

1	
第二章	概论.....1
1.1	综合勘查技术的概念.....1
1.1.1	综合勘查技术应用的注意事项.....1
1.1.2	在矿产勘查过程中综合勘查技术的作用.....1
1.1.3	综合勘查技术包括哪些具体技术方法.....1
1.2	综合勘查技术应用的地质基础和地理景观.....2
1.2.1	地质基础.....2
1.2.2	地形景观条件.....2
第二章	成矿地质与地质找矿.....2
2.1	成矿地质条件.....3
2.1.1	成矿背景分析.....3
2.1.2	控矿地质因素.....4
2.1.3	找矿地质标志分析.....6
2.2	地质找矿方法.....7
2.2.1	砾石找矿方法.....7
2.2.2	地质填图找矿方法（内容及步骤）.....7
第三章	遥感技术找矿.....9
3.1	遥感的基本概念及技术特点.....9
3.2	遥感技术的基本原理.....9
3.2.1	电磁波的辐射原理.....9
3.3	遥感地质测量的工作程序.....10
3.3.1	准备工作阶段.....10
3.3.2	初步编译地质略图.....11
3.3.3	野外调查阶段-踏勘和验证.....11
3.3.4	室内综合研究与验证.....11
第四章	地球物理找矿.....12
4.1	物探方法的特点、应用前提、地质效能及技术类型.....12
4.1.1	物探方法特点.....12
4.1.2	物探工作的前提.....12
4.1.3	物探的应用及其地质效能.....12
4.1.4	物探方法类型.....13
4.2	电阻率法.....13
4.2.1	电阻率法的基础知识.....13
4.2.2	电法勘探中几种电流场的类型.....13
4.2.3	视电阻率及其电流密度.....15
4.2.4	电流密度与探测深度的关系.....15
4.2.5	电阻率法的主要设备.....16
4.2.6	电阻率剖面法.....16
4.3	激发极化法.....17
4.3.1	激发极化法的原理.....17
4.3.2	几种规则形体的激电异常.....18
4.4	磁法勘探.....19
4.4.1	磁法的基础知识.....19

4.4.2 地磁场及磁异常	19
4.4.3 岩矿石磁性.....	20
4.4.4 磁性体的磁场.....	20

第一章 概 论

1.1 综合勘查技术的概念

综合勘查技术：所谓综合勘查技术，简单地讲就是找矿方法的综合应用。它是以地质观察为基础，根据不同的地质条件和具体自然景观，并结合各种勘查技术的应用前提，合理配合使用各种勘查技术，从不同的角度提供各种信息，提高找矿研究程度，达到找矿目的。

1.1.1 综合勘查技术应用的注意问题

综合勘查技术应用必须以地质为前提，任何勘查技术应用，都应以解决地质问题和找矿问题为依据，获得信息结论都必须结合地质理论和地质条件进行分析解译，才能获得理想的符合实际的结论，任何脱离地质，而孤立使用某些方法，不仅得不到理想的结果，而且都是在人力和物力上的浪费。

综合勘查技术的应用必须做到各种技术手段的密切配合，协同作战，在实施地球物理、地球化学探矿过程中，应及时明确提出要解决的地质问题，综合勘查技术在找矿过程中不是越多越好，应具体问题具体分析。

1.1.2 在矿产勘查过程中综合勘查技术的作用

1. 直接获取在矿产勘查活动中所需要的直接或间接的矿化信息。即：

I 查明与矿化有关的地质环境，指出成矿的有利地段；II 直接揭示矿化可能存在的各种信息，尤其是能够指示盲矿存在的矿化部位，指导矿产勘查工作的实施；III 直接或间接推断矿化的空间特征及矿产质量，取得矿床评价的各种参数。

2. 综合勘查技术是矿床勘查过程中最活跃的因素。方法和技术的改进或应用都可能引起勘查程序、勘查效果以及勘查理论方面的重大变化，从而使勘查效果得到极大的提高。

3. 综合勘查技术所获取的成矿信息，是正确进行勘查决策、对比筛选“靶区”和进行矿床经济评价的基础资料。

从某种意义上说，矿床勘查过程实质上是综合勘查技术手段组织与实施的过程是不断获取信息、分析信息对所研究的地段的成矿可能性作出判断的过程。因此，综合勘查技术的合理应用是实现矿床勘查工作最优化的重要步骤。

1.1.3 综合勘查技术包括哪些具体技术方法

综合勘查技术按其原理可分为：地质方法、地球化学方法、地球物理方法、遥感方法和工程技术方法。地质找矿方法包括地质填图法、砾石找矿法、重砂找矿法。地球化学方法包括岩石地球化学、土壤地球化学（ $\geq 1:5$ 万）、水系沉积物地球化学（ $1:20$ 万以上）水化

学、气体地球化学、找矿矿物学、生物地球化学。地球物理方法包括电法、磁法、地震法、重力方法、核物理方法等。（如华北地区的黄土覆盖层，因黄土是异源，用气体地球化学法；重力方法是针对于确定如 W、Sn、Mo、Bi、Cu、Pb、Zn 等地质体的深度和界面类型；对于找矿矿物学，标型矿物有石英、黄铁矿、绢云母、绿泥石等；铜的品位在 24%以上可进冶炼厂，铁品位需>64%）

1.2 综合勘查技术应用的地质基础和地理景观

1.2.1 地质基础

综合勘查技术应用地质基础，主要包括成矿地质条件、矿床类型、矿床内部结构、矿产种类、矿体形态、产状、规模、成矿元素赋存状态、物-化性质；如：

物理性质和化学性质比较稳定的矿床：钨、锡、金、金刚石等矿床，可用重砂法、砾石找矿法；

硫化物多金属矿床采用岩石地球化学测量、土壤地球化学测量、物探电法；

与基性、超基性岩有关的矿床：铬铁矿，可用磁法圈定靶区，缩小找矿范围。对于磁性矿床或被磁性围岩的非磁性矿床可用磁法；

花岗岩风化壳稀土矿床，有用元素主要以离子状态吸附在粘土中，土壤地球化学是首选方法；

浸染状硫化物矿床，用激发极化法效果较好；

细粒硫化物分散在石英等非导体矿物之间，可考虑电阻率和激发极化法；

盐类矿床可用重力测量、水化学方法；

构造复杂地区可选用电剖面法、自然电场法；

构造简单地区，可用电测深法、地震反射、大地电流法；

沉积岩区、煤、石油、水，多用电法（浅部）、地震法（深部）。

1.2.2 地形景观条件

高山区：遥感法、航空物探、航空化探、河流重砂、水系沉积物测量；

高寒区（常年有冰冻）：航磁、放射性、水系沉积物、重砂法；

森林区：遥感、航空磁测、航空放射性、重砂、水系沉积物；

大面积黄土区：气体地球化学、水化学、地面物探、遥感法；

潮湿多雨区：水系沉积物测量、土壤地球化学测量、磁法、重力、放射性；

西北干旱区：气体地球化学、地面物探、遥感地质、航空物探。

第二章 成矿地质与地质找矿

成矿地质条件分析是进行地质找矿的前提，不同的矿化类型有着不同的成矿地质背景和控

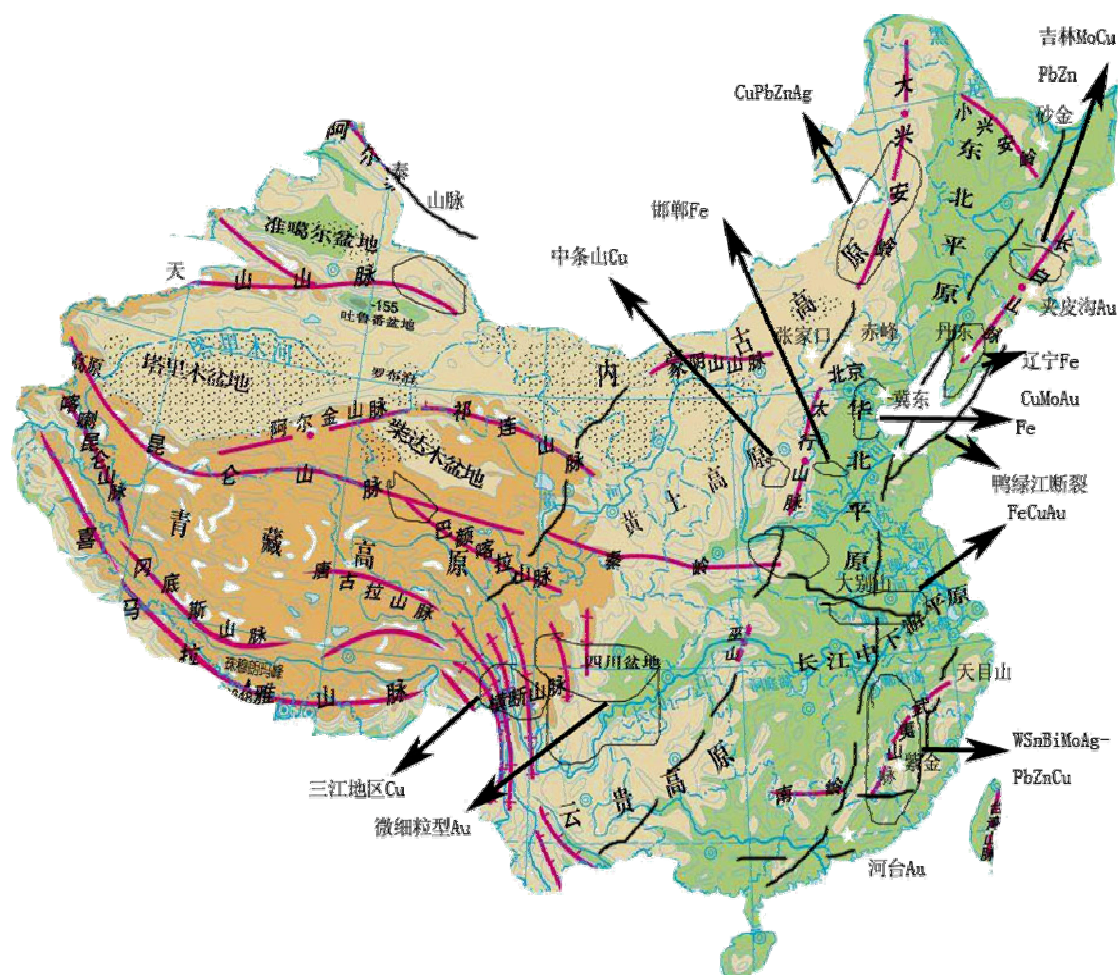
矿地质因素。对这些问题的具体研究是我们选择找矿方法的基础。

地质找矿方法是最原始、最传统的找矿方法，也是直接的找矿方法，主要是指地质找矿工作者在野外直接对可能成矿地质体以及这些地质体通过各种作用所反映的各种成矿地质信息进行追索观察、判断的找矿过程、其中包括地质填图法、砾石找矿法、重砂找矿法等。

