Y831521

Y831521-Y831540

分类号_____ 密级_____

UDC_____

昆明理工大学

工程硕士学位论文

金川镍铜（铂）矿区深部找矿研究

研究生姓名 曾文武

指导教师姓名、职称 秦德先 教授

李俊 副教授

杨长祥 高级工程师

学科专业 地质工程

研究方向 金属矿床

论文工作

起止日期 2002年10月28日

论文提交日期 2005年3月28日

摘　要

金川镍铜(铂)矿床是世界著名的多金属共生硫化铜镍铂矿床之一,是中国的镍都。由于多年来资源的大量消耗和矿山地质探矿投入的不足，资源状况呈现：

①保有储量中，大部分是贫矿；

② “采富保贫”的资源利用现象依然存在；

③富矿资源储备不足；

④矿床外围及深部找矿未有很大的突破。

本文在分析研究地质勘查及生产过程中所获地质资料及前人研究成果基础上，结合矿山深、边部找矿科研项目的开展，将地质、物探、化探信息进行综合分析，预测深部找矿潜力和成矿规律。

矿床形成于大陆边缘裂谷系统环境，成矿作用经历了长期的地质演化过程，含矿母岩为复式侵入超基性体，划分为四个侵入期次。矿体形态多为似层状、凸镜状，熔离-贯入型富-特富矿体一般呈凸镜状、脉状、柱状及块状，有的为岩浆期后热液作用的产物。矿石矿物主要由金属硫化物矿物及稀有、贵金属元素矿物组成。

深部矿化具以下规律：①深部矿化多富集在含矿岩体下盘或下分枝及超基性岩体侵位时其底板下凹部位；②构造作用对深部矿体控制更加明显，横跨褶皱的转折部位是矿体增厚或矿化再次聚集的有利地段，断裂对岩（矿）体控制作用十分明显；③深部热液成矿表现更加明显。

通过井中三分量磁测、井壁激电测井、双频激电测井、样条拟合等地球物理测量手段，指明了深部矿体可能存在的部位。并且能有效的分辨出了富矿和特富矿。

通过地质、物探、化探综合分析，认为 F_{16-1} 断层南盘 6 行～9^{+25} 行 1160m 中段以下，F_{16-1} 断层至 12 行、12 行至 18 行以西 1200m 以下及Ⅱ矿区 26-35 行 1200 以下、Ⅰ矿区 19-29 行 1220m 以下、Ⅱ矿区、Ⅲ矿区岩体下分枝等是有望找到隐伏矿体的远景区。

关键词：　金川镍铜铂矿床；深部找矿；地质；地球物理勘探；地球化学勘探；

ABSTRACT

Jinchuan nickel-copper (platinum) deposit is one of famous many metal intergrowth sulphide deposit in the world, and it is also the nickel capital of China.

Because the resource consumes in a large amount and the mine geological prospect deficiency that invest many years, the resource state appears:

①In the reserves, the majority is the lean ore;

② The phenomenon of utilization of resources " adopted richly and retain poorly " still exists ;

③The rich ore is insufficient in resources reserve;

④The prospect of the periphery and deep department in the deposit have not great break-through

On the basis of the analysis the obtained geological datum of geological prospect and the process of the product and the research production of the former, the text combines the research project of the prospect of the periphery and deep department in the deposit , and analyses the information of the geological , geophysical and geochemistrical prospecting , to predict deep department the prospecting potentiality and the mineralization law .

The mineral deposit is formed in the systematic environment of rift valley of continent edge, the mineralization action come through long-term course of the geological evolvement. The mother of ore is compound invade ultra base body , and be divided into 4 incursion crouses. The shape of the ore body is essential the like layers and lentoid. melt from- pass through person who enter rich - special ore shoot generally take the lentoid, nervation, columniation and block shape. Some are hot results on function of liquid after one of magma. The ore and mineral are made up of metal and sulphide mineral and scarce , expensive metallic element mineral.

The deep department ore has the following law : ① It is deep department ore how it is the rich to collect it record under including ore rock body or under branch and base rock body position not concave under their baseplates when being invade location of not ultra; ②Construct function control to dark department ore body obvious , stretch over turn of fold position whether ore body increase thick or ore favorable location that assemble moreover, it is very obvious to rupture and control function on the body of rock (ore); ③ deep department hot liquid mineralizes and

behaves more obvious

Through three magnetism in well, the wall the electricity to measure well, double-frequency the electricity to measure well , nurbs-draft and so on geophysics measuring means , have pointed out the deep department ore body possible position. And can tell the rich ore and special rich ore effectivelyThrough the synthetically analyses the information of the geological , geophysical and geochemistrical prospecting , think the south of F_{16-1} fault 6 to 9^{*26} row following 1160m section, F_{16-1} fault to 12 row, below the west 1200m of 12 row to 18 row and II mining area below 26 to 35 row with west 1200m, I mining area under the 19 to 29 row 1220m , II mining area,, III mining area rock branch, etc, hopeful to discover the distant view district of the concealed the ore body.

Keyword: Jinchuan nickel-copper (platinum) deposit; The deep prospecting ; Geology; geophysical prospecting; geochemistrical prospecting

昆明理工大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下(或我个人……)进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：曹文武

日　　期：2005 年 4 月 15 日

……

关于论文使用授权的说明

本人完全了解昆明理工大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留、送交论文的复印件，允许论文被查阅，学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印或其他复制手段保存论文。

（保密论文在解密后应遵守）

导 师 签 名：秦绍宏　　论文作者签名：曹文武

日　期：2005 年 4 月 15 日

第一章 序言

1.1 金川镍铜(铂)矿床目前现状

金川镍铜(铂)矿床是世界著名的多金属共生硫化铜镍铂矿床之一。在同类矿床中，镍储量次于俄罗斯的罗里尔斯克和加拿大国际镍公司的萨德伯里矿床。镍储量占国内已探明储量的70%，铜、钴储量居国内第二，铂族金属居全国之冠。金川矿床规模之大，矿体之集中，可供利用金属之多，在国内外均属罕见。依此建立的金川集团有限公司（下文简称金川公司）是采矿、选矿、冶金、化工配套的特大型有色冶金、化工联合企业，是我国和国际镍铜钴铂生产知名企业，是中国最大的镍钴生产基地和铂族金属提炼中心，现在镍和铂族金属分别占全国产量的88%、90%以上，是祖国的镍都。

由于多年来资源的大量消耗和矿山地质探矿投入的不足，矿山已进入开采的中晚期，矿产资源状况显现出以下特征：

（1）保有储量中，大部分是贫矿。40多年的地质勘探、生产勘探，共探明了四个矿区。贫矿石储量分别占整个金川矿区、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ矿区矿石总量的66.4%、77.0%、56.1%、93.1%和 99.3%，相当大的部分属低品位矿石。这些低品位矿石开采成本高，提炼成本也较高，回收率低;

（2）“采富保贫”的资源利用状况依然存在。为了追求经济效益，主要开采富矿、特富矿，只带采了少部分贫矿石。这样做的结果虽然提高了产品回收率，但带来的负效应也很明显，一是富矿不仅主成矿元素极富，而且富含各种稀贵金属，这些稀贵金属在冶炼时因部分回收不了而造成资源浪费；二是大大的加快了富矿体的消耗，缩短了矿山的寿命；

（3）需增加资源储备。Ⅱ矿区1号富矿体30%已被开采,照目前的开采速度,还有50年的矿山寿命； Ⅰ矿区（龙首矿）已经出现了局部资源危机，中采区矿体的85%已被开采，保有储量只能开采7年；

（4）随着开采深度的加大，矿体厚度急剧变小，带来难以大规模开采、回采难度加大、采矿成本增幅较大、深井开采地压控制等岩石力学与工程问题等；

（5）金川矿床外围及深部至今找矿未有很大的突破，矿山后备资源没有保障。

综上所述，拥有世界第三大硫化铜镍矿床的金川集团有限公司，其资源状况不容乐观。

1.2 我国工业化对矿产资源的需求越来越大

镍铂是生产各种高温、高强度、磁性合金和合金钢的主要添加剂，广泛用于冶金、化工、石油、建筑、机器制造、仪器仪表及航天、航海领域，一直被列为重要的战略金属，对工业生产及经济建设有着举足轻重的作用。

就目前我国的镍及铂供应状况来讲，国内镍基本上是有金川公司供应的，其镍、铜、钴产量与消耗的情况见表 1-1，2。国际上镍及铜供应与消耗状况与此类似（表 1-3）。

表 1-1 近年来 我国镍铜钴金属产量和消费量统计表

金属种类 / 年份	镍产量（万 t）	镍消耗量（万 t）	铜产量（万 t）	铜消耗量（万 t）	钴产量（t）	钴消耗量（t）	备 注
1995	4.20	4.04	107.97	135.90	1076 (185)		
1996	5.15	5.12	111.91	138.60	1200 (180)		
1997	4.72	4.27	117.94	141.00	1200 (215)		
1998	4.92	3.62	121.13	132.00	1200 (225)		
1999	5.93	4.72	117.42	156.00	1200 (231)	3560	
2000	5.09 (4.00)	6.57	137.11 (2.00)	182.00	1200 (334)	4529	
2001	4.94 (4.80)	8.85	144.80 (4.80)	213.00	1470 (557)	3706	
2002	5.35 (5.20)	9.16	150.30 (6.00)	234.00	1550 (883)	4300	

注：括号内为金川公司年金属产量，资源来源：金川公司信息中心，2003 年 3 月

表 1-2 近年来我国铂族金属产量和消费量统计表（单位：Kg）

年份	全国产量	金川产量	消费量	
2000	945	850	6842	
2001	945	850	7045	
2002	1090	1000	7200	

资源来源：金川公司信息中心，2003 年 3 月

表 1-3 世界铜、镍矿产品的产量与消费量对比表

矿种	项目	1990 年	1991 年	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	合计
精炼铜	产量	1080.33	1068.80	1117.78	1130.40	1115.50	1185.28	1275.64	1359.74	1414.51	1426.19	12174.17
（万 t）	消费量	1079.44	1069.50	1081.34	1095.53	1153.47	1301.90	1239.99	1301.90	1336.73	1406.75	12066.55
精炼镍	产量	85.54	84.28	86.91	81.91	83.44	91.65	95.28	100.20	105.12	104.57	918.90
（万 t）	消费量	85.63	79.85	79.90	80.36	89.95	98.18	91.03	96.98	98.83	104.90	905.61

资料来源：World Metal Statistics, Dec. 1992, Dec. 1996, Oct. 2000; Metals & Minerals Review, 1991-1994, 1996, 1998, 2000; USGS-Minetal Yearbook, 1998; USGS-Mineral Commodity Summaries, 1996, 1998, 2000; Mining annual Review, 1999; 中国有色金属工业年鉴，1998-2000。

进入新世纪，世界人口将继续增长，生活质量将显著提高，发展中国家将加强工业化进程，发达国家又急需高新科技原材料，到2050年的50年中间，人类需求矿产资源的需求量（以金属为主）将是现在的5倍，金属回收只解决其中很少的一部分，主要依靠新的矿山提供（第30界巴西国际地质大会资料）。我国工业化进程也正在加快，人均矿产消费量也正在加大。从发展趋势上来看，虽然多年来矿产量在显著增大，但矿产的消费量也在显著增大（图1-1）。从我国目前现有矿山的生产保障能力及矿产勘查效果来看，可以预测，本世纪我国很快就会出现许多包括目前的优势矿种如镍和铂在内的金属矿产资源危机。翟裕生教授（2002）估计，45种矿产中，2010年前能保证需求的24种，2010年能保证需求的只有6种，主要矿种的储量、生产、需求间的矛盾突出。2010年短缺的矿种是铬、钴、铂、钾盐、金刚石等5种，不能保证的是石油、铁、锰、铜、铝、镍、金、银、硫、硼等10种。所有这些都说明矿产资源的保障程度形势严峻，资源总量不足将成为制约我国工业化进程的主要障碍。另外，我国资源综合利用的整体水平还很低，资源浪费现象相当严重。随着环境问题的日益突出，环境意识的提高及保护力度的加强，环境保护需要加大投入，企业的运行成本将显著增加。所有这些，都使得矿山资源危机不断加深。

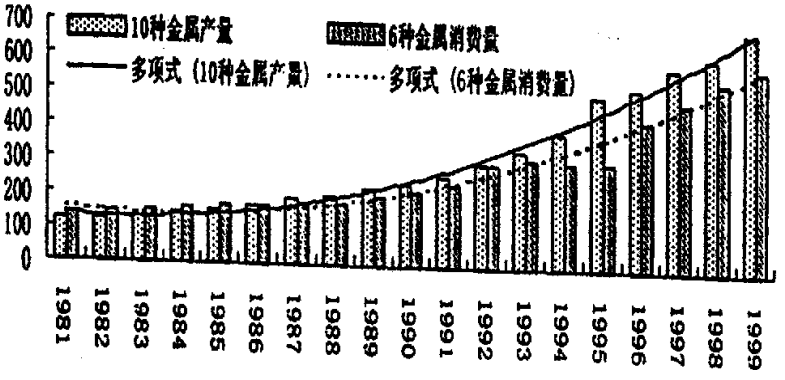


图1-1 我国常用金属冶炼产品的产量和消费量柱状图

1.3 金川矿区深部找矿的必要性和紧迫性

从以上分析来看，金川矿山虽然曾经辉煌过，现在规模在不断扩大，但矿山隐伏的危机已逐渐明朗化，正如上述的那样，富矿、特富矿显著减少，采矿愈来愈深，难度愈来愈大，成本愈来愈高；贫矿回收率较低；与此同时，国家对铜钴镍矿产品的需求并未因此而减少，反而又增加的趋势，铜连续多年是我国的紧缺

矿种，年进口量高达50万吨，到2010年，金川矿床主要金属产品镍、钴和铂均不能满足国家需求，再加上环保成本也在增加，因此，加强金川矿区就矿找矿，向深部找矿，十分必要，也十分紧迫，刻不容缓。通过我们多年实践，现已找到了深部下分枝富矿体，为在金川深部找矿开辟了新的思路，使人们看到了深部找矿的希望。

1.4 金川矿区深部找矿的基本思路及主要成果

金川深部找矿的基本思路是：认真学习和掌握新的成矿理论，深入研究金川矿床的基本特征，不断提高对矿床规律的认识水平，加强对矿床的地质对比，借鉴国内外成功的勘查经验，全面系统的收集研究地质勘查及生产过程中所获地质资料，进行二次资料开发，进一步掌握深部控矿因素和成矿规律，联合国内外各种勘查力量，利用先进手段和方法，开展综合信息预测，借助现有的深部工程，在矿区深部进行新一轮找矿。通过近几年艰苦努力，现已在深部圈定了一批矿体，查明的镍储量超过6万吨，达中型规模。

1.5 前人主要工作成果

金川铜镍（含铂）硫化物矿床，自1958年发现以来，至今已近半个世纪了。前文对金川公司的发展已作了扼要的介绍，下面主要将科研及进一步找矿工作简述如下：

（1）自发现至前15年间，由甘肃地质六队完成了矿床勘探工作，为建立中国的镍工业提供了可靠的资源保证。

（2）1966年5月，由地质六队与地质部西北地质研究所、冶金部北京地质研究所、中国科学院贵阳地球化学研究所、兰州中心实验室、地质部矿床研究所、张家口中心实验室、金川公司等单位组成以铂为主的赋存状态研究组。通过半年多的工作，圈定了铂富集体，研究了铂的富集特征，查明了铂的赋存状态及量比关系，发现并鉴定了数十种铂族稀贵元素矿物，于1966年12月提交了I矿区伴生元素储量报告。在此基础上，该研究组继续对II矿区伴生元素开展研究工作，至1969年结束。1970年，经甘肃省地质局审查批准了《甘肃永昌金川铜镍矿II矿区铂（族）、钴等伴生有用元素赋存状态和分布规律研究报告》。

（3）1978年，在国家、甘肃省政府等部门的重视和指导下，金川公司组织全国50多家科研设计院所、生产企业及大专院校的数百名专家、教授、学者，针对金川矿山建设、生产挖潜、环境治理及资源综合利用等重大问题，开展了大

规模的跨系统、跨行业、多层次、多学科的“金川资源综合利用”科技联合攻关。

（4）八十年代以来，由于改革开放，带来了科学的春天，有关金川矿床的论著相继问世（师占义，1980；汤中立等，1982，1987，1989，1990，1991，1992，1995，1996，1998；甘肃地质六队，1984；贾恩环，1986；杨轩柱，1991；杨合群，1989，1991，1997；G.Chai et.al.1992，1993，1994等），这些论著较好地阐明了金川矿床的基本地质特征，在矿床成因方面提出了岩浆深部熔离一复式贯入的成矿模式。

（5）近年来，国外力拓公司对金川外围进行了大范围的物探工作。金川公司在采矿的过程中加强了深部找矿工作，本文就属这方面工作成果的一个初步总结。

1.6 主要工作量

表 1-4 主要工作量

序号	工作名称	单 位	数 量
1	地表观察地质剖面	km	6
2	井下观察地质剖面	km	18
3	地球化学剖面	km	2
4	地球物理测量	km	1.5
5	采矿掌子面编录	m^2	1000
6	铅同位素分析	件	37
7	包裹体分析	件	13
8	大样分析	件	3
9	电子探针	件	9
10	化学分析	件	200
11	光谱分析	件	260
12	光片	件	70

第二章　矿床地质特征

2.1　成矿地质背景

矿床的形成环境特别是构造环境是矿床形成的三维空间及有关事物（翟裕生，1993）。把成矿系统与地质构造背景联系起来研究，是目前矿床学研究的主要内容，也是矿床学思维方法的进步。它能用彼此联系和历史演化的观点思考问题，可以帮助弄清矿的来龙去脉，解决到何处去找矿的问题。

金川矿床的形成环境有其特殊性。国外此类矿床多形成于古陆内部，形成环境比较稳定，而金川矿床则形成于大陆边缘的裂谷系统内。

金川矿区中元古界龙首山岩群形成于华北古陆西南边缘的裂谷环境（图2-1）。该裂谷经历了漫长而复杂的地质演变过程。太古代前裂谷阶段，本区属华北古陆边缘活动带，形成龙首山群；中元古代长城纪，本区深部发生岩浆活动，发生初始裂谷作用，而地表隆起，缺乏沉积；到蓟县纪，地表裂开，形成裂陷海，沉积了墩子沟群碳酸盐岩沉积；新元古代，裂谷作用结束，加里东期本区为活动大陆边缘，发育加里东期中酸性岩浆活动，后加里东期，本区进入陆内发展阶段，发生大量陆内岩浆活动，晚近时期，本区属青藏高原北部边缘活动地区，遭受了北东-南西向的巨大压力，形成北西-南东向的构造带。

2.1.1　前裂谷阶段地质演化特征

龙首山岩群是华北板块西南边缘最古老的地层单位，分布于阿拉善地块之南侧，向西被阿尔金及金鼎断裂所截，向东延入白银、陇东地区，南以龙首山断裂为界。该群为中太古—古元古代的古老变质体，内部具复杂的变质变形与开合旋回，它既是中元古代蓟县纪龙首山大陆边缘裂谷的基底，也是加里东期祁连洋向华北大陆下插的活动大陆边缘基底。经过早期伸展与挤压，晚加里东期及以后的造山、陆内俯冲与伸展，龙首山岩群已具褶叠层性质，发育早期伸展所形成的固态流变构造群落，如A型褶皱、无根褶皱以及顺层韧性剪切带、粘滞性香肠构造和构造透镜体、同构造分泌结晶脉。研究还表明：龙首山岩群由于遭受了多旋回多期变质与变形，现已支离破碎，层序不清，当属非史密斯地层。它的4个岩性组均被断裂或其它地质体所隔离，属4个独立的构造岩片。这4个不同的岩性段组均被断裂或其它地质体所隔离，属4个独立的构造岩片。这4个不同的岩性段如下（据杨雨等，1997）：

第二章　矿床地质特征

2.1　成矿地质背景

矿床的形成环境特别是构造环境是矿床形成的三维空间及有关事物（翟裕生，1993）。把成矿系统与地质构造背景联系起来研究，是目前矿床学研究的主要内容，也是矿床学思维方法的进步。它能用彼此联系和历史演化的观点思考问题，可以帮助弄清矿的来龙去脉，解决到何处去找矿的问题。

金川矿床的形成环境有其特殊性。国外此类矿床多形成于古陆内部，形成环境比较稳定，而金川矿床则形成于大陆边缘的裂谷系统内。

金川矿区中元古界龙首山岩群形成于华北古陆西南边缘的裂谷环境（图2-1）。该裂谷经历了漫长而复杂的地质演变过程。太古代前裂谷阶段，本区属华北古陆边缘活动带，形成龙首山群；中元古代长城纪，本区深部发生岩浆活动，发生初始裂谷作用，而地表隆起，缺乏沉积；到蓟县纪，地表裂开，形成裂陷海，沉积了墩子沟群碳酸盐岩沉积；新元古代，裂谷作用结束，加里东期本区为活动大陆边缘，发育加里东期中酸性岩浆活动，后加里东期，本区进入陆内发展阶段，发生大量陆内岩浆活动，挽近时期，本区属青藏高原北部边缘活动地区，遭受了北东-南西向的巨大压力，形成北西-南东向的构造带。

2.1.1　前裂谷阶段地质演化特征

龙首山岩群是华北板块西南边缘最古老的地层单位，分布于阿拉善地块之南侧，向西被阿尔金及金鼎断裂所截，向东延入白银、陇东地区，南以龙首山断裂为界。该群为中太古—古元古代的古老变质体，内部具复杂的变质变形与开合旋回，它既是中元古代蓟县纪龙首山大陆边缘裂谷的基底，也是加里东期祁连洋向华北大陆下插的活动大陆边缘基底。经过早期伸展与挤压，晚加里东期及以后的造山、陆内俯冲与伸展，龙首山岩群已具褶叠层性质，发育早期伸展所形成的固态流变构造群落，如A型褶皱、无根褶皱以及顺层韧性剪切带、粘滞性香肠构造和构造透镜体、同构造分泌结晶脉。研究还表明：龙首山岩群由于遭受了多旋回多期变质与变形，现已支离破碎，层序不清，当属非史密斯地层。它的4个岩性组均被断裂或其它地质体所隔离，属4个独立的构造岩片。这4个不同的岩性段如下（据杨雨等，1997）：

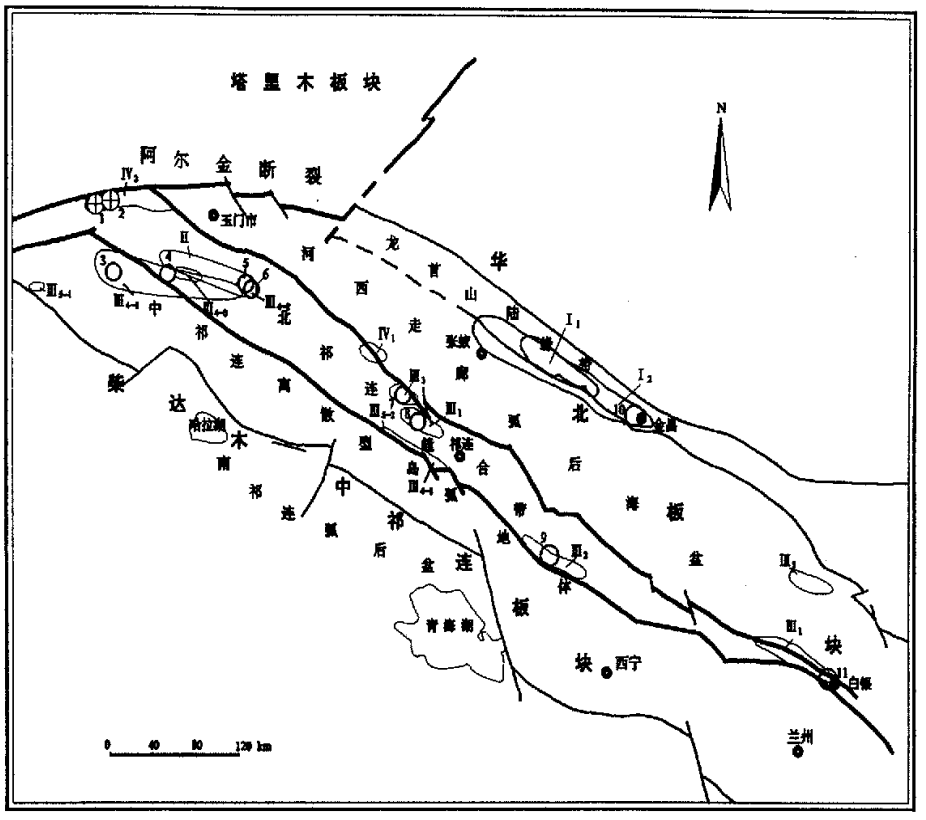


图 2-1 金川矿床的大地构造位置（据汤中立等，1999 年）

Ⅰ—华北古大陆中太古—中元古代裂解期前成矿系统；$Ⅰ_1$—陆核边缘海盆沉积成矿组合（东大山铁成矿组合）；$Ⅰ_2$—裂谷期前底辟岩浆成矿组合（金川镍铜成矿组合）；Ⅱ—柴达木板块北缘中、新元古代裂解成矿系统（桦树沟—柳沟峡铁成矿组合）；Ⅲ—加里东期活动陆缘成矿系统；$Ⅲ_1$—早期岛弧（裂谷）成矿组合（白银厂—清水沟铜及多金属成矿组合）；$Ⅲ_2$—中晚期岛弧成矿组合（红沟—蛟龙掌铜及多金属成矿组合）；$Ⅲ_3$—晚期弧后扩张盆地成矿组合（猪嘴哑巴—九个泉—石居里铜多金属组合）；$Ⅲ_4$—与俯冲作用有关的岩浆热液成矿组合；$Ⅲ_{4-1}$—塔尔沟—小柳沟钨成矿组合；$Ⅲ_{4-2}$—桦树沟—柳沟峡铜成矿组合；$Ⅲ_{4-3}$—大东沟—吊大坂铅锌成矿组合；$Ⅲ_5$—洋亮残片成矿组合；$Ⅲ_{5-1}$—大道尔吉铬成矿组合；$Ⅲ_{5-2}$—玉石沟铬成矿组合；Ⅳ—碰撞造山成矿系统；$Ⅳ_1$—残余盆地成矿组合（天鹿铜成矿组合）；$Ⅳ_2$—陆内造山运动、韧性剪切成矿组合（寒山—鹰嘴山金成矿组合）

1—鹰咀山金矿床；2—寒山金矿床；3—柳沟峡铁、铜矿床；4—塔尔沟钨矿床；5—桦树沟（镜铁山）铁、铜矿床；6—小柳沟钨、钼矿床；7—石居里铜矿床；8—郭米寺铜及多金属矿床；9—红沟铜矿床；10—金川铜、镍矿床；11—白银铜及多金属矿床。

（1）在前裂谷阶段，阿拉善陆核（华北古陆的一部分）边缘活动带主要形成了龙首山岩群，其年龄最早可上溯到中太古代（3100Ma）。

D岩组：变质中酸性火山岩、火山碎屑岩、浅粒岩、石英岩夹石英片岩及片麻岩，厚2 110～2 419m；

C岩组：黑云片岩、石英片岩、斜长角闪岩、变粒岩夹片麻岩，厚1 179～3237m；

B岩组：大理岩夹片麻岩、石英片岩及斜长角闪岩，厚928～3745m；

A岩组：条纹状大理岩、眼球状混合岩（糜棱岩）、混合质片麻岩夹斜长角闪岩、大理岩及云母片岩等，厚1627～2 100m。

上述A岩组相当于过去文献中的白家嘴子（岩）组及东大山（岩）组，经恢复原岩建造为：碎屑岩—碳酸盐岩—基性火山岩建造；其中白家嘴子岩组大理岩较多，而东大山岩组主要为碎屑岩及BIF（条带状含铁建造），东大山铁矿赋存于BIF之中。B岩组相当于过去文献中的塔马子沟岩组，为碳酸盐岩建造；C、D岩组主要为碎屑岩及中基—中酸性火山岩建造。

（2）龙首山岩群各岩组形成时代

据杨雨等（1997）资料，A岩组斜长角闪岩Sm-Nd模式年龄为3100Ma，推测A岩组形成于中太古代；B岩组中的斜长角闪岩Sm-Nd模式年龄为2721±40Ma，推测其形成于新太古代，C、D岩组中的黑云母K-Ar法同位素年龄值为1600Ma，锆石Sm-Nd法同位素年龄值为1508Ma，C、D岩组下伏于蓟县系之下，推测其形成时代为古元古代。

（3）龙首山岩群岩石建造变化趋势

从早到晚，总的变化趋势是：

①从中太古代到新太古代，碳酸盐岩增多，但到古元古代缺失；

②碎屑岩总的趋势是增多；

③火山活动早期（中太古代）为基性，晚期（古元古代）为中基性、中酸性，早期属钠质碱性橄榄玄武岩系列，晚期具双峰系列特征（区调资料）；

④中太古代变质作用为高角闪岩相，A岩组局部有混合岩，新太古代为低角闪岩相，古元古代为高绿片岩相。

（4）龙首山岩群与华北古陆核内部早前寒武纪岩石地层对比

中太古代龙首山岩群A岩组与华北古陆核内部的迁西群和鞍山群大致可以对比，后者主要为一套角闪岩相—麻粒岩相变质表壳岩系，由二长斜长麻粒岩、紫苏麻粒岩夹石榴石浅粒岩、紫苏斜长片麻岩、磁铁石英岩夹斜长二辉麻粒岩、斜长透辉麻粒岩、二辉斜长角闪岩组成，原岩为一套火山—沉积岩系，岩石类型主要为拉斑玄武岩、英安岩及杂砂岩、高铝质岩和巨厚BIF。基性火山活动是二

