黄金地质研究所
信息室 提供

战略地质调查项目系列成果——
黄金地质专题信息编辑之二十六

与金矿有关的地球化学找矿方法实例

YU JINKUANG YOUGUAN DE DIQIU HUAXUE ZHAOKUANG FANGFA SHILI

中国人民武装警察部队黄金地质研究所

2011 年 6 月

黄金地质研究所
信息室 提供

战略地质调查项目系列成果——
黄金地质专题信息编辑之二十六

与金矿有关的地球化学找矿方法实例

YU JINKUANG YOUGUAN DE DIQIU HUAXUE ZHAOKUANG FANGFA SHILI

课题组成员：李杰美　王美娟　张　岱　朝银银

黄金地质研究所
信息室 提供

目　　次

国内找矿实例

内蒙古哈达门沟—乌拉山金矿……(1)
内蒙古朱拉扎嘎金矿……(2)
内蒙古陈家杖子金矿……(3)
辽宁排山楼金矿……(4)
山东玲珑金矿田东风金矿……(4)
山东归来庄金矿……(5)
山东仓上金矿……(5)
江西金山金矿……(6)
广东河台金矿……(6)
河南上宫金矿……(7)
河南银洞坡金矿……(8)
四川嘎拉金矿……(8)
云南镇沅金矿田……(9)
云南北衙金矿……(10)
贵州烂泥沟金矿……(11)
贵州老万场金矿……(11)
陕西双王金矿……(12)
陕西马鞍桥金矿……(13)
甘肃大水金矿……(14)
甘肃金山李坝金矿……(15)
新疆阿希金矿……(16)
新疆萨瓦尔顿金矿……(16)
福建紫金山铜-金矿……(18)

国外找矿实例

美国内华达州金矿带……(19)
美国科特兹金矿……(21)
美国克朗朱厄尔金矿床……(23)
美国波戈金矿床……(24)
智利埃尔印第奥—马里昆加铜-金矿带……(26)
美国内华达州中—北部金矿化集中区……(35)
印尼铜-金矿带分布与勘查实例简介……(44)
澳大利亚昆士兰西北部芒特艾萨内围层成矿带……(54)

方法介绍

地电化学方法

地电化学方法概述……(63)
地电化学法研究现状……(64)
地电化学方法的应用条件、主要功能和作用……(66)
地电化学方法寻找金矿实例……(67)
地电化学方法在矿产勘查不同阶段的应用研究……(72)

黄金地质研究所
信息室 提供

深穿透地球化学方法
战略性深穿透地球化学方法在穆龙套的初步试验 …… (79)
穿透厚覆盖层圈定巨型矿所形成的区域地球化学异常——以在奥林匹克坝矿床的试验为例 … (84)
金矿床构造叠加晕法 …… (88)
有关文献 …… (93)

黄金地质研究所
信息室 提供

与金矿有关的地球化学找矿方法实例

二〇一一年

武警黄金地质研究所

黄金地质研究所
信息室 提供

内蒙古哈达门沟—乌拉山金矿

哈达门沟—乌拉山金矿位于内蒙古包头市郊区阿嘎如泰苏木境内的乌拉山中。矿区分2部分，东区称哈达门沟金矿，由武警黄金原第十一支队勘查。西区为乌拉山金矿，由内蒙古地矿局一〇五地质队勘查。

矿区东距包头市22 km。矿区南5 km有包（头）—兰（州）铁路线乌兰计车站，110国道的包（头）—银（川）公路由矿区南2.5 km处通过，此外还有哈（达门）—石（哈河）公路横穿矿区东部，交通方便。

东西2区出露地层主要为新太古界乌拉山群脑包山组，含矿层位为脑包山组第三岩段，岩性主要为斜长角闪岩、含榴黑云角闪斜长片麻岩夹磁铁石英岩及黑云斜长片麻岩、黑云角闪斜长变粒岩、黑云二长片麻岩等。原岩为一套中—基性的火成岩及火山沉积碎屑岩。同位素年龄值为25～26亿年。该变质岩系是一个含金较高的地质体，平均含量7.6×10^{-9}，高于大陆地壳金丰度值（3.5×10^{-9}）。乌拉山金矿处在印支期大桦背花岗岩体与新太古界乌拉山群的外接触带中。

矿区大地构造位置处于华北地台内蒙古台隆与鄂尔多斯台坳交界的台隆南缘的阴山断隆西南缘。变质岩系的分布受EW向展布的复式向斜构造控制。脆-韧性断裂对金矿控制明显。区内断裂和破碎带是直接控矿构造，其展布方向亦呈EW向，由北向南呈等间距排列，如M_9，M_8，M_{113}，M_{135}，M_{78}等脉所在的裂隙，倾向S，倾角60°，多被后期硅质及热液充填或改造，形成含金的石英脉及蚀变带，几乎所有矿脉均受该组断裂控制。断裂规模大小悬殊，长几m至几km，具有明显的多期活动的特点。

金矿体主要产于石英脉及蚀变带中。东、西2矿区含金矿脉总计约120余条。矿脉走向近EW，局部转为NW向。矿脉及矿体形态、规模、产状、延深受构造控制。其形态多呈脉状、板状、透镜状。脉长几十米至7 500 m，局部为复脉或网脉型。矿脉主要围岩为斜长角闪岩、黑云斜长片麻岩、辉绿岩、伟晶岩等，多产生不同类型的蚀变现象，主要有硅化、钾化、黄铁绢英岩化、绿泥石化、碳酸盐化等。脉体内常有黄铁矿化、黄铜矿化、方铅矿化等。与金矿富集关系密切的蚀变现象为钾化、硅化、黄铁矿化。其中钾化、细粒黄铁矿化对金的富集最为有利。到1992年底，已提交了哈达门沟金矿区13号脉的勘查成果，其他地段的矿脉仍在勘查中。

该金矿的发现经历了较长的时期。早在1957年，内蒙古地质局五原狼山地质队在乌拉山地区开展区域性1∶20万重砂测量工作，于1958年4月提交了《乌拉山区域重砂普查报告》。报告指出，在哈业胡同冲积层中含砂金，建议在哈业胡同寻找含金石英脉。

1966年后的几年内，内蒙古地质局区域地质测量队在乌拉山、大青山地区进行1∶20万区域地质调查，于1972年提交1∶20万余太镇幅和包头幅区域地质调查报告。报告中称，乌拉山哈业胡同发现含金石英脉和砂金。

1975年，内蒙古地质局一一〇地质队在梅力更沟—哈达门沟做过金矿普查。1976年2～11月又在现今的M_{10}号脉上进行了地质工作。同年12月该队提交了《内蒙古自治区包头市郊区哈业胡同金矿初步普查地质报告》。报告认为石英脉含金普遍低，圈不出工业矿体，冲洪积层中砂金含矿率较高，但颗粒细小，不值得进一步工作。

1977年，内蒙古地质局第一物化探队提交了《内蒙古包头地区航空磁力测量成果报告》。

20世纪70年代末，内蒙古自治区冶金地质勘探公司五队（武警黄金原第十一支队前身）完成了《内蒙古自治区金矿成矿规律和找矿方向研究》，视该区为找矿靶区。

20世纪80年代初期，武警黄金原第十一支队相继在大青山、乌拉山开展岩金矿普查工作。

1985年，内蒙古地矿局第一物化探队进行了1∶20万化探扫面及1∶5万水系沉积物测量，分别提交了《1985年1∶20万区域化探余太幅、白云鄂博幅金异常成果报告》及《乌拉山大桦背金异常1∶5万水系沉积物测量成果》，圈定了乌拉山金异常37处。这是一个突破性成果，为以后的大规模普查提供了依据。于1990年12月在地矿部黄金工作会议上与其他化探成果一起获地矿部的勘查技术奖。

1986年4月，内蒙古地矿局一〇五地质队二分队根据化探异常的指引，对金异常进行检查，发现了乌拉山金矿，后分别由内蒙古地矿局一〇五地质队与武警黄金原第十一支队进行勘查。

1986年5月上旬，武警黄金原第十一支队在哈达门沟地区地质调查工作中，在沟口发现含金石英脉，5月下旬，在哈达门沟发现含金石英-钾长石脉和含金钾长石花岗伟晶岩，同时发现不仅石英脉含金，钾长石化蚀变围岩也含金，有的蚀变围岩本身就是金矿石。对该矿这一特点的认识，使乌拉山地区找金工作有了重要的突破。同年7～8月中旬，武警黄金原第十一支队六连在地质填图过程中发现东西柏树沟等地的含金石英-钾长石脉和钾长石化蚀变岩型金矿（即13号脉群的矿脉）。对1号(哈达门沟)、13号脉群、24号（东西柏树沟）脉群进行了控制。

1987—1988年，武警黄金原第十一支队在哈达门沟开展普查工作，对13号脉群使用各类山地工程进行了评价。全区发现含金脉体和含金钾长石化蚀变岩90条，肯定该矿具有较大的经济价值。

1989年，武警黄金原第十一支队与内蒙古黄金管理局签定2 t详查储量承包合同。1990年又签定了“892”规划项目合同，开展了13号脉群的详查与勘探工作，对矿床做了全面评价。

经过武警黄金原第十一支队和内蒙古地矿局一〇五地质队二分队几年的普查工作，初步查明乌拉山金矿矿脉分布情况，共找到矿化石英脉和蚀变带120余条，确定有进一步工作价值的矿脉几十条。其中，西区的113号脉中段于1990年转入详查。内蒙古地矿局一〇五地质队于1993年提交了《内蒙古包头郊区乌拉山金矿区113号脉中段详查地质报告》和《内蒙古包头市郊区乌拉山金矿区78号脉32～24线普查地质报告》。

东区截止到1995年，武警黄金原第十一支队共发现矿脉90余条，其中哈达门沟13号脉群由该队于1990年转入勘探。并于1992年10月提交了《内蒙古自治区包头市郊区阿嘎如泰苏木哈达门沟金矿区13号脉群勘探地质报告》。1994年提交了24号脉群的勘探报告，并陆续提交了其余矿脉的普查报告。共提交储量43 t。内蒙古储委对报告进行了审查，批准13号脉群中18个矿体探明的黄金储量。

哈达门沟—乌拉山金矿的勘查成果，是多年来武警黄金原第十一支队与内蒙古地矿局一〇五地质队参与工作的全体人员共同努力的结果，已探明的储量已达到了大型矿床规模，若将全区具有工业价值的几十条矿化石英脉（或蚀变带）勘查完毕，金矿床规模将进一步扩大。

乌拉山金矿位于包头市郊区，外部建设条件良好。包头市是中国重要工业基地，铁路、公路四通八达，电力资源丰富。包头至后山高压线路从矿区东侧通过。通往矿区30 km的供电线路已建成使用。矿山供水可就地解决。生活基地可以建在包头市区，就业人员无后顾之忧，是很好的黄金生产基地。

哈达门沟—乌拉山金矿已在东区哈达门沟矿区建起了日处理300 t矿石的选矿厂，1992年8月18日正式投料生产。国家黄金管理局已批准在该矿进行第二期扩建工程，二期工程建成后，该矿将形成日处理600 t矿石的生产规模。

从乌拉山金矿的发现过程中，认识到区域化探工作是找金的有效手段。在金矿普查中用物化探开路，从检查金的化探异常入手，逐步开展普查，扩大其远景是行之有效的方法。乌拉山金矿的找矿实践告诉我们，必须用正确的找矿理论，结合矿区的实际情况来指导和部署地质工作。如金矿成矿的三位一体（即矿源层、岩浆热液和构造裂隙）条件在乌拉山金矿的勘查中具有重要的指导意义。金化探异常的高值带、铁镁高的老地层、具强烈蚀变的韧性剪切带及附近的燕山—印支期花岗岩等几项结合在一起，乃是乌拉山找金的有利地区。

乌拉山金矿西区的M_{78}，M_{113}矿脉极为破碎，给钻探工程施工和矿心采取带来一定困难，因此，还应针对这一难题进行钻探工艺的研究，以提高钻探效益。

摘自《中国矿床发现史·综合卷》

内蒙古朱拉扎嘎金矿

朱拉扎嘎金矿是一处具有层控特点的微细粒型金矿床。矿区位于阿拉善地台中部，白垩系和第四系广泛分布，局部出露新元古界青白口系乌兰哈夏群朱拉扎嘎毛道组二岩段，该岩段为主要含矿层位。矿石矿物成分主要有磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿和毒砂等，金与金属硫化物关系密切。

1995年，内蒙古第一物化探勘查院在开展1∶20万区域化探扫面时，发现了SN长8 km，EW宽5 km的Au异常，2个峰值为14.5×10^{-9}和17×10^{-9}，并有Au，Sn，Mg，Pb，Cu，Zn，Mo，As等多元素异常套合。经单点样分析，Au异常浓集中心突出，强度增高，最高可达170×

黄金地质研究所
信息室 提供

10^{-9}，进一步缩小了找矿靶区。

1997年，该院进行了1∶5万水系沉积物加密测量，Au异常重现性好，3处浓集中心的异常峰值分别为380×10^{-9}，270×10^{-9}和50×10^{-9}，与地表检查所发现的矿化体相一致。经槽探揭露，控制矿化体规模较大者有8条，长55～165 m，平均金品位3.7×10^{-6}～4.5×10^{-6}，发现了朱拉扎嘎金矿。

1998年，电法及高精度磁测结果，在18勘探线两侧大面积覆盖区发现了面积约0.5 km^2的低视电阻率（100～800 Ω·m）、高视极化率（6%～20%）异常和10～130纳特的低缓磁异常，沿NE，SW方向异常两端尚未封闭。激电异常大体可划分为3个异常带：视极化率16%～20%，视电阻率100～400 Ω·m，并伴随有10～130纳特低缓磁异常的中部区，为一级异常带；一级异常带两侧，视极化率10%～16%，视电阻率400～600 Ω·m，为二级异常带；二级异常带外侧，视极化率6%～10%，视电阻率600～800 Ω·m，为三级异常带。3个异常带总宽度700 m左右，每个异常带的长度都大于800 m。

通过对物探异常的综合解释，推断0.5 km^2激电异常，为埋深50 m左右的硫化物矿层引起。验证结果，覆盖区ZK（-2）-1，ZK50-1及原施工的ZK18-1，ZK18-2，ZK18-3，ZK18-4和ZK10-1，ZK26-1孔均在50 m深度之下见原生硫化物金矿层，钻孔见矿最大累积厚度大于90 m，见矿率达100%，推断矿体埋深的准确度可达95%以上。一级和二级异常带见矿最好，三级异常带见矿稍差，平均金品位大于3.5×10^{-6}。

据初步勘探结果，估算金储量大于30 t，待勘查完毕，可望达到特大型金矿床规模。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

内蒙古陈家杖子金矿

陈家杖子金矿位于内蒙古台隆东段黑河断裂成矿带，为一处隐爆角砾岩型金矿床。矿区第四系广泛分布，局部出露太古宇建平群片麻岩等，岩浆活动强烈，以花岗岩为主。矿区中部为一中生代隐爆角砾岩，向外为环带状硅化、褐铁矿化酸性角砾凝灰岩，最外边为环带状土化、褐铁矿化酸性凝灰岩。矿体主要赋存于隐爆角砾岩，金属矿物主要有黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿和毒砂等。

1996年，内蒙古第一物化勘查院在该区开展1∶5万水系沉积物测量，圈出23个异常。其中AS10-2陈家杖子Au异常，呈椭圆状，长轴近EW向，面积2 km^2。Au最高值12×10^{-9}，衬度2.507，Au，Ag，Cu，Pb，Zn，As，Sb，Sn，Bi等元素异常吻合较好，浓集中心明显，浓度分带清楚，为找金提供了靶区。

1998年，内蒙古赤峰地质勘查院选择AS10-2异常开展1∶2 000土壤剖面测量和1∶1 000激电中梯、激电测深、中精度磁法剖面测量。完成土壤剖面7条，面积约8.9 km^2，激电中梯和磁法剖面7 km，激电测深剖面1.5 km。

土壤测量圈出4个子异常，异常形态、特征、强度基本相似。其中AS10-2-2异常，呈不规则椭圆状，走向65°，面积0.62 km^2，Au最高值105.8×10^{-9}，平均值37.76×10^{-9}，衬度3.27。Ag最高值1.7×10^{-6}，Zn最高值850×10^{-6}，Pb最高值410×10^{-6}，Bi最高值18.5×10^{-6}，As最高值950×10^{-6}，Cu最高值740×10^{-6}，各元素异常吻合，浓集中心突出，浓度分带明显，进一步缩小了找矿靶区。在土壤异常带上，有视极化率6%～15.6%，视电阻率200～300 Ω·m的电异常和-300～0纳特的磁异常相对应。推断综合物化探异常为地表和深部矿（化）体引起。

1998年，赤峰地勘院重点选择AS10-2-2综合物化探异常进行Ⅱ级查证。经槽、井探揭露，圈出2条矿化带。Ⅰ号矿化带长250 m，宽80 m，见6条矿体；Ⅱ号矿化带长400 m，宽100 m，亦见6条矿体。地表12条矿体平均金品位1.03×10^{-6}～3.25×10^{-6}，最高达6.96×10^{-6}。ZK2孔见多层矿体，累积厚度13 m，平均金品位2.14×10^{-6}～7.83×10^{-6}，最高可达41.66×10^{-6}，ZK3孔亦见多层矿体，累积厚度28 m，平均金品位1.06×10^{-6}～20.9×10^{-6}。最高可达43.95×10^{-6}，推断矿体埋深的准确度达90%以上。0～50 m为氧化带，50 m以下为原生矿带，深部矿体有变富、增厚的趋势。

陈家杖子金矿是华北地台北缘首次发现的隐爆角砾岩型金矿床，目前估算黄金储量大于10 t，待AS10-2-（1，3，4）处异常勘查完毕，可望达到大型金矿床规模。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

黄金地质研究所
信息室 提供

辽宁排山楼金矿

排山楼金矿位于辽宁省阜新蒙古族自治县新民乡。大地构造位置属于华北地台北缘，燕山台褶带东段。出露地层主要为太古宙表壳岩，中元古界长城系大红峪组、高峪庄组；中生界孙家湾组。岩浆岩除太古宙深成侵入岩外，还有华力西期黑云母花岗岩。断裂发育。金矿位于EW向和NE向韧性剪切带的交会处。

金矿位于蚀变矿化带上部，矿体呈似层状。围岩蚀变主要为绿泥石化、黑云母化、黄铁绢云母化、铁白云石化及弱硅化。金平均品位4×10^{-6}，提交可利用储量和暂难利用储量43 t。金矿成因属于韧性剪切变生热液型。

1984年，辽宁省地矿局区调队在该区进行了1∶20万水系沉积物测量工作。于1987年提交1∶20万义县幅化探说明书时，发现排山楼一带（当时称三家子异常）有一处面积较大的低缓Au异常，异常下限仅为1.5×10^{-9}，峰值为4.5×10^{-9}，高背景面积300 km^2，异常面积22 km^2，且具浓集中心。Au异常所处的位置成矿地质条件较好，因此，该异常列入查证区。

1988年，辽宁省地矿局将该异常列入地质工作计划，进行三级查证。按三级查证要求，首先进行了加密采样工作，并采集了一些自然重砂样品。水系加密样品的分析结果Au含量1×10^{-9}～5×10^{-9}，有7个样大于10×10^{-9}，峰值22.2×10^{-9}。按5.4×10^{-9}为异常下限在排山楼一带圈出2 km^2的近EW向的Au异常，但重砂样品未发现明显金矿物异常。因地表第四系掩盖，没有工程揭露，未发现矿化原岩，当年未查清引起异常的原因。

1989年，辽宁省地矿局安排区调队在该区继续开展三级查证工作，同年5月，在2 km^2的异常范围内利用野外痕金分析进一步沿水系向上追溯，在原19.4×10^{-9}高值点上游又发现180×10^{-9}的新高值点。采用地质与化探相结合的方法，终于在180×10^{-9}高值点附近发现了矿化糜棱岩转石，分析结果Au含量为2.95×10^{-6}，初步肯定了该异常的找矿意义。接着开展了二级查证工作，发现3条近EW向的金矿体。而后相继开展一级查证、普查、详查和勘探工作，于1991年提交排山楼大型金矿勘探报告。

1990—1991年，辽宁省地矿局物探大队为配合金矿普查在矿区及其外围开展了1∶1万综合物化探测量，投入的方法有磁测、激电、土壤测量等，工作面积45 km^2，在成矿有利部位进行了20 km^2高精度磁测、伽马能谱测量。共发现磁异常10处，土壤测量Au异常14处，地电化学异常2处，推断2条金矿化带。1995年，辽宁省地矿局物探大队在矿区外围又开展了20 km^2的1∶1万综合物化探工作，发现有找矿意义异常7处，推断2条含金矿化带。这些物化探资料为在排山楼矿区外围找矿提供了依据，并因此而发现了一批矿体和矿化体。化探工作在排山楼金矿找矿过程中起了决定性作用。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

山东玲珑金矿田东风金矿

玲珑金矿田位于招远市北东约16 km处，矿田面积约70 km^2。根据控矿构造进一步划分为东风矿床、东山矿床、西山矿床、玲南矿床。东风矿床位于玲珑金矿田东北部，属招远市阜山镇管辖，面积约15 km^2。

玲珑金矿田找矿勘探及开发历史悠久，为进一步查明找矿前景，冶金部山东地勘局1981年决定，在玲珑金矿田开展1∶2 000化探岩石测量详查，网度40 m×5 m。1982—1986年，冶勘二队、物探队共同进行了系统的野外施工，共完成详查面积50.45 km^2，化探取样、分析22万余件。1988年6月，完成报告初稿的编制，提出下步工作设计。

此次化探工作，共发现27个异常群（带），编号异常1 224个，其中已知矿异常115个，通过化探数理统计分析，结合地质情况，推断矿异常703个，圈定出25个成矿预测区。施工钻探验证孔26个，其中见矿钻孔18个。

被后期地质工作证明为特大型金矿的东风金矿床即对应着招平断裂带（208，207号脉）和206号脉群成矿预测区（包括6—1，7—1两个Ⅰ级成矿预测区），该预测区长1 580 m，宽340 m，含推断矿异常22个。预测区内异常多为多元素组合异

黄金地质研究所
信息室 提供

常，且具有异常形态规整、浓集中心明显、强度较高的特点，特别是 Au 异常，其浓度中心一般与隐伏金矿相对应，为以金找金提供了可靠的信息，例如 588 号异常长 210 m，宽 45 m，呈带状分布，异常元素组合为 Au-Ag-Bi-Pb-Zn-Mo。

1989—1992 年，配合东风矿床地质勘探工作，化探工作逐步深入，对区内所有施工钻孔及时采集钻孔岩石样品，取样间距 5～10 m，矿化地段加密到 0.5～1 m，结合生产进行综合研究，指导地质钻探工作，检验化探研究成果的有效性。通过研究已知矿体，总结了该区地球化学异常特征，建立了东风矿床地球化学异常模式，提出了地球化学评价指标。根据化探研究成果对东风矿床进行成矿预测，结合已有地质成果设计深部验证钻孔 18 个，已施工 10 个，其中 8 个见到工业矿体。

到目前为止东风矿床控制金储量已在 100 t 以上，该区进一步找矿前景较好，深部验证工作仍在进行中。实践证明，在金矿老区开展岩石测量详查，方法有效、效果显著，结合地质钻探开展钻孔岩石测量工作，对深部找矿具有较大的指导意义。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

山东归来庄金矿

归来庄金矿位于鲁西断隆之尼山断凸的东北边缘，铜石杂岩体东侧的寒武—奥陶系中。矿体主要赋存于碳酸盐岩和角砾岩带内，受近 EW 向断裂控制，控矿断裂长度大于 2 000 m。归来庄金矿床与碱性次火山作用有关，为富含贵金属的石英-萤石-冰长石型浅成中—低温热液金矿床。区内多为第四系覆盖，找矿难度较大。

1987 年底，山东省地矿局物化探勘查大队提交的 1∶20 万新泰幅地球化学水系沉积物测量成果中，在平邑县铜石地区圈出了 AS38 号金异常（归来庄金矿处在该异常范围内），是一处 Au，Ag，Cu，Mo，Bi，Hg 等多元素组合异常，金异常长 15 km，宽 8.5 km，金含量一般为 10×10^{-9}，最高 82×10^{-9}，因其强度高，范围大，被山东省地矿局定为 1988 年首批招标的区域化探异常查证项目（鲁地-招 37-物 18），开展 1∶5 万水系沉积物测量，查明化探异常与矿产的关系。

山东省地矿局物化探队中标，于 1988 年 5～6 月份开展水系沉积物采样工作，经过样品分析，资料整理，于 8 月即编制出 Au，Ag，Cu，Pb，Zn，Fe 六种元素地球化学图，金地球化学图于 1988 年 9 月交局地矿处。

1∶5 万水系沉积物测量共发现 9 处局部异常，其中 AS11，AS15，AS9，AS12，AS13 五处异常找矿意义较大。AS11 异常是 Au，Ag，Cu，Pb，Zn 元素组合异常，异常面积大，峰值高，浓集中心明显，为银洞沟、金岭、和气庄等金矿点引起，含矿岩石主要是硅化、萤石化碎裂斑岩、褐铁矿化角砾岩、夕卡岩等。

AS15 异常位于归来庄村北，为金的单元素异常，峰值较高（15×10^{-9}），是背景值的 6.3 倍，浓集中心明显。异常位于燕甘断裂以东，出露岩石为泥质条带灰岩和白云质灰岩，南部为一正长斑岩小岩株。物化探队野外检查时，未发现矿化蚀变现象，但认为该异常背景平稳，异常突出，找矿意义较大。山东省地矿局第二地质队在 AS15 异常处发现含金碎裂岩，1989 年初施工 3 条探槽，TC26，TC28 均见到碎裂岩化角砾岩，金平均品位 3.86×10^{-6}，最高 13.42×10^{-6}，TC30 见碎裂岩化白云质灰岩，金平均品位 10.95×10^{-6}，最高品位 55.21×10^{-6}，3 个探槽见矿证实了工业矿体的存在，发现了归来庄金矿床。

经普查勘探，控制矿体长 500 m 以上，斜深超过 650 m，宽 0.7～21.3 m，金品位 1.51×10^{-6}～16.42×10^{-6}，平均 8.1×10^{-6}。1994 年 12 月提交了《山东省平邑县归来庄金矿勘探地质报告》，提交金储量 35.4 t 以上。平邑县归来庄大型金矿床的发现和开采，有力地推动了当地经济的全面发展。也将该地区的金矿找矿工作向前推进了一大步。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

山东仓上金矿

仓上地区地处滨海，第四纪沉积物厚度一般 10 m 以上，最厚达 60 余 m，为加强该地的金矿地质普查工作，寻找三山岛断裂带向西南延伸的分布位置，确定岩体地层分布情况，山东省地质局第六

地质队、物探队等地勘单位在1979年前曾做过多种方法的地质、物、化探工作，但由于覆盖深厚，地表低阻屏蔽作用强，工作效果不理想。为此山东省地质局第六地质队于1979年在该地区开展1∶1万磁测工作，工作面积约20 km^2。

磁测工作结果，发现2个特征完全不同的区域磁场，工区西北侧表现为平缓的低负磁场，磁场值为50～100纳特，为花岗岩的典型磁场特征，工区南东侧磁场表现为相互平行、轴向70°的条带状磁异常分布区，磁场值一般为－100～300纳特，为胶东群变质岩系的反映，胶东群中磁性层和无磁性层互层，其中较高的带状磁异常下为斜长角闪岩的反映，低负磁异常为片岩、变粒岩的反映。2种磁场的分界线清楚提示了岩体边界，在接触带处磁场有明显的降低趋势，表明岩石破碎，为构造带的磁场反映；在靠近接触带的条状异常之西端均有向S弯曲现象，表明了胶东群受压应力作用而被牵引的地质现象，与三山岛断裂同属左行压扭断裂，为三山岛断裂的南延部分。在磁场转弯及场值降低部位是蚀变矿化较发育地段，易于成矿，划定为金矿找矿远景区。

按照上述磁测及解释结果，部署验证孔6个，发现工业矿体。后经普查、详查、勘探评价为一大型金矿床，圈定大小金矿体31个，探明金工业储量＋远景储量30.5 t，矿石量675.110 4万t，平均金品位4.55×10^{-6}，其中1号主矿体金储量为30 t，占总储量的99%。矿床类型属破碎带热液蚀变岩型。仓上金矿现正开采，并为全国最大的露天金矿，日处理矿石2 000 t，年产黄金过3 000 kg。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

江西金山金矿

金山金矿是一处特大型变质热液型金矿床。矿体延伸稳定，品位中等，选冶条件好，现已成为江西省重要的黄金生产基地。该矿床位于江南台隆与钱塘坳陷接壤部位，产于赣东北韧性剪切蛇绿岩构造混杂带中。矿区赋矿地层为中元古界双桥山群第三岩组，是一套富含火山物质的浅变质岩系。岩浆岩以晋宁期和加里东期顺层变安山玄武岩为主，呈透镜状产出，与金矿体空间关系密切。控矿构造为缓倾斜推覆型韧性剪切带，总体倾向NE，倾角15～35°，在走向和倾向上呈舒缓波状起伏。金矿石为石英脉型和蚀变岩型；围岩蚀变有硅化、绢云母化、碳酸盐化和绿泥石化等。

金山地区历史上就有过大规模的采金活动。1979年4～7月，江西有色地质勘探四队普查组在硫磺矿至花桥一带33 km^2范围内，开展以金-铜找矿为目的的1∶1万地质草测和岩石地球化学测量，圈出了Cu，Pb，Zn，Au，As，Sb异常，从而拉开了本区新一轮找矿的序幕。

20世纪80年代以来，江西有色地质勘探五队，先后开展过物化探找矿工作，为矿区地质工作的深入和矿床规模的扩大，起了重要的指导作用。

1984年，江西有色地质勘探五队二分队在乐平—德兴地区开展1∶2.5万水系沉积物地球化学普查工作，完成面积608 km^2。自水车至西矿一带，圈出了14处以Au为主，伴有As，Sb元素组合的异常，认为是找金矿的一级远景区。

1987—1988年，江西有色地质勘探五队三分队在金山测区开展1∶2万的土壤地球化学测量工作，完成面积90 km^2。在金山地区，以w（Au）$>5\times10^{-9}$圈出了杨梅岭—西矿Au异常带，呈近EW向展布，且与控矿的韧性剪切带的分布范围基本一致，以w（Au）$>20\times10^{-9}$圈出的异常浓集中心主要有西蒋、石碑、金山口、金山林场、棉花山、西矿等10余处，异常元素组合以Au，As为主。各异常浓集中心清晰，Au最高含量在100×10^{-9}～200×10^{-9}之间，异常部位地表大多可见到金矿化体。

该项化探工作成果，显示了地球化学异常特有的指示意义，为江西有色地质勘查局1989年向国家黄金管理局申报金山地区40 t金储量承包勘查项目提供了重要的依据。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

广东河台金矿

河台金矿属多元热液作用蚀变糜棱岩型矿床，由高村、云西、尚台、后径、河海、太平顶、桃仔山及双保等若干个矿床组成，是中国南方目前发现的最大、最富的大型金矿区。

黄金地质研究所
信息室 提供

该矿区处于罗定—广宁断裂变质带与吴川—四会断裂变质带交会部位的北西侧。矿体受韧性剪切带控制，产于震旦纪混合岩化片岩、变粒岩、片状石英岩中，以高村矿床的Ⅶ号矿体规模最大，长1 400 m，最大斜深675 m，平均厚2.98 m，走向70°，向NW陡倾斜。矿石具强烈硅化、黄铁矿化，以细粒自然金为主。

1982年，当地农民沿隔水河淘金时，在过并村边打到脉金。1983年，广东省地矿局七一九地质大队根据高要县矿产公司反映的情况，随即前往踏勘，并组织力量迅速开展地质工作。

1984年3月，广东省地矿局组织重点项目检查组在现场检查时指出："化探要尽快进入矿区，用化探找脉金是会有成果的，化探要先行。"七一九地质大队便于4月在河台调查区开展了面积为1 888 km^2的1∶5万水系沉积物测量，圈出具找矿远景的异常15个，包括AS5（双保金矿），AS10（高村金矿），AS15（京村、葵坑金矿），AS16（绿水山金矿）等一批金矿床（点）异常。同年5月，接着开展面积为26 km^2的土壤地球化学测量工作，结果发现1条呈NE向，以Au为主，伴有Cu，Zn，Co的异常带。其中，Au与Cu关系最为密切，异常套合较好，而与Zn，Co异常仅为部分套合。该带以Au高含量为特征，最高值为1 502×10^{-9}；以8×10^{-9}圈定的异常，连续性好，长6.38 km，宽一般为100～200 m，最宽达360 m，面积达1.15 km^2。在该带的8个高值异常中，有5个与高村金矿床异常（Au20）相似，推断其中的Au17，Au18，Au19为中型矿床引起，Au21，Au22为小型金矿床引起。经验证，属大型金矿床引起的异常1个，中型金矿床引起的异常1个，小型金矿床引起的异常3个。从而扩大了高村金矿床的远景储量，并找到了尚台金矿床、桃仔山金矿床及一批金矿点，显示了化探在河台金矿区找金的重大作用。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

河南上宫金矿

上宫金矿位于洛宁县西山底乡。上宫金矿是一个以金为主伴生银、铅、碲、硫等矿产的大型构造蚀变岩型金矿床。矿区位于华北地台南缘，华熊台隆熊耳山隆断区花山—龙脖背斜的南翼。矿区地层为中元古界长城系下熊耳群中基性火山岩，主要岩性为安山岩类及英安质流纹岩类。岩浆岩有大面积的中基性火山岩、燕山期花山基性花岗岩体，其次有次玄武安山岩、角闪石英二长（斑）岩及霏细岩等。金矿体共74个，其中主矿体6个，矿体呈不规则脉状、长条状、透镜状赋存于NE向含金构造蚀变带内。主矿体长262～746 m，宽34～540 m，厚度0.98～2.76 m。矿石的工业类型为少硫化物含银碲-金矿石和少硫化物含银铅-金矿石。金的工业矿物主要为自然金、银金矿，次为碲金矿。围岩蚀变主要有铁白云石化、绢云母化、硅化、黄铁绢英岩化及绿泥石化等。

1956—1957年，河南省地质局秦岭区测队二分队在本区进行1∶20万区域地质测量，配有土壤测量及重砂测量手段，在上宫—西山底一带圈定出以金为主的重砂异常。

1978—1980年，河南省地质局第三地质队二分队完成熊耳山地区1∶5万水系沉积物测量并提交地质报告及有关图件，在本区圈出上宫6-Au，Ag，Pb，Zn甲级异常，面积23.5 km^2，推测深部赋存有具一定规模以金-银为主的多金属矿床。

1979—1980年，河南地质局地质三队一分队在洛宁南部进行1∶5万区域地质测量，圈出了金、铅、银Ⅰ级成矿区，并指出该区是找金、铅、银特别是金的有利地段，并找到了含金地质体（金硐沟断裂破碎蚀变带）。

1981年，河南省地质厅第一地质调查队二分队又在上宫地区水系沉积物异常区开展1∶1万土壤测量，认为属典型Au异常。

1982年，第一地质调查队十二分队对矿区进行普查，以槽探、浅坑和2个钻孔对异常进行验证施工，肯定了土壤测量所圈定异常系金矿体引起，估算金地质储量8.2 t。

1983—1984年，矿区进入详查，控制金储量15.8 t，肯定了矿区工业价值。

1985—1988年，完成矿区勘探，提交了勘探地质报告，探明可利用的金工业储量＋远景储量28 t，全区金平均品位6.89×10^{-6}。伴生有用组分远景储量：银71 t，铅5 013 t，碲18.3 t，硫32 045 t。

上宫金矿是熊耳山地区第一个大型构造蚀变岩型金矿，它的发现与探明是河南找金在类型上的重大突破，不仅对金矿找矿有指导意义，而且对改变洛阳市黄金生产形势，振兴地区经济有重大作用。

黄金地质研究所
信息室 提供

1987—1991年，上宫金矿250 t/d选厂建成投产，年产黄金500 kg以上，年产值达1 710万元。

1996年，选厂扩建为500 t/d，年产黄金1 500 kg，白银3 000 kg，年产值4 000余万元，经济效益很好。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

河南银洞坡金矿

银洞坡金矿位于桐柏山北麓，其大地构造属秦岭—大别造山带中段北秦岭构造亚带，行政区隶属河南省桐柏县朱庄乡。矿床位于围山城金-银-多金属矿带中段，河前庄背斜轴部倾伏部位。出露岩石为新元古界歪头山组一套浅变质岩系。岩浆岩有角闪石岩、闪长岩、黑云母斜长花岗岩、斑状花岗岩及正长岩脉、煌斑岩脉。

主要金矿体7个。最长的金矿体长达1 500 m，最大斜深超过440 m，一般厚度1.30～8.91 m。

含金矿物主要为自然金、银金矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等，蚀变主要为硅化、绢云母化等。

银洞坡金矿与破山银矿为同一成矿带。

1967年3月，地质部航空物探大队在本区进行过1∶5万航磁测量，并对异常做地磁检查。

1967年5月～1968年11月，河南省地质局物探队一分队在本区开展了1∶5万水系沉积物测量，圈定了银洞坡Ag，Pb异常。

1975—1979年，河南省地质局地质八队七分队对桐柏县围山城金-银-多金属矿带进行了1∶5万激电、化探详查工作，1980年提交了物化探详查报告。通过工作圈出了银洞坡激电异常，异常带长4.8 km，宽100～500 m，极化率6%～12%，推断为矿致异常；化探圈出的银洞坡异常带范围大，含量高，重叠程度好。Ag，Pb，Zn，Cu组合异常带长达1 750 m，宽50～450 m，面积0.44 km^2。异常强度Ag为3×10^{-6}～10×10^{-6}，Pb为50×10^{-6}～300×10^{-6}，Zn为300×10^{-6}～$3\,000\times10^{-6}$，Cu为100×10^{-6}～500×10^{-6}，化探异常中心与激电异常吻合性好，推断为矿致异常，并认为深部有盲矿体。

通过对岩石测量，银洞坡Ag，Pb衬值高达41和30，且Au与Ag，Pb共生，推测Ag，Pb，Zn，Cu组合异常部位有金矿体存在。

此间通过地质普查、详查，获金储量7.16 t，银59.9 t，铅5 470 t。

1984—1985年，地调三队七分队对矿区东段进行勘探，1989—1994年地调三队七分队对矿区西段进行勘探。

勘探期间物探工作进行了电测井、精测剖面；化探进行了1∶1 000土壤测量、岩石地球化学测量，提交了相应的物化探成果，完善了勘探成果资料。

银洞坡矿区东段加西段共探求可利用的工业+远景金储量56.263 t，银396.5 t，铅62 745 t，达大型金矿床。目前银洞坡金矿已成为年产500 kg黄金的大型矿山企业，为国家黄金储备及振兴地方经济做出巨大贡献。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

四川嘎拉金矿

嘎拉金矿位于甘孜县城南15 km处，公路通过矿区，交通十分方便。

该矿属于与中基性火山岩有关的构造蚀变岩型微细粒浸染型金矿。矿区位于甘孜—理塘断裂带北段，在岗嘎倒转背斜北东翼与扎拿卡—生康背斜南西翼之间的俄恩向斜核部。含矿地层为上三叠统曲嘎寺组上段，岩性主要有砂岩、板岩、结晶灰岩、千枚岩、白云（绢云）石英片岩等，并发育有基性火山岩。NW向的绒穹弄—庄果和扎拿卡—生康断裂横穿测区，区内次级断裂发育，岩浆侵入和喷发活动强烈。金矿体分布于安玄质凝灰岩中，与构造密切相关。矿石矿物有30余种，常见的有黄铁矿、毒砂、辉锑矿、自然金等。

1988年，四川地矿局物探队七〇二队进行的甘孜幅1∶20万区域化探扫面中发现了嘎拉Au，Sb异常。该异常呈半圆形，东部未封闭延入炉霍幅，异常面积20 km^2，元素组合有Au，As，Sb，Ag，Cu，Mo，W及Ni，Co等。Au平均值8×10^{-9}，极大值9.5×10^{-9}；As平均值58.1×10^{-6}，极大值62.3×10^{-6}；Sb平均值9.28×10^{-6}，极大值12.7×10^{-6}。各元素异常吻合较好，但Au异常强度并不高，而As，Sb和Fe族元素含量高，预

黄金地质研究所
信息室 提供

示与基性岩有关。由于该异常所处地质构造背景对成矿非常有利，交通又很方便，所以物探队对该异常十分重视。

1989 年，物探队进行化探异常Ⅲ级查证。经 1∶5万水系加密圈出南北 2 个异常。北部异常面积 1.2 km^2，Au 4×10^{-9}～12×10^{-9}，极大值＞500×10^{-9}；南部异常 4.5 km^2，Au 4×10^{-9}～26×10^{-9}，极大值 120×10^{-9}，有 3 个高值点。应强调的是这些异常的高值点并不是在大的水系中，而是在 2 个沟中发现的，这说明如果仅在较大的水系中取样，是发现不了高值点的，这是因为在高原地区地表偏酸性和偏还原的环境下金是流失贫化的。金的高值点的发现坚定了在该区找矿的信心。

1990 年，物探队又进行了化探Ⅱ级查证，进行了 1∶1 万土壤测量面积 11.25 km^2，发现 Au 异常带 8 个，异常带长 1 400～4 200 m，宽 100～200 m，规模很大。Au 20×10^{-9}～100×10^{-9}，极大值＞500×10^{-9}，Sb 极大值 $1\ 836\times10^{-6}$，As 极大值 $1\ 917\times10^{-6}$，元素异常值很高，但并未发现金矿体，这是上半年的工作。收队回来后，物探队又组织有关人员研究了新的资料，认为在这样的异常发育区是应该见到金矿体的，时间已是秋天，于是又第二次去嘎拉地区，异常区地表普遍见黄铁矿化转石，风化后大多呈褐铁矿，经地表追溯和探槽初步揭露，发现金-锑矿体 2 个，矿体长 163～1 150 m，厚 4.95～48.43 m，金平均品位 4.5×10^{-6}～12.78×10^{-6}，锑 2.89%。初步估算金地质储量 54.98 t，锑矿地质储量 3.2 万 t。1990 年 12 月，物探队提交的普查报告认为嘎拉地区有很大的找矿远景，可达大—特大型规模。

1991 年，物探队将矿区提交四川地矿局一〇八地质队进行普查评价。经详细工作圈定金矿体 28 个，分布于 NW 和 SN 向的 2 个矿化带中。NW 向矿化带长度大于 1 600 m，宽 20～50 m，发现金矿体 16 个，其中 V 号主矿体长 1 380 m，平均厚 7.63 m，平均品位 4.7×10^{-6}；SN 向矿化带长度大于 1 200 m，宽 22～50 m，其中Ⅰ号主矿体长 375 m，平均厚 11.84 m，氧化矿平均品位 9.14×10^{-6}，原生矿平均厚 5.25 m，平均品位 4×10^{-6}～21×10^{-6}，1987 年提交的普查报告仅氧化矿就已探明储量 12 t，嘎拉金矿已达大型。

已有资料表明，该矿开采和选冶条件良好，已给一〇八队和甘孜县带来了良好的经济效益，2000 年将建成年产“吨金”级的矿山。1998 年，由四川地矿局、四川省甘孜县、中国地质矿业总公司共同组建的四川中矿甘孜嘎拉金矿有限责任公司在成都成立，这不仅大大加快嘎拉金矿的开发步伐，而且对四川省黄金工业发展起到示范和推动作用。在发现和评价该矿过程中化探起到了决定性的作用。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

云南镇沅金矿田

镇沅金矿田分布于云南省中西部的哀牢山脉中段西坡，属镇沅县和平丫口乡，南东段部分属新平县建新乡所辖。由镇沅县城往东有 180 km 公路通达矿田，交通尚便。

镇沅金矿田处于扬子准地台与三江褶皱系结合部位西侧，夹持在哀牢山韧性剪切带与九甲断裂带之间。

含矿地层为上古生界浅变质岩系，包括上泥盆统、下石炭统，各分一、二 2 段，上三叠统一碗水组也部分含矿。矿体严格受 NW 向和近 EW 向 2 组断裂控制，容矿岩石为沿断裂带分布的蚀变超基性岩、玄武岩、云煌岩、花岗岩类斑岩及其破碎围岩。矿床类型属于构造蚀变岩型金矿床。

矿田自 NW 向 SE 分浪泥塘、老王寨、冬瓜林、搭桥箐、库独木 5 个矿段（床），共圈出 40 个矿体，其中规模最大的，长度为 1 000 m，最大延深为 500 m，厚度平均为 6.26 m，平均品位为 5.27×10^{-6}。

哀牢山北段金矿带尤其是老王寨以北，民间采金老硐较多，据新编镇沅县志推测，清朝咸丰年间，民间采金已较普遍。

1965，1973 年，通过区调工作已发现老王寨地区超基性岩体外接触带有金矿化显示。

1969 年，云南省地质局第十八地质队在铬铁矿普查中，在老王寨硅化碳酸盐化超基性岩内，获得 1 件样品含金 30×10^{-6}，在老王寨地区零星土壤金测量样品中也有含金显示。

1983 年 9 月，云南省地矿局第三地质大队派二分队普查组前往老王寨进行检查，经过对具金矿化的硅化、碳酸盐化、黄铁矿化超基性岩段的观察研究、追溯圈定和采样分析，确证了金矿化带主要赋存于蚀变超基性岩与围岩蚀变带中，金与微细粒

黄金地质研究所
信息室 提供

浸染状黄铁矿有关。经普查工作，发现了厚2.2～2.8 m，长大于100 m，单样平均品位3.1×10^{-6}和3.7×10^{-6}的Ⅰ号矿体。

1984年下半年，第三地质大队一分队根据上述成果转入普查，经地表揭露、追溯圈定，扩大了Ⅰ号矿体规模，并发现了Ⅱ号矿体，肯定了老王寨金矿具有工业价值。后来，在揭露1∶5万土壤化探异常时发现了Ⅲ号矿体。1986年底，在控制Ⅲ号矿体时，钻孔在揭穿矿体之后，于其下盘又揭露了Ⅳ号矿体。

1985年下半年，在老王寨矿段普查过程中，第三地质大队根据上述化探异常成果进行检查而发现了冬瓜林矿段。1987年上半年，圈出了上下2个矿带，长度为510 m和700 m，矿体地表倾向SW，倾角30～50°，矿体平均厚8.75 m和15.25 m，初步估算矿床远景可达中型规模。1987年，在矿体露头南西方向施工了4个普查孔，结果只见零星矿化，与地表矿体难以对比，后于矿段北东侧施工了1个孔，见到了SⅡ号矿群，初步证实矿体深部转为倾向NE。随后施工结果孔孔见矿，从而查明了冬瓜林金矿带深部倾向NE的可靠产状，为下一步详查打开了局面。

1985年，在浪泥塘，根据超基性岩的蚀变及褐铁矿、黄铁矿化特征，通过采样分析发现了Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ号矿体。1986年又发现了Ⅳ号矿体。同年1月施工1孔，于孔深100 m附近揭露了Ⅱ号矿体。

1986年，在库独木开展1∶1万化探异常检查中，于麻洋河谷的陡壁上发现了Ⅱ-1矿体的（毒砂黄铁矿化硅质板岩）露头，沿走向追溯控制及化探异常的检查揭露，扩大了Ⅱ-1矿体，构成了库独木矿段。

1987年，对搭桥箐的1∶1万化探异常进行地表检查揭露，发现了Ⅰ，Ⅱ号矿体的多处露头，并用探槽控制了240 m长的Ⅰ号矿体，初步确立了搭桥箐矿段。

1987年底，在比幅村附近发现矿化蚀变线索，经取样分析，含金0.86×10^{-6}。1988—1989年，通过1∶1万化探异常的检查揭露，发现了团山、比幅山、比幅村等矿体，形成了搭桥箐矿段，现已扩大为中型矿床。

1989年6月，在老王寨矿段详查尚未结束的情况下，建成了镇沅黄金公司50 t/d选厂，年底便生产出黄金37 kg，揭开了镇沅金矿开发的序幕。

为满足一期矿山建设设计需要，于1989年底提交了老王寨矿段1 713 m标高以上首采区中间储量报告。

摘自《中国矿床发现史·综合卷》

云南北衙金矿

北衙金矿位于鹤庆县北衙乡，矿区处于扬子准地台西南缘丽江台缘褶皱带鹤庆—洱海台褶束内。矿体主要产于喜马拉雅期碱性斑岩附近的中三叠统之碳酸盐岩层间破碎带内。矿石类型有铁帽型、褐铁矿化灰岩型。铁帽型矿石一般金含量1×10^{-6}～$1n\times10^{-6}$，最高70×10^{-6}；铁化灰岩型矿石一般金含量$0.n\times10^{-6}$～$n\times10^{-6}$，最高$1n\times10^{-6}$。是一个以金为主，共、伴生铅-锌、铁等接触交代型斑岩热液型矿床，目前已达中型，有大型规模的远景。

1957—1962年，云南地质局滇中地质队、十四地质队、物探队开展过区内铅-锌调查、铅-锌初勘和物化探工作，曾发现铅-锌矿体内部分样品含金，但未引起注意。1975年，云南冶金地质勘探公司物探队二分队为寻找铅矿做过物化探剖面工作。1981—1984年，武警黄金原第十二支队也曾开展过区内金-银矿普查工作，提交金远景储量1 880 kg。

自1988年起，西南有色地勘局三一〇队进行本区金矿普查、详查工作，曾先后2次向云南省黄金局承包黄金储量勘查，提交黄金储量3 368 kg。西南有色地勘局物探队也先后开展物化探找金试验工作，于1991，1992，1997年完成物化探剖面9 km，1∶1万物化探20 km^2，物探剖面6 km。工作结果圈定了万洞山地段小米地磁测、土壤、岩石异常，长1 000 m，宽200～400 m，推测异常为金矿引起，后经三一〇队在异常北东端施工的4801孔见到古风化壳金矿及破碎带金矿，大于1×10^{-6}矿体累计厚度达24 m。

1996年，云南地矿局三大队物探分队开展1∶20万鹤庆幅区化扫面，圈定了北衙—松桂面积大、浓度高的多元素异常群，Au异常尤为突出。1997年，三大队矿业公司检查异常时，于五里盘发现金矿体，经地表系统控制，矿体长800 m，厚0.6～9.3 m，单样金品位1×10^{-6}～7.76×10^{-6}。同年三大队物探分队在松桂检查异常时，在碱性斑

黄金地质研究所
信息室 提供

岩体内接触构造破碎带发现了金矿体，经工程控制长度大于 150 m，平均厚度 1.5～15.6 m，一般金品位 1.09×10^{-6}～2.70×10^{-6}。目前矿区仍在评价中，总体矿床规模已达小型，可望具中型。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

贵州省烂泥沟金矿

烂泥沟金矿是一个特大型的“卡林型”（微细浸染型）金矿床，是目前中国已发现的若干“卡林型”金矿床中的最大矿床。是一个在新的地区没有任何金矿找矿线索的情况下，用化探方法发现的。该矿床位于华南地块西部右江褶皱带的北西边缘，出露地层主要为中三叠统边阳组砂页岩，金富集成矿主要受构造控制，主矿体产于 NWW 向 F_3 逆冲断裂破碎带中。含金岩石主要为经构造破碎的铁白云质石英砂岩、粉砂岩、粘土岩。含金岩石中除已知不可见金外，肉眼可见金属矿物有黄铁矿、辰砂、雄黄、雌黄，非金属矿物有粘土矿物、石英等。围岩蚀变主要有硅化、黄铁矿化、毒砂化、碳酸盐化等。

1984 年，贵州地矿局物化探队用 1∶20 万区域化探扫面资料，以 6×10^{-9} 作异常下限，在黔西南地区圈出大批 Au 异常。烂泥沟位于一个大异常——赖子山异常的 NE 边缘，极值 37×10^{-9}，不十分明显。Au 异常上有 Hg，As，Sb 异常叠加。该队及时进行 1∶5 万比例尺水系沉积物测量，1985—1986 年，经 2 次异常检查，证实异常存在，且异常峰值较高，但由于异常检查范围太小，没有追溯到异常源，未能发现金矿。

1985 年，贵州地矿局区调队进行 1∶5 万乐园、洛凡幅区域地质调查时，做同比例尺水系沉积物测量，也发现烂泥沟 Au 异常，该异常在金的地球化学图上反映也不太明显。由于 Au 异常处于岩溶区与非岩溶区交界线附近的非岩溶区一侧，采用分子区统计背景值及异常下限，确定非岩溶区异常下限为 3×10^{-9}（岩溶区为 18×10^{-9}），致使烂泥沟异常在异常图上非岩溶区一侧有比较突出的反映。1986 年，该队进行异常检查，追到了异常源，发现异常为含辰砂和雄黄的微细粒金矿所引起。采样 51 件，其中大于 1.5×10^{-6} 者 12 件，最高 13×10^{-6}，同年 10 月挖探槽 8 条，揭露结果认为矿化层厚 71 m，一般 23～45 m，含金矿化体厚 22 m，一般厚 10～17 m，认为矿体大致沿层间破碎带呈 NNW 向延伸，发现了烂泥沟金矿。

1987 年，贵州省地矿局将烂泥沟金矿交一一七地质队进行普查，按推测的 NNW 矿带延伸方向挖槽，见矿率很低。与此同时该队进行 1∶1 万比例尺土壤测量，为争取时间，采用测量沿山脊布基线，罗盘定测线方向，用特征地物目测定点的方法布点采样，很短时间做了 4 km^2。迅速圈出了几个 Au 元素浓集中心，发现与已知矿体吻合的最大的浓集中心强度很高（极值＞$1\ 000\times10^{-9}$），且浓集中心不是 NNW 向，而是呈近 EW 向延伸，同时地质人员也追溯到呈近 EW 向延伸的断裂蚀变带，将探槽转为垂直于近 EW 向布置，且布于 w（Au）＞320×10^{-9} 的浓集中心上，多数探槽见矿。异常浓集中心反映了大致呈 EW 向延伸的主金矿体。此外，根据 1∶1 万土壤测量所圈异常及地质追溯，在外围还发现了一些新矿体，扩大了矿区远景。

经过一一七队几年的普查、勘探工作，已施工钻探 35 000 m，坑探 2 000 m，槽探 50 000 m^3，控制主矿体露头长 650 m，陡倾，向下延深 400 m 以上，厚度一般 10～26 m，最薄处 0.69 m，最厚达 45.7 m，工程平均品位 1.61×10^{-6}～12.09×10^{-6}，单件样品最高品位 40×10^{-6}，矿床平均品位 7×10^{-6}。现工程控制矿体（勘查深度）垂深约 400 m，探明磺厂沟矿段金工业＋远景储量已超过 60 t（经省储委审批），普查储量 25 t，其远景可在 100 t 以上。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

贵州老万场金矿

老万场金矿地处扬子陆块西南缘，碧痕营穹隆南部。出露地层主要有下二叠统茅口组灰岩、上二叠统峨眉山玄武岩和龙潭组含煤碎屑岩、第四系等。金矿体分布于 NE，NNE 向落水冲、安谷断裂两侧的喀斯特谷地或谷坡中，赋存于第四纪含硅质砾、砂质粘土中。该矿为贵州新发现的新类型金矿，具有氧化程度高、埋藏浅、适于露采、易堆浸、回收率高等特点。

黄金地质研究所
信息室 提供

本区是著名贵州大厂大型锑矿的产出地。地质勘查工作始于20世纪50年代初期，研究程度相当高。区内找金工作始于20世纪80年代初。1980—1981年，贵州地质局物探大队完成该区1∶5万水系沉积物地球化学测量工作，圈定了大厂—老万场地区As，Sb等元素异常，进而在异常区采用100 m×20 m网度，完成土壤测量1.2 km^2，发现水系沉积物中最高金含量2×10^{-6}、土壤样品中含金最高5×10^{-6}。当时因工作的主导思想集中于原生金矿上，从而使该区含金线索仅停留在异常的重现性解释而未能进一步工作。

1981—1985年，贵州地质局区域地质调查大队完成该区1∶5万区域地质矿产调查，但找金工作重点也局限于区内主要含锑、金的“大厂层”或峨眉山玄武岩的第一段，沿该层露头线大致以1 km间距进行了系统的探槽揭露，发现原生金矿（化）点8处，但该层中原生金矿体形态变化大、连续性差、品位变化大，均不具工业开发意义和经济价值。

贵州地矿局物探大队于1985年完成黔西南地区1∶20万水系沉积物测量，认为老万场地区所属的大厂Au异常具有全省面积最大（异常面积186.4 km^2），强度较高（峰值122.5×10^{-9}），浓度分带明显，浓集中心突出，且发育有As，Sb，Hg，Ba，Mo等10余种元素组合异常等特点，因而具有找金前景。再次检查过该异常，囿于主导思想仍集中于寻找原生金矿上，虽发现土壤中的高含金量样品，只将其视为高浓度“次生晕”而未将其视为“矿”而中止勘查。

1992年，贵州地矿局地球物理地球化学勘查院在区域化探资料的二次开发中，进一步认为该区金等成矿物质来源丰富，在表生作用过程中微细浸染型金矿可能存在由局部富集金向次生富集金的演化可能，决定重新解剖、查证大厂Au异常。1992年，该院首先抽取异常南部浓集中心地带的区域化探单样进行分析，发现老万场地段水系沉积物单件样品Au含量大幅度提高，且Au的高含量范围集中于1983年土壤测量圈出的异常区，遂于同年10月派二分队在原土壤样品含量较高地段施工探槽2条，其中TC1号探槽长63 m，连续刻槽采取的土壤样品除1件含金1.25×10^{-6}外，其余均大于3×10^{-6}，最高Au含量达12.6×10^{-6}、平均含Au3.88×10^{-6}，从而掀开了老万场金矿的崭新一页。

经几年的普查、详查，至1997年底，老万场金矿已累计探明远景储量25 877.7 kg，其中老万场矿段可利用远景金属储量6 103.01 kg（经地矿局审查验收），平均品位3.01×10^{-6}，最高品位20.39×10^{-6}，平均厚度10.99 m，最大厚度60 m。该区5年来已累计生产成品金1 t以上，黄金开发已成为晴隆县地方经济发展的支柱产业。继老万场金矿发现之后，贵州的盘县特区、云南的富源县等地区均先后发现相似的“红土型”金矿。它们都是在类似地质背景上用1∶5万，1∶1万土壤测量方法发现的。

老万场金矿的成功发现最重要的启示就是在已经做过多次勘查、地质工作程度较高地区，仍然具有重要矿床发现的可能性，只有坚持不懈地发挥化探理论和方法技术的作用，不断解放找矿思想，才能在地质找矿上取得新发展、新近展和新突破。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

陕西双王金矿

双王金矿系一特大型低品位由含铁白云石胶结的角砾岩型金矿床。

矿床位于秦岭褶皱系南秦岭印支褶皱带的凤县—镇安褶皱束西段。出露地层为泥盆纪浅变质—碎屑岩。矿床与断裂和深源碳酸盐岩浆热液有关的角砾岩有关。

1959年，秦岭区测队在开展佛坪幅1∶20万区测时，发现艾蒿沟—九平沟—庙沟黄金重砂异常；1965年，陕西省地质局第三普查队对该异常检查时发现了双王金矿化带，所取样品含金0.04×10^{-6}～0.59×10^{-6}，最高为0.89×10^{-6}。三普在普查报告中指出：“关于金的分布和富集规律目前尚无足够的资料说明”，但因未发现有金的高含量点和金矿化体而终止了工作。时隔10年之后的1975年春，陕西省地质局第三地质队四分队在该带西段测制地质剖面时首次发现含金品位33×10^{-6}的矿石，随即又发现了长度大于20 m，宽7 m，平均品位达8.56×10^{-6}的金矿体。从1976年开始对双王含金角砾岩带展开了全面深入的地质普查找矿工作。

在全面开展对含金角砾岩带普查评价的同时，于1980年前后，由陕西省地质局物化探队在开展

黄金地质研究所
信息室 提供

秦巴1∶20万区域化探扫面中，以含Au 2.9×10^{-9}为异常下限，以5.6×10^{-9}和11.2×10^{-9}为中内带，在此区圈定了一个规模很大的Au异常带。1984—1985年，陕西省地矿局第三地质队一分队在双王金矿区及外围开展了1∶5万水系沉积物测量，以金含量15×10^{-9}为异常下限，沿双王角砾岩带圈出了EW长约37 km的异常带，从西向东依次有HS Au1，HS Au5，HS Au13，HS Au12，HS Au20等异常分布。在这些异常中，除HS Au5反映双王已知矿体外，HS Au12，HS Au1和HS Au13异常，位于矿带延长线上或其附近。其中HS Au12异常面积5.8 km^2，极大值340×10^{-9}，具内、中、外分带特征。经第三地质队一分队、五分队分别于1987年和1995年2次对该异常开展的检查并通过1∶1万土壤地球化学测量和地质剖面踏勘，圈出了与异常带展布一致的钠长石化蚀变带5条，长2.5～3 km，宽10～30 m，并在其中3条蚀变带中发现了与双王金矿相同的含金角砾岩露头，金含量1.04×10^{-6}～1.76×10^{-6}，具良好的找矿前景；HS Au1号异常面积1.8 km^2，Au最高含量47×10^{-9}，经第三地质队四分队1995年地质追溯和槽探揭露，发现了宽5～10 m，长度大于1.5 km的钠长石化蚀变带，探槽中已见有1.3×10^{-6}～1.38×10^{-6}的含金地段；HS Au13号异常面积0.6 km^2，极大值58×10^{-9}，该异常经第三地质队总工办1995年踏勘检查，圈出3条含金碳酸盐岩脉，宽10～20 m，断续长1 500 m，脉体含金1.78×10^{-6}，最高达5×10^{-6}。有一定找矿潜力。

太白双王含金角砾岩带目前已圈定出5个地表断续分布的角砾岩体，长11.5 km，宽数十m至数百m，呈NW向延展，以分水岭为界分东西2段。以含金1×10^{-6}为边界品位，已圈出矿（化）体24个，其中西段20个，东段4个。区内主矿体（八号矿体）分布于东段，长度大于578 m，平均厚度为34.42 m，垂深大于300 m，矿石平均含金3.08×10^{-6}。主要金属矿物为黄铁矿，非金属矿物为钠长石、含铁白云石等，贵金属以自然金为主。该区已探明为大型金矿床。

由上可见，区内1∶20万和1∶5万水系沉积物测量所圈定的以Au为主的化探异常，为双王金矿的全面普查评价和扩大矿床远景起到了重要的指示作用。对双王金矿东西延伸带上的Au异常应加强查证，深入工作，可望再有新的发现。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

陕西马鞍桥金矿

马鞍桥金矿为一大型构造蚀变岩型金矿床。已圈定矿体20多个，其中工业矿体10个，矿体长400～900 m，厚1.8～3.9 m，呈似层状，平均品位4.75×10^{-6}。主要金属矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿等。矿床位于秦岭褶皱系北秦岭加里东褶皱带与礼县—柞水华力西褶皱带接触带南侧，商丹断裂带西延部分从矿区北侧通过，控制成矿的厚畛子—营盘韧性剪切带即为其分支。赋矿地层为上泥盆统桐峪寺组上段斑点状黑云母石英片岩及各类糜棱岩。围岩蚀变主要有绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、黑云母化和硅化。与矿化有关的为燕山期香沟岩体。

该矿床是通过查证区域化探异常发现的。1985年，陕西省地矿局物化探队利用1∶20万区域化探资料编制了《陕西省南部泥盆系1∶10万金元素异常图》，在马鞍桥一带圈定出HS 31金异常，面积达62 km^2，异常有多处浓集中心，具内、中、外带浓度分布特征，指出该区找金前景很好。1986年，陕西地矿局第八地质队二分队对该异常进行Ⅲ级检查，以马鞍桥一带浓集中心（HS 31-4）异常为重点，开展了1∶5万水系沉积物加密测量，以进一步圈定异常，并进行地质化探剖面测量和追溯。当年上半年就在汪家山沟发现金含量达1.13×10^{-6}的黄铁矿化、硅化白云质大理岩，追溯矿带长50 m。下半年又在板房子河西侧发现金含量为1.11×10^{-6}～5.81×10^{-6}的片理化黄铁矿化千枚岩含矿层位，在长100 m剖面中圈出4层含金层位。至年底经地表追溯和少量槽探工程揭露，采样分析，已控制含矿构造带长近千米。实现了化探异常当年检查当年见矿。

1987年，该队开展了化探异常Ⅱ级详查，经1∶5万水系沉积物测量，进一步圈定出Au18，Au17，Au16，Au15等异常的基础上，以马鞍桥一带Au18异常为重点，开展了1∶1万土壤测量12.5 km^2及地质化探剖面测量，圈定出8处以Au为主的多元素化探土壤异常。这些异常大都分布于石炭系与泥盆系呈断层接触的片理化带部位，EW向长达4 500 m。其中Ht4异常强度高，规模最大，长2 200多m。与此同时，以1∶1万地质草测、槽探工程等手段对异常进行系统检查，查明金

黄金地质研究所
信息室 提供

矿带长4 200多m，宽90～150 m，初步圈出金矿体27个。

1988年，对马鞍桥Au异常（Ht4-2）进行化探异常Ⅰ级工程验证，安排6个钻孔，2个平硐。在坑道和钻孔中开展了少量岩石测量，对矿体追溯和寻找盲矿体有一定指导作用。经对异常Ⅰ级工程验证，钻孔和坑道见矿良好，同年，马鞍桥金矿转入普查，对矿带进行地表工程加密，用坑探和钻探对矿带东段和中段重点进行深部控制。1991年底，提交了《陕西省周至县马鞍桥金矿普查报告》，肯定了马鞍桥金矿的工业价值，矿床规模可达中型。1992年，又对该矿床东段异常区投入了钻探、坑探、槽探等综合勘探工作。1994年2月，提交了《陕西省周至县马鞍桥金矿床东段地质勘探报告》。该矿床远景规模可达大型。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

甘肃大水金矿

甘南藏族自治州西倾山一带地质构造独特。石炭系、二叠系、三叠系等浅变质的碎屑岩、碳酸盐岩构成一个向W倾伏的复式背斜，其南翼见有印支期中酸性岩株侵入，断裂发育。总体构成向南突出的弧形，形成一个EW长约50 km，SN宽约20 km的构造窗。在进行区域化探扫面前，除发现2个贫赤铁矿化点外，区内还基本属矿产空白区。

碌曲幅1∶20万区域化探于1985年完成，在西倾山一带圈出Au，As，Ag，Sb，Hg等低温元素为主的综合异常，但异常强度不高，连续性也不甚好。Au的最高异常在忠曲一带，其峰值也只有7.4×10^{-9}，位于一个印支期中性小岩株的南面。

“七五”期间，金矿地质开始升温，甘肃省地矿局第三地质队经过分析研究认为，西倾山地区具有形成微细粒型（卡林型）金矿的地质背景。当时，他们刚好拿到碌曲幅的区域化探成果，于是先对忠曲Au异常进行查证。按工作程序，完成了1∶5万水系到1∶1万土壤异常的进一步定位和浓缩。接着对土壤Au异常进行槽探验证，但槽子挖开，肉眼见不到任何矿化现象，采化学样无从着手，等到大队下到分队验收时，才指示全槽采样。分析结果却出人意料，金品位高达5×10^{-6}～8×10^{-6}，含矿岩石竟是发红（赤铁矿化）的白云质碳酸盐岩。异常查证结果，不仅找到了金矿，而且发现了一种新类型的金矿（开放、氧化环境下的岩浆期后热液金矿床）。忠曲金矿目前控制规模为中型，但它的发现起到了引发西倾山地区金矿勘查重大突破的作用。

忠曲金矿的发现使三队信心大增，也取得了一些在该地区找金矿的经验。1990年，他们对忠曲东南约6 km处大水军牧场北面的低弱Au异常（1∶20万峰值仅3×10^{-9}，也正好在一个比忠曲大一些的中酸性小岩株的南侧）进行踏勘检查，很快就见到与忠曲金矿石类似的大量转石，随即在转石分布较密集地段采集拣块样数十个，分析结果大部分样品金含量8×10^{-6}～10×10^{-6}或更高。次年，再做1∶1万土壤和地质草测，随后对异常进行槽探、硐探、钻探验证和地质评价。经几年地质工作，已控制矿床达到大型规模。地质三队随即与地方联合进行开发，经过短短3年发展，已成为甘肃省最大的黄金矿山和甘南少数民族地区经济及该队地勘经济的支柱。

同时，第三地质队十分重视异常查证中的基础化探工作，先后开展并完成了西倾山地区的1∶5万水系沉积物测量，约800 km^2，以及重点异常地段的1∶1万土壤测量近100 km^2。已发现的大水、忠曲及其他几个金矿（点）均分别位于1∶5万异常内，并大都是通过1∶1万异常验证发现的。近几年，异常查证继续，年年都有新发现，显示该地区（矿田）金矿远景应在超大型以上。

区域化探及其异常查证在该金矿田中起关键作用，在地质普查、详查阶段，化探在矿体追溯、定位、扩大矿床规模等方面也起重要作用。异常查证一般应依1∶5万→1∶1万→工程验证的程序进行，但条件有利时也可跨越阶段，争取尽早见矿（如大水）。不过，1∶5万和1∶1万是异常查证的基础性工作，早期跨越了，后期也最好补上，这样才能减少后续地质工作和工程验证的盲目性。该区还做了1∶20万区域重力及高精度地面磁测，它们对划分区域构造，判断隐伏岩体等方面发挥一定作用。矿区还做过少量大比例尺高精度地面磁测等工作，实践证明，物探可以追溯控矿构造，探查与金矿关系密切的岩脉，等等。但由于经费等原因，物探的作用在该区还未能得到充分的发挥。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

