

41-46

探矿, 地球化学, 勘探 化探异常评价的几个准则

丁 矢 勇

(云南铜探队·宜良县)

P 62

异常评价是化探找矿工作中十分关键的一步。本文对化探异常的几个评价准则进行了剖析, 并通过大量统计资料阐述了各评价准则的实用效果及其作用。

关键词: 地球化学探矿; 矿与非矿异常; 评价准则

问题的提出

自开展区域化探扫面工作以来, 全国相继找到一批具有一定规模的各种金属、非金属矿床。如广东、河南、山东、河北、贵州、新疆及云南等地的一些金属(包括贵金属)、非金属矿床的发现, 区域化探扫面起了重要作用。面对大量的化探成果、室内资料整理以及异常评价、筛选, 进而有效地去查证, 是现时应解决的问题之一。

据苏联统计资料, 20年来对发现的80000个异常进行查证研究表明, 矿异常仅占0.03%。不言而喻, 化探发现的绝大多数异常目前还不具工业价值。要区分矿与非矿异常, 必然要涉及认识矿与非矿异常的依据、评价的标准以及评价时要遵循的原则。正如谢学锦指出的: 化探资料的解释、推断, 涉及到地球化学图及各种解释推断图件上的单元素及多元素模式的辨认, 并对其意义进行阐明。这种推断狭意上专指辨认出与矿有关的异常或异常区, 并对其远景进行评价, 以便缩小靶区、更详细的研究, 最终找到有经济价值的矿床。

近年来, 笔者在整理区域化探资料过程中, 得出一个较深刻的认识, 即要正确认识评价一个化探异常, 必须正确使用评价准则。要求对异常结合其表生环境(包括地质因素)从直观认识上升到理论研究, 再评序筛选, 赴实地检查验证等一系列过程, 以取

得大量的有用信息, 才能使异常评价取得好效果。

资料来源与处理

为了让结论具有足够代表性与广泛性, 本文使用了省内外有不同规模金、锡、铅已知矿床的16个1:20万区化图幅, 及一个地区的水系沉积物测量结果。其中包括7个大型矿床, 11个中型矿床和3个小型矿床的矿致异常及上百余个未知Au、Sn、Pb异常。对云南省内几个典型矿床的区化异常区, 还按异常三级查证(5~8个点/km²)要求作了加密采样。同时也对部分钻孔的岩心样及部分地区的植物样作了分析。样品由云南地矿局测试中心、省物化探队光谱站、中国地质大学(北京)分析。参加统计的元素一般有17~23个。数据在DUAL-68000机上处理。

几个评价准则的作用

1. 异常面积对评价化探异常效果显著
埋藏于深部或裸露地表的元素集体、扩散母体, 长期遭受风化剥蚀后元素在地表被搬运、迁移、沉淀, 形成高于背景含量的异常。因此, 异常范围的大小取决于: ①原生晕扩散程度; ②异常源受剥蚀程度; ③元素物理化学习性; ④对表生环境适应性。一般情况下, 异常源规模越大, 剥蚀后成原生晕或由扩散作用而形成的次生晕相应也越大。这也是以往较易发现异常的关键因素。

苏联罗斯拉雅柯娃等在研究了异常面积与矿化规模的关系后认为:大型金矿床(田)的区域性异常常达100km²以上,中型金矿床则为几十km²,小矿及矿点多数为数km²。笔者用不同矿种、不同成因类型、不同规模的50多个矿床的区化异常面积作统计(图1)。结果表明,矿化规模与所形成异常面积有极明显的正消长关系,用37个不同矿化规

