



中國地質大學
CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES



勘查地球化学

-----第六章

地球科学学院地球化学系

第六章 土壤地球化学找矿

勘查地球化学

- ◆ 一、残坡积层中的同生碎屑异常
- ◆ 二、土壤中的后生异常
- ◆ 三、土壤地球化学在找矿中的应用



土壤地球化学找矿

勘查地球化学

- ◆ 勘查地球化学中的土壤是指地球表层的一切疏松细粒覆盖物，它不是土壤学中对土壤概念所给予的严格定义。
- ◆ 土壤地球化学异常是原生矿体及其原生晕在表生风化过程中，经过各种地球化学作用在土壤中形成的异常。



一、残坡积层中的同生碎屑异常

- ◆ 1. 同生异常的形成作用
- ◆ 同生碎屑异常可以看成是单纯物理风化的产物，在苏联文献中称为机械分散晕。在重力及其他各种机械力的作用下，固体颗粒在地表有三种可能的运动方式：崩塌、潜动及碎屑扩散。
- ◆ 崩塌是岩石碎块在山坡上的突发运动，虽然它不能经常发生，但由于地质时期中多次事件的积累，可以形成大片倒石堆。灾变性的滑坡与泥石流也可以归入这一类。



- ◆ **潜动**是地表的松散堆积物在**安息角**以下，受重力作用向下坡作难以观察的缓慢运动，它包括**土流及蠕动**二种作用。
- ◆ **碎屑扩散**是松散物中各个颗粒受到各种偶然作用，如温度变化，湿胀与干缩，冻结与融化，土居动物的搬运等，使各个颗粒在原来位置附近作微小的随机运动，从而导致颗粒间的位置变换。
- ◆ 在地表水平的条件下，前面二种作用都不存在，只有碎屑扩散起作用，由此形成单纯的残积碎屑异常。碎屑异常不但对Sn、W、Nb、Ta等形成重砂矿物的元素是典型的，而且对Cu、Pb、Zn、Ni、Co等存在于硫化物矿物中的元素也不例外。这是因为在残坡积物中所有元素的基本部分还是处于碎屑迁移阶段之中。



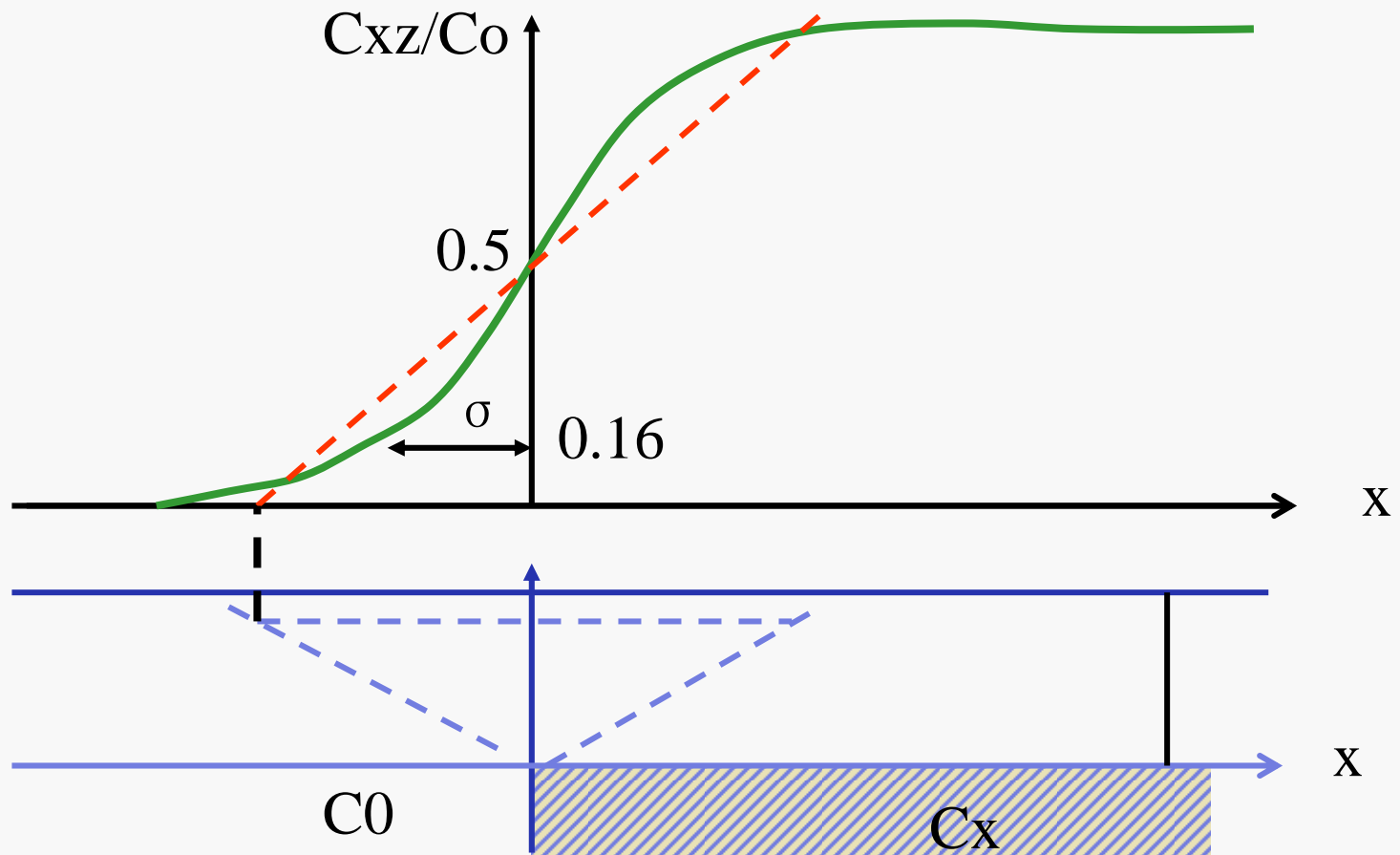
2. 一个浓度分界面的残积碎屑异常

- ◆ 根据扩散定律，可以把地表的含量表为：

$$C_x = C_1 \operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sigma_1} \right) + C_0 \operatorname{erf} \left(\frac{-x}{\sigma_0} \right)$$

- ◆ 式中 erf 为正态分布的积分形式， σ_1 、 σ_0 称为分散系数（A.Π.索洛沃夫）。
- ◆ E.M.克维亚特可夫斯基认为上式太复杂，可以用直线关系近似地代替，并假设分散晕宽度与离基岩面的高度成正比，由此定义了一个分散系统 $K = \frac{l}{h}$ ，其中 l 为分散晕的半宽度， h 为取样层位离基岩面的高度。

