目　录

绪论 …… 1
1　成矿区(带)异常评价选择的基本条件研究 …… 5
1.1　地质环境标志 …… 5
1.2　异常的元素组合特征 …… 10
1.3　异常的景观地球化学条件 …… 12
1.4　异常区地球物理场特征研究 …… 14
2　成矿区带地球化学普查评价的基本程序 …… 17
2.1　成矿区带找矿方法选择的基本原则 …… 17
2.2　成矿区带地化普查的基本程序 …… 19
3　快速评价分散流异常的沟系原、次生晕和岩石碎屑测量方法 …… 23
3.1　沟系原、次生晕及岩石碎屑测量方法 …… 23
3.2　问题的提出 …… 23
3.3　采用沟系原、次生晕及岩屑测量方法的可行性 …… 25
3.4　沟系原、次生晕及岩屑测量的试验结果 …… 30
3.5　沟系原、次生晕及岩石碎屑(岩屑)测量的方法技术 … 41
3.6　沟系原、次生晕及岩屑测量的特点及应用条件 …… 45
3.7　该方法的地质效果及经济效益 …… 47
4　利用地化异常"梯度法"预测潜在金属总量 …… 49
4.1　地化异常梯度变化概念的建立 …… 49
4.2　关于梯度变化参数的作用 …… 50

4.3 利用地化异常"梯度法"进行潜在金属总量预测的可行性 …… 51
4.4 异常类型的判别 …… 52
4.5 预测实例 …… 53
4.6 方法验证 …… 60
4.7 方法的评估及应用条件 …… 60
5 找矿实例 …… 62
5.1 李坝金矿田 …… 62
5.2 北祁连小柳沟钨铜多金属矿床 …… 75
6 认识和体会 …… 87
参考文献 …… 89

绪　论

自20世纪80年代以来，分析技术的迅速发展、分析水平的提高和分析系统逐步建立，为开展大面积成矿区带地球化学普查进行全定量分析提供了有力的保证。从80年代开始，地球化学普查找矿出现了全面大发展的有利时机，特别是金元素的灵敏度和检出限的提高，为金矿普查找矿开创了崭新的局面。利用地球化学勘查方法，对重要的成矿区带进行新一轮的大面积普查，开始了异常找矿的新阶段。由于分散流普查具有时间短、效率高、经济快速的特点，在较短时间内在一个成矿区带内就可圈定出大量的单元素或多元素的综合异常区，对迅速了解全区、缩小找矿范围起到很好的作用。对大量异常进行深入查证，按传统的正规测网进行评价，时间长、效率低、耗费大，这样快速分散流普查与异常查证滞后的矛盾非常突出。这一矛盾引起了地球化学勘查界的普遍重视，采取快速、经济的异常评价方法，各系统、各单位均十分重视。寻求快速、高效、成本低、地质找矿效果好的异常评价方法，是异常找矿阶段的需要，是野外地质勘查缩短找矿周期的需要。

在成矿区带地球化学勘查中，迅速获得的大量综合异常区，其中有强异常区、中弱异常和弱异常区。哪些异常应作为首选的异常进行评价，这是异常评价中能否取得较好找矿效果的重要前提。通过研究和实践，作者提出了成矿区带地球化学异常评价选择的基本条件，其中最主要的是异常区成矿地质环境的分析，这主要取决于分析者对该区的熟悉程度和占有资料信息的程度。需要弄清

控制地球化学异常和影响异常强弱的地质因素、地球化学元素组合异常的关系、是景观地球化学条件及影响因素，地球物理特征与地化异常之间的内在联系。不能仅局限于地球化学异常特征的研究，要将地球化学特征与上述因素的内在联系弄清楚。这是选择评价异常中要解决的关键问题。异常选择这一环节是在掌握整个区带地物化资料的基础上进行的，是缩小找矿靶区的重要环节。书中对成矿区带异常选择的基本条件，以地球化学异常区的地质环境为前提，对盆地边缘造山带与地球化学异常之间关系及形成机理，构造变形区和构造三角区与地球化学异常的关系，褶皱构造与地球化学异常之间关系，构造岩浆岩带与地球化学异常的关系、火山带与地球化学异常的关系及蚀变带与矽铁建造与地球化学异常的关系、从新的成矿理论观点出发进行论述。同时对地球化学异常的元素组合特征的内在联系、景观地球化学特点及影响异常的因素、地球物理特征与地球化学异常之间的关系进行了论述。通过多年的实践，采用地球化学异常评价方法取得了较好找矿进展。

建立地球化学普查的基本程序，对快速评价地球化学异常，尽快将异常转化为资源，是提高地质找矿效果的重要环节，通过多年来的实践，从快速、经济、有效及系统性、阶段性和实践相结合的基本原则出发，总结了成矿区带地球化学普查的三个阶段的基本程序，即从综合成矿预测及 1/5 万～1/10 万分散流普查为基础，缩小找矿靶区；在分散流异常的汇水盆地内进行 1/2.5 万沟系原、次生晕及岩石碎屑测量，圈出异常浓集中心，从异常浓集中心入手对异常进行判别，是矿异常还是非矿异常；在矿异常浓集中心地段进行地化剖面，准确定出异常中心，当具有微矿化露头或蚀变时，进行地表工程揭露，一旦发现矿体或矿化体，应在区内开展 1/2 千～1/5 千地质测量和用稀疏工程控制，圈出矿化规模，配合物探工作圈出隐伏矿化地段，并进一步开展成矿的控制因素研究，扩大矿床规模。该程序是一个有机结合的整体，使异常三级查证工作具体化、科学化、合理化，符合实践论和认识论的全过程。

从80年代中期，本人根据多年来在异常查证中遇到的现象和存在的问题，并借鉴分散流的做法，构想了一套采用沟系次生晕方法进行评价异常的思路，采用沿沟谷水系的树枝状网代替正规测网，可以加快速度，节省资金，再者减少采样中的无效点率，增加采样点的有效率。经过一系列论证和选择异常进行野外试验等获得成功，在异常评价速度比传统的正规网提高3～5倍，经费降低50%～70%，并取得较好地质成果。在此基础上制定了沟系次生晕方法的技术规程，在本单位、本系统开始推广使用，并逐步使该方法得到完善。该方法的特点是：方法简便、易于操作，人员少，费用低，速度快，采样有效点率高，容易发现微矿化露头的找矿信息，出现异常浓集中心明显，以解剖异常浓集中心为对象，快速实现找矿突破。采用该方法成功发现了大型矿床3处、中小型矿床10余处、矿点40余处。经粗略计算，10多年来比正规测网共节约地勘费用210余万元，并在成矿带形成了大比例尺的基础资料，目前仅对其中部分异常进行解剖，还有大量异常需要进行研究和评价工作。

通过地球化学异常的研究，发现异常梯度变化对异常研究有着重要的作用。将地球化学场作为近似标量场的观点，研究地化异常梯度变化最大值处与矿化、蚀变之间的关系，建立了地化异常梯度变化最大值为地化异常的新参数。从而为利用地化异常进行潜在资源总量预测提供了前提条件，为地球化学异常由定性解释迈向半定量解释和资源预测奠定了基础。用异常的梯度变化最大值代替《成矿预测方法》(地质出版社，1993年)一书中的丰度预测法中的丰度值，对异常区内潜在资源总量进行预测。经理论研究和实践证明，该方法简便易行，准确性较高，预测目标具体，效果显著。在西成成矿集中区内选择7个铅锌异常区内预测潜在铅锌金属总量达1439万t。礼岷地区5个金异常区内预测金属总量65t，根据目前勘查成果已超出了该预测数量。在小柳沟预测WO_3总量为63万t，铜87.6万t，钼20.6万t。经检验预测的相对误差为10%～15%。说明该方法是行之有效的，并为矿产资源潜力预测

提供了一个新的方法。

书中的找矿实例，详细阐述了两个大型矿床的发现过程和采用三阶段工作程序，更具体体现了在成矿区带地球化学普查过程中，应用成矿区带地球化学异常选择的基本条件，三阶段的基本工作程序，从1/2.5万沟系次生晕浓集中心入手，进行评价的全过程，并进行了资源潜力预测，说明了成矿区带地球化学异常评价方法的有效性和经济快速的地质找矿效果。

今后在进行1/2.5万沟系方法评价异常中，应以地质和化探人员相结合，野外配备1台带有GPS定位仪的小型笔记本电脑，加上原有的地质"三大件"，在野外进行采样和填图，将所有信息在现场直接输入电脑中，既可以解决野外定点的准确性，又可以减少目前野外大量质量检查工作量，同时可以取得同比例尺的地质和地球化学图及相关成果。希望勘查界同仁支持这一设想，提高异常评价中的找矿效果。

1 成矿区(带)异常评价选择的基本条件研究

从“七五”至“八五”以来,在有色金属地质勘查中,以成矿区(带)地球化学普查方法为先行,系统开展重点成矿区(带)中大面积的分散流普查,发现大量单元素、多元素组合的地球化学异常区和找矿信息,如何从中筛选出一批重点评价的异常,这些异常应具备哪些基本条件,才能尽快缩小找矿范围,加快评价速度,提高找矿成功率,是区带地球化学普查中的关键环节。

在区带普查找矿中,为了获得较好的地质成果,对于区带中的矿点和分散流普查中发现的大量单元素和多元素组合异常及信息,必须进行必要的筛选。多年来的实践证明,认为有以下条件必须予以充分的考虑。

1.1 地质环境标志

在区带普查中,矿点、异常相对集中区,能否作为评价的重点,地质环境因素的分析是最基本的环节。对勘查学家来说就是借助于地质理论,建立最明显的勘查标志,选择有利靶区,在最短时间发现矿化、矿体,取得找矿成果。因此,通常我们重点考虑有6个方面。

1.1.1 古盆地或沉积盆地边缘的造山带的矿点和异常

盆地与造山带在地质历史发展和演化过程中是同时相互依存、相互发展的统一体。作为古盆地或沉积盆地在形成和演化过程中,可以认为是来自大气降水,并携带大量有用矿物聚集场所,也就是含矿络离子溶液的聚集场所,同时也是大量生物、微生物生存和发育地,对吸附、携带金属矿物是十分有利的。在盆地中的这

些络离子溶液经过漫长的时间，不断浓缩、富集，不断补充，逐渐变成富含有用金属的络离子溶液，渗入地下与地下热水一起，与围岩进行较充分的水-岩作用，使周围岩石中的金属矿物进一步活化转移，逐步形成富含金属矿物的成矿热水。根据热液成矿理论，这些成矿热液在有利的构造部位和空间、在物理化学条件适宜时，同时具有岩浆侵入时的热力驱动下，就可以富集成矿，并形成一定范围的多元素组合晕或前缘元素组合带，这对开展地球化学勘探具有重要指导意义和前提条件。

根据边缘成矿的理论，盆地边缘包括海盆边缘和陆盆边缘，前者多形成沉积矿床，后者除形成沉积矿床外，还可以形成火山-次火山岩有关的块状硫化物矿床和多金属矿床。海盆边缘包括陆棚、浅海、泻湖等，形成的主要矿床有：煤、石油、天然气、沉积铁矿、砂岩型铜矿、锰矿、铅锌矿、浊积岩金矿、铝土矿和砾岩型金矿等。如世界大型金矿——南非的维特瓦斯兰德金矿的9个矿田和数十个大型矿山均产于该盆地边缘。我国也有不少类似情况。陆盆边缘包括断陷盆地边缘、侵蚀-构造盆地边缘，形成的矿床有火山热液矿床、热水沉积改造矿床。这些矿床的形成均与构造和裂谷作用有密切的关系。在构造和裂谷形成和发展阶段，既有利于火山活动，形成近火山口相块状硫化矿床和远火山口相的沉积矿床；也有利于形成热液循环系统，形成热液矿床、热水沉积和改造矿床，特别是在盆地造山过程中，从热液动力学的理论分析更有利于热液在岩石中萃取金属矿物和促使热液在有利空间聚集成矿，在整个成矿系统的成矿过程中，元素活动过程中，条件合适可以形成多元素的富集或形成某些元素的亏损，并形成一定范围的富集和贫化异常。元素的富集与贫化是找矿中的极为重要的指示信息。如西成特大铅锌矿和礼岷金矿床和白山堂铜矿床的形成，就属于这种构造环境。以上充分说明了盆地-造山带-矿化与异常集中区的关系。

1.1.2 构造变形带和构造三角区的异常与矿点

成矿与构造的关系，一直为勘查地质学家所重视，在勘查

过程中，将成矿构造学与构造地球化学紧密相结合是取得地质找矿成功的重要因素。从构造力学的观点分析，构造变形带是受构造应力最强烈地段，特别是几组不同方向的构造叠加作用的地区，构造变形带常与深部隐伏的壳层构造或深部隐伏岩浆作用有着极其密切的关系。构造变形带在地表常表现为弧形构造、环型构造，穹隆构造与区域构造截然不同的扭曲变形构造。这种构造变形是深部构造、浅部构造经过多次构造作用和演化结果形成的，是各种构造的综合反映。它与深部构造导通，形成深部热液上涌的有利通道，它在浅部形成，为地表水下渗创造了有利条件。在地表水与地下水混合界面，在不同岩性层界面，在物理化学环境不同的界面，通过物质交换和能量交换，形成较为有利的构造成矿系统，并出现多元素的组合异常，这又是一个很好的构造地球化学标志。因此，构造变形带和地化异常带的存在是地表找矿较好信息之一，是成矿的有利部位。如小柳沟白钨矿床，区域构造线方向为 NW 向，矿区地层与构造方向均为 NE 向，形成"D"形穹隆构造特征。究其原因，主要是由于在区域上根据航磁、重力成果推断，沿北大河附近有一深部隐伏的 NE 向基底断裂构造存在，对该区浅部构造的形成和区域地层产状的影响起了主导作用的结果，使地表构造扭曲变形。同时在地表较低处已出露几处花岗斑岩，推测深部有岩浆活动也对形成穹隆构造形态起到控制作用。因此，我们认为构造变形区是与深部隐伏区域构造和岩浆侵入活动有密切关系。这样对元素的改造富集起了重要作用，同时在地表形成 $20km^2$ 的铜、铅、锌、银、钨、钼、锡、金等多元素的面性组合异常区，这一地球化学标志为发现该矿床提供了直接的指示作用。

构造三角区是与两组断裂交汇形成的，交汇部位属于应力集中区，锐角内测地区为舒张区，由于应力的特殊作用，在舒张区有利于成矿热液的聚集，特别在构造有利地段，如背、向斜转折部位，物理化学变化的界面附近，如背、向斜翼部千枚岩与生的灰岩之间

的层间断裂，有利于矿质的还原、沉淀、聚集，是成矿的最有利段。如西成构造三角区，礼岷构造三角区。这些地区的异常和矿点都于这些构造有密切关系，是我们选择评价的重点。近年来的实践，均取得较好地质找矿效果。

1.1.3 褶皱倾末端及其两翼的矿化与异常

褶皱与断裂是造山运动的产物。从边缘成矿理论出发，在褶皱构造的边部及转折部位，常伴随发生了层间断裂和转折端的大量张性裂隙，深部热液从层间断裂易于上升，地表富金属离子水和大气降水易于从裂隙下渗。在褶皱转折部位形成一些虚脱空间，为热液储存提供了有利空间。在层间断裂带附近，由于两种不同性质的岩石界面，物理化学性质差别较大也易于水-岩作用充分发生，必然带来一些与成矿有关的元素，在相应的构造部有一定的迁移活动范围，褶皱翘起部位暴露于近地表，在地表经风化剥蚀后在这些部位使相关元素异常呈现出一定的规模与强度极容易被发现，根据异常与构造的关系，布置一定的工程，追索矿体的分布空间。因此，这些构造的边缘是找矿有利地区。通常褶皱边缘就是指背斜、向斜的轴部转折端；背向斜的倾伏地带；背向斜的翘起末端；向斜到背斜的过渡带等。凡是这些部位出现有较好的异常和矿点，应该作为我们选择评价的重点。目前李坝地区发现的富大矿体多与小的背斜构造及断裂有着密切的关系，即通常我们所称的背斜加一刀。桦树沟铜矿体是与向斜加断裂有着密切关系。西成的三华嘴金矿产于倒转背斜翼部铅锌矿体上盘的碎屑岩中，这些例证，都是通过构造部位的异常评价和追索发现矿体的。

1.1.4 构造岩浆岩带的异常和矿点

岩浆岩带与构造相伴生，在一些区域大的断裂构造带，常有大量不同时期的岩浆侵入，故通常称之为构造岩浆岩带。岩浆矿床金属矿物在岩浆结晶阶段的早期和晚期形成，矿物集中岩体的顶部、底部或边缘。热液矿床形成在岩浆期后，矿体集中岩体的边缘

或内外接触带。特别断裂构造的发育使富含金属矿物水，在岩体热源驱动下，变成地下热水，与周围原始矿源层的岩石进行较充分的水-岩作用，可以萃取岩石中较多的有用矿物组分，形成富含多种元素的含矿热液。成矿热液在岩性差异明显，构造作用强烈，物理化学条件剧变的环境中聚集、沉淀，形成具有工业意义的矿床，同时形成一定范围的地球化学异常。因此，在构造岩浆岩带出现的矿点和异常是我们注意的重点，构造岩浆岩带的成矿特点都具有多期性和长期性。因此，元素组合具有较为复杂多变的特点，异常面积大，强度高，梯度变化大是主要标志，如李坝、金山两矿床均处中川岩体外接触带的地层中，距岩体 2～5km 范围内，并有礼县-罗坝断裂带及高桥-喂子坝断裂中分布强度高、规模大，有规律的金、银、砷、锑、汞综合异常，面积 60km^2。

1.1.5 火山岩带的异常和矿点

西北地区从空间上看，火山岩-次火山岩及变质火山岩是非常发育的，在空间分布上形成多个火山岩带；在时间上，从元古代-古生代-新生代沉积盆地边缘的火山岩也较广泛发育。在火山岩带是寻找块状硫化物矿床极为有利层位。在火山喷流过程中，携带有大量有用元素组分、气体和挥发分组合，与海水相遇，因温度、压力发生了明显变化，可以形成近火山相的块状硫化物矿床和远火山相的火山沉积矿床。还有一些火山岩地层由于富含有用元素组分，在变质过程中，由于大量地表水在变质热、岩浆热源驱动下，经构造作用常形成火山变质的硫化物矿床。评价矿点异常时，常注意火山岩带中的黄钾铁钒及喷流硅质岩带、钾钠化带与异常的空间关系。在变质火山岩带中注意碳质岩层，在火山岩带的碳质岩层反映了还原特点和生物发育地段，对远火山岩相块状硫化物的形成是十分有利的。由于有机物对成矿有用元素的吸附、富集起了重要作用，必然形成铁、锰、铜、铅、锌、银、砷等多元素组分的综合异常。因此，在矿点异常评价中，对火山岩带的异常应根据地质特征进行认

真分析成矿环境，这样在找矿过程中会取得较好效果。

1.1.6 蚀变带和硅铁建造带的异常和矿点

蚀变带是成矿热液在构造条件下作用的产物，是不同时期、不同地质作用综合反映的表现。各种热蚀变矿物越发育、越完整，说明热事件发生的长期性和多期性的存在，对成矿较为有利，往往易于形成多元素的面状、带状、环形状异常带。在研究这些异常时要根据地质背景分析蚀变是在构造封闭系统中形成的还是在开放系统中形成的。如果是封闭系统形成，对找矿是极为有利的，否则即使存在较好异常，也多属分散矿化引起的异常。

硅铁建造与铁铜矿及其他有色金属的关系是被中外地质学家所重视的，在世界上如奥林匹克坝特大型 Cu-Au-U 赤铁矿角砾岩型，世界级铁矿床瑞典基鲁纳型铁-有色金属、中国的白云鄂博铁-稀有金属以及甘肃省近年来发现陈家庙铁-铜型，桦树沟铁-铜、铅锌型，碧口群阳坝、杜坝铁-铜-金型等均与硅铁建造有极其密切的关系。同时出现硅镁质、硅钙质的硅质岩出现，铁多金属矿化出现并伴随有大量硅岩、碧玉岩、重晶石的形成，即早期的镁质硅岩-磁铁矿-晚期的赤铁矿-黄铁矿-黄铜矿组合。硅铁建造与有色金属的关系，是与沉积变质经后期叠加热液改造有极其密切的关系，在沉积阶段和变质阶段对铁矿的形成是主成矿期，在形成富含有色金属的矿源层，再经后期构造热液改造阶段是形成有色金属的主成矿期。硅铁建造的出现，一般含矿地层多形成于寒武系及前寒武系的地层中，由于强烈的多期改造作用，在有利构造空间形成与铁有关的多金属矿床，并伴生出现铜、钴、金及稀有稀土等综合元素的异常反映，是找与硅铁建造有关的有色金属矿床的重要地球化学标志。

1.2 异常的元素组合特征

地球化学异常评价中，对异常的强度，我们是既考虑异常强度

变化，又不局限于高强度异常，其原因是由于影响异常强度的因素比较多，且较复杂。因此评价异常时除考虑强度外，还应重点考虑异常的元素组合特征。地球化学区带普查中，往往获得一些多元素的组合异常，其实质是反映了一族有亲缘关系的元素在相同或相近的物理化学条件下聚合的结果。如铜、铅、锌、银、金、锑、汞等亲硫元素有类似的化学行为，它们都是在酸性氧化条件下溶解，在碱性条件下沉淀，并随温度变化，溶解主要与流体的盐度有关，并且多数以氯硫络合物的形式进入水溶液迁移，在有利的环境中富集成矿，并形成与其相应的多元素组合异常。

从热液成矿学的观点出发，这些多元素氯硫络合物溶液渗入地下，经构造、岩浆、变质热作用下形成成矿热液，进行充分水-岩作用，在物理化学变化的环境中，由于 pH 值、EH 值的变化，富集的成矿热液在有利构造部位富集成矿，并在一定范围内形成多元素组合晕。充分说明热液活动与多元素组合有着密切的关系。

通过生物-微生物成矿作用的研究表明，微生物和有机质在沉积阶段、成岩阶段、构造变质阶段和成矿阶段对多种金属矿物迁移、富集、沉淀都起了重要作用，形成了生物-有机质-流体的演化过程。特别是微生物对铁、锰、金、铜、硫、磷等元素的迁移、富集、沉淀是起了主要作用，并出现多元素组合晕的反映。因此，生物成矿作用与多元素组合也有密切的关系。

从矿床形成的动力学机制和成矿的多成因、多阶段的特点来分析，矿床的形成过程，往往有原始矿源层形成阶段，热水改造阶段，构造活化阶段等，使成矿元素发生排泄、补给、富集、沉淀，使成矿元素在动力学作用下发生多次转移，各成矿期与成矿阶段出现的元素不尽相同，最后在多阶段的成矿过程中，必然聚集了一族相关元素，在多期成矿作用下，形成矿体、近矿、无矿的统一系统中出现多元素组合的晕特点。

在研究多元素组合晕时，往往并不是都同时出现很多元素，元素越多越好，而是根据区带中成矿特点和成矿类型、建造类型、构造、岩浆活动的时空关系，确定标型元素，也就是通常所说主要指

示元素。如金矿床中，有硫化物型、贫硫化物型，从元素组合上出现 Au-As 型，Au-As-Sb-Hg 型、Au-Cu-U 型、Au-Ag-Sb-Hg 型等。在铜矿中，Cu-Ni-Co 型、Cu-Zn 型、Cu-Pb-Zn 型、Cu-Mo-Bi-W 型、Cu-Au-U 型等。应当根据矿床类型来考虑多元素组合，这样才能在找矿中取得最佳的效果。

1.3 异常的景观地球化学条件

景观地球化学是研究在不同地质地理环境中，取决于自然景观的诸多因素影响下化学元素分布和迁移规律的一门新科学。

在普查找矿中，确定普查对象（即普查客体）时，确定普查区的景观地球化学条件是非常重要的。勘查对象具有隐伏或半隐伏的条件下，主要的景观因素有：新构造发育的特征、风化作用和成壤作用的类型，第四纪盖层的成因和厚度等。对于每一种地球化学方法来说，控制景观地球化学的条件是不同的。

岩石地球化学分散流景观地球化学条件主要表现为：与新构造运动特点有关的河谷动态发育的特征，地形切割程度、径流盆地的面积、被现代侵蚀沟谷揭露的地质剖面厚度、融蚀区的存在情况、疏松产物的性质、工业废水污染的存在等。

次生岩石地球化学分散流的地化景观条件主要取决于疏松产物成因、厚度、成壤作用的类型，即取决于导致元素在分布的长期进行的地球化学过程和行为的结合，如腐殖质的积累、生物化学风化作用、盐类堆积、氧化-还原障上的水成积聚作用、蒸发障上的水成积聚作用等。

水地球化学分散晕的表现主要取决气候、元素迁移的酸-碱环境、常年冻结岩石分布特点，人为污染的存在情况等。

因景观地球化学条件的研究，对不同景观如植被雨林区、草原覆盖区、半戈壁沙漠区、冰雪长期、半长期覆盖区，均受其长期地质作用、新构造运动、地形气候、地表水和地下水成分、土壤盖层、植被生物微生物发育程度、动物界及人类活动等均对元素的迁移积

聚、元素组合、元素的异常强度有密切关系。研究景观地球化学区划分(目前有的国家在编制景观地球化学图),查明应用地球化学方法进行勘查的可能性及方法特点。如干旱沙漠区的盐晕分布、植被雨林区的酸性土壤等。从而指导不同勘查阶段地球化学方法选择,提高地质找矿效果是非常重要的。

同时研究景观地球化学特征很重要的作用是促使正确评价表生地球化学异常,查明淋滤带和各种地球化学障。通过近年来的分散流异常检查与沟系次生晕异常检查进行对比研究,认识到景观地球化学条件的重要性,如碧口群筏子坝铜矿,已成为中大型矿床,但分散流只有 $0.2km^2$,铜强度 80×10^{-6},经加密检查,异常范围和强度没有很大改变。镜铁山铁、铜矿,铜已达中大型规模,但分散流异常强度最高为 122×10^{-6},平均 65×10^{-6},面积只有 $1.0km^2$。究其原因,通过景观条件分析,前者为植被雨林区,后者为半年以上冰雪覆盖区,由于地表水比较发育,其 pH 值一般为 4～5,以酸性条件为主。铜的氧化物易受酸性淋溶作用的影响,大部分已成离子状态进入水溶液中,造成流失和贫化,因此水系沉积物中的铜含量低,异常范围小。20 世纪 60 年代初本人曾对西秦岭的水化学铜异常进行研究和检查,有的异常范围比较大,异常值也高,经多次检查,只有裂隙中有孔雀石化,但分散流并没有出现异常。就更充分说明铜的氧化矿物在酸性淋溶条件下流失的例证。