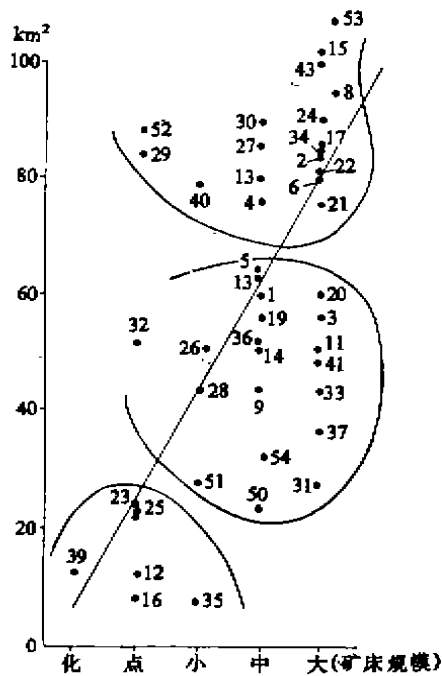


图1 矿床规模和异常面积对应关系

1~4分别为凤庆勐兴、沧源老厂、兰坪金顶、镇康鲁子园铅锌矿;5—兰坪白洋厂铜矿;6—大姚姚安铅矿;8—商县大西沟多金属矿;9—柱阳黄沙坪铅矿;11—金厂峪金矿;12—巍山县东金矿化点;13—昆明易门铜矿;14—个旧勐宋铅矿;15—凡口铅矿;16—石屏小塔顶锡矿点;17~31依次为密坑、西盟、锡坑径、个旧老厂、个旧卡房、亚练、香花岭、凤庆、大铜厂、小龙河、龙口、大华东山、老平山、米利山锡矿;32—新歧锡矿点;33~37依次为金平铜厂街、墨江老王寨、苗岭、札村、河台金矿;38~39为小水井和曼札康少金矿化点;40、41、43为九顶山、墨江金厂、上官金矿;50—易门狮子山铜矿;51—商县帽娘庙铅矿;52—里戈金矿;53—熊耳山金矿;54—宜良大兑冲铅矿

模(大、中、小型矿床及矿点、矿化)所对应的区化异常面积作回归分析,求得的R值为0.37,在0.10置信水平时查得 $\nu_{0.10}$ 为0.27,二者相关显著,说明异常面积对评价区化异常有作用。

如果用给37个不同规模的矿床(点)异常面积分别赋权的方法,对矿床所对应的区化异常面积进行预测计算,给矿点赋权4,小型矿床赋权7,中型矿床赋权10,大型矿床赋权13,用90%置信概率预测,当异常面积为80km²时,矿化规模的权计算结果为3.29-8.12~3.29+8.12=-4.83~11.4。与上述矿床区化异常面积赋权对比,说明80km²异常面积应属中型矿床。同理,矿化规模为小—大型时,其异常面积计算结果应为46.25~129.25km²。这与36个已知矿床异常面积的频率统计结果基本吻合,与罗斯拉雅柯娃的结论也吻合。可见区化异常面积对区化异常评价的作用。但自然界也并非异常面积大者全为矿致或大矿所致。工作中往往会出现一个大面积异常经查证后被解体,属数个小矿点或其他原因引起,所以在使用面积评价异常时,人们也常与其他准则结合起来具体分析。

2. 用异常强度认识化探异常比较直观

水系沉积物中元素的含量,一般情况下要低于原生晕,且变化幅度小,所以当水系沉积物中元素含量高出生原背景含量时,异常十分明显。异常强度实际上是指元素异常点含量的高与低,它既可用异常值衡量,也可用异常区的平均值或衬值来表示,一般用公式

$$R = \bar{x} - C_0 \quad \text{或} \quad R = \bar{x} / C_0$$

表示式中R为异常强度; \bar{x} 为异常点平均值、中位数; C_0 为所在区背景值; C_0 为异常下限。

异常强度在评价化探的异常过程中,能反映出异常与下限、背景值间的关系。通常情况下,异常强度越大,该异常找到矿的可能越大,但也绝非所有矿致异常都属高强

度。对50余个经查证见矿的区化异常进行统计的结果表明，有些矿致异常强度并不高，以金矿最为典型。因为一个异常值的大小并非单一因素控制。尽管如此，大量资料研究表明，异常值大小对评价异常仍有规律可循，如云南锡矿，见矿异常 Sn 含量一般 $\geq 20\text{ppm}$ 。苏联学者格罗夫斯 (1972) 对澳大利亚塔斯马尼亚锡矿区地球化学特征研究后也得出类似的结论。金矿见矿异常一般 Au 含量 $\geq 18\text{ppb}$ (微细粒型例外)，即 Au 的异常峰值是背景含量的 3~4 倍时可能由矿化引起。

