



煤矿安全生产最新技术与国家强制性标准推广系列丛书

井下人员 定位 与无线通讯技术实用手册

◎ 主编 陈国旺

中国科技文化出版社

TD178

C-365

2

2008A

2158a... (1076...)

井下人员定位与无线通讯 技术实用手册

〈主 编 陈国旺〉

下

卷

中国科技文化出版社

双电极法存在的缺点，迫使人们去研究各种三电极法。微分电桥三电极法就是其中最有意义的一种。这种方法是用 HC3-1 型接地电阻测量器（图 3-1-9）来实现的。测量电极 A 的电路经过辅助电极 B 而闭合，电极 C 则接在补偿回路中，按照听筒 T 的最低音量，利用电位器 R_n 以建立线路的平衡。此时，电极 A 上的电压降将为测量电位器 R_n 上的电压降所补偿，也即：

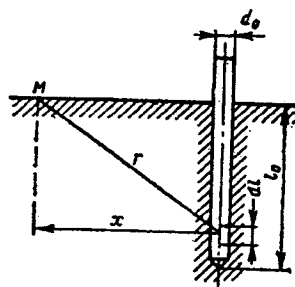


图 3-1-9 测量接地电阻
的三电极微分电路图

$$I_1 R_A = I_2 R_n$$

由此可得

$$R_A = \frac{I_2}{I_1} R_n = k R_n$$

式中 $k = I_2/I_1$ ——电流互感器的变流系数。

在四电极装置中，电源回路和测量电极回路是分开的。发时电极 A 和 B 在岩层中建立起电流场。两个接收电极（试验极）位于分界面处，以便在岩层和测量仪表（毫伏计）的引线端之间建立接触。如果测量仪器的输入电阻足够大，那么测量回路接地电阻的变化不至于引起，象在用双电极法时所发生的那种误差。四电极法的这个主要优点，以及在计算方面的简易和明显性，都是它得以推广的原因。

可以任意确定接收电极相对于馈电电极的方向。不过，在对称直线布置的情况下，可以获得最简单的计算公式。接收电极相对于设备中心对称地安置在馈电电极之间（图 3-1-10）。在取出和移去接收电极时，测量装置在深度方向所包

含的区域增大了,同时,用该装置测量的矿体有效电导率中,深部岩层所占的份额增大了。地壳深部研究法就是以这个原理为基础的。

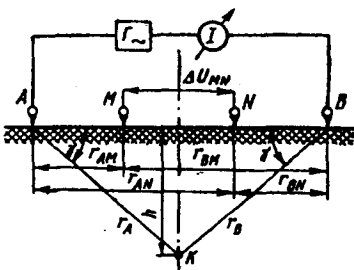


图 3-1-10 说明用四电极测量装置进行测量的原理图

我们来研究辐射电极建立的电场。我们认为测量装置被安置在,其尺寸比装置尺寸还大得多的岩层露头面上。在这种情况下就可以用无限半空间的模型。

大家知道,当满足把电极看作点电极的条件时,位于岩层表面的接收电极 M 和 N 之间的电位差可从下式求得;

$$\Delta U = U_M - U_N = \frac{I}{2\pi\sigma} \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{AN}} + \frac{1}{r_{BM}} - \frac{1}{r_{BN}} \right) \quad (3-1-26)$$

式中 $r_{AM}, r_{BM}, r_{AN}, r_{BN}$ ——从观察点 M 和 N 到馈电电极 A 和 B 的距离。

由于在对称的装置中, $r_{AM} = r_{BN}, r_{BM} = r_{AN}$, 而且 $r_{AN} = r_{AM} + l, r_{AB} = L$, 式中 l ——接地电极之间的距离, 因而可得:

$$\Delta U = \frac{I}{2\pi\sigma} \left(\frac{2}{r_{AM}} - \frac{2}{r_{AN}} \right) = \frac{4Il}{\pi\sigma(L^2 - l^2)} \quad (3-1-27)$$

对于常见的 $l = 0.2L$ 这样的个别情况, 就有

$$\Delta U = \frac{I}{1.2\pi\sigma L}$$

由此可得:

$$\sigma = \frac{I}{1.2\Delta U\pi L} = \frac{1}{K} \frac{I}{\Delta U} \quad (3-1-28)$$

