

776

地球物理勘探专辑

第 8 辑

电法勘探

(无线电波透视法)

地质部地球物理探矿研究所无线电波透视组 译

V-8

中国工业出版社

本书选译了有关无线电波透視法的苏联文献共十四篇，介绍了方法的原理、仪器、观测方法与推断解释方法及地质效果等。本书适合物探工作者及研究者阅读，也可供高等学校及中等专业学校物探专业师生参考。此外，对于希望了解物探方法的地质工作者，亦有参考价值。

地球物理勘探专輯

第 8 輯

电 法 勘 探

(无线电波透視法)

地质部地球物理探矿研究所无线电波透視組譯

*

地质部地质书刊編輯部編輯 (北京西四羊市大街地质部院內)

中国工业出版社出版 (北京佟麟閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/25}$ ·印张 $6^{2/5}$ ·插頁2·字数129,000

1965年10月北京第一版·1965年10月北京第一次印刷

印数0001—1540·定价(科五) 0.80元

*

統一书号, 15165·4122 (地质-358)

译者的话

无线电波透視法是高頻电法的一种。苏联較长时期来的研究，証明它是地质勘探阶段很有意义的物探方法之一。应用无线电波透視法，可以寻找鑽孔或坑道間未被发现的良导电性盲矿体，并能圈定矿体的位置、形态和确定被鑽孔（或坑道）揭露的矿体在鑽孔（或坑道）間是否連接等問題。因此对勘探深部盲矿体和提高勘探效率（放稀勘探网度）有其独到之处。此外，在研究喀斯特溶洞和矿区断裂带位置、以及发现浸染状盲矿体等方面也能起一定作用。由于方法是以高速发展着的无线电物理和无线电技术为基础的，所以其发展前景亦大为可觀。无线电波透視法在我国是尚未广泛应用的新方法，因此我們編譯了本譯文集，向讀者介紹什么是无线电波透視法以及它在地质勘探过程中的作用。本集共选有十四篇苏联文献，对方法的原理、仪器、观测方法与推断解释方法以及地质效果等方面作了初步的介紹。第一、二篇为綜合性文章，其中塔尔霍夫的文章对无线电波法（主要是透視法）作了全面的概述；而彼特洛夫斯基的文章对无线电波透視法的三个变种都作了介紹，并报导了他們在科拉半島的試驗結果。第三、四篇为鑽孔間透視的文章。其中西林的文章較为全面，而第四篇主要是野外試驗結果。第五、六篇是鑽孔对地面透視；第五篇較全面，第六篇偏重野外方法技术試驗。第七、八篇是坑道間透視。其中赫麦列夫斯基的文章理論分析較为詳細，而达耶夫的文章則主要是报导野外試驗的結果。第九、十、十一篇分別为无线电波透視法在鉄矿床、銅矿床及鈾矿床上的試驗研究。第十二篇講資料整理和推断解释，第十三篇講人工导体的干扰及其消除。最后一篇报导了无线电波透視法在烏拉尔某些矿床上試驗的情形，說明了在某些地质条件下，无线电波透視法的应用受到很大限制。

