

钪的地球化学与铁矿石成因

宋学信
(地质部矿床地质研究所)

一、钪的地球化学特征

钪在元素周期表上位于第四周期第三族，属过渡元素类的稀土元素。它的原子序为21，是一个奇数元素，具有奇数的原子量（44.956≈45）和奇数的电价（+3）。

在戈尔德施密特的元素地球化学分类中，钪属于亲石元素，位于戈氏原子容积曲线第三个凹陷的上升部分。Рехарский (1976) 将其归为基性元素^[5]。

在费尔斯曼的对角线系列中，钪的离子半径（0.81^①）与Li⁺（0.82）、Mg²⁺（0.80）、Zr⁴⁺（0.80）、Hf⁴⁺（0.79）、Fe²⁺（0.76）相似，因此在内生作用中，Sc³⁺可以与这些元素特别是与Mg²⁺和Fe²⁺发生类质同象替换。

关于钪在各种岩石中的丰度^[3]，详见表1。由表1可见，Sc在超镁铁质岩、玄武质岩

钪在各种岩石中的丰度（ppm）表 1

火 成 岩					沉 积 岩			大 洋 物 质		
超镁铁质岩	玄武质岩石	高钙花岗岩	低钙花岗岩	正长岩	页岩	砂岩	碳酸盐岩	深海碳酸盐岩	深海粘土	大洋水
15	30	14	7	3	13	1	1	2	19	4×10 ⁻⁶

（据Green, 1969）

石、高钙花岗岩、页岩和深海粘土中含量较高。超镁铁质岩和玄武质岩石含钪较多，可能是因为钪易与铁镁矿物中的Mg²⁺和Fe²⁺发生类质同象替换的缘故，而页岩和深海粘土中含钪较多则是由于Sc易被粘土矿物吸附所引起的。

Н. А. Лосев(1964)在其《稀有元素地球化学》一书中，曾对钪在花岗岩浆-热液作用中的地球化学性状进行过比较全面的总结^[2]：在花岗岩中，Sc主要赋存于黑云母中；在花岗岩岩浆作用晚期，Sc在云英岩、云母-萤石岩和稀有金属矿床中富集；在稀土伟晶岩中Sc与Nb、Ta、Zr和Hf⁴⁺有类质同象关系；在高温热液型黑钨矿中Sc含量可达0.02—0.2%，低温热液型矿床中的黑钨矿含Sc较低，约为0.002%；Sc/Mg比值可以作为混染作用的标志。Л. Ф. Борисенко(1970)研究了在内生产物中Sc与Fe、Mg和TR的地球化学联系，并以超基性

① 单位为Å，以下同

岩为例说明Sc与造岩元素(Fe、Mg)的比例取决于主要铁镁矿物中Sc富集的程度。Sc在这些铁镁矿物中的浓度相当稳定,因而世界不同岩浆建造的同类型超基性岩的Sc含量相当一致。只有在交代蚀变岩中Sc再分配,并有时出现独立矿物富集。挥发分,特别是F存在时,有利于Sc和TR在岩浆期后产物中富集^[6]。H. A. Das等(1971)研究了在各种成因的岩石矿物中Sc与铁和铝的关系。他们指出^[4],虽然Sc、Al、Fe在不同成因的岩石矿物中浓度变化很大,但是对不同成因的沉积物细小质点而言,其Fe/Sc和Al/Sc比值还是相当固定的,当比表面为100m²/g时,Fe/Sc为(0.2—0.3)×10⁴,Al/Sc(分子)为(0.60—0.95)×10⁴;而对于粗粒沉积物来说,质点大小影响很大。

二、各类铁矿石中钪的含量

我们对我国的主要铁矿石类型的Sc含量进行了测定,结果见表2。由表2可以看出,不同成因的铁矿石的Sc含量是不同的,即:与基性-超基性岩有关的钕铁磁铁矿石和细碧岩型磁铁矿石的Sc含量较高(分别为27和31ppm),这可以用基性-超基性岩Sc较丰富和Sc³⁺在岩浆作用阶段易与铁镁硅酸盐(如辉石)和铁钛氧化物中的Mg²⁺和Fe²⁺进行类质同象替换

我国各类铁矿石的钪含量(ppm)