为了明确异常强度对矿化程度的关系，笔者给 16 个铅矿床的区化异常平均值、矿化规模等赋权作线型回归，矿点赋权 10，小型矿床赋权 50，中型矿床赋 1000，大型矿床赋权 5000，求的 F 值为 51.12，查表置信度 $F_{0.05}$ 为 4.6。显然， $F(51.12) \gg F_{0.05}(4.6)$ 。说明异常强度对评价区化异常有显著性。但是由于异常含量常受异常源埋深、元素地球化学习性、迁移率大小及表生环境等因素影响变化较大，所以在使用时亦应与其他准则相结合，才会取得好效果。

3. 元素组合与组合构型是评价化探异常的重要准则

以异常元素组合关系评价化探异常，已是化探界广泛应用且有效的准则之一。对一个多元素综合异常的取舍，人们往往考虑成矿元素与伴生元素的多少。一般来讲，成矿期次多，异常区元素异常叠加多，成矿元素集合体成矿的可能性就大。

就金属矿而言，元素的分配是含矿溶液随空间通道沿一定方向(如温度低、压力小)流动扩散、交代渗滤，并占有各自空间位置形成固定的元素分配模式。图 2 是笔者对哀牢山浅变质岩出露地区水系沉积物、土壤、岩石等不同介质不同位置的 Au 及其相关元素异常研究后总结的元素分带模式。可见研究元素组合多重相关关系和分配规律，对识

别成矿元素矿化类型、剥蚀程度以至矿化规模具有重要意义。不同类型矿床形成的地球化学异常组份有明显不同 (表 1、2)，其含量和相关关系也有较大差异。以铅为主的多金属矿床和铜矿床，大都有 Cu、Pb、Ag、Mo 等元素异常；多金属矿床的组合异常则以 Pb、Ag、Cd、Zn 为主，且显著相关；铜矿床中的 Ag 与 Pb 不一定相关，而 Ag 与 Cu 的相关程度要比以铅为主的多金属矿床中 Ag 与 Pb 相关程度要高得多。有关元素组合分带，A. B. 戈里格良研究后指出，所谓元素沿流向 (按一定序) 分带，就是元素地球化学沉积分带。具有元素“群落”自然分带及相应的晶析温度分带特征，这一特征基本揭示确立了矿床矿上晕元素、矿下晕元素间分布规律，可以说它是辨明矿床成因、矿床类型、形成温度、形成深度以及剥蚀程度的依据，因为不同成因 (包括矿源不同) 的矿床，其元素组合构型与元素组合分带并非相同。所谓“物以类聚”，矿床的元素组合形式则是依照元素习性 (如晶析温度、亲合专属性、酸碱度等) 形成各类构型。因此，不同的元素组合及其组合形式是指示矿化及矿化规模的重要标志。