以后，結合无线电波透視法研究工作的进展，我們將陆续汇集有关透視法各个方面的研究結果，諸如理論研究、模型試驗等，供研究

IV

和使用本方法或对本方法有兴趣的同志們参考。

我們根据本集所选的十四篇文章，并参考其它文献，写了一篇介绍文章放在前面，以期能收到提綱挈領之效。

集內譯文虽經一再审校，但因水平所限，錯誤和不妥之处，恐仍难免，敬希同志們指正。

1965年5月

目 录

譯者的話

- 无綫电波透視法介紹..... (1)
- 电法勘探的无綫电波法..... А. Г. 塔尔霍夫 (14)
- 无綫电波透視法的試驗研究 А. Д. 彼特洛夫斯基 (28)
- 对岩石的鉆孔无綫电波透視 Н. П. 西林 (34)
- 中烏拉尔矿床上鉆孔間无綫电波透視的結果... Ю. М. 吉列維奇等 (46)
- 北极圈內一矿床上从鉆孔到地面无綫电波透視的試驗
..... А. Д. 彼特洛夫斯基 (52)
- 从勘探鉆孔中到地面的无綫电波透視.....М. И. 普留斯宁等 (68)
- 坑道无綫电波透視法研究的新資料 Д. С. 达耶夫等 (77)
- 坑道之間岩石的无綫电波透視 В. К. 赫麦列夫斯科依 (86)
- 中烏拉尔鉄矿床上无綫电波透視的某些結果 ... А. А. 格拉契夫等 (95)
- 阿尔泰銅矿床勘探中的无綫电波透視..... Я. Л. 吉特林 (103)
- 用无綫电波透視法对鈾矿床的地球物理研究 ... В. М. 邦达連科等 (109)
- 无綫电波透視資料的整理和推断解釋..... Д. С. 达耶夫 (123)
- 无綫电波透視中人工导体的干扰及其消除 Д. С. 达耶夫 (130)
- 論高频电磁場对勘探烏拉尔硫化矿床的适用性
..... П. Ф. 罗季奧諾夫等 (134)

无线电波透視法介紹

地质部地球物理探矿研究所无线电波透視組

一 无线电波透視法的物理基础

无线电波透視法是在二十年代由苏联的 A.A. 彼特洛夫斯基提出并在近二十年得到很大发展的高頻电法的一种，它是以高导电性的矿体对电磁波的强烈吸收和反射作用为基础的。我們知道，介质对頻率为 f 的电磁波的吸收系数为

$$\beta = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{\epsilon\mu} \sqrt{\frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{2\sigma}{\epsilon f}\right)^2} - 1 \right]}, \quad (1)$$

其中 ϵ 是介质的介电常数， μ 是介质的导磁率， σ 是介质的电导率， c 是真空中光速。这里采用了高斯单位制。从公式看出，对一定頻率的电磁波，介质对波的吸收系数决定于其电性参数：电导率(σ)，介电常数(ϵ)，导磁率(μ)。岩矿石的介电常数变化范围不大，而除了几种铁磁性岩矿石外，其导磁率实际上等于一，但矿体和围岩的电导率差别却可以很大(可达几个数量級)，因此它們对电磁波的吸收具有明显的差异。这样，假如电磁波在岩石中传播的通路上遇到了高导电的矿体或其它高导电的地质体，由于它們对电磁波的吸收和反射作用，在这些物体后面，电磁波强度就会急剧减小，形成了所謂“电磁阴影”。当繞射現象可以忽略时，便可以将电磁波的直线传播作为推断解释的基础。利用简单的几何作图方法圈定出矿体的位置。这些便是无线电波透視法的物理基础。

二 无线电波透視法的几个变种

无线电波透視法基本上可分为鈎孔透視和坑道透視两种：

1. 鈎孔透視：又分为鈎孔間透視和鈎孔对地面透視。鈎孔間透視

是在一个钻孔中发射电磁波，而在另一个钻孔中进行接收；钻孔对地面透视是在一个钻孔中发射，而在地面接收。钻孔对地面的透视由于受表土层和地形的影响，而且又有沿地表传播的表面波和直达波的干涉现象，所以是最困难的一个变种。目前对这个变种研究得还不够充分，仅在矿体距钻孔较近时才能有用。一般地说，其可用区是直达波区域，即以发射源为顶点，以波在介质中的全反射临界角为顶角的圆锥体，锥底在地面上的半径为〔2, 5〕

$$r_K = \frac{z_0}{\sqrt{\epsilon - 1}}, \quad (2)$$

其中 z_0 为辐射源的深度， ϵ 是介质的介电常数。

2. 坑道透视：也分为坑道间透视和坑道对地面透视。坑道间透视是在同一中段的不同坑道内发射和接收，或在不同中段的坑道内发射和接收。坑道对地面透视是在坑道内发射，而在地面上接收，由于和钻孔对地面透视同样的理由，这个变种的应用也受到很大限制。

此外还有钻孔对坑道的透视，在某些情况下亦可起到一定的作用。

近些年来，又研究了利用单个钻孔或单个坑道的电磁剖面法〔11〕，它是将发射机和接收机固定在一定距离上，在单个钻孔或单个坑道内同时移动进行观测的。这个方法还正处在研究阶段。

