

TSP法在安岚高速公路大巴山隧道超前地质预报中的应用

陈红林 汤续鹏

陕西高速公路工程试验检测有限公司 陕西 西安 710000

摘要：深埋隧道工程地质和水文地质条件较为复杂，在施工过程中经常会发生突水、突泥和坍塌等事故，准确细致的超前地质预报是隧道施工的重要依据。TSP超前地质预报方法相较于其他预报方法有无损、准确性高和预报距离长等优点。采用TSP法对安岚高速一深埋隧道进行超前地质预报，使用专业数据处理软件得出波速、泊松比、密度、动态杨氏模量和剪切模量参数并绘制岩石属性图，根据计算结果对破碎带、涌水段、煤夹层、浅埋段进行预测。结合TSP法的预测结果与后续隧道施工实际情况，对不良地质体及其地震波反射特性进行讨论，对类似工程具有一定借鉴意义。

关键词：TSP；隧道；超前地质预报

引言

随着高速公路网的日益完善，高速公路工程逐渐向山区推进。勘察阶段通过工程地质调查、钻探、物探、遥感解译等方法无法准确无误的探明可能引发施工地质灾害的不良地质体的位置、规模和性质。因此在施工过程中开展超前地质预报是十分必要的^[1]。

TSP地震波反射法作为一种先进的超前地质预报方法，其具有便捷、高精度、无损和预报距离长等特点，可用于预报地层界面、地质构造与不良地质体的分布情况。

本文以安岚高速公路2期项目某深埋隧道为背景，建立TSP超前地质预报流程，对隧道进行超前地质预报，推测前方可能存在的断层、破碎带、浅埋段等不良地质体。并在施工过程中提前采取相应防治措施，取得了较好的效果，避免了不良地质灾害的发生，同时也验证了TSP法在深埋隧道超前地质预报中的有效性和适用性。

1 TSP超前地质预报法原理

TSP方法属于多波、多分量、高分辨率地震反射法^[2]。地震波在设计震源点（通常在隧道的左/右边墙，大约24个炮点）用小量炸药激发产生。当地震波遇到岩石波阻抗差异界面（如断层、破碎带和岩性变化等）时，一部分地震信号反射回来，一部分信号透射进入前方介质。反射的地震信号将被高灵敏度的加速度地震传感器接收并以数字形式记录下来。采集数据通过Amberg TSP Plus专用软件进行3D处理，便可了解隧道工作面前方地质体的性质（软弱岩带、破碎带、断层、含水岩层等）和位置及规模。

2 TSP法的实施

距待测掌子面55~60m初衬两侧边墙位置安装接收器，距接收器20m（掌子面方向）一侧边墙布设24个炮

孔，炮孔间距1.5m。预报系统设计如表1，预报系统设计图如图1。

表1

项目	接收器孔	炮孔
数量	2个，隧道左右侧边墙各1个	24个，位于隧道右边墙
直径	Φ50mm钻头钻孔	Φ40mm钻头钻孔
深度	1.9m	1.5m
定向	垂直隧道轴向，上倾5~10°	垂直隧道轴向，下倾10~20°
高度	离开挖底面高1.4~1.6m	离开挖底面高1.4~1.6m
位置	距离掌子面55~60m	S1距接收器20m，炮点间距1.5m

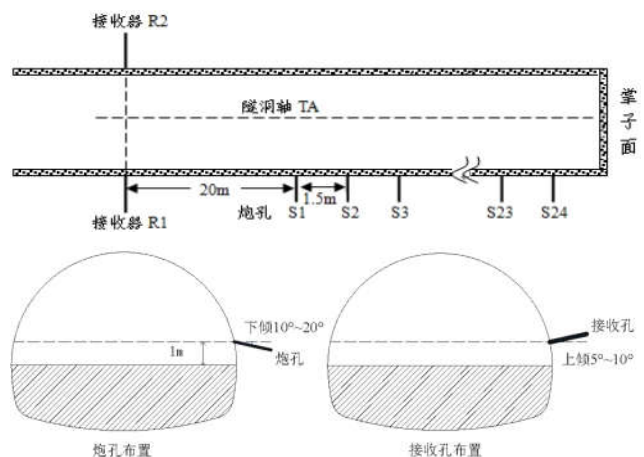


图1

3 应用实例

3.1 工程概况

国家高速公路银百线（G69）陕西境安康至岚皋（陕渝界）公路岚皋至陕渝界段，大巴山隧道位于隧道位于安康市岚皋县滔河镇，穿越山梁，分为左、右线。隧道左线

起讫桩号为ZK81+354.0~ZK89+574.219, 全长8220.219m; 右线起讫桩号为YK81+359.0~YK89+554.354, 全长8195.354m。隧道左、右线进口洞门型式皆为端墙式。隧道照明采用LED灯照明, 自然通风, 隧道内布置防灾救援设施。隧道建设规模为双向四车道, 单向行车, 隧道设计时速80km/h。

