

中國地質大學

CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES



求真務實
艱苦樸素

勘查地球化学矿

-----第八章

地球科学学院地球化学系

本章内容

- ◆ 第一节 水化学找矿
- ◆ 第二节 气体地球化学找矿
- ◆ 第三节 生物地球化学找矿

勘查地球化学



第一节 水化学找矿

勘查地球化学

- ◆ 一、水化学异常的基本概念
- ◆ 二、水化学异常的形成
- ◆ 三、几种主要类型矿床的水化学异常特点
- ◆ 四、水化学异常特点及其评价问题



第一节 水化学找矿

勘查地球化学

- ◆ 由于地下水可带来潜水面附近的矿化信息，因此是找深部盲矿的有前景的方法。特别是不受覆盖物的限制，成为覆盖区找隐伏矿的重要方法。一个水样，汇集了汇水区的综合信息，与水系沉积物异常形成机理相似，故而有人又称**水分散流**，成为区域找矿的重要方法之一。
- ◆ **一、水化学异常的基本概念**
- ◆ 它是地表水和地下水溶解了矿体及其原生晕、次生晕中的某些组分，在天然水体中形成地球化学异常。属次生地球化学异常的一种。



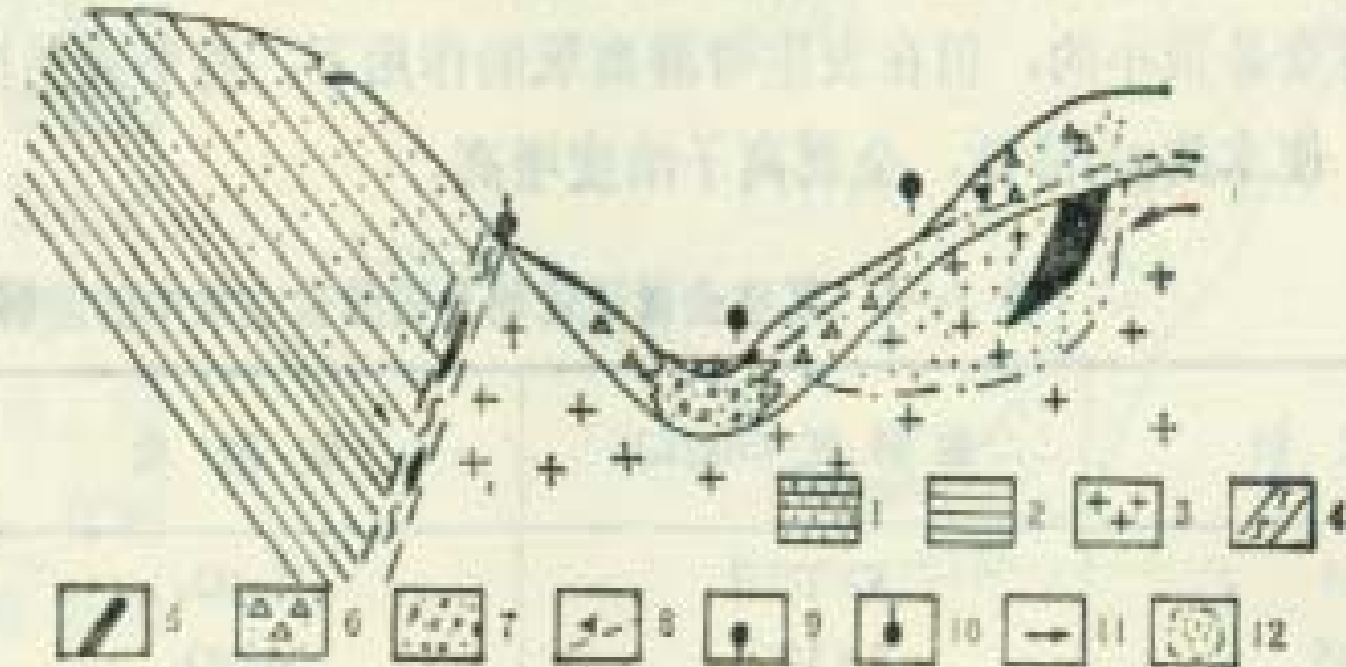
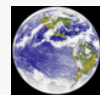


图 7—1 水文地球化学异常形成原理示意图

1—砂岩；2—页岩；3—花岗岩；4—断裂带；5—矿体；6—残坡积层；7—冲积层；8—潜水面；9—下降泉；10—上升泉；11—地下水流动方向；12—地下水异常范围



- ◆ 水化学异常同岩石、土壤、水系沉积物地球化学异常相比，具有更广泛的地球化学标志，除金属阳离子的含量外，还包括阴离子和阴离子团的含量；还包括水介质的pH、Eh值等，而且还包括一些在固态样品中不存在的某些亚稳态过渡性离子种类，如 $S_2O_3^{2-}$ 、 HS^- 等。
- ◆ 由于原生矿物及大多数次生矿物在水中的溶解度极低，再加上水的稀释作用，所以水文地球化学异常的浓度值远远低于岩石、土壤地球化学异常的含量值，低至ppb级。因此对于水文地球化学异常的研究及其找矿效果，在很大程度上取决于分析测试的水平及水文地质方面的知识。



二、水化学异常的形成

- ◆ 1. 矿物的溶解作用
- ◆ 不是所有类型的矿床都有利于水化学异常的形成，而主要是那些成矿物质本身在天然水中有较大溶解度的矿床，以及那些虽然成矿物质本身在天然水中的溶解度并不大，但在表生条件下由于氧化作用，易于转化为易溶产物的矿床。如各种盐类矿床、石油、天然气矿床、金属硫化物矿床及放射性铀矿床等。
- ◆ (见下一页)
- ◆ 表 某些金属硫化物及硫酸盐在水中的溶解度



表 某些金属硫化物及硫酸盐在水中的溶解度

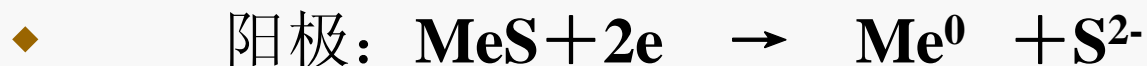
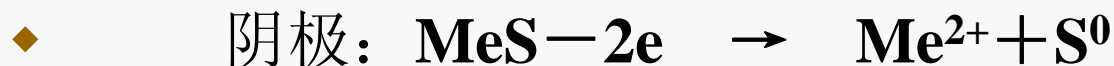
硫化物	溶解度 (mg/L)	硫酸盐	溶解度(g/L)
ZnS	3×10^{-10}	ZnSO ₄	531.2
MnS	3×10^{-10}	MnSO ₄	393
NiS	1×10^{-10}	NiSO ₄	274.8
FeS	3×10^{-10}	CoSO ₄	265.8
PbS	3×10^{-10}	FeSO ₄	157.0
		PbSO ₄	0.04
		CuSO ₄	172.0



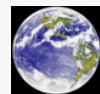
勘查地球化学

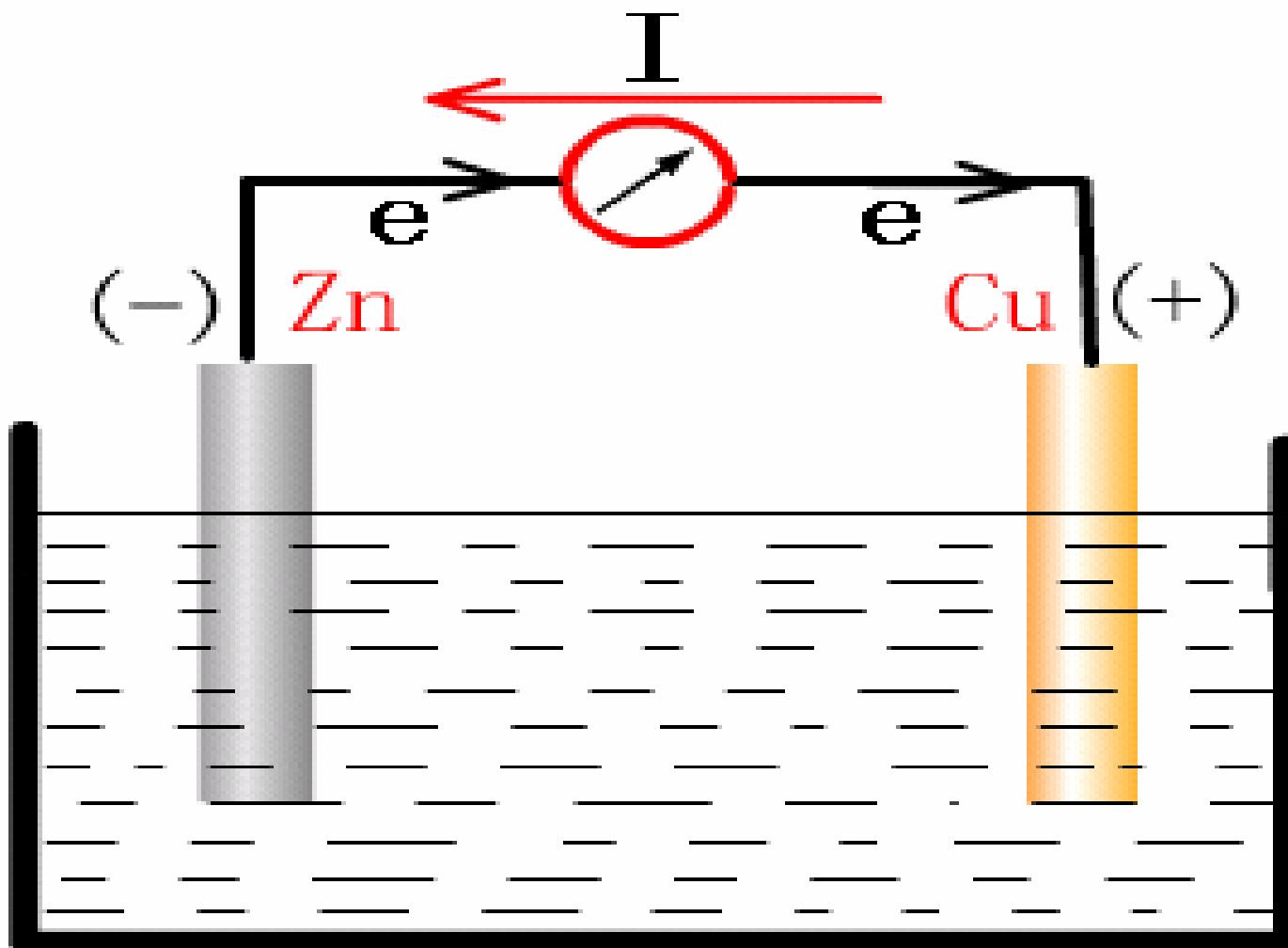
2. 电化学溶解

- ◆ 具有不同导电性的和不同电极电位的矿物相互接触，就构成一对天然“原电池”。低电极电位的矿物相当于阴极，高电极电位的矿物相当于阳极。在两极上的化学作用表现为：



- ◆ 如果水溶液偏酸性（ $\text{pH} < 5$ ），溶液中有较多 H^+ ，则出现：





稀硫酸溶液



- ◆ 如果溶液中pH偏高， H^+ 较少，则出现：
- ◆ $S^{2-} + 2H^+ \rightarrow HS^-$
- ◆ 当pH在5—10之间时，则既可能出现 H_2S ，也可能出现 HS^- ，其数量随pH而变化。
- ◆ 当水体中有较多游离氧时，可能产出 H_2SO_4 ：
- ◆ $2H_2O + 2S^{2-} + 3O_2 = 2H_2SO_4$
- ◆ 或 $H_2S + 2O_2 = H_2SO_4$
- ◆ 上述化学过程表明，处于阴极的低电极电位矿物溶解了。



- ◆ 电极电位增加的序列是**闪锌矿**—辉钼矿—方铅矿—镍黄铁矿—黄铜矿—黄铁矿—白铁矿等。
- ◆ 由于黄铁矿是硫化物矿床中普遍出现的矿物，其它元素的硫化物与它相接触，都会被“溶解”掉形成金属元素的水化学异常。
- ◆ 自然金常被认为是化学性质稳定的矿物，但是自然金与黄铁矿的电极电位相比，几乎任何情况下，都比黄铁矿低，可以推知自然金是极易产生化学溶解的矿物。



- ◆ 电化学溶解实验证明，黄铁矿与铅矿粉末的组合，铅在水溶液中含有量高达50mg/L；闪锌矿与黄铁矿组合，溶液中Zn含量达7—12 mg/L；
- ◆ 当方铅矿、闪锌矿、黄铜矿与黄铁矿混合时，溶液中含铜、铅、锌而不含铁，铜含量也不高，仅0.2 mg/L、Pb1.4 mg/L，而锌高达10 mg/L。
- ◆ 单一方铅矿粉末，水中Pb仅4 mg/L，单一闪锌矿粉末，水中Zn含量为3—6 mg/L。这些实验结果还表明，实验前后溶液pH值和 SO_4^{2-} 无多大变化，表明电化学溶解起主要作用。