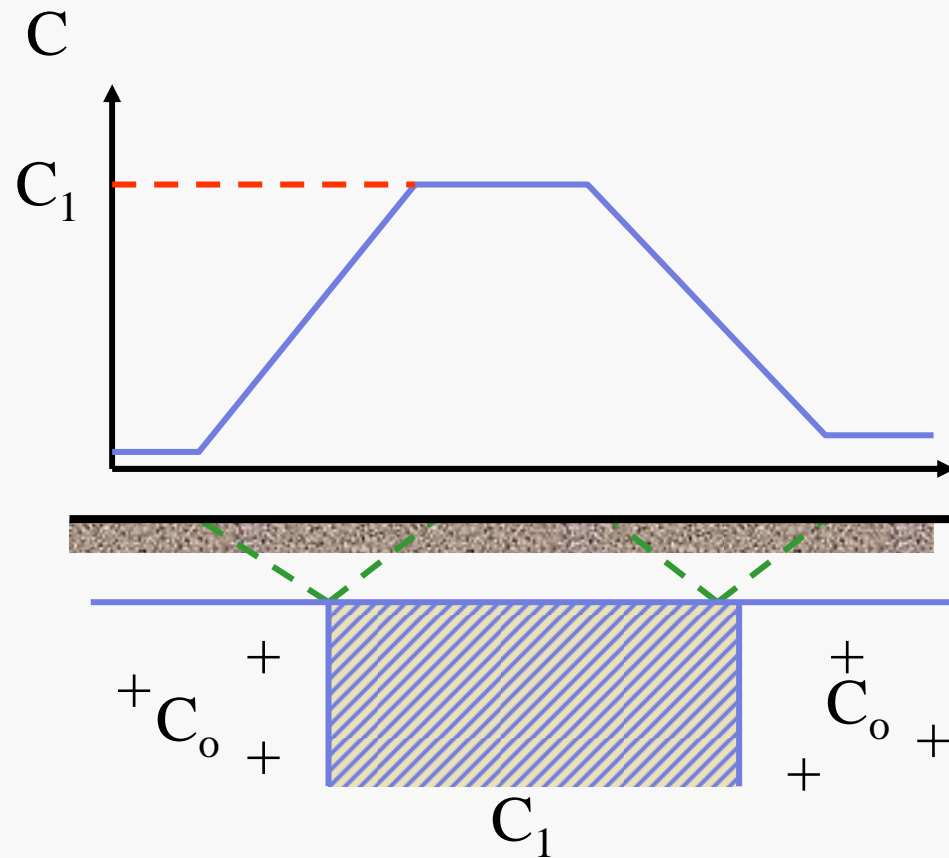




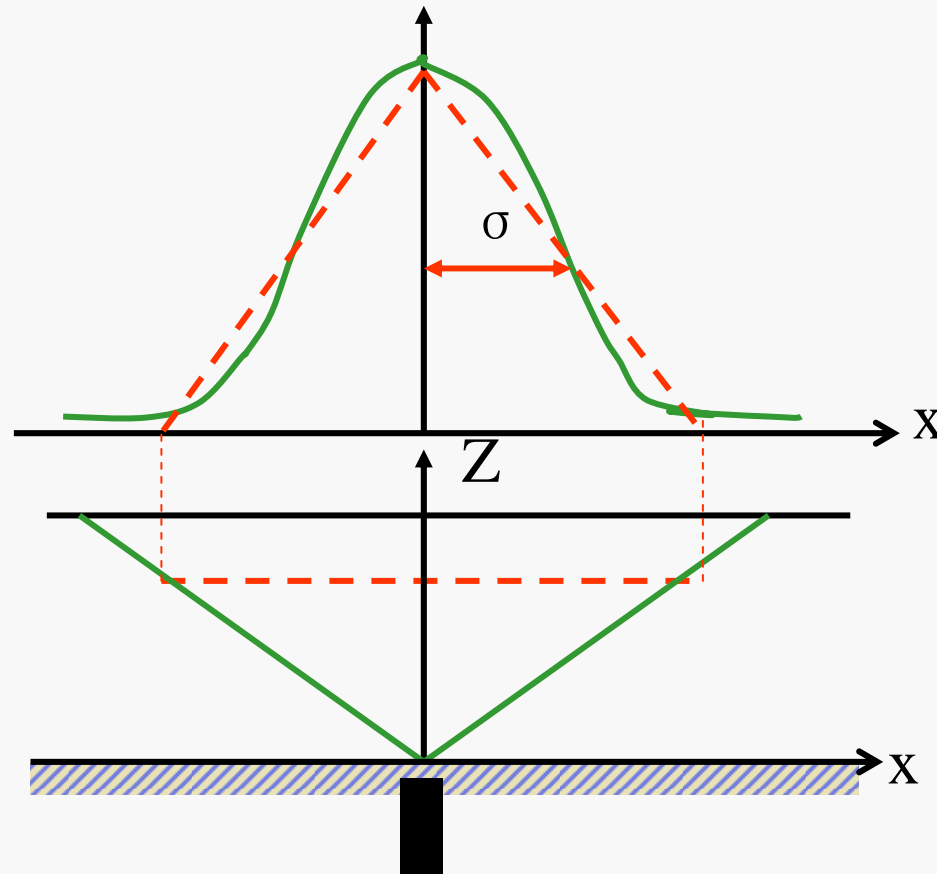
一个浓度分界面的残积碎屑异常



3. 厚矿脉的残积异常

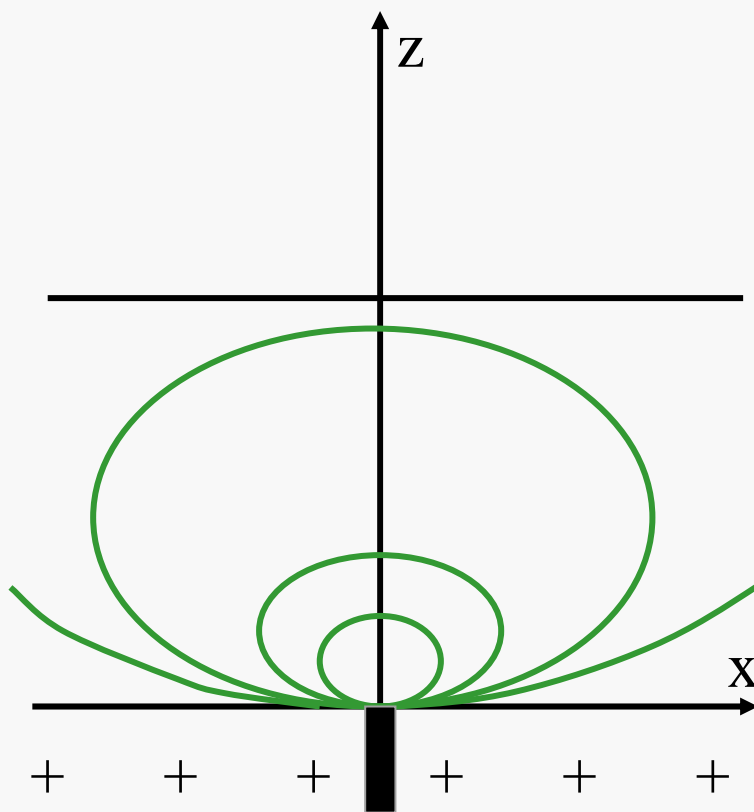


4. 垂直薄矿脉的残积异常

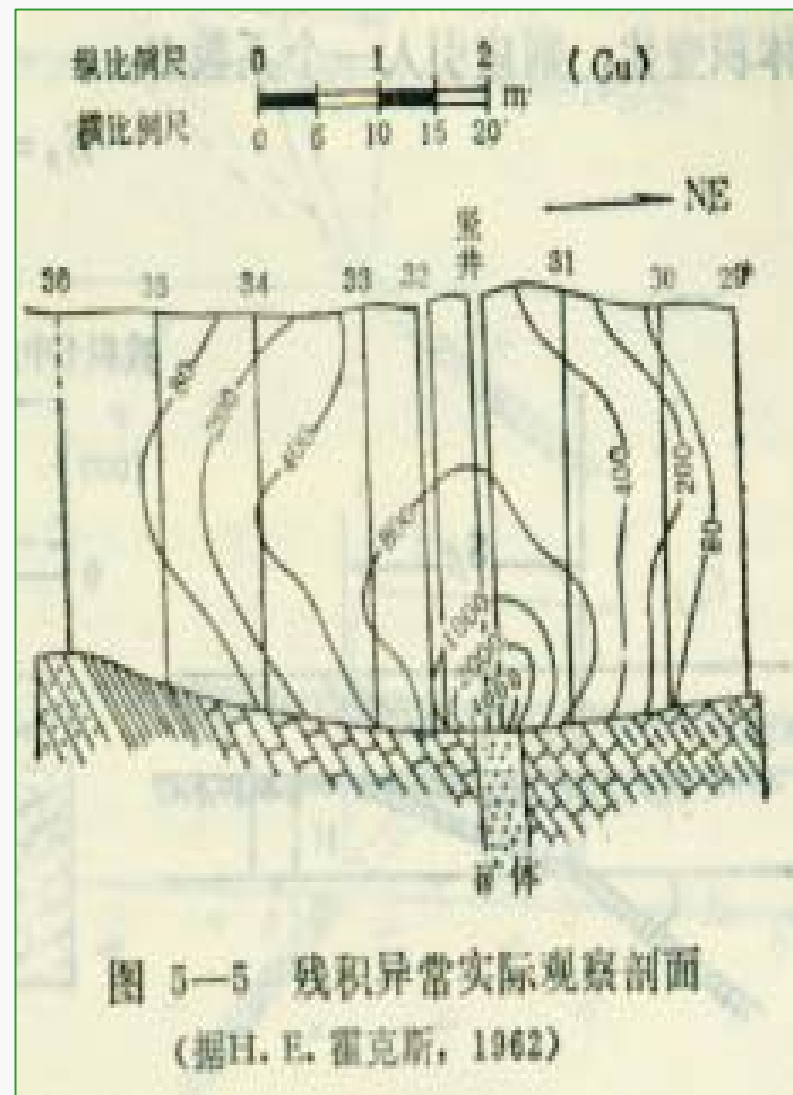


勘查地球化学



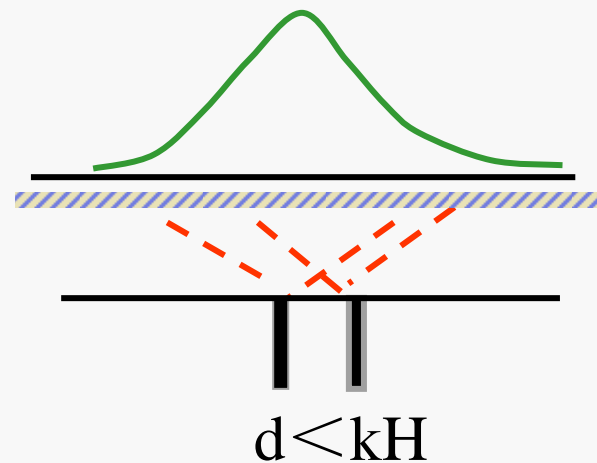
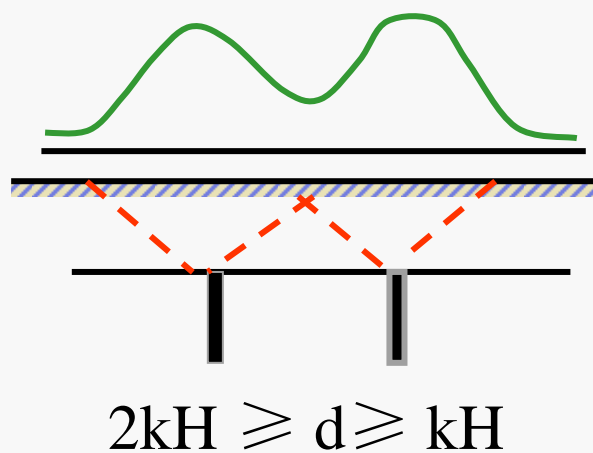
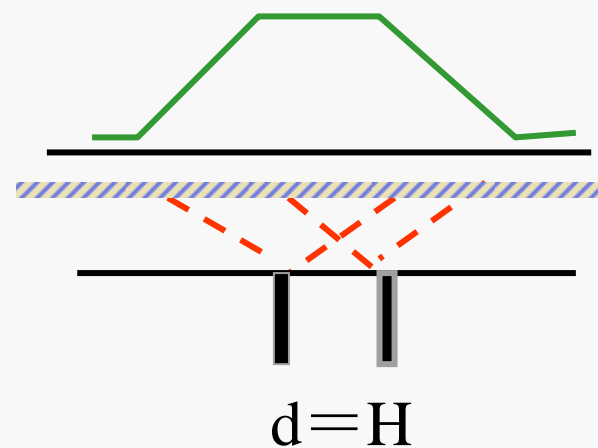
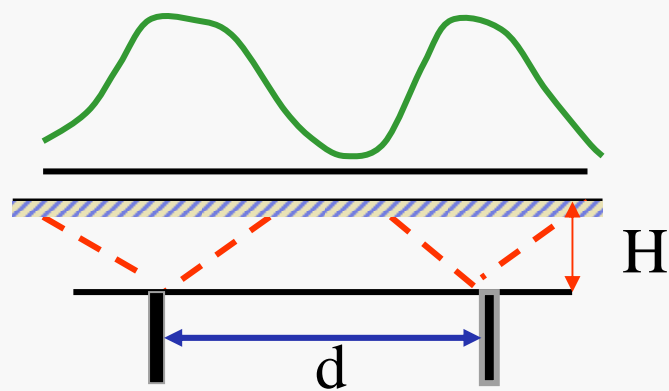


残积异常理想剖面



5. 矿脉组的异常

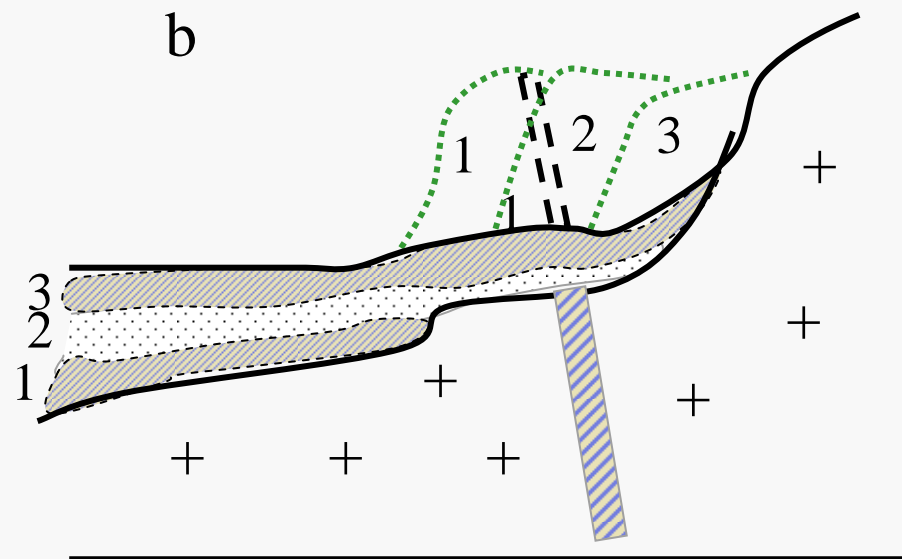
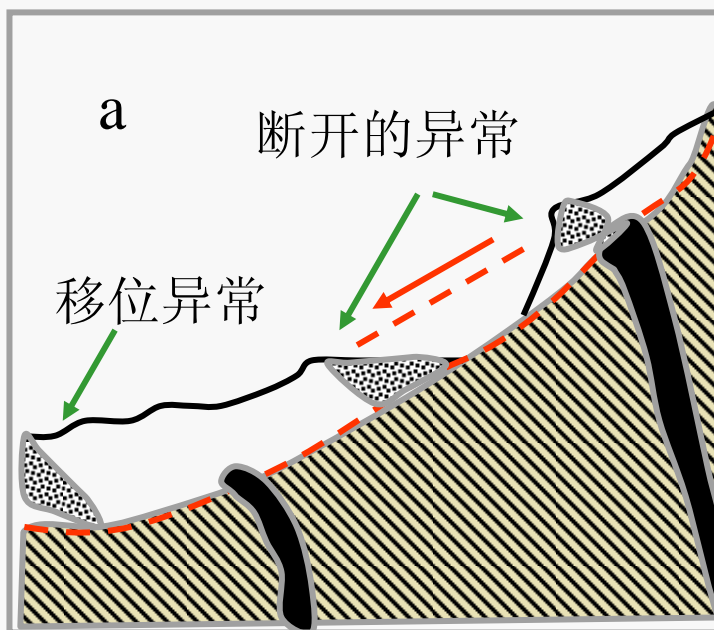
勘查地球化学



