

综合找矿方法在大冶铁矿深部勘查中的应用*

The application of the integrated ore prognosis method to deep prospecting of the Daye iron mine

石教波^{1,2}, 谢玉玲¹, 徐九华¹, 虞珏², 卢铁山²

(1 北京科技大学金属矿山高效开采与安全教育部重点实验室, 北京 100083;

2 武汉钢铁集团矿业有限公司大冶铁矿, 湖北 黄石 435006)

SHI JiaoBo^{1,2}, XIE YuLing¹, XU JiuHua¹, YU Jue² and LU TieShan²

(1 Civil and Environmental Engineering School, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China;

2 Daye Iron Mine, Mining Ltd. of Wuhan Iron and Steel Works, Huangshi 435006, Hubei, China)

摘 要 文章在大冶铁矿深部勘查项目中, 将地质、物探和钻探工作充分结合。物探方法的选择上要以磁法为主, 兼用可控源音频大地电磁测深 (CSAMT), 不同的物探方法要互相补充、互相验证。综合物探方法的工作程序是: 航磁测量—地面高精度磁测—(钻孔验证)—井中磁测—钻孔验证。综合找矿方法在大冶铁矿获得了良好的找矿效果, 值得在鄂东南地区推广。

关键词 深部勘查; 找矿方法; 物探; 磁法; 物性参数; 大冶铁矿

随着国民经济的迅猛发展, 作为钢铁工业主要原料的铁矿资源形势越来越严峻, 2005 年末, 全国铁矿储量保有期仅为 15 年。面对“走出去”的举步维艰, 在国内进行新一轮的深部地质找矿, 特别是首选那些资源锐减、经济效益差、深部资源潜力大的“危机”矿山进行试点, 显得更加迫切。武钢大冶铁矿是鄂东南地区典型的矽卡岩型铁(铜)矿床, 已有近 50 年的开采历史, 曾被誉为“武钢粮仓”。随着东露天采场的逐渐闭坑, 大冶铁矿直接面临着可采储量减少和年产矿石量逐年降低的困境, 迫切需要增加矿石资源储量。2004 年国家推行危机矿山深部勘探试点工作, “湖北省黄石市大冶铁矿深部及外围接替资源勘查”项目成为首批九大试点项目之一, 而且是唯一针对铁矿山的项目。

大冶铁矿开采历史悠久, 先后有多家科研所在此开展工作, 取得了一批有价值的成果(石准立等, 1981; 1983; 张文淮等, 1984; 刘建朝, 1988; 赵爱醒, 1990; 卢峰, 1994; 2003; 杨峰华, 2001; 汪劲草等, 2004)。在多年的研究和开采过程中积累了大量宝贵的资料, 为进一步开展深部找矿工作提供了必要条件。已有地质资料表明, -400~1000 m 的深部及外围应存在一定的资源潜力, 但由于这些地段以前没有开展太多实质性的地质找矿工作, 且矿体埋深大、控矿地质条件及矿体形态复杂等, 给找矿工作带来一定的难度, 也增加了找矿的风险性。要想在有限的时间和资金条件下使深部找矿取得实质进展, 必须在找矿技术和方法上寻找突破点。本文在综合前人研究基础上, 分析了各物探方法的特点, 总结出适合于大冶铁矿深部矿体勘探的综合找矿技术方法组合, 并取得了良好的找矿效果, 有很大的推广应用前景。

1 地质概况

大冶铁矿床地处淮阳山字型前弧西翼、新华夏系第二隆起带次级构造鄂城—大磨山隆起带上, 隶属于

*第一作者简介 石教波, 男, 1967 年 10 月生, 在读博士研究生, 地质高工, 主要从事矿山地质工作。E-mail: sjbdytk@sina.com

长江中下游铁、铜、金多金属成矿带的西段^①。古生界和中生界广泛分布于本区，主要为碳酸盐岩建造，夹有少量碎屑岩和煤层。区内岩浆岩主要为燕山期侵入的中酸性复式岩体，规模不等，自北向南主要有鄂城、铁山、金山店、阳新、灵乡、殷祖六大岩体，铁山矿区即位于鄂东铁山侵入体南缘中段。区内矿床类型较全、数量多、规模较大、伴生或共生矿产丰富、品位较高且易选别利用，是全国著名的矽卡岩型富铁富铜成矿区。

