

EH4 电磁成像系统在杭州湾地区晚第四纪地层中的应用

李艳丽¹⁾, 林春明¹⁾, 于建国²⁾, 陈海云²⁾, 路天明²⁾, 漆滨汶¹⁾

1) 成矿作用研究国家重点实验室, 南京大学地球科学系, 南京, 210093;

2) 胜利油田有限公司物探研究院, 山东东营, 257062

内容提要:超音频电磁—大地电磁测深法(EH4)具有不受高阻层屏蔽影响、性能稳定、轻巧便携、操作方便、施工简单和成本低廉等优点,非常适合浅层地质勘探。本文以杭州湾南岸新湾地区的EH4电磁勘探测量结果为例,论述了它在晚第四纪地层基底识别、岩性和沉积相划分、储层和天然气层判别等方面的应用结果。研究表明,EH4电磁成像系统获得的新湾地区晚第四纪地层电阻率—深度剖面,能够详细地反映晚第四纪地层基底连续变化情况,新湾地区晚第四纪沉积层基底为一凹凸不平的不整合面,变化极其复杂。不同沉积环境下形成的沉积物类型和粒度均不同,随着沉积物粒度的减小电阻率亦减小,因而借助电阻率的变化,可以大致划分沉积物及沉积相类型。通过单点电阻率曲线和电阻率—深度剖面图,可以清楚地反映地下介电电阻率变化情况,气层厚度、气层与水层电阻率差值越大,气层在电阻率曲线上的显示越强,反之则越弱。电阻率曲线可以确定砂质透镜体的位置和分布范围,并判断出气层深度和厚度。

关键词:EH4 电磁成像系统;晚第四纪地层;杭州湾;天然气

杭州湾地区指位于东经 120°~122°,北纬 29°50′~30°50′的杭州湾两岸平原区,面积约 20000 km²。区内西部和南部为山丘,地势总体上西高东低,除山丘外,海拔高程一般小于 6 m,水系发育,在各江河泥砂不断沉积下,形成低平的第四纪冲积平原(图 1)。杭州湾地区晚第四纪地层含有丰富的天然气,先后发现了数个浅气田(图 1),其所处的地质条件和自身特点决定了它是一种非常规的天然气,因而其勘探方法也不同于一般的深层油气勘探(Lin et al., 2004)。从 20 世纪 50 年代到 80 年代末,勘探经过了四上四下的坎坷历程,一直到 90 年代初,静力触探技术在杭州湾地区浅层天然气勘探中成功应用之后,才在局部地区打开局面,形成一定的天然气生产能力(林春明, 1995; 蒋维三等, 1997)。但至今为止该区的天然气勘探手段仍然比较单一,主要依赖于密集打触探井的方法。这种密集打井的方法对于重点目标区预探或已知气田区扩边还比较有效,但难以追踪砂体的形态展布,不适用于在整个探区开展大面积的勘探工作,这也是该区天然气勘探进展不大的原因之一。为了寻找一种能用于大面积

勘探的有效工作方法,我们利用超音频电磁—大地电磁测深法(EH4)在浙江杭州湾南岸新湾地区进行了电磁勘探试验,布置了 2 条测线(图 2),总长度 9800 m,完成有效物理点 249 个,取得了一系列测试数据。该试验的主要任务是利用电阻率的变化来识别砂体,判断气层,圈定天然气分布范围,并通过在已知气田的试验,总结该方法的实际应用情况,力争使浅层天然气勘探开发取得更大的突破。

本文简述了 EH4 电磁成像系统的基本原理和特点,论述了它在晚第四纪地层基底识别、岩性岩相划分、储层和天然气层判别方面的应用结果。

1 EH4 电磁成像系统

EH4 电磁成像系统是美国 EMI 和 Geometrics 公司联合生产的。它以大地电磁测深法为设计原理,依靠先进的电磁数据自动采集和处理技术,将大地电磁法(MT)和可控源音频大地电磁法(CSAMT)结合起来,实现了天然信号源与人工信号源的采集和处理,成为国际先进的双源大地电磁测深系统(郭建强等, 1998; 伍岳, 1999; 刘鸿泉等,

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号 40272063)的成果。

收稿日期:2006-03-09; 改回日期:2007-01-16; 责任编辑:章雨旭。

作者简介:李艳丽,女,1982 年生。2005 年 7 月毕业于吉林大学地球科学系,现为南京大学地球科学系沉积学与石油地质学博士研究生。
电话:025-83597334; Email:liyanlishxi@126.com。

