

H·莱普 编 《铁的地球化学》翻译组 译

铁的地球化学

地质出版社

铁的地球化学

H. 莱普 编

《铁的地球化学》翻译组 译

宋炳忠等 校

地质出版社

内 容 提 要

本书是以铁的表生地球化学为主题选编的论文集。书中共收入三十七篇文章。全书共分六个部分：地球化学和丰度；溶解、沉淀和搬运；风化作用与高品位铁矿；富铁沉积岩；铁的地表旋回；热液铁矿床。书中选编的文章，包括近年发表的反映当代研究水平的学术论文，也有早期发表的若干重要著作。

《铁的地球化学》可供从事铁矿找矿勘探的广大地质工作者、矿床研究人员及有关院校师生参考。

铁的地球化学

H.莱普 编

《铁的地球化学》翻译组 译

宋炳忠等 校

*

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/16·印张：27·字数：657,000

1980年7月北京第一版·1980年7月北京第一次印刷

印数1—3,240册·定价4.40元

统一书号：15038·新458

前 言

铁是地质人员特别感兴趣的一种元素。期刊文献上论述铁的地球化学的文章浩如烟海。涉及铁的文章之所以很多,是因为铁是地壳的主要元素之一,铁在表生环境中可以氧化,也可以还原。它是氧化电位的一个标志。研究铁的地球化学旋回,与研究地球大气层演化有关系。另外,长期以来铁是名列前茅的工业金属。有经济价值的铁矿床,包括风化成因的、沉积成因的以及深成的铁矿床,是许多世纪以来被广泛研究的一个课题。

由于论述铁的文献非常多,所以选编这本文集的任务就十分艰巨。同时,许多经典文章篇幅都很长,要想在这本文集里解决文章的取舍问题,就要对所收集到的文章在涉及问题的广度、历史背景和地理分布等方面,有一个尺度。为此,我曾向许多研究这方面问题的学者求教。帮助我的有P.E.克劳德、Jr.S.S.戈尔迪奇、A.M.古德温、G.A.格罗斯、H.L.詹姆斯、R.W.马斯登、G.B.莫里和A.F.特伦德尔。借此机会,我对他们提出的宝贵意见表示谢意。因为他们每个人都收集了一些不同类的文章,所以对文章作最后的选择,仍由我个人负全责。

本文集涉及的问题很广泛,因此就有必要着重注意铁的地球化学的某些特殊方面。我在这里强调了铁的表生旋回,这是因为:(1)它形成了地壳中已知的大型铁矿床,(2)它似乎是随地球大气层的演化而变化。此外,正如S.兰德格伦在本文集第一篇文章以及C.F.帕克在最后一篇文章中所提出的一些问题,许多热液或岩浆成因的铁矿床,事实上可能是由原来的表生作用所集聚的物质生成的。

本文集将收集到的文章分成六个题目:(1)地球化学和丰度;(2)溶解、沉淀和搬运;(3)风化作用与高品位铁矿;(4)富铁沉积岩;(5)铁的地表旋回;(6)热液铁矿床。为了服从这样的分类,有些文章不得不拆散,而节录其某一部分放在适当的标题之下。起初我本想针对每个题目,把历史回顾的情况安排进去,后来我发现不妥,篇幅有限,不容许这样做,所以不得不把本世纪初的许多好文章删去。幸好,有关这方面的经典著作,在这个集子里所收入的文章中有的提到了有的还作了评述。

H.莱普

译 者 的 话

《铁的地球化学》一书，是以铁的表生地球化学为主题选编的文集。书中共收入三十七篇学术论文和从有关专著中节录的文章。全书共分六大部分：地球化学和丰度；溶解、沉淀和搬运；风化作用与高品位铁矿；富铁沉积岩；铁的地表旋回；热液铁矿床。从内容上看，既有理论研究的成果，也有矿床或地区的实例。选编的文章中，有反映当代研究水平的论文，也有早期发表的、被地质界公认为是较好的著作。原书编者从浩如烟海的铁矿文献中精选的这些文章，有一定的系统性、广泛性和代表性。

原书编者特别强调了铁的表生循环作用，认为地壳中铁的异常富集正是这种作用造成的，某些与热液及岩浆有密切关系的铁矿床，最初也是在表生过程中富集起来的。这些认识和我国许多地质工作者从大量事实中得到的结论是接近的。

实际上，我国铁矿床中数量最多、规模最大的前寒武纪沉积变质铁矿床，不论其建造性质如何，其原始成矿作用无疑是表生作用。而古生代以后占有重要地位的某些接触交代型和热液型铁矿床，已有越来越多的事实说明它们与沉积矿源层有关。

当前，我国从事铁矿找矿勘探和科学研究的地质工作者，在整个地质人员中，占有相当大的比例。长期以来，他们在实践工作中，积累了十分丰富的实际资料，如何对这些实际资料加以总结，使其逐步上升为理论，以指导铁矿的找矿勘探工作，这是我国地质工作者面临的一项重要任务。从这个角度来说，《铁的地球化学》一书，是有重要参考价值的。

目 录

绪论	(1)
----------	-------

I 地球化学和丰度

编者对 1—4 四篇论文的评论	(11)
1 瑞典铁矿及其共生岩石的地球化学	S.兰德格伦 (13)
2 富铁沉积岩的化学特征	H.L.詹姆斯 (29)
3 铁在一般火成岩类中的丰度	R.F.米勒 (49)
4 铁在天然水中的丰度	R.A.伯纳 (56)