隧道穿越的主山脊呈近东北-西南向延伸。隧隧道洞身段围岩以灰岩、闪长岩为主, 灰-灰黑色, 伟晶结构, 中厚层构造, 硅质胶结。中风化、微风化岩质较坚硬。闪长岩: 浅灰-深灰色, 微带淡绿色, 块状构造, 细-中粒结构, 半自形粒状结构, 短柱状, 中风化、微风化岩质较硬。隧道地下水发育, 估算右线涌水量为23897.16m³/d, 左线涌水量为24926.31m³/d, 整体隧道洞室估算涌水量为48823.47m³/d。

3.2 典型预报成果解析及开挖验证

采用第三章介绍的TSP地震波法对安岚高速项目大巴山隧道全程进行超前地质预报, 采用专业处理软件AmbergTSPplus进行数据处理, 选取V_p、V_s、V_p/V_s、泊松比、密度、动态杨氏模量和剪切模量参数绘制预报段落岩石属性图, 对预报段落可能存在的不良地质情况进行预测。选取四个典型案例对四种不良地质段落的反射特性进行讨论。

3.2.1 破碎带

对大巴山隧道YK81+420~YK81+600段进行TSP超前地质预报, 本次预报共激发24炮, 采集数据并进行数据分析, 2D岩石属性图如图2所示。

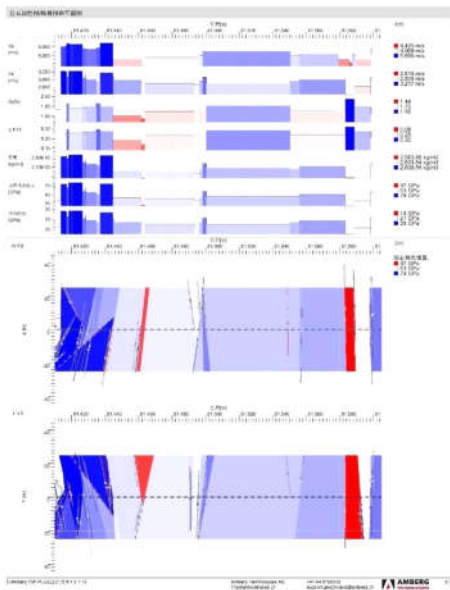


图2

由上图可知, YK81+580~YK81+590段岩石力学参数

V_p变化起伏, 呈下降趋势; V_s呈现突降趋势; V_p/V_s、泊松比等波动上升趋势剧烈; 密度、动态杨氏模量等波动下降变化趋势剧烈; 反射层以负反射为主。该段围岩与前段相比, 岩石强度下降明显, 推断该段围岩破碎且存在裂隙水。

开挖显示YK81+582~YK81+587段围岩以板岩为主, 碎块状结构, 围岩裂隙密集, 缝宽5~10cm, 缝隙间夹泥, 地下水较发育, 呈股状。洞室开挖后存在掉块现象。开挖显示该段为破碎段, 且包含水。

3.2.2 涌水段

对大巴山隧道ZK86+963~ZK87+135段进行TSP超前地质预报, 本次预报共激发24炮, 采集数据并进行分析, 2D岩石属性图如图3所示。

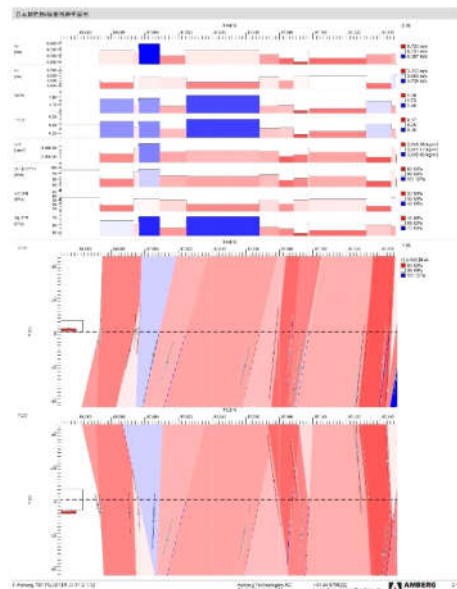


图3

由上图可知, ZK87+024~ZK87+068段岩石力学参数V_p变化趋势平稳; V_p/V_s、泊松比等波动上升趋势剧烈; V_s下降变化趋势剧烈; 密度、动态杨氏模量等参数呈下降趋势。该段围岩与前段相比, 岩石强度下降, 推断该段围岩完整性较差, 地下水发育, 易出现股状水、涌水现象。

开挖显示ZK87+030~ZK87+049段以微风化灰岩为主, 灰黑色, 围岩节理裂隙较发育, 层状结构, 围岩较破碎, 整体稳定性较差, 掌子面ZK87+040出现大量股状水、涌水现象。

