

根据地球物理测井结果
测定岩石性质

苏联 A·M·涅恰依 著

石油工业出版社

內 容 提 要

這是一篇探討測定岩石性質的論文，主要談以下幾個問題：岩性系數、各種岩層的儲油性、自然電位與砂層儲油性的關係。另外還舉了一些應用岩性系數計算法的實例。作者在本文中提出了根據岩樣分析及直接測井資料，去測定儲油層的孔隙率、滲透率以及評價其膠結程度的方法。這種方法的實質，就是用含鹽量不同的泥漿測出不同岩層的自然電位曲線，從而確定岩層的岩性系數；再根據此岩性系數，確定其儲油性。

本文適合現場從事測井工作人員閱讀，也可供各高等學校有關專業系師生參考。

А.М.НЕЧАЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ГОРНЫХ ПОРОД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ В СКВАЖИНАХ

譯自應用地球物理(ПРИКЛАДНАЯГЕОФИЗИКА)第11期
蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社(ГОСТОПТЕХИЗДАТ)莫斯科1954年

統一書號：15037·293

根據地球物理測井結果

測定岩石性質

陳銘源譯

石油工業出版社出版(社址：北京六鋪炕石油工業部十號樓)

北京市書刊出版業營業許可證出字第 063 號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 印張2 * 40千字 * 印1—1,100冊

1957年8月北京第1版第1次印刷

定價(11)0.44元

35611

5/3692

序 言

矿場地球物理測井的主要任务，就是研究井中岩石的性質，和从剖面上找出有工業价值的含油層和含气層。目前所采用的地球物理測井法及其解釋方法，經常不能解决这个問題。例如，根据地球物理測井数据測定岩層的重要参数如滲透率这个問題，直到現在还未得到解决；根据測井数据只能測定儲水層的孔隙率，并且所得結果也經常是不精确的。至于能否測定岩石的膠結因素，現在还完全沒有研究过，但是这一因素在确定含油層和含气層时，却具有巨大的决定性的意义。

本書就是为了研究这些問題的。这里叙述測定岩性系数的方法，并根据岩性系数測定儲油砂層的孔隙率和滲透率；同时还根据測井資料試圖評价砂岩膠結的程度。

目 录

| | |
|---------------------|----|
| 序言 | |
| 岩性系数 | 1 |
| 不同岩性的岩層儲油性 | 29 |
| 自然电位与砂岩儲油性的关系 | 38 |
| 应用岩性系数测定法的实例 | 51 |
| 結論 | 59 |
| 参考文献 | 60 |

岩性系数

岩性系数的概念

大家知道，当稀溶液和浓溶液接触时，在渗透压力作用下，离子就从浓溶液扩散到稀溶液中，所以在这两种溶液之间就产生电动势(扩散电位)；稀溶液带有电荷，其符号与迁移率大的离子的符号相同。

同一种盐溶液接触面上的扩散电位，可以用下式表示：

$$E_g = 2.3 \frac{u-v}{u+v} \cdot \frac{RT}{nF} \lg \frac{C_1}{C_2} = K_0 \lg \frac{C_1}{C_2}, \quad (1)$$

式中
$$K_0 = 2.3 \frac{u-v}{u+v} \cdot \frac{RT}{nF}; \quad (2)$$

n ——离子的原子价； F ——法拉第常数(96 420 库伦)； R ——通用的气体常数(8.318 焦耳/度)； u 和 v ——阳离子和阴离子的迁移率； T ——绝对温度； C_1 和 C_2 ——溶液的浓度。

氯化钠溶液的 $K_0 = 11.6$ 。

如系油井，则最值得注意的是下面这样的情况：当两种彼此接触的溶液或其中的一种充满岩石的孔隙时，或者当两种溶液隔着一层孔隙小的隔膜(假定称这种隔膜为薄膜)而接触时。

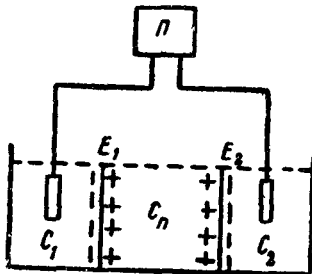


图 1

两种溶液隔着薄膜接触和直接接触，不同的地方，不仅

在于有了一層薄膜，而且还在于在薄膜的孔隙里还充滿着矿化程度不同的溶液。

在被薄膜所分开的兩种溶液之間，由于鹽分扩散而产生的电动势，通常称为薄膜电动势。我們来討論一下薄膜电动势的值，假定被薄膜所分开的溶液以及充滿薄膜孔隙的溶液都是氯化鈉溶液。