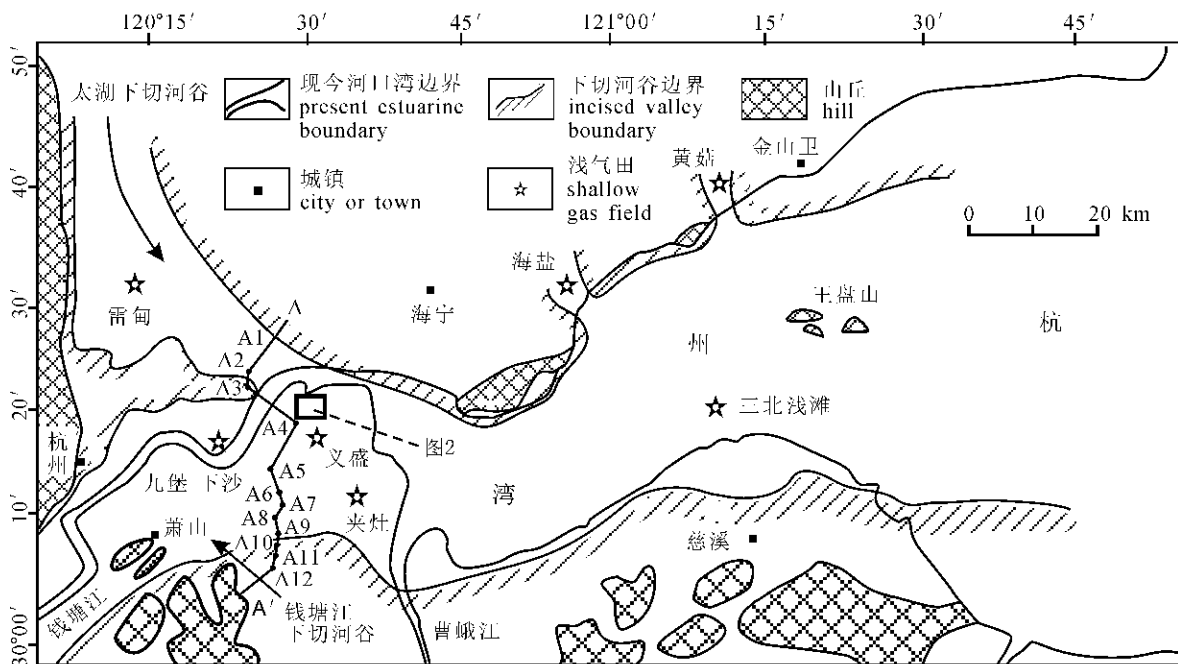


图1 杭州湾地区晚第四纪下切河谷及浅气田分布

Fig. 1 The distributions of the late Quaternary incised valley and shallow gas field in the Hangzhou Bay area

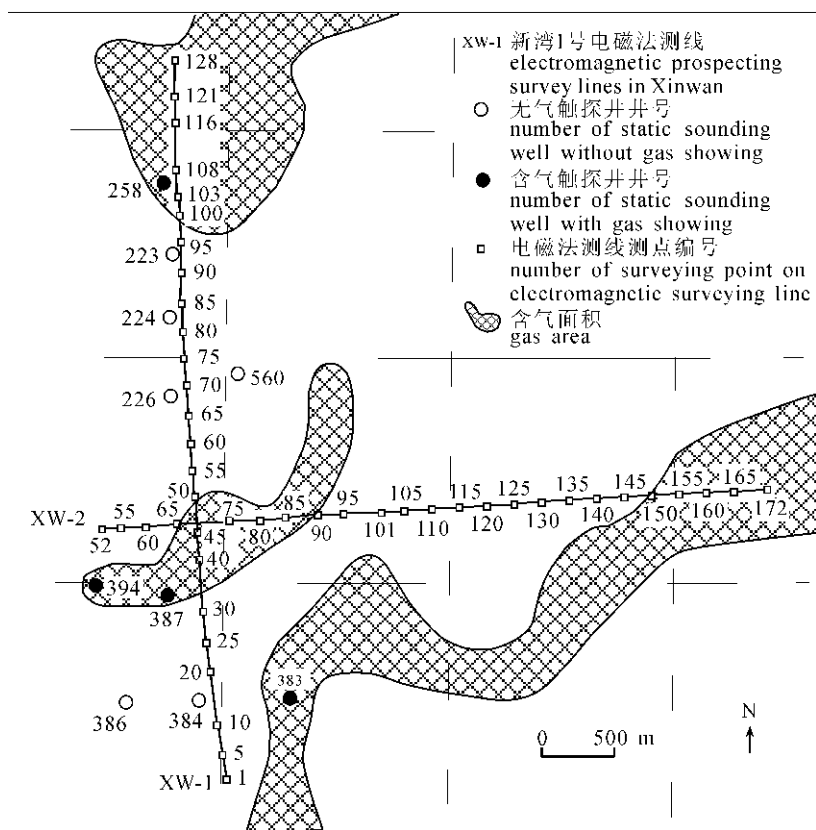


图2 杭州湾新湾地区EH4电磁勘探测线位置图

Fig. 2 The location of EH4 electromagnetic prospecting survey lines in Xinwan, Hangzhou Bay area

2002)。该系统的勘探深度从地表十米至一公里。超过 100 m 的深部构造通过天然背景场源或传统的 CSAMT 场源成像;浅部构造通过便携式低功率发射器发射高频人工电磁讯号来补偿天然讯号的不足,从而获得高分辨率的成像,提高勘测精度^①(伍岳,1999;刘江,2003)。EH4 电磁成像系统的特点继承了可控源音频大地电磁和大地电磁的优点。

