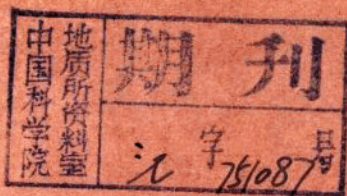


国外地质资料选编(二十)



# 国外前寒武纪含铁硅质岩建造 富铁矿床地质特征和勘查方法

( 专 辑 )

地质科学院情报所编

1975年6月

# 目 录

1. 在前寒武纪含铁硅质建造中普查富铁矿床的几个问题  
..... ( 1 )
2. 前寒武纪含铁建造的类型..... ( 10 )
3. 前寒武纪主要类型的含铁建造的形成条件..... ( 23 )
4. 前寒武纪含铁硅质建造富铁矿的形成条件和主要分布  
规律..... ( 29 )
5. 前寒武纪含铁硅质建造富铁矿床的建造和岩相控制..... ( 39 )
6. 乌克兰地盾和沃罗涅什陆背斜的风化壳铁矿床..... ( 43 )
7. 苏联库尔斯克铁矿区的地质特征及其勘查过程..... ( 49 )
8. 库尔斯克磁异常区富铁矿床分布规律..... ( 62 )
9. 在乌克兰前寒武纪地层中普查铁矿的标志..... ( 73 )
10. 克里沃罗格盆地富铁矿石成因类型的工业意义..... ( 79 )
11. 克里沃罗格富铁矿石聚集的构造控制..... ( 83 )
12. 克里沃罗格富铁矿石的成因..... ( 89 )
13. 克里沃罗格富铁矿的勘探方法分析..... (102)
14. 巴西米纳斯吉拉斯高品位赤铁矿..... (111)
15. 巴西北部最近发现的卡拉贾斯铁矿床..... (123)
16. 巴西卡拉贾斯铁矿床的勘查..... (131)
17. 澳大利亚碧玉铁质岩型铁矿床的成因..... (133)

18. 澳大利亚哈默斯利铁矿概况·····	(143)
19. 印度铁矿石的产出条件和成因·····	(148)
20. 利比里亚地盾和圭亚那地盾的铁英岩铁矿·····	(155)
21. 委内瑞拉圣伊西德罗铁矿床的地质·····	(172)
22. 加拿大的铁矿·····	(183)
23. 加拿大巴芬岛富铁矿床的成因·····	(186)
24. 用物探方法在加拿大北部寻找富铁矿·····	(191)
25. 在加拿大拉布拉多地槽中部用物探方法寻找富铁矿·····	(203)
26. 采用物探和统计学方法预测纽芬兰拉布拉多卡罗尔湖地 区变质铁矿层的大小、形状、储量及其品位·····	(218)
27. 前寒武纪某些条带状含铁建造中矿物共生组合随变质程 度的不同所发生的变化·····	(234)
28. 前寒武纪条带状含铁建造的年龄·····	(244)
29. 风化壳矿产的分布规律·····	(245)

# 在前寒武纪含铁硅质建造中普查

## 富铁矿床的几个问题

前寒武纪含铁硅质建造的铁矿主要指的是我国鞍山式铁矿，即泛指含铁石英岩型铁矿，由薄条带状的硅质岩和含铁岩层的互层组成，在国外称之为苏必利尔型铁矿。此外，属于该建造的还有在优地槽条件下形成的常与大量火山岩相伴生的阿尔果马型铁矿。该类铁矿一般由薄条带状和鳞片状的角闪岩、赤铁矿和磁铁矿组成，有时矿床内还见有菱铁矿和硫化物相。前寒武纪含铁硅质建造的富铁矿床主要与前一个类型铁矿有关。

前寒武纪含铁硅质建造的铁矿是当前国外铁矿石（包括富矿石）最主要的来源。据国外最近不完全的统计，世界铁矿储量将近70%，富铁矿储量的70%以上均属于这一类型。在世界主要生产铁矿石的国家（苏联、美国、加拿大、澳大利亚、巴西、法国、印度、瑞典、委内瑞拉、利比里亚等）中，除法国和瑞典外，其它各国的铁矿石都主要或全部采自苏必利尔型铁矿。

六十年代以来，又陆续发现了许多这种类型的富铁矿床，其中著名的有澳大利亚西部的哈默斯利铁矿（矿区总储量240亿吨，品位50—69%），巴西卡拉贾斯铁矿（储量160亿吨，品位66—67%），加拿大布拉多地槽中部的富铁矿床（已探明富矿储量20亿吨以上，品位51—66%），苏联库尔斯克富铁矿储量从四十年代初的3.5多亿吨增至1970年的261亿吨（品位54—62%）。结果是使该类型富矿在世界富铁矿总储量中所占的比重有了显著增长。

与前寒武纪含铁硅质建造有关的富铁矿床主要分为以下两个类型：由于含铁硅质岩遭受表生淋滤作用而形成的风化壳型富铁矿床和变质（或热液交代）成因的富铁矿床。风化壳型富矿根据其形态可分为面型和线型两种。从世界范围来看，面型风化壳富铁矿床更为重要。有人根据线型风化壳富铁矿床与构造的关系还将线型风化壳矿床进一步划分为向斜构造的深部风化壳型矿床和产在含铁硅质岩与片岩接触部位的近接触带型矿床。变质成因的富铁矿床又可分为由区域性热动力变质作用形成的富矿和在附近侵入岩浆活动影响下形成的富矿。世界上产有大型富铁矿床的地区往往是几种类型的富铁矿床同时并存，而以某一类型富铁矿床为主，如苏联库尔斯克铁矿区以面型风化壳型富铁矿床为主，并产有线型风化壳型（雅可甫列夫）和变质成因的富铁矿床，克里沃罗格铁矿区以线型风化壳型富铁矿床为主，并产有一定数量的变质成因的富铁矿床和少量面型风化壳型富铁矿床。

在上述两大类的富铁矿床中主要可以见到三种类型的富铁矿石：

1. 致密的磁铁矿矿石和硅酸盐磁铁矿矿石；
2. 致密的磁铁矿-赤铁矿矿石，假象赤铁矿-赤铁矿矿石和多孔状假象赤铁矿矿石；



3.由松软多孔和粉末状针铁矿-赤铁矿-假象赤铁矿、针铁矿-赤铁矿和褐铁矿组成的水化矿石。

第一种类型的富矿石见于变质成因的富铁矿床中。后两种类型的富矿石产在风化壳型富铁矿床内，而且是国外含铁硅质岩建造富铁矿床的主要富矿石类型，占世界该类富矿储量的99%左右。因此，从国外现有资料来看，前寒武纪含铁硅质岩建造的富铁矿床主要是风化壳型、特别是面型风化壳型的富铁矿床。

