

K剖面法在岩溶勘查中的应用

敬荣中, 林 剑, 肖志强

(中南大学, 长沙 410083)

[摘 要]在岩溶广泛分布的桂林地区,对建筑物、桥梁等工程进行选址时,必须详勘场地岩溶分布情况。在取得可靠电测深数据的情况下,运用 K剖面法对 ρ_s 资料进行解释,取得了较好的效果。结果表明, K剖面法在复杂地电条件下能发现弱异常,是解决隐伏溶洞的经济、快速而有效的方法,具有广阔的应用前景。

[关键词] K剖面法 电测深法 岩溶勘查 资料解释

[中图分类号]P631 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2002)02-0078-04

0 引言

岩溶是一种潜在的地质灾害,会危及建筑物、水库大坝、桥梁等工程质量及安全,引起地面沉陷,并破坏环境^[1,2]。因此在工程选址时,需查明地下有无岩溶或其它采空区等洞穴。电测深方法是探测地下岩溶的有效方法,但在对 ρ_s 曲线进行解释时,由于覆盖层的影响,溶洞及其充填物引起的 ρ_s 异常一般较弱,在解释时可能将其忽略或圆滑掉,造成解释失误。为此,作者在解释电测深数据时,运用 K剖面法进行资料解释,取得了很好的地质效果^[3]。

桂林地区属典型的喀斯特地区,岩溶非常发育,因此,在工程选址时,必需进行岩溶探测,查明工区内岩溶分布状况,这是保障工程质量必不可少的前期工作。

1 K剖面法原理^[3,7]

对于波动方程:

$$\nabla^2 \phi = \frac{1}{C^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad (1)$$

对于直流电法而言,有 $\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = 0$ 。即 ϕ 不随时间 t 变化,上式变为拉普拉斯方程:

$$\nabla^2 u = 0 \quad (2)$$

解上式,可得对称四极装置半空间二层结构条件下的解为:

$$\zeta = \frac{\rho_s}{\rho_1} = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{12}^n}{(\lambda^2 + 4n^2)^{3/2}} \quad (3)$$

式中 ρ_s —视电阻率, ρ_1 —第一层电阻率, ρ_2 —第二层电阻率, AO —供电极距, h —第一层深度, $K_{12} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$ —反射系数, $\lambda = AO/h$ —极距深度比。

通过(3)式对 λ 的微分,得到:

$$\frac{d \lg \zeta}{d \lg \lambda} = - \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{24 K_{12}^n \lambda^3}{(\lambda^2 + 4n^2)^{5/2}}}{1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_{12}^n \lambda^3}{(\lambda^2 + 4n^2)^{3/2}}} \quad (4)$$

对于 $\rho_2 > \rho_1$ 时,曲线(双对数坐标中)一次微分在 $\lambda = 2.0 \sim \lambda = 3 + 0.16[(1 + K_{12})/(1 - K_{12})]$ 段获得极值,且有:

$$\left(\frac{d \lg \zeta}{d \lg \lambda} \right)_{\max} = K_{\max} \approx K_{12} \quad (5)$$

当 $\rho_2 < \rho_1$ 时,采用负值校正后,亦可以获得与上升 ξ 曲线一致的结果。故定义斜率 K :

$$K = \frac{d \lg \zeta}{d \lg \lambda} \quad (6)$$

由此,将 ξ 曲线的斜率与反射系数 K_{12} 联系起来,且可由已知斜率求得反射系数 K_{12} ,从而让原斜率的意义发生了质的变化,奠定了 K剖面法的基础,也为实际问题的资料解释开辟了一条新的捷径。

在实际应用中,可用下式差分形式代替微分形式,从野外视电阻率曲线中求得 K :

$$K = \frac{\lg \frac{\rho_s(n)}{\rho_s(n-1)}}{\lg \frac{AO(n)}{AO(n-1)}} \quad (7)$$

[收稿日期]2001-02-05;[修订日期]2002-01-15;[责任编辑]李石梦。

[第一作者简介]敬荣中(1965年-),男,中南大学博士研究生,地球物理专业。

$$K_{校} = \frac{K(1 - K)}{1.05(1 - K) + K^2} \quad (k < 0) \quad (8)$$

2 电测深 ρ_s 曲线类型、K 与地下岩溶关系^[3~8]