由于不同种类岩石的电阻率存在明显差异,通过研究电阻率差异,来研究地下电性界面,依此来区分地下异常体,获得研究对象的地质构造,是 EH4 电磁成像系统应用于地质研究的基础(倪芬明等,1999)。

与其他物探方法相比,EH4 电磁成像系统具有以下一些特点(郭建强等,1998;伍岳,1999;刘福生,2002;刘鸿泉等,2002):①采用人工场源与天然场源共同作用的方式进行电导率测量。人工场源可以弥补天然场源在某些频段的不足,从而完成整个频段的测量,对解决浅部地质问题尤为有用。②既具有有源电磁法的稳定特性,又具有无源电磁法测深大和轻便灵活的特性。③具有较高的分辨率。④既可做单点测深又可做连续剖面观测,点距、频点密集,能较充分反映地下地质信息。⑤不受高阻盖层影响,能有效探测地下深部的地质信息。⑥当外界工业电干扰较大时,就会严重影响电磁信号的采集质量,无法进行施工。

以往 EH4 电磁成像系统主要应用如下几个方

面(He et al.,2004;郭建强等,1998;武毅等,2001;刘福生,2002;沙成满,2005):①寻找及开发利用地下水资源;②岩土电导率分层、岩层孔隙率调查、确定地层界面;③咸、淡水分界面、地下水矿化度划分;④工程地质调查;⑤环境调查:水环境和岩溶发育状况等;⑥煤田和金属、非金属矿床等矿产资源的勘查;⑦基岩起伏调查、地质构造填图等。

该系统使用天然和人工电磁场信号,能够测量几米到一千多米的电阻率变化,获得各种地形条件下电导率变化的连续剖面,在浅层和极浅层电阻率测量中分辨率较高,并具有不受高阻层屏蔽、性能稳定、轻巧便携、操作方便、施工简单和成本低廉等优点,非常适合浅层地质勘探。就杭州湾地区而言,气层分布深度一般都小于 60 m,而且以往的勘探经验表明气层与水层电阻率差异很大(蒋维三等,1997),因而可以利用 EH4 电磁成像系统来寻找气层。

2 晚第四系基底识别

晚第四纪以来,杭州湾地区位于浙西北持续上升和长江三角洲稳定下降的过渡地带。由于海平面升降速度远远大于构造运动,因此,对晚第四纪沉积物分布起控制作用的主要是流水切割的古地形、海平面升降以及物源和沉积物供应量的变化。晚第四纪时,杭州湾地区存在下切河谷、古河间地和残丘山三种古地貌单元(图 3;严钦尚等,1987;林春明等,1999;林春明等,2005)。杭州湾地区的浅层天然气

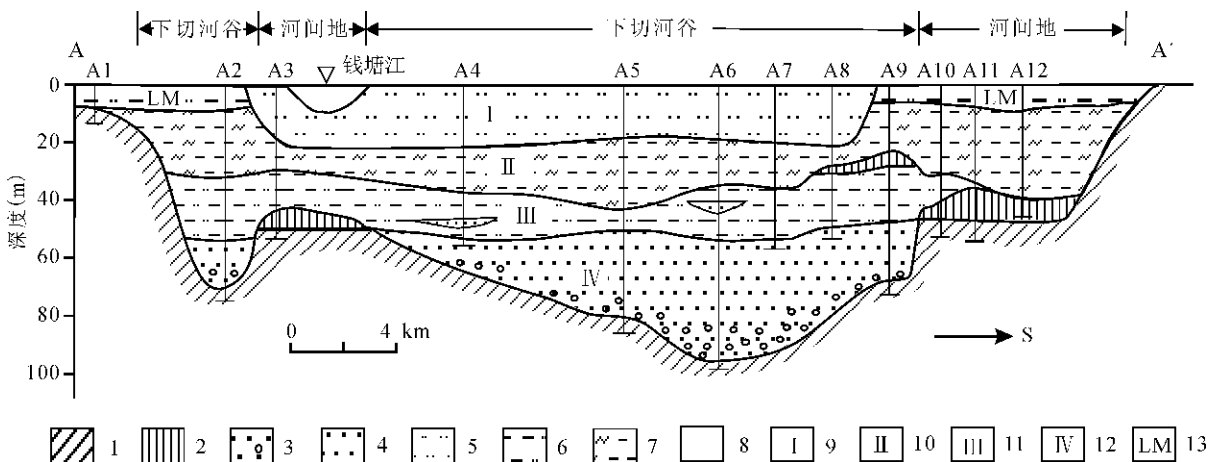


图 3 杭州湾地区晚第四纪地层横剖面(据林春明等,2005)

Fig. 3 Stratigraphical cross-sections of the late Quaternary in the Hangzhou Bay area(Based on Lin et al.,2005)

1—基底;2—硬粘土;3—砂砾;4—砂;5—粉砂;6—粉砂质粘土;7—淤泥质粘土;8—水体;9—河口湾相;10—河口湾—浅海相;
11—河漫滩—河口湾相;12—河床相;13—湖沼相