6. 特殊地形条件下的坡积物异常

- ◆ 矿体抗风化能力强于围岩形成正地形，使异常散布面积大，而含量变化不规则。因为这种情况下金属元素往往富集在粗粒级中。
- ◆ 如矿体风化能力弱，形成负地形，异常会受到压缩。
- ◆ 如果坡积物产生过滑坡，可能形成分离异常。
- ◆ 倒石堆中的埋藏异常形成过程可用下图示意说明。



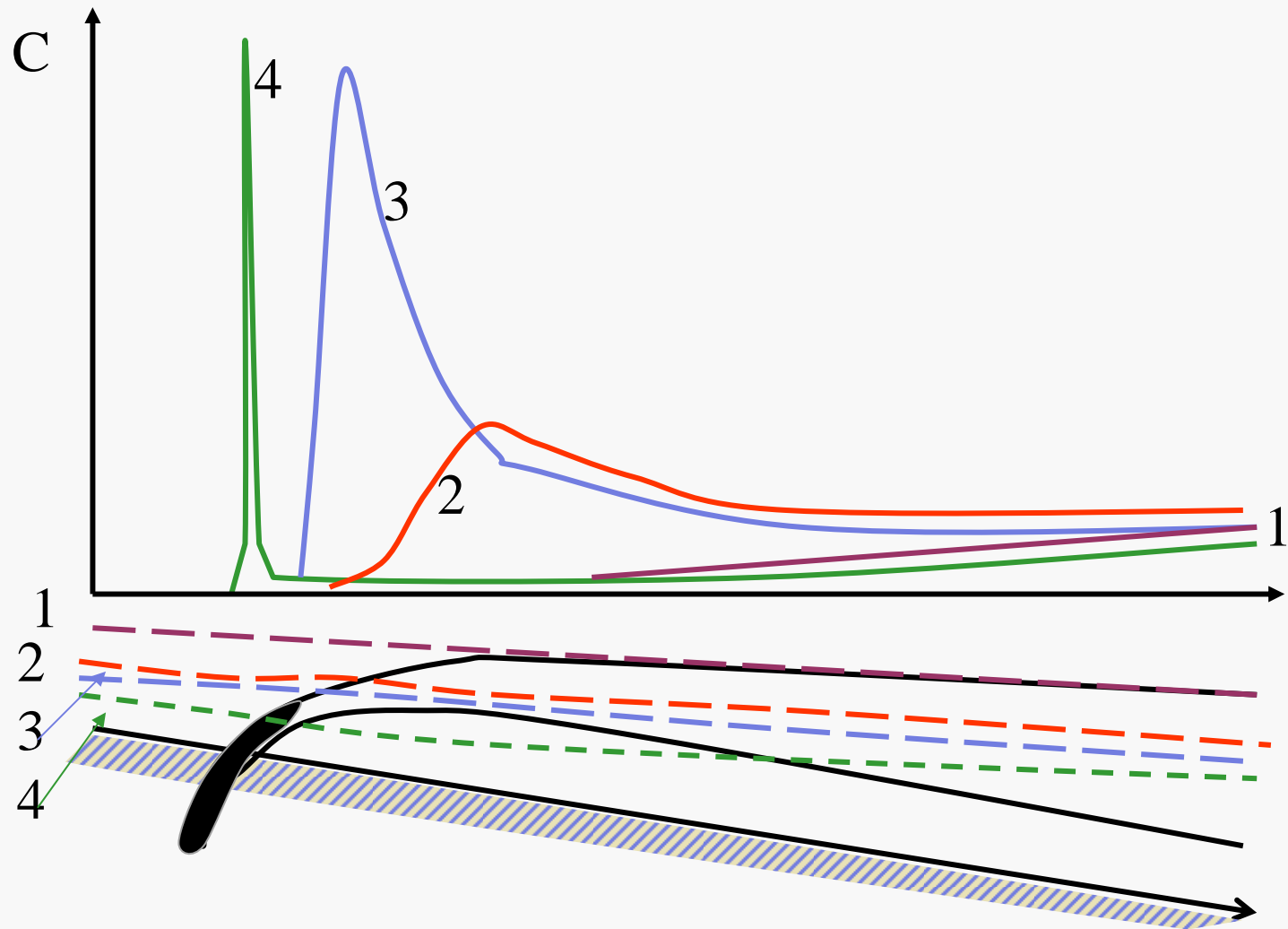


两种复杂情况的有残积坡积物异常

a 滑坡产生断开异常

b 倒石堆产生埋藏异常





拖曳异常在不同深度上的曲线



7. 残坡积层中同生异常的位移

- ◆ (1) 水平地面上由矿体倾斜引起的位移

$$S_{\beta} = \frac{H}{\tan \beta} \quad S_{\beta} = \frac{BH}{\tan \beta} \quad B=H'/H$$

风化特征：
厚度变化

- ◆ (2) 斜坡上同生异常的位移

$$S_{\alpha} = AH^2 \tan \alpha$$

A为风化特征系数,H为覆盖层厚度,α 为坡角; β 矿体倾角



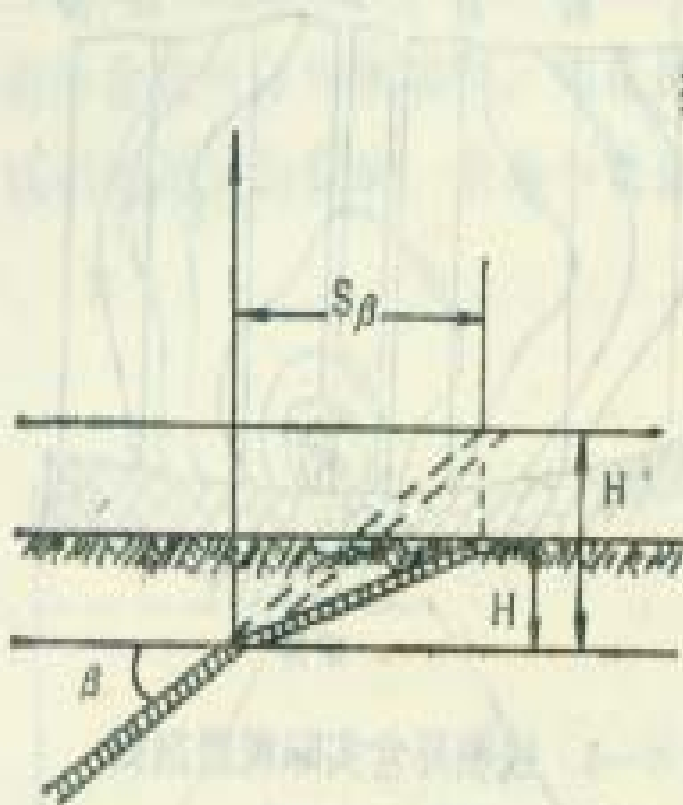


图 5—7 矿脉倾斜引起的位移

残积土中的锌含量 μm

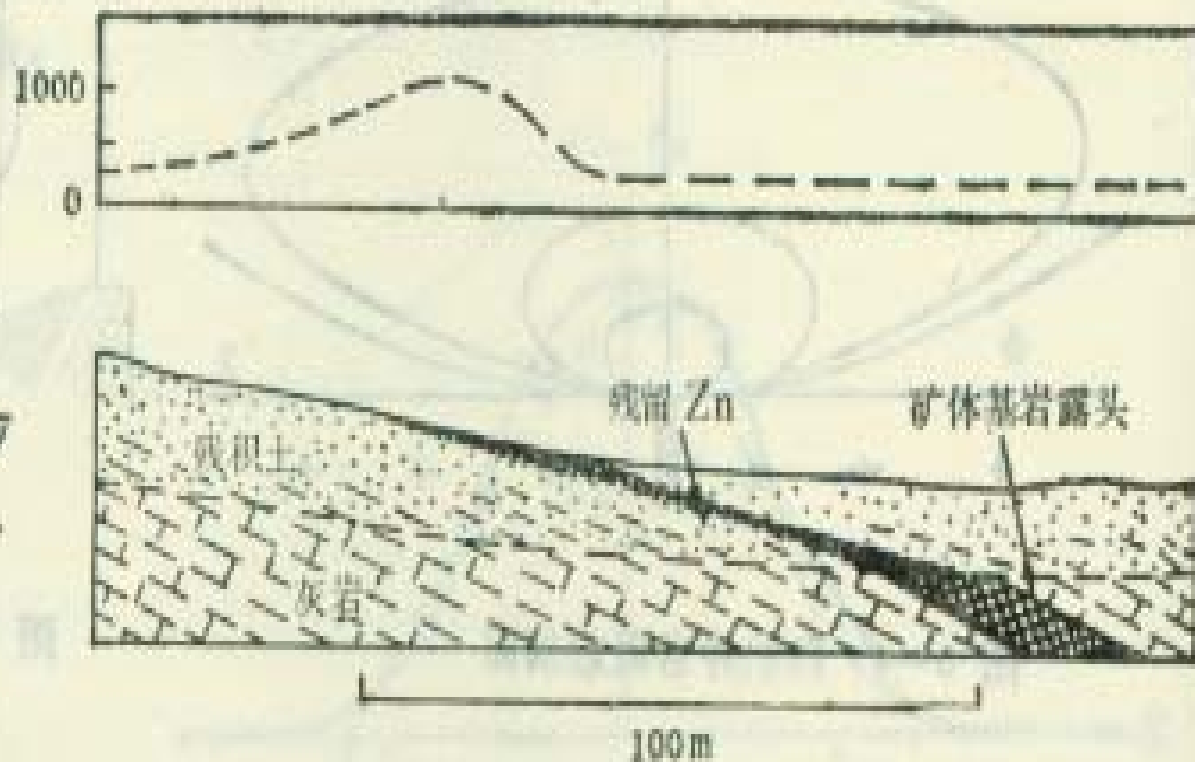


图 5—8 残积锌异常的位移
(据 H. E. 霍克斯)



