

物探与化探

WUTAN YU HUATAN



2

1979

地质出版社

74.22
144
1979-2

《水文地质工程地质》杂志复刊

《水文地质工程地质》杂志是面向全国的专业性科技刊物。读者对象主要是在勘察、科研、教学单位从事水文地质、工程地质工作的科学技术人员,以及有关工程设计人员和大专院校学生。自一九五七年出版以来,一直得到广大读者的爱护和支持。一九六六年停刊以后,迄今已逾十载。

为了适应新时期总任务的要求、促进我国水文地质和工程地质事业的发展,为实现“四个现代化”作贡献,经国家科委批准,国家地质总局决定自一九七九年起水文地质工程地质杂志正式复刊。

《水文地质工程地质》杂志由地质出版社出版,全国公开发行。目前暂定为双月刊(逢单月十五日出版)。在由邮局发行前,暂由新华书店在全国发行。今年第一期已经出版,已在各地新华书店发售。

广大读者的意见和要求,可寄“北京西四国家地质总局水文地质工程地质编辑部”。

《探矿工程》杂志复刊

《探矿工程》杂志经上级批准,已于今年2月份在京复刊。暂为双月刊,16开本,每期12万字,64页,定价0.30元。

《探矿工程》杂志是由国家地质总局勘探技术研究所主编的探矿工程专业方面的综合性技术刊物。主要读者对象是从事地质钻探、坑探及探矿机械方面工作的工人、科技人员、干部、及有关院校师生。

复刊第一期内容丰富。有专文探讨关于如何开展基础理论研究,引进先进科学技术,尽快提高探矿工程专业水平的问题;有专文论述金刚石钻探中几个值得注意的技术问题;有关于地质钻探技术国内外现状的介绍和展望。

在经验介绍方面,着重介绍了天然金刚石孕镶钻头单只钻进千米的先进经验。

新产品研制方面,介绍了Sc56绳索取心钻具、BJ—50型全液压工程地质钻机、JCL—1型钻孔测漏仪和玻璃钢滤水管。

从第一期起,系统介绍聚丙烯酰胺冲洗液的性能、特点、配制方法及使用效果等情况。

此外,还有小改小革方面的内容多项和国外技术资料多篇。

《探矿工程》杂志欢迎订阅,欢迎投稿,欢迎提出批评建议。来信来稿请寄北京阜外百万庄勘探技术研究所《探矿工程》编辑部。

物探与化探

一九七九年第二期

一九七九年四月十日出版

本期印数9,000册

统一书号:15038新391

定价:0.30元

编辑:国家地质总局地球物理探矿研究所

出版:地质出版社

印刷:地质印刷厂

发行:新华书店北京发行所

物探与化探

一九七九年 第二期

国家地质总局地球物理探矿研究所编

目 录

重力法找铁的若干经验 周国藩 郑千里 (1)

辽宁某地风化淋滤铁矿的数学地质分析及地球化学特征 侯景儒 (9)

综 述

原子吸收法在化探分析应用方面的若干问题 郭小伟 (17)

方法技术

环状单电极测井理论 张玉君 (25)

根据井中矿层天然放射性强度利用回归分析方法计算 P_2O_5 及 Na_2SO_4 品位
..... 四川地质局二〇七地质队物探组 (33)

激电异常的半定量解释方法 罗延中 (39)

用多重二次方程进行重力地形改正 D. H. 克龙 (47)

经验交流

介绍重力仪的一种分项改正方法 胡德中 (53)

学习园地

X-射线荧光方法的现场测量 成都地质学院核子地球物理研究室 (59)

重力法找铁的若干经验

周国藩 郑千里

各种类型的铁矿床,从形成到赋存都是和一定的地质过程和构造环境相联系的,而地壳内部物质密度的分布又和区域地质构造密切相关。通常,具有工业价值的铁矿床,一般都具有规模大、矿体集中、矿石密度比围岩大得多等特点,因此,在铁矿勘查的整个过程中,无论是研究区域地质构造进行成矿远景预测,或是从普查找矿到查明矿体的形态产状、计算矿体储量等,重力资料都能发挥积极的作用。

在我国特别是广大高山地区,直接为勘查各种金属矿床服务的区域性重力测量工作还开展得不多,利用区域性重力资料研究矿区区域地质构造和进行铁矿的成矿远景预测等工作,还缺乏比较成熟的经验,这是值得今后重视的。但是,在铁矿的普查找矿方面,重力与磁法密切配合,近年来已取得了较大的进展,并积累了不少经验,很值得总结和推广。下面,就重点综述一下重力资料在这两个方面应用的一些情况。

一、重力资料在研究区域地质构造和进行成矿远景预测方面的应用

在铁矿勘查工作中,预测成矿远景区是一项具有战略意义的研究工作,它涉及成矿理论和区域地质构造等多方面的问题。利用区域性中、小比例尺的重力资料,配合地质和其他物探资料,可以在一定程度上解决其中的某些问题。例如,可以通过重力资料研究地壳深部的地质构造,指出有利于成矿的地区,也可以通过重磁资料与地质资料相对比的方法,圈定某些巨大隐伏岩体的范围或进行区域地质填图,甚至还可以查明某些矿区的岩性和岩相分布特征,从而指出进一步找矿的有利地段等。所有这些问题的解决,无疑对铁矿勘查工作是具有重大实际意义的。这里仅举我国的两个实际例子,说明一下利用重力资料研究铁矿区区域地质构造和进行成矿预测的情形。

(1) 我国东北某地一个沉积变质矿区的例子。
该区铁矿层以含铁石英岩或含铁角闪岩的硅质建造形

式,产出在前震旦纪变质岩系中,盖层为古生界和中生界地层。从物性资料知道,前震旦系与上覆地层之间有一密度差为 0.12克/厘米^3 的密度界面,所以由重力异常的变化有可能反映出密度较大的前震旦系的起伏情况,而通过查清前震旦系地层的构造,就可以指出进一步找矿的远景区。从图1(a)所示的布格重力异

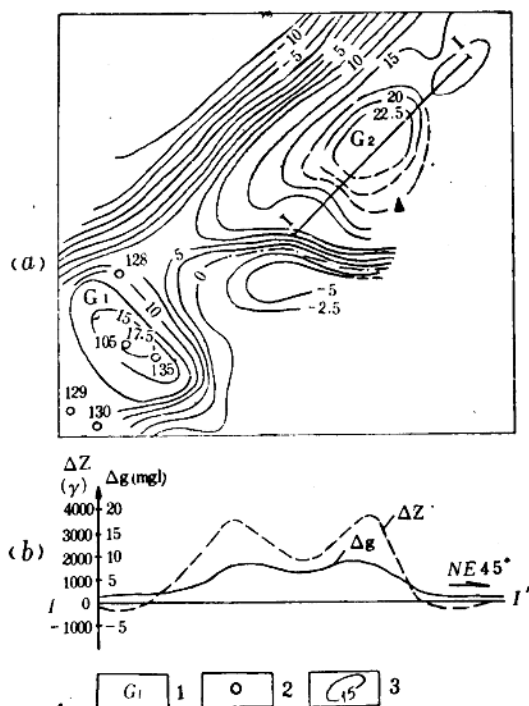


图1 我国东北某铁矿区的重磁异常图

(a) 布格异常图, (b) I—I' 剖面的重磁异常曲线
1—异常编号, 2—钻孔, 3— Δg 等值线(毫伽)

常图中可以看到,在东北向重力梯级带南侧有 G_1 、 G_2 两个重力高。钻探结果表明, G_1 的105号孔和135号孔分别在330米和240米处见前震旦系基底,而128号孔在500米处才见基底混合岩,外围的129号和130号孔直到600米还停在中生界侏罗系地层中。结

合当地的物性资料可以断定, G_1 重力高反映了前震旦系结晶基底的相对隆起。 G_2 是一个异常幅度和范围比 G_1 更大的重力高, 所处位置也在北东向巨大重力梯级带的南侧, 因此有理由认为, 它与 G_1 同样反映了前震旦系基底的隆起, 而且规模可能更大。从图 1(b) I—I' 剖面图可见, 这一重力高对应了一磁力高, 而且都在中心部位出现了异常变低的情况, 地面查证发现这一地带出露的是古老的混合岩系, 它的密度偏低 (2.50 克/厘米^3), 磁性较弱 ($K = 0 - 690 \times 10^{-8} \text{ CGSM}$), 同位素年龄测定为 27 亿年。这就进一步肯定了这一重磁异常是核部由古老混合岩组成的基底隆起。至于 G_1 和 G_2 北侧的重力梯级带, 平均水平梯度高达 20—30 艾维 (相当于 2—3 毫伽/公里), 无疑, 这正是地质上推断的北东向大断裂的反映。沿此断裂有岩浆侵入, 使 G_2 隆起区受到一定程度的破坏。通过上述的综合分析认为, G_2 所反映的基底构造可能是一个向北西方向倾伏的核部已被剥蚀的背斜构造, 从而指出除了背斜东南翼及南端的已知矿区外, 找矿的远景区应该在背斜的西北倾没翼, 至于背斜核部, 因含铁岩系已遭剥蚀, 找到矿的希望不大。

