播，面波沿着弹性介质的某些界面传播，如图 2－1－7 所示。

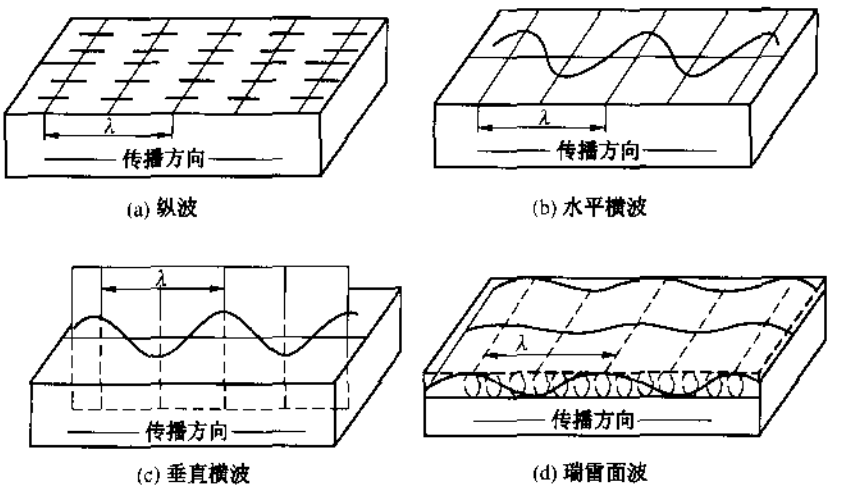


图 2－1－7　地震波的传播示意图

纵波（P 波）——质点振动方向和波传播方向相同。

横波（S 波）——质点振动方向和波传播方向相垂直。质点振动在水平平面中的横波分量称为水平横波（SH 波），质点振动在垂直平面中的横波分量称为垂直横波（SV 波）。

瑞雷面波（R 波）——质点在通过传播方向的铅垂面内沿椭圆轨迹逆转运动。

1.4.1.2　地震数据的采集

1. 震源

用于地震勘探的震源基本上分为两大类：炸药震源和非炸药震源。

1）炸药震源

炸药是一种特殊的化合物或混合物，它能在外界的影响（如用电雷管起爆）下放出气体和高热，形成高压气团而急剧膨胀，在瞬间将压缩作用施用于周围物体，即所谓的冲击波。在爆炸中心，物体将被粉碎和破坏，形成破坏带。在破坏带以外，物体只产生弹性形变，形成岩石的震动带，此时冲击波变成弹性波。

虽然目前我国在陆上大部分地区仍主要采用炸药井中爆炸的激发方式，但是随着勘探规模的扩大和技术的发展，炸药震源逐渐暴露出以下问题：

（1）钻井和使用炸药的费用较高、时间较长，在需要钻深井才能获得良好激发条件的地区，耗费更大。

（2）缺水地区、地形复杂的山区、流砂沼泽等钻井困难地区，施工不便。

（3）工业矿区、人口稠密区和鱼塘不宜使用炸药。此外，炸药在运输、保管和使用中容易发生危险。

为了解决上述问题，出现了非炸药震源。

2）非炸药震源

非炸药震源有很多种，煤田地震勘探中主要使用可控震源。可控震源是一种机械震

源，由安装在汽车上的振动器冲击地面产生频率可以控制的波列作为地震震源。

2. 地震数据采集系统

地震数据采集系统由地震检波器和地震记录仪器组成。地震检波器是一种机电转换装置，能把地震波引起的地面微弱的机械振动转换为电流强弱变化的电信号。为了满足高精度地震勘探的要求，地震仪器向着超多道、遥测、高位模数转换（从24位到32位）、完善的质量控制系统方向发展。

1.4.1.3 地震数据的处理

地震数据处理技术是对野外采集的地震资料进行各种处理，最终利用一次反射信号对地下反射界面进行成像，处理结果为地震剖面（二维）或偏移数据体（三维）。利用处理后的成果，可以解释地下岩层的构造形态和岩性特征。

地震数据处理包括观测系统定义、预处理、能量关系恢复校正、叠前去噪、反褶积、静校正、速度分析、动校正、DMO校正、叠加、偏移、叠后修饰等主要步骤。

目前，地震数据处理一般是以大型地震处理软件平台为依托，在高性能的计算机上实现的。随着技术的不断发展和进步，地震数据处理系统的功能也在不断完善，使用也越来越方便，同时也变得越来越庞大和复杂，对处理人员的素质要求也越来越高。国内使用的代表性地震资料处理系统见表2-1-10。

表2-1-10 地震资料处理系统

国家和公司	软件名称
法国CGG公司	GEOVECTEUR PLUS
美国LANDMARK公司	PROMAX
美国Western Geophysical公司	OMEGA
以色列Paradigm Geophysical公司	FOCUS
中国东方地球物理公司	GRISYS

1.4.1.4 二维地震勘探

二维地震勘探是一套以数字方式记录地震信号，经数字处理获得地震时间剖面，查明小型煤田构造和异常的技术方法。

1. 解释内容和方法

构造解释是地震资料解释最基本的内容，以水平叠加时间剖面、偏移时间剖面为主要资料，分析时间剖面上的各种波动特征，确定主要目的层层位，进行波的对比和追踪；解释时间剖面上反映出来的各种地质构造现象，确定断层、褶曲位置；将时间剖面变为深度剖面，绘制标准层位构造平面图和其他地质构造图件。构造解释主要是运用地震波的运动学特征来解决岩层的空间分布问题。

2. 地震时间剖面的解释

地震时间剖面是构造解释的基础资料。通常，一条地震测线可得到一张时间剖面，如图2-1-8所示。图中，横坐标为共中心点（COP），纵坐标为双程旅行时间，以秒（s）

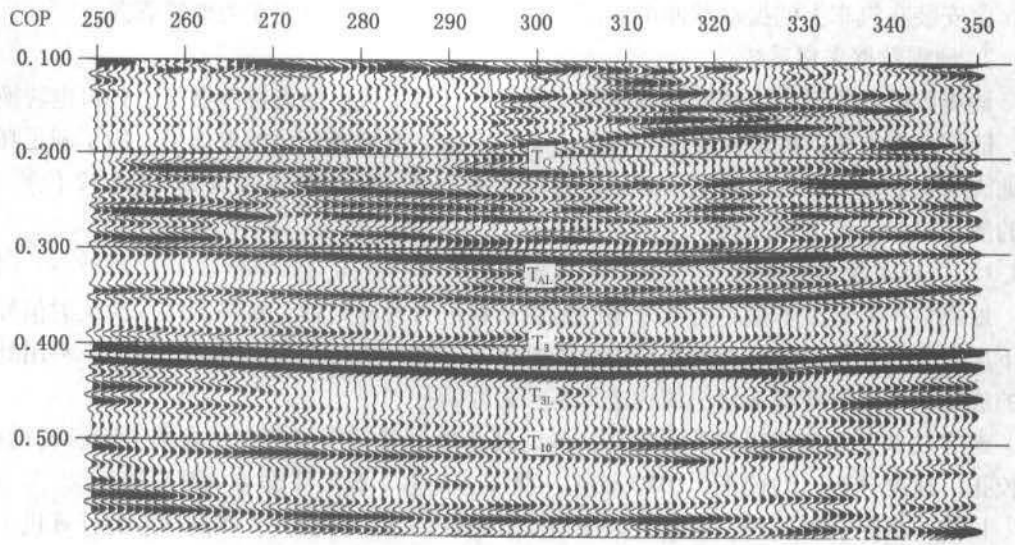


图2-1-8　地震时间剖面

为单位。时间剖面不同于深度剖面，但能直观地反映地下构造形态。

在时间剖面上，利用反射波的各种特征，识别和追踪同一界面反射波的过程，称为时间剖面的对比。来自同一界面的反射波，虽受界面埋藏深度、岩性、产状及覆盖层等因素的影响，但在一定范围内具有相对的稳定性，使得同一层位反射波在相邻接收点上反映出类似的特征。反射波的主要特征有三个，即相位相同、振幅增强和波形相似。利用这些反射波特征，可以确定和连续追踪反射标准层，识别各种波的类型，搞清波组之间的关系，解释时间剖面所反映的地质现象。

3. 解决的主要地质问题

二维地震勘探在初期主要解决断层和煤层赋存情况，在地震地质条件较好的地区，目前可以解决的主要地质问题是：

（1）查明落差大于等于10m的断层，提供落差小于10m的断点，平面摆动误差小于50m。

（2）查明幅度大于等于10m的褶曲，主要可采煤层底板深度误差不大于2%。

（3）查明新生界（第四系）厚度。

（4）探明直径大于30m的陷落柱、无煤带、煤层分叉合并，为回采工作面布置提供可靠的地质资料。

1.4.1.5　三维地震勘探

1. 三维地震勘探的特点

三维地震勘探是把沿测线观测的二维地震方法扩展到三维空间，通过面积测量技术获得反映地质体时空变化的三维数据体，如图2-1-9所示。利用该数据体，可以提取垂直剖面、时间切片和立体数据，以满足解释工作的需要，如图2-1-10所示。

垂直剖面分为三种，垂直于构造走向的剖面称为主测线剖面，通常表示为Inline方向；与主测线剖面相垂直的为联络测线剖面，通常表示为Crossline方向；实现地震资料

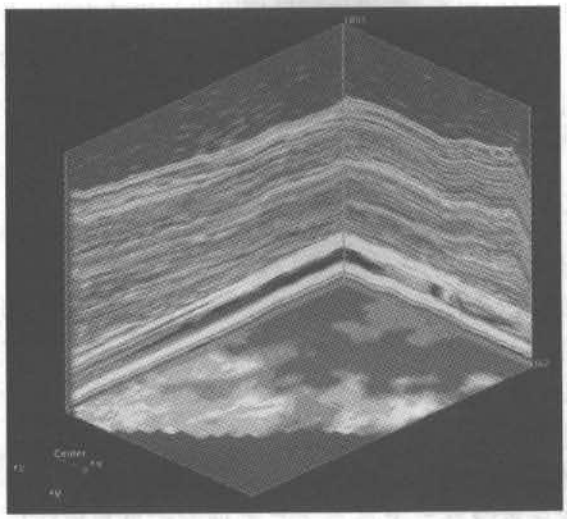


图 2-1-9 三维地震数据体

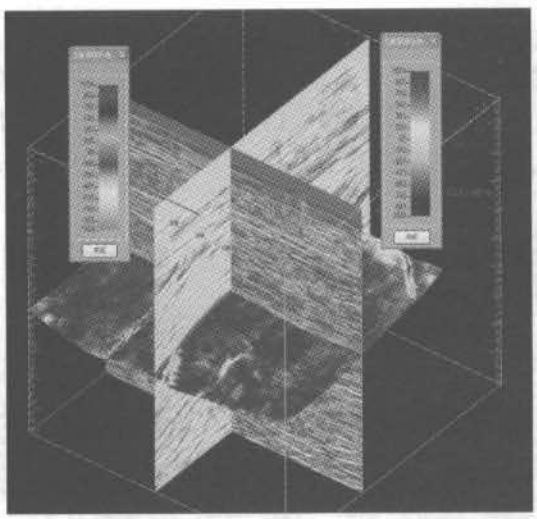


图 2-1-10 垂直剖面和地震切片

与地质资料直接对比而联结部分钻孔的测线称为联井测线，对应的剖面为联井剖面。

地震切片分为两种，水平切片是地下不同层位的信息在同一时间内的反映，它相当于某一等时面的地质图，即同一张切片里显示了不同层位的信息；沿层切片把地下同一层位的信息显示到一张切片上。

2. 解决的主要地质问题

目前，煤田三维地震勘探技术已经成为详细查明小断层、小褶曲、陷落柱、采空区、冲刷带等重要地质资料的主要手段。但是，其整体水平仍处于构造解释阶段，尚不能解决煤矿安全生产中的所有地质问题。

在地震地质条件较好的地区，三维地震勘探可以解决的主要地质问题是：

（1）查明落差大于等于 5m 的断层，提供落差小于 5m 的断点，平面摆动误差小于 30m。

（2）查明幅度大于等于 5m 的褶曲，主要可采煤层底板深度误差不大于 1.5%。

（3）查明新生界（第四系）厚度。

（4）探明直径大于 50m 的陷落柱、无煤带、煤层分叉合并及煤层厚度变化（误差小于 1m），探明面积大于 2000m^2 的火成岩侵入体。

近年来，在应用煤田三维地震勘探成果的过程中也暴露出许多问题，主要包括：

（1）受上覆厚煤层屏蔽的下伏煤层反射波能量弱。

（2）在 -800m 以深勘探区域的深部煤层应用受到影响。

（3）受水体、村镇等地面条件制约严重。

3. 煤矿三维地震数据动态解释技术

煤矿三维地震数据动态解释技术是指“三维地震信息与煤矿生产过程中所获得的矿井地质信息相互融合”，服务于煤矿生产阶段，彻底改变了传统的三维地震解释仅服务于煤矿勘探阶段的模式，提高了三维地震成果的利用水平，能够解决更多的地质问题。

4. 应用实例

1）探明陷落柱

2002 年，淮南矿业集团谢桥矿东二采区进行三维地震勘探，在资料解释时，发现该区内有两个地质异常体，即 1 号、2 号隐伏构造体，如图 2-1-11 和图 2-1-12 所示。后经地面钻孔及井下巷道验证为陷落柱，首次确定了淮南地区有陷落柱的存在。

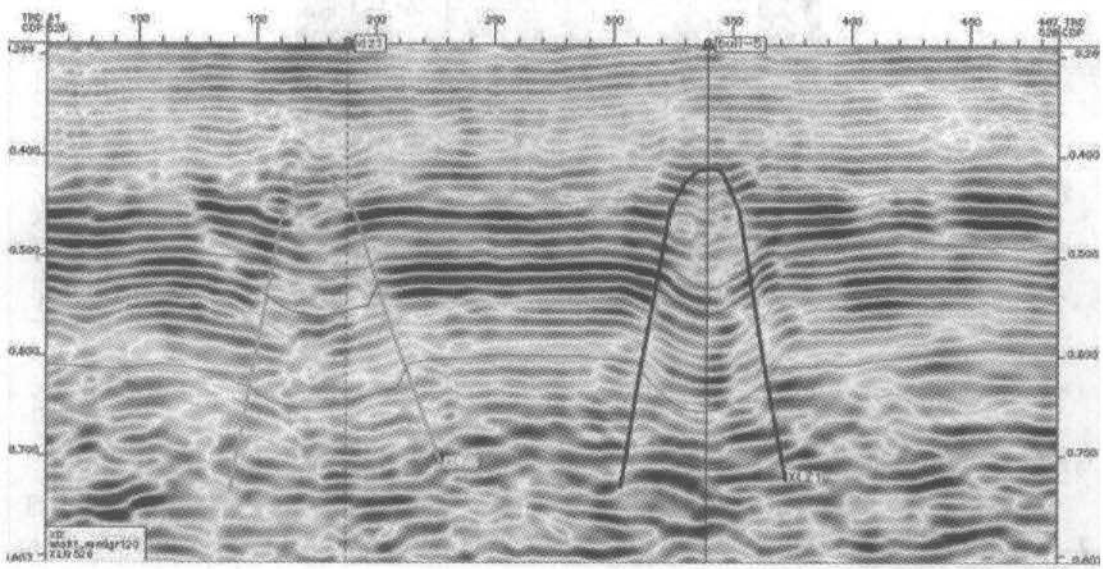


图 2-1-11　陷落柱在地震剖面上的显示

2）探明新构造

淮南矿业集团顾北煤矿和顾桥煤矿进行的三维地震勘探中，陆续在新生界地层中发现

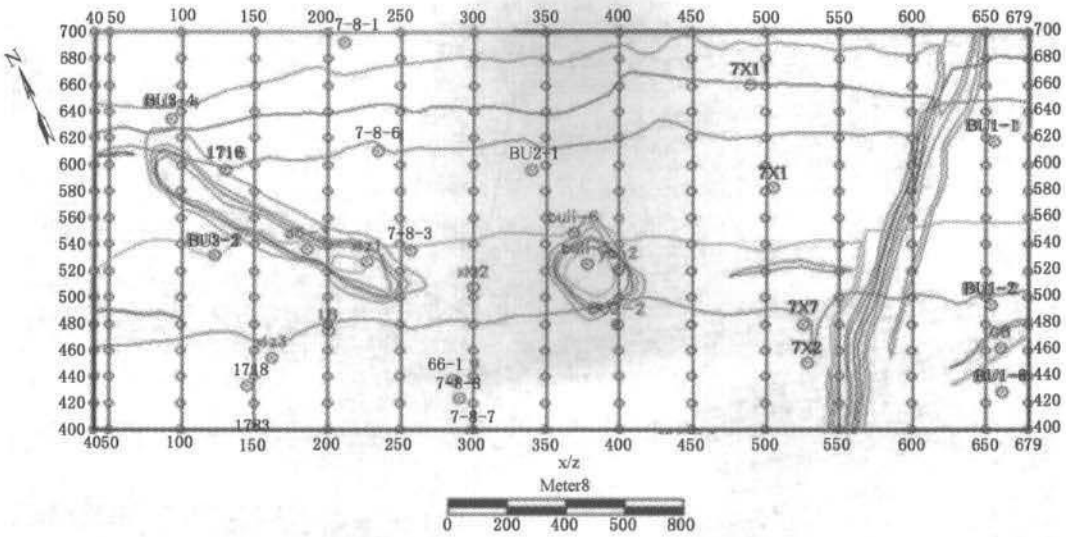


图 2-1-12 陷落柱的平面位置

了断距较大的断层，这是过去地质勘探未曾见到的地质现象，如图 2-1-13 和图 2-1-14 所示。为了进一步探明该地质现象，设计了 3 个地质钻孔，其中补 5 孔见破碎带，深度为 518.9~632.8m，与三维地震勘探资料基本吻合。通过对地质资料的分析，发现新生界地层中的断层既有正断层，也有逆断层，表现为新构造运动形迹，同时也表现出老构造的继续或复活现象。

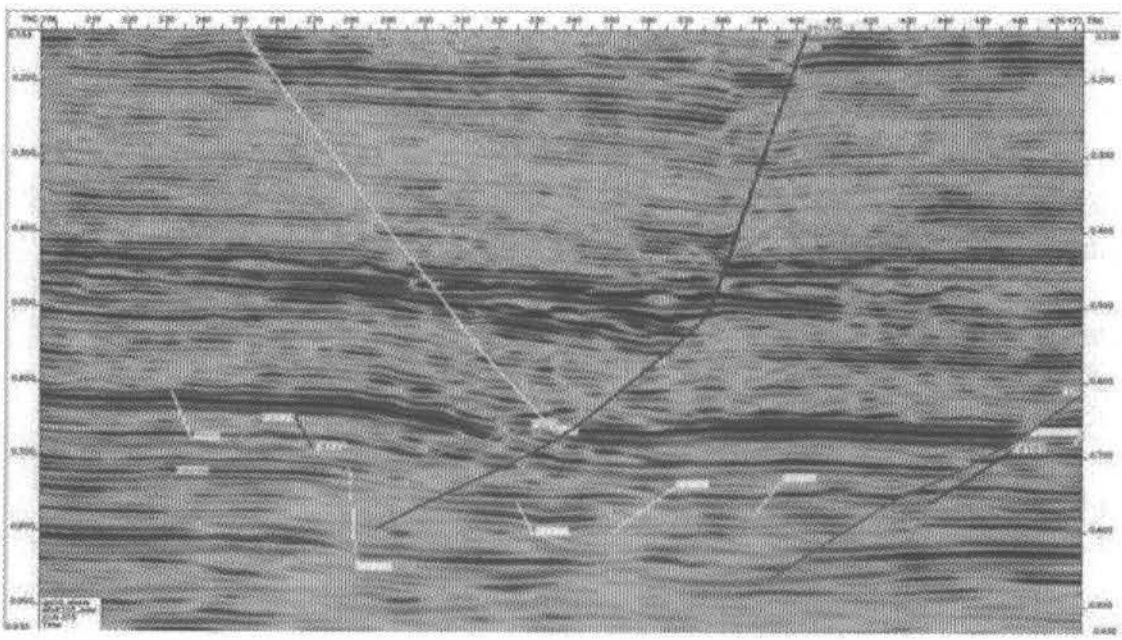


图 2-1-13 新生界地层中的正断层

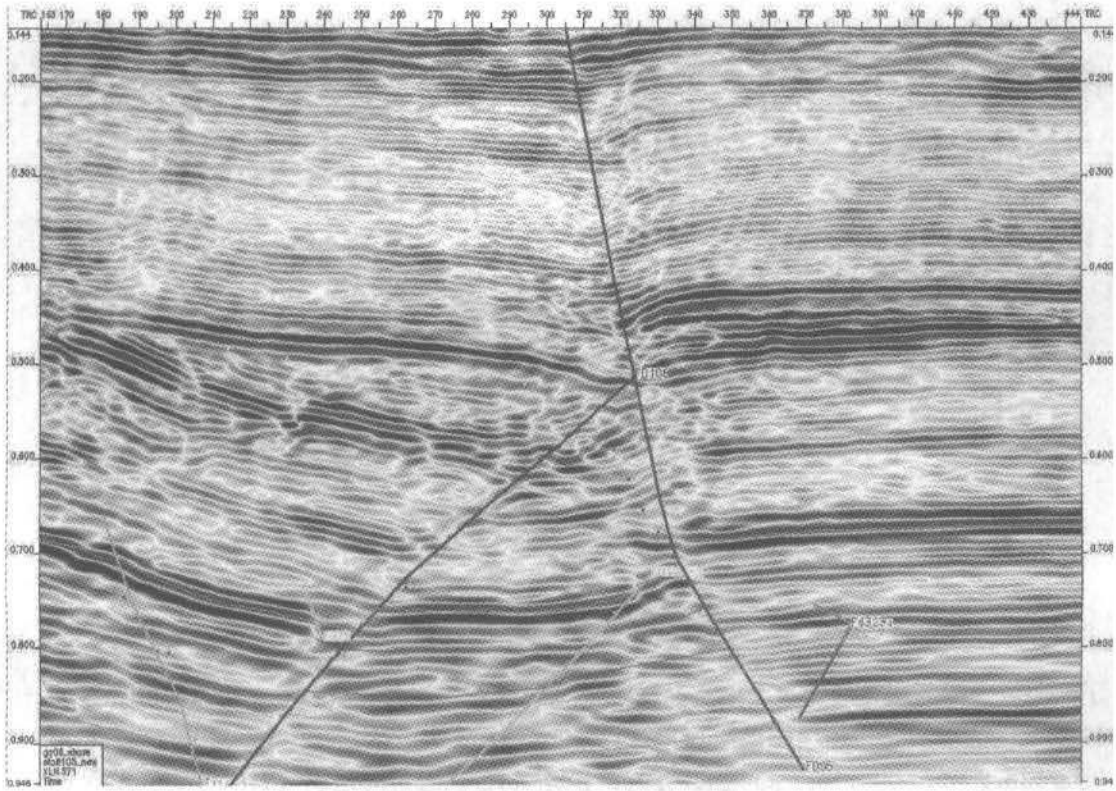


图 2－1－14　新生界地层中的逆断层

1.4.2　岩性地震勘探

1.4.2.1　构造地震勘探与岩性地震勘探

影响深部煤层开采地质条件的因素很多，如构造、水文、瓦斯、煤层顶底板条件等。目前，主要的成熟勘探手段是地震勘探，也仅限于解决构造问题。而煤矿深部安全开采中的主要地质问题，包括煤层顶底板水文地质条件、瓦斯突出条件与力学性质均属岩性勘探范畴。

构造地震勘探主要利用地震波的运动学特征，即利用地震波的旅行时和波速，计算出地层分界面上各点的埋藏深度，从而确定出地层的构造形态。岩性地震勘探除了利用地震波的运动学特征外，还利用地震波的动力学特征来研究地层的岩性。地震属性技术和地震反演技术是岩性地震勘探的重要手段。

近年来，随着三维地震勘探方法的进步与发展，煤矿中也引进了高密度三维地震勘探、三维三分量的地震勘探方法。

1.4.2.2　地震属性技术

地震属性的分类没有统一的标准，结合煤田地震勘探的特点，根据运动学/动力学特征把地震属性分成 8 个类别：时间、振幅、频率、相位、波形、相关、吸收衰减、速度。地震属性的类型很多，要根据解决的地质问题来选择相应的地震属性。

地震属性技术的关键在于属性提取，提取方式包括同相轴属性提取和数据体属性

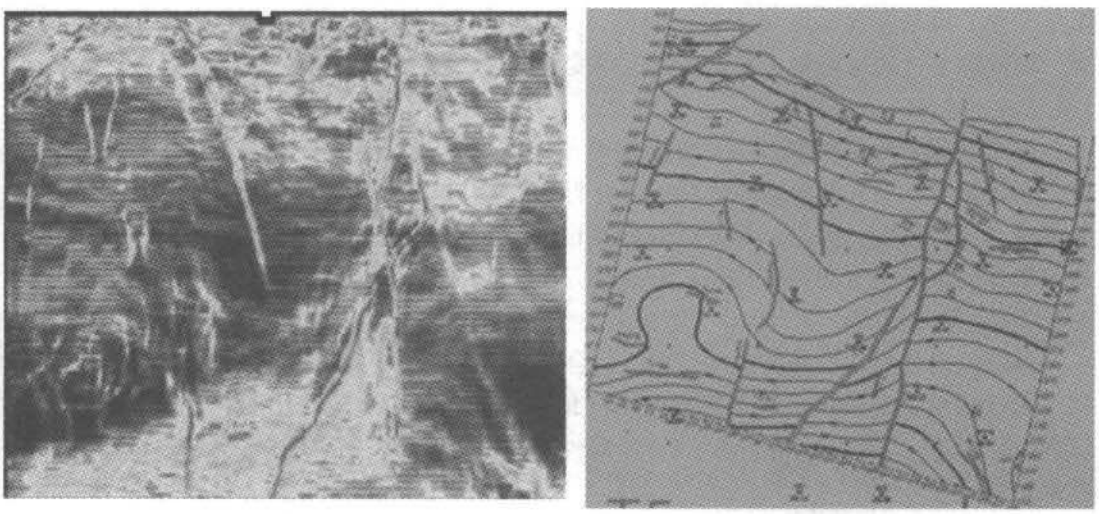
提取。

煤层反射波中含有大量地质信息，无论是煤层的构造、结构或岩性变化都会引起地震属性的变化。

在煤田地震勘探中，煤层中的小构造异常、结构和岩性变化，用常规的人工识别方法往往是无能为力的。但是，利用地震属性的变化来区分构造、进行煤层结构和岩性解释是可行的。

地震属性技术是煤矿开发阶段的重要手段，可用于识别断层及其他构造、预测奥陶系灰岩岩溶裂隙发育带、解释煤层变薄冲刷带、预测瓦斯富集带等，应用前景十分广泛。

图 2－1－15 是淮南矿业集团张集煤矿西三采区 13－1 煤层的沿层相干切片与底板等高线图的对比，可以看出小断层的相关属性非常明显。



(a) 沿层相干切片　　(b) 底板等高线图

图 2－1－15　相干沿层切片与底板等高线图的对比

1.4.2.3　地震反演技术

地震反演技术是岩性地震勘探的重要手段之一。根据钻孔测井数据纵向分辨率很高的有利条件，对井旁地震资料进行约束反演，并在此基础上对孔间地震资料进行反演，推断地层岩性在平面上的变化情况。这样就把具有高纵向分辨率的已知测井资料与连续观测的地震资料联系起来，实行优势互补，大大提高三维地震资料的纵、横向分辨率和对地下地质情况的勘探研究程度，在煤矿深部安全开采中发挥重要作用。

煤田地震反演工作起步较晚，处在叠后地震反演的研究和初步应用阶段。近年来，地震反演技术应用于多家煤矿，主要包括：①提高弱反射煤层的可检测性；②利用反演剖面提供的岩性信息来划分地层，研究煤层顶板的稳定性；③确定奥陶系灰岩顶部岩层中的含、隔水性，查明含、隔水层的空间分布和厚度分布；④圈定火成岩侵入煤层的范围；⑤预测煤层厚度；⑥预测煤层瓦斯富集带。

1. 确定奥陶系灰岩顶部含、隔水层的空间分布和厚度分布

传统煤田地质学认为，奥陶系灰岩岩溶地下水水压高，易对下组煤顶、底含水层产生垂向顶托或侧向补给，且补给水源充足，对采煤威胁最大。因此，长期以来下组煤层是开采禁区。

在临沂矿业集团新驿煤矿下组煤水文地质补充勘探工作中，利用地震反演技术查明部分水文地质条件，主要包括奥陶系顶部含、隔水层的空间分布和厚度分布。研究成果突破了传统煤田地质学理论，表明奥陶系灰岩不完全是一个含水层，其顶部就有隔水层存在，可以为建立矿井突水的水量预测模型提供基础资料。

2. 预测煤层厚度分布

彬长煤田大佛寺井田含煤 4 层，其中 4 煤层可采，厚度变化范围为 1.93 ~ 17.04m，平均 12.37m，属特厚煤层。在常规地震剖面上，4 煤层对应的 T_4 波振幅主要是由煤层顶、底板的反射系数决定的，无法辨别煤层厚度的变化。而反演地震剖面反映了地层的波阻抗变化，煤层在含煤地层中特征明显，其波阻抗值很低，与围岩存在巨大的阻抗值差异，因此能够比较准确地分辨出 4 煤层厚度的变化。

1.4.2.4　煤层气地震勘探

煤层气地震勘探属于岩性地震勘探的范畴。在影响煤层气富集的 5 个主要地质因素中，利用地震资料和其他地质资料可以查明落差大于 5m 的断层及其他构造分布、煤层埋藏深度、煤层厚度。但是，不能对构造煤的分布和煤层顶底板的透气性作出评价。煤层气地震勘探的核心是查明构造煤的分布、煤层顶底板中裂隙裂缝的发育方向和密度（围岩的透气性）。

根据国内外油气勘探的成功经验并结合煤层气地震勘探的特点，中国矿业大学提出利用“两个理论、三项技术”来指导煤层气地震勘探。两个理论是指双相介质理论和各向异性介质理论，三项技术是指 P 波方位属性技术、P 波方位 AVO 技术和弹性波阻抗反演技术。

1.4.3　电法勘探原理与方法

电法勘探是根据地壳中各类岩石或矿体的电磁学性质（如导电性、导磁性、介电性）和电化学特性的差异，通过对人工（或天然）电磁场（或电化学场）的空间分布规律及时间特性的观测和研究，来勘查地质构造和寻找有用矿产的一类物探方法。电法勘探方法较多，按电磁场的时间特性可分为直流电法（又称电阻率法、时间域电法）、交流电法（频率域电法）、过渡过程法（脉冲瞬变场法）。

直流电法是以地壳中不同岩（矿）石的电阻率差异为物质基础，通过观测、研究人工建立的稳定电流场在地下岩（矿）石中的分布和变化规律来找矿、研究地质构造和寻找地下水的一种电法勘探的分支方法。

交流电法是电法勘探的重要分支方法。该方法利用岩（矿）石的导电性、导磁性和介电性的差异，应用电磁感应原理，观测和研究人工或天然形成的电磁场的分布规律（频率特性和时间特性），进而解决有关的各类地质问题。

目前，用于煤矿地质工作的直流电法勘探方法主要有电阻率法、充电法、激发极化法（IP）；用于煤矿地质工作的交流电法勘探方法主要有可控源音频大地电磁测深法（CSAMT）、EH4 电导率成像系统、瞬变电磁法等。

1.4.3.1　含煤地层的主要电学特征

地下岩层电学性质的差异是电法勘探的前提，研究岩石的导电性有利于理解电法勘探的原理。不同岩石的电阻率变化范围很大，常温下可从 $1.0\times10^{-8}\Omega\cdot m$ 变化到 $1.0\times10^{+15}\Omega\cdot m$。

含煤地层主要由砂—泥质岩石和碳酸盐岩石组成，它们的电性特征分别讨论如下（表2-1-11）：

表2-1-11 常见岩石电阻率 Ω·m

分类	岩石名称	天然岩石	干燥岩石
沉积岩	黏土	0.5~30	
	泥页岩	1.0×10^{3}	1.0×10^{4}
	长石砂岩	6.8×10^{3}	1.0×10^{4}
	砂岩	3.5×10^{4}	3.9×10^{5}
	石灰岩	2.1×10^{4}	2.3×10^{7}
变质岩	角岩	6.1×10^{3}	6.0×10^{7}
	片麻岩	6.8×10^{4}	3.2×10^{6}
	石英岩	4.7×10^{6}	
火成岩	花岗岩	1.6×10^{4}	3×10^{12}
	玄武岩	2.3×10^{4}	1.7×10^{7}
	橄榄岩	3.0×10^{3}	
	石英闪长岩	2.0×10^{4}	1.8×10^{6}

（1）砂—泥质岩石。砂—泥质岩石包括碎屑岩类和黏土岩类。碎屑岩由碎屑颗粒、胶结物、泥质及含水孔隙组成。一般，碎屑岩的电阻率随其粒度的减小、分选性变好、泥质含量增高、胶结程度变差和孔隙中水含盐量的增大而降低。

砂—泥质岩石电阻率由小到大的顺序是：泥岩或黏土＜页岩＜细砂岩或粉砂岩＜中砂岩＜粗砂岩＜砾岩。

（2）碳酸盐岩石。碳酸盐岩石主要以纯化学方式沉淀生成。这类岩石的颗粒极细，粒间几乎没有孔隙，故其电阻率通常很高，可达 $5\times(10^{3}\sim10^{4})\ \Omega\cdot m$。然而，当碳酸盐岩石在外因作用下形成的裂隙或溶洞充水时，其电阻率将会明显降低。

（3）煤的电阻率与煤化程度、煤岩成分、矿物杂质含量以及水分等因素有关。煤化程度很低的褐煤，常含有较高的水分和溶于水的腐植酸离子，故其电阻率较低。随着煤化程度的加深，其电阻率明显增高。烟煤常具有较高的电阻率，但随煤变质程度的加深，电阻率减小，过渡至无烟煤，电阻率急剧下降。无烟煤常具有良好的电子导电性，因而其电阻率很低，一般在 $1\Omega\cdot m$ 以下。

综上所述，电阻率是表征岩石和煤性质的重要物理参数，岩石和煤的电阻率不同程度地依赖于它们的成分、结构、所含水分等因素，随着影响因素的改变而在较大范围内变化。因此，在一定的地质、物性条件下，可以通过测定岩石或煤的电阻率来解决煤矿生产中遇到的许多地质问题。

1.4.3.2 直流电法基本理论与方法

直流电法是根据在地表观测场值的变化来了解地下地质体分布的，地下不均匀体的存

在和分布只有在地表引起电场明显变化时才能观测出来。介质中的电流分布越深，勘探深度也就越大，对深层不均匀体的反映也越明显。

根据电场性质、观测装置形式及观测方式，直流电法分为多种方法。常用方法及其在煤矿地质勘查中的应用范围见表 2－1－12。

表 2－1－12　直流电法分类及主要应用范围

场的性质			主要应用范围
人工场	电阻率法	电测深法	探测基岩埋深、含（隔）水层厚度及埋深，找煤及探查地质构造
		电剖面法	追索断层破碎带和煤层露头、调查岩溶发育带、探查地质构造
	充电法		探测良导体（岩溶、含水巷道等）的形态、分布范围
	激发极化法		探测地下孔隙、裂隙水分布范围
天然场	自然电场法		探测浅层地下水运动规律

1.4.3.3　电测深法

电测深法又称为垂向电测深法，是目前直流电法中应用最多、最广泛的一种方法。

电法资料解释分为定性解释和定量解释。定性解释的目的在于初步了解测区电性层的特征及其分布规律、基底起伏、构造特征及断层的分布情况等，以期对测区的电性特征有一概括的了解，为资料的定量解释作准备。定性解释的任务就是根据测区电测深曲线的特点，绘制并分析有关的定性图件。这些图件主要包括电测深曲线类型分布图、视电阻率断面图、纵向电导 S 的剖面图或平面图等。

电测深曲线的类型取决于地电断面的性质。因此，曲线类型的变化反映地电断面的特征，如地层的超覆与尖灭、构造类型等。

1.4.3.4　其他直流电法

1. 电剖面法

电剖面法是用以研究地电断面横向电性变化的一类方法。一般采用固定的电极距并使整个电极装置沿着测线平移，这样便可观测到在一定深度范围内视电阻率沿着剖面的横向变化。相对于电测深而言，电剖面法更适用于探测产状陡立的高、低阻体，如划分不同岩性的接触带、追索断层及构造破碎带等。

电剖面法的主要装置形式有：对称联合剖面法、四极剖面法、偶极剖面法和中间梯度法等。

由于对称四极剖面装置具有不需要无穷远极、工作装置轻便、野外实测效率高等特点，在水文及工程地质调查中多用于普查、探测基岩的起伏、构造破碎带及高阻岩脉等。在合适的条件下还可以圈定岩溶的分布范围、采空区范围及追索古河道等。

2. 高密度电阻率法

高密度电阻率法是集电测深和电剖面法于一体的一种多装置、多极距的组合方法，它具有一次布极即可进行多装置数据采集以及通过求取比值参数而能突出异常信息的特点，也可以认为是断面测量。

高密度电阻率法是为满足浅部精细勘查的实际需要而研制的一种电法勘探系统。现场测量时只需将电极设置在一定间隔的测点上，测点密度远较常规电阻率法大，一般从 1 ~

10m。然后用多芯电缆将其连接到程控式多路电极转换开关上，电极转换开关是一种由计算机控制的电极自动换接装置，它可以根据需要自动进行电极装置形式、极距及测点的转换。最新的高密度电法仪已经可以对测量结果进行自动存储和现场处理。