$$S_{\alpha} = AH^2 \operatorname{tg} \alpha$$

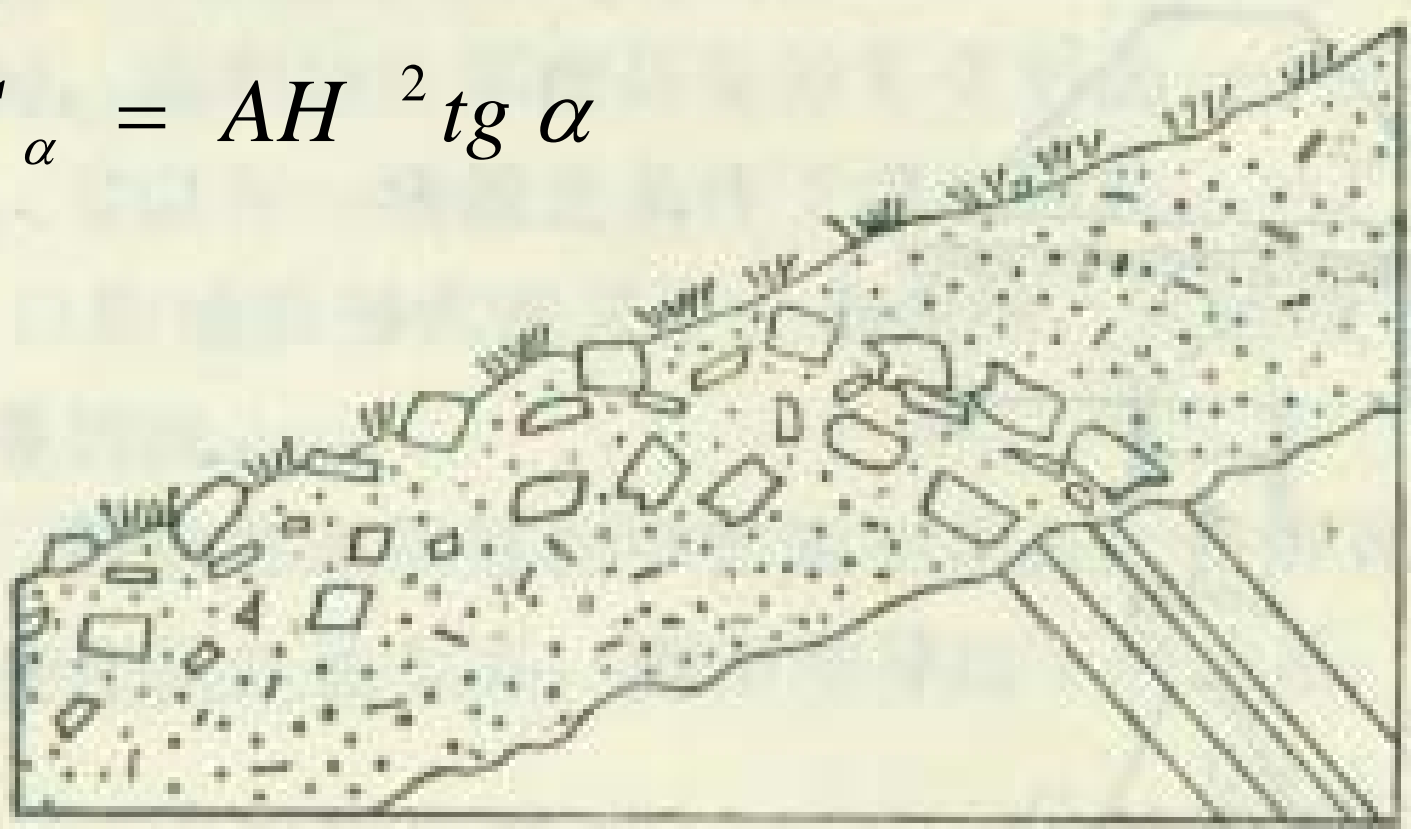


图 5—9 岩屑在残坡积层中的分布



勘查地球化学

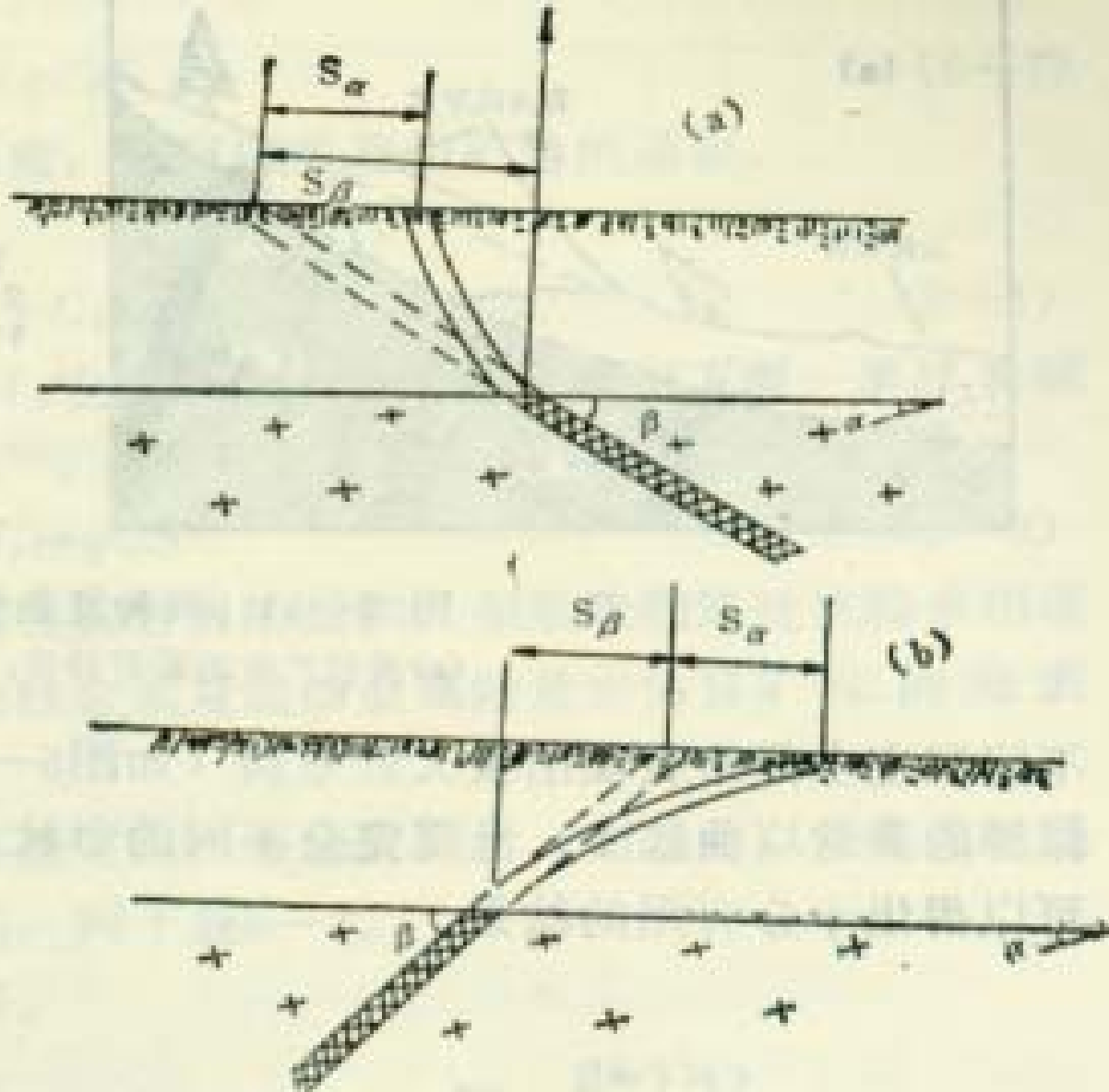


图 5—10 两种不同位移的组合情况
(a)地形倾斜与矿脉倾斜一致；(b)地形
倾斜与矿脉倾斜相反



8. 同生异常的总金属量

- ◆ 对于同生异常来说，只要矿化在垂直方向上变化不是非常剧烈，则总金属量与下伏矿化规模成正比。单向延伸的异常可用垂直横剖面，计算线金属量：

$$M_L = \sum (C_x - C_0) \Delta x$$

- ◆ 线金属量实际是矿化规模的一种度量。
- ◆ 土壤地球化学异常研究中，常引入富集系数 q ，它是土壤线金属量与基岩线金属量之比。

$$q = \frac{M_L(\text{土壤})}{M_L(\text{基岩})}$$



二、土壤中的后生异常

- ◆ 后生异常可以发育在任何介质中。形成异常的物质通常已经在活动相（水溶液、气体、植物体及大气搬运的质点）中迁移了或远或近的距离，而在异常地点沉积下来。在所有迁移的动力中，水溶液是最主要的。在任何介质中，所有元素都有一个同生含量，它是介质形成时所固有的，而后生异常总是叠加上去的。因此，某一取样点上的实际含量可以看成由两部分组成：
- ◆ $C_{\text{总}} = C_{\text{同}} + C_{\text{后}}$



- ◆ 为了把 $C_{\text{后}}$ 测定出来，最主要的方法是采用各种**冷提取**法，因为后生部分既然是水中沉淀出来的，它就比较容易溶解。
- ◆ 后生异常的解释比较困难，因为它与异常源的关系更疏远了。在同生部分起伏的背景上，微弱后生异常就更难识别。



1. 上移水成异常

- ◆ 在水溶液中的元素，可以通过毛细管上升及植物根系吸收而向上运动，这是淋滤作用的对立面。土壤水分毛细上升的高度与其结构有关。与溶液浓度成正比，所以从理论上讲，细粒土壤毛细上升的高度较高。
- ◆ 溶液通过土壤毛细管上升的速度是相当快的。南京土壤研究所用 I^{131} 通过不同土柱实验证明， I^{131} 可以用不到45天的时间通过1.5米高土柱到达地表，如果地表有机物丰富。还能在地表积聚起来。