2.1 成矿地质条件

2.1.1 成矿背景分析

成矿地质背景：由于局部地区地质演化的特殊性，形成了一类或一种矿产相对集中的分布区，称为矿化集中区。这些具备相似地质演化过程和相同的矿种分布区，可以认为这个地区相近时代的矿床具备一个相似的成矿背景。什么样的成矿背景，在某种程度上反映某地区某时域范围的成矿演化过程。



2.1.2 控矿地质因素

控矿地质因素:控制矿床形成、定位、分布的地质因素,包括构造控矿因素、岩浆岩与成矿关系、不同岩石地层岩相古地理环境以及区域地球化学对成矿的制约。

1) 构造对成矿的控矿(研究内容)

- 1) 构造成矿地质背景控制主要表现在构造特征反映了地壳发展历史,不同的构造单元反映了不同的构造环境,而不同构造背景形成不同类型的矿床。
- 2) 构造运动是驱动地壳物质运动的主导因素。对内生矿床来讲,构造运动致使地球内部物质的迁移和重新分配,构造同时也给成矿物质的迁移提供了通道,同时也提供沉淀场所。
- 3) 成矿期构造的脉动性,往往体现在成矿阶段的复杂性。因此,构造遗迹往往是划分成矿阶段的主要依据。各种成矿作用的发展演化都与地质构造活动的发展演化密切相关。
- 4) 构造不仅可以容矿、导矿,构造还可以限制矿体,这主要表现在任何一个热液矿床的矿化边界大多是被一条或若干条断裂构造限制。
- 5) 多期成矿、叠加成矿往往同与先形成的矿化体沟通有关。它可以造成矿体的矿化贫富不均,在受层位控制矿床这一点表现的更为重要,其中工业矿化多产出在该层位内有利的断层构造部位。
- 6) 矿床(体)的分布往往与构造分带和构造的多期活动有关,而构造分带根本原因又是构造应力转化的外在表现,构造应力场时空转化是构造分带的内在动力。
- 7) 错断矿体的断裂不一定是成矿后的断裂,不少错断矿体的断裂是成矿前构造继续活动。

2) 控矿构造研究的几个基本原则

- 1) 研究控矿构造要和其它因素相结合,不同的岩石类型在同一应力状态下,可能表现出了不同的构造变形特征。
- 2) 研究控矿构造时要注意大、小不同级别的构造相结合。在同一地区、同一时间内,同一应力场作用下形成的大、中、小构造是相互联系的。在成因上具有一定的承生性,多数情况下高一级别的构造是次一级构造的“根”。
- 3) 研究构造时要注意时-空结合。不同级别构造按其与成矿的先后关系,通常可分为:成矿前构造、成矿期构造、成矿后构造。从实用角度来讲,直接可分为成矿前和成矿后构造。成矿前和成矿后构造都起到了限制矿体的作用。
- 4) 构造研究时要注意点面结合。矿田、矿床、矿体、矿柱构造都是不同级别的控矿构造。他们之间在时间上和空间上都是彼此联系的。因此,研究区域性构造必须从局部构造入手,即从个别到全体从特殊到一般。这样才有扎实的地质基础。
- 5) 控矿构造的野外鉴定与判断
通常控矿构造一般划分为:成矿前、成矿期、成矿后三类分法。

A 成矿前(成矿期)断裂鉴定标志:

1. 沿断裂带或在断裂带中发育热液蚀变现象,断裂角砾或断层泥被热液蚀变。
2. 矿体分布在断裂中或者矿体及蚀变带切过断裂带。

3. 断裂带内,断层角砾岩被原生矿石矿物或与矿石矿物有成因联系的脉石矿物胶结。
4. 在断裂带内看不到新鲜的断层泥和因后期成矿作用造成的滑动面,若有也发生了蚀变或浸染矿化。
5. 在断裂带及围岩内的热液蚀变没有明显的界线,显然两者的蚀变的程度不同,但性质是一致的。
6. 围岩的热液蚀变严格受断裂的控制,蚀变岩产状和断裂产状有依存关系。
7. 断裂带内有金属矿物显脉状产出。

B 成矿后断裂鉴定标志:

1. 当断裂切穿矿体时,在断裂两侧一般均能找到相应的矿体,在断裂中有矿石角砾。
2. 矿脉与成矿后断裂交汇处常有牵引现象,断裂两侧的矿脉的产状有不同程度变化。
3. 矿体内可见到断层滑动镜面、断裂层泥、擦痕、阶步等构造遗迹,说明断裂多期活动。
4. 在成矿后断裂的两侧矿体可见有氧化现象,在断裂中可见到表生矿物或水解作用等。
5. 断裂纵切矿脉,断裂的上、下盘矿脉具有不同的结构构造。
6. 如矿体或矿化蚀变带与围岩为断层接触,而围岩中无蚀变矿化,则该断层为后期断层。
7. 在矿化附近无胶结物的结构松散断裂多为成矿后断裂。

3) 岩浆岩对成矿的控制

内生矿床的找矿演化与岩浆活动关系十分密切,主要分为以下几个方面:

1. 岩浆活动是成矿物质、成矿流体运移和再分配的主要途径。岩浆演化的过程中可伴随着不同类型矿床的形成,尤其是金属矿床多数是岩浆作用演化到不同阶段的产物。
2. 一定类型的矿化与一定成分的岩浆岩有关。二者在岩石学、地球化学方面的内在联系称为岩浆岩成矿专属性。如与基性、超基性岩有关的矿产: Cr、Pt、Cu、Ni、V、Ti、Co、Fe; 中酸性岩: W、Sn、Bi、Mo、Pb、Zn、U、Th 等; 与碱性岩有关的矿种: Nb、Ta、稀土矿床。
3. 在空间上,不同类型的矿化产于不同岩浆岩的特定部位。不同类型的矿床围绕中酸性岩体分布。主要分布岩体内、外接触带。因此,接触带是成矿预测的主要地段。与超基性岩有关的矿床: Cr、Pt、Cu、Ni、Ti、V 等矿床多产在岩体内部; 与中酸性岩浆岩有关的矿床: Cu、Fe、Pb、Zn、Sn、W、Mo 等矿床多产在岩体的接触带和近外围地段。另外,中低温矿床离岩体较远。
4. 在时间上,不同类型矿化富集发生在岩浆活动的不同阶段。总体来说,我国前震旦纪岩浆活动多与 Fe、Cu、Au 矿化有关; 古生代岩浆活动多与 Cr、Ni、Cu、Pb、Zn 矿化有关; 中生代岩浆活动多与 Pb、Zn、Cu、W、Sn、Mo 和稀有金属矿种等。
5. 矿化与岩浆活动物理条件和地质条件也有一定的一致性,岩浆岩形态、大小、产状、形成深度、侵位和冷凝深度、分异深度、内部构造和接触带构造等因素有关。大岩体的底部及边部是岩浆岩分异矿床的有利部位。岩体的边部和围岩的凹凸部位,是接触带矿床形成的有利部位。小岩体顶部是斑岩型或次火山热液型矿床形成的有利部位。

2.1.3 找矿地质标志分析

地质找矿标志给地质工作者提供了重要的找矿地质信息。它是指那些直接或间接可能指示矿产存在的现象和线索，一般可分为直接找矿标志和间接找矿标志。直接找矿标志一般为矿化露头、氧化铁帽、矿砾、有用的重砂矿物、采矿老硐，而围岩蚀变、特殊地名、地物、地形、物化探信息，则为间接找矿标志。

1. 矿体原生露头标志

矿体的原生露头标志可以指示矿体所在的位置，原生露头标志是指出露在地表未经风化作用或弱风化作用的矿体露头，这种矿体露头一般化学性质比较稳定，抗物理化学风化能力强。如磁铁矿、赤铁矿、锡石、石英，抗风化的原始露头多形成正地形。

2. 氧化露头及铁帽

许多金属硫化物体（原生）在地表遭受了不同程度氧化，使原生矿体的矿物成分矿石结构均发生了不同程度的变化，这种露头称之为氧化露头。不同的原生矿种，不同矿物成分，其形成的氧化露头外观特征差别很大。

常见硫化物矿物氧化后的次生矿物和次生矿物的颜色

铜：黄铜矿	孔雀石	翠绿色
斑铜矿	硅孔雀石	绿色
黝铜矿	蓝铜矿	蓝色
	赤铜矿	红色、铅灰色
	黑铜矿	黑色
锌：闪锌矿	菱锌矿	灰色、灰白色
	异极矿	白色、浅蓝色
	水锌矿	黄褐色
铅：方铅矿	白铅矿	白色、浅褐色
	硫酸铅矿	浅黄色
	磷氯铅矿	绿色、黄色
锑：辉锑矿	锑华	淡黄色
钼：辉钼矿	钼华	姜黄色

铁帽：铁帽呈金属硫化物矿体的氧化露头进一步遭受强烈的氧化作用 and 风化作用，多数金属元素，在酸性介质条件下转化为活性组分而被淋滤流失，残留下一些不容性氧化物-针铁矿和褐铁矿在原地沉淀聚集，这种硫化物矿床风化带上出现的表生铁质帽状覆盖物，称之为铁帽。

铁帽研究的主要内容：

研究铁帽中残余矿物和次生矿物及其颜色，残余铁帽中的黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等以及有关的次生氧化物是确定铁帽的硫化物露头的重要依据。一般地地质风化形成铁帽矿物成分比较简单，不具备找矿指示意义。真铁帽会有各种次生金属矿物，且多具有各种颜色，假铁帽一般为单一的颜色。

铁帽的结构构造也是研究的重要内容，其铁帽是由硫化物矿体风化而来，原生的硫化物集合体发育有各种晶面和解理及微裂隙，在风化作用过程中产生铁、硅质的交代作用，一些易溶成分淋滤掉，集合体多为不规则的蜂窝状构造。

