关于老矿区深部找煤工作的几点认识

张俊宝 何玉梅

(东北煤田地质局一〇七勘探队,辽宁 阜新 123000)

提　要:根据辽宁阜矿集团八道壕煤矿深部煤炭资源勘探和阜新盆地煤层赋存规律,认为一些老矿区深部仍有一定的资源潜力,应在对以往勘探资料分析、研究基础上,结合矿井实际资料,对老矿区深部进一步开展找煤勘探工作。

关键词:老矿区深部找煤;资源潜力;以往资料重新认识

1　前　言

煤炭是中国重要的、不可替代的能源,近年来,随着中国经济建设的快速发展,对煤炭的需求量日益增长,如何保障这一供求关系,相应的煤炭储量是关键所在。自经济体治改革以来,对矿产资源勘查的投入很少,有的老矿区已开采几十年,资源枯竭、矿井关闭,无后备资源接续是这些老矿区面临的最大难题。为解决老矿区资源接续问题,为国家找出更多的矿产资源,国土资源部于 2004 年末成立了全国危机矿山接替资源找矿办公室,投入资金 40 亿用于老矿区深部及外围找矿工作。就老矿区勘探工作实际情况,笔者对老矿区深部找煤提出几点认识。

2　对以往地质资料的认识

20 世纪 60 年代以前提交的勘探地质报告,由于当时勘探手段落后,又没有测井工作验证,使报告的质量降低。如辽宁阜矿集团八道壕煤矿:该矿于 1947 年以前由私人开采,1954-1957 年,由阜新矿务局勘探公司进行了勘探工作,于 1958 年提交精查勘探报告。根据井下生产实践,煤矿开采的煤层厚度普遍比钻孔划分的厚, 反映了当时勘探质量很低。据煤矿有关技术人员介绍,巷道接近深部边界附近,煤层厚度不仅没有变薄反而增厚,原钻孔的厚度仅 2 m 左右,而巷道实见却为 6 m 左右。由此可见,原勘探报告由于钻探采取率低对深部可采边界没有查清,查阅钻孔原始档案钻探采取率又很高,说明原始资料的不准确性。1993 年阜矿集团在八道壕煤矿深部边界以外施工了 BP93-1 孔, 结果在 1042.83 m 见到累计可采厚度近 15 m 的煤层, 预示着煤矿深部边界煤层没有变薄尖灭,而且仍然可采。2004 年阜矿集团提出八道壕深部勘探立项申请, 被国土资源部列为第一批危机矿山接替资源勘查 9 个试点项目之一。经过进一步勘探证实,煤矿的开采煤层向深部不仅可采,而且比浅部还厚,同时还在现开采层位以下 30~60 m 发现了新的可采煤层,目前阜矿集团已提交了精查勘探地质报告, 提交地质储量 7034×104 t,为煤矿现保有地质储量的 3 倍,可延长服务年限 30 年,使这个老矿区又焕发了青春。

从八道壕煤矿深部找矿的实例证实,在 20 世纪 60-70 年代以前提交的勘探报告的质量确实存在一定的问题:60 年代以前的勘探手段落后, 又没有测井验证,勘探质量无从保证;60-70 年代钻探无岩心钻进较多,测井技术不先进,也存在质量问题。因此对于老矿区以往勘探报告的钻探资料应予以重新认识,结合矿井资料进行分析、研究,很可能又有新的发现。

3　对老矿区深部找煤的认识

深部找煤有两个含义:

收稿日期:2007-08-15;**改回日期**:2007-08-20

作者简介:张俊宝,男,1956 年生,教授级高级工程师,从事煤田地质与煤层气地质工作。

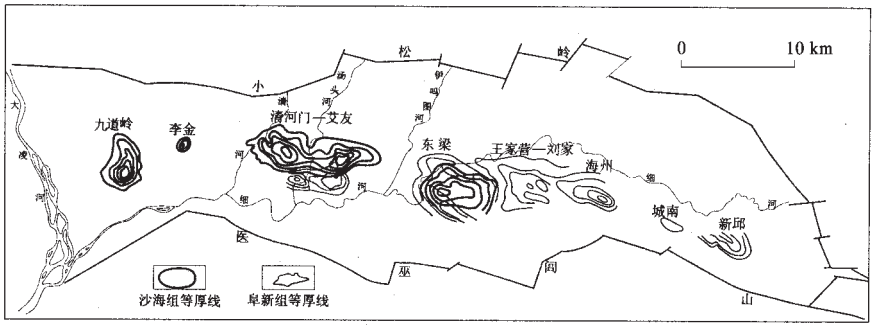

图 1 阜新组与沙海组煤层等厚线图

(1)是具有一定角度的同一煤层,顺倾斜方向为深部方向。有的矿区由于当时设备能力有限和开采能力制约,勘查深度只限于 1000 m 以浅,但 1000 m 以深煤层仍然可采。这次全国危机矿山接替资源找矿办公室将找矿深度下限定为 1500 m,这就加大了找矿空间,根据目前的设备能力和煤矿开采技术对于这一深度是不成问题的。如辽宁北票煤业集团三宝、冠山、台吉煤矿原报告的计量深度为 900~1000 m,但各矿深部煤层仍然可采,目前北票煤业集团也正在实施深部勘探项目以解决资源接续问题。

又如辽宁阜新东梁区下白垩统沙海组煤层,原详查勘探地质报告于 1000 m 以浅计算煤炭地质储量 7043×10^4 t,而 1000 m 以深煤层仍然可采并有增厚的趋势,2006-2007 年由阜矿集团进行了精查勘探,于 1500 m 以浅估算资源量为 1×10^8 t 左右。

沿倾斜方向的深部找煤有几种可能性:一是煤层可采但倾角没有大的变化;二是煤层可采但产状有了变化,出现向斜形态使煤层赋存深度变浅;三是有较大的断层使深部煤层抬起。由于以往勘探工作对边界深度以外没有工程量控制,因此这几种情况都可能出现,最好在深部首先进行地震勘探,了解深部地层的构造形态和断裂构造,对下一步钻探工程布置具有重要的指导作用。

(2)是上下两套煤系地层,由于过去钻探设备、研究程度等因素,对下部煤层没有了解或了解不够。如辽宁阜新盆地赋存有下白垩统阜新组和沙海组两套煤系地层,上部的阜新组煤层与下部的沙海组煤层间距在 300~600 m,根据两组煤层的赋存规律具有一定的继承性,即上部有阜新组煤层相应的下部就有沙海组煤层,这在 20 世纪 70 年代以前清河门区勘探已经证实,既上部乌龙矿采阜新组煤层,清河门立井采沙海组煤层(图 1)。

根据这种继承性先后于 70 年代、80 年代在艾友、东梁地区阜新组煤层之下找到了沙海组煤层,尔后在海州—新邱地区施工了少量的钻孔寻找沙海组煤层,但由于深度问题和对层位上的认识,认为在 1000 m 以浅找沙海组煤层的可能性很小。根据对钻孔层位的分析对比,这些钻孔终孔层位大多是沙海组含煤段顶部,对沙海组的含煤性基本没有了解,因而不能对沙海组含煤性作出评价。根据上述对分析,加上找煤深度下限 1500 m,增大了找煤空间,在王营、刘家、海州、新邱一带寻找沙海组煤层是可行的。

4 结 论

根据上述分析,有的老矿区深部仍然具有一定的煤炭资源潜力,应对老矿区深部开展找煤勘探工作以解决资源接续问题。对于老矿区深部找煤并不是轻而易举的事情,因为老矿区曾做过大量的地质工作,积累了丰富的地质资料,已经形成了传统的观点和认识,因此必需对以往资料进行深入细致的分析、研究,在对以往资料重新认识的基础上,结合矿井生产的实际资料以及新的找矿理论和方法,可能会有新的发现和突破。

禹县煤田石炭—二叠纪含煤地层古地理及聚煤作用研究

宋建军[1,2]　石　彪　王德伟[2]　邵龙义[1]

(1.中国矿业大学(北京)资源与地球科学系,北京 100083;2.河南省煤田地质局,河南 郑州 450052)

提　要:本文通过对露头及钻井剖面的岩石学和沉积相特征研究,应用相比值法对本区石炭、二叠纪含煤地层进行了岩相古地理和聚煤作用分析,以二叠纪山西组下部二$_1$煤为界,把本区石炭、二叠纪含煤地层划分为下部陆表海碳酸盐—碎屑滨岸沉积环境,上部三角洲沉积环境及中部形成二$_1$煤泥炭沼泽的滨海平原沉积环境。本区晚古生代石炭、二叠纪煤系地层在时间上和空间上存在成煤环境的多样性,本溪组、太原组的煤层形成于陆表海滨岸成煤环境-泥炭坪;山西组二$_1$煤层形成于滨海平原成煤环境;大部分山西组、石盒子组煤层形成于浅水三角洲成煤环境,聚煤作用为分流间湾被决口扇充填变浅而形成的泥炭沼泽沉积,是本区石盒子组成煤的主要类型。

关键词:石炭纪;二叠纪;碳酸盐—碎屑滨岸;滨海平原;三角洲;聚煤作用

岩相古地理是研究聚煤规律行之有效的方法,对煤炭资源勘探开发具有指导意义[1-3]。禹县煤田位于河南省禹州市境内,东西长 46 km,南北宽 27 km,面积 1270 km^2,是河南省重要煤炭能源基地之一。

禹县煤田处于中国不同大地构造单元之间的过渡地带,煤炭储量大(保有储量超过 207243.5 万 t),煤层气资源丰富(1500 m 以浅 7026327 万 m^3),其勘探开发对河南省经济发展具有十分重要的意义。从 30 年代开始,先后有孙键初、潘钟祥等地质学家在此进行地质调查,1979 年杨起[4]、李宝芳教授开展了《禹县晚古生代煤系沉积环境与聚煤特征》研究工作,促进了禹县煤田勘探开发步伐。这几年河南省经济快速发展对资源需求越来越大,急需开发新的勘探区,本文目的是通过对露头及钻井剖面的岩石学和沉积相特征研究,应用相比值法对本区晚古生代含煤地层进行岩相古地理和聚煤作用研究,为本区外围和深部找煤提供方向。

1　区域地质背景

禹县煤田位于华北晚古生代聚煤盆地南带的西部,华北晚古生代聚煤盆地一直为国内外地质学家所瞩目,南部边缘秦岭、大别造山带更是研究的热点,其为华南与华北板块对接带,对接时间在煤系地层沉积以后,即二叠纪以后相对接,对接前两板块间有海相隔,盆地南带与北带、中带含煤岩系沉积特征的差异,表明海在南,陆在北的古地理景观。在盆地南部平顶山至确山以至淮南一带,晚石炭世无边缘相沉积,在豫西西缘则发育有古海岸线附近的障壁岛、泻湖相沉积物。同样,盆地东部与扬子板块间亦有古海洋存在,说明华北盆地海浸主要来自南部或东部海盆。

盆地基底与中带、北带一样,中奥陶世以来加里东运动使其隆起,经过长期风化剥蚀成准平原状态,地形较为平坦。且具有愈往南(盆地边缘方向)基地

收稿日期:2007-06-06;**改回日期**:2007-07-06

基金项目:国家计委和煤炭工业部"八五"重点研究项目《全国煤炭资源预测和评价》(中煤地字第 60 号)资金资助。

作者简介:宋建军,男,1964 年生,博士生,高级工程师,主要从事煤田地质、沉积环境和岩相古地理等生产及研究工作;E-mail:songjianjun0906@163.com。

时代愈老的特点。反映其南隆起幅度较北带大,受剥蚀也变强烈一些。

本区晚古生代煤系地层自下而上分为本溪组、太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组,厚 728.53 m,含可采煤层十多层(图 1)。本溪组岩性主要为泥岩、铝土质泥岩;太原组岩性主要为石灰岩、泥岩,有 3 层局部可采煤层;山西组岩性主要为砂岩、粉砂岩、泥岩,有两层煤层,二$_1$煤是全区可采煤层;下、上石盒子组岩性为砂岩、粉砂岩、砂质泥岩、泥岩,含 6 层局部可采煤层[5]。

2 沉积体系及其沉积相

本区晚古生代石炭、二叠纪含煤岩系以二叠纪山西组下部二$_1$煤为界可分为下部陆表海碳酸盐—

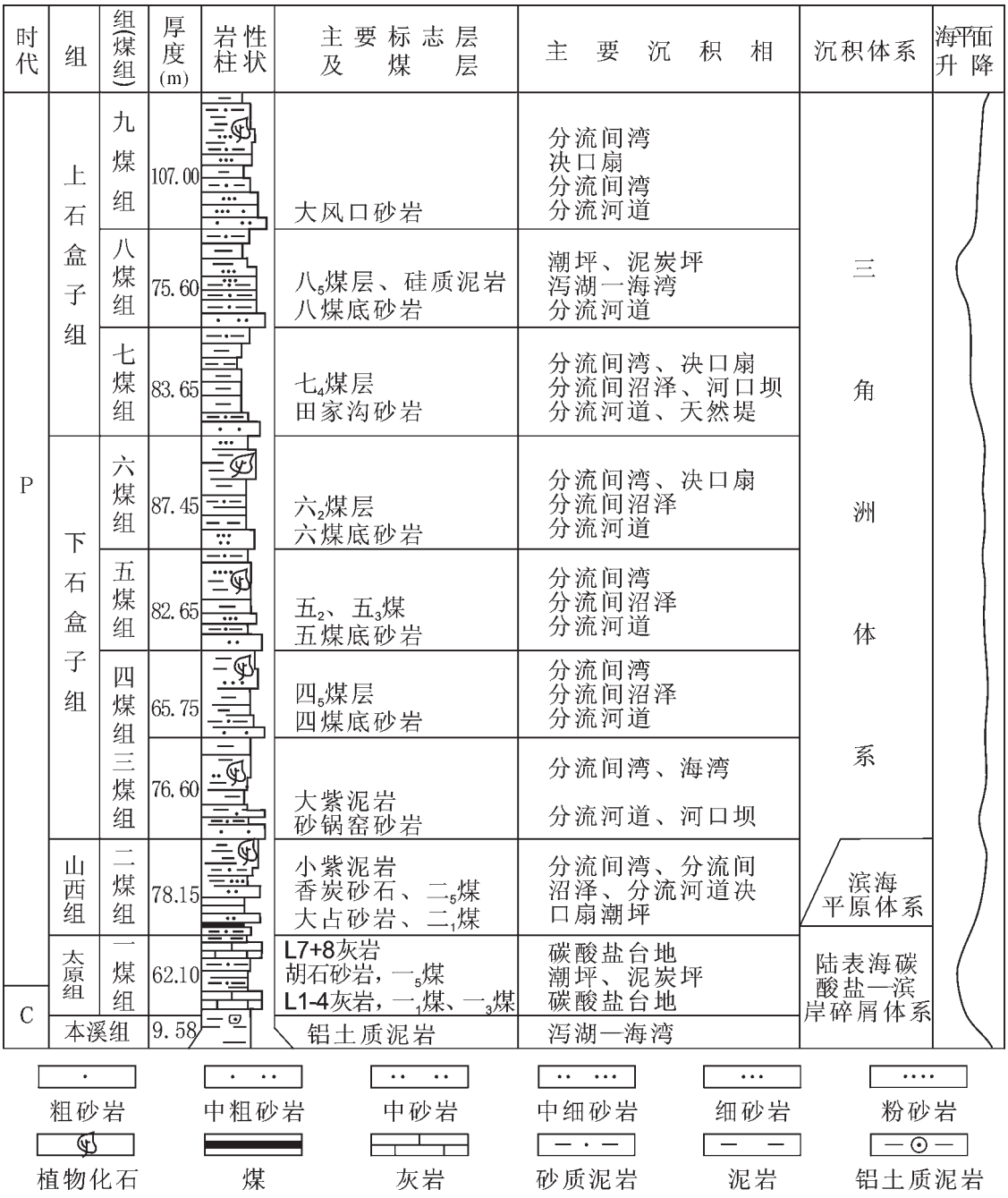

图 1 禹组煤田石炭–二叠纪含煤地层沉积相柱状图

Fig.1 Column of sedimentary facies for coal measures of the Carboniferous–Permian in Yuxian Coalfield

碎屑滨岸沉积体系；上部三角洲沉积体系及中部形成二$_1$煤泥炭沼泽的滨海平原沉积体系(图 1)。

2.1 本溪组、太原组、山西组下部的陆表海碳酸盐—碎屑滨岸沉积体系及沉积特征

根据岩石岩性、沉积构造、生物化石及垂向序列,在本溪组、太原组、山西组下部识别出泻湖–海湾相、碳酸盐台地相、潮坪相、泥炭坪相、障壁岛相,构成了一个陆表海,碳酸盐–滨岸碎屑沉积体系。

碳酸盐台地相：为主要分布于石炭系太原组上部和下部地层中,为陆表海浅水潮下碳酸盐岩沉积。岩性多为生物碎屑泥晶灰岩和泥晶生物屑灰岩,沉积构造以水平—波状和波状层理为主，可见风暴期形成的丘状交错层理。

台地潮坪相:垂直上分布于碳酸盐之上,为潮间带底部沉积,常与碳酸盐台地相共生。为碳酸盐台地靠陆一侧形成的灰泥质沉积,多为薄层状泥质灰岩、钙质泥岩或钙质粉砂岩。

障壁岛相:主要分布本区东部泉店一带。岩性多为中粒石英砂岩,厚 10~30 m,含菱铁矿结核和菱铁质泥岩条带,具有板状交错层理和透镜状、条带状、波状层理。垂向上位于碳酸盐台地之上,横向上相变为潮坪、泻湖—海湾相。

泻湖—海湾相：本溪组铝土质泥岩和太原组顶部菱铁质泥岩、硅质泥岩和泥岩皆为泻湖—海湾相沉积。

潮坪相:指潮间带沉积。主要分布于太原组中部和山西组底部,岩性多为石英细砂岩,砂、泥互层,进一步可细分为低潮坪、中潮坪、高潮坪和潮道—湖沟亚相。

潮上坪相:位于平均高潮线之上,为半咸水沼泽与粉砂和泥质的纹层互层沉积,常形成炭质泥岩、泥岩、粉砂质泥岩。本区主要分布于西部山西组二$_1$煤层位或底板，显示为炭质泥岩，代替了二$_1$煤的沉积。与二$_1$煤泥炭沼泽相为同期异相,因其受潮汐水体影响,造成了西部二$_1$煤缺失、变薄,进而以炭质泥岩取代。

泥炭坪相[6]:属海相成煤环境,进一步可细分为台地型泥炭坪、泻湖—海湾型泥炭坪和潮坪型泥炭坪亚相。

2.2 山西组下部二$_1$煤滨海平原沉积体系及沉积特征

由形成二$_1$煤的淡水泥炭沼泽相组成，其为早二叠世早期海退过程中，在潮坪沉积的基础上形成的滨海平原上的成煤环境。

二$_1$煤煤相分析表明:禹县煤田二$_1$煤层底板根土岩为淡水成因(Sr/Ba<0.5),其下的潮坪相粉砂质泥岩的 Sr/Ba>1,属海水介质,存在一个突变,其可能为快速海退或是根土岩代表长时间的沉积间断所至。煤田西部大刘山—云盖山—三蜂山一带二$_1$煤顶、底板及其夹矸微量元素分析表明,此带二$_1$煤泥炭沼泽同时还受海水介质的一定影响。

2.3 山西组上部、下石盒子组及上石盒子组三角洲沉积体系及沉积相特征

根据岩石岩性、沉积构造、生物化石及垂向序列,在本溪组、太原组、山西组下部识别出海湾—前三角洲相;三角洲平原相;三角洲边缘泻湖—海湾和潮坪相,它们构成了一个三角洲沉积体系。

海湾—前三角洲相:海湾相和前三角洲相皆为泥质沉积物。且常含有半咸水动物化石 Lingula 和菱铁矿结核等。

三角洲前缘相：本区具有远砂坝和河口砂坝两个亚相,主要分布于砂锅窑砂岩和田家沟砂岩下。由灰色泥岩、粉砂岩和粉砂质泥岩互层组成,具水平和砂、泥互层层理,

三角洲平原相：本区主要为下三角洲平原相沉积,包括水下分流河道、分流间湾、水下开然堤、决口扇和分流间沼泽亚相。

三角洲边缘泻湖—海湾和潮坪相：指分布于八煤组的泻湖—海湾相含菱铁矿和黄铁矿结核的泥岩、硅质泥岩及潮坪相砂、泥互层沉积。具波状、脉状和砂泥互层层理,反映了潮间带的沉积特征。

3 古地理与聚煤作用

3.1 晚石炭世(本溪组、太原组)

应用相比值法编制的禹县煤田晚石炭世岩相古地理(图 2)表明,本区晚石炭世主要由泻湖、海湾端元加潮坪、泥炭坪端元与碳酸盐台地端元的比值(B+C/A)小于 2 的碳酸盐台地相组成,仅北部边缘有泻湖、海湾端元加潮坪、泥炭坪端元与碳酸盐台地端元的比值(B+C/A)为 2~4,泻湖、海湾端元与潮坪、泥炭坪端元的比值(B/C)小于 0.5 的小面积碳酸盐台地—潮坪相区分布，代表一次大规模海侵事件的发生，反映了本区海在南、陆在北的古地理景观。碳酸盐台地相石灰岩,潮坪相砂岩、泥岩及其互层和泥炭坪相煤层在垂向上多次有规律地重复、叠