系数 $K = I/\sigma\Delta U$ 在地球物理学中被称为对称四电极装置系数。

由上述可见,为了用满足点电极条件的四电极装置来确定均匀的各向同性岩层的电导率,就必须测量馈电电极回路中的电流、接收电极之间的电压,而且还应知道装置系数。

如果测量是在尺寸不大的岩样上进行的,那么,由于岩层中场的结构的畸变,误差就是不可避免的。

为了估计误差的大小,我们来看看由馈电电极流出的电流渗入有多深。我们知道,在四电极装置的对称轴线上,且位于离岩层表面深度为 h 的 K 点处,电流密度

$$j = \frac{I}{2\pi r_A} \cos \gamma - \frac{I}{2\pi r_B} \cos(180^\circ - \gamma) \quad (3-1-29)$$

式中 γ ——岩层表面与从馈电电极到 K 点的半径 r 之间的角度;

h ——要确定电流密度处的深度。

岩层表面上的电流密度最大,且由下式确定:

$$j_0 = \frac{4I}{\pi L_2} \quad (3-1-30)$$

式中 L ——馈电电极 A 和 B 之间的距离

用式 (3-1-30) 表示公式 (3-1-29) 得

$$j = \frac{j_0}{(\sqrt{1 + Z^2})^3} = \frac{4I}{\pi L^2 \left[\sqrt{1 + \left(\frac{2h}{L} \right)^2} \right]^3} \quad (3-1-31)$$

式中 $Z^0 = \frac{2h}{L}$ ——场函数,是电流密度的深部形状或装置中央法线的电场 $E = j/\sigma$ 的量度。

从分析式 (3-1-31) 得出结论:随着电极间距离的增大,电流渗入岩层的深度也增加,因此通过上面得到的 σ 值可以想象出更深的各岩层的情况。

在 $h = L$ 、 $j = 0.09j_0$ ；在 $h = 3L$ 、 $j = j_0/194$ 等情况下，利用式 (3-1-31) 就可以求出，厚度为 h 的上部岩层中通过的是被导入岩层的电流中哪一部分；

$$\frac{I(Z^0)}{I} = \frac{2}{\pi} \arctg Z^0$$

式中 $I(Z^0)$ ——在厚度为 h 上部岩层中流动的电流。

例如，当 $h = L$ ， $Z^0 = 2$ ， $\arctg 2 = 63.5^\circ$ 时， $I(Z^0)/I = 70.5\%$ ；对于 $I(Z^0)/I = 0.9$ ，则有 $Z^0 = 6.3$ ； $h = 3.15$ ；对于 $I(Z^0)/I = 0.95$ ，则有 $Z^0 = 12.7$ ； $h = 6.35$ 等等。

由此可见，为了保证误差不超过 10%，就必须使电极间距离至少要小于被研究岩层厚度的 $1/3.15$ 。如果在上述区域内出现几种电导率不同的岩石分层，那么，装置所指示的是层状媒质的电导率的某种平均有效值。有这样一些方法，这些方法使我们有可能按照有效电导的测量值和各分层的已知厚度来确定各单个分层的电导率。鉴于公式和计算的冗繁，这种计算不超过二、三个分层，同时，把针对所有实际上遇到的各种情况，而计算出来的结果，用图示法作成一套 $\sigma/\sigma_{\text{中}}$ 曲线族。

在岩层端面测量时，应该同时考虑到与其他类岩层相接触的紧密程度。与在岩块上测量时相似，边缘效应可能使结果发生严重的歪曲。如果该岩层与电导率比它更低的岩层或者空气交界，那么由于散流电阻的增大，在靠近接触处的电流流线发生了畸变，而测得的电导率显得比真实的数值低。反之，当该岩层与高电导率岩层接触时，就会《缩短》电流流线，因而有效电导率就显得比该岩层的电导率高些。

电流流线的反射程度决定于反射系数：

$$k_{12} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2} \quad (3-1-32)$$

如果第二种岩层是电介质（如空气）（ $\sigma_2 = 0$ ），那么 $k_{12} = 1$ ； $(1 - k_{12}) = 0$ 。反之，如果第二种岩层有高的电导率（如无烟煤），那么 $k_{12} = -1$ ； $(1 - k_{12}) = 2$ ，也即发生了电流流线被拉入现象。