研究铁帽中的微量元素，当原生硫化物强烈被氧化和淋滤，各种原生矿物和次生矿物被保留下来很少，而铁帽中的褐铁矿中吸附和残存微量元素的含量和比值，能提供重要的找矿信息。Cu 矿床的铁帽中 Cu 的含量可达 0.2%，Pb、Zn 矿床铁帽中 Pb、Zn 含量也在 1%左右。

2.2 地质找矿方法

地质找矿方法是原始的最直接的找矿方法，包括砾石找矿方法、重砂找矿方法、地质填图找矿方法、矿床模型找矿方法。

2.2.1 砾石找矿方法

矿体原生露头被风化剥蚀后，可产生大小不等矿砾，这里矿砾在重力、水流及冰川的搬运下，沿一定的地形运移，其分布范围远远超过了原来矿床的范围，利用这种原理，沿沟底、山坡、水系或冰川活动地带追索矿砾，达到寻找矿床的目的，称之为砾石找矿方法。砾石找矿方法在一些覆盖较严重的地区，如林区、草区、农业区等往往给地质找矿提供非常重要的线索。

1.河流碎屑法

该方法是以各级水系中砾石、岩块为提供线索的主要对象，从中发现矿砾或矿化有关的岩石砾石，然后根据水系分布特征，向水系上游或分水岭追索原生矿体。

2.冰川漂砾法

原理同河流碎屑法，适用环境不同，在高原有冰川的地区。

2.2.2 地质填图找矿方法（内容及步骤）

地质填图找矿方法或称地质调查找矿方法，地质填图找矿方法是运用地质理论和有关方法全面系统地进行综合性的地质矿产调查和研究查明工作区的地层、岩石、构造与矿产的基本地质特征与关系，研究成矿规律并利用各种方法达到找矿的目的。

地质找矿方法按比例尺可分为四类：

1. 1: 100 万-1: 50 万 地质调查-小比例尺地质调查

这种尺度的地质调查一般用以解决大区域找矿工作的总体部署问题，不同比例尺的地质填图所能表达的地质情况详略不同，一般采用 1: 100 万比例尺，地质条件复杂的地区采用 1: 50 万比例尺，两者属于同一级别尺度。因此，小比例尺地质填图找矿主要是解决不同类型矿种分布区带，是对成矿带成矿的初步评价。

2. 1: 20 万-1: 10 万 地质调查-区域地质调查 中比例尺

此类比例尺的地质调查属于地质工作中的基础性工作，该尺度区调为一次综合性地质调查，在地质调查过程中要配合物化探和重砂测量，按照国家统一要求，提交综合性地质图件和

报告。在找矿过程中，1: 20 万区测用来查明区域地质背景，区域成矿背景，指出各种类型的矿床远景区。

3.1: 5 万-1: 2.5 万 地质调查-大比例尺地质填图

1: 5 万地质调查通常是在区域成矿远景的地区或矿田范围内进行。对于找矿具有更为直接意义，这种地质调查是在深入研究区域成矿规律及矿山地质成矿规律的基础上，对地表已知工作中发现的矿点及异常进行系统查证，并重点解剖、做出评价。在一些有望发现矿床的地段，要求配合物化探工作，甚至还需要少量的轻型山地工程进行揭露。

4. 比例尺>1: 2.5 万专门性地质调查

大于 1: 2.5 万专门性地质调查一般称为大比例尺地质调查，包括 1: 10000、1: 5000、1: 2000、1: 1000，这类地质调查目的主要是为了发现矿床（体），不属于“面”上的工作，而是属于“点”上的工作，正规的大比例尺矿床地质填图是矿山建设及开发必须的地质图件。

5. 地质填图找矿方法必须做好几项工作（程序、内容）：

- 1) 做好地质填图的各项准备工作，如收集有关的卫片、航片及其它遥感资料并进行详细解译，并在详细研究前人工作成果的基础上做好调查区的现场（勘查）踏勘和新方法的使用试验等。
- 2) 做好实测地质剖面。实测地质剖面是研究地层岩体和构造的基础地质资料，是地质填图找矿方法的实施前提。
- 3) 针对不同地质情况采用的地质填图方法和手段，如火山岩区地质填图，一方面要查明火山岩的地层层序年代，岩相变化以及有关的火山机构。
- 4) 统一的岩石分类命名和共同的地质语言。由于地质填图涉及面大，岩石类型复杂。如岩石类型命名不统一，认识不一致，必定造成“同岩异名”或“同名异岩”。因此，统一岩石分类命名是非常重要的。
- 5) 及时做好资料的室内整理和综合研究工作。资料室内整理和综合研究工作是一次经常性工作。必须及时进行综合研究。

第三章 遥感技术找矿

3.1 遥感的基本概念及技术特点

遥感，即遥远感知，主要包括狭义和广义遥感两类。狭义遥感是指根据目标物的电磁波特征信息来推测和识别目标物的性质的理论和方法。广义的遥感，它包括目标物的电磁波辐射特征、x 场（重力、磁力）等信息来进行识别和探测目标物。

物理场遥感：电磁场遥感（紫外线、可见光、微波、红外线），力场遥感（重力、磁力）

机械波遥感：地震波遥感（人工地震），声波遥感（声纳）

目标物反射或发射电磁波的范围主要是利用紫外线、可见光、红外光、微波。

遥感有两种方式：一种是依靠人工向目标物发射强大的电磁波，然后接收回来的电磁波，并根据反射电磁波的特征信息来识别物体（如雷达）称为主动遥感。

使用仪器来接收，记录目标物本身发射或反射外来的自然电磁波（如太阳光），并根据它们的信息特征来识别目标物的性质，称为被动遥感。

遥感技术特点：

- 1) 大面积的同步观测，视域广，遥感平台越高，视角越广，同步观测到的地区范围越大，地质工作难度大的地区，首先要收集遥感资料，如高山林密区，交通不便区，地质构造复杂地区。
- 2) 信息量丰富，技术先进，遥感信息是高平台位置，视角广，信息量大，而且同时可获得紫外、红外、微波等波段的信息。
- 3) 定时定位观测，提高了观察信息的可比性和时效性。同期观测地区同一目标，有利于对比分析在不同时间内物体发展变化，作进一步动态分析。
- 4) 投入相对较少，综合效益高，省时。省力，省费。

3.2 遥感技术的基本原理

3.2.1 电磁波的辐射原理

狭义遥感主要是指电磁波（包括发射、吸收、反射和透射）遥感，电磁波是能量的一种表现形式，太阳光、各种自然光、灯光都是电磁波。

电磁波谱：电磁波有不同的波长，它从 10^{-12}cm 至 10^9cm 。由于波长不同，它的能量也不同，按照电磁波的波长、频率、能量的大小分别排序成表，称为电磁波谱。

地电磁波辐射是指电磁波的发射、吸收、反射和透射现象的通称。

太阳发射的电磁波谱中包括了紫外线、可见光、红外线，遥感仪器记录下来的地表物体的反射电磁波谱成分，很大程度上来自光源的太阳光谱成分所决定。因此，地物主要反射太阳的电磁波。

（在处理遥感数据前需要在工作区内用波谱仪测量一些与地质找矿有明显关系的地质体波谱特征。）

3.2.2 遥感地质测量的应用

1. 遥感在基础地质研究中的应用

遥感图像视域宽阔，能客观地反映出各种地质现象及其之间的关系，形象反映出区域地质以及区域构造间的关系，为中小比例尺地质填图和跨区甚至全球的区域地质研究提供有利的条件。

2. 遥感在矿产勘查中的应用

各种矿产的形成都是地壳整体和局部活动的产物，都与一定的地质构造条件有关。如：斑岩型铜矿、斑岩型金矿都与中酸性岩体有关，不同类型金矿都与深大断裂有关，而利用遥感测量资料的解译可以获得这些成矿地质条件信息，分析区域成矿规律，主要表现在：

- 1) 获得与矿化有关的地质信息，如：岩石的波谱特征、色调异常、热辐射异常等来圈定靶区。
- 2) 利用遥感资料，分析区域成矿条件，研究区域成矿规律。
- 3) 利用数字处理技术，进行多波段，多种类型遥感图像的综合信息处理，分析提取与矿化有关的直接信息。

3. 高光谱遥感在地质测量中的应用

高光谱遥感是高光谱分辨率遥感的简称。它是在电磁波谱的可见光、近红外、中红外和热红外波段范围内，获取非常窄的光谱连续的影像数据。高光谱遥感与一般遥感主要区别在于：高光谱遥感的成像仪可分离成几十个甚至数百个很窄的波段来接收信息，每个波段一般小于 10nm。

3.3 遥感地质测量的工作程序

3.3.1 准备工作阶段

1. 资料收集和准备工作

- 1) 应全面收集工作区的地质、物探、化探、矿床（点）和各类地质报告资料以及必要的参考文献，如：气候、地貌、土壤、森林、水文图等。
- 2) 根据工作的需要可以收集 1: 100 万、1: 50 万各种比例尺的卫星遥感资料，包括不同类型的航空照片，最好是比例尺大于或等于填图比例尺。通常 1: 25000 的航片是较常用的，它既有细节，又有宏观特性，它可以供 1: 50000 地质填图，也可以供 1: 10000 地质填图使用。
- 3) 将收集的遥感资料（航测和卫星遥感）进行初步的解译和处理，在同一地区形成 2-3 套遥感处理资料，包括图片以备野外和室内选用。
- 4) 将处理后的工作区的遥感资料进行系统编号，如：(J-50-14) /5-4: J-50-14 为 1: 10 万地形图图幅编号，5 为航带号，4 为本次航带的顺序号。
- 5) 准备好制作各类航空、卫星图像设备及软硬件。

2. 制定工作计划

根据工作任务、目的要求，制定野外、室内具体的工作计划安排》

3.3.2 初步编译地质略图

- 1) 初步解译的看是阶段，可选择一些地质构造现象最清楚的地段或前人研究程度较高地段进行，建立不同地质体的解译标志。
- 2) 如有条件，应用光学增强技术来处理遥感图像，或收集高光谱遥感数字资料，提取更多有用信息，以提高解译效果。
- 3) 初步解译地质图，是室内初步解译成果，利用它可以作野外踏勘路线和实测剖面位置的选择，提供重点研究地段。
- 4) 初步解译成果要认真地对收集到的地质资料进行对比分析，如地貌、岩性、构造、产状，并初步拟定出一套适合本区的解译标志。

