

电阻率探测仪在钱塘江海塘隐患探测中的应用

杨 群

(浙江钱塘江海塘物业管理有限公司,浙江 杭州 310008)

摘要:为探明钱塘江海塘堤身隐患分布,利用堤防隐患综合探测仪,采用对称四极剖面法普测和连续测深(高密度电阻率)法详测相结合的探测技术进行探测。探测结果表明,钱塘江海塘部分塘段存在孔洞、松散体等隐患,使用FD2000分布式智能堤坝隐患综合探测仪能较好地定性反映不同土质及其分布情况。

关键词:海塘;四极剖面法;连续测深法;隐患探测

中图分类号:TV221.2

文献标识码:B

文章编号:1006-764X(2010)S1-0109-04

1 隐患探测概况

钱塘江海塘长墙山至青山段为直立式浆砌块石护面海塘,设计标准为20年一遇,堤顶高程为8.17 m(黄海高程,下同),内坡坡比为1:1.5。2005年海盐县人民政府在此海塘外侧新建了地方围堤,该段海塘已退居二线。因该海塘年久失修,海堤长满芦苇、刺槐,且附近经常有动物出没,堤身时有獾洞产生,隐患较多。为掌握该段海塘堤身隐患分布情况,拟采用堤坝隐患综合探测仪进行探测,并利用开挖法验证探测成果的合理性。

1.1 任务及要求

利用堤防隐患探测仪器,采用对称四极剖面法普测与连续测深(高密度电阻率)法详测相结合的探测方法对该段海塘808 m塘段进行全面探测,以确定可能存在的隐患种类、规模及分布范围。探测深度为堤顶以下11 m,有效深度为7~8 m。

1.2 探测仪器及测线布置

探测仪器为FD2000分布式智能堤坝隐患综合探测仪,由山东省黄河河务局研制,集单片计算机、发射机、接收机于一体,具有四极滚动法快速隐患定位、连续测深法隐患详查、建立恒定电流场、二次动态跟踪测量等独特功能。

由于该海塘堤顶宽度仅为2 m,因此本次探测布置1条测线,位于堤顶路面中心线。该条测线先用对称四极剖面法普测,发现问题后再用连续测深法进行详测。

2 地球物理特征

应用电阻率法探测地球物理特征的前提一是要求对象与围岩之间有明显的电阻率差异;二是要求探测对象相对其埋深具有一定的规模和适当的产状^[1]。堤防隐患探测的目标对象一类是堤身中的不良土质(如细砂层和粗砂层),另一类是裂缝、孔洞和松散体。由于在含水量相差不大时,细砂层和粗砂层的电阻率显著高于堤身主要材料(粉质黏土和黏质粉土)的电阻率,因此可根据电阻率判定不良土体;又由于堤身在地下水位以上,裂缝、孔洞和松散体内填充的是空气,其电阻率无穷大,致使包含这3类隐患的堤段电阻率明显升高,由此可根据电阻率判定裂缝、孔洞和松散体。

3 探测原理与野外作业注意事项

3.1 探测原理

本次探测中普测采用对称四极剖面法,详测采用连续测深法,这2种方法均属于直流电阻率法。利用直流电阻率法探测堤身隐患的基本原理是:通过供电电极向堤身供入直流电,形成一个人工电场,利用测量电极观测电场分布情况,并通过数据处理得到堤身电阻率分布,然后根据电阻率分布及各种隐患的电阻率特征,判断隐患的性质及分布情况^[2]。

3.1.1 对称四极剖面法

对称四极剖面法的电路如图1所示,其基本特征是:供电电极A、B和测量电极M、N布置在同一

条直线上并且对称于中心点 O ,即 $d_{AO} = d_{BO}$, $d_{MO} = d_{NO}$ 。式中 d_{AO} 为电极 A 与中心点的距离 , d_{BO} 为电极 B 与中心点的距离 , d_{MO} 为电极 M 与中心点的距离 , d_{NO} 为电极 N 与中心点的距离。用这种装置测出的电阻率是以点 O 为中心一定范围(取决于 d_{MN})一定深度(取决于 d_{AB})内堤身的综合电阻率 ,即视电阻率 ,计算公式如下 :

$$\rho_s = K \frac{\Delta V}{I} \tag{1}$$

$$K = \pi \frac{d_{AM}d_{AN}}{d_{MN}}$$

式中 : K 为装置系数 ; ρ_s 为视电阻率 ; ΔV 为 M,N 两极间的电位差 ; I 为供电电流强度 ; d_{AM} 为电极 A 与电极 M 的距离 ; d_{AN} 为电极 A 与电极 N 的距离 ; d_{MN} 为电极 M 与电极 N 的距离。