黄金地质研究所
信息室 提供

甘肃金山李坝金矿

李坝金矿位于甘肃省礼县西北李坝村。该矿为20世纪80年代中后期通过化探普查发现的一个大型金矿。

1985年，甘肃省地矿局化探队承担并完成了天水幅1∶20万区域化探测量。发现图幅西侧李坝一带异常最好，Au异常面积达192 km^2，浓集带强度达40×10^{-9}以上，整个综合异常元素组合十分复杂，有Au，Ag，As，Sb，Pb，U，W，Sn，Bi，Be，Th，Nb，Li，Zr，Y，La，Na，K等，还有Cr，Ni，Co的负异常。Au，Ag，As，Sb等异常套合好，位于异常区的北部及东部，Au出现在东南部，Pb异常较零散分布在西半部，W，Sn，Bi，Li及其他元素主要在异常区南部，且互相套合较好，整个综合异常的面积达到400 km^2以上，堪称典型的“高、大、全”异常。在该综合异常中，除Au，Ag，As，Sb外，其他元素（包括负异常元素）都基本位于南侧的中川花岗岩体内部或接触带附近，为岩体的地球化学反映。该岩体富含W，Sn，Bi，Li等微量元素（没有Mo），反映了典型酸性岩体的地球化学特征。Au，As，Ag，Sb等在岩体内基本为背景含量，其浓集带围绕岩体北侧和东侧，距岩体1～5 km。发现该异常以后，甘肃省地矿局立即指示在这一带做砂金普查的第一地质队查证该异常。由于当时只做了简单地质踏勘，采了一些样品，虽有几个样品达到2×10^{-6}以上，却未引起重视而暂时搁置起来。

从1980年开始，甘肃有色地勘局五队（物化探队）对西秦岭锑-汞成矿带、铅-锌成矿带及构造-岩浆岩带开展了1∶5万分散流普查。1984年，在岷县—礼县构造-岩浆岩带3 000 km^2测区进行1∶5万分散流普查。当年分析了Cu，Pb，Zn，Co，Cr，Ni，Sb，Hg，As等12个元素。1985年，对Au，Ag元素进行分析，检出限为0.1×10^{-9}，报出限为1.0×10^{-9}。通过分散流普查，在中川岩体南北两侧发现了2条Au，As，Sb，Ag，Hg及Cu，Pb，Zn综合异常带，20余处异常区。其中，在岩体北东侧原舒家坝组中发现李坝异常区，Au异常面积15 km^2，As异常60 km^2，Sb，Ag异常分别为6.1，5.2 km^2，Au极大值为96×10^{-9}，平均值17×10^{-9}，共有73个异常点。在岩体南侧外接触带的西汉水地层中发现了金山As，Au，Sb，Hg异常区，Au异常面积8 km^2，Au极大值182×10^{-9}，平均值35.2×10^{-9}，异常点40个。1985年11月20日，在白银三队召开的甘肃有色地勘局地质工作会议期间，天水五队汇报了上述情况，并分析上述2个异常处于成矿较为有利的构造位置，金山处于高桥—礼县大断裂北侧及中川岩体南侧接触带地层中，李坝处于该大断裂礼县—锁龙口分支断裂带上及中川岩体北侧外接触带。为加快异常评价速度，决定采用沟系次生晕方法进行试验。

1986年3月，在金山进行1∶2.5万沟系次生晕测量10.5 km^2，李坝进行48 km^2。4月底，根据金山测区Au分析成果发现8个异常浓集中心，其中含量为0.4×10^{-6}的高值点14个，大于0.4×10^{-6}的点有4个，最高达18×10^{-6}。5月进行了地球化学原生晕剖面测量，发现高值点均为近地表沟系中的金矿（化）体引起，经地表工程揭露，在中泥盆统西汉水组碎屑岩中的断裂破碎带中发现金矿（化）体9条，7条为表内，2条为表外，并进行系统的1∶5 000地质填图，1987年交由三队勘查，发现30，19-1，19-2号为主矿体，到1995年控制储量达25 t，为大型矿床。并发现了平沟、竹园沟、峰崖等一系列金矿床（点）。

根据李坝测区1∶2.5万沟系次生晕发现Au，As，Sb，Ag异常浓集中心（$Au>50\times10^{-9}$）48处。$Au>400\times10^{-9}$的点有89个，Au极大值为3.58×10^{-6}，经地表检查在15个浓集中心发现了在中泥盆统李坝群褪色化斑点板岩中的规模较大的矿化破碎蚀变带，经地表工程揭露发现了5，6号2个主矿体，于1988年交由二队进行勘查，开展系统的1∶1万—1∶2 000地质填图和地表工程揭露，5号矿体及下盘平行矿体组成5号金矿床，到1994年普查储量达25 t。6号矿体及平行矿体组成6号金矿床，普查储量达17 t以上，并在外围发现了王河金矿床、杜家沟金矿床、瓦屋沟金矿床、赵沟金矿床、姜坪金矿点、大青刚金矿点、石硐沟金矿点、包山金矿点等。1999—2000年赵沟金矿床已控制普查储量达16 t以上，全区已控制普查储量60 t，远景储量可达100 t以上，形成岷礼金矿带。

李坝金山金矿的发现是在区带地球化学普查的

黄金地质研究所
信息室 提供

基础上，经过异常筛选，并通过1∶2.5万沟系次生晕测量发现浓集中心的。浓集中心多为沟系中出露的“微矿化蚀变”露头引起，通过对沟系异常浓集中心进行地表工程评价发现了矿体。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

新疆阿希金矿

阿希金矿是一个以金、银为主的大型中—低温火山期后热液型金矿床。矿床处于博罗科努地槽褶皱带博罗科努复背斜西段的吐拉苏石炭系断陷盆地内。出露地层主要为下石炭统大哈拉军山组火山-火山碎屑岩建造和阿恰勒河组正常碎屑岩建造。金矿床主要赋存于下石炭统大哈拉军山组中酸性火山熔岩和火山碎屑岩中。矿区构造以断裂为主，矿床严格受近SN，NWW向2组次级断裂控制。金属类型以石英脉型为主，其次为蚀变英安岩型；围岩蚀变主要有黄铁绢英岩化、硅化、粘土化以及绿泥石化、碳酸盐化、叶蜡石化和高岭土化等。金属矿物主要为黄铁矿、白铁矿、毒砂，次为银金矿、自然金、黄铜矿等。

1985—1986年，新疆地矿局第一区域地质调查大队三分队在L-44-XXXIV（赛里木湖）幅进行1∶20万水系沉积物地球化学测量时，以Au 5×10^{-9}为异常下限，圈出一批Au化探异常，其中阿希（卡占奇HS-19）Au异常呈椭圆形，分布面积约36 km^2，Au最高含量大于500×10^{-9}，平均含量为104×10^{-9}，有3个明显的浓集中心，其元素组合为Ag，Hg，Cd，Cu，Pb，Zn等，经全区异常筛选认为阿希（HS-19）Au异常最为显著，具有良好的找矿前景。

1987年，第一区调大队三分队在该异常区内50 km^2范围内分别采用1∶5万水系沉积物地球化学测量（采样密度为6个/km^2）和线距500～700 m，点距300～500 m网度的岩石地球化学测量对其进行加密检查，不仅证实了阿希Au异常客观存在，而且2种方法圈出的Au异常基本吻合。其中岩石测量把阿希（HS-19）Au异常分解为东、中、西3个Au子异常，以Au-1子异常规模最大，面积12 km^2，Au最高含量$1\ 600\times10^{-9}$，有3个明显的浓集中心，并伴生有Ag，As，Sb等元素异常。通过本次检查缩小了异常范围，在地表发现了2条黄铁矿化蚀变带，同时筛选出11个重点找金地段（金高含量地段）。

据此，新疆地矿局1988—1989年决定在该区开展1∶5万区域地质调查和普查找矿工作，重点对Au异常进行检查评价，寻找金矿。本次工作由第一区调大队四分队承担。主要采用地化综合剖面、槽探、1∶1万和1∶5万地形地质草测、野外金快速分析等方法，以上述3个Au子异常区和11个金重点找矿地段（金高含量地段）为重点找金突破对象，进行地表检查评价工作，结果发现了10条金矿脉，其中AX-1号金矿脉（阿希1号）初具规模，地表控制长度280 m，最大厚度41.11 m，平均厚度19.55 m，金平均品位15.27×10^{-6}，最高品位337.64×10^{-6}，银品位一般10×10^{-6}左右。求出金D+E级储量31.275 2 t，远景储量约50 t。基本肯定了该金矿为一大型金矿床，证实了该异常为矿致异常的结论。

1989年，阿希金矿转入勘探工程验证阶段，由新疆地矿局第一地质大队组织实施，经槽探、坑探和钻探等工程验证，金矿体在120 m深度以下厚度、品位变化稳定，确认了AX-1号金矿的浅部规模。从而认为是一个中型以上的金矿床，1990年控制金储量27 t，1991年提交金储量37 t。1992年国家黄金管理局和自治区黄金领导小组核准建设阿希金矿的初步设计，1994年阿希金矿建成投产，露天采矿能力为600 t/d，选矿能力为750 t/d，年产黄金3万余两。

需要说明的是，从1∶20万区域化探扫面到异常查证到阿希金矿床的发现仅用了3年时间，是区域化探找矿中的一个典型实例。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

新疆萨瓦尔顿金矿

萨瓦尔顿金矿为一个以金为主，伴生锑、银等的蚀变岩型矿床。金品位低（平均2×10^{-6}），含砷，矿石储量大。该矿床位于南天山冒地槽褶皱带之东阿赖复向斜西翼，西南天山东阿赖金、锑成矿

黄金地质研究所
信息室 提供

带中。矿区出露地层主要为中泥盆统阿帕达尔库组，萨瓦尔顿组变质砂岩、碳质绢云母千枚岩、灰岩、硅质岩等，其中变质砂岩和炭质千枚岩与金、锑矿化关系最为密切。断裂和褶皱发育，呈NE向展布，矿化蚀变带受其控制。矿石类型主要为蚀变岩型和石英脉型；围岩蚀变主要为硅化、黄铁矿化、毒砂化、辉锑矿化、绢云母化和碳酸盐化等。

1984年以前，区内仅开展了1∶20万地质调查，发现了少量铅矿点和五瓦含金黄铁矿方解石细脉，含金最高17.4×10^{-6}；1984年，新疆地矿局第二地质大队在五瓦、萨瓦尔顿开展了1∶20万区域化探扫面采样方法试验。

1985年，新疆地矿局第二地质大队在萨瓦尔顿地区开展非正规1∶20万水系沉积物地球化学测量时，圈出各类综合异常19处，其中萨瓦尔顿Au，As，Sb综合异常面积为25 km^2，金平均异常强度为16×10^{-9}，最高为61.7×10^{-9}，元素组合复杂，在全区排序第一。

1986年，该队对萨瓦尔顿Au异常进行了1∶5万水系沉积物地球化学测量和岩石剖面加密检查，采水系沉积物样68件，岩石样180件。1∶5万化探异常面积约12 km^2，Au，Sb，As等元素含量大幅度提高，其中Au最高含量可达520×10^{-9}，各元素异常套合好，浓集中心一致；岩石剖面直接布置在1∶20万化探异常中心并穿过Ⅱ，Ⅳ号矿体，金最高含量69×10^{-9}，未取得找矿进展。

1987年，由该队在异常中心1.2 km^2范围内，采用1∶5 000地质填图、点距5 m的岩石地球化学剖面和槽探等方法继续对该异常进行查证，发现区内石英脉非常发育，圈定原生Au异常4处，金含量大于0.1×10^{-6}的样品4件，最高为0.545×10^{-6}，初步认为异常与断裂破碎带和石英细脉有关，但由于地表覆盖较普遍，未取得找矿突破。

1988—1990年，国家“305”项目办公室又在该地区进行正规1∶20万区域化探扫面，重新圈定了萨瓦尔顿Au，As，Sb综合异常，并对其进行了岩石地球化学剖面检查，剖面通过了萨瓦尔顿Ⅰ，Ⅳ号金矿化蚀变带，但由于Au异常强度较低，未引起足够的重视，再次丢失了矿床发现的机会。

1993年，第二地质大队二次资料开发项目对萨瓦尔顿地区化探异常重新分析，调整了工作思路和工作方法，再次对该异常进行详细查证，并配备金野外快速分析设备。通过对上述1∶5万Au异常浓集中心1.6 km^2范围进行1∶1万土壤地球化学测量，圈出了3个Au异常带，浓集中心和浓度分带明显，Au异常强度大幅度提高，其中大于100×10^{-9}的样品20件，最高大于$1\ 500\times10^{-9}$。通过地表异常追溯和槽探揭露，终于发现了Ⅰ号金矿化蚀变带。自此该区金矿找矿才取得突破性进展。

1994—1995年，第二地质大队开展了27 km^2的1∶2万土壤地球化学测量，采样密度200 m×80 m，圈出了大量Au，As，Sb，Bi，Hg等单元素异常，各元素异常套合较好，且均沿构造破碎带呈片状或带状分布，其中具明显浓集中心和三级浓度分带的Au异常14个。对上述异常通过地质踏勘、1∶1万地质填图和槽探揭露等手段进行检查，相继发现了包括Ⅳ号矿床在内的23条金矿化蚀变带。除Ⅲ，Ⅹ号矿化带外，其余21条金矿化带均与已知Au，As，Sb异常相吻合。经过异常查证，使该区金矿找矿取得了全面突破，初步明确了萨瓦尔顿金矿床的远景。

1997年，新疆地勘局物化探大队、成都理工学院分别在矿区开展了高精度磁测、甚低频电磁法方法试验，矿化蚀变带位于磁异常变化带和局部磁异常上并具有低阻显示，通过对该异常检查评价发现了一些矿化线索。

萨瓦尔顿Ⅳ号金矿床，控制矿化带长2 580 m，厚度0.96～38 m，平均厚16.8 m，斜深300 m，金品位0.13×10^{-6}～14.17×10^{-6}，最高14.17×10^{-6}，平均2.13×10^{-6}；锑与金共生，控制锑矿体长300 m，斜深300 m，视厚度1～15 m，品位0.71%～3.53%。

萨瓦尔顿Ⅰ号金矿床，控制矿化带长1 810 m，宽0.8～21.23 m，平均宽7.2 m，最高品位7.56×10^{-6}。

萨瓦尔顿金矿从1985年1∶20万区域化探发现金异常线索，到1993年发现Ⅰ号金矿化蚀变带和1994年金矿找矿的全面突破，历时9年，其间仅1∶20万区域化探扫面就有2次，并且均圈出了萨瓦尔顿Au，As，Sb综合异常，并对其进行1∶5万水系沉积物地球化学测量、地球化学剖面，1∶1万土壤地球化学测量、路线地质、地质草测等多次不同层次的检查评价工作，经过反复认识和查证最终发现了金矿体。该矿具有正反两方面的经验和教训，是区域化探找矿工作最为典型的实例。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

黄金地质研究所
信息室 提供

福建紫金山铜-金矿

紫金山铜-金矿田位于福建省上杭县城北10 km处，面积40多km^2。

矿田位于闽西永梅坳陷西南，上杭—云霄深断裂带与宣和复式背斜交会部位，以紫金山北西矿段潜火山中低温热液硫酸盐型铜（金）矿——紫金山式这一独特矿床类型著称，还存在着与之有成因联系的斑岩型铜（钼）矿床和中低温热液型铜-金矿床以及低温火山-次火山热液型银-多金属矿床。由南至北有碧田银-铜-金矿床、紫金山铜-金矿床北西矿段、五子骑龙铜矿床等3个中型以上的矿床和10多个金、铜、钼、铅-锌矿点以及明矾石矿，构成一个较为完整的与中酸性次火山-浅成斑岩有关的铜-金多金属矿成矿系列。

矿田位于长达百余km鼻状区域重力剩余正异常的边缘和长达百余km串珠状磁场强度为200纳特的NE和NW向2组航磁异常带交会部位。水系沉积物测量异常范围达百余km^2，主要元素为Au，Cu，Ag，Mo，W，Sn，Bi，Sb，均有内、中、外带，套合较好，浓集中心面积50 km^2；Pb，Zn，As仅有外带；Hg，Mn，Ba则低于背景值。

紫金山矿田古代就开采金矿。物化探工作开始于20世纪60年代初期。1960年10月福建省地质局第五地质大队五〇六分队进入紫金山地区开展水化学找矿工作，发现大片铜异常，圈定4个水化学异常区。1965年8月，福建省地质局物探队开展自然电位找矿试验工作，在紫金山铜矿沟一带发现自电高异常。1966年2月～1967年1月，为配合三〇五地质队的铜矿普查，福建省地质局物探队在二庙沟、小金山沟、铜矿沟等地开展自然电位、土壤测量和少量的岩石测量工作。1978年4～10月，福建省地质一队在紫金山地区42 km^2范围内进行了1∶2万土壤测量，发现Cu，Pb，Zn，Mo，Sn异常70余处，圈定了8处综合异常。物化探工作成果为地质普查提供了重要线索，1979年因故地质工作停止。1981年开始找金，1987年在400～600 m以下发现富铜矿，从而进入铜矿的普查勘探阶段。

紫金山铜-金矿床勘查工作取得突破性进展后，铜-金矿的普查工作全面展开。1988年，地质八队在南山开展1∶1万土壤测量和岩石测量，面积5.5 km^2。1990年，地质八队在龙江亭开展1∶1万电法，面积0.3 km^2。1989—1990年，福建省物探队在二庙沟—紫金山一带进行1∶1万磁法、甚低频电磁法工作，面积26.44 km^2，并在二庙沟、大芰岗、罗卜岭开展几km^2的激电工作。1990年，地矿部物化探研究所开展井中声波透视法，地质八队还开展了测井工作。这些工作为矿田乃至外围的普查工作指出了方向，如五子骑龙矿段铜矿就是根据物化探异常开展地质普查发现盲矿的，矿田内斑岩型铜（钼）矿床的发现，物化探起了关键性的作用。

紫金山矿田内斑岩型矿床为隐伏矿床，与成矿关系密切的花岗闪长斑岩呈岩瘤、岩枝状侵入于花岗岩、花岗闪长岩和英安斑岩体中，并常与后者构成复式斑岩筒。铜（钼）矿体分布于花岗闪长斑岩体接触带之石英-绢云母带中。

1990年，第八地质大队做1∶1万地质填图(同时进行1∶2万岩石测量)，面积40 km^2，发现罗卜岭—仙师岩Cu，Mo异常，Cu大于100×10^{-6}，异常范围3.5 km^2，大于400×10^{-6}的面积为0.5 km^2，最高达$1\ 500\times10^{-6}$。Mo一般为10×10^{-6}～20×10^{-6}，最高达200×10^{-6}。还有W，Sn以及Au，Ag，As，Bi，Pb等元素的异常。认为罗卜岭—仙师岩一带“是本区剥蚀程度最深地段，对寻找大型隐伏矿不利，但地表Cu，Mo异常重叠性好，对寻找斑岩铜-钼矿有一定远景”。经2孔验证均不理想，一孔“只见钾化未见矿”，另一孔在花岗斑岩的内外接触带上见铜-钼矿化。

1990年5～10月，福建省物化探大队在上述远景地段进行AB=1 200 m的中间梯度频率域激电，测网为100 m×20 m，面积为4 km^2。圈出2个异常带，指出其中一个位于磁异常的东侧，长1 000 m，宽150～250 m，视频散率η=9%～12%，最高为15%，视电阻率为区内最低，认为ρ=125 Ω·m的电法异常是成矿最有利部位，建议验证。1993年，福建省第八地质大队普查孔ZK2514见铜矿化厚350 m，其中斑岩铜矿工业矿体5层，累计厚度83.54 m，平均品位0.63%。共生钼矿7层，累计厚度69.55 m，平均品位0.067%。

1990—1992年，福建省地质勘查技术院（原物化探大队）物化探研究所开展紫金山铜-金矿床地球化学模式研究及盲矿预测，进行了1 000 km^2区域化探扫面单样分析，面积性选择性岩石测量

黄金地质研究所
信息室 提供

50 km^2，钻孔及坑道岩石测量和外围物探普查面积400 km^2（其中1∶5万电法250 km^2，磁法300 km^2，1∶2.5万磁法100 km^2）。

磁异常由迳美、罗卜岭、石槽、南山坪等4处50～200纳特的局部异常形成弧顶朝东，长达20 km的弧形异常带。推断由花岗闪长岩或花岗闪长斑岩引起。沿带分布有小金山沟、罗卜岭、石槽、南山坪等8处以Cu，Mo为主及W，Hg，F，Pb等元素的岩石测量异常，并具有明显的浓集中心和元素分带的特点，是矿化蚀变带的反映。其中罗卜岭—仙师岩异常已证实为斑岩铜矿。

根据上述磁异常、岩石测量元素分带特点以及电法异常，认为小金山沟—罗卜岭—石槽—南山坪一带是斑岩铜-金-钼矿的成矿带，且矿化主要在隐伏花岗闪长斑岩体的内外接触带。但紫金山矿床南东矿段（小金山沟）几个孔均未见斑岩铜矿，仅见花岗斑岩。为此，对早已终孔的而未发现斑岩铜矿的ZK4802孔岩心进行原生晕测量，在孔深400～600 m的花岗闪长斑岩的外接触带，发现厚达100多m的Cu，Mo高异常［w（Cu）＞3 000×10^{-6}，w（Mo）＞200×10^{-6}］。在内接触带还发现w（Au）＞150×10^{-9}，厚度达30 m以上（孔底）的异常。后经闽西地质队劈样分析，在孔深457～543 m间见厚83 m的斑岩铜矿体，平均品位0.3%。此后闽西地质大队对相邻的ZK4002孔劈样分析，发现在孔深600～768 m之间斑岩铜矿体累计厚度15.4 m，平均品位0.5%。同时还在本区首次发现肉眼难以识别的黄铁矿中微细粒黄铜矿。进一步证实了物化探推断的小金山沟—罗卜岭—石槽—南山坪为一斑岩铜（钼、金）矿带。

物探、化探对紫金山矿田的斑岩型铜（钼、金）矿带的发现起了关键性的作用。

矿田内碧田矿区发现于20世纪70～80年代初，核工业华南地质局二九五大队在上杭一带开展物探放射性测量找铀工作，对发现的异常开展进一步的地质工作后，铀矿不具工业意义，但发现金矿化，进而开展了综合找矿，终于发现隐伏的银-铜-金矿床。

而紫金山西北矿段是1990年5月，地矿部物化探研究所对ZK006和ZK005孔进行跨孔声波透视法，根据异常特征认为矿体产状较缓，改变了原矿体产状较陡的认识，对矿体的正确连接起了重要作用。

龙江亭矿点是1990年，地质八队物探组根据激电异常认为矿体走向为NE向，和该队一部分地质人员认识一致，后经钻探得到证实。

摘自《中国矿床发现史·物化探卷》

美国内华达州金矿带

内华达州是美国的一个老矿区，早在19世纪50年代就开始开采金、银矿。20世纪初期，该州金、银开采活动最为活跃，但随着浅部、易发现矿体被采空，贵金属产量逐渐下降，以至到60年代初，许多人认为内华达州寻找新的金矿床的远景不大了，甚至个别人认为在内华达州找金的日子已经完结。然而，20世纪60年代，在内华达州中北部的碳质碳酸盐类沉积中相继发现了卡林、格彻尔以及科特兹几个重要的细粒浸染型金矿床，这就是所谓的卡林型金矿，被称为美国采金史上的“一个轰动性事件”。卡林等金矿的发现不仅使人们认识了一种新的金矿类型，而且也给予人们一种启示，即在有利的地质构造条件下用化探方法分析金、砷、锑、汞和钨等微量元素异常是发现这类金矿的有效方法。

近十多年来，随着勘查工作的进展，又在卡林附近及南、北地区相继发现了布特斯特拉普、蓝星、金地、巴克霍恩、金坑以及贝尔等矿床。这些发现极大地促进了内华达州及美国整个西部地区金矿勘查工作的复兴。据了解美国西部找金力量主要用于发现卡林型浸染型金矿床，到目前内华达州已展现出一个包括20多个金矿床的金矿带（表1，图1），成为世界主要金矿带或金矿省之一。

1 区域地质研究和罗伯茨4条找矿准则的提出

20世纪40年代，美国地质调查所对内华达州进行过系统的区域地质研究。做了比例尺为1∶25万的地质踏勘填图，初步查明了这一区域内的主要构造，测量了主要地层的岩性和厚度，同时，对出露地表的火成岩也做了初步研究。此后，许多地质学家在这里做过工作，其中特别是美国地质调查所的R. J. 罗伯茨。他于40年代晚期开始在内华达州中北部地区进行系统地质填图和调查。他对该区的古生代地层做了详细划分，对主要断裂和老矿区

黄金地质研究所
信息室 提供

表 1 内华达州金矿带的部分矿床

矿 山	储量/百万 oz	品位/oz·t^{-1}	产量/t·d^{-1}	现 状
贝 尔	6	0.30	2 750	正在开采
卡 林	2	0.20	2 500	正在开采
金 坑	2.65	0.106		准备开采
雷 恩	5.40	0.036		准备开采
科特兹	0.98	0.289		停 采
平 森	0.42	0.071	1 500	正在开采
金 地	0.19	0.055	2 000	正在开采
波瑞阿里斯			2 200	正在开采

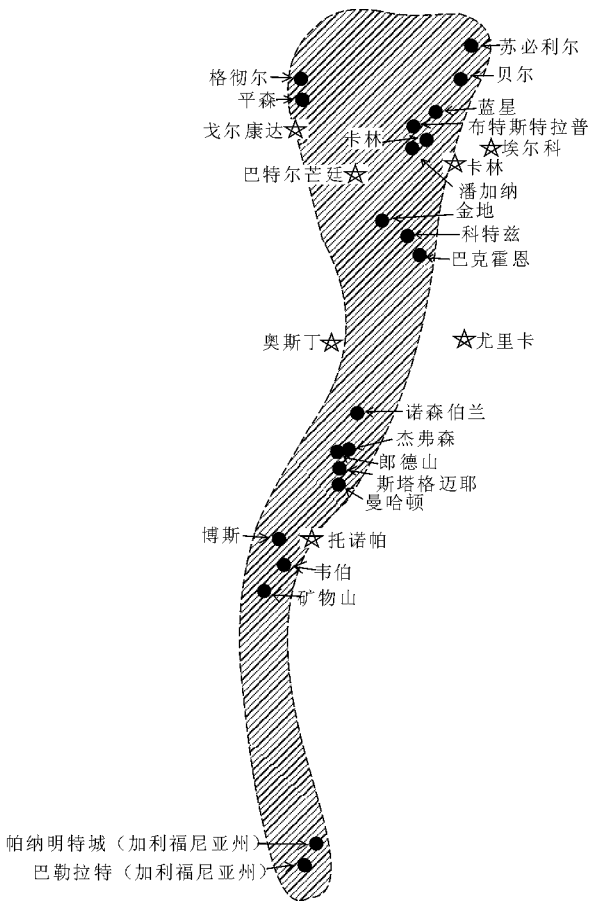


图 1 内华达州含砷-金矿带

做了详细研究，积累了不少实际资料。1960 年，R. J. 罗伯茨根据他本人的经验和他人的资料，发表了 1 篇很有价值的论文，文中他对该区的地质情况做了系统的描述。

内华达州中北部地区基本由火山岩和冲积物所覆盖。其东西 2 部分的地层截然不同，大致以东径 116～117°为界。在东部，为中寒武统至下石炭统上部的古生界地层，是一套冒地槽碳酸盐类岩石沉积。在西部，地层时代相同，但属优地槽型碎屑岩类沉积，厚度较大。东西 2 部分地层的沉积环境有明显差别。在地貌上也清楚地反映出两者之间存在着一个区域性断层，它使早古生代地层即西部岩石组合向东或东南方向运动并掩覆在相应时代的碳酸盐类地层即东部岩石组合之上，这一断层称为罗伯茨山逆断层。该断层于晚泥盆世或早石炭世早期因安特勒造山运动而形成。此后，该区在晚侏罗世或白垩世时期发生隆起和火成活动，形成一些侵入岩株和岩墙。在第三纪和第四纪又屡次发生造山运动，形成了盆地-山脉区。因许多正断层的切割，部分属罗伯茨山逆断层上盘的上升地块遭受侵蚀，最终形成一些构造窗。

R. J. 罗伯茨指出，根据这些构造窗呈 NW 向排列，并且根据过去老矿区都位于构造窗之中或罗伯茨逆断层下盘碳酸盐类地层中，以及根据许多侵入岩体呈 NW 走向分布等特点，内华达州分为 2 个大的成矿区；西部成矿区以金、银、钨、汞、锑矿床为特征；东部成矿区以含少量银和金的铅-锌矿床为特征，2 个成矿区之间可有铜和钼矿床分布。西部贵金属成矿区的矿床大多产于古生代和中生代碎屑岩地层（页岩、燧石岩硬砂岩、火山岩和少量灰岩）中及上覆第三纪地层中，东部有色金属成矿区主要产于碳酸盐类地层（灰岩、白云岩和少量页岩）中。

基于上述分析，罗伯茨进一步指出，断层薄弱带显然是侵入体及有关的含矿溶液上升的通道，而沿断层分布的构造窗，显然也是指导人们寻找有利矿化位置的标志。这样，他终于提出了经多年地质工作得出的有关该区的 4 条基本找矿准则，指出了进一步找矿的方向：1）在构造窗及其附近找矿；2）罗伯茨山逆断层下盘的碳酸盐类地层的下部层位，是有利的成矿地层；3）在有希望的构造系列，如断层交叉处找铅、锌、银矿体；4）紧靠逆断层上盘的岩石也可能产生局部矿化，尤其是在侵入体附近，也是成矿的有利部位。

现在看来，虽然多数矿床的位置并不受逆断层控制（包括卡林金矿床在内），但 R. J. 罗伯茨提出的找矿方向引起美国纽蒙特采矿公司经理和地质学家的注意，对勘查靶区的确定起了决定性的作用。

2 地质化探相配合，迅速发现卡林金矿床

R. J. 罗伯茨的见解被纽蒙特采矿公司所接受并制定了勘查计划，决定在林恩构造窗首先开始勘查工作。先后进行了地质填图、槽探和采样以及地球化学填图等。通过大量化探取样和分析发现，与金伴生的砷、汞和锑等元素是该区找金的指示元素

黄金地质研究所
信息室 提供

组合。根据化探圈出了异常区，在此基础上于1962年开始钻探验证，结果第三孔见矿，终于发现了昔日视而不见的金矿。所见矿化自下而上延伸80英尺，顶部距地表10英尺，含金34×10^{-6}。在初见成效后，纽蒙特公司开始了系统钻探，网度为100英尺×100英尺。到1963年，共求得矿石储量110万t，平均矿石品位约10×10^{-6}。买地、钻探和填图共花费了35万美元，平均每吨矿石勘探成本约3.18美元。从1961年地质勘查到1967年矿山正式投产，总共耗费1 000万美元。到目前，该矿已产金400多万盎司。

卡林金矿床是美国西部在碳酸盐岩中发现的一个微细浸染型金矿，是与第三纪晚期火成作用有关的热液活动形成的。这一发现具有十分重要的意义。

第一，R. J. 罗伯茨提出的找矿准则起到了巨大的推动作用。虽然后来发现的金矿床（也包括卡林金矿床本身）并不受逆断层控制，但内华达州从卡林金矿发现以后，许多勘探公司却是根据上述找矿准则去寻找新的剥蚀窗构造。而且20世纪60年代晚期，内华达州的金矿勘查工作在消减该州其他远景区的找矿工作的情况下，有一大半工作量集中在2个NW向的构造断裂带中。由此可见，区域地质研究为金矿勘查提供了有利远景区。

第二，卡林金矿床的勘查过程，为勘查人员提供了一套行之有效的勘查模式。即在有利地段内，采用化探来寻找这类金矿是极其有效的。从而迅速导致其他同类型金矿的发现。如1968年发现科特兹金矿；在卡林矿区附近发现布特斯特拉普金矿和“蓝星”金矿；在科特兹金矿矿区附近又发现了“金地”金矿和巴克霍恩金矿等（表1）。

摘自《国外重要矿床（区）勘查史例（第二册）》

美国科特兹金矿

美国内华达州中北部地区，19世纪70年代以来就是一个采金区。20世纪60年代以前，该区只发观交代型和脉型金矿，使用淘金盘等古老手段找金，长期未有重大突破。只是在60年代初卡林浸染型金矿发现之后，确认化探是该类型矿床的重要找矿手段，才使该区找金局面大为改观，一跃而成美国第二大产金区。

20世纪60年代初，美国地质调查所R. J. 罗伯茨根据交代型和脉型矿床的分布规律，提出罗伯茨逆掩断层具控矿作用，应在构造窗中的下盘地层中找矿。这种见解虽不是导致浸染型金矿发现的直接原因，却指出了重要找矿地段。遂被矿业公司采纳，于1961年开始在林恩构造窗进行地质和地球化学填图，通过大量化探取样查明了金及其指示元素砷、汞、锑等的异常。依据化探异常打钻验证，第三钻就打到80英尺金品位为34×10^{-6}的矿体，于1963年求得110万t矿石储量，平均品位10×10^{-6}。这就是著名的卡林金矿。它的发现为内华达州产金区增加了一个重要的矿床类型，使该区的找矿视野大为开阔，化探方法在寻找浸染型金矿中的关键性作用亦被人们认识。而对其特征指示元素组合（Au，As，Hg，Sb等）的认识，又为该区化探效果的提高提供了重要信息，遂导致了该区一系列矿床的发现。据称，近十多年来该区所有的金矿床几乎都是用化探方法发现的。而科特兹金矿的发现是一个典型实例。

科特兹金矿位于卡林金矿以南88 km处，从地质环境上讲，它与卡林金矿一样，是与罗伯茨逆掩断层有关的构造窗。早在1959年，美国地质调查所为了研究地球化学勘查方法，用流动光谱实验室在该区进行工作。当时由于还没有发现浸染型金矿，工作区布置在构造窗两侧的逆掩断层下盘。大约采集了500个岩石（岩脉）样品，分析27种元素，做了14 000个测定。在报告图件中只概略地表示出了Cu，Pb，Zn，Bi，Mo，Ag和As的最高浓度区。异常带呈NW向展布，铅-锌-银的异常居中，构成异常带之主体，砷异常分布在两侧，铜异常位于异常带西南侧，沿高角度的威特豪斯正断层展布。此次工作得出的主要结论有2点。1）沿着切穿了逆断层上下2盘的高角度正断层产生的岩石蚀变、金属浓集和分带，可能是位于逆断层带中或其下盘碳酸盐岩中的矿床的渗滤晕。正断层与逆断层的交切部位应该是有利的找矿地点。2）正断裂带和研究区内一些石英斑岩岩株走向的投影，沿SE方向延伸2英里，穿过被砾石覆盖的山麓平原便进入科特兹地区。在那里，于下盘的古生界碳酸盐岩石中有一些银、铅、锌、铜和金达到工业品位的矿床。并且认为，山麓平原的基岩埋藏不深，那

黄金地质研究所
信息室 提供

里也是有利的找矿地点。

从这次工作的整个情况看，由于带有化探方法试验性质，又受当时对该区成矿作用和矿种类型认识的限制，对后来科特兹浸染型金矿的发现未起直接作用，但指出了应在逆断层下盘工作的方向。

到 1964 年，美国地质调查所在科特兹以北 4 英里的地方，在罗伯茨逆断层下盘的克雷斯塞特正断层附近完成了一项地球化学调查。由于测区很大一部分被砾石层所覆盖，采样是在 69 个采样地段上进行的，采样地段的集中分布区在北部靠近正断层的地方。所采的样品并不能代表各岩性单元，但是对大部分看来有利于金属赋存的物质（裂隙充填物、碧玉状物质、强蚀变岩石）都采了样。大部分测线是沿着基岩出露良好的水沟布置的。采样物质所赋存的基岩是志留纪和泥盆纪的灰岩。用化学法分析砷，其他元素用似定量光谱法分析。在一些矿化最强的地区的一些样品中，测定出了最高的元素含量：As 6 000×10^{-6}；Sb 3 000×10^{-6}；W 1 500×10^{-6}；Zn 2 000×10^{-6}；Pb 200×10^{-6}；Mo 200×10^{-6}；Bi 100×10^{-6}；Ag 30×10^{-6}。一条最大的砷-锑-钨异常分布在测区北部，沿 NE 方向大致与克雷斯塞特断层平行展布。其范围与后来发现的科特兹浸染型金矿吻合。向南有一些强度不大的小异常。所有指示元素的最高浓度，都出现于最富铁（Fe＞10%）的裂隙充填物或似碧玉中。

从这次研究的着眼点看，研究者仍未把金作为主要目标，在类型上较为注意侵入岩体的接触带和断裂带、剪切带中与侵入体有关的隐伏矿床。故没有注意分析金（可能是受分析方法的限制）。所得的结论：与以前在逆断层上盘发现的异常带相联系，这次在下盘发现的异常更增强了科特兹是有利于发现隐伏矿床的有希望地区的认识。但这次工作为尔后的重大发现奠定了良好的地球化学资料基础。

1963 年，卡林金矿发现之后，以上 2 次研究的执行者 R. L. 埃里克森等又对内华达中北部地区的格彻尔、布特斯特拉普、“金地”等低品位露采矿山进行了研究，确认砷、汞、锑、钨与金的组合是该类型矿床的典型指示元素组合；地质分析表明，这些矿床都与该区主要构造罗伯茨逆掩断层的构造窗有关。在卡林矿床上，金主要产在逆断层带的下方；在布特斯特拉普和“金地”矿床上，金主要产于逆断层带中；在格彻尔矿床，金产于高角度的格彻尔断裂带中下伏于罗伯茨逆断层之下的矿带中。当时（1964 和 1965 年），莱金等研制出了快速测定岩石和土壤中金含量的灵敏化学分析方法，沃恩等研制出了可以在化探中于野外探测汞的方法。在上述前提下，埃里克森等决定对在科特兹地区逆断层下盘发现的砷、锑、钨和铅异常分析汞和金。1966 年初，对科特兹地区以前的地球化学研究中采集的地表岩石样品和钻孔样品，用化学法和原子吸收法分析金。结果，在 2 个地表岩石样品中发现了 5×10^{-6}～14×10^{-6}的金含量，在一个砷-锑-钨异常旁侧的浅钻样品中，于岩屑的重矿物组分中发现了 2×10^{-6}～8×10^{-6}的金含量。据此，于 1966 年 5 月补充进行了野外工作。工作区范围大体与 1964 年一致。在罗伯茨逆断层下盘志留系和泥盆系的窄石英脉、方解石脉和部分硅化灰岩的剪切带中采样。从 95 个采样地段上采集了 238 个岩石样品。新采集的样品金浓度高达 105.74×10^{-6}。金含量最高的样品位于 1964 年发现的砷-锑-钨异常的东端，那里有大约 100 英尺长的泥盆系蚀变灰岩露头。这次工作的主要成果可简介如下。

金的最高含量的样品采自 722 号采样地段，那里的灰岩形成了一个山脊的陡峭东坡，灰岩走向 5°，倾向 E，倾角 65°，沿走向出露约 100 英尺。灰岩呈深橙褐色，含有近乎垂直的白色方解石脉和方解石胶结的角砾岩带，其宽度可达 10 英寸。宽达 2 英寸的石英细脉与 8 英寸宽的砖红色剪切带平行和次平行分布。该地段所有的岩脉、剪切带、角砾岩带和裂隙样品皆含金，这类物质的分布面积可能不到露头面积的 10%。当时没有关于未遭受剪切、角砾岩化和脉岩贯入的灰岩中存在有金的资料。该采样地段的西侧，不连续地出露有深褐黑色的碧玉脉体，金含量大大降低，然而仍有异常含量。

在 600，601，700，701 和 702 号采样地段，对砖红色的角砾岩带取了样，但只在 600 号地段采得的 21 个样品中的 2 个样品中检测到金。在 606 号地段，金产于深栗色的碧玉带和含方解石大脉和细脉的角砾岩带中。

对一个样品进行了初步的矿物学研究，结果表明，大部分金呈非常小的浸染状斑点和细网脉存在于氧化的黄铁矿中。在这个样品中观测到的最大金片也只有几个微米厚，最大的粒径只有 200 μm。

所有含金的样品中都含有很低的银（最高含量 4.98×10^{-6}）。光谱分析表明，在含金样品中，砷是含量最高的元素；砷和汞含量与金含量呈正相关。锑和钨可能呈低含量存在，不过它们与金含量之间不表现出正的相关关系；在金矿化区内或靠近

黄金地质研究所
信息室 提供

金矿化区的岩石中，通常出现异常高的锑和钨浓度。铅、锌和铜不存在明显的异常。在759号采样地段情况有所不同，这里含有微细浸染状氧化黄铁矿晶体的浅灰、粉红色细粒风化灰岩中，含有$5\ 000\times10^{-6}$的锌，300×10^{-6}的铜和20×10^{-6}的铋。而穿切灰岩的含黄铁矿的白色细石英脉含有$3\ 000\times10^{-6}$的锌，500×10^{-6}的铜，300×10^{-6}的钼，70×10^{-6}的锡，200×10^{-6}的铋和200×10^{-6}的锑。在这些样品中未检测出金。

为了研究在方解石胶结的砾石层中是否可能含金，在12个采样地段取了样，但所有样品中的金含量都低于检出限。

这次研究的结果完全肯定了科特兹金矿的远景，经过2年工作，1968年3月8日正式宣布科特兹金矿已探明。这次实践的结果证实了在卡林金矿上发现的地球化学找矿准则的正确性，促进了该类型金矿的勘查。

从这次成功的实践可以看到：1）地球化学研究，特别是矿床类型的特征指示元素组合的研究和认识，对某些矿床类型（例如浸染型金矿）的发现起着重大作用；2）依金找金，发展快速灵敏的金的分析方法，是金矿普查的关键技术措施之一；3）金矿地质勘查应当，甚至必须与化探配合，以取得最佳找矿效果。

摘自《国外重要矿床（区）勘查史例（第二册）》

美国克朗朱厄尔金矿床

1 地质背景

克朗朱厄尔（Crown Jewel）夕卡岩型金矿床是巴克霍恩（Buckhorn）山夕卡岩系统的一个组成部分，位于美国西北部华盛顿州切索以东约5 km处。该夕卡岩系统的面积约10 km^2，赋存于宾西法尼亚纪—三叠纪（?）碎屑岩和碳酸盐岩以及安山岩质熔岩流中。该系统与晚侏罗世闪长岩—花岗闪长岩深成岩体及伴生岩墙和岩床有关。夕卡岩是受有利地层单元和断层控制的。

沉积容矿岩石转变成近源的石榴子石-磁铁矿-硫化物组合，中源的石榴子石-辉石-绿帘石-硫化物组合和远源的辉石-角闪石组合。退化变质绿帘石、阳起石和方解石含量丰富。深成岩体显示了几种类型的蚀变，包括钾硅酸盐蚀变。金出现于从近源到远源的所有夕卡岩矿物组合的多个部分，并且显示出与绿帘石、磁铁矿、辉铋矿、磁黄铁矿、辉砷钴矿、碲化物以及西南带中的毒砂有正相关性。

据报道，克朗朱厄尔矿床含有790万t矿石，平均金品位为6.2×10^{-6}。

2 勘查与发现

巴克霍恩矿床发现于1896年，在1950年之前断断续续开采了铁、铜、金和银。格兰比公司于1911年在跨加拿大国境线的矿产地上开展工作，在巴克霍恩山打了一个单孔。1911—1917年期间，区内有一些小铜矿和小金矿从事生产活动。从1933年到20世纪40年代，在距当今的西南矿带仅15 m的一个地方，从夕卡岩系统的地表部分采金。这期间，位于巴克霍恩山的磁铁矿矿床引起了人们的注意，特别是美格勒帝克矿区，但美国矿业局的结论是这些矿床规模太小而硫含量过高，因而没有开采价值。

出露于克朗朱厄尔以北的夕卡岩受到铜的氧化物的染色。1963年，作为铜矿计划的一部分，由科明科（Cominco）公司进行过钻探，但未获得成功。哈恩博（Humble）石油公司和德雷瑟（Dresser）矿产公司也分别于1971年和1975年钻探过铜矿，后者报道了金的产出。1980年，豪斯顿（Houston）石油与矿产公司对以往在克朗朱厄尔搜集的资料进行了汇编，但是最终没有获得该矿产地的购买权。然而，参与过资料汇编、后来又在克朗（Crown）资源公司工作的一位地质学家按照夕卡岩模型对该矿产地进行了重新评价。

1986年，克朗资源公司试图获得克朗朱厄尔矿产地的购买权，但是直到1年之后才如愿以偿。1988年，在整个克朗朱厄尔矿产地开展了地质填图、土壤金地球化学和地面磁法测量，圈出了13个复合的土壤金/磁异常。利用13个反循环钻孔和岩心钻孔对其中几个异常进行验证，从而发现了克朗朱厄尔金矿床。磁铁矿的富集被确定为磁异常源。1989年进行了扩边钻探，打了200个钻孔，进尺为23 900 m，大多数为反循环钻孔，从而确定了大约含有15 t金的资源量。

1990年，克朗资源公司以49/51（目前为46/54）的持股比例加入了与巴特尔芒廷黄金公司合资经营的克朗朱厄尔矿产地项目。打了298个钻孔，

黄金地质研究所
信息室 提供

进尺为43 300 m，其中60%是反循环钻探，其余为岩心钻探，导致西南矿带的初次发现，把金储量增至30 t。1991年又开展了进一步钻探，打了270个钻孔，进尺为29 700 m，从而完全圈定了西南矿带。尽管1991年的钻探有大约76%是反循环钻探，但是在西南矿带中进行的所有这些钻探都采集了岩心。西南矿带包含一个厚约10 m的缓倾斜板状夕卡岩体，金含量大于30×10^{-6}；整个矿带大约含有30 t金，平均品位为8.2×10^{-6}。

3 小 结

尽管在20世纪初就相当充分地认识到克朗朱厄尔夕卡岩系统的某些部位含金，但是从20世纪40年代到70年代的大多数勘查都侧重于铁，其次是铜。只是在1988年，也就是开始进行金矿勘查的那一年，才发现了富含金的夕卡岩。土壤地球化学和地面磁测是快速确定钻探目标的技术方法。

摘自《信息找矿战略与勘查百例》

美国波戈金矿床

1 地质背景

波戈（Pogo）金矿床是一个非同一般的脉状金矿床，属古德帕斯特矿区，在阿拉斯加州费尔班克斯城东南145 km处。它是廷蒂纳金矿带最新的成员，由不同样式的金矿组成，被认为与阿拉斯加州费尔班克斯区及其东南的（加拿大）育空地区晚白垩世长英岩侵入活动有关。这类矿床属于新鉴定的一个类别，其特征是金与铋、碲和砷共生，含有（或没有）锑、钨和银，缺乏贱金属，并且与相对不发育的花岗闪长岩到花岗岩侵入体有成因联系。波戈矿床是这类矿床埋深最大（约7 km古深度）矿床的代表。

波戈矿区的列斯带至少有3个缓倾的板状石英脉体，最大面积1 300 m×600 m，厚度1～20 m，平均7 m。石英脉体的围岩主要为新元古宙（?）至中古生代的片麻岩，位于晚白垩世古德帕斯特岩基以南1.5 km处，波戈矿床可能与这个岩基有成因关系。据称，与早期黑云母和晚期石英-绢云母及绢云母-白云石蚀变有关的块状石英，既有岩脉成因的，也有交代成因的。石英仅含少量硫化物矿物，按体积算占3%，局部可达25%。硫化物矿物包括黄铜矿、辉铋矿、辉碲铋矿（Bi_2Te_2S），伴有黑铋金矿（Au_2Bi）、自然铋和自然金。金与铋和碲关系密切，而与砷和银的关系较差。

迄今为止，在波戈区列斯带经钻探证实共求出矿石储量970万t，平均含Au 18×10^{-6}，即有金174.6 t。列斯带的石英脉体没有露头，上部（L1）矿带的埋深至少在地面以下120 m。

2 勘查与发现

从1915年起一直到20世纪90年代，曾在古德帕斯特区断断续续地采过金。据记载，这里开采过少量岩金，产量约58 kg，但地下石英脉的金产量仅为8.5 kg，从波戈矿床及其周围未采过金。

20世纪70年代晚期，美国政府机构曾对包括古德帕斯特区在内的“大三角洲”区块进行过矿产资源评价。在执行“阿拉斯加矿产资源评价计划”（AMRAP）期间，分析了水系地球化学样品，但没有分析金。而在执行“全国铀矿资源评价（NURE）计划”期间，把金的检出限定得太高，为100×10^{-9}。因此，波戈区的金潜力并不特别明显，虽然据报道采自列斯河的－80目样品含Au 100×10^{-9}，含As＞500×10^{-6}。

1981年，菲利普斯石油公司金属矿产处将“大三角洲”区块定为寻找战略金属矿特别是寻找钨矿的广大地区的一部分。WGM公司在实施河流沉积物和水系重砂地球化学测量项目期间，在波戈河和列斯波内发现了异常的Au（可达400×10^{-9}），As（可达$1\ 000\times10^{-6}$）和钨值（图1）。因菲利普斯石油公司决定撤出金属矿产工作，对异常样品的跟踪调查因项目终止而受阻。

WGM公司虽然按合同规定代表菲利普斯石油公司保留了当时所有的技术资料，但在最终证实波戈水系异常和在伴生的石英转石中测出金以前，有10年的时间未对古德帕斯特区做进一步的工作。1991年，WGM公司圈出了波戈区和其他几个异常，并作为斯通湾项目由日本住友（Sumitomo）金属矿业（亚利桑那州）公司、康诺伊石油公司、诺兰达公司和WGM公司联合勘查。意图是勘查金和贱金属。回想起来，当时已经开始掌握了有关费尔班克斯区诺克斯堡（Fort Knox）金矿（一个以花岗岩为围岩的含钨席状石英脉系统）的信息。

联合勘查始于1991年的航磁测量，一直延续

黄金地质研究所
信息室 提供

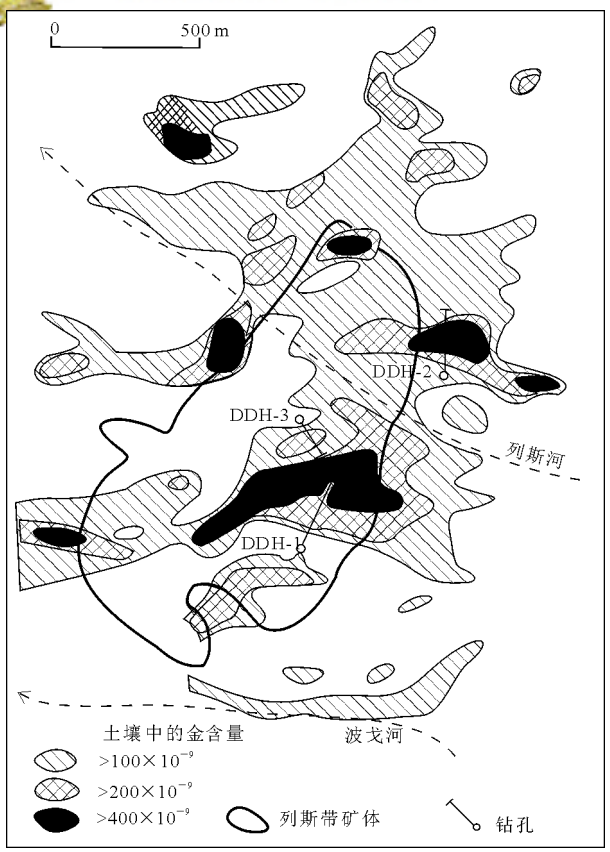


图 1　美国阿拉斯加州波戈金矿土壤金异常与矿带分布的关系（引自 WGIC，1994 和 M. Sith 等，1999）

到 1992 年。1992—1993 年进行的 120 m×60 m 网度的土壤取样，在以列斯河下游为中心的面积为 1 600 m×800 m 的出露不良地区测出了金和砷吻合异常（图 1）。异常带是按 w（Au）＞100×10^{-9}，w（As）＞100×10^{-6}（Au 的最高值为 1 480×10^{-9}，As 的最高值为 3 130×10^{-6}）设定的化验分析值圈定，取自坡麓堆积的石英碎块的 Au 含量高达 39.5×10^{-6}。就在这时，康诺伊石油公司决定退出联合勘查，住友公司承继其全部股份，WGM 公司继续勘查。

1994 年，住友公司完成了 2 400 m（测线）的激发极化法测量，打了 3 个倾斜岩心钻孔（图 1），总进尺 1 024 m。打这些钻孔的目的是为了验证土壤中金异常的品位最高的部分以及验证高品位石英转石的推测来源地。3 个钻孔打到的主要是产有含金石英脉的片麻岩。DDH—1 号钻孔，即发现孔，从土壤异常主要为 EW 向高品位之下 245 m 起打到了一段 7.6 m 厚的平均含 Au 16.7×10^{-6}（含 As 2 494×10^{-6}）的矿层，其中包括 1.2 m 厚的含 Au 75×10^{-6} 的矿层（图 1）。这一高金值显然是“盲”石英脉产生的，后来证明它是列斯带的 L1 号矿体（图 1）。有理由认为，金赋存在陡倾的中温热液石英脉中，并未大量进入到诺克斯堡型矿床中。1994 年下半年和 1995 年上半年，住友公司和 WGM 公司打算出卖或联营斯通湾矿产。但找不到感兴趣的一方，这显然是因为提出的条件太苛刻。

结果，住友公司决定在波戈区继续勘查，并请 WGM 公司具体运作。1995 年共打了 13 个岩心钻孔，总进尺大于 3 950 m，接着 1996 年又打了 23 个钻孔。值得一提的是，头 16 个钻孔，只有 1（发现钻孔），7，9 和 16 号钻孔打到列斯带，而 3，4，5 和 6 号钻孔只打到了它的边缘。列斯带继续被解释为一个由一些陡倾的平行石英脉组成的矿带，但是，1996 年开始有人说钻孔打到的矿段很可能是较缓倾的石英脉体之一。为了检验这种说法，1997 年又打了 41 个岩心钻孔（总进尺 14 390 m），1997 年下半年打到了 2 个缓倾的石英脉体位（L1 和 L2 号），并在深部打到了第三个（L3 号）石英脉体。钻孔打到了高品位矿段的消息促使几家公司在 1996 年底和住友公司接洽，但并未成交。最后，在 1997 年 12 月，泰克资源公司与住友公司和 SC 矿产公司签订协议，决定收买斯通湾矿地 40% 的股份，因而泰克资源公司取得了经营权。此后不久，泰克公司获得了 WGM 公司矿地的开采权。1997 年下半年公布的初步估算的矿石资源量为 990 万 t，含 Au 14×10^{-6}。

1998 年，泰克—住友公司又打了 97 个钻孔，采收岩心 27 816 m，并宣布经修正后的地质储量为 905 万 t，含 Au 17.8×10^{-6}。冬季道路给后勤供应造成很大困难，因此建筑了一个常年营地。在 1999 年期间，又打了 64 个岩心钻孔，总进尺大于 15 000 m，在列斯带将钻孔间距缩短为 60 m。1999 年 3 月，建设了一个无轨的斜井（斜坡道），2000 年 4 月到达 L1 号矿带。这个斜井有助于在地下确定孔位和取样，支持预计 2001 年底完成的可行性研究。计划用房柱法开采，开采量为 2 500～3 500 t/d。

3　小　结

波戈高品位金矿是在没有采金老窿地区发现的“盲”矿。在基础地质知识支持下，水系和土壤地球化学测量结果对矿床发现做出了贡献，而地球物理测量结果则没有贡献。相关土壤地球化学异常与矿体没有直接关系（图 1），因为它在地表以下大于 120 m 的深处，而与石英-绢云母和绢云母-白云石蚀变以及上盘的分支石英脉有关。它们似乎在列

黄金地质研究所
信息室 提供

斯矿带之上构成了一个热液渗透带。

波戈矿床的勘查曾几乎夭折，因为传统上把钻孔打到的矿段解释为对大公司而言经济意义有限的陡倾中温热液矿脉。只是由于住友公司的坚持不懈才获得了足够的资料，转而将钻孔打到的矿段解释成具有巨大潜在价值的缓倾石英脉体。波戈矿床的发现史告诉我们，在勘探的早期阶段，即使应用很成熟的矿床模式也应谨慎从事。

波戈矿床是在对古德帕斯特矿区断断续续地勘查了 13 年才发现的。矿体的最后确定花了 3 年的时间，从开始发现到第一批黄金出炉大概需要 9 年。

摘自《信息找矿战略与勘查百例》

智利埃尔印第奥—马里昆加铜-金矿带

智利北部的马里昆加金矿带是 20 世纪 80 年代以来世界矿产勘查的重大发现之一，据认为它将成为 21 世纪重要的金矿区。自埃尔印第奥金矿带发现后，极大地鼓舞着人们在其外围进行金矿的勘查。在埃尔印第奥金矿带的北部，通过大区域踏勘和系统的化探工作，导致了一系列的重要发现，从而发展成为马里昆加金矿带。在整个马里昆加金矿带的发现过程中，所采用的技术手段非常简单，但效果甚佳。总体来说，这里是一个矿产勘查的新区，矿产勘查的方法组合、技术应用都十分值得我们的注意。

1 智利埃尔印第奥—马里昆加铜-金矿带的地质特征

从全球构造背景来看，智利安第斯山区位于冈瓦纳超大陆南美陆块的东太平洋边缘。在古生代和中、新生代的大部分时期，智利的这一边缘部分经历了大洋岩石圈向东的俯冲作用。

埃尔印第奥矿带位于智利—阿根廷边界上，北起里奥瓦莱里亚（Rio Val eriano），向南伸至奥瓦耶·里奥格兰德（Rio Grande Ovalle），全长 20 km，为一条狭窄的连续的线状大型热蚀变-矿化带（图 1）。

马里昆加金矿带是从智利的拉塞雷纳到秘鲁南部的一个大的浅成热液金矿-斑岩金矿带中的一部分。马里昆加矿带得名于区内的马里昆加盐沼，该盐沼位于科皮亚波北东东约 120 km 的一山间盆地中。该带长 200 km，宽 50 km，位于南纬 26°00′～28°00′，海拔 4 000～6 000 m（图 1）。

在马里昆加金矿带以北，是楚基卡马塔、埃斯康达、科亚瓦西等著名的斑岩铜矿床的所在地。马里昆加金矿带存在大量的蚀变带，并表现为颜色异常，至少有 14 处蚀变带与贵金属矿化有关。

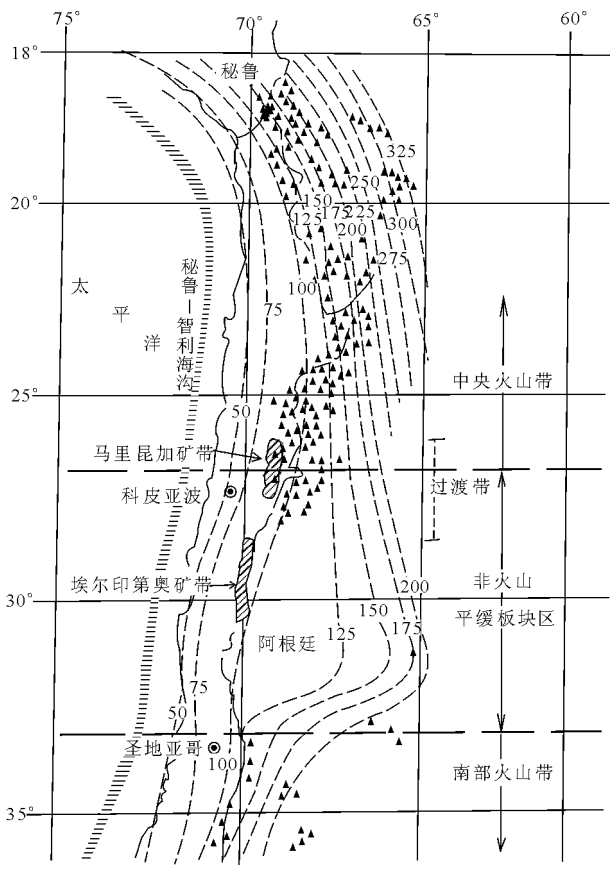


图 1 智利北部的埃尔印第奥和马里昆加金矿带的位置

图中标出了智利和阿根廷（南纬 22°至 27°）境内安第斯山部分与现代地震带有关的晚新生代火山中心（用三角表示）的分布

1980 年前，智利在其北部及中部沿海地区开采脉金，大部分矿床与中生代花岗质侵入体有关。其中只有 3 个矿床储量超过 10 t，全国年产金仅 2～3^{+} t。1990 年产金 31.6 t（其中 4 t 是铜矿副产品）。埃尔印第奥金矿带的主要矿床有埃尔印第奥（El Indio）、坦博、内华达等；马里昆加金矿带的主要矿床：雷富希奥（Refugio）、洛博（Lobo）、马尔泰（Marte）和拉科伊帕（La Coipa）等矿床。分布于马里昆加和埃尔印第奥金矿带内的铜-金-银矿床的简况列于表 1 中。

黄金地质研究所
信息室 提供

表 1 智利埃尔印第奥—马里昆加铜-金矿带一些铜-金矿床的地质特征

矿床名称	金储量/t	矿床类型	矿化类型	主 要 围 岩	与斑岩的关系
拉科伊帕	126	高硫浅成低温热液矿床	网脉状浸染、热液角砾	英安质火山岩-火山碎屑岩	不 明
马尔泰	66	斑岩型	石英细脉网脉状	闪长斑岩岩株	
洛 博	128	斑岩型	石英细脉网脉状	闪长斑岩岩株	斑岩型矿床
雷富希奥	194	斑岩型	石英细脉网脉状	闪长斑岩岩株	斑岩型矿床
内华达	96	高硫浅成低温热液矿床	热液角砾岩,网脉	英安质-安山质火山岩+古生代石英二长岩	不 明
埃尔印第奥	140	高硫浅成低温热液矿床	热液角砾岩+脉状	安山质火山岩	
安达科约	160	远源接触交代	层控浸染+脉状	安山-英安质火成岩	不 明

2 从矿床到矿带的发现

2.1 埃尔印第奥（El Indio）矿床的发现

大区域踏勘、系统的化探工作导致在已知矿区外围找到隐伏的富矿体。

2.1.1 *地质背景* 埃尔印第奥矿床位于拉塞雷纳（La Serena）东面 125 km 靠近国界处，海拔标高 4 150 m。它是一个与第三纪中—晚期岩浆作用有关的、产在长英质火山岩中的高硫化浅成热液矿床。

矿床赋存在断裂带中，含矿带长 200 m，深 300 m 以上。容矿围岩为英安凝灰岩、安山质角砾岩以及火山碎屑岩。矿化主要集中在 2 个成矿期，即早期形成的是块状硫化物矿脉，其中含黄铁矿、硫砷铜矿和明矾石；晚期为金-石英脉，并切穿了第一期矿化脉。大部金与第二期矿化有关，产在微小的裂隙里。

矿山于 1980 年投产，到 1989 年已产金约 62 t，银约 186 t，铜 10 万 t。现尚有大量储量，矿床开采前共约含金 140 t，银 110 t，铜 50 万 t（铜品位达 4.5%）。

2.1.2 *勘查与发现* 埃尔印第奥矿床最初是由当地人于 1967 年发现的。当时只在夏天开采高品位的铜矿石。1973 年由于金价的升高，开始手工挑选高品位的金矿石。1974—1976 年间，EMAMI 公司在埃尔印第奥矿床的周围 30 km 长的蚀变带上开展地质、地球化学、地球物理勘查工作，并认识到浅成热液型金-银-铜矿床远景。

1974 年，智利的采矿法修改后，圣乔（St. Joe）矿业公司在智利寻找勘查项目，并于 1975 年年中派一名地质学家到智利侦察旅行。在拉塞雷纳（La Serena）该地质学家碰到了一位对埃尔印第奥高品位金矿采矿十分了解的地方顾问，这一会面使圣乔矿业公司的地质学家考察了埃尔印第奥。根据他在秘鲁对高品位低温热液银矿床的工作经验，他认定该区具有重要的金-银矿床的潜力。据报道，在考察期间获得的样品金品位出乎意料的高，含量接近 100×10^{-6}。紧接着进行了第二次考察，但由于冬雪覆盖，直至 1975 年才完成。1976 年年中，圣乔矿业公司与埃尔印第奥的主人磋商，同意购买 80% 的股份。

在 1976 年年底前开展了广泛的勘查项目，它包括最原始的地质填图和地理填图以及细粒土壤地球化学取样和岩石拣块取样，分析 Au，Ag，As，Cu，Pb，Zn。在埃尔印第奥当地人的工作区约 3 km^2 内，按 60 m×20 m 的网格采集了细粒土壤样品。2 000 个样品各元素的算术平均值为 Au 0.55×10^{-6}，Ag 7.64×10^{-6}，Cu 98×10^{-6}，As $1\,283\times10^{-6}$，Pb 283×10^{-6}，Zn 72×10^{-6}，Au，Ag，As 和 Pb 明显存在异常，并表现出正相关（图 2）。

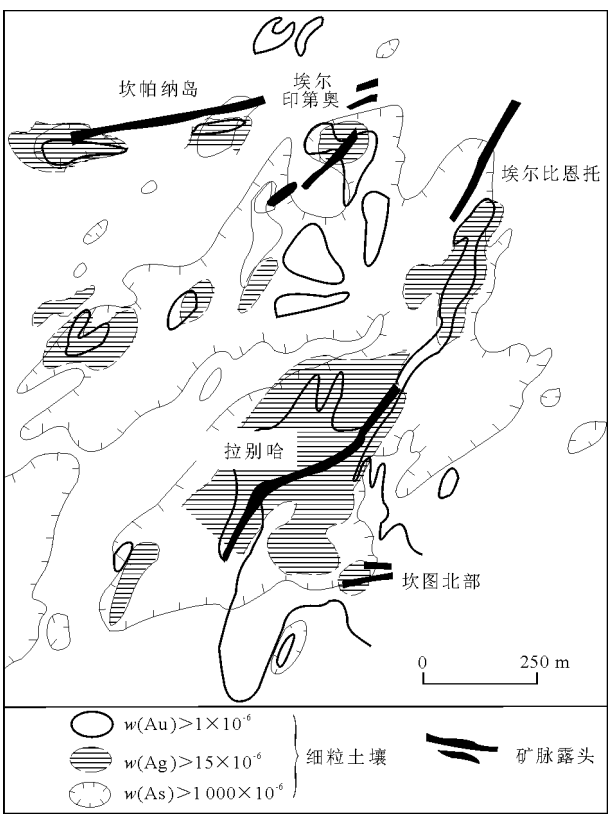


图 2 埃尔印地奥高硫低温热液 Au-Ag-Cu 矿床的—80 目土壤 Au，Ag，As 综合异常图

黄金地质研究所
信息室 提供

尽管Cu和Zn由于表生作用可能亏损，但Au，Ag分别超过1×10^{-6}和15×10^{-6}，它们的异常范围与后来发现的矿化脉十分吻合。As主要富集在臭葱石和其他含砷矿物中，As的异常范围要比Au，Ag，Pb大得多，因此，它是一种十分有用的探途元素。由于硫砷铜矿和黄铁矿的溶解度低，再加上石膏的屏蔽作用，矿脉在地表上的显示是不明显的。到1978年年中，共完成了地表钻探工作量1 720 m，槽探工作量4 078 m，而道路建设也揭露出一些人工露头。

1978—1979年，完成了地表钻探4 220 m，槽探3 920 m。然而，直至1979年5月才揭露出NE向的高品位石英脉。按2 m间距作刻槽取样，Au品位达$3\ 543\times10^{-6}$，故将该脉称作Indio Sur 3500。这条富矿脉距当地人找到的矿约100 m，但当地人未能发现它，因为该矿体隐伏于覆盖层2 m以下。

2.2 内华达矿床的发现

不受已知矿床模型的束缚，依据化探资料，对异常的查证，导致矿床的发现。

2.2.1 *地质背景* 内华达金-银矿床地处智利和阿根廷边界智利境内，位于埃尔印第奥矿床以北50 km，是属埃尔印第奥金矿带的一个重要的高硫化低温热液金矿床。内华达矿化系统出露在一陡倾的、垂直落差为100 m的斜坡上。矿化带的海拔标高在4 800～5 000 m之间。

金主要产在高级泥质蚀变带上部硅化的凝灰岩中。其下部为冰长石化蚀变，并有大量的硫砷铜矿。矿石以多种热液角砾产出。矿体被贫矿的、酸性淋滤岩石所覆盖，矿体还遭受了强烈的表生氧化作用。

内华达的金矿石达25.2百万t，Au平均2.43×10^{-6}。据最新报道，矿床金储量达96 t。

2.2.2 *勘查与发现* 内华达金矿床所在地Cerro Amarillo（黄山）虽然是一个大型的热液蚀变带，但直至20世纪70年代末才对它进行勘查。1975年晚期，一家私人矿业公司在埃尔印第奥矿带及其周围开展勘查活动后，宣布发现蚀变带。1978年，由圣乔矿业公司控股的圣乔子公司选中了内华达租地，而后进行了基本的地质和地球化学工作。

根据地球化学测量结果，进行推土槽探，钻孔钻探达3 347 m，在4个中段上坑道长达3 347 m。在细粒的土壤地球化学测量中，用w（Au）$>1\times10^{-6}$和w（Ag）$>20\times10^{-6}$在800 m×400 m的范围内圈出了化探异常，该异常比埃尔印第奥的异常更具有吸引力。几乎所有工作都是由英-美矿业公司来完成，其工作主要集中在4 700 m高程以下的古生代侵入体和石英斑岩上，因为其只注意寻找与埃尔印第奥相似的矿脉和富明矾石的热液角砾岩。由于金矿化范围十分有限，尽管个别地方品位很高，但英-美矿业公司还是于1984年撤回了项目。

