



东北工学院地质测量教研室 编译

国外风化淋滤型富铁矿床

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书内容介绍了国外有关风化淋滤型富铁矿床的基本理论,即风化淋滤型富铁矿床的地质特征、形成过程、赋存条件、找矿方向、成因等问题,并列举了国外几个主要风化淋滤型富铁矿床的实例。

本书可供从事地质勘探工作的同志参考,也可供科研和高等院校师生参考。

国外风化淋滤型富铁矿床

东北工学院地质测量教研室 编译

*

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 10 1/2 插页 1 字数 277 千字

1978年1月第一版 1978年1月第一次印刷

印数 00,001~2,950 册

统一书号: 15062·3312 定价(科三) 1.05 元

前 言

在毛主席无产阶级革命路线指引下，冶金地质战线形势大好。为适应冶金工业迅速发展，配合大打矿山之仗的需要，我们遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，编译了《国外风化淋滤型富铁矿床》一书，供广大地质勘探工作者参考。

高炉使用“精料”是发展我国炼铁生产的重要措施之一。实践证明，高炉炉料含铁品位每提高1%，焦比可降低约2%，生铁产量可提高约3%。因此，必须大力加强富铁矿资源的找矿勘探工作。从国外的资料来看，风化淋滤型富铁矿已知储量达1248亿吨，占世界富铁矿总储量的70%以上。这种矿石含铁量高、杂质少、储量大，均属优质的高炉富矿和平炉富矿。我国幅员广阔，资源丰富。不少地区具备形成风化淋滤型富铁矿床的有利地质条件，仅以北方为例，各省广泛发育着“鞍山式铁矿”。在毛主席无产阶级革命路线指引下，我们坚信，地质战线广大职工以毛主席的哲学思想为武器，开展工业学大庆运动，大打矿山之仗，在我国寻找这种类型的富矿，是大有希望的。

本书在编写过程中得到有关地质单位的大力支持和提供必要的资料，为此，我们表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，加之我们的水平有限，书中可能存在不少缺点和错误，敬请广大读者批评指正。

东北工学院地质测量教研室

1976年4月

目 录

前 言

第一章	风化淋滤型富铁矿床的地质特征	1
第一节	风化淋滤型富铁矿的矿床类型	1
第二节	风化淋滤型富铁矿床形成的地球化学因素	10
第三节	风化淋滤型富铁矿床形成的自然地理条件	42
第二章	风化淋滤型富铁矿床的形成过程和赋存条件	55
第一节	风化淋滤型富铁矿床的形成过程	55
第二节	风化淋滤型富铁矿床的地质构造控制	75
第三章	风化淋滤型富铁矿床的找矿方向和成因问题	103
第一节	矿源层	103
第二节	风化壳	119
第三节	成因问题	133
第四章	国外前寒武纪富铁矿床 (以风化淋滤型为主)	
	实例简介	149
第一节	巴西米纳斯吉拉斯富铁矿床	149
第二节	巴西卡腊贾斯富铁矿床	183
第三节	利比里亚地盾和圭亚那地盾的铁英岩铁矿	191
第四节	美国明尼苏达州铁矿床	218
第五节	加拿大拉布拉多地槽铁矿区	243
第六节	加拿大巴芬岛富铁矿床	246
第七节	澳大利亚前寒武纪铁矿床	252
第八节	印度比哈尔、奥里萨富铁矿床	269
第九节	苏联克里沃罗格铁矿区铁矿地质	280
第十节	苏联库尔斯克磁异常铁矿区	297
第十一节	南非德兰士瓦系铁矿	308

