

# 高密度电阻率成像法在水文地质领域中的应用

姜振蛟<sup>1</sup>, 卞建民<sup>1</sup>, 查恩爽<sup>1</sup>, 林年丰<sup>1</sup>, 田沃野<sup>2</sup>

(1. 吉林大学环境与资源学院, 长春 130026 2. 吉林省水利水电工程局, 长春 130026)

**摘要:** 高密度电阻率成像法 (ERT) 作为一种高效、准确的地球物理探测手段, 在水文地质领域得到了广泛的应用。本文通过文献追踪和分析, 重点讨论了电阻率与含水率、渗透系数、含盐量等水文地质表征参数之间的相关性, 并就该方法在地下水资源勘查、溶质运移动态监测以及水文地质参数反演等方面的应用进行了剖析, 阐述了 ERT 探测过程中的主要影响因素及各因素之间的相互关系。最后, 针对 ERT 方法在应用过程中存在的问题提出相应的改进建议。

**关键词:** 高密度电阻率成像法; 地下水资源勘查; 水盐动态监测; 水文地质参数反演

中图分类号: P641.12 P631.13<sup>+</sup> 22

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2010)02-0021-06

电法在水文地质领域中的应用始于 20 世纪 50 年代, 最初以直流电阻率法为基础, 通过电测深与电剖面方法来分析地下空间的电性差异特征, 以反映地质实体的空间变异状况。随着人们对电法探测原理研究的不断深入, 多种基于地电属性的物探方法相继出现, 相应地, 探测仪器的性能也不断升级, 高密度电阻率成像法 (ERT) 正是在这一背景下诞生, 并得到了广泛的应用。上世纪 70 年代末期, 英国学者 Lytle 设计的电测深偏置系统构成了 ERT 方法的最初模型<sup>[1]</sup>。至 80 年代中期, 日本借助于电极反转板完成了野外电阻率的采集, 随后, 该方法被引入我国, 在水文地质调查工作中发挥了重要作用<sup>[2]</sup>。

电法的勘测深度与供电电极间距有关, 其所测的深度与测量电极间距有关。ERT 方法基于阵列电探的思想, 通过一次性布极、自动变换电极距, 实现多尺度断面数据的采集。借助于二维或三维反演软件完成视电阻率 $\rightarrow$ 真电阻率 $\rightarrow$ 地质断面影像之间的转化。从而提供了丰富的地质空间信息<sup>[3]</sup>。

目前, ERT 方法兼具电测深、电剖面法的特点, 相对于其他的物探方法也有其独有的优势。特别适用于含水地层的圈定以及含水介质中富水性、污染状况的调查。本文重点阐述高密度电法在地下水资源勘查、含水介质中溶质动态的监测及水文地质参数确定等方

面的应用现状, 就其应用状况提出了改进的建议。

## 1 ERT 在地下水资源勘查中的应用

地下水资源勘查的主要任务是探明含水层的位置、储量及空间分布。对于高电阻率含水介质而言, 水的存在降低了其电阻率。利用电测深曲线解译的方式可达到上述目的, 但由于勘查范围有限, 使其工作效率不高。ERT 方法可快速完成大范围地电数据的采集, 通过对所采集的数据反演成像, 直观地实现地质空间中含水介质精细结构的探测, 便于全面地了解含水介质的富水性及位置, 具有明显的优势。主要体现在以下方面。

### 1.1 岩溶区地下水资源的调查<sup>[4-5]</sup>

通过对灰岩地层的识别和判定, 可以了解溶洞的发育状况及空间分布规律, 判断溶洞充填状况及富水特征。贵州大学杜定全教授<sup>[4]</sup>将 ERT 方法与地质雷达相结合用于溶洞探测中, 利用 ERT 方法获取地下溶洞分布的总体特征及其大体位置; 借助于分辨率较高的地质雷达, 探测埋深较大、个体较小的溶洞及溶洞内部特征。Franjo Šumakovac 等<sup>[5]</sup>在岩溶地区开展水文地质调查过程中, 将地震方法和 ERT 方法相结合, 通过地震波折射法和高分辨率反射法准确查明了埋深 100m 以下的破碎带、断层及其地质结构特征, 而 ERT 方法为合理解释含水层岩性及地下水循环条件提供了可靠的工具。