1—basement;2—stiff clay;3—gravel—sand;4—sand;5—silt;6—silty clay;7—mud;8—water;9—aturbulent estuarine facies;
10—estuarine—marine facies;11—floodplain—estuary facies;12—river channel;13—lacustrine—marsh facies

主要存在于晚第四纪下切河谷中,其中夹灶、义盛、九堡—下沙、三北浅滩、海盐和黄菇浅层气田位于钱塘江下切河谷及其支谷内,雷甸等气田位于太湖下切河谷内(图1;林春明等,1997a;Lin et al.,2004)。因此,要在该区寻找浅层天然气首先要了解晚第四纪地层的基底形态,确定下切河谷的位置。晚第四纪沉积层与其基底之间为一不整合面,它在下切河谷内表现为起伏的流水侵蚀面,在河间地表现为硬粘土(古土壤)层底界的沉积间断面(图3)。晚第四纪沉积层的基底有两类:①由灰绿、黄绿、褐黄、灰色等构成的杂色致密含砂砾粘土,砾石磨圆较差,可能是更新世的坡积、洪积物,厚1.6~5.6 m;②基岩及基岩风化壳,有的是白垩纪紫红色含砾砂岩、火山岩等基岩,有的为基岩风化壳,较为松散,如萧3井、萧17井等,此类型分布在下切河谷中部靠近主流线一带,为河流强烈下切,切穿第四系达到白垩系基岩所致。不整合面之下的基底与其上大孔隙度(40.7%~62.6%)高含水(21.8%~57.1%)的松散沉积层有明显的差异(林春明等,1999;Lin et al.,2005;林春明等,2005)。

前人对杭州湾地区晚第四纪地层基底形态、埋深的研究(图3),只是根据少数钻井资料绘制的(Lin et al.,2005;林春明等,2005)。由于钻井密度小、深度浅,不能反映井与井之间的基底起伏变化,以及未钻遇基底钻井之下的基底起伏变化,这样所得到的晚第四纪地层基底形态比较粗糙,不能再现古地形变化及下切河谷的分布。而研究区晚第四纪地层基底与上覆沉积层的岩性变化明显,导致它们的电阻率差异明显,形成一个电性界面,为在本区开展电磁法测量工作提供了客观的地球物理前提。因此,可以用EH4电磁成像系统来识别晚第四纪地层基底不整合面,而且EH4可以获得连续剖面,能更加详细地反映基底的变化情况。我们对杭州湾新湾地区电磁测量所得数据进行处理,获得了晚第四纪

地层电阻率—深度剖面图(图4),从中可清晰地看到研究区晚第四纪地层基底西高东低、凹凸不平,变化极其复杂,如第102测点基底埋深130 m,而相邻的第103测点基底埋深102 m,两者基底埋深相差28 m;第110测点基底埋深达83 m,而第111测点附近基底埋深70 m,两者基底埋深相差13 m。

末次冰盛期海平面大幅度下降,河流梯度增加,下切作用增强,有的下切到第四纪沉积层,有的下切到白垩纪基岩,使基底形成凹凸不平的侵蚀不整合面。钻井、横波地震资料所揭示的研究区晚第四纪地层基底是一个起伏不平的不整合面(林春明等,1997a;Lin et al.,2004;Lin et al.,2005),这与EH4电磁成像系统所得到的结果是一致的,但后者所揭示的晚第四纪地层基底起伏形态与实际地质情况更吻合。在了解晚第四纪基底形态的基础上,就可以更好地确定古地形起伏及下切河谷分布范围,进而掌握浅层天然气的宏观分布规律,确定天然气勘探的重点目标区。EH4勘探成本低,操作简单,施工方便灵活,易于开展大面积普查工作,有利于扩大勘探区域,确定勘探远景区。

3 岩性、沉积相划分及储层识别

不同类型的岩石电阻率差别较大,就沉积物而言,随着沉积物粒度的减小电阻率亦呈减小趋势。不同沉积环境下形成的沉积物类型不同,其粒度不同,因而借助电阻率的变化,可以大致判断沉积物类型,结合具体的环境演变过程可以粗略地划分沉积相。

根据岩石学、地球化学和放射性测年资料,杭州湾地区下切河谷内沉积物可划分出4种沉积相(Lin et al.,2005;林春明等,2005),自下而上依次为河床相、河漫滩—河口湾相、河口湾—浅海相和河口湾相,位于杭州湾南岸的新湾地区也不例外(图5)。河床相沉积物由杂色砂砾层、砂层和粉砂层构成,砾