II 溶解、沉淀和搬运

编者对 5—7 三篇论文的评论	(58)
5 沉积铁矿物的环境控制	N.K.休伯 (61)
6 沉积过程中锰与铁的分离	K.B.克劳斯科普夫 (74)
7 沉积铁矿物的生成	C.D.柯蒂斯, D.A.斯皮尔斯 (82)
编者对 8—10 三篇论文的评论	(90)
8 沉积黄铁矿的生成	R.A.伯纳 (92)
9 粘土矿物在搬运铁方面的作用	D.卡罗尔 (100)
10 淤泥中锰-铁层的形成是一种生物作用	D.R.加布等 (106)

III 风化作用与高品位铁矿

编者对 11—13 三篇论文的评论	(126)
11 沉积岩的演化	R.M.加勒尔斯, F.T.麦肯齐 (128)
12 科纳克里红土型铁矿床	F.G.珀西瓦尔 (132)
13 巴西米纳斯吉拉斯的表生铁矿	J.V.N.多尔 I (142)
编者对 14—17 四篇论文的评论	(143)
14 赤铁矿-褐铁矿矿床	J.W.格鲁纳 (145)
15 苏必利尔湖型铁矿石的热液淋滤理论	J.W.格鲁纳 (152)
16 巴西铁矿的成因	J.V.N.多尔 I 等 (157)
17 密执安州铁河-克瑞斯特瀑布地区铁矿床及地质特征	H.L.詹姆斯等 (170)

IV 富铁沉积岩

编者对 18—20 三篇论文的评论	(185)
18 加拿大安大略省阿尔戈马地区米契皮科坦含铁建造的构造、地层和成因	A.M.古德温 (187)
19 三个前寒武纪条带状含铁建造大型沉积盆地的系统对比	A.F.特伦德尔 (196)
20 含铁建造沉积相	H.L.詹姆斯 (216)

编者对21—24四篇论文的评论	(229)
21 富铁沉积岩的化学特征	H.L.詹姆斯 (231)
22 前寒武纪含铁建造的成因	H.莱普, S.S.戈尔迪奇 (233)
23 英格兰中部地区东部的侏罗纪铁岩矿田	V.威尔逊 (243)
24 沉积铁矿物的生成	C.D.柯蒂斯, D.A.斯皮尔斯 (252)

V 铁的地表旋回

编者对25—27三篇论文的评论	(263)
25 贡弗林特含铁建造中相的关系	A.M.古德温 (265)
26 海相沉积铁矿的成因	H.博彻特 (271)
27 英国里阿斯统铁岩的岩相关系及其沉积环境	A.哈勒姆 (286)
编者对28—31四篇论文的评论	(292)
28 前寒武纪含铁建造的成因	H.莱普, S.S.戈尔迪奇 (294)
29 对“前寒武纪含铁建造的成因”一文的讨论	G.A.格罗斯 (308)
30 对“前寒武纪含铁建造的成因”一文的讨论	A.F.特伦德尔 (310)
31 地球生物化学史中的碳酸盐岩石和古气候学	R.W.费尔布里奇 (315)
编者对32—33两篇论文的评论	(319)
32 富铁沉积岩的化学特征	H.L.詹姆斯 (321)
33 条带状含铁建造的成因	G.J.S.戈维特 (348)
编者对34—35两篇论文的评论	(370)
34 西澳大利亚条带状含铁建造成因的碳同位素证据	R.H.贝克尔, R.N.克莱顿 (372)
35 明尼苏达州比瓦比克含铁建造碳酸盐中碳同位素变化的意义	E.C.小佩里, F.C.坦 (385)

VI 热液铁矿床

编者对36—37两篇论文的评论	(392)
36 热液磁铁矿	W.T.霍尔塞, C.J.施尼尔 (395)
37 太平洋盆地周围的铁矿床	C.F.小帕克 (415)

绪 论

铁是世界上最重要的一种金属。铁在地球中又是很丰富的一种元素。在地壳里按丰度排列，铁在氧、硅和铝之后，居第四位。在所有的矿物种类中呈主要和次要的组份产出。在地壳内的主要化学元素中，铁比较特殊，有几种价态。在自然环境里可以氧化，也可以还原，这就显著地影响其地球化学旋回。

氧化铁可以氧化有机物质，于是还原为二价铁的状态。这样形成的亚铁溶液又可以被大气氧再氧化。因此在碳的旋回中铁起催化剂的作用，它的旋回又与氧的旋回紧密地结合在一起。

铁在生物圈起重要作用。在动物中，它的作用是将空气或水中的氧搬运到动物的组织中去。在绿色植物中，铁对形成叶绿素是不可缺少的。某些细菌具有一种酶类系统把电子从亚铁移到 O_2 ，这样，就使它们不依赖有机物质作为能源。

由于资料差别很大，再加上只能在地壳的一小部分采样，所以确定地壳的平均成分是一个困难的任务。多年来累积了无数岩石化验结果，有些科学工作者报道了化学元素的平均丰度。地壳平均铁含量的某些数值列于表1。说明如按重量百分数计，地壳含铁约为5%。