第一章 风化淋滤型富铁矿床的地质特征

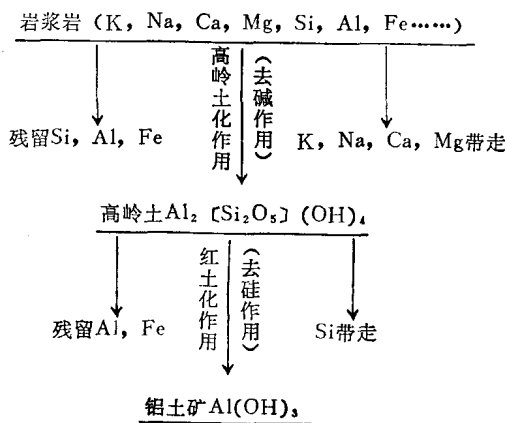
风化淋滤型富铁矿床一般是指前寒武纪含铁硅建造（即含铁石英岩、含铁碧玉岩等建造）中的贫铁矿石，遭受到表生氧化和风化淋滤作用，形成氧化富铁矿石的过程。这个过程概括起来包括含铁石英岩中磁铁矿的假象赤铁矿化作用、二氧化硅的淋滤作用、含铁硅酸盐矿物的水合作用和水解作用等。氧化富铁矿石可以是就地残积的未变风化壳型富矿，也可以是氧化铁发生后期改造或局部迁移的再沉积富矿，还可以是赤铁矿层受到剥蚀破坏而在低地或坡地上堆积的“铁角砾岩”坡积富矿等等。在这些富铁矿床中以残积的风化淋滤型富矿的规模最大，工业价值最高，世界著名的前寒武纪含铁石英岩中的表生氧化富矿几乎均属这种类型，其矿床规模从储量来看可达数亿吨、数十亿吨，甚至数百亿吨，矿石中铁的品位可达50%、60%，甚至达到69%。目前已知风化淋滤型富铁矿石的世界总储量达1248亿吨，占世界富铁矿总储量的70%以上，占前寒武纪含铁石英岩中富铁矿储量的99%左右。

第一节 风化淋滤型富铁矿的矿床类型

风化淋滤矿床属于大陆相地质建造的一部分，是由于大气（包括降水）和生物作用于原始岩石（或基岩），将其中有用组分集中起来留在原地，其余组分被地下水溶解排泄出去。矿床中各种物质主要由原始岩石的风化产物所组成，并且向深处基岩氧化程度变浅，甚至未遭受任何变化，仍然保持新鲜状态，风化淋滤矿石盖在基岩上面成一薄壳，故对这种矿床常常叫做风化壳型矿床。

风化产物的种类和特征从根本上来说是由原始岩石的组成和引起风化作用的条件所决定的，但是原始岩石的组成是基本的，

属于第一位的东西。“唯物辩证法认为外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用。”这里所说的原岩的组成就是内因，就是变化的根据，而影响这个变化（例如风化作用）的大气因素、气候因素等等是外因，是条件。例如，蛇纹石化超基性岩体遭受红土化作用可以生成风化壳型镍、钴矿床，而酸性岩或某些变质岩遭受同样的作用则生成风化壳型铝土矿床；在湿、热气候条件下由超基性岩风化而成的铁矿床常含有锰、钴、镍、铬等金属，被称为天然合金矿石，而在同样气候条件下由含铁石英岩风化而成的富铁矿石则具有品位高、杂质少、易冶炼的特点。原岩的物质组成是决定风化产物的第一位的东西，并不意味气候等外因条件是可有可无的，是无足轻重的，没有适宜的气候、地貌、水文等外部条件，风化淋滤矿床也是不可能生成的。另一方面，在不同的气候条件下组成相同的原始岩石可以形成完全不一样的风化产物，例如，某些岩浆岩或变质岩在温带气候条件下可以生成高岭土风化壳，而在热带气候条件下则生成铝土矿风化壳，这反映出原始岩石中二氧化硅、三氧化二铝等组分在不同气候条件下具有不同的变化特点和迁移途径，而造成全然不同的组合关系，但是万变不离其宗，在任何条件下的风化产物总不可能超出基岩物质的范围，仍然受基岩组成的制约，这个演化过程可以示意地表示如下：



高岭土或铝土矿的物质组成，除部分或大部分氢、氧来自大气（包括降水）外，其它金属元素均来自原岩，只不过残留下来的物质和淋滤流失的组分有所不同罢了，而这个不同点则是由不同的自然地理环境所决定的。

根据风化壳的产出状态和形状，可以分为面型风化壳富铁矿床和线型风化壳富铁矿床两种，其中面型风化壳更为重要。从成因来看两种风化壳类型是完全一样的，面型风化壳是呈斗蓬状覆盖在未风化的基岩之上，风化壳的底部形态复杂，并且逐步过

