

資 料

553. 981/.982 : 550. 837

石油・ガス鉱床の電気探査(その2)*

V. N. Dakhnov

大野博教 訳

§ 60 中間層の比抵抗の決定

探査しようとしている構造が、それほど厚くない3層もしくはそれ以上の層から形成されているとき、このような構造に対しては等価の原理が適用されるので、VES曲線の解釈が一義的であるには中間層の比抵抗または厚さが知られていなければならない。中間層に関するこのような知識が欠けていても、VES曲線が一義的に解釈されうるのは、等価の原理が適用され得ないほど、各下部層の厚さが被覆層の厚さの和を凌駕して、VES曲線の解釈に際して、実測曲線が最多点で一致するような理論曲線はただ一つしか得られないような場合に限られるであろう。このような場合は比較的少ないので、一般的にはVES曲線の正確な解釈のためには、中間層の比抵抗値あるいはその厚さが判っていなければならない。

一般に、地層面深度決定の問題の方が比抵抗決定の問題よりしばしば遭遇する。そこで、VES解釈の精度を保証する決定的条件は探査構造を構成している層の比抵抗値ということになる。

中間層の比抵抗の決定法として

- a) 露岩比抵抗の測定
- b) 等価の原理が成立しないような地域で得られたVES曲線の解釈
- c) 孔内の比抵抗の測定

などがあげられる。

露岩の比抵抗の測定

比抵抗が未知である地層が地表に露呈しているような隣接区域で露岩の比抵抗を決定するために、いわゆる媒介VESまたはAA'MONB'B型水平探査が実施される。VESまたは比抵抗断面図の解釈から求めるべき地層の比抵抗を決定する。対象となっている地層は地表に露出しているか、薄い表土の下に横たわっているから、媒介VESまたは比抵抗断面図の解釈は難事ではない。

しかし、この方法は探査地域の対象層の比抵抗を常に正しく表現するとは限らない。

第一に、地層の岩質が比較的類似している範囲内でさえも、比抵抗値は時々変化する。探査地域において着目している地層全体の比抵抗が露岩比抵抗と著しく異なることもある。そのため、地表での測定データは、地層が露呈している地域と探査地域との間で同一地層があまり岩質変化を示さないことを調査者が充分確信しているような場合にのみ利用され得る。

第二に、地表付近の地層は岩質変化のみられない場合でさえも、淡水性地表水による塩の風化およびアルカリ化作用を受けるので、その比抵抗は深所の同一地層の比抵抗と著しく異なることもある。通常、露出もしくは地下浅所の砂質粘土質碎屑岩の比抵抗は高く、石灰岩、緻密質砂岩および片岩の比抵抗は逆に低い。

* В.Н. Дахнов: Электрическая разведка, Нефтяных и газовых месторождений, Гостоптехиздат, Москва, p. 326~350, 1953

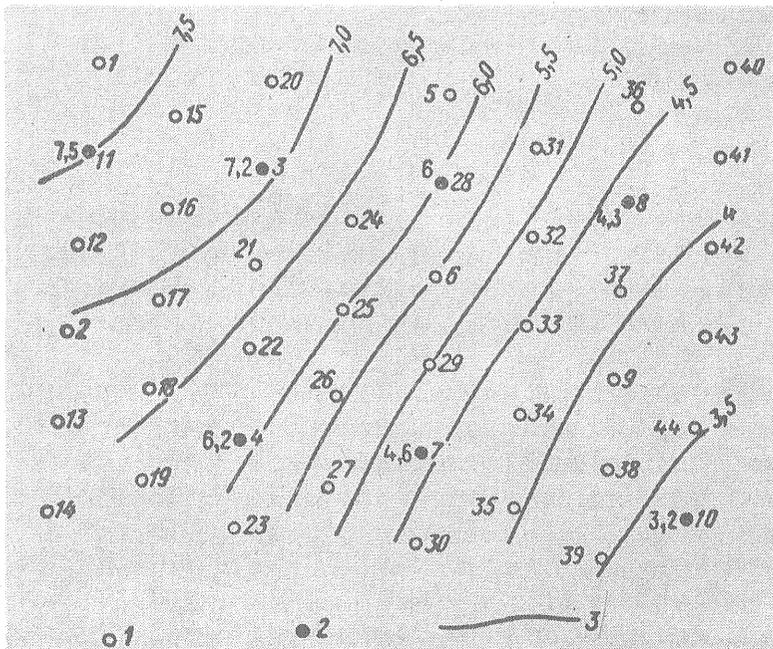
第三に、深所にある地層の比抵抗値は地温が深度とともに増加するので、地表付近よりも低くなる。平均地温勾配 $\Gamma = 0.03^\circ/\text{m}$ の場合、深所の岩石の比抵抗は地表付近のものと比較して、1,000~1,500mの深度で $\frac{1}{2}$ 、2,500~3,000mで $\frac{1}{3}$ に減少する。地温勾配のもっと大きいアルプス型褶曲地域では地層比抵抗の深度に関する減少の仕方もっと激しい。たとえば、Грозненский 区域の一部では1,000mの深度で岩石比抵抗は地表から100mの深度にあるものと比較して約 $\frac{1}{3}$ に減少している。岩石比抵抗決定における著しい誤差は冬季、露岩の表土層凍上によっても招来されるであろう。

上の事情に照らし、露岩で得られた岩石比抵抗に関するデータは下部層の比抵抗の近似値を出すのに利用され得るが、その際、比較的深部についての媒介 VES* を実施し、地層の岩質変化、地層水の塩成分変化およびその温度変化を考慮すればより確実なものとすることができる。

VES データからの地層比抵抗の決定

VES 法による探査において、比抵抗が未知である地層の厚さが被覆層の厚さよりはるかに大きいような場合がしばしばある。このような探査は構造の類似した地域もしくは対象地層の厚さが充分大きいような地域に関して実施されるのが普通である。これらの VES 曲線は時として一義的に解釈される。このような場合には、探査地層の境界面深度の決定のみならず、その比抵抗の決定も可能となる。こうした VES データより探査地層の比抵抗分布を作成し、地域の予想される地質構造に関する知識を考慮して、内挿または外挿を行なって、他の VES に対する同層の信頼すべき比抵抗値を決定することができる。第177図に VES網の一義的解釈に基づいた比抵抗分布図(黒丸)の作成の実例が紹介されている。この分布図から充分な精度で比抵抗値が決定された。

この方法は探査地域内で地層の岩質的特性があまり変化しないような場合にはきわめて正確に決定される。



第177図 中間層等比抵抗分布図

1. VES 点, 2. 同上, ただし中間層比抵抗が充分正確に決定された点, 3. 中間層等比抵抗線

* 原則として対象地層には違するが、その下部には違しないような条件で。

坑井内測定による比抵抗の決定

探査地層の比抵抗は坑井内の電氣的測定データから、次の2つの方法によって決定される。すなわち、

- a) 坑井内の電気検層図の詳細な解釈——それに基づいて電氣的に異なる地層が識別され、それらの平均比抵抗が決定される。
- b) VES 曲線の特性を決定するような地層の界面深度ならびに厚さを坑井内の電気検層図から決定し、このデータと坑井付近で実施した VES のデータ解釈結果とを比較する方法。

ラテラル・ログ [10] の詳細な解釈に基礎をおく第一の方法では、坑井内の検層図上に特徴を示している各層の比抵抗を決定する。堆積岩は多くの場合に異方性を呈するので、測定された比抵抗値は実際には異方性地層の見掛比抵抗である。すなわち

$$\rho_K = \frac{\rho_m}{\sqrt{1 + (\lambda^2 - 1) \cos^2 \alpha}}$$

ここに α は坑井軸に垂直な平面と層面とのなす角である（角 α は坑井が鉛直であるときには地層の傾斜角に等しい）。 ρ_m は異方性地層の平均比抵抗、 λ はその微視異方性係数である。

$\alpha < 20^\circ$ のときには

$$\rho_K = \rho_m / \lambda = \rho_t$$

としても実用的には差支えない。すなわち、ラテラル・ログによって決定された比抵抗は探査地層の縦比抵抗に等しい。

各層について、それぞれ ρ_i を知れば

$$\rho_{t,m} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n \rho_{t,i}}$$

なる式から、縦比抵抗 $\rho_{t,1}, \rho_{t,2}, \dots, \rho_{t,n}$ 、厚さ h_1, h_2, \dots, h_n を有する n 層からなる地層全体の平均縦比抵抗を算出することができる。

坑井内の見掛比抵抗の測定からは各層の横比抵抗 $\rho_{n,i}$ を、したがって、多層媒質の平均比抵抗値

$$\rho_m = \sqrt{\rho_t \cdot \rho_n}$$

を決定することはできない。

したがって、問題は近似的に解かれ得るにすぎない。地層の横比抵抗比 $\rho_{n,i} / \rho_{n,j}$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$) は縦比抵抗比より大きな範囲で変動するのが普通である。それゆえ、各層の横比抵抗値 $\rho_{n,i}$ から、あるいは第1層の $\rho_{n,1}$ に対する $\rho_{n,i}$ の比から計算された多層媒質の平均横比抵抗

$$\rho_{n,m} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_{n,i} h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} = \rho_{n,1} \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\rho_{n,i}}{\rho_{n,1}} h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (399)$$

は検層から各層について個々に決定された $\rho_{t,i}$ と $\rho_{t,1}$ の値から計算された平均横比抵抗

$$\rho_{n,m}^{\otimes} = \rho_{t,1} \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\rho_{t,i}}{\rho_{t,1}} h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (400)$$

