

doi:10.3799/dqkx.2013.077

测井资料在沉积物粒序反演中的应用

赵 军¹, 肖承文², 王 淼¹, 陈伟中²

1. 西南石油大学资源与环境学院, 四川成都 610500

2. 中国石油塔里木油田公司研究院, 新疆库尔勒 843000

摘要: 岩石颗粒大小及其粒序是沉积岩主要特征, 是沉积物沉积环境和古地理分析的主要评价指标. 同时, 也是影响沉积物成岩环境及其物性的主要因素. 由于 PDC 钻头的广泛应用, 使得录井岩性及其粒级的识别存在较大的误差, 制约了地质研究的深入开展. 结合岩心粒度分析资料, 利用自然伽马、中子、密度、声波及电阻率曲线, 通过测井地质分析, 提取对地层岩性及粒度响应灵敏的 M 、 N 及其深浅电阻率比值等参数, 建立了反演沉积物粒度的模型, 根据现场资料的处理以及与岩心资料的对比, 结果表明, 该模型能够较好地反演沉积物的粒度, 为地质研究提供较为准确的连续粒序剖面.

关键词: 测井; 沉积岩; 粒度分析; 粒序剖面; 反演; 石油地质.

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2013)04-0792-05

收稿日期: 2012-12-28

Application of Logging Data to the Sediment Size-Grading Inversion

ZHAO Jun¹, XIAO Cheng-wen², WANG Miao¹, CHEN Wei-zhong²

1. School of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China

2. Research Institute of Tarim Oilfield Company, CNPC, Kuerle 841000, China

Abstract: Rock particle-size and grading are the main features of sedimentary rocks, and also the main indicators to evaluate the deposition environment and ancient geographical analysis of the sediment. Meanwhile, it's also the controlling factors that influence sediment's diagenetic environment and physical property. Because of the widely use of PDC bit, there is a greater error between logging lithology and size grade, which has restricted the further development of geologic research. By utilizing GR, CNL, DEN, DT and resistivity curves, we abstract the parameters M , N , which is sensitive to particle size and lithology, and another parameters—the ratio of deep resistivity and shallow resistivity, combining with the particle-size analysis data of core. Then, we establish the inversion model for particle size of sediment through logging geology analysing. The field data processing and contrast of core data has proved this model feasible in inverting the sedimentary particle-size, and providing a sequential size graded profile.

Key words: well logging; sedimentary rocks; particle-size analysis; grading profile; inversion; petroleum geology.

沉积物粒度是反映沉积物环境及其水动力的重要指标. 不同的沉积环境, 具有不同的水动力条件, 其搬运能力也不同. 因此, 可以利用沉积物颗粒的大小及其纵向组合关系来重建沉积时的古地理环境, 进而分析沉积作用(李长安等, 2010; 朱锐等, 2010). 此外, 沉积物颗粒的大小也对沉积物的成岩作用有较大的影响, 对沉积岩形成后的物性及其孔隙结构的特征起到一定的制约作用. 因此, 沉积物粒度及其垂向组合特征是沉积储层研究的一项重要内容. 但由于近年来

油田钻井为了缩短钻井周期, 降低钻井成本, 大量采用 PDC 钻头, 这种钻头对岩石的破碎能力较强, 因而在录井过程中对岩性及其粒径的识别造成了很大的困难, 形成的录井剖面往往误差较大, 给后续的地质研究带来了一系列问题. 钻井取心由于成本昂贵, 不可能连续取心, 但是测井资料来源丰富、连续性好, 且带有大量的地质信息, 自然伽马、孔隙度测井系列以及电阻率曲线对岩石颗粒的大小具有较强的敏感性, 因而可以利用测井资料来反演沉积物粒度及其序列

基金项目: 国家“十一五”重大专项“塔里木盆地库车前陆冲断带油气勘探开发示范工程”(No. 2008ZX05046).