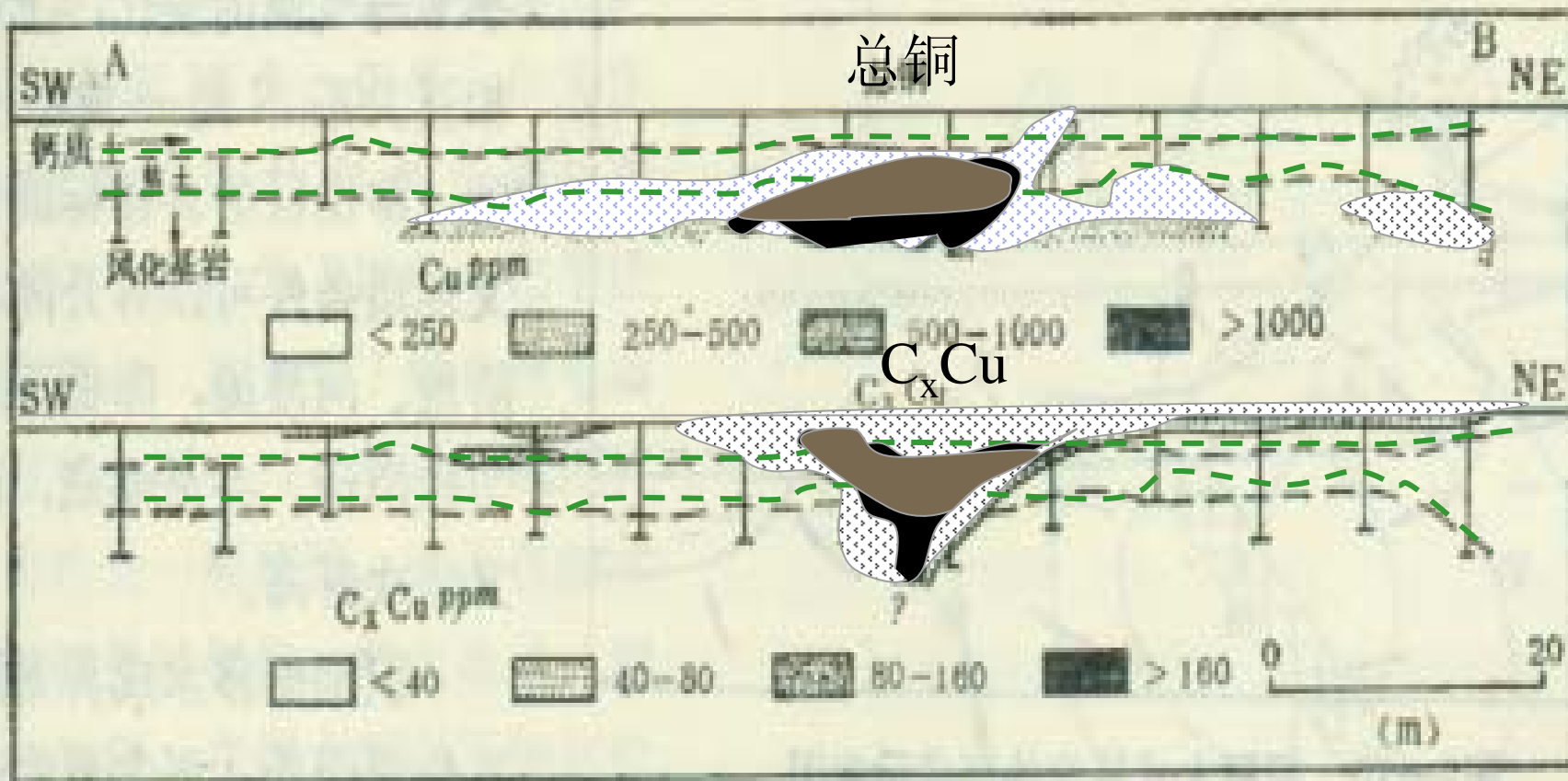


图5—13 总铜与冷提取铜异常之比
(据Govett, 1979)



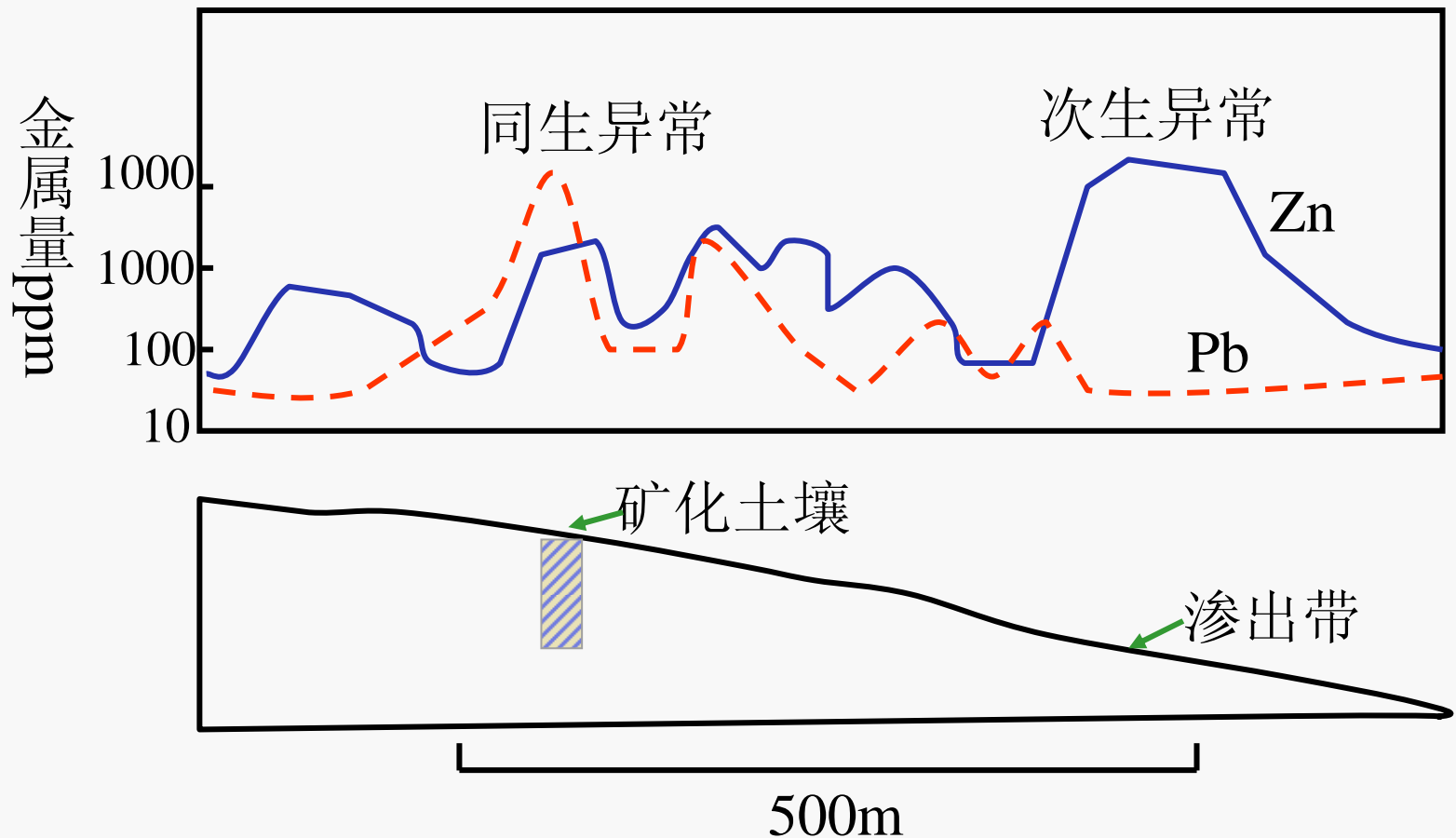
- ◆ 从理论上讲，只要覆盖物不是灾难性一次巨厚堆积（厚度超过毛细水爬升高度），在那种逐渐堆积过程形成的厚层运积物中，都可以形成上升水成异常，即毛细水可以“接力式”将深部“水溶性”金属离子传输到上层运积物中。
- ◆ 前苏联在外贝加尔地区一个金矿床区，地表被130米厚的异地运积层亚粘土覆盖，利用焦磷酸钠萃取土壤中有机络合金，并用有机络合金与有机炭的比值作指标（Au/C），发现了金的地球化学异常，找矿了金矿。



2. 侧移水成异常

- ◆ 金属元素被地下水溶解并随着迁移很远的距离，在某种**沉淀障**上析出，这就形成了侧移的水成异常。





侧移水成异常据 (Webb, 1962)

