

第一章 绪论

第一节 当代地质找矿所面临的形势和 勘查地球化学的任务

近百年来,人类进行了大规模的矿产勘查和开发工作,为世界经济的发展起到了不可估量的作用。随着世界人口和经济的持续增长,人们对矿产资源的需求不断增加,而近地表矿产资源日趋枯竭,地质找矿的难度和投资风险与日俱增,导致当代地质找矿的形势发生了根本性的变化。这些变化集中表现在下列几个方面:

1) 人类对矿产资源需求的不断增长与大部分矿产已探明储量不足的矛盾在上升。由于矿产开采中的资源浪费和对环境的污染以及世界各地矿产分布的不均匀性,使上述矛盾进一步加剧。主要矿产资源的紧缺和不足,已经制约着一些国家和地区的经济的发展。世界范围的黄金争夺,已被对石油资源的争夺所替代。淡水资源的勘查和合理利用,正日益得到社会更密切的关注。

2) 找矿的重点已由地表矿逐步向隐伏矿和难识别矿的方向发展。工业发达地区近地表矿产已被开采殆尽。未来的主要勘查目标是深埋于地下的各类隐伏矿和难识别矿。1982~1992 的 10 年间,加拿大新发现的大多数贱金属矿床的埋藏深度一般大于 200 m。据我国地质部门的统计,1970~1980 年与 1980~1990 年相比,新发现的矿床数目却明显减少,而新发现的隐伏矿床数目却明显增加;1949~1965 年,我国新发现的隐伏矿床仅占发现矿床总数的 10%;1965~1983 年新发现的隐伏矿床的数量上升至 50% (池三川,1988^[13])。1950~1955 年间,在加拿大发现一个矿床的费用为 500 美元,而到 1971~1975 年间已上升为 2500 美元 (陈光远 1987^[7])。在苏联也是如此,用于寻找新矿床的费用占整个投资的 60%~65%。投资很大,而见矿不多 (金兹堡, 1981),说明找矿的难度也在日益加大。

3) 找隐伏矿的方法技术发展缓慢,已成为地质找矿的瓶颈。找隐伏矿的愿望无疑是在人类对自然作斗争还没有科学概念的时期就已经开始萌芽。由于找隐伏矿的难度较大,时至今日,找隐伏矿的方法虽然五花八门,花样繁多,但大部分方法多具有间接性和多解性等明显不足,远不能满足大规模找隐伏矿的需求。一个大型隐伏矿床的发现,耗时少则几年,多则几十年,使找矿的周期、成本和投资风险成倍增长。这种状况严重制约了地质找矿的高速发展。

4) 矿山开采技术的高速发展,对金属矿的开采不再局限于地表以下 300 m 之内了。某些金属矿床的开采深度已达 1000 m 以上。因此,对隐伏矿的勘查深度提出了新的要求。

5) 我国正处于计划经济向市场经济的过渡期间,要求一切经济活动必须提高经济效益,过去那种不计成本、找矿周期过长、无效重复、国家投资、资料部门所有等方式愈来愈不适应市场经济的需要。如何适应新的形势,是摆在我国勘查地质工作者面前的新课题。

面对上述新的找矿形势，各国矿产勘查工作者正在另辟蹊径，多方探索能获取隐伏矿信息的新理论、新方法和新技术。

矿产勘查发展的历史表明，勘查技术的重大突破，是促进地质找矿高速发展的关键。至于我国地质找矿中存在的某些问题，除一部分靠机构改革外，关键问题还在于勘探技术的重大突破。G. E. Mekelvey (1996) 系统总结了勘探技术的突破导致新矿床发现的概况。Woodall 在回顾澳大利亚金矿勘查的历史时指出，1981~1985 年间两次金矿勘查高潮的出现，都归功于金矿勘查技术的重大突破。近 10 年来，我国金矿勘查巨大成就的获得，也是得益于金的地球化学勘查方法和微金分析技术的长足进展^[105]。

隐伏矿在地表的矿化信息十分微弱，是常规的肉眼观察和常规的分析方法难以觉察和检测的。而近代的分析技术能检测出亿万分之几的矿质组分，是肉眼观察和镜下观察所望尘莫及的。可见勘查地球化学方法，在探测隐伏矿的微弱信息方面具有巨大的潜力，可能会执找隐伏矿之牛耳。为了提高勘查地球化学找隐伏矿和难识别矿的能力，必须加强下列方面的研究：

1. 必须加强勘查地球化学的基础研究

勘查地球化学找隐伏矿的基础理论主要是成矿和成晕的理论。这些理论的机制大多是建立在各种假说的基础上，缺乏对成矿和成晕的本质认识。对找隐伏矿至关重要的气体分散晕和气溶胶分散晕中，矿质组分的迁移、存在形式、在不同介质条件下的迁移性能、异常的形态和规模与地质因素的内在联系、对气候条件的依存关系、迁移过程中存在形式的转化、各种天然吸附剂对不同气体组分的吸附与解吸，以及在垂直向上迁移途中的各种物理化学作用等诸多问题的了解甚少，大大限制了对气体异常的解释推断和对隐伏矿预测水平的提高。近几年来，在这方面已做了一些工作，但仍然距找隐伏矿的需求相差甚远。

2. 根据找寻不同隐伏矿床的需要，必须大力发展高灵敏度、高精度和高专属性的分析方法

勘查地球化学中的分析方法，如同地质找矿工作的眼睛。勘查地球化学发展的历史，也清楚地证明勘查地球化学的发展对分析技术的依赖关系。每当微量元素的分析水平向前迈进一大步，勘查地球化学的水平就上升到一个新的台阶，人们识别微弱矿化和找寻隐伏矿的能力随之大幅度提高。因此，研制高灵敏度、高精度和高专属性的分析方法对于提高勘查地球化学方法对隐伏矿的探测深度和探测效果具有极其重要的意义。

3. 必须加强不同景观区、不同矿化类型和不同介质中各类分散晕的分散模式的研究

不同条件下，矿床分散晕的分散模式是勘查地球化学找隐伏矿的理论基础和方法指南。通过对典型矿床各类分散晕的分散模式的系统和归一化研究，有利于理顺人们的找矿思路 and 不同矿床之间的系统对比，指导地球化学工作者逐步预测和不断收集隐伏矿床的地球化学资料。

4. 加强岩石测量和壤中气气溶胶测量的研究

岩石测量找半出露隐伏矿的能力已被地质找矿工作者所公认，其可靠性居化探方法之首。它对隐伏矿的指示最直观，无位移，受表生条件和人为因素的干扰少。在有利的地质条件下，具有较大的探测深度。

随着找隐伏矿的需要，钻孔岩屑测量也必将得到很快的发展和更广泛的应用。

气体地球化学方法在找隐伏矿方面，具有良好的理论依据和较好的实际效果。目前它

已成为勘查地球化学的热点和新的生长点，颇受勘查地球化学工作者重视。但在基础理论和方法技术方面尚欠成熟，必须在应用中不断加强基础理论研究，改进和完善气体测量的方法技术，才有可能得到更广泛的应用，并能取得更好的找矿效果。

5. 深化地球场研究

地球化学预测方法的发展，很大程度上取决于成矿作用地球化学的发展^[3]。单变量和多变量的地球化学场的精确模拟，注意除元素含量之外的其他地球化学场特征的揭示和利用，实现各种不同地球化学场的模拟。在采用传统数据处理手段的同时，应把地理信息系统(GIS)作为一种主要工具，实现多种信息的综合。