3. 充电法

充电法是在水文地质调查中常用的一种人工直流电法。该方法主要研究对象是相对围岩为良导体或导电性较好的地质体，目标是查明充电体的空间分布形态、产状、延伸等地质问题。

充电法适用于探测良导电地质体，由于充水岩溶（或巷道）与其围岩相比可近似为导体，所以充电法常用于探测有已知露口的岩溶、废弃充水巷道、老窑（采空区）范围以及确定低阻煤层的延伸情况等。

4. 激发极化法

激发极化法（简称激电法）是通过研究地下电化学作用引起的随时间缓慢变化的附加电场（被称为激发极化电场），以不同岩、矿石激发极化效应之间的差异为物质基础，通过观测和研究大地激电效应，以探明地下地质情况的一种电法勘探方法。

激电法的优点是仪器简单，通常观测断电几百毫秒后的二次场，电磁耦合小，工作方法、理论解释简单。特别是激电测深法对水的反映直观，受地形影响小。理论表明，假若地质体的激发极化特征是均匀的、各向同性的，那么极化率 η，测深曲线将为一条直线，与岩性、电阻率、地形无关。因此，在河南、山西等省的丘陵地区找水工作中得到广泛应用。

时间域激电法的缺点是对大地噪声、工业游散电流、极化不稳等抗干扰能力差。由于二次场值较小，要提高信噪比，要求大电流供电，由此引起装备笨重、效率低、成本高。为了克服此缺点，发展了频率域激电法。特别是中南工业大学的发展了双频道激电法，提出了伪随机信号复电阻率法，随后又发展了伪随机三频电磁法。对这些方法既进行了理论研究，研制了相应仪器，在金属勘查方面进行了成功的应用和推广，但在找水工作中也有应用。

1.4.3.5 瞬变电磁测深法

瞬变电磁测深法（Transient Electromagnetic Method，简称 TEM）是利用不接地回线或电极向地下发送脉冲式一次电磁场，用线圈或接地电极观测由该脉冲电磁场感应的地下涡流产生的二次电磁场的空间和时间分布，来解决有关地质问题的时间域电磁法。

1.4.3.6 可控源音频大地电磁测深法

可控源音频大地电磁法（CSAMT）是 20 世纪 70—80 年代在大地电磁法（MT）和音频大地电磁法（AMT）的基础上发展起来的可控源频率测深方法，它具有探测深度大、横向分辨能力较强、观测效率高，兼有测深和剖面研究双重特点，是研究深部地质构造、寻找隐伏矿和地下水资源勘查的一种有效手段。

CSAMT 是一种利用接地水平电偶源作为信号源的一种人工电磁测深法。其原理和常规大地电磁测深法类似。近年来，由于 CSAMT 法抗干扰性能强，能在工业游散电流极强的矿区工作，加之其勘探深度相对较大、不受高阻层屏蔽以及工作的成本低廉等优点，在深部煤矿采区水文勘查中也得到较多应用并取得了良好效果。

1.4.3.7 EH4 电导率成像系统

EH4 连续电导率成像系统是由美国 GEO METRICS 和 EMI 公司联合生产的硬、软件装

置。该系统属于可控源与天然场源相结合的一种大地电磁测量系统。

EH4 采用了天然场与人工场相结合的工作方式，由可控源补充局部频段信号较弱的天然场，来完成整个工作频段的测量；发射装置轻便，便于野外多次移动；时间域多次叠加采集数据，提供了丰富的地质信息；实时数据分析，确保观测质量；现场给出连续剖面的拟二维反演结果，较直观；勘探深度较大，分辨率高。

1.4.3.8　电法勘探仪器装备

电法勘探方法多，对应的仪器设备种类也很多。主要分为两大类，一是直流电法类（包括激电法 IP），二是交流电法类。

1. 直流电法仪器设备

目前国内有多个厂家生产不同类型的直流数字电法仪，基本能满足不同电阻率法测量的需要，主要厂家有重庆地质仪器厂、北京骄鹏工程技术有限责任公司、重庆万马物探仪器有限公司、渭南煤矿专用设备厂等。

2. 交流电法仪器设备

（1）专业设备。加拿大 Geonics 公司的 EM－37、EM－67T；澳大利亚 Alpha GeoInstruments 公司的 terraTEM 瞬变电磁系统；地矿部物化探研究所的 WDC－2 智能化瞬变电磁仪；西安物化探研究所的 LC 瞬变电磁系统；长沙智通新技术研究所生产的 SD－2 型瞬变电磁仪。

（2）多功能电磁站。美国 Zonge 公司的 CDP－32 Ⅱ系统和加拿大 Phoenix 公司的 V8 多功能电测站，可以进行瞬变电磁法（TEM）、可控源音频电磁测深（CSAMT）及频谱激电等多种方法的测量工作。

1.4.4　各种电法勘探方法的特点与应用

不同电法勘探方法由于所研究地球物理场及观测方式的不同，在解决地质问题能力、野外测区地质条件适应性及工作效率等方面有较大差异。在实际工作中，必须根据地质任务的地电条件，合理选择电法方法，做到扬长避短。必要时可以采用多种方法综合应用，以便优势互补。

1.4.4.1　主要煤矿电法勘探方法的特点

1. 电阻率法特点

（1）电阻率法理论上比较完善，资料解释相对简单，技术较成熟。

（2）电阻率法为体积勘探，对浅层的地质异常体分辨能力强，但随勘探深度的加深，分辨能力急剧下降。

（3）对高阻、低阻地质异常体均有良好反映。

（4）电阻率法受浅部高阻屏蔽影响较大，不适于地表干燥的沙漠地区工作。

（5）电阻率法通过扩大供电极距提高勘探深度，因此地形影响大，不适合地形复杂地区的勘探工作，同时劳动强度大，生产效率较低。

2. 瞬变电磁法特点

（1）观测断电后的纯二次场，克服了复杂的一次场补偿问题，同时受地形影响较小。

（2）单脉冲激发就可得到多信息的整条瞬变电场衰减曲线，通过加大发射功率和多次叠加，可大幅度地提高信噪比，加大勘探深度。

（3）采用不接地回线装置，适宜于各种较复杂地形环境下的野外工作，特别是直流

电法无法施工的沙漠地区。

(4) 由于瞬变电磁法的探测深度仅取决于大地电阻率和仪器的采样时间，故可通过调节发送功率、仪器采样时间，方便地控制探测范围。

(5) 采用不同的装置形式，可以相应地提高横向、纵向分辨能力。

(6) 对发送回线的形状、方位和点位要求不严，测地工作简单，可通过流水作业达到很高的工作效率。

(7) 在高阻围岩地区不会产生地形起伏的假异常，在低阻围岩区，由于是多道观测，早期场的地形影响也较易分辨。

3. CSAMT 法的特点

CSAMT 法同直流电法勘探相比有以下特点：

(1) 使用可控制人工场源，它的信号强度比天然场要大得多，而且测量参数为电场与磁场的比值，减少了外来的随机干扰，因此可在较强干扰区的矿区及外围或在城市及城郊开展工作。

(2) 基于电磁波的趋肤深度原理，利用改变频率而非改变几何尺寸进行不同深度的电测深，大大提高了工作效率，减轻了劳动强度，一次发射，可同时完成 7 个点的电磁测深。

(3) 横向分辨率高，可灵敏地发现断层。除方法本身的原因外，通过增加接收频点和采用整条断面反演，可有效提高分辨能力。

(4) 地形相对影响小。如对原始数据作必要的数据处理，可使地形影响降至最低。

(5) 勘探深度范围大，可达 1～2km（不同仪器系统的探测深度不同）。

(6) 高阻屏蔽作用小。CSAMT 法使用的是交变电磁场，因而它可以穿过高阻层，特别是高阻薄层。有些无法用直流电法探测到的高阻薄层下的地质体，而用 CSAMT 法能得到很好反映。

尽管 CSAMT 法有上述优点，但该法依然有自身的缺点，主要表现在两个方面：

(1) 存在近场区问题。由于 CSAMT 法的仪器设备发送功率有限，为保持足够强度的观测信号，收发距相对趋肤深度不是很大时，电磁场进入过渡区或近区。然而，卡尼亚电阻率计算公式是根据远区（或称波区）条件导出的。在过渡区或近区，卡尼亚视电阻率 ρ_s 发生畸变，即使在均匀大地条件下，算出的也明显偏离大地的真电阻率，这称为非波区场效应或近场效应。为了克服这一现象，需要对原始数据进行近场校正。

(2) 存在静态效应。静态效应是由于地表浅层存在较大的电性差异而引起的一系列高阻或低阻密集带，需要通过空间滤波的方法进行静态改正。

4. EH－4 电磁成像系统特点

(1) EH－4 电磁成像系统采用人工场源与天然场源共同作用的方式，人工场源弥补了天然场源在某些频段的不足，使该系统在 10Hz～100kHz 的范围内获得连续的有效信号。人工场源对解决浅部地质问题尤为有用。

(2) 测量系统和发射装置都比较轻便，测量速度快。该系统效率高于直流电法。

(3) 该系统具有较高的分辨率，为探测某些小的地质构造和区分电阻率差异不大的地层提供了可能性。

(4) 该系统不受高阻盖层的影响，在玄武岩覆盖地区、基岩大面积出露地区，甚至

在某些沙漠覆盖区，均能有效地探测地下深部地质信息。

1.4.4.2　主要煤矿电法勘探方法的应用

电法勘探应用范围非常广泛，在煤炭资源勘查方面的地质任务是：

（1）圈定含煤盆地、储煤构造和煤系地层的分布范围，提供新生界或煤系上覆地层厚度，煤系基地起伏和埋藏深度。

（2）控制褶曲及落差较大断层位置及其延展情况。

（3）在薄覆盖区追踪隐伏煤层露头位置。

（4）圈定煤层自燃后火烧区或正在燃烧煤层的范围、边界。

近年来，电法已经从以前找煤工作转为煤矿高效、安全生产服务，在煤矿地质、水文地质方面的主要地质任务是：

（1）勘探工作区的构造形态，断层、褶皱等地质构造的产状，追踪地质构造的延伸和展布方向，为划分水文地质单元、研究水文地质问题提供基础地质资料。

（2）探明矿区主要含水层和隔水层的埋深、层厚、产状和隐伏导水通道的位置。

（3）探明采区主要控水构造及岩溶、裂隙发育带、陷落柱的位置，并对其富水性进行评价。

（4）探明采煤工作面顶、底板岩层或掘进巷道前方隐伏导水通道和含水体的位置。

（5）探明老窑采空区，圈定采空区积水范围。

（6）防治水工程质量评价，如注浆效果检测等。

为了提高电法勘探的精度和效率，在进行采区三维地震勘探时也进行水文电法勘探，此举不但可节省电法工作的测地工作，更重要的是将地震勘探对构造的精确定位与电法对含水性敏感结合起来综合解释，提高了水文勘探的可靠度，费用也有所降低。

目前，主要煤矿电法勘探方法的特点和主要应用见表 2－1－13。

表 2－1－13　主要煤矿电法勘探方法的特点和主要应用

方　法	特　　点	主要应用范围
直流电法	1. 理论方法成熟，施工技术简单，抗干扰； 2. 体积效应影响大，随着勘探深度的增大，分辨率急剧下降； 3. 施工效率低，工作量大	主要用于浅部（小于 500m）的水文勘探工作，如第四系含水层、覆盖层厚度、断层裂隙带、岩溶、采空区等的勘查
瞬变电磁测深法	1. 体积效应小、分辨率高、施工效率高； 2. 能穿透高阻屏蔽层，勘探深度大； 3. 抗干扰能力比直流电法低； 4. 受地表人文设施干扰大； 5. 存在浅部勘探盲区	主要用于中深部（小于 1000m）水文勘探工作，如砂岩富水区、断层裂隙带、岩溶裂隙、采空区等的勘查
CSAMT	1. 能穿透高阻屏蔽层，勘探深度大； 2. 横向分辨率高、施工效率高； 3. 受地表不均匀体影响大（静态效应）； 4. 存在过渡区； 5. 资料处理解释复杂	可用于中深部（可达 1500m）水文勘探工作，如砂岩富水区、断层裂隙带、岩溶裂隙、地热等的勘查

表 2-1-13（续）

方 法	特 点	主要应用范围
EH-4	1. 能穿透高阻屏蔽层，勘探深度大； 2. 纵、横向分辨率高、施工效率高； 3. 在矿区易受干扰	主要用于中浅部（小于800m）水文勘探工作，如砂岩富水区、断层裂隙带、岩溶裂隙、采空区等的勘查

1.5 地球物理测井

地球物理测井，简称测井，又名矿场地球物理或钻井地球物理。它是应用地球物理方法划分钻孔剖面、评价地层，进而解决某些地质问题的一门技术科学，是地质勘探和工程勘探的重要手段。地球物理测井是利用钻孔剖面中各岩层的不同物性来划分地质剖面，确定煤层的层位厚度和结构，进行地层对比，以解决构造和沉积方面的问题。它的种类繁多，用于煤田的主要是电法测井和放射性测井。测井的广泛应用可以使钻探少取心或不取心，从而提高了钻探的效率和降低了勘探的成本。

按勘探对象的差异，测井分为油田测井、煤田测井、金属与非金属测井、水文与工程测井，以及地基勘察测井等。由所利用的物理参数来分，可有电测井、核测井、声测井、热测井和磁测井等方法，如图 2-1-16 所示。

煤田测井
- 电法测井
- 放射性测井（核测井）
- 声测井
- 热测井（井温测井）
- 井斜与方位测井
- 矿井防爆测井
- 井径测井
- 地层倾角测井（岩层产状测井）
- 井内流体电阻率测井

图 2-1-16 煤田测井方法分类

目前，我国煤田采用的主要方法是：电测井方面有普通电阻率测井、侧向测井和自然电位测井；核测井方面是自然伽马测井、双源距密度测井、选择伽马-伽马测井和中子测井；声测井主要有声速测井、声幅测井等。但在实际生产中，应根据给定的任务和地质条件，选用相适应的方法组合探管。以陆相为主的煤系地层采用自然伽马、侧向测井、密度测井和井径等方法系列的补偿密度组合探管；以海相为主或海陆交互相的煤系地层采用自然伽马、侧向测井、密度测井、选择伽马-伽马和井径等方法系列的岩性密度组合探管；冲积层采用普通电阻率、自然电位和激发极化等方法系列的电法测井探管，甚至还需用中子测井曲线；需要作岩石强度分析，并与地震资料进行对比时，应选用声波测井探管；在测量钻孔内泥浆温度和电阻率时可用井温、井液电阻率测井探管。

测井获得的信息是其探测范围内来自目的层、泥浆、围岩，甚至邻层和其他影响干扰

的综合信息，需辨别真假、去伪存真，然后根据测井信息与地质信息的关系进行地质解释。此外，为了克服单一测井方法的局限性和不同岩性在测井响应范围内部分重叠而造成的多解性，以保证解释成果的可靠程度，应坚持多种物性参数综合解释的原则。

1.5.1　电法测井

电法测井是以研究岩石电阻率、电化学活动性和介电常数等电学性质为基础的一系列测井方法。它可分为电阻率测井、电化学测井、感应测井、激发极化测井和介电常数测井等，在煤田测井中应用较好的是电阻率测井与自然电位测井。

1.5.1.1　电阻率测井

电阻率测井基于在井中测量被钻孔穿过的矿、岩层的电阻率，并根据电阻率的差异，来划分钻孔地质剖面，研究和解决井下的一些地质问题。电阻率测井采用侧向测井。

1. 侧向测井的原理

由于石墨、无烟煤及大多数金属矿物的电阻率都非常低；绝大多数的造岩矿物，如石英、长石、角闪石、云母、方解石及白云岩等电阻率都很高。大多数火成岩电阻率比较高，沉积岩的电阻率低于火成岩和变质岩，以此原理可以区分煤与岩石，划分岩性。

2. 三侧向测井的原理

侧向测井为了减小泥浆分流和围岩影响，需要采用聚焦技术。三侧向测井不仅分辨率高，而且便于校正并求得地层的真电阻率，它被公认为电阻率测井中效果最佳、最有发展前途的测井方法之一，已广泛应用于石油测井和煤田测井。

1.5.1.2　自然电位测井

在电阻率测井的早期生产过程中，偶然发现当不供电时，在井内仍能测量到电位差，这种存在的自然电位差引起测井人员的重视，在此基础上产生了自然电位测井。

自然电位的产生与地层性质密切相关。根据自然电位的成因，利用自然电位曲线可划分煤层、大多数金属矿层，确定储集层和区分岩性。

（1）划分煤层。对于变质程度较高的煤层，如瘦煤、贫煤和无烟煤等，因为它们有较强的氧化反应，呈现较明显的自然电位异常，自然电位曲线可作为解释煤层的一种重要辅助曲线。除煤层之外，自然电位曲线还能有效地划分天然焦和金属矿层。

（2）确定储集层、区分岩性。在砂泥岩的剖面上，碎屑岩的自然电位是由地层水和泥浆滤液之间的扩散与扩散吸附作用形成的。这种扩散与扩散吸附作用的程度，不仅与地层水和泥浆滤液之间的盐浓度差有关，而且与岩石的性质有关。

（3）估计泥质含量。不少地区还采用数理统计的方法，建立自然电位异常幅度与泥质含量之间的定量关系，然后利用这种关系由自然电位异常大小来估计岩层的泥质含量。

（4）划分咸淡水界面。根据自然电位的异常正、负极性，来判别咸水层，并划分咸、淡水界面。此外，利用自然电位曲线能确定地层水电阻率和地层水的盐浓度等。

1.5.2　伽马法测井

电测井方法虽然是石油和煤田测井中被广泛应用的主要方法，但也具有一定的局限性。如当煤、岩电性差异不大时，采用电测井方法就很难区分煤层和岩层；又如，在下套管井段或遇有严重漏水的干井，则电测井更是无法进行。随着近代核物理的发展，人们发现利用岩石的放射性及各种核物理的性质也可以划分钻孔地质剖面，进一步分析研究岩层

和煤层，这就产生了核测井。

核测井是以岩层自然或人工放射性为基础的一类测井方法，它又称为放射性测井。核测井种类较多，按其探测的射线类型来分，可分为伽马法和中子法两大类。伽马法包括自然伽马、密度测井、选择伽马－伽马和岩性密度等测井方法；中子法包括中子－伽马、中子－中子、中子俘获伽马能谱等测井方法。这些方法不但在油田中得到了广泛的应用，其中许多方法在煤田勘探中也取得了良好的效果，放射性测井已成为煤田测井中不可缺少的方法之一，其重要性往往超过电测井。效果较好的是人工伽马测井。

1.5.2.1 密度测井

密度测井是以康普顿效应为理论依据，研究地层对伽马射线的散射和吸收特性，通过在钻孔中测定地层的散射伽马射线强度解决地质问题的一种人工伽马测井方法。理论与实践证明，当所使用的伽马源的能量为中等时，散射伽马射线强度与地层密度有密切的关系。

由于煤系地层中煤层与岩层有明显的密度差异，因而密度测井是判别煤层的最有效方法。不仅如此，它还为计算岩石孔隙度和预测煤层灰分、水分，以及研究岩石力学性质提供必需的密度资料，成为石油测井、煤田测井不可缺少的重要方法之一。煤的密度较小，而其他岩石密度较大，它们二者能明确区分。密度测井的应用如下：

（1）解释煤层、区分岩性及划分钻孔地质剖面。煤系地层中以煤层的密度为最小，一般在1.15～1.80g/cm^3，而岩层的密度为2.00～3.70g/cm^3。在煤岩之间可形成0.9～1.5g/cm^{3}的密度差。因此在密度测井曲线上，煤层常以呈现显著的异常，成为煤田测井中解释煤层最有效的方法。

（2）确定岩层的孔隙度。为了计算储集层的水、油、气的含量，必须确定储集层的孔隙度，这是石油测井、水文与工程测井中一项重要任务。密度测井是根据岩石密度与孔隙度的密切关系确定地层孔隙度。

（3）划分岩溶、裂隙发育带和破碎带。岩溶、裂隙带或破碎带往往是岩体因地质作用而形成的，在其溶洞、裂隙或裂缝中，不论充满气体、流体或充填泥质矿物，密度急剧下降，在密度测井曲线上产生明显异常，有利于划分岩溶、裂隙发育带和破碎带。

（4）研究煤的灰分和发热量。煤岩化验资料证明，煤的密度与煤的灰分、水分有关，灰分的变化又会影响煤的发热量，这是密度测井确定煤灰分与发热量的依据。在同一个矿区，当煤种固定、水分较少时，煤的密度主要取决于灰分，且随灰分增加而增大。煤中灰分增加，相当于纯煤所占的分量减小，即煤的碳与氢含量降低，故煤的发热量是随灰分的增加而减小，统计资料也证明了这个规律。

（5）计算岩石力学参数。利用密度、电阻率、井径、声波测井曲线与岩样试验资料，可以解释岩石原生状态下的力学特性。吉林省煤田地质公司在霍林河露天矿利用测井资料，为采掘工艺设备选型及边坡稳定性提供了依据。中国矿业大学利用测井资料作出煤层顶、底板岩石力学参数等值线图，为煤矿设计、巷道掘进与支护提供了保证。此外，密度测井可以研究岩层随深度的垂直变化，用于压实的预测，配合其他测井曲线又可用来进行地应力大小和方向的预测。

（6）配合声波测井资料人工合成地震记录。根据岩石的声速和密度值，可计算出声阻抗曲线，再由声阻抗计算出反射系数曲线，用它与地震子波褶积，合成地震记录，用来

研究地震勘探区主要反射波的特性及其对应的地质层位，研究反射波的变化与地质特征的关系，研究多次波的特性等。

1.5.2.2　选择伽马－伽马测井和岩性密度测井

1. 选择伽马－伽马测井

选择伽马－伽马测井是以光电效应为基础的另一种人工伽马测井方法，它所用的仪器装备与密度测井基本一致，但方法原理不同，目的是区分岩性、预测煤层灰分和划分复杂煤层结构。

选择伽马－伽马测井曲线，主要是反映介质的有效原子序数的变化，可以划分煤层，研究煤层的结构并确定其灰分含量。

2. 岩性密度测井

岩性密度测井是以光电效应和康普顿效应为理论基础，同时记录地层的光电吸收截面指数 P_e 和电子密度指数 ρ_e 的又一种人工伽马测井方法。

利用 $P_e-\rho_e$ 交绘图技术区分岩性，根据体积模型的参数 U 求泥质含量，并求黏土矿物成分，在煤田测井中也可用来求煤层的灰分。

1.5.3　矿井防爆测井

综合机械化采煤技术给煤炭工业带来高产量、高效率和高效益，但目前对采区的地质异常如小断层、陷落柱、冲刷带、溶洞等探查不清，使综采工作面停产或发生安全事故，每年因此造成巨大的经济损失，迫切需要发展有效的采前勘探技术，以确保煤炭生产的高产稳产。

矿井地球物理勘探方法（矿井物探）在探查地质异常体方面已取得了一定的成果。通过井下钻探结合测井不仅可直接探查地质异常体，而且可以验证矿井物探的解释成果。于是就将地面测井方法移植到井下，产生了矿井防爆测井，又称为井下测井。

国外，井下测井始于 20 世纪 60 年代，匈牙利、联邦德国、英国相继发展水平钻探结合测井探查地质异常体的技术；国内煤炭行业从 1986 年开始井下防爆测井方法和仪器的研究。井下测井能测量多种测井参数，用来钻孔导向、纠正钻孔偏离设计、提供煤层产状、划分岩性和煤层、进行煤层对比等，研究煤质变化规律和提供井温资料。

1.5.3.1　井下测井的原理和方法

1. 井下测井的主要方法

井下钻孔，以水平、仰角的孔居多，在钻孔内无井液（泥浆），虽然可以采取向钻孔边注水边测井的措施，但施工麻烦难以开展，因而井下钻孔一般为干孔。干孔使一般电测井、声波测井失去传导介质而难以采用，多选用一般不依赖于井液作传导介质的核测井作为主要井下测井方法。例如，匈牙利、德国使用自然伽马、密度测井作为主要井下测井方法，但上述两种方法纵向分层能力差，对划分煤层中夹矸不利；英国则在煤层钻孔中配合测斜经准直自然伽马以判断小断层的位置；我国煤炭科学研究总院西安分院采用测斜、自然伽马、选择伽马－伽马、接地电阻、井温和密度测井等，作为井下测井的主要方法。

干孔对自然伽马测井的影响较小，钻孔对自然伽马射线的吸收很弱。正由于自然伽马测井受井眼的影响很小，在井壁易遭破坏的破碎带、松动圈的钻孔中，能很好地划分地层。但由于自然伽马测井对薄层分辨能力差，不能有效地划分煤层中的夹矸。

在煤矿开采中，温度是值得注意的问题。利用温度传感器测量井下钻孔井壁岩石温度，称为井下井温测量。由于井下测量时，需要用水力推送出探头，溢出水流使井壁降温，在热平衡过程中，煤层与岩层的导热率差异大，以及瓦斯溢出固状态改变而吸热，因而在煤层底板附近形成一个阶跃异常。

井下密度测井和地面密度测井原理相同，但干孔密度测井灵敏度较孔内充满泥浆时大为降低。

2. 井下测井仪的装置

井下水平孔、仰角孔取送探管的方法，采取有缆测井和无缆测井的方法。在国外，井下测井取送探管方法仍沿袭传统的测井工艺，探管和控制面面板经电缆相连，即有缆测井方式，这种方法工作麻烦，不便于施工；无缆测井是用钻杆在钻孔中将探管送入或取出过程的测井，不需要电缆。

3. 井下测井仪的防爆

由于煤矿井下含有甲烷与煤尘等可燃性气体，井下测井仪必须防爆，按本质安全型仪器（电路本身是安全的，即任何两点短路不会引爆可燃气体）防爆要求，仪器最大允许功耗为12.5W，而国产测井探管最大功耗一般均小于最大允许功耗。

1.5.3.2 *矿井防爆测井的应用*

井下测井曲线可以划分钻孔剖面，确定煤层的深度、厚度。由于煤层顶底板常有泥岩，放射性元素增加，因而自然伽马曲线表现为高异常，可以进行自然伽马曲线的对比；利用井下测斜测井指导钻孔方向，纠正钻孔的偏差，利用三个以上的钻孔的煤层底板坐标，求取煤层的真实产状，然后根据钻孔的倾斜资料求煤层的真厚度指导井下开采；此外，应用自然伽马测井曲线分析煤的灰分和发热量。

无缆测井技术不但可应用于井下测井，也可用于地面测井。特别适宜于交通不便地区（如山区、森林），或因涌水、泥浆稠等测井探管难下的钻孔和小孔径的钻孔，也可用于石油钻孔的水平分支孔的测井。

1.5.4 声测井

声测井是以研究井下岩石声学特性为基础的一系列测井方法。它是利用介质对声波传播速度和声能吸收的差异，借以探测岩石的性质来解决井下地质问题。

声测井的方法主要分为声速测井、声幅测井、声波全波列测井，以及超声成像测井等。下面重点介绍声速测井和声幅测井。

1.5.4.1 *声测井的物理基础*

声测井的物理基础在于两个方面：一个是岩石的声学特性，即声波在岩石中的传播特性；另一个是声波的产生与接收。

声波是物质的一种运动形式，它是由物质的机械振动而产生的，通过质点间的相互作用将振动由近及远而传播。人耳听到的声波在0.02～20kHz之间。频率大于20kHz的波为超声波。声测井所用的机械波是声波或超声波，频率一般为15～30kHz。

在声测井中，声速测井和折射波声幅测井均以滑行波作为观测对象。前者是测量滑行波的传播速度，即地层的声波速度；而后者是测量滑行波的能量，即地层声波的幅度。

声波在传播过程中，因克服介质内摩擦使声波能量部分转变为热能而不断衰减，然而声波的能量与幅度平方成正比，所以声波幅度逐渐减小。声波幅度衰减的大小与岩

石密度以及声波频率有关。密度越小、声波频率越高，声能衰减就越快，则声幅的减弱越甚。

井下声波在传播中除上述的幅度衰减之外，还有在界面上的反射和折射，因能量的分配引起幅度的变化。

1.5.4.2　声速测井

声速测井是以岩石声波速度为基础，以记录声波时差为手段的一类声测井方法。声速测井可分为单发单收、单发双收、双发双收，以及单发四收和双发四收等不同声系的声速测井方法。它们的基本原理一致，其中单发双收声速测井使用最普遍。

声速测井的应用如下：

（1）划分地层。不同岩性岩石的声波速度存在一定的差异，这是声速测井区分岩性的依据。与其他测井配合，经综合解释，声速测井曲线能划分地层，确定钻孔地质剖面。在含煤岩系中，煤层在时差曲线上显示明显的高异常。当剖面上有泥岩或炭质页岩存在，且时差与煤层相仿难以区分时，可配合其他测井（如根据煤层与泥岩、炭质页岩在自然伽马、散射伽马，以及电阻率曲线）上的差异，加以有效的辨别。

（2）判断气层。煤层气（天然气）与石油或地层水相比，其时差要大得多，所以当岩性相同时，气层的时差大于油水层，且常有周波跳跃现象，依此可判断气层和划分油气界面。

（3）确定地层孔隙度。大量岩心试验数据证明地层的声波时差与其孔隙度呈线性关系。

（4）估算岩石力学参数。利用声速测井中纵波时差、横波时差曲线及密度测井曲线，计算岩石的杨氏模量、体积模量、切变模量、泊松比和强度指数等力学参数。

（5）估计地层异常压力。利用声速测井曲线估计地层异常压力对于发现高压油气层、高瓦斯煤层、高压煤层气层，合理选用高比重泥浆和提高钻速，以及保证钻井安全具有十分重要的意义。

（6）工程地质调查中的应用。工程地质调查，除了需要探测覆盖层厚度和了解风化壳或半风化壳发育程度和基岩起伏，以及追索断裂带掌握岩石破碎范围之外，还必须确定岩体（如煤矿中防水煤柱）的工程技术参数，为工程地质设计提供硐室、边坡、厂基、坝基、桥基、路基等有关技术参数。

1.5.4.3　声幅测井

声幅测井是专门用来测量声波幅度的一类声测井方法的统称。利用声波在裸眼孔井壁临界折射为滑行波在不同地层中传播时声幅衰减差异来识别岩性的方法，称为折射声幅测井；利用声波在裸眼孔井壁垂直反射时声幅衰减不同来区分岩性的方法，称为反射声幅测井；而研究声波在套管中产生套管波声幅变化来检查固井质量的方法，称为固井声幅测井或水泥胶结测井。

1. 折射声幅测井

通常，声幅测井就是折射声幅测井的简称。声幅测井仪中，泥浆是流体，它对声波的吸收比固体小得多。这样接收器接收到的滑行波幅度的衰减，主要决定于地层对声波的吸收。地层越致密、密度越大、传播的速度越高，则地层对声波的吸收系数越小；反之，亦然。因此在致密的碳酸盐或砂岩层上有很高的声幅值异常，而煤层、泥岩等密度小、波速

低的岩层上则有很低或较低的声幅值，尤其在裂隙发育的井段，岩石疏松或含天然气，对声波衰减严重，在声幅曲线上显示明显的低值异常。

2. 反射声幅测井

反射声幅测井的声系仅由一个声波换能器组成。声波在井壁上有不同的反射系数，而岩石声阻抗越大，反射系数也越大，使测得的反射波的声幅越强；反之，亦然。因而反射声幅测井曲线的变化，反映了裸眼井剖面上的岩性的差异。

在识别岩性方面，无论折射还是反射声幅测井，煤层因密度低、声速慢在声幅曲线一般均呈最小值，而碳酸岩、砂岩等致密岩石因密度高、声速快则常显示最大值或较大值，其他岩石介于上述两者之间。许多情况下，泥岩和炭质页岩在声幅曲线上与煤层有相似的反映，不易区分，因此这就需要配合其他曲线，经综合分析、综合解释加以区别。

1.6 煤炭资源管理

1.6.1 煤炭资源管理的主要内容

煤炭资源管理是矿产资源主管部门以煤炭资源所有权者和国家行政管理者身份，在勘探、开采、消耗工程中，对煤炭资源质和量的监督管理。

煤炭资源管理的基本内容可概括为如下4个方面：煤炭资源政策的制定；煤炭资源的储量管理；煤炭资源规划管理；煤炭资源信息系统。

1.6.2 煤炭资源规划管理

煤炭资源规划是国民经济与社会发展总体规划的一个组成部分，是指一个国家或地区，以协调社会经济发展，使煤炭资源得以优化配置、合理开发利用为宗旨，以煤炭资源的合理积累、储备、消耗及保护生态环境为主要内容，按照法定程序制定的，用于指导煤炭资源勘查、开发规划编制以及煤炭资源具体政策制定的综合性规划。

1.6.2.1 煤炭资源规划分类

规划是“比较长远的纲领性计划，是国家对国民经济的总体谋划”。它主要根据对科学技术发展及其成果应用的预测，对资源的开发和利用的估计，对未来时期经济发展可能达到的目标作出科学的设想，指出一个总体奋斗目标，概要地确定经济和社会发展的主要方向和任务，确定发展的战略目标、战略重点和战略步骤。

1. 煤炭资源总体规划（规划纲要）

煤炭资源总体规划主要是贯彻落实国民经济与社会发展规划中关于煤炭资源开发利用和保护的精神，在对国内国际政治经济及煤炭资源开发、利用和供应形势、供需关系较详细分析的基础上，从保障国家的战略安全和满足国民经济、社会发展和人民生活水平不断提高对煤炭资源的需求的角度，对煤炭资源的合理开发利用和保护提出总的战略目标和布局，并提出宏观调控和总量控制、结构调整的原则要求。

2. 矿产资源行业规划

新中国成立以来，煤炭资源开发利用形成了以煤炭为管理对象的行业管理体系。随着经济体制改革的深化，行业管理部门不再直接管理具体的矿业经济活动，但是加强了行业的行政管理和指导，行业规划成为重要的行政管理手段。煤炭行业规划主要针对本行业的开发、加工、消费特点，从国际国内整个市场出发，进行具体的合理布局和调度，具体落实国民经济和社会发展规划和矿产资源总体规划提出的各项指标和要求，提出相关的政策

和措施。

3. 省级煤炭资源规划

它是以省（区、市）为范围的煤炭资源开发利用和保护规划。旨在进一步落实国民经济和社会发展规划和煤炭资源总体规划、行业规划、专项规划提出的各项指标和要求，依据国家和行业主管部门提出的相关政策和措施，针对本行政区经济社会发展特点及对煤炭资源的供需情况，制定本行政区的贯彻实施方案。

按照国家和行业部门的要求，也要制定相应的省级总体规划、行业和专项规划。

4. 地县级地方煤炭资源规划

要保障煤炭资源各类规划落实到基层、实处，保障国家的方针政策得到贯彻落实，充分发挥规划的作用，地县级规划的制定和落实很关键。特别是煤炭资源比较丰富的地（市）县（市），必须制定相应的规划，把规划确定的指标、政策、措施落实到每个项目、矿区，保障国家的宏观战略得到贯彻。

1.6.2.2　煤炭资源规划管理的目标和任务

在社会主义市场经济条件下，规划是政府管理社会、管理经济、管理自然资源的重要手段。煤炭资源规划是根据国家或地区经济发展中长期规划、国家或地区煤炭资源的特点和开发利用现状，对煤炭资源勘查、保护和合理利用、矿山生态环境保护和建设等，在时间上、空间上所作的总体安排和布局。煤炭资源规划管理的总体目标和任务是：

（1）保障国家经济发展对煤炭资源的需求。煤炭是我国的主要能源，是社会经济发展的重要物质基础，是社会物质财富的重要源泉之一。通过编制和实施煤炭资源规划管理，保障国家经济社会发展对煤炭资源的需求，使我国的煤炭资源不仅要满足当前经济社会发展的需要，也要满足长远经济社会发展的需要，实现煤炭资源的可持续利用。

（2）实现煤炭资源开发利用方式和管理方式的根本转变。通过规划管理，使煤炭资源开发利用从单纯追求数量增长的轨道，转变到主要依靠科技进步，提高资源利用效率，提高资源开发利用经济效益、社会效益和环境效益的轨道上来，从粗放型转变为集约型。使煤炭资源管理方式转变到以矿业权管理为基础的轨道上来，并以此作为切入点，带动煤炭矿业秩序的根本好转。

（3）保护和合理利用煤炭资源。保护自然资源、保持良好生态环境和控制人口增长是我国的基本国策。煤炭资源规划是贯彻落实资源基本国策的重要措施和步骤，即通过编制和实施煤炭资源规划，使煤炭资源既得到合理开发、合理利用，又能得到切实有效的保护，满足经济社会持续发展的需要。

（4）实现矿山地质环境基本好转。煤炭资源开发利用不可避免地要对生态环境造成一定的影响，如煤炭开发诱发的地震、滑坡、地面塌陷、地下水污染等地质灾害，矿山或选煤厂排放的“三废”对土地、水资源、空气等造成的污染等。因此，煤炭资源规划的编制和实施，就是要在煤炭资源开发利用过程中，最大限度地减轻矿业活动对生态环境的破坏，并按“谁开发谁保护，谁闭坑谁复垦，谁破坏谁治理”的原则，切实改善矿山生态环境，实现矿山生态与地质环境的基本好转。

（5）确定矿产资源勘查、开发发展战略。本着最大限度发挥资源优势，协调好资源环境与经济社会之间关系的原则，明确煤田地质勘查、开发利用和保护、矿山地质环境保护和建设的方向、目标、重点与总体布局，明确主要区域和煤炭资源开发利用的规模、方