3.3.3 野外调查阶段-踏勘和验证

1.野外踏勘阶段

目的是了解测区的自然地理条件，经济交通条件，地质矿产概况，以便在制定工作计划中更符合实际情况。

2.野外验证阶段

- 1) 验证和检查解译成果，对于解译的有把握的地质界线，一些断层和其它地质现象，根据统计原则进行抽样检查验证。
- 2) 对于那些把握性不大，解译上有问题比较多的地段，有必要实地验证。
- 3) 对于研究区具备理论和生产意义的地段，如可能矿化地段、储油构造，要进行重点野外检查。
- 4) 建立解译标志的某些典型地段，收集必要解译资料。
- 5) 采集必要的岩性地层和矿石标本。
- 6) 如果是区域地质测量工作，还要求在一定间距内穿越一些路线，进行实测剖面。

3.3.4 室内综合研究与验证

这个阶段的工作总结区内地层、构造、矿产的地质规律及其解译标志，包括编制解译的正式成果图件报告。

第四章 地球物理找矿

地球物理找矿也称地球物理探矿（物探），以物理学和地球物理学的理论为基础，结合地质学的特点，进行研究某些特殊地质体的地球物理场或某些物理现象，并进行区分矿和非矿地质体的地球物理异常，进而达到找矿的目的。

4.1 物探方法的特点、应用前提、地质效能及技术类型

4.1.1 物探方法特点

1. 物探方法的实施首先将地质问题转化为地球物理问题，才能使用物探方法去观测，观测数据之后通过综合研究，并根据地质体与物理现象间存在的关系，把物理结果转化为地质语言或图示，从而去推测矿产的地质产状。
2. 物探异常多解性。产生物探异常原因往往是多种多样的，所以工作采用单一物探方法往往不易得到较肯定的结论。
3. 每种物探方法都有严格的应用条件和使用范围，因为矿床地质、地球物理特征及自然地理条件因地制宜，这些都是影响物探方法的选择和有效性。

4.1.2 物探工作的前提

1. 被调查的地质体之间要有某种物理上的差异性。
2. 被调查的地质体具有一定的规模和恰适埋藏深度，用现有技术方法能发现它所引起的异常。若规模小，埋藏深的矿体，则不能发现异常存在。
3. 从各种干扰因素的异常中，区分所调查地质体的异常。

4.1.3 物探的应用及其地质效能

1. 应用物探找矿的有利与不利条件

- 1) 有利于物探找矿条件：地形平坦，因物理是以水平面为基准面；矿体形态规则；具有相当的规模，矿物成分稳定；干扰因素少；有较详细的地质资料。最好附近有开采矿山进行地质资料对比。
- 2) 不利于物探找矿条件：所研究的地质体和围岩的物性差异不明显；矿体埋藏太深，地质条件复杂；干扰因素多。

2. 用物探直接找矿与间接找矿问题

多年来实践证明，有些矿可用物探异常作为直接找矿标志，如放射性方法找铀矿，使用磁法找磁铁矿床。

3. 用物探研究矿体的形态和产状

当矿体未进行深部工程施工之前，为例减少深部工程的盲目性，可采用物探方法确定深部产状。

4. 物探找盲矿体

通过地球物理场的研究，用以寻找盲矿体或隐伏矿体是物探方法的特长。

4.1.4 物探方法类型

根据地球物理学的基本原理，参考要解决矿产地质勘查问题，可将物探方法分为几大类，如：电法、磁法、重力、地震和放射性等。每一类物探方法有包括几种到几十种具体方法。

4.2 电阻率法

4.2.1 电阻率法的基础知识

R （电阻）= $\rho l/s$

按矿物本身的结构化学和物理性质，可把矿物导电机理分三类：金属型矿物，主要是指单金属矿物，如：自然铜、自然金等，半导体型导电矿物，主要是指金属硫化物，氧化物，因此绝大多数金属矿物是半导体，固体离子型导电矿物，这类矿物为离子键，几乎是绝缘体。造岩矿物属此种类型。

在岩石和沉积物种电阻率的特征：突然、粘土、亚粘土电阻率较低($10 \sim 10^2 \Omega$)，砂岩中等($10^3 \Omega$)、火成岩较高($10^2 \sim 10^5 \Omega$)、变质岩较高($10^2 \sim 10^5 \Omega$)。

2. 影响岩矿石电阻率的因素

主要包括岩矿石结构、构造、湿度、致密度，一般来讲结构、构造、致密、空隙小，电阻率高，含水量大，电阻率低；硫化物含量高，电阻率低；硫化物不连通电阻率高。

4.2.2 电法勘探中几种电流场的类型

1. 均匀介质中的稳定电流场

电场强度 $\vec{E}$ ，电流密度 $\vec{J}$ ，电位 $\vec{U}$ ，电阻率 ρ ， $\vec{J} = \vec{E} / \rho$

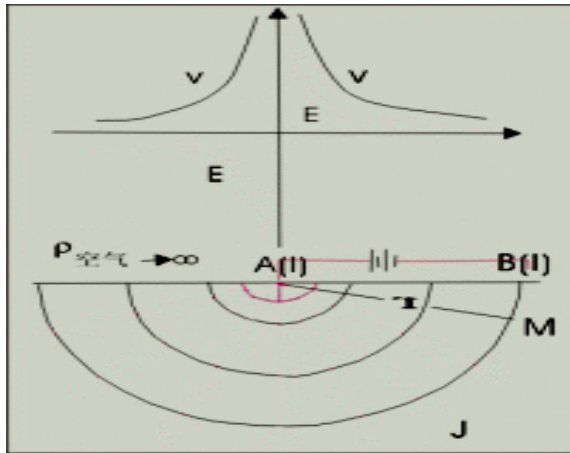
$\vec{E} = \frac{\partial u}{\partial r} \bullet \frac{\vec{r}}{r}$ ；电位距离上的电位变化，即电位梯度，也就是该点的电场强度。

1) 一个点的电流源的电场

为了建立直流电场，需要将电源两端分别经过电极 A 和 B 接地，电流由 A 流入地下，通过 B 又流出地表，构成闭合回路，这两个电极称为供电电极。供电电极和两极之间的距离相比很小，可视两个“点”，因此称 A、B 为电流源。如果把电流接入到地下的 A 极和 B 极之间距离放大到一定的倍数，B 点的电场几乎对 A 点不产生影响(忽略不计)，这时可称为一个点电流场。设 A 极处的电流强度为 I，M 为任意一点， ρ 为地下介质的电阻率， $AM=r$ ，

则 M 点的电流密度 $\vec{J} = \frac{I}{2\pi r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$ ，将此式代入 $\vec{J} = \vec{E} / \rho$ 式，可得 M 点的电场强度，

$$\vec{E} = \frac{I\rho}{2\pi r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}, \text{ 再将上式代入 } \vec{E} = -\frac{\partial u}{\partial r} \cdot \frac{\vec{r}}{r}, \text{ 两边积分, } du = -\frac{I\rho}{2\pi r^2} dr, \quad u = \frac{I\rho}{2\pi r} + C。$$



2) 两个异性点电源电场

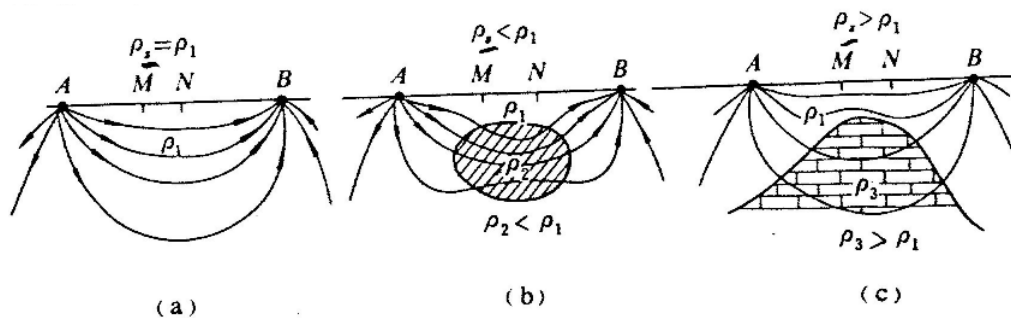
当考虑供电电极 AB 不远，且电流由 A 极接入地下后，而由 B 极从地下流出，按场的叠加原理，该点的电场应是电流强度为 I 的 A 点电流源和电流强度为 I 的 B 点电流源在该点所产生的电场的矢量和。该点的电位则是 A、B 两点电流源分别在该点的电位和，利用

$$u = \frac{I\rho}{2\pi r}, \text{ 求得 A、B 两点电源在 M 点电位 } u_M^A = \frac{I\rho}{2\pi} \cdot \frac{1}{AM}, \quad u_M^B = \frac{I\rho}{2\pi} \cdot \frac{1}{BM},$$

$$u_M^{AB} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right)。$$

2. 非均匀介质中稳定电流场特征

在实际工作中，地下地质情况是非常复杂的。



4.2.3 视电阻率及其电流密度

前面讲的物探原理的假设：

1. 地下介质是均匀的；2. 地表水平。

但实际上地下地质结构是很复杂的，电阻率分布是不均匀的，地表也不是水平的。在这种情况下，地下地质体电阻率不可能是单一地质体的电阻率，是多种岩性综合影响的复合结果，称为视电阻率。

电法中 $\rho = k \frac{\Delta U_{MN}}{I}$ ，k 为设备装置常数； $\rho_s = \frac{J_{MN}}{J_0} \rho_{MN}$ (J_0 为均匀介质电流密度)

4.2.4 电流密度与探测深度的关系

1. 均匀各向同性半空间点电流源电流密度的垂向分布

1) 一个点电流源电流密度

设 A 极电流强度为 I 的正点电流源与 A 相距 r 在地表 O 点电流密度的数值为 $J_0^A = \frac{I}{2\pi r^2}$ 。
在在点 O 的垂线上距地表为 h 的 M 点处电流密度为

$$J_M^A = \frac{I}{2\pi(h^2 + r^2)} = \frac{I}{2\pi r^2} \cdot \frac{r^2}{r^2 + h^2} = J_0^A \cos^2 \theta$$

