

- 科技部国际合作司项目（批准号：20050175）
- 国家“十五”科技攻关重大项目（批准号：2001BA609A-3）
- 中国地质调查局项目（批准号：12120110560203）
- 武警黄金指挥部项目

地电化学成晕机制、 方法技术及找矿研究

DIDIAN HUAXUE CHENGYUN JIZHI FANGFA JISHU JI ZHAOKUANG YANJIU

罗先熔 康 明 欧阳菲
文美兰 侯宝宏 等著

地质出版社

科技部国际合作司项目（批准号：20050175）

国家“十五”科技攻关重大项目（批准号：2001BA609A-3）

中国地质调查局项目（批准号：12120110560203）

武警黄金指挥部项目

地电化学成晕机制、方法技术 及找矿研究

罗先熔 康 明 欧阳菲 文美兰 侯宝宏 等著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书系统地论述了地电化学测量法的基础知识和基础理论,从矿体产生电化学溶解到离子晕的形成、迁移、提取来论述了该方法的成晕机制,并用人造矿体的模拟实验进一步证实了金属矿体产生电化学溶解的事实,为该方法的研究提供了理论依据。在此基础上,对该方法的技术条件进行了系统研究,并制定了此方法技术的操作规范和标准。作者在30余个矿区开展了该方法找矿的可行性研究,在20余个矿区外围及深部开展了找矿预测研究,均取得了较好的理论成果和找矿效果。

本书内容丰富,资料翔实,论证严密,条理清晰,可供找矿勘探、地球物理、地球化学等地球科学领域和相关学科的科研、生产人员及大专院校有关专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

地电化学成晕机制、方法技术及找矿研究/罗先熔等
著. —北京:地质出版社, 2007. 3
ISBN 978-7-116-05257-4

I. 地... II. 罗... III. 电化学-应用-地质调查-找矿-
研究 IV. P631.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 032373 号

责任编辑:王 璞
责任校对:王素荣
出版发行:地质出版社
社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083
电 话:(010) 82324508(邮购部); (010) 82324572(编辑室)
网 址:<http://www.gph.com.cn>
电子邮箱:zhs@gph.com.cn
传 真:(010) 82310759
印 刷:北京地大彩印厂
开 本:787 mm × 1092 mm¹/₁₆
印 张:13.5
字 数:320 千字
印 数:1—600 册
版 次:2007 年 3 月北京第 1 版·第 1 次印刷
定 价:45.00 元
书 号:ISBN 978-7-116-05257-4

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

序 言

作者于1996年出版了我国第一本《地球电化学勘查及深部找矿》专著,在该专著出版的这十年中,对推动我国地电化学勘查及深部找矿起到了积极的作用,有许多地质部门从不了解地电化学方法到利用地电化学方法来寻找隐伏矿床,主要得益于该专著的出版。同时,在应用该方法的过程中,也发现还存在一些问题,特别是在地电化学成晕机制、方法技术规范标准的制定等方面都有待去深入研究和进一步完善,作者针对存在的这些问题,结合所承担的国家级、省部级地质科研项目进行了地电化学方法基础理论、成晕机制、方法技术规范标准等问题的系统研究,并在以下几个方面取得了新的成果:

1) 方法理论基础研究方面:作者着重对金属硫化矿物的稳定电位、成分均匀矿体形成的电化场、多金属矿体形成的电化场、浸染状矿体形成的电化场,以及成晕离子的来源、离子迁移、离子晕的形成等诸多基础理论问题和地电化学成晕的理论问题进行了深入研究,在此基础上建立了地电化学成晕的“递推理论”,从而在地电化学基础论研究上取得了突破性的进展,为该方法的广泛应用提供了强有力的理论基础。

2) 方法技术规范标准化制定方面:作者从地电化学提取时间、供电量大小、提取液浓度、提取液用量、提取电极埋设距离、吸附材料的选择、提取装置的设立等方法技术条件,进行了反复、多次、多矿种的系统对比试验研究,最终制定出一套规范标准地电化学小电流、偶极提取的新装置,并已申请专利,该地电化学新装置的研究成功,解决了在复杂地形条件下(特别是西部地区)开展地电化学法寻找隐伏矿的问题。

