

两种方法测定岩矿石密度的对比研究

赵 希 刚

(1. 西北大学, 陕西 西安 710069; 2. 核工业地质局 203 研究所, 陕西 咸阳 712000)

摘 要: 可地浸砂岩铀矿储量计算中所需的岩矿石密度, 目前用取样测定法——石蜡法获得, 而放射性物探方法之一 $\gamma-\gamma$ 散射测井作为参考。笔者在新疆吐哈盆地某铀矿床密度测定中, 对 2 种方法测定的密度结果进行了资料整理、研究对比, 认为后者完全可以取代前者, 提供准确的岩矿石密度值。

关键词: 砂岩型铀矿; 岩矿石密度; 石蜡法; $\gamma-\gamma$ 散射测井

中图分类号: P631.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2003)03-0202-04

传统测定岩矿石密度的方法——石蜡法, 简单易行, 但需在岩矿石较完整处取样。这样, 不但工作效率低、成本高, 而且破坏了岩矿石的结构, 特别是对可地浸砂岩铀矿赋存空间——疏松和次疏松砂岩体破坏更为严重, 从而改变了岩矿石的自然湿度、孔隙度和裂隙等天然产状。在非天然状态下称重、蜡封、量体积以及计算等还会引入人为误差。可地浸砂岩型铀矿为隐伏盲矿床, 矿体埋藏深度几十米至几百米, 地表露头稀少, 原生晕不发育, 勘探方法为钻探, 而疏松结构的含水含矿岩芯采取率低, 样品代表性受到限制。石蜡法测定的密度值是目前可地浸砂岩型铀矿储量计算中所采用的。

$\gamma-\gamma$ 散射测井法测量井中天然状态下的岩矿石密度, 自动化程度高, 见效快, 人为影响微小。在相同的测量条件下, 对井径和天然伽马场的影响进行了修正, 测量的岩矿石密度具有较好的代表性和真实性。 $\gamma-\gamma$ 散射测井法测量的岩矿石密度是综合测井所获得的参数之一, 其与视电阻率、天然伽马能谱、自然电位、声波等物探参数结合, 在地层划分、岩性识别、标识层确定以及成矿沉积环境研究等方面可提供重要依据。该方法测量的密度值是目前可地浸砂岩型铀矿储量计算中辅助方法。

这 2 种测量岩矿石密度的方法各有优缺点, 那么后者能否代替前者呢? 近几年在新疆某可地浸层间氧化带砂岩型铀矿上, 用 2 种方法测定岩矿石密度, 取得了大量的数据资料。通过资料整理、分析研究和 2 种方法的优缺点的对比, 认为 $\gamma-\gamma$ 散射测井法测量的天然状态下岩矿石密度值完全能够提供铀矿储量计算的

技术数据。

1 两种方法的原理概述

1.1 石蜡法

石蜡法利用了阿基米德定律。工作方法是在野外钻进现场, 采取刚从岩芯管取出的岩芯样品重约 500 g, 保持湿度, 立即刮掉泥浆, 称重, 蜡封。用

$$d = \frac{W_1}{[V - (W_2 - W_1)/d']}$$

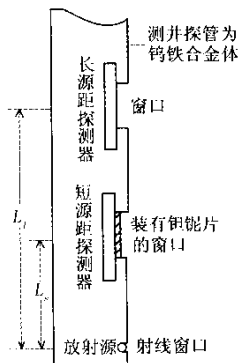
计算密度值, 其中: d 为岩矿石密度; d' 为石蜡密度, 取值 0.92 g/cm^3 ; W_1 为封蜡前样品重量; W_2 为封蜡后样品重量; V 为封蜡后样品的体积。称重用灵敏度为 0.05 g 的天平, 量体积用 400 mL 的量杯。计算保留小数点后 2 位。

