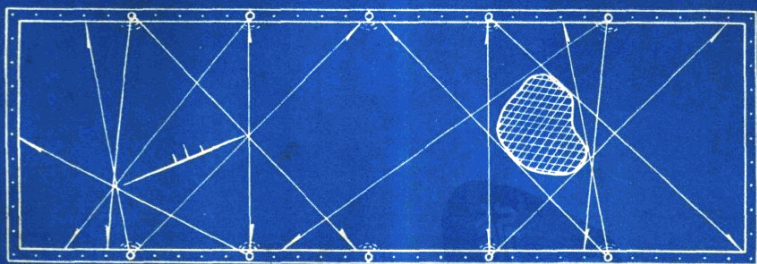


·资料·

坑道无线电波透视法

在我国煤矿地质中的应用



煤炭工业部煤炭科学研究院重庆研究所

一九八四年四月

引 言

自从WKT—J₁型、WKT—J₂型坑道无线电波透视仪分别于1976年、1978年鉴定、推广以后,为应用坑道无线电波透视法探测采煤工作面内的陷落柱、小断层等小型地质构造,提供了一种较为先进的矿井物探仪器。几年来,全国一些矿务局和煤矿在利用这一成果为矿井地质服务方面,取得了肯定的效果。为此,煤炭工业部技术发展司于1983年6月在徐州矿务局召开了煤炭系统首次坑道透视法探测矿井小构造经验交流会。本书就是从这次会上交流的论文及其它有关资料中选编而成的。

本汇编第一篇是重庆煤炭科学研究所坑道透视组编写的《坑道无线电波透视法在煤矿地质中的应用》。这篇文章从方法的基本原理到井上下工作方法,从适用范围到应用效果,从仪器的操作方法到电路原理,作了较为全面的介绍。这是原来为坑道透视推广应用学习班编写的资料,按照当时的要求,在原理方面尽量浅显易懂,避免烦琐的数学论证和推导;在方法方面力求简便具体,以便于使用人员实际应用;在仪器方面则力求详尽周到,以便于现场同志掌握和维修。此次选入时除对个别明显错误和编排方面作了稍许改动外,未作大的修改,供仍需了解这方面资料的读者参考。读者如欲更深入地了解电磁波法的基础理论,可参阅国内已经出版的有关著作。

本汇编选入的大部分文章,是生产现场的矿井地质人员辛勤劳动的结晶。这些文章中,既有对仪器、方法效果的评价,也有实际经验的论述;既有专题性的探讨,也有对存在问题的意见及其改进建议。读者从这些文章中不难看出,坑透法在探测采煤工作面内的陷落柱(也叫“无炭柱”)方面,效果是显著的;在探测断层方面也取得了较好的效果;此外,也有文章谈到了在探测小型褶曲、煤层变薄带、火成岩、老空区等方面的效果。不少文章还用生动具体的数字论证了坑透法的经济效果。在评价坑透效果或者说坑透法所能解决的问题时,仍要强调注意的是坑透法的物理基础。对于煤层的无线电波透视来说,透视异常反映的是地质构造与正常煤层之间的电性差异,而不能直接指示出是陷落柱、断层,还是其它什么小构造。这是涉及探测对象的定性问题。要更好地解决其定性乃至定量问题,除了加强研究构造与煤层之间电性变化及其反映在透视曲线上的特点而外,还应如开滦矿务局等单位指出的那样,坑道透视必须和地质工作相结合,也应尽可能与其它勘探方法相结合。一些文章中谈到了坑透仪的作用距离及其实用性问题,这一点值得那些尚未开展而有兴趣于此项工作的单位注意。如果矿区的地—电条件不理想(如煤层的电阻率过低,或者煤层与围岩电性差异不明显等),就难以取得理想的效果。

一些文章中所作的专题性探讨,包括不同情况下的条件试验方法及其注意事项、资料解释方法的革新、产生特殊“阴影区”原因的探索,尽可能避免异常多解性的综合分析方法,甚至包括一些不惹人注意的工作方法上的小改小革,无一不体现了矿井地质人员的创造性劳动。读者可根据需要和可能,加以借鉴和参考。而对于一些特殊条件下的问题,如南桐矿务局提出的所谓“天然二次辐射场”下吸收系数值的确定问题,邯郸矿务局提出的判断断层落差的方法问题,平顶山矿务局提出的巷道空间对电磁波的绕射问题,等等,究竟是否成立,或在什么条件下成立,确是既有理论意义、又有实际意义的问题,仍需要理论联系实际加以研究。

在坑透法推广应用过程中,广大矿井地质人员除了对方法的地质—经济效果表示浓厚的兴趣外,对仪器的安全使用也寄予了极大的关心。近两年来,河北省煤炭科学研究所

WKT—J₁、J₂型坑透仪的基础上,已经研制、改装成防爆型坑透仪,为提高仪器的安全性能迈出了重要的一步。本汇编选入了他们的研制报告和工业性试验报告,就J₁、J₂型仪器的改进部分、仪器的防爆性能、试验效果等作了介绍。

本汇编除了主要选编了坑道透视法在我国煤矿地质中应用的一些资料外,还适当选入了若干篇与此有关的资料。

苏联被认为是开展电磁波法较早、研究较深入、应用较广泛的国家。本汇编选入了四篇苏联的有关资料,既有理论方法的探讨,也有应用效果的介绍,可供参考和对比。通过对比可以发现,至少在应用范围、探测精度方面,我们并不比苏联差。

数据处理技术是坑道透视资料解释方法中的一个发展方向。本汇编选入的《钻孔电磁波法特征值解释法》及《等值线法圈定电波透视中的异常体图象》两篇文章,为我们提供了可供借鉴的方法途径。可喜的是,西山矿务局在坑道透视现有观测方法的基础上,利用PC—1500袖珍计算机处理坑道透视数据,取得了较好效果。因此,虽然本汇编已经印刷过半,仍设法把有关资料选编进来,供大家参考。

