

稀土地球化学演化

1

郭承基 著

贵州人民出版社

稀土地球化学演化

1

郭承基 著

贵州人民出版社

责任编辑 黄绍琨

封面设计 石俊生

稀土地球化学演化

郭承基 著

贵州人民出版社出版

(贵阳市延安中路5号)

贵州新华印刷厂印刷 贵州省新华书店发行

787×1092毫米 16开本 34.75印张 828千字

1985年1月第1版 1985年4月第1次印刷

印数 1—2,000

书号15115·161 定价7.00元

前 言

稀土元素具有特殊而广泛的用途，在工业、农业及新技术等各个领域都发挥着愈来愈重要的作用，在国民经济建设中占有重要的地位。

稀土元素普遍地存在于各种岩石中，其丰度、配分、赋存状态及矿化类型，与岩石的时代、产地、性质及形成条件之间有密切的关系。因此稀土的研究不仅具有实用的价值，而且对于地球，特别是对于地壳、各种岩石以及与其有关的各类矿床的形成和演化等重大问题的探讨，具有重要的意义。

1958年以来，我国的稀土研究工作有了很大的发展，从矿产资源、分析测试、选矿冶炼以及应用等各个方面，都进行了大量工作，取得了一系列重大成果，并发现了不少值得予以注意的新苗头。在近十几年来，国外的稀土研究工作也有显著的发展，发表的有关稀土方面的研究论文逐年有所增加。

为了促进我国稀土研究工作的进一步发展，有必要从不同学科领域在过去工作的基础上不断进行总结。本书拟从所收集到的有关数据和资料的校正、整理入手，总结稀土地球化学的演化及富集规律。在了解其演化、富集规律的基础上，重点地讨论铈、钕、铽等特殊稀土、稀土新矿种以及与稀土共生的铌、钽等稀有元素的找矿问题；并对产生上述演化、富集规律的原因进行必要的探讨，为实现祖国四个现代化贡献更多的力量。

本书的完成与中国科学院地球化学研究所、贵州科学院有关领导同志的关怀和大力支持是分不开的。在撰写过程中，又得到了秦天真、朱煜如等同志的大力支持与鼓励。贵州人民出版社的有关同志，对书稿的修改提出了许多宝贵意见。在此一并表示深切的谢意！

目前关于岩石、矿石和矿物中稀土含量的测定，还存在很多问题。在多数情况下，测定的数据误差较大，灵敏度也不高。另外关于岩石、矿物中变价稀土元素的价态、微区分布以及分配的条件实验等，尚未进行系统工作。在这种情况下，有关稀土的地球化学演化的很多问题，事实上尚处于探索和发展阶段，加上作者水平有限，所收集的资料、数据不全，书中可能存在很多缺点和错误，敬希批评指正。

郭 承 基

一九八四年一月

内 容 简 介

本书在现有资料的整理、分析的基础上,总结了稀土和特殊稀土元素丰度的演化、稀土配分型演化、矿物演化、稀土矿化类型演化以及稀土与其他元素的共生演化规律。除了对这些规律在生产和科研方面的应用问题,进行了阐述以外,并重点地从成岩、成矿的三多性(多源、多次、多成因)、矿物化学演化的继承发展关系、离子分异、类质多型、价态平衡以及从氧化成矿的角度,对产生上述规律的原因进行了初步探讨。其目的在于讨论稀土以及与稀土共生或伴生的特殊稀土和稀有元素的找矿问题;阐述与稀土有关的矿物及地球化学方面的某些理论问题。

本书预定分五册出版:第一册La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu的丰度演化;第二册Gd、Tb、Dy、Ho的丰度演化;第三册Er、Tm、Yb、Lu、Y的丰度演化;第四册稀土配分型演化;第五册稀土矿物地球化学演化规律及其应用。

本书可供地质工作者以及从事稀土、稀有元素研究工作的人员参考。

目 录

前 言

绪 论	(1)
-----	-----

一、稀土元素丰度演化概述	(4)
--------------	-----

(一) 陨 石	(4)
(二) 榴 辉 岩	(10)
(三) 地 壳	(10)
(四) 橄 榄 岩	(11)
(五) 金伯利岩	(12)
(六) 玄 武 岩	(12)
(七) 辉 绿 岩	(17)
(八) 碱性橄榄玄武岩	(18)
(九) 霞石碧玄岩	(18)
(十) 橄榄霞岩	(19)
(十一) 霞白灰玄岩	(19)
(十二) 粗 面 岩	(19)
(十三) 响 岩	(20)
(十四) 霓长岩、霓霞岩及橄榄煌斑岩	(20)
(十五) 罗沃泽洛碱性岩	(21)
(十六) 吐尔皮霞石正长岩	(22)
(十七) 正 长 岩	(22)
(十八) 碳 酸 岩	(22)
(十九) 苏长岩及辉长岩	(26)
(二十) 中 性 岩	(27)
(二十一) 花 岗 岩	(28)
(二十二) 花岗伟晶岩	(42)
(二十三) 云 英 岩	(43)
(二十四) 流 纹 岩	(43)
(二十五) 黑 曜 岩	(43)
(二十六) 沉 积 岩	(44)
(二十七) 页 岩	(45)
(二十八) 砂 岩	(53)
(二十九) 石 灰 岩	(59)
(三十) 白 云 岩	(61)