三 仪 器、装 备

对仪器的基本要求在塔尔霍夫的文章中〔1〕有所阐述。主要是要求有足够的观测重复性（要求发射功率稳定和接收机放大倍数不变等）和足够宽的频率范围。足够的观测重复性是方法可靠性的基础；而足够宽的频带是为了适应不同的地质情况和勘探要求能选择出合适的频率。苏联几个单位所制仪器，频率范围在 0.1—20 兆赫左右。此外，发射机的功率和接收机的灵敏度当然应该能保证所需的穿透距离。

（一）钻孔透视仪器：在西林（ВИП）的文章中给出了钻孔透视仪器的线路图和装配图。发射机分三级：主振级、中间级（缓冲级）和末级（功率放大级）。为了保证振荡频率稳定，主振级用石英晶体稳频。在天线回路内的功率是 10—15 瓦。接收机是超外差的，由高

放、混頻、兩級中放、檢波及低放級組成。混頻級的本級振盪器亦用石英晶体穩頻。接收機輸入靈敏度當指針偏轉滿度的五分之一時不低於0.1微伏，起始靈敏度不低於0.002微伏。發射機和接收機分別裝在二硬鋁合金管中，然後裝入不透水的鋼制套筒中。發射和接收天線都採用偶極天線，用一段電纜作成。儀器用測井三芯電纜下放於鉆孔中。電纜的兩根芯供電，電源由地面的蓄電池和半導體變流器（將蓄電池電壓變為110伏400赫的交流電）組成；另一根芯在發射機用來監察天線電流（對偶極振子上一部分高頻電流加以變壓整流並引出地面），在接收機用來傳送儀器的測量結果。

整套儀器及工作時的情形，在西林的文章中有圖示明。

蘇聯中央地質勘探科學研究所（ЦНИГРИ）的鉆孔儀器與全蘇勘探方法技術研究所（ВИТР）不同之處，在於它的發射機天線迴路內的功率約為一瓦，因而儀器較為輕便，發射機連同電源一起用不導電的卡普倫繩放入鉆孔中（這樣可以完全避免電磁波沿着電纜經由地面逸出）。其接收機採用地面的ИП-12М干擾測量儀，而接收天線用高頻電纜РД-13送入鉆孔中。天線用КТШ-0.3或РД-13的一段作成，長約5—20米，視所用頻率而定。

鉆孔到地面透視時，採用鉆孔發射機和地面的ИП-12М接收機。

（二）坑道透視儀器：原理及線路圖與鉆孔儀器類似，只是結構不同。一般採用專門製造的發射機，而接收機則採用成批生產的ИП-12М干擾測量儀。通常發射採用杆狀天線，而接收則採用屏蔽環形天線，這不僅是因為屏蔽環形天線可以減少周圍環境（包括觀測者本身）對測量結果的影響，而且環形天線有方向性，可測量出所接收信號的方位，對解釋異常有一定作用。

坑道發射機的功率在1—10瓦左右，如莫斯科地質勘探學院（МГРИ）為10瓦左右；中央地質勘探科學研究所（ЦНИГРИ）為1瓦左右；莫斯科大学（МГУ）為幾瓦。

根據在每個礦床上的試驗，這些儀器在一定的地質條件下利用不同頻率的透視距離為100—500米左右。

在不同的礦區透視時，頻率的選擇十分重要。根據吸收和頻率的

关系式(1)可知, 频率越低, 吸收越小, 故透视距离越大; 但随着频率的降低, 绕射现象也越来越严重了。由于绕射的出现, 常常使阴影边界模糊, 甚至在阴影中间出现“亮区”, 使推断解释大大复杂了。虽然对绕射现象已作了一些理论研究和模型研究[17, 18, 19, 20], 但还不够充分, 所以目前用透视法寻找的矿体仅限于尺寸大于电磁波在岩石中波长的一半的矿体。因此, 降低频率就等于减小了方法的分辨本领。同时, 较高的频率对区分浸染状矿体也更为有利。所以, 对于不同的地质条件和勘探要求, 就需要通过一定的实验工作和理论计算来选择合适的工作频率。

