doi: 10.11720/wtyht.2017.4.20

郭怀志,潘保芝,刘文斌,等.利用直线型四探针法刻度微电阻率成像测井电阻率[J].物探与化探,2017,41(4):715-718.http://doi.org/10. 11720/wtyht.2017.4.20

Guo H Z, Pan B Z, Liu W B, et al. The application of linear four-probe method to calibrating resistivity of micro-resistivity image logging [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(4):715-718. http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.4.20

利用直线型四探针法刻度微电阻率 成像测井电阻率

郭怀志1,潘保芝1,刘文斌1,张明杨2

(1.吉林大学 地球探测科学与技术学院,吉林 长春 130061; 2.吉林省地质调查院,吉林 长春 130061)

摘要:微电阻率成像测井方法在储层评价及沉积相、沉积、构造研究方面具有重要价值,但是其测量值未经过专门 刻度,而目前利用浅侧向测井和球型聚焦测井对其刻度的方法仍不精确。笔者阐述了直线型四探针法的基本原 理,并利用 ST2258C 型四探针测试仪器,验证了直线型四探针法测量岩样电阻率的有效性,进而提出了一种电成像 测井电阻率刻度流程。

关键词: 直线型四探针;电成像测井;电阻率;刻度

中图分类号: P631 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2017)04-0715-04

0 引言

微电阻率成像测井是兴起于 20 世纪 80 年代的 一种非常规的测井方法。利用大量的电扣向地层中 发射电流,测量电流大小进而计算得到井壁附近的电 阻率分布,再通过成像技术将电阻率分布清晰的展现 出来^[1-3],可以准确地评价裂缝、孔隙等^[4-7],具有直 观、高分辨率(其理论分辨率可达 5 mm)的特点^[8-10]。

发展到今天,微电阻率成像测井仪原理基本相同,结构也大同小异。哈利波顿公司的 EMI,6 个极板、150 个电扣、8.5 in 井眼的覆盖率 60%^[11-12];阿特拉斯公司的 STAR-II,6 个极板、144 个电扣、覆盖率为 60%^[13-14];斯伦贝谢公司的 FMI,8 个极板(4 个主极板 4 个辅极板)、192 个电扣、覆盖率为 80%(6in 井眼为 95%)^[15-16]。中海油服也推出了自己的微电阻率成像测井仪(ERMI),6 个极板、150 个电扣、覆盖率为 60%^[17-18]。但是微电阻率成像测井的电扣并没有聚流作用,并且电流没有经过专门的刻度,因此得到的电阻率并不是地层真实电阻率,而是

电阻率高低的相对值。所以应该对电成像测井电阻 率进行标定或刻度。国内外普遍采用的是利用浅侧 向电阻率(LLS)或球型聚焦(SFL)的数据对电阻率 进行刻度,因为浅侧向电阻率测井和球型聚焦测井 方法与微电阻率成像测井方法的探测深度接 近^[19-21]。LLS的探测深度为30~35 cm,SFL的探测 范围为30 cm^[22]。虽然微电阻率成像测井仪器种类 较多,但其一般探测深度为5 cm^[23],与LLS和SFL 的差别较大。微电阻率成像测井得到的是井壁周围 的电阻率,而LLS和SFL得到的是冲登周围 的电阻率。由于地层非均质性影响,二者存在一 定差异。因此利用LLS或SFL刻度微电阻率成像 得到的电阻率值并不理想。

直线型四探针法与对称四极电法勘探原理相 同,只是将它的极距缩小到 mm 级。实践中,人们把 一倍极距作为对称四极的影响深度,而二分之一极 距作为其勘探深度^[24]。四探针的探测深度可以通 过极距来控制,若改变极距,使其探测深度接近电成 像测井探测深度,可以有效地避免勘探深度的不同 和地层非均质性对电阻率刻度造成的影响,并可以

收稿日期: 2016-04-28;修回日期: 2016-12-27

基金项目:国家自然科学基金项目(41174096);国家科技重大专项项目(2011ZX05044)

作者简介: 郭尔德数据1-),男,硕士研究生,从事测井解释与研究工作。

利用其探测得到的电阻率刻度电成像测井的电阻率。

笔者利用直线型四探针法的原理,控制极距并 保证探测深度同电成像探测深度相同,从而避免了 上述利用 LLS 和 SFL 刻度而产生的问题。将四探 针法测得的电阻率作为地层真实电阻率,并利用基 于最小二乘法得到四探针法电阻率和电成像测井电 阻率之间的线性相关关系,从而达到刻度电成像测 井电阻率的目的。

1 直线型四探针法基本原理

四探针法在半导体领域应用广泛,是测试薄层 电阻最广泛的方法之一。四探针方法按照测量形状 可分为直线四探针法和方形四探针法,但是从原理 上说,各种四探针方法都是从常规直线型四探针法 衍生而来的。笔者采用直线型四探针法并应用厚块 原理,即当样品厚度大于探针间距的时候,电流 I 从 探针流入到待测物体,电流会形成以触点为中心,半 径为r的半球并向外扩散,电势分布如图 1 所示。 直线型四探针排列图如图 2 所示,其中 1 和 4 是供 电电极,2 和 3 是测量电极。



