

高密度电法在光伏升压站地质勘察中的应用

刘永 毛吉成 甘小迎 邓杰文 杨建华

中国电建集团贵州电力设计研究院有限公司, 贵州 贵阳 550002

[摘要]将高密度电法用于北盘江峡谷某光伏升压站岩土层划分与溶蚀破碎带探测, 简述了站址区地质地球物理特征, 采用数值计算方法模拟了均匀层状介质与非均匀层状介质下的电下介质电阻率响应特性。分析了典型电法测线的电阻率剖面成果, 结果表明: 高密度电法具有较高的测量精度和效率, 能够有效划分岩土层, 灰岩深度范围内电阻率值横向变化大且呈现低阻的区域对应岩体溶蚀破碎区域, 研究成果可为光伏升压站地质勘察精度的提高提供参考。

[关键词]光伏升压站; 高密度电法; 岩土层划分; 溶蚀探测

DOI: 10.33142/hst.v6i8.10148

中图分类号: P631.3

文献标识码: A

Application of High Density Electrical Method in Geological Survey of Photovoltaic Booster Station

LIU Yong, MAO Jicheng, GAN Xiaoying, DENG Jiewen, YANG Jianhua

PowerChina Guizhou Electric Power Engineering Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550002, China

Abstract: The high-density electrical method was used to divide the rock and soil layers of a photovoltaic booster station in the Beipanjiang gorge and detect the dissolution and fragmentation zone. The geological and geophysical characteristics of the station site area were briefly described, and numerical calculation methods were used to simulate the electrical resistivity response characteristics of homogeneous and non-uniform layered media. The resistivity profile results of typical electrical measurement lines were analyzed, and the results showed that high-density electrical methods have high measurement accuracy and efficiency, and can effectively divide rock and soil layers. Areas with large lateral changes in resistivity values and low resistance within the depth range of limestone correspond to areas of rock dissolution and fragmentation. The research results can provide reference for improving the geological survey accuracy of photovoltaic booster stations.

Keywords: photovoltaic booster station; high density electrical method; division of rock and soil layers; corrosion detection

引言

光伏升压站作为一种重要的能源开发方式, 在能源产业中具有重要的地位。光伏升压站的设计和施工需要了解地下岩土层的情况, 尤其是溶蚀带的位置和范围对于光伏升压站的设计和施工具有重要意义。高密度电法^[1-5]是一种通过测量地下电阻率分布来研究地下岩土层的方法。通过在光伏升压站工程现场布设电极, 以一定的电流和电压进行测量, 得到地下岩土层的电阻率分布情况。该方法具有较高的分辨率和深度探测能力, 本文研究的目的是通过高密度电法对光伏升压站岩土层进行划分, 并探测溶蚀带的位置和范围, 通过对光伏升压站地下情况的全面认识, 为光伏升压站的设计和施工提供重要的参考依据。

1 测区地质地球物理特征

晴隆县属高原峡谷区, 最高点为县境西南隅与普安县交界处大厂镇的五月朝天以北约 1km 处, 海拔 2025m, 最低点麻沙河与北盘江汇合处, 海拔 543m, 海拔高差达 1482m。因受北盘江及其支流的强烈切割, 切深长达 500~700m, 属深切切割岩溶侵蚀山区。因此, 全县地形起伏大, 具有“山高坡陡谷深”的特点, 地貌类型有低山、低中山、中山和高中山。石山地区岩溶发育强烈, 伏流、地下河床、

溶洞、落水洞、竖林、岩溶干沟等极为普遍。如图 3.2 为本工程区域地形地貌图。

拟建站址位于构造剥蚀低山北盘江峡谷南部岸坡填方平台和原始坡地之上, 整体地形开阔平坦, 站区北部紧邻北盘江岸坡, 拟建升压站围墙北部最近处距北盘江直线距离约 90m, 与江面垂直高差约 100m, 场地一半区域(主要靠近北盘江一侧)主要为弃土块石形成的填方平台, 站址南侧区域为原始坡地, 基岩出露, 为泥质白云岩, 勘察期间为地表为杂树、杂草, 勘察后期经挖机清表挖除地表树木、杂草。站址北侧为填方边坡, 坡率为 1:1.0。站址围墙范围内地面高程约 629.7m~647m 之间, 相对高差约为 17m, 地形起伏不大。

场地出露地层主要为回填碎石土层、三叠系中统杨柳井组(T_2y)泥质白云岩。现将拟建站址范围内涉及地层由新至老分述如下:

(1) 回填碎石土层(Q_4^{ml}): 主要为灰色、黄色, 为块石, 级配差, 以棱角状为主, 最大粒径 1500mm, 块石排列杂乱无章, 碎石成分为灰岩、部分为混凝土碎块, 充填部分黏土, 密实程度为中密, 厚度为 7m~26m, 主要分布在站址中部及北侧, 回填时间约为 16 年, 回填碎石土

层如图 1 所示。

(2) 三叠系中统杨柳井组 (T_{2y}) 泥质白云岩: 浅灰、灰白色, 中厚层状~块状, 表层 1~2m 为强风化, 节理裂隙发育, 岩体多发育溶孔, 岩芯多呈碎块状~短柱状, 下部为中风化层, 节理裂隙较发育, 岩体较破碎, 为较软岩, 岩体基本质量等级为 IV, 产状约 $60^{\circ} \sim 80^{\circ} \angle 30^{\circ} \sim 40^{\circ}$, 主要分布于站址南侧, 约占场地总面积的 50%。



图 1 站址回填碎石及块石

根据地质调查及钻孔地质资料分析, 整个场地回填土层层较厚, 而回填层均为碎石或块石, 较为松散, 孔隙率较大, 导电性一般较差 (视电阻率一般为 $500 \sim 2000 \Omega \cdot m$), 在电性剖面上通常表现为高阻特征。在长期雨水冲刷作用下, 回填层与下伏基岩之间的空隙会填充雨水带来的淤泥, 故而导致上部填土与下伏基岩存在一层低阻层。下伏地层为泥质白云岩, 一般表现为中阻或高阻特征, 其导电性较差。由于场地回填土较厚, 分布相对较均匀, 各岩土层在视电阻率实测及反演断面图横向上连续性较好, 纵向变化相对较均匀。本次高密度电法勘探主要任务就是根据均匀连续的视电阻率差异来确定回填层及各岩土层界限分布。这种物性差异, 为利用高密度电法查明测区内回填层厚度分布提供了良好的电性前提。

2 层状介质电阻率法正演模拟

由于表层填土与下伏岩土层孔隙率存在明显差异, 表层填土相对较疏松, 孔隙率较大, 越往地层深部, 岩土层相对较致密, 孔隙率则较小, 因此, 表层疏松岩土层视电阻率与下伏致密岩土层存在明显差异。

由于雨水的长期冲刷作用, 回填层与下伏基岩接触面之间的空隙会填充雨水带来的淤泥, 故而导致上部填土与下伏基岩存在一层低阻层。为了给野外工作提供理论依据及解译指导, 以及简单明了刻画各岩土层视电阻率在电性剖面上的特征, 建立了如下图 2 中的均匀层状介质模型, 其中中部夹一层低阻夹层, 利用有限元法正演计算其视电阻率模型, 如图 2 (b) 所示, 其电性剖面与实际模型特征基本吻合, 经过反演处理后得到如图 2 (c) 所示的反演电阻率剖面, 其刻画出来的电阻率特征更接近实际地层模型。为了更接近实际地层情况, 建立了相对简单的非均匀地层模型, 如图 3 (a) 所示, 模型表层存在两处孤石模型, 利用有限元法正演计算其视电阻率模型, 如图 3 (b) 所示, 其电性剖面由于受高阻孤石的影响, 计算得到的视电阻率在高阻区对应位置从表层至底部均表现为高阻特

征, 与实际模型特征横向基本吻合, 但是纵向上由于高阻屏蔽影响, 知识对应底部也表现为高阻区, 但是经过反演处理后得到如图 3 (c) 所示的反演电阻率剖面, 其刻画出来的电阻率特征分界线更明显, 更接近实际地层模型。因此在物性参数反演上特征明显而比较容易被识别出来。若仅依靠实测的视电阻率剖面则可能会造成对地下岩土层探测的分析解译出现误判或漏判等现象, 严重影响工程建设的开展。因此, 在特定条件下, 理论上分析不同模型岩土构成的电阻率成像反演特征有望解决这一复杂的岩土地质问题, 对生产实践的指导具有一定的现实意义。