表 2

铁矿石类型	样品数	Sc含量(ppm)	测试方法
与基性-超基性岩有关的钕铁磁铁矿石	7	27	P-A
细碧岩型磁铁矿石	1	31	P-A
与闪长玢岩有关的浅成矿浆型假象赤铁铁矿石	8	7	P
与闪长玢岩有关的伟晶状磷灰石-透辉石-阳起石-磁铁矿石	1	9	P
与闪长玢岩有关的浅成矿浆型磁铁矿石	2	4	P
与闪长岩有关的矽卡岩型磁铁矿石	2	6	P
浅海沉积型肾状赤铁铁矿石	1	14	P-A
受变质(火山)沉积型镜铁铁矿石	3	11	P-A
受变质沉积型赤铁铁矿石	5	10	P-A
沉积-火山热液型赤铁铁矿石	8	3	P-A

P——催化极谱法; P-A——催化极谱法与原子吸收光谱法互检

来解释;沉积型和受变质沉积型赤铁矿或镜铁铁矿石的Sc含量亦不低(10—14 ppm),可能是由于Fe(OH)₃沉淀时吸附了较多的Sc的缘故;与闪长岩有关的浅成矿浆型、伟晶岩型和矽卡岩型磁铁矿或假象赤铁铁矿石Sc含量较低(4—9ppm),这可能是由于闪长岩岩浆成矿体系Sc丰度较低、Sc³⁺与Mg²⁺和Fe²⁺替换有限,以及矿石中含铁镁矿物较少造成的,其中伟晶岩型磷灰石-透辉石(阳起石)-磁铁矿石含Sc较高可能与磷灰石中含F较高、利于Sc富集以及透辉石(阳起石)中含Sc较高有关;流纹质或角斑质火山岩发育区的式可布台矿床(沉积)-火山热液型赤铁铁矿石Sc含量最低,只有3ppm,这可能是由于酸性岩浆热液体系Sc丰度低所致,并可反证式可布台铁矿的非沉积成因^①或至少说明沉积成因不是主导的。

① 有人认为式可布台铁矿与镜铁山铁矿一样,同属沉积成因

需加说明的是,影响矿石Sc含量的因素很多,诸如矿石及脉石矿物种类及比例、形成条件、地球化学背景、分析精度等,必须综合考虑。

三、各种铁矿物中钪的含量

在本项研究中,我们还测定了我国各类铁矿床主要铁矿物的Sc含量,详见表3。

表3的数据表明,钒钛磁铁矿床中钛铁矿的Sc含量最高,平均为29.5ppm;钛磁铁矿次之,平均为9.2ppm。而磁铁矿(假象赤铁矿)、赤铁矿和镜铁矿的Sc含量较低, ≤ 3.18 ppm。对于磁铁矿(假象赤铁矿)而言,其Sc含量因成因不同而异:钒钛磁铁矿床和浅成矿浆成因

不同成因和不同种类的铁矿物中的Sc含量(ppm)

表 3

矿床成因类型	矿物种类	样品数	Sc含量(ppm)	测试方法
钒钛磁铁矿床①	钛铁矿	23	29.5	N
钒钛磁铁矿床②	钛磁铁矿	16	9.2	N
钒钛磁铁矿床③	磁铁矿	6	2.75	N
浅成矿浆型铁矿床X	磁铁矿	3	3.18	N
浅成矿浆型铁矿床G	假象赤铁矿	4	2.40	N
浅成矿浆型铁矿床H	假象赤铁矿	3	1.96	N
火山热液型铁矿床	磁铁矿	4	<1	P
浅成矿浆-热液型铁矿床Xie	磁铁矿	5	<1	P
矽卡岩型铁锡矿床	磁铁矿	5	<1	P
浅成矿浆-热液型铁矿床C	磁铁矿	2	0.91	N
浅海沉积型铁矿床	赤铁矿	3	2.0	N
(沉积)-火山热液型铁矿床	赤铁矿	2	1.44	N