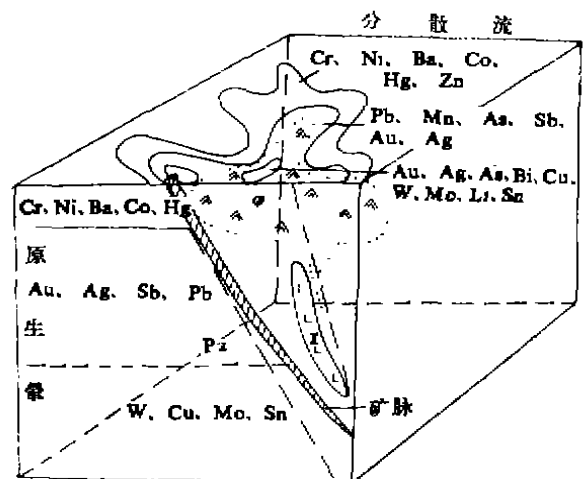


图 2 哀牢山金矿地球化学元素分带模式示意图

部分铅矿床化探异常主要元素组合对照表

表 1

地区	矿床类型	组 合 元 素	矿 例
省 外	沉积变质	Pb, Zn, Ag, Cd, S, As, Au, Co, Ni, Ba, Cu	西成、狼山、银铜山
	沉积再改造	Pb, Zn, Ag, Cd, Ba, Cu, S, Ga, Ge, In, Mn, Ni, Co	李家沟、大寨子、平青
	沉积改造	Pb, Zn, Ag, Cd, S, Hg, Ni, Co, Mn, Cu, Ba, Mo	白云铺、凡口、栖霞山
	沉积热液改造叠加	Pb, Zn, Ag, Cd, S, Cu, W, Sn, Bi, Mo, Co, Ni	大宝山、天堂
省 内	沉积改造	Pb, Zn, Cd, Hg, Ag, Mo, Sr, Ba, As, Sb, Co, Cu, Mn, Au	金顶
	沉积再改造	Pb, Zn, Cd, Ag, Hg, Sb, Ba, Cu, Mn, Mo, Au	勐兴
	中温热液	Pb, Zn, Ag, Cd, Mn, Cu, As, Au	鲁子园
	中温热液	Pb, Zn, Ag, Cd, Cu, As, Ba, Sb, Sr, Bi, Hg	大兑冲
	中温热液	Pb, Ag, Sn, Hg, Cd, Zn, Ba, Cu, As, Sb, Sr, Mo	老厂
	中温热液	Pb, Zn, W, Ba, Sr, As, Sb, Bi, Cd, F, Mo, Ag, Au	姚安

部分金、锡矿床区化异常主要元素组合对照表

表 2

矿 种	矿床名称	组 合 元 素	规 模
金 矿	山东崮家	Au, Hg, As, Sb, Pb, Zn, Cu, Ag, Bi	大型
	河南上官	Au, Ag, Pb, Zn, Cu, As, Mn, W, Bi	大型
	广东河台	Au, Ag, Bi, Cu, Hg, As	大型
	内蒙赛乌素	Au, As, Sb, Hg, Ag, Pb	
	贵州苗龙	Au, As, Sb, Hg	小型
	板 其	Au, As, Sb, Ba, Mo	中型
	广西戈水	Au, As, Sb, Hg, Pb, Ag, Mo, Cu, (Zn, Bi, Mn)	中型
	美国卡林	Au, As, Sb, Hg, Pb, Ba, W, Sr, Mn (原生晕)	大型
	河北金厂峪	Au, Sb, Bi, Ba, Sn, Mo, Pb, Ag, Bi	大型
	云南金厂	Au, Ag, As, Hg, Mo, Pb, Cu, Sb	大型
锡 矿	老王寨	Au, Ag, W, As, Hg, Sb, Cu, Mo, Bi	大型
	札 村	Au, Sb, As, Ba, Ni, Bi, Mo, Ag, W	中型
	江西密坑	Sn, Bi, As, Ag, W, Mo, Cd, Nb, Pb	大型
	湖南香花岭	Sn, W, As, Bi, Pb, Zn, Cu, Mo	大型锡多金属
	江西会昌	Sn, W, F, Cu, Pb, Zn, Ag, Be, Y, Nb	中型
锡 矿	云南个旧老厂	Sn, W, Bi, Pb, Zn, Mo, Be, Nb, Li, B, F, As	大型锡多金属
	卡 房	Sn, W, Mo, Bi, Nb, Li, Be, Pb, Zn, Cu, Sb, B, F, Ag	大型锡多金属
	马 拉 格	Sn, Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Bi, As, Be, W, Mn, In (原生晕)	大型
	西 盟	Sn, W, Bi, Pb, Zn, F, Bi, Be, Li, U, Nb, Mo	中型
	来 利 山	Sn, W, F, Li, Cs, Be, As, Sb, Pb, Bi, B	大型

4. 利用特征元素评价异常

特征元素是指一些与矿化现象有密切关系的元素。因此，人们常把一些异常中出现的特征元素异常作为指示矿化的重要标志。如铅矿中的Cu、Ag与Pb+Zn的相关系数往往大于0.85，云南一些铅矿常伴有Au异常。一些典型的锡矿床中常伴生铋矿物，因此Bi可作为锡矿化的特征指示元素；Li与Sn在

