

利用综合物探方法探测地下水流通道

甘伏平¹, 喻立平^{1,2}, 黎华清¹, 卢呈杰¹, 韦吉益¹

(1. 岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004; 2. 中国地质大学 地球物理与信息技术学院, 北京 100083)

摘 要 尽管充电法需要充电点, 但对已知进口或出口的浅埋藏地下水流通道, 追踪其走向, 该法具有简单、直观、快速的优点。自然电位法对隐伏的地下流体表现突出, 但干扰异常多, 不易分辨。充电法和自然电位法均可对异常进行定性判断, 但不能很好确定地下水流通道的空间分布特征。高密度电法可获得近地表较为精细的空间电性分布。对断层控制下形成的地下水流通道, 宜采用浅层地震反射法。当场地受限, 探测深度大, 需要精细探测时, 可采用跨孔电磁波透视。但高密度电法、浅层地震反射法、跨孔电磁波透视法不能对异常进行定性判断。结合探测实例, 考虑不同的地质条件和探测成本, 对如何选择最佳的组合方法来探测地下水流通道, 确定异常性质及其空间分布特征进行了探讨。

关键词 自然电位法; 充电法; 浅层地震反射; 跨孔电磁波透视; 地下水流通道

水库持续渗漏会产生严重的后果, 不仅使设计库容减少, 影响水库的正常蓄水, 而且坝体渗漏可能危及大坝的安全。矿山尾矿坝的尾水, 其有毒物质会沿地下管道或岩石破碎区下渗, 污染地下水源。在岩溶地区, 丰富的地下水常赋存于地下暗河或岩溶管道中, 水量分布极不均一, 因此追索地下水流通道, 在有利地段开发地下水源, 对地表缺水地区显得尤为重要^[1]。

解决上述工程地质问题, 关键在于查明地下水流通道。地球物理探测方法虽然具有经济、快速定位的特点, 但各方法都有其局限性或多解性。如何结合场地地质条件, 在众多的方法中寻找有效、快速、廉价的组合, 是本文论述的重点。

1 地球物理探测方法

就探测地下水流通道而言, 可被利用的地球物理探测方法多种多样, 方法的选择应综合考虑有效性、探测成本及场地条件。当地下水流通道有明流出口或入口时, 初勘首选简便、快速、直接的充电法(梯度观测)进行探测, 同时开展自然电位(梯度观测)的测量。分析充电、自电资料可缩小探测靶区, 为进一步的详细方法设计提供依据^[2-5]。

在地下水流“露头”上进行充电, 带电的水流可近

似等位体或似等位体, 充电电流流入围岩形成电流场, 这种电流场的特征可用来解决地下水流速、流向、渗漏通道等地质问题, 而无需向地下供电。地下水流也会形成天然的电流场, 这是利用自然电位法探测地下水流通道的理论基础。由于充电法、自然电位法受环境电场变动、地形起伏的影响, 很难准确测定异常的宽度、深度和产状等要素, 这就需结合其他物探方法来进行探测。下面举例说明详勘时可采用的 3 种常规的物探方法。

1.1 高密度电法

场地条件 地下水流通道埋深小于 50 m, 有一定的规模, 覆盖层小于 30 m, 场地开阔, 较为平坦。

高密度电法装置种类繁多, 但各种装置对异常的分辨率各有不同。比如维纳装置, 信号强, 探测深度大, 纵向分辨率高, 偶极装置, 横向分辨率较高, 但大极距时信噪比低。采用何种装置可结合实际地质情况决定。高密度电法视电阻率剖面资料, 可清楚显示具有良导特性的地下水流通道地质特征。

1.2 浅层地震反射法

场地条件 地下水流通道埋深大于 50 m, 有一定的规模, 场地较为开阔。

浅层地震反射法特别适宜探测由构造控制发育的地下暗河, 对确定诸如断层的宽度、倾向等要素, 效果

较好^[6-7]。野外数据采集宜采用多道、多次覆盖技术, 但该方法不适合岩溶区基岩裸露的地区。

1.3 跨孔电磁波透视

场地条件: 需要符合探测要求的钻孔, 围岩与水流管道存在电性差异。

跨孔电磁波透视, 应用于一般常见的工程地质问题, 较少受探测深度的限制, 不受地形起伏的影响, 吸收系数图像较直观、精细地反映地下水流管道的空间分布特征^[8-9]。