(2) 我国长江中下游一个铁、铜矿区的例子。

通过对该区域重磁场特征与内生铁 (铜) 矿床分布规律的综合对比, 发现区内几乎所有的内生铁、铜矿床和矿点都位于以下几种重磁异常区: 一种是区域性重磁同高的异常范围内, 特别是它们的边部; 另一种是区域重力低边缘带的低缓磁异常区, 或是以低缓磁力高为背景的重力梯级带内。如何解释这些现象呢? 研究者认为: 这些区域性重磁异常, 都是地下较深处存在有基本同源的大型岩浆体 (或岩浆室) 所致。正是由于存在着这种岩浆体的侵入, 一方面为矿床的形成提供了丰富的矿质来源, 另一方面, 才有可能提供巨大的热能, 产生热动力作用使物质元素分异、运移、富集而形成有价值的矿床。此种岩浆体可能有两类: 一类是中基性的, 它们具有较高的磁性和密度, 因此, 可以在地面上同时引起较大规模的重力高和磁力高。由于此种岩浆体是地壳深部玄武—安山质岩浆向上运移的产物, 且往往是多次侵入形成的, 必然使其上部岩层产生各种断裂或隆起, 因此, 在地面上观测到的重磁异常特征常常被各种地质因素所复杂化。图 2 就是该地区某地段重磁异常特征与铁、铜矿床、矿点分布的综合平面图。在布格重力异常的高值带内或其边部, 出现了一些磁力高区, 就在这些重磁同高区及其附近分布着一系列已知的铁、铜矿床和矿点。很明显, 这些矿床和矿点都是与形成该区重磁异常特征的地下岩浆体密切相关的。另一类岩浆体是中酸性的

岩浆体, 它们具有中等的磁性, 但密度值较低 (一般仅 $2.50 - 2.65 \text{ 克/厘米}^3$), 因此, 它们在地面上引起的异常多为区域性重力低和低缓的正磁异常。这种岩浆体也是形成内生铁、铜矿床的重要物质来源。它们往往是在地壳深部沿深断裂上升过程中, 与碳酸盐类围岩接触时产生接触交代作用而形成矿床的。因此, 如果在低缓的正磁异常区同时存在区域重力低 (说明在地下较深处有可能存在磁性稍高而密度较低的中酸性岩体), 且在基底深断裂带的边缘有碳酸盐类地层的分布 (反映为重力梯级带上叠加有局部磁异常), 则常常是成矿最有利的地段。本刊 78 年第 4 期第 5 页所示的我国华东某地铁铜矿区就是一个这样的例子。从图中可以看出, 这里存在一条近东西向的基底断裂带, 沿基底断裂带出现了近东西向的重力梯级带, 在重力梯级带上和区域重力低的边缘, 叠加了等值线走向发生明显转折的磁异常, 正是在基底断裂带的附近, 发现了许多接触交代型铜铁矿床和含矿岩体。

上述的两种情形和其具体例子表明, 根据区域性重磁异常的特征分析成矿远景区或进行成矿预测是可能的。当然, 上述的异常标志是否对铁铜矿的成矿预测具有普遍的意义这是值得进一步研究的。事实上, 即使在同一地区, 具有相同的异常特征, 情况也不一定完全相同。因重磁异常 (特别是重力异常) 的特征不仅反映地下较深部岩浆体的性质和规模, 而且还与地壳表层岩性和构造的特征有密切的关系, 因此要从多方面去分析。

根据一些已知矿区的应用情况, 利用重力资料研究矿区区域地质构造和进行成矿预测, 可以大致归纳出一些主要内容和值得注意的问题。

(1) 全面搜集资料。除了研究区内中、小比例尺 (1:5 万直至 1:50 万均可) 的重磁资料外, 还要注意收集区域地质、物性和矿区、矿点方面的地质物探资料。为了更好地利用重磁资料, 有时还需要对它们作必要的数据处理, 如异常延拓、磁重转换等等。

(2) 深入进行综合分析。以重磁资料为主要依据的成矿预测工作, 必须以区域地质和物性资料为基础, 着眼于分析区域性重磁异常在一定的地质背景和物性前提下与研究区内各种地质现象、构造环境, 以及矿产分布之间的客观联系, 找出它们的规律性, 从而赋予重磁异常一定的地质意义。只有这样, 重磁异常特征才有可能成为进行矿产预测的一种标志或准则。

(3) 作出判断, 划分远景区。有了一般的预测标志或准则之后, 就应该结合每个地段的具体条件作出判断, 进行远景区的划分。对于存在一种或几种异常



图 2 我国华东某地段 Δg 、 ΔT 和铁、铜矿床、矿点分布的综合平面图

1—布格重力异常(毫伽); 2—根据 ΔT 上延 1500 米的结果(伽玛); 3—铁铜矿床、矿点

标志的地区,可以划为成矿远景区。根据其对找矿的有利程度,还可以将其进一步分成远景带、远景段等。这样就可以进一步缩小直接找矿的“靶区”,减少勘查工作中的盲目性。

二、重力资料在铁矿普查和勘探阶段的应用

在铁矿普查找矿阶段,目前一般利用 1:5 千—1:2 万比例尺的重力测量资料。在此阶段中,它可以在下

述两个方面起作用:(1)通过研究重力局部异常,配合其他方法进行直接找矿。当矿体规模较大,埋藏不深时,还可圈定矿体的范围。(2)研究矿区的局部地质构造,如确定侵入体的边界和断裂破碎带的位置,确定某些地层的构造关系,以及基岩起伏情况等。在铁矿勘探阶段,当地质地形条件有利时,还可利用较大比例尺的重力资料研究矿体的形态和产状,计算某些几何参数,直至计算矿体的储量。下面通过在几种主要类型铁矿上的应用情况,着重说明一下在普查找

矿阶段应用重力资料的实际效果。

(1) 寻找沉积变质型铁矿

由于沉积变质铁矿床具有规模大、分布有规律、矿石密度和磁性都比围岩大很多等特点，因此一般利用重磁法直接找矿是有效的。下面介绍冀东某地的一个例子。

该区为一铁矿带的南段，含铁岩系由含铁石英岩和含铁绿泥石英片岩等组成，矿石以磁铁矿石、赤铁矿石或假象赤铁矿化石英岩等形式产出，其密度都在 3.20克/厘米^3 以上。围岩主要为混合花岗岩和黑云母变粒岩等，其密度都在 2.70克/厘米^3 以下。除磁铁矿石具有很强磁性外，其他铁矿和围岩都为弱磁或无磁性。所以应用重磁法配合找矿是比较有利的。现以M-142异常（参见本刊78年第2期第45页）上的重磁测量结果为例。该区地磁异常出现了东西两个磁力高，而重力异常呈现为单个重力高，仅在重力高的东南部有向外延伸的趋势。对重力资料进行了数据处理，用圆周平均法消去了区域场背景，并用艾勒金斯公式计算了重力的垂向二阶导数 V_{zz} ，和原图对比可以发现如下特点：①剩余异常和 V_{zz} 都将原来单一的布格异常分成了三个局部重力高；②两侧的局部重力高与东、西两个磁力高的位置基本对应，而在中间具有较大幅度和梯度的局部重力异常上，磁异常却反映微弱。考虑到较厚的沉积覆盖对磁异常的分布特征影响较大，故又将磁异常 (ΔZ) 作了向下延拓的变换。下延400米后在中部重力高偏南的部位也出现了一个封闭的局部磁异常，但强度较弱。进一步对照由 ΔZ 变换的磁源重力异常，可以看出，两侧重力高对应的磁源重力异常较强，而中部重力高处的磁源重力异常显示微弱。综合重磁异常的这些特点，推断东西重磁力高是埋藏较深的高密度磁性矿体的反应，且东部矿体比西部深，中间的重力高看来主要是埋藏较浅而磁性较弱的氧化红矿所引起，在其深部还可能有少量磁性铁矿。钻探结果证实，东西重磁高的深部果有厚度都在百米以上的磁性铁矿体，浅部有少量，矿，而中部重力高上的CK4，于370米以下见到130多米厚无磁性的氧化红矿。仅在540米以下才见到40米磁性矿体。这一例子有力地说明：①应用重力法直接寻找具有一定规模的沉积变质型铁矿是有效的；②利用重力资料不仅可以发现磁性铁矿，也能寻找非磁性的氧化红矿，因而，重磁配合可以用来区分氧化的红矿和磁性的原生黑矿；③为了深入进行推断解释，必须重视重磁资料的数据处理工作。