### 1.2 基岩裂隙水的勘查<sup>[6]</sup>

在基岩发育的区域, 隐伏的断裂带往往伴随着基岩的破碎, 孔隙度较高, 含水量大, 电阻率低。通过 ERT 方法成像分析, 便可初步确定出基岩裂隙水的空间分布状况。而利用高频大地电磁法和钻探等方法来

收稿日期: 2009-06-14 修订日期: 2009-11-03

基金项目: 国土资源调查项目 (1212010634701); 吉林省地质调查项目 (2006-06)

作者简介: 姜振蛟 (1986-), 男, 地下水科学与工程专业硕士研究生, 主要从事水文物探方面的研究。

E-mail: jiangzhenjiao@163.com

校正 ERT 方法勘查结果, 可保证并提高 ERT 方法的解译精度。

### 1.3 探明矿区导水通道<sup>[7]</sup>

导水通道的确定是矿产开发的前提, ERT 方法通过地表布极, 阵列式供电, 面状采集数据, 覆盖性地勘察, 可有效避免传统方法的“漏探”、“误探”等问题。

### 1.4 划分含水层<sup>[8]</sup>

鉴于不同层位含水层的富水性具有明显差别, 可通过电阻率的变化予以反映。因此, 利用 ERT 法可有效地区分基岩裂隙水与孔隙水、识别孔隙水中不同富水层的界面。为区域水资源的开发及水流模拟中概念模型的建立提供新的依据。

随着数字可视化技术的发展, 多种可视化系统相继出现。三维数据反演算法也不断完善, 如准牛顿非线性最小二乘算法、共轭梯度算法、全微分修正法等<sup>[9-10]</sup>, 可有效解决 ERT 方法反演成像过程中的多解、局部极小、过平滑等问题, 使得二维 ERT 方法逐步向三维方向转变。目前, 基于 ERT 方法所建立的三维地质实体模型, 可以任意移动、旋转、切片、分层显示, 并开始被应用于水文地质领域。如山东科技大学霍陪合等人<sup>[11]</sup>将三维 ERT 方法应用于巷道底板含水性探测中, 数据处理使用 RES-3D-INV 三维电阻率反演程序, 获得了电阻率三维影像, 通过水平、垂直方向切片技术, 实现了巷道底板含水特征的有效评估。

## 2 ERT 在水质变化动态监测中的应用

### 2.1 ERT 方法在含水介质含盐量监测中的应用

含水介质中含盐量的监测是保证水资源可持续开发利用的必要过程, 主要通过野外采样、室内土壤溶液(或地下水样)分析以及对测试数据空间插值的方法来完成。但所需工作量较大、且破坏了土壤的原位结构, 不宜于实现含盐量的全面准确调查。而通过 ERT 法所获取的电阻率影像可间接反映介质含盐量的变化。20 世纪 90 年代至今, 该方法已多次被用于进行含水介质含盐量监测工作中。例如: Peter Bauer<sup>[12]</sup>在博茨瓦纳某地开展土壤积盐与地下水含盐量的关系研究时, 应用 ERT 方法监测该区地电状况的变化, 经过与数学模型耦合验证, 直观地反演了高盐区呈手指状向下部淡水含水层扩散的现状。Koestel<sup>[13]</sup>利用 ERT 方法研究土壤含盐量分布时, 将溶质质量守恒作为附加条件, 保证了含盐量检测精度及监测效率。

地下电流场分布的影响因素繁多且具有时空多变性, 在实际应用中, 电阻率与含盐量之间的转换关系难

以确定。本文仅对 ERT 监测含盐量的应用过程进行了归纳和总结, 见图 1。

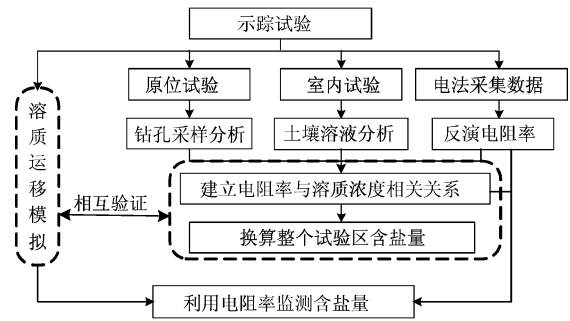


图 1 ERT 方法监测含盐量流程图

Fig 1 Flow chart of salinity monitoring with ERT

ERT 方法监测含盐量时可以针对不同的地区, 选择典型的试验场地开展示踪试验或溶质运移模拟研究, 使得含盐量与电阻率关系得到理论及实际的验证。实践结果表明<sup>[12-13]</sup>, 在此基础上, 基于 ERT 方法反演的含水介质含盐量的空间分布状况, 可满足研究区含盐量调查的需要。