《界面两边电磁波传播的基本形态》及《低频和中频无线电波在煤层中的传播》两篇文章,不但对于认识波在层状介质中传播的特征具有理论意义,而且对于仪器的研制、资料的解释具有一定的指导意义。而《煤的电阻率和相对介电常数》,则对于了解煤的主要电性参数及其对电磁波法应用的影响具有参考意义。

本汇编最后一篇资料是《高频电磁波引爆瓦斯雷管试验报告》,关心此问题的读者可以从中了解到问题是怎样提出来的?又是在什么条件下进行试验的?初步结论是什么?虽然这些试验和结论是很初步的,但也许能为进一步研究这一问题提供某些线索。

从1974年5月第一次在煤矿井下开展坑道无线电波透视试验到现在,已经整整十年了。我们谨以此书献给为坑道透视科研工作献出了宝贵生命的张为群工程师,献给为这一工作付出了辛勤劳动的科研和生产战线的工程技术人员,献给全国所有的矿井地质工作者。我们相信,在大家的共同努力下,矿井物探工作一定能够取得更大的进步,为改变矿井地质工作面貌作出更大贡献。

本汇编由重庆煤炭科学研究所矿井地质研究室坑道透视组负责选编。在选编过程中,对一些文章作了少许修改,有的只节选了其中某些部分。由于编者水平有限,加之时间仓促,缺点错误难免,请批评指正。

编 者

一九八四年四月

目 录

引言

坑道无线电波透视法在煤矿地质中的应用.....	重庆煤炭研究所坑道透视组	(1)
坑道透视法在我国煤矿中应用的几个问题.....	孙本凯	(47)
无线电波坑道透视法在阳泉矿区的应用及效果.....	阳泉矿务局地测处物探组	(56)
坑道透视法在峰峰矿区的应用.....	谢玉民	(65)
无线电波透视法问题讨论.....	李政法	(72)
坑道透视仪探测工作面小构造.....	张启斌	(84)
坑透法在我局的应用.....	徐州矿务局地测处	(88)
无线电波透视法预测无炭柱的效果分析.....	张建基	(91)
用无线电波透视法探测回采工作面中的小型断层.....	张治华	(95)
使用坑透仪探测火成岩、老空区.....	井陉矿务局技术处、一矿技术科	(98)
坑道透视法探测矿井小构造的试验及应用.....	张英民	(101)
坑道透视仪探测矿井小构造的试验.....	程文秀	(105)
坑道透视法在鹤岗矿区的初步试用.....	丁占山	(108)
坑透仪在蒲白矿区的应用.....	刘绍忱 张兴堂	(111)
坑透法在田坝煤矿的应用.....	田坝煤矿地质科	(114)
坑道透视法在金刚煤矿的应用.....	包正全	(118)
试用坑透仪探测采煤工作面内小构造.....	枣庄煤矿地质科	(121)
坑透仪在松宜矿区试用小结.....	姜庭安	(124)
利用坑透仪探测工作面内薄煤带.....	蒋广良	(127)
无线电波透视法预测地质构造的效果.....	龚宜寅	(129)
坑道无线电波法量板的制作与使用.....	郝金栋	(133)
回归分析在坑透资料解释中的应用.....	宋宏俊	(140)
坑透资料解释中判断断层及落差的两种方法.....	刘全木 王予泉	(145)

坑道透视中条件试验的另一种方法·····	刘全木	(149)
坑道透视中产生特殊“阴影区”的探讨·····	杨玉明	(153)
坑道透视法预测采区构造有关问题的探讨·····	余尚均	(158)
坑道无线电波透视中的干扰因素及排除方法·····	重庆煤炭研究所坑道透视组	(175)
坑道透视与地质工作必须结合·····	开滦矿务局地测处、林西矿地测科	(180)
坑道透视工作方法浅谈·····	马增荣	(183)
改进J ₂ 型坑透仪的几点建议·····	杨德山	(187)
WKT—防爆型无线电波坑道透视仪研制报告·····	河北省煤研所地质室物探组	(192)
WKT—防爆型无线电波坑道透视仪工业性试验报告 ·····河北省煤研所地质室物探组		(219)
使用 PC—1500 计算机处理无线电波坑道透视数据·····	郝金栋	(238)



无线电波透视法在苏联煤矿中的试验研究·····	孙本凯	(245)
用无线电波透视法研究煤层破坏的试验·····	[苏]B.C.雅姆希科夫等	(254)
矿井坑道引起的电磁场畸变·····	[苏]B.Φ.鲍里索夫等	(259)
坑道无线电波测量时的工业干扰·····	[苏]A.A.格拉切夫	(266)
等值线法圈定电波透视中的异常体图象·····	王为民 王安民	(269)
钻孔电磁波法特征值解释法·····	吴以仁	(274)
界面两边电磁波传播的基本形态·····	王惠濂	(297)
低频和中频无线电波在煤层中的传播·····	[美]阿尔弗雷德·G·埃姆斯利等	(303)
煤的电阻率和相对介电常数·····	万琼芝	(312)
高频电磁波引爆瓦斯雷管试验报告·····	重庆煤炭研究所坑道透视组	(321)

坑道无线电波透视法

在煤矿地质中的应用

煤炭科学研究院重庆研究所 坑道透视组

前 言

随着我国煤炭工业的发展,机械化、综合机械化的采煤方法将会得到迅速推广。预先探明采煤工作面内的地质构造,以保证采煤(特别是综采)的顺利进行,是矿井地质工作者的重要任务之一。但是,按照原有的地质工作手段和方法,远远不能满足要求。因此,需要寻找新的途径,采用新的手段和方法,以适应对矿井地质工作的要求。

