, 产状  $30^\circ \sim 40^\circ \angle 65^\circ \sim 70^\circ$ , 微张, 岩石被切割成大块状。在节理裂隙较发育的地方, 含丰富的裂隙水。

### 1.2 TSP 探测

图 1、图 2 为采用 TSP203 对雪峰山隧道进行超前地质探测的结果。本次 TSP203 检测掌子面的里程桩号为 ZK96+965, 24 个炮点中距掌子面最近的有 10 m, 检波器距最近炮点 15 m。

利用 TSPwin 软件对参数进行计算, 可以准确推断掌子面前方 218 m 范围内, 围岩纵波平均速度为 5 400~5 900 m/s, 密度为 2.82~2.94 g/cm<sup>3</sup>, 泊松比为 0.2~0.29。从图 1、图 2 可以看出, 围岩稳定性总体较好, 但在掌子面附近 50 m 范围内有一些裂隙发育, 并在 ZK97+160 附近存在断层破碎带。推断解释的详细情况见表 1。

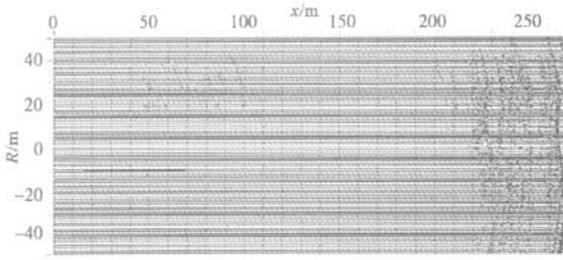


图1 P波深度偏移剖面

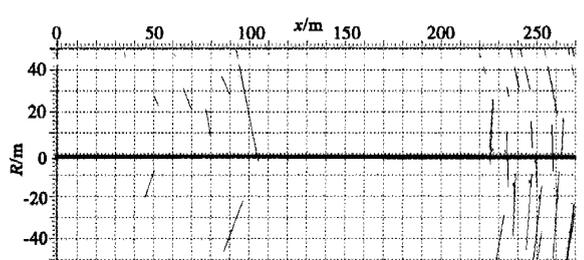


图2 P波提取的反射层

表1 TSP 预测结果一览

序号	里程	长度/m	推断结果	围岩类别
1	ZK96 + 965 ~ ZK97 + 022	64	岩石较完整,局部节理裂隙较发育,含水	V
2	ZK97 + 022 ~ + 139	117	岩石完整	V
3	ZK97 + 139 ~ + 183	44	断层破碎带	III

结合以往的地质勘察报告和 TSP 的探测结果,对本次探测区段的隧道围岩进行划分(表 1)。另外,根据 TSP 预测结果与过去的勘察报告对比可知,对于 F<sub>2</sub> 断层的预测是准确可靠的。

### 1.3 探地雷达探测

为短距离控制雪峰山隧道掌子面 ZK96 + 965 前面 50 m 范围内围岩变化情况,并验证 TSP 的探测结果。笔者还采用了美国劳雷公司的 SIR3000 探地雷达(100 MHz 天线)进行掌子面上的超前探测,探测成果如图 3 所示。根据雷达探测成果图可知,在掌子面前方 45 m 范围内前方岩石较完整,仅在掌子面前方 11 m 左右(桩号 ZK96 + 976)的部位节理裂隙发育,含水。

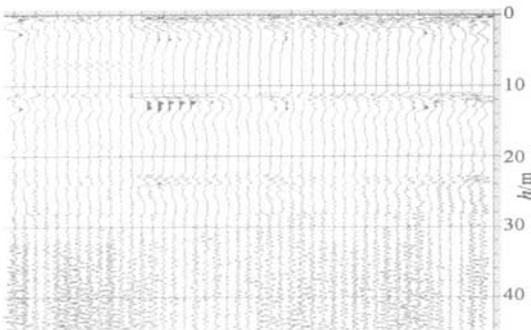


图3 ZK96 + 965 掌子面雷达检测成果

## 2 TSP 原始数据文件的读取

TSP 是将原始采集数据与处理后的结果存放于同一个文件内,该文件的扩展名为 svy。可能是由于技术保密的原因,安伯格测量技术公司未向客户提供其文件的存储格式,这使得我们在读取 svy 格式文件时存在一些困难。由于 TSP 采集系统价格比

较昂贵,我国近年来在应用该系统的同时,各科研生产单位也逐步在研制国产的超前地震系统及相应的软件。为做好国产仪器的研制和处理软件的编制工作,必须弄清 TSP 数据的存储方式,以便取长补短。

