瞬变电磁法在甘肃省地下水勘查工作中的应用

蒋　文　　胡文贤

（甘肃省地勘局水文地质工程地质勘察院，张掖　734000）

摘要：在甘肃省部分地区的地下水勘查工作中，用常规物探方法难以划分地层的结构、确定断裂构造的位置、查明基岩面的起伏形态及判断地下水的赋存状况。通过 TEM 勘测并结合钻孔资料分析，对上述水文地质问题的认识取得了一些突破，证明了瞬变电磁法在地下水勘查工作中的有效性。

关键词：瞬变电磁法；地下水勘查；应用

随着对电磁感应原理研究的深入以及电子技术和计算机应用水平的提高，瞬变电磁法在仪器研制和应用方面取得了长足的发展。由于该方法易于加大勘探深度，具有分辨能力强、工作效率高、受地形影响小等特点，近几年越来越受到人们的重视，被广泛用于油气田、地热、煤炭以及地下水勘查工作中。在地下水勘查领域，瞬变电磁法同其它许多物探方法一样，也是一种间接找水的方法，都是借助勘测成果中反映的地层结构、地质构造等信息来分析和判断地下水的赋存状况的。

甘肃省地勘局十分重视西部缺水地区的找水工作，大力支持应用地球物理方法勘查地下水，为下属单位配置了 CUGTEM—2001 型瞬变电磁仪，并适时启动了综合物探方法找水效果研究项目。本文着重论述瞬变电磁法在甘肃省地下水勘查工作中发挥的显著作用。

1 瞬变电磁法的基本原理

瞬变电磁法属时间域电磁法，利用了电磁感应的原理，以脉冲电流的形式向地面铺设的发送回线供电。当发送回线中通以稳定电流时，在感应地质体中产生稳定的一次磁场；在电流关断的瞬间，一次磁场突然消失，感应地质体内部由于磁通量的变化而感生出涡旋电流，并进一步产生了与一次磁场方向相反的二次感应磁场。这样的过程交替循环，形成了向下传播的能量逐渐衰减的电磁场，由此形成的场称为瞬变电磁场。在瞬变电磁场衰变期间，二次场随时间的延迟而不断减弱；涡流随时间的推移渐渐向深部扩散，同时向外扩散的距离不断增大。瞬变场的延迟时间特性与地下地质体的几何参数及电性参数有关。良导地质体的规模越大、导电性越好，瞬变场的强度就越大、衰减越慢、延迟时间就越长；反之则瞬变场的强度小、衰减快、延迟时间短。根据理论公式可知，发射回线中心磁场的大小与地层的电阻率之间存在一定的函数对应关系。因此，通过观测随时间衰变的磁场便可以测出电阻率随深度的变化[1]。

2　工作方法与技术

作者简介：蒋文（1966.9— ），男，高级工程师。1988 年毕业于长春地质学院应用地球物理系应用地球物理专业，长期从事水文物探野外生产和技术管理工作。

野外观测使用 CUGTEM—2001 型瞬变电磁仪。由于该仪器采用了大电流正、负方波供电及高灵敏度抗干扰接收探头，有效地减小了发射线框的边长，从而极大地方便了野外作业。此外，该仪器还配备了国内先进的“ 中心回线瞬变电磁 2.5 维全自动反演解释软件包 ”，提高了仪器操作的自动化程度。

在调查深度不超过 1000m 的情况下，一般采用 50—200A 的供电电流、13—26m 的回线边长以及 1—4μS 的采样间隔即可满足勘探要求。最佳装置参数和采样间隔的选择，需要通过与钻孔（或测井）资料对比的试验工作分析确定。

野外工作时，供电线圈尽可能在同一水平面上布成正方形，接收探头置于供电回线的几何中心，靠水准器调平，工作现场应远离金属物体及强电磁干扰源。在相同装置的同一个测点上的观测值，多采用 6—9 次迭加的办法来压制干扰信号。

3 数据采集与处理

CUGTEM—2001 型瞬变电磁仪集数据的采集、传输和处理功能于一身，在 Windows 界面下，由不同的菜单来控制仪器工作。采集数据时，通过工控机发出指令，仪器按照设定的采样间隔自动拾取数据。完成数据采集工作后，主机屏幕上会自动显示出计算好的归一化电位差曲线和多测道曲线（有两个以上测点时显示多测道图）。