式及其达到最终目标的途径和步骤以及相应的战略与策略。

1.6.2.3 煤炭资源规划管理实现手段

在社会主义市场经济条件下，煤炭资源规划实现的手段有经济手段、法律手段和行政手段。经济手段主要是通过宏观产业政策、区域产业政策、税收政策、金融政策、投资政策、价格政策、技术政策等来确保规划目标和规划方案等的实现。如通过编制煤炭资源开发利用投资指南，积极、合理地吸引多方面资金，优先支持规划导向产业的开发利用项目；引导企业发展既符合规划要求又具有市场前景的产品和产业，优化企业内部资本结构和投资结构；对进行改制、改组、改造的矿山企业和发展煤炭深加工的企业等，在税收上给予减免；通过制定相应的技术政策，引导从事煤炭资源勘查、开发的企业或个人积极地进行技术创新等。

法律手段首先是要强化规划的地位和作用，即要把政府在煤炭资源开发利用中的意图法规化，使煤田地质勘查、开发利用活动必须符合有关法律、法规和矿产资源规划的要求，强化规划执行的严肃性。

此外，还要采取行政手段来确保规划目标的实现。如对不符合规划要求的煤炭资源开发利用活动，可采取行政命令使其关、停、并、转。

1.6.2.4 矿产资源规划管理的保障措施

（1）强化规划的地位和作用。要把煤田地质勘查、煤炭开发纳入到社会经济发展规划中，并将其作为一个重要组成部分，作为今后一个时期指导煤炭资源勘查及开发重点、矿业及其相关后续产业空间布局和发展方向、生态环境保护与建设等的纲领性文件，作为协调地区间、行业间关系的指导性文件，作为煤炭资源管理有关法律法规的补充。要加强对规划的地位和作用的宣传，提高政府部门、政府工作人员贯彻执行规划的自觉性，提高企业、个人、社会公众遵守规划的自觉性。

（2）强化规划执行的严肃性。规划一经批准，就具有法律效力，必须严格执行，不准擅自修改。在规划实施过程中，因社会、经济发展，或因国家重大建设项目、产业结构调整，需要对规划进行调整时，应先向原批准机关申请，作出调整后要报原批准机关审批。

规划由政府组织实施，各有关部门、各地区要根据各自的职责、本地的实际情况制定规划实施细则。

（3）依法行政，加强监督。一切勘查开发活动必须按照有关法律法规和煤炭资源规划的要求进行管理。申请开采煤炭资源，除必须具备法律、法规规定的条件外，开采煤炭资源的具体地点、煤炭资源开发利用的重点和发展方向、矿山企业规模、环境保护方案和措施等都应符合规划的要求。所有矿山企业若要申请换（发）采矿许可证，应在地矿行政主管部门按照法律规定先行登记、复核、审定，再按审批权限报上级地矿行政主管部门核发采矿许可证。对申请开采规划新采区煤炭资源的企业，必须持有关部门出具的同意迁入证明并提供有关资料，到地矿行政主管部门办理登记手续，取得采矿许可证后，方可到指定位置开发建矿。

（4）严禁在规划禁采区内新建矿山企业。对规划禁采区内现有的矿山企业，要依法签订治理承包合同，明确各企业的治理方案、治理时间、达标标准和关停期限。积极培育和建立矿业权市场，规范矿业权人的设置和矿业权流转。依法征收煤炭资源补偿费、矿业

权使用费和矿业权价款，确保煤炭资源国家所有权的实现，确保煤炭资源勘查投资者的权益。

1.6.3　煤炭资源储量管理

主要介绍煤矿生产中的煤炭地质储量管理，如煤炭资源储量的审批与认定、煤炭储量登记管理、煤矿生产中储量动态管理及煤炭储量数据库管理等。

煤炭资源储量管理是国土资源行政管理工作的重要组成部分，是地质矿产行政管理工作的基础。在计划经济体制下，为了避免国家矿业投资的损失，维护煤炭资源的国家所有权益，为国家制定煤炭资源政策、规划提供可靠的依据，煤炭资源储量管理的基本内容已逐步演化为包括煤炭储量审批、登记统计、地质资料汇交管理以及煤炭资源政策制定等项工作。在社会主义市场经济体制下，随着市场经济运行机制的逐步建立、矿业投资渠道的变化和矿业权市场、矿业资本市场的逐步形成以及我国地勘体制改革的深化，煤炭资源储量管理的目的和作用已经发生了深刻的变化，因此，煤炭资源储量管理的目标、任务和方式也将发生相应的变化。

1.6.3.1　煤炭资源储量管理的基本目标

社会主义市场经济条件下的煤炭资源储量管理工作，应当实现如下基本目标：

（1）摸清煤炭资源家底，为国家宏观决策提供服务。通过矿产资源储量的评审认定和登记统计，建立并完善矿产资源储量审核机制和统计机制，客观、准确地摸清我国的矿产资源家底，为国家制定矿产资源规划和有关政策等宏观调控措施提供可靠依据。

（2）实现和维护国家对矿产资源的所有权。通过矿产资源形势分析和矿产资源政策的制定与实施，体现国家对矿产资源的处分权；通过矿产资源储量的评审管理、登记统计管理，建立矿产资源资产实物账户和价值账户，加强对矿产资源国有资产的管理；以法律法规形式规定矿业权人必须依法履行登记资源储量、汇交地质资料义务等方式，体现国家作为矿产资源所有权人的意志。

（3）确保矿产资源可持续利用。通过矿产资源形势分析，制定实施矿产资源规划，实现矿产资源宏观上的合理配置；通过矿产资源政策的研究、制定与实施，对矿产资源勘查、开发活动进行宏观调控，以保证国家对矿产资源的需求，保障国民经济和社会的可持续发展；通过矿产资源储量的评审管理和登记统计管理，监督矿产资源的合理利用，实现矿产资源的有效保护。

（4）规范市场运作，有效提供信息服务。通过培育矿产资源储量评估市场，加强矿产资源储量评审机构和矿产储量评估师的管理，营造矿业活动中的公平竞争环境，避免矿业筹资、矿业权交易、矿业股票上市过程中的矿产资源储量方面商业性欺诈行为的发生，促进评审机构为我国矿业权交易以及银行贷款、股票上市审查提供客观、公正、公平的服务。同时，通过矿产资源储量的统计和有关信息搜集与发布以及地质资料的管理，为社会开发利用矿产资源提供及时、有效的信息和基础资料服务。

1.6.3.2　煤炭资源储量管理的基本内容

根据矿产资源法及其配套法规的规定和国土资源部职能职责，社会主义市场经济条件下的矿产资源储量管理基本内容可以拟定为如下几项：

（1）矿产资源形势分析与政策研究制定。包括依据矿产资源储量统计资料和有关信息，开展国内外矿产资源供需情况分析和可供性论证，组织矿产资源勘查开发情况调研，

拟定矿产资源政策，监督国家矿产资源政策的实施。

（2）矿产资源储量评审管理和登记统计管理。包括组织制定矿产资源储量技术标准；监督管理矿产资源储量评审工作和矿床工业指标管理工作；组织矿产资源储量统计工作，建立矿产资源储量实物账户和价值账户。

（3）矿产资源储量信息社会化服务管理。包括国内外矿产资源储量信息、矿产品市场信息和矿产资源储量评价参数的搜集、整理、发布和提供利用等方面的管理。

（4）地质资料管理。包括管理成果地质资料的汇交、整理与开发，协调国家实物地质资料的管理，规范地质档案的管理，统一管理各类地质资料的利用，依法保护地质资料汇交义务人的合法权益。

1.6.3.3 我国煤炭资源储量管理框架

根据我国社会主义市场经济发展要求，基于我国矿产资源储量管理在整个矿政管理工作中的基础地位，借鉴国外市场经济国家矿产资源储量管理模式，充分发挥社会主义市场经济下的矿产资源储量管理作用，我国的矿产资源储量管理应当以矿产资源宏观调控措施的研究、制定为核心，以矿产资源储量评审登记和地质资料汇交管理为手段，以矿产资源储量统计和地质资料的开发利用为基础，为全社会提供及时、高效的矿产资源信息服务，逐步建立并完善以三项基本制度和两个管理系统为基本内容的适应社会主义市场经济体制要求的矿产资源储量管理制度。

三项基本制度是指矿产资源储量评审登记制度、矿产资源储量统计制度和地质资料汇交制度，两个管理系统是指矿产资源利用的宏观调控决策支持系统和矿产资源信息服务系统。

1. 煤炭储量评审登记制度

无论是矿业权申请人开发利用矿产资源，建设单位申请压覆矿产资源，还是申请矿业股票上市、银行贷款以及转让矿业权，其矿产资源储量一律实行评审登记制度，即由具有资质的矿产资源储量评审机构组织具有资格的矿产储量评估师评审，并依法向政府管理部门申报矿产资源储量登记。经过登记的矿产资源储量，才能向社会公布，才能作为申请矿业权、银行贷款、发行股票的依据。

矿产资源储量评审机构是自律性中介组织，与政府管理部门完全脱钩，并对其评审结果独立承担相应的法律责任和经济责任。

评审机构资质由国家统一审批授予，并接受政府管理部门的监督管理。矿产储量评估师纳入国家专业技术人员执业资格管理范畴，进行规范化管理。

矿产资源储量登记过程中，政府管理部门将对申报矿产资源储量是否经过具有资格的评审机构评审以及评审程序是否配合有关规定等进行全面审核，审核未通过者，所申报的矿产资源储量将不予登记。

对于申请国内发行股票和转让国家出资形成的矿业权，为了有效维护国家利益和广大股民利益，政府管理部门可以对评审机构的评审结果出具相应的认定文件。其他情形，经过评审机构评审后可直接申报矿产资源储量登记。

2. 煤炭储量统计制度

矿产资源储量实行年度统计制度。统计报表由矿业权人按照规定填报，经具有资格的审查机构或矿产资源储量专家审查并签署意见后，由县级地矿主管部门逐级审核上报并汇

总。政府管理部门根据矿产资源储量规模大小和矿产重要性，对矿产资源储量统计资料的真实性进行分级抽查或监督审计。

3. 资料的审查

资料的审查是技术性的。鉴于这种审查相对矿产资源储量评审来讲，技术水平要求和风险系数都要低一些，因此，这种机构和专家，可以由矿产资源储量评审机构和矿产储量评估师担任，也可以由各省（区、市）自行制定资格标准，通常地质队、正规矿山的地测科以及地质工程师以上人员都可以胜任。

4. 资料的审核

部门对资料的审核统计是程序性的。主要审核煤炭资源储量是否经过相应的审查以及煤炭资源储量的非正常注销，是否符合国家的有关规定等。政府部门对煤炭资源储量统计资料分级进行抽查和审计，对保证全国煤炭资源储量统计结果的质量，将是非常重要和有效的措施。

5. 地质资料汇交管理制度

地质资料是国家的宝贵财富，为了最大限度地发挥地质资料的作用，首先，要加强立法，严格矿业权管理制度，强化地质资料汇交义务人的汇交义务，促进地质资料的全面汇交；其次，要改善地质资料保藏设施，加大地质资料馆改造力度，加快国家实物地质资料基地建设，为地质资料的社会利用提供优越的条件；再次，要切实保护汇交义务人的合法权益，区分公益性地质资料和商业性地质资料，促进地质资料最大限度地提供给社会利用；最后，要加快地质资料数字化进程，降低汇交义务人的汇交成本，提高地质资料的服务效率和服务水平。

1.6.4　煤炭资源信息服务系统

煤炭资源信息服务主要包括矿产资源储量信息服务和地质资料信息服务。在市场经济条件下，煤炭资源信息服务的效率将直接影响矿业的投资和企业的微观经营决策，从而影响国民经济建设所需矿产品的供应，因此，必须要建立完善的煤炭资源信息服务系统。首先，要完善煤炭资源信息载体形式，清理、归并、充实现行的各种矿产资源储量通报，满足各个方面利用煤炭资源信息的要求，在直接提供煤炭资源储量、煤质统计结果和地质资料服务的同时，开展各种信息的综合研究，争取每年发布煤炭资源勘查开发投资指南，为矿业市场提供切实有效的服务；其次，要加大矿产资源储量统计结果和地质资料的解密力度，使矿产资源储量统计结果全方位地提供给社会利用，公益性地质资料无条件地提供给社会利用，在保护汇交义务人合法权益的前提下，商业性地质资料尽可能地提供给社会利用；再次，要充分利用先进技术，进一步提供矿产资源信息服务的效率和水平。

随着互联网技术的发展，极大地推动了煤炭企业的信息化进程，许多煤矿企业已经或正在加快信息化建设，建立完善的地质、采矿、通风、机电为一体的大型矿山数据库，实现数字矿山。

2 矿 井 地 质

2.1 构造地质

构造地质学是地质学的基础学科之一，主要是研究组成地壳的岩石、岩层和岩体在岩石圈中力的作用下变形形成的各种现象（构造）。研究这些构造的几何形态、组合形式、形成机制和演化过程，探讨产生这些构造的作用力的方向、方式和性质。

2.1.1 岩层产状

各种地质体的构造都可以归纳为面状构造和线状构造。面状构造有层理、节理、断层等，以及一些只有几何意义的结构面，如褶皱轴面等；线状构造包括所有呈线状习性的构造，以及各种平面的交线，如褶皱的枢纽和线理等。

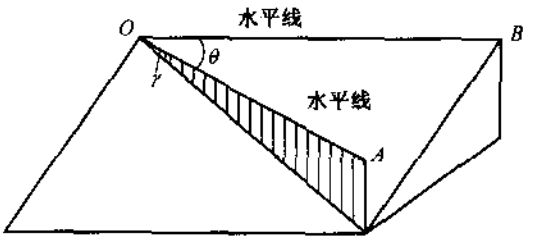
产状要素是用来规定面状构造或线状构造在三维空间的产出状态的，用之表示构造与水平参考面和地理方位之间的关系。平面的产状是以其在空间的延伸方位及其倾斜程度来确定的，任何面状构造或地质体界面的产状均以其走向、倾向和倾角的数据表示；直线的产状是直线在空间的方位和倾斜程度，产状要素包括倾伏向、倾伏角，或用其所在平面的侧伏向和侧伏角表示（图2-2-1）：

（1）倾伏向（指向）。某一直线在空间的延伸方向，即某一倾斜直线在水平面上的投影线所指示的该直线向下倾斜的方位。

（2）倾伏角。指直线的倾斜角，即直线与其水平投影线间所夹的锐角。

（3）侧伏角。当线状要素包含在某一倾斜平面内时，此线与该平面走向间所夹的锐角即为此线在那个面上的侧伏角。

（4）侧伏向。构成侧伏角的走向线那一端的方位。



OA—倾伏向；*OB*—侧伏向；*γ*—倾伏角；*θ*—侧伏角

图2-2-1 线状构造产状要素

2.1.2 褶皱

岩层或岩体在各种应力长期作用下形成波状弯曲，但仍然保持着它们的连续完整性，称为褶皱构造。核部由老地层，翼部由新地层组成的岩层，凸向地层变新方向的弯曲的褶

皱叫背斜；核部由新地层，翼部由老地层组成的岩层，凸向地层变老方向弯曲的褶皱叫向斜。

2.1.2.1　褶皱要素

褶皱要素是褶皱的基本组成部分（图 2－2－2），主要有：

（1）核。褶皱中心部位的岩层。

（2）翼。泛指褶皱两侧比较平直的部分。

（3）拐点。相邻的背形和向形共用翼的褶皱面常呈“S”形弯曲，褶皱面不同凸向的转折点称为拐点。

（4）翼间角。指正交剖面上两翼间的夹角。

（5）转折端。褶皱面从一翼过渡到另一翼的弯曲部分。

（6）枢纽。单一褶皱面上最大弯曲点的连线。

（7）脊线和槽线。同一褶皱面上沿着背形最高点（脊点）的连线称为脊线；沿向形最低点（槽点）的连线称为槽线。

（8）轴面。各相邻褶皱面的枢纽连成的面。

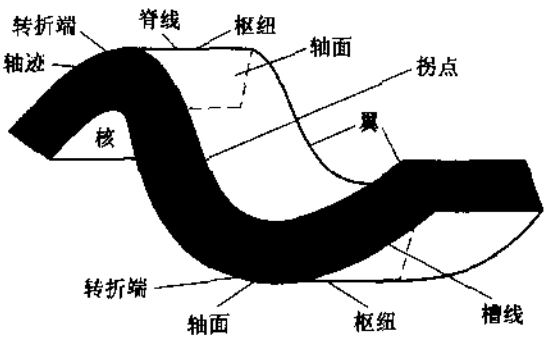


图 2－2－2　褶皱要素示意图

2.1.2.2　褶皱的描述与分类

1. 褶皱的描述

1）转折端形态

（1）圆弧褶皱。转折端呈圆弧形弯曲的褶皱，如图 2－2－3a 所示。圆弧中点可看做褶皱的枢纽点，两翼常是弧形的、连续的褶皱成正弦曲线形弯曲。

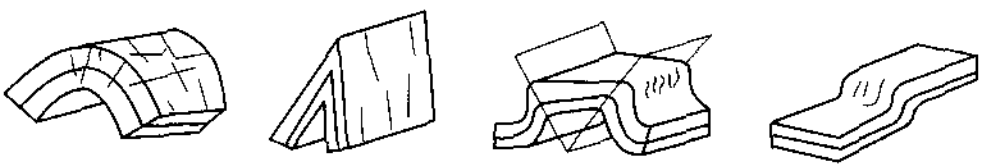


图 2－2－3　转折端形态不同的几种褶皱

（2）尖棱褶皱。转折端为尖顶状，常由平直的两翼相交而成，如图 2－2－3b 所示。

（3）箱状褶皱。转折端宽阔平直，两翼产状较陡，形如箱状，如图 2－2－3c 所示。如果箱状由两个共轭的轴面组成，则称共轭褶皱。

（4）挠曲。在平缓岩层中，一段岩层突然变陡而表现出的褶皱面的膝状弯曲，如图 2－2－3d 所示。

2）翼间角的大小

根据翼间角的大小将褶皱描述为以下几类（图 2－2－4）：

（1）平缓褶皱。翼间角小于 180°，大于 120°。

（2）开阔褶皱。翼间角小于 120°，大于 70°。

（3）中常褶皱。翼间角小于 70°，大于 30°。

（4）紧闭褶皱。翼间角小于 30°，大于 5°。

（5）等斜褶皱。翼间角在 5°到 0°之间。

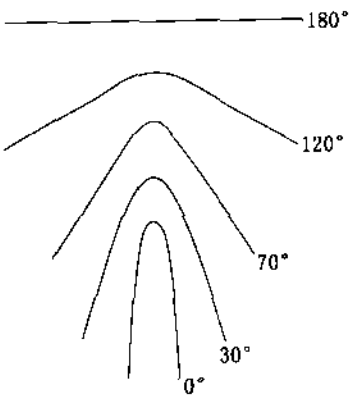


图 2－2－4 翼间角不同的褶皱

2. 褶皱的分类

1）褶皱的位态分类

褶皱在空间的位态取决于轴面和枢纽产状。以横坐标表示轴面的倾角，纵坐标表示枢纽倾伏角，可将褶皱分为 7 种类型：

（1）直立水平褶皱。轴面倾角 90°～80°，枢纽近水平（倾伏角 0°～10°）。

（2）直立倾伏褶皱。轴面倾角 90°～80°，枢纽倾伏角 10°～70°。

（3）倾竖褶皱。轴面倾角 90°～80°，枢纽倾伏角 70°～90°。

（4）斜歪水平褶皱。轴面倾角 80°～20°，枢纽倾伏角 0°～10°。

（5）斜歪倾伏褶皱。轴面倾角 80°～20°，枢纽倾伏角 10°～70°。

（6）平卧褶皱。轴面、枢纽 0°～20°。

（7）斜卧褶皱。枢纽和轴面两者倾向及倾角基本一致，轴面倾角 20°～80°，枢纽在轴面上的倾伏角 70°～90°。

2）褶皱的形态分类

褶皱形态的变化主要反映在各褶皱面形态的相互关系和褶皱层的厚度变化上。据此，对褶皱进行形态分类。

根据组成褶皱的各褶皱层的厚度变化，将褶皱分为以下两类：

（1）平行褶皱。典型平行褶皱的几何特点是褶皱面作平行弯曲，如图 2－2－5 所示。同一褶皱层的厚度在褶皱各部分一致，所以也称为等厚褶皱，弯曲的各层具有同一曲率中心，所以又称为同心褶皱。由中心向外，褶皱面的曲率半径逐渐增大，曲率变小，岩层越平缓；向着核部方向，曲率逐渐变大。

（2）相似褶皱。典型的相似褶皱的几何特点是组成褶皱的各褶皱面作相似的弯曲，如图 2－2－6 所示，各面的曲率相同，但没有共同的曲率中心。所以，褶皱的形态随着深度的变化仍保持一样。各褶皱层的厚度发生有规律的变化，两翼变薄转折端加厚；平行轴面量出的厚度在褶皱各部位保持一致。

根据组成褶皱的各褶皱面之间的几何关系，将褶皱分为以下两类：

（1）协调褶皱。褶皱中各褶皱面弯曲的形态一致或作有规律的变化，其间没有明显不

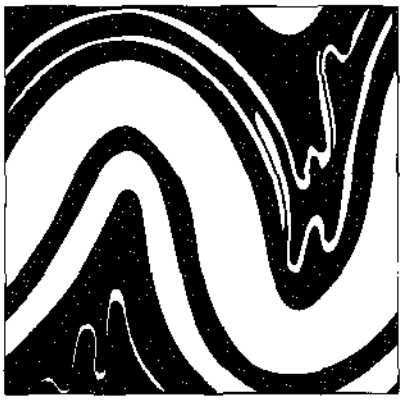


图 2-2-5　平行褶皱的几何特征

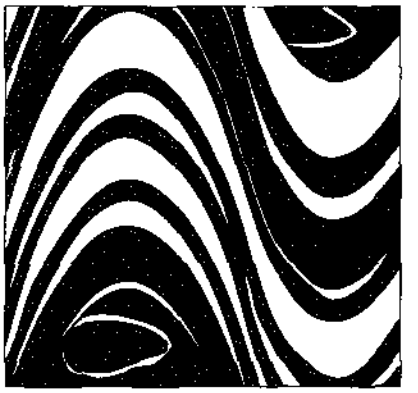


图 2-2-6　相似褶皱

协调的突变现象，如相似褶皱和平行褶皱。

（2）不协调褶皱。褶皱中各褶皱面弯曲的形态彼此有明显不同，以致发生突变，最典型的不协调褶皱是底辟构造。

2.1.2.3　褶皱的组合形式

在地壳中，各种各样的褶皱大都不是单个的、孤立的出现，而往往是不同形态、不同规模和级次的褶皱以一定的组合形式分布于不同的构造地区。

1. 全形褶皱（阿尔卑斯式褶皱）

一系列线状褶皱成带状展布，所有褶皱的走向基本上与构造带的延伸方向一致；在整个带内的背斜和向斜呈连续波状，同等发育，布满全区；不同级别的褶皱往往组合成巨大的复背斜和复向斜。

复背斜或复向斜是由许多次级褶皱所组成的巨大背斜或巨大向斜。各次级褶皱与总体褶皱常有一定的几何关系，一般认为典型的复背斜和复向斜的次级褶皱轴面常向该复背斜或复向斜的核部收敛。

2. 过渡型褶皱（侏罗山式褶皱）

代表构造是隔挡式与隔槽式褶皱：

隔挡式褶皱又称梳状褶皱，是由一系列平行的背斜和向斜相间组成，其中背斜是窄而紧闭的，形态完整清楚，呈线状延伸；而两个背斜之间的向斜则开阔平缓。

隔槽式褶皱也是由一系列平行的背、向斜相间排列的褶皱组成的，但是其中背斜和向斜形态正好与隔挡式褶皱相反，向斜紧闭且形态完整，呈线状排列，而两向斜之间的背斜则平缓开阔成箱状。

3. 断续褶皱（雁行褶皱、日耳曼式褶皱）

发育于构造变形十分轻微的地台盖层中，以卵圆形穹隆、拉长的短轴背斜或长垣为主。褶皱翼部倾角极缓，甚至近于水平，但规模可以很大，延长可以数十公里。穹隆或长垣可以孤零零地产出于水平岩层之中，所以向斜和背斜不等同发育，而且空间展布常无一定方向性；有些穹隆或长垣可以成群展布，或呈有规律的定向排列，或呈雁列分布。

2.1.3　节理

组成地壳的岩层或岩体，如果所受应力超过岩石强度极限时，就会发生断裂，出现断

裂面，失去完整性，总称为断裂构造。被断裂面分割的岩层或岩体沿断裂面没有发生显著位移，或者位移量很小的断裂构造，称为节理。

1. 按节理与有关构造的几何关系分类

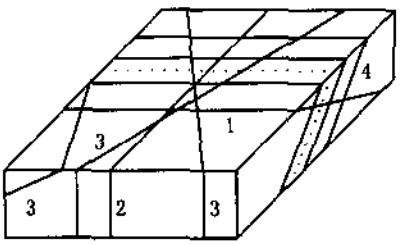
根据节理产状和岩层产状的关系分类（图2-2-7）：

（1）走向节理。节理走向与所在岩层走向平行或大致平行。

（2）倾向节理。节理走向与岩层走向大致直交的节理。

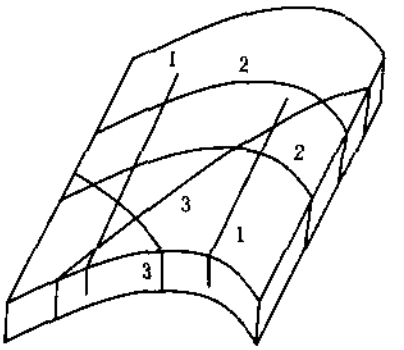
（3）斜向节理。节理走向与岩层走向斜交的节理。

（4）顺层节理。节理面与岩层的层面大致平行的节理。



1—走向节理；2—倾向节理；
3—斜向节理；4—顺层节理

图2-2-7 根据节理产状和岩层产状的关系分类



1—纵节理；2—横节理；
3—斜节理

图2-2-8 根据节理与褶皱轴迹方位的关系分类

根据节理与褶皱轴迹方位的关系分类（图2-2-8）：

（1）纵节理。节理走向与所在褶皱轴迹方位平行或大致平行。

（2）横节理。节理走向与所在褶皱轴迹方位垂直或大致垂直。

（3）斜节理。节理走向与所在褶皱轴迹斜向相交。

2. 节理的力学性质分类

节理按力学性质分为剪节理和张节理两类。剪节理是由剪应力产生的破裂面，有如下特点：

（1）产状较稳定，沿走向和倾向延伸较远。

（2）平直光滑，有时具有因剪切滑动而留下的擦痕。

（3）发育于砾石和砂岩等岩石中的剪节理，一般穿切砾石和脉结物。

（4）典型的剪节理常常组成共轭X型节理系。这种节理系发育良好时，则将岩石切成菱形或棋盘格状。如果一组节理发育而另一组不大发育时，则形成一组平行延伸的节理，岩石切割成板状。不论是X型节理还是平行节理，节理往往成等距排列。

（5）主剪裂面由羽状微裂面组成。羽状微裂面与主剪裂面交角一般为5°～15°，相当于内摩擦角的一半。

（6）剪节理尾端变化或连接形式根据马宗晋等的研究共有3种：折尾、菱形结环和

分叉。

张节理是由张应力产生的破裂面，具有以下主要特征：

（1）张裂面粗糙不平，砾岩或粗砂岩中的张节理常绕过砾石或粗砂粒而过，一般不切穿砾石。

（2）张节理产状不稳定，在平面上常蜿蜒曲折或呈锯齿状延伸。

（3）张节理沿走向延伸不远即告消失，但在其旁侧又可出现同一方向的另一条张节理，形成平面上的侧列现象。

（4）张节理两壁张开，肉眼可见其节理壁距，有时壁距上大下小呈楔形，以至逐渐消失。由于两壁张开，是地下水的良好通道或储存场所，也可能被岩脉或矿脉充填。

（5）张节理发育常比较稀疏，即节理间距较大，频度较低。

（6）张节理有时呈不规则的树枝状、各种网络状，有时也构成一定的几何形态，如追踪共轭 X 型节理的锯齿状张节理、单列或共轭雁列式张节理，以及放射状或同心圆状的组合形式等。

（7）张节理尾端变化或连接形式有树枝状、多级分叉、杏仁状结环以及各种不规则形状等。

2.1.4　断层

断层是地壳表层中岩层顺破裂面发生明显位移的构造。地壳岩石中断裂主要表现为层次性，浅层次为脆性断裂，形成脆性断层或简称断层；在较深和深层次则形成韧性断层或称韧性剪切带；两者之间存在一个过渡层次。脆性断层和韧性剪切带构成了断层的双层结构，如图 2－2－9 所示。

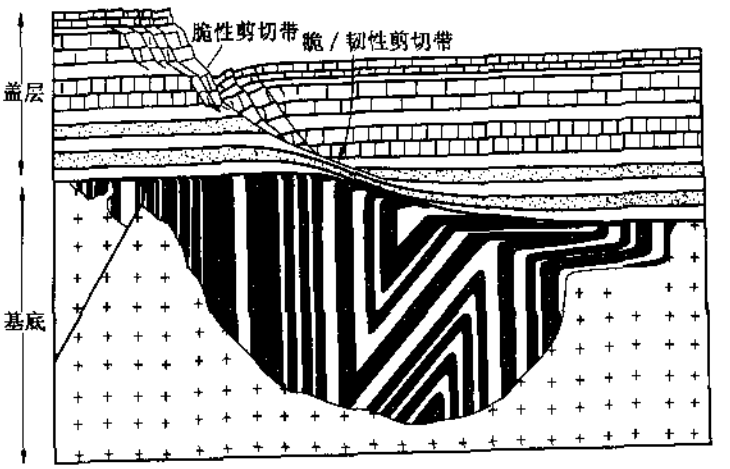
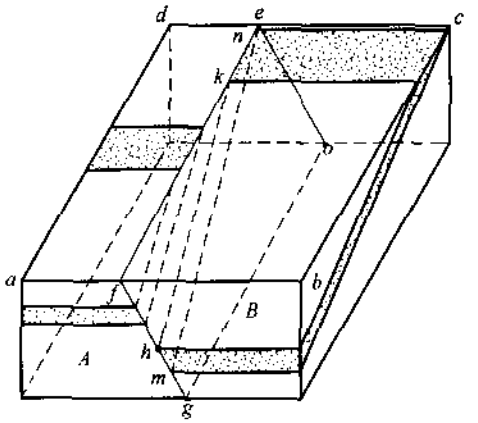


图 2－2－9　地壳浅层次和深层次剪切带的关系

2.1.4.1　断层的几何要素

为了描述和研究断层在空间的方位和形态，把断层各个组成部分都分别规定一个名称，统称为断层要素，如图 2－2－10 所示。

（1）断层面。断层的断裂滑动面。断层面的空间位置由其走向、倾向和倾角确定。



abcd—地面；*efgo*—断层面；*A*—下盘；*B*—上盘；*ef*—断层线；*hk*、*mn*—断层交面线

图 2-2-10 断层几何要素示意图

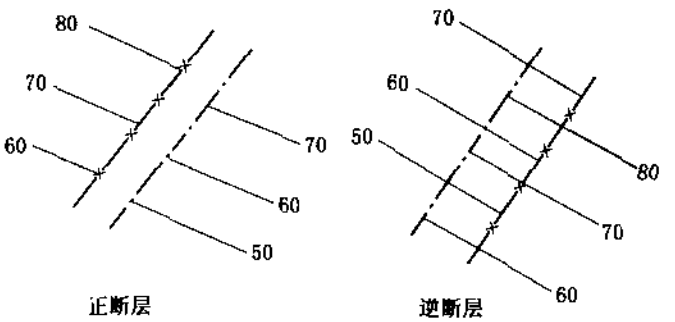
断层面可以是一个简单的平面，也可以是沿走向或倾向都发生变化而成的曲面。

（2）断层带。大的断层一般不是一个简单的面，而是由一系列破裂面或次级断层组成的带，即断层（裂）带。断裂带内还夹杂或伴生有搓碎的岩块、岩片以及各种断层岩。断层规模越大，断裂带越宽越复杂。大断裂带还常常呈现分带性。

（3）断层线。断层面与地面的交线，即断层在地面的出露线。断层线的弯曲形态决定于断层面的弯曲程度、断层面的产状以及地面的起伏，在地面弯曲延伸的规律与岩层露头线“V”字形规律相同。

（4）断盘。断层面两侧沿断层面发生位移的岩块。如果断层面是倾斜的，位于断层面上侧的一盘称为上盘，下侧的一盘称为下盘。如果断层面直立，则按断盘相对于断层走向的方位描述，如东盘、西盘、NE 盘、SW 盘等。根据两盘的相对滑动，相对上升的一盘称为上升盘，相对下降的一盘称为下降盘。

（5）断层交面线。断层面与岩层面（一般取岩层底面）的交线。断层面与煤层底面的交线，称为断煤交线，如图 2-2-11 所示。同一条断层与同一个岩层面会有两条交面



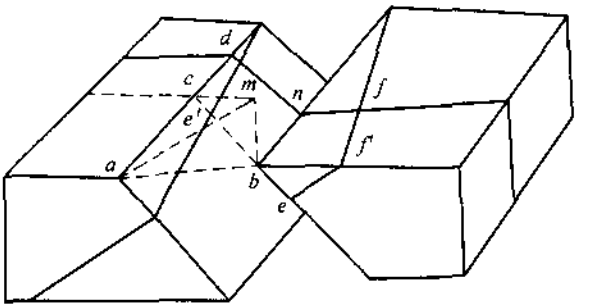
—— 60 煤层底板等高线；- - - 上盘断煤交线；-×- 下盘断煤交线

图 2-2-11 煤层底板等高线图上断煤交线的表示方法示意图

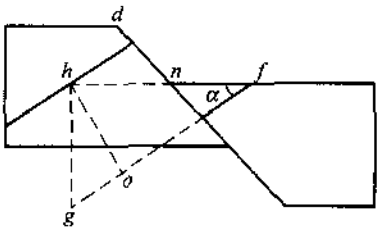
线，一条是上盘断层交面线，另一条是下盘断层交面线。断层交面线的形态决定于断层面与岩层面的形态，可以是两条直线或者曲线，可以是平行或者相交，也可以向一端撒开、向另一端收敛或向两端收敛等。

2.1.4.2　断层的断距

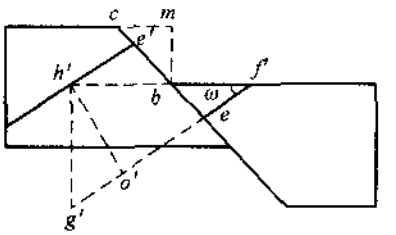
断距是指被错断岩层在两盘上的对应层或相当层之间的相对距离。在不同方向的剖面上，断距是不同的，如图 2－2－12 所示。



(a) 断层位移立体图



(b) 垂直于被错断岩层走向的剖面图



(c) 垂直于断层走向的剖面图

ab—总断距；ac—走向断距；cb—倾向断距；am—水平滑距；ho—地层断距；$h'o'$—视地层断距；$hg(h'g')$—铅直地层断距；hf—水平地层断距；$h'f'$—视水平地层断距；α—岩层倾角；ω—岩层视倾角

图 2－2－12　断层的断距

（1）总断距。断层两盘相对错开的真正距离。

（2）地层断距。在与岩层走向垂直的剖面上，断层两盘同一岩层或矿层错开的垂直距离。

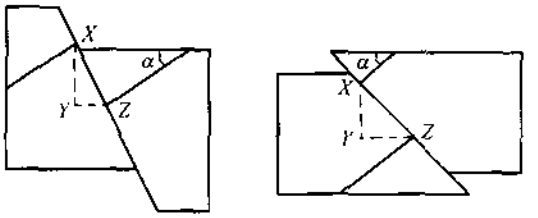
（3）铅直地层断距。在与岩层走向垂直的剖面上，断层两盘同一岩层或矿层错开的铅直距离。