2 探测应用实例

2.1 实例 1 充电法(MALM)-自然电位法(SP)-高密度电法组合

某大泉从灰岩石缝中流出, 地表局部基岩裸露, 部分被第四系冲洪积黏土夹卵石覆盖, 厚度约 5 m, 场地平坦、开阔, 无工业游散电流、金属管道等干扰, 特别适宜充电、自然电位和高密度电法组合探测。

图 1 为 2 线充电法、自然电位法剖面曲线, 点距 10 m。充电点为大泉出口, 充电曲线在 117 点有过零点, 在 95 点、120 点自然电位曲线有极大值。在 120 点附近, 两者异常特征点有偏移, 这是由于两者依据不同的物理原理造成的, 充电法将地下水流看成似等位体, 而地下水的流动形成过滤电场, 这种异常多解性需要其他方法进一步甄别。

图 2 为 2 线高密度电法偶极装置视电阻率反演剖面, 电极距为 3 m, 20 层数据。图中清楚地显示, 126 点往大号方向, 地下为低电阻反映; 126 点往小号方向, 地下为高电阻反映。部分地段如 51 点、111 点和 126 点基岩裸露, 与地表露头吻合。图 3 为 2 线综合地质推断解释剖面, 126 点可解释为岩性接触带或有断层通过(产状向小号点方向倾斜), 处于岩性接触带或断层附近的岩石破碎, 是地下水良好的主要赋存空间。

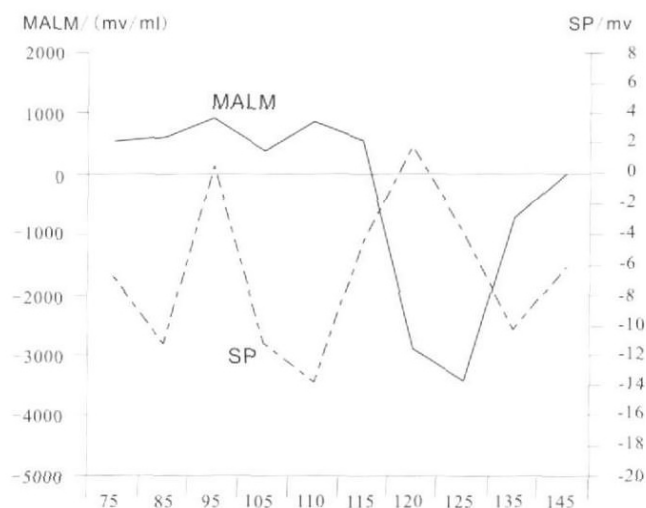


图 1 充电法、自然电位法剖面曲线

Fig. 1 Mise-a-la-masse method and self-potential method curves

2.2 实例 2 充电法-对称四极电测深-地震反射法组合

某地下暗河的入口和出口为明流地表河, 中间地段为伏流。暗河距地面大约 65 m, 地面起伏较为平缓, 基岩为泥质灰岩, 第四系覆盖层厚度小于 5 m。初步设计选择暗河上部的有利地段, 封堵地下暗河使上游河谷形成水库, 用于灌溉和发电。要求需探测暗河的发育宽度、下延深度及延伸方向, 为后续施工处理提供资料。利用充电法过零点连线大致确定了暗河的走向, 随后采用电测深和浅层地震反射法确定其性质、宽度、产状等要素。

图 4 为 1 线对称四极电测深视电阻率拟断面图, 点距 10 m, 最大 $AB/2=220$ m, 图中颜色由浅到深反映电性的从高到低的变化。较为明显的电性异常为 460 点高程 265 m 的低阻异常、480 点高程 275 m 的高阻异常和 500~520 点从浅至深的低阻异常。由于 500~520 点刚好位于水稻田内, 为了鉴别异常性质, 特增加