1989年，圣乔矿业公司回到内华达，研究海拔更高区的东部地球化学异常，这些异常在过去的合资公司看来很不起眼，且从来未能解释清楚。1989—1991年间，4 255 m反循环钻探工作完成后，发现硅质熔结凝灰岩中可能含200万盎司的金。1991—1992年间进行了推土机挖掘，在一个截面上碰上了厚112 m的矿体，其Au品位为4×10^{-6}。这进一步证实了本区的矿产潜力。此时圣乔矿业公司的母公司（当时为Lac矿业公司）决定不再在内华达地区独立勘查，并将该项目提供给合资公司。几个公司都重新考察了相关资料，但只有智利的壳牌公司对此表现出兴趣。然而，智利的壳牌母公司还是不选择这个项目。最终，圣乔矿业公司的职员说服了其母公司，认为这个项目具有很大的优点，其预算主要用于钻探和槽探。从1992—1995年，共完成了66 000 m反循环钻，5 000 m岩心钻，以及冶金试验和可行性预研究，最终发现了该矿床。圣乔矿业公司的新股东Barric Gold决定开采和冶炼。

2.3 马尔泰(Marte)和洛博(Lobo)金矿的发现

区域性的航空地质调查圈定了蚀变带的分布(色异常)，进而开展详细的地质填图和化探工作，直至找到矿床。

2.3.1 *地质背景* 马尔泰（Marte）位于省城科皮亚波以东约130 km处，地理坐标为纬度27°10′19″，经度69°01′12″，是马里昆加成矿带新圈定的部分。洛博矿床与马尔泰矿床紧邻，2个矿床都产在小型的、多阶段的闪长斑岩的岩株内。它们均属斑岩铜-金型矿床。

复合岩株在地表分布的面积达800 m×700 m（图3）。岩株可以分成3个单元：粗粒闪长斑岩、细粒闪长斑岩和微闪长斑岩。其中细粒闪长斑岩分布较为局限，在马尔泰矿床深部最为发育，在那里可见其穿插粗粒斑岩（图4）。

金矿化产在中性泥质类型的绿泥石-绢云母-粘土蚀变所环绕的石英细网脉中。黄铁矿和铁氧化物主要呈浸染状产出，各自占岩石体积的比例可达10%。金属矿物除黄铁矿外，还有黄铜矿、辉钼矿、斑铜矿、砷黝铜矿和毒砂。非金属矿物有石

黄金地质研究所
信息室 提供

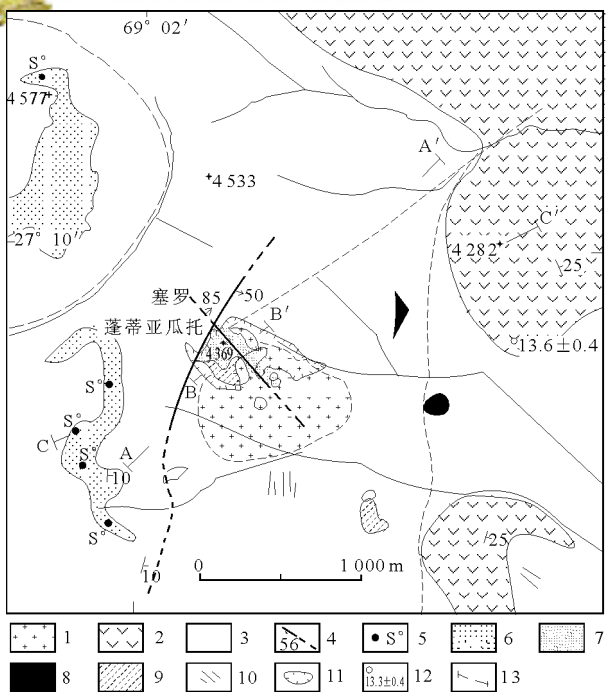


图 3　智利北部马尔泰矿床及其邻区地表地质图

1—闪岩斑岩岩株；2—安山岩质熔岩（未蚀变）；3—安山岩质熔岩（弱蚀变）；4—断层；5—自然硫富集区；6—浅部进化粘土化蚀变；7—进化粘土化蚀变；8—硅化；9—石英网脉；10—玉髓脉；11—土壤 $w(Au)>0.2\times10^{-6}$；12—K-Ar测定样品位置及年龄/Ma；13—剖面线

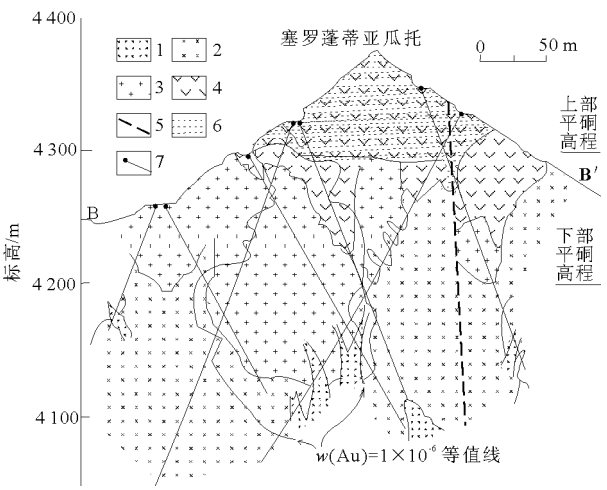


图 4　马尔泰矿床地质剖面图

1—基质为微闪长岩的侵入角砾岩；2—细粒闪长斑岩；3—粗砾闪长斑岩；4—安山岩质熔岩；5—断层；6—进化粘土化蚀变；7—钻孔

膏、方解石、电气石、自然硫、重晶石等。

2.3.2　勘查与发现　在埃尔印第奥矿床发现后，1980—1981 年对整个智利安第斯科迪勒拉使用固定翼飞机进行了初步航空地质调查，着重于了解金矿远景。此项工作是国际大矿业公司英美公司和联合矿冶公司的联合项目，具体工作由伯恩斯坦和汤姆森有限公司进行。主要任务是发现和鉴定与古近系火山岩有关的颜色异常（亮黄色赭石到红色土壤表明有硫化物氧化）和有关的硅化露头，鉴别出异常（该公司发现了 200 个左右）后，进行了配备直升机的地面调查和化探工作。当时的勘查是为了圈定印第奥型金-银矿床的远景区。

在详细的勘查工作开始之前，该区只是已知有自然硫的矿化，且认为该区的矿化可能是低温热液型的。马尔泰远景区的详查开始于 1981 年后期，到 1982 年年中完成了一些较详细的地质工作，包括地质填图和土壤地球化学测量。其中土壤地球化学测量集中在一个 2 km×1 km 的地区，用 $w(Au)>200\times10^{-9}$ 圈出了 6 个金异常。异常最高值达 400×10^{-9} 以上，最大的异常位于塞罗蓬蒂亚瓜托（Cerro Puntiagudo），其面积为 1 800 m×450 m，异常围绕着塞罗蓬蒂亚瓜托，后来证实该异常与矿体一致。该矿体部分被土壤所覆盖，在土壤中形成了中等（$>100\times10^{-6}$）的铜异常；并伴生有孤立的 Ag，Pb 异常（图 5）。

Au，Bi，Hg 异常吻合好，它与 Mo，Pb，As，Tl 可以确定马尔泰金矿床的位置。在塞罗蓬蒂亚瓜托上，这 7 种元素的含量都比马尔泰矿床大约高 5 倍（图 6），尤其是 Bi，其含量高达 44×10^{-6}，As 达 340×10^{-6} 和 Pb 达 535×10^{-6}。这种特征与粘土化的岩盖密切相关，而不是由隐伏的含金网脉引起的。As，Pb，Mo 和 Hg 异常明显反映了岩盖中含有的少量硫砷铜矿、方铅矿、辉钼矿和辰砂，但 Bi 和 Tl 含于何种矿物中还不清楚。

Cu 和 Zn 则形成了特殊的地球化学异常（图 5），最高的 Cu 含量位于塞罗蓬蒂亚瓜托两侧。在东北侧 Cu 峰值与 Au 含量相一致（图 5），在矿上方，较高的 Zn 值构成了一个宽广的地球化学异常（图 5）。Pb 和 Zn 异常不一致，这种现象是非常特殊的。在洛博矿床上方的地球化学测量结果也表现出类似情形（图 6）。

1983—1987 年在马尔泰进行了较深的反循环钻探、金刚石钻探和坑探，圈定矿石储量 4 600 万 t，金品位 1.43×10^{-6}，即含金 66 t，还含银 29 t，矿床属斑岩型，由石英细脉和网脉组成。

大多数钻孔在浅部和较高部分穿过了硫化物矿体，而在平硐和穿脉中所见的是氧化矿石。为查清这一意想不到的浅部硫化物带，1986 年末在塞罗蓬亚瓜托又施工一条平硐，比第一条平硐高 84 m。

1983 年，使用 80 m 的反循环钻对洛博地区进行了初步的研究，但直到 1988—1989 年，当 78 个孔累计达20 970 m，平均每孔深度达300 m时，

黄金地质研究所
信息室 提供

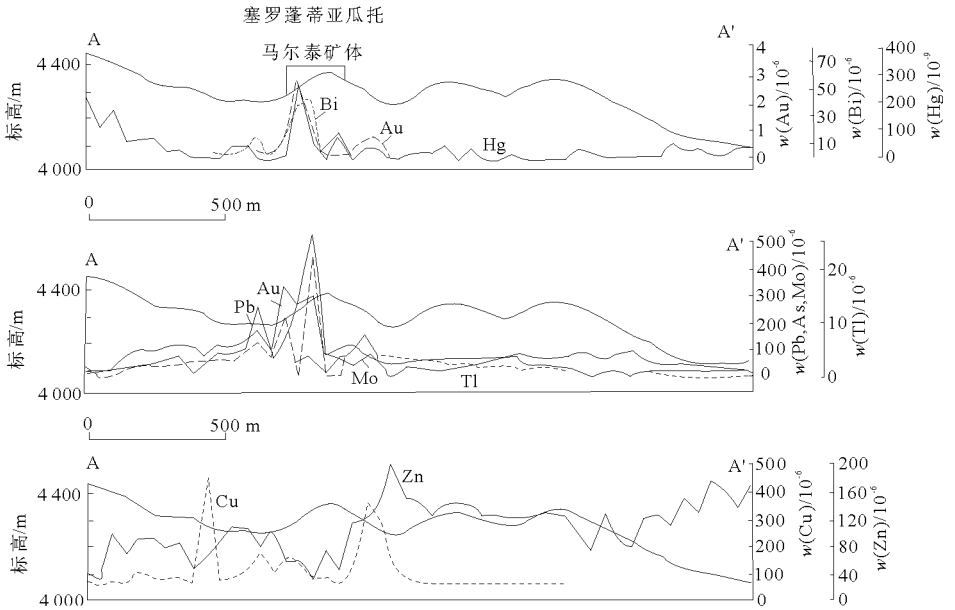


图 5　智利北部穿过马尔泰矿床的土壤地球化学剖面

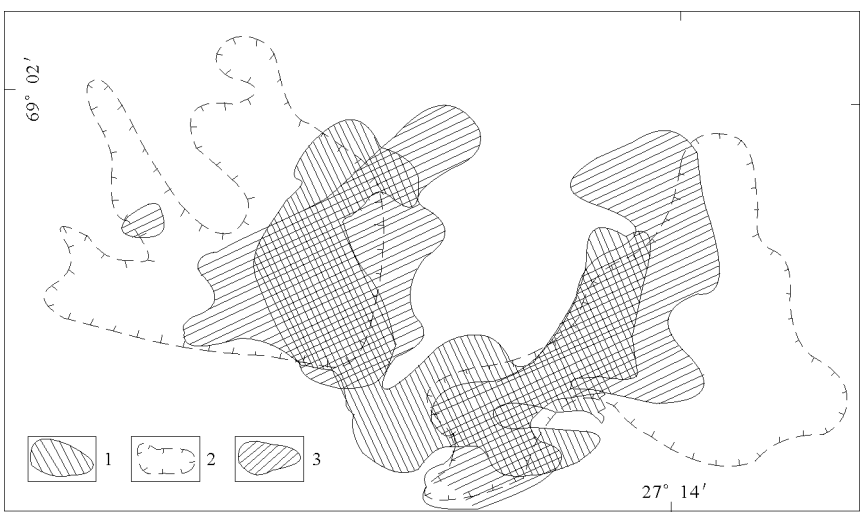


图 6　洛博斑岩矿床上方土壤和岩石碎块地球化学异常图

1—细粒土壤 w（Au）＞200×10^{-9}；2—细粒土壤 w（Cu）＞100×10^{-6}；3—岩石拣块样中 w（Au）＞500×10^{-9}

才圈定出洛博矿体，求得地质储量 8 000 万 t，金品位 1.6×10^{-6}，即含金 128 t。

2.4　雷富希奥金矿床的发现

系统的化探工作导致特大型矿床的发现。

雷富希奥金矿（Refugio）是马里昆加金矿带南部的又一特大型矿床，它位于科皮亚波东 120 km、海拔 4 200～4 500 m 的半干旱区，该矿床目前由雷富希奥矿产公司（CMR）和贝马金有限公司共同进行开采。该矿产地最初是 1984 年在野外考察蚀变时确定为金的远景区，CMR 取得了此矿产地，随后完成了一项地质填图、土壤地球化学采样计划，并且确定 3 个含金异常值的大蚀变区：韦尔迪（Cerro Verde），潘乔（Cerro Pancho）和瓜纳科（Guanaco）（图 7）。

1985 年底，CMR 公司选定英美公司进行 3 年勘查，在 3 个蚀变区用 w（Au）＝100×10^{-9}圈出地球化学异常，筛选出了金矿化的目标。1989 年，CMR 又与贝马公司联合勘查，1990 年，完成韦尔迪矿床钻探，共打钻 60 900 m（307 孔，以反循环钻进为主，部分为金刚石钻进），求得地质储量 2.16 亿 t，金平均品位 0.88×10^{-6}（含金约 190 t），并含少量铜。矿体规模为 1 400 m×650 m，延深逾 400 m，已完成详细可行性研究，初始可采储量 1.01 亿 t，金品位 1.02×10^{-6}（计 103 t 金），预期再打少量钻孔可使可采储量达 1.85 亿 t，金品位 0.908×10^{-6}，含金约 166 t，预计 1993 年下半

黄金地质研究所
信息室 提供

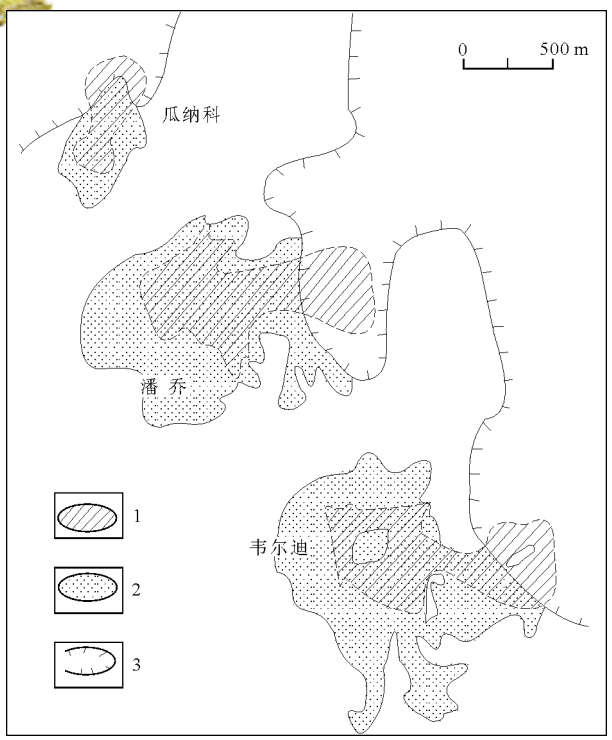


图 7 雷富希奥细粒土壤地球化学异常

1—斑岩铜-金矿床；2—土壤中 w（Au）＞100×10^{-9}；3—矿化后的凝灰岩

年投产。1991 年早期已在潘乔矿床完成一期钻探，求得推测储量共 6 800 万 t，金平均品位 0.96×10^{-6}。

像马尔泰、洛博矿床一样，雷富希奥是一个斑岩金矿床，地表有所显示。地质填图和细粒土壤取样、岩石拣块取样圈定出了最初的靶区。

2.5 拉科伊帕（La Coipa）矿床的发现

区域性航空地质踏勘和老资料的开发，导致矿床的发现。

2.5.1 *地质背景* 拉科伊帕矿床地处多梅科山脉，海拔高度 3 800～4 400 m，位于韦索矿床东南约 50 km，马里昆加盐沼西北 20 km，是该带最重要矿床之一。

该矿床主要产在三叠纪黑色页岩和砂岩以及第三纪凝灰岩和凝灰质角砾岩中。高品位矿石在空间上均与断层有关，其次与有利的岩性层位有关。各区段的高银低金矿石均出产在第三纪火成碎屑岩层内（图 8）。

金一般以自然金的形式产出，但局部也可检测出银-金矿，尤其是在拉德拉矿体内。在氧化的高品位矿带内，最常见的含银矿物是角银矿、银铁钡、氯溴银矿和银的其他卤化物。硫化物见于矿带的未氧化带与氧化带之间的过渡带，在氧化带内未氧化岩石的残余小斑块中产出。最常见的硫化物是黄铁矿、黄铜矿、铜蓝、砷黝铜矿、毒砂、方铅矿和闪锌矿。从矿床产出的构造背景、金-银矿化作用的特征、硫化物的组成及蚀变等来看，该矿床基本上属酸性硫酸盐型低温浅成热液矿床。

2.5.2 *勘查与发现* 大约在 100 年前便已知此贵金属矿点。1884 年，Fransico San Poman 曾描述过拉科伊帕地区的地质特征，记载了当时在距现今的采矿区 2 km 处的采矿活动，并建议进一步开展地质工作。然而，近百年来地质勘查人员对该区地并未予以注意。1975 年，在拉科伊帕以南约 300 km 处的埃尔印第奥发现了金矿床，这一发现使人们把兴趣集中在安第斯山脉高海拔区。20 世纪 70 年代晚期若干勘查公司对拉科伊帕产生了兴趣，原因是该区有明显的颜色异常，以及个体矿工在唐爱德华多（Don Eduardo）发现了含金构造，该地处在现在的法雷永（Farellon）和北拉科伊帕（Copia Norte）2 个矿体之间。1980—1981 年，智利 Amax 矿业公司、Sierra Morena（费尔普斯道奇公司和后来的金田矿业公司的子公司）和英美矿业公司先后考察了该地区。在勘查埃尔印第奥目标区开

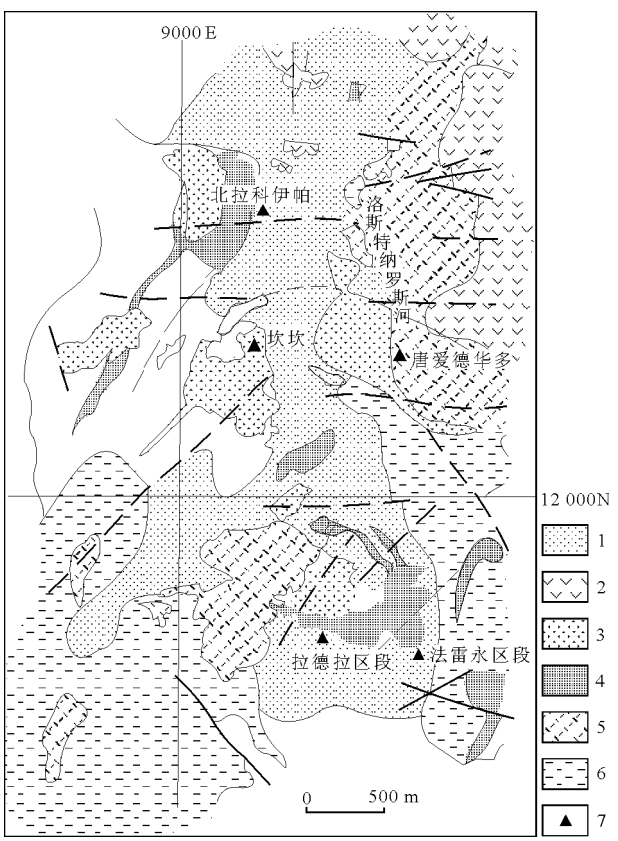


图 8 拉科伊帕矿区地质图

1—第四纪沉积物；2—晚期火山岩（英安岩和安山岩）；3—酸性凝灰和角砾岩；4—火山碎屑杂岩（凝灰岩，凝灰质角砾岩和火山成因的沉积岩）；5—英安质角砾岩和熔岩穹隆；6—三叠纪沉积基底（黑色页岩和砂岩）；7—矿体

黄金地质研究所
信息室 提供

展的航空踏勘过程中，Sierra Morena、英美公司的地质学家都注意到了特殊的蚀变带。Amax 公司的地质学家通过阅读文献事先知道 San Romans (1911) 所介绍的位置，其中曾经与 San Romans 在一起工作过的一位地质咨询师回忆起 1966 年对拉科伊帕进行过非技术性考察的情况。

来自上述 3 个公司的地质学家建议依据各自的地质观测、岩石碎块样品中的金-银异常情况划定租地。他们都遇见了在唐爱德华多沿着北部边缘的硅质构造带提炼金情况（图 9）。Amax 公司的 2 位地质学家意识到在 12 km^2 范围内唐爱德华多和其他构造内具有高硫化的特征。因租地的问题，Amax 和英美公司没有选择该区继续作工作，而由 Sierra Morena 率先开展详细工作。

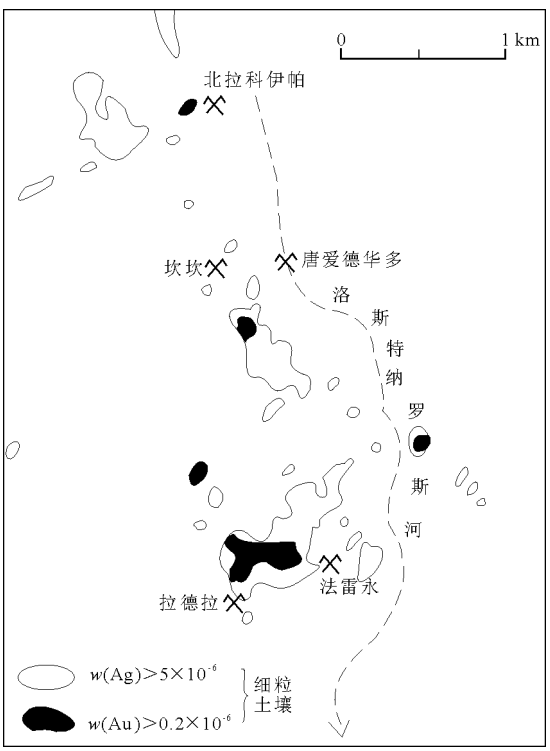


图 9 拉科伊帕矿区 Au，Ag 的地球化学分布图

1981 年中，在该区开展系统勘查，包括在 4 个地区开展了土壤地球化学测量：北拉科伊帕 (Copia Norte)、4 397 m 高地（坎坎 Can Can）、唐爱德华多、4 308 高地（Ladera-Farellon）（图 9）。

在 2 km×3 km 的面积内，按 100 m×50 m 网度采集 1 750 个土壤样，分析了 Au，Ag；此外，还在地表采集了具有矿化迹象的露头。结果发现了 3 个异常区：北拉科伊帕、唐爱德华多、拉德拉—法雷永。后来，通过路堑和探槽取样才圈定出了坎坎异常。

在地表 Ag 的含量特别高，而且分布较广。它是导致发现北拉科伊帕、拉德拉—法雷永的关键因素。除此之外，w（Ag）$=5\times10^{-6}$ 识别出 2 个有意义的点：唐爱德华多和坎坎。在矿化中心，Ag 达 60×10^{-6}～70×10^{-6}，最高达 900×10^{-6}（拉德拉矿体）。异常总体呈 NW 向排列，但单个异常本身略呈 NE 向展布（图 9）。

在 1982 年年初，用推土机来建设道路和挖掘槽探工程，对所有挖掘的露头都采集了化探样品，取样间距为 3 m，大约完成了 2 500 m 的刻槽取样，其结果非常令人鼓舞。最特殊的地段是在拉德拉的 60 m 处，其中 Ag 的含量达 670×10^{-6}，通过比较 Au，Ag 异常，确定了钻探的部位。

然而，存在一种顾虑是槽探样品的高品位会不会是贵金属表生富集的结果。因此，最初在拉德拉的钻探按规则网格设计冲击孔，其主要目的是检验深部元素含量的连续性。该项工作始于 1983 年，其中第 9 个孔被定为发现孔，它切过厚度为 72 m 的矿体，Au 品位为 3×10^{-6}，Ag 品位为 90×10^{-6}～180×10^{-6}。冲击钻探项目证实了矿体在深部的连续性。

尽管复杂的法律使矿产勘查受阻，但 1982—1985 年还是进行了广泛勘查，钻探约 9 万 m，坑探 800 m，发现 2 个矿体（拉德拉—法雷永和北拉科伊帕）。1987 年，继续进行勘查和可行性研究及建选厂，1989 年投产。该矿床是一很大的金矿床，也是一极大的银矿床，属高硫化浅成热液型，容矿岩石为三叠纪黑色页岩和砂岩以及晚渐新世至早中新世凝灰岩和凝灰角砾岩，伴有英安质火山穹隆。矿化主要受断裂控制，呈细脉浸染状、热液角砾岩状和脉状形式产出。矿床含金 126 t，银 12 316 t。

在 19 世纪晚期，地质学家就已观察到拉科伊帕（La Coipa）蚀变带并作了有关报道，但 90 年以后才对其进行重新考察与评价。通过区域性的航空踏勘和文献评述，才使该蚀变带再度引起人们的关注。目前，它是世界上最大的银生产基地之一。

3 斑岩铜-金型与低温热液型金矿床模型与勘查

3.1 斑岩铜-金矿床模型与勘查

英国的 R. H. 西里托在对马里昆加金矿带的斑岩铜-金矿床做研究后认为，所有大型的富斑岩矿床都符合一个统一的模式（图 10）。总的来说，该模式与斑岩铜矿床几乎没有什么不同。金-铜矿

黄金地质研究所
信息室 提供

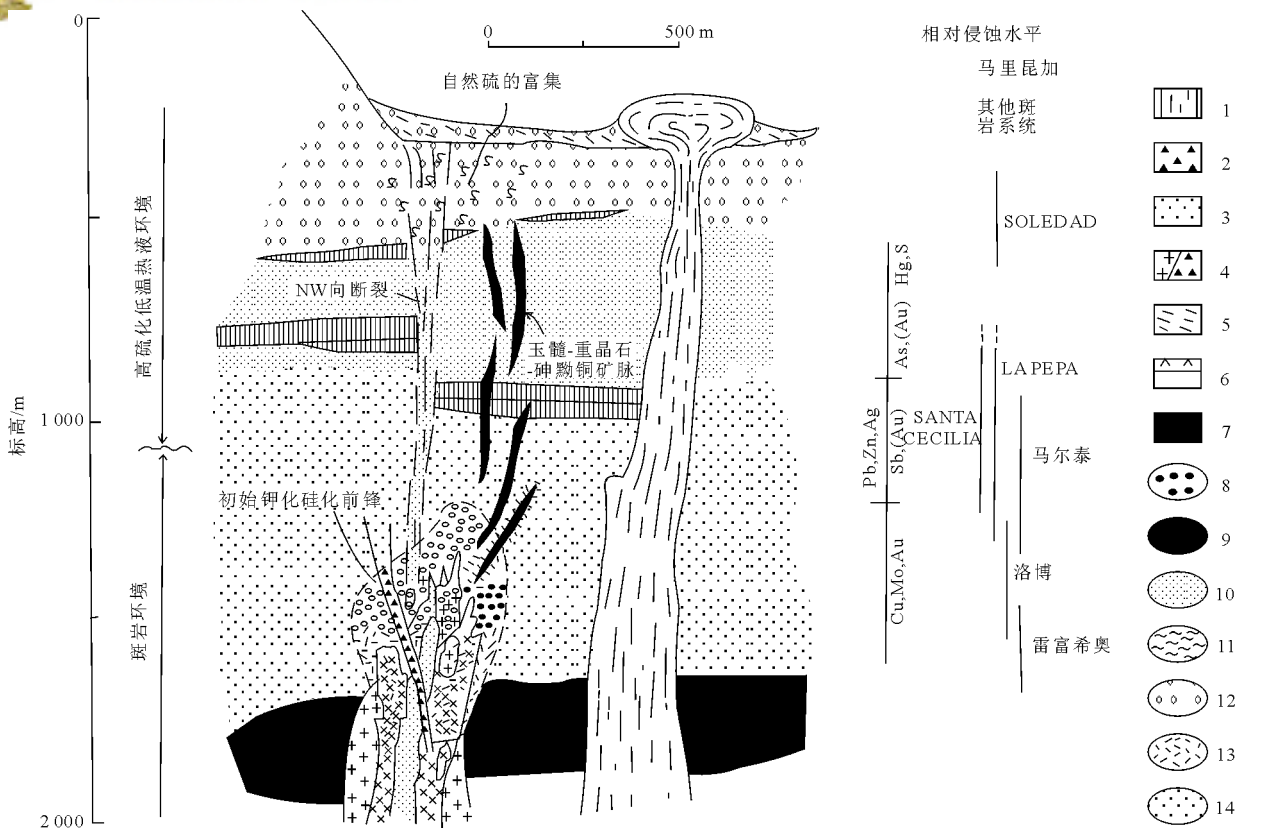


图 10　马里昆加金矿带典型斑岩系统的理想剖面

1—矿化期后的英安斑岩；2—晚期矿化的热液角砾；3—晚期矿化的微闪长岩；4—闪长岩/石英闪长斑岩岩株；5—火山碎屑沉积岩；6—安山-英安火山岩；7—次火山岩基底；8—酸性淋滤；9—玉髓化；10—石英-明矾石化；11—绢云母化；12—中等粘土化；13—钾化和硅化；14—青磐岩化

化位于复合斑岩岩株中心。从横剖面上来看，复合斑岩岩株呈环形到椭圆形，至少在 2 km 范围内是直立的。这些岩株一般包含成矿期间和成矿晚期的相，这 2 个相含金和铜相对少，因为它们是在蚀变和矿化过程中侵位的。

钾硅酸盐蚀变向外渐变成绿磐岩化，有些矿床含有绢云母化完整的或部分的环带。绢云母化和绿磐岩化的范围通常与黄铁矿晕吻合。在雷富希奥、巴都希贾乌矿床，以伊利石/绢云母和绿泥石为代表的中等泥质组合部分地叠加在钾硅酸盐蚀变之上(图 10)，但似乎没有发生数量可观的金属进入。

富金的斑岩铜矿床的一个重要特征是矿床中磁铁矿含量较高，这是由于搬运金的岩浆流体处于高氧化状态。虽然热液中磁铁矿含量的高低不能用来区分矿床的大小，但这类磁铁矿的存在至少说明它们是富金的。另外，磁铁矿含量足以用航磁测量探测出来。研究表明，在环太平洋地区的下德拉阿布雷拉、格拉斯贝格和巴都希贾乌矿床的上方，均存在显著的“牛眼状”磁异常。因此，可以用磁法来筛选斑岩铜-金的远景区。

其次，岩浆房的快速冷却、隆起及后来的被剥蚀都有利于形成大的富金斑岩矿床及有关低温热液矿床。因此，可以将快速隆起的自然地理证据作为找矿的标志。例如，在热带地区快速隆起和剥蚀作用会形成陡的切割带，在岛弧中会形成高出海平面 1 km 或更高的晚新生代残存的浅海相层序。现有资料表明，太平洋岛弧中所有的富金斑岩矿床的年龄都小于 5 Ma，所以具有这样年龄的岛弧最有找矿远景。但在美洲西部的干旱和半干旱地区，快速隆起与这种快速剥蚀不相称，因此具有成矿远景的岩株不会那么年轻。

再次，有人认为斑岩岩株侵位于致密的围岩时可以形成较高品位的富金斑岩矿床，因为岩浆流体发生还原逸散。相对不透水的但具有吸收能力的石灰岩，对控制大型高品位矿的位置是特别有效的。因此，可以认为在陆架碳酸盐岩区上形成的岛弧是寻找斑岩铜-金的有利位置。

3.2　低温浅成热液金矿床

从整个环太平洋来看，浅成热液金矿床可以划分成高硫化型和低硫化型两大类。这 2 类矿床所处的地质构造部位大体相同。从马里昆加—埃尔印第奥金矿带的地质研究程度来看，该区研究程度较

黄金地质研究所
信息室 提供

低，几乎没有开展过系统的勘查，因此，可以从区域着手，遵循从区域到局部的勘查原则，区域展开，导致点上的勘查突破。下文从宏观上阐述地质找矿标志与勘查准则。

对于浅成热液金矿床来说，它们常常产在汇聚板块的边缘，根据现代火成岩类型及其分布，可以将其识别出来。

决定浅成低温热液矿化的主要因素不是火山岩的分布，而是地表以下的深部侵入体的分布。侵入岩能为大气水循环提供热量，并把岩浆组分带到热液系统中。因此，应当确定火成岩区的范围，即与火成作用有关的火成岩（火山岩和侵入岩），其中钙碱性火成岩区最有远景。

多数浅成低温热液矿床是在浅部形成的，因此，在已知深剥蚀地区的远景不大的情况下，剥蚀深度可以根据保存下来的火山岩范围和侵入体的性质及规模估算出来。

在确定有利的热流特征且尚未遭受剥蚀的情况下，必须考虑区域性的构造准则。大的构造带可依据各种区域性资料如地质图、航磁图和卫星资料来识别。

在区域选区确定后，可用常规的化探方法（如岩石、土壤、水系沉积物测量等）和圈定地表蚀变露头等方法来进一步缩小靶区。

3.3 斑岩铜-金矿床与低温热液金矿床的套叠关系

英国矿床学家 R. H. 西里托根据对美国、菲律宾、巴布亚新几内亚、南斯拉夫、匈牙利等地的斑岩铜矿床做研究后指出，在火山岩区许多斑岩铜矿系统高部位，多发育有浅成的热液贵金属矿床矿脉和含硫砷铜的块状硫化物矿脉。它们发育在上部泥化蚀变带内，是斑岩铜系统上部火成岩段的一个组成部分，共同组成火山岩区的热液系统。他认为，在大量硫砷铜矿之下，可能有斑岩铜矿的存在，这像在菲律宾的勒班陀含砷铜矿金矿脉下方发现的巨大的“远东南”斑岩铜矿床那样。

图 11 为西里托对智利金（铜）矿床分布的总结。该模型的实质是，智利的高硫化浅成低温热液型金矿化往往发育在以侵入体为中心的斑岩型矿化的上方，而低硫化浅成低温热液型矿床以及更深部位的接触交代型和脉型金矿床，则产在斑岩型矿化的边缘部分（图 11）。

西里托认为，智利斑岩系统内的矿化套叠程度，决定着斑岩型和浅成低温热液环境的空间趋近程度。在套叠现象发育良好的地方，高硫化型矿化便产在斑岩型矿化的毗邻部位，并叠覆在后者上，

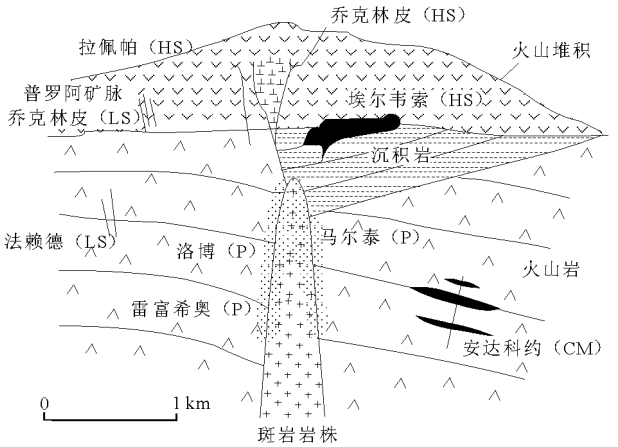


图 11 智利若干典型金矿床相对于理想化斑岩系统的产出位置示意图

乔克林皮金矿的关系部分是推测的。图中 CM 表示接触交代型，HS 表示高硫化浅成低温热液型，LS 表示低硫化浅成低温热液型，P 表示斑岩型

而低硫化型矿化则可能赋存在斑岩型矿化的旁侧。马尔泰矿床的情形可以作为一个特例，该区的斑岩型金矿床、高硫化环境以及潜水面上方的酸性淋滤现象，彼此极为靠近。在套叠现象不太发育的系统内，可预料到，在斑岩型矿化顶部与浅成低温热液环境底部之间，应存在一段虽经热液蚀变但却不含矿的间隔区。

关于套叠模式的成因，过去认为是由于接近火山岩区古地表地温陡然变化的结果。但这种解释不能令人信服地说明发育于与俯冲作用有关的火山-深成弧中的许多金矿床和贱金属矿床中存在浅成低温热液矿床和次火山型蚀变和矿化明显套叠现象。西里托通过广泛研究各类矿床的套叠模式，提出了“火山剥蚀和塌陷”是以侵入体为中心的矿床套叠成因。该观点认为，斑岩岩株内及其周围的热液持续时间长达 1 Ma，在某些系统内长达 2～3 Ma，但单个侵入体只需 1～10 万年即可冷却。这一数据说明，成矿作用过程中有足够的时间使火山岩遭受侵蚀。显然在陡地形的火山岩区，剥蚀速度大于平缓地区。据估计前者是后者的 10 倍，平均速度为 1 m/1 000年。其中，地震引起的滑坡作用是破坏地形的最主要形式。由地震事件、喷发活动和高层位的岩浆侵入以及其他原因引起的瞬间重力滑坡，导致扇形塌陷或破火山口的塌陷，从而可分别引起活动热液环境或突然向上位移，导致形成套叠的蚀变矿化系统。

从成矿作用来看，套叠作用是十分重要的，因为通过 2 种或更多种矿化环境产物的叠加，会生成新的特大型矿床。套叠作用可导致以侵入体为中心

黄金地质研究所
信息室 提供

的系统早期沉淀的金属受到热液淋滤和发生再富集。从矿床空间分布来看，套叠模式揭示了斑岩型金矿床与低温热液金矿床的空间关系，同时将两者的成因统一起来。在寻找以侵入体为中心的矿化系统时必须考虑这种套叠模式，尤其在勘查高硫化的低温热液矿床时更值得注意。套叠作用的野外证据：1）斑岩侵入体和（或）晚期岩浆玻璃质石英网状细脉（最初是作为钾硅酸盐矿物组合一部分生成的）上叠加有高级泥质蚀变矿物组合和高硫化矿物组合；2）保存有火山残余物。在智利地区容易识别出扇形塌陷。在野外缺少地貌证据的情况下，岩屑崩落和（或）由此形成的含矿蚀变和矿化岩块的爆发产物，说明扇形塌陷影响了发生矿化的可能套叠在热液系统的上部。

4 矿床（带）发现的关键技术分析及对成矿区带找矿的启示

从埃尔印第奥和马里昆加金矿带的发现过程来看，矿产勘查技术手段相对简单，而且所采用的是传统的地质勘查技术。其中主要的关键技术有 2 项：第一，区域性的航空地质调查，鉴别和发现与第三纪有关的蚀变带（颜色异常）的分布；第二，土壤地球化学取样和岩石拣块取样。此外，已知矿床的模型、地表蚀变带的地质填图也起着相当重要的作用。但纵观本区发现的矿床，其最核心的技术便是土壤测量和岩石拣块取样。在埃尔印第奥和马里昆加金矿带，植被较为发育，地表一般被坡积物所覆盖。因此，在该区发展细粒土壤地球化学测量技术（或称山麓堆积物取样，英文为 Talus），并灵活地采用岩石拣块取样法，补充土壤地球化学测量，依据地球化学方法圈定出异常，再根据地表异常检查和槽探取样、反循环钻验证。从某种意义上来说，没有什么新技术，但这些方法效果很好。从矿带的铜-金矿床的发现可以获得如下启示。

1）矿产勘查战略的合理性与当时的地质-找矿环境和形势、所面临的主要找矿任务和难题、所拥有的找矿理论和技术是密切相联系的，很难、也不应该依其出现的先后论其“好”与“坏”、“先进”与“落后”，能解决矿产勘查所面临的难题，取得当时条件下的显著找矿成果，应是其主要衡量标志，这也是决定着采用矿产勘查技术手段的准则。因此，在制定勘查战略或合理勘查程序时，应充分考虑研究区的地质、景观条件及其地质研究程度。

2）对于像埃尔印第奥—马里昆加金矿带这样工作程度较低的矿带来说，想要提高找矿效果，必须强调化探的超前作用。

无论是埃尔印第奥—马里昆加金矿带，还是印尼铜-金矿带，就整个矿带而言，地质研究程度较低，但矿产资源的潜力巨大。在这种条件下，传统的化探方法是最有效且成本最低的勘查方法，大量的矿床发现足以说明这一点。也就是说，对于一个新区，尤其是工作程度较低的地区，应优先使用传统的化探方法。其次，地表地质填图也是十分必要的，通过地表填图对化探异常进行查证，追溯矿化露头，顺便采集岩石样品，以圈定地表矿化。

3）重视已知矿床外围及深部找矿。从马里昆加金矿带的发现和扩展来看，埃尔印第奥金矿床的发现是直接影响到其他矿床勘查与发现的。在埃尔印第奥外围的勘查，直接导致了马里昆加金矿带的发现。此外，埃尔印第奥矿床的成矿模式对于指导外围找矿也具有重要意义。

4）中生代火山岩区的斑岩铜矿床与低温热液矿床在时间上、空间上和成因上的联系，为浅成低温热液矿床深部寻找隐伏矿提供了一种新的思路。

摘自《国外重要成矿区带典型找矿案例和勘查技术应用》

美国内华达州中—北部金矿化集中区

内华达州是美国乃至世界有名的产金区，银矿及有色金属矿也占有重要地位。内华达州的金矿开采活动可追溯至 19 世纪中期，20 世纪 60 年代以来，随着卡林、科特兹等几个重要矿床的发现，产金量剧增。20 世纪 80 年代中后期以来，由于深部高品位矿床勘查取得了突破，该成矿区的矿床勘查进入了一个新的阶段，也使内华达州成为美国名副其实的“金州”。继 1996 年产金量达历史最高水平后，1997 年又创历史新高，达 242.6 t。银产量在 1997 年也比 1995 年的最高记录多 4.3 t，达 768.2 t。

翻开内华达州矿床勘查与重要发现史，不难发现，每次矿床勘查取得突破，均与对勘查区地质特征认识程度提高、勘查技术进步密切有关，这在 20 世纪 80 年代中期以来体现的更为明显。

黄金地质研究所
信息室 提供

1 区域地质背景

内华达州的贵金属矿和有色金属矿主要分布在4个矿带上，分别是卡林矿带、格彻尔矿带、巴特尔山—尤里卡矿带、伊利—汉米尔顿山—尤里卡矿带。以下以卡林矿带为主，介绍矿带区域地质特征及矿床地质特征。

1.1 卡林矿带

卡林矿带位于内华达州东北部，从埃尔科县的西南部向北延伸，通过尤里卡县后进入埃尔科县的西部，矿带长65～70 km，宽8 km，呈320～325°方向展布。迄今，在卡林矿带上发现不同规模的矿床及矿化点已超过30处，年产金量占全美国金产量的35%，目前估计金的资源量在8 000万盎司以上，已探明的金储量约5 000万盎司，储量数字随着找矿勘查的突破，每年都在变化。根据对该矿带上不同规模矿床统计规律，其勘查程度相对于其成矿远景来说仍然较低，找到新矿的潜力仍很大。

从地质背景上，卡林矿带位于美国西部大盆地省。该矿带上分布寒武纪—泥盆纪岩石，按类型可划分为2种岩石组合，其分界线即为著名的罗伯茨山逆掩断层。断层的西侧为外来的硅质岩组合，主要由燧石、泥质岩、砂岩、绿岩及少量碳酸盐岩组成；断层的东侧为准原地的碳酸盐岩，主要由碳酸盐岩、石英岩及页岩组成。卡林矿带上，这2种岩石组合均被密西西比系岩石超覆，密西西比系为一套主要由碎屑岩组成的岩石序列；上述古生代岩石中均有时代为侏罗纪和白垩纪的花岗闪长岩岩株和岩墙，这些侵入岩呈线状分布；第三纪岩石包括页岩、粉砂岩及中—酸性凝灰岩和熔岩，硅质岩墙、岩颈和岩株，基性和酸性凝灰质沉积岩；第四系主要为凝灰质沉积岩。

金矿床主要位于古生代构造地层单元、中生代花岗闪长岩株及第三纪侵入岩和火山岩中（表1），为热液浸染交代型矿床。地球化学特点Au/Ag值高，围岩一般为碳酸盐岩、粉砂岩或钙质粉砂岩。几乎所有的矿床均与侵入岩有关，这些侵入岩呈岩墙、岩株、岩床状，成分为花岗闪长岩—流纹英安岩，一般都发生蚀变和矿化作用，并在一些矿床中含有可采Au。多数矿床中均含有硅化岩石，如块状碧玉岩，碧玉岩中有多期热液角砾岩化的迹象。蚀变类型除了硅化外，还有伊利石、蒙脱石、高岭石、绿泥石和绢云母（表1）。

卡林矿带上金矿床一般都受高角度断层控制，

表1 卡林矿带部分金矿床特征

矿床	围岩	时代	岩性描述	成矿时代	蚀变	异常元素
蓝星	维尼尼组长英质岩脉	奥陶纪,侏罗—白垩纪	砂质粉砂岩、石英岩,花岗闪长岩	37.5 Ma	硅化、泥化、重结晶化、脱碳	
布特斯特拉普	维尼尼组,布特斯特拉普组长英质岩墙	奥陶纪,泥盆纪,白垩纪	黑色燧石粉砂岩、页岩,叶片状粉砂质灰岩,英安斑岩	37 Ma	硅化、泥化、去碳、氧化	Ag, Sb, Hg,Zn
布利恩莫纳克	未知	古生代	沉积岩	中生代或第三纪		
卡普斯通	维尼尼组,布特斯特拉普组长英质脉	奥陶纪,泥盆纪,白垩纪	薄层粉砂岩、页岩、燧石叶片状粉砂质灰岩,英安斑岩	37 Ma		
卡林	罗伯茨山组,维尼尼组,帕波维奇组长英质脉	志留—泥盆纪,奥陶纪,泥盆纪,侏罗—白垩纪	粉砂质、泥质、碳质白云岩,钙质页岩,薄层粉砂质、白云质灰岩,花岗闪长岩-石英闪长岩	37 Ma	去碳、泥化、硅化、钙化、氧化	As, Hg, Sb,Tl
迪伊	布特斯特拉普组长英质脉	泥盆纪,白垩纪	叶片状到块状钙质粉砂岩与灰岩、粉砂岩主层,石英闪长岩	白垩纪或第三纪	去碳、泥化、硅化、氧化	As, Sb, Hg,Tl
金坑	维尼尼组（部分）	奥陶—泥盆纪	燧石、页岩、粉砂岩及含杂质碳酸盐岩	30～38 Ma	去碳、泥化、硅化、氧化	As, Sb, Pb,Zn,Ba
马吉克里克	未知	奥陶—泥盆纪	位于罗伯茨山断层上盘为硅质及过渡相构造地层单元,下部为粉砂质到泥质灰岩、白云质灰岩、钙质页岩及粉砂岩和砂岩,上部为薄层粉砂岩、燧石、石英岩	白垩纪或古近纪	去碳、泥化、硅化、氧化、白云岩化	As,Zn,Ba
雷恩	韦布组	密西西比纪	暗灰—黑色薄层状粉砂岩、页岩及细粒砂岩	36～37 Ma	去碳、泥化、硅化、氧化、重晶石化、钙化	As,Ba

黄金地质研究所
信息室 提供

走向为 SN，NE 和 NW 向，断层的交会处如果有合适的岩性，则产生局部层控矿体。

金的颗粒一般为亚微粒到微粒级，在黄铁矿表面呈膜状，有些地带则是分散在非晶质碳的颗粒上，以金-有机质配合物形式出现。

硫化物矿物则有黄铁矿（占 2% ）及数量不等的辰砂、雄黄、雌黄、辉锑矿，还有少量的贱金属硫化物矿物，包括闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、辉钼矿。在几个矿床中，还发现几种极少量的含铊矿物。

1.2 其他矿带

巴特尔山—尤里卡矿带与卡林矿带平行，由于矿床（点）空间分布比卡林矿带更分散，其范围更广，延伸长度超过 250 km。该矿带是由一条高航磁异常带的一个分支确定的线性体带，Landsat 影像上表现为一条明显的线性体。该矿带分布有沉积岩为容矿岩石的金矿床，如科特兹、汤金斯普林斯、金坝、金英亩（图 1）。除此之外，还分布有火山岩为容矿岩石及斑岩型金矿床。沉积岩为容矿岩石的矿床，其地质特征和矿床地质特征与卡林矿带的相似，容矿岩石为古生代构造地层单元，主要为灰岩。区域构造主要为罗伯茨山逆掩断层及一系列控制矿化分布的第三纪高角度断层。斑岩型金矿

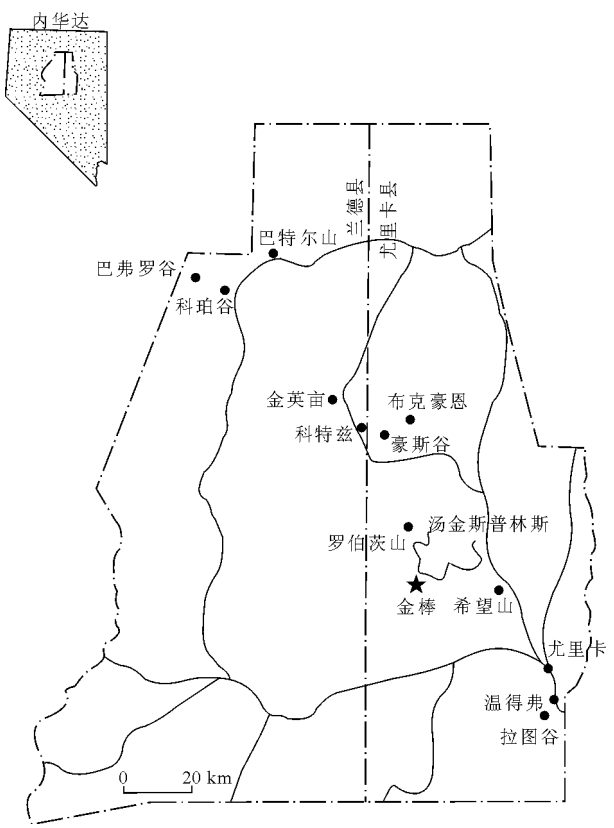


图 1 巴特尔山—尤里卡矿带主要矿床分布

为夕卡岩容矿岩石的矿床，有麦科伊、弗体求德等矿床。麦科伊矿床主要金矿化类型为奥古斯塔山组中的含金外夕卡岩，奥古斯塔山组为三叠纪块状至厚层状灰岩和白云岩，总厚度 460 m，其上部为硅质砾岩、石英岩和薄层灰岩。夕卡岩位于奥古斯塔山组地层与第三纪石英二长岩到花岗闪长岩（布朗岩株）接触带，布朗岩株是矿区最重要的侵入体，大小为 670 m×430 m。矿化受构造控制，断层及其交会处控制侵入体分布，断层作用和剪切作用在金矿化中起了重要作用。麦科伊矿床与弗体求德矿床特征极为类似，但前者主要硫化物矿物为黄铁矿，后者主要为磁黄铁矿，另外，弗体求德为远端夕卡岩矿床。

巴特尔山—尤里卡矿带北部与格彻尔矿带相交。格彻尔矿带呈 NE 向延伸，位于奥斯古德山的东缘，包括格彻尔、普雷布尔、平森、奇姆尼克里克、拉比特克里克等矿床。该矿带主要是由沉积岩为容矿岩石的金矿床组成，围岩主要有寒武系普雷布尔组，奥陶系科穆斯组，下二叠统伊查特组，在局部地段，容矿岩石也有奥斯古德山花岗闪长岩体。格彻尔和普雷布尔矿区容矿岩石为普雷布尔组，岩性为千枚状页岩及块状到薄层状灰岩；平森矿区矿化和蚀变作用主要发生在科穆斯组，主要岩性为白云岩、灰岩、页岩互层，还有少量燧石、碎屑质及火山碎屑质沉积岩；奇姆尼克里克矿区金矿化位于伊查特组地层单元内，伊查特组主要由灰岩、砂质灰岩及少量砾岩组成。时代为白垩纪的奥斯古德山花岗闪长岩侵入上述古生代沉积地层，在接触带发生接触变质作用。格彻尔矿带分布的这几个矿床大多数受格彻尔断层控制。

伊利—汉米尔顿山—尤里卡矿带位于内华达中部，呈 EW 向延伸，该矿带分布一系列与侵入体有关的斑岩铜、铅、锌矿床，包括罗宾逊矿区、泰勒矿区、怀特派恩矿区、沃德矿区等，矿化与花岗岩、石英二长岩侵入体有关，岩体总体呈 EW 向排列。虽然 20 世纪 60 年代已发现了这条矿带，但延伸范围及与其他矿带的关系则是近年来综合地质、地球物理、遥感数据确定出来的。

由于内华达州贵金属矿产资源在世界上所处的重要地位，吸引了数百家公司从事勘查，技术评价与开发项目有力地推动了不同矿带上的勘查工作。从不同时期矿产勘查策略、成果来看，勘查技术进步及策略演变对上述几条矿带近年来勘查工作取得一系列突破起了重要作用。

黄金地质研究所
信息室 提供

2 地质填图和化探技术导致20世纪60～70年代一系列地表、近地表矿床发现

20世纪60年代以来，对内华达州分布的贵金属、贱金属矿床成矿规律认识有了突破性进展，最主要的是罗伯茨首先认识到矿床的呈带分布特点，这些矿带具有一定的地质特征，主要是火成岩和磁异常的线性分布。因此，20世纪60年代开始，本区的矿床勘查即按区（带）部署，并具有如下特点。

2.1 以勘查模型指导找矿

20世纪60～70年代该区的找矿勘查取得的一系列突破，均与勘查模型的更新及成矿规律的认识的提高密切有关。构造窗与矿床空间关系密切，卡林矿床的发现就是按构造窗模式找矿的典型实例。在以后的一段时间内，虽然按这一模式取得了一定的找矿效果，但过分强调构造窗的作用和将注意力集中在罗伯茨山组，在勘查工作中漏掉了格彻尔矿带，而格彻尔矿带的产金量仅次于卡林矿带，包括格彻尔、普雷布尔、平森、奇姆尼克里克、拉比特克里克等重要矿床。20世纪70年代，经过多年的勘查实践，总结出了卡林型矿床的以下勘查模型，并在广泛用于本区的勘查，取得找矿效果。

1）有利的钙质沉积岩；

2）硅化热液蚀变；

3）能指示黄铁矿氧化露头的铁锈颜色；

4）与侵入岩或蚀变岩脉距离相近。

2.2 区域地质填图和化探技术为主要手段

用于获取基础地质资料的区域地质填图在这一时期的矿床勘查中起重要作用，即针对卡林型矿床的构造环境及有利的岩性、地层单元，以区域普查圈定找矿靶区，最后根据地质资料布钻。值得一提的是USGS基础地质资料在该时期的矿床勘查中发挥了重要作用，包括卡林矿床在内的一些重要矿床就是在USGS基础地质资料指导下找到的。野外地质观察在一些矿床的发现中起决定作用，从而被矿业公司的有经验地质人员视为重要的找矿手段，格彻尔矿带中的普雷布尔矿床于1971年发现，发现时该区并无已知金矿，发现者White DelaMare之所以对该区感兴趣是因为在野外观察到了砷氧化物的染色，即对转石采样导致了该矿的发现。同样，卡林矿带上的迪伊矿床也被以前在该区工作采多次样的很多勘查专家忽视。White DelaMare在一个小的露头上发现了硅化特征及铁锈染色，从而导致了该矿的发现。

这一时期的化探分析和异常筛选、评价技术有了提高，对化探异常的研究也有效地用于矿床勘查，尤其是对作为金矿床的指示元素的As异常和Hg测量给予充分重视。科特兹矿床的发现就是地球化学分析技术的提高和异常评价方法取得重要突破的直接结果。继科特兹矿床发现后，化探技术在本区的金矿勘查中得到了广泛的应用。近地表矿勘查中，由于回转钻探成本低，在普查阶段安排面积性的钻探计划，物探技术并没有得到广泛应用，作为区域成矿规律研究面积性地质填图手段的遥感技术应用也是在20世纪80年代以后。

2.3 以地表、近地表矿为主要勘查目标

20世纪60～70年代，由于受勘查技术发展水平、区域勘查程度、金价、勘查开发成本的影响，本区的找金以地表、近地表矿为主要勘查目标，并取得了大面积的找矿突破，深部矿的潜力虽然已被认识到，但由于技术原因而未获找矿效果。尤其是R. W. Merwin预测深部矿资源量可观，使该区掀起了找深部矿的小热潮，在罗伯茨山逆掩断层部位打了一系列深度达300 m的钻孔，但找矿效果不好。

以下简介典型矿床发现过程的实况。

2.2.1 *卡林矿床* 卡林矿床位于林恩构造窗的东北边，下盘岩石为志留纪和泥盆纪碳酸盐岩，上盘岩石为奥陶纪燧石及硅质页岩。整个矿区的金矿受高角度断层控制，呈EW向延伸约2.1 km，矿体则呈板状，与地层基本平行。一般认为是由热流体沿高角度断层多期脉动形成的，热穿透罗伯茨山组白云岩，形成金的沉淀而成的。

卡林矿床的发现是纽蒙特公司20世纪50年代实施地表可采金矿找矿工作的结果，USGS在该区的地质调查资料对该矿床发现起了决定性作用，因为在筛选找矿靶区的过程中，该公司勘查人员在已有的“该区主要矿床均位于罗伯茨山逆掩断层构造窗部位并呈线状排列”这一认识基础上，注意到了USGS地质调查资料中，内华达中北部分布有古生代地层。20世纪60年代初开始对与构造窗有关的矿化点进行系统调查与分析。由于林恩构造窗上下盘均有古生代碳酸盐岩，很快引起勘查人员的注意并进行化探采样工作，建立金的背景值，圈出金的异常分布区。根据这些数据购买勘查租地，后经过进一步的地质填图和山地工作，发现了现在的卡林矿床。

卡林矿床的发现在当时是一个重大突破。首先，确立了微细浸染（卡林）型金矿这种新类型金

黄金地质研究所
信息室 提供

矿床的经济价值。虽然20世纪30年代就在内华达识别出了这种金矿化类型，但直到20世纪60年代发现卡林矿床后，其重要性才被广泛接受；其次，为其后进一步找“卡林型”矿床确立了一种勘查模式和找矿勘查策略及技术方法组合，即圈定被剥露的构造窗内的有利岩性、地层单元，具体做法是广泛采用区域地质填图资料和野外露头观察、岩石地球化学取样。

2.2.2 *科特兹矿床* 20世纪60年代中期发现的科特兹矿床也可以说是卡林矿床勘查工作的延伸。前已述及，卡林矿床发现后，围绕构造窗找矿成为在该区从事金矿勘查的公司的一种“时尚”，各公司加紧对该区几个构造窗及其附近的勘查工作，这些构造窗均是USGS区域地质填图中识别出来的。同时，科特兹矿床的发现在很大程度上归功于化探技术的发展。1959年，USGS启动了“犹他和内华达地球化学晕”项目。在该项目实施野外地质填图过程中，发现科特兹地区出露有罗伯茨山逆掩断层的上下盘岩石，由于该区及附近很多矿床均与构造窗有关，因此，对硅质碎屑岩和泉水进行普查性化探取样，分析结果表明，上盘岩石中有较高的金属富集，异常空间分布受断层控制，并具有分带模式（中心部位Cu异常，靠近中心部位Pb，Zn，Cu异常，外围As异常）。1963年，USGS在科特兹构造窗的下盘碳酸盐岩中进行地质、地球化学填图，结果表明，在碧玉岩、断层充填物和剪切带中有As，W，Te异常富集。1964年，美洲勘查与采矿公司认为整个科特兹地区值得进行广泛的地质、地球物理、地球化学与钻探工作，并在As，W，Te异常区附近打了浅钻，但钻孔样品分析结果并不理想。USGS对样品数据进行了处理和分析，以增强金属含量显示，揭示出了As，W，Te异常分布模式。与此同时，对已知的格彻尔、卡林矿床进行了地质、地球化学研究，以研究As，Au异常间的关系，并研制用于检测痕Au的快速、可靠分析技术（光谱分析技术）。应用新的化探分析技术，在格彻尔矿区发现岩石、土壤中As，Hg，Te，W的异常分布与金矿床关系密切。同时，在金英亩、卡林矿区也存在这一关系。因此，1965—1966年，对以前采集的露头和钻孔样品重新进行了Au，Hg分析，发现了Au异常。受这一结果的影响，在异常区进行了野外调查工作。在罗伯茨山逆掩断层出露区的志留纪和泥盆纪硅化蚀变灰岩样品中，Au的含量达100×10^{-6}，1967年，钻孔取样圈定金矿矿石储量为3.1 Mt，1969年开始采金。

2.2.3 *金坑矿床* 金坑矿床是卡林矿带上又一个沉积岩为容矿岩石的金矿床，位于卡林镇以北11 km。该矿床围岩为晚泥盆世碳酸盐岩和硅质碎屑岩，这些岩石中分布几条规模较小的岩脉，并被一系列断层切割。主矿体分布在2条断层的交会部位，微粒金出现在黄铁矿及白铁矿中，与异常含量的As，Sb和Hg有关。

金坑矿床位于马吉克里克矿区。马吉克里克矿区的勘查工作可追溯至1870年，20世纪初建立露天采矿场，主要开采硼砂、蓝铜矿、孔雀石、绿松石等矿物，也开采少量的金、银。1935年，Witt和Sneadaker对马吉克里克矿区进行了地质填图和采样，认为该区含有低品位金矿体，建立露天开采，但由于技术和成本原因而失败。直到20世纪50年代末，Au，Ag产量一直占很小比例。60年代，纽蒙特公司在内华达东北部地区实施勘查计划后，情况有了变化。该勘查计划基于USGS区域地质填图结果，并将大型近地表矿床勘查工作重点集中在已知矿区组成的矿带内及构造窗部位或其附近地区。早期的勘查工作主要是围绕金矿点的构造窗进行地质普查和系统岩石地球化学采样。1961年，圈定了异常区并购买租地，一年后在卡林就找到了高含量金矿化。1962年，又在马吉克里克矿区附近地区购买了勘查租地，并识别出了碧玉岩露头。1962—1970年，在碧玉岩露头周围的勘查钻探资料圈出Au品位为0.12 oz/t的矿石34万t。同样，由于选、采技术原因而告失败。1972年，由于对金坑地区钻孔样品的XRD/XRF研究识别出了重要的蚀变特征，从而该区重新引起注意。1972—1977年间，Larry Noble和Charles Ekburg在该区的西南侧进行了地质填图和取样，1979年，在马吉克里克矿体以外180 m处的钻孔中发现有意义的金矿化，与金坑的见矿露头相距600 m。随后，经进一步工作，圈出了主矿体。主矿体规模300～450 m，深度300 m，最初探明含金1.68×10^{-6}的氧化金矿石1.3亿t。

1986—1990年，该矿区深部勘查发现了深部硫化物矿体。

3 20世纪80年代以来成矿区带的延伸及已知矿区外围和深部矿床的勘查

前已述及，内华达州矿床勘查早在20世纪60年代就按成矿带来部署工作，并取得了较好的找矿效果。以地质填图化探技术为主导的找地表、近地

黄金地质研究所
信息室 提供

表矿一直持续到 80 年代初，80 年代尽管金棒、奇姆尼河、巴尔德山、汤金、莱恩、隆特里、塞克雷特隘口等一系列地表或近地表矿仍是通过露头观察、取样和浅钻找到的，随着勘查程度的提高，地表矿再有重大的找矿突破已不大可能，而隐伏矿逐步成为主要的勘查目标。

20 世纪 80 年代以来，由于找隐伏矿的需要，找矿部署和勘查技术策略逐渐发生变化。在找矿部署上，围绕成矿区（带）及已知矿外围和深部开展工作，以求得矿产勘查出现新的突破，这一做法普遍被接受；在勘查技术策略上，由于钻探成本的提高，布钻需要建立在广泛、可靠三维地质信息基础之上。因此，用于探测深部地质特征的物探技术得到了更多的应用。

对区域构造、地层、岩体分布的了解是勘查工作部署和技术设计的依据，遥感技术和区域物探技术的应用很好地配合了这种区域工作。20 世纪 80 年代初，用内华达州的陆地卫星 MSS 成像资料、航磁和重力资料，揭示区域构造带分布规律与贵金属、贱金属成矿区（带）的关系。通过遥感、区域物探资料的线性体解译与基础地质资料研究，共揭示出横穿内华达的 3 条构造带，分别是南部构造带、沃克龙恩构造带和洪堡构造带。宽度均为 150～200 km，延伸到邻近的蒙大那、犹他及加州。其中，NE 向的洪堡构造带是金属高富集区，这 3 条构造带控制了中新生代的构造、岩浆活动，为矿床勘查工作部署提供了重要的基础资料。这有利于从区域规模上把握矿床分布规律，并按区（带）部署找矿工作和选择合适的勘查技术组合。

区域物探技术对于圈定与矿床有关的隐伏花岗岩体分布也具有重要作用。USGS 根据航磁数据处理资料，编制内华达花岗岩体分布图，其中，大多数地段未见露头。众所周知，卡林等几条矿带上的矿床与中生代侵入体关系密切。这对其后的隐伏矿勘查意义重大。

20 世纪 80 年代以来，对于如何在矿带上部署找矿工作，广泛启用物探、遥感及地质资料，研究矿带延伸、分布范围及相互关系。伊利—汉米尔顿山—尤里卡矿带分布的一系列斑岩型铜、金矿床与 EW 向分布的中酸性侵入岩关系密切，怀特派恩 Cu-Ag 和 Pb-Ag 矿床、沃德 Zn-Ag-Cu 矿床、泰勒 Ag-Pb 矿床、罗宾逊 Cu，Au 矿床等一系列斑岩型矿床与 EW 向分布的中酸性侵入岩关系密切。矿区两侧 EW 向和 NW 向断层广泛发育，NW 向断层与卡林矿带和巴特尔山—尤里卡矿带方向一致。上述几个矿区在构造和岩浆活动上有什么内在联系？按传统的观点，以前所谓的“汉米尔顿—伊利矿带”的西端位于汉米尔顿附近的 Ag-Pb-Zn 矿床，汉米尔顿以西的矿床与该带是否有内在关系？或者说该矿带是否一直延伸到汉米尔顿山以西？延伸范围？更有意义的问题是南部的这条 EW 向矿带与 NW 向的卡林和巴特尔山—尤里卡矿带是否具有构造上的联系？针对上述问题，对这些地区的 TM，航磁，重力和区域地质资料进行处理、解译和综合分析，结果发现有一条航磁高异常呈线状排列，东起伊利，向西一直穿过汉米尔顿山，还有一条 NW 向的航磁高异常穿过汉米尔顿山。而内华达北部的航磁异常图上显示，航磁高异常向南一直延伸到巴特尔山—尤里卡异常区以南。TM 资料和区域地质图证实了上述的航磁高异常与侵入岩体间的关系。TM 成像资料上解译出的线性体及填绘出的构造构成一条从伊利到汉米尔顿山以西的带，并在汉米尔顿山地区与巴特尔山—尤里卡矿带相交，尤其是这条 EW 向线性体带延伸到汉尔顿山以西在 TM 图像上显示的非常明显。因此，可以得出如下结论。

1）航磁异常高与矿床和矿化有关；

2）EW 向航磁异常高及 TM 线性体圈出伊利—汉米尔顿山—尤里卡矿带的分布及延伸；

3）EW 向矿带的西段与巴特尔山—尤里卡矿带南段相交。

对于矿带上矿床勘查来说，由于 USGS 实施评价方法开发项目（DAT），及在一些矿区实施技术方法应用试验与技术开发取得了一系列成果，而促使矿床勘查中物探、化探、遥感技术得到广泛应用，并带来找矿效果。格彻尔矿带上的格彻尔矿区和普雷布尔矿区开展物探调查试验研究，所采用的方法是甚低频电磁法、水平线圈电磁法、磁法和频谱激发极化法，沿断层分布的矿化蚀变带（“强粘土”）在视电阻率剖面上有明显的反映；时间域电磁法（TDEM）在确定冲积物覆盖之下火成岩基底深度方面有较好的应用，在内华达中部用 TDEM 方法，成功地确定了一处矿点上不均匀冲积物盖层之下基底火成岩的深度，并区分出了不均匀冲积物电阻率的系统变化，而这些变化可能与岩性变化有关。另外，盆地边界断层系统也可用冲积物厚度变化及沿剖面横向电阻率的变化来圈定；可控源声频磁大地电流法（CSAMT）也是内华达矿床勘查中的重要技术方法。Phoenix Geoscience 公司用 CSAMT 视电阻率数据，在内华达中北部填绘出了

黄金地质研究所
信息室 提供

冲积盖层下的含金构造带及深度，并得到钻孔资料的证实。随着遥感技术的发展，多光谱数据及其处理技术在检测岩性、蚀变带应用中显示出一定的潜力，对一些公司的勘查工作产生了吸引力，除了星载 TM 数据的广泛应用外，还安排了几项卡林矿带上的机载遥感数据采集项目，其中，热红外勘查项目就是针对与卡林型矿化密切有关的硅质岩的检测与填图而实施的。

