

景观地球化学的理论与方法在化探找矿中的应用

目前,化探界已开始注意景观地球化学在化探中的应用问题,尽管专论性文章不多,但人们经常将景观地球化学作为讨论各种化探次生异常问题的前提。化探工作者的视线逐渐从简单的、无机的物理化学环境扩展到有机的环境,由无生物的环境扩展到有生物的环境,由还原环境扩展到氧化环境。人们注意到植物可以从矿床及其原生晕中吸收某些元素,其残体在地表腐烂后可在腐植土中形成异常。有人述及在金矿勘查时利用植物、A.层土壤、活性组分发现、扩大、强化异常十分有效。这一方面与金本身在母质中的赋存状态有关,另一方面,各种景观条件如生物和有机化学作用对金的次生富集也有很大影响。再如白蚁可以把深部的风化物质带至地面。在非洲,采集白蚁巢中物质的方法已经应用。随着科学技术的发展,化探必将注意到更高级、更复杂的有人类影响的环境。如根据化学地理学的研究,发现克山病带-棕褐土为中心的地带-景观贫硒带重合良好,并确知克山病与人体缺硒有关。这一成果的地质意义在于揭示了一个正好与我国新华夏系构造沉降带吻合的硒的低背景带,这对地球化学省的划分也有一定的参考价值。

本文拟从景观地球化学的一些基本问题出发,讨论在隐伏矿床的地球化学勘探中,景观地球化学研究的意义及其应用问题。

研究景观地球化学的目的与任务

景观地球化学是地球化学与地理学的衔接点。景观是一个综合的自然地理概念,它是地表某一地段包括地质、地貌、气候、水文、植被等景观要素在内的自然综合体。各种景观要素互相制约、互相影响。景观地球化学是研究元素在这些景观要素影响下,在地表每一个具体地区分散富集的特征、规律和原因。以找矿为目的的景观地球化学研究,必须查明与矿床有关元素在矿体及其原

生晕破坏之后,在各种景观条件下的活动规律,制订相应的工作方法(包括取样介质、加工方案、分析提取剂的选择等),以便发现矿床次生分散晕,追索矿体。

在地理景观划分的基础上,我们将地表上具有相同的元素迁移条件的地段划分为同一地球化学景观单元。根据地理学研究可知,从热带森林-红壤带到苔原-冰沼土带,从山地的热带或暖温带植被带到高山的终年积雪地带,由于纬度(或高程)不同引起的热量变化,水分变化和水热对比关系变化,形成了地理景观及其组成要素的地带性规律。我国从南到北跨越纬度大,从东到西高差显著,因此造成了复杂多样的景观类型,如吉林西部、内蒙、黑龙江西部的风成土覆盖,东北原始森林,华北平原,西北黄土高原,西南崩积、堆积,等等。在这些不同的地带,元素迁移条件的变化很大。所以,在制订化探找矿方法和成果解释评价方法时,必须因地制宜。如地质部物化探所的研究结果证明,在高寒山区渗湿土发育的地区,用渗湿土测量可以迅速有效地追踪和圈定区域异常。

在各个不同的自然带,根据光照面和潜水面之间的关系,可将地球化学景观分为两个基本类型,(1)以分水岭为中心的残积景观。其特点是潜水面低于光照面,物质被带出。(2)地势较低的凹地景观。其特点是潜水面接近或与光照面重合,物质以固体流和液体流的形式带入(图1)。

元素在地理景观中的迁移转化,是通过元素的淋溶与淀积来实现的。如图1所示,地表被淋溶的呈水溶性或溶胶状态的元素,随水的运动往下渗漏,以致渗入到地下水,参与水的循环过程。另一方面,元素在迁移过程中随着景观条件的改变,在地表覆盖物中发生累积。

元素在残积景观中以淋溶为主,在凹地景观中则以淀积为主。由于元素本身化学性质的不同,它们的迁移能力有很大差别,如

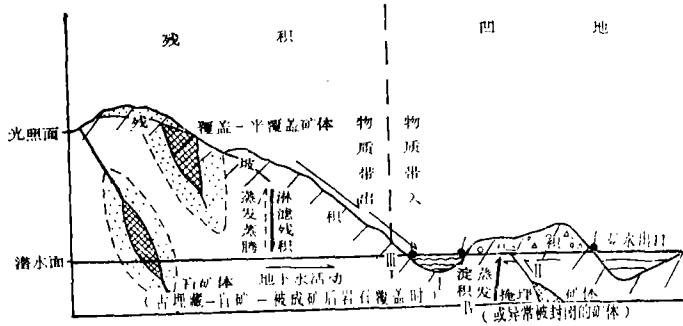


图1 地球化学景观与隐伏矿床关系图
(I~IV为图5所示四种矿床的大致产出位置)