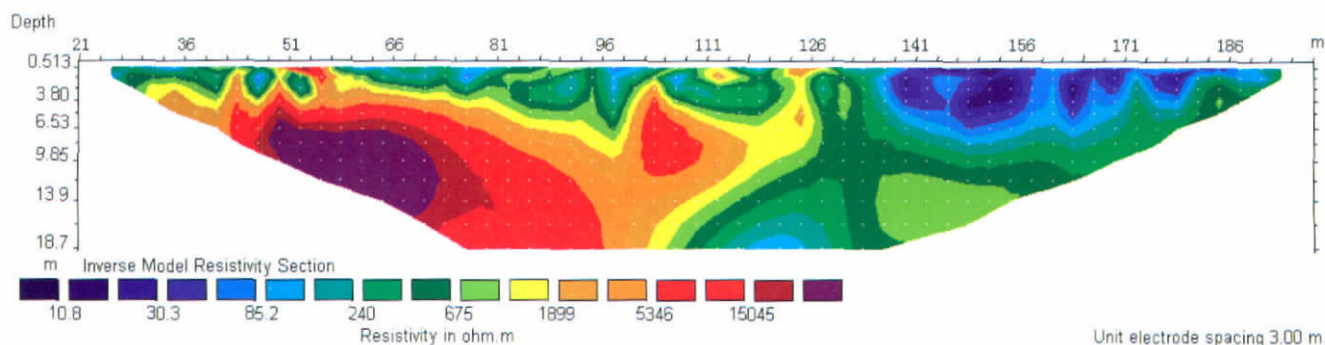


图 2 高密度电法偶极装置视电阻率反演剖面

Fig. 2 Inversion profile of apparent resistivity by high density resistivity method

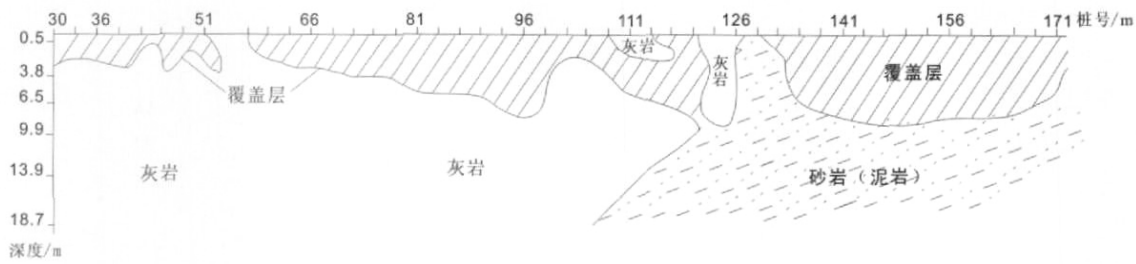


图 3 地质推断解释剖面
Fig. 3 Geologically inferred interpretation profile

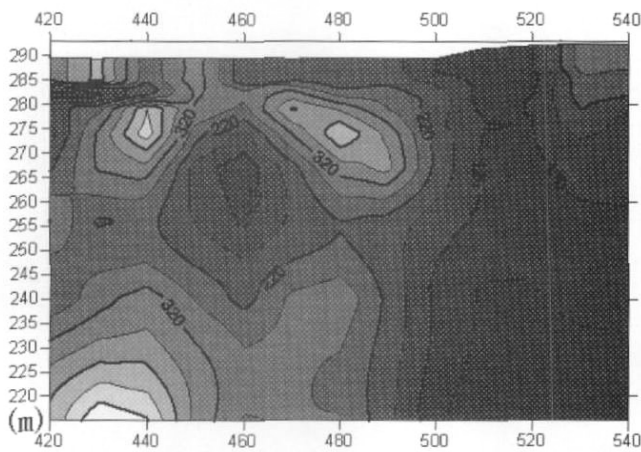


图 4 对称四极电测深视电阻率拟断面图
Fig. 4 Pseudo section of apparent resistivity by symmetric quadrupole electrical sounding

了浅层地震反射法. 采用 24 道地震仪, 15 Hz 检波器, 道距 5 m, 爆炸震源, 6 次覆盖技术. 图 5 为 1 线叠加反射时间剖面.