20 世纪 80 年代以来的矿床发现充分体现了物、化、遥技术的作用及潜力，技术策略上也有别于以往。

3.1 科夫矿床

科夫 Au-Ag 矿床位于巴特尔山—尤里卡矿带，距麦科伊夕卡岩型金矿 1.6 km。该矿床容矿岩石为三叠纪奥古斯塔沉积序列岩石，在 3 个组中发现矿化，依次是法弗里特、潘瑟谷和奥古斯塔山组。法弗里特组为一套灰色粉砂质灰岩，含化石，其上整合覆盖潘瑟谷组，该组岩性为硅质碎屑岩和碳酸盐岩。奥古斯塔山组整合覆盖于潘瑟谷组之上，主要岩性为灰色灰岩，局部地段有薄层页岩夹层。

上述三叠纪沉积岩被大量的长英质岩脉和岩床侵入，这些侵入岩呈细粒，含长石、云母、石英斑晶。侵入岩普遍遭受绢云母到绿磐岩蚀变，含黄铁矿。岩脉的原岩成分可能为花岗闪长岩或石英二长岩，岩脉的 K-Ar 年龄为（39.5±1.5）Ma。

奥古斯塔山组之上不整合覆盖凯塔诺凝灰岩，厚 180 m，岩性为石英安粗岩和灰流凝灰岩。

科夫矿床是在勘查麦科伊矿床过程中发现的，麦科伊矿床的发现可以追溯至 1914 年。20 世纪 20 年代末到 30 年代初在浅部采金，这一时期产金量不足 311 kg。20 世纪 60 年代中期，Bear Creek 矿业公司、Summa 公司、Houston 石油与矿业公司、Goldfield 公司、Tenneco 矿业公司都曾经在该矿区进行过勘查。1984 年，Tenneco 公司开始对麦科伊矿区重新评价，基于其地质储量有 8.7 t，Tenneco 公司决定对麦科伊矿床投产，其后的钻探等工作，使其可采储量达到 19 t。1986 年，Echo Bay 矿业公司获得了该矿区的所有权，并继续实施勘查工作。

Echo Bay 公司的勘查工作包括水系沉积物取样、土壤取样、岩层取样及详细地质填图。由于成本低廉，用探槽来验证各种地表异常。在麦科伊矿区周围 21 km^2 范围内共取了 500 个水系沉积物样品。从现在的科夫矿床位置上识别出 1 个明显的水系沉积物异常，在科夫矿区共取了 7 个水系沉积物异常样，金含量为 15×10^{-9}～77×10^{-9}。同时，也检测出了 Ag，As，Hg，Sb，Tl 异常。接下来的地质填图和岩屑取样揭示出了碧玉状含锰灰岩及 1 个砾石大小的蚀变长英质岩脉露头。上述 3 种岩石中均含矿石品位的金矿化。

1986 年 9，10 月份，对科夫地区的蚀变岩区进行了土壤取样，以 30 m×60 m 为网格共采 147 个样，样品是在 B 层和 C 层土壤剖面中采集的，结果发现了 1 个明显的 Au-Ag-As 异常（图 2），金异常（高于 20×10^{-9}）长 855 m，宽 30～305 m。

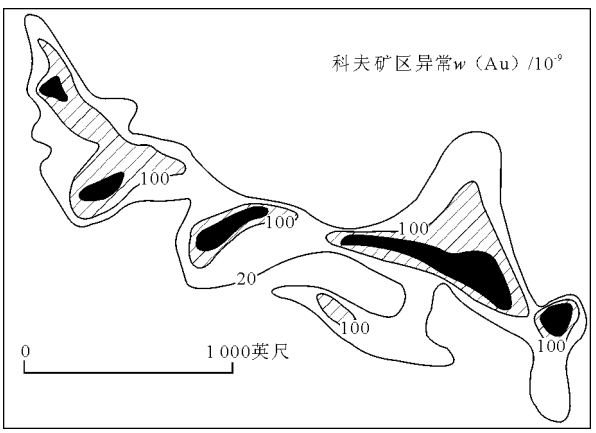


图 2 科夫地区土壤 Au 异常图

黑色区 Au 的富集为 500×10^{-9}～$2\ 600\times10^{-9}$

其中有 8 个样品的 Au 为 $1\ 000\times10^{-9}$～$2\ 600\times10^{-9}$，Au 异常的东部与一个 1×10^{-6}～213×10^{-6} 的 Ag 异常吻合，As 异常高达 $1\ 000\times10^{-6}$，并与 Au 异常吻合，土壤取样揭示出了一个典型的地球化学“牛眼”状强异常，是理想的钻探目标。

1986 年 10，12 月对土壤异常进行了探槽揭露，沿异常长轴方向挖了 7 个浅槽，每个槽均含 0.3×10^{-6}～3.4×10^{-6} 的 Au 矿化，其中一个浅槽 28 m 宽，Au 平均品位 1.2×10^{-6}。同时也发现了宽度超过 30 m，品位超过 35×10^{-6} 的 Ag 矿化。

1987 年 1 月在科夫地区打了第一口勘查钻，25 个回转钻探总进尺 1 540 m，每一个钻孔深度 30～120 m，第一口钻 33 m，Au，Ag 平均品位分别为 0.8×10^{-6} 和 31×10^{-6}，最高值分别为 4.5×10^{-6} 和 $2\ 238\times10^{-6}$。

在首批的 25 个钻孔中，有 23 个厚 1.5m，Au 品位为 0.6×10^{-6} 的矿化。同年 3 月中旬，打了 42 口钻，最大厚度 145 m，矿化良好。1987 年 3 月底，Echo Bay 公司宣布发现科夫 Au-Ag 矿床。

由于地表露头很少，钻孔资料又有限，对科夫

黄金地质研究所
信息室 提供

矿床地质研究只能依据大量的地球化学数据和蚀变特征研究，根据所获取的资料，推测科夫矿床的地质模型是上部为氧化带，下部为硫化物带，其地质图如图 3 所示。

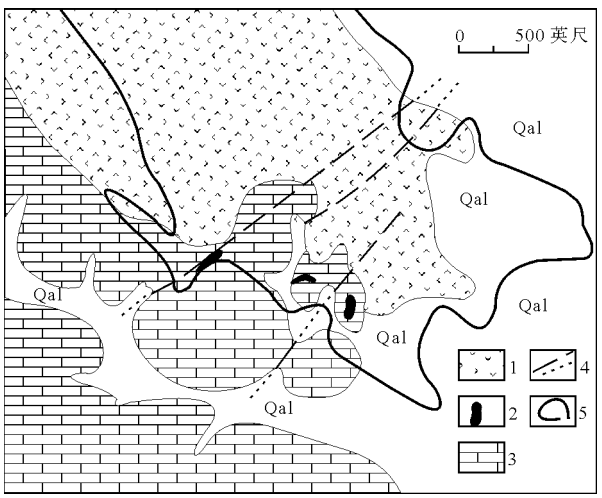


图 3 科夫地区矿带地表投影地质图

Qal—第四纪冲积物；1—第三纪凝灰岩；2—第三纪碧玉岩；3—三叠系奥古斯塔山组；4—断层；5—矿体地表投影

到 1988 年 6 月，共打了 458 个回转钻探孔，以确定矿床边界，其中 18 个钻孔布在科夫矿床位置上。到 1988 年 2 月，证实的储量分别为 Au 65.36 t，Ag 3 000 t，并推测总储量可望达到 Au 149 t 和 Ag 7.5 Mt。矿石平均品位为 Au 1.8×10^{-6}，Ag 92.5×10^{-6}。

科夫矿床于 1988 年 2 月投产。最初用露天采矿、堆浸法提取 Au。

3.2 弗体求德矿床

弗体求德夕卡岩型 Au-Ag 矿床位于巴尔特山—尤里卡矿带的巴特尔矿区。矿体围岩为古生代灰岩，弗体求德矿床及本矿区其他的贱金属—贵金属矿化成因上与始新世末期的一个发生弱的钾硅酸盐蚀变花岗闪长斑岩株有关，该岩株侵入古生代沉积地层，地层受逆掩断层切割（图 4）。

巴特尔山矿区的采矿活动可追溯至 1866 年，20 世纪初发现金。Duval 公司于 1978 年开始露天采 Au，Ag，由于认识到科珀谷岩株的金属分带模式（图 4 中的中心部位 Cu-Au-Ag，向外围 Au-Ag 到 Zn-Pb-Ag），因此，1980 年从科珀谷岩株向北实施钻探工作。在西带和弗体求德之间的菲尼克斯区的 2 个垂直钻孔打到了含金富磁黄铁矿硫化物矿化。这一结果促使在岩株的北侧进行 EW 向地面磁法和电磁测量，线距 200 m，磁法结果显示出一个10 250 nT的封闭高异常，1981年，在高异常外

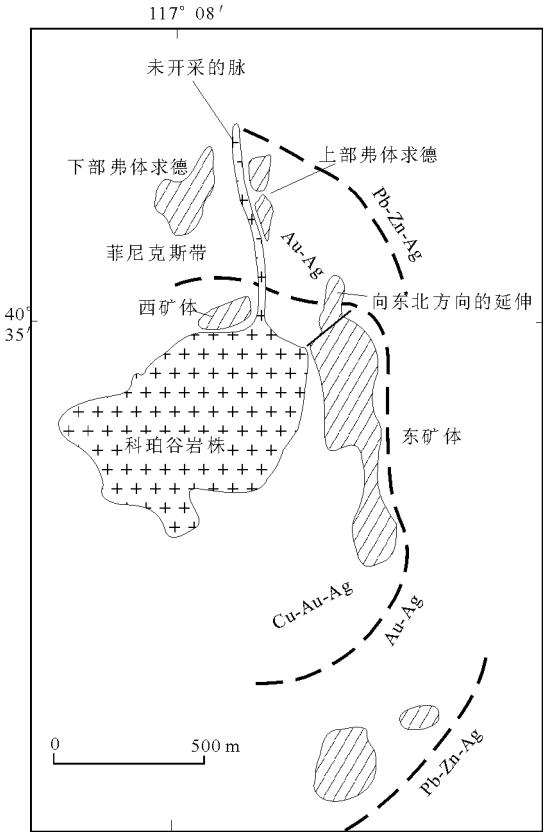


图 4 科珀谷花岗闪长斑岩岩株周围的金属分带及在弗体求德矿床分布模式中的位置

打钻验证，并在未矿化的岩株之下 109 m 处打到 23 m 厚的金矿化，平均品位 8×10^{-6}，表明发现了深部隐伏的弗体求德矿体。高的磁异常响应是由于磁黄铁矿引起的。电磁法测量有助于确定断层位置，但无法检测到矿体。

科珀谷岩株以北地区有地球化学数据（转石），由于矿体隐伏在缺少沉积岩部位之下至少 45 m 处，因此，地球化学数据对于弗体求德矿床的发现不起直接作用，但该区维尔京断层及其他断裂上样品的 Au，Ag，Bi 值可以看作是下伏矿体的渗滤异常。

1981—1982 年，按磁异常分布，布置大于 200 m 的回转钻探，以确定矿体。1984 年投产，1990 年代初，已在弗体求德的上部和深部矿体采 Au 210 万盎司，Ag 970 万盎司。之后，在露天开采矿区以南的菲尼克斯区的钻探，共圈定 Au 品位为 1.46×10^{-6}的矿石 1 700 万 t。

3.3 绿松石脊矿床

绿松石脊金矿床位于格彻尔矿带，温尼穆卡县东北 72 km 处，与格彻尔矿山相距不远。该矿床围岩为奥陶纪和寒武纪页岩及灰岩。这套岩石受 NW 和 NE 向剪切带的切割，金矿化沿这 2 个方向

黄金地质研究所
信息室 提供

构造交会处分布，深度达 427～671 m，大吨位、水平产状矿体出现在遭受褶皱、被断层切割的有利岩层部位。

格彻尔矿山的金矿化是 1934 年发现的，1938 年格彻尔公司采 Au，并一直持续到 1960 年，1960—1967 年由内华达 Goldfield 公司采矿，1972 年 Conoco 公司购买该矿，之后 Conoco 公司进行过断断续续的勘查活动，1983 年格彻尔公司收买。迄今格彻尔公司在该矿山共产 Au 43.4 t，主要来自露天开采，目前则以地下开采为主。

1985 年，发现绿松石脊地表氧化金矿化是一项大面积地质填图和取样计划成果的一部分，1985 年底开始浅钻，1986 年初钻孔见矿。1993 年开始对氧化矿进行露天开采，1995 年结束。

绿松石脊深部矿是根据物探异常布钻发现的。1991 年沿矿床进行了 CSAMT 测量，其目的是检测深部受断裂作用改造的目标物，这些目标物的烃类物质含量较高。之所以进行这样的调查是因为格彻尔矿区具有与金矿带有关的烃类物质富集。测量结果发现了几处异常，其中一处就是目前矿体的位置。1993 年底开始安排深的勘查钻。根据物探资料，目标物是构造交会部位，向下倾斜，一直延伸到比近地表的玄武岩更有利于成矿的围岩中。1994 年底，在 305 m×914 m 靶区内用钻孔确定出很多矿化带。

从上述矿化带中选出最有希望的，布置详查钻，并进行前期可行性研究。所确定出的目标物正好位于大的低品位矿堆之下，也是最好的 CSAMT 异常区，1995 年 2 月至 7 月，实施了详查钻探计划，共打 14 个孔，加上以前的各种钻孔，共有 81 个，确定出了矿带的范围。

迄今，推测绿松石脊矿床地质资源量为 5.6 Mt，Au 品位 12.1×10^{-6}，即边界品位为 8.6×10^{-6} 的金 68.4 t，边界品位 3.4×10^{-6} 的 Au 86.6 t，总资源量为 155 t。在总的地质资源量中，其中可采矿石量为 3.8 Mt，Au 品位 11.8×10^{-6}。

最近，依照 8.6×10^{-6} 的边界品位，用钻孔又圈出 1 个矿体，推测资源量为 46.5 t，品位 15.49×10^{-6}，其位置紧靠绿松石脊目前矿区的东南侧。

3.4 波斯特—贝茨矿床

波斯特—贝茨矿床位于卡林矿带上戈尔德斯克莱特矿区，容矿岩石为志留纪和泥盆纪灰岩和粉砂岩。矿区中矿床位于戈尔德斯特莱克的北缘，矿床构造环境主要是 NW 向背斜，背斜受高角度的 NW 向波斯特断层切割。波斯特断层以西的 NW 和 NE 向断层含斑岩岩脉，并影响着金矿床。

戈尔德斯特莱克矿区金矿勘查活动是 1962 年开始的。1966 年，纽蒙特公司开始在目前的波斯特矿床以南勘查。1975—1977 年，岩石和土壤地球化学资料及钻探揭示出低品位金矿化，进行堆浸提取金，但回收率不理想。1977 年，West States 矿业公司开始实施地质填图及土壤、岩石地球化学测量工作，尤其是构造控制的岩脉及碧玉岩分布区。对发现的地质-地球化学靶区进行钻探，发现了一些小的矿床，如 Long Lac 及 West Bazza。1982 年，在其中的一个靶区上钻探发现了波斯特矿床，厚 36 m，Au 品位 9.6×10^{-6}，到 1986 年，一系列钻孔资料圈定矿体 1 030 万 t，Au 品位 1.89×10^{-6}，北界的纽蒙特公司共圈出矿体 1 900 万 t，Au 品位 2×10^{-6}。

1986 年，West States 公司地质学家建议在该矿区打深钻，以验证罗伯茨山组地层中的含 Au 潜力，并将波斯特作为理想位置，打了一个 545 m 的垂直钻孔，结果在罗伯茨山组之上发现了深部波斯特硫化物矿，Au 品位 6.6×10^{-6}。1987 年，巴里克公司用反循环钻圈定深部波斯特矿床，共圈出 9.79×10^{-6} 品位的 Au 矿石 840 万 t，其中大约 100 万 t 的矿石品位达 30×10^{-6}。之后，开始用已有的地质图、地球化学数据及单极-偶极激发极化测量，在波斯特以西进行深部硫化物矿的勘查，在定向导线测量线中，深部波斯特矿床的上部产生一个明显的极化率异常，沿角砾岩化碧玉岩土壤异常确定出几个极化率异常，其强度超过深部波斯特矿床，而土壤地球化学异常 Au 200×10^{-9}，As 300×10^{-9} 及 Sb 50×10^{-6}。1987 年，根据已有的地质图、物化探资料和过去有关矿化的证据，在波斯特矿床北西 900 m 处布置钻孔，并在 245～274 m 处见到品位 9.69×10^{-6} 的 Au 矿化，372～373 m 处见到 16.1×10^{-6} 的 Au 矿化。继续向东南方向实施钻探，圈定出了贝茨硫化物矿床，其位置在深部波斯特矿的西北侧。该矿床是卡林矿带迄今所发现矿床中最大的一个。巴里克公司的地质学家认为，辅助发现贝茨矿床钻探定位的极化率异常不是矿体本身产生的，而是矿体之上的岩石单元中可能含反射碳及成岩黄铁矿。受断层控制的碧玉岩及地球化学异常也是隐伏的贝茨矿床向上渗漏引起的。同样，1988 年在戈尔德斯特莱克矿区发现的米克尔矿床，也是根据地质填图、地球化学资源及极化率异常布钻而发现的。

黄金地质研究所
信息室 提供

4 结论及认识

从内华达几条矿带不同时期矿产勘查特点及矿床发现史，可以得出以下几点认识。

1）找矿勘查体现按区（带）部署的策略

尽管内华达州的采金历史悠久，但对于矿带的认识是 20 世纪 60 年代以后的事情。根据当时已知矿床的带状密集分布及区域构造展布规律，识别出卡林矿带，由于卡林矿带矿床分布密集，构造、岩石条件有利，吸引了众多勘查公司。20 世纪 80 年代以后，由于勘查技术进步，对成矿带的认识有了更深入的了解，尤其是成矿带的延伸范围及其与区域构造-岩浆活动的内在联系，对进一步的找矿工作取得突破提供了重要的基础资料，按成矿带部署找矿的特点更为明显，成矿带上从事勘查的公司有 90 家以上，找矿效果明显。

从 20 世纪 60 年代以来的矿床勘查过程看，首先是卡林、科特兹等重要矿床的发现，再以点上找矿工作的突破扩展到面上对成矿规律、矿床分布特点的认识，然后按区域扫面工作选择勘查靶区和部署勘查工作，在一系列点上的找矿工作中取得了重大突破，正体现了由点扩展到面，以面指导和部署点上的勘查工作这一勘查程序。

2）针对不同时期的找矿地质问题，启用相应的勘查技术

20 世纪 60 年代以找地表矿为主，基于当时对成矿规律的认识和勘查模型部署找矿，即找有利的构造、岩性、蚀变部位，这在地表勘查程度不高的 60 年代，取得了一系列找矿突破。由于遥感技术发展水平所限，对于岩性、矿化蚀变组合填图技术尚未出现，构造解译、分析水平也未达到相应的技术水平。物探是一种间接找金技术，可用于圈定隐伏的有利构造、岩石特征，但当时针对地表、近地表找矿的普查性浅钻成本低，因此，面积性普查浅钻一般都不做前期的物探工作。这一时期区域地质填图、化探技术和低成本浅钻得到了广泛的应用并取得一系列找矿效果，尤其是 USGS 基础地质资料在矿床勘查中发挥了重要作用。

20 世纪 80 年代中期以来，随着地表勘查程度的提高和深部找矿的需要，找矿勘查地质问题发生了大的变化，以揭示深部地质特征，确定有利的岩性、构造部位的物探技术得到了较多的应用。近年来，深部找矿的一系列重大突破均是在物探异常上布钻发现的。

值得注意的是，遥感技术在检测矿化有关的岩性、蚀变中，近年来已发展成为一种较实用的技术手段。其中，大量的前期试验工作正是在美国西部大盆地实施的。今后内华达几条矿带的矿床勘查中，遥感技术在面积性的前期普查工作中可望得到有效使用，尤其是可将点上的研究成果和发展的勘查模型，推广到面上的普查工作，有利于以点上的找矿突破带动面上的找矿勘查。

3）已知矿区外围及深部仍具有巨大的找矿潜力

自 20 世纪 80 年代中期卡林矿带深部找矿取得突破以来，该矿带勘查工作及成矿规律研究进入了一个新的阶段。目前，已将地表矿、深部矿作为一个整体来研究，相应的找矿勘查部署则是兼顾地表、深部矿，并将重点放在已知矿区的深部。近年来的深部新增金储量已超过原有的地表矿储量，地表矿反而只占该矿带巨大资源量的一小部分，深部找矿大有潜力。

摘自《国外重要成矿区带典型找矿案例和勘查技术应用》

印尼铜-金矿带分布与勘查实例简介

印尼的地质勘查自 1966 年矿业开放以来，有了非常迅速的发展。但总体来说，该国的地质工作程度较低。据报道，印尼通过与德、英、澳、加、日等国合作，完成了全国 1∶25 万地质填图。1∶25万地面地球物理调查已完成国土面积的 40%，目前计划开展全国航测工作。1975—1982 年间，由英国地调所完成了苏门答腊岛的 1∶25 万的地球化学测量，共测定了 13～15 种元素。

印尼矿产资源丰富，除近年勘探发现的油气资源之外，金属矿产镍、锡、铝土矿、铜、金、银也占优势。其中铜、金、镍、银、锡的资源分别为 1 034.24，0.175，9 012 110，0.87，203.33 万 t。

1 印尼铜-金矿带分布及其勘查选区技术

印尼位于太平洋成矿带的西南段，从地质构造特征来看，是属典型的现代岩浆岛弧系统。俯冲作用、岛弧岩浆作用、岛弧迁移和旋转、弧后扩张、蛇绿岩套的侵位，导致弧盆反转、沿走向滑动、地壳扩张等，从而使印尼地质构造背景十分复杂，矿

黄金地质研究所
信息室 提供

产丰富。其中金（银）、铜矿产主要与第三纪的火山作用有关。

依据矿床的空间分布，印尼铜-金矿带粗略地划分为下述几个矿带：1）苏门答腊—松巴哇—韦塔成矿带；2）加里曼丹金-铜矿带；3）苏拉威士铜-金成矿带；4）伊利安—查亚成矿带。

印尼铜-金矿床类型较多，主要有 1）富金的斑岩铜矿床；2）斑岩铜-钼矿床；3）夕卡岩铜-金矿床；4）以沉积岩为主岩的金矿床；5）低硫化低温浅成热液金矿床；6）高硫化低温浅成热液金（铜）矿床；7）火山成因块状硫化物矿床。

由于印尼的基础地质、物化探工作十分薄弱，很多地方连地形图都不具备；因此，在印尼选择普查区的主要依据：1）依据局部采矿活动或荷兰人的前期工作；2）依据文献研究，通过对先前荷兰人采矿范围进行扩展或对一些低品位矿进行评价；3）第三纪或第四纪火山岩带；4）依据卫星图像，选择有利的成矿背景。

区域性选区技术主要是区域化探技术，其中包括大样可堆浸金（BLEG）、水系沉积物测量和重砂取样，地表转石观察和取样等。

据报道，75 个远景区中有 40 个最初是用区域地球化学方法识别出来的，其余远景区主要是由荷兰采矿者或当地采矿者发现的。在大多数情况下，在－80 目或（和）－200 目水系沉积物中都存在金异常；同时，在淘洗重砂过程中肉眼便可见金的存在。但也有例外的情况：在爪哇西部汞通蓬科和 Ciawitali 地区脉状金矿床中，只在水系沉积物中发育有金的地球化学异常，而淘洗重砂中无金异常，反映了细粒金矿化的特征。还有一个特例是，用淘洗重砂的办法发现的某远景区，泥砂级的水系沉积物中却不存在地球化学异常。在 2 个矿床（Mirah 和 Kali Kuning）的发现中，遥感起到了非常重要的作用。钻探靶区主要由地表地球化学方法与地质方法圈定，大约 60% 远景区由地球物理方法证实。

在取样介质、取样间距、取样方法、指示元素选定和解释方法上，各公司间差异较大。通常是依据其试验结果的方案来确定。由于该国未进行过系统的航空地球物理调查，而各公司在其合同区开展航空物探工作费用相对较高，所以只有 5 处合同区（COW）在详细的地面研究后，才进行了航空地球物理测量。

印尼地处赤道附近，为热带雨林景观，其风化壳较厚，地表覆盖严重。在矿产勘查中，一个常见的问题是金在水系沉积物中无所不在，尤其是在加里曼丹和苏门答腊地区。水系沉积物中引人注目的金异常往往是来自无经济价值的东西，例如第三纪和第四纪冲积物，低品位矿化上方的表生富集，或是侵入体的接触带和变质矿脉等引起的广泛分散矿化。一些勘查公司试图用微量元素地球化学指标来判别化探异常是由原生矿化引起的，还是由次生矿化或无经济价值的矿化引起的。

Andrew（1991）认为，由于印尼的金矿不仅类型多，而且产在复杂的地质环境中，矿化地球化学标志的差别很大，因此，任何能够揭示矿化的标志都是十分重要的，不管它是多么微弱。Turner（1993）还以梅塞尔矿床为例，说明各种指标的重要性。梅塞尔矿床产在碳酸盐地体中，在－80 目的泥砂级沉积物和重砂中未能检测出金异常，只是在大样可堆浸金（BLEG）样品中才显示出微弱的金异常（5×10^{-9}），但研究人员并没有因异常微弱而放弃（详见后述）。

印尼金矿床主要与第三纪的火山岩有关。矿石中的金主要以自然金的形式产出，在手标本中肉眼便可见金的存在。由于矿化极不均匀，个别地方达到工业品位，有时品位极高，但因矿化规模较小而不具开采价值。整个西加里曼丹的金矿勘查难点可以概括为“只见星星，不见月亮”。因此，如何从广泛分布的矿化点中找出具有一定规模的矿体，是最大的难题。

鉴于印尼金矿床类型复杂多变，时而以细粒的金形式产出，时而以粗粒的形式产出，因此，在矿产勘查的不同阶段应采用不同组合方法，以确保识别出与矿化有关的金异常。

2 印尼铜-金矿带矿产勘查的基本策略与方法

印尼地质工作程度低，可供参考的资料少，是一个典型的勘查新区。然而，在 20 世纪 70～80 年代，本区铜-金矿床勘查却取得了重大的突破，发现了一大批巨型矿床。这里以矿床发现的事实为依据，论述矿产勘查的思路与技术方法的应用，说明矿床乃至矿带的发现过程。

2.1 以区域化探为先导，快速圈定地表露头矿和近地表矿

迄今为止，印尼没有实施过区域化探全国扫面，区域化探整体研究程度低。1984 年，纽蒙特公司在印尼开展了一项全国性的金矿概查项目（Countrywide Au Generative Program）。其工作主

黄金地质研究所
信息室 提供

要集中在苏拉威士、松巴哇、苏门答腊西部3个地区，面积达19 722 km^2，区内缺少有关地质填图和地球化学工作的资料，甚至连地形图都很少。因此，纽蒙特公司重点应用综合地球化学调查方法来圈定露头矿化。由于这3个地区都属边缘地区，所以全部初步的调查工作均是靠徒步路线完成的。他们设计了多方法多元素的水系采样方法，以确保一次调查中在大多数采样点都能采集到样品。在每个采样点上采集2 kg的－40目大样堆浸金样品，分析Au，Ag，Cu；采集－80目水系沉积物样品，分析Au，Ag，Cu，Pb，Zn。在每个采样点的设计方案中采用的方法稍有不同，以适应不同地区的景观条件或其他条件。由于金分析的重现性很差，所以对重砂样品都是通过计算可见金颗粒作最后鉴定的，而不是直接测试金的含量。开始时采集了未经筛分的5 kg大样可堆浸金样品，但采样试验表明，筛选到－40目的大样堆浸金样品具有相同的灵敏度，而且易于运输。按照这种找矿思路，很快地发现了世界级的巴都希贾乌和梅塞尔矿床。

2.1.1 *巴都希贾乌斑岩铜-金矿床的发现* 巴都希贾乌大型斑岩铜-金矿床位于印度尼西亚努沙登加拉省的松巴哇岛西南部，是一个产在近代岛弧环境的世界级斑岩铜-金矿床。

该矿床的铜-金矿化产在英云闪长岩质侵入杂岩及闪长岩和变火山岩围岩中。矿体呈柱状至锥状，垂向延伸大于650 m。高品位矿化与显示弥漫性次生黑云母蚀变和石英-硫化物和（或）磁铁矿脉的英云闪长岩岩株有关（图1）。核部的钾蚀变带往外渐变为广泛的青磐岩化，叠覆有广泛分布的受裂隙控制的绢云母-绿泥石蚀变和少量绢云母-钠长石蚀变。绢云母-高岭石和高岭石-明矾石-叶蜡石组合（图2）产在近地表部分。在英云闪长岩岩株中心有些蚀变少、矿化少的岩墙（也是英云闪长质）侵入。氧化作用延深5～85 m，但次生富集作用较微弱。

该矿床矿石储量为3.34亿t，铜平均品位0.8%，金0.7×10^{-6}（含铜约270万t，金约240 t）；原地资源量共约820万t，铜品位为0.454%，金约0.48×10^{-6}（含铜约372万t，金约390 t）。据最近资料，该矿床有铜453.6 t，金392 t，银778 t。

该区过去未被认为是斑岩铜矿成矿区，因此美国纽蒙特公司最初在该区试图寻找低温热液金矿床。这一工作合同最初涉及的地区包括龙目岛大部和松巴哇岛西部，后缩减至该区南部的一些区块。这一发现是该公司在努沙登加拉项目中进行系统勘查的结果。

1987年，纽蒙特公司在松巴哇进行踏勘性河流沉积物取样计划。最初的覆盖面积为11 271 km^2，大约在900个采样点上采集了3 804个样品，在36组水系中发现异常。首先发现漂砾（蚀变闪长岩）中的浸染状含铜硫化物，同时进行的取样计划在流经巴都希贾乌地区的一条河流采样中得出1个金高达15.3×10^{-9}（大样堆浸金）和铜135×10^{-6}（－80目样品）的较广泛的金-铜异常。1989年，公司取得了包括源区在内的土地使用权，在巴

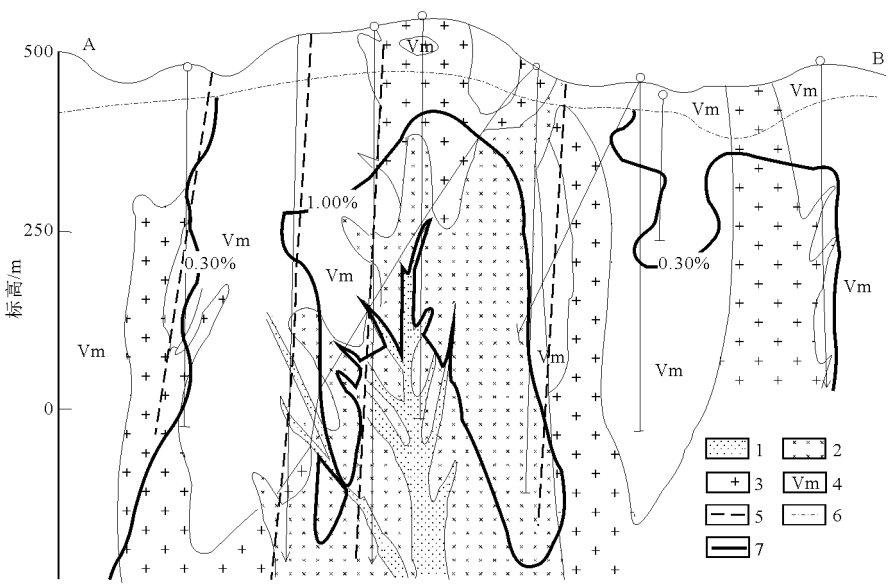


图1 巴都希贾乌矿床横剖面地质图

图中表示出了钻孔的位置，广泛的浅成矿化底岩及钻孔中若干Cu品位的等值线；1—新英云闪长岩；2—老英云闪长岩；3—闪长岩；4—变质火山岩；5—断层；6—表生基底；7—铜品位

黄金地质研究所
信息室 提供

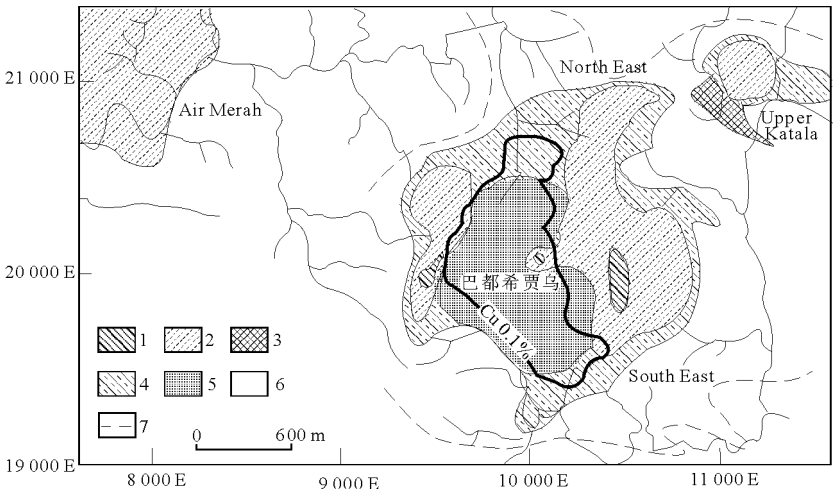


图 2　巴都希贾乌矿床蚀变分布图

1—高级泥质蚀变；2—泥质蚀变；3—绢英岩化蚀变；4—中等泥质蚀变；5—钾化蚀变；6—青磐岩化蚀变；7—黄铁矿化的范围

都希贾乌周围 5 km^2 范围内，通过跟踪检查取样，得出河流粉砂中金 169×10^{-9} 和铜 580×10^{-6} 的异常（距后来发现的矿床 1 km）。当时调查还是集中在斑岩系统边缘的金矿化，但 1989 年在支流踏勘性跟踪检查时，也发现弱的铜矿化露头和矿化明显的闪长岩和英云闪长岩漂砾（铜高达 6.8%，金 0.28×10^{-6}）。1990 年 5 月，在沿小河进行路线穿插时，发现了有明显的铜矿化、出露的范围大、植被稀少的巴都希贾乌地段。这样就在 1990 年上半年认识到了斑岩型矿床的远景。

在 1990 年中、后期在巴都希贾乌地区进行了地表岩石蚀变填图和螺旋钻基岩地球化学取样，圈出了铜大于 0.1% 的面积 0.6 km×1.2 km 范围。后用 629 个随意定向的 5 m 长的探坑（间距约 30 m）进行了刻槽取样，圈出铜大于 0.3% 和金大于 0.2×10^{-6} 的面积 900 m×300 m，并且发现有钼大于 30×10^{-6} 的环形带围绕铜-金异常。

后来基岩的取样扩展到勘探区的其他地方，仅在几个小区域内发现微弱的金异常，它们分别位于 Air Merah，东北部地区，Upper Katala 和东南部地区，同时也肯定了“金岭”地区的金异常，但没有识别出任何有经济价值的地段。

1991 年 5 月开始进行金刚石钻探，打到了铜-金矿石。第一年完成钻探 1.1 万 m（22 孔），至 1993 年 7 月完成 3.7 万 m（50 孔）。后仍在继续勘查，也包括进行较详细的地表调查，该区外围也在普查中。

2.1.2　*梅塞尔矿床的发现*　苏拉威士北部 Ratatotok 地区是一个矿化极好的成矿省。梅塞尔矿床为 Ratatotok 地区最大的、以沉积岩为主岩的金矿床（卡林型金矿床）。该矿床的平面投影面积为 600 m×400 m。矿化赋存在岛弧环境下中新世晚期形成的盆地的灰岩中。大多数矿化并没有出露到地表，安山岩侵入体盖住了矿体（图 3）。矿床的西侧紧挨着 NNW 向断裂，而该断裂在航磁图中表现十分明显。该组断裂与 NNW 走向陡倾的断层是同时形

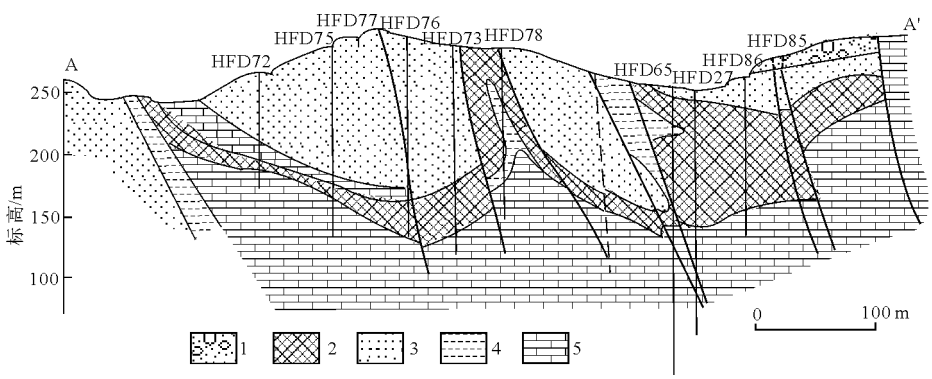


图 3　梅塞尔矿床 2 028 E 勘查线剖面图

该图说明矿体隐伏在安山质侵入体之下；1—外来碎屑岩；2—矿化碳酸盐岩石；3—安山质次火山侵入体；4—泥状灰岩，火山成因沉积岩；5—底板灰岩

黄金地质研究所
信息室 提供

成的，它们的相互作用产生一系列 EW 向的反转断层，在梅塞尔形成张性的裂面，从而聚集了热液流体。梅塞尔金矿床主要赋存于碳酸盐沉积岩中，Au∶Ag 值通常在 10∶1 到 2∶1 之间，是典型的卡林型金矿床。

与矿化有关的蚀变主要有脱钙、白云石化和碧玉化作用。矿石中含有细粒的浸染状含砷黄铁矿，雄黄、雌黄、辉锑矿和辰砂的出现导致了 As-Sb-Hg 的组合。

1986 年，纽蒙特公司在苏拉威士北部 Ratatotok 地区开展第一阶段区域地球化学概查，其面积为5 272 km^2。在 339 个采样点上采集了 1 295 个样品，平均采样密度为 10 km^2 采一个样，但无法进入的国家公园与森林保护区除外。

在梅塞尔地区，尽管地表露头金品位很高，但在离露头 1 km 处的河流中－80 目淤泥或重砂样中，异常便消失了（$<5\times10^{-9}$），大样可堆浸金的分析结果也只达 2.44×10^{-9}，这在区域上属于弱异常。

据报道，1988 年的某一天，一套取自 Ratatotok 的矿化岩石展示在纽蒙特公司的野外辅助人员的面前，让他们想想是否在合同区内其他地方见过类似的东西。其中一位辅助人员认为，多年前他在梅塞尔伐木修路时见过类似的东西。于是他带一名纽蒙特公司的地质人员考察了梅塞尔，取得了几个岩石碎片样品，其中一个样品平均品位达 8×10^{-6}，厚度大于 25 m，且靠近荷兰人古采坑。

紧接着在 Ratatotok 地区开展评价，其工作包括 1∶1 000 填图，野外露头的岩屑取样，刻槽取样，以及按 25 m 间距进行螺旋钻取样。同时也获得了航磁、放射性测量和有限的地面测量数据。最终，依据地球化学数据确定了 9 个孔位。

研究表明，梅塞尔矿床的上方金含量偏低的原因：1）金以微米级的颗粒存在于毒砂中，而碳酸盐围岩抑制了金的物理分散和化学分散；2）粗粒金可能被灰岩所屏蔽；3）一方面，地表氧化作用产生酸性流体；另一方面，周围的灰岩土壤中和了酸，使 pH 值得到缓冲，一直保持在中性，这个过程有效地减弱了金的活动性。用螺旋钻作土壤取样，所获得的地球化学异常（$Au>0.1\times10^{-6}$）与背景之间呈突变的关系。

事后，按 100 m 点距进行了详细的水系沉物加密取样。结果表明，在远离已知矿化带处，Au 含量急剧降低，也就是说，在矿化露头的主干水系中大样可堆浸金含量为 $n\times100\times10^{-9}$，而距露头 2 km 处金含量降到 5×10^{-9}。

在梅塞尔矿床以北 30 km 处的 Ranyapo 远景区，也存在类似的元素衰变模式。在露头中金含量为 30×10^{-6}，但在下游的水系沉积物中未能反映出来，其中在 BLEG 中存在弱异常，－80 目的细砂样品和重砂样品的 Au 含量均在检出限以下。从附近的索莫坦山火山喷出的一层新火山灰使水系沉积物中的金贫化，从而导致地球化学异常变弱。在认识到这一问题后，在异常检查中挖深到河床内样品，其结果才好一些。

研究表明，梅塞尔矿床上方存在 Au，As，Sb，Hg 和 Tl 的地球化学异常，贱金属异常较弱，一般来说，w（Cu＋Pb＋Zn）$<100\times10^{-6}$。在矿区范围内，往往在矿体的外围伴有 As 和 Hg 的异常。

巴都希贾乌和梅塞尔矿床的发现历史表明，在地质工作程度较低的地区，可以率先使用区域化探方法，迅速掌握全局，逐步缩小靶区，在较短的时间内便可以找到地表露头矿和近地表矿。此外，金的存在形式多变，因此，在区域性普查阶段，应将多种化探方法联合使用，以免漏掉矿床。在异常查证阶段，应重视地球化学方法与地球物理方法相结合。

2.2 “从面到点，力求点上突破；再回到面，导致点上新突破”——韦塔岛地区 Lerokis 和 Kali Kuning 和梅龙（Meron）矿床勘查与发现

韦塔岛位于松巴哇岛正东约 1 000 km 处，长 9 km，宽 30 km。Lerokis 和 Kali Kuning 两个矿床位于韦塔岛北海岸，相距 3.5 km（图 4）。矿床的原地资源量：Lerokis 矿床为 2.9 百万 t，金品位为 3.5×10^{-6}，银品位 114×10^{-6}；Kali Kuning 矿床为 2.2 百万 t，金品位为 5.5×10^{-6}，银品位 146×10^{-6}，重晶石 60%，属典型的火山成因块状硫化物矿床。

1972—1976 年间，BHP 矿业公司在松巴哇岛和弗洛勒斯岛开展了地质填图和水系沉积物测量。与此同时，印尼地调所也在该区进行了地质调查。在 1985 年之前，曾在韦塔岛开展过－80 目水系沉积物测量和岩屑填图，因旨在寻找铜矿床，只分析了 Cu，Pb，Zn，Mo 和 Hg，没有获得重要发现。

CRS 矿业公司于 1984 年在努沙登加拉群岛使用卫星图像识别出了低温热液矿床的有利构造背景，并在 1985 年完成了韦塔地区 1∶5 万图像解译，编制出汇水盆地底图（当时无地形图、地质图）。1995 年在该区开展了－40 目 BLEG（大样可

黄金地质研究所
信息室 提供

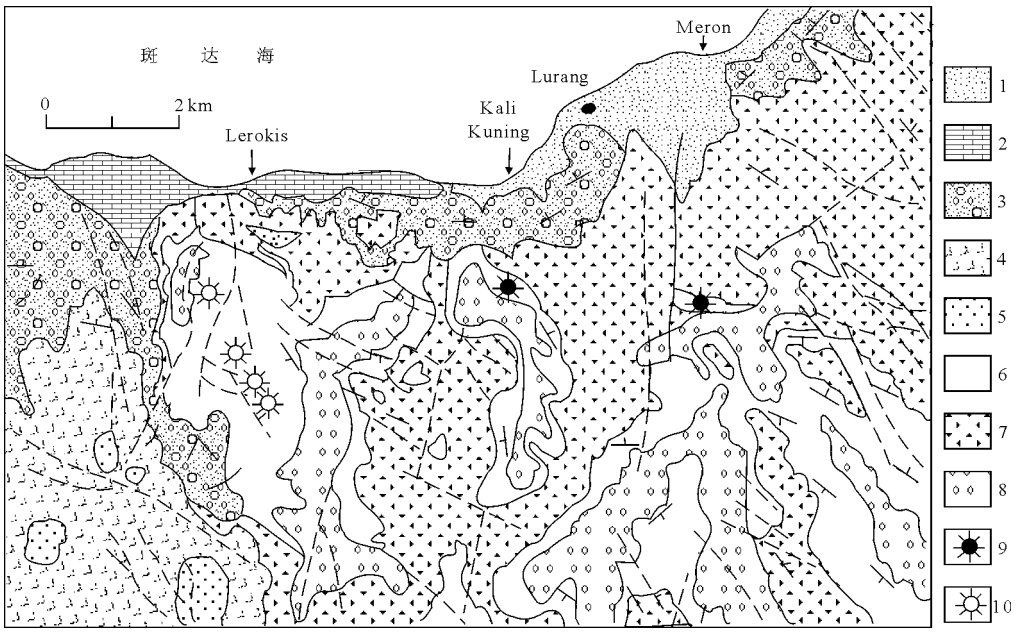


图 4 韦塔地区地质图

1—河流砾石、砂和泥砂；2—隆升的礁灰岩地体；3—安山质外来碎屑岩/火山泥流矿床；4—安山质熔岩和火山碎屑沉积岩；5—英安火山岩中心；6—英安熔岩、火山碎屑沉积岩、重晶石块状硫化物矿床角砾；7—安山质熔岩和凝灰岩；8—玄武质安山熔岩和火山碎屑沉积岩；9—矿床；10—露天开采

浸出金）、－80 目水系沉积物测量（SS）、重砂（PC）及铁质砾岩（FG）测量。汇水盆地的面积达 3～100 km^2。在采样过程中，发现卫星图像异常与强烈的蚀变带和矿脉有关。

根据化探异常，发现了 2 组元素组合：第一个组合为 BLEG 中 Au，SS 中 Cu 和 Pb，PC 中 Pb 和 Zn，它们与低温热液/斑岩热液矿化有关。第二个组合为 BLEG 中的 Au 和 Ag，SS 中的 Sb，Cu，Zn，Ba。这个组合与含金的重晶石矿化有关。依据异常下限，BLEG w（Au）$>3\times10^{-9}$，w（Ag）$>100\times10^{-9}$，w（As）$>100\times10^{-6}$；SS w（Cu＋Zn）$>50\times10^{-6}$，共发现了 7 个异常（W1～W7）。若按 w（Au）$=1\times10^{-9}$圈定异常，面积可达 10 km^2。

通过在异常区加密取样和转石填图，并依据野外蚀变和矿化特征，将 W5 异常定为首选的查证对象。1987 年开始对 W5 异常及一个新区 Meron 作查证。进行了详细的填图、土壤取样和岩屑取样，以了解矿化和蚀变。在 1987 年年中，在 W5 异常上使用土壤取样圈出了 200 m×50 m 的异常带，Au 含量在 1×10^{-6}～13×10^{-6}之间，As 和 Pb 异常范围更大一些。这些异常与强烈的褐铁矿（黄铁矿氧化）蚀变带相重合。

由于该区覆盖严重，地形复杂，没有使用航空地球物理方法，而是采用地面地球物理方法，其目的是确定地质填图和取样所圈定的铁质粘土重晶石是否与硫化物导体有关。所采用的地球物理方法包括频率域电磁法（EM）、激发极化法（IP）及电阻率法。EM 数据虽然难以得出确定性的结论，但在 W5 处南部地区指示出块状硫化物矿床的存在。大多数 EM 异常与过去填图标出的断层相吻合。在已知采矿区上方激发极化百分频率效应圈出了浸染状黄铁矿蚀变，在其他地方对应于地表的铁帽角砾岩。偶极-偶极激发极化测量清楚地揭示出了带 5 和带 1 的块状硫化物，低电阻率的现象也证实了这一点。

1987 年后期，经认真考证 W5（Lerokis）异常的地质地球物理和地球化学数据后，打了 18 个钻孔，约 200 m 深，钻孔按 200 m 间距的网线布置。结果表明，浅部氧化资源达 400 万 t，Au 品位在 3×10^{-6}～4×10^{-6}。金矿化赋存在含铁质、重晶石砂岩中，其上部盖有一层含黄铁矿蚀变中性火山碎屑砾和熔岩。

1988 年，公司决定在 Lerokis 及其周围圈定矿化的范围。采用了土壤取样、岩屑取样、水系沉积物取样等。在 Lerokis 按 100 m 的线距，25 m 的点距钻探，其结果非常令人鼓舞。在 Lerokis 周围，共圈定出了 7 个蚀变带，许多蚀变带都与航空测量的异常相吻合，所有蚀变带都落在一条沿海岸线分布宽 5 km 的带内。

黄金地质研究所
信息室 提供

1988年8月，Billiton接管了CSR在印尼的利益，在Lerokis周围按25 m×25 m网度打了513个孔，圈定出地质储量283万t，Au品位3.5×10^{-6}，Ag 114×10^{-6}和重晶石40%。

W5异常查证的成功，致使研究人员对该区兴趣倍增。重新分析了已有的数据，包括卫星图像、颜色异常、地质、地球化学数据、地球物理数据、TM数据及钻孔资料，在整个区内选择了100个异常，其中有些异常靠近W5。由于地形陡峭，若用步行的方法需要几年才能完成，所以公司决定借助直升机，加密取样检查异常。他们使用2架直升机，3个地质小组，经2个月工作后，采集了400个水系沉积物样品。选择了17个异常做进一步工作。结果在kk3异常（靠近Lerokis，后来称Kali Kuning）上，发现地表岩石含金9×10^{-6}，后经钻探证实了资源量为2.2 Mt，品位为Au 5.5×10^{-6}，Ag 146×10^{-6}。

在Kali Kuning和Lerokis对硫化物钻探，经过对Lerokis和Kali Kuning两个地点的勘查验证，确定了矿床具有层控的特征。

1990—1992年间，对其他15个异常进行研究，采用了多元统计方法（因子分析和聚类分析）对地球化学异常进行分类和筛选。

既然已知矿化是层状含金的重晶石矿化，决定用轻便的Sirotem3型时域电磁法系统在100 km^2内开展工作，以判别异常，指导进一步勘探，到1993年中已完成了Meron异常查证，并将继续对W6作查证。

回顾韦塔地区的金矿床勘查历史，矿床勘查程序可归纳为图5。从该图可以看出，该区的矿产查过程实际上是“从面到点，由点到面”多次反复的过程，一旦在点上获得突破之后，利用新的认识，重新解释区域资料，遵循从区域到局部的观点，逐步筛选异常，从而获得更大的突破。多学科方法综合应用，是本区矿产勘查成功的关键。下面准则是

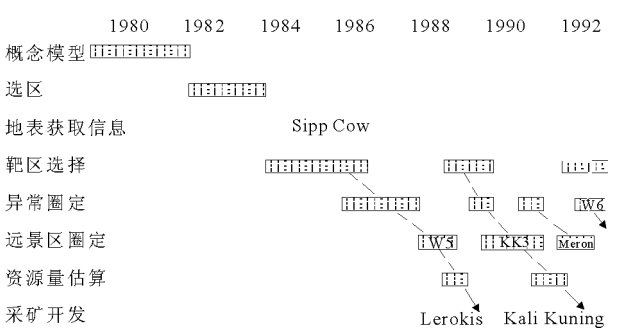


图5 韦塔地区矿产勘查程序

勘查成功的基础：1）早期建立地质关系；2）综合地质和多元素地球化学数据；3）使用遥感卫星数据和航空数据；4）用地面地球物理方法识别异常；5）首先选最好的异常钻探。

2.3 依据已知砂金矿床选定远景区，运用汞气测量和激发极化测量查证金的化探异常，导致凯利安金矿床的发现

凯利安矿床位于印尼东加里曼丹的Prampus山上，该区森林覆盖严重。凯利安矿床为低硫化低温热液矿床，形成于早中新世。矿化面积为1 km^2，矿床受断裂控制，在成因上与流纹岩侵入体有关（图6）。在凯利安矿床可见到几个阶段的矿化和蚀变，很多金与贱金属及碳酸盐脉、热液角砾有关。与矿化有关的蚀变类型主要为绢云母化、冰长石化和碳酸盐化，只有少量石英出现。

凯利安矿床的地质资源量是9 500万t，平均金品位1.85×10^{-6}，其中5 330万t矿石的金品位为1.97×10^{-6}。

1975年，RTZ的子公司印尼Rio Tinto公司在东加里曼丹开展了勘查项目。该项目最初的目的是追踪已知砂金矿床，其中一个已知砂金矿是双溪凯利安。该砂金矿床于1947年由当地的Dayaks发现的。据政府的保守估计，在1958—1963年间，该矿床产金量为100～300 kg/年。凯利安河砂金在1963年停止开采，但由于金价的上涨，1979年再度兴起淘金热。最初依靠挖坑和淘洗，后被机械化的溜槽所取代。据估计，从1955年以来，共采集了20 t砂金。

1975年，当地采金活动处在相对平静时期。RTZ的地质学家对Mahakam河的几条支流的含金性进行过评价，其中包括了凯利安河。在此之前，凯利安地区几乎没有开展过任何的地质工作。RTZ的调查算是该区最早的地质工作。

砂金矿虽品位高，但矿较小而价值不大，且金颗粒不成熟，说明搬运不远，这促使地质学家产生寻找原生金矿的念头。由于地质工作者得了疟疾，试图追踪源的工作只好推迟到1976年的第二次考察。

上游的追踪证明是非常成功的，在Prampus山脚的河流两侧，确定了粘土化和褐铁矿锈斑的滑坡。从滑面上取得的岩石碎块具有金的异常。1976年，该区的普查沿Tepu和Bayak支流进行，并发现大量蚀变岩的滚石。在Prampus地区最初大约采集了100件岩石样品，其中40件样品金含量在0.1×10^{-6}～7.9×10^{-6}。在支流的重砂样品中，发

黄金地质研究所
信息室 提供

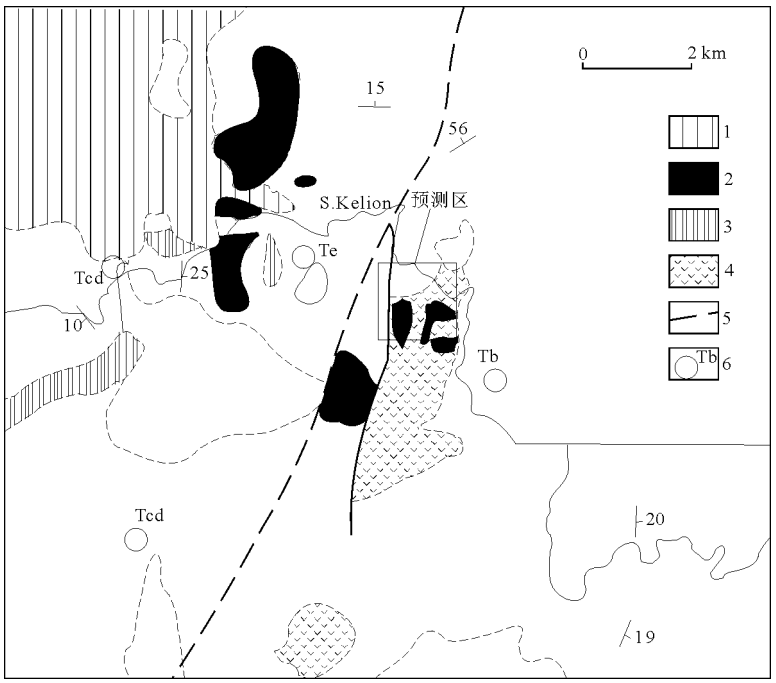


图 6　凯利安地区地质特征及矿床位置图

1—更新世玄武岩；2—渐新世—中新世侵入岩；3—始新世—渐新世沉积岩夹凝灰岩；4—始新世硅质火山碎屑岩；5—断层和线性构造；6—化石

现金和毒砂。在水系沉物样品中存在 Au，Ag，Cu，Pb，Zn 的异常。

1976—1978 年间开展了地质填图、深部螺旋钻土壤取样和探槽取样等工作。使用手钻从腐殖层之下取样，其最大深度达 1 m，按 50 m 的水平间距沿等值线按 20 m 的垂直间距取样。

按 w（Au）$=0.2\times10^{-6}$ 所圈定的异常面积达 1 km^2，异常往往与安山岩侵入体和火山熔岩的接触带相吻合。w（Au）$>2\times10^{-6}$ 构成了一个带。w（Ag）2×10^{-6} 和 w（Pb）300×10^{-6} 异常分布与 w（Au）2×10^{-6} 异常分布相一致。Zn 异常稍弱，在金异常边缘发育，在地形上略低于金异常，表明 Zn 的位移严重。依据螺旋钻取样和探槽取样圈出了 2 个金异常［w（Au）$>3\times10^{-6}$］。

在最后阶段的调查中，为了检验 Au 的地球化学异常之内是否有矿，进行了土壤样品的地气测量和激发极化测量。w（Hg）100×10^{-9} 等值线与 w（Au）0.2×10^{-6} 等值线吻合得好，圈出了热液蚀变系统的总轮廓。在这宽大的异常内，w（Hg）$2\,000\times10^{-9}\sim32\,000\times10^{-9}$ 异常与东部 Prampus 矿体对应；w（Hg）$2\,000\times10^{-9}$ 异常与 w（Au）2×10^{-6} 的等值线对应较好；在 Prampus 西部，w（Hg）$2\,000\times10^{-9}$ 圈出的范围更小，其峰值达 $6\,600\times10^{-9}$。在工作区的东北部存在 2 个小的 w（Hg）$1\,000\times10^{-9}$ 异常，其中一个与 K394 相对。

随后使用了地面磁法、激发极化法和电阻率法，对土壤地球化学异常进行查证。地面磁法清楚地识别出了安山岩体的青磐岩化带及矿化后的玄武岩流。

激发极化法圈出了宽广的频率效应异常，其范围基本上与蚀变带的范围和土壤 Au 异常的范围相一致。从地球物理综合解释图上看出，存在 2 个 SN 向和 2 个 EW 向极化率高的导体。其中 2 个 SN 向的良导体与 Prampus 东西向的 2 个矿体相对应。对南部 EW 向的良导体的钻探验证表明，它是由金矿体所引起的，但过去未被发现，地表磁测并没有任何金矿化的显示。

凯利安矿床是依据已知砂金矿床的特点，最终选定勘查远景区。在勘查过程中，土壤测量和岩石拣块取样是一种十分有效的勘查方法。在土壤地球化学异常查证过程中，土壤的汞气测量和激发极化测量起着决定性的作用。尤其值得指出的是，土壤的汞气测量对于该区圈定与矿化有关的蚀变系统是非常有效的。

2.4　依据已知矿床建立勘查模式，在已知矿床外围通过地质普查和水系沉积物测量，确定远景区

汞通蓬科金矿床位于爪哇省西部的茂物市的西侧，是一个低硫化低温热液金-银矿床。该矿床是由印尼的国立 Aneak Tambang（ANTAM）矿业

黄金地质研究所
信息室 提供

公司找到的。

矿床由 4 个近平行的矿脉组成（图 7），它们是在中新世火山熔岩、火山熔岩角砾和安山岩侵入过程中形成的。矿脉长约 1 km，平均宽度为 2.5～8 m，主要由石英、碳酸盐和冰长石构成。冰长石具有环状和角砾状构造。在火山岩周围广泛分布的蚀变矿物有伊利石、蒙脱石。在非氧化矿石中，硫的含量很低（占体积的 1%），矿石矿物主要是银金矿、辉银矿。贱金属（$<100\times10^{-6}$），As，Sb，Tl，Hg含量特别低。但 Mo的含量较高，可达 20×10^{-6}～60×10^{-6}。汞通蓬科金-银矿床的矿石储量为 600 万 t，平均品位 Au 17×10^{-6}，Ag 162×10^{-6}。

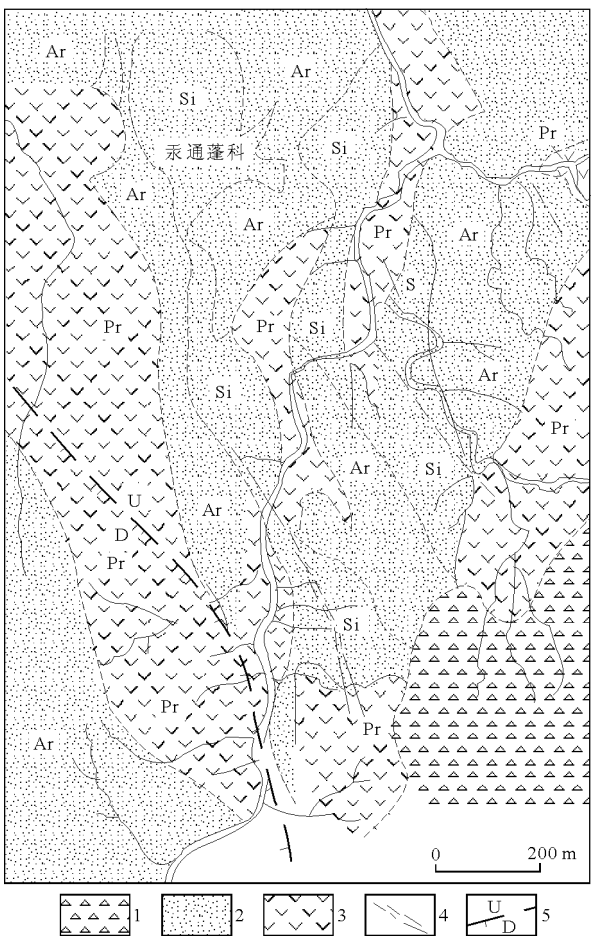


图 7 汞通蓬科地区地质图

Ar—粘土质蚀变；Si—硅质蚀变；Pr—青磐岩化蚀变；1—角砾；2—凝灰岩角砾/火山砾凝灰岩；3—安山岩；4—石英脉；5—断层；NE 到 SW 的 4 条主脉依次为 Ps. Jawa，Ciguha，K. Cicau，Ciarug

自 1974 年以来，ANTAM 在该区广泛地开展矿产勘查，但最初的目标放在贱金属矿床的勘查上。1981 年，为了寻找贱金属矿床，在汞通蓬科地区开展了踏勘性的测量，发现了蚀变和金矿化。其中，石英脉转石 Au 达 4×10^{-6}，Ag 达 126×10^{-6}，但当时因重点寻找贱金属而未被重视。1983 年获得租契。由于当地已知 Cikotok 矿山已经枯竭，并且认为该区具有找到新矿床的远景，1988 年，ANTAM 决定在爪哇西部开展金矿勘查项目。

根据爪哇西部地区的金矿特点，建立了石英-冰长石脉型金矿的勘查模型。由于该区大多数矿床具有较高的贱金属含量，因此决定分析水系沉积物中的金和贱金属。

根据已知金矿点、贱金属异常和其他有利的特征及陆地卫星和 SPOT 图像，确定了 10 个勘查靶区，其中包括汞通蓬科开始长达 5.5 年，4 个阶段的勘查研究。在 1988—1991 年间，汞通蓬科地区的勘查工作包括：1）半区域性的水系沉积物测量（622 个样品）；2）1∶1 000 地质填图（6 400 公顷）；3）激发极化测量和地面磁测（2 000 公顷）；4）1∶1 000 的地形测量（700 公顷）；5）金刚石钻探（39 000 m）；6）岩相研究和流体包裹体研究；7）分析 Au，Ag 样品 3 700 件，Cu，Pb，Zn 样品 200 件。

第一勘查阶段的目标就是在远景区内确定金矿化的位置。这项工作包括水系沉积物、重砂和野外露头、转石取样，并同时开展 1∶2 500 的地质填图。

对于－80 目水系沉积物样品，采样密度为每平方千米 2～4 个样品。金异常可划分为弱异常（$\geqslant20\times10^{-9}$），中等异常（$\geqslant35\times10^{-9}$），强异常（$\geqslant100\times10^{-9}$）。强异常与后来的勘查目标相一致。在整个地区，－200 目的河流淤泥都有异常，Au 达 20×10^{-9}～100×10^{-9}，而汞通蓬科金异常则高达 100×10^{-9}～300×10^{-9}，最高处达 900×10^{-9}，但没有出现贱金属异常。由于金的颗粒太细，重砂淘洗也未发现异常。地质填图发现了蚀变带和 4 处石英脉露头，并圈出了主要岩石单元的分布和蚀变带的范围。根据地质填图和地球化学取样结果，选择了进一步工作的靶区。

第二阶段的目标是圈定石英脉的地表范围，确定远景区内的资源潜力。勘查方法包括网格状的地形测量，激发极化/电阻率测量和探槽取样（图 8）。在探槽内按 1∶250 到 1∶1 000 的比例尺取样，采集了大量的流体包裹体样品。

第三阶段是侦察钻探，按 100～200 m 的间距布置侦察钻，钻探垂向深度达 250 m，目标是确定地下矿脉的范围，以便估计可能的资源量。

第四阶段，根据上述钻探的结果，在有远景的

黄金地质研究所
信息室 提供

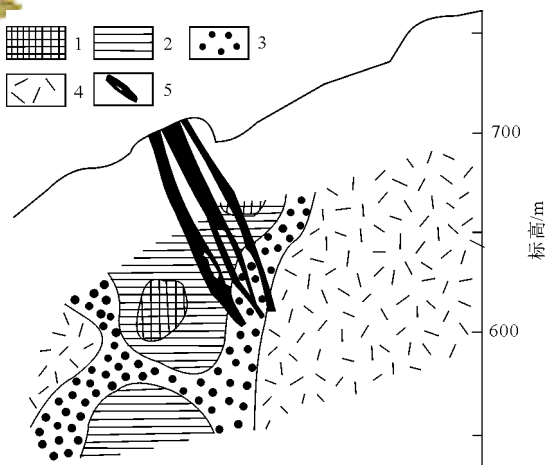


图 8 横切 K. Cicau 脉视电阻率伪剖面图

1—>300 Ω·m；2—200～300 Ω·m；3—100～200 Ω·m；4—<100 Ω·m；5—矿脉

地区按 20～25 m 的间距加密钻探。

汞通蓬科矿床的发现是十分值得注意的，因为它是印尼第二大的低温浅成热液金矿床，而且发现矿床所需的时间相对较短、费用较低。以已知概念模型为指导，在已知矿区外围开展找矿，通过开展系统的物化探工作，运用矿床模型解释所观测到的异常，进而对矿床进行定位，这是一种通向矿产的成功之路。

3 印尼铜-金矿带发现的关键因素及经验启示

从上述实例分析可以看出，印尼的铜-金矿带的总体地质工作是比较落后的，在某种意义上来说，是一个矿产勘查新区，传统的矿产勘查方法是本区找到矿床的主要手段。上面仅列举了其中一些典型矿床的发现过程，但从中也可看到印尼铜-金矿带的勘查开发过程的问题与技术关键。为了进一步说明印尼铜-金矿带的勘查与开发过程，将所能收集到的所有铜-金矿床的发现简史列于表 1 中。从表 1 的统计结果来看，下述几个基本事实是耐人寻味的。

1）印尼的金-铜矿床勘查大体为 2 个阶段，即 1985 年前和 1985 年后。在 1985 年以前，该区主要是寻找贱金属矿床，所发现的矿床以斑岩铜（钼）矿床为主。1985 年以后以金矿床为主，涉及的矿床类型较多。1985 年前发现的矿床只有 8 个；1985 年以后发现的矿床为 31 个，也就是说，自 1985 年后在印尼发现金矿的速率大大加快。这固然与矿产勘查的投资及所收集资料的时限有关，但仍然不难看出矿产勘查技术和矿床理论模型的发展大大促进了矿产勘查。20 世纪 80 年代之前，本区的矿产勘查主要集中在贱金属矿床的勘查上。由于对金矿床的理论认识较浅，对化探样品通常不分析金，这严重地阻碍了金矿的勘查。随着世界性金矿勘查高潮到来和金分析技术的突破，使金矿勘查发生重大的变化。对金矿床成矿作用模型的深入认识也加速了金矿床的勘查。尤其斑岩铜-金型、低温浅成热液型、火山成因块状硫化型和卡林型金矿床等矿床模型的建立，有力地促进这几种类型矿床的勘查。

2）在印尼成矿区带的勘查环境下，矿床发现过程各种技术的作用。按照 D. A. 怀特的定义，这里的“发现技术”是指由于该方法的工作结果，首先引起对某一地区的注意，然后经过检查，最后钻探见有矿床存在。对表 1 所列矿床统计，水系沉积物测量占 43.5%；BLEG 占 12.8%；SLAR 或卫片占 10.2%，地质填图占 46.1%；土壤测量占 41%；岩石测量占 35.9%；地面磁测占 15.4%；激发极化法占 17.9%。

鉴于各种化探样品中金的不均一性，一般采用多种化探方法组合，确定远景靶区。其中最常用的办法：－80 目的水系沉积物测量、－40 目的 BLEG 测量、重砂测量。这几种方法联合使用，一般不会漏掉近地表矿和露头矿。此外，航空照片对于区域选区也起着重要作用。

一旦确定矿化异常范围后，地表地质填图、土壤地球化学测量、岩石取样、IP 法和地表磁测便成为化探异常查证的重要手段。

当然，无论哪个矿床的发现都与地表钻探工作密切相关；尤其是在老矿山的周围，地表钻探及取样是发现矿床的重要因素。

3）大样可堆浸金技术（BLEG）的应用效果喜人。

大样可堆浸金技术（BLEG）在金矿床的发现中起着举足轻重的作用。BLEG 方法较好地解决了金在样品中的不均一性给取样和分析带来的难题，这种方法在印尼的成功应用，使金矿床发现速率大大增加。

此外，异常查证是矿床发现的关键环节之一。在异常查证过程中，在地表追溯矿化和蚀变露头是十分重要的一步，有时甚至是决定性的一步。许多矿床发现之前，在野外取样过程中，便发现了地表矿化露头或转石。地表矿化或蚀变露头是矿产勘查最关键、最直接的信息，这正如 R. Woodall（1996）所说的，“对于成矿过程认识的发展及合理