通过近年来全国有色系统大面积的分散流普查,发现具有一定面积和强度的铜异常并不多,发现一片金异常是比较容易。金在酸性条件下,特别是腐殖酸、氨基酸较强地区,金在常温常压下,极易变成离子状态进入水溶液,当景观中 pH 值改变时,还原为金沉淀,因此易于发现异常。

另外从古代到现代,人类活动也可造成某些元素聚集形成较好异常。如西秦岭土荒沟铜异常面积 $3.0km^2$,铜的最大强度大于 1000×10^{-6},一般在 $(300\sim500)\times10^{-6}$,为单一的铜元素,认为很有成矿的可能,经检查,为一松树苗圃园,为了防虫,一年几次喷硫酸铜溶液引起的异常。在河西有一红柳滩附近,有一较强的单一

金异常，强度范围却很可观。经检查，为古人淘炼金地，由于该区古时有水，矿石都拉到这里淘冶，形成大面积的污染，这就是人类活动造成的景观变化引起的异常。

在干旱半干旱风化戈壁景观条件下，由于季节性的冰雪、雷雨的发生形成地表潜流，加之由于温度差，压力梯度等因素引起的重力场、热场、电化学场、渗滤场等作用，形成一些盐晕，并伴随有多种元素的聚集，如氯化钠类型、潜水呈带状类型、硫酸钠盐丘的形成，都使环境内原先不存在的新化合物形成。对于这样的异常也是常常会遇到的，必须引起足够重视。近年来在评价异常过程中，有时会取得较好效果，有时一事无成，不少情况下是与地球化学景观有一定关系。因此研究异常区的景观特点，如物理风化、化学风化的特点和历史、恢复异常发育史，研究各种地球化学障的形成等，进一步正确评价引起异常源性质，区分矿与非矿异常，是提高找矿成功率值得注意的重要方面。

1.4 异常区地球物理场特征研究

勘查地球物理方法，在地质勘查中有的方法可以直接找矿，有的方法是间接找矿，这都是有条件的。对区域地球物理场，主要通过该方法研究工作区的深部隐伏构造，进而通过构造分析，间接圈定找矿远景区，如区域重力和航磁是完全可以达到这样的目的，虽然这些资料精度较低，进行层析技术数据处理有一定困难，但根据二维数据处理，研究深部构造是可用的。在区域有色金属矿产普查中，区域重力与航磁异常的应用应注意以下几个方面：

(1)在重力区域场的研究中，在区域重力高与重力低的异常过渡带，即梯度带的矿点和多元素组合异常，应该为重点找矿地段。因为梯度带反映了两个不同重力场源交接部位，往往与不同岩性层、构造活动、剪切带、破碎蚀变带有较密切关系。重力异常扭曲变形区的多元素组合异常，即反映了构造变形是受区域构造、隐伏构造、侵入岩等综合因素影响造成的多期成矿有利地段。

(2)航磁区域场研究，通过对航磁区域场[redacted]在[redacted]异[redacted]一侧的负磁异常区，除了斜磁化影响外，在[redacted]常区中，出现微弱的正磁局部异常地段有多元素组合异常时，也应确定为重点找矿地段。其原因是，反映磁性体与非磁性体的过渡部位，一般正磁异常多与铁镁质-超铁镁质岩性、结晶基底磁性隆起有关，负异常与沉积岩层，浅变质岩层、中酸性火山岩(或变质火山岩)及接触带有关，这些部位出现微弱正磁异常与一定热液活动形成磁铁矿、磁黄铁矿等有密切关系。如伴有多元素异常出现，可能为寻找有色金属矿产的有利部位。

(3)利用重力与航磁资料推断深部隐伏构造，在高密度与低密度体之间，磁性体与非磁性体之间，在两者的过渡带由于刚性与韧性地质体之间在造山运动过程中，往往形成断裂构造破碎带、剪切带，这些构造常与幔源或壳层构造有一定联系，在重力与航磁异常或延拓后的异常可以清晰反映出来。这些地质构造就可成为成矿热液的通道或有利聚集的场所，特别是非磁性层具有矿源层的特征时，某些元素的含量为高背景时，由于成矿热液与围岩的水-岩作用，对矿源层中的有用元素进行活化、迁移、聚集，在次级构造的有利空间形成有用矿床就位。因此根据深部构造上所建立的重磁特征模型，推断深部隐伏构造，特别是两组不同方向构造交汇处，对成矿更为有利。因此，借助重力与航磁资料推断深部构造，结合地表化探资料选择评价靶区，是一种很重要的间接找矿有效途径。近年来我们选择评价地化异常时，认真分析了重力、航磁资料，起到了很好效果。如镜铁山地区的铁、铜、钨等多金属矿化集中区，除区域上的 NW 向构造对成矿起了一定的作用外，通过航磁重力区域场的分析，位于北大河附近有一 NE 向的隐伏基底构造存在，向西南一直延至柴达木盆地周边的锡铁山大型铅锌矿产出部位。这一隐伏断裂带的存在，对镜铁地区的成矿系统的影响是非常重要的，并在断裂两侧形成镜铁山铜、铅、锌、锑、钼异常带、小柳沟面性铜、钨、钼异常区、水文站-东石板沟铜、钼、钨、锑异常区、黑水河钼异常区等，因此，在断裂两侧形成了大型-超大型有色

金属矿床。在北秦岭，温泉钼矿床产于地表为北西向断裂带与重力、航磁推断的近南北向隐伏断裂的交汇处。东秦岭豫西南地区祁雨沟大型金银矿和南泥湖大型钼矿均为类似条件。

2 成矿区带地球化学普查评价的基本程序

2.1 成矿区带找矿方法选择的基本原则

随着科学技术的迅速发展，新的成矿理论，找矿方法不断产生。特别是地勘工作逐步从计划体制下向基础性、公益性和商业性地质工作的逐步过渡，地勘工作的投资也逐步从国家财政拨款向资金多元化发展。因此，在成矿区带找矿方法选择上要适应地勘业的新形势要求，并考虑以下原则：

(1)找矿方法快速、经济、有效。成矿区带一般的普查面积几千平方千米至上万平方千米，为迅速了解全区的有关找矿信息，应首先进行小比例尺的成矿预测研究，其内容包括成矿系统的控制因素、地质特征、地球物理条件、矿化类型等，并对其找矿远景做出预测。其次应在区内开展相应的地球化学普查，迅速了解区内各元素与成矿系统、各种地质体、地球物理梯度带及不同矿化类型之间的关系。地球化学普查方法应根据成矿区带地球化学景观选择水系沉积物、岩石碎屑、土壤、水化学等方法进行。

成矿区带地球化学普查的目的是迅速了解区内地化异常分布特征，快速缩小找矿靶区，争取找矿的重大突破。这项工作与全国低密度化探有着本质区别。因此其工作比例尺一般选择 1:5 万比较合适，每平方千米 4～6 个采样点，均匀分布，个别地区可以达到 8 个点。在扫子山地区 1/5 万与 1/20 万地球化学测量结果进行对比可以看出，成矿区带中选择 1/5 万进行地球化学普查，使该区异常带为一个完整的金、银、铅、锌、砷、锑组合异常带，长 17km，可作为一个成矿集中区考虑。从 1/20 万低密度普查结果可以看出，异常仅出现零星的点异常为主，没有一个带的概念，就很难确定为

一个矿化集中区考虑。

根据我们的工作经验，在重点成矿区带中开展地球化学普查，所出现的异常几率为 8% ~ 10%，即扫 3000km^2 的范围一般有 240 ~ 300km^2 的异常区，其中包括强异常区、中弱异常区等。这样的几率需要快速进行检查评价，查证异常源的性质，按传统方法的剖面法查证，一方面难以控制异常源，另一方面难以确定异常形态变化；按传统的正规网效率低，成本高，不能适应分散流异常中对多元素组合异常快速评价的要求。如扫 2000 ~ 3000km^2 的面积需要 2 ~ 3 年检查评价。同时分散流异常是否与矿体、矿化体有关，一开始就用正规网评价，从目前的经济观点也是不允许的。因此，在确定异常浓集中心的位置和性质时，就采取快速、经济、有效的方法手段是异常检查评价中方法选择应首先考虑的基本原则。工作方法选择时要体现：①时间概念：即在区带普查之后的 1 年之内或更短时间内，对区内主要异常的性质、找矿前景做出较为科学的、符合实际的结论；②经济概念：在区带普查的异常评价中，仅用针对性较强的评价方法组合，方法简单易行，可减少资金和人力的投入，尽快确定找矿靶区和靶位；③效果概念：用最简单的方法、最短的时间内，投人较少的情况下尽快发现矿化地段，可在此基础上开展系统的地表地质和深部工程，力争有重大突破。

(2)系统性、阶段性、实践性相结合。成矿系统和矿床的形成是地球物质运动的历史产物，成矿过程是在漫长的地质发展中物质的迁移、富集、沉淀是经过一个较为完整的演化过程。因此在找矿的实践过程中，也必须遵循从整体出发到逐步认识局部成矿地段的过程，这样必须有一个不同层次的面积性概念，也就是通常所说的迅速掌握全局，逐步缩小靶区的过程，这样必须开展不同层次系统的面积性普查，在面中求点，点中突破，再到面中扩展的工作思路，才能完成这种认识过程的根本转变，没有系统的面积普查，就很难找出突破点，特别对于目前以找隐伏和半隐伏矿的发现是相当困难的。不同层次面积性工作绝不是从小比例尺-中比例尺-大比例尺依次排列下去，而是根据目的、任务确定基本层次。

阶段性主要体现在不同工作阶段有不同的工作目的，反映不同的认识，从认识论角度出发，认识是在不同阶段逐步提高和深化的阶段。分散流普查是圈定异常的汇水盆地、缩小找矿范围。在汇水盆地内开展1/2.5万地化普查是确定异常浓集中心和矿化、蚀变的有利阶段，确定异常的性质，这两个阶段的工作一般是不能省略的，必须相互衔接。在隐伏和半隐伏找矿区，一般强的异常多为近地表矿化、蚀变所引起，而有些中等或较弱异常，并且有多元素组合时多具有一定埋深，如果单单从剖面看，还不易确定异常性质，若有一个完整的面积性圈定的异常，再结合异常区的地质环境分析，就易于对异常性质做出评价，这就说不同阶段面积性工作的重要性。

实践性，地质科学是一门实践性和对比性较强的科学。成矿作用的多样性，物质的多源性，成矿过程的复杂性，是每个矿田内极常见的现象，说明成矿系统的控制因素在每个成矿区带都有其独特性。例如西成矿田从目前认识成矿系统的控制因素分析，不仅有前人认识的滞流盆地内形成的热水沉积改造矿床如厂坝-李家沟铅锌矿床；在紧闭褶皱的背向斜中有热水沉积再造型铅锌矿床外，近年来通过区带普查两个阶段的面积性资料分析及野外实践认识，还应有与层状矽卡岩化有关的铅锌矿化层出现，有铅锌矿上部层位中的金矿化，还有与推覆带、剪切带等有关的金矿体，与岩体内外接触带有关的矽卡岩型铅锌金铜矿化出现，同时在有的岩体内还出现钨钼铋矿化与异常。通过实践的认识，西成矿化集中区内的成矿系统除与同生断裂有关外，更重要的与印支-燕山期的岩浆侵入活动有极其密切的关系。这些认识主要是通过不同层次面积性普查中所发现的不同类型的异常的检查评价中，逐步提高和深化该区的找矿认识过程中得到的，是反复认识、反复实践的结果。

2.2 成矿区带地化普查的基本程序

根据10多年来成矿区带普查工作经验，我将普查工作分为3个阶段，即普查找矿的“三步曲”。

第一阶段：在研究重点成矿区带的成矿系统控制因素和成矿预测的基础上，选择重点成矿集中区首先开展1/5万～1/10万分散流普查，圈定单元素、多元素的异常集中区。然后将异常集中区与区内成矿系统的主要控制因素、地层、构造、重磁异常梯度带等进行综合分析，进一步确定成矿系统控制因素与地化异常的内在关系，选择条件较好的异常区作为主要的评价靶区。

第二阶段：对前述确定的主要靶区，首先用剖面确定异常的存在，然后在汇水盆地内系统进行1/2.5万沟系原、次生晕或岩屑测量，确定异常浓集中心，从异常浓集中心入手，对沟系异常做出评价。在评价前须对沟系次生晕异常进行初步判别矿异常与非矿异常，根据多年来的经验，主要有以下几个方面：

(1)沟系异常与分散流异常对比分析，特别是异常浓集中心的异常面积。一般沟系异常浓集中心的异常面积比分散流异常面积缩小3～5倍，一方面由于分散流具有一定流长，异常源的物质向外扩散、迁移所致；另一方面由于分散流的采样密度较稀，多为水系交汇点附近采样，反映了汇水盆地中形成的异常。

(2)沟系异常与分散流异常强度的对比分析，通常以极大值和异常下限来比较。沟系异常极大值比分散流异常的极大值高出5～10倍，有的达20～30倍，其原因是沟系采样在分散流汇水盆地内，接近异常源附近，会出现强的异常浓集中心，异常浓集中心也往往是在沟系中由于地形切割，地质现象暴露比较清楚，成为微矿化露头地段，出现强异常是自然的。从异常下限值来比较，一般提高3～5倍，在异常区内开展工作，由于背景值比一般地区要高，根据背景、异常的相对概念，异常下限必须提高。

(3)利用沟系异常值的梯度变化，梯度变化是指单位距离内元素的变化率，也就是异常的拐点(后面就梯度概念专门论述)，沟系异常的最大梯度值是背景区与异常下限区梯度值的5～10倍以上。

(4)根据元素组合特征分析主攻矿种和成矿类型。以金、银、砷、锑组合，可注意金矿找矿；以铜、铅、锌、砷组合注意找有色金

属;以钨、锡、钼、铋组合注意找钨钼矿、钨锡矿等。元素组合在沟系异常与分散流异常中一般相差不大,但主成矿元素两者之间有时相差甚大,有时在分散流异常中某一元素强度和面积为次要异常,但在沟系异常中可以变为主要异常。根据野外实践,这样的例子还比较多。这种现象的出现往往多为矿致异常。如某地区中分散流异常中有铜、铅、锌、金、砷异常较强,钨、锡、钼、铋异常较弱,但面积较大,沟系异常工作后,反而出现相反的情况。这样情况的出现与富集粒度与氧化程度有密切关系。

第三阶段:对沟系异常浓集中心地段,经分析具有较好的成矿地质条件时,采用必要的地化剖面,一般3~5条,准确确定异常浓集中心所在位置,并有微矿化露头或蚀变特征时,进行必要的地表工程揭露,一旦发现矿体、矿化体或较大规模的蚀变体时,在区内开展面积性1/2千~1/5千地质测量及稀疏的地表工程控制,圈定矿化地段,确定矿化规模。为了扩大找矿前景,可配合面积更大的1/5万地质测量,系统研究成矿环境,并在矿化地段及延长部位进行有针对性的物探方法,确定矿化隐伏地段的规模和隐伏矿化的找矿前景。并配合进行少量必要的工程验证,一旦深部发现较好的矿体时,可以选择主要矿化地段进行必要的地质科研,研究成矿的控制因素,为扩大矿床规模提供进一步的成矿机理。这就是第三阶段的主要工作。

从以上3个阶段是一有机结合的整体,从方法上由粗——→细;从找矿思路上由异常——→矿体(矿化体),从找矿程序(或布置上)由矿化露头——→中大型矿床;从认识上由浅——→深;从工作安排上由大面普查——→选点——→小面积详细地质普查。这样的程序较好地解决了区带普查各个阶段的过渡关系,是符合实践论和认识论的全过程,从面使整个成矿区带普查达到了完整的统一。

三个阶段的有机结合,也充分体现了快速、经济、效果好的基本原则,整个过程没有出现无效工作内容,基本一环扣一环,是简化的区带找矿程序。在当前地质工作从计划经济体制下向市场经济过渡的阶段,地勘工作以发现矿床为主要目的,而矿床的普查、

详查、勘探是由投资业主进行，这样的工作程序是适合当前的地质找矿的发展。

3个阶段的工作程序，也是目前地球化学普查规程中通常提出的异常三级查证的具体体现和更加具体化，更加科学化、合理化。主要从二级面积性普查中首先获取整体概念，然后从整体中找出局部突破地段，既有全局，又有局部，还有合理的过渡，这3个阶段是区带普查不可跨越的合理阶段。只有这样，才能充分发挥成矿区带地球化学普查成果的有效作用。

3 快速评价分散流异常的沟系原、次生晕和岩石碎屑测量方法

3.1 沟系原、次生晕和岩石碎屑测量方法

所谓沟系原、次生晕和岩石碎屑测量(简称岩屑测量)方法,是指沿沟谷、水系定点采集原生晕、次生晕样品和岩石碎屑样品,圈定各种元素异常的位置,确定异常形态及其强度,进而快速评价分散流异常的一种地球化学普查方法简称沟系方法,也可以称为沟系土壤、岩石和岩屑地球化学方法。也就是说,将传统的正规方格测网的原、次生晕和岩屑测量方法,变为以自然条件下沿沟谷、水系树枝状测网的方法。采集原生晕、次生晕或岩石碎屑等不同采样介质,采样介质是根据不同景观地球化学特点来决定的。

3.2 问题的提出

(1)20 世纪 80 年代以来,随着分析技术水平的提高和微量元素分析系统的建立,促进了成矿区带地球化学普查的快速发展。一个地勘局每年大约进行 2000～3000km^2 的分散流普查。目前,大部成矿区带都具备快速、定量、多元素为特点的五万分之一分散流的完整资料,并发现了大量有意义的地球化学异常。按异常出现的几率统计,大约是分散流普查面积的 8%～10%。如何将有潜在远景的异常以最短的时间、最少的劳力和财力转化为有实际经济价值的资源,这是地球化学勘查界一个不可回避的实际问题。快速评价异常的含义应具有时间概念、经济概念和效果概念,要达到三者的统一必然是涉及技术方法的根本改变,就必须采取超常规的方法才能实现这一目的,加快异常评价速度,提高找矿效果,

这是地化异常评价中必须解决的问题。

(2)在以往的评价区带分散流异常的过程中,按传统的作法即所谓"三步曲":第一步用剖面拦截,证实异常的存在;根据1/5万分散流的特点,每平方千米4～6个采样点,一般布置于Ⅰ、Ⅱ级水系的沟口附近,出现异常的所在位置,不一定代表异常源的位置,异常源的位置应包含在异常所反映的汇水盆地中,同时由于残坡积层较厚或有一定覆盖时,只有沟系中对矿化信息暴露此较清楚(有微矿化露头出现),往往采用剖面法难于完全控制异常源。第二步一般用剖面法、比原比例尺较大比例尺的小面积分散流加密或小比例尺的基线控制的正规测网进行汇水盆地控制,以多种物化探方法圈定异常位置,确定异常形态,进行综合解释。采用较大比例尺的小面积分散流加密仍以确定异常的存在为主要目的,但对异常的评价仍需进行一定的面积普查评价。采取正规测网,工作效率低,成本高,工作周期长,不能适应大量异常评价工作的需要,同时由于具有一定覆盖条件时采样有效点率低,甚至只出现一些点异常;第三步按照大比例尺正规网,详细圈定异常,进行工程验证。特别是后两步,按现有规程规定,常采用200m×40m或者100m×20m的方格网控制,需要大量的测网布设人员,其结果是费时、费工、费钱。特别是在地形及通视条件较差的地区,如在森林、灌水区,由于通视条件极差,需大量砍伐林木,除经济赔偿外,还对自然生态环境造成破坏。这样对于一个异常从圈定-评价-验证见矿的周期,往往需要3～5年,致使分散流获得的大量成果不能及时作出评价,满足不了普查找矿的需要。例如我们在西成铅锌矿田采用万分之一的自由梯度法和次生晕测量,按100m×20m的测网,投入两个分队(每个分队平均50人),历时8年,完成面积480km^2,耗资达300万元。如按1/2.5万比例尺的沟系方法完成上述工作,只需2年,每年15～20人,投资不超过120万元。可见,传统的"三步曲"评价异常的方法在时间上、经济上是不合算的。采用这种异常评价方法是值得探讨和深入研究的。

(3)在充分研究正规网的利与弊中,正规测网主要优点是点位

的均匀度和精确度较高，由于是通过测量仪器控制基测线，点的实际位移较小。其不足之处是按事先布置好的测网进行机械式采样。特别是在残坡积层较厚或有一定外来物覆盖的地区，只有沟谷、水系中由于切割较深，往往有一些矿化或蚀变现象易于暴露出来，但正规测网的测量不一定落到这些地段，其采样结果就比较差，浓集中心地段不易圈定出来，虽出现异常，但值相对低，异常规律性不强，且零散，有时不会引起重视。为了突出这些地段的异常，提高采样有效点率，在沟系采样中，在室内正常均匀布设单号点，采样中根据构造、矿化、蚀变断裂和特殊地质现象地段布设双号点，这些点允许前后有一定位移，应将实际点位标于图中，同时在相邻沟系中采样时也同时会注意这些特殊地段的采样，这样沿沟系采样就将正常的地化采样与特殊地质现象地段的采样紧密结合起来，观察、描述稍细一点，一张同比例尺的地质简图也可以做出来。这样就极容易圈定异常浓集中心和异常范围。再者正规测线是按测线方向进行采样，特别是在地形条件复杂的地区，一条测线可穿过几道沟，几条山梁，采样的劳动强度大，生产效率低，成本高。沿沟谷、水系采样，相对劳动强度小，生产效率高，可大大降低生产成本。因此，为提高和加快异常评价速度，缩短找矿周期，我们在实践中摸索和探讨采用了沿沟系进行原、次生晕和岩屑测量方法，快速评价分散流异常。

3.3 采用沟系原、次生晕及岩屑测量方法的可行性

采用沟系方法，涉及两个敏感的问题：一是撤销方格网代之以自然沟系网；二是高密度网点采样代之以稀密度随机取样的可能性研究。

(1)自然沟系网定点的均匀性与可信度。撤销方格网代之以自然沟系网，并不是该方法争论的焦点。因为不管什么样的测网，只要布点均匀、点位准确，即可达到预期目的。从五万分之一到万分之一的地形图和航空照片上看出，山区沟系多呈树枝状，主干沟和次级沟系的分布比较均匀、醒目，易于辨认。极少数情况下地形切割和变化不大时，在图上不够明显，但在实地还是有一些“毛毛”沟

系。因此，在不同级次的沟系中，按一定的距离布点，可以做到均匀、准确。实际上多年来所做的分散流普查也是用了这种测网和定点工作方法。只是采样密度不同而已。根据我们野外工作结果，利用地形图沟系结合测绳量距确定点位，其相对误差为5%～10%，图上限差不超过2mm，基本上可保证定点精度。根据目前技术发展，若配有一定精度的卫星定位仪，满足定点精度更没有问题。

(2)高密度采样代之以低密度随机采样是该方法争论的焦点。异常评价的目的是确定异常的位置、规模、形态和强度，为异常解释提供基本依据。为此，采样密度应放稀到什么程度才合理？为了说明这个问题，我们从以下几个方面讨论：

我们将一个高密度采样的矿致异常，逐渐放稀网度，以考虑对异常解释的影响。图1是西成邓家山铅锌矿床的次生晕锌异常，其测网为100m×20m，用200×10^{-6}的锌含量圈定的异常长1300m，宽400～500m，1000×10^{-6}含量圈出3个高值中心。异

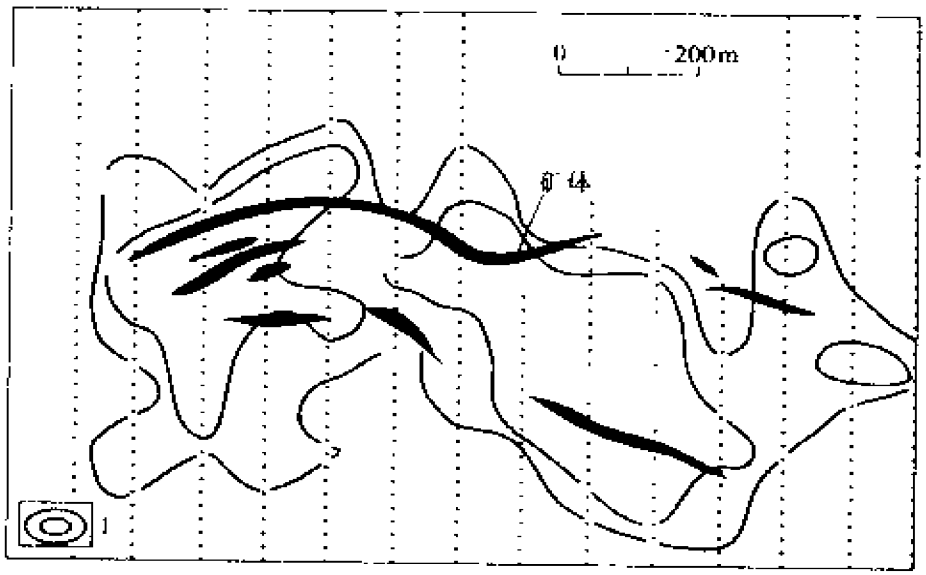


图1　邓家山铅锌矿床100m×20m网度次生晕锌异常图

Fig. 1　Zn anomaly map of secondary halo in the Dengjiashan Pb-Zn ore deposit(grid 100m×20m)

1—锌异常，等值线间距200×10^{-6}、1000×10^{-6}

常轴线近东西向，形态较规则。已知铅锌矿体受层位和紧闭倒转背斜控制，异常轴与背斜轴基本一致，该矿床铅锌储量为大型，矿体产于灰岩与千枚岩接触部位及背斜鞍部，矿体与异常的主要部位吻合较好。图2是采用200m×40m网度（抽掉图1中的双号线双号点）所圈定的锌等值线（1×10^{-6}）图。结果图1中的连续异常变为两个孤立异常，但其总长度、宽度及强度变化不大。结合两个异常的元素组合特征及所处地质环境，特别是受地层层位和构造控制的铅锌矿床，鞍部矿体与背斜翼部矿体与异常对应较好，绝不会把两个异常当作单独的矿体来解释。对异常虽有一些影响，但对异常的发现和解释影响不大。