者最大的共同特点，区别在于龙首山岩群A岩组具混合岩化，迁西群和鞍山群则不具备；迁西群和鞍山群花岗岩浆作用较强，而龙首山地区则缺少这种中深成岩浆作用。

华北古陆内部新太古代地层广泛发育，多次重大地质事件在此阶段频频发生，是太古宙地壳形成的关键时期，就其物源、原岩建造和岩浆活动特征而言，大致可划分为沉积型和火山—岩浆型（马杏垣等，1987；伍家善，1991）。沉积型地壳原岩以富铝质、碳质和钙质沉积岩组合为主体，中酸性为主的岩浆活动微弱；火山—岩浆型地壳原岩建造以火山岩、火山碎屑岩为主，常具双峰式特征，上部沉积岩渐趋增多，显示绿岩带的组合特点。龙首山地区新太古代岩石（龙首山岩群B岩组—塔马子沟岩组）原岩主要为碳酸盐岩，仅夹少量的碎屑岩及中基性火山岩，碳酸盐岩富含碳质，当属沉积型地壳，总体属大陆边缘裂陷海活动型沉积。

（5）龙首山岩群原岩建造所反映的“开”、“合”旋回

从前述建造分析来看，华北古陆西南边缘龙首山地区中太古代为陆核边缘碎屑岩—富镁碳酸盐岩—中基性火山岩建造（图1-2）；中太古代末发生早期伸展运动。这种推测的主要理由是区内分布有限的花岗岩，混合岩仅沿A岩组分布，A岩组多发生顺层流变构造群落（见前述），这种变质岩、混合岩及混合花岗岩“三位一体”沿一定层位出现，根本原因是中太古代末（阜平运动早期）出现拉伸背景，岩层产生近水平剥离断层，深部岩层发生韧性变形、混合岩化及花岗岩浆活动。从目前所获资料来看，混合岩及花岗岩的同位素年龄多集中于1 984～2 065Ma，而穿插于混合岩中的混合岩脉Sm-Nd法模式年龄平均为2667Ma（6个样平均，1995年区调资料）。因此，前一年龄应代表混合岩后期热事件年龄，据后一年龄可推测混合作用发生的时代应为中太古代末。随着伸展作用的进行，新太古代龙首山地区被拉形成裂陷海，沉积了巨厚的碳酸盐岩，同时伴有少量基性火山活动（图1-2）。新太古代末，总的构造体制由伸展变为收缩，边缘海封闭，古元古代形成碎屑岩及中基性、中酸性火山岩建造，与此同时，古元古代末本区发生大量花岗岩脉活动，使得龙首山岩群进一步焊接、固化（图2-2）。上述是本区所发生的第一个开合旋回。

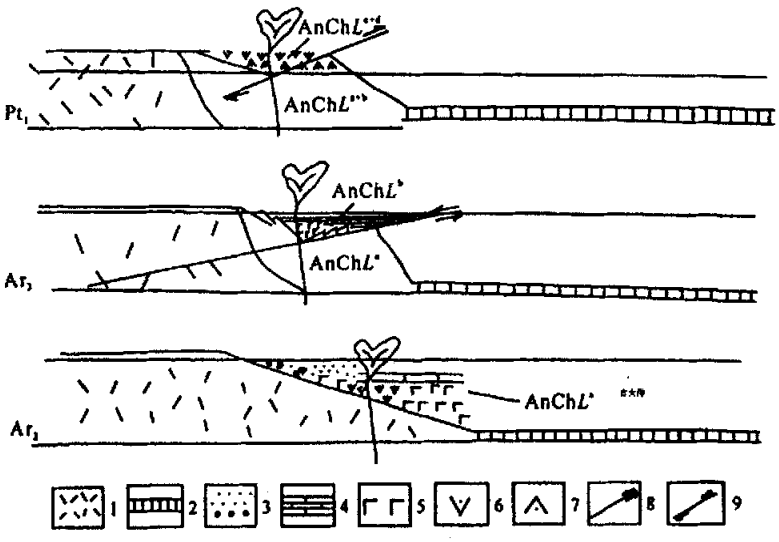


图 2-2 龙首山区早前寒武纪构造沉积演化（据汤中立、白云来等，2001）

1—陆壳；2—洋壳；3—砂泥（砾）质；4—钙质；5—基性火山岩；6—中基性火山岩；7—中酸性火山岩；8—拆离断层；9—推覆断层

AnchL 前长城系龙首山岩群，AnchL^{a} 龙首山岩群 a 岩组，AnchL^{b} 龙首山岩群 b 岩组，AnchL^{c} 龙首山岩群 c 岩组，AnchL^{d} 龙首山岩群 d 岩组

2.1.2 华北古陆西南边缘中元古代构造环境与金川镍铜矿床的形成

中元古代，华北古陆西南边缘早期为隆起背景，晚期为裂谷环境，金川镍铜矿床的围岩——金川超基性岩形成于裂谷期前的隆起背景条件下，岩体形成时代为 1 508±31Ma。

（1）华北古陆西南边缘长城纪处于隆起背景，缺失沉积

吕梁运动使得华北古陆西南边缘焊接与固化，长城纪本区深部岩浆作用强烈，上部隆起，为剥蚀区，深部孕育着强烈的地幔熔融事件。金川岩体 Sm-Nd 内部等时线年龄为 1 508±31Ma（汤中立等，1995），同一构造带上的藏布台岩体 Sm-Nd 年龄为 1 511Ma。这种由深部岩浆作用所引起的隆起，往往导致裂谷作用的发生。这种裂谷形式在现代也十分普遍。金川镍铜矿床就与这种大陆边缘早期裂解作用有关。

（2）蓟县纪龙首山地区的裂谷作用

在长城纪持续隆起条件下，到蓟县纪，龙首山地区上地壳逐渐变薄，进入裂谷阶段，形成了以龙首山岩群为基底的裂谷构造。在裂谷中，沉积形成了墩子沟群（Jx*D*），其内部含丰富的火山物质。墩子沟群下部以碎屑岩为主，属裂谷磨

拉石建造，主要岩性为变砾岩、变石英砂岩、石英岩等，砾石成分为龙首山岩群岩石；中部主要由碳酸盐岩组成，主要岩石为灰岩及白云岩，晚期出现砂质白云岩；上部主要为泥质岩，具体岩性为暗绿—灰绿薄层状粉砂质绿泥绢云千枚岩。这一岩石序列，反映了龙首山裂谷从张开到萎缩的全过程。下部岩石相当于裂谷的初始阶段，属河流相产物，中部的结晶白云岩及广布于其中的叠层石反映了潮间带环境，而灰岩反映了浅海陆棚相环境；上部泥质岩石的出现，是裂谷闭合的标志。另外，在红洼井、旋毛头山及藏布台一带发育大量基性火山岩，具裂谷火山岩的地球化学特点（1∶5 万区调资料，1995）。从上述中不难看出，蓟县纪裂谷的形成与闭合，是华北古陆西南边缘又一次开合旋回。

2.1.3 新元古代龙首山地区的构造沉积作用

随着龙首山蓟县纪裂谷作用的结束，在晋宁运动（早期）影响下，本区在青白口纪又一次隆起，缺失青白口系，这次隆起可能与古祁连洋俯冲造山作用有关。受这次构造热事件影响，金川岩体发生了部分变质。青白口纪是华北古陆西南边缘由被动陆缘转化为活动大陆边缘的关键时期，也是从伸展机制转换为由俯冲作用引起的挤压机制的转折时期。震旦纪受全球气候影响，在滨海地带形成海洋冰川沉积，冰雪消融之后，又形成了浅海相碳酸盐沉积，二者统称震旦系韩母山群（Zh）。韩母山群下部冰川沉积称之为下震旦统烧火筒沟组（Zs），它平行不整合于墩子沟群之上，主要岩性为灰绿、紫红色冰碛砾岩、冰碛含砾千枚岩、含砾粉砂质板岩；上部上震旦统草大坂组（Zc）与下部烧火筒沟组为整合接触，主要岩性为各种灰岩夹钙质千枚岩。千枚岩 Rb-Sr 全岩等时线年龄为 593±39Ma，部分地段出现含磷层位。显示此时有变为被动陆缘性质。但到了早古生代，本区全面进入了一个崭新的活动阶段，祁连洋向华北板块俯冲，形成一系列活动大陆边缘构造景观。这种活动陆缘-被动陆缘-活动陆缘的俯冲-停止的有间歇的脉动运动形式，是板块运动的普遍规律。

2.1.4 龙首山地区加里东期及后加里东期构造演化

（1）早古生代早期，华北板块西南边缘为安第斯型活动陆缘，在龙首山南部边缘的河西走廊及北祁连山中形成黑茨沟组（$\in h$）为一套火山岩，其中部分就属大陆边缘钙碱性火山岩，在靠近龙首山地区，形成碎屑岩沉积（大黄山组 $\in d$）（杨雨，1997）；中期，在河西走廊及祁连山地区形成沟弧盆体系、双列岛弧（陆缘弧及洋壳型岛弧）；晚期，祁连洋消失，弧后盆地萎缩；末期，华北板块西南

缘及相应构造单元与中祁连—柴达木板块碰撞造山(汤中立等，2002)。另外，在龙首山发育有加里东期基性-中酸性岩浆岩活动，基性岩浆活动主要表现为矿区发育加里东期基性岩脉，中酸性岩浆岩活动主要表现为在中牌等地发育不同类型的花岗岩。上述构造演变可归入图 2-3 中。

（2）晚古生代及中生代，龙首山区进入板内运动阶段；主要出现滨海相及陆内断陷盆地相沉积的；构造变形是晚加里东期碰撞构造变形的继续，沿龙首山构造单元南缘形成构造界面，整个龙首山山体发育成叠瓦式岩片的构造特征（图 2-4）。北缘 F_1 断裂带亦发育成推覆构造界面，直至喜马拉雅运动仍有活动，这已为大地电磁测深资料所证实。同时，曾报道过的龙首山南缘存在脆-韧性剪切带（孙桂珍，1990）的认识，亦提供了佐证。在龙首山逆断层叠置的岩片中，所发育的各种韧性变形构造形迹也应是这一构造时期的产物。龙首山隆起单元与现走廊沉陷单元的断裂之间的 F_2 断裂带的出现以及龙首山隆起北缘逆冲断裂 F_1 的发育，使金川岩体从较深的形成部位（约深 10km 左右），推移上升达地表。

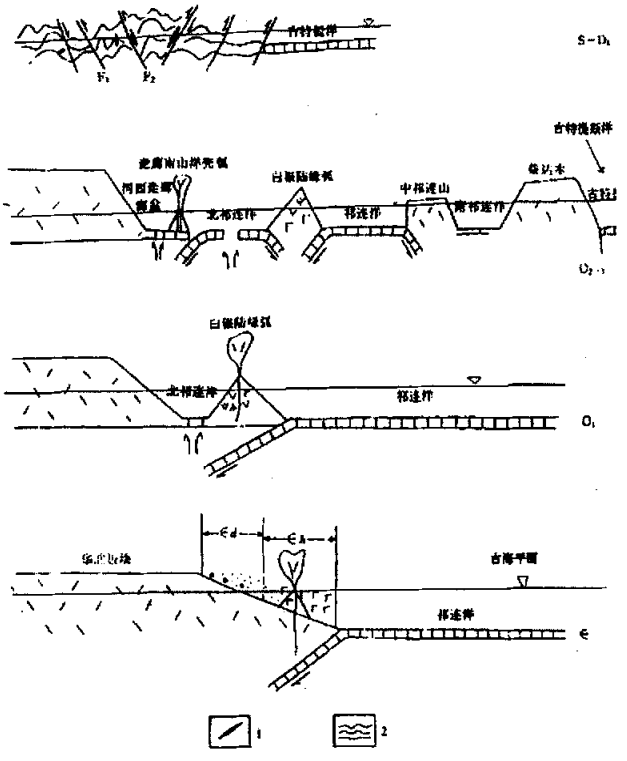


图 2-3 龙首山及邻区加里东期构造演化

1—蛇绿岩； 2—褶皱； 3—基性岩； 4—中酸性火山岩； 5—双峰式火山岩；

这里需进一步讨论的是，过去一直把龙首山隆起北界与潮水凹陷相接的 F_1 断裂确定为深大断裂，是金川含矿岩体的导岩构造。从上述及大地电磁测深剖面资料来看（汤中立，李文渊，1995），它在 10km 左右深处即向南西收敛，呈上陡下缓的铲状构造面（图 2-4），不存在过去认为的深断裂，也没资料表明它在长城纪就已开始发育。因此，可以断定 F_1 断裂并非是过去意义上的深达地幔的所谓深大断裂。但是，从现代裂谷构造成因方面的研究成果来看，

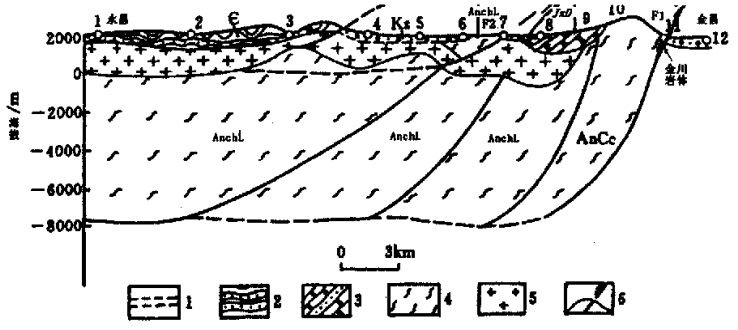


图 2-4 后加里东期龙首山区的逆冲推覆构造

1— 新生代松散沉积； 2—中生代沉积； 3—蓟县纪碳酸盐沉积；

4—前长城纪变质岩； 5—花岗岩； 6—推覆构造

金川岩体只能是沿早期深达地幔的低角度拆离断层（低角度正断层）向上迁移的，这样的低角度拆离断层并非就是一条，而是一个断层系统，后来该早期低角度拆离断层被改造成为逆冲断层，表现为推覆构造。这种对现今龙首山地区逆冲断层的新认识，有利于面上找矿及深部找矿工作的部署。

2.2 矿床主要特征

金川矿床的主要特征可用六个字来概括：小岩体，大矿床（汤中立，1995）。这里的“小”，是指岩体小，金川矿体的直接围岩-超基性型岩岩体出露面积仅 1.34km^2，这里的“大”，是指矿床规模大，金川矿床属超大型矿床（见前文），矿体占岩体体积的 43.7%。关于金川矿床为什么能具有这种特征，汤中立（1996）对此作了精辟的分析，他认为：深部熔离-贯入作用是主要的成矿机制，深部熔离-贯入成矿机制是指母岩浆侵入现存空间之前，在深部就发生了熔离作用和部分结晶作用，使母岩浆分离为不含矿岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆、矿浆几部分（四层结构），然后对现存空间一次或多次上侵贯入成矿。一般来说，经过深部熔离后的不含矿岩浆的体积，比含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆的体积要大得多。在上侵过程中，不含矿岩浆大部分都侵入到不同的空间或喷溢出地表，形成岩群或岩流；

剩余的岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆可以多次贯入同一空间成岩、成矿（金川），也可以分别贯入不同的空间成岩、成矿（红旗岭）。比照就地熔离的矿床，这种深部熔离-贯入矿床的岩体体积就小得多，含矿率和矿石品位也高得多，所以这种成矿作用导致小岩体成大矿。随着深部矿体的开发和利用，我发现热液作用及构造作用对富矿特别是特富矿及那些含稀有贵重金属的的特富矿的形成和定位有着十分重要的意义，研究表明，金川矿床的形成，是富含成矿元素的幔源物质经长期的各种成矿作用最佳匹配的结果。后一问题留待 2 中讨论，下文先从不同角度来研究金川矿床的基本特征。

2.2.1 矿床的时空分布

金川矿床现分布于龙首山陆缘带的中东部，靠近潮水盆的一侧(图0-1，1-5)。含矿岩体的直接围岩是龙首山岩群 A 岩组（白家嘴子组）。龙首山岩群 A 岩组形成于中太古代。前文从历史演化的角度，通过金川矿床形成的构造背景的深入剖析，结合前人的研究成果，认为金川矿床的母岩形成于长城纪（母岩的 Sm-Nd 同位素年龄为 1508Ma±31Ma，汤中立等，1992），这应是金川矿床的母岩形成的最早时间。同位素表明，在新元古代，矿体中也有构造-岩浆-热液作用的纪录（超基性岩颗粒钻石 U-Pb 年龄为 841±45 Ma ，汤中立和天津地质矿产所共同成果，1999 年会议资料。）；本文在 2 部分所提供的铅同位素数据不仅表明有新元古代构造-岩浆-热液作用的记录，而且也表明有加里东期及以后的构造-岩浆-热液作用的纪录；地质资料表明，不仅是新元古代，而且包括后来历次构造运动，都对金川矿体或岩体有作用的痕迹，这主要表现在矿区有不同时代、不同时期、不同性质的岩脉穿插和断层破坏。由此看来，金川矿床经历了形成和发展的长期的地质演化及成矿作用过程，成岩主期应是中元古代，因为岩体不可能在深部滞留过长的时间，蓟县纪本区就出现了裂陷海，更何况自加里东期本区就表现为活动陆缘性质，成矿作用主要是发生在元古代及加里东期。另外，在矿区可见到一系列加里东期辉绿岩脉切穿矿体，但未见更晚期的岩脉穿插，这也从地质角度证明金川矿床形成时间不可能很晚，如果说有较晚的年龄出现，也只能表明后期构造对金川矿床有过影响罢了。只有在上述对区内构造背景作全面分析的基础之上，才能对这一问题作较全面较深刻的理解，当然，具体证实还要做大量的地质工作包括测年工作及同位素示踪。

2.2.2 含矿母岩特征

（1）含矿母岩的形态及规模

金川含硫化物超镁铁质深成侵入体直接与大理岩、条带-均质混合岩和片麻岩接触。岩体与围岩构造作用强烈，在二者接触处，常见构造破碎带、糜棱岩，构造凸镜体，在矿井深部，这些现象愈明显。表明后期构造作用掩盖和破坏了先期岩体与围岩的接触关系，但岩体上下两盘的蛇纹大理岩中见透闪石化、透辉石化、蛇纹石化等，这是否出岩体侵位所引起，还需作进一步工作。

含矿母岩长 6500m，宽数十米到 500 余米不等，其两端均为第四系所覆盖（图 2-6，7）。地表出露长约 4 500m，出露面积为 1.34km^2，走向为 N50° W，倾向 SW，倾角 50° ～80° ，呈不规则岩墙状展布，它被 E-NE 向的剪切断裂切割为 4 个块段，这 4 个块段从西到东被勘探者称之为Ⅲ、Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ矿区。各个矿区岩体的规模、形态与产状都有差别，容矿情况亦不相同，现由西而东分别叙述于下：

Ⅲ号矿区侵入体位于矿田西端，相对于Ⅰ号矿区的侵入体被 F_8 向 SW 方向错开达 900 多米，其上被 40～50m 厚的第四系覆盖。该侵入体长 500 多米，东部较宽，向西尖灭。东端延深在 600 多米深处向下尖灭，西端延深约 200m 呈楔形尖灭。该侵入体倾向 S，倾角 60° ～70° 。该区岩体大部分由星点状贫矿石构成。

Ⅰ号矿区侵入体出露长约 1500m，西宽东窄。西端宽达 320m，东端宽约 20m。向下延深大于 700m。倾角较陡（70° ～80° ），倾向 SW。岩体底部形态具有舒缓的起伏，岩体和其中的就地熔离矿体亦产生相应的膨缩变化。沿倾向底部起伏幅度较舒缓，在底部下凹的地段，岩体和矿体稍显膨大，上凸的地段，岩体和矿体就稍显收缩。沿走向底部起伏幅度较大，由东向西呈波状起伏，而且波谷、波峰起伏的幅度越来越大，具有向西侧伏的趋势。岩体和星点状贫矿体的规模亦向西部增大。海绵状富矿体发育

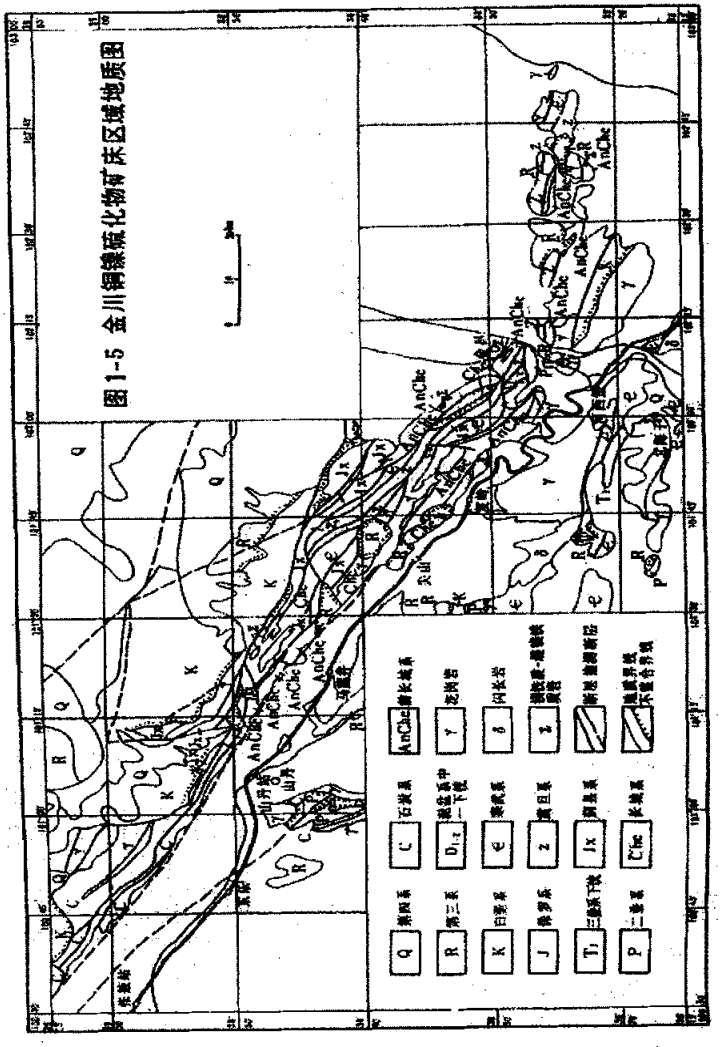
于岩体近底部，但不受岩体底部形态的控制，在个别地段，此类矿体还贯入到底盘围岩中。Ⅰ矿区赋存有金川矿床的 24 号矿体。

Ⅱ号矿区侵入体长大于 3000m，介于断层 F_{16-1} 与 F_{23} 之间，东部被第四系覆盖，其余地段均出露地表。向西逐渐变宽，在 F_{17} 附近宽度最大，达 530m，再向西，则又变窄。该侵入体走向约 N50° W，倾角 50° ～60° ，倾向 SW，东部倾角相对变缓。西端受断层影响有明显的偏转而呈 NEE 向，以 26 线为界可分两段，西段岩体宽度较窄（30～300m），延深较大，最大延深超过 1000m，它由上、下两个分枝组成，上分枝呈板状，延深 300～400m 即尖灭，下分校规模巨大，一般延深数百米至千余米尚未尖灭，其中赋存有规模巨大的富矿体（即 1 号矿体）；东段岩体较浅（600～800m），出露较宽，最大宽度可达 530m，横切剖面上演变成漏

斗状，硫化物矿化堆积在底部，形成一个向 SW 缓倾斜的矿化透镜体（即 2 号矿体）。

Ⅳ号矿区侵入体位于最东端，长 1300m,除西端位于混合岩之下外,其余均被第四系覆盖，覆盖厚度 50～140m。其走向发生强烈偏转，为 N80^{0}W，倾角 50°～60°,倾向 SW。侵入体形态呈不规则透镜状，东部向下分叉并尖灭。最宽大于 230m，向下延深达 400～600m。

金川侵入体形态受包围它的断层的性质控制。在剪切断层控制作用明显地段，侵入体延深较大，且呈平板状，在张性断裂发育地段，侵入体延深不大，横剖面上呈漏斗状，在剪切作用发育地段，岩浆分异不明显；而在张性断裂发育地段，岩浆分异作用则十分明显，各岩相均较发育。



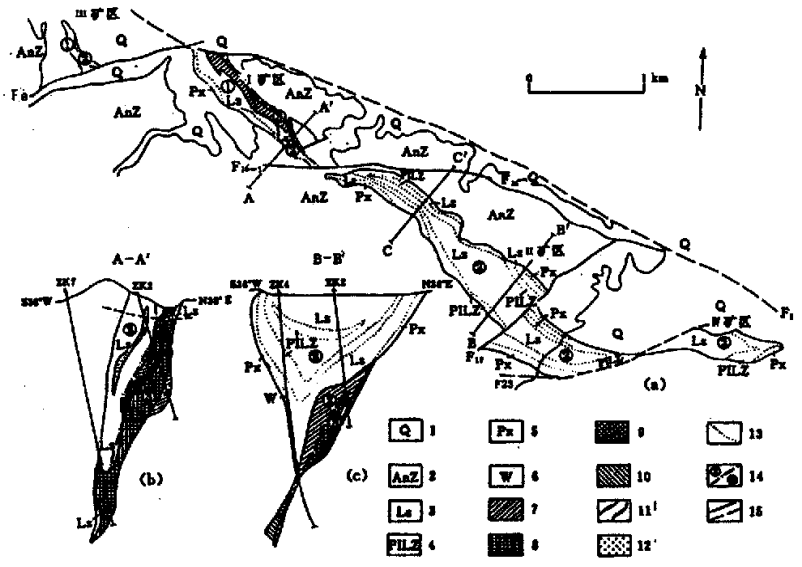


图 2-6　金川侵入体平面（a）及剖面（b、c）地质图

1—第四系；2—前寒武系；3—二辉橄榄岩；4—斜长二辉橄榄岩；5—橄榄二辉岩；6—二辉岩；7—浸染状矿石；8—海绵状富矿；9—氧化矿石；10—交代型矿石；11—块状硫化矿石；12—悬挂式浸染状矿石；13—岩浆岩岩相接触界线；14—不同阶段岩相接触界线；15—断层

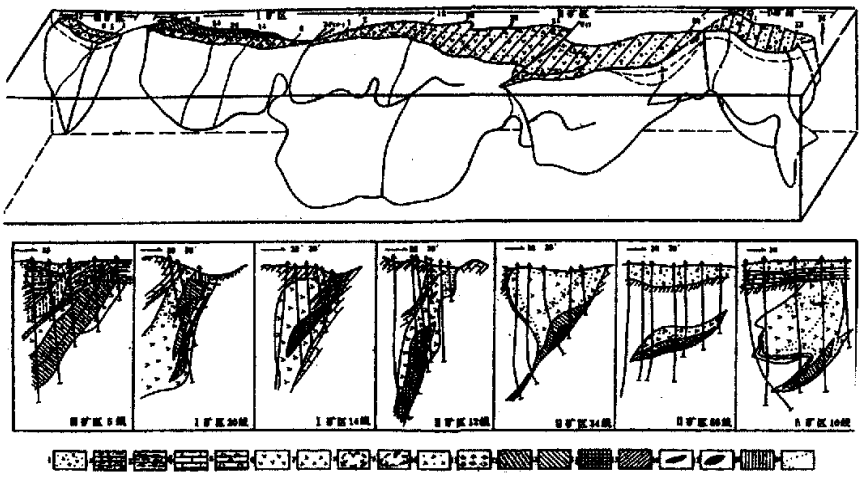


图 2-7　金川含矿镁铁岩立体形态及主要横断面示意图

1—第四系冲、洪积物；2—第四系砂砾岩；3—混合岩；4—大理岩；5—斜长角闪岩；6—第 1 期含二辉橄榄岩；7—第 1 期二辉橄榄岩；8—第 2 期含二辉橄榄岩；9—第 2 期二辉橄榄岩；10—第 2 期斜长二辉橄榄岩；11—第 2 期橄榄二辉岩；12—熔离型贫矿；13—深熔—贯入型贫矿；14—深熔—贯入型富矿；15—接触交代型矿体；16—晚期贯入型矿体；17—铂富集体；18—氧化矿（化）带；19—岩相界线

（2）含矿母岩侵入期次划分及岩相学、岩石学及地球化学特征

含矿母岩侵入期次划分及岩相学 金川含矿岩体为一复式侵入体。前人主要根据金川含矿母岩矿物颗粒大小及不同侵入体(部分几乎全由富矿和块状矿石组成)间的相互关系，将金川含矿母划分为四个侵入期次，现简述如下（图2-6，7，表2-1）：