N——中子活化法; P——催化极谱法

①②③据我所“八二〇”组

铁矿床中的磁铁矿(假象赤铁矿)的Sc含量较高,为1.96—3.18ppm,而属于矽卡岩、火山热液和浅成矿浆-热液成因的磁铁矿Sc含量较低, <1ppm。

为什么钒钛磁铁矿床中的钛铁矿含Sc最高呢?这是因为该种钛铁矿形成温度较高(740—970℃^[1]),而且钛铁矿的Fe²⁺的百分比比其它铁矿物都高,这样就可能有较多的Fe²⁺被与之离子半径相近的Sc³⁺所替换,因而其中的Sc³⁺的总量就偏高。至于钒钛磁铁矿床中的磁铁矿和浅成矿浆成因磁铁矿比热液成因磁铁矿Sc含量高的问题,可以用前者形成温度较高,有利于Sc³⁺→Fe²⁺类质同象替换来解释。浅海沉积成因的莫托沙拉赤铁矿Sc含量较高(2.0ppm),可能用Fe(OH)₃吸附Sc³⁺来解释更合理一些。

综上所述,我们似乎可以得出这样的结论,即:铁矿石和铁矿物中的钪含量可能作为铁矿床成因的一个判别标志。

中子活化分析由中国科学院原子能所完成;原子吸收光谱和催化极谱分析由中国地质科学院岩矿测试技术研究所完成;我所“八二〇”组,孙忠和、盛继福和艾永德等同志提供了部分样品,谨在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 刘若新、解广表、倪集众 1974 长江上游地区几个层状基性—超基性侵入体中的铁-钛氧化物矿物 地球化学 第1期 1—24页
- [2] Н. А. 洛谢夫 (Лосев) 1960 «稀有元素地球化学» (中译本) 科学出版社
- [3] Green, J., 1969, Abundances and distribution of elements. U. S. Department of Commerce/National Bureau of Standards/Institute for Applied Technology.
- [4] Das, H. A. et al., 1971, Scandium in rocks, minerals and sediments and its relations to iron and aluminium. *Contrib. Mineral. Petrol.* Vol. 32, No. 3.
- [5] Рехарский, В. И., 1976, Периодичность коэффициента распределения и закономерности накопления элементов в изверженных горных породах. В сб.: «Очерки геохимии эндогенных и гипергенных процессов», «Наука», 1976.
- [6] Борисенко, Л. Ф., 1970, О характере геохимических связей Sc, Fe, Mg и Ti в эндогенных образованиях. *Геохимия*, № 7.

GEOCHEMISTRY OF SCANDIUM AS APPLIED TO THE
PROBLEM OF IRON ORE GENESIS

Song Xuexin

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences)

Abstract

The Sc contents of various iron ores and minerals in China have been determined by means of such techniques as neutron activation, atomic absorption spectrography and catalytical polarography. From the resulting analytical data certain regularity has been noted. Here are the facts along with my explanations:

(1) Vanadium-bearing titanomagnetite ores of basic-ultrabasic association and spilite-type magnetite ores have higher average Sc contents (27ppm and 31ppm respectively). This is referable to the relatively high concentration of Sc in the basic-ultrabasic magma as well as to the readiness with which Sc^{3+} displaces isomorphously Mg^{2+} and Fe^{2+} in Fe-Mg silicates and Fe-Ti oxides during the magmatic processes.

(2) Sedimentary and metamorphosed sedimentary hematite ores or specularite ores have moderate Sc contents (10–14ppm). This is probably caused by the adsorption of Sc by colloidal $\text{Fe}(\text{OH})_3$ precipitates.

(3) The magnetite or hematite ores from iron deposits of hypabyssal

ore-magmatic type, pegmatitic type, skarn type, and (sedimentary-) volcano-hydrothermal type have lower Sc contents (3-9ppm). This may result from the lower content of Sc in dioritic magmatic-metallogenetic system and the limited displacement of Mg^{2+} and Fe^{2+} by Sc^{3+} .

Of various iron minerals, ilmenite from the vanadium-bearing titanomagnetite deposit has the highest Sc contents (average 29.5ppm); titanomagnetite from the vanadium-bearing titanomagnetite deposit has moderate Sc contents (average 9.2); magnetite (or martite), hematite and specularite from various iron ores have lower Sc contents (≤ 3.18 ppm).

The higher Sc content of ilmenite is ascribable to the higher temperature of its formation, the larger amounts of Fe^{2+} it contains and the easier emplacement of Sc^{3+} in the lattice of this mineral, whereas the lower Sc content of hydrothermal magnetite is attributable to the lower Sc concentration of hydrothermal system and the difficulty with which Sc^{3+} displaces Fe^{2+} .

In short, the foregoing discussion has led the author to believe that the contents of Sc in ores and minerals can serve as a probable indicator in the ore genesis problem.

<http://www.kcdz.ac.cn/>