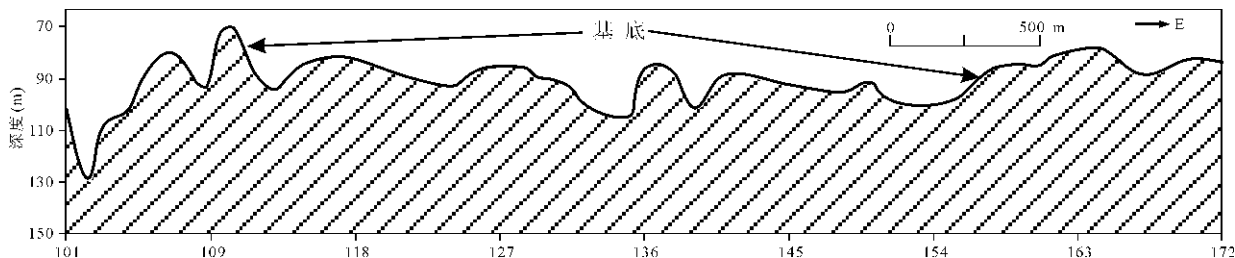


图4 杭州湾新湾地区2号测线东段晚第四系基底起伏图(测点号位置见图2)

Fig. 4 The late Quaternary basement section of the eastern part of survey line-2 in Xinwan, Hangzhou Bay area (abscissa represents surveying point, see Fig. 2 for its location)

石成份复杂,有中酸性火山岩、石英岩、燧石、砂岩等,自下而上砾径逐渐变小,由 4~6 cm 变为 0.6~1.0 cm;砾石含量减少,以致消失,砂及粉砂含量增多。河漫滩—河口湾相由灰色粘土、砂质粘土和粘土质砂构成,含砂质透镜体,透镜体大小不一。河口湾—浅海相主要由灰色含粉砂淤泥质粘土组成,质软,含水量高。河口湾相由灰色粉砂、含粘土粉砂以及细砂构成,粉砂的含量为 60%~80%,粘土和砂的含量一般均不足 10%(林春明等,1999;Lin et al.,2005)。

晚第四纪地层从下到上沉积物粒度的变化为粗—细—粗,相应的电阻率值先减小后增大,可以根据电阻率的变化大致划分出各类沉积物的分布范围。然后,结合取心井的岩性、沉积构造、粒度、古生物及静力触探等已有资料(林春明等,1999)进行沉积相的划分(图 5)。从图 5 中可看到,河床相砂砾层厚度较小,以砂层为主;河口湾—浅海相淤泥质粘土和河口湾相粉砂及细砂层厚度相对最小;河口湾—河漫滩相厚度最大,从中识别出了 12 个大小不等呈串珠状分布的砂质透镜体。河口湾—河漫滩相砂质透镜体的埋深和规模变化大。多数砂体顶面埋深大约 26 m,个别可达 50 m。它们的规模差别很大,单个砂体长度为 27~179 m 不等,大部分为 52~100 m;单个砂体厚度一般在 5~10 m,最厚为 1 号砂体,达 23 m。透镜体总体呈顶平底凸的形态,但长短轴比例变化很大,有呈半圆形的,也有呈条带状的,如图 5 中的 12 号砂体。在剖面上这些砂质透镜体可以单层分布,也可以表现为由多层、多个砂体

叠加组成的复合层,如图 5 中 15 测点附近 4 个砂体组成的复合层。复合层中砂体与砂体之间往往有薄层的粉砂质粘土,当粉砂质粘土厚度很小时,电磁成像技术可能无法将它识别出来,使电阻率反演得到的砂体厚度要大于实际砂体厚度。

从上可看到,杭州湾地区晚第四纪浅层天然气的储集层有四种类型(图 3 和图 5, Lin et al., 2005),分别为:①河床内沉积到曲流河边滩的含砾砂和砂层;②河漫滩—河口湾砂质透镜体;③浅海相所夹砂质透镜体;④河口湾粉砂。以往对杭州湾地区生储盖研究表明,该区的生气层厚度大,分布广泛、连续性好,生、盖条件配置良好,只要有良好的储层条件,就能形成良好的气藏,因此,杭州湾地区寻找天然气的关键是找到好的储集层。目前勘探成果证实具商业性的天然气均存储于河漫滩—河口湾砂体中,这是因为该砂体呈大小不等的串沟状或条带状透镜体,其顶底板被非渗透性粘土包围,厚度大,面积广,且气源及保存条件良好,是天然气聚集的最有利相带,只要有良好的河漫滩—河口湾相砂体发育,往往就易寻找到可开发利用的气藏。因此,利用 EH4 电磁成像技术识别河漫滩—河口湾相及其内部砂质透镜体,对杭州湾地区天然气勘探和开发具有重要的意义。