より大きいであろう。

次のような比

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\rho_{n,i}}{\rho_{n,1}} h_i}{\sum_{i=1}^n \frac{\rho_{t,i}}{\rho_{t,1}} h_i}$$

は平均して 1.1~1.2 に等しいと考えられる (x は 1 から 1.5 まで変化する)。また $\rho_{n,i} = \lambda_i^2 \rho_{t,1}$ であるから (ここに λ_i は第1層の微視異方性係数で、その数値は第2表から得られる)

$$\rho_{n,m} = x \lambda_1^2 \rho_{n,m}^{\otimes} = x \lambda_1^2 \frac{\sum_{i=1}^n \rho_{i,m} h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (401)$$

ここに $\rho_{n,m}^{\otimes}$ は電気検層図から決定された各層の縦比抵抗値から(400)を使って計算して得られた対象媒質の仮想的平均横比抵抗である。

$\rho_{n,m}^{\otimes}$ と $\rho_{i,m}$ とを知ることができれば

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{n,m}^{\otimes} \rho_{i,m}} = \lambda_1 \sqrt{x \rho_{n,m}^{\otimes} \rho_{i,m}}$$

なる式から求める地層の平均比抵抗が計算される。

電気検層データから ρ_m を決定するもう一つの方法は次のようなものである。

VES 曲線上に特徴を示している地層の厚さ h_i を検層図から決定し、 h_i を既知として VES 曲線を解釈する。解釈すべき VES 曲線を種々の径数 T_i ($\rho_{i-1} < \rho_i > \rho_{i+1}$ のとき) と S_i ($\rho_{i-1} > \rho_i < \rho_{i+1}$ のとき) の理論曲線と比較して求めるべき ρ_i を算出する。

$\rho_{i-1} < \rho_i > \rho_{i+1}$ のときには

$$\rho_i = T_i / h_i$$

$\rho_{i-1} > \rho_i < \rho_{i+1}$ のときには

$$\rho_i = h_i / S_i$$

ここに、 ρ_{i-1} 、 ρ_{i+1} は対象層の被覆層および下部層の比抵抗である。

このような ρ_i 決定法では、 ρ_i は ρ_m に等しく、したがって、VES 曲線を解釈するに当り、異方性による層面深度の補正を必要としない。

§ 61 3 層 VES 曲線の解釈

H 型曲線の解釈

H 型 3 層 VES 曲線を解釈する場合、2 層曲線の解釈法のところで説明した方法で、解釈曲線に類似した形状の曲線を $\Gamma \Pi$ 3 図葉の一つから選んで、 ρ_1 と h_1 とを発見する。第 1 層の比抵抗と厚さとは図葉の横軸 $\xi = 1$ と縦軸 $A = 1$ とが解釈曲線の縦軸と横軸を切る点の見掛比抵抗値と $AB/2$ 値に等しい (第 178 図)。

下層の比抵抗 ρ_2 、 ρ_3 の値が既知ならば、径数 μ_2 および μ_3 とが決定され、3 層曲線集の中から与えられた径数 μ_2 、 μ_3 に対する図葉が探される。このような図葉が発見されたならばその上に解釈曲線用紙をのせ、図葉と用紙の坐標軸を平行に保ちながら移動させ、解釈曲線 1 に図葉の理論曲線の一つ 2 が一致するようにする (第 178 図)。この曲線の ν_2 を知るならば、第 2 層の厚さは

$$h_2 = \nu_2 h_1^*$$

なる式から算出される。

また、第 3 層表面までの深度は

$$H_3 = h_1 + h_2 = h_1(1 + \nu_2)$$

となる。

必要あらば、異方性による誤差を補正して

$$h_{2true} = h_2 / \lambda_2 \quad (402)$$

$$h_{3true} = h_1 / \lambda_1 + h_2 / \lambda_2 = (1 / \lambda_1 + \nu_2 / \lambda_2) h_1 \quad (403)$$

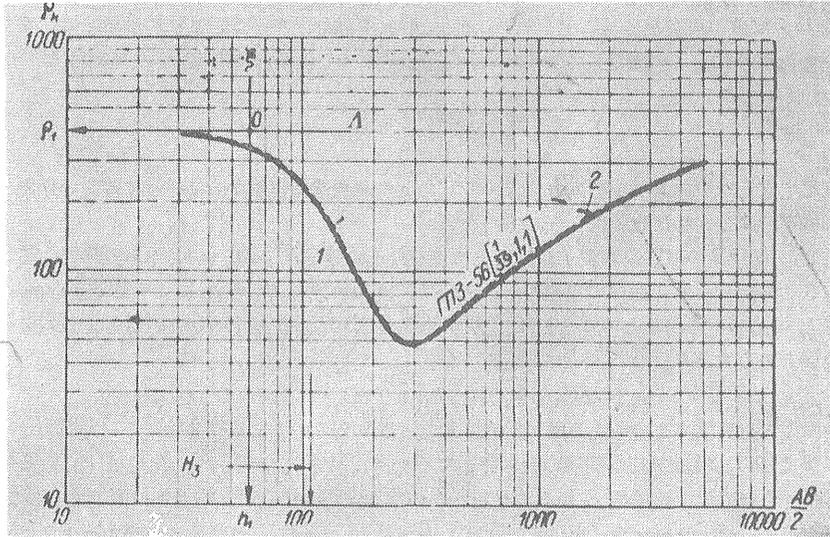
を得る。

もし、径数 μ_2 に対する図葉が曲線集にはないけれども、曲線が等価の原理の適用を受け得るほどに幅の狭い極小部を示しているならば、近似値 μ_2' に対する図葉上に解釈曲線を重ねて径数 ν_2 なる曲線に一致するならば、 h_2' が決定され、

* 厚さ h_2 は付録 IX, X, X, XIII その他に紹介されている図葉に示されている補助曲線から決定することもできる。 h_2 は解釈 VES 曲線と図葉の h_2 曲線との交点の横坐標 (解釈曲線の横軸の尺度で示された) に等しい。

$$h_{2true} = \frac{h_2' \mu_2}{\mu_2' \lambda_2} \quad (404)$$

から第2層の厚さの真値が算出される。



第178図 H型 VES 曲線の解釈例

例 第178図に示された VES 曲線の解釈。ただし、中間層の比抵抗： $\rho_2 = 8\Omega\text{m}$ ， $\lambda_1 = 1$ ， $\lambda_2 = 1.1$ ， h_1 と ρ_1 との決定。解釈曲線 1 と図葉 $\Gamma\Pi 3-56$ 内の曲線 2 [$1/39$ ，1，1] とは一致する。図葉の原点（点 O）の位置から $h_1 = 60\text{m}$ ， $\rho_1 = 400\Omega\text{m}$ とが決定される。

径数 $\mu_2 = 8/400 = 1/50$ なる 3 層曲線図葉はないが、解釈曲線は幅狭い極小部を持っているので、 h_2 の算出のために (404) 式が利用される。

$$h_{2true} = \frac{h_2' \mu_2}{\mu_2' \lambda_2} = \frac{\nu_2 h_1 \mu_2}{\mu_2' \lambda_2} = \frac{60 \times 39}{50 \times 1.1} \approx 42.2\text{m}$$

高比抵抗基盤表面深度は

$$H_3 = \frac{h_1}{\lambda_1} + h_{2true} = 60 + 42.2 = 102.2\text{m}$$

である。

ρ_3 が未知であるか、3 層曲線集に与えられた径数 μ_3 に対する図葉が存在しない場合には補助図葉 H の助けにより解釈が実施される（付録 XVII）。

すでに、§ 59 に説明したように、H 型 VES 曲線の右の部分の形状は第 1 層の厚さが

$$h_{1,2} = h_1 + h_2$$

であり、比抵抗が

$$\rho_{1,2} = \frac{h_1 + h_2}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2}} = \frac{1 + \nu_2}{1 + \frac{\nu_2}{\mu_2}} \rho_1$$

で、第 2 層の厚さが無限大、その比抵抗が

$$\rho_2' = \rho_3$$

であるような仮想的構造の 2 層曲線の形状に等しい。

こうして、解釈曲線用紙上に $x_H = h_{1,2}$ ， $y = \rho_{1,2}$ なる坐標点 H （対数尺による）を発見し、それと 2 層図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ ($\rho_2 > \rho_1$) の原点とを一致させて、解釈曲線右枝が径数 μ_2' の図葉曲線に重なるようになれば、第 2 層の厚さ h_2 と第 3 層までの深度 H_3 ならびにその比抵抗を決

定する問題は解決されたといえよう。すなわち、

$$\begin{aligned} H_3 &= h_{1,2} \\ h_2 &= H_3 - h_1 = h_{1,2} - h_1 \\ \rho_3 &= \rho_{1,2} \mu_2 \end{aligned}$$

点 H の位置の決定を容易にするため、補助図葉 H が利用される。これについては、すでに説明したように、この図葉には $\mu_2 = \text{const.}$, $\nu_2 = \text{const.}$ の場合の関係

$$\frac{\rho_{1,2}}{\rho_1} = \frac{1 + \nu_2}{1 + \frac{\nu_2}{\mu_2}} = f(1 + \nu_2)$$