在远离接触处测量时，得到的是该岩层电导率的真值。靠近接触处，电导率的测量值偏离了真值。如果四电极装置与两岩层接触处平行排列，那么真实电导率和测量电导率之比为

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{ИЗМ}}} = \left[1 \pm k_{12} \frac{\beta_{12} - 1}{2} \left(\frac{1}{r_m^0} - \frac{1}{r_n^0} \right) \right] \quad (3-1-33)$$

式中 $r_m^0 = \sqrt{(4x^0)^2 + (\beta \pm 1)^2}$ ； $\beta = L/l$ ——装置的系数；

$x^0 = 2x/l$ ——以 l 的分数表示的到接触处的距离。

对于 $\sigma_2 = 0$ ， $\beta = 10$ ， $x^0 = 1$ 这一个别情况来说，有 $\sigma_1/\sigma_{\text{ИЗМ}} = 1.81$ 。相应地，在 $x^0 = 5$ 时， $\sigma_1/\sigma_{\text{ИЗМ}} = 1.089$ ，也即对电导率真值 σ_1 的偏差约为 10%。因此，在端头或岩块上测量时，必须注意使装置的轴线到与其他岩层（空气）相接触处的最短距离，至少有 $5l$ 。至于在装置垂直于接触面时，为了提高精确度，由接触面到最近的发射电极之间的距离也应该增加。在个别的情况下，如果发射电极与接触处不相干，即 $x^0 \geq 8$ ，就有

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{ИЗМ}}} = 1 + k_{12} \left(\frac{\beta^2 - 1}{2} \right) \left[\frac{1}{(2x^0 - \beta)^2 - 1} - \frac{1}{(2x^0 + \beta)^2 - 1} \right] \quad (3-1-34)$$

对这个公式的分析表明：在把最近的馈电电极从接触处

移开一段等于四电极装置的基线之半的距离时，测定的误差不超过百分之几。

考虑到在岩块上或者在专门准备的样品上测量时；空气从各方面包围着岩石，而由于样品的有限尺寸带来的各种误差加了起来，因而必须使样品的最小尺寸比四电极测量装置的尺寸大许多。

四电极法的优点是既可用直流，又可用交流进行测量而无需多次调谐，就象在用 Q 表法测量时一样，而且计算也最简单。

如果馈电电极回路中的电流振幅保持稳定，那么测量装置的刻度盘就可以直接按电导率刻度。

可以使用这种四电极装置的高频的界限，原则上取决于装置的尺寸，放大装置的通频带以及电极系统容性漏电。装置的尺寸应当满足似稳条件。这个条件就在于要求电极装置的尺寸比媒质中最高频率的电磁场的波长小得多。这时装置系数对于直流和交流有相同的数值。直到引用距离 $\xi \leq 0.8$ ，这个数一直保持恒定。这里的 $\xi = \frac{|K|(L+l)}{2}$ ——引用距离； $|K|$ ——岩层波数的模。

如果媒质是良导体，而且其中主要是高频传导电流，那么四电极装置的频率适用范围由下列不等式限定：

$$f \leq 8 \cdot 10^4 \frac{4}{\sigma(L+l)^2} \quad (3-1-35)$$

按似稳条件用样品进行测定的装置，通常有极宽的频带，而且其频率范围决定于振荡—放大部分。

上述要求是制造一种测量在自然埋藏中的岩层电导率的，小型四极测量仪的基础。

测量仪的技术数据

频率范围	50 赫 ~ 50 千赫
被测电导率范围, 西/米	$2 \sim 10^{-4}$
电极装置尺寸, 毫米	$l = 20, L = 100$
电极直径 (柱形一点的), 毫米	2
差动放大器一个臂的	
输入电阻, 兆欧	≥ 2
装置系数 K	0.377
电源	自备
重量, 公斤	3.2