（4）水平断距。在与岩层走向垂直的剖面上，断层两盘同一岩层或矿层错开的水平距离。

（5）走向断距。断层两盘同一岩层或矿层沿断层走向线错开的水平距离。

（6）倾向断距。断层两盘同一岩层面或矿层沿断层倾斜线错开的倾斜距离。

（7）落差与平错。在与断层走向垂直的剖面上，倾向断距的铅直分量为落差，水平分量为平错，如图 2－2－13 所示。



XY—落差；*YZ*—平错；α—岩层倾角

图2-2-13 断层落差与平错示意图

2.1.4.3 断层的分类

1. 按断层与有关构造几何关系的分类

1）按断层产状与所切岩层走向的方位关系分类

依据断层产状与所切岩层走向方位的关系，断层可分为以下4种（图2-2-14）：

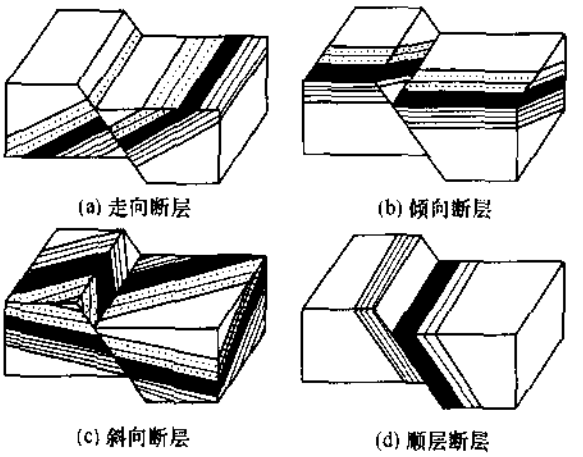


图2-2-14 根据断层产状与所切岩层产状的关系对断层进行分类示意图

（1）走向断层。断层走向与岩层走向基本一致的断层。

（2）倾向断层。断层走向与岩层走向基本直交的断层。

（3）斜向断层。断层走向与岩层走向斜交的断层。

（4）顺层断层。断层面与岩层层面等原生地质界面产状基本一致的断层。

2）按断层走向与褶皱轴向或区域构造线之间的几何关系分类

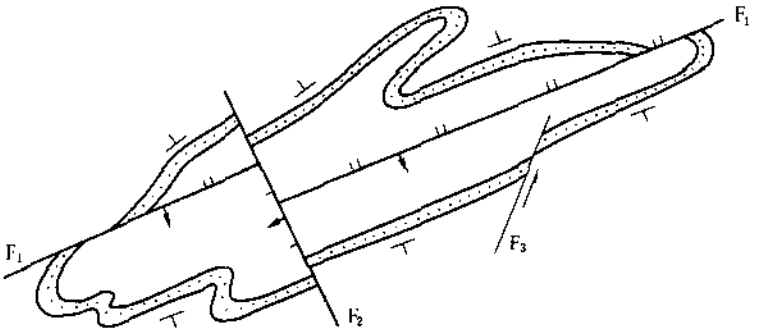
依据断层走向与所切褶皱轴向或区域构造线的关系，断层可分为以下3种（图2-2-15）：

（1）纵断层。断层走向与褶皱轴向一致或断层走向与区域构造线基本一致的断层。

（2）横断层。断层走向与褶皱轴向直交或与区域构造线基本直交的断层。

（3）斜断层。断层走向与褶皱轴向斜交或与区域构造线斜交的断层。

2. 按断层两盘相对运动方向的分类



F_1—纵断层；F_2—横断层；F_3—斜断层

图 2－2－15　根据断层产状与所切褶皱轴迹的关系对断层进行分类示意图

根据断层两盘的相对运动，可将断层分为以下几类（图 2－2－16）：

（1）正断层。断层上盘相对下盘沿断层面向下滑动的断层。

（2）逆断层。断层的上盘相对下盘沿断层面向上滑动的断层。根据断层倾角大小可分为高角度逆断层和低角度逆断层。高角度逆断层倾角大于 45°，倾角小于 45°的逆断层称为低角度逆断层。

逆冲断层是位移量很大的低角度逆断层，倾角一般在 30°左右或更小，位移量一般在数公里以上（通常指≥5km）。逆冲断层常常显示出强烈挤压的揉褶、劈理化、菱形断块的推叠等现象。

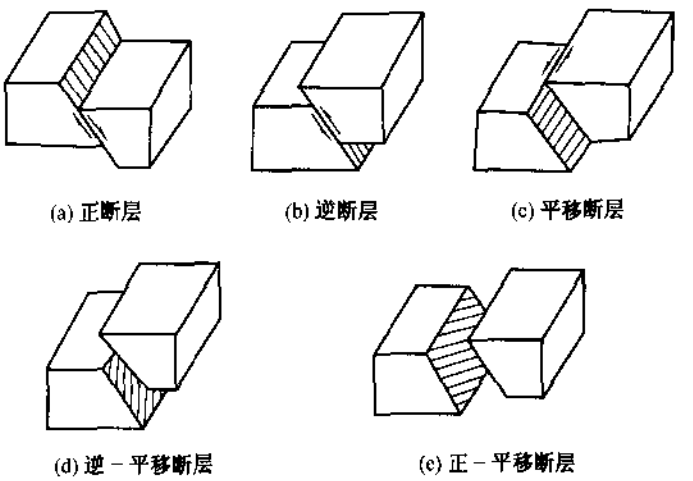


图 2－2－16　按断层两盘相对运动划分的断层和组合性质

逆冲断层的上盘，因从远处推移而来而称为外来岩块（体），下盘相对未动而称为原地岩块（体）。推覆体就是一种外来岩块（体）。因总体成平板状又称逆冲岩席。逆冲断层与推覆体共同构成逆冲推覆构造或推覆构造。当推覆构造发育区遭受强烈侵蚀切割，将部分外来岩块剥掉而露出下伏原地岩块，表现为在一片外来岩块中露出一小片由断层圈闭

的原地岩块，称为构造窗；如果剥蚀强烈，外来岩块被大片剥蚀，只在大片被剥露出来的原地岩块上残留小片孤零零的外来岩体，成为飞来峰。

（3）平移断层，又称走向滑动断层。平移断层是断层两盘顺断层面走向滑动的断层，根据两盘的相对滑动方向，又可进一步命名为右行平移断层和左行平移断层，所谓右行或左行是指沿垂直断层走向观察断层时，对盘向右滑动或向左滑动。平移断层面一般陡峻以至直立。

断层两盘往往不是完全顺断层面走向滑动，而是斜交走向滑动，于是断层常兼具倾向滑动（正或逆滑动）和平移滑动。这类断层一般采用组合命名，称之为平移－逆断层、逆－平移断层、平移－正断层和正－平移断层（图2－2－16）。根据习惯，组合命名中的后者表示主要运动分量。

（4）枢纽断层。具有一定程度旋转运动的断层，即以断层面上的一点为枢纽中心，两盘发生相对旋转滑动，称为枢纽断层。

2.1.4.4 断层标志

1. 断层面上的特征

（1）擦痕。断层两侧的岩块相互滑动和摩擦留下的痕迹，是断层面上常见的一种构造现象，常表现为一系列彼此平行较均匀的细而密的线条，或为一系列相间排列的擦脊与擦槽。擦痕的产状可以用倾向、倾角表示，也可以用侧伏向和侧伏角来表示，如图2－2－17所示。侧伏与倾伏的关系如下：

$$\sin\alpha = \sin\beta \cdot \sin\gamma \qquad (2-2-1)$$

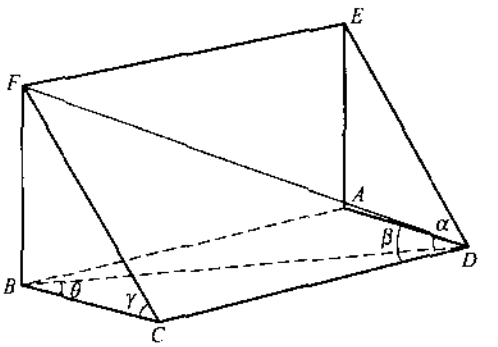
$$\tan\theta = \cos\beta / \sin\beta \cdot \cos\gamma \qquad (2-2-2)$$

式中 α——擦痕倾角；

β——侧伏角；

γ——断层面倾角；

θ——断层面倾向与擦痕倾向之间的夹角。



ABCD—水平面；*CDEF*—断层面；*FD*—擦痕

图2－2－17 断层擦痕的侧伏与倾伏关系示意图

（2）纤维状晶体。在断层运动过程中，两盘逐渐分开时生长的晶体，如砂岩断层面上的石英、灰岩断层面上的方解石，虽然石英、方解石本身的结晶习性并不是纤维状的，但因其形成直接与断层两盘相对运动有关，因而这些矿物晶体的生长方向与断层滑动方向一致，形成许多平行的纤维状晶体，而且它们又常在横过纤维的方向上不均匀地被断开，造成不规则的阶梯状断口外貌。

（3）阶步和反阶步。在断层滑动面上与擦痕直交的微细陡坎，称为阶步。阶步的陡坎一般面向对盘的运动方向；反阶步的缓坡与陡坡并不是以圆滑曲线连续过渡，而是以开口的折线相连接，它所指示的断层运动方向与阶步正好相反。

2. 断裂破碎带和断裂构造岩

断层两盘发生相对位移，致使两侧附近的岩石破碎，形成与断层面大致平行的破碎带，成为断层破碎带。

断裂构造岩是指断层两盘岩石在断裂作用中被改造形成的具有特殊结构构造和矿物成

分的岩石。断裂构造岩主要分为以下几种类型：

（1）断层角砾岩。可分为角砾岩和磨砾岩两种。

（2）碎裂岩类。按破碎程度、颗粒形态、大小及碎基含量等，可分为初碎裂岩、碎裂岩、碎斑岩、碎粒岩和碎粉岩。

（3）糜棱岩。糜棱岩的特点是颗粒细小，具有固态流动造成的条带状构造，空间产状上位于一个窄带。糜棱岩的细粒化不是碾磨成的，是塑性变形动态重结晶的结果，是原岩中初始大颗粒变成许多大颗粒和新生颗粒的集合体。糜棱岩可分为初糜棱岩、糜棱岩和超糜棱岩。

（4）构造片岩。是在糜棱岩发育的基础上进一步静态重结晶的构造岩。由于颗粒生长增大使糜棱结构破坏，具有明显的透入性面理，如果岩石的颗粒 50% 以上因静态重结晶作用而增大到肉眼能及，则根据其面理发育特点，分别称为构造片岩或构造片麻岩。

3. 牵引褶皱和反牵引褶皱

（1）牵引褶皱。断层两盘紧邻断层的岩层，常常发生明显的弧形弯曲，这种弯曲称为牵引褶皱，如图 2－2－18 所示。

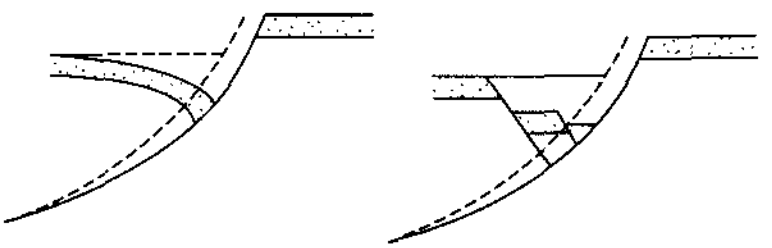


图 2－2－18　断层带中的牵引褶皱及其指示的两盘运动方向

（2）反牵引褶皱。弯曲形态与牵引构造正好相反，弧形弯曲突出方向指示对盘运动方向，如图 2－2－19 所示。

4. 派生小构造

（1）拖褶皱。由断裂剪切滑动而伴生的褶皱称拖褶皱，其枢纽与断层斜交，锐角指示对盘运动方向。



(a) 反牵引褶皱　　(b) 反向断层

图 2－2－19　反牵引褶皱与反向断层

（2）羽状节理。在断层两盘相对运动过程中，在断层一盘或两盘的岩石中常产生羽状排列的张节理或剪节理，其与主断层斜交，羽状张节理与主断层所交锐角指示本盘的运动方向。

2.1.5 岩浆岩体构造

岩浆岩体是由岩浆岩组成的，是由于地下深处岩浆沿地壳断裂侵入、上升，甚至喷出地表冷凝而成的具有一定形状和大小的地质体。侵入岩体是岩浆侵入地壳内部尚未达到地表冷凝而成的岩体。岩浆喷出体是岩浆喷出地表冷凝而成的岩体。

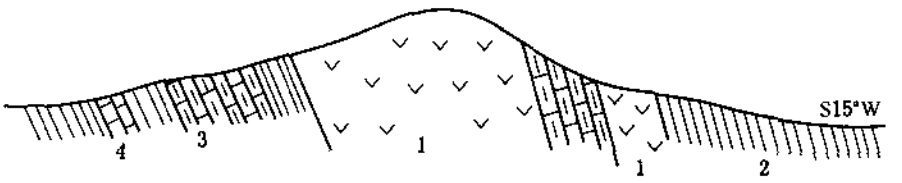
2.1.5.1 岩浆岩体的产状

岩浆岩体的产状是指岩浆岩体的形态、大小，以及在地壳中的位置和与围岩的接触关系等。

1. 岩浆侵入体的产状

整合侵入岩体是指侵入岩体的边界面或接触面基本上平行于围岩的层理或片理的侵入岩，包括岩床、岩盘、岩盆和岩鞍。

（1）岩床。一种顺层侵入的板状岩体，如图 2－2－20 所示。



1—纯橄榄岩；2—石炭系片岩；3—石炭系不纯大理岩；4—石炭系大理岩

图 2－2－20 内蒙某铬铁矿纯橄榄岩岩床剖面图

（2）岩盘，又称岩盖。一种上凸下平似透镜状侵入岩，如图 2－2－21 所示。

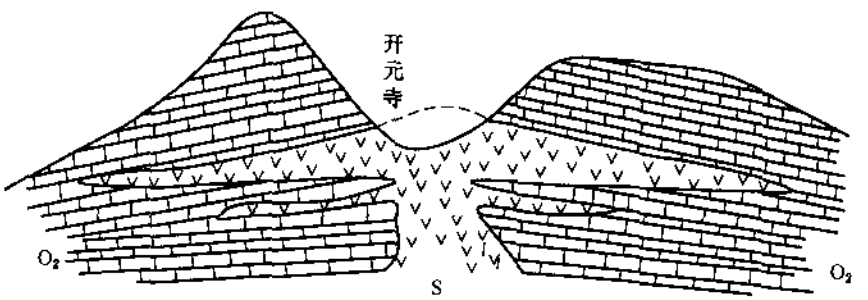


图 2－2－21 济南开元寺辉长岩岩盘剖面图

（3）岩盆。一种规模较大的似盆状侵入体，多产于构造盆地中，岩体和围岩均自四周向中心倾斜，如图 2－2－22 所示。

（4）岩鞍。一种新月形或马鞍形小岩体，均产于褶皱转折端虚脱部位，如图 2－2－23 所示。

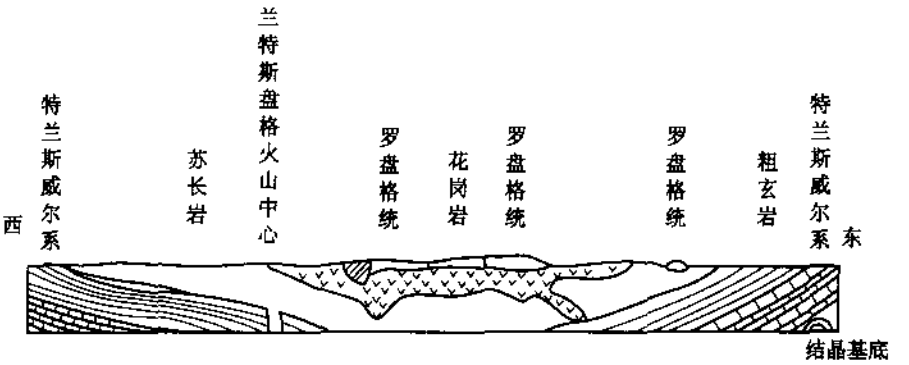
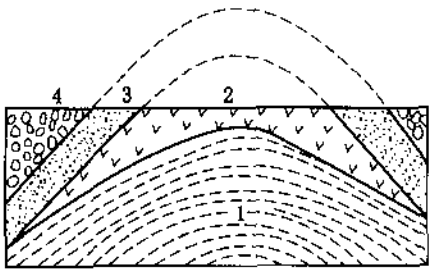


图2-2-22　非洲南部布什维尔德岩盘剖面图



1—页岩；2—花岗闪长岩；3—砂岩；4—砾岩

图2-2-23　倾伏背斜内花岗闪长岩岩鞍示意图

不整合侵入岩体是指侵入岩体的边界面或接触面与围岩层理或片理斜交的侵入体，包括岩基、岩株和岩墙。

（1）岩基。常产于造山带核部的巨大岩体，面积超过100km^2，常达数千甚至十万平方公里。

（2）岩株。规模不大，形态不太规则的近等轴状岩体，平面上多呈圆形。

（3）岩墙。一种板状侵入体，一般产状陡并切割围岩。

2. 岩浆喷出体的产状

根据熔岩形态、熔岩性质和喷出方式，可将喷出岩体的产状分为熔岩被、熔岩流和火山锥三类。

（1）熔岩被。一种喷发规模大，厚度和成分较稳定，产状平缓的喷出岩体。

（2）熔岩流。一种成带状和舌状展布的熔岩，一般由中心式喷发而成。

（3）火山锥。由火山喷发物围绕火山通道构成的锥状体，是中心式喷发的产物。

2.1.5.2　岩浆岩体的原生构造

岩浆侵入围岩或喷出地表并逐渐冷凝固结成岩体的过程中，于岩体内部产生的构造，称为岩浆岩体原生构造。

1. 岩浆侵入体的原生构造

（1）原生流动构造。岩浆在液态流动阶段，由于岩浆内先结晶的矿物晶体，随着岩浆活动作定向排列，形成了原生流动构造，可以分为线状和面状流动构造。

① 线状流动构造，又称为流线构造。是由先结晶的角闪石、辉石、长石等针状和柱状矿物以及纺锤状的析离体和长条形的捕虏体，随着岩浆活动作定向排列而成。

② 面状流动构造，又称为流面构造。是由先结晶的云母、长石、角闪石等片状和板状矿物以及扁平的析离体和捕虏体，随着岩浆活动作定向排列而成的。

（2）原生破裂构造。岩浆在冷凝阶段形成的破裂（图2-2-24），有以下几种：

① L节理，又称层节理，是与流面平行的节理，常平行于岩体与围岩的接触面，产状一般较缓。

② S节理，又称纵节理，是平行于流线，垂直于流面的节理，产状一般较陡。

③ Q节理，又称横节理，是垂直于流线和流面的节理，节理面粗糙，倾角陡。

④ D节理，又称斜节理，是与流面和流线都斜交的两组共轭剪节理。

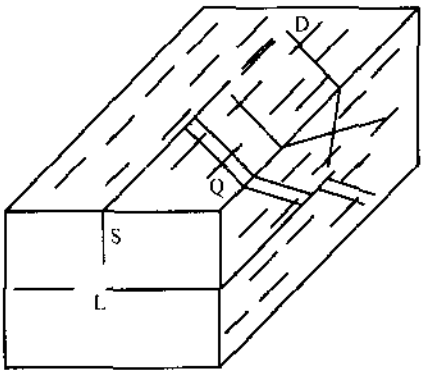


图2-2-24 深成岩体顶部原生破裂构造

⑤ 边缘张节理，常发育于侵入岩体的边缘，向侵入岩体的中心倾斜，常切割接触面伸入围岩，总体呈雁列式排列。

⑥ 边缘逆断层，位于岩体陡倾的边缘接触带，断面向岩体中心倾斜，产状平缓，由岩体内部向围岩逆冲，呈叠瓦状排列，断层面伸入围岩中。

2. 岩浆喷出体的原生构造

（1）原生流动构造如下：

① 流纹构造。指喷出熔岩体中，由不同颜色的物质或火山玻璃组成的层状条带。

② 流线和流面构造。流线构造是由于岩浆在地表流动过程中，先结晶的针状、柱状矿物，以及火山灰中的岩屑，平行于岩浆流动方向排列而成的。流面构造是由于岩浆在地表流动过程中，先结晶的片状、板状矿物作定向平行排列而成的。

③ 绳状构造。在喷出熔岩体的表面呈现为众多绳索状弯曲排列的现象，称为绳状构造。它常见于玄武岩熔岩流的层面上，弯曲凸出的方向指向熔岩流的流动方向。

（2）原生破裂构造如下：

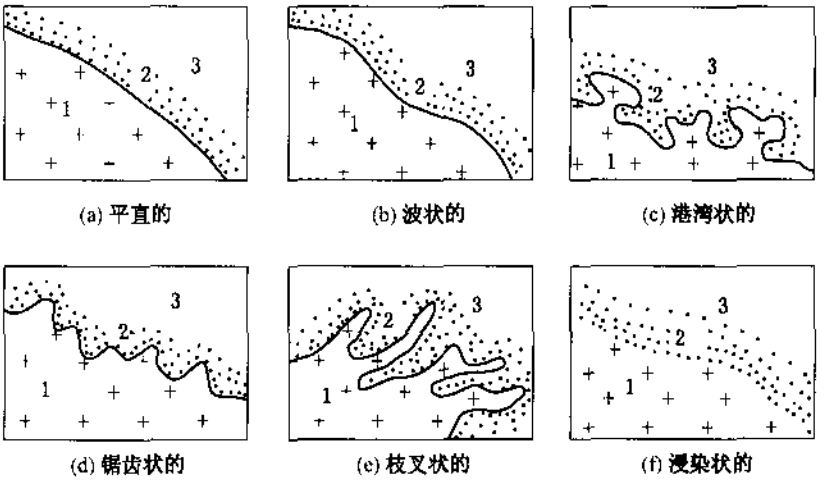
① 枕状构造。是海底火山喷发的基性熔岩体表层的一种原生构造，形如枕状、袋状或面包状叠加在一起。单个岩枕上凸下平，表面呈浑圆状，底面平坦，形如枕状。

② 柱状节理。多发育在产状平缓的火山岩内，一般垂直于熔岩流顶、底面，若干走向不同的这种节理将岩石切割成多边形柱状体，因而称为柱状节理。

2.1.5.3 岩浆岩体与围岩的接触关系

从成因上可以分为侵入接触、沉积接触、喷出接触和断层接触4种类型。

（1）侵入接触，又称热接触，是岩体侵入围岩中的一种接触关系。岩体的侵位时代晚于围岩，岩体与围岩的接触面形态复杂，有平直的、波状的、港湾状的、锯齿状的、枝



(a) 平直的　(b) 波状的　(c) 港湾状的

(d) 锯齿状的　(e) 枝叉状的　(f) 浸染状的

1—花岗岩体；2—接触变质岩带；3—围岩

图 2-2-25　侵入接触面的形态示意图

杈状的；有的侵入接触面不明显，呈逐渐过渡的浸染状，如图 2-2-25 所示。

（2）沉积接触，又称为冷接触。岩体侵入后遭受风化剥蚀而露出地表，后来又被新的沉积物覆盖，两者之间的接触关系即为沉积接触。

（3）喷出接触。岩浆溢出地表形成的熔岩被或熔岩流，覆盖在先形成的岩层或岩体之上所形成的接触关系，也是一种热接触。

（4）断层接触。断层接触是一种构造接触，即岩浆岩体形成以后又受到断层破坏，使岩浆岩体与围岩接触呈断层接触，接触面就是断层面，具有一般断层的特征。

2.1.6　矿井地质构造及小构造超前预测

地质构造对煤矿生产建设的影响具体归纳为以下几方面：

（1）影响井型规模和井田划分。构造破坏严重的矿区不能建设大型矿井，而大型断层和褶皱枢纽往往是划分井田的自然边界。

（2）影响开拓部署。井田内部的断层和褶皱，对于开采水平的划分、运输大巷的部署、采区划分和巷道布置等都有直接的影响。构造破坏严重的矿井，采区划分零乱，巷道系统复杂。

（3）影响掘进率。构造复杂的地段，工作面布置往往不正规，需要多掘巷道，甚至造成无效进尺，使掘进率比正常情况显著增大。

（4）影响采面正常生产。回采工作面内出现断层，给生产造成困难，影响正规循环作业，甚至使生产中断。

（5）影响安全生产条件。构造对矿井涌水、煤与瓦斯突出、顶板稳定性等都起着明显的控制作用，从而增加了井下不安全因素。

2.1.6.1　*矿井地质构造等级划分及研究内容*

1. 等级划分

矿井地质构造按其规模大小和对生产的影响程度不同，可以分为大、中、小三个

等级：

（1）大型构造指整个煤产地的骨干构造。它决定着井田的划分和总体构造轮廓，如大向斜、大断层等。

（2）中型构造指分布在井田范围内，影响水平、采区划分和巷道布置的次一级构造。这类构造在勘探阶段尚未查明，甚至还未发现，需要通过补充勘探，在采掘过程中逐步查清。

（3）小型构造指那些规模很小，在一条巷道或一个工作面中就能看清全貌的更次一级的构造。这类构造当其稀疏时，对生产影响较小；当其密集时，使煤层顶板稳定性削弱，致使顶板维护困难。在煤与瓦斯突出的矿井，小型构造常是突出发生的构造部位。

为了统一矿井断层构造的分级标准，克服分级中的混乱现象，有必要对矿井断层构造进行定量分级。矿井断层定量分级如下：

（1）大型断层，落差大于30m。

（2）中型断层，落差小于30m到落差大于煤厚。

（3）小型断层，落差小于煤厚。

2. 矿井地质构造的研究步骤和内容

生产矿井对地质构造的研究可概括为观测、判断、预测、处理4个步骤：

（1）观测，是指对井巷已揭露的地质构造现象进行观察、测量、记录、描绘和摄影等项工作。这是一项基础工作，务必扎实抓好。

（2）判断，是指对揭露尚不充分的地质构造，根据与它有成因联系的各种地质标志，通过综合研究、分析对比，对它的存在、性质和规模作出的切合实际的辨认。全面地占有资料，科学地进行综合分析，是正确判断的前提。在作出判断之前，应尽量设想各种可能，并逐一筛选，以防片面性。

（3）预测，是指对部分揭露或未揭露地区的地质构造，根据地质理论和已掌握的地质规律，提出的预见性认识。矿井地质离不开科学的预测，那种就事论事的传统做法，满足不了当前煤矿生产对地质的要求。

（4）处理，是指针对已查明的地质构造特点，为克服和尽量减少它对生产的不利影响，采取的相应技术措施和办法。构造处理主要由采掘人员进行，但矿井地质人员要了解处理的原则，熟悉处理的方法，协助采掘人员妥善处理好构造。

生产矿井地质构造研究的主要内容可归结为以下几项：

（1）分析研究原有勘探工程对矿井主要地质构造的控制程度，以便适时布置补充勘探工程予以查明。

（2）系统观测和收集地表、井巷和钻孔中所揭露的一切地质构造资料，并正确填绘在矿井地质图上，及时为采掘工程提供地质资料。

（3）查明褶皱枢纽的位置、方向、起伏情况和标高变化，查明断层的性质、断距、延展方向和断失翼煤层的确切位置，以便调整巷道布置，为掘进施工指明方向。

（4）及时指出采掘前方可能出现的地质构造，以及它们对煤厚变化、岩浆侵入、充水条件、瓦斯赋存等的影响，以便采取防护措施，保证安全正常生产。

（5）根据构造的总体展布规律和某些构造的延伸特点，尽可能地对未采掘地段进行构造预测，为开拓部署提出合理建议。

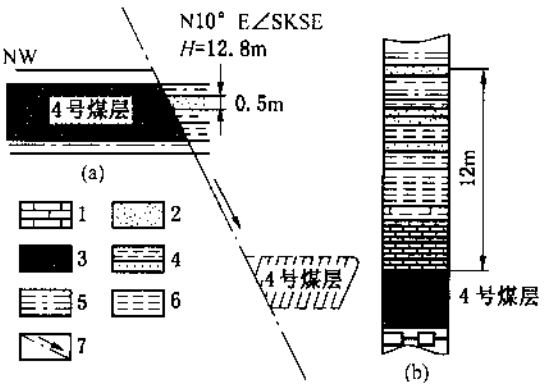
总之，矿井地质构造研究的主要内容可简述为：收全取准资料，及时上图分析，总结地质规律，开展构造预测，巧避地质构造之害，巧用地质构造之利。

2.1.6.2　*矿井地质构造分析方法及探测*

1. 层位对比法

层位对比法是根据巷道揭露的断层另一盘煤、岩层的层位，结合断层产状来判断断层性质和地层断距的一种方法。当煤系标志层明显时，它是一种既有效又简便的方法，在煤矿中被广泛应用。

某矿在 4 煤层中掘进巷道时遇一断层，由于该断层另一盘揭露的白色细砂岩是位于 4 煤层上方 12m 的一个标志层，据此不仅确定了该断层是正断层，而且还推算出地层断距为 12.9m，如图 2－2－26 所示。



1—石灰岩；2—砂岩；3—煤层；4—砂、页岩互层；5—粉砂岩；6—泥岩；7—断层走向、倾角、倾向和地层断距

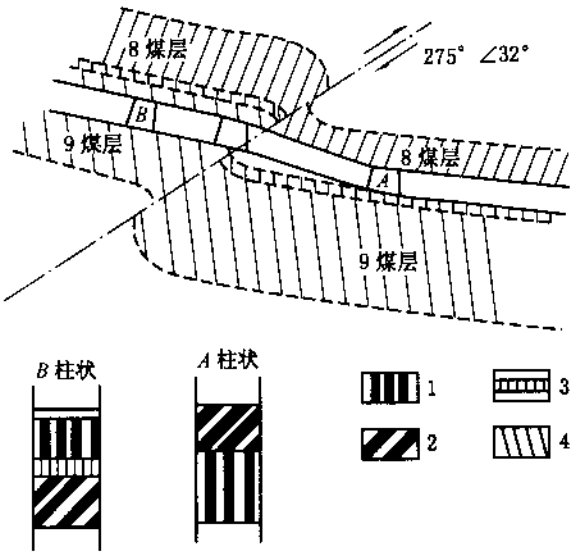
图 2－2－26　利用标志层判断断层的性质和地层断距

在开采煤层群的矿井中，由于断层常把不同煤层错接在一起，因此在沿煤层掘进巷道时，断层不易识别，巷道容易窜层，以致造成开采顺序上的失误。在这种情况下，要特别注意掌握各煤层的特征，时刻留意煤层的结构、厚度、煤岩、结核、包裹体和顶底板岩性的变化，准确鉴定巷道的掘进层位。只有这样，才能及时地确定断层的位置、性质和断距。某矿有一条由 8 煤层误入 9 煤层的巷道，由于事先掌握了这两个煤层的煤岩类型差异，因此不仅很快发现了断层，而且确定了断层性质和地层断距，如图 2－2－27 所示。

2. 构造形迹判定法

构造形迹判定法是根据与断层伴生和派生的小型和微型构造来判断断层性质的一类方法。这些小型和微型构造，在成因上与断层相互联系，在分布上与断层彼此伴随。它们不仅是断层存在的标志，而且是判断断层性质的依据。断层主要的伴生、派生构造有以下几种：

（1）牵引褶皱。靠近断层附近的煤、岩层，由于受到断层两盘相对错动的拖曳，常发生明显的弧形弯曲，这种弯曲称为牵引褶皱，亦称拖曳褶皱。一般情况下，牵引褶皱弧形弯曲的突起方向指示本盘（牵引褶皱所在盘）的运动方向。在利用牵引褶皱确定断层



1—半暗型煤；2—半亮型煤；3—砂质泥岩；4—推测煤层

图2-2-27 利用煤岩特征确定断层

错动方向时，最好利用煤层顶板或底板中的牵引褶皱，只有当条件不许可时才利用煤层层理所显示的牵引褶皱。

（2）羽状节理。指分布在断层面的一侧或两侧，并与断层面斜交呈现状排列的节理。羽状节理是由断层两盘相对运动派生的局部应力场的产物。它的特征是不切割断层面，并随着远离断层面逐步减弱而消失。

羽状节理与地质力学的人字形构造，无论在成因上或组合形式上都十分相似。可以这样说，羽状节理是一种小型的人字形构造。人字形构造是指由高序次的主干断裂和分侧的低序次分支断裂或褶皱组合成“人”字形状的构造形式。若分支构造属压性或压扭性，其与主干断裂所尖锐角尖端，指示对盘的运动方向；若分支构造属张性或张扭性，其与主干断裂所尖锐角尖端，指示本盘的运动方向。

利用羽状节理或人字形构造判断断层运动方向时，关键是要善于识别羽状节理和分支构造，并能准确鉴定其力学性质。

（3）帚状构造。指分布在主断层分侧，一端收敛，另一端撒开的一组小型弧形破裂面。它和羽状节理一样，也是由断层两盘相对运动派生的局部应力场的产物，所不同的是形成帚状构造时断层带岩体受力不平衡，曾发生过局部旋转。

此外，与帚状构造类似的其他旋卷构造，也可参照上述方法加以利用。必须指出，在利用帚状构造和其他旋卷构造确定断层性质时，最关键的步骤是现场定准它们的力学性质，以避免出现错误判断。

（4）擦痕和阶步。指断层两盘相对错动在断层面上留下的痕迹。一般情况下，擦痕由粗而深到细而浅的方向，或用手顺擦痕轻摩手感光滑的方向，指示对盘的运动方向。阶步由缓坡至陡坡方向，或陡坡的倾向，指示对盘的运动方向；反阶步则与之相反。

（5）断层泥与断层角砾。被断层搓碎并保留在断层带内的煤、岩层碎块和粉末称为

断层角砾和断层泥。某一煤层或标志层的断层角砾和断层泥，只能分布在它们曾经错移过的那一段距离内，而且离它们越远，粒度由粗到细，数量由多到少。因此，追踪断层带的煤角砾、标志层角砾和粉煤线，就能找到断失翼的煤层。此外，根据断层带内呈雁式排列的构造透镜体，也可判断断断层两盘的相对位移方向。

（6）平行小断层。指与主断层伴生，且产状一致、性质相同的小断层。它们是同一应力场下产生的一组位移幅度不同的断层面。由于这些小断层的性质在巷道中一目了然，因此根据平行小断层的性质就可判断主断层的性质。

3. 规律类推法

规律类推法是根据已经掌握的该区断层的发育特征和规律，确定断层性质，指明断失翼煤层寻找方向的一种方法。一些开采年代长久的矿井，随着断层资料的大量积累，通过统计分析、归纳总结，就可揭示该区断层发育的某些特征和规律，并利用这些规律指导断失翼煤层的寻找。

河南焦作矿区、内蒙扎赉诺尔煤矿，从开采至今没有发现过逆断层，所揭露的均为正断层。据此规律，只要查明断层面倾向，就可指明断失煤层的寻找方向。

河北峰峰矿区，绝大部分为正断层，只有 NE30°方向才出现过倾角较缓的逆断层。因此，只要查明断层产状，就可确定断层的性质，从而指明寻找断失翼煤层的方向。

4. 作图分析法

作图分析法是根据地质制图的原理，结合断层的各种特征，进行断层对比连接，确定断层性质和断距的一种方法，如图 2－2－28 所示。一般的做法是：将新揭露的断层点位置，准确地填绘在剖面图、煤层底板等高线图、立面投影图和水平切面图上，并根据断层产状进行上下左右的对比连接，如果新揭露的断层点与附近已查明的断层产状一致，特征相似，并能自然连接，那么新断层点就是已知断层的延续，因此该处的断层性质和大致规模即可推定。

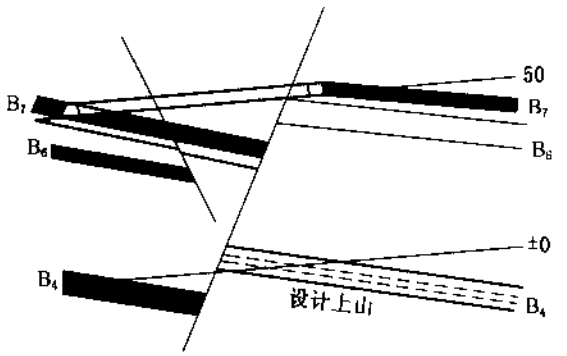
必须注意，在煤层底板等高线图和立面投影图上，断层应按断煤交线延伸；在水平切面图上，断层要按走向线延展；在剖面图上，断层须按该剖面上断层的倾角推延。只有这样，才能得到较为正确的结果。考虑到断层产状经常发生变化，因此断层的推延只能在近距离内进行。

20 世纪 50 年代，苏联 A. A. 别里茨基提出一种断层图示法，该法是用断层面和煤层面等高线来表示两者的空间位置关系。只要已知断层和煤层的产状要素、擦痕的侧伏和断层两盘相对滑动方向，即可绘出断层面和两盘煤层面等高线图。该图可用来求解断距和指导过断层找煤巷道的布置。

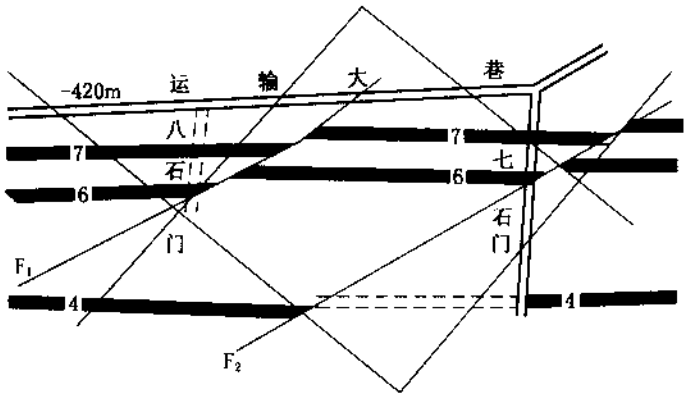
5. 生产勘探法

如果遇到断层，通过观测和综合分析，仍不能肯定断层的性质，或者已知断层性质，但断距无法确定，而生产上又需要查明断距，这时就要用生产勘探方法来解决。生产勘探有巷探、井下钻探和井下物探等技术手段。选择哪种勘探技术手段，主要应从经济、迅速、资料可靠、现有条件和生产上便于利用等因素来综合考虑。

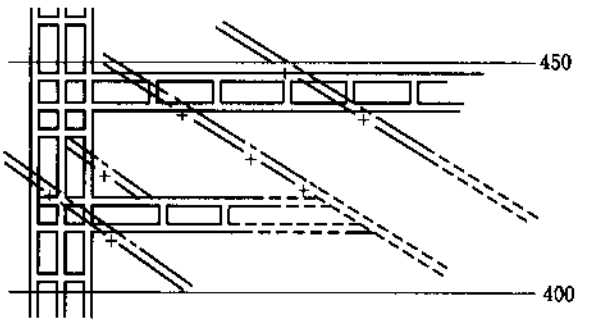
（1）巷探。当断层性质业已确定，但断距和煤层的可采性尚不清楚，生产上又需要掘进过断层的巷道时，才采用巷探。一般情况下，当煤层倾角较大时，采用过断层掘石门探查；当煤层倾角较小时，宜用斜巷探查。