を決定する2つの曲線群が記入されている。あとの曲線群は縦軸から $1 + \nu_2$ に等しい距離でこの軸に平行にひかれた直線群を表わす。

もし、 H 図葉の原点を解釈曲線用紙上の点 O (その座標は $AB/2 = h_1$, $\rho_K = \rho^*$ である) と一致させ、図葉と解釈曲線の座標を平行にして、既知の比 $\rho_2/\rho_1 = \mu_2$ に対する $\mu_2 = \text{const.}$ の曲線を H 図葉から用紙に移すならば、解釈曲線座標系による仮想的層の厚さと比抵抗との間の関係を決定する

$$\rho_{1,2} = f(h_{1,2}) = f(h_1 + h_2)$$

なる関係式を満足する座標点の幾何学的位置を決定するものである。

H 型曲線の右枝は AB の間隔の大きいところでは、厚さ $h_{1,2} = h_1 + h_2$ 、比抵抗 $\rho_{1,2}$ なる第1層と厚さが無限大で比抵抗 ρ_3 なる第2層とからなる仮想的構造の2層曲線に漸近するので、解釈曲線の右枝は2層図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ ($\rho_1 < \rho_2$) の径数 $\mu'_2 = \rho_3/\rho_{1,2}$ の曲線に一致するようになる。ただし、その場合、この図葉の原点は図葉 H の $\mu_2 = \text{const.}$ なる曲線上におかねばならない。こうして、その原点の座標 $x = h_1 + h_2$ と $y = \rho_{1,2}$ とは求めるべき第3層の深度 $H_3 = h_1 + h_2$ と比抵抗 $\rho_3 = \mu'_2 \rho_{1,2}$ の値とを決定する。

こうして、 $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ の場合の3層 VES 曲線の解釈の手順は補助図葉 H を使うときには次のようになる。

前述のように、解釈曲線1 (第179図) から第1層の厚さ h_1 と比抵抗 ρ_1 とを決定した後、点 O を図葉 H の原点と一致させる。ついで、 H 図葉上の与えられた径数 μ_2 の曲線2を用紙上に移す。解釈曲線を図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ ($\rho_2 > \rho_1$) の上におせ、その図葉と解釈曲線との座標軸を互いに平行に保ったまま、その座標系原点が曲線2の上にあるようにする。座標軸を平行にしたままで、図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ の原点の位置が曲線2から外れないようにしながら、解釈曲線用紙を動かして、その曲線の右枝が図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ の曲線の一つ3 (径数 $\mu'_2 = \rho_3/\rho_{1,2}$) と重なるようにする。その際、図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ の原点は常に曲線2の上になければならない。曲線3を用紙に移して、その原点の座標 $h_{1,2}$, $\rho_{1,2}$ から

$$\rho_3 = \mu'_2 \rho_{1,2} \quad \text{と} \quad H_3 = h_{1,2} = h_1 + h_2$$

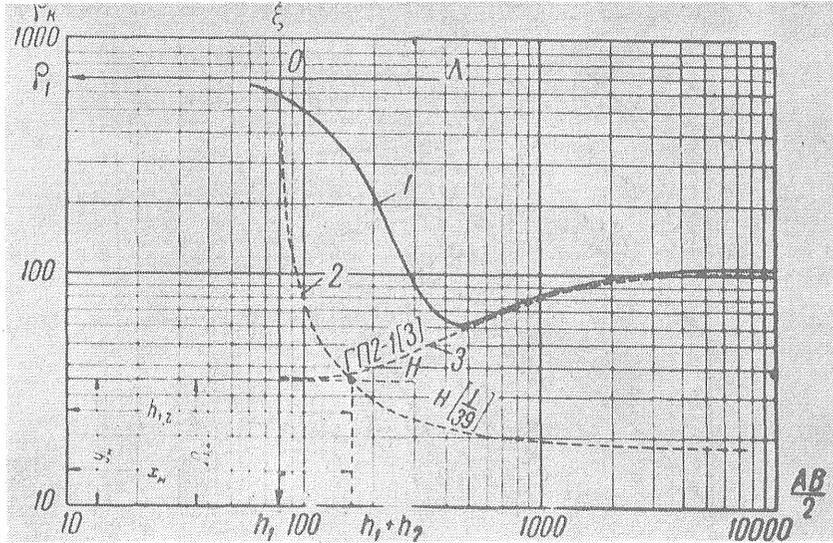
とが算出される。

例 第179図に示された VES 曲線の解釈。ただし、 $\rho_2 = 18\Omega\text{m}$, $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$

1. 形状の似た3層曲線によって、 h_1 と ρ_1 とを決定し、 $h_1 = 80\text{m}$, $\rho_1 = 700\Omega\text{m}$ が得られる。
2. 解釈曲線用紙を図葉 H の上におせ、径数 $\mu_2 = 18/700 \approx 1/39$ の曲線2を用紙上に移す。
3. 用紙を図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ の上におき、図葉の原点が曲線2の上にあるよう、図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ を動かして、図葉曲線の一つが解釈曲線1の右枝に一致するようにする。このような図葉曲線は径数 $\mu'_2 = 3$ なる曲線である。
4. 図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ の原点の座標は $x_H = h_1 + h_2 = H_3 = 160\text{m}$, $y_H = \rho_{1,2} = 35\Omega\text{m}$ (H 点) である。
5. ρ_3 を算出する。

$$\rho_3 = \mu'_2 \rho_{1,2} = 35 \times 3 = 105\Omega\text{m}$$

* この座標は解釈曲線の左枝に合流した2層曲線の一つによって決定される。類似な形状の H 型3層曲線が使えれば一そうよい。



第179図 補助図葉 H を使った H 型 VES 曲線の解釈例

補助図葉 H を使った H 型曲線の解釈は底層の比抵抗 ρ_2 が大きいほど正確になることに留意すべきである。

VES 曲線解釈は中間層の比抵抗 ρ_2 が未知の場合には複雑になる。もし、さらに、その厚さが大きくはなく、等価の原理の適用を受けるならば、VES 解釈に際して第 2 層の厚さの決定における誤差は

$$\Delta h_{true} = S_2 \Delta \rho_{2true}$$

であるとみてよい。ここに $\Delta \rho_{2true}$ は第 2 層比抵抗決定における誤差、 S_2 はその縦電導度*である。

ρ_2 に関する正確なデータが不足しているときには Δh_{true} の値は 10% から場合によっては 100% にさえ達することがある。

h_2 の決定における誤差の可能性を減ずるためには、 ρ_2 の測定値如何によって、解釈から得られるであろう h_2 の範囲値を知る必要がある。

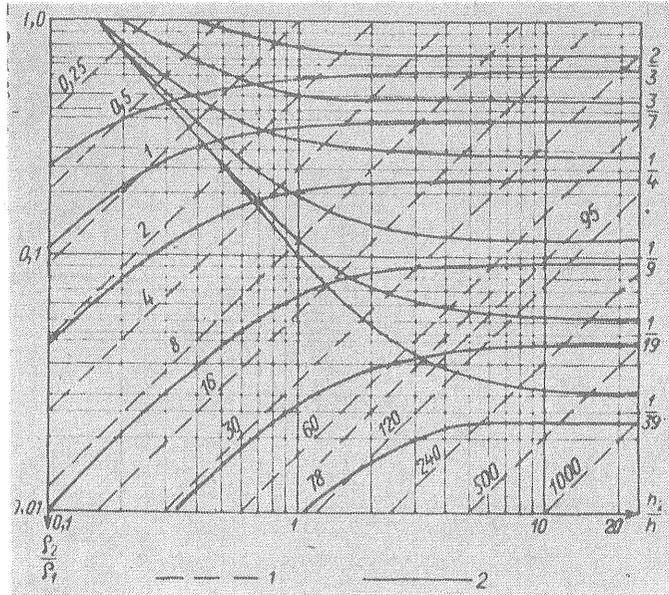
H 型 3 層図葉をみて容易に確認されることは VES 曲線が ρ_K の極小部で差異を示すことである。

第 1 層の厚さ h_1 と比抵抗 ρ_1 とを知るならば VES 曲線の極小点の坐標 $(AB/2) \rho_{Kmin}$ 、 ρ_{Kmin} は第 164 図に紹介された曲線、またはそれと類似な曲線（他の μ_3 値に対する）から、与えられた比 $(AB/2h_1) \rho_{Kmin}$ 、 ρ_{Kmin}/ρ_1 に対する μ_2 と ν_2 の値の範囲を定めることが可能である。

この問題を解くには、 h_1 、 ρ_1 、 $(AB/2h_1) \rho_{Kmin}$ および ρ_{Kmin} を決定して $(AB/2) \rho_{Kmin}/h_1$ と ρ_{Kmin}/ρ_1 とを算出し、第 164 図上に $(AB/2) \rho_{Kmin}/h_1$ 、 ρ_{Kmin}/ρ_1 なる坐標の点 P' を記入する。この点を通る破線曲線 $\rho_{Kmin}/\rho_1 = f[(AB/2) \rho_{Kmin}/h_1]$ の径数がわかる。 μ_2 を知ることができれば $\mu_2 = \text{const.}$ に関する曲線 $\rho_{Kmin}/\rho_1 = f(\nu_2)$ の助けにより、すでに発見された μ_2 に対する ν_2 の値を決定することができる。 P' 点を通る曲線 $\mu_2 = \text{const.}$ の数が多ければ多いほど等価の原理の有効範囲は広くなりそれだけ問題の解の確度は減じてくる。

等価の原理の適用範囲を求めするため、第 180 図 [20] に紹介されているノモグラムを利用すると便利である。このノモグラムには、 μ_2 と ν_2 とを変えて得られる VES 曲線が基準のもの（ ρ_K 値に関して）から 5% 以内の偏差にとどまっているような μ_2 と ν_2 の変動可能範囲を限定する 2 つの極限曲線が種々の $\mu_2 = \rho_2/\rho_1$ について図示されている。極限曲線の間に挟まれた範