作者简介: 赵军(1970-), 男, 博士, 教授, 主要从事油气测井和地质研究工作. E-mail: zhaojun_70@126.com

特征(罗利等, 2007; 张晓岗等, 2008; 陈恭洋等, 2011). 本文针对塔里木油田库车山区沉积物的既有特点及其存在的问题, 通过筛选对粒度反映敏感的测井曲线, 结合岩心粒度分析资料, 提取出对粒度敏感的特征参数, 建立了该区粒度反演模型, 并通过实际资料的检验和应用, 证明了该模型的有效性, 为该区的地质研究提供了准确的粒序剖面.

1 粒度敏感参数的确定

对岩性粗细反映较好的测井资料有自然伽马、冲洗带电阻率、孔隙度测井等. 同时这些信息也在一定程度上受到物性特征和含油气特征的影响(鲁国明, 2010). 综合利用多种信息, 可以较好地对岩性特征进行评价, 如孔隙度测井主要体现孔隙空间的大小. 但是利用它们计算出的骨架参数, 消除了孔隙体积的影响, 与岩石颗粒粗细有密切关系(刘行军等, 2008). $M-N$ 的交会, 与岩石粒径中值有很好的相关性, 并可以进行量化研究.

1.1 岩性指数 $M-N$ 与粒径关系

岩性指数 M, N 是利用三孔隙度测井进行交会分析的参数, 以消除孔隙度变化的影响, 体现岩石骨架成分的变化.

$$M = \frac{\Delta T_f - \Delta T}{\rho_b - \rho_f}, \tag{1}$$

$$N = \frac{1 - CNL}{\rho_b - \rho_f}, \tag{2}$$

式中: M, N 为骨架指数; ΔT_f 为流体的声波时差, $\mu s/ft$; ΔT 为声波时差测井值, $\mu s/ft$; ρ_b 为密度测井值, g/cm^3 ; ρ_f 为孔隙流体的密度值, g/cm^3 ; CNL 为中子测井值, 小数.

图 1 和图 2 是岩心分析粒度中值与对应层段的 M, N 指数关系, 相关系数分别为 0.73 和 0.76, 说

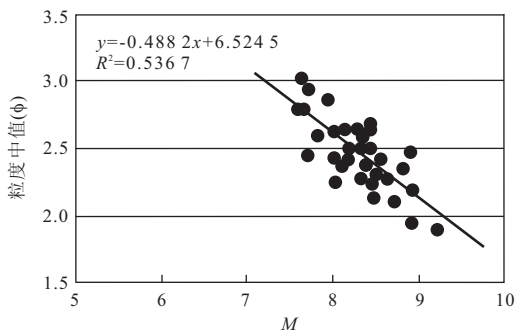


图 1 粒度中值与 M 关系

Fig. 1 The relationship between median size and M

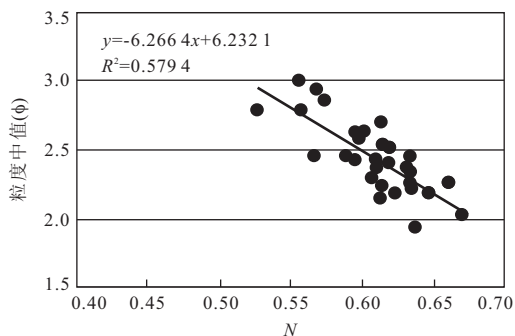


图 2 粒度中值与 N 关系

Fig. 2 The relationship between median size and N

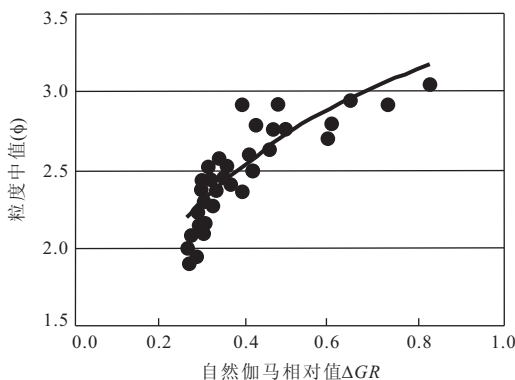


图 3 粒度中值与自然伽马相对值关系

Fig. 3 The relationship between median size and relative magnitude of gamma ray

明岩性指数 M, N 具有一定的识别岩石颗粒粗细的能力, M, N 值越大, 岩石颗粒趋于变粗.