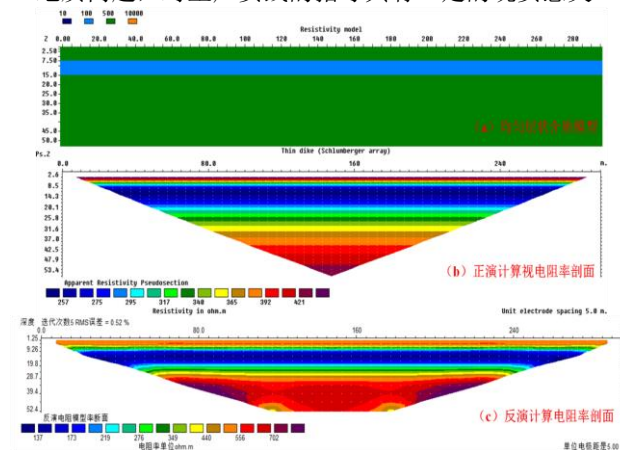


图 2 Mod1 电阻率模型 (a) 及其正演视电阻率剖面 (b) 反演成像断面图 (c)

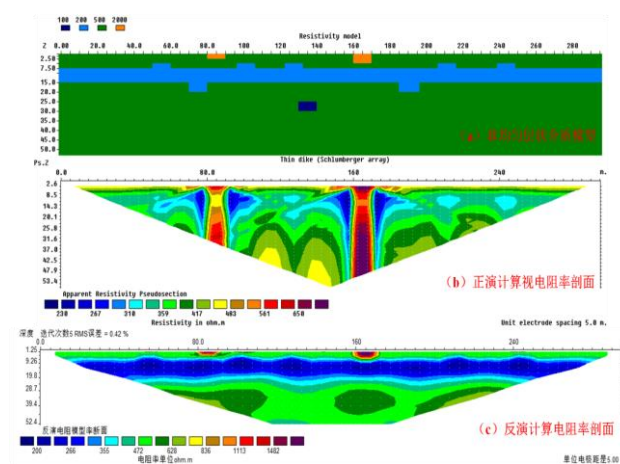


图 3 Mod2 电阻率模型 (a) 及其正演视电阻率剖面 (b) 反演成像断面图 (c)

3 典型高密度电法测线成果解释

为了查明站址场地回填层厚度等地质问题, 合理地评价场地区域的稳定性, 根据现场地质情况布置了 4 条测线: WT1、WT2、WT3、WT4, 呈东西向展布。首先, 测区内测线布设通过测量人员放点+手持式 GPS+测绳 (皮尺) 方式进行, 对手持式 GPS 进行了校正。其次, 各剖面的端点、剖面间隔 10m 的点位均采用测量人员放点。各电极点、炮点和检波点布置采用罗盘定向、测绳 (皮尺) 丈量相结合定

出,并用手持式GPS记录各点高程数据。在地形平坦地段采用电缆标记,当地形复杂,电缆标记不能满足精度要求时,采用测绳及皮尺丈量。东西向测线主要为WT1、WT2、WT3与WT4四条测线,电阻率响应结果具有一定相似性,现仅对典型电法剖面WT1、WT2进行分析,图4、图5分别为WT1及WT2测线视电阻率等值线图及反演剖面图,剖面地层纵向表现为由新近回填碎石、块石及泥质白云岩。结合地面调查及钻孔揭露岩土剖面特征,根据两种反演拟断面(图4、图5所示)及岩土电阻率差异对比分析可知:

(1) 浅部岩土实测视电阻率稍高,大约为 $200\sim 600\Omega\cdot\text{m}$,主要为回填碎石、块石,厚度分布较均匀,约 $8.0\sim 9.0\text{m}$,中部存在一低阻层,视电阻率为 $100\sim 160\Omega\cdot\text{m}$,反演电阻率为 $34\sim 160\Omega\cdot\text{m}$,根据钻孔资料及地质调查显示,综合推测为局部含黏土回填或南侧冲沟常年冲刷带来的泥质填充于块石空隙中,回填层深度约 $16\sim 26\text{m}$,如图中黑色点画线所示。

(2) 根据实测数据统计,东西向测线 $0\sim 8\text{m}$ 深度范围内的岩土视电阻率最大值为 $600\Omega\cdot\text{m}$,最小值为 $200\Omega\cdot\text{m}$,平均值 $486\Omega\cdot\text{m}$; $9\sim 20\text{m}$ 深度范围内的岩土视电阻率最大值为 $160\Omega\cdot\text{m}$,最小值为 $34\Omega\cdot\text{m}$,平均电阻率为 $98\Omega\cdot\text{m}$ 。

(3) 根据东西向测线各装置实测及反演视电阻率断面特征分析可知,剖面底部岩土视电阻率稍高,且分布均匀,推断主要为底部基岩所致,局部位置存在岩溶裂隙破碎带,如图中红色虚线框所示。