* 付録 IV, VI, IX その他に示されている図葉には補助曲線 S_2 が記入されている。中間層の縦電導度は解釈曲線と図葉曲線 S_2 との交点を通して 45° の傾斜でひかれた直線 S_2 と解釈曲線の横軸との交点の横坐標に等しい。



第180図 等価の原理の効用範囲決定用ノモグラム

1. 等価層 $\sigma_2 = S_2/S_1$ 線
2. $\mu_2 = \rho_2/\rho_1$ と $\nu_2 = h_2/h_1$ の変動可能範囲曲線

図では、基準値 $\sigma_2 = S_2/S_1$ が一定に保たれたまま、 μ_2 と ν_2 の値が等価の原理にしたがって変化することは明らかであろう。ノモグラム上に図示された $\sigma_2 = \text{const.}$ の破線状の直線、すなわち等価層線は任意の与えられた断面図の基準断面との間の等価性が成立つような μ_2 と ν_2 との関係を決定するものである。ノモグラムの横軸に平行にひかれている直線は図葉曲線が計算されている μ_2 の値を示している。これら μ_2 値に関する理論曲線に対応する ν_2 と μ_2 との変動極限を示す曲線が同図に図示されている。

第180図のノモグラムをみると、次のような結論にみちびかれる。等価の原理が第2層の比抵抗および厚さの増大をゆるすのは、それらの径数の減少をゆるすよりも狭い範囲である。例えば、 $\mu_2 = 1/39$, $\nu_2 = 2$ ($\sigma_2 = \nu_2/\mu_2 = 78$, 第180図) に関しては VES 曲線が5%以内の精度でその形状を保つのに、 ν_2 や μ_2 を増大しても ν_2 で3.3まで μ_2 で0.425までであるが、 ν_2 や μ_2 はいくら小さくしてもよい。第180図から明らかなように直線 $S_2/S_1 = 78$ は下方極限曲線とは交差ししない。

もし解釈曲線が径数 $\mu_2 = 1/19$, $\nu_2 = 5$ ($\sigma_2 = S_2/S_1 = \nu_2/\mu_2 = 95$) の曲線と一致するならば、事情は変わってくる。この場合には μ_2 と ν_2 の可能変動範囲は次のようになるであろう。

$$0.0432 < \mu_2 < 0.0649$$

$$4.1 < \nu_2 < 6.1$$

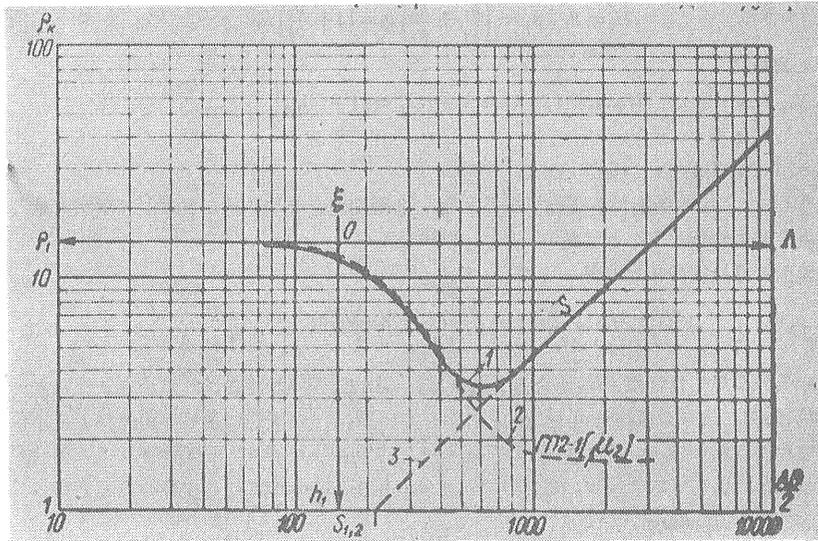
こうして、第2層の比抵抗値が判っていないときでさえも、前の例に較べて厚さの決定における誤差は比較的小さいものである。

第180図に引用されているノモグラムは、 ρ_2 が正確に判っていないとき、VES 曲線の解釈にもたらされるかもしれない誤差を見積るのに利用するのがよい。

$\rho_3 = \infty$ のときの H 型3層曲線の解釈は3層曲線がなくても、図式解析法によって実施される。

この目的のためには、まず、図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ (曲線2) の助けにより、 h_1 と ρ_1 とを決定する(第181図)。続いて、解釈曲線1の右枝に漸近線3をひき、縦電導度 $S_{1,2}$ を決定する。この値は $\rho_k = 1$ なる横軸と漸近線 S との交点の $AB/2$ の値に等しい。

$$S_{1,2} = S_1 + S_2 = \frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2}$$



第181図 $\rho_3 = \infty$ の場合における H 型 VES 曲線の解釈例

であるから

$$h_2 = \left(S_{1,2} - \frac{h_1}{\rho_1} \right) \rho_2$$

で、第3層までの深度は

$$H_3 = h_1 + h_2 = S_{1,2} \rho_2 + (1 - \rho_2 / \rho_1) h_1$$

解釈において、時々 $\rho_2 \ll \rho_1$, $h_2 \gg h_1$ のような場合に出会うことがある。この条件では

$$H_3 \approx S_{1,2} \rho_2 + h_1$$

あるいは

$$H_3 \approx S_{1,2} \rho_2$$

としても実用的には十分な精度である。

最後の式は縦電導度分布図あるいは S 分布図（これに関しては後述する）による被覆層の縦電導度の変動特性の研究に基づいて、下部高比抵抗層の構造を研究する方法の基礎となっている。

例 第181図に図示されている VES 曲線から、きわめて高い比抵抗 ($\rho_3 \approx \infty$) の基盤の深度を決定すること。ただし、 $\rho_2 = 1.6 \Omega m$

1. 図葉 ΓΠ 2-1 を使って、 $h_1 = 154m$, $\rho_1 = 142 \Omega m$ をみいだす。
2. 漸近線 S をひいて $S_{1,2} = 215 mho$
3. 計算より

$$h_2 = (S_{1,2} - h_1 / \rho_1) \rho_2 = (215 - 154 / 142) 1.6 = 342.2m$$

$$H_3 = h_1 + h_2 = 154 + 342.2 = 496.2m$$

近似式から h_2 を計算すると

$$h_2 = S_{1,2} \rho_2 = 215 \times 1.6 = 344m$$

$$H_3 = 154 + 344 = 498m$$

上例をみると正しい式と近似式とは実際上等しい h_2 と H_3 の値を与えている。

第2層の厚さと比抵抗とがはなはだ小さい場合には、H型曲線は $\mu_2 = 1$, $\nu_{1,2} = 1 + \nu_2 \approx 1$ なる場合について作成された2層曲線とほとんど一致する（例えば図葉 ΓΠ 3-83中の曲線 $[1/4, 1/9, \infty]$ と $[1/4, 1/9, \infty]$ を参照）。

もし、このような曲線を2層曲線とみなすならば、基盤層の深度

$$H_3 = S_{1,2} \rho_1 = \left(\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} \right) \rho_1 = \left(1 + \frac{\nu_2}{\mu_2} \right) h_1$$

はその真値

$$H_{3true} = h_1 + h_2 = h_1 + \nu_2 h_1 = (1 + \nu_2) h_1$$

と異なるであろう。

$\mu_2 < 1$ であるから, $H_3 > H_{3true}$

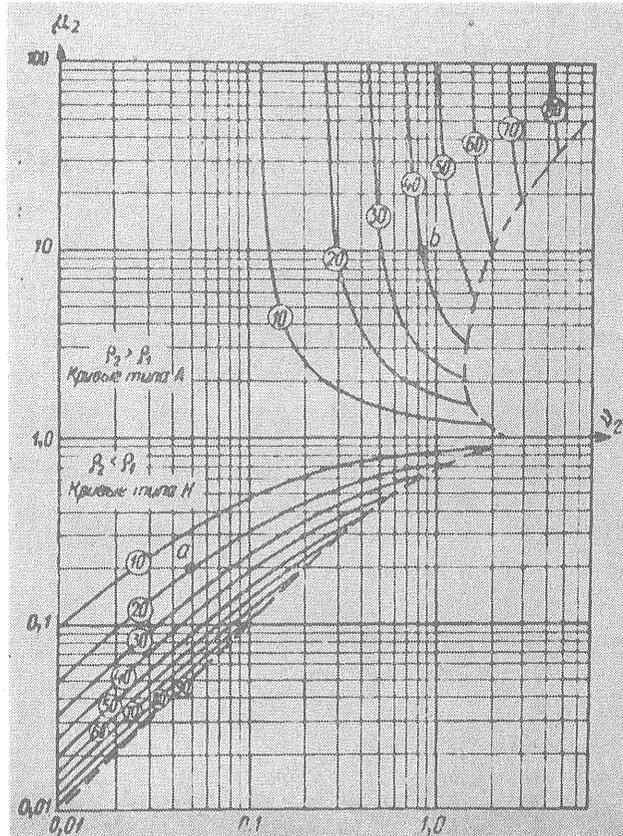
こうして, ρ_x の極小が不明瞭であるとき, 3層曲線を2層曲線とみなして解釈すると, 基盤深度を誇大解釈することになる。

基盤面深度決定の相対誤差

$$\Delta H_3 = \frac{H_3 - H_{3true}}{H_{3true}} = \frac{(1 + \nu_2 / \mu_2) h_1 - (1 + \nu_2) h_1}{(1 + \nu_2) h_1} = \frac{\nu_2 (1 - \mu_2)}{\mu_2 (1 + \nu_2)} \quad (405)$$