4 气层预测

EH4 电磁成像系统通过测量电阻率的变化来预测地下地质情况,也就是说,当地下相邻地质体的电阻率差异达到一定值时,电磁成像系统就能将它

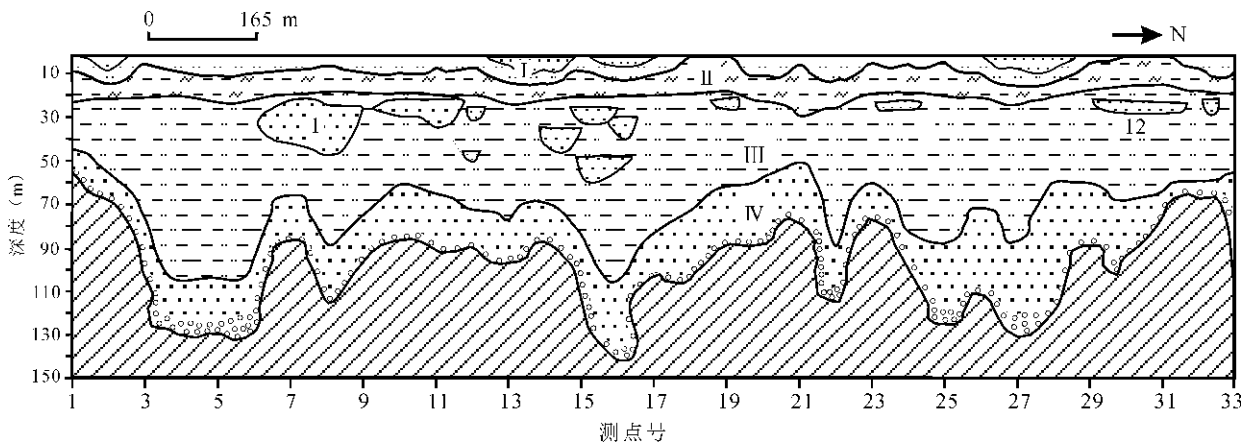


图 5 杭州湾新湾地区 1 号测线南段晚第四纪岩性、沉积相分布图(测点号位置见图 2;图例同图 3)

Fig. 5 The late Quaternary lithologies and sedimentary facies section of the southern part of survey line-1 in

Xinwan, Hangzhou Bay area

(abscissa represents surveying point, see fig. 2 for its location; legends in the Fig. 3)

们区分出来。杭州湾地区的含气砂层夹于河漫滩—河口湾沉积中,埋深较浅,受到潮汐作用的影响,砂层中地层水的矿化度相对高,总矿化度一般在10000 mg/L左右(林春明等,1997b),具有良好导电性;气层导电性差、电阻率较高,与水层的电阻率形成明显差别。因而,可以通过测量气层和正常地层电阻率差异来识别气层(蒋维三等,1997)。

本次试验表明,新湾地区电法能否将气层反映出来主要受两个因素影响,即气层的厚度和气层与水层电阻率的差值。气层厚度、气层与水层电阻率差值越大,气层在电阻率曲线上的显示越强,反之则越弱。

利用曲线对比法对测点电磁勘探数据进行处理得到的单点电阻率变化曲线清楚地反映出地下介质的电阻率变化情况。图6所示的128测点电阻率变化图中,电阻率在45 m处突然增大,到51 m处由原来的4 Ω·m增加到了12 Ω·m,然后又突然减小。一般而言,当泥质粉砂中夹有砂质层时,电阻率

会先增加后减小,使电阻率曲线在砂层位置呈凸起状。但是仅存在岩性变化时,电阻率变化的幅度没有这么大,变化速率也没这么快,因此推断图6中45~51 m深度段电阻率的大幅度突变不只说明对应位置为一砂体,而且砂体可能含有天然气。这与该区第四纪沉积基本处于水平状态,天然气的侧向运移作用微弱,砂体顶部为天然气主要聚集部位的结论相吻合,该结论已由实际钻探证实。图6中推断出的气层厚度为6 m,这个结果与相邻地区夹灶浅气田用容积法和压降法计算出的气层厚度5.6 m比较相近(林春明等,1997a),说明EH4推测出的气层厚度是可信的。由上可知,储集层通常为被粘土包围的砂体,在电性特征上表现为两个低阻层之间的高阻层,气层则为对应高阻层上部的电阻率异常部位。砂体分布的随机性增加了勘探的难度,静力触探技术不能直接地判别地下多个储层哪个有气及气层的有效厚度(林春明,1995),而利用EH4电磁成像技术不仅可以较好地识别出砂体分布的深度及其延伸范围,而且可推断出气层的具体分布位置,这有利于更准确地确定勘探范围和目标,提高勘探精度。

在电阻率—深度剖面图上(图7),258静力触探井为强气显示井,电阻率曲线在埋深50多米处明显为一高阻层,而223静力触探井则无任何气显示,223井以南高阻层有较弱显示,以北高阻层非常明显。含气高阻层的分布与实际勘探结果基本吻合,证实了EH4电磁勘探在气层识别方面的有效性与实用性,说明该方法能够很好地显示出气层存在的深度和厚度,具有一定的应用前景。

以往气田边界的确定都是根据静力触探井资料进行的,由于杭州湾地区天然气分布在河漫滩—河口湾相单个互不连通的砂质透镜体中,也就是说该区的天然气并非大面积连续分布,因而,仅仅依靠静力触探井圈定的气田范围内可能有无气的地方,气田范围以外也可能还有含气区被遗漏。例如,图2中含气边界是根据静力触探井资料确定的,258静力触探井拔钻后有天然气喷出,而223静力触探井拔钻后没有天然气显示,据此将含气边界确定在这2口井之间。然而,根据电阻率—深度剖面图(图7),在这2口静力触探井之间实际还存在一个较大的含气砂质透镜体,258静力触探井虽然出气,钻遇的不过是一个小的砂质透镜体,因此,以往将含气边界确定在258静力触探井和223静力触探井之间并不符合实际地质情况。一般来说,在气层与围岩电