铁山矿区出露地层主要为下三叠统大冶群灰岩，在靠近铁山侵入体 2 km 内已变质成大理岩、白云质大理岩和角岩。大冶群从下至上可分为 7 个岩性段，与上部成矿关系最密切的是大冶群第四、五段大理岩。区内的地质构造复杂，除近 NWW 向的接触带构造外，褶皱和断裂都比较发育，依构造线的展布方向，大体上可分为 NWW 向、NW 向和 NNE 向 3 组，其中，NWW 向构造包括龙门山倒转向斜和龙洞—狮子山倒转背斜、接触热动力变质构造、接触-断裂复合构造带；NNE 向构造包括尖山背斜和一系列压扭性断裂；NW 向构造主要由一系列的 NW 向压扭性断裂及伴生的 NNW 和 NE 向的扭断裂组成，它们往往切割所有地质体（地层、岩体、矿体），有部分断裂局部被中基性岩脉充填。区内岩浆岩为燕山期早期形成的中细粒含石英闪长岩、黑云母透辉石闪长岩、正长闪长岩、斑状闪长岩等四期侵入体，前两期与成矿关系最为密切，自岩体向外可分为蚀变闪长岩带、内矽卡岩带、外矽卡岩带、外变质带等四个蚀变带。在矿体、接触带附近的围岩中，尚发育有与成矿作用有关的热液蚀变现象，成为直接找矿标志。

铁山铁(铜)矿床是多成因多期次的大型矿床，-400 m 以上已探明部分由 6 大主矿体组成，自西往东依次为铁门坎、龙洞、尖林山、象鼻山、狮子山、尖山矿体，矿体总长约 4 300 m。除尖林山为隐伏矿体外，其余矿体均出露地表。矿体主要呈似层状、透镜状，赋存于岩体与围岩的接触变质带中，产状与接触面近似平行，上部矿体形态较规则，下部矿体形态较复杂。矿石类型以磁铁矿矿石为主，呈钢灰色，具强磁性，多呈自形、半自形-他形粒状结构，块状和浸染状构造。金属矿物主要为磁铁矿，其次为赤铁矿、菱铁矿、黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿；脉石矿物有透辉石、方解石、金云母、石膏、石英、绿泥石等。矿石成分复杂，铁铜可选性好，各元素平均含量为 Fe 52.13%、Cu 0.507%、S 2.68%、Co 0.024%、P 0.04%、As 0.003%，伴生金 0.3~0.7 g/t。

2 岩矿石的主要物性参数及物探方法选择

2.1 岩矿石的主要物性参数

表 1 大冶铁矿山矿区主要矿岩的物性参数

矿岩类型	磁化率/ 10^{-5}SI		剩余磁化强度/($\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$)		电阻率/ $\Omega\cdot\text{m}$
	范围	常见值	范围	常见值	范围
沉积岩类和大理岩	0~55	21	0	0	
细粒含石英闪长岩	462~3528	1568	0.3~3.19	1.05	19535~136086
黑云母透辉石闪长岩	5249~11640	6899	0.4~5.46	3.07	868~23467
粗粒含石英闪长斑岩	343~2591	1741	0.3~3.46	1.20	19535~136086
正长闪长岩	909~2808	1829	0.27~2.49	1.36	19535~136086
磁铁矿矿石	9007~175180	85805	5.59~87.62	43.24	54~7465
矿化矽卡岩	11189~102000	29956			868~23467

据武汉地质学院，武钢大冶铁矿，1982^②

①武汉地质学院. 1982. 武钢大冶铁矿. 湖北大冶铁矿地质特征及其深部成矿预测问题探讨.