黄金地质研究所
信息室 提供

表1 印尼近年发现的主要铜-金矿床

序号	矿床名称	选区方法	发现技术	勘查时间
1	Kelian	砂金采矿区	SS S IP Hg	1976－1979
2	Mt.Muro	荷兰人古采坑、当地人采地表矿	S	1983－1991
3	Masupa Ria	局部采矿	SLAR M R	1975－1989
4	Mirah	蚀变、已知矿带的外延	红外照片 SLAR S	1986－1990
5	Muyup	矿金采矿区	M SS P R	1986－1990
6	Gunung Mas	古人发现		1895 发现
7	Buduk	中国移民发现	M R S SP IP	1989－
8	Sungai Keruh		细粒 SS	1987－1992
9	Timburu		SS O	1987－1991
10	Ratatotok(包括 Mesel)	该区具有采金的历史	SS M R G	1986－1992 Mesel:1988
11	Gunung Pani	荷兰人古采坑	M R	1982－1992
12	Motomboto	细粒砂中有弱 Cu 异常	M IP G	1974－1985
13	Doup	古采坑	M R S IP G	1988－1991
14	Ianut	古采坑	M SS R IP G	1986－1990
15	Binabase-Bawone		M S IP VLF	1988－1990
16	Awak Mas		S SS	1981－1993
17	Mangni	古时荷兰人发现	M 地下取样	1985－1990
18	Bukit Tembang	荷兰人古采坑	S	1986－1989
19	Lebong Tandai	荷兰人古采坑	M S R	1980－1985
20	Lebong Donok	早期文字记载采金	M A G	
21	Lebong Simpang	荷兰人发现 2 条矿脉	D(检验脉系统的连续性,结果不好)	1988－1986
22	Gunung Pongkor	普查贱金属发现含金	SS IP G	1981－1991
23	Ciawiatali 地区	荷兰人古采坑	SS M S O	1988－1991
24	Cikondang	荷兰人老矿山	D	1989
25	Cikotok 地区	荷兰人 1924 年发现		1957
26	Ciemas	荷兰人古采坑附近	D R	1986－1992
27	Pelangan		SS S M	1987－1990
28	Soripesa		卫片 BLEG EM	1989－1988
29	Wetar 地区(Lerokis, Kali Kuning,Meron)		BLEG S R	1991(?)
30	Wanagon	高 Grasberg 3 km	M R	1973－1993
31	Tapadaa		SS	1971－1975
32	Tombulilato		SS M S R	1973－1979
33	Malala		SS M S R	1973－1978
34	Tangse	路边出现矿化露头	M S	1976－1979
35	Kaputusan	菲律宾铜矿带的延伸	S R	1978－1984
36	Bulagidun	20 世纪 70 年代鉴别出高铜背景	S R	1986
37	Grasberg		地表取样	1987
38	Batu Hijau		SS BLEG S	1987－1991
39	Dodo-Elang		SS BLEG S	1987

注：1～30 号矿床为金矿床，31～39 号矿床为斑岩铜-金（钼）矿床；在所列的勘查方法中：SS—水系沉积物测量；BLEG—大样可堆浸金；S—土壤测量；R—岩石测量；Hg—汞气测量；G—地表磁测；IP—激发极化法；SLAR—机载侧视雷达；M—地质填图；O—地表露头；D—钻探；本表所列的各种方法是指在矿床勘查中使用过，并且起过作用的方法；据 T. M. Van Leeuwen（1994）资料编制

勘查战略的形成来说，没有哪一种地质研究比细微的地表填图、矿山填图和岩心编录更具关键意义了；不幸的是，许多地质学家至今尚未认识到这一点”。对地球化学异常，除了地表检查外，还可以采用汞气测量、地面地球物理测量来验证化探异常的性质。此外，浅部钻探也是非常重要的。

摘自《国外重要成矿区带典型找矿案例和勘查技术应用》

澳大利亚昆士兰西北部芒特艾萨内围层成矿带

芒特艾萨内围层位于澳大利亚昆士兰州西北部，地处南纬 18～22°、东经 138～141°，面积约 5 万 km^2。它西北部以年轻的元古宙南尼科尔森盆地（South Nicholson）为界，西部和南部与古生代乔治娜（Georgina）盆地为邻，南部和东南部与中生代伊罗曼加（Eromanga）盆地相接，东北部同中生代卡奔塔科亚（Carpentaria）盆地接壤，它是世界上最重要的多金属成矿区带之一。内围层的古、中元古代岩石容有规模庞大的铜、铅、锌、银矿床以及许多规模不大的铜、铅、锌、银、金和钴

黄金地质研究所
信息室 提供

等矿床。

1 地质概况

芒特艾萨内围层可分为3个大的构造单元。它们是西褶皱带、加尔加杜恩—莱卡特（Kalkadoon-Leichhardt）基底地块和东褶皱带。西褶皱带又可细分为郎希尔地台（Lawn Hill）、莱卡特河（Leichhardt River）断槽、伊文（Ewen）地块、穆亚利（Myally）地块。东褶皱带可细分为玛丽凯瑟琳（Mary Kathleen）地带、匡比—马尔本（Quamby-Malbon）地带和克郎克里—赛尔温（Cloncurry-Selwyn）地带。

在这3个构造单元内识别出4个主要的元古宙地层。1）最古老的是发生变形和变质的加尔加杜恩—莱卡特基底，时代早于1 870 Ma；2）覆盖在基底之上的盖层1，主要由1 870～1 850 Ma的长英质火山岩及有关的花岗岩组成；3）盖层2是年龄为1 800～1 750 Ma的双峰火山岩和沉积岩；4）盖层3主要由较细粒的沉积岩和次双峰火山岩组成，年龄为1 680～1 670 Ma。盖层中的大多数沉积岩为浅海和河成类型，大多数火山岩属陆相成因。

这些岩石在1 620～1 550 Ma期间遭受了区域性挤压变形作用，由此产生了褶皱和高、低角度的断裂作用。区域变质程度达到角闪岩相。最近的构造研究表明，至少在加尔加杜恩—莱卡特带的东部及相邻的东褶皱带发生了一期或多期拉伸变形作用，作用的时间早于挤压变形作用，但晚于盖层2的沉积时代。

在大约1 100 Ma以前侵入有花岗岩和镁铁质侵入岩。早于1 550 Ma的侵入岩也发生了变质和变形作用。花岗岩深成体可分为6个岩基，分别是锡比拉（Sybella）、伊文（Ewen）、加尔加杜恩、沃格（Wooga）、威廉斯（Williams）和纳拉库（Naraka）。

2 矿区勘查与发现史

自20世纪在克朗克里发现铜、金以来，芒特艾萨内围层一直是铜、铅、锌和银的主要产地，同时也产大量的金、铀和钴及少量的锰、镉、铋和钨等。到20世纪90年代初，已知或已开采矿床共产铅4 200万t、锌2 500万t、铜1 000万t、金78 t。按1992年价格估算，达1 000亿澳元。

该地区的矿床可分为多种类型。就主要矿种铜、铅、锌、银、金而言，大体上可分为三大类，即沉积岩容矿Pb-Zn-Ag矿床，沉积岩容矿Cu矿床和沉积岩与花岗岩容矿Cu-Au矿床。Pb-Zn-Ag矿床以页岩容矿层控Pb-Zn-Ag矿床为主，包括芒特艾萨、希尔顿、洛雷塔夫人和杜格尔河等矿床，主要产于盖层3的含黄铁矿和白云石的变质页岩中。铜矿床以角砾沉积容矿的铜矿床为主，典型的例子有芒特艾萨、马默斯、安妮夫人等，这类矿床主要位于西褶皱带的盖层3中。本地区开采的大部分铜源于这类矿床。Cu-Ag矿床包括与铁岩及剪切有关的Cu-Ag矿床（例如，斯塔雷和奥斯本等）以及与花岗岩有关的Cu-Ag矿床（例如，欧内斯特亨利、蒂克希尔等）。图1给出了各类主要矿床的位置分布。

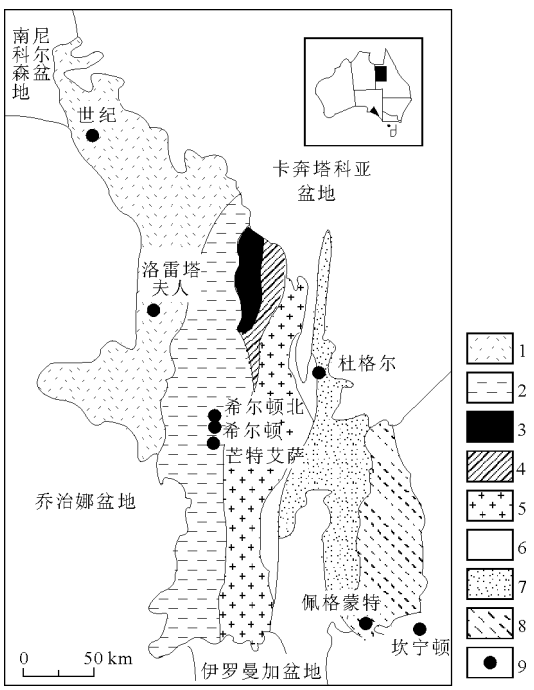


图1 主要矿床的位置分布图及主要构造单元分区

西褶皱带：1—朗希尔地台，2—莱卡特河断槽，3—伊文地块，4—穆亚利地块；5—加尔加杜恩－莱卡特带；东褶皱带：6—玛丽凯瑟琳带，7—克朗克里－塞尔温带，8—匡比－马尔本带；9—主要矿床

迄今为止，芒特艾萨地区的矿产勘查活动已持续了上百年，相继发现了数十个大小不一的矿床。纵观整个地区的勘查史，可以看出勘查活动与勘查方法的进展存在着某种内在的联系。总的来看，该地区的矿产勘查大致可分为3个阶段：1）早期普查见矿阶段，从19个世纪到20世纪50年代，主要是通过露头，用传统的普查找矿方法见矿；2）中期系统地质填图与评价阶段，20世纪50年代至

黄金地质研究所
信息室 提供

80 年代中期，这期间开展了系统的地质填图，并且对已发现或开采的矿床采用了各种物化探方法进行评价，同时也发现了一些新的矿床；3）晚期找矿突破阶段，20 世纪 80 年代中期以来至今，以详细的地质填图及矿床类型的经验模式、类比研究为基础，以现代物化探方法为技术手段，取得了一系列找矿突破，尤其是在覆盖地区。现概述如下。

2.1 早期见矿阶段

在这一时期，以地质普查工作为手段，通过露头识别出有意义的矿化特征而发现了众多的矿床。如芒特艾萨和希尔顿 Pb-Zn-Ag 矿床、芒特艾萨铜矿床、杜格尔河 Ag-Zn 矿床，等等。

早在 1887 年，找矿人在郎希尔地台发现了铅-锌-银矿脉，即“银王”脉型矿床，此后 10 年内相继又发现了 43 条含银的铅-锌矿脉，这里的采矿活动一直持续到 20 世纪 60 年代，共产银 5.4 t。

20 世纪 20 年代，一位名叫 John 的找矿人在芒特艾萨首先注意到突出的铁岩山脊的重要性，进而在露头中识别出铅矿化特征，由此发现了 Pb-Ag 矿化。1927 年，实施了金刚石钻探计划，基本确定了芒特艾萨 Pb-Zn-Ag 矿床的范围及大小。在钻探过程中，打到了 15 m 厚、品位为 17% 的铜矿体，进一步的工作确定了芒特艾萨铜矿体。

在发现芒特艾萨 Pb-Zn-Ag 矿床的 24 年之后，即 1947 年，勘查活动扩展到了矿区外围。勘查人员将注意力集中到含矿岩系向北延伸的地带。同样是基于对铁岩山脊以及露头中白铅矿的认识和识别，结果在芒特艾萨以北 20 km 处找到了希尔顿矿床。

总的来看，这一阶段发现的矿床基本上归功于对露头矿化特征的有效识别以及成功经验的推广。通过这一手段发现了本地区大多数矿床，因为这里的露头情况良好。

2.2 中期系统地质填图与矿床评价阶段

20 世纪 50 年代，澳大利亚联邦矿产资源局对芒特艾萨内围层的矿产远景产生了极大兴趣。为此，它们与昆士兰州地质调查所联合实施了系统的地质填图计划。到 1958 年，在整个内围层（出露区约 5 万 km^2）完成了 1∶25 万的第一轮地质图。1969 年到 1980 年又进行了第二轮详细的地质填图，完成该区大部分的 1∶10 万地质图。1983 年至 1989 年进行了第 3 阶段填图，主要是在 10 余个重点地区完成 1∶2.5 万为主的地质图，小部分为 1∶5 万地质图和大于 1∶2.5 万地质图。私人公司和矿产资源局从 20 世纪五六十年代以来进行了线距不等的航磁测量，以 3 km 和 1.5 km 为主，也有 1 km 和 0.5 km 的。矿产资源局从 20 世纪 50 年代以来在该区还进行了重力测量。所有这些基础性的地质填图和区域性物探工作，为 20 世纪 80 年代中期以来在该区取得找矿新发现提供了极大的帮助。

在开展系统地质填图的同时，这期间随着物化探技术方法的发展与成熟，在已发现的矿床上用各种方法进行了试验和评价工作，以指导钻探工作和发现盲矿体。例如，在芒特艾萨矿床上，从 20 世纪 50 年代到 80 年代先后投入了 10 余种物探方法的评价工作，这些工作对更好地描述矿床特征和进一步圈定块状矿体发挥了较好的作用。

另外，用物化探方法也取得了一些找矿新发现。例如，洛雷塔夫人 Pb-Zn-Ag 矿化首先是由 Placer Prospecting 公司于 1969 年实施风险勘探项目，通过土壤地球化学采样计划而发现的。铅和银的异常大体圈出了矿层在地表的显示。根据最大铅异常布钻（P36），在 50～128 m 深度见到了氧化的 Pb-Ag 矿化。进一步的钻孔打到了硫化物矿石。

2.3 晚期找矿突破阶段

20 世纪 80 年代中期以来，在芒特艾萨内围层及其邻区取得了一系列找矿重大突破。在这些找矿重大突破之中，既有在老的矿山周围或外围以化探、地质等方法取得的新发现，如“世纪”Pb-Zn-Ag 矿床、蒂克希尔 Ag 矿床、杜格尔河矿床内的高品位角砾岩矿带，等等，更多的则是在芒特艾萨内围层边缘覆盖区（覆盖厚度一般为数十米），通过以物探为主的勘查方法，结合矿床地质的对比研究而实现找矿突破的，例如，位于东部褶皱带边缘的奥斯本、埃洛伊斯、欧内斯特亨利 Cu-Au 矿床和坎宁顿巨型 Pb-Zn 矿床。这些矿床均为隐伏矿床，其上覆盖了数十米的盖层。

通过对这一时期取得的发现进行分析，可以看出找矿突破在勘查技术应用上具有明显的特征，即以现代物化探方法为主要的手段，尤其是采用一些新的技术，如高精度磁测、地面和井中瞬变电磁测量，它们对新矿床的发现做出了贡献。

3 典型矿床找矿案例

3.1 “世纪”Pb-Zn-Ag 矿床

1990 年，由 CRA 勘探有限公司发现的“世纪”特大型 Pb-Zn-Ag 矿床位于芒特艾萨铅-锌-银-铜矿山 NNW 约 250 km 处。已探明地质储量 1.18

黄金地质研究所
信息室 提供

亿 t，平均品位 Zn 10.2%，Pb 1.5% 和 Ag 36×10^{-6}。

3.1.1 地质概况 “世纪”矿床位于芒特艾萨内围层内，与芒特艾萨、希尔顿等矿床一样，容于 McNamara 群细粒碎屑沉积岩（含少量火山岩）之中。McNamara 群下部为富含蒸发岩沉积的碳酸盐岩。大多数已知的铅-锌矿化产于 McNamara 群下部，而只有“世纪”矿床容于富含硅质碎屑的 McNamara 群上部。

“世纪”矿床产于朗希尔组的上部，郎希尔组是 McNamara 群中最年轻的单元，由 1 800～2 200 m 厚的页岩、粉砂岩、凝灰质沉积岩、砂岩和少量的白云岩组成。矿床靠近一条 NW 向区域大断层——特尔米特山（Termite Range）断层。

乔治娜盆地的寒武纪灰岩和白云岩构成了芒特艾萨内围层的西缘，在“世纪”矿区内，这些碳酸盐岩不整合地截断了矿化（图 2）。

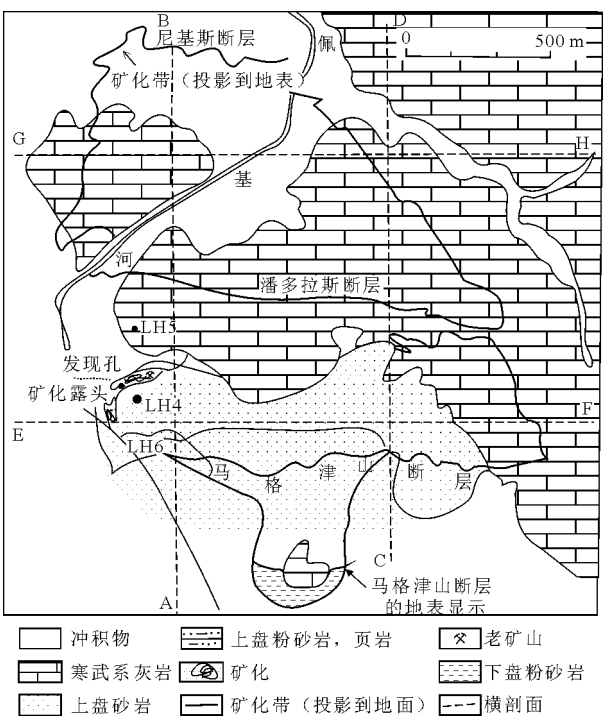


图 2 “世纪”矿床地表地质图（引自 G. Thomas，1992）

“世纪”矿床基本上被年轻的元古宙沉积岩和上寒武统灰岩覆盖，只有极少的矿化露头，且矿化露头在地表显示微弱，没有典型的铁帽，大概是矿石中硫化铁含量偏低所致。矿体埋深一般为 100～300 m，呈平伏状产于断块之中。断层将矿体切割成南（较小）和北（较大）2 块。一条区域大断层（特尔米特山断层）与矿床的东北界相邻。矿区内发育了数条较小的断层，即马格津山（Magzine Hill），潘多拉斯（Pandoras）和尼基斯（Nikkis）断层，这些断层构成了主矿体的边界（图 2）。

3.1.2 勘查与发现 本地区的贱金属勘查活动始于 19 世纪 80 年代。一位名叫 F. H. 汉恩的找矿人 1887 年在现“银王”脉型矿床的地方找到了铅-锌-银矿脉；此后，又在该区发现了 43 条矿脉。1899 年该区已发展为伯克敦（Burketon）矿田。1897 年开始开采铅和银，采矿活动持续到 20 世纪 60 年代，共产铅6 174 t，银 5.4 t。

“银王”矿脉原始租地的一个边角木桩距“世纪”矿床的露头仅 1 600 m，而另一露头距早期找矿人的宿营地也只有 20 m。这 2 处露头的矿化特征很不明显，大概是缺乏硫化铁，故在地质图上被填上了倾角符号。

20 世纪 50 年代末以来，该地区开始颁发勘查许可证（ATP），获 ATP 的公司可圈定租地进行勘查。到 1987 年 CRA 勘探公司获得 ATP 之前，该地区被其他公司先后 9 次获得 ATP 并从事勘查活动。遗憾的是，虽然他们的租地均已将“世纪”矿床圈在其内，但都未发现这个“巨人”。他们的工作重点放在元古宙岩石中的贱金属或前寒武纪基底岩层中的磷酸盐矿化上。

1987 年之前，许多公司在此地进行过不同程度的勘查活动，布设了多条物化探剖面甚至钻探剖面，但都是无功而返。图 3 为 1987 年以前在该区所开展的物化探（土壤）和钻探剖面分布示意图。从图中可见，许多剖面靠近了“世纪”矿床，但实际上没有一条剖面穿过矿床。

3.1.3 CRA 公司的勘查策略与世纪矿床的发现 1985—1986 年，CRA 公司就芒特艾萨内围层的贱金属勘查采取了务实的策略。一方面，他们对该区贱金属矿化的区域性控矿因素做了系统研究；另一方面，他们广泛收集了整个地区已知矿床和矿点，以往的选区及相关的技术资料，对这些资料进行了综合评估。通过这 2 方面的分析与研究认为，朗希尔组的岩石与芒特艾萨等铅-锌矿床的岩石是相似的，属同一类型和同一时代（元古宙，距今约 16 亿年），且朗希尔的贱金属矿点成群出现，表明该区是值得进一步评估的目标。另外，从控矿构造因素来看，与区域大断层（特尔米特山断层）相邻的穹隆构造是成矿有利的地区。

基于上述认识，CRA 公司于 1987 年在该区取得了探区租地的勘查许可证（ATP）。由于探区租地年份距 1887 年“银王”矿脉发现刚好 1 个世纪，故该探区以“世纪”命名。

黄金地质研究所
信息室 提供

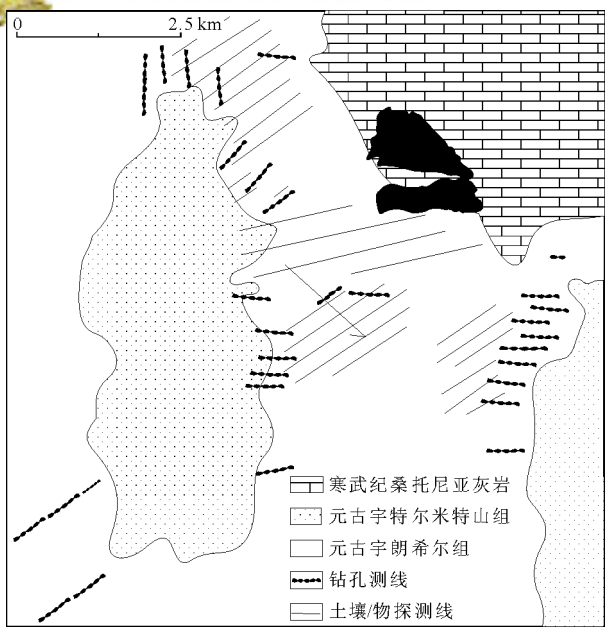


图 3 “世纪”矿床附近早期布设的物化探线和钻孔线（引自 G. Thomas，1992）

图中的黑色区域为“世纪”矿床

随后，CRA 公司布设了 2 条 20 km 长的区域性重力和磁测剖面，剖面穿过了 NW 向特尔米特山断裂和寒武纪灰岩构成的圆形构造，沿剖面还做了土壤采样。

测量结果显示，重磁剖面没有发现明显的异常特征，而 NE 向剖面的土壤采样在剖面西南端探测到 400×10^{-6}～$1\,000\times10^{-6}$ 的 Zn 异常，长达 1 600 m，异常位于元古宙和寒武纪岩石之上，同时还发现了高达 $n\times100\times10^{-6}$ 的铅异常。

为追踪上述异常，随后又布置了几条土壤采样剖面和间距为 100 m 的网格化土壤采样工作。图 4 为 100 m 网格化土壤采样及先前土壤剖面测量得到的锌异常模式。

从图 4 可见，土壤异常与矿体的轮廓大体上相对应，但石灰岩层也产生了大量的异常。不过，先期所做的土壤剖面反映出了主矿体露头部分产生的异常响应。露头的岩石碎屑亦显示出 $n\times1\,000\times10^{-6}$ 的锌异常和 30×10^{-6} 的银异常。

为评价土壤异常，优选钻孔靶位，在主要的异常区上方作了 SIROTEM 电磁测量，以确定灰岩覆盖层下是否存在良导体。测量并未反映出有大的良导体的异常特征，只是在测网西南部一条测线的端部发现了一个弱异常（图 5）。后来的调查表明，该异常与矿化无关，是由小断层内的弱矿化引起的。主矿体为非良导体，不能被 SIROTEM 探测出。

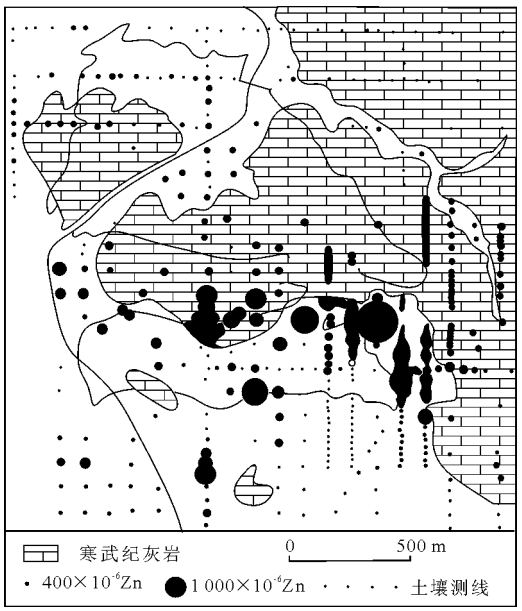


图 4 原始土壤采样剖面及 100 m 间距网格化土壤采样得到的锌异常模式（引自 G. Thomas，1992）

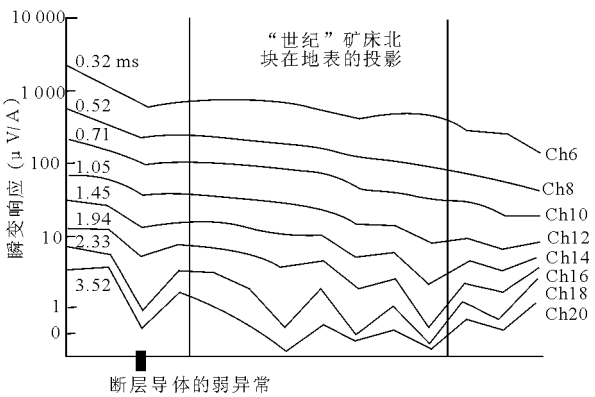


图 5 20850 测线的 SIROTEM 测量曲线（引自 G. Thomas，1992）

在开展电磁测量的同时，也曾计划做激发极化测量。但由于合同商的延误，使这一计划被迫取消。事后的结果表明，这一失误导致该矿床发现时间被延迟，因为在矿床发现之后的 1991 年，在矿床上方进行了激电测量方法试验，试验结果表明矿体能产生较明显的极化率和电阻率异常。矿化反映出 10～25 ms 的良好 IP 响应以及 100～325 Ω·m 的视电阻率异常。

由于土壤异常未能得到电磁法的验证，当时勘查人员处于进退两难的境地。但他们对如此显著的化探异常并未失去信心，只是一时不知如何或在何处布钻验证。1989 年，他们将注意力暂时转移到该矿田的另一个靶区，即“世纪”探区以南 8 km 处的一个矿脉（沃森矿脉）之上。在该矿脉周围做了土壤采样，结果得到了与“世纪”探区土壤异常

黄金地质研究所
信息室 提供

极其相似的异常，只是规模要小得多。1989 年底打了一个浅孔验证异常，发现了富锌矿化，在数米矿段上锌含量高达 10% 以上。这一发现激发了勘查人员用钻孔验证“世纪”探区大片土壤异常的信心，但由于当时正值雨季，不得不将“世纪”异常的验证工作推迟到 1990 年。

1990 年 4 月，开始对“世纪”探区的土壤异常进行钻孔验证。最初打了 3 个钻孔。第一个钻孔 LH4 见到了 27 m 厚的矿层，含 Zn 6.3% 。第二个钻孔 LH5 位于 LH4 以北 200 m 处，正好处于南北 2 矿体之间的“夹缝”地带，只是打到了矿化。第三个钻孔 LH6 位于 LH4 以南 100 m，结果也见到了富矿层。经测试分析，确认该矿层具有重要意义。于是在 6 月再打 9 孔，其中 8 孔见矿，由此肯定了矿化的性质和远景。此后又打了 78 个 200 m 间距的扩边孔，并做了有关的物探测量（地面激电、钻孔激电/电阻率、电阻率测井、自电测井、自然伽马和中子测井以及地震反射测量等），据此圈定了矿床的分布范围，填绘出了容矿岩石的边界及控矿构造等。

CRA 公司认为，该矿床是世界上第六大铅-锌矿床。矿石可用常规方法选冶。

3.2 欧内斯特亨利 Cu-Au 矿床

欧内斯特亨利 Cu-Au 矿床位于芒特艾萨内围层东部褶皱带的东缘，克隆卡里 NNE 约 30 km 处。它是 1991 年由西部矿业公司发现的。已探明地质储量为 1.22 亿 t，平均品位 Cu 1.14% ，Au 0.55×10^{-6}（铜约 140 万 t，金 70 t），并含不少铁，可露采。据称，这是澳大利亚自奥林匹克坝矿床发现以来的最大铜矿发现。

3.2.1 *地质概况* 矿床产于芒特艾萨内围层东部褶皱带的元古宙岩石中，即纳拉库岩基 NE 约 20 km 处的角砾岩化酸性至中性火山岩内（17.4 亿年左右）。据航磁和重力资料推测，欧内斯特亨利周围分布有大量的花岗岩类深成岩体。矿化可能是在 15 亿年前后一个大的花岗岩类侵入体冷却和热液作用时形成的。该区地形平坦，无地表露头，矿床全隐伏在 40～50 m 厚黑色土壤、显生宙砂砾、页岩等沉积岩之下。

矿体为一大的向 SE 倾（倾角 30～50°）的铜-金磁铁矿矿体，厚约 250 m，宽 300 m，沿倾斜延伸超过 1 km。矿体产在有长石蚀变且局部变形的与安山岩组分有关的斑状火山岩中，其顶底部以向 SE 倾斜的剪切带为界（图 6）。原生矿带以磁铁矿-碳酸盐-黄铁矿组合为主，主要作为角砾化火山岩

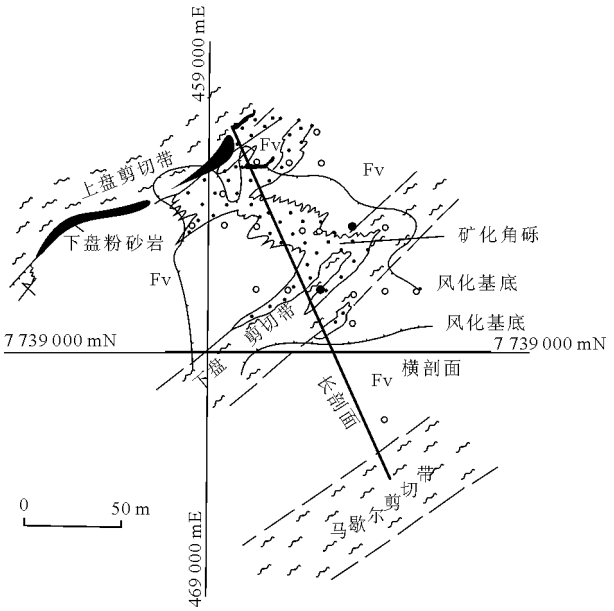


图 6 地表以下 60 m 深度矿床地质略图（引自 M. Webb，1995）

的基质产出（硫化物主要呈浸染状），金与铜直接伴生。矿体北半部发育有一表生带，由次生铜矿物（辉铜矿、斑铜矿、自然铜和黄铜矿）与分散的金及粘土、绿泥石、氧化铁和局部的二氧化硅组成。

3.2.2 *勘探策略与矿床发现史* 该矿床的发现是以简单实用的矿床经验模型为指导，通过物探和地质驱动的勘查计划实施而见成效的。由于矿床是完全隐伏的，故勘查的成功主要依赖于物探与钻探手段的合理应用。物探方法在选择靶区、异常评价以至最终确定钻孔孔位等各个阶段始终起到了主导作用。

澳大利亚中元古代铁氧化物矿石往往与有经济价值的铜矿有关。例如，20 世纪 70 年代中期发现的奥林匹克坝矿床，克隆卡里南面的斯塔拉矿床以及 20 世纪 80 年代末发现的奥斯本铜-金矿床。这些矿床一般与磁异常有关联。在欧内斯特亨利地区，澳大利亚地质调查机构曾于 20 世纪 70 年代做过区域性航磁和地面重力测量，昆士兰州地调局在 20 世纪 80 年代初做过 400 m 线距的高精度航磁。这些测量均反映出有若干个磁异常。

基于铜矿与铁氧化物伴生的矿床经验模式以及矿床与强磁异常有关的事实，西部矿业公司对分布若干强磁异常的欧内斯特亨利地区产生了浓厚的兴趣，他们寄希望在这里能找到像斯塔拉、奥斯本这样的铜-金矿。于是，1989 年 9 月，在分布有高幅值航磁异常地区申请了勘查许可证，并与亨特公司成立了合营项目。他们首先从航磁测量的若干个异

黄金地质研究所
信息室 提供

常中筛选出 7 个最强的磁异常作为最初的目标。

在初步选定的靶区内，为进一步评价和筛选航磁异常，1990 年后期实施了一项规模不大的测量计划，包括详细的高精度地面磁测和地面瞬变电磁（TEM）测量。地面磁测从 7 个强的航磁异常中筛选出了 4 个异常。

图 7 示出了高精度地面磁测结果。线距 40 m，点距 5 m。从总体看，异常为 NW 走向，在大部分走向长度上，异常高出背景值 7 000～10 000 nT。南部的异常可能是含磁铁矿的马歇尔（Marshall）剪切带引起的，没有出现强矿化。异常的北端表现为一个 NE 向构造，被解释为 N 倾上移的断层，或为沿这一构造氧化深度增大。

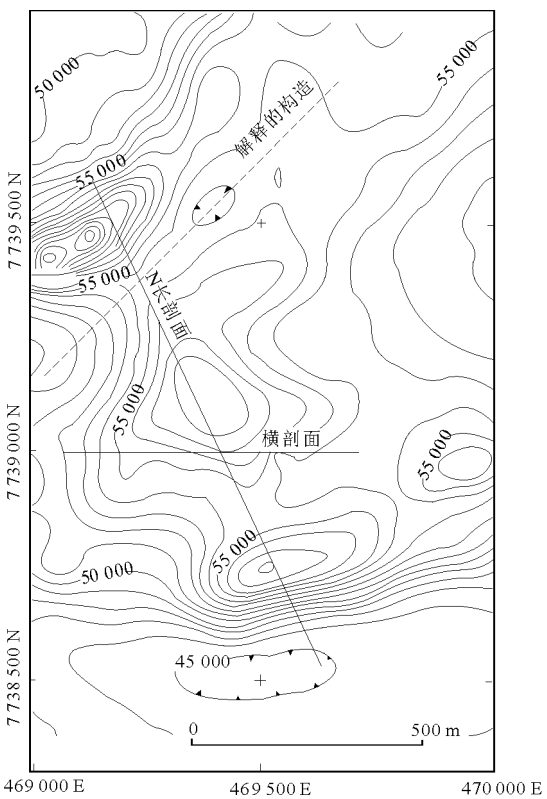


图 7　地面磁测等值线平面图，等值线间距 1 000 nT（引自 M. Webb，1995）

为评估磁异常，基于有经济价值的铜-金矿化往往有足够伴生的硫化物矿化可产生电磁异常的认识，开展 TEM 测量。一致的磁异常和 TEM 异常将作为优先的钻探目标。1990 年晚期，第一阶段采集的 TEM 数据使用的是 SIROTEM MKⅡ接收机，重叠回线装置，回线边长 100 m，读数间距 100 m。在这次测量中仅发现了一个弱的异常，推测它反映了基岩良导体，位于矿床的北端。

1991 年又实施了更大规模的 TEM 测量计划。同样采用 100 m 的重叠回线作业方法，线距 200 m。结果发现了一个较强的 TEM 异常。

图 8 为测区 14 号时窗等值线图。从图中可见，异常沿磁异常走向延伸不大，位于图所示构造的西南端。通过数值计算与模拟，认为引起该异常响应的为一陡倾圆柱体，深度多为 90～100 m。

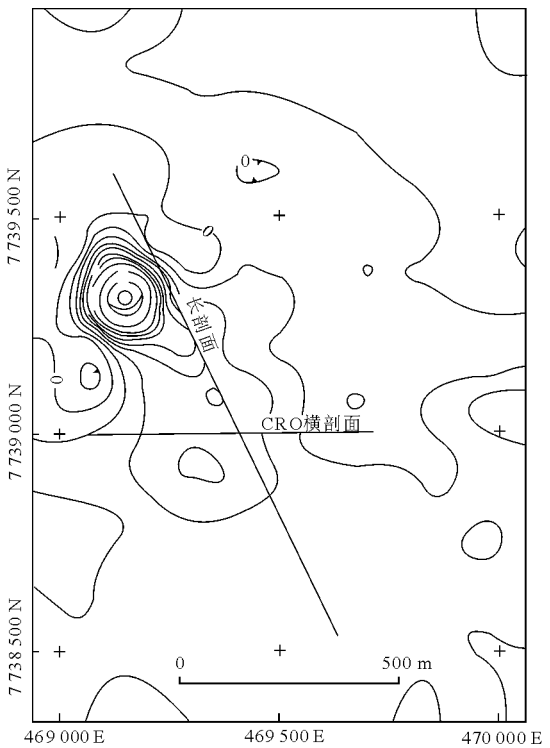


图 8　SIROTEM MKⅡ14 号时窗（11.8 ms）等值线图（等值线间距 0.2 μV/A，引自 M. Webb，1995）

鉴于 TEM 异常与磁异常呈良好的一致性，故提出了在该 TEM 异常布设第一个钻孔孔位的建议。结果第一个钻孔在 88 m 深处见到了 7.1 m 厚的矿化层，含 Cu 4.95%，Au 0.9×10^{-6}，该矿化层为表生矿化，含自然铜。钻孔往下穿过了20 m 厚的无矿风化岩石，再往下又打到了 114 m 厚的矿层，其中含 Cu 1.75%，Au 0.9×10^{-6}。

继发现孔之后，进一步补充了地面 TEM 测量，但结果表明，TEM 异常仅出现在发现孔附近。其他钻孔打到的矿体未见到 TEM 异常。该 TEM 异常向 SE 向伸展变弱的“尾部”大致对应于浸染状表生矿化，故该异常大概反映了氧化作用的深度增大，或表生带中矿物的良导性。

为确认目标导体源的性质，1991 年 12 月，在 2 口钻孔中做了井中 TEM 测量。表明地面 TEM 异常源位于表生矿化带，对异常进行模拟，得到了向 S 倾伏的板状体，这与表生矿带的形状大致对

黄金地质研究所
信息室 提供

应。其他钻孔的测量结果进一步证实了地表 TEM 异常是由表生带矿化引起的。

鉴于 TEM 测量对进一步指导布钻的作用不大，又开展了激发极化（IP）测量。测量数据显示出与矿化带吻合的宽异常带，但对应的深度要浅，说明了地面 IP 响应也主要来自表生带。

此后，主要是通过钻探和钻孔物探方法最终确定出了矿床的范围。

由此可见，原先认为有经济价值的矿化与导电异常直接相关的认识是不完全正确的。TEM 主要反映的是表生矿化带而非原生矿带。如果没有表生富集作用而产生较广的富自然铜的薄的席状带，该矿床可能还发现不了。当然，表生矿带也是因为原生矿带的存在以及地表作用过程而形成的产物。如果无原生矿带，也就不可能有表生矿化带了。

3.3 埃洛伊斯 Cu-Au 矿床

1988 年，BHP 公司发现的埃洛伊斯铜-金矿床位于克朗克里东南约 60 km 处，产于芒特艾萨内围层东部褶皱带古、中元古代索尔哲斯开普（Soldiers Cape）群变质沉积岩之中，容矿岩石全隐伏在 50～70 m 厚的中生代泥岩、粘土岩和未固结的泥质砂砾层之下。

3.3.1 *地质简介* 含矿岩系是由陡倾斜 N 倾互层的变质砂屑岩和云母石英片岩组成，其间侵入有角闪岩，并遭受不同时期的断裂作用（图 9）。矿床南端有一条 NW 向大断层，将含矿岩系错断。这里的岩层自西向东：含磁铁矿云母石英片岩，中粗粒磁铁矿-碳酸盐岩、变质玄武岩以及互层的变质砂屑岩和磁铁矿-碳酸盐岩。

矿化是由共生的粗碎黄铁矿和黄铜矿组成，往往与石英及碳酸盐网状脉紧密伴生。矿体为一 N 倾的板状体，长约 600 m，最大厚度约 30 m、延深至少达 500 m，位于蚀变砂屑岩和云母石英片岩的接触带。未矿化围岩与矿化之间的接触带是逐变的，与矿化有关的蚀变可能延伸到围岩之内数十米。

3.3.2 *勘探与发现史* 1984 年以来，BHP 公司一直在芒特艾萨内围层东部褶皱带寻找贱金属和贵金属。最初找矿活动集中在元古宙岩石出露区。后来将注意力转移到被中生代伊罗曼加盆地厚层沉积物覆盖的地区。在覆盖区，由于传统的地质找矿和地表化探方法效果不尽理想，故 BHP 始终采用以物探为主的勘查方法，尤其是高精度航磁和地面磁测以及地面瞬变电磁（TEM）法。

BHP公司将航磁作为首选手段，1985年前完

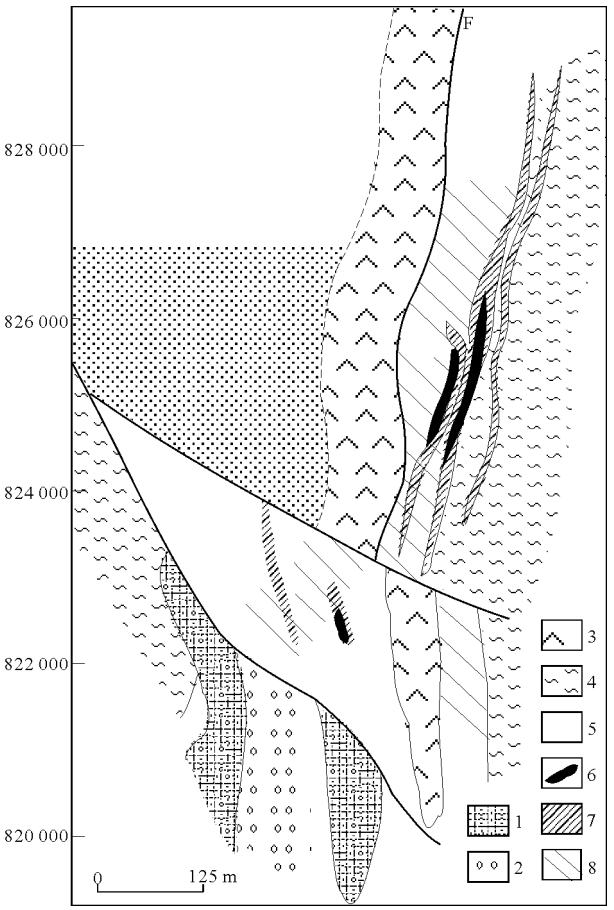


图 9 埃洛伊斯地表之下 190 m 深度的矿床地质图

1—磁铁矿-碳酸盐岩；2—变质玄武岩；3—角闪岩；4—云母石英片岩，含磁铁矿云母石英片岩；5—变质砂屑岩；6—高品位 Cu-Au 矿化；7—低品位 Cu-Au 矿化；8—镁铁质-硅石-碳酸盐蚀变

成了测区的航磁测量，圈出了一些中、高强度的磁异常，可能反映了 Soldiers Cape 群的含铁磁铁矿变质沉积岩，埃洛伊斯本身也表现为幅值 1 100 nT 的局部高值异常。

继航磁之后开展了地面磁测，线距 100 m，点距 5 m。地面磁测揭示出的特征比航磁要复杂。最显著的一个特征是南部的强牛眼状异常。后经钻孔验证，该异常是由宽度为 2～5 m 的许多垂直磁铁矿-碳酸盐-镁铁质蚀变岩带引起的，较强的蚀变地段含高达 30% 的磁铁矿，磁化率值超过 1 SI 单位。

另一个特征是 NNE 向的磁力高，它与埃洛伊斯矿化有密切的关系。据后来的钻探结果，该异常起因于一个富含磁黄铁矿的蚀变晕，向北延伸数百米。高品位的 Cu-Ag 含矿透镜体位置于磁力高的东侧。

此外，根据异常图还可辩认出与 NNW 向 Middle 断层有关的 NW 向异常，位于埃洛伊斯磁力高与牛眼状异常之间。

为验证磁异常，开展了 TEM 测量。首先使用

黄金地质研究所
信息室 提供

了移动回线，线距 400 m，按标准延时 24 道（52.6 ms）读数记录。

移动回线 TEM 测量在 82 450N 测线首先发现了埃洛伊斯异常。该剖面异常曲线早期延时数据显示出异常响应自西向东逐渐增强，表明导电覆盖层逐渐变厚的趋向。在晚延时曲线上 97 800E 点附近出现一个单峰异常，该异常与埃洛伊斯矿化带的位置大体对应。

为证实该异常，又做了固定回线 TEM 测量。布设了 600 m×300 m 的回线，接收间距 100 m。在82 550 N测线的固定回线测线剖面上，正如所预料的那样，早延时数据反映了良导覆盖层的响应，而 16～20 道（65.8～28.6 ms）之间出现了由矿化引起的异常。随着晚延时覆盖层效应的减弱，这一异常变得更为明显。基于对异常的解释，在 82 550 N测线上布设了该区的第 5 口钻孔——发现号孔 END17，结果打到了 20 m 厚的高品位 Cu-Au 矿化。

作为地面 TEM 的补充，在已打的钻孔中做了井中 TEM 测量，目的有二，一是判断钻孔周围或底部是否有盲矿体；二是根据钻孔测量结果推断已打到的矿体所处的位置，即由井中 TEM 异常来确定矿体的范围或延深。

钻孔 END3 的井中 TEM 异常曲线显示，当靠近孔底时，中等和晚延时曲线出现一正异常，但异常并未封闭。根据异常形态特征，推测该异常可能反映了一个近直立导体，位于孔底之下约 50 m 处。为证实这一推测，将这个不完整的异常与打到高品位矿带的钻孔 END17 的 TEM 异常做了对比研究。钻孔 END17 从 175 至 287 m 为几乎连续的矿化段。异常曲线清楚地显示，当靠近矿化带时，中晚延时呈正异常上升，而在矿带上方呈下降的负异常。对比这 2 个钻孔 TEM 曲线，表明钻孔 END3 底部可能有盲矿。据此，布置了 END40 号孔，结果在 624 m 深处见到了 13 m 宽的块状矿，见矿处距 END3 号孔孔底的垂向距离约为 225 m。随后的钻孔 TEM 测量证实了该矿带就是引起 END3 号钻孔不完整 TEM 异常的原因。

另外，见矿钻孔 36，33，24 和 29 中均做了井中 TEM 测量。对实测 TEM 曲线与理论模拟 TEM 曲线做了对比分析，由此可确定每个钻孔见矿的部位，即该钻孔打在矿体的什么部位，由此便推断出矿体的倾向、延深，为准确地圈定矿体提供了可靠的信息。

4 芒特艾萨内围层成矿带矿产勘查的几点经验与启示

4.1 找矿策略

芒特艾萨内围层成矿区带是一个勘查、采矿历史悠久的老矿区。就内围层出露区的 5 万 km^2 来说，勘查程度被认为是相当高的了，出露和近地表矿大都已被发现。然而，在已知老矿山、矿点的外围或深部，仍存在着找矿突破的新机遇。“世纪”矿床的发现便是一个典型例证。该矿床的发现距 1887 年在当地发现贱金属矿化相隔 103 年。这期间（尤其是 20 世纪 50 年代以来）在该地作过多次勘查，工作反反复复，但始终未能找到这个“巨人”。一方面说明了矿床本身的复杂性（地表显示差，与该地区以往发现的脉状矿在视觉上差别甚大；且含矿部位与以往的认识有差异，原已知矿化产于 McNamara 群下部，而该矿床则产于其上部），另一方面说明了在一个已经被认为勘探程度很好的地区仍然可能有一些重要矿床被遗漏掉。

近年来的区域物探调查结果表明，内围层已延伸到年轻的沉积盖层之下，因此，在内围层边缘覆盖地区寻找隐伏矿已成为该区找矿的一项重要策略。近 10 年来实施了一系列联合风险勘探计划并相继取得了一些重大突破，如上面所介绍的欧内斯特亨利铜-金矿床，20 世纪 80 年代末发现的奥斯本铜-金矿床以及 BHP 矿产有限公司 1991 年发现的坎宁顿特大型极富银-铅-锌矿床，均位于芒特艾萨内围层东部褶皱带边缘的覆盖区，覆盖层厚度数十米。

4.2 勘查技术组合应用

从前文介绍的本地区 3 阶段矿产勘查史可明确看到，芒特艾萨内围层区的矿产勘查技术方法随着时间的推移和技术的进步发生了重大变化，从早期的普查露头直接见矿发展到现阶段多种技术方法的合理综合运用，勘查目标已由早期的找地表露头矿转向现今的以寻找隐伏矿为主。就现阶段寻找隐伏矿来说，技术方法的合理使用，结合对成矿模式的修正和认识的提高，以及地质和物化探异常特征的对比研究，是近十年来取得找矿突破的基本手段。上述几个典型案例表明，在本地区，区域性物探资料，尤其是高分辨率航空物探资料是勘查选区追溯研究控矿构造因素、含矿岩系等工作的依据之一。作为后续手段，高精度地面磁测、瞬变电磁法、激发极化法等物探方法对土壤化探异常，进一步筛选，确定有利地段，进而提出合适孔位，发挥了应

黄金地质研究所
信息室 提供

有作用。井中物探则用于指导钻探，确定矿体的范围。这套方法组合并非适用于所有的矿床，如“世纪”矿床的矿体与围岩之间在磁性、导电性、密度等物性上差异并不大，故磁测、电磁法对该矿床的发现没有太大的作用，而化探异常、详细的地质填图及对比研究，才是矿床发现的成功所在。

4.3 重视新型的基础地质填图工作

以上的典型找矿案例以及整个芒特艾萨内围层地区的勘查史表明，矿产勘查的成功在相当程度上得益于政府地质机构前期的地质填图和详细的地质研究工作。澳大利亚矿产资源局和昆士兰地调所为查明该地区地质情况与矿产资源远景，在内围层、全区及部分重点矿区填绘出了各种中、大比例尺的地质图，开展了区域物化探工作，成为导致找矿突破的重要组成工作。

4.4 加强地质、物化探异常特征的对比研究

芒特艾萨内围层同类矿床的控矿构造、含矿岩性、成矿时代乃至物化探异常特征在很大程度上具有可比性。因此，对同类矿床或矿化进行地质和技术方法应用上的类比研究，是取得找矿突破的一个重要原因。例如，“世纪”矿床所处的朗希尔矿田的岩性与产出芒特艾萨铅-锌矿的岩性是类似的，据此 CRA 公司认为这里有获得类似发现的可能性。在欧内斯特亨利勘查选区时，一方面基于这类矿床含有铁氧化物这样一种矿床经验模式，另一方面基于该区的区域性航磁异常与斯塔雷、奥斯本 Cu-Au 矿床的区域异常具有相类似的特征，通过综合研究及对比分析准确地选择勘探靶区。

摘自《国外重要成矿区带典型找矿案例和勘查技术应用》

地电化学方法概述

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，对地电化学的研究做了开创性的工作。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）。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.n%～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。

摘自《地电化学成晕机制、方法技术及找矿研究》

黄金地质研究所
信息室 提供

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 PEM——Partial Extraction of Metals；其商业代号为 CHIM)。20 世纪 70 年代初期，俄罗斯学者 Yu. S. Ryss 等率先提出了“部分提取金属法”等一系列地电化学勘探技术，研制了用于地电提取法野外工作的大功率 CHIM-10 工作站，该工作站全部仪器设备安装在一台捷尔-131 汽车上，包括 10 kW 的柴油发电机、电场控制仪、元素接收器、电缆和分析仪器，为了进行井中观察，CHIM-10 工作站还配有卷扬机，绞车上卷有多心电缆等。最大输出电流为 20 A，各分道输出最大电流为 600 mA，一次可以完成 28 个测点。元素接收器用塑料制成，圆柱形，底部有一个面积为 1 cm^2 半透膜盖住的圆孔；顶部插入一根钛电极（或石墨电极），提取液为稀硝酸，pH 值为 1～2，每一次提取时间为 24 h。作为测试的样品分为 3 部分，即惰性电极上的电解产物、提取液中的离子浓度、接收器底部和侧壁上沉淀的金属离子。所采获的样品要求当天测试分析。

在 20 世纪 70 年代中后期，该方法被广泛地应用在鲁得内依阿尔泰、哈萨克斯坦南部、雅库特及乌兹别克斯坦等地区。实践证明，在普查阶段，CHIM 法有助于发现厚层疏松沉积覆盖物之下的深部目标和筛选物探异常；在勘探阶段，应用 CHIM 法测井能在钻孔中划分矿段和估计矿体品位。经过近千年的研究和实践，CHIM 法在前苏联逐步形成一套比较完整的理论，制造出配套的仪器设备，并在生产实践中形成了规范化的应用程序(傅良魁，1982)。

20 世纪 80 年代，Yu. S. Ryss 出版了专著《地电化学勘探法》(1983)，对地电提取法的原理、方法技术和实际找矿效果作了较全面的介绍。

俄罗斯应用地电化学方法在有色金属、贵金属、稀有金属矿床普查找矿方面取得了显著的效果(谭克仁，2000)。应用元素赋存形式法、热磁地球化学法、扩散提取法和部分提取金属法（CHIM）在远东地区发现了奥波斯克铜矿床，在小高加索发现了沙赫布拉克、南喀腊塔克铜矿床，在准噶尔阿拉套发现了卡拉塔尔斯克多金属矿床和捷克里斯克矿田西翼多金属矿床，在卡腊套发现了格巴依萨依多金属矿床，在吉尔吉斯发现了东奥依卡姆锡矿床，在吉尔吉斯、库兹涅茨克阿拉套、叶尼塞和远东地区发现了大量的金矿床，在卡累利地区和白俄罗斯发现了稀有金属矿床等。

在克拉斯内雅尔斯克地区南部应用部分提取金属法普查金矿床的多年工作成果证明：埋藏 100～150 m 深的网脉状金矿床以及工业金矿体完全可以用部分提取法来圈定，部分提取金属法和其他方法综合应用能够大大提高金矿普查效果，最大限度地缩小普查工作面积和山地工程量。

俄罗斯地矿部地球物理勘查局 1988 年 2 月 8 日发布的《矿床勘查地电化学方法应用经验》文件中声称（Заичеко，1988；谭克仁，2000)：“在 20 世纪 60 年代末由于不断完善电法勘探和地球化学勘探而发展起来的地电化学勘探方法能够进行大深度的矿床的成矿物质组分的直接定量评价，由矿床地球物理科研生产联合体在近几年开发的地电化学勘查方法（接触极化曲线法、不接触极化曲线法、部分提取法、元素存在形式法、热磁法、扩散提取法）是俄罗斯首创的国外没有的矿床勘查新技术新方法。80 年代，在俄罗斯生产部门中从事地电化学勘查的有 7 个单位从事极化曲线法勘查，23 个单位从事电提取法和扩散提取法勘查，每年完成元素存在状态法样品分析 10 万多件，热磁法样品分析 1 万多件，研制了 КОПк-1，СПК 和 ЧИМ-10 野外工作站，培养了近 300 名从事地电化学勘查的专家。”

20 世纪 80 年代末至 90 年代以来，由于新的高灵敏度的分析方法（ICP-MS）的发展运用，人们对离子晕的形成有了更深的了解，对地电化学的成晕机制有了新的认识。雷斯（1987）提出了从离子源到异常点以射流的形式运动，并利用地电化学法普查油气田；普吉科夫（1994）认为地下水中的气泡可以吸附矿物质向上运动；格里戈良（1992）提出了“气体电地球化学法”，1997 年的英文简介称为“离子电地球化学法”(ion-electrogeochemical method)。该方法是用一个称为“离子陷阱”的半透膜采样器，置于离地面 25 cm 的高度收集地下隐伏矿床中的金属离子，采样器中盛有 150 mL_{IN} 的硝酸，24 h 后分析 HNO_3 溶液中金属离子的浓度，这样便可观测到与深部矿化有关的金属离子异常。

黄金地质研究所
信息室 提供

这种方法既类似于地电化学方法，又类似于气体地球化学方法，我国学者吴传璧称其为“离子晕法”(吴传璧，1997)。

2 地电化学法在中国的发展状况

20 世纪 70 年代中后期，我国学者费锡铨、徐邦梁等人在我国独立地发展了地电提取法（但于 80 年代才开始发表文章）。所不同的是，前苏联一直使用具酸性溶液的离子提取器和大电流供电的浓缩法；而我国学者从开始研究就使用碳棒作采样电极和小电流供电的电解法。

20 世纪 80 年代初，我国学者崔霖沛、郑康乐参加亚太地区物探会议后（1980），开始向中国物化探界介绍前苏联的 CHIM 法。核工业部沈阳 240 所的高云龙等人，较早开始吸收前苏联的研究成果并研制该方法仪器装备，1983－1984 年，他们在东北不同类型铀矿床上进行地电提取法试验研究，1985 年，在河北张家口小营盘金矿和河北遵化马兰峪砂金矿开展找金试验，均取得较好的效果，1986 年，高云龙向国内物化探界推出几种型号的地电提取电场控制仪及专利产品——元素接收器。1986 年 12 月，张肇元、崔霖沛将 Ю. С 雷斯编著的《地电化学勘探法》译成中文出版，大大促进了我国进行地电化学方法的研究。据 1989 年不完全统计，全国至少有 38 家科研和生产部门在不同程度地进行地电提取方法的找矿试验和应用技术研究。地矿、核工业、冶金、武警黄金部队等系统先后在多金属和金矿床开展了应用研究，取得了很好的效果。

费锡铨（1992）吸取了电解技术中的一些概念，创造了以高电压、低电流和长时间的激发方式，发展了一套适合野外应用的经济快速提取的理论和野外工作技术。

罗先熔从 20 世纪 80 年代中期就率先在国内开展了地球电化学勘查技术寻找隐伏矿床的研究工作。20 多年来，在全国 20 多个省 30 余个矿区的各种厚层覆盖区，对不同埋深、不同矿种、不同矿床类型的典型矿床（体）开展了地电化学方法找矿可行性的试验研究。试验剖面达 500 余条，剖面总长度为百余 km，获得测试数据几万个，研究涉及的矿种有金、银、铜、铅、锌、钨、锡、砷、锑等 10 余种，矿床成因类型包括高中低温热液矿床、沉积矿床、层控矿床、沉积改造矿床、火山沉积变质矿床、夕卡岩型矿床。大量的找矿可行性试验研究表明，在各种不同厚层覆盖区、不同矿种、不同成因的矿床上方，几乎都能测出清晰的地电化学异常。在国内 15 个省的 20 余个未知地区开展了各种新方法的找矿定位预测研究，在上述未知区找到了 40 余个具有成矿前景的异常，已进行深部工程验证的异常 10 个，其中见到工业矿体异常 6 个，如：在湖北阳城铅-锌矿区，对预测的定位靶区施工钻孔验证，在 100 m 深处见到隐伏铅-锌矿体；在新疆金窝子矿区北带，对预测的定位靶区施工钻孔验证，在 200 余 m 处见到 4.5 m 厚的隐伏金矿体；在广西新路大利场测区对预测的定位靶区施工 5 个钻孔验证，其中 4 个钻孔均在 200 余 m 深处见到隐伏锡矿体。1996 年，出版了专著《地球电化学勘查及深部找矿》，对我国地电化学方法的研究做出了很大贡献。

地质矿产部物化探所刘吉敏、刘占元等也做了很多试验和研究工作。1987—1989 年在新疆喀拉通克铜-镍矿床、阿克塔斯金矿、多拉纳萨依金矿进行了地电提取方法试验，结果表明：在埋藏深度 200～400 m 的Ⅱ号矿体上方，显示了清晰的电提取 Cu，Ni，Cr 异常；在阿克塔斯金矿和多拉纳萨依金矿上方也显示出清晰的 Au 地电提取异常。

在找矿效果及预测方面，刘吉敏等人 1987 年在新疆多拉纳依金矿区外围约 10 km^2 内进行详查，发现多处地电提取 Au 异常，经 1988 年 9 月由新疆第四地质队提供的工程资料表明，已施工的 3 个钻孔和 4 个槽探，都在推断矿体部位见到了埋藏深度数十 m 至百余 m，累加厚度十余 m 至数十 m 的工业矿体；1989 年在多拉纳萨依矿田北段的阿克萨依测区，矿田中段西南带布托别山测区以及中段西带进行 22 km^2 的扫面工作，发现 12 处品位为 1×10^{-6}～7.63×10^{-6} 的工业矿体。

中国地质大学（北京）李金铭、卢军对地电提取方法的理论做了深入的研究。从电解质溶液的基本电化学性质出发，根据传导体电法的电场分布理论，以均匀各向同性介质为例，对点源电流场中离子迁移一定距离所需时间和电极（液态、固态元素接收器）提取的物质质量与哪些因素有关的问题，做了较详细的讨论，并在此基础上，结合时量曲线的模拟实验结果给出了离子淌度、迁移距离和迁移浓度的计算方法。

武警黄金地质研究所潘勇飞、王文龙等对地电提取法在金矿勘查方面做了很多探索性的工作。

中国科学院长沙大地构造研究所的谭克仁应用地电提取测量和吸附提取测量在湖南省新邵县龙山

黄金地质研究所
信息室 提供

金锑矿1，2号矿床上盘发现新的异常，经坑道验证，发现厚4 m、长100多m、金品位达6×10^{-6}的延伸稳定的金矿体，取得了找矿上的突破。

3 地电化学法在国外其他国家的发展

1985年前，尚未有用英文发表的有关地电提取技术的论文或有关译文，这一技术在西方几乎无人知晓。为了促进各国在发展勘查地球化学学科时应用此技术，联合国技术开发协作署矿产处邀请苏联学者介绍“部分提取金属法”。1985年，美国学者B. M. Shmakin在*Journal of Geochemical Exploration*发表题为“稳定电场中地球化学勘查的部分提取金属法”的论文，向西方学者介绍CHIM方法的原理、技术及应用成果。

20世纪90年代初，随着前苏联对西方的开放，Yu. S. Ryss开始把合作开发研究的目光转向加拿大和澳大利亚，通过讲学等交流方式，在西方勘查地球化学界产生一定的影响，引起了西方地质界同人们的重视。美国地质调查所在多种矿床类型上开展了CHIM方法试验，早期工作包括仪器研制和测试，电极设计检验，以及实验室中试验各种类型的低渗透率薄膜。于1990年5月在科罗拉多Kokomo矿山进行了第一次野外试验。Kokomo矿山的野外试验工作是在2 m宽的含Cu，Pb，Zn硫化物和贵金属矿脉上进行的，矿脉被约3 m厚的崩积物覆盖。常规的地球化学土壤取样（即次生晕）仅在矿脉上显示微弱的Cu，Zn异常（异常/背景值≈2×10^{-6}）；而CHIM法则显示清晰的异常（异常/背景值≈20×10^{-6}）。由此证实CHIM法在寻找隐伏矿床方面比常规地球化学方法具有更大的优势。

20世纪90年代末，西方国家对地电提取方法的成晕机制做了深入研究，如隐伏矿体离子的迁移方式、迁移速度、离子在地表的形成模式等；在技术改进方面有很大进步，如NEOCHIM法是CHIM法的改进，等等。

目前，地电化学勘查新技术新方法已推广到美国、加拿大、英国、澳大利亚、印度以及东南亚等地区，它已成为世界隐伏有色金属、贵金属矿床、稀有金属矿床、放射性元素矿床和石油天然气矿床普查找矿和勘探的重要手段之一。

摘自《地电化学成晕机制、方法技术及找矿研究》

地电化学方法的应用条件、主要功能和作用

1 应用条件及影响因素

地电提取测量的应用前提条件主要包括：矿体的电化学溶解能力、矿体上方的离子通道条件、地表盖层条件以及气候、接地条件等。现就有关问题逐条叙述如下。

1）矿体的电化学溶解能力，研究表明，金属矿体矿物成分较复杂，当硫化物较多，具有较好的成晕条件和较好的水文地质条件的情况下，矿体的电化学溶解能力较强，即由电化学溶解而形成的离子晕比较发育，这是地电提取测量取得良好效果的必备条件之一。反之，金属矿物成分较简单、硫化物成分少甚至没有，或缺乏成晕的水文地质条件等情况下，地电提取的效果将受到影响。

2）离子通道条件，在矿上构造发育，且地下水垂直循环发育的地区，往往具有较好的离子迁移通道，这种情况下，电提取的异常十分清晰。若矿上构造不发育，地下水垂直循环较弱，而且存在矿上“屏蔽层”（如层控矿床上方的致密页岩层）时，电提取异常就十分微弱，甚至无效果。

3）覆盖层条件，从离子累积空间的角度看，地电提取测量适合于在厚且较均一的外来运积物或厚层残坡积物覆盖区开展，厚度从几米至几十、上百米均可，具体如我国东北平原、华北平原、西北厚层黄土高原、新疆戈壁滩以及南方大片稻田覆盖区。

4）气候条件，在干旱的沙漠地区开展地电提取测量必须采取特殊措施，使上下部离子晕沟通才能取得较好的效果。

5）接地条件，在植被发育、根系较多、土质类型变化较大的地段，往往造成接地条件的较大差异以及接地电阻太高等，在一定程度上会对电提取的效果产生不良影响。

深部提取法因其仪器装备及工作强度的客观限制，仅适合在交通便利、地形起伏不大的地区开展。

浅部提取法对地形条件和交通情况的要求不高，只要常规化探能开展工作的地区，都可以应用浅部电提取法。

黄金地质研究所
信息室 提供

2 主要功能和作用

就目前认识看，电提取测量的主要功能和作用有如下几个方面。

1）地电提取法可作为评价常规物化探异常的一种有效手段，这是因为它具有较单一确定探测目标性质的能力。

2）地电提取法可用于厚层外来运积物覆盖区，在常规化探无效果或效果较差的情况下，发现或强化弱异常。

3）因地电提取探测的基础是活泼性较强的离子态信息，因此它的探测深度大于常规化探方法。

4）在矿体离子晕存在的前提下，电提取法不仅能在厚覆盖层发现贵金属矿，如 Au，Ag 矿，且对大多数贱金属和放射性金属矿，如 Cu，Pb，Zn，Sb，As，Sn 等均具有一定的找矿效果。

摘自《地电化学成晕机制、方法技术及找矿研究》

地电化学方法寻找金矿实例

1 新疆金窝子-210 金矿区

新疆东部及与甘肃交界地区的金窝子-210 金矿区为典型的干旱荒漠区，属大陆性干旱气候，降雨量少且集中在七八月份，蒸发量大，几乎无地表径流。春秋季风大，沙多，夏季高温，冬季严寒，植被极为稀疏。中低山脉多为近 EW 向伸展，西端为中山区，向东逐步降低为低山丘陵区，山脉之间形成相对平缓的残积戈壁区或堆积区。区内除几处矿山开发地有人居住外，大片区域牧民分布稀少。由于风蚀、机械风化、蒸腾、盐碱渍化和风成沙等诸多因素，造成了独特的戈壁荒漠地球化学景观。

210 金矿床位于星星峡东南 24 km 处，金窝子凸起南西部的 210 单斜中，金矿床产于上泥盆统金窝子组的糜棱岩化碳质层凝灰岩及凝灰角砾岩中，已查明 6 条工业矿体，金总储量 10 t。

Ⅰ号矿体为主矿体，赋存于 210 层间构造破碎带下部，受黄铁矿化糜棱岩，糜棱岩化及黄铁矿化角砾岩控制，矿体呈似层状，走向 NE，倾向 NW，倾角 13～19°。全长 950 m，厚 0.57～15.46 m，平均厚 2.88 m，厚度变化系数为 99%，属不稳定类型。金分布很不均匀，一般为 3×10^{-6}～10×10^{-6}，最高品位达 121.96×10^{-6}，平均品位 4.11×10^{-6}，品位变化系数为 219%。

矿化围岩为碳质层凝灰岩，细屑—粗屑状，火山碎屑物占 50%～60%，长石和石英呈棱角状和溶蚀状晶屑，粒径为 0.2～1.35 mm；岩屑有次生石英岩、花岗岩；陆源碎屑物主要为石英、斜长石和泥质岩屑，占 5%～7%；胶结物占 40%～50%，为霏细状石英集合体。泥质已变质为绿泥石、水白云母、方解石、褐铁矿。层凝灰角烁岩和火山碎屑物占 50%～72%；晶屑为石英、钾长石；岩屑为糜棱岩和次生石英岩；胶结物占 15%～50%。上述 2 种岩石在矿化带已糜棱岩化，呈灰黑色，糜棱结构，条带状构造。糜棱岩化剪切带平均厚度为 20 m，最窄 10 m，最宽 100 m；已追溯长 5 km，其中含金大于 1×10^{-6} 的地段长 2 320 m，沿倾向斜深 760 m。矿石矿物主要是自然金和黄铁矿，少量黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、白钨矿、褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿、菱锌矿、针铁矿等；自然金粒度 0.027～0.067 mm，石英中偶尔可见明金。

罗先熔等（2007）选择 210 金矿的Ⅰ号剖面进行地电化学方法研究，剖面长 1 400 m，点距 100 m。以矿体为中心向两边延伸。采用“偶极子”供电方式下的“偶极”提取。

图 1 为地电化学方法在 210 矿体上方的测量结果，可以看出，在隐伏金矿体上方，有较清晰的 Au，Ag，Cu，Th 地电提取异常显示。在矿体的的上端部位，阴离子形式（阳极提取）异常较发育，并呈“兔耳”状；在矿体埋藏较深处，阳离子形式（阴极提取）异常较明显。这一特点符合电化学迁移形式，即在矿体上部的阴极区，阴离子离开阴极向背景氧化还原场迁移，阳离子从背景氧化还原场向阴极迁移；在矿体下部的阳极区，阳离子离开阳极向背景氧化还原场迁移，阴离子从背景氧化还原场向阳极迁移。