(a)利用剖面图推断溶部构造情况



(b)利用水平切面图推断邻近煤层构层情况



(c)利用煤层立面投影图推断同一煤层的构造延展情况

图 2-2-28 作图求断层位置

(2) 井下钻探。当断层性质和断距无法确定，生产上又需要查明后才能确定巷道的掘进方向时，一般采用井下钻探。井下钻探的布置，主要应根据岩层产状和断层的可能性质来确定。钻孔最好垂直层面或岩层走向布置，可灵活选用水平孔、斜孔、铅直孔和扇形群孔探查。

(3) 井下物探。目前我国井下物探技术正处在试验和推广应用阶段。

综上所述，寻找断失翼煤层的各种方法都有一定的适用条件和局限性，在实际工作中应强调各种方法的综合应用，以便相互补充和彼此验证。总结我国断失翼煤层寻找经验表明：层位对比最可靠，形迹分析供参考，规律类推靠总结，作图推连不可少，综合分析再决断，不清还需手段找。

2.1.7 煤层厚度变化的原因

1. 地壳不均衡沉降

在泥炭聚积阶段，如果沼泽地区的沉降速度与植物物质聚积速度长期大致保持一致，那么就能形成较厚的煤层。如果某些地区的沉降速度逐渐变快，大大超过了植物物质聚积的速度，那么原先两者之间的均衡关系就被破坏，于是泥炭沼泽转变为湖泊，因此泥炭的聚积也就被泥沙等碎屑物质的沉积所代替，这样引起煤层从沼泽区向湖泊区方向变薄或尖灭。当湖泊区的沉降速度重新变慢时，湖泊因日渐淤浅，又再度变为沼泽，重新堆积泥炭。如此反复交替，便造成煤层分叉、尖灭及煤层与夹矸层相互交替等现象。煤层分叉的形式是多种多样的。有的煤层分叉后分布仍然相当稳定；有的煤层分叉后过一段距离又合并起来；还有的煤层分叉后只有一层保持稳定而另一层很快尖灭掉，有时是下分层尖灭而上分层稳定，有时则相反；也有的煤层发生多次分叉呈马尾状。

2. 泥炭沼泽基底不平

泥炭沼泽基底不平引起的煤厚变化现象在煤矿生产过程中是常见的。因为在聚煤时期，沼泽基底不可能完全是水平的，而常有起伏不平。在泥炭聚积的初期首先在低洼地方聚积了植物物质，到后期才往高处堆积，这就形成了低处的泥炭层厚，高处薄。如果有些地方隆起高出沼泽水面，因而植物无法保存下来，就造成煤层尖灭；如果沼泽周围为隆起高地，则在边缘地带发生尖灭现象，使煤层呈现出向四周尖灭的透镜体。这种原因所造成的煤厚变化常见于煤系最底部的煤层。

3. 河流冲蚀

冲蚀的形成是由于古河流在泥炭层或含煤沉积中流过，使泥炭层或含煤沉积受到冲蚀。根据形成的早晚，冲蚀作用可分为同生冲蚀和后生冲蚀两种。

同生冲蚀是在泥炭物质堆积过程中，即顶板未形成前发生的。这种冲蚀规模都不大，冲蚀带的岩石成分以砂质岩为主，砂质岩中常有煤的碎块，它们和煤层有共同的顶板。在平面图上，冲蚀带常呈弯弯曲曲的带状分布。

后生冲蚀即在煤系堆积过程中或煤系形成之后的冲蚀，也就是在煤层顶板形成以后的冲蚀。这种冲蚀规模比前者大，不仅冲蚀了煤层，也冲蚀了煤层的顶板，有时甚至连底板也被破坏。在平面图上呈很宽的条带，延续很长，有时分叉。冲蚀的凹陷部分常为各种粒度的砂岩，底面常见炭化树干以及凹凸不平的冲蚀坑外膜，出现薄煤的地段，煤、岩呈现犬牙状交错，煤中含楔形体若干。临近冲蚀带的煤层光泽变暗、煤质变松、灰分增高、裂隙发育。

4. 层滑构造

层间滑动构造（简称层滑构造）是指由层间滑动派生出来的层内揉皱和层内断层，它是发育在煤系地层中的一种特殊地质构造。

根据层滑构造在地质剖面中的滑面、裂面及煤层形变程度等形态特征，将煤矿井下层滑构造分为揉皱型、断滑型和断裂型 3 个大类，各类层滑构造的基本特征总结如下：

（1）揉皱型层滑构造。这种构造在煤层中经常出现，具体包括煤体流变式、底滑顶褶式、顶滑底褶式和顶底滑褶式4个小类。其总体特征为：规模较大；断裂面和滑动面均不清晰，且滑动面形态上为一复杂形变煤体破碎带；主滑面为煤层组中的某一界面，煤层面为次滑面，整个煤层为一滑动带；煤体剧烈形变，以塑性变形为主。

（2）断滑型层滑构造。这类层滑构造具体包括滑裂式和裂滑式2个小类。其总体特征为：断裂面和滑动面均发育，二者相互继承改造而无法区分；煤体形变较剧烈，以刚性变形为主，成层性尚好；煤体破碎严重，多为构造煤；断层产状较平缓，滑面可发育于煤层中或煤层顶底板界面上。

（3）断裂型层滑构造。这种构造似椅形，有人称之为“椅状构造”。它包括顺层滑动式、正断性层滑式及逆断性层滑式。煤断裂型层滑构造的总体特征是：规模较小；断裂面和滑动面各自独立且能明显区分；断裂面规则平直，滑动面沿煤层或某一岩层发育，二者交角较大；煤体变形较小，成层性尚好；多发育于中厚煤层形变严重部位，煤层与顶底板接触关系正常。

5. 其他因素引起的煤厚变化

除了上述的一些原因能引起煤层厚度发生变化之外，石灰岩地层的岩溶塌陷造成陷落柱或淤泥带以及岩浆的侵入活动，也能破坏煤层的完整性，使煤厚发生变化。

2.2 矿井地球物理勘探

矿井地球物理勘探，简称矿井物探，特指在地下巷道、采场中进行以物性差异为基础，通过观测地下地球物理场时空变化规律来解决矿井地质、矿井水文地质、矿井工程地质问题的各种地球物理探测方法的总称。目前矿井物探已经成为解决矿井地质、矿井水文地质问题必备的最先进技术手段之一。

针对煤矿安全、高效生产的不同需要，矿井地球物理勘探现已发展成为包括矿井直流电法、矿井地震、矿井无线电波透视、探地雷达法、微重力测量、放射性测量和红外测温法等多种分支方法的技术体系。主要矿井物探方法及其应用见表2－2－1。

2.2.1 矿井电阻率法

矿井电阻率法又称为矿井直流电法，其原理与地面电阻率法相同。对于矿井电阻率法而言，供电、测量电极通常布置在巷道顶、底板或巷道侧帮上，从各种方位去观测巷道周围稳定电流场的分布、变化规律，借以了解巷道顶、底板或所在岩层内的地质情况。针对各类矿井地质问题，电极的排列形式、移动方式等多有变化，从而衍生出不同的矿井电阻率方法。一般地，电极的移动方式决定着矿井电阻率法的工作原理，电极的排列方式决定着矿井电阻率法的分辨能力和电性响应特征，而勘探目标体相对测点的空间位置决定了矿井电阻率法的布极位置。

矿井电阻率法可分为：矿井电剖面法、矿井电测深法、巷道直流电透视法、集测深和剖面法于一体的矿井高密度电阻率法和直流电法超前探等。按照装置形式的不同，每类方法又可细分为若干种分支方法。矿井电测深法可分为对称四极电测深和三极电测深。矿井电剖面法可分为偶极剖面法、对称四极剖面法、三极剖面法等。巷道直流电透视法又分为三极电透视法、赤道偶极电透视法、音频电透视法等。根据测点和电极在巷道中的位置，又可分为巷道底板、顶板和侧帮电阻率法等。

表2-2-1　主要矿井物探方法及其应用

方法分类		常用井下施工方法	主要地质应用
矿井直流电法勘探	巷道顶底板电测深法	1. 固定MN法（施伦贝尔装置）； 2. 温纳装置； 3. 三极装置	探测煤层底板或顶板岩层内隐伏的导水裂隙带、富水异常区、含水层厚度、隔水层厚度等
	矿井电剖面法	1. 复合对称四极剖面法； 2. 多极距偶极剖面法； 3. 多极距三极剖面法	探测煤层底板隐伏的断层破碎带、导水通道的位置
	矿井高密度电阻率法	1. 温纳对称四极； 2. 温纳偶极装置； 3. 温纳微分装置； 4. 温纳三极装置	探测底板含水构造，评价岩层含水性；划分底板含水层和隔水层；调查灰岩岩溶发育情况
	直流电透视法（音频电透视法）	定点三极电透视法	探测工作面内小构造；探测工作面顶、底板岩层内含水、导水构造
	网络并行电法	1. AM法； 2. ABM法	巷道三维电阻率勘探；地电场监测；围岩变形破坏与矿井灾害预警等
矿井高分辨地震勘探	巷道地震勘探	1. 折射法； 2. 反射法； 3. 震波CT透视法	探测剩余煤厚、底板岩层埋深；评价隔水层稳定性；底板小构造探测
	矿井地震超前探	巷道多次覆盖观测系统	探测巷道迎头前方小构造
	槽波地震及震波CT勘探	1. 透射法； 2. 反射法	探测工作面内断层、陷落柱、冲刷带、小褶曲等特征变化，评价煤厚变化、瓦斯富集等
	瑞雷波勘探	1. 稳态法； 2. 瞬态法	划分岩层和探测顶、底板小断层及岩溶；巷道迎头超前探测小构造；探测工作面内小构造
	声波勘探	1. 直达波法； 2. 反射波法； 3. 折射波法； 4. 多孔透射法； 5. 单孔折射波法	测定岩层力学参数；评价岩体质量、硐室和井巷围岩稳定性，进行工程地质分类；探测井巷、硐室围岩松动圈范围和冻结壁的冻结状态及扩展情况等
	声发射与微震技术	1. 一般监测法； 2. 定位监测法	研究岩石破坏过程；预测瓦斯、煤层突出和顶板稳定性；预测冲击矿压等
矿井瞬变电磁法		1. 迎头前方探测法； 2. 剖面法	探测工作面顶、底板岩层富水异常区；掘进迎头超前探测含水构造
探地雷达法		1. 剖面法； 2. 宽角法	探测巷道顶、底板及工作面前方小断层、老窑、空巷；探测煤层残厚、底板隔水层厚度和巷道松动圈等
无线电波透视法		1. 定点发射法； 2. 止同步法； 3. 斜同步法； 4. 多方位测量法	探测工作面内陷落柱、小断层、冲刷带、火成岩侵入体范围，评价煤层富水性和瓦斯富集区等
红外测温		1. 定点测量法； 2. 剖面测量法	探测老空区，区分水源类型
综合物探分析法		1. 电法与地震法结合； 2. 地震法与电磁法结合； 3. 震、电、电磁多方法结合	多种方法的同时使用，可提高地质异常的分辨能力与精准度，是值得全面推广的方法

目前，矿井电阻率法是矿井防治水工作中必备的探测手段之一，可用于探测煤层底板或顶板岩层内隐伏的导水裂隙带、富水异常区、含水层厚度、隔水层厚度和掘进巷道迎头前方的含水构造等地质问题。

2.2.1.1 *矿井电剖面法*

矿井电剖面类方法的特点是在测量过程中电极间距保持不变，同时沿测线逐点测量视电阻率值。由于电极间距不变，沿测线方向矿井电剖面法顺层（或垂直层面）的探测范围大致相等，因此所测得的ρ_s剖面曲线是测线方向上一定勘探体积范围内岩层电性变化的综合反映。

矿井电剖面法是研究沿巷道方向岩体电性变化的一种灵活而有效的方法，常用于探测与巷道正交或斜交的隐伏裂隙带、断层破碎带等横向电性变化大的地质异常体。煤矿井下经常采用的电剖面法有对称四极剖面法、偶极剖面法和微分剖面法等。这些方法既可用于探测断层和裂隙发育带，又可用于评价断裂带的含水程度，也可用于验证其他矿井电法方法所发现的异常。下面只介绍最常用的对称四极剖面法。

1. 电剖面法的井下施工技术

巷道顶、底板对称四极剖面法，通常选用复合极距装置。极距选择要综合考虑以下几种因素的影响：①具体的地质任务；②巷道周围的矿井地质条件和巷道掘进的技术条件（巷道长度和支护类型等）；③地电干扰的强度。

一般，选择$20 \leqslant AB/2 \leqslant 120$m，$MN/AB = 1/3 \sim 1/10$（$A$、$B$为供电电极，$M$、$N$为测量电极），点距取$5 \sim 20$m。在某些情况下，要求装置尺寸更小，测点更密。

2. 电剖面法资料处理和解释

对于对称四极剖面法，巷道影响是一个常数，可作为背景值，不影响异常的形态。这时巷道顶、底板电剖面异常是全空间电性不均匀体的综合反映。

对于供电电极和测量电极布置在巷道壁上的对称四极剖面装置，若煤层内没有断裂破碎带等构造扰动，则测得的剖面曲线是一条平直直线；若煤层内存在构造扰动，则测得的剖面曲线是一条类型复杂的非平直曲线，剖面曲线上的异常与煤层中横向通过观测剖面的断层和裂隙发育带有关。异常特征（异常的形态、强度、宽度等）与断层或裂隙发育带和正常煤系地层的电性差异、它们的空间位置、几何参数（断层的断距、倾向、走向；与观测剖面的相遇角、走向长度等；裂隙发育带的宽度、延伸长度等）、含水性以及供电电极距的大小有关。高阻煤层中的断层，当其断距与煤层厚度大致相等时，煤层顶、底板靠得很近或相互接触，这时在对称四极剖面曲线上表现为低阻异常。而高阻煤层中发育的裂隙带，其异常性质与其含水性直接相关，若裂隙发育带不含水，在剖面曲线上表现为高阻异常；若裂隙发育带含水，在剖面曲线上则表现为低阻异常。

实际应用中，常采用多个极距的复合对称四极剖面法，借此可以了解和查明观测剖面上横向和垂向上的电阻率变化，并可确定异常体的空间位置。

2.2.1.2 *矿井直流电测深法*

1. 全空间影响下的矿井电测深曲线

对于矿井电测深法，煤层电阻率的大小对测深曲线影响至关重要。当煤层电阻率相对高阻时，由于煤层屏蔽作用，煤层上部围岩在曲线上反映滞后，影响较小。此时测深曲线主要为煤层底板以下电性层的反映，曲线类型和特征的变化反映了煤层底板以下电性层参

数相对大小关系及数值的变化。实际工作应该注意以下几点：

（1）当煤层电阻率与围岩电阻率差异较小时，底板电测深曲线变化规律与全空间岩层电性有关。在进行底板电测深时，还应该考虑煤层以上地层中低阻异常体的影响。

（2）全空间情况下的电测深曲线与地表半空间相比，曲线形态更加复杂，曲线类型已经不能像地面电测深那样与各层电阻率相对大小关系一一对应。在某矿区进行矿井电测深勘探之前，应事先根据该矿区地电条件计算其对应测深曲线，并由此指导井下工程设计和施工。

（3）当煤层电阻率相对较高（煤层电阻率大于 3 倍围岩电阻率）时，电极距又不是很大（小于 80 倍煤层厚度）的情况下，底板（或顶板）电测深曲线可近似地按照半空间地表电测深曲线的电性、定量方法来进行资料解释。

（4）当矿井较浅而电极距又较大时，应考虑地面对电测深曲线尾支变化的影响。

2. 矿井直流电测深资料解释

矿井电测深法的理论基础和地表电测深法不同，全空间情况下的巷道电测深曲线与地面半空间电测深曲线相比，两者有许多明显的差异，已经不能像地面电测深曲线那样与各层电阻率相对大小关系一一对应。加上巷道挖空的影响，使得巷道顶、底板电测深曲线形态更加复杂，这就给巷道顶、底板电测深曲线的反演解释带来一定的困难。

要得到合理的解释结果，必须事先了解该矿区地电条件，并通过正演计算或电解槽模型实验对巷道顶底板电测深曲线的性质有充分的认识。巷道电测深曲线的定性分析，包括依据曲线外形进行分类，确定断层和裂隙发育带的电性反映和实际位置等。

巷道电测深曲线的定量解释不能采用地面电测探曲线定量解释程序，否则会出现解释错误。对于较完整的井下电测深曲线，经巷道影响较正后，可采用巷道底板电测深自动反演方法进行分层定厚。而对于畸变严重或不完整的视电阻率曲线，可采用计算方法或特征点法进行定量解释。

由于巷道电测深曲线类型本身的复杂性，加上巷道空间影响、直接出露的断层带、铁轨、测量电极附近电性的不均匀性及强烈地电干扰，实测电测深曲线往往畸变严重，有时呈剧烈的锯齿跳跃，因此不能按单条曲线进行定性和定量解释。为此，常把视电阻率断面图作为解释的基础图件，通过横向、纵向对比，判断各种构造产生的电性异常。

2.2.1.3　*矿井直流电法超前探技术*

矿井电法超前探技术用于掘进巷道迎头的超前探测工作，具有高效、简便、测距大、对水敏感、适应性强等特点，在超前探测含水断层、判断破碎带的存在及其是否富水等方面应用效果较好。

井下三极装置观测的视电阻率值是勘探体积范围内（包括巷道影响在内）的全空间范围的岩石、构造等各种地质信息的综合反映。特别是测量电极附近电性不均匀影响最大，往往使得剖面曲线出现大的起伏或锯齿状跳跃，需要通过三点（或多点）的视电阻率剖面曲线对比，进行校正。

资料解释的方法和步骤如下：

（1）首先进行测区岩石电性参数测试，了解测区正常岩石电性特征和已知的异常地质体的电性特征。

（2）给定相应的地电模型及其参数，分别计算正常场和异常场理论曲线。

（3）实测曲线与理论曲线比较，确定异常点位置及异常类型。

（4）利用几何作图法确定异常体的具体位置。图2-2-29为几何作图法原理示意图，方法是分别以实际供电点A_1、A_2、A_3为圆心，以该供电所测异常极小点坐标为半径画圆，若三圆弧相切点在正前方，则切点即为异常体界面位置；若三圆不相切，并且曲线异常形态类似，则异常体界面与巷道平行或斜交，其公切线即为异常体界面位置。

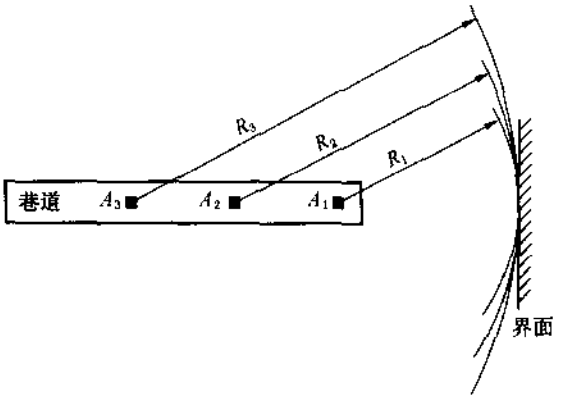


图2-2-29 几何作图法原理示意图

2.2.1.4 *矿井直流电透视法*

1. 井下施工方法技术

直流电透视法工作方法与矿井无线电透视相同，测量工作在采煤工作面的运输巷和回风巷间进行，一般每10m一个测量点（*MN*），每50m一个供电点（*A*）。如果工作面较短，如小于80m，应加密到每5m一个测量点，20~30m一个供电点。

具体测量方法是，对每个供电点供电时，对应在工作面另一巷道的扇形对称区域内布置15~20个观测点进行测量ΔU_{MN}。当本巷道内所有供电点测量完毕后，测量与供电在两巷道对调，重复观测所有供电点，以确保采面内各单元有两次以上的覆盖。

2. 直流电透视法资料解释方法

1）曲线对比法

曲线对比法是直流电透视资料解释中最常用的基本方法，首先，利用电测资料确定煤层及围岩电性参数（电阻率）；其次，正演模拟计算理论地质模型的理论电透视曲线（电位曲线或视电阻率曲线），也可利用同一巷道不同测点的实测电透视曲线，通过相关分析法确定地电模型的理论电透视曲线；最后，将实测曲线和理论曲线对比，根据二者的吻合程度及实测曲线上的异常畸变点，可定性圈定煤层及其顶底板内是否存在断层，含水、导水构造等。依据畸变点的性质和位置，结合已知地质资料，可综合分析判断顶底板断层或岩溶裂隙发育带的含水性及其位置。

2）地电CT成像法

该方法可将异常体的位置、性质、影响范围比较直观地表现在工作面平面图上。地电成像法与地震射线层析成像在原理上有很大的差别，该方法不像地震射线层析成像法那样

有走时和速度沿射线路径积分的简单关系。在稳定电流场中，电位满足泊松方程，电流线总是趋向于从电阻率低的地方通过，电流强度沿电流线的积分（电位）与路径无关。因此，电阻率成像要通过数学物理方程反演来达到地电成像的目的。

一般借助于测量的电位差来确定电阻率的变化，而电阻率的变化取决于地层的非均匀性。为了描述这种非均匀性，引入局部电阻率 $\rho_s(x, y, z)$，即将所测范围划分成若干个地电单元体，设偏差 $e(x, y, z)$ 定义为

$$e(x,y,z)=\frac{\rho_s-\rho_s^0}{\rho_s^0}$$

式中　ρ_s——实测视电阻率；

ρ_s^0——理论地电模型正演计算的视电阻率值。

利用视电阻率在不同单元体的偏差 $e(x, y, z)$，将此非均匀性按一定规则用平面图表现出来，就是地电成像结果。依据异常带的性质可确定断层或裂隙发育带的含水性及其位置，图 2－2－30 即为煤矿采煤工作面底板电透视实测 CT 成像图。

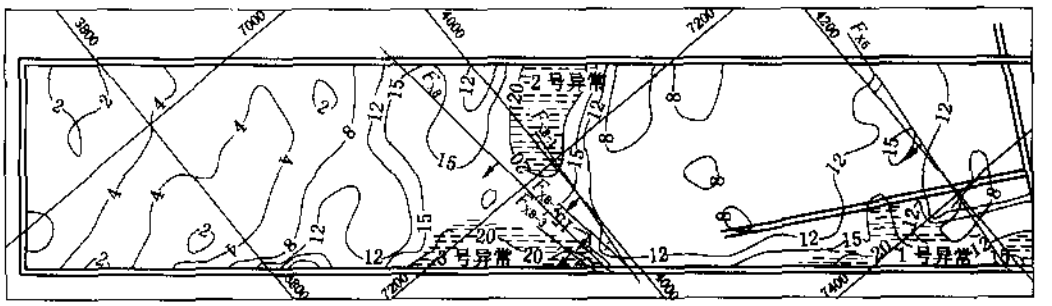


图 2－2－30　采煤工作面直流电法透视 CT 成像图

3. 音频电透视技术

矿井直流电透视法采用稳定电流场，其观测仪器一般采用方波供电，宽频带接收，抗干扰能力相对较弱。为此，在实际应用中采用单一低频交流供电，一般为 15～100Hz，故称为音频电透视法。而音频电透视仪器，它通过单一低频率交流供电、接收仪器等频测量等手段消除干扰，提高了抗干扰能力和观测精度，可小电流供电，有利于仪器设备的防爆。

在此频率范围段，交流电场在岩层中分布性质与直流电场基本相同，所以其工作原理和资料处理解释方法同直流电透视法是一样的。

目前，矿井音频电法透视对于采煤工作面顶、底板内部的导水构造及含水层的富水性探测，取得了良好的地质效果，为采煤工作面注浆改造及防治水工作提供了依据。在受水害威胁的大水矿区，常用于检查底板注浆改造的效果。

2.2.2　矿井瞬变电磁法

矿井瞬变电磁勘探在井下巷道中进行，采用多匝小回线装置测量，井下噪声、资料处理和解释方法与地面瞬变电磁法和矿井直流电法不同，主要有以下几方面的特点：

（1）由于井下测量环境与地表不同，无法采用地表测量时的大线圈（边长大于 50m）

装置，只能采用边长小于3m的多匝小线框，因此与地面瞬变电磁法相比具有数据采集工作量小、测量设备轻便、工作效率高、成本低等优点；对于其他矿井物探方法无法施工的巷道（巷道长度有限或巷道掘进迎头超前探测等），可采用测量装置小、轻便的矿井瞬变电磁法探测。

（2）由于采用小线圈测量，点距更密（一般为2～20m），可降低体积效应，提高勘探的横向分辨率。

（3）井下测量装置靠目标体更近，将会大大提高异常体的感应信号强度。

（4）利用矿井瞬变电磁法小线框发射电磁波的方向性，可分别用于探测巷道底板下一定深度内含水异常体垂向和横向发育规律、顶板一定范围内含水低阻异常体的发育规律及巷道掘进迎头超前探测等。

（5）由于瞬变电磁法关断时间的影响，与其他物探方法相比，无法探测到更浅部的异常体，往往在浅部形成20m左右的盲区。

（6）矿井瞬变电磁法勘探受井下金属仪器设备（采煤机械、变压器、金属支架等）的影响较大，需要在资料处理解释中进行校正或剔除。

目前，矿井瞬变电磁法主要用于解决煤层顶板（或底板）岩层内部的富水异常区探测、巷道掘进迎头前方的突水构造预测、含水陷落柱勘查等水文地质问题。

2.2.2.1 *矿井瞬变电磁法井下施工方法技术*

矿井瞬变电磁法工作装置主要有重叠回线和偶极装置两种。应用重叠回线装置或中心回线测量，其优点是地质异常响应大、施工方便；缺点是线圈互感、自感效应强，一次场影响严重。采用偶极装置优点是收发线圈互感影响小，消除了一次场影响；缺点是二次场信号弱。

1. 装置参数的设计

矿井瞬变电磁法在井下巷道中采用多匝数小回线装置测量，参数选择是否合理直接影响测量结果。矿井瞬变电磁法测量参数主要有：回线边长大小、回线匝数、时间序列、叠加次数、终端窗口和增益等。

根据不同的地质任务，选择回线边长与匝数是不同的。回线在一定的范围内线框越小，其体积效应也越小，其横向、纵向分辨率也愈高。信号的强弱可通过选择中心探头的挡位和调整发送电流的大小进行控制。由于井下的工作环境所限制，矿井巷道宽度只有几米，因此回线边长不能太大，只能选择较小的边长，一般在2～3m。但边长太小，就影响发射功率，使得勘探深度大大降低。

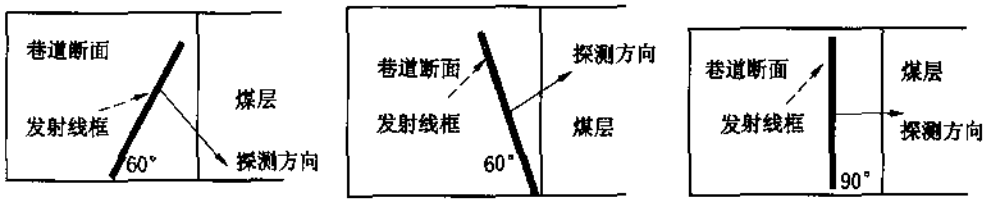
要提高发射功率，可通过增加回线匝数、加大发射电流来增大发射磁矩，以此提高信噪比，增大有效探测深度。

其他参数在井下实际测量中，正式工作前通过试验即可确定。回线大小一定，一般回线匝数愈多，发射磁矩愈大，发射功率也愈大，接受回线感应信号也愈强。有效面积增大，发射磁矩愈大，发射功率也愈大，探测深度增大，接受回线感应信号也愈强，但会增加装置移动的难度。实际测量中，由于井下巷道空间的限制，为了增大回线的有效面积，有时可采用矩形回线组合进行测量，以满足实际探测工作的需要。总之，矿井瞬变电磁法实际测量中，根据探测任务的要求和井下实际设施情况，选择合理的回线边长大小和回线匝数，不仅能有效完成探测任务，同时可提高实际探测的工作效率和减小测量中的劳动

强度。

2. 测点布置及施工方法

矿井瞬变电磁法在煤矿井下巷道内进行，测点间距 2 ~ 20m 之间。根据多匝小线框发射电磁场的方向性，可认为线框平面法线方向即为瞬变探测方向。因此，将发射接收线框平面分别对准煤层顶板、底板或平行煤层方向进行探测，就可反映煤层顶、底板岩层或平行煤层内部的地质异常，如图 2 - 2 - 31 所示。



(a) 探测煤层底板　　(b) 探测煤层顶板　　(c) 探测煤层方向

图 2 - 2 - 31　瞬变电磁法探测方向示意图

图 2 - 2 - 32 为向煤层底板方向探测的矿井瞬变电磁法视电阻率断面等值线图。由图可知，距巷道 60m 的范围内，视电阻率值呈水平分布，说明煤层及其底板较完整；在 7 号测点处，60 ~ 100m 深度范围有一相对低阻异常区，结合实际地质资料可解释为含水异常区的反映。

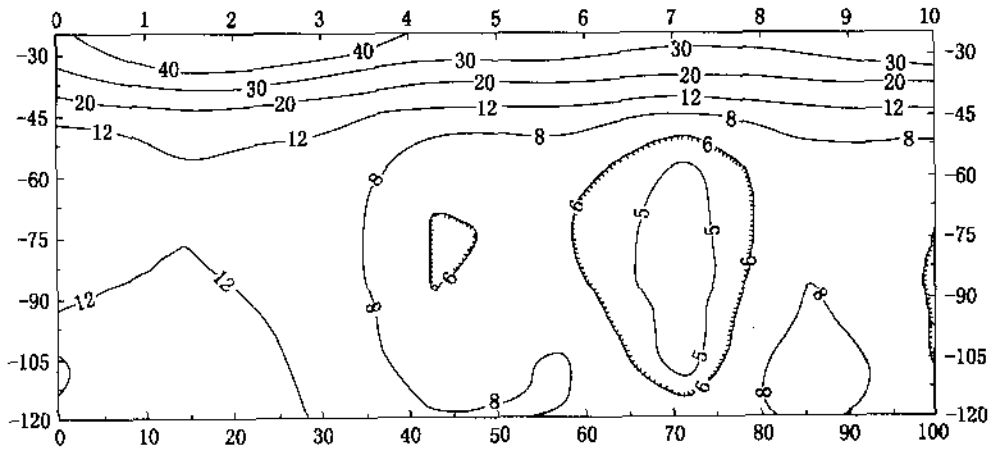


图 2 - 2 - 32　矿井瞬变电磁法视电阻率断面等值线图

3. 巷道掘进迎头超前探测技术

应用瞬变电磁法探测井下巷道迎头前方的含水构造，与其他矿井物探方法相比，具有施工空间小、方向性强、速度快、基本不耽误掘进施工等优点。

巷道瞬变电磁法工作装置一般采用多匝数、小重叠回线组合来进行超前探测。先将发

射线圈和接收线圈固定在线框支架上，这样在探测过程中就可以快捷地移动线圈，提高工作效率。

测点布置方法如图 2－2－33 所示，图中箭头方向即为线框平面法线方向。为了便于对比，除在迎头方向布置测点外，还应在两侧帮布置若干测点。

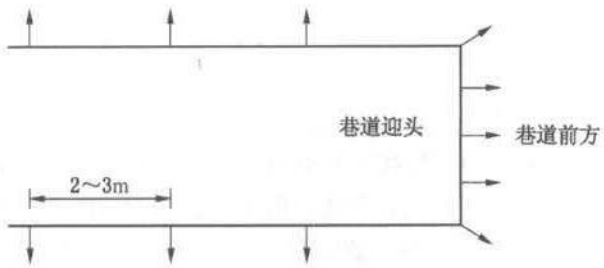


图 2－2－33 瞬变电磁法超前探工作布置示意图

图 2－2－34 为井下巷道迎头超前探的视电阻率扇面图，该图反映了瞬变电磁法探测方向（线框平面法线方向）扫过范围内岩层电阻率分布情况，由此可以判断巷道掘进迎头前方是否存在含水异常区。

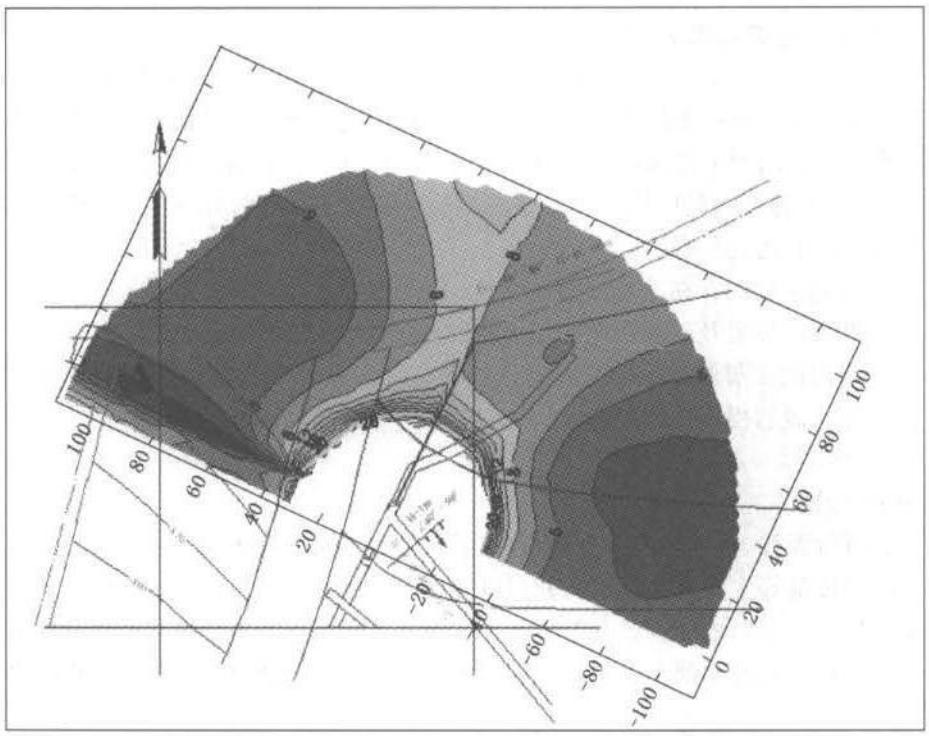


图 2－2－34 瞬变电磁法超前探视电阻率扇面图

2.2.2.2 矿井瞬变电磁法资料解释

瞬变电磁法的资料解释步骤是首先对采集到的数据进行去噪处理，根据晚期场或全期场公式计算视电阻率曲线，然后进行时深转换处理，得到各测线视电阻率断面图。最后，根据探测区的地球物理特征、TEM 响应的时间特性和空间分布特征并结合矿井地质资料进行综合解释，划分地层富水区分布范围。

矿井瞬变电磁法实际应用时要注意以下几点：

（1）矿井瞬变电磁法是时间域电磁感应法的重要补充和完善。由于发射线圈和接收线圈布置在井下巷道中，全空间效应和巷道影响是巷道围岩介质中瞬变电磁场的两个基本特征，因此巷道影响下的全空间瞬变电磁场分布变化规律是矿井瞬变电磁法理论基础。

（2）在巷道有限断面内，发射和接收线圈的尺寸受到限制，为提高瞬变电磁场的强度，一般采用增加线圈匝数以扩大发射和接收面积的方法，实践表明这种做法在提高探测信号信噪比方面确实有效，但随之带来因线圈自感和互感增大致使视电阻率计算值偏低的问题（在 $10^{-2}\sim10^{-4}$ 数量级），与实际情况相差很大，需要进行校正。

（3）巷道金属支护材料、铁轨、电缆和采掘机电设备等对观测结果产生较大影响，合理选择测点位置，采用多次叠加技术是保证井下观测质量的重要措施。

（4）应用实例表明，矿井瞬变电磁法对充水构造或充水岩溶等反应灵敏，加之巷道施工空间的选择余地较直流电法大。

（5）矿井瞬变电磁法无高阻屏蔽影响，在直流电法因高阻无法接地测量的地方，矿井瞬变电磁法会取得良好的探测效果。

2.2.3　矿井无线电波透视法

坑道无线电波透视法（又称坑透法）是较早用于查明工作面内部的地质构造的物探方法。随着采煤机械化程度的提高，要求在开采前查清工作面内隐伏构造及其他影响正常开采的不良地质体的程度越来越高，在这方面坑道无线电波透视法发挥了极其重要的作用。特别是 CT 成像技术的应用，使得坑透技术探测工作面内小构造异常的能力大幅度提高，主要解决以下地质问题：

（1）查明陷落柱的存在及其分布范围；

（2）小断层的位置及延伸情况，估算断层落差；

（3）确定煤层变薄带、冲刷带；

（4）确定火成岩侵入体的范围。

2.2.3.1　工作方法

1. 准备工作

在下井进行无线电波透视工作以前，应了解坑透工作面具体的工作环境，如电缆、金属管道、电气设备等主要人工导体的分布以及煤层顶底板岩性、煤质、工作面宽度、巷道高度、支护材料、瓦斯浓度、温度等情况，同时要了解工作面内已揭露的地质构造、水文地质条件等因素。在此基础上，可以确定工作频率，布置坑透测点，制定工作顺序和井下工作时间表。

2. 观测方式及测点布置

观测方式采用定点法，即发射机相对固定于某巷道事先确定好的发射点位置上，接收机在另一巷道一定范围内逐点沿巷道观测场强值，观测射线呈扇形分布，发射线圈与接收线圈所在平面应与巷壁垂直。为确定透视异常的位置与分布范围，要调换发射与接收巷道的位置，重复定点观测方式，用以射线交会，划分异常。