从1974年开始,用无线电波透视法在煤矿井下进行了探测陷落柱、断层及其他地质构造的试验(而在金属矿床,以前则基本没有为这一目的试验过),取得了良好效果。在此基础上,我们同西山矿务局、石家庄市无线电十五厂、石家庄市电子研究所组成了WKT-J₁型无线电波坑道透视仪“三结合”研制小组,经过两年多的反复试制、井下考察及大量的工业性试验,1976年10月,对1型仪器及方法进行了鉴定,并由石家庄市无线电十五厂小批量生产,在有陷落柱的矿区推广使用,从而第一次把无线电波透视法应用到我国煤矿井下,给煤矿矿井地质工作提供了一种新的物探手段和方法。此后,1977年4月至1978年10月,我们又与中国人民解放军无线电通信技术学校一起,研制成了WKT-J₂型坑道透视仪,并在探测断层方面取得了较好的效果。经过鉴定,已由通信技术学校工厂批量生产。为了使这一方法更好地为矿井地质工作者所掌握,解决生产中的矿井地质问题,我们编写了这个材料,供大家参考。

无线电波传播理论在地质上的应用,早在二十世纪初期,国外就进行了理论探索和野外试验工作。

苏联1923年开始这方面的研究工作。1928年在高加索硫化矿床上进行试验中,证明了无线电波在地下能够传播一定距离,同时发现黄铁矿体在电磁波传播途径上形成“阴影”现象,1950年~1959年间他们又开展了广泛的研究试验工作,在一些金属矿床上取得了一定效果。1959年以后投入到生产性实验研究阶段,并形成一种独立的物探方法。其中主要是偏重于无线电波透视法,包括钻孔间透视、钻孔—坑道间透视、钻孔—地面间透视等。近年来也进行了单孔干涉法、地面干涉法以及地质雷达方面的研究试验工作。

在我国,地质科学院物探研究所于1959年开始了坑道无线电波透视法的研究工作,主要用于金属盲矿体的探测研究。1965年他们与上海地质仪器厂合作,研制成了DKT-1、2型坑道无线电波透视仪,并曾小批生产10台,但此后,坑道透视工作基本上陷于停顿,而主要从事钻孔透视的研究工作。

无线电波透视法在煤矿矿井地质中的应用是与前人进行了大量科学试验,并取得了一定成果(主要用于金属矿床)分不开的。我们虽然摸索出一些无线电波透视法在煤矿井下应用的工作方法及推断解释方法,并获得了一定地质效果,但由于我们的理论水平低,认识还是很肤浅的,缺点和错误欢迎批评指正。我们深信,战斗在煤矿工业战线的广大矿井地质工作者,一定会在今后的生产与科学试验中,做出更大的贡献。

第一章 坑道无线电波透视法的理论基础

一、坑道透视法的物理基础

电磁波在地下岩层中传播时,由于各种岩、矿石电性(电阻率 ρ 、介电常数 ϵ 等)不同,它们对电磁波能量的吸收有着一定的差异,电阻率较低的岩、矿具有较大的吸收作用。另外,伴随着断裂构造所出现的界面,能够对电磁波产生折射、反射等作用,也会造成电磁能量的损耗。因此,如果在发射机与接收机之间电磁波穿越煤层的途径中,存在着陷落柱、断层或其他地质构造,电磁波能量就会被其吸收或完全屏蔽,信号显著减弱甚至收不到,形成透视异常(或称“阴影区”),变换发射机与接收机的位置,测得同一异常的“阴影区”,这些“阴影区”交会的地方,就是异常的位置。研究煤层、各种岩石及地质构造对电磁波传播的影响(包括吸收、反射、二次辐射等作用)所造成的各种异常,从而进行地质推断解释,就是坑道透视法的物理基础。

二、电磁波在均匀介质中的辐射场

应该指出,和金属矿山相比,在煤矿中进行无线电波透视的条件,具有显著的特点:第一,交替成层的含煤地层是典型的非均匀介质;第二,巷道通常是沿着生产煤层掘进的,而仅仅有时布置在煤层的顶板或底板岩层中。

考虑到第一点,则介质电性参数(ϵ 、 μ 、 σ)都要用垂直层理的和平行层理的 X 、 Y 、 Z 三个分量,才能完整地表达透视中波的参数,因此,使得资料解释工作较其均匀各向同性介质来说复杂得多。

但是考虑到第二点,针对采煤工作面的巷道通常都是布置在煤层中(除了对找断层断失的煤层而外)这一矿山技术条件,如果在透视时,使发射机天线轴和接收机环形天线旋转轴,与岩层层理方向垂直,由于可以认为大多数情况下煤层在层理方向一定范围内是均匀的,因此,仍然可以利用均匀各向同性介质中应用的较为简单的公式进行解释。只是在厚煤层中,当巷道不是布置在同一水平层位(例如一条靠近顶板,而另一条靠近底板),使收、发间的连线与煤层层理的角度较大($\leq 2-3^\circ$)时,煤层的非均匀介质的影响才不可忽视。

电磁波在均匀介质中的辐射场随距离呈一定规律变化。电磁波辐射场能量的大小,除受发射机输出功率的大小影响外,还决定于天线辐射形式。因此,选择一定的天线形式,使其获得最佳匹配,辐射出最大的能量具有重要意义。根据巷道条件,考虑到方向性因子较简单的天线,坑道透视仪的天线一般采用长度远小于波长的短偶极子。 $WKT-J_1$ 型坑透仪发射机采用1.5米鞭状天线(也可用T形天线), $WKT-J_2$ 型坑透仪发射机采用高2米、水平长10米 $\times$ 2的T形天线。不论哪种形式,天线所辐射出来的电磁场强度在介质中的分布状态,归结结底是麦克斯韦方程组根据一定边界条件来求解所确定的。