は他の条件が等しければ, ν_2 が大きくなればなるほど, μ_2 が小さければ小さいほど大きくなる。第182図には与えられた ν_2 と μ_2 に関して, H_{3true} の決定における可能誤差を見積るのに役立つような $\Delta H_3 = \text{const.}$ に関する $\nu_2 = f(\mu_2)$ 曲線ノモグラムが紹介されている (誤差は曲線の添字によって示されている)。例えば $\mu_2 = 0.2$, $\nu_2 = 0.05$ なる坐標の点を横切ってひかれた曲線は $\Delta H_3 = 20\%$ を与える。

低比抵抗の薄層の存在が基盤深度の決定において, 許容し難いほど大きい誤差に導くことがあり得ることがノモグラムからわかる。



第182図 中間層の厚さが小さい場合第3層表面深度算出における誤差決定用ノモグラム(A. M. Пылаевによる)。丸印内の数字は H_3 決定における相対誤差の値を%で表わしたものである。

第182図に紹介されている破線状の曲線は3層曲線の解釈において2層曲線の利用可能範囲を限定する。この曲線より右の点に相当する μ_2 と ν_2 の値では解釈曲線は2層曲線から5%以上の偏差を示し, それゆえ, 2層曲線によって解釈を行なうことはできない。

$$h_{1,2} = \sqrt{(h_1\rho_1 + h_2\rho_2)(h_1/\rho_1 + h_2/\rho_2)} = \sqrt{(T_1 + T_2)(S_1 + S_2)}$$

比抵抗

$$\rho_{1,2} = \sqrt{\frac{h_1\rho_1 + h_2\rho_2}{h_1/\rho_1 + h_2/\rho_2}} = \sqrt{\frac{T_1 + T_2}{S_1 + S_2}}$$

なる等価層によっておきかえられる。

A図葉上には $\mu_2 = \text{const.}$, $\nu_2 = \text{const.}$ において

$$\rho_{1,2}/\rho_1 = \sqrt{\frac{1 + \nu_2 \mu_2'}{1 + \nu_2/\mu_2'}} = f\left(\frac{h_{1,2}}{h_1}\right) = f[\sqrt{(1 + \nu_2/\mu_2')(1 + \nu_2/\mu_2)}]$$

なる関係を決定する2つの曲線群が示されている。

補助図葉の適当な $\mu_2 = \text{const.}$ に対する曲線を解釈曲線用紙上に移す。図葉Aの原点と $AB/2 = h_1$, $\rho_x = \rho_1$ なる座標をもつ用紙上の点Oとを一致させ、図葉と解釈曲線の座標軸とを互いに平行にして、 $\rho_{1,2} = f(h_{1,2})$ なる関係式を用紙の座標系の上で決定する。

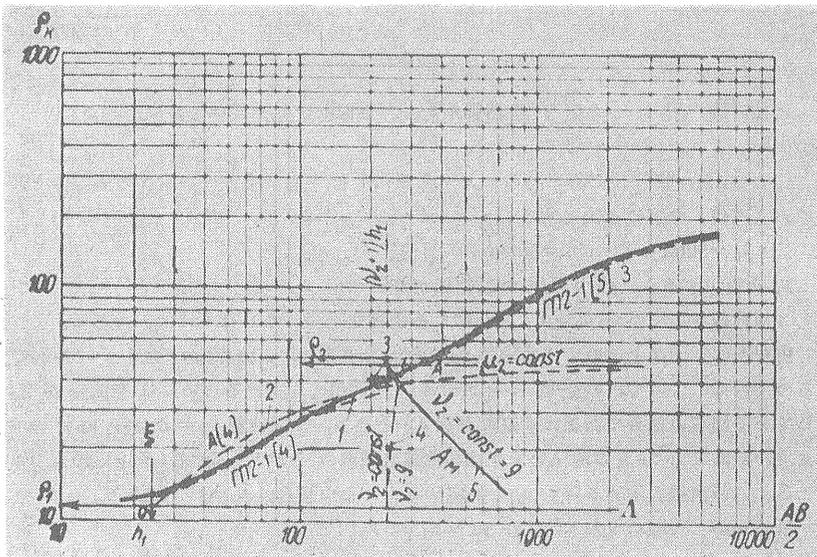
$\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ においては最初の2層断面は $\rho_{1,2}$ を有する仮想的層によって代用され得るから、図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ の助けにより3層曲線の右枝を解釈するには、その原点を与えられた径数 μ_2 のA図葉の曲線の上にあるようにしながら、解釈曲線の右枝が2層図葉の $\mu_2' = \rho_3/\rho_{1,2}$ なる曲線に一致するようにせねばならない。 $h_1, \rho_1, \mu_2, \mu_2', A$ 点の縦座標 $\rho_{1,2}$, 2層図葉の原点がのっている図葉Aの $\mu_2 = \text{const.}$ なる曲線上の点Aを通る曲線 $\nu_2 = \text{const.}$ の径数の値を知って、求める値は算出される。

$$\rho_2 = \mu_2 \rho_1 \quad \rho_3 = \mu_2' \rho_{1,2} \quad h_2 = \nu_2 h_1$$

異方性があれば第2層と第3層の深度決定に補正を施して

$$H_{2\text{true}} = h_1/\lambda_1 \tag{402}$$

$$H_{3\text{true}} = h_1/\lambda_1 + h_2/\lambda_2 = (1/\lambda_1 + \nu_2/\lambda_2)h_1 \tag{403}$$



第184図 補助図葉Aを利用したA型VES曲線の解釈例

例 第184図に示したVES曲線の解釈、ただし、 $\rho_2 = 48\Omega\text{m}$, $\lambda_1 = 1.1$, $\lambda_2 = 1.2$

1. 図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ を使って h_1 と ρ_1 とを決定する。 $h_1 = 24.5\text{m}$, $\rho_1 = 12\Omega\text{m}$
2. 点Oに図葉Aの原点を重ねて

$$\mu_2 = \rho_2/\rho_1 = 48/12 = 4 = \text{const.}$$

なる曲線2を用紙に移す。

3. 解釈曲線1の用紙を図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ の上にのせ、図葉原点が常に曲線2の上にあるようにしたまま、曲線1の右枝が図葉曲線の一つと重なるまで、用紙を移動する。この曲線は $\mu_2' = 5$

なる曲線 3 である。

4. A 点の縦坐標は $\rho_{1,2} = 39\Omega\text{m}$ で、計算から

$$\rho_3 = \mu'_2 \rho_{1,2} = 5 \times 39 = 195\Omega\text{m}$$

5. 解釈曲線用紙を A 図葉上に重ね、 A 点をとおり $\nu_2 = \text{const.}$ なる曲線から径数をみいだして、 $\nu_2 = 9$ を得る。

$$6. \quad h_{2\text{true}} = \frac{\nu_2 h_{1\text{true}}}{\lambda_2} = \frac{\nu_2 h_1}{\lambda_2 \lambda_1} = \frac{9 \times 24.5}{1.2 \times 1.1} = 167\text{m}$$

基盤面深度は

$$H_{3\text{true}} = \frac{h_1}{\lambda_1} + h_{2\text{true}} = \frac{24.5}{1.1} + 167 = 187.4\text{m}$$

となる。

A 図葉が多少不便であるのは $\mu_2 = \text{const.}$ および $\nu_2 = \text{const.}$ の曲線が極限曲線 $\mu_2 = \infty$ に著しく接近している点にある。この事情は内挿を行なう場合に、図葉を利用するのが困難にしている。また ν_2 の値が小さい時には特に、その値の決定精度を低下している。

このような欠陥は図葉 A_M (付録 XIX) では克服されている。同図葉では $\mu_2 = \text{const.}$, $\nu_2 = \text{const.}$ となるとき $\rho_{1,2}/\rho_2 = f(h_{1,2}/h_1)$ なる曲線群がかかっている。

この図葉の横軸は $\rho_{1,2} = 1$ である。 $\mu_2 = \text{const.}$ の各曲線の原点は図葉の縦軸 $h_{1,2}/h_1 = 1$ と指定された径数 μ_2 を有する水平線との交点に等しい。

前の例（第184図）において図葉 A_M を使えば次のようになる。

1. A_M の縦軸 $h_{1,2}/h_1 = 1$ と $\mu_2 = \rho_2/\rho_1 = 4$ なる水平線との交点と点 O とを一致させる。
2. 図葉 A_M の直線 $\mu_2 = 4$ と縦軸との交点からはじまる $\mu_2 = \rho_2/\rho_1 = 4$ なる曲線を移す。
3. 図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ 上に解釈曲線 1 をのせ、曲線 2 上に図葉原点をのせたまま、用紙を移動して曲線 1 の右枝が図葉の曲線の一つと一致するようにする。これが曲線 3（径数 $\mu'_2 = 5$ ）である。