图 6 为 1 线综合地质推断解释剖面. 460 点高程 265 m 的低阻封闭圈异常为充填泥的溶洞反映. 470 ~

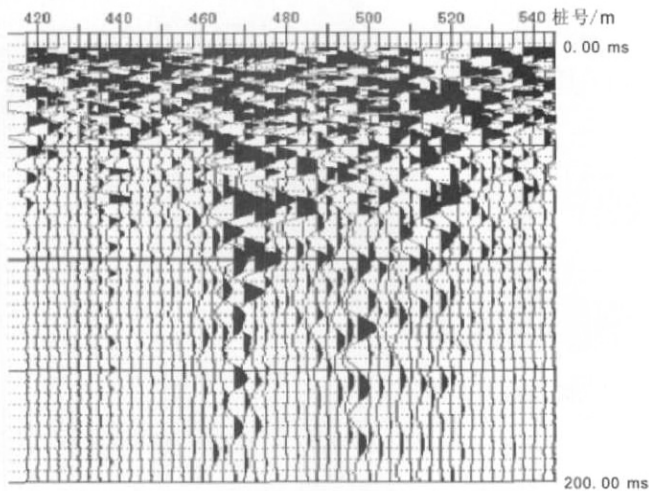


图 5 浅层地震反射时间剖面
Fig. 5 Shallow seismic reflection time profile

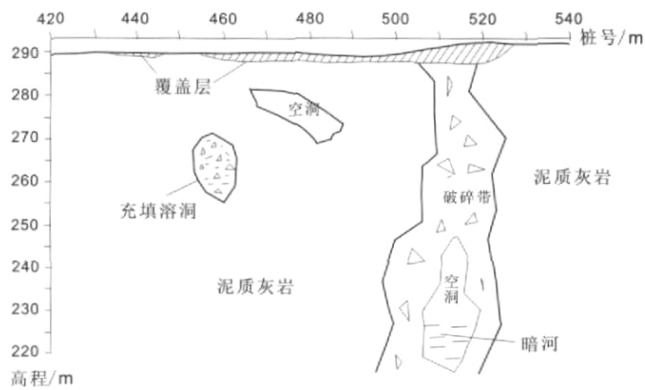


图 6 地质推断解释剖面
Fig. 6 Geologically inferred interpretation profile

480 点高程 275 m 的高阻圈闭, 反射时间剖面多次绕射特征明显为半充填或空洞的反映. 500 ~ 520 点的深部低阻异常不是近地表的电性不均匀引起, 反射时间剖面显示存在一向小号点倾斜的断层破碎带. 破碎带宽度约 20 m, 下延深度不小于 75 m, 此断层控制了地下暗河的发育深度和延伸方向.

2.3 实例 3 充电法-自然电位法-跨孔电磁波透视组合

某水电站主体基坑由上、下游围堰和纵向混凝土坝组成. 下游围堰堰顶高程设计为 558.5 m, 高程 540.0 m 以下围堰采用 1.4 ~ 2.2 m 厚的高压旋喷防渗墙防渗, 防渗墙轴线长 180.5 m, 冲积覆盖层由细沙、砂砾石、卵石和部分孤石组成. 下伏基岩为燕山早期侵入闪长岩, 基岩面起伏较为平缓, 防渗墙深入基岩 0.5 m. 防渗墙完工后, 基坑排水时发现下游围堰在 524.0 m 存在渗水点, 渗水量大于设计控制量. 物探工作目的为查明渗漏通道的位置及规模, 为防渗处理提供依据.

