

电法联合探测在地震安全性评价中的应用

王爱国^{1,2} 王大雁¹ 柳 誉²

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室 兰州市 730000

2. 甘肃省地震局 兰州市 730000)

摘要 该文论述了地震安全性评价工作中对物探的需求,并通过实例阐述了电法联合探测在重大工程场地厂址选择、场地工程地震条件评价、场地隐伏断层探测及活动性评价等方面的应用。实践表明,电法联合探测作为一种无损、价廉、快速的物探方法,综合利用了联合剖面法对异常反应直观与高密度电法资料采集丰富的特点,在工程场地地震安全性评价中有非常实用的价值。

关键词 电法勘探 高密度电法 联合剖面法 地震安全性评价

Application of Synthesis Electrical Prospecting in Earthquake Safety Evaluation of Engineering Site

Wang Aiguo^{1,2} Wang Dayan¹ Liu Yu²

(1. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS 2. Gansu Seismological Bureau)

Abstract This article discusses the demand of geophysical prospecting in earthquake safety evaluation of engineering site and illustrates the application of synthesis electrical prospecting to the selection of engineering site, evaluation of site engineering earthquake conditions and the detection of buried fault. The cases show that the synthesis electrical prospecting comprehensively utilizes the abundant information of high-density resistivity survey and directly shows abnormal body of composite profile and is favorable for data interpretation. It is non-destructive, low-cost and quick-constructed, and it is valued in earthquake safety evaluation work.

Keywords electrical prospecting; high-density resistivity tomography; composite profile; earthquake safety evaluation

1 引言

浅层直流电法中常用的有联合剖面法与高密度电法。这两种方法都是通过分析测得的地层电性差异来判断地下结构变化。由于联合剖面法根据电极距组合只能反映地下一定深度范围内的地电阻率变化,虽对异常反应直观,但有多解性,且做常规联合剖面时需铺设 5 根电线,分别连接 A、B、M、N 和无穷远极,每测一个点, A、B、M、N 四个电极都需要移动一次,费时、费力,影响工作效率,而且很难满足测点间

距的要求;而高密度电法具有电极布设一次完成、电极排列方式可变、数据采集自动化或半自动化、数据地质信息丰富、解释方便等特点,但对异常的判断往往需要有很强的经验。因此,实际应用中常常综合利用两者的优点,进行联合探测,以提高解译的准确度。

重大工程场地地震安全性评价工作所涉及到的工程场地选址、场地工程地震条件评价、场地隐伏断层探测及活动性评价等方面的问题,均需要对拟选的工程场地地下浅层情况有详细了解。这些方面的工作通过钻探、物探及化探等方法来完成。这些探测方法在工程造价、探测范围(点、面)、地下结构直观反映、资料解译可靠程度等方面各有优势和不足。在工程实践中,我们发现浅层直流电法作为一种无损探测方法造价低廉、采集资料丰富、解译可靠程度高、野外工作相对简单易行,在重大工程场地地震安全性评价

基金项目:“973”国家重点基础研究发展规划项目(2002CB412704);中国科学院知识创新工程重大项目资助(No. KZCX1-SW-04);国家自然科学基金重大项目(90102006)。

作者简介:王爱国,男,1972 年生,副研究员,主要从事地震地质、工程地震、寒区工程方面的研究。

收稿日期:2005-08-12

工作中可以广泛应用。特别是城市活断层评价工作开展以来,该方法以其特有优势更是得到了重视和应用^[1~4]。这里通过实例对该方法在工程场地地震安全性评价中的应用范围及所需注意的问题进行详述,供同行们借鉴和参考。