2) 两个点电流源电流密度

当地表有两个异性点电流源 A、B 时，AB 中点为 O 处电流密度 $\overline{J_0^{AB}}$ 应为来源于 A 和 B 的电流密度 $\overline{J_0^A}$ 、 $\overline{J_0^B}$ 的矢量和。 $\overline{J_0^{AB}} = \overline{J_0^A} + \overline{J_0^B} = 2\overline{J_0^A}$ 。在 AB 中垂线上深度为 h 的 M 点电流密度 $\overline{J_M^{AB}} = \overline{J_M^A} + \overline{J_M^B} = 2J_M^A \cos \theta = 2J_0^A \cos^2 \theta$ ， $J_M^{AB} = J_0^{AB} \cos^3 \theta$ ，

$$\frac{J_M^{AB}}{J_O^{AB}} = \cos^3 \theta = \frac{1}{[1 + (\frac{r}{h})^2]^{\frac{3}{2}}} = (\frac{1}{\sqrt{r^2 + h^2}})^3$$

一般：r=1.5h，AB=3h。如：勘查深度为 100m，供电电极距 300m。

2. 介质电性不均匀电流密度垂向分布特征

4.2.5 电阻率法的主要设备

1. 供电电源，45 伏乙型干电池，小型发电机
2. 供电电极，采用 40~50cm，直径为 1~2cm 铁棒，一端为锥形
3. 测量电极，规格与供电电极相等，多为铜棒，因 Cu 的化学性质比 Fe 稳定
4. 导线与线架，一般要求电阻率小，重量轻，绝缘性好，不易磨损

4.2.6 电阻率剖面法

1. 概述

电阻率剖面法简称电剖面法，该方法在工作中是采用不变的电极距，并使整个装置沿着观测剖面移动，逐点观测电阻率 ρ_s 的变化，由于电极距固定不变，勘探深度就保持在同一

个范围内，因而 ρ_s 值沿剖面变化可以把地下某一深度以上具有不同电阻率的地质体沿剖面方向的分布情况反映出来。

根据电极距排列方式不同，常用方法联合剖面法、对称剖面法、中间梯度法、偶极剖面法。

	比例尺	线距 (m)	点距 (m)
普 查	1: 25000	250	100
	1: 10000	100~200	50~80
详 查	1: 5000	50~100	20~40
	1: 2000	20~40	10~20

2. 联合剖面法

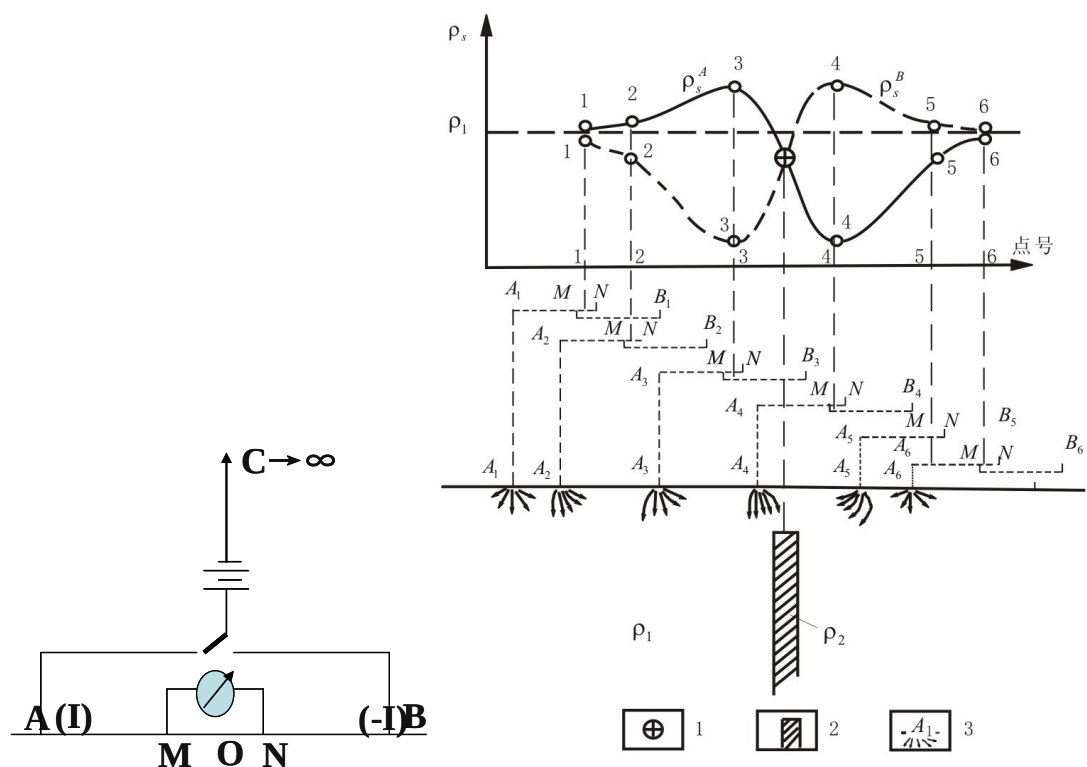
联合剖面法是两个三极排列 AMN ∞ 和 ∞ MNB 联合进行的一种电剖面法。所谓三极排列，是指一个供电电极置于无穷远的排列，A、M、N、B 四个电极位于同一直线上，M、N 之间的中点为测点，且 AO=BO，MO=NO。电极 C 是两个三极排列共同的无穷远极。

一般敷设在测线的中垂线上，与测线之间的距离大于 AO 的五倍。(CO>5AO)

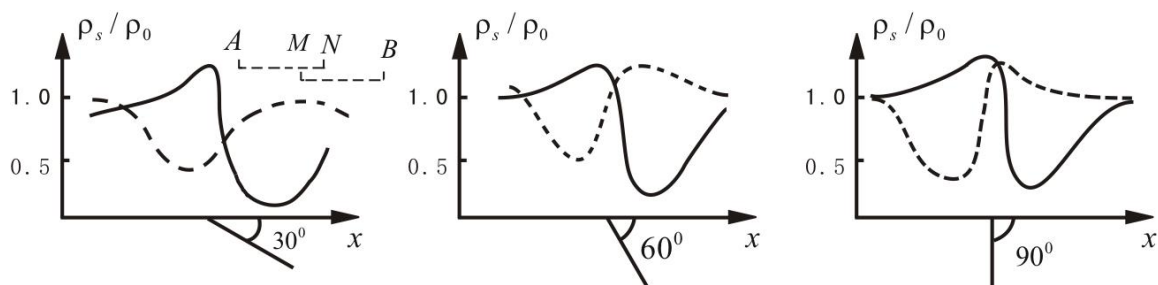
1) 联合剖面法 ρ_s 曲线分布

I 良导薄脉上的联合剖面 ρ_s 曲线

所谓薄脉，是指脉的宽度比电极 L 小的情况



倾斜良导薄脉：



不同倾角对良导薄脉电阻率联合剖面法剖面曲线

4.3 激发极化法

激发极化法又称为激电法，它是以不同岩矿石在人工电场的作用下，发生的物理和电化学反应（激发极化效应）的差异为基础的一种电法勘探方法。

优点：探测致密块状矿体、浸染状矿体。该方法受地形影响大，上世纪六十年代激电法在我国金属矿床勘探发挥了主要作用。

4.3.1 激发极化法的原理

电阻法进行工作时，是通过供电电极向地下供电，并在刚开始的供电瞬间，观测 M、N 两点之间的电位差，求出视电阻率。如果保持供电电流不变，延长供电时间，测量电极间的

电位差极值逐渐增大，最后达到某一稳定值，形成附加电场，若供电一段时间后，断开供电，测量电极之间仍有一个随时间延续而逐渐衰减的电场存在。

在往地下供电时，地下电场随时间的变化称为充电过程。断电后，电场随时间的衰减的过程称为放电过程。这种在充电、放电过程中产生随时间变化的附加电场现象，叫做激发极化效应。

(1) 电子导体的激发极化成因 (2) 离子导体

3. 激发极化法测定的参数

(1) 极化率和频散率

对于极化性质均匀、各向同性的无限岩石来讲，可任选一种有限的装置形式向岩石供电，并利用一组供电电极 M、N 于供电时和断电后分别观测岩石表面的电位差， $\Delta U(T)$ 和 $\Delta U(t)$ ，则岩石的极化率为： $\eta(T, t) = \Delta U_2(t) / \Delta U(T) * 100\%$ ，式中 $\Delta U(T)$ 为供电 T 时刻后，M、N 间总场电位差， $\Delta U(t)$ 为断电 t 时刻后，M、N 的二次场电位差。

当 $T \rightarrow \infty$ ， $t \rightarrow 0$ 时， $\eta = \Delta U_2 / \Delta U * 100\%$

(2) 视极化率和视频散率

当地下有两种或两种以上激发特征不同的岩石存在时，若仍采用某种装置向下供以直流电（或超低频交流电），并观测总场电位差 ΔU 及二次电位差 ΔU_2 （或交流电位差 ΔU_{f1} 、 ΔU_{f2} ），此时得到的并不是一种岩石的极化率值，而是各种岩石在电流激发下产生激发效应的综合结果，叫做视极化率或视频散率。

$$\eta_s = \Delta U_2 / \Delta U * 100\% , \quad \rho_s = \Delta U_{f1} / \Delta U_{f2} * 100\%$$

4.3.2 几种规则形体的激电异常

1. 中间梯度装置的激电异常

中间梯度装置是我国直流激电极化法用的最多的一种类型。

(1) 球形极化体的激电异常

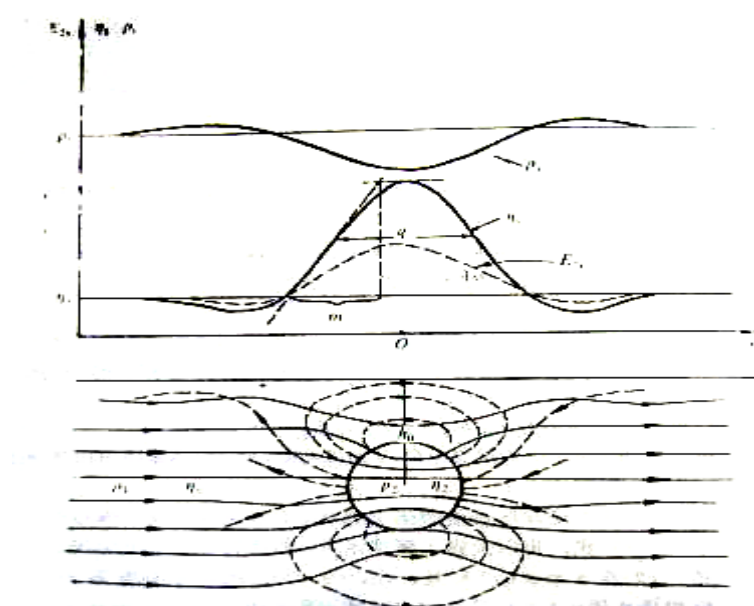


图 3.3—9 良导体极化球体上的 E, U, ρ_s 曲线
(图下部实线为一次场电流线，虚线为二次场电流线)