(2) 寻找火山（次火山）岩型铁矿

火山（次火山）岩型铁矿是我国一种重要的铁矿

类型，它一般出于不同时代的火山沉积盆地中，矿石通常以磁铁矿为主，但有时也有以赤铁矿、假象赤铁矿等弱磁性或无磁性矿石为主的，此外还有非磁性的菱铁矿等，而且这类矿床一般规模大、矿体集中、富矿所占比例大，所以利用重力法是比较有利的。下面就是重磁配合寻找此类矿床的两个例子。

①苏南某地有一个处于中生代火山断陷盆地北段的铁矿。盆地内构造复杂，断裂发育，中酸性岩多次侵入，具有良好的成矿条件。区内磁铁矿密度在 $3.90-4.40\text{克/厘米}^3$ 之间，而矿体围岩火山岩系（如安山岩、凝灰岩等）密度均在 2.60克/厘米^3 以下。在验证磁异常见矿后，为了配合研究矿体的形态、范围和产状，并进一步确定矿体的规模，布置了大比例尺的重力测量。图3就是该区重磁异常综合平面图。

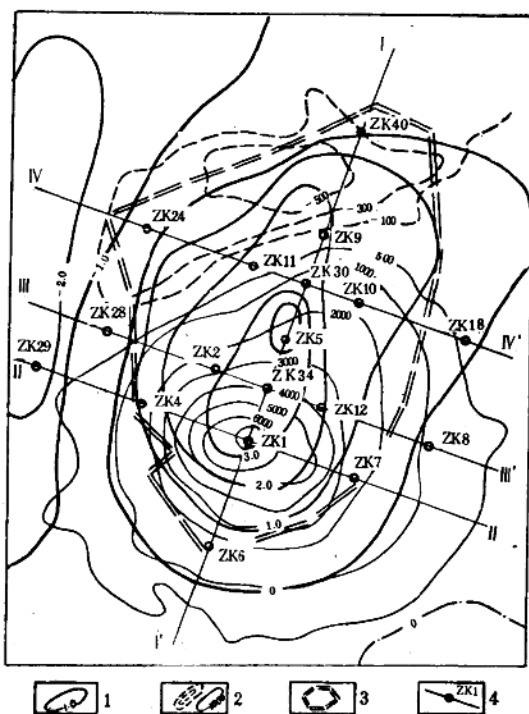


图3 苏南某铁矿上重磁异常综合平面图

1—重力剩余异常等值线（毫伽）；2—磁异常等值线（伽）；3—矿体边界投影；4—剖面、钻孔及编号

图形表明，重磁异常的中心不完全吻合，形态也稍有差异。重力异常呈北北东走向，故推断矿体可能也是向北东方向延展，而磁异常却呈似等轴状，且北侧出现了负异常，似应推断为球形矿体所引起。经CK9、CK40等钻孔证实，根据重力资料所作的推断，比磁异常的推断更符合实际情况（图4）。另外，利

用重力精测剖面资料确定矿体边界、产状，并计算了储量，其结果都为以后的勘探结果所证实。最后还将磁异常换算成磁源重力异常，再与根据实际矿体计算的理论重力异常作了对比示于图4。从图4可见，异常的位置、形态、强度等方面都比较一致，说明重磁异常是同源的，是由同一磁性矿体所引起。这一例子说明，对于火山岩型的大型磁铁矿，重磁配合不仅可以发现它，而且对它作较深入的研究还可以解决普查和勘探阶段中的许多问题。可以认为，即使是大型的磁铁矿，当对它作深入的研究时，单纯依靠磁测资料也还是不够的，必须注意利用重力资料和它配合。

②再介绍安徽省一个火山岩型铁矿上的重磁测量结果（参见本刊77年第2期第11页）。重磁异常的中心不完全吻合，且布格异常8.5毫伽以下的等值线向东南方向突出。为消除区域场的影响，用圆周平均法和计算重力的垂向二次导数得到了剩余异常和 $V_{\text{磁}}$ ，由剩余异常和 $V_{\text{磁}}$ 图可见，存在两个重力异常的中心，西北部的大异常是已知矿体的反映，它基

行了仔细的研究。原来是矿体周围的黄铁矿化和磁铁矿化加上近矿围岩蚀变带构成了一个高密度区（密度在3.0克/厘米³以上），而围岩一般密度为2.50克/厘米³，且在其外围还存在另一个平均密度为2.70—2.90克/厘米³的中等密度区，即以透辉石化为主的远矿围岩蚀变带，所以剩余异常实际是矿体（包括磁铁矿体和黄铁矿体、含铜黄铁矿体以及硬石膏矿等）和两个高密度区的综合反应。正演计算的结果证实了这一认识。对于东南角的小重力异常，由于该处没有磁异常反应，因此，起初认为它是含铜黄铁矿和硬石膏层相对集中而引起的。但经过ZK 501钻孔验证，证实为埋深在280米以下的厚层富赤铁矿和黄铁矿所引起。富赤铁矿的密度达4.1—4.7克/厘米³。通过正演计算，推断了矿体的大致范围，其结果为ZK 521和ZK 531钻孔所证实。这一矿例有力地说明：在火山岩分布地区利用重力资料不仅可以找到磁性矿体，还能在磁异常没有反应的地段找出非磁性的富矿（如富赤铁矿），从而显示了重力法在找铁中的独特作用。另一

方面，某些异常虽然不完全是由铁矿体直接引起的，但它反映了矿床的高密度蚀变带、矿化带以及其他的高密度共生矿体，仍然可以起到发现矿体的作用。因此，我们在对异常进行深入研究时必须精心细致，以免为复杂的现象所迷惑。

(3) 寻找接触交代型铁矿

这类铁矿床由于矿体集中、品位高、密度大、磁性强，故容易被重磁资料发现。但是一般来说这类矿床的矿体形态往往比较复杂，单个矿体的规模较小，加之围岩蚀变（如矽卡岩化等）能使大范围内的密度升高，引起重力异常的因素复杂化。因此，遇到这种情况时，识别异常就会出现一定的困难。在这种情况下只有通过重磁资料的综合研究和数据处理，排除干扰才能取得良好的效果。图5是我国鄂东某地重磁配合找到此种铁矿的一个成功例子。本区处在某闪长岩侵入体中段南缘的接触带上，矿体为磁铁矿，平均密度达4.85克/厘米³。围岩有闪长岩（2.78克/厘米³）、矽卡岩（2.96克/厘米³）、大理岩（2.73克/厘米³）等。重力异常基本

上与磁异常对应，仅在中心略有偏移。剩余重力异常只有0.9毫伽左右，而磁异常在15000伽以上。在重力异常中心用钻探验证见30多米厚的铁铜矿，根据重磁异常推断的矿体边界基本上也得到了证实。虽然，一般说来，对于寻找接触交代型铁

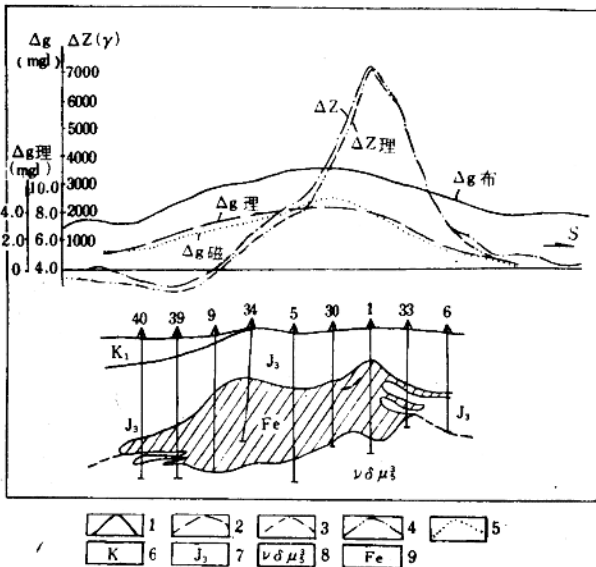


图4 I号纵剖面综合剖面图

1— Δg 布格异常曲线；2—矿体理论重力异常曲线；3—实测磁异常曲线；4—矿体理论磁异常曲线；5—磁源重力异常；6—火山碎屑岩；7—安山岩；8—辉长闪长玢岩；9—矿体