2 山东招远大尹格庄金矿床

山东招远大尹格庄金矿床所在大地构造位置，属于鲁东隆起区之胶北隆起的西北缘，沂沭断裂的东侧。矿区位于玲珑花岗岩体的南缘，招（远）—平（度）断裂带的中段，栖霞复背斜的南翼。区内第四系广泛分布，主要为残坡积物，沿沟谷及低缓

黄金地质研究所
信息室 提供

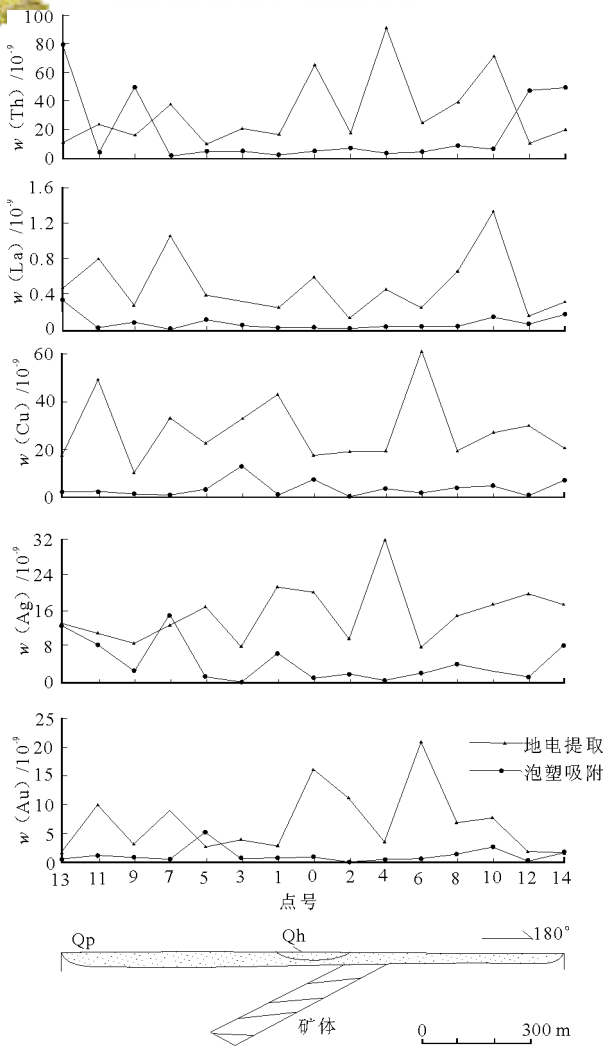


图 1 新疆 210 金矿地电化学异常剖面图

Qh—第四系全新统洪积风积，冲积砂、细砂，湖沼粘土及淤泥；Qp—第四系更新统洪积砂砾及粘土

丘陵分布，由腐殖土、亚砂土等组成厚 2～8 m 的覆盖层。

大尹格庄金矿床属于中低温热液裂隙充填破碎带蚀变岩型金矿床，它除具有蚀变岩型金矿床的一般特征外，矿体还具有“深、大、贫、难”之突出特点（姜新强等，2001），即矿体埋藏深，矿体埋藏深度 220 m，矿体赋存标高在－100～－600 m 之间，且 1# ，2# 矿体的深部均未封闭；矿体规模及地质储量大，1# ，2# 两个主矿体走向延伸 600～900 m，工程控制矿体斜长 600 余 m，最大水平厚度上百米，其储量之大在全国名列前茅；矿石品位低，在中段生产勘探样品中 1.5×10^{-6}～3×10^{-6} 者占 30% 以上，大于 5×10^{-6} 的样品不足 15%，在采场中 1.5×10^{-6}～3×10^{-6} 的样品占 25% 以上，矿体中小于 1.5×10^{-6} 的样品在 12%～18% 之间，矿体中 1×10^{-6}～3×10^{-6} 的样品所占比例在同类矿床中处于首位；开采难度大。矿体直接赋存于区域性的招平断裂带中，次级断裂、裂隙发育，矿岩破碎，极易坍塌。

矿床范围内的蚀变带以黄铁绢英岩、绢英岩化碎裂岩、黄铁绢英岩化碎裂状花岗岩为主，其分布明显受断裂及岩性的控制，主要发育在大的断裂蚀变带内花岗闪长岩一侧，以及断裂下盘花岗闪长岩体内的次级构造中。矿体严格受断裂的控制。矿区内已发现蚀变带 20 余条，其规模较大的分别为 1# ，2# ，3# ，4# 蚀变带，1# ，2# ，3# 蚀变带均位于招平断裂带中，其他分布于招平断裂带的下盘，规模一般较小。

区内的主要含矿蚀变带为招平断裂带。它位于矿区中间，南北纵贯全区，分别被道头、南周家、大尹格庄断裂截断，本区出露长度 8 000 m，宽 40～140 m，走向 20°，倾向 SE，倾角 28～50°。主要由黄铁绢英岩、绢英岩化花岗闪长质碎裂岩和绢英岩化花岗闪长岩组成，局部地段绢英岩化糜棱岩或变粒岩质碎裂岩发育。

目前已探明的 1# ，2# 两个矿体，均在该蚀变带中（招平断裂带），其储量占整个探明储量的 90% 以上，1# ，2# 矿体分别位于大尹格庄断裂的两侧。

1# 矿体呈隐伏状分布于 54 至 68 线之间，－100～－630 m 标高范围内。矿体在深部仍未封闭。矿体的总体走向与招平断裂一致，走向 20°，倾向 SE，倾角 27～40°，平均倾角 30°。矿体最大走向长度 740 m，平均品位 4.03×10^{-6}，矿体厚度一般为 2～10 m，最大 20 m。矿体受招平断裂的控制，均分布其下盘 0～60 m 的范围内。

在 1# 矿体 64 线已知剖面上进行了地电化学“偶极”提取实验，土壤离子电导率测量实验，并在同一点位上采集次生晕进行对比研究（图 2）。该剖面均为第四纪残坡积物覆盖，无矿化污染，所测剖面上有 5 个钻孔见矿。从图 2 可以看出：1）富矿部位在地表的垂直投影处，对应于地电提取异常的峰值，其土壤离子电导率异常值也较高，但次生晕异常的峰值与之相差 20 m；2）次生晕测量只是在富矿体部位才显示出高值异常，而地电提取和土壤离子电导率测量在隐伏矿体上方均有异常显示，且连续性好，异常较稳定；3）次生晕 Au 含量值较高（就最高值而言，次生晕异常是电提取异常的 2 倍），因为次生晕是测试样品中 Au 的分子态（包括化合物和单元素）和离子态的总量，而地电化学法是测试活动态离子成分。

黄金地质研究所
信息室 提供

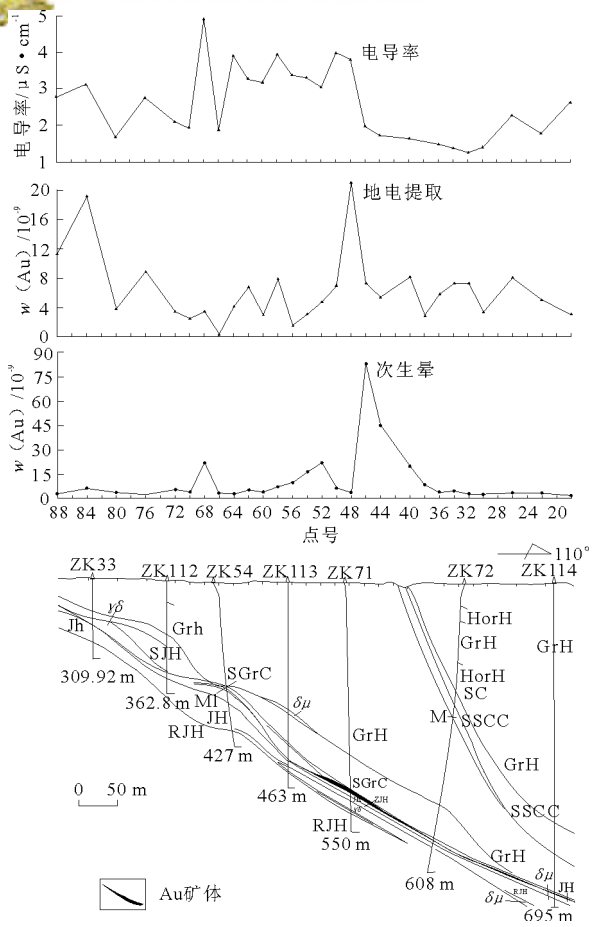


图 2 山东招远大尹格庄金矿 1 号矿体 64 线地电化学异常剖面图

3 山西繁峙耿庄金矿

山西繁峙耿庄金矿位于山西台背斜五台台穹的北中部，庄旺滩基底复式倒转向斜北翼的耿庄—红安断裂之中部。区内出露地层为以新太古界片麻岩类为主的中、深变质岩，大片地区被第四纪坡积物、冲积物、风成黄土、残积物覆盖。金矿体产于断裂交叉部位或沿断裂带产出。矿石类型主要为金-银-多金属硫化物，主要金属矿物有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿及金-银系列矿物。围岩蚀变主要有黄铁绢英岩化、绢云母化、硅化。其中与矿化关系较密切的是黄铁绢英岩化和硅化。

图 3 为矿区内具有典型厚层黄土覆盖条件下的地电提取剖面（罗先熔等，1989），该剖面的金矿赋存于爆破角砾岩体中，受隐爆角砾岩中后期次级裂隙群控制。矿体埋深 40～200 m，呈垂直陡倾斜状产出，上盖黄土层 10～20 m 厚。矿体平均厚 3～5 m，Au 平均品位 5×10^{-6}。剖面长 800 m，按不等距布点，采用发电机供电 220 V，使用液体型元素接收器提取，按供电 5 h 间隔周期取样分析。同时，在同一点位采集次生晕进行对比实验。从图 3 中可看出，供电 24 h 电提取分析的 Au 异常，非常清晰地反映出了下伏金矿体的赋存位置。而次生晕在金矿体上方没有异常显示，只在铅-锌矿体上方有微弱异常显示。该实验表明，地电提取方法在厚层黄土覆盖区寻找隐伏金矿是有独特效果的。

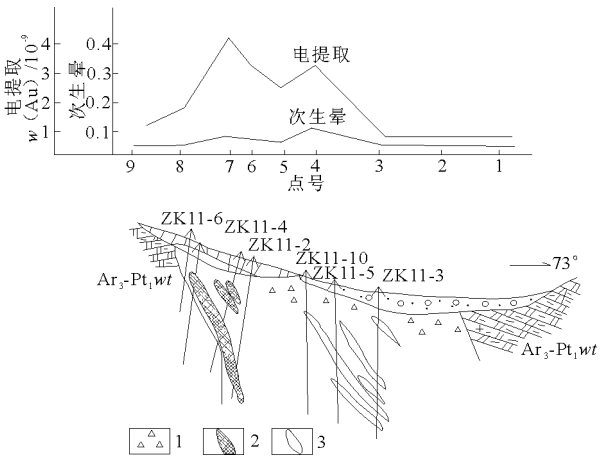


图 3 山西繁峙耿庄金矿 11 线地电提取异常剖面图

Ar_3—Pt_1wt—五台群片麻岩；1—隐爆角砾岩；2—金矿体；3—铅-锌矿体

4 内蒙古额尔古纳虎拉林金矿

内蒙古额尔古纳市虎拉林金矿位于大兴安岭山脉的北段，属森林沼泽区。森林茂密、植被发育，地形起伏较大，属中低山丘陵地形，河谷侵蚀切割程度轻。为寒温带半湿润山地气候，冬季严寒漫长，夏季湿热短暂。夏季最高气温达 37.3 ℃，冬季最低气温在 －40 ℃以下，年平均气温为 －15 ℃，年温差为 60～70 ℃。5 月中旬解冻，9 月中旬结冰，无霜期仅 70～80 天。年降雨量约 400～5 000 mm，多集中在 7～8 月。覆盖层厚度一般 1～3 m，腐殖层厚度 10～30 cm（杨少平等，2002）。

虎拉林金矿大地构造位置属于额尔古纳隆起的北端，上黑龙江凹陷的边缘。矿区出露的地层为中侏罗统二十二站组长石岩屑砂岩、粉砂泥质岩及煤线，含植物化石。侵入岩体主要为燕山期的花岗岩，呈岩株状；花岗斑岩呈岩枝状，与二十二站组呈侵入接触。断裂按展布方向分为近 EW，NE 及近 SN 向 3 组。近 SN 向断裂，控制花岗斑岩岩枝的走向，也控制着本区矿化蚀变带的走向，后期有硅化脉充填，为成矿前或成矿期断裂，是区内主要控矿构造。

金矿（化）体主要产于花岗斑岩与其围岩的接

黄金地质研究所
信息室 提供

触带部位，矿体与围岩界线不清。武警黄金指挥部曾在该区做了大量的研究工作，共圈出 19 条矿（化）体，矿体的总体走向近 SN，E 倾，倾角 60～70°，其中以 1，2 号矿体为主要矿体。1 号矿体长 500 m，品位最高 13×10^{-6}，平均为 4.19×10^{-6}，矿体水平出露厚度最大 8.8 m，平均 2.13 m；2 号矿体长 600 m，品位最高 14.35×10^{-6}，平均为 4.00×10^{-6}，矿体水平出露最大 9.50 m，平均 3.05 m。

矿石中金属矿物主要以黄铁矿、毒砂、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、辉钼矿、斑铜矿、褐铁矿；金银矿物主要有自然金、银金矿、碲银矿等；矿石结构为自形—半自形、他形、包含、固溶体分离、碎裂等。矿石构造为浸染或细脉浸染状、角砾状、脉状、团块状等。

围岩蚀变主要为黄铁矿化、硅化、绢云母化、钾化为主，其次为高岭土化、碳酸盐化，其中黄铁矿化、硅化、绢云母化、钾化与金矿化关系密切。

2002 年 7～8 月，运用地电化学方法对该区进行深部找矿评价研究，工作方法是沿用发电机供电（220 V）条件下的阴极提取法，正极埋设在垂直剖面方向 300～600 m 处，供电 24 h。点距 40 m，矿体上方加密为 20 m。

图 4 为已知矿体上方的 76 线地电化学剖面，可以看出，在金矿体上方（420 至 436 点之间），恰好是地电提取 Au 异常的高值区和土壤离子电导率异常的较高值区域，地电提取 Au 异常峰值高达 54.63×10^{-9}（高出正常背景值 10 倍），与矿（化）体赋存位置相对应，在矿（化）体上方离子电导率异常幅值高达 11 μS/cm，为正常背景值的 1.6 倍。地电提取异常与土壤离子电导率异常基本是吻合的，只是形态略有差异。

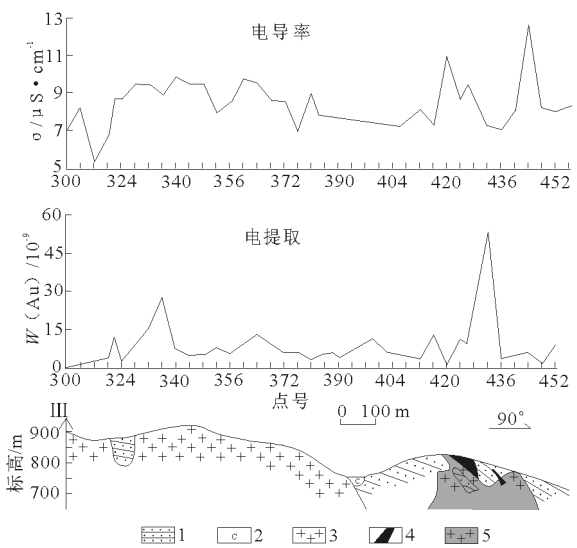


图 4 内蒙古虎拉林金矿 76 线地电化学异常剖面图

1—二十二站组岩屑长石砂岩、石英长石砂岩夹砂岩、粉砂岩及煤线；2—第四纪表层土；3—花岗斑岩；4—金矿体；5—矿化蚀变带

图 5 为已知矿体上方的 68 线地电化学剖面图，该剖面地形起伏较大，但地电提取法不受地形影响，在矿体上方（428 至 432 点）出现很清晰的地电提取 Au 异常，峰值为 4.4×10^{-9}，为正常背景值的 4.4 倍，且异常连续性好，较准确地指示了矿体的赋存位置。土壤离子电导率法受到地形的影响，异常范围较宽（428 至 460 点），宽度达 300 m，异常强度较高（9～14 μS/cm），峰值为 14 μS/cm，与地电提取异常基本是吻合的。

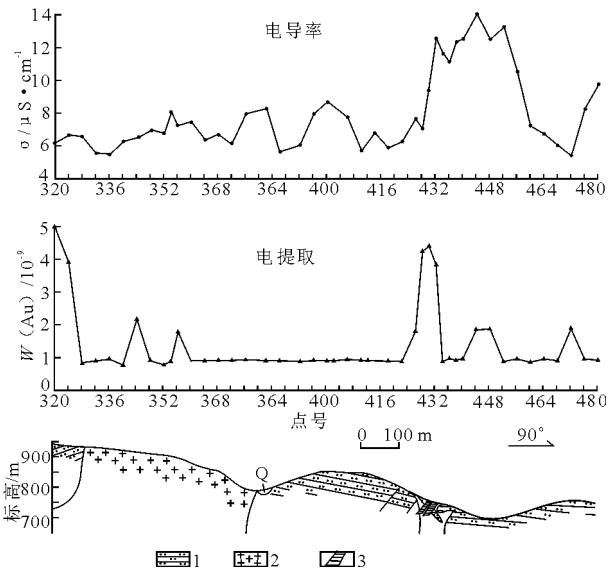


图 5 内蒙古虎拉林金矿 68 线地电化学异常剖面

Q—第四纪表层土；1—二十二站组岩屑长石砂岩、石英长石砂岩夹砂岩、粉砂岩及煤线；2—花岗斑岩；3—金矿

5 吉林汪清杜荒岭金矿

杜荒岭工作区位于吉林省东部，隶属于延吉市汪清县复兴镇管辖。工作区属中低山区，位于长白山脉北段老爷岭北部，测区内最高峰为迷魂阵大光头山，海拔 1 143.13 m，一般海拔高度为 650～750 m，相对标高 100～250 m。区内水系发育，为绥芬河支流，主要为金苍河水系。工作区属北温带，受西太平洋季风影响显示出近海洋型气候特征。

该区大地构造位置属于延吉地体东部边缘。区内被广泛发育的燕山早期岩体所覆盖，地层出露面积较小。工作区北部有小面积的二叠系开山屯组砂

黄金地质研究所
信息室 提供

砾岩、砾岩及板岩出露。矿区南部可见中生界上侏罗统金沟岭组出露，岩性为紫—灰黑—黑绿色致密块状安山集块岩、安山角砾岩、中性玻屑—晶屑凝灰岩、安山岩夹凝灰砂岩，底部为安山凝灰砾岩，但该地层也多被第三系土门子组所覆盖。

区内构造以 EW 向为主，并发育有 NEE，NE，NNE，NW 向 4 组次级构造。区内成矿主要受 EW 向主构造带控制，含金地质体均赋存在该带内，次级构造与成矿关系不密切。

工作区被大面积出露的燕山早期岩体所覆盖，其岩性主要有花岗闪长岩、花岗斑岩、石英闪长岩、花岗岩等，并有安山岩、闪长斑岩脉穿插。

矿（化）体主要分布在矿区中部花岗闪长岩体内，受 75°方向展布的蚀变带控制，蚀变带宽 680 m，长度为 1 140 m，蚀变带内普遍发育有程度不等的硅化、绿泥石化、黄铁矿化、高岭土化、绢云母化和碳酸盐化等。目前共圈定矿（化）地质体 19 条，其总体展布特征与蚀变带一致，近平行展布。矿体在地表较为连续稳定，矿体厚度变化较大，局部地段仅有构造裂隙通过。赋存在近 EW 向蚀变带内有 19 条含金地质体，含金地质体控制长 160～1 140 m，矿石类型为蚀变岩型，为褐铁黄铁绢云岩化蚀变岩夹黄铁矿细脉含矿，单样最高品位 158.00×10^{-6}，平均 4.00×10^{-6}～5.00×10^{-6}。金属矿化有黄铁矿化、黄铜矿化及褐铁矿化等。矿化体围岩为花岗闪长岩及花岗闪长斑岩。围岩蚀变较为发育，主要有星点状黄铁矿化、绢云母化、高岭土化、硅化、碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化蚀变等。

罗先熔等（2007）选择了杜荒岭金矿已知矿剖面 24 线开展找矿试验工作。24 号剖面已被工程揭露有 6，9，10，11，12，13，14 等 7 条金矿（化）体，地电化学方法在这些金矿（化）体上方均有不同程度的异常反映（图 6）。

在 6 号金矿体上方测出了地电双提取负极 Au 异常呈单峰形态分布，最高峰值为 6.5×10^{-9}，地电双提取正极 Au 异常呈单峰形态分布，最高峰值为 2.72×10^{-9}，地电单提取负极 Au 异常呈驼峰形态分布，最高峰值为 3.65×10^{-9}。

在 10 和 11 号金矿体上方测出地电单提取负极 Au 异常呈单峰形态分布，最高峰值为 13×10^{-9}。

在 12，14 号金矿体上方测出了各类地电提取的 Au 异常呈单峰形态分布，最高峰值为 7.64×10^{-9}。

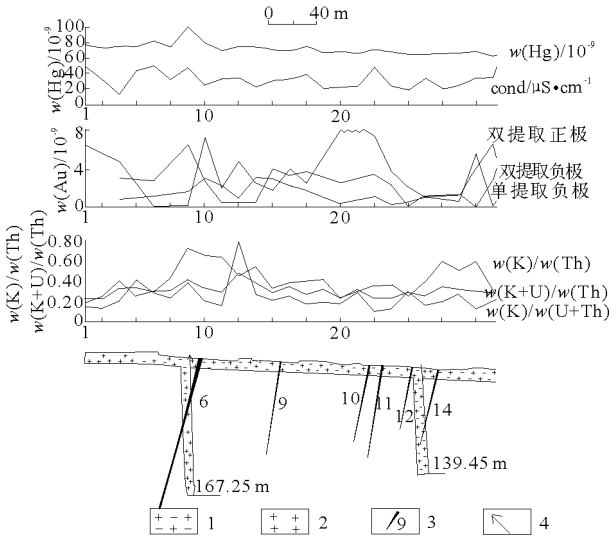


图 6　吉林汪清县杜荒岭金矿 24 线地电化学异常剖面图

1—次安山岩；2—花岗闪长岩；3—矿体及编号；4—钻孔

6　广西横县泰富金矿

广西横县泰富金矿位于横县县城南 8～13 km 处，隶属于横县南乡镇管辖，水路、公路交通较为便利。

本区属低山丘陵地形，北高南低，海拔标高最高 289 m，最低 60 m，坡度角一般小于 30°。属亚热带季风气候，夏季炎热多雨，冬季温暖无冰冻。年平均气温 21.5 ℃，年平均降雨量 1 487 mm，年蒸发量 1 590 m，年平均相对湿度 80%，在春夏雨季山沟中有些地表流水，秋冬季干旱。

该区北部出露上寒武统黄洞口组（$\in_3 h$）碎屑岩；下泥盆统莲花山组（$D_1 l$）滨海近岸相砾岩、砂岩、粉砂岩，那高岭组（$D_1 n$）灰绿色粉砂质泥岩，郁江组（$D_1 y$）碳质页岩夹泥质灰岩，莫丁组（$D_1 m$）局限台地相硅质页岩；南部和西部出露下白垩统新隆组（$K_1 x$）湖相碎屑岩，西部出露大坡组（$K_1 d$）紫红色砾岩、砂砾岩夹砂岩；矿区东南角出露下石炭统（C_1）硅质岩、砂岩；九曲江河床一带出露中石炭统黄龙组（$C_2 h$）浅灰色厚层状灰岩；第四系分布于现代河床两侧及半坡上，由残坡积、冲积、洪积层的砂、砾、粘土组成。

岩浆岩较发育。华力西晚期壳源重熔型的西津岩体出露于测区东部，而旧州岩体出露于测区南部，它们可能同属于浦北岩体的一部分。此外，北部瞻顾山一带有霏细斑岩之岩株、岩墙分布。区内断裂比较发育。主要有 NEE 向及 NNE 向 2 组断裂。其中以 NEE 向断裂最为发育，分布在高山—大化村—红宜村一线（康明等，2004）。

黄金地质研究所
信息室 提供

罗先熔等（2007）采用“偶极子”供电方式下的阴极提取法进行地电提取法测量，线距 50 m，点距 20 m，测量剖面 14 条。地电提取法在已知金矿体和构造破碎带上方均有 Au 地电提取高值异常出现，在未知地段也出现多处高值异常，部分地段通过探矿工程揭露，找到了金矿体，在厚层覆盖地段进行了钻孔验证，见到金矿化（岩心采取率较低），表明该方法的找矿效果较好。

图 7 为 24.5 线地电提取剖面图，可以看出，在已知矿体上方，Au 地电提取异常达到最高值（61.66×10^{-9}），方法效果较好。在该剖面的 40～80 m 地段为坡积物和植被所覆盖，但有地电提取异常显示，峰值达 44.67×10^{-9}，经钻孔验证，见到金矿化（0.2×10^{-6}，岩心采取率为 49.30%）；在 110～160 m 地段，为坡积物所覆盖，但有清晰的 Au 地电异常显示，峰值达 58.88×10^{-9}。经槽探揭露，为硅化构造角砾岩带，钻孔验证见金矿化（0.6×10^{-6}，岩心采取率为 49.50%）。

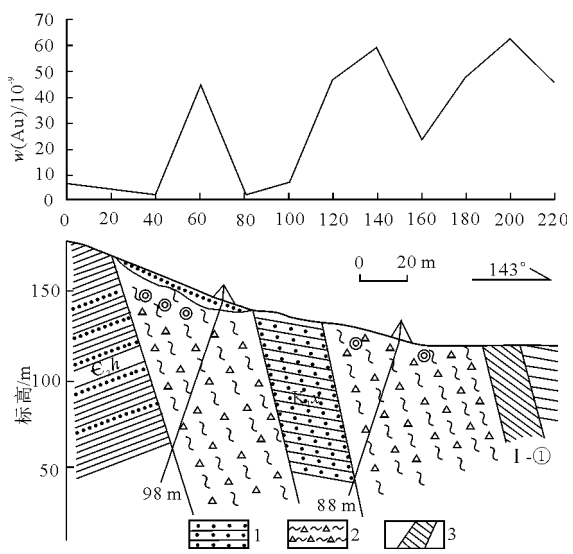


图 7 广西横县泰富金矿 24.5 线地电提取异常剖面图

K_1x—下白垩统新隆组；$\in_3h$—上寒武统黄洞口组；1—泥质粉砂岩；2—硅化构造角砾岩；3—已知矿体

7 浙江遂昌金矿

遂昌金矿是东南沿海一带规模最大的金矿床之一，矿区出露地层基底为蓟县系变质岩系，盖层为上侏罗统中酸性陆相火山碎屑岩与熔岩，蓟县系变质岩中早期压性断裂为金、银矿主要控矿容矿构造。矿体产在厚 100 m 的中酸性陆相火山碎屑与熔岩之下的蓟县系角闪岩和变质岩中，矿床类型为石英脉型。在矿区的 16 号勘探剖面开展地电提取找矿试验，剖面长 300 m，按等距布置 15 个测点，供电电压 220 V，供电 48 h 提取分析 Au，Ag，Cu，Pb，Zn 五个元素，结果在隐伏 300 余 m 深的金矿体上方获得了清晰的 Au，Ag，Cu，Pb，Zn 多元素异常（图 8）。

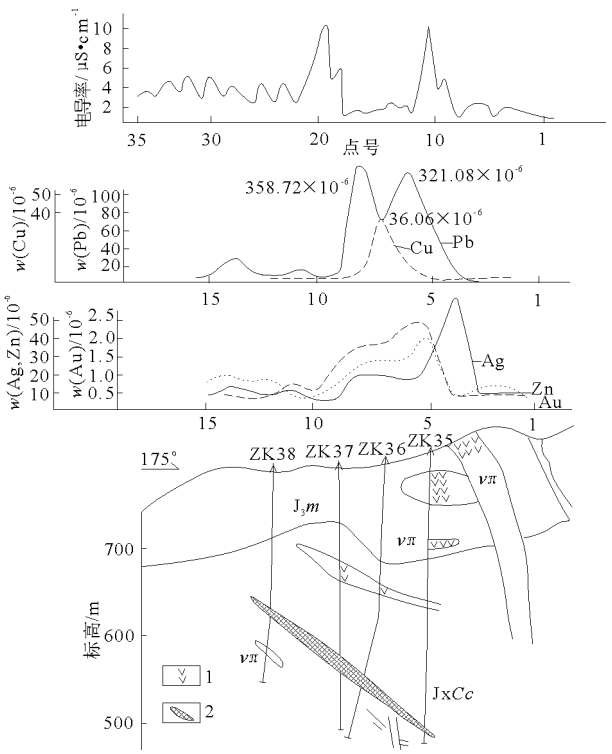


图 8 浙江遂昌金矿 16 线地电提取异常剖面图

J_3m—上侏罗统磨山组；$Jx\,Cc$—蓟县系陈蔡群变质岩；$\nu\pi$—霏细斑岩脉；1—霏细岩脉；2—金矿体

摘自《地电化学成晕机制、方法技术及找矿研究》

地电化学方法在矿产勘查不同阶段的应用研究

1 区域性勘查阶段地电化学方法的应用

在俄罗斯，MPF 和 TMGM 法可用于区域性勘查的每个阶段，即从普查（1∶20 万～1∶5 万）、预测靶区到矿体评价。CHIM 法更适合在详查（比例尺 1∶1 万或更大）勘查中划分地球物理和地球化学异常，并在评价阶段确定异常成因。其原因主要是 CHIM 法设备笨重、成本高、工作效率低，而不适合大规模生产的需求。罗先熔等（2007）通过研究，对 CHIM 法进行了改进，克服了其原有

黄金地质研究所
信息室 提供

的缺陷，不仅设备简单、成本低、工作效率高，而且提取找矿信息强，适合于矿产勘查的每个阶段。

为了进一步研究地电化学方法适用于区域性勘查的可行性，在新疆金窝子-210 金矿区进行了实验研究。

1.1 工作方法及应用效果

测点网度为 500 m×500 m，即 4 个样/km^2，测区面积 22.5 km^2。测线布置在 2 000～5 000 m 的位置，点距为 500 m，地电提取方法采用低电压(9 V 干电池)“偶极子”供电方式下的“偶极”提取法，提取电极埋深 30 cm，提取液为含 HNO_3 13.6% 的稀硝酸，24 h 后取回泡塑电极，晾干后送分析，分析元素为 Au，Ag，Cu，La，Th。

将每个测点每种元素的阴极提取数据和阳极提取数据累加后，用 Surfer 绘图软件分别绘制 Au，Ag，Cu 异常等值线图，对浓集中心明显、具有一定浓度分带的异常从上至下进行编号，Au 以 6×10^{-9} 为异常下限，Ag 以 25×10^{-9} 为异常下限，Cu 以 50×10^{-9} 为异常下限，分别获得 Au 异常 6 处，Ag 异常 4 处，Cu 异常 3 处。

1.2 金矿点赋存区域的地电提取法勘查效果

Au-1 异常与 Cu-1 异常、Ag-1 异常套合较好，且与已知金矿点 210 E 和 20# 的产出位置相吻合。Au-1 异常呈不规则囊状沿 NE 向展布，面积约 2 km^2，异常峰值为 15.5×10^{-9}，平均值为 9.4×10^{-9}，异常点 11 个，异常连续性较好，该异常与 210 E 金矿点相对应（图 1）。Ag-1 异常呈不规则状展布，面积约 1.2km^2，异常峰值为 56.5×10^{-9}，平均值为 38×10^{-9}，异常点 6 个，该异常与 20# 金矿点相对应，与 Au-1 异常的分布范围部分重合。Cu-1 异常呈不规则囊状，面积约 2.75 km^2，包含 3 个浓集中心，异常峰值为 269.28×10^{-9}，平均值为 76.9×10^{-9}，异常点 16 个，该异常与 20# 和 210 E 金矿点相对应，2 个浓集中心分别与 Au-1 和 Ag-1 异常的浓集中心相吻合。

Au-2 异常与 Ag-2 异常套合较好，且与 210 W 金矿点相对应，异常的浓集中心基本上对应金矿点的位置。Au-2 异常呈似椭圆状以近 EW 向展布，面积约 1.5 km^2，包含有 2 个浓集中心，异常峰值为 20.2×10^{-9}，平均值为 10.9×10^{-9}，异常点 11 个，210 W 金矿点位于 2 个异常中心之间（图 1）。Ag-2 异常的 3 个浓集中心呈串珠状以近 EW 向展布，面积约 1.25 km^2，异常峰值为 82.4×10^{-9}，平均值为 41×10^{-9}，异常点 9 个，该异常的其中一个浓集中心与 210 W 金矿点的赋存位置相吻合。

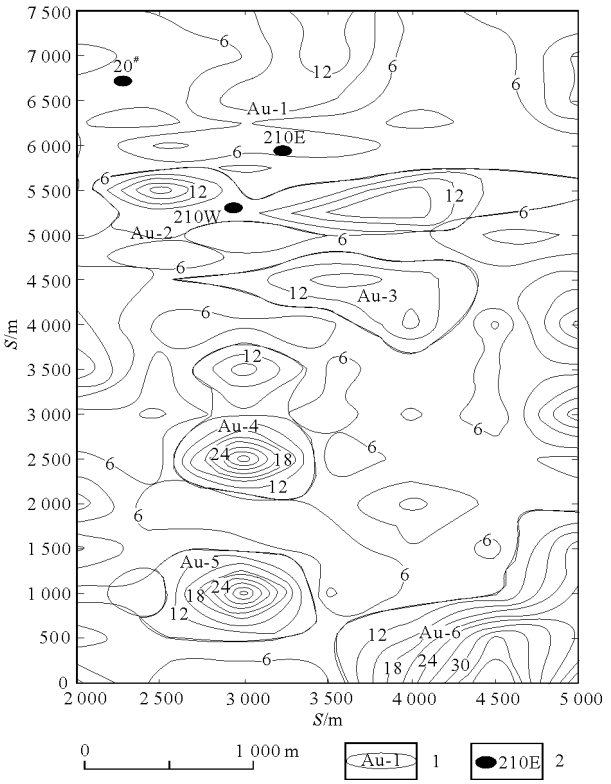


图 1 新疆金窝子-210 金矿区地电提取 Au 等值线平面图

[w(Au)/10^{-9}]

1—地电提取异常划分及编号；2—金矿点及编号

1.3 已知矿点外围进行的找矿预测

Au-3 异常位于 210 W 金矿点的东南方向约 1 km 处，形态较规整，似等轴状，面积约 0.9 km^2，异常峰值为 16.5×10^{-9}，平均值为 11.5×10^{-9}，异常点 8 个，异常连续性较好；Au-4 异常位于 210 W 金矿点正南方向约 2.5 km 处，呈哑铃状沿 SN 向展布，面积约 0.75 km^2，异常峰值为 31.9×10^{-9}，平均值为 19×10^{-9} 异常点 3 个；Au-5 异常位于 210 W 金矿点正南方向约 4 km 处，呈等轴状展布，面积约 1 km^2，异常峰值为 33.7×10^{-9}，平均值为 12.5×10^{-9}，异常点 6 个；Au-6 异常位于 210 金矿的东南方向约 4.5 km 处，未完全封闭，沿 NE 向展布，面积约 2 km^2，异常峰值为 41.7×10^{-9}，平均值为 19.7×10^{-9}，异常点 11 个（图 1）。

Ag-3 异常位于 210 W 金矿点的正南约 2 km 处，呈等轴状展布，面积约 1 km^2，异常峰值为 297.7×10^{-9}，平均值为 45×10^{-9}，异常点为 5 个，该异常与 Au-4 异常吻合较好；Ag-4 异常位于 210 W 金矿点的正南约 3.5 km 处，呈不规则囊状沿 NE 方向展布，面积约 2km^2，异常峰值为 72.3 $\times10^{-9}$，平均值为 42×10^{-9}，异常点为 10 个，

黄金地质研究所
信息室 提供

Au-5 异常套合在该异常中。

Cu-2 异常位于 210 W 金矿点正南，呈不规则状沿 NE 方向展布，异常规模较大，展布范围较宽，异常面积约 2.5 km^2，异常峰值为 122.73 $\times 10^{-9}$，平均值为 73.1 $\times 10^{-9}$，异常点 24 个，Au-3，Au-4，Ag-3 异常均套合在该异常中；Cu-3 异常位于 210 金矿的东南方向约 4.5 km 处，呈不规则状，面积约 1.5 km^2，异常峰值为 446.61 $\times 10^{-9}$，平均值为 39$\times 10^{-9}$，异常点 5 个，该异常与 Au-6 异常套合较好。

综上所述，通过在该区进行地电提取测量，在已知金矿点赋存地段，有浓集中心明显、具一定浓度分带、异常点较连续的 Au，Ag，Cu 异常显示，且具有元素组合特征。Au-1，Ag-1，Cu-1 组合异常与 210 E，20# 金矿点相对应，Au-2，Ag-2 组合异常与 210 W 金矿点相对应。在已知金矿点外围发现浓集中心明显、具一定浓度分带、连续性较好、具有元素组合特征的异常 2 处，即 Au-4，Ag-3，Cu-2 组合异常和 Au-6，Cu-3 组合异常，表明该方法效果较好，开展区域性找矿工作是有效的。地电提取方法经过改进后，方法轻便、成本低、工作效率高，完全能够胜任普查找矿工作。所以，利用该方法开展区域性的地球化学普查找矿工作是可行的。

2 详查阶段地电化学方法的应用

2.1 内蒙古额尔古纳市虎拉林金矿深部找矿预测研究

2002 年，对虎拉林矿区圈出的 Hy-2，Hy-3，Hy-4 号化探 Au 异常进行地电化学深部找矿评价，根据以往的工作情况及 3 个化探 Au 异常分布的范围，按 200 m×40 m 测网（异常中心地段加密到 20 m）布置 6 条线（84，76，68，60，52，44）开展地电化学测量找矿评价工作。结果在测区内共圈出 3 条带状分布的金异常（图 2），按照分布的平面位置，将异常从东到西分别编为 D_1，D_2，D_3 号。

D_1 号异常　位于测区东部，呈长条带状分布，异常长达 1 200 余 m，平均宽度 200 余 m，异常浓集中心分布在 420 至 440 m 之间，与 Hy-4 异常内浓度相吻合，在该范围内集中分布了多个高异常值。如在 76 线 432 m 处，地电提取金异常值高达 54.63$\times 10^{-9}$，68线428至432 m之间连续出现4

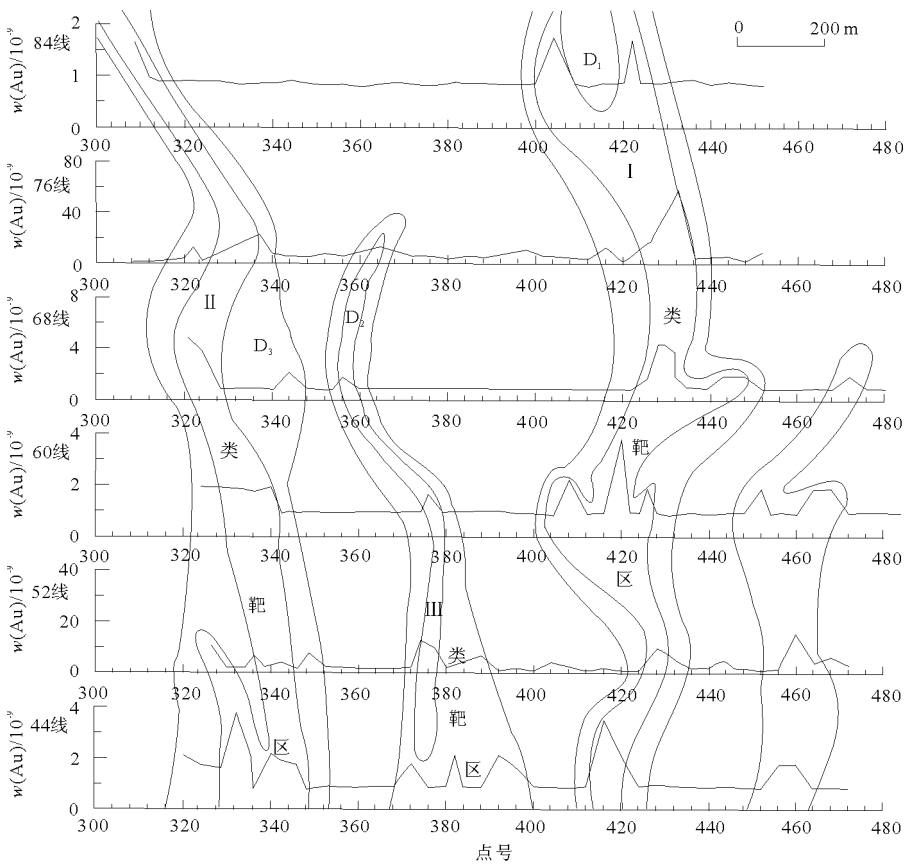


图 2　内蒙古虎拉林金矿地电提取异常平剖面图及靶区划分图

黄金地质研究所
信息室 提供

个高于4×10^{-9}地电提取金异常，完好反映了已知金矿体的赋存位置和矿体沿SN方向延伸的特征。D_1号异常准确地指示了已知金矿体的赋存地质部位。从异常的形态规模和强度来看，该金矿体具有一定的规模，往深部有可能存在隐伏金矿体，但沿南北延伸都有尖灭趋势存在。因此建议在本区高值异常集中区即420至440 m处，加大深部工程的揭露，力争在寻找隐伏金矿体上有所突破。2003年，武警黄金第三支队在D_1号异常区内施工钻孔见到隐伏的金矿。

D_2号异常　位于测区中部，呈带状分布，异常长达800余m，平均宽度50余m，异常浓集中心位于360 m处，异常规模较小，紧靠Hy-2异常外带。找矿意义不大。

D_3号异常　位于测区西部，呈长条带状分布，异常长达1 200 m，平均宽150余m，异常浓集中心分布在320至340 m之间，异常基本上沿着侏罗系与岩体的接触带分布。建议对D_3号异常进行山地工程揭露，主要是沿接触带布置工程。经过对接触带的工程揭露，可能会有新的突破。

2.2　山东招远栾家河断裂北段寻找隐伏金矿预测研究

在研究区布置11条剖面，西区5条，线号1～9，点号32～92；东区6条，线号1～10，点号15～75。每条剖面长600 m，线距200 m，点距20 m，按200 m×20 m网度进行地电化学测量，完成面积1.02 km^2，地电提取法分析元素为Au，Ag，As，Sb，同时采集土壤样品进行土壤离子电导率测量。地电提取采用“偶极子”供电方式下的“偶极”提取法。将分析元素的阴极和阳极的地电提取含量值累加后，用Surfer绘图软件成图，对浓集中心明显、具有一定浓度分带、异常点有一定连续性的异常从左至右、从上至下进行编号。由于西区与东区的自然地理景观条件不同，所以地电提取元素的异常下限值也不同。西区Au以9×10^{-9}为异常下限，Ag以20×10^{-6}为异常下限，As以4×10^{-6}为异常下限，Sb以1.5×10^{-6}为异常下限，电导率测量以4 μS/cm为异常下限，分别获得Au异常4处，Ag异常4处，As异常1处，Sb异常4处，电导率异常1处；东区Au以5×10^{-9}为异常下限，Ag以20×10^{-6}为异常下限，As以3×10^{-6}为异常下限，Sb以1×10^{-6}为异常下限，电导率测量以5 μS/cm为异常下限，分别获得Au异常4处，Ag异常2处，As异常4处，Sb异常2处，电导率异常3处。

西区地电化学异常特征　西区以形成线状异常为特征，其轴线与本区NE向断裂相平行，根据异常组合特征，划分为4个NE向、相互平行的异常带。Au-1与Ag-1异常相吻合，均在1线的86号点显示为峰值，Au-1峰值为13.65×10^{-9}，Ag-1峰值为114.8×10^{-6}。异常的轴线与Sb-1异常及电导率异常的轴线相平行，相距较近，形成了长约500 m，宽约60 m的Ⅰ号异常带。Ag-2峰值为50.08×10^{-6}，位于1线的80号点处；Au-2峰值为15.88×10^{-9}，位于1线的78号点处；As-1峰值为34.2×10^{-6}，位于3线的74号点处；Sb-2峰值为2.5×10^{-6}，位于3线的70号点处；Ag-3峰值为50.65×10^{-6}，位于9线的76号点处；土壤离子电导率异常峰值为6.72 μS/cm，位于5线的72号点处。Ag-2，Au-2，As-1，Sb-2，Ag-3及电导率异常总体上相距较近，相间排列、轴向平行，形成了长800 m、宽80 m的Ⅱ号异常带，其轴向为NE。Au-3峰值为33.38×10^{-9}，位于1线的60号点处，3线的60号点处也显示为异常的高值点(9.92×10^{-9})，其异常峰值的连线构成该异常的轴线，其延长方向与Sb-3，Ag-4异常构成一个长约800 m，宽约80 m的Ⅲ号异常带。该异常与有矿化显示的构造破碎带相吻合，其轴向与构造破碎带走向相一致。Au-4异常在1线有连续7个点显示为高值异常，宽约140 m，峰值为20.12×10^{-9}，与Sb-4相吻合，轴向为NE，组成了Ⅳ号异常带。

东区地电化学异常特征　东区地电提取元素异常及电导率异常也显示为线状特征。Au-1峰值为9.88×10^{-9}，位于1线的17号点处，与3线15，17号点的高值异常连成异常的轴线，展布方向为NE（图3）。Au-2与Sb-1异常较吻合，均在1线27号点和3线25号点形成异常的峰值，Au-2峰值为7.15×10^{-9}，Sb-1峰值为3.27×10^{-6}。与As-1异常也较吻合，As-1异常峰值为3.4×10^{-6}，位于1线的25号点处。该组合异常呈线状展布，轴线方向为NE（图3）。Ag-1，Ag-2与电导率Cond-2，Cond-3异常整体上形成一个NE向展布的长900 m，宽约140 m的异常带。Ag-1异常在1线的41，43，45号点处连续形成高值异常，峰值为136.0×10^{-6}；Ag-2峰值为173.55×10^{-6}，位于3线的51号点处，与1线的49，51号点连接成异常的轴线。电导率Cond-2异常峰值为18 μS/cm，位于5线的49号点处，Cond-3异常在10线的59，61，63号点处连续出现高值异常，异常峰

黄金地质研究所
信息室 提供

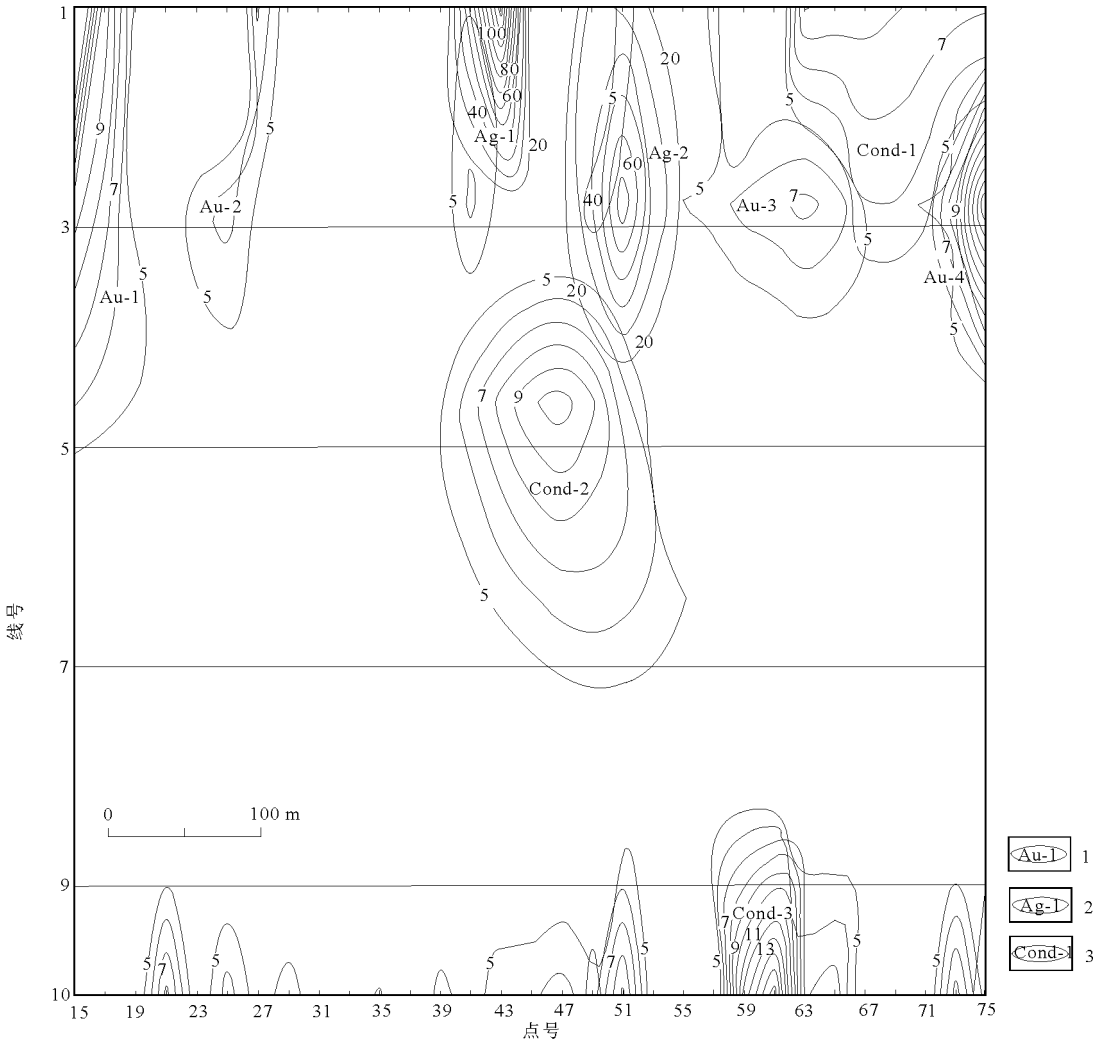


图 3　山东招远栾家河断裂北段东区地电化学异常综合平面图

1—地电提取 Au 异常（10^{-9}）；2—地电提取 Ag 异常（10^{-6}）；3—土壤离子电导率异常（μS/cm）

值为 16.57 μS/cm。该异常带内也有 Au，As，Sb 异常显示。该异常带位于栾家河断裂与次一级断裂构造交会部位的三角区域内（图 3）。Au-3 峰值为 8.67×10^{-9}，位于 3 线的 63 号点处，异常呈等轴状展布（图 3）。Au-4 峰值为 22.47×10^{-9}，位于 3 线的 75 号点处，该异常范围内有电导率异常显示（图 3）。

总体来看，该区地电提取元素异常及土壤离子电导率异常显示为线状特征（西区比东区更为明显），展布方向为 NE，与本区的断裂延伸方向相一致，异常强度较大，且具有元素组合特征，吻合程度较高。可以认为本区断裂为导矿或容矿构造。

2.3　广西横县泰富金矿二轮找矿研究

采用“偶极子”供电方式下的阴极提取法，按 50 m×10 m 网度布置 14 条剖面，每条长 320 m，局部地段由于受到采矿工程影响设点。从 18 至 45 线分为 2 个工作区进行。西区布设在 2 350～2 650 m，东区主要布设在 3 500～3 800 m，线距 50 m，点距一般 20 m，在地质构造条件有利地段按 10 m 进行加密布点。完成面积共计 0.2 km^2。

有工程控制区的异常验证　通过地电提取测量，圈定出 5 个 Au 地电提取异常带。其中，Ⅳ号异常带为边采边探区；Ⅲ号异常带Ⅲ-2 异常有民采痕迹，但该异常范围远大于民采点范围，推测其深部有金矿（化）体赋存。Ⅳ号异常带位于 3 500～3 800 m 之间，为地电剖面的 120～220 m 地段，该异常带宽 100 m，长 300 m，Au 地电提取最高值为 69.18×10^{-9}，最低值为 3.23×10^{-9}，平均强度为 31.43×10^{-9}，为金矿的富矿地段。在这一异常带中Ⅳ-1 和Ⅳ-2 异常为采金最佳地段。在Ⅳ-1 中，Au 地电提取最高值为 26.3×10^{-9}，平均强度为 48.6×10^{-9}；在Ⅳ-2 中，Au 地电提取最高值为 67.6×10^{-9}，最低值为 3.23×10^{-9}，平均强度为 27.6×10^{-9}。Ⅳ-1 和Ⅳ-2 异常，经过工程揭露，

黄金地质研究所
信息室 提供

在离地表 100 m 深处见到了金矿体，平均品位 5.4×10^{-6}。Ⅲ号异常带位于 2 350～2 650 m 之间(图 4)，为地电剖面的 0～80 m 地段，该地段已有许多断续的采坑，但目前这些采坑已不再开采，该异常就是位于这些断续的采坑中及其上下边界，其 Au 异常强度较高，Au 地电提取最高值为 125.89×10^{-9}，最低值为 9.55 ×10^{-9}，平均强度为 46.4×10^{-9}。在这一异常带中，最有利的地段为Ⅲ-1 和Ⅲ-2 异常。在Ⅲ-1 中，Au 地电提取最高值为 61.66×10^{-9}，最低值为 26.1×10^{-9}，平均强度为 42.7×10^{-9}；在Ⅲ-2 中，Au 地电提取最高值为 125.89×10^{-9}，最低值为 31.62×10^{-9}，平均强度为 84.7×10^{-9}，在这一异常范围内发现有民采坑。

未知区找矿预测　在无工程控制的区域发现新的找金有利地段 3 处，即Ⅰ，Ⅱ（图 4）和Ⅴ号异常带。Ⅰ号位于 2 350～2 650 m线之间，为地电剖面的 150～200 m 地段，该地段植被覆盖严重，异常呈近 EW 向延伸，与断层带走向平行，异常带宽约 50 m，长约 300 m（因延伸方向只测量 300 m），Au 地电提取最高值为 58.88×10^{-9}，最低值为 2.04×10^{-9}，平均强度为 16.17×10^{-9}，在如此覆盖严重且无矿质污染地带，有这样的 Au 地电提取异常，说明该带是一个较有前景的找金地段。在Ⅰ号异常带中，最具找矿前景的地段为Ⅰ-1 和Ⅰ-2 异常。在Ⅰ-1 中，Au 地电提取最高值为 44.7×10^{-9}，最低值为 2.04×10^{-9}，平均强度为 14.5×10^{-9}；在Ⅰ-2 中，Au 地电提取最高值为 58.88×10^{-9}，最低值为 2.29×10^{-9}，平均强度为 23.2×10^{-9}。Ⅱ号异常带位于 2 350～2 650 m 之间，为地电剖面的 80～140 m地段，该异常带为植被所覆盖，呈近 EW 向延伸，基本与断层带走向一致，异常带宽约 60 m，长约 300 m，Au 异常强度较高，Au 地电提取最高值为 70.79×10^{-9}，最低值为 4.6×10^{-9}，平均强度为 32.46×10^{-9}，异常峰值较高，浓集中心明显，是一个较有前景的找金地段。在Ⅱ号异常带中，最具找矿前景的有利地段为Ⅱ-1 异常。在Ⅱ-1 中，Au 地电提取最高值为 67.6×10^{-9}，最低值为 6.61 ×10^{-9}，平均强度为 37.2×10^{-9}，经钻孔验证见到金矿化。Ⅴ号异常带位于 3 500～3 800 m 之间，为地电剖面的 40～80 m 地

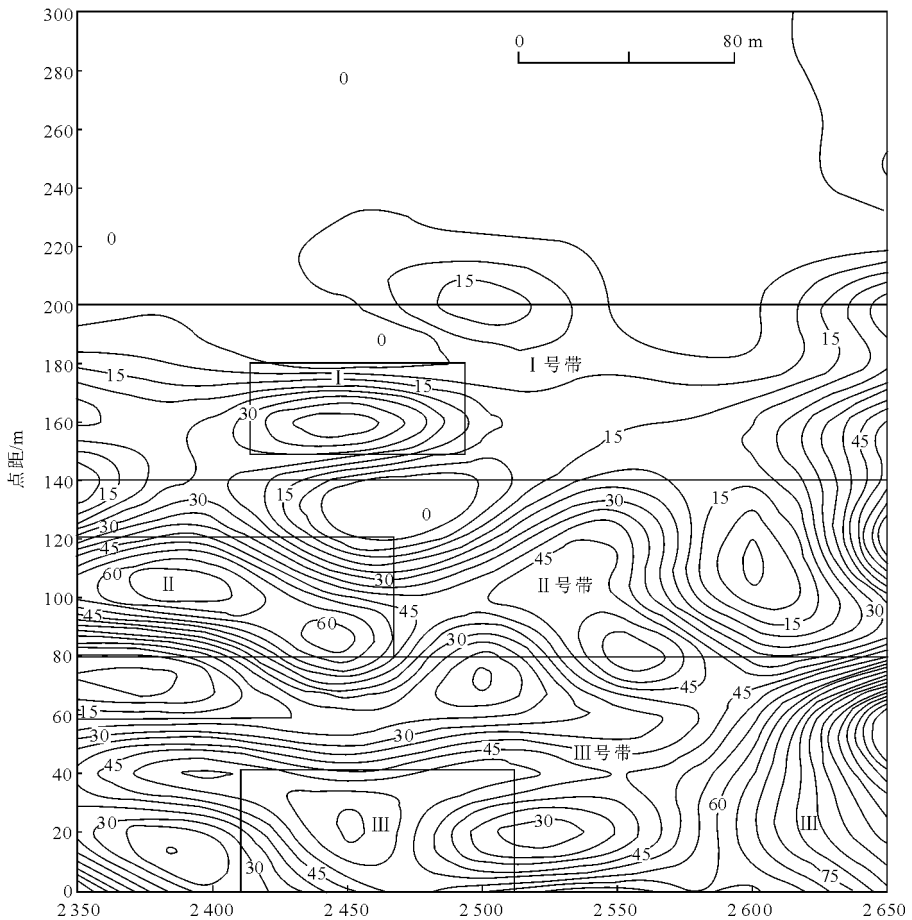


图 4　广西横县泰富金矿 35 至 38 线地电提取 Au 异常等值线平面图

黄金地质研究所
信息室 提供

段，该异常带宽约 40 m，长约 300 m，Au 地电提取最高值为 58.88 $\times10^{-9}$，最低值为 13.2$\times10^{-9}$。平均强度为 42.92$\times10^{-9}$。该异常带在测量时土壤受到一定污染，但该异常带有明显的浓集中心，峰值较高，成矿地质条件有利，被认为是一个有前景的找金地段。在Ⅴ号异常带中，最具找矿前景的地段为Ⅴ-1 和Ⅴ-2 异常。在Ⅴ-1 中，Au 地电提取最高值为 67.6$\times10^{-9}$，最低值为 13.2$\times10^{-9}$，平均强度为 39.1$\times10^{-9}$；在Ⅴ-2 异常中，Au 地电提取最高值为 67.6$\times10^{-9}$，最低值为 20.42$\times10^{-9}$，平均强度为 43.1$\times10^{-9}$，经槽探工程揭露，发现金矿化体，平均品位为 2.063$\times10^{-6}$。

2.4 安徽大巩山金矿边部找矿研究

由于该测区被大片第四纪外来运积物覆盖，以往物化探工作程度较低。受安徽五河招金矿业有限公司的委托，在大巩山金矿主矿带西侧河滩地带的一个呈 NE 向展布、长 1 000 m、宽 600 m 的范围内，按 100 m×20 m 网度共布置了 11 条测线，除 0 线长 1 300 m 外，其余测线均为 600 m，总长度为 7 300 m。开展了地电化学法寻找隐伏金矿的预测研究工作。测量结果在测区内发现 4 个地电提取 Au 异常（Au_1，Au_2，Au_3，Au_4）。

Au_1 号异常　位于测区中部，总体形态呈不规则的条带状产出，呈 SN 向展布，延展长度约为 900 m，几乎贯穿了整个测区，异常强度 20$\times10^{-9}$～55$\times10^{-9}$，面积约为 0.12 km^2，该异常有多个浓集中心，其中心强度在异常带的两端强度较高，该异常带的南端较宽，中部及北部相对较狭窄。推测该异常带可能是由深部隐伏金矿体而引起的，也有可能是地表深部隐伏构造所致。2004年，五河招金公司在异常中心部位施工钻孔验证见到隐伏金矿化体。

Au_2 号异常　位于测区的东南部，总体形态呈三角形，异常强度在 20$\times10^{-9}$～55 $\times10^{-9}$，异常规模较大，面积约为 0.03 km^2，浓集中心明显且稳定，该异常与 Hg_1 异常区域大体吻合，其异常区域比 Hg_1 异常范围小。推测在 Au_2 异常区的范围内是寻找隐伏金矿的有利部位，值得进一步做工作。

Au_3 号异常　位于测区西北角，总体形态呈三角形状产出，异常强度为 20$\times10^{-9}$～55$\times10^{-9}$，面积约为 0.015 km^2，该异常区有 2 个异常中心，浓集中心稳定且明显。建议在 Au_3 号异常浓集中心施工探槽予以验证。

2.5 吉林汪清杜荒岭金矿区外围找矿预测

金沟西区 3～35 线地电提取 Au 异常平面特征

把金沟西测区 3～35 测得的地电提取 Au 数据，经过数字处理后取 1$\times10^{-9}$～2$\times10^{-9}$为外浓度带，2$\times10^{-9}$～4$\times10^{-9}$为中浓度带，大于 4$\times10^{-9}$为内浓度带，用 Surfer 软件自动成图，获得了 4 个地电提取 Au 异常，编号：JWD 1，JWD 2，JWD 3，JWD 4（图 5 西区）。

JWD 1 异常特征　该异常位于金沟西测区 19 至 27 线 80 至 95 号测点之间，异常呈不规则形态分布，三级浓度分带完整，内浓度带清晰发育，在 23 线的 83，91 点测得 10.71$\times10^{-9}$，18.94$\times10^{-9}$两个 Au 异常极高值点。

JWD 2 异常特征　该异常位于金沟西测区 23 至 31 线 60 至 75 号测点之间，异常呈不规则形态分布，三级浓度分带不明显，仅有 3 个稍微高一点

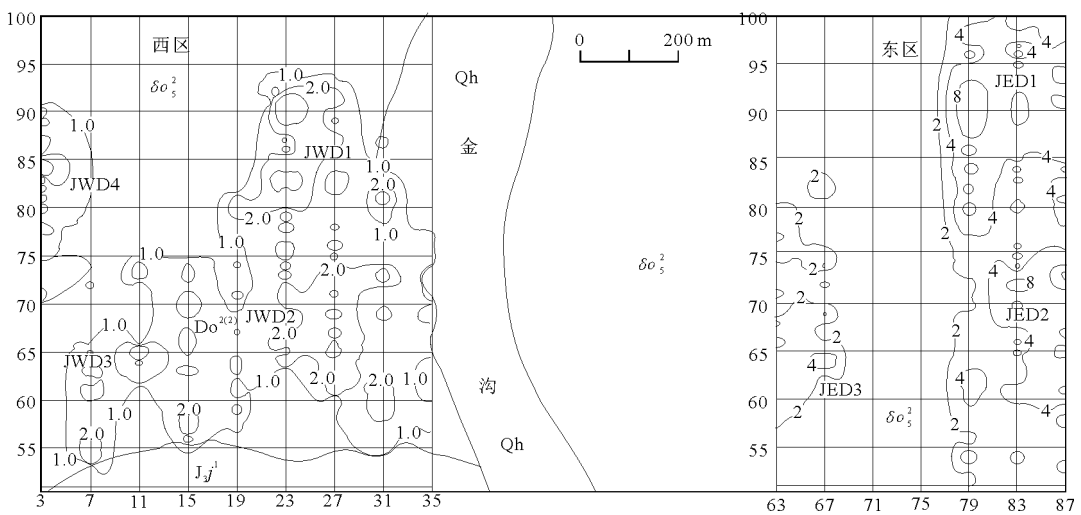


图 5　吉林汪清杜荒岭金矿区金沟测区地电提取 Au 异常剖面图

Qh—第四系全新统砂砾石、亚粘土；J_3j^1—侏罗系金沟组下段安山质火山碎屑岩夹安山岩；$\delta\alpha_5^3$—燕山早期石英闪长岩

黄金地质研究所
信息室 提供

的 Au 含量分布在 23 线的 66 点、27 线的 67 点，31 线的 73 点，Au 异常值分别是 4.08×10^{-9}，5.25×10^{-9}，5.11×10^{-9}。

JWD 3 异常特征　该异常呈星点状分布于金沟西测区 7 至 15 线 60 至 65 号测点之间，三级浓度分带不完整，仅在 11 线的 65 点测得 9.6×10^{-9} 单个 Au 异常值高点。

JWD 4 异常特征　该异常呈星点状分布于金沟西测区 3 至 7 线 80 至 90 号测点之间，三级浓度分带不完整，仅在 3 线的 84 点测得 9.46×10^{-9} 单个 Au 异常值高点。

金沟东区 63～87 线地电提取 Au 异常平面特征　把金沟东区 63～67、79～87 测得的地电提取 Au 数据，经过数字处理后取 2×10^{-9}～4×10^{-9} 为外浓度带，4×10^{-9}～8×10^{-9} 为中浓度带，大于 8×10^{-9} 为内浓度带，用 Surfer 软件自动成图，获得了 3 个地电提取 Au 异常，编号：JED 1，JED 2，JED 3（图 5 东区）。

JED 1 异常特征　该异常呈手枪形态分布在金沟东区 79 至 87 线的 80 至 100 号点之间，三级浓度分带完整，内浓度带主要集中在 79 线的 88 至 92 号点，在该线 80 至 92 点连续测得 5 个大于 10×10^{-9} 高值异常。

JED 2 异常特征　该异常呈不规则形态分布在金沟东区 83 至 87 线的 60 至 75 号点之间，三级浓度分带较完整，内浓度带主要集中在 83 线的 70 至 72 号点，其中 72 号点的 Au 含量高达 20×10^{-9}。

JED 3 异常特征　该异常呈不规则形态分布在金沟东区 63 至 67 线的 55 至 70 号点之间，三级浓度分带较完整，内浓度带主要集中在 67 线的 64 号点，Au 含量高达 11×10^{-9}。

2.6　内蒙古四子王旗三元井金区深部找矿预测

2005 年，在内蒙古四子王旗三元井金矿区开展了地电化学深部找矿预测评价研究，根据以往的工作情况，在三元井金矿区按 100 m×20 m 测网布置 13 条线开展工作。

将三元井测区 72～22 测得的地电提取 Au 数据，经过数字处理后取 2.68×10^{-9}～6×10^{-9} 为外浓度带，6×10^{-9}～9×10^{-9} 为中浓度带，大于 9×10^{-9} 为内浓度带，用 Surfer 软件自动成图，获得了 2 个地电提取 Au 异常，编号为 Au 1，Au 2。

Au 1 号异常特征　该异常位于测区 0 至 15 线 1 至 15 号测点之间，异常中心呈鸡蛋形态分布，在 7 线的 5，7 点测得 16.56×10^{-9}，16.44×10^{-9} 两个 Au 异常高值点。

摘自《地电化学成晕机制、方法技术及找矿研究》

战略性深穿透地球化学方法在穆龙套的初步试验

勘查地球化学在追踪位于地表的“出露地球化学标志”去发现残积物地区隐伏矿和成矿前或成矿同时形成的岩石中的盲矿效果显著，但对于发现运积物地区或成矿后沉积岩或火山岩盖层下面的隐伏矿却无能为力。20 世纪 80 年代和 20 世纪 90 年代，先后诞生了各种能够穿透外来厚覆盖层探测隐伏矿体发出的直接极微弱信息的深穿透方法（图 1）。在这些方法中，中国所发展的 2 种深穿透方法（NAMEG 和 MOMEO）与其他方法的不同之处在于它们既能够用于战术定位，又能用于战略普查。

中国地矿部地球物理地球化学勘查研究所（IGGE）与俄罗斯稀土元素矿物、地球化学和结晶化学研究所（IMGRE）以及乌兹别克地质与地球物理研究中心（GGRC）进行合作，使用超低密度地球气纳微金属与金属活动态测量方法，在乌兹别克斯坦含有穆龙套金矿的克齐尔库姆沙漠进行了试点研究。这一研究是首次试验战略性 NAMEG 和 MOMEO 方法在大面积沙漠覆盖区发现巨型金矿地表显示的可行性。这一试验取得了非常令人鼓舞的结果。

深穿透方法包括 MMI，酶提取（Enzyme Leach），地气（Geogas），电地球化学（CHIM），地球气纳微金属（NAMEG）与金属活动态（MOMEO）。

1　深穿透方法

1.1　深穿透方法特点

深穿透方法具有如下特征：1）具有深穿透能力，能探测被运积物和成矿后沉积岩或火山岩盖层下几百米的隐伏矿体；2）接收的是矿体发出的直接信息；3）信息是被深部驱动力携带至地表的活动态金属形式；4）信息极其微弱，含量在 10^{-9}～10^{-12} 级；5）尽管信息微弱，却非常可靠，因为这