四 观测方法、技术及消除干扰的措施

(一) 观测方法基本上可分为“逐点法”和“同步法”两种。在钻孔间透视时, “同步法”适于初查。“同步法”即是发射机和接收机在两个平行钻孔中同时移动, 记录其观测结果。这可以较快地发现阴影, 并确定其深度; 但这个方法却不能圈定产生阴影的物体在剖面上的位置。“逐点法”是将发射机固定在各个发射点上, 而沿另一钻孔连续移动接收机(ЦИГРИ 是固定接收天线在各个点上, 而沿另一钻孔移动发射机)进行测量。发射点(或接收点)的数目视需要而定。逐点法虽较费时间, 但它可以圈定矿体在剖面上的位置, 因此它适用于详测。钻孔到地面透视时, 用逐点法。或固定发射机于钻孔内各点上, 在地面上沿射线状剖面观测; 或将接收机固定在孔口附近, 沿钻孔移动发射机进行测量。坑道透视因条件所限, 一般采用逐点法(固定发射机不动, 接收机沿剖面测量)。

沿剖面测量时用点测或连续测量。点测时点距一般为10—5米, 初测时10米, 详测时5米。连续测量时采用CK-100型自动记录仪作记录[3]。

(二) 钻孔透视的主要干扰是输送仪器下井的电缆的天线效应。天线效应即是发射机的电缆发射电磁波或接收机的电缆接收电磁波, 起了天线作用, 它会使阴影变得模糊。另外, 发射天线所辐射的电磁波也会沿发射机电缆向地面逸出, 它不但能减少辐射能量, 而且能造

成沿地面传播至接收点的迂迴波，使得观测曲线发生畸变。消除电纜天线效应可采用加入滤波器的办法〔3, 6〕。滤波器有調諧式和非調諧式（扼流圈式）两种。調諧式滤波器由可調諧于发射頻率的振盪迴路組成，这些迴路分別連在三芯电纜的每根芯上。一般采用兩組，彼此間距为5米。非調諧式滤波器由分別連在三根芯上的高頻扼流圈組成。据文献报导，非調諧式滤波器較为有效。調諧式滤波器之不够充分有效大概与它放入鉗孔时的失諧有关。滤波器距天线上端的位置在干孔中为5—10米，在充水的孔中为15—20米較好〔6〕。在采用地面接收机而接收天线入井的方案中（ЦНИГРИ〔2〕），利用加在 PД-13 上的接地屏蔽套（約 20 米长，靠近天线）来消除 PД-13 的天线效应。此外，ЦНИГРИ 在测量时将发射天线保持在接收天线之下（約 25 米），以求更好地避免接收电纜的天线效应。

坑道透視的主要干扰是坑道人工导体（电車线，鉄軌，电线，通风管等）对测量的影响。达耶夫的文章〔13〕对这些导体的影响及其消除的办法有詳細說明。实验証明，这里主要是电車线的影响，接地的鉄軌等影响則較小。消除这些影响的办法，一是使发射机和接收机尽量远离这些导体；另外就是将这些导体，特别是电車线，用大容量的电容器接地。将电容器接在电磁波传来的方向上距接收机 5—10 米的位置，可收到最好的效果。具体接法在达耶夫的文章〔13〕中有說明。

五 推断解释法

（一）划分异常的方法有“阴影法”、“对比法”及“屏蔽系数法”。“阴影法”是当各接收点到发射点之間的距离相差不多时，把接收曲线上場强值急剧减小的段落（“阴影”）当作异常。“对比法”是利用观测曲线和計算的正常場曲线进行对比的。达耶夫的文章〔12〕中有对比法的詳細說明及其应用实例，下面我們只作一簡單介紹。因实际上发射天线尺寸不大且距观测点較远，故正常場的計算可利用偶极子点源輻射的远区公式

$$E = E_0 \frac{e^{-\beta r}}{r} \sin\theta, \quad (3)$$

其中 E_0 是与辐射强度有关的因子, 在每一发射点上, 若频率不变, 辐射强度稳定, 则 E_0 保持不变; r 是观测点到发射点的距离; β 是介质的吸收系数; θ 是偶极子轴和它与观测点连线的夹角。公式中 r 、 θ 、为已知, β 可在岩性均匀的地段预先测定。设在 $r=r_1$ 时测得的场强为 E_1 , 在 $r=r_2$ 时测得的场强为 E_2 , 按公式(3)有:

$$E_1 = E_0 \frac{e^{-\beta r_1}}{r_1} \sin \theta_1,$$

$$E_2 = E_0 \frac{e^{-\beta r_2}}{r_2} \sin \theta_2.$$

设此二点相距较近, 故 $\theta_1 \simeq \theta_2$, 则由上二式可得:

$$\frac{E_1 r_1}{E_2 r_2} = \frac{e^{-\beta r_1}}{e^{-\beta r_2}} = e^{-\beta(r_1 - r_2)},$$

对上式取对数则得:

$$\beta = \frac{\ln(E_1 r_1) - \ln(E_2 r_2)}{r_2 - r_1}, \quad (4)$$

β 可根据(4)式算出或利用量板求出。

为了消除(3)式中的未知因子 E_0 , 将(3)式取对数:

$$\lg E = \lg E_0 + \lg \frac{e^{-\beta r}}{r} \sin \theta, \quad (5)$$

后一项中的 $\frac{e^{-\beta r}}{r} \sin \theta$ 包含的都是已知数, 对剖面上每点均可计算。

由(5)式看出, $\lg E$ 中的未知项 $\lg E_0$ 只是在纵坐标上的截距, 不影响曲线的形状。因此可将实验结果和计算结果都用半对数坐标(纵轴为对数尺, 表示场强)表示, 并将计算曲线绘于透明纸上, 根据它们的对比来划分异常^①。在赫麦列夫斯科依所述的方法中〔8〕, 利用倒推法计算出了 E_0 (或 H_0), 然后再计算各点的正常场。计算 E_0 可利用(3)式, 因 r 、 θ 及 β 都已知, E 可测量, 故

① 利用此方法在剖面大部分被屏蔽的情况下会产生某些困难, 详见达耶夫文章〔12〕。

$$E_0 = E_{re} \beta r \frac{1}{\sin \theta} \quad (6)$$

“屏蔽系数法”由A.И.彼特洛夫斯基提出〔2〕，它是将接收点与每个发射点用射线连接起来，计算每条射线的“屏蔽系数”并标在图上，而“屏蔽系数”值大于150—200即算作有意义的异常。“屏蔽系数”定义为：

$$\mathcal{G} = \frac{E_{\text{正常}}}{E_{\text{测量}}}, \quad (7)$$

所以亦是利用测量的场强同计算的正常场对比的办法。若正常场亦利用(3)式计算，则

$$\mathcal{G} = \frac{E_0}{E_{\text{测量}}} \frac{e^{-\beta r}}{r} \quad (8)$$

若在坑道中测量，用环形天线，则测量的是磁场 H ，应测磁场水平分量的极大值 H_{\max} 。

由上述可知，正常场的计算在推断解释中起着很重要的作用。因此正常场的研究在方法理论研究中有地位。目前正常场的计算虽未完全解决，但对通常的情况已有一些可用的计算公式，现分述如下：

1. 钻孔间透视时，因天线尺寸与观测点到辐射源的距离相比是小的，钻孔半径又很小，且辐射源位于距地面足够深处，故可用均匀无限介质中偶极子源辐射的远区公式(3)来计算正常场。

2. 钻孔对地面透视时，因为是在地表面进行测量，所以情况复杂。这时除了从地下辐射源直接传到地表的直达波以外，在地表临界点（即距离振中——辐射源在地面的投影——的距离为 $r = r_K$ 的点）以外还有沿地表面滑行的“边波”（表面波），所以在临界点内外有不同的计算公式〔5〕：

(1) 临界点内，即当 $r \leq r_K = \frac{z_0}{\sqrt{e-1}}$ （见公式(2)）时，又

分垂直偶极子和倾斜偶极子两种情况（相应于垂直钻孔和倾斜钻孔两种情况）。计算采用柱坐标系，原点与振中重合，只求其磁场的 φ 分量：

垂直偶极子:

$$|H_{\varphi}^{\perp}| = \frac{2H_0}{\sqrt{\epsilon} \sqrt{z_0^2 - r^2(\epsilon - 1)} + z_0} \cdot \frac{z_0 r}{r^2 + z_0^2} e^{-\beta \sqrt{r^2 + z_0^2}} \quad (9)$$