(2) 脉状极化体的激电异常

a) 均匀场中, 直立椭球体上的视极化曲线

b) 倾斜脉状体主剖面上视极化率异常

中间梯度装置倾斜脉状体激电异常可反映 η_s 和 ρ_s 形态特点

2. 联合剖面装置的激电异常

(1) 极化球体上的激电异常

从图四、五、六可归纳出, 对联剖装置的激电剖面来讲, 两条曲线所夹面积, 大面积一边指示深部地质体的倾斜方向。

4.4 磁法勘探

4.4.1 磁法的基础知识

$F = m_1 m_2 / (\mu r^2)$, 其中 m_1 m_2 分别为两个点磁极的磁量, r 是它们之间的距离, μ 是介质的磁导率。

实用单位: 1 伽马 (r) = 10^{-9} 特斯拉 = 1 纳特 (nT)

4.4.2 地磁场及磁异常

1. 地磁场

地球周围存在着的磁场称为地磁场, 它由基本磁场、外源磁场和磁异常三部分组成。

2. 磁异常

消除各种短期磁场变化后, 实测地磁场与基本磁场间还有差异, 这个差异就称为磁异常。磁异常实际上就是地下岩、矿体或地质构造受地磁场磁化后, 在其周围空间形成, 并叠加在地磁场上的次生磁场。

3. 磁法勘探所观测的磁异常

地面磁测多测定地磁场的垂直分量的相对变化值, 称为垂直磁异常, 以 Z_a 或 (Δz) 表示, 即 $Z_a = z - z_0$, z 和 z_0 分别代表实测场和正常场的垂直分量值。

航空磁测和海洋磁测都测定总磁场强度 (T) 的相对变化值 (ΔT) , 称为总磁场标量异常。

4.4.3 岩矿石磁性

岩矿石之所以有磁性是因为含有磁性矿物，各类岩、矿石所含磁性矿物的种类和数量是不同的，因而存在磁性差异。

观测表明磁化强度 T 由两部分构成，一部分是现代磁场磁化后所获得的，成为感应磁化强度（感磁），以 J_1 表示；另一部分是岩石形成时，受当时地磁场磁化后所获得的磁场强度，以 J_r 表示。

1. 岩矿石的磁化率

分为三类：反磁性：石墨、石膏、石英、盐类矿物等

顺磁性：黑云母、辉石、角闪石、石榴石、电气石、褐铁矿

铁磁性（亚铁磁性）：磁铁矿、钛磁铁矿、磁黄铁矿

岩浆岩磁性一般较高，由酸性到基性岩，随 SiO_2 含量逐渐降低，铁磁性矿物含量逐渐增加，岩石磁性也逐渐增强。

2. 岩矿石剩余磁化强度

地磁场对岩矿石的磁化是一个长期过程，在这个过程中岩矿石受到温度、压力、化学反应等各种因素的影响，形成十分复杂的磁性。

- a) 热剩磁——磁性物质由高温到低温保留下来；
- b) 碎屑剩磁——风化过程中，再沉积成岩过程中保留下来；
- c) 化学剩磁——在温度低于居里点情况下，受到化学作用而产生；
- d) 等温剩磁——正常条件下岩石中磁性物质受到磁场短期磁化形成。

4.4.4 磁性体的磁场

1. 概述

磁法勘探的最后阶段是进行磁异常解释，实践证明，磁异常的特征取决于磁体的磁性地质体中磁性均匀程度、形状、产状及埋深等。

为正确解释磁异常，需要用数学、物理方法来分析异常特征与磁体磁性及产状但呢个的对应关系，给出磁体的磁性参数、位置、形态和产状等，求它引起的磁异常，称为磁法勘探中的正演问题。

给定磁异常，求磁体的产状、形状及埋深称为磁法勘探中的反演问题。

2. 规则形体的 Z_a 磁场特征

在地面磁测资料的解释推断中， Z_a 磁异常资料的应用是最广泛的。

（1）柱体磁场分析

顺轴磁化磁场，所谓顺轴磁化，是指磁化方向与柱体轴线方向一致的情况，其侧面不出现磁极，由上顶和下底分别出现负磁极和正磁极。

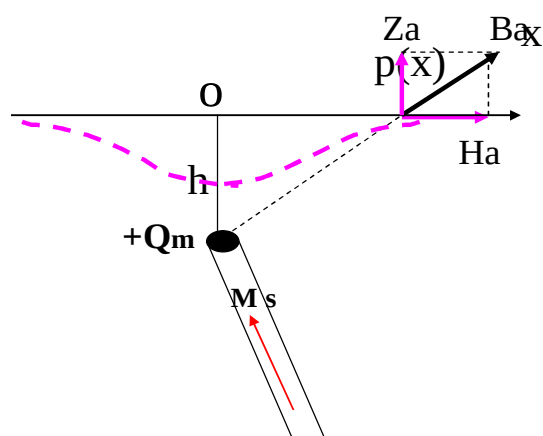
A 单极的磁场

若柱体下底正磁极在地面产生的磁场很弱，可以忽略不计，则可以认为柱体是无限向下延伸的，顺轴磁化无限柱体相当于单磁极。如截面比埋深小得多，则视为上顶为点磁极，于是该柱体磁场就相当于负点磁极的磁场。

设点磁极中心在地面的投影为 O ，埋深为 h ，在北半球磁量为 m 的负点极在地面沿 X 轴的某点 P 产生的磁异常由 $T=m/(\mu r^2)$ 给出（ $\mu \approx 1$ ）， $T_a=m/r^2=m/(x^2+h^2)$ ，式中 r 为点极到 P 点的距离， x 是 O 点为原点时 P 点的横坐标， T_a 方向有 P 指向点极，设 T_a 与 x 轴的正向

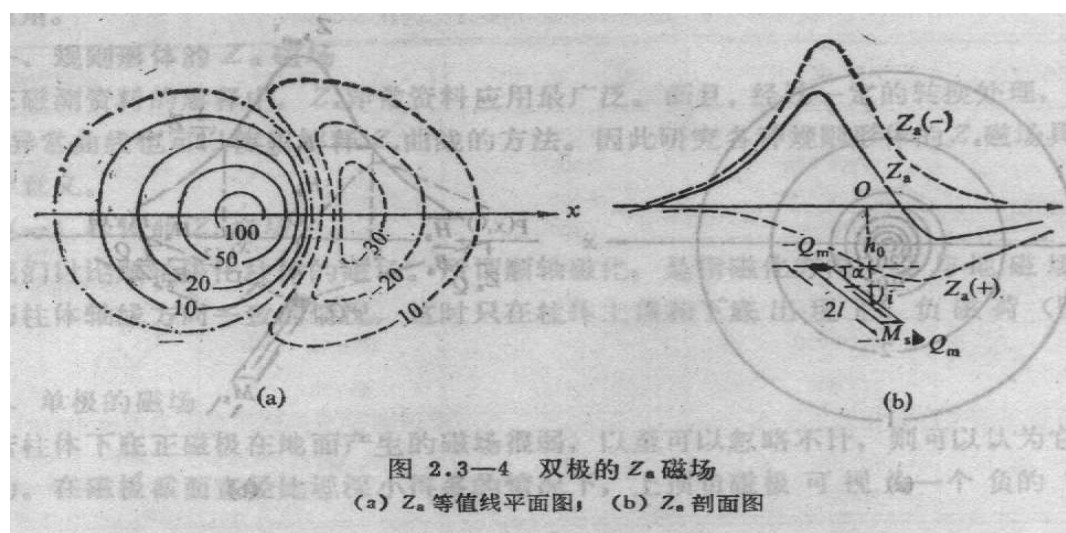
顺时针夹角为 θ ，则对于原点右方测点 (P) 而言，磁异常的垂直分量 Z_a 和水平分量 H_a 之值为：

$$Z_a = Ta \sin \theta = mh / (x^2 + h^2)^{3/2}, \quad H_a = Ta \cos \theta = -mx / (x^2 + h^2)^{3/2}$$



B 双极磁场

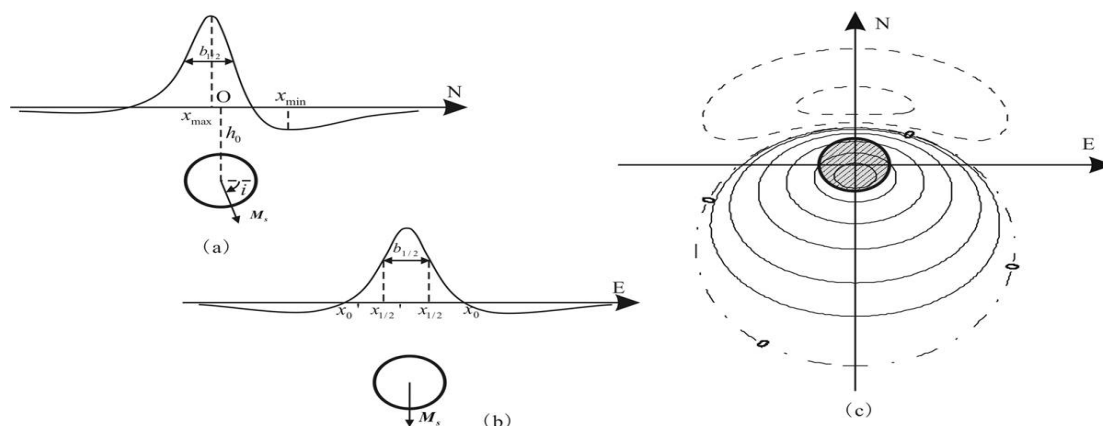
顺轴磁化有限延伸柱体相当于双极，这时柱体下底正磁极在地面产生的磁场不能忽略，整个磁体的磁场应为上顶负磁极和下底正磁极磁场的叠加。



