

音频大地电磁法 (AMT) 在隧道勘察中的应用

杨庆华

江西省地质调查勘查院矿产勘查所

摘要: 高密度电法在工程勘察中数据采集快, 分辨率高, 数据量大, 是一种比较常用的隧道勘察方法, 但由于勘探深度的局限性, 在埋深比较大的隧道中不适用, 本文采用音频大地电磁法对瑞丽至孟连高速公路 SJ-3 标段勐捧隧道左线轴线 (ZK170+390~ZK182+700 段) 进行不良地质体的勘探, 勘探深度可以达到几百米到上千米, 能够较清楚和完整的探测隧道的整体结构。

关键词: 音频大地电磁法 (AMT); 深大隧道; 不良地质体; 整体结构

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.12.110

一、工区地理位置

隧道位于临沧市镇康县勐捧镇, 隧道进口位于勐捧镇忙耿新村后半山坡上, 有机耕道直达洞口附近, 交通较便利; 隧道终点位于勐捧镇响水龙洞附近, 有机耕道直达洞口附近, 交通较为便利。隧址穿越三台山山区, 穿过凹子寨、岭岗寨、南梳坝村所在山体, 区内地形切割强烈, 部分地段人迹罕至, 洼地处人烟较多, 交通较为便利, 图1为工区地貌图。

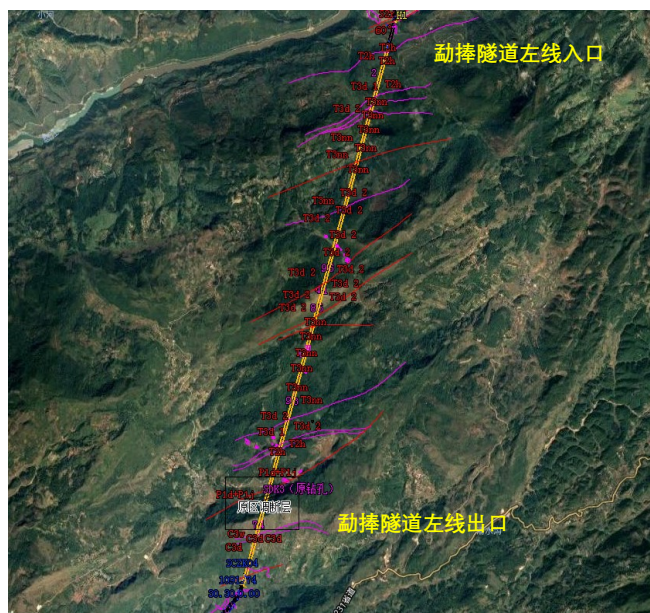


图1 工区地形地貌图

二、地层及构造

(一) 地层

隧道穿越区出露地层主要为古生界石炭系 (C)、二叠系 (P) 和三叠系 (T) 地层以及中山间盆地分布的各种成因类型的第四系地层, 地质岩性从老到新分述如下:

(1) 石炭系 (C)

C₃d (石炭系上统丁家寨组): 砂砾岩、砂岩、页岩夹灰岩。主要分布在隧址区 ZK181+560~ZK182+245。

下段: 灰黄色含砾泥质不等粒砂岩、灰绿、浅灰、黄绿色含砾泥岩, 厚 20~265.6m。

中段: 灰、灰黑色泥质粉砂岩夹灰黄色泥质灰岩、深灰、灰黑色中层泥、灰质生物碎屑粉砂岩、灰绿、黄色页岩。厚 42~375m。

上段: 灰色中层生物碎屑灰岩、生物结晶灰岩、深灰色砂质泥岩、浅灰、灰色中层生物碎屑灰岩。局部地区还可夹含细砾砂岩, 厚 0~164m。

C₃w (石炭系上统卧牛寺组): 玄武岩夹凝灰岩、页岩灰岩扁豆体

灰绿色玻基玄武岩、致密状玄武岩, 下段: 褐黄、暗灰绿色含砾粉砂质泥岩、含砾泥质粉砂岩、含砾板岩、含砾粉砂质板岩, 夹灰白色厚层-块状中粒长石石英砂岩, 厚度在 434.5~900m。中段: 灰、深灰、黑、褐黄色泥岩、页岩、粉砂质泥岩、粉砂岩夹长石石英砂岩; 或板岩、砂质板岩、变质粉砂岩、变质砂岩。厚 360~780m。上段: 灰白、黄灰、灰色结晶、灰岩生物碎屑灰岩、结晶生物碎屑灰岩, 厚 59m。主要分布在隧址区 ZK181+476~ZK181+560。

(2) 二叠系 (P)