3) 找矿应用方面;作者结合所承担国家级、省部级多个地质科研项目在澳大利亚以及黑龙江、吉林、内蒙古、新疆、山东、安徽、湖南、广西、云南等省开展了地电化学法寻找隐伏金属矿的预测工作,发现了30余个具有找矿前景的地电化学异常靶区,到2006年12月底为止,其中已对9个地电化学异常靶区进行了深部工程验证,有6个地电化学异常靶区在深部找到了隐伏金属矿体,获得了良好的找矿经济效益。

相信本专著的出版将能进一步推动我国地电化学勘查方法的发展,并希望该方法在深部寻找隐伏矿方面能发挥更大作用。

中国科学院资深院士 谢学锦

2007.3

前 言

随着地质找矿工作的不断深入,地表出露的或被残积物覆盖的近地表的矿床大多已被发现,寻找被后来覆盖物(冲积物、风积物、冰积物及火山沉积物等)覆盖的隐伏矿床及深埋藏矿床成为当前各国地学家面临的重要课题。常规的物探和化探及地质方法对于这类矿床的寻找效果不明显,甚至可以说效果不好,勘查地球化学家一直在努力研究能探测这类矿床的勘查地球化学方法。

20 世纪 70 年代以前,诞生了偏提取方法 (Partial extraction) (Bremner et al., 1949; Aleksandrova, 1960; Anderson, 1963; Bloom, 1955; Lloyd, 1957; Canney, 1958; Dolukhanova, 1958; Saunder, 1959)、水化学方法 (Hydrogeochemistry) (Разин и др., 1966; Всеводозкая, 1966)、生物地球化学方法 (Biogeochemistry) (Lobanov et al., 1966)、气体地球化学方法 (Vapor 或 Gas geochemistry) (萨乌科夫, 1955; Hawkes et al., 1962; James et al., 1964)。

20 世纪 70 年代,偏提取技术在勘查地球化学中大量使用,循序提取技术大量出现 (Rose et al., 1971; Chao et al., 1976; Gatehouse et al., 1977; Hoffman et al., 1979); 同时,这一时期诞生了地电化学方法 (以 CHIM 为代表) (Ryss et al., 1973)、土壤离子电导率法 (Govett, 1972) 及元素赋存形式法 (Antropova, 1975)。20 世纪 80 ~ 90 年代末,形势逐渐发生变化。找寻隐伏矿的方法有了新的发展,一些新的能够有效探索数百米以下隐伏矿床的方法逐渐出现。这些方法包括:20 世纪 70 年代初引起国际上广泛注意的前苏联的地电化学法 (CHIM) 以及元素赋存形式法 (MPF) (Antropova et al., 1992)、地气法 (Geogas) (Kristiansson et al., 1982)、酶浸提取法 (Enzyme leach) (Clarke et al., 1990)、活动金属离子法 (MMI) (Mann et al., 1995)、金属活动态法 (MOMEQ) (王学求等, 1996)、离子电地球化学法 (C. B. 格里戈良, 1992、1997; “离子晕法”——吴传璧, 1997)。进入 21 世纪,主要以 CHIM、MPF、Enzyme leach、MMI、MOMEQ 为代表,经过实践检验,这些方法在寻找隐伏矿床方面都有较好的找矿效果 (Geogas 和离子电地球化学法还处于研究和试验阶段)。这些方法的共同特点是:①探测深度大,可达数百米,而且可探测到被后来覆盖物掩埋的矿床的信息;②所测量的主要是来自

深部矿体的直接信息；③所测得的信息极为微弱，往往在亿分之几至百亿分之几；④这种微弱信息更可靠，因为在常规化探中起干扰作用的物质发不出这种信息。

地电化学方法凭借外电场作用，将呈活动态的金属离子迁移到指定接收电极，收集并分析电极上吸附的电解物，由此发现与矿有关的金属离子异常，从而达到找矿和评价的目的。该方法是介于地球化学和地球物理两种探查方法之间的一种新方法，它与一般的物探方法相比，不仅能间接探测矿床及周围环境的物理性质，而且还能直接探测到矿床产生的金属离子，进入过去化探“盲区”，而与一般化探方法相比，又能够在沉积物覆盖地区发现常规化探方法难以发现的隐伏矿床在地表的异常的优点。因此它既可作为对物探的矿与非矿异常进行定性的方法，又可作为能产生离子晕矿种的“攻深找盲”的手段。该方法的优越性已得到科研和生产单位的普遍肯定。过去有人认为地电化学方法只适用于对那些易呈离子形式的金属元素（贱金属和多金属矿）进行探测，但经过最近几年的试验研究，该方法对于不易形成离子形式的金矿效果也很好；不仅适用于硫化矿床，也适用于贫硫化物矿床。这为地电化学寻找盲矿的适用性开拓了广阔的道路。