3. 微生物的作用

- ◆ 微生物活动通过分泌有机酸和生物触媒，加速矿物分解。并且在长期的地质历史发展过程中，微生物具有在不同环境下生存的能力。
- ◆ 目前，对硫化物矿床中微生物的作用研究较多，已发现多种嗜硫杆菌和嗜铁杆菌，前者能将硫化物中的硫氧化成硫酸根形式的正六价硫，使硫溶解，故又称脱硫杆菌。后者能将二价铁氧化成三价铁，高价铁的硫酸盐又能进一步促进硫化物的氧化溶解：
$$2\text{MeS} + 2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{MeSO}_4 + 4\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$$



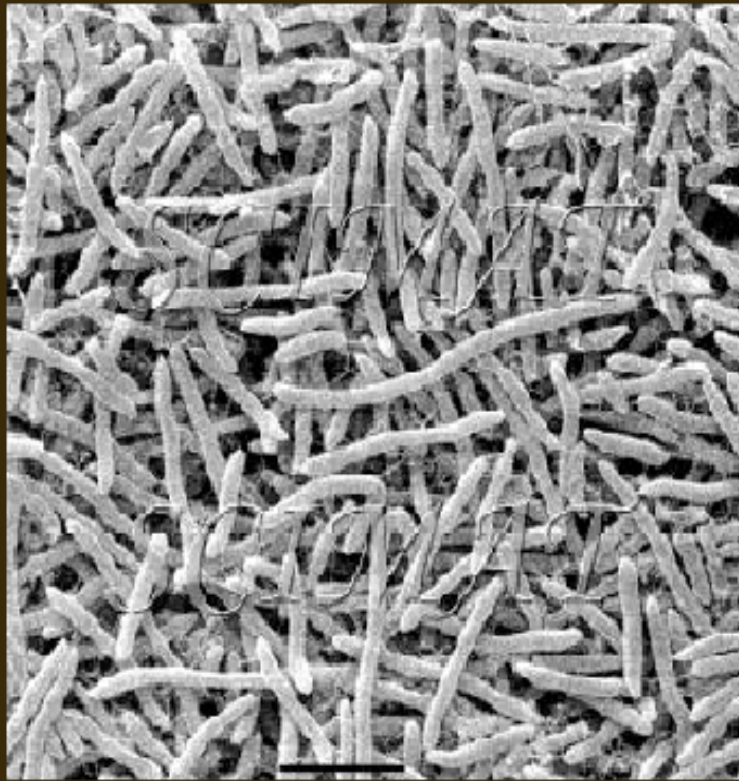
嗜硫杆菌



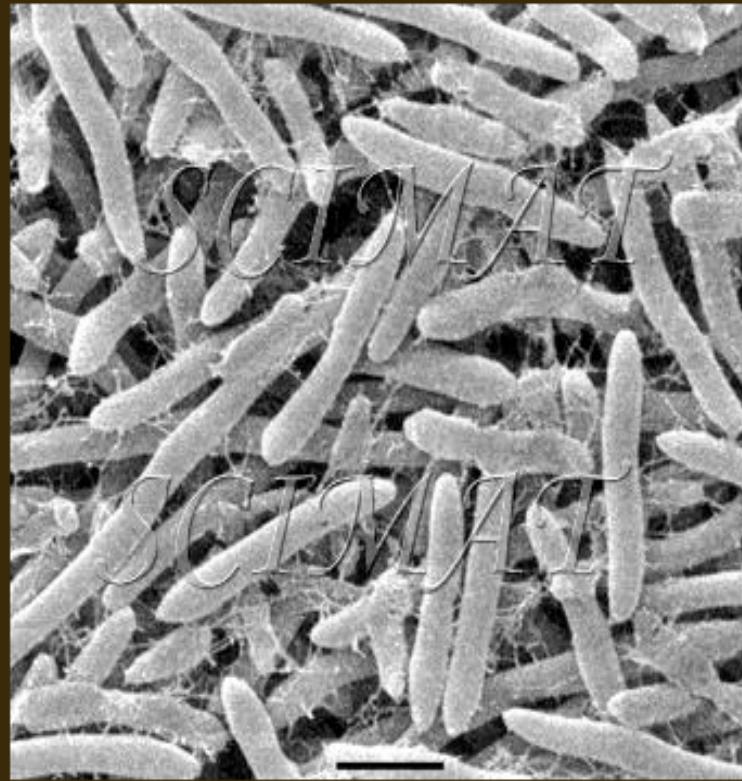
- ◆ 根据某些实验，将硫化物矿石粉末放入消毒过的器皿中进行细菌培养，经过一段时间后，溶液中即可检出金属。如用闪锌矿进行细菌培养，24小时后，析出 $\text{Fe}^{2+}8.2\text{g/L}$ 、 $\text{Fe}^{3+}9.4\text{g/L}$ 、 $\text{Zn}^{2+}0.01\text{g/L}$ ，pH值也从开始的2.5增至3.5。
- ◆ 在各种条件下，金的稳定性是众所周知的，甚至浓酸溶液也不溶解金，然而在某些植物中富集有金，在金矿床的矿化水中总含有一定量的金。H.H.莱利可夫从佐得斯克金矿床中分离的培养物，21昼夜时间，可溶解金0.5—0.6mg/L。其它研究者实验发现 *Bacillus Megatherium* 在110—140昼夜时间里可溶解金1.54—2.15 mg/L。



Bacillus megaterium



Bar: 5 μm



Bar: 1 μm

For comments and information on the use of the micrographs, please contact [the author](#).

Bacterial culture purchased from WARD'S



三、几种主要类型矿床的水化学异常特点

◆ 1. 金属硫化物矿床的水化学异常

◆ 黄铁矿其氧化反应如下：



◆ 反应产生的 H_2SO_4 可加速硫化物的溶解：



◆ 常见的黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等硫化物氧化，一般情况下形成硫酸盐而不形成硫酸，其反应过程如下：

◆ （见下一页）



- ◆ CuFeS_2 (黄铜矿) + $4\text{O}_2 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{CuSO}_4$
- ◆ ZnS (闪锌矿) + $2\text{O}_2 \rightarrow \text{ZnSO}_4$
- ◆ PbS (方铅矿) + $2\text{O}_2 \rightarrow \text{PbSO}_4$
- ◆ 但是, 当金属矿区的地下水中同时存在 H_2SO_4 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 和 CuSO_4 时, 可使上述硫化物反应产生游离的硫酸和硫化氢:
- ◆ $\text{MeS} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{H}_2\text{S} + \text{MeSO}_4$
- ◆ $2\text{MeS} + 2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 = 2\text{MeSO}_4 + 4\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$
- ◆ 这使得很多金属硫化物矿区的地表及地下水的pH值降低, SO_4^{2-} 含量增高, 并富集金属离子。



- ◆ 地表及地下水中金属元素的含量，不仅取决于元素化合物的溶解度，还决定于化合物的水解条件。某些盐类的水解产物是难溶的氢氧化物，因而也就影响该元素在水中的含量。
- ◆ 金属硫化物矿床水文地球化学异常具有如下基本特征：
 - ◆ ①水的pH值较低。
 - ◆ ②水中 SO_4^{2-} 的浓度相对较高。
 - ◆ ③水中成矿金属元素及其伴生元素的含量增高。



2. 盐类矿床的水文地球化学异常

- ◆ 盐类矿床的组成矿物，石盐、钾石盐、光卤石、杂卤石、钾盐镁矾等在水中具有很大的溶解度，不需经过氧化即可转入溶液，因此，盐类矿床附近很容易形成水化学异常。
- ◆ 盐类矿床水文地球化学异常的共同特征如下：
 - ◆ ①矿区地下水或泉水的水化学类型，主要是高矿化度 ($>5\text{g/L}$) 碳酸盐、硫酸盐、氯化物型水。
 - ◆ ②出现以碱金属和卤素元素为主的水化学异常。



- ◆ 盐类矿物总是根据其溶解度的大小从原始卤水中按一定的次序沉淀。而溶解度较大的钾盐矿物则总是在较晚时期才从浓卤水中沉淀。根据已知钾盐矿床的研究和室内试验，得知固体石盐中的含溴量能够精确地反映它沉淀时卤水的浓度。
- ◆ 在实际工作中用溴氯系数 $\left(\frac{\text{Br} \cdot 10^3}{\text{Cl}} \right)$ 来表示。即石盐带的石盐中溴氯系数为0.1~0.3；钾石盐结晶区的石盐中，溴氯系数为0.3~0.6；光卤石结晶区的石盐中，溴氯系数为0.6~0.9。



四、水化学异常特点及其评价问题

- ◆ 1. 水化学异常组分的迁移形式
- ◆ 元素在水中的迁移可能有多种形式，地下水中主要呈离子的真溶液迁移，其次是胶体迁移，地表水中则有相当部分呈悬浮物迁移。
- ◆ T.W.Hamilton（1983）等人在澳大利亚的研究表明，悬浮物金在金矿田地表水中可达50%左右，但与溶解部分相比，尽管悬浮物部分含量高，但变化不定、无规律，对水化学找金矿无实际意义。而溶解部分的含量随远离矿体而规律下降，对金矿床有较好的指示意义。



- ◆ 水介质中元素存在的形态，价态反映了不同的来源和环境。
- ◆ 水介质的环境条件（pH、Eh还原剂，有机质等），严重影响元素的迁移沉淀。
- ◆ 美国威斯康辛区的西南部“锌区”——富含Zn的泉水四周，在不到100米的距离内，水中锌含量降低了20倍。可见，水化学异常含量的衰减较分散流强烈得多。

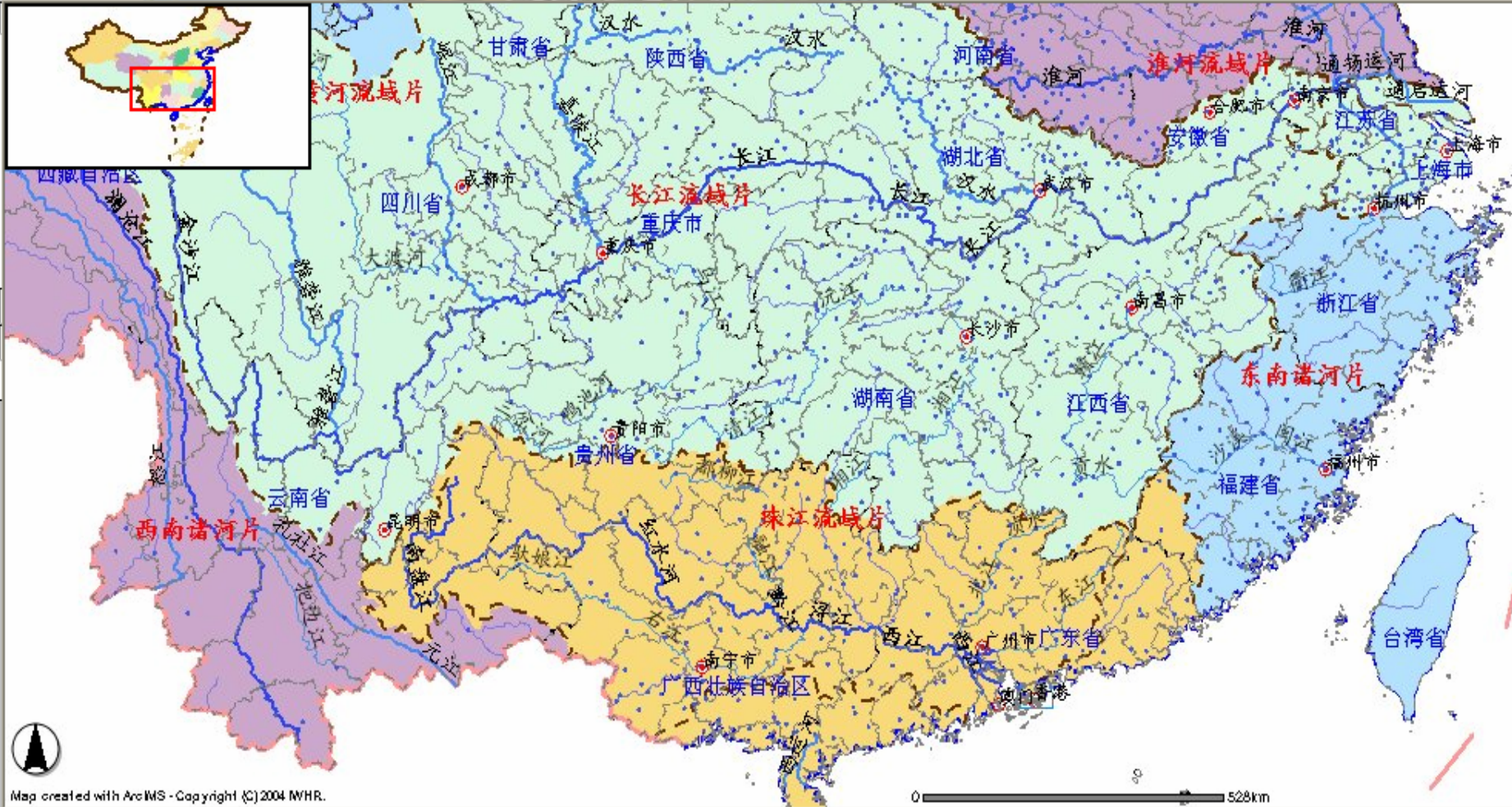


- ◆ 2. 水化学异常的另一特点是水中异常浓度低，但异常衬度高。
- ◆ 一般衬度高，异常清晰，这是因为背景区中缺乏硫化物，硅酸盐一般化学风化弱。
- ◆ 3. 水化学异常的动态特征
- ◆ (1) 矿体产于潜水面之上的包气带内。
- ◆ (2) 矿体跨越潜水面。这是一种常年均可检出的水异常。
- ◆ (3) 矿体产于潜水面之下的饱水带中..成为波动型水化学异常。
- ◆ 4. 水化学异常与矿体空间关系
- ◆ 水化学异常一般都不与矿体直接关联，迁移距离较远，必须与异常的地形地貌和水文地质特征相结合进行分析解释推断。



中国水系

中国可持续发展信息网
水资源与水环境共享网站



Map created with ArcIMS - Copyright (C) 2004 WHR.