数据处理主要是把实际观测的瞬变响应数据转化成视电阻率参数，再反演出与其对应的深度的过程。在完成一条剖面的数据采集工作后，通过输入高程数据并适当调整解释参数，很快就可以获得该剖面的“ 多测道剖面图 ”和视电阻率随深度变化的“ 虚拟全区视电阻率剖面图 ”，资料的实时处理功能较强。

4 应用实例

4.1 瞬变电磁法在分析地下水分布规律中的应用

甘肃省山丹县位于河西走廊中段，在其南部的永固隆起东部边缘带附近，地表为第四系松散层所覆盖。第四系岩性上部以含泥砂砾卵石为主，下部为含泥砂砾卵石、砂与亚砂土、亚粘土。以往的勘探成果认为：第四系下伏地层的岩性主要是第三系的泥岩、砂质泥岩。区内地面较平坦，但隐伏的地质构造发育，水文地质条件比较复杂。

经常规的电测深勘探工作后发现：区内存在北西向的隐伏断裂构造，且在断层西南地段具有第三系基底视电阻率局部增高的现象。由于与含水层有关的基底相对高阻层的厚度小，埋藏较深，所以无法确定其具体位置和分布特征

该区的 TEM 试验工作围绕已知的供水井展开，并布设在以往电测深剖面的附近，图 1 中的 1、2、3、4 号点分别与四眼供水井的位置相对应。从图 1 可以明显看出：TEM 断面下部 5—8Ω·m 的视电阻率等值线在 2—3 号测点之间呈台阶式变化，反映出剖面南北两侧存在较大的电性差异，推测是由于断层错动引起的基底岩性变化造成的。TEM 断面中部出现了

两个层位不同、相互独立、视电阻率值大于 9Ω·m 的异常区。剖面南段异常区的埋藏深度相对较小，与第三系上部含水的砂与粘土互层对应，异常处于电测深曲线的“Q”型部位；剖面北段的异常区埋藏较深，其位置与区域地下水的埋藏特征接近，估计此异常与含水地质体的分布有关。

根据测井和钻探结果：1、2 号点处的钻孔在 50—60m 深度附近揭穿了第四系，水位埋深<20m，单井涌水量>100m³/h，含水层主要分布在 150m 以上的第三系砂层中，150m 以下亦有薄层状的含水细砂层分布，属第三系承压水。3 号点处的钻孔孔深 200m，未揭穿第四系，3—4 号点附近水位埋深 100m 左右，单井涌水量>80m³/h，属第四系潜水。

通过上述对比分析表明：TEM 勘测成果不仅清楚地显示了断裂构造的位置、证实了以往电测深工作的推断成果，而且比较准确地圈定了地下 150 m 深度内有效含水层的分布范围，打破了对第三系岩性及赋水性的传统认识，以充分的证据说明该区第三系存在岩性相变，在上第三系中含有地下水[2]。