6. 开展喷气分散晕及其找矿意义的研究

不断加深对成矿作用是一种区域地质作用的理解和应用，揭示喷气分散晕在成矿作用中的作用，应提上议事日程。

7. 在隐伏矿勘查中，同位素分馏效应应具有良好的前景，应引起必要的重视。

第二节 勘查地球化学找隐伏矿的研究简史

在近代地质科学诞生之前，人类就已萌发了找隐伏矿的思想。在我国，古代文献中已有矿物共生、元素分带和地植物找矿的概念。如在《管子》的《地数篇》中记载着：“山上有铅者，下有银”“山上有丹砂者，下有黄金”“山上有磁石者，下有铜金”“山上有赭者，其下有铁”；唐代颜真卿的著作中记载有：“山上有葱，下必有银；山上有韭，下必有金，山上有金，下必有锡”。在古希腊与古罗马的文献中记载了 Georius Agricola 用分析泉水和观察物遭受高含量金属组分的毒害后所出现的反常生长特征来找金属矿床 (R. W. Boyle, 1977)^[151] 同时还记载了 15 世纪中叶一位热那亚绅士用冬青属植物作为明矾石的指示植物在意大利获得成功的案例。近代地球化学找隐伏矿的思想和方法技术在 20 世纪 30 年代产生于俄罗斯和斯堪的纳维亚各国，而迅速得到发展并取得实质性的进展则是近 20 年的事。近 20 年来，勘查地球化学的高速发展，首先归功于世界经济的持续增长对矿产需求的增长，其次是高灵敏度分析技术的长足进展为勘查地球化学找隐伏矿创造了条件。

第三节 国外勘查地球化学找隐伏矿的研究概况

1798 年，B. M. 谢维尔金 (B. M. Севергин) 提出了“矿物邻近性”的概念。1849 年德国 J. F. A. 布莱绍普特 (J. F. A. Breithaupt) 揭示了矿物共生组合的规律性，对推断铁帽和矿化露头下部可能的矿化情况提供了依据。

费尔斯曼 (Ферсман, 1939) 等人研制成土壤测量方法。在此基础上，萨弗朗罗夫、索洛沃夫、米列尔、谢尔盖耶夫、克维亚科夫斯基、索切瓦诺夫、波里卡尔波奇金、霍克斯、韦伯、莱文森、博伊尔等人为该方法的理论和方法技术做出了卓越的贡献，为勘查地球化学找寻残坡积层覆盖下的隐伏矿床提供了一种有效的方法技术。

艾孟斯 (W. H. F. emmons, 1936) 发现了内生金属矿床周围矿物组分的分带现象。Л. Н. 奥弗钦尼柯夫和 С. В. 格里戈良 (С. В. Григорян, 1970) 对原生晕的形成及其实用意义进行了研究。以上研究为半出露矿床的地球化学勘查提供了理论基础。

Г. Vogt 在挪威进行的水化学测量可能是现代水化学勘查的早期研究 (A. A. Levinsson, 1974)^[141]。20 世纪 40 年代俄罗斯开始将水化学勘查方法大规模用于找矿实践。20 世纪 60 年代后, 加拿大、美国和澳大利亚等国相继开展了大规模的水化学测量。

1922 年 А. И. 基里柯夫 (А. И. Кириков)^[99] 最早试验用 Rn 气测量找寻放射性矿。G. 劳伯梅尔 (1929) 试验用烃类气体找石油。А. А. 萨乌科夫 (А. А. Соуков, 1946)^[70] 和 Е. А. 谢尔盖耶夫 (Е. А. Сергеев, 1957) 首先提出, 并试验用汞蒸气测量找汞矿和其他金属矿。

1966 年加拿大巴林杰公司的巴林杰 (A. R. Borriger, 1966) 提出用大气尘埃找金属矿。

L. Malmqvist 和 Kristiansson (1984) 研制成地气法找隐伏金属矿床^[144~146, 148]。

1973 年 Ю. С. 雷斯 (Ю. С. Рысс, 1973)^[38, 168] 研制成找隐伏金属矿床的地电化学方法。此外, 酶淋滤、程序热释、偏提取等方法在 20 世纪 80 年代相继诞生。这些方法在干旱地区找残坡积层覆盖下的隐伏矿、半出露盲矿和埋藏较浅的掩埋矿, 均能获得较好的找矿效果。

1980 年 В. В. 布罗沃伊提出建立各级物理-地质模式的建议, 并相继研制了大量地质成因模式。

1986 年美国考克斯和辛格 (Cox and Singer)^[35] 将矿床划分出 39 个主要的矿床模式和 99 个子类。美国等西方国家正利用各种已建立的矿床模式对矿产资源进行预测, 并取得了巨大成就, 如美国利用斑岩铜矿的分带模式, 成功地发现了卡拉马祖隐伏斑岩铜矿床。

1955 年 А. Н. 克里夫佐夫等人创建了建造学说, 他们认为在地壳中不同构造单元的不同发展过程中, 既形成一定的岩浆建造和沉积建造, 也形成与之伴生的一定矿床类型。在矿产预测中, 常以确定不同类型地质建造的含矿性, 作为成矿分析的一个重要组成部分。目前, 俄罗斯以建造分析为基础, 进行大规模的矿产预测。

第四节 我国勘查地球化学找隐伏矿的研究概况

1924 年李四光在湖北用岩石测量方法研究侵入岩体中常量元素的组分特征 (吴承烈, 1987)^[88] 用于找铁矿, 这可能是世界上最早应用岩石测量找矿的研究。

1952 年谢学锦院士在安徽月山发现了铜的指示植物海州香薷, 这种植物后被列为世界上最重要的铜的区域性指示植物^[142], 为我国长江中下游地区寻找残坡积层覆盖下的隐伏铜矿床提供了一种有效的指示标志。

1958~1959 年, 邵跃等人^[77] 在甘肃白银厂、辽宁青城子等地开展了原生晕找隐伏矿的试验研究, 并找到新的半出露隐伏矿体。

20 世纪 60 年代, 我国岩石测量得到了较广泛的应用和发展^[92] 在地质部门和冶金部门均设立了专门的岩石测量研究机构, 并在多金属矿床及铜矿床原生晕的研究中取得了显著的找矿效果。如李善芳等人在安徽宝山陶找到了隐伏的铜矿体。

1964~1967 年间, 李善芳等人在长江中下游地区开展了用地球化学方法对铁帽含矿性评价的研究, 与此同时, 李文达等人用传统的地质方法 (主要研究褐铁矿的结构构造) 也对铁帽的含矿性进行了研究。这些研究成果, 为淋滤型隐伏矿的勘查提供了一种新手段。

1970~1980 年间, 伍宗华等在我国开展了壤中气测量的研究。其中包括: 壤中气汞的瞬时测量^[103, 104] 和累积测量^[106] 壤中气 CO₂ 的瞬时测量和累积测量^[112], 壤中气甲烷瞬时测量等方法的研制和有效性试验, 并在河南上宫^[151] 等地, 找到了新的隐伏矿体。

