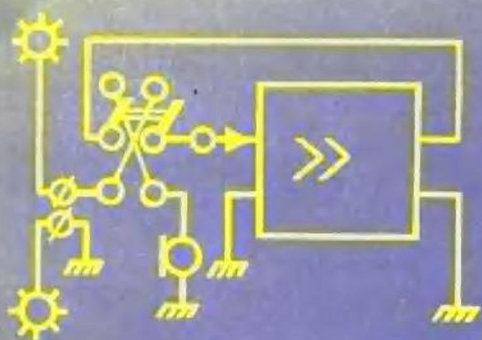


煤炭工业出版社



吴荣光 虞梦先 译

矿井低频无线 通讯

7 D45
3
3

矿井低频无线通讯

〔苏〕И.Ф.奥戈罗德涅丘克

И.Я.茹拉夫列夫

В.И.亚齐申

吴荣光 虞梦先 译

67.11.12

煤炭工业出版社

内 容 简 介

本书叙述了低频无线电信号在岩层中传播的理论基础。阐明了在无线通道中信号电平的计算和在各种干扰源的作用下通道最佳参数的选择等问题。引述了对井下低频电磁场传播条件的实验研究结果、测量井下各种岩层电导率的统计材料以及有关从井下电力网向岩层辐射的干扰电平和频谱等资料。还记叙了几种在井下经过试用的无线通讯设备的性能。

本书可供煤炭工业和研究矿井通讯问题的科学研究院的工程技术人员阅读,也可供矿业学院有关专业的师生教学参考。

И.Ф. Огороднейчук

И.Я. Журавлев В.И. Япышин

НИЗКОЧАСТОТНАЯ

БЕСПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ В ШАХТАХ

МОСКВА "НЕДРА" 1975

*

矿 井 低 频 无 线 通 讯

吴荣光 虞梦先 译

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路10号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $7^{2/3}$

字数 199 千字 印数 1—1,800

1981年6月第1版 1981年6月第1次印刷

书号15035·2428 定价0.97元

译 者 的 话

鉴于我国煤矿井下通讯设备急需向无线电通讯的方向发展，有关的生产、科研单位和高等院校，正在大力开展这方面的研究工作。为了适应这种需要，翻译了这本《矿井低频无线通讯》以供参考。

书中内容涉及的范围相当广泛，题材新颖，综合了近年来国外井下无线电通讯的研究成果。文中不仅比较系统地论述了电磁场在岩层中传播的理论，而且讨论了一些最佳设计方法和抗干扰的方法，同时还列举了一些经过试验的无线电通讯设备和大量可供设计时使用的试验数据、线路和曲线。

希望本书的翻译出版对我国矿井通讯现代化有所帮助。

由于原书带有文献综述的性质，因此有的地方衔接不很紧密。另外，书中列举的试验数据是在国外取得的，与我国的具体情况不尽相同，使用时请加注意。原书里的一些明显错误已经订正，没有一一加注，但有些较大的问题，用译注作了说明，以供参考。由于我们的学识有限，经验不足，错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

译者的话

第一章 岩层的电气参数	1
§ 1-1 矿体结构的一般特性	1
§ 1-2 岩层的电磁参数	3
§ 1-3 岩层电导率的实验室测量法及其特点	11
§ 1-4 井下岩层电导率的测量	17
§ 1-5 自然埋藏中的岩层电导率	28
第二章 均匀半导电媒质中电磁场的辐射和传播	36
§ 2-1 半导电媒质的波参数	36
§ 2-2 半导电媒质中赫芝基本辐射器的电磁场	40
§ 2-3 半导电媒质中电磁场的指数衰减	45
§ 2-4 导电媒质中基本辐射器的电磁场结构	52
§ 2-5 导电媒质中电磁场的频率特性	60
第三章 矿井无线通讯系统的天线装置	64
§ 3-1 电型发射天线	64
§ 3-2 接地电偶极子	67
§ 3-3 磁型发射天线	77
§ 3-4 接收天线	83
第四章 电磁场沿岩层层理的传播	87
§ 4-1 层状媒质中电磁场的总赫芝矢量	87
§ 4-2 二层媒质中低频电偶极子的场	90
§ 4-3 二层导电媒质中低频框形天线的场	103
§ 4-4 电磁场在三层导电媒质中的传播	107
§ 4-5 电磁场沿地表的传播	127
第五章 低频信号穿越岩层层理的传输	133
§ 5-1 均匀岩体中低频无线电信号的传输	133
§ 5-2 利用近区场垂直于岩层层理传输信号	141
§ 5-3 波动区中层状媒质的屏蔽作用	145