P₁d+P₁j (二叠系下统大凹子组、尖山组): 灰色中厚层灰岩、泥质灰岩夹白云质灰岩, 含燧石结核。灰、浅灰色厚层-块状灰岩、白云质灰岩, 夹鲕状灰岩及白云质团块灰岩。厚 656~743m。主要分布在隧址区 ZK180+442~ZK181+476。

(3) 三叠系 (T)

T₂h (三叠系中统河湾街组): 块状白云岩主要岩性为白云岩, 俗称“破灰岩”, 有时含泥质, 一般厚度 500m 左右, 上部为灰岩。主要分布在隧址区 ZK170+573~ZK171+595、ZK179+554~ZK180+442。

T₃d¹ (三叠系上统大水塘组下段): 玄武岩、鞍山玄武岩、页岩夹少了灰色灰岩夹生物碎屑岩, 一般厚度 300~400m。主要分布在隧址区 ZK171+595~ZK171+780、ZK179+422~ZK179+554。

T₃d² (三叠系上统大水塘组上段): 灰岩、含燧石灰岩。主要分布在隧址区 ZK171+780~ZK171+940、ZK178+884~ZK179+422。

T₃nn (中生界-三叠系-上统-南梳坝组): 岩性为黄绿色粉砂质泥岩、钙质泥岩、泥灰岩为主夹两层灰岩。灰岩横向变化较大, 每层最厚可达 100m。该组厚一般为 800~1400m。主要分布在隧址区 ZK171+940~ZK174+080、ZK176+544~ZK178+884。

(4) 第四系 (Q)

Qh (新生界-第四系-全新统)：崩坡积、残坡积、冲积、洪积、砾、砂、粉质黏土，红黏土、碎石土等。

(二) 构造

隧址区域上处于青藏滇缅“歹”字型构造体系东支与云南山字型构造体系、川滇经向构造及南岭纬向构造体系交接地带，地质构造复杂。在漫长的地史时期，经历了多次构造运动，形成了不同方向、不同性质的构造形迹，隧址区主要构造形迹有褶皱（向斜、背斜）和断裂构造。

三、地球物理特征

音频大地电磁法（AMT）是以电阻率的差异来区分岩性及构造体并根据电阻率值的大小以及在地下的展布形式来识别地下地质体的空间分布和性质的一种物探方法^{[1][2]}。一般来说，基岩与第四系上覆层的电阻率值有较大差异，致密灰岩电阻率从几千欧姆·米到几万欧姆·米不等，基岩中的各种岩溶、溶蚀、断裂破碎带由于含水、泥，电阻率相对于围岩电阻率较低，这种物性差异（如波速、电性差异）为开展AMT音频大地电磁测深法查找断层、破碎带、岩溶发育区等勘探工作提供了有利

的地球物理条件。

隧道段基岩主要为灰岩，而灰岩与第四系覆盖层电性差异较大，以上电性差异为采用AMT大地电磁测深法划分基岩与风化层界线、破碎带、岩溶发育区等地质构造体提供了地球物理依据^{[3][4]}。

四、应用效果

(一) 总体分析

在勐捧隧道左线轴线施工音频大地电磁法物理点285个，测线长度为11.36公里，是一条长隧道。通过数据编辑、预处理、二维反演等一系列数据处理过程得到勐捧隧道左线轴线音频大地电磁法（AMT）成果图，如图2所示。

根据成果图分析，该隧道表层整体上风化特征明显，第四系覆盖层厚薄不一；在山顶及分水岭附近可见灰岩风化残留或灰岩基岩出露，电阻率在200~800欧姆·米之间，电阻率变化较小。

隧道入口及洞身大部分地段为灰岩，电阻率在1500~6000欧姆·米之间，其中在ZK172+140~ZK172+520段、ZK177+200~ZK177+390段、ZK177+530~ZK177+690