通过多条自然电位法和充电法测线资料, 从已知渗漏位置向防渗墙围堰追踪, 当测线离充电点较近时, 充电法过零点、自然电位极大点特征明显; 当测线远离充电点后 (水平距离大于 90 m), 由于场地施工, 工业

游散电流干扰严重,观测信噪比低,两种方法的特征点泛指地下低电阻异常的存在,如渗漏通道、断层、地下排水管等,异常需要进一步甄别。考虑场地范围及条件,在异常圈出的可能渗漏通道两侧布置钻孔,采用跨孔电磁波透视方法来进行进一步查证。

由自然电位法和充电法资料确定的 ZK33 钻孔打到了渗漏通道。图 7 为 ZK3-ZK2 跨孔电磁波透视吸收系数图像和地质推断解释剖面,通过定发射、定接收、水平同步等观测方式获取尽可能多的数据,经成像获得吸收系数剖面。纵坐标为孔深 20~60 m,横坐标为孔距 10.6 m,剖面中吸收系数越大,说明导电性越好。ZK3 孔深 50 m 处为一渗漏位置,与验证钻探资料吻合,此渗漏区向 ZK2 孔水平延伸约 6 m。两钻孔旁的 30~45 m 区间的条带状高吸收异常为灌浆水泥渗入软弱带所致。通过综合方法探测,查明了防渗墙主要的渗漏位置及空间分布。

3 经验及体会

(1)当地下水流通道有明流出口或入口时,采用梯度观测的自然电位法和充电法是确定地下水流通道最直接、最经济的方法。由于受外部电流场的干扰及测线离充点由近到远,信号由强变弱等影响,其追踪距离变短。另外在确定异常的深度、发育宽度、产状等要素方面存在局限,因此需要辅助其他物探方法进一步查证。

(2)当地下水流通道埋深小于 50 m,有一定的规模,覆盖层小于 30 m,场地开阔、平坦时,优选高密度

电法进一步探测管道的地质特征。探测成本中等。

(3)当地下水流通道埋深大于 50 m,有一定的规模,场地较为开阔时,采用浅层地震反射法,效果较好。该方法特别适合探测由构造控制发育的地下暗河,诸如确定断层宽度、倾向等特征。野外数据采集宜采用多道、多次覆盖技术。但该方法不适合基岩裸露的地区,探测成本较高。

(4)当地狭小,地形起伏剧烈,近地表电性、波速横向变化大,需查明的地下水流通道埋藏又较深时,宜采用高分辨率的透视方法来探测。该方法的不足是需要符合要求的钻孔,探测成本高。

参考文献:

- [1]郭建强. 地质灾害勘察地球物理技术手册[M]. 北京:地质出版社, 2003.
- [2]庄史彬. 自然电位法在基坑检测中的应用[J]. 西部探矿工程, 2004 (2): 20—21.
- [3]丁云河,晁代超,等. 充电法在确定煤矿区涌水巷道中的应用[J]. 河北煤炭, 2002(4): 51—52.
- [4]李黔西. 充电法探测充水岩溶裂隙的应用效果[J]. 西部探矿工程, 2003(3): 9—10.
- [5]戴光明,罗延钟. 二维地电条件下充电法地形改正的一种方法[J]. 物探化探计算技术, 1997, 19(1): 36—40.
- [6]孙英勋. EH4 与地震反射法在高速公路长大深埋隧道勘察中的联合应用研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(6): 143—146.
- [7]甘伏平,马祖陆,喻立平. 岩溶地区复杂条件下的浅层地震方法应用研究[J]. 地质与勘探, 2005, 41(3): 75—78.
- [8]Kim J H, Cho S J, Yi M J. Borehole radar survey to explore limestone cavities for the construction of a highway bridge [J]. Exploration