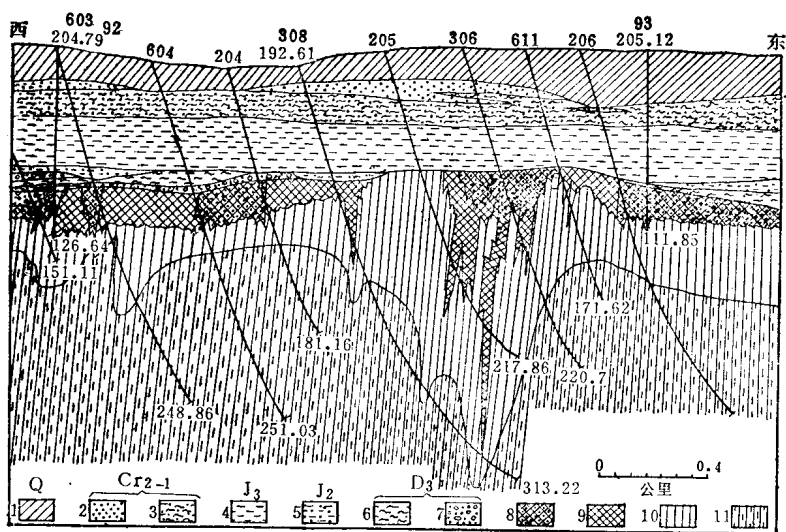


图 1 米哈依洛夫矿床维列捷宁矿段32线地质剖面图

- 1—亚粘土；2—砂；3—砂质粘土；4—粘土；5—含砂粘土；6—粘土和砂；7—砾状-角砾状沉积矿石；8—残积的疏松的赤铁矿矿石；9—残积的致密的赤铁矿矿石；10—氧化的含铁石英岩；11—新鲜的（未氧化的）含铁石英岩

渡到新鲜的岩石(图1)，从平面上看面型风化壳具有弯弯曲曲的轮廓，其中常常可以看到新鲜岩石或半风化岩石出露的“天窗”