本上与磁异常相对应，但东南角的小异常，磁测结果却没有明显的反映。对于大异常。按照已查明的矿体作了正演计算，结果发现埋深在300米左右的几层矿体仅能引起1.2毫伽左右的异常，而实际剩余异常在4毫伽以上。为了查明其原因，对矿区岩矿的密度进

矿来说,利用磁测资料找矿的效果是很好的,但是当矿区磁性体干扰比较严重,或区内除了磁性矿石外还有非磁性或弱磁性矿石(如赤铁矿、菱铁矿等)时,辅以重力工作就十分必要了,它将有助于识别矿与非矿异常,区分磁性和非磁性铁矿。

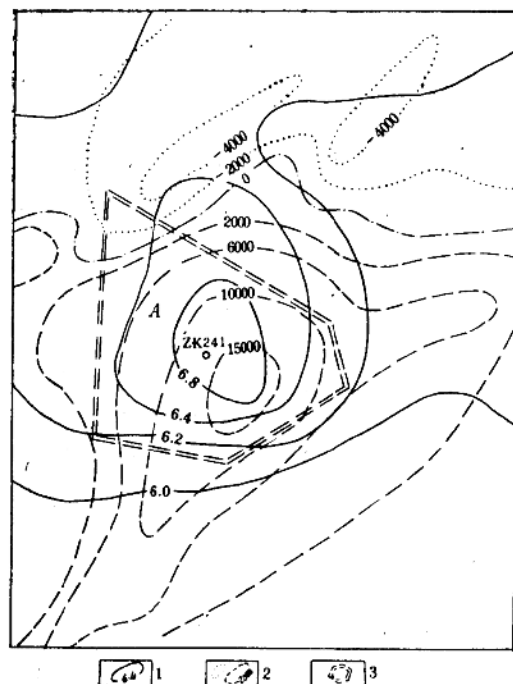


图 5 鄂东某地 Δg 、 ΔZ 和推断矿体范围综合平面图

1—重力布格异常(毫伽); 2—磁测异常(伽玛);
3—推断矿体范围

限于篇幅,重力方法在其他类型铁矿上的应用情况就不一一列举了。下面仅就利用重力资料寻找富铁矿的问题作一点补充。

迅速找到大量的富铁资源,对于在我国尽快实现四个现代化的宏伟目标具有重大的实际意义。一般说来,富铁矿由于品位高、密度大、利用重力法寻找富铁矿有其良好的物性前提,特别是对于那些弱磁性或无磁性的富矿,更显示出重力方法的优越性。但是应当指出,对于不同类型的富矿,必须仔细分析其找矿物质前提。据国外文献报导,个别风化壳型富矿,由于风化淋滤作用强烈,也可能使矿体的密度显著变低,以致在矿体上出现局部的重力低。因此,在利用重力资料找富矿时必须充分注意到可能出现的复杂情况。为了进一步说明重力法在寻找富矿中的突出作用,下面再引述两个国外的例子,以供借鉴。

(1) 加拿大一个沉积变质铁矿区应用重力法寻找富矿的情况。区内主要地层是元古界岩系,它与下伏的太古代花岗片麻杂岩呈不整合接触。元古界主要岩系包括有铁质层、石英岩、燧石角砾岩、白云岩和板岩等,而以板岩为主。铁质层呈条带状含铁石英岩、碧玉铁质岩或铁质板岩等产出,富铁矿主要是由铁质层经风化淋滤作用沉积而成。矿石大多属软铁矿类型,平均密度并不很高,仅3.22克/厘米³左右,但其围岩石英岩及板岩的密度为2.57克/厘米³,白云岩为2.80克/厘米³。布置重力工作的目的是:①圈定控制地质构造;②寻找无磁性的富铁矿,并在有覆盖的软矿地区圈定矿体;③作些定量评价工作。通过实际重力工作,重新圈定了覆盖层下的地质体,推论了区域性的负异常为层位较低的板岩和石英岩所引起,中等强度的正异常是未经风化淋滤的含矿层所引起,而高强度的异常是风化淋滤富集的含铁建造,有可能就是富矿。利用重力异常的走向梯度变化还圈出了许多断层和几个褶皱,这些断层和褶皱都是控矿的主要因素。

为了区分未经风化和经过风化富集的含铁建造,开始时采用了求剩余异常和计算重力二阶导数的方法来划分区域异常和局部异常,但未能得到满意的结果。以后改用二维数字滤波的方法作两次处理,获得了较好的效果。其方法是:先根据实测布格异常结果,用二维滤波作第一次处理,求得第一次剩余重力值,然后从观测值中减去第一次剩余重力值,得到第一次区域重力值。再对第一次区域重力值进行第二次滤波,求得第二次剩余重力值,再从第一次剩余重力值减去第二次剩余异常值,得到第二次区域重力值。其中几条剖面的处理结果如图6所示。它有如下的地质意义:一次区域场的变化粗略地代表了铁矿层以下地质构造界面的起伏;一次剩余重力场则表示了地壳界面以上整个含铁层的总的分布轮廓;二次区域场定性地代表了铁矿层以下次一级构造界面和未经风化淋滤的下部铁矿层的分布情况;二次剩余异常即大致反映了密度较大的富铁矿及其围岩。这些结果都是解释异常、评价矿体的重要材料。根据某些剖面上二次剩余重力异常曲线进行了定量计算,确定了相应矿体的走向、宽度、厚度、倾角及埋深。还用直接法计算了某些矿体的储量。这些结果都得到了钻探资料的证实。

(2) 瑞典斯瓦塔瓦拉铁矿区用重力法发现富铁矿的情况

斯瓦塔瓦拉矿区是一个火山岩型磁铁矿床的老矿区。在早期普查工作中,用磁法发现了磁性很强的矿

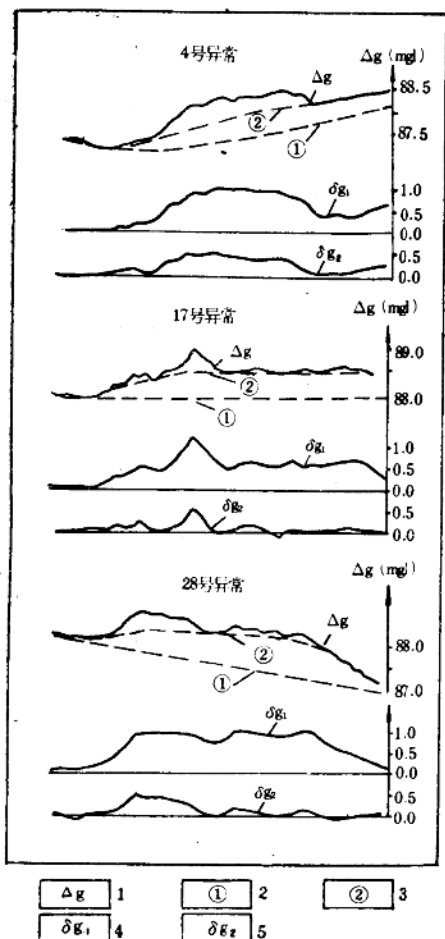


图6 加拿大提敏斯(Timmins)二号矿体上几条重力剖面用二维滤波法作二次处理的结果
1— Δg 布格重力异常；2—第一次滤波区域场；3—第二次滤波区域场；4—第一次剩余异常；5—第二次剩余异常

体(磁异常高达15万伽玛)，因此一直认为铁矿床都是由强磁性的磁铁矿体所组成。但是后来在工作中发现，一些富铁矿石并没有很强的磁性，这才引起了人们对重力法的重视。图7是该区经简化后的重磁异常图。图中北部的格鲁伯基特矿床上，强磁异常只是出现在矿体的北部，实际上磁铁矿只占整个矿体的三分之一。矿床的南部和一些转薄的部分均为纯赤铁矿，在这些地方，那种高达15万伽玛的强磁异常完全消失，或者变成不规则的异常；而重力异常在整个矿层上均有明显的显示。最后查明，这是一个长度超过千米以上，中心部位宽70米、垂直延深600—700米的大型富矿。图7的东南部为莱维安尼米矿床，这里的