第六章	矿井无线信道中的干扰	153
§ 6-1	干扰源	153
§ 6-2	在无线信道中干扰的性质	154
§ 6-3	干扰从电力网辐射的机理	158
§ 6-4	电力网产生的干扰的频谱和电平	164
§ 6-5	电网的负载状态对干扰频谱成分的影响	169
§ 6-6	矿井无线信道中干扰的防护方法	172
第七章	导电媒质中无线信道的最佳参数	179
§ 7-1	无线信道的传输函数	179
§ 7-2	无线信道的频率特性	182
§ 7-3	无线信道天线装置的相对效率	188
§ 7-4	无线信道主要参数的计算方法	196
第八章	矿井无线通讯设备和系统	204
§ 8-1	矿井无线通讯系统设备的运行条件简介	204
§ 8-2	与冒顶区后面的人员联系用的紧急通讯	208
§ 8-3	无线电话通讯	214
§ 8-4	电报通讯和紧急通知	222
结论		228
附录		230
参考文献		232

第一章 岩层的电气参数

§ 1-1 矿体结构的一般特性

含有煤层的沉积岩是多层结构。按其地质年代，各层分别属于不同的层系。通常每一层系都有若干层煤和围岩。一般说来，在矿床（井田）的范围内都埋藏着不同层系的岩层，因此发射天线的电磁场所达到的通讯区之内可以包含一些属于不同地质年代的岩层。

各岩层的埋藏角差别很大。煤层和围岩的倾角可能在 $0\sim 90^\circ$ 的范围内。与此相应，岩层的产状就有缓倾斜、倾斜和急倾斜之别。通常在一个井田范围内，岩层的埋藏角不是一成不变的。同一岩层，在某些区域可能是缓倾斜的，而在另一些区域可能是倾斜的或急倾斜的。最常见的是缓倾斜的和倾斜的岩层。

岩层在地表的露头方面差别并不那么大。通常岩层的上部各层位，都为或厚或薄的，较为松散，而又被水浸透了的表土层所覆盖。

各煤层和围岩层厚薄不一，而且除了煤矿床之外，还会遇到其它类型的矿床。从数量上看，薄煤层（小于1.5米）最为普遍。

各煤层的层间距也有很大的差异。

各矿层厚度的不固定是矿体结构的重要特点。在各自的延展方向上，各矿层可能加厚或变薄，也可能出现尖灭、分叉和断裂。

夹层也存在着类似的厚度变化，物理—化学成分和岩层含水量都不固定。而且有时还可能在矿体中遇到多达10~15个或更多的含水层。

岩层的非均质性，也即其物理—化学性能的不均一性有特殊的意义，特别使我们感兴趣的是各个不同方向上的电气性能。沿

岩层走向和倾向所测得的岩层参数各不相同，沿走向，岩层的性能比较稳定，而倾斜方向上的性能则稳定性稍差。

煤田通常都由不多的几种岩层构成。在含煤的层系中砂岩最为普遍，它们占矿床总厚可能由40~50%到80%。砂岩层极其宽广，沿走向可达数百公里。砂岩岩层的厚度可能在十分之几米到几十米的范围内变动，和其它类型的岩层一样，砂岩也是不均质的。

泥岩与泥质岩相当普遍。和砂岩一样，它们的厚度可能在十分之几米到几百米之间，而且延伸的范围很大。通常含煤层岩屑的堆积体和靠砂土粘结起来的砾岩占很大范围。在顿巴斯煤田的含煤层中，石灰岩分布最广，并在这里形成了许多厚度为几厘米到几百米的岩层。某些石灰岩占有极大的面积。在其它煤田，石灰岩的代表性较差。