专属性上有明显共性，也可作为锡矿床的特征指示元素。W.Chppell等人的研究认为，Sn主要与A型花岗岩有关，这种花岗岩往往具有Sn、Mo、Si、Nb、W、F矿化，并富含Li特征；格罗夫斯(Grovos, 1972)对澳大利亚锡矿的化探异常研究后提出，世界上大量含Sn和不含Sn花岗岩中Li与Sn呈明显正消长关系。R.W.Boyley (1979)认

为：当 $Sb > 0.7$ 、 $Ti > 0.05 ppm$ 时，就意味着该地有金（有Au异常前提下）银矿化；加拿大的耶洛夫奈夫金矿在埋深数百英尺的盲矿体上方有As、Sb异常；澳大利亚的诺期曼金矿床在地下700m处有盲矿时，地表都有As、Sb异常；苏联B.B.波利卡尔认为，As、Sb、Hg、Cu是找金的可靠的远程指示元素；加拿大R.W.博伊尔对世界大量金矿作了系统研究，认为在后生矿床中与Au常伴生和有高度指示特征的元素有Si、S(FeS₂)、Ag、As、Sb、B、Bi、Hg等24个，其中Ag、As、Sb在各类型和各时代后生矿床中普遍富集。同时还认为，B是沉积岩区和时代较老地区金矿有代表性的指示元素，Hg一般在时代较新的金矿中富集，W是常见的深成元素，而Pb、Ba则是水系沉积物找矿很有用的指示元素。

笔者对36个金矿床（点）的多元素组合异常统计结果表明，有28个矿区有较好的As异常，占77.7%，Sb、Pb、Ag分别在25个矿区有明显异常，占统计数的69.4%，Cu占5%，Mo、Zn占44.4%，Hg占33.3%，W、Bi占38%，Ba占22%，Cr、Co、Ni、V、Cd、B分别占统计数的3~8%，我们曾对贵州某金矿区含Au岩石中Au、As含量变化作统计，结果二者呈明显的正相关关系。因此，认真研究并正确选择不同矿种及其不同类型矿床的特征指示元素，对指导化探找矿有着极为重要的意义。

5. 用NAP值评价异常

1980年，地矿部物化探研究所立项，研究出一套区域化探异常快速评价系统（简称RESMA），该系统的最大优点是能把多元素异常信息清晰地展现在用户面前，使用者可结合自己的经验进一步对异常作推断解释。求NAP值是该系统的一部分，其方法步骤可概括为两点：

（1）求全图幅（或某子区）元素平均值（ \bar{x}_1 ）及标准离差（ σ_1 ），用2倍平均值

取代 $>2(\bar{x}_1)$ 或 $\bar{x}_1+3\sigma_1$ ，对所剩数据再求其平均值（ \bar{x}_2 ），标准离差（ σ_2 ），又剔除 $>2\bar{x}_2$ 或 $\bar{x}_2+3\sigma_2$ 值，如此反复，直至不能剔除 $2\bar{x}_n$ 或 $\bar{x}_n+3\sigma_n$ 时，然后进行移动平均，作出剩余异常图。

（2）网格化数据除以移动平均值，求出全图幅元素异常的平均衬值，用平均衬值乘以面积求出NAP值，再以NAP值大小依次排列，写出组合元素表达式（罗素菲，1982）。

用这种方法求得的剩余异常极少有背景干扰。既反映了异常的真实性，也强化了异常，使异常更清晰。该方法通俗易懂且简单，野外队用PC-1500机即可完成。笔者曾用NAP值对几个1:20万区化图幅异常进行筛选，结果区内所有矿床（点）及有前景的异常均被排在前列，取得了较好效果。国外也有用此法在矿区外围发现新矿床的案例（实例略）。

6. 用元素分带指数评价异常及异常源剥蚀程度

随着矿区化探工作的深入，已归纳总结出许多典型矿床的原生地球化学异常分带模式。因此，可根据所获异常的元素组合与已知典型矿床分带模式比较，确定其可能的矿化类型和异常源的剥蚀程度。评价异常源剥蚀程度常用的指标是：矿上元素异常线金属量（含量）累加（累乘）值与矿下指示元素异常线金属量（含量）累加（累乘）之比值。其值越大，说明异常源剥蚀程度越浅，反之亦然。用此指标有时可直接发现盲矿体。