附表(由欧阳宗圻工程师提供)。如 Cl、S、Br、I 的活动性很高，而热带地区硫化物矿体中的 Se、Te、Ga、In、Ge 等微量元素基本不活动，与 Fe 一起残积在铁质岩中，它们是矿床的有效指示元素。由后者可以看出，在淋溶的开始阶段，就可能发生元素的累积。元素进入土壤后，由于蒸发作用和植物蒸腾作用，元素也有可能以腐植质的形式累积于 A 层(图 2)。根据土壤成熟度的不同，土壤中的元素可能均化，可能较多地累积于淀积层(B层)。同样，元素在凹地景

观中的累积也受多种条件影响，总的说来，潜水面愈接近光照面，愈容易产生淀积作用。

元素的淋溶和淀积这两个相互影响、互相联系的过程，造成了容矿基岩、残坡积盖层、疏松运积物、植被和水系之间的地球化学联系。景观地球化学的任务，正是要揭示这一种联系。

景观地球化学的研究可以通过以下三个途径来实现。1)总结已有地质、地理和化探资料，归纳出不同景观条件下化学元素迁移的理想模式及工作方法；2)景观地球化学调查，其目的是为了进行景观地球化学区划，划分出化学元素迁移条件相同的地区；3)模拟试验，如常温常压下的成晕试验，地电化学实验研究，为新方法的研究提供理论依据。

景观地球化学在寻找隐伏矿床时的应用

地表环境中元素的活动性 (据彼列尔曼, 1967)

相对活动性	氧化 (pH=5~8)	氧化 (pH<4)	还原
高活动性 (K>10)	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, Mo, B (Se, Te, Re?)	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, B	Cl, Br, I, Rn, He
中等活动性 (K=1~10)	Co, Na, Mg, Li, F, Zn, Ag, U, V, As (Sr, Hg, Sb?)	Ca, Na, Mg, Sr, Li, F, Zn, Gd, Hg, Cu, Ag, Co, Ni, U, V, As, Mn, P	Ca, Na, Mg, Li, Sr, Ba, Ra, F, Mn
轻微活动性 (K=0.1~1)	K, Rb, Ba, Mn, Si, Ge, P, Pb, Cu, Ni, Co, (Cd, Be, Ra, In, W?)	K, Rb, Ba, Si, Ge, Ra*	K, Rb, Si, P, Fe
不活动 (K<0.1)	Fe, Al, Ca, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, 稀土, Pt族金属, Au (Cr, Nb, Ta, Bi, Cs?)	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zn, Hf, Th, Pa, Sn, 稀土, Pt族金属, Au, As*, Mo*, Se*	Fe, Al, Ga, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, 稀土, Pt族金属, Au, Cu, Ag, Pb, Zn, Cd, Hg, Ni, Co, As, Sb, Bi, U, V, Sc, Te, Mo, In, Cr (Nb, Ta, Cs?)