1.2 自然伽马与粒径关系

本区自然伽马曲线较好地反映了岩性的粗细变化趋势, 对于泥岩、砂岩的区分较好, 在认识泥岩、粉砂质泥岩与砂岩特征上具有较好的效果, 但对于砂岩与含砾砂岩则分辨能力较弱. 图 3 为大北地区粒径与自然伽马相对值关系, 相关系数 0.78, 岩性粗细与自然伽马相对值具有明显的相关性, 但从图 3 可以看出, 自然伽马对于粒径较粗的岩性的识别能力较差.

1.3 冲洗带电阻率与粒径关系

冲洗带电阻率在宏观上很好地反映出岩性粗细变化特征, 对于定性识别砾岩储集层有很好的作用(王宏语等, 2008; 杨懿等, 2010). 但是, 对应定量计算粒径变化, 冲洗带电阻率的单因素相关性较差, 这主要是储集层相应的孔隙度变化较大, 冲洗带电阻率很大程度上受到孔隙体积差异的控制, 只有消除孔隙度的贡献因素后, 才能体现出岩性的变化.

图 4 中,测井冲洗带电阻率与岩心分析粒度相关性系数仅 0.32,资料分散.但是按照孔隙度分组分析,可以看到,粒径与冲洗带电阻率的关系在各组有显著的正相关,即孔隙度接近的条件下,粒径与冲洗带电阻率关系十分密切.

根据 Archie 公式,井壁冲洗带电阻率 R_{xo} 的响应方程表达为:

$$R_{xo} = \frac{a \times b \times R_{mf}}{S_{xw}^n \times \phi^m}, \quad (3)$$

式中, a 为与岩石有关的比例系数; b 为与岩性有关的常数; m 为岩石的胶结指数,与岩石胶结状况和孔隙结构有关; n 为饱和度指数; R_{mf} 为泥浆滤液电阻率, $\Omega \cdot m$; S_{xw} 为冲洗带含水饱和度,小数.

一般情况下,可以对砂岩取 $a=1, b=1, n=2$ 做简化处理;同时考虑到低渗透储集层、且井壁残余烃为气时,纵向上残余烃的饱和度较低且差异不大,可以视为 $a \times b \times \frac{R_{mf}}{S_{xw}^n}$ 为一常数,用 C 表示,即:

$$R_{xo} \approx \frac{C}{\phi^m}. \quad (4)$$

对于一般的粒间孔隙岩石, $m \approx 2.0$,可以以此作为基值对比岩性变化对电阻率的影响.此时,对应的电阻率表示为:

$$R'_{xo} \approx \frac{C}{\phi^2}. \quad (5)$$

由于岩石含砾、胶结特征变化造成的电阻率变化,可以通过与粒间孔隙储集层的电阻率比值来体现:

$$\frac{R_{xo}}{R'_{xo}} \approx R_{xo} / \left(\frac{C}{\phi^2} \right) = \frac{R_{xo} \times \phi^2}{C}. \quad (6)$$

因此,利用冲洗带电阻率—孔隙度组合参数 ($R_{xo} \times \phi^2$) 可以体现储集层岩性变化特征,与岩石的

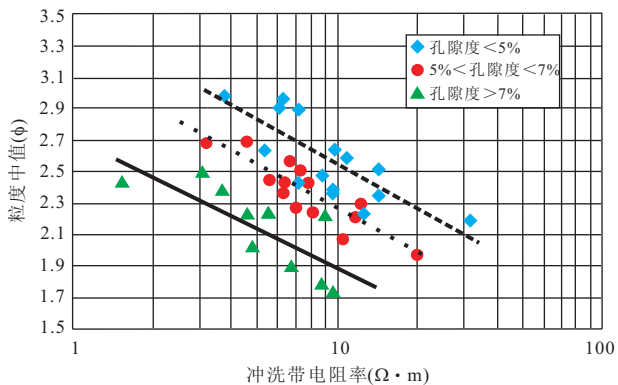


图 4 粒径与冲洗带电阻率、孔隙度关系

Fig. 4 The relationship between median size and porosity & resistivity of flushed zone