如图 2－2－35 所示的工作面，实际工作顺序可设计为：①在工作面的运输巷、轨道巷按设计每 10m 一点进行标号；②在运输巷的 0、5、10、15、20 点依次发射，相应在轨道巷的 0～5、0～10、5～15、10～20、15～20 测点段接收；③在轨道巷的 20、15、10、5、0 点依次发射，相应在运输巷的 15～20、10～20、5～15、0～10、0～5 测点段接收。

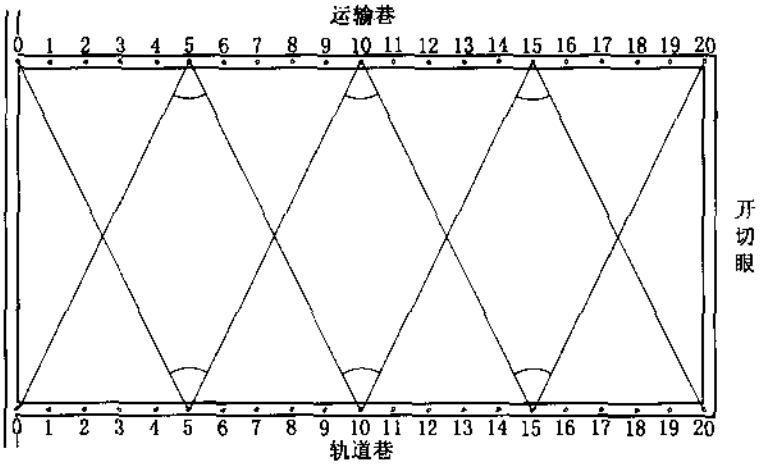


图2-2-35 定点观测方式示意图

测点布置视工作面具体情况而定，标注过程中不应有漏号或重号且上下两巷道点号相对应，一般发射点距50m，接收点距10m，根据工作面的宽度大小可适当调整发射、接收点点距。对应一个发射点，应保证接收点在12个以上，其原则是尽可能扩大电磁波覆盖面积，以利于探测工作面内的平行于两巷道的断层构造。

3. 时间同步

发射巷道与接收巷道之间通信不便，为了保持发射与接收同步，一般采取提前预订的办法，即提前设计好各个点发射与接收的具体时间，工作时可以将设计好的发射接收时间序列打印成表，发射方与接收方各持一份，按预先设定时间进行。

4. 压制干扰

巷道中一般会有电缆、排水管道、铁轨、动力机械等良导体的存在。这些良导体可以使电磁波沿导体传播，并作为二次辐射源辐射出电磁波，对坑透工作造成了极大干扰，而且消耗了穿透煤层的电磁波能量，极大地影响着坑透的地质效果，因而井下工作时应注意避让。井下工作时，将电缆、水管断开，如可能将其拆下放置于巷道底帮一侧，对于金属导体来说，二次辐射场源在其周围衰减梯度大，远离0.5m以上即可避免金属导体干扰的影响。如干扰体不可拆除放下时，接收天线环中心应尽可能与导体的高度前后保持一致，并且尽量远离导体进行。

2.2.3.2 *无线电波透视资料的综合曲线法解释*

在利用该种方法进行资料的解释时，将各接收点实测场强 H 值与相应的理论计算场强 H_0 进行对比，取得的数据称为衰减系数 η，即

$$\eta = H/H_0 \tag{2-2-3}$$

取接收点点位为横坐标，取 H、H_0 和 η 为纵坐标，将同一发射点对应接收点的实测场强 H、理论场强 H_0 或衰减系数 η 按比例绘制成图，就得到3条曲线，称为综合曲线图，如图2-2-36所示。

根据参数值在曲线上显现的异常，可确定出异常体的边界点（或中心点），将边界点（或中心点）与对应的发射点相连，此线就表示导电体的几何阴影范围。根据多条连线交

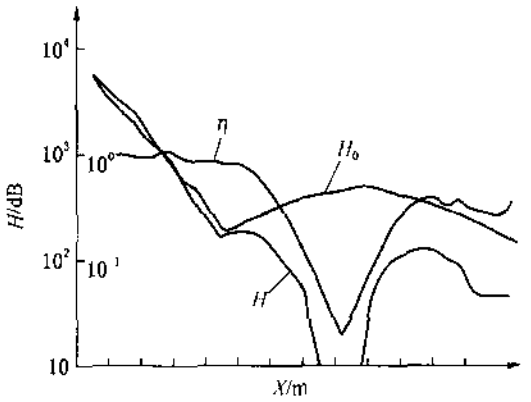


图 2－2－36　无线电波透视综合曲线图

会，就可圈定出异常体的轮廓，如图 2－2－37 所示。

特征场强曲线的解释原则如下：

（1）“V”字形及“漏斗”形特征场强曲线的出现，是无线电波透视法判断确定地质构造的首要条件。

（2）半“V”字形特征场强曲线的出现。受工作面因探测范围的限制，电磁波穿透部分地质构造时，其场强曲线则表现为半“V”字形。

（3）要综合分析工作面切眼及两巷道揭露的已知地质资料。当无线电波透视场强曲线出现“漏斗”形、“V”形或半“V”字形特征线曲时，应调查两巷煤、岩层赋存的稳定性，没有出现断层、煤层变薄带等地质构造，则可判断此异常为地质构造异常。

（4）根据以上分析，通过绘制交会图（图 2－2－37）确定异常在工作面中的位置。

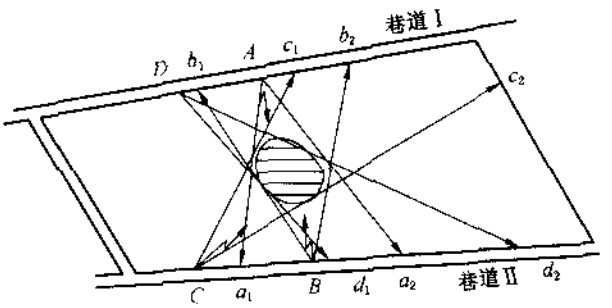


图 2－2－37　无线电波透视交会平面图

2.2.3.3　坑透 CT 层析成像技术

综合曲线解释法优点是简捷、直观，但存在着许多不足，诸如圈定的异常范围比实际地质体范围大得多，异常重叠和多个目标体存在的情况下难以区分，而且不同发射点异常幅度不具有可比性等，因而解释精确度明显偏低，已不能完全满足生产需要。

坑透 CT 层析成像技术充分利用电磁波在媒质传播过程中的信息，利用高精度反演吸收衰减系数，克服了常规场强对比法和综合曲线交会解释方法的不足，大大提高了资料解释的精确度和可信度，增强了异常的识别能力。

由于反演方程的建立是基于各像素绝对衰减作用的叠加，因此求得的各像素的绝对衰减系数也就体现了介质的物性。把每个像素的值用图（色块图、灰度图、等值线图或立体图）表示出来，就是所谓的层析图像，如图 2－2－38 所示。

坑透 CT 图像直观表示了工作面内电磁波衰减异常的分布情况，根据衰减异常幅度大小、异常形态、范围大小等特征，结合工作面两巷道地质揭露情况及本区地质规律作出相应的解释。一般，断层构造的异常表现为条带状，而陷落柱等三维地质异常体往往表现为

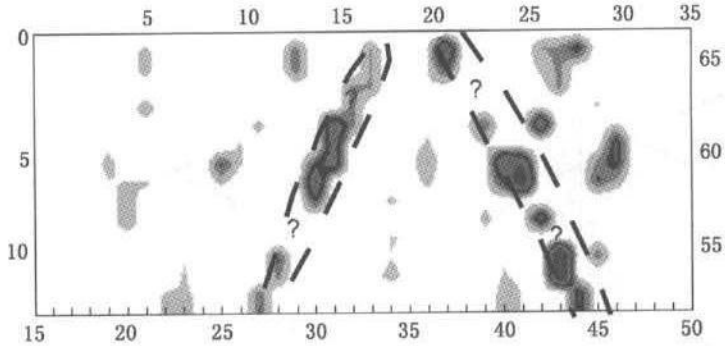


图 2-2-38 无线电波透视层析成像成果示意图

圆形或椭圆形异常。

2.2.4 矿井地震勘探

2.2.4.1 巷道地震折射波探测

由于煤层是低速、低密度介质，在煤巷中，在煤层上进行地震波激发，就会在煤层顶、底板界面形成折射波，在分层开采工作面就可以采用浅层折射波法探测剩余煤层厚度；在放顶煤工作面进行顶煤厚度探测，为煤矿储量计算提供依据。

当入射波投射到界面时，它的部分能量透过界面，根据斯奈尔定律，当界面下面介质的速度 v_2 大干上覆介质速度 v_1 时，随着入射波入射角的增大，透射角也随着增大；当入射角为某一角度 i_0 时，其透射角为 90°，这时透射波就在界面下的介质中以速度 v_2 沿界面滑行。这种特殊情况下的透射波叫滑行波，滑行波所经过的任何一点都可看做是一个新的点源，因为上下介质是紧密相连的，滑行波所经过的任何一点的振动，必然引起上层和下层介质的振动，这样，在第一介质中形成了一种新波，即折射波（也称首波）。这种折射波只在临界角以外才能观测到，而临界角之内观测不到折射波，称为折射波的盲区。

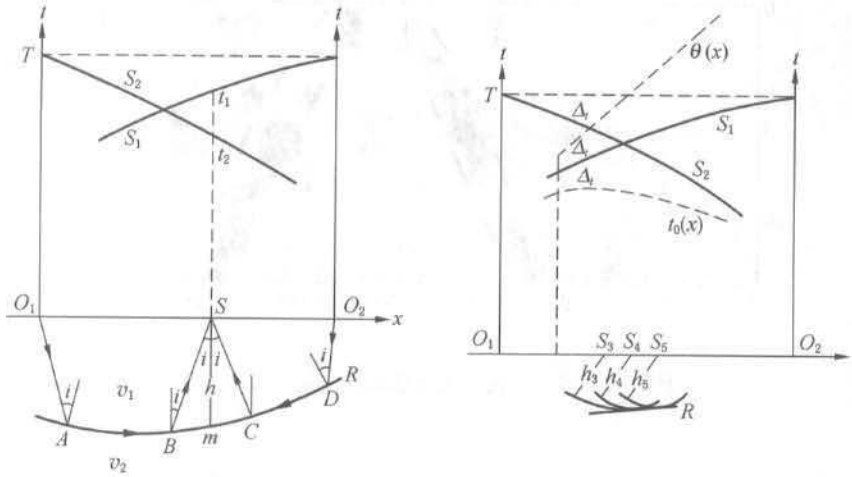
实际工作时大多采用相遇观测系统进行数据采集，沿巷道煤层上布置测线，在测线上间隔 1 ~3m 布置一个检波器，每条测线检波点不少于 12 个，在测线两端锤击激发；也可以在测线两端各布置 1 个检波器，在测线上每 1m 一个锤击点，进行接收。大多采用 t_0 法等进行资料处理和解释。折射波法勘探是地震勘探中最为直接的方法。图 2-2-39 为折射波探测界面常用方法，图 2-2-40 和图 2-2-41 为 KDZ1114 矿井地质探测仪在某煤矿的实际工作面剩余煤层厚度探测结果。

2.2.4.2 巷道地震反射波探测

受井下特殊条件及三维空间位置的限制，井下浅层反射波勘探中测线布置可在巷道迎头、底板、顶板、侧帮等进行灵活布置。

图 2-2-42 和图 2-2-43 分别为巷道迎头和侧帮反射波观测布置示意图。图 2-2-44 为采用矿井反射波“最佳窗口技术”观测示意图。

共偏移发射探测是矿井反射地震探测的常用方法，最佳偏移距的确定要通过现场实验进行，在巷道接收的地震波有来自震源激发所产生的直达波、反射波、折射波、面波、空气声波、多次反射波等，还有测线附近的机械和人为干扰。现场实验必须从调查记录中考



(a) 相遇时距曲线　　(b) $t_0(x)$、$\theta(x)$曲线并绘制折射界面

图 2-2-39　用 t_0 差数时距曲线法绘制折射界面

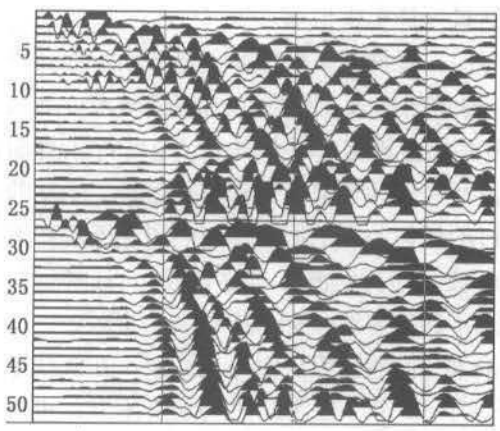


图 2-2-40　煤层实测折射波波形记录

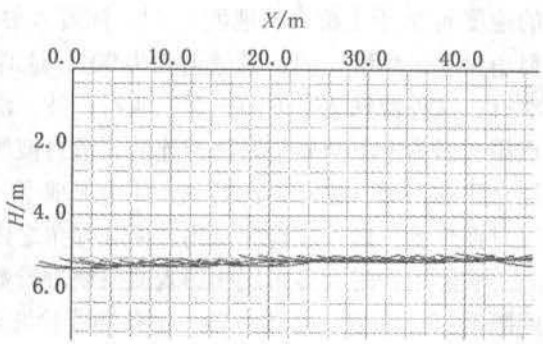


图 2-2-41　煤层厚度解释结果

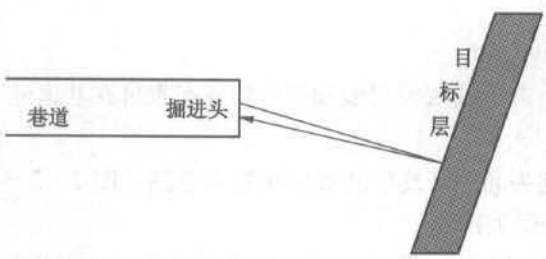


图 2-2-42　巷道掘进迎头超前探测示意图

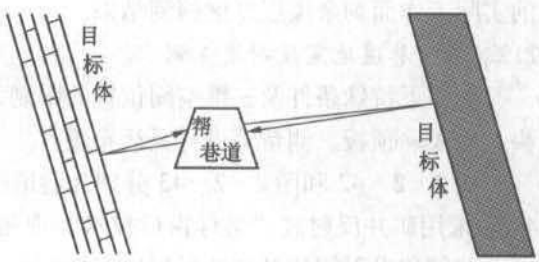


图 2-2-43　巷道两帮超前探测示意图

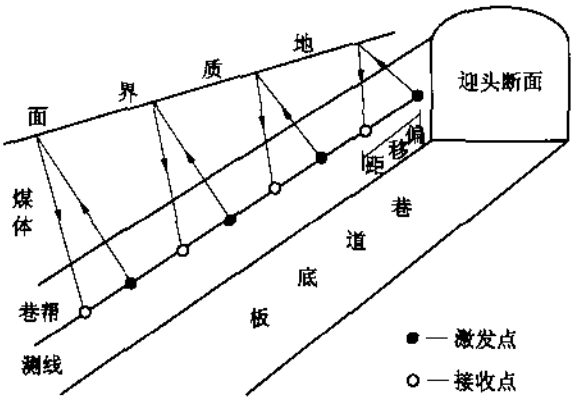


图 2-2-44 共偏移巷帮测线布置示意图

虑避开各种干扰波，突出有效反射波，准确地确定最佳偏移距，保证测试时反射波同相轴的清晰易辨，同时还要考虑激发能量的有效性。

共偏移测试过程中，对底板下岩矿层探测可沿底板布置测线，而对工作面或两帮内地质异常体的探测只能在煤（岩）帮上布置测线，进行激发和接收。

井下地震波的激发和接收是关键，对于煤壁上探测，受煤帮松动或煤体自身松散特性的影响，往往不能形成很好的地震波，这时必须针对巷帮的支护情况，加工各种锤垫（如“工”字形、圆柱形、薄片形等），辅助激发有效的地震波向煤（岩）体中传播，保证能量能向介质内传播与返回，被地震检波器所接收。同样接收检波器也要尽量避开煤岩壁的松动范围，保证接收到有效的地震波信号。

在地震地质条件比较复杂的情况下，采用单次覆盖观测系统研究地下反射界面通常是不可靠的，特别是在外界干扰背景较严重时，采用单次覆盖观测系统无法探测地下地质构造，这时需要采用多次覆盖观测系统。进行多次覆盖巷道工作时，采取有规律地同时移动激发点与接收排列，在不同接收点，接收不同激发点激发并由同一反射点反射回到巷道的反射波，然后将这些共反射点的反射波经数据处理后叠加，这种做法对压制多次反射波之类的特殊干扰波，提高信噪比具有良好的效果。实际工作中多采用叠前偏移叠加技术进行处理，能得到满意效果。图 2-2-45 为某矿井进风斜井中反射共偏移法测试偏移剖面，图中反射波组特征明显，反射相位清晰，为解释和判别提供依据，自测试起点 40～62m 段波组相对紊乱，为岩性破碎杂乱引起较多的反射回波，异常区延伸为 21.5m 左右。

在煤矿井下反射波勘探应用范围很广，对于工作面内断层构造的延展、陷落柱大小、煤层变化范围等都有较好反映；对于煤岩体中注浆质量检查、巷道围岩稳定性评价、井壁质量检测等也具有应用价值。

2.2.4.3 瑞雷波地震勘探

瑞雷波勘探方法是一种以瑞雷面波作为有效波，在几十米深度范围内探查地质体的一种物探方法。作为地震勘探中的一个分支，瑞雷波勘探是自 20 世纪 80 年代发展起来的一种新的浅层勘探手段。它是基于不同振动频率的瑞雷波沿深度方向衰减的差异，通过测量不同频率成分（反映不同深度）瑞雷波的传播速度，来探测不同深度岩、矿层及其中的

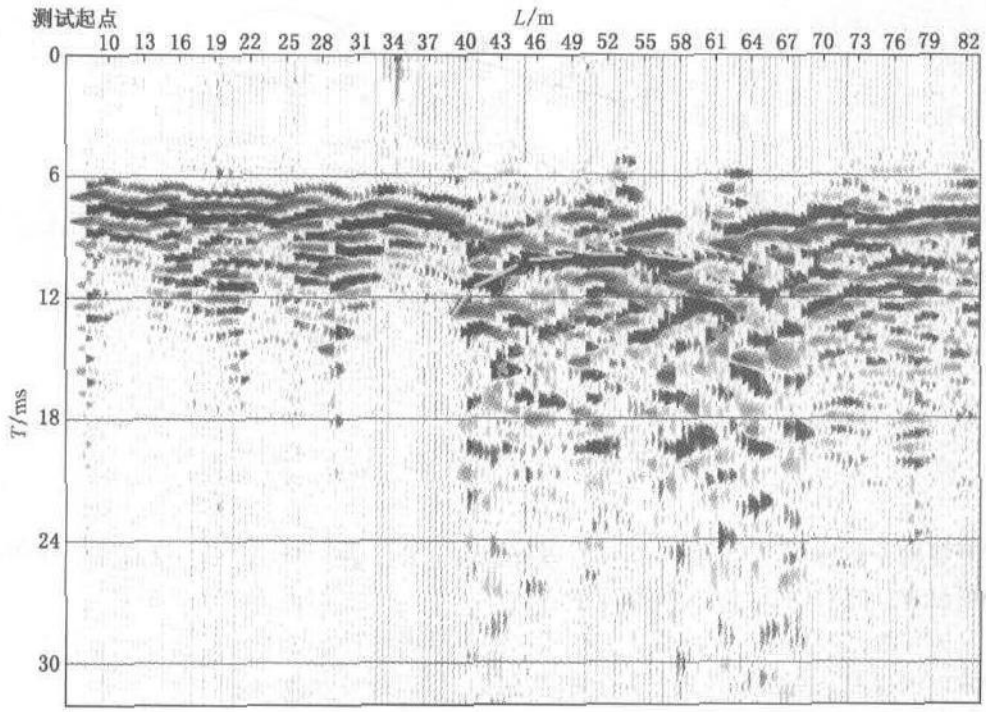


图2-2-45　某矿进风斜井侧帮地质构造异常区域探测匀速偏移剖面

构造、洞穴等地质体（如不同深度煤层及围岩内的断层、空洞、老窑、岩溶等）的。由于各种岩、矿层及地质体的密度和弹性参数不同，致使瑞雷波的传播速度有明显差别，因而可以利用瑞雷波的传播速度作为区分地质体的重要标志。

矿井构造探测方面，煤科总院西安分院于1988年引进了GR-810型仪器，并于引进前后在地面和煤矿井下开展了大量的探测试验，取得了较好的地质效果。根据近年来在焦作、邯郸、大同等矿业集团开展地面与井下的构造、洞穴与煤厚的探测试验，表明瑞雷波勘探技术用于煤矿井下探测是可行的、有效的。与此同时，西安研究院专门研制生产了适于煤矿井下使用的MRD-Ⅰ型防爆瑞雷波勘探仪，进行残余煤厚及水平超前探测。目前该仪器最新型号为MRD-Ⅲ型。安徽理工大学与福州华虹合作生产的KDZ1114-3矿井地质探测仪中的双点探测技术，是在瞬态面波勘探中，采用相位叠加技术进行勘探的。采用面波法在煤矿井下进行工作面前方的构造探测，在一定条件下也是有效的。

与此同时，该方法也存在着以下一些尚待解决的问题，具体包括：①对瑞雷波勘探技术的理论研究尚不够深入；②同样存在着多解性，而这种多解性是与瑞雷波的激发条件和观测系统密切联系在一起的；③对复杂多变地质现象的解释经验尚显不足。为此，应进一步深入开展瑞雷波勘探理论研究和应用试验，以促进这种方法更加成熟与更快发展。

2.2.4.4　槽波地震勘探

槽波勘探有透射法和反射法两种基本测量方法。在两种方法中，透射法是最基本的方法，也是常用的方法。这是因为相对于反射槽波而言，透射波槽波信号强，信噪比高，穿透距离大；透射波信号处理、分析解释简单；可提取重要的速度参数；能检测煤层不连续

性，成功率高和施工简单等。

透射法最大探测范围可超过1000倍煤厚，探测异常的成功率可达85%以上。反射法最大探测范围约为100～200倍煤厚，探测异常的成功率可达65%以上，并可确定断层等发射体位置。一般来说，它们的分辨率达煤厚的1/2。

至今，不论透射法还是反射法，仍存在两个共同问题，即直接识别异常体的性质比较困难，尚不能确定异常（如断层落差）的大小。因此在槽波地震勘探中，充分掌握已有的地质资料，包括其他矿井物探在内的地球物理与开采资料，并且结合这些知识，反复充分地分析槽波地震勘探测量（包括井上井下）勘探结果，对于可靠解释十分重要。所以，全方位多方法、多波的综合勘探、综合解释才是槽波地震勘探成功的必由之路。

2.2.4.5 *矿井地震超前探测技术*

在隧道及井巷工程施工过程中，往往会因为地质条件不详而遇到大量的影响安全生产的地质问题，其中断层构造、软弱层及其含水异常体是所要解决的重点问题。对巷道前方地质异常体的位置及特征进行探测与评价称为超前探测。目前来说，依据反射波原理进行超前探测的方法主要有隧道地震剖面系统（TSP系统）、负视速度法与隧道垂直地震剖面法（TVSP法）、水平声波剖面法（HSP法）、真反射成像法（TRT法）、综合地震成像系统（ISIS系统）、陆地声呐法（也叫高频地震反射法）以及隧道地震层析成像法（TST法）等。其中多数方法是从国外直接引进的，由瑞士Amberg公司完成的TSP系统探测准确率相对较高，主要应用在隧道超前探测中。总的来说，目前国内开展地震波超前探测都是以技术应用为主，未能对坑道掘进过程中反射波数据采集与处理进行深入研究。安徽理工大学、安徽惠州地下灾害研究设计院开展了对巷道地质构造震波超前探测技术研究与应用，在现有的震波反射探测技术基础上，通过不断地改进观测系统和分析方法，形成了一套矿井巷道MSP探测方法技术，即Mine Seismic Prediction技术。MSP采用了巷道多次覆盖观测系统进行数据采集，数据处理过程中综合运用二维滤波、$\tau-p$变换和叠前绕射偏移成像等多种地震数据处理技术，是一种多波多分量联合地震勘探技术的应用与发展。

1. 方法原理

如图2-2-46所示，MSP法是利用反射波勘探原理，在巷道迎头处指定的震源点用锤击或小药量爆炸激发产生地震波。地震波在岩煤层中以球面波形式传播，当遇到岩石物

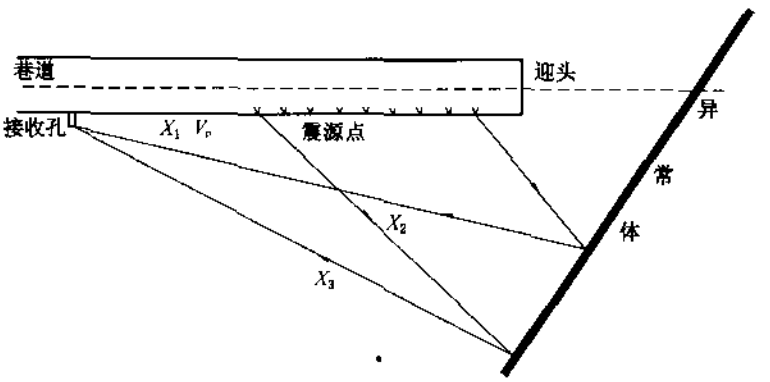


图2-2-46 MSP法超前探测布置及波路图

性界面（即波阻抗明显差异界面，如断层、采空区、岩石破碎带和岩性变化等）时，一部分地震信号反射回来，一部分信号透射进入前方介质，反射回来的地震信号被高灵敏度的地震检波器接收。按弹性波理论，在波组抗存在差异的不同界面反射信号将发生相位的变化，而且反射信号的传播时间与反射界面的距离成正比，因此能对巷道前方地质界面进行测量与评价。

2. 工作方法及参数

MSP 是通过巷道两帮及迎头布置多个不同距离的接收器，目的是接收不同方向不同产状地质界面的反射波。接收器由极灵敏的三分量地震加速度检波器（X、Y、Z 分量）组成，频宽 10 ~ 7kHz，包含了所需的动态范围。且三分量加速度检波器按顺序排列，能确保在三维空间方向范围的全波场记录，所以能分辨不同波的类型，如 P 波和 S 波。表 2 -2 -2 为震源孔与接收孔设置要求。

表 2 -2 -2　震源孔与接收孔设置要求

孔类型	施工位置	孔深/m	孔径/mm	倾角/(°)	倾　向	说　明
震源孔	巷道两帮	2	42	10（俯角）	垂直于巷帮	与接收孔布置在煤岩巷道的同一高度的直线上，间距 2 ~ 4m
接收孔	两帮及迎头	1.5 ~ 2	50 ~ 108	10（仰角）		接收器连同固定装置一起放入孔中

3. 资料处理与解释

图 2 -2 -47 为 MSP 法超前探测振幅叠加剖面结果，图 2 -2 -48 为三维偏移结果示意图。根据地质界面反射波判断，认为探测区域范围内共存在 3 组明显反射界面，分别为反射界面 1、反射界面 2 和反射界面 3，三组界面距离原点距离为 23.5m、62.5m 和 105.0m。其中界面 1 为该异常区巷道揭露边界，界面 2 推断为巷道前方遇到的异常体另一边界。后经验证发现，反射界面 1、2 为一陷落柱边界，界面 3 为另一条断层。

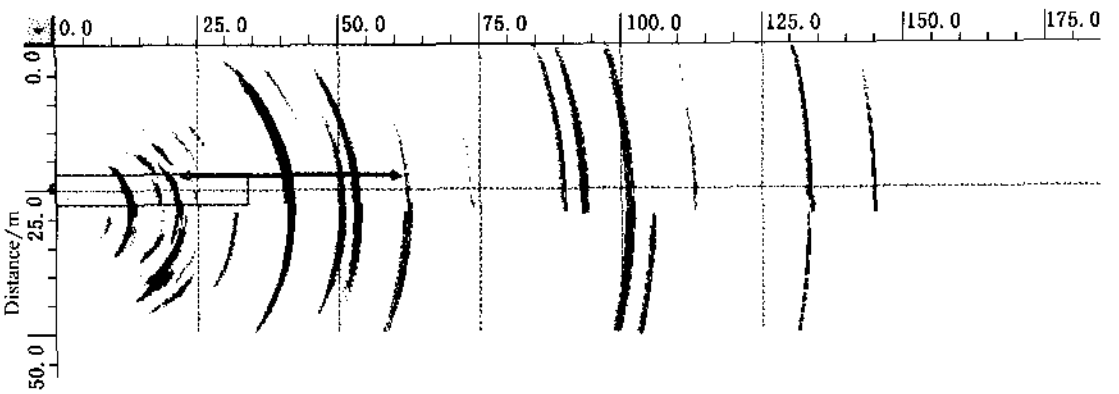


图 2 -2 -47　-817m 南翼 C15 顶板回风大巷探测解释图

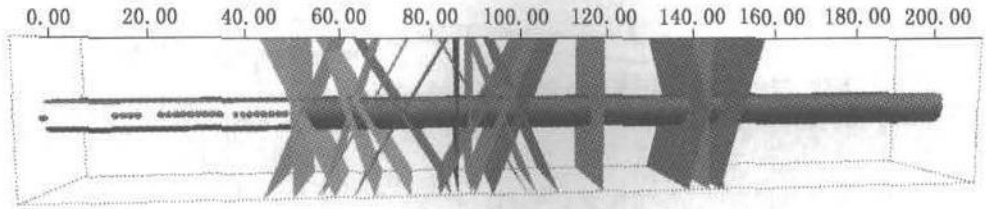


图 2-2-48 MSP 法超前探测三维偏移示意图

MSP 法是一种巷道长距离超前探测新技术，掘进过程中应加强对构造和煤岩层界面地质编录，为 MSP 法在不同矿井的有效应用积累丰富的地震地质资料。对 MSP 法来说，反射界面提取、资料解释等方面，尚需进一步实践、总结与完善，才能满足井下超前探测高精度的技术要求。

2.2.4.6 矿井工作面地震波 CT 技术

地震波 CT 技术，也即地震波计算机辅助层析成像技术，它是 20 世纪 80 年代开始在地球物理领域中应用并逐渐发展起来的，取得了许多令人瞩目的成果。目前广泛应用于地球内部结构成像，石油勘探、矿产勘探、土木工程检测、地质灾害防治等相关领域。

工作面地震 CT 成像是通过在工作面上下风巷之间建立探测区域，在一条巷道煤帮中激发地震波，并在另一条巷道的煤帮中接收地震波，根据地震波信号初至时间数据的变化，利用计算机通过不同的数学处理方法重建介质速度或衰减特征的二维图像。通过这种重建的测试区域地震波速度场或衰减特征的分布，并结合介质的物理性质来推断剖面中的精细构造及地质异常体的位置、形态和分布状况。

透射 CT 地震波在传播过程中，根据接收距离远近不同可同时接收到纵波（P 波）、横波（S 波）和槽波。因此，在 CT 反演中可对不同波组分别进行到时拾取与反演，获得各自的结果剖面图。

结合已揭露的地质构造及异常情况即可对探测区内地质特征进行全面分析与判断，并通过波速、泊松比、波速比、弹性模量等参数结果，按照一定的解释原则进行联合解释，判定对测区影响较大的断层构造、陷落柱、采空区、顶板破碎区、煤层特征等异常范围及大小进行解释。依据波速图中异常波速大小可对断层落差大小进行半定量地描述确定。图 2-2-49 为某矿 3241 工作面，采用弯线追踪 SIRT 法反演的纵波波速切片。

2.2.5 矿井物探的综合应用

矿井物探同地面物探一样存在多解性问题，由于地下工作空间的限制和全空间场的分布，使得其多解性更加严重。因此，必须根据不同物探方法的特点、探测能力、探测场所范围及地质任务，有针对性地合理选择物探方法。必要时，采用多种物探方法进行综合物探，多种方法取长补短，提高矿井物探探测精度和可靠度。对于重要的地质问题，还必须进行钻探、巷探，对物探结果进行验证或标定，而且掌握丰富的已知地质资料也有利于减少物探结果多解性。

2.2.5.1 常用矿井物探方法的特点与能力

1. 矿井电阻率法

由于电阻率法是通过改变观测装置的大小和形式，以便较全面地反映稳流场的全空间

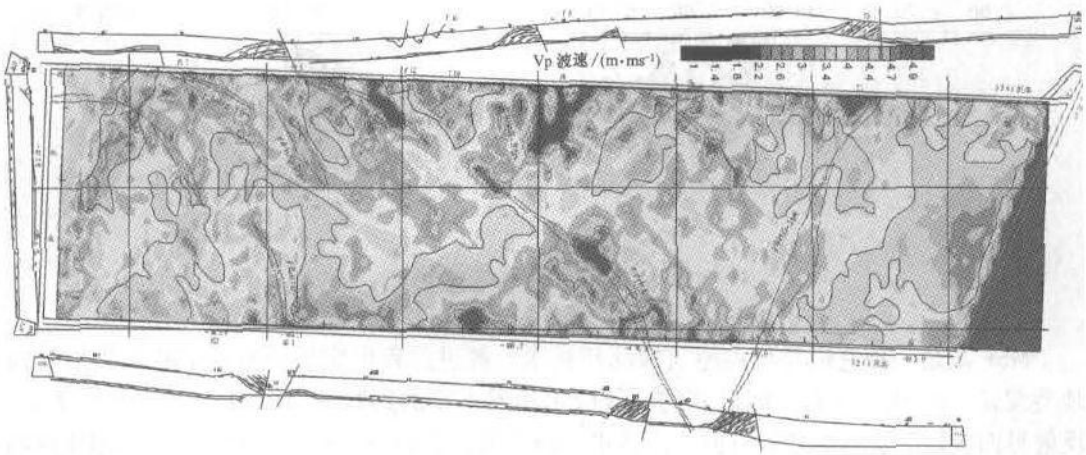


图2-2-49　3241工作面震波CT纵波波速反演结果图

分布规律，这就需要较大的观测空间。一般而言，至少需要勘探深度2倍以上的巷道长度，即若要求探测底板以下50m深度范围内的隐伏导水构造，则至少要有100m以上的巷道场所进行实际测量工作。同时，电阻率法需要有良好的电极接地条件，对底板干燥高阻岩层，需要对每个电极点进行打钻、填土、浇水等工作，劳动强度大、效率低，需要煤矿生产部门的配合。

对于直流电透视等方法，必须是在工作面两巷道贯通，形成系统后才能进行数据现场的采集工作。

电阻率法的勘探范围与测量装置大小有关，供电极距较小时，勘探体积小，勘探精度高。随着供电极距的增大，勘探体积急剧增加，因此勘探精度、分辨率下降很快。也就是说，电阻率法特别适用于探测浅部地质异常体，对于深部异常体的探测能力下降很快。

由电阻率法现场数据采集方法决定了其勘探范围只能是巷道周围空间，当在工作面两条巷道进行电阻率法探测时，若工作面宽度较大，会在工作面中间形成探测盲区条带。

对于在工作面两巷道进行的直流电透视法（或音频电透视法），其数据测量方法是分别某巷道供电，在另一巷道观测电位分布，因此，其探测结果反映了工作面底板以下（或顶板以上）某个深度段内岩层的导电性异常。其探测深度与工作面宽度有关，方法本身不好控制。

2. 矿井瞬变电磁法

矿井瞬变电磁法一般采用边长小于3m的多匝小线框进行电磁场的发射和接收工作，利用平面小线框发射电磁波的方向性，可分别用于探测巷道底板（或侧帮、顶板）下方一定范围内的导水裂隙带和巷道掘进迎头超前探测等。因此与电阻率法相比具有数据采集工作量小、测量设备轻便、工作效率高、成本低等优点；对于矿井电阻率法无法施工的巷道（巷道长度有限或巷道掘进迎头超前探测等），可采用测量装置小、轻便的矿井瞬变电磁法探测。

由于瞬变电磁法关断时间的影响，与其他物探方法相比无法探测到更浅部的异常体，在浅部形成20m左右的盲区。同时，矿井瞬变电磁法勘探受井下金属仪器设备（采煤机

械、变压器、金属支架等）的影响较大，需要在资料处理解释中进行校正或剔除。

矿井瞬变电磁法也存在全空间场问题，在发射线框平面两侧都会产生感应电磁场，即接收线圈会收到线圈平面两侧的地质异常体的感应二次场，在实际应用时，很难判断异常体在哪侧，即所谓的多解性问题。同时全空间瞬变电磁法在视电阻率值和深度换算方面依赖于实际的探采对比系数，在横向资料对比引用时要慎重。

3. 矿井无线电波透视

矿井无线电波透视法必须在采煤工作面两巷道形成后才能工作，观测仪器设备轻便，需要人员较少，效率较高。但该方法只能探测工作面煤层内部的相对地质异常，无法探测顶、底板围岩内的地质异常，是工作面内地质异常探测的实用与简便方法，可作为其他探测方法的前期预查手段。

4. 矿井地震法

矿井地震法根据探测距离的不同，其震源可采用锤击和炸药。采用锤击震源探测距离较近。采用炸药震源，探测距离可达 200m 以上，但需要打眼、放炮，施工困难，费用较高，需要矿井生产部门协助工作。