作者于1996年出版了我国第一部《地球电化学勘查及深部找矿》专著，对推动我国开展地球电化学勘查及深部找矿起到了积极的作用，得到了国内同行知名专家的肯定，如中国科学院院士谢学锦教授认为，“《地球电化学勘查及深部找矿》专著代表了我国地球电化学找矿研究的现有水平，同时也是国际地球电化学勘查发展前沿上的最新总结，该专著将推动这一极有前景的矿产勘查方法的发展，特别是对指导在厚层覆盖区寻找隐伏矿将会产生一定影响和推动作用”。同时也引起国内外同行的关注。在此基础上，作者结合近十年来承担的国际合作项目，国家科技攻关项目，中国地质调查局、武警黄金指挥部项目，山东招金公司、内蒙古有色地质勘查局、广西黄金局等下达的多个科研项目研究，针对前一部专著中存在的问题有针对性地进行了深入研究，特别是在地电化学成晕机制、方法技术的规范与标准等方面又进行了更系统的研究，从而基本完善了该方法成晕理论、技术规范、找矿应用的系统研究。因此，以原来的研究为基础，加上本次研究得出的新成果，撰写了《地电化学成晕机制、方法技术及找矿研究》专著。

本专著共分九章，第一、三章由康明执笔，第二、六、七章由罗先熔执笔，第五章由罗先熔、欧阳菲执笔，第四、八、九章由罗先熔、康明、文美兰执笔，全书由罗先熔统一定稿，英文摘要由曾南石翻译。

在本次研究方法找矿过程中已向澳大利亚南澳资源部、国家科技部、中

国地质调查局、武警黄金指挥部、中国有色地质调查中心、广西国土资源厅、云南木利锑业有限公司、山东招金集团、内蒙古有色地质勘查局、广西泰富金矿等单位分别提交了 12 个单项研究报告及具有找矿前景的地电化学异常靶区 36 个, 这些研究成果均被有关地质部门在找矿预测中所采用, 其中 9 个异常靶区经深部工程验证有 6 个异常靶区见到了隐伏金属矿, 获得了良好的找矿经济效益, 如广西横县南乡泰富金矿 V 号地电化学异常带经槽探工程揭露, 发现 5 个金矿体, 平均品位为 2.063×10^{-6} , 计算金储量为 1738 kg, 潜在经济价值达 1 亿元以上。内蒙古额尔古纳虎拉林金矿经武警黄金部队在 D 号地电化学异常区施工钻孔 ZK6001 验证, 发现有多条矿体存在, 单矿体厚度最大为 12.52 m, 单样最高品位为 25.23×10^{-6} , 获得新增推断的内蕴经济资源量 1291 kg, 潜在的经济效益 1 亿元左右。内蒙古有色地质勘查局在两个地段地电化学异常区进行工程验证, 找到了隐伏金矿体。获得新增推断的内蕴经济资源量 1000 kg 以上, 潜在经济效益近 1 亿元左右。

在本次方法理论研究过程中已向国内外有关刊物撰写了 10 余篇方法理论研究论文, 向两个国际学术会议、4 个国内学术会议撰写了 6 篇方法理论研究论文。这些研究成果的发表引起了国内外同行及有关媒体的极大关注, 在国内人民日报社、人民日报社网络中心《创新与发展》、国土资源报、勘查导报、中国有色金属专刊, 广西日报、桂林日报等媒体先后给予了报道, 在澳大利亚 Australia Mining Monthly, January 2006 AMM; EXPLORE Newsletter 129 page 19; The Advertiser 8 July 2006; CRC LEME Website 等多家媒体都做了相关报道, 收到了很好的社会效益。