②中国航天中心. 2006. 大冶铁矿航测报告.

从表 1 可以看出：

(1) 本区沉积岩类呈无磁或弱磁性，剩余磁化强度几乎为 0。

(2) 不同期次的侵入岩和矽卡岩具有一定的磁性，其中黑云母透辉石闪长岩和矿化矽卡岩引起的强磁异常，是本区铁矿磁法勘探的主要干扰因素之一。

(3) 磁铁矿矿石电阻率变化范围为 $54\sim 7\,465\ \Omega\cdot\text{m}$ ；远低于围岩电阻率。

显然，与围岩相比，磁铁矿矿石具有高磁化率、低电阻率的特征，岩浆岩中物性也存在一定的差异，特别是第二期岩浆岩具有较大的磁化率。

2.2 物探方法选择

(1) 磁法 其应用前提是矿石和岩石之间的磁性差异，而且可探测深部矿体引起的磁异常，其技术难点是如何区分铁矿体与强磁性岩石引起的异常，因而对解释软件的要求很高。磁法主要包括：航磁测量、地面磁测、井中磁测等。

(2) 电法 在大冶铁矿采用了可控源音频大地电磁测深法。它是针对大地电磁测深场源的随机性和信号微弱之弱点，采用可控人工源作为场源的一种频率测深法。其应用前提是矿石与岩石间存在明显的电阻率差异，它可对深部矿体和接触带进行定位。

3 综合找矿在大冶铁矿深部找矿中的应用

近年来在大冶铁矿区开展了航空磁测、可控源音频大地电磁测深 (CSAMT)、1/2 000 地面高精度磁测和井中磁测等物探工作，找矿工作取得了一定的进展，获得了一批有价值的异常区和找矿靶区。

3.1 物探方法的应用及成果

(1) 航磁测量 为寻找找矿靶区，在包括铁山矿区在内的 $300\ \text{km}^2$ 的范围内实施航磁测量，由北京中国航遥中心承担，高精度航空光泵磁力仪，平均飞行高度 144 m，测量总精度为 $\pm 1.71\ \text{nT}$ 。数据处理和解释采用曲面位场处理方法、无约束三维概率层析成像反演方法、二度半多边形可视化拟合反演方法。结果显示，大冶铁矿区存在 4 个强度大、梯度陡的磁异常，并圈定了 13 处找矿靶区，其中一级靶区 4 处。

(2) 可控源音频大地电磁测深 (CSAMT) CSAMT 的主要目的是查明深部接触带的总体变化趋势。由湖南继善矿业有限公司承担，共完成测深剖面 18 条，总长度 21.88 m，工作点达 946 个。测量结果提供了测区内接触带深部变化的总体趋势，同时也反映了局部接触带产状变化特征。

(3) 1/2 000 地面高精度磁测 中南冶金地质总局中南地勘院物探队在 20 条勘探线上进行了高精度磁测。应用正反演、3D 可视化、小波多尺度分解等手段圈定了磁异常区，并进行了具体解释。结果表明，龙洞—尖林山—象鼻山南边 ΔT 异常明显，平面形态似不规则的“扁豆”状，推测 -600~1 000 m 的范围内接触带可能赋存铁矿体，并推断西区 12~17 线 -600~900 m 的范围内接触带相对平缓部位有可能赋存铁矿体。中部狮子山地段也存在一定规模的磁异常区。东区尖山、犁头山铁矿体埋深较大。

(4) 井中磁测 对所有施工的钻孔中均进行了井中磁测工作。仪器采用上海地学仪器研究所研制的 JCC3-1 型磁三分量测井仪，其灵敏度高 (4 nT)，可靠性好。28 个孔的测井成果资料发现了一批较好的有待验证的井中磁异常，大部分井中磁异常与已知矿体吻合较好，如 15、16、22、29 线钻孔的井中磁异常。