矿井地震法主要用于探测具有密度差异的地质异常，常用于探测剩余煤厚、底板岩层埋深，评价隔水层稳定性，底板小构造探测，巷道迎头超前探测小构造等矿井地质工作。

2.2.5.2 *常见矿井地质问题的综合矿井物探技术*

1. 采煤工作面内部小构造探测

采煤工作面形成后，可采用无线电透视、槽波、震波 CT 等方法探测煤层内部地质异常。

矿井无线电波透视法用于探测具有电性差异的地质异常体，如断层、陷落柱等。坑透仪器轻便，测量时需要人员较少，工作效率较高，费用较低。但易受巷道内供电电缆等影响，穿透距离有限。

槽波、震波 CT 法用于探测具有弹性差异的地质异常体，解决地质问题与坑透类似，分辨率有所提高。但地震仪器设备复杂，需要放炮激发，工作难度大，费用较高。该类方法抗干扰能力强，穿透距离大。

2. 采煤工作面底板岩层内地质异常探测

探测巷道底板岩层内地质异常，可以采用矿井直流电法、矿井瞬变电磁法、地震法、矿井探地雷达法等物探方法。

底板直流电测深法对浅部探测精度高，多解性小，有利于探测底板浅部的隐伏含水构造。但其需要电极接地条件良好，不利于在干燥巷道测量，工作量大，效率较低。

矿井瞬变电磁法有利于探测中深度的隐伏含水构造；探测指向性好，可以探测某个方向上的异常体；仪器系统轻便，可以在狭小的空间进行测量，工作效率高。其缺点是在浅部存在 20m 左右的探测盲区，受金属设施干扰较大，多解性稍强。

地震法主要探测底板下构造，精度高，但无法判断含水性；工作复杂、成本较高。

矿井探地雷达法方法简单，工作效率高，但探测深度较浅，一般不超过 30m。

对于底板隐伏导水通道的探测，可以首先采用瞬变电磁法进行普查，在异常区再进行直流测深验证，必要时采用地震法进行精确空间定位。

3. 采煤工作面顶板岩层内地质异常探测

对于顶板以上围岩内地质异常探测，采用的方法与底板探测方法类似，但由于顶板存在围岩松动圈，往往造成直流电法电极布设、地震检波器埋设困难，工作效率大为降低。因此，顶板围岩富水异常区探测以瞬变电磁法为主。

4. 巷道掘进迎头超前探测

巷道掘进迎头含水构造超前探测以矿井瞬变电磁法、直流超前探为主，而小构造探测则采用矿井地震（MSP 法）。

瞬变电磁法工作方法简单、效率高，探测距离为 20 ~ 100m 之间，且可以在迎头进行多方向探测。

直流超前探测需要有大于探测距离的巷道测量场所，效率稍低，探测距离一般为 5 ~ 80m，只能顺巷道方向探测。

矿井探地雷达法虽然方便简单，但探测距离较小。

矿井地震超前探 MSP 法探测精度高，距离大，可达 200m。但需要放炮激发，工作效率低，费用高。无法判断构造的含水性。

鉴于此，对于突水危险性大的掘进巷道，可采用地震法定位、电法判断含水性的综合方法提高探测精度和可靠度。

5. 巷道周围地质构造探测

对于巷道周围地质构造的探测，宜采用地震法进行空间定位，而用瞬变电磁法或侧帮直流测深法判断构造的含水性。

6. 其他应用

矿井电阻率法和地震法还可用于探测（或监测）煤层顶板冒裂带和底板破坏带，并可用来形成顶、底板突水的预警系统。

在矿井瓦斯防治方面，可采用地震与电法的联合进行瓦斯突出危险性的超前探测和工作面瓦斯抽放效果评价等。

在巷道顶板管理中，可采用动态地球物理探测技术，进行顶板管理的巡查工作，评价巷道支护效果与冒顶隐患的排查。

2.3　瓦斯地质

2.3.1　瓦斯含量测试

煤层瓦斯含量是指单位体积或重量的煤体内，所含瓦斯的体积，单位为 m^3/t、m^3/m^3 或 cm^3/g。由于一定质量的瓦斯气体的体积取决于所处的温度和压力条件，因此在不同温度和压力条件下测得的瓦斯含量是不相同的。

目前尚无统一的瓦斯含量测试的国际标准，大多数人所接受的是美国矿业局（USBM）的直接法（Kissel 等，1973），我国在此基础上做了大量修改，制定了“煤层瓦斯含量和成分测定方法”（MT/T 77—84、MT/T 77—94）及“煤层气含量测定方法”（GB/T 19559—2004、GB/T 19559—2008）。

1. USBM 直接法

USBM 直接法测定的煤层气含量是由三阶段实测气量构成，即逸散气量、解吸气量和残留气量。

（1）逸散气量。指从钻头钻至煤层到煤样放入解吸罐以前自然析出的天然气量。这

部分气体无法直接测得，通常依据前两小时的解吸资料推测。逸散气的体积取决于钻孔揭露煤层到把煤样密封于解吸罐的时间、煤的物理特性、钻井液特性、水饱和度和游离态气体含量。缩短取心时间是准确计算逸散气的有效途径之一，如采用绳索取心对于600m的井深只需几分钟，这就大大降低了逸散气的体积。不同物理特性的煤具有不同的解吸速率，如碎粉煤、糜棱煤由于扩散距离短造成逸散气体积大。钻井液的比重较大时对于瓦斯的逸散有阻滞作用。如果煤储层被水饱和，游离态瓦斯含量低，则逸散气体积小；相反如果煤储层未被水饱和，游离态瓦斯含量高，则逸散气体积较大。

（2）解吸气量。解吸气是指煤样置于解吸罐中在正常大气压和储层温度下，自然脱出的瓦斯量。终止于一周内平均解吸气量小于10mL/d或在一周内每克样品的解吸量平均小于0.05mL/d，实测的解吸气量只是总解吸气量的一部分，总解吸气量应包括逸散气量。

（3）残留气量。是指充分解吸结束后残留在煤样中的瓦斯量。将样品罐加入钢球后密封，放在球磨机上磨2h，然后按测试解吸气的程序测残留气。残留气或者是由于扩散速率极低所致，或者是在一个大气压下瓦斯处于吸附平衡状态，不再解吸。根据Diamond对美国1500个煤样的统计，残留气体积在低煤级煤中可占总含气量的40%～50%，而中高变质烟煤的残留气仅占总含气量的10%以下。

2. MT/T 77—84解吸法

我国MT/T 77—84测定的煤层瓦斯含量由4部分组成，包括损失气量V_1、现场2h解吸量V_2、真空加热脱气量V_3以及粉碎脱气量V_4。

（1）损失气量V_1。国内、外解吸气中逸散气量（损失气量）所指部分是相同的。

（2）现场2h解吸量V_2。国内2h解吸气量只是美国解吸气量的一部分，且不是在储层温度下进行的，尽管气体体积校正到标准状态，但不同温度条件下，瓦斯的解吸速度不同。因此，由2h解吸气量推算的逸散气量（损失气量）也存在差别。解吸温度低时，逸散气量（损失气量）偏少；解吸温度高时，逸散气量（损失气量）偏大。

在现场把出井的煤心或煤屑立即装罐密封，以样品罐密封起计时测量。解吸气量的测定及求取过程中需要进行精确的时间记录，包括开始钻遇煤层时间t_0、开始取心时间t_1、开始起钻时间t_2、煤心提至井深一半时间t_3、煤心提出井口时间t_4、完成煤心封罐时间t_5、开始解吸时间t_6。

（3）真空加热脱气量V_3。开罐之前抽真空，加热至95℃，一直进行到每半小时内脱出气量小于10mL为止（一般持续5h左右）。

（4）粉碎脱气量V_4。煤样密封在球磨罐中到球磨机上粉碎4～5h，使煤样粒度磨到0.25mm以下，然后再进行抽真空、加热脱气5h左右。

3. 逸散气的确定

煤的总含气量中，解吸气和逸散气是瓦斯的可采部分，因此准确确定逸散气（损失气）至关重要。美国矿业局采用的直接法计算逸散气量的理论依据是：煤体内的孔隙是球形的，且孔径的分布是单峰的，气体在孔隙中的扩散是等温的且服从兰氏第一定律；所有孔隙中气体的初始浓度相同，球体的边界处浓度为零。则解吸最初几个小时释放出的气体与解吸时间的平方根成正比，总的解吸量可由下式表示：

$$V_t = V_e + a\sqrt{t + t_0} \qquad (2-2-4)$$

式中 V_t——总解吸量；

V_e——逸散气量；

a——系数；

t——解吸罐解吸时间；

t_0——逸散时间。

令 $T=\sqrt{t+t_0}$，则上式可写为 $V_t=V_e+aT$。其中实测解吸气 $V_d=aT$。

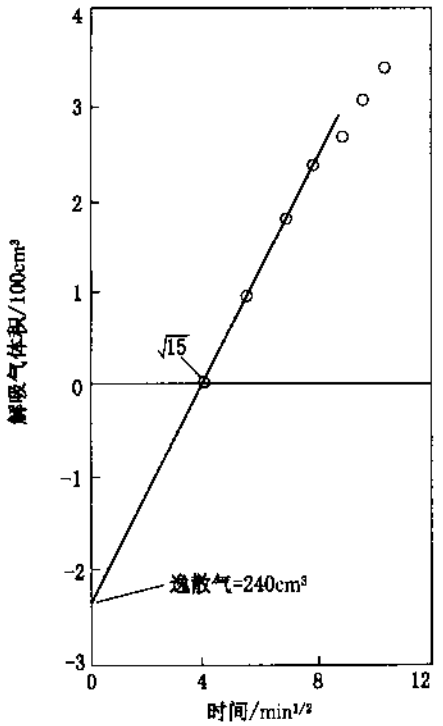


图 2-2-50　逸散气作图求取法

据该式通过两种途径计算逸散气：一是作图法，即以 T 为横坐标，以实测解吸量 V_d 为纵坐标，通过作图得一条直线，这一直线在纵轴上的截距即为逸散气，如图 2-2-50 所示；另一是回归法，以最初几个小时的实测数据为依据，用最小二乘法作回归分析，即可求出逸散气 V_e。

美国矿业局关于直接法确定逸散气是以煤中孔隙孔径单峰分布为前提的。但实验表明煤中孔隙孔径分布是双峰分布的。为此史密斯和威廉姆斯于 1981 年提出了以孔径双峰分布为前提的确定逸散气方法。该方法引入了地面时间比值 STR 和逸散时间比值 LTR 两个参数。

$$\mathrm{STR}=\frac{\text{岩心密封时间}-\text{岩心到达地面时间}}{\text{岩心密封时间}-\text{钻遇煤层时间}} \tag{2-2-5}$$

$$\mathrm{LTR}=\frac{\text{岩心密封时间}-\text{钻遇煤层时间}}{\text{岩心密封时间}-\text{钻遇煤层时间}\ t_{25\%}} \tag{2-2-6}$$

式中，钻遇煤层时间 $t_{25\%}$ 是由钻揭煤层到解吸气的 25%（$V_{25\%}$）解吸出来的时间。在体积校正因子图（图 2-2-51）上，用 STR、LTR 查出校正因子 VCF 的值。则

$$V_t=V_d\cdot \mathrm{VCF} \tag{2-2-7}$$

逸散气体积为

$$V_e=V_t-V_d \tag{2-2-8}$$

总含气量

$$Q=\frac{V_t}{\text{试样重}} \tag{2-2-9}$$

将含气量校正到标准温度、压力下

$$V_{STP}=V_d\times\frac{p_1}{29.92}\times\frac{520}{460+T_1} \tag{2-2-10}$$

式中　T_1——实际温度；

p_1——实际压力。

史密斯－威廉姆斯法适用于低含气量、微量样品的测试。

Ulery 等于 1991 年对直接法进行了改进，指出直接法测定没有考虑瓦斯是一种混合气体，没有考虑解吸出的气体还可以与煤发生反应而重新吸附以及不同气体间的相互作用

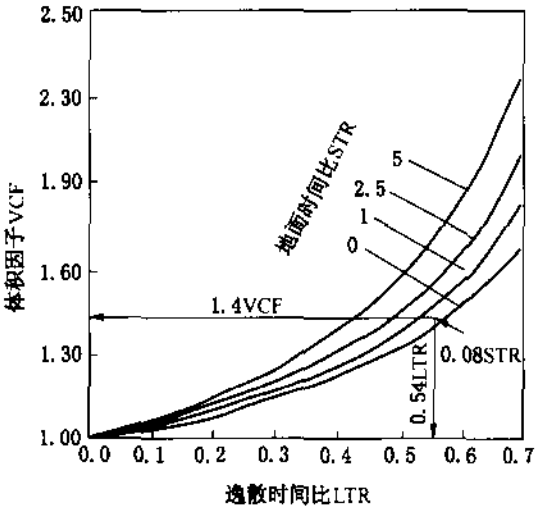


图 2-2-51 体积校正因子图

等。用改进的直接法测试时，除记录直接法应记录的数据外，还要记录每次测定时密封罐的温度、压力，且每次都要采集气样进行成分分析，据此就可计算出每次解吸的各种气体体积和残留在罐中的气体体积，二者之和即为该阶段总的解吸体积。终止解吸的标准与直接法相同：每克煤样解吸量小于 0.05cm^3/d，或一周内每天煤样解吸量平均小于 10cm^3。

另外测定残余气体时不再用球磨机破碎，而是用岩石破碎机，大大缩短了破碎时间。

2.3.2 钻孔煤层瓦斯压力测试

国产 KZWY91－1000 型勘探钻孔煤层瓦斯压力测定仪（或改进型 KZWY75 －1000）是专门用于地质勘探钻孔中直接测定瓦斯静态平衡压力的设备，其主要结构包括封孔结构、卸压结构及井下压力计三部分。

封孔结构与卸压结构的主要作用在于排除孔内承压泥浆水柱压力及其他非测量介质压力的影响，为瓦斯压力测试工作创造条件。

井下压力计是整个煤层瓦斯压力测定仪最重要的组成部分。KZWY91－1000 型测定仪中的压力计是一种机械式的压力计，折皱盒接受外部介质的压力作用，经毛细管传递给螺旋弹簧管，使弹簧管随压力的增加成比例地伸展，与弹簧管自由相随的记录笔便会在与弹簧管轴向垂直的平面内转动，并在记录卡片上画出与所测压力成比例的曲线（图 2－2－52），直线 *ABF* 为下井前画的基线，折线 *ABCDEF* 为记录笔的整个工作过程。从现场工作时间可知：*AB* 段为装机完成至封孔完成卸压时间，由于卸压之前压力计与外部隔绝，压力计不受外部压力作用，因此 *AB* 段为一条与基线重合的直线；*B* 点开始卸压，压力计与外部连通，由于外部瓦斯压力不停释放，外部压力作用于压力计上，压力计开始测压，一直到 *C* 点，压力趋于

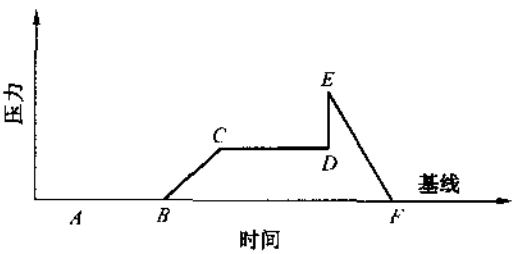


图 2－2－52 瓦斯压力测试理论曲线

平衡。为保证所测压力值为煤层瓦斯压力，仪器一直停放至 D 点开始提升，可见 C 点压力已经达到平衡，CD 段为煤层瓦斯压力静态平衡阶段。只要仪器提升，封孔解除，整个钻孔的水柱压力立即作用于压力计，记录曲线马上上升至 E 点。随着仪器的提升，压力计接触的泥浆水柱压力逐渐减小，记录曲线线性下降，到达 F 点表明仪器已经提升至井口。显然折线 BCD 反映了被测层压力的恢复过程，D 点纵坐标代表了测定结果，即记录笔的工作位移。通过对仪器定期标准压力的校验，并根据校验数据作出压力（P）与记录笔工作位移 ΔL 的关系：

$$\Delta L = f(P) \qquad (2-2-11)$$

再利用所测定的 D 点纵坐标即可得出瓦斯的压力。

当钻孔揭穿待测层位后停止钻井，提出钻具，通过钻探或测井资料确定封孔位置。封孔位置必须处于待测层的直接覆盖顶板岩层内，并且选择孔壁较完整处。将煤层瓦斯压力测定仪组装好后接入一定长度的支撑杆（必须保证支撑杆支撑在井底），连接在钻具上，均匀放入钻孔预定深度（图 2－2－53），利用钻具重量来进行封孔（孔浅时需加压），然后用泥浆泵将泥浆水通过钻杆送入测压仪，推动卸压结构运作。卸压后，压力计在煤层瓦斯的压力作用下工作，并记录煤层瓦斯的压力释放曲线，直到瓦斯压力达到静态平衡为止，测试时间应根据具体情况确定，但一般不小于 4h。

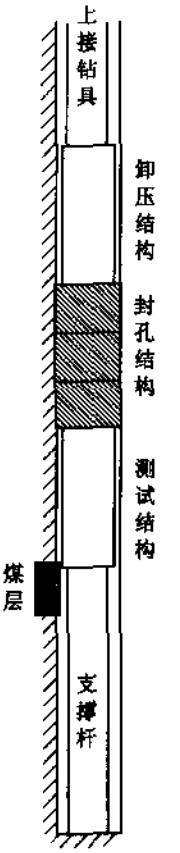


图 2－2－53　测试工作示意图

2.3.3　煤与瓦斯突出的测井曲线解释

构造煤是煤与瓦斯突出的必要条件，因而研究构造煤发育特征和分布规律，对预测煤与瓦斯突出危险区域具有实际价值。

2.3.3.1　基于测井曲线解释的构造煤划分

构造煤是原生结构煤在构造应力作用下形成的具有新的结构和构造特征的变形煤，但煤岩成分变化较小。从广义上来说，构造煤属于构造应力作用下所形成地质构造的伴生构造，即构造岩的范畴。

根据测井曲线形态可把煤层划分为三类，即：

第一类为正常结构煤。这种煤呈块状，坚硬，只能沿裂隙裂开，条带状结构、层理清晰，煤的原生结构、构造保存良好，未经后期地质构造的破坏。

第二类为过渡性煤。这类煤的原生结构、构造遭受破坏的程度较轻，尚未被粉碎，煤层层理和条带状结构尚可辨识，外生裂隙发育。另一种可能是由于测井曲线形态特征不明显，难以判定属第一类或者第三类，也被划归第二类。

第三类为构造煤。煤层的原生结构、构造遭破坏，宏观上呈碎粒状，甚至呈粉状。由这类煤组成的煤分层即是所谓的“软分层”。

以上三类煤中第一类煤不具有突出危险性，第三类煤具有突出危险性，本书中的“构造煤”指第三类。

2.3.3.2　测井曲线解释构造煤

1. 煤体结构划分及分层厚度确定

参照表2-2-3中各结构类型测井曲线特征，按以下原则确定其煤体结构类型：

Ⅰ类（原生结构煤）。各测井曲线反映的幅值大小、形态特征和同一煤层原生结构煤相应部位的测井曲线比较，无明显变化者。

Ⅱ类（过渡结构煤）。各测井曲线反映的幅值大小、形态特征和同一煤层原生结构煤相应部位的测井曲线比较，均略有变化且符合物性规律，其变化部位判识为Ⅱ类。

Ⅲ类（构造煤）。该煤层有两种或两种以上测井参数曲线反映的幅值大小、形态特征与同一煤层原生结构煤相应部位的测井曲线比较，均有符合物性规律的明显变化；或仅有一条测井曲线反映有明显变化，其他测井参数曲线相应部位略有变化，其变化部位判识为构造煤。

表2-2-3 不同煤体结构类型测井曲线形态

煤体结构类型	曲线形态（变化特征）				
	视电阻率电位	人工伽玛	自然伽玛	声波时差	井 径
Ⅰ类：原生结构煤	幅值增高，界面陡直，峰顶圆滑	高幅值，峰顶一般近似水平锯齿状	低幅值异常，多呈近似缓波状	高幅值，峰顶一般波浪状	一般与围岩一致或略有起伏，近似一直线
Ⅱ类：过渡煤	与Ⅰ类相比幅值略有降低，多呈微台阶状或微波浪状	与Ⅰ类相比幅值略有增高	幅值变化不明显	与Ⅰ类相比幅值略有增高	与Ⅰ类相比幅值略有增高
Ⅲ类：构造煤	曲线幅值明显降低，上、下台阶状，凸形或箱形。当全层为构造煤时，多数界面呈缓波状	大多数幅值明显增高	幅值变化不明显	幅值明显增高，峰顶多呈参差状或大的波浪状	井径曲线明显增大，个别变为方块状

各种结构类型煤分层的定厚应在反映变化相对明显的主要参数曲线上进行，以发生变化的始、末点作为分层界限点，两点之间的煤厚即为该结构类型煤分层厚度。

2. 影响测井曲线形态特征的其他因素

测井曲线形态是煤物性的综合反映，除煤体结构外，水分、灰分和井径都会产生影响。在判识煤体结构时必须综合分析考虑这些干扰因素，测井技术条件和井液电阻率因素对曲线形态也产生影响，但在同一钻孔内，它们对不同的煤层和同一煤层的不同分层的影响是相同的，故可不予考虑（表2-2-4）。

表2-2-4 测井曲线特征变化因素一览表

参数曲线名称	曲线变化特征	变化的可能因素
视电阻率电位	幅值减小	煤层灰分增加、水分增高、煤体结构破坏
	幅值增大	煤层灰分降低
人工伽玛	幅值减小	煤层灰分增高
	幅值增大	煤层灰分降低、井径扩大、煤体结构破坏

表2-2-4（续）

参数曲线名称	曲线变化特征	变化的可能因素
井　径	幅值增大	井径人为扩大、煤层垮落而井径扩大
声波时差	幅值增大	煤层破碎、松散、裂隙增加，井径扩大
自然伽玛	幅值减小	煤层灰分增加
	幅值增大	煤层灰分降低

3. 判识成果的可靠性分级

由于所利用的测井曲线来源不一，也因为所用方法还是依据曲线形态作定性分析，判识成果的可靠性可分为3种：

（1）可靠。测井曲线反映正常。通过“三比较”原则所确认的煤体结构类型，在不同参数曲线上，特征反映明显的。

（2）较可靠。测井曲线反映正常。通过“三比较”原则所确认的煤体结构类型，在不同参数曲线上，特征反映较明显的。

（3）参考。仅根据一种参数曲线判别的成果。

2.4　矿井地质工作与管理

2.4.1　矿井地质观测

1. 基本要求

矿井地质观测应该做到及时、完整、准确、统一。基本要求是：观测记录必须在现场进行，并记录在专门的地质观测记录簿上；描述地质现象要内容完整、标准统一、数据准确、图文结合、形象真实、字迹清楚、重点突出；每次观测要有时间、天气、地点、位置（重要的地质观察点应标注距井巷测量点的距离，例如断层点、突水点、各类采样点、煤厚变化点、煤与瓦斯突出点或涌出点、河流冲刷点、岩浆侵入点等）和观测者姓名的记录；建立矿井地质观测的技术档案。

2. 含煤地层的观测

所有穿过含煤地层的井巷（石门）均应逐层观测其岩性特征、厚度及产状。煤层、煤层顶底板及标志层要进行重点观测并采集化石、煤（岩）标本。每个矿井应保存一套完整的煤系标本，以便对比和陈列。

3. 煤层的观测

所有井巷揭露的煤层，不论是否可采，都必须进行观测和描述，并采集煤标本。煤巷观测点的距离应根据煤层稳定程度确定。一般情况下，稳定煤层观测点间距为50～100m、较稳定煤层为25～50m、不稳定煤层为10～25m、极不稳定煤层＜10m，但当遇有地质构造时，应适当加密观测点。

煤层观测点观测描述的内容：煤层产状、厚度，煤层结构，煤分层厚度，夹石层厚度及岩性和硬度，宏观煤岩成分和类型，煤的光泽、颜色、断口、硬度、脆韧性和内生裂隙，结核与包裹体，煤层含水性，顶底板特征等。

煤层出现变薄、分叉、尖灭、遭受冲刷的观测内容：出现古河床冲刷时应观测冲刷标

志、冲刷类型、方向与范围。出现煤层变薄、分叉、尖灭时应观测煤与围岩接触关系、围岩岩性特征、煤层结构、煤质等。

4. 地质构造的观测描述

1）断层

（1）断层面特征，包括形态、产状、擦痕和阶步等特征。

（2）破碎带特征，包括破碎带宽度、充填物岩性特征、胶结物特征等，必要时可采取定向标本对断裂构造岩进行岩组分析等。

（3）伴生、派生小构造特征，包括上、下盘煤岩产状要素及其层位和岩性特征、厚度变化、断层附近的牵引现象、羽状节理等伴生、派生小构造。

（4）断层间的切割关系、断层与褶皱的组合关系、断层与煤厚变化的关系。

（5）断层性质及地层断距、落差的观测描述。

2）褶曲

褶曲轴位置及方向和产状，两翼及轴面产状，褶曲宽度，煤、岩层层位及顶底面顺序，褶曲与断层、节理、煤厚变化、顶底板的关系等。

对于在巷道中能观察到全貌的小型褶曲，应按通常的原始地质编录方法要求编绘素描图。

3）构造裂隙

发育方向、发育程度，裂隙面形态、宽度、充填物及充填程度等，并进行裂隙率的测定和统计。

5. 陷落柱、岩浆岩体的观测描述

观测描述陷落柱形态、大小和陷落角，接触带特征，柱内岩性特征，煤层及顶底板产状，含水导水性等。

岩浆岩体应观测描述岩石名称、结晶程度、矿物成分、结构构造、产状和形态，岩浆岩体侵入的层位、与断裂构造的关系、与煤层的接触关系、对煤层厚度和煤质的影响等。

2.4.2 矿井地质资料编录

1. 原始地质编录

包括文字、图表及实物3部分：

（1）文字资料：井巷工程、井下钻探、岩心、井巷煤（岩）层的描述，岩石薄片、煤薄片、光片及化石鉴定的文字报告等。

（2）图表资料：各种素描图，实测地质剖面图、钻孔柱状图，巷探工程、井下钻探工程原始记录表、岩心鉴定表、采样登记表、样品测试、分析化验成果表，及其他描述地质现象的图件、照片、记录原始地质数据的表格、卡片等。

（3）实物资料：岩石、矿物、煤、化石、结核的标本和样品等。

2. 勘探工程地质编录

包括坑探、钻探两部分：

（1）坑探工程地质编录：包括探槽、探巷、探井、小窑的地质编录。主要成果是素描图和文字描述。

（2）钻探工程地质编录：对煤（岩）心或煤（岩）粉及测量数据、测井资料的描述编录。

3. 井巷工程地质编录

编录方式采用观测点编录、剖面图式编录、断面图式编录、切面图式编录、展开图式编录、立体摄影编录。

主要井巷工程的编录：

（1）穿层井巷地质编录：竖井、石门、暗井、穿层、斜井等。

（2）顺层井巷地质编录：运输大巷，总回风巷，顺层斜井，顺层平硐，采区上、下山，沿煤巷道等。

（3）回采工作面地质编录：煤厚、采高、浮煤厚度、地质构造、煤层结构、顶板岩性、煤层产状及裂隙情况等。

4. 地质资料的整理

（1）检查、补充和誊清地质记录。

（2）清绘原始地质图件。

（3）建立原始地质资料档案。

2.4.3　建井阶段的地质工作

1. 建井阶段地质工作的主要任务

（1）详细研究井田的地质特点，进行井田的地质调查，收集邻近生产矿井的有关资料，认真做好建井补充勘探工作。

（2）研究矿井初步设计，核查矿井的主要基本建设工程设计的地质依据，提出合理化建议。

（3）系统收集和及时编录井巷工程所揭露的地质资料，并进行综合分析，找出地质变化规律，及时解决矿井建设中遇到的地质问题。

（4）总结建井过程中积累的可靠的地质资料，修改原有的地质图件和矿井设计；重新设计矿井储量，分析储量变动原因。

（5）编制建井地质报告和移交煤矿生产使用的全部地质资料。

2. 建井阶段的地质工作

（1）建井开工前的地质工作：熟悉井田勘探最终地质报告；核实地质勘探提交地质资料的可靠程度；复查井筒检查孔资料；了解矿井设计，分析对煤炭资源的开发和地质资料的利用是否合理；随施工的进程及时提交主要井巷工程预想地质资料；为矿井初步设计提出合理化建议。

（2）建井施工中的地质工作：主要是进行日常的地质工作及水文地质工作，即系统地观测、编录被揭露的地质现象；采集必要的岩层、标志层、化石的标本和煤样，并把取得的各种原始资料妥善保管，作为建井竣工后编写建井地质报告的基础资料；进行地面水文地质补充调查，进行矿井充水因素分析和涌水量预计，提出地面、井筒及井下的防排水措施，还要进行水质取样化验，确定水源井的位置；在地热偏高的井田，还应进行专门的地热补充勘探和地下原始岩温的观测；及时预报和处理影响井巷施工的各种地质问题，保证井巷施工的安全；及时地综合分析、整理各种原始地质编录资料，编制出井筒实测剖面、石门剖面、生产水平切面图、穿层和顺层巷道剖面、煤系柱状图等；参照地面勘探报告，修改或编制各种主要地质图件；编制建井地质说明书和提交采区地质说明书、掘进和回采地质说明书。

(3) 矿井竣工移交生产之前的地质工作：核算井田煤炭储量，编制移交生产的建井地质报告（矿井地质鉴定书），具体分析储量增减的原因或只提交开拓后所获得的开拓煤量、准备煤量及回采煤量等。

3. 井筒检查钻孔的布置与要求

(1) 井筒检查钻孔的布置：主要根据钻井的开拓方式、井筒的数目和井筒的间距，以及水文地质条件等因素的不同来考虑。

(2) 井筒检查钻孔的取样和样品试验：井筒检查钻孔穿过的岩层中，每层至少取一个样品，对可采煤层的顶底板，要求单独取样，应取瓦斯煤样进行测定。

(3) 井筒检查钻孔的水文地质观测和抽水试验：进行简易水文地质观测，各主要含水层（组）要求分层进行抽水试验，以了解其渗透系数 K 值和涌水量。

(4) 井筒检查钻孔的钻进和封闭钻孔的要求：钻进要求穿过松散地层的孔径必须满足抽水试验的要求，即不小于 127mm；终孔的直径不小于 89mm；立井的检查孔的孔深，最小应大于井筒的深度；斜井的检查孔深度，最小应深于井筒的底板；平硐的检查孔的钻孔深度，最小应达到平硐的水平标高。钻孔偏斜率要求控制在 1.5% 以内，注意钻孔施工到达设计检查钻孔的深度的位置与井筒井壁的水平距离不得小于 5m，除暂时保留的检查孔外，其余的都必须进行严密封闭。

4. 新建矿井的移交生产的地质资料

在分析并综合整理建井时期的地质资料的基础上，编制建井地质报告，作为煤矿投产后进行矿井生产和开展矿井地质工作的基础。建井地质报告包括文字说明、图纸和各种有关原始地质资料。

2.4.4 矿井生产阶段的地质工作

1. 矿井生产阶段地质工作的主要任务

(1) 全面系统地收集矿井采掘过程中所揭露的煤层、岩层、地质构造、岩溶陷落柱、岩浆岩等地质资料。

(2) 为老矿井的改建和技术改造提供有关资料，参与通风安全部门的综合研究，探索瓦斯的赋存与涌出情况，以及地热、地压、煤尘、煤的自燃等影响煤矿生产因素的有关规律，并参与制定有关防治措施；加强水文地质调查，分析矿井充水因素，预测矿井涌水量，对矿井水进行防治。

(3) 提高开采地质条件的定量分析和综合分析及预报的质量；做好矿井补充勘探工作，延长矿井服务年限，保证生产接替。

(4) 配合储量管理人员进行储量核算和储量管理工作，及时掌握煤炭储量变动情况，提高回采率。

(5) 研究煤系和煤层中伴生的有用矿产的赋存情况和利用价值。

2. 井下地质编录

(1) 穿层巷道（井筒、暗井、石门、穿层斜井），编录内容见前。

(2) 顺层巷道（顺层斜井、运输大巷、总回风巷、采区上下山、所有的准备巷道和回风巷道），编录内容见前。

3. 矿井地质勘探

矿井地质勘探是继煤炭资源地质勘探之后，由矿井建设开始到开采结束期间所进行的

一切勘探工作。矿井地质勘探的特点：

（1）丰富的第一性资料可供矿井地质勘探设计时利用。

（2）直接为煤炭的采掘生产建设服务。

（3）解决影响煤矿生产建设的某一专门地质问题而进行的，勘探的成果资料直接提交煤矿生产使用。

矿井地质勘探按照勘探范围和目的不同，具体分为矿井资源勘探、矿井补充勘探、矿井生产勘探和矿井工程勘探：

（1）矿井资源勘探。其实质是煤炭资源勘探的后继工程，应根据所存在的地质问题和矿井延深开拓的采掘工程设计的需要而进行。

（2）矿井补充勘探。其主要目的是为了提高矿井（井田）范围内接续的新水平、新采区的勘探研究程度，进一步探明原勘探报告中遗漏的地质问题，满足矿井改造、扩井和开拓、延深工程设计等需要，或为提高其储量级别或落实新增储量等。

（3）矿井生产勘探。主要是解决采区的开拓、掘进、工作面回采各个环节所出现的影响煤矿生产的地质问题而组织的临时的地质勘探工作，是矿井地质工作的一项经常性工作，有的称为生产地质勘探。

（4）矿井工程勘探。指矿井生产建设中根据专项工程的要求而进行的勘探工作，例如井筒检查钻孔、控制巷道施工层位和方向的钻孔，或者为矿井排放瓦斯或地下水的钻孔等。

4. 矿井综合地质编录

矿井综合地质编录是将矿井原始地质资料，经过综合分析整理，总结出整个矿井的煤层赋存状态和构造特征等地质条件的规律性及其内在联系，并反映到矿井的各种综合地质图件中去，同时用文字予以说明。它贯穿于煤矿生产的全过程，随着生产的进行，必须根据新的实际资料，不断地充实和修正原有的矿井地质图，为煤矿生产提供准确的地质资料，解决生产遇到的地质问题。

5. 水平延深地质工作

矿井新水平延深时，应进行以下地质工作：

（1）了解设计部门的意图及其对地质工作的要求。

（2）详细研究延深区现有地质资料的可靠程度，其中包括研究各煤层的可采性和稳定性，主要褶皱、断裂、岩浆侵入体等的控制程度。

（3）核实原有资源储量的可靠性（类别）。

（4）预测延深水平主要井巷工程和首采区的地质、水文地质和工程地质条件。

（5）针对所存在的地质问题，进行单项或系统的补充勘探。

6. 采区掘进的地质工作

采区掘进前应按要求提出采区地质说明书。采区掘进过程中应着重做好以下地质工作：

（1）分析查明采区范围内主要断层的位置、产状、性质和落差，主要褶皱的形态、幅度、枢纽位置及其展布方向和长度，区内岩浆侵入体的类型和影响范围。

（2）掌握可采煤层的层数、主要可采煤层的厚度和结构变化，以及在煤层有无冲刷带存在等情况，确定或基本确定各煤层的可采范围，特别是最上部薄煤层的可采性。

（3）掌握区内可采煤层顶板（伪顶、直接顶、基本顶）的厚度、岩性、含水性以及各煤层变化的情况。

（4）查明与老采区、小窑等的空间关系和确定防水煤柱。

7. 工作面掘进和回采的地质工作

在回采工作面设计前，必须根据已有的地质资料加以综合分析，提出回采工作面掘进地质说明书。

在掘进期间应进行以下工作：

（1）分析和预测影响回采工作面推进的断层和褶皱的形态。综采工作面必须用物探、钻探、巷探查明工作面中间有无隐伏断层或陷落柱等。

（2）根据实测资料预测工作面内煤层厚度、结构的变化情况。厚煤层或特厚煤层，应绘制工作面的煤厚等值线预测图。

（3）观测、搜集煤层伪顶和直接顶的岩性、厚度变化，测定顶板主要裂隙的发育方向，为顶板管理提供有关的地质资料。

（4）观测并素描掘进中揭露的岩浆岩体，测定煤的变质带宽度，确定煤的变质程度与工业利用价值，研究并预测侵入体的位置、形态、影响范围及其对整个工作面的破坏程度。

（5）对于巷道实见的煤层冲刷变薄带，要查明其类型，确定其影响范围。

（6）当开采煤层下部邻近煤层为临界可采薄煤层时，必须利用工作面巷道，按规定间距用钻探查明其可采性。

（7）核实该工作面的储量。

工作面掘进施工完毕后，应在5天内按要求提出该工作面的回采地质说明书。

在工作面回采过程中，应进行以下地质工作：

（1）及时收集工作面的采高和煤厚资料，对分层开采的厚煤层，必须坚持探煤厚，并绘制剩余煤厚等值线图。

（2）实测各种地质构造的位置、形态和性质。综采工作面发现的断层，必须跟踪观测研究其延展趋势，及时提出预报。

（3）收集采出量和损失量等资料，分析损失量的构成比例及原因。

（4）编写回采工作面采后总结，开采结束后30天内提出；分层开采时，在最下一个分层开采结束后30天内提出。

8. 新区开拓的地质工作

扩大井田范围的新区，在开拓以前，必须进行资源勘探，并按《煤、泥炭地质勘查规范》（2002）的要求提出勘探地质报告。新区开拓过程中的矿井地质工作，按建井阶段或生产阶段地质工作的要求进行。