装置的原理图如图 3-1-11 所示。

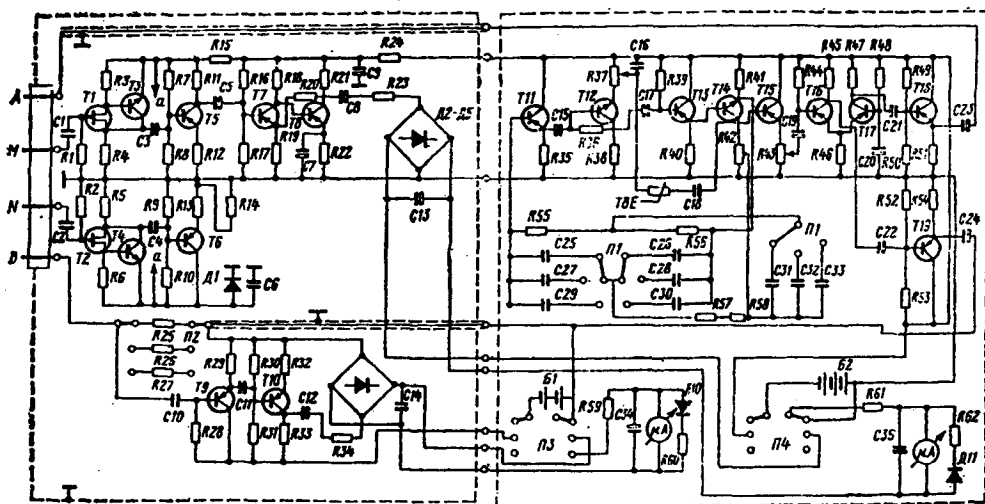


图 3-1-11 四极测量装置的原理图

由晶体管 T_{11} , T_{12} , T_{13} , T_{14} 组成的 RC 型振荡器产生不同频率的正弦电压。变频电桥由电阻器 R_{55} , R_{56} , R_{58} 和电容器 $C_{25} \sim C_{33}$ 组成。通过电位计 R_{58} 来改变频率, 用转换开关 $\Pi 1$ 来确定频率范围。整个频段可分成下列三个分段: 50

~ 500 赫, 500 赫 ~ 5 千赫, 5 ~ 50 千赫。所生振荡振幅的稳定, 是靠负反馈电路中的热敏电阻 $T-8E$ 来实现的。振荡从发生器的输出端进入, 由倒相器 ($T16, T17$) 和在输出端带有射极跟随器的末级对称推挽放大器组成的输出放大器。无畸变信号的最大振幅是 4 伏。振荡从放大器的输出端进入电极的引线端盒, 在盒中装着电流测量器的放大器 ($T9, T10$)。电流测量器按照测量标准电阻 $R25 \sim R27$ 上的电压降的原理而工作。利用转换开关 $\Pi 2$ 确定各被测电导率的范围: $10^{-3} \sim 10^{-2}$ 西/米, $10^{-2} \sim 10^{-1}$ 西/米, $10^{-1} \sim 1$ 西/米。选择电流测量器的放大器的放大系数等于 20, 以便标准电阻上等于 0.1 伏的电压降, 达到足以使半导体二极管 ($\Pi 6 \sim \Pi 9$) 在轻微的非线性下进行整流那样的大小。利用测量电极 MN 所取得的电位差, 加在由具有公共输入电阻 $R_{BX} = 4.5$ 兆欧的晶体管 $T1 \sim T4$ 做成的复杂的射极跟随器上, 使我们能够在电极直径不大时, 研究电导率相当小 $\sigma = 2 \cdot 10^{-4}$ 西/米的岩层。在这种情况下单个电极的转移电阻 $R_3 = 1/2\sigma \cdot d = 1.25$ 兆欧, 可与电桥的一个臂输入电阻相比较。公共导线的对称信号从各射极跟随器的输出端进入了差动级 ($T5, T6$), 在那里被放大了, 同时又变成了不对称的信号。通过晶体管 $T7, T8$ 来实现进一步放大。在放大器的输出端由桥式整流器对信号进行检波。放大器的灵敏度等于 10 毫伏。提高灵敏度有可能扩大高电导率的测量范围, 但是, 这时的误差将由于噪音和干扰而增大。

为了减少容性漏电电流, 把电位差放大器也放在接触式引出线端盒里。从电位差放大器输出的直流信号加到用相对单刻度的、并被安装在固定外壳内的指针式仪表上。与此相似, 来自电流测量器放大的, 经过整流的信号加到了自己的