(图2)。单个矿体的面积变化很大，小的仅几十平方米或几百平方米，大的可达几千平方米甚至几万平方米，一个矿段或一个

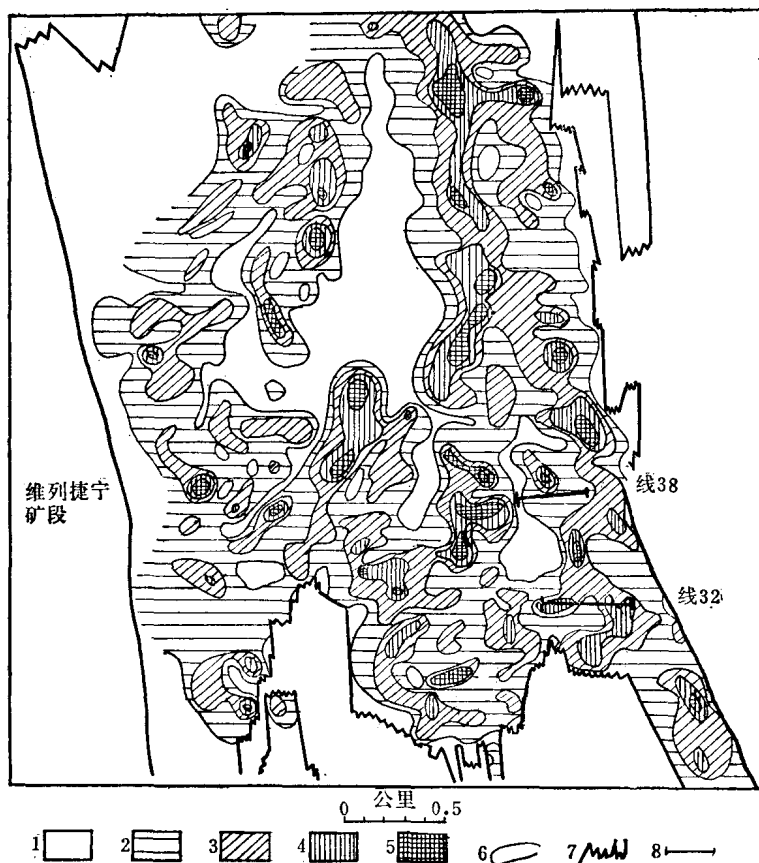


图2 米哈依洛夫矿床维列捷宁矿段在含铁石英岩上面发育的残积富铁铁矿石厚度变化平面示意图

1—无矿地带；2—厚度<10米；3—厚度由10米到20米；4—厚度由20米到30米；5—厚度大于30米；6—残积铁矿石的等厚度线；7—含铁石英岩的轮廓；8—剖面线

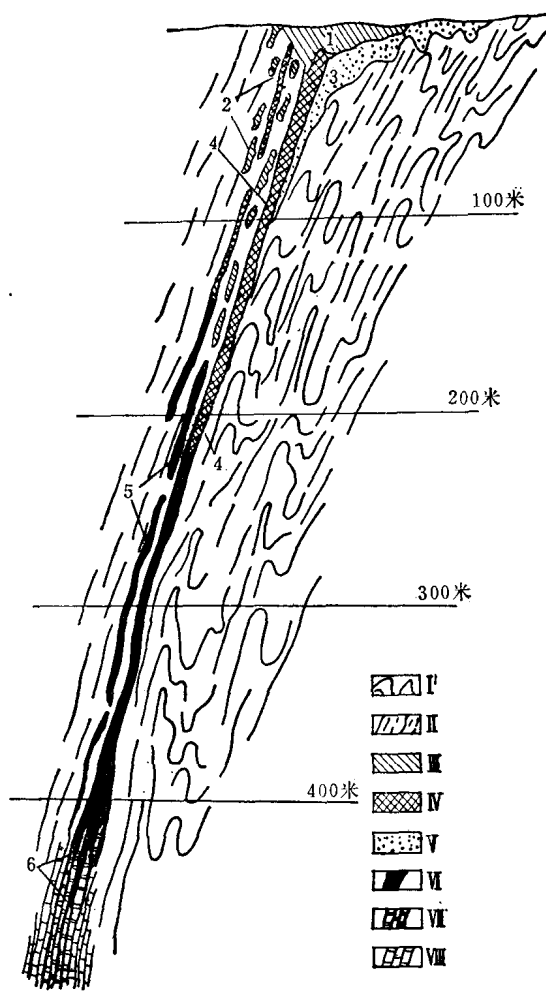


图 3 产在含铁建造上部接触带的线型风化壳富铁矿体示意图

I—中组合铁石英岩；II—上组片岩；III—褐铁矿石；IV—致密假象赤铁矿矿石；V—疏松假象赤铁矿矿石；VI—磁铁铁矿石；VII—富含碳酸盐的磁铁铁矿石；VIII—碳酸盐化带。示意图中数字：1—褐铁矿帽型矿化；2—淋滤型褐铁矿矿化；3—残余的和淋滤残余的假象赤铁矿矿化；4—原生沉积变质遭受后期氧化的矿石；5—同上，未遭受后期氧化的矿石；6—同上，在碳酸交代作用影响下生成的矿石

矿床的范围就更大了，例如，图2所列举的苏联库尔斯克磁异常区米哈依洛夫矿床维列捷宁矿段南北长约5~6公里，东西宽达2.5~3公里，面积大约1500万平方米（或15平方公里）左右。矿体的厚度变化也比较大，由几十厘米、几米到几十米，维列捷宁矿段的矿体厚度最高可达60~70米，库尔斯克盆地有的矿体的平均厚度甚至达到130米。

线型风化壳是沿着构造虚弱带或不同岩石的接触带产出，往往是面型风化壳的下延部分（图3），这个剖面图为克里沃罗格盆地因古列茨型富矿体顺沿克里沃罗格群中组含铁石英岩和上组片岩的接触带产出的线型风化壳，其中经过后期压实作用的风化淋滤型假象赤铁矿矿石向下延伸可达200米以上（图3中4），向上明显与面型风化壳（图3中1）相连，向下则与未氧化的磁铁矿石呈渐变过渡关系（图3中5）。一般线型风化壳向深处延伸比面型风化壳大得多，可达数百米甚至上千米，在克里沃罗格盆地根据800米深的坑道和钻孔在1500~2400米深处揭露的现象，认为氧化作用可能超过2400米，甚至达到4000米。