## 在前寒武纪含铁硅质建造中寻找风化壳型富铁矿床

### 时应当开展的几方面地质研究工作

#### 一、研究含铁硅质岩建造的类型、岩相和岩性

从国外资料来看，属于化学陆源建造的含铁硅质页岩建造对形成风化壳型富矿特别有利，而在长英变粒岩和基瓦丁建造（火山硅质岩建造）中不易形成风化壳型富矿。苏联的克里沃罗格、澳大利亚的哈默斯利、巴西的米纳斯吉拉斯和印度的大型富铁矿床均属于上述有利的建造类型。在这些地区化学沉淀的含铁岩层多与陆源岩层间互产出或沿走向过渡为页岩和/或粗粒碎屑岩。此外，有时其内还见有火山岩夹层和基性岩墙的穿插。苏联地质工作者认为，这套含铁地层是在优地槽环境下沉积的。西方国家最近有人推测，有些地方的这类含铁岩石（如巴西米纳斯吉拉斯）可能是在具有强烈岩浆活动的、冒地槽和优地槽的过渡带中形成的。

从岩相来看，形成富矿的岩石多数属含氧化相铁矿物的含铁岩石，而含碳酸盐相和硅酸盐相铁矿物的含铁岩石对形成风化壳型富矿不利。

从岩性来看，国外巨大的表生富铁矿床主要分布在铁英岩型、铁燧岩型的细粒（小于0.1毫米）薄条带状的含铁硅质岩中，在大多数地区（印度、非洲、美洲、苏联）多与含低温硅酸盐（绿泥石、土状绿泥石）的碳酸盐磁铁矿硅质岩和/或赤铁矿硅质岩有关。含石英较少、石英颗粒很细的薄条带状含铁石英岩对形成表生富矿最为有利。值得注意的是石英颗粒的增大往往与岩石变质程度的增高有关。

从富矿层在含铁岩层中产出部位的岩石组成来看，以苏联为例，对面型富铁矿床来说，最大矿层出现在含铁石英岩显著多于片岩的地段（含铁石英岩占岩石总体积的80—90%），而对乌克兰的线型深部风化壳富铁矿床来说，矿体不是产在最厚的含铁层中（或它们只出现在这种含铁岩层的边部），而是分布在含铁岩层和片岩层的接触带附近，产在含铁石英岩和片岩数量相等的含铁岩组发育地段。

此外，苏联经验还表明，在巨厚的延伸超过3公里的含铁建造和岩层中找到工业矿床的可能性较大。以乌克兰地盾深部矿床为例，有富矿远景的含铁建造最小厚度为200—300米，而在多层岩组中有富矿远景的含铁石英岩的最小厚度为50米。

#### 二、研究含铁硅质岩的时代

产在含铁硅质岩中的风化壳型富铁矿床（苏联库尔斯克和克里沃罗格，巴西米纳斯吉拉斯和卡拉贾斯，澳大利亚哈默斯利，印度比哈尔和奥里萨邦的富铁矿床等）多数与

元古代（18—26亿年，特别是19—21亿年）的含铁硅质岩有关，只有少数规模较小的表生富铁矿床与太古代的含铁硅质岩有关。

### 三、研究含铁硅质岩的变质程度

从变质程度来看，所有大而富的表生赤铁矿富矿体都是在绿泥石变质相和黑云母变质相的弱变质含铁硅质岩中形成的，而在变质程度高的含铁硅质岩（角闪岩相，辉石角闪岩相和麻粒岩相）中几乎完全没有具工业价值的表生成因的赤铁矿富矿。因此，在寻找表生富矿时要特别注意查明和圈定弱变质含铁硅质岩的发育地段。

### 四、研究含铁硅质岩的构造

从产出的构造部位来看，表生风化壳型富铁矿床多产在复向斜接近轴部的地方，产在由于褶皱挤压使含铁岩层变厚的地段，受构造破碎带的控制，如苏联克里沃罗格和库尔斯克，巴西米纳斯吉拉斯，澳大利亚哈默斯利，加拿大库奈和委内瑞拉的圣伊西德罗等铁矿区的许多表生富铁矿体主要产在复向斜接近轴部的倒转或倾伏的次级向斜闭合部位的构造弱化带中，特别是其下有页岩、片岩一类的隔水层时更是如此，少数产在背斜褶皱的围斜末端。非洲一些矿床，如苏丹的阿卜吐鲁山，富矿地段多位于单斜构造中节理和断裂极为发育的构造弱化带中。此外，还有一些地区的这类线型富铁矿床产在物理力学性质不同的岩石接触带内。

### 五、开展岩相古地理、古气候、古地貌和现代地貌的研究

从形成表生富矿的古地理环境来看，为了形成具工业意义的表生富铁矿床必须在含铁硅质岩形成后有一个持续时间比较长的大陆红土型风化作用时期，而在这一时期还要具备有利于含铁硅质岩中的石英发生化学淋滤的、当地高差不大，而与邻区相对高差比较大的地貌条件和比较快的风化速度。一般认为，幅度不大的正向差异运动地区能为此创造最有利的条件（如库尔斯克）。

风化壳富铁矿的形成速度及其规模在很大程度上受气候的控制。为了形成风化壳型富铁矿床不仅需要炎热潮湿气候（充沛的雨量，较高的年平均温度 $20\sim 26^{\circ}\text{C}$ ），而且还需要雨季和旱季的互相交替。

此外，为了使所形成的富铁矿能得以保存，还必须在风化壳富铁矿形成后不久即发生沉降，使形成的风化壳富铁矿为较新的沉积物所封存。如苏联地质工作者最近认为，乌克兰地盾克里沃罗格地区之所以主要发育线型风化壳富矿，面型风化壳富铁矿只在局部地区保存，是因为在风化壳富铁矿形成后乌克兰地盾一直受剥蚀，产在线形风化壳上的面型风化壳几乎全被剥蚀掉了。