傾斜偶极子:

$$|H'_{\varphi}| = |H_{\varphi}^{\perp}| \left(\sin \alpha + \frac{z_0}{r} \cos \alpha \cos \varphi \right), \quad (10)$$

其中 α 是偶极子对地面的傾角,且令 $\varphi=0$ 軸的方向与偶极子下傾的方向重合。

(2) 临界点外, 即当 $r > r_K$ 时:

垂直偶极子:

$$|H_{\varphi}^{\perp}| = \sqrt{|H_{\varphi\sigma}^{\perp}|^2 + |H_{\varphi\pi}^{\perp}|^2 + 2|H_{\varphi\sigma}^{\perp}| \cdot |H_{\varphi\pi}^{\perp}| \cos \Delta}, \quad (11)$$

其中

$$H_{\varphi\sigma}^{\perp} = \frac{2H_0}{\epsilon} \frac{|Y| e^{-\beta z_0} \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon - 1}} e^{-i \left\{ \frac{\omega}{c} (r + z_0 \sqrt{\epsilon - 1}) + \Psi_Y \right\}}}{r} \quad (12)$$

是边波(表面波)的磁場强度;

$$H_{\varphi\pi}^{\perp} = \frac{2H_0}{\sqrt{\epsilon - 1}} \frac{r z_0 e^{-\beta \sqrt{r^2 + z_0^2}}}{(r^2 + z_0^2) \sqrt{\epsilon r^2 - z_0^2}} \cdot \frac{e^{-i \left\{ \frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon} \sqrt{r^2 + z_0^2} - \arctg \frac{\sqrt{\epsilon}}{z_0} \sqrt{r^2(\epsilon - 1) - z_0^2} \right\}}}{(r^2 + z_0^2) \sqrt{\epsilon r^2 + z_0^2}} \quad (13)$$

是直达波的磁場强度; Δ 是直达波与表面波的相位差。上面式中 $|Y|$ 与 Ψ_Y 分别为表面波的衰减函数 Y 的模与幅角(在有关书上有表可查)。

傾斜偶极子:

$$|H'_{\varphi}| = \sqrt{|H'_{\varphi\sigma}|^2 + |H'_{\varphi\pi}|^2 + 2|H'_{\varphi\sigma}| |H'_{\varphi\pi}| \cos \Delta}, \quad (14)$$

其中

$$|H'_{\varphi\sigma}| = |H_{\varphi\sigma}^{\perp}| \left(\sin \alpha + \sqrt{\epsilon - 1} \cos \alpha \cos \varphi \right), \quad (15)$$

$$|H'_{\varphi\pi}| = |H_{\varphi\pi}^{\perp}| \left(\sin \alpha + \frac{z_0}{r} \cos \alpha \cos \varphi \right). \quad (16)$$

虽然根据上述諸式, 在临界点內外的場均可計算, 但由于表土层及地

形的影响，所以实际观测的場很难与正常場符合。特别是临界点以外場出現的复杂干涉图形将与表土层和地形的影响混在一起，很难进行解释。故目前透視仅用临界点以內的区域，其正常場的計算用(9)、(10)式即可。

3. 坑道透視时，由于輻射源是置于坑道中，相当于置于一个有半导壁的波导管中，所以正常場的計算也較为复杂。赫麦列夫斯科依根据克里什納·普拉薩德 (Krischne Prasad K.V.) 所求的一般解，討論了坑道透視的正常場[8]。結果表明，在远区場的表示式和均匀空間輻射的远区表示式近似相同，故一般远区場可用公式(3)計算。在近区，特别是在同一坑道中，場是空間波場和沿坑道壁传播的表面波場的迭加，試驗表明，這場是随距离指数衰減的，故可用下式表示：