4. 点 A の縦坐標 $\rho_{1,2} = 39\Omega\text{m}$ を決定し、

$$\rho_3 = \mu'_2 \rho_{1,2} = 5 \times 39 = 195\Omega\text{m}$$

を算出する。

5. 再び解釈曲線用紙を図葉 A_M 上にのせ A 点をとおり $\nu_2 = \text{const.}$ なる曲線 5 の径数値を求める。 $\nu_2 = 9$ 。続いて、既述のようにして

$$h_{2\text{true}} = 167\text{m}, \quad H_{3\text{true}} = 187.4\text{m}$$

を算出する。

μ_2 が未知で、 ν_2 の値が大きくなければ、第2層の厚さの決定に著しい誤差を招く恐れがある。

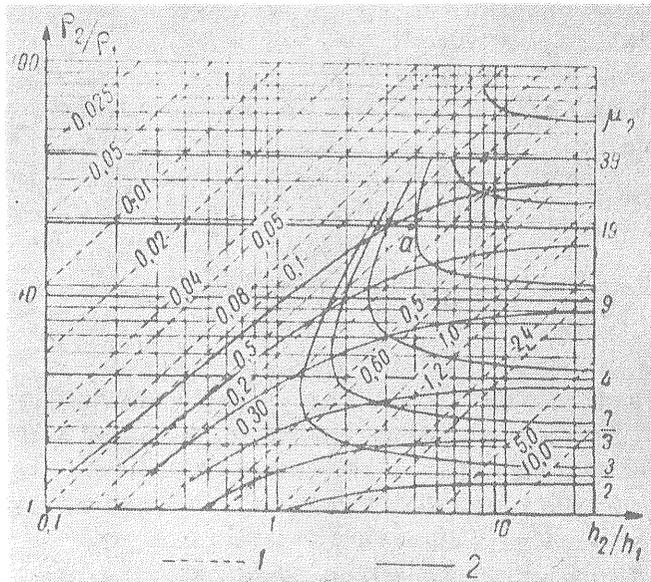
第185図には第180図と類似したノモグラムが紹介されている。これから A 型曲線に対する等価の原理の成立範囲を決定することが可能となる。このノモグラムから、解釈曲線が与えられた径数 μ_2 なる図葉曲線の一つと一致する（ ρ_K 値からのずれが5%以内にある）場合に、 μ_2 と ν_2 の変動範囲を定めることができる。

例えば、解釈曲線が $\mu_2 = 19$ なる曲線と一致し、その際 $\sigma_2 = S_2/S_1 = 0.2$ （第185図、点 a）であるならば、 ρ_2 と h_2 の変動可能範囲は ρ_2 については $8\rho_1$ から $31\rho_1$ まで（ $\mu_2 = 8 \sim 31$ ）で、 h_2 については $1.6h_1$ から $6.2h_1$ まで（ $\nu_2 = 1.6 \sim 6.2$ ）である。

$\rho_3 = \infty$ において、 ν_2 値が大きくなければ、 A 型3層曲線は2層曲線とほとんど差異がなくなる。この場合、3層曲線を2層曲線として解釈すれば、基盤深度の決定に誤差を招き易くなる。

この誤差の相対値は式〔14〕

$$\Delta H_3 = \frac{H_3 - H_{3\text{true}}}{H_{3\text{true}}} = \frac{\nu_2}{1 + \nu_2} \frac{\mu_2 - 1}{\mu_2}$$



第185図 等価の原理の有効範囲決定用ノモグラム

1. 等価層線 $\alpha_2 = S_2/S_1$, 2. ρ_2/ρ_1 と h_2/h_1 の変動可能範囲線

から決定される。

ν_2 と μ_2 とが大きいほど H_3 の決定誤差は大きくなる。第182図上部に示された曲線から与えられた μ_2 と ν_2 値に対する H_3 決定誤差を見積ることが可能である。百分率誤差は座標 ν_2 と μ_2 なる点を通してひいた $AH_3 = \text{const.}$ なる曲線の示数によって示されている。例えば、 $\nu_2 = 0.85$, $\mu_2 = 10$ (点 b) では H_3 決定誤差は40%に達する。

K 型 曲 線 の 解 釈

ρ_2 が既知のとき、K型曲線は3層図葉を使って解釈される。

解釈曲線1と形状の類似した任意のK型曲線を使って、 ρ_1 と h_1 とが決定される。次に、 ρ_2 から μ_2 を算出し、 μ_3 値に近い値の $\mu_2 = \text{const.}$ なる図葉を曲線集から選び出す (μ_3 は第1層比抵抗と解釈曲線の右枝が接近する ρ_K 漸近値との比に等しい)。続いて、解釈曲線に最もよく重なる径数 μ_2 なる曲線、または解釈曲線がその間に挟まれて位置するような図葉内の近接曲線2および3を見つける。

曲線から直接に、あるいは2曲線間の内挿によって径数 ν_2 を決定した後、 h_2 と H_3 とを算出する。

$$h_2 = \nu_2 h_1^*$$

$$H_3 = h_1 + h_2 = (1 + \nu_2) h_1$$

なお、 $AB/2 \rightarrow \infty$ のときの漸近値 ρ_K から、または μ_3 と ρ_1 とから ρ_3 を決定する。

第186図に示されたVES曲線を例にとって解釈してみよう。ただし、 $\rho_2 = 900 \Omega m$, $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$ である。

1. 形状の似たK型VES曲線を用いて h_1 と ρ_1 とを決定する。 $h_1 = 85m$, $\rho_1 = 90 \Omega m$
2. μ_2 の算出。 $\mu_2 = \rho_2/\rho_1 = 900/90 = 10$
3. ν_2 の決定。 μ_2 なる曲線の図葉はないので、 $\mu_2' = 9$ なる図葉を利用すれば、解釈曲線1は $\nu_2' = 2$ および $\nu_2' = 3$ なる径数の2つの曲線間に挟まれている。内挿により $\nu_2' = 2.35$ であることが判る。

* 厚さ h_2 は既述のように付録に図示した曲線 h_2 から決定され得る。

4. h_2 の計算には等価の原理を用いる。

$$h_2 = \nu_2' h_1 \mu_2' \rho_1 / \rho_2 = 2.35 \times 85 \times 9 \times 90 / 900 \approx 180 \text{m}$$

5. 基盤深度の決定

$$H_3 = h_1 + h_2 = 85 + 180 = 265 \text{m}$$

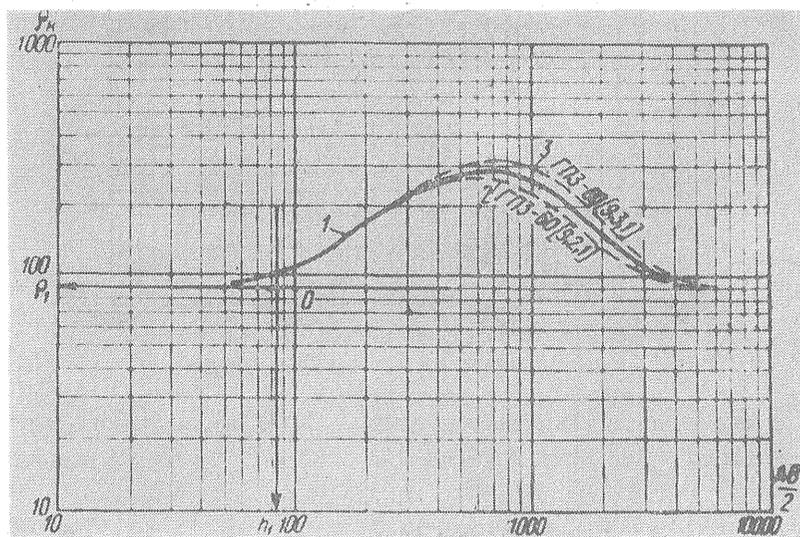
また、その比抵抗 ρ_3 は $\rho_3 = \rho_1 = 90 \Omega \text{m}$

所与の μ_2 値に関する図葉がない場合には、補助図葉 K （付録XVIII）の助けによって解釈を行なう。この図葉には $\mu_2 = \text{const.}$, $\nu_2 = \text{const.}$ の場合に、仮想的層の厚さと比抵抗

$$\frac{h_{1,2}}{h_1} = \varepsilon \sqrt{(1 + \nu_2 \mu_2)(1 + \nu_2 / \mu_2)}$$

$$\frac{\rho_{1,2}}{\rho_1} = \sqrt{\frac{1 + \nu_2 \mu_2}{1 + \nu_2 / \mu_2}}$$

の両者の間の関係を決定する曲線群が記入されている。なお、 ε は上部2層の巨視異方性係数に関係する係数で、その値は第168図に紹介されている。



第186図 K型VES曲線の解釈例

K図葉によるK型VES曲線の解釈法はA図葉を用いたA型曲線の解釈法に似ている。解釈は次のような操作に帰する（第187図）。

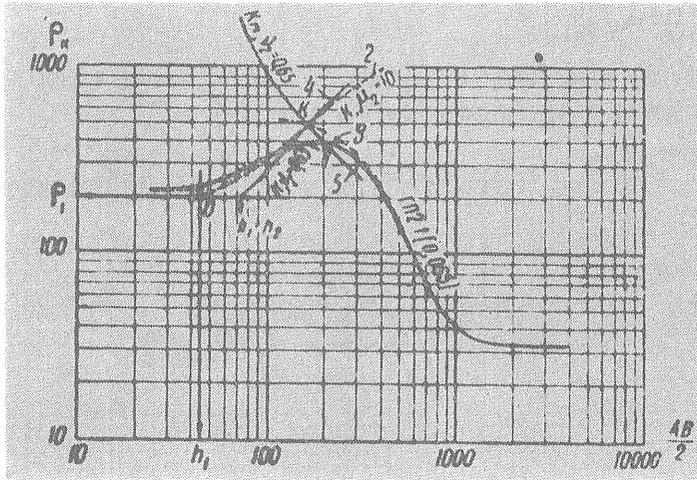
1. 解釈曲線1に形状の似た任意のK型曲線を利用して、 h_1 と ρ_1 との値を決定する（ h_1 と ρ_1 とは数値としては解釈曲線の座標系における図葉の原点の横および縦座標に等しい。 ρ_2 から $\mu_2 = \rho_2 / \rho_1$ を算出する。
2. 点O(h_1 , ρ_1)を解釈曲線用紙に移し、それを補助図葉Kの原点に重ねる。
3. 用紙上にK図葉の径数 μ_2 なる曲線2を移す。与えられた径数の曲線が図葉にないときには、内挿により記入する。径数の値が増大するにつれて各曲線間の間隔は急激に狭くなるので、解釈の精度をあげるためには、例えば、 $\nu_2 = 5$ と $\nu_2 = 20$ のような2つの充分大きい ν_2 値に関する補助曲線 $\rho_{1,2} / \rho_1 = f(\mu_2)$, $\nu_2 = \text{const.}$ を作成し、これらの曲線上で与えられた μ_2 に対する点を発見し、それらの点を図葉K上に移してこれらの点をとって求める曲線をひくのがよい。
4. 図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ 上に解釈曲線用紙をのせ、曲線2に沿って図葉原点を移動し、解釈曲線1の右枝に重なるような曲線を2層図葉の曲線の中からえらび、これを曲線3とする（その径数は μ_2' である）。曲線1の用紙上に図葉の原点を移す。これがK点である。
5. 再び、解釈曲線用紙を図葉Kの上ののせ、図葉原点をO点に一致させ、K点をとる