半球面上的电流密度为:

$$j = \frac{I}{2\pi r^2},\tag{1}$$

$$E = \frac{j}{\sigma} = \rho j = \frac{\rho I}{2\pi r^2}$$
(2)

设探针1和2、1和3、4和2、4和3之间的间距 分别为r₁₂、r₁₃、r₂₄、r₃₄。则2和3之间的电势差为:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{12}} - \frac{1}{r_{13}} - \frac{1}{r_{24}} + \frac{1}{r_{34}} \right), \qquad (3)$$

导体的电阻率为:

$$\rho = 2\pi \frac{V}{I} \left(\frac{1}{\frac{1}{r} - \frac{1}{r} - \frac{1}{r} - \frac{1}{r} + \frac{1}{r}} \right)_{\circ}$$
(4)

直线型四探针
$$r_{12} = r_{13} = r_{24} = r_{34} = a$$
,则:
 $\rho = \frac{2\pi a V}{L}_{\circ}$ (5)

测量采用的是苏州晶格电子有限公司生产的 ST2258C型四探针测试仪,如图3所示。电阻率测 量范围为:10×10⁻⁶~200×10³Ω·cm,分辨率为: 1×10⁻⁶~0.1×10³Ω·cm。



图 3 ST2258C 四探针电阻率测试仪

2 验证直线型四探针法测量岩样电阻率的 可行性

在说明刻度方法之前,应知道四探针法测量岩 样电阻率是否具有有效性。为此,笔者先找一颗带 有电成像数据的全直径岩芯。因为全直径岩芯是从 井眼中原状地层取下的,具有和井壁相似的构造。 认为全直径岩芯可以代表井壁情况,并在岩芯上布 设测点。目前电成像测井仪的电扣数量非常多,前 文也有提及,基本都在150以上,所以测点也是相当 多,分辨率非常高。因此,笔者尽可能的增大测点数 量。一共有24条测线,每条测线有4个测点,共计 96个测点,如图4所示,并且每个测点测量3次以









上并取平均值作为该测点的电阻率值。

经过测量,得到各个测点的数据,并利用 MAT-LAB 在测点之间做三次样条插值。由于观测系统 不同,电成像数据和四探针数据存在一个镜像关系, 因此需要将插值后的数据进行变换,即第一列数据 变为最后一列,第二列变为倒数第二列,以此类推。 得到最终数据并成图(图 5)。

通过查阅岩芯资料,确定取芯深度,并把该深度 下的电成像图同四探针电阻率图进行对比,如图 6 所示,其中岩芯位置已经用黑色框画出,下方放置直 线型四探针成像图以方便对比。

图中黑框标出了岩芯的取芯位置,下方即为用 直线型四**探疗獭撞**变换得到的最终成果图,与黑框 位置对应。在图的左侧可以看到一个高阻条带,并 且在图中有很多高阻块状区域都能够很好的对应, 对应位置已经用蓝色双向箭头指出。图6中高阻部 分和低阻部分吻合较好,说明直线型四探针法测量 岩石电阻率是可行的。

3 利用直线型四探针法刻度电成像电阻率 工作流程

如果我们得到电成像数据和响应的经过岩芯归 位的全直径岩芯,那么可以利用直线型四探针法刻 度电成像数据。

第一步岩芯样品预处理。将全直径岩芯做洗 油、洗盐处理,并配置与地层水相同水型、相同矿化 度的盐水将其饱和;

第二步在全直径岩芯上布设测线和测点,利用 直线型四探针设备对其进行测量,并对数据进行整 理;

第三步将测点做三次样条插值,插值间隔与成 像测井数据间隔相同;在刻度过程中由于观测系统 不同,电成像数据和四探针数据存在一个镜像关系, 因此需要将数据进行变换,如上文所述,得到最终数 据;

第四步将成像测井数据同四探针数据建立对应 关系,利用方位曲线或互相关算法精确找到对应数 据列;

第五步利用回归分析的办法对电成像电阻率进 行刻度。回归分析法有很多种:一元线性回归分析、 一元多项式回归分析、多元回归分析和非线性回归 分析等等。一元线性回归分析是描述两个变量之间 最简单的回归模型,而就本文情况而言,涉及到两个 变量:四探针法得到的电阻率和电成像得到的电阻 率。因此可采用一元线性回归分析法中的最小二乘 法进行刻度,具体计算方法不再赘述。

4 结论

直线型四探针法实际同电法勘探中的对称四极 原理相同,只是缩小了极距,主要应用在材料工业领 域上,用于测量半导体电阻率,但在测井领域鲜有人 应用。笔者通过利用直线型四探针法对岩芯电阻率 进行测量和成像,并同电阻率成像仪得到的图像进 行对比,验证了直线型四探针法测量岩芯电阻率具 有一定的有效性,并且提出了一套较为完整的刻度 流程,以期能够对电成像刻度方法的研究有所帮助,