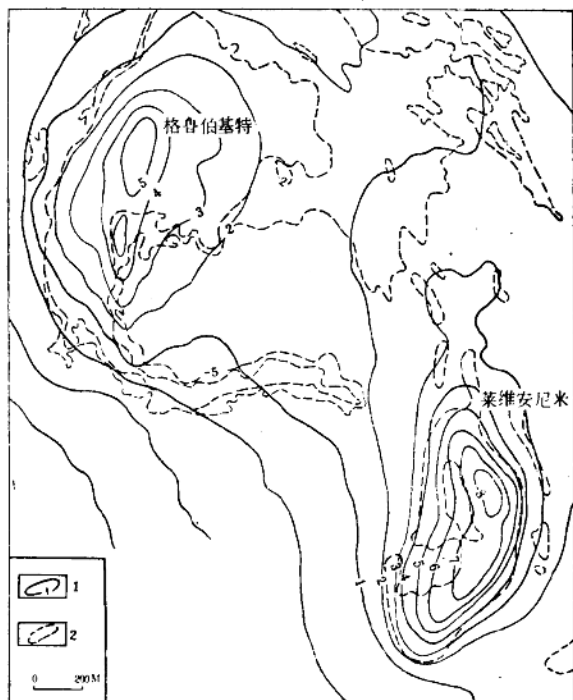


图7 斯瓦塔瓦拉矿区(Svettavaara)两个富铁矿上的重磁力异常平面图

1—重力异常等值线(毫伽)；2—大于16000伽玛的磁异常

磁异常平均为4万伽玛。若按一般的基鲁纳型磁铁矿的磁化强度进行估计，其富矿储量仅有2千万吨。但是在重力测量中，重力异常的强度达8.8毫伽，计算起来至少有2亿吨含铁60%的富矿石。钻探证实重力资料的反映是正确的。它是一个不规则的、略呈向斜形的磁铁矿体，但它的磁化强度比一般基鲁纳型磁铁矿的平均值低了9倍。在矿床的东北部还有一些假象赤铁矿，它们也表现为低磁异常，因而已探明的矿石储量超过了两亿吨。这一例子很好地说明，即使是在一些强磁性的磁铁矿床上，利用重力资料也是极为重要的，它不仅有助于圈出磁性相对较弱的富铁矿体，甚至还能发现一些原来只用磁法而未被发现的富矿。

除了以上列举的几种主要铁矿类型之外，在其他一些类型的铁矿上，当铁矿石的品位较高、矿体比较集中、形成一定规模的矿床时，都有可能使用重力法直接发现它们。特别是那些以赤铁矿、菱铁矿或镜铁矿为主的沉积矿床或热液矿床，由于矿石都是无磁性或弱磁性的，重力法就可能更突出的显示它的作用。所以总的看来，只要方法对头，资料使用得当，重力

在直接寻找各种类型的铁矿中都是可能发挥不同程度的积极作用的。

但是,也需要指出,由于重力法所利用的物性参数(密度)具有很大的普遍性,因此,在应用重力资料直接找矿时,常常会遇到大量的非矿异常干扰。图8、图9就是这种非矿典型的例子。图8的重磁异常对应很好,形态也很规整。重力局部异常强度达2毫伽以上,单纯从异常显示上看,似乎可能是矿。但结合当地的地质环境分析,认为是矿的可能性不大,很可能为第三系中的玄武岩所引起。经两口钻井查证,果为橄榄玄武岩干扰所致。图9情况也很类似,重力异常平面图形态规整,强度达3.1毫伽。钻探查证结果,在22米浮土的下面为闪长岩和部分辉长岩,直至370米尚未穿透,它们的密度为2.84—2.93克/厘米³。经正演计算表明,异常为岩体所致。由于岩体中含有磁铁矿化,具有一定的磁性,因此,磁异常图上也有明显的显示。这些例子告诉我们,在实际资料的地质解释中,

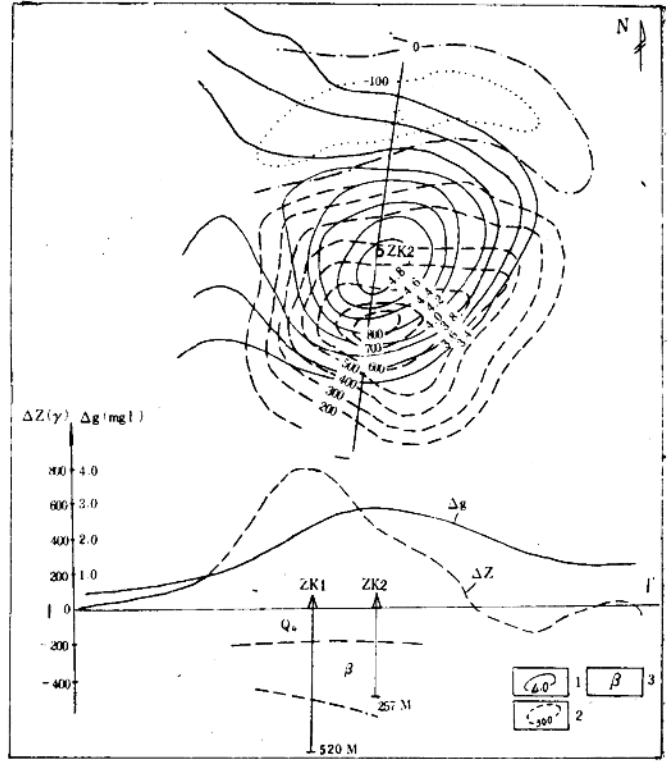


图8 一个橄榄玄武岩上的重磁异常
1— Δg 等值线; 2— ΔZ 等值线; 3—玄武岩

不仅要注意重磁资料的配合,还必须密切联系具体矿区的地质成矿条件;不但要注意总结识别铁矿异常的经验,也要注意认真总结非矿异常的特点。根据近年来某些矿区实际应用重磁资料直接找矿积累的经验,可以初步总结出如下一些规律性:局部重力高和磁力高相对应(即所谓的“重磁同高”),有可能为磁性铁矿的反映,但要注意与中基性的侵入体及磁性基岩的局部隆起所形成的异常相区别;局部重力高与磁力低相对应(或所谓“有重无磁”),有可能为弱磁或无磁性的铁矿,如赤铁矿、褐铁矿、菱铁矿等的反映,但更多的情形是反映了覆盖层下面无磁性的基岩隆起和局部构造,有时,也可能是非磁性的高密度矿石(如石膏层等)所引起;局部磁力高和重力低相对应(或所谓“有磁无重”),特别是磁异常很不规整时,多数情形下为磁性火山岩或酸性侵入岩的反映,但在沉积变质铁矿,也可能是低品位或薄层的磁铁矿所引

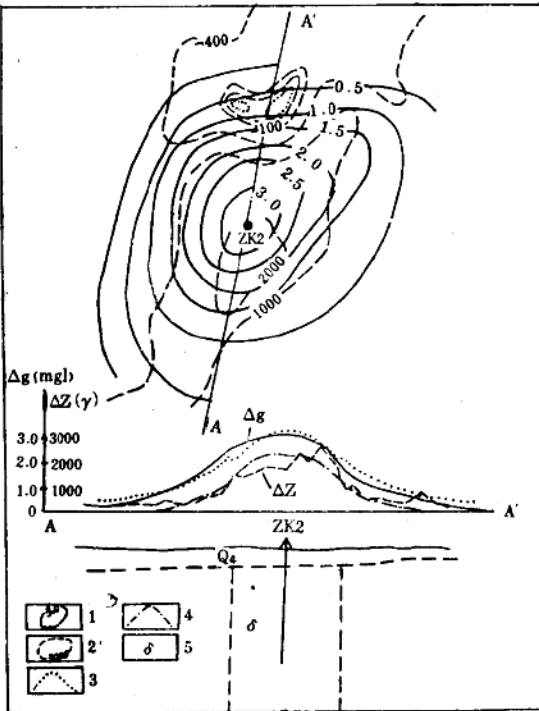


图9 华东一个闪长岩体上的重磁异常
1— Δg 等值线; 2— ΔZ 等值线; 3— Δg 正演理论曲线; 4— ΔZ 正演理论曲线; 5—闪长岩

起。总之，引起重磁异常的因素是复杂多样的，识别矿和非矿异常的问题，一定要从当地的具体地质条件出发，认真分析重磁异常的特点，必要时还要配合电法和地震勘探等的资料，只有这样，才能提高解释推断的水平，作出符合客观实际的地质结论。