从地貌特征来看，国外大型表生富铁矿床（库尔斯克、哈默斯利、卡拉贾斯等）都产在遭受长期剥蚀的古夷平面上，如巴西卡拉贾斯铁矿的表生富铁矿体分别产在约60个海拔700—800米、高出周围长满森林的低地300—400米的高地上，而且这些高地方圆几百平方公里内的海拔高度基本上是一致的，说明它们是一个或更多的准平原的残余夷平面。因此，在寻找这类富铁矿床时必须对古剥蚀面和古夷平面给予更多的注意。此外，在表生富矿发育地段，含铁岩层表面常被侵蚀切割，凹凸不平，当用地震法测出隐

伏含铁硅质岩表面具有上述特征时，即应给予特别的注意。

巨大的表生赤铁矿富矿体的形成取决于各种成矿有利条件的合理配合，而这当中地表水与含铁石英岩接触面的大小，含铁石英岩风化淋滤的速度和时间的长短又是最重要的因素。

## 六、研究含铁硅质岩中的大型古风化壳及其形态类型、分带和形成时代

既然与含铁硅质岩建造有关的富铁矿床主要是风化壳型富铁矿床，因此，在含铁硅质岩中要寻找富矿就要寻找和研究含铁硅质岩中的大型古风化壳。从国外有关矿区来看，产有富铁矿床的风化壳多属红土型，面型风化壳富铁矿床产在含铁石英岩的顶部，形成厚度很大的具起伏不平底板的平缓矿层，而线型风化壳矿床在含铁石英岩中由向深部延伸的、走向延伸很长、且厚度很大的楔状、株状、筒状和层状矿体组成，这些矿体是在断裂带、裂隙带、挤压带、破碎带和岩层弯曲带中产生的，多沿构造破碎带和不同岩层接触带分布。无论是面型的还是线型的，风化壳富铁矿床一般都具有明显的分带，由上往下由下列几个带组成：

1. 壳型矿石带：是一由赤铁矿、水赤铁矿、假象赤铁矿碎屑和铁的氢氧化物（针铁矿、褐铁矿）基质组成的硬壳，厚从几米到十几米不等。该带矿石多为致密块状，一般认为是溶解有氢氧化铁的溶液在干旱季节顺毛细孔上升充填风化淋滤的疏松多孔状矿石的孔洞而成。在巴西、澳大利亚以干旱气候为主的某些地区，壳型矿石带往往为铁角砾岩带所代替，有的地方壳型矿石沿水平方向过渡为铁角砾岩。该带常产在崩塌带上面，而崩塌带的特点是具有滑动构造、角砾岩和淋蚀的空洞；

2. 松软多孔状、粉末状矿石带：主要由多孔隙鳞片状、粉末状赤铁矿、假象赤铁矿、水赤铁矿和少量磁铁矿及石英组成。该带是含矿风化壳的主要含矿带，由地下水长期淋滤含铁石英岩形成；

3. 假象赤铁矿石英岩带，主要表现为含铁石英岩普遍发生假象赤铁矿化，在该带上部石英常发生粉石英化，被部份溶解或带走，在该带内既可见假象赤铁矿石英岩，也可见部份富的假象赤铁矿矿石；

4. 未风化的新鲜的含铁石英岩，其内有时产有变质或交代成因的富矿体。

从苏联情况来看，当风化壳富铁矿层厚度很大（40—60米以上）时，矿层上部和近底板部份由致密矿石组成，含少量疏松矿石的透镜体，而中部则由疏松矿石（无胶结物）组成。在矿层厚度很小时则主要由致密矿石组成。

含富铁矿的风化壳通常都具有起伏不平的底板和顶面以及许多由假象赤铁矿石英岩、赤铁矿石英岩或磁铁矿石英岩所组成的变化微弱或基本上未遭受表生淋滤作用的“悬浮体”和“无矿窗”。

在风化壳富铁矿周围往往都有一个宽广的氧化含铁石英岩晕，表现为含铁石英岩发生大面积的假象赤铁矿化，因此，假象赤铁矿石英岩的出现可作为风化壳富铁矿床的普查标志。

从风化壳富铁矿床形成的时间来看，许多风化壳富铁矿床可能是由多期风化淋滤作用形成的，但从国外现有资料来看，以前寒武纪，晚泥盆世—早石炭世，白垩纪—早第三纪等风化壳形成期对形成风化壳富铁矿床较为重要，如加拿大巴芬岛上的古老风化壳富

铁矿在17.5亿年以前就已形成；苏联库尔斯克风化壳富铁矿床可能在里菲期即已开始形成，但主要是在晚泥盆世-早石炭世形成的；克里沃罗格的风化壳型富铁矿床可能从早元古代开始形成，主要是在晚泥盆世-早石炭世形成的，表生淋滤作用可能一直延续到了第三纪；澳大利亚哈默斯利铁矿在下元古代末和元古代以后到第三纪的不同时期都曾出露地表；委内瑞拉圣伊西德罗矿床至少是在第三纪以前开始形成，含铁石英岩的表生淋滤作用至今仍在继续；加拿大拉布拉多地槽的表生富铁矿床至少经历了中生代以前和中生代两次表生淋滤富集作用才形成的。

## 七、研究风化壳富铁矿形成后所发生的各种后生变化

由于风化壳富铁矿床多数形成时间比较长，有的时代还比较老，因此它们常遭受不同程度的晚期变化（压实和变质，剥蚀和再沉积，各种后生变化），其中有些变化（压实、变质和菱铁矿化等）能提高矿石的质量和品级，使其由需烧结的松散的高炉矿石变为致密的平炉矿石，因此，在寻找和研究风化壳富铁矿床时还必须研究风化壳富铁矿形成后所遭受的各种后生变化。

与含铁硅质岩建造有关的富铁矿床除表生富矿外还有原生富矿和变质富矿，但这类富铁矿床一般规模都比较小，已知的都不超过一亿吨，其总储量在前寒武纪含铁硅质岩富矿中所占比例为1%左右，研究也较少。变质富矿多产在变质程度较高的角闪石磁铁矿角闪岩、片岩和片麻岩中，产在岩石变质成角闪岩相、辉石角闪岩相并发育有镁铁交代作用和硷交代作用的地段，这时变质成因的富矿多产在褶皱的围斜闭合部位，向斜的脊线上，大褶皱两翼上的横向挤压带（如香肠构造间的岩层变薄处）和褶皱断裂变形结以及构造转弯处等。产有变质富矿的部位褶皱变形强烈，常出现有许多香肠构造，小拖曳褶皱等。此外，在含铁硅质岩为晚期侵入体所穿切时，在含铁硅质岩和侵入岩的接触带上及其附近也常形成高品位的磁铁矿富矿体，如利比亚的博米希尔矿床是产在由厚450米的铁英岩和绿片岩互层组成的东西向、向北倾伏的平缓向斜中，厚30米的富的整合致密磁铁矿矿层是从贯入铁英岩的晚期花岗岩侵入体的接触带开始顺层发育。委内瑞拉的埃耳帕奥富铁矿床是产在晚期辉长岩侵入体同铁英岩的接触带中。