在不同地区的多次 TEM 试验工作中，部分剖面的含水地质体呈相对高阻显示，这种现象很可能与观测过程中产生的激电效应有关。这一特性有利于分析地下水的分布规律。

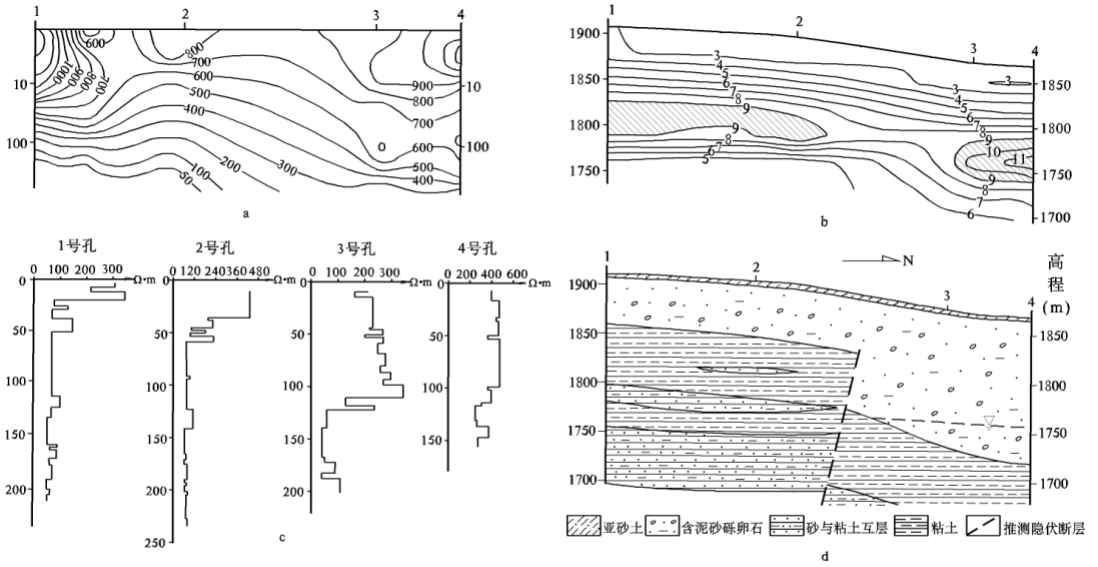


图1　山丹四坝试验区综合物探成果图

a—电测深法ρ_s断面；　b—TEM法ρ_s断面；　C—电测井参数曲线；　d—简化地质剖面

4.2 瞬变电磁法在探测基岩面中的应用

甘肃省平凉市位于陇东鄂尔多斯盆地的西南侧，其南部山区灰岩比较发育，区域地质构造的主轴线沿北西方向延伸。该区地下水的分布往往与灰岩区的隐伏断裂构造、灰岩的溶蚀特性和灰岩界面形态等地质因素有关。由于隐伏断裂和黄土覆盖作用，使灰岩的埋藏条件变得较为复杂。虽然进行了电测深、EH4 和大地音频等物探方法的勘查，但对灰岩顶面起伏形态的认识一直没有大的突破。

针对上述问题，在勘查区布置了北东向的 TEM 勘测剖面，图 2 是其成果断面。通过与已知勘探孔资料的对比分析表明：灰岩顶面位于剖面中相对高阻区的上部边界线（上部的 23 Ω · m 等值线）附近。在剖面的 2—3 号点之间和 5 号点附近存在两处隐伏断裂。受 5 号点处断裂构造的影响，断层两侧的灰岩顶面的埋深和起伏形态略有差别。在 5 号点以南地段，灰岩顶面微微南倾，与地面的倾向相反，灰岩埋藏深度南大北小，南部约 190m，北部 150m 左右。在 5 号点以北地段，灰岩顶面略微向北倾斜，与地面的倾向基本一致，灰岩面顶面的埋深为 170m 左右。推测含水层主要赋存在灰岩上段 250m 深度内[3]。

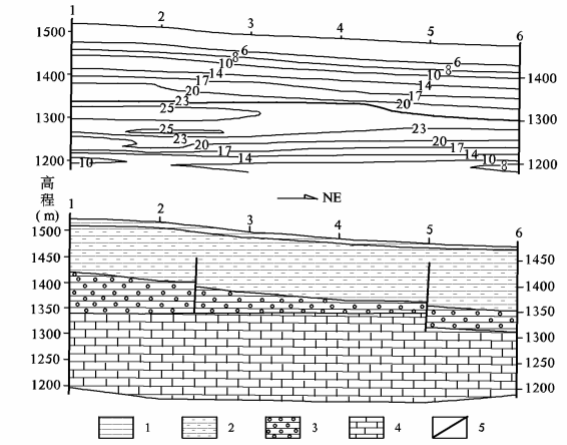


图2　瞬变电磁法推断成果图

1—泥岩；　2—砂质泥岩；　3—砾岩；　4—灰岩；　5—推测隐伏断裂

上述推测的断裂位置与遥感解译和地面调查的结果完全一致，推断的灰岩顶面埋深与钻探的结果基本吻合（2 号点附近的勘探孔揭示：灰岩面埋深 186m，水位埋深 123m，单井涌水量 53.7m³/h）。TEM 勘测成果比较准确地查明了灰岩顶面的起伏形态和埋藏深度的变化规律，为区内的地下水勘查工作提供了较为可靠的地质依据。

4.3 瞬变电磁法在勘查断裂构造中的应用

甘肃省通渭县义岗乡位于陇西黄土高原的沟谷川区，属花岗岩浅藏带。区内第四系岩性明显分为上下两段：上段为黄土，下段主要为含泥砂砾卵石。第四系多直接覆盖在花岗岩上，厚度一般小于 20 m。第三系泥岩仅分布在局部地段，厚度数米至数十米不等。以往的水文地质普查和钻探成果表明，区内两条北东向的隐伏断层是主要的储水构造。