如图1,假设原点A在辐射源(天线轴)中点,在无限均匀、各向同性介质中,观测点P到A点的距离为 r (测点在辐射场内),在此条件下求解导电介质($\sigma \approx 0$)中的波动方程,即可求出P点的电磁场强度 H_P :

$$H_P = H_0 \frac{e^{-\gamma r}}{r} \cdot f(\theta) \quad (1)$$

式中： H_0 ——决定于发射功率和天线周围介质的初始场强。

β ——介质对电磁能的吸收系数。

r ——P点到A点的直线距离。

$f(\theta)$ ——方向性因子， θ 是偶极子轴与观测点方向的夹角。

从上式中看出，决定P点场强值大小的有四个参量。在辐射条件不随时间变化时， H_0 是一个常数，吸收系数 β 是影响场强幅值的主要参数，因为场强是以 $e^{-\beta r}$ 随距离呈指数规律衰减的， β 值越大，场强衰减就越快，后面将具体地讨论其物理意义。

上式中的方向性因子，表明天线在不同方向上辐射的能量大小是不等的，天线的这种性质，称为方向性。在距天线等距离的各点上，天线所辐射的场强与发射方向的关系，称为天线方向图。由于坑透仪发射机的天线长度远小于介质中的波长，其方向图比较简单。图2a的方向图是半个三维的方向图，图2b是二维方向图，给出三维方向图的一个横截面。从图可以看出，场是 θ 的函数，其方向性因子 $f(\theta) = \sin\theta$ ，在发射机天线轴的垂直方向上($\theta = 90^\circ$)，辐射的电磁场能量最强；当观测点平行于天线轴方向移动时($\theta \rightarrow 0$)，场强变小，当观测点位于天线轴线方向时($\theta = 0^\circ$)，场强值为最小。在实际工作中，当煤层为缓倾斜煤层($\theta > 70^\circ$ ，煤层倾角 $< 20^\circ$)而天线直立时，则 $\sin\theta \approx 1$ ，或者如上述天线垂直于煤层层理，则 $\sin\theta = 1$ ，公式(1)可简化为：

$$H = H_0 \frac{e^{-\beta r}}{r} \quad (2)$$

若煤层倾角较大，而天线直立时，则 $\sin\theta$ 是不可忽视的参数。

公式(1)是无线电波透视法的基础公式，它的应用将在下一章详细讨论。

三、吸收系数的物理意义

电磁波在介质中传播时，必然有一部分电磁能量随着距离的增加而逐渐被吸收。 β 就是表示单位距离场强的衰减量(奈比/米)，叫做吸收系数。为了说明其物理意义，一般用下式表达：

$$\beta = \omega \sqrt{\epsilon \mu} \sqrt{\frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\epsilon \omega} \right)^2} - 1 \right]} \quad (3)$$

式中： ω ——角频率；

ϵ ——介电常数；

$\sigma = 1/\rho$ ——导电率；

μ ——导磁率。

上式为实用单位制，若用高斯单位制，其表达式为：

$$\beta = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{\epsilon \mu} \sqrt{\frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{2\sigma}{\epsilon f} \right)^2} - 1 \right]} \quad (4)$$

式中： f ——工作频率(兆赫)；

c ——光速(3×10^8 米/秒)

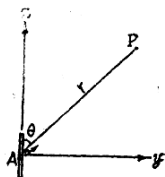


图 1

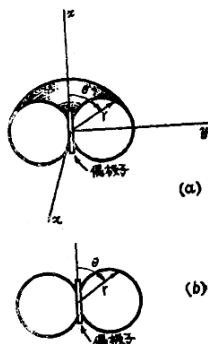


图 2 天线方向图

对于公式(3)

(1) 当 $\frac{\sigma}{\epsilon\omega} \ll 1$ 时, 公式(3)可简化为:

$$\beta \approx \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

由此看出, β 与 σ 成正比, 导电率越高, 则吸收系数越大, 衰减越快, 而与 ω 无关。

(2) 当 $\frac{\sigma}{\epsilon\omega} \gg 1$ 时, 公式(3)可简化为:

$$\beta \approx \sqrt{\frac{\sigma\mu\omega}{2}}$$

由此看出, β 与 $\sqrt{\sigma}$ 成正比, 在良导体内这种衰减也是很快的, 而与 ϵ 无关。

以上两种是特殊的情况, 而实际上在透视法中常遇到的一般情况为:

(3) 当 $\frac{\sigma}{\epsilon\omega} \approx 1$ 时, 则

$$\beta \approx \omega \sqrt{\frac{\epsilon\mu}{2}}$$

由此可以看出, β 与 ω 成正比, 当工作频率在不太高的情况下, 一般是可以获得一定的透视距离。

吸收系数与各参量间的关系

(1) 吸收系数与频率的关系

根据吸收系数公式(3)进行理论计算, 假定煤岩的电性(ϵ , ρ)在某一常数的条件下, 绘制出 β - f 关系曲线(图3), 可见当 f 渐升时, β 随之增大, 变化较大的是在低频段内, 而频率很高时, β 达到一极大值后趋向于饱和状态, ρ 不同的介质, 这一极大值也不同, ρ 越大, 则 β 越小。

在实际试验中, 我们在同一煤层采用不同频率透视的结果(见表1), 证实了上述结论。

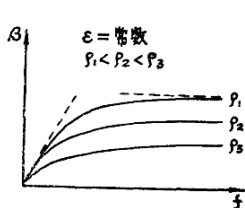


图3 β - f 关系曲线图

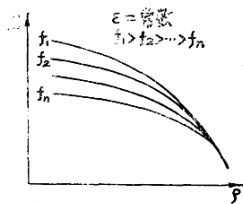


图4 β - ρ 关系曲线图

与此相关, 从实用观点看, f 升高, β 增大, 就使透视距离缩短; 反之, 可以加大透视距离(见表2)。这就是2型坑透仪的频率从1型仪器的3兆赫降低为1.5兆赫的基本出发点。