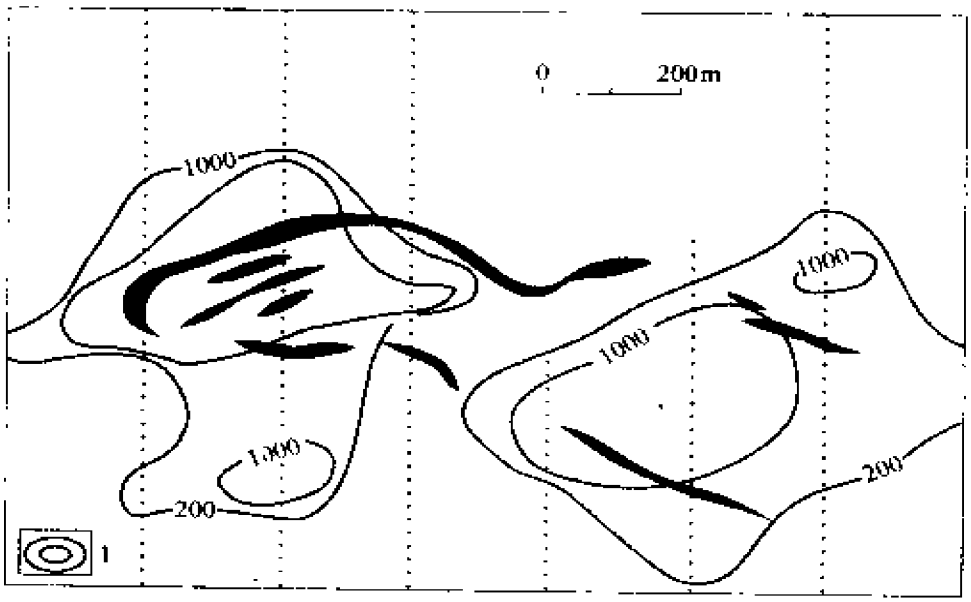


图2　邓家山铅锌矿床200m×40m网度次生晕锌异常图

Fig.2　Zn anomaly map of secondary halo in the Dengjiashan Pb-Zn ore deposit(grid 200m×40m)

1—锌异常，等值线间距200×10^{-6}、1000×10^{-6}

图3是采用300m×60m的网度（将图1隔一行去掉两相邻测线和两相邻测点）所圈定的锌异常等值线。异常长度和强度与图1差别不大，异常宽度300～400m，形态比较规则，两个异常浓集中心依然存在。但从图3可以看出，锌异常与矿体吻合程度与图

1、2 对比，形态、位置、强度和浓集中心差别不大，仍然能够清楚反映出矿床的异常，异常分布范围基本上反映了背斜轮廓。这样从图 1 到图 3，采样点数由每平方千米 500 个减少到 50～60 个，点的密度为原来的 1/10 左右。

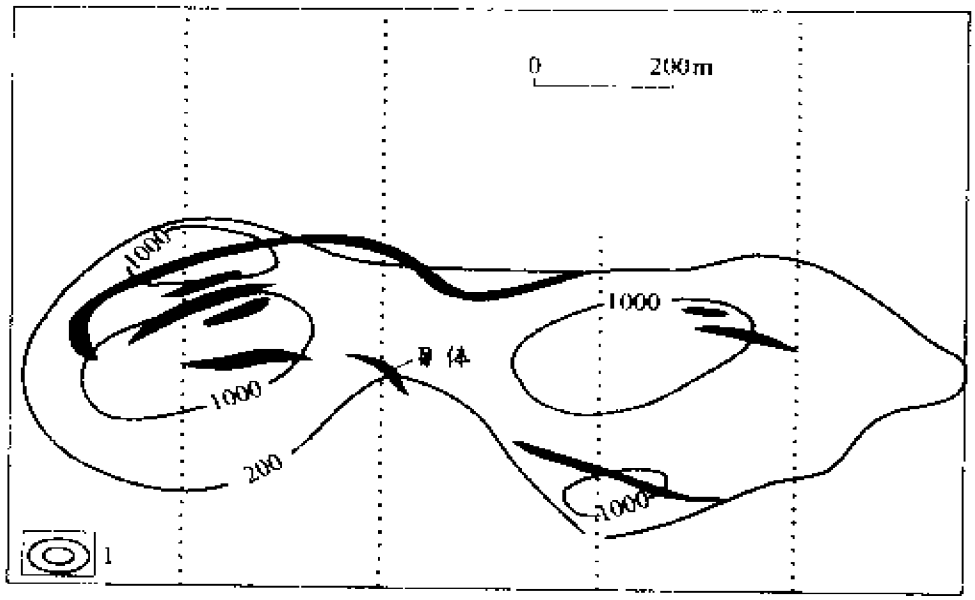


图 3　邓家山铅锌矿床 300m × 60m 网度次生晕锌异常图

Fig.3　Zn anomaly map of secondary halo in the Dengjiashan Pb-Zn ore deposit(grid 300m × 60m)

1—锌异常，等值线间距 200×10^{-6}、1000×10^{-6}

图 4 是将图 1 范围内所有的沟谷、水系都画出来，并套在图 1 上，凡在沟谷、水系上或其附近的测点落在图 4 上(相当于沿沟系采样的实际材料图)。所圈定的锌异常与图 1、图 2、图 3 所示异常的长度、宽度、强度差异不大，且与 300m × 60m 网度的异常极为相似，异常范围与背斜分布范围基本一致。经统计落到沟谷、水系上或附近的采样点为 60 个左右。

再根据 1/2.5 万沟系次生晕采样点密度每平方千米 50 个点，每个点的实际控制面积为 0.02km^2，即 200m × 100m 范围。根据多年次生晕工作的经验，若一般地形坡度为 10°～20°时，矿化体长度 200m，宽 3～5m，残坡积物形成的范围至少有 400m × 100m，或者更

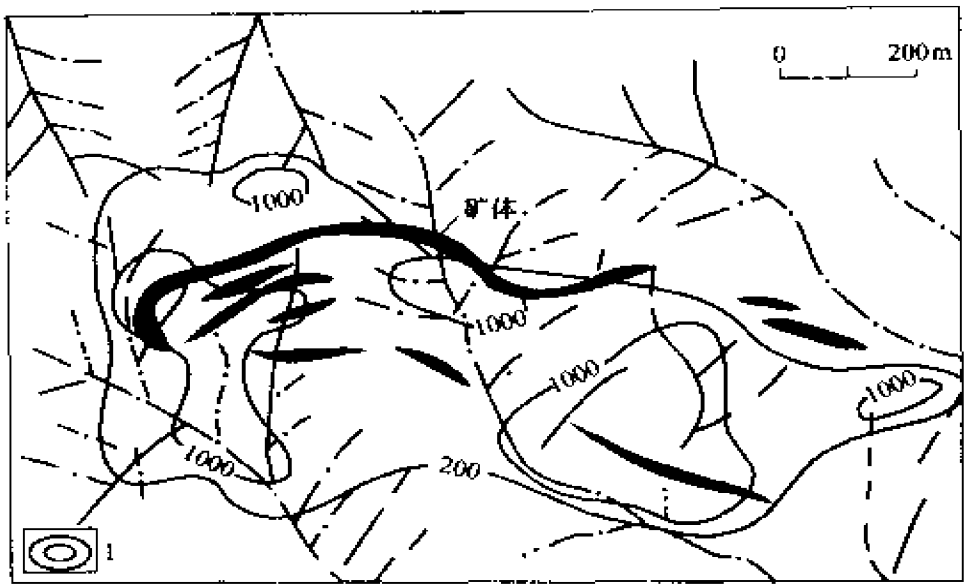


图 4　邓家山铅锌矿床沟系次生晕锌异常图

Fig.4　Zn anomaly map of secondary halo from valley system in the Dengjiashan Pb-Zn ore deposit

1—锌异常，等值线间距 200×10^{-6}、1000×10^{-6}

大一些。那么这样的比例尺和定点密度至少有 2～3 个点可以发现异常。同时沿沟系采样，由于地形切割矿化，蚀变及构造等"微矿化露头"易于暴露，并进行定点采样，更容易发现异常浓集中心。

近年来到我国访问的一些外国化探专家，对我们在评价异常阶段采用 100m×40m，100m×20m 网度进行原次生晕扫面工作，感到惊讶，认为采样密度过大，一方面野外采样工作量大，另外，分析样品过多。对比国外大量化探资料，不管正规网、随机网，都相当于我们 1/2 万～1/2.5 万比例，因此对我们传统的正规测网评价异常提出异议是不无道理的。

综上所述，放稀测网，即比例尺由万分之一变为 1/2.5 万，由正规网高密度采样代之以低密度沿沟系形成的树枝状测网进行随机采样，对异常的形态、规模和强度等影响不大。特别是在异常评价阶段，主要任务是确定异常的性质和引起的原因，是能够满足定性地质化探解释的要求。据此，布置一定的地表工程验证异常浓

集中心，寻找和发现矿体、矿化体或重要蚀变带是可行的。

3.4 沟系原、次生晕及岩屑测量的试验结果

前述对该法的可行性进行了对比研究，在实际工作中是否可行，需要在野外选择分散流异常进行实地试验。1986 年，我们选择了两个区带，对 2 个分散流异常进行沟系次生晕面积性工作；一个地区的分散流异常进行沟系原生晕工作，1994 年，对两个地区的分散流异常进行沟系岩石碎屑测量工作。试验均取得了较为理想的地质效果。

图 5 为甘肃礼县金山分散流异常，元素组合为金、锑、砷，其面积约 15km^2，异常位于印支期两大岩体之间的构造蚀变带中，地层为泥盆系碎屑岩及碳酸盐岩建造。在该异常区内布置沟系次生晕采样 10km^2。图 6 是图 5 中所示的 4.3km^2 范围内的沟系次生晕采样点及沟系分布状况。从图 6 可以看出，树枝状测网清晰，沟系分布较发育且比较均匀，共布采样点 182 个，平均每平方千米 43 个点，布点较均匀、合理。图 7 是沟系次生晕所圈定的金异常等值（1×10^{-6}）线图。异常强度高，浓集中心明显，梯度较陡，形态规则，规律性较强，并有一定的规模。对图中的 4 个异常浓集中心做了重点地表检查，均在沟中发现了具有强烈蚀变的破碎带，其中有较强的黄铁矿化、硅化、碳酸盐岩化和毒砂化并含有白铁矿、少量方铅矿等。蚀变带宽 3～5m，两侧山坡上被残坡积层和黄土覆盖，经槽探揭露，均见到金矿（化）体，矿化体宽 2～3m，控制长大于 200m，金品位一般 1～3g/t，最高达 6.05g/t。后经地表系统评价，北部的强异常中心，金极大值为 500×10^{-9}，长 500m，宽 200m，为后来确定的该区 30 号矿体。中间两个浓集中心，金极大值分别为 500×10^{-9}、100×10^{-9}、长 2500m，宽 100～500m，为后来确定的 19-1 号、19-2 号主矿体的位置。整个地区现已控制金金属量在 20t 以上，成为大型金矿床。

图 8 是甘肃礼县李坝地区金、砷、锑、银分散流异常区，异常面积达 40km^2，金的平均含量 17×10^{-9}，最大值为 96×10^{-9}。砷异

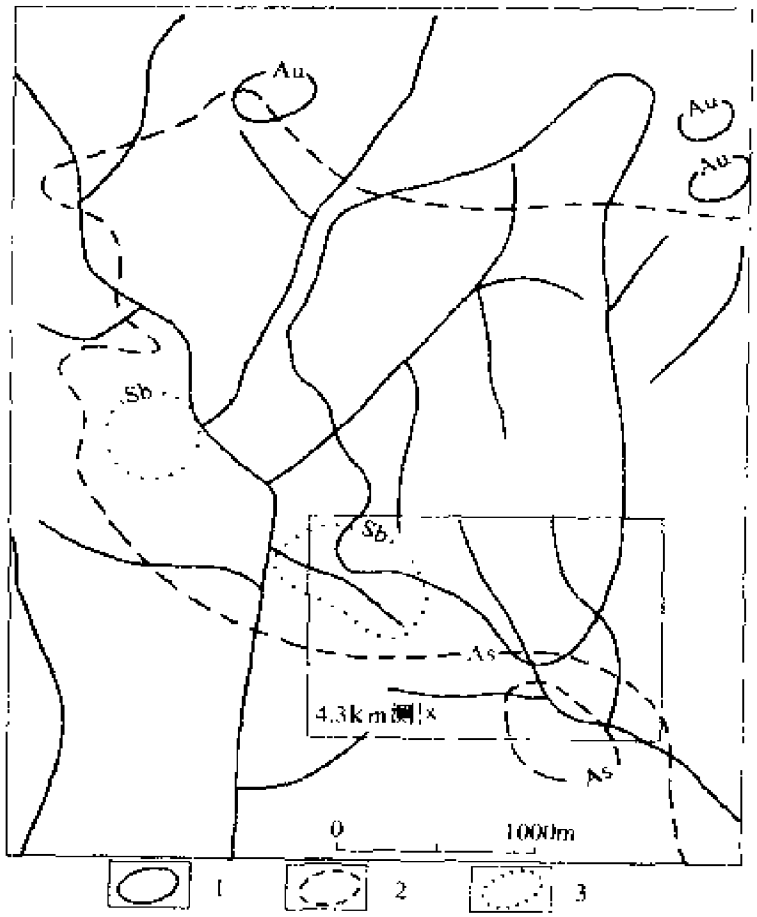


图 5　金山分散流金、砷、锑异常图

Fig. 5　Au, As, Sb anomaly map of dispersion train in the Jinshan orefield

1—金异常，2—砷异常；3—锑异常

常范围比金异常范围大得多，近 60km^2，其最大值达 500×10^{-6}，平均为 90×10^{-6}。该异常处于印支期中川花岗岩体北东侧外接触带的中泥盆统李坝群地层中，岩性为砂质板岩、斑点板岩及粉砂岩等，区内断裂构造十分发育。对该异常区投入沟系次生晕采样 48km^2，图 9 为其中 5km^2 范围内的沟系及点位布置图。由图 9 可以看出，沟系分布清晰，易辨认，采样点位布置都比较均匀，其布置采样点 251 个，每平方千米平均 50 个点。图 10 是沟系次生晕所圈出金异常，异常形态规则，强度高，浓集中心明显，梯度陡，规律

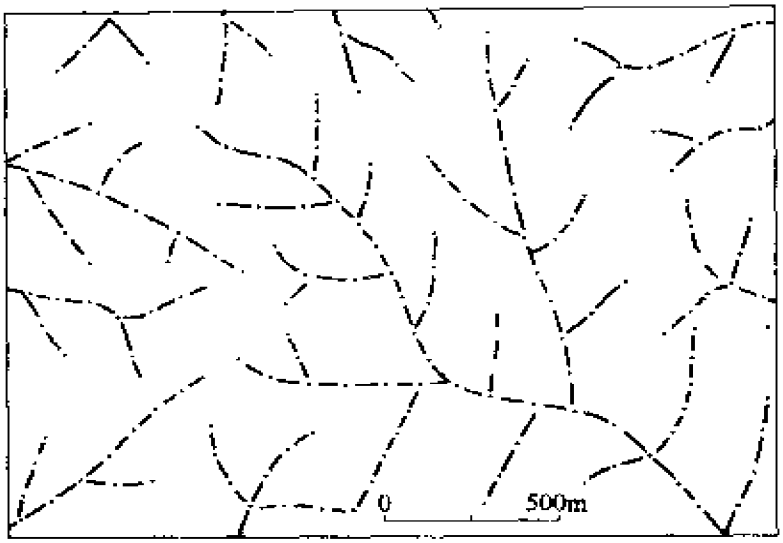


图 6　金山沟系次生晕试验区采样点位图

Fig. 6　Map showing sampling location of secondary halo from Jinshan

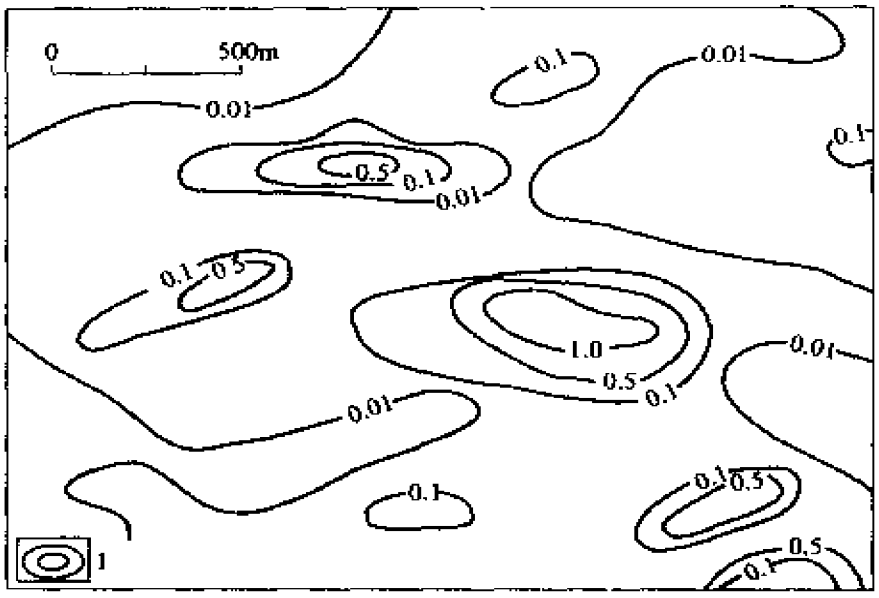


图 7　金山地区沟系次生晕金异常图

Fig. 7　Au anomaly map of secondary halo from valley system in the Jinshan pilot area

1—金异常，等值线间距，10×10^{-6}、100×10^{-6}、500×10^{-6}、1000×10^{-6}

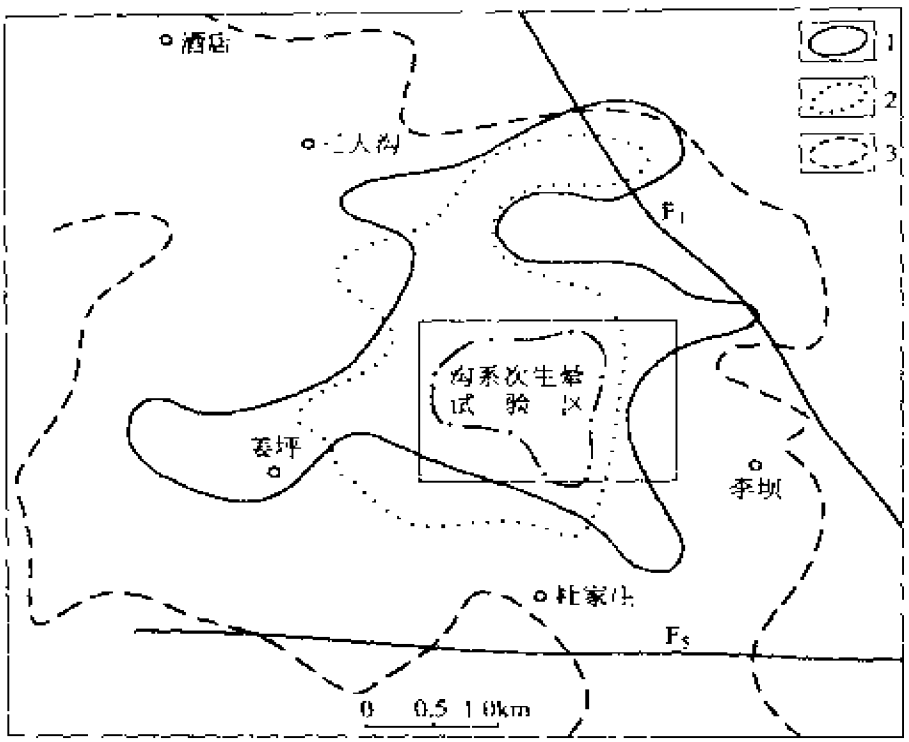


图 8 礼县李坝地区分散流金、银、砷异常图

Fig.8 Au, Ag, As anomaly map of dispersion train in Liba area

1—金异常，等值线值 10×10^{-9}；2—银异常，等值线值 200×10^{-9}；3—砷异常，等值线值 50×10^{-6}

性较好。次生晕样品中金大于 1000×10^{-9} 的点有 30 件，最高达 15000×10^{-9}。区内山顶及山坡均为第四纪黄土覆盖，沟系中具有基岩出露。对高值异常浓集中心区经地表检查，在沟谷中均发现了较好的破碎蚀变带与之吻合较好，蚀变带为斑点板岩褪色化及褐铁矿化为主。经地表槽探揭露，见到了金矿(化)体，厚 4～5m，金品位一般 3～5g/t，最高达 18.0g/t。经过以后的评价，北部的高值区，面积较大，长 3000m，宽 500～800m，经详细评价为李坝 6 号矿体及其平行矿体所引起异常。南部异常带分为东西两个异常，中间为第四纪覆盖为后来评价的 5 号矿体及平行矿体引起的异常，两异常带均受断裂破碎带控制。两个异常区控制金金属量 50t 以上，达大型矿床。

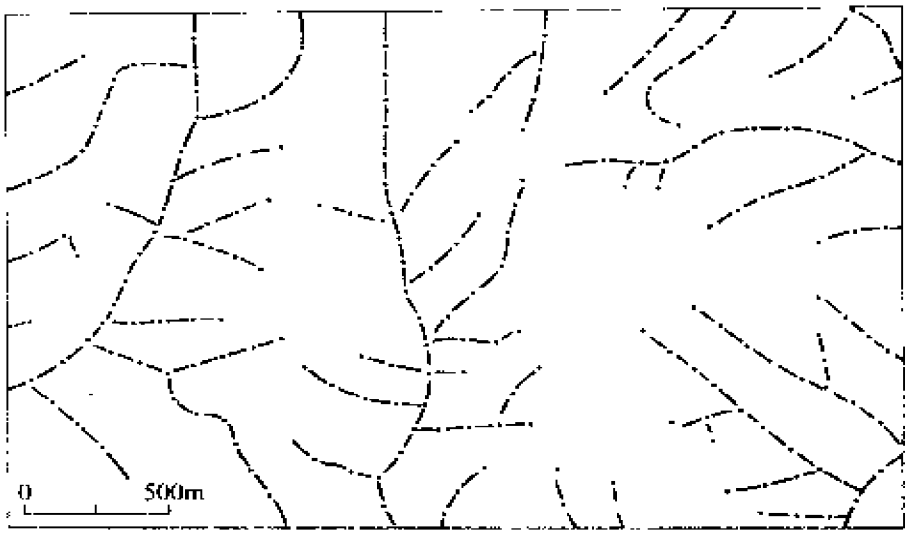


图 9　李坝金、锑分散流异常区沟系点位图

Fig. 9　Map showing sampling location of secondary halo from valley system in the Liba pilot area

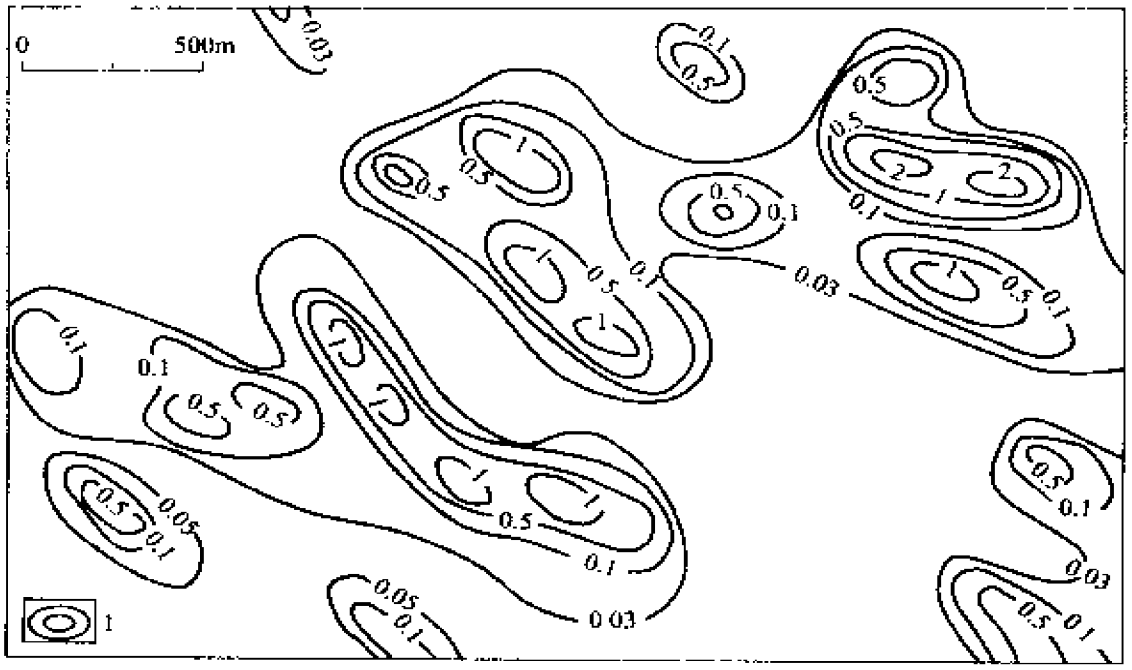


图 10　李坝沟系次生晕金异常平面图

Fig. 10　Au anomaly map of secondary halo from valley system in the Liba orefield

1—金异常，等值线间距 30×10^{-9}、100×10^{-9}、500×10^{-9}、1000×10^{-9}

通过上述两例沟系次生晕试验工作的结果看出：①采样密度每平方千米40－50点，并且沟系清楚，布点均匀，所圈定的异常规模大，规律性较强，数值可靠；②通过对异常浓集中心的检查和工程验证，异常的位置比较准确，异常的形态和基本特征都能较清楚的反映矿化蚀变带，可为异常的解释提供基本的、可靠的资料；③采样目的性强。沟谷中地层出露往往比较清楚，遇到矿化、蚀变、构造等地质现象，可有目的地补采双号样品，增加了有效采样点率，因此地质效果比较显著。这是该方法的一大优点。