在本次的研究过程中, 得到澳大利亚联邦研究中心南澳资源部、国家科技部国际合作司、国家“十五”科技攻关计划、中国地质调查局、武警黄金指挥部、中国有色地质调查中心、广西国土资源厅、云南木利锑业有限公司、山东招金集团、广西华锡集团等单位的资助。参加本次研究工作的有澳大利亚联邦研究中心首席研究员侯宝宏博士、Keith Scott 高级研究员、Roger Fidler 地质师、Adrian Fabris 地质师、曾南石教授、康明博士、庞保成博士、胡云沪副教授、文美兰老师及桂林工学院 2002 ~ 2005 级地球化学硕士研究生 10 余人。中国地质调查局肖桂义处长、武警黄金指挥部王信虎处长对方法的研究工作一直给予多方面的支持和帮助。在野外工作期间, 澳大利亚 Dominion 矿业公司的 Challeng 金矿、Havilah 矿业公司的 Gould's Dam 铜金矿、Kalkaroo 铀矿、黑龙江武警黄金三支队、内蒙古武警黄金二支队、新疆哈密金窝子金矿、山东招远尹格庄金矿、安徽大巩山金矿、内蒙古额尔古纳虎拉林金矿、吉林汪清杜荒岭金矿、江西矿盛源盆地铀矿、湖南大根垅钨矿、杨林坳钨矿、云

南木利锑矿、广西横县泰富金矿、广西盘龙铅锌矿、新造铅锌矿等 10 余家国内外地质单位给予了大力支持和帮助，并提供了研究区所有基础地质资料。本次专著的出版由广西高校《地质资源与地质工程》人才小高地创新团队建设项目资助。对上述单位和人士在此一并表示诚挚的感谢。

作 者
2006 年于桂林

目 次

序 言

前 言

第一章 绪 论	(1)
一、概述	(1)
二、地电化学法研究现状	(1)
1. 地电化学法在前苏联的提出及发展状况	(1)
2. 地电化学法在中国的发展状况	(3)
3. 地电化学法在国外其他国家的发展	(4)
第二章 地电化学法的电化学基础理论	(6)
一、电化学溶解	(6)
二、原电池	(6)
三、两类导体	(8)
1. 电子导体和离子导体传递电荷的实质区别	(8)
2. 电流通过两类导体接触界面时所发生的电化学反应现象	(8)
四、离子淌度	(9)
五、极限电流密度	(10)
1. 概念	(10)
2. 影响极限电流密度的因素	(12)
3. 实际意义	(12)
六、极化与极化曲线	(12)
1. 浓差极化	(12)
2. 活化极化	(13)
七、接地电阻	(15)
1. 定义	(15)
2. 关于静态接地电阻和动态接地电阻	(15)
3. 影响接地电阻的因素	(16)
八、离子的放电顺序与共同放电	(17)
1. 概念	(17)
2. 实际意义	(17)
九、金属矿床氧化带内的原电池	(18)
十、在硫化物上电化学反应的性质	(23)
第三章 电化学场基础理论研究	(37)
一、电化学电场	(37)

二、电化学电场形成机理	(39)
1. 金属硫化矿物的稳定电位	(39)
2. 成分均匀的矿体形成的电化学电场	(40)
3. 多金属矿体形成的电化学电场	(41)
4. 浸染状矿体形成的电化学电场	(44)
第四章 地电化学成晕机制研究	(46)
一、离子来源	(46)
1. 矿体的电化学溶解	(46)
2. 离子来源深度	(48)
二、离子迁移机制	(51)
1. 电化学场作用下离子的迁移	(52)
2. 气载迁移	(57)
3. 外加电场作用下离子的迁移	(58)
三、地电化学离子晕的形成	(62)
1. 离子晕形成过程	(62)
2. 离子晕形成模式	(64)
3. 离子晕特征	(65)
四、金属矿电化学溶解及离子晕形成、提取的模拟实验研究	(66)
1. 铜、镍矿的电化学溶解能力及提取模拟实验研究	(66)
2. 铅锌矿的电化学溶解及提取模拟实验研究	(68)
3. 金矿的电化学溶解及提取模拟实验研究	(69)
4. 铀矿的电化学溶解及提取模拟实验研究	(70)
第五章 地电化学方法技术研究	(71)
一、地电化学法的种类	(71)
1. 浅部提取法	(71)
2. 深部提取法	(71)
3. 充电提取法	(71)
4. 测井提取法	(71)
5. 水中提取法	(72)
二、大功率激发与小功率激发提取	(72)
三、提取电极的研制	(76)
四、技术工作方法	(78)
1. 深部提取技术	(78)
2. 浅部提取技术	(80)
五、地电化学方法技术条件的系统研究及方法规范与标准的制定	(81)
1. 不同提取时间的对比试验研究	(81)
2. 不同提取液用量的对比试验研究	(87)
3. 不同提取液浓度的对比试验研究	(92)
4. 不同提取距离的对比试验研究	(95)
5. 双极提取的对比试验研究	(96)