如果用濃度为 C_n 的純溶液代替薄膜，則用电位計 U 測出的薄膜电动势等于各接触点上扩散电动势〔由公式(1)測出的〕的代数和。如果 $C_n > C_2 > C_1$ ，薄膜电动势(圖 1)就为：

$$E_M = E_2 - E_1 = 11.6 \lg \frac{C_n}{C_2} - 11.6 \lg \frac{C_n}{C_1} = 11.6 \lg \frac{C_1}{C_2} . \quad (3)$$

显然，在这种情况下，电路內的电动势仍然是溶液直接接触时的电动势，而与中間的溶液的濃度無关。

如果薄膜是粗粒砂層或砂岩，則薄膜电动势的值接近于溶液直接接触的电动势，而且符号也相同（低濃度的溶液帶有負电荷）。

但是，如果采用孔隙小的薄膜(粘土等)，薄膜电动势与直接接触的电动势就有很大的差別。在这种情况下，濃度較低的溶液就帶有正电荷；当溶液濃度比例照样不变时，薄膜电动势的值就比兩种溶液直接接触时所产生的扩散电动势大得多。

在具有泥質薄膜时，扩散电位之所以会有这样大的变化，显然是因为薄膜对离子的迁移率有很大的影响；因而，氯离子在薄膜中的迁移率就显著減低。但是，可以假定，这种情况也与下列选择吸附作用現象有关：作为薄膜的岩石的

顆粒从溶液中將离子(多半是氯离子)吸附到表面上,而且如果在岩石的單位体积內,顆粒的总面积(比面)愈大,則吸附作用也愈大。

正如圖 2 所示,薄膜电动势等于两种溶液接触处薄膜电动势 E_1 和 E_2 的代数和。

每一个这种电动势,都可以假定同相应溶液浓度比值的对数成正比:

$$E_1 = K_n \lg \frac{C_1}{C_n} \quad \text{和} \quad E_2 = K_n \lg \frac{C_2}{C_n}, \quad (4)$$

式中 K_n ——某一系数。

由此,如 $C_n > C_2 > C_1$:

$$E_M = E_1 - E_2 = K_n \lg \frac{C_1}{C_2};$$

$$K_n = \frac{E_M}{\lg \frac{C_1}{C_2}}.$$

我們曾經測定过 700 多个由不同岩性岩样制成的薄膜的系数 K_n , 这些岩样是从基准井和露头中取得的。

当时采用的测量装置如圖 3 所示。

將作为薄膜 1 的岩样, 放在一块石蜡 2 中, 石蜡上有小槽 3 和 4。这两个小槽借圓錐形孔眼 5 与岩样相連。一个小槽內盛滿浓度为 3 克/公升的氯化鈉溶液, 另一个小槽內盛滿浓度为 30 克/公升的氯化鈉溶液。小槽借瓊膠虹吸管 6 与杯子 7 相連, 杯內盛有标准氯化鉀溶液。两个杯子中各放

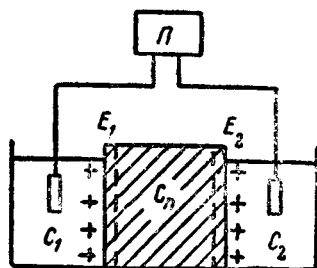


圖 2

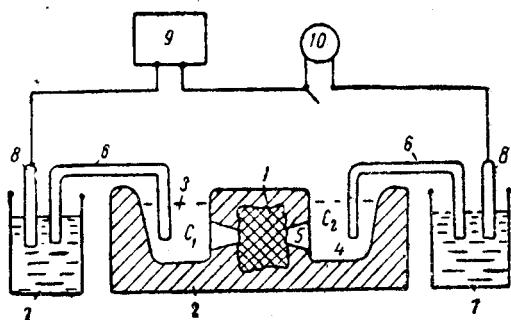


圖 3

一根垂直的非極化甘汞電極 8，此電極與電位計 9 相連，后者與鏡式電流計 10 串聯，此鏡式電流計可作為電路中電流強度的指示器。

將溶液注滿小槽后，立刻對薄膜電動勢進行第一次測量，此後，每隔 5、10、20、30、60、120 和 180 分鐘測量一次；把測定值作為薄膜電動勢值。

因為溶液濃度的比值等於 10 和 $\lg \frac{C_1}{C_2} = 1$ ，所以以毫伏為單位的薄膜電動勢值，在數值上將等於係數 K_n 。如果稀溶液（3 克/公升）的電位比濃溶液（30 克/公升）的電位高，則係數 K_n 為正值，而當溶液發生反極性時，它便成負值。

