

矿井物探技术在煤矿水害探测中的应用

卢晋敏

(山西兰花科技创业股份有限公司技术中心)

摘要：矿井物探技术经过几代技术人员几十年的努力，到今天探测能力、探测效果和质量不断提高，《煤矿防治水规定》的实施，并明确指出物探仪器在煤矿防治水工作中的作用，要求生产矿井应建立地面和井下的水文监测系统，掘进和采煤工作面要使用物探、钻探、化探、监测等手段查明水文地质条件，探测隐伏的导、含水构造。目前全国煤矿正在学习贯彻新的《煤矿防治水规定》，在煤矿水害防治中如何选择合适的物探仪器是当前面临的突出问题，本文对两大类防治水物探仪器进行分析比较，为大家提供借鉴。

关键词：煤矿防治水；物探仪器；直流电法仪；瞬变电磁仪

《煤矿防治水规定》指出，防治水要坚持预测预报、有疑必探、先探后掘、先治后采原则和防、堵、疏、排、截综合治理措施。预测预报、有疑必探的前提是注重物探技术的作用。煤矿防治水的前期工作是查明水害类型、探明水害影响区域和程度，有的放矢进行水害治理，消除水害隐患，确保安全生产。水害探查是一项非常复杂的工作，通常是依据水文地质资料进行矿区水文地质条件分析，地表水文地质踏勘，井下勘查和超前钻探放水，这些工作对技术人员要求都较高。钻探放水本身就具有一定的危险性，探测距离较短，钻孔终孔位置可能偏离靶心，多孔探测可以有效解决这个问题但施工时间长，容易造成接续困难。

解决上述问题的有效办法是利用井下物探技术，与钻探放水的技术组合，物探先行、钻探验证，在取得多次验证资料后，依据实际情况逐步减少钻探工作量，在保证矿井安全的基础上提高生产效率。

一、煤矿井下水害探测方法技术

我国幅员辽阔，煤田地质条件相对复杂，多数主采矿区浅部资源开采殆尽，许多矿井向深部延展，很多矿井不同程度受到深部承压水的威胁。部分地区无序开采造成关停、废弃小矿巷道、采空区积水，以及古窑积水使得矿井周边情况极其复杂，因此深部承压水和老空区积水是目前我国煤矿防治水工作的重点。

煤矿水体由于常年埋藏于地下，普遍矿化程度较高，导电性能良好，相对围岩和煤层而言是良好导体，因此通过细分区域的电阻率测量可以探测出含水区域，经过多年的研究实践，目前电阻率法是探测含水体的最有效手段。

目前常用的探测方法有直流电阻率法，包括直流电法仪和高密度电法仪都属于直流电法范畴，高密度电法是一种引入地面施工方法的直流探测技术，直流电法的典型应用是沿巷道进行底板探测，探测深度可达100米，底板探测可以采用对称四极或者三极探测装置，直流电法的另一种变通用法是直流超前探测技术，最大探测深度达到甚至超过100米，对于探测巷道掘进前方含水构造是一种有效的方法，应用这种方法可以有效探测掘进前方大于两米的充水废弃巷道，采空区、充水断层破碎带、充水陷落柱等地质异常。

音频电穿透法能透视工作面内部和顶底板，能查明一定深度范围内的含水构造和导水通道，该应用也属于直流电法范畴，只是音频电穿透法扩大了直流电法的应用范围，它是利用采煤工作面形成以后的上下顺槽来开展探测工作。

与直流相对应的是交流探测方法，像频率测深（大地电阻率法），它的探测原理是相同极距下不同频率（波长）电磁波的趋肤深度不同，频率测深就是通过改变发射频率来获取不同深度的地质信息。

瞬变电磁法也属于交流电法，是一种发展中的井下勘探方法，和其它方法相比具有施工便捷，装置灵活、设备轻便的优势。但由于采用宽频接收信号，抗干扰能力较差，通常需要大电流激发，以获取满足信噪比要求的信号。瞬变电磁技术近几年开始进入煤矿探测含水构造，并逐渐被人们认识和接受，是一种有发展前途的探测技术。

与电磁法勘探相对应的是各种体波和面波探测方法，主要有井下地震探测、瑞利波探测、TSP 探测技术等等，这些方法技术探测断层等岩性变化的地质异常效果较好，利用这些技术探测含水构造的研究也一直在进行着，但是目前还没有找到好的应用效果，因此探测含水构造还是应该首选电法类仪器。