1.2 $\gamma-\gamma$ 散射测井法

$\gamma-\gamma$ 散射密度测井法应用 γ 射线与物质相互作用原理。 $\gamma-\gamma$ 散射密度测井仪将放射源和探测器都定向置于测井探管的同侧, 仅记录钻孔壁岩石的散射 γ 射线强度。散射 γ 射线强度 $I_{\text{散}}$ 与岩矿石密度 D 之间的函数关系为:

$$I_{\text{散}} = f(D) \quad (1)$$

放射源选用 ^{137}Cs , 其半衰期 33 a , 能量 $E = 662 \text{ keV}$, 强度为 $0.1 \times 3.7 \times 10^{10} = 3.7 \times 10^9$ 。井壁对该放射源已达到饱和厚度。探测器有 2 个(图 1), 当 ^{137}Cs 发出 γ 射线后, 短源距探测器窗口的钽铌片滤掉低能 γ 散射射线, 而让高能 γ 散射射线(200 keV 以上)通过。这层过滤器可以减小泥浆饼含重元素给密度测井带来的误差。同时由于地层深处 γ



γ-γ 散射密度测井仪示意

射线经多次散射,能量降低,因此,短源距探测器探测的深度较小。但短源距计数率受泥浆饼的影响加大,就能够增强短源距读数对密度测井的补偿能力。长源距接受所有能谱段的γ散射射线,探测深度大,受井壁泥浆饼影响小。利用双源距补偿密度测井数据就可计算出岩矿石的密度。

双探测器补偿密度测井公式为

$$D = A \lg N + B , \tag{2}$$

其中: N 为γ散射射线计数率; A 、 B 为常数,由有机玻璃和铝模块对仪器刻度求出。据(2)式分别求出长短源距的密度方程得出

$$D = D_1 + \frac{1}{k}(D_1 - D_s) , \tag{3}$$

其中: D 为岩矿石密度; D_1 、 D_s 分别为长、短源距探测器的密度值; $k = (\lambda_1/\lambda_s) - 1$,当仪器在一定泥浆饼密度范围内时,在一定的测量条件下, λ_1 和 λ_s 为常数。

可地浸砂岩型铀矿目前采用渭南煤矿专用设备厂引进的TYSC-3Q型综合测井仪,该仪器轻便,易操作,测量参数多,有利解释。特别是该仪器的放射性探管采用推靠装置,测井时探管被推向井壁,让放

射源定向发射和接收。这样,不但使探测器灵敏度提高,而且减少了井壁并液的影响。密度就是所测参数中的一个。通过测量伽马散射线的计数率,用(3)式计算得出岩矿石密度。

2 石蜡法和测井法测定岩矿石密度对比

2.1 十红滩铀矿床地质概况

新疆吐哈盆地某铀矿床产在吐鲁番坳陷南部艾丁湖斜坡带上的十红滩鼻状隆起东北侧。盆地基底岩石主要是一套泥盆系和石炭系的中性火山岩、熔岩、凝灰岩及海相浅变质碎屑岩建造。盆地盖层为中新生代的侏罗系、古近系和第四系地层:中下侏罗统水西沟群辫状河—曲流河相含煤碎屑岩建造;古近系鄯善群干旱气候条件下的湖泊—冲积扇相沉积组合;第四系为砾石、砂、砂土组成的冲洪积物。成矿目的是侏罗统水西沟群的陆相碎屑岩,辫状河—曲流河相沉积环境复杂,岩性岩相变化大,岩矿石结构差异明显,据胶结程度分为疏松、次疏松和致密钙质岩石,据透水性分为透水岩层和隔水岩层。区内构造主要是十红滩鼻状隆起,其控制着铀矿床的地层分布、层间氧化带展布、矿体形态。断裂构造不发育,多与基底断裂有关。

2.2 两种方法测定岩矿石密度的对比研究

为了对比2种方法测定的密度结果,对矿体和围岩均进行了大量取样,测定岩矿石的密度和湿度。石蜡法测定密度,样品的取样位置根据测井结果进行深度校正,在相应测井深度上得到测井计算密度,再进行资料整理、统计(表1)。由表1得到2种测定的岩矿石密度方法的一般规律是:疏松和次疏松渗透性岩石粒度从大到小,密度值由大变小,湿度由小变大;对隔水层岩矿石而言,从致密钙质岩石、泥岩、粉砂岩到煤,密度值由大到小,湿度由小变大;