第一期细-中粒二辉橄榄岩和橄榄二辉岩主要产于Ⅰ、Ⅱ矿区侵入体的中、上部（西南侧），向南东逐渐变窄，终止于F_{16}。出露面积约0.1km^2，体积约占岩体体积的25.3%。上部矿物粒度为0.25～5.10mm，平均1.41mm，中细粒结构。主要岩石类型为：以含二辉橄榄岩为核心，向上盘依次过渡为二辉橄榄岩、橄榄二辉岩和内接触带的蛇纹石、绿泥石、透闪石片岩。向下盘仅局部过渡为二辉橄榄岩，大部分地段直接与下部第二期侵入相呈侵入接触关系。在二辉橄榄岩和含二辉橄榄岩中，见星点状、局部海绵状矿石，组成悬浮状、透镜状贫矿体。矿体体积占侵入相体积的50.6%。

第二期中-粗粒侵入岩在西部分布于Ⅰ、Ⅲ矿区侵入体之中、下部，向东南逐渐变宽，成为Ⅱ、Ⅳ矿区侵入体的主岩相。该侵入相组成岩体的主体，在4个矿区内皆很发育，出露面积大于1.2km^2，体积约占岩体体积的67.7%。组成岩石之矿物的粒度为0.51～6.34mm，平均2.59mm，中粗粒结构。在岩体西段，这期侵入相直接伏于第一期侵入相之下，岩体的其余地段（包括西段岩体中下部、Ⅰ矿区东段和Ⅱ、Ⅳ矿区）主要由此期侵入相组成。含二辉橄榄岩分布于侵入相的核心，向上、向下皆依次过渡为二辉橄榄岩、橄榄二辉岩，局部(主要为岩体边部)还进一步过渡为二辉岩，显示出较好的岩相对称发育关系。在含二辉橄榄岩和下侧二辉橄榄岩中，含星点状、斑杂状和局部海绵状矿石，构成透镜状、板状和似层状矿体，矿体体积占侵入相的35.8%。

第三期的中粒纯橄岩主要产于Ⅰ、Ⅱ矿区侵入体之下部。局部分枝贯入底盘围岩之中。此期侵入相主要由硫化物纯橄榄岩组成，局部辉石含量稍有增加，变为硫化物含二辉橄榄岩。体积约占岩体的5.6%，粒度为0.47～5.20mm，平均1.69mm，中粒结构。岩石中含10%～20%的硫化物，其余全部为橄榄石，局部含少量辉石。硫化物充填于造岩矿物晶间，呈海绵陨铁状构造。整个侵入相全为海绵状富矿石，组成巨大的透镜状矿体。此期侵入相与其上、下的第二期侵入相或底盘围岩之间，呈两种接触关系：一种为截然分明的界线，两侧岩相或围岩有强烈蚀变，表明含富矿的该期岩浆是沿已冷却的先期岩浆或围岩裂隙贯入的；另一种为“混合、渐变”界线，反映出一种成分逐渐增多，而另一种成分相对减少。

前者为脉动接触关系，后者为涌动接触关系，但大体具有一条清楚的接触界线。说明第3期含富矿岩浆是在第2期岩浆尚未完全固结的情况下上侵“涌动”或是在刚固结的情况下贯入“脉动”的。

第四期侵入相，是指矿浆沿岩体原生构造裂隙和其它构造裂隙贯入。一般贯入于第3期侵入相中或岩体下部接触带中，局部贯入于第3期侵入相的上部或岩体顶、底盘围岩中，由98%以上的金属硫化物构成，形成块状矿石和矿体。

对各期次岩浆来讲，较基性的岩类均产于岩相中心，由中心向外，基性程度逐渐降低。同一期次里各岩类之间的接触界线是逐渐过渡的，而不同期次之间的接触界线则是突变的。较早期次的侵入体已经蚀变或强烈破碎，有些接触带往往被晚期岩脉所充填，接触特征归因于复式岩体多次侵入。现将上述各侵入期次特征概括如表2-1。

表2-1　含矿岩体侵入期次、部位、体积、含矿性一览表

侵入期次	第一期	第二期	第三期	第四期
侵入部位	主要发育于西段岩体中上部，与其下的第二期侵入相呈侵入接触	四个矿区皆很发育，在岩体西段直接伏于第一期侵入相之下	分布于Ⅰ、Ⅱ矿区第二期侵入相的下侧部，与第二期侵入相呈侵入接触或混合、渐变接触	沿岩体原生构造裂隙或其它构造裂隙贯入
出露面积	0.1km^2	1.2km^2	局部零星出露地表	
占岩体总体积百分比	25.3%	67.7%	5.6%	
矿物粒度	0.25～5.10mm	0.51～6.34mm	0.47～5.20mm	
平均矿物粒度	1.41mm	2.59mm	1.69mm	
结　构	中细粒结构	中粗粒结构	中粒结构	
物质相	含二辉杆橄岩、二辉杆橄岩、杆橄二辉岩	含二辉杆橄岩、二辉杆橄岩、杆橄二辉岩、二辉岩	纯杆橄岩、含二辉杆橄岩	98%以上的金属硫化物构成
含矿性	矿体体积占侵入相体积的50.6%	矿体体积占侵入相体积的35.8%	全部构成海绵状富矿石	全部构成块状矿石

含矿母岩岩石学特征　金川各类岩石的主要造岩矿物为橄榄石、单斜辉石、斜方辉石及斜长石。橄榄石一般为半自形-自形短柱状，但当其被其它矿物颗粒

包裹时，则呈浑圆状，一般 Fo 为 77%～90%，极少部分 Fo 为 91%～94%。斜方辉石主要呈他形晶产出，半自形晶少见，En 为 80%～87.3%，成分相当于古铜辉石。在二辉岩中斜方辉石为紫苏辉石，En 为 76.5%，斜方辉石含量少于单斜辉石。

斜方辉石的含量与橄榄石呈正相关关系，而与单斜辉石呈反相关关系。单斜辉石有两种，一种单斜辉石呈柱状、他形粒状，En 为 45%～62%，Fs 为 1%～11%，Wo 为 37%～45%，成分相当于透顽辉石。另一种单斜辉石，En 为 40.5%～43.5%，Fs 为 14.5%～18%，Wo 为 3.58%～45%，成分相当于普通辉石，它主要分布于弱基性岩相里。斜长石一般呈半自形-他形，有时作为橄榄石的客晶产出，成分属拉长石。斜长石与橄榄石共存，表明岩浆上侵时压力较低（林景仟，1982）。

所有岩石均已蚀变，橄榄石一般蚀变为蛇纹石和纤蛇纹石，蚀变矿物一般沿裂隙分布，在强蚀变地段则被叶蛇纹石所代替。古铜辉石常蚀变为绢石。单斜辉石一般蚀变为纤闪石和透闪石，呈单斜辉石假象出现，但当其被蚀变为绿泥石时，原来单斜辉石的结构则变得模糊不清。斜长石一般被葡萄石取代。纯橄岩蚀变较强的地方出现菱镁矿、方解石和绿泥石。

含矿母岩岩石化学特征 常量元素 侵入岩的平均化学成分，相当于二辉橄榄岩的成分，其中的 Mg、Fe、Ni、Cr 含量及 ω（Mg）/ ω（Fe）值（3.02～5.22）随岩石基性程度的降低而有规律地减少。m/f=2.7～5.9，属铁质超基性岩。Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的含量成反比，Fe^{3+} 与蚀变强度有关。Si、Ca、Al、Na、K 含量与 Mg、Fe 含量呈反比关系。Na_2O 含量一般低于 0.5%，但在一些含斜长石的二辉岩或橄榄二辉岩中却高于 1%。K<Na、K_2O 含量在约 2%的样品里高于 0.3%，在极个别样品中高于 1%。

综上所述，金川含矿母岩是一复式侵入体，划分为四个侵入期次，第四期几乎全由块状矿石组成；其它岩相为细-中粒二辉橄榄岩和橄榄二辉岩岩相、中-粗粒二辉橄榄岩、橄榄二辉岩，局部二辉岩岩相及中粒纯橄岩相，各岩相之间多具涌动及脉动特点。各类超基性岩的主要造岩矿物为橄榄石、单斜辉石、斜方辉石及斜长石，斜长石与橄榄石共存。岩石蚀变强烈。侵入岩的平均化学成分相当于二辉橄榄岩的成分，岩石中含镁较高，m/f=2.7～5.9，属铁质超基性岩。母岩浆是一种高镁玄武岩浆，岩石中 TiO_2 低，与大陆边缘裂谷环境下的火山-岩浆作用的产物相似。微量元素反映了略具富集地幔的特征。金川超基性岩体各侵入期次及岩石类型的球粒陨石标准化配分模式有互补特点，一至三期侵入体稀土配分模型呈右倾斜曲线，为轻稀土（LREE）富集型，而第四期硫化物块状矿体的稀土

配分模型呈左倾斜，为重稀土(HREE)富集型，这种不同期次岩(矿)体稀土配分模型的互补关系有力的支持了硫化物深部熔离的假设。

2.2.3 矿体特征

（1）矿体的形态及产状

金川矿区共发现工业矿体数百个，矿体占超基性岩体体积的 43.17%，几近一半，矿体形态多为似层状、凸镜状，熔离-贯入型富-特富矿体一般呈凸镜状、脉状、柱状及块状，有的为岩浆期后构造热液作用的产物（见下文深部矿体特征部分)。矿体的产状大体有两种，一种受岩体形态控制，分布于岩体的下部，或陡（呈约 70°）或缓，倾向南西，与岩体产状大致相同，本质上受 F_2 断层系统控制；另一种产状比较复杂，往往沿裂隙系统分布，穿插于早期矿体中或围岩裂隙中。矿体的平面和剖面及立体示意图见图 2-6，7，为了更好的理解矿体的形态及产状，现将一些更具体的综合性图件也一并列出（图 2-8、9、10、11)。这些图件能直观、具体地反映深部工程揭露出来的一些矿体特别是II矿区深部矿体的形态特征。

（2）矿体和矿石类型

矿体类型　金川矿床矿体按成矿作用可划分为 6 种类型，见表 2-2。

矿石类型　金川矿床矿石按其构造特征可划也分为 3 大类 6 亚类，见表 2-3 。

（3）物质成分特点

金川岩浆硫化物矿床矿石中的脉石矿物是橄榄石、辉石、斜长石、角闪石及蚀变矿物等，它们的特征前文岩石学部分里已作了简单介绍，此不赘述。矿石矿物主要由金属硫化物矿物及稀有、贵金属元素矿物组成。此外含少量氧化物、金属单质矿物及金属互化物等。它们具体是：磁黄铁矿、镍黄铁矿（紫硫镍铁矿)、黄铜矿、方黄铜矿、马基诺矿、墨铜矿和黄铁矿。稀有、贵金属元素矿物达 34 种以上。

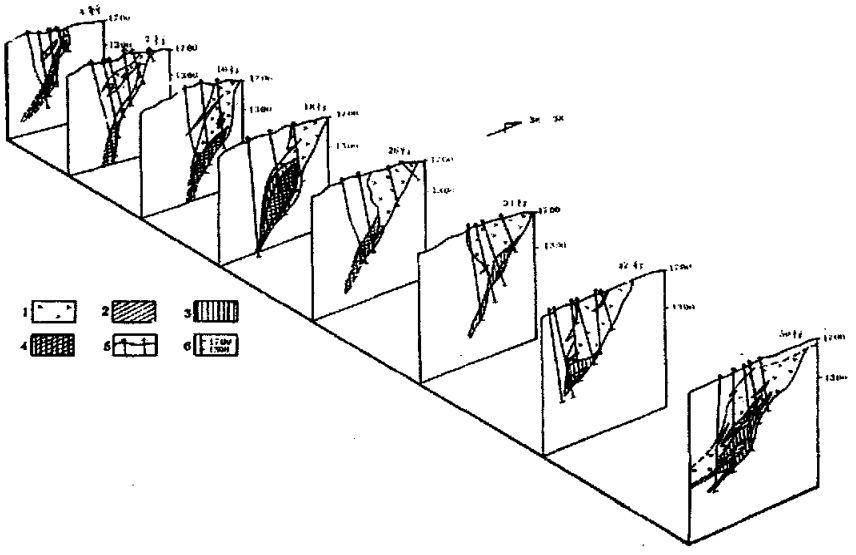


图 2-8　金川矿床Ⅱ矿区矿体纵断面立体示意图

1—第 2 期硅酸盐岩体；2—就地熔离型贫矿；3—深熔-贯入型贫矿；

4—深熔-贯入型富矿；5—钻孔位置；6—标高（m）

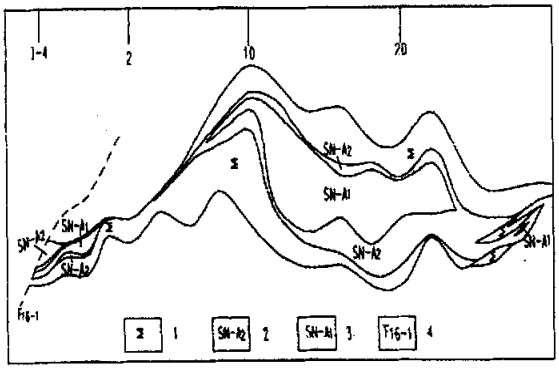


图 2-10　金川Ⅱ矿区 1#矿体 1200m 水平平面示意图

1—超基性岩；2—深熔-贯入型贫矿；3—深熔-贯入型富矿；4—

断层及编号

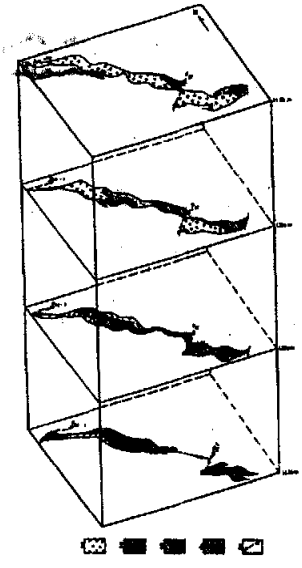


图 2-9 金川矿床Ⅱ矿区矿体横断面立体示意图

1—第 2 期硅酸盐岩体；2—深熔-贯入型富矿；3—深熔-贯入型贫矿；4—接触交代型贫矿；5—推测平推断层及编号

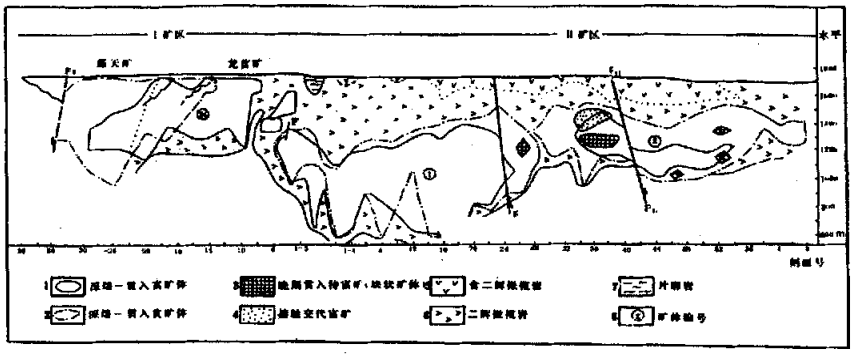


图 2-11　金川矿床Ⅰ、Ⅱ矿区纵投影示意图

表 2-2　金川矿床硫化铜镍矿体类型特征表

矿体类型		矿体赋存部位				矿体形态	主要矿石类型	规模		金属储量比率			磁黄铁矿:镍黄铁矿:黄铜矿
		侵入期次	赋矿岩体类型	岩体空间部位	矿区位置			长	宽	Ni (%)	Cu (%)	储量排序	
岩浆期	i 就地熔离矿体	第一期	含二辉杆橄岩、部分二辉杆橄岩	中下部	Ⅲ矿区Ⅰ矿区西部	似层状、透镜状	星点状、局部乳滴状矿石	几米至几百米	1米一多米	11.4	2.2	第二位	3.7:3.3:1
		第二期	含二辉杆橄岩、二辉杆橄岩	中部中下部	Ⅲ、Ⅰ、Ⅱ和Ⅳ矿区		星点状矿石为主、有时呈斑点状、局部海绵状						
	ii 深熔—贯入矿体	第三期	纯杆橄岩	为矿体	Ⅰ、Ⅱ矿区	呈似层状、透镜状、少数呈脉状	海绵状矿石为主、半海绵状矿石为次	几米至千米	百米至几米	85.92	85.1	第一位	3.5:2:1
	iii 晚期贯入矿体	第四期	主要贯入纯杆橄岩中	第三期岩(矿)体下部及顶底盘接触带	Ⅰ矿区东、Ⅱ矿区中部为主	扁豆状、脉状	块状矿石为主局部半块状、角砾状矿石	几十厘米至百米	米三多米	0.59	1.1	第四位	3.6:1:1
气化热液期	iv 接触交代矿体		大理岩	岩体与下盘围岩接触带	主要Ⅰ Ⅱ Ⅲ矿区	似层状、透镜状	稠密、稀疏浸染状、细脉状矿石	几米至几百米	几米至几十米	2.09	1.58	第三位	1.2:0.7:1
热液期	v 岩浆热液叠加矿体	第一二期	蚀变含二辉杆橄岩、二辉杆橄岩	部分熔离矿体中下部			斑杂状矿石			铜矿物明显增多，Cu、PGE、Au、Ag等含量Cu/(Cu+Ni)、Pt/(Pt+Pd)比值明显增高。			1.2:0.9:1
		第三期	滑石菱镁矿岩	深熔贯入矿体中部、中下部	Ⅰ、Ⅱ矿区	透镜状	毛毡状云雾状细脉状矿石						
	vi 构造热型矿体		超基性岩、花岗岩、大理岩等	下分枝等	Ⅰ、Ⅱ矿区	透镜状、脉状	云雾状细脉状矿石等						

上述矿石矿物特征、组合形式及相互间的关系在不同类型的矿体及矿石中是不同的。现简述如下（构造热液型矿体见后文）：

在岩浆就地熔离矿体中，主要矿石类型为稀疏星点状（浸染状）矿石，硫化物呈半自形至他形粒状，其集合体一般为 1～3mm 的不规则星点或液滴状，均匀地充填于橄榄石、辉石等矿物晶间。部分矿体下部，硫化物集合体出 0.1～10mm 大小不等的颗粒形成斑杂状矿石。主要金属硫化物矿物为磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿，另含少量方黄铜矿、马基诺矿、墨铜矿等。磁黄铁矿：镍黄铁矿：黄铜矿为 3.7：3.3：1。

在岩浆深部熔离-贯入矿体中，除外围星点状矿石外壳之外,几乎全部由海绵陨铁状矿石组成。金属硫化物均匀地充填在造岩矿物晶间，硫化物约占 12%～26%。主要金属硫化物矿物成分与前类矿体相同，但磁黄铁矿：镍黄铁矿：黄铜矿为 3.5：2：1。

表 2-3 金川矿床硫化铜镍矿石类型特征表

成矿期	矿体类型	矿石类型	
岩浆期 (I)	就地熔离型 (I_A)	星点状矿石 (I_a)	星点状矿石 (I_a)
	深部熔离-贯入型 (I_B)	海绵陨铁状矿石 (I_b)	局部海绵陨铁状矿石 (I_b^1) 海绵陨铁状矿石 (I_b^2)
	晚期贯入型 (I_C)	块状矿石 (I_c)	半块状矿石 (I_c^1) 块状矿石 (I_c^2)
气化-热液期 (II)	接触交代型 (II)	浸染状矿石 (II)	稀疏浸染状矿石 (II^1) 稠密浸染状矿石 (II^2)
热液期 (III)	热液叠加型 (III_1)	变海绵陨铁状矿石 (III_1)	云雾海绵陨铁状矿石 (III_1^1) 云雾状矿石 (III_1^2)
	构造热液型 (III_2)	块状、脉状等 (III_2)	块状(III_2^1) 脉状 (III_2^2)

在晚期贯入矿体中，矿体主要由块状矿石组成。在矿体端部、矿体边缘以及矿体所处接触带之外侧围岩中，常有半块状、角砾状、脉状、细脉浸染状矿石出现，宽度可达数米。角砾状矿石的角砾成分因所处位置的不同，可由岩体围岩、海绵状矿石、甚至辉绿岩脉等组成。脉状和细脉浸染状矿石主要发育在混合岩、斜长角闪岩、片麻岩、花岗岩等化学性质不活泼的围岩中。在块状矿石外侧，相伴产出的这些矿石，交代作用不发育，围岩蚀变不明显，显然系晚期矿浆贯入时，部分矿液沿围岩裂隙贯入渗滤而成。一般靠近块状矿体 镍含量高于铜，向边部

铜含量高于镍，表现出铜比镍具有更大的迁移能力。块状矿石约98%以上为金属硫化物组成，金属矿物主要为磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿、紫硫镍铁矿以及少量磁铁矿、赤铁矿、褐硫钾镍铁矿。磁黄铁矿（黄铁矿）：镍黄铁矿（紫硫镍铁矿）：黄铜矿为3.6：1：1。据矿体切穿辉绿岩脉并含辉绿岩角砾、矿石中交代作用和交代矿物不发育、围岩未蚀变或蚀变轻微等因素分析，这期矿体形成相当晚，结晶温度较低，矿浆中挥发组分不多。

在接触交代矿体中，矿体一般产于岩体上、下盘围岩（白云石大理岩）及捕虏体中，大矿体一般赋存于下盘围岩中。由稀疏浸染状、稠密浸染状夹脉状矿石组成，一般靠近岩体一侧镍品位较富，远之变贫，铜品位变化与镍相反，最终变为铜矿石。矿石的主要金属矿物为磁黄铁矿、黄铁矿、镍黄铁矿、紫硫镍铁矿、黄铜矿、方黄铜矿、墨铜矿和少量磁铁矿、赤铁矿、马基诺矿等。磁黄铁矿（含黄铁矿）：镍铁矿（含紫硫镍黄铁矿）：黄铜矿（含方黄铜矿、墨铜矿）为1.2：0.7：1。金属矿物为半自形—他形晶，以粒状嵌晶结构为主，次为交代纹状结构、交代假象结构及固溶体分离结状、乳浊状结构。交代成矿对大理岩有明显的选择性，大理岩蚀变为含钙铝榴石透辉岩透闪岩及绿泥石片岩，蚀变范围往往比矿体稍大。

在热液叠加矿体中，矿体呈透镜状、分枝状沿矿体中的韧性剪切挤压带分布。矿石中交代、蚀变异常强烈，造岩矿物和金属矿物呈定向排列或呈星云状、雾状构造，交代结构、碎裂结构、固溶体分离叶片状结构发育，具强烈滑石菱镁矿化，形成滑石碳酸盐型矿石。主要产出于深部熔离-贯入矿体中（矿中矿），绝大部分这类矿体分布于海绵状富矿体的中部到底部，个别叠加于矿体底部相邻的星点状贫矿体中。矿石成分与相邻的海绵状矿石相比明显不同，Cu、Pt、Pd 、Au、Ag 、Se、Te成分明显增高，Cu/（Cu+Ni）、pt/（Pt+Pd）的比值明显增大；矿石中除含有原矿石中的磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿等金属矿物之外，铜矿物明显增多，且以铜矿物为主，其中主要为方黄铜矿和墨铜矿，而不是像原矿石中以黄铜矿为主。矿石中稀有、贵金属元素矿物异常富集。

（4）成矿元素（Cu、Ni、PGE+Au）及 硫同位素特点

①金川矿床中矿体占整个侵入体体积的43%。整个侵入体平均含Ni 0.42%、Cu0.23%、S 1.74%，不同类型矿石的成分（相对于100%硫化物中的含量）；

②由金川矿床PGE+Au与世界上其它岩浆硫化物矿床的PGE+Au球粒陨石标准化图可见，金川 PG+Au 含量变化范围位于加拿大萨德贝里的变化范围之

内，明显不同于由超镁铁质岩浆形成的 PGE+Au 的矿床。这充分说明金川岩体母岩浆非超镁铁质而应为镁铁质岩浆。

③金川矿床矿石 S/Se 为 3000～4000，属典型的幔源岩浆硫化物矿床特征（A.J.Naldrett，1989）。金川矿床硫同位素组成见表 1-4，该表中 $\delta^{34}S$ 之变化范围为-1.6～+3.07 之间，且多集中于 0.3～1.9 之间，为幔源硫，部分黄铁矿及镍黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值较高，表明成矿作用有壳源硫参加，因此，硫及其它矿石成分可能主要来源于地幔，但也由壳源物质参加（汤中立，1998）。

（5）矿石组构特征

岩浆熔离作用形成的组构特征：在岩浆上侵时迅速冷凝，熔离作用进行得不够完善，硫化物及集合体以不同大小、不同形态、不同含量（3%～15%）均匀或不均匀地分布在早结晶的硅酸盐矿物颗粒之间，分别形成星点状、斑点状构造，局部见海绵陨铁结构；在岩浆处于较稳定的环境，冷凝速度缓慢，熔离作用进行得完善或较完善，硫化物溶液相对富集，以不同粒级、不同含量（15%～35%）物集合体均匀或局部地、连续或不连续地紧密充填在自形一半自形橄榄石、辉石等围岩矿物晶粒间，橄榄石颗粒被硫化物溶蚀呈浑圆形、或呈较粗大的单晶，分别形成海绵陨铁结构、半海绵陨铁结构等。据硫化物集合体的粒径大小可分为：中粗粒、中细粒、细粒海绵陨铁结构；在深部岩浆熔离作用进行得十分完善的基础上，硫化物熔体高度富集形成了矿浆，再沿早形成的矿体或围岩解理、裂隙或破碎带贯入，形成的组构特点是：矿石中金属硫化物大量聚集，构成块状、脉（块）状、角砾状构造。块状构造又可因金属硫化物的含量不同分别形成半致密或致密块状构造。

热液交代作用形成的组构特征：在岩浆期后，硫化物及集合体呈星点状或细脉状不规则分布在星点状、海绵陨铁状、半海绵陨铁状矿石中，形成细脉状、网脉状、浸染状构造和海绵陨铁-变海绵陨铁结构。浸染状构造又可按其浸染程度、形态、均匀程度分为：稀疏或稠密浸染状构造、细脉或斑点浸染状构造、定向浸染状构造、均匀或不均匀浸染状构造。当金属硫化物集合体交代熔蚀脉石矿物时形成次文象结构；当矿体中硅酸盐矿物遭到强烈蚀变时，矿体中部分硫化物被熔蚀、迁移，重新沉淀为细小硫化物集合体分散在蚀变的硅酸盐矿物中，形成云雾状、星云状、毛毡状构造或云雾构造。

应力作用形成的组构特征：当矿体受期后热液作用和应力作用同时发生的条件下,金属硫化物集合体在硅酸盐矿物颗粒之间呈定向排列，形成定向海绵陨铁

结构、似片状构造、条带状构造，当矿体受应力作用后，形成角砾状、糜棱状、片麻状构造等。

表 2-4 金川矿床镍硫同位素组成

矿石类型	矿物	$\delta^{34}S$ (‰)	资料来源
星点状	磁黄铁矿	1 .85	甘肃省地质矿产局第六地质大队，1984
		1.90	
		1.8	汤中立，1995
海绵陨铁状	磁黄铁矿	0.34	杨合群，1991
	镍黄铁矿	2.08	甘肃省地质矿产局第六地质大队，1984
	镍黄铁矿	-0.32	
	黄铜矿	2.53	
	镍黄铁矿	2,44	
	黄铁矿	1.04	杨合群，1991
块状（岩浆型）	磁黄铁矿	1.09	杨合群，1991
	镍黄铁矿	-1.06	
	镍黄铁矿	1.67	甘肃省地质矿产局第六地质大队，1984
	镍黄铁矿	1.85	
块状（矽卡岩型）	黄铁矿	1.85	杨合群，1991
	黄铁矿	2.60	
热液期变海绵状	磁黄铁矿	3.07	汤中立，1995
星点状	全矿石样品分析	-0.9	Z. J. chan, T. Auge 1992
海绵陨铁状		1.80	
		0.60	
		0.50	
		1.20	
块状		0.7	
		-0.4	
		-0.7	

结晶作用形成的组构特征：早结晶的铬尖晶石呈自形晶结构，砷铂矿、碲铂矿在硫化物中呈自形晶结构，矿石中的镍黄铁矿常呈等粒状半自形一他形晶聚粒状结构，其他硫化物多呈他形晶结构。

固溶体出溶作用形成的组构特点：在较高温度下溶解有杂质组分的结晶颗粒，随着温度的降低，固溶体变得不稳定，它能通过扩散作用，使原来均匀组分

中的杂质部分“出溶”，形成两种或两种以上的矿物。出溶体的形态决定于有关矿物的晶体结构和成核位置，以及温度下降速度的快慢。扩散质点可沿着主矿物颗粒的解理面、结晶方向、双晶方向或颗粒的外形聚集，形成规则或不规则分布的乳滴状、页片状、网状、板状、格状、结状及粒状结构等。本区由固溶体出溶作用形成的结构组在各成矿期形成的矿物中均有出现，主要出溶矿物及结构为：岩浆早期及热液期由铬尖晶石（主晶）与钛铁矿（客晶）组成的格状、乳滴状结构及由黄铁矿（主晶）与镍黄铁矿（客晶）组成的 乳滴状、火焰状、纺锤状 、结状结构；岩浆晚期及汽化热液期由镍黄铁矿（主晶）与马基诺矿（客晶）组成的网状、叶片状结构及由黄铜矿（主晶）与方黄铜矿（客晶）组成的叶片状斑状结构等。