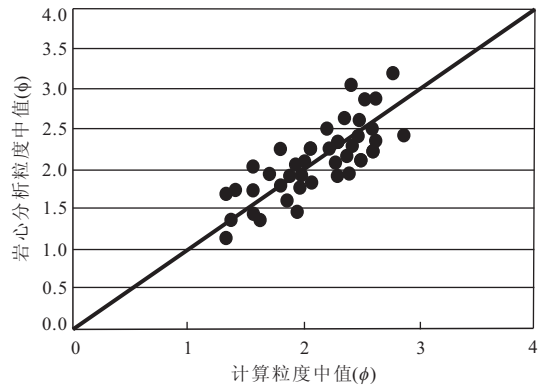


图 5 岩心分析粒径与计算粒径关系

Fig. 5 The relationship between core analysis and calculation particle size relations

粒径变化应有一定的关系.

2 粒径多参数计算模型

基于上述分析,利用测井冲洗带电阻率、岩性骨架参数、孔隙度和自然伽玛相对值建立岩石粒度的计算模型.刻度资料来自 D101、D102、D104、D2、D202 等井的粒度分析资料.标定的模型如下:

$$MD = 8.1375 - 16.249 \times \log(M) - 7.6147 \times \log(N) + 1.0235 \times \log(\Delta GR) - 0.5493 \times \log(R_{xo} \times \phi^2), \quad (7)$$

相关系数 0.861,式中: MD 为粒度中值, ϕ ; ΔGR 为自然伽玛相对值; M, N 为岩性指数; R_{xo} , 冲洗带电阻率, $\Omega \cdot m$; 一般取微球形聚焦或阵列感应 20 英寸探测值.

图 5 是岩心粒径与测井预测粒径对比,测井计算结果与岩性分析结果吻合效果较好.基于多参数组合,可以对岩石粒径进行比较准确的预测,为下一步研究奠定了基础.

3 应用实例

岩石粒度中值大小与定性描述上的认识并不存在完全清晰的对应关系(张占松和张超谟,2007).对于分选差的岩石,平均粒径大小与岩石定名之间可能存在较大的模糊区域.但总体而言,研究区域的储集层中,对于中砂岩及以下的级别而言,岩石的分选性较好,平均粒径与岩石粗细的宏观特征吻合较好,对于含砾的储集层,由于分选差、支撑类型不同,粒径参数反映并不敏感.研究中统计了 D101、D102、

表 1 研究区岩性类型与平均粒径对应数据

Table 1 Lithologic type and average particle size corresponding data tables

岩性描述	砾状砂	含砾粗砂岩	中砂岩	细砂岩	粉砂岩	泥质粉砂岩	砂质泥岩
平均粒径(mm)	1.78	2.32	3.17	3.71	4.54	5.01	5.61
平均粘土含量(%)	8.6	9.2	8.7	12.1	16.3	18.2	23.4