平移



勘查地球化学

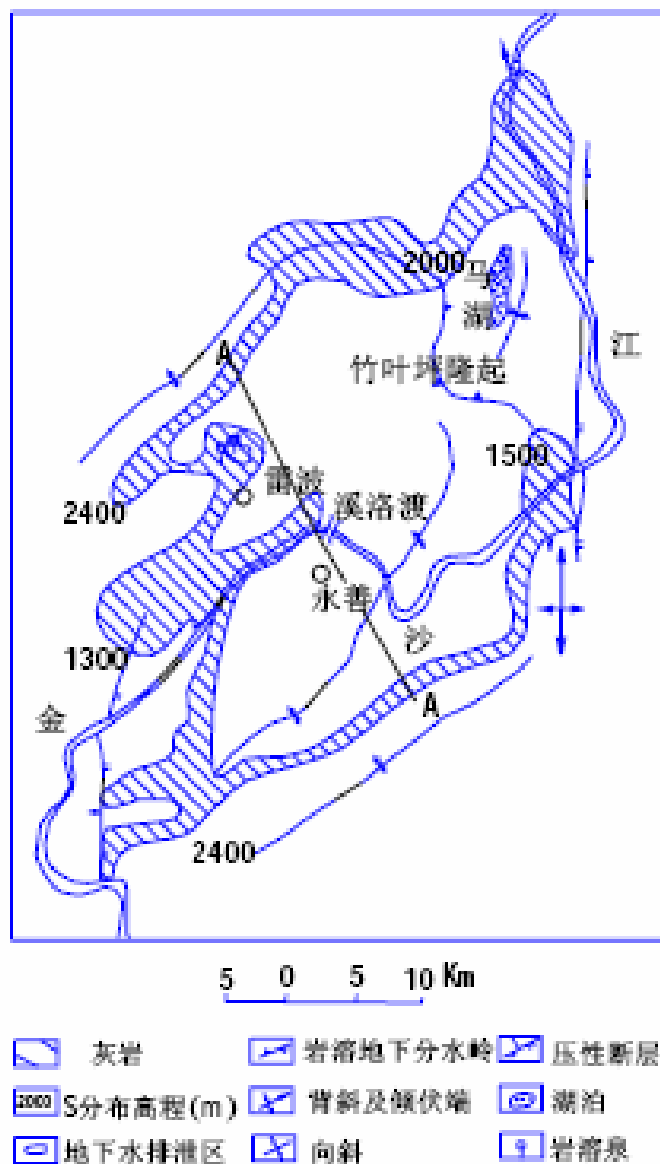


图 1 雷波-永善水文地质略图



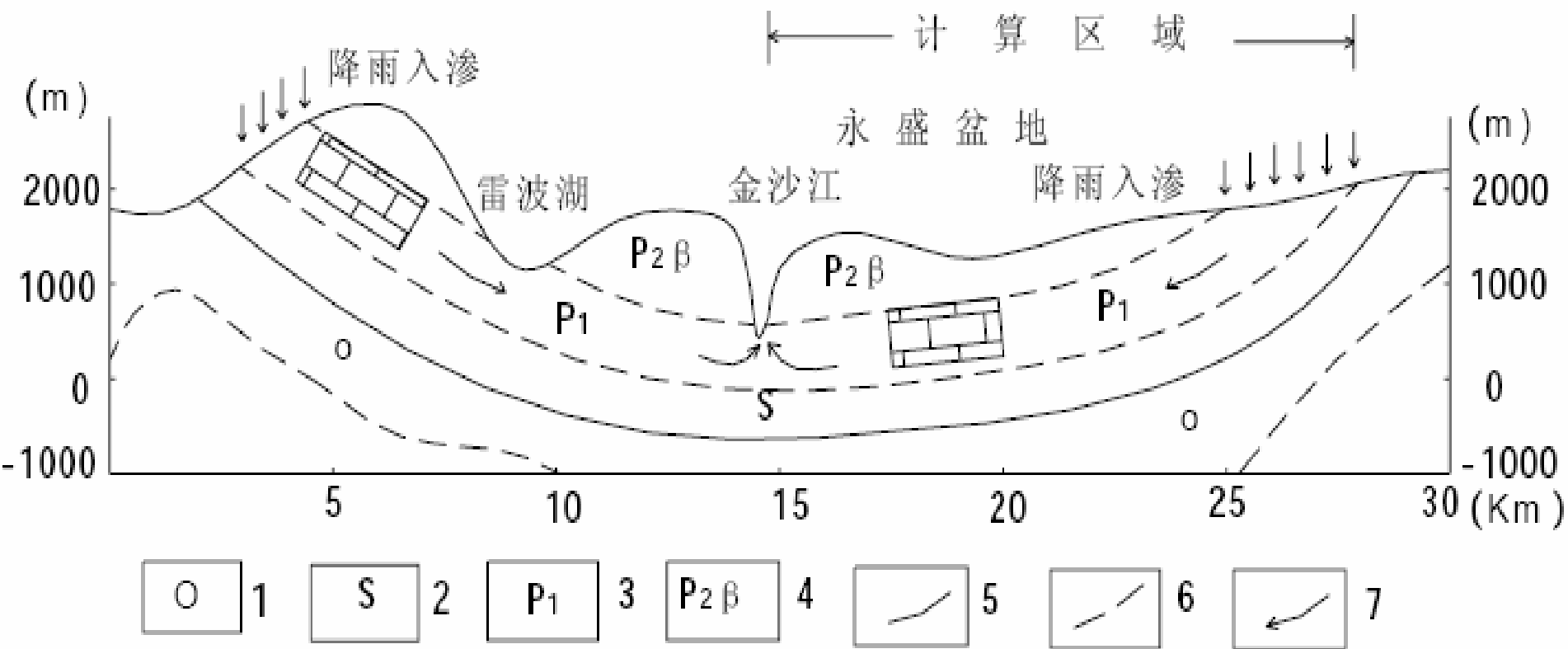


图2 区域地下水流运动模型示意图 (A-A 剖面)