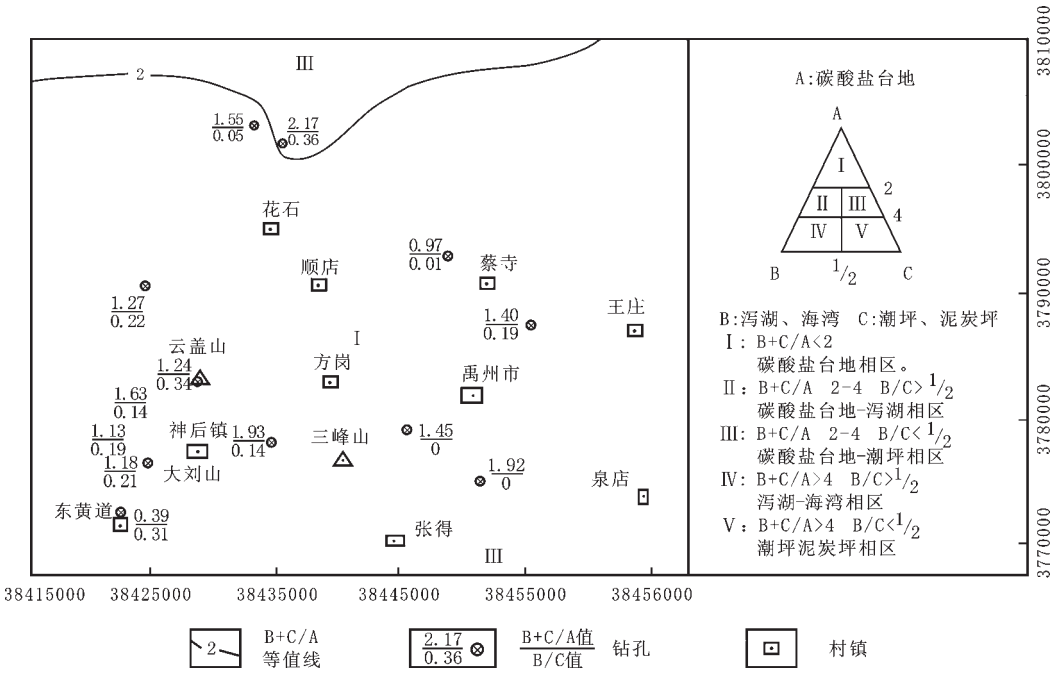

图 2 禹县煤田晚石炭世岩相古地理

Fig.2 Lithofacies palaeogeography of the Late Carboniferous in YuXian Coalfield

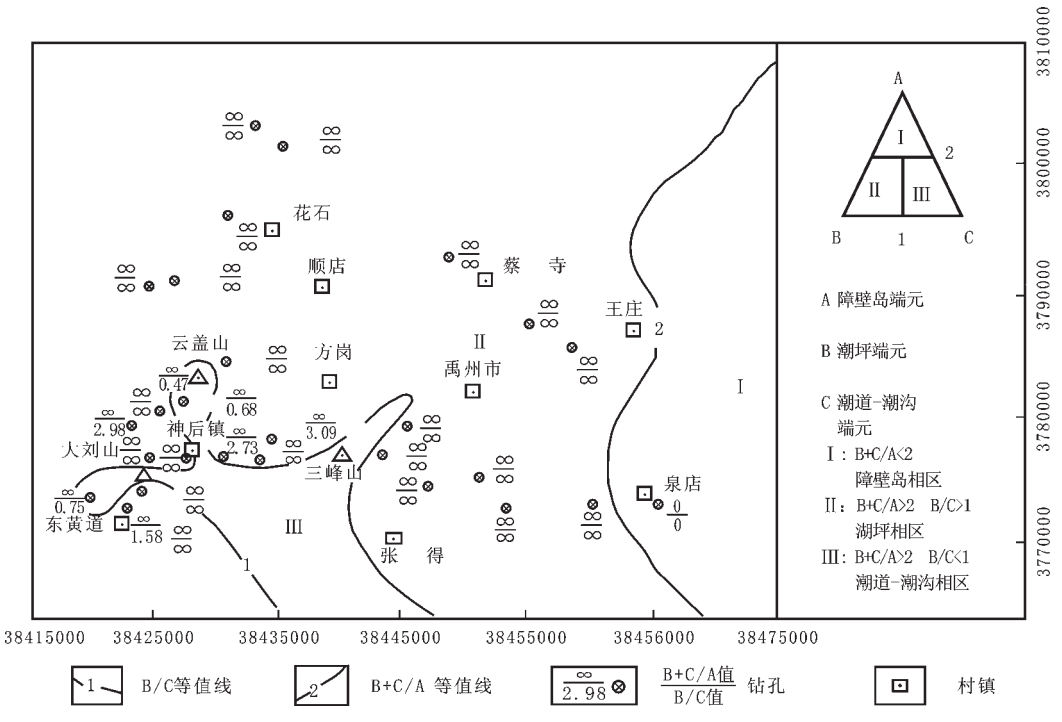

图 3 禹县煤田早二叠世早期(二煤下)岩相岩地理

Fig.3 Lithofacies palaeogography of Early Permian foreparl (二$_1$ Coal down) in YuXian Coalfield

交,为海水进退频繁,沉积相互相演化的体现,它们共同构成了陆表海碳酸盐—碎屑滨岸沉积体系。聚煤作用发生在滨海环境的泥炭沼泽,类似于现代澳大利亚东海岸、美国的巴哈马、中国海南岛的现代海岸红树林泥炭沼泽,常发育在潮坪上,称为泥炭坪[6-7]。本区泥炭坪煤层常为 8 层,薄而稳定,结构复杂,常含炭质泥岩夹矸,属高硫、中灰—富灰煤,具有向陆(西北)方向增厚,向海(东南)方向变薄的特征。

3.2 早二叠世早期(山西组)

晚石炭世末至早二叠世初,海水向东南方向大面积退却,陆区向东南推进,本区逐渐演化为潮坪端元加潮道-潮沟端元与障壁岛端元的比值 (B+C/A)大于 2, 潮坪端元与潮道-潮沟端元的比值(B/C)大于 1 的潮坪相区,在泉店以东与之相伴的有潮坪端元加潮道—潮沟端元与障壁岛端元的比值(B+C/A)小于 2 的障壁岛相区和大刘山—三峰山一带的潮坪端元加潮道一潮沟端元与障壁岛端元的比值 (B+C/A)大于 2,潮坪端元与潮道-潮沟端元的比值(B/C)小于 1 的潮道—潮沟相区(图 3)。随着海水进一步退却,潮坪沉积物的充填作用, 形成广阔平坦的滨海平原,为二$_1$煤泥炭沼泽的堆积提供了良好的场所。温暖、潮湿的古气候和稳定的古构造条件,为二$_1$煤聚煤作用的发生创造了良好的条件, 形成本区分布面积广、厚度大,且稳定的煤层,具有自南向北变厚的规律,与北部形成泥炭沼泽早、持续时间长有关。主要分布本区东部泉店一带的障壁岛相区也应该具有形成泥炭沼泽早、持续时间长的古地理条件,是预测的富煤区,现已钻探证实。大刘山—三峰山一带大范围的薄煤-无煤区,位于潮道一潮沟相区。含海相动物化石的黑色致密泥岩为二$_1$煤直接顶板, 代表二$_1$煤形成后一次短暂且规模较小障壁岛相的海浸事件,为二$_1$煤泥炭层的保存创造了良好条件。随之而来的大规模海退,使本区演化为水下三角洲沉积体系。由西北向东南(云盖山—张得) 主要为分流间湾端元加沼泽端元与水下分流河道、河口坝端元的比值(B+C/A)小于 2 的水下分流河道、河口坝相区;两边是分流间湾端元加沼泽端元与水下分流河道、河口坝端元的比值(B+C/A) 大于 2, 分流间湾端元与沼泽端元的比值(B/C)大于 2 的分流间湾、海湾相区。水流自西北向东南方向进入本区。

3.3 早二叠世晚期(下石盒子组)

早二叠世晚期本区水下分流河道、河口坝相区面积有所减少,位置向东北有所移动,主要分布于顺店、蔡寺、三峰山。反映河流作用较早二叠世早期有所减弱的演化过程。聚煤作用为分流间湾被决口扇充填变浅而形成的泥炭沼泽沉积, 是本区石盒子组成煤的主要类型,具有煤层层数多,厚度不大,横向比较稳定的特点,主要可采煤层的层间距也稳定,具有近海盆地成煤的特征, 大多为下三角洲平原相成煤,煤的灰分高,而硫分低。

3.4 晚二叠世早期(上石盒子组)

晚二叠世早期河流作用有所增强, 水下分流河道、河口坝相区面积有所扩大。分流间湾、海湾相区面积有所减少。其间八煤组潮坪和海湾相的发育,代表又一次海侵事件的发生, 聚煤作用也主要为分流间湾被决口扇充填变浅而形成的泥炭沼泽沉积。

4 结 论

(1)本区石炭、二叠纪含煤地层沉积,在时间上,自石炭纪至二叠纪, 经历了由陆表海碳酸盐一碎屑滨岸沉积体系向滨海平原沉积体系-三角洲沉积体系的演化过程, 反映区内晚石炭世由东南向西北海侵开始, 早二叠世早期开始自西北向东南海退的总趋势,其间伴有多次小规模海水进退事件的发生,空间上自西北向东南体现为三角洲沉积向滨海平原沉积和陆表海碳酸盐—碎屑海岸沉积的演化过程。

(2)本区晚古生代石炭、二叠纪含煤地层在时间上和空间上存在成煤环境的多样性。本溪组、太原组的煤层形成于陆表海滨岸成煤环境——泥炭坪,山西组二$_1$煤层形成于滨海平原沉积成煤环境, 大部分山西组、石盒子组煤层形成于浅水三角洲成煤环境, 聚煤作用为分流间湾被决口扇充填变浅而形成的泥炭沼泽沉积,是本区石盒子组成煤的主要类型。

(3)泥炭坪煤层薄而稳定,结构复杂,常含炭质泥岩夹矸,属高硫、中灰—富灰煤,具有向陆(西北)方向增厚,向海(东南)方向变薄的特征,找煤方向是西北部;广阔平坦的滨海平原,为二$_1$煤泥炭沼泽的堆积提供了良好的场所,温暖、潮湿的古气候和稳定的古构造条件, 为二$_1$煤聚煤作用的发生创造了良好的条件,形成本区分布面积广、厚度大,煤的灰分、硫分低,且稳定的煤层,具有自南向北变厚的规律,与北部(靠陆地近)形成泥炭沼泽早、持续时间长有关,主要分布于本区东部泉店一带的障壁岛相区也应该具有形成泥炭沼泽早、持续时间长的古地理条件,是

预测的富煤区,现已钻探证实,大刘山—三峰山一带大范围的薄煤–无煤区,位于潮道一潮沟相区,找煤方向是北部靠陆地近和东部障壁岛相地区; 三角洲煤层具有煤层层数多,厚度不大,横向比较稳定的特点,主要可采煤层的层间距也稳定,具有近海盆地成煤的特征, 大多为下三角洲平原相成煤, 煤的灰分高,而硫分低,找煤方向是南部的分流间湾被决口扇充填变浅而形成的泥炭沼泽地区。

参考文献:

[1] 刘宝珺, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法[M] .北京:地质出版社, 1985:176–206.

[2] 邵龙义, 肖正辉, 何志平, 等. 晋东南沁水盆地石炭二叠纪含煤岩系古地理及聚煤作用研究[J]. 古地理学报, 2006, 8(1):43–52.

[3] 尚冠雄. 华北地台晚古生代煤地质学研究[M]. 太原:山西科技出版社, 1997:105–110.

[4] 杨起. 河南禹县晚古生代煤系沉积环境与聚煤特征[M]. 北京:地质出版社, 1987:96–186.

[5] 河南煤田地质公司. 河南晚古生代沉积环境与聚煤规律 [M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1991:69–115, 195–215, 259–272.

[6] 刘焕杰, 贾玉如, 王宏伟.华北石炭纪含煤建造的陆表海堡岛体系特点及其事件沉积[J]. 沉积学报, 1987, 5(3):73–80.

[7] 桑树勋, 陈世悦, 刘焕杰. 华北晚古生代成煤环境与成煤摸式多样性研究[J]. 地质科学, 2001, 36(2):212–221.

煤田预测及科研成果对深部找矿的指导意义

朱长生

(重庆煤田地质研究所,重庆 400042)

提　要:作为全国危机矿山项目之一的重庆市北碚区观音峡背斜中段龙车寺煤矿矿产预测自实施以来,和全国绝大部分危机矿山项目一样,效果比较好,预测区的选择是在三次煤田预测和重庆煤田地质研究所长达 10 年对西南地区晚二叠世含煤地层沉积环境与聚煤规律的基础上充分考虑的,是煤田地质基础研究与实际生产有机结合的典范。唯一的一个验证资料反映,可采煤层达 10 层,可采煤层总厚在 8 m 以上,煤类为焦煤,预计埋深 1500 m 以浅的煤炭资源量超过 5 亿 t,这对工业基础实力雄厚,经济较发达,能源紧缺的重庆市是一个不可多得的财富。

关键词:缺煤地区;危机矿山;煤田预测;科研成果

为贯彻落实《国务院关于加强地质工作的决定》,由国土资源部会同国家发展和改革委员会、财政部编制的《全国危机矿山接替资源找矿规划纲要(2004—2010 年)》对于保障国家资源、经济安全,促进矿业可持续发展,提高矿产资源对我国实现全面建设小康社会宏伟目标的保障能力,具有重大深远的战略意义和现实意义。

1　预测区概况和研究方法

1.1　预测区概况

预测区位于重庆市西北观音峡背斜中段,行政区划属重庆市北碚区和沙坪坝区,东北以嘉陵江为界,与天府矿业有限责任公司下属磨心坡煤矿相邻,西南大致在沙坪坝区中梁镇附近,与中梁山煤矿北井比邻,北西和南东均以上三叠统须家河组顶界为界。南北长 36.0 km,东西宽约 3.5 km。面积约 118.82 km^2。地理坐标:东经 106°23′15″~106°28′15″;北纬 29°31′15″~29°49′00″(图 1)。

预测区紧靠重庆市区,位于重庆市渝中区西北,方位 330°,直距约 25 km,距北碚直距约 8 km,地理位置十分优越。水陆空交通极为方便,成渝和遂渝高速公路及襄渝铁路和遂渝铁路通过测区南北两端,长江、嘉陵江主要航运码头距测区约 10~20 km。

观音峡背斜处于川东弧形构造,属岭谷中低山、丘陵地带。山脉走向北东—南西,与构造轴向大体一致。三叠系下统飞仙关组(T_1f)构成背斜内山(山顶标高 600~700 m),三叠系下统嘉陵江组(T_1j)呈狭长溶蚀槽地并呈零星剥蚀残山对称展布于东、西两翼。外缘是三叠系上统须家河组(T_3xj)砂岩呈陡峭的单斜山岭(即外山,山顶标高 500~600 m),与背斜山脊遥相平行。背斜两翼侏罗系中、下统(J_{1-2})沟谷纵横,丘丛密布(标高 270~320 m)。

预测区属嘉陵江水系,区内以背斜山脊为分水岭,在东西两翼形成距离略为相等的横向季节性沟谷,于嘉陵江组石灰岩槽地汇流入顺向溪沟,再横穿三叠系上统须家河组进入浅丘地带顺向河谷,西翼汇入陈家桥河后,在北碚附近注入嘉陵江,东翼则直接流入嘉陵江。

预测区属亚热带潮湿气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥。年平均气温 18.3℃,极端最高气温 42.2℃,极端最低气温-1.7℃;年降雨量一般在 1000 mm 以上,平均 1093.6 mm,最大 1385 mm(1968 年),最小 787 mm (1961 年),降水常集中于 5~10 月,且以暴雨居多;年平均蒸发量 1137.65 mm;年平

收稿日期:2007-06-06;**改回日期**:2007-07-05

基金项目:危机矿山找矿项目(2007[058])资助。

作者简介:朱长生,男,1961 年生,地质高级工程师,主要从事煤田地质勘查与地质科研工作;E-mail:LDH@vip.163.com。

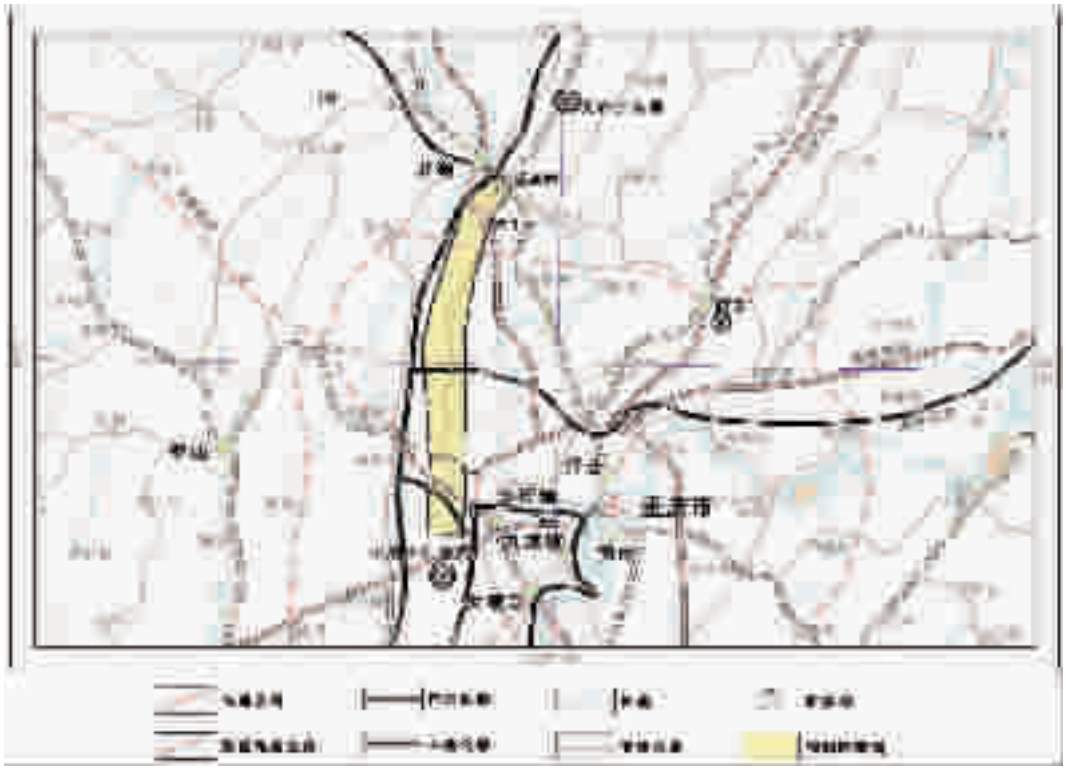

图 1 研究区交通位置图

均气压 983.3×10² Pa;年平均相对湿度 79%;以北风为主,东风和西南风次之,年平均风速 1.2 m/s。

位于北碚和沙坪坝区之间的观音峡背斜中段龙车寺预测区其地理条件优越,供水、供电条件良好,不但预测区内嘉陵江槽谷有较为丰富的地表水资源,还有较丰富的地下水资源,在背斜东翼更有水资源丰富的嘉陵江流过。现沿背斜近轴部已有万伏高压输变线通过,电力资源供应丰富。

1.2 研究方法

主要通过全面收集测区有关地质资料和科研成果,特别要注意收集比邻测区南北两侧的中梁山煤矿北井和磨心坡煤矿的地质和生产技术资料,综合研究和深入分析区域成煤地质背景和区域成煤规律,重点研究比邻测区南北两侧的磨心坡煤矿和中梁山煤矿北井含煤建造、煤层特征和成矿构造,总结成煤模式和成煤规律;在分析区域成煤规律和区域地质背景的基础上,开展地面地质工作和适量山地工程,大致了解测区地层和煤层发育情况和埋藏深浅及赋存情况,以及构造发育情况,并在综合分析研究的基础上,施工 1 个钻孔以进行验证预测区内焦煤资源潜力,为进一步开展焦煤资源勘查提供地质依据。

2 煤田预测

解放后,四川省先后进行了 3 次煤田预测[1],尤以 1995 年第三次煤田预测更为全面细致,华蓥山煤田的上二叠统龙潭组(P_3l)属海陆交互相潮坪沉积体系,含煤 2~11 层,可采 1~9 层,煤层多富集于煤系中、下部,煤层层数和厚度均由北向南逐渐增多和增厚。观音峡背斜预测(预测面积约 215 km²)1500 m 以浅的资源量约 11.5 亿 t (包括中梁山南井以南倾伏部分),因南北比邻的中梁山煤矿北井和磨心坡矿为开采矿井,开采的煤层的层数多,一般都在 6~10 层;煤层厚度稳定,一般都在 6~11 m。所以当时预测的级别为可靠级和可能级(图 2)。

经过历次的勘查和补充勘探以及 40 多年的生产实践,证明其相邻的磨心坡煤矿和中梁山煤矿北井的煤层对比正确,煤层厚度、结构及煤质变化均出入不大,属稳定至较稳定煤层。因而介于二者之间的预测区的煤层发育情况也应与之相差无几。但根据

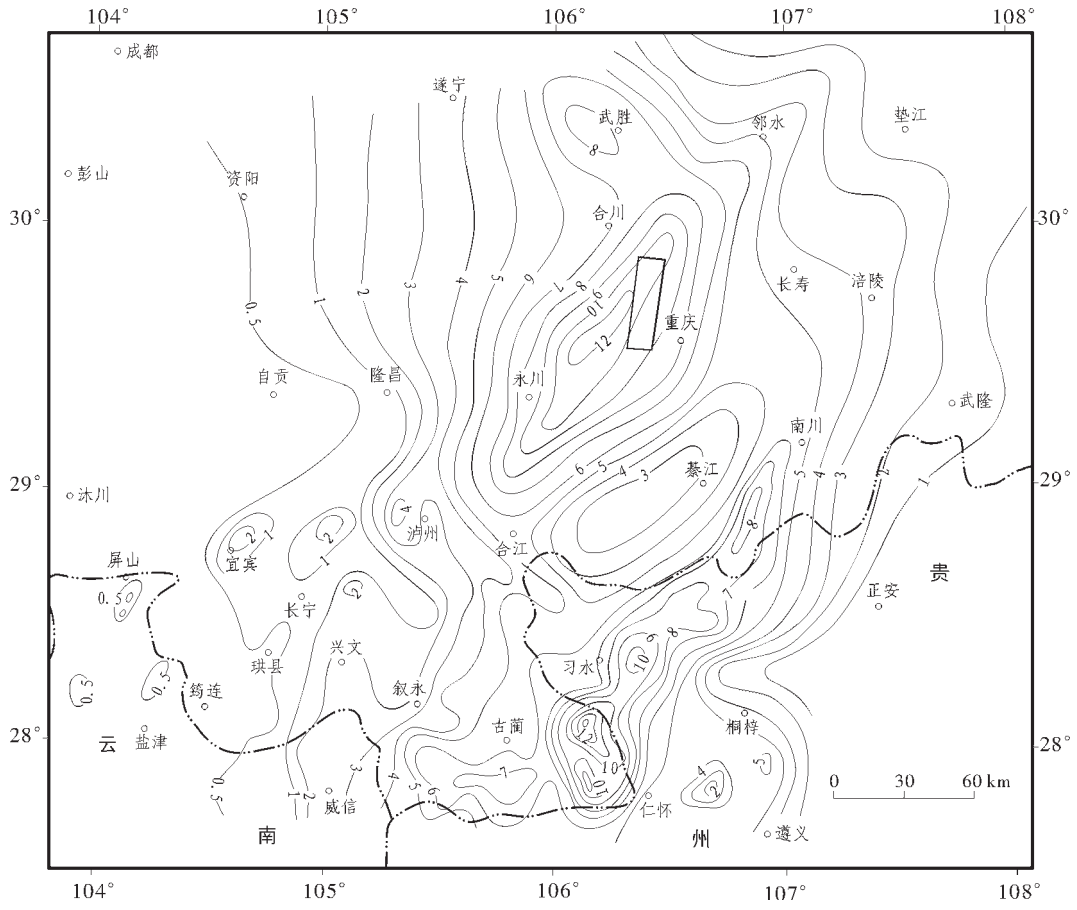

图 2　四川东部–重庆西部晚二叠世煤层等厚线图

相邻的磨心坡煤矿和中梁山煤矿北井的生产实践表明,地质构造虽大范围内基本吻合,但其倾伏端和东翼的断层发育出入较大, 特别是中梁山煤矿北井东外翼,由于断层的破坏,使煤层无法开采。