## 在含铁硅质建造中寻找风化壳型富铁矿 床的一些技术方法问题

### 综合勘查方法

风化壳型富铁矿床由于规模较大当其出露地表时并不难发现，但要寻找隐伏的富铁矿床必须采用综合勘查方法，特别是综合物探方法才能有效地寻找这种富矿。国外在寻找风化壳富铁矿时所采用的物探方法包括重力、磁法、地震（折射波法和转换波法）、电阻率法和电磁法（连续波法和过渡场法）。在圈定富铁矿层时，在上述几种物探方法中重力法和地震法往往起着最突出的作用。

苏联和加拿大寻找这类富矿的实例表明，由于表生富铁矿石主要是由假象赤铁矿、镜铁矿、水赤铁矿和菱铁矿组成，上述矿物成份使矿石实际无磁性。此外，富矿往往伴



随有下伏含铁石英岩的假象赤铁矿化，因此，在采用磁法时富矿地段上的磁场强度往往显著降低，在富矿厚度很大的地段磁场强度很低，某些地方几乎接近于背景值，但富矿段的剩磁和感磁的比值却比贫矿段的大。与此同时，这些地方却有明显的重力异常。因此，富矿体常产在低缓磁异常与高重力异常同时出现的地方。以苏联为例，假象赤铁矿石英岩与磁铁石英岩密度相近，为3.3—3.7克/立方厘米。疏松的假象赤铁矿石英岩密度最小，最大密度不超过3.3克/立方厘米。

由于表生富矿多是疏松多孔的物质，因此在进行地震测量时巨厚疏松矿石发育地段地震波吸收能力增高，传播速度变小，在某些地段甚至消失。由于沿富矿层顶板和底板传播的首波的干扰和矿层吸收弹性波能力很高，富矿段上地震波的图象局部复杂化。从苏联情况来看，含铁层中弹性波传播速度变化很大，从2公里/秒到6.8公里/秒不等。含铁石英岩最典型的弹性波的传播速度为5.4—6公里/秒。构成富矿带主体的疏松的富矿石英弹性波传播速度最低，不超过3公里/秒。巨厚风化壳富矿发育地段弹性波传播速度一般都小于5公里/秒。

从电法的反应来看，由于表生富矿孔隙和充水程度高，一般电阻率较低，其中富的假象赤铁矿矿石和水赤铁矿矿石电阻最低。

国外经验还表明，当盖层岩石大致呈水平产出时，不会形成明显的有碍于对结晶基底、特别是含铁层进行物探填图的异常。但当覆盖层很厚时矿体上的剩余重力异常会明显下降，这时可用电阻率法和地震法求出覆盖层的厚度，利用岩石密度相关关系消除覆盖层的干扰。

### 点、面结合

国外普查风化壳型富铁矿时主要采用以下两种工作方法：

- 1.沿区域性剖面进行综合地质物探工作，并用钻探检查，在此基础上配合利用其它地质物探资料查明含铁硅质岩的分布地区及其岩性、岩相、构造和变质程度，编制前寒武纪岩石为较新岩层所覆盖地区的含铁硅质岩的等深线和岩性图，区域综合物探图等。然后考虑含铁硅质岩富铁矿床的成矿控制因素结合物探资料的分析圈出寻找富铁矿床的远景地段。在这些地段上进行更大比例尺的综合物探工作，编制综合物探异常图。在对富矿有利的地质物探标志一起出现的地方用钻探进行检查。

- 2.在已查明的富矿发育地段开展综合性的地质物探研究工作以及岩石矿石的物性综合研究工作，查明富矿的地质物探标志，然后再把已查明的地质物探标志应用到地质条件相似的有利地段上。在采用这种方法时，查明含矿地段和不含矿地段物理场强度的差别，含矿地段物理场强度的变化范围，特别是剩余重力异常和剩余磁力异常变化范围又是勘探的关键，如苏联库尔斯克富矿地段的剩余密度一般为0.4—1克/立方厘米，加拿大拉布拉多地槽中部富矿发育地段剩余重力值通常是0.3—1.2毫伽，剩余磁力值是0—2100 $\gamma$ 。

国外这两种工作方法常是配合使用，而且往往是先从研究已知富矿地段开始，查明适合于当地情况的富铁矿发育地段的地质物探标志，再进一步指导面上的工作。

### 加强对富矿地段地质、物探资料相关关系的研究和物探资料的推断解释

国外经验表明，采用统计方法和推断解释方法（滤波、延拓、理论曲线对比和数学

回旧曲线)对已有物探资料进行统计分析和重新解释往往能为寻找富铁矿床提供新线索,如加拿大用新的推断解释方法对拉布拉多地槽中部1948—1950到1966年的物探资料进行再推断以后,在拉布拉多地槽谢弗维尔地区发现了一个富铁矿床(储量4亿吨,品位大于50%)。他们的经验表明,应当采用滤波和能谱分析方法来区分产有富铁矿的有利地区和无矿地区,用能谱分析方法对用古典的位论方法做过解释的重力资料进行再推断解释可对原来资料做出更多的运算,重力资料经两次滤波处理后可半定量地分出够品位的富矿石的重力值。此外,当矿体向下延伸不大,其密度稍高于下伏岩石的密度时,在重力剖面图上不一定能识别出矿体,但使用二次导数法求剩余异常可解决这个问题。