2.3 矿床形成机理探讨

（1）成矿物质来源

①金川岩体岩石类型及母岩浆 金川岩体主要由斜长二辉橄榄岩、二辉橄榄岩和橄榄二辉岩及纯橄岩组成；它的母岩浆是一种高镁玄武岩浆而远不是MgO>30%的超镁铁质岩浆；MgO 含量高，TiO_2低；金川母岩浆中 TiO_2 为 1.2%，界于岛弧拉斑玄武岩与洋脊拉斑玄武岩之间，这代表了大陆边缘裂谷环境下的火山—岩浆作用的产物；

②微量元素 金川侵入体微量元素Nb标准化比值蛛网图（图1-8）反映了略具富集地幔的特征，从金川岩体的Zr、Nb、Y三个元素的丰度比值图（图1-10，11）中可见，金川岩石的数据点既不落入典型的P区（富集地幔源）又远离N区（亏损地幔源）而是具靠近富集地幔向过渡型地幔演化的特征。

③稀土元素 金川一至三期侵入体稀土配分模型呈右倾斜曲线，为轻稀土（LREE）富集型，而第四期硫化物块状矿体的稀土配分模型呈左倾斜，为重稀土（HREE）富集型。具地幔物质部分熔融的特点，另外，汤中立、李文渊（1995）关于 Sr、Nd 同位素研究也佐证了这一认识。

④成矿元素（Cu、Ni、PGE+Au）及硫同位素研究表明，金川矿床 PGE+Au 含量变化范围位于加拿大萨德贝里的变化范围之内，明显不同于由超镁铁质岩浆形成的 PGE+Au 的矿床，说明金川岩体母岩浆非超镁铁质而应为镁铁质岩浆，金川矿床矿石 S/Se 为 3000-4000，属典型的幔源岩浆硫化物矿床特征（A.J.Naldrett，1989）。金川矿床硫同位素组成研究表明成矿物多为幔源硫，少数为壳源硫。

以上资料表明岩浆及矿石成分主要来源于地幔，但也有壳源物质参加。

（2）成岩成矿物理化学条件

研究表明(汤中立，李文渊，1995)：金川岩体橄榄石开始晶出的温度约是1600℃，结束结晶时的温度约是1500℃，辉石开始晶出的温度约是1200 ℃，斜长石的结晶温度约在708～1300 ^{0}C之间。硫化物开始形成液滴向下部沉积的温度约是1200℃ ～1300℃，早期含镍、铜较低的硫化物固溶体形成温度是1150℃～1120℃，晚期含镍、铜较高的硫化物固溶体如磁黄铁矿-镍黄铁矿形成的温度约在865℃～1150℃之间。硫化物固溶体分解的温度在350℃～600℃之间。

本次测得24号矿体橄榄石均一温度为1120℃ ～1165℃，特富矿成矿温度（爆裂温度）有两组：515℃ ～525℃，340℃～370℃（中国科学院地质研究所，2002），另送桂林矿产研究院的包体测温结果也有类似特点（详见后文）。

利用矿物压力计估算压力约为500Mpa（静岩压力），相当于15km深度。

（3）含矿岩浆的形成、演化及其与成矿的关系

地幔岩石学资料表明，地核内富含镍等成矿元素，它们与氢形成高活性、高扩散性的多种氢化物，在核幔发生双向交换作用时，这些氢化物就成为地幔流体（超深流体）的一部分；当地幔发生大规模对流时，含矿地幔流体就会被带到地幔上部，地幔对流引起地壳破裂，产生拆离作用，发生断裂构造运动，地幔部分熔融所形成岩浆及含矿地幔流体，在构造动力的驱动下，不断迁移，上升；由于上部氧逸度剧增，金属氢化物不断氧化，再加上硫化作用，使金属硫化物混熔于岩浆中，形成富含金属硫化物岩浆。这种含矿岩浆沿断裂上侵到地壳深部的岩浆房内。由于温度、压力降低和沿途混染，在高温下产生深部熔离作用。熔离出来的硫化物熔体，在重力作用下，呈滴状向下沉聚至岩浆房底部聚集形成底部矿浆、下部富矿浆、上部贫矿硅酸盐岩浆和无矿硅酸盐岩浆“四层结构”。这些岩（矿）浆在构造动力的驱动下，先后沿同一通道或不同通道上侵，定位于断裂构造所构成的岩浆室内。侵位顺序为硅酸盐岩浆、含矿硅酸盐岩浆、富矿浆、矿浆。在岩浆室内，产生就地熔离作用，并冷凝固结，在岩体的中下部或底部可形成岩浆就地熔离型矿体；之后，深部岩浆房下部的富矿硅酸盐岩浆上侵，定位于岩体底部或根部先阶段的岩相和原生构造裂隙中，形成深部熔离贯入型矿体。最后是岩浆房底部残留矿浆上侵，定位于岩体底部构造裂隙及岩体接触带附近的围岩裂隙之中，经冷凝形成晚期贯入型致密块状特富矿矿体（汤中立，1998）。岩浆后期及期后热液作用加富了矿体的品位。

第三章　矿区深部成矿条件分析

根据前文分析，金川镍铜（铂）矿床是典型的与超基性岩有关的岩浆矿床，岩浆、热液作用及构造作用对成矿起了相当重要的作用，随着开采深度的增加，这种复成矿作用更加明显。

3.1 超基性岩体的控矿作用

3.1.1 深部矿化多富集在含矿岩体下盘或下分枝

前文已经指出，金川含矿母岩浆在现侵位之前的次一级岩浆房中具有四层结构特点，即从上到下，可分为无矿岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆及矿浆，这主要是熔离作用的结果，具四层结构的含矿母岩浆按从上到下的顺序，依次侵入到现在空间，由于侵入时有一定的角度，矿体往往位于岩体的下方。具体来说，矿体一般位于岩体中下部的北东侧、岩体下尖灭端或岩体下部近底盘位置（图 2-7、13，图 3-1，2）。另外，研究表明，由于热液成矿作用的影响，使得富矿和特富矿这一分布规律更加明显，不论在 I 矿区还是在 II、III、IV 矿区，均是一种普遍现象。

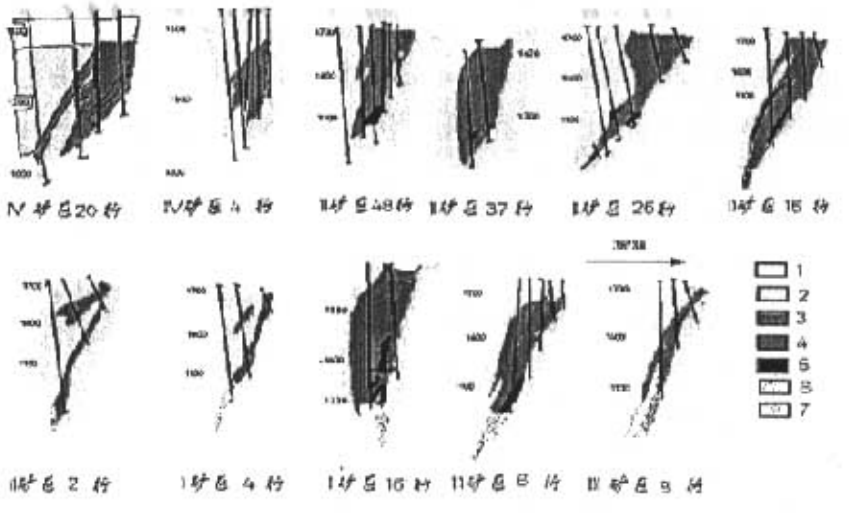


图 3-1　金川矿区深部岩体下分枝及矿体分布特征

1—第四系；2—围岩；3—超基性岩体；4—矿体；5—特富矿；6—推测超基性岩体；7—推测矿体

岩体分枝情况列入表 3-1 中。从图 3-1 及表 3-1，表 3-2 中可知，分枝垂直重叠高度为 20～420 米，岩体分枝间最大水平距离为 40～290 米，分枝开始高程与各矿区岩体横剖面形态有关，同一矿区岩体形态相似区段，分枝开始高程相近，部分剖面因后期构造破坏已与原岩体分开，如 I 矿体 4 行剖面（图 3-1），从 II 矿区 1 号矿体向西至 I 矿区，分枝开始高程呈明显的逐渐降低趋势。目前，随着勘探和采矿工程的进行，IV 矿区岩体分枝已经控制，II 矿区岩体在 30 行以东已经控制，30 行以西尚未控制，III 矿区除个别剖面岩体分枝已经控制之外，大部分未能控制，因此，对未得到有效控制的岩体分枝特别是下盘或下分枝进行进一步工作应是主攻找矿方向之一。

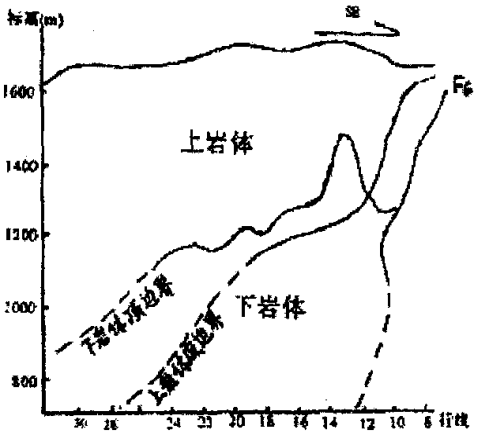


图 3-2　龙首矿上、下岩体纵投影示意图

表 3-1　金川矿区岩体规模及形态、产状 含矿性

矿体编号	金川全矿	IV	II	I	III
岩体长度 m	6500	1300	3000	1500	700
岩体最大宽度 m	530	350	530	320	260
工程控制最深高程 m	575	650	575	957/614	1065
相邻最深尖灭高程 m	200	1040	200	430/375	535
横剖面形态		鸭蹼状	板状、外漏斗状、凸镜状	条状	似层状
岩体走向 °	NW 50	NW 80	NW50	NW 50-60	NW40-50
岩体倾向	SW	SW	SW	SW	SW
岩体倾角 °	50-80	30-65	50-80	70-80	55-75
富矿占矿石比例 %	34.89	0.66	46.80	24.80	6.94
镍金属量占全矿区的比例 %	100	4.26	74.34	17.42	3.96

表 3-2 金川矿区勘探线剖面岩体分枝情况一览表

矿区	IV 矿区								
勘探线编号	20	18	14	10	8	6	4		
岩体分枝垂直重叠高度	420	55	25	80	30	20	30		
岩体分枝间最大水平距离	120	85	150	140	90	120	95		
分枝开始高程	1525	1315	1260	1340	1364	1340	1305		
矿区	II 矿区								
勘探线编号	52	48	22	20	18	16	14	12	10
岩体分枝垂直重叠高度	135	200	60	110	80	270	250	180	290
岩体分枝间最大水平距离	100	120	210	120	40	60	80	60	80
分枝开始高程	1200	1465	1565	1645	1610	1620	1655	1516	1630
矿区	II矿区				I 矿区			II矿区	
勘探线编号	6	4	2	1	2	11	16	4	
岩体分枝垂直重叠高度	270	200	270	220	150	150	120	320	
岩体分枝间最大水平距离	160	220	190	290	180	80	100	70	
分枝开始高程	1625	1635	1655	1630	1640	1435	1240	1300	

3.1.2 深部矿化多富集在超基性岩体侵位时其底板下凹部位

现已查明，金川矿区海绵陨铁状富矿一般聚集在超基性岩体底板下凹的部位，在这一地段，矿体不仅厚度大，沿倾向也延伸稳定，在底槽两侧的凸起部位，矿体厚度明显变薄。图 3-3 是 I 矿区已知含矿超基性岩体的底板形态等值线图，从图面上分析，岩体底板形态有以下特点：

①在 12 行、20 行、26 行各有一个小的窿起，窿起的长轴方向与岩体倾向一致。

②在 10 行至 18 行，总体上为一下凹部位，由于局部窿起，在 12 行、18 行形成小的鞍状构造。

③在 22 行至 24 行有一较大的凹槽。

将已知矿体投至岩体底板形态等值线图，矿体厚大部位正好位于岩体底板下凹部位（图 3-3）。另外，岩体底板下凹部位也是岩体厚度加大部位（图 3-4）。

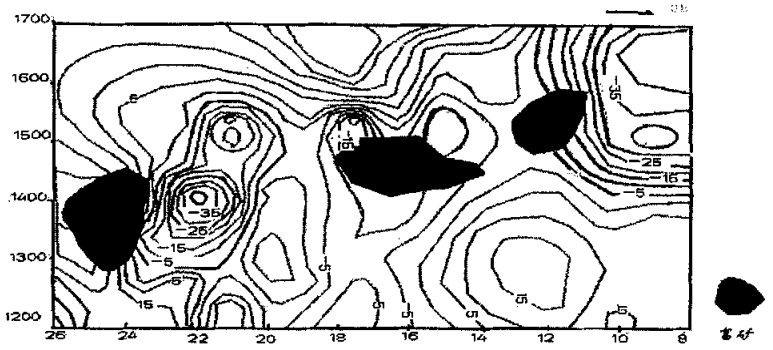


图 3-3　龙首矿含矿超基性岩体底板形态等值线图

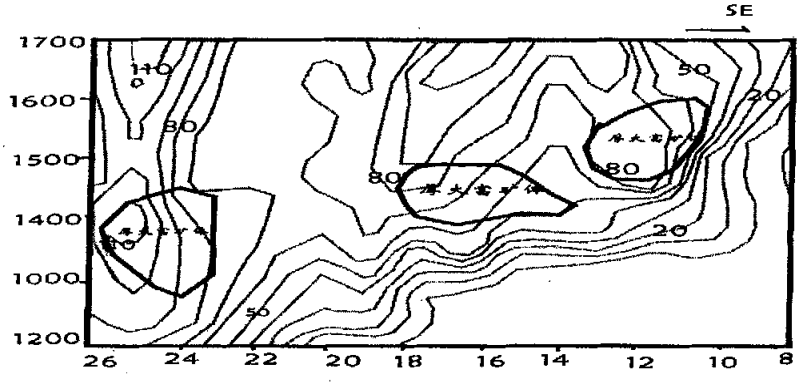


图 3-4　龙首矿贫矿超基性岩厚度与富矿体关系

3.2　构造控矿作用

3.2.1　褶皱转折是矿体增厚或矿化再次聚集的有利地段

矿体在后期构造作用过程中，塑性变形是一种普遍现象，金川矿床也不例外。在塑性变形过程中，一方面可使得矿体向构造的扩容部位聚集，另一方面是构造作用过程中所形成的流体作用于矿体及含矿超基性岩体，活化矿质，形成含矿流体，这种含矿流体在新的构造裂隙中重新聚集形成新的更富的矿体。

我们对金川矿区的褶皱构造进行了分期配套研究，结果表明，金川矿床褶皱按轴向分为两组，一组轴向近东西，规模大小悬殊，大的为区域性基底复背斜，金川矿区位于该背斜的北翼。 在矿区中西部（F_{17} 以西），褶皱轴向转向北西；小者沿轴向仅延伸数十米至数百米。从矿区往南至韩母山，还存在一近东西向的大型复向斜。另一组褶皱轴向北东，规模较小，在龙首矿区与矿区主构造线方向（北西）近于直交，最为明显的是隐伏于地下，且横跨于含矿超基性岩体之上的北东向褶皱，它们对矿体的形态，似层状矿体加厚以及矿化再次富集起有重要作用。从龙首矿含矿岩体及矿体纵剖面上可以看出，这一方向的褶皱是存在的，图

3-5 是龙首矿 14 行～18 行岩（矿）体纵剖面图，在图上，富矿体在向斜转折部位明显增厚。关于含矿超基性岩墙中能否形成横跨褶皱，有不同的意见，一种意见认为含矿超基性岩是岩浆岩，不存在层状构造，也就不可能产生褶皱。笔者研究认为，含矿超基性岩虽是岩浆岩，但由于岩浆结晶分异作用，使岩体内部形成了似层状构造，如不同岩性的分层，金属硫化物矿体呈似层状，就整个矿区而言，岩墙本身也相当于层状体。在来自侧向（顺含矿岩体走向）压力作用下，岩墙本身就能产生褶皱作用，在岩体中也可形成小的褶皱。

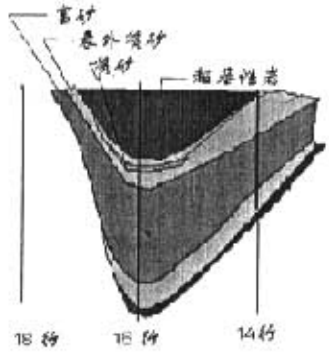


图 3-5 金川矿区龙首矿 14-18 行岩（矿）体纵剖面图

3.2.2 断裂构造的控矿作用

金川矿区断裂对岩（矿）体控制作用十分明显，这主要表现在以下几个方面：一是区域性大断裂 F_1、F_2 对岩（矿）体定位有明显的控制作用，前文对此已做过讨论，历史构造分析表明，矿体和岩体是沿此种断裂及次级断裂上侵。在这里再次加以强调的意义是金川深部沿此种断裂系统还可能有岩体及矿体分布，金川近年来的深部找矿实践已初步证明了这一点，深部地球物理资料也表明金川深部存在低阻体 。二是后期断裂活动对成富矿特别是特富矿有决定性作用。含矿流体的形成及在扩容部位沉积，与断裂活动息息相关，关于热液成矿问题前文已作过讨论，下文对此问题还要作专门讨论，此处着重讨论断裂对成矿的控制作用；另断裂对部分地段矿体还起了贫化和破坏作用 。研究表明，金川矿区内的与原生似层状矿体斜交的张裂带，是构造－热液矿化流体叠加、成矿物质再次聚集的有利部位；

（1）矿区不同期次、不同级别、不同性质断裂构造（与深部矿体特别是富矿体有关的断裂）发育，是矿区最重要的控岩、控矿构造之一。通过对矿区中部地表及采坑内已知断裂进行统计，编出断裂走向玫瑰图（图 3-6）。从图中可以看出，断裂主要有四组，走向分别为北西向、近东西向、北东向、近南北向，其中北西向断裂最为发育，近东西向断裂次之，现将各组断层与矿的关系分述如下：

北西向断裂：这组断裂规模大小不等，均属断裂系统的一部分，为控制含矿超基性岩体的深大断裂。与含岩矿体近于平行产出，其次级断裂或位于含矿岩体顶、底板，或产于含矿岩体之中（图 3-4，5）。

F_1断裂　该断裂特点上文已经提及，加里东晚期，断裂走向为东西向，到中生代，受印支、燕山运动影响，断裂走向渐转为北西向，现在的断裂展布方向是喜山期印度板块与太平洋板块联合作用的结果，主要表现为逆冲推覆构造，使得岩体推至地面附近，并受到后期构造的多次破坏与改造。现在主要表现为压性（图3-4）。

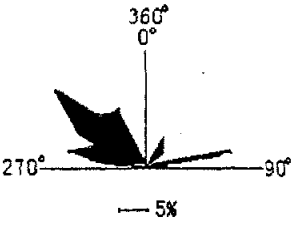


图3-6 断裂走向玫瑰图

岩体北缘大断裂　该断裂地表表现不明显。它属F_1的次级断裂，位于含矿超基性岩体的底板，据618采场观测，断裂下盘为花岗岩，上盘为富矿体（图3-7），断裂带厚2~3m，沿走向呈波状起伏，总体走向北西，倾向南西，倾角70°左右。从断裂带底板到顶板，依次为花岗岩，透镜体片理化带、泥质带、角砾糜棱化带、泥质带、透镜体片理化带、富矿体。泥质带中磨光面（镜面）多而杂乱，反映挤压、揉皱。角砾成分以花岗岩、大理岩为主，角砾明显，受到挤压、搓碾、破碎，且见片理绕角砾弯曲。透镜状片理化带中的矿物成分主要有绿泥石、蛇纹石、透闪石等超基性岩蚀变矿物，另有少量大理岩、花岗岩碎砾，偶见有金属硫化物颗粒，在片理化带及大理岩角砾中，有碳酸盐及金属硫化物细脉。从断裂带特征来看，该断裂曾经历过多次活动，早期为张性，形成角砾岩带，后又遭受多次挤压、剪切，使断裂带成为复杂的挤压破碎带。

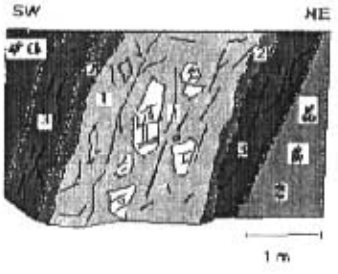


图3-7　618断层素描

近东西向断裂：F_8 、F_{16-1}、F_{23}及它们的次级断裂是其代表，F_8 、F_{16-1}、F_{23}这三条断裂走向大致呈近东西走向，但延展又有变化，它们具走滑性质，将金川岩体及矿体错断，形成四大部分，关于它们的特点，原地矿部甘肃地矿局第六地质队已作过详细的研究，此不赘述。现仅将F_{16-1}西侧I矿区6~8行之间的近东西向断层特点作一讨论。这里之所以要讨论这一断裂，一个十分重要的原因就是沿着该断裂，在深部发现了特富柱状矿体，该断裂特征如下：

①断面倾角陡，局部有反倾现象；②断面呈波状起伏，且光滑。断面上有多组擦痕，擦痕侧伏角分别为15° W（早），35° E（较晚），近于直立（更晚），在断面上还可见到阶步，由擦痕、阶步，判断该断层至少有三次活动。第一次为逆平移断层，北盘向东且向上位移，第二次也为逆平移断层，但位移方向是南盘

向东，断层性质出现转换，第三次为正断层，上盘下降。③断层南盘为富矿体，矿化呈海绵陨铁状，并见有网脉状矿化穿插富矿中，在含矿超基性岩被拖曳旋转的部位，矿体呈柱状，为富铜盲矿体。④断层可见到星点状中粗粒黄铁矿，在破碎松散的地段取岩粉样，可见黄铜矿呈细脉状、骨核状。从断层结构面特征分析，该断层具多次活动特点。早期该断层将岩体位移，并使南盘岩体拖曳、旋转，出现新的成矿作用，晚期又有过活动，使矿体破碎，部分地段可见矿体呈松散状（图3-8）。

北东向及北东东向断层： 在矿区多为成矿后断层，规模不大。北东向断面紧闭，为压性或压剪性断层，常切割岩体或矿体，切割矿体的断层在其断面附近矿化减弱；而北东东向断裂在部分地段（35，38，39 行）切割矿体，对矿体有改造加富的现象，使得矿体呈北东东向分布，（图 3-9）。

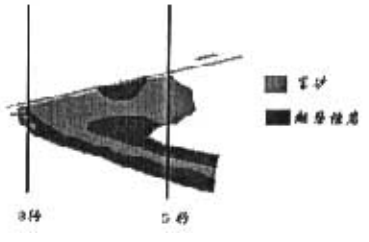


图3-8 龙首矿 1280 米中段 6-8 行 含矿超基性岩与近东西向断裂 的关系示意图

近南北向断层： 在矿区极不发育，与成矿无关。一般切割矿体或岩体，断层平直，断面紧闭，为一组以平移性质为主的断层。

（2）矿区节理配套分析

矿区节理十分发育。通过配套分析，节理分布形式有以下特点：

①节理发育程度与岩性有关，岩石脆性越大，抗剪能力越差，剪节理越发育。金属硫化物含量的多寡对岩石的脆性程度有很大影响，金属硫化物含量越高，岩石显塑性特征愈明显，从超基性岩→贫矿体→富矿体，岩石有脆性程度降低，节理发育程度也降低。

②节理多共轭成对出现，其剪切角大小随岩石脆性程度不同而异，岩性脆性越大，剪切角越小，从围岩→贫矿体→富矿体其脆性程度降低，共轭节理剪切角增大。

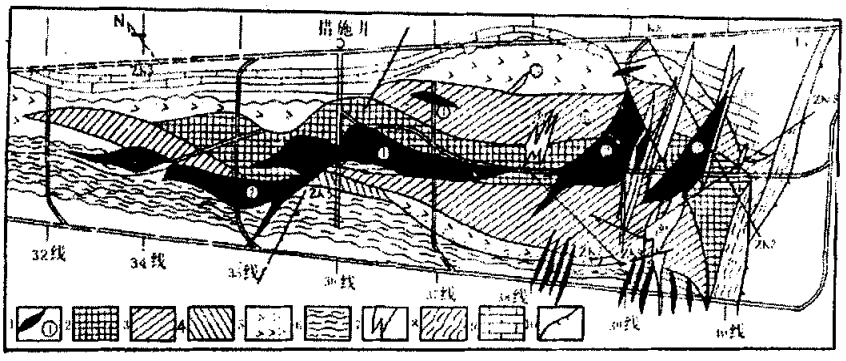


图 3-9 金川II矿区1250中段矿体分布图

1—晚期贯入型块状矿体；2—深熔-贯入型富矿体；3—深熔-贯入型贫矿体；4—接触交代型矿体；5—二辉橄榄岩；6—蛇纹绿泥透闪石片岩；7—辉绿岩脉；8—混合岩；9—大理岩；10—断层

③超基性与贫矿中剪切理分布形式相似。

④这些节理是在同一应力场中形成的，应力方向来自北东-南西方向的挤压。

以上这些特征在龙首矿 1230 米标高 802 采场表现得十分清楚（图 3-10）。

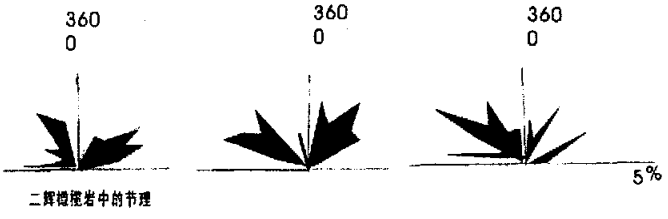


图 3-10 龙首矿 1230 米标高 802 采场节理走向玫瑰图

(3)矿体活化形成的含矿流体从高压区(挤压带)迁出在低压扩容区(引张带)聚集的一个实例

在深部海绵陨铁状矿体中，常见到与矿体走向近于一致的挤压带，如龙首矿 618H～15 分层，矿体走向北西，厚数十米，在矿体中有一挤压片理化带，带厚约 2 米，走向北西倾向南西，倾角 60° （图 3-11），片理化带呈深灰色，肉眼未见明显矿化，根据取样，知其铜、镍品位低。带的两侧为海绵陨铁状富矿，且靠近挤压片理化带的部位，矿化更富集，见有浸染细脉状矿化，从现场观测分析，该地段原为较均一

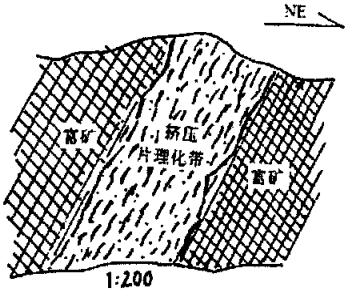


图 3-11 龙首矿 618-15 分层富矿中的挤压片理化带（贫矿化带）

的富矿段，在构造应力作用下，矿段中形成挤压片理化带，成矿物质被活化形成含矿流体，从挤压带中（高压区）迁出，向挤压带两侧迁移，在矿体中形成不含矿或矿化较贫的挤压带，而在挤压带两侧形成更富的矿段。

3.3 热液成矿作用

3.3.1 金川矿区深部富矿、特富矿的形态特征

从上述金川矿床深部富矿、特富矿与围岩及构造之间的关系来看，前者受后者控制作用明显。因此，金川矿床深部富矿、特富矿体的形态多呈脉状、网脉状。特别是最近在龙首矿 6 行及 11 行发现了倾斜的柱状矿体（具体特征详见下文）。所有这些，都是热液矿床的典型特征。

3.3.2 深部富矿、特富矿中见煌斑岩脉内裂隙面有细脉浸染状矿化

根据侵入关系，煌斑岩应晚于含矿超基性岩，可在煌斑岩裂隙中出现黄铁矿、黄铜化，局部地段矿化较强，反映在煌斑岩入侵后，还有过热液成矿作用，成矿物质充填到煌斑岩裂隙中。

3.3.3 金川矿区深部富矿、特富矿中常见金属硫化物细脉

富矿体中的金属硫化物细脉有两种类型：一种为微细网脉状，另一种呈细脉状，呈细脉的矿脉多沿剪裂隙充填，脉中矿物成分有黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿等，反映成岩成矿后，矿体受到后期构造应力作用而产生裂隙，成矿热液再次充填成矿。

3.3.4 富矿体中可见到热液成因的特富矿

富矿体中某些特富矿呈脉状或不规则透镜状，特富矿产状与所在富矿体产状不一致，脉状特富矿与富矿体边界清楚，不规则透镜状特富矿与富矿体边界呈过渡关系。如在 15 行 1360m 中段穿脉巷道。在矿物成分上，这类特富矿黄铜矿较贯入型特富矿复杂，而镍黄铁矿相对减少。15 行 1360m 中段取样结果显示，这种特富矿铜含量为 9.09%，镍含量 6.33%，根据特富矿的外部形态和内部矿化特征，这类特富矿的形成应与成岩成矿后的热液作用有关。