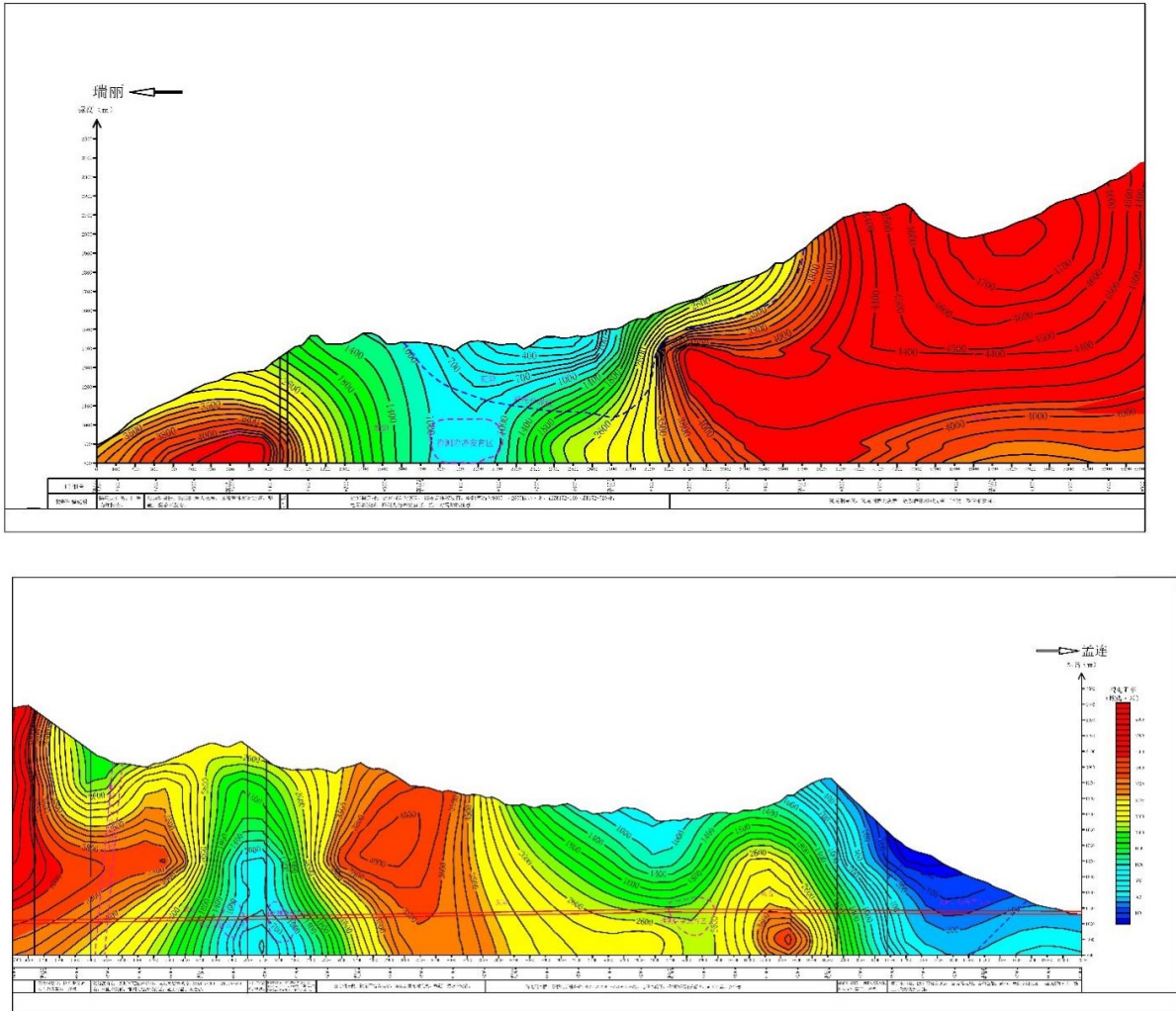


图2 勐捧隧道左线轴线音频大地电磁法（AMT）成果图（上图ZK170+390~ZK175+900段，下图ZK175+900~ZK182+700段）

段、ZK179+980~ZK180+360段呈低阻异常,电阻率在600~2000欧姆·米之间,可能为岩溶发育区所在位置;隧道洞身ZK176+440~ZK176+500段呈低阻异常,结合地质及勘察资料,推测为断裂破碎带;隧道上部ZK172+000~ZK174+100段、1425~1924米高程部位存在一低阻异常区,视电阻率值范围为400~2600欧姆·米,结合地质资料,推测该段为忙耿向斜段页岩(T_3nn)。

在隧道洞身及出口附近的ZK181+150~ZK182+700段电阻率值普遍偏低,电阻率值多在600欧姆·米以下。根据地质资料及野外观测可知该段地质情况复杂,存在生物碎屑灰岩、页岩、砂岩等,岩石较破碎,表现为低阻特征。其中ZK181+470~ZK182+290段可能为松散的页岩、泥岩等互层。

(二) 勐捧隧道分段分析

(1) ZK170+390~ZK170+640段:隧道进口地段,地形较陡峭,地表植被发育,以灌木和农作物(甘蔗)为主。根据路线工程地质踏勘情况,隧道进口段地表出露第四系覆盖层(Q),覆盖层较薄,部分测段可见灰岩滚石。由成果图可知,该段电阻率较高,电阻率值在3000~4000欧姆·米之间,说明岩体相对完整,裂隙发育较少。

(2) ZK170+640~ZK171+390段:隧道洞身段,地形较陡峭,地表植被发育,以灌木和农作物(甘蔗)为主。由成果图可知,该段视电阻率较高,电阻率值在3000~4600欧姆·米之间,说明岩体相对完整,裂隙发育较少。