值得注意的是,目前国外在一些研究程度比较高的地区采用相关关系分析方法和现代物理模拟技术进行了一些定量预测铁矿层(包括富铁矿层)大小、形状、储量和品位的尝试。加拿大的经验证明,查明以下三个相关关系对解决这个问题帮助较大:(1)矿体中可回收的铁含量与相应剩余磁场强度( $\Delta\gamma$ )的相关关系;(2)所有能获得足够资料的矿体上相应的重力值( $\Delta g$ )与矿体中铁含量的相关关系;(3)磁化率( $K$ )与剩余磁场强度以及体密度( $\delta$ )与剩余重力值( $\Delta g$ )的相关关系。他们的经验还表明,对褶皱和断裂复杂的矿体来说,条带状(倾斜厚板状)的可变模型由于变化性较大,因而可使理论模型的剩余重力值与所观测的曲线更相拟合。定量计算矿石品位的方法是,建立能查明矿石中铁和二氧化硅的百分含量与物理参数(剩余重力值、比重、磁场强度)之间相互关系的回归方程式。用剩余重力异常计算储量的最简单和最实际的方法之一是先采用按高斯定理推算出的方程式计算出致因体的全质量盈余(或亏损),然后再将剩余质量乘以矿石密度和矿石与围岩密度差的比值,即可得出总储量。加拿大采用此法预测了拉布拉多地槽瓦布希3号和斯摩尔乌德矿床的总储量,其结果比钻探探明的总储量分别低17%和23%。

### 钻孔验证和勘探风化壳型富铁矿时应注意的问题

由于风化壳型富铁矿体主要是由松软多孔细粒、鳞片状赤铁矿组成,因此当钻孔打到富矿层时矿石常被粉碎成红色粉末状物质,并使循环水变红。当富矿层较薄又缺乏岩心保护措施时富矿体常易被漏掉,即使采取了必要措施提取上来的也常是一些铁含量很高的红色粉末状物质。近年来国外为了避免在钻进时漏掉富矿体和加快勘探速度,在用钻孔寻找和勘探富铁矿床时根据已知风化壳富矿的物性特征还开展了综合物探(磁、重、地震、电法)测井工作,从在已知富矿地段所做测井结果来看,井中富矿段在钻井综合物探图上有明显的反应。

在勘探风化壳型富铁矿床时只用钻探不能保证必要的精度,必须配合以必要的坑道工程和坑道中打短进尺的坑道钻孔才能较确切地查明富矿体的位置、圈出其边界和求得较高级的储量。苏联勘探克里沃罗格富铁矿床的工作表明:根据在疏松贫矿石及产在强烈淋滤的含铁石英岩中的富矿石内钻进的钻孔资料计算矿体厚度时误差很大,常产生人为的增大,根据钻孔资料圈定的矿体上下盘接触界线同开采资料不符,平均相对误差等于75%,误差值为10米,个别达30米,甚至40米,对中等规模的层状、柱状和透镜状矿体来说,用钻孔资料不能可靠地确定矿体界线,在采用最大钻孔密度时界线的圈定仍超过了允许误差,但能查明矿体的面积。在这种情况下只有用带短进尺钻孔的坑道才能查明

矿体界线；在多数情况下实际储量小于按钻探资料计算的储量，负误差占优势，主要原因是：矿体形态复杂；矿体内有夹石，详细勘探的钻孔网不是经常能查明这些夹石；没有进行系统的井斜测量以及在钻进疏松贫矿时系统地增大了计算厚度等。

### 国外勘查风化壳型富铁矿时所使用的仪器

一般认为，在远景地段进行大比例尺的物探工作时，需要使用精度较高的重力仪和磁力仪，但从国外大规模勘查这类富矿的时间来看，（美国是在四十年代，苏联1956年以前风化壳型富铁矿勘查方法已基本定型，加拿大主要是在五十年代初和六十年代中期以后开展这项工作），基本上采用的是四十年代和五十年代的物探仪器，而且据不全面的了解，苏联这方面的地震工作主要是用简单地震仪做的。

应当指出的是，由于资本主义国家的勘探活动是以利润原则为转移的，再加上同一地区的地质和物探工作往往由几个勘探公司进行，勘查工作往往时断时续，缺乏严密的计划，取得的地质物探资料往往缺乏系统性和完整性，而且常常出现地质和物探工作的相互脱节现象，特别是在区域范围内更是如此。这些弊病在我国只要充分发挥社会主义制度的优越性则是完全可以避免的。

## 对在我国前寒武纪含铁硅质建造中寻找 富铁矿床的几点不成熟的看法

前寒武纪含铁硅质建造在我国，特别是在北方中朝准地台上有着广泛的分布，解放以来随着我国地质勘探工作的广泛开展已经在辽宁、河北、山西、山东、河南、安徽、内蒙、吉林、江西等十六个省区的含铁硅质岩发育区发现了一批中型到大型的含铁硅质岩贫铁矿床。与此同时，在勘探上述矿床的过程中在辽宁鞍山地区、冀东、晋北、皖西、豫中、赣中等有关矿床上还发现了数量较少的变质成因和/或表生淋滤成因的富矿和在钻孔中见到了一些表生富矿的显示（铁含量较高的粉末状赤铁矿）。此外，产有上述矿床的含铁硅质岩与不整合覆于其上的地层之间常存在比较长的沉积间断（如晋北时代为20亿年的含铁石英岩为寒武系地层不整合覆盖，冀东地区24.5亿年的元古代的含铁石英岩与不整合覆于其上的震旦系地层之间存在有6—8亿年以上的沉积间断），而且上述矿区的含铁硅质岩在许多地方都延伸到了大片沉积覆盖层之下。此外，近年来在用钻孔检查航磁异常时也发现了多处属于前寒武纪含铁硅质岩建造的贫矿和富矿。因此，在我国存在着在含铁硅质岩建造中找到富铁矿床的良好前景。

有鉴于上述情况，并考虑到国外在含铁硅质岩建造中风化壳型富铁矿床，特别是面型风化壳型富铁矿床占有突出重要的地位，今后在我国含铁硅质岩发育地区应对寻找风化壳型，特别是面型风化壳型富铁矿床给予更多的注意。与此同时，也应在含铁硅质岩变质程度较高、发育有镁铁交代作用和硷交代作用的地段以及含铁硅质岩为侵入体所穿切的地方注意寻找变质成因和热液交代成因的富矿。

从寻找风化壳型富铁矿的地区来看，应对已见有表生富矿或富矿显示的地段，大片假象赤铁矿化发育地段，含铁硅质岩与较年轻岩层之间的古剥蚀面以及鞍山、冀东、晋北、皖西等地含铁硅质岩为古生代和中新生代沉积层所覆盖的地区给予更多的注意，应