*当在褐铁矿中出现时

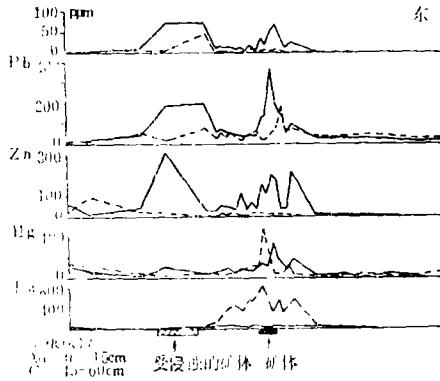


图2

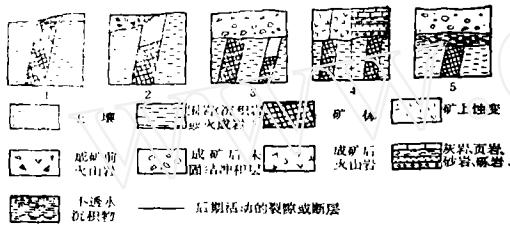


图3 隐伏矿床的类型

1—半覆盖-覆盖矿体；2—盲矿体；3—埋藏露头下的盲矿体或掩埋矿体；4—古埋藏盲矿体；5—异常被封闭的盲矿体

矿床的分类见图3，隐伏类型与地球化学景观的关系示于图1。

1. 半覆盖-覆盖矿床的找矿 这类矿床是，曾被现代侵蚀面剥露出来，局部又为厚度比较小的残坡积层覆盖的矿床。寻找这类矿床的方法最多。在残积景观中利用次生晕找矿时，必须查明原生晕和次生晕的关系。主要是研究指示元素在残积-坡积物剖面上的变化规律，其中包括对于同发育程度、厚度和类型的土壤的调查，以便确定最佳采样类型和采样层位。如图1剖面的A₂层为最佳采样层位，金属元素Cu、Pb、Zn在腐植土中可能以有机质-金属络合物的形式存在，不易溶解。Hg不太稳定，Ba则累积于C层中。该剖面所在矿床的化探结果表明，在该案例中A₂层取样找矿效果最好。M.D.Leggio等在澳大利亚某镍矿区，将该区土壤分为：1.红棕色粘土；2.黄棕色粘土；3.白沙上和浅棕色沙质粘土。并将这三种土壤类型的次生晕Cu、Ni分析数据作了处理，有效地圈定了浓度等值线（图4）。

在凹地景观条件下，以分散流为主并以水化学和重砂方法配合，效果最佳。采样应

当注意不同粒级的样品。

另外，许多资料表明，Fe、Mn氧化薄膜可以是一种很好的矿床指示物。在矿床下游一些距离的冲沟里，可以发现这种氧化薄膜。它们沉淀于正常的河流卵石之上。物质成分来源于间隙泉中矿化的地下水。在这些薄膜上富集的金属异常可以指示上游汇水盆地中盲矿的存在。不过，它既可以强化异常，也可能形成干扰异常，应当结合其他找矿方法综合评价。

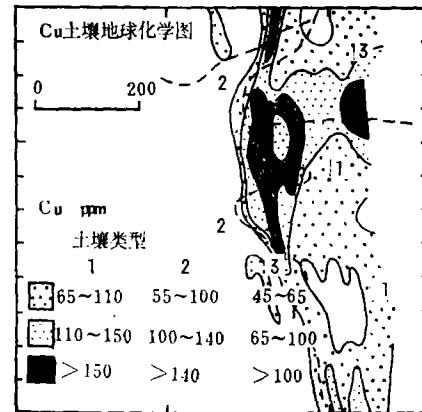
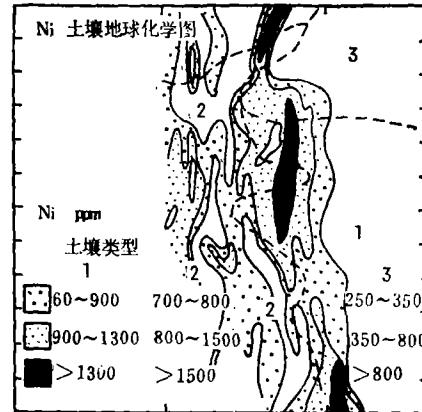
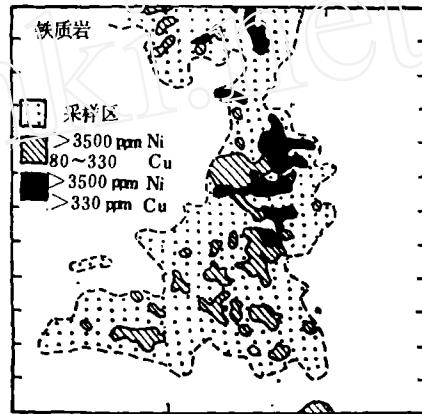


图4

2. 盲矿床的找矿 这类矿床是矿体在地表没有露头的矿床。矿床一般伴有出露于地表、规模相当大的原生晕。利用原生晕找矿最有效。

3. 掩埋矿床的找矿 掩埋矿床的矿体完全隐伏于成矿后的运积覆盖物之下，一般在地表看不到直接的矿床指示物。在掩埋矿床之上厚达 100 米的运积物中仍可出现异常，由于地下水的冲刷，溶解的微量元素可以从矿体中淋滤出来，然后随地下水迁移至近处的盆地中。或在蒸发和植物蒸腾作用下向上迁移，在运积物中以异常的浓度累积，形成各种盐晕。