根据 TSP 处理软件说明书可知,TSP 文件有其特定存储格式,其格式与 SEG-Y<sup>[4-5]</sup>类似,并且数据的存储方式是 32 位浮点格式(32-bit floating-point format),除此之外,就一无所知。为准确无误地将 TSP 采集的原始数据读取出来,笔者采用超级编辑器(UltraEdit)软件对多个 TSP 文件进行研究,弄清了 svy 格式文件的大致存储结构。由于野外采集时参数设置不同,各个文件的头文件存储的内容肯定不一样,所以,各个文件的头文件所占的字节数也不相同。为清楚地说明 TSP 文件的存储方式,在此我们以上(海)一瑞(丽)高速邵怀段上所采集的一个原始文件“Survey1. svy”为例进行说明。

图 4 为采用 TSPwin 软件打开文件“Survey1. svy”后获得的 X 分量的采集曲线。该文件采集数据为 24 道,每道数据的采样点数为 7 218,采样间隔为 62.5 μs,所以采样时间长度为 451.062 5 ms。通

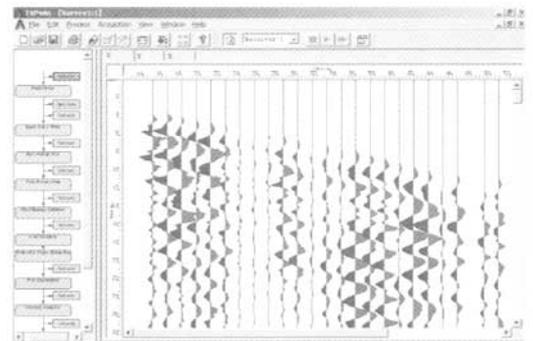


图4 TSP 原始数据文件的曲线

过对多个 TSP 文件研究后可知:①“Survey1. svy”文件的第 0 ~ 1 568 字节的内容为总文件头及 X 分量的文件头;②紧接着是第 1 ~ 24 道 X 分量的原始数据,每道数据之间为 290 字节的头文件间隔,由于数据的存储为 32 位浮点格式,所以每道数据所占的字节数为  $7\ 218 \times 4$ ;③然后为 303 个字节的 Y 分量头文件,随后为第 1 ~ 24 道 Y 分量的原始数据,其存储结构与 X 分量完全相同;④再为 303 个字节的 Z 分量头文件,随后为第 1 ~ 24 道 Z 分量的原始数据,其存储结构也与 Z 分量完全相同;⑤从存储数据结束处至文件末尾为 6 233 字节的批处理结果头文件,这可能是为今后存储处理结果而预留的一些头文件信息。所有的 TSP 文件的存储方式与“Survey1. svy”文件是完全类似的,主要区别在于开始的总文件头所占的字节数不同而已。

弄清“Survey1. svy”文件的几个主要参数(如采集道数、每道采样点数、采样间隔和数据的存储格式)后,就可以跳过各文件头,直接对 X、Y 和 Z 分量的数据进行读取。图 5 即等待笔者在 Matlab 软件下编制读取软件所获得的结果,为了便于与图 4 进行对比,图 5 仅绘制 X 分量前 30 的结果。为清晰地反映各道信号的实际大小,每道采样曲线都绘出了各自的横坐标。

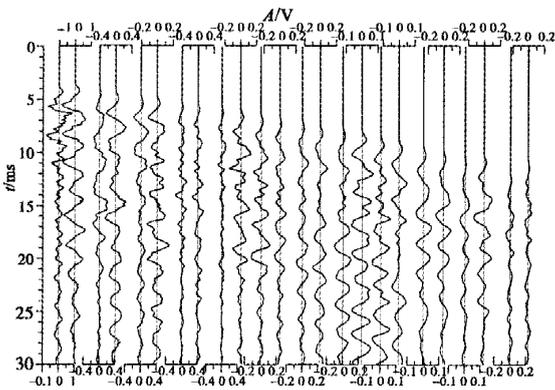


图 5 读取所得到的 X 分量

根据图 4 和图 5 的对比可知,二者完全吻合,这说明了读取程序的正确性。其次还可看出,TSP 的处理软件包 TSPwin 在显示各道的曲线时,增益并非固定的,一般在小道号上增益较小,而在大道号上增益较大。如图 4 所示,与第 10 道的采集信号相比,似乎第 7、8、9 道的采集信号十分微弱;但由图 5 可知,其实情况并非完全如此,只是说与前面 6 道的信号相比,采集到的信号比较减弱,但相对第 10 道的信号而言,信号还是比较强的,只是由于显示时增益较小,信号显得微弱罢了。

