

CSAMT 与 地 热 勘 查

张青杉 穆建强

(中国冶金地质勘查工程总局地球物理勘查院 保定 071051)

摘要：CSAMT(可控源音频大地电磁测深)方法以其探测深度大、分辨能力高等特点广泛应用于地下水资源勘查、金属矿产勘查、石油勘查等领域,可取得常规电法所无法比拟的勘查效果,尤其适用于圈定地下水资源的空间赋存位置、规模、属性、连通性等钻前勘查工作;近年来我院在全国各地所承担的地下水及地热勘查工作,采用CSAMT方法均取得了良好的应用效果;本文从方法的原理特点出发,总结了该方法应用于地热勘查的主导思想及所需注意的问题,最后给出了部分实例以资借鉴。

关键词：CSAMT、地热、测深、分辨力

CSAMT方法在我国开始应用已有十多年的历史,自1992年我院开始引进美国Zonge公司GDP系列综合电法仪器以来,笔者在全国各地实施了大量以地质构造勘查为主的CSAMT勘查工作,涉及石油前景勘查、金属矿勘查、地下水资源及地热勘查等诸多方面,从而加深了对CSAMT方法特点及其应用领域的理解,在此仅就CSAMT方法应用于地热勘查领域作一些分析总结以供诸位同仁参考。

1、CSAMT 方法原理特点

1.1、方法原理简介

CSAMT(可控源音频大地电磁测深)方法与MT(大地电磁法)、AMT(音频大地电磁法)方法同属频率电磁测深范畴,三者不同之处在于CSAMT的激励场源可以人工控制;工作中通过调整二次场观测频率进而采集各观测点不同频率下不同方位的电、磁场振幅及相位数据,通过各种复杂的数据处理、反演手段,最终反映出地下电阻率三维分布特征,从而达到测深的目的。

CSAMT方法的激励场源为可以人工控制发射电流及其频率的电偶极子或磁偶极子,观测端(测深点)位于距场源较远地段(依观测装置、目标勘查深度而定),通过观测不同发射频率下电磁场的正交电磁分量及其相位差,计算出不同频率下的视电阻率;由于不同频率的激励场具有不同的趋肤深度,因而观测结果可以反映测点下电阻率随深度的变化特征;通过对各测深点数据进行汇总、处理及反演计算,则可得到整个测区内电阻率的空间分布状态,为进一步的地质解释提供详实可靠的深部资料。

作者简介：张青杉：男，1968年生，1991年毕业于长春地质学院应用地球物理系，地球物理高级工程师。

1.2、方法特点

由 CSAMT 方法的原理决定了该方法具有如下特点：

1.2.1、勘探深度范围大：根据不同地质目的及实地地电条件，CSAMT 方法的勘探深度可以灵活控制；工作中依据当地电性特征设定测量频点的上下限并调整收发距离，一般可将勘查深度限定在 0.03—2.5Km 范围内的某个区段；

1.2.2、分辨力高：垂向分辨率（电性层或目标地质体厚度与埋深之比）可达 10%，水平分辨率约为接收偶极子长度（浅部可控制在 20M 以内）；

1.2.3、低阻敏感性：由于 CSAMT 方法使用交变电磁场，因而可以穿透高阻盖层或浅部高低阻间杂地层，对反映深部低阻地质体具有较好效果；

1.2.4、地形影响小：由于观测区场源在大部分频点下为平面波场，同时电磁分量的观测计算已进行了归一化，因而该方法的测量结果受地形影响较小且易于校正；

1.2.5、场源影响小：在同一发射场源下可以进行大面积（一般控制在 10Km²—20Km²）观测，避免了常规电法中频繁移动场源位置所带来的不利影响；

1.2.6、抗干扰能力强：目前应用于该方法的物探仪器大多配备大功率发射机（发射功率可达 30kW），整套仪器具备精确分频、高灵敏度、高次叠加、高稳定性等性能，对有效压制各种地电及人文干扰效果显著；