根据风化壳的后期变化情况，可以分为保持原来风化状态的未变风化壳和遭受迁移变化的再沉积风化壳或后期改造风化壳两种。前者常常见于较新地质时期，尤其是第四纪或现在仍然进行的现代风化壳，后者则常常是较老地质时期（前第三纪），尤其是前寒武纪的古老风化壳。

风化壳常常可以根据残积层中风化产物的成熟程度而划分出若干带，对含铁石英岩来说表示风化成熟程度的标志主要是：1）磁铁矿的假象赤铁矿化的程度；2）二氧化硅（石英）淋滤流失的程度；3）岩石破碎和松散的程度。根据这些标志可以将含铁石英岩的风化壳剖面分为以下几带（自上而下）为：

- V——疏松的无石英铁矿石带；
- IV——疏松的含石英残积带；
- Ⅲ——氧化的含铁石英岩带；
- Ⅱ——半氧化的含铁石英岩带；

I——新鲜的和较新鲜的含铁石英岩带。

各个带中矿物组成、岩石结构构造、岩石物理机械性质等均相应地发生变化。含铁石英岩除磁铁矿和赤铁矿可以保持自己的形态一直到风化最终阶段外，其余矿物或者被溶解流失（如石英、白云石等）或者被分解改造（如各种硅酸盐矿物），所以岩石结构构造的变化主要取决于这些非金属矿物的性质及其变化。随着风化过程的加剧，石英淋失逐渐加多，岩石就由原来的致密相嵌状结构变为疏松多孔状构造，当在角闪石和黑云母等硅酸盐所在的地方出现了粘土矿物或隐晶质褐铁矿，就由原来的纤维状结构变为泥质结构，含铁石英岩最具特征的条带或条纹构造也逐渐趋于消失。由于某些矿物的淋失而造成的多孔矿石中保留着主要铁矿物，所以比重有所增加，但由于矿物之间的内部联系被破坏，矿石的坚固性降低了，甚至大大地降低了岩石的承载能力而造成塌陷现象。

表 1 含铁石英岩风化过程中硅酸盐矿物的演变

带 I	带 II	带 III	带 IV	带 V
碱性角闪石，镁铁闪石，阳起石	残余矿物 + 褐铁矿 + 鲕绿泥石	褐铁矿 + 鲕绿泥石	褐铁矿 + 鲕绿泥石	褐铁矿 + 鲕绿泥石
黑云母	水黑云母 + 水赤铁矿	水黑云母 + 水赤铁矿	水黑云母 + 高岭石 + 水赤铁矿	高岭石 + 水赤铁矿
霓石	褐铁矿	褐铁矿	褐铁矿	褐铁矿
钠长石，斜长石	残余矿物 + 褐铁矿	残余矿物 + 褐铁矿	褐铁矿 + 残余矿物	褐铁矿 + 残余矿物

据库尔斯克磁异常区含铁石英岩的风化壳研究表明，其中硅酸盐矿物是分阶段改造的，随着矿物的解离，一部分组分溶于水而被带走，一部分较稳定的组分就会聚集形成新的矿物，一般来说硅酸盐矿物都是不能直接溶解的。表 1 为在风化剖面各带中硅酸盐矿物的发展变化情况。