(2) 吸收系数与电阻率的关系

根据吸收系数公式(3)可绘出 β 与 ρ 的理论关系曲线(见图4), 可知在介电常数 ϵ 为某一常数时, 随着 ρ 的增加而减小, 当 ρ 增大到一定值时, 不同频率的理论曲线逐渐汇合成一条曲线。这种特征表明, 在高阻煤、岩层中用多种频率不能一一分辨高阻客体, 然而用多种

频率研究电阻率不太高的地质客体是非常有利的。

表 1

观 测 地 点	f(兆赫)	β (奈比/米)	观 测 地 点	f(兆赫)	β (奈比/米)
西山官地矿十五尺煤南1~2	3	0.04	阳泉四矿一井丈八煤8121工作面	3	0.06
	2	0.035		2	0.054
	1.5	0.031		1.5	0.048
阳泉四矿四尺煤423工作面	2	0.089	阳泉一矿北头咀七尺煤1101工作面	3	0.061—0.087(0.068)
	1.5	0.085		2	0.052—0.071(0.052)
阳泉一矿北头咀七尺煤1015工作面	2	0.075		1.5	0.044—0.055(0.045)
	1.5	0.06			

表 2

观 测 地 点	f (兆赫)	β (奈比/米)	透视距离(米)
阳泉一矿北头咀七尺煤1015 工 作 面	3	0.075	170~180
	1.5	0.060	220~230
阳泉三矿二号井七尺煤72610 工 作 面	3	0.070	160~180
	1.5	0.047	>230

表 3

观 测 地 点	煤质牌号	煤层视电阻率 ρ_k (欧姆·米)	煤层吸收系数 (奈比/米)	透视距离 (米)	备 注
西山官地矿十五尺煤	贫 煤	700~800	0.04	130~260	
山山西铭矿九尺煤	瘦 煤	300~500	0.06	160~180	
阳泉一矿七尺煤	无烟煤	700~800	0.07	160~180	ρ_k 不准
阳泉四矿丈八煤	无烟煤	700~800	0.06	170~200	
汾西高阳矿一号煤	焦 煤	300~1400	0.065	150~160	
汾西南关矿十号煤	焦 煤	360~670	0.067	140~160	
平顶山七矿戌煤	肥 煤	400~500	0.067~0.09	140	
京西门矿、杨沱矿	无烟煤	<5	0.5~1.2	10~20	

我们把实际试验中的数据，与电测资料中的视电阻率（ ρ_k ）加以对比（见表3），也可以看出 β 与 ρ_k 存在着相对依赖关系。

上表中 β 、 r 是在工作频率为3兆赫下取得的。当然透视距离的大小，除与 β 、 ρ_k 有关系外，还决定了发射机功率的大小和接收机灵敏度的高低；而 β 大小却依赖于 ρ_k 的大小。

还应当说明，测井所提供的 ρ_k 值，是测定附近岩层和构造（如果有的话）的综合反映，加之各单位电测的测试条件不见得相同，即使对于同一层煤，不同钻孔所测得的 ρ_k 值，也会相差很大。因此，上表中的 ρ_k 值也只是相对值，而 ρ_k 值对于估计该煤层的吸收系数来说，仅仅可以作为大致的参考。

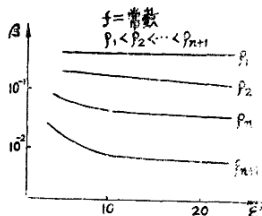


图5 $\beta - \epsilon'$ 关系曲线图

（3）吸收系数与介电常数的关系

前面谈到，当 $\frac{\sigma}{\epsilon\omega} \geq 1$ 时， β 与 ϵ 无关。从图5可知，若工作频率为一定值时，煤（岩）层的介电常数越小而电阻率较大时， ϵ 对吸收系数是有一定影响的，但总的说其影响远比电阻率对吸收系数的影响小。

前面讨论的公式（3），表示了吸收系数与煤（岩）本身所具有的物理性质，即电性参数之间的相互依赖关系。但在透视法的实际工作中，用公式（3）来求煤层吸收系数，是比较复杂与困难的。因此常采用比较简单的直观的作图法，来求煤层的吸收系数。这一点将在下一章加以讨论。

第二章 坑道无线电波透视法的工作方法

一、井下工作方法

透视前，应调查工作面巷道中电缆、金属管道、电器设备的分布，巷道高度、支架材料，瓦斯浓度等情况，同时要了解已揭露的地质构造及其他地质条件。在此基础上，确定观测方法，布置观测顺序及观测的时间。

（一）观测方法

观测方法有同步法和定点法。同步法，就是发射机分别位于运输巷和回风巷，同时作等距离移动，逐点发射并接收其场强值；定点法就是发射机相对固定，接收机在一定范围内逐点观测其场强值。由于发射机不便频繁移动，一般多采用定点法观测，以下介绍的即均指定点法。

（二）观测点的布置

先布置必要的观测点对工作面进行普查，如发现异常，再加密观测点。观测点的间距，

普查时接收点间距一般为10米，发射点间距为50米。每发射一个点，接收机可相应的观测10个点左右，或尽可能在接收到场强值的范围内观测（参看图6）。发现异常，需加密观测点时，可根据异常的位置，灵活掌握。

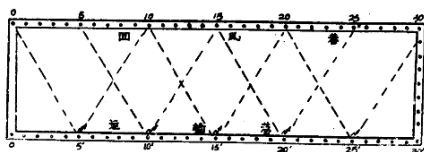


图6 定点法观测点布置示意图

布点时需考虑下列问题：

1、首先选择地质条件正常、干扰因素少的地段，布置1~2个发射点，作透视条件试验，接收从接近发射机的最大值，观测到远离发射机的最小值，目的是求该发射机发射的电磁波在工作面的初始场强值（ H_0 ）、穿透距离及煤层的吸收系数（ β ）。