表1 地壳中平均铁含量估计

资 料 来 源	Fe_2O_3	FeO	TFe	备 注
克拉克 (Clarke 1924)	3.2	3.8	5.2	
戈德施米特 (Goldschmidt, 1933)	3.3	3.5	5.0	
维诺格拉多夫 (Vinogradov, 1962)	2.5	3.7	4.6	
泰 勒 (Taylor, 1949)			5.6	大 陆 壳
波尔德瓦德特 (Poldervaardt, 1955)	2.3	5.0	5.5	大 陆 壳
波尔德瓦德特 (1955)	2.8	5.8	6.5	整个岩石圈
帕基泽和罗宾逊 (Pakiser and Robinson, 1967)	2.3	5.5	5.9	大 陆 壳
罗诺夫和雅罗谢夫斯基 (Ronov and Yaroshevsky, 1969)	2.6	3.9	4.9	大 陆 壳
罗诺夫和雅罗谢夫斯基 (1969)	2.6	4.4	5.2	整个岩石圈

表2列出了不同岩石中平均的铁含量数值。虽然在被认为是由岩浆作用或热液作用形成的岩体中，铁局部地显著富集，但铁的浓度最高、分布最广的还是在那些被称为含铁建造(iron-formations)和铁岩(ironstones)的沉积岩类中。

因为铁是这样一种重要的、分布广泛的元素，讨论其地球化学方面的各种文献就非常多。在本文集的选编中，为了能达到某种深度，需要突出铁的地球化学的某个方面。因此本书的讨论中心，将集中在地壳中铁的异常浓度和富集过程方面。此外，由于最大的铁矿床是表生作用形成的，所以重点放在铁的外成旋回。

表2 各种岩石的平均铁含量

岩石类型	Fe ₂ O ₃	FeO	TFe	资料来源
火成岩				
平均	2.9	3.3	4.6	布罗茨恩 (Brotzen, 1966)
花岗岩	1.6	1.8	2.5	戴 利 (Daly, 1933)
花岗闪长岩	1.3	2.6	2.9	诺克科尔德斯 (Nockolds, 1954)
闪长岩	2.7	7.0	7.3	诺克科尔德斯 (1955)
橄榄玄武岩	3.7	8.1	8.9	波尔德瓦德特 (1955)
橄榄岩	2.5	9.9	9.4	诺克科尔德斯 (1954)
沉积岩				
平均	3.5	2.6	4.5	加勒尔斯和麦肯齐 (Garrels和Mackenzie) (第11篇文章)
砂 岩	1.7	1.5	2.4	裴蒂庄 (Pettijohn, 1963)
页 岩	4.2	3.0	5.3	克 拉 克 (1924)
灰 岩			0.36	克 拉 克 (1924)
含铁建造			28.0	莱普和戈尔迪奇 (Lepp和Goldich) (第22、28篇文章)
变质岩				
石英-长石质片麻岩	1.6	2.0	2.7	波尔德瓦德特 (1955)
云母片岩	2.1	4.6	5.0	波尔德瓦德特 (1955)
前寒武纪板岩	4.1	6.7	8.1	南 茨 (Nanz 1953)
闪 岩	3.7	8.9	9.5	拉帕杜-哈格斯 (Lapadu-Hargues) (1953)

铁的旋回

图1表示经兰德格伦 (Landergrén) (本文集第1篇文章) 修订了的岩石圈中铁的旋回。旋回的各个阶段, 例如含铁红土、沼铁矿等, 已为大多数地质人员所承认。在这个