指示式仪表上。用九芯的组合线与仪表的引出线端盒连接和卸开。装置的电源是电压分别为 12 伏和 9 伏的二个电池组。

测量时电极的线端盒通过电极而紧贴在选定的或者预先准备好的地方的岩层上。为了四个电极全部可靠地接触，其中二个（测量用的）电极装有弹簧。

在电极安好之后，用调节器调整馈电电极回路中的电流值，使电位差测量器中指示仪表的指针偏转过整个刻度盘。这时电导率可按式计算：

$$\sigma = \frac{D_T}{100} \sigma_n$$

式中 σ_n ——规定范围的上限；

D_T ——在刻度盘上，电流测量器的指针度数。

有一些以测定岩层中电磁场的衰减系数为基础的，估算 σ 和 ϵ 的方法。这些方法必不可少的前提是要在岩层中激发极强的电磁场。必须做的研究工作或者是场的空间结构——用无线电波衰减法研究场随距离而衰减，或者是用频率特性法研究场强的频率关系曲线。

在第一种情况下，测量的是位于波动区中的两个点 r_1 和 r_2 处的电磁场各分量之一（通常是磁场）的振幅。根据熟知的关系式

$$H_{r2} = H_{r1} e^{-\alpha(r_2 - r_1)} \quad (3-1-36)$$

求得衰减系数

$$\alpha = \frac{\ln \frac{H_{r2}}{H_{r1}}}{r_2 - r_1} \quad (3-1-37)$$

为了分别确定 σ 和 ϵ ，必须用二种频率 f_1 和 f_2 来测量 α 。

于是可得：

$$\sigma = \frac{2\alpha_1\alpha_2}{\omega_1\omega_2\mu} \sqrt{\frac{\alpha_1^2\omega_2^2 - \alpha_2^2\omega_1^2}{\alpha_2^2 - \alpha_1^2}} \quad (3-1-38)$$

$$\epsilon = \frac{\alpha_2^4\omega_1^2 - \alpha_1^4\omega_2^2}{\omega_1^2\omega_2^2\mu(\alpha_1^2 - \alpha_2^2)} \quad (3-1-39)$$

这些公式应用在以兆赫计的频率范围比较方便，在此范围内；传导电流和位移电流的大小可以相比。频率为几十千赫时位移电流可以忽略。这就大大地简化了确定电导率的步骤。这时电导率可由下列关系式确定：

$$\sigma = \frac{2\alpha^2}{\omega\mu_0} \quad (3-1-40)$$

这里 $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ 亨/米——岩石的磁导率。

精度低是无线电波吸收法的缺点。这和确定波动区内很弱的信号场强电平而造成的误差有关。

按照发射点和接收点之间的无线电通讯线路的频率特性，来确定岩层电导率的方法非常方便。为了用这种方法确定电导率，必须有频率可调的发射机其输入阻抗与频率关系不大的偶极辐射器以及安装在离辐射器一定距离的合适的接收机。接地电偶极子是这种方法的最合适的天线。这种偶极子在几十千赫的频率以下，具有固定不变的输入阻抗。

用所测得的这个系统的截止频率来确定矿体的有效电导率：

$$\sigma_{\text{eff}} = \frac{3.85 \times 10^6}{r^2 f} \quad (3-1-41)$$

确定截止频率的误差可以做到足够小，因为观察点可以选在相当小的距离处。截止频率与中间区中一定的点相对应。

发射点和接收点间的距离也可以测得很准确。

就象在吸收法中一样，产生各种误差的原因，可能就是和敷设在进行电导率测量的巷道中的《导向器》靠得太近，尽管在频率特性法中这一误差要小得多。因此，为了测量必需选择没有任何金属结构、电缆、钢丝绳等等的巷道，这在高度机械化的现代矿井中远远不是轻易的任务。

第五节 自然埋藏中的岩层电导率

对岩层进行实验室研究所获得的资料证实了，首先是岩层电导率由于各种不同的因素，而在很大的范围内变动。为了利用这些资料必需具有关于岩层的湿度、孔隙度、温度等方面的知识。