(2) 球体磁场的分析

自然界中，囊状、巢状的磁体都可视为球体。

地处中纬度地区，由于受地磁场倾斜磁化，故球体的 Z_a 磁场总是由正负两部分组成，负值一般出现在正值的北面，正负异常构成一个整体。



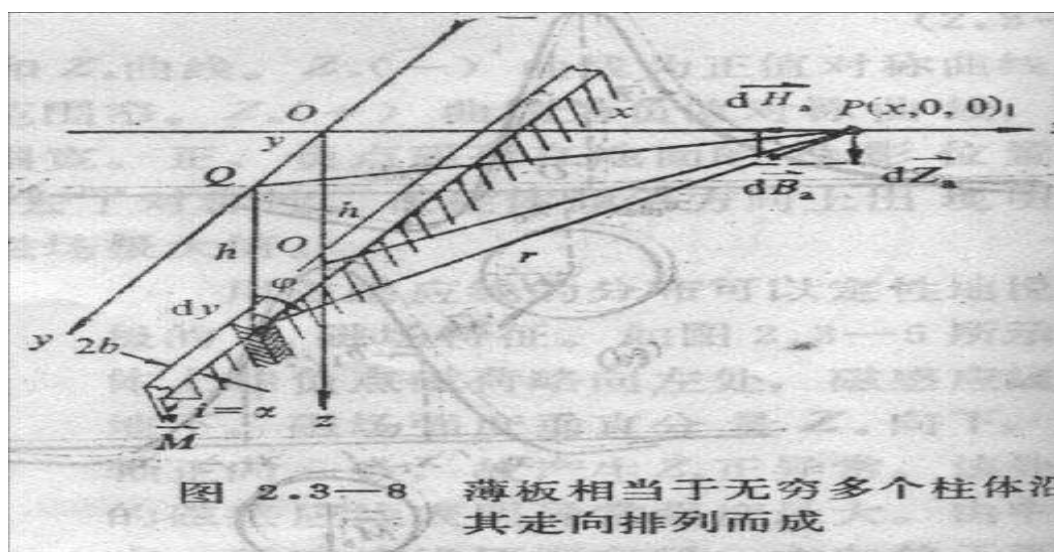
C 三度体磁场的分析

①单极线的磁场

自然界中层状或似层状的磁体，如磁性岩墙，岩脉，陡倾磁性岩层均可视为板状体，无限延伸顺层磁化薄板状体可视为单极线。

由于薄板在 P 点的磁场相当于沿走向排列的无穷多柱体元在该点的磁场之和，故有

$$Z_a = \frac{\omega_m b h}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dy}{(x^2 + y^2 + h^2)^{3/2}} = \frac{\omega_m b h}{\pi(x^2 + h^2)}$$



第五章 勘查地球化学

5.1 术语复习

1、××地球化学而找矿

通过对工作区××样品系统采集、分析其组分特征，确定工作区某些组分的分布特征并圈定异常，定位矿体的找矿方法。

2、背景值

工作区内与矿化无关样品某组分的平均含量称为该工作区的背景值。

3. 异常下限（背景上限）

工作区内与矿化无关样品元素含量的最大值。

4. 衬度

工作区异常带内样品某元素 (i) 的平均值与工作区背景值的比值。

5. 异常衬度

指异常区的大小与异常区中元素含量、常用线金属量和面金属量来表示。

6. 线金属量 (面金属量)

线 (面) 金属量就是异常区的所有样品元素 i 含量与背景值之差和各个样品控制长度 (面积) 乘积的累加。

5.2 勘查地球化学样品 (介质) 类型

5.2.1 基岩

1. 定义: 成岩之后未发生移动和破坏的岩石称为基岩。

2. 围岩: A 采样要求: 尽量采集相似的岩石;

B 揭示深度: 与矿床成因类型密切相关, 热液矿床 <300m

3. 脉状地质体: A 采样要求: 期次的一致性; B 揭示深度: 大于围岩样品

5.2.2 基岩的风化产物

1. 水系沉积物

取样: 毫米级以下的细粒沉积物, 最多的是粘土级(<5mm) 或粉砂级(<0.2mm).

2. 残坡积物

与水系沉积物的差别: 组分富集方式不同

水系: 粘土和粉砂本身; 选择的元素较多, 包括大多数元素。

残坡积物: 坡积物中吸附胶状或离子物质; 选择的元素较少, 以系统元素为主。

5.2.3 与基岩、基岩风化产物存在组分交换的气、液生物体

1. 气体: 主要指气汞测量, 包括少量亲气元素 (Cl_2 , H_2S 等)

2. 液体: 盐类矿床

3. 生物体: 铜草

5.3 各类元素在不同地球化学介质中的活动规律

5.3.1 造岩元素

Si 、Al 、 Mg 、 Na 、 Ca 、 K 、 Fe、 (S)

1.Si Al （短程元素）

- (1) 在岩浆晚期富集； (2) 在风化产物中残留富集；
- (3) 在热液活动中极为稳定（短程元素）； (4) 气、液、生物对两种元素无富集作用。

2.Mg

在超基性岩中富集，在其它介质中贫化

3.K、Na

在岩浆活动晚期富集；在热液活动中一般富集；风化中贫化流失。

4.Fe

在基性岩中富集；在热液活动中变化不明显；在风化过程中富集；在气、液、生物体中无特征性变化。

5.S

是热液矿床的特征元素；在风化过程中易分解，释放出金属元素；在某些生物体中富集。

5.3.2 小原子量亲石元素

1.包括 Li、Be、B、P；

2.岩浆作用中主要在岩浆结晶晚期富集，但是 P 在基性岩中含量最高，Li、Be、B 在伟晶岩中含量最高；

3.在高温岩浆热液中，Li、Be、B 含量较高；

4.在低温热液中，风化过程中 P 稳定，或 Li、Be、B、P 被水淋滤，富集不明显。

5.3.3 高场强元素（第四、五、六副族）

1.半径小，价态高，场强大，形成稳定的共价键；

2.主要与 Fe 进行替代，也可以与 Ti 进行替代；

3.在岩浆活动中主要在碱性岩中富集；

4.在高温热液中富集（可用地球化学找矿）；

5.在低温热液中以及风化过程中，石最稳定的一类元素。

5.3.4 大离子亲石元素

1.在岩浆结晶的晚期富集；

2.在热液活动中极为活泼，一般 I A 族元素富集，II A 族元素可富集也可能贫化；

3.在风化中不富集，不作为土壤和水系沉积物地球化学找矿元素。

5.3.5 亲铁元素（Ni、Co、Fe、Mn）

- 1.在基性岩、超基性岩中富集（Fe、Mn 基性岩中 Co、Ni 基性岩中富集）；
- 2.在热液活动中属中等活动元素；
- 3.在风化过程中，在原地或就近富集，可用土壤地球化学找矿；

5.3.6 亲硫元素

- 1.包括铂族元素（PGE），IB，IIB，IVA，VA，VIA 中的金属元素；
- 2.在岩浆活动中分散在各矿物的晶格中，不容易富集。铂族元素出现在超基性岩中，IB、IIB 元素主要出现在基性岩中，IVA，VA，VIA 元素在酸性岩中富集；
- 3.在热液活动中的活动性仅次于大离子亲石元素，往往高度富集，形成矿床；
- 4.在风化过程中先被淋滤而后被吸附，导致大面积的异常区。

5.4 勘查地球化学的类型

5.4.1 以基岩为取样对象的地球化学找矿方法

1、岩石地球化学找矿方法

测试对象：全岩或脉体的金属含量；

应用范围：特别适合于寻找亲铜元素（亲硫元素）矿床，可以用于寻找亲铁元素矿床和小原子量的亲石元素矿床，少量高场强元素；

矿床成因类型：最适合于寻找热液矿床，其它少用，与超基性岩有关的 Cu-Ni 矿床、伟晶岩矿床可用。

2.流体包裹体地球化学找矿方法

测试对象：脉体中流体包裹体均一温度和流体盐度。原理：流体析出后较高温度、盐度往上运移过程中，温度逐渐降低，与地层中水混合盐度也降低，在矿体周围形成热晕和气晕；

适用范围：亲硫元素、小原子量的亲石元素、少量高场强元素（不包括 IVB 族元素）；

矿床成因类型：最适合于岩浆热液矿床（W、Sn）

3. 同位素地球化学找矿方法

测试对象：主要是围岩的稳定同位素组成（O），有时也测试脉体矿物的同位素组成；

应用范围：主要是中、低温热液矿床

5.4.2 以基岩风化产物为采样对象的地球化学找矿方法

1.土壤地球化学找矿方法

测试对象：土壤 B 层（C 层：沙漠、丘陵地区）中的金属含量；

应用范围：尤其适用于寻找亲硫元素，也可以寻找少量高场强元素（VB、VIB）和亲铁元素（Co、Ni、Mn）

矿床类型：适于寻找内生矿床，不适用于沉积矿床和风化矿床

2. 偏提取地球化学找矿方法

测试对象：土壤中离子态或胶体态的金属；

定义：用弱溶剂对土壤样品中的金属元素（i）进行部分提取，并测试被提取部分所达到的含量 C_x^* 称为金属在样品中的偏提取量。通过获得土壤样品偏提取量信息来查明元素（i）的分布特征，圈定异常从而达到找矿目的的化探方法称为偏提取土壤地球化学找矿方法。

