利用自然井液电阻率法确定岩溶含水层

郭崇光　（山西煤田水文地质二二九队　太原　030006）

摘要　结合山西碳酸盐岩地层岩溶水勘探中的实际资料，论述了往往被人们忽视的简单易测的自然状态下的井液电阻率曲线在确定岩溶含水层中的应用。

关键词　含水层　岩溶水　电测井　水文地质勘探

中国图书资料分类法分类号　P631.84

作者简介　郭崇光　男　40 岁　工程师　地球物理勘探

1　引言

井液电阻率法是水文测井的主要方法之一，其在确定含水层段位置、水文地质求参及测量技术条件等方面已有许多成功的经验。但它最大的缺点是测量过程中探头要求在孔内连续畅通无阻的时间较长，一般的裸孔较难保证这个条件，制约了该法的应用。笔者就此探讨了往往被人们忽视的简便易测的自然井液电阻率法，并在山西岩溶水勘探中，用来确定含水层段以及验证其它水文测井方法确定和遗漏的含水层段，取得了好的效果。

2　基本原理

自然状态下的井液电阻率曲线是直接反映钻孔中井液导电性能的，其导电性能与井液的化学成分、浓度、温度等密切相关。清水钻进时，井液的导电性能主要取决于井液的矿化度。矿化度越高，导电性能越强，电阻率越低，反之，电阻率越高。当钻孔中井液矿化度相同时，井液电阻率曲线为一条直线（忽略井温异常）。当钻孔中有不同矿化度的井液界面存在时，井液电阻率曲线在界面上会产生明显的突变异常。变化的幅值与矿化度的差值成正比。井液中有几个不同矿化度的界面，其井液电阻率曲线上就有几个异常反映。

在碳酸盐岩地层岩溶水勘探中，清水（河流水或潜水）冲洗液与碳酸盐岩岩溶水的矿化度差异较大，特别是隐伏岩溶地区，一般相差 0.5～3 倍，最高可达 6 倍。即使同属岩溶水，不同含水组的矿化度也不尽相同。

在钻探过程中，我们把经钻头流出的清水冲洗

盖层或水平导电层的影响很小。这表明，当采用低频供电时，不仅增强了有意义的异常，而且简化了正常场的计算方法。

b.　由于电偶源充电电磁法观测磁场时，不需要接地，且能克服高阻绝缘层或低阻导电层的影响，因此，这种方法特别适合在接地条件困难或存在低阻覆盖层的地区开展工作。

（收稿日期　1995—09—20）

STUDY AND APPLICATION OF NORMAL FIELD OF EM CHARGE METHOD OF HORIZONTAL ELECTRIC DIPOLES

Shi Xianxin (Xi'an Branch, CCMRI)

Abstract　In this paper, the formulas of components of EM field produced by horizontal electric dipoles in underground half space with low resistance layer are given. And theoretical curves of normal field have been computed and analyzed. Practice data have been explained used the results. The results show that the magnetic field are stable and the effects of low resistance layer are small in low frequency.

Keywords　EM charge method; horizontal electric dipoles; normal field; thin conductive formation.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

液视为孔底有一层静止水位高出地表的假想含水层。在钻孔未揭穿含水层时，井液全部为冲洗液，其矿化度不变，井液电阻率为一直线。当钻孔揭穿含水层时，冲洗液与含水层间形成一种补给关系，在停钻后，孔底假想含水层消失，含水层以下为冲洗液，含水层以上为岩溶水和冲洗液的混合液（比例大小与含水层的水动力特征有关），此时就形成了一个不同矿化度的井液界面。有多层含水层时，这一界面延伸至最下含水层段位置。多层岩溶水之间在各含水层的水动力作用下也可形成不同矿化度的井液界面，但都在孔底冲洗液界面以上（尚未全部揭穿最下含水层段的除外）。由此可见，利用井液电阻率曲线是能够确定含水层段的，特别是最下层含水层段。

3　实际应用

3.1　单层含水层的确定

如图1所示，常规曲线有岩溶地层反映，是否含水不能定论，但结合井液电阻率曲线幅值变化，足以确定为含水层。

图2是晋城YS－14孔的下段水文测井曲线。在裸孔中测量的井液电阻率曲线有明显的突变异常，幅值相差4.1倍，为含水层反映。经流量测井曲线验证，确定无疑。

3.2　两层含水层的确定

当有两层含水层但无补给关系时，井液电阻率曲线一般只在下层含水层处有一突变异常。此时用清水冲洗液注水后再测量一条井液电阻率曲线，在上层含水层处会出现又一突变异常。上、下部异常之上、下反映了冲洗液电阻率，中部反映了岩溶水和冲洗液的混合液的电阻率。