3　科研成果

3.1　区域成矿条件简述

预测区属欧亚古陆华南板块扬子古板块四川台坳的新华夏系川东弧形褶皱带华蓥山帚状褶皱束。

晚二叠世早期, 受华蓥山隆起和复兴隆起的影响,形成了华蓥山潮坪和南桐潮坪,碳酸岩潮坪位于高潮面和平均低潮面之间, 潮间带下部经常被海水淹没,潮汐能量较强,这种海陆交替相的沉积环境有利于植物生长和泥炭沼泽的富集,加上后期改造,从而形成华蓥山和南桐两个富煤带。

从区域构造上看, 预测区属新华夏系川东褶皱带华蓥山帚状褶皱群。该褶皱群的主体—华蓥山复式背斜经合川市三汇坝向南后即分为呈帚状撒开的沥鼻峡、温塘峡、观音峡和龙王洞等 4 个背斜及其间的宽阔向斜。区域构造面貌是典型的“隔档式”褶皱,即宽阔的向斜之间为紧凑的背斜,背斜两翼倾角陡,轴向扭曲,主干背斜与大断层伴生,一般情况是背斜北西翼较陡,构造较简单;南东翼较缓,构造复杂,断层较多,切割强烈。

3.2　科研成果

1986 年至 1996 重庆煤田地质研究所承担中国煤田地质总局组织的《四川南部晚二叠世含煤地层沉积环境与聚煤规律》[2]和《黔西、川南、滇东晚二叠世含煤地层沉积环境与聚煤规律》[3]课题,研究认为早二叠世末期,由于东吴运动的影响,四川盆地上升成陆,遭受短渐的侵蚀间断后,地壳开始下降,沉积了龙潭组的一套海陆交替相含煤建造。在先存构造的基础上,随着峨眉山玄武岩的不断喷溢,受重力均衡调整和区域性拉张沉陷的共同作用, 上扬子聚煤

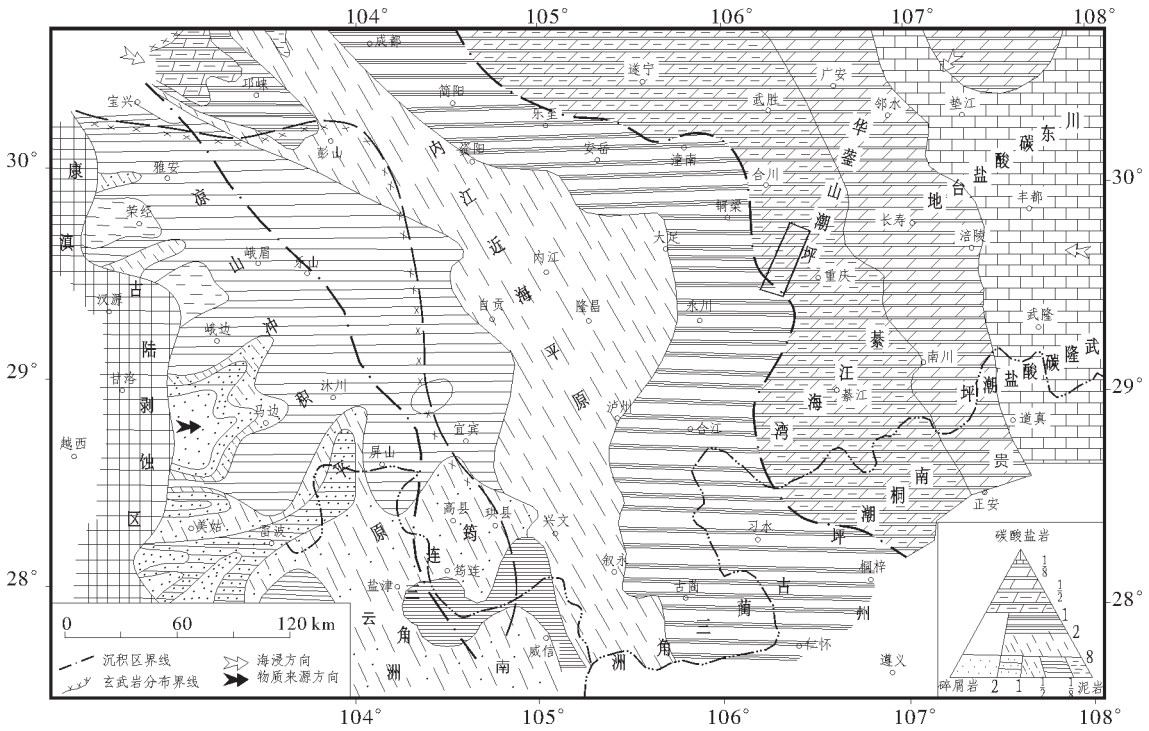

图 3 四川东部–重庆西部晚二叠世岩相古地理

盆地开始形成。在龙潭组沉积之初，海岸线在华蓥山—涪陵一带，除垫江海湾外，其余广大地区均为残积平原。K_2煤层沉积后，开始发生海侵，逐渐形成綦江海湾和华蓥山潮坪及南桐潮坪，古地理与聚煤规律研究结果表明，该区晚二叠世龙潭阶沉积相带呈近南北向展布，随着时间的推移，海浸逐渐增强，海岸线逐渐向西推进，导致煤层层位逐渐抬高，预测区正好处在海浸、海退往返交替的重合部位，华蓥山潮坪中心地带，故而煤层较发育，分布较稳定，聚集了极具工业价值的可采煤层，是较理想的富煤带(图 3)。

4 结 论

重庆市是缺煤省区，而在西南地区重庆又是一个最大的工业城市，对能源的需求量与日俱增，2006 年对煤炭的需求量为 4000 万 t。重庆周边的五大矿业公司除松藻矿业公司外的四大矿业公司都面临着资源枯竭，接替资源紧张的问题，重庆市观音峡背斜中段龙车寺焦煤大型煤产地的发现，对其老矿山企业缓解资源紧张、稳定矿山企业队伍，发挥国有企业优势，推动地方经济发展意义重大。也证明在危机矿山接替资源深部找矿中，充分利用以往煤田预测和科研成果；充分应用最新的理论和方法，是危机矿山接替资源深部找矿最经济、最有效的途径。

参考文献：

[1] 四川煤田地质局.四川省第三次煤田预测[M]. 贵阳：贵州科技出版社, 1993.

[2] 四川煤田地质局、四川煤田地质研究所. 四川南部晚二叠世含煤地层沉积环境与聚煤规律[M]. 贵阳：贵州科技出版社, 1994.

[3] 中国煤田地质总局. 黔西、川南、滇东晚二叠世含煤地层沉积环境与聚煤规律[M]. 重庆：重庆大学出版社, 1996.

淮北矿区石台煤矿深部危机矿山接替资源勘探

范景坤

(淮北矿业集团,安徽　淮北　235006)

提　要:淮北矿区石台煤矿为深度危机矿山,为了稳定现有煤矿职工队伍,确保矿区社会和谐安定。本次采用综合勘查手段,钻孔布置做到地质目的明确,重点突出,由浅入深,由已知到未知,并使一孔多用,兼顾一般的原则,预期达到最佳经济效果。据估算本次勘探全区-1200 m 以浅可获得 3、5、6 煤层资源储量 3732 万 t,3 煤层天然焦 2500 万 t。因此,依据本区地质及生产技术条件,作为年产 150 万 t 生产能力的大型矿井,可安置职工 3000 余人,延长矿井服务年限近 20 年。按目前煤炭销售价格,年可实现产值近 4 亿元。

关键词:危机矿山;接替;资源;勘探

1　概　况

淮北矿区石台煤矿位于安徽省淮北市东北,距淮北市东北约 15 km。矿井南邻张庄矿,西接岱河矿和房庄矿,东以张庄向斜轴与永固井田相连,矿区面积 19.8 km^2。本次勘探位于矿井深部,面积近 9 km^2。

矿井设计能力 60 万 t/a,核定生产能力 150 万 t/a,实际生产能力 145 万 t/a。采煤方法为单一长壁、走向倾斜分层。开拓方式为立井多水平,开采方式为分区前进,采区内后退。

矿井 1976 年 12 月投产,目前一水平、二水平二采区已报废,生产采区主要为一水平五采区及二水平一、五采区和Ⅰ4 下部采区。

矿井已服务 30 年,矿井投产后,于 1977 年超过设计能力,产量达 64.6 万 t。1983 年产量翻番,为 122.8 万 t。现核定生产能力为 150 万 t/年。矿井剩余服务年限不足 5 年。因此,对矿井深部进行资源勘探,扩大资源储量,延长矿井服务年限,确保矿区稳定是当务之急。

2　井田地质

石台井田位于闸河复式向斜中部,所处大地构造位置为华北准地台鲁西隆起徐州褶断带的西侧,由钻孔揭露地层由老至新为石炭系、二叠系、第四系,其中石炭系、二叠系为本区含煤地层。

2.1　构造

石台井田位于闸河复式向斜的中部,张庄向斜西翼,主体构造为张庄向斜。以 F_{j2} 断层为界,南部以褶曲为主,北部以断裂为主。区内岩浆侵蚀广泛,主要侵蚀 F_{j2} 断层以东的大部分地区。

2.2　煤层

区内含煤地层为石炭、二叠系,以二叠系下石盒子组为主,山西组次之,区内煤系地层总厚 1131 m,含煤 22 层,其中 3 煤层主采,5、6 煤层局部可采,煤层总厚 9.51 m,含煤系数为 0.84%。

①3 煤:为井田内主要可采煤层,煤层厚 0.1~7.72 m,平均煤厚 2.79 m,较稳定,煤层结构简单至复杂,含 0~3 层夹矸,厚 0.05~1.30 m,平均 0.15 m。井田深部煤层因岩浆侵蚀影响,局部被吞蚀或被蚀变为天然焦。煤层顶板为泥岩或粉砂岩,夹有薄层细砂岩,局部顶板为细砂岩,底板多为泥岩。

②5 煤:主要分布于井田东北部、西南部和东部。煤厚 0~3.03 m,可采范围内煤层平均厚 1.33 m。煤层结构简单,顶板为厚层中、细砂岩或条带状泥质

收稿日期:2007-06-20;**改回日期**:2007-07-18

作者简介:范景坤,男,1957 年生,高级工程师,从事技术管理工作;E-mail:gxd4951463@sina.com。

胶结的细砂岩,底板为泥岩。

③6 煤:分 6_1、6_2 两个分层相对稳定,井田内钻孔揭露资料较少,深部无资料控制。

6_1 煤层煤厚 0~2.08 m, 可采范围内煤层平均厚 1.10 m,煤层结构简单,顶板为中厚层的中、细粒砂岩,底板为缓波状层理的条带状砂岩。

6_2 煤层主要分布井田南部, 煤层厚 0~1.28 m, 可采范围内煤层平均厚 0.89 m,顶板为灰黑色粉砂岩、泥岩或条带状细砂岩,底板为泥岩或粉砂岩。

2.3 煤质

区内 3、5、6 煤层因受区域变质影响及岩浆侵入接触变质影响,煤类以焦煤为主,其次为贫煤、瘦煤、无烟煤;煤层部分受岩浆侵蚀严重,成为天然焦。为中灰中高发热量特低硫磷的优质炼焦用煤。

2.4 水文地质

地表有 3 个塌陷区及龙河和闸河, 区内最高洪水位为+36.586 m。根据已往勘探成果及生产实际水文地质资料的分析, 井田自上而下划分为 6 个含水组和 2 个隔水层。

2.5 开采技术条件

①瓦斯:矿井-230 m 水平以上相对瓦斯涌出量为 7.9 m^3/t.d,局部有瓦斯动力现象。-450 m 水平瓦斯相对涌出量为 12.25 m^3/t.d,三水平瓦斯相对涌出量为 12 m^3/t.d。2005 年被定为瓦斯突出矿井。

②地压:在矿井开采过程中,随着开采深度的增加,地压随之增大。

③地温:矿井年平均气温约为 15℃,恒温带深度约 30 m,16℃,属地温正常区,地温梯度<3℃/100 m。矿井向深部开采,地温将随之升高。

3 以往勘查工作

自 1958 年至今由安徽省地质局 325 队、安徽省煤田地质勘探公司第三勘探队和原淮北矿务局煤田地质勘探队等单位先后进行了各类勘探, 共施工钻孔 260 个,工程量 72283.23 m,其中 234 个钻孔有测井资料,提交了相应勘探报告。1999—2006 年又先后由安徽省煤田物测队和河南省物测队对三水平作二、三维高分辨数字地震勘探。

4 勘查方法技术措施

本次勘查工作采用二维地震、钻探、测井及取样测试相结合的综合勘查方法,确保地质任务的完成。物探、钻探成果用以确定地层及煤层的赋存情况,测井成果能更准确地确定煤层赋存的深度与厚度,取样测试可了解煤层煤质及其他有益矿产的情况。同时,还利用钻探成果对地震资料进行反演,不断修正勘查区的构造与煤层赋存形态, 更好地指导地质工作,以较高的质量与效益完成既定的目标任务。

4.1 勘查目的及工程布置原则

①以“全国危机矿山接替资源找矿项目 2006 年度任务书[2006]092 号”、《煤、泥炭地质勘查规范》为依据,充分利用已有地质资料,合理布置勘查工程。初步查明勘查区构造形态、可采煤层赋存情况,大致确定可采煤层煤类及煤质特征; 了解区内水文地质条件和环境地质现状;估算资源储量。

②本次设计以 3、5、6 煤层 (组) 为主要勘查对象,选用 1000 m 作为普查勘查工程基本线距。物、钻探工程重点控制到 6 煤-1200 m 附近及其以浅,深部适当控制; 本次深部勘探设计布置 17 个钻孔(含前期 2 孔)。

③钻孔布置做到地质目的明确,重点突出,由浅入深,由已知到未知,并使一孔多用,兼顾一般的原则,达到最佳经济效果。

④勘查线尽量垂直地层走向和主要构造线方向,一般利用原勘查线。

⑤勘查线上钻孔一般小于基本线距。

⑥由于本勘查区是矿区的深部延伸, 因此在保证勘查质量的前提下,设计钻孔皆为局部取心孔。无心段主要为 3 煤上部,待层位明确后,5 煤以下方可适当无心钻进。

4.2 勘查工作量

①充分收集、分析研究已有地质资料,依据资源储量、构造、采样及水文地质等的需要而布设钻孔,尽可能一孔多用。

②采用综合勘查手段即先期进行二维地震勘探,依据地震成果合理利用已有地质资料,优化钻探设计, 指导钻探施工。先期布置二维地震主测线 6 条,联线 2 条,测长 25 km,物理点 2000 个;勘探剖面 7 条,设计钻孔 17 个,工程量 11000 m。

4.3 勘查技术措施

①依据规程、规定加强地质“三边”工作,布设钻孔前,必须详细分析研究地震资料,达到有效指导钻探,提高钻探控制煤层效果。

②重视野外地质编录, 确保取全取准第一手钻

探地质资料。

③编制设计时,充分利用已获地震、钻探成果等资料,并分水平、分煤层、分煤类、分级别预算汇总资源储量。

5　勘查经费、地质成果及效益分析

5.1　勘查经费来源

经预算, 危机矿山接替资源勘查专项经费 875 万元,其中中央补贴资金 50%,省补资金 20%,集团公司自筹资金 30%。

5.2　地质成果

除规定预交的地质勘探报告和相关的图、表外,本次勘探全区-1200 m 以浅可获得 3、5、6 煤层资源储量 3732 万 t,3 煤层天然焦 2500 万 t。

5.3　经济、社会效益分析

本勘探区预期可新增-1200 m 以浅 3、5、6 煤层资源储量 6232 万 t,含天然焦 2500 万 t。按淮北矿业集团总体布局,该矿作为 A 级危机矿山,稳定现有煤矿职工队伍,确保矿区社会和谐安定是当务之急。因此,依据本区地质及生产技术条件,作为年产 150 万 t 生产能力的大型矿井, 可安置职工 3000 余人,延长矿井服务年限近 20 年。按目前煤炭销售价格,年可实现产值近 4 亿元。

河南宜洛煤田推覆构造深部找煤新进展

汪江河　付法凯　赵春和　岳铮生

(河南省地质矿产勘查开发局第一地质调查队,河南 洛阳　471023)

提　要:宜洛煤田推覆构造极其发育,笔者根据近年深部煤田勘查工作的新成果,重温了前人对推覆构造的研究与论断,进一步论证了该区推覆构造深部的找煤意义。

关键词:推覆构造;特征;河南

宜洛煤田分布于河南省洛阳市以西的宜阳县境内,东跨伊川县,区内煤矿开采已有 50 多年的历史,主采二$_1$煤层连续性、稳定性均较好,现年生产规模全区虽可达 175 万 t 以上,但仍不能满足当地工农业生产的需要,已探明的保有资源储量经强力开发日趋枯竭,因此扩大煤田外围及深部找煤具有重要战略意义。

1　区域地质构造特征

宜洛煤田大地构造位置按Ⅳ级大地构造单元划分,属于华北地台(陆板块)、渑临台坳、伊川—汝阳断陷中的宜南半坡山断垒区。渑临台坳是河南省以煤、铝等沉积矿产为主的成矿区,沿其南界的三门峡—田湖—鲁山断裂带,分布着一系列成煤盆地,其中伊川—汝阳断陷盆地是最主要的聚煤盆地之一。区域大地构造研究证明,三门峡—鲁山断裂带为东秦岭北部山麓推覆构造带的重要组成部分,该推覆构造带东延到安徽省淮南煤田的南侧,西延到陕西省渭河河谷,已知长度 700 km 以上,但大部分地段被新生界所覆盖,煤系地层埋深较大,因而未引起地学专家关注。近年研究结果表明这一区域性的山麓推覆构造带在豫西地区断续出露长达 300 km,大片消失的古生代地层被掩覆在山麓推覆构造带之下[3]。随着国民经济的发展,资源需求量的增大,尤其当前煤炭资源勘查深度增加(1200~1500 m),很有必要重新认识这一构造并作为勘查对象,而宜洛煤田高山煤勘查就具有积极的意义。

印支运动改变了华北地台南缘的构造线方向。来自地台南西缘强大的挤压力与其产生的顺时针挤压扭动,形成了宜南半坡山断垒,并改变了原来褶皱构造的方位和形态,同时发育了东西向的张性断裂。在旋扭体系的内部,产生陆内板块效应,受原来 X 型北西向一组断裂的阻挡,在顺时针的应力场中,产生了沿北西向断裂的反时针扭动并拉开了已形成的东西向张性断裂,进而区内发育了如殷桥、兰家门—葛家崖、兰家门—魏庄、蝎子山推覆构造等一系列北西向、北西西向推覆构造带和被这些断裂分割、呈叠瓦状排列的菱形推覆断块,并使蕴藏于褶皱构造中的石炭—二叠系煤层,一道卷入推覆构造体系,局部作反时针位移,形成了宜洛煤田阶梯状菱形井田的煤田地质格局。

2　宜洛煤田地表主要推覆构造形迹

宜洛煤田内部的推覆构造带,由东北往西南依次可见到叠瓦状分布殷桥、兰家门—葛家崖、兰家门—魏庄及蝎子山推覆构造,因发育完好,一直被很多地学专家所重视,积累资料较多。现依次简述如下(图 1)。

2.1　殷桥推覆构造

殷桥推覆构造出露于本推覆构造带的前锋部

收稿日期:2007-08-09;**改回日期**:2007-08-20

基金项目:河南省两权价款项目(M27)资助。

作者简介:汪江河,男,1961 年生,注册高级咨询师,从事地质矿产勘查、国土资源工程技术研究工作;E-mail:wangjianghe9@126.com。

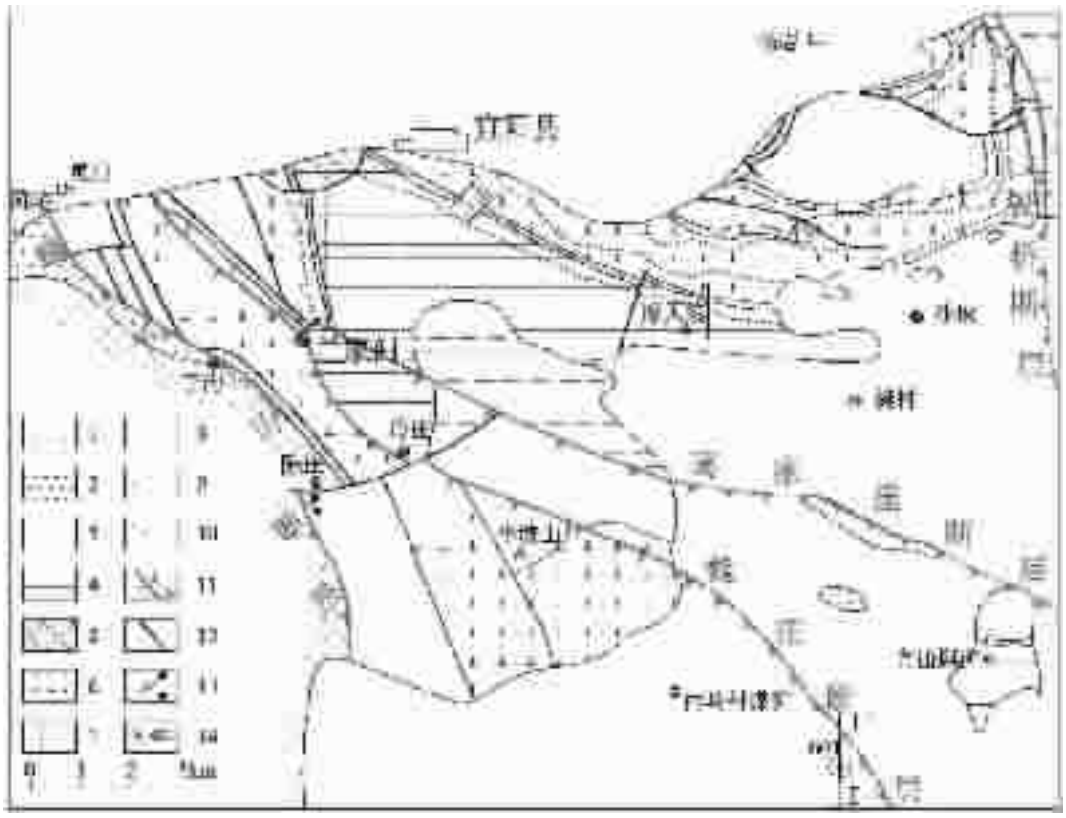

图 1　宜洛煤田区域地质构造图

1—新近系;2—古近系;3—三叠系;4—二叠系;5—石炭系;6—寒武系;7—震旦系罗圈组;8—中元古界碎屑沉积层;9—熊耳山火山岩;10—寒武系、二叠系内部统的分界线;11—实测及推测隐伏逆冲断层;12—实测非逆冲性质的断层;13—断层带采煤遗迹;14—施工钻孔位置及编号;Ⅰ′—Ⅰ′剖面位置