表1 石蜡法和测井法测定岩矿石密度对照

岩性		石蜡法					测井法					绝对 误差	相对 误差	平均 湿度	平 均 渗透系数
		样品 个	测定值($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)		均方差 %	C_v	样品 个	测定值($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)		均方差 %	C_v				
			平均值	变化范围				平均值	变化范围						
透 水 层	砾岩	8	2.36	2.18~2.51	9.3	3.94	90	2.39	2.10~2.55	12	5.02	-0.03	-1.27	7.25	0.4976
	砾质砂岩	12	2.18	2.10~2.35	12	5.50	6	2.29	2.15~2.33	5.75	2.51	-0.11	-5.05	10.02	0.5146
	粗砂岩	21	2.15	2.05~2.22	5.3	2.47	40	2.26	1.85~2.40	10	4.42	-0.11	-5.11	10.99	0.5478
	中砂岩	26	2.11	1.90~2.26	11.3	5.38	81	2.20	1.90~2.40	11	5.00	-0.10	-4.76	11.49	0.4242
	细砂岩	24	2.11	1.92~2.32	11	5.21	151	2.18	1.99~2.65	10	4.59	-0.07	-3.31	11.96	0.3100
隔 水 层	粉砂岩	5	2.14	2.13~2.24	7	3.27	75	2.20	2.05~2.30	6	2.73	-0.06	-2.80	13.51	<0.01
	粉砂质泥岩	3	2.21	2.11~2.28	9	4.07	66	2.21	2.05~2.33	8	3.62	0	0	12.32	<0.01
	泥岩	7	2.27	2.21~2.30	4.7	2.07	86	2.25	2.08~2.38	8	3.56	0.02	0.88	11.26	<0.01
	煤	3	1.27	1.26~1.27	0.6	0.47	18	1.29	1.23~1.35	2	1.55	-0.02	-1.57	22.58	<0.01
	致密钙质岩石	24	2.47	2.10~2.78	15.9	6.44	15	2.45	2.35~2.75	10.6	4.33	0.02	0.81	1.98	<0.01
平均数据			2.13		8.61	4.04		2.17		8.34	3.84	-0.04	-1.88		

胶结程度从疏松、次疏松到致密钙质岩石 ,密度分别为 2.14 g/cm³、2.34 g/cm³、2.45 g/cm³ ,密度值由小变大。因此 2 种方法测定岩矿石密度值接近 ,变化规律是相似的。对比 2 种结果可以看来测井法测定的密度值一般大于石蜡法所测定的密度值 ,绝对误差平均值为 -

0.04 ,相对误差平均值为 - 1.88 ,特别是对透水性岩石更为明显。测井法测量密度值的变异系数 C_v 稍小于石蜡法测定的密度变异系数 ,说明测井法测定密度值相对集中 ,重复性好。

统计铀含量大于 0.01 % 的疏松和次疏松铀矿

表 2 石蜡法和测井法测定铀矿石密度对照

岩性	石蜡法					测井法					绝对 误差 %	相对 误差 %	孔隙度 %
	样品 个	测定值/(g·cm ⁻³)		均方差 %	C _v	样品 个	测定值/(g·cm ⁻³)		均方差 %	C _v			
		平均值	变化范围				平均值	变化范围					
砾岩	9	2.31	2.22~2.40	4.53	1.96	11	2.33	2.25~2.50	8.06	3.46	-0.02	-0.87	
砾质砂岩	7	2.19	2.06~2.35	10.50	4.79	16	2.22	2.10~2.35	7.97	3.59	-0.03	-1.37	21.27
粗砂岩	8	2.16	1.98~2.31	9.86	4.56	7	2.20	2.10~2.30	6.90	3.14	-0.04	-1.85	27.49
中砂岩	9	2.11	1.92~2.28	11.13	5.27	20	2.14	1.90~2.30	8.30	3.88	-0.03	-1.42	25.38
细砂岩	10	2.10	2.05~2.35	8.10	3.86	16	2.11	2.00~2.20	8.89	4.21	-0.01	-0.47	28.39
平均值		2.17		8.82	4.07		2.20		8.02	3.65	-0.03	-1.38	