有时会遇到由火山灰形成的凝灰岩。在卡拉干达煤田这种岩石分布较广，其厚度从几厘米到3~4米。在毕乔煤田的煤层中还有一层玄武岩。

在井下各巷道之间建立通讯时，最有意义的是建立无线通讯的那个煤层及其周围顶、底板的参数。顶、底板具有特殊的物理化学性能，这些性能是在煤层的影响下形成的。煤层底板可能是沉积物—含炭粘土岩、泥岩及罕见的砂岩。在煤层底板中极少遇到石灰岩，一般都是粘土—泥岩底板，往往还带有含炭岩层和结块杂质的混合物。

顶板岩层的种类极其不同。见得最多的是细粒沉积物，一般则是含炭和含少量炭的岩层。常见的是泥岩和砂岩顶板。在顿巴斯煤田和莫斯科煤田中，所遇到的煤层顶板多半是石灰岩。由砾岩构成的顶板也不少见。区分煤层的类型是依据其物理化学成分及电气性能。大家都知道，煤可分为三类：烟煤、褐煤和无烟煤。按其变质程度的不同又可分为若干类[ГОСТ8180-59]。

各煤层的结构也是相当复杂的。通常各层因夹层而分成电气物理性能往往不同的若干部分（自然分层）。总而言之，从媒质

结构的角度来看，无线电信号在矿井中的传输条件是极其复杂而多样的，因而这也是使在岩层中无线通讯问题实际上难于解决的种种因素之一。

§ 1-2 岩层的电磁参数

象对待任何一种物质一样，也可以用下述的电磁参数来表示岩层的特征：媒质的电容率 ϵ （法拉/米），磁导率 μ （亨利/米），电导率 σ （西门子/米）和电阻率 ρ （欧姆·米）。

某一岩层的电容率 ϵ 可通过真空的绝对电容率 $\epsilon_0 = 1/36\pi \times 10^{-9}$ 法/米和无量纲的系数——相对电容率 ϵ' 来表示：

$$\epsilon' = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

岩层的电容率取决于它的各组成部分的物理化学成分，岩石的相（固相、液相和气相），各部分的比例和温度。

固体矿物质的相对电容率与其成分的关系较小，一般都在3~20的范围内变动。沉积岩中的液相是层间水。水的电容率和溶于水中的盐类浓度和化学成分有关，且随着盐类浓度的增高而变大[23]。由于水的相对电容率（ $\epsilon' = 80$ ）超过固相的电容率，所以岩层的合成电容率主要取决于它的多孔性和湿度。砂岩和砾岩的这种关系曲线示于图1-1中。

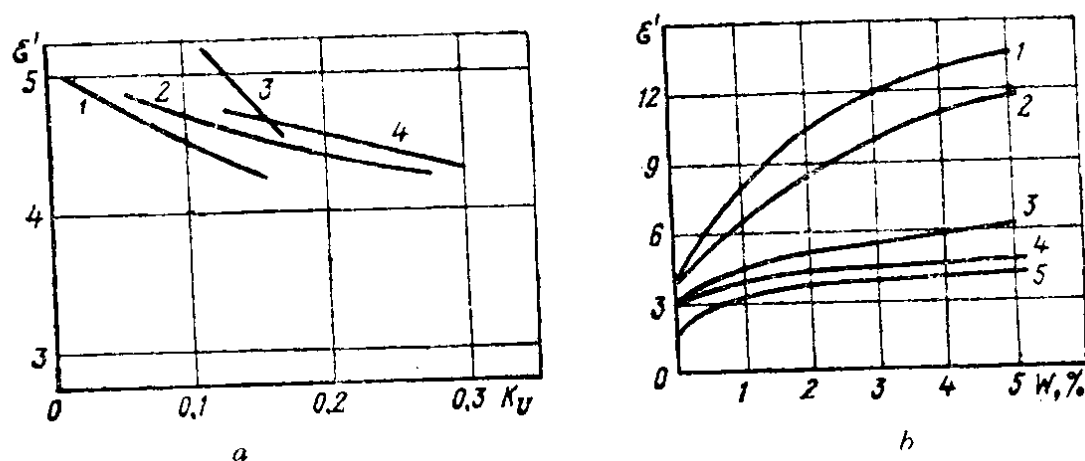


图 1-1 相对电容率 ϵ' 的关系曲线

a—美国的几种砂岩的 ϵ' 与岩层孔隙率 K_v 的关系；b—与湿度 W 的关系，当20℃及 $f = 1$ 兆赫时；1、2—砂岩；3、4、5—砾岩

气相的电容率与真空的电容率相近。气相的影响在于充满孔隙的空气，使岩层的合成电容率减少。一般说来岩层的含气量并不多，因而可把媒质当作由两种成分组成。

双成分媒质的相对电容率可按下式计算[40]：

$$\varepsilon' = x + \sqrt{x^2 + \frac{\varepsilon'_1 \cdot \varepsilon'_2}{2}} \quad (1-1)$$