位,为一走向北西倾向南东的逆冲断层带。断层带的上盘为上寒武统,断带内则由石炭系、二叠系断块构成强烈的挤压带;断层带的下盘为三叠系二马营组构成山麓推覆构造的前陆带。可见推覆体前方原地的二马营组地层在接近推覆体前缘处产状从水平突然变为直立,并逐渐倒转。在断带内可见一系列小的逆冲断层,由东南往西北依次出现二叠系石千峰组金斗山砂岩、平顶山砂岩,山西组石炭系及上寒武统等相继往东北逆冲的现象,即断带内由一系列呈叠瓦状逆冲的鳞片状断片构成。在挤压最强烈的地段出现构造混杂岩带[2]。区域上殷桥断裂伸向汝阳北部,南接汝洲的温泉断裂。

2.2　兰家门—葛家崖、兰家门—魏庄推覆构造

兰家门—葛家崖、兰家门—魏庄推覆构造最为复杂,依其出露情况可分为 3 段 2 支:

(1)西北段(兰家门沟西北)由 2 条逆冲断层构成:南支为一向南缓倾斜的逆冲断层,上盘的寒武系直接逆冲在二叠系山西组及石炭系之上,断层面上有铝质粘土岩脉底劈挤入。在兰家门南沟的南坡由寒武系白云岩盖在二$_1$煤层之上,沿断层面下盘有大量采煤老窿;北支为陡倾的逆断层出露于南支逆断层的下盘,沿断裂带充填厚达 80 m 的构造混杂岩带[2]。

(2)中段(兰家门—葛家崖、兰家门—冷庄)由南北两支逆冲断层构成。北支为葛家崖逆冲断层,断层走向北西 310°,倾向南西,倾角变化较大,地表为松散层掩盖。据高山黄村井田资料,煤系地层明显被断层切割、牵引,发生逆时针位移,断层下盘出露二叠系和三叠系下统地层,上盘出露新元古界三教堂组,两盘地层极不协调;南支(兰家门—冷庄)被一近东西向的走滑断层与西北段断开。这段断层上盘的寒武系逆冲于二叠系下部煤系地层之上,使下盘的煤系地层陡倾直立,甚至局部倒转。

(3)东南段(冷庄—魏庄)为中段南支的延长部

分。此段明显可见时代较晚地层(寒武系)逆冲到时代较早地层之上,但大部为新生代覆盖。该覆盖区的浅部为宜洛煤田西马村煤矿,而被钻孔(601)揭露的部位正是本次主要指出的深部找煤预测区。

2.3 蝎子山推覆构造

蝎子山推覆构造为最南缘的推覆构造带, 断面向西南倾斜,倾角 45°左右。断层上盘为熊耳群,下盘为元古宇及下古生界, 可见大多数情况是熊耳群逆冲于汝阳群和洛峪群之上,但当断裂带上、下盘均为元古宙地层时, 发现有上古生代煤系地层的包裹体存在。宜阳县于沟、陈庄等在断裂带中均见到前人采煤的老窿,据记载吕家沟曾在 1958 年采到过十余吨的无烟煤,现在在一些老窿口仍能见到粘土岩、炭质页岩。由此可证明,蝎子山推覆构造带中所见的煤系地层包裹体均系构造推覆的过程中从深部带上来的,即深部的构造推移面处于煤系地层中[2]。

3 现揭露的中深部推覆构造地质特征

由 2006 年实施的河南省两权价款地质勘查项目之一《伊川县高山煤预查》(M27)项目,在宜洛煤田西南部依据二维地震提供的二$_1$煤层底板标高设计 601 钻孔,在施工中出现了以下层序的地层:新生界覆盖层,厚度 76 m(与下伏地层呈角度不整合接触);三叠系土门段,厚度 73 m(与下伏地层呈断层接触);下石盒子组,厚度 62.56 m(与下伏地层呈断层接触);比较完整的寒武系厚层灰岩,厚度 792 m(推覆面 1003 m 与下伏地层呈断层接触); 下石盒子组,厚度 36.83 m(深灰色泥岩、粉砂质泥岩、含紫斑、偶夹薄层砂岩、有角岩化)(与下伏地层呈断层接触);浅灰色石英岩化砂岩,厚度 32 m(中元古界北大尖组),终孔深度 1071.09 m。

3.1 地层产状及构造迹象

(1)上部的上、下石盒子组含煤地层岩心轴夹角 15~20°。

(2)792 m 厚的寒武系地层倾角 60°~70°, 与地表地层产状基本一致, 构造角砾、变形条带极其发育, 方解石脉大量出现至少四期次以上方解石脉相互穿插,次生层理、磨光面及擦痕等构造迹象多处可见,顶底断层带更加强烈。

(3)中元古界北大尖组的石英岩化砂岩岩心轴夹角 45°左右(未见底)。

(4)依据地层缺失而定的 5 条断层,分界线清晰均有明显檫痕和磨光面(图 2)。

3.2 初步认识

(1)所见的 5 条断层均系不同的推覆片体界面。

(2)整个寒武系地层的岩心轴夹角在 60~70°。区域地质研究情况证明这一推覆片体的推移构造面为上陡下缓, 该孔所见为陡倾角, 推测推覆面接近地表,和兰家门——魏庄推覆构造特征基本吻合。

(3)岩矿鉴定薄片中的上部砂岩推覆断面上有石灰岩碎屑,石灰岩中有炭质细脉呈羽状灌入,说明推覆的断距较大, 并有热动力作用下形成的水煤浆灌

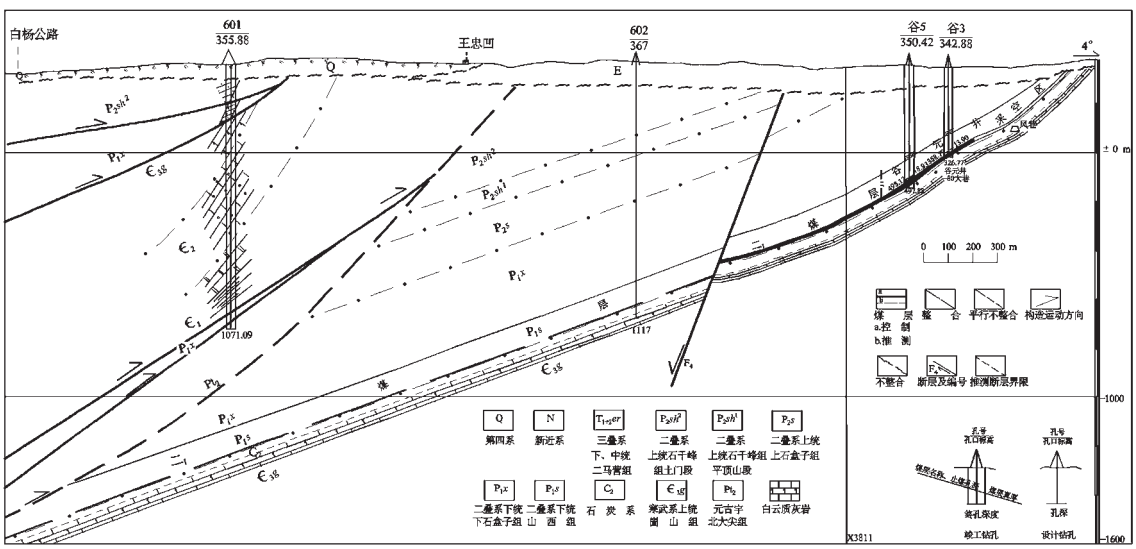

图 2 宜洛煤田高山煤普查区第 6 勘查线剖面

入。断层带中多见断层泥,断层泥中高岭土成分已绢云母化,且含碳量达 10%,说明推覆构造运动时热动力作用也较强。通过构造迹象观察和寒武纪地层厚度推算,石灰岩既有明显的塑性形变,也产生了不同程度的破碎,说明在强烈的挤压应力下也产生了局部的拉伸,使地层厚度缩减。

(4)601 孔深 1003~1039.83 m 见到的深灰、灰黑色泥岩,岩性和电测井的同时代地层解译特征一致,经多方鉴定为煤系地层,成为推覆构造的有力佐证。

(5) 在孔深 1039.83 m 之下出现中元古界石英岩化砂岩,证明 1003~1039.83 m 之下仍存在较老的推覆片体或夹块。证明该区推覆构造存在着多个推覆面,其间夹有多个推覆片体。结合区内的二维地震时间剖面和 601 钻孔资料,在孔深 1003~1039.83 m 见到的煤系地层和 1039.83 m 之下出现的中元古界石英岩化砂岩,均系深部推覆构造的夹块。

4　推覆构造深部找煤意义

以上通过区域性推覆构造及高山煤矿区 601 孔推覆构造特征的分析对比、综合研究,其主构造推移面应处于石炭系或下二叠系山西组之中,宜洛煤田主采煤层山西组底部的二$_1$煤层,在构造推移过程中处于推移面之下得到了保存。从图 1、2 可以看出,初步推断二$_1$煤埋深 1500 m 以浅的分布面积有 18 km^2,埋深 2000 m 以浅的有 25 km^2,可预获煤资源储量 15856 万 t。

由此推断该区是今后进行验证和深部找煤的主要区域。冷庄—魏庄断层西南寒武系和新生代覆盖地区,在西马村煤矿的深部还有可能找到推覆构造掩盖下的二$_1$煤层,应在进一步综合研究的基础上进行 602 孔的验证,以期扩大煤田勘查范围具有示范性意义。

以上初浅见解,定有不当之处,敬请批评指正。

本文得到地学专家石毅、白红灿的倾力支持,借此深表谢意。

参考文献:

[1] 付发凯, 等. 河南省伊川县高山煤预查报告[R]. 河南省地矿局第一地质调查队, 2007.

[2] 石铨曾, 等. 河南省宜洛煤田区的推覆构造[J]. 河南地质, 1990, 8(3):21-27.

[3] 石铨曾, 等. 河南东秦岭北露的推覆构造及煤田分布 [J]. 河南地质, 1990, 8(4):22-34.

[4] 庞振山, 等. 1:5 万白阳幅区域地质调查说明书 [R]. 河南省地矿局第一地质调查队, 1998.

物探在金属矿产攻深找盲中的作用

孙文珂

(国土资源部咨询研究中心,北京 100034)

提　要:为在地质找矿工作程度较高的地区,地质找矿能“有突破性的发现”和“取得有宏观影响的大成果”,以及在矿山周围和深部,特别是危机矿山发现可供继续开采的接替资源,地质找矿需要实施“攻深找盲”的战略性举措。在“攻深找盲”中需要物探先行。并发挥重要的作用。

关键词:物探;间接找矿;直接找矿;“攻深找盲”

1　关于攻深找盲

金属矿的地质找矿工作之所以提出“攻深找盲”的方针，是基于一些矿区浅部的矿已开采得差不多了、一些地区浅部的矿已找得差不多了的现实,而找深部矿的技术难度及费用均大得多,风险也大得多,因此,需要采取措施攻克深部找盲矿的技术难关。此处所说的浅部金属矿在 20 世纪 80 年代是指 200~300 m 的矿,近年则是指 400~500 m 的矿。最近人们更提出要找第二空间(500~1500 m 或 2000 m)的金属矿。因此,“攻深找盲”的深度是在发展的。

从大量的找矿实践和地质成矿理论均知道以下事实：绝大多数大型内生矿床的主要矿体不是平面地分布于近地表的范围内，而往往是由浅到深均有矿体分布，有些情况是较大的矿体或主矿体存在于深部,也有一些情况是浅部没有矿。因此,寻找大型内生矿床的过程必然要进行深部找矿。以下两种基本情况均将得出这一结论。

目前常见的一种找矿情况是：一个矿床先发现近地表的一部分矿体（仅根据这些浅部矿体的资源量尚难确定其是否为具有重要意义的大型矿床),需经过进一步勘查，找到深部其他多个矿体或主矿体后,该矿床才能被确定为大型。这种由浅入深找到大矿的过程风险可能小些。

另一种情况是近地表没有矿体存在或浅部矿已查明,为发现深部矿,只能根据物探局部异常或地质成矿预测提供的深部找矿具体部位，据此打钻直接发现深部矿床(或矿体)。此前大多数深埋的磁性铁矿和许多磁性有色金属矿就是根据磁异常发现的,另有一部分有色金属矿是根据电法异常发现的。这种找矿过程风险显然要大些。

由前述分析可知,不论那种情况,为了发现大型内生矿床,均需要经过勘查找到深部矿体,只不过是一开始就找深部的盲矿或隐伏矿，还是先发现浅部矿后再找深部矿。因此,勘查深部矿的过程是“取得有宏观影响的大成果”所必经的,而不是仅仅在地质勘查工作程度高的地区才是必须的。

在找深部矿时,物探先行的优越性是节约钻探工程、提高命中率、缩短找矿周期,因而也减少了风险。

2　物探在攻深找盲中的基本技术思路

物探攻深找盲要采取“直接找矿”与“间接找矿”并举的战略,地面物探与地下物探组合运用的战术。

(1)直接找矿:发现矿致异常—提出找矿靶位

用物探等勘查技术方法取得直接是深部矿床(矿体）发出的信息——物探等勘查技术方法的异常，根据物探等勘查技术方法的基本原理和已建立的地质-地球物理等勘查技术方法找矿模型，研判异常是否为矿致异常,也就是对异常进行定性解释;若认为是矿致异常,经过定量解释后,对矿床或矿体

收稿日期:2007-08-08;**改回日期**:2007-08-11

作者简介:孙文珂,男,1931 年生,教授级高级工程师,主要从事地球物理勘查管理与研究工作。

进行定位、定深、定形态,通过钻探(或其他深部探矿工程)发现深部矿体,这就是直接找矿方式。

(2)间接找矿:进行立体填图——圈出矿体可能的空间部位

用物探等勘查技术方法取得深部控矿、容矿、含矿地质体或地质现象(岩体、地层、接触带、破碎带、火山机构、褶皱带、沉积盆地等)的信息,经过解释和定量反演,编绘成前述目标地质体(特别是深部目标地质体)的推断立体地质图,根据成矿规律、成矿模式和矿产预测准则,在推断立体地质图上圈出矿床(矿体)可能的部位,通过钻探(或其他深部探矿工程)发现深部矿体,这就是间接找矿方式。

(3)当矿体的物性、规模和埋深(或与观测点的距离)等条件能满足物探在地表或地下矿体周围测得矿体的异常时,则可以在地表或地下采用物探直接找矿方式进行深部找矿。要指出的是物探在地表要直接找的深部矿应该是较大的矿,在地下(井中或在坑道中)直接找周围的盲矿有可能是较小的矿。物探工作者始终为能直接找矿,在方法技术上进行着不懈地努力和奋斗,这里包括能够发现深部目标体异常的方法技术,也还包括区分这些目标体的异常是否为矿致异常的方法技术,有时后者难度更大,所有这些需要采用综合方法。

(4)当矿体与围岩的物性无差异,不能满足物探直接找矿条件时,或物性虽有差异,但矿体规模小而埋深又大,不能满足物探在地表直接找深部矿的条件时,为了在地表找深部矿,应该采用物探间接找矿方式进行深部找矿。要指出的是,对于有物性差异而埋深较大的矿,在地表则采用物探间接找矿方式进行深部找矿,一旦有钻孔后,应及时采用井中物探进行近距离的直接找盲矿。物探间接找矿时的目标地质体深度虽然大,但其体积远大于矿体,因此,发现它们要容易些。物探间接找矿在技术上也有许多难题需要努力去解决,在解释中也会遇到定性和定量解释的许多技术难题,这些难题也只有采用综合方法才能较好解决。

(5)在物探进行直接找矿的实际工作中,还应该同时运用间接找矿工作方式,一是有利于更好地判断所发现的异常是否为矿致异常,二是当遇到矿体小且埋深大,使得异常弱或不明显时,还可以在地表按间接找矿方式对这些矿进行深部找矿,一旦有钻孔后,再及时采用井中物探进行直接找盲矿。

(6)地下(井中和坑道)物探与地面物探组合运用是物探找深部矿的重要技术战术。如前所述,地面物探直接找矿时,能找的矿一般是较大的矿,而地下物探能发现相对较小的矿。此外,地面物探直接找矿发现了异常,在定性解释上可能无误,但在验证孔位和孔斜的建议方面有可能不准,造成首孔未见矿,此时,及时进行井中物探,将发现井旁或井底盲矿,从而避免了与矿"擦肩而过"造成遗憾,这已为国内外的实践所一再证明。

3　物探进行攻深找盲的方法组合

采用何种物探方法进行探测有效,主要决定于探测目标的物性差异、埋深和形态等条件,因此需要建立矿床的地质-地球物理找矿模型,它是指导物探找矿全部工作的依据。根据多年的找矿实践和对中国主要矿床物性情况的了解,中国的物探工作者已建立起了中国主要矿床的地质-地球物理找矿概念模型,据此可以提出中国主要类型矿床物探找矿的方法组合。为攻深找盲所采用的重力和磁法是高精度的,电法是大功率、抗干扰和分辨率较高的。

(1)物探直接找矿方法组合

根据矿体的物性特点,将矿分为 5 类,但具体到某个矿床可能有多个类型矿体(如西藏玉龙铜矿床以斑岩铜矿为主,但同时有含铜磁铁矿)。

①磁性矿(如各类磁铁矿、含铜磁铁矿、矽卡岩型铜矿、矽卡岩型多金属矿、矽卡岩型白钨矿、矽卡岩型钼矿、矽卡岩型锡等具磁性和高密度或具有一定导电性的矿)地面物探以高精度磁法为主,配以高精度重力法、大功率电法中的一种;地下物探以井中磁测为主,配以井中电法。

②块状硫化物矿(如含铜黄铁矿、块状硫化物多金属矿、块状铜镍硫化物矿、块状铜钴硫化物矿等导电性好、激发极化效应强和高密度而具有一定磁性的矿)地面物探以电法为主,宜采用大功率激电(IP)法、瞬变电磁(TEM)法、可控源音频大地电磁(CSAMT)法、复电阻率(CR)法等电法中的一两种方法组合,配以高精度重力法,个别矿床(如铜镍矿等)还可采用高精度磁法;地下物探可选用井中 IP 法、井中 TEM 法、井中充电法、地下无线电波法和井中声波法中的一两种方法组合。

③细脉、细脉浸染状硫化物矿(如锡石硫化物矿、金-硫化物矿、斑岩型铜矿、斑岩型钼矿、含铜砂

岩等具有较强—中弱激发极化效应、导电性和磁性变化大且不稳定的矿）地面物探以大功率 IP 法为主，个别矿床还可采用高精度磁法、CR 法和 CSAMT 法；地下物探以井中 IP 法为主，配以其他井中电法或井中磁测。

④氧化物黑色金属矿（如铬铁矿、赤铁矿、菱铁矿等高密度、高电阻而磁性弱、间或有不强的激发极化效应的矿）地面物探以重力法为主，个别矿床还可采用高精度磁法或大功率 IP 法；地下物探较有效的方法不多，可采用井中声波法或井中无线电波法，个别矿床还可考虑采用井中 IP 法。

⑤石英脉金属矿（如石英脉型金矿、石英脉型黑钨矿、石英脉型辉钼矿、锡石石英脉矿等呈高电阻和无磁性、间或有弱激发极化特性的矿）地面物探以大功率电阻率法为主，间或采用高精度磁测或大功率 IP 法；地下物探较有效的方法不多，可采用井中电阻率法或井中无线电波法，个别矿床还可考虑采用井中 IP 法。

在实际勘查中应采用何种方法组合要根据矿床的具体物性特点和其他条件选定。

（2）物探间接找矿方法组合

物探间接找矿时的目标地质体基本有以下几种，立体地质填图需填出的是多个地质体的组合。

①岩体（酸性岩多为低密度、无—弱磁性，中性岩多有磁性、密度不高，基性—超基性岩磁性强、密度高；与围岩之间的电性、速度是否有差异，决定于围岩的岩性）：为圈岩体及其形态，可采用重力、磁测，并配以大功率电测深类电法，今后还可采用地震勘查法。

②地层（沉积岩一般无磁性，个别情况下页岩、砂岩有弱磁性，老变质岩多有磁性；页岩、砂岩、灰岩、老变质岩之间在电阻率、密度和速度方面有差异）：为圈出、追索含矿或控矿的地层，并确定其埋深、厚度及褶皱变化等，主要采用相应的大功率电法（常规电阻率测深法、IP 测深法、CSAMT 法等），一些情况可采用重力法，对于磁性地层还可以采用磁法，个别情况可采用地震勘查法。

③接触带（侵入岩与沉积岩形成的接触带和侵入岩与老变质岩的接触带，多数情况下它们之间在磁性、密度、电性方面会有差异；有时接触带发生蚀变或矿化形成有一定宽度的蚀变或矿化带，它们往往与两侧岩石的物性不同，形成可单独探测的对象；侵入岩与火山岩的接触带、不同期次侵入岩的接触带，在磁性或密度方面可能有些差异，但不会太明显，因此可采用的方法不多）：为圈出、追索控矿接触带，并确定其埋深、在深部的变化、形态等，主要采用磁法或重力法，并配以常规电阻率测深法、CSAMT 法等方法，有时还可采用大功率 IP 法了解蚀变或矿化带。

④破碎带（一般破碎带的密度变低、含水时呈低电阻，磁岩石中的破碎带磁性减弱，非磁性或弱磁性岩石的破碎带中充填磁性岩脉时显示磁性，破碎带同时有矿化蚀变时可能有极化特性、低电阻或有磁性）：为圈出、追索控矿或含矿破碎带、断裂带，并确定其埋深、在深部的变化、形态等，主要采用磁法、重力法，并配以常规电阻率测深法、CSAMT 法等方法。

⑤火山机构（不同岩性有不同特点，一般火山机构具磁性，酸性火山岩磁性弱、密度低，基性火山岩磁性强、密度略高，重磁场多呈圆型或弧型，中心场低、周围环型场高，其与围岩的电性可能有一定差异）：为圈出控矿或含矿火山机构，并了解其在深部的变化、形态等，主要采用磁法、重力法，并配以常规电阻率测深法、CSAMT 法等方法。