从电测深视电阻率断面（图 3a）分析，下部相对高阻区反映了花岗岩基底的电性变化情况。其中 4—5 号点附近，大于 100Ω ·m 高阻等值线明显向下弯曲，视电阻率值急剧下降，说明在这一区间可能存在基岩断层及构造破碎带。由于低阻异常带的分布范围较宽，隐伏断层的位置难以准确判定。

TEM 勘测成果断面（图 3b）清晰地反映出，下部的相对高阻区同样呈不连续状态分布，在 3—4 号点和 6 号点下方各出现一个相对独立并且沿纵向分布的低阻异常区，低阻异常的

中心位置分别与水文地质普查所确定的两条北东向储水断层的位置相重合，从而较准确地判定了隐伏储水构造带的平面分布状况。

实践证明，瞬变电磁法受体积效应及侧向影响小，在同等测网密度条件下勘测隐伏断裂构造时，瞬变电磁法比垂向电测深法的推断解释结果更为准确。

5 结论与建议

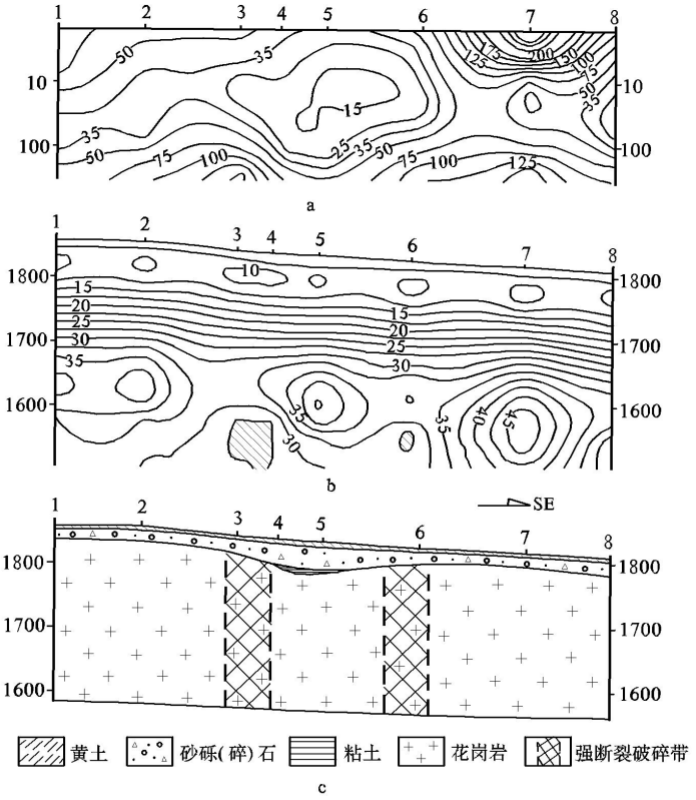


图3　通渭义岗综合物探成果对比图

a—电测深法ρ_s断面；　b—TEM法ρ_s断面；　d—简化地质剖面

1．利用瞬变电磁法辅助地下水勘查工作是可行和有效的。该方法勘探深度大、分辨能力强、受地形影响小、工作效率高，能够为物探找水工作提供新的调查线索和有价值的含水层分布信息，值得推广应用。

2．鉴于地下水勘查工作的复杂性和物探资料的多解性，建议将瞬变电磁法与其它物探方法配合使用，从不同的角度对含水异常区进行多种参数的综合解释分析，提高物探找水的准确性。

6 存在的问题

通过与其它电法解释资料的对比分析表明，CUGTEM—2001 型瞬变电磁仪的勘测成果尚存在以下问题：

1．勘测成果对浅部地层信息的压制范围偏大，约占勘探深度的 1/4—1/3。

2．勘测成果中的交流视电阻率值普遍偏低，不便与其它电测方法的同类参数进行直接对比。

参考文献

[1] 徐金文，梁詠仁.CUGTEM 野外工作方法应用手册[M].中国地质大学资源仪器研究所，2001.

[2] 蒋文，赵聚林，任多魁.甘肃省不同水文地质条件下的综合物探方法找水效果研究报告.2002.

[3] 蒋文，任多魁. 平凉市南部山区岩溶地下水瞬变电磁法勘测成果报告.2002.