### 2.2 ERT 在含水介质污染调查中的应用

地下水或土壤中污染物的浓度变化, 可引起其赋存体的导电性发生变化。污染区与非污染区之间存在电性界面。ERT 方法既可以通过描绘地质体的电性差异, 实现污染范围的圈定; 通过监测同一位置处电阻率的变化, 确定污染质的运移速度、运移方向及污染程度。

不同的污染物对电阻率产生的影响不同, 通常将污染物按成分划分为有机污染物和无机污染物。无机污染物, 如  $Cl^-$ 、 $Fe^{3+}$ 、氨氮等的增高, 会导致电阻率的降低, 污染物的含量、价态与电阻率呈负相关关系。有机污染物, 如油污、有机碳等, 对电阻率的影响比较复杂, 受污染物与水混合比例的影响。郭秀军等人<sup>[14]</sup>在进行含油污水侵入的试验研究中发现, 在含油污水侵入的初期, 由于水分使得土壤含水率提高, 引起电阻率降低; 随着油污量的增加, 在土壤中形成油膜使电阻率随之升高。在有机污染物占有相当比例的情况下, 地中电流场可表现出各向异性的特征。

此外, 利用 ERT 方法进行污染状况调查时, 应针对不同的污染途径, 选择合适的电极布设方式。对于地表水体渗漏型及垃圾填埋场或尾矿渗滤液型, 可能在污染源的下方形成污染晕, 并沿地下水流向延伸, 针对这种情况, 需要平行于地下水的流向布设多条测线, 以达到探明污染物的来源及污染范围的目的, 并根据

具体情况在可能的污染源区附近加密布极<sup>[15-16]</sup>。对于管道型污染,如油井、输油管道及下水道等发生的渗漏,污染物多以线性方式进入地下,通常可沿平行管道两侧布设测线,对于油井可沿井壁布极<sup>[17]</sup>。农业非点源污染类型,如:施肥造成的氨氮含量升高、农药中所含的重金属污染等,污染物随农业用水呈面状入渗进入土壤及含水层,均匀布极方可实现污染状况调查<sup>[18-19]</sup>。

目前,ERT方法已作为一种重要的污染质运移监测手段,被应用于室内试验研究及场地污染物迁移的动态监测。为验证该方法的可行性并提高监测精度,周启友、郭秀军等人<sup>[20-21]</sup>先后通过室内试验研究了常见的渗流液组分 COD、氨氮、氯离子、介质组成对电阻率的影响作用,利用 ERT 法监测实验过程中含盐量的变化,以获得不同时刻的污染质迁移状态的快照,收到了理想的成效。在大量室内研究的基础上,北京、成都相继在垃圾填埋场成功使用 ERT 方法开展野外垃圾渗滤液的运移监测工作,通过分析不同阶段低阻区的分布范围的变化,确定了该垃圾场渗流液的渗流规律和研究区地下水及土壤的污染状况,从而提出了科学的防护措施<sup>[22-23]</sup>。

### 2.3 ERT在海水入侵监测中的应用

由于自然或人类活动导致滨海地区天然水盐平衡的改变,海水向淡水含水层入侵,引起淡水含水层的咸化。在咸、淡水之间的混合带(或视为分界面)周围存在着电阻率突变现象。一般地,将视电阻率小于  $20\Omega \cdot m$  的位置作为海水入侵的前缘界面。入侵区和非入侵区的电性控制因素不同,前者主要受含盐量的影响,后者更多受介质特性的控制。通常在入侵区,尤其在过渡带处,视电阻率等值线梯度较大,而非入侵区的梯度较小。借助于低阻等值线的分布及电阻率梯度的变化可圈定海水入侵范围<sup>[24]</sup>,监测  $20\Omega \cdot m$  等值线的时空变化可分析海水入侵的演化趋势和确定入侵通道<sup>[25]</sup>。