综上所述，在铁矿的勘查工作中，应用重力法有一系列优缺点。其主要优点是：①所能研究或解决的问题比较广泛。从研究区域地质构造到成矿远景预测，从解决矿区局部构造问题到直接寻找各种类型的铁矿床等，重力资料都能发挥它积极的作用，特别是在寻找各种无磁或弱磁性的铁矿床，包括某些非磁的富铁矿时，重力勘探更是有它的独特效果。②由于重力异常所处的位置、形状与矿体所在的部位、形态均对应得比较好，因此，当区域异常比较简单，能够较客观地划分区域异常和局部异常时，利用所获得的剩余异常对矿体进行定性和定量的解释是有利的。且岩石密度的变化相对于磁性和电性等而言要小得多，因此，非矿异常的干扰相对于磁法和电法来说要少一

些。

但是，重力法也有它的局限性，表现在铁矿勘查中其主要缺点是：①由于勘查对象所能提供的异常信息比较微弱（即使对于储量为几亿吨的大型铁矿而言，一般也只能引起几个毫伽的重力异常），因此，对方法本身的技术要求较高。特别是在高山区，往往由于重力法要求有较准确的高程测量和地形测量资料，还要进行地形改正等大量整理工作，因此，使勘查工作大大地复杂化，严重地影响了工效的提高。②由于重力异常随距离增大而衰减的速度比磁异常慢，因此由多种地质因素或多个矿体造成的异常叠加现象比较严重，增加了划分区域异常和局部异常的困难。

以上这些情况说明，利用重力资料开展铁矿的勘查工作，既有它的有利条件，也有它的不利因素，因此，要注意因地制宜。为了更好地发挥重力法在铁矿勘查中的作用，还要继续加强方法技术方面的研究，扩大方法的应用范围，同时，要认真总结经验，不断提高解释水平。

辽宁某地风化淋滤铁矿的数学地质分析及地球化学特征

侯景儒

世界上铁矿床类型甚多，但规模较大、品位较高、质量较优者则是前寒武纪含铁建造中的富铁矿床，它占全世界富铁矿总储量的60~70%左右。而在前寒武纪富铁矿中，风化淋滤富铁矿占其总储量的99%左右，从而可知，在我国寻找风化淋滤型富铁矿床具有很大的经济意义。

我国地域辽阔，前寒武系地层分布广泛，其中的含铁建造也十分丰富，因此，在我国寻找风化淋滤型铁矿理应有其广阔前景。

本文主要介绍了辽宁某矿区风化淋滤型铁矿床的地球化学及数学地质研究的初步结果。

一、矿区地质特征简述

矿区位于华北地台北部，辽东台背斜中部的太子河凹陷带的西部。区内出露主要地层为鞍山群樱桃园组及震旦纪地层，自上而下为：

震旦纪：细河群 { 桥头组
南芬组
钓鱼台组
底砾岩

太古代：鞍山群樱桃园组 { 上部千枚岩（150米厚）
中部含铁石英岩（60—340米厚）
下部千枚岩

上述地层形成两个构造层：上部为细河群，走向NW 60°，倾向NE，倾角<20°—30°，下部为鞍山群，走向NE 70°—75°，倾向NW，倾角<30°—60°。

樱桃园组中部含铁石英岩（鞍山式铁矿）为风化淋滤铁矿的主要矿源层，厚60—340米，东西延长3000米，延深500米，主要由氧化铁及石英组成条带状含铁石英岩。

含铁石英岩近地表处形成氧化带，深200—300米，最深可达500米，受地形及构造的影响呈漏斗

状，由于氧化作用原含铁石英岩中的磁铁矿变成假象赤铁矿，按矿区划分： $TFe/FeO > 2.7$ 者为氧化矿石，由假象赤铁石英岩组成， $TFe/FeO < 2.7$ 者为未氧化矿石，主要仍为磁铁石英岩。

风化淋滤型铁矿床（点）赋存于震旦纪不整合面下的鞍山群含铁石英岩顶部以及含铁石英岩的断裂带中，目前发现的矿点中 a、b、c 矿点位于研究区东部，d、e、g 及 M15 坑诸矿点位于研究区西部（见图 1）。矿体厚一般数十厘米到 1~2 米，长几米到一、二十米。其中 M15 坑矿体长 10~20 米，厚 7 米。

矿体呈脉状及囊状产出，与含铁石英岩渐变接触，另一种则产于走向断层之中，但延深只限于地表下 10~20 米。

矿体由矿源层经受氧化作用及水化作用而成，矿

石主要成分为假象赤铁矿、针铁矿及石英。水化作用程度不同其假象赤铁矿晶形也不同，针铁矿含量为 10~30%，最高达 60~70%，石英为他形，水化作用强烈时则被针铁矿交代，次要成分有赤铁矿、磁铁矿及伊利石和水黑云母等。矿石结构构造是：当风化淋滤程度较轻时，可残留原来的条带状构造及镶嵌粒状变晶结构，随着风化淋滤的增强呈现出胶状，粉末状、疏松多孔状等。

二、矿区风化淋滤铁矿的元素分布特征

为研究矿源层和风化淋滤铁矿上元素的地球化学分布特征，我们将其各自的元素含量进行了对比（参看表 1、2、3）。

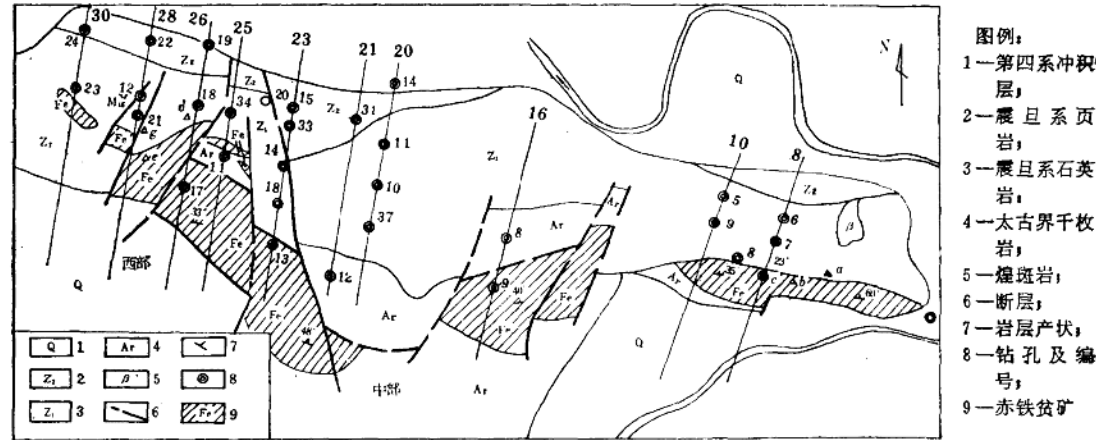


图 1 某区铁矿床地质平面图

氧化物含量对比表 (%)

表 1

	TFe	Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MnO	S	P	H ₂ O ⁺	孔隙度
M15坑	53.57	76.70	0.55	17.76	1.92	0.325	0.151	0.01	0.12	多	大
含铁石英岩	33.02	45.28	0.64	56.73	0.728	0.018	0.114	0.078	0.031	少	小

〔注〕TFe 为全铁

微量元素含量对比表 (γ/g)

表 2

	Ni	Co	V	Ti	Ge	Cu	Pb	Zn	As
M15坑	17.05	<10.0	11.14	151.51	12.50	9.77	<10.0	115.91	18.07
赤铁石英岩	19.75	<10.0	8.5	88.00	13.25	10.05	<10.0	107.59	14.80
磁铁石英岩	15.00	<10.0	5.00	49.25	17.50	10.00	<10.0	112.50	4.50

氧化物比值对比表

表 3

	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}}$	$\frac{\text{FeO}}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}}$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$	$\frac{\text{FeO}}{\text{SiO}_2}$	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$	$\frac{\text{MnO}}{\text{SiO}_2}$	$\frac{\text{MgO}}{\text{SiO}_2}$
M15坑TFe>40%	0.9876	0.0072	4.291	0.0310	0.1081	0.0085	0.0140
M15坑TFe>20%	0.9915	0.0082	2.561	0.0211	0.0588	0.0051	0.0077
赤铁石英岩	0.9863	0.0137	0.9047	0.0127	0.0145	0.0023	0.0043
磁铁石英岩	0.7229	0.2772	0.6888	0.2642	0.0103	0.0044	0.0052