应用范围：亲硫元素，小原子量的亲硫元素、高场强元素，尤其对金有效。（粒金效应，金风化过程中，往下，金颗粒越大，分布越不均匀），对沙漠有效。

3. 水系沉积物地球化学找矿方法

测试对象：水系沉积物的金属含量；

应用范围：多数内生矿产，对除大离子亲石元素和少量高场强元素以外的元素有效。

5.4.3 以其它介质为采样对象的地球化学找矿方法

1. 气体地球化学找矿方法

测试对象：土壤孔隙气体的 Hg、SO₂、H₂S 等组分含量；

应用范围：对于高场强元素、小原子量的亲石元素和亲硫元素有效；

矿床类型：热液矿床。

2. 水地球化学找矿方法

测试对象：水体中的元素含量；

应用范围：盐类矿床（大离子亲石元素）、亲硫元素、小原子量亲石元素；

3. 生物地球化学找矿方法

测试对象：植物灰分中的元素含量；

应用范围：亲硫元素、少数高场强元素和少数的亲铁元素。

5.5 地球化学找矿方法的选择原则

对一工作区尽量采用同一种化探方法；

矿床的成因类型和工业类型；

矿床覆盖层的性质与厚度：

1. 基岩覆盖

以基岩为采样对象的一种方法（岩石、同位素、流体包裹体）；

水系沉积物地球化学找矿方法。

2. 坡积物覆盖

土壤地球化学找矿方法（有迁移）；水系化探方法；气体地球化学找矿方法（定位较准确）。

3. 冲积物覆盖

气体地球化学找矿方法（<500m）；生物地球化学找矿方法（<50m）。

4. 残积物覆盖

出现在丘陵地区；C 层土壤地球化学找矿方法（C 层代表半风化原岩）；气体地球化学找矿方法（>5m 且相对干燥）。

5. 沙漠和戈壁覆盖

覆盖有大量外来风成物质；取粗粒未磨圆的岩屑（ $\Phi > 20$ 目）；
偏提取地球化学找矿方法，采膏岩层；水系沉积物地球化学找矿方法（暂时性河流、水道）。

人为规定的要素：

1.比例尺

- 1) 小比例尺：1：20 万，1：50 万，1：100 万，水系沉积物地球化学测量；
- 2) 中比例尺：1：5 万，土壤地球化学测量，水系沉积物找矿法也可以用；
- 3) 大比例尺：>1：5 万，如 1：1 万，1：5000，1：2000，
以基岩为采样对象的地球化学找矿方法
气体、生物地球化学找矿方法
土壤地球化学测量

2.费用问题

水系沉积物地球化学法、土壤地球化学法、岩石地球化学法是最常用、最经济的方法，其它方法费时费力。

3.各种工作规范

5.6 地学常用分析方法

地学测试工作的类型：

元素含量测试（包括同位素比值）；元素价态测试；表面形貌测试；

分子结构测试；晶体结构测试。

常用谱测试的原理

1.吸收光谱：原子吸收光谱；

原理：光源→（样品→）原子化室→分光仪→检测仪（3000℃）。

缺点：对各种元素需要该元素发射出的光谱

2.发射光谱：原子光谱和等离子光谱

原理：气溶胶载气 Ar→石英矩管→磁场→发射观测区→等离子焰炬（30000℃）。

3.荧光光谱：X-射线荧光光谱（XRF）、电子探针（EMP）、拉曼；

激发源与普通发射光谱不同，特征的高能辐射；

样畜栏里比其它方法简单。

4.质谱：等离子质谱、二次离子质谱、热电离质谱；

离子化。

5.色谱

常量元素测试方法：

X 射线荧光光谱分析、传统湿化学分析、等离子体光谱分析、电子探针分析（仅能分析矿物）。

微量元素和痕量元素测试方法：

1ppb：等离子体质谱、种子活化分析；

ppm：X 荧光、等离子体光谱；

1-几十 ppm：二次离子质谱（能分析 H 含量）；

化探使用的分析方法:

原子吸收光谱、等离子体光谱、X 射线荧光光谱。

分析方法的差别:

1. 灵敏度: 分析方法能够测试到最低组分含量, 又称检出限。

2. 精度:

定义: 分析区分微小含量差别能力;

绝对精度和相对精度:

绝对精度用分析结果的度量单位表示, 如 Cu: $100 \pm 5\text{ppm}$;

相对精度: 如 Cu 的含量为 100ppm ($1\sigma=5\%$), σ 为标准偏差含义;

精度的确定:

定刻度的仪器: 最小刻度值为精度;

不定刻度: 一次性选择, 并选平行样; 含量不大是, 可选一个; 含量相差悬殊, 分别选平行样。

$1\sigma=\text{stdev}()$

本次分析结果检出限为 1ppm , 精度优于 5% ;

等离子质谱优于 5% , 其它分析方法优于 1% , 高含量元素: 0.2% 。

3. 对样品的要求:

微区分析与全岩分析: 微区分析更容易反映目标本身的信息; 微区分析法样品处理简单。

样品量:

多数方法为 1g (包括 X 荧光光谱、原子发射光谱、原子吸收光谱), 送样 10g ;

等离子质谱: 50mg (热电离质谱);

化探: 150g 。

4. 费用

原子吸收光谱: $\text{¥}1\text{-}5/\text{元素}$, 精度 1ppm ;

等离子质谱: 贵阳地化所 $\text{¥}100$, 地大 $\text{¥}300$, 宜昌 $\text{¥}220$;

同位素: $\text{¥}600/\text{样}$;

离子探针: $\text{¥}20000/\text{天}$;

LA-ZCP-MS: $\text{¥}100/\text{点}$;

EMP 电子探针: $\text{¥}50$ 。

5. 耗时

化探工作中对测试质量的要求:

1. 检出限 (灵敏度):

Au: 3ppb ; Ag、Hg: 20ppb ; Bi、Cd、Sb: 0.1ppm ;

As、Co、Cr、Mn、Ni、Pb、Sn、W、Zn: $1\text{-}10\text{ppm}$ 。

2. 精度要求:

$<10\text{ppb}$: 相对精度 35% ; $0.01\text{-}5\text{ppm}$: 相对精度 30% ; $5\text{ppm}\text{-}1\%$: 相对精度 15% 。

同位素测试:

原子量 <32 : 用气体重量质谱, 化学处理严格;

原子量 >32 : 固体离子质谱。

>32 元素同位素测试: 固体同位素质子质谱、二次离子质谱、离子探针;

同位素测年方法的选择:

太古代、元古代: Sm-Nb, U-Pb;

古生代: Rb-Sr (U-Pb) 法;

中生代: Re-Os;

新生代: Ar-Ar;

考古: C¹³

其它测试:

1.价态

目的: 确定矿物结构式; 确定岩浆岩的类型, 指示含矿性;

测试方法: 比色法、滴定法、穆兹堡尔谱;

2.非金属含量

意义: 指示含矿性, 研究矿床成因;

测试方法: 气体质谱仪、色谱、拉曼、红外;

3.形貌分析

意义: 可识别一些微观过程;

测试方法: 扫描电镜

4.晶体结构分析 (测试)

确定矿晶体结构和晶胞参数;

测试方法: X-射线粉晶衍射

5. 分子结构测试

比较高分子键的振动特征;

区分非晶质状态的物质;

测试方法: 拉曼、红外、差热。

6.快速

现场追索异常源;

冷提取+比色/试纸

7.包裹体找矿用测温冷热台

5.7 地球化学异常的解释和评价

5.7.1 异常区自身评价

1.确定异常原因:

地质因素: 矿化、岩性差别;

地理因素: 覆盖层性质、气候、地形;

工作流程: 取样方法、分析 (测试) 方法;

人类活动造成异常: 矿渣、运矿路径。

2.异常区形态:

是否呈现特定形态;

异常区连续性, 连续的异常区意义较大。

3.异常规模与异常强度: 异常强度:异常区元素含量高出异常下限的程度, 用衬度表示。

4.元素浓度分带;

5.元素组分分带。

5.7.2 异常排序

- 1) 异常区内是否存在矿化；
- 2) 异常区是否具备成矿条件；
- 3) 异常区内是否具有找矿标志；
- 4) 物探异常、遥感。

5.7.3 异常区分级与排序

- 1) I级异常：已发现矿化的异常区；
- 2) II级异常：具备成矿地质条件的成矿区；
- 3) IV级异常：明显是由非矿化因素引起的异常；
- 4) III级异常：未查明原因的其它异常。

5.7.4 热液矿床岩石地球化学异常独具的评价内容

1.热液矿床的岩石地球化学分带：异常部位：前缘异常、尾部异常、比邻异常、侧部异常；
前：Pb、Ag；中：Cu；尾：W、Sn。

2.确定矿体剥蚀深度：

- 1) 最直接的方法是包裹体地球化学法；
- 2) 用元素浓度分带判断：没有高级异常区（浓集中心），为隐伏矿；
出现小的浓集中心，已剥蚀至矿体上部；
浓集中心与整个异常区接近，矿体已剥蚀至下部。
- 3) 用元素组合分带判断：只出现前缘晕元素，则为隐伏矿；
出现尾晕元素，矿体基本被完全剥蚀；
介于二者之间。

3.分散矿化异常鉴别：

如果多元素异常共存，前缘元素/尾部元素比值变化较小，则为分散矿化。

4.叠加岩石地球化学异常的识别：叠加是由于成矿作用的多期性；

选用最高衬度大于3的元素，若这类元素间存在负值的相关系数，一般认为是叠加异常。

5.8 化探工作步骤

5.8.1 工作设计

1.收集资料

2.踏勘：社会、人文；地质：露头、构造线走向、覆盖物性质。

3.对技术路线进行试验：

对已知矿化点周围采样，进行试验；

考虑因素：矿床成因类型、工业类型；覆盖物性质；

被测环节：采样方法：采样对象、采样密度、采样深度、样品量、样品加工方法；
测试方法； 数据处理方法。

4. 选定技术路线

5.完成设计

5.8.2 样品采集

1.采样密度： 大比例尺：1-2 样/cm²； 中比例尺：2-3 样/cm²； 小比例尺：3-5 样/cm²。

2.采样位置：采样线布置要考虑构造线和地形；

3.采样对象与采样深度、采样位置；

4.采样记录：样品性质（残积、坡积、原岩）、采样深度层位、粒度、颜色、湿度；

5.8.3 样品加工与测试

1. 粉碎粒度（一般为 80 目）、缩分系数；

2.测试元素（考虑经济性，即费用；有效性）。

5.8.4 数据质量评价：单个数据质量； 总体评价。

5.8.5 数据处理与异常圈定

5.8.6 化探异常解释与评价

5.8.7 报告编写（列出 5.8.2-5.8.6 全部内容）

5.9 地球化学查证

5.9.1 所使用的工作方法：

1.地质方法:一般由轻型山地工程辅助；

2.物探工作；

3.大比例尺化探：确认异常、缩小目标；

4.探矿工程：坑探、钻探。

5.9.2 对各类异常的处理方法

1.舍去第Ⅳ类异常；

2.对第Ⅲ类异常的处理：

通过地质工作评价成矿条件；

寻找找矿标志；

将部分异常归为第Ⅱ类甚至是第Ⅰ类异常；

对其它异常的工作暂停。

3.对第Ⅱ类异常的查证：

大比例尺的化探，缩小找矿目标；

进行物探工作；

探矿工程：依据地质工作、物化探工作设计。

4.对第Ⅰ类异常区的查证：

物探工作，指示矿体的空间形态；探矿工程揭露矿床的工业意义。