測定了係數 K_n 以後，就可以確定係數 K_n 值和岩石性質之間有着密切的關係，特別是和岩石的粒度成分以及顆粒的比面值有着密切的關係。

因此，如果薄膜是均勻的粗粒孔砂層或膠結性差的砂岩，則係數 K_n 就與 NaCl 溶液直接接觸時一樣，近似于

-11.6。随着細粒篩分含量的增加，系数 K_n 也就从 -11.6 增加到 0，以后符号就改变了。如細粒篩分繼續增加， K_n 值就增高，在純粘土中可达 +45(表 1)①。

表 2 所示为岩性不同的岩石系数 K_n 的标准值。

系数 K_n 的平均值

表 1

| K_n | | 測定的岩 样数量 | 岩 石 |
|-------|-----|-------------|----------------------------------|
| 起 | 至 | | |
| -10 | -5 | 39 | 由純的、粗粒的、多孔砂層及砂岩到中粒的和細粒微含泥質的砂層和砂岩 |
| -5 | 0 | 20 | |
| 0 | +5 | 30 | |
| +5 | +10 | 56 | 由微含泥質的、膠結差的或膠結中等的砂岩到膠結好的和富含泥質的砂岩 |
| +10 | +15 | 49 | |
| +15 | +20 | 50 | |
| +20 | +25 | 75 | 膠結良好的粉砂岩；細粒和微粒的砂岩 |
| +25 | +30 | 96 | |
| +30 | +35 | 113 | |
| +35 | +40 | 110 | 由微含砂質的粘土至純粘土 |
| +40 | +45 | 45 | |
| +45 | +50 | 11 | |
| 总 | 計 | 700 | |

因为系数 K_n 在某种程度上表示扩散电动势值(这电动势是在井内泥漿和岩石的接触面上产生的)，因而可以將系数 K_n 称为扩散-吸附活性系数。

由于所測得的数据表明系数 K_n 和岩石性質之間有密切

① 由于在基准井(从其中取出大量岩样)剖面上粘土佔多数，所以粘土样要較砂样为多(为了測量薄膜电动势，要相当均匀地在整个剖面上取岩样)。

系数 K_n 的标准值

表 2

| 岩样的描述 | 筛 分 含 量 | | | | | K_n |
|----------|---------|----------|----------|----------|------|-------|
| | <0.01 | 0.01—0.1 | 0.1—0.25 | 0.25—1.0 | >1公厘 | |
| 疏松的粗粒砂岩 | 0.2 | 3.5 | 35 | 33.5 | 28 | -10.3 |
| 胶结差的中粒砂岩 | 3.0 | 9.8 | 57 | 30.2 | — | - 3.6 |
| 泥质砂岩 | 6.2 | 5.0 | 37.7 | 1.1 | — | 0 |
| 富含泥质的砂岩 | 9.6 | 2.5 | 70.7 | 26.3 | — | +19.6 |
| 粉砂岩 | 23.4 | 51.1 | 23.4 | 2.1 | — | +20 |
| 微含砂质的粘土 | 53.4 | 40.3 | 1.3 | — | — | +30 |
| 粘土 | 99.4 | 0.6 | — | — | — | +40 |

的关系，因此，我们就有根据把它称为“岩性系数”。

岩性系数和岩石比面的关系

现在我们详细地来谈一谈岩石岩性系数和岩石比面之间的关系。

在我们已知的测定比面的许多方法中 [9,10,11]，在实用上最简单、最精确的方法要算是根据粒度比测定岩石比面的方法。大家知道，对岩石进行粒度分析后，就可以知道岩石主要筛分的含量百分比(以重量计)。

举例来说，下面就是对一种岩石进行粒度分析的结果：

| 筛 分, 公厘 | 0.84—1.0 | 0.59—0.84 | 0.42—0.59 | 0.297—0.42 | 0.21—0.297 | 0.149—0.21 | 0.09—0.149 | 0.074—0.09 | 0.05—0.074 | 0.01—0.05 | <0.01 |
|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------|
| 含量, 重量的% | — | — | — | 7 | 18.5 | 40 | 22 | 5.5 | 2 | 3.5 | 1.5 |