ERT方法能够快速完成电测深和电剖面数据的采集,并反演成像,直观地反映海水与淡水的空间分布特征。目前,很多针对海水入侵的模型已被提出并使用,然而模型的验证存在一定的局限,利用 ERT 监测结果验证模型模拟结果可提高模型预测精度<sup>[26]</sup>。此外,该方法已能实现地电断面三维空间可视化,在海水入侵评价中具有广阔的应用前景。

## 3 ERT在水文地质参数反演中的应用

由于含水介质电阻率受多种参数的共同影响,每

种参数的变化都可能引起电阻率的改变。笔者将地中电流场的影响参数划分为以下几类:

- 1) 综合反映介质储水状况的含水率;
- 2) 反映介质中水体流动能力的渗透系数;
- 3) 对水流影响较小,但明显影响电阻率的介质矿物组成成分;
- 4) 温度因子。

目前,国外已研究利用温度与电阻率的关系,监测地下热水的运移状态<sup>[27]</sup>。而通常开展温度与矿物成分对电阻率影响研究,主要是为了更好地确定渗透系数和含水率。因此,本文对 ERT 方法在含水率及渗透系数确定两个方面的研究进展进行重点分析。

### 3.1 含水率的确定

饱和含水率是表征含水介质孔隙度、粒度级配、压实状况等因素的一个综合性参数,而非饱和含水率及介质饱和程度的变化,又是水分空间运移的体现。因此,寻找有效的方法确定介质含水率及其饱和程度一直是国内外研究者关注的问题。目前,含水率主要通过室内称重、时域反射计及中子仪等方法测定,但都不适用于深层、大范围土壤含水率的调查。在含水介质中,水的存在可以明显影响介质中电流场的分布,ERT 方法利用野外采集的电阻率数据,建立电阻率与含水率之间的关系,反映土壤或含水层中含水率的变化。

传统的 Archie 公式<sup>[28]</sup>给出了电阻率与含水率之间的普遍性规律,之后围绕着该公式中参数的求取及公式的修正等问题开展了大量的实验研究。M ichot D<sup>[29]</sup>考虑温度影响下的电阻率与含水率之间的关系,通过实验建立了适用于研究区的“电阻率 - 含水率”转化公式,有效地将 ERT 方法应用于土壤含水率的监测中。Benjamin F<sup>[30]</sup>考虑粘土对电阻率的影响,对 Archie 公式中的颗粒组成系数求法进行了改进,利用修正后的 Archie 公式将电阻率转化为含水率。周启友<sup>[31]</sup>利用 ERT 方法监测岩石柱中水分的入渗规律,绘制了饱水和排水过程中不同时间岩石柱中电阻率分布图,确定了岩柱的导水通道和赋水空间。