1.2.7、设计灵活：可根据地质任务、地形、地质特征等灵活设计施工方案；

1.2.8、高效便捷：施工效率明显优于其他测深方法。

1.3、方法流程中的关键环节

由于该方法技术含量较高，项目施工中除确保数据采集质量、实时变通工作方法以应对具体地质情况外，还应在后续工作中注意以下几个方面：

1.3.1、数据处理工作应与工作目的密切结合：工作目的不同，所应关注的信息自然不同，曲线处理及静态效应校正中应采用符合实际、灵活变通的有效手段以极大地突出目标信息；

1.3.2、依赖场源效应改正时应慎重：目前多采取对远、近场区数据直接拟合的方法进行反演计算，对于使用类似 MT 反演方法时所采取的场源效应改正手段则应谨慎选择，由此所生成的深部反演数据亦应参考使用；

1.3.3、使用反演方法应与测区地质情况相适应：由于物探方法不可避免的多解性问题，反演计算中必须考虑当地的具体地质情况，有效利用钻孔等已知资料以提高解释结果的可靠性与精度；

2、利用 CSAMT 方法进行地热勘查

2.1、地热勘查主要目标

本文中所涉及的地热勘查主要指以地下热水为主的地热系统，显而易见，其勘查目标中既包含对赋水区域的勘查，同时也包含对热源或导热通道的勘查；

2.2、利用 CSAMT 实现地热勘查

鉴于地热勘查的总体目标及 CSAMT 方法的独到特点，笔者认为，利用 CSAMT 方法实现地热勘查目标应从以下两个方面入手：

2.2.1、地下水资源勘查

对于具有一定规模的层间水或裂隙水赋存部位，由于含水地层表现为明显的低阻特征，CSAMT 方法的低阻敏感性使得应用该方法精确划定地下水赋存部位、规模及其连通性易于实现，针对测区电性的三维数据图示方法使得解释结果客观有效、易于理解，因而针对赋水部位及其周边地带的地热构造研究就显得尤为重要；值得注意的一点是：对于片岩、片麻岩等各向异性比较明显的地层，应考虑采用（或部分采用）矢量或张量 CSAMT 方法，研究地层倾向、走向与电阻率的关系，分辨岩层各向异性的影响，进而准确划定地下水赋存部位及其规模；一般说来，剔除金属矿物对地层电性的影响，地下水资源赋存部位在 CSAMT 断面图中主要表现为以下特点：

- 、层间水：电阻率拟断面图中具备明显的横向低阻圈闭区，呈连续或断续分布，具可分辨的空间延展规律；

- 、断裂破碎带赋水：电阻率拟断面图中具备明显的垂向低阻圈闭区或低阻条带，邻近断面图中具有可分辨的延续性或相似特征；

- 、灰岩溶洞水：电阻率拟断面图中具备明显的局部低阻圈闭区，延展性或连续性较差；

2.2.2、导储地热构造的勘查

地下水温度的变化并不会显著改变储水岩石的电性特征，因而 CSAMT 方法难于直接界定其温度高低，利用 CSAMT 方法进行地热勘查应考虑发挥其特点、谋求间接的地热界定方法，即从寻找导储地热的有利构造入手，概括说来，应寻找具有以下特点的构造部位：