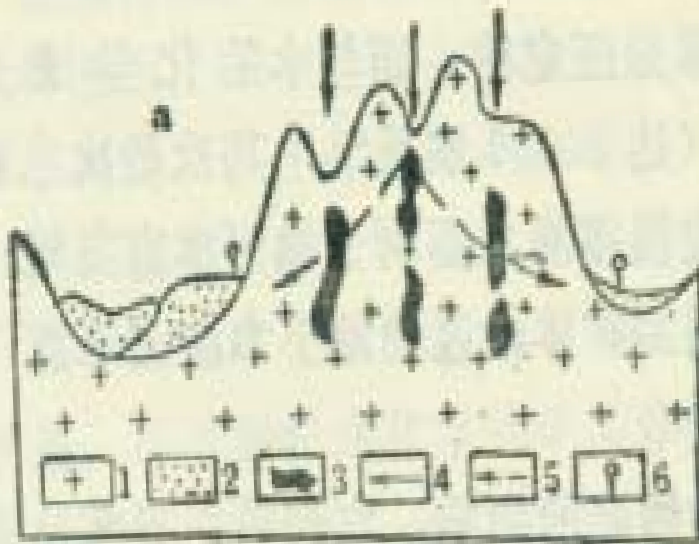


图 7—5, a

1—基岩；2—冲积物；3—盲矿体；
4—大气降水；5—异常水流向；6—泉

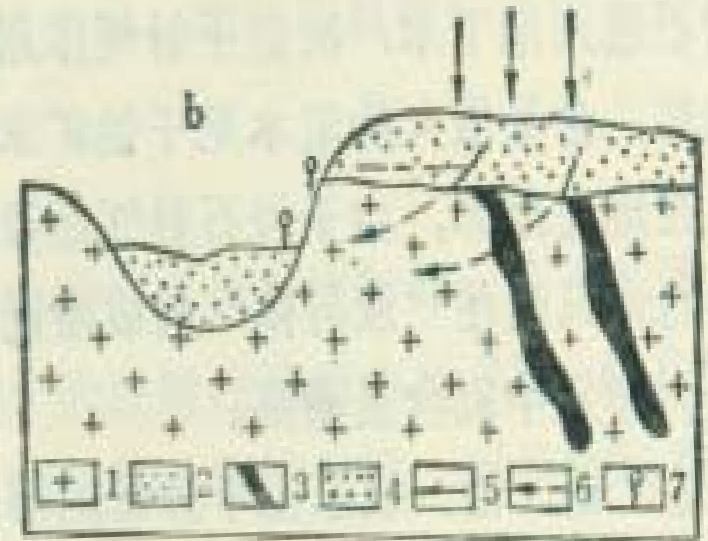


图 7—5, b

1—基岩；2—松散堆积；3—矿体；4—埋藏矿，5—大气降水；6—异常水；7—异常的承压水



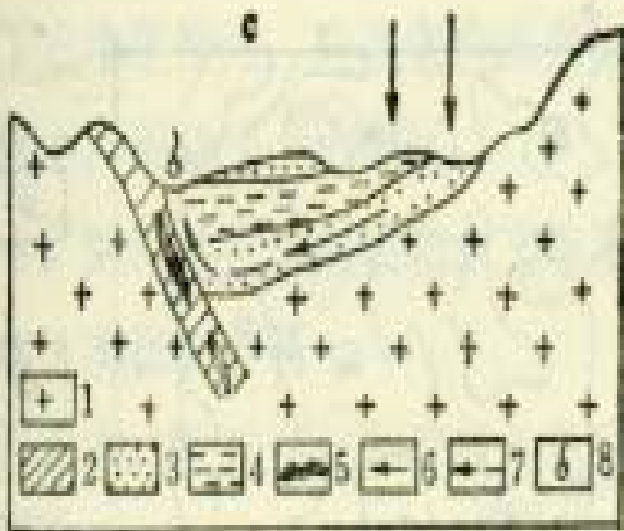


图 7—5, c

1—结晶岩石；2—破碎带；3—透水岩石；
4—不透水岩石；5—矿体；6—大气降水
和层间水；7—异常的承压水；8—泉

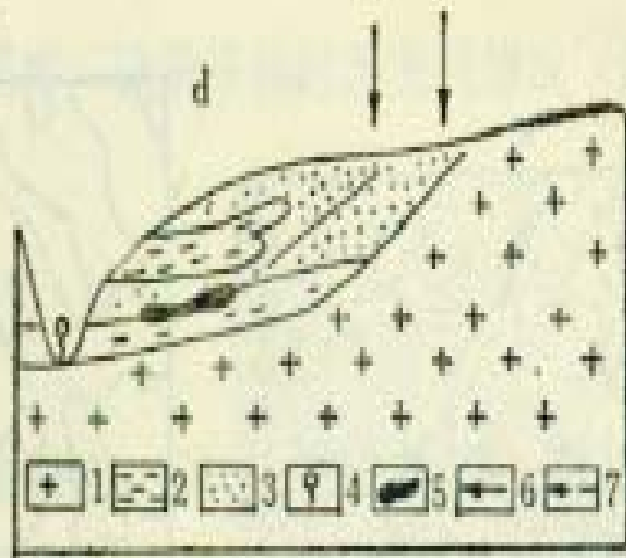


图 7—5, d

1—结晶基底；2—不透水的沉积层；3—透水的岩石；
4—泉；5—矿体；6—大气降水和层间水；7—异常的
承压水



勘查地球化学

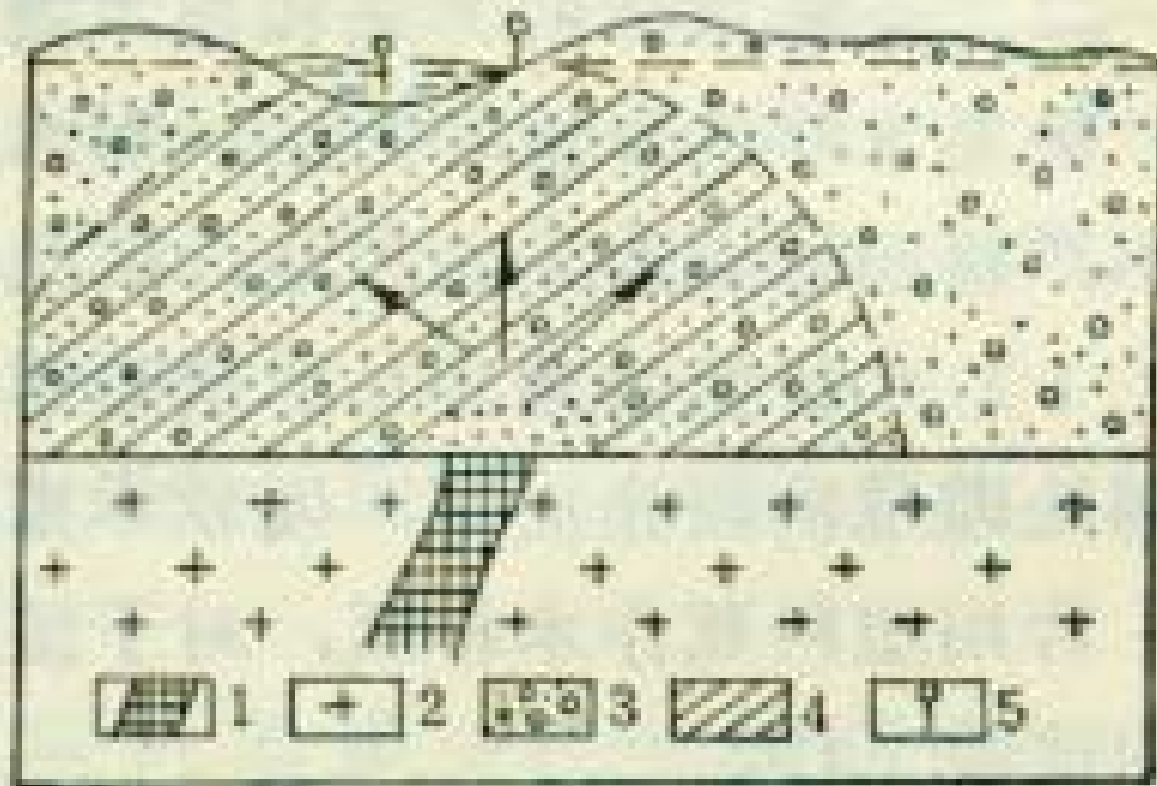


图 7—5, e

1—矿体；2—基岩；3—松散堆积；4—
扩散的水文地球化学异常；5—泉



- ◆ 五、水文化学找矿的工作方法
- ◆ 六、水化学测量在找矿中的应用
- ◆ 中等切割的地区，水系发育，特别是水系受地下水补给。
- ◆ 一般来说，井水、泉水多由地下水补给，一级水系在旱季也主要由地下水补给，旱季采样主要反映了深部矿化信息。



找矿实例

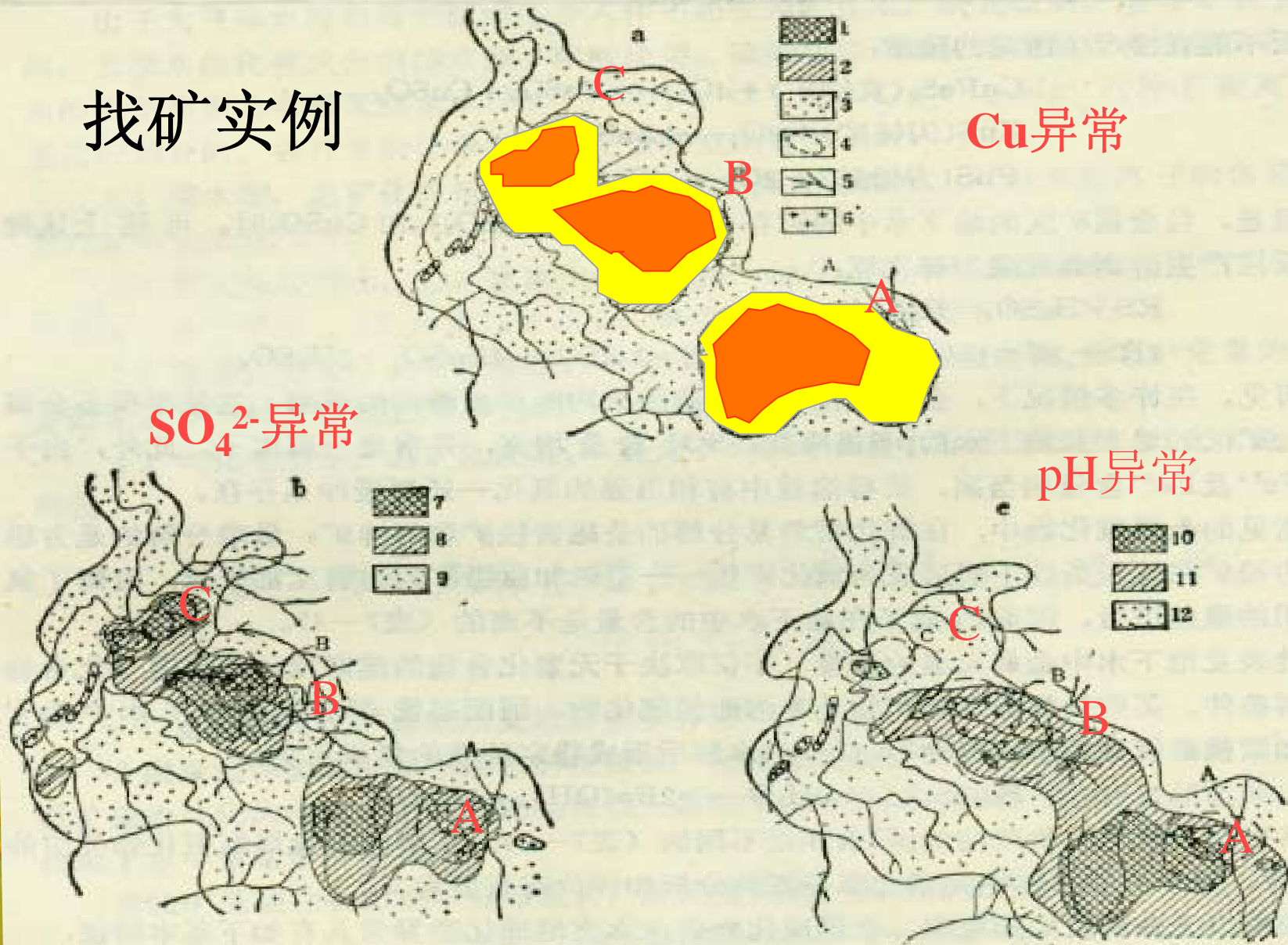


图 7-4 江西某斑岩型铜矿区水文地球化学异常

- a 铜异常: 1— $Cu > 1mg/L$, 2— $0.5 \sim 1mg/L$, 3— $0.02 \sim 0.5mg/L$, 4—矿体界线, 5—水系, 6—花岗闪长岩; b SO_4^{2-} 异常: 7— $SO_4^{2-} > 100mg/L$, 8— $50 \sim 100mg/L$, 9— $1 \sim 49mg/L$; c pH 异常: 10— $pH < 3$, 11— $pH = 3 \sim 6$, 12— $pH = 7 \sim 8$

第二节 气体地球化学找矿

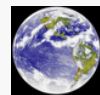
勘查地球化学

- ◆ 一、概述
- ◆ 二、气体异常的形成
- ◆ 三、汞气异常
- ◆ 四、氦气异常
- ◆ 五、其他气体异常
- ◆ 六、地气或纳米金属异常



一、概述

- ◆ 气体地球化学找矿是通过系统测量大气或壤中气的气体成分特征，发现异常进行找矿。
- ◆ 由于气体穿透力强、扩散迅速，反映深度大，人们一直寄希望于用它来找深部盲矿和隐伏矿。特别是在厚层覆盖区，其它方法受到限制时，气体地球化学方法就更被重视。



- ◆ 气体地球化学找矿中研究应用较多的是烃类气体找石油天然气，He、Rn用于找铀矿，汞气、 SO_2 、 H_2S 、 COS (羰基硫,别名硫化碳酰)和其它含硫气体，以及 CO_2 、 O_2 气异常用于找金属硫化物矿床、金银贵金属矿床。
- ◆ 其中，应用较成功的是烃类气体直接找油气田，汞气异常找硫化物矿床以及He、Rn找铀矿。
- ◆ 含硫气体、 CO_2 等气体作为辅助性指标，在气体地球化学找矿中也有较广泛的应用。



- ◆ 根据测量对象和采样方法的不同，气体地球化学找矿通常有三种方法：
 - ◆ 1. 土壤气体测量，亦称壤中气测量。
 - ◆ 2. 近地面气体测量，在地面行进中，抽吸气体测量。
 - ◆ 3. 航空气体测量：用装有高灵敏度仪器的飞机低空飞行，进行气体采样分析。



二、气体异常的形成

- ◆ 深成气是深部地质作用，主要是由岩浆脱气作用和放射性衰变作用产生的气体。前者主要以 CO_2 、 CO 、 CH_4 、 H_2S 、 CS_2 、 H_2 等还原气体为主，后者主要是惰性气体。
- ◆ 表成气体则是在水、阳光、游离氧、生物作用下形成的，当然也包括有放射性衰变形成气体。由于地质条件不同，表成气体种类差异很大，碳酸盐岩地区，重碳酸盐分解形成以 CO_2 为主的气体；有机质丰富的地层及疏松沉积物，细菌活动强烈，产生大量有机气体，缺氧条件形成 CH_4 及其它碳氧化合物，富氧条件则形成 CO_2 为主的气体。金属硫化物氧化，则形成各种含硫气体。



- ◆ 气体异常的来源，主要有以下三种：
- ◆ 1. 原生成矿作用的内生气体
- ◆ 这类气体异常由于气体成分与背景大气无明显组分差别，加之原生气体有限、长期散失后，异常衬度变低。并无实际价值。
- ◆ 2. 矿石氧化的表生气体
- ◆ 金属硫化物在表生带氧化时，能形成 H_2S 、 SO_2 、 CO_2 、 COS 、 $(CH_3)_2S$ （二甲硫）、 CS_2 以及 $(CH_3)_2Se$ 、 $(CH_3)_3As$ 等。
- ◆ $2FeS_2 + 7O_2 + 2H_2O \rightarrow 2FeSO_4 + H_2SO_4$
- ◆ $4FeS_2 + 2H_2SO_4 + O_2 \rightarrow 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$
- ◆ $ZnS + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2S \uparrow$
- ◆ $FeS_2 + Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow 3Fe(SO_4) + 2S$
- ◆ $2S + 2O_2 \rightarrow SO_2 \uparrow$



- ◆ 氧化产生的硫酸和硫酸盐如遇围岩中的碳酸盐反应生成CO₂:
- ◆
$$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$$
- ◆
$$2\text{CaCO}_3 + 2\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$$
- ◆
$$\text{Cu}(\text{CO}_3)(\text{OH})_2 + 2\text{CaSO}_4 + \text{CO}_2 \uparrow$$
- ◆ 气体形成后，并不能永久存在下去，它们可能因溶于水，或相互反应、分解而消失。
- ◆ 据兰德爾（1977）的研究，COS最为稳定，寿命达600天，而H₂S仅存留一天，(CH₃)₂S是三天，SO₂只有九天，CS₂是40天。



- ◆ 汞是硫化物矿床中普遍伴生的元素，表生氧化作用中，普遍有汞气异常形成。
- ◆ 卤族元素是成矿热液中重要的络合剂，它们往往以成矿的残余溶液中的离子运移到矿上围岩中，形成外带异常。
- ◆ 在富含卤族元素的金属矿床上方壤中气或大气中，能形成卤族气体异常。



3. 放射性衰变形成的射气异常

- ◆ 由铀、钍矿物衰变形成He和Rn是铀、钍矿床上的典型射气异常成分，利用氦气和径迹探测技术能成功地探测200米以下的含铀矿床。
- ◆ α 粒子是放射性衰变过程中从原子核内放射出的一个粒子，它是氦的原子核，由两个质子和两个中子组成。
- ◆ 粒子穿过物质时可留下痕迹，痕迹数量与放射性矿物含量有关。利用硝酸纤维薄膜或醋酸纤维薄膜来记录粒子的行踪，称为径迹测量。此法称 α 杯法测量。



三、汞气异常

- ◆ 汞是典型的亲硫元素，在内生热液作用中与Cu、Pb、Zn、Ag、Au、Cd、In、Tl以及As、Sb、Bi、Se、Te等密切伴生，主要以类质同象赋存于许多金属硫化物中，低温阶段还能形成自己的独立矿物。
- ◆ 地表大气中，汞的背景含量为 $0.2-10\text{ng}/\text{m}^3$ ，火山气中常高达几百—几千 ng/m^3 ，金属硫化物矿区大气则常为 $30-1000\text{ng}/\text{m}^3$ 。
- ◆ 1. 汞气异常的形成
- ◆ 在内生过程中汞及其化合物呈气态迁移，这是可以相信的，但那时形成的气体异常，早已消失殆尽，现在实际观察到的气体异常都是新生的。



- ◆ 一切含汞量高的地质体，都可能成为汞气异常的来源。
- ◆ (1) 硫化物矿床，(2) 氧化物矿床，(3) 富汞岩石，(4) 地热田，(5) 油气田，(6) 人工污染源。
- ◆ (1) 硫化物矿床
- ◆ 只能在 150°C 以下的低温中晶出，据此，可以把硫化物矿床分为高温和低温两类。在高温矿床内，汞主要在矿床外围，矿体本身含汞较低。低温硫化物矿床则相反，矿石中含有很高的汞，除了独立矿物辰砂外，浅色闪锌矿是汞的主要赋存矿物，此时汞气异常的形成主要来自矿床本身的氧化。
- ◆ (2) 氧化物矿床
- ◆ 汞异常并不来自含氧矿物本身，而仍旧是来自伴生的硫化物。因为混入氧化物的汞很难在地表条件下转换成气体。