图11为白银地区扁强沟分散流铜、铅、锌、金、银、砷综合异常，面积160km^2，金极大值为20×10^{-9}，该区山顶为黄土覆盖，沟

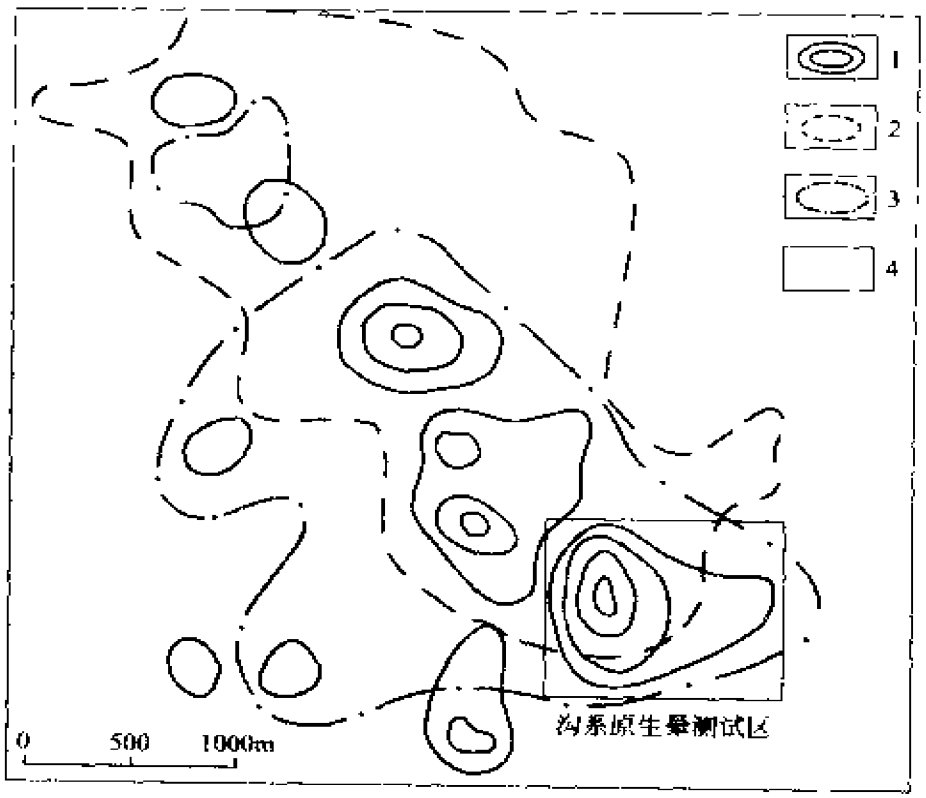


图11　白银扁强沟分散流金、银、锑异常图

Fig.11　Au, Ag, Sb, anomaly map of dispersion train in the Bianqianggou, Baiyin

1—金异常，等值线间距5×10^{-9}、10×10^{-9}、15×10^{-9}；2—银异常，等值线值120×10^{-9}；3—锑异常，等值线值0.5×10^{-6}

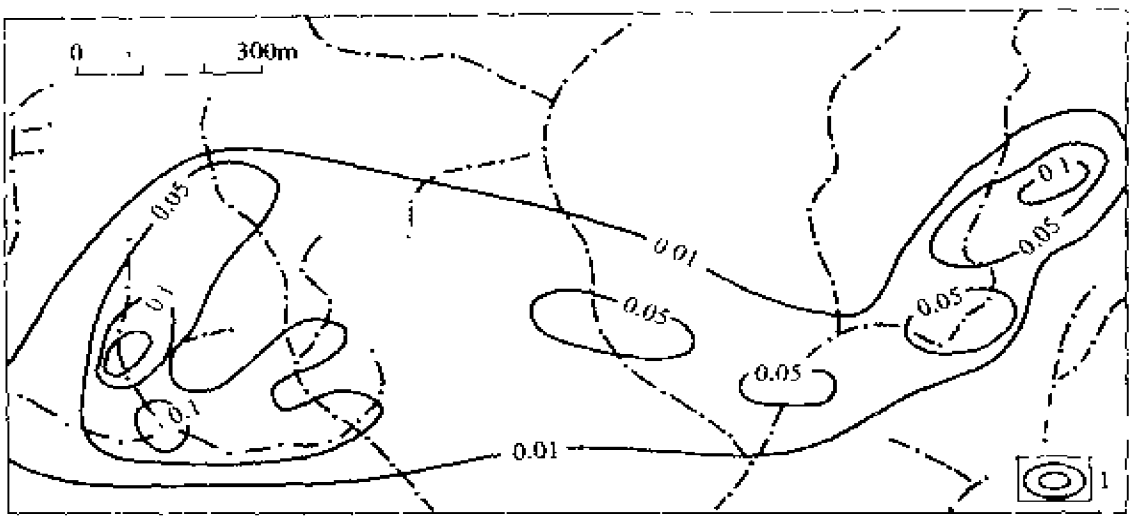


图 12　白银扁强沟地区沟系原生晕金异常平面图

Fig.12　Au anomaly map of primary halo from valley system in the Bianqianggou pilot area, Baiyin

1—金异常，等值线间距 10×10^{-9}、50×10^{-9}、100×10^{-9}

中为基岩出露，主要地层为奥陶系火山岩。沟系发育较差，布置沟系原生晕 80km^2。图 12 为其中的 1.6km^2 范围，布点底图为万分之一地形图。由于该区沟系不发育，布点时垂直地层走向时，布点较密，顺层的水系布点较稀。获金异常比较连续，金极大值为 800×10^{-9}，异常区金平均值为 38×10^{-9}，一般值为 $(20-30)\times10^{-9}$，获异常长 1200m，宽 500～800m，有 3 个异常浓集中心，西部异常浓集中心与出露的小闪长岩体的外接触带相对应，东部异常与断裂破碎带相对应。经槽探揭露发现 2～3m 的金矿体，金品位为 1～5.0g/t。沟系原生晕在该区取得较好的找矿效果。

图 13 为白银地区多家滩分散流金、银、砷、铜、铅、锌综合异常中 1.78km^2 的沟系原生晕金异常成果图。区内沟谷、水系中以基岩出露为主，以皋兰群千枚岩、砂岩及大理岩为主。地形较平坦，沟系不发育。沟系原生晕工作结果异常较连续，出现 3 个浓集中心。金平均值为 19×10^{-9}，一般为 20×10^{-6}，最大值为 90×10^{-9}。该异常属低值异常，形态规则，在异常浓集中心地段，经地

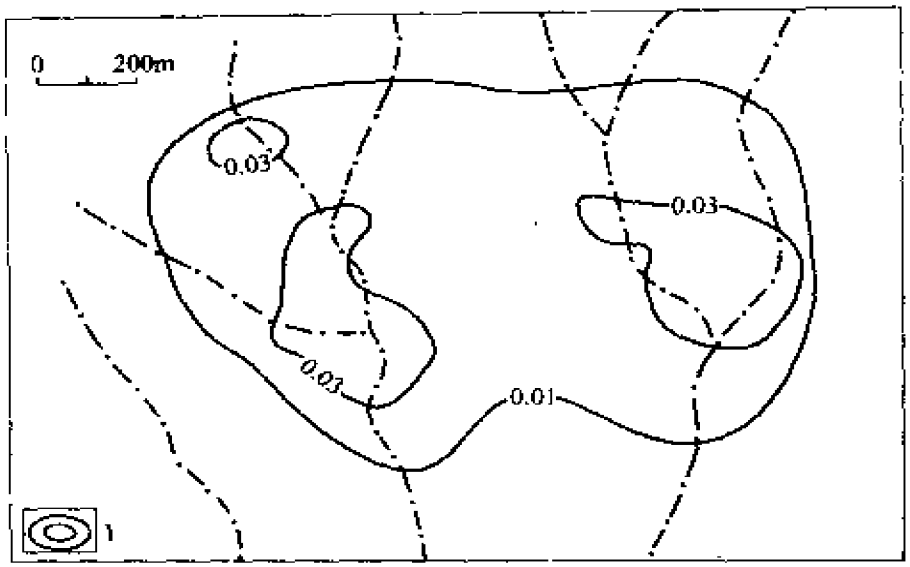


图 13　白银多家滩系原生晕金异常平面图

Fig. 13　Au anomaly map of secondary halo from valley system in the Duojiatan pilot area, Baiyin

1—金异常，等值线间距 10×10^{-9}、30×10^{-9}

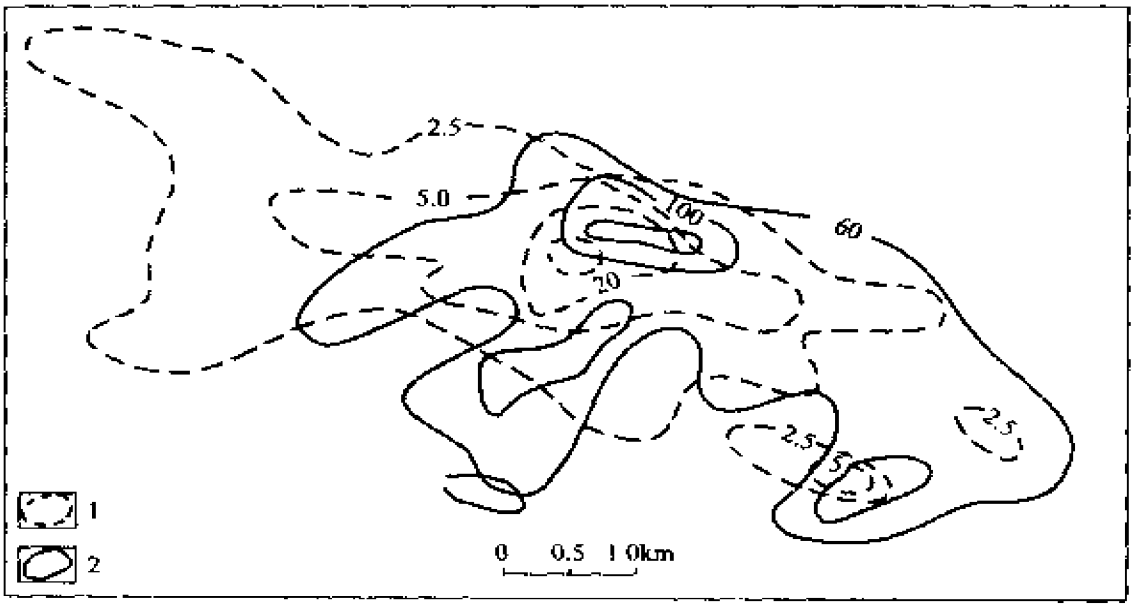


图 14　安西南泉分散流金、银异常图

Fig. 14　Au, Ag anomaly map of dispersion train in the Nanquan, Anxi county

1—金异常，等值线间距 2.5×10^{-9}、5.0×10^{-9}；

2—银异常，等值线间距 60×10^{-9}、100×10^{-9}

表揭露，见石英网脉、石英细脉含金，一般含矿石英脉厚 0.5～1.2m，长 30～50m，平均金品位 2～4g/t，最高达 20～30g/t，为大粒金，回收率较高。证明采用沟系原生晕工作找矿效果明显。

图 14 为安西南泉 1/5 万分散流金、银异常图。该区为北山地区的山区半山区，以物理风化为主的岩石碎屑景观区，出露地层以奥陶系火山岩及次火山岩为主。分散流异常面积 21km^2，呈带状分布，金最大值为 52×10^{-9}，一般值 $(3\sim5)\times10^{-9}$，银异常最大值为 250×10^{-9}，一般值为 $(80\sim100)\times10^{-9}$，金、银两元素的浓集中心较为吻合，银元素面积略小于金，分布面积 15km^2。该异常所处地质环境为花牛山铅锌金银多金属矿床外围西延长线。完全与已知矿床环境类似。

图 15 为图 14 中异常浓集中心 4.5km^2 范围内进行 1/2.5 万沟系岩屑测量的金、银元素异常图。从图中可以看出，金最大值为 1211×10^{-9}，一般值为 $(10\sim30)\times10^{-9}$，银最大值为 5000×10^{-9}，一般值为 $(120\sim500)\times10^{-9}$。金、银异常的浓集中心较为重合，异常规则，呈带状分布。对异常浓集中心经地表工程揭露，见厚

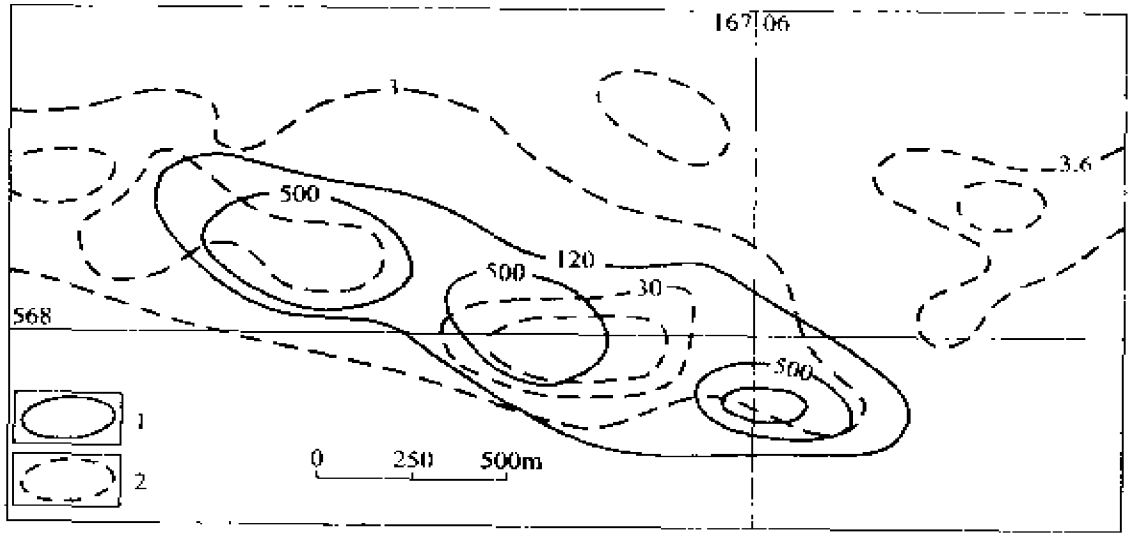


图 15　安西南泉金、银岩屑地化异常

Fig. 15　Au, Ag anomaly map of debris survey in the Nanquan pilot area, Anxi

1—银异常，间距 120×10^{-9}、500×10^{-9}；2—金异常，间距 3×10^{-9}、30×10^{-9}

2～5m的金、银矿体，金品位1～5g/t，银品位200～400g/t，深部施工1个钻孔，金、银矿体变富、变厚，厚度5m，银品位800g/t。进一步证明在该进行岩屑测量，取得较满意的地质找矿效果。

图16为肃北县扫子山1/5万分散流金异常图，异常长大于

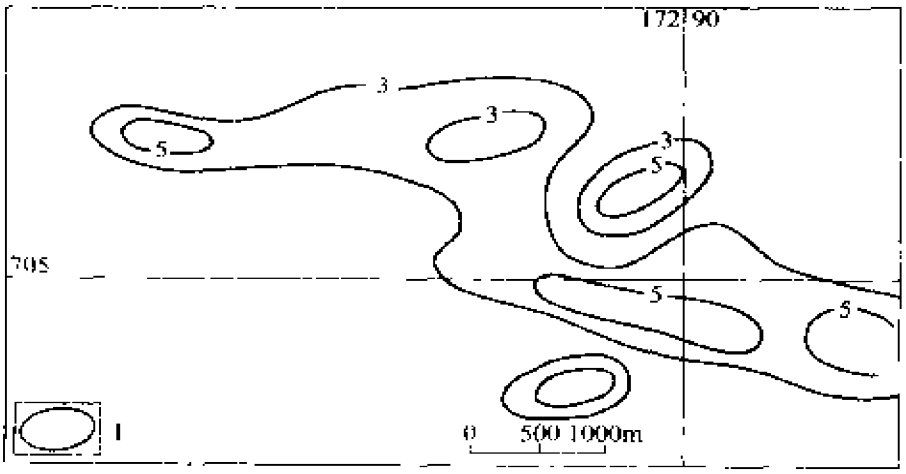


图16 肃北县扫子山分散流金异常图

Fig. 16 Au anomaly map of dispersion train in the Saozishan, Subei county

1—金异常，等值线间距 3.0×10^{-9}、5.0×10^{-9}、12.0×10^{-9}

5km，呈带状分布，金极大值为 44.0×10^{-9}，一般值为 $(3\sim8)\times10^{-9}$，异常规律性较好。该区地矿系统曾进行过1/20万区带化探，仅出现零星点异常，异常没有规律。异常区处于新疆天山褶皱带的东延有次级扫子山断裂带。区内地层为志留系白山群板岩、片岩及含铁石英岩。异常带分布于南北两大花岗岩体夹持的白山群地层中，形成构造岩浆岩带。在西部的霍勒扎德盖金矿产于花岗岩体中的石英脉群中。区内为北山地区典型的物理风化景观，地层形成岩石碎屑残留于地表，适宜于进行岩石碎屑测量。

图17为图16中的8km^{2}范围内的沟系岩屑测量的金异常，异常处于两条断裂带的交汇部位，金异常极大值为 1180×10^{-9}，一般值为 $(10\sim50)\times10^{-9}$，异常浓集中心明显，特别是在两断裂交汇的西部出现1.5km^{2}的等轴状面性异常，并出现3个浓集中

心。对异常浓集中心经地表工程发现金矿体厚 1～5.0m，长 50～200m，金品位 2～5g/t，并发现多处金矿体及矿化体，形成长达千米的矿化地变带，目前地表氧化矿正进行堆浸试验，具有一定经济效益和较好地质找矿效果。

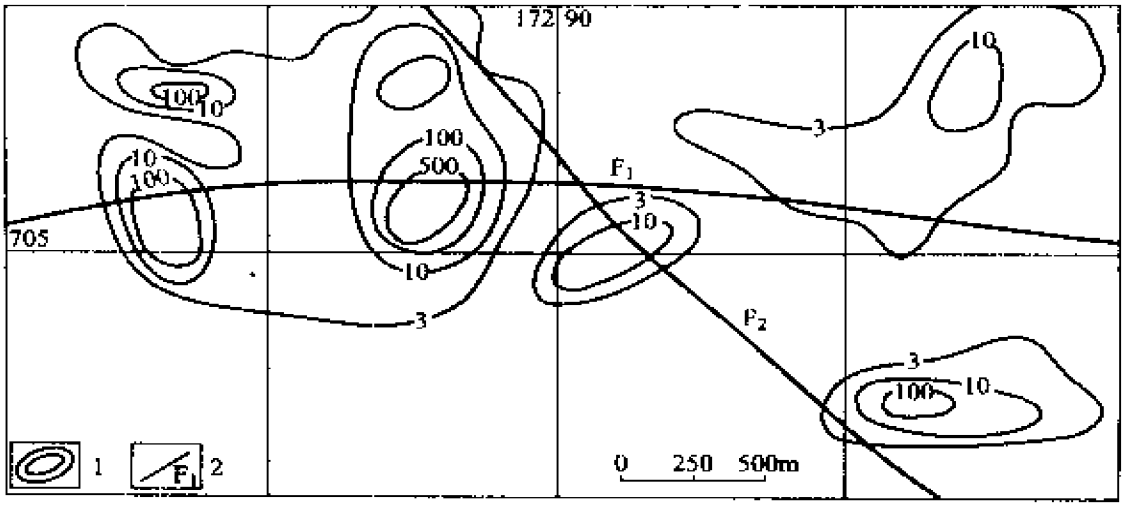


图 17 肃北县扫子山岩屑测量金异常图

Fig. 17 Au anomaly map of debris survery in the Saozishan pilot area, Subei county

1—金异常，等值线间距 3.0×10^{-9}、10.0×10^{-9}、100×10^{-9}、500×10^{-9}；2—断裂带

通过上述的不同景观条件下的野外试验，均取得较好的地质效果，主要有以下一些特点：

(1)通过野外试验，不同地球化学景观条件下，采取不同的采样介质，对于快速评价分散流异常是行之有效的。对于景观条件的分析是决定取样介质和取得地质效果具有很重要的作用。不同地球化学景观，元素的富集是与介质有密切关系，与地球物理风化、化学风化及原岩中的原始分布状态有关。因此，我们在以化学风化为主并具有一定的物理风化的地区采用次生晕，在以物理风化为主的地区采用岩石碎屑，在不具备上述两种条件下，地表有大量外来物覆盖，沟谷中有基岩出露地区宜采用原生晕测量。

(2)通过野外试验,工作比例尺采用1/2.5万,采样密度40～50点/km^2,对于快速圈定异常汇水盆地内的异常源是合适的。这样的比例尺和采样密度只要布点均匀,距分水岭距离不超过150～200m,既节约工作量,又能提高工作效率,是完全可以圈定异常源的准确位置、异常形态和强度变化等基本要素的。

(3)通过野外试验,对不同采样介质的采样深度和富集粒度也进行对比研究。采用次生晕方法的采样深度为0.30～0.40m、一般系B层或接近C层效果较好,富集粒度为40～60目。岩石碎屑的采样深度为0.2～0.3m,富集粒度为10～40目之间。原生晕采样必须新鲜岩石,在10～20m^2的范围多点取组合样,富集粒度为80目。

(4)通过野外试验方法简单易行,在获得地化成果的同时,由地质和化探人员参加采样时还同时可以获一幅同比例尺的地质图,这为进一步解释异常提供了一份基础地质资料。使地质与化探工作紧密结合起来,是一举两得的事,可以缩短找矿周期。

(5)通过野外的实际试验,更进一步说明前述中提出的该方法的理论基础是成立的,并能获得较好地质找矿效果。这一结论也可通过后来在甘肃省西秦岭成矿区带、北祁连成矿区带和北山成矿区带大约进行了5208km^2的1/2.5万沟系扫面成果所证实,该方法确为一种快速、经济、地质找矿效果较好的评价分散流的有效方法。

3.5 沟系原、次生晕及岩石碎屑(岩屑)测量的方法技术

(1)沟系方法类似于小比例尺的水系沉积物测量方法的布点要求。该方法与正规测网的原生晕、次生晕及岩屑测量方法的区别关键是布设测网不同,正规测网的评价方法是用仪器布设的基测线形成的正规正方形或矩形格网进行采样;而沟系方法是利用自然沟谷、水系勾绘出的树枝状网进行采样。采样介质是根据地球化学景观条件决定的,与地球化学普查中的原生晕、次生晕、岩

石碎屑测量的介质完全相同。本文中重点谈该方法与原生晕、次生晕、岩屑测量方法中的不同点，相同之处均按有关规程执行。

(2)比例尺和采样密度，根据工作目的和工作要求所决定。作为评价分散流异常阶段，其主要目的是：

①确定分散流异常的存在，位置及异常浓集中心；

②主要对异常源的浓集中心部位的地质特征、元素组合、矿化蚀变做出评价，确定异常是与什么地质体有关，确定异常是矿异常或非矿异常的工作阶段。因此该阶段的工作要求以经济、快速、有效为原则。比例尺的选择不宜过大，一般采用1/万～1/2.5万的比例尺较为合适。当有1/2.5万和1/万地形图时，可以直接在地形图中勾绘测区的水系及干沟。当没有上述比例尺的地形图时，可用1/5万地形图放大为1/2.5万地形图勾绘水系、干沟。但必须注意地形图中可识别出的小沟系均应勾绘出来，才能保证采样布点的均匀性和采样密度。

(3)采样点的密度，当用1/2.5万的比例尺工作时，采样点密度每平方千米40～50点为宜，采样点距离为75～100m。当采用1/万比例尺工作时，采样点密度每平方千米100～120点为宜，采样点距离为30～50m。

(4)沟系工作区范围选择：

①应考虑分散流异常上游的整个汇水盆地。因分散流异常具有一定的流长和范围，同时由于分散流采样时一般每平方千米为4～6个点，采样点多布置于Ⅰ、Ⅱ级水系的交汇点附近，因此，分散流异常中心不完全代表异常源的中心位置。

②测区范围应包括分散流的Ⅰ、Ⅱ级水系及次级的毛毛沟系至分水岭，距分水岭应不超过50～100m。

③应尽量包括汇水盆地内不同地层和构造分布区，一般要超过分散流异常面积的3～5倍以上。

(5)生产前技术准备工作包括勾绘水系，布设采样点，拟定和复制编码表，重采样，重分析样，密码样的设计，并用不同符号表示，重采样对采样人员保密，重分析样对分析人员保密，密码样对

分析人员和加工人员保密，编码由项目负责制定。

(6)水系勾绘：为使采样点尽可能地均匀分布于测区，布设采样点之前，应将1/2.5万或1/万地形图上长度大于150m的水系、干沟全部勾绘出来。

(7)布设采样点：水系勾绘完毕、经两人以上检查无误后，方可布设采样点：

①采样点位布设在沟的边坡，沿沟系点距75～100m。

②沟系末梢的最后一个点距分水岭不得大于50～100m。

③沟系宽度大于100m以上时，应在沟系两侧边坡交错布点。

④相邻两条沟系间的距离大于300m时，又没有明显的沟系分布不能采样时，可在山脊或山冈上适当增加布设采样点。

⑤在图中先将单号点均匀布设好，凡两单号点之间的双号点应预留下采样位置，在采样过程中遇有矿化、蚀变、断裂破碎带、石英脉带、岩脉带等特殊地质现象时进行双号样采样，并在野外将实际点位标于采样图中。若没有上述特殊地质现象时，可在预留的双号样位进行正常采样。

(8)采样点布设须均匀合理，如图18所示布好后经项目负责人或指定专人全面检查确认无误后，方可进行采样点编号，编号以测区为单元按一定顺序统一编号，并标有地物和沟系名称。如图18所示，该图是野外施工的重要依据。

(9)野外定点：

①野外采样员在实地施工定点时，应根据地形图反复查看，核对定点位置是否准确，尽可能配有GPS确定所定点位位置。

②要求1/2.5万比例尺允许最大点位误差不得超过50m(即点图上限差不超过2mm，1/万比例尺允许最大点位误差不超过20m。沿沟系方向相邻两点之间距离实际误差分别不超过25m和10m。

(10)取样时应在沟系边坡采样点位上的3～10m^{2}的范围内采3～5处组合为一个样，次生晕采自残坡积层的B层或C层，采样深度一般为0.20～0.40m，原生晕为新鲜岩石。当点位附近不