可以用于煤矿井下进行测深和掘进巷道超前探测的电法仪器主要是直流电法仪和瞬变电磁仪，直流电

法仪探测稳定，易学易用，数据处理简单，地质效果较好。瞬变电磁法仪器施工灵活，可以全方位探测，但是仪器成本较高，熟练掌握难度较大，超前探测效果还有待提高。

二、电法仪与瞬变电磁仪利弊

1、电法仪

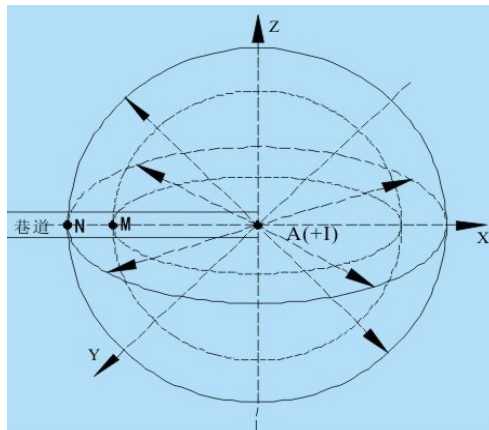
电法仪主要用于矿井含水构造（包括陷落柱）、含水层、积水老窑等水体探测；工程地质勘查（地基、岩溶、滑坡等）；水文工程、堤坝隐患和渗漏探测。电法类产品在地面比较成熟，是行之有效的勘探手段。但在井下应用时其原理是“镜像法”，整个探测为全空间，无法判断含水带的具体位置。即探测的含水带有可能是前方，也可能是后方等情况。产品使用过程中众多专家对电法井下操作从原理上提出了异议。（王家岭就是用普通电法做的超前，矿方按照探测结果掘进，发生较大透水事件）。

电法类产品施工时要向地下打电极，然而接地电阻是泥岩、夹干时，一般不容易打下去，这样造成探测结果无法反应实地情况；在者做掘进头探测时，按照“镜像法”原理，探测前方多少米，必须在掘进头后打多少米电极，这就存在以下问题：

(1) 受场地制约：如果掘进头掘进里程为50米，那么你就不可能在掘进头前方探测距离超过50米

(2) 体积笨重：由于井下操作必须运用电极、电缆、大功率电源、主机、铜榔头等，使得操作一次仪器工序繁琐，通过把设备移动到井下至少需要四个人。劳动强度大。

(3) 探测成果无法准确定位：“镜像法”对异常体定位问题，如果异常区不在掘进头前方，而在顶底板或侧帮，按照“镜像法”球体原理，在探测结果中也会有体现，而我们出的结果图为前方图，所以，异常区是前方还是顶底板或侧帮有待验证，可以说探测成果是顶底板、左右帮及掘进前方的综合反映。例如电法类做超前时，实测的是巷道底板电阻，而非掘进前方电阻。如果我们做迎头，且迎头无水，而巷道中底板是含水的，这就造成接地电阻表现为较小的值，给我们造成前方含水的错误推断。（如图）



(4) 使用过程获取准确反馈信息难度大：如果底板为坚硬泥岩或夹矸，电极一般是打不下去的，而当探测的时候，探测的电阻就不会是底板或夹矸下面的实际电阻，这在物理勘探中电法类方法一个无法解决的问题——高阻屏蔽效应。

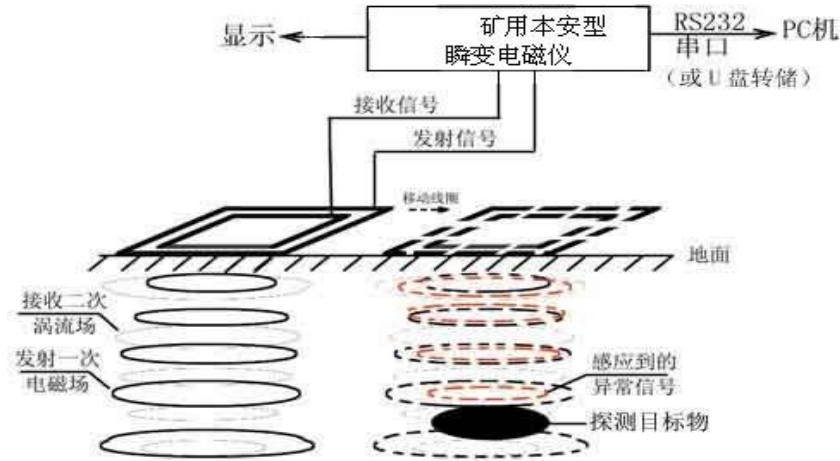
(5) 存在安全隐患：电法类产品把电极直接暴露在巷道中，一般较高的几个电极电源有60V~100V，按照煤矿安全生产要求来说，这是违规操作。（要是电源达不到这个程度，那么仪器接收的电压值就基本上是噪声电平）。而且电法类产品在井下必须要多跟几十或几百米的电线相连，电缆的铺设对煤矿安全生产造成隐患。