2.1 电测深 ρ_s 曲线类型与地下岩溶的关系

电测深 ρ_s 曲线类型取决于地电断面的性质。ρ_s 曲线与地电断面对比,可以说明不同类型 ρ_s 曲线变化的地质原因。因此,通过 ρ_s 曲线类型的分布和变化可以了解地下介质的电性结构。通常,ρ_s 曲线类型发生变化的原因是某岩层缺失或出现新地层。在正常情况下,对于仅有电阻率较低的浮土覆盖层和 ρ_s → ∞ 的基岩(灰岩) 二层地电结构,ρ_s 曲线为 G 型,其尾支呈 45° 渐近线上升(K 值接近 1)。当有地下溶洞存在时,如果溶洞规模不大,且埋深较浅,充填物多为水、泥或砾石时,则 ρ_s 曲线大多为 KH 型,如果溶洞埋深较大且有一定规模时,由于对称四极电测深装置的特殊性,当在一个三维体上进行对称四极测深时,不管 AB 距离怎样变化,都将“穿不透”(“看不透”) 三维体而只能发现(“看到”) 异常体的存在,因而大多情况下 ρ_s 曲线只是 K 型(其它装置则多为 KA 型)。

2.2 K 与地下溶洞的关系

一般说来,如溶洞埋深和规模都不大,则由于覆盖层的影响,溶洞顶板及溶洞充填物引起的 ρ_s 异常都较弱,只在 ρ_s 曲线上表现出局部的微弱变化,在解释时可能将其忽略或圆滑掉,造成解释失误。对于那些埋深较大、覆盖层较厚的溶洞,即使其规模较大,ρ_s 异常也不会十分明显。所以,如果采用 ρ_s 等值线断面图来发现溶洞引起的异常,往往会使得这种弱小异常被周围其它影响所淹没而失去其异常显示。可见,单纯依靠 ρ_s 这一参数来区分地下溶洞,其分辨率较低。由上一节推导可知,K 值是对已有的 ρ_s 曲线进行一次微分,相当于把 ρ_s 曲线进行一次高通滤波,从而放大、突出了局部异常,压制了低频背景异常。这样,对存在溶洞的电测深 ρ_s 曲线,经过上述处理,就能明显地反映出地下溶洞的存在。

3 应用实例及解释

3.1 无溶洞地段电测深 ρ_s 曲线及 K 剖面曲线特征

图 1(a) 为桂林某新建工程 3/1 点的 ρ_s 曲线,为 H 型。由于浮土覆盖层较厚,越靠近基岩,含水量增大,导电性变好,使得 ρ_s 曲线在中段出现凹陷,而曲线的首支反映覆盖层的变化,尾支呈 45° 上升,说明已达基岩。所以,根据 ρ_s 曲线的类型,可大致了解

各点覆盖层的厚度。

图 1(b) 为 3/1 点 ρ_s 曲线的单支 K 曲线图。该曲线有两个负异常,即 AB/2 在 2 m 和 7.5 m 的位置,第一个负异常反映覆盖层电性的变化,第二个负异常反映基岩面上富水部位,由此可求出基岩(灰岩) 的埋深。曲线尾支趋近 1,说明基岩的存在。