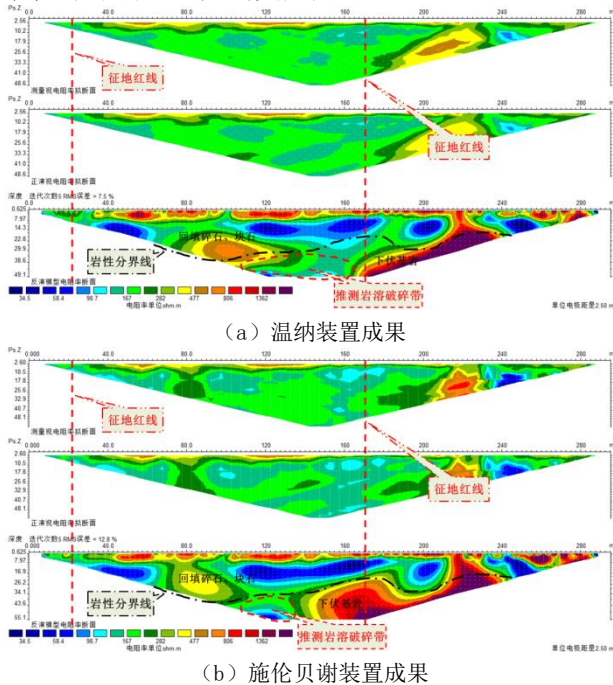


图4 WT1测线电阻率等值线图及反演剖面图

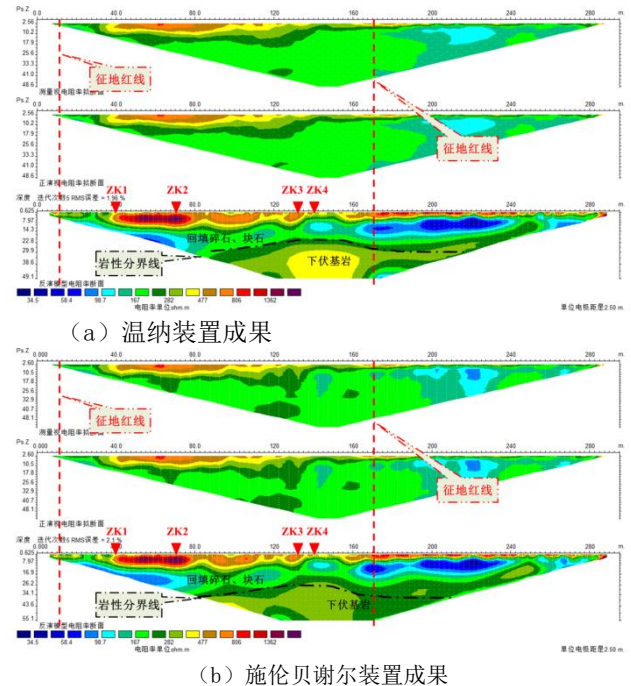


图5 WT2测线视电阻率等值线图及反演剖面图

4 结论

通过本次物探工作后,对测区内的岩土空间分布形态、地质结构情况、覆盖层厚度有了基本查明,根据站址场地高密度电法剖面电性变化特征,对测线范围内的回填层厚度及分布进行了深入细致的分析,测区范围内回填层厚度变化较大,约 $9\sim 26\text{m}$ 。场地底部局部存在岩溶裂隙破碎带。由于站址场地北侧受回填边坡限制,西侧受公路限制,南侧受废弃厂房限制,未能呈井字形布置测线。因此场地测线外侧岩土结构特征建议结合钻孔综合判定,从而为设计提供更准确的岩土基础资料。

【参考文献】

- [1]王龙,万晓峰,韩鹏.物探综合方法在岩溶区岩土工程勘察和施工中的应用[J].西部探矿工程,2023,35(9):1-4.
- [2]钟晓婷.高密度电法测量在洞桥镇地质灾害风险调查中的应用[J].西部资源,2023(4):123-126.
- [3]田银川,李欣泽,谢小国等.高密度电法在四川某滑坡勘察中的应用[J].勘察科学技术,2023(4):57-60.
- [4]李智源.高密度电法在水利水电工程地质勘察中的应用[J].工程与建设,2023,37(4):1129-1131.
- [5]吴荣新,姜寒阳,欧元超等.地形影响下溶洞电法探查数值模拟分析[J].河南理工大学学报(自然科学版),2023,42(4):55-63.

作者简介:刘永(1986—),男,贵州贵阳人,高级工程师,硕士,主要从事工程地质、岩土工程及其相关工作。