- 、电阻率拟断面图中具备明显的低阻圈闭区（灰岩溶洞水、局部层间水或裂隙发育储水部位）或低阻条带（层间水或断裂破碎带赋水），其空间规模可达到开发要求；

- 、低阻区（带）之上覆盖有一定厚度的高阻（或高低阻夹杂）地层，盖层厚度的大小对地热资源的形成具有重要的保护意义；

- 、低阻区（带）周边具有可分辨的热源或导热通道，如切割较深的断裂带等；

近年来的实践表明，通过上述分析途径锁定的地热有利部位，大多已经钻探证实效果比较理想。

3、应用效果分析

近年来我院在全国各地承揽了大量地下水资源勘查、地热资源勘查工作，通过技术人员的精细研究，采取了许多因地制宜的处理手段，工作成果大多已被钻探结果所证实。

3.1、云南腾冲地热勘查

云南腾冲为我国著名活火山区，具有丰富的地热资源，1997年我院在云南腾冲热水塘一带进行地热勘查，图1为实测结果中的一条CSAMT剖面反演解释结果。该区构造十分发育，地质填图中可分辨出两组不同方位、规模不等的断裂构造；除局部盖层为较薄的上第三系、第四系砂砾岩、砂岩及粘土层外，主要地层为厚度变化较大、产状较陡的高黎贡山群深变质岩系（混合岩、混合花岗岩、片麻岩、片岩、板岩等），其电阻率各向异性十分明显；通过对该区具体情况的分析，在该区布置了标量CSAMT测量及部分矢量CSAMT测量，测量反演结果与已有地质资料对应较好，地表可分辨的断层在反演图片中均有明确显示（图1中有数字编号者皆为地表可见断层）；经与已有地质资料对比分析，首先圈定了测区内地下水的富集部位（如图1中灰色部分，预计为高黎贡山群深变质岩系裂隙发育部位），而后选择具备导热通道（F40深断裂）及较厚盖层（350m）的12号点左侧布置钻孔，设计最大孔深800M，结果证实300--700M深处水量充足，水温97°C；该钻孔终孔深度1400M，其800—1400M部位为不含水区段，与图示结果完全吻合。