2、发射点布置在人工导体少的巷道中，特别要远离电缆。发射机与接收机之间不能有电缆及金属管道沟通。

3、发射点布置在远离异常的一侧，这样有利于清晰地反映异常。

（三）观测顺序及观测时间的确定

由于1型仪器发射机与接收机之间没有通信联络，因此在布置完观测点后需统一安排观测时间，并列成表格，一式两份，发、收双方各拿一份，井下实际观测时，就按表格中安排的时间进行。以图6布置的观测点为例，列表如下：

表 4

发射点	接收范围	发射时间	搬家时间
运5*	运20'~切眼-风20	20分	5分
运10'	风15~风5	10	5
运15'	风10~风20	10	5
运20'	风15~风25	10	5
运25'	风20~风30	10	

*运5'发射点为条件试验点，故测的范围很大。

2型仪器接收机设有监听喇叭，可以从发射机按规定发出的信号中，了解发射机工作情况。虽然如此，仍有必要按表4作一计划。

坑透仪的发射机、接收机工作稳定，不易出故障，一般能按计划进行。如遇意外情况，出故障的一方需及时与对方联系，提出重新安排意见。

（四）井下实际观测

图上的观测点标在巷道中，然后按计划观测顺序、观测时间进行观测。工作时一般需要四人：二人发射，一人接收，一个随接收机记录。1型接收机记录表格如表5，2型接收机表头采用分贝（db）值指示，记录表格如表6。

表 5

无线电波透视仪接收记录

第 页

图号		接收机位置		$H_0 =$		微伏/米	
		发射机位置		$\beta =$		奈比/米	
点号	实测场强 H (微伏/米)	与发射点直线 距离 r (米)	$H \cdot r$	理论场强 H^0	衰减系数 η	备注	
年 月 日		操作员		记录员			

表 6

无线电波透视仪接收记录

页	数
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	31
32	32
33	33
34	34
35	35
36	36
37	37
38	38
39	39
40	40
41	41
42	42
43	43
44	44
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81
82	82
83	83
84	84
85	85
86	86
87	87
88	88
89	89
90	90
91	91
92	92
93	93
94	94
95	95
96	96
97	97
98	98
99	99
100	100

[illegible]

二、资料解释方法

资料解释采用场强对比法。就是将各点的实测场强值(H)与各点按公式计算出来的理论场强值(H^0)进行对比。用 η 来表示两个场强的比值,称 η 为衰减系数,即:

$$\eta = \frac{H}{H^0} \quad (5)$$

在无限均匀、各向同性介质内, 实测场强 = 理论场强, $\eta = 1$ 。但由于煤层的不均匀性及测量误差, 即使在认为是正常的煤层中, 实际上 η 只是近似于 1, 而遇到异常 η 值就远离 1, 可根据 η 值的大小结合地质条件, 来分析异常的性质。因此, 将同一点发射而相应的各接收点的实测场强值、计算的理论场强值、衰减系数值绘在同一张半对数坐标纸

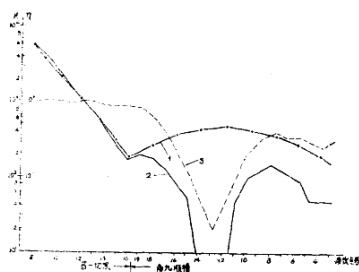


图7 无线电波透视综合曲线图

1—理论场强曲线 2—实测场强曲线

3—衰减系数曲线

上, 纵坐标为场强值及 n 值, 横坐标为点号, 相应各点值的连线, 就可作出实测场强、理论场强及衰减系数三条曲线, 即是透视综合曲线图(如图7)。资料的推断解释, 主要就是根

据这种图的两条曲线对比进行的。

三条曲线中，理论曲线一经确定， η 曲线也随之确定。所以解释工作的重点就是确定各测点的理论场强值，而理论场强值又依赖于吸收系数 β 和初始场强 H_0 的确定。

(一) β 、 H_0 的确定

1、计算法：

β 的确定就是用第一章介绍的公式：

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

H_0 可由下式求得

$$H_0 = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \cdot \frac{I_0}{2\lambda_0} \cdot L_e \quad (6)$$

其中： I_0 ——天线电流波幅值； λ_0 ——介质中的波长； L_e ——天线有效高度。

上述公式中， σ 、 ϵ 、 μ 、 I_0 、 λ_0 均为未知数，测起来又比较麻烦，而且根据少数的岩矿标本所测得的参数，也不一定能够代表大范围岩层的实际参数。所以我们在实际工作中都是用实测场强法求 β 、 H_0 。

2、实测场强法：这种方法的基础，是均匀介质中距发射点 r 处(幅射场范围内)的实测场强值与理论场强值相等。设距同一发射点分别为 r_1 、 r_2 的两点实测场强 H_1 、 H_2 ，根据公式(1)得

$$H_1 = H_0 \frac{e^{-\beta r_1}}{r_1} \sin \theta$$

$$H_2 = H_0 \frac{e^{-\beta r_2}}{r_2} \sin \theta$$

移项，两式相除

$$\frac{H_1 r_1}{H_2 r_2} = \frac{e^{-\beta r_1}}{e^{-\beta r_2}}$$

两边分别取自然对数

$$\ln \frac{H_1 r_1}{H_2 r_2} = \ln \frac{e^{-\beta r_1}}{e^{-\beta r_2}}, \quad \text{即} \ln \frac{H_1 r_1}{H_2 r_2} = -\beta r_1 + \beta r_2$$

$$\text{可知 } \beta = \frac{\ln H_1 r_1 - \ln H_2 r_2}{r_2 - r_1} \quad (7)$$

$$\text{而 } H_0 = \frac{H_1 r_1}{e^{-\beta r_1}} \quad \text{或} \quad H_0 = \frac{H_2 r_2}{e^{-\beta r_2}} \quad (8)$$