- ◆ (3) 富汞岩石
- ◆ 碳质岩石、磷块盐岩石、富碱岩浆岩、富铁锰质岩石等有时可含较高的汞，它们的平均含量低于矿石，但由于总量大，可形成汞气的高背景带。在构造有利地段，也能富集成局部高异常点，形成非矿异常。
- ◆ (4) 地热田
- ◆ (5) 在油气田上的汞气异常也引起有关单位的重视，可成为寻找油气田的辅助方法。
- ◆ (6) 人工污染的汞气，则来自燃烧矿化燃料及某些消耗汞的化工工业。
- ◆ 在北京一个氯碱工厂的周围大气中，曾检测到 $300\text{ng}/\text{m}^3$ 以上的汞浓度，沿着风向伸展达一公里以上。石灰窑的上空也曾观察到汞的异常。有些金矿的提炼采用汞齐法，此时在现场可以造成很高的汞气浓度。



- ◆ 汞蒸气形成的机制，归纳起来有下列几种：
- ◆ (1) 自然汞及辰砂的蒸发与升华。
- ◆ (2) 汞的不均衡反应：
- ◆
$$[\text{Hg}_2]^{2+} \rightarrow \text{Hg}^0 + \text{Hg}^{2+}$$
- ◆ 不能自发进行，需要消耗能量，可能来自阳光和微生物活动，因此，这一反应主要在地表进行。
- ◆ (3) 无游离氧时的硫化物氧化
- ◆ 亚铁或原生硫化物中“欠价”化合物的还原作用：
- ◆
$$2\text{Fe}^{2+} + \text{Hg}^{2+} \rightarrow 2\text{Fe}^{3+} + \text{Hg}^0$$
- ◆
$$\text{Pb}_{(1+\delta)}\text{S} + \delta \text{HgS} \rightarrow (1+\delta)\text{PbS} + \delta \text{Hg}^0$$
- ◆ (4) 游离氧的氧化作用
- ◆ S^{2-} 氧化成 S^{6+} ，共放出8个电子，可还原4个 Hg^{2+} 很可能这种还原过程是分阶段进行的。第一步把 Hg^{2+} 还原成 Hg^+ ，然后通过不均衡反应生成 Hg^0 。





2. 汞气异常的观察及影响异常形成的因素

- ◆ 由于汞蒸气浓度极低，干扰测定的因素又多，所以通常要将被测气体通过一种选择性捕汞装置，使汞浓集并与干扰分离。我国最常见的是金丝捕汞管。
- ◆ 对捕汞管的要求是吸收与释放效率高，各管间的一致性好，寿命长。
- ◆ 影响汞气异常发育的下列因素：
 - ◆ (1) 地质条件
 - ◆ (2) 土壤厚度与性质
 - ◆ (3) 气候条件
 - ◆ (4) 工作条件的一致性
- ◆ 实际工作中，只要二次异常存在，范围相似即可，而含量高低影响因素较多，不可过于苛求。



勘查地球化学

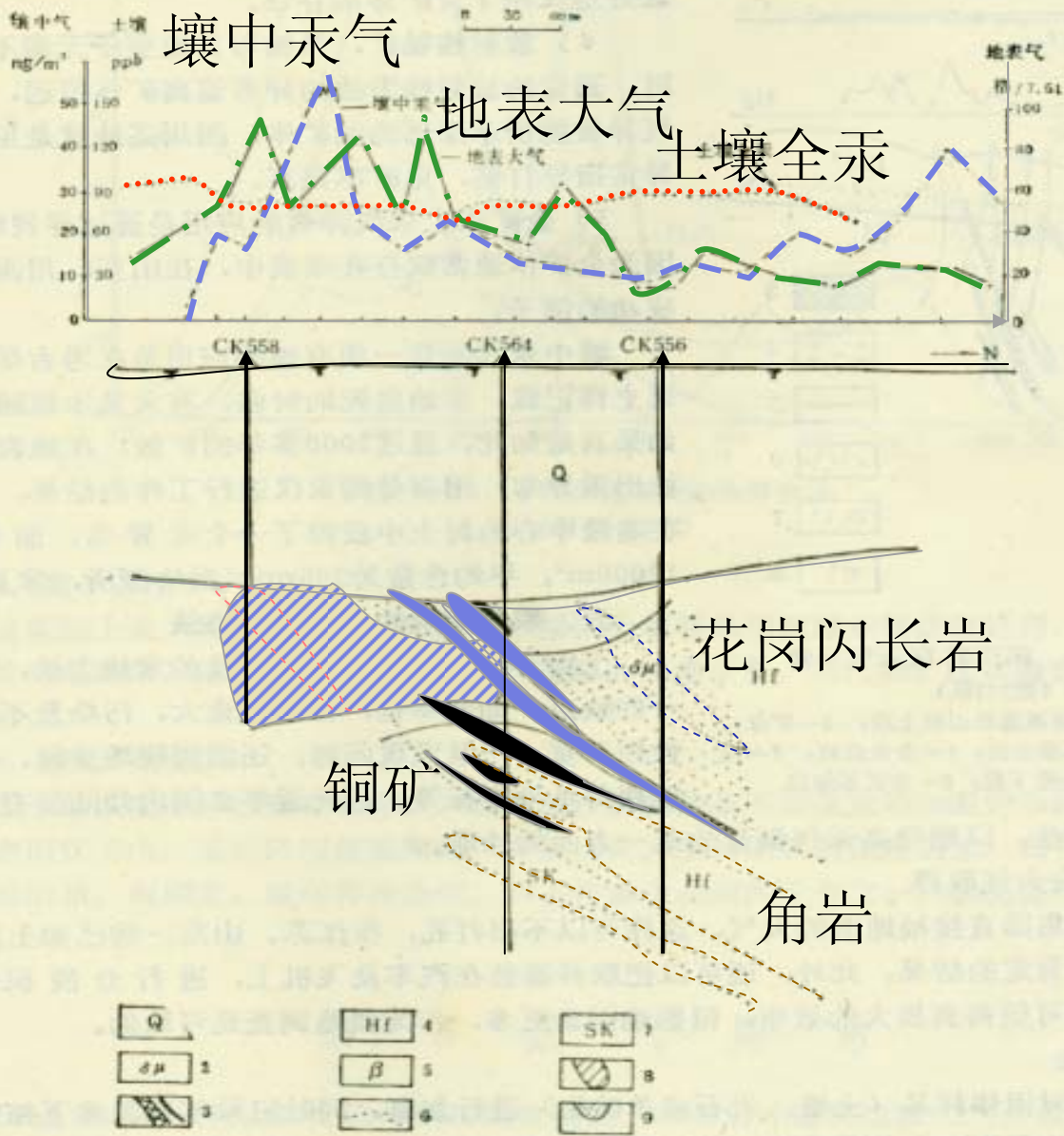


图 9—10 厚层冲积物上的汞气异常

(据伍宗华, 1978)

- 1—冲积物； 2—花岗闪长岩； 3—铜矿体； 4—角岩； 5—脉岩； 6—地质界线； 7—砂卡岩；
- 8—汞原生异常； 9—蚀变带



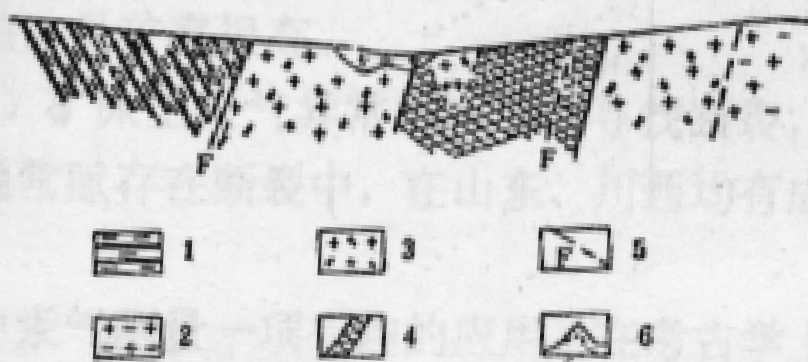
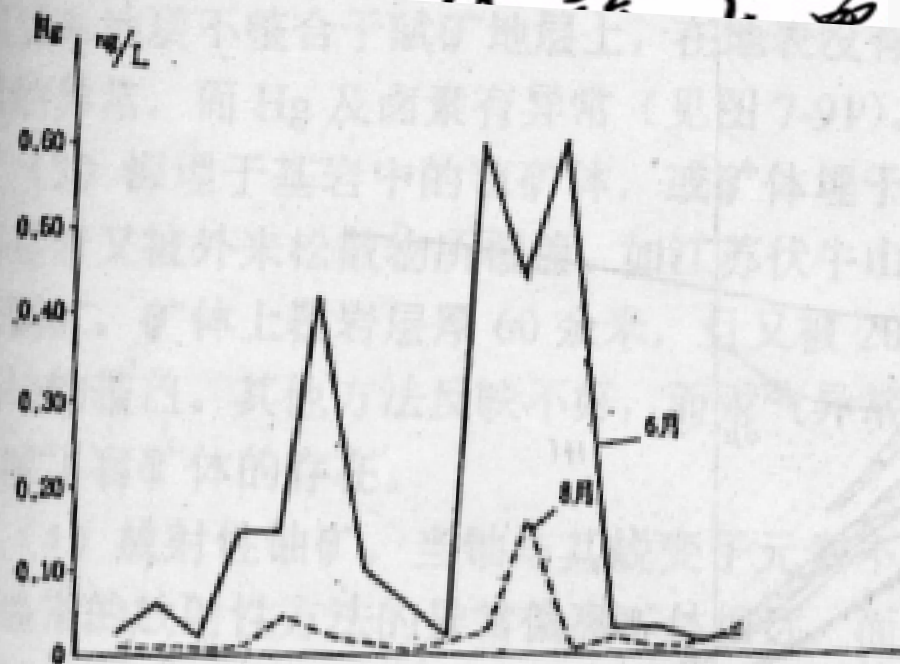


图 7-88 某铜（钼）矿壤中气汞量浓度曲线
 （据黑龙江冶金地质勘探公司 706 队，1977 年）
 1—流纹质凝灰岩；2—黑云母花岗岩；3—花岗闪长岩；

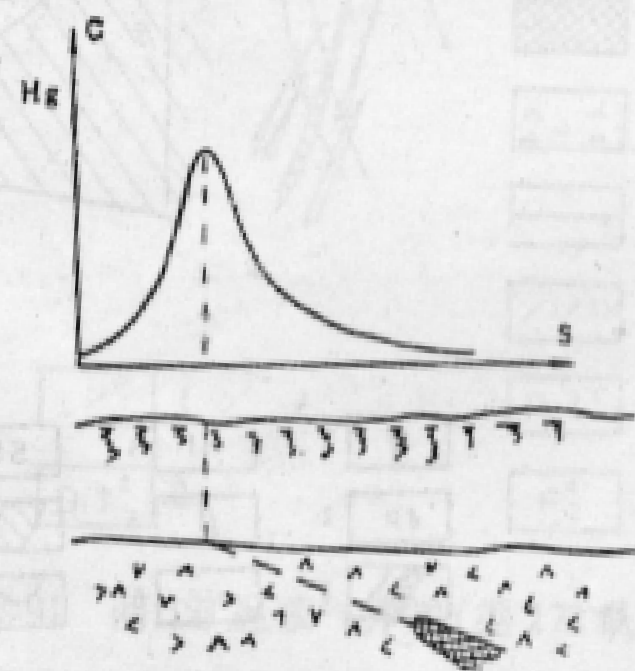


图 7-89 倾斜矿体的汞气异常

- ◆ 3. 壤中汞气异常的一般特点与应用
- ◆ 4. 汞气测量的一些其他方法
 - ◆ (1) 近地表大气取样
 - ◆ (2) 热释法
 - ◆ 热释法是对固体样品（土壤、岩石或单矿物）进行加温，同时记录不同温度下挥发出来的汞量。在热释曲线中特别有意义的是 150°C 左右的峰，这无疑是吸附的原子态的汞，这部分的汞可以用简单的装备，大量的测定，将能提出有价值的找矿信息。
 - ◆ (3) 离子汞法
 - ◆ 这实际上是一种冷提取法，即把一定量的土壤样品用硫酸亚锡溶液处理，测定在常温下释放出来的汞。



◆ (4) 减压释放法

- ◆ 将样品置于密闭管子内，通过降压使吸附的汞释放出来。不同吸附强度的汞，将在不同的负压下释放出来。据测定，减压释放的汞，只占样品中全汞的千分之一，但更能反映下伏矿化情况。

◆ 四、氦气异常

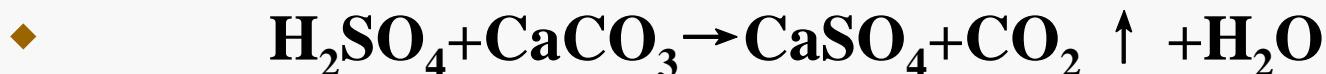
- ◆ He实际上就是获得电荷的质点，每一个 ^{238}U 、 ^{235}U 、 ^{232}Th 原子蜕变成最终Pb的稳定同位素后，分别放出8、7、6个He原子核（ α 质点）。He的测定需用质谱仪。
- ◆ He气的观察方法有：1) 壤中气测量；2) 水中气测量；3) 泥浆中气体。用一密闭的半透性容器，最方便的是用乒乓球，埋于泥浆中，若干时间后抽取球内气体注入质谱仪测定。
- ◆ He气测量在我国开展尚不普遍，主要是仪器还不普及。