$$H = H_0 e^{-\beta r} \quad (17)$$

而吸收 β 則只能通过試驗确定。

根据塔尔霍夫等人的研究[1, 15]，坑道波导作用只在頻率高于 20—37.7兆赫以后才有明显的作用，并认为在通常的透視工作中，坑道波导作用的影响可以忽略。

划分异常的方法除了上述方法外，赫麦列夫斯科依等在研究北烏拉尔鋁土矿床的喀斯特化和充水带时，还应用了求 ρ 和 ϵ 的方法来划分异常。根据吸收系数 β 和頻率及电性的关系式(1)，若令 $\mu=1$ ，并測出了在两个已知頻率下的吸收系数，即可由此求出 ρ 和 ϵ 值([1]和[16]中有計算公式)。但因計算公式較复杂，所以赫麦列夫斯科依等就作了几組固定 ϵ 值并改变 ρ 值的 β 与 f 的理論关系曲线，利用实验曲线和这些理論曲线对比，使它們在形状和 β 的漸近值上都重合，即可确定出 ρ 和 ϵ 值。实验証明，在灰岩充水地带， ρ 值減低， ϵ 值增高。

以上几种划分异常的方法都沒有考虑到繞射現象。繞射現象正在研究中。假如能有考虑繞射現象在內的划分异常的方法，将会大大扩大方法的应用范围。

(二) 圈定异常位置(在剖面上的位置)的方法，在目前只有“交会法”。它是以无线电波的直线传播为基础的(忽略繞射現象)。在阴影边界較清晰时，可将发射点(或接收点)和阴影的两边界点用射

线连接起来，矿体即在所划定的扇形区域内。对若干个发射点同时作出其扇形区域，这些扇形区域交会的地方，即是矿体在剖面上的位置。由交会法所定的异常区域，还能看出矿体的大概轮廓（在剖面上的形状）。在阴影边界模糊从而难于定出扇形区域的情况下，可将发射点与阴影中心用射线连接，这样各射线交会的地方，就是异常中心在剖面上的位置。

六 在地质勘探上的应用

在苏联，无线电波透视法已在许多矿区作了大量试验，大部分地区都得到了肯定结果，只在某些地区，本方法的应用受到了限制^[14]。所作矿区分布于科拉半岛、阿尔泰成矿区、乌拉尔、南哈萨克、外贝加尔、北极地带及滨海地区等全国各地主要金属矿区。所作矿床有多金属矿床、铜镍矿床、铝土矿床、铁矿床、稀有金属矿床及铀矿床等。由于试验的成功，引起了生产部门的很大兴趣。本集所选文章即报导了这些试验的一部分。

根据试验，达耶夫等^[7]将苏联金属矿床按无线电波透视法的适用程度分为三种类型：

1. 围岩电性均匀且围岩电阻率为几千欧姆米的矿床，如卡腊山脉，克拉斯诺亚尔斯克边区，外贝加尔区等地多金属矿床就是。这种类型的矿床应用透视法最为合适。

2. 围岩岩性和电性不均匀的矿床，例如围岩为高电阻率灰岩和低电阻率（二、三百欧姆米左右）砂岩的矿床（如乌拉尔之图里英斯克矿床，捷秋赫矿群等）。这种矿床应用无线电波透视法有一定困难，但还是可能的。

3. 具有低电阻率围岩（围岩电阻率为二、三百欧姆米左右）的矿床（如中乌拉尔之含铜黄铁矿床，外贝加尔之萨文斯克矿床，这种矿床上使用无线电波透视法尚未取得成果。

根据在各矿床试验的结果，无线电波透视法的地质作用大概有以下几方面：

1. 寻找钻孔间或坑道间被遗漏的良导电性盲矿体，并圈定其位

置；或确定钻孔間或坑道間无矿。由此，本方法的应用在某些情况下可以放稀勘探钻探网。

例如在卡拉苏克多金属矿床^[7]，矿体产于斑岩岩脉和灰岩的接触带上，矿体很小，厚度一般不大于1米，沿走向长仅几米，向下延伸30—170米。探寻这样的盲矿体，必須进行大量的山地工程，耗費昂貴。因此在这种情况下应用透視法具有很大意义。用山地工程对六个透視法异常进行檢驗，有五个見矿。如文章^[7]中图5和图6所示，在利用交会法圈定出矿体位置后，經山地工程檢驗，果然在距平巷1.5米处有一截面为 1×0.5 米的矿体存在。