巴西米纳斯吉拉斯州风化淋滤型富铁矿床的分带见图 4，这

是一具有代表性的典型剖面，自上而下可分为：

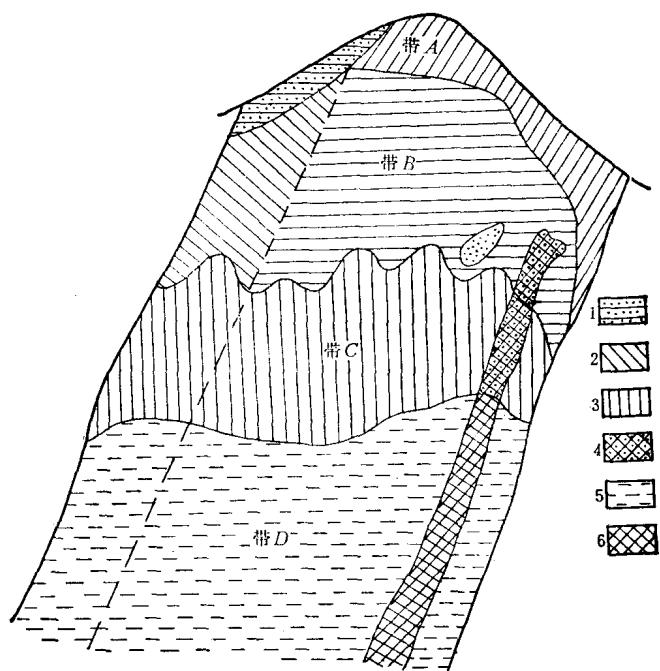


图 4 巴西米纳斯吉拉斯州矿体剖面图

带A—壳型富矿，Fe—63~68%；带B—鳞片状到粉末状富矿石，Fe—60~68%；带C—软的风化铁英岩，Fe—40~50%；带D—新鲜磁铁矿—赤铁矿铁英岩，Fe—37~38%。图例中：1—富含铝的胶结矿石；2—富含铝的风化矿石；3—富含铝的碎屑状铁英岩；4—富的假象赤铁矿石；5—富含云母和角闪石类的铁英岩；6—变质分异矿石，Fe—63~68%

A——壳型富矿带：几米到几十米厚的硬壳，呈帽状覆盖在风化壳之上，位于或靠近现代侵蚀面（包括古夷平面）附近。矿石由赤铁矿、水赤铁矿、假象赤铁矿碎屑和铁的氢氧化物（针铁矿、褐铁矿等）基质组成，多为致密块状构造。有些地区本带常常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，该带常产在崩塌带之上，本带相应于前面提到的带V的顶部；

表 2 含铁石英岩的次生变化特征

	原始含铁 石英岩	风 化 淋 滤 作 用			后 期 改 造 (或 胶 结) 作 用			
		弱淋滤含铁 石英岩	强淋滤含铁 石英岩	含粉石英半 疏松矿石	不含石英英 的疏松矿石	初步胶结矿 石	极不完全胶 结矿石	不完全胶结 矿石
分带	I	II	III	IV	V			
铁 云 母- 磁铁矿石英 岩	石英+磁 铁矿+铁云 母	石英+假象 赤铁矿+磁铁 矿+铁云母	石英+假象 赤铁矿+铁云 母	假象赤铁矿 +石英+铁云 母	假象赤铁 矿+铁云母	假象赤铁矿 +铁云母+绿 泥石	假象赤铁矿 +菱铁矿+绿 泥石+铁云 母	菱铁矿+假 象赤铁矿+铁 云母 绿泥石
磁铁矿石 英岩	石英+磁 铁矿	石英+磁铁 矿+假象赤铁 矿	石英+假象 赤铁矿	假象赤铁矿 +石英	假象赤铁 矿	假象赤铁矿 +绿泥石+菱 铁矿	假象赤铁矿 +菱铁矿+绿 泥石	菱铁矿+假 象赤铁矿+绿 泥石
体 重 克/立方厘米	3.50	3.20	2.95	2.80	3.10	3.15~3.20	3.40	3.65~3.70
孔 隙 率 %	1~2	10	20	35	40	30	25	12~15
压缩强度 公斤/ 平方厘米	1000~2000	100~400	20~100	<10	<5	~20	20~100	100~400
								>400

B——疏松多孔粉末状矿石带：主要由鳞片状、粉末状赤铁矿、假象赤铁矿、水赤铁矿和少量磁铁矿、石英等组成，这是主要含矿带，相应于前面的带Ⅴ；

C——假象赤铁矿石英岩带：由假象赤铁矿和石英组成，前者为磁铁矿假象赤铁矿化的结果，石英在本带上部常常粉石英化或被溶解淋失，而形成部分富的假象赤铁矿矿石，在本带下部则石英含量较高，构成假象赤铁矿石英岩，本带相应于带Ⅲ~Ⅳ；