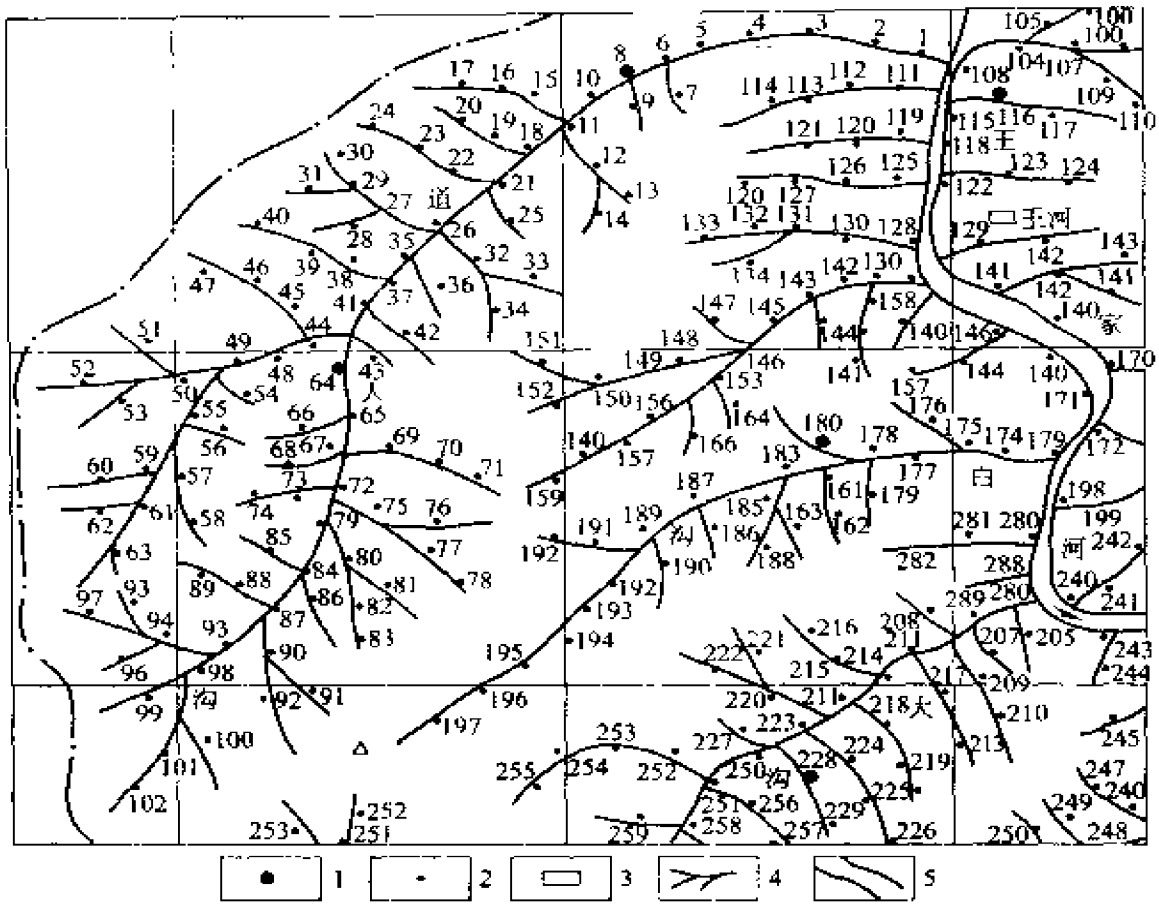


图 18　1:2.5 万沟系次生晕工作布置图

Fig. 18　Map showing sampling location of secondary halo from valley system

1—重分析样点位;2—点位及编号;3—村庄;4—沟系;5—河谷

存在采样介质时,可沿沟系边坡前后 25m 范围内取样(亦可在沟系另一侧取样,并将实际位置重新标在图上,若仍取不到样时,允许空样,在图上标记"×"。每个采样点的编号必须用红油漆写在采样坑附近醒目的基岩或其他永久性物体上标明,同时应挂上标有点号的小红旗。在水系末梢如没有写号物体时,可用小木桩和小红旗标号,以备进行检查。

(11)野外质量检查:

①野外重采样为总工作量的 2%,重分析样为 2%,密码样为 2%。

②为保证采样点的完全到位，应设专人对采样到位率进行跟踪抽查，对不同采样组，不同日期，不同沟系的点位准确性检查，检查量为25%，到位率要达98%以上。

③质量检查样，点位跟踪检查均应分布均匀，实地抽查采样点定位是否超差，是否多点采样(查看采样坑)，采样介质是否正确，采样点的标志是否齐全等。

(12)异常查证：

①异常查证是化探异常向矿产地转化的重要的工作阶段。沟系异常查证是区带地球化学普查工作中异常Ⅲ级查证中的第二个环节(即Ⅱ级查证)，其任务是详细圈定异常范围，进一步了解异常区的地质、地球化学特征，对异常找矿意义做出评价，对具有找矿意义的异常提出进一步工作意见。

②查证阶段主要工作为：对沟系异常浓集中心布设地质、化探、物探剖面，查清引起异常的地质体(目的物)；开展大比例尺地质草测，研究异常所处地质环境；对地表有微矿化露头地段或具有浅覆盖的有意义异常进行地表工程揭露，发现矿化蚀变体，确定规模、产状、品位变化等。并进行必要物探工作，圈定隐伏区目的物的分布范围，确定深部找矿前景，提出必要的深部钻探验证意见。

3.6 沟系原、次生晕及岩屑测量的特点及应用条件

(1)特点：

①沟系测量是研究分散流异常源的异常浓集中心的地质特征、地化特征，从而扩大对整个异常区的评价。异常浓集中心是受地质作用、风化剥蚀、构造运动等结果显示出来的，也是地质现象和矿化特征在近地表暴露比较清楚的地段。只有从异常浓集中心入手，可以发现与矿化有关的有利信息。这也是有的文章中称之为"微矿化露头法"法。通过对异常局部出露比较清楚的地段评价，从而对整个异常做出评价。因为沟系方法的采样正是沿着树枝状沟系网进行采样、因此发现这样的地段是比较容易的。这是

沟系方法的特点之一。

②沟系方法中的双号采样点是根据野外采样中遇有矿化、蚀变、破碎带、剪切带、石英脉带、脉岩等特殊地质现象进行采样。这样增强了采样的目的性，提高了采样点有效率，对突出和发现异常起到了很好的作用，易于发现异常浓集中心和异常源。与正规网的地球化学方法相比，避免了机械的到点位采样，特别具有外来覆盖的景观条件下，有不少点是无效点，同时对比正规网与沟系方法的成果图发现，正规网的异常规律性远不如沟系网强，原因就是无效点影响的结果。这一方面是沟系方法的最明显特点之一。

③沟系采样中，单号采样点为正常样，双号采样点是针对断裂带、破碎带、蚀变带等构造位置上采集原、次生晕和岩屑样。这样正常样与构造地球化学样相结合，起到双重作用。目前在矿床勘查的研究中，构造地球化学研究是对矿床的发现起到重要作用，特别是成矿期断裂中，具有多种与成矿有关的元素，具有更直接的指示意义。成矿作用往往具有多期成矿特点，成矿物质多来源性，构造作用也具长期活动性。特别是沿断裂构造发育一些远程指示元素，对找隐伏、半隐伏矿具有重要的指示意义，这也是沟系方法的重要特点。

④沟系采样中顺地层走向的沟系中采样较稀，垂直地层走向的沟系采样点适当较密，这样使样品的代表性较强，可突出不同地层之间元素分布变化规律的了解，为研究含矿层提供有用信息。

⑤该方法简便易行，所有化探、物探、地质人员都可以进行异常范围的面积性加密工作。特别是地质人员进行此项工作时，在采样点稍作较详细地质描述，同时可以形成1/2.5万相应地质图，为解释地化异常提供一份基础地质资料，近年来的实践证明是行之有效的。

⑥该方法生产效率高，成本低，方便、快捷，是快速评价成矿区带分散流异常的较好方法，找矿效果十分突出，真正起到了经济、快速、效果好的作用，应该在评价分散流异常中加以推广使用。

(2)应用条件：

①沟系次生晕工作一般布置在被构造作用和剥蚀作用形成的物理风化、化学风化的残坡积层的覆盖区，残坡积层的A、B、C层分布较齐全的地区；沟系原生晕工作一般布置在地表具有一定黄土或外来物堆积，但沟系中为基岩出露条件相对较好的地区，以物理风化为主，没有形成残坡积层的地区；沟系岩石碎屑测量一般布置在基岩裸露地区，以物理风化为主，地表无残坡积层，地表为基岩碎屑形成覆盖的山区、半山区及丘陵地区。

②经过成矿区带分散流普查具有多元素组合异常出现的地段及汇水盆地范围内布置沟系测量方法，能够取得较好效果，但在没有分散流异常，但区内具有有色金属矿点、矿化点比较集中的地区，并具有重砂异常和金属量测量异常分布的区域内，也可以进行此项工作，经实践证明，均会取得较好效果。

③该方法应布置于地形变化明显，沟谷、水系较为发育的地区。特别是地形切割剧烈，森林、灌木面积较大，通视条件较差，利用正规测网布设比较困难，生产效率低，工作成本高，不利于快速评价异常的地区，适合用该方法进行评价。特别是在交通条件比较差，相对高程变化大的地区，该法可用较少人员，临时住于工作区内，可灵活、机动、突击性的完成异常评价任务。

④遇有下列情况不宜投入该方法：属于厚层覆盖区，并有较厚的黄土或第四系冲积层，冲积扇分布区；属于丘陵平原区，水系不发育地区，地形图上水系不易辨认的地区；地表为沼泽或广泛分布的盐碱滩分布区域；高原冰雪终年覆盖区等。

3.7 该方法的地质效果及经济效益

(1)异常评价的地质效果：从1986～1996年的10年间，在甘肃省的3个重点成矿区带，即秦岭、北祁连、北山地区，总计完成1/5万～1/10万分散流普查45000km^2，获综合异常400余处。在这些异常中，经过地质条件及地化特征等因素进行筛选，对其中300余处认为较好异常共投入1/2.5万沟系次生晕、原生晕、岩石

碎屑测量 5308km^2，约占普查面积的 11.8%，圈定具有找矿意义的异常 150 余处。截止到目前，找到大型、特大型矿床 3 处，中型矿床 5 处，小型矿床 10 余处，矿点、矿化点 40 余处。近年来发现的矿床、矿点的 80% 以上是通过 1/2.5 万沟系方法加密之后进行评价异常浓集中心发现的，取得了较好的地质找矿效果。为迅速掌握成矿区带的全局，尽快缩小找矿靶区，抓住异常浓集中心，进行重点突破的评价方法是非常成功的。通过大量找矿实践，证明了该方法在以发现"微矿化露头"为对象，从中获取找矿信息，发现新的矿化地段的找矿效果十分显著，值得进一步推广应用。

(2)在区带分散流普查的基础上，对重点异常区开展 1/2.5 万沟系方法普查，建立了更大比例尺的地球化学基础资料。目前评价的异常多为值高、元素组合齐全的异常，为近地表矿化蚀变引起的异常。除此之外，还有中等强度，具有一定规模的具有隐伏和半隐伏的矿致异常需要进行评价。这些异常至少还需要 3～5 年进行研究和评价，并需要配合一定的物探方法进行详细工作，因此，这部分基础性的地球化学资料还需进行二次资料的开发研究。

(3)从成本效益考虑，按正规测网次生晕每平方千米的费用为 562 元计算，1/2.5 万沟系次生晕的成本费用每平方千米不足 350 元计算，每平方千米至少节约费用约 212 元，10 多年来总共节约地勘费用 210 万元。

从生产效率上分析，如果按正规测网进行评价这么多异常，按 100 人计算，每年扫 200km^2 的面积，则需要 26.5 年才能完成，特别遇到森林覆盖面积较大或地形切割剧烈的区，就需要更长的评价时间。这 10 年中，每年分散流普查，大约 8%～10% 的主要异常，经过筛选，在当年或第 2 年将全部进行 1/2.5 万沟系方法评价，大大缩短了找矿周期，节约了地勘费用，充分显示了这一方法的快速、经济、效果好的特点，使成矿区带分散流普查和异常评价速度协调进行，缩短了找矿周期，加快了勘查评价步伐，为尽快将具有找矿意义的异常转化为勘查评价阶段提供了基础资料。

4 利用地化异常“梯度法”预测潜在金属总量

地球化学普查所发现的异常，传统的做法都是根据异常所处的地质环境配合以必要的物探资料和其他有关找矿信息，最终确定异常的性质，进行定性解释为主。很少对地化异常进行半定量或定量解释的研究。究其原因，主要是有人认为地化异常的形成是与新构造运动、风化剥蚀、次生富集等因素有关；同时从地化异常评价参数统计也常局限于背景值、异常下限值、极大值、均方差及元素变化系数等，这些参数是描述地化异常特征的重要参数，但并不反映异常与成矿作用中元素迁移、富集的内在因素的密切联系。因此，通过这些参数是难以对地化异常进行半定量及定量预测起到重要作用。通过近年来的大量1/2.5万面积性工作和大量地化剖面工作的研究，确实存在一些新评价参数，这就是我们提出的地化异常的梯度变化。

4.1 地化异常梯度变化概念的建立

所谓地化异常的梯度变化概念，就是指从异常源元素在向外扩散、迁移过程中单位距离中的变化率，也就是相邻两点间元素含量的变化。地化参数用梯度变化表示，是将元素的空间分布从一个场源的概念出发，在成矿作用过程中，由于成矿动力学的作用，包括成矿热力作用，成矿构造力的作用，元素以成矿源为中心在空间的迁移、扩散、渗透和萃取等作用在一定空间形成一个元素的迁移空间场。成矿元素随着远离场源逐渐减弱。由于矿液在空间各方向遇到的岩性及物理化学条件的差异，形成元素迁移的距离远近不同。但同样可以形成范围不同的内中外带，所有相同数值的

点可以构成一个曲面，可称之为等值面或等含量面。这一结果可看成一个近似的标量场，完全可以用一个标量函数来近似表达。只是这个标量函数远比地球物理场中的标量函数复杂，在空间不是均匀分布和线性分布规律，因此，我们称之为似标量场，但基本符合标量场的特征。要研究等含量面的空间分布特征，通常在标量场中最简单的方法是研究梯度变化率，代表了该区域内的变化关系。这就是在地球化学场中建立梯度概念的基本思路。

4.2 关于梯度变化参数的作用

(1)地化异常梯度概念的建立是以地球物理场为基础，对比了地化异常的分布规律、建立了似标量场的概念。这就将原来的元素分布规律从地球化学场出发，研究场的分布特征，从异常分布变为场的分布，对地化异常的解释就可以完全跳出平面概念、变为一个空间概念。

(2)从场的特点出发，就可以建立地球化学场的新评价参数——梯度变化率。一般梯度变化最大的地方，也就是曲线、曲面的拐点位置。这一特征值反映了地质作用中元素含量的突变界线，其本质是成矿元素在地质作用、成矿作用中元素遇有周围介质、环境的突然变化引起的，是具有地质意义的特征值，也就是元素迁移聚集的极限点，是与成矿作用有密切的关系，可以作为矿化蚀变的边界域。因此，梯度变化的最大值为地化异常进行半定量和定量预测的重要参数值。

(3)从地球化学场的概念出发，我们随即提出了矿体空间晕的概念。元素晕的分布为三度空间变化，完全可以改变长期以来沿用的矿体的头晕、尾晕等不科学的概念。事实上研究一矿体元素空间分布特征，根本无法确定哪是头晕，哪是尾晕，元素的迁移主要受周围的介质性质和环境的变化，特别在矿体形成过程中或之后，经过多次造山运动和大的构造变动，使原始状态发生了很大变化，就更无法辨认头晕、尾晕，只有用空间晕的概念来描述矿体空

间六个方向各元素的变化，才是符合元素在空间的分布规律，是较为科学的描述。

(4)从地球化学场出发，研究元素的分布特征，除了地球化学场中元素的分布变化不是一种典型的线性变化外，从异常下限以上圈定的异常，包含了多种信息成分，有与矿(化)体有关的信息，有与分散矿化有关的信息，有与构造或某一地质因素有关的局部富集信息，特别是有些开放性构造带中具有较好的带状或面状异常分布。在次生晕成果中，异常还与风化剥蚀、次生富集等因素有关，一般要比电场、磁场、重力场等形成的异常要更复杂得多，这是地球化学场与地球物理场的根本区别。因此，在研究地球化学场时，必须考虑这些因素，区分这些因素，才能有较好的效果。

4.3 利用地化异常“梯度法”进行潜在金属总量预测的可行性

(1)赵鹏大教授所写的《成矿预测方法》[4]一书中所提到的丰度预测方法，该方法在西方国家对一个地区的潜在远景资源量进行预测，应用较广。该方法是对一个地球化学或较大的地球化学域中根据平均丰度值，进行资源量的预测。但该方法只能给一个大的地球化学域中可能蕴藏的资源量。但这些资源量在那一些特定地质环境或构造空间是不确定。如果要最后确定这些确切位置，还需要从头做大量基础性的工作，这样的预测其实际意义不大。

(2)在我国从20世纪80年代以来，在不少重点成矿区带完成了1/5万～1/10万分散流普查，重点异常区对异常进行评价时完成了1/2.5万沟系原次生晕和岩石碎屑测量，还有一部分异常区进行了1/万的原次生晕测量。这些资料多为多元素定量分析成果，资料比较系统、完整、可靠程度较高。对于那些埋藏深度不大(在100m左右)的矿(化)体或蚀变带，地表有一定的剥蚀和切割，在地层、构造条件有利的地区，能够获得一定强度和一定规模的异

常或异常带。这些异常都具有明显梯度变化特征。有些异常的成矿主元素虽然表现为中低值异常，但与成矿有关的活泼元素形成了具有明显梯度变化和一定规模的异常。所有这些异常均为进行定量和半定量预测提供了最基础的资料。

(3)利用异常的梯度值代替丰度法中的丰度值的主要优点：

①异常的梯度值是指一个具体异常。只要对该异常进行各种信息的处理和判别确定为矿异常时，对其预测的潜在金属总量是指该异常区内的金属总量，是非常具体，因为异常的位置已准确定位了，就在该异常范围可采用各种勘探手段就可能获得所预测的金属总量。

②异常梯度值是反映了元素的突变界线，这一界线与矿化域有一定的关系，当然也受到地表因素的干扰或一定的破坏，因此可以作为近似矿化域范围，是与矿床形成有其密切关系。这一数值远比一个大区域的平均丰度值更有实际地质意义。

(4)异常的梯度值对于一些具有面状或带状的异常，通过剖面和平面等值线图是易于选取的，因此，用梯度值代替丰度法中的丰度值是简单易行，其他参数的选取与丰度法是类同的，计算方法较简单适用。

4.4 异常类型的判别

为了使预测的异常和预测的储量具有实际意义，对于一个成矿区带中所获得的大量异常必须首先进行判别和综合解释，确定这些异常中哪些是由矿(化)体引起的异常，哪些是由分散矿化和景观条件引起的异常。在预测中，只有对由矿(化)体引起的异常进行潜在金属总量的预测才有实际意义。因此，在异常类型的判别过程中，我们常采取以下方法：

(1)异常多元素的两类判别分析法。这是一个传统的常用分析方法，应在一个成矿区带中选择已知矿的不同成矿类型的异常和若干需判别的异常，选取各异常的多个元素的平均变量、标准离

差、变化系数、某两个元素的比值等变量，参与两类判别分析，选出与不同矿床类型的未知异常。

(2)异常产出的地质背景分析。首先将区内已知的不同成因类型的矿床所处地质环境与判别为矿异常的地质环境进行类比，看其是否具有相同或相似之处。同时应根据成矿系统中可能会形成多种不同成因类型的其他矿种，应该研究形成新矿种和新类型的地质环境的研究。

(3)在研究地化异常的同时，应研究地化异常与地球物理异常的关系，进一步确定地化异常的性质。需要研究地化异常与航磁异常、重力异常梯度带、激电异常、自电异常之间的内在联系，地化异常的形成往往与地球物理异常的出现具有同现性，通过对地球物理异常的研究，可以提供地化异常解释的依据。

(4)根据已知矿床研究元素变化特征，了解矿床中元素相互依从关系，特别是元素之间的比值关系，如铅锌矿中铅/锌、镉/铅、铜/锌比值；铜钼矿中的铜/钼，铋/钼；破碎蚀变岩型金矿中的金/银、金/砷比值，反映成矿元素在成矿过程的聚集关系，在相同的地质环境中，同一成因类型，虽有一些差别，但差别不大。因此，它们可以作为判别异常的一些标志。

4.5 预测实例

20世纪90年代，根据上述思路，曾对甘肃省西成铅锌矿田和礼岷金矿田利用地化异常梯度值代替丰度值进行了潜在金属总量的预测，取得较为满意的结果。下面通过实例，进一步说明异常类型的判别、梯度值的选取和具体计算步骤。

4.5.1 异常多元素两类判别分析

通过1/万次生晕面积性工作成果，发现西成铅锌矿田内有很多铜、铅、锌、银等综合异常。根据多年在西成铅锌矿田工作和研究成果表明，区内有两种主要的成矿类型，即热水沉积改造型铅锌

矿床，以厂坝-李家沟铅锌矿床为代表，形成特大型-超大型铅锌矿床；热水沉积再造型矿床，以毕家山、邓家山、洛坝大型铅锌矿床为代表。对于该区的异常，根据异常产出的地质条件，异常的形态为带状或面状异常，异常具有明显的梯度变化等特点，选择19个异常参与两类判别，其中包括上述两个矿化类型各2个已知矿床的异常，未知异常为15个。分别取各异常铜、铅、锌、银…10个元素的平均强度、衬度值、标准离差、变化系数异常等参数进行两类判别、分析。结果有1个异常为厂坝-李家沟型，9个异常为毕家山-邓家山型，有5个异常与上述两类型无关，可能与矽卡岩型、热液型或分散矿化有一定关系。

礼岷金矿田内通过系统的1/2.5万沟系次生晕扫面，发现了多处金、银、砷、锑、汞综合异常。经地表勘探和研究表明，矿体主要受区域性大断裂的次级断裂破碎带控制。该区根据异常元素组合特征、异常与断裂带的关系，异常具有面状或带状特点，并具有明显梯度变化特点等，共选取12个异常，其中包括两个已知矿床的异常，每个异常选取金、银、砷、锑…各元素的平均含量、标准离差、变化系数、衬度值等进行两类判别分析。结果有7个异常为矿异常类型，有3个异常为性质不明的异常。

4.5.2 异常产出的地质背景分析

对于通过两类判别分析所选出的异常应逐个进行地质背景分析。西成铅锌中厂坝-李家沟型，主要受层位控制，产于中泥盆统安家岔组的黑云母石英片岩及大理岩中，同时受滞流凹地和同生断裂的控制。所判别的一个异常处于该滞流凹地的西延，具有与已知区类似的地质环境。西成铅锌矿毕家山-邓家山型，主要产于泥盆统西汉水组的灰岩与千枚岩中，并受紧闭倒转背向斜控制，矿体产于背斜鞍部及两翼和向斜凹部及两翼，所以在西汉水组中的倒转紧闭褶皱是主要控矿部位。通过地质背景分析有7个异常是与已知矿床的地质环境类似，有2个异常地质环境不具备该类型特点。

礼岷金矿田的矿体主产于中泥盆统舒家坝组的褪色化斑点板岩和构造破碎带中，没有褪色化，仅有破碎带也不会含矿，矿体膨大部位有小背斜控制，同时煌斑岩脉的出现也与成矿有密切关系。通过地质背景分析有6个异常与已知矿体的地质环境类似。

4.5.3 地化异常与物探异常的关系分析

西成铅锌矿体所选出的8个与矿有关的异常中均有自电异常与之伴生，并有3个异常有激电异常出现，其他5个未做激电。礼岷金矿田选出的6个异常均有激电异常和高精度磁异常，并均处于区域重力异常的梯度带。上述异常中均出现了物探异常，并具有一定延展和规模，具有较好的成矿条件。

4.5.4 重要成矿元素的比值分析

根据已知矿床元素变化特征研究，不同类型矿床主要元素的比值特征，对判别异常具有一定指示作用。西成铅锌矿田中厂坝-李家沟型矿床的铅/锌比值为0.24，毕家山-邓家山型矿床的铅/锌比值为0.17～0.19。利用比值将每个异常各点的铅/锌比值取其平均值进行比较分析，确定异常性质。礼岷金矿田根据已知矿床的分析，金的含量小于1500×10^{-9}时，随金含量减少，而银含量增高，当金含量大于1500×10^{-9}时，随金含量增高，银含量减少。银/金比值在1.0时，为银、金矿化分界值，当比值大于1时以金矿化为主的特征，对每个异常所有点的银/金比值进行计算平均值，与已知矿床对比分析。通过上述比值判别分析，西成地区有7个异常，礼岷地区有5个异常判定为矿异常，只有这些异常才具有潜在金属总量预测的条件。

4.5.5 异常区背景值和异常下限值的确定

一个与成矿有关的地球化学异常，是在地球化学背景上叠加而成的异常，是由背景值、异常下限值、异常峰值组成。异常梯度值是在异常下限以上的叠加异常中求得。因此，在求得异常梯度

值之前，必须先确定异常的背景值和异常下限值。背景值和异常下限值的确定首先必须划分地层单元，不能以全区域的平均值来代替。如西成地区中泥盆统西汉水组地层中铅的背景值为 19×10^{-6}，锌的背景为 44×10^{-6}。异常下限铅为 31×10^{-6}，锌 79×10^{-6}。中泥盆统安家岔组地层中铅背景值为 22×10^{-6}，锌背景值为 48×10^{-6}。异常下限值铅为 34×10^{-6}，锌为 86×10^{-6}。礼岷地区中泥盆舒家坝组砂板岩地层中金的背景为 3.2×10^{-9}，异常下限值为 6.8×10^{-9}。梯度值是在上述异常下限值之上求得才能反映出异常叠加部分的变化特征。

4.5.6 确定元素的次生富集特征

如果采用次生晕异常进行预测时，必须考虑元素的富集特征。如次生晕富集特征较强时，往往造成预测的潜在金属总量与实际情况有较大差别。为了预防这种现象可以做一些实测原、次生晕对比，求出一个富集系数进行改正。根据多年野外对比发现，经验富集系数一般在 1.5～3.0 之间，金的富集系数要比铅锌略大一些。如西成地区铅锌富集系数为 1.69 和 1.71，而原次生晕的铅/锌比较多集中在 0.20～0.22 之间，说明次生富集并不强，而且次生富集也比较均匀，变化不大。礼岷地区经对比研究，金的富集系数一般 1.80～2.00。因此，利用次生晕异常进行预测时也不会造成很大误差。

4.5.7 梯度值确定方法

梯度值的确定通常可以地球化学剖图和面状异常或带状异常的平面等值线图中确定。

(1)利用地球化学剖面法确定梯度变化最大值，是通过异常中心做一条地球化学剖面。在异常下限以上的异常峰值的两侧曲线作切线，求出曲线梯度变化最大的拐点值，也就切线斜率最大的切线点，$tg\alpha$ 值最大。经常在剖面中两侧曲线不对称，可取其平均值。有时遇到剖面曲线各点数值跳跃较大，曲线不圆滑，这时可将

曲线经圆滑处理后再进行求梯度变化值。还有一种简单方法，将相邻两点的差值 ΔX 求出，$\Delta X = X_1 - X_2$ 的含量值，从剖面曲线两侧求出 ΔX_{max} 值的中点为该侧曲线的拐点值，即梯度最大值。图 19 为厂坝铅锌矿床 45 线地球化学剖面图，从中可以看出异常背景值、异常下限值、异常峰值的变化特征。异常梯度最大值就是两侧曲线变化最陡的中点值为 200×10^{-6}。在两个梯度变化最大值之间的范围内分布有 1 号、5 号、7 号主要铅锌矿体。更进一步也说明梯度最大值范围内的地质意义，是进行预测的重要参数。