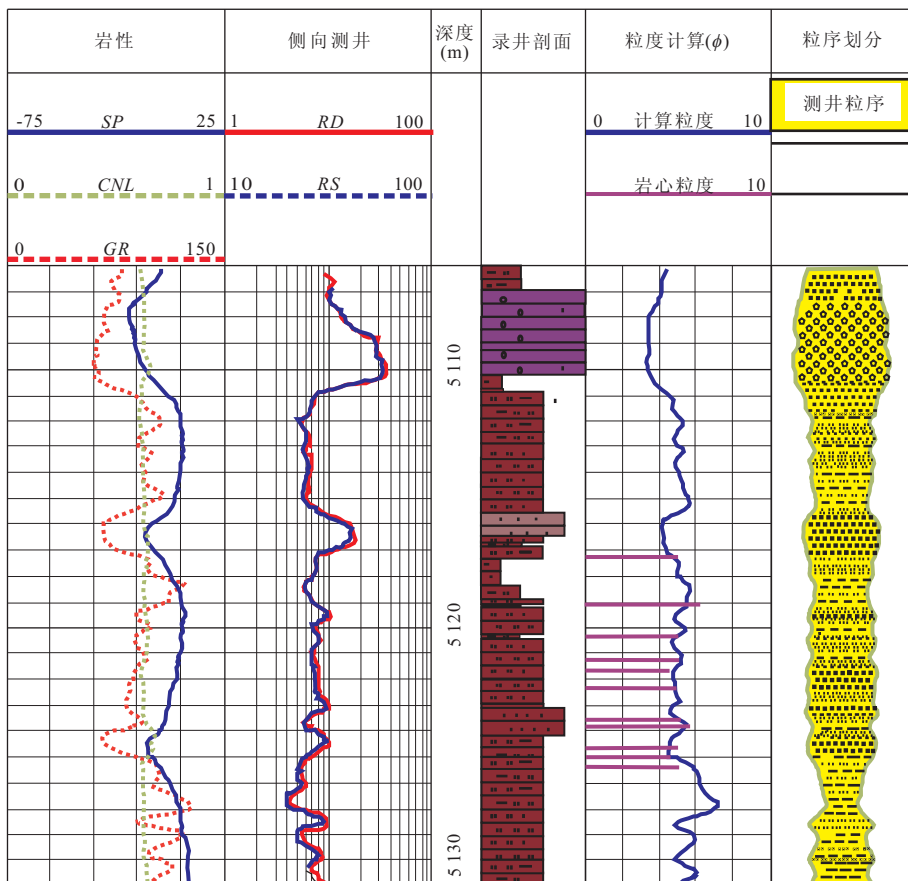


图 6 库车地区 D3 井测井粒序剖面反演成果

Fig. 6 Logging inversion grain of sequence profile of D3 well in Kuche area

D104、D2、D202、S201、S202 等井岩心描述的各种岩性类型和相应的平均粒径关系(见表 1)。

由表 1 可见,该区不同岩性的平均粒径具有一定的差异大小,颗粒越细,差异越明显。其中,砾状砂岩与含砾粗砂岩之间的差异较小,利用粒径大小比较难以区分这两种岩性,因此,在实际处理中,将这两种岩性合并为含砾粗砂岩。由图 6 可见,计算粒度与岩心分析粒度结果较为一致,所计算的测井粒序剖面与录井剖面的岩性定名也较吻合。

4 结论

(1)沉积物颗粒的大小,影响着沉积物成岩后物性及其岩石结构特征,不同颗粒大小的岩石,在岩性

测井及孔隙度测井系列中具有不同的响应特征。因而,可以利用测井资料反演岩石的粒序特征。(2)通过筛选与分析,认为岩性指数 M 、 N 和自然伽马相对值 ΔGR 以及冲洗带电阻率—孔隙度组合参数 $R_{xo} \times \phi^2$ 等特征参数,能较好地反映不同岩性的粒径大小。(3)不同特征曲线所反映的不同岩性的粒度有一定差别,综合几种特征参数建立岩石粒度的多参数模型,能够更为准确地反演该区粒序剖面。(4)该方法针对不同的碎屑岩地层具有一定的适用性,但具体的反演模型有一定的针对性,不同地区,需建立本地区的经验模型,以适应本地区的地质特点。