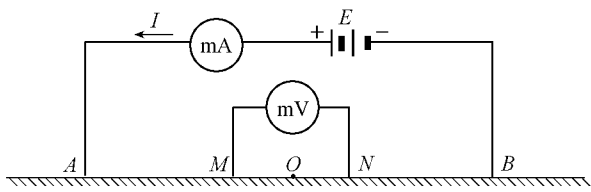


图 1 四极剖面法电路

实测时 ,每测完 1 点 ,整个试验装置整体向前滚动 1 个点距 ,逐点测量 ,直至测完整个剖面。

3.1.2 连续测深法

对称四极剖面法的不足是当电极 A 与电极 B 的距离 $d_{AB}/2$ 选定后只能测到某一深度范围内的视电阻率。若 $d_{AB}/2$ 选取过小 ,达不到所需探测深度 ;若 $d_{AB}/2$ 选取过大 ,则会模糊浅部信息。因此 ,详测可采用连续测深法。连续测深法的布点如图 2 所示。

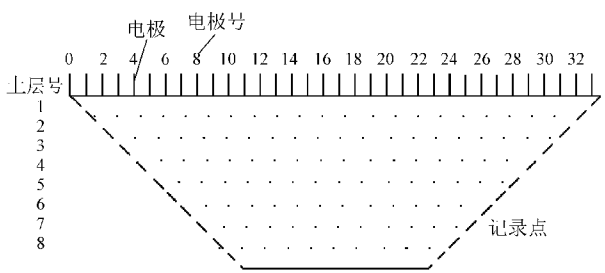


图 2 连续测深法布点

连续测深法可理解作为一种测深与剖面组合的装置 ,即在测线上逐点进行连续测深直至完成预先设计好的观测系统 ,一次性完成长度和深度 2 个方向的勘探过程 ,得到长度和深度 2 个方向的视电阻率 ,从而得到 1 个高密度电阻率剖面。相比对称四极剖面法 ,该方法获得了更为丰富的地质信息 ,弥补了对称四极剖面法的不足。实测时一次性布好所有电极 ,电极切换工作由仪器自动控制。

3.2 野外作业注意事项

- a. 普测采用对称四极剖面法 , $d_{MN}/2$ 取 1 m ; $d_{AB}/2$ 取 11 m ;详测采用连续测深法 ,观测层数视堤高及现场实际情况而定 ,一般为 10 层。
- b. 观测前先检查导线、电极夹连接是否正确可靠 ,确保电极不晃动。对接地不良的电极 ,先处理再观测。
- c. 仪器电压小于 14 kV 时严禁详测 ,因为电压不稳会影响测量数据的准确性 ,一般在连续测量 2 ~ 3 d 后需充电。
- d. 本次探测堤段部分表面经过混凝土路面硬化处理 ,布置测量线路时遇到踏步等硬化建筑物时应断开 ,结束此段测量 ,重新布线进行下一段的测量工作。
- e. 测量布极时 ,电极应对准皮尺刻度 ,尽量保证 A,B 点在同一条直线上。当实际布线有困难、只能沿测线方向挪动时 ,挪动距离不应大于 d_{AB} 的 1% ;当垂直测线方向并对准量具刻度挪动时 ,挪动距离不应大于 d_{AB} 的 1/20。
- f. 操作时要注意仪器读数 ,电流为零可能是供电电极没夹好 ,电位为零可能是测量电极没夹好。
- g. 测量中时刻注意观测电压、电流值 ,保证每个测点的电压值不小于 1 mV ,电流值不小于 5 mA ,如果某点达不到要求 ,要查明原因后继续观测。
- h. 若电阻率突然增大或减小 ,需做重复观测 ,以保证数据的可靠性 ,出现低阻异常可能是遇水体或土体为黏性土 ,但低阻应不低于 10 Ω ,否则数据不可靠。