五、其他气体异常

◆ 1. O₂/CO₂异常

- ◆ 早在1954-1956年间就在苏联提出来了，他们在硫化物矿床上的0.4-2.5m深处的壤中气内发现了O₂下降和CO₂升高的现象。硫化物氧化消耗氧，氧化产物中硫酸与围岩或脉石矿物中的碳酸盐作用生成CO₂。这两个反应可概括成：（以黄铁矿为代表）



- ◆ CO₂产生的原因很多，所以异常解释困难。作为扩大气体测量的种类，有利于综合解释，对这二种气体的测量工作是值得开展的。



2. 含硫气体

- ◆ 研究从天然吸附剂—土壤中解脱含硫气体的找矿方法。其方法是在野外用严密的塑料瓶取表层土壤样品，到实验室后，在80℃下加热，抽取样品容器顶部的气体注入气相色谱仪进行分析。他们的初步结论是各种含硫气体的分子形式的鉴别并没有对找矿有多少帮助，而含硫气体的总量则是很好的找矿指示。试制简易的只分析含硫气体总量的轻便色谱仪。
- ◆ 美国的泰勒等,根据计算，应释放的气体按多→少的次序为： H_2S 、 COS 、 CS_2 、 CH_3SH 、 $(CH_3)_2S_2$ 、 SO_2 及 S_2 。但实验结果，只有 CS_2 及 COS 二种气体。但实验结果证明硫化矿物特别是黄铁矿氧化时，能产生足以检测到 CS_2 及 COS ，而且水份饱和时，产生的速度更快。而 SO_2 只能在极其干燥的条件下生成，一旦遇到水份，就溶解了。因此 H_2S 及 SO_2 都不是很好的气体指标，相反 CS_2 及 COS 是最好的指示硫化矿床的含硫气体。



3. 氦气异常

- ◆ 氦气测量虽然应用历史较久，但只限于找铀矿。



六、地气或纳米金属异常

◆ 1. 研究简况

- ◆ 以上介绍的传统意义上的气体地球化学异常，是以气态分子状态存在于大气中的异常。上一世纪七十年代后期，国外一些勘查地球化学家和勘探公司在气体地球化学找矿方面另辟溪径，不局限于气体分子本身的研究，开始对气体携带的固体物质进行观测，这就是地气测量技术。



2. 地气异常的形成

- ◆ 现在多数人认为是由于地球深部的**脱气作用**，**放射性衰变作用**，以及热稳定性差的组分、含水矿物在热力作用下形成的水蒸气以及各种次生气体，在地球表层产生微气流，形成气体地球化学场。深部气流上升，携带上来微粒固态物质（主要是纳米级物质）。
- ◆ 处于纳米尺度的物质（ $0.1—100\ \mu\text{m}$ ）的物理化学性质与其固体结晶物质有很大的不同。由于其微粒极小，表积极大，表面原子越多，具有更大的无序度。因而，表面活性越强，更接近于气体性质，呈所谓“**类气体**”物质。这就是纳米物质的**界面效应**。
- ◆ 因此，纳米物质具有极高的化学活性和扩散速度，当地气流上升时，极易将其携带至地表。



◆ 3. 地气异常的观查

- ◆ 主动富集法：富集剂多用塑料泡沫，对Au、Ag、As、Sb、Ni、Co、Cu、Pb、Zn、Mn等金属均有较强吸附能力。使用前用3%王水或2%的高纯度硝酸浸泡24小时，洗去杂质。
- ◆ 被动富集法：土壤中立坑60-80cm，将塑料漏斗倒置，出口处放置泡塑吸附剂，留一小缝，外罩塑料杯防止污染。近地表20cm处覆盖塑料薄膜防雨。一般放置时间24-25天。

◆ 4. 实践与应用



第七节 生物地球化学找矿

勘查地球化学

- ◆ 一、生物地球化学异常概念
- ◆ 二、生物地球化学异常的基本特征
- ◆ 三、生物地球化学找矿工作方法
- ◆ 四、地植物学异常
- ◆ 五、遥感地植物学异常



一、生物地球化学异常概念

- ◆ 生物与其生存环境是一个统一体。当土壤、岩石、水体及大气中存在地球化学异常时，必然会对生长在其中的生物发生影响：这种影响可以从两方面表现出来，一是引起生物体内化学成分的变化，其中最敏锐的要算微量元素含量及其组分的改变；二是生物的个体或群体的生态特征发生变异，甚至出现特殊的种属以至植物区系。相应地在勘查地球化学中把前者叫做**生物地球化学异常**，后者叫做**地植物学异常**。
- ◆ 植物的生态特征具有相对的稳定性，因为它是特定种属经过长期适应而继承下来的，不到环境因素的改变超过一定限度是不会轻易改变的。所以地植物学异常代表了强烈的生物地球化学异常，它以生物生态变化表现出来，因此不必取样化验，凭肉眼观察就能识别。



- ◆ 当植物所在的环境只有微弱的异常时，不足以引起生态的变异，但其中所含的化学成分可能已经变化，此时要通过取样分析来发现，这就是生物地球化学找矿。
- ◆ 虽然生物地球化学找矿与植物学找矿都是很早就提出来的方法，但在勘查地球化学中的作用却是较低的，其中最主要的原因是这类异常总是在其他地球化学异常的基础上发育的，而地球化学异常的影响因素本来已很复杂，再加上一个生物的因素，所以使异常解释更加困难。
- ◆ 生物分布的不均匀性及加工分析植物样品的冗长手续，使化探人员不太愿意采用此法。另外，一般的工作人员缺乏植物学知识与训练，使这一方法始终处在少数人冷冷清清的工作状态。



二、生物地球化学异常的基本特征

- ◆ **1. 灰分在植物体内的含量**
- ◆ 新鲜的植物，一般含水75—90%，干燥物质占25—10%，干燥物质中，氧占42%，碳占45%，氢占6.5%，这三者通过灰化除去，留下约6.5%的灰份。实际含量随植物的品种、器官、年龄而变。
- ◆ 植物灰份的基本化学成分是磷酸盐及硝酸盐，再加上少量硅酸盐、碳酸盐、氧化物及氯化物。这些化合物形式可能并不是植物体内的原始存在形式，而只是在灰化时形成的。

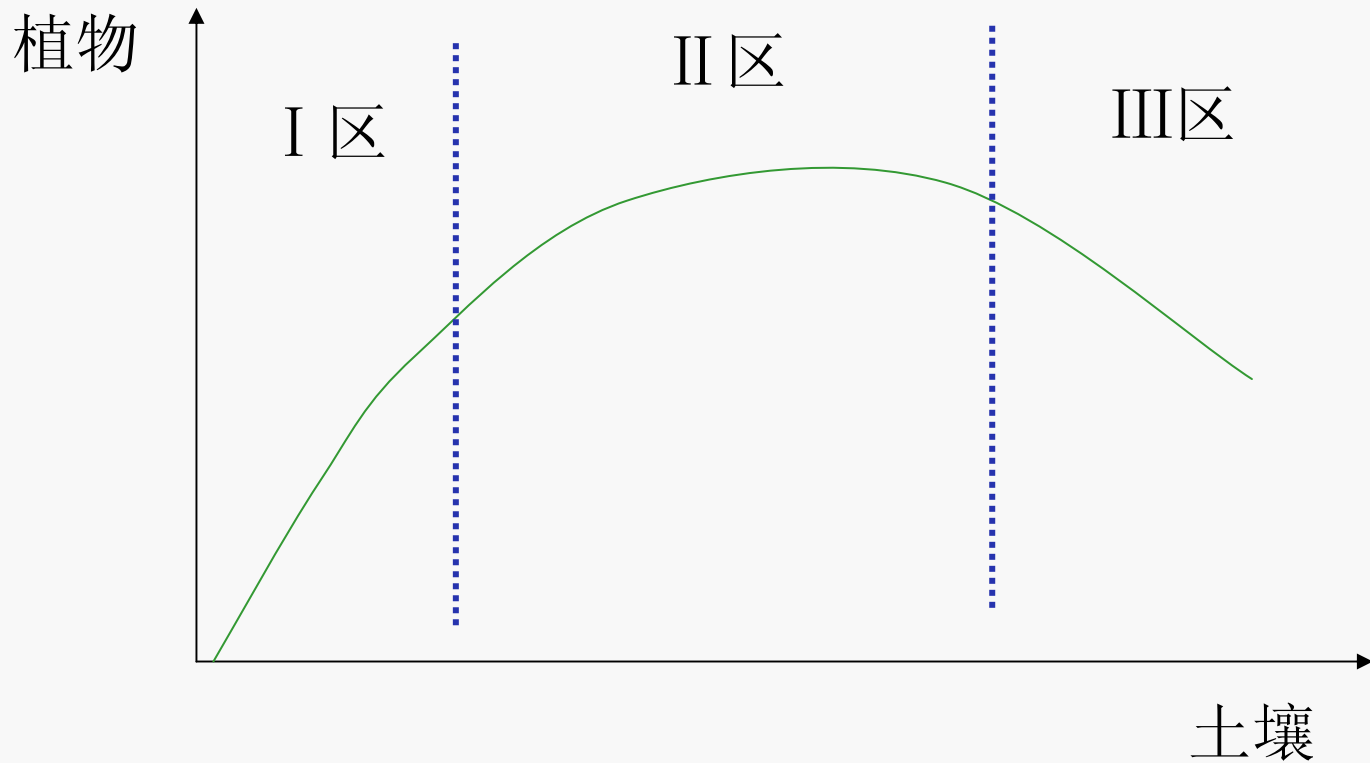


2. 植物灰分的化学成分

- ◆ 土壤中的含量与植物灰份中的含量之间的一般关系如下图所示。
- ◆ 在图上可分出三个区域，当土壤中的含量不高时，两者呈现某种正相关关系（I区）；当土壤中的含量达到一定浓度时，灰份中的含量呈现某种饱和趋势（II区），这说明植物对该元素的生理要求已经满足，从而抗拒过多地吸收；当土壤中的含量过高时（III区），灰份中的含量急剧上升或反而下降，此时植物发生中毒症状，甚至枯黄。然而有些植物，却能逐步适应这种条件而形成新的品种，成为**指示植物**。



勘查地球化学



- ◆ 苏联学者 А. л. К о в а л е в с к и й (1984) 的研究表明, 不同生物种属具有生理—生物化学屏障的自我保护功能, 并将生物体分为四类:
- ◆ **a.非屏障生物**, 其含量与土壤介质中元素含量(可溶解吸收部分)成线性比例, 是一种无障碍吸收的生物。对于矿产勘查来说是最优选择的种属。
- ◆ **b.半屏障生物**, 富集限度为30—300倍, 具有良好的矿产勘查意义。
- ◆ **c.屏障生物**, 富集限度为3—30倍, 矿是勘查能取得满意的效果。
- ◆ **d.背景障生物**, 与生物生长土壤背景接近的富集能力。



3. 植物对金属元素的吸收

- ◆ 据植物生理学研究，植物可以通过根系及叶子两条渠道获得养料，当然以前者为主。植物根系吸收土壤中的化学元素，主要是在根尖进行的，植物只能吸收溶解状态的成分，然而，像Si、Ti、Au这一类化学性质十分稳定的元素能在植物灰份中存在，使人们猜想，可能植物根尖能分泌某些有机或生物触媒使局部范围的离子交换与化学溶解大大地加速。
- ◆ 进入植物体内的元素有不同的情况。一类是所谓营养元素，早在上世纪末，就已知C、H、N、O、P、S、K、Ca、Mg、Fe、B、Cl、Cu、Mn、Zn及Mo对所有植物是必不可少的，各元素都有一定的植物生理功能，如Ca用于稳定细胞膜；Cu、Mn、Zn、Mo是活化植物酶所必需的；S组成蛋白质；Mg含在叶绿素中等等等。显然，这部分含量没有找矿意义。



- ◆ 通过木质部向上运移至叶子，但根中不是盲目的输送，而是有区别地把多余部份阻留在根部。当叶子快落时，一些元素倒流回木质部。这就造成灰份中元素含量的季节性变化。

◆ 4. 影响植物吸收的因素

- ◆ (1) 植物的种属
- ◆ (2) 植物的器官
- ◆ (3) 植物器官的年龄
- ◆ (4) 器官的健康状况
- ◆ (5) 土壤的pH值
- ◆ (6) 植物的根系
- ◆ (7) 样品的取向
- ◆ (8) 植物器官内元素的分布
- ◆ (9) 地下水状况
- ◆ (10) 互促互斥元素的存在