黄金地质研究所
信息室 提供

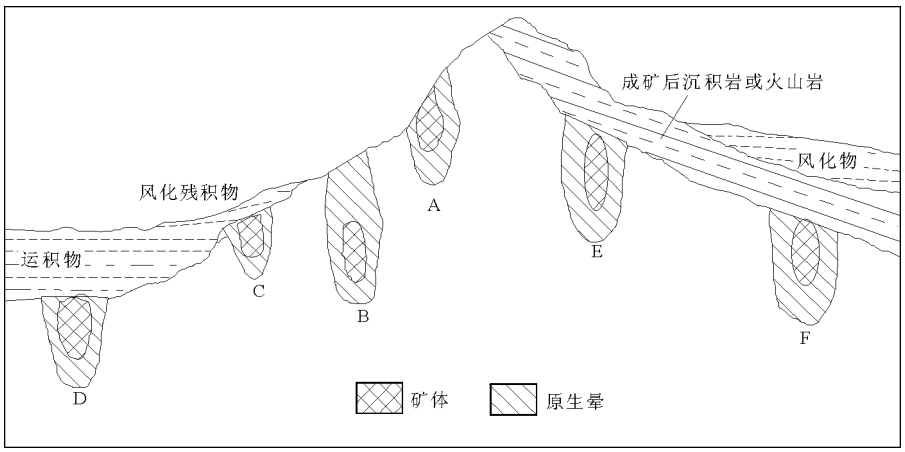


图 1　矿体产出的 6 种类型示意图

种信息中不可能有常规地球化学勘查所遇到的介质干扰。

1.2　战略性深穿透地球化学方法

上述所提到的方法，大部分是战术性方法。它们被用于详查中去圈定深部隐伏矿体。中国所发展的 2 种深穿透方法（NAMEG 和 MOMEO）与其他方法的不同之处在于它们既能够用于战术定位，又能用于战略普查。战略性地球气纳微金属和金属活动态测量能用超低密度采样方法以低成本迅速覆盖几万至几十万 km^2，在覆盖区圈出大型和巨型矿最有远景地区，再逐步加密采样缩小靶区。地球气纳微金属和金属活动态测量之所以能够应用到从战术直到战略工作，是基于多年来一系列矿产勘查新概念的提出。首先，是套合的地球化学模式谱系的概念（Xie and Yin，1993）。这一概念的提出归于中国的区域化探全国扫面计划所获得的约 500 万 km^2 中的几千万个数据。第二，巨型矿床形成的前提是要有巨量的金属供应与聚集，表现为从区域异常到地球化学省，直到地球化学域这样套合的地球化学模式。地气的概念被瑞典 Malmqvist 和 Kristiansson（1984）提出后，在世界各地获得了广泛的证实，因此，推测地气应是全球性的，称作地球气（earthgas）更为合适。无处不在的地球气不仅从矿体携带超微细金属，而且也可以从其周围的原生晕携带金属至地表形成宽广的地球化学模式。第三，地球气所携带的金属到达地表以后，一部分仍然保留在气体中，另一部分将转化成各种活动态形式被土壤所吸收或结合。基于上述概念，发展了超低密度采样方法和超灵敏度分析技术的战略性深穿透地球化学方法。这一战略方法被用于在大面积覆盖区进行了一系列的试验，1994 年中、俄、乌 3 国科学家在含有著名的世界级穆龙套金矿的克齐尔库姆沙漠所进行的试验就是其中之一。

2　研究区地理与地质概况

研究区位于乌兹别克斯坦克齐尔库姆沙漠腹地，穆龙套金矿就位于其中。地质和大地构造位置属于南天山华力西成矿带（Kremenetsky and Kheifets，1994）。该区还有库克巴大司金矿、大乌兹套金-银矿和阿玛大伊金矿。按照矿物和元素组合，矿床被划分 5 种类型：1）金-黄铁矿-毒砂型；2）金-贱金属硫化物型；3）金-碲化物型；4）金-锑化物型；5）金-辰砂型（Kremenetsky and Minzer，1995）。穆龙套金矿位于 EW 向穆龙套背斜中；矿石矿物主要是黄铁矿和毒砂。矿体金品位不高，以大面积的网脉矿化为主，矿体与岩体界限不清，肉眼无法辨认，只有通过系统取样才能圈定工业品位。矿体赋存于地表 200 m 以下。容矿围岩为一套沉积的带有轻微变质的含碳质黑色页岩，容矿围岩上覆石灰岩、白云岩、砂岩和页岩以及含石墨地层，地表被风成沙覆盖。岩石和风成沙总覆盖厚度 100～300 m。这种覆盖岩系和沙漠掩盖了容矿围岩和矿化信息在地表的显示。浅钻可以被用来采取含矿基岩层位的样品，但工作量和成本都太高，只能用于矿区详查。无法用于大面积的区域调查。地球物理方法被用于圈定含矿岩石层位，但无法区分矿化或无矿地段；并且由于含石墨地层的干扰，也影响地球物理方法的使用。因此，对全区资源潜力的全面了解和矿化靶区的圈定需要一种经济有效的地球化学方法。中国的新疆南疆位于同一成矿带，但至今没有发现类似穆龙套式巨型金矿，在山前被沙漠戈壁覆盖地区是否存在穆龙套型巨型金矿也是地质学者们非常关心的问题。

黄金地质研究所
信息室 提供

3 采样与分析

1994 年，谢学锦等与乌兹别克斯坦的地质地球物理研究中心及俄罗斯稀土元素矿物、地球化学和结晶化学研究所合作在穆龙套巨型金矿床外围进行了一项战略性 NAMEG 与 MOMEO 测量。

通过穆龙套及其后发现的大乌兹套及库克巴大司金矿（金储量都在千吨以上）布置 1 条长剖面，另在穆龙套、阿玛大伊及大乌兹套一线布置几条短剖面线，剖面线主要沿公路，采样点距 5～10 km (图 2)。

同时采集了地球气和土壤 2 种类型样品。地球气样品使用动态采样技术采取，采样深度在 0.60 m 左右。为了保证样品的代表性和足够的元素累积量，每个样品由连续在 2 个孔位采集的气体样品组合而成。平均每个样品采集时间大约 10 min。使用中子活化分析了地气样品中 20 多种元素 (Au，Ba，Ca，Ce，Co，Cr，Fe，Hf，Hg，Ir，La，Na，Sb，Sc，Ta ，Th，Zn 等)。土壤样品采自于0.20～0.30 m深度。采样时将最表层的活动疏松沙清除，采集相对固结的钙积层。样品用室内金属活动态提取技术提取了 4 种活动态金属：1）水提取金属；2）吸附和可交换金属；3）有机质结合金属；4）铁锰氧化物吸附或包裹金属。使用原子吸收分析技术分析了 Au，Ag，Cu，Pb，Zn，Fe，Mn，使用原子荧光分析技术分析了 As，Sb，Hg。

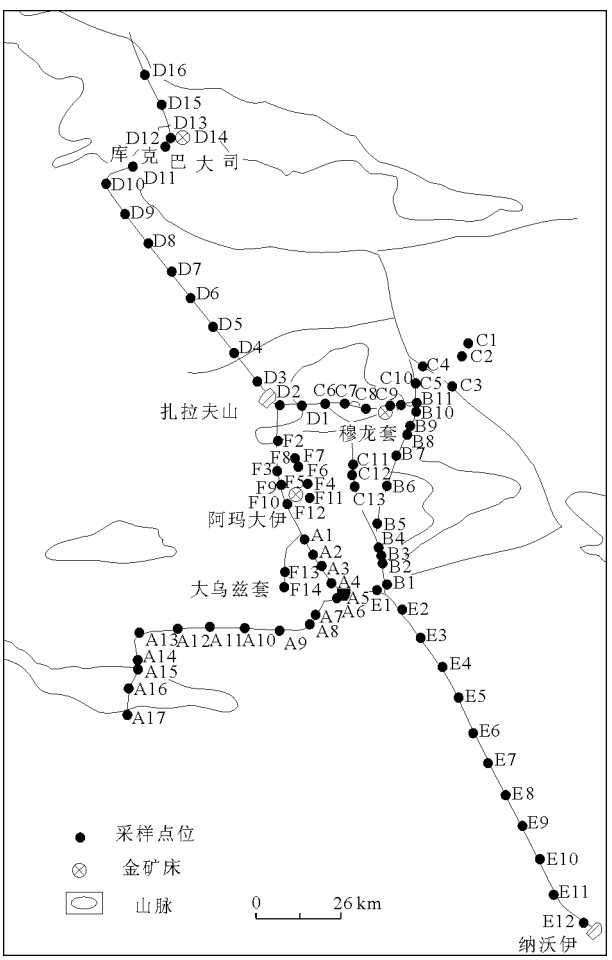


图 2 穆龙套及其外围采样点位图

4 成 果

表 1 是地球气中金属与金属活动态的分布统计数据。由表中可以看出，4 种形式的金由水提取—吸附态—有机结合态平均值逐渐降低，说明这种干旱条件下，由于强烈的蒸发作用产生大量可溶性盐类是金的主要赋存形式。

图 3 是地球气纳微金属测量金和砷的分布结果。从图中可以看出地球气金在穆龙套金矿、大乌兹套金矿和阿玛大伊金矿四周形成一个大的地球化学域，库克巴大司金矿处也表现出地球气金的异常。地球气测量技术在这种景观条件下的应用效果非常显著。

图 4 是通过穆龙套金矿和库克巴大司金矿的 NNW 向 400 km 长剖面的地球气和活动态金测量的剖面图，水提取金、吸附态金、地球气金和金属活动态累加金在穆龙套金矿上方都有很强的异常显示，在库克巴大司上方也有非常一致的异常显示，强度相对弱于穆龙套。另外在穆龙套金矿南约 50 km 的地方有一处很好的异常，是一个非常好的找矿远景区。3 种形式的金都取得了很好的结果，但不同的存在形式所形成的异常规模、强度不一样，即所表现的异常的清晰度不同。就金而言，最好的是活动态吸附态形式，其次是水提取金。

图 5 是金属活动态测量结果，可以看出金在穆龙套金矿、大乌兹套金矿和阿玛大伊金矿四周形成 1 个大的地球化学域（geochemical domain），库克巴大司金矿处也表现出金的异常。活动态金的高含量也大都集中在穆龙套金矿、大乌兹套金矿和阿玛大伊金矿四周区域，吸附态金最好的反映在库克巴大司金矿。水提取砷和吸附态砷的异常分布的高含量也基本集中在穆龙套金矿、大乌兹套金矿和阿玛大伊金矿这个区域，而且 2 种形式的砷非常好地在库克巴大司金矿上显示了异常，与活动态金的分布非常一致，这也反映了穆龙套型金矿的特征：金与砷的密切相关。

图 6 是将元素含量标准化后，所有相态和地球

黄金地质研究所
信息室 提供

表 1 穆龙套金矿沙漠区金属活动态与地球气金属的分布特征

特 征	Au/ng·g^{-1}			As/ng·g^{-1}			地球气/ng			
	水提取	吸附	有机	水提取	吸附	有机	Au	As	Sb	Hg
平均值	2.00	0.80	0.50	4.00	20.11	24.4	0.50	14.04	5.27	7.00
方 差	0.70	0.25	0.14	1.14	6.50	6.8	0.12	3.62	1.16	3.31
背景值	2.00	0.60	0.47	2.70	20.00	23.0	0.50	13.00	4.20	6.60
异常下限	2.70	1.20	0.60	5.50	32.00	30.0	0.60	17.00	6.00	10.0

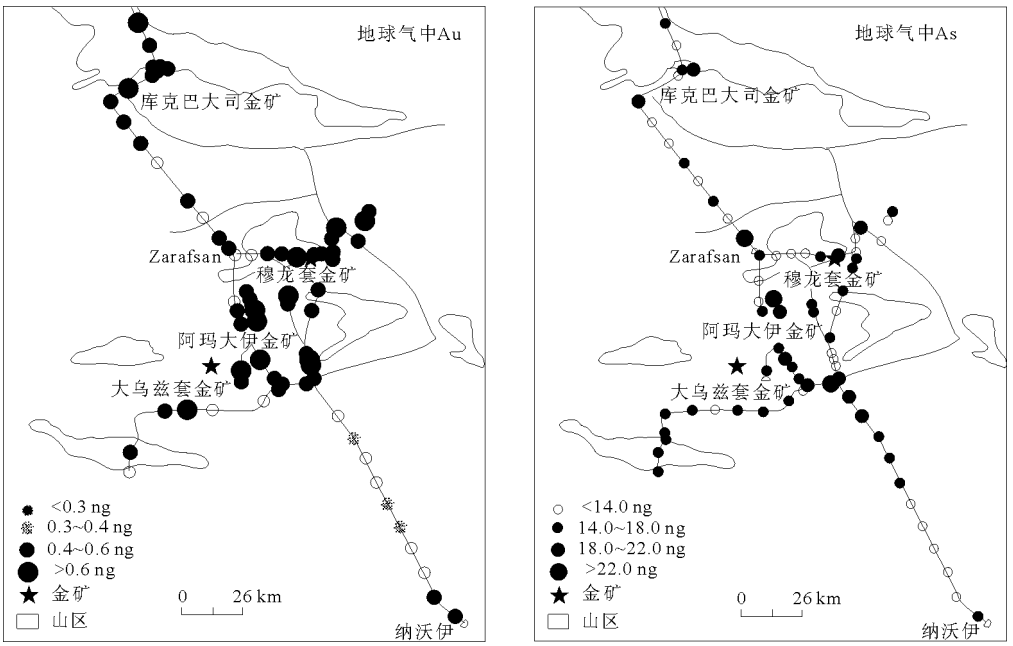


图 3 穆龙套金矿地球气中金和砷的区域分布

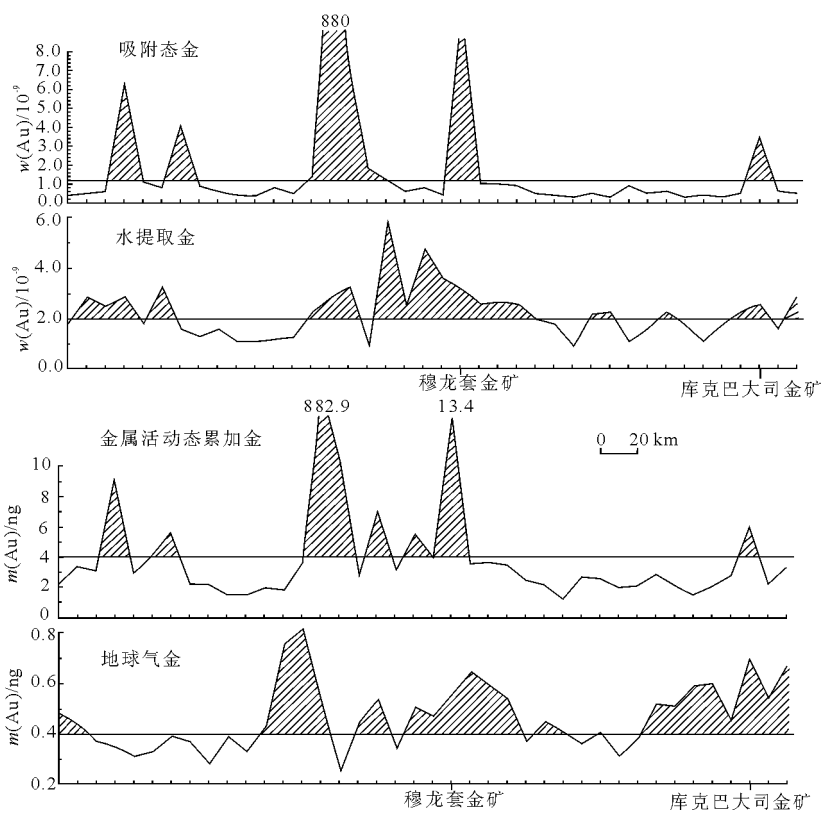


图 4 穿过穆龙套和库克巴大司金矿金的分布

金属活动态累加金是不同形式金每个点上含量除以平均值归一化后累加值

黄金地质研究所
信息室 提供

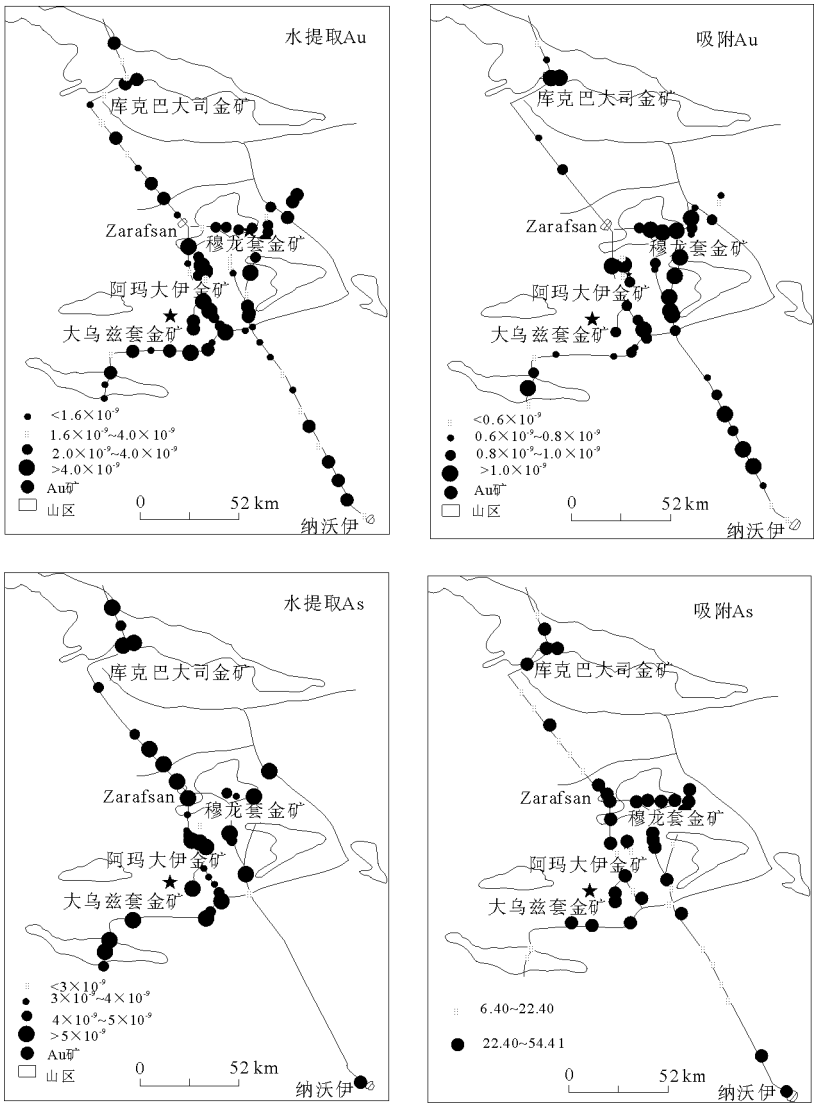


图 5　穆龙套金矿及外围金属活动态分布

气金和砷分别累加分布结果。

5　结论与讨论

这一研究是早期在干旱沙漠戈壁区试验战略性深穿透地球化学方法的研究内容之一，这一试验结果给了研究者很大的鼓舞。在覆盖厚度 100～300 m 的地方可以清晰地发现巨型矿周围巨大的地球化学模式，巨型矿具有巨量的成矿物质供应，在逐步浓集过程中在其周围留下了巨大的轨迹，这种隐伏的巨大地球化学模式可以被运移至地表形成叠加含量异常。

由于交通条件和时间限制，这次试验只做了剖面性测量，应该用超低密度方法覆盖整个地区。希望对具有有利于形成穆龙套型金矿的黑色变质岩系地区进行测量，以便发现新的隐伏矿。

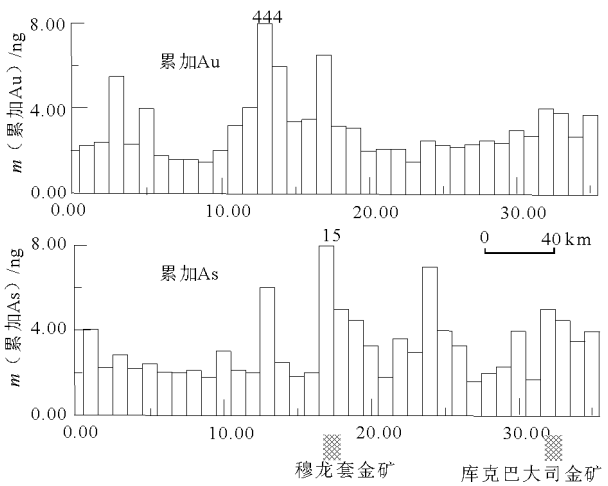


图 6　通过穆龙套金矿和库克巴大司金矿的 NNW 向剖面累加 Au 和 As 分布结果

摘自《走向 21 世纪矿产勘查地球化学》

黄金地质研究所
信息室 提供

穿透厚覆盖层圈定巨型矿所形成的区域地球化学异常
——以在奥林匹克坝矿床的试验为例

为了寻找隐伏矿，各国都在致力于大探测深度的地球化学新方法，如电地球化学方法（CHIM）、元素有机质结合形式法（MPF）、地气（Geogas）方法、酶提取方法（Enzyme leach）、活动金属离子法（MMI）、金属活动态测量法（MOMEO）和地球气纳微金属测量法（NAMEG）、气溶胶测量、纳米物质测量、离子测量系统（IONEX）等。这些方法的共同特点是不仅探测深度大，而且探测的是与矿有关的直接信息。因此，这些方法也被称作深穿透地球化学方法（王学求，1998）。但这些方法都是战术性方法，只能用于矿区工作，无法应用于大面积覆盖区寻找和识别大型和巨型矿床，这包括早期研制的金属活动态和地球气纳微金属测量法。为了迎接全球化矿产勘查向大面积隐伏区寻找大型和巨型矿床的挑战，王学求等一直致力于研制能以较少的费用迅速覆盖大面积覆盖区的深穿透地球化学方法。要满足这一需求，对方法的首要要求就是能够用于大面积的区域工作。为此王学求等试图对自己发展的 2 种深穿透地球化学方法——地球气纳微金属测量（Collection of Nanoscale Metals in Earthgas，NAMEG）和金属活动态测量（Leaching of Mobile Forms of Metals in Overburden，MOMEO）（王学求，1995；Wang et al.，1997；Wang，1998）通过一个景观一个景观，在已知的大型或巨型矿床的逐一研究，以提供能满足各种覆盖区景观寻找大型巨型矿的勘查地球化学方法。本文阐述的在巨型隐伏奥林匹克坝铜-铀-金-银矿的试验正是这一系列试验的实例之一。

1 奥林匹克坝矿床的发现背景与矿床地质简介

奥林匹克坝铜-铀-金-银矿位于南纬 30°27′，东经 136°53′。距南澳首府 Adelaide 西北方向大约 520 km，距 Andamooka 镇约 30 km。属 Andamooka 1∶25 万图幅（图 1）。

该矿于 1975 年由澳大利亚西部矿业公司勘探部所发现。在1969—1972年，西部矿业公司的地

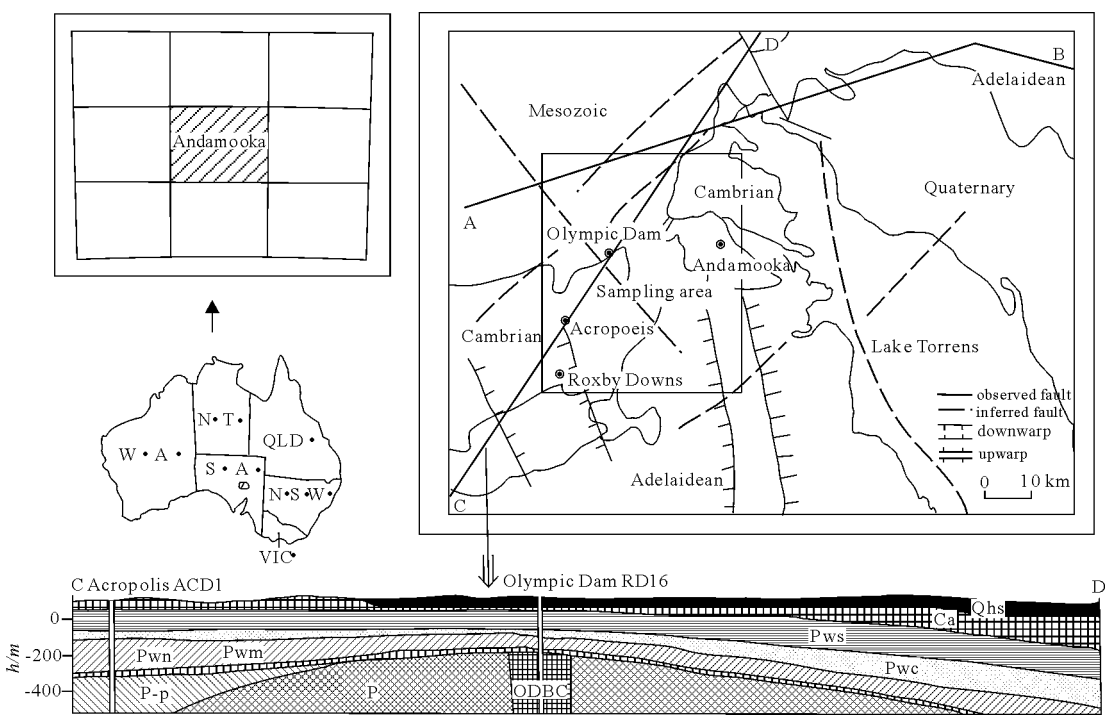


图 1 奥林匹克坝地质简图及活动态测量采样区（引自 Dalgarno，1982）

ODBC—奥林匹克坝角砾混杂岩，P—古中元古代未分异的基底；P—p—新元古代砂岩和泥岩；Pwn—新元古代白云岩；Pwm—新元古代页岩；Pwc—新元古代砂岩；Pws—新元古代石英岩；Ca—寒武纪灰岩，Qhs—第四纪砂土

黄金地质研究所
信息室 提供

质学家在研究沉积层控铜矿床成因中提出一种成因模型（Haynes，1972）。这一模型假设玄武质岩石的氧化和蚀变能释放大量的铜，并且这种铜能被含地下卤水所溶解。溶解了铜的溶液向上覆沉积岩层迁移过程中在适当的还原条件下，溶解的铜就可以与硫化物一起沉淀于细粒的沉积岩中。按照这样的模型，所选择的勘查靶区必须具备下列条件。

1）深部有大量玄武质岩石存在，能够确保提供铜的来源。这样的岩石可以通过重力异常和磁异常来圈定。

2）上覆沉积岩系应包含细粒，纹层状，还原界面，以便有利于硫化物的沉淀。盆地边缘是最有利的环境，并且这可能发生在隐伏基地的高处。而这种高处恰是重力异常和磁异常之所在。

3）应具有向上的通道，以便含铜溶液能从源岩向上覆沉积岩中迁移。这种通道应是大的断裂，或其他主构造等线性构造。

根据上述条件南澳的 Stuart Shelf 地区被选择作为找矿靶区。在几个非常差的露头进行了详细的地质研究，并根据区域航磁和重力资料选择了几个地区。又根据线性构造最终选择了 2 个地区（奥林匹克坝和 Acropolis）作为钻探试验区。在钻探之前进行了地面磁法和地震剖面测量。

1975 年 6 月，在奥林匹克坝完成了第 1 个钻孔钻探。在钻孔的 335 m 以前所切穿的都与预想的一样是寒武纪和新元古代的沉积岩。然而，在 335 m 处穿过一个不整合面时遇到的不是玄武岩，而是蚀变含赤铁矿花岗质岩石。没有直接见到铜矿化，但钻孔岩石分析从 353～391 m 发现连续 38 m 铜含量达 1.0%。紧接着在其附近又打了 8 个钻孔，都没有发现有经济价值的铜矿化，直到 1976 年底的第 9 个钻孔发现了 170 m 厚，铜品位达 2.1%，U_3O_8 品位 0.6×10^{-6} 的矿体。随后经过了广泛的评价，已探明矿石储量 20 亿 t，铜品位 1.6%，U_3O_8 0.06%，金 0.6×10^{-6}，银 3.5×10^{-6}，以及大量稀土元素（Reeve et al.，1990）。

该矿经过了广泛的研究，不是像原先地质模型推测的那样，而是产于含赤铁矿花岗质角砾岩中，这是一套比较特殊的岩石组合，被称作奥林匹克坝角砾混杂岩（ODBC，Olympic Dam Breccia Complex）。该套岩石位于中元古代未分异的基底，上覆依次为新元古代沉积砂岩和粉砂岩、白云岩、页岩、砂岩、石英岩，寒武纪的石灰岩和第四纪的风化风积物（Reeve et al.，1990）（图 1）。

地质成因模型尽管被后来的钻探所证实是错误的，但这一模型却可以帮助人们增加信心。地球物理方法尽管在帮助靶区的选择上起了重要作用，但由于它是间接手段，不可避免地具有不确定性和多解性的缺陷。因此，为了减少勘探风险，作为直接手段的地球化学方法是特别必须的。但由于该区被厚层新的沉积岩层所覆盖，并且地表又经历了漫长的风化过程，产生了巨厚的风化壳，再加上风成沙的混合完全掩盖了地球化学信息在地表的显示。常规的化探方法也是无能为力的。因此，研究新的能探测地下深处直接信息的深穿透方法引起了特别的注意。在这种情况下，地球气与活动态技术被用来试验其可行性。

2 样品的采集与分析

1995 年，王学求等与澳大利亚西部矿业公司合作在澳大利亚奥林匹克坝铜-铀-金-银矿周围约 2 500 km^2 的面积上进行了战略性地球气与金属活动态测量试验研究。这一研究的目的是检验利用这 2 种技术在澳大利亚这种厚风化壳地区圈定巨型隐伏矿床所引起的大规模地球化学异常模式的可行性。

在大约 2 500 km^2 的面积上共布置了 36 个采样点位（图2），平均采样密度1个样/60 km^2。每

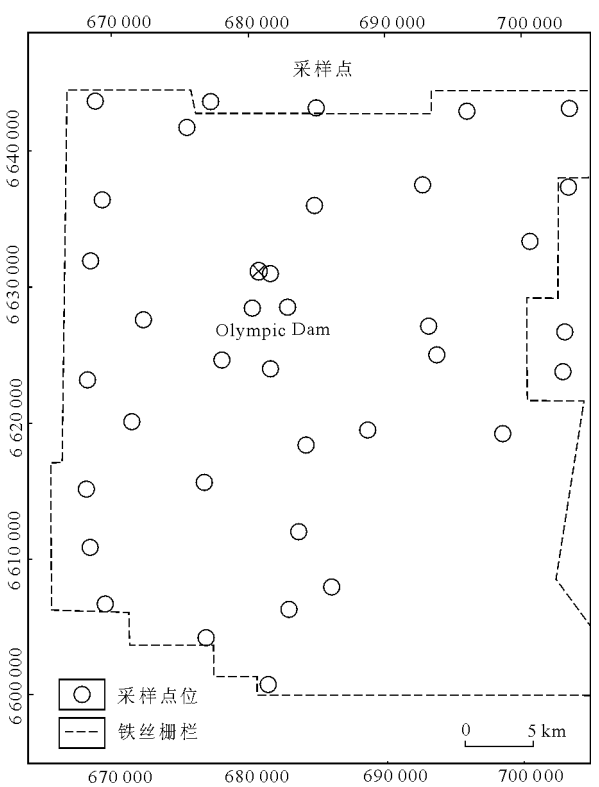


图 2 地球气纳微金属与金属活动态测量采样点位图

黄金地质研究所
信息室 提供

个点位同时采集了地球气和土壤2种样品。

地球气样品的采集是使用地球气纳微金属动态采样装置（王学求，1995；Wang，et al.，1997）。样品用中子活化分析了25种元素，其中有17种元素（Au，Ba，Ca，Ce，Co，Cr，Fe，Hf，Hg，Ir，La，Na，Sb，Sc，Ta，Th和Zn）的报出率达100%。

土壤样品采自于0.20～0.30 m深度。采样时将最表层的活动疏松沙清除，采集相对固结的钙积层。样品经室内金属活动态提取技术（Wang，1998）提取了4种活动态金属-水提取金属，吸附和可交换金属，有机质结合金属和铁锰氧化物吸附或包裹金属，使用原于吸收分析了Au，Ag，Cu，Pb，Zn，Fe，Mn，使用原子荧光分析了As，Sb，Hg。同时为了对比，对土壤样品也进行了Cu和Au的全量分析。

3 数据的统计特征

3.1 金属元素活动态数据分布

表1是活动态Au和Cu的分布。图3是各种不同形式Au，Cu的比例。Au主要以活动态形式

表1 Cu，Au各种活动态与全量的分布

金属		WEM	AEM	OBM	FMM	MOMEO	REM	全量
w(Cu) 10^{-6}	最小值	0.1	0.6	0.3	0.4	1.6	0.7	5.1
	最大值	0.5	1.4	2.4	3.3	5.7	21.9	24.4
	平均值	0.2	1.0	1.0	0.9	3.1	8.7	11.9
	比例/%	1.7	8.4	8.4	8.0	26.0	73.0	100
w(Au) 10^{-9}	最小值	0.4	0.1	0.1	0.2	1.4	0.1	2.1
	最大值	2.2	0.6	0.5	1.4	3.8	3.7	5.2
	平均值	0.76	0.3	0.25	0.82	2.13	1.25	3.4
	比例/%	22.4	8.8	7.4	24.1	62.6	36.7	100

注：WEM—水提取金属，AEM—吸附或可交换金属，OBM—有机质结合金属，FMM—铁锰相金属，MOMEO—活动态总量（WEM＋AEM＋OBM＋FMM），REM—不溶残渣中金属

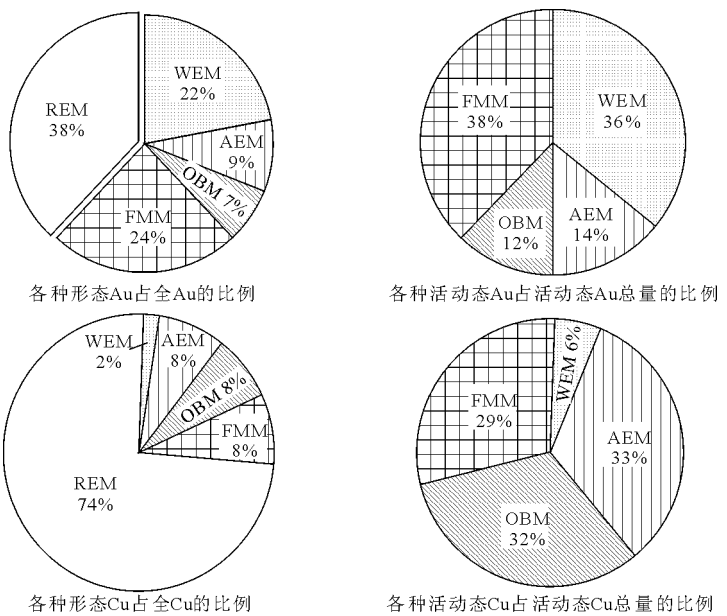


图3 各种不同形式Au，Cu的比例

WEM—水提取金属；AEM—吸附或可交换金属；OBM—有机质结合金属；FMM—铁锰相金属；REM—不溶残渣中金属

存在，4种活动态Au的总量占全量的63%，存在于石英硅酸盐矿物中的Au仅占37%。在活动态Au中，水提取Au和铁锰氧化物吸附Au占有最大比例，分别达22%和24%。而Cu主要以稳定的形式存在，活动态只占全量的26%。Cu除了水提取最少以外，在其他几个相态中相差不大。大比例活动态Au的存在主要与深部供给源有关，因为这些Au主要位于矿物颗粒表面氧化膜中和可溶性盐类中，而氧化膜是在地表石英和硅酸盐矿物被从外地搬运或近地表年轻岩石风化形成后的氧化作用形成的，可溶性盐类是在干旱蒸发条件下形成的，氧化物膜和可溶性盐类相当于天然捕获器，在形成过程中不断地将地下深处迁移上来的金属捕获其中。Cu与Au有很大不同，Cu主要以稳定的形式存在，这主要与地表岩石风化产物有关，从深处迁移上来的活动态形式占的比例很小。

3.2 地球气中金属的含量分布与相关关系

表2列出了地球气中元素含量的统计结果。从表2中可以看出，除Ca，Fe和Na以外，地球气中每10 L气体中的金属的平均含量都在纳克（ng）或亚纳克级水平。贵金属Au和Ir的背景值低到0.45 ng/10 L和20 pg/10 L气体。一些成矿元素

黄金地质研究所
信息室 提供

和与矿有关的指示元素，如 Au，Ir，Ta，Hg 和 Ba，最大值和最小值相差十几倍到上百倍。这些元素都在矿体上方具有最大的衬值系数。剔除离散点以后得出各元素的背景含量值，用背景值加 2 倍标准离差得出异常下限值，在下文地球化学异常模式的圈定中都使用这一异常下限。

地球气中元素之间的相关系数具体见图 4。在 95% 的置信度下，以相关系数 0.3 作为标准，可将元素分为 3 组：1）Ir，Ta，Au，Na，Hf，Sb，Hg 和 Zn；2）Ce，La，Fe，Sc，Ba，Co，Th 和 Cr；3）Ca。第一组主要是与矿化有关的元素，第二、三组可能主要与岩性有关。

表 2　地球气中元素的含量分布特征

元素	原始分布					剔除离差后的背景与下限			
	n	max	min	平均值	*SD*	*n*	背景值	*SD*	下限
Au/ng	36	1.7	0.25	0.59	0.3	28	0.45	0.12	0.7
Ba/ng	36	765.0	66.7	205.2	113.2	32	175.3	45.0	250.0
Ca/μg	36	109.0	31.0	61.3	19.1	33	57.4	14.6	90.0
Ce/ng	36	13.3	0.8	6.3	2.3	33	5.7	1.0	6.0
Co/ng	36	6.2	1.3	2.5	0.8	34	2.4	0.4	2.8
Cr/ng	36	134.0	37.1	67.5	25.2	30	57.9	13.4	85.0
Fe/μg	36	5.5	2.6	3.6	0.7	27	3.3	0.4	4.0
Hf/ng	36	8.4	0.6	1.3	1.3	24	0.9	0.1	1.1
Hg/ng	36	49.2	4.2	20.5	11.9	31	15.9	8.3	30.0
Ir/pg	36	415.0	4.2	55.2	75.8	24	20.0	11.5	40.0
La/ng	36	7.4	2.1	3.4	1.0	31	3.1	0.5	4.0
Na/μg	36	7.3	1.2	2.6	1.4	27	1.9	0.3	2.5
Sb/ng	36	2.4	0.5	1.3	0.4	27	1.2	0.15	1.5
Sc/ng	36	2.0	1.2	1.5	0.2	32	1.4	0.15	1.7
Ta/ng	36	16.3	0.5	3.7	3.8	21	1.8	0.7	3.5
Th/ng	36	3.7	1.7	2.1	0.4	31	2.0	0.2	2.4
Zn/ng	36	534.0	71.4	142.0	80.1	27	110.0	24.7	150.0

注：*n*—样品数，min—最小值，max—最大值，*SD*—标准差。

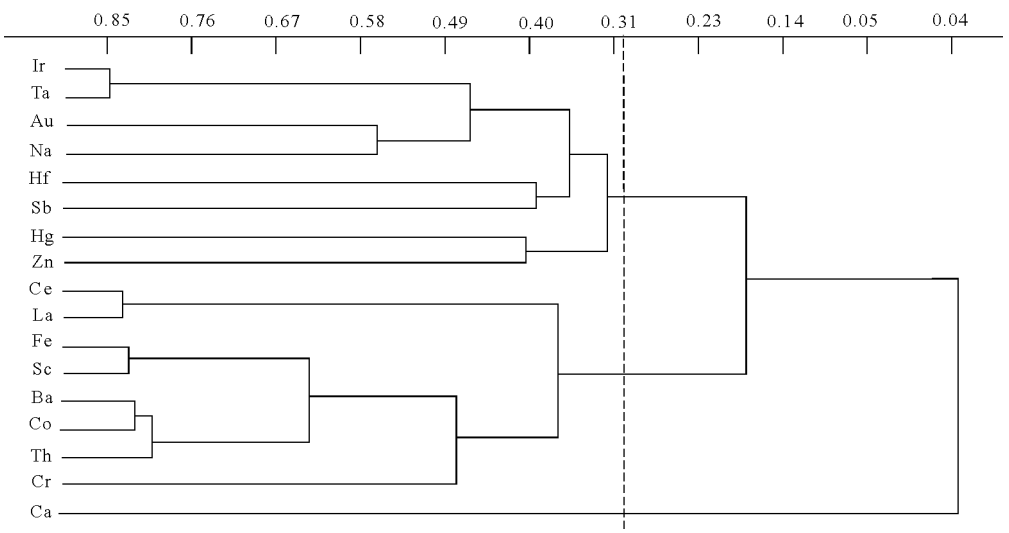


图 4　地球气中元素相关谱系图

4　地球化学异常模式

4.1　土壤中金属活动态异常分布模式

在水提取 Cu，Au，Hg 和吸附 Cu 的地球化学模式图中可以看出，活动态元素除 Hg 以外，不具有明显的带状分布，而是呈相对独立的 2 片异常。位于奥林匹克坝异常的规模和强度都是最大的。吸附相的 Cu 和水提取的 Hg 在矿体上方异常衬值和强度最大。金并不直接位于矿体上方，而是环绕矿体分布。这表明，在区域分布上 Cu 位于内带，而 Au 位于外带，这和该矿是以铜矿化为主，Au 次之有关。而在图幅的左下角，却是高含量的金在内带，Cu 在外带，该地是否存在以金-铜为主的矿化值得注意。用 0.6×10^{-9} 所圈定的 Au 的地球化学

黄金地质研究所
信息室 提供

块体面积在 1 000 km^2 以上，用 0.2×10^{-6} 所圈定的 Cu 的地球化学块体面积在 2 000 km^2 以上。此次工作的面积还不够大，地球化学块体并没有封闭；如果测区面积更大，地球化学块体的规模可能还要大。在这一块体中套合着几百 km^2 的区域异常，如果采样密度更大，将会发现面积更小的局部异常。

将 Cu，Au 和 Hg 三个元素标准化后累加所呈现的异常模式更为清晰。如果以 2.5 作异常下限圈定的综合地球化学块体面积有 2 000 km^2，以 3.5 作异常下限圈定的综合区域异常面积有 500 km^2，将异常下限进一步提高到 4，圈定的综合区域异常面积仅有 100 km^2 多。这样就可以迅速将 2 500 km^2 的面积，收缩到仅有百余 km^2 的靶区范围。

Cu，Au 两元素的全量分析地球化学图中可以看出，铜的全量分布的高含量不在矿体上方和周围，而在东西两侧。上面已经谈到铜主要存在于晶格中，故这种全量分布可能主要反映的是盖层岩石或风成砂的特征，而掩盖了矿体叠加上来的信息。全量金和活动态金在环绕矿体四周都有 3 处高含量点，只不过活动态金的衬值较大，使异常连在一片。这和活动态金占有全量金的绝大部分有关，晶格金所起的作用相对较小。但利用活动态金可以大大强化异常。

4.2 地球气金属异常分布模式

从地球气中 Au，Hg，Ir 和 Ta 的分布图可以看出，这几个元素延 NNE 向有一区域异常分布带。在这一带中有 2 处明显的大规模浓集中心。北面的一个位于奥林匹克坝矿体上方和周围，南面的位于测区左下角。这一分布模式表明气体中这些元素可以很好地圈出区域异常。铂族和稀土元素都是该矿的伴生元素，所以具有与成矿元素一样具有指示作用。而易于活动的元素 Hg 也具有指示意义，这并不意味着矿体中可能伴生这种元素，它也可能反映的是构造信息。遗憾的是由于 INAA 对 Cu 和 Ag 分析的不灵敏，而无法测出它们。

5 讨 论

尽管利用地球气和活动态测量在区域上取得了成功，但这 2 种技术是否能用于澳大利亚这种深风化壳景观地区的详查工作还要进行试验才能获得证实。

在已知矿体周围的强异常，是否会存在污染问题。污染的可能性在任何勘探、开采和钻探区都是不能回避的问题，特别是在详查中。而地球气测量的样品是采在 0.60～0.80 m 深处，许多试验都证实在这样的深度，受污染的可能性是很小的。土壤样品的采集是先将地表疏松沙刮掉，直至相对坚硬和固结的层位。在这一地区一般约 0.15～0.30 m 深，所以受污染的可能性不大。且进行的是区域测量，除 1 个点布置在矿体附近，其他点离矿体和采矿作业区最近也有 3 km 以上，所以不会存在污染问题。假如出现污染问题，那么在矿体处金、铜的全量也应该出现污染问题。，但事实上，金和铜的高含量都不在矿体采矿周围。以上几个方面都证明，不存在污染问题。但如果进行矿区测量时，应该考虑污染的可能性。

摘自《走向 21 世纪矿产勘查地球化学》

金矿床构造叠加晕法

1 概 述

1.1 原生晕

1.1.1 *原生晕* 原生晕是在矿体或其他地质体周围，赋存于岩石中的地球化学分散晕。岩石地球化学异常→原生地球化学异常→原生晕为同义语，是成矿过程中与矿同时形成的、发育在基岩中的一种地球化学异常。在热液矿床、岩浆矿床和沉积矿床成矿过程中都可形成原生地球化学异常。文中原生晕均指热液矿床原生晕。

1.1.2 *原生晕找盲矿的基础理论* 原生晕找盲矿的基础理论，即热液矿床原生晕轴（垂）向分带理论。热液矿床原生晕具有明显的组分分带特征，特别是原生晕轴（垂）向分带，即每个矿体都有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕，其前缘晕在矿体前缘可达 100～300 m，为找盲矿提供了重要信息，这就是应用原生晕找盲矿的最基本的依据或理论。

热液矿床原生晕分带形成是非常复杂的过程，富含成矿元素、伴生元素、矿化剂元素、控矿元素的气水热液，在内生、外界营力的作用下，沿一定构造裂隙迁移运动，气水热液中的各元素呈简单离子、配离子及复杂配合物或气体形式迁移，热液迁

黄金地质研究所
信息室 提供

移过程主要是充填、渗流、渗滤和扩散，随物理化学条件（pH，Eh，T，P 等）的变化，各元素的配合物相继不断破坏、沉淀。由于各元素的地球化学性质不同及在迁移过程中配合物的迁移形式和配合物稳定、破坏条件不同，造成了热液中成矿及伴生元素的沉淀有先后，在空间上形成分带，在构造体系含矿热液运移过程中，在主成矿元素沉淀形成矿体之前，活泼性弱的元素先沉淀下来形成尾晕，在主成矿元素沉淀形成矿体后，活泼性强或挥发性元素如 As，Sb，Hg，B，F，Cl，I，Br，Ba 等元素还要沿构造向上迁移一定距离才沉淀，在矿体前缘沉淀形成了前缘晕，与主成矿元素同时或近于同时沉淀的元素，形成近矿晕。

1.1.3 研究原生晕的常用术语

1）原生晕的分带：包括浓度分带和组分分带 2 种类型。

浓度分带，是同一组分（元素）的含量自矿化中心或异常中心向外有规律变化的现象。原生晕浓度分带：一般将各种元素的浓度分为外带、中带和内带 3 个浓度带。外、中、内浓度带的分带标准，一般是以本矿区各地层、岩浆岩的背景含量为基础，确定异常下限，并考虑各元素浓度范围及变化梯度，以异常下限的 1，2，4 倍、2，4，8 倍或 2，8，32 倍作为外、中、内带异常。在研究原生晕轴（垂）向组分分带时，为突出各元素在矿体前缘晕、近矿晕、尾晕的差异，对一些元素浓度可不按上述倍数，分为外、中 2 个带。

组分分带，是原生晕中不同指示元素在空间上有规律的变化现象。组分分带也就是通常所说的原生晕分带。

2）原生晕组分分带在空间分为轴（垂）向分带、横向分带和纵向分带。

轴（垂）向分带，原生晕沿矿液流动方向的分带，矿体陡倾时，轴（垂）向分带与垂直分带一致；矿体近水平或缓倾斜时，轴（垂）向分带与垂直分带不一致。主要是在含矿热液沿构造裂隙渗流、渗滤作用过程中形成。原生晕轴（垂）向分带是应用原生晕找盲矿的重要研究内容。

横向分带，原生晕在垂直矿体走向上的分带，矿体陡倾时，横向分带与水平分带一致；矿体近水平时，横向分带与水平分带不一致，而与垂直分带一致。横向分带主要是扩散作用结果。

纵向分带，原生晕沿矿体走向上的分带。

3）原生晕轴（垂）向分带的三种表达方式。

①前缘晕、近矿晕、尾晕，是原生晕轴（垂）向分带最常用、最重要的表达方式。是原生晕找盲矿研究的最重要内容。

前缘晕：原生晕中，位于矿液流动方向前锋的部分（矿体的前缘），在矿体轴向前缘可达几百米，是预测盲矿的重要信息和依据。

尾晕：原生晕中，位于矿液来源方向——矿体轴向向深部延伸的部位或矿体的尾部。

近矿晕：在原生晕中，以矿体为中心，随远离矿体元素浓度逐渐降低，即浓度带由内带→中带→外带。

②原生晕轴（垂）向分带序列，是原生晕轴（垂）向分带的第二种重要表达形式，轴（垂）向分带序列在盲矿预测中也是重要的研究内容。

在矿体或矿床的原生晕中，按轴向由矿床（体）的前缘晕→头→中→尾→尾晕，对各指示元素晕强度最高位置相对排列的顺序，以矿体的原生晕轴向不同部位（标高）的线金属量为基础，计算原生晕的轴（垂）向分带序列，一般计算结果从上至下：前缘晕特征指示元素在上，近矿特征指示元素在中间，尾晕特征指示元素在下部。

分带序列的计算方法有多种，常用的是 C. B. 戈里格良法和 E. M. 克维雅特科夫斯基法。

国内化探专家还研究了很多分带序列的计算方法，如经验法：在矿体原生晕的剖面图上，分别做各元素异常浓度分布图，根据各元素浓集中心在矿体（轴）向的上、中、下位置，确定元素的分带大致序列。

③地球化学参数的轴（垂）向变化规律，是原生晕轴（垂）向分带的第三种重要表达方式，是预测盲矿、判别矿体剥蚀程度、建立定量数学模型的重要基础。地球化学参数，可用前缘晕或尾晕指示元素浓度，标准化累加、累乘或前缘元素浓度/尾晕元素浓度。如单一期次成矿或 2 个主成矿阶段形成的原生晕近于同位叠加时，其前缘晕特征指示元素 As，Sb，Hg 含量或 As/Bi，Sb/Mo 等，从矿体前缘→矿头→矿中→矿尾→尾晕是逐渐降低。

1.2 金矿床的原生叠加晕、构造叠加晕概述

1.2.1 金矿床的原生叠加晕特征

1）金矿床的原生叠加晕，金矿床（体）原生叠加晕是金矿多阶段脉动叠加成矿成晕的结果，金矿叠加成矿成晕包括了时间上的多阶段成矿的脉动性、继承性和在空间上的叠加性，即金矿床（体）

黄金地质研究所
信息室 提供

原生叠加晕是在有相同物质来源、含矿热液成分和形成条件都有继承性变化的多阶段脉动演化所形成的叠加晕，由于每个阶段形成的原生晕在空间上叠加或衔接形式或叠加结构的多样性，所以叠加晕是一种非常复杂的原生晕。

金矿原生叠加晕与多建造晕有共性也有较大差别，多建造晕系指成分与形成条件不同的成矿建造，在空间上重叠或衔接，在结构上非常复杂的原生异常。

2）原生叠加晕法，研究矿床原生叠加晕特征并用于盲矿预测的方法，称为原生叠加晕法。

3）原生叠加晕法找盲矿的理论基础，在原生晕找盲矿理论［热液矿床具有明显的轴（垂）向分带，即每次成矿形成的矿体的原生晕都有明显的前缘晕、近矿晕和尾晕］基础上，密切结合成矿理论［即金矿成矿成晕具有多期、多阶段脉动性及不同阶段形成矿体（晕）在空间上有叠加的特点］，发展或完善了原生晕找盲矿理论。

1.2.2 *金矿床的构造叠加晕特征*

1）构造叠加晕法，研究构造蚀变带中原生叠加晕特征并用于盲矿预测的方法。

2）构造叠加晕找盲矿的理论基础，是在原生叠加晕找盲矿理论基础上，在方法技术上的发展，根据热液矿床严格受构造控制，构造中矿体的原生晕发育特点是在矿脉上下盘不发育，而在构造带内强度高、范围大，特别是前缘晕在矿体前缘可达几百米。研究构造中的原生晕轴（垂）向分带及不同期次形成原生晕的叠加结构，只在构造带中采取有蚀变叠加样品，不但可强化晕的强度或盲矿预测信息，而且大大减少采样及分析工作量，提高了工作效率和找矿效果。

3）金矿床原生叠加晕模式、构造叠加晕模式，是对金矿床（体）原生叠加晕或构造叠加晕特征，即每次成矿形成原生晕的轴（垂）向分带及不同期次成矿形成原生晕在空间上的叠加结构的概括与表达。用模式图表达，附有文字说明。

4）金矿床构造叠加晕模型，包括构造叠加晕模式（图）和找矿标志，实际是一种找矿模型，是指特定类型的典型矿床（体）或一组相似类型矿床的地质、地球化学特征、构造叠加晕特征、找矿标志及找矿方法的高度概括与表达。

5）金矿床构造叠加晕理想模型，实际是对热液成因的金矿床构造叠加晕模型的抽象与表达。

6）金矿床叠加成矿成晕模型，是指对金矿成矿成晕过程机制的研究中，在时间上的演化和空间上的叠加机理高度概括与表达。

2 金矿床（体）原生晕、原生叠加晕、构造叠加晕的发展与创新

2.1 原生晕找盲矿法的开创与应用阶段

我国自在 20 世纪 50 年代开始，谢学锦、邵跃等专家就进行了原生晕找盲矿试验，50 年代末，几乎与前苏联学者同时，各自发现了热液矿床的原生晕具有明显轴（垂）向分带，即每个矿体都有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕，矿体的前缘晕向上延伸达几百米，为预测深部盲矿提供了重要的直接信息，也就是原生晕找盲矿的理论基础。开创的原生晕找盲矿新方法，邵跃等首先在甘肃白银厂小铁山和辽宁青城子、关门山等铅-锌矿区，谢学锦在广东大宝山试验，都取得了可喜成果。同期，冶金系统以欧阳宗圻为首的化探人员也广泛开展了原生晕找盲矿研究，也取得了令人鼓舞的成果。

2.2 原生晕模式、模型研究阶段

20 世纪 70～90 年代地矿、冶金、有色等系统及地质院校的化探专家对原生晕都相继做了大量研究工作，在研究原生晕分带理论基础上，在方法技术研究方面都取得了一系列开创性成果。研究和建立了主要类型有色及金矿床的原生地球化学异常模式和找矿模型，提高了原生晕找矿水平。发表论文已有百余篇，特别是 1990—1998 年出版了多部专著，有代表性的专著：1990 年，由欧阳宗圻、李惠、刘汉忠编著的《典型有色金属矿床地球化学异常模式》（科学出版社），这是冶金系统较系统的研究矿床地球化学异常模式和我国第一部化探模式专著；1991 年，由李惠编著的《石英脉和蚀变岩型金矿床地球化学异常模式》（科学出版社）；以张本仁、孙焕振、李善芳等主编的《勘查地球物理勘查地球化学文集》（地质出版社）1～17 集都包含有很多矿床原生晕研究成果；1993 年，赵伦山、吴悦斌、沈镛立著的《基岩地球化学测量方法》（地质出版社）；1996 年，由地质出版社出版的《中国主要类型金矿床找矿模型》（邹光华、欧阳宗圻、李惠等著）；1997 年，由地质出版社出版的《中国金矿物探、化探方法技术的研究与应用》（王继伦、李善芳、齐文秀、朱有光、傅祥鳞等著），1997 年出版的《热液矿床岩石测量（原生晕法）找矿》

黄金地质研究所
信息室 提供

(邵跃著，地质出版社)，对以邵跃等地矿系统历年来研究原生晕成果作了全面总结。1998 年出版的《中国主要类型铜矿勘查地球化学模型》(吴承烈、徐外生、刘崇民著，地质出版社)。

国际上对原生晕找盲矿研究最多的是前苏联，自 20 世纪 60 年代以来，前苏联一直在研究原生晕找盲矿方法，并取得了一系列成果，其中最重要的成果是以戈里格良为首的专家提出了热液矿床原生晕元素组分分带的统一分带序列和计算元素分带指数的方法、评价矿化剥蚀程度的累加晕和累乘晕比值等指标，取得了好的找矿效果，并提出了一些典型热液矿床的多建造晕概念，但并未见有系统研究成果报道。

2.3 原生叠加晕法

随着研究的不断深入，特别是 20 世纪 80 年代以来，在研究原生晕找盲矿理论、原生晕的轴(垂)向分带、建立典型金矿床盲矿预测的原生晕模型时，发现有很多矿床原生晕的轴(垂)向分带出现“反常、反分带现象”，用一次成矿或一个主成矿期形成的原生晕分带理论无法解释，这也是困惑了化探几十年的问题，严重影响了原生晕方法预测盲矿效果的提高。

为解决这一问题，自 20 世纪 90 年代初开始，李惠在深入研究原生晕分带理论的基础上，密切结合热液矿床成矿理论，即根据金矿成矿成晕具有多期多阶段脉动叠加的观点，发现了不同次成矿形成矿体及其原生晕在空间上的叠加结构，不仅对原生晕轴(垂)向分带出现的“反常及反分带现象”作出了合理解释，而且提取出了更多、更好的找盲矿信息。拓宽了思路，研究了金矿床的叠加晕特征及其在空间上的叠加结构，建立金矿床的叠加晕模型，大大提高了盲矿预测的准确性和找矿效果。又通过参加国家黄金地质攻关项目、国家黄金局项目、冶金部项目，与十多个矿山找矿相结合，使原生晕找盲矿法发展为原生叠加晕找盲矿新方法。1993 年，李惠在《地质与勘探》首次发表了叠加晕论文“热液金矿床的原生叠加晕模式”。

在“八五”国家重点黄金地质科技攻关项目(90051—09)的成果“中国主要类型金矿找矿模型”中，金矿床原生叠加晕模型研究成果是最具突破性成果之一，并载入 1986 年由地质出版社出版的《中国主要类型金矿找矿模型》(邹光华、欧阳宗圻、李惠编)。

1994—1998 年在首席科学家谢学锦院士和刘光鼎院士支持下，参加国家攀登计划项目，使原生叠加晕方法研究更加系统和完善，总结出了金矿盲矿预测的 4 种叠加晕理想模型和盲矿预测的 5 条准则。项目首席科学家、中国化探元老——谢学锦院士及专家委员会专家陈毓川院士、常印佛院士、叶天竺教授等给予了很高评价。原生叠加晕发展了原生晕分带理论，并支持出版了《大型、特大型金矿盲矿预测的原生叠加晕模型》(李惠主编，冶金工业出版社，1998)，陈毓川院士、常印佛院士和化探专家欧阳宗圻教授为专著写了序。

2.4 原生叠加晕法发展为构造叠加晕法

1998 年以来，通过参加“96—914”国家攻关项目及在十几个矿山或危机矿山找矿的实践，在研究思路、方法又有新的发展，将原生叠加晕法又发展为构造叠加晕法——研究构造中原生叠加晕的方法，不但强化了盲矿预测信息，进一步提高了找盲矿效果，而且大大减少了采样数量及分析量。

2.5 研究和建立了金矿床包裹体气晕、离子晕及其叠加晕的理想模型

20 世纪 90 年代中期，在参加国家攻关项目“90050—10”的课题研究中，李惠、王支农等系统研究了金矿床的离子晕和气晕的特征及其轴(垂)向分带性，根据金矿成矿晕多期多阶段叠加的特点和金矿床气晕和离子晕的分带规律的研究成果，建立了金矿床包裹体气晕、离子晕及其叠加晕的理想模型，得出了应用包裹体地球化学找金的指示参数及其指示意义，总结出了预测盲矿和判别金矿剥蚀程度的包裹体地球化学标志，开拓出了采用包裹体地球化学找金方法技术，应用模型预测取得了好的效果。

3 金矿床构造叠加晕的研究思路、内容及方法

3.1 研究思路、技术关键

研究思路：密切结合热液金矿床成矿理论，以金矿受构造控制，构造活动有脉动性，金矿成矿成晕具有时间上的多期多阶段叠加和在构造空间上有不同形式的叠加结构为指导思想。据此，不仅研究矿床和不同成矿阶段的元素组合、不同成矿阶段形成矿体(晕)的轴(垂)向分带，而且还要研究不同期次成矿形成矿体及其原生晕在空间上的多种叠

黄金地质研究所
信息室 提供

加结构（同位叠加、部分叠加或只有前、尾晕叠加等），从已知到未知，建立典型金矿床的构造叠加晕模式，确定盲矿的预测标志，用模式和标志对深部进行盲矿预测。

技术关键：1）研究和发现典型金矿床每次成矿形成矿体（晕）轴（垂）向分带规律；2）不同阶段成矿形成矿体（晕）在空间上的叠加结构。

3.2 典型金矿床（体）的构造叠加晕模型研究内容及方法

3.2.1 *成矿的地质背景* 区域和矿区：地层、构造、岩浆岩与成矿的关系及矿床成因。重点是研究控矿因素、成矿规律，特别是矿床中矿体在构造中赋存规律（等距性、无矿间隔），侧伏规律——叠瓦式分布等规律，构造中有利成矿部位（是由陡变缓——逆断层，还是由缓变陡——正断层），等等，为应用构造叠加晕对已知矿体深部盲矿定位预测提供依据。

3.2.2 *成矿的地球化学背景*

1）研究与成矿有关地层、岩浆岩中成矿及伴生元素背景含量特征，不仅为确定矿源层或物质来源提供依据，而重要的是为叠加晕研究提供确定异常下限的依据，为计算矿床（体）元素衬度提供背景数据。采样要求：采集地层、岩浆岩有代表性的主要类型岩石，要求新鲜、未风化、未受蚀变及矿化叠加。

2）构造地球化学特征，不同期次构造中元素浓度及组合特征，是评价区域不同构造成矿成晕特征的依据。

3.2.3 *矿床地球化学特征*

1）矿床的元素组合、不同矿体元素组合的确定标准：计算矿床（体）［w（Au）$\geqslant 3\times10^{-6}$］各元素的几何平均值，以各元素的衬度值［几何平均值/矿区背景值≥2（或3，4，5）］为标准，确定元素矿床（体）元素组合。

2）指示元素在成矿-蚀变过程中，即不同蚀变带的带入、带出、活化转移特点（图、表）。采集不同蚀变带样品，进行多元素分析，与背景含量对比，以确定各蚀变带元素的带入带出。

3）指示元素在矿物中的分配，确定各指示元素的富集矿物和载体矿物（图、表），根据各种矿物含量比例及单矿物微量元素分析结果概括得出。

4）不同成矿阶段元素组合特征。根据野外观察矿脉穿插关系、矿物组合，结合镜下矿物交代关系、生成顺序等研究，确定成矿阶段，若前人已划分了成矿阶段则需核实。不同阶段形成矿体元素组合的研究有2种方法。

第一，对不同阶段形成矿体分别采样，多元素分析，以衬度值≥2（或3，4，5）为标准确定元素矿床不同成矿阶段的元素组合；第二，根据不同阶段矿物组合、各种单矿物成分及其微量元素含量特征，可初步了解各阶段最特征的指示元素含量特征：金矿成矿一般分为4个成矿阶段，第Ⅰ阶段只能形成金矿化，含金通常$\leqslant 0.5\times10^{-6}$，Ag，Pb，Zn含量很低；第Ⅱ阶段为主成矿阶段，Au含量≥$2\times10^{-6}\sim3\times10^{-6}$，Ag，Cu，Pb，Zn含量相对较高；第Ⅲ阶段为多金属硫化物主成矿阶段，w（Au）$\geqslant 3\times10^{-6}$，以含Ag，Cu，Pb，Zn含量相对最高；第Ⅳ为碳酸盐阶段，只能形成弱金矿化，w（Au）$\leqslant 0.5\times10^{-6}$，以含Mn高为特点。以此为标准，据样品分析结果挑出不同成矿阶段的样品，计算各元素几何平均值，以衬度值≥2（或3，4，5）为标准确定矿床不同成矿阶段的元素组合。

3.2.4 *矿床叠加晕轴（垂）向分带特征*

1）计算原生晕轴（垂）向分带序列，计算结果与总结出的中国金矿床原生晕综合分带序列对比，是否属于正常分带，据此分析其叠加结构。

2）矿床地球化学参数轴向变化特点，若发生转折，可据其转折分析不同阶段的叠加结构。

3）不同标高单矿物微量元素或参数轴向变化规律，若发生转折，可据其转折分析不同阶段的叠加结构。

4）不同标高石英包裹体气相、液相成分或参数轴向变化规律，若发生转折，可据其转折分析不同阶段的叠加结构。

3.2.5 *矿床（体）构造叠加晕特征研究*

采样布置：对所研究和需进行深部预测的每个矿床（体）或矿脉从地表露头、探槽或浅井、深部坑道、钻孔要系统布置采样，以便研究矿体（晕）在空间的轴向构造叠加晕变化特点。

采样方法：在构造或蚀变带内选择有热液叠加部位（强蚀变或强矿化部位）的一定范围内多点采组合样。在走向上采样点距10～15 m。若构造蚀变带厚度大时，在构造蚀变带厚度方向上按3～4 m采1个组合样品。

前、尾晕特征指示元素的确定：根据叠加晕剖面图、平面图及垂直纵投影图中已知矿体前缘、尾

黄金地质研究所
信息室 提供

晕各指示元素浓度，确定单阶段形成矿体的前、尾晕特征指示元素。

叠加晕的叠加结构确定：根据前、尾晕特征指示元素浓度在轴向上分布特点，分析叠加晕的叠加结构。

3.2.6 盲矿预测的构造叠加晕模型（找矿模型）

包括构造叠加晕模式（图示）和盲矿预测标志。

1）构造叠加晕模式用图表示并有文字说明。图中要展示出单一阶段形成矿体原生晕轴（垂）向分带（前缘晕、近矿晕和尾晕），突出不同成矿阶段形成原生晕在空间上的叠加结构，特别要突出串珠状矿体、已知矿体深部盲矿或第二富集带盲矿体前缘晕与上部已知矿体尾晕的叠加共存特点。

2）预测盲矿的构造叠加晕标志，根据模式确定具体预测盲矿的构造叠加晕标志和建立定量预测的数学模型。

3.2.7 在矿区深部及外围进行盲矿预测，提出盲矿具体靶位（赋存部位）

3.2.8 验证后需进一步跟踪研究总结、提高

摘自《金矿区深部盲矿预测的构造叠加晕模型及找矿效果》

有关文献

[1] И·Ю·戈罗马科夫斯基，В·А·斯捷潘诺夫．阿穆尔河流域“十月”地区碳酸盐岩中金的成矿作用［J］．贵金属地质，2000，9（3）：188-192．

[2] 安国英，张汉成，徐善法，等．青海龙尾沟铜金矿床含矿斑岩脉地质与地球化学特征及研究意义［J］．物探与化探，2005，29（6）：497-502．

[3] 敖颖锋，金成洙，刘德军，等．辽宁省柏杖子金矿床地球化学特征［J］．有色矿冶，2005，21（5）：4-6．

[4] 白朝军，陈瑞保，王跃峰，等．西藏班公湖—怒江板块结合带岩金遥感找矿模式［J］．国土资源遥感，2003，（2）：15-18．

[5] 鲍振襄，万榕江，鲍珏敏．湖南前寒武系地层中长英质脉岩与金成矿关系［J］．黄金地质，2002，8（1）：33-39．

[6] 鲍正襄，万榕江，包觉敏．沃溪钨锑金矿床成矿的独特性［J］．湖南冶金，2002，（4）：11-14．

[7] 别风雷，徐九华．平泉县碾子沟—洛金洼金矿床蚀变围岩初步研究［J］．黄金，2000，21（2）：1-5．

[8] 蔡分良，姚铁．西昆仑叶尔羌河上游地区地球化学成矿规律及找矿标志［J］．陕西地质，2004，22（2）：53-69．

[9] 蔡元吉，马承安，蒋永才．金矿床黄铁矿热电性质形成机理实验研究及其找矿应用［J］．火山地质与矿产，1999，20（3）：218-244．

[10] 蔡志勇，邱瑞照，熊小林．西藏西部地区埃达克质侵入岩及铜金找矿意义［J］．大地构造与成矿学，2005，29（4）：491-501．

[11] 曹建劲，梁致荣，刘可星，等．红层风化壳对地气纳米金微粒吸附的模拟实验研究［J］．自然科学进展，2004，14（7）：826-829．

[12] 曹新志，高秋斌，徐伯骏，等．山东招远界河金矿床地球化学元素统计分析特征研究［J］．地质找矿论丛，1999，14（2）：30-31．

[13] 昌万军，高怀忠，张文淮，等．新疆三个泉地区石英脉含金性评价研究［J］．地质科技情报，2000，19（2）：51-58．

[14] 常向阳，朱炳泉，俞受鋆，等．海南抱板金矿铅同位素化探评价［J］．地球化学，2002，31（3）：259-265．

[15] 陈柏林，吴淦国，黄仁生，等．肖板金矿床构造控矿特征与成因探讨［J］．贵金属地质，2000，9（1）：1-6．

[16] 陈秉祥．竹子沟金矿地质特征、找矿模式及资源潜力分析［J］．甘肃地质，2008，17（1）：54-59．

[17] 陈春香，胡光道，付水兴．东天山康古尔塔格地区遥感信息与矿化关系［J］．桂林工学院学报，2005，25（1）：23-25．

[18] 陈春香，胡光道，付水兴．基于遗传算法的石英滩金矿区域地球化学研究［J］．地质与勘探，2006，42（6）：77-80．

[19] 陈大经，杨明寿．赣西卡林型金矿找矿评价标志及找矿模式［J］．矿产与地质，2001，15（3）：68-75．

[20] 陈福，林森，张权．戈壁景观区金矿化探普

黄金地质研究所
信息室 提供

查找矿模式［J］. 黄金地质，2002，8（2）：17-20.