### 3 国产地震仪数据文件的存储格式

世界各地震仪器生产厂家较多,各厂家对数据的记录都有自己特定的存储格式和其相应的软件包。对此,1987 年 10 月,SEG(The Society of Exploration Geophysicists)工程地球物理会议规定了统一的数据文件存储格式 SEG-2<sup>[6-7]</sup>,来取代 SEG 曾推荐过 SEG-Y、SEG-D 数据存储格式<sup>[4-5,8]</sup>。SEG 还建议,自 1987 年 10 月之后生产的浅层地震仪、探地雷达的数据存储格式均采用 SEG-2 标准,若厂家不采用 SEG-2 存储格式,就必须提供能将其数据转换成 SEG-2 格式的相应软件。以往,地震与雷达的原始数据与处理结果一般是分离的,但目前 SEG-2 格式可将原始数据与处理后的结果存放在一起(TSP 也是如此)。同时,SEG-2 格式不仅适用于 DOS 支持的 IBM 微机及兼容机,它还适用于 OS/2 操作系统、Macintosh 系列微机和 UNIX 工作站。

SEG-2 采用了自由格式存储数据,它不依赖于任何编程语言,可为所有处理地震(或雷达)数据的计算机和工作站提供共享数据,并且该数据结构标准也便于维护和今后的修订。

如图 6 所示,SEG2 数据文件由一个文件描述块(file descriptor block)、一个或多个道描述块(trace descriptor block)及相应的数据块(data block)组成。文件的开头部分是文件描述块,接着为第 1 道描述块(trace descriptor block 1),紧接着的是相应的第 1 道的数据块(data block 1),再后面的即为其余各道的描述块及其相应数据块。

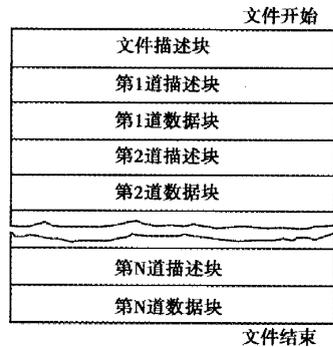


图 6 SEG-2 文件总结构

目前,煤炭科学研究总院重庆分院正在研制开发的新型超前探测地震系统就是采用 SEG-2 存储格式。由于篇幅所限,关于 SEG-2 的文件描述块、道描述块结构,以及字符串的详细存储方式可参考相关文献<sup>[6-7]</sup>。所以,已知了 SEG-2 文件的详细存储格式,编程读取数据就是一件非常容易的事情。

#### 4 SEG-2 与 TSP 两种数据文件之间的转换

为了便于吸取国外技术人员在编制超前处理软件方面的一些好的经验和方法,笔者在 Matlab 语言

环境下编制了转换程序,将国产地震仪采集的 SEG-2 原始数据文件转换为 TSP 数据文件,以便能在 TSPwin 软件下直接处理国产地震仪所采集的数据。由于篇幅所限,下面仅列出程序的主要部分。

```

.....
for i = 1:shot % shot 为采样道数
    D_01(i,1) = Data1(i,1); % D_01() 为国产仪器采集的 X 分量数据
    D_02(i,1) = Data2(i,1); % D_02() 为国产仪器采集的 Y 分量数据
    D_03(i,1) = Data3(i,1); % D_03() 为国产仪器采集的 Z 分量数据
    for j = 2:d_length % d_length 为每道的采样点数
        tn = fix((j-1) * t_interval ./ (interval * 10^6)) + 1; % t_interval 为 TSP 的采样间隔(μs)
        differ = (j-1) * t_interval - (tn-1) * interval * 10^6; % interval 为国产仪器的采样间隔(s)
        D_01(i,j) = Data1(i,tn) + (Data1(i,tn+1) - Data1(i,tn)) * (differ ./ (interval * 10^6));
        D_01(i,j) = round(D_01(i,j));
        D_02(i,j) = Data2(i,tn) + (Data2(i,tn+1) - Data2(i,tn)) * (differ ./ (interval * 10^6));
        D_02(i,j) = round(D_02(i,j));
        D_03(i,j) = Data3(i,tn) + (Data3(i,tn+1) - Data3(i,tn)) * (differ ./ (interval * 10^6));
        D_03(i,j) = round(D_03(i,j));
    end
end
fid04 = fopen(file4, 'wb'); % 创建一个“*.svy”文件,便于存储转换结果
fid0 = fopen(file5, 'rb'); % 打开 TSP 原始数据文件“Survey1.svy”
frewind(fid0);
char01 = fread(fid0, 1569, 'uint8'); fwrite(fid04, char01, 'uint8');
% 存储 X 分量数据
for i = 1:shot
    for j = 1:d_length
        fseek(fid0, 4, 'cof');
        fwrite(fid04, D_01(i,j) * 10/16777216./32, 'float');
    end
    char02 = fread(fid0, 290, 'uint8');
    fwrite(fid04, char02, 'uint8');
end
statu = fseek(fid0, -290, 'cof');
statu = fseek(fid04, -290, 'cof');
char03 = fread(fid0, 303, 'uint8');
fwrite(fid04, char03, 'uint8');
.....
% 存储 Y 分量数据,与 X 分量存储过程相同
.....
statu = fseek(fid0, -290, 'cof'); statu = fseek(fid04, -290, 'cof');
char05 = fread(fid0, 303, 'uint8'); fwrite(fid04, char05, 'uint8');
.....
% 存储 Z 分量数据,与 X 分量存储过程相同