1993年伍宗华等^{〔117〕}提出,矿床周围元素在原生分带序列中的位置与该元素的赋存状态有关,据此修正了以往一成不变的元素分带序列。

1980~1990年间刘吉敏等人^{〔147〕}开展了地电化学找隐伏矿的试验。

1983年伍宗华等研制成水电化学方法,并开展了用该方法找隐伏矿的试验工作^{〔110,155〕}。

1980~1990年间任天祥、高平等开展了植物地球化学测量的有效性试验。

1990~1995年间欧阳宗圻、李惠^{〔40,59〕}、邹光华^{〔140〕}、吴承烈^{〔94〕}等人分别进行了有色金属、金、铜矿床的地质-地球化学模式研究。

综上所述,国内外勘查地球化学找隐伏矿的发展大致经历了四个不同的发展时期:

第一发展期(1950年以前)。这时期找隐伏矿以土壤测量和水系沉积测量为主要手段,其找寻的对象主要为残坡积层覆盖下的隐伏矿和某些人工掩埋矿。人们依靠肉眼观察残坡积层中的转石和土壤中的地球化学异常,用探槽或浅井揭露矿体。这一阶段延续的时间最长,找到的矿最多。据R. W. Boyle (1977)^{〔151〕}统计,迄今为止,世界各地开采的矿床80%以上是在古人开采的基础上进行的。时至今日,对于那些肉眼不易识别的矿化类型,土壤测量和水系沉积物测量仍然是找这类矿的重要手段。

第二发展期(1950~1970年),以岩石测量和气体测量为主要手段,其主要寻找的对象,除找残坡积覆盖层下的隐伏矿外,已扩展到找淋滤型隐伏矿、分带型隐伏矿、半出露盲矿等隐伏矿类型。这一时期,勘查地球化学的探测深度明显增大,找隐伏矿的效果日趋显著。

第三发展期(1970~1990年),也可称之为综合模式找矿期。随着地、物、化、遥各种方法在找隐伏矿方面的长期研究,积累了大量矿床产出地质特征和物化探异常特征的基础上,系统总结了各类典型矿床的异常模式。由于单一方法的异常模式只是从某一个侧面反映隐伏矿床的某些特征,必然产生“间接性”和多解性的弊端。人们为了消除这些弊端,通过组合推断或循序推断,归纳出各种综合找矿模式。这是地质理论与实践相结合的产物,也是地质理论找矿和其他方法找矿之间的桥梁。人们在未知区依据找矿综合模式所指引的思路去收集资料,并与相应的模式进行拟合和矿产预测。由于数学和计算机技术在地学领域的广泛应用,使综合找矿模式沿着定量化和数字化的方向发展。奥林匹克坝巨型Cu-U-Au矿床的发现,是综合模式找矿的成功典范。

综合模式找矿,侧重于已有各种资料的综合和归纳,而且仍然是一种间接找矿为主的方法,也具有较大的不确定性和巨大的风险。随着隐伏矿埋藏深度的加大和埋藏条件的复杂化,在实际找矿中,还需依靠新方法、新技术和新理论,尽量获取与深部隐伏矿有关的信息,减少片面性,避免盲目性,为隐伏矿的预测提供新的直接指示标志和理论依据,从而更好地指导隐伏矿的寻找。

第四发展期(1990年以后)为信息找矿期。这一时期,找隐伏矿的方法空前增多,探测深度明显增大,所获信息量成倍增加,而且这些信息并非非此即彼,而是既可能是此,也可能是彼。推断解释的不确定性也随之增加。只有通过各种间接信息的相互验证,成矿环境与地球物理场或地球化学场之间的拟合,不断地去伪存真,由表及里,逐步逼近潜在矿床所反映的本质特征。但人们决不会放弃直接找矿信息的获取,某些微观或超微观信息的获得,使间接找矿为主的信息找矿期又重新返回到直接找矿为主的时期。因此,发展高灵敏度和大探测深度的勘查地球化学方法,具有特别重要的意义,并预示着一个找隐伏矿的新时期即将到来。

第二章 隐伏矿床的勘查地球化学分类

第一节 概述

“隐伏矿床”这一术语在地质人员中应用相当广泛，但不同专业的人员对隐伏矿各自有着不同的理解。传统的地质找矿工作者大多认为：凡是在地表用肉眼和显微镜观察不到任何矿化和蚀变的矿床称之为隐伏矿床。大多数勘查地球化学工作者则认为：用常规的化探方法在地表不能发现异常的矿床，统统称之为隐伏矿，在地表若用常规的化探方法能发现异常的矿床则不认为是隐伏矿。据此推断，残坡积层覆盖下的隐伏矿、分带型隐伏矿和淋滤型隐伏矿都不是隐伏矿床，只有掩埋矿和盲矿才够得上是隐伏矿。物探人员对隐伏矿的埋藏状况并不十分注意，他们所关心的是矿床埋藏深度的大小，埋藏深度小于 50 m 的矿床不认为是隐伏矿床。基于上述不同的认识，有时不同专业的地质人员要选一个隐伏矿床作试验，也争论不休，严重影响了找隐伏矿方法技术的交流。因此，在讨论隐伏矿的地球化学勘查之前，首先应对隐伏矿有一个明确的定义和分类，以利于统一认识和对不同类型隐伏矿床勘查方法的讨论。

国外对隐伏矿的分类也不统一，下列两种分类是较为常用的。

第一种分类是俄罗斯 И. А. 舍赫特曼 (Шехтман, 1979)^[79] 等人针对热液矿床的分类，把未出露地表的矿床统称为隐伏矿床，具体又分为下列 4 类（图 2-1）：

- 1) 覆盖矿床：被不厚的（几米）浮土覆盖的矿床。
- 2) 掩埋矿床：掩埋于较厚（5~10 m）岩层之下的矿床。
- 3) 掩覆矿床：埋于较深处的矿床。其中一个亚类是以产在不整合于容矿岩层之上为特点的被很厚的已固化的或火山岩层所覆盖的矿床；另一亚类是在逆掩断层之下（地层掩覆或构造掩覆）的矿床。
- 4) 隐伏矿或盲矿：这一名词常不涉及矿床，而涉及在已经查明的矿田（矿床）范围内进行普查的矿层和矿体。它们既可分布在直接靠近已知矿层的地方，因而具有与已知矿层同样的地质位置，也可以分布在矿床较深的层位，处于另一个地质构造层中。

另一种常用的分类是美国学者彼得斯 (Peters, 1976) 的分类，他把隐伏矿床按成因分为以下 5 类（图 2-2）：

- 1) 盲矿 (blind orebody)：受地下构造和岩性的控制，地表没有或很少有矿化标志显示的矿体。
- 2) 淋滤矿体 (leached orebody)：矿体顶部被淋滤溶蚀掉了，在地表只保留下一顶“帽子”。
- 3) 分带矿体 (zoning orebody)：靠地表顶部，常由与成矿关系密切的脉石矿物构成，中下部由金属硫化物组成。