分析的結果，也可以用曲綫來表示，橫座標軸表示顆粒的大小，縱座標軸所示為以重量(%)表示的岩石顆粒部分，縱座標軸所示顆粒的大小比橫座標軸所示的要小(參閱圖4上的例子)。

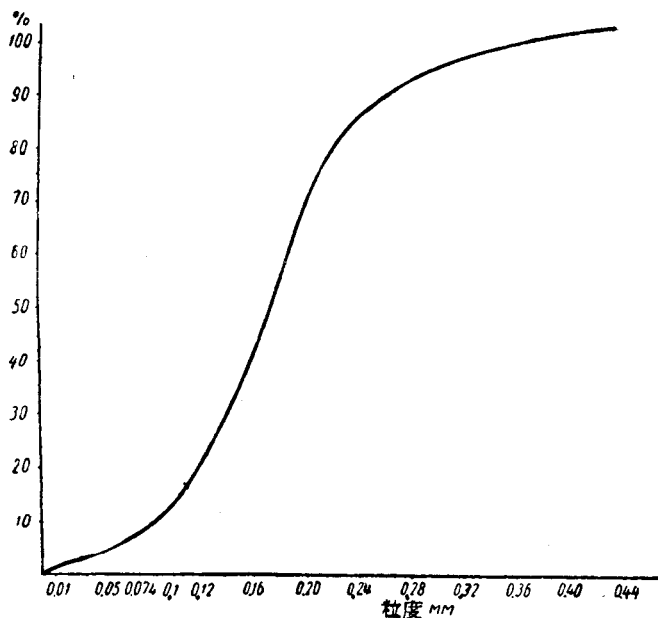


圖 4

當根據岩石的粒度成分測定岩石的比面時，我們假定岩石的顆粒是球形的。

直徑為 d 和密度為 γ_2 的顆粒的重量：

$$q = \frac{\pi d^3}{6} \gamma_2 \quad (5)$$

設這些顆粒的總重量為 Q ，則顆粒數就為：

$$n = \frac{Q}{q} = \frac{6Q}{\pi d^3 \gamma_2}$$

因为一个颗粒的面积等于 πd^2 ，所以 n 颗粒的总面积就为：

$$P_1 = \frac{6Q}{d\gamma_2}$$

組成某一岩样的颗粒的总面积显然將等于

$$P_1 = \frac{6}{\gamma_2} \sum \frac{Q_i}{d_i}, \quad (6)$$

式中 Q_i ——直径为 d_i 的颗粒的重量。

如果 Q 以百分数表示， γ_2 以克/立方公分表示，颗粒直径以公厘表示，则一立方公分岩石颗粒的总面积 P ，即岩石的比面就为：

$$P = 0.6 \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \sum \frac{Q_i}{d_i}, \quad (7)$$

式中 γ_1 ——岩石的密度，克/立方公分。

根据颗粒分析的结果计算比面时，将颗粒的大小分成许多种（通常将小于 0.1 公厘的颗粒，每差 0.01 公厘作为一种，而将大于 0.2 公厘的颗粒，每差 0.02 公厘作为一种）；利用图 4 所示的那种曲线，测定上述每一种颗粒的重量百分含量，假定每一种颗粒的直径与其平均值相等，并利用公式 (7) 求出比面。

表 3 所示为许多岩样的粒度成分、比面 P （用上述方法测定的）以及岩性系数 K_n 值。图 5 所示为根据表 3 内的数据绘成的 $K_n = f(P)$ 的曲线。

由表 3 和图 5 中可以看出，岩性系数 K_n 和岩石比面 P

之間的关系很密切；特別是在均匀的粗粒砂層和砂岩的这两个值之間的关系很密切，岩性系数的負值及小的正值与这两个值相符合。对系数 K_n 的正值大的泥質岩石來說，岩性系数和比面之間的关系并不太密切的，这可以由圖中各点分散得很开来証明。可以断定，这种現象是由于对泥質岩样的岩性系数測定得不够精確而造成的。