图3所示晋城YS－10孔的一段实测曲线，注水前井液电阻率在409 m以上和419 m以下近似为直线，幅值相差2.6倍；注水后井液电阻率曲线有两

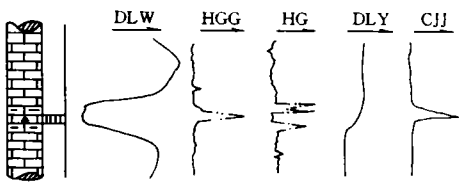

图1　晋城水103孔岩溶含水层测井曲线

DLW——视电阻率；HGG——人工伽玛；HG——自然伽玛；DLY——井液电阻率；CJJ——井径

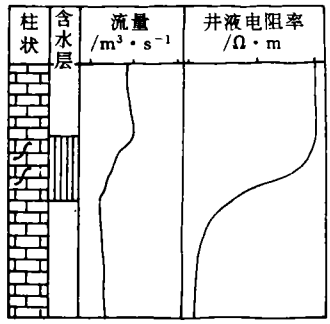

图2　用井液电阻率曲线解释含水层

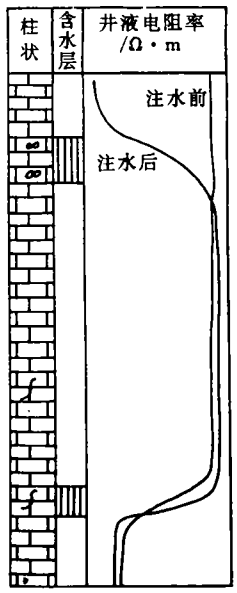

图3　两含水层间无补给关系时的实测曲线

个突变异常，上部在343.0～351.6 m，幅值相差2.75倍，下部和注水前结果吻合。两含水层均经扩散法验证确认。

当两含水层之间有补给关系时，井液电阻率曲线上一般有两个突变异常。其中间段的井液属出水层的岩溶水，下部为冲洗液，上部为冲洗液与岩溶水的混合液。如图4所示晋城YS－12孔实测曲线的两含水层异常，经简易注水流量测井测试得到了验证。

3.3　多层含水层的确定

当钻孔揭穿两层以上含水层，且各含水层矿化度不同时，在各含水层水动力作用下，形成补给关系，反映在井液电阻率曲线上至少会有两个突变异常。如图5所示，在两含水层补给另一层时，会出现3个异常；若两个补给层矿化度相同时，中间层在井液电阻率曲线上的异常就被掩盖了。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

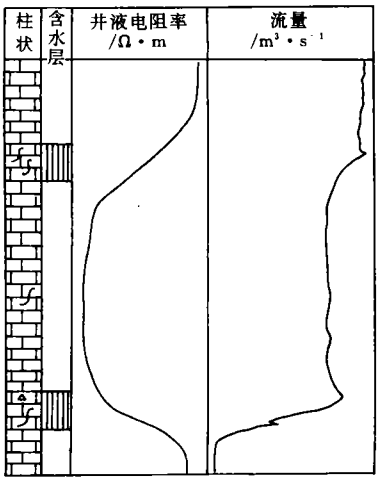

图 4　两含水层间有补给关系时的实测曲线

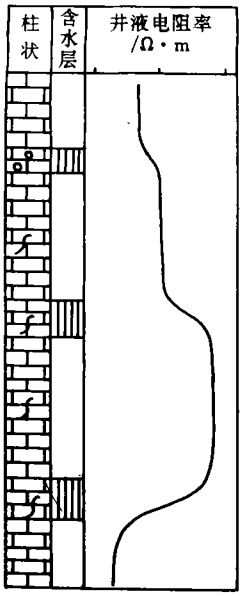

图 5　多层含水层应用实例

一般情况下,多层含水层在井液电阻率曲线上多以最上和最下两个突变异常出现,中间含水层由于补给作用和各岩溶含水层间的矿化度相差较小往往被掩盖掉了。

实际工作中,为了避免遗漏中间含水层,可采用分段测量的方法。一是结合钻探施工以地层组段分段钻进,分段抽水,分段测量。二是凡在钻探过程中发现大的涌、漏水后,继续钻进 20～30 m 作为一段测量。

3.4　验证其它方法确定的含水层

用井温资料来研究和确定含水层是近年来水文测井的一种新方法。但该法因受地温变化的影响往往出现误解性,在实际工作中多采用井液电阻率曲线来验证。图 6 是离柳 LS－5 孔的一段实例,井温曲线有明显的突变异常,3 m 间温度升高了 3.15℃。而井液电阻率曲线不仅未随井温的增加而降低,反而急剧的增加了 14.5 Ω·m,相差 6 倍之多,说明此处存在着差异很大的不同矿化度的井液界面,验证了井温曲线确定的含水层。