⑥褶皱带（褶皱带是指沉积岩地层的褶皱，其特点即沉积岩地层的特点）：为圈出、追索含矿或控矿的褶皱带，并确定其埋深、厚度及褶皱变化等，所采用的方法与探测地层相同。

⑦沉积盆地（中新生代盆地多呈低密度、无磁性，电性和速度因地层而异，总的不高，古生代盆地一般也无磁性、密度、电阻均偏高，速度因地层而异）：为圈出沉积盆地的范围，了解基底深度和岩性，目标层的深度、厚度等，主要采用磁测、重力法和大功率电测深法，个别情况应采用地震勘查法。

间接找矿时物探的探测目标地质体可能有多种和多个，并要进行立体地质填图，因此，具体采用何种方法组合要根据具体地质任务和目标地质体的物性决定。

4 技术细节决定成败

矿产勘查中正确选定方法是能取得好的找矿效果的首要条件，但在各种方法正确选定后，如果在具体使用各方法时，每个技术环节的细节不正确，同样不可能取得预期的找矿效果，对于这一点人们往往忽视了。

(1)物探找矿的关键环节及其意义

多年的实践经验总结表明，物探找矿的成功决定于以下 5 个关键环节

①正确确定物探找矿具体任务、科学选定物探方法组合是取得找矿成功的首要条件;

②按实际情况及时修正原设计、灵活而又保质地完成数据采集是取得找矿成功的保证和前提;

③根据具体任务、物探场的特征和物探基本原理进行数据处理和资料解释是找矿成功的核心一环;

④坚持验证推断成果、及时进行井中物探是取得找矿成功的关键一步;

⑤验证后进行再解释是提供找矿成功的最后机会和扩大找矿战果的必要步骤。

(2) 物探工作各个环节的技术细节是否正确决定成败

物探的方法选定后，从物探施工技术条件的正确选定(例如:AB、OO′、MN 的极距,供电电流的大小,供电时间,电极和探头的安放,线框的铺设,电极排列的方向等)到各种改正和数据处理、解释时初始模型的选择、物性参数的选用、定量反演方法的正确运用、物探与地质正确结合进行地质解释、验证工程的正确部署、及时进行井中物探等诸多环节,再到验证后的再解释等环节都决定着最终结果的成败。当前人们往往忽视了每个物探方法实施过程中的细节，使得本来应该取得成功的物探工作无果而终或成果大打了折扣,甚至得出“物探无效”的结论。

5　具体技术工作和管理要落到实处

(1)物探与地质密切结合,把验证后解释工作落到实处

各个环节的技术“细节”的准确和及时执行,还要依靠物探与地质密切结合，特别是验证后的解释工作。目前,绝大多数地质单位没有物探人员,物探工作是由承担矿产勘查工作的地质队委托物探队进行的，现实情况是物探队在完成野外工作并提交物探报告后,即算完成任务。异常验证后物探、地质再解释工作,往往距物探队提交报告后有一段时间,且委托物探队的工作任务中没有明确需进行验证后的再解释工作,地质队也没有相应的费用,因而这一重要阶段的工作基本没有进行。其后果是本应能找到矿的物探、化探信息,由于验证前的解释不准确或验证工作不到位(指空间位置或深度),验证后的再解释又未能发现和纠正它们,从而未能找到矿,由此将可能造成功亏一篑的结果。

因此，建议在矿产勘查项目的物探和地质工作的整个任务中，应包括物探异常验证后的再解释工作,并明确承担这项工作的单位,一般以原物探队承担验证后的再解释工作为宜,并有相应费用的保证,只有这样才能真正提高找矿效果。

(2)物探技术细节的正确实施

物探技术设计正确制定后,正确实施设计,保证每个环节都不出问题，要靠有责任心的高技术素质的物探工作人员。当前这方面的主要问题是,高技术素质的物探工作人员少,新人多,缺少实际经验,平时学习和接受在职培训的机会少；个别人责任心不高,不按设计和规范执行,出了问题也不主动设法解决。这种情况不改变，正确的设计也难取得预期效果,甚至取不到效果。

(3)物探的专业技术要有专人管理

保证每个环节都不出问题,还需要科学的管理,在管理层要有专业物探人员进行日常的技术管理和技术指导。物探的计划和项目管理是必要的,现各管理层都有人负责,但仅只此是不够的,没有专业物探人员从事日常的技术管理和技术指导，不可能保证每个环节都不出问题，有人管和无人管的后果大不一样,多年的经验说明了这一点。

6　推进物探的技术进步,使物探能发挥更大的作用

近年来物探的技术虽然有较大进步，较以前能承担起找深一些的矿，但现有的方法技术还不能适应地质找矿‘攻深找盲’(达到 1000~2000 m) 的需要。目前金属矿物探方法还难满足在地表找较大深处中小型的矿,特别是中小型有色金属矿。因此,金属矿物探要大力研究和开发探测深度大、分辨率高而能快速扫面的电法，特别是具有这类特点的 IP 法,另外是研究适应金属矿的地震法,地下物探方法要在提高分辨率和扩大探测范围方面进行研究。推进物探的技术进步是物探发展的基础，它将使物探能在地质找矿‘攻深找盲’中发挥更大的作用。

本文撰写中得到黄崇轲、刘士毅、周凤桐先生的指正,颜廷杰先生给予了帮助,在此一并致谢。

利用物探资料推断结果计算矿床的资源量

刘士毅

(中国地质调查局发展研究中心,北京　100083)

提　要:通过实例说明,利用物探资料定量反演结果,计算矿床的资源量的精度;指出了利用物探资料定量反演结果,计算矿床的资源量时应该注意的事项。

关键词:物探;反演;矿床资源量

利用物探资料定量反演结果计算矿床的资源量❶是人们感兴趣的一个课题。那么,这种计算的精度有多少?计算时应该注意些什么?笔者通过实例回答上述两个问题。

1　计算实例(表 1)

(1)湖南祈东铁矿:利用磁法资料推断资源量为 3.57 亿 t,已探明 3.66 亿 t。误差为-2.5%。

(2)云南江城县勐野井钾盐石盐矿:利用重力为主的多种物探方法推断资源量为 12 亿 t,已探明 NaCl 11.5 亿 t、KCl 1436 万 t。误差为+3.3%。

(3)新疆哈密市天湖铁矿:利用磁法资料推断资源量达亿 t,已探明 1.04 亿 t。　误差为-3.8%。

(4)在内蒙古黄岗铁锡矿勘探之初,物探工作者依据 1:2000 磁法详查资料估算的铁矿石资源量约为 1 亿 t,与最终勘探结果(0.9 亿 t)很接近。误差为+11%。

(5)四川盐源县矿山梁子铁矿:利用磁法资料推断资源量为 2528 万 t,已探明 2962 万 t。误差为-14.7%。

(6)在内蒙古谢尔塔拉铁锌矿发现(验证磁异常发现)之初,当时物探局的工程师朱庚,使用刚刚引进的小型台式计算机,利用磁异常资料反演了矿体的几何参数并估算了铁矿石的资源量,约为 5000 万 t。内蒙古 116 地质队 1978 年探明的铁矿石的储量是 6040.3 万 t。误差为-17.2%。

(7)新疆哈密市雅满苏铁矿:利用磁法资料推断资源量为 4000 万 t,已探明 3175 万 t。误差为+26%。

(8)辽宁东鞍山、西鞍山铁矿:1950 年在顾功叙、曾融生指导下,利用磁法资料估算资源量为 20 亿 t。勘探结果 39.67 亿 t。误差为-49.6%。

(9)新疆鄯善县铁岭第一铁矿:利用磁法资料推断资源量为 1129.6 万 t,已探明 3178 万 t。误差为-64.5%。

(10)内蒙古达茂旗高腰海铁矿:最初利用磁法推断结果,计算的资源量为 9000 万 t,第一孔后,依据钻孔所见矿体厚度重新计算为 3000 万 t,勘探结果达 2202 万 t。钻探验证前的计算误差为+308.7%;依据验证首孔所见,重新计算结果的误差为+36.2%。

(11)甘肃陈家庙铁铜矿:最初利用磁法资料推断资源量达大型,首钻后重新计算为 2920 万 t,已探明 2500 万 t。钻探验证前的计算误差:达+1000%(10 倍);依据验证首批孔所见,重新计算结果的误差为+16.8%。

除以上资料除内蒙古谢尔塔拉铁锌矿外,均引自《中国矿床发现史·物探化探卷》,谢尔塔拉铁锌矿引自内部资料。

收稿日期:2007-08-08;**改回日期**:2007-08-16

作者简介:刘士毅,男,1939 年生,教授级高级工程师,从事地球物理勘查管理与研究工作。

❶计算矿石资源量的公式:$M=V\times\sigma$　M:资源量;V:矿体体积之和;σ:矿石平均密度;计算金属量有用组分资源量的公式:$M=V\times\sigma\times C$　M:资源量;V:矿体体积之和;σ:矿石平均密度;C:矿石有用组分平均品位。

表 1　矿床实测

序号	矿　床　名　称	误　差
1	湖南祈东铁矿	−2.5%
2	云南江城县勐野井钾盐石盐矿	+3.3%
3	新疆哈密天湖铁矿	−3.8%
4	内蒙古黄岗铁锡矿	+11.0%
5	四川盐源县矿山梁子铁矿	−14.7%
6	内蒙古谢尔塔拉铁锌矿	−17.2%
7	新疆哈密市雅满苏铁矿	+26%
8	辽宁东鞍山、西鞍山铁矿	−49.6%
9	新疆鄯善县铁岭第一铁矿	−64.5%
10	内蒙古达茂旗高腰海铁矿	+308.7%首钻后误差：+36.2%
11	甘肃陈家庙铁铜矿	+1000%（10 倍）首钻后误差：+16.8%
平均误差	平均误差（正负抵消）	+108.8%（偏大 5 个,偏小 6 个）
	去掉 2 个特大误差的平均误差	−5.36%（就 11 个矿床资源量总和而言）
	绝对值平均误差	+136.5%（偏大 5 个,偏小 6 个）
	去掉 2 个特大误差的绝对值平均误差	−22.3%（就单个矿床而言）

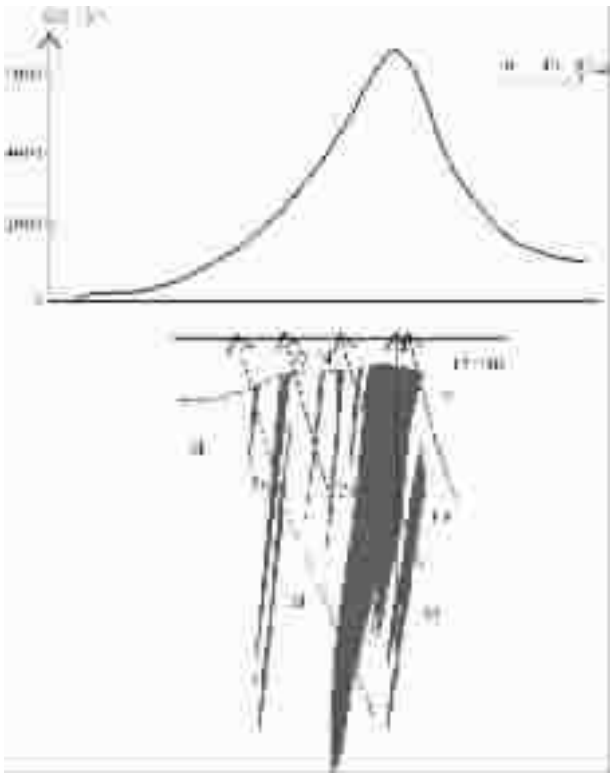

图 1　内蒙高腰海铁矿Ⅶ勘探线综合剖面图
Q+N—第四系—新近系;M—前寒武系单层麻岩;
Fe—磁铁矿及磁铁矿石英角闪岩

2　误差分析

(1)2 处计算误差大的矿床,都已知由于反演矿体厚度过大引起。厚度偏大是由于矿体呈薄层互层状(图 1),计算时又没有扣除夹石所致。第一验证孔后,修改了矿体厚度,误差明显变小。

可见,与其他反演一样,精细反演和利用个别钻孔等资料约束是提高资源量计算精度的有效途径。

(2)各个矿床的资源量分别由不同的人计算,因而没有系统误差,误差有正有负,具有偶然误差的特点。假设定性推断都正确的话，单就推断资源量而言,如果同时利用物探资料计算了 10 个以上矿床的推断资源量，汇总的总资源量的误差由于正负抵消的结果，小于单个矿床资源量的计算误差——如果定量反演质量较高,有可能小于 10%(表 1)。

(3)就单个矿床而言,如果定性推断正确,定量反演不出现过失的 9 个矿床的推断资源量的平均误差为±20%。现在反演技术提高了,只要认真反演,平均误差控制在 20%以内应是可能的。

3　值得注意的问题

(1)定量方法选择

形态或物性复杂矿体的正反演计算应使用三维方法。形态和物性简单矿体的正反演计算可用二维方法。

反演磁性体几何参数和物性参数,最好使用三维自动反演→三维人机联作反演方法;工作量大时可采用二维自动反演→二维人机联作反演方法。不应再使用特征点法等简单又不能验证反演结果的方法。

(2)为防止出现上述甘肃陈家庙铁铜矿和内蒙古达茂旗高腰海铁矿反演矿体厚度过度偏大现象,当

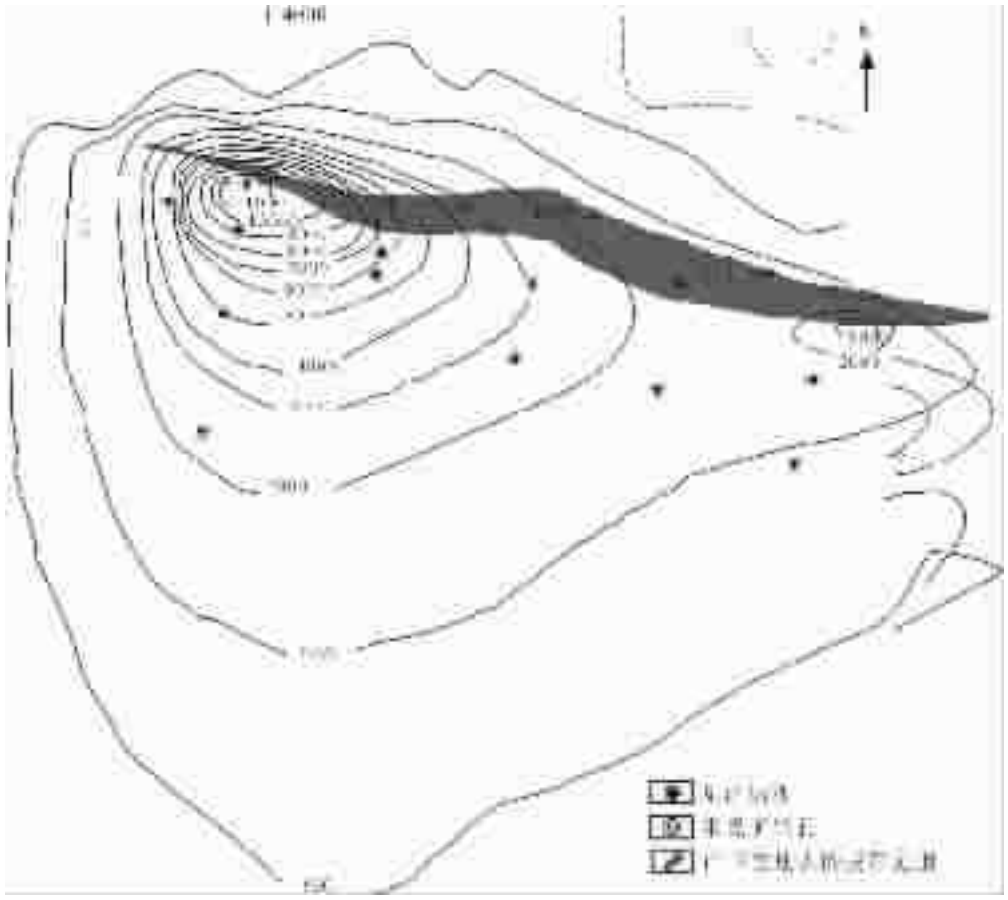

图 2 内蒙赖沟铁矿 Z 平面等值线图

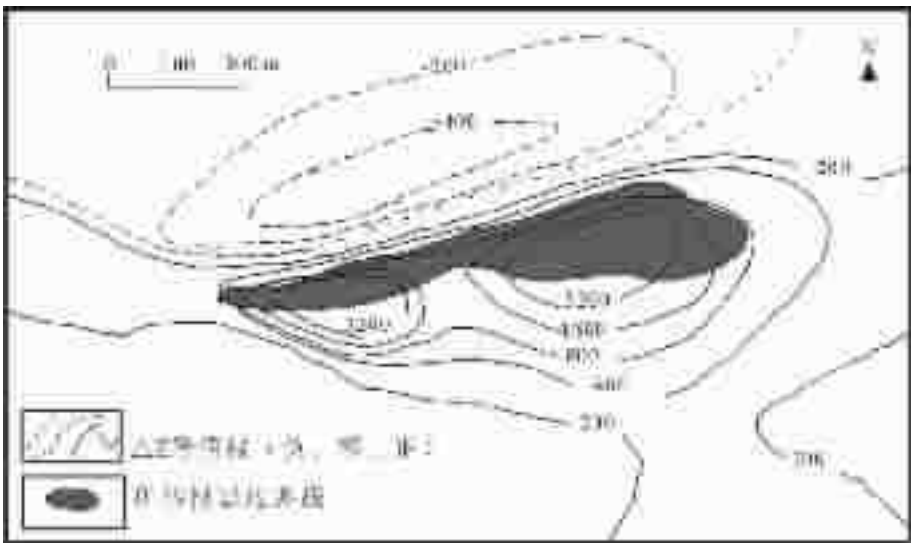

图 3 黑龙江某矽卡岩型磁铁矿区综合平面图

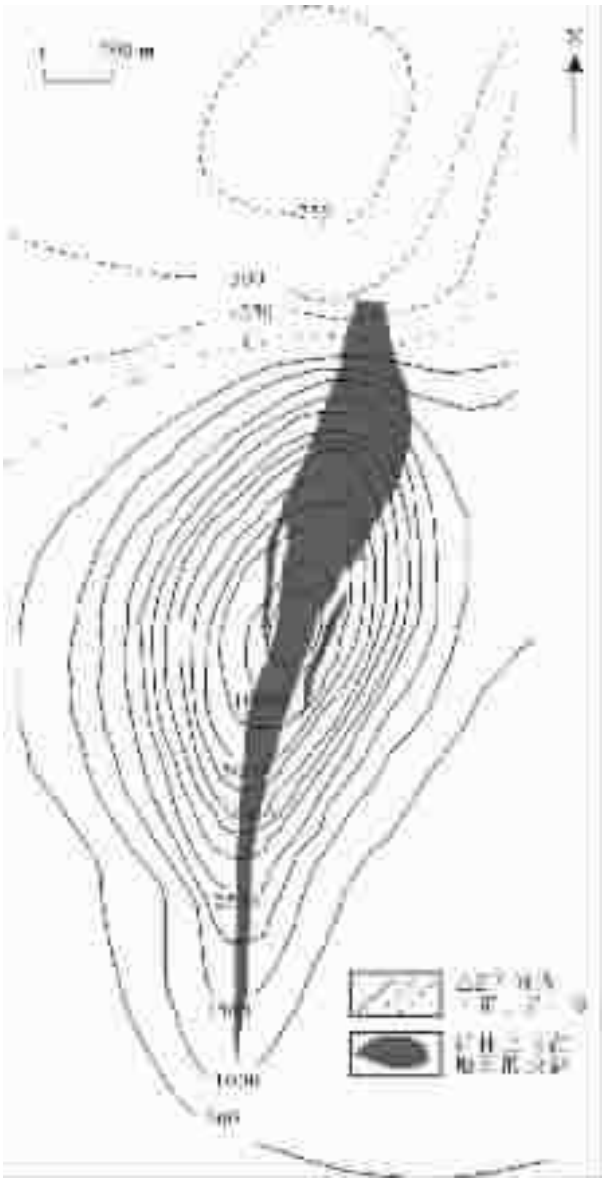

图 4　安徽霍邱某前寒武纪变质铁矿综合平面图



图 5　河北邯邢西石门矽卡岩矿床综合平面图

反演得到的有效磁化强度明显偏低时（明显小于实测矿石磁性数据,例如磁铁矿床小于 50000×10^{-3} A/m),说明厚度可能偏大了,应减少推断矿体厚度,增加有效磁化强度的数值。

(3)上述例子大多是计算矿床的矿石资源量。若计算矿床的金属组分资源量，除注意矿体的规模计算不要明显偏大、偏小外，品位数据的选取是否恰当,也是关键的。

(4)计算资源量的异常应拥有物探详查资料,起码应拥有详细剖面测量资料。

(5)矿体走向长度的确定,如果不采用三维反演方法,难度较大,一般利用沿走向方向(纵剖面)拐点

间距的方法。采用后者时,当矿体沿走向方向倾伏、沿走向方向逐渐尖灭、沿走向方向上顶起伏、走向南北向北侧有明显负值时,易偏小。

例如:内蒙古包头市好赖构铁矿:矿体沿走向倾伏、逐渐尖灭,纵剖面拐点间距 200 m,矿体实际长度大于 600 m。黑龙江某夕卡岩铁矿:沿走向出现两个极值,矿体在走向方向上没有断开。安徽霍丘铁矿某矿体:走向近南北,矿体长度远大于纵剖面拐点间距。

异常在走向方向上有起伏,需判断矿体是否相连的问题。辽宁弓长岭铁矿,最初物探推断的弓长岭、独木、哑叭岭和八盘岭 4 个矿段为独立矿段,即不相连,计算储量才 1 亿 t,后重视、验证低缓异常,证实在混合岩下矿体联为一体,使储量增至 5 亿 t。判断相连问题,采用三维反演方法将不是难事。

(6)背景场选择失当,可导致反演误差很大,甚至将同一矿体的异常分割为几个孤立的异常。

河北邯邢西石门矽卡岩型铁矿(图 5):由于存在磁性围岩(闪长岩)干扰,低值等值线(200 纳特及其以下)偏离异常主体,同一矿体的异常被分割为低值等值线不相连的 7 个异常,使人易产生矿体不相连的错误判断。

总之,利用物探详查资料的定量反演结果,估算矿床资源量是一种可行的方法,对资源潜力预测和矿产勘查都是有意义的。目前,除利用昂贵的钻探结果计算矿床的资源量以外,其他估算资源量的方法都不如利用物探反演结果估算的矿床资源量可靠,因而应大力提倡这种方法。应注意,这种方法的可靠性是建立在异常定性推断准确的基础之上的,若定性推断错了,误差便是“无穷大”了。但是,即使异常定性推断结论尚未证实,估算一下资源量对判断进一步勘查的价值也是有益的。

定量反演方法相对成熟的重磁方法,已经先行一步,取得了良好的效果,积累了经验教训。电法(电磁法)的定量反演方法已经趋于成熟,也应该朝此方向迈开步伐。

说明:本文中引用的插图是 20 世纪 80 年代以前收集的,当时未记录成果提供单位,因而在本文中没有注明出处,特此致歉,请予以谅解。

参考文献:

[1] 孙文珂, 等. 中国矿床发现史·物探化探卷[M]. 北京:地质出版社, 2002.