6. 地电提取与次生晕的对比试验研究	(101)
7. 方法技术规范与标准的制定	(104)
六、方法的应用条件、主要功能和作用	(108)
1. 应用条件及影响因素	(108)
2. 主要功能和作用	(109)
第六章 地电化学方法找矿可行性研究及实例	(110)
一、寻找隐伏金、银多金属矿可行性实例	(110)
1. 新疆金窝子-210 金矿区	(110)
2. 山东招远大尹格庄金矿床	(111)
3. 山西繁峙耿庄金矿	(114)
4. 内蒙古额尔古纳虎拉林金矿	(114)
5. 吉林汪清杜荒岭金矿	(115)
6. 广西横县泰富金矿	(118)
7. 浙江遂昌金矿	(119)
8. 澳大利亚 Challenger 金矿	(120)
二、寻找隐伏铜、镍多金属矿可行性实例	(125)
1. 吉林红旗岭铜、镍矿	(125)
2. 江西东乡铜矿	(128)
3. 澳大利亚 Kalkaroo 铜金矿	(128)
三、寻找隐伏铅锌多金属矿可行性实例	(129)
1. 盘龙铅锌矿	(129)
2. 新造铅锌矿	(132)
四、寻找隐伏钨、锡多金属矿可行性实例	(134)
1. 广西白面山六合坳细脉浸染型锡矿	(134)
2. 广东韶关一六白钨矿	(134)
五、寻找其他类型隐伏多金属矿可行性实例	(134)
1. 广东韶关一六砷、铅、锌多金属矿	(134)
2. 云南木利铋矿地电异常特征	(135)
3. 江西盛源盆地铀矿床地电异常特征	(136)
4. 澳大利亚 Gould's Dam 铀矿	(138)
第七章 地电提取离子异常的特征及评价解释	(142)
一、金银矿的地电提取异常特征	(142)
二、铜、铅、锌地电提取异常曲线的分类及特征	(142)
1. 氧化型	(142)
2. 电化学型	(143)
3. 混合型	(144)
三、真假异常判别	(147)
四、地电提取异常位移问题	(147)
1. 从离子晕角度看存在的影响因素	(147)
2. 从外加电场角度看存在的影响因素	(148)

五、地电提取异常的形态特征	(150)
1. 地电异常第一个特点	(150)
2. 地电异常第二个特点	(150)
3. 地电异常形态	(150)
第八章 地电化学方法在矿产勘查不同阶段的应用研究	(152)
一、区域性勘查阶段地电化学方法的应用	(152)
1. 新疆金窝子 - 210 矿区概况	(152)
2. 工作方法及应用效果	(152)
二、详查阶段地电化学方法的应用	(156)
1. 内蒙古额尔古纳市虎拉林金矿深部找矿预测研究	(156)
2. 广西大瑶山西侧北段新造铅锌矿外围找矿预测研究	(158)
3. 山东招远栾家河断裂北段寻找隐伏金矿预测研究	(164)
4. 广西横县泰富金矿二轮找矿研究	(166)
5. 安徽大巩山金矿边部找矿研究	(171)
6. 湖南刘湾地区找矿预测研究	(173)
7. 吉林汪清杜荒岭金矿区外围找矿预测	(182)
8. 内蒙古四子王旗三元井金区深部找矿预测	(184)
第九章 主要研究成果	(187)
一、理论成果	(187)
二、方法技术成果	(187)
三、应用成果	(188)
主要参考文献	(189)
英文摘要	(193)