3.3.5 铜的热液成矿作用叠加于次生富集作用之上

从矿相显微镜下，可见镍黄铁矿呈压碎结构被黄铜矿穿插成网脉状、镍黄铁矿呈细脉穿插黄铜矿，还可见到呈胶结物形成出现的镍黄铁矿，说明黄铜矿和镍黄铁矿有多期成矿特点。此外，显微镜下可见到辉铜矿(有的为斑铜矿)穿插黄铜

矿，黄铜矿呈角砾状又被镍黄铁矿包围或溶蚀，表明黄铜矿形成之后曾出现过铜的次生富集作用，然后又出现过与镍黄铁矿形成有关的热液成矿作用。

综上所述，金川矿区不论是地表还是深部，脉状特富矿体主要有两种形成机制，一种是岩浆熔离出的金属硫化物矿浆沿构造裂隙贯入形成，另一种就是成矿热液流体沿构造裂隙（原生破碎构造、后期裂隙构造）充填（交代）形成，它们多呈不规则脉状、网脉状、小的囊状，规模一般都不大，虽然在形态上相象，总体物质组成也相近，但在矿物种类、标型特征及包体特征等方面有着本质的差别，熔离及岩浆后期热液贯入形成的富矿、特富矿特征前人及本文 第二章中已经作过阐述，下文着重讨论热液成因的深部富矿、特富矿的物质组成特征。

第四章　矿区深部地球物理特征

4.1　基本情况

近几年来，金川公司组织了中科院地质地球物理研究所、桂林矿产地质研究院、中南大学信息工程学院、北京中色物探公司、成都水利水电勘察设计研究院、金川公司镍钴技术中心等单位技术力量对金川矿区地表及深部进行了地球物理勘探的探索工作。主要的方法有：微重力测量、自然电位法、电磁 CT、地震 CT、TEM、双频激电等。本文直接引用其部分研究成果。

4.1.1 电磁综合测井、井中激电方法技术简介

①双频道激电法

激发极化法是寻找有色金属硫化矿体(床)的最有效的方法。而双频道激电法及其相应的观测仪器(双频道激电仪)是由中南大学(原中南工业大学)何继善院士首创的、具有自己独立知识产权的频率域激发极化法，是适用于铜、铅、锌、镍、钴等有色金属硫化矿等矿产资源的地球物理勘查的新方法和仪器。双频道激电法的实质是将高、低两种频率的电流合成为特殊的双频电流同时向地下供电，此两种频率的电流是相干的，通常频比为 1/13，并可根据需要加以改变。接收机同时接收经过大地传导后的高频和低频电位差，自动计算显示幅频率和高、低频电位差，并可根据装置系数计算出交流视电阻率。而视幅频率则是地下金属硫化矿体受双频电流的激发而产生电化学反应后的找矿信息。

双频道激电法的本质是特殊波形的双频电流同时发送和同时接收，因此该方法具有抗干扰能力强、观测速度快、工作效率高、稳定性好、观测精度高、装备轻便等特点。双频道激电法已在我国 29 个省市自治区得到推广应用，找到包括

金、银、铜、铅等在内的一大批矿产资源，“我国双频激电研究与应用”曾获国家科技进步二等奖。双频道激电仪已获国家发明奖、国家发明专利、电子工业部科技进步奖等多项奖励。

②井中三分量磁测

井中三分量磁测是寻找磁铁矿或含有磁性矿物成份(如磁黄铁矿)矿产资源的井中物探有效方法，是以各种岩(矿)石的磁性差异为物理基础的。该方法合理应用，可以预测井旁和井底盲矿。

③双频激电法与三分量磁测联合测井

根据金川公司二矿区的地质条件和地球物理特征，铜镍矿体产于超基性岩中，而矿石的主要矿物为磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铁矿，次要矿物为方黄铜矿、黄铁矿、墨铜矿、四方硫铁矿、磁铁矿、这些硫化矿物均有高幅频率，低电阻率的特征，一般来讲，在一定范围内金属硫化物含量高，其幅频率值亦高，因此激电法是寻找金川公司深部铜镍矿的有效方法之一。而矿体中含有磁黄铁矿及少量的磁铁矿，矿体具有较强的磁性，用磁测井方法可以发现磁性体，但由于矿体赋存于超基性岩体中，可能产生一定的干扰异常。因此用双频激电法和三分量磁测综合方法联合测井可减少异常解释的失误，提高异常解释的准确度。

4.1.2 仪器设备

该项目所用仪器均为中南大学地球物理勘察新技术研究所专为此次项目而自行研制的仪器。

①双频道激电法测井及井中物探

a.发送机

发送机型号 Q-3 轻便型双频激电仪发送机，该机采用微机控制，设有过流、过压保护及自动充电装置，主要技术指标如下：

(1)工作频率=8Hz 及 8/13Hz，4Hz 及 4/13Hz，2Hz 及 2/13Hz，1 Hz 及 1/13Hz，选用四组中的任意一组 (注：本项目在实际工作采用 4Hz 及 4/13Hz)。

(2)频率误差 z<0.01%

(3)输出电压范围=1.5V~40V

(4)输出功率 Pmax=800W

(5)输出电流范围：0.lmA~1999mA,分三档即 20mA、200mA、2000mA(自动控制)

(6)电流显示精度：<15%±1 个字。

b.接收机：

(1)工作频率：8Hz 及 8/13Hz，4Hz 及 4/13Hz，2Hz 及 2/13Hz，lHz 及 1/13Hz，选用四组频率中的任意一组（与发送机匹配）。

(2)电位差测量范围：0.1mV~1999mV

(3)电位差测量误差：≤±1%±1 个字

(4)对 50Hz 工频压制能力优于 50dB

(5)二次场测量（DV_D-DV_G）误差≤1%±1 个字

(6)幅频率测量范围：-80%~80%

(7)幅频率测量误差运≤±1 个字

(8)输入阻抗≥10M Ωm

(9)工作温度:10℃± (95%RH)

(10)仪器电源：2.2An/12V×2 蓄电池。

②井中三分量磁测仪器

仪器型号为 DCZ1 型电磁综合测井仪，该仪器由井下三分量磁探头及地面仪器组成，探头经 4 芯电缆、绞车等与地面主机连接。三分量磁探头中由坡莫合金线圈将磁场信号转变成电信号，经初级放大后通过电缆送至地面主机进行主放大、模数转换等信号处理后进行存贮及显示。仪器主要技术指标如下：

(1)可同时测量地磁场的垂直分量 Tz 及水平分量 Tx、Ty。

(2)各分量测量范围：0~±5×10^4nT

(3)磁场分辨率：1nT

(4)仪器测量误差：≤10 nT

(5)对钻孔直径要求：≥76mm

探头密封耐压强度：10MP，可在不大于 1000m 孔深工作。

③其它附属设备

主要附属设备为绕车，井口滑轮，电极转换器、外接高压电池组等。其中井口滑轮带有计数器。记录电缆长度，其计数误差小于 1%士 0.lm。

4.1.3 工作方法

①井中三分量磁测

a.基点选择

井中三分量磁力仪测得的是磁场三个分量的绝对值。为了计算异常值需预先在基点上测出正常场的大小，因此基点的选择和正常场的确定是保证观测质量的

一项基础工作。本次工作在地面选择一个总基点，并在井中下巷道无矿区选择分基点。

b.现场实测

现场采用测量点距为 2 米。下降时为原始观测，提升时为加密及检查观测。

②双频道激电法井壁测量

a.在井壁测量中采用对称四极等距电极系 a=AM=NM=NA=lm

b.测点距为 2m

c.电极系下放时原始观测，提升时检查观测或加密观测

d.观测参数为视幅频率 Fs(%)及高频电位差 DV_G、低频 DV_G 及供电电流 I(mA)。由于在井中测量应为全空间测量，故视电阻率计算时应注意到全空间的计算公式。

③双频道井中激电

(1)地-井方式

地-井方式是将供电电极 A 置于坑道井口或坑道不同方位处，供电电极 B 置于无穷远、测量电极沿井轴移动进行二次场(DV_D-DV_G)和视幅频率(Fs)测量。A 极除位于井口外还可根据地下坑道分布情况灵活布置电极。由于供电极 A 的变化，对于井旁的极化体(或矿体)，采用不同方位的电极供电时，电流激发强度不一样。根据各方位所测得异常强度可发现井旁或井底是否有异常体(矿体)的存在。

A 极布置：

设 A 极距井口的水平距离为 r，r 可选在 100~200m 之间，在个别情况下，也中选取 r=0，即 A 极在井口，A 极除了对方位距离要求外，供入各方向 A 极的电流应相等或相近(可通过调节电供电压及 A 极的接地电阻来实现)。供电电流相等或相近，使各方位极化强弱一致，这在异常解释时会有许多方便。

无穷远极 B 极布置

通常要求无穷远 B 极在测点上产生的极化场小于 A 极在该点的极化场的 2~5%。此时可忽略 B 极影响，A 极可视为点电源。

数据整理

地-井测量，通常是在每个深度上分别对 A 极进行供电，观测相应的 DV_G，(DV_D-DV_G)、Fs、I 等，由于 DV_G(或 DV_D)有时可能为零值，使 Fs 产生没有意义的脱节点，或因井轴在点源 A 的等位面上 $Fs=\{(DV_D-DV_G)/DV_G\}\times C\times 100\%$，出现大正，大负，无法测准。因此地-井方式除 Fs 外还应选 DV_G，以鉴别 Fs 的可

靠性。而(DV_D-DV_G)参数，即为二次场，在解释中有重要作用，故 Fs、DV_G、(DV_D-DV_G)为基本参数。

（2）井-井方式

井-井方式是将供电电极和测量电极分别都放在相邻的两个井中，这种方式的优点是可以探测深部矿体和发现两个钻孔之间是否存在盲矿体。按照井-井方式所占用的钻孔，可分为单井、双井两种方式。本次工作采用双井方式。

双井、三极装置　该装置是将 A 极置于井中（当供电井没有见到矿体时，A 极放入井底，以增大探测范围）。当供电孔见到矿体时，A 极应放到矿体底部，这样可以观察到最大异常。而 B 极则放在无穷远处，测量电极在另一井中观测。

井-井中梯装置　该装置是将 A 极置于井口，B 极置于井底，测量电极 M、N 在另一孔中测量，MN=(10~20)m 点距=(1~2)m 该方法适于查明井间盲矿。

有条件时需将供电孔与测量孔互换进行观测，本项目因钻孔不能长时间保证畅通而未进行互换观测。

4.1.4　岩矿石地球物理特征

1993 年 7 月~9 月，桂林矿产地质研究院与金川公司开展坑道物探工作，根据其提供的“金川矿区矿床地质和物探找矿综合研究报告”，矿区岩矿石的物性参数有下述物性特征：

电阻率值：岩石和矿石具有明显的差别，特富矿、富矿的电阻率值为 $n\times10^2(\Omega\cdot m)$，为低阻。岩石和贫矿的电阻率值为 $n\times10^3(\Omega\cdot m)$，为高阻。岩石和矿石电阻率值相差一个数量级。

极化率值：所有矿石的极化率值都超过 10(mv/v)。特富矿极化率为 31.4(mv/v)，富矿的极化率为 28.4(mv/v，贫矿的极化率为 16.6(mv/v)，属于高极化，围岩的极化率均小于 10(mv/v)，属于弱极化。

4.1.5　物探异常及其地质解释

在对原始数据结果进行计算成图的基础上，为更好地对异常进行分析及合理地解释，采用了三次样条拟合（拟合后的点距为 0.1m），对拟合曲线微分、119 点(即实地勘探中的 11.9m)平均等方法来对实测结果进行信号处理，并计算出了视金属因素 Js 曲线（图 4-1～10）。

①井中三分量磁测

在已探测的钻孔中，主要在16行**XZK**35、20行**XZK**51两钻孔中开展了井中

三分量磁测。在对磁测结果进行样条拟合等处理时，主要是针对x分量、y分量及水平分量进行的。

从XZK35钻孔三分量磁测总场T曲线来看，其磁异常主要分布在井深4~16m处及62~80m处(图4-1)，此两处异常反应了在该两处磁黄铁矿富集。因此可以推测该二处为矿体所致。在62~80m处，磁黄铁矿等磁性物质的富集程度较高，这与激电测量结果较为吻合。从磁测拟合处理后的水平分量曲线更能清晰地显示异常位置，这也说明了磁测效果的有效性(图4-2，3)。

XZK51钻孔三分量磁测总场T曲线比较零乱，看不出其有规律性变化(图4-4)。这主要是矿体内磁黄铁矿等磁性物质分布不均匀，而深部围岩为基性岩，其铁磁物质含量较高形成干扰异常，经过样条拟合、微分、多点平均处理后，曲线变得具有规律性；在深度70m之后，x、y及水平分量的微分曲线起伏变化较大，水平分量的幅值明显比浅部的异常大，这也说明深部物质的磁性要大于浅部物质磁性(图 4-5，6)。

由于三分量磁测采用自行研制的仪器，目前仅能做到点测而不能连续测量，因而数据量较少，仪器有待于进一步改进完善提高。但从磁测的效果来看，在金川开展井中三分量磁测是基本可行的。

②井壁激电测井

开展井壁激电测井的目的有两个：一是通过测井结果与钻探成果进行对比，验证激电方法及其装置的有效性，二是利用激电成果来进一步对矿体本身及围岩进行划分。XZK35孔井壁测量采用电位电极系，从上而下分别为供电电极A、B及测量电极M、N。AB=3m，AN =0.2m。N极在井口。双频激电测井结果显示(图4-1)：

1）在井深2~12m处有弱Fs异常显示，其视幅频率Fs 5~12%。推测此处岩(矿)体中硫化物含量有一定规模，是矿体的反应。

2)在井深 28~42m 处有中等强度的异常反应。Fs 5~12%，说明此处硫化物富集程度高。

3)而在井深 60~80m 处有强异常反应，幅频率值大于 15%，说明此段硫化物富集程度高，为致密矿状矿体所致。

4)上述三处异常处曲线呈锯齿状，说明硫化物的含量不均匀，其中可能有一定的夹层存在，但是总体上反应了矿体的存在。

通过对 XZK35 中的实测 Fs 曲线进行样条拟合可知(图 4-2，3)，在夹层部位 Fs 一般小于 5%，随着含矿量的增加，Fs 会增大，在特富矿上 Fs 一般大于 14%。

可见，通过 Fs 的探测结果就可对矿体本身进行进一步的划分。

20 行 **XZK51** 孔双频激电井壁测量采用对称四极装置，电极自上而下分别为 A、M、N、P，AM=MN=NB=1m ，记录点在 MN 中点。

双频激电井壁测量结果表明(图 4-4，5，6)：

1)在井深 0~28m 处，Fs 异常强度高达 20~60%，说明此段硫化物富集程度高，推测为特富矿体所致。在井深 28m 处，Fs 曲线出现跳变，说明此处为高幅频率与低幅频率两种不同极化体的分界处。

2)在井深 28~68m 处，Fs 值仅为 8~10%，远低于 0~28m 处的 Fs 值，可能为富矿体，其中在井深 50m 处可能存在夹层。

3)在井深 70~80m 处，夹存一个强异常区，该异常范围窄但强度高，为矿所致，且在 75m 处有特富矿体存在。在井深 80~160m，无 Fs 异常存在，是不含硫化物的围岩反应。视电阻率测井结果表明在井深 80m 处,视电阻率仅为 0.1~1Ωm，呈低阻反映，是矿体的反映。井深 80~130m 处，ρs 在 300~800Ωm 范围内变化，是蚀变带及变质岩的反映。在井深 130~160m 处，ρs 在 1100~2000Ωm 范围内变化是混合岩的反应。

利用样条拟合曲线更能对这些层位的划分有一个清晰的反映，0~28m 和 70~80m，为特富矿体，Fs 大于 20%，电阻率曲线几乎接近于零，视金属因素的对数一般大于 10；28~70m 为富矿体，Fs 一般小于 15%，电阻率曲线也几乎接近于零，但视金属因素的对数在 0.1~10 之间，蚀变带表现为高阻低极化，视金属因素的对数在 0.004~1.0 之间，混合岩的电阻率比蚀变带大，但其视金属因素的对数更小，一般小于 0.004。

XZK40 孔双频激电井壁测量采用对称四极装置、电极自上而下分别为 A、M、N、B，AM=MN=NB=1m，记录点在 MN 中点。

双频激电幅频率及电阻率井壁测量结果显示，异常主要分布在以下三个部位(图 4-7，8)：

1）在井深0~48m处，Fs异常幅值在12~25%范围之内，ρs在0.5~2Ωm，亦是具有低阻高极化特征的矿体反映，并在井深60~70m处出现有矿夹层。

2)在井深 40~60m 处，Fs 幅值在 18~22%范围之内变化，视电阻率仅为 0.5~2Ωm，亦是呈低阻高极化特征矿体的反应，并在井深 60~70m 处出现有矿夹层。

3)在井深 70~108m 处，异常相对较弱，Fs 值约为 10~18%，且电阻率值变化较大，在 n×10-n×100Ωm 范围内变化，这是矿体底部蚀变矿化带反应。

在井深 110m 以下激电无异常反映，电阻率在 200~300Ωm 范围内变化，是围岩反应。各参数样条拟合曲线的特征与 **XZK**51 相似，金属因素阶梯式的变化可对各层进行准确的划分。

18 行 **XZK**42 钻孔双频激电井壁测量的装置及工作方法与 **XZK**40 钻孔井壁测量的装置及工作方法完全相同。

根据双频激电幅频率、电阻率及金属因素结果显示，异常有以下特征(图 4-9，10)：

1)在井深 0~10m 处，Fs 异常在 10~18%之间，为矿体及套管共同反映。在井深约 10m 处，Fs 曲线出现正、负跳变，说明此处是上、下两层极化体的界面，并出现夹层。该两层极化体的视电阻率均小于 1Ωm，都是导电性良好的极化体，故推测此两层极化体是二种不同类型的致密块状矿体。

2)在井深约 20~65m 处，Fs 值较为稳定，均在 8%左右，且视电阻率 ρs 均小于 lΩm，应是致密块状矿体所致。

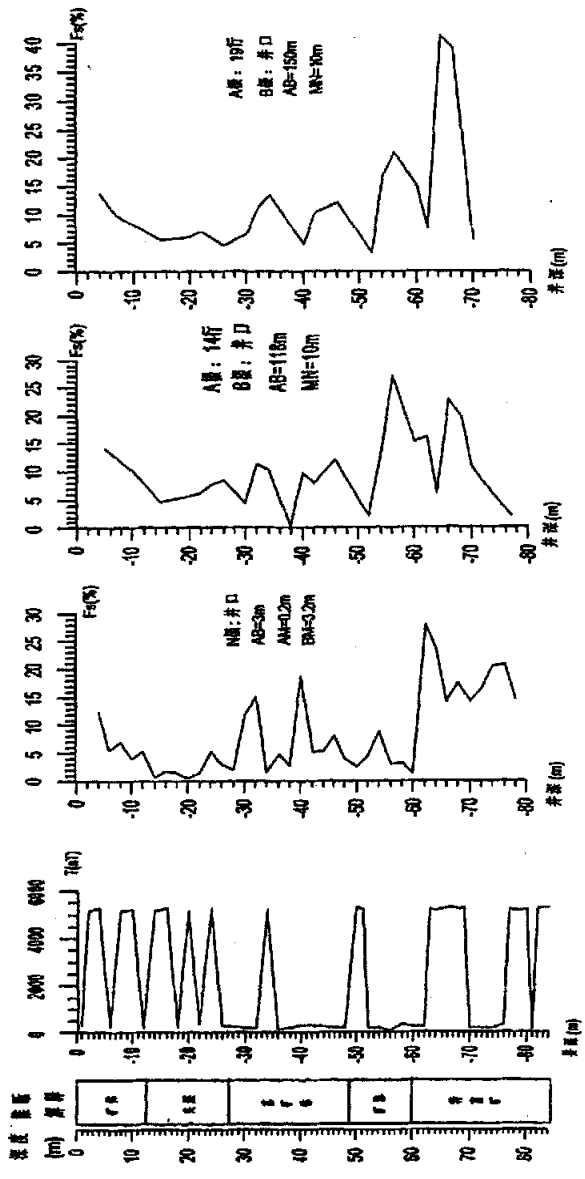
3)在井深 70~10m 处，Fs 值在 8~25%之间变化，ρs 在 0.2~0.4Ωm 内变化，是致密块状矿所致。但 Fs 曲线呈锯齿状变化，说明矿体存在不均匀的富集分离现象。

4)在井深约 118~1221 处 Fs 值逐渐变小，为另一层矿体所致。

5)在井深 136m 处，因孔壁掉块，钻孔堵塞无法进行深井。因此本孔井壁测量，全部在矿体中进行。

图3-1金川二矿区16行XZK35钻孔井中物探及测井成果曲线图

（厚，钻孔数据）



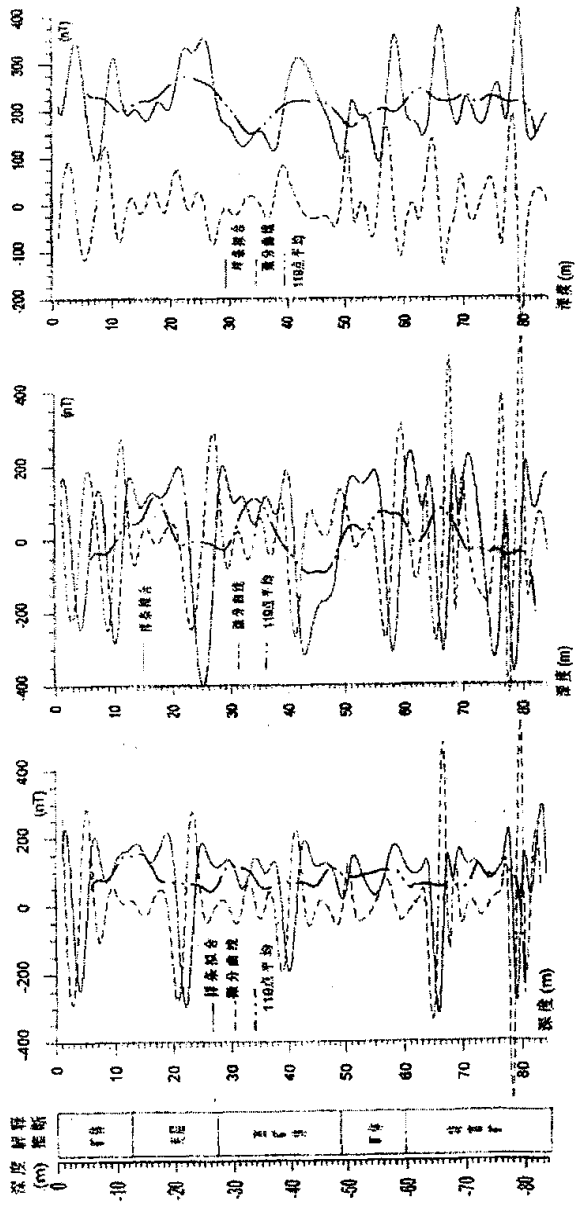


图3-2 金川二矿区16行XZK35钻孔井中物探及测井处理成果图(一)

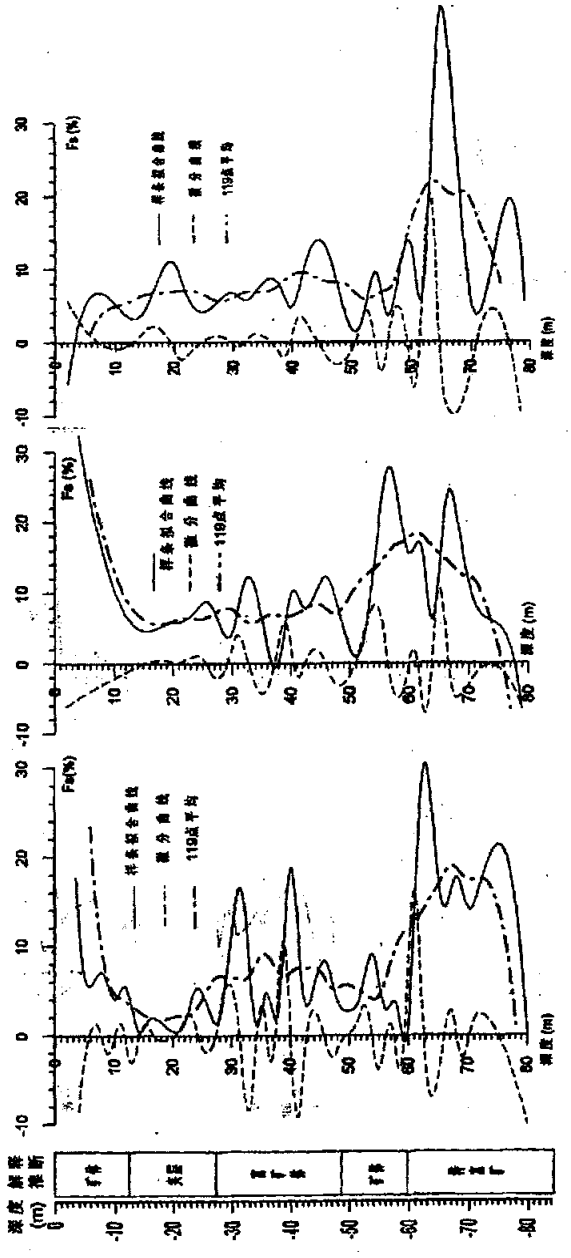


图3-3 金川二矿区16行XZK35钻孔井中物探及测井处理成果图(二)

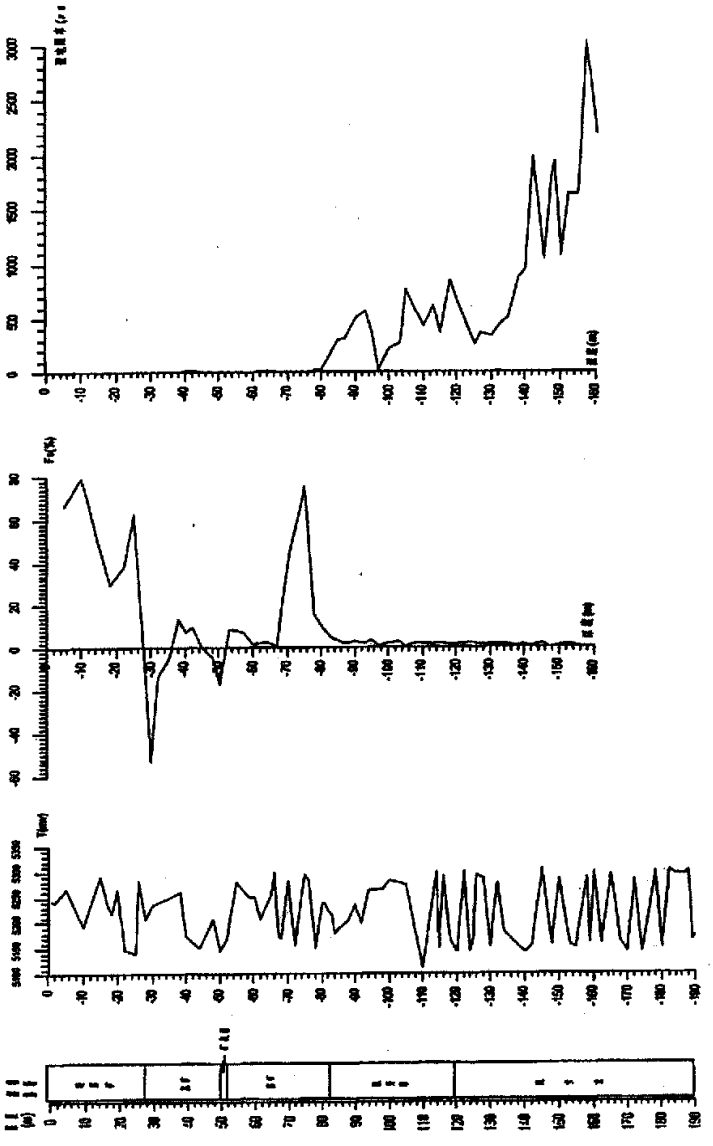


图 3-4 金川二矿区 20行 XZK51钻孔井中物探及测井成果曲线图
（原始数据）

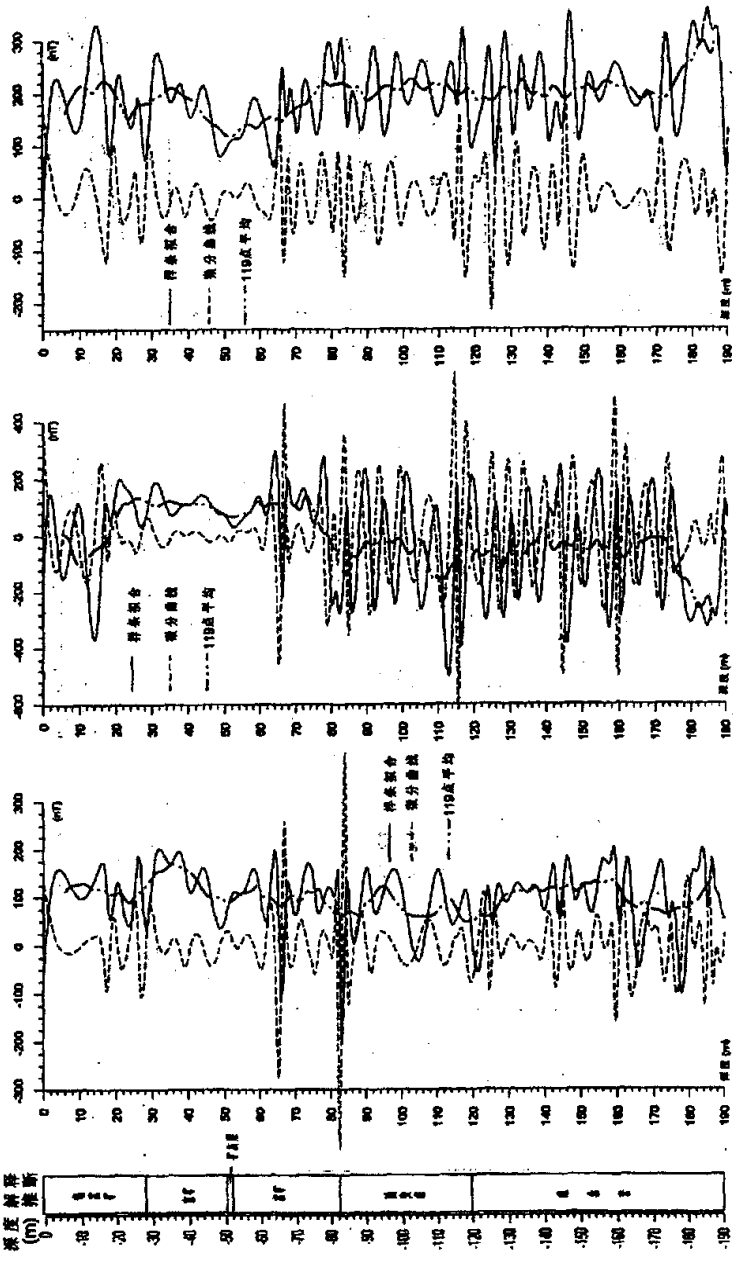


图3-5 金川二矿区20行XZK51钻孔井中物探及测井处理成果图(一)