2 工程场地地震安全性评价中对物探的需求

工程场地的地震安全性评价工作中,很多方面需要物探工作。浅层电法联合探测主要应用于以下方面。

2.1 工程场地选址

工程场地位置对于工程建筑体的抗震设计起很大作用。《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)规定选择建筑场地时,应将场地划分为对建筑抗震有利、不利和危险的地段。作为场地划分标志的地质、地形和地貌条件,有些是在野外可以直接判断的,但有些却必须进行勘查才能确定,如古河道、隐伏断层破碎带、暗埋的塘滨沟谷、阶地与老冲洪积扇的边缘过渡带、溶洞等。特别是对重大工程建筑场地,如核电站、火力发电厂、军工厂、化工厂等占地范围大、地震后可能发生严重次生灾害的重大建筑工程场地,在前期的选址工作中,这一工作尤其重要。《核电厂抗震设计规范》(GB50267-97)就明确规定,“不应选取在水平方向上由力学性质差异很大的岩土,也不应选取一部分为人工地基而另一部分为天然地基作为同一结构单元的地基”;“不应选取由软土、液化土或填土等构成物项的地基”。浅层电法作为价格低廉、解译精度高、工作进程快的勘探方法,在这些方面的探测中能发挥重要作用。

另外,某些特殊工程场地,如地电观测台站,对场地地基一定深度范围内的电性特征有明确要求,这类工程场地必须用浅层电法进行厂址确定。

2.2 场地工程地震条件评价

重大工程场地地震安全性评价工作中,场地工程地震条件是进行场地分类、场地地震反映分析及场地地震地质灾害评价的基础。在进行场地工程地震条件评价中,必须对场地进行勘查。勘查内容涉及到场地工程地质、水文地质、地形地貌和地质构造等方面^[6]。钻探可以满足一部分工作需求,但在缺乏钻探资料或资料不翔实的地区,必须借助物探手段。浅层电法勘探可作为辅助手段在以下方面发挥重要作用:

- 1) 确定场地覆盖层厚度及基岩顶面起伏。
- 2) 确定场地地层结构、场地土分层及各层顶底面埋深。该工作在地震小区划工作中尤为重要。

3) 确定场地地下水埋深及地下水含量的估计。地下水由于含盐往往为低阻体,地下水丰富地区,地下水埋深面成为地电阻率的明显分界面。

4) 确定不良地质体的位置,如溶洞、古河道、暗沟、古滑坡、地裂缝等。

5) 场地隐伏断层探测。

2.3 隐伏断层探测与活动性评价

场地隐伏断层探测作为场地选址、场地勘察工作的一部分必须单独进行说明,因为隐伏断层及其活动性评价对场地起着决定性作用。《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)第4.1.7条规定了工程场地存在断层及隐伏断层时需要进行场地避让的条件和避让距离;我国《核电厂厂址安全规定(HAF0101)》第6.3.5条(1994)规定:“当有可靠证据表明,可能存在对核电厂安全有潜在影响的能动断层时,建议考虑另选一个厂址。”一般来说,在核电厂厂址选择阶段,如果候选厂址半径5km范围内有能动断层存在,那么该候选厂址就应该放弃,另选别的厂址。同时,除上述工作要进行场地隐伏断层探测外,《工程场地地震安全性评价技术规范》(GB17741-1999)规定近场研究范围为工程场地及其外延25km的地区,近场区内应对主要断层进行详细地断层活动性鉴定,“在覆盖区应配合相应的地球物理和地球化学勘探方法,探明断层位置。”浅层电法探测作为一种简单易行的物探方法,在隐伏断层探测方面已有很多成功的实例^[1~4]。

3 电法联合探测应用实例

采用重庆奔腾数控技术研究所最新研制开发的WDJD-2多功能数字直流激电仪为工程电测主机,配以该所研制的WDZJ-1多路电极转换器构成高密度电阻率测量系统。再配以一套高密度电阻率数据二维反演软件RES2DINV,使用快速最小二乘法对电阻率数据进行反演。高密度电法测量中主要使用温纳装置;联合剖面法根据工程探测需要,采用多极距探测,以提高解译结果的可靠性。