7. 地质环境与化探异常的内在联系

张本仁教授曾说过，当前勘查地球化学已遇到如何进一步深入发展的课题，尤其在国内外显得特别突出。这方面目前存在的最大问题是如何将地球化学信息同地质语言相互沟通起来（1988）。过去常出现化探人员只

注重从异常解释异常，忽略运用地质理论、地质环境与化探异常相结合的方法；而地质人员又总以地质现象推断地质问题，不重视借用地球化学信息，给找矿或研究工作带来许多障碍。当今地球化学已发展成为地学的一门基础学科之一，它对于研究和解决大地构造、地层和岩浆岩（包括隐伏岩体）、成矿规律以至星球间的关系，举足轻重。作为化探异常引起原因，归根结底还得落脚于地质现象（包括地层、构造、岩浆岩、矿产以及环境地质）。因此，把化探异常解释与地质环境结合起来进行，让化探异常信息转化成地质语言，用地质理论指导解释化探异常才是科学的、合乎逻辑的。

结合地质环境综合解释化探异常主要考虑以下几方面：①异常与沉积环境的关系；②异常与裸露地表或隐伏岩浆岩的关系；③围岩蚀变对解释异常有帮助；④异常与地表及深部隐伏构造的关系；⑤异常与矿床（点）的关系。

8. 不能忽视物探异常信息

滇西花岗岩的物性测定结果表明，花岗岩密度为 $2.58\text{g}/\text{cm}^3$ ，无磁性或弱磁性。这一结果与围岩相比，差异虽然较小，但在一定范围内，或者在有相当规模时，花岗岩在重力剩余异常图上就能表现出重力低（负异常）。从宏观上分析，云南已知花岗岩出露区其剩余重力异常均表现为负值，这一规律为研究隐伏花岗岩提供了可靠的物探标志。因此，当出现Sn、W、Mo、B、F、Nb、Ta、Li、Y、La等异常，而且与剩余重力低值位置吻合或邻近时，地表又未曾发现有任何岩浆岩出露迹象，这时首先应考虑该异常区是否存在有隐伏花岗岩，或异常位于隐伏

花岗岩的侵入部位。

自然界除岩体与围岩有密度差外，地表无任何迹象的深部地质构造（线）两侧，同样存在密度差，而剩余重力异常的梯度带则往往又是较大构造或两种地质体交界地带的反映。因此，如果发现化探异常落于剩余重力异常梯度带上，那么也应该对该异常做仔细研究，弄清异常是否由沿构造线分布的矿体所致等。

9. 卫片图像解译可提供有用信息

随着地学不断深入发展，卫星照片解译运用于地质找矿已十分广泛。通过卫片解译出的线、环形构造，反映了地球表面客观的地貌地质塑形。把地形地貌地质等方面有机地结合认识分析卫片影像，必然对化探异常评价工作起到促进作用。据云南部分矿床区卫片资料解译结果表明，金厂金矿、个旧锡矿、大红山铁矿、老王寨金矿、迎风村铂矿及金矿、黄矿厂铅矿、札村金矿、金顶铅锌矿等中大型矿床（田）无一不在环形影像内或边缘。照此，对于一个化探异常的认识，如果首先能对卫片进行解译，提供足够的遥感信息，势必减少异常查证的盲目性，提高异常查证的经济效果。

总之，上述各项异常评价准则不仅可以单独使用，初步认识异常的“优”与“劣”，如果把其中一些在本地区甚至一个异常上有适用价值的准则综合起来，对化探异常全面评价，必然会取得令人满意的结果。当然，作为评价化探异常的准则还很多，都有成功矿例，有些需要进一步研究验证，以便今后推广。

由于笔者水平所限，文中谬误之处敬请指正。

Some Criteria for Appraisal of Geochemical Anomalies

Ding Shiyong

Appraisal of anomalies is a very crucial procedure in the interpretation of geochemical exploration data. Some criteria for appraisal of geochemical anomalies are analysed in the present paper. Through a statistical study of a great number of geochemical anomalies appraised by different criteria, the practical results obtained expound that each criterion has its own merit and plays a role to a certain extent.