$\nu_2 = \text{const.}$ なる曲線 4 の径数値を決定する。もし K 点が K 図葉の $\nu_2 = \text{const.}$ なる曲線のどれとも一致しないならば、内挿によって曲線 4 の径数値が決定される。

6. a) K 点の縦坐標 $\rho_{1,2}$
- b) 第 2 層の厚さ $h_{1,2} = \nu_2 h_1$
- c) 第 3 層の深度 $H_3 = (1 + \nu_2) h_1$
- d) 同層の比抵抗 $\rho_3 = \mu'_2 \rho_{1,2}$

を決定する。

7. 微視異方性があれば(402)と(403)の両式から、第 2 および第 3 層までの深度に補正を施す。



第187図 補助図葉 K を用いた K 型 VES 曲線の解釈例

例 第187図に示された VES 曲線の解釈。ただし、 $\rho_2 = 2,000 \Omega\text{m}$, $\lambda_1 \approx \lambda_2 = 1$

1. 解釈曲線 1 と形状の類似な M 型曲線を用いて、 h_1 と ρ_1 とを求める。 $h_1 = 44\text{m}$, $\rho_1 = 200 \Omega\text{m}$
2. μ_2 の算出。 $\mu_2 = \rho_2 / \rho_1 = 2,000 / 200 = 10$
3. 点 O に図葉 K の原点を合せて、用紙上に μ_2 なる補助曲線 2 を移す。
4. 用紙を図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ の上にのせ、図葉原点を曲線 2 上滑らせながら、解釈曲線右枝と $\mu'_2 = 0.065$ なる図葉曲線 3 と重なるようにする。同図葉原点を用紙に移し (K 点)、その縦坐標を決定する。 $\rho_K = \rho_{1,2} = 465 \Omega\text{m}$
5. 再び、用紙を K 図葉に重ねて、 K 点をとおり $\nu_2 = \text{const.}$ なる曲線 4 から $\nu_2 = 0.65$ を得る。
6. 求める値の算出

$$h_2 = \nu_2 h_1 = 0.65 \times 44 = 28.6\text{m}$$

$$H_3 = (1 + \nu_2) h_1 = 1.65 \times 44 = 72.6\text{m}$$

$$\rho_3 = \mu'_2 \rho_K = 0.065 \times 495 = 32.1 \Omega\text{m}$$

K 型曲線の解釈で付録 XX に示した図葉 K_M を利用すればもっと便利ことがある。この図葉は図葉 A_M と同様、横軸は $\rho_{1,2} / \rho_2 = 1$ と一致している。 $\mu_2 = \text{const.}$ なる曲線の坐標原点は図葉の縦軸と与えられた径数 μ_2 なる水平線との交点に等しい。こうすれば曲線密度が疎になり、図葉が利用しやすくなる。

第187図の VES 曲線解釈で、点 O と径数 μ_2 とを決定した後、図葉 K_M を利用する。

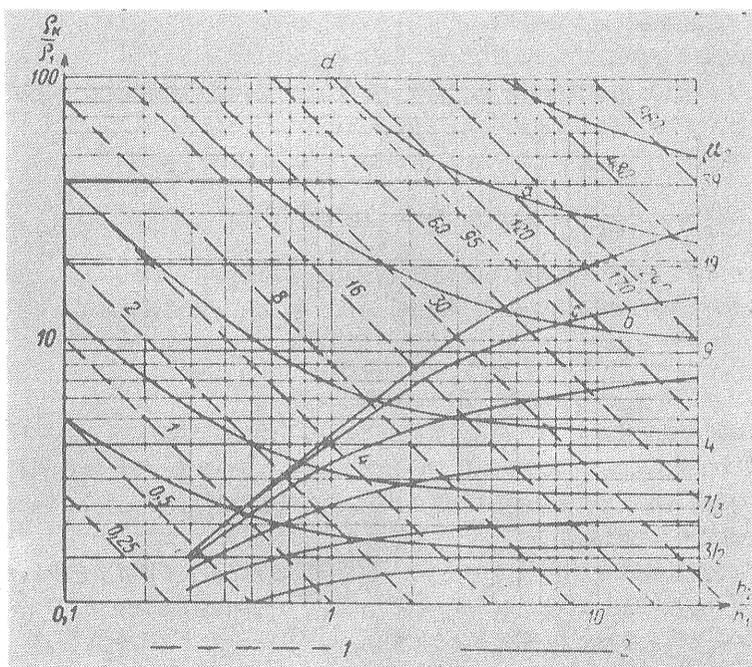
1. O 点と K_M 図葉の μ_2 曲線の坐標原点とを一致させる (この点は図葉 K_M の縦軸と $\mu_2 = 10$ なる水平線との交点である)。次に、 $\mu_2 = 10$ なる図葉 K_M の曲線 2 を解釈曲線 1 の用紙に移す。
2. 前例の 4 と同じ手順で $\mu'_2 = 0.065$ を求め、点 K の縦坐標 $\rho_K = \rho_{1,2} = 495 \Omega\text{m}$ を決定す

る。

3. 再び解釈曲線用紙を図葉 K_M 上へのせ、 K 点をとおり $\nu_2 = \text{const.} = 0.65$ なる曲線 5 の径数を決定する。

4. 求むる値として、 $h_2 = 28.6\text{m}$, $H_3 = 72.6\text{m}$, $\rho_3 = 32.1\Omega\text{m}$ を得る。

ν_2 があまり大きくないが μ_2 が大きく、かつ h_1 , ρ_1 が与えられているときには、等価の原理にしたがって、 K 型曲線の形状は T_2^* から決定される。したがって、中間層が薄く、その比抵抗値は高いが正確には知られていないような場合には、 h_2 の真値の決定は著しい誤差を伴うことがある。しかも、第2層が低比抵抗の場合よりも ρ_2 の値を決定することは比較にならないほど困難であるので、ますます不都合となる。砂・砂岩・石灰岩および水理化学的積積物のような高比抵抗層は砂質粘土や粘土のような導電性地層に比して、水平的にも、垂直的にもよりはげしい比抵抗変化を受けるのが普通である。そのために、探査地域の一部で決定された ρ_2 値を全域にわたって適用するのは望ましくない。それで、VES 曲線の量的解釈は困難になる。



第188図 等価の原理の適用範囲決定用ノモグラム (A. M. Пылаев による)
1. 等価層線 $\tau_2 = T_2/T_1$, 2. $\mu_2 = \rho_2/\rho_1$ と $\nu_2 = h_2/h_1$ の変動可能範囲を示す曲線

第188図のノモグラムは各種の μ_2 値に対する K 型曲線についての等価の原理の適用範囲を示すものである。このノモグラムから次のような結論が得られる。 μ_2 が小さく、 ν_2 が大きい部分では、 μ_2 が大きく ν_2 が小さい部分よりも等価の原理の適用範囲は狭い。 ν_2 が充分小さく、 μ_2 が充分大きい部分では等価の原理は無制限に適用される。すなわち、与えられた曲線から n 倍の比抵抗と $1/n$ の厚さの任意の層を選び出すことが可能である。たとえば、 $\Gamma\Pi 3-61$ の曲線 [19, 9, 1] は第2層の径数が $\tau_2 = T_2/T_1$ 線の素片 ab で変化する。つまり、 $\mu_2 = 34$, $\nu_2 = 5$ (点 a) から $\mu_2 = 13$, $\nu_2 = 13$ (点 b) まで変化する (第188図) ような任意の断面に対して充分適用される。また、ある径数の理論曲線 (たとえば $\nu_2 = 5$, $\tau_2 = T_2/T_1 = 95$) では μ_2 についての上限は実際上存在しない。そこで、 ρ_2 の数値が未知であるとき、 K 型曲線の解釈に際して、最下層深度の決定に大きな誤差をもたらすことがあり得ることをこのノモグラムは示している。

* 横抵抗 T_2 は付録に示す図葉上に記入されている補助曲線 T_2 から決定され得る。 T_2 の数値は横軸と 135° の角度をなして傾斜して、解釈曲線と図葉の曲線 T_2 との交点をとってひかれた直線 T_2 と解釈曲線の横軸との交点の座標軸に等しい。

Q型曲線の解釈

Q型VES曲線の解釈は、A型曲線の解釈と同様、H型とK型曲線の解釈に比してはるかに難しい。なぜならば、層比抵抗は深さとともに階段状に減少するので、 ν_2 の値がそんなに大きくなければ、Q型VES曲線の形状は2層曲線に類似してくるからである。第2層の存在を強調するような特徴的な湾曲部は曲線上にみられなくなり、そのため、解釈がはなはだ面倒になる。