目前利用 ERT 监测含水率的变化还局限于室内试验应用,在野外复杂的地质状况下,利用电阻率反演含水率仍有待进一步探索。

### 3.2 渗透系数的确定

渗透系数作为岩层透水性的表征参数,与岩石空隙性质和水的某些物理性质有关。目前,主要采用渗流槽试验、电模拟、抽水试验以及水流数值模拟等方式确定。

ERT在参数确定方面已被应用于油气领域, 如对油气储层属性、渗透率、饱和特征以及孔隙度等参数的确定。基于油、水之间流动性质的相似性, 水文地质工

作者借鉴油气领域成功的经验, 将 ERT 方法应用于渗透系数的确定方面<sup>[32~36]</sup>, 可将目前研究情况归纳为图 2 所示。

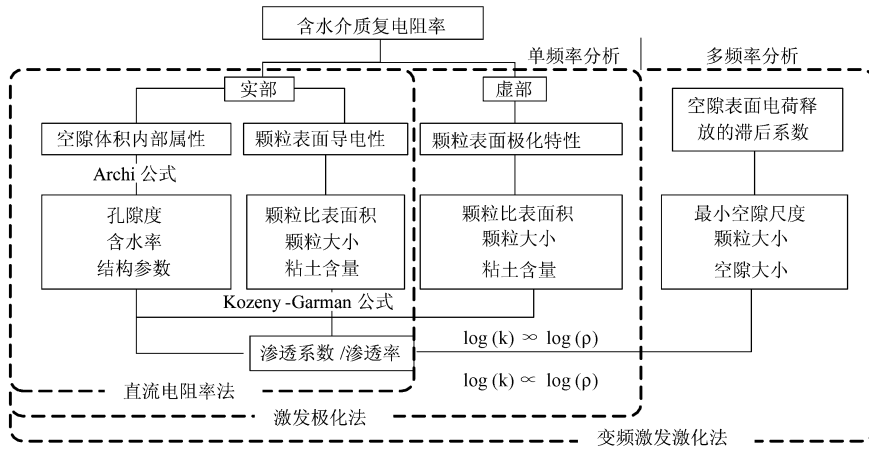


图 2 ERT 方法在含水介质参数确定中的应用过程

Fig 2 Estimate the hydraulic conductivity using ERT method

由图 2 可知, 目前, 主要以利用 Archie 公式和 Kozeny-Garman 公式结合的方式, 确定电阻率与渗透系数之间相关关系。电阻率(指复电阻率的实部)反映了孔隙表面及孔隙内部的综合特征, 而渗透系数仅与孔隙内部特征有关, 因此剔除颗粒表面的影响, 是实现电阻率与渗透系数之间合理转化的关键。对于颗粒较大的含水介质, 比表面积较小, 电阻率主要受空隙中的所赋存的水体控制, 孔隙度越大, 电阻率越低, 而渗透系数越大, 电阻率与渗透系数呈负对数相关关系<sup>[32~34]</sup>。对于颗粒细小的含水介质比表面积大, 电阻率主要与颗粒表面吸附离子及颗粒自身的导电性有关, 比表面积的增大, 导致积聚离子增多, 电阻率降低, 渗透系数也由于连通状况不良而降低, 渗透系数与电阻率之间表现为正对数相关关系<sup>[35~37]</sup>。此外, 将 ERT 方法反演的结果导入到溶质运移模型和水流模型中, 通过二者之间相互验证的方式, 提高反演精度, 也是一种行之有效的方法<sup>[37]</sup>。

用于含水介质含盐量监测、污染物运移规律研究及海水入侵状态分析等方面。

(3) 基于含水介质导水性与导电特性之间的相似性, ERT 方法为水文地质参数的确定及校正提供了一种有效的手段。

但是, 该方法也存在一些问题有待改进。如对深层、厚度变化幅度较大的含水层探测的分辨率不高, 多种介质属性之间的分离、纯化算法有待研究以及基于经验公式进行推测的精度保证程度等。笔者提出了几点建议, 以供探讨。

### 4 讨论

(1) ERT 方法为地下水资源勘查提供了便捷、有效的工具。利用含水介质与非含水地层之间的电性差异, 能够直观地获得含水层位置、富水特性及水循环条件等方面信息。若和其它物探方法联合使用, 探测效果更加合理、明显。

(2) 通过建立电阻率与含盐量之间的转换关系, 实现含盐量的动态原位监测。目前, ERT 方法已被应

1) 对 ERT 数据采集仪器进行改进, 丰富单机工作原理及数据采集方法。在工作方式上, 可由电法向电磁法拓展, 通过电极自动变换, 使其可同时实现偶极装置、单极装置采集数据, 拓宽 ERT 方法的适用范围, 使得探测结果更加科学合理。

2) 探索新的算法实现多种介质属性的分离(如地质统计学方法等), 对传统的经验公式进行改进, 结合研究区水文地质状况, 合理给定公式中的经验系数。将 ERT 方法反演的结果与溶质运移模型相融合, 在保证电阻率与水文地质参数之间合理转换的同时, 也为模型模拟结果提供了验证的依据。