中国地质大学地球科学学院地球化学系制作, 2009年7月15日 16:14



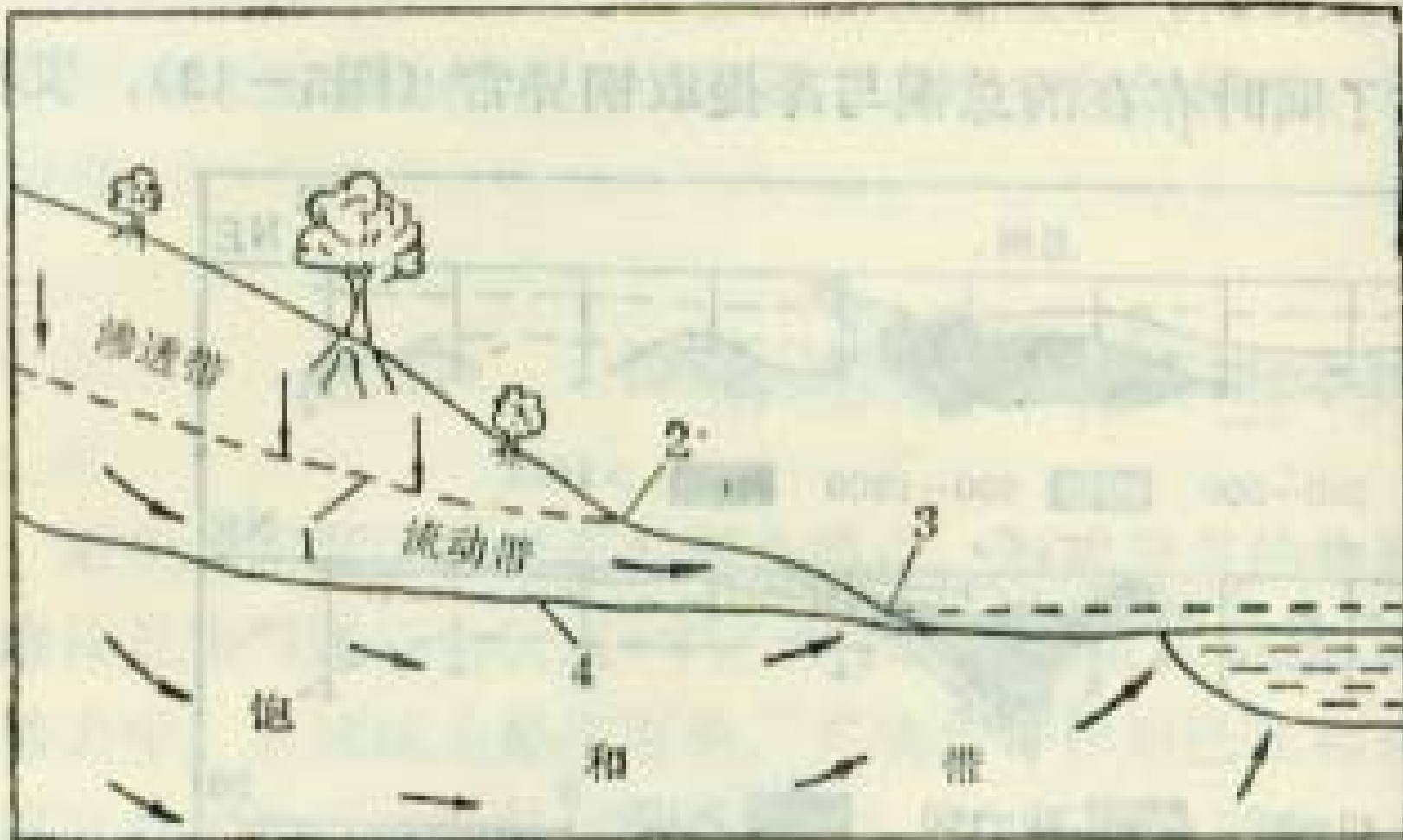


图5—15 侧移水成异常的形成示意图

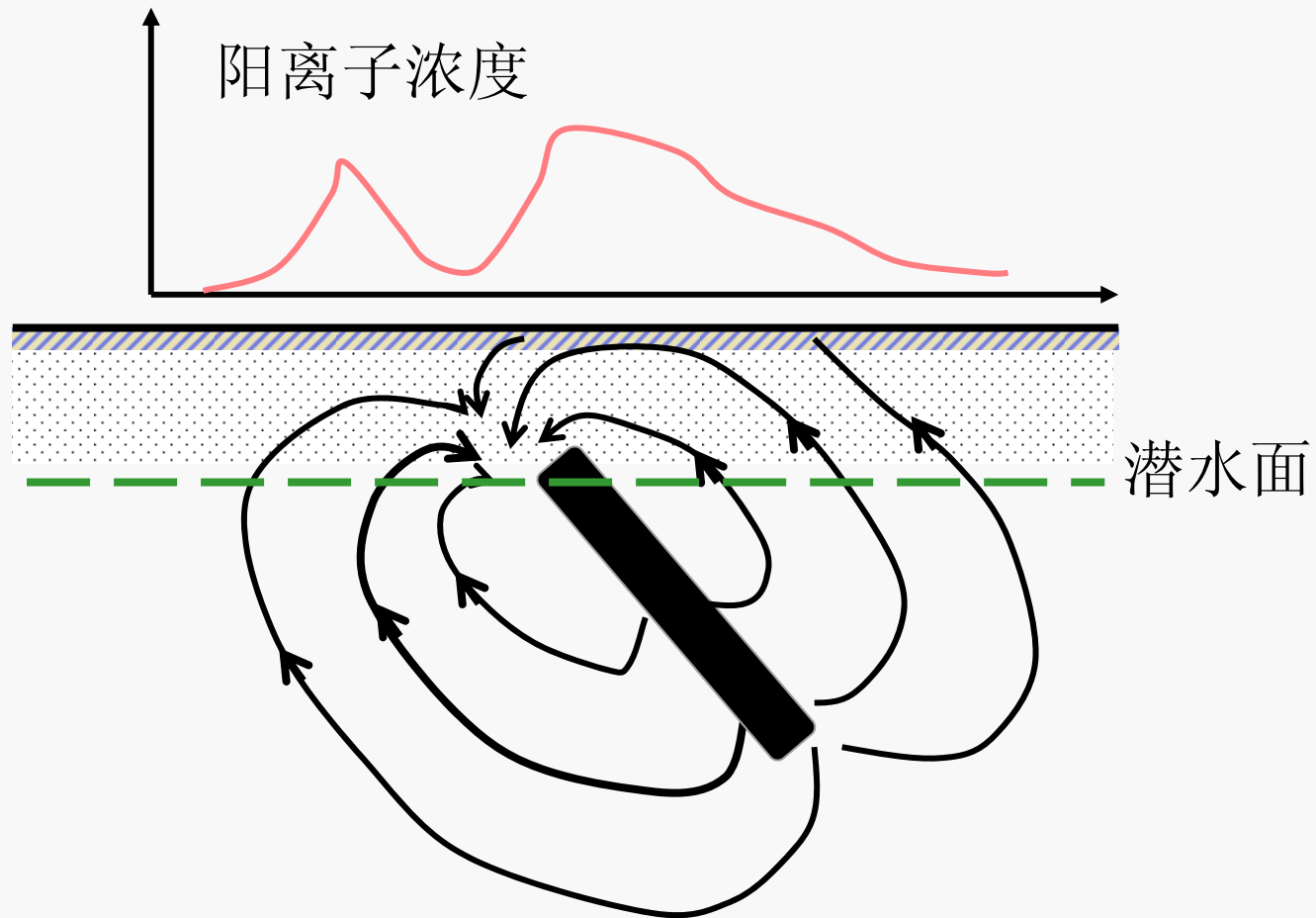
(据H. E. 霍克斯)



3. 电化学迁移异常

- ◆ 在电场作用下，阳离子向阴极移动，而阴离子向阳极移动，这是一个普通的电化学反应。在自然界，正在氧化中的硫化矿体或石墨质岩石，甚至下渗中的地下水都能够产生电场。因此处在水溶液中的离子将在自然电场的驱使下运动，成为一个后生异常的动力。自然电场会随着硫化矿石彻底氧化而消失。但是，作为在它活动期间积累结果的元素分布模式将保留下来。
- ◆ 下图所示为硫化矿床自然电场的一般模型。
- ◆ 地电地球化学异常：苏联的一些研究人员，采用人工电流来驱动土壤中的离子。

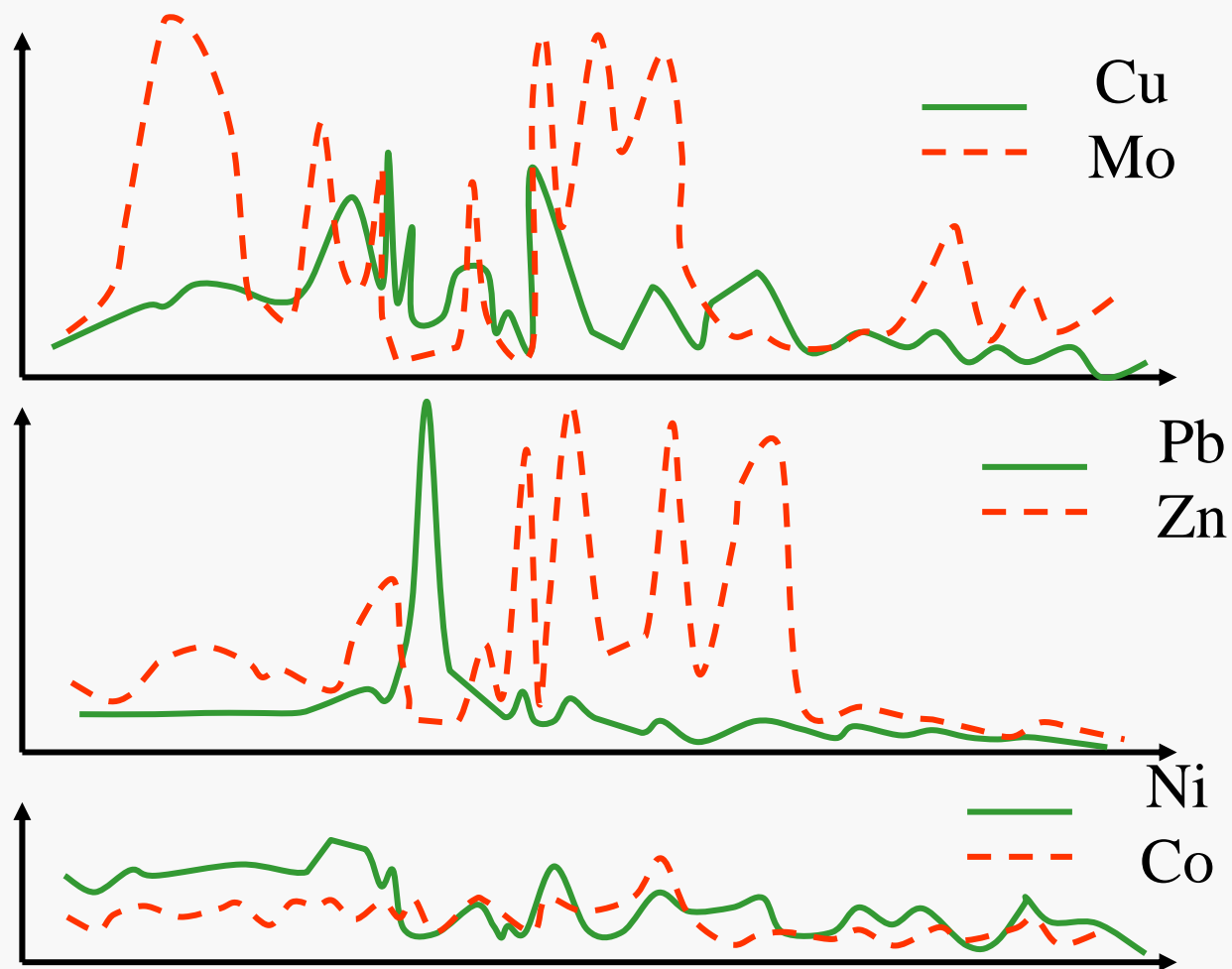




自然电流形成的阳离子常示意图



勘查地球化学



绿色片岩 石英长石 绿泥片岩 安山岩

加拿大某地冰碛物上金属异常图

中国地质大学地球科学学院地球化学系制作, 2009年7月15日 16:14



4. 后生异常的研究方法

- ◆ 后生异常是经活动相将异常物质运输到异地疏松物中沉积下来形成的，可以把它称**活动态金属**。
- ◆ 活动态金属部分含量甚微，叠加在同生碎屑的背景含量上，异常难以识别。因此，需要采用专门的部分提取技术，只提取活动态金属，而对背景中以硅酸盐，氧化物形式存在于固体矿物中的部分不能提取，达到压低背景、突出矿化信息的目的。



- ◆ **活动相**运移上来的金属离子，在土壤中可以以自由离子形式，粘土矿物“层间”可交换态形式、次生碳酸盐结合形式、铁锰氧化物“吸附”形式，以及与有机络合物形式存在。
- ◆ 粘土矿物、次生碳酸盐、铁锰氧化物、有机质是活动态金属的天然“富集剂”，从而可以根据研究的目的，设计多种“活动态”金属提取方案。



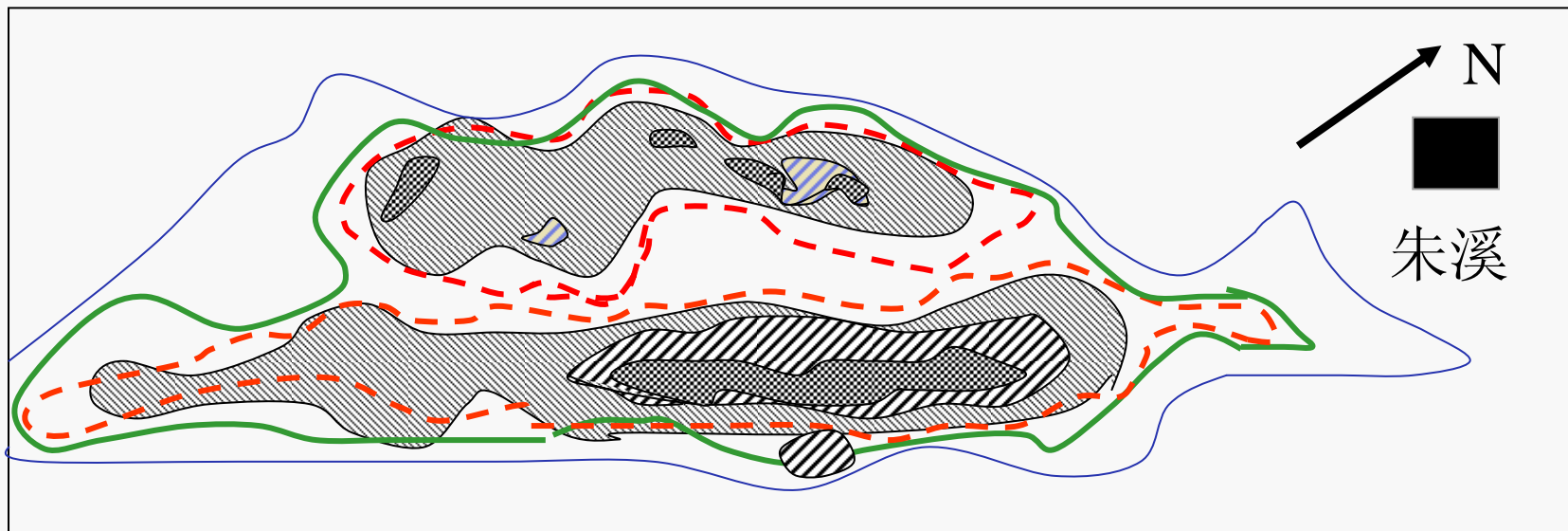
- ◆ 重金属总量的冷提取分析。
- ◆ Н. И. 斯维日斯卡娅和Ю.Е.萨耶特（1975）提出的醋酸缓冲溶液提取法。
- ◆ L.B.安德罗波娃（1977）则是以0.1M焦磷酸钠溶解样品，同时分析Pb、Zn及有机炭总量，用 $(\text{Pb}+\text{Zn})/C_{\text{有}}$ 作指标以扣除有机炭含量的影响，而与样品重量无关。
- ◆ H.C雷斯（1983）提出的地电化学部分提取金属法。
- ◆ 目前，国内有不同研究者用**地埋泡塑法**强化土壤中的金异常，其实质是利用泡塑对金的吸附性能，对土壤中水溶相金的自然吸附累积。