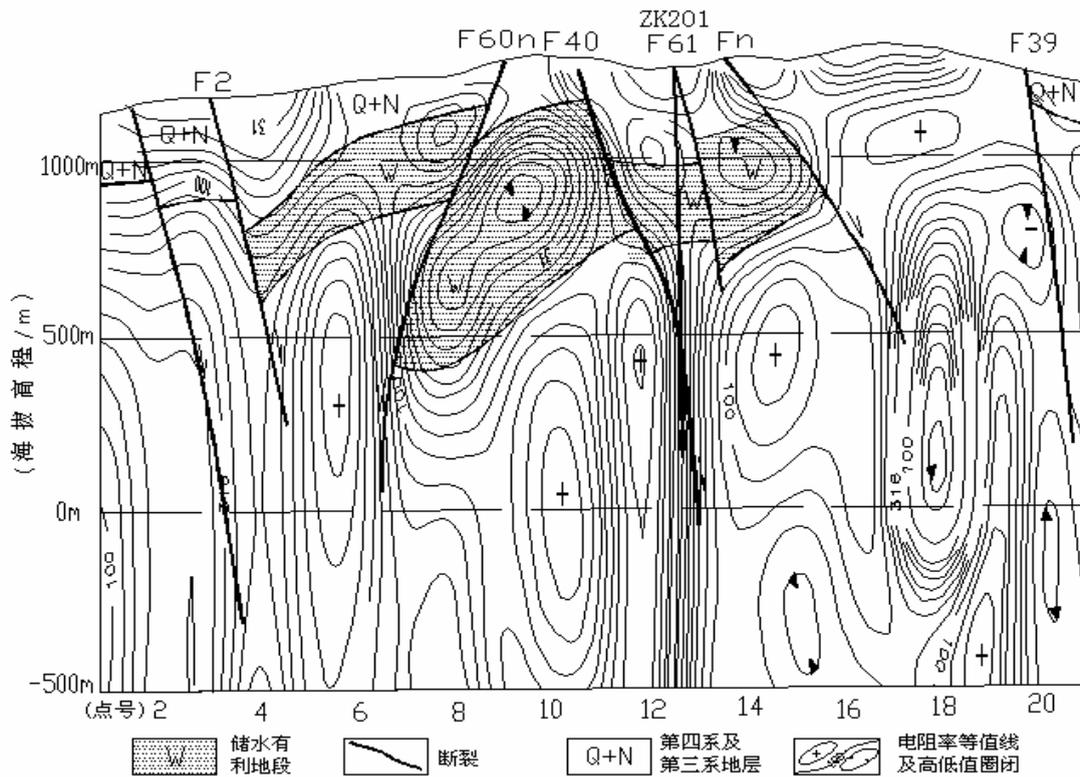


图1 云南腾冲地热勘查2线电阻率拟断面图

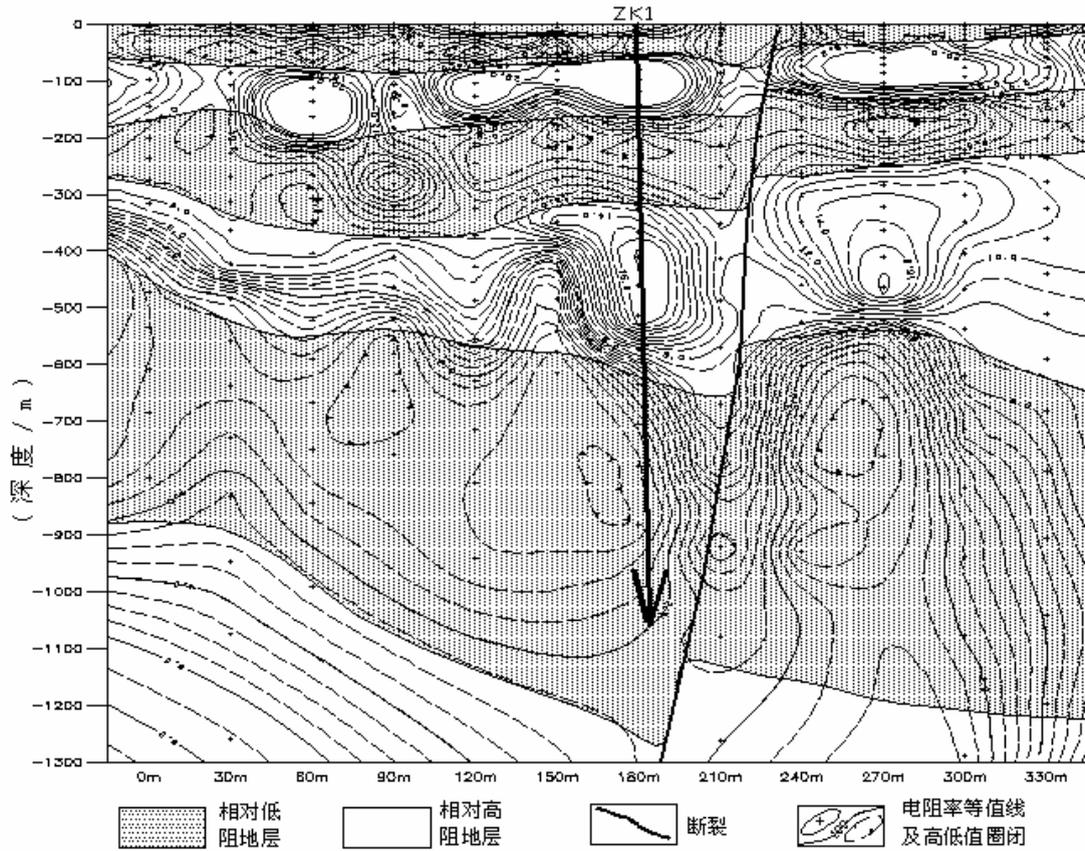


图2 淮安地热勘查1线电阻率拟断面图

3.2、江苏淮安地热勘查

江苏淮安地区属水网密集的农业区，地质构造上隶属洪泽-盐城东西向构造带，地层主要为厚度巨大的新生代第三系、第四系砂岩、泥岩建造；该区浅表水温度约 20°C，地温梯度约 3°C/100m；图 2 为我院在该区实测的一条 CSAMT 剖面反演解释结果，可以看出，高低阻层位纵向上相间分布，反映该区地层产状较缓、厚度变化不大；由于浅部两个低阻层埋深较小，预计难以达到目标温度，而深部具备明显的电阻率低值区，具备蕴藏地热的良好前景；剖面中部 210m 部位电阻率等值线下冲并将两侧低阻体切断，推测为深部断裂脉岩充填所引起，对热源导通较为有利；经与其它资料对照分析，决定在断裂左侧 180m 处布设地热钻孔，目标体即为高低阻间杂盖层下深断裂附近的巨大低阻体；该钻实际终孔深度 800m，地下水富集部位与钻探结果相符，最高水温 42°C。