元素在地下水和地表水中迁移时，受许多自然因素制约，因此它以多种途径进入凹地景观。其中最关键的因素是矿床所处的水文地质和地貌条件。总地归纳起来，所有矿床可以分为四种情况（图 5）：I 谷型，矿床位于被渗水的冲积物薄层覆盖的河谷的侵蚀面之下；II 分水岭型，矿床所处的分水岭的侵蚀面上，水的交换活动强烈；III 坡型，矿床埋藏在分水岭边坡上的洪积物之下；IV 裂隙型，矿床深埋于局部侵蚀基面之下的

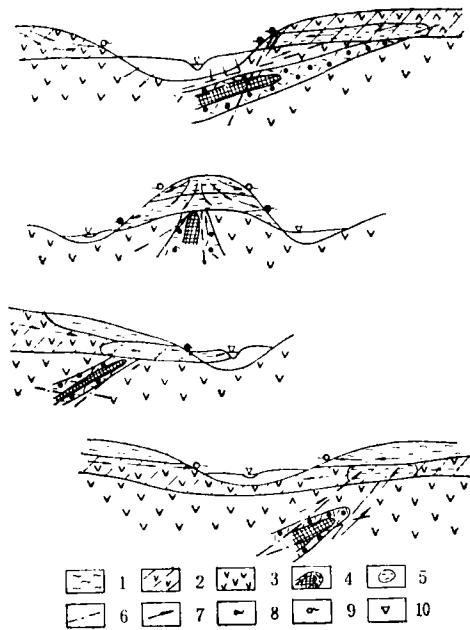


图 5 地表水和地下水所处的水文地质条件和隐伏矿床的水分散晕类型

1—成矿后未固结沉积物；2—矿床围岩的风化壳；3—矿床围岩；4—含有矿床内生晕的矿体；5—水分散晕；6—构造裂隙；7—地下水运动方向；8—晕水的排出中心；9—正常水的排出中心；10—侵蚀基面

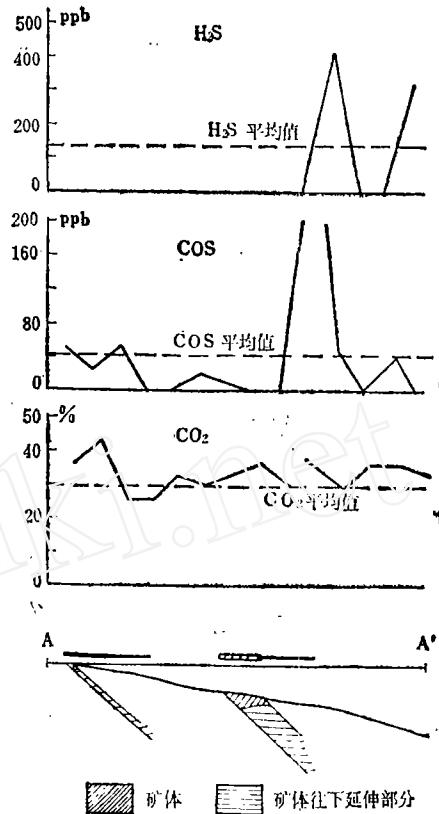


图 6

含矿层位中。这些矿床都是开放类型的。其中 II、III 类型的矿床以强水分散晕为特征，在地表以泉水、沼泽等形式出现。I 类型矿床水分散晕强度较小，它遭到地表和地下河道的微矿化水流的强烈冲洗。IV 类型矿床的水分散晕沿狭窄的构造破碎带呈线状分布。

根据地球化学特性分析，可将上述各类型矿化分为强氧化的、弱氧化的和几乎未氧化的矿床。分水岭型一般属于强氧化矿床，谷型和坡型属于弱氧化矿床，位于侵蚀面附近或其下部。根据这个分类我们就可以将 Eh、pH、O₂、Fe²⁺/Fe³⁺和 SO₄²⁻ 等参数作为找矿标志，预测分散晕的强度和它们的大致形成深度，以及隐伏的原生晕和围岩的硫化度。