```

.....

```

statu = fseek( fid0, -290, 'cof' );
statu = fseek( fid04, -290, 'cof' );
char07 = fread( fid0, 6233, 'uint8' );
fwrite( fid04, char07, 'uint8' );
fclose( fid0 ); fclose( fid04 );

```

由于 SEG-2 数据文件的参数设置与 TSP 不能完全一样,上述所列程序中开始一部分程序的作用是将国产仪器采集结果的采样间隔、采样点数、采样时间长度变换得与 TSP 的参数设置相同,在转换时,采样结果是按时间进行线性内插。另外,2 种数据文件的数据存储格式也可能不同,如 TSP 是采用浮点 32 位格式进行存储,而此处的国产仪器是采用整型 32 位进行存储,所以,在存储转换结果时,需将整型 32 位数据转换为浮点 32 位格式。

## 5 结语

笔者在说明 TSP 的实践应用效果的基础上,分析了 TSP 原始数据文件的大致存储格式,对今后研究该问题时具有帮助和借鉴作用,以便更好地利用 TSP 系统及其处理软件,同时也介绍了 SEG-2 文件的存储格式,并在 Matlab 语言环境下编制了将 SEG-2 文件转换成“\*.svy”文件的软件,这有利于国产超前地震系统的研制和改进,以便使国产仪器达到

或超过国外先进水平。

## 参考文献:

- [1] 蔡运胜. TSP203 型隧道超前地质预报系统及应用[J]. 物探与化探, 2004, 28(2): 184.
- [2] 赵勇, 肖书安, 刘志刚. TSP 超前地质预报系统在隧道工程中的应用[J]. 铁道建筑技术, 2003(5): 18.
- [3] 朱宝龙, 陈强, 魏有仪, 等. TSP 超前地质预报在圆梁山隧道施工中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2003(1): 81.
- [4] Northwood E J, Weisinger R C, Bradley J J. Recommended standards for digital tape formats[J]. Geophysics, 1967, 32(6): 1073.
- [5] Meiners E P, Lenz L L, Dalby A E, et al. Recommended standards for digital tape formats[J]. Geophysics, 1972, 37(1): 36.
- [6] Pullan S E. Recommended standard for seismic (/radar) data files in the personal computer environment[J]. Geophysics, 1990, 55(9): 1260.
- [7] 胡家富, 段永康. 数字地震仪(或雷达)的文件格式及其转换方法[J]. 地震地磁观测与研究, 1999, 20(3): 36.
- [8] Barry K M, Cavers D A, Kneale C W. Recommended standards for digital tape formats[J]. Geophysics, 1975, 40(2): 344.

## THE APPLICATION OF TSP AND ITS TRANSFORMATION WITH THE SEG-2 DATA FILE FORMAT

YANG Tian-chun<sup>1</sup>, WU Yan-qing<sup>2</sup>, Wang Qi-ren<sup>1</sup>

(1. College of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China; 2. Chongqing Branch of China Coal Research Institute, Chongqing 400036, China)

**Abstract:** Recently, TSP has been used widely in China. But we do not know the data format because the manufacturer does not provide it. With an application example, the authors studied the TSP data files by UltraEdit software, and got to know their construction. Furthermore, the authors introduced SEG-2 format simply, and wrote corresponding routines for reading the SEG-2 data and TSP files in Matlab programming language. On such a basis, we can translate a SEG-2 file into a TSP file and process it by the TSPwin software.

**Key words:** TSP; advanced geological prediction; SEG-2 format; Matlab; ground-penetrating radar

**作者简介:** 杨天春(1968 - ),男,博士,副教授,主要从事地球物理与岩土工程方面的教学及科研工作,公开发表学术论文数篇。