$$x = \frac{(3k_n - 1)\varepsilon'_1 - (3k_n - 2)\varepsilon'_2}{4}$$

此处 ε'_1 和 ε'_2 为两种成分的电容率， $\varepsilon'_1 > \varepsilon'_2$ ； k_n 为电容率较大的那种成分所占的容积与整个媒质容积之比。

岩层的电容率实际上与极化场的频率有关。此外电容率与频率的关系曲线基本上由水分的含量来决定。经过干燥的沉积岩标本的电容率，实际上对所有频率是固定不变。岩石受潮 ε 增大，而且这种情况基本上发生在频率低于几兆赫时。在较高的频率下，岩石潮湿不会引起电容率的显著变化（图1-2）。潮湿对声频及亚声频的影响最大。根据文献[24]，此时干燥的和最湿的岩石的电容率相差可达几个数量级。此外还有一种见解认为，均匀岩层电容率的颇大分散性与基本的理论原理相矛盾[56、85]。A.Γ.塔尔霍夫[77]指出， ε 的分散性是表面的，不是真正的。这

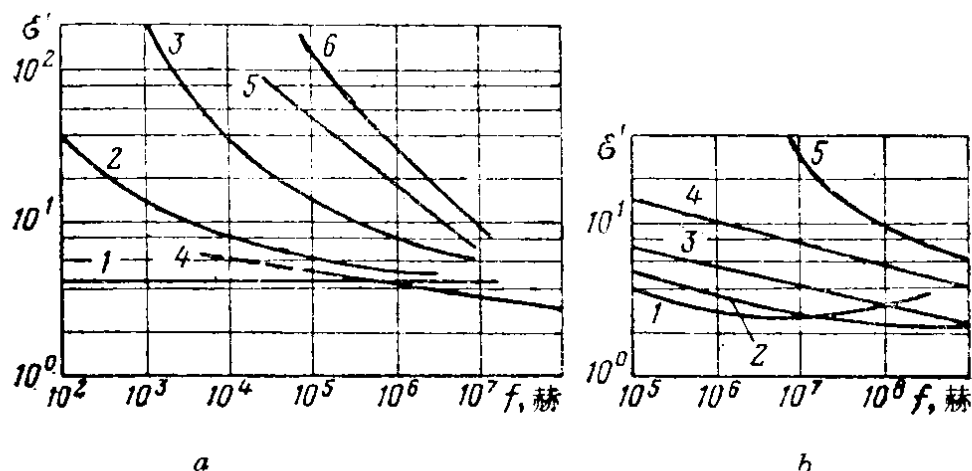


图 1-2 频率与 ε' 的关系

a—对不同湿度的砂岩（曲线1，2，3），湿度为0、2%和7%的泥质页岩（曲线4、5、6）；*b*—对A，Γ，K牌号的顿巴斯煤（曲线1，2，3），卡拉干达煤田的煤（曲线4），当湿度为1%时，顿巴斯盆地的煤（曲线5）

种分散性是用 Q 表法确定岩层参数所固有的，而且是由潮湿的岩石标本中的附极现象引起的。

按其磁性能来说，沉积岩是典型的抗磁体，也即它们实际上无磁性，且其导磁率和真空的没有差别。其明显的结果就是电磁场的磁分量，在空气与岩层的界面上没有变化。

在岩层中激励起电磁场时，岩层的电导率引起有功能量损失，并决定着电磁场随着距离辐射源的远近而衰减的情况。因而电导率是决定矿井无线通讯条件的岩层的主要参数，应予以详细的考查。