复电阻率(CR)法在江苏深部金属矿勘查工作中的应用及效果

魏邦顺　肖书明　何坚平　马秋斌

(江苏省地质调查研究院,江苏 南京 210018)

提　要:应用复电阻率(CR)法在江苏省南京某铁矿区和苏州某铅锌矿普查区开展剖面性测量工作,深入评价与深部金属矿(化)体有关的重、磁、电微弱异常,利用复电阻率频谱反演的多个视谱参数推测异常源的地质属性、空间分布特征,提高地质解释水平和工程验证见矿率,降低工程施工的盲目性,加快找矿工作进程。

关 键 词:复电阻率(CR)法;深部金属矿勘查;铁矿、铅锌矿

1　概　况

随着中国经济的飞速发展, 金属矿产资源的需求逐年增长,接替资源十分紧缺,形势严峻。江苏省浅部地质工作程度相对较高, 深部资源勘查将成为新一轮地质工作的重点。常规的重、磁、电法测量在金属矿床勘查中发挥了重要作用, 然而深部矿体在地面形成的异常响应相对微弱, 难以确定异常源地质属性、空间分布等情况。笔者通过南京某铁矿区和铅锌矿普查区开展物探复电阻率(CR)法剖面性测量工作,探索总结复电阻率(CR)法在深部金属矿床勘查方面的应用效果。

2　复电阻率(CR)法技术方法特征

从 20 世纪 80 年代初期开始,中国地质大学、中国科学院地质与地球物理研究所和安徽省勘查技术院的专家及技术工作者对复电阻率法技术作了有意义的研究工作,在频谱激电 (SIP)法理论研究的基础上,开发了复电阻率法,引进了电磁参数,并开展了 CR 法野外试验研究和生产,在 CR 法的实际应用方面取得了一系列的实践经验。

复电阻率法(英文缩写 CR)是基于位场理论的一种地面物探方法, 野外工作一般采用电偶源的多道偶极—偶极排列,大功率电源供电,扫频观测径向电场的振幅—相位频谱, 从而研究被探测目标的电极化效[1]应和导电性变化特征,判断金属矿物的相对富集区。当存在激电(IP)效应和电磁(EM)效应时, 观测到的电位差 $\triangle U$ 相对于供电电流强度 I 有相位移,并且随频率 f 而变化,所以测出的视电阻率是频率的复变函数,称作视复电阻率[1],记为

$$\rho(\mathrm{i}\omega)=K\frac{\triangle\overline{U}}{\overline{I}}\begin{cases}A_s(\omega)\\ \varphi_s(\omega)\end{cases} \tag{1}$$

式中:$\omega=2\pi f$ 为角频率;i 为虚数单位;K 是电极装置系数,电位差和供电电流强度符号上方的"~"表示频率域中的量;A_s 和 φ_s 分别为视复电阻率的振幅和相位,它们是频率的函数。

野外实测的复电阻率频谱形态, 通常同时受激电和电磁两种效应的影响, 可以用两个或者更多个"柯尔-柯尔(Cole-Cole)模型"[1,2]来描述:

$$\rho(\mathrm{i}\omega)=\rho_{so}\left\{1-m_1\left[1-\frac{1}{1+(i\omega\tau_1)^{c_1}}\right]\pm m_2\left[1-\frac{1}{1+(i\omega\tau_2)^{c_2}}\right]\right\} \tag{2}$$

收稿日期:2007-06-06;**改回日期**:2007-06-20

基金项目:矿产资源补偿费矿产勘查项目(国土资发[2003]422 号)资助。

作者简介:魏邦顺,男,1963 年生,工程师,长期从事地质矿产物探工作;E-mail:wbshun204@sina.com。

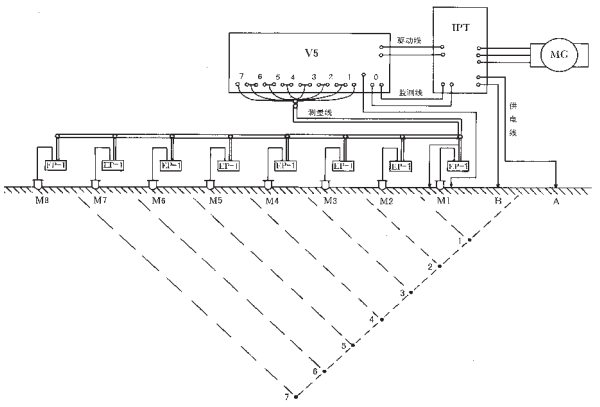

图 1 V5 系统野外采集示意图

式中：ρ_∞ 是频率为零时的视电阻率；m_1，τ_1 和 c_1 分别为 IP 效应的充电率及时间常数和频率相关系数；m_2，τ_2 和 c_2 分别为 EM 效应的充电率、时间常数和频率相关系数。

研究区 CR 法数据采集使用加拿大凤凰公司的 V5 型仪器系统，共有 7 个测量道接收来自地下信息，每一道对应一个探测深度，七道构成一个窗口。探测深度 H 和窗口深度范围 $\triangle H$ 分别为：

$$Hi=[Ni+(k+1)/2]a/2;$$

$$\triangle H=H\max-H\min$$

式中：Hi 表示第 i 道的探测深度(i=1~7)；Ni 表示第 i 道的隔离系数；k 为供电电极系数，供电电极距 AB=ka；a 为偶极距；$H\max$、$H\min$ 分别为 Ni 取最大值、最小值时的探测深度。

一般情况下，为获得较好的地质效果，将探测目标放在探测窗口的中部或中偏下部位。在同一条剖面上，如果目标体深度变化不大，可以用一种窗口深度来控制，若目标体埋深变化较大，则需要用多种窗口深度来控制。

数据采集工作中针对金属矿围岩电阻率较高，谱曲线极值点出现在较高频的特点，观测频带范围为 2^{10}~2^{-5}Hz，扫频步长为 $2^{0.5}$Hz 。

在野外实测到复电阻率频谱后，按公式(2)对实测复电阻率频谱进行反演，获得视谱参数(基本参数 ρ_S、m_S、τ_S、c_S 等)，根据已有地质、物性等资料，充分对比研究 CR 法各视谱参数(ρ_S、m_S、τ_S、c_S 等)与已知矿体(化)、围岩等空间分布形态特征的对应关系，筛选出与矿体(化)对应关系较好的视谱参数，了解目标体物性(岩性)分布特征，从多角度、不同侧面综合评价 CR 法异常，为金属矿床的勘查工作提供信息。

表 1 某铁矿岩、矿石标本 CR 参数测试结果

岩矿石名称	ρs（Ωm）		ms(%)	
	变化范围	平均	变化范围	平均
磁铁矿	156～178	168.0	27.1～29.2	28.27
闪长玢岩	1350～1520	1446.7	3.2～4.1	3.67
花岗闪长岩	2030～2240	2146.7	2.2～2.8	2.47
白云岩	3030～2840	3010.0	1.9～2.2	3.07

3 复电阻率(CR)法在金属矿勘查工作中的应用实例

3.1 在南京某铁矿勘查工作中的应用

3.1.1 地质概况

南京某铁矿位于苏皖交界的低山丘陵区，海拔标高 20~231 m。属苏北凹陷六合—天长隆起的一部分，位于弧形重磁同高异常带顶端内侧[3]。主要岩体为花岗闪长岩，矿区出露地层有：震旦系灯影组及寒武系下统幕府山组灰岩、白云岩。地层总体走向北东东，倾向南东，倾角 40~80°不等。铁矿体主要赋存于花岗闪长岩与寒武系下统幕府山组白云岩接触带上，属接触交代矽卡岩型磁铁矿矿床，矿体呈透镜状、似层状，倾向南西，厚度 19~44 m，剖面延伸 200~300 m。矿石矿物组成以磁铁矿为主，少量黄铁矿、黄铜矿等。

3.1.2 物性特征

物性测试结果表明：磁铁矿呈低阻高极化特征；蚀变带的闪长玢岩呈中等阻值中等极化率；围岩地层白云岩和花岗闪长岩呈高阻低极化特征（表 1），具备采用复电阻率法的物性前提。

花岗闪长岩与碳酸盐岩接触带部位的局部重、磁、电异常是重要的找矿标志。以往铁矿勘查经验表明：地磁异常走向与成矿构造一致，异常形态较规则，具有一定的规模，为矿异常的可能性较大。研究低缓磁异常，可寻找深部盲矿体。

勘查区原有 M1 地磁异常[4]，地磁异常 500 nT 等值线长 900 m，宽 400 m，呈半圆状，总体走向北东 75°，△Zmax 在 10000 nT 以上，北侧梯度较大，伴有明显的负异常，南侧梯度较缓且 500nT 等值线范围内存在明显的宽缓次级叠加异常，显示存在深部磁性体，采用复电阻率(CR)法剖面测量，利用复电阻率频谱反演的多个视谱参数探索解决异常源的

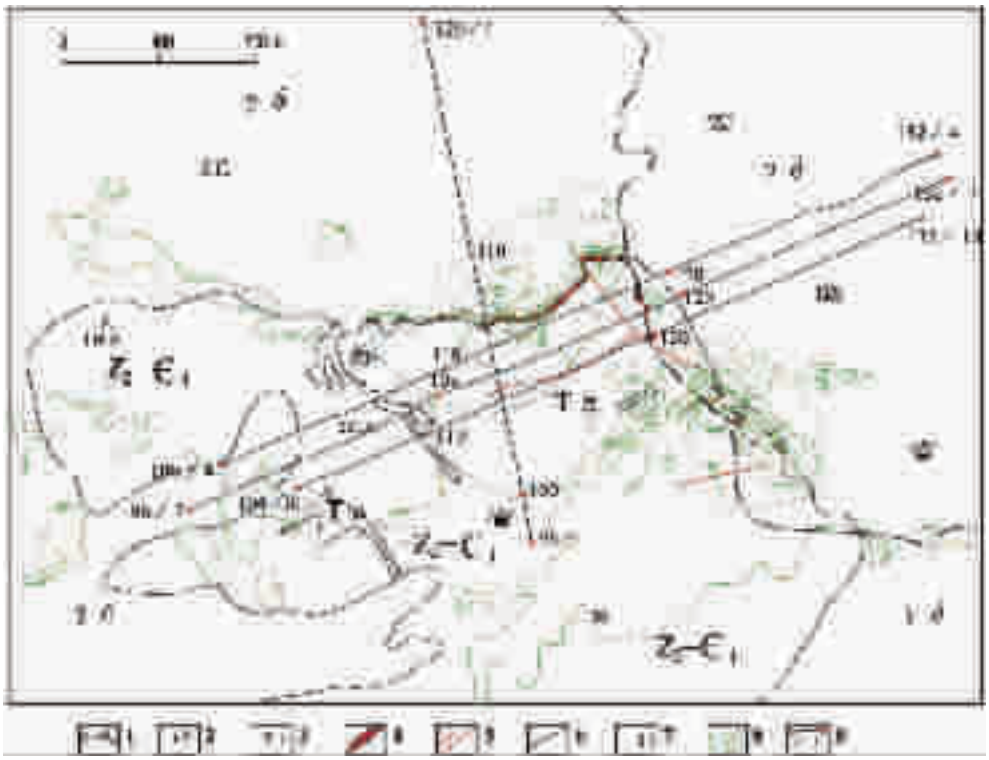

图 2　某铁矿区地质略图

1—上震旦统—下寒武统;2—花岗闪长岩;3—二长斑岩;4—铁矿体;5—实、推测断层;6—地质界线;7—地质产状;8—地磁异常及编号(nT);9—CR 法剖面及编号

地质属性、空间分布特征。

3.1.3 复电阻率(CR)法测量及验证效果

工作布置本着“从已知到未知、就矿找矿、以点带面”的原则。根据以往铁矿区地质、磁测资料,复电阻率(CR)法剖面主要布置在 M1 地磁异常南侧宽缓部位, 共布置北东东向 4、7、10 及北北西向Ⅰ线四条复电阻率(CR)法剖面(图 2),并与地质勘探剖面线一致,合计 12.2 km,排列间距一般 200 m,异常部位适当加密。考虑到目标体深度变化情况,为获得较好的地质效果, 本次工作采用多种窗口深度来控制,窗口控制深度范围 200~1100 m。

由 4 线 CR 法视谱参数断面与已知地质剖面(图 3)看:震旦—寒武系灰岩、白云岩及花岗闪长岩等围岩总体表现为异常背景,其特征:相对高视电阻率(ρs>500Ωm)、低视充电率(ms<4%)和低视时间常数 (τs<4s); 在 108~117 点位置约 400~800 m 深度,反映了明显的低阻(ρs min<100Ωm)、高视充电率(ms max>10%)和高视时间常数(τ s max>8s)异常特征。异常中心位于 110~112 点附近,中心深度为 580 m 左右,异常倾向南西,倾角 50°左右,以上 3 个 CR 法视谱参数异常对应关系很好, 该组合异常空间位置、产状特征与已知 CK205、CK403 及 ZK401 钻孔控制的磁铁矿(化)体特征完全吻合。

在该剖面南西 104.5 点, 中心深度 900 m 部位发现了高视充电率 (ms max>10%)、高视时间常数(τ s max>8s)异常,处于高低视电阻率过渡带上,该组合异常是深部找矿的重要信息。

同样,7 线 CR 法视谱参数断面与已知地质剖面 (图 4)显示:震旦—寒武系灰岩、白云岩及花岗闪长岩等围岩总体表现为异常背景,其特征表明:相对高视电阻率、低视充电率和低视时间常数;在 108~117 点位置,400~800 m 深度, 反映了明显的低阻(ρs min<100Ωm)、高视充电率(ms max>10%)和高视时间常数(τ s max>8s)异常特征。异常中心位于 110~112 点附近,中心深度位于 600 m 左右,异常倾向南西, 倾角 45°左右,3 个 CR 法视谱参数异常

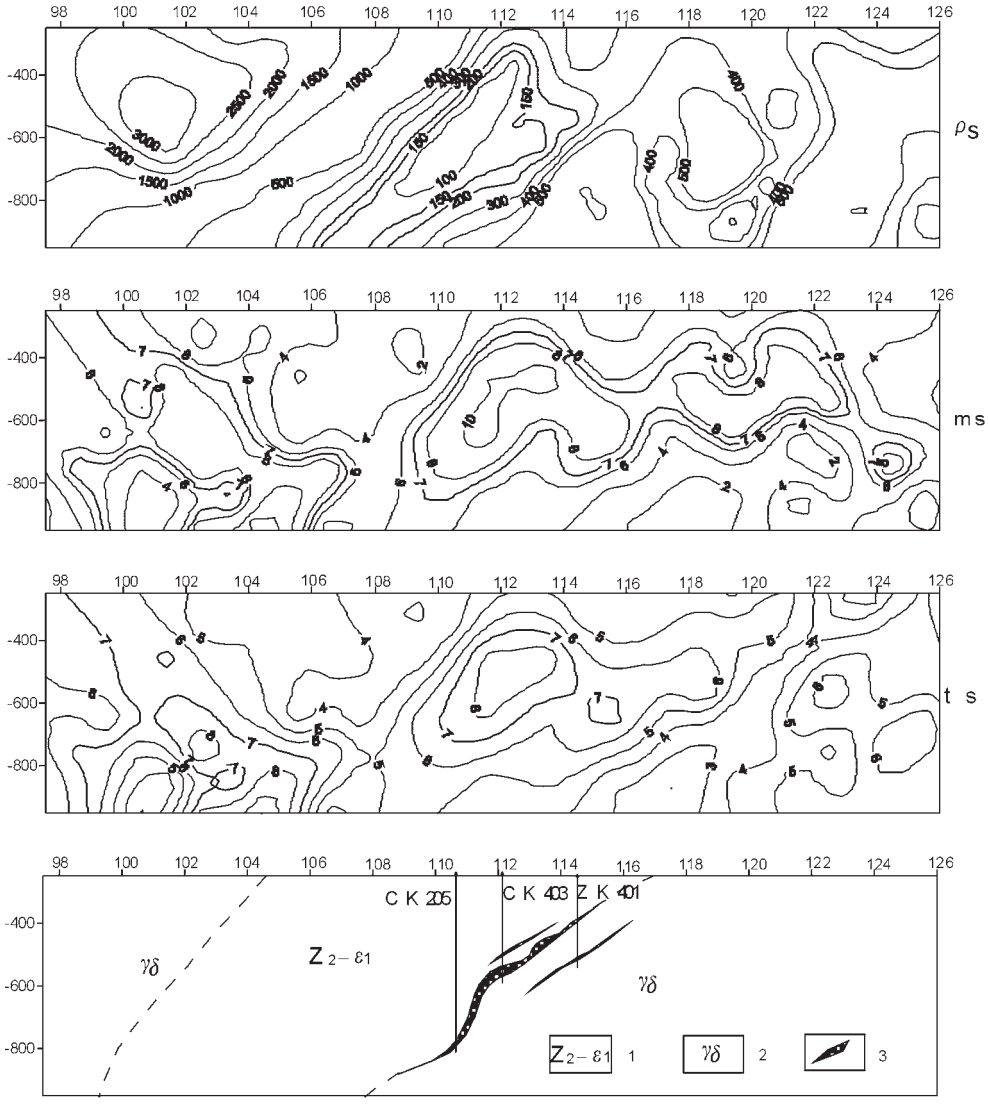

图 3 4 线 CR 法参数、地质剖面图

1—震旦系上统—寒武系下统;2—花岗闪长岩;3—磁铁矿体

对应关系较好,该组合异常空间位置、产状特征与已知 ZK7916、ZK7908、ZK703 及 ZK706 钻孔控制的磁铁矿(化)体对应较好。

除上述两条北东东向 4、7 剖面外, 北北西向 I 剖面 CR 法视谱参数组合异常与控制的深部磁铁矿(化)体空间位置、产状特征也显示较好的对应性。

10 线位于 4、7 线南侧,由 CR 法视谱参数断面(图 5)看:在 109~115 点位置反映了明显的低阻(ρs min<150Ωm),高视充电率(ms max>10%)和高视时间常数(τs max>8s)异常特征。异常中心位于 112 点附近,中心深度为 750 m,异常倾向南西,倾角 40°左右。两侧为相对高视电阻率、低视充电率和低视时间常数异常背景。3 个 CR 法视谱参数异常对应关系较好,推测与导电性较好、电极化性较高的金属矿(化)体有关;异常的背景与震旦—寒武系灰岩、白云岩及花岗闪长岩等围岩的有关。

该组合异常经钻探验证分别在 600 m 深度见 4.8 m 磁铁矿(化)体,800 m 深度见 8.3 m 厚的磁铁矿、铜多金属矿(化)体,与 CR 法视谱参数断面图中 600 m、800 m 深度分别出现高视充电率(ms)异常极大值,表现出较好的相关性。

综上所述:该矿床深部磁铁矿、铜多金属矿(化)

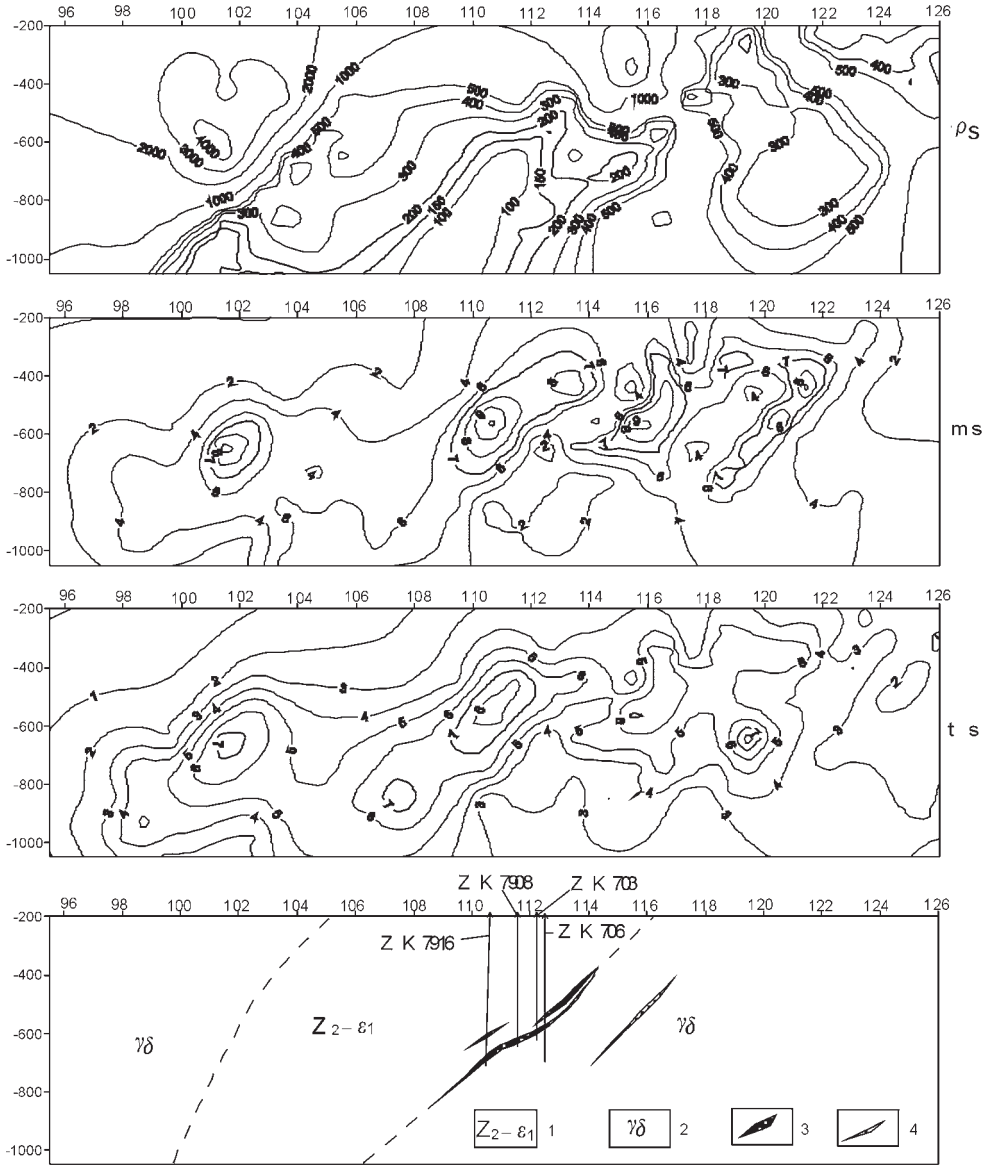

图 4　7 线 CR 法参数、地质剖面图

1—震旦系上统—寒武系下统;2—花岗闪长岩;3—磁铁矿体;4—推测磁铁矿、多金属矿(化)体

体低电阻率、高充电率和高时间常数等 CR 法视谱参数组合异常特征清晰，它们在空间位置和产状等特征上表现出较好的相关性。

3.2　复电阻率(CR)法在苏州某铅锌矿试验效果

3.2.1 地质概况

该铅锌矿普查区，位于苏州西部多金属成矿区潭山—倪芝圩铅、锌、银、铜多金属成矿带中段,城隍山花岗斑岩体东侧舌状延伸和苏州花岗岩体深部往西延伸的复合部位[5]。

普查区内主要有石炭、二叠纪及泥盆纪地层。推覆构造发育,岩脉穿插频繁,成矿地质条件良好。推覆构造为控矿构造,花岗斑岩(石英斑岩)和花岗岩类为成矿母岩，石炭—二叠系碳酸盐地层为赋矿层位。在前期推覆构造控矿的背景下,构造、岩浆岩继承发展,既有城隍山花岗斑岩成矿系列类型,又有后继的花岗岩成矿系列类型[6]。经 2004 年以来钻孔验证，在推覆构造下盘舌状花岗斑岩类与变薄的碳酸盐地层接触形成矽卡岩型含锡锌多金属磁铁矿,在