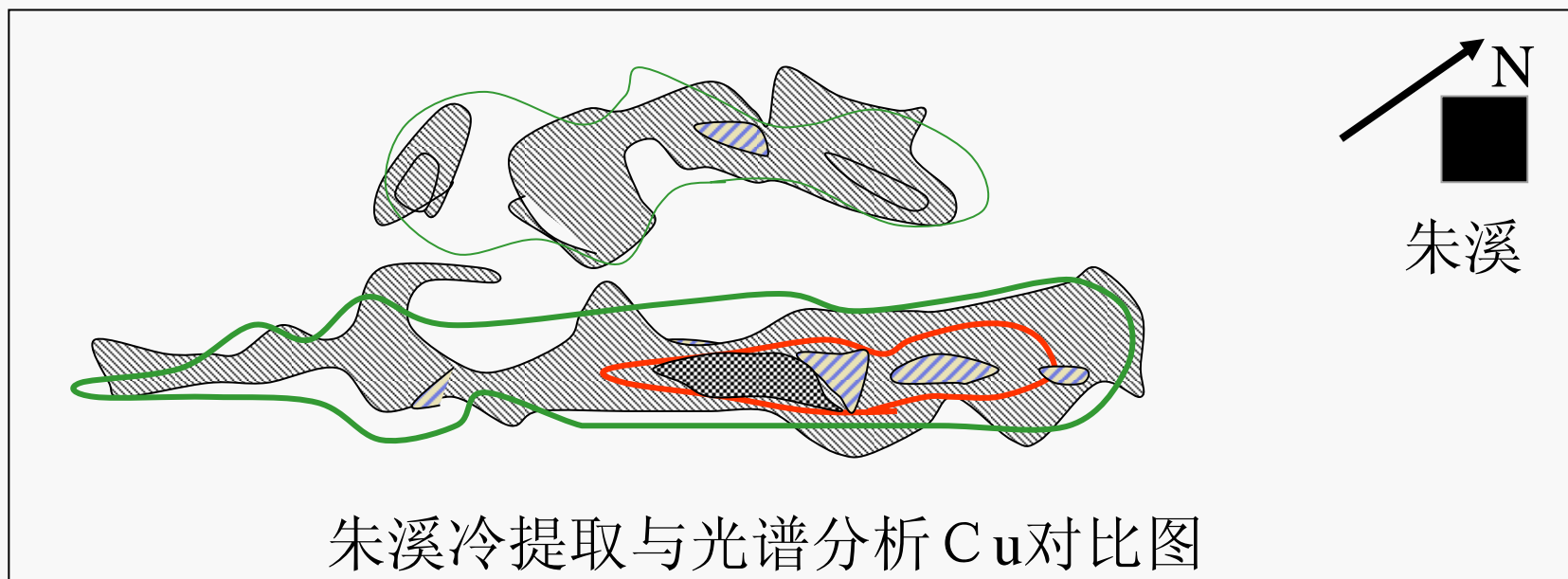
三、土壤地球化学在找矿中的应用

- ◆ 土壤地球化学找矿是一种成熟、有效的常规地球化学找矿方法，它既可用于区域化探阶段（1：20万—1：5万地球化学调查），也可在普查阶段、详查阶段使用。特别是在疏松层广泛覆盖区，它是一种有效的找矿方法。
- ◆ **1. 区域找矿普查中确定成矿带**
- ◆ 例如江西物探队在赣东景德镇下徐—朱溪一带380km²区内开展1：5万土壤地球化学测量。
- ◆ 工作结果圈出的土壤异常沿北东向两组断裂带作不连续带状分布。





朱溪土壤异常平面图



朱溪冷提取与光谱分析 Cu 对比图

- ◆ I -4由南北两个异常组成，南部规模大，长3400米，宽200—400米，北部异常带长1800米，宽300—400米。异常形态规则，都伴有Pb、Zn、Ag、Sn等元素。
- ◆ 以南部异常浓度分带元素组合好，对其钴探验证，见矿好，已达中型热液充填交代型铜矿。



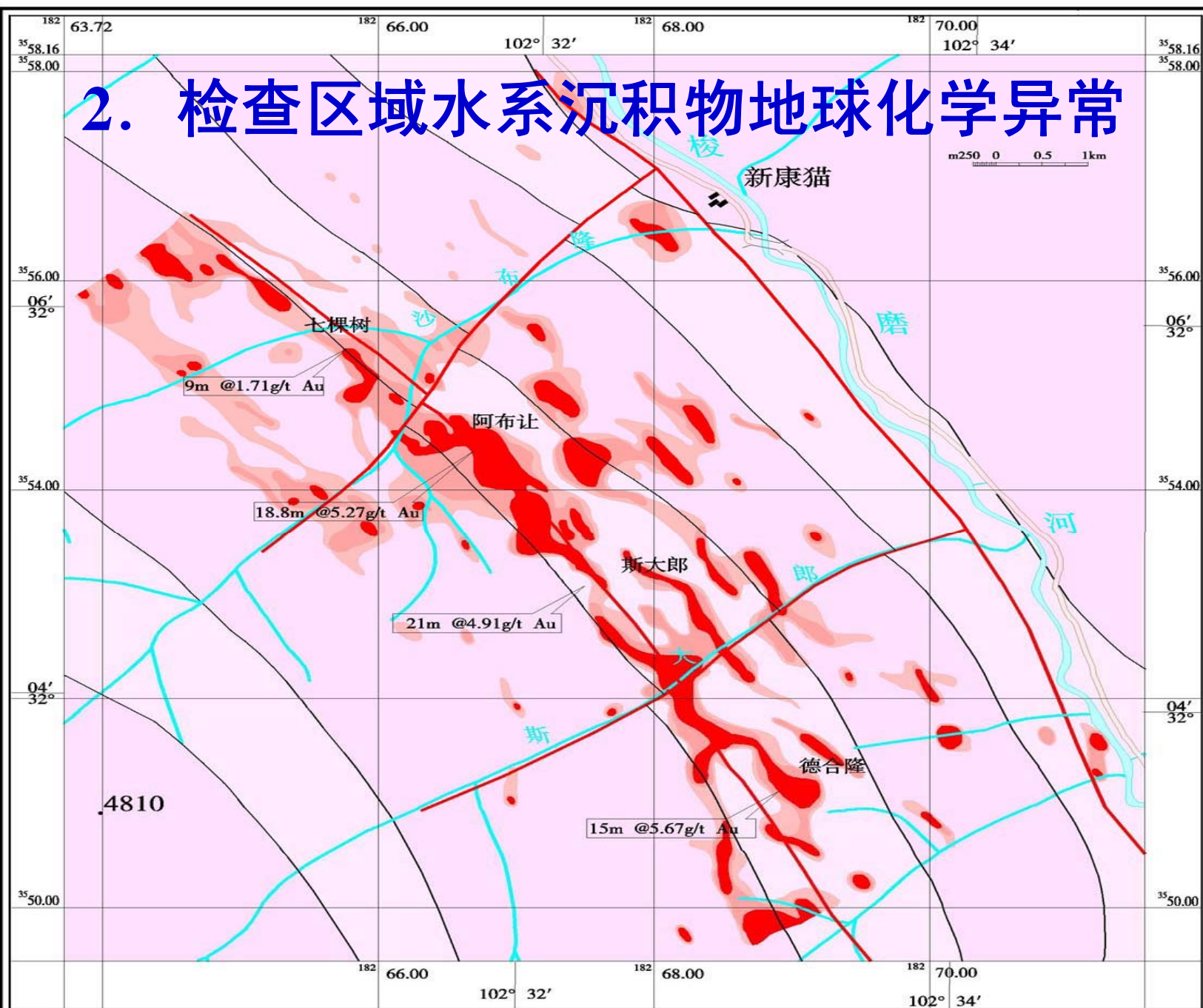
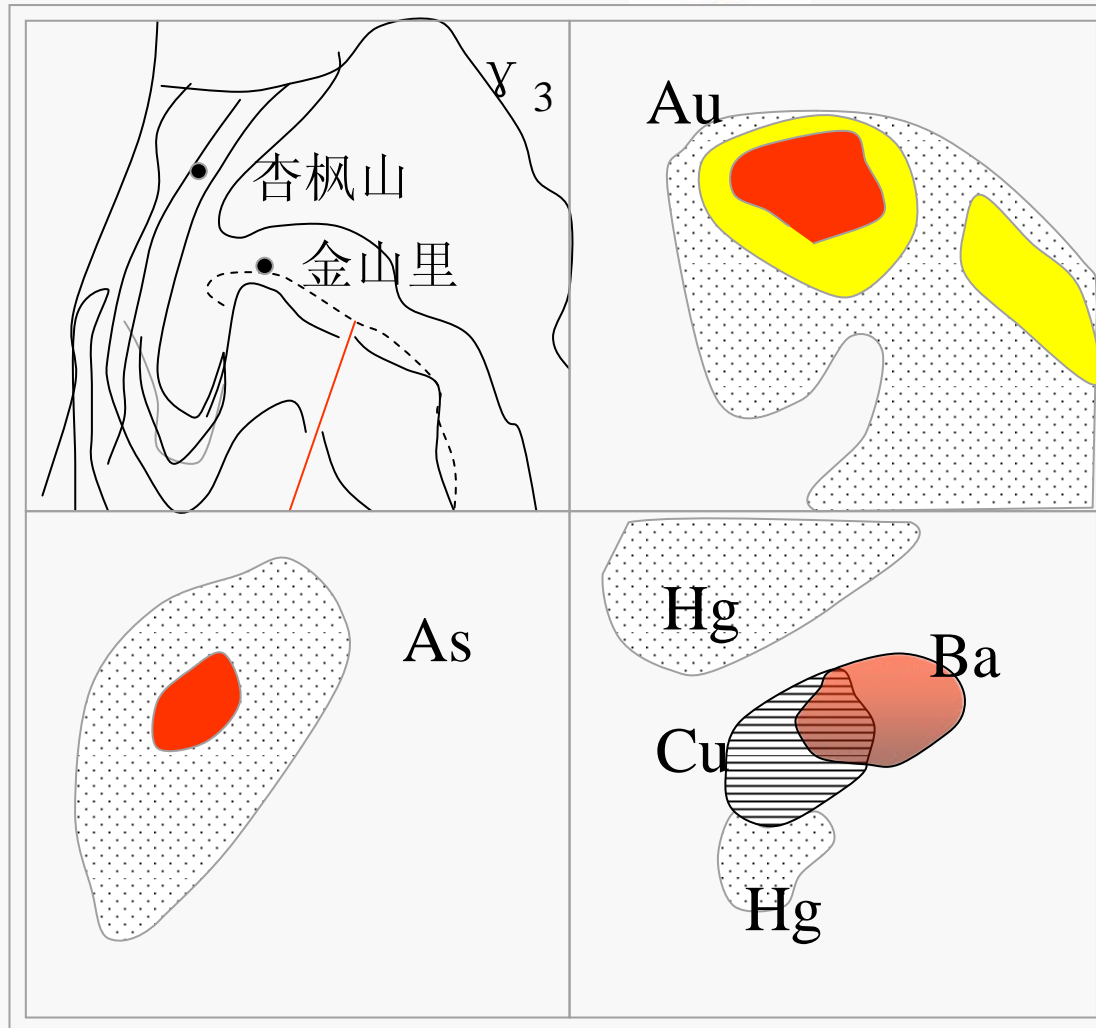
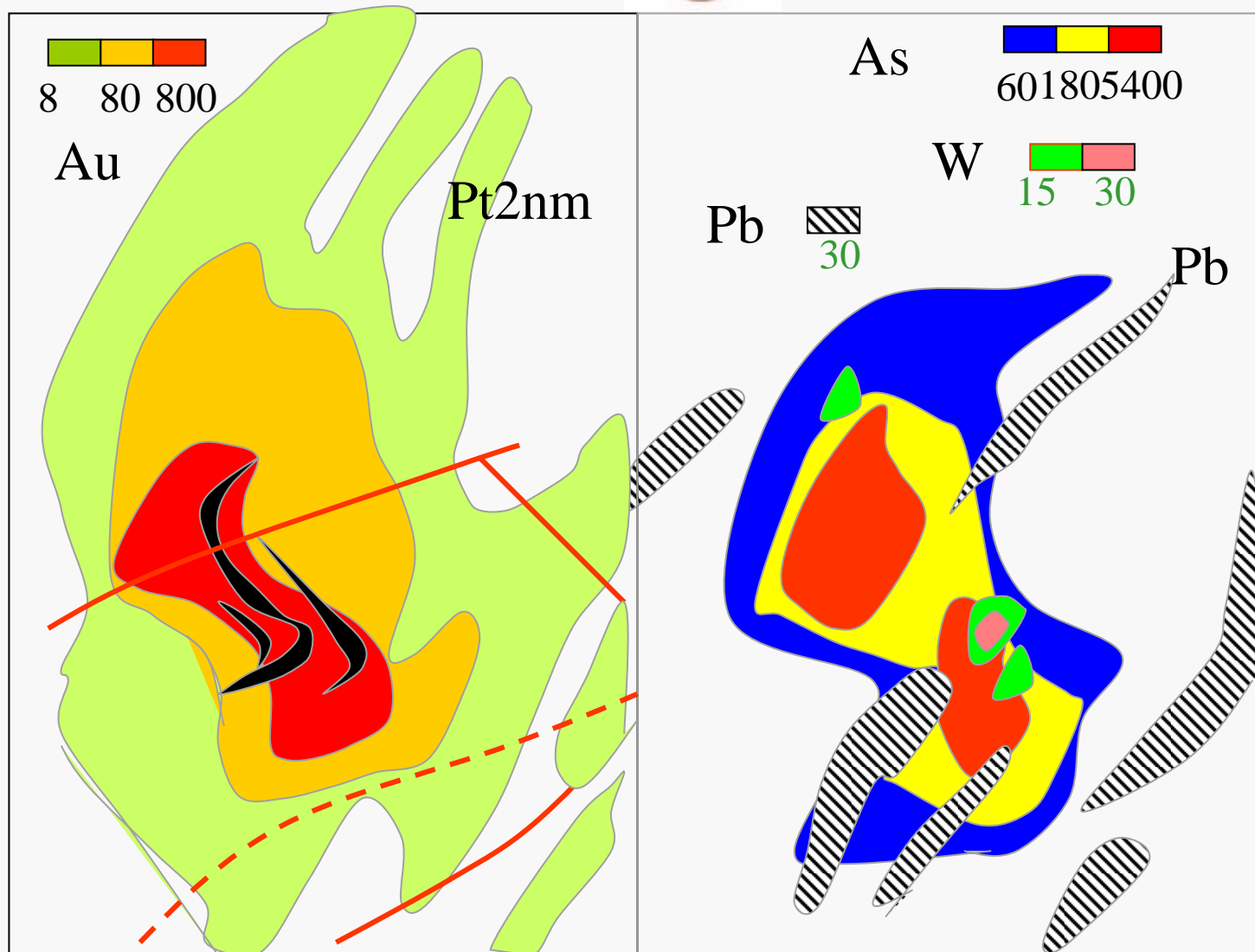