CONTENTS

Foreword

Preface

Chapter 1 Introduction	(1)
1.1 Outline	(1)
1.2 The present situation of geoelectrochemical research	(1)
1.2.1 Initiation and development of geomethods in former Soviet Union	(1)
1.2.2 Development of the geoelectrochemical methods in China	(3)
1.2.3 Development of the geoelectrochemical methods in other countries	(4)
Chapter 2 Electrochemical theory of methods	(6)
2.1 Electrochemical dissolution	(6)
2.2 Primary cell	(6)
2.3 Two kinds of conductors	(8)
2.3.1 The essential difference of charge transfer between electronic conductor and ionophore	(8)
2.3.2 The electrochemistry phenomenon what happened when current through two kinds of conductors'interface	(8)
2.4 Ionic mobility	(9)
2.5 Limiting current density	(10)
2.5.1 Conception	(10)
2.5.2 The factor which affect the limiting current's density	(12)
2.5.3 Practice significance	(12)
2.6 Polarization and curve of the polarization	(12)
2.6.1 Differential concentration polarization	(12)
2.6.2 Activation polarization	(13)
2.7 Grounding resistance	(15)
2.7.1 Definition	(15)
2.7.2 Static grounding resistance and dynamic grounding resistance	(15)
2.7.3 Grounding resistance's affecting factor	(16)
2.8 Ionic discharge sequence and common discharging	(17)
2.8.1 Conception	(17)
2.8.2 Practice significance	(17)
2.9 The primary cell in the oxidized zone of metallic ore deposits	(18)
2.10 Nature of electrochemical reaction in sulfides	(23)
Chapter 3 Research of fundamental theory in electrochemical field	(37)
3.1 Electrochemical field	(37)
3.2 Forming mechanism of the electrochemical field	(39)
3.2.1 Stable potential of metallic sulfides	(39)

3.2.2	The forming of electrochemical field in an ore body with well-distributed components	(40)
3.2.3	The forming of electrochemical field by polymetallic ore bodies	(41)
3.2.4	The forming of electrochemical field by disseminated ore bodies	(44)
Chapter 4	Research of geoelectrochemical halo-forming mechanism	(46)
4.1	Ionic origin	(46)
4.1.1	Electrochemical dissolution of ore bodies	(46)
4.1.2	Depth of ionic origin	(48)
4.2	Mechanism of ionic migration	(51)
4.2.1	Ionic migration by the force of geoelectrochemical field	(52)
4.2.2	Ionic migration by gas	(57)
4.2.3	Ionic migration by the force of extra-electric field	(58)
4.3	The forming of geoelectrochemical ionic halos	(62)
4.3.1	Forming process of the ionic halos	(62)
4.3.2	Forming model of the ionic halos	(64)
4.3.3	Characteristics of the ionic halos	(65)
4.4	Simulated experiments for electrochemical dissolution, extraction and forming of ionic halos of metallic deposits	(66)
4.4.1	Simulated experiments study for electrochemical dissolution and extraction of copper- nickel ore deposits	(66)
4.4.2	Simulated experiment study for electrochemical dissolution and extraction of lead-zinc ore deposits	(68)
4.4.3	Simulated experiment study for electrochemical dissolution and extraction of gold ore deposits	(69)
4.4.4	Simulated experiment study for electrochemical dissolution and extraction of uranium ore deposits	(70)
Chapter 5	Research of geoelectrochemical methods and techniques	(71)
5.1	Geoelectrochemical methods	(71)
5.1.1	Electro-extract from the shallow portion	(71)
5.1.2	Electro-extract from the deep level	(71)
5.1.3	Eletro-extract by charge	(71)
5.1.4	Electro-extract by Logging	(71)
5.1.5	Electro-extract from water	(72)
5.2	Extract by high-power excitement and low-power excitement	(72)
5.3	Making extraction electrode	(76)
5.4	Technical working	(78)
5.4.1	Extract technique of deep level	(78)
5.4.2	Extract technique of shallow portion	(80)
5.5	Systemic study on geoelectrochemical techniques and standard criteria	(81)
5.5.1	Contrastive experiments for different extracted time	(81)
5.5.2	Contrastive experiments for different extracted liquid	(87)
5.5.3	Contrastive experiments for different extracted consistency	(92)
5.5.4	Contrastive experiments for different extracted distance	(95)