(3) ZK171+390~ZK173+396段:隧道洞身段,地形较陡峭,地表植被发育,部分测段穿过村庄,可能存在一定的电磁干扰。由成果图可知,该测段电阻率较低,电阻率值在400~2200欧姆·米之间,推测该段灰岩岩溶较发育,岩体较破碎。其中在ZK172+140~ZK172+520段,存在一相对低阻异常区,电阻率相对较低,推测为岩溶发育区,施工时需加以注意。其中,隧道上部ZK172+000~ZK174+100段、1425~1924米高程部位存在一低阻异常区,电阻率值范围为400~2600欧姆·米,结合地质资料,推测该段为忙耿向斜段页岩(T_3nn)。该段岩体较破碎,含水率较高,施工时需要注意突水情况发生。

(4) ZK173+396~ZK176+390段:隧道洞身段,地形及其陡峭,地表植被发育,隧道洞身地表出露第四系覆盖层(Q),覆盖层较薄,部分测段可见灰岩滚石,在山顶可见灰岩基岩出露。由成果图可知,该段电阻率较高,电阻率值在3000~4600欧姆·米之间,说明岩体相对完整,裂隙不发育。

(5) ZK176+390~ZK177+830段:隧道洞身段,地形较陡峭,地表植被发育,隧道洞身地表多为第四系覆盖层,覆盖层较薄,测线沿途局部可见岩溶溶蚀残留。由成果图可知,该段电阻率较低,电阻率值在500~2800欧姆·米之间,说明岩体破碎或岩溶发育。其中,在ZK176+550~ZK176+620段,存在一带状低阻异常区,推测为断层破碎带;在ZK177+200~ZK177+390段、

ZK177+530~ZK177+690段均存在电阻率低值异常区,结合地质及工程地质踏勘情况,推测为岩溶发育区,施工时需加以注意。

(6) ZK177+830~ZK178+900段:隧道洞身段,地形较陡峭,地表植被发育,部分测段可见灰岩滚石及基岩出露。由成果图可知,该段电阻率较高,电阻率值在1600~4000欧姆·米之间,说明岩体相对完整,裂隙不发育。

(7) ZK178+900~ZK181+150段:隧道洞身段,地形较陡峭,地表植被发育,隧道洞身地表多为第四系覆盖层,测线沿途局部偶见灰岩滚石及基岩出露。由成果图可知,该段电阻率较低,电阻率值在1000~2800欧姆·米之间,说明岩溶较发育。其中,在ZK180+100~ZK180+400段存在电阻率低值异常区,结合地质及工程地质踏勘情况,推测为岩溶发育区,施工时需加以注意。

(8) ZK181+500~ZK182+700段:隧道洞身段,地形较陡峭,地表植被发育,部分测段可见强风化页岩出露,风化页岩极其破碎,其中ZK181+470~ZK182+290段可能为松散的页岩、泥岩等互层。由成果图可知,该段电阻率较低,电阻率值在50~400欧姆·米之间,推测该段岩体极破碎、含水,施工时需严格检测岩体含水量变化,以防突水事故发生。

五、结论

通过使用加拿大凤凰地球物理公司的MTU-5A和V8系列多功能大地电磁测深系统对瑞丽至孟连高速公路SJ-3标段勐捧隧道左线轴线(ZK170+390~ZK182+700段)进行了深部勘探,查明了岩溶、软弱带及富水区的分布位置情况;地质构造、断层破碎带分布位置及影响范围;岩土分界线、可溶岩与非可溶岩的分界线;并解译了断层破碎带、岩溶发育区的分布位置及影响范围,为路线及隧道设计提供了基础资料。

勐捧隧道左线轴线(ZK170+390~ZK182+700)音频大地电磁法勘探成果图与初勘已有勐捧隧道(K170+400~K182+630)音频大地电磁法勘探成果图的异常位置、电性界面基本吻合,位置对应较好,断裂破碎带及岩溶发育区,岩性界面等地质体界线对应效果较好。

参考文献

- [1] 武斌. 松潘甘孜地区地热资源的地球物理勘探研究: [学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2013.
- [2] 柳建新, 麻昌英, 孙丽影, 等. 可控源音频大地电磁测深法在地热勘探中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2014, 11(03): 319-325.
- [3] 范尧, 邹连庆, 张泽平, 等. 综合物探方法在复杂断层区调查中的应用分析[J]. 物探化探计算技术, 2017, 39(04): 474-483.
- [4] 葛双成, 江影, 颜学军. 综合物探技术在堤坝隐患探测中的应用[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(1): 263-272.