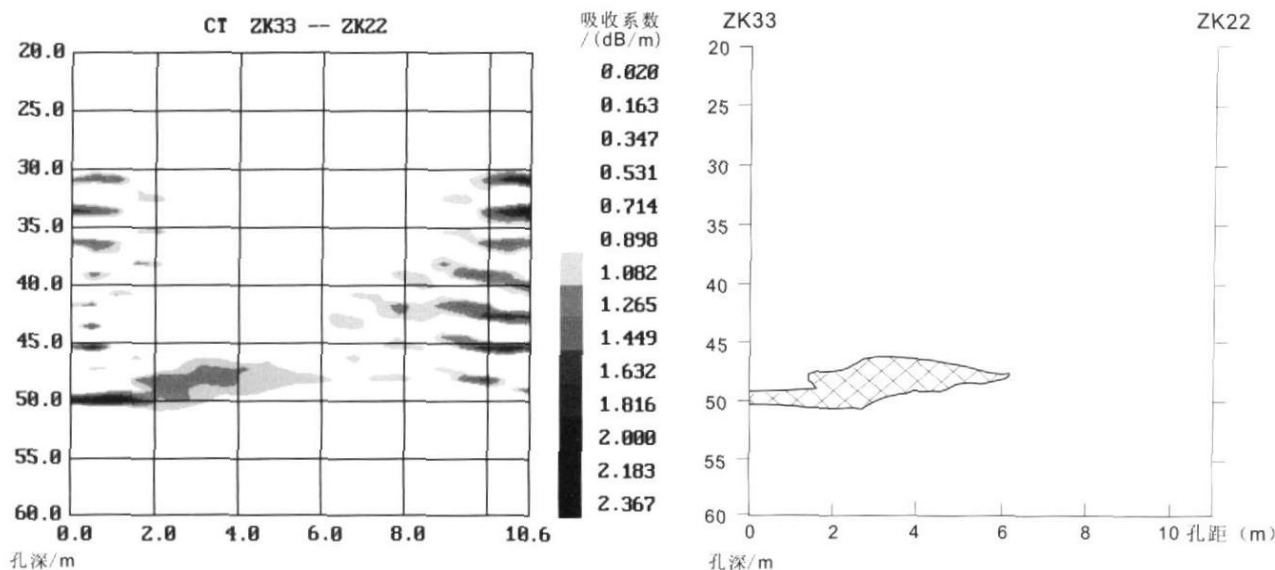


图7 ZK3-ZK2 跨孔电磁波透视吸收系数图像及地质解释剖面

Fig. 7 Image of perspective absorption coefficient of electromagnetic wave and profile interpreted by geology between drill holes ZK3 and ZK2

Geophysics 2004 ,35: 80—87.
[9]Wanstedt S ,Carlsten S ,Tiren S. Borehole radar measurements aid

structure geological interpretations [J]. Journal of Applied Geophysics,
2000 ,43: 227—237.

DETECTION OF GROUNDWATER CONDUITS BY INTEGRATED GEOPHYSICAL METHODS

GAN Fu-ping¹, YU Li-ping^{1,2}, LI Hua-qing¹, LU Cheng-jie¹, WEI Ji-yi¹

(1. Institute of Karst Geology, Guilin 541004, Guangxi Autonomous Region, China; 2. School of Geophysics and Information Technology, China
University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract : When an intake or an outfall of a shallow buried groundwater conduit exists, it is a simple, direct and fast way to trace its direction with the mise-a-la-masse method, even though the charging current position is needed. The self-potential method is good at buried underground flow prospecting, but with too much noise and low resolution. Although lacking for detecting the spatial distribution of groundwater conduits, both mise-a-la-masse and self-potential methods can estimate anomalous features. High density resistivity method can obtain detailed spatial resistivity distribution near the surface. It is wise to introduce shallow seismic reflection method to the exploration of buried groundwater conduits controlled by faults. In case of limited surveying site, great prospecting depth and demanded high resolution, the cross-hole electromagnetic wave-penetrating method is suggested in prospecting. However, high density resistivity, shallow seismic reflection and cross-hole electromagnetic wave-penetrating methods cannot give qualitative results to the anomalies. With prospecting examples, this paper shows how the optimum combination of prospecting methods is selected in the detecting of groundwater conduits and defining of the anomalous features and spatial distributions in different geological conditions and prospecting costs.

Key words : self-potential method; mise-a-la-masse method; shallow seismic reflection method; cross-hole electromagnetic wave-penetrating method; groundwater conduit

作者简介:甘伏平(1966—),男,高级工程师,1986年毕业于武汉地质学院,1989年毕业于武汉地质学院北京研究生部,获硕士学位,2007年获中国地质大学(北京)博士学位,现从事岩溶探测应用研究工作,通信地址 广西桂林市七星路50号岩溶地质研究所,邮政编码 541004,E-mail// ganfp555@163.com