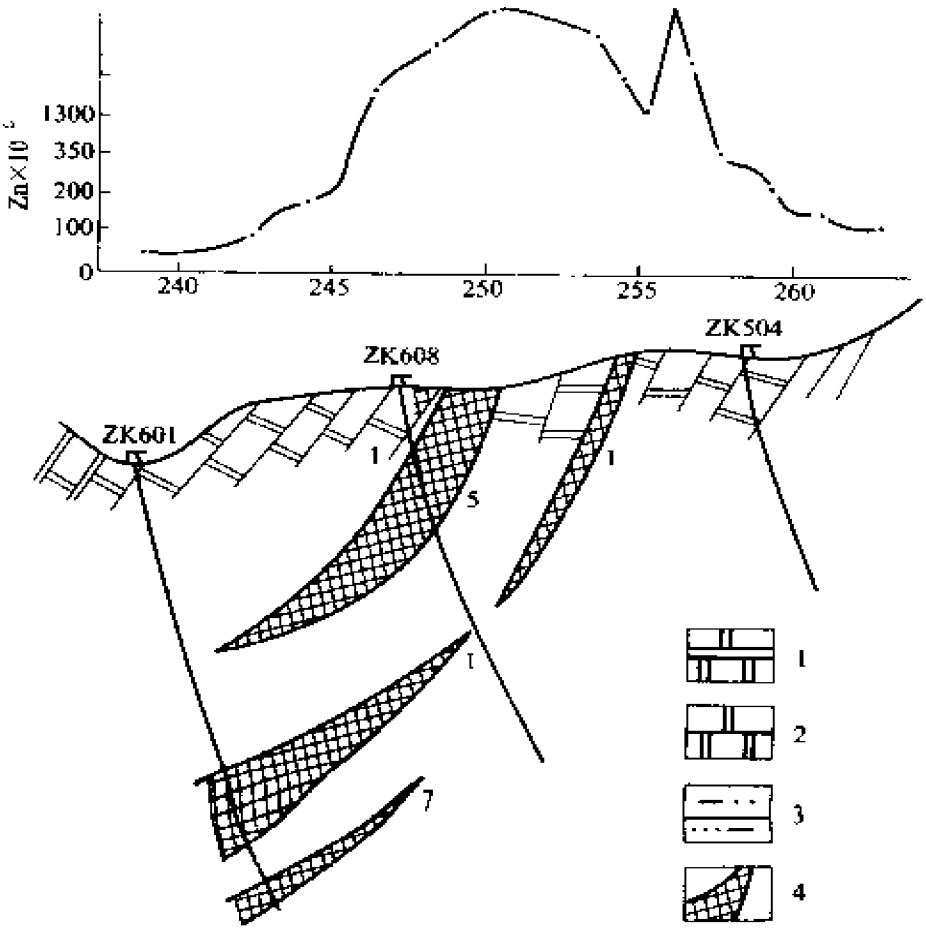


图 19　厂坝铅锌矿床 45 线地球化学剖面图

Fig. 19　Geochemical profile of the exploration line 45, Changba Pb-Zn deposit

1—结晶生物灰岩；2—大理岩；3—石英片岩；4—铅锌矿体及编号

(2)平面等值线图法也可以近似确定梯度最大值。当用等差或等比的距离间隔圈定异常等值线时，等值线之间间距最密的部分的中间一条线可以作为梯度变化最大的梯度线。如图 20 所示为厂坝铅锌矿床次生晕锌元素异常平面图。等值线最密的中间线为 200×10^{-6}就是梯度变化最大值线。该方法与剖面法确定的梯度变化最大值是基本一致的。一般采用剖面法和平面等值线法两种方法来确定梯度值是比较好的。同时用梯度变化最大值圈定的异常面积是在预测中一个面积参数。

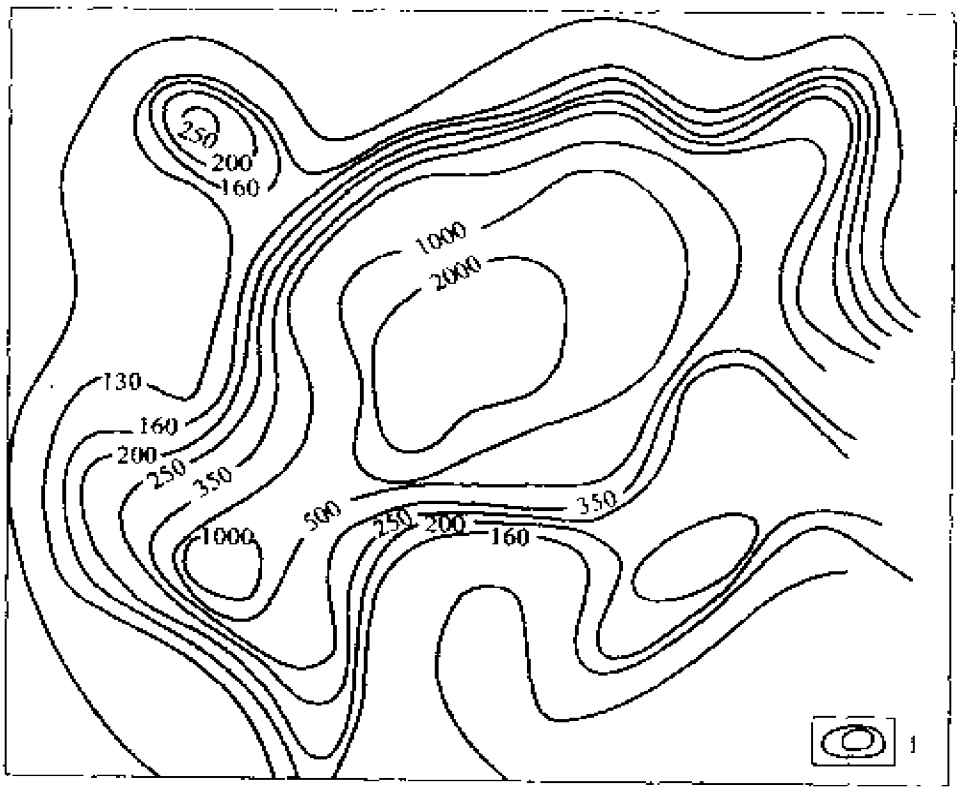


图 20　厂坝铅锌矿床次生晕 Zn 元素异常平面图

Fig 20　Zn contour the secondary halo in the Changba Pb-Zn deposit

1—锌异常等值线间距 150×10^{-6}、250×10^{-6}、350×10^{-6}、500×10^{-6}、1000×10^{-6}、2000×10^{-6}

通过研究，确定西成铅锌矿区铅的梯度最大值为$(100-160)\times10^{-6}$，锌为$(160\sim200)\times10^{-6}$。礼岷地区金异常的梯度最大值为

$(0.10\sim0.15)\times10^{-6}$。

4.5.8 计算步骤

(1)富集因子计算:根据丰度法预测中,首先应求得富集因子。所谓富集因子,就是单位体积内某种成矿元素已探明的累积储量与该元素在体积中总量之比值。富集因子是根据已知勘探的矿床控制的储量,最大勘探深度,异常梯度最大值所圈定的异常面积及矿区的平均密度等参数求得的。具体公式如下:

$$I_n = \frac{T_n}{S_n \times A \times H \times S_g \times 10^3 + T_n}$$

式中 I_n——富集因子;

T_n——元素在矿床勘探中所获金属量,t;

A——元素梯度最大值,$\times10^{-6}$;

S_n——元素梯度最大值圈定的面积,km^2;

H——勘探时控制矿体的平均深度,km;

S_g——矿石的平均密度。

根据上述求得厂坝-李家沟型铅锌矿床中铅的富集因子为0.87,锌的富集因子为0.95;毕家山-邓家山型铅锌矿铅的富集因子为0.54,锌为0.8。礼岷金矿带中李坝5号矿床的金富集因子为0.15。如果区内没有已知矿床出现时,其富集因子可根据邻近区域内,成矿条件相似的矿床进行计算。预测的各种矿床的实例较多时,也可用经验富集因子代替,一般贱金属矿床的富集因子多集中在0.80~0.95之间。贵金属矿床的富集因子多在0.10~0.20之间,斑岩型矿床的富集因子多在0.50~0.70之间。一般取其平均值代替时,所预测的结果与实际储量的相对误差也不超过15%,因此完全可以满足要求。

(2)未知异常计算:其公式完全与丰度值的计算公式相同。公式如下:

$$ET_n = \frac{S_n \times A \times H \times S_g \times 10^3}{1 - I_n}$$

式中 ET_n——预测金属总量，t；

其他参数同前式。

通过前述西成地区选择的7个异常进行潜在金属总量预测。经计算结果，预测锌金属量1210万t，铅金属量229万t。礼岷地区5个金异常预测金潜在金属总量为65t。经过近年来的勘探表明，礼岷地区已接近或超过了该预测量。通过该方法进行潜在金属总量预测，取得了较好的效果，使地化异常的定量预测迈出了较为理想的一步。

4.6 方法验证

为了确定该方法的可靠程度，确定预测的潜在金属总量与实际矿床的储量之间的相对误差，进一步论证方法的实际效果，我们选择了西成铅锌矿田进行过详查勘探的磨沟铅锌矿床的1/万次生晕铅、锌异常进行潜在金属总量的预测，因矿床类型与毕家山-邓家山铅锌矿床类似，属于紧闭倒转背斜控制的铅锌矿床，富集因子采用邓家山矿床的铅、锌分别为0.54、0.80。预测的铅、锌总量与实际详查探明的储量的相对误为12.3%。预测总量比实际控制的少，主要原因是该矿床向西侧伏，埋深较大，地表异常较为低缓，梯度不明显所造成的。就其相对误差而言，这种预测结果也是相当令人满意的。礼岷地区选择李坝6号矿体的1/2.5万沟系次生晕异常进行预测，富集因子利用5号矿体的0.15。通过预测结果与实际工程已控制的金金属量的相对误差为11%。同样预测的总量比实际控制得少。主要是由于地表有一部分第四纪黄土覆盖造成的。通过验证，同样取得较为满意的结果。证明利用异常最大梯度值代替丰度法中的丰度值对具体异常进行预测是可行的。

4.7 方法的评估及应用条件

(1)方法的研究基础是根据地化特征用新的参数梯度变化最

大值代替丰度法中的丰度作为预测中的参数，使之更加实用。

(2)预测工作与异常的判别筛选相结合，提高了异常的解释水平，预测的异常绝大多数是矿致异常，缩小了靶区，明确了靶位，使扩大成矿集中区的储量有具体目标。

(3)这是利用大比例尺地球化学资料进行成矿预测的一次尝试，也是地球化学资料定量化解释的试验。

预测结果尚未完全经工程验证，需要在实践中进一步证实。

关于方法的应用条件：

(1)预测时，应考虑到影响地球化学场的因素比较多，如受矿体矿化体的埋深、产状的陡缓、构造条件的发育、次生富集特点、异常的位移等诸多因素的控制，不是一个稳定的场源。

(2)地球化学晕的形成，一般在矿化体埋深不大时，产状较陡，才能有明显的梯度变化。因此，本方法在矿体埋深小于100m，陡倾斜，并且构造比较发育的情况下效果较好。对于埋藏深度较大，水平或缓倾斜的矿化体，由于叠加的异常不易区分，效果不够明显。

(3)要从矿床特点如元素组合、控矿因素等出发，灵活选择参数，才能取得较理想效果。

(4)利用1/万～1/2.5万次生晕成果进行预测，由于异常在异常源之上，预测准确性较高。本人曾用1/5万分散流进行预测，相对误差在20%～30%左右，准确性较差，主要是梯度最大值的选择误差较大，必然影响梯度最大值和梯度最大值所圈定的面积而造成误差。当准确性要求不高时，也可用1/5万分散流异常进行富集系数也相应用已知矿床分散流求得。

5 找矿实例

利用成矿区带地球化学异常评价方法，对甘肃省三大成矿区带（秦岭、北祁连、北山）的分散流异常进行了大量的评价工作，除了取得十分显著的找矿成果外，还积累了丰富的基础资料，为今后进一步开发和寻找新的找矿靶区打下了良好的基础。本次找矿实例中，根据不同的分散流异常特征和景观地球化学条件，选择礼岷金矿带的李坝金矿田和北祁连山镜铁山铁多金属成矿区的小柳沟铜钨多金属矿床为例，进一步论述该方法在找矿实践中的做法及其配合地物化进行勘查工作的全过程。

5.1 李坝金矿田

5.1.1 区域成矿条件及背景

礼岷金矿带的大地构造位置处于西秦岭多金属成矿带中亚带北部的海西褶皱带中，北邻北秦岭加里东褶皱带，南邻秦岭海西褶皱带成矿带的南亚带（图 21）。该金矿带处于中川、正沟、阎井三大岩体两侧构造蚀变带中，主要受高桥-礼县-苇子坝区域性大断裂及该断裂北侧分支断裂礼县－马坞断裂破碎带及次级断裂带的控制。北部构造带主要有：李坝金矿田、周家沟金矿、付家坪金矿、马坞金矿、锁龙金矿等组成。南部构造带主要有：金山金矿、马泉金矿、竹园沟金矿、坪沟金矿、陈家沟金矿及苇子坝金矿等组成。形成了两个金异常与金矿化集中区。1985 年在该区进行了 1/5 万分散流普查，发现了南北两个以金、砷、锑、银为主的异常带，综合异常 20 余处。分散流异常组合较好，但异常值较低。由于该区地球化学景观条件主要为第四纪农田覆盖区，仅在沟谷中有零星

的地层出露，从地质背景分析成矿较为有利。除处于南北两条断裂破碎带中，航磁异常处于平稳、低值场中的低缓正常的边缘，反映了岩体边缘和隐伏岩浆活动区。重力场特征，该区处于礼县-武

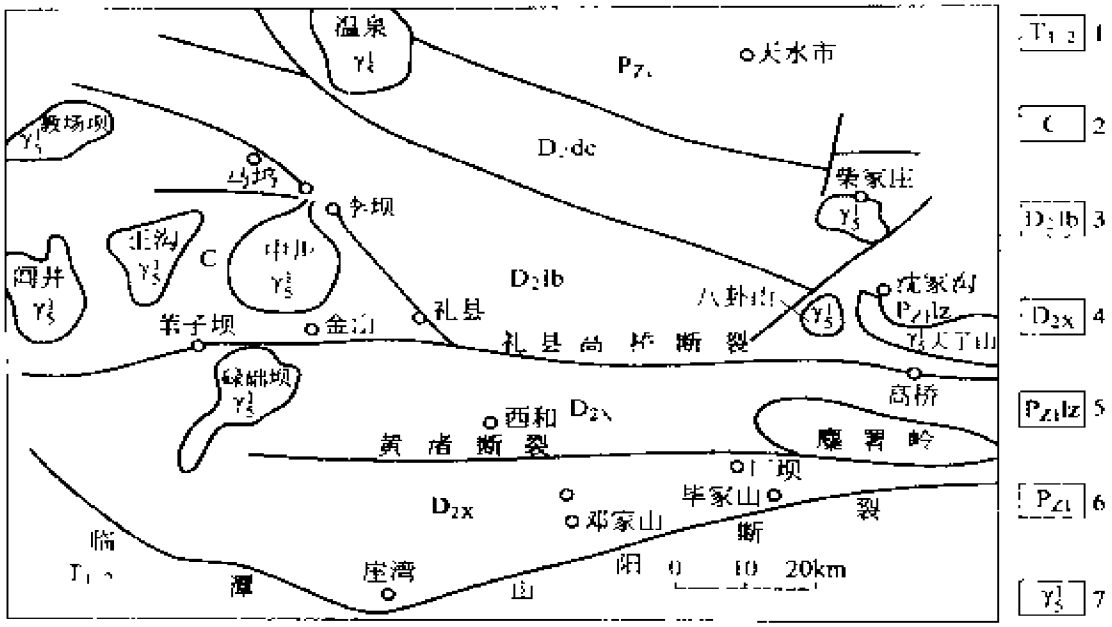


图 21　西秦岭北部构造、岩浆岩简图

Fig. 21　Geotectonic and granite structural map of the north in western Qinling

1—三叠系；2—石炭系；3—中泥盆统李坝群；4—中泥盆统西汉水群；5—下古生界李子园群；6—下古生界八河群；7—海西期花岗岩

都重力梯度带的变异区，反映了深部有一南北向隐伏的深断裂存在。结合重砂及砂金矿的分布，该区具有较好的金矿成矿条件。因此，1986 年开始对该区以金为主的综合异常进行重点评价，首先在李坝、金山两地开展 1/2.5 万沟系次生晕方法试验，在初步试验成功的基础上，发现了李坝、金山两金矿，并围绕南北两构造带开展了系统的 1/2.5 万沟系次生晕扫面近 400km^2，在所发现的异常浓集中心为主要工作对象，进行地表评价，先后发现了李坝、金山等 10 余处金矿体与矿化体。从此，正式确立为甘肃省礼岷金矿带（从礼县-岷县面积 2300km^2 范围）。

5.1.2 李坝金矿田特征

李坝金矿田位于礼岷金矿带东部，中川岩体北东侧，距中川岩体 2～5km 的范围内。李坝金矿田包括：李坝 5 号金矿床（5 号矿体群）、李坝 6 号矿床（6 号矿体群）、王河金矿床、杜沟金矿床、瓦屋沟金矿床、赵沟金矿床、三人沟金矿床、包山金矿点、姜坪金矿点等组成（如图 22 所示）。几乎每一个矿床（点）的发现均在沟系次

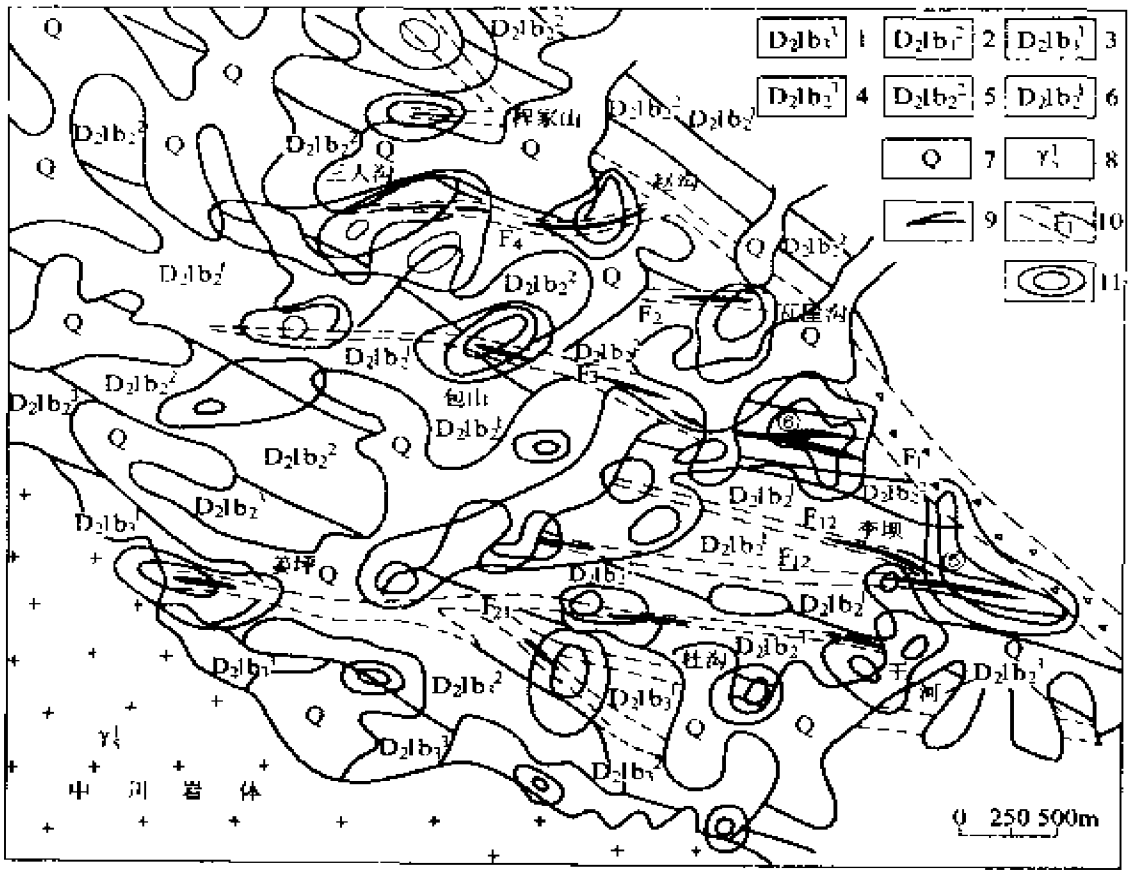


图 22 甘肃礼县李坝金矿田地质次生晕综合图

Fig. 22 Geology and secondary halo collective diagram of the Liba gold orefield, Lixian county, Gansu province

1—黄土；2—角岩化变石英砂岩夹粉砂质板岩；3—硅化变石英夹粉砂质板岩；4—暗绿色斑点板岩粉砂质板岩夹变砂岩；5—灰绿色粉砂质千枚岩、板岩；6—浅灰色斑点状粉砂质板岩；7—深灰色斑点状粉砂质钙质板岩；8—中间-中粗粒黑云母花岗岩；9—金矿体及编号；10—断裂破碎带及编号；11—金异常等值线间距 50×10^{-9}、500×10^{-9}

生晕的浓集中心。

5.1.2.1 地层

李坝金矿田主要出露的地层为中泥盆统李坝群(D_2lb),为一套碎屑岩建造。该地层在矿区及外围由老至新可分为4层,互为整合接触。

(1)D_2lb_1:灰-灰白色板岩夹砂岩及粉砂岩。

(2)D_2lb_2:该层分为下中上3层,即下部为灰褐色中厚层变质石英砂岩夹薄层板岩及斑点板岩组成,为李坝5号矿床的主要含矿层位;中部为灰-灰绿色板岩及斑点板岩夹变质石英砂岩、粉砂岩组成,为李坝6号矿床、瓦屋沟矿床、赵沟矿床的主要含矿层位;上部为中厚层石英砂岩及绢云母千枚岩夹薄层斑点板岩,为杜沟矿床的含矿层位。

(3)D_2lb_3:下部为黑色板岩,上部为灰黑色砂岩、粉砂岩,靠近中川岩体部分角岩化十分强烈,亦有姜坪、大青青等金矿点产出。

(4)D_2lb_4:为钙质板岩和泥灰岩组成,分布于李坝矿田南部。

根据李坝群不同地层中的各种岩性微量元素平均含量,其统计结果如表1所示。

表1 李坝群岩石微量元素平均含量

Table 1 Average content of microelements in the rocks of the Liba group

岩性	样数	Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn
板岩	88	5.4	143	43	2.92	105	46	37	156	41	11	866
粉砂质板岩	25	3.9	49	40	1.08	58	32	50	158	45	12	801
变质砂岩	95	4.8	115	35	1.17	65	32	39	149	40	11	780
大理岩	5	5.0	100	14	1.60	50	19	60	48	13	2.2	111

注:Au、Ag、Hg为$\times 10^{-9}$,其余元素为$\times 10^{-6}$。

由表1中显示,各地层中不同岩性的微量元素平均含量均接近背景含量,只是金、银略高于背景含量,说明金矿的形成与地层

和岩性之间的专属性不明显。在不同的层位中均有金矿体产出，层位和岩性对成矿无控制作用。

5.1.2.2 构造

李坝金矿田处于马坞-酒店复式背斜的南翼的酒店-李坝次级背斜的两翼，背斜核部地层为 $D_2lb_1^2$，翼部为 $D_2lb_2^2$-$D_2lb_2^3$ 及 D_2lb_3 组成。背斜长 10km，宽 1～2km，向东南倾伏。

区内断裂主要为高桥-礼县区域性大断裂的北西向分支断裂，即礼县-罗坝-锁龙口断裂(F_1)。总体走向 130°～140°，倾向210°～220°，倾角 80°～85°，长达 6km 左右。该断裂为区内的主要导矿断裂带，其内亦存在小的金矿体。该断裂带的次级断裂十分发育，呈平行排列，由南向北有 F_{21}、F_{18}、F_{12}、F_3、F_2、F_4 等(图 22)，与主断裂交角为 20°～30°，走向为 100°～120°或近东西向，倾向南，倾角 50°～70°，是区内的主要赋矿断裂，距 F_1 较近地段矿体较富、较厚大。该断裂破碎带具韧性剪切带变型和脆性破裂特征。破碎带内褪色蚀变十分强烈，斑点板岩特征十分明显，细粒黄铁矿均匀浸染分布于工业矿床的赋矿空间。特别是在断裂破碎带与次级背斜构造复合部位，在背斜鞍部或两翼形成厚大矿体。断裂破碎带微量元素的平均含量见表 2。

表 2 李坝金矿区断裂带微量元素平均含量

Table 2 Average content of microelements in fracture belts in the Liba gold orefield

断裂带性质	样数	Au	Ag	As	Sb	Bi	Hg	Cu	Pb	Zn
赋矿断裂	224	1055.5	1.65	904	22 1	1.66	0.10	33.5	75.9	131
具矿化断裂	73	44.0	0 36	226	22.5	0.55	1.24	31.8	44.2	126
非矿化断裂	75	12 2	0.25	106	6.4	0.58	0.38	56.2	40.0	120

注：Au 元素为 $\times 10^{-9}$，其余元素为 $\times 10^{-6}$。

从表 2 中看出，赋矿断裂破碎带整体均为表外矿体，具有矿化的断裂金含量是正常含量的 10 倍以上，非矿断裂含金也是正常含

量的 3～4 倍。因此该区主要是以断裂破碎带控矿，找矿目标非常明确。

5.1.2.3 岩浆岩

区内主要岩浆岩为矿区南部的中川岩体，为海西中晚期侵入的黑云母似斑状花岗岩。矿区内云斜煌斑岩脉十分发育，多产于控矿断裂破碎带内，空间上多出现在矿体上下盘或矿体中，也有个别切穿矿体，在岩脉附近金矿体一般较富，并形成厚大部位，有的煌斑岩脉含金在$(0.2\sim0.5)\times10^{-6}$，煌斑岩与金矿的成因是有较为密切的关系。岩浆岩及脉岩微量元素平均含量见表 3。

表 3 李坝地区岩浆岩微量元素平均含量

Table 3 Average content of microelements in magmatic rocks in the Liba gold orefield

名 称	样数	Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Pb	Zn
中川花岗岩	251	2.8	69	6.2	0.84	72	10.9	59.9	135
花岗闪长岩脉	8	3.0	53	6.3	1.13	95	24.0	60.2	135
石英脉	2	8.5	60	37.0	0.80	60	9.9	11.9	59
石英闪长岩脉	9	2.2	36	5.8	0.87	40	14.3	60.4	96
煌斑岩脉	5	29.0	330	80.0	3.00	68	34.0	26.4	191