D——未风化的新鲜含铁石英岩，相应于带Ⅰ，其上部可能相应于带Ⅱ。

从这些风化壳剖面的分带来看，完全符合前面所提到的三条表示含铁石英岩风化成熟程度的三项标志，但是这些分带标志对未变风化壳完全适用，但对后期改造的风化壳在具体应用时则需要全面考虑后期地质作用（如压实、变质、迁移等）对风化壳产物的组成、构造等的影响。风化壳后期改造的条件一个是还原环境，由氧化作用转变为还原作用，导致铁的氧化物变为低铁氧化物，铁的氢氧化物发生脱水现象；第二个条件是有外来物质参加，不像风化过程那样物质是只出不进，而是只进不出或进的多出的少，使得改造后的矿石组分复杂化了；第三个条件是在上覆岩层载荷下的压实甚至变质作用，不但改造了矿石组成，也加强了矿石的物理机械性，使得多孔的疏松矿石变为坚硬矿石。表2为库尔斯克盆地含铁石英岩在风化淋滤过程中和后期改造过程中矿物组成和矿石物理机械性质的变化规律，从表2中可以看到在后期改造的矿石中由于外来物质的参加，使得比较单纯的假象赤铁矿矿石或假象赤铁矿-赤铁矿矿石复杂化了，被改造成有菱铁矿、鲕绿泥石、褐铁矿、方解石等矿物叠加的复杂矿石，甚至形成以菱铁矿为主要组分的矿石了，这种矿石在库尔斯克磁异常区分布得相当广泛，亦为重要矿石类型之一。

第二节 风化淋滤型富铁矿床形成的地球化学因素

风化淋滤型富铁矿床为大陆表生地质作用的产物，从地球化

学的观点来看，表生地质作用是地壳中最复杂和最活跃的过程，其活动范围远远超出内生地质作用所局限的岩石圈，涉及到水圈、大气圈、生物圈和岩石圈之间的相互作用，作为最基本的能量来源的太阳能则是表生作用的推动力。

影响风化作用的地球化学因素很多，其中温度、水、大气、氢离子浓度（pH）、氧化电位（Eh）、胶体作用、有机质活动等显然是最主要的因素。

一、温度

地球表面各地温度变化范围约在 $-70\sim 85^{\circ}\text{C}$ 之间，温差约 160°C 左右，但在同一地点温度的日变化和年变化要小得多，一般高纬度的寒冷地区温度的年变化较大，可达 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，而低纬度的炎热地区温度的年变化较小，仅仅几度到十几度。温度变化越大对岩石的物理风化作用的影响就越大，而温度越高对岩石的化学风化作用的影响越大，也就是温度越高化学风化作用

表 3 水晶的淋滤与温度的关系

（粒度约 1 毫米，水溶液通氮）

淋滤时间，小时	T = 50°C 时淋滤的 SiO_2 ，毫克	T = 25°C 时淋滤的 SiO_2 ，毫克	50°C 时淋滤的 SiO_2 与 25°C 时淋滤的 SiO_2 的 比值
11	2.4	1.4	1.7
22	4.0	2.6	1.5
33	5.4	3.6	1.5
44	6.6	4.4	1.5
54	7.6	5.2	1.5
64	8.6	5.8	1.5
74	9.5	6.2	1.5
84	10.4	6.6	1.5
94	11.3	7.0	1.5
104	12.1	7.3	1.6
114	12.8	7.6	1.7
124	13.4	8.0	1.7
134	14.2	8.4	1.7
144	14.8	8.7	1.7
154	15.4	9.0	1.7

就越强烈，化学动力学表明当温度增高 10°C 时矿物的水解作用的反应速度可以加快 $2\sim 2.5$ 倍，同时，温度对有机物的活动、水的浓度和运动等都具有很大的影响。对含铁石英岩的风化作用来说，温度高低对二氧化硅（石英、蛋白石、硅酸盐等）的分解淋滤也有很大的影响，表3为水晶的淋滤作用与温度的依存关系，可以看到温度越高，水晶淋失的数量越大，淋滤时间越久，淋滤的数量也相应地增多。当同样颗粒大小的水晶在相应温度的通 CO_2 的水溶液中淋滤时，其淋滤数量显然要高一些（图5），这点属于水溶液的性质对 SiO_2 淋滤的影响了，但是从图中显然可以看到温度越高、时间越久，水晶淋滤的数量就越大；对蛋白石的淋滤也具有类似的规律（表4），但从表中的数字可以见到 SiO_2 淋