也为后续研究提供新思路。

参考文献:

- [1] Shima H.Two-dimensional automatic resistivity inversion technique using alpha centers[J].Geophysics, 1990, 55(6):682-694.
- [2] Sasaki Y.Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation [J]. Geophysical Prospecting, 1992, 40 (4): 453 – 463.
- [3] Barker R D.A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface[J].First Break, 1992, 10(2):53-62.
- [4] 张晓峰,潘保芝.二维小波变换在成像测井识别裂缝中的应用 研究[J].石油地球物理勘探,2012,47(1):173-176.
- [5] 房春慧,潘保芝,边会媛.成像测井研究薄互层宏观电性各向异 性及应用[J].国外测井技术,2012,(6):48-51.
- [6] 曹飞.裂缝性岩石声波参数实验研究及裂缝性储层测井评价 [D].长春:吉林大学,2015.
- [7] 钟广法,祁兴中,马勇,等.电成像测井资料在裂缝成因分析中的应用[J].物探与化探,2005,29(2):116-118,189.
- [8] 何福祥,朱涛,徐苏欣,等.利用垂直线源电成像技术获得剩余 油分布[J].物探与化探,2008,32(4):370-373.379.
- [9] 朱涛,周建国,冯锐,等.电成像方法在淄博市活断层探测中的应用[J].物探与化探,2008,32(1):87-91,95.
- [10] 魏斌,卢毓周,乔德新,等.裂缝宽度的定量计算及储层流体类 型识别[J].物探与化探,2003,27(3):217-219.
- [11] 孙灵芬,夏竹君,赵俊峰,等.利用 EMI 成像测井资料评价锡林 好来砂砾岩储集层[J].石油仪器,2012,26(5);46-49.
- [12] 宋建霞,裴冰,胡素华,等.EMI 成像测井在川东地区裂缝性储 层中的应用[J].石油天然气学报:江汉石油学院学报,2009,31

(1):234-236.

- [13] 徐星,赵万优.Star-II 成像测井在碳酸盐岩储层评价中的应用 [J].测井技术,2001,25(5):358-364.
- [14] 边仁河,李慧,冯利军,等.影响 STAR 微电阻率成像测井效果的因素分析[J].石油仪器,2010,24(4):34-36.
- [15] 张程恩,潘保芝,张晓峰,等.FMI测井资料在非均质储层评价 中的应用[J].石油物探,2011,50(6):630-633.
- [16] Evans D J, Kingdon A, Hough E, et al. First account of resistivity borehole micro-imaging (FMI) to assess the sedimentology and structure of the Preesall Halite, NW England; implications for gas storage and wider applications in CCS caprock assessment [J]. Journal of the geological society, 2012, 169(5); 587 - 592.
- [17] 于增辉,刘耀伟,张志刚.国产微电阻率扫描成像测井仪 ERMI
 开发与应用效果[J].海洋石油,2012,32(2):75-81.
- [18] 陈代见.EMRI测井仪井下控制与通讯电路设计[D].西安:电子科技大学,2009.
- [19] 李晓辉,周彦球, 维艳红, 等. 电成像测井孔隙度分析技术及其 在碳酸盐岩储层产能预测中的应用[J]. 吉林大学学报: 地球 科学版, 2012, 42(4): 928 - 934.
- [20] 张守谦,顾纯学,曹广华.成像测井技术及应用[M].北京:石油 工业出版社,1997,53-56.
- [21] 石油测井情报协作组.测井新技术应用[M].北京:石油工业出版社,1998,4-8.
- [22] 洪有密.测井原理与综合解释[M].东营:中国石油大学出版 社,2008.
- [23] 赖富强.电成像测井处理及解释方法研究[D].青岛:中国石油 大学(华东),2011.
- [24] 刘国兴.电法勘探原理与方法[M].北京:地质出版社,2005.

The application of linear four-probe method to calibrating resistivity of micro-resistivity image logging

GUO Huai-Zhi¹, PAN Bao-Zhi¹, LIU Wen-Bin¹, ZHANG Ming-Yang²

(1. College of Geo-exploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130061, China; 2. Jilin Institute of Geological Survey, Changchun 130061, China)

Abstract: Micro-resistivity imaging logging plays an important role in the reservoir evaluation and the study of sedimentary facies and structures. However, its measurement values are not calibrated exclusively. Besides, the utilization of shallow lateral well logging (LLS) or spherical focusing logging (SFL) data to calibrate micro-resistivity imaging logging values is not accurate enough. This paper introduces a basic principle of Linear Four-Probe and uses four-probe device (ST2258C) to prove its validity. Moreover, it presents a workflow to calibrate the resistivity of imaging logging.

Key words: Linear Four-Probe; image logging; resistivity; calibration