从表 1、2、3 明显看出,从未风化的磁铁石英岩到经受氧化作用为赤铁石英岩最后成风化淋滤铁矿体(点),随着氧化、淋滤程度不同,元素含量也有明显变化,其变化规律可归纳如下:

1. 氧化物TFe、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 P_2O_5 、 K_2O 含量在风化淋滤铁矿中明显升高;MnO及 H_2O^+ 稍有上升,而 SiO_2 、S显著下降,FeO稍有降低。

2. 微量元素V、Ti、As在风化淋滤铁矿中含量明显升高,Ge明显下降,Zn稍高,而Cu变化不大(Co、Ga、Pb低于分析灵敏度)。

3. 氧化物比值 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 在风化淋滤铁矿中明显升高, $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ 有所上升,MnO/ SiO_2 、MgO/ SiO_2 略有增高,而FeO/ $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ 、FeO/ SiO_2 明显下降。

三、矿区M15坑等矿体(点)成因讨论

本区M15坑等几个矿体(点)是否为风化淋滤铁矿,看法不一,本节试图应用地球化学及数学地质方法对其成因进行讨论。

由于目前我国尚未发现大家公认的风化淋滤铁矿,为此选择了国外的几个典型风化淋滤矿床与我国辽宁的某矿床和其它几个可能为风化淋滤矿床的资料进行对比研究,这些矿床分别为:

1. 辽宁: M15坑;
2. 晋北: E矿区、H矿区、CH矿区;
3. 河南: G矿区;
4. 河北: S—M带;
5. 苏联: 库尔斯克磁异常区的雅科夫列夫矿床;
6. 苏联: 克里沃罗格区的萨克萨甘斯克矿床和阿诺夫斯克矿床;
7. 美国: 米萨比矿床;
8. 鞍山: GC富矿及YT富矿(变质热液富矿,作参对比用)。

各矿区富铁矿石氧化物含量及矿源层矿石特征如表4及表5所示。

我们对各矿区做了点群分析,参加的变量为:TFe、 Fe_2O_3 、FeO、 SiO_2 、 Al_2O_3 、CaO和MgO等七个氧化物,经R式点群分析后,选出上述七个氧化物中较不相关的五个氧化物 Fe_2O_3 、FeO、 Al_2O_3 、 SiO_2 及CaO再进行Q式点群分析。此外还作了下列比值的Q式点群分析: $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 、FeO/ SiO_2 、MgO/ SiO_2 、FeO/ $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ 。为了仔细对比研究,我们先对变量分别进行标准化及正规化,然后再分别计算其相似性系数、距离函数、误差平方和及斜交距离,并作出各自的谱系图。现选择矿石TFe>40%的样品所作点群分析的几个谱系图表示如图2、3、4。

氧化物含量比较表

表 4

矿 区	TFe	Fe_2O_3	FeO	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O
M15坑	53.73	76.18	0.552	17.76	1.88	0.167	0.244	0.367
G矿区	44.09	60.63	0.756	29.13	1.65	0.276	0.269	
E矿区	45.62	64.47	0.68	44.42	0.298	0.143	0.125	0.076
H矿区	63.52	90.30	0.49	5.55	1.35	0.162	0.260	
米萨比	57.42	81.87	0.15	8.65	1.34	0.250	0.22	0.676
萨克萨甘斯克	66.55	94.60	0.385	1.67	0.65	0.205	0.11	
S—M矿区	55.44	59.37	16.72	10.68	3.497	2.255	3.76	0.27
GC矿区	53.67	51.24	23.04	19.43	1.325	0.471	0.88	0.08

各 矿 区 地 质 特 征 对 比 表

表 5

矿 区	地 层 时 代	矿 源 层	富矿矿石特征	参加对比及统计分 析的样品类型
M15坑	前震旦纪鞍山群 (24 亿年)	上部千枚岩: 石英绢云母千枚岩为 主, 次为绿泥千枚岩。 中部含铁石英岩: 条带状磁铁矿—赤 铁矿。 下部千枚岩: 岩性同上部	假象赤铁矿—针铁矿 石, 疏松多孔状, 粉 沫状, 也有残余条带 结构	致密块状及疏松假象 赤铁矿石
H矿区及CH矿 区	前寒武纪浑沱群 (>20亿年)	矿层位于浑沱群东冶亚群, 含铁层 为变质含铁石英岩、含铁白云质板 岩、变质含铁长石石英砂岩	水赤铁矿—赤铁矿石, 赤铁矿—铁白云石矿 石, 赤铁矿—水云母 矿石	赤铁矿石
萨克萨甘斯克	前寒武纪克里沃格 群	上组: 石英砂岩、片岩。 中组: 由七层与各种片岩成互层的 含铁角闪岩和碧玉铁质岩组 成。 下组: 长石砂岩、砾岩、千枚岩	致密和多孔状假象赤 铁矿石, 松散的针铁矿—赤铁 矿—假象赤铁矿 石, 针铁矿—赤铁矿石	假象赤铁矿—针铁矿 石
雅科夫列夫	前寒武纪库尔斯克群 (20—22亿年)	含铁岩系从南西到北东分为三带: 1) 外尖灭亚带; 2) 中央亚带: 有两层很厚的含铁石 英岩, 中间为千枚岩片岩所分 隔, 含铁石英岩主要由赤铁矿及 磁铁矿组成, 具条带状构造; 3) 内尖灭亚带	主要为多孔疏松赤铁 矿石和假象赤铁矿— 水赤铁矿石, 顶、底有块状赤铁矿 石	碳酸盐化水赤铁矿— 水针铁矿及含假象赤 铁矿的微密粘结石 石, 有一块标本为硅 化及碳酸盐化矿石
米萨比	前寒武纪休伦系 (17 —25亿年)	苏维利尔湖型建造。 主要为碳酸盐—硅酸盐含铁建造, 岩相为石英岩、大理岩, 含铁建造 及板岩	赤铁矿—褐铁矿石矿 石, 按铁含量及颜色 区分为蓝色矿石、褐 色矿石、黄色矿石, 其中蓝色矿石为优质 低磷矿石	
G矿区	下元古代铁山庙组 (22—25亿年)	顶盘: 花岗质条带混合岩。 含矿带: 以铁矿石为主, 夹磁铁矿 白云质大理岩、蛇纹石化橄 辉白云质大理岩及辉石岩, 片 麻岩、片岩等。 底盘: 同顶盘岩性	粉末状赤铁矿石, 碎 块状赤铁矿石, 块状 赤铁矿石, 辉石赤铁 矿石, 条带状石英赤 铁矿—褐铁矿石	同左栏

通过上述各种方法的对比分析, 可以初步提出以下几点认识:

1. 除S—M矿区的富矿体之外, 包括M15坑在内的所有参加对比的矿体均具有风化淋滤型富铁矿床的特征, 如果仔细划分, 又可将其分为两个亚类。

2. 第一亚类包括M15坑、H矿区、CH矿区, 它们大体上可以和苏联的萨克萨甘斯克矿床以及美国的米萨比矿床类比, 除在岩石化学特征上的相似, 点

群分析属同一自然群之外, 它们在地质特征上也可类比。例如, 它们均产于变质程度较浅的碎屑沉积岩及少量角闪岩岩相之中, 矿源层也均为前寒武纪中—晚期 (约20—25亿年) 的赤铁石英岩或磁铁石英岩, 少量的含铁角闪岩; 此外, 在矿石成分、结构构造方面也相似, 它们都是假象赤铁矿、针铁矿及水赤铁矿, 呈疏松状、粉末状结构。

3. 第二亚类包括G矿区及E矿区, 它们可以和

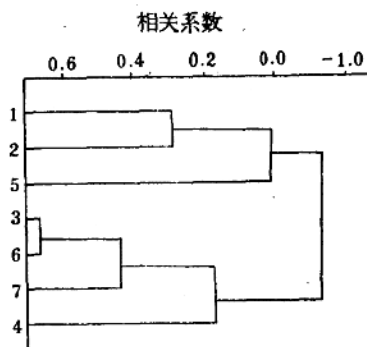


图 2 相关系数谱系图

1—TFe; 2—Fe₂O₃; 3—FeO; 4—SiO₂;
5—Al₂O₃; 6—CaO; 7—MgO

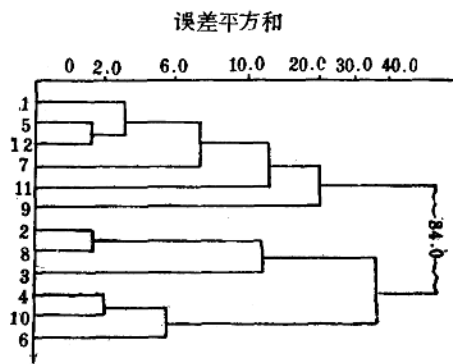


图 3. 标准化误差平方和谱系图 (对数)