表 3 某铀矿首采段部分钻孔两种方法测定铀矿石密度对照

样品 编号	岩性	采样 钻孔	矿石 品位 %	石蜡法 测密度 g/cm ³	测井法 测密度 g/cm ³	绝对 误差 %	相对 误差 %
93	砾岩	13W4G2	0.0165	2.35	2.30	0.05	2.13
13	砾岩	15 - 20	0.0104	2.30	2.35	- 0.05	- 2.17
57	砾质砂岩	11B - 2	0.0250	2.10	2.23	- 0.13	- 6.19
20(1)	粗砂岩	13 - 17	0.0420	2.05	2.05	0	0
27	粗砂岩	15 - 22	0.0360	2.10	2.10	0	0
55	粗砂岩	13 - 18	0.0127	2.22	2.10	0.12	5.40
22	粗砂岩	13 - 17	0.0550	2.13	2.15	- 0.02	- 0.94
66	粗砂岩	13B - 2	0.0121	2.26	2.28	- 0.02	- 0.89
73	粗砂岩	13C - 1	0.0187	2.19	2.20	- 0.01	- 0.46
92	粗砂岩	13W4G2	0.0370	2.31	2.28	0.03	1.3
12	中砂岩	15 - 20	0.0460	2.06	2.20	- 0.14	- 6.8
19	中砂岩	13 - 17	0.0580	2.02	2.15	- 0.13	- 6.44
20(2)	中砂岩	13 - 17	0.0420	1.92	2.05	- 0.13	- 6.77
61	中砂岩	13B - 1	0.0230	2.29	2.20	0.09	3.93
137	细砂岩	13B - 7	0.0460	2.11	2.20	- 0.09	- 4.27
142	细砂岩	9 - 16	0.1060	2.05	2.10	- 0.05	- 2.44
136	细砂岩	13B - 6	0.0115	2.15	2.15	0	0
119	细砂岩	WT1	0.0630	2.17	2.20	- 0.03	- 1.38
均值				2.15	2.18	- 0.03	- 1.40

石密度(表 2、表 3) ,2 种方法测定疏松和次疏松的铀矿石密度的变化规律一般是从砾岩、砾质砂岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩 ,粒度从大到小 ,密度由大变小 ,而孔隙度从小变大 ,符合一般规律。对比 2 种方法测定密度结果可以看到除少数钻孔外 ,一般规律是石蜡法测定的密度值稍小于测井法测量的密度值 ,绝对误差平均值为 - 0.03 ,相对误差平均值约为 - 1.40 ,前者密度值的变异系数大于后者 ,也说明测井法测定的密度值相对集中 ,重复性好 ,而石蜡法测定的密度相对分散 ,重复性差。

从矿石结构可知 ,可地浸砂岩型铀矿岩石为疏松和次疏松砂砾岩 ,孔隙度随粒度变化 ,一般是粒度越

万方数据

小 ,孔隙度越大 ,含水越多。因此 ,可地浸砂岩型铀矿在工程钻井、人工采样过程中 ,破坏了岩矿石的结构 ,改变了岩矿石的孔隙度、湿度等天然状态 ,使石蜡法所测岩矿石密度值变化范围大 ,变异系数大 ,而且密度值偏低。特别是对中、细砂岩影响更大。

3 结 论

通过对比研究 2 种方法测定岩矿石的密度 ,测井法测量的岩矿石密度值稍大于石蜡法测定的岩矿石密度值 ,而且数值相对集中 ,重复性好。2 种方法所测密度绝对误差平均值为 - 0.03 ,相对误差平均值约为 - 1.40 ,符合地质行业国标 DZ0130.8 - 94 中规定的 2 种方法进行平行测定密度时 ,绝对误差的绝对值小于或等于 0.03 的要求。因此 ,从可地浸砂岩型铀矿矿石密度测定的结果来看 ,测井法测量的铀矿石密度完全可以代替石蜡法测定的铀矿石密度。结合 2 种方法的优缺点 ,建议将 $\gamma - \gamma$ 散射测井法测量的铀矿石密度值作为储量计算的技术数据 ,而石蜡法的作为辅助、检查、校正方法。