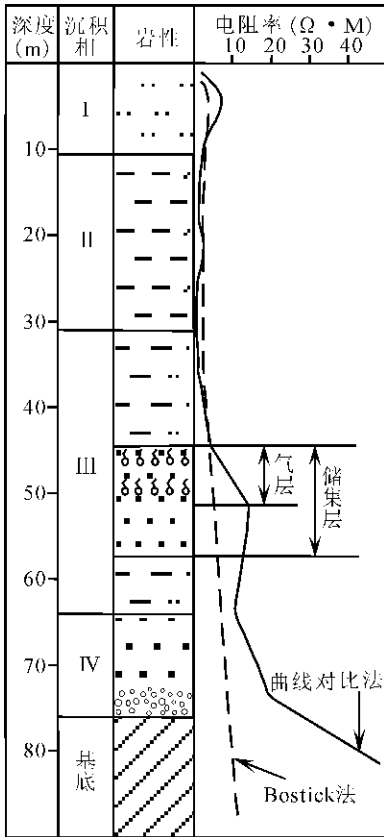


图6 杭州湾新湾地区1号测线128点电阻率变化曲线 (图例同图3)

Fig. 6 The resistivity curve of point-128, survey line-1 in Xinwan, Hangzhou Bay area (legends in the Fig. 3)

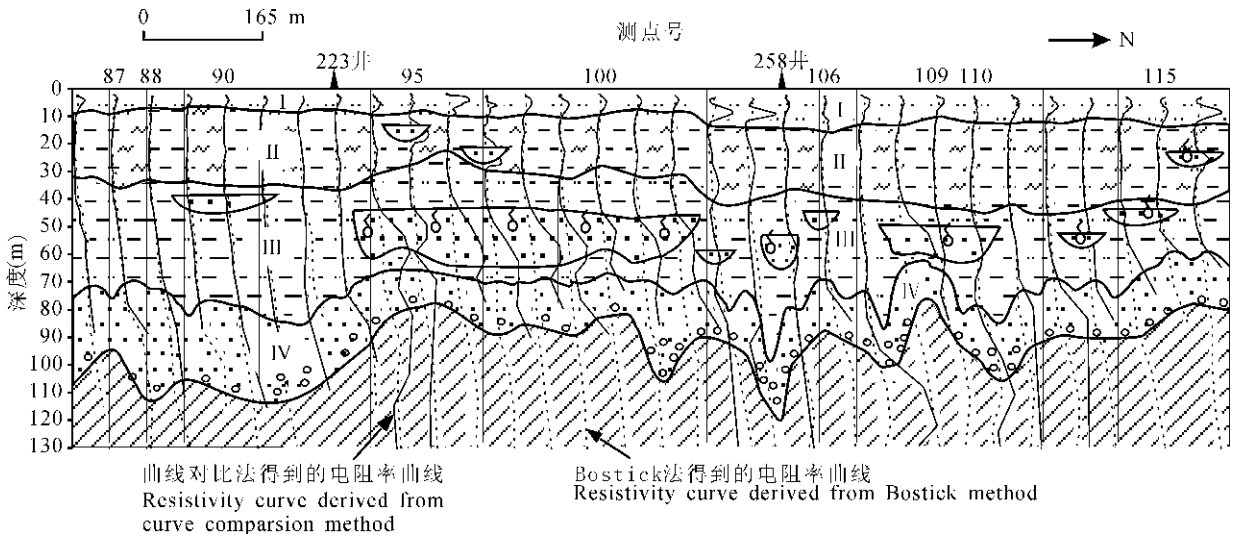


图7 杭州湾新湾地区1号测线北段气层分布图(测点号位置见图2;图例同图3)

Fig. 7 Distribution of the gas zone of the northern part of survey line-1 in Xinwan, Hangzhou Bay area (abscissa represents surveying point, see Fig. 2 for its location; legends in the Fig. 3)

阻率差异较大,气层厚度较大的地区,EH4 可通过反演电阻率的差异直接识别气层,圈定地层的含气边界,从而避免上述问题的发生。

5 结论

杭州湾地区浅层天然气主要赋存于河漫滩—河口湾环境的砂质透镜体中,而河漫滩—河口湾相仅发育于下切河谷内。EH4 在晚第四纪地层基底起伏调查、下切河谷识别、沉积相划分、储集层和含气层识别等方面都表现出其独特的优越性,为研究第四系浅层天然气的宏观分布规律,寻找重点勘探目标区提供了可靠依据,避免勘探的盲目性,特别是能够确定含气层位的具体深度,较准确地圈定含气面积,精确勘探深度,提高勘探效率和效益。同时,EH4 电磁成像系统在实际应用方面还具有成本低,操作简单,施工方便灵活等优点,易于开展大面积普查工作,可以有效扩大勘探范围。

注释

① StrataGem Electromagnetic Imaging System. 见: www.geometrics.com/stratagem

参考文献 / References

郭建强,武毅,邵汝君,曹福祥. 1998. StratagemTM EH-4 电导率成像系统简介及应用. 物探与化探,22(6):458~464.
 蒋维三,叶舟,郑华平,勇振明. 1997. 杭州湾地区第四系浅层天然气的特征及勘探方法. 天然气工业,17(3):20~23.
 林春明. 1995. 静力触探技术在钱塘江口全新统超浅层天然气勘探中的应用. 南方油气地质,1(4):8~45.