3.1 古河道探测

某750kV变电所工程场地拟选厂址位于平坦的戈壁荒地上。场地岩层为巨厚第四系冲洪积砂砾石层。由于该区第四纪以来整体隆升运动强烈,河流多次改道,推测戈壁滩上存在多条古河道。在该场地进行探测过程中,主要针对古河道进行探测。

该区附近钻孔资料显示,地下水埋深大于100m,因此,浅层电阻率较大。由于古河道往往为砾石层组成,又缺水干燥,推测其为相对高阻体。图1为该场

地布设的高密度测线反演得到的电阻率剖面。剖面显示场地电阻率均在几百至上千欧姆米。测线显示在场地边缘存在一高阻体,电阻率值为几千欧姆米,与周围地层形成明显的电阻率差异,边界为弧形,推测其可能为古河道。为追踪其走向,在场地另一端布置其它测线,结果显示相似的特征,发现的高阻体边界不规整。根据多条测线探测,确定在场地南侧存在一宽约 230m,深约 70m 的古河道。古河道的确定为工程场地厂房布置提供了依据。

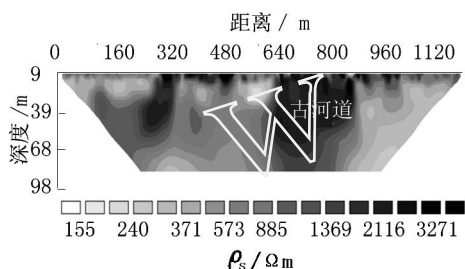


图 1 某变电所反演高密度电阻率断面及古河道解释

3.2 覆盖层厚度及基岩面探测

某火电厂工程场地位于内河河谷 T_1 级阶地,由于厂房地面面积大,从河谷至山根均为规划场地。在场地探测中,要求同时查明场地覆盖层厚度及基岩面。该场地现为耕地,地形平坦。地层分布第四系主要为河流阶地砾石层,上覆 1m 左右薄层黄土状亚砂土及壤土;下伏为白垩系紫红色泥岩、砂质泥岩与砂岩互层;基底为奥陶系灰岩。图 2 为穿越场地布置的顺河谷测线反演得到的地电阻率剖面。测线揭示工程场地地层明显分为 3 层,即厚约 11m 的阶地砾石层及壤土(Q_{3-4})、厚约 30~35m 的白垩系红层(K)与奥陶系灰岩(O)基底。垂直河谷测线也显示了相似的特征。场地地层在纵横方向上均平稳连续,没有岩性的水平突变,没有古河道和暗沟等不良地质体,属于对建筑抗震有利的工程场地。

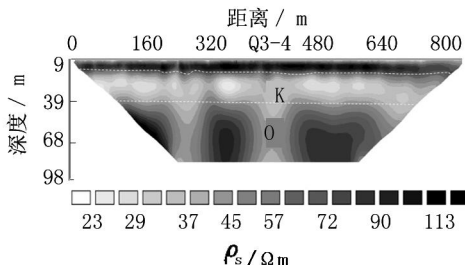


图 2 某火电厂反演高密度电阻率剖面及地层解释

3.3 场地地质条件与隐伏断层探测

图 3 为某火电站拟建工程场地平面图。该场地西北侧为线性展布的基岩山体;东南侧为平整的农田;场地东北侧有一条早中更新世活动断层 F_1 。为了

查明 F_1 是否向西南隐伏延伸及延伸具体方向和位置,同时也为了查明场地西北侧基岩山前是否存在断层,在该场地进行高密度电法与联合剖面的联合探测。场地共布置测线 3 条,其中测线 1-1 横跨基岩山体及工程场地,测线 2-2 与测线 3-3 作为对测线 1-1 的补充。