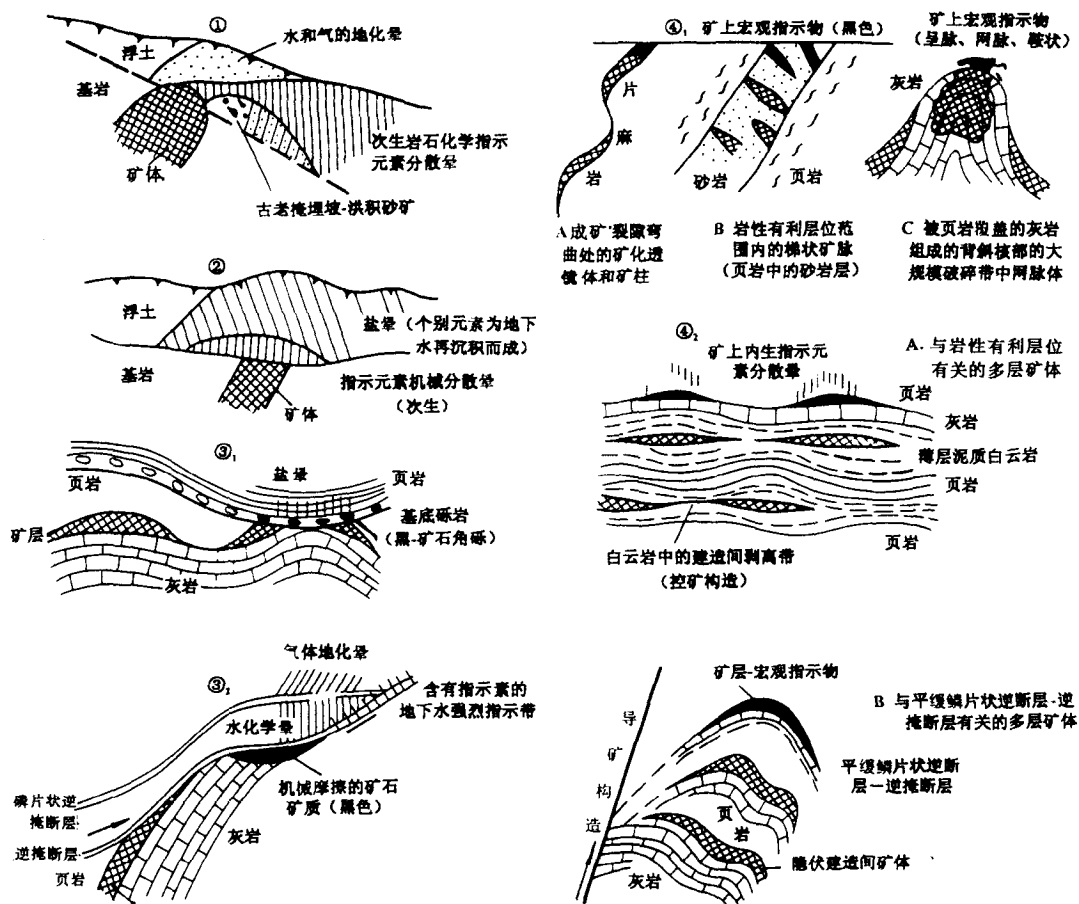


图 2-1 II. A. 舍赫特曼等人的隐伏矿床分类示意图

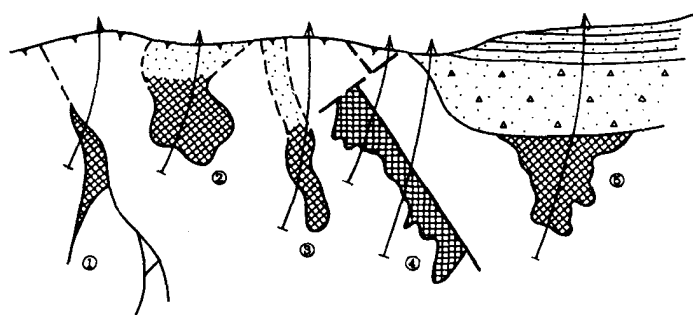


图 2-2 彼得斯的隐伏矿床分类示意图

4) 削蚀矿体 (truncated orebody): 主要由断层错断而深埋的矿体。

5) 被隐蔽矿体 (concealed orebody): 被成矿后的沉积物或熔岩所掩覆, 因而在地表很难找到任何找矿标志及成矿地质信息的矿体。

第二节 隐伏矿床勘查地球化学分类的依据和 隐伏矿床类型的划分

鉴于勘查地球化学找隐伏矿是利用隐伏矿的各类分散晕特征，不同分散晕类型需要选择相应的地球化学方法，因此，影响隐伏矿分散晕发育和分布的各种因素应是隐伏矿地球化学分类的主要依据。影响隐伏矿分散晕发育和分布的因素很多，某些深层次的控制因素，可能至今尚未被人们所揭示。因此，在此仅对已有地球化学方法影响较大的某些主要因素进行讨论。

就目前而言，在所有影响地球化学勘查的诸多地质因素中，影响最大、涉及面较广的应数覆盖层的成因类型和覆盖层的厚度。如残坡积覆盖或风成黄土、冰碛物、冲洪积物、风成沙等运积覆盖，必须分别采用完全不同的勘查地球化学方法，才能获得较好的找矿效果。在运积物覆盖区，运积层中没有隐伏矿的机械分散晕，对土壤测量和水系沉积物测量等方法一般说来是无效的。又如覆盖层的厚度，对勘查地球化学方法的选择也有较大的影响，如我国黑龙江、吉林等地，当残坡积层的厚度大于 2 m 时，则土壤测量的效果不好，所获资料对矿的指示意义不明显。相反，当残坡积层的厚度小于 0.5 m 时或基岩裸露区，从隐伏矿释放出来的气体，无处保存，直接向大气散发，因而，各种壤中气测量方法，也不能获得较好的找矿效果。

对勘查地球化学影响较大的另一种因素是隐伏矿产出的地质位置以及与剥蚀面之间的相互关系。剥蚀面是各类分散晕发育的重要界面，从而也直接影响地球化学方法的选择。

隐伏矿所处构造层的地质构造特征，特别是所处构造层、控矿岩体和控矿构造之间的相互关系，对原生和次生分散晕的发育和分布均有较大的影响。

对隐伏矿床各类分散晕的发育和分布影响较大的第四种因素是成矿前和成矿后与矿有关的各种断裂构造，这些构造既是矿液运移的通道，也是控制分散晕发育和分布的重要因素。特别是成矿后的各种断层，能使矿体分散晕与矿体分家，常造成有晕无矿，有矿无晕，给地球化学异常的推断解释造成极大的困难。

凡是矿体没有出露于地表的矿床，统统称之为隐伏矿床，这一点，在地学界比较容易达成共识。这一概念，对于勘探地球化学也是适用的。在这一前提下，作者根据矿体的埋藏状态，进一步将隐伏矿床划分成下列 8 种类型。

- 1) 残坡积层覆盖下的隐伏矿床：矿体被附近的风化产物所覆盖，松散层的厚度一般在 0.5~2 m。
- 2) 淋滤型隐伏矿床：矿体顶部被强烈淋滤溶蚀，在地表仅残留下一些耐风化的铁锰质褐铁矿，呈帽状覆盖在原生硫化矿的上面，但褐铁矿中的有用组分均不够工业品位。
- 3) 分带型隐伏矿床：由于矿床分带的结果，在地表部分，常由与成矿关系密切的脉石矿物组成，中下部由金属硫化物构成。
- 4) 掩埋型隐伏矿床：矿体曾剥露至地表，但由于矿床所在位置缓慢下沉，直至下沉至近代剥蚀面以下，已出露的矿体逐步被外来的冲洪物所覆盖，或被其他运积物所覆盖。
- 5) 盲矿床：产于基岩中，矿体和矿体原生晕均未被剥露至地表的矿床。
- 6) 半出露盲矿床：矿体尚未剥露至地表，但矿床的原生晕已剥露于地表。