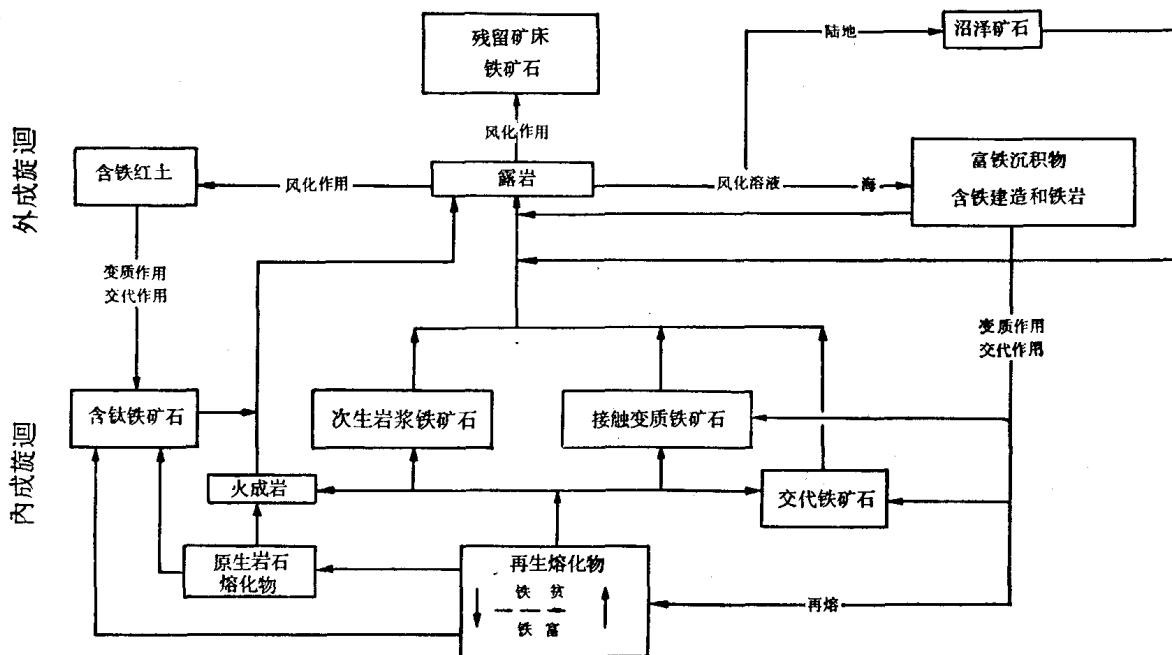


图 1

意义上,对旋回是没有争议的。可是,作为铁的主要富集作用,外成作用对内成作用的相对重要性则仍是一个争论激烈的问题。

低铁矿物占优势的深成岩石当出露地表而风化时,铁氧化成三氧化二铁。由于它不溶解,所形成的三氧化二铁在地表旋回中容易从更为活动的风化作用产物中(例如 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Na^{2+} 、 K^{+})分离。在热带到亚热带的条件下,在风化过程中甚至硅有时也迁移到溶液中,导致红土的形成。在红土中有大量氧化铁或氧化铁水合物与铝的氢氧化物被捕集。

在富铁的沉积物上发生红土风化作用的地方,由于象铝或钛通常和铁一起聚积在红土中的一些元素,离开源岩正在散失,剩下的铁可以形成较纯的三氧化二铁浓缩物。

分布最广泛、浓度特别高的铁,在富铁的沉积岩中可以见到。关于沉积的含铁建造和铁岩的成因问题,虽然许多作者意见不一,而现在大多数都同意它们基本上是地块风化物质的海相化学沉积物。在本世纪的前二十五年中,认为沉积含铁建造中的铁是由火山作用形成的这样一种看法,是被很多人接受的。

某些比较大的铁矿床,例如瑞典北部的基鲁纳矿区,表现有深成成因的特征。许多人认为基鲁纳的磁铁铁矿体,是在富铁岩浆中产生了分凝作用,后来含铁的部分岩浆贯入到围岩中而生成。A.M.贝特曼(1951)提出,在铁镁质熔融物晚期结晶阶段,大量的铁、钛可以富集。魁北克省的阿拉德湖的大磁铁矿—钛铁矿矿床和纽约州桑福德湖附近的那些矿床,贝特曼认为都是岩浆成因的。他认为基鲁纳型的磁铁矿—磷灰石矿石具有相似的岩浆成因,是来自硅质较多的岩浆源。盖耶(Geijer,1931)和其它作者,以前把基鲁纳矿石归因于岩浆分异过程的产物。铁有时由于分异作用而富集。帕克(Park,1961)对智利北部的一个具有熔岩流特征的磁铁铁矿体的观察结果证实了这一观点。

其它一些铁矿床(通常是那些规模较小的铁矿床)是由一些交错而不规则的小磁铁铁矿体所组成,经常与矽卡岩伴生。帕克(本文集第37篇文章)注意到这类矿床在太平洋盆地周围特别多。这类矿床往往认为是属于接触交代成因的,或者是热液成因的。但这种成因模式只不过是说法的一种,还有其它的可能解释。例如,巴克伦(Backlund,1952)提出,瑞典的某些矽卡岩和长英麻粒岩铁矿,最初原来是沉积矿床,后来被围岩的深流作用(rheomorphism)所改造。

普遍赞同的看法是:富铁矿既是表生作用形成的,又是深成作用形成的。但对矿床中铁的来源问题,意见却不一致。在这一点上,有关铁矿床和铁的旋回方面的文献好似18世纪后期水成论和深成论的争论一样。为了类比,如果把“水成论者”解释为主张表生作用的,那么就有兰德格伦等人,他们根据对铁矿石进行广泛的化学研究结果(本文集第1篇文章),得出了结论,认为铁的富集,即便不是全部也大部分是在地表旋回中发生的。岩浆或热液矿床,是由内成旋回中重新再活动的外成作用最初富集的铁所组成。铁主要是在地表旋回中富集并在深部重新再活动,这种观点从氧的地球化学研究结果得到支持。巴斯(Barth,1948)经过计算,认为大气中的氧只能氧化地壳表层1.4%的铁。大气中的氧在铁氧化过程中并未用完,这一事实表明,一定有某种过程,把在地表和铁一起截留下来的氧返回到大气。所以铁在岩石圈中可作为一种呼吸剂进行活动,在地表附近截留氧,在内成旋回中把氧释放。

如果深成论者的意思是指与岩浆或火山作用结合,那么提出沉积含铁建造中的铁来源于火山的人,可以认为是深成论者。按照他们的解释,即使是大的富铁沉积物,最后毕竟还是与火山作用的内成过程有关。内成一外成的争论也扩大到世界好多地方与含铁建造

伴生的高品位氧化矿石。格鲁纳 (Gruner, 1930, 本文集第15篇文章) 提出, 苏必利尔湖含铁建造中, 铁的次生富集是由于热液的氧化和淋滤所致。此意见后来获得其它地区的工作者的赞同。范·海斯和利思 (Van Hise和Leith, 1911)、怀特 (White, 1954)、詹姆斯 (James) 等 (本文集第17篇文章) 以及别的作者都认为, 高品位矿石是由于表生作用富集的。