3.2.3 煤夹层

对大巴山隧道YK83+455~YK83+280段进行TSP超前地质预报, 本次预报共激发24炮, 采集数据并进行数据分析, 得到2D岩石属性图如图4所示。

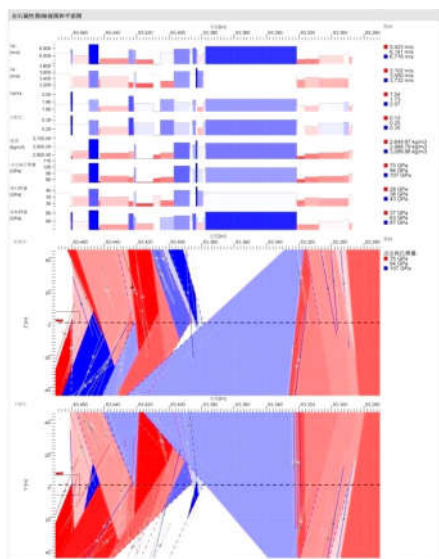


图4

由上图可知, YK83+440~YK83+400、YK83+320~YK83+280段岩石力学参数 V_p 、动态杨氏模量、密度等波动下降趋势剧烈, 其余参数较为平稳, 该段围岩与前段相比, 围岩强度及密度下降明显, 推断该段围岩可能存在软岩或存在空腔情况。

开挖显示YK83+425~YK83+400段以煤矸石为主, 亮黑色, 层状结构, 煤层较软, 锤击易碎。YK83+300~YK83+280段开挖揭示掌子面以煤矸石为主, 黑色, 层状结构, 煤层较软, 锤击易碎。

3.2.4 浅埋段

对大巴山隧道YK82+255~YK82+417段进行TSP超前地质预报, 本次预报共激发24炮, 采集数据并进行数据分析, 计算结果2D岩石属性参数图如图5所示。

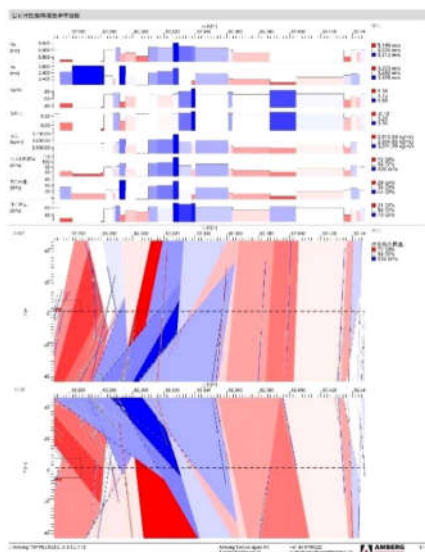


图5

由上图可知, YK82+255~YK82+280段岩石力学参数 V_p 、动态杨氏模量、体积模量下降趋势剧烈; 层面反射密集; 该段围岩与前段相比岩石强度明显下降, 推测该段存在围岩裂隙密集区或围岩破碎地段情况。

开挖显示YK82+247~YK82+287段为浅埋段, 埋深在20~25m范围, 围岩破碎松散, 整体稳定性差。

3.3 典型不良地质体及其反射特性讨论

根据TSP法的原理和工作经验, 把距离隧道轴线近、能量大的反射波组判释为围岩异常区, 并综合地震波速、反射波相位、泊松比和动态杨氏模量等参数对围岩异常区的类别进行划分^[3]。解释原则如下所述:

- 1) 泊松比高说明有流体存在, 纵波波速低说明有裂隙存在;
- 2) S波反射能量强, P波反射能量弱, 说明有流体存在;
- 3) S波反射能量弱, P波反射能量强, 说明有裂隙存在;
- 4) 反射波为正相位时, 说明围岩由软弱岩层进入坚硬岩层;
- 5) 反射波为负相位时, 说明围岩由坚硬岩层进入软弱岩层;
- 6) 当泊松比 VP/VS 突然增大时, 前方地质情况为有水或围岩较破碎;
- 7) 当静态杨氏模量大于30时, 石质坚硬, 反之, 石质较软;
- 8) 当反射界面较多且静态杨氏模量和泊松比变化频繁, 幅度较大时, 围岩为破碎带, 若为负反射振幅时, 围岩为软弱破碎带。

结论

(1) 围岩破碎区域: V_p 变化起伏, 总体呈下降趋势; 动态杨氏模量、密度下降趋势强烈; 反射层以密集的正反射为主。(2) 围岩富水区域: V_p 变化趋势平稳; V_p/V_s 、泊松比等波动上升趋势剧烈; V_s 下降变化趋势剧烈; 密度、动态杨氏模量等参数呈下降趋势。(3) 软岩区域: V_p 、动态杨氏模量、密度等波动下降趋势剧烈; 反射层以密集的正反射为主且呈错乱堆积状; 其余参数变化较为平稳。(4) 浅埋区域: V_p 、动态杨氏模量、体积模量下降趋势剧烈; 密度参数变化平稳; 反射层以密集的正、负反射相间, 倾斜角度一致。

参考文献

- [1]许振浩,李术才,张庆松,等.TSP超前地质预报地震波反射特性研究[J].地下空间与工程学报,2008(04):640-644+716.
- [2]杨朝栋,许建文,梁海深,等.隧道安全预警及安全管理要点分析[J].企业科技与发展,2022(11):62-65.
- [3]金理强,李方涛.地质雷达法和TSP法在隧道超前地质预报中的应用[J].公路交通科技(应用技术版),2020,16(04):278-280.
- [4]詹龙飞.TSP技术在隧道超前地质预报中的应用[J].铁道勘察,1672-7479(2011)02-0072-03.