4 资料解释

由对称四极剖面法获得的野外观测数据 ,经数据回放、编辑 ,最终绘制成视电阻率剖面曲线 ,见图 3。由连续测深法获得的野外观测数据 ,经数据回放、格式转换、数据编辑、反演计算 ,最终绘制成高密度电阻率色谱图(图 4)。每个测段的高密度电阻率色谱图有 2 幅 ,绘制在同一张图上 ,上面 1 幅为实测数据色谱图 ,下面 1 幅为反演结果色谱图。根据视电阻率剖面曲线和高密度电阻率色谱图判断堤身隐患情况 ,并评价堤身质量状况。

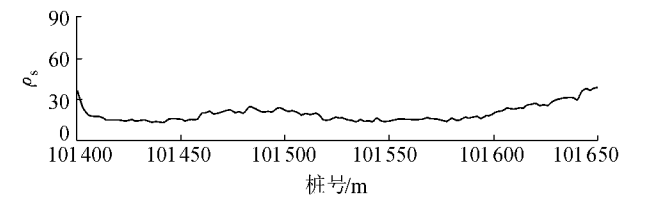
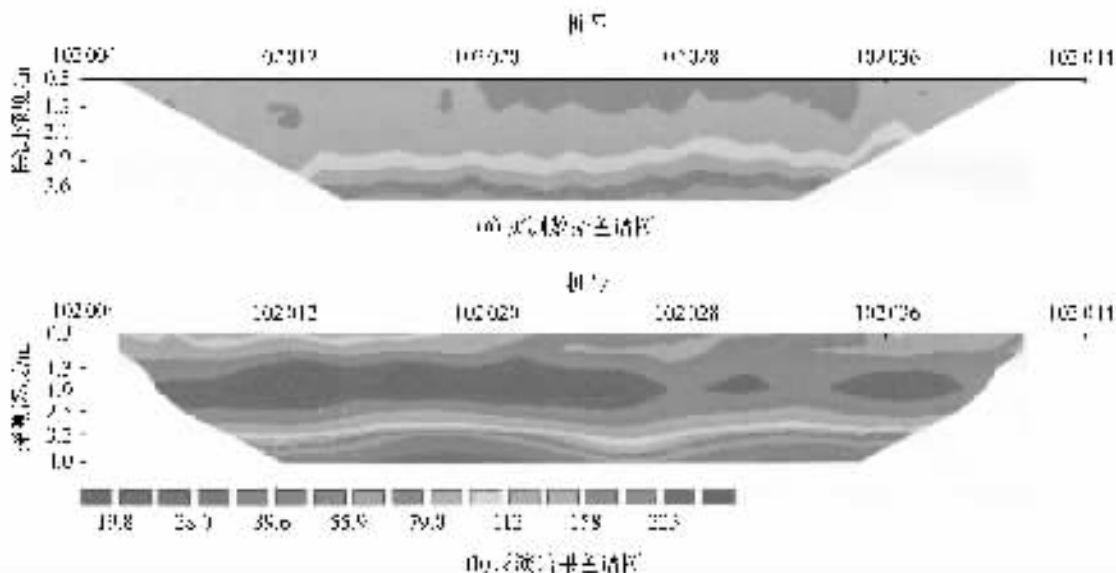


图 3 钱塘江海塘长墙山至青山段视电阻率剖面曲线(背水坡)



注: 102024 为视电阻率偏高异常点。

图 4 钱塘江海塘长墙山至青山段高密度电阻率色谱图

4.1 有效异常的确定^[3]

可判定的堤防隐患主要有裂缝、孔洞、松散体和砂层,这 4 种隐患均应呈高阻异常,理由如下:①塘身地下水位以上若有空洞、裂缝和松散体,则其填充的介质为空气,因此,这 3 种隐患应呈高阻异常;②砂层的电阻率远高于堤身土主要材料(粉质黏土和黏质粉土)的电阻率,因此砂层也应呈高阻异常。