(6) 操作时间长：电法类产品由于没有脱离打电极的弊端，这就造成了普通电法类产品探测掘进头需要40分钟~1个小时以上，且需要人员不少于5人，对地测科人员配置提出较高要求。

2、瞬变电磁仪

瞬变电磁法通过发射线圈向地下发射一次脉冲电磁场，在一次脉冲磁场间歇期间利用接收线圈测量地下介质引起的二次感应涡流电磁场，探测介质的视电阻率变化，从而反演出地质体含水情况。该仪器属

于本安型防爆仪器，采用高精度宽带程控运算放大器，测量精度高，弱信号多点平均、累加等多种数据处理方法，抗干扰能力强，仪器收发一体化，小型轻便。设计系列大小尺寸的天线，适用于不同地区矿井井下巷道空间条件，可全空间全方位探测，结果显示为2D图，成果解释直观。主要用于探测矿井中含水构造、含水层、积水老窑等含水性问题，也可用于地面水文、金属矿产和工程地质勘查。（如图）



(1)瞬变电磁仪系统在轻便的要求上也具有极大优势，整个系统总重量不足6公斤，数据采集时间短，工作效率高，一般单个掘进头工作时间不超过10分钟。仪器总共分为三部分（主机3公斤左右、独立外接电源1公斤左右、接收发射线圈2公斤左右）井下工作2-3人足以顺利完成。探测成果不仅表现掘进前方，还对掘进前方顶底板、两帮有所表现，具体位置类似我们打钻方向。

(2)瞬变电磁法是最新的一种物探方法，瞬变电磁法以其对水的极其敏感性，近几年有逐渐取代电法的趋势

(3)瞬变电磁法，不存布置电极情况，对探测点地质要求较低，不管探测位置为高阻还是低阻都能探测。

(4)瞬变电磁迎头探测方向为顶底板迎头、左右邦迎头，与矿迎头钻探方向一致，由于其原理优势，对探测位置方向性强。为钻探起到有的放矢的目的，大大提高了效率。且探测距离远。

(5)瞬变电磁仪接收发射线圈考虑了电感、电容、电阻的最佳匹配，采用了国外先进的低阻线圈缠绕技术，且在制造工艺设计上采用了软体压膜设计，这种设计不但减轻了接收发射线圈的重量，而且使得接收发射线圈在井下更便于折叠携带，另外还避免了井下空间不规则时的接受发射天线形状的不能调节的问题。

(6)瞬变电磁仪数据处理软件相对于其他同类产品的处理软件而言，采用了最新的对金属锚网及金属支护影响的剔除技术；且软件处理结果图对电阻率进行了归一化，从而使得处理结果对异常体的边界、形状等划分更加精确，使得处理效果图不但能实现切片和深度数据的自动提取，而且可以实现一次探测全方位出图，使得巷道内异常体的位置更加直观明确。瞬变电磁本身可以对家庭用电频率进行剔除，故井下探测不需要停电，从而大大降低了对井下工作的影响。采用高精度密集等效采样技术及对一次场的剔除技术，从而提高了浅部数据的分辨率。

瞬变电磁井下使用也有其缺点，在探测时容易受到周围大型金属体影响（如综掘机、工字钢、锚网等）。但通过与之相配的专业软件可以将干扰数据进行处理。最终使不良数据被忽略。

三、结论

各种物探技术在矿井水害防治预测中的应用仍有一定的局限性。矿井直流电法技术是一种理论较为成熟，应用较为广泛的井下探测方法，但其施工效率相对较低，受巷道空间影响较大，非接触探测将是该方法的研究方向。矿井瞬变电磁法是在分析天线接收信号的基础上，来识别地质异常信息，进而达到探测目的，但是在具体探测煤层底板过程中，接收天线实际是接收来自煤层顶、底板两个方向的地质信息，这对资料的解释精度带来一定的影响。现在煤矿的开采过程中，综采工作面的宽度越来越大，对于无线电波透视法来说，提高仪器功率，增大穿透距离将是其关键所在。高产高效是煤炭工业先进水平的标志，也是煤矿发展的根本出路，这要以良好的地质条件为基础。矿井地质安全保障系统就是在综合地质分析的基础上，使用先进的地质、物