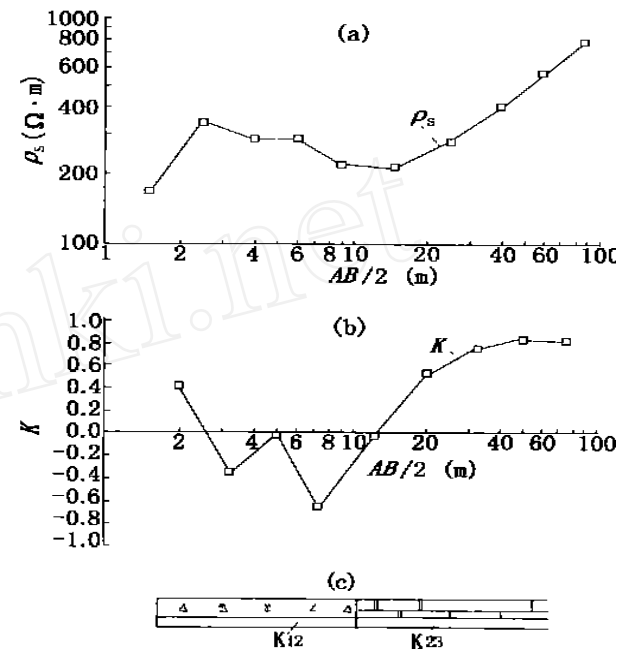


图 1 3/1 点电测深成果图

(a) — ρ_s 曲线; (b) — 单值 K 曲线; (c) — 钻孔揭露和解释结果图

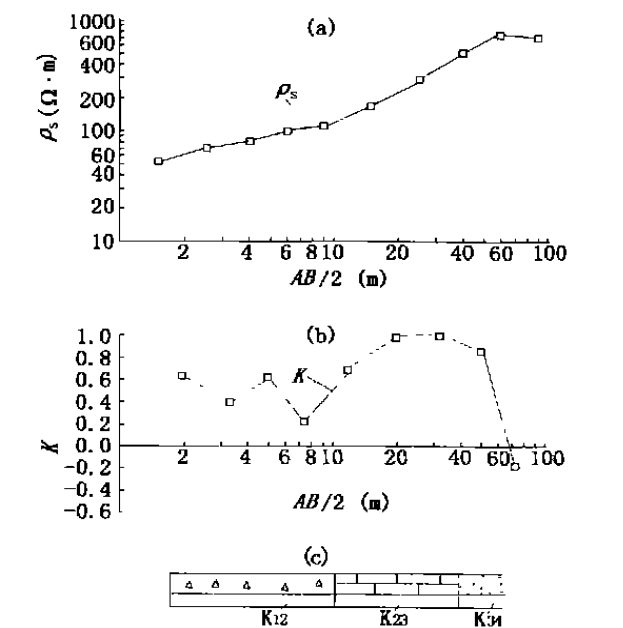


图 2 4/4 点电测深成果图

(a) — ρ_s 曲线; (b) — 单值 K 曲线; (c) — 钻孔揭露和解释结果图

3.2 存在溶洞时电测深 ρ_s 曲线和 K 曲线特征

图 2(a) 为桂林某大厦建筑工程 4/4 点的 ρ_s 曲

线,为不太明显的AK型,首支较平缓,说明覆盖层的电性变化;在 $AB/2$ 为 9~15 m 的区段较缓,为基岩与覆盖层接触部位的富水带;然后曲线呈 45° 上升趋势,说明已达基岩,只有在曲线的尾支即 $AB/2$ 为 90 m 时出现一个不太明显的异常,预示有一溶洞存在。

图 2(b) 为 4/4 点的单值 K 曲线图。在 $AB/2$ 为 3 m 和 7.5 m 两个位置出现低值但非负值异常。前者表示覆盖层电性变化,后者表示基岩与覆盖层位置含水部位。随后 K 曲线值趋近 1,说明已达基岩。在 $AB/2 = 75$ m 时有一负值异常,这不仅表明有一溶洞存在,而且还可以准确计算其深度,使得在 ρ_s 曲线上原本不太确定的分界面变得清晰。经对 K 曲线计算,其基岩深度为 4.5 m,溶洞顶板深度为 30 m。经钻孔验证,其基岩深度为 4.3 m,溶洞顶板深度为 28.5 m。误差小于 5 %

3.3 桂林某新建工程场地岩溶勘察

图 3 为桂林某新建工程场地岩溶勘察 1 线综合剖面图。整个场地经过平整,已无任何地质标志,表面都是素填土。据居民介绍,中央还有几个较大的水塘。如此复杂的地质条件,必须进行详细勘察才能正式施工。