［21］陈刚. 新疆梧桐沟铜矿床成矿特征及找矿标志探讨［J］. 资源环境与工程，2009，23（3）：245-253.

［22］陈金标. 福建安村金矿地质找矿的再认识［J］. 地质找矿论丛，2005，20（增）：53-57.

［23］陈康林，郑明华，吕新彪. 川西北哲波山金矿床地球化学特征及找矿标志［J］. 成都理工学院学报，2002，29（3）：246-251.

［24］陈满，梁海军，王献忠，等. 黑龙江省大兴安岭富林地区金地球化学找矿模型［J］. 黄金科学技术，2007，15（6）：1-5.

［25］陈懋弘，邓杏彬，周健华. 广西桂东某地硅化破碎带型金矿的发现及意义［J］. 广西地质，1999，12（3）：33-35.

［26］陈少强，宋利好，姚敬金，等. 可视化技术在物化探找矿中的应用及前景［J］. 物探与化探，2002，26（1）：60-63.

［27］陈守余，胡光道，周宗桂. 陕西勉略宁地区致矿地质异常场结构及找矿预测［J］. 地球科学——中国地质大学学报，1999，24（5）：472-475.

［28］陈守余，张均. 蚀变岩型金矿床地球化学新模型［J］. 地质地球化学，1999，27（1）：1-5.

［29］陈树民. 青海省果洛龙洼金异常区成矿特征及找矿方向［J］. 地质与资源，2002，11（2）：83-87.

［30］陈旺，陈树民，杨晓斌，等. 青海东昆仑造山带沟里地区金矿找矿前景［J］. 矿产与地质，2003，17（增）：386-388.

［31］陈伟军，刘红涛，刘建明，等. 隐伏矿床定位预测常用的综合物化探方法［J］. 有色矿冶，2008，24（2）：2-7.

［32］陈伟民，金浚，丁汝福. 森林沼泽景观区中大比例尺化探找矿工作方法的研究——记大梁金矿的发现［J］. 矿产与地质，2005，19（6）：665-668.

［33］陈希泉，罗先熔，文雪琴. 内蒙古额尔古纳虎拉林金矿区金属元素活动态测量法找矿试验［J］. 矿产与地质，2006，20（4～5）：475-478.

［34］陈永清，夏庆霖. 金属矿产勘查技术发展现状与思考［J］. 地球物理学进展，2002，17（3）：540-550.

［35］陈远荣，邵世才，徐庆鸿. 马鞍桥金矿的有机烃气结合原生晕测量找矿预测［J］. 物探与化探，2003，27（6）：465-468.

［36］陈志军，成秋明，陈建国. 利用样本排序方法比较化探异常识别模型的效果［J］. 地球科学——中国地质大学学报，2009，34（2）：353-364.

［37］程青. 八宝山金银矿床原生晕地球化学异常特征与找矿［J］. 西部探矿工程，2009，（增）：86-88.

［38］储国正，王训诚，周育才，等. 安徽铜陵地区铜金矿化关系及其成因初探［J］. 贵金属地质，2000，9（2）：73-77.

［39］丛培章，李守生，王慧，等. 界面成矿初探——以招远金矿集中区典型金矿床为例［J］. 黄金，2002，23（12）：1-6.

［40］崔来运，李世华，丁汉铎，等. 嵩县小南沟金矿床地球化学异常模式［J］. 物探与化探，2005，29（4）：312-315.

［41］崔来运. 河南庙岭—小南沟—赵岭构造蚀变岩型金成矿带地质地球化学模式［J］. 物探与化探，2006，30（6）：505-508.

［42］崔来运. 河南赵岭构造蚀变岩型金矿床微量元素地球化学特征［J］. 地质与勘探，2005，41（2）：30-34.

［43］崔敏，刘志宏，吴国学，等. 黑龙江省乌拉嘎金矿外围土壤地球化学找矿信息评价［J］. 世界地质，2006，26（2）：190-198.

［44］崔银亮，晏建国，陈贤胜. 滇西北衙金矿床找矿标志和找矿模式研究［J］. 黄金，2003，24（7）：7-10.

［45］代军治，李绪俊，殷茜，等. 山东平度旧店金矿床1号脉深部成矿远景评价［J］. 黄金，2004，25（12）：10-13.

［46］单承恒. 地球化学勘查在吉林前山金矿发现中的作用［J］. 云南地质，2006，25（4）：389-390.

［47］党宽太，郭卫东. 西成矿田小东沟金矿床地球化学特征及外围找矿前景分析［J］. 甘肃冶金，2003，25（3）：10-13.

［48］邓洪涛. 东杜斯泰金铜矿成矿构造地球化学障及成矿规律［J］. 新疆地质，2001，19（1）：75.

黄金地质研究所
信息室 提供

[49] 邓建华，周遗军，董刚，等．陕川丁家林—太阳坪金矿带的磁性研究 [J]．黄金地质，2003，9 (3)：60-64．
[50] 邓军，杨立强，孙忠实，等．矿源系统地质-地球化学例析 [J]．现代地质，2000，14 (2)：165-172．
[51] 邓振球，刘拓，庄道泽，等．新疆勘查地球化学的回顾和展望 [J]．新疆地质，2001，19 (3)：161-173．
[52] 丁汝福，王京彬，蔡新平，等．成矿作用研究结合综合方法技术预测隐伏金矿 [J]．矿产与地质，2003，17 (6)：669-672．
[53] 丁书宏．甘肃省小西弓金矿床深部和外围找矿潜力研究 [J]．地质与勘探，2009，45 (3)：8-9．
[54] 董光贵．黔西南塘新寨金矿床地质特征及找矿潜力分析 [J]．矿产与地质，2007，21 (3)：275-277．
[55] 董建乐，左文喆，刘荫椿，等．冀东“长城式”金矿地质特征及成矿预测 [J]．矿产与地质，2002，16 (3)：142-146．
[56] 董彦璞．Au-SiO_2 流体矿源成矿模式及找矿思路 [J]．西部探矿工程，2004，(6)：61-64．
[57] 杜建波，罗先熔，王钟，等．广西高龙金矿地电化学深部找矿研究 [J]．黄金地质，2001，7 (3)：69-73．
[58] 段焕春，郝国强，周琳，等．华北地台西南缘矿床的亲缘性及其找矿意义 [J]．现代地质，2004，18 (1)：24-31．
[59] 段焕春．山西中条山地区金矿成矿地质条件及找矿远景 [J]．有色金属矿产与勘查，1999，8 (6)：498-503．
[60] 段留安，戚静洁，顿美霞．乳山市中庄金矿区地质特征及找矿方向 [J]．黄金科学技术，2007，15 (6)：24-29．
[61] 范春花，龙灵利，季军良，等．秦岭二台子金矿床地质地球化学再研究 [J]．西北大学学报（自然科学版），2002，32 (1)：69-73．
[62] 方维萱，高珍权，贾润幸．东疆雅西 371-西北坡铜金矿化带下石炭统火山岩地球化学特征与成矿背景 [J]．岩石学报，2006，22 (1)：215-224．
[63] 冯守忠．香炉碗子金矿区次火山岩及其地球化学特征 [J]．贵金属地质，2000，9 (3)：155-159．
[64] 付怀林，曹国斌．新疆白山地区地球化学异常特征及找矿预测 [J]．桂林工学院学报，2001，21 (3)：201-206．
[65] 付怀林，辛厚勤．皖南白际岭地区金的地球化学特征及找矿预测 [J]．桂林工学院学报，2004，24 (1)：14-18．
[66] 付思峰．上宫构造蚀变岩型金矿床地质特征及化探找金经验 [J]．物探与化探，2008，32 (3)：267-269．
[67] 高怀雄，董王仓，侯满堂，等．陕西南部地区固体矿产大型、超大型矿床综合信息预测 [J]．陕西地质，2005，23 (1)：11-22．
[68] 高建国，夏既胜，陈昌勇．滇西富碱斑岩地球化学特征与金（多金属）矿成矿分析 [J]．大地构造与成矿学，2000，24 (增)：44-51．
[69] 高建华，范文玉，张林奎．地球化学快速评价方法在找矿靶区圈定中的应用 [J]．沉积与特提斯地质，2007，27 (4)：7-10．
[70] 高杰，侯满堂，金平，等．地物化综合手段在西昆仑地区矿产资源评价中的应用效果 [J]．陕西地质，2005，23 (1)：79-92．
[71] 高延龙，董帅民，李惠，等．构造叠加晕在河南秦岭金矿区的找矿效果 [J]．黄金科学技术，2003，11 (3)：11-15．
[72] 高灶其，李云，梁黎春．河南省嵩县东湾金矿成矿地质特征及成因分析 [J]．华南地质与矿产，2008，2：31-36．
[73] 高珍权，刘继顺．小秦岭西段驾鹿金矿田矿物地球化学特征及找矿标志 [J]．矿物岩石，2001，21 (2)：78-83．
[74] 高振敏，陶琰，罗泰义，等．地球化学勘查综合方法在潞西金矿找矿中的应用 [J]．地质与勘探，2004，40 (2)：55-58．
[75] 高振敏，陶琰，罗泰义，等．X 荧光测量在云南潞西金矿找矿中的应用 [J]．矿物岩石地球化学通报，2000，19 (4)：378-380．
[76] 葛剑，侯新生，郝俊胜，等．云南某金矿金与伴生元素的某些特征 [J]．广东微量元素科学，2007，14 (12)：57-62．
[77] 耿文辉，谢文清，陈远荣，等．福建双旗山金矿床金矿化及有机地球化学特征 [J]．矿产与地质，2004，18 (2)：152-156．
[78] 弓小平，杨宗让，李进学，等．萨尔布拉克—带岩浆岩体的金成矿有利度评价 [J]．西

黄金地质研究所
信息室 提供

北大学学报（自然科学版），2009，39（1）：121-126.
[79] 弓小平，张晓帆，孙宝生. 新疆富蕴县萨尔布拉克金矿预测区断裂特征及其控矿规律[J]. 新疆大学学报（自然科学版），2009，26（1）：27-32.
[80] 龚美菱. 评价金地球化学异常的新方法[J]. 黄金科学技术，2002，10（1）：27-32.
[81] 苟律德，朱从龙，王润堂，等. 甘肃省康县苏家河地区金找矿前景分析[J]. 甘肃冶金，2006，28（3）：54-55.
[82] 顾金秋. 浙江省勘查地球化学四十年[J]. 地质与勘探，2003，39（6）：10-13.
[83] 顾尚义，毛健全，张启厚. 广西凭祥地区金矿床地质地球化学特征研究[J]. 地质地球化学，2002，30（2）：15-18.
[84] 顾雪祥，董树义，王银宏，等. 不整合面控制内生金属成矿的新实例：山东沂南金铜铁矿床[J]. 现代地质，2008，22（2）：151-161.
[85] 顾瑛，詹发余，易平乾，等. 青海南祁连成矿带北缘东段金成矿环境与找矿前景分析——以刚察县纳耳扎地区为例[J]. 西北地质，2007，40（4）：27-35.
[86] 关键. 吉林通化南岔式金矿地质-地球物理-地球化学综合找矿模型[J]. 中国地质，2001，28（12）：22-42.
[87] 郭宏瑞. 甘肃省北山地区化探异常特征及找矿前景分析[J]. 甘肃冶金，2008，30（4）：11-16.
[88] 郭健，张德义. 秦岭造山带金矿成矿预测[J]. 黄金科学技术，2002，10（1）：6-10.
[89] 郭正林，郭旭吉，王书来，等. 阿尔泰南缘麦兹泥盆纪火山-沉积盆地成矿特点及其铅锌、铁、金找矿潜力分析[J]. 矿床地质，2007，26（1）：128-138.
[90] 韩世清，张明海，魏连喜. 老柞山金矿床地球化学特征[J]. 黄金，2001，22（9）：11-15.
[91] 何进忠，金治鹏，芦青山. 党河南山金地球化学场研究[J]. 西北地质，2005，38（3）：54-60.
[92] 何秀兰，姬文胜，孙炳胜. 西天山阿勒坦达坂金锑矿矿床地质特征及地球化学找矿模式[J]. 新疆地质，2002，20（3）：287-288.
[93] 和志军，张二法，郑镝，等. 豫西马超营断裂带中段成矿元素地球化学特征及找矿方向[J]. 地质与勘探，2003，39（6）：29-32.
[94] 胡恭任，于瑞莲，陈培荣，等. 柯树背岩体铀金成矿远景分析[J]. 地质地球化学，2001，29（4）：1-6.
[95] 胡鸿飞，戴霜，唐玉虎，等. 华北板块北缘西段裂谷系金矿床成矿特征及成因探讨[J]. 地质与勘探，2008，44（1）：9-14.
[96] 胡金，李波，杨艳锋. 地理信息系统在云南元谋尹地金矿化探找矿预测中的应用[J]. 有色金属，2009，61（2）：110-113.
[97] 胡朋，赫英，张义，等. 浅成低温热液金矿床研究进展[J]. 黄金地质，2004，10（1）：48-54.
[98] 胡晓隆，杨礼敬，马佩文，等. 西秦岭东部地区区域成矿带划分及找金方向[J]. 黄金，2003，24（10）：10-13.
[99] 胡晓隆，张仲礼，杨礼敬，等. 甘肃省武山县竹子沟金矿地质特征及找矿模型探讨[J]. 黄金，2004，25（2）：4-7.
[100] 胡云沪，黄永平，尹意求. 江西岿美山金矿床地质地球化学特征[J]. 地质与勘探，2001，37（3）：7-10.
[101] 胡云沪，罗先熔，王桂琴，等. 厚层覆盖区综合物化探方法找金试验研究——以广西兴安金石金矿为例[J]. 矿产与地质，2002，16（5）：302-305.
[102] 华曙光，王君宪，刘新会. 化探在金龙山金矿勘查中的应用[J]. 地质找矿论丛，2006，21（增）：141-148.
[103] 黄春鹏，刘庆生，张克尧. 福建紫金山铜金矿田地球物理地球化学特征及找矿模型[J]. 福建地质，1999，18（4）：189-206.
[104] 黄栋林. 河台金矿床成矿地球化学研究[J]. 黄金科学技术，2001，9（6）：15-21.
[105] 黄鹤年. 福建省岭头坪矿区金矿成矿条件及找矿方向探讨[J]. 中国煤田地质，2005，17（增）：59-61.
[106] 黄培. 黔东地区金矿找矿前景初步分析[J]. 贵州地质，2003，20（3）：132-134.
[107] 黄仁荣，何长友. 磺山金矿找矿模式及应用[J]. 浙江地质，2001，17（2）：27-32.
[108] 黄修保，左全狮. 岭下湾构造蚀变岩型金矿床成矿地质特征[J]. 江西地质，2001，15

黄金地质研究所
信息室 提供

(1)：29-34.

[109] 黄永平，朱谷昌，孙淑秋，等. 阿尔金采石沟金铜多金属矿床地质地球化学特征及找矿前景分析 [J]. 矿产与地质，2003，17 (1)：6-10.

[110] 黄云波，张洪武. 吉林金厂沟金矿石英的标型特征及应用 [J]. 黄金地质，2002，8 (4)：56-60.

[111] 黄增芳，贾利亚. 内蒙古多目标化探工作现状发展、前景与对策 [J]. 华南地质与矿产，2002，(4)：65-69.

[112] 黄照祥，刘晓慧. 江西大石笏微细粒浸染状金矿床成矿地球化学异常及找矿模式 [J]. 地质调查与研究，2007，30 (4)：284-288.

[113] 黄照祥，刘晓慧. 江西吴村微细粒型金矿床地球化学找矿模式 [J]. 资源与产业，2007，9 (6)：45-48.

[114] 吉德胜，张志伟. 辽西—冀东金矿地球化学特征及找矿方向 [J]. 矿产与地质，2001，15 (4)：256-260.

[115] 纪宏金，孙丰月，曾道明，等. 对应聚类分析与盲矿体的地球化学预测 [J]. 物探化探计算技术，2007，29 (2)：138-142.

[116] 贾大成，胡瑞忠，裴春雷. 利用成矿系列对延边金苍地区金矿的成矿预测 [J]. 地质地球化学，2003，31 (1)：42-46.

[117] 贾大成，胡瑞忠. 金矿勘查中铊的找矿意义 [J]. 地质与勘探，2001，37 (6)：1-4.

[118] 贾广宁，金成洙. 辽宁柏杖子岩体特征及找矿标志 [J]. 有色矿冶，2006，22 (6)：1-3.

[119] 贾国相，陈远荣，张美娣. 土壤二氧化碳方法找矿效果与前景 [J]. 南方国土资源，2003，(8)：36-40.

[120] 贾国志，赵春荣，赵淑华，等. 内蒙古大青山后石花金矿床深部及外围预测 [J]. 黄金地质，1999，5 (4)：12-20.

[121] 贾伟光，陈守武，韩仲文. 内蒙古东伙房金矿大比例尺成矿预测 [J]. 贵金属地质，1999，8 (3)：155-162.

[122] 简新玲. 河南省桐柏县银洞坡金矿床地质地球化学特征 [J]. 地质与勘探，2004，40 (2)：41-45.

[123] 姜海平，陆志平，赵志龙，等. 甘肃寨上金矿区地球物理和地球化学特征 [J]. 黄金地质，2003，9 (2)：3-7.

[124] 姜瑛，刘先利，刘志远. 青城子矿田石英脉-硅质岩与金银成矿关系讨论 [J]. 辽宁地质，1999，16 (3)：194-202.

[125] 蒋建强，何孝良，姚晓华，等. 围山城金银多金属矿带成矿作用的地球化学特征及找矿标志 [J]. 物探与化探，2005，29 (2)：122-127.

[126] 蒋鹏飞，郭恩实，孟庆华，等. 吉林椅山成矿区物探异常特征及找矿效果 [J]. 吉林地质，2004，39 (3)：36-52.

[127] 焦保权，杨少平，孙忠军，等. 水地球化学测量在森林沼泽景观区区域化探异常追踪中的作用研究 [J]. 地质与勘探，2009，45 (1)：59-64.

[128] 金立新. 四川玛孜措 Cu-Au 异常特征及找矿前景 [J]. 四川地质学报，2001，21 (3)：147-149.

[129] 金中国，陈兴龙，赵俭文. 贞丰白层地区地球化学特征及找矿潜力分析 [J]. 矿产与地质，2004，18 (1)：78-81.

[130] 靳平. 甘肃南部石鸡坝地区金地球化学特征及找矿意义 [J]. 物探与化探，2008，32 (4)：354-357.

[131] 康如华. 湘中高家坳金矿床地质地球化学找矿模型 [J]. 黄金地质，2001，7 (3)：59-63.

[132] 寇玉才. 区域地球化学调查中注意弱异常查证——以骆驼河金异常查证为例 [J]. 地质地球化学，2001，3：175-178.

[133] 匡文龙，古德生，刘新华. 沃溪金、锑、钨矿床成矿地质特征及找矿前景分析 [J]. 黄金，2004，25 (6)：10-15.

[134] 李长城，曹志强，陈春娥，等. 九对沟金矿物化探特征及找矿方向 [J]. 地质找矿论丛，2003，18 (3)：203-207.

[135] 李法岭，郭铁朋. 桐柏地区歇马岭金异常评价方法及效果 [J]. 物探与化探，2007，31 (1)：14-18.

[136] 李凤军. 云南省广南底圩金矿床地质特征及找矿标志 [J]. 吉林地质，2009，28 (1)：36-39.

[137] 李福让，侯俊富，杨弘. 陕西石泉县羊坪湾金矿床地质-地球化学特征及金的富集规律 [J]. 中国地质，2009，36 (1)：174-183.

黄金地质研究所
信息室 提供

[138] 李光明，刘铁兵，曾庆栋．胶东蓬家夼金矿找矿预测的方法组合［J］．矿物岩石地球化学通报，2000，19（4）：386-388．
[139] 李国宽．刘屯金矿床Ⅰ，Ⅱ地段深部找矿预测［J］．铀矿地质，2000，16（1）：37-41．
[140] 李国廉，孙肇祥，单承恒．勘查地球化学在吉林省溜河地区地质找矿中的应用［J］．矿产与地质，2005，19（6）：629-633．
[141] 李红阳，李英杰，袁万明，等．甘肃大水闪长岩型金矿床的矿物地球化学特征［J］．地质与勘探，2007，43（4）：41-45．
[142] 李怀勇，张占洋，赵庆国，等．水泉沟金矿田地质地球化学特征研究［J］．黄金，2004，24（12）：14-18．
[143] 李会荀，佟俊梅，徐春梅．山东省莱州市新立金矿床成矿规律研究［J］．资源与产业，2007，9（5）：45-51．
[144] 李建设，吴礼彬，金世恒．蚌埠隆起区金矿控矿条件及找矿信息标志研究［J］．安徽地质，2002，12（1）：49-55．
[145] 李景朝，刘少华，严光生．大型超大型金属矿床综合信息成矿预测方法研究［J］．地球物理学进展，2002，17（4）：736-744．
[146] 李连涛，张兴超，史亮．光山凉亭—薄刀岭银金矿床地质地球化学特征［J］．华南地质与矿产，2008，3：7-15．
[147] 李琳业，俞长捷，戴梅芳，等．青海省大场金矿床地质特征及找矿远景分析［J］．青海大学学报（自然科学版），2009，27（1）：11-19．
[148] 李潘科，付法凯，汪江河，等．河南省栾川县元岭金矿中深部找矿方向探讨［J］．地质调查与研究，2008，31（2）：113-118．
[149] 李强．新疆石英滩金矿岩石地球化学异常评价与找矿［J］．黄金，2009，30（4）：7-12．
[150] 李少众．东坪金矿床地质-地球化学找矿模式及找矿预测［J］．地质与勘探，2002，38（1）：27-30．
[151] 李生元，刘邦涛．晋东北次火山岩型银金矿床勘查程序和找矿要点［J］．中国地质，2001，28（9）：32-36．
[152] 李胜荣，肖润，周肃，等．西藏改则地区金成矿作用［J］．矿床地质，2005，24（1）：1-14．
[153] 李四娃，杨补旺，关爱凤．化探异常查证方法组合的应用——以达赖沟金矿为例［J］．内蒙古地质，2002，（1）：16-19．
[154] 李通国，李文胜，刘建宏，等．矿床地球化学预测方法——以甘肃省地球化学块体为例［J］．中国地质，2003，30（2）：192-198．
[155] 李通国，朱永新，李文胜，等．深穿透地球化学方法找金——以甘南草甸覆盖区为例［J］．地质与勘探，2005，41（1）：51-55．
[156] 李维杰．五台山—阻山一带金银矿床铅同位素地球化学特征［J］．太原理工大学学报，2004，35（6）：707-709．
[157] 李晓敏，周喜文，李宪洲．老柞山金矿床找矿标志与成矿远景预测［J］．矿物岩石，2002，22（2）：25-29．
[158] 李玉芹，苏士星，沈恒丽，等．豫西唐山村金矿地球化学异常特征及找矿方向［J］．矿产与地质，2005，19（2）：194-197．
[159] 李月隆，雷迅．化探在果洛龙洼金矿找矿中的作用［J］．黄金科学技术，2007，15（4）：51-53．
[160] 李兆麟，翟伟，黄栋林，等．河台金矿床垂深及横向剖面Au及伴生微量元素地球化学特征及矿床深部评价［J］．地球化学，2002，31（5）：473-480．
[161] 李志坚，杨元忠，夏国清．四川省宰乌隆洼金矿地质特征及成矿模式分析［J］．重庆科技学院学报（自然科学版），2007，9（1）：18-20．
[162] 廖启林，戴塔根，刘悟辉，等．新疆西天山金、铜矿地球化学背景探讨及其找矿方向［J］．矿产与地质，1999，13（4）：235-240．
[163] 林春．物化探方法在种桃岭金铜矿区的找矿效果［J］．矿产与地质，2000，14（4）：268-271．
[164] 林森，李杰，东建星，等．甘肃南泉银金矿地球化学异常特征及找矿标志［J］．桂林工学院学报，2002，22（3）：349-353．
[165] 刘崇民，胡树起，姚敬金．七里山金矿山的岩石地球化学异常评价与找矿［J］．物探与化探，2006，30（6）：493-504．
[166] 刘崇民，苏文利，喻劲松．龙王尖金矿地球化学异常特征及找矿标志［J］．有色金属矿产与勘查，1999，8（3）：160-163．

黄金地质研究所
信息室 提供

[167] 刘川勤，陈明，王文勇．黔西南白层地区金矿成矿条件与找矿建议［J］．贵州地质，2006，23（3）：182-186．
[168] 刘桂阁，张秀琴，刘荫椿，等．内蒙古虎拉林金矿床地质地球化学特征［J］．黄金地质，2003，9（3）：55-59．
[169] 刘国范．东秦岭金、银、多金属成矿带成矿规律及找矿标志［J］．地质找矿论丛，2003，18（9）：178-184．
[170] 刘洪川，梁海川，郑宗学．青海采石沟金矿地球化学特征及找矿方向［J］．采矿技术，2005，5（4）：75-77．
[171] 刘洪滔，李家盛，晏建国．“三江”中南段综合信息找矿模型及找矿方向［J］．中国地质，2008，35（1）：101-110．
[172] 刘继顺，高珍权，舒广龙．李坝金矿田构造地球化学特征及其找矿意义［J］．大地构造与成矿学，2001，25（1）：87-49．
[173] 刘金海，蒋敬业．甘南高寒草甸景观区金的表生地球化学特征［J］．矿产与地质，1999，13（6）：354-357．
[174] 刘金友，高池兴，刘淑亮．西涝口金矿区物化特征及控矿条件分析［J］．黄金科学技术，2007，15（5）：24-29．
[175] 刘军，肖荣阁，张汉成．北祁连铜厂沟金矿地球化学特征与找矿标志研究［J］．地质与勘探，2006，42（5）：34-38．
[176] 刘培栋，杨言辰，王秀福，等．辽宁尖山沟金矿床地质特征及成因探讨［J］．黄金，2007，28（8）：14-19．
[177] 刘荣访．河北省灵寿县石湖金矿的构造地球化学特征［J］．北京地质，2001，13（4）：13-19．
[178] 刘少明，母丽娟．用化探方法在黑龙江砂宝斯金矿区找矿的效果［J］．黄金地质，2002，8（2）：44-47．
[179] 刘伟．甘肃西秦岭地区金成矿地质背景及找矿方向［J］．甘肃科技，2008，24（4）：31-33．
[180] 刘晓煌，孙兴丽，徐志清．山东龙口市大磨曲家金矿地质地球化学模型浅析［J］．地质与勘探，2003，39（2）：30-33．
[181] 刘晓煌，张长明，吕国良，等．山东龙口大磨曲家金矿区矿体地球化学模型及深部找矿方向［J］．黄金，2002，23（12）：6-9．
[182] 刘孝忠，刘继顺，潘彤．青海省都兰县果洛龙洼金矿的发现——化探找矿实例［J］．矿产与地质，2006，20（4～5）：484-488．
[183] 刘养雄．北祁连西段熬油沟及卡洼沟一带Au、Pt、Pd异常特征及找矿方向［J］．甘肃地质，2007，16（1～2）：17-22．
[184] 刘玉强，史辉，李军，等．胶莱盆地周边金矿床地质-地球物理-地球化学特征及找矿意义［J］．地球学报，2004，25（6）：593-600．
[185] 刘玉强．胶莱盆地地质解译及金矿床地质-地球物理-地球化学背景［J］．矿产与地质，2003，17（3）：191-197．
[186] 刘玉强．鲁东金矿成矿规律及新的找矿方向［J］．山东地质，1999，15（2）：24-31．
[187] 刘玉潭，殷国鹏，董祥呈．牟平邓格庄金矿地质特征及找矿方向［J］．山东国土资源，2008，24（6）：30-34．
[188] 刘振升．河台金矿成矿地质特征与深部找矿［J］．南方金属，2004，（4）：1-4．
[189] 刘志远，金成洙，王荣湖．江西金山金矿区硅质岩成因及意义［J］．地质与勘探，2005，41（2）：41-45．
[190] 刘志远，徐学纯，田豫才，等．辽东青城子地区喷流-沉积成矿作用与金银多金属矿化的关系［J］．矿床地质，2007，26（5）：563-571．
[191] 刘志远，徐学纯．辽东青城子金银多金属成矿区综合信息找矿模型及找矿远景分析［J］．吉林大学学报（地球科学版），2007，37（3）：437-443．
[192] 刘忠．吉林省东部金仓地区变质地层特征及找矿意义［J］．吉林地质，2001，20（3）：9-17．
[193] 龙灵利，季军良，张复新，等．陕西二台子金矿地球化学特征及其成因［J］．黄金地质，2001，7（3）：47-52．
[194] 卢秋霞，刘显凡，苏文超．微细浸染型金矿深源矿质和流体地球化学示踪研究［J］．贵金属地质，2000，9（2）：97-104．
[195] 路彦明，赵军，陈祥，等．东准噶尔双泉地区韧-脆性剪切带与金矿成矿［J］．新疆地质，2007，25（2）：164-168．
[196] 吕古贤．胶东玲珑-焦家式金矿床矿源岩系（序）列研究［J］．地质地球化学，2001，

黄金地质研究所
信息室 提供

29（3）：140-413.
[197] 吕国安. 成矿区（带）异常评价选择的基本条件研究 [J]. 有色金属矿产与勘查，1999，8（6）：363-367.
[198] 吕军，王建民，王洪波，等. 土壤地球化学测量在三道湾子金矿床的应用 [J]. 物探与化探，2005，29（6）：515-518.
[199] 吕军，岳邦江，王建民，等. 黑河市三道湾子金矿床特征及找矿标志 [J]. 地质与资源，2005，14（4）：256-264.
[200] 罗先熔，陈三明，杜建波，等. 地球电化学勘查法寻找不同埋深隐伏金矿的研究 [J]. 矿物岩石，2002，22（2）：42-46.
[201] 罗先熔，胡云沪，杜建波. 地球电化学勘查法寻找不同埋深隐伏金矿的研究 [J]. 矿物岩石地球化学通报，2000，19（4）：370-372.
[202] 罗应坤，金中国，杨晓飞. 岩寨金矿地质地球化学特征及找矿远景分析 [J]. 有色金属(矿山部分)，2009，61（5）：25-28.
[203] 罗正传. 浙川—西峡地区金矿床控矿因素及找矿方向 [J]. 河南地质，2000，18（1）：10-14.
[204] 罗正春，唐文春，秦兵，等. 四川红原某金矿地质地球化学特征及找矿经验 [J]. 四川地质学报，1999，19（2）：157-159.
[205] 马德云，韩润生. 北衙金矿床构造地球化学特征及靶区优选 [J]. 地质与勘探，2001，37（2）：64-68.
[206] 马东升，Bernd Lehmann. 湘西金矿及其区域马底驿组锑分布的多峰结构——累积概率格纸在金矿成因和找矿中的应用 [J]. 矿物岩石地球化学通报，2000，19（4）：218-220.
[207] 马汉峰，张子敏，蔡根庆，等. 南天山东段金矿化分带特点及远景预测 [J]. 铀矿地质，2002，18（5）：282-286.
[208] 马宏卫，张燕平，李诗言，等. 河南桐柏下黄竹园金矿床地球化学特征研究 [J]. 地质与勘探，2007，43（3）：31-36.
[209] 马宏卫. 河南桐柏老湾金矿综合找矿标志及找矿模型 [J]. 物探与化探，2007，31（3）：211-215.
[210] 马荣刚. 四川盆地北缘铜金成矿特征及找矿前景的初步认识 [J]. 四川地质学报，2002，22（2）：86-89.
[211] 马跃良. 广东省河台金矿生物地球化学特征及遥感找矿意义 [J]. 矿物学报，2000，20（1）：80-86.
[212] 毛大发，刘长生. 藏西南某地金的地球化学异常特征及其找矿预测 [J]. 地质装备，2004，4（4）：287-291.
[213] 毛德宝，钟长汀，牛广华，等. 阿尔金成矿带成矿规律与找矿预测 [J]. 西北地质，2006，39（2）：305-310.
[214] 毛景文，韩春明，王义天，等. 中亚地区南天山大型金矿带的地质特征、成矿模型和勘查准则 [J]. 地质通报，2002，21（12）：858-868.
[215] 蒙轸，康喜逢，杨怀玉. 甘肃省岷县簸箕沟金矿地质特征及成因 [J]. 地质与勘探，2007，43（5）：40-44.
[216] 孟继伟，齐丽娟，陈涛，等. 夹皮沟金矿区控矿因素及找矿方向 [J]. 吉林地质，2004，23（3）：47-52.
[217] 孟伟，尹忠. 内蒙古锡林郭勒金成矿带物化探综合找矿方法研究 [J]. 地质找矿论丛，2004，19（3）：204-208.
[218] 年平国，简新玲，彭翼，等. 桐柏县老湾金矿带地质物化探特征及找矿模型 [J]. 河南地质，1999，17（4）：254-262.
[219] 聂兰仕，程志中，王学求，等. 深穿透地球化学方法在山东大尹格庄金矿区试验研究 [J]. 物探化探计算技术，2007，29（增）：207-210.
[220] 宁志熙. 乌拉斯沟至铁米尔特金水系沉积物地球化学异常特征 [J]. 新疆有色金属，2001，(4)：12-16.
[221] 潘爱芳，马润勇，吴秉钧，等. 内蒙古地区十一站金矿床地球化学特征研究 [J]. 西北大学学报（自然科学版），2003，33（1）：75-78.
[222] 庞振山，徐文超，周奇明，等. 河南省嵩县花山—合峪地区化探异常特征及找矿方向 [J]. 矿产与地质，2004，18（6）：583-586.
[223] 彭方洪，莫新华，贺静，等. 赤湖—土墩地区地球化学找矿效果 [J]. 新疆地质，2001，19（4）：276-280.
[224] 朴寿成，刘树田. 吉林小石人金矿地球化学

黄金地质研究所
信息室 提供

异常特征及成矿预测［J］. 地质与勘探，2003，39（2）：26-29.
［225］朴寿成，张博文，师磊，等. 辽宁小塔子沟金矿床矿脉地球化学特征及找矿标志［J］. 物探与化探，2007，31（2）：120-128.
［226］朴寿成，张博文，于泽新，等. 辽宁小塔子沟金矿床地球化学特征及找矿方向［J］. 吉林大学学报（地球科学版），2007，37（3）：432-436.
［227］祁民，张宝林，宋保昌，等. 河北水晶屯金矿隐伏找矿靶区钻孔岩芯地球化学特征及成矿预测［J］. 黄金科学技术，2004，12（5）：70-74.
［228］祈思敬. 区域成矿学研究现状与发展趋势［J］. 西安工程学院学报，1999，21（1）：44-48.
［229］区洪威. 广西贺州市黄秆冲金矿地质特征［J］. 矿产与地质，2005，19（4）：361-363.
［230］曲少飞. 山东龙口大磨曲家金矿地质及地球物理地球化学特征［J］. 山东国土资源，2008，24（3）：26-30.
［231］曲少飞. 西涝口金矿区物化探特征及找矿方向［J］. 黄金科学技术，2007，15（6）：12-18.
［232］全俊仁. 甘肃礼县金山金矿床地质地球化学找矿模型初探［J］. 甘肃冶金，2005，27（3）：59-61.
［233］任树祥，张崇山. 河北省大河南矿集区地质特征及找矿［J］. 前寒武纪研究进展，2002，25（3～4）：184-189.
［234］任涛，史永升，蔡图，等. 水文地球化学找矿［J］. 科技创新导报，2009，（14）：200.
［235］任天祥，孙忠军，向运川. 念青唐古拉—雅鲁藏布江中段区域地球化学特征及成矿环境［J］. 矿物岩石地球化学通报，2002，21（2）：185-186.
［236］沙德铭，董连慧，毋瑞身，等. 西天山浅成低温金矿容矿火山岩地球化学及成矿环境初探［J］. 地质与资源，2003，12（4）：206-214.
［237］邵军，宗贵虎，张炯飞，等. 内蒙古西日子—八道卡地区岩金成矿特征［J］. 地质与资源，2003，12（2）：78-84.
［238］沈保丰，李俊建，翟安民，等. 冀东冀西与岩浆隐爆作用有关的绿岩带再生型金矿床特征［J］. 前寒武纪研究进展，2002，25（1）：1-10.
［239］沈远超，刘铁兵，曾庆栋，等. 胶东地区层间滑动角砾岩型金矿床成矿动力学研究及大型-超大型矿床预测［J］. 中国科学院院刊，2002，（3）：189-191.
［240］沈远超，杨金中，李慎之. 生物地球化学方法与金矿找矿——以新疆西准噶尔安齐成矿断裂带为例［J］. 地质科技情报，1999，18（3）：55-59.
［241］沈远超，曾庆栋，刘铁兵，等. 隐伏金矿定位预测［J］. 地质与勘探，2001，37（1）：1-6.
［242］施俊法，吴传璧. 巨型矿床勘查新战略——信息找矿［J］. 矿床地质，2000，19（1）：33-38.
［243］石天成，吴蝉，张占玉. 刍议纳赤台金矿成矿规律及找矿方向［J］. 青海科技，2007，（1）：29-32.
［244］史长义，赵永平，刘莉. 矿产资源地球化学评价和预测的几个问题［J］. 地质与勘探，2003，39（6）：14-17.
［245］司荣军，顾雪祥，高鹏，等. 铜石金矿田金元素来源新认识［J］. 地质与勘探，2004，40（6）：16-19.
［246］司雪峰，崔银亮，穆新河. 甘肃北山中带变质碎屑岩型金矿地质特征及找矿前景［J］. 地质与勘探，2001，37（6）：5-8.
［247］司雪峰，周继强，张玉成，等. 甘肃北山柳园金矿化集中区金矿床类型及典型金矿床简介［J］. 西北地质，2000，33（1）：13-26.
［248］宋慈安，雷良奇，杨启军，等. 甘肃北山金、铜矿床红沙的植物地球化学特征及其找矿意义［J］. 地质与勘探，2001，37（3）：45-49.
［249］宋贺民，张文钊，徐述平. 胶东大磨曲家金矿地球化学异常模式及找矿意义［J］. 黄金科学技术，2006，14（6）：14-23.
［250］孙宝德. 德庆县九竖迳—棠下金矿区地质特征及找矿前景探讨［J］. 西部探矿工程，2008，（2）：93-95.
［251］孙宝田. 对夹皮沟金矿集中区发现新的大型金矿床的思考［J］. 矿产与地质，2003，17（6）：683-686.

黄金地质研究所
信息室 提供

[252] 孙超．香炉碗子和烟囱桥子金矿床地物化综合找矿标志研究［J］．黄金，1999，20（10）：1-7．
[253] 孙士军，潘文卯．贵州八客金矿富金包成因［J］．黄金地质，2002，8（2）：20-25．
[254] 孙岳，雷时斌，卿敏，等．吉林省海沟金矿断裂地球化学预测研究［J］．地质与勘探，2002，38（3）：23-27．
[255] 孙振佐，武际春，哈本海，等．灵山沟金矿的矿床地质特征及找矿方向［J］．黄金科学技术，2003，11（5）：16-22．
[256] 谭建湘，宛克勇．湖南水口山铅锌金银矿床地球化学特征［J］．地质与勘探，2008，44（3）：22-27．
[257] 谭秋明，刘施民，杨志甫．鄂南植物地球化学找金试验［J］．湖北地矿，1999，13（2）：24-29．
[258] 唐金荣，崔熙琳，施俊法，等．非传统化探方法研究的新进展［J］．地质通报，2009，28（2～3）：232-244．
[259] 滕家欣，王庆明．阿尔泰成矿带主要矿床类型及勘查选区［J］．西北地质，2006，39（2）：17-33．
[260] 万大理．江西金矿地球化学勘查模式［J］．矿产与地质，2001，15（5）：472-479．
[261] 万大理．江西浯村微细粒型金矿床地球化学勘查模式［J］．物探与化探，2003，27（2）：110-112．
[262] 万守全．河南省桐柏县围山城金银成矿带找矿靶区定位分析［J］．地质与勘探，2006，42（5）：39-45．
[263] 汪明启，任天祥，庞庆恒，等．滇东南岩溶作用丘陵区的金表生分散特征及其区域化探异常成因［J］．地质地球化学，2001，29（3）：117-123．
[264] 王睿．从江翁浪地区蚀变岩型金矿微量元素地球化学特征［J］．地球学报，2009，30（1）：95-102．
[265] 王波华，邬宗玲，张怀东，等．安徽省金寨银沙地区中生代岩浆岩地质地球化学特征及其找矿意义［J］．安徽地质，2007，17（4）：244-248．
[266] 王灿章，钱建平．广西高龙金矿鸡公岩矿段构造地球化学找矿研究［J］．矿产与地质，2003，17（3）：237-241．
[267] 王长明，邓军，张寿庭，等．河南崔香洼金矿原生晕地球化学特征和深部找矿预测［J］．地质与勘探，2007，43（1）：58-63．
[268] 王超，孙华山，曹新志，等．山东招远上庄金矿原生晕特征及深部成矿预测［J］．金属矿山，2006，（11）：54-75．
[269] 王存贤，杨文华，黄占起．内蒙古陈家杖子金矿地质特征及资源潜力探讨［J］．地质与资源，2003，12（1）：25-31．
[270] 王富春，王贵仁．1∶2.5万水系沉积物测量在柴达木周边地区金矿找矿工作中的应用及其效果［J］．青海地质，2001，（增）：36-40．
[271] 王国敏，张振生，王建明，等．上上河金矿床地球物理·地球化学特征及找矿效果［J］．物探与化探，2004，28（6）：471-476．
[272] 王海金，裴尧．吉林省延边金苍地区金矿成矿预测［J］．吉林地质，2008，27（1）：15-18．
[273] 王海金．五凤—小西南岔地区中生代火山岩型金多金属矿床成矿地质条件及找矿方向［J］．吉林地质，2006，25（4）：1-13．
[274] 王洪黎，李艳军，徐遂勤，等．浅成低温热液型金矿床若干问题的最新研究进展［J］．黄金，2009，30（7）：9-13．
[275] 王慧，丛培章．曹家洼金矿小尹格庄矿区综合信息研究与成矿靶区预测［J］．黄金，2004，25（11）：18-20．
[276] 王建新，臧兴运，赵利刚，等．二密铜金矿控矿条件及靶区（矿体）预测［J］．黄金，2008，29（2）：9-13．
[277] 王军年，张兵，白新兰，等．化探方法在查汗萨拉金矿发现中的应用［J］．资源环境与工程，2009，23（3）：300-303．
[278] 王君亭，姜相洪，曾凡玉．莱州市新立金矿床地球化学特征浅析［J］．山东国土资源，2005，21（6～7）：67-68．
[279] 王克军．甘肃西秦岭甘加—八松地区金矿地球化学特征及找矿标志［J］．甘肃冶金，2004，26（2）：58-61．
[280] 王克军．李坝金矿外围水系沉积物地球化学异常特征及找矿方向浅析［J］．黄金科学技术，2004，12（4）：1-3．
[281] 王来军．河西金矿综合找矿信息研究［J］．

黄金地质研究所
信息室 提供

地质与勘探，2001，37（2）：47-57．
[282] 王立全，侯增谦，莫宣学，等．金沙江造山带碰撞后地壳伸展背景——火山成因块状硫化物矿床的重要成矿环境［J］．地质学报，2002，76（4）：541-556．
[283] 王利文，路耀祖．龙特金锑矿成矿条件及成矿远景分析［J］．西部探矿工程，2008，（1）：123-126．
[284] 王龙振，赵海．对胶东金矿床寻找隐伏矿体的启示——以新城金矿找矿实践为例［J］．黄金科学技术，2008，16（4）：25-28．
[285] 王仁宗．四川盐源马丝螺地区1∶5万水系沉积物测量成果及金矿找矿方向［J］．四川地质学报，2006，26（4）：218-222．
[286] 王瑞廷．秦岭造山带泥盆系（陕西段）主要金矿床地球物理地球化学异常特征及找矿标志［J］．物探与化探，1999，23（1）：14-20．
[287] 王声喜，苏永东，赵永利，等．辽宁抚顺地区金矿成矿地质条件及找矿方向探讨［J］．矿物岩石，2008，28（1）：39-47．
[288] 王随中，党宽太．北祁连托莱山地区二过陇金矿地质地球化学特征及找矿标志［J］．甘肃冶金，2004，26（2）：62-64．
[289] 王涛．安徽滁州地区金矿化地质特征及找矿前景分析［J］．黄金地质，2001，7（4）：41-44．
[290] 王涛．地球化学勘查综合定量评价在赣东南大墩矿区的应用［J］．资源调查与环境，2009，30（2）：102-108．
[291] 王渭清，王增寿，李波．青海省曲麻莱县大场金矿控矿因素分析及区域找矿意义［J］．青海国土经略，2005，（3）：32-36．
[292] 王文胜．新疆阿合奇马场地区地球化学特征及与成矿关系探讨［J］．新疆地质，2009，27（2）：141-144．
[293] 王希今，胡忠贤，李永胜，等．黑龙江省滨东地区Cu-Pb-Zn-W-As-Sb-Bi-Au-Ag地球化学块体矿产资源潜力预测［J］．地质与资源，2006，16（2）：91-94．
[294] 王喜宽，王忠，李世宝，等．内蒙古陈家杖子金矿的地质地球化学找矿模式［J］．地质与资源，2007，16（3）：161-233．
[295] 王学求．巨型矿床与大型矿集区勘查地球化学［J］．矿床地质，2000，19（1）：76-87．
[296] 王永军，李名松，全旭东，等．基于GIS的层次分析法在张家口北部地区金矿成矿预测中的应用［J］．地质科技情报，2007，26（4）：15-18．
[297] 王永宁，王虎．甘肃礼岷成矿带主要金矿床同位素地球化学特征对比分析［J］．甘肃地质，2009，18（2）：1-5．
[298] 王瑜．晚古生代末—中生代内蒙古—燕山地区造山过程中的岩浆热事件与构造演化［J］．现代地质，1996，10（1）：66-75．
[299] 王元龙，张旗，王强，等．埃达克质岩与Cu-Au成矿作用关系的初步探讨［J］．岩石学报，2003，19（3）：543-550．
[300] 王志光，向世红，刘新东，等．河南内乡县银洞沟大型银金多金属矿床地质特征、发现过程及其地质意义［J］．矿产与地质，2003，17（增）：365-368．
[301] 王志军，何元红．西涝口金矿区地质特征及成矿前景浅析［J］．黄金科学技术，2009，17（1）：29-33．
[302] 王志华．文峪金矿找矿中金银比值的指示作用［J］．矿物岩石地球化学通报，1999，18（1）：19-22．
[303] 韦龙明，林锦富，吴烈善．凤县八卦庙特大型金矿热水沉积岩的地质地球化学特征［J］．地质学报，2004，78（6）：829-835．
[304] 韦龙明，吴烈善，李惠．若干类型金矿找矿方法评述与综合找矿模型［J］．桂林工学院学报，2003，23（1）：5-9．
[305] 魏刚锋，姜修道，刘永华，等．铧厂沟金矿床地质特征及控矿因素分析［J］．矿床地质，2000，19（2）：138-146．
[306] 魏广智，杨海英，张文军．地电化学法在多拉纳萨依一带找金效果［J］．新疆有色金属，2005，（3）：2-4．
[307] 魏景瑞．涝泥塘金矿化区成矿前景预测［J］．中国高新技术企业，2009，（1）：15，18．
[308] 魏明秀．山东界河金矿小涝洼矿区地球化学找矿研究［J］．矿产与地质，2001，15（1）：44-50．
[309] 吴国学，陈国华，任云生，等．乌拉嘎金矿外围张才沟矿化区隐伏矿体预测及查证［J］．黄金，2006，27（9）：6-10．
[310] 吴国学，李守义，吕志刚，等．团结沟金矿

黄金地质研究所
信息室 提供

外围十三公里区隐伏矿体预测 [J]. 吉林大学学报（地球科学版），2006，36（5）：781-786.

[311] 吴国学，吕志刚，魏旭东，等. 乌拉嘎金矿外围柳树河区隐伏矿体预测与查证 [J]. 桂林工学院学报，2007，27（2）：165-169.

[312] 吴继承，王金荣，吴春俊，等. 湖南龙山地区金矿床断裂构造地球化学特征 [J]. 矿产与地质，2007，21（3）：351-357.

[313] 吴烈善，韦龙明. 甘肃鹿儿坝金矿地质特征及找矿标志 [J]. 广西地质，1999，12（2）：17-22.

[314] 吴六灵，邓杏彬，周建华，等. 广西深泥田金矿床地质-地球化学找矿模型 [J]. 地质通报，2004，23（7）：689-694.

[315] 吴小雷，迟占东，王玲，等. 金牛山金矿综合信息找矿研究 [J]. 黄金科学技术，2009，17（2）：8-11.

[316] 吴学益，卢焕章，王中刚，等. 黔东南锦屏金矿成矿模式的模拟实验 [J]. 地质通报，2007，26（12）：1 536-1 548.

[317] 吴学益，卢焕章，王中刚，等. 黔东南金矿构造控矿与成矿模拟实验 [J]. 矿物学报，2009，29（2）：253-258.

[318] 吴学益，尚精华，张开平. 金山金矿构造控矿特征及其模拟实验 [J]. 矿物学报，2007，27（2）：143-152.

[319] 吴占开，武际春，戴立新，等. 灵山沟金矿1#脉深部盲矿体找矿模式 [J]. 黄金科学技术，2004，12（4）：7-10.

[320] 伍宗华. 隐伏矿床的地球化学勘查 [M]. 北京：地质出版社，2000.

[321] 夏庆霖，陈永清. 鲁西龙宝山金矿地球化学特征 [J]. 地质与勘探，2001，37（4）：14-17.

[322] 向洪流. 贵州省三都县火烧寨锑-金矿地球化学特征及找矿方向 [J]. 矿产与地质，2007，21（5）：542-545.

[323] 向婷婷，李春兰，刘雁. 凤太矿集区金铅锌矿地球化学特征及找矿方向 [J]. 物探与化探，2004，28（3）：245-248.

[324] 向祥辉. 湖北随州红石地区金银成矿特征及找矿远景 [J]. 湖北地矿，1999，13（1）：8-14.

[325] 肖龙，王方正，张桂林，等. 新疆西天山高硫化型京希—伊尔曼德金矿床的识别标志及其找矿意义 [J]. 地质科技情报，2002，21（3）：74-78.

[326] 谢桂青，胡瑞忠，方维萱，等. 云南墨江金矿热水喷流沉积成岩成矿的地质地球化学证据 [J]. 沉积学报，2002，20（3）：387-393.

[327] 谢学锦，刘大文. 地球化学填图与地球化学勘查 [J]. 地质论评，2006，52（6）：722-732.

[328] 谢学锦，邵跃，王学求. 走向21世纪矿产勘查地球化学 [M]. 北京：地质出版社，1999.

[329] 谢卓熙. 广西田林高龙金矿地质特征及成因 [J]. 黄金科学技术，2000，8（5）：28-36.

[330] 徐桂林，石晓兰. 河北武安地区冯昌金矿地质特征及成矿条件分析 [J]. 地质调查与研究，2005，28（3）：160-167.

[331] 徐家乐，冯治汉. 甘肃省金矿地球化学勘查主要成果和典型案例 [J]. 中国地质，1999，(2)：35-39.

[332] 徐建峰，唐凯，王明江，等. 古马岭金矿床地质、地球物理、地球化学特征 [J]. 吉林地质，2007，26（1）：1-4.

[333] 徐伦先，陈满，梁海军，等. 大兴安岭富林—兴隆沟一带金及多金属成矿条件分析 [J]. 地质与资源，2007，16（4）：257-262.

[334] 徐伦先，宋丙剑，周殿宇，等. 大兴安岭虎拉林金矿地质地球化学特征及找矿方向 [J]. 黄金科学技术，2007，15（3）：1-4.

[335] 徐庆鸿，谢文清，陈远荣. 福建邱村金矿综合地球化学异常分带模型与找矿预测标志 [J]. 地质与勘探，2005，41（1）：56-61.

[336] 徐善法，陈建平，聂兰仕. 三江地区北段主攻矿种及矿床类型研究 [J]. 东华理工学院学报，2006，29（4）：319-326.

[337] 徐文炘，郭新生，冀树揩. 铜矿峪铜矿床地球化学的研究 [J]. 矿产与地质，1995，9（4）：77-86.

[338] 徐文炘，李衡，黄斌. 煎茶岭金矿床的铅同位素打靶研究 [J]. 矿产与地质，2003，17（1）：43-48.

[339] 徐新文，史生清. 青海夺确壳金矿地质特征 [J]. 青海大学学报（自然科学版），2009，

黄金地质研究所
信息室 提供

27（2）：23-28.
[340] 徐兴旺，蔡新平．隐伏矿床预测理论与方法的研究进展［J］．地球科学进展，2000，15（1）：76-83.
[341] 徐岩．甘肃赵沟金矿床地质特征及控矿因素分析［J］．黄金地质，2004，10（2）：28-32.
[342] 徐毅，赵鹏大，张寿庭，等．内蒙古小坝梁铜金矿地质特征与综合找矿模型［J］．黄金，2008，29（1）：12-16.
[343] 许德如．海南岛戈枕含金剪切带煌斑岩与金成矿关系研究［J］．大地构造与成矿学，2000，24（3）：258-265.
[344] 薛水根．地球化学异常的查证方法及效果［J］．江苏地质，2002，26（1）：13-18.
[345] 薛水根．金矿的地质地球化学找矿标志［J］．江苏地质，2007，31（1）：7-9.
[346] 薛为民，方霄．山西省娄烦县灵钟山一带金矿成矿特征及找矿标志［J］．华北国土资源，2009，（1）：16-20.
[347] 晏建国，崔银亮，陈贤胜．云南省北衙金矿床成矿预测和靶区优选［J］．地质与勘探，2003，39（1）：10-13.
[348] 杨冰．索虎沟金矿床地球化学异常模式［J］．华东地质学院学报，1999，22（1）：23-28.
[349] 杨凤喜，闫文强，史瑞民，等．地球化学勘查在黑龙江省陆角岭区地质找矿中的应用［J］．吉林地质，2007，26（2）：55-70.
[350] 杨根生，陈彦文，胡晓隆，等．甘肃礼县杜沟金矿床地质地球化学特征及成因分析［J］．西北地质，2007，40（3）：75-84.
[351] 杨根生．甘肃天水柴家庄金矿地质特征与找矿标志［J］．西北地质，2007，40（4）：36-42.
[352] 杨怀辉，杨振京，崔来运．豫西嵩县东湾金矿床地质及原生晕地球化学特征［J］．四川地质学报，2007，27（2）：107-111.
[353] 杨怀玉，王文臣．利用地球化学特征在4015工区寻找金矿的潜力分析及找矿方法［J］．甘肃科技，2008，24（3）：27-29.
[354] 杨建国，杨合群，杨林海，等．北山地区北东向构造对金钨锡钼（稀土）矿床控制作用初探［J］．大地构造与成矿学，2004，28（4）：404-412.
[355] 杨礼敬，胡晓隆，马佩文．甘肃省武山县竹子沟金矿地质特征及找矿模型探讨［J］．地质与勘探，2004，40（3）：36-41.
[356] 杨立强，邓军，翟裕生，等．胶东夏甸金矿地球化学场结构［J］．现代地质，2001，15（4）：409-413.
[357] 杨庆洪，安久海，吴英杰．吉林三道岔金矿床综合异常找矿模式及其应用［J］．地质与资源，2008，17（1）：19-34.
[358] 杨群周，彭省临．微细浸染型金矿床地质特征及其在河南的找矿方向［J］．河南地质，2001，19（3）：169-175.
[359] 杨绍文，陈建国．激电-瞬变电法在那能金矿评价中的应用效果［J］．工程地球物理学报，2008，5（1）：35-41.
[360] 杨伟寿，胡正文，何德润．四川甘孜—理塘断裂带中段阿加隆洼金矿床地球化学找矿模式［J］．中国地质，2007，34（1）：123-131.
[361] 杨小斌，刘洪川．东昆仑造山带都兰县沟里地区金矿成矿特征及找矿潜力分析［J］．青海国土经略，2005，（4）：32-35.
[362] 杨兴科，程宏宾，姬金生，等．东天山金铜成矿背景与成矿系统分析［J］．西安工程学院学报，2000，22（2）：7-14.
[363] 杨引申，姚精选．武家沟铜（金）矿成矿预测及远景分析［J］．地球科学与环境学报，2004，26（1）：13-28.
[364] 杨永鹏，杨露云．四川理塘阿加隆洼—亚火金（铜）矿带地质特征及找矿前景［J］．四川地质学报，2007，27（3）：170-176.
[365] 杨占兴．辽宁省主要金矿化集中区特征及今后找矿工作建议［J］．辽宁地质，1999，16（1）：71-78.
[366] 杨志强．广西鹰扬关—张公岭地区银金矿成矿地球化学特征及找矿标志［J］．矿产与地质，2002，16（4）：224-228.
[367] 姚俭，王艳青．华峰尖火山通道地球物理场地球化学异常特征及其与成矿作用的关系［J］．浙江地质，1999，15（1）：34-42.
[368] 叶捷先．铜陵地区地球化学找矿的几点认识［J］．矿产与地质，2002，16（4）：237-239.
[369] 叶荣，王学求，赵伦山，等．金窝子矿带戈壁覆盖区化探深穿透找矿方法研究［J］．地

黄金地质研究所
信息室 提供

质与勘探，2003，39（6）：90-93．
[370] 叶天竺，薛建玲．金属矿床深部找矿中的地质研究［J］．中国地质，2007，34（5）：855-869．
[371] 尹大改．沈家沟金矿床地质与地球化学特征及找矿标志［J］．采矿技术，2007，7（2）．
[372] 尹华锋，向田，杨洪超，等．湖南江溪垄金锑矿床地质地球化学特征及开发应用［J］．地质与资源，2007，16（4）：275-278．
[373] 尹忠，李峰，刘萍．内蒙古巴彦宝力道金矿区物化探综合找矿方法及其应用［J］．物探与化探，2004，28（3）：224-232．
[374] 尤宏亮．深穿透地球化学方法综述［J］．有色矿冶，2005，21（6）：3-6．
[375] 于长军．翠岭地区1∶5万化探次生晕Au异常效果初探［J］．甘肃冶金，2007，29（3）：34-35．
[376] 余宝岛．鄂东南早三叠世地层与铜铁金等多金属成矿关系［J］．西部探矿工程，2008，1：91-94．
[377] 余慧．金矿找矿中的核技术及其应用［J］．物探与化探，2000，24（4）：263-267．
[378] 余景明，刘正庚．湖南安化芙蓉金矿矿床地质、地球化学特征及成因［J］．黄金科学技术，2001，9（3～4）：12-18．
[379] 俞长捷，任海燕，穆一清，等．纳尔扎一带金矿控矿因素分析［J］．西部探矿工程，2008，（2）：124-126．
[380] 郁东良．青海省满丈岗地区金地球化学特征及找矿方向探索［J］．黄金科学技术，2008，16（1）：52-55．
[381] 袁士松，齐金忠，葛良胜，等．甘肃文县阳山特大型金矿田微量元素特征及其找矿意义［J］．西北地质，2006，39（3）：20-27．
[382] 臧兴运，王建新，赵利刚，等．火山岩区土壤地球化学测量数据的处理与找矿——以环春柳树河子金铜矿区为例［J］．黄金，2007，28（4）：10-13．
[383] 翟伟，李兆麟，黄栋林．与剪切带有关金矿床成矿流体研究进展［J］．地球科学进展，2004，19（2）：260-267．
[384] 张宝林，蔡新平，王杰，等．我国东部岩金矿床深部找矿潜力评估［J］．矿物岩石地球化学通报，2000，19（4）：389-390．
[385] 张宝林，王杰，梁光河，等．河北水晶屯金矿200～1 000 m深度储矿构造特征与找矿靶区预测［J］．黄金科学技术，2003，11（1）：12-18．
[386] 张成范，郭玉军，王坤，等．香炉碗子金矿区次火山岩地质特征与金矿化的关系［J］．西部探矿工程，2008，（8）：96-99．
[387] 张代英，侯新生．四川某金矿中非金属单矿物的元素分析及意义［J］．广东微量元素科学，2008，15（4）：60-64．
[388] 张德全，佘宏全，徐文艺，等．驼路沟喷气沉积型钴（金）矿床成矿地质背景及矿床成因的地球化学限制［J］．地球学报，2002，23（6）：527-534．
[389] 张发荣，冯小明，周会武．夏河地区金矿地球化学特征及找矿前景［J］．甘肃地质学报，2001，10（1）：54-62．
[390] 张富铁，汪礼明，李衡，等．区域化探异常评价方法研究进展（Ⅱ）［J］．矿产与地质，2004，18（4）：339-342．
[391] 张冠．河南省桐柏县银洞坡金矿床（西段）地球化学找矿标志及预测评价［J］．物探与化探，2005，29（4）：304-307．
[392] 张广范，马建德，张志伟．辽宁省北沟地区金矿地球化学特征及成矿预测［J］．矿产与地质，2005，19（5）：553-557．
[393] 张国义，张连发．土壤地球化学测量在山东蓬莱地区普查找金的效果［J］．地质找矿论丛，2003，18（增）：141-145．
[394] 张宏，姚玉增，权恒．大兴安岭北部森林覆盖区植物化探找矿方法的新思路［J］．贵金属地质，1999，8（1）：38-40．
[395] 张宏强，王忠．地球化学块体资源预测在甘肃金矿的应用［J］．甘肃地质，2006，15（2）：48-54．
[396] 张洪信，张华，彭慈刚，等．黔东南锦屏平秋金矿找矿前景初步分析［J］．贵州地质，2005，22（4）：242-245．
[397] 张继武，孙超，王伟东．新疆西天山伊什基里克西段火山-次火山岩型金矿带成矿地质条件及找矿预测［J］．黄金，2003，24（2）：13-17．
[398] 张晶，申伍军．应用水地球化学寻找隐伏金矿［J］．山西建筑，2007，33（9）：117-118．
[399] 张景合．河北省金厂峪金矿床成矿地质研究

黄金地质研究所
信息室 提供

及找矿方向探讨［J］. 北京地质，2000，(2)：9-13.

［400］张军. 陕西双王金矿床地质特征及找矿标志［J］. 桂林工学院学报，2004，24（1）：19-23.

［401］张鹏. 甘肃省东沟金矿地球化学特征及找矿标志［J］. 物探与化探，2009，33（3）：282-285.

［402］张万平，刘忠明，黄国平，等. 湖北随州淮河—小林地区土壤地球化学特征［J］. 湖北地矿，2001，15（4）：86-91.

［403］张万平，刘忠明. 湖北红石地区 Au，Ag 土壤地球化学特征及找矿前景［J］. 华南地质与矿产，2002，(1)：45-50.

［404］张晓东，杜祖权，侯传罡. 辽东四道沟金矿床地质特征及找矿方向［J］. 黄金，2008，29（7）：18-21.

［405］张学洲，李文辉. 化探找金几个阶段中的方法探讨［J］. 新疆地质，2005，23（1）：101-102.

［406］张彦云. 甘肃礼岷金矿带成矿地球化学特征及找矿标志［J］. 甘肃冶金，2006，28（3）：78-81.

［407］张艳秋，刘树田，张东丽. 隐伏金矿床综合找矿方法研究［J］. 黄金，1999，20（12）：1-4.

［408］张义，聂凤军，孙彬彬，等. 内蒙古中东部浅覆盖区化探岩屑测量方法研究及靶区优选应用［J］. 中国地质，2005，32（4）：696-705.

［409］张月树，杨志学，高怀雄. 陕西岚皋—洛河街地区构造地球化学特征及成矿条件分析［J］. 陕西地质，2001，19（2）：67-81.

［410］张志国，胡军海，刘涛. 大兴安岭中段旁开门金银矿地质特征及找矿标志［J］. 黄金科学技术，2008，16（1）：43-47.

［411］张忠进，方国辉，陈城利，等. 粤西云浮镇安—阳春罗阳地区地球化学特征与找矿方向［J］. 物探与化探，2008，32（3）：252-260.

［412］张仲姗. 浅析西秦岭南带金的成矿规律及找矿标志［J］. 工业科技，2008，37（3）：31-32.

［413］张竹如，聂爱国，李明琴，等. 胶莱盆地含金建造地球化学特征［J］. 地球化学，2002，31（1）：78-84.

［414］张宗保，努尔兰，林永全，等. 阿尔泰山诺尔特地区库马苏金多金属矿的发现及找矿前景［J］. 地质通报，2007，26（3）：299-304.

［415］张宗恒，郡安禄，李吉林，等. 河南桐柏地区银洞坡金矿床地球化学特征［J］. 现代地质，1999，13（1）：105-110.

［416］赵安生，王洋，卢伟国. 黑龙江老柞山金矿床成矿地质条件及找矿远景研究［J］. 黄金，2004，25（6）：20-23.

［417］赵德奎，汪梅生，朱永胜，等. 安徽省贵池抛刀岭金矿地质特征及成因［J］. 安徽地质，2009，19（2）：107-110.

［418］赵建光，唐卫国，谢朝晖. 湖南雪峰金矿田地球化学异常特征及其指示意义［J］. 黄金，2004，25（9）：11-14.

［419］赵敬红. 桐柏大别造山带金（银）矿区域找矿模型及评价标志研究［J］. 矿业快报，2007，(9)：71-73.

［420］赵俊伟，孙丰月，李世金，等. 青海北巴颜喀拉山地区浊积岩中金（锑）矿成矿地质特征——以大场—加给陇洼一带为例［J］. 黄金，2007，28（9）：8-13.

［421］赵明，刘福臣，曲淑华，等. 吉林省柳河县安口镇—头道沟一带金矿化地质特征及找矿方向［J］. 吉林地质，2003，22（4）：19-23.

［422］赵荣军. 河南卢氏县杜关地区地球化学异常及找矿效果［J］. 物探与化探，2001，25（6）：447-452.

［423］赵维宽，徐九华，席忠，等. 内蒙古中部大青山新地沟—卯独庆金矿床的构造-蚀变-成矿作用［J］. 地质通报，2008，27（4）：575-583.

［424］赵月明，黄占起，张志祥，等. 内蒙古朱拉扎嘎金矿床地质特征及找矿方向［J］. 华南地质与矿产，2002，(4)：47-53.

［425］真允庆. 五台山—恒山一带金、银多金属矿床同位素地球化学及其成矿模型［J］. 桂林工学院学报，2004，24（2）：127-137.

［426］郑翻身，徐国权，冯贞. 内蒙古中部地区绿岩型金矿地质特征及成矿远景预测［J］. 地质学报，2005，79（2）：232-247.

［427］郑光文，侯明金，蔡连友，等. 休宁县大丘

黄金地质研究所
信息室 提供

田地区金矿成矿地质条件和找矿前景 [J]. 安徽地质，2008，18（2）：95-100.

[428] 周斌，仲崇学. 山东临朐铁寨金矿区地球化学特征 [J]. 世界地质，2000，19（2）：160-166.

[429] 周斌. 柳园测区金异常综合评价及找矿预测 [J]. 地质找矿论丛，2003，18（增）：76-83.

[430] 周菊芳，冯青坤. 福建省政和县大药坑金矿地球化学异常特征 [J]. 有色金属矿产与勘查，1999，8（6）：611-614.

[431] 周明勤，唐元. 甘肃省肃北县勒巴泉铜（金）矿地球化学特征及指示意义 [J]. 甘肃地质，2006，15（2）：55-59.

[432] 周奇明，卢宗柳，赖锦秋，等. 电吸附找矿方法在王河金矿的试验效果 [J]. 矿产与地质，2000，14（78）：255-259.

[433] 周奇明，赵友方，黄华莺，等. 利用室内电提取法寻找隐伏矿床的试验 [J]. 物探与化探，2001，25（3）：169-173.

[434] 周奇明，周立宏，董树政. 电吸附找矿方法 [J]. 物探与化探，2004，28（3）：199-201.

[435] 周奇明. 电法地球化学方法快速寻找隐伏矿的效果 [J]. 矿产与地质，2001，15（4）：275-278.

[436] 周奇明. 电吸附元素异常来源及找矿模式 [J]. 矿产与地质，2003，17（6）：705-708.

[437] 周圣华，吴珍汉，叶培盛，等. 冀北围场地区构造控矿规律与找矿方向分析 [J]. 地质与勘探，2008，44（2）：45-50.

[438] 朱广彬，刘国范，姚新年，等. 东秦岭铅锌银金钼多金属成矿带成矿规律及找矿标志 [J]. 地球科学与环境学报，2005，27（1）：44-52.

[439] 朱华平，张德全. 区域化探异常的地球化学勘查评价方法技术进展综述 [J]. 地质与勘探，2003，39（3）：35-38.

[440] 朱华平，张蓉，郭健，等. 秦岭沉积岩容矿型金矿的控矿条件与找矿方向 [J]. 有色金属矿产与勘查，1999，8（6）：408-412.

[441] 朱赖民，胡瑞忠，段启杉. 元素共生分异机制的研究现状和趋势——以黔西南微细浸染型金矿区为例 [J]. 矿物岩石地球化学通报，2001，20（2）：119-125.

[442] 朱余银. 化探方法在新疆库尔尕斯金铜矿床发现中的应用 [J]. 河南理工大学学报（自然科学版），2009，28（2）：185-206.

[443] 邹长毅，李应桂，杨少平，等. 新疆阿舍勒铜多金属矿床原生地球化学特征 [J]. 物探与化探，1999，23（3）：227-232.

[444] 邹长毅，史长义. 五龙沟金矿区域地球化学异常特征及找矿标志 [J]. 中国地质，2004，31（4）：420-423.