当硫化物矿体被氧化时，释放出二氧化碳和各种硫的气体。这些气体往上迁移并聚集于麓源砾石的间隙或其他覆盖物中。图 6 显示了某硫化物矿体上土壤覆盖物中的 H₂S、COS（即“硫氧化碳”，下同）和 CO₂ 等气体的异常。这些壤中气的测定可以发

现与埋藏在60米厚或更深的覆盖层以下的矿床有关的异常。

化探的另一个试验性的方法，是对从一些沙漠潜水灌木如北美艾灌 (sagebrush) 和木榴油灌丛 (creosote bush) 发散的气溶胶蒸气的采样和微量金属测定。

利用遥感技术解决覆盖区的化探找矿问题也是一个值得注意的动向。在遥感影象中，可以解译出植物光谱异常。这是因为，植物因元素中毒发生生态变化，导致叶绿素单位浓度降低，造成可见区反射率增大，红外区反射率减弱，还有其他一些原因。另外，还可根据土壤或植物所含元素的种类、浓度或含量的比值等变量与MSS各种数值的相关性，经多重回归分析求元素预测值，内插编制出地球化学浓度等值线图，等等。

总的说来，在普查掩埋矿床时，指示元素的盐分散晕及其衍生物是值得注意的，其中主要有：a. 随毛细管上升迁移的盐晕（包括一些活性组分）；b. 水成淀积物（如铁锰氧化薄膜或结核等）；c. 沼泽有机吸附物；d. 生物地球化学异常（包括一些浮游生物）；e. 由盐晕转化的挥发组分（Hg、H₂S、COS、CO₂、卤素）蒸气，由植物发散的气溶胶气体；f. 水化学晕；g. 遥感揭示的植物中毒异常等。查明各种盐分散晕的关键，在于合理利用各种不同化学分析方法将赋存在后生晕的某些相中的元素提取出来。

4. 古埋藏盲矿床的找矿。这类矿床的产出部位较深，成矿后一般又有年轻的岩石覆盖，情况比较复杂。采用常规化探方法很难发现异常。

当年轻的岩石非常薄时，它的底部与下部围岩的接触线往往暴露于现代河谷的边缘（图7），古河谷在老岩石上切割古侵蚀面的部分也可能出露，从这种古河谷沉积物中获得的重矿物富集物中，可能含有来源于年轻岩石下的矿床的矿石矿物颗粒。这些古河谷也可以是地下河，当它们被现代水系破坏时，泉水发育。当流经隐伏的氧化的硫化物矿床的地下水在浮露时因蒸发而散发或与碱性地表水中和，也可以沉淀出带金属异常的铁锰氧化物薄膜。

若矿体赋存于一含水层中，且顶部为厚度小于40米的年轻岩石覆盖时（图8），生长于该冠岩上的树木可以将它们的主根伸展

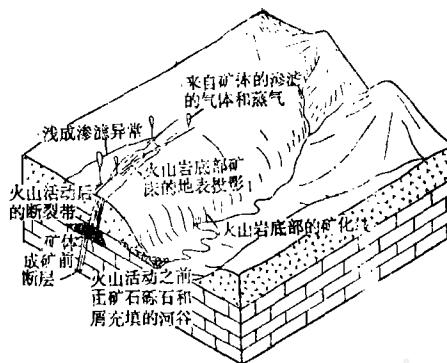


图7

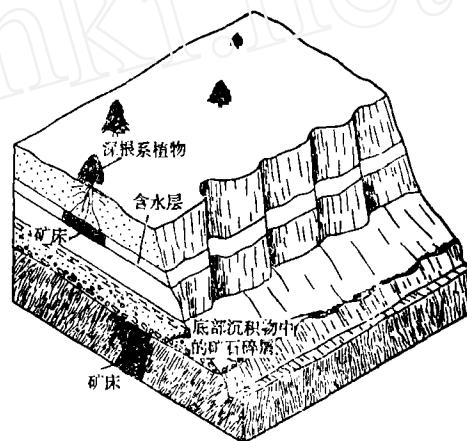


图8

到下伏含水层，并在上部的生物组织中聚集矿石金属。

普查掩埋矿床的化探方法原则上适用于这类矿床。采用气体（首先是汞）分散晕的方法，可以圈定这类矿床的远景地段。

5. 异常被封闭的矿床的找矿。很遗憾，一些地区虽具备可能赋矿的岩性条件，但由于不透水层或巨厚的外来运积物的覆盖，异常不能到达地表，采用任何现行的化探方法都难以发现隐伏矿床。然而，该类型的一些大矿床的物理特征与周围岩石和运积物有明显差异，采用物探方法可以发现它们。