3) 在已有的 ERT 方法应用理论和实践的基础上, 如能针对具体的水文地质问题开发相应的 ERT 反演软件, 可为水文地质领域中可视化技术发展提供新的依托。

## 参考文献:

- [ 1 ] Daily W illiam, Ramirez Abelardo. Electrical resistance tomography [ J]. Society of Exploration Geophysicists, 2004, 23 ( 5 ): 438- 442
- [ 2 ] 董浩斌. 高密度电法的发展与应用 [ J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 171- 175.
- [ 3 ] 傅良魁. 电法勘探教程 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1983 33- 98
- [ 4 ] 阿发友. 高密度电法和地质雷达在断层及溶洞探测中的应用 [ D]. 贵州大学, 2008( 5): 30- 80
- [ 5 ] Sumarovac F. Evaluation of resistivity and seismic methods for hydrogeological mapping in karst terrains [ J]. Journal of Applied Geophysics, 2001, 47(1): 13- 28
- [ 6 ] 田玉昆, 刘怀山. 高密度电法寻找地下水在即墨地区的应用 [ J]. 工程地球物理学报, 2008, 5( 6 ): 670- 674.
- [ 7 ] 董健, 翟培合. 高密度电法在煤层工作面底板含水体探查中的应用 [ J]. 科学技术与工程, 2008, 8( 5): 1550- 1552
- [ 8 ] 秦福刚, 戴隆沛. 高密度电阻率法的装置特点及其在水源勘察中的应用 [ J]. 工程地球物理学报, 2007, 4(4): 323- 327.
- [ 9 ] 吴小平, 汪彤彤. 利用共轭梯度算法的电阻率三维有限元正演 [ J]. 地球物理学报, 2003, 46 ( 3 ): 428- 432
- [ 10 ] Yu Mengchun. Modified total variation methods for three- dimensional electrical resistance tomography inverse problems [ J]. Water Resources Research, 2000, 36( 7): 8- 19
- [ 11 ] 施龙青, 翟培合. 三维高密度电法技术在岩层富水性探测中的应用 [ J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2008, 27( 6): 1- 9
- [ 12 ] Peter Bauer, Robert Supper. Geoelectrical imaging of groundwater salinization in the Okavango Delta, Botswana [ J]. Journal of Applied Geophysics, 2006, 60, 126- 141.
- [ 13 ] Koestel Johannes. Quantitative imaging of solute transport in an unsaturated and undisturbed soil monolith with 3D ERT and TDR [ J]. Water Resource Research, 2008, 44( 6): 8- 11.
- [ 14 ] 郭秀军, 武瑞锁, 贾永刚. 不同土壤中含油污水污染区的电性变化研究及污染区探测 [ J]. 地球物理学进展, 2005, 20( 2): 402- 406
- [ 15 ] Kin Yong Sung. Monitoring heavy metal transport in aquifer based on electrical property measurements [ J], Journal of ASTM International, 2006, 3( 6): 68- 85.
- [ 16 ] Soupios Pantelis, Papadopoulos Nikos, Papadopoulos. Application of integrated methods in mapping waste disposal areas [ J]. Environmental Geology, 2007, 53( 3): 661- 675.
- [ 17 ] Benson A K, Payne K L, Stubben M A. Mapping groundwater contamination using DC resistivity and VLF geophysical methods: a case study [ J]. Geophysics, 2001, 62( 1): 80- 86
- [ 18 ] Casas A, Hini M. Assessing aquifer vulnerability to pollutants by electrical resistivity tomography at a nitrate vulnerable zone in NE Spain [ J]. Environmental Geology, 2008, 54( 3): 515- 520
- [ 19 ] Bauman Paul. New techniques in volumetric imaging and photographic documentation of salt contaminated soil [ J]. International Conference on Health, 2004, 2( 2): 1387- 1390
- [ 20 ] 李国山, 周启友, 刘汉乐. 高密度电阻率成像法监测静水溶质运移过程 [ J]. 工程勘察, 2008( 10): 72- 75.
- [ 21 ] 郭秀军, 魏丽, 贾永刚, 等. 垃圾填埋场渗滤液污染地下含水层及修复过程的三维动态监测实验 [ J]. 地球物理学进展, 2006, 21( 2): 636- 642
- [ 22 ] 孙洪亮. 高密度电阻率法延时性勘探的研究与实践 [ D]. 成都: 成都理工大学, 2008
- [ 23 ] 程业勋, 刘海生, 赵章元. 城市垃圾污染的地球物理调查 [ J]. 工程地球物理学报, 2004, 1( 1): 26- 30
- [ 24 ] Lazreg H. Application of surface resistivity methods to the detection of salt- water intrusion in ship Egan, New Brunswick [ J]. Can Min Metall Bull, 1979, 65, 124- 133
- [ 25 ] 李福林, 张保祥. 水化学与电法在海水入侵监测中的应用 [ J]. 物探与化探, 1999, 23( 5): 376- 379.
- [ 26 ] A Cimino. A geophysical and geochemical approach for seawater intrusion assessment in the Acquedolicoastal aquifer ( Northern Sicily ) [ J]. Environmental Geology, 2008, 55( 2): 1473- 1482
- [ 27 ] Mitrofan Horia, Povara Ioan, Mafteiu Mihai. Geoelectrical investigations by means of resistivity methods in karst areas in Romania [ J]. Environmental Geology, 2008, 55( 2): 405- 413
- [ 28 ] Archie G E. The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics [ J]. Trans A M E, 1942, 146, 54- 62
- [ 29 ] Michot D, Benderitter Y, Dognny A. Spatial and