图3-9 新康猫地区1 : 2.5万土壤测量金异常图



杏枫山As₂₃水系沉积物异常剖析图





杏枫山土壤地球化学异常

中国地质大学地球科学学院地球化学系制作, 2009年7月15日16:14



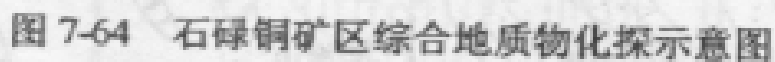
3. 覆盖区化探找矿

- ◆ 在已知矿区为扩大远景，通常在其外围开展大比例尺土壤地球化学测量，查明矿化延伸方向，寻找新的矿体。

勘查地球化学



广东石碌铜矿区综合物化探示意图



1. Cu— 1000×10^{-6} ; 2. Cu— 500×10^{-6} ; 3. Cu—200, 100×10^{-6} ; 4. 磁正异常; 5. 磁负异常; 6. 电
低阻带; 7. 钻孔控制的氧化带; 8. 钻孔及剖面方向; 9. 砂卡岩; 10. 第四系

勘查地球化学

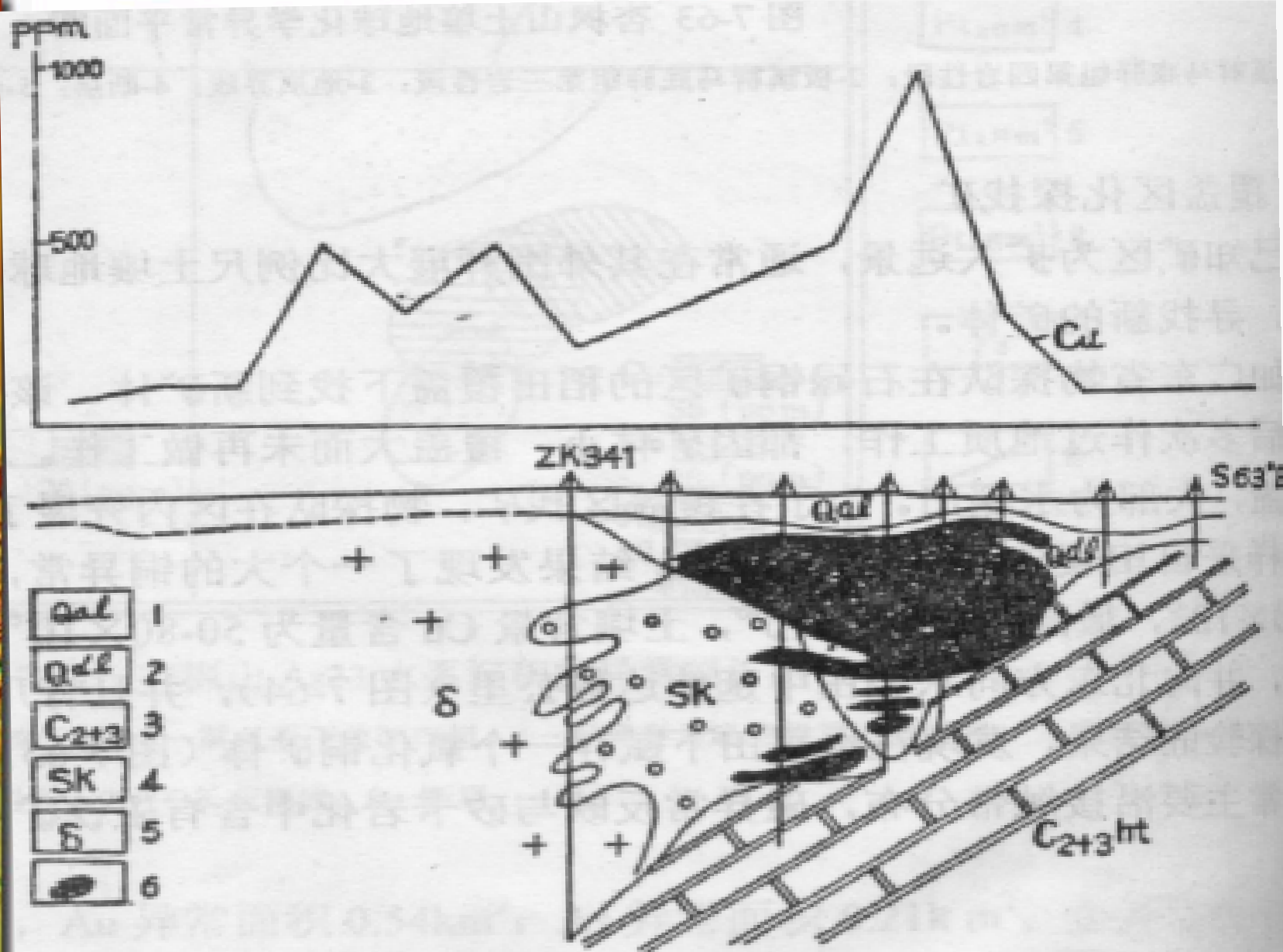


图 7-65 化探异常验证地质剖面图

1.2. 第四系; 3. 大理岩; 4. 砂卡岩; 5. 石英闪长玢岩; 6. 铜氧化矿体

本章小结

- ◆ **重点掌握：** 风化与土壤的形成；影响土壤发育的因素。土壤的分层结构，化学元素在土壤中的分布、分配特征，富集层位与富集粒度的概念。机械分散与化学分散，残坡积层中同生异常的形成，异常的组分特征、含量特征、异常位移、异常形态、规模及分带性。
- ◆ **基本掌握：** 土壤中的后生异常：水成异常和电化异常。土壤中异常形成的影响因素。土壤中指示元素的存在形式及研究意义。土壤地球化学找矿方法的应用。