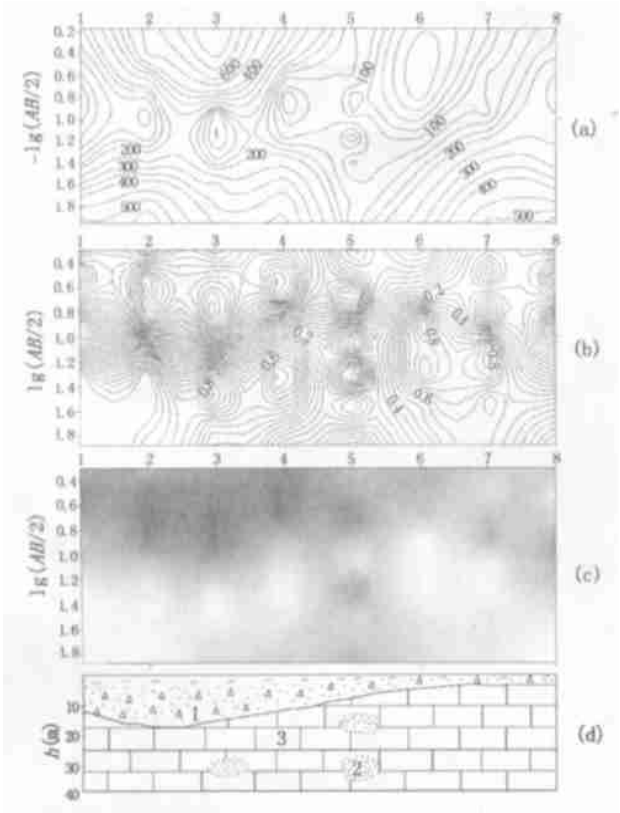


图 3 桂林某建筑工程 1 线综合剖面图

(a) $-\rho_s$ 等值线图; (b) $-K$ 等值线图; (c) $-K$ 曲线影像图;
(d) 地质断面图; 1—浮土覆盖层; 2—溶洞; 3—灰岩

图 3(a) 为此场地 1 线电测深 ρ_s 曲线等值线图。断面图大致反映了浅部覆盖层沿剖面的电性变化和底部基岩的分布情况。1~4 号点 $AB/2$ 约 15 m 左右的低阻带即为基岩与覆盖层接触部位的富含水带,1~7 号测点浅部出现较大面积的低阻异常,此为充填的泥塘。但是,此剖面图未能把强干扰、复杂地质条件下隐伏的溶洞分辨出来。

图 3(b) 为 K 等值线断面图。图中除了清晰地分辨出基岩上的含水带外,将 3 号点、5 号点深部隐伏的溶洞也分辨出来了。图 3(c) 即为 K 曲线影像断面图。图中 1~7 号点浅部大面积阴影表示充填的泥塘,在 3 号点、5 号点的深部明显地反映了溶洞的存在,尤其是 5 号点,存在两个阴影,应存在两个溶洞。

据此,对 5 号点解释深度分别为:浮土层厚度为 4.5 m,第一个溶洞深为 15~18 m,第二个溶洞顶板深为 27 m。经验证,浮土层厚度为 4.8 m,第一个溶洞深为 15.5~18.8 m,第二个溶洞顶板深为 28 m。图 3(d) 为此剖面地质断面图,显示了地中真实的情况。

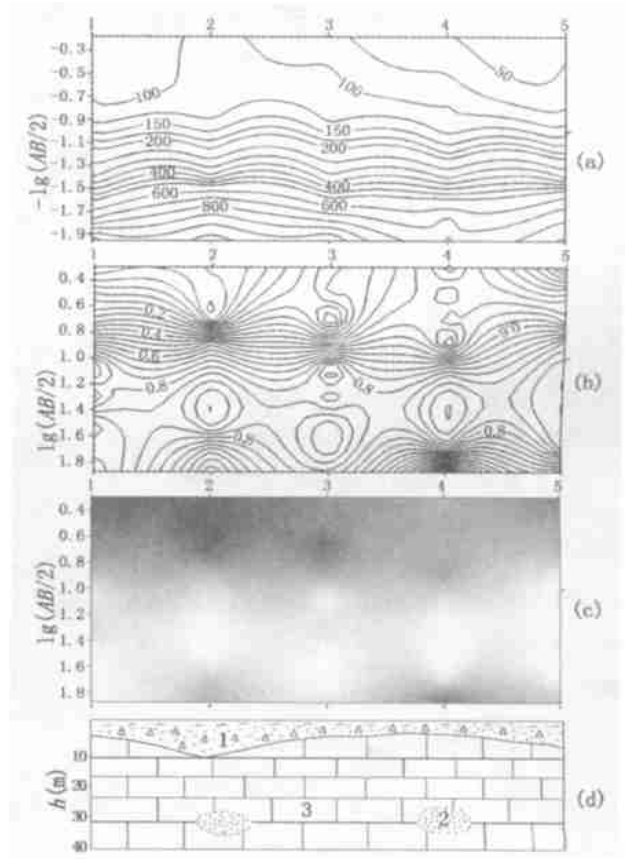


图 4 桂林某大厦建设工程 4 线综合剖面图

(a) $-\rho_s$ 等值线图; (b) $-K$ 等值线图; (c) $-K$ 曲线影像图;
(d) 地质断面图; 1—浮土覆盖层; 2—溶洞; 3—灰岩