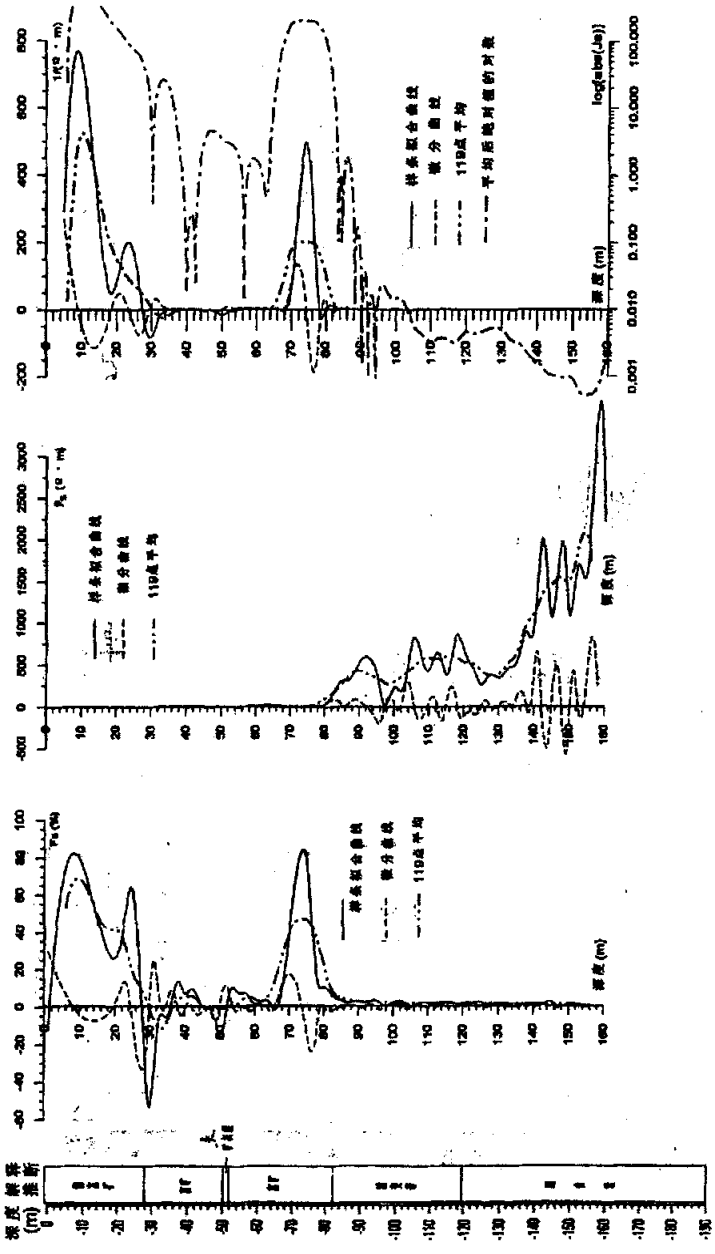


图3-6 金川二矿区20行XZK51钻孔井中物探及测井处理成果图(二)

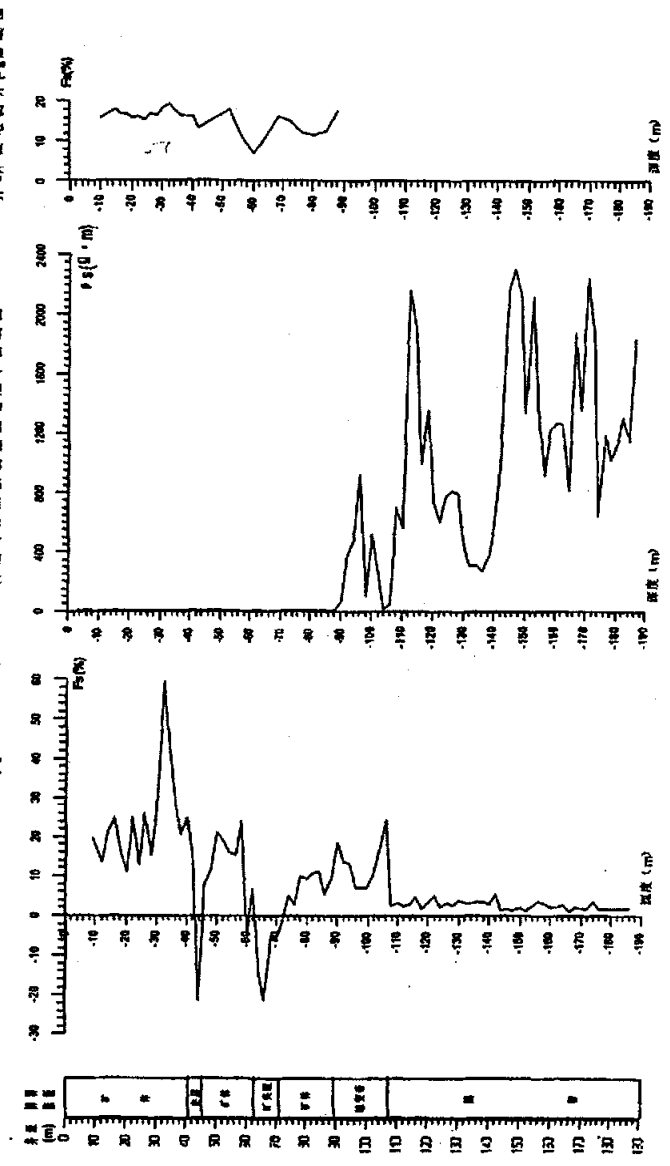


图 3-7　金川二矿区 18行 XZK40钻孔井中物探及测井成果曲线图

（原始数据）

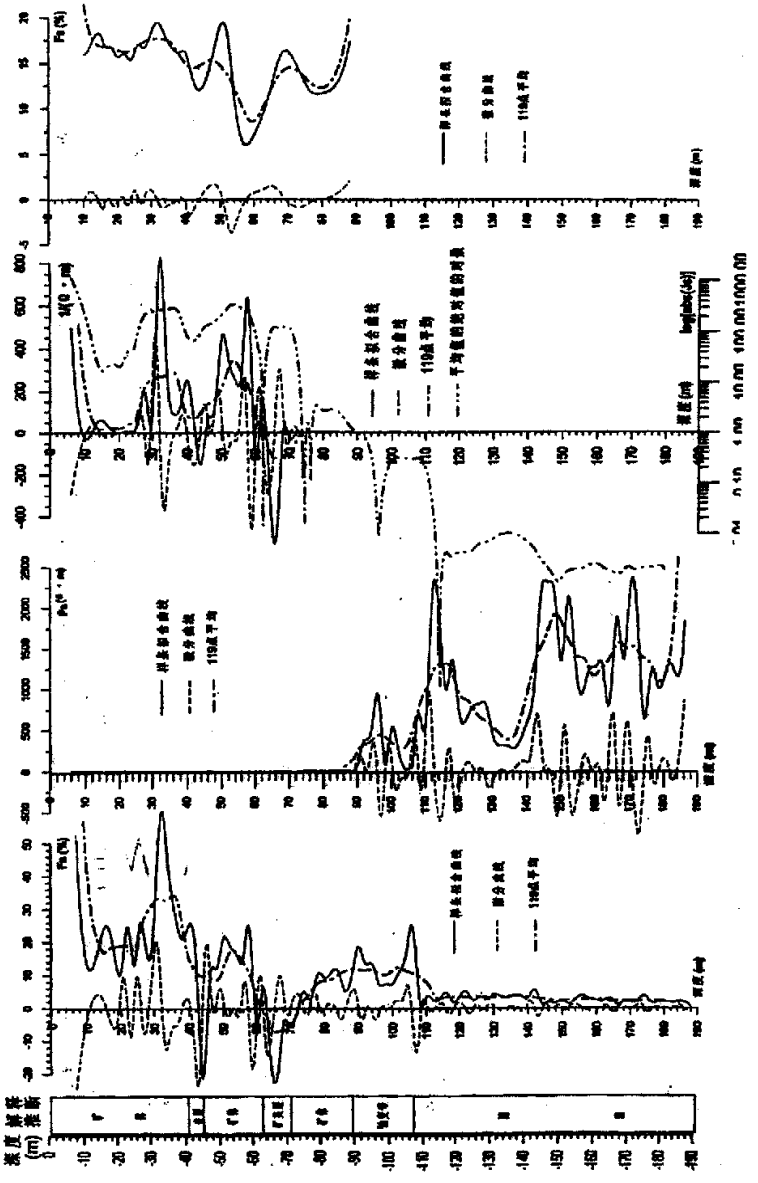
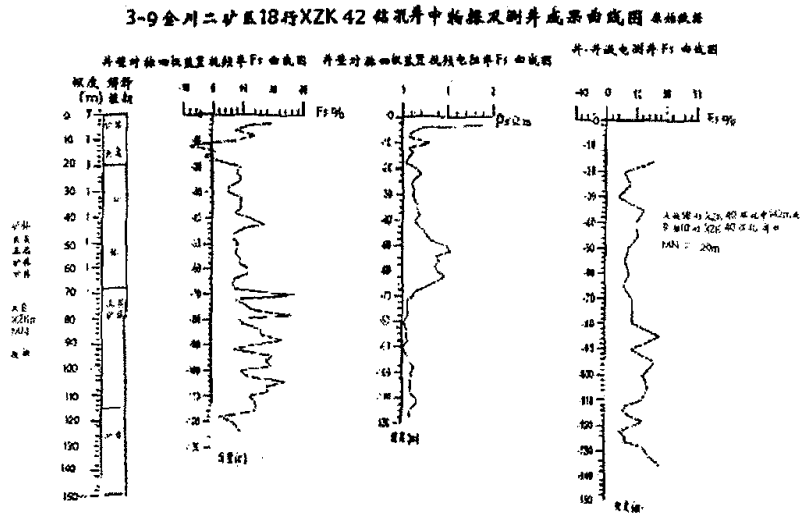


图3-8 金川二矿区18行XZK40钻孔井中物探及测井处理成果图



根据视金属因素的对数曲线更能清晰地分辨出各层的厚度变化情况。

通过以上四个钻孔的井壁测井成果可知，利用双频激电方法不仅能准确清晰地区分矿体与围岩，还能对矿体的层位进行进一步的细分。由此可见，运用双频激电法在金川矿区开展深部测井工作是可行的。但通过井壁电位电极系与对称四极装置的结果对比来看，对称四极装置的测量效果要优于电位电极系，它能压制噪声，提高信噪比。

③井中激电

在 **XZK35** 钻孔中，方位测量采用地-井方式。即在巷道中供电、井中测量。A2 方位测量是将 A 极置于方位角为 308° 38′ 的西北方向的 14 行附近。B 极置于井口，其目的是了解在钻孔的西北向是否有漏勘矿体。 A3 方位测量是将 A 极置于方位角为 128° 38′ 的东南方向的 19 行处，其目的是了解在钻孔的东南方向是否有漏勘的矿体。

分析方位测量结果可以看出，在井深约 80m 的范围内，A2、A3 两方位测量双频激电 Fs 共有三处异常显示(图 3-1)：

第一处为井深 3~10m，幅频率 Fs 最大值为 14%，估计为矿体所致，并含有套管的影响。

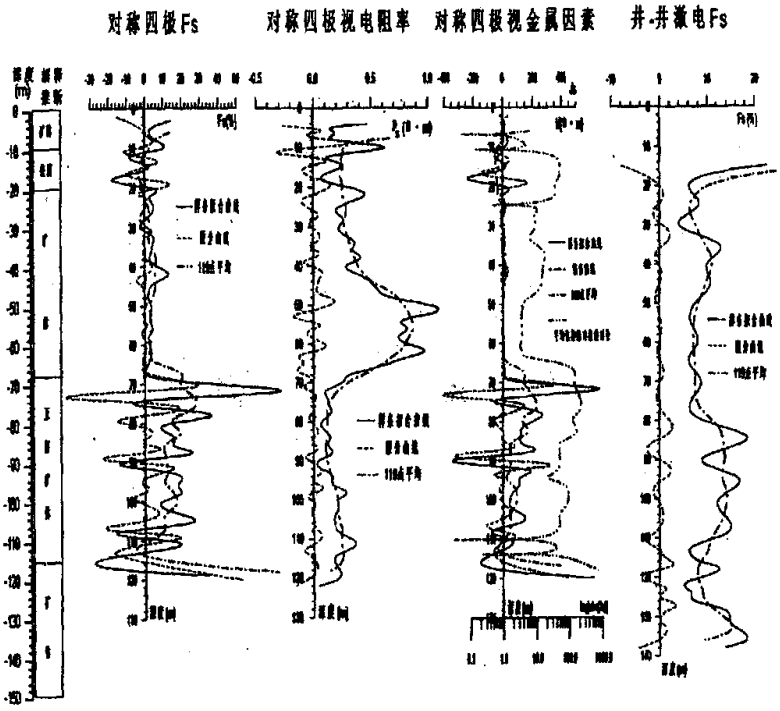
第二处异常区位于 25~54m 处，此处异常强度中等，Fs 值为 7~12%为富矿所致。

第三处异常区位于 54~76m，此处异常范围宽、强度大，Fs≥20%，说明硫化物含量高，且为致密块状，推测此部分为特富矿所致。

对比井壁测试结果可以看出，方位测量与井壁测量所获得的异常位置相吻合，说明方位测量激电异常主要是钻孔所穿过的异常源(矿体)所致。由于井壁周围的矿体存在，即使在井旁存在漏勘盲矿体也很难发现。

由于钻孔塌落，无法探测深部井旁或井底是否有漏勘的盲矿体存在。因为钻孔是本次工作的第一个钻孔，故无法在该孔的两侧的其它钻孔内事先布置井中供电电极，不能采用井-井方式供电等其它工作装置。

图3-10 金川二矿区18行XZK42钻孔井中物探及测井处理成果图



XZK40 钻孔井中物探采用井-井测量方式。由于预先埋设在 XZK51 孔中的供电电极引线在钻机搬迁时被砸断，引线掉在井中无法捞出，因此该井中的电极无法利用，现场工作时临时利用埋在 XZK35 孔中的井深 53m 处的电极及作为其中一个供电电极 A，而另一个供电电极 B 埋设在井口。测量电极 MN 在 XZK40 井中，MN=10m。

井-井测量结果显示在井深 10~88m 范围内均有强激电异常反映，且在井深 30~48m 处、50~60m 处及 70m 附近异常幅值较高，推测是特富矿体赋存部位（图

3-7，8)。

井-井测量结果显示：

1）在井深 20~30m 处，Fs 异常值偏低，但仍为低阻良导体，是矿体反映。

2)在井深 30~70m 处，Fs 值在 7~12%之内平缓变化，视电阻率小于 1Ωm，亦为矿体所致。

3)在井深 80~136m 处，Fs 值在 8~18%在围之内呈锯齿状变化，说明上此处矿体的不均匀性。

第五章　矿区地球化学特征

5.1　工作方法

包括卫片异常带化探取样、主要断裂现场调查、三矿新掘坑道观测、钻孔岩芯观察与取样及室内编图与解释等。

(l)化探取样： 选取5条化探剖面，其中四条位于卫片条异常色带上(与色带走向垂直)，另一条选在已知区，即一矿与二矿接合部位（图3-11)。化探剖面长600~800m

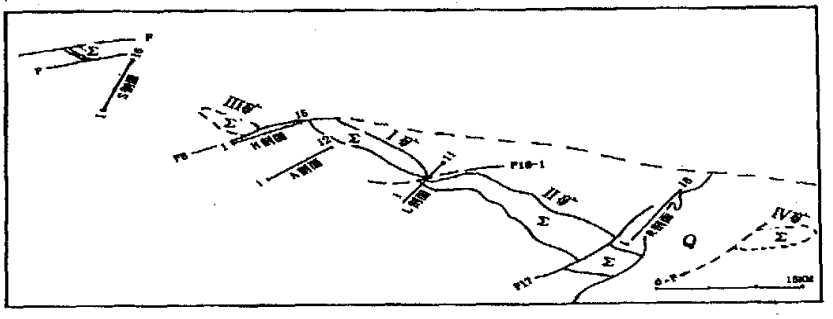


图3-11　金川矿区化探剖面布置示意图

不等，取样点间距40~60m，共取化学样75个。

(2)主要断裂调查：对切割含矿岩体的主要断层F_8、F_{16-1}、F_{17}（图3-11中编号）进行了实地调查，采用追索法对其分段观测。

(3)坑道观测：对三矿1220m中段42行新开拓工程进行了观测与采集。对矿体不同矿化地段作了观察。就矿化类型，含矿岩石特征与一、二矿作了对比。

(4)岩芯观测：主要观测了二矿井下钻探岩芯，共观测钻孔(岩芯)5 个，其中一个为 56 行地表钻岩芯，采集了有争议的岩矿石标本 4 个。

(5)龙首矿 22 行、14 行、5 行(二矿岩体)、二矿 13 行微量元素化学取样结果进行了编图分析，就各元素间的相关性进行了对比，通过对比分析，初步查明了部分微量元素与主成矿元素的关系，龙首矿与二矿含矿岩体部分微量元素间的差

别。

(6)将采集的化探样品送有关部门作了测试，测试的元素有 Ni、Co、Cr、Fe、Mg、Cu、Pb、Sb、SiO_2等。根据测试结果，编制了各化探剖面微量元素自然分布曲线图（图 3-12~16），确定化探异常点，圈出隐伏含矿岩体的可能位置。

5.2 初步成果与认识

取样结果表明，金川矿区成矿元素及指示元素有如下分布特点：

(l)整个矿区Fe、Mg元素背景值特高，最高者，Mg可达250000PPm，Fe达13357PPm，平均值：Mg：72377PPm，Fe：7052PPm。反映含矿超基性岩体侵位后，矿区围岩在地下深处，经历了漫长的地质变迁，Mg、Fe元素在地质变迁中逐渐扩散。

(2)主成矿元素Cu、Ni在靠近超基性岩体处，含量较高，远离岩体处Cu、Ni含量降低，但在部分地段无超基性岩存在，Cu、Ni含量也较高，反映地下可能有隐伏的超基岩体存在，这些地段有：L剖面的7、8、9、10号点，H剖面的1、2、4、5号点，A剖面的1、2、3、4号点，R剖面的15、17号点，S剖面的3、7、15号点。

(3)各取样剖面SiO_2含量变化很大，在靠近酸性岩体或超基性岩体，SiO_2含量明显增高，如R剖面R-1、R-2、R1、R2、号点，A剖面A_8、A_9、A_{10}、A_{11}、A_{12}号点，L剖面上各点。SiO_2含量高的地段可作为寻找隐伏超基性岩体或酸性岩体的地球化学标志，除已知地段外，矿区SiO_2含量较高的地段有：A剖面4、5号点，H剖面1、2、3、4、5、6、14、15号点，S剖面1、2、3、6、7、8、9、10、11、12、13、14号点。