首先在上述地区开展富铁矿床的综合普查工作。

在具体作法上,应首先在已知富矿地段开展综合地质物探和矿石物性的研究工作,查明在我国具体地质条件下富矿地段的地质物探标志。与此同时,应对国内含铁硅质岩及有关铁矿地质资料做一次全面概括的研究和分析,在此基础上选出一些重点有利地区,在这些地区内采用沿区域性剖面开展综合地质物探工作的方法进行一些基础地质和区域物理场的研究,并在此基础上编制为寻找风化壳型富铁矿床所必需的基础图件(如含铁硅质岩的等深线图和岩性图,含铁硅质岩发育区的岩相古地理图和古风化壳分布图等),然后参考国内外已知的富矿普查标志圈出最有远景的地段,在这些地段上再采用综合方法开展大比例尺的地质物探普查。

必须采用综合勘查方法,特别是综合物探方法,改变在找铁的物探工作中只采用磁法的局面。鉴于在寻找风化壳型富铁矿工作中重力法和地震法起着突出的作用,因此,在重点有利地段应大力开展重力和地震工作,同时辅以磁法和电法,并注意使地质物探工作自始至终密切地配合。

在含铁硅质岩中寻找富铁矿的工作是一项综合性的研究工作,需要多方面的和多兵种的协作和配合,因此应成立必要的组织协调机构,充分发扬共产主义大协作精神,定期进行资料的全面分析、研究和总结,及时开展情报交流活动。

## 前寒武纪含铁建造的类型

前寒武纪含铁石英岩，形成的历史很长，约25亿年，在此期间，含有含铁石英岩的建造和含铁石英岩本身都有变化。但是，这一变化过程却研究得很少，以致建造的分类也没搞出来。虽然文献里有近16种标示前寒武纪铁矿石的术语，可是它们之间有什么联系还根本不清楚。前寒武纪铁矿石都有某些共同的特点，反复出现在不同的大陆和不同时代的建造中，但是它们又不完全一样。关于含铁石英岩的成因，人们已经争论了近一个世纪，而呼吁在刊物中整顿术语，也差不多有一百年了。可是每个研究人员仍然采用那些经多年实践确定下来的术语。有趣的是，许多论述含铁石英岩的著作都说含铁石英岩既和苏必利尔湖的铁矿石相似，又和巴西的铁矿石相似，虽然这两个地区的含铁沉积完全不同。

下面我们举几个例子，以说明前寒武系铁矿形成的各种条件：

1. 太古界的铁矿和元古界的许多铁矿都与火山岩有密切关系；它们与凝灰岩和喷出岩成互层，并沿走向过渡为凝灰岩和喷出岩（拉布拉多地槽，安大略贡弗林特湖区等）。这些空间关系说明，前寒武纪铁矿的形成过程与火山活动有关。但是，在元古界也有一些铁矿与火山活动没有直接关系（美国明尼苏达米萨比矿床等）。

2. 那些与铁矿共生并能反映成矿期火山作用性质的火山岩是多种多样的。瑞典北部以酸性为主的火山作用是与基鲁纳型富铁矿同时形成的，而强烈的基性和中性的火山作用多半与前寒武纪含铁石英岩同时形成，也就是说，这类火山作用更有利于形成含铁石英岩。

3. 含矿沉积岩往往是完全不同的。巴西巨厚的石灰岩和白云岩系说明铁具有不同于其它地区的沉积条件，即在其它地区完全没有灰岩的情况下化学沉积物、火山沉积物和陆源沉积物是频繁交替出现的。

4. 最后，矿石本身或基本上是单矿物，成分很纯，或是各种铁锰矿石，或是富含各种微量元素（U、Ti、Au、P等）。

如果有相同的含矿夹层，那么和它交替出现的不含矿或含矿少的夹层往往极为不一。含有铁的氧化物和碳酸盐的含矿夹层可与陆源石英质岩石、石英-长石物质、硅质岩（燧石）、白云岩或石灰岩、铁白云岩或菱铁矿层、磷灰石、磷质-石墨物质，凝灰岩、凝灰质片岩（火山灰）和喷出岩成互层。

所有上述情况清楚表明，成矿环境是不同的，这不仅反映在火山活动的强度上，而且也反映在岩浆的成分上和共生的岩石上。

前寒武系不仅仅发育有含铁石英岩。赤铁矿-磁铁矿的块状矿石（基鲁纳型）也是古老的矿石。下元古界有胶状针铁矿-赤铁矿矿石；上元古界有鲕状铁矿石，其外表很象奥陶系和渐新统的鲕状铁矿石。但是，前寒武纪铁矿石的主要类型是含铁石英岩。

文献里对含铁石英岩说法不一，不但涉及与矿石生成条件有关的原生矿物的成分，而



且也涉及它们的变质程度。

在苏联获得广泛应用的建造分析也曾被许多地质人员用于进行含铁石英岩的研究和分类。

尽管在划分含铁建造的准则方面有一些分歧意见，但这种建造分析方法却是最合理最有效的。外国的许多科学家和苏联的某些科学家，只是对矿层或矿物成分近似的一类矿床才采用“建造”这个术语。由此可见，之所以把前寒武系的所有含铁石英岩都错误地划为一个矿石类型，原因也就在这里。

本文是根据地质建造学说的创始人 H.C. 沙茨基和 H.П. 赫拉斯科失的定义来划分建造的。

“地质建造，这是天然的一套岩石及其伴生的矿物，它们的各个部分（岩系、岩层和分层），不论在空间上还是在时代上，彼此有密切的共生关系。”（沙茨基，1965；赫拉斯科夫，1967）

H.П. 赫拉斯科失强调说，作为建造分类的基础，应该是这种共生关系，而不是成因关系，因为组成建造的岩石，它们的成因往往是不同的，或者说常常是有争议的。

由于岩石及其有关的铁矿石的共生组合在不同的地区总是有规律的反复出现，因此可以把那些相似的具体的前寒武纪含铁建造统统划为一个“建造类型”。

本文将含铁矿的前寒武纪建造分为 7 个类型，即基瓦丁型、基鲁纳型、长英变粒岩型、特米斯卡明型、铁英岩型、铁燧岩型和鲕状型（见表）。表中建造类型名称的下面，用括弧注出了根据主要的共生岩石命名的具体建造的一般名称，基瓦丁型统称火山硅质岩建造；基鲁纳型——斑状长英变粒岩建造；长英变粒岩型——凝灰质片岩建造；特米斯卡明型——钙质硅质岩建造；铁英岩型——白云质硅质岩建造，等等。