5.5.5	Contrastive experiments for bipolar extraction	(96)
5.5.6	Contrastive experiments for geoelectro-extraction with secondary dispersion halo	(101)
5.5.7	Constitute of methodological criterion and normal	(104)
5.6	Applied condition, primary function and effect of methods	(108)
5.6.1	Applied condition and influential factors	(108)
5.6.2	Major functions and effect	(109)
Chapter 6 Study on prospecting availability of ore deposit with geoelectrochemical method, and the examples		
		(110)
6.1	Examples of prospecting availability for gold-silver polymetallic ore deposits	(110)
6.1.1	Gold cote -210 gold mining district, Xinjiang	(110)
6.1.2	Yingezhuang gold deposit in Zhaoyuan, Shandong	(111)
6.1.3	Gengzhuang gold deposit in Fanshi Shanxi	(114)
6.1.4	Hulalin gold deposit, Inner Mongolian	(114)
6.1.5	Duhuangling gold deposit in Wangqing, Jilin	(115)
6.1.6	Taifu gold deposit in HengCounty, Guangxi	(118)
6.1.7	Suichang gold deposit, Zhejiang	(119)
6.1.8	Challenger gold deposit, Australia	(120)
6.2	Examples of prospecting availability for copper-nickel polymetallic ore deposits	(125)
6.2.1	Hongqiling copper-nickel deposit, Jilin	(125)
6.2.2	Dongxiang copper deposit, Jiangxi	(128)
6.2.3	Kalkaroo copper-gold deposit, Australia	(128)
6.3	Examples of prospecting availability for lead-zinc polymetallic ore deposits	(129)
6.3.1	Panlong lead-zinc deposit	(129)
6.3.2	Xinzao lead-zinc deposit	(132)
6.4	Example of prospecting availability for tungsten-tin polymetallic ore deposits	(134)
6.4.1	Liuhao tin deposit in Baimianshan, Guangxi	(134)
6.4.2	Yiliu scheelite deposit in Shaoguan, Guangdong	(134)
6.5	Examples of prospecting availability for other polymetallic ore deposits	(134)
6.5.1	Yiliu arsenic-lead-zinc polymetallic deposit in Shaoguan Guangdong	(134)
6.5.2	Characteristics of geoelectric anomaly in the Muli stibium mining area, Yunnan	(135)
6.5.3	Characteristics of geoelectric anomaly for uranium in the Kuangshengyuan basin, Jiangxi	(136)
6.5.4	Gould's Dam uranium deposit, Australia	(138)
Chapter 7 Characteristics of geoelectro-extracted ionic anomalies, evalute and interpretation		
		(142)
7.1	Characteristics of geoelectro-extracted ionic anomalies for gold-silver ore deposits	(142)
7.2	Characteristics of geoelectro-extracted ionic anomalies for copper-lead-zinc polymetallic ore deposits	(142)
7.2.1	Oxidized form	(142)

7.2.2	Electrochemistry form	(143)
7.2.3	Mixed form	(144)
7.3	Discriminant standards for true or false anomalies	(147)
7.4	Anomaly displacement problems for geoelectro-extraction	(147)
7.4.1	From the angle of ionic halo there are some affecting factors as below	(147)
7.4.2	From the angle of additional electric field there are some affecting factors about anomaly displacement as below	(148)
7.5	Characteristics of pattern for geoelectro-extracted anomaly	(150)
7.5.1	The first characteristics of geoelectric anomaly	(150)
7.5.2	The second characteristics of geoelectric anomaly	(150)
7.5.3	The pattern of geoelectric anomaly	(150)
Chapter 8	Application research on geoelectrochemical method for different exploration stages	(152)
8.1	Application of geoelectrochemical method during regional exploration	(152)
8.1.1	Outline of gold cote-210 diggings mining district, Xinjiang	(152)
8.1.2	Methodology and application effect	(152)
8.2	Application of geoelectro methods during detailed exploration stage	(156)
8.2.1	Research of prospecting prediction for deep part at the Hulalin gold deposit, Inner Mongolian	(156)
8.2.2	Research of prospecting prediction at surround area of Xinzhaio lead-zinc deposit, northwest Dayao mountains, Guangxi	(158)
8.2.3	Research of prospecting prediction for gold deposits in north part of Luanjiahe, Zhaoyuan, Shandong	(164)
8.2.4	The second prospecting research in the Taifu gold deposit in Heng County, Guangxi	(166)
8.2.5	Prospecting research at boarder of the Dagongshan gold deposit, Anhui	(171)
8.2.6	Research of prospecting prediction in Liuwan, Hunan	(173)
8.2.7	Research of prospecting prediction at surround area of the Duhuangling deposit, Wangqing, Jilin	(182)
8.2.8	Research of prospecting prediction at deep portion in the Sanyuanjing gold deposit, Siziwang banner, Inner Mongolian	(184)
Chapter 9	Main achievements	(187)
9.1	Theoretic achievements	(187)
9.2	Technical achievements	(187)
9.3	Application achievement	(188)
Main References		(189)
Abstract		(193)