按其电导率而言，沉积岩属于半导体体。某几种岩石和干燥的煤可算作介电体。煤和围岩的电导率有纪录的数值约在十分之几毫西门子/米到几十和几百西门子/米的范围内。

岩层的一个特点是，即使对同一岩层来说，它的电导率也不是恒定的，而是一个在各种因素影响下有颇大变化的量。这些因素有：湿度、温度、孔隙率、岩石的矿物成分和饱和溶液，频率和极化场强度，压力等等。

沉积岩既可能有电子导电性，也可能有离子导电性。电子导电取决于矿物晶格中自由电子的存在。晶体中自由电子的数量与各种因素有关，尤其是与杂质密切相关。在半导体类型的岩层中、不到百分之一的杂质能使自由电子或空穴的浓度变化达几个数量级。正因如此，这类岩石的电导率就可能在从一种晶体过渡到另一种时发生变化。无烟煤具有显著的电子导电性。就其电导率的大小而论，它们与金属相近。某些牌号的烟煤和褐煤也可以列入电子导电型的岩层。

可以有条件地认为，变质程度很深（可燃物质中含碳量超过90%）的煤属于半导体，而变质程度较浅的煤，按其电气性能则近乎介电体〔3〕。

岩层的离子导电性以岩层中存在盐类饱和溶液的离子作为先决条件。这些岩层在干燥时是非常完善的介电体，而在受潮时电导率的改变可达几个数量级。这种导电方式是围岩和某几种牌

号的煤所固有的。孔隙中的水和封存水都影响电导率的大小。形成岩层的电解导电的机理相当复杂。侵入岩层孔隙的水分的电导率是变化的〔43〕。随着岩层孔隙分散程度的提高和渗入岩层的水的矿化作用减弱，晶体上的离子数和溶入水分的矿物数量都随之增加，以致引起岩石电导率的增加。反之，随着充满岩层的水的矿化程度和岩层粉碎程度的提高，水分中的离子对矿物的吸附作用随之加强。此时岩层中水分的电导率减小。

地层水的电导率取决于水中有溶解了的盐类首先是食盐 NaCl 离子。由于溶液的高度电离，其电导率可达到很大的数值。

地层水的电导率按给定的溶液中含最高量的那种盐的当量来进行计算。溶液中盐的浓度对溶液电导率的影响在图 1-3 a 中作了说明。

浸透水的岩层电导率 σ_v 可按 B. H. 达赫诺夫公式〔23〕求得：

$$\sigma_v = \sigma_r \frac{1 - \sqrt[3]{(1 - k_v)^2}}{1 + 0.25\sqrt{1 - k_v}} \quad (1-2)$$

式中 σ_r ——溶液的电导率；

k_v ——岩层的孔隙率。

由式 (1-2) 可见，浸透水的岩层的电导率在很大程度上取决于它的孔隙率 k_v 。这种关系曲线示于图 1-3b 中。由图可见，尽管 σ_v 与 k_v 间的联系形式较复杂，然而在对数坐标中，这种关系曲线几乎成了直线。