另外一种方法就是积累自然埋藏中的岩层电导率的资料，再进行统计加工。根据电导率的统计值计算出来的无线通道的参数，在很大的程度上符合于实际情况。

在文献中很少有关于测量自然埋藏中的矿井岩层的电导率的报导。这些基本上都是对煤矿进行地球物理学研究的成果。在此应该指出 B.B. 格列丘辛用地球物理学方法，研究别楚尔斯克煤田的煤和围岩的电气性能的一系列著作。对这些测量结果的分析表明，同一类岩石的电导率 σ 的分散性，在自然埋藏中要比在实验室研究中所发现的小得多。钻孔测定表明，某些岩石分层的电导率与构成井田基质的电导率有着明显的不同。无烟煤、某些烟煤的变形、石灰岩和干燥的砂岩

都属于这类岩石。页岩、砂岩和砾岩的基质岩层在电导率方面相差很小。由于在地球物理学中电导率是一定种类岩石的主要特征之一，所以根据电导率在围岩岩层中鉴别某种岩石具有特别作用。这些都是矿井无线通讯问题中，在确定岩层参数的主要问题。

B.B. 格列丘辛按照围岩岩层中各煤层的差别程度，把所有煤田分成四类。煤层的电导率与围岩电导率几乎没有差别的煤田列入第一类。变质作用微弱而水分饱和度很高的褐煤煤田基本上属于这一类。列入第二类的是煤的变质作用很强而导电能力弱的煤田。这类煤的电导率与决定着孔隙度和湿度的变质作用的程度成反比。根据其电导率的特点，这类可列入带有电解导电的电介质。第二类煤在干燥状态下，和第一类一样，几乎是不导电的。

煤的导电能力微弱的煤田分布最广。下列牌号的煤有：长焰煤 Д、气煤 Г、肥煤 Ж、炼焦煤 К、贫粘结煤 ОС 等牌号的煤的煤田属于这一类。还有导电能力很弱的贫煤 Т 的煤田也属于这一类，而其物理性能则接近于 ОС 号煤。Г 和 Д 号煤是这一类中电阻最高的煤。根据 B.B. 格列丘辛的资料，К 和 ОС 号煤是电导率最小的（图 3-1-12）。

自然极化的幅度很大，而电导率中等的煤层的煤田被列为第三类。某些半无烟煤以及处于烟煤和半无烟煤之间的 Т 号贫煤也属于这一类，这类煤的特点是，其中除了电解导电之外，还有由于在晶格中有自由电子而引起的电子导电。这是这类煤的电导率增大和电化学活泼的原因。

把具有电子导电而电导率又高的可采煤的煤田列入第四类，它有导体和半导体的特征。无烟煤层和无烟煤页岩就属

于这一类。这类煤的电导率可达几十和几百西/米。

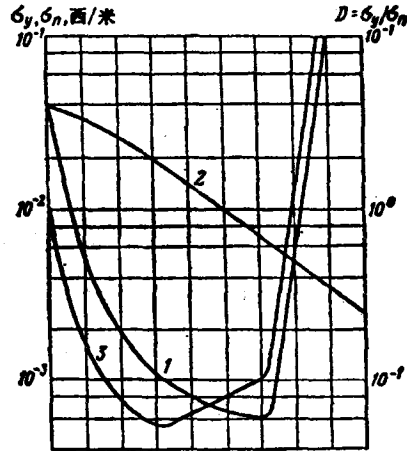


图 3-1-12 B.B. 格列丘辛的煤田分类

1-煤的电导率 σ_y ; 2-围岩的电导率 σ_n ;

3-Ⅱ号煤相对电导率的平均值

各类煤田的围岩电导率之间有一定的差别。一般的规律是：围岩的电导率随着煤的炭化程度的提高而降低，可是变质作用强烈的第三和第四类煤的电导率却急剧地增长。由于煤的电导率与变质程度的关系曲线上的转折，可见煤和围岩的相对电导率，对于不同类别的煤田有不同的数值。第一和第三类的相对电导率接近于一，也即煤层与围岩的电导率没有什么差别。第二类煤的相对电导率大大地小于一，可达到百分之几十和百分之几。对于第四类岩层来说，煤对围岩的电导率之比可能达到几百甚至几千。

在另外一些著作中论证了变质作用对煤的电导率的影响。但是各种实验结果之间极其矛盾。在 B.H. 达赫诺夫的著作中，也是根据电导率把煤分成几类，但是不同牌号的煤的电

导率之间的对比关系与 B.B. 格列丘辛不同。根据 B.H. 达赫诺夫的资料, Г, Ж 号煤的电阻最高 ($\sigma = 5 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-5}$ 西/米)。