7) 多种构造层下的盲矿床:矿床和矿床的原生晕均被成矿后两种以上的不同构造层所覆盖,在地表岩石中无任何与隐伏矿有关的分散矿化和围岩蚀变。

8) 错断隐伏矿床:主要由断层错断而深埋的矿体。

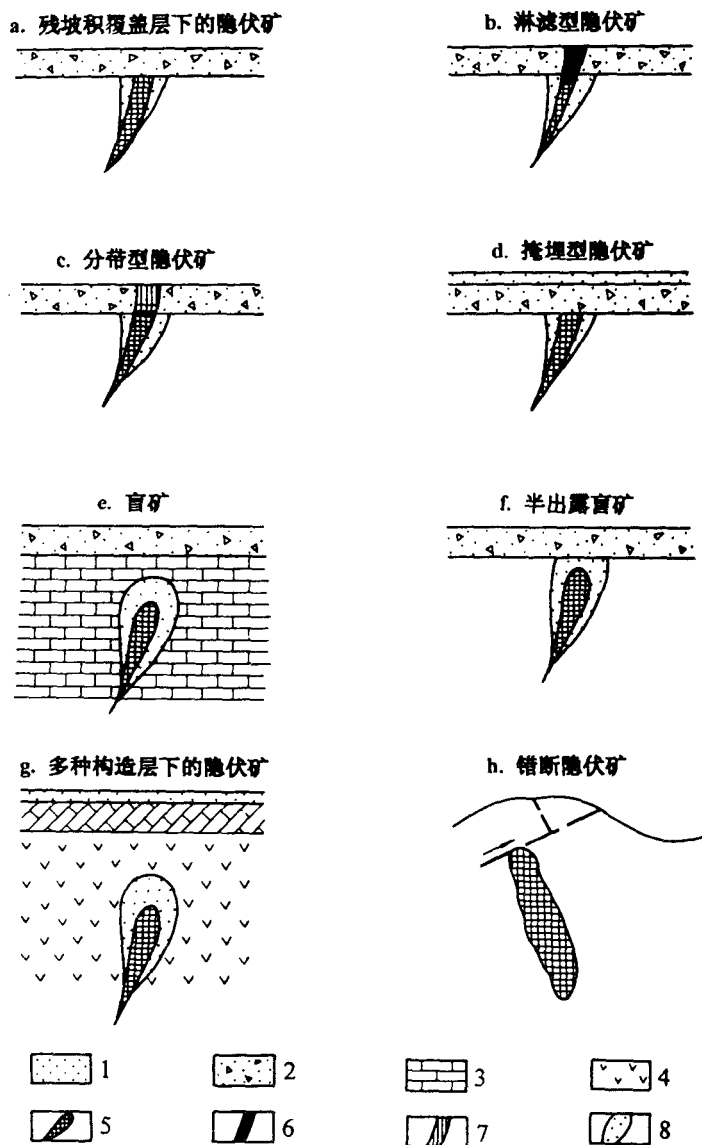


图 2-3 隐伏矿床的地球化学分类

1—运积物; 2—残坡积物; 3—灰岩; 4—安山岩; 5—矿体; 6—淋滤后残留的帽状物; 7—脉石矿物集合体; 8—原生分散晕

第三节 各类隐伏矿床的地质地球化学特征

1. 残坡积层覆盖下的隐伏矿床

这类矿床(矿体)和矿床原生晕均曾被剥露至近代剥蚀面,后来在长期的化学风化和

物理风化过程中，逐渐被附近的风化产物——残坡积物所覆盖，在地表已见不到矿化露头 and 蚀变围岩，但在残坡积层中，发育有成矿元素和伴生元素的机械分散晕、气体分散晕、离子分散晕和气溶胶分散晕。

2. 淋滤型隐伏矿床

这类矿床的矿体和矿床原生晕均曾剥露至地表，由于湿热区地表的化学风化作用强烈，长期处于地表的原生硫化矿被淋滤和溶蚀殆尽，仅残留下一些耐风化淋滤的铁锰残余物。这种残余物呈“帽”状覆盖在原生硫化矿之上，被称之为“铁帽”。半干旱的热带地区，在没有矿体赋存的地方也容易形成类似的“铁帽”。人们仅凭地表褐铁矿的矿物成分和结构构造，既不能确认原生的金属硫化物是什么，也不能识别铁帽之下还有没有原生硫化矿残存。在这类矿床附近的残坡积覆盖层中，仍然发育有成矿元素和伴生元素的机械分散晕、气体分散晕、气溶胶分散晕和离子分散晕。在有利的条件下，也可以形成水化学分散晕和地植物分散晕。总之，这种隐伏矿床仅仅是地表的矿化露头不容易辨认，有用组分不够工业品位，除此之外，与地表露头矿没有什么明显的区别。在以往，勘查地球化学工作者一般不认为它是隐伏矿。

3. 分带型隐伏矿床

这类矿床的矿体未出露于地表，但矿床的原生晕已剥露至地表，在地表的矿化体中，有用组分不够工业品位，但其含量明显比周围其他无矿化的岩石高，矿化体的矿物成分，主要由与矿化关系密切的脉石矿物组成，在矿化体的周围，发育有原生分散晕、机械分散晕、气体分散晕、气溶胶分散晕。在有利的条件下还可形成水化学分散晕和植物异常。在这类矿床的评价中，所面临的问题是，矿化体的下部有没有矿体存在。

4. 掩埋型隐伏矿床

这类矿床的矿体和矿体原生晕曾被剥露于地表，后由于矿床所在地的地面缓慢下沉，直至下沉至近代剥蚀面之下，矿体和原生晕逐渐被外来的异地疏松沉积物所掩埋。在另外的两种情况下，并非是地面下沉，而是由于被风积物和人工堆积物所掩埋，这两种情况也属掩埋矿床。在掩埋矿床的上部覆盖层中，没有与矿体有关的机械分散晕和离子分散晕，只有在运积层的厚度较小，而且覆盖的时间较长时，才有可能发现与隐伏矿有关的气体分散晕和气溶胶分散晕。在干旱地区还有可能发育有离子分散晕。

5. 盲矿床

这类矿床（矿体）和矿床原生晕均未被剥露至近代剥蚀面，在矿床上方的岩石和土壤中，用常规的勘查地球化学方法不能检测到与隐伏矿有关的任何异常。但在特殊的地质和地球化学景观条件下，有可能通过植物的抽提作用、毛细作用、太阳泵效应、地气流的搬运、自然电场作用等方式将与深部隐伏矿有关的矿质组分被搬运至地表，分别形成气体分散晕、气溶胶分散晕、离子分散晕和水化学分散晕。

6. 半出露盲矿床

这类矿床（矿体）的矿体未被剥露至地表，但矿床的原生晕已被剥露于地表，虽然在地表见不到矿体露头，但在地表岩石中，发育有矿床的原生分散晕，在其残坡积物中，发育有隐伏矿的机械分散晕、气体分散晕、离子分散晕和气溶胶分散晕等。