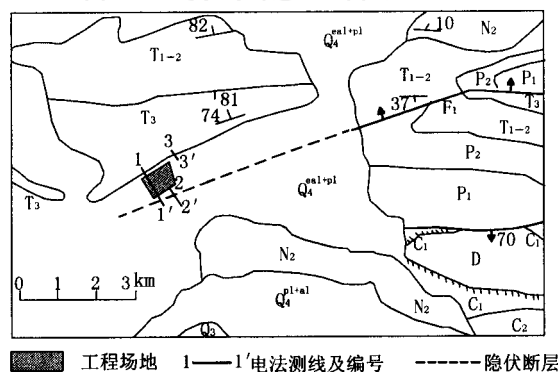


图 3 某火电站工程场地地质图及电法测线布置

图 4(a) 为测线 1-1 的高密度电阻率反演断面,由图可以看出工程场地所处位置为山间盆地,其东南侧基岩山体已被夷平为田;场地西北侧山前基岩高阻体连续展布,未见断层出露;测线 1010m 位置,即场地东南基岩突起前端,存在电阻率的高低突变,推测该处可能为 F_1' 断层延伸通过点。工程场地初勘钻孔显示,场地上覆第四系粉土层厚约 9~15m,其下为三叠系坚硬砂岩,与高密度电阻率断面所揭示特征一致。

图 4(b) 和图 4(c) 为测线 1-1 在 $MN=20m, OA=70m$ 与 $MN=40m, OA=140m$ 两种极距情况下的联合剖面曲线。由图可以看出,联合剖面所揭示地下特征与高密度断面一致,在测线起点及测线 980m 附近有基岩的隆起,形成中间相对低阻带,所以在该区段,存在一个正交点,分离带很长。在小极距情况下,联合剖面主要反映浅层电阻率特征, ρ_s^A 与 ρ_s^B 数值非常接近,没有断层异常出现;在大极距情况下,联合剖面反映出深部的电阻率变化特征,在测线 1010m 处经过基岩隆起后出现 ρ_s^A 与 ρ_s^B 的分叉,显示了深部电阻率在水平方向上的差异变化,对应了高密度断面所揭示的断层显示。

图 5 为测线 2-2 高密度电阻率反演剖面及不同极距下的联合剖面曲线。在高密度电阻率反演剖面上,断层界面显示更为清晰,证实了断层 F_1 的走向。小极距情况下的联合剖面曲线未揭示到断层特征,说明该处断层有一定埋深;而大极距情况下,在断层附近与出现明显分叉,由于受浅层低阻体的影响,曲线并不是很典型。