另一个有关铁的表生旋回问题, 就是某些前寒武纪沉积岩与年轻的沉积岩在化学成分上有差异。南兹 (1953) 证明, 前寒武纪页岩比年轻的页岩含CaO少, 含Fe、FeO、 Al_2O_3 和 K_2O 要多。地质人员早就知道多数前寒武纪的含铁建造, 相对其类似的年轻的含铁层来讲, 含硅多, 含 Al_2O_3 、 P_2O_5 和 TiO_2 少。但不是所有研究者都确信真有这种化学成分的差异。例如, 奥鲁克 (O'Rourke, 1961) 就提出了许多他所认为是显生宙的硅质条带状含铁建造的例子; 另有一些作者曾描述过, 某些前寒武纪富铁沉积岩有着年代较新的铁岩的特征。不过现代多数地质人员都同意, 前寒武纪的富铁沉积岩和年代较新的富铁沉积岩之间, 在化学成分上是有明显差别的, 这种差别反映了铁在表生旋回中的长期缓慢地变化。

麦克雷戈 (MacGregor, 1927) 首先提出, 铁沉积随时间的差异与地球大气层的演化有关。他假定, 前寒武纪含铁建造的广泛发育是由于在那个时期大气中 CO_2 的压力高, O_2 的压力低, 而使铁在高铁状态中活动起来。兰卡马 (Rankama, 1955) 描述过, 在前寒武纪闪长岩的风化产物中FeO比 Fe_2O_3 占优势。他认为, 前寒武纪的砾岩一定是在缺氧的大气中形成的。对前寒武纪大气中缺氧的观点, 直到60年代才勉强为大多数地质人员所接受。不过有某些人认为这与均变说 (uniformitarianism) 相违背。泰勒和童豪富 (Twenhofel, 1952) 用地球大气圈的差异来解释对前寒武纪燧石含铁建造形成的制约, 怀特 (1954), 莱普和戈尔迪奇 (本文集第22、28篇文章)、克劳德 (Cloud, 1956)、詹姆斯 (James) 等 (本文集第17篇文章), 还有别的作者也都持这种见解。在18亿年以前大气中缺氧, 这一结论现在已得到广泛的承认, 部分原因是因为象米勒和尤里 (Miller和Urey 1959)、霍兰 (Holland, 1962)、伯克纳和马歇尔 (Berkner和Marshall, 1965) 等, 研究生命起源问题和大气来源问题的一些科学家, 根据其它证据得到相似的结论。

《经济地质》1973年第7期专门讨论了世界上的前寒武纪含铁建造。关于含铁建造是如何形成的问题, 作者之间意见虽未统一, 但几乎全部都同意铁的地表旋回在19亿年之前与在那以后是有很大差别的, 而且这种差别直接或间接与前寒武纪大气圈和水圈的独特性质有关。另外, 含铁建造和伴生岩石的放射性元素鉴定时代的结果表明, 从铁沉积的观点来看, 18—26亿年以前这段时间是特殊例外的。苏必利尔湖地区、拉布拉多地槽、苏联的克里沃罗格、澳大利亚的哈默斯利, 以及其它一些大的含铁建造都是在这个期间形成。

在前寒武纪, 铁的地表旋回就是铁和硅在广泛的燧石含铁建造中堆积在一起。在古生代和年代较新的岩石中, 已知有大的燧石层、范围中等的铁岩层, 但是铁和燧石在一起是罕见的。

含铁建造和铁岩

富铁沉积物在结构、矿物、变质程度和化学等各个方面有所不同, 因而有各种各样的名称。如碧玉铁质岩、铁燧岩、含铁石英岩、粘土铁岩 (Clay ironstone) 等。最近布兰

特等(Brandt,1972)对这些岩石的命名问题进行了评论。美国地质工作人员大都是遵循詹姆斯的原则(本文集第20篇文章),对有燧石的、通常呈条带状的富铁岩石采用含铁建造这一术语。而铁岩则通常用于鲕状常含有化石与氧化钙或碎屑物伴生的明尼特(minette)型的铁沉积物。

因为含铁建造和铁岩是商品铁的主要来源,对它们都作过广泛研究。在这些独特沉积物的沉积环境方面已取得较大进展尤其是卡斯坦诺和加勒尔(1950),克伦宾和加勒尔的研究成果,更直接的是詹姆斯的成果,但对成因问题尚有很大争论。由于类似的岩石今天已不再形成,这使成因问题不好解释。

约在五十年前,穆尔和梅纳德(Moore和Maynard,1929)在总结苏必利尔湖含铁建造的成因时讲道:“含铁建造属于沉积成因,此说已为大多数地质工作者所承认。主要分歧在于铁和硅的来源、搬动沉淀方式,以及它们原来留下来的形式”。这些分歧至今还是存在的。

本世纪初,许多地质人员都认为,用风化作用来解释像美国明尼苏达州的比瓦比克含铁建造是不恰当的(比瓦比克含铁建造长约130英里,厚约600英尺,平均含铁28%),认为铁和硅肯定是从同时代的火山作用导生的。但格鲁纳(1922)作过计算,在17.6万年短短的地质时代里,亚马孙河移走的铁就等于比瓦比克建造总的含铁量。他的文章却又加强了风化成因论的依据。