7. 多种构造层下的隐伏矿床

这类矿床的矿体和原生晕被后期两种以上的构造层所覆盖，在地表岩石中，无任何与

隐伏矿有关的微弱矿化与蚀变。在地表土层中，也不能发现与隐伏矿有关的机械分散晕和离子分散晕，只有在有利的地质条件下，才有可能检测到气体异常和气溶胶异常。这类矿床的埋藏深度一般较大，地质情况也比较复杂，是较难找寻的隐伏矿类型之一。即使在地表已发现与隐伏矿有关的异常，根据异常对隐伏矿床进行追索也是十分困难的。

8. 错断隐伏矿床

主要由于成矿后的断层将矿体错断而深埋于地下，地表为异地的已固化岩石所覆盖，岩石中没有与隐伏矿有关的原生晕，土壤中无机械分散晕，矿体的头尾分离，造成各类分散晕发育的部位其下部无矿体存在，地下有矿体赋存处，其地表通常无异常显示。

第三章 找寻隐伏矿床的勘查 地球化学方法简介

第一节 岩石测量

一、概述

岩石测量是以基岩为采样对象，通过对测区内基岩样品的系统采集和分析，研究成矿时赋存于基岩中的不同尺度的原生晕的分散模式，用于指导地球化学勘查。

岩石测量原被认为是一种详查方法，主要用于异常查证。后来，原苏联将岩石测量用于 1:5 万区测，解决地质测量中众多的地质问题。自 20 世纪 70 年代开始，我国也开始了区域岩石测量的研究。

岩石测量的应用范围在不断扩大。根据不同的工作目的，可分为：区域岩石测量、局部岩石测量和钻孔测量等类型。

区域岩石测量：是以较低的采样网度，研究与区域岩浆活动有关的喷气分散晕。其目的在于发现有找矿意义的地球化学省，大的成矿区带和含矿构造。

局部岩石测量：是在各类找矿靶区内或异常区内，按中、大比例尺进行系统的岩石测量，研究测区内潜在矿田（矿床）的原生分散晕，用于缩小靶区，追索隐伏矿床，指导工程的布置。

钻孔测量：用较密的网度，研究矿体的原生晕。主要是利用矿体原生晕的分带特征，借以发现钻孔之间或已知矿体下部的盲矿体。样品主要从钻孔岩心中或井下坑道中采集，采样点距一般为 1~5 m。

岩石测量的优点是：所采样品的地质背景明确，所得的地球化学信息直接，能够与样品所代表的地质体的其他地质特征联系和对应，有利于对资料进行地质和地球化学相结合的综合研究；所得元素异常和测区内的背景分布均无空间位移；元素含量也因未遭受表生作用而产生贫化和富集的现象，元素之间保持原有的共生组合关系，有利于研究元素之间存在的共生组合规律。因此，岩石地球化学测量所揭示的空间分布特征和共生组合规律，不仅可以为解决测区内的基本地质问题提供有意义的地球化学信息，而且还可以排除由于表生作用和人为污染因素所造成的假异常，为地球化学找矿提供更为直接可靠的信息。

另一方面，由于矿化受岩石构造裂隙的控制，又未遭受表生作用的均匀化作用，元素在不同地质体中的含量与分布特征往往存在突变性的差异，给岩石地球化学测量的采样理论和测量的方法技术带来许多问题。诸如采样布局、采样密度、样品构成、样品代表性以及采样效率等等。

岩石测量找隐伏矿的理论基础是：矿床周围发育有比矿床大若干倍的成矿元素和伴生元素的原生分散晕，根据岩石测量所探测到的原生分散晕特征，可指导隐伏矿的追索。

二、岩石测量的研究概况

在岩石测量正式诞生之前，费尔斯曼（Ферсман，1939）等人分析风化岩石中的微量元素与土壤中的异常进行对比研究。我国地质先辈李四光先生于1924年用地球化学思想研究闪长岩侵入体的含矿性（吴承烈，1987）^{〔92〕}。岩石测量，作为一门学科，则是新中国成立以后的事。岩石测量比其他地球化学方法发展稍晚。40多年来，岩石测量的工作，虽然一直没有间断，也取得了一些可喜的成果，但生产的规模仍然较小。同时，也缺乏系统的总结和理论概括，更缺乏必要的交流与推广。因此，这一颇有前景的勘查地球化学方法，至今仍处于生产试验中。

岩石测量的研究在俄罗斯则是相当活跃的，奥弗钦尼柯夫和格里戈良（С. В. Григорян，1970）对原生晕的形成和实用意义进行了研究。А. А. 别乌斯（А. А. Беус）和格里戈良（1979）^{〔93〕}对矿床原生晕及其在普查中的应用作了进一步的研究，并指出了原生晕最重要的特征之一是：矿质组分的垂直分带和水平分带。同时提出了表征其分带特征的分带指数的计算方法。В. А. 巴尔苏科夫对成矿和成晕的机理进行研究后指出：成矿理论的发展，是应用地球化学继续进步的基本前提。（国外地质科技，1982№5）。奥泽洛娃（1959）^{〔164〕}对汞的原生晕进行了广泛的研究，并著有《汞的原生晕》一书。М. 克维亚持科夫斯基（1987）^{〔37〕}著有《岩石化学找矿法》一书（张国容、邱郁文译，1984）。20世纪60年代初开始试验岩石测量用于区域地质调查，全苏地质研究所（ЕСГЕИ）、莫斯科稀有元素矿物地球化学与结晶化学研究所〔ИМГРЕ〕等单位相继对岩石测量在区域地质调查中的应用，进行了十多年的研究。70年代末，对该方法作出了全面的总结，并在全苏进行推广。这项研究指出：不仅要研究局部异常，而且还要研究整个测区的地球化学场，研究成矿专属性，划分元素和元素组合的带入带和带出带，利用地球化学资料对地层、岩相进行划分，对构造含矿性和剥蚀水平进行评估等等。1985年С. В. 格里戈良出版了论述次生异常与原生异常对应关系的专著，为区调中所获次生晕资料的推断解释和用原生异常研究地质问题提供了丰富的资料。在数据处理方面，研究出以多元场法为代表的多种图示地球化学场的方法，并用因子分析、主成分分析、判别分析、相关分析等手段对地质体的地质化学特征进行分类和辨认，为解决区调中的地质问题提供了多种手段。1988年苏联《Недра》出版社出版了全苏地质研究所编写的《1:5万地质测量方法参考书》第15卷《岩石测量和普查方法》，作为对新的《固体矿产化探规范》的一个补充。专门论述了用化探资料解决区调中地质问题的原理。

综上所述，岩石测量方法的应用范围虽在不断扩大，找到矿的案例也不少，但仍未形成生产规模，在我国更是如此。造成这种状况的原因，作者认为，是由于基础理论和方法技术的研究均比较薄弱所致。如原生分散模式的研究和表征，异常的圈定和分带特征的描述，都缺乏理性指导。各家所获资料无法对比，严重妨碍了岩石测量方法的发展与交流。其次是应用领域也值得考虑。岩石测量的巨大潜力是找隐伏矿和研究区域地球化学场特征。若将它用于找近地表矿，它的作用远不如土壤测量和水系沉积物测量。

三、工作方法

1. 采样

岩石测量中，样品的采集对象和采样布局是岩石测量的关键问题之一，某种程度上决定着岩石测量工作的成败。戈维特（G. J. S. Govett，1983）曾指出：岩石测量的样品应是岩脉物质，裂隙充填物和似碧玉岩，而不是采集围岩岩块。W. Crone, L. T. Larson,