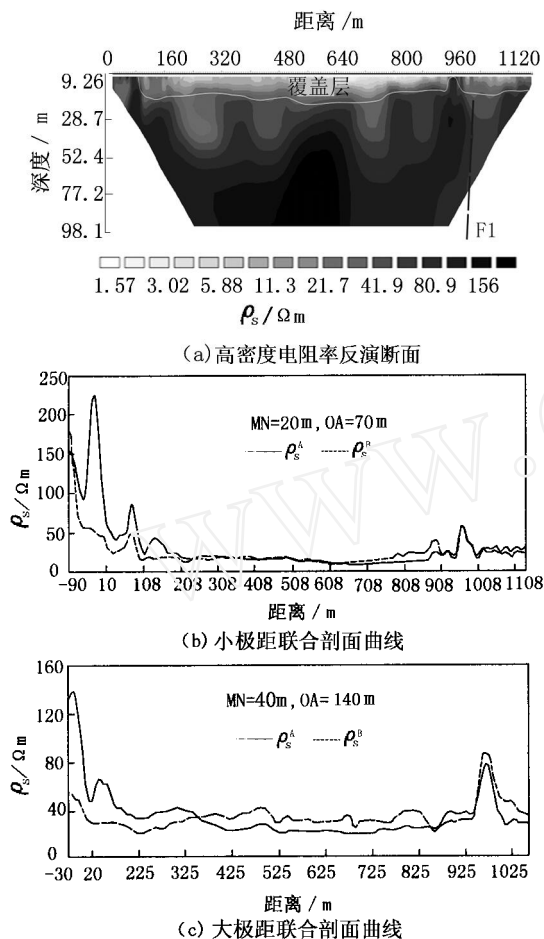


图4 测线1-1的高密度电阻率反演断面及复合联合剖面曲线

测线3-3顺冲沟布置,探测结果显示,沿该测线地层水平方向上连续展布,联合剖面曲线无交点及异常显示,表明场地西北侧基岩山前不存在断层。

综合以上探测结果,该工程场地地质条件较好,地下基岩平稳连续展布,场地没有隐伏断层通过,埋深约1~4m的地下水为表层灌溉水。 F_1 断层向西南隐伏延伸,从工程场地南侧通过,最近距离大于150m。 F_1 断层发育于三叠系与二叠系基岩中,上覆厚约9~15m的第四系粉土层未动,且该断层从区域上判定晚更新世以来不活动。因此,工程场地不存在避让问题。

4 结论与探讨

浅层电法联合探测综合利用了联合剖面异常表现直观与高密度电法,采集资料丰富的特点,解译结果可信度高,在工程场地地震安全性评价中可以充分应用。该方法经济、简便、实用性强,与其他手段一样有其自身优势,也有其局限性。在实际探测工作中,应注意以下问题:

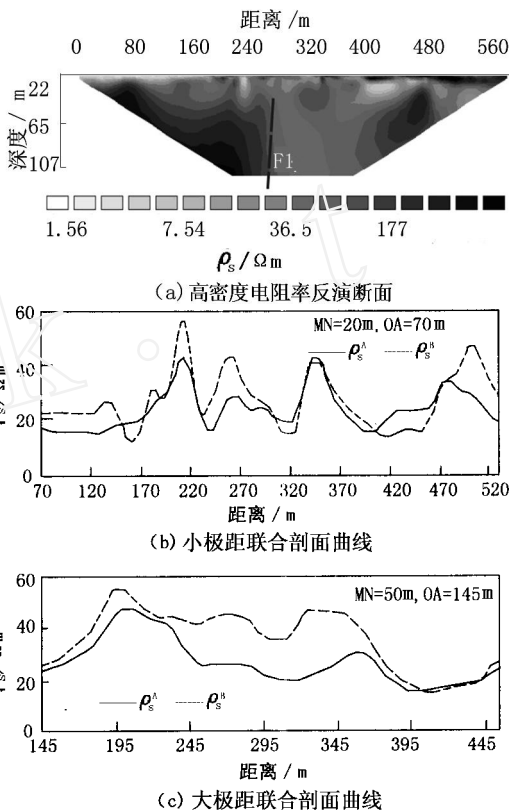


图5 测线2-2的高密度电阻率反演断面及复合联合剖面曲线

1) 应根据工作需要,对该探测手段进行可行性探讨,对探测结果可能出现的不确定性有预先的估计;也应根据场地环境和实际条件,对可能出现的干扰做到心中有数,提高解译的可靠程度。

2) 地震安全性评价工作内容繁多,探测应针对工作中的实际需要,明确探测任务,选择合适的探测方法和参数。

3) 场地勘查布线应结合已有资料和钻孔布设,做到相互验证、相互补充。

参考文献

- 1 邓起东,徐锡伟,张先康,等. 城市活动断裂探测的方法和技术. 地学前缘, 2003, 10(1): 93~104
- 2 姜早峰. 高密度电法CT成像技术在活断层探测中的应用. 东北地震研究, 2004, 20(2): 40~43
- 3 董浩斌,王传雷,曾佐勋,等. 高密度电法在信阳市燃气混气站场地隐伏断裂探测中的应用. 地质科技情报, 2003, 22(1): 101~104
- 4 白登海,王立凤,孙洁,等. 城市活断层探测中电磁噪音和环境干扰对浅层电磁方法的影响. 地震地质, 2002, 24(4): 549~556
- 5 傅良魁主编. 电法勘探教程. 北京:地质出版社, 1983. 14~23
- 6 GB17741-1999 工程场地地震安全性评价技术规范
- 7 GB50011-2001 建筑抗震设计规范
- 8 HAF0101 核电厂厂址安全规定