对于孔隙率较低的岩石（石灰岩、胶质砂岩），孔隙率对电气性能的影响更为明显。

溶液的电导率在很大程度上与温度有关：

$$\sigma_t = \sigma_0 [1 + \alpha_t (t_p - t_0)] \quad (1-3)$$

式中 σ_t 和 σ_0 ——分别为温度等于 t_p 和 t_0 时，溶液的电导率；

α_t ——温度系数，对浓度 $S = 0.2 \sim 4\%$ NaCl 溶液按下式关系式来确定；

$$\alpha_t = 0.041(1 - 0.0073 \cdot S)$$

在矿井的条件下，同一水平内的岩层温度的变化很小。深度

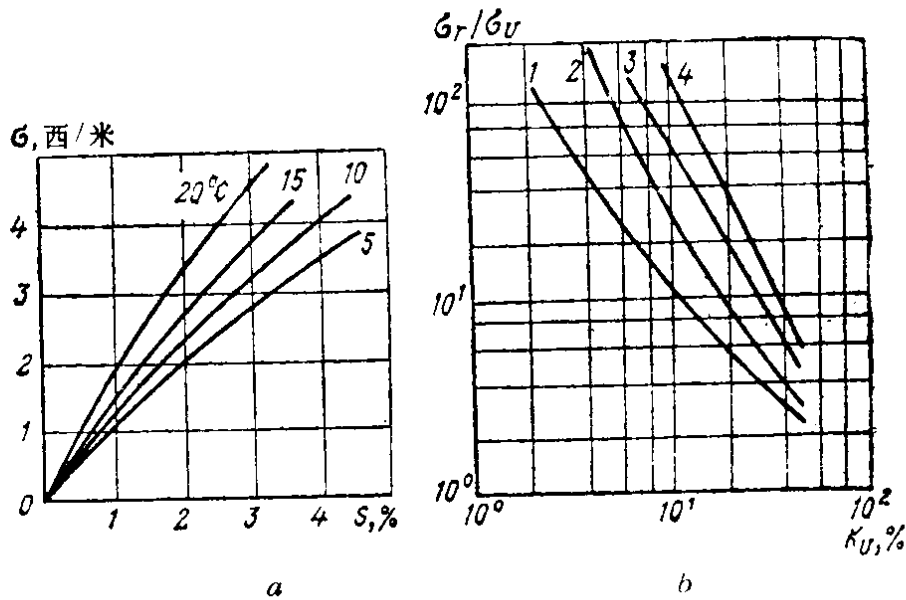


图 1-3 电导率 σ 的关系曲线

a —NaCl溶液的电导率与浓度的关系； b —沙岩的（曲线1, 2）和石灰岩的（直线3, 4）电导率与孔隙率的关系

的增加对岩层温度起主要作用，深度每增加 100 米，平均温升 3°C 。

关于岩层电导率的频率偏移在文献中有相当多的常常是互相矛盾的报导[1, 2, 6, 14, 34, 42, 60, 81]。

据发现，在甚高频范围内岩层某部分的电导率降低，而另一部分的电导率又增高。这种表现正是电解质导体的特征。在文献[43]中建议用频率偏移系数

$$\gamma_{\sigma} = 1 - \frac{\sigma(\omega)}{\sigma(0)} \quad (1-4)$$

来估价交变电磁场中 σ 的偏移。

V_{σ} 等于零，意味着电导率与频率无关。对于具有一定电导率的岩层，随着频率的增加，频率偏移系数变成负值。

对于低浓度的电解质导体，在理论上确定了[85]：

$$\gamma_{\sigma} = \left(1 - \frac{\sigma(\omega)}{\sigma(0)}\right) \left[1 - \frac{(1 + \sqrt{2})(\eta + \sqrt{2})}{(1 + \eta\sqrt{2})^2}\right]$$

$$\eta = \sqrt{\frac{1 + \sqrt{1 + (\omega\tau)^2}}{2}} \quad (1-5)$$

式中 $\tau = \frac{\varepsilon(0)}{\sigma(0)}$ —— 电解质的松弛时间。

因此，对于其频率偏移用式 (1-5) 来描述的岩层，当频率和松弛时间在 $0 < \omega\tau < \infty$ 范围内变化时， v_σ 是负值，也就是 $\sigma(\infty) > \sigma(0)$ 。频率偏移系数的极限值：

$$\gamma_\sigma(\infty) = 1 - \frac{\sigma(\infty)}{\sigma(0)} = -0.25 n^3 \cdot \sqrt{m}$$

式中 n —— 电解质的化合价；

m —— 电解质溶液的浓度，克分子/公升。

对于常见的低浓度情况 ($m < 0.01$) 上述公式是正确的，而当 $n = 2$ 时，得到 $v_\sigma(\infty) \leq -0.2$ 。这就是说，当频率在 $0 < \omega < \infty$ 范围内变化时，电导率仅仅变化百分之几十。但是不同作者的实验研究表明，矿井岩层的频率偏移值比用上述分析法得到的结果要大得多。

用 Q 表法对 σ 和 ε 的研究表明，它们与频率的关系有明显地相反特点。前已指出，干燥岩层的 ε 与频率无关，而 σ 则极易受偏移现象的影响。干燥岩层的电导率随频率的增高而增大。当用 Q 表法研究含水量很大的岩层 ($W > 3\%$) 时，发现当电导率不变时， ε 有很显著的偏移现象，并且，如上所述， ε 随频率的下降而增加。对于中等湿度的岩层，由试验发现不论 σ 和 ε 都有偏移现象。