R. H. Carpenter 等美国学者在金矿床上作了采样物质的对比试验, 试验结果表明, 围岩裂隙薄膜样品中的 Au、Ag、Hg、Sb 的平均含量要比围岩碎片中高几倍到几十倍。我国谢学锦和邵跃等人^[77]的试验结果也得出了相似的结论。我国中国地质大学赵伦山等老师 (1993 年)^[136]介绍了几种不同的采样方案, 并作了适当的评述。其中包括丛聚法采样、简单随机采样、规则网格法采样、分层随机采样、目标追踪采样等方法。各国地球化学勘查工作者致力于岩石测量采样方案的研究, 其目的在于: 提高样品的代表性, 抑制矿质组分分布不均所造成的离差, 提高对隐伏矿的探测深度和降低成本等。采集各种组合样, 既可提高样品的代表性, 抑制采样误差, 改善异常的连续性, 又可以减少样品的采集和分析, 降低勘查成本, 建议在岩石测量中, 以采集组合样为宜 (图 3-1)。

2. 测网选择

测网的选择, 与各个勘查阶段的地质任务有关, 也与采样方案和勘查对象等因素有关。作者认为, 正规图幅的岩石地球化学测量, 可用地形图的方里网网格 ($n \text{ km}^2$) 作为采样单元, 每一个单元网格内的样品数, 以 1~3 个组合样为宜, 样品数减少了, 必须采集岩块组合样 (8~10 块, 在 4~5 处地方采集组成) 或采裂隙薄膜组合样, 以提高样品的代表性。物化探异常查证, 可采用剖面法采样 (见图 3-1)。点距一般以 20 m 为宜, 可在 20 m 点距的范围内连续采集岩石碎片或裂隙薄膜组成组合样。对地质体的含矿性评价, 可采用连续拣块法采样, 并在一定线段范围内组成组合样。这种采样方法, 虽不如刻槽取样, 但可以明显提高样品的代表性。若研究不同时代地层中微量元素的含量变化特征, 也可以采用剖面法采样。剖面的间距和点距可根据测量需要确定。钻孔岩屑测量的点距可在 1~10 m 范围内选择, 并在点距的范围内连续采集钻孔岩心中的碎块组成组合样。评价断裂构造的含矿性时, 可沿断裂走向随机采样, 采样对象可以是断层泥或脉状充填物。在 10~20 m 范围内, 采集一个组合样。一个组合样的重量约 500 g 左右。但不要把岩性截然不同的物质组成一个组合样。组合样的采集, 特别要注意样品编录。如采样点附近肉眼所观察到的主要地质特征, 特别是岩脉出露情况和矿化情况的记录, 以利于对分析资料的推断解释。

3. 异常的圈定和浓度分带

异常的圈定和浓度分带, 是岩石测量中争论最多的问题之一。首先是对异常下限的理解差异甚大。1976 年在悉尼召开的国际化探会议上, 在讨论异常下限时, 与会专家一致认为: “异常下限是地球化学工作者根据某种分析结果所取的一个数值, 据此, 可以圈定能够识别出与矿化有关的异常” (原生的或次生的)。对异常下限的这一定义也是很笼统的, 不易操作。我国邵跃^[77]则提出: “以各元素的工业边界品位为基准, 往下推一个数量级, 作为该元素最高异常值。并以大于最高异常值者为内带含量, 然后, 依次以其含量的 1/2、1/4、1/8、1/16 作为亚内带、中带和外带、亚外带 5 个级次。凡出现内带浓度的地段, 经地表检查, 一般均能发现与该元素有关的矿化; 在内带异常内, 一般均能发现具工业品位的矿化体存在”。邵跃的异常圈定准则和分带方案, 提出了边界品位作为基准值。这当然是原生异常圈定与分带中的一种进步, 为异常模式的类比提供了一个参照值, 但并非完美无缺。首先是边界品位这一数值, 是与工业水平和矿石类型等因素有关, 也是在不断变化的, 并没有什么明确的地球化学概念。其次是“在内带异常范围内, 一般能发现具工业品位的矿化体存在”, 这种推断似乎超过了岩石测量的推断范围。当有用组分的含量达到了边界品位, 也不一定具有工业意义, 即使是有用组分的含量和数量均达到工业开采要求, 有没有工业

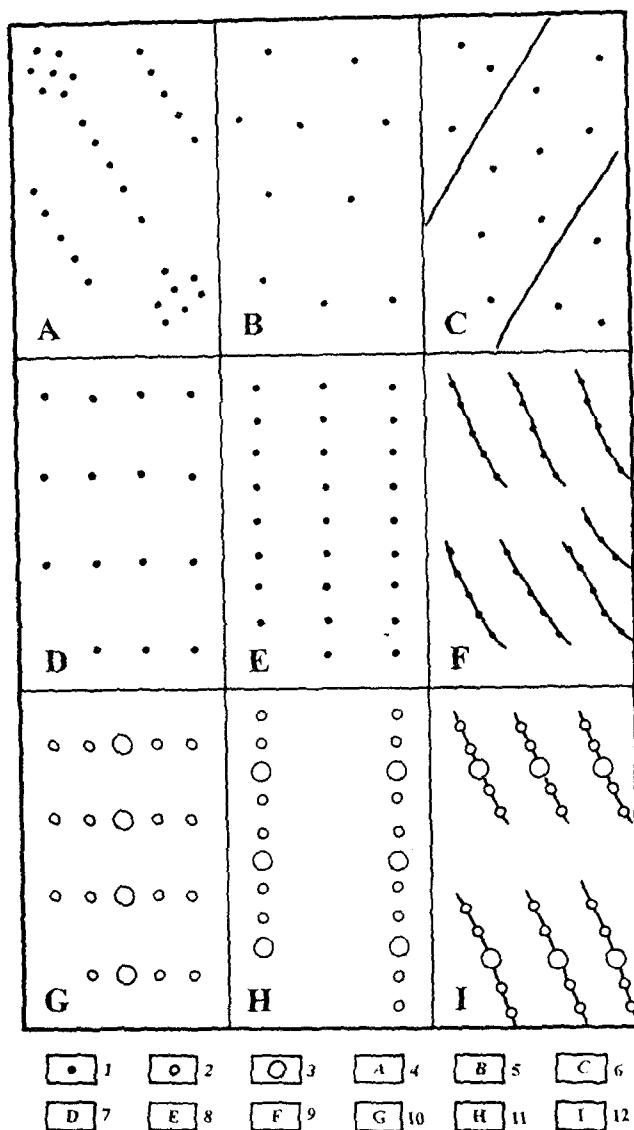


图 3-1 岩石测量采样方案示意图

1—点位；2—子样；3—组合样；4—丛聚采样；5—简单随机采样；6—分层随机采样；7—网格采样；8—剖面法采样；9—裂隙采样；10—按网格采组合样；11—按剖面采组合样；12—按裂隙采组合样

意义还要考虑该组分的可选性和可冶性以及是否有利可图等因素。看来异常的圈定和浓度分带的问题仍有待于在今后的研究中，继续改进和完善，使原生异常模式的研究提到一个新的水平。