ρ_2 の値が既知であるとき、Q型曲線の解釈は $\mu_2 = \text{const.}$ なるQ型理論曲線の助けにより、次のような方法で実施される。

1. 解釈曲線に形状の似たQ型理論曲線を利用して、 h_1 と ρ_1 とを決定し、 $\mu_2 = \rho_2/\rho_1$ を算出する。
2. 解釈曲線の右枝の漸近性から近似値 ρ_3 を発見して、 $\mu_3 = \rho_2/\rho_1$ を算出する。
3. 解釈曲線用紙を与えられた μ_2 と μ_3 とに対する3層図葉の上に重ねて、解釈曲線と最もよく合う理論曲線の ν_2 を決定する。
4. (402)および(403)より h_{2true}^* 、 H_{3true} とを算出する。

もし、与えられた μ_2 値に等しい μ_2 の図葉が存在しないならば、補助図葉Q(付録XVIII)を適用する。

この図葉には、すでに述べたように $\mu_2 = \text{const.}$ 、 $\nu_2 = \text{const.}$ のとき

$$\frac{\rho_{1,2}}{\rho_1} = \eta \frac{1+\nu_2}{1+\nu_2/\mu_2} \quad \text{および} \quad \frac{h_{1,2}}{h_1} = \eta(1+\nu_2)$$

の両者間の関係を決定する曲線群が収録されている。上の関係式中、 η は μ_2 と ν_2 とのいろいろな値について第171図に導びかれている曲線から決定されるような係数である。

$$\eta = 10^{-\frac{\overline{QH}}{6.26\sqrt{2}}}$$

(\overline{QH} はQ点とH点との間の距離、第170図参照。)

補助曲線図葉Qを使ったVES曲線の解釈法は次のようなものである。

1. $\Gamma\Pi 2-1$ 図葉または形状の似たQ型曲線の中の適当な一つを使って、 h_1 と ρ_1 の値を決定する。解釈曲線用紙上に理論曲線1の原点を移し、この点を $O(h_1, \rho_1)$ とする。 ρ_1 線をひき、 μ_2 の値を算出する(第189図)。
2. O点と補助図葉Qの原点とを一致させ、与えられた径数 μ_2 なる曲線2を移す。
3. 図葉の原点を曲線2の上から外れないようにして、解釈曲線用紙を図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ の理論曲線の中の一つである曲線3と重なるようにする。
4. 曲線2上に図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ の原点を移す。これがQ点である。
5. 解釈曲線の右枝と重なる図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ の理論曲線の径数 μ_2 と点Qの縦坐標 $\rho_{1,2}$ とを決定し、 $\rho_3 = \mu_2^2 \rho_{1,2}$ を算出する。
6. 再び、図葉Q上に解釈曲線用紙のをせ、点Qを通る $\nu_2 = \text{const.}$ なる曲線から径数を決定し、 ν_2 から $h_2 = \nu_2 h_1$ を算出する。
7. 基盤の深度 H_3 を決定する。すなわち、 $H_3 = h_1 + h_2$

第1層と第2層の微視異方性係数が既知であるならば(402)と(403)とから、異方性についての補正をする。

例 第189図に示された曲線の解釈： $\rho_2 = 12.5\Omega\text{m}$ 、 $\lambda_1 = 1$ 、 $\lambda_2 = 1.25$ 。

1. 解釈曲線と形状の似た曲線をQ型図葉曲線の中から選び、これを利用して h_1 と ρ_1 とを決定する。すなわち、 $h_1 = 9.3\text{m}$ 、 $\rho_1 = 50\Omega\text{m}$ 。
2. 径数 μ_2 を算出する。 $\mu_2 = 12.5/50 = 0.25$
3. Q図葉の原点をO点に重ね、解釈曲線1の用紙上にQ図葉の中から $\mu_2 = 0.25$ なる曲線2を移す。

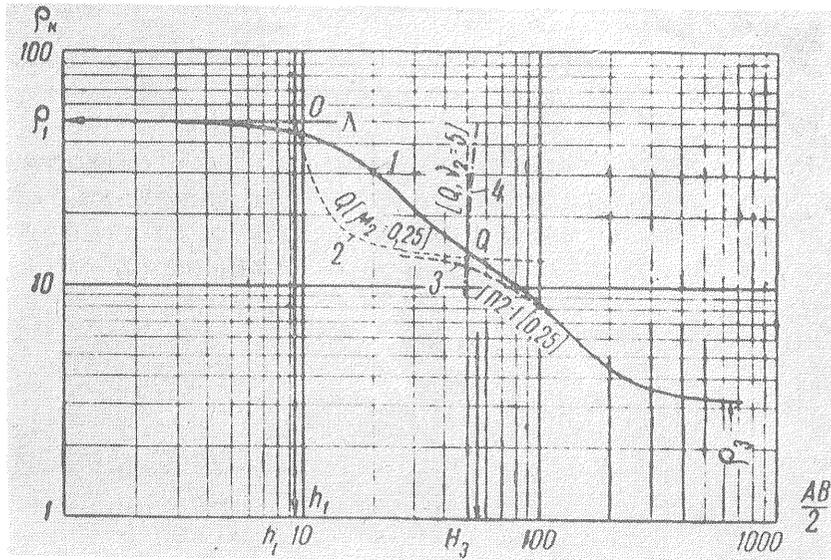
* 既述のように厚さ h_2 は補助曲線 h_2 からも決定し得る。(付録IXとX)。

4. 図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ の上に曲線 1 の用紙を重ねて、その図葉の坐標系原点を曲線 2 に沿って移動させ、図葉 $\Gamma\Pi 2-1$ 内の曲線 3（径数 $\mu'_2 = 0.25$ ）と解釈曲線の右枝とを一致させる。Q 点を用紙上に移して、その縦坐標から $\rho_{1,2} = 13.5 \Omega m$ を求める。 ρ_3 は計算から

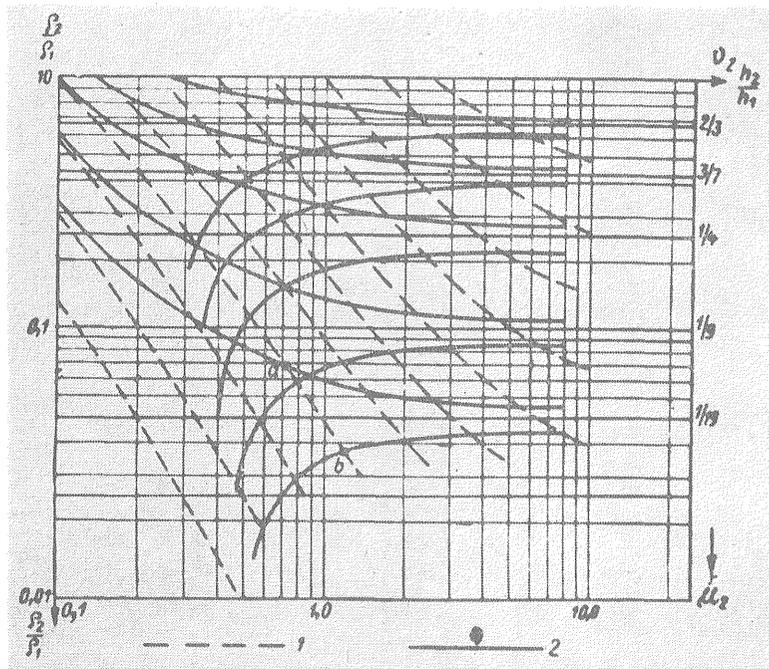
$$\rho_3 = \mu'_2 \rho_{1,2} = 0.25 \times 13.5 = 3.38 \Omega m$$

となる。

5. 再び、解釈曲線用紙を Q 図葉にのせ、Q 点を通る $\nu_2 = \text{const.}$ なる曲線から $\nu_2 = 5$ を得る。



第189図 Q型VES曲線の解釈例



第190図 等価の原理適用可能範囲決定用ノモグラム (A. M. Пылаев による)

1. 等価層線 2. $\mu_2 = \rho_2/\rho_1$ と $\nu_2 = h_2/h_1$ との変動可能範囲を示す線

6. 求める値は計算により

$$h_{2, true} = \nu_2 h_1 / \lambda_2 = 5 \times 9.3 / 1.25 = 37.2$$

$$H_{3, true} = h_1 + h_{2, true} = 9.3 + 37.2 = 46.5 \text{m}$$

となる。

第2層の比抵抗が未知であるならば、 T_2 の等価の原理によって、 ρ_2 の値は異なっても積 $T_2 = \rho_2 h_2$ が近似的に等しいならば、ほとんど同じVES曲線が得られるために、解釈はすこぶる厄介なことになる。

第190図に紹介されたノモグラムは ρ_2 が未知であるとき、Q型曲線の解釈において、生ずるであろう誤差の範囲を決定するのに役立つ。

かくて、たとえば、VES解釈曲線が理論曲線 $Q[\mu_2 = 1/19, \nu_2 = 1]$ と重なりとすれば、 μ_2 は0.0375から0.077までの範囲(素片 ab)で変動し得る。そして、 ν_2 は1.3から0.72まで変動し得る。

こうして、 μ_2 が未知のときには、与えられた場合に $\mu_2 = 1/19, \nu_2 = 1$ なる理論曲線を利用したとすれば、 μ_2 と ν_2 との決定に相当の誤差を生じ得ることは容易に理解されるであろう。この誤差は ν_2 の減少とともにあるいは μ_2 の増大とともに大きくなる。このことをQ型曲線解釈において念頭におかなければならない。(以下月報第16巻第12号につづく)