

# 综合超前地质预报方法在格库铁路阿尔金山隧道施工中的实施

赵科<sup>1</sup> 王跃<sup>2</sup>

1. 中铁第一勘察设计院集团有限公司 陕西 西安 710043; 2. 西安地质矿产勘查开发院有限公司 陕西 西安 710043

**【摘要】**新建格尔木至库尔勒铁路(新疆段)S6标段阿尔金山隧道地处气候寒冷干燥、植被稀疏、高寒缺氧、且山顶常年积雪不化的无人区,是一个地质条件及水文地质环境极其复杂多变的一级高风险隧道。本文采用物探和钻探长距离探测、短距离探测方法相结合的探测方法,以及TSP地震探测法、超前水平钻探法、加深炮孔法、地质编录法等方法,准确预报出DK577+390.5至DK577+245段的地质情况及水文地质情况,为隧道安全施工提供了重要保障。

**【关键词】**阿尔金山隧道;超前地质预报;工程实施

**【Abstract】**The newly-built Altun Mountain Tunnel in the S6 section of the Golmud-Korla railway (Xinjiang section), located in no man's land with cold and dry climate, sparse vegetation, high cold and hypoxia and perennial snow on the top of the mountain, is a first-class high-risk tunnel with extremely complex geological conditions and hydrogeological environment. In this paper, the geological and hydrogeological conditions of the section from DK577+390.5 to DK577+245 are accurately predicted to guarantee for the tunnel's construction safely by using comprehensive methods including geophysical and drilling long-distance and short-distance detection, TSP seismic exploration, advanced horizontal drilling, deepening blasthole and geological recording.

**【Key words】**Altun Mountain Tunnel, Advanced Geological Forecast, Engineering Application

## 1 工程地质概况

格库铁路(新疆段)阿尔金山隧道位于新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州若羌县境内。春秋风沙大,夏季超高温,冬季阿尔金山红柳沟段降雪多,坡陡路滑,降雪不易消融,给我们工作带来较多困难。东段山势降低到4000米左右。沿线经过柴达木盆地、阿尔金低中山区和塔里木盆地三个一级地貌单元,总体地势为中间高、两头低,柴达木盆地较塔里木盆地高。隧道工程主要集中分布在阿尔金山山区,线路穿越阿卡腾能垭口、索尔库里盆地及巴什考供哑口,越岭地段山体较窄,宽约30~50km,局部发育危岩、落石整个隧道穿越阿尔金山无人区,环境气候及其恶劣,常年干旱,植被稀少。阿尔金山隧道穿越索尔库里盆地,整体东西走向,南北高两边低,形成宽大V字型沟谷。海拔约2900~3500m左右,隧道进口侧的单面自然坡度20%~50%,上部主要为第四系洪积角砾土,山谷局部小型冲沟较发育,植被稀少。隧道里程为DK568+910~DK582+105,全长13195m,隧道最大埋深650m。洞身线路采用人字坡设计,设有3座平导(斜

井),长度分别为4133m、478m、1872m。此隧道为单线隧道。

## 2 超前地质预报

针对在建隧道数量大、特长隧道多、风险隧道数量多等特点,必须加强风险隧道的管理、控制,预防或减少事故的发生。施工现场采用TSP地震波法、超前钻探、地质编录法、掌子面加深炮孔等方法综合方法进行地质预报。通过对施工开挖掌子面围岩的富水程度及破碎程度进行推测和印证,及时对预报信息进行收集、处理,给隧道施工方案和施工方法调整提供依据。

### 2.1 地质编录法

地质编录法是利用开挖隧道掌子面地层特征、节理裂隙发育程度,及岩体产状、地形地貌相关性分析,以及地质理论分析等,推测开挖面前方可能出现的不良的地质情况的一种预报方法。该方法采用地质罗盘、地质锤、数码相机等简单设备,不干扰施工进度,能很快出结果,能为整个隧道开挖提供有利的地质资料。根据掌子面地质素描记录,节理裂隙发育程度,岩石完整程度