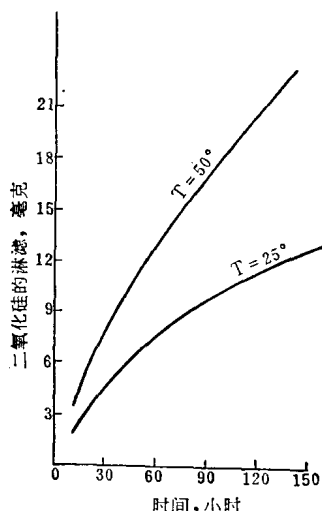


图5 水晶的淋滤与温度的关系
(粒度1毫米, 水溶液中通 CO_2)

失的数量比石英高得多，这一方面与矿物颗粒大小有关，表3中列举的水晶粒度为1毫米，而表4中蛋白石的粒度为0.05毫米，另一方面与蛋白石和水晶的内部结构和结晶程度有关。从表4中还可以看到蛋白石淋失的数量受温度的影响比水晶大得多，这点从两种不同温度下淋滤的 SiO_2 数量的比值表现得非常清楚，对水晶来说这个比值一般介于 $1.5\sim 1.7$ 之间，而蛋白石则提高到 $3.9\sim 5.7$ ，这点说明温度稍稍提高，蛋白石的淋滤作用就大大加快。自然在这里还应考虑矿物颗粒大小对温度和淋滤数量的影响。

温度对大气降水中某些同位素的比值（如 D/H ， $\text{O}^{18}/\text{O}^{16}$ ）有显著的影响，在高纬度地带降水中轻同位素含量有所增加，而在热带则重同位素相对集中，接近于海水的平均值（图6），对

O^{18}/O^{16} 来说其 δO^{18} 接近标准平均海水值 (SMOW)，从图中可见纬度高的寒带地区 (如南极、格林兰等地) δO^{18} 的负值很

表 4 蛋白石的淋滤与温度的关系

(粒度0.05毫米，水溶液通 CO_2)

淋滤时间, 小时	SiO ₂ 的 数 量, 毫 克		50℃时淋滤的 SiO ₂ 与 25℃时淋滤的 SiO ₂ 的 比值
	25℃	50℃	
8	23.0	90.0	3.9
16	40.0	167.0	4.1
24	56.5	232.0	4.1
32	68.6	322.0	4.7
40	70.8	399.0	5.7
48	91.1	419.0	4.5
56	100.5	439.0	4.4
64	108.6	455.7	4.2
72	116.1	467.2	4.0
80	123.4	480.2	3.9

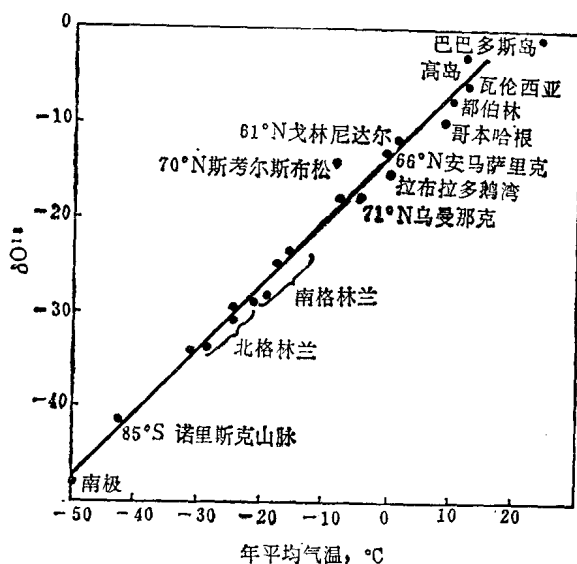


图 6 在平均年降水中 δO^{18} 的浓度与平均年气温的函数关系