4.2 隐患性质的确定

每一个可靠异常都对应 1 处隐患,隐患的性质主要依据下列原则确定:①裂缝:在视电阻率剖面曲线上呈窄幅尖顶高阻异常,在高密度电阻率色谱图上呈竖向条状高阻异常。②松散体:在视电阻率剖面曲线上呈宽幅圆顶或宽幅多峰(由多个点组成,最大幅宽占 4 个点距以上)高阻异常,在高密度电阻率色谱图上呈形状不规则、范围较大的高阻异常。③砂层:在视电阻率剖面曲线上表现为背景值较高,且不稳定,在高密度电阻率色谱图上呈较大范围层状高阻异常。④同时具备上述 3 个特征中的 2 个特征者为复合隐患。⑤孔洞:在高密度电阻率色谱图上范围较小、形状较规则、电阻率变化梯度较大、中心电阻率接近或超过背景值 2 倍的高阻异常。

4.3 隐患定性分析

a. 阻值若呈上升或下降趋势,表明该段海塘土质不均匀。

b. 较为突出的单峰窄幅(由 1 个点单独拉起,最大幅宽占 1 个点距)的高值异常点,一般为埋藏较浅的裂缝、洞穴或金属涵管等低阻异常体的反映。

c. 较为突出的单峰宽幅(由 1 个或 2 个点组成,最大幅宽占 2 个或 3 个点距)的高值异常段,一

般为埋藏较深的裂缝、洞穴或局部松散土体夹层或裂隙发育带等体积较大异常体的反映,当它呈低值异常时可能是土质密实或高水位下隐患充水所致。

d. 宽幅多峰的高值异常段一般为松散土夹层、裂隙发育带、局部土质砂性较大或密度低的土体的反映,低值异常可能是土质密实或高水位下隐患充水的反映。

e. 大范围高值异常段一般为土质砂性较大或密度低的土体的反映,低值异常可能是土质砂性小或密度高的土体的反映,探测时如观察到对应区段背水堤脚附近有水,则可能存在散浸或渗漏。

f. 曲线呈明显齿状(如振荡波)形态,一般是土质很不均匀的反映。

4.4 定量分析

判断异常可靠程度的公式为

$$\gamma = \frac{I_{\rho_s \text{异常}} - I_{\rho_s \text{正常}} + \rho_s \text{正常}}{\rho_s \text{正常}} \quad (2)$$

式中: γ 为异常判别系数; $I_{\rho_s \text{正常}}$ 为视电阻率异常点两侧正常值的均值; $I_{\rho_s \text{异常}}$ 为视电阻率异常值。

对于单纯高阻异常,式(2)可简化为

$$\gamma = \frac{\rho_s \text{异常}}{\rho_s \text{正常}} \quad (3)$$

当 $\gamma > 1.2$ 时判为可靠隐患异常(参考黄河大堤经验值)。

隐患的顶部埋深用半悬长法估算:

$$h = 0.25q \quad (4)$$

式中: h 为隐患的顶部埋深; q 为异常半幅值处的宽度(半悬长)。

隐患的底部埋深可通过连续测深法的视电阻率成像结果判断,或由相应测点的连续测深数据绘制

测深曲线,并根据测深曲线的拐点来判断。

5 海塘堤身质量分析与验证

根据视电阻率剖面曲线及高密度电阻率色谱图对该段海塘堤身质量情况做如下分析:①整段海塘视电阻率变化较大,堤身土质不均匀,其中 101 400 ~ 101 842 段堤身土质以粉质黏土为主,101 842 ~ 102 159 段堤身土质以粉砂土为主。② 101 882 ~ 101 896,101 922 ~ 101 946 段视电阻率在 102.463 ~ 174.699Ω 之间,堤身土质中粉细砂含量可能较高,特别是 101 938 ~ 101 946 段可能存在松散夹层。③ 102 149 ~ 102 159 段视电阻率在 117.609 ~ 282.344 Ω 之间,电阻率突变异常,堤身介质中块石或砂含量可能较高。④根据高密度电阻率色谱图,102 154 ~ 102 156 段堤身土体中可能存有松散体或浅埋洞穴,也可能因为海塘建在坡度较缓的青山山体之上造成视电阻率偏高。