及岩体结合程度, 来判断隧道开挖遇到的不良地质体情况。

每循环施工开挖后, 专业地质工程师对掌子面进行地质素描, 分析地质围岩情况, 与超前地质雷达预报及超前钻孔资料联合分析, 得出掌子面前方地质围岩较准确可靠的资料, 从而进一步指导隧道施工。

地质描述: 掌子面开挖揭示为元古界蓟县系金雁山组白云岩。白云岩: 灰白色、主要矿物成分主要有白云石、方解石为主, 隐晶质结构, 块状构造, 为弱风化层。岩层产状: N58° E/75° N 掌子面灰褐色, 结构面夹杂黄锈色泥质薄层碎屑, 节理较发育, 岩体完整, 拱部较完整, 表层夹有黄褐色薄层泥质水锈, 节理多为密闭, 局部微张充填, 岩体整体呈块石状结构, 结构面相互牵制, 基岩裂隙水较发育, 有一裂隙延伸至拱部, 伴随股状出水, 局部线状出水, 开挖过程中拱部及两侧边墙未见掉块现象, 爆破扰动过大易引起局部掉块, 整体结合较好, 岩体基本稳定。施工时应遵循短进尺, 及时喷护, 加强施工安全步距, 加强注意岩体破碎程度变化及出水情况, 及时做好相关排水措施。



图 1 阿尔金山隧道出口 DK577+355 开挖掌子面

## 2.2 加深炮孔法

加深炮孔是根据隧道断面大小及可能出现的不良地质体, 在每一循环掌子面布设 3 ~ 8 个加深探孔, 探测孔较循环进尺加深 3m 以上, 搭接 2m。现场加深炮孔的记录显示, 钻进过程无卡钻现场, 钻速均匀。钻孔段落主要为白云岩, 无水压, 水量约 300m<sup>2</sup> / h, 水质清澈, 略微有苦涩味。

## 2.3 超前水平钻

钻孔过程中, 由地质工程师全过程跟踪, 对每个孔位钻进过程进行详细记录, 根据钻孔的钻进速度, 出渣渣样, 涌水量等进行分析, 从而得出掌子面前方地质围岩等情况, 在与超前地质雷达预报报告进行分析对比, 从而制定相应的施工措施, 确保施工人员及设备安全。

此段采用超前水平钻探预报方法。现场施工时, 与 TSP 探测预报结果相对比分析, 准确性布设钻孔位置和钻孔倾斜角度, 通过岩芯的变化、钻进的速度、出水量的大小, 有无卡钻现象判断地质情况。超前水平钻孔的资料显示, 岩粉呈灰黑色夹杂红褐色泥质岩粉杂质, 无水压, 水质清澈, 无卡钻钻孔段落揭示岩性为白云岩,

基岩裂隙水较发育, 岩质硬。超前水平钻探施工见图 2。



图 2 超前水平钻探施工

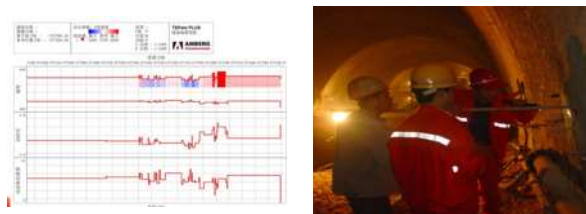


图 3 隧道 TSP 超前地质预报工作图

## 2.4 TSP 地震波探测

此段落在隧道 DK577+390.5 的位置右侧边墙布置 1 个接收孔, 孔径为 45mm, 接收孔深度为 1.7m, 孔口高度为 1.55m, 在 DK577+390.5 ~ DK577+436 段的右侧壁布置 24 个激发炮孔, 分别激发地震波, 每孔间距 1.45m, 孔径 45mm, 孔深 1.34 ~ 1.63m 不等, 所有激发孔装填药量均为 90 ~ 100g, 激发炮孔的高度应在底板上方约 1.3m。