- temporal monitoring of soil water content with an irrigated corn crop covers using surface electrical resistivity tomography [ J]. *Water Resources Research*, 2003, 39(5): 141– 1420
- [ 30] Benjamin F, Schwartz M, adeline E Schreiber. Field-scale soil moisture using electrical resistivity imaging [ J]. *Journal of Hydrology*, 2008, 362: 234– 246
- [ 31] 伍开江, 周启友. 岩柱中水体入渗过程的高密度电阻率成像法研究 [ J]. *水文地质工程地质*, 2005, 32 (2): 76– 81.
- [ 32] 喻永祥, 吴吉春. 利用 ERT 数据推求非均质多孔介质渗透系数初探 [ J]. *水文地质工程地质*, 2006, 33 (2): 41– 49.
- [ 33] Sreedeeep S. Estimating unsaturated hydraulic conductivity of fine-grained soils using electrical resistivity measurements [ J]. *Journal of ASIM International*, 2005, 2(1): 13– 15.
- [ 34] Frohlich R. K, Fisher J. J, Summerly E. Electrical and hydraulic conductivity correlation in fractured crystalline bedrock Central Landfill Rhode Island [ J]. *Journal of Applied Geophysics*, 1996, 35(4): 249– 259.
- [ 35] 黄理善, 张胜业, 陈长敬. 用岩石复电阻率求渗透率的研究 [ J]. *工程地球物理学报*, 2007, 4(5): 444– 449.
- [ 36] Slater Lee. Near surface electrical characterization of hydraulic conductivity: From petrophysical properties to aquifer geometries – A review [ J]. *Surveys in Geophysics*, 2007, 28: 1– 19.
- [ 37] Kemna A, Vanderburgh J, Kulesa B. Imaging and characterization of subsurface solute transport using electrical resistivity tomography and equivalent transport models [ J]. *Hydrology*, 2002, 267: 125 – 146.

## The application of the electrical resistivity tomography in hydrology An overview

JIANG Zhen-jiao<sup>1</sup>, BIAN Jian-min<sup>1</sup>, ZHA En-shuang<sup>1</sup>, LI Nian-feng<sup>1</sup>, TIAN W o-yé<sup>2</sup>

(1 *Environmental and Resources College, Jilin University, Changchun 130026 China;*

2 *Water Resources and Hydropower Engineering Institute in Jilin Province, Changchun 130026 China*)

**Abstract** Electrical resistivity tomography (ERT) has been widely applied in hydrology during recent years with its high efficiency and precision. Based on summary and analysis the huge number of bibliographies considering the complicated factors that affect the electrical resistivity underground, the relationship between the resistivity and hydraulic parameters such as water content, hydraulic conductivity, porosity, solution and so on, have been listed in this thesis, emphasizing on the application of ERT on water resource surveying, the solute transportation monitoring, hydraulic parameters inversion. Aiming at the problems that are still existing, we have tried our best to supply some suggestions for discussing together.

**Key words** electrical resistivity tomography (ERT); groundwater resources investigation; water quality dynamic monitoring; hydrological parameters inversion

责任编辑: 张若琳