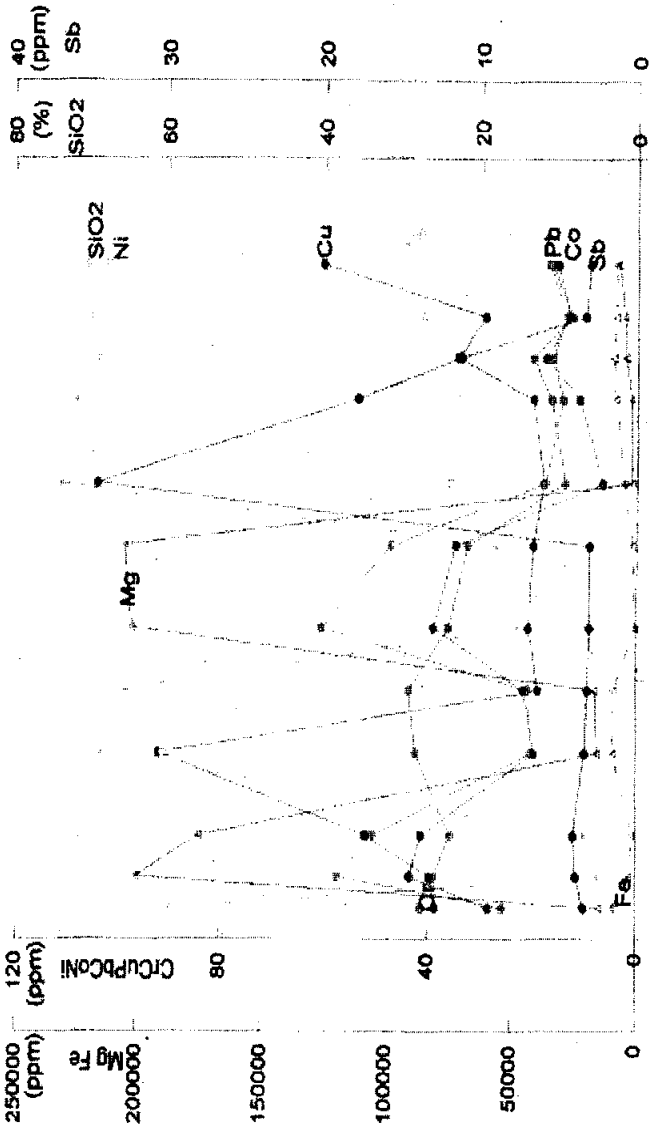


图 3-12 金川矿区 A— A'剖面微量元素自然分布曲线

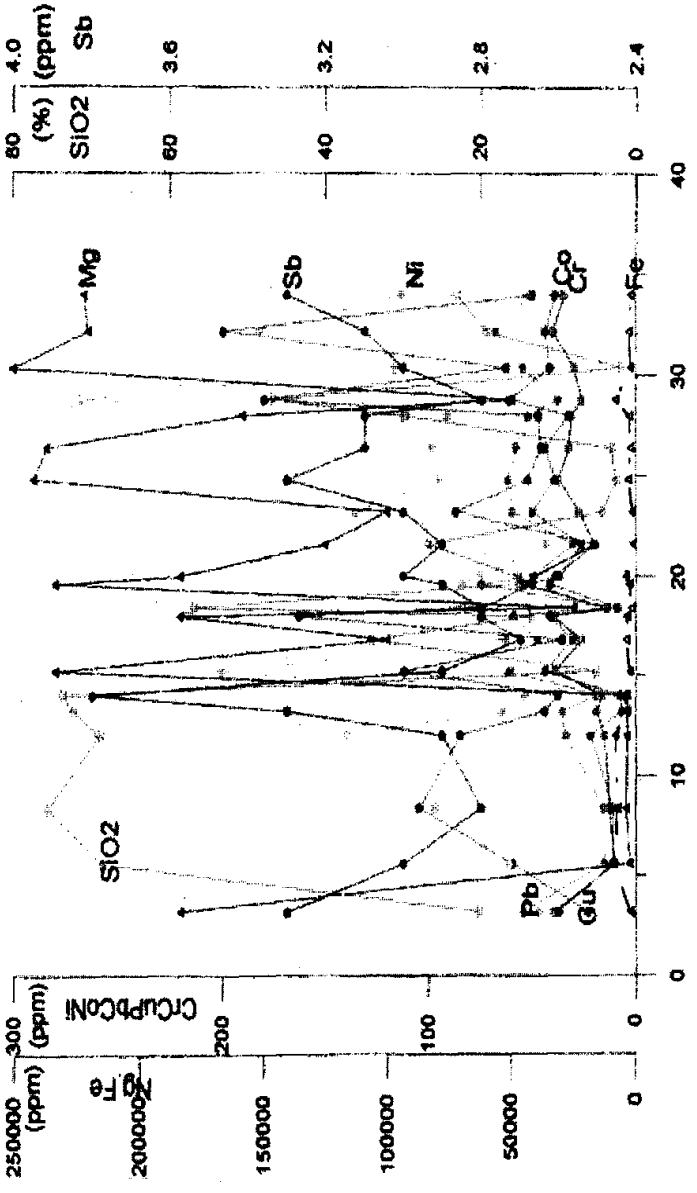


图 3-13 金川矿区 R—R′剖面微量元素自然分布曲线

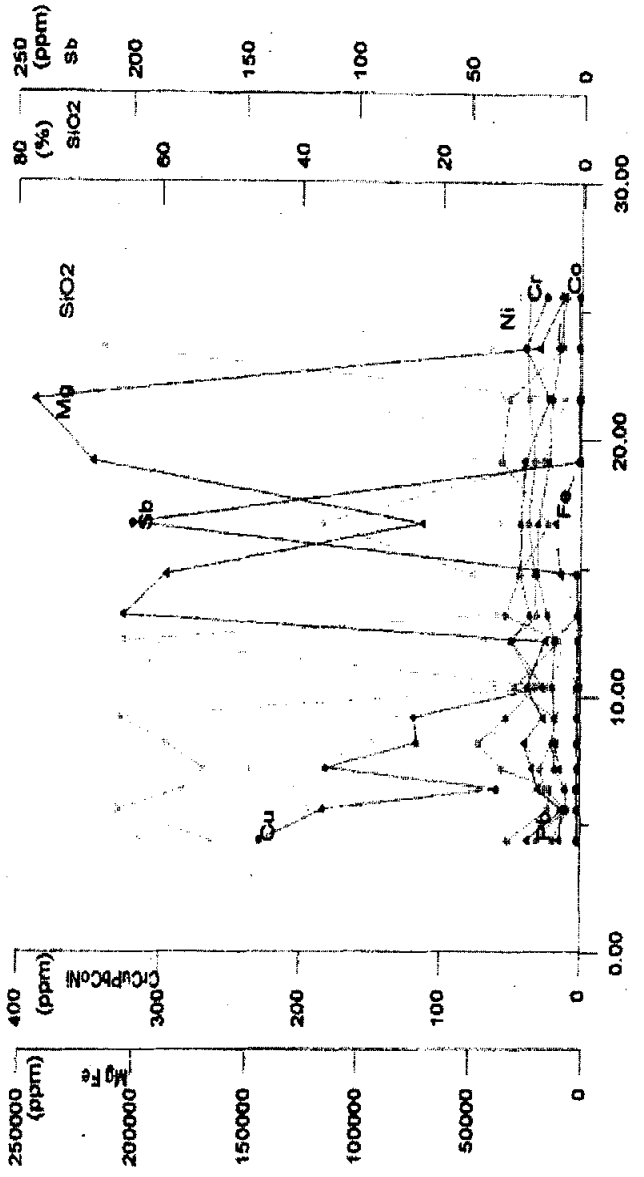


图3-14 金川矿区 H—H′ 剖面微量元素自然分布曲线

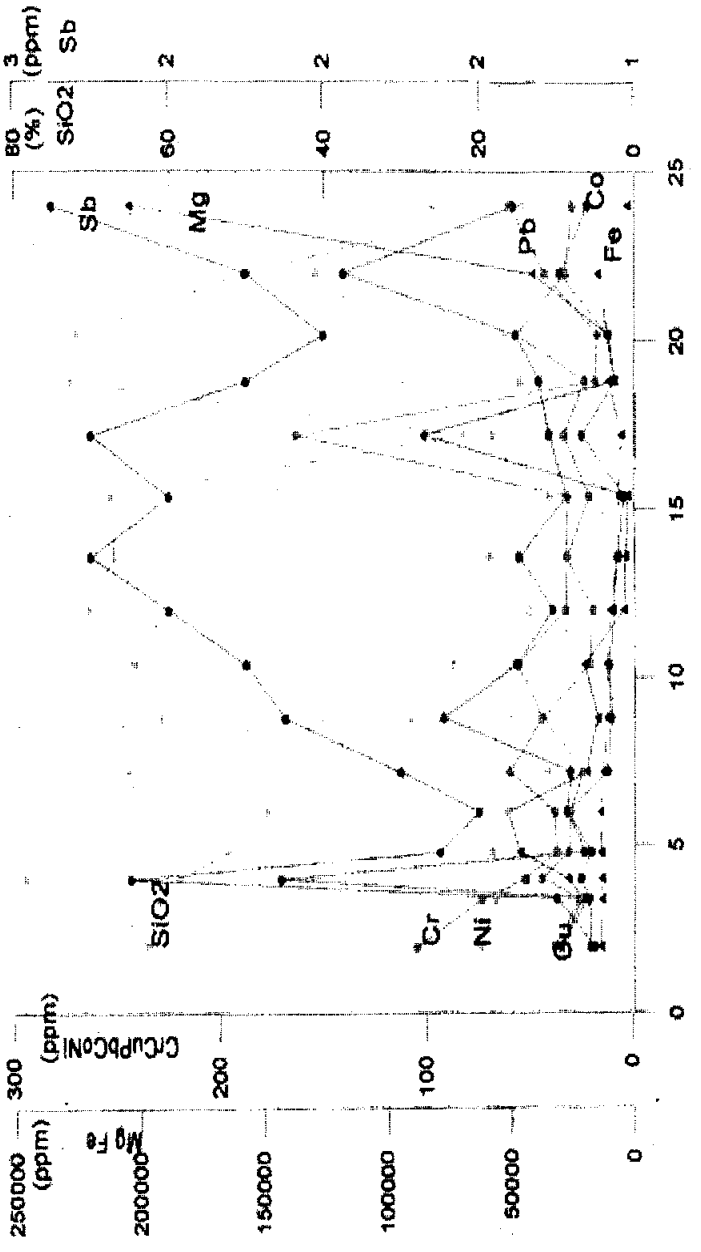


图 3-15 金川矿区 S—S' 剖面微量元素自然分布曲线

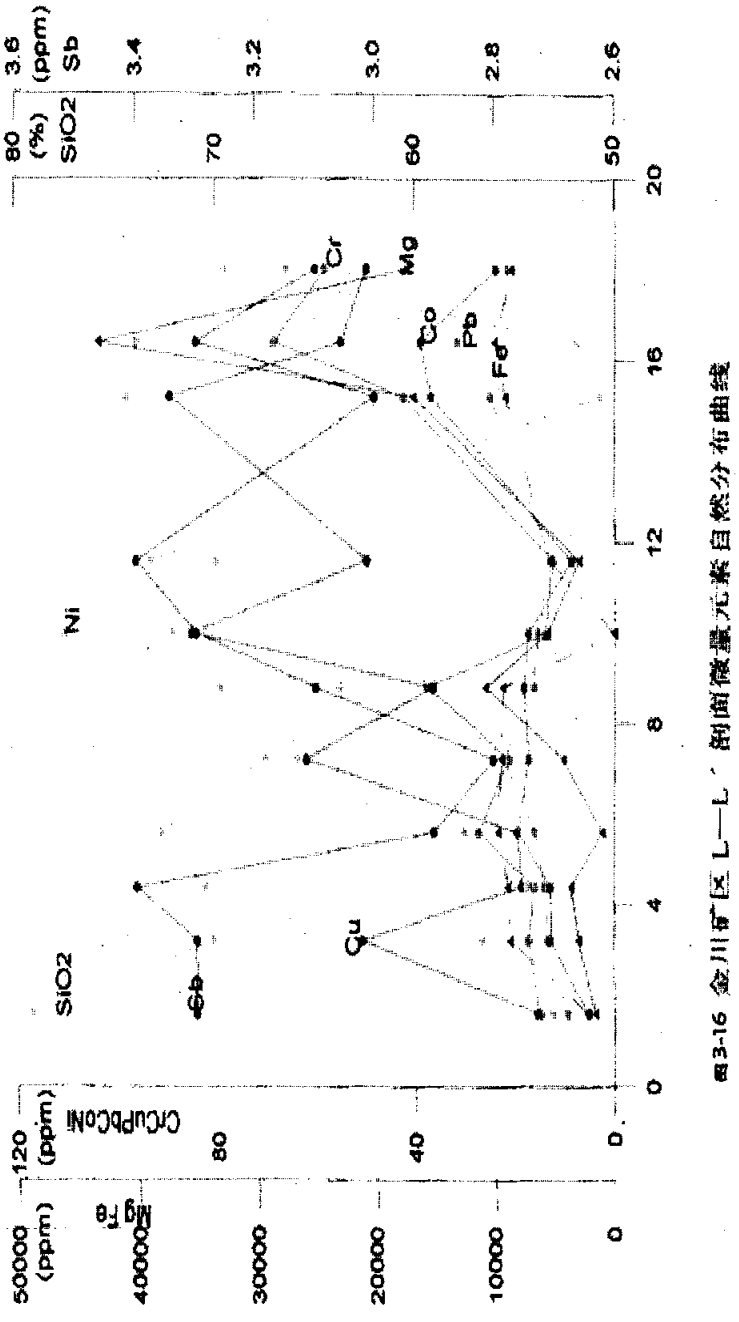


图3-16 金川矿区 L—L′ 剖面微量元素自然分布曲线

(4)由元素含量自然分布曲线图(图3-12，13，14，15，16)，部分元素具明显的相关性，这些元素的相关性是：Cu、Ni、Co具明显的正相关，Mg与SiO_2具明

显的负相关，Pb与Mg具正相关，Fe、Mg相关性不明显。Sb含量在矿区变化不明显，Ni和Mg无相关关系。

综合上述分析结果，矿区内下列地段存在化探异常，可作为寻找隐伏超基性岩体的有望地段：

①R剖面：15、16、17号点处。

②A剖面的1、2、3、4号点处及9、10、11、12号点处。

③H剖面： 1、2、4、5号点处

④S剖面：3、7、15号及其附近

5.3 金川镍铜（铂）矿床I矿区新发现的矿体特征

5.3.1 深部新发现矿体分布特征

通过多年探索，去年在龙首矿中、西采区1220水平以下，发现了新的含矿超基性岩体，具有很好的成矿前景，为龙首矿进一步进行深部找矿勘探确定了靶区。这一发现是金川矿床建厂以来勘探的最重大发现。

新发现矿体特征一是分布于岩体的下分枝，二是在主岩体东南侧往往有新的（含矿）岩体呈侧列形式出现。见 图 3-17，18，19，20，21，22，23。

5.3 .2 深部新发现矿体形态、产状及规模与储量

在深部，随着含矿超基性岩体分布特征的变化，矿体的特征也发生了变化。

在中采区（图 3-17，18，19，20，21，22，23分别自东而西代表了龙首矿不同勘探线深部剖面），随着主岩体的尖灭，矿体也尖灭，在下部岩体中，可见到贫矿，但规模比较小(目前已控制到该岩体的顶部，往深部尚待进一步控制)，矿体的产状与岩体一致。在龙首矿中、西采区发现新的超基性岩体，并在11行勘探线发现厚度较大的富矿体，经地质对比分析，具有巨大的成矿前景。

在西采区，随着岩体发生分枝，矿体也发生了明显的变化，接近分枝部位，超基性岩型矿体厚度减小，交代型矿体和特富矿开始发育，在分枝部位，交代型矿体、特富矿比较发育，而且两种矿体相伴产出。交代型矿体规模小，多呈似层状、透镜状产出，由蛇纹石化大理岩、花岗岩与含矿超基性岩浆接触交代而成（见22，24，29，35行剖面），特富矿规模较小，呈透镜状（20，22剖面）、脉状及柱状（11剖面）产出，单个特富矿体沿走向不超过100米，沿倾向不超过60米，厚度小于30米，大多数小于10米。

柱状矿体(东采区6、11行—图3-27)特征 呈向南西倾斜的柱状，矿柱横断面较大(20~80m^2不等)，沿倾斜长数百米，矿柱下端与主矿体相连，明显受到断层的拖曳作用，矿体中除见有海绵陨铁矿状矿化外，还见到细脉浸染状矿化及破

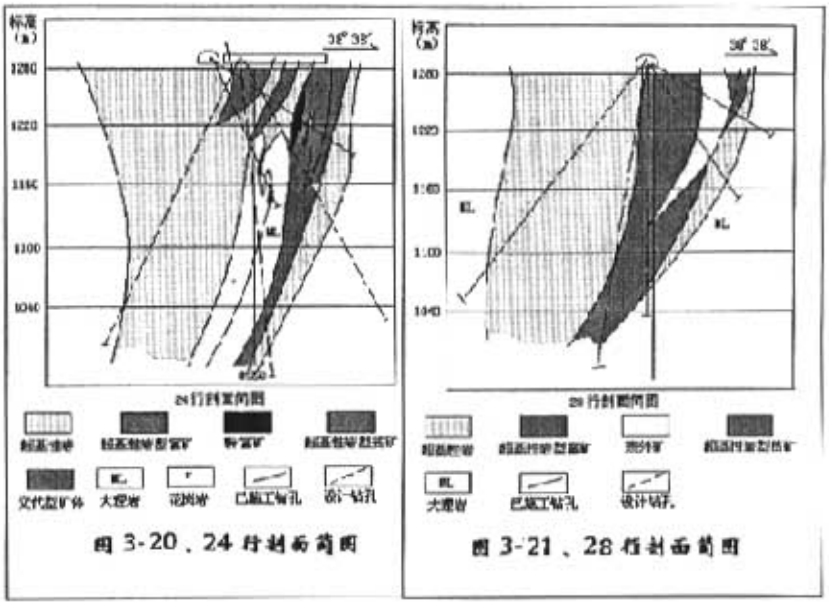
碎带。破碎带黄铁矿、黄铜矿化较强烈，在矿体旁侧断裂中取岩粉样，镜下可见黄铜矿呈骨核状(图版 I-6)，黄铜矿、镍黄铁矿呈细脉浸染状(图版 I-7)，据化学取样铜含量高，镍含量低于正常富矿体，伴生的金、银含量高。从矿体外部形态和内部结构特征来看，该矿体的形成明显与后期构造改造和成矿热液迭加有关。

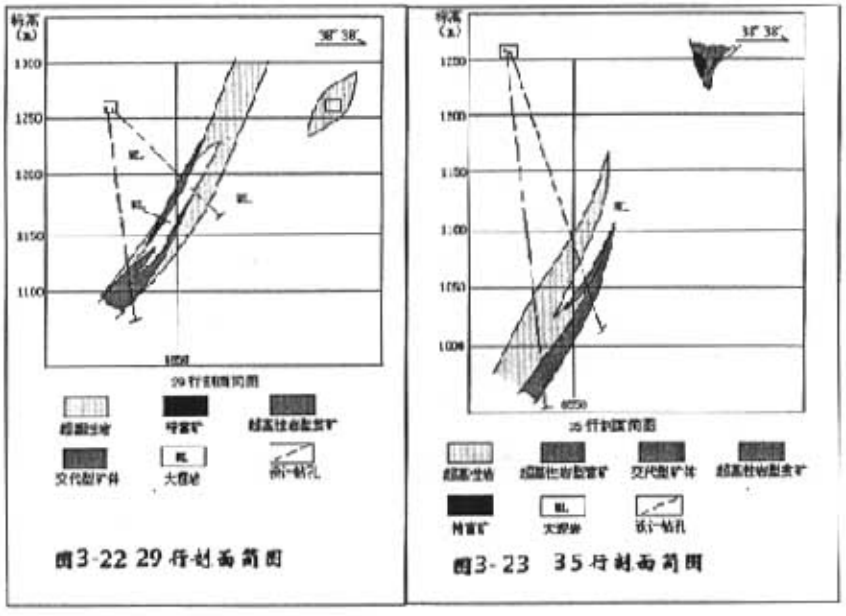
新发现矿体的查明，使得金川龙首矿储量升级：龙首矿西采区 1220~1160 中段按 40~75×60m 网度求 B 级储量，75~100×120~100m 网度求 C 级储量，对矿体进行了加密控制，矿石储量由 C+D 级升至 B+C 级。提交 B+C 级储量 1525 万吨，为龙首矿西采区 1220 中段开拓设计提供了可靠的地质资料。

图 3-17、14 行剖面简图

图 3-18、20 行剖面简图

图 3-19、22行剖面简图





对龙首矿中西采区 1220~1160 中段的矿体进行了加密勘探，提交 B+C 级储量 1525 万吨。为龙首矿西采区 1220 中段开拓设计提供了可靠的地质资料。新发现的富矿体(就在龙首矿现有开拓系统范围内)，地质储量 263 万吨，铜镍品位分别为 1.28%和 2.33%，铜镍金属量分别为 33654 吨、61064 吨（表 5-1）。按目前

铜销售价 1.6 万元/吨、镍 7.5 万元/吨计算，创造价值 51 亿元人民币，价值巨大。

表 5-1 龙首矿新发现矿体储量统计表

块段	采区	矿石类型	各级各类矿石储量总计				
			矿石储量	平均品位（%）		金属量（T）	
			（T）	Cu	Ni	Cu	Ni
1220-980	中采区	SN-A_1	1391993	1.35	2.51	18792	34939
1220-980	西采区	S-A	423954	1.38	4.46	5852	18893
1220-980	西采区	SM-A_1+A_2	810186	1.11	0.89	9010	7232
总计			2626133	1.28	2.33	33654	61064

5.3 .3 深部新发现矿体的物质组成

（1）矿石中的矿物成分有 40 多种：主要为黄铜矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿、磁铁矿、墨铜矿、铬铁矿、马基诺矿、黄铁矿、钛铁矿、褐铁矿、斑铜矿、砷铜矿、辉铁镍矿、方铅矿、紫硫镍铁矿、砷铂矿、碲银矿、碲铋矿、辉锑矿、自然铁、自然锡、蛇纹石、绿泥石、黑云母、金云母、角闪石 、阳起石、透辉石、橄榄石、长石、白云石、方解石、石榴子石、石英等。深部未见氧化矿石。不同类型的矿石中，金属矿物组合及脉石矿物有所不同，现将其特点介绍如下：

①交代型矿体的金属矿物主要为：磁黄铁矿、镍黄铁矿、紫硫镍铁矿、黄铁矿、黄铜矿、方黄铜矿、墨铜矿及少量含贵金属的矿物，脉石矿物主要为围岩矿物成份如蛇纹石、绿泥石、透闪石、滑石、方解石、菱铁矿等；

②特富矿(块状、半块状硫化物矿石)的主要金属矿物有：磁黄铁矿、紫硫镍铁矿、镍黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿及少量的砷铂矿、金银矿、铂银矿等，本次首次发现了辉锑矿，脉石矿物很少，在特富矿体边部有围岩矿物成份如蛇纹石、绿泥石、滑石、方解石、菱镁矿以及大理岩和花岗岩小角砾等混入；

③超基性岩型矿石：金属矿物有磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铁矿、紫硫镍铁矿、黄铜矿、方黄铜矿、墨铜矿、尖晶石、磁铁矿、以及微量的砷铂铀矿、碲化物等；脉石矿物主要有橄榄矿、辉石及由其蚀变而成的蛇纹石、绿泥石等。

(2) 主要贵金属和稀散元素矿物的特征：

①砷铂矿（$PtAs_2$）是矿石中最重要得铂族元属矿物，粒度较粗，大于 0.04mm

占 90%左右，最大粒度可达 0.4 mm，且比重较大，为 10.5，硬度 6~7，化学成分较纯，杂质含量很少，只有很少量的铁，易于回收，属铂的最重要的矿物。该矿物为等轴晶系，晶体结构属黄铁矿型结构，晶型为偏方复十二面体晶类粒度，通常呈完整晶体，显微镜下反射色白色。均质性。反射率 R 为 56。该矿物产于脉石矿物中和磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿等矿物的交界处。部分同磁黄铁矿、镍黄铁矿、方黄铜矿、黄铜矿、墨铜矿、紫硫镍铁矿，以及辉锑矿、碲铋矿，自然铁、自然锡等。

经电子探针分析，并进行分子式计算，可以看出该砷铂矿中砷不足而铂富裕，砷铂矿的理论化学分子式为：$PtAs_2$，矿石中砷铂矿的化学分子式为：$PtAs_{1.841}$。

综上所述，砷铂矿粒度较粗，多分布于脉石及硫化物种，所以该矿物可以综合回收和单独回收。

②辉锑矿　化学分子式为：Sb_2S_3，Sb>71.38%，S 28.63%，组分固定，杂质很少。斜方晶系，二轴晶，负光性，色散强，反射色为白到灰白色，双反射显著，非均质性强，从浅棕色到变化到灰蓝色调，平行消光。需要明确指出的是，辉锑矿是标准的低温热液生成的矿物，它的出现充分反映了当时的成矿环境为低温热液成矿阶段，表明深部成矿是多阶段的，矿体下部的成矿阶段（期）比上部要多，高、中、低温多期矿化互相叠加，铜和贵金属有所富集，这还可以从铜、镍硫化物矿物被严重的多相反应和交代形成复杂细微的结构而进一步证明。

③碲铋矿　化学分子式为：Bi_2Te_3, Bi 52.09%，Te 47.91%。三方晶系，硬度较低，1.5~2，比重较大，7.81，粒度较细，80 %的颗粒小于 0.04mm，分布于黄铜矿，墨铜矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿等金属硫化物中占 60%，分布于脉石和磁铁矿及列席中占 40 %。

④自然锡　是指β-Sn 有名白锡，化学分子式为 Sn，四方精细　1.5-2，比重 7.31，具延展性，在该矿石中和铂族矿物及金属硫化物紧密共生。自然锡的能谱图及探针、扫描电镜有关照片见下图。

⑤自然铁　化学分子式为：Fe，但常混有杂质，从能谱分析可知，该自然铁中含有少量的硅(见能谱图)。自然铁具有同质多相变体，在 906℃以下稳定的低温α-铁和在 906~1404℃ 范围内稳定变体γ-铁。δ-铁　1404℃以上的变体。α-铁 785℃,γ-铁，β-和δ-铁不是矿物，自然铁在自然界分布很少，主要产在基性超基性岩浆岩中，同时也可由铁矿物经还原作用形成。显微镜下的特征为白色，反射率 59。

⑥ 矿物的含量和矿物原生粒度的测定

矿物量测定 黄铜矿 10.53%、磁黄铁矿 4.30%、镍黄铁矿 5.63%、磁铁矿和铬铁矿 7.84%、脉石矿物 70.80%，其他矿物 0.9%。从上可以看出，黄铜矿高于过去矿石中的量，这是因为龙首矿深部矿化次数高于浅部，深部既有高温热液成矿作用，又有中、低温热液成矿作用。各种成矿化作用相互叠加。

黄铜矿的原生粒度:>0.2mm 占41.32%、0.2mm~1 mm 占13.32%，见图 3-24。

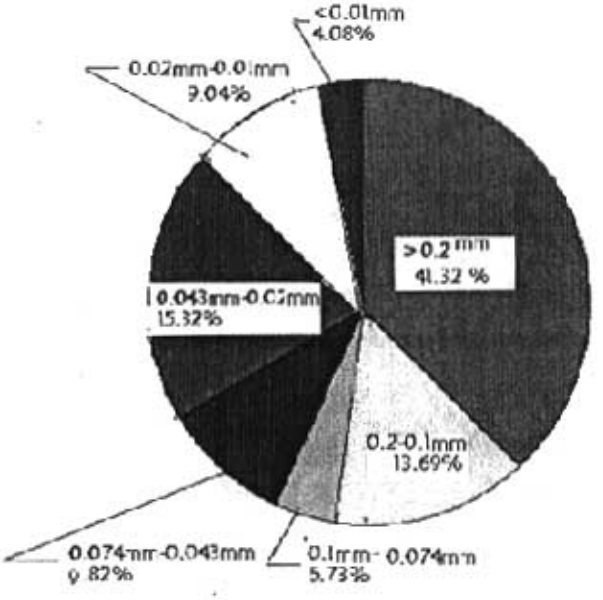


图 3-24 龙首矿深部黄铜矿的原生粒度

5.3 .4 深部新发现矿体矿石的结构构造

矿石的结构主要有：

(1)他形粒状结构：磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铁矿、紫硫镍铁矿、黄铜矿等金属矿物呈他形粒状组成集合体，包围在脉石矿物周围或充填与粒间。

(2)交代结构及网状结构：晚期的磁黄铁矿呈网脉状穿插交代早期黄铜矿，并溶石穿插早期镍黄铁矿，晚期的磁黄铁矿和部分黄铁矿沿紫硫镍铁矿的解理或裂隙充填交代，形成交代网状、格状结构，斑铜矿在黄铜矿中呈网脉状分布，蠕虫状的墨铜矿交代镍黄铁矿形成交代文象结构；镍黄铁矿被紫硫镍铁矿、墨铜矿交代以及磁黄铁矿被黄铁矿、方黄铜矿、白铁矿交代而以残晶形式存在，形成交代残余结构，另外橄榄石被后期黄铁矿、黄铜矿及斑铜矿交代也形成交代残余结

构。

(3)压碎结构：磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿等脆性矿物受应力作用沿解理或其它任意方向破碎形成的一种特殊结构。

不同类型的矿石其构造有所不同，主要有：

(1)海绵状富矿，主要构造为海绵状构造，次要构造为薄膜状构造-黄铁矿呈薄膜附在矿石的裂隙壁上，细脉状构造-黄铁矿细脉、碳酸盐黄铁矿细脉和紫硫镍铁矿细脉切穿海绵状矿石的金属矿物及橄榄石假相。

(2)星点状贫矿体，主要构造为星点状构造和斑杂状构造，次要构造为细脉状构造-主要有黄铁矿细脉、碳酸盐黄铁矿细脉穿插金属硫化物和脉石矿物；薄膜状构造-以黄铁矿为主形成的薄膜附在矿石的裂隙壁上。

(3)浸染状矿体、块状矿体，主要构造为浸染状构造和块状、半块状构造，次要构造为角砾状构造-矿石破碎成角砾。

5.3.5 矿物生成顺序

通过对深部矿体中的矿石镜下观察，发现矿物之间的关系比较复杂，现对观察到的部分现象做一说明：

(1)辉铜矿呈细脉穿插于黄铜矿中，镍黄铁矿包裹黄铜矿，这三种矿物的生成顺序为：黄铜矿-辉铜矿-镍黄铁矿。

(2)辉铜矿细脉穿插于黄铜矿中，镍黄铁矿脉穿插黄铜矿与辉铜矿，更晚的辉铜矿细脉又切穿了镍黄铁矿，这四种矿物的生成顺序为：黄铜矿-辉铜矿-镍黄铁矿-晚期辉铜矿。

(3)镍黄铁矿胶结橄榄石，橄榄石蚀变强烈，裂隙发育，在橄榄石中有镍黄铁矿微粒散染于橄榄石的裂隙及其中。

(4)磁黄铁矿、镍黄铁矿碎裂成角砾状，斑铜矿细脉穿插于其中，这三种矿物的生成顺序为：磁黄铁矿、镍黄铁矿-斑铜矿。

(5)黄铁矿碎裂成角砾状，黄铜矿、斑铜矿呈网脉状穿插，这三种矿物的生成顺序为：黄铁矿-黄铜矿、斑铜矿。

(6)致密块状硫化物矿石中矿物组成简单，相互间的关系也比较简单，从光片中可以看出，黄铜矿呈不规则状、乳滴状，少量的方铅矿散布于镍黄铁矿中，黄铜矿、镍黄铁矿、方铅矿应为同期产物。

从这些现象可以看出，金属矿物的形成有好几期，在岩浆活动的结束后，便进入热液阶段，此时生成的金属硫化物有黄铁矿、辉铜矿、镍黄铁矿、斑铜矿、

紫硫镍铁矿等，交代、穿插、溶蚀早期形成的金属硫化物。该期内，含矿超基性岩发生了普遍微弱的蚀变，从而形成蛇纹石、绿泥石等蚀变产物。矿床形成以后，经历了强烈的地质构造的改造，金属矿物被压碎成角砾状，如(4)、(5)所述，同时使整个超基性岩及矿体发生破碎，从而引起超基性岩及矿体的普遍透镜体化、菱块化。之后(或同时)又有热液活动，形成的金属硫化物有黄铜矿、辉铜矿、黄铁矿、镍黄铁矿等以及碳酸盐细脉、少量的石英细脉等。此次构造改造及热液活动使岩石发生较强烈的蚀变，甚至在局部引起了变质。

5.3.6 几点认识

①深部矿体与浅部矿体相比，各方面特征发生了极重要的变化，这主要表现在矿体形态受构造控制明显，呈凸镜状、脉状，有的甚至呈柱状(即矿柱，图 3-25)；矿石矿物中贵金属及铂族矿物量和种类均有增加；更有意义的是，本次首次发现深部矿体中分布有辉锑矿，这是低温热液矿床的典型特征矿物；深部特富矿中镍含量变化不大，但铜及铂族元素含量明显增加；深部矿体中交代结构构造发育，如发育交代网状、格状结构、交代文象结构、海绵状构造、细脉状构造、薄膜状构造等。所有这些，生动说明深部矿体与热液活动密切相关，2 部分同位素及包体测温资料也充分表明了这一点。

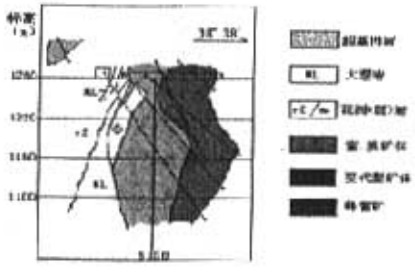


图2-27 金川 I-11 行剖面简图

②深部矿体多分布于岩体的下分枝；在主岩体东南侧往往有新的（含矿）岩体呈侧列形式出现。这为进一步找矿提供了较为清晰的方向。

③深部矿体的发现及其各方面特征的研究成果，表明金川深部有巨大的找矿潜力。

第六章 矿区找矿前景分析

金川矿床的形成，经历了岩浆侵入、结晶分异、矿浆贯入、构造变形、热液叠加改造等成岩成矿过程。这些过程对成矿起着重要的控制作用，它们是我们进行进一步找矿的重要基础和基本前提。在上文中我们这重强调了构造与热液流体对成富矿、特富矿的重要性。重新认识金川矿区成矿控制因素，总结矿化富集规律，在矿区深边部开展地质找矿至关重要。下文我们先将控矿因素作一总结，然后对找矿前景作进一步分析。

6.1 岩浆岩与成矿的关系

金川超基性岩，既是成矿母岩，又是主要矿体的围岩。超基性岩对成矿的控制作用表现在两方面，一是为成矿提供物质来源，据含矿岩体稀土元素分配型式分析及同位素示踪，该岩体的物质来源于地慢，是岩浆及其流体将深源成矿物质带到成矿区并于地壳浅部流体混合。另一方面，含矿岩浆在上迁的过程中发生铜镍硫化物熔离与聚集。实验证明，在1100℃高温状态下可发生硫化物一硅酸盐熔离作用。来自上地慢的富镁贫钛拉斑玄武岩浆（徐章华等，2000）沿深大断裂侵入地壳深部，由于温度、压力的降低，物理化学条件的变化，首先晶出橄榄石、磁铁矿，使熔浆中的MgO、FeO含量降低，而Al_2O_3、CaO、SiO_2相对增加，从而降低了金属硫化物的溶解度，使金属硫化物从熔体中熔离出来，在中间岩浆房可能形成四层结构（岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆、矿浆），这些分层岩浆依次上侵，后三层分别形成贫矿、富矿和特富矿。富矿体主要赋存于纯橄榄岩和含二辉橄榄岩中。

6.2 热液流体与成矿的关系

金川矿体特别是一些富矿体、特富矿体，热液流体的作用十分明显，这无论在矿物组成还是结构构造特点或是同位素示踪结果均表明这一点，对此，前文已作了详细讨论，此不赘述。

6.3 构造与成矿的关系

构造不仅控制含矿岩体的侵位，还对矿化再次富集和矿体空间定位有重要的控制作用。金川岩（矿）体受断裂控制明显，深部与F_1有成生联系的断裂对新的隐伏岩（矿体）的控制作用随着深部工程的开展已初现端倪，正如前文所总结的那样，金川矿区深部主岩体的东南侧往往有新的岩（矿）体发现，深部矿体常常也位于岩体的下分枝，这其中的内在的根本原因是什么？需进一步研究。除此之外，岩体受断裂控制构造对成矿的控制还表现在以下几方面：

(1) 含矿岩体侵位的断裂为张性断裂，其断面起伏不平，在断面下凹的部位，是金属硫化物因重力分异而沉淀聚集有利地段，因而形成厚大的富矿体。

(2) 由于结晶分异作用，在含矿岩体中形成与岩体产状近于一致的似层状构造。后期构造运动中，当岩体（走向NW）受到NW-SE方向的挤压，在岩体中形成一些NE向的小背斜，这此小背斜对矿化再次富集有重要作用。一方面，在