根据 TSP 地震波探测系统原理, 把距离隧道轴线近 - 能量大的反射波组判释为围岩异常区, 结合地震波速、反射波相位、泊松比和杨氏模量等参数对围岩异常的类别进行类划分。将现场采集的资料传输到计算机, 对原始数据进行处理。根据爆炸点、检波器的距离分别计算各段围岩的纵波波速  $V_p$  和横波波速  $V_s$ , 根据  $V_p$  和  $V_s$  值可直接计算动力学参数, 以及计算动弹性模量  $W_d$ 、动剪切模量  $G_d$  和泊松比  $\nu_d$ , 其计算公式如式:

$$W_d = \rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2) / (V_p^2 - 4V_s^2)$$

$$G_d = \rho V_s^2 (1)$$

$$\nu_d = (V_p^2 - 2V_s^2) / 2 (V_p^2 - V_s^2)$$

根据绕射重叠法原理, 即可计算得到反射截面与隧道的相对位置, 即与隧道轴线的交角或至掌子面的距离。

## 3 超前地质预报结论

综合阿尔金山隧道 DK577+390.5 ~ DK577+247 段地质编录法、超前钻探、地震波法等预报成果, 结合掌子面加深炮孔成果和地形地貌相关资料, 综合地质预报结论如下。

图 4 为 TSP 地震波探测得到的反射层位及物性参数探测结果。DK577+390.5 ~ DK577+314 该段主要为白云岩, 岩体完整, 局部较完整, 节理较发育, 基岩裂隙水较发育, 地质条件好; DK577+314 ~ DK577+278 该段

围岩较前一段围岩的地质情况变差, 即该段围岩岩体较完整, 整体围岩稳定性较好, 节理裂隙较发育, 地质条件一般, 且节理裂隙水发。DK577+278 ~ DK577+245 该段围岩较前一段围岩的地质情况稍好, 即该段围岩岩体较完整, 围岩稳定性较好, 局部节理裂隙水较发育。建议施工时注意围岩变化, 预防拱顶掉渣、掉块、渗水, 根据围岩情况合理安排施工进尺, 确保施工安全。

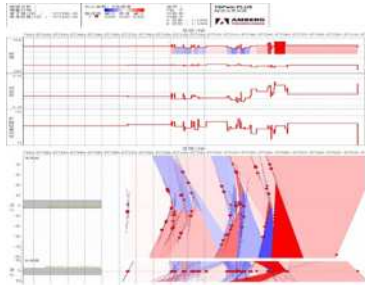


图 4 岩石力学参数反演曲线与 TSP 二维速度反演视图

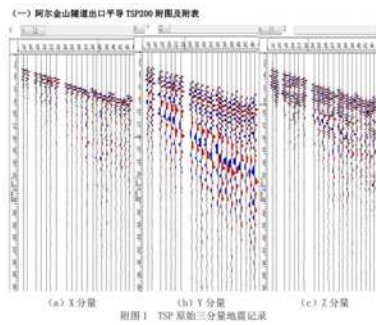


图 5 TSP 原始三分量地震记录

#### 4 结束语

通过阿尔金山特长隧道综合预报方法综合实践, 为以后特长高原高寒隧道施工预报总结了宝贵经验, 通过超前地质预报综合分析, 需要地质人员对现场实际开挖施工的掌子面情况进行评估与判断, 及参照各种物探探测方法结论相对比结合分析, 提高了预报的准确性。对超前地质预报信息进行综合分析、相互验证, 对隧道掌子面前方不良地质进行预报, 使得该工程提前采取相应对策和措施, 保证了隧道施工的安全。

#### 【参考文献】

- [1] 潘多. 综合超前地质预报在隧道工程中的应用 [J]. 现代城市轨道交通, 2020(03):72-75.
- [2] 朱宝山, 巨朝晖, 葛振宗. 综合超前地质预报在贵阳地铁某隧道中的应用 [J]. 勘察科学技术, 2019(06):55-57+61.
- [3] 姚林林, 张世殊, 崔中涛, 彭仕雄. 双护盾 TBM 施工综合超前地质预报技术探讨 [J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(05): 1549-1556.