3.4 桂林某大厦基建工地场地岩溶勘察

图 4 为桂林某大厦基建工地场地岩溶勘察综合剖面图。图 4(a) 为 4 线电测深 ρ_s 曲线等值线图，图中大致反映了覆盖层和底部基岩的分布情况，而未能把溶洞所在的位置形成的局部低阻异常体现出来。

图 4(b) 为 K 等值线断面图。浅部分布的负异常中心部位反映基岩上部的含水带，深部的两个异常则表明溶洞的存在，即 2 号点和 4 号点的深部。图 4(c) 为 K 剖面的影像图，非常清晰地显示了溶洞的位置及范围。经验证，分别在 2 号点的 31 m 和 4 号点的 28 m 处见到溶洞，与解释深度误差小于 5 %。

通过以上实验结果及解释，不难看出，如果仅采用 ρ_s 等值线断面图来圈定剖面内溶洞的存在部位，则只能在图中圈出高阻和低阻异常，但溶洞形成的低阻异常无法从中分离出来。K 剖面法却能把 ρ_s 的局部弱小异常加以提出和放大，从而使得溶洞的位置在 K 等值线断面图及其影像图上直接表现出来，并有很好的形态相似性。

4 结 论

1) 通过多个场地的岩溶物探工作实践，认为运用电测深手段并运用 K 剖面法对资料进行解释解决隐伏岩溶问题是有效的，可以较准确地对地下溶洞的空间位置定位；

2) 在复杂地电条件下，由于低阻覆盖层及表层

水的影响，隐伏溶洞所引起的 ρ_s 异常很难从观测的数据中反映出来，因而，仅从 ρ_s 曲线也就很难对地中隐伏岩溶定位；

3) K 剖面法的实质是对 ρ_s 曲线进行一次微分，使得原 ρ_s 曲线的斜率发生了质的变化，其值在 - 1 ~ + 1 范围内变化。当存在较小的界面电性变化时，K 对于这种变化非常灵敏。这样，结合 ρ_s 曲线特征及场地地质情况，就可以较准确地对地下隐伏岩溶定位。

[参考文献]

[1] 刘 崧. 物探方法在岩溶勘查中的应用综述[J]. 地质科技情报,1997,16(2):85~91.

[2] 钟世航. 我国水文、工程物探的进展[J]. 物探与化探,1988,12(5):336~343.

[3] 陈烂华,陈绍求. 电测深法在岩溶探测中的应用[J]. 中南工业大学学报,2000,31(1):9~12.

[4] McCann D M, Jackson P D, Culshaw M G. The use of geophysical surveying methods in the detection of natural cavities and mine-shafts. Quarterly Journal of Engineering Geology[J], 1987,20:59~73.

[5] Douglas L S, Anthony F R. Application of Electrical Resistivity Methods to Identify Leakage Zone in Draied Lakes, Karst Hydrogeology [J]. Engineering and Environmental Applications, Netherlands,1987,227~234.

[6] 岩溶场. 地勘察电测深资料的解释与应用[J]. 工程勘察,1998(2):71~74.

[7] 付良魁. 电法勘探教程[M]. 北京:地质出版社,1985.

[8] 吴其斌. 物探方法在岩溶地质调查中的应用[J]. 国外地质勘探技术,1993(2):1~8.

APPLICATION OF K SECTION METHOD TO KARST EXPLORATION

JING Rong - zhong, LIN Jian, XIAO Zhi - qiang
(Central South University, Changsha 410083)

Abstract: In order to choose the position of buildings, bridges etc., it is very necessary to know if the Karst is existed in the area in Guilin area in which the Karst is broad distributing. On the basis of obtained reliable data of resistivity sounding, the authors use the K section method to explain the ρ_s information, and obtain very good geological effect. The results show that the K section method can discover very feeble abnormalities under very complex geological conditions, and can detect underground caves, so it is a economical, expeditious and effective method. The K section method has great prospects in the field of exploration geophysics.

Key words: K section method, resistivity sounding method, karst exploration, information interpretation