C.H. 沃桑丘克完成了对自然湿度的煤样的实验室研究, 并且得出结论: Г 号煤的电阻最高, 其它牌号的烟煤在电导率方面没有区别。

在 A.Φ. 谢尔加丘克的令人感兴趣的著作中, 肯定了用钻孔测量煤的电导率的结果, 根本没有揭示出烟煤的电导率与变质作用之间有任何联系。按照这一著作的观点, 煤有二类: 高电导率的 A 号煤和中等电导率的 Д、Г、Ж、К、ОС 等号煤, 这和两种, 即烟煤的和无烟煤的变质程度相符。在天然条件下, 变质烟煤的平均电导率约为 $2 \times 10^{-3} \sim 2.5 \times 10^{-3}$ 西/米。无烟煤的电导率在几到几十西/米间变动。Т 号煤在中间位置。

关于变质作用以及煤的灰分对电导率的影响很小的结论。统观各种文献而得的结果表明, 到现在为止, 还没有一种关于变质作用对煤电导率的影响的统一意见, 现有的资料显然很不够。

从各种不同来源得到的有关围岩电导率的认识, 其基本上是一致的。现有的资料着重地表明了, 在自然状态下的某种岩石可能具有的电导率在很大的范围变动。根据文献资料 (表 3-1-1), 同一类岩石的电导率分散性可达 1~2 个数量级。当然, 利用这些资料对无线电通讯设备的参数进行实际计算, 会带来很大的误差和不确定性。显然岩石电导率的分散性这样大的原因是这些资料来自不同地区和煤田。

表 3-1-1

岩石	岩石电导率 西/米		
	据 B.H. 达赫诺夫 [22]	据 B.B. 格列丘辛 [21]	参考次料 [75]
泥质岩	$1.5 \times 10^{-2} \sim 2 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-2}$	$10^{-2} \sim 2 \times 10^{-1}$
淤泥岩	$2.3 \times 10^{-3} \sim 1$	$3 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-1}$	$0.5 \times 10^{-2} \sim 10^{-1}$
松散的石灰岩	$5 \times 10^{-3} \sim 0.5$	—	$10^{-3} \sim 10^{-2}$
坚固的石灰岩	$2 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2}$	$\times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3}$	$10^{-3} \sim 10^{-2}$
砾岩	$5 \times 10^{-4} \sim 10^{-1}$	—	$10^{-3} \sim 3 \times 10^{-2}$
松散的砂岩	$2 \times 10^{-2} \sim 2$	$2 \times 10^{-2} \sim 0.5$	—
坚固的砂岩	$10^{-3} \sim 5 \times 10^{-2}$	$0.5 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-2}$	$10^{-3} \sim 3 \times 10^{-2}$
泥质页岩	$10^{-3} \sim 3 \times 10^{-2}$	$10^{-3} \sim 2 \times 10^{-2}$	—
无烟煤	$1 \sim 10^3$	$1 \sim 10^3$	$10^{-1} \sim 10^3$
褐煤	$5 \times 10^{-3} \sim 10^{-1}$	$5 \times 10^{-3} \sim 10^{-1}$	$8 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-2}$
肥烟煤	$10^{-4} \sim 10^{-2}$	$0.5 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3}$	$0.2 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-3}$
瘦烟煤	$2 \times 10^{-3} \sim 10^{-1}$	$10^{-3} \sim 10^{-1}$	$2 \times 10^{-3} \sim 10^{-1}$

按地区对数据所作的分类，毫无疑义应当使岩石参数的范围小些，以便提高数据的可靠性，并减少因使用它们而引起的误差。即需要累积单一种岩石的，也需要累积巨大矿体的有效电导率的统计特性的资料。

在统计材料的积累方面完成了一定的工作。在多年时间里，对顿巴斯煤和围岩的电导率进行了测量。

用上述轻便型四电极测量仪测定了各单个岩层的电导率。有效电导率主要是根据频率特性确定的，在个别情况下，则利用了无线电波吸收法。头一批测量结果表明，当岩石中存在裂缝、夹石层、不均匀性时，测量结果可能完全被歪曲，