在物探方法的启示下，一种地电化学找矿方法逐渐受到重视。这种方法是基于地电化学过程的模拟试验发展起来的。实验证明，电化学作用可以引起元素在硫化物矿床上覆盖的外来沉积物中分散。在地壳的任何地区都存在着随深度的增加氧化电位减低的现象，即基本的氧化还原场。导体（矿体）的存在，扰乱了电位的分布，使低电位等值

线往上偏移,这种现象与电化学过程有本质上的联系。通过对氧化还原电位值与pH值的测定,可以直接查明次生晕模型。这种方法不受隔水层条件的限制,既能使次生异常被封闭,又能揭示它们。这在加拿大等国的找矿案例中得到了证明。

另外还可同遥感地质结合起来,利用光学手段,积分测定区域地球化学场及其起伏。

目前对付这类矿床的主要办法是使用采样浅钻。

最后顺便提一下假异常。由于它是已遭剥蚀的矿床留下的,所以并不反映还存在潜伏矿床。可借助于元素分带或植物地球化学法解释这种异常。矿床的底部沿着构造的矿化通道为植物根部提供养料,正如沿着矿床顶部的矿化带产生渗滤异常一样。这种根部

带的金属元素组合不同于渗滤带,它反映了矿床尾部的元素特征。因此植物根部的金属元素组合最有利于对这种假异常的评价。

本文在编写中得到欧阳宗圻工程师指导,并提供了有关材料,在此谨致谢意。

余平 编写

主要参考文献

- (1) Lovering T.C. et al., journal of Geochemical Exploration, 1978, No.2/3
- (2) Butt C. R. M. et al., journal of Geochemical Exploration, 1980, No. 2/3
- (3) Golova G. A., International Geology Review, 1979, No. 9, p. 1079
- (4) 湖北师范大学等,普通自然地理, 1978
- (5) 中国地质科学院情报所,化探资料选编之三, 1978年10月, P.66
- (6) 杨廷槐,地质遥感技术, 1980, No. 2, P. 71



中国金属学会地质专业委员会 第一次地质经济学术讨论会

冶金地质经济学术讨论会于7月13~17日在北京召开。参加会议的有国家计委、地质部、中国金属学会及冶金系统的地质、设计、矿山、科研、学校等部门的领导和积极从事地质经济研究的代表共65人。

会议由地质专业委员会副主任窦洪泉同志致开幕词,地质专业委员会主任康永孚同志讲话,中国金属学会常务理事朱国平同志作了地质经济效果问题的报告。报告通过对30年冶金地质工作的总结和分析,对冶金地质工作今后的任务,矿床评价、勘探程度,评价勘探手段、勘探与矿山建设结合、衔接以及地质体制改革等问题,提出了方向性的意见。

大会交流论文60余篇,宣读了其中的23篇。论文内容大体包括矿床经济评价和工业指标的确定,充分合理利用资源,矿床评价和勘探程度以及与矿山建设结合,手段组合等几个方面的重大课题。这些论文,紧紧围绕地质经济效果问题,从各个不同角度展开论述。许多论文都引用了丰富的实际资料和典型实例,这不仅加强了论文本身的说服力,同时对沟通情况,开拓思路,也很有益处。

在讨论中,同志们还对冶金地质工作提出不少建议,同时也提出一些新的问题。有的同志提出,在国民经济调整期间,为确保矿山坑口、选厂和冶炼厂的持续生产,冶金地质应着重加强矿山及其外围的研究和找矿工作,有的同志用系统工程的观点,对合理的损失贫化问题进行了探讨,提出了新的方案;有的同志提出用价格法确定露天矿工业指标;有的同志对技术管理、地质工作体制、地质勘探投资渠道以及资源有偿占用等问题提出了建议。

代表们还对地质经济专业组今后的学术活动及重要研究课题进行了讨论。同志们提出:地质工作既然要重视对经济效果的研究和考核,地质人员就应熟悉矿山采、选知识,掌握地质经济基本理论和方法,特别要加深微观经济的研究,以使地质经济工作建立在广阔坚实的基础之上,为地质、设计、生产提供充分的决策数据。