3.3、河北承德地热勘查

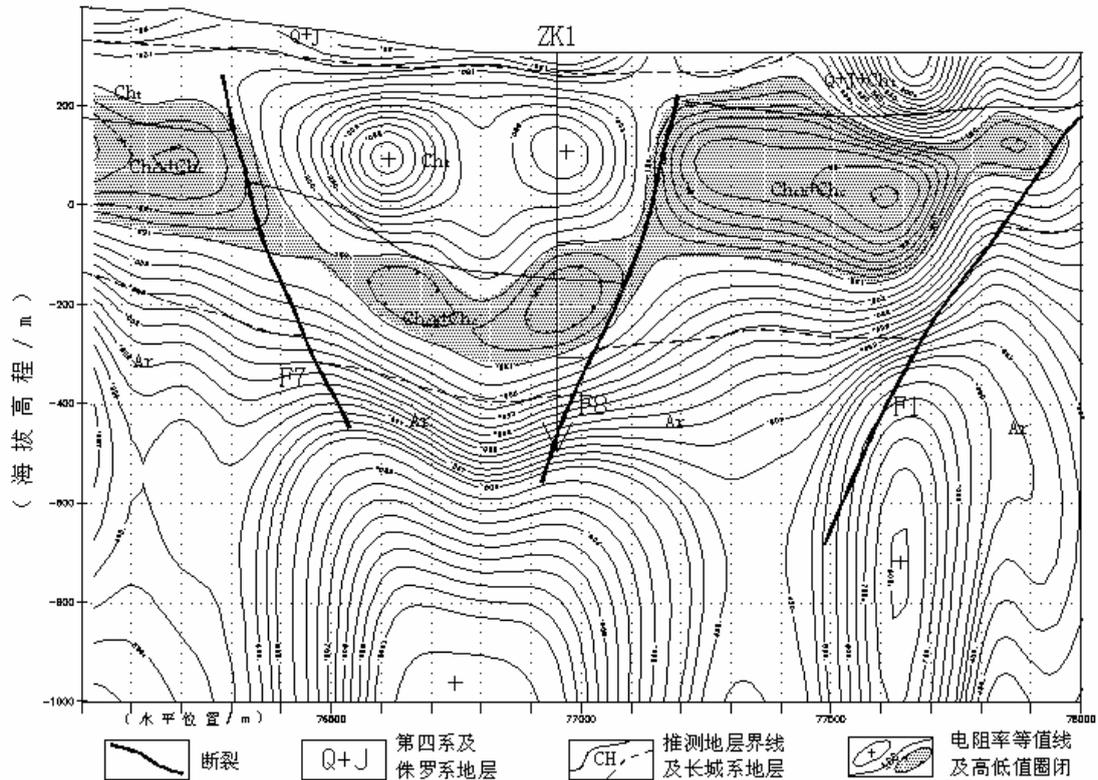


图3 承德市地热勘查5线电阻率拟断面图

图3为我院在承德闫营子一带实地勘查结果中的一条断面,该区浅部为白垩系火山(碎屑)岩、砂岩建造,其下主要为厚度较大的长城系灰岩、砂岩地层,地层倾角较小,地质构造复杂;电性测定分析结果表明,在贫水情况下火山岩、砂岩、灰岩及侵入岩体的电阻率均在 200 Ω m 以上;图3中除浅表低阻薄层外,尚存在一厚度较大、由两端向中部逐渐变深的低阻层位,因而可以推断,该地除浅部白垩系地层中的含水区段外,深部长城系灰岩、砂岩接触面一带存在一规模更大、连通性较好的赋水区段(电阻率约 30 Ω m);图3中 ZK1 为设计地热钻孔位置,可以看出,该点位处深大断裂一侧,深部(500m—750m)具有含水有利区段,上覆高阻巨厚盖层,深部隐约可见侵入基底,应属布设地热钻孔的理想地段,目前该钻孔正在紧张筹措中。

4、结论

CSAMT 方法对于寻找低阻体赋存部位、划分深部地质构造具有明显的优势,充分发挥这些优势以勘查地下水资源状态及生储地热的有利部位,不失为勘查地下水资源乃至地热资源的一种理想手段。