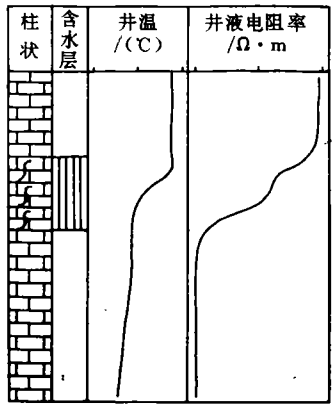

图 6　验证井温解释结果

由上例可见,用常规曲线结合简易水文资料确定含水层段时,如能增测井液电阻率曲线验证,会使解释成果更加可靠,特别是对一些消耗量大的假含水层的判别更为重要。

3.5　检查被遗漏的含水层

简易流量测井曲线由于受抽水泵量的限制,往往遗漏一些影响不到的含水层。注水流量测井需要用大于或等于抽水时最大出水量的注水量才较为理想,否则会遗漏底部含水层,特别是上部含水层较强,下部含水层较弱时,注入水几乎都流入上部的强含水层,而底部的弱含水层被遗漏。此时利用井液电阻率曲线最易发现最下层含水层。图 7 是晋城 YS－3 孔的一段实测曲线,注水流量曲线只有一层含水层反映,而井液电阻率曲线有明显的两层含水层反映,与同一勘探线上相

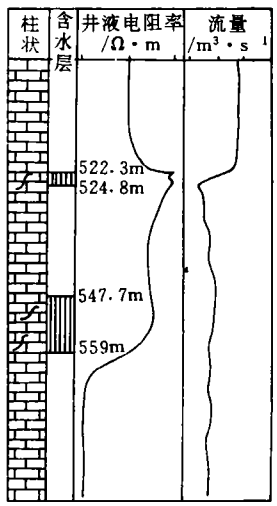

图 7　检查流量测井遗漏的含水层

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

矿井物探

层状介质中含水岩溶的数值模拟

王秀荣 赖越殿 （中国矿业大学 徐州 221008）

摘要 针对用均匀高阻介质中的低阻体来模拟含水岩溶构造的缺陷，用积分方程法对两层介质中的岩溶构造进行了数值模拟，并分析了计算曲线的特征，以及表层、岩溶与围岩的电阻率差异对探测结果的影响。计算结果对野外施工和资料解释具有指导意义。

关键词 数值模拟 电阻率法 岩溶 层状介质

中国图书资料分类法分类号 P631.322

作者简介 王秀荣 女 24岁 硕士研究生 电法勘探

1 引言

岩溶是一种常见的地质现象。多数情况下，人们寻找的地下水都与岩溶有关，如裂隙带、含水溶洞和地下暗河等。随着人们对水源的需求量越来越大，而地表水越来越少，寻找岩溶水已成为人们解决水资源匮乏的重要途径。另外，在煤炭生产中，有不少矿井遭受岩溶水的直接威胁。因此对含水岩溶探测技术的研究有着重要的意义。

岩溶多发育在灰岩中，灰岩电阻率很高，以往人们多用均匀高阻介质中的低阻体来模拟含水岩溶。人们对这种情况下场的特点、曲线形态都有了深入的了解。但是这种模型未考虑上覆地层的影响，与野外实际相差很大。因此笔者采用上覆低阻表层层状介质中的三维低阻不均匀体对岩溶进行数值模拟。此种情况更切合野外实际地质条件。

2 数学模型

如图1所示，A为供电点，则电位 u 满足泊松方程：

$$\vec{\nabla}(\sigma\vec{\nabla}u) = -I\delta(\mathrm{A}), \tag{1}$$

即

$$\vec{\nabla}^2u = -\frac{\vec{\nabla}\sigma}{\sigma} + \frac{I}{\sigma}\delta(\mathrm{A}), \tag{2}$$

式中 σ ——岩层的电导率，S/m；

$\delta(\mathrm{A})$ ——A点的 δ 函数。

应用赫姆霍兹(Helmholtz)理论，可得 r 点的电位 $u(r)$ 为：

距2.5 km的YS－2孔抽水流量测井曲线划分的两层含水层相吻合。

对井温测井而言，当水温与围岩温差较小时，在井温曲线上多无异常反映，如果只用井温资料来解释是会遗漏局部含水层的。如辅以井液电阻率曲线来检查可弥补井温资料的不足。

4 结论

a. 自然井液电阻率法测量方法简便易测，并能直接反映地下水的一些水质、补给特征和含水层位置，特别是最下含水层。

b. 可与其它方法相互弥补，检查被遗漏的含水层。

c. 自然井液电阻率法是基于井液中矿化度差异的大小，在井液矿化度差异较小时，井液电阻率法效果欠佳。

参考文献

1 郭崇光．岩溶水勘探中测井资料的综合应用．华北地质矿产杂志，1994；9(3)：317～322

（收稿日期 1995—04—19）

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net