许多主张含铁建造中铁、硅来源于风化作用的人,都赞同是浅处陆块在潮湿的热带—亚热带条件下的风化。这不仅说明了红土在风化中提供了二氧化硅,而且还部分地说明含铁建造中碎屑减少的原因。格鲁纳(1922)、吉尔(Gill,1927)、穆尔和梅纳德(1929)、泰勒(1949)、坂本(Sakamoto,1950)、泰勒和童豪富、(1952)、詹姆斯(本文集第20篇文章)、霍夫(Hough,1958)、亚力山德罗夫(Alexandrov,1955)、莱普和戈尔迪奇(本文集第22、28两篇文章)、戈维特(Govett,本文集第33篇文章)及其他作者都同意风化来源的观点。

有些地质学家认为海水是含铁沉积物中化学元素的来源。由于这种观点解决了在富铁沉积物中几乎没有碎屑物的问题,所以很引人注目。可是直到最近,这种观点并未得到更多人的同意,因为现在海水只含有浓度很小的铁和硅。博彻特(Borchert本文集第26篇文章)认为富铁沉积物是海底上铁的溶解和再沉淀的结果。斯特拉霍夫(Strakhov,1959)提出,经过海水的反应,成岩富集作用是形成富铁沉积物的一种因素。最近霍兰(1973)证明,在前寒武纪氧的分压力比它现在要低得多,海水应含有充分供应的已溶的铁。他提出,深部缺氧而富铁的水的上升提供了前寒武纪含铁建造中的铁。

铁的大洋来源是与下列观察联系着的,即许多前寒武纪含铁建造所占有的位置正是更新的层序中,石灰岩所占的位置。迪姆罗思(Dimroth,1973)曾描述过拉布拉多地槽的含铁建造和灰岩在结构和构造方面有明显的相似处。

虽然,铁和硅来源于火山作用的观点,已不再为多数地质人员所赞同,但仍有少数人认为火山活动是物质最根本的来源。似乎火山溶液在局部范围内、在沉积物中确实形成铁的富集。泽莱诺夫(Zelenov,1958)指出,溶液中的铁来自海洋,是由埃博科(Ebeko)火山的温泉活动所提供的。博斯特罗姆(Bostrom,1970)证明,由于海底火山活动,在太平洋海底的某些沉积物中有少量的铁富集。不过大部分铁岩以及许多含铁建造均不与火

山岩或火成岩密切相关，这似乎排除了火山来源的看法。此外，格鲁纳（1922）和霍兰（1973）证明，供给较大含铁建造的物质所需的火山溶液的体积是如此之大，这就要求一个真正不寻常的火山活动时期。这样强烈的活动一定会留下记录，可是在许多铁矿区并没有特殊的火山活动的痕迹。

除德国的莱恩-迪尔（Lahn-Dill）地区的泥盆纪铁沉积物外，大多数显生宙的铁岩都没有任何与火山作用有联系的迹象。它们是沉积成因的，从风化溶液中获得其物质来源。有许多地质人员认为莱恩-迪尔的矿石与火山活动有关。哈德（Harder, 1964）调查研究了该矿床得出结论，认为在矿石中缺少应该和铁伴生的其它挥发性的金属，所以该矿床不能是由火山喷气直接堆积的。他假定莱恩-迪尔铁矿很可能是由低温的碳酸盐泉水作用形成的。

基瓦丁（Keewatin）型早前寒武纪的含铁建造则是另一回事。大多数都呈小的透镜状，而且很多都是与火山岩密切共生。就连那些认为建造中物质非来源于火山的人，也都同意这类建造，与火山作用有成因上的关系。

关于含铁建造中化学元素的来源问题，虽仍有争论，但大多数地质学者都同意是在溶液中被搬运的。从各种不同岩石类型中溶解铁、硅这一实验工作，是由格鲁纳（1922）、穆尔和梅纳德（1929）等人完成的。他们的结论是：铁是作为由有机物质稳定的氧化铁水溶胶而被搬运的。他们所持胶态搬运的论点，近来已无人赞成，可能根据化学相的概念（本文集第20篇文章），要求在沉淀位置铁一定处于溶液里面。

上述实验是在空气中进行的。如果认为前寒武纪的大氧中缺氧，那末，解释溶解的铁是在地表水中搬运的就没有问题了。不过这不能说明年代较新的铁岩的情况，因为这种铁矿石显然是在与现代相似大气条件下形成的。事实上解释年代较新的铁岩中铁的搬运问题有困难，这种困难使得博彻特（本文集第26篇文章）的观点成为一种引人注意的解释。他的论点是：铁在海洋的缺氧部位溶解。加勒尔斯等（1973）注意到，“在晚元古代，燧石含铁建造的重要性减小，在显生宙时期，它们实际上不存在，可能是作为铁在地表水中搬运的一种重要方式，使低价铁逐步减少。”

按照詹姆斯（本文集第20篇文章）的意见，含铁建造与铁岩的各种相（氧化物相，碳酸盐相，硅酸盐相，硫化物相）的每种相均代表一种特定环境。所存在的铁矿物反映了这些环境。氧化物相在一方面代表了氧化到中性的环境，而硫化物相则代表强烈的还原环境。所以，沉淀作用受沉积环境的化学参数的控制，说明铁是在溶解状态而不是胶体状态，至少在沉积时是这样。