注：Au、Ag、Hg 为 $\times10^{-9}$，其余元素为 $\times10^{-6}$。

区内岩浆岩金的含量不高，仅对金矿的形成起着重要的热源作用，各元素的平均含量均接近正常含量，只有煌斑岩中金、银、砷、锑的含量高出正常含量的 10 倍以上。其它脉岩均为正常含量。煌斑岩为成矿晚期侵入，对金矿起到富集改造作用。

5.1.2.4 蚀变特征

围岩蚀变可分为原生热蚀变及次生蚀变两类。原生蚀变黄铁矿化、绢云母化、硅化、绿泥石化、碳酸盐岩化、毒砂化等；次生蚀变有褐铁矿化、高岭土化、黄钾铁钒化等。蚀变分布主要沿断裂破碎

带出现，地表特征为褪色化带。蚀变分带由内向外有：黄铁绢云母化带-绢云母硅化带-绿泥石黑云母化带。矿化主要与内中带关系密切。各蚀变分带微量元素平均含量如表4所示。

表4 李坝矿床蚀变带微量元素平均含量

Table 4 Average content of microelements in alteration zones in the Liba gold ore deposit

名 称	样数	Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Pb	Zn
黄铁绢云母化带	13	3.57	0.82	1283	21	0.04	31.1	35.8	155
绢云母硅化带	6	0.406	0.36	942	16	0.04	26.2	28.8	158
绿泥黑云母化带	21	0.024	0.14	132	5	0.05	36.1	39.1	182
李坝群地层 D_2lb	19	0.004	0.07	30	0.7	0.05	63.8	31.3	179

注：各元素为 $\times 10^{-6}$。

蚀变带由内向外金、银、砷、锑元素平均含量呈递减趋势非常明显。主要含矿为黄铁绢云母化带，反映出蚀变岩金矿的特点。

5.1.2.5 矿床规模

规模最大的5号、6号矿体的长度大于1000m，最大厚度15～20m，平均厚5～8m，矿体最大延深达335m，平均品位4～6g/t，最高品位达20～25g/t。其他矿床的矿体如赵沟、杜沟、王河等矿体长一般300～500m，厚度3～40m不等，金品位3～4g/t之间，也有个别地段较富达10g/t以上。除各矿床的主矿体外，在其上下盘均出现多条平行矿体，多为隐伏矿体，形成各矿床的矿体群。6号矿体的平行矿体有6-2、6-3、6-4等，5号矿体有14号、15号、16号、17号等矿体，这些平行矿体的厚度在3～18m之间，品位一般在3～5g/t。矿床成因为构造蚀变岩型金矿床。

5.1.2.6 李坝地区分散流异常特征

1985年通过1/5万分散流普查，在李坝地区获得以金、银、砷、锑、铅、锌、汞、锶、镍、钨、锡元素组合的异常区，其中主要以金、

银、砷、锑元素为主。如图 8 所示。该异常的特征如表 5 所示。

表 5　李坝地区分散流异常特征

Table 5　Characteristics of dispersion train anomalies in Liba area

元素	异常面积 /km^2	异常点数	背景值	异常下限值	平均值	最大值	均方差	衬度值	面金属量
Au	15	73	4.0	7.0	17.7	96.0	20.19	4 43	2054
As	60	260	21 0	40.0	100 7	500.0	78.64	6.71	478140
Sb	6.1	32	1 3	2.0	4 2	9 0	2.35	3 23	1769
Ag	5 2	26	0.10	0.20	0.30	0.89	0.15	3.00	104

注：Au×10^{-9}，其余元素为×10^{-6}。

从水系沉积物测量可以看出，该异常元素组合较为齐全，是一个以金、砷、银、锑为主的综合异常，异常面积较大，最外面是砷异常面积大 60km^2，依次向内为金、锑、银。从异常强度看，极大值仅有一个点为 96×10^{-9}，其余测点一般为(10～30)×10^{-9}之间，金异常不仅规模大，面且也具有明显的分带性与梯度变化，而砷、锑、银异常的分带性与梯度变化远不如金元素。但从总体上看，该异常应属于中等强度异常，其原因是该区第四纪覆盖面积较大，从图 8 中可以看出，大约有 2/3 的面积为覆盖区，对水系沉积物样品会造成一定的影响。根据异常所处地质条件分析，认为异常分布于岩体外接触带及区域断裂附近，是一个具有中大型金矿十分有利的综合异常。并在该异常的下游有田家河砂金矿床，应具有较好的金矿成矿条件。

5.1.2.7　沟系次生晕异常特征

1986 年进行小面积沟系次生晕试验，获得的效果较好。1987 年继续对外围进行系统沟系次生晕扫面，该分散流异常区共完成 1/2.5 万沟系次生晕测量 48km^2，获得金异常 41 处，其中有大于 500×10^{-9}的异常浓集中心 21 处。在李坝金矿田范围的 24km^2 中获金异常 12 处(图 22)。有浓集中心大于 500×10^{-9}的异常 8

处。异常总面积约为 8.2km^2，其中异常规模最大的为编号 HC-3 号异常，是李坝金矿田中 6 号矿床的范围、面积为 4.0km^2。该异常的特征如表 6 所示。

表 6　李坝金矿田 1:25000 沟系次生晕 HC-3 异常特征

Table 6　Characteristics of HC-3 anomaly of 1:25000 secondary halo from valley in the Liba orefield

异常编号	元素	异常面积/km^2	异常下限	平均值	最大值	衬度值	面金属量	备注
HC-3	Au	4.0	50	1100	15300	73.3	440000	>1000×10^{-9}有 38 点
	As	6.0	200	2184	37080	62.4	1310800	>1000×10^{-6}有 54 点
	Sb	2.0	2.5		233			>10×10^{-9}有 57 点
	Ag	2.0	500		50000			>500×10^{-9}有 41 点

注：Au、Ag 为×10^{-9}，As、Sb 为×10^{-6}。

从表 6 和图 22 中清楚反映出：(1)沟系次生晕异常的平均值、最大值、衬度值和面金属量均比分散流异常高出 10－20 倍；(2)所有异常的梯度变化也比分散流异常高 10 余倍以上；(3)所反映出的异常浓集中心均十分明显，多数为大于 500×10^{-9}。而这些异常浓集中心的出现，有 1/2 以上的点是在野外现场布设的双号点，即特殊地质现象的采样点；(4)异常带的走向基本上反映了断裂带的走向。经地化剖面进一步确定了异常浓集中心的具体位置后，在异常浓集中心用地表槽探工程揭露，分别发现了 6 号矿床的含矿破碎蚀变带，并圈出了金矿体。

从以上过程看，应该说从成矿区带分散流普查-1/2.5 万沟系次生晕评价-地化剖面确定异常浓集中心位置-地表槽探工程揭露见到矿体，并向外追索，异常评价的阶段已基本完成。也就是说从分散流异常-沟系次生晕异常-矿体发现的过程已基本结束，已达到地球化学普查的目的。下一步的工作主要应集中在对异常开展大比例尺的地质填图工作，综合研究成矿条件及控制因素，并结合地化工

作认识规律，进一步把矿床规模扩大，这一阶段应主要以地质条件研究为主。指导深部工程施工，才能把矿点变成矿床、矿田。

5.1.2.8 沟系次生晕异常与正规网次生晕异常对比

李坝地区虽经沟系次生晕异常评价发现了含矿破碎蚀变带和金矿体，但人们受过去传统方法的影响，总觉得沟系次生晕异常不一定完全能解决问题，还需要正规的1/万测网次生晕方法(100m×20m)进行评价。于是在该区进行了1/万正规网次生晕测量25km²。所得成果中HC-3异常特征如表7所示。

表7 李坝金矿田1:10000土壤地球化学测量HC-3异常特征

Table 7 Characteristics of HC-3 pedogeochemical anomaly(1:10000) in the Liba gold orefield

异常编号	元素	异常面积/km²	异常下限	平均值	最大值	衬度值	面金属量	备注
HC-3	Au	2.8	10.0	249	6108	25.0	16220	>500×10⁻⁹有41点
	As	5.0	100	792	11000	19.8	18348	
	Sb	1.6	1.0	1.63	5.0	4.1	394	
	Ag	1.4	300	109	3000	5.5	3211	

注：Au、Ag为×10⁻⁹，As、Sb为×10⁻⁶。

通过表6和表7的对比可以看出：

(1)异常的面积明显缩小了不少，其原因是有些点落到第四纪覆盖层上，不出现异常，而沟系中具有微矿化露头的地段出现在采样位置之外，因而无效点增多，致使异常面积减少；

(2)从异常下限、平均值、极大值、衬度值、面金属量值均比沟系次生晕异常减少了3～5倍；

(3)异常的梯度变化也明显减少了；

(4)1/万正规测网所用人力、资金是沟系次生晕的4～5倍。

再从所圈定的异常成果分析如图23所示。由于地层走向130°，所以测线方向为40°，所圈定的异常走向多为130°方向，而该

区的次级断裂破碎带多为100°左右，曾有一部深钻孔按130°方向追索矿体，结果全部落空。这一教训是非常深刻的，浪费工程量严重。回过头来认识，沟系次生晕异常的方向是真正反映了次级断裂破碎带的方向。沿该方向布设的钻孔才符合地质规律，绝大多数见矿较好。

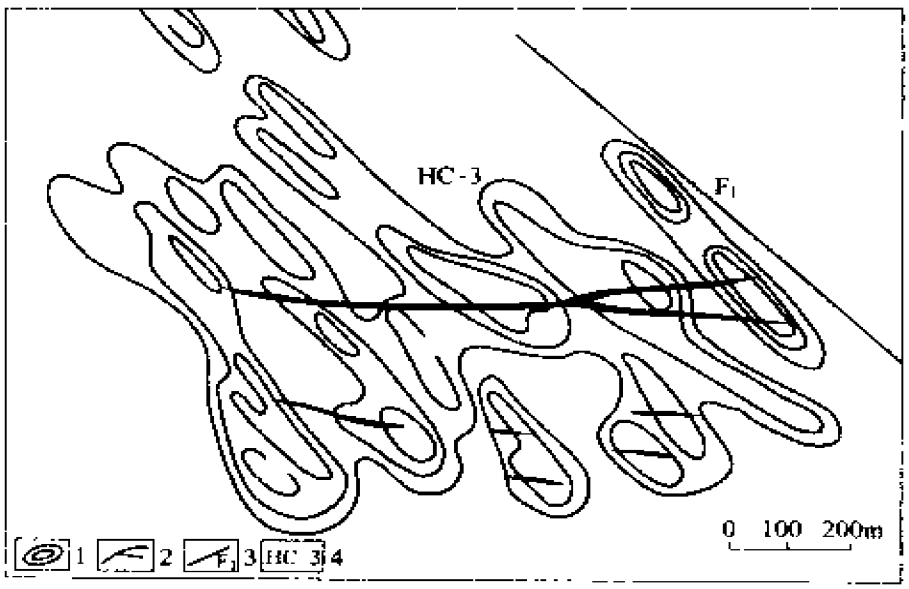


图23 李坝6号金矿床正规网100m×20m次生晕金异常图

Fig.23 Au anomaly map of secondary halo of the ore body 6 in the Liba ore deposit(grid 100m×20m)

1—金异常，等值线间距50×10^{-9}、100×10^{-9}、200×10^{-9}；2—金矿体；3—断裂破碎带；4—HC-异常

5.1.2.9 沟系次生晕异常与激电异常对比

该区由于第四纪覆盖面积较大，仅在沟谷中有少量露岩，为了了解断裂破碎带的规模和展布方向，需要开展双频激电工作，根据参数研究，如表8所示。

从电参数测定结果显示，岩矿石中只有黄铁矿化砂岩、黄铁矿化斑点板岩和含矿断裂破碎带的幅频率平均值较高，其余各种岩性的平均值均小于2.0%，幅频率差异明显，用双频激电追索断裂破碎带基本具备前提。从电阻率的平均值看，基本属于同一数量

级，差异不明显，采用电阻率效果不会很好。

表 8　李坝金矿床岩石电参数特征

Table 8　Electric parametric characteristics of the rocks in the Liba gold ore deposit

岩矿石名称	标本数	幅频率/%			电阻率/MΩ		
		极大值	极小值	平均值	极大值	极小值	平均值
黄铁矿化石英砂岩	33	6.7	1.6	4.2	1871	215	687
黄铁矿化斑点板岩	35	4.3	1.3	2.8	1227	145	501
含矿破碎蚀变带	小四极	10.2	2.8	8.1	650	101	459
粉砂质板岩	35	4.8	1.1	1.7	4666	106	845
粉砂质斑点板岩	35	4.3	0.7	1.9	3799	341	838
变质砂岩	39	2.8	1.0	1.9	1625	243	797
煌斑岩	24	2.6	1.1	1.8	1647	59	863
石英脉	27	3.4	1.1	1.8	2979	552	1225

1987 年在 HC-3 号异常区开展 1/万双频激电 5km^2 网度为 100m×20m。视幅频率(F_s)异常图 24，较好地圈定出了含矿破碎

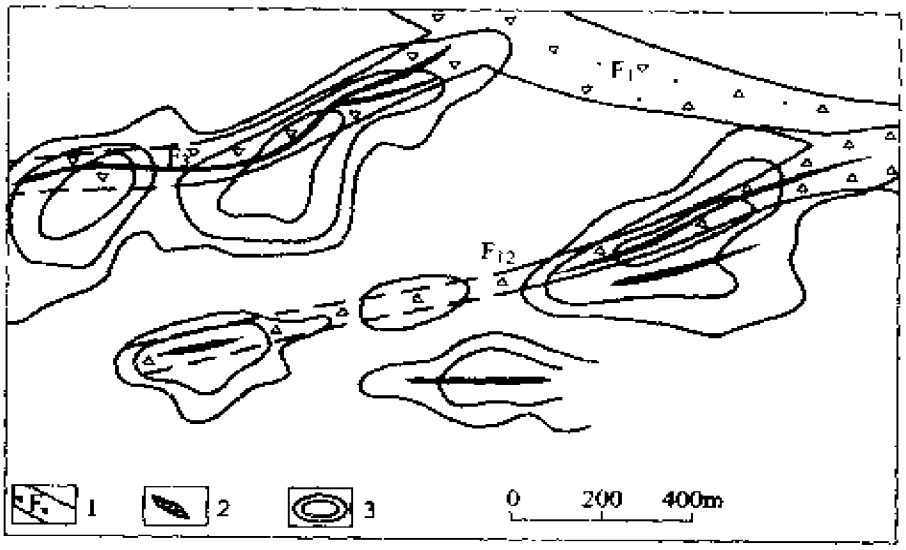


图 24　李坝 5 号、6 号矿床双频激电幅频率异常图

Fig. 24　Fs anomaly map of dual-frequency I. P. method of the ore body 5, 6 in the Liba ore deposit

1—断裂破碎带；2—金矿体及编号；3—幅频率等值线间距 2%、4%、6%

蚀变带的规模。F_e的背景值为1.5%，以2.0为异常下限，圈出6号含矿破碎蚀变带的存在，异常宽度达300～400m。异常强度一般为3.0%～6.0%，最高为8.1%。5号含矿破碎蚀变带断续长2000m，中间为山顶覆盖厚，使异常断开。5号、6号含矿破碎蚀变带的视幅频率异常的走向分布与沟系次生晕异常的走向基本一致，也为后期的深部钻探工程所证实。说明在第四纪覆盖的地区。通过沟系次生晕浓集中心已发现矿体或矿化体时，配合采用激电圈定含矿破碎蚀变带或含矿层位的规模和展布方向是快速有效的。

5.1.3 李坝金矿田勘查过程

该矿田的勘查过程大体分为三阶段。

第一阶段：矿体的发现。(1)首先在区带分散流普查的基础上，根据异常特征、梯度变化、元素组合特征及异常所处地质环境进行异常筛选。选出处于三大岩体南北两侧与岩体、构造有关的两条异常带为成矿环境较为有利。在掌握整体区带异常分布的规律，认为中川岩体北东侧的李坝地区和南侧的金山地区的金、砷、锑、银综合异常具有更好的找矿条件，进一步缩小了找矿靶区。(2)在上述两个综合异常区系统开展1/2.5万沟系次生晕测量，每个区内均发现了多处异常浓集中心，与分散流异常对比异常面积进一步缩小，异常强度增高10～20倍，梯度变化更陡，说明异常与矿化有关。在异常浓集中心利用地化剖面准确确定浓集中心的位置；(3)在异常浓集中心部位采用槽探或浅井进行揭露，在破碎蚀变带中发现了厚5.0m，金品位为3～5g/t的工业矿体数处，和多处含矿蚀变带，类比全区的异常浓集中心，与之类似，并进行区内潜在金属总量预测，可以形成中大型矿床。至此，地球化学异常的评价工作阶段的基本任务已完成。

第二阶段：系统开展面积性地质测量和物探工作，确定矿床规模。(1)为了研究矿体规模、产状、控矿基本因素，进行了1/2千～1/1万地质测量，了解到金矿体与含矿层位及破碎中的黄铁矿化的斑点板岩有密切关系，地表特征为褪色蚀变特点，并了解了含矿

破碎带的空间展布及产状，确定工作对象和范围，通过填图，认为F_1大断裂为区内的主要导矿构造，它的次级断裂破碎蚀变带F_{12}、F_3、F_2、F_4等为主要的控矿构造。(2)由于第四纪覆盖面积较广，配合采用双频激电进一步圈定含矿破碎蚀变带的规模与展布方向，通过电法工作，认为除地表已出露的含矿破碎蚀变带外，还有平行的隐伏盲矿体存在，并为以后的钻探工程所证实。并对F_1的次级断裂破碎带的展布方向基本确定，为以后的深部工程提供了依据；(3)通过1/2千地质测量，不仅确定了矿体的规模、产状，而且发现了矿体产状变化较大，不仅南倾，有时会变为北倾，如5号矿体ZK80-1孔见矿较后，而ZK88-1孔却未见矿，发现产状变为北倾，ZK88-2反向孔却见到厚大矿体。赵沟也有类似情况。通过详细地质测量和研究较好指导了钻探工程。

第三阶段：随着地质勘查工作的深入和工程验证的进展，开展矿床控制因素的研究，重点对厚大矿体的控制因素进行研究，发现6号矿体的厚大部位与紧闭背斜褶皱关系密切，并与煌斑岩的侵入有关，根据这一认识，为区内寻找厚大矿体指出了方向，赵沟的厚大矿体基本按这一思路进行工作，并对矿床的赋存状况进行研究。同时确定该矿田为微细粒浸染型破碎蚀变型金矿床，整个矿田的资源量超过100t以上，成为大型金矿田。

上述三个阶段的基本做法，使该区从异常矿体的发现-形成大型金矿田的全过程，对各阶段的工作中进行有机结合，综合分析，不断提高对矿床的认识水平，是符合地质勘查工作实践论的全过程的。

5.2 北祁连小柳沟钨铜多金属矿床

5.2.1 区域地质概况

小柳沟钨铜多金属矿床位于北祁连加里东造山带的西段，镜铁山铁、铜、钨多金属成矿集中区内。该区处于祁连山南侧及托莱山南坡两条深大断裂之间的中元古代镜铁山-朱龙关裂谷带中。区内与铜、钨多金属矿有关的地层主要有：前长城系北大河群，主

要岩性为片岩、片麻岩夹大理岩、石英岩等。该层内产有塔儿沟大型钨矿床(黑钨)、石硐沟中小型银铅矿床等。长城系朱龙关群,岩性为碎屑岩夹中基性火山岩、凝灰岩、基性-超基性火山岩、碳酸盐岩等。其内产有朱龙关式铁矿、小柳沟钨铜多金属矿床,与基性-超基性岩有关的铜金矿等。并出现大量的铜、铅、锌、钨、钼、金的分散流异常带。蓟县系镜铁山群,岩性为千枚岩、碎屑岩、夹硅泥质白云岩、镜铁矿层及石英岩等。产有桦树沟大型铁铜矿床、黑沟铁矿床、白尖铁多金属矿床、头道沟、磨石沟铜矿点等。区内同时出现大量铜、铅、锌、锑、钼的分散流异常。青白口系大柳沟群,主要为红色富钾碳酸盐岩-碎屑岩建造。该群中亦有铜、铅锌、铁矿点多处,并发现有铜、铅、锌、锑、钼、钨、铋分散流异常区。碳酸盐岩中发现有马尾丝状辉铜矿细脉,断续分布达数千米。

区内断裂褶皱较为发育,断裂以北西西向为主,其次级断裂控制着区内铜钨多金属矿化。区内北西西向断裂与沿北大河群呈北东向隐伏断裂构造的复合部位处位于镜铁山地区,对区内的成矿起了控制作用。区内主要褶皱为镜铁山复向斜与朱龙关复背斜,并发育了次级褶皱和穹隆构造对矿床的产出起了控制作用,特别是次级褶皱与次级断裂复合是矿体产出的有利空间。

区内岩浆活动频繁,侵入岩以加里东期中深成花岗岩为主,其次为基性-超基性岩,多以岩株、岩墙、岩脉出现。前者主要与铜、钼、钨、铋、铅、银等多金属矿床有成因联系,如野牛滩二长花岗岩与塔儿沟钨矿床、石洞沟银铅矿床有关,小柳沟钨铜矿床与该区隐伏二长花岗岩有关。基性-超基性岩多呈带状分布于朱龙关群中,主要与区内铜、金成矿有一定成因联系。并伴随出现有较大的铜、金、钴、镍综合异常带出现。

5.2.2 小柳沟钨铜矿床地质特征

5.2.2.1 地层

矿区内主要出露地层为长城系朱龙关群(图 25),可分为上下两个岩组和五个岩性段,详见表 9 所示。

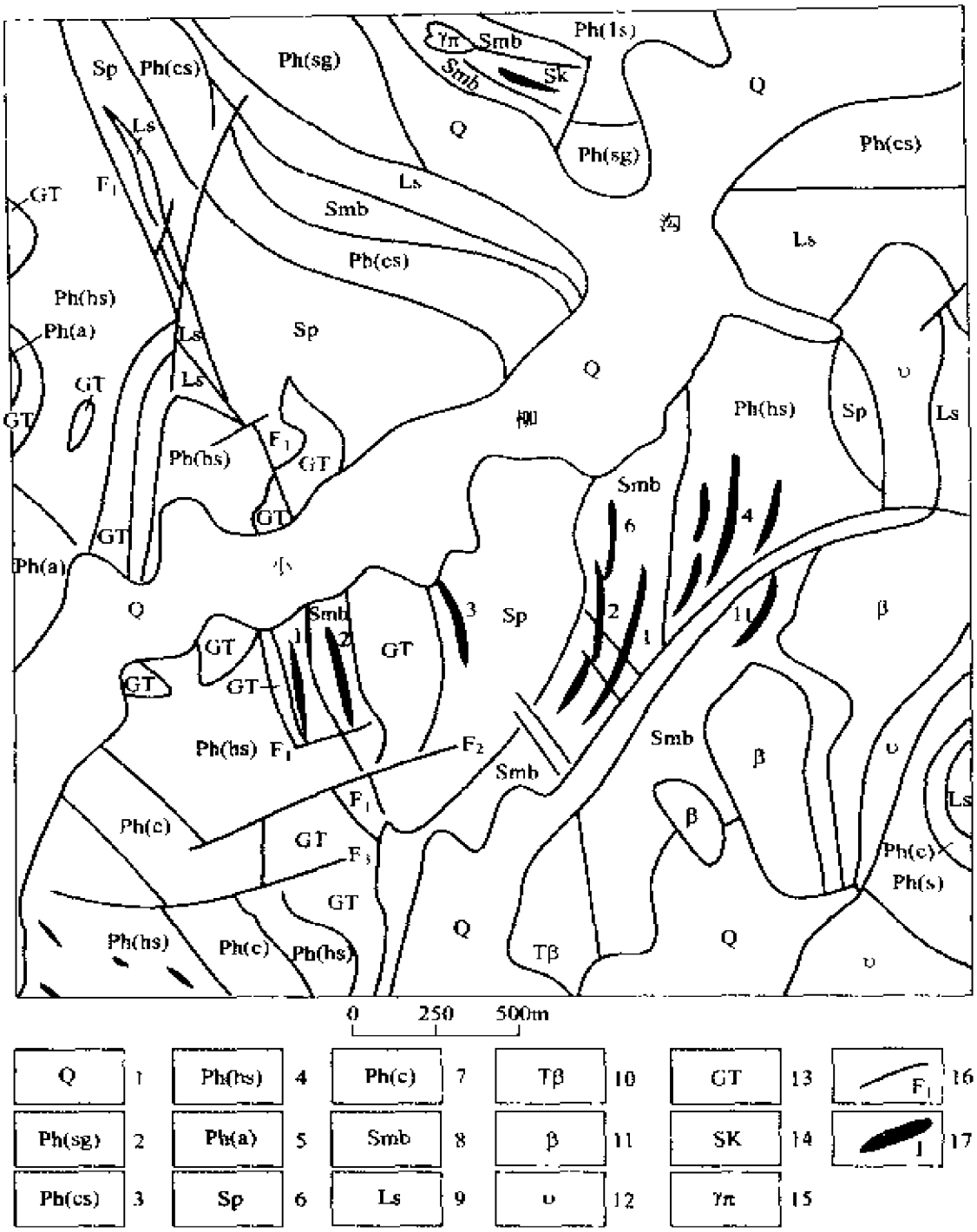


图 25　肃南县小柳沟地质图

Fig. 25　Geological map of the Xiaoliugou ore deposit, Sunan county, Gansu province

1—第四系；2—石英绢云母千枚岩；3—含炭绢云母千枚岩；4—绢云绿泥千枚岩；5—钙质千枚岩；6—千枚状粉砂岩；7—炭质千枚岩；8—角闪云母片岩；9—灰岩；10—玄武质凝灰岩；11—玄武岩；12—辉长岩；13—硅质岩；14—矽卡岩；15—花岗岩；16—断裂；17—钨矿体及编号

表 9　小柳沟朱龙关群地层表

Table 9　Stratigraphic scale of the Zhulongguan group in Xiaoliugou area

群	组	段	岩性特征
长城系朱龙关群	上岩组	上岩段	玄武岩
		中岩段	上部为玄武岩夹灰岩，下部为云母角闪片岩、矽卡岩、灰岩及绢云绿泥千枚岩，是区内主要含矿层位，赋存有 4～11 号矿体
		下岩段	下部为斑点状含炭绢云千枚岩及云母角闪片岩，上部为玄武岩、云母角闪片岩、绢云角闪片岩、绢云千枚岩、薄层灰岩、矽卡岩是主要含矿层，赋存有 1 号、2 号、3 号、6 号等矿体及世纪 1 号，2 号、3 号矿体
	下岩组	上岩段	上部为含砂质千枚岩，下部为石英岩（硅质岩）夹绢云绿泥千枚岩、钙质千枚岩等，发育三组不同方向石英网脉（含铜、钼矿化）
		下岩段	上部炭质板岩，下部为绿泥绢云千枚岩夹铁矿层