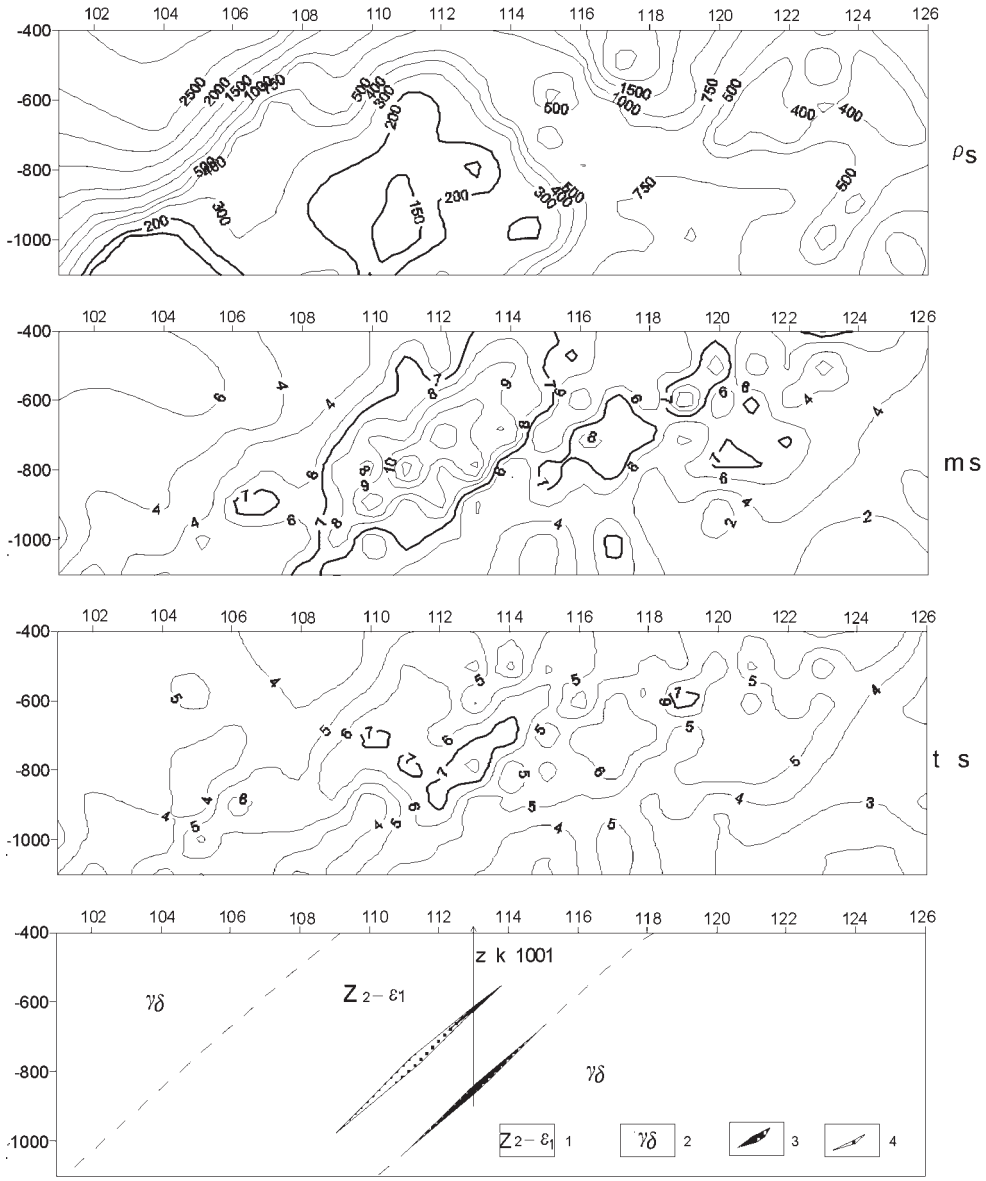

图 5 10 线 CR 法参数、地质剖面图

1—震旦系上统—寒武系下统;2—花岗闪长岩;3—磁铁矿体;4—推测磁铁矿、多金属矿(化)体

上部推覆构造带内及碳酸盐岩层间构造裂隙中赋有接触交代–充填型多金属矿体。

3.2.2 物性特征

该区物性表明:白云岩、大理岩、砂岩、花岗斑岩及花斑岩等围岩表现为较高视电阻率,较低视充电率和较高视频率相关系数的特征;含铅、锌磁铁矿及磁黄铁矿化泥质粉砂岩等表现为较高视充电率,较低视电阻率和较低视频率相关系数特征(表

表 2 某铅锌矿岩矿石标本 CR 参数测试结果

岩矿石名称	ρ_s(Ωm)	m_s(%)	τ_s(s)	C_s
含铅、锌磁铁矿	456.9	35.12	1.72	0.29
磁黄铁矿化泥质粉砂岩	1220.1	29.56	1.47	0.46
白云岩、大理岩	2353.1	1.57	1.27	0.63
石英砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩	1945.4	1.39	2.37	0.60
花岗斑岩、花斑岩	1971.8	1.20	1.89	0.56

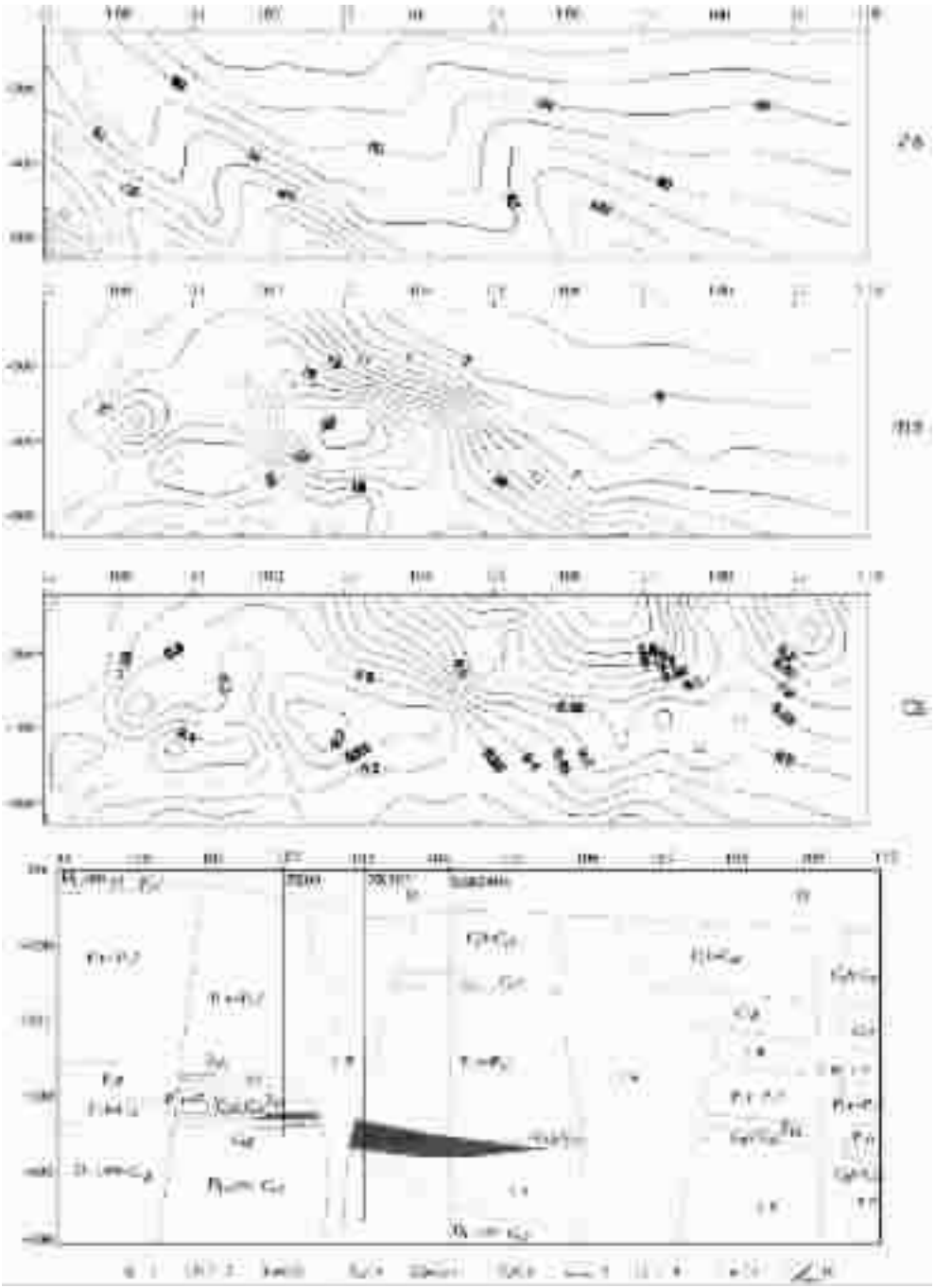

图 6　苏州某铅锌矿 1 线 CR 参数、地质剖面图
1—第四系;2—长兴组;3—堰桥组—龙潭组;4—栖霞组;5—黄龙组—船山组;6—高骊山组;7—茅山群—高骊山组;
8—花岗斑岩;9—花斑岩;10—多金属矿(化)体

2),当其具一定规模时,可形成明显的高视充电率、低视电阻率及低视频率相关系数异常。

3.2.3 复电阻率(CR)法测量及试验效果

利用普查区地质勘探 1 线开展复电阻率(CR)法剖面试验工作,该剖面资料 SZK405 孔深 361.44~377.67 m 厚 16.23 m 为含锡锌多金属磁铁矿,ZK302 孔深 339.44~373.06 m 厚 33.62 m 为含锡锌多金属磁铁矿及含矿矽卡岩,ZK09 孔深 335.42~

346.42 m 厚 11.00 m 为含锡锌多金属磁铁矿矽卡岩，是引起低缓磁异常的主要因素。考虑到目标体深、厚度变化情况，为获得较好的地质效果，采用排列间距 100 m，窗口控制深度范围 225~520 m。

由 1 线 CR 法视谱参数断面与已知地质剖面(图 6)看：砂岩、灰岩沉积地层、花岗斑岩及花斑岩等围岩则总体表现为异常背景，其特征：相对高视电阻率、低视充电率和高视频率相关系数；102~104.5 点位置反映了明显的低阻(ρs min<70 Ωm)、高视充电率(ms max>27%)和低视频率相关系数(Cs min<0.25)异常特征。异常中心位于 103 点，中心深度为 400 m 左右，异常近似平缓，略向大号点方向倾斜，以上 3 个 CR 法视谱参数异常对应关系较好，该组合异常与已知含锡锌多金属磁铁矿(化)及含矿矽卡岩空间位置相比略深，产状特征基本吻合。

4 结 语

复电阻率法具有大功率、探测深度大、多参数优势，主要用于常规物化探地质工作基础上的详查，或在勘探阶段配合其他常规物化探探测深部矿产信息。

实际应用结果表明：在常规的重、磁、电工作的基础上，结合实际地质情况开展复电阻率法工作，深入评价与深部金属矿(化)体有关的重、磁、电微弱异常，利用复电阻率频谱反演的多个视谱参数推测异常源的地质属性、空间分布特征，可以减少多解性，提高地质解释水平和工程验证见矿率，降低工程施工的盲目性，加快找矿工作进程。

复电阻率法是一个体积勘探方法，其组合异常是金属矿体以及金属矿化带的综合反映，异常规模远比实际矿体要大，相对位置也有所变化，解译过程中除了利用与岩矿石导电性有关的电阻率及电极化性有关的充电率参数外，还应综合考虑与岩矿石极化物质的成分和结构有关的时间常数和频率相关系数等多个视谱参数。

参考文献：

[1] 罗延中.频谱激电法[M]. 北京：地质出版社,1996.
[2] 罗延中, 张桂青. 频率域激电法原理[J]. 北京：地质出版社, 1988.
[3] 许国楫, 等. 六合、盱眙地区 1:5 万区域地质矿产调查报告[R]. 江苏省地质矿产局第一地质大队, 1986.
[4] 梁如洗, 等. 江苏省六合县冶山地区磁异常综合研究报告书[R]. 江苏省冶金地质勘探公司 814 队, 1972.
[5] 陈祖泉, 等. 1:5 万望亭幅、陆墓幅、光福幅、苏州幅区域地质矿产调查报告[R]. 江苏省地质局第四地质大队, 1982.
[6] 张俭, 宁仁祖, 等. 苏州西部地区多金属矿的成矿条件及预测[R]. 江苏省地质矿产局第四地质大队, 1990.

EH4 电导率成像系统在澜沧铅矿勘查中的应用

杜荣光

(云南省有色地质调查院,云南 昆明 650216)

提　要:在介绍 EH4 电导率成像的原理、技术方法的基础上,通过 EH4 电导率成像系统在澜沧铅矿勘查中的应用的实例,认为 EH4 电导率成像系统在地质勘查中具有较好的应用效果。特别是在深部地球物理信息上优于其他常规物探方法,相对其他常规物探方法又更具有设备轻、速度快、费用低、精度较高等特点。

关键词:EH4 电磁法;地球物理勘探;连续电导率成像

1　EH4 电导率成像的方法原理

电磁法是以地壳中岩石和矿石的导电性差异为主要物性基础,根据电磁感应原理观测和研究电磁场空间与时间分布规律,从而达到寻找地下有用矿床或解决水文、工程等地质问题的一组电法分支。

电磁法作为地球物理勘查中的一种方法,早被地球物理工作者应用于地质勘查实践中,但由于电磁法受理论技术方法及仪器设备的限制,在中国的实际生产中应用较少, 特别是频率域电磁法。近年来,频率域电磁法理论技术和仪器设备有了很大的发展,例如,1996 年美国的大地电磁仪器商 EMI 和地震仪器商 Geometrics 两公司联合生产的 Stratagem 电磁观测系统(在我国又称 EH4 电导率成像系统或 EH4 电磁成像系统)。

EH4 电导率成像系统的接收装置包括不锈钢电极、接地电缆、前置转换器(AFE)、磁探头、主机、传输电缆、12V 蓄电池; 它的发射装置包括发射天线、发射机、控制器、12V 蓄电池。由于电池供电系统的小巧和便于携带,可以应用在地形比较复杂或环境比较恶劣的地区。

EH4 电导率成像系统应用了大地电磁法的原理[1-2],它综合了 CSAMT 和 MT 各自优点,实现了天然信号源与人工信号源的采集和处理,对于深部地质构造通过天然背景场源成像(MT),其讯息源为 10~100 kHz,在浅部地质构造天然讯号的不足的情况下, 通过一个新型的便携式低功率发射器发射 1~100 kHz 人工电磁讯号,补偿天然讯号的不足,从而获得高分辨率的成像, 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。EH4 电导率成像系统完成一个近 1000 m 深度的测深点,大约只需 15~20 min,适应于山区等复杂地面条件下测量,是其他类似电磁系统(V5 和 GPD—32 等)无法比拟的。基于电磁波趋肤深度的原理,利用"远场"场源和改变接受频率进行不同深度的频率测深,这使它可以轻而易举实现密点连续测量 (首尾相接),进行连续数据采集,无需跑极,减轻了劳动强度,提高了工作效率。EH4 电导率成像系统属于部分可控人工场源与天然场源相结合的一种大地电磁测深系统,它具有探测深度大、设备轻、速度快、费用低、精度较高等特点[3]。

2　应用实例

2.1　地质概况

澜沧老厂银铅锌矿床产于保山—镇康华力西期弧后张裂环境—陆内裂谷带中, 矿床的形成过程是火山喷流、喷气、沉积成岩—后生成因,成矿作用发生在顶部灰岩尚处于成岩未因结状态下的火山期后

收稿日期:2007-06-06;**改回日期**:2007-07-07

基金项目:云南省澜沧铅矿 EH4 电磁法勘查试验项目资助。

作者简介:杜荣光,男, 1969 生,高级工程师,主要从事地质勘查及地球物理勘查方法技术的应用研究工作;E-mai:drg2008@sohu.com。

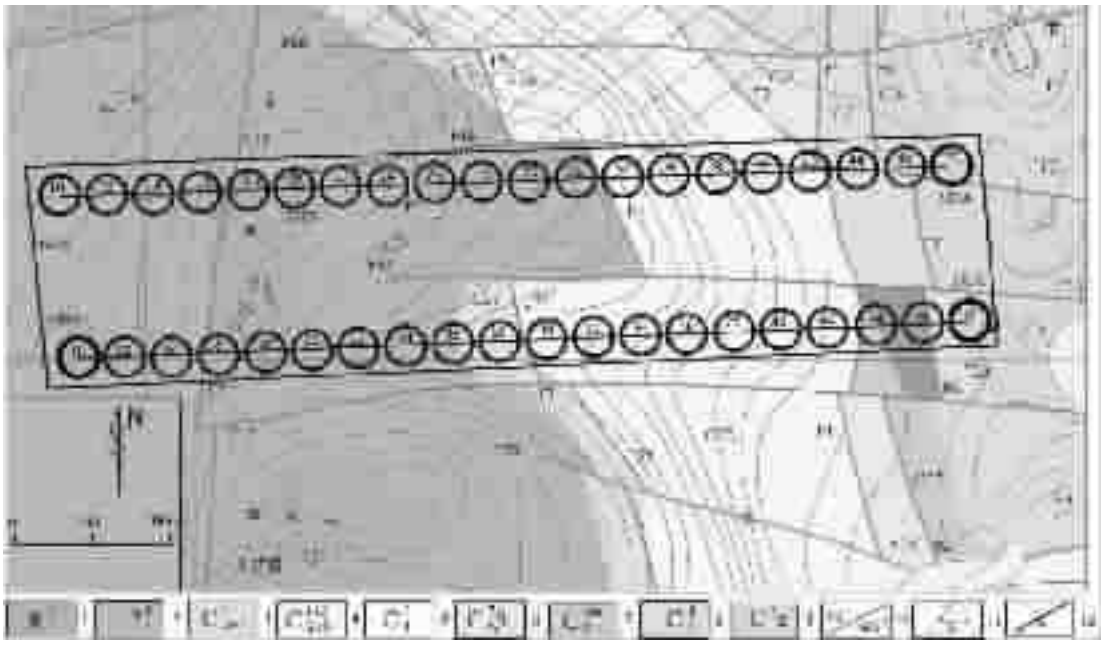

图 1 测区物探地质综合图

1—二叠系下统生物灰岩;2—二叠系下统块状白云质灰岩;3—石炭系中上统珊瑚灰岩;4—石炭系中上统灰岩、白云岩;5—石炭系下统沉积岩、沉火山碎屑岩;6—石炭系下统玄武岩、凝灰岩;7—石炭系下统粗面安山质凝灰岩、角砾熔岩、沉积岩;8—石炭系下统安山凝灰角砾岩夹沉积岩;9—石炭系下统安山岩、集块岩;10—断层;11—地层产状;12—背斜轴线

热液交代用，成矿后期经历了隐伏中酸性岩体叠加改造，是以火山岩为主岩的多因复成火山岩块状硫化物矿床。

矿区为一复式背斜构造，自西向东分别为雄狮山向斜、象山向斜、者厂背斜、雄狮山向斜及上白云山背斜。老厂背斜向南、向北倾伏，核部出露下石炭统火山岩、两翼为中上石炭统碳酸盐，老厂背斜不仅控制了区内火山岩的分布，而且也控制了矿体的产出形态。矿区构造有南北向(F_1,F_8、F_{11})、北西向(F_2,F_3、F_4)及北东向(F_7),矿体受破碎带及拖褶曲的控制。测区内出露地层如图 1 所示,由上往下为:下二叠统(P_1)灰岩;中上石炭统(上部 C_{2+3})灰岩、白云岩,为脉状、似层状矿体($Ⅲ_1$ 号矿体)以及矽卡岩层状铜矿体的赋存层位;下石炭统(C_1)依柳组火山岩,为裂隙—中心式喷发产物,可分 3 个旋回(火山旋回由下往上),第一旋回主要为(C_1^1—$C_1\beta^2$),第二火山旋回($C_1\alpha^3$、C_1^4和 C_1^{5+6}),顶部是Ⅰ号层状、似层状矿体赋存部位,第三火山旋回(C_1^7及 C_1^8),其顶部为Ⅱ号层状、似层状矿体赋存层位;上泥盆统(D_{2-3})灰绿色页岩、长石石英砂岩,顶部见灰黑色硅质岩,厚度大于 400 m[4-5]。

2.2 地球物理特征

根据云南省有色地质调查院历年在澜沧铅矿开展的物探工作、野外实测数据反演计算结果以及采集的岩（矿）石标本的测定，在澜沧铅矿矿区的岩(矿)石有以下电性特征:

中上石炭统(C_{2+3})的生物灰岩、泥晶灰岩、粗晶白云岩,其电阻率在 220~15600 Ω·m 之间,平均值 8179 Ω·m,比火山岩高 10 倍,比黄铁矿石、铅锌矿石、铜矿石高 100 倍,该套岩石在本区属高阻岩石。下石炭统(C_1)火山岩,其电阻率为 56~460 Ω·m,平均值 170 Ω·m，该套岩石在本区属低电阻岩石。泥盆系角岩、粉砂岩,其电阻率为 4000~6000 Ω·m,平均值 5200 Ω·m,该套岩石在本区属高阻岩石。该区的铅矿石、黄铁矿石、铜矿石,电阻率为 0.5~158 Ω·m,平均值 45 Ω·m,其电阻率比火山岩低 10 倍,比灰岩低 100 倍,该套矿石在本区属最低阻矿石。