4. 样品分析

岩石测量样品中，基物成分的差异甚大，对各种半定量分析方法的分析质量影响比较大。如硫化物矿石样品、铁帽样品、碳酸盐样品的半定量分析结果的准确度较低，必须加强质量检验。

5. 推断解释

岩石测量资料的推断解释，由于工作目的的不同，推断解释的内容各异，这里仅讨论对隐伏矿的预测。

异常特征类比，是一种摸着石头过河的办法。其类比的内容有：

(1) 主成矿元素的异常强度

异常强度可能反映了成矿物质的丰富程度。根据矿床原生晕的研究结果表明，从矿体向外，成矿元素的含量依次降低。由此可以推断，成矿元素异常含量最高的位置，可能是距隐伏矿体最近的位置。值得注意的是，只有分析质量可靠的情况下，这种对比才有意义。

(2) 异常元素组合

异常的元素组合，可能反映了一定的矿化类型。异常元素中，异常元素的归一化百分含量可以作为推断潜在矿化类型的指标。

(3) 浓度分带和组分分带特征

浓度分带和组分分带不能以一个高含量点向外推几个含量级为依据。浓度分带清楚，而且浓度梯度变化较小，表明矿化相对均匀，可能是矿化规模较大的指示。相反，相邻点位上的浓度变化甚大，且无一定方向变化的趋势，可能是细小的脉状矿化所致，表明离主矿化体的位置相对较远。组分分带清楚，不同组分的异常中心沿一定的方向变化，而且相隔的距离也比较大，指示渗滤作用强烈，成矿作用的时间相对较长，可能是有利于成矿元素富集的指示标志。

(4) 异常面积

异常面积的对比性相对较差，如若异常下限一变，异常面积就随之在很大的范围内变化。在可对比的情况下，异常面积大，反映矿化的规模也相对较大。但对比时，首先必须排除由于岩性引起的异常，否则会误入歧途。

(5) 异常形态

线状异常多与脉状矿床有关；面状异常且具有组分分带，多与斑岩型矿化有关；环状异常多与侵入岩体、火山机构等控矿因素有关的矿化相关联。

为了提高推断解释的水平，提高对隐伏矿的预测效果，还必须对成矿地质条件，物探和遥感异常特征等信息进行类比，并用先进的成矿理论指导岩石资料的推断解释。

四、喷气分散晕的形成及其找矿意义

岩浆岩的侵入和火山喷发，同是岩浆上侵到地壳不同位置的不同表现形式。火山喷发时，有大量的气体和固体尘埃物质向大气散发。同样可以预料，岩浆上侵时也有大量的气体伴随。当岩浆熔融体到达深大断裂时，熔融体外部的压力剧减，形成沸腾，大量的气体组分，从熔融体中分离出来，沿着压力梯度减少的方向逸散，与此同时，岩浆熔融体的巨大热力，对周围岩石的强烈烘烤，使围岩中的易挥发组分转化为气体，从固相中分离出来。这些从液相和固相中分离出来的组分，呈气相存在，它们的活动能力大为增强，在侵入岩体周围形成喷气分散晕（图 3-2-1）。

喷气分散晕具有下列特征：

1) 喷气分散晕在空间上，基本围绕侵入岩体呈环状分布（图 3-2-2）。

2) 喷气分散晕中有大量的含水矿物和易挥发组分，而在邻近岩体部位，存在着无水矿物带，这表明了它们之间的成因联系。

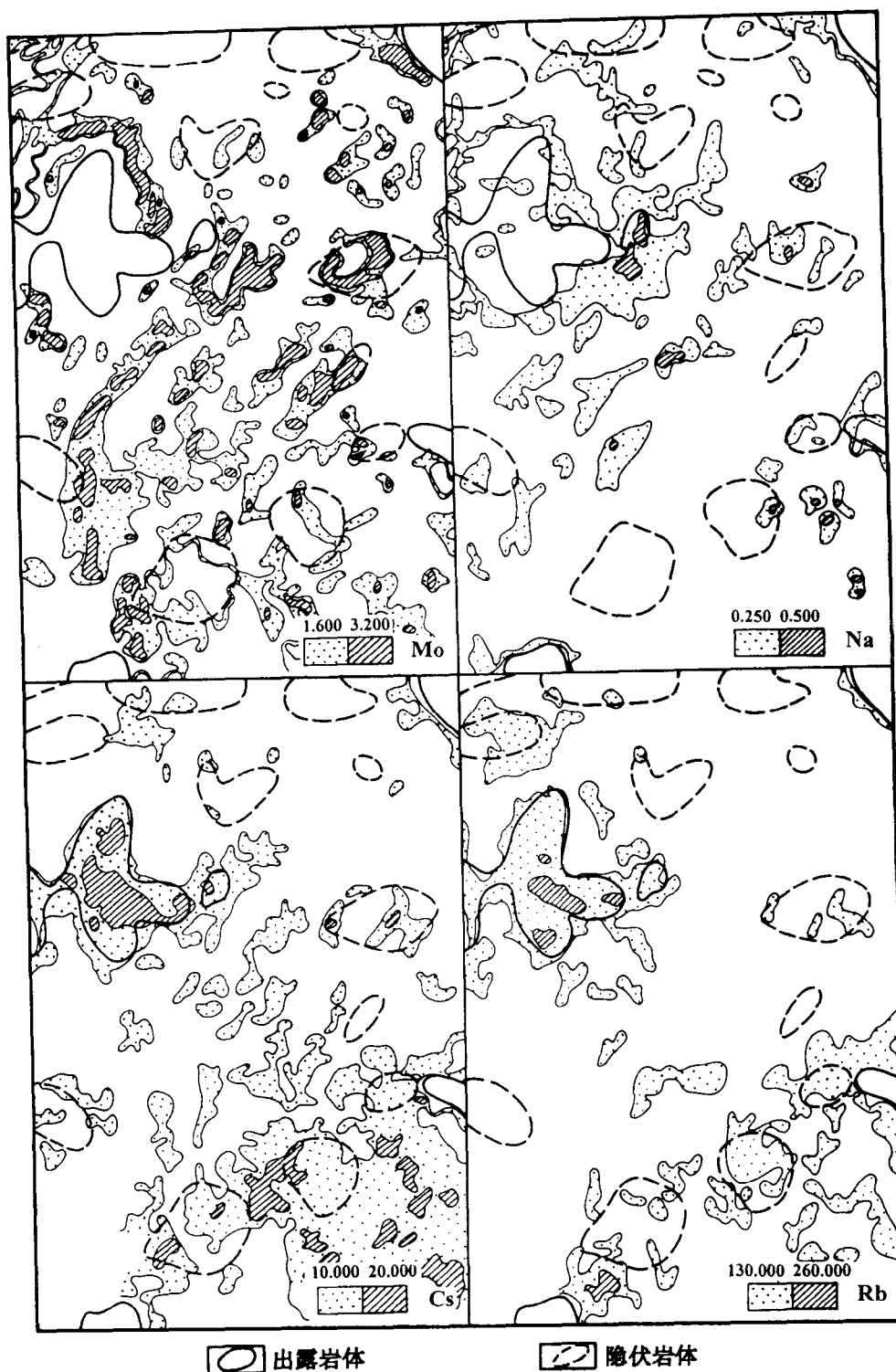


图 3-2-1 湘中地区的喷气分散晕异常图
(元素质量分数: Na 以 %计, 其余元素以 10^{-6} 计)