如果进一步研究，也许还能划分出一些新的建造类型和新的具体建造，以及目前见于中元古界（ $Pt_2$ ）和上元古界（ $Pt_3$ ）的那些过渡类型。

在用类比法研究含铁建造时，主要注意到了成分最近似于原生的那些变质最浅的沉积。但是，在多数情况下，变质颇厉害的前寒武纪岩石和矿石都保存有原生沉积特征痕迹，如基瓦丁群的枕状熔岩或拉布拉多半岛和苏必利尔湖区的原生的、有层理的、贫铁的硅酸盐-碳酸盐类铁燧岩和鲕状岩层。

## 基瓦丁型（火山硅质岩建造）

火山硅质岩建造是 H.C. 沙茨基（1965）划分的。与里菲期后相应的建造系列，H.C. 沙茨基命名为“绿岩-硅质岩”系列。他在前寒武系中分出了与“绿岩-硅质岩”系列同源的“碧玉铁质岩”建造系列。该建造系列的典型岩石是在前寒武纪早期与基性和中性火山岩有密切关系的含铁石英岩。在研究卡尔萨克派复向斜的含铁石英岩时，M. C. 马尔科夫（1959）从“碧玉铁质岩”系列中划分出基瓦丁型建造和克里沃罗格型建造。前者是在靠近火山活动的中心形成的；后者是在远离火山活动的中心处形成的。

H.П. 谢苗年科（1955, 1959）在论述乌克兰的火山硅质岩建造时指出，前寒武纪早期含铁石英岩的沉积与火山活动有直接关系。这种火山活动是 Fe 和  $SiO_2$  的来源。

前寒武纪含铁建造的类型

建造特点	基瓦丁型 (火山硅质岩建造)	基鲁纳型 (斑状长英变粒岩建造)	长英变粒岩型 (蒙灰质片岩建造)	特斯卡明型 (钙质硅质岩建造)	铁英岩型 (白云质硅质岩建造)	铁燧岩型 (硅质页岩建造)	扁状型
地层位置	Ar	Ar和Pt <sub>1</sub>	Ar或Pt <sub>1</sub>	Ar, 或Pt <sub>1</sub>	Pt <sub>1</sub> 和Pt <sub>2</sub>	Pt <sub>1</sub> 和Pt <sub>2</sub>	Pt <sub>2</sub>
绝对年龄 (亿年)	25—35	19.5—26; 30 = 科拉半岛	18—20 ± 1 = 瑞典; 27 = 卡累利阿	20—25	19.5—23 = 南非; 11—13 = 巴西; 19— 21 = 印度; 16.3—17 = 澳大利亚	18—16	6.3—17 = 北美; 7.7—11.5 = 南非
构造位置	由地壳的“可塑” 状态向地槽系统过渡; 初始阶段	复杂的地槽系统, 夹有初生的中间地块	同左	大断裂附近同时生 成的狭长的拗陷谷; 长达150公里, 宽1—3 公里	巨大的拗陷, 伏地 槽, 冒地槽	线状拗陷; 长达3500 公里, 宽300公里	向地壳的稳定 “刚性”状态过渡, 但还不是地台
火山岩	主要为基性辉绿 岩, 玄武岩; 其次有 安山岩、角斑岩、流 纹岩、粗面岩; 大量 辉灰岩、辉绿凝灰岩	主要为酸性碱性火 山岩; 斑岩、正长斑 岩、石英斑岩、石英 角斑岩; 长英变粒岩	主要为酸性碱性 火山岩; 蒙灰长英 变粒岩多于熔岩	基性火山岩, 辉绿 岩, 玄武岩; 许多火 山碎屑岩, 集块岩; 硅质多的黄铁矿化凝 灰岩	铁英岩带或同一层 位的相邻相带中的基 性火山岩	具有起伏节理的不 连续的基性火山岩体	相邻地带的基性火 山岩
火山活动的 规模, 和 铁矿的关系	强烈的火山作用, 多期火山活动, 火山 停息时成矿	强烈的、连续的、 长期的火山作用; 铁 矿和火山岩有直接的 密切关系	中等强度, 持续 时间短; 喷气孔; 铁矿与火山岩的关 系不一	强烈的火山作用; 与铁矿有直接的密切 关系	火山作用强烈程度 不一; 火山岩与铁矿 的关系不一	火山作用用断断续 续; 铁矿不总是与火 山岩有直接关系	与火山岩没有直接 关系
沉积岩	很少, 碧玉、硅质 片岩、碳酸盐片岩、 绿泥石片岩、硬质黄 铁矿质片岩, 夹有大 理岩、硬砂岩、角砾 岩	很少; 碧玉、硅质 片岩、黄铁矿质片 岩、石墨片岩和其他 片岩, 少量灰岩夹层	比斑状长英变粒 岩建造中的多; 各 种片岩、泥质板 岩、千枚岩、少量 灰岩	相当多, 碧玉、片 岩、蒙灰岩和白云 岩, 夹有硅质、硬质 和黄铁矿; 硬砂岩、 细砾石、砾岩	多, 巨厚的白云岩 和灰岩岩系、碧玉、 各种硅质岩、千枚 岩、滑石片岩和其他 片岩、硬砂岩、含锰 矿石的砾状灰岩	多, 陆源岩, 但没 有粗的碎屑, 硬砂 岩、粉砂岩、碧玉、 绿泥石—菱铁矿—碳 质片岩和黄铁矿质片 岩	多, 碧玉、暗色页 岩、石英岩、斜层理 的砂岩, 含有绿泥 石、菱铁矿和赤铁矿 胶结物