从以上各岩(矿)石的物性特征可以看出,该区的下石炭统(C_1)火山岩、铅锌矿石、黄铁矿石、铜矿石为低电阻率岩(矿)石;矿(化)体与围岩有明显的物性差异，为运用物探方法找一定深度的矿体提供

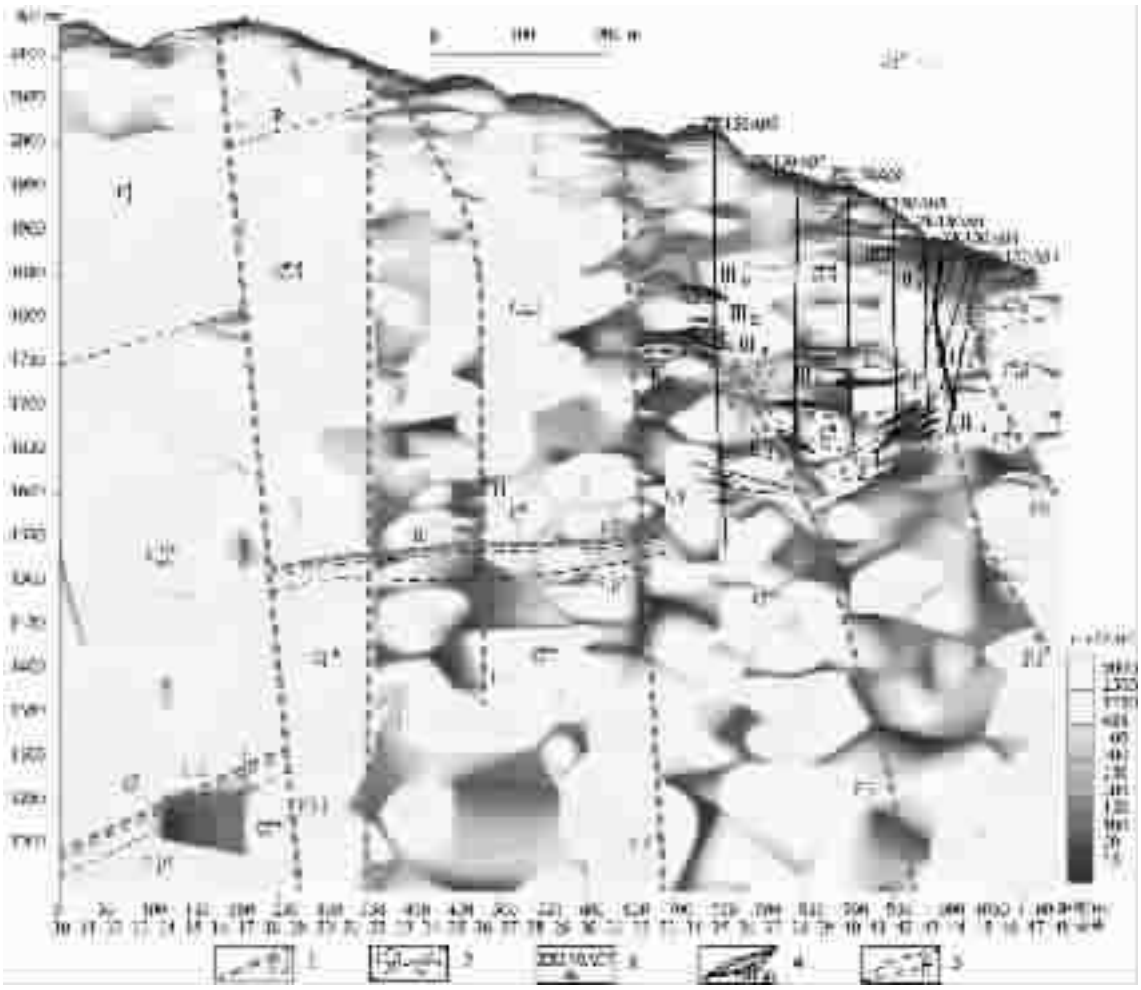

图 2　150A 物探地质综合剖面图

1—实测、推测断层及编号;2—实测推测地层界线;3—钻孔位置及编号;4—钻孔、坑道揭露矿体及编号;5—地质推测矿群及编号

了良好的物性前提。

2.3　应用效果

2006 年 12 月，在澜沧铅矿老厂矿区的北象山 EH4 电磁法勘查试验测区,利用 EH4 电导率成像系统进行电磁法勘查工作,取得了较好的找矿效果,目前正在澜沧铅矿老厂矿区展开大规模的 EH4 电磁法勘查工作。

在测区布置了 150A、152A 两条勘探测线（图 1），F_3 以东一侧,有大量钻孔及地下坑道,因此已知地质情况较多,对物探异常的地质解释较为有利;而 F_3 以西一侧及整条勘探线的深部地质情况,在以前的地质、物化探工作中虽有一定的工作程度,但对矿山的探矿、采矿工作而言还不够细致。在勘查工作中,测线距为 200 m,点距为 30 m,对 EH4 电磁方法的采集到的信号经专业软件处理后，采用绘图软件绘制视电阻率断面等值线图。由于本次 EH4 电磁法勘查工作为剖面性试验工作，因此在成图时以突出局部低阻异常为目的而成图。根据测区地质、构造、矿床等情况和 EH4 电磁法工作成果，认为取 300Ω·m 作为本测区划分 EH4 异常的基本值,但同时应注意到测区内不同地段的地质特征的差异，以及受干扰程度的大小，采用多种方法灵活取值划分 EH4 异常,有时甚至不受基本值异常数值大小的约束,而是通过等值线形态变化来确定异常。

如图 2~3 剖面图所示,测区内 150A、152A 两条 EH4 电磁法勘探剖面电阻率变化都具有这样特征:上部为浅部浮土、松散堆积体及浅部坑道施工引起的低电阻率异常。测线东侧由于存在较多坑道施工

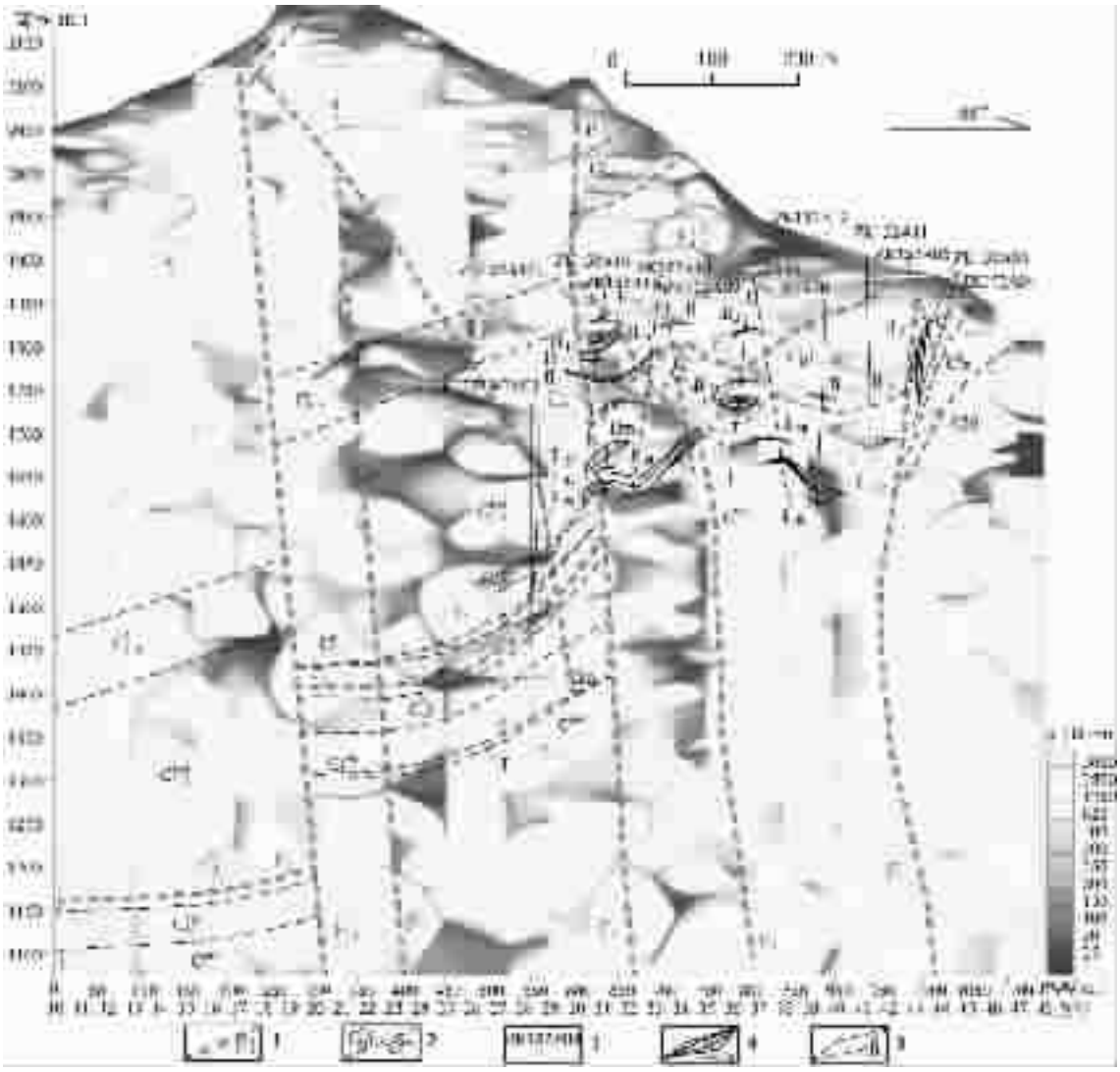

图 3 152A 物探地质综合剖面图

1—实测、推测断层及编号;2—实测推测地层界线;3—钻孔位置及编号;4—钻孔、坑道揭露矿体及编号;5—地质推测矿群及编号

及地面上较多的高压电线,存在较强电磁干扰。剖面内向下的电阻率变化梯度带及低电阻率带,它们反应断层破碎带的存在;电阻率变化梯度带两侧的有较多低电阻率异常,它们反映了地下岩溶、矿体的存在,或者泥质岩、页岩等低阻体的存在。通过本次工作,取得了一些工作成果。

①查明了 F1、F3、F11 已知断层在深部的展布特征,同时发现了地表上难由于查看不到而地下还存在多条断层的地球物理依据,这已被地下的探矿、采矿坑道所证实。②在 150A、152A 两条剖面内共圈出由 73 个大小不等的低电阻率异常(考虑到图的光洁度,在本文剖面图内不再单画出),并且大多数低电阻率异常存在于断层破碎带及其两侧附近, 这已被钻孔及地下的探矿、采矿坑道所证实。推测 40 个为断层破碎带及矿体引起,15 个为断层破碎带、矿体及其他干扰或不明原因共同叠加所引起,其余 18 个为不明异常。综合推测可查明的 55 个异常组成了Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ 3 个低电阻率异常群,Ⅰ号低电阻率异常群 32 个,它基本反映的是下石炭统依柳组(C_1y)中的Ⅰ号矿群;Ⅱ号低电阻率异常群 13 个,它基本群反映的是下石炭统依柳组(C_1y)及中上石炭统(C_{2+3})接触界面附近的Ⅱ号矿群;Ⅲ号低电阻率异常群 28 个,它基本反映的是中上石炭统(C_{2+3})中的Ⅲ号矿群。③在 150A、152A 两条剖面内的低电阻率异常

中,5 个分布于 F1 断层处及其东侧,39 个分布于 F1 与 F3 断层间地段, 9 个分布于 F3 断层处地段,16 个分布于 F3 与 F11 断层间地段,4 分布于 F11 断层以西地段;异常的埋藏深度由东至西变深。因此,认为 F1、F3 断层之间已探明矿群的深部还应该有矿;在 F3、F11 断层之间还应该有类似于 F1、F3 断层之间的矿群;在 F11 断层以西还应该有矿群;由东至西矿体的埋藏深度变深。④在 150A、152A 两条剖面内,推测主要由断层破碎带及矿体引起的 55 个低电阻率异常中,有 23 个低电阻率异常与钻孔揭露的已知矿体相对应,并且在深度上较吻合,误差小于 15 m、小于 6%;另外的 22 个推测为由断层破碎带及矿体引起的低电阻率异常为新发现, 有待于下一步的坑道或钻探工程验证。

3　结　论

通过利用 EH4 电导率成像系统在澜沧铅矿老厂矿区的 EH4 电磁法勘查应用实例, 认为 EH4 电导率成像系统在地质勘查中具有较好的应用效果,特别是在深部地球物理信息上优于其他常规物探方法,而它相对其他常规物探方法又具有设备轻、速度快、费用低、精度较高等特点。与此同时,应注意到 EH4 电磁法应用的前提条件,外界电磁干扰、地形效应等对异常解释的影响因素。

参考文献:

[1] 何继善等编译.可控源音频大地电磁法[M]. 长沙:中南工业大学出版社.1990.

[2] EMI electromagnetic instruments,inc.Stratagem Operation Manual [M]. 2006.

[3] 杜荣光. EH4 电导率率连续成像系统在银厂坡地质勘查中的应用[J]. 矿产与地质, 2006, 20(4/5):534-537.

[4] 杜荣光. 云南省澜沧铅矿老厂矿区 EH4 电磁法勘查试验报告[R]. 云南省有色地质地球物理化学勘查院. 2007.

[5] 鲁文举, 严建, 罗显辉, 等. 云南省澜沧县澜沧铅矿接替资源勘查设计[R]. 云南省有色地质勘查院. 2006.

地震勘探技术在深部找煤中的应用

赵 锴 李正越

(中国煤炭地质总局,北京 100039)

提 要:中国煤炭地震勘探技术的发展与应用有着 50 多年的历史,多年来,利用地震技术先后在华北平原、黄淮平原、松辽平原、西北、江南地区开展了找煤和圈定煤田边界的工作,并在车轴山、蓟玉、两淮外围、徐州张集、新郑、禹县、邢台等寻找和发现了一些深部的隐伏煤田,圈出了邢台、东庞、隆尧等煤田边界,并得到地质钻探验证,地质效果显著。该方法的应用大大加快了勘探速度,节省了勘探费用,提高了勘探精度。该文简述了地震勘探的基本原理,并分别给出了中国西部和东部深部找煤工作的应用实例。

关键词:煤炭;地震;深部;找煤

1 基本原理

70 年代以来煤田勘探就一直采用综合勘探方法,即钻探结合物探的方法,其中物探主要采用多次覆盖地震反射波法。

反射波法也就是在地面激发地震波,地震入射波遇到物性界面时反射回到地表,并被地震检波器和仪器记录[1]。之所以能够用地震反射波方法进行深部找煤工作以及后期的煤炭普查、详查,直到建井精查勘探,主要是依据了煤层密度低、速度低,沉积相对稳定,与围岩之间存在了较大波阻抗差,因而,其能够形成能量强,连续性好的反射波。

地震勘探工作大体上分 3 个阶段:

(1)野外生产。在需要了解地下构造的区域布置测线,人工激发地震波,用地震仪器将地震波传播的情况记录下来。获得记录了地震数据的磁带和野外地震监视记录。

(2)资料处理。利用计算机和专用软件程序对野外数据进行室内资料处理,获得地震时间剖面。

(3)地震资料的解释。运用地震波传播的理论和煤田地质学的原理,综合地质、钻探和其他资料,对地震时间剖面进行分析研究,对各反射层相当的地层作出正确的判断,对目的层的地质构造进行解释,最终获得其构造图。

2 深部找煤应用实例

2.1 西部地区

近年来, 中国东部煤矿资源逐步枯竭, 2010 年以后,中国煤炭生产将逐步集中到西部地区。为了满足中国煤炭工业战略西移的需要, 利用地震勘探技术在中国西部寻找新的煤炭资源,势在必行。下面是在新疆某地区找煤的实例。

2.1.1 技术方法

采用二维多次覆盖地震技术方法, 按 2000 m 线距布设测线, 形成正交测网。观测系统采用道距 10 m,炮点距 20 m,偏移距 10~20 m,覆盖次数 12 次,接收道数 48 道,放炮方式由地层下倾方向端点放炮。主要采集参数为:单井(或组合井)激发,3~5 m,采用中高密度炸药,药量 0.5~2 kg。接收采用 6 个检波器面积组合,点距 2.5 m。资料处理在“三高”处理原则下重点做了静校正、真振幅恢复、反褶积、高精度速度分析、偏移等。资料解释重点根据反射波的不整合特征、速度规律等确定煤系地层对应的反射波组, 并根据煤层与上下围岩之间存在较大波阻

收稿日期:2007-06-01;**改回日期**:2007-06-30

作者简介:赵锴,男,1963 年生,硕士,高级工程师,主要从事煤田地震技术研究和管理工作;E-mail:shuyuezhao@vip.sina.com。

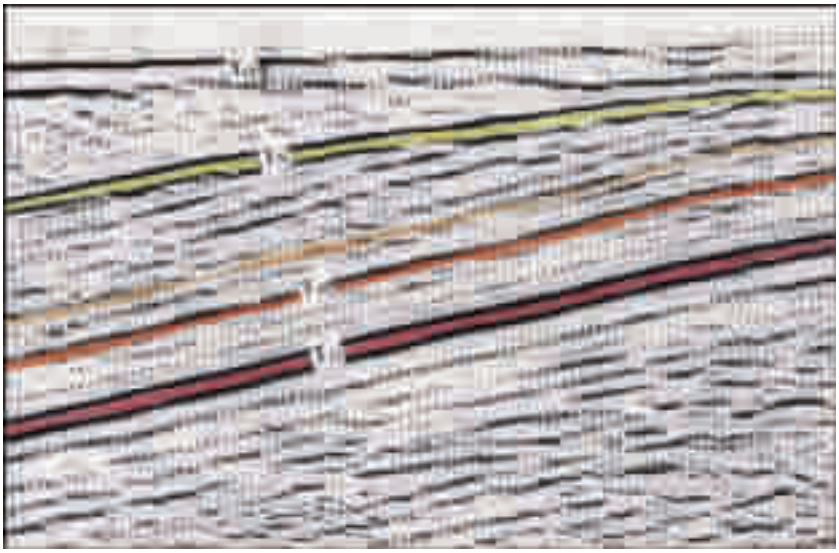

图 1　找煤地震时间剖面图
T_{10}—波对应 10 号煤层;T_{13}—波对应 13 号煤层;T_Q—新生界底界;T_N—新近系底界

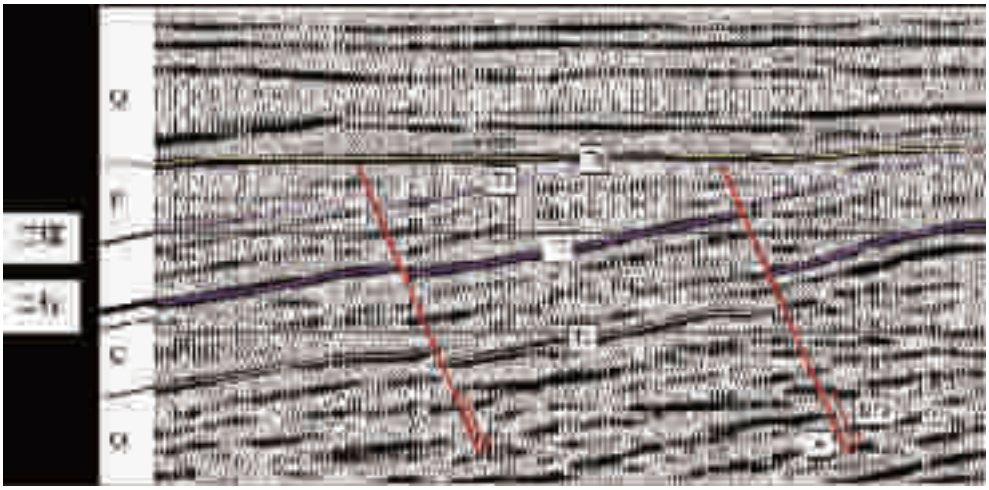

图 2　反射波—地质层位对应图
Tq—新生界底界反射波;T2—二煤层反射波;T3—三煤组反射波　Tc—石炭系底界反射波;Q—第四系;
P—二叠系;C—石炭系;O—奥陶系;A,DF_2—断层级别及编号

抗差,能够形成强反射波的实际情况,在煤系地层反射波组中寻找反射能量强、连续性好的反射波进行追踪解释,最终提供找煤孔孔位。

2.1.2 应用效果

对两个强反射波进行了分析解释,认为是煤层反射波。圈定了煤层赋存范围,赋存面积约 20 km^2。根据地震勘探成果,确定了 5 个找煤孔孔位,经打钻验证,两个强反射波分别对应了两层较厚煤层,经与区域地质资料对比,分别对应为 10 号煤层和 13 号煤层。13 号煤层厚度大多在 10 m 以上,10 号煤层厚度大多在 5~10 m(图 1)。

2.2　东部地区

中国东部的多数矿区经过多年的开采,老矿区浅部煤炭资源逐步枯竭,煤炭采区逐渐向矿区深部延伸。为了适应中国煤炭工业稳定东部的战略方针,近年来,在中国东部深部开展了找煤工作。下面是在

中国东部找煤的一个实例。

2.2.1 技术方法

在数据采集中，采用二维多次覆盖地震技术方法，按 2000 m 线距布设测线，形成正交测网。观测系统采用道距 20 m，炮点距 40 m，偏移距 0 m，覆盖次数 24 次，接收道数 96 道，放炮方式中点放炮。在数据处理中本着“三高”(高分辨率、高保真度、高信噪比)原则进行精细处理，获得了客观、真实反映实际地质构造的地震时间剖面；资料解释在充分利用、研究已有地质、物探资料的基础上，将宏观的区域地质构造规律和本区的地质构造特点相结合，分析区内地质、构造变化规律，从已知到未知，从整体到局部，对地层赋存形态、煤层赋存范围、构造发育特征等进行详细的解释，并提供了找煤钻孔孔位。

2.2.2 应用效果

对强反射波进行了分析解释，认为是煤层反射波。圈定了煤层赋存范围，赋存面积约 70.0 km^2。根据地震勘探成果，确定了找煤孔孔位，经打钻验证，强反射波(T2)对应了较厚煤层，经与区域地质资料对比，对应为 2 号煤层，煤层厚度 4 m(图 2)。

3 结 论

用地震勘探方法寻找隐伏煤田多年来被证明是行之有效的方法之一。根据中国煤炭工业稳定东部，发展西部的战略方针，该项技术必将在西部新区找矿和东部煤矿区深部接替煤资源勘探工作中起到不可或缺的作用，将为中国煤炭工业作出新的贡献。

参考文献：

[1] 陆基孟. 地震勘探原理[M]. 东营：石油大学出版社, 1980.