由于透視法可以研究钻孔間的空間，故在某些情况下可以放稀勘探钻探网。例如在科拉半島，围岩电阻率較高，透視距离較远，故可以将孔距放稀到200米或更稀一些^[21]。

2. 圈定已被揭露（被单个钻孔或坑道）的矿体，确定其大致倾向和上下边界；或确定两钻孔間矿的連接問題。

例如在阿尔泰銅矿床上^[10]，如文^[10]中图1所示，62号钻孔钻穿了矿体，根据地质資料推测，此矿体产状平緩，应在68号孔附近被断层切割。但无线电波透視的結果却与此結論不符，并划出了与地质推論絕然不同的矿体上部边界（^[10]图1,A）；后来在62号和68号孔之間打了74号孔，証明矿体产状較为复杂，而透視法所确定之矿体上部边界，与实际情况是相符的（見^[10]图1,B）。在同一矿床上的63号孔和96号孔之間进行的无线电波透視，解决了96号孔所揭露的矿体的走向問題。根据钻探資料，63号孔被认为是无矿的，而96号孔所揭露的矿体在两孔間的位置是不清楚的。根据透視結果，认为該矿体从96号孔一直延伸到63号孔，其主要部分在63号孔旁被石英鈉长斑岩岩墙所切断（見^[10]图2）。这些結果与測井資料及充电法資料很好地符合。

又如在中烏拉尔的哈欣鉄矿床上^[4]，根据9号孔和20号孔之間的无线电波透視，便可說明該两孔所揭露的矿体是不連續的，它們呈巢状聚集，在钻孔附近便尖灭了（見^[4]图3）。

利用钻孔到地面的透視，亦可确定被揭露的矿体在剖面上的形状。例如在北极圈內一个矿床上^[5]，根据从1004孔到地面的透視，可

以確定被1004孔所揭露礦體的上部邊界，也能對礦脈的向下延伸作出某些估計（見^[5]圖3和圖4）。

3. 利用高頻的特點，區分浸染狀礦。

例如在捷秋赫蘇維埃第二礦區實驗時^[7]，根據參數測定的資料，被坑道揭露的浸染礦體和圍岩的電阻率差別不大。對該浸染礦體進行透視的結果表明，在使用較低的頻率（0.75和1.8兆赫）時，該礦體沒有反映出來；隨着頻率的增高，異常越來越清晰，在頻率達16和20兆赫時，異常已非常清晰可靠了（見文^[7]圖2）。

4. 研究斷裂帶及其它與成礦有關的構造。

莫斯科地質勘探學院物探教研室曾在鈾礦床上實驗了無線電波透視法，在已知礦帶上和圈定被坑道揭露的礦帶方面作了試驗。試驗表明，礦帶比圍岩的吸收大2—3倍，並且發現了吸收系數和鈾礦含量的相互關係。這主要是因為含礦帶的裂隙發育，熱液蝕變和黃鐵礦化現象比圍岩大，最強礦化帶又常大量含水；而且裂隙、蝕變及黃鐵礦化現象都隨鈾礦含量增加而加強。由此說明利用透視法還可以間接找礦。

另外在斷裂帶上也進行過試驗工作，證明斷裂帶處的吸收系數增大（見文^[11]圖9）。

5. 發現喀斯特溶洞及研究喀斯特化及充水問題。

早在1931年福里赤（V. Fritsch）就在捷克中部的喀斯特地區進行過試驗。根據測定，推測有大的喀斯特溶洞，後來已被証實，且其位置與推測大致相符^[22]。另外，莫斯科大學地球物理教研室在北烏拉爾的鋁土礦床上作了試驗。試驗表明，在破碎和喀斯特化非常發育的地段，吸收增大，在充水地段，吸收更大。因此，無線電波透視法對這些問題的研究是有成效的。

綜上所述，無線電波透視法因為有這些地質作用，其中有些是它的獨到之處，而且因為它能勘探深部礦體，在地下、干擾小等特點，所以在勘探階段利用它有很大意義。但它還有許多問題正在研究或需進一步研究。例如正常場的理論研究問題，岩石的高頻電性問題，繞射的理論及模型研究問題，人工導體干擾及電纜天線效應的消除問