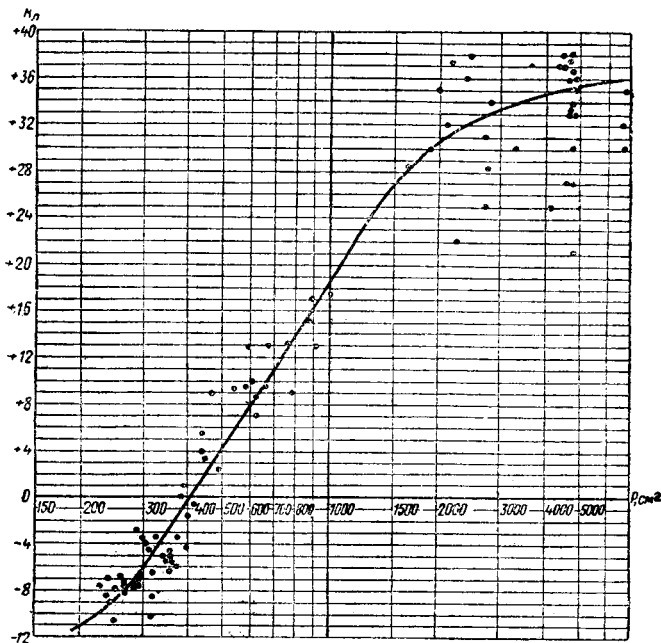


圖 5

我們所有的大部分岩样实际上已失去了一部分水分。在岩样变干时，水首先从大的孔隙中蒸發掉；而微粒篩分却仍保持有水分，当然，在測定一部分失去水分的岩样的岩性系数

岩样的岩性系数值 K_n 及根据粒度

| 岩样 编号 № | 地 区 | 取 样 地 点 | 取样深度 公 尺 |
|---------------|--------|---------|-------------|
| 6249 | 铁尔区 | 露头 | 地面上 |
| 6235 | 铁尔区 | 露头 | 地面上 |
| 6252 | 铁尔区 | 露头 | 地面上 |
| 6251 | 铁尔区 | 露头 | 地面上 |
| 6236 | 铁尔区 | 露头 | 地面上 |
| 6239 | 铁尔区 | 露头 | 地面上 |
| 6238 | 铁尔区 | 露头 | 地面上 |
| 6188 | 铁尔区 | 露头 | 地面上 |
| 2047 | 托那区 | 井 1 | 862.05 |
| 2050 | 托那区 | 井 1 | 898.63 |
| 2052 | 托那区 | 井 1 | 904.7 |
| 2053 | 托那区 | 井 1 | 916.4 |
| 2058 | 托那区 | 井 1 | 994.3 |
| 2060 | 托那区 | 井 1 | 1020.0 |
| 2054 | 托那区 | 井 1 | 1095.1 |
| 6065 | 铁尔山脉 | 露头 8 | 地面上 |
| 6068 | 铁尔山脉 | 露头 11 | 地面上 |
| 6260 | 铁尔山脉 | 探槽 1 | 地面上 |
| 6258 | 铁尔山脉 | 探槽 1 | 地面上 |
| 6255 | 铁尔山脉 | 露头 146 | 地面上 |
| 6253 | 铁尔山脉 | 露头 145 | 地面上 |
| 6231 | 铁尔山脉 | 露头 137 | 地面上 |
| 6225 | 铁尔山脉 | 露头 135 | 地面上 |
| | 阿普塞龙半島 | 阿普塞龙 | — |
| | 阿普塞龙半島 | — | — |
| | 阿尔傑姆島 | 第三層 | — |