从表 9 中看出，钨铜矿体主要产于上下岩组的过渡部位，即上岩组的下岩段和下岩组的上岩段，在上岩组的中岩段亦有矿体出现。根据地表分析，部分岩石微量元素的平均含量统计见表 10。

表 10　小柳沟朱龙关群岩石微元素平均含量

Table 10　Average content of microelements in the rocks of the Zhulongguan group in Xiaoliugou area

岩石名称	W	Sn	Mo	Bi	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
矽卡岩化灰岩	187.6	59.80	18.30	44.5	91.60	25.0	81.7	0.15	19.65
云母角闪片岩	158.0	20.50	36.60	54.0	458.0	35.6	360.0	0.18	142.4
玄武岩	180.0	15.75	21.25	9.4	107.5	22.5	60.0	0.14	18.23
含炭绢云千枚岩	82.6	0.70	12.00	69.5	515.0	36.0	381.0	0.30	23.20
千枚状砂岩	48.6	25.20	243.7	126.4	678.7	48.0	390.0	0.74	27.95
花岗岩脉	25.4	70.00	7.00	15.0	30.0	25.0	30.0	0.20	30.0
二长花岗斑岩	31.7	7.20	68.62	16.0	442.0	64.0	60.0	0.56	2.05

注：Au 为 $\times 10^{-9}$，其余元素为 $\times 10^{-6}$。

从表 10 可以看出，矽卡岩化灰岩、云母角闪片岩、玄武岩为上岩组的中下岩段，钨、锡、钼的平均含量较高，也是主要的钨矿含矿层。含炭绢云千枚岩、千枚状砂岩为下岩组地层，其微量元素钨、

锡含量较上岩组低1倍以上，而铜、铅、锌、银、金、铋等平均含量却较高，特别是千枚状砂岩中的平均含量铅为 243.7×10^{-6}，铋为 126.4×10^{-6}，铜为 687.7×10^{-6}，锌为 390×10^{-6}，银为 0.74×10^{-6}，金为 27.95×10^{-6}。该岩性分布面积较大，其内石英网脉较为发育，共有三组不同方向的石英网脉，分别为 NE、NW、EW 向，石英脉较密集，可见白钨矿、黄铜矿、辉钼矿、辉铋矿及孔雀石，在今后找矿中应引起特别的注意。

5.2.2.2 构造

区内为一"D"形穹隆构造如图 25 所示；该穹隆的西侧因受近南北向断裂构造的影响，上岩组下岩段的出露面积较小，而东部弧形一侧上岩组出露较全。穹隆两侧地层形成不对称。在下岩组的千枚状细砂岩为穹隆的核部，发育有三组不同方向的石英网脉带，为穹隆上隆的中心部位，下部可能为隐伏岩体的隆升部位。为铜、钼、铋异常的中心部位，是一较为有利的铜、钼找矿地段。

区内断裂构造较为发育，可划分为三组：第一组为北北西向或近南北向，规模较大属压扭性断裂，分布于穹隆构造的西侧，该断裂控制了世纪矿床的 1 号、2 号、3 号矿体的产出。沿该断裂带两侧分布有多处不规则状喷流硅质岩。第二组为隐伏花岗岩侵入体形成的层间断裂和放射状断裂，呈半环状分布于穹隆的边部和外围。该组断裂为成矿的主要断裂，控制了穹隆东部的主要矿体。第三组为成矿后断裂，呈北西西或近东西向分布，一般规模较小，对矿体有破坏作用，但位移不大，如 1 号、2 号、6 号矿体南部的断裂。

5.2.2.3 侵入岩

矿区内地表侵入岩不发育，仅见四处花岗岩株和花岗岩脉，地表均有褐铁矿化、孔雀石化现象。在上岩组中有较多的辉长岩脉、岩墙侵入，在下岩组的砂岩中网脉状石英脉十分发育，每米范围有 20—50 条，石英脉多见有孔雀石化。岩体与岩脉微量元素见表 10。岩体中铜、钼、铋、银平均含量较高。通过深部钻探 ZK2-1 孔深 515m 见隐伏二长花岗斑岩体，赋存有较厚的钼矿体，并见有浸染状黄铜矿化。说明岩体为成矿提供了丰富的物质来源，也为成

矿物质的活化迁移提供了热源。

5.2.2.4 矿体特征

矿体多呈似层状或透镜状产于矽卡岩化云母角闪片岩中，与地层产状基本一致，少数矿体受断裂控制产于不同岩性界面中。小柳沟矿床共发现钨矿体16条，铜、钼矿体8个，其中伴生钨。钨矿体有两个规模大、品位高。1号矿体呈似层状赋存于矽卡岩化云母角闪片岩中，倾角80°～100°，倾角60°～70°，地表控制长560m，延深515m，平均厚11.94m，WO_3平均品位0.93%，最高达10%，矿石以稠密浸染状、块状，主要矿物为白钨矿、黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿。4号矿体赋存于矽卡岩化灰岩中和矽卡岩中，地表控制长620m，延深250m，平均厚19.32m，最厚达48.5m，WO_3平均品位0.62%，最高达4.16%。其他钨矿体长为120～365m，厚3～20m，WO_3品位0.18%～0.5%之间，该矿床控制资源量为大型矿床。在外围又发现三个矿床，已形成大型矿床，可达超大型规模。

5.2.2.5 分散流异常特征

1989～1991年曾在北祁连西段完成1/10万分散流普查6000km^2，每平方采样点3～4个，获得大量综合异常区，成为该区进一步开展地质普查的基础资料。其中在镜铁山-吊大板地区发现了以铜、铅、锌、钼、锑等元素的综合异常带四个。小柳沟综合异常位于头道沟-二道沟-小柳沟异常带的东部，综合异常组合特征见表11。

表11 小柳沟分散流异常特征

Table 11 Characteristics of dispersion train anomalies in Xiaoliugou area

元素	面积/km^2	点数	平均值	极大值	异常下限	衬度值	面金属量
Cu	34.0	59	75.3	185	50	1.51	51.2
Pb	9.5	16	82.0	172	50	1.70	12.4
Zn	10.0	20	171.5	649	110	1.65	15.6
Sb	40.0	82	3.8	44.5	2.0	1.90	76.0
W	25.0	40	11.1	250	5	2.20	55.5
Mo	20.0	42	9.6	121.0	5	1.90	38.4
Bi	36.0	76	5.9	161.3	0 5	11.95	430.2

续表 11

元素	面积/km²	点数	平均值	极大值	异常下限	衬度值	面金属量
Sr	2.0	4	351.5	408	250	1.41	2.8
Ba	9.5	39	1156	3883	700	1.65	32.2
Co	18.4	41	30.0	625	20	1.52	27.9

注：元素为 $\times 10^{-6}$。

表 11 清楚显示，该异常为铜、铅、锌、锑、钼、钨、铋、钡、锶、钴综合异常。异常面积较大，特别是铜、锑、钨、钼、铋异常超过 20km²。异常值较高，呈等轴状分布，各元素异常均具有一定的梯度变化。铅、锌异常分布于铜、钼、钨、铋异常的外侧，有较高的钡、锶异常，可能与火山作用有关。从异常的特征分析应属由矿化或矿体引起的异常，又具有斑岩矿床的元素组合和分布规律，但地表未发现斑岩体。从区测 1/20 万的成果中，该区也未发现铜钼矿化点。根据该区桦树沟铁矿下部发现的铜矿体的成功经验，该区南部有黑石嘴铁矿产出，有可能找到类似桦树沟铜矿的地质条件。从遥感资料分析，该异常区处于小柳沟环形构造的边部，从航磁重力资料分析，在该异常的西侧，沿北大河有一条呈北东向的隐伏构造存在。经地表检查在石英网脉带中和矽卡岩化角闪片岩中见有孔雀石化。区内地层呈北东走向，与区域中朱龙关地层为北西西走向截然不同，因此该区为强烈构造变形区，所处地质环境对成矿较为有利。当时确定该区应以铜钼为主进行找矿。对钨矿找矿在该区还没有引起注意。

5.2.2.6　沟系次生晕异常特征

1991 年，针对小柳沟综合异常开展了 1/2.5 万沟系次生晕普查，面积 80km²，平均每平方米采样 43 个，当时仅分析铜、铅、锌、钼、金、银六个元素。钨元素是后来发现白钨矿体面补充分析的。异常特征见表 12。

通过 1/2.5 万沟系次生晕圈定的铜、钼、钨异常见图 26、图 27、图 28。从图和表 12 说明，次生晕异常面积比分散流异常面积缩小 1～2 倍，平均含量增高 2～5 倍，极大值增加 5～10 倍，异常

表 12　小柳沟 1:25000 沟系次生晕异常特征

Table 12　Anomaly characteristics of 1:25000 secondary halo from valley system in Xiaoliugou area

元素	点数	面积/km²	平均值	最大值	异常下限	均方差	衬度值	变化系数	面金属量
Cu	347	8.5	110.4	1150	50	96.93	2.2	87.5	18.77
Pb	78	2.0	137.2	300	50	59.98	2.7	43.7	5.49
Zn	165	4.2	115.1	1000	96	75.97	1.2	66.0	5.04
Mo	225	6.5	39.7	1000	5	106.20	7.9	167.5	51.61
W	379	11.0	78.2	500	5	124.7	15.6	100.6	172.0
Ag	115	2.9	0.39	2.0	0.06	0.20	6.3	67.3	18.85

注：元素含量为 $\times 10^{-9}$。

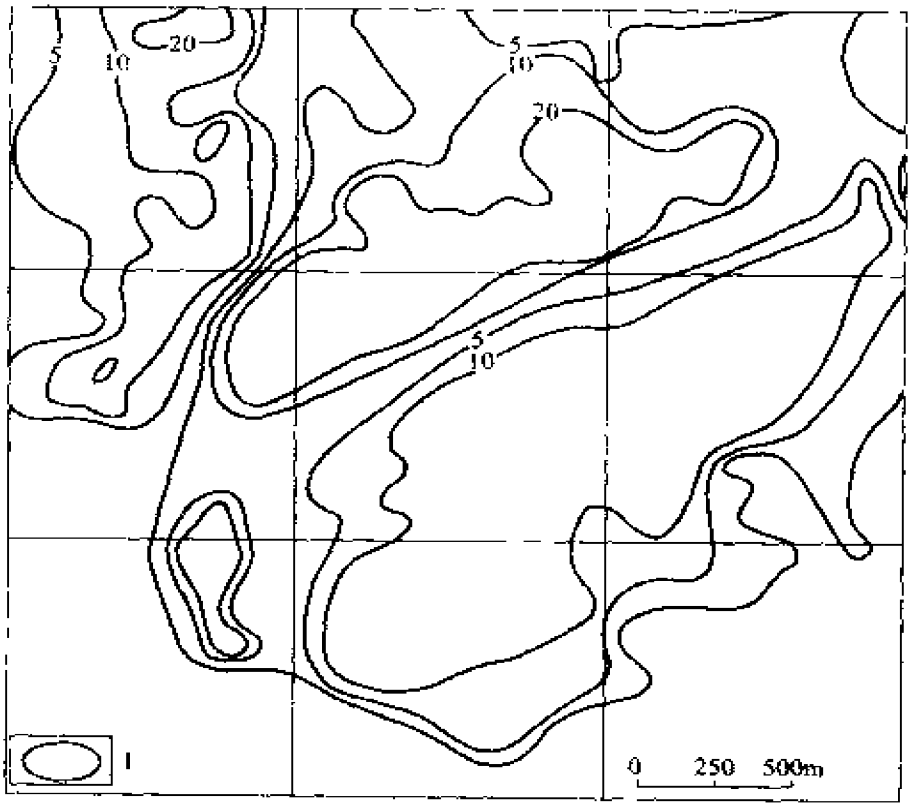


图 26　甘肃肃南县小柳沟钨异常图

Fig. 26　W anomaly map of secondary halo in the Xiaoliugou ore deposit, Sunan county, Gansu province

钨异常，等值线间距 5×10^{-6}、10×10^{-6}、15×10^{-6}

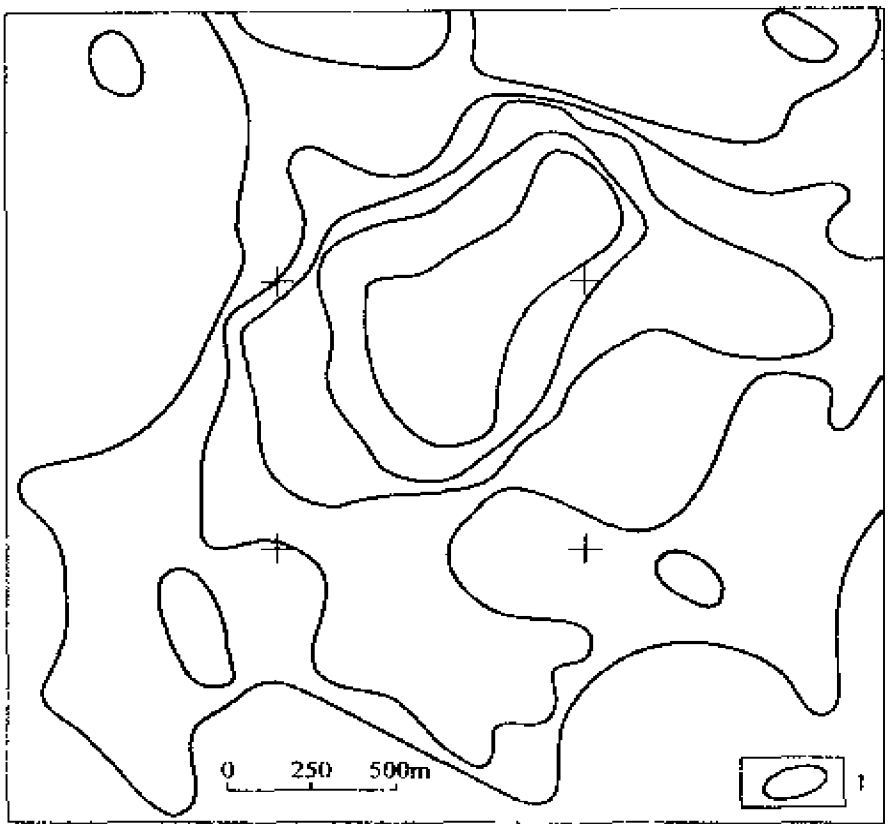


图 27　甘肃肃南县小柳沟钼异常图

Fig. 27　Mo anomaly map of secondary halo in the Xiaoliugou ore deposit, Sunan county, Gansu province

钼异常，等值线间距 5×10^{-6}、20×10^{-6}、50×10^{-6}、100×10^{-6}、200×10^{-6}

浓集中心明显，梯度变化较陡，完全反映了由矿化引起的异常。当时的认识还只是铜钼为主的找矿，对异常浓集中心开展地化剖面控制浓集中心位置，在中心部位进行地表槽探揭露，地表圈出 6 条铜矿体，均产于矽卡岩化的云母角闪片岩中，其中 1 号矿体长 210m，平均厚度 4.8m，铜平均品位 0.63%，在 1 号坑道中该矿体平均厚 5.0m，铜平均品位 0.54%，其中有 2.0m 铜品位为1.15%。7 号铜矿体地表长 120m，最厚 6.0m，铜品位 0.61%，从地表揭露铜矿体有一定延伸。同时在地表千枚状砂岩中的石英网脉带圈出

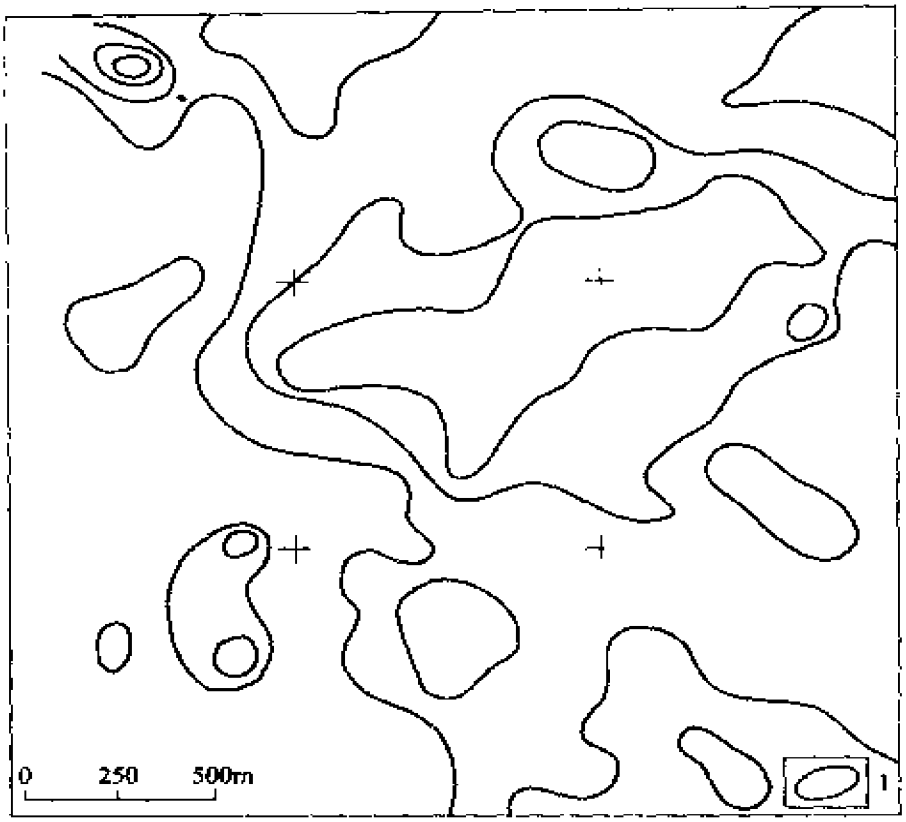


图 28　甘肃肃南县小柳沟铜异常图

Fig. 28　Cu anomaly map of secondary halo in the Xiaoliugou ore deposit, Sunan county, Gansu province

1—Cu 异常，等值线间距 100×10^{-6}、200×10^{-6}、500×10^{-6}

了 4 个钼异常，其含量大于 200×10^{-6}，其中 1 号异常长 650m，宽 200m，并见有星点状辉钼矿化和孔雀石化。地球化学普查从分散流异常到 1/2.5 万沟系次生晕异常评价，发现了铜钼矿化，已经完成了基本任务。但对还伴生有那些元素应进行进一步查定。

5.2.2.7　加深成矿环境认识

随着铜钼矿体的发现，在矿区外围开展 1/5 千的地质测量及大外围开展 1/5 万地质普查。通过大比例尺的地质测量，对区内地层分布和断裂构造有了进一步认识，认为该区构造变形特点为

一个“D”字形，在其东部弧形外主要分布地层为朱龙关群上岩组的下中上三段，D形区及其以西分布了下岩组的上下两段，矿体分布于上下岩组过渡部位。推测该“D”字形变形的形成是由于深部隐伏岩体有关，填图中发现了小岩株和岩脉。在外围1/5万地质测量时的重砂样发现小柳沟有白钨重砂异常，与此同时多元素的查定中发现了极高的钨含量，在槽探与坑道中用荧光灯照射发现了比铜钼矿体更加厚大的稠密浸染状白钨分布，经副样和重新采样分析圈定16条白钨矿体。此时又对1/2.5万沟系次生晕样品重新分析钨、铋元素，圈出了比铜、钼元素更大范围的钨异常，强度高，梯度陡，从此该区开展了以钨、铜、钼为主的多金属综合找矿评价阶段。

在综合评价阶段，通过进一步的填图，地表揭露和综合研究，确认了“D”字形变形区为穹隆构造，两翼地层不对称，并在该穹隆的西侧、北侧和南东侧发现了世纪、祁宝、贵山3个矿床，为该区成为大型-超大型矿床奠定了基础。

5.2.2.8　小柳沟沟系异常钨、铜、钼潜在资源总量预测

根据第4章中所述的利用地化异常梯度法预测潜在金属总量的方法，利用小柳沟地区1/2.5万沟系次生晕所获的钨、铜、钼异常进行该区的潜在金属总量预测。

A　钨潜在金属总量预测

钨矿富集因子是采用工作程度较高的小柳沟矿床求得。具体采用参数：T_n 为该矿床评价中所获得钨金属量90000t；A 为该区钨元素梯度变化最大值，是依据平面等值线图勾绘过程中发现$(5\sim15)\times10^{-6}$之间等值线最密，反映梯度变化最陡，因此 A 取值为 10×10^{-6}；S_n 为梯度变化最大值 10×10^{-6} 所圈定的异常面积，根据矿床评价范围长1000m，宽800m，面积为0.8km^2，H 为矿体延伸，根据钻孔控制矿体垂深为350～450m，故选用0.4km^2；S_g 为矿石密度，矿床矿石密度测量平均为3.08g/cm^3，故选3.0g/cm^3，将上述参数代入富集因子公式求得钨矿富集因子 I_n 为0.9。

潜在钨金属总量预测参数选择，梯度变化最大值 A 为 $10\times$

10^{-6}；S_n 以 10×10^{-6}所圈定的 3 个面性异常的面积为 5.25km^2，H 以矿体延伸为 0.4km，S_g 以矿石密度为 3.0g/cm^3，代入潜在金属总量计算公式求得该区钨潜在金属总量为 63.0 万 t，除去已控制的 9 万 t，还有 54 万 t，根据国调项目中新发现世纪、祁宝、贵山 3 个矿床有可能获得 30－40 万 t，还有小柳沟北一个异常没有评价，因此该区总资源量一定不会低于该预测量。

B　铜潜在金属总量预测

铜的富集因子选取是根据铜、钨为共生元素，主要钨矿地段还不是铜的浓集中心，因富集因子参考斑岩矿床的富集因子为0.5～0.7 之间，因此选用钨矿富集因子的 60%，I_n 为 0.54；异常梯度变化最大值，根据等值线勾绘在(90－150)$\times10^{-6}$之间等值线最密，因此 A 值选定为 120×10^{-6}；A 值所圈定的面积为 3.0km^2，H 值为矿体延伸 0.4km^2；S_g 密度以浸染状矿石为主，应为 2.8g/cm^3。将上述参数代入潜在金属总量预测公式，求得铜潜在金属总量为 87.6 万 t。

C　钼潜在金属总量预测

富集因子是根据钨钼共生关系密切，富集因子采用钨元素富集因子的 90%，即 I_n 为 0.81；异常梯度变化最大值在(5－15)$\times10^{-6}$之间，选取 A 为 10×10^{-6}；A 值所圈定的面积长 2.25km，宽 1.5km，面积为 3.375km^2，预测深度为 0.4km，密度值为 2.9g/cm^3。将上述参数代入预测公式，求得该区钼潜在金属总量为 20.6 万 t。

该矿区通过预测钨矿资源量可达超大型规模，铜、钼均可达大型规模，除此之外铋矿也可达中大型规模。根据目前评价，矿体稳定，品位富，对继续保持我国为钨矿大国的地位起了重要作用，具有重要的经济和社会效益。

6 认识和体会

通过上述方法和两个找矿实例的介绍，进一步说明沟系次生晕方法找矿中的重要作用。同时加深了在矿床勘查中从实践-认识-再实践的全过程的进一步认识和理解。归纳起来，我们的体会主要有以下几点：

（1）两矿床区域内以往的地质勘查中均未发现过矿化和矿点，矿床的发现是在成矿区带分散流异常的基础上，根据异常所处地质环境分析，研究成矿条件，确定找矿靶区，选择重点异常进行检查评价而取得的。

（2）两矿床的异常评价阶段均采用了1/2.5万沟系次生晕首先圈定异常浓集中心，在解剖异常浓集中心寻找微矿化露头，发现矿体矿化体。在此基础上，选择适合本区的大比例尺地质测量和物化探方法，综合研究地物化资料，并结合地表工程揭露发现矿体后严格按照勘查工作程序，逐步提高地物化工作程度，获取基础资料，形成中大型工业矿床。特别是在进入异常找矿阶段，强调有针对性地物化综合手段，全面综合分析成矿条件，成矿规律，从最直接的地质现象与地质成矿理论相结合是勘查实践中应遵循的基本原则，是矿床突破的关键。

（3）在矿体矿化体发现后，除了选择合理的勘查手段和方法外，还应加强控矿因素和综合信息的分析研究和综合元素的全面查定。因为矿床的形成是受成矿系统的控制，由于成矿物质、成矿强度和控矿因素的多样性、复杂性决定了成矿矿种和矿床成矿类型的多样性，这就需要勘查者对所获各种信息都必须予以充分注意，才能确定主攻矿种、主攻类型。小柳沟钨矿的发现是一个突出例证。

（4）在勘查过程中除了对宏观的成矿环境、成矿条件的研究

外，还应特别注意矿床中对厚大矿体的控制因素进行微观研究，这是扩大矿床规模的重要途径。李坝金矿床的次级褶皱与断裂复合部位是形成厚大矿体的重要条件。小柳沟钨铜多金属矿床受裂谷环境中的穹隆构造两侧的断裂带及喷流硅质岩的严格控制是形成厚大矿体的重要条件。这些基础地质问题的解决是扩大矿床规模、重点突破的关键。

(5)在勘查过程中选择的各种方法都有它的局限性和阶段性，根据不同阶段，选择有针对性的勘查手段是非常重要的。如成矿区带地球化学异常的评价中，从分散流异常到1/2.5万沟系次生晕圈定异常浓集中心到发现矿体矿化体，应该基本完成了主要任务，再用更大比例尺进行地化扫面就不一定必要了，这样可以节省下不少资金开展深层次的地质规律研究。勘查中选择方法的目的性明确、选择方法的基本前提条件具备，才能取得事半功倍的效果。

参 考 文 献

1 吕国安，刘泉清．快速评价分散流异常的沟系原、次生晕方法．地质与勘探 1987,23(9)

2 吕国安．成矿区(带)异常评价选择的基本条件研究．有色金属矿产与勘查 1999,8(6)

3 吕国安．利用地化异常梯度法预测潜在金属总量．有色金属矿产与勘查．1999,3(5)

4 赵鹏大．成矿预测方法．北京：地质出版社 1983

5 程裕生．成矿系统分析与新类型矿床预测．地学前缘．2000,7(1)

6 程裕生 中国区域成矿若干问题探讨．矿床地质 1999,18(4)

7 池三川．现代成矿理论某些进展．地学前缘．1994,1(1)

8 殷鸿福．微生物成矿作用研究的新进展和新动向．地学前缘．1994,1(1)

9 季克俭．热液源研究的主要进展和"三源"交代热液成矿学说．地学前缘．1994,1(1)

10 杨少平．国外表生地球化学研究的新进展．国外地质勘探技术．1994,(3)