第一章 绪 论

一、概述

地电化学是研究地球内部自然和人工激发电化学现象的学科。对地球内部电化学现象的研究,起源于19世纪初,当时,英国 R. W. Fox (1830) 在康沃尔矿山首先发现了地球内部的电化学现象。此后,许多研究人员参与了自然电场的研究。在20世纪20年代, A. A. 彼得罗夫斯基 (A. A. Витровский, 1924) 研究了自然电场的理论和仪器,并在阿尔泰地区进行了试验;谢苗诺夫 (1955) 在《自然电场法电法勘探》中对自然电场的形成、电化学作用的特性及其在地质找矿中的应用进行了深入地研究。

20世纪60年代末,前苏联学者 A. I. Sokolova (1967) 在观察矿物电极电位的基础上,对地电化学的研究作了开创性的工作。20世纪70年代初, Yu. S. Ryss 和 I. S. Goldberg (1973) 发表了第一篇详细地描述地电化学的基础理论和野外技术方法以及实际应用效果的论文,接着又发表了几篇论文,详细地叙述了基于这种方法的实验结果、野外应用条件、仪器设备等 (Alekseeva and Ryss, 1973; Alekseeva, 1976; Ryss et al., 1977)。于1983年 Yu. S. Ryss 发表专著《地电化学勘探法》,详尽地论述了在人工电场作用下各种电化学现象及其在地质勘查中的应用,如接触和非接触极化曲线法、部分提取金属法 (CHIM)、黄铁矿类矿床的电化学普查法、阳极-阴极极化法和其他方法。澳大利亚学者 G. J. S. Govett 于1972年提出了土壤离子电导率法,并于1974年分别在加拿大和西班牙的5个块状硫化物矿床上开展了地电化学试验研究,均取得了明显的效果。到20世纪80年代末期,地电化学方法引起了西方国家的重视。

按前苏联学者的原意,把与离子态元素的迁移、分布规律以及矿物的激发电化学特征等有联系的许多方法统称为地电化学方法。其方法技术包括:元素赋存形式法 (MPF)、热磁地球化学法 (TMGM)、地电提取法 (前苏联称为“部分提取金属法”) (CHIM)、扩散提取法 (MDE)、离子电地球化学法、土壤离子电导率法、接触和非接触极化曲线法、激发极化法。我国科技工作者对部分提取金属法进行了改进,创造出许多新的更简便的方法技术,如泡塑吸附法、吸附电提取法、室内电吸附法等。

前苏联学者认为,地球上存在规模不同的、套合的电地球化学场,这种场是引起元素一部分 ($0.1 \times n\% \sim 1 \times n\%$) 活动化的原因。活动化的元素可以穿过厚层覆盖物迁移至地表。这部分活动化的元素,如果与地表的腐殖酸和富里酸结合,则用焦磷酸钠溶液提取,称为元素赋存形式法 (MPF);如果被铁锰氧化物吸附或包裹,就可用热磁地球化学方法 (TMGM) 测定。这些按中国和西方的理解都属偏提取法。

二、地电化学法研究现状

1. 地电化学法在前苏联的提出及发展状况

地电化学技术在前苏联称为部分提取金属法 (俄文缩写为 ЧИМ; 英文缩写为