分析数据测定的岩样比面值, P

表 3

| 岩样特性 | 粒度成分, % | | | | | γ_1/γ_2 | K_n | P 平方 公分 |
|---------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-------|-----------------|
| | 0.5 1.0 | 0.25 0.5 | 0.1 0.25 | 0.01 0.1 | <0.01 公厘 | | | |
| 砂岩 | — | — | 97.3 | 2.3 | 0.4 | 0.75 | -6.6 | 294 |
| 砂岩 | — | 0.2 | 93.3 | 6.1 | 0.4 | 0.75 | -7.2 | 294 |
| 砂岩 | — | — | 94.1 | 5.6 | 0.3 | 0.75 | -4.1 | 310 |
| 砂岩 | 1.8 | 22.4 | 68.9 | 6.0 | 0.9 | 0.75 | -7.6 | 232 |
| 砂岩 | — | 10.0 | 87.0 | 2.7 | 0.3 | 0.75 | -8.0 | 253 |
| 砂岩 | 57.4 | 30.0 | 8.2 | 3.7 | 0.7 | 0.75 | -4.0 | 150 |
| 砂岩 | — | 0.5 | 90.3 | 9.1 | 0.1 | 0.75 | -6.6 | 320 |
| 砂岩 | — | 34.1 | 62.5 | 2.5 | 0.9 | 0.75 | -7.0 | 240 |
| 粉質砂岩 | — | — | 0.1 | 73.0 | 26.9 | 0.75 | +22 | 2300 |
| 砂質粘土 | — | 0.2 | 0.4 | 58.5 | 40.9 | 0.75 | +28.4 | 2750 |
| 泥質砂岩 | — | 0.3 | 4.3 | 77.6 | 17.8 | 0.75 | +24.4 | 1820 |
| 泥質砂岩 | — | — | 0.3 | 53.2 | 46.5 | 0.75 | +25.0 | 4150 |
| 粘土 | — | — | — | 0.1 | 99.9 | 0.75 | +32.0 | 6600 |
| 粘土 | — | — | — | 0.2 | 99.8 | 0.75 | +35.0 | 6600 |
| 粘土 | — | — | — | 0.2 | 99.8 | 0.75 | +30.0 | 6600 |
| 膠結中等的細粒 砂岩 | — | 33.6 | 60.3 | 1.2 | 4.9 | 0.7 | -8 | 335 |
| 膠結中等的砂岩 | 30.0 | 28.5 | 36.0 | 3.5 | 2.0 | 0.7 | -9.1 | 245 |
| 膠結中等的砂岩 | — | — | 86.7 | 11.7 | 1.6 | 0.7 | -5.1 | 357 |
| 膠結中等的砂岩 | — | 11.9 | 83.7 | 1.1 | 3.3 | 0.7 | -5.4 | 353 |
| 膠結中等的砂岩 | — | 7.4 | 86.4 | 3.7 | 2.5 | 0.7 | -8.6 | 320 |
| 膠結中等的砂岩 | — | 3.7 | 86.7 | 6.7 | 2.9 | 0.7 | -5.5 | 330 |
| 膠結中等的砂岩 | — | 0.8 | 94.5 | 3.5 | 1.2 | 0.7 | -7.6 | 270 |
| 膠結差的砂岩 | — | 51.5 | 39.3 | 3.5 | 5.7 | 0.7 | -6.6 | 437 |
| 灰色粘土 | — | 0.09 | 0.1 | 3.85 | 93.8 | 0.8 | +27 | 4650 |
| 黑色粘土 | — | — | 0.05 | 1.65 | 93.9 | 0.8 | +27 | 4750 |
| 粘土 | — | 0.06 | 0.06 | 1.68 | 93.2 | 0.8 | +34 | 4720 |

| 岩样 编号 № | 地 区 | 取 样 地 点 | 取 样 深 度 公 尺 |
|---------------|----------|---------|----------------|
| | 阿尔傑姆島 | 第五層 | — |
| | 阿尔傑姆島 | HKI 層 | — |
| | 阿尔傑姆島 | HKII 層 | — |
| | 阿尔傑姆島 | HKI 層 | — |
| | 基尔馬庫盆地 | KC 層系 | — |
| | 阿尔傑姆島 | KC 層系 | — |
| | 阿尔傑姆島 | 蓬萃 | — |
| 2102 | 斯萊普卓夫斯克区 | 露头 | 地面上 |
| 2089 | 斯萊普卓夫斯克区 | 露头 | 地面上 |
| 2087 | 斯萊普卓夫斯克区 | 露头 | 地面上 |
| 2084 | 斯萊普卓夫斯克区 | 露头 | 地面上 |
| 2083 | 斯萊普卓夫斯克区 | 露头 | 地面上 |
| 2077 | 克別斯托峽谷区 | 露头 | 地面上 |
| 2076 | 謝尔諾沃特斯克区 | 露头 | 地面上 |
| — | 彼沙內依采矿区 | 露头 | 地面上 |
| — | 彼沙內依采矿区 | 露头 | 地面上 |
| — | 鉄尔区 | 露头 | 地面上 |
| 1926 | 达旦黑区 | 井 | 5 2120—2133 |
| 1929 | 五月区 | 井 | 7 1382—1387 |
| — | 鉄尔山脈 | 露头 | 8 地面上 |
| — | 鉄尔山脈 | 露头 | 6 地面上 |
| — | 鉄尔山脈 | 露头 | 6 地面上 |
| — | 鉄尔山脈 | 露头 | 8 地面上 |
| — | 鉄尔山脈 | 露头 | 15 地面上 |
| — | 鉄尔山脈 | 露头 | 16 地面上 |
| 1 | 阿尔傑齐安区 | 井 1 | 645.8 |
| 4 | 阿尔傑齐安区 | 井 1 | 710.9 |