“顺层”压应力作用下，原似层状矿体产生褶皱，矿层产生塑性流动，在矿层褶皱成背斜的部位，矿层厚度增大；另一方面，岩体中初始成矿物质在后期构造应力作用下产生活化，并随着构造-热液缓慢迁移，岩体中小褶皱的转折部位是低压扩容区，成矿物质易于在这些地段再次聚集而形成富矿体。

(3) 岩体中原生硫化物矿体在后期构造变动中产生新的变化。当矿体中出现挤压带，如挤压片理化带，成矿物质便从这一高压区迁出，形成无矿段（带）；若矿体中产生张裂带，成矿物质便向这一低压扩容区聚集，形成富矿段（带）。

(4) 与原生似层状矿体高角度斜交的逆平移断层，在其平移过程中对矿体产生拖拽，使之旋转，形成富矿柱。最为明显的例子是在I矿区6、11勘探线，近东西向断层下盘的倾斜矿层旋转成高300余米的矿柱，由于矿层的旋转搓碾，产生破碎，构造-热液携带成矿物质在此在叠加，形成富矿柱（Cu、PGE均高）。

6.4 地层与成矿的关系

矿区地层中有白云质大理岩或镁质橄榄石大理岩，当含矿岩浆侵位并与这些富镁质碳酸盐岩接触时形成以透辉岩、透闪石－阳起石等为主的镁质矽卡岩，并在该矽卡岩及其附近的大理岩中形成以磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿等为主的具有较大工业价值的接触交代型贫、富矿体。

6.5 推覆构造与成矿的关系

龙首山隆起北界与潮水凹陷相接的F_1断裂确定为深大断裂，是金川含矿岩体的导岩构造。上文构造背景分析及大地电磁测深剖面表明，它在10km左右深处即向南西收敛，呈上陡下缓的铲状构造面（图1-4），并非是过去意义上的深达地幔的所谓深大断裂，而是深达地幔的低角度拆离断层(低角度正断层)，这样的低角度拆离断层并非就是一条，而是一个断层系统，后来该早期低角度拆离断层被改造成为逆冲断层，表现为推覆构造。这种对现今龙首山地区逆冲断层的新认识，有利于面上找矿及深部找矿工作的部署。只要在龙首山陆缘带上能够准确的确定这种由早期低角度拆离断层改造成的逆冲断层，同时在这样的断层上分布有超基性岩，那么就有可能找到金川式铜镍矿床。

6.6 金川矿区找矿预测

6.6.1 成矿预测的基本思路与方法

在充分研究岩体上侵就位规律、不同类型矿体的形成与赋存特点的基础上，广泛收集和总结地勘、开采过程中所获取的各类新的地质信息，不断修改和提高对矿床地质特征的认识，进一步掌握深部控矿因素和成矿规律，利用先进手段和方法，进行二次资料开发与综合信息预测，合理利用现有采矿工程条件，有效地进行深部工程验证，开展资源综合利用和矿区深部及外围的新的一轮找矿，这是近年来笔者主持金川公司找矿工作的基本思路与方法。

金川铜镍(铂)矿床矿体主要赋存在超基性岩体中或靠近岩体底板的围岩内，要寻找同类矿床或矿体，必须先找到超基性岩体（尤其是纯橄榄岩和含二辉橄榄岩)。目前已知的含矿超基性岩体的深部大部分未控制（除Ⅳ矿区、Ⅱ矿区30行以东、Ⅲ矿区个别剖面以外)，要在整个矿区深边部找到矿，必须抓住两点：其一，深部是否有隐伏的超基性岩体?其形态、产状、规模如何?其二，矿化在何深度、何部位富集?要解决上述两个问题，须从下面五点着手：

①充分了解前入资料，利用现有的基本图件编制含矿岩体、矿体垂直纵投影图，分析掌握岩、矿体在空间上的延伸与侧伏规律。编制这一图件应采用开采后修编的勘探线剖面图；

②在现场对矿体和含矿岩体进行地质调查，了解矿体和岩体的形态、尤其是岩矿体顶底板形态和内部结构特点，结合编录资料，了解岩、矿体在平面和剖面上的尖灭形式，矿体边界与围岩的关系，贫矿与富矿之间的关系以及矿化富集与褶皱、断裂的关系，查明控矿因素，总结成矿规律；

③以未得到有效控制的岩体分枝特别是下盘或下分枝为主攻找矿方向，以一矿和二矿的接合部位为突破口，查明一矿和二矿含矿岩体之间的关系，掌握含矿岩体和矿体在空间上的延伸规律。

④编制已知含矿岩体、矿体顶底板形态等值线图，岩、矿体厚度等值线图，查明矿化富集与岩体顶底板形态、岩体厚度的关系，从中找出矿化在何深度、何部位富集；

⑤利用现有采矿工程和钻孔，开展综合物化探工作，开展综合信息预测。

⑥利用上述研究成果，编制成矿预测图，预测隐伏矿体的可能位置，为深部找矿提供地质依据。

6.6.2 初步预测成果

①F_{16-1}断层南盘成矿预测

预测范围：F_{16-1}断层南盘预测范围指 6 行~9^{+25}行 1160m 中段以下，该地段是有望找到隐伏矿体的远景区。

预测依据：(1)该地段为富铜盲矿体的下延部分，由地质构造推测，含矿岩体在本处被 F_{16-1} 断层切割，拖曳旋转成柱状，柱状矿体下端与正常岩（矿）体相连接，由 F_{16-1} 断层产状和含矿岩体侧伏规律，柱状矿体应延至 900m 标高以下，并且是向南西方向侧伏，到 9^{+25} 行，预测矿体标高在 925m。(2)通过下岩体底板形态等值线图（图略），该地段为一相对下凹的部位。与上部已知柱状富矿体底板形态相比，有相似之处。(3)根据下岩体厚度等值线图（图略），该地段含矿岩体厚度相对周边要大，厚度大于 40 米，其上部已知柱状矿体的含矿岩体厚度约 60m，比周边岩体厚度大，按富矿体厚度与含矿岩体厚度成正比关系这一规律，该地段也是成矿有利部位。

②F_{16-1} 断层北盘成矿预测

将 F_{16-1} 断层北盘成矿预测分为两个区段：

(1) F_{16-1} 断层至 12 行

预测范围：从 F_{16-1} 断层往北西至 12 行，预测隐伏富矿体标高在 1220m 中段以下。

预测依据：(1)该地段是 11 行隐伏柱状矿体的下延部分，按含矿岩体的延伸与侧伏规律，本地段含矿岩体为 F_{16-1} 断层南盘含矿岩体的西延部分，现已被 F_{16-1} 断层错开，F_{16-1} 断层北盘向北东且向上逆冲，含矿岩体的厚度不小于 F_{16-1} 断层南盘的含矿岩体。

(2)从下岩体底板形态等值线图(图略)看出，从 10 行至 12 行是岩体底板下凹的部位，岩体底板形态与矿化富集的关系，该地段是有利的成矿部位。

(3)由下岩体厚度等值线图(图略)，在 10~12 行含矿岩体厚度在 40m 以上，高于周边岩体，含矿岩体的厚度与富矿体厚度呈正比，预计该地段富矿体厚度较大。

③12 行~18 行

预测范围：从 12 行至 18 行。18 行以西仍有找矿前景，本次暂不作预测，该地段预测盲矿赋存标高在 1200m 以下。

预测依据：(l)按含矿岩体侧伏规律，本地段应属下岩体西延侧伏部分，岩体的顶界线与上岩体底界线形态相似(见图 2-2)，表明具同样的侧伏规律。(2)下岩体底板形态等值线图上（图略），从 12 行到 14 行，岩体底板形态略向上隆起，在 14 行至 18 行，岩体底板下凹，且下凹有一定的幅度。岩体底板下凹部位应是

富矿体聚集有利地段，矿体的厚度也应较大。(3)下岩体厚度等值线图上（图略），14 行至 18 于岩体厚度增大，并且往深部有增厚的趋势。

矿区其他范围（Ⅱ矿 26-35 行 1200m 以下、Ⅰ矿 19-29 行 1220m 以下、Ⅱ矿区、Ⅲ矿岩体下分枝等）及区域找矿预测工作这次暂不涉及。根据上述思路和预测成果，编制了金川公司“十五”生产探矿和地质找矿计划，用于金川Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ矿区的生产探矿和地质找矿工作。

第七章　结论

近三年来，通过认真学习和掌握新的成矿理论，在深入研究金川矿床的基本特征、不断提高对矿床规律的认识水平、加强对矿床的地质对比、借鉴国内外成功的勘查经验、全面系统的收集研究地质勘查及开采时所获地质资料的基础上，进行二次资料开发，进一步掌握深部控矿因素和成矿规律，联合国内外各种勘查力量，利用先进手段和方法，开展综合信息预测，借助现有的深部工程，在矿区深部进行新一轮找矿。现已在深部圈定了一批矿体，查明的镍储量超过 6 万吨，达中型规模，这是多年来金川公司找矿工作的新的较大的突破。在深部，部分富矿尤其是块状特富矿体明显具热液成因，不仅深部矿体形态有所表现（如出现柱状矿体），甚至在深部矿体中发现了低温热液矿物（辉锑矿）。热液流体成矿作用与构造控矿这次被适当的强调了。总之，金川矿床属岩浆型矿床，这是无可置疑的，但成矿物质具多源性、成矿流体具多样性、成矿作用具复杂性、多阶段性、成矿时间具长期性、成矿空间具规律性。现将本次研究工作主要成果再总结如下：

7.1　矿区深部找矿的必要性和紧迫性

金川矿山隐伏的危机已逐渐明朗化，富矿、特富矿显著减少，有的矿区将快采空，且采矿愈来愈深，难度愈来愈大，成本愈来愈高；贫矿回收率较低；面上至今未找到象样的矿体，与此同时，国家对铜钴镍矿产品的需求并未因此而减少，反而有增加的趋势，铜连续多年是我国的紧缺矿种，年进口量高达 50 万吨，到 2010 年，金川矿床主要金属产品镍、钴和铂均不能满足国家需求，再加上环保成本也在增加，因此，加强金川矿区就矿找矿，向深部找矿，十分必要，十分紧迫，刻不容缓。

7.2　矿区中元古代形成于华北古陆西南边缘的裂谷环境

金川矿床的形成环境有其特殊性。国外此类矿床多形成于古陆内部，而金川矿床则形成于古大陆边缘，形成于古大陆边缘的裂谷系统内。该裂谷经历了十分漫长而复杂的地质演变过程。在太古代前裂谷阶段，本区属华北古陆边缘活动带，形成龙首山群；在中元古代长城纪，本区深部发生岩浆活动，发生初始裂谷作用，而地表隆起，缺乏沉积；到蓟县纪，地表裂开，形成裂陷海，沉积了墩子沟群碳酸盐岩沉积；新元古代，裂谷作用结束，加里东期本区为活动大陆边缘，发育加里东期中酸性岩浆活动，后加里东期，本区进入陆内发展阶段，发生大量陆内岩浆活动，晚近时期，本区属青藏高原北部边缘活动地区，遭受了北东-南西 向的巨大压力，形成北西-南东向的构造带，发生广泛的推覆作用。后一构造作用，给矿床开采带来一定的影响。

本次研究认为，过去一直把龙首山隆起北界与潮水凹陷相接的 F_1 断裂确定为深大断裂，是金川含矿岩体的导岩构造。从大地电磁测深剖面资料来看（汤中立，李文渊，1995），它在 10km 左右深处即向南西收敛，呈上陡下缓的铲状构造面，不存在过去认为的深断裂，也没有资料表明它在长城纪就已开始发育。因此，可以断定 F_1 断裂并非是过去意义上的深达地幔的所谓深大断裂。但是，从现代裂谷构造成因方面的研究成果来看，金川岩体只能是沿早期深达地幔的低角度拆离断层（低角度正断层）向上迁移的，这样的低角度拆离断层并非就是一条，而是一个断层系统，后来该早期低角度拆离断层被改造成为逆冲断层，表现为推覆构造。这种对现今龙首山地区逆冲断层的新认识，有利于面上找矿及深部找矿工作的部署。

7.3 矿床的主要特征

7.3.1 矿床时空分布

金川矿床经历了形成和发展的长期的地质演化及成矿作用过程，成岩主期应是中元古代，因为岩体不可能在深部滞留过长的时间，蓟县纪本区就出现了裂陷海，更何况自加里东期本区就表现为活动陆缘性质，成矿作用主要是发生在元古代及加里东期。现分布于龙首山陆缘带的中东部，靠近潮水盆的一侧。含矿岩体的直接围岩是龙首山岩群 A 岩组（白家嘴子组）。龙首山岩群 A 岩组形成于中太古代。金川矿床的直接围岩或者说是母岩形成于长城纪（母岩的 Nd-Sm 同位素年龄为 1508Ma±31Ma，汤中立等，1992），这应是金川矿床的母岩形成的最早时间。同位素表明，在新元古代，矿体中也有构造-岩浆-热液作用的纪录（根据

天津地质矿产所1999年会议资料)；本文在2部分的铅同位素数据不仅表明有新元古代构造-岩浆-热液作用的纪录，而且也表明有加里东期及以后的构造-岩浆-热液作用的纪录；地质资料表明，不仅是新元古代，而且包括后来历次构造运动，都对金川矿体或岩体有作用的痕迹，这主要表现在矿区有不同时代不同时期不同性质的岩脉穿插和断层破坏。

7.3.2 含矿岩体特征

金川含矿母岩是一复式侵入体，划分为四个侵入期次，第四期几乎全由块状矿石组成；其它岩相为细一中粒二辉橄榄岩和橄榄二辉岩岩相、中一粗粒二辉橄榄岩、橄榄二辉岩，局部二辉岩岩相及中粒纯橄岩相，各岩相之间多具涌动及脉动特点。金川各类岩石的主要造岩矿物为橄榄石、单斜辉石、斜方辉石及斜长石，斜长石与橄榄石 共存。岩石蚀变强烈。金川侵入岩的平均化学成分相当于二辉橄榄岩的成分，岩石中镁铁比值为m/f=2.7-5.9，属铁质超基性岩。金川含矿岩体的母岩浆是一种高镁玄武岩浆，岩石中TiO_2低，与大陆边缘裂谷环境下的火山-岩浆作用的产物相似。微量元素反映了略具富集地幔的特征。金川岩体各侵入期次及岩石类型的球粒陨石标准化配分模式有互补特点，金川的一至三期侵入体稀土配分模型呈右倾斜曲线，为轻稀土（LREE）富集型，而第四期硫化物块状矿体的稀土配分模型呈左倾斜，为重稀土（HREE）富集型，这种金川不同期次岩（矿）体稀土配分模型的互补关系有力的支持了硫化物深部熔离的假设。金川母岩浆化学成分与岛弧钙碱性玄武岩和大陆裂谷高镁玄武岩相似，因此，金川母岩浆代表了大陆边缘裂谷环境下的火山-岩浆作用的产物。

7.3.3 矿体特征

金川矿区共发现工业矿体数百个，矿体占超基性岩体体积的43.17%，几近一半，矿体形态多为似层状、凸镜状，熔离-贯入型富-特富 矿体 一般呈凸镜状、脉状、柱状及块状，有的为岩浆期后热液作用的产物，矿体的产状大体有两种，一种受岩体形态控制，分布于岩体的下部，或陡（呈约70°）或缓倾向南西，与岩体产状大致相同，本质上受F_2断层系统控制；另一种产状比较复杂，往往沿裂隙系统分布，穿插于早期矿体中或围岩裂隙中。

金川岩浆硫化物矿床矿石中的脉石矿物是橄榄石、辉石、斜长石、角闪石及蚀变矿物等，矿石矿物主要由金属硫化物及稀有、贵金属元素矿物组成。此外含少量氧化物、金属单质矿物及金属互化物等。

金川岩浆硫化物矿床矿石结构构造在不同的矿体中有不同特点：①熔离作用形成星点状、斑点状构造，局部见海绵陨铁结构、半海绵陨铁结构等；块状、脉（块）状、角砾状构造；②热液交代作用形成的组构特征为：细脉状、网脉状、浸染状构造和海绵陨铁-变海绵陨铁结构、次文象结构；云雾状、星云状、毛毡状构造或云雾构造；变海绵陨铁结构；③应力作用形成的组构特征为：定向海绵陨铁结构、似片状构造、条带状构造，当矿体受应力作用后，形成角砾状、糜棱状、片麻状构造等；④结晶作用形成的组构特征为：铬尖晶石呈自形晶结构，砷铂矿、碲铂矿在硫化物中呈自形晶结构，矿石中的镍黄铁矿常呈等粒状半自形-他形晶聚粒状结构，其他硫化物多呈他形晶结构。⑤固熔体出熔作用形成的组构特点为：规则或不规则分布的乳滴状、页片状、网状、板状、格状、结状及粒状结构等。

7.4 矿区深部地球物理特征

通过井中三分量磁测、井壁激电测井、双频激电测井、样条拟合等地球物理测量和手段，有效的指明了深部矿体可能存在的部位。并且能有效的分辨出了富矿和特富矿。目前正在I矿区和II矿区进行大量测井工作和数据处理、解释工作，预计会取得更好的效果。

7.5 矿区地球化学特征

矿区内下列地段存在化探异常，可作为寻找隐伏超基性岩体的有望地段:

（1）R剖面:15、16、17号点处。

（2）A剖面的1、2、3、4号点处及9、10、11、12号点处。

（3）H剖面: 1、2、4、5号点处

（4）S剖面:3、7、15号及其附近。

7.6 矿区深部成矿条件分析

7.6.1 深部矿化多富集在含矿岩体下盘或下分枝及超基性岩体侵位时其底板下凹部位

金川含矿母岩浆在现侵位之前的次一级岩浆房中具有四层结构特点，即从上到下，可分为无矿岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆及矿浆，这主要是熔离作用的结果，具四层结构的含矿母岩浆按从上到下的顺序，依次侵入到现存空间，由于侵入时

有一定的角度，矿体往往位于岩体的下方。 具体来说，矿体一般位于岩体中下部的北东侧、岩体下尖灭端或岩体下部近底盘位置，因此，对未得到有效控制的岩体分枝特别是下分枝进行进一步工作应是主攻找矿方向之一。

现已查明的金川矿区海绵陨铁状富矿一般聚集在超基性岩体底板下凹的部位，在这一地段，矿体不仅厚度大，沿倾向也延伸稳定，在底槽两侧的凸起部位，矿体厚度明显变薄。

7.6.2 构造作用对深部矿体控制更加明显

横跨褶皱的转折部位是矿体增厚或矿化再次聚集的有利地段。矿体在后期构造作用过程中，塑性变形是一种普遍现象，金川矿床也不例外 。在塑性变形过程中，一方面可使得矿体向构造的扩容部位聚集，另一方面是构造作用过程中所形成的流体作用于矿体及含矿超基性岩体，活化矿质，形成含矿流体，这种含矿流体在新的构造裂隙中重新聚集形成新的更富的矿体。

断裂对矿体的控制作用 金川矿区断裂对岩（矿）体控制作用十分明显，这主要表现在以下几个方面：一是区域性大断裂 F_1 、F_2 对岩（矿）体定位有明显的控制作用，深部地球物理资料也表明金川深部存在低阻体 。二是后期断裂活动对成富矿特别是特富矿有决定性作用。含矿流体的形成及在扩容部位沉积，与断裂活动息息相关，金川矿区内的与原生似层状矿体斜交的张裂带，是构造一变质热液矿化流体叠加、成矿物质再次聚集的有利部位，矿体活化形成的含矿流体从高压区（挤压带）迁出在低压扩容区（引张带）聚集。

7.6.3 热液成矿作用特别是成富矿、特富矿作用在深部更加明显

金川矿区深部富矿、特富矿的形态多呈脉状、网脉状。特别是最近在龙首矿 6、11 行发现一倾斜的柱状矿体;深部富矿、特富矿 中见煌斑岩脉内裂隙面有细脉浸染状矿化;深部富矿、特富矿中常见金属硫化物细脉；富矿体中可见到热液成因的特富矿;铜的热液成矿作用叠加于次生富集作用之上。

7.7 金川矿区深部找矿前景光明

金川矿床的形成，经历了岩浆侵入、结晶分异、矿浆贯入、构造变形、热液叠加改造等成岩成矿过程。这些过程对成矿起着重要的控制作用，它们是我们进行进一步找矿的重要基础和基本前提。在上文中我们这重强调了构造与热液流体

对成富矿、特富矿的重要性。重新认识金川矿区成矿控制因素，总结矿化富集规律，在矿区深边部开展地质找矿至关重要。

研究认为：$F_{16\text{-}1}$断层南盘6行~9^{+25}行1160m中段以下，$F_{16\text{-}1}$断层至12行、12行至18行以西1200m以下及II矿区26-35行1200以下、I矿区19-29行1220m以下、II矿区、III矿区岩体下分枝等是有望找到隐伏矿体的远景区。

致　谢

在本论文的撰写过程中，非常感谢昆明理工大学秦德先教授、李俊副教授的悉心指导，从本论文的选题、开题、提纲编写、论文编写等各个环节给予指导和帮助。

在本论文的编写过程中，指导老师金川集团有限公司杨长祥高级工程师，从论文的开题、内容均提出了较高的要求，并对论文给予了许多建设性的意见和建议。

同时在论文的编写过程中，也得到公司技术中心、矿山单位地质同仁的积极协助，才使得本论文得以顺利完成。

对以上各位对论文给予指导、关心、斧正的导师、领导、同学、朋友，作者在此深表敬意和谢意。并衷心地祝愿他们身心健康，事业有成！

再者由于本人自一九九六年毕业以后从事地质实际工作，虽然知识层面在昆明理工大学工程硕士就读过程得到很大的进步，但由于作者水平有限，文中错误和谬误之处在所难免，谨请各位导师、专家、和同行批评指正。

参 考 文 献

[1] D.D.考克斯,D.A.辛格.矿床模式.宋伯庆,李文祥等译.北京：地质出版社,1990.

[2] R. G. ColeMan. 蛇绿岩.鲍佩声译,北京：地质出版社,1982.

[3] 安三元,胡能高,王晓霞.火成岩成因（一、火成岩成因类型）,西安地质学院.1991.

[4] 白云来.新疆哈密黄山一镜儿泉镍铜成矿系统的地质构造背景[J].甘肃地质学报,2000,:9(2):1-7.

[5] 陈德潜,陈刚.实用稀土元素地球化学.冶金出版社,1990.

[6] 陈毓川等 中国矿床成矿模式 M 北京：地质出版社 1993.98-102

[7] 邓晋福,赵海玲,莫宣学.中国大陆根柱构造—大陆动力学的钥匙.北京:地质出版社,1996.

[8] 范育新，张铭杰.超大型铜镍硫化物矿床研究进展.甘肃地质学报,1999,8(2):47—52.

[9] 甘肃省地质矿产局编著.全国地层多层划分与对比研究—甘肃省岩石地层.武汉；中国地质大学出版社,1997,1—314.

[10] 金性春.板块构造学基础.上海:科学技术出版社.1984.

[11] 黎彤,饶纪龙.中国岩浆岩平均化学成分.地质学报,1963,43卷,第3期.

[12] 黎彤.化学元素的地球丰度,地球化学, 1976, 第3期.

[13] 李昌年.构造岩浆判别的地球化学方法讨论.地质科技情报,1992,11(3),73—76.

[14] 李昌年.火成岩微量元素岩石学.武汉:中国地质大学出版社,1992,1—195.

[15] 李春昱等.秦岭及祁连山构造发展史.国际交流地质学术论文集.1978.

[16] 林景仟主编.岩浆岩成因导论,地质出版社,1987.

[17] 刘英俊,曹励明等.元素地球化学,科学出版社,1984.

[18] 路凤香.地幔岩石学.武汉:中国地质大学出版社,1988.

[19] 梅厚钧.西南暗色岩深渊分异两个系列的岩石化学特征与铁镍矿化的关系.地球化学,1973,第4期.

[20] 南京大学地质系.岩石学.北京:地质出版社,1980:370—379.

[21] 南京大学地质系矿物岩石教研室.火山岩岩石学,地质出版社,1980.

[22] 邱家骧,林景仟主编.岩石化学,地质出版社,1991.

[23] 邱家骧. 岩浆岩岩石学。北京：地质出版社, 1985, 1—34.

[24] 孙鼎, 彭亚明. 火成岩石学. 1984. 北京:地质出版社.

[25] 汤中立, 李文渊, 徐东. 华北地台西缘及邻区硫化物铜镍矿床特点及前景分析, 兰州：兰州大学出版社, 1995.

[26] 汤中立, 李文渊. 金川铜镍硫化物（含铂）矿床成矿规模及地质对比. 北京：地质出版社, 1995.

[27] 汤中立. 1982. 中国镍矿与古板块构造. 矿床地质.

[28] 汤中立. 中国岩浆磁化物矿床的主要成矿机制. 地质学报, 1996, 70（3）.

[29] 汤中立, 白云来 . 北祁连造山带两种构造基地岩块及成矿系统 [J]. 甘肃地质学报, 2001, :10(2):1-11.

[30] 涂光炽. 地球化学. 上海:上海科学技术出版社, 1982.

[31] 王鸿桢, 刘本培. 地史学教程. 北京:地质出版社, 1980, 58—88.

[32] 王濮等. 系统矿物学, 地质出版社, 1982.

[33] 王荃. 板块构造与岩浆活动. 见李春昱, 郭令智主编：板块构造基本问题, 北京:地震出版社, 1986.

[34] 王京彬等　我国有色金属矿山资源状况与建议　　世界有色金属　2001年第12期

[35] 王润明, 刘德权, 殷定泰. 新疆哈密土墩—黄山一代铜镍硫化物矿床成矿控制条件及找矿方向的研究. 矿物岩石, 1987, 7(1), 1—105.

[36] 武汉地质学院岩石教研室编. 岩浆岩石学. 北京:地质出版社, 1979.

[37] 杨树峰, 成对花岗岩带和板块构造. 1987, 北京:科学技术出版社.

金川镍铜（铂）矿区深部找矿研究

作者：曾文武
学位授予单位：昆明理工大学

参考文献(37条)

1. D D 考克斯. D A 辛格. 宋伯庆. 李文祥 矿床模式 1990

2. R G ColeMan. 鲍佩声 蛇绿岩 1982

3. 安三元. 胡能高. 王晓霞 火成岩成因(一、火成岩成因类型) 1991

4. 白云来 新疆哈密黄山－镜儿泉镍铜成矿系统的地质构造背景 2000(02)

5. 陈德潜. 陈刚 实用稀土元素地球化学 1990

6. 陈毓川. 朱裕生 中国矿床成矿模式 1993

7. 邓晋福. 赵海玲. 莫宣学 中国大陆根柱构造－大陆动力学的钥匙 1996

8. 范育新. 张铭杰 超大型铜镍硫化物矿床研究进展 1999(02)

9. 甘肃省地质矿产局 全国地层多层划分与对比研究－甘肃省岩石地层 1997

10. 金性春 板块构造学基础 1984

11. 黎彤. 饶纪龙 中国岩浆岩平均化学成分 1963(03)

12. 黎彤 化学元素的地球丰度[期刊论文]-地球化学 1976(3)

13. 李昌年 构造岩浆判别的地球化学方法讨论 1992(03)

14. 李昌年 火成岩微量元素岩石学 1992

15. 李春昱. 朱宝清 秦岭及祁连山构造发展史 1978

16. 林景仟 岩浆岩成因导论 1987

17. 刘英俊. 曹励明 元素地球化学 1984

18. 路凤香 地幔岩石学 1988

19. 梅厚钧 西南暗色岩深渊分异两个系列的岩石化学特征与铁镍矿化的关系[期刊论文]-地球化学 1973(4)

20. 南京大学地质系 岩石学 1980

21. 南京大学地质系矿物岩石教研室 火山岩岩石学 1980

22. 邱家骧. 林景仟 岩石化学 1991

23. 邱家骧 岩浆岩岩石学 1985

24. 孙鼎. 彭亚明 火成岩石学 1984

25. 汤中立. 李文渊. 徐东 华北地台西缘及邻区硫化物铜镍矿床特点及前景分析 1995

26. 汤中立. 李文渊 金川铜镍硫化物(含铂)矿床成矿规模及地质对比 1995

27. 汤中立 中国镍矿与古板块构造 1982

28. 汤中立 中国岩浆磁化物矿床的主要成矿机制 1996(03)

29. 汤中立. 白云来 北祁连造山带两种构造基底岩块及成矿系统[期刊论文]-甘肃地质学报 2001(2)

30. 涂光炽 地球化学 1982

31. 王鸿桢. 刘本培 地史学教程 1980

32. 王濮. 潘兆橹. 翁玲宝 系统矿物学 1982

33. 王荃 板块构造与岩浆活动 1986

34. 王京彬 我国有色金属矿山资源状况与建议 2001(12)

35. 王润明. 刘德权. 殷定泰 新疆哈密土墩—黄山一代铜镍硫化物矿床成矿控制条件及找矿方向的研究 1987(01)

36. 武汉地质学院岩石教研室 岩浆岩石学 1979

37. 杨树峰 成对花岗岩带和板块构造 1987

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y831521.aspx
授权使用：河南大学(hndx)，授权号：1fe74a23-6307-41ed-a89d-9e03013a31ca

下载时间：2010年10月2日