1—M15坑; 2—GC矿床; 3—YT矿床; 4—G矿床;
5—H矿床; 6—E矿区; 7—CH矿区; 8—S—
M矿区; 9—雅科夫列夫矿床; 10—阿诺夫斯克矿
床; 11—萨克萨甘斯克矿床; 12—米萨比矿床

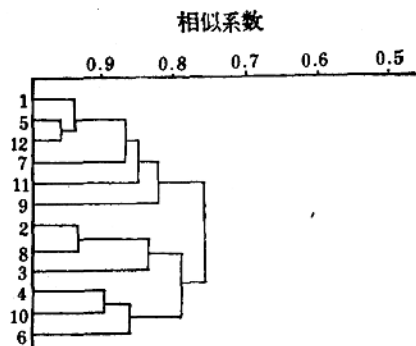


图 4 正规化相似性系数谱系图 (取对数)
(图例同图 3)

苏联阿诺夫斯克矿床类比, 均产于比第一亚类变质更深的角闪岩相—绿片岩相之中, G矿区则产于麻粒岩相之中, 矿石成分以假象赤铁矿、赤褐铁矿及磁铁矿为主, 矿石结构为粉沫状及碎块状。

4. S—M矿区的富铁矿和鞍山区 GC 富矿、YT 富矿归为一类, 为沉积变质热液富矿, 这可从它们的矿源层及矿石类型等特征的对比看出。

四、矿区内几个风化淋滤矿体 (点) 的分类及控矿因素的研究

矿区内出露地表的风化淋滤铁矿点较多, 其中较大者为 M15 坑, 其他还有 a、b、c、d、e、g 等矿点, 而 a、b、c 矿点分布于矿区东端, M15 坑、e、g、d 分布于矿区西端 (见图 1)。为了对上述各矿点进行自然分类, 将上述矿点做点群分析, 参加的变量有 TFe、Fe₂O₃、FeO、SiO₂、Al₂O₃、CaO、MgO、K₂O、Na₂O、MnO、TiO₂, 经过 R 式点群分析选出 Fe₂O₃、FeO、SiO₂、Al₂O₃、CaO、MgO、MnO、TiO₂ 等八个变量进行 Q 型点群分析, 此外, 还用 Ni、Cu、Ti、Zn、As、Mn、Ge、V 及前述七个氧化物比值作 Q 型点群分析。考虑到 TFe 含量 (品位), 按 TFe > 40% 和 TFe > 20% 统计, 分别进行点群分析, 其结果如图 5、6、7 所示。

根据野外观察及矿石中氧化物的含量, 将 M15 坑、e 矿点及 C 矿点中矿石氧化物含量按 TFe > 40% 和 TFe > 20% 分别进行比较列于表 6、表 7。

综上所述可以看出:

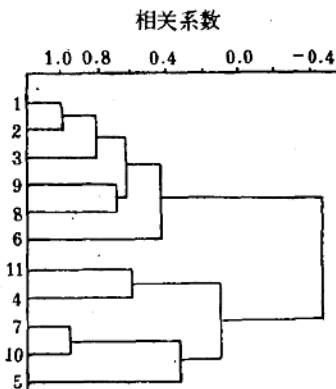


图 5 相关系数谱系图

1—TFe; 2—Fe₂O₃; 3—FeO; 4—SiO₂; 5—Al₂O₃;
6—CaO; 7—MgO; 8—K₂O; 9—Na₂O;
10—MnO; 11—TiO₂

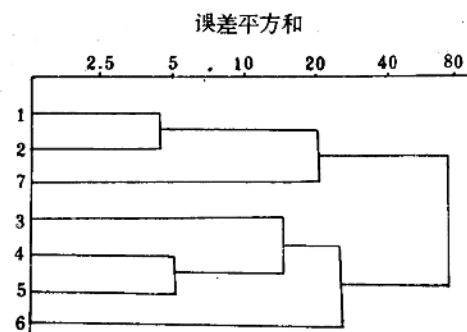


图 6 对数数据误差平方和谱系图(标准化)

1—M15 坑; 2—c 矿点; 3—d 矿点; 4—b 矿点;
5—c 矿点; 6—a 矿点; 7—g 矿点

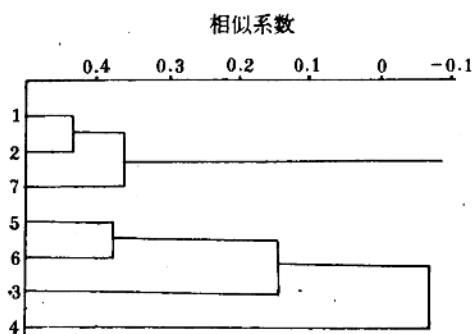


图 7 原始数据相似性系数谱系图(标准化)

(图例 同图 6)

矿区西部的 M15 坑、g、e 矿点归为一类，而东部的 a、b、c 矿点归为一类，前一类风化淋滤程度强，矿石质量好，品位高，而后一类较前一类风化淋滤程度差；西部 d 矿点从点群分析谱系图看常和 a、b、c 矿点归为一类，这和 d 矿点风化淋滤程度较弱有关。

从以上研究可以看出，风化淋滤程度的不同，反映了它们在成矿过程中控制成矿的因素也不同，为了找出不同类型矿体的控矿因素，对 M15 坑（36 个样品）、e（20 个样品）、a、c（12 个样品）矿点以及矿区含铁石英岩（12 个样品）分别作了因子分析，其结果示于表 6、7、8、9。

为便于对比，将表 6、7、8、9 中的较大因子负荷提取出来列成表 10。

从以上各表可以清楚看出：

第一公因子 (F_1)：M15 坑由 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 、 TiO_2 组成，为造岩因子，反映出成岩特征。e 矿点

M15 坑 ($TFe > 40\%$)
正规化还原后的最后因子解

表 6

	F_1	F_2	F_3
TFe	-0.1714	0.9729	-0.0154
Fe_2O_3	-0.1920	0.9719	-0.0109
FeO	0.5269	0.0137	-0.5677
SiO_2	-0.5820	-0.9443	0.0251
Al_2O_3	0.9438	0.0230	-0.0616
CaO	0.7371	-0.1500	0.0611
MgO	-0.1363	0.1652	0.5843
K_2O	0.8671	0.0771	-0.0745
Na_2O	0.8291	0.0233	-0.3045
MnO	0.1865	-0.3379	0.8212
TiO_2	0.9339	-0.1789	-0.0047

含铁石英岩
正规化还原后的最后因子解

表 7

	F_1	F_2	F_3
TFe	-0.3912	-0.7379	-0.0974
FeO	-0.3123	0.6272	-0.0850
SiO_2	-0.1103	0.8401	-0.0650
Al_2O_3	0.9730	-0.0474	0.1148
CaO	-0.1600	-0.6329	-0.1911
MgO	0.1560	0.0239	0.9774
K_2O	0.9475	0.0646	-0.1005
Na_2O	0.9601	-0.0175	-0.0037
MnO	-0.1113	0.0675	0.9479
TiO_2	0.9866	0.0650	0.0817

e 矿点 ($TFe > 40\%$)
正规化还原后的最后因子解

表 8

	F_1	F_2	F_3	F_4
TFe	0.9590	0.0413	0.0032	-0.1940
Fe_2O_3	0.9590	0.0412	0.0218	-0.1958
FeO	0.0733	-0.0903	-0.9616	0.0719
SiO_2	-0.9267	-0.0202	0.0947	0.3144
Al_2O_3	0.3774	0.3333	-0.1427	-0.7728
CaO	0.0192	0.8781	0.3324	0.0337
MgO	0.2953	-0.0615	0.2386	-0.6731
K_2O	0.2625	0.1790	0.0149	-0.8973
Na_2O	0.6971	-0.0972	-0.0452	-0.5028
MnO	0.2176	-0.5849	0.1058	0.3856
TiO_2	0.5408	0.6401	-0.1824	-0.1346

由 TFe、 Fe_2O_3 及 SiO_2 组成，为成矿因子，反映出风化淋滤成矿作用的特征，其中 Fe_2O_3 与 SiO_2 符号相反，说明二者为反消长。a、c 矿点基本与 M15 坑相同。