自1954年詹姆斯发表了关于含铁建造沉积相的经典著作后，地质人员对世界各地含铁建造和铁岩的相进行了研究和填图。不同矿物相的存在已是一种事实，但在某些情况下仍有不明确的地方：现在存在的铁矿物是原生的，还是成岩变化或是低级变质的结果。

铁矿物的原生和次生交代成因问题，是长期争论的问题之一，例如凯尤克思（Cayeux, 1922）认为法国的鲕状铁岩，其硅酸铁（鲕绿泥石）是由菱铁矿交代形成的，其针铁矿（有时还有赤铁矿或磁铁矿）是由低铁矿物经过后来氧化形成的。另一方面，哈利蒙德（Hallimond, 1925）认为英国含铁矿石中的菱铁矿和鲕绿泥石是原生的。拉伯奇（La Berge, 1964）根据广泛的显微镜观察得出结论，认为苏必利尔湖的含铁建造里面的磁铁矿是由菱铁矿形成的。冈德森和施瓦茨（Gunderson和Schwartz, 1962）证明上述同类岩石中的

磁铁矿是原生的。莱普和戈尔迪奇得出结论，如果假定方解石和菱铁矿最先沉淀，就能很好地说明铁矿物和脉石矿物的比例问题。认为由二氧化硅所交代以及成岩作用能提供现有物质的来源，戈维特（本文集第33篇文章）提出，赤铁矿是含铁建造里面唯一的一种原生矿物，而其它铁矿物都是成岩作用的产物。

以上评述概括了对富铁沉积岩的堆积问题的许多看法。尚未解决的问题有：含铁建造中条带的来源；有机物在铁沉积物发育过程中的作用；以及含铁建造中燧石的沉淀方式等问题。前寒武纪含铁建造在化学方面有一个令人迷惑不解的问题，那就是它的含铁品位特别均匀。未受次生富集作用影响的那些含铁建造，其全铁平均含量（按重量计）始终是30%左右。对比起来，含铁10—20%的岩石是极少见的。另外，铁的品位似乎与占优势的铁矿物有关，在这点上，说明铁矿物之间的交代关系。

虽然在过去的半个世纪中，我们对富铁沉积物的认识，以及对铁在岩石圈旋回的理解已经有了很大的进展，但仍有许多尚未解决的问题。事实上，目前关于富铁沉积物如何形成的一些观点可以回溯到本世纪初期的一些概念。今天给科研人员已提供了分析数据、基本热力学数据，以及定量检验各种假说的设备仪器。可是在关于铁旋回的细节方面取得一致意见之前，还有许多检验工作要做。

参 考 文 献

- Alexandrov, E.A., 1955, Contribution to studies of origin of Precambrian banded iron ores: *Econ. Geol.*, v.50, p. 459-468.
- Backlund, H.G., 1952, Some aspects of ore formation, Precambrian and later: *Edinburgh Geol. Soc. Trans.*, v. 14, pt. 3, p. 302-335.
- Barth, T.F.W., 1948, The distribution of oxygen in the lithosphere: *Jour. Geol.*, v. 56, p. 40-49.
- Bateman, A.M., 1951, Formation of late magmatic ore deposits: *Econ. Geol.*, v. 46, p. 404-426.
- Berkner, L.V., and L.C. Marshall, 1965, On the origin and rise of oxygen concentration in the earth's atmosphere: *Jour. Atmospheric Sci.*, v. 22, p. 225-261.
- Bostrom, K., 1970, Submarine volcanism as a source for iron: *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 9, p. 348-354.
- Brandt, R.T., et al., 1972, Problems of nomenclature for banded ferruginous cherty sedimentary rocks and their metamorphic equivalents: *Econ. Geol.*, v. 67, p. 682-684.
- Brotzen, D., 1966, The average igneous rock and the geochemical balance: *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 30, p. 863-868.
- Castano, J.R., and R.M. Garrels, 1950, Experiments on the deposition of iron with special reference to the Clinton iron ore deposits: *Econ. Geol.*, v. 45, p. 755-770.
- Cayeux, L., 1922, *Études des gîtes minéraux de la France. Les minerais de fer*