林春明,蒋维三,李从先. 1997a. 杭州湾地区全新世典型生物气藏特征分析. 石油学报,18(3):44~50.
 林春明,钱奕中. 1997b. 浙江沿海平原全新统气源岩特征及生物气形成的控制因素. 沉积学报,15(增刊):75~80.
 林春明,黄志诚,朱嗣昭,李从先,蒋维三. 1999. 杭州湾沿岸地区晚第四纪地层沉积特征和沉积过程. 地质学报,73(2):110~120.
 林春明,李广月,卓弘春,李从先,于建国. 2005. 杭州湾地区晚第四纪下切河谷充填物沉积相与生物气勘探. 古地理学报,7(1):10~22.
 刘福生. 2002. 全新概念的找水仪美国产 EH 4 连续电导率剖面仪. 内蒙古水利,23(1):116.
 刘鸿泉,孙希奎,张华兴,陈钢,张刚艳,徐乃忠,曹宝光. 2002. 电磁成像系统在煤矿中的应用研究. 煤炭科学技术,30(10):39~46.
 刘江. 2003. StratagemTM EH 4 电导率成像系统在陕北找水中应用. 陕西煤炭,22(2):39~40.
 倪芬明,刘泰生. 1999. EH-4 电磁仪的原理及应用. 石油仪器,13(1):32~34.
 沙成满,王恩德,杨冬梅. 2005. 岩土工程勘测 EH-4 观测信号的频谱分析. 岩土工程学报,27(2):193~197.
 伍岳. 1999. EH4 电磁成像系统在砂岩地区勘查地下水的研究. 物探与化探,23(5):335~346.
 武毅,郭建强,朱庆俊. 2001. 宁南深埋岩溶水勘查的物探新技术. 水文地质工程地质,45(2):45~48.
 严钦尚,黄山,何越教,郭富民,许世远,刘宜栋,邵虚生,洪雪晴,陈学林. 1987. 杭嘉湖平原全新世沉积环境的演变. 地理学报,42(1):1~15.
 He Lanfang, He Zhanxiang, Wang Xuben, Yang Lunkai. 2004. Mapping the concealed structure using high-resolution EM—A case history of the investigation of B Tunnel route. SEG Technical Program Expanded Abstracts,23:700~703
 Lin Chunming, Zhuo Hongchun, Gao Shu. 2005. Sedimentary facies and evolution of the Qiantang River incised valley, East China. Marine Geology,219(4):235~259.

Lin Chunming, Gu Lianxing, Li Guangyue, Zhao Yanyan, Jiang Weishan. 2004. Geology and formation mechanism of late

Quaternary shallow biogenic gas reservoirs in the Hangzhou Bay area, Eastern China. AAPG Bulletin, 98(5): 613~625.

Application of Stratagem EH4 Electromagnetic Imaging System in the Late Quaternary Strata in the Hangzhou Bay Area

LI Yanli¹⁾, LIN Chunming¹⁾, YU Jianguo²⁾, CHEN Haiyun²⁾, LU Tianming²⁾, QI Binwen¹⁾

1) *State Key Laboratory of Ore Genesis Research, Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093;*

2) *Geophysical Research Institute, Sinopec Shengli Oilfield Co. Ltd., Dongying, Shandong, 257062*

Abstract

The Stratagem EH4 Electromagnetic Imaging System is characterized by unshielding of high resistivity layers, stable capability, portability, facility operation, simple utilization and lower cost etc. It can be used in geological prospecting of shallow layer. This paper base on the surveying results obtained with Stratagem EH4 Electromagnetic Imaging System in Xinwan, Hangzhou Bay area, elaborated its applications in recongnizing the late Quaternary strata basement, compartmentalizing lithologies and lithofacies, distinguishing reservoirs and natural gas layers. The research indicates that the resistivity—depth section with Stratagem EH4 Electromagnetic Imaging System in Xinwan area can perfectly reveal the continous change of the late Quaternary strata basement which is a concave and convex unconformity. The type and granularity of sediments deposited in different sedimentary environments is diverse. The resistivity decreases with the granularity of sediments, so we can compartmentalize the type of sediments and sedimentary facies. The resistivity curve and resistivity—depth section can clearly show the variation of subsurface medium's resistivity. The bigger thickness of gas layer and the more risistivity dispersion of gas layer and water layer, the stronger displaying of resistivity curve about gas layer, whereas the weaker displaying of it. The resistivity curve can be used to determine the location and distribution of sandy lenses and to deduce the depth and thickness of gas layers.

Key words: Stratagem EH4 Electromagnetic Imaging System; late Quaternary strata; Hangzhou Bay; natural gas