从史密斯—罗兹 [102, 103]、哈威尔 [99]、A. B. 维也舍夫 [14] 的著作中得知，岩层的电导率随频率的增加而很快地增高。文献 [97] 指出电导率随频率增高的程度，可用下式来评定：

$$\sigma_\omega = \sigma_0 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^n \quad (1-6)$$

式中 n —— 程度指数。

A. Г. 伊万诺夫用测热装置进行测量的结果显示，当频率为 60 赫 ~ 200 千赫时，沙岩岩层的频率偏移相当地小。

顿涅茨矿业学院完成了一系列关于用 Q 表法研究煤和围岩在高频电磁场中的电气特性的著作 [34, 52, 60]。根据这些著

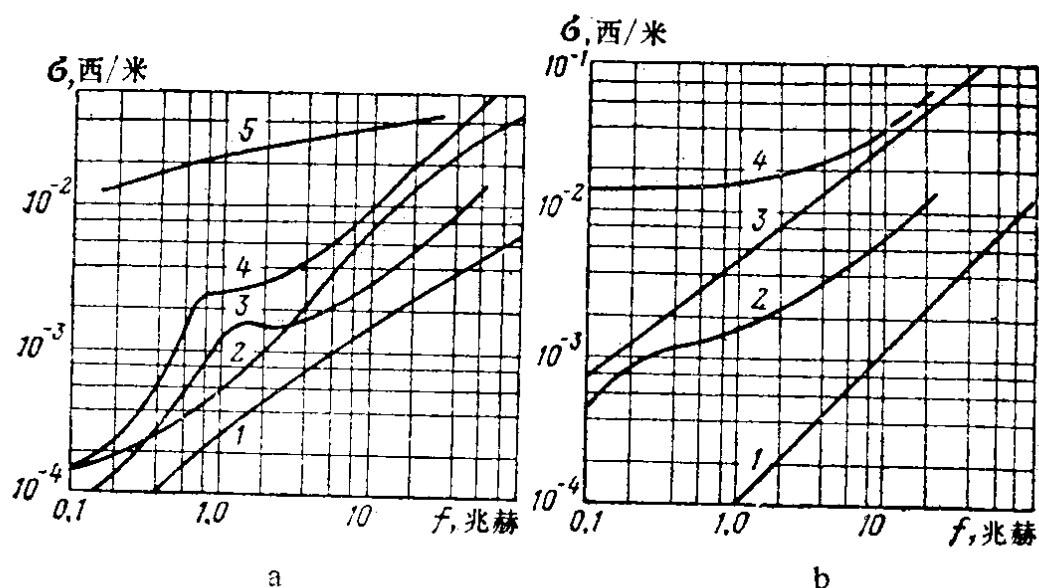


图 1-4 电导率与频率的关系

a—当 $W = 1\%$ 时, Γ 和 T 牌号的顿巴斯 (曲线1, 2); 当 $W = 1\%$ 时, B 牌号的顿巴斯煤和卡拉干达煤田的煤 (曲线3, 4), 无烟煤 (曲线5); *b*—当湿度为0、0.5、1和7%时, 泥质页岩 (相应于曲线1、2、3、4)

作、岩层的电导率以相当复杂的形式与频率相联系: 对于 Γ, Π, A 等牌号的干燥煤, 其电导率随频率单调地增加, 而湿煤的 σ 与频率的关系则较复杂。

潮湿的泥质页岩和砂岩在某些频率下有最大的电导率。图1-4中引用了其中的几个例子和这些结论相对立, 还得到了驳斥岩层电导率具有很大的频率偏移这个论点的数 据。在 $A. \Gamma.$ 塔尔霍夫, $T. \Pi.$ 切里捷, $\Xi. H.$ 帕尔霍明科的著作中发表了这些观点。

根据 $A. \Gamma.$ 塔尔霍夫的看法[81], 均匀受潮的岩层电导率与频率无关, 至于用 Q 表法进行研究时, 所发现的电导率与频率的关系则可以这样来解释: 或者是由于未考虑附极效应而造成误差, 或者是由于表面的和更深的岩层中的标本受潮情况不一。