- oolithique de la France, Fasc. II: Minerais de fer secondaire: Paris, Imprimerie Nationale, 1051 p.
- Clarke, F.W., 1924, The data of geochemistry: U.S. Geol. Surv. Bull. 770, 841 p.
- Cloud, P.E., Jr., 1965, Significance of the Gunflint (Precambrian) flora: *Science*, v. 148, p. 27-35.
- Daly, R.A., 1933, Igneous rocks and the depth of the earth: McGraw-Hill Book Co., New York, 598 p.
- Dimroth, E., 1973, Petrography of the Sokoman iron formation in part of the central Labrador trough, Quebec, Canada: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 84, p. 111-134.
- Garrels, R.M., E.A. Perry, Jr., and F.T. Mackenzie, 1973, Genesis of Precambrian iron-formations and the development of atmospheric oxygen: *Econ. Geol.*, v. 68, p. 1173-1179.
- Geijer, P., 1931, Iron ores of the Kiruna type: *Sver. Geol. Unders. ser. C*, no. 367.
- Gill, J.E., 1927, Origin of the Gunflint iron-bearing formation: *Econ. Geol.*, v. 22, p. 687-728.
- Goldschmidt, V.M., 1933, Grundlagen der quantitativen Geochemie: *Fortschr. Mineral. Krist. Petrogr.*, v. 17, p. 112-156.
- Gruner, J.W., 1922, The origin of sedimentary iron formations: *Econ. Geol.*, v. 17, p. 407-460.
- , 1930, Hydrothermal oxidation and leaching experiments; their bearing on the origin of Lake Superior hematite-limonite ores: *Econ. Geol.* v. 25, p. 697-719, 837-867.
- Gunderson, J.N., and G.M. Schwartz, 1962, The geology of the metamorphosed Biwabik iron formation, eastern Mesabi district, Minnesota: *Minnesota Geol. Surv. Bull.* 41, 193 p.
- Hallimond, A.F., 1925, Iron ores-Bedded ores of England and Wales-Petrography and chemistry: *Great Britain Geol. Surv. Mem., Spec. Rept. Min. Res.*, v. 29, 139 p.
- Harder, H., 1964, Können Eisensäuerlinge die Genese der Lahn-Dill-Erze erklären? *Beitrage Miner. Petrog.*, Bd. 9, 379-422.
- Holland, H.D., 1962, Model for the evolution of the earth's atmosphere; in *Petrologic studies: a volume to honor A.F. Buddington*, *Geol. Soc. America*, New York, p. 447-477.
- , 1973, The oceans: A possible source of iron in iron-formations: *Econ. Geol.*, v. 68, p. 1169-1172.
- Hough, J.L., 1958, Fresh-water environment of deposition of Precambrian banded iron formations: *Jour. Sed. Petrology*, v. 28, p. 414-430.
- Krumbein, W.C., and R.M. Garrels, 1952, Origin and classification of chemical sediments in terms of pH and oxidation-reduction potentials: *Jour. Geol.*, v. 60, p. 1-33.
- La Berge, G.L., 1964, Development of magnetite in iron formations of the Lake Superior region: *Econ. Geol.*, v. 59, p. 1313-1342.

- Lapadu-Hargues, P., 1953, Sur la composition chimique moyenne des amphibolites: Soc. Geol. France Bull., 6th ser., v. 3, p. 153-173.
- MacGregor, A.M., 1927, The problems of the Precambrian atmosphere: South Africa Jour. Sci., v. 24, p. 155-172.
- Miller, S.L., and H.C. Urey, 1959, Organic compound synthesis on the primitive earth: Science, v. 130, p. 245-251.
- Moore, E.S., and J.E. Maynard, 1929, Transportation and precipitation of iron and silica: Econ. Geol., v. 24, p. 272-303, 365-402, 506-527.
- Nanz, R.H., Jr., 1953, Chemical composition of pre-Cambrian slates with notes on the geochemical evolution of lutites: Jour. Geol., v. 61, p. 51-64.
- Nockolds, S.R., 1954, Average chemical composition of some igneous rocks: Geol. Soc. America Bull., v. 65, p. 1007-1032.
- O' Rourke, J.E., 1961, Paleozoic banded iron formation: Econ. Geol., v. 56, p. 331-361.
- Pakiser, L.C., and R. Robinson, 1967, Composition of the continental crust as estimated from seismic observation: in The earth beneath the continents, Am. Geophys. Union Monogr. 10, p. 620-626.
- Park, C.G., Jr., 1961, A magnetite "flow" in northern Chile: Econ. Geol., v. 56, p. 431-436.
- Pettijohn, F.J., 1963, Chemical composition of sandstones: U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 440-S, 119-144.
- Poldervaart, A., 1955, Chemistry of the earth's crust: Geol. Soc. America Spec. Paper 62, p. 119-144.
- Rankama, K., 1955, Geologic evidence of chemical composition of the Precambrian atmosphere: Geol. Soc. America Spec. Paper 62, p. 651-664.
- Ronov, A.B., and A.A. Yaroshevsky, 1969, Earth's crust geochemistry: in Encyclopedia of geochemistry and environmental sciences, R.W. Fairbridge, ed., Van Nostrand Reinhold Co., New York, p. 243-254.
- Sakamoto, T., 1950, The origin of Pre-Cambrian banded iron ores: Amer. Jour. Sci., v. 248, p. 449-474.
- Strakhov, N.M., 1959, Schéma de la diagenèse des dépôts marins: Eclogae Geol. Helv., v. 51, p. 761-767.
- Taylor, J.H., 1949, Petrology of the the Northampton Sand ironstone formation: Great Britain Geol. Surv. Mem., 111 p.
- Tyler, S. A., and W.H. Twenhofel, 1952, Sedimentation and stratigraphy of the Huronian of Upper Michigan: Amer. Jour. Sci., v. 250, p. 1-27, 118-151.
- Van Hise, C. R., and C. K. Leith, 1911, The geology of the Lake Superior region: U.S. Geol. Surv. Monogr. 52, 641 p.
- Vinogradov, A.P., 1962, Average content of chemical elements in main types of igneous rocks of the earth's crust: Geokimiya, № 7, p. 555-571 (in Russian).
- White, D.A., 1954, The stratigraphy and structure of the Mesabi range, Minnesota: Minnesota Geol. Surv. Bull. 38, p. 1-92.
- Zelenov, K.K., 1958, On the discharge of iron in solution into the Okhotsk Sea by

thermal springs of the Ebeko volcano (Paramushir Island): Akad. Nauk SSSR Doklady, v. 120, p. 1089-1092 (English translation by Consultants Bureau, Inc., New York, 1959, p. 497-500).