上边已说过，(7)、(8)两式是指在均匀介质中 β 处处相等的情况而言的，但实际上煤层即使在沿层理的方向上，也是不完全均匀的。在实践中我们根据上述公式总结出在实测 $\ln H r = f(r)$ 线(或写作 $\ln H r - r$ 线)的基础上，用图解法求 β 平均值和 H_0 。

3、图解法：

作 $\ln H r - r$ 线：首先将条件试验测得的 H 值乘以 r ，以 $H r$ 为纵坐标， r 为横坐标，投在单对数纸上，各点值的连线即为实测的 $\ln H r - r$ 线。一个工作面可作2~3条这样的线。对这些线进行综合分析，看其总的趋势，通过大多数点作一条能代表该工作面的直线，称作吸收系数线，在这条线上找出任意两点代

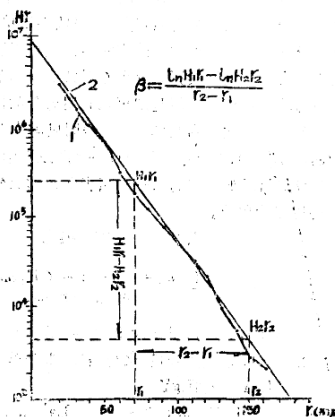


图8 $\ln H r - r$ 曲线(示意)

1—实测曲线 2—吸收系数线

入公式(7),即可求出吸收系数 β (参看图8)。

从公式(7)可以看出, β 就是 $\text{LnHr}-r$ 线的斜率。

而从公式(2)可以推出:

$$\text{LnHr} = \text{LnH}_0 - \beta r$$

当 $r \rightarrow 0$ 时, $\text{LnHr} = \text{LnH}_0$, 即 $r \rightarrow 0$ 时的 Hr 值就是 H_0 , 也就是吸收系数线与纵坐标相交的 Hr 值, 即为 H_0 。

一般情况下, 即煤层在沿层理方向上变化不大时, 一个工作面只确定一个吸收系数值, 而 H^0 随发射点条件及发射机电源电压的变化有小的变动。

(二) H^0 的确定

β 、 H_0 确定后代入公式(1)或(2), 即可算出各点的理论场强值 H^0 。或者作一条 $\text{LnH}^0 - r$ 线, 在该线上直接找出各点的理论场强值。

$\text{LnH}^0 - r$ 线作法: 在具有代表性的 $\text{LnHr} - r$ 线(即吸收系数线)上, 将每一 Hr 值除以相对应的距离 r 值 $\left(\frac{H_1 r_1}{r_1}, \frac{H_2 r_2}{r_2}, \dots\right)$, 即得该距离处场强值 H_1 、 H_2 ……。在单对数坐标纸上, 以 H^0 为纵坐标, r 为横坐标, H_1 、 H_2 、……各点的连线, 即是 $\text{LnH}^0 - r$ 曲线(近于直线但不是直线)。

理论场强曲线在透视曲线中是一条标准线, 它象一把尺子衡量实测场强的变化, 所以要求作得比较正确。而理论场强的正确性又取决于 β 、 H_0 , 它们取得越接近实际, 就越能真实地反映异常。在吸收系数确定之后, 理论场强曲线的形状就确定了, 而 H^0 的大小决定理论场强曲线在坐标中的上、下位置。

(三) 应用2型仪器的资料整理

应该指出, 以上所介绍的推导、计算和作图, 都是根据偶极子辐射场的基本公式而来的, 而公式中场强的单位为微伏/米。吸收系数单位是奈比/米。1型仪器表头指示采用微伏值刻度, 资料整理直接根据上述方法步骤就可以了, 而2型仪器表头指示采用分贝值刻度, 即场强值已由仪器直接换算成分贝(对数值)作单位, 这样, 资料整理的方法步骤虽然和以上介绍的仍然基本相同, 但是却可以利用对数的性质和运算法则, 简化运算。因此, 不难看出:

1、综合曲线图及 $\text{Hr} - r$ 曲线图只需作在方格坐标纸上就行了。综合曲线图的纵坐标为 $H(\text{db})$, 横坐标为点号。但是 $\text{Hr} - r$ 曲线图中纵坐标 Hr 中的 r 值也需相应地换算为分贝值(或直接查如附录Ⅲ那样的米一分贝表), 即纵坐标 Hr 值应为 $H(\text{db}) + r(\text{db})$ 之和, 而横坐标的 r 仍以米为单位。

2、吸收系数公式(7)应变换为

$$\beta = \frac{(H_1(\text{db}) + r_1(\text{db})) - (H_2(\text{db}) + r_2(\text{db}))}{r_2(\text{m}) - r_1(\text{m})}$$

显而易见, 这里 β 的单位是: 分贝/米。

3、吸收系数的分贝/米与奈比/米两单位间的数量关系, 根据对数换底公式

$$\text{Ln}Y = 2.3 \text{Lg}Y$$

可知 $2.3 \text{Lg}H(\mu\text{v})$ (奈比) = $20 \text{Lg}H(\mu\text{v})$ (分贝)