$\Xi. H.$ 帕尔霍明科用 Q 表和排除了附极效应的特制岩层标本所作的测量, 证实了对于潮湿和中等潮湿岩层 ($\sigma \geq 10^{-2}$ 西/米), 当频率低于 $10^6 \sim 10^7$ 赫时几乎完全不存在电导率的偏移现象。

根据某些实验数据, 干燥岩层的电导率在音频的范围内就已经开始随频率而增加, 然而这种现象到目前尚未彻底查明。

关于 σ 和 ε 与频率的关系问题,对于无线通讯具有决定性的意义,因为这与矿井无线通讯系统的基本参数,其中主要是工作频率范围的选择密切相关。在具有一定 σ 和 ε 偏移值的媒质中,无线通道的参数计算非常复杂。可以肯定地说,对自然埋藏中的岩层进行电导率的测量可以得到,无论是在一定频率下电导率数值的分散性方面、或在频率偏移方面都是较为稳定的结果。

在实验室里进行测量总是不可避免地要和破坏岩层的完整性及湿度、和标本表面的氧化和计算边缘效应的困难紧密地联系在一起。

如上所述,岩层是层状各向异性的媒质。这种岩层的电导率取决于测量的方向。如果双层媒质各层的电导率为 σ_1 和 σ_2 ,厚度为 d_1 和 d_2 ,那末岩层的纵、横两个方向上的电导率的平均值可由下列公式求得:

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{\sigma_1 d_1 + \sigma_2 d_2}{d_1 + d_2} \\ \sigma_n &= \frac{d_1 + d_2}{d_1 \sigma_2 + d_2 \sigma_1} \sigma_1 \sigma_2\end{aligned}\quad (1-7)$$

对在岩石层面的纵向和横向测得的平均电导率加以比较,可得

$$\sigma_t \geq \sigma_n$$

岩层在电导率方面的差别愈大,这种差别也愈重要。各向异性媒质的纵向和横向电导率的差别程度可用各向异性系数来描述。

$$\lambda = \sqrt{\frac{\sigma_t}{\sigma_n}} \quad (1-8)$$

对双层媒质:

$$\lambda = \sqrt{1 + d_1^0 d_2^0 \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)^2}{\sigma_1 \sigma_2}} \geq 1$$

式中 $d_1^0 = \frac{d_1}{d_1 + d_2}$, $d_2^0 = \frac{d_2}{d_1 + d_2}$ ——分层的相对厚度。

下面我们将看到，为了计算平均电导率只要考虑两层，即煤层和围岩就已足够。由于围岩的厚度通常大大地超过煤层的厚度，因而平均电导率几乎完全由围岩的电导率决定。

如果必需考虑更多层数，例如，为了确定大型矿山岩体的平均电导率，那末可以使用下式〔43〕：

$$\sigma_t = \frac{1}{D} \sum \sigma_s d_s$$

$$\sigma_n = \frac{D}{\sum \frac{d_s}{\sigma_s}} \quad (1-9)$$

式中 D ——层系总厚度；

d_s 和 σ_s ——第 S 层的厚度和电导率。

当使用直流或者频率足够低的交流测量电导率时，上列各公式是正确的。

为确定电导率，在矿体中建立了电磁场，随着电磁场频率的提高，振荡能量的损耗随之增加，而电磁场在岩层中的穿透深度减少，所以测量装置灵敏区的大小也跟着降低。由于仅测量最靠近的几层的电导率，因而多层结构电导率的频率偏移要比均匀岩层的更高。电导率的频率偏移系数的大小和符号决定于矿体与最近几层的电导率的真值之比。各种矿井岩层的各向异性系数各不相同，文献〔37〕已经查明，围岩比较均匀，其各向异性系数，即使把该类型的全岩层作为整体来研究，也不至超过1.3~1.5。至于煤的各向异性问题，在考虑整个煤层时可达几个单位（由于在煤中存在着顺层理取向的各种岩石夹层而呈现明显的各向异性〔37, 46〕）。在一个煤的自然分层范围以内，当没有别的杂质时，煤的各向异性也相当小。在相同的均匀块煤上测得的各向异性系数通常不超过1.4~1.6。

§ 1-3 岩层电导率的实验室测量法及其特点

现有的确定矿山岩层电气特性的各种方法，可以分成两类：