对探出的异常堤段中 101 896,101 922,101 943,102 024,102 155 和 102 162 桩号处进行钻探取样,对堤身质量相对较均匀的 101 520 及 101 992 桩号处进行钻探取样,对可能存在松散体或洞穴的 102 155 桩号处进行开挖,钻探取样或开挖结果表明探测结果基本准确,但对于埋深在 0.5 m 以内的表层坑洞和

次制造的裂缝隐患,视电阻率变化不大,由此表明该仪器难以探测到浅表隐患。

6 结 语

使用 FD2000 分布式智能堤坝隐患综合探测仪能较好地定性反映不同土质及其分布情况,能较好地反映不同土体的横向分界点,能根据高密度电阻率色谱图大致判断出某个点不同土层的纵向分界情况,能根据视电阻率剖面曲线波动情况判断隐患分布,对未硬化处理的堤段探测有一定的作用。但该仪器对探测位置较深(5 ~ 10 m 以下)的基础,探测准确度有待试验确定。

由于钱塘江海塘历史悠久且历代均有修筑,堤身地质情况复杂,土质相对不均匀,对探查结果的分析 and 判断较为困难,建议进行其他方法的探测试验。

参考文献:

[1]王兴泰.工程与环境物探新技术新方法[M].北京:地质出版社,1996:171-175.
[2]田瑛.物探技术在地下隐蔽物探测中的应用初探[J].地质灾害与环境保护,2003,26(2):45-46.
[3]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(4):23-24.

(收稿日期 2009-09-11 编辑 骆超)

(上接第 97 页)化学灌浆结石没有很好的取出。根据高程 1010.00 m 检查廊道取芯情况,重新在 1010.00 m 检查廊道布置 3 个检查孔,改进钻孔工艺和方法,这 3 个检查孔内混凝土裂缝化学灌浆浆液结石与混凝土胶结紧密。③24 号坝段试验区从检查孔取芯到压水试验、灌浆质量均满足设计要求。

7 结 论

- a. 由于浆液密度及流动性与水的差异,且灌区面积较大、孔较深,压力在灌浆过程中由低往高,容易导致出浆不畅,建议在其他坝段大面积灌区施工时适当增大灌浆压力。
- b. 用化学灌浆法处理非可视裂缝,裂缝处的坝体刚度得到了很好的恢复和提高,从而提高了坝体的耐久性。
- c. 灌浆材料为液体,浆液在裂缝中可以很好的流动,其凝固时间可以根据浆液浓度控制。从灌后质量检查来看,裂缝渗水性得到了有效的控制。
- d. 将裂缝描述清楚很重要,在灌浆之前要查清

裂缝的分布、缝宽、缝深等情况,这是采取正确、有效的灌浆措施的前提和关键。

参考文献:

[1]杨学红,胡志根.古洞口电站大坝趾板贯穿性裂缝化学灌浆处理[J].人民珠江,2002(1):14-24.
[2]郭云富,张志辉.化学灌浆技术在红山水库泄洪洞裂缝修补中的应用[J].内蒙古水利,2002(1):61-62.
[3]范光华.化学灌浆技术在锦屏一级电站工程中的试验研究[J].广西水利水电,2002(3):8-11.
[4]侯国锋,程俊利.化学灌浆在龙滩导流洞衬砌混凝土中的应用[J].人民长江,2005,36(5):2-3.
[5]李忠民.化学灌浆在水电工程混凝土裂缝处理中的应用[J].水利水电施工,2002(2):52-54.
[6]孙义勇,邱敏.某坝块混凝土裂缝及层间缝化学灌浆[J].人民长江,2003,34(3):10-11,21.
[7]涂建湘,周剑桥.凌津滩水电站坝体横缝漏水化学灌浆处理[J].长江科学院院报,2000,17(6):76-77.
[8]李春云.冶勒水电站引水隧洞渗水化学灌浆处理[J].水电站设计,2004,20(2):56-57,60.

(收稿日期 2009-05-19 编辑 骆超)