References

Chen, G. Y., Zhou, Y. L., Hu, Y., 2011. The Petrophysics

- Characterization of Clastic Reservoir and the Methods of Lithology. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 33(2): 21—27 (in Chinese with English abstract).
- Li, C. A., Zhang, Y. F., Yuan, S. Y., et al., 2010. Grain Size Characteristics and Origin of the “Wushan Loess” at Wushan Area. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 35(5): 879—884 (in Chinese with English abstract).
- Liu, X. J., Kang, G. Z., Li, X. Q., 2008. Calculation of Median Grain Diameter in the Reservoir of He8 Section Su X Well Field, Sulige Area and Its Application. *World Well Logging Technology*, 23(1): 17—19 (in Chinese with English abstract).
- Lu, G. M., 2010. Logging Comprehensive Identification Technology of Deep Sandy Conglomerate Lithology, Dongying Sag. *Well Logging Technology*, 34(2): 168—171 (in Chinese with English abstract).
- Luo, L., Zhu, X. F., Chang, J., et al., 2007. Logging Recognition Methods for Clastic Rocks with Different Granularities in Block Su5 and Tao7. *Natural Gas Industry*, 27(12): 36—38 (in Chinese with English abstract).
- Wang, H. Y., Fan, T. L., Zhao, W. Y., et al., 2008. Study of the Method for Identification of Carbonate Logging Sequence Stratigraphy—A Case Study of the Ordovician in the Kal Area of Tazhong Uplift, Tarim Basin. *Earth Science Frontiers*, 15(2): 51—58 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Y., Jiang, Z. X., Zhang, X. L., et al., 2010. Factors Controlling and Lithofacies Interpretation for Compacted Reservoirs in H3 Member of Daniudi Gas Field. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 40(4): 699—707 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. G., Hu, X. H., Wang, Y. Q., et al., 2008. Application of Rock Characteristic Measurement Technologies on Logging Comprehensive Interpretation. *China Measurement & Testing Technology*, 34(5): 113—115 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z. S., Zhang, C. M., 2007. Application of Logging Data and Sedimentary Facies Analysis to the Glutenites. *Journal of Oil and Gas Technology (Natural Science Edition)*, 29(4): 91—94 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, R., Zhang, C. M., Gong, F. H., et al., 2010. Use of Sediment Dynamic Analysis in Environment Interpretation: A Case Study on Honghuatao Formation, Upper Cretaceous of Western Jianghan Basin, Hubei Province. *Geological Journal of China Universities*, 16(3): 358—364 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈恭洋, 周艳丽, 胡勇, 2011. 碎屑岩储层岩石物理特征及岩性解释方法. 西南石油大学学报(自然科学版), 33(2): 21—27.
- 李长安, 张玉芬, 袁胜元, 等, 2010. “巫山黄土”粒度特征及其对成因的指示. 地球科学——中国地质大学学报, 35(5): 879—884.
- 刘行军, 康国珍, 李新岐, 2008. 苏里格地区苏 X 井区盒 8 段储层粒度中值的计算及其应用. 国外测井技术, 23(1): 17—19.
- 鲁国明, 2010. 东营凹陷深层砂砾岩岩性测井综合识别技术. 测井技术, 34(2): 168—171.
- 罗利, 朱心方, 常俊, 等, 2007. 苏 5、桃 7 区块不同粒度碎屑岩测井识别方法. 天然气工业, 27(12): 36—38.
- 王宏语, 樊太亮, 赵为永, 等, 2008. 碳酸盐岩测井层序识别方法研究——以塔中隆起卡 1 地区奥陶系为例. 地学前缘, 15(2): 51—58.
- 杨懿, 姜在兴, 张小莉, 等, 2010. 大牛地气田盒 3 段致密储层控制因素及测井岩相研究. 西北大学学报(自然科学版), 40(4): 699—707.
- 张晓岗, 胡晓辉, 王艳青, 等, 2008. 岩石特性测量技术在测井综合解释中的应用. 中国测试技术, 34(5): 113—115.
- 张占松, 张超谟, 2007. 测井资料沉积相分析在砂砾岩体中的应用. 石油天然气学报(自然科学版), 29(4): 91—94.
- 朱锐, 张昌民, 龚福华, 等, 2010. 粒度资料的沉积动力学在沉积环境分析中的应用: 以江汉盆地西北缘上白垩统红花套组沉积为例. 高校地质学报, 16(3): 358—364.