所以 $1 \text{奈比/米} = 8.7 \text{分贝/米}$ 或 $1 \text{分贝/米} = 0.115 \text{奈比/米}$ 。

4、衰减系数应为实测场强与理论场强值之差，即

$$\eta = H - H^0 \text{ (分贝)} \quad (10)$$

比较公式(5)与公式(10)可以看出，这里 $\eta = 0$ 分贝时相当于场强以微伏/米为单位时的 $\eta = 1$ 。

三、井下干扰及其排除

本章开始在谈到布置发射点需要考虑的问题时，曾指出干扰因素的问题，这里再扼要地加以说明。

巷道中的人工导体对电磁波的传播起干扰作用，但不同的导体对电磁波传播的影响不同。

1、金属支架，对电磁波有少量屏蔽作用，在金属支架巷道中发射时的原始场强值较木支架稍低，但一般不影响观测效果。

2、接地的铁轨、电溜子，对电磁波有一定的导引作用，存在二次场，实际观测中发现在铁轨附近场的梯度较大，二次场的影响范围在0.8米以下，故接收天线环距铁轨、溜子等高于1米，二次场的影响就可忽略不计。

3、电缆及其它金属导线，对电磁波有很好的导引作用。天线辐射的电磁波感应在线缆上，沿着导线传播，成为电磁波的二次辐射源。接收处有导线时，天线接收的有从煤层中来的直达波和导线上的二次辐射波，当二次辐射波大于直达波时，它就掩盖了直达波，使透视无法进行（参看图9）。

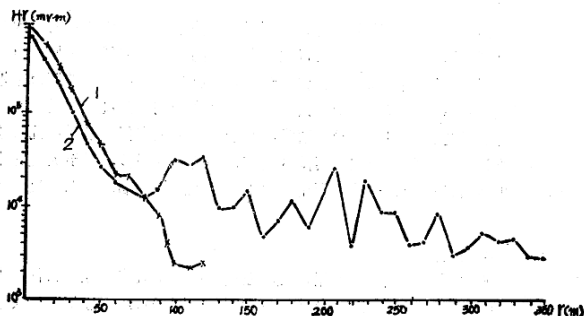


图9 电缆干扰在 $\text{LnHr}-r$ 曲线上的特征

1—无电缆干扰曲线图

2—有电缆干扰曲线图

从图可看出：50米以前，两条线都反映电磁波沿煤层介质中的传播特点，80米以后，有电缆的巷道观测到的就是电缆上的二次辐射波的面貌。

电缆是对无线电波透视干扰最大的一个因素，在有电缆的巷道中进行透视时，要采取措施，尽量减小电缆上的二次辐射场。常用的办法是发射机远离电缆，将悬挂的电缆放下。在工作面各巷道的电缆互相联通时，透视就难以进行。如果必须进行时，还需将联通的导线在一定地点（如巷道拐弯处的接线盒，启动器等）断开，拉开一定距离。

4、悬挂在巷道壁的铁管上的二次场很强。地质科学院物探所的实验表明,场的分布规律是以铁管为中心的同心圆,越靠近铁管场强梯度越大。根据这一特征,测量场的水平分量极大值时,环形天线的线环中心应与铁管架设高度一致,尽量远离钢管。当环形天线中心与铁管轴线在同一高度时,在环形天线上、下半圆面积内,铁管所引起的磁力线的方向相反,因此在环形天线内形成的干扰电压很小。

从实践中看出,虽然坑道无线电波透视工作中干扰因素较多,但它们对电磁场的影响是有规律的,采取措施,消除或减少干扰因素,就可以在大多数工作面内开展透视工作。

第三章 地质构造的探测

几年来,通过在西山、阳泉、汾西、大同、开滦、平顶山、枣庄、新汶、肥城、蒲白、南桐、打通、大屯、徐州、淮北等十多个矿务局的数十个采煤工作面进行的试验,证明应用无线电波坑道透视法这一先进的物探手段,能够圈定出正常区和异常区,能够发现和探明引起电性变化的多种地质构造,如陷落柱、断层、煤层厚度变化、火成岩等,为采煤工作,特别是机械化、综合机械化采煤,提供更加准确的地质资料。当然,这种方法如同任何别的方法一样,有其长处和短处,需要进一步发展和完善。

现将几种地质构造反映出的异常特征及探测效果,分述于后。

一、探测陷落柱及其效果

由于煤系底部可溶性岩体中岩溶空洞的塌陷而形成的陷落柱,在山西省古生代煤田中普遍发育,此外河北省的峰峰、井陘,山东省的新汶、枣庄、陶庄,江苏省的徐州,河南省的鹤壁,陕西省的铜川,四川省的华蓥山等矿区也都有陷落柱的出现。这种严重破坏煤系地层的地质因素,使煤层缺失,而代之以奇形怪状、大小不一、棱角分明、杂乱无章的上复岩层的堆积物,使其和周围煤层的电性有明显差异(通常相对于煤层电阻率低得多);而且陷落柱的形成,往往伴随着临近煤层产状的变化,裂隙的发育,小断层的增多,甚至大量充水等,使它能够大量地吸收电磁波的能量。这就是利用无线电波透视法探测陷落柱取得良好效果的原因。

(一) 陷落柱异常曲线特征

由于陷落柱对电磁波具有强烈吸收作用,反映在透视曲线上就有明显的特征。电磁波遇到陷落柱,其 η 及实测场强曲线呈漏斗形“ ∇ ”(参看图7、图10),或因透视距离关系呈半漏斗形,或“U”字形。接近陷落柱时, η 值就开始减小,当进入陷落柱中心, η 降至最小。实践中发现进入陷落柱时, $\eta < 0.1$ (~ 20 分贝),煤与陷落柱的交界面在 η 曲线上反映出一个拐点。当发射机靠近陷落柱一侧透视时,就出现大范围的阴影区, η 曲线在低值区($\eta < 0.1$,即 ~ 20 分贝)摆动,这是 η 曲线反映陷落柱的又一种形式。

陷落柱反映在 $\text{LnHr}-r$ 线上的特点:接近陷落柱时曲线开始变陡;进入陷落柱时,曲线近于直立;离开陷落柱后,随着距离 r 的增加 LnHr 值反而上升。

(二) 效果

由于陷落柱和煤层接触的界线比较明显,而且和煤层电性差异大,所以利用无线电波透