笔者在密度采样、测定、资料整理中得到田发旺高级工程师的大力协助 ,在成文过程中采用了同项目中物探、水文人员提供的部分资料 ,在此表示诚恳的谢意 !

参考文献 :

[1] 成都地质学院 .放射性勘探方法 [M].北京 :原子能出版社 ,1985.
[2] 许兴培 .TYSC 系列数字测井仪 [M].西安 :西安工业大学出版社 ,1991.
[3] 张金带 .铀矿储量计算中几个问题探讨 [J].铀矿地质 ,2000 ,16 (3).
[4] EJ/T983 - 95 .铀矿取样规范 [S].

A COMPARISON OF TWO METHODS FOR DETERMINING DENSITIES
OF ROCKS AND MINERALS

ZHAO Xi-gang

(1. Northwest University , Xi 'an 710069 , China ; 2. No.203 Institute , Bureau of Geology for Nuclear Industry , Xianyang 712000 , China)

Abstract : The rock and mineral densities required in the calculation of the reserves of sandstone uranium deposits are determined at present by the sampling determination method? paraffin method , and the $\gamma - \gamma$ scattering logging , one of the radioactive geophysical techniques , is used for reference . In the density determination for a certain uranium deposit in Tuha basin of Xinjiang , the author made data arrangement and comparison of the determination results of the two techniques , and has thus reached the conclusion that the latter technique can be undoubtedly used in place of the former to provide accurate density values of rocks and minerals .

Key words : sandstone uranium deposit ; densities of rocks and minerals ; paraffin method ; $\gamma - \gamma$ scattering logging

作者简介 : 赵希刚(1963 -) 男 陕西蓝田人。1985 年毕业于成都地质学院放射性物探专业 , 获学士学位 , 现供职于核工业地质局 203 所 , 高级工程师 , 已发表论文 20 余篇。

~~~~~

地震仪综合技术服务

· 定点地震仪技术升级、功能增强  
此项内容为借用定点地震仪中故障率低的单元电路 , 将我们研制的浮点模块与之有机结合 , 构成操作方便、故障率低、性能价格比极高的浮点地震仪。该技术适用于所有定点地震仪( 进口 ES-1210 , 1225 , ... ; BISON-1580 , ... ; OYO-1500 , ... ; MARK II ; 国产 DZQ12-1 等型号 ) 。  
· 地震仪通道扩展  
80 年代中期 , 地震仪一般为 12 道定点 , 工作效率低。做 CDP 覆盖时 , 叠加次数少 , 信噪比不能提得较高 , 且动态范围小。为解决这些问题 , 我们做了以下工作 : ① 将原定点地震仪升级为浮点 ; ② 扩展为 24 道。  
· CSA24 道浮点地震仪

集多年改造地震仪经验 , 汲取了国内外地震仪特长 , 并将我们的创造溶入其中 , 构成了性能价格比极高的 CSA24 道浮点地震仪。  
· 进口地震仪维修  
自 1997 年成立地震仪维修部以来 , 给用户直接、间接维修进口地震仪数台 , 为用户节约了大量时间和可观的维修费用 , 深受用户好评。  
· 触发电路保护器  
· 锤击开关  
经我们改进的地震仪均能获得浅反射处理软件、瞬态瑞雷面波处理软件、地脉动测量、高密度高分辨率测量等不断升级的支持。

联系人 : 徐贵来 梅汝吾  
北京安外小关核工业北京地质研究院 邮编 : 100029  
E-mail : guilaixu@163bj.com BP ( 010 ) 96300 呼 382787  
Tel : ( 010 ) 64962690 64921115