9. 地质预测预报

适时地按需要提供地质测量的有关信息。具体讲，就是根据矿井年、季、月采掘接续计划并紧跟采掘工程进展，不断地收集整理、分析研究工作场所新揭露的地质测量资料，不断地预测采掘前方的地质变化，定期或不定期以图件或报告单的形式通知矿有关领导、生产技术、“一通三防”及安监监察等有关部门，使之能够及时地针对影响安全生产、经营建设的地质问题采取措施，保证矿井安全生产、经营建设工作有序地进行。

地质预报的种类多种多样，主要有如下几种：按时间的不同划分为年报、季报、月报；按服务对象的不同划分为掘进地质预报、回采地质预报、单项工程地质预报、瓦斯地质预报、水文地质预报等；按工作范围和精度要求划分为区域性地质预报、局部地质预报、地质警报。

地质预报的方式一般多采用图表附文字说明的方式。

编制预报的方法和步骤：

（1）熟悉预报工程设计，并将工程设计展绘到生产地质用图上，以此作为预报基础。

（2）广泛收集各种地质影响因素的区域性研究资料，了解预报的工程要求，确定预报的内容所要采取的形式和预报程序。

（3）工程设计巷道走向编制预想地质剖面，该剖面图上能够反映出三维空间巷道几何关系，断层、煤层、顶底板岩性、瓦斯、水文等资料。

（4）定期或不定期的方式，编制预报图表，发送到矿有关领导和相关部门。

（5）提出预报后，应随采掘工程进展继续系统地收集各方面的资料，填入地质平、剖面图上，并及时修正补充新的信息，若遇到有较大出入的地测情况或出现需做紧急处理地测的变化，应及时发出地测预报通知书。

（6）每项工程结束后，要作出验证总结，分析预报效果等，以便进一步掌握地质规律提高预报质量。

某矿预测预报简介如下：

（1）年报。根据年度矿井生产建设的接替计划，逐面逐头进行分析研究提出全年的预测情况，如工作面综合地质图。

（2）月报。根据矿月度计划，分头分面进行分析研究，预测月内所要遇到的地测问题，如－530m西翼回风大巷掘进地质预报表（表2－2－5）。

（3）点报。即当日下井当日分析，在计算绘制图纸基础上，设计好点报格式，及时下达给业务部门及生产单位，目的是以最快速度反映出各采掘头面地质环境，为及时修正错误、预先防范提供保障，实现地测工作所具备的超前性、敏锐性、时效性和连续性。

2.4.5　矿井地质保障系统

2.4.5.1　概述

矿井地质保障技术应重点发展采掘工作面前方地质构造可视化探测技术、含煤地层中超低频电磁波构造探测技术、信息数据处理解释和自动成像技术，对采掘工作面前方的地层结构变化、顶底板厚度、煤层厚度、瓦斯富集区、应力富集带等进行精细探测，建立煤矿应力、瓦斯、水害、热害等灾害地质条件的快速精细探测与评价技术方法体系，满足安全高效采煤的需要。矿井地质保障系统应主要包括矿井地质构造的探测技术和解释方法、矿井地质资料与勘探资料的管理与后服务系统、煤矿水害的多元信息预测方法及防治技术，以及利用GIS为平台的矿井多元地质信息集成系统等子系统。

1. 矿井地质构造的探测技术和解释方法子系统

具体包括以下内容：

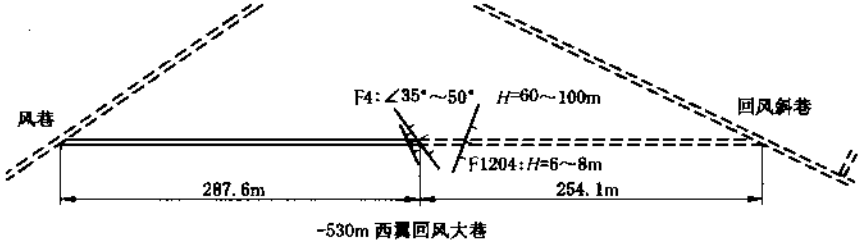
（1）矿区与矿井地质构造的研究及规律分析。通过区域和矿井地质资料统计、分析，研究断裂构造、褶皱构造展布特点、发育规律及其对煤厚变化的控制作用。

（2）矿井细微地质构造解释方法研究。充分利用三维地震资料，将地震属性技术、

表 2-2-5　某矿掘进地质预报

作业单位	温州 2 井	作业地点	-530m 西翼回风大巷	设计长度/m	541.7	剩余长度/m	254.1	方位	154°

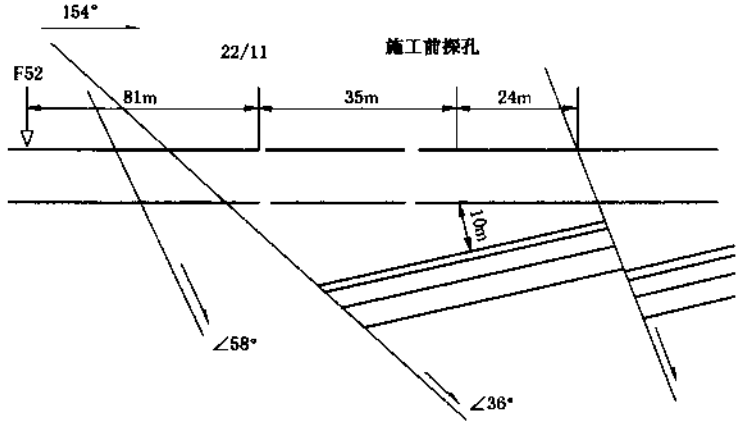
平面示意图



顶底板岩性柱状图



局部剖面示意图



F4：∠35°~60°，H=60~100m　　F1204：∠45°，H=6~8mm

地质条件及建议

1. 计该月施工巷道位于 F4（∠35°~50°，H=60~100m）断层组上盘与 F1204 正断层下盘，岩性极破碎，易冒落，断层煤较发育。

2. 预计“F52”测点前 140m 巷道将遇 F1204（∠45°，H=6~8m）正断层。

3. 月所掘巷道岩性为：①破碎带，由断层煤与断层泥组成；②砂质泥岩，岩性破碎。

4. 抽排区施工的 4 个前探孔资料分析，“F52”测点 116m 巷底距 13-2 煤顶法距 10 m。建议“F52”测点前 116m 停头施工 3 个前探孔，探明 F1204 断层上盘与 F1204 下盘 13-1 及 13-2 煤层赋存情况。

5. 13-1 煤自然瓦斯含量 9~11m^3/t，具突出危险性。加强顶板管理，严禁空顶作业

编　制		审　核	

模式识别、分形技术及人工神经网络技术进行综合并应用到地震资料的构造解释过程中，建立一种新的矿井细微地质构造解释方法。

（3）煤层宏观结构及厚度非线性反演方法研究。重点研究煤层厚度、结构及其纵向和横向上的宏观变化。煤层厚度与煤层反射波动力学参数之间具有非线性关系，可以通过人工神经网络进行定量描述。人工神经网络反演煤层厚度的方法将计算机技术、神经网络技术应用到地震资料的解释过程中，为直接利用煤田地震资料确定煤层厚度提供了一种新的途径。

2. 矿井地质资料与勘探资料的管理与后服务子系统

矿井井下实际观测的大量地质资料和矿区地质勘探资料特别是三维地震勘探资料，可依赖于计算机进行处理和可视化显示。这就要求建立一套基于 WINDOWS 平台的、能够随煤矿生产进行全程动态解释和信息管理的简单易学的后服务系统。

3. 煤矿地质灾害多元信息预测方法及防治技术子系统

（1）导水裂隙发育带立体勘查技术。利用地面三维地震、地面瞬变电磁法、矿井直流电法、矿井瞬变电磁法、无线电波透视法等物探手段，查明采区内断层的分布、导水裂隙带的发育高度及分布、隔水层的厚度及分布、含水层的厚度及分布，为顶板突水预测预报提供准确翔实的水文地质资料，以弥补常规手段所获取资料的不足，并为非量化因素的量化提供新的研究途径。

（2）水文地质条件研究。以传统的水文地质比拟法、相关分析法、解析法和数值法为基础，结合 Feflow 等新的地下水流场模拟软件，研制、开发系统的矿井涌水量计算及评价软件，通过数据转换和数据接口从多元信息集成系统中直接提取水文地质参数和相关数据，以实现智能、高效的矿井涌水量评价和计算。在现有煤矿水害预报理论和方法的基础上，进一步研究煤矿顶底板突水的机理和影响因素，研究有关的非量化因素的合理量化手段，并建立有针对性的矿井突水预测模型，确定合适的参数及分类阈值，以提高突水预测的精度。在现有水害防治方法的基础上，进一步研究突水水源判别、导水通道确定、快速封堵突水点的注浆工艺和被淹矿井恢复方法等水害治理措施，建立水害防治措施辅助决策方法库，以实现灾后治理的快速决策。

（3）工程地质条件研究。以地质勘探、三维地震勘探、矿井物探和已施工井巷工程实际揭露地质资料的综合成果为基础，重点研究三维地震勘探资料的工程地质解释技术，用三维地震勘探获取的丰富信息评价矿井部分工程地质条件，结合其他勘探资料成果、工程地质室内试验和理论研究成果，进行巷道围岩稳定性分类、采场顶板分类，解决煤层开采“三带”高度预测和与带水开采有关的主要矿井工程地质问题。

4. 矿井多元地质信息集成子系统

利用 GIS 作为平台建立矿井多元地质信息集成系统，把地面地震勘探、矿井物探、钻探、井巷等多元数据进行复合、综合分析后，建立地质构造、煤厚变化、水文地质、工程地质与灾害地质的预测与评价模型，实现地质资料的信息化、数字化和可视化，为开采地质条件的快速评价、生产地质工作的动态管理和突发性地质灾害应变对策的制定提供技术支撑。

2.4.5.2　*矿井地质保障系统的关键技术*

1. 矿井地质构造解释方法

（1）构造复杂程度定量评价。在区域构造背景分析、井下观测、资料分析，各种地质、矿井及物探资料综合研究和各种实验工作的基础上，采用构造应力场、有限元模拟等方法，根据地质模式、数学模式、物理模式和构造复杂程度分形网络进行构造预测的思路，开辟根据构造应力场、构造规律进行构造预测的新方向。系统确定评价不同复杂程度矿井构造的各种构造因素的定量指标，并通过这些指标来定量评价和衡量矿井范围内不同区段地质构造的复杂程度，解决生产难题，提高生产效率。

（2）地震属性的提取技术。从研究区域的三维数据体中提取有关的地震属性参数，应包括时间域、频率域和分形域参数。

（3）断层模式识别理论和方法。从研究区域的三维数据体中提取有关的地震属性参数（包括时间域、频率域和分形域参数）。结合研究区域的地质资料，利用四种模式识别方法（模糊综合评判、模糊模式识别、分段线性模式识别和人工神经网络）确定小断层位置。

2. 煤矿水害的多元信息预测方法及防治措施

（1）导水裂隙发育带的综合物探技术。首先在研究区域的三维地震数据体中，从时间剖面或面块切片中提取基于剖面或数据体的地震属性参数，利用这些地震属性（主要包括层速度、振幅、相位、频率、相干系数、分形参数）剖面对煤层顶、底板 80～120m 范围内导水裂隙发育带进行解释，查明导水裂隙的发育情况、覆盖层的构造形态及隔水层厚度。然后，利用矿井直流电法与地面瞬变电磁法资料，结合水文地质工作，对重点异常部位进行精细勘探，将常规水文地质工作中的非定量因素定量化，为采场涌水量预测提供基础资料。

（2）矿井瞬变电磁法和电磁波层析成像理论与技术。

（3）矿井涌水量计算与评价。

（4）煤矿水害模型的建立和预测。

（5）煤矿水害防治的辅助决策。

3. 工程地质条件的评价与研究

（1）巷道围岩稳定性分类。给出不同岩层、不同构造部位、不同深度水平巷道围岩稳定性分类图，分析不同类型巷道围岩稳定性及合理的支护措施。

（2）煤层顶板分类。给出直接顶、基本顶类型，分析不同类型顶板稳定性及可能出现的问题。

（3）煤层开采导水裂隙带高度预计。预测不同顶板类型、不同煤层厚度、不同开采方法（分层开采、放顶煤开采）顶板导水裂隙带高度及其空间变化。

（4）带水开采工程地质问题研究。

4. 矿井多元地质信息集成系统

考虑到矿区地质体的整体性、多变性、不可预测性和基础数据采集手段的多样性，以及生产急需的实时有效信息的隐蔽性，基于矿区需求分析的多元信息集成系统可简化为图 2－2－54。

（1）多元数据。包括矿区可能用到的所有与生产相关的数据，以三维地震数据为主，并结合矿井地质、矿山测量、矿井物探、水文地质、工程地质等各种与煤炭开采活动相关的地质数据。其载体以现有工作流程中使用的各种形式为主，如报表、文字、图件、照

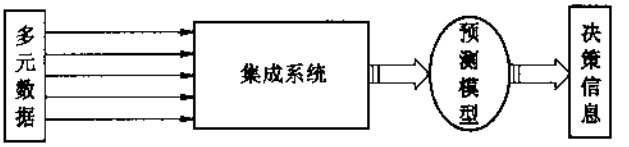


图2-2-54　基于矿区需求分析的多元信息集成系统

片、数字、数据库等。

（2）集成系统。强调以地质体（如煤层、含水层的界面等）为研究对象，建立相应的数据结构以及数据转换机制，以实现前述多元数据的有机集成和有效共享，给出矿区各主要地质体的高精度三维数字模型，实现地质体专题数据的三维可视化，为用户提供任意方向的高精度剖面图、平面图、立体图等。

（3）预测模型。根据用户需要，建立、调试诸如构造的破坏性、工程安全性和突水危险性及其他地质灾害的预测模型。该模型可根据生产过程中新获得的数据不断更新，实现动态预测，以指导生产。

（4）决策信息。用户需要的决策信息可借助本系统实时生成，并通过网络在指定范围内传送。信息的输出方式由用户指定，如网上查询、屏幕显示、绘制各种图件等。其中的图件绘制功能由矿区原有绘图系统完成。

实现上述多元数据集成系统的关键是建立经过抽象的几个大类空间对象的数据模型框架。原则上，所有各级各类对象的初始形态都用空间实体的三维坐标数组来描述，而各个空间对象的实际显示或绘图数据，则由一组与之对应的、经过空间变换的坐标值来实现。空间变换包括投影方式、比例尺以及视角的变换。其中不同尺度下的实际显示坐标值，则通过数据结构中的特定增量值来调节，从而在确保显示精度的前提下，最大限度地减少数据冗余。

3 水 文 地 质

3.1 地下水的赋存

地下水是指赋存于地表以下各种状态的水，狭义上特指饱和带（饱水带）中岩土空隙中的重力水。

3.1.1 岩石中的空隙

岩石是地壳中由地质作用形成的固态物质，是由一种或几种矿物组成的固态集合体。在水文地质学中指坚硬的岩石及松散的土层。

空隙是岩石中的裂隙、溶隙及孔隙的总称，是地下水的赋存场所和运移通道。

空隙的多少、大小、形状、连通情况和分布规律，对地下水的分布和运动具有重要影响。将岩石空隙作为地下水储存场所和运动通道研究时，可将其分为三类，即松散岩石中的孔隙、坚硬岩石中的裂隙和可溶岩石中的溶穴。

1. 孔隙

孔隙是指组成松散岩石的物质颗粒或其集合体之间的空间，特点是呈小孔状，分布均匀且密集，连通性好。

孔隙度是指某一体积岩石（包括孔隙在内）中孔隙体积所占的比例，按下式计算：

$$n=\frac{V_n}{V}\times 100\% \qquad (2-3-1)$$

式中 n——孔隙度；

V_n——孔隙体积，m^3；

V——岩石总体积，m^3。

孔隙度是一个比值，可用小数或百分数表示。孔隙度的大小主要取决于分选程度及颗粒排列情况，另外颗粒形状及胶结充填情况也影响孔隙度。对于黏性土，结构及次生孔隙常是影响孔隙度的重要因素。

2. 裂隙

裂隙是指固结的坚硬岩石（沉积岩、岩浆岩和变质岩）在各种应力作用下岩石破裂变形而产生的空隙。裂隙发育程度通常用裂隙率表示。

体积裂隙率是岩石中裂隙体积 V_r 与包含裂隙体积在内的岩石体积 V 的比值。除体积裂隙率外，也可用面积裂隙率和线裂隙率表示。

$$K_r=\frac{V_r}{V}\times 100\% \qquad (2-3-2)$$

式中 K_r——体积裂隙率；

V_r——裂隙的体积，m^3；

V——岩石总体积，m^3。

岩石中的裂隙按成因可分为三种：

（1）成岩裂隙。岩石在成岩过程中由于冷凝收缩（岩浆岩）或固结干缩（沉积岩）而产生的裂隙。岩浆岩中成岩裂隙比较发育，以玄武岩柱状节理最有水文地质意义。

（2）构造裂隙。岩石在构造变动中受力而产生的裂隙。具有方向性，大小悬殊，分布不均匀。

（3）风化裂隙。岩石在风化应力作用下发生破坏而产生的裂隙，主要分布于地表附近。

3. 溶穴

溶穴（溶隙）是指可溶的沉积岩（如盐岩、石膏、石灰岩、白云岩等）在地下水溶蚀作用下产生的空隙（空洞），通常也可称为岩溶。岩溶发育程度通常用岩溶率表示。

岩溶率 K_k 是指溶穴的体积 V_k 与包含溶穴在内的岩石体积 V 的比值，即

$$K_k = \frac{V_k}{V} \times 100\% \qquad (2-3-3)$$

式中　K_k——岩溶率；

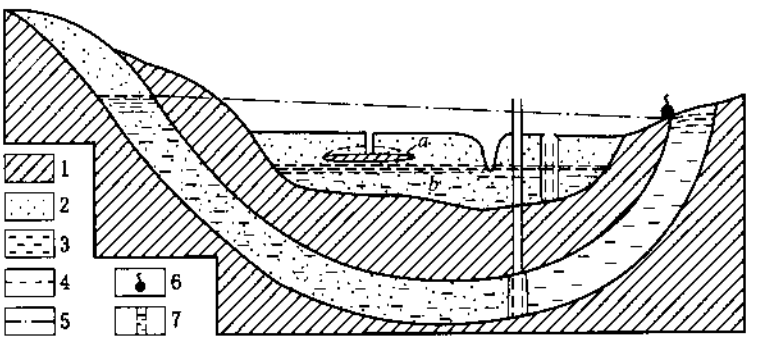
V_k——溶穴的体积，m^3；

V——岩石总体积，m^3。

岩石中的空隙，必须以一定方式连接起来构成空隙网络，才能成为地下水有效储容空间和运移通道。松散岩石、坚硬基岩和可溶岩石中的空隙网络具有不同的特点。

3.1.2　地下水的分类

依据不同的分类标准，地下水有多种分类方法。在矿井水文地质中，通常采用综合分类法，即首先是按地下水的埋藏条件分为包气带水、潜水和承压水，再按照含水层空隙性质，分为孔隙水、裂隙水和岩溶水。将二者组合成为9种复合类型的地下水，如图2-3-1和表2-3-1所示。



1—隔水层；2—透水层；3—饱水部分；4—潜水位；5—承压水测压水位；6—泉（上升泉）；7—水井，实线表示井壁不进水；a—上层滞水；b—承压水

图2-3-1　潜水、承压水及上层滞水含水层结构示意图

1. 包气带水

地表以下一定深度，岩石中的空隙被重力水所充满，形成地下水面。地下水面以上称为包气带，地下水面以下称为饱水带，如图2-3-2所示。

表2-3-1 地下水综合分类组合

分 类	孔 隙 水	裂 隙 水	岩 溶 水
包气带水	各种松散沉积物中的土壤水，存在于局部隔水层上的季节性重力水，过路重力水及悬挂毛细水	裸露裂隙岩层中的季节性重力水及毛细水	裸露岩、溶化岩层上部岩溶通道中存在季节性重力水
潜 水	各种松散沉积物浅部的水	裸露于地表各类裂隙岩层中的水	裸露于地表的岩溶化岩层中的水
承压水	松散沉积物构成的山间盆地、自流斜地及堆积平原深部的水	构造盆地、向斜单斜或断裂带裂隙岩层中的水	构造盆地、向斜单斜或断裂带岩溶化岩层中的水

包气带水可分为重力水和非重力水两种。非重力水主要是结合水和毛细水。从实际研究和应用来分，主要有土壤水和上层滞水。

(1) 土壤水。位于地表附近土壤层中的水，主要为结合水和毛细水。它主要靠降水入渗、水汽凝结和地下潜水面补给。

(2) 上层滞水。存在于包气带中局部隔水层或弱透水层之上的重力水。由于上层滞水的埋藏条件，决定了上层滞水具有以下特点：上层滞水的水面是一个可以自由涨落的自由水面，该水面仅承受大气压力而不承受静水压力；上层滞水分布范围不广，水量小，季节性变化强烈，雨季水量大，旱季水量减少，甚至完全干枯；受降水或地表水入渗补给，以蒸发或向侧向散流形式排泄，分布区和补给区一致；一般矿化度低，由于直接与地表相通，易受污染。

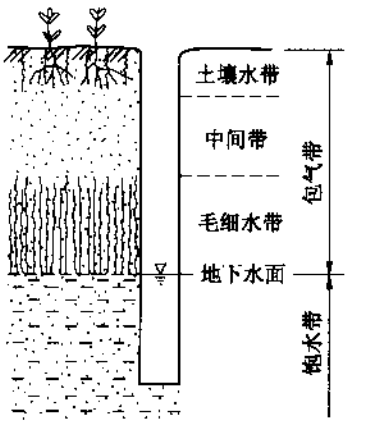


图2-3-2 包气带与饱水带示意图

2. 潜水

饱水带中第一个具有自由表面的含水层中的水称作潜水。潜水可存在于松散沉积物中，也可存在于基岩裂隙中。潜水没有隔水顶板，或只有局部的隔水顶板。潜水的表面为自由水面，称作潜水面。从潜水面到隔水底板的距离为潜水含水层的厚度。潜水面到地面的距离为潜水埋藏深度。潜水含水层厚度与潜水面潜藏深度随潜水面的升降而发生相应的变化，如图2-3-3所示。

潜水的特征如下：

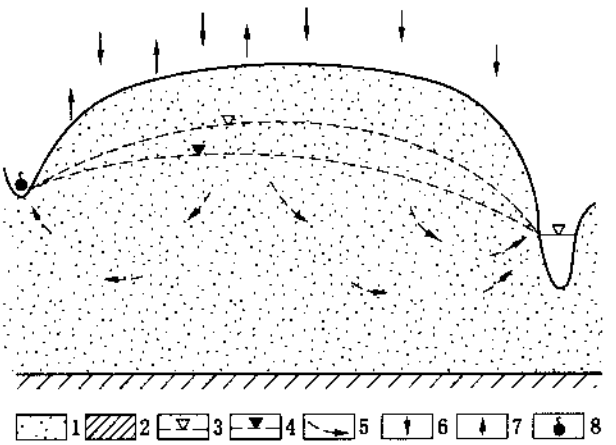
(1) 潜水面是一个仅承受大气压力的自由水面。

(2) 潜水在重力作用下，由潜水位高处向低处做下降运动，其流动速度取决于含水层的渗透性能及水力坡度。

(3) 潜水的分布区与补给区一致。

(4) 潜水的排泄方式有径流排泄和蒸发排泄两种。

(5) 潜水动态具有季节性变化的特点，且相比大气降水和地表水，其动态具有滞后性的特点，滞后时间因包气带的厚度、渗透性等不同而异。



1—含水层；2—隔水层；3—高水位期潜水面；4—低水位期潜水面；
5—大气降水渗入；6—大气降水；7—蒸发；8—泉

图2-3-3　潜水

(6) 潜水易受大气空间人为因素污染，不同污染源会导致不同的潜水水化学类型。

综上所述，潜水的基本特点是通过包气带与大气圈和地表水密切联系，积极参与自然界的水循环。产生此特点的根本原因，是由于其埋藏特征——埋藏浅，上部无连续隔水层所形成的。

3. 承压水

充满两个稳定不透水层（或弱透水层）之间的重力水称为承压水。上部隔水层称隔水顶板（或限制层），下部隔水层称为隔水底板。顶、底板之间的垂直距离是承压含水层的厚度，如图2-3-4所示。

埋藏条件决定了承压水具有与潜水和上层滞水显著不同的特征：

(1) 承压性：承压含水层的顶面承受静水压力是其基本特点。

(2) 分布区和补给区不一致。

(3) 受外界影响相对较小，动态变化相对稳定。

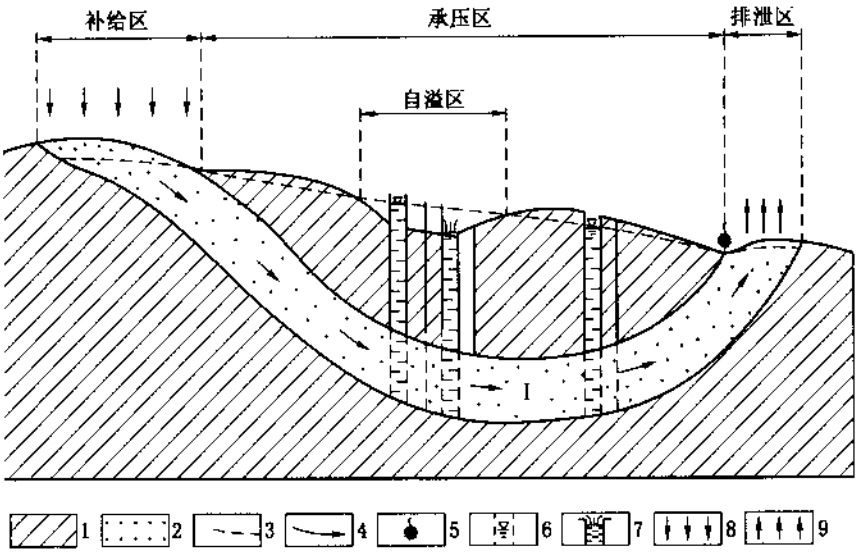
(4) 承压含水层厚度变化较小，不受降水季节变化的支配；承压含水层水量的增加或减少，表现为承压水位的升降变化，而含水层自身厚度变化较小。

(5) 承压水水质类型多样，从淡水到矿化度极高的卤水都存在，具备地下水的各种水质类型，并有垂直或水平分带规律。

4. 孔隙水

孔隙水赋存于松散沉积物颗粒构成的孔隙网络之中。在我国，第四系与部分第三系属未胶结或半胶结的松散沉积物，赋存孔隙地下水。其中以第四系松散沉积物中的孔隙水较普遍，对矿井的影响也较大。

孔隙水的分布和运动受沉积物类型和地貌的影响。一般根据沉积物的成因类型和地貌条件，分为山前倾斜平原孔隙水、河谷地区孔隙水、冲积平原孔隙水、山间盆地孔隙水、黄土地区孔隙水和沙漠地区孔隙水等。



1—隔水层；2—含水层；3—潜水位及承压水测压水位；4—地下水流向；
5—泉；6—钻孔；7—自流井；8—大气降水补给；9—蒸发

图 2-3-4 承压水结构示意图

5. 裂隙水

裂隙水是指保存在坚硬岩石裂隙中的地下水。岩石裂隙空间是裂隙水储存和运动的场所，所以裂隙的类型、性质和发育程度等直接影响裂隙水的埋藏、分布与运动规律。

裂隙岩层一般并不形成具有统一水力联系、水量分布均匀的含水层，而通常由部分裂隙在岩层中某些局部范围内连通构成若干带状或脉状裂隙含水系统。岩层中各裂隙含水系统内部具有统一的水力联系，水位受该系统最低出露点控制。各个系统与系统之间没有或仅有微弱的水力联系，各有自己的补给范围、排泄点及动态特征，其水量的大小取决于自身的规模。规模大的系统贮容能力大，补给范围广，水量丰富，动态比较稳定。裂隙水的水动力性质比较复杂，在流动过程中呈明显的各向异性。

6. 岩溶水

岩溶又称为喀斯特。它是在以碳酸盐岩为主的可溶性岩石分布区，由水流与可溶性岩石相互作用的过程以及由此产生的各种地质现象的总和。赋存并运移于岩溶化岩层中的水称为岩溶水。

地表典型的岩溶地貌有石林、孤峰、落水洞、波立谷等，地下则形成溶孔、溶洞、暗河等。

岩溶水系统是一个能够通过水与介质相互作用，不断自我演化的动力系统。由于介质的可溶性以及水对介质的差异性溶蚀，岩溶水在流动过程中不断扩展介质的空隙，改变其形状，改造着自身的赋存与运动的环境，从而改造着自身的补给、径流、排泄与动态特征。

岩溶水的分布、运动特征：由于岩溶空隙发育的不均匀性，裂隙宽度大小不一，连通

程度各不相同，层流与紊流并存。

岩溶水的富水特征：岩溶含水层的水量往往比较丰富。岩溶含水层的富水程度与岩溶发育程度密切相关。一般来说岩石可溶性好，地下水径流通畅；交替强烈的地段是岩溶发育良好的地段，也是岩溶水富集的地段。

我国可溶岩分布约占全国面积的 1/3。水量丰富的岩溶含水系统是理想的供水水源，但是往往对采矿安全构成巨大的威胁。

3.2　矿井水文地质工作

3.2.1　水文地质补充调查与观测

3.2.1.1　地面水文地质补充调查

当矿区（井）现有水文地质资料不能满足生产建设的需要时，应针对存在的问题进行单项、多项或全面的水文地质补充调查工作。内容包括：

（1）气象资料收集。主要包括降水量、蒸发量等参数，及降水量、蒸发量历年、历月平均值和两极值。

（2）地貌调查。应着重调查由开采和地下水活动而引起的滑坡、塌陷、人工湖等地貌变化和岩溶发育矿区的各种岩溶地貌形态。

（3）地质调查。包括：

① 第四纪松散覆盖层、基岩露头，应基本查明其时代、岩性、厚度、富水性及地下水的出露等，并划分出含水层或相对隔水层及有无泉水出露等。

② 应基本查明地质构造的形态、产状、性质、规模、破碎带（范围、充填物、胶结程度、导水性）。

（4）地表水体调查。调查与收集矿区河流、渠道、湖泊、积水区、山塘、水库的历年水位、流量、积水量、最大洪水淹没范围、含泥砂量、水质和地表水体与下伏含水层的关系等。

（5）井泉调查。调查井泉的位置、标高、深度、出水层位、涌水量、水位、水质、水温、有无气体溢出、流出类型及其补给水源，并素描泉水出露的地形地质平面图、剖面图。

（6）古井老窑的调查。调查古井老窑的位置及开采、充水、排水、停采原因等情况，察看地面塌陷地形，圈出采空区，并估算积水量。

（7）小煤矿调查。应调查小煤矿的位置、范围、开采煤层、地质构造、采煤方法、采出煤量、隔离煤柱、与相邻矿井的空间关系，并收集系统完整的采掘工程平面图及有关资料。对已报废小井的图纸资料，必须存档备查。对于生产中的小煤矿，还应调查其生产安排、排水能力、井巷出水层位、水质、涌水量、充水因素、与大矿之间的水害关系。

（8）地面岩溶调查。应调查岩溶发育的形态、分布范围。对地下水运动有明显影响的进水口、出水口和通道，应进行详细调查，必要时可进行连通试验和暗河测绘工作。要分析岩溶发育规律、地下水径流方向，圈定补给区，测定补给区内的渗漏情况，估算地下径流量。有岩溶塌陷的区域，还应进行岩溶塌陷的测绘工作。

3.2.1.2　地面水文地质观测

矿区（井）地面水文地质观测应根据需要进行。

1. 气象观测

凡距气象台（站）较远的矿区（大于30km），应设立气象观测站。站址的选择，应符合气象台（站）的要求。距气象台（站）较近的矿区（小于30km），可只建立雨量观测站。气象观测项目与气象调查内容相同。

2. 地表水观测

观测项目与地表水调查内容相同。观测时间一般为每月1次，雨季或暴雨后根据需要增加观测次数。

3. 地下水动态观测

（1）复杂型和极复杂型矿区（井）应建立地下水动态观测网。观测网布孔设点前，必须有专门设计。观测点应布置在下列地段：

① 对矿井生产建设有影响的主要含水层；

② 影响矿井充水的地下水集中径流带（如构造破碎带）；

③ 可能与地表水有水力联系的含水层；

④ 矿井先期开采的地段；

⑤ 在开采过程中水文地质条件可能发生变化的地段；

⑥ 人为因素可能对矿井充水有影响的地段；

⑦ 井下主要突水点附近，或具有突水威胁的地段；

⑧ 疏干边界或隔水边界处。

观测点的布置，应尽量利用现有钻孔、井、泉等。观测内容主要是水位、水温和水质，对泉水还应观测流量。

（2）观测点应统一编号，设置固定观测标志，测定坐标和标高。观测点标高每年复测1次，如有变动，应随时补测。

（3）上述观测工作，在开采前1个水文年即应进行，在采掘过程中亦必须坚持观测。在未掌握地下水的动态规律以前，每7～10天观测1次，随后每月观测1～3次，雨季或遇有异常情况时，需增加观测次数。水质监测每年不少于2次，丰枯期各1次。

观测工作要求同步进行，每次必须按固定的时间和顺序在最短时间内测完。要注意观测的连续性和精度。每次的钻孔水位观测应有2次读数，其差值不得大于2cm，取值可用平均数。测量工具使用前应定期校验。有条件的矿区应尽量使用智能自动水位仪观测、记录、数字化传输。

（4）中型矿井的动态观测工作，应参照上述要求进行。

3.2.1.3 井下水文地质观测

1. 水文地质观测、编录及有关图纸的绘制

凡新开凿的井筒、主要穿层石门及开拓巷道，都要及时进行水文地质观测和编录，并绘制井筒、石门、巷道的实测水文地质剖面图或展开图。

（1）井巷穿过含水层时，应详细描述其产状、厚度、岩性、构造、裂隙或岩溶的发育与充填情况，揭露点的位置及标高、出水形式、涌水量、水温等，并采取水样进行水质分析。

（2）对含水裂隙，应测定其产状、长度、宽度、数量、形状、尖灭情况、充填程度及充填物，观察地下水活动的痕迹，绘制裂隙玫瑰图，并选择有代表性的地段测定岩石的裂隙率。测定的面积：较密集裂隙可取1～2m^2，稀疏裂隙可取4～10m^2。

（3）对岩溶，应观测其形态、发育情况、分布状况、有无充填物及充填物成分、充

水状况等，并绘制岩溶素描图。

（4）对断裂构造，应测定其断距、产状、断层带宽度，观测断裂带充填物成分、胶结程度及出水情况。

（5）对褶曲，应观测其形态、产状及破碎情况。

（6）突水点的观测及编录。应详细观测记录突水的时间、地点、确切位置、出水层位、岩性、厚度、出水形式、围岩破坏情况等，并测定涌水量、水温、水质、含砂量等。同时，应观测附近出水点和孔涌水量、水位的变化，并分析突水原因。各主要突水点可以作为动态观测点进行系统观测，并要编制卡片，附平面素描图和照片。

2. 矿井涌水量观测

（1）一般应分矿井、分水平设站进行观测，每月观测1～3次。复杂型和极复杂型矿井应分工业区层（或煤系）、分地区、分主要出水点设站进行观测，每月观测不少于3次。受降水影响的矿井，雨季观测次数应适当增加。

（2）对井下新揭露的出水点，在涌水量尚未稳定和尚未掌握其变化规律前，一般应每天观测一次。对溃人性涌水，在未查明突水原因前，应每隔1～2h观测一次，以后可适当延长观测间隔时间。涌水量稳定后，可按井下正常观测时间观测。

按照《煤矿防治水规定》，含水层富水性的等级划分标准如下：

① 极强富水性，单位涌水量 $q>5.0\text{L/(s·m)}$。

② 强富水性，单位涌水量 $1.0\text{L/(s·m)}<q\leqslant 5.0\text{L/(s·m)}$；

③ 中等富水性，单位涌水量 $0.1\text{L/(s·m)}<q\leqslant 1.0\text{L/(s·m)}$；

④ 弱富水性，单位涌水量 $q<0.1\text{L/(s·m)}$。

（3）当采掘工作面上方影响范围内有地表水体、富含水层，穿过与富含水层相连通的构造断裂带或接近老窑积水区时，应每天观测充水情况，掌握水量变化。

（4）新凿立、斜井，垂深每延深10m，观测一次涌水量。掘凿至新的含水层时，虽不到规定的距离，也应在含水层的顶底板各测一次涌水量。

（5）矿井涌水量的观测，应注重观测的连续性和精度，要求采用容积法、堰测法、流速仪法或其他先进的测水方法。测量工具、仪表要定期校验，以减少误差。

3. 井下疏水降压（疏放老空水）钻孔涌水量、水压观测

在涌水量、水压稳定前，应每小时观测1～2次；涌水量、水压基本稳定后，按正常观测要求进行。

3.2.2　矿井水文地质补充勘探

需进行矿井水文地质补充勘探工作的范围包括：

（1）原勘探工程量不足，水文地质条件尚未查清。

（2）经采掘揭露，水文地质条件比原勘探报告复杂。

（3）矿井开拓延深、开采新煤系（组），或扩大井田范围设计的需要。

（4）专门防治水工程提出特殊要求。

（5）各种井巷工程穿越富含水层时，施工的需要。

（6）补充供水需寻找新水源。

矿井水文地质补充勘探的基本要求：

（1）必须编制补充勘探设计，并按规定报批。