3.2 钻探验证

(1) 分析已有地质资料，选择钻孔中矿体有向下延伸趋势的勘探线设计钻孔，如 22 线、29 线等。

(2) 综合分析地面磁测与航测成果，同时发现了尖林山南区磁异常。在尖林山矿段，布置了 ZK15-7 孔，在孔深 792.55~819.20 m，见到了厚 26.65 m 全铁的品位为 22.73%~51.50% 的磁铁矿矿体。

(3) 井中磁测与地面磁测相结合，如在 ZK15-7 作了井中磁测，显示其西南约 100 m 处有极强的磁异常，与地面磁测异常范围吻合，随后布置了 Zk14-9 孔，在深部见厚 30.59 m 含铜块状磁铁矿，全铁品位为 21.3%~56.26%。

截止到 2006 年 4 月 11 日，共施工 28 个钻孔，其中 14 孔见矿，新增铁矿石资源量约 1 600 万吨。钻

探验证结果表明,一部分磁异常是由矿体引起,钻探与磁测结果吻合,但也有一部分钻孔未见矿。如根据地面磁测异常,在象鼻山矿段 19-1 线附近施工的 2 个浅孔均未见矿,经分析发现是由于未考虑到浅部残留矿体能引起的较大的异常造成的;在狮子山矿段 Zk29-16 孔井中磁测表明东边有矿体存在,但在相邻的 30 线布孔却未见矿。因此在进行异常钻孔验证前进行详细的异常解译工作,选择找矿意义较大的异常区进行钻孔验证,从提高找矿效率、减少成本,达到最佳的深部找矿效果。

4 结 论

(1) 大冶地区深部铁矿的找矿应做到地质、物探、钻探的充分结合。

(2) 物探方法要以磁法为主,兼用其他,不同的物探方法要互相补充、互相验证。

(3) 物探工作的基本程序是,首先进行大比例尺高精度航磁测量工作,确定找矿靶区;然后,在选定的高级靶区中开展地面高精度磁测工作,圈定地面异常,验证航测异常,为钻孔布设提供依据;最后,在施工的钻孔中进行井中磁测,发现井中和旁侧异常并进行合理解释,作为下一个钻孔的设计依据。

(4) 在矿区成矿地质条件研究的基础上对物探异常进行筛选,选择潜力较大的异常进行钻探验证。

致 谢 在撰写本文的过程中,综合了中南地质勘查院在大冶铁矿深部找矿工作的阶段成果,并得到了刘玉成教授级高工的大力支持,在此表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- 刘建朝. 1988. 鄂东铁山岩体东部地区铁(铜)矿床成因探讨[J]. 西安地质学院学报, 10(1): 51~60.
- 卢 峰. 1994. 铁山岩体地球化学特征及其找矿意义[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 16(3): 329~337.
- 卢 峰. 2003. 铁山岩体矿床成因类型再探[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 25(3): 271~276.
- 石准立, 金振民, 熊鹏飞, 等. 1981. 湖北铁山“大冶式”铁矿床矿浆成矿问题的初探[J]. 地球科学——中国地质大学学报, (2): 145~154.
- 石准立, 熊鹏飞, 王定域, 等. 1983. 湖北铁山“大冶式”铁矿床的某些成因问题[J]. 地质科技情报, S1.
- 汪劲草, 赵 斌, 赵 劲, 等. 2004. 大冶铁矿接触带发现岩浆成因的大理岩[J]. 桂林工学院学报, 26(2): 302~303.
- 杨峰华. 2001. 湖北大冶铁山矿床钠化蚀变与成矿关系的探讨[J]. 地质与勘探, 37(6): 20~24.
- 张文淮, 张恩世, 陈紫英. 1984. 大冶铁山铁(铜)矿床矿物包裹体研究及矿床成因探讨[J]. 地球科学——中国地质大学学报, (4): 89~98.
- 赵爱醒. 1990. 湖北大冶铁山铁(铜)矿床磁铁矿矿物化学及其成因的研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, (4): 385~395.