續表 3

| 岩样特性 | 粒 度 成 分, % | | | | | y_1/y_2 | K_{π} | P 平方 公分 |
|------|------------|------|------|------|-------|-----------|-----------|---------------|
| | 0.5 | 0.25 | 0.1 | 0.01 | <0.01 | | | |
| | 1.0 | 0.5 | 0.25 | 0.1 | 公厘 | | | |
| 粘土 | — | 0.05 | 0.05 | 0.46 | 99.45 | 0.8 | +30.2 | 4800 |
| 粘土 | — | 0.05 | 0.05 | 1.6 | 98.84 | 0.8 | +33.4 | 4750 |
| 粘土 | — | 0.05 | 0.1 | 2.05 | 97.86 | 0.8 | +37.0 | 4465 |
| 粘土 | — | 0.05 | 0.1 | 10.5 | 89.35 | 0.8 | +37.5 | 4400 |
| 粘土 | — | 0.05 | 0.1 | 8.5 | 91.85 | 0.8 | +38.0 | 4450 |
| 粘土 | — | 0.05 | 0.11 | 4.8 | 95.04 | 0.8 | +38.0 | 4700 |
| 粘土 | — | 0.05 | 0.26 | 3.09 | 96.7 | 0.8 | +36.4 | 4700 |
| 砂岩 | — | 58.0 | 33.0 | 7.1 | 1.9 | 0.75 | -4.6 | 315 |
| 砂岩 | — | 1.3 | 75.8 | 16.8 | 6.1 | 0.8 | +9.6 | 660 |
| 砂岩 | — | 4.2 | 80.3 | 10.8 | 4.7 | 0.8 | +9.6 | 540 |
| 砂質粘土 | — | — | 26.7 | 51.0 | 22.3 | 0.8 | +26.0 | 1680 |
| 砂岩 | — | — | 44.8 | 55.0 | 0.2 | 0.75 | -0.6 | 415 |
| 砂岩 | — | 30.2 | 57.0 | 9.8 | 3.0 | 0.75 | -3.6 | 375 |
| 砂岩 | — | 41.0 | 52.3 | 4.5 | 2.2 | 0.75 | -10.6 | 320 |
| 泥質砂岩 | — | 16.2 | 30.8 | 26.7 | 26.3 | 0.85 | +26.0 | 1770 |
| 泥質砂岩 | — | 20.6 | 44.7 | 25.1 | 9.6 | 0.8 | +15.0 | 880 |
| 砂層 | 17 | 28.5 | 36.0 | 3.5 | 2.0 | 0.75 | -10.6 | 250 |
| 砂質粘土 | — | — | 7.8 | 70.4 | 21.8 | 0.75 | +31.0 | 1770 |
| 砂質粘土 | — | — | 72.4 | 24.5 | 3.1 | 0.75 | +8.8 | 625 |
| 粘土 | — | — | 79.2 | 14.0 | 6.7 | 0.75 | +13.0 | 670 |
| 粘土 | — | — | 92.9 | 4.9 | 2.2 | 0.75 | +1.7 | 390 |
| 粘土 | — | — | 36.6 | 61.1 | 2.3 | 0.8 | +9.0 | 780 |
| 泥質砂岩 | — | 33.6 | 60.3 | 1.2 | 4.9 | 0.8 | +9.0 | 475 |
| 泥質砂岩 | — | — | 54.2 | 39.6 | 6.2 | 0.8 | +17.0 | 890 |
| 泥質砂岩 | — | — | 45.1 | 49.6 | 5.3 | 0.8 | +16.0 | 900 |
| 泥質砂岩 | 13.3 | 13.1 | 46.1 | 11.0 | 10.4 | 0.8 | +13.0 | 765 |
| 粉砂岩 | — | — | 2.6 | 81.9 | 15.5 | 0.8 | +35.0 | 2000 |