三、生物地球化学找矿工作方法

- ◆ 1. 矿种和工区的选择
- ◆ 根据现有的文献资料，能产生生物地球化学异常的元素有：Ni、Co、Zn、Cu、Sn、Ag、Hg、Cr、Mn、Fe、Au、W、Mo、V和U等，特别是多金属硫化物矿床，氧化形成易溶金属离子，有利于植物吸收产生生物地球化学异常，而分析过的元素还不止这些，如As、Se、Te、I等伴生元素也应列入。对于典型重砂矿物中的元素，虽然难溶于水，但仍能形成生物地球化学异常，很可能是某种未知的生物化学过程所致，如Au的生物地球化学异常，曾经引起相当多的研究。
- ◆ 2. 试验工作
- ◆ 通过试验工作，要确定工作地区主要植物种属的分布情况及它们的生物积聚系数，以便选定取样种属。



◆ 3. 取样方法

- ◆ 取样季节以春、秋为好，因为春季各种植物生长旺盛，微量元素的需要量或挟带量大，而秋季则种子趋于成熟，叶子行将凋落，植物灰份的含量较高。

◆ 4. 样品加工与分析

- ◆ 一般的步骤包括：干燥—研细—称重 (W_1) —灰化 (400°C — 500°C) —称重 (W_2) —分析。
- ◆ 灰化过程一方面要保证彻底，不留碳质，另一方面要防止微量元素的损失。注意不要让样品着火，但又要保证有足够的氧气供应使有机物彻底分解。通常在 450°C 温度下灰化损失最小。如要分析挥发性元素，如 As、Hg 等，则最好用**湿法硝化**，即用强烈的无机酸如过氯酸—硝酸，硫酸—硝酸来破坏有机物。

◆ 5. 异常的解释



四、地植物学异常

◆ 1. 指标植物

- ◆ 某些植物与一定的地质条件相联系。这种植物叫指示植物。
- ◆ 海州香薷（**rú**）（铜草）为一年生草本植物，铜草喜弱酸性砂质含Cu400ppm以上的土壤，而且随着土壤中Cu含量升高及pH降低，由稀疏高大多分枝的植株变为**密集不分枝的瘦小植株**，并且**红色调加重**，甚至幼年植株的茎已呈暗紫色。
- ◆ 铀矿指示植物**箭叶堇菜**。
- ◆ 瞿（**qú**）麦的线条图，它是长江中下游地区铅—锌矿化的指示植物。



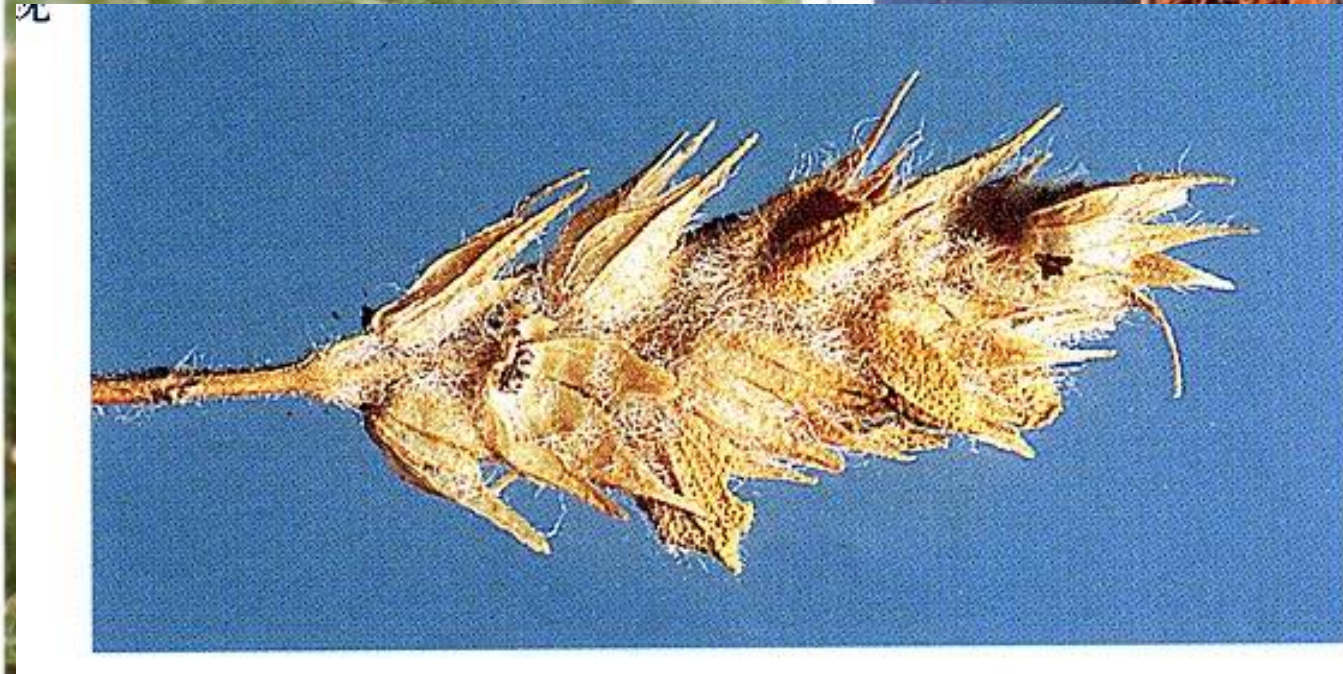
461

香 薷

Xiangru

HERBA MOSLAE SEU ELSHOLTZIAE

勘查地球化学



原植物

药材



化学

瞿麦花

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





图 8—13 轴矿指示植物箭叶菘菜

(据戴兴根, 1980)

1—整株; 2—果实; 3—花





- ◆ 双子叶植物；五桠果亚纲；科名：堇菜科 *Violaceae* 一年生无毛草本；茎高约30厘米，多分枝。基生叶有长柄，叶片近圆心形；茎生叶卵状长圆形或宽披针形，边缘有圆钝锯齿；托叶大，基部羽状深裂。花大，直径3—6厘米，通常每朵花有兰紫、白、黄三色；花瓣近圆形，假面状，覆瓦状排列，距短而钝。花期春季至秋季。
- ◆ 原产欧洲。各庭园都有栽培，我国各大城市也都有栽培，为现货植物。
- ◆ 茎、叶含三色堇黄甙；花含芸香甙、挥发油、皂甙、维生素A、C。





- ◆ 双子叶植物；五桠果亚纲；紫花堇菜





- ◆ 双子叶植物；五桠果亚纲；

心叶堇菜



2. 指示植物群体特征

- ◆ 观察证明，单一指示植物的指示意义往往不很确切。因为指示植物可以在矿床上生长，但也见于一般地区，只是出现的频率不同。如果根据若干种植物的共生关系，则指示作用将更为可靠。
- ◆ 同种植物的许多单株集中生长，叫做群落，许多群落组成一个群丛。
- ◆ 为了研究植物的群丛特征，通常是采用“观察方”的办法，即在矿床上或矿化区内与背景地区（对照地区）各选择若干地形与土壤大体相同的地点，划出一个小面积，例如 $2 \times 2\text{m}$ 见方。面积的大小由试验决定，其方法是逐步扩大面积，直到很少再有新的种属进来为止。“观察方”划定后，详细鉴定及统计落在方内的植物种属与数目。
- ◆ **3. 植物毒理及生态变异**

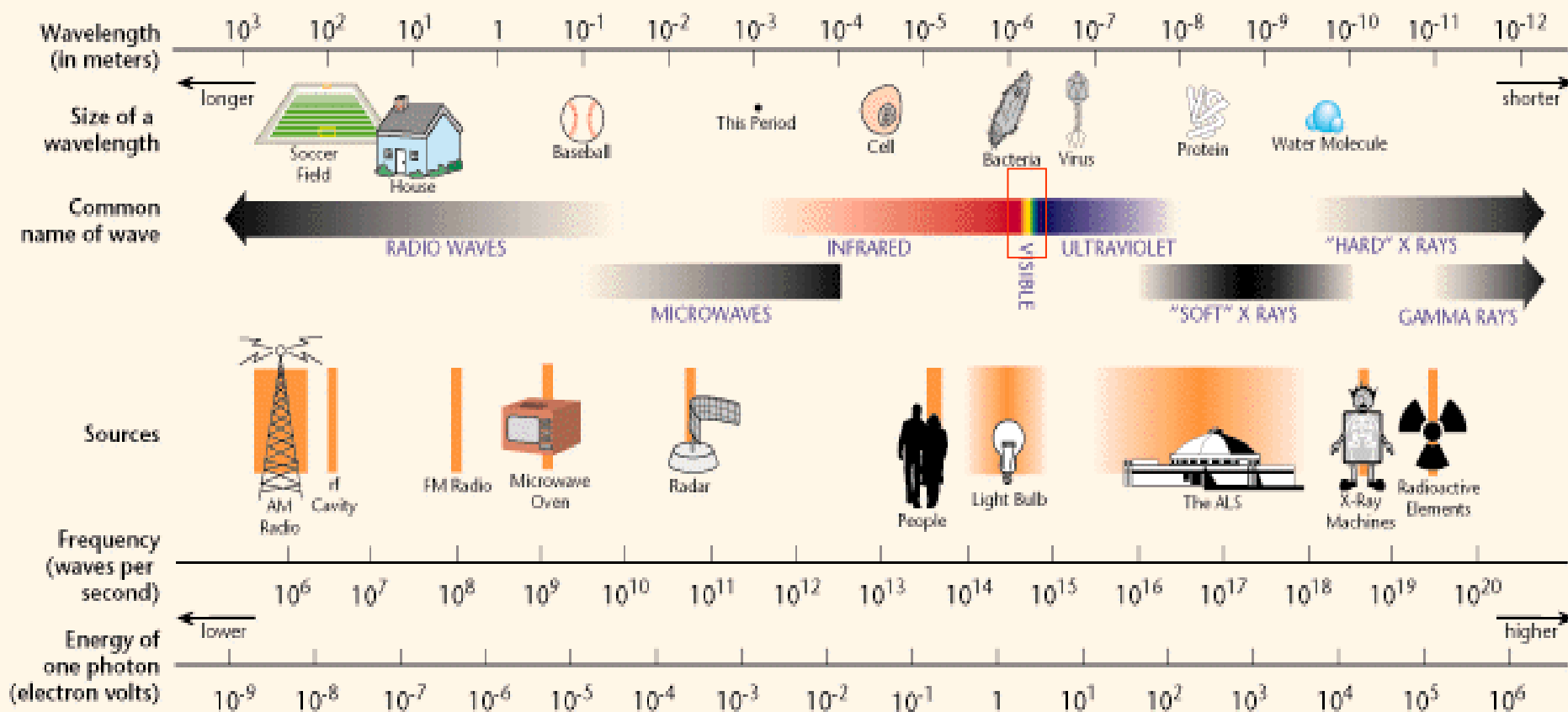


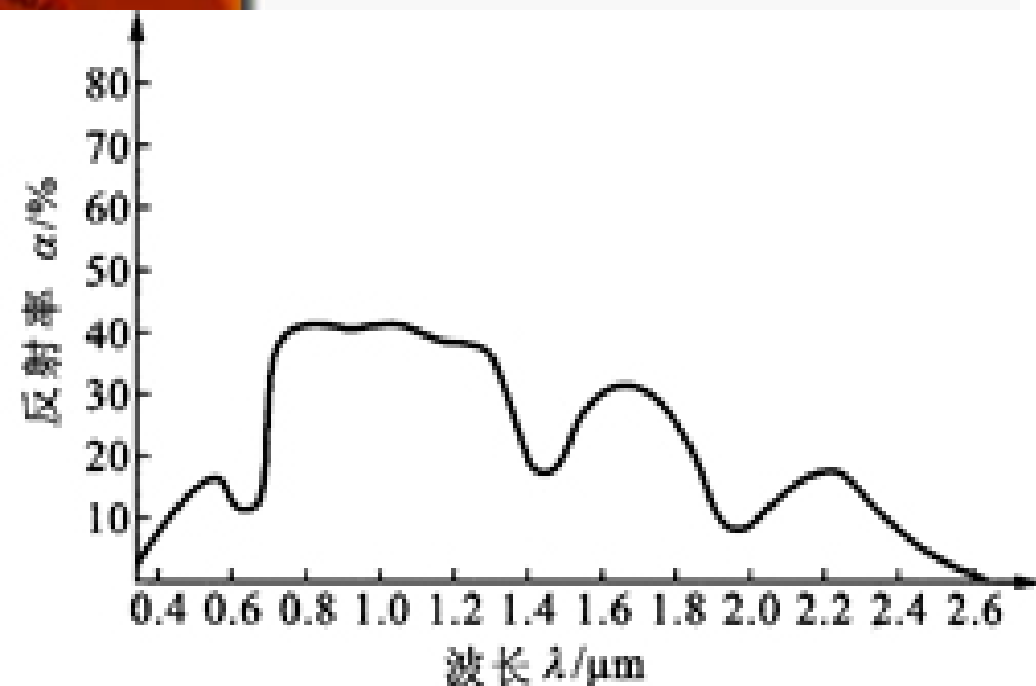
五、遥感地植物学异常

- ◆ 在航空照片及卫星照片上，特别是多光谱扫描及彩色摄影所得的图象上，植物种属的分布，季相（包括植株大小、高低、稀密）都可以反映出来，低空航照甚至可以分辨单棵树木，所以地植物学知识对于遥感资料的地质解释是非常有用的。
- ◆ 在地植物调查中最有用的波段是**可见光与近红外光**。为不同植物在这一波段上的反射率谱，从图上看各种植物是不一样的。同种植物的反射率在正常区与异常区不同，因而可在遥感图上区分。