续表

建造特点和共生岩石	基瓦丁型 (火山硅质岩建造)	基鲁纳型 (斑状长英变粒岩建造)	长英变粒岩型 (凝灰质片岩建造)	特米斯卡明型 (钙质硅质岩建造)	铁英岩型 (白云质硅质岩建造)	铁燧岩型 (硅质页岩建造)	铁状型
建造厚度 (公里)	7—12.5	约等 5	2.5—3	几公里	3—8	1 (拉布拉多地槽) —10 (苏必利尔湖区 局部地方)	2—3
矿石类型 和矿体形状	由典型层状矿石组成的不连续的、透镜状的、有时是鳞片状的多层矿体，夹有熔岩和凝灰岩	有连续的、均匀的含硅质少的块状高品位矿石；下伏和上覆有火山岩	典型的层状含铁矿石岩，往往是贫矿，有时向基鲁纳型块状矿石过渡	连续的单矿层；矿石呈块状和层状、丘状和胶状，局部与火山灰成互层；豆石出现	大量巨厚的、延伸长的富的含铁矿石岩 = 铁英岩与白云岩、碧玉和凝灰岩	典型的含铁矿石岩，夹有多层的块状矿石、豆石，以及带铁质壳的颗粒和珠粒	典型的块状矿石，有非块状菱铁矿层（延伸 100—500 公里）；有一些厚度不大的矿层（6—10 米）
矿石的矿物成分	磁铁矿、赤铁矿、铁的原生氧化物、碳酸盐和硅酸盐，夹有硅质、磷质和黄铁矿	主要为磁铁矿、赤铁矿和铁的氧化物，其次是磷灰石、铁的硅酸盐、碳酸盐和硫化物	磁铁矿、赤铁矿、假象赤铁矿、磷灰石；其次有铁的硅酸盐、碳酸盐和硫化物，二氯化硅、相邻的小型锰矿床	针铁矿、赤铁矿，无磁铁矿，硅质分布不均匀，形状不一，铁多，2% 锰，三水粗土矿、高岭石	富的铁锰矿石、铁和锰的原生氧化物多，碳酸盐和硅酸盐少；有单独的锰矿床	菱铁矿、赤铁矿、磁铁矿、土状硅铁矿、绿泥石、水硅铁石、黑硬绿泥石与石英和硅质岩类(凝石)成互层；有含黄铁矿的片岩	绿泥石-菱铁矿和赤铁矿胶结物中有绿泥石-赤铁矿簇状颗粒；有大量蛋白石和玉髓；硅化作用强烈
典型的分布地区	加拿大、美国、非州、南乌拉尔、哈萨克斯坦、库尔斯克磁异常的奥博扬群和米哈依洛夫群、乌克兰地盾的变基性岩系	瑞典北部、科拉半岛	瑞典中部、科拉半岛、卡累利阿	加拿大安大略的斯提普罗克	巴西、印度、南非、南澳，等等	苏必利尔湖区、拉布拉多半岛	北澳、南非

乌克兰地块变基性岩系的含铁石英岩以及库尔斯克磁异常的奥博扬群和米哈依洛夫群<sup>\*</sup>，它们的生成条件和卡尔萨克派复向斜的基瓦丁型建造是相同的。

基瓦丁型建造的命名来自加拿大的基瓦丁群。

G. A. 格罗斯在研究世界铁矿的分类时，把与优地槽的火山岩有关的含铁石英岩的最古老类型称为阿耳果马型。在加拿大地盾的北部和苏必利尔湖区，该类型矿石与变质程度不同的火山岩有关。

值得注意的是，从早太古代起到早元古代止，在许多国家形成了相似的含有含铁石英岩的火山建造。在乌克兰地块和库尔斯克磁异常区，在哈萨克斯坦(卡尔萨克派矿床)、乌拉尔南部(塔腊塔什组)，印度(迈索尔地区等)，澳大利亚西部(皮耳巴腊和奥拉里地区)，芬兰和非洲都发育有这类火山建造，而作为基瓦丁型建造的典型例子，则是加拿大的米契皮科田地区和美国的佛米利恩地区。

各国的基瓦丁型建造都是在地壳地质发育的早期阶段形成的。从构造上来看，这一时期相当于一个过渡时期，即由地壳原有的“可塑”状态过渡为比较稳定的地槽系统或地槽洼地。

一些作者认为加拿大太古界的主要特点是，平缓构造、穹窿和变形虫状褶皱占有优势地位。这一时期，只是在巨大的断裂中有线状构造。

上述各个地区的基瓦丁型建造由巨厚的变质程度不同的基性和中性火山岩(玄武岩、辉绿岩、安山岩及其凝灰岩和集块岩)组成。流纹岩、粗面岩以及沉积岩(碧玉、硅质页岩、硬砂岩和大理岩)分布不广。此外，还有规模不等的基性和超基性侵入体。

在加拿大和美国，基瓦丁型建造的沉积由于局部发生绿岩化而变为角闪岩和角闪绿泥石片岩。但往往见有较弱的变质作用以及保存极好的枕状、杏仁状和球状构造。岩石的层理和含铁石英岩的原生矿物成分保存完好。硬砂岩的存在表明，与火山岩堆积的同时，局部地方的火山岩受到了冲刷，形成了火山陆源沉积。

A. M. 古德温(1962)详细地阐述了加拿大米契皮科田地区岩石和矿石的生成条件。该建造的主要共生岩石是厚度达8公里的火山岩，即具有枕状构造的辉绿岩、角斑岩和安山岩；酸性喷出岩少，但酸性凝灰岩多。火山活动造成了起伏不平的海底地形(火山锥、洼地)，由此导致岩相迅速交替变化，这类似于含兰迪尔型铁矿石的泥盆系的形成条件。火山作用的性质也很相似，如有强烈的爆发性(许多集块凝灰岩、火山弹和角砾岩)，大量的气态物质和长期活动的喷气孔。

火山岩，特别是凝灰岩，富含Fe、Mn和CaCO<sub>3</sub>，但也含有少量的碱金属(古德温，1962)。常见的还有辉绿凝灰岩。

沉积岩少。绿色片岩的某些夹层为变质的凝灰岩。见有碧玉、硅质片岩、绿泥石片岩、碳酸盐片岩和硬砂岩。火山岩和沉积岩相互过渡，二者都有花岗岩侵入体侵入。A. M. 古德温(1962)推测加拿大米契皮科田地区可能经历了几个阶段的火山活动，而火山活动的每一休止阶段，形成沿走向达几千米的含铁的化学沉积。是火山气和火山溶液将Fe、S、SiO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>的化合物带进了海洋，在海底迅速地堆积起大量的硅质-碳酸盐物质。

<sup>\*</sup> 库尔斯克磁异常区的库尔斯克群和乌克兰地块克里沃罗格的含铁石英岩不属于基瓦丁建造。