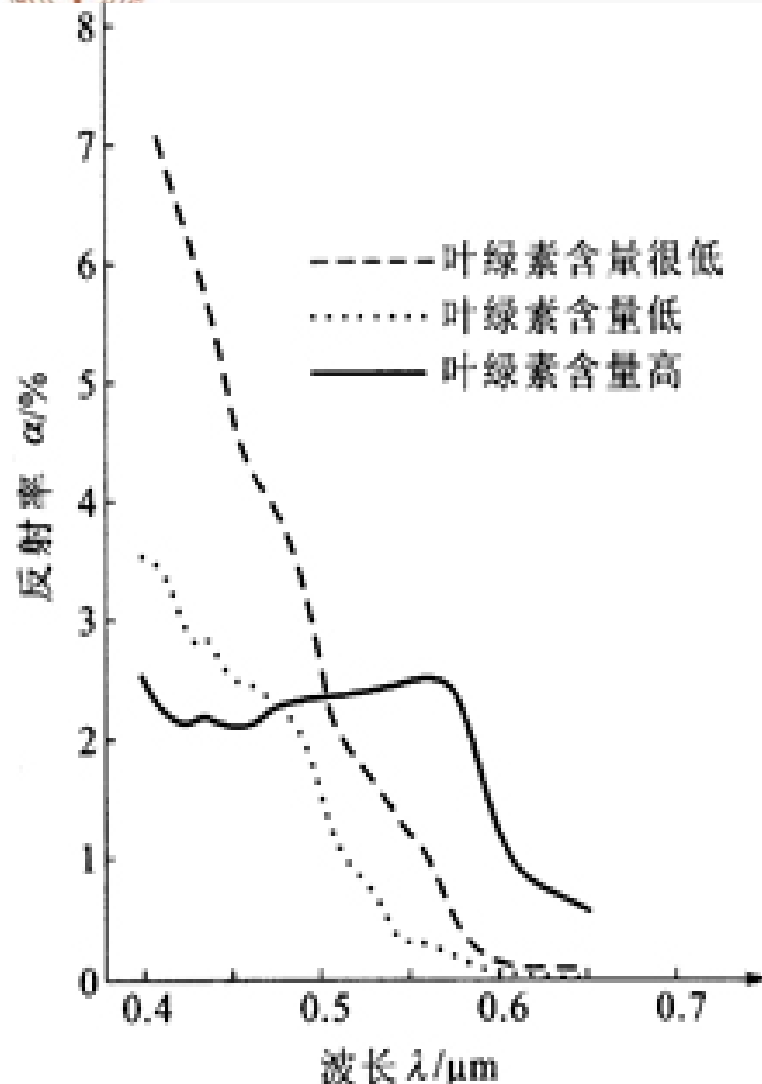
THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM





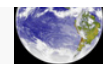
绿色植物反射波谱曲线

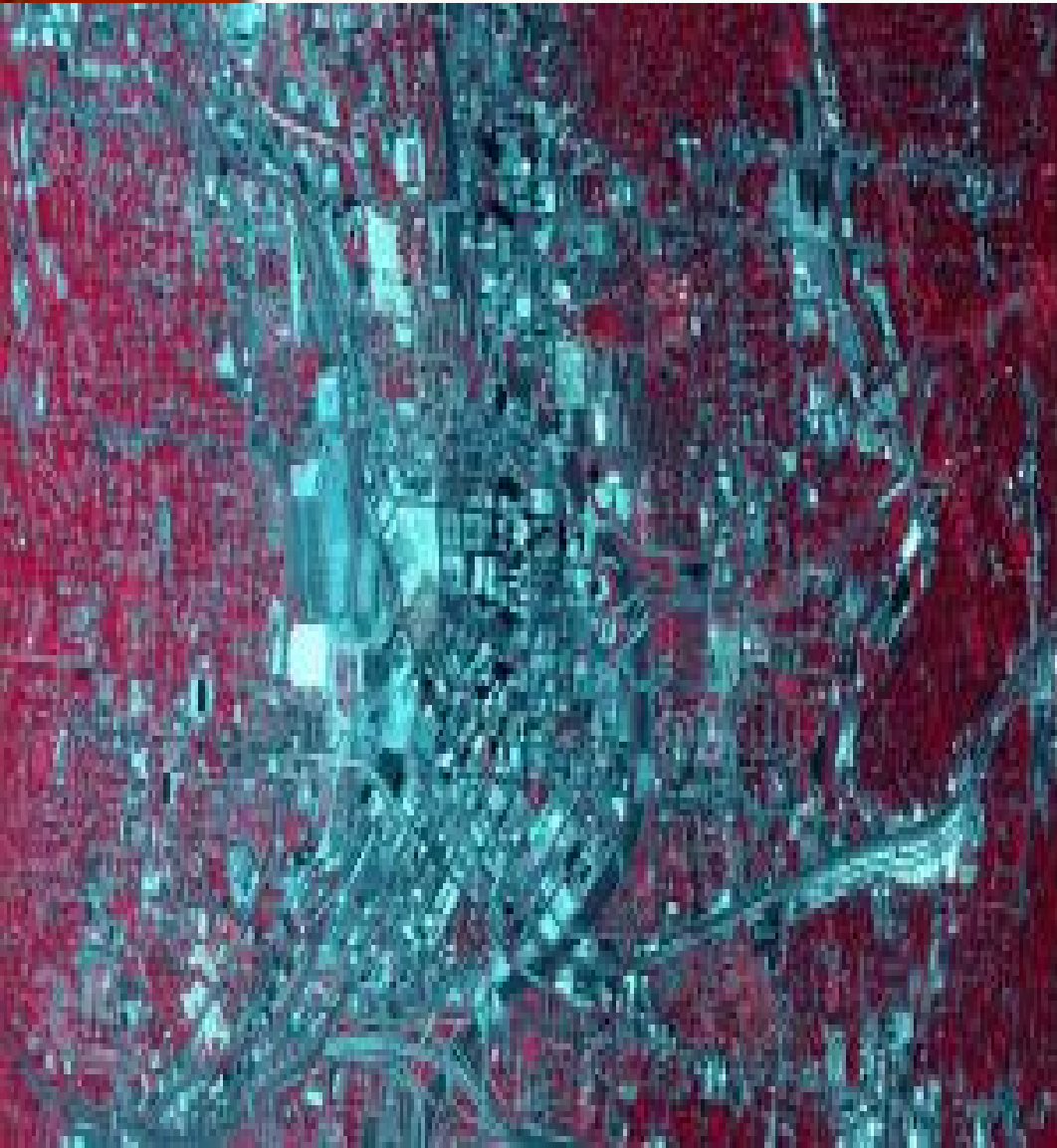
资料来源：梅安新，彭望琰，秦其明等。《遥感导论》 p39



具有不同叶绿素浓度的海水的波谱曲线

资料来源：梅安新，彭望琰，秦其明等。《遥感导论》 p40

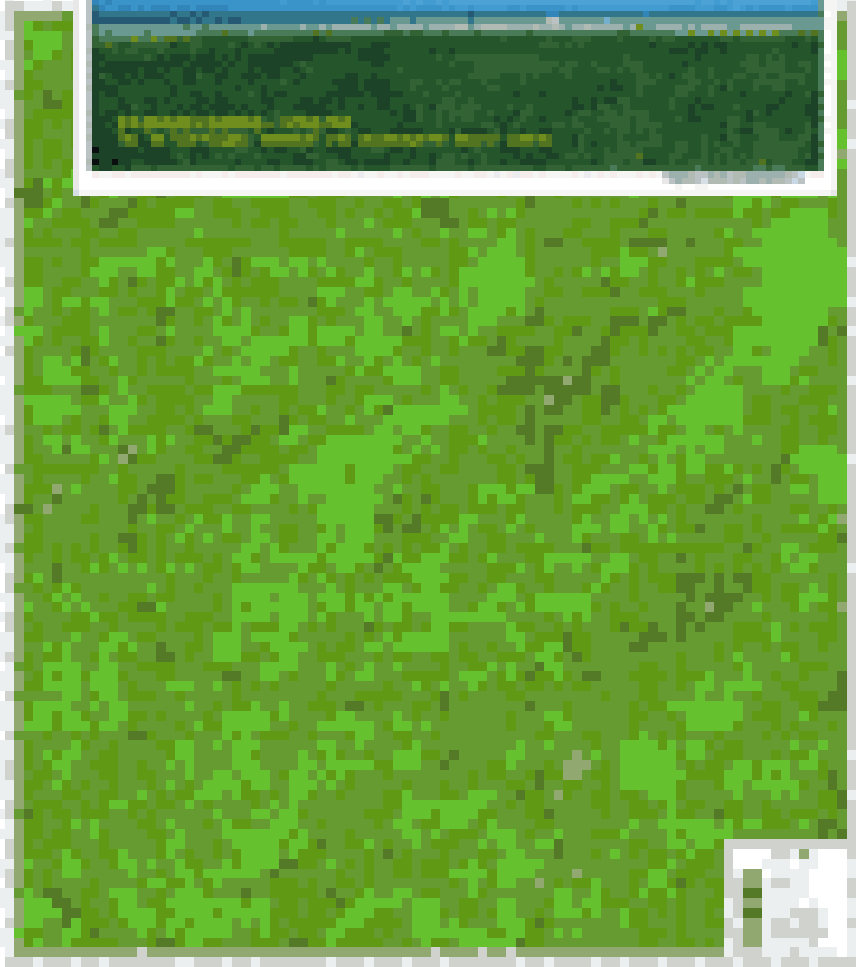
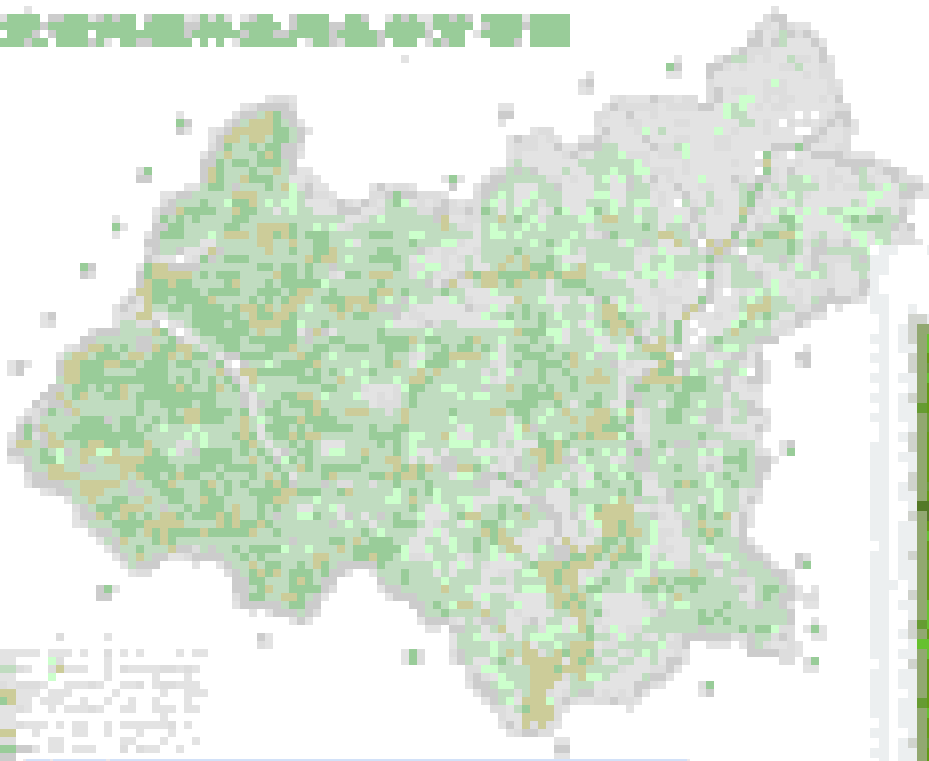




- ◆ 图为经过处理的美国乔治亚州首府亚特兰大城卫星遥感图像，城市中的树木和其它植物用红色表示，楼群、街道和其它城市地面建筑用其它颜色表示。
- ◆ 南方网讯 人们一直以来都认为城市 and 大自然之间向来是无法融合的两个对立体系，但是最近一项由美国国家航天局（NASA）资助的研究项目发现，由于城市中象钢筋水泥丛林一样的大量建筑物向外界释放出更多热量的原因，种植在城市里的各种植物同野外地区生长的植物比起来，每年呈现绿色状态的时间显得更长



内蒙古土地利用现状图



学地球科学

本章小结

- ◆ **重点掌握：**水化学异常的形成：矿物的氧化与溶解作用，电化学溶解和微生物、生物，有机酸溶解。水化学异常组分特征。影响水化学异常的因素。
- ◆ 气体地球化学异常的一般特征。汞气异常的形成、特征、影响因素。
- ◆ 生物地球化学异常与地植物异常概念。植物灰分中元素的含量及其影响因素。生物地球化学障、有障植物、无障植物。
- ◆ **基本掌握：**水化学异常在找硫化物矿床、盐类矿床、钠矿床等方面的应用。气体测量的工作方法。汞气异常测量在找矿中的应用。其他汞气异常简介。生物地球化学找矿测量的应用。