(三十一) 大理岩	(63)
(三十二) 多成因碳酸盐岩石	(66)
(三十三) 磷灰岩	(70)
(三十四) 板岩	(70)
(三十五) 石英岩	(74)
(三十六) 砾岩	(76)
(三十七) 沉积物	(77)
(三十八) 化石及动植物	(80)
(三十九) 海水	(82)
(四十) 不同时代的沉积岩	(82)
(四十一) 变质岩	(84)
(四十二) 稀土元素丰度演化的一般规律	(88)
二、钕的丰度演化	(107)
(一) 陨石中钕的丰度演化	(107)
(二) 地球各层圈中钕的丰度演化	(110)
(三) 岩浆岩中钕的丰度演化	(112)
1. 橄榄岩	(112)
2. 金伯利岩	(112)
3. 玄武岩类	(113)
4. 碱性橄榄玄武岩	(116)
5. 霞石岩玄武岩、橄榄霞岩及霞白灰玄武岩	(117)
6. 粗面岩及响岩	(118)
7. 碱性岩不同岩相中钕的丰度演化	(118)
8. 霞石正长岩	(119)
9. 正长岩	(119)
10. 碳酸岩	(119)
11. 苏长岩及辉长岩	(120)
12. 闪长岩类	(121)
13. 花岗岩类	(122)
14. 花岗伟晶岩	(135)
15. 流纹岩	(135)
16. 黑曜岩	(135)
(四) 沉积岩中钕的丰度演化	(135)
1. 沉积岩中钕的平均含量	(135)
2. 页岩中钕的丰度演化	(136)
3. 砂岩中钕的丰度演化	(139)
4. 石灰岩、白云岩及大理岩中钕的含量	(141)
5. 磷灰岩中钕的含量	(144)

6. 沉积物中钼的含量	(145)
7. 煤、鱼化石及某些生物体中钼的含量	(146)
8. 海水中钼的含量	(147)
9. 不同地质时代沉积岩中钼的丰度演化	(147)
(五) 变质岩中钼的含量	(148)
(六) 陨石及岩石中钼的丰度演化规律	(150)
三、铈的丰度演化	(163)
(一) 铈的分布概况	(163)
(二) 陨石中铈的丰度演化	(164)
(三) 地球各层圈中铈的丰度演化	(167)
(四) 橄榄岩中铈的含量	(168)
(五) 金伯利岩中铈的含量	(169)
(六) 玄武岩类岩石中铈的丰度演化	(170)
(七) 霞石碧玄岩等中铈的含量	(172)
(八) 辉长岩及苏长岩中铈的含量	(172)
(九) 中性岩中铈的含量	(173)
(十) 花岗岩类岩石中铈的丰度演化	(173)
(十一) 流纹岩及黑曜岩中铈的含量	(182)
(十二) 花岗伟晶岩中铈的含量	(182)
(十三) 正长岩及霞石正长岩等碱性岩中铈的含量	(183)
(十四) 不同岩相碱性岩中铈的丰度演化	(184)
(十五) 碳酸岩中铈的含量	(184)
(十六) 沉积岩中铈的平均含量	(185)
(十七) 页岩中铈的丰度演化	(185)
(十八) 砂岩中铈的丰度演化	(188)
(十九) 石灰岩、白云岩及大理岩中铈的丰度演化	(190)
(二十) 磷灰岩中铈的含量	(191)
(二十一) 板岩、石英岩及砾岩中铈的含量	(191)
(二十二) 沉积物中铈的含量	(193)
(二十三) 煤、鱼化石及某些生物体中铈的含量	(194)
(二十四) 海水中铈的含量	(195)
(二十五) 不同时代沉积岩中铈的丰度演化	(195)
(二十六) 变质岩中铈的含量	(196)
(二十七) 多成因碳酸盐岩石中铈的含量	(197)
(二十八) 陨石及岩石中铈的丰度演化规律	(209)
四、锆的丰度演化	(217)
(一) 陨石中锆的丰度演化	(217)
1. 铁陨石中锆的含量	(218)

2. 石铁陨石中锶的含量	(218)
3. 球粒陨石中锶的含量	(219)
4. 无球粒陨石中锶的含量	(220)
5. 玻璃陨石中锶的含量	(220)
(二) 榴辉岩中锶的含量	(222)
(三) 地壳中锶的丰度	(222)
(四) 岩浆岩中锶的丰度演化	(222)
1. 橄榄岩中锶的含量	(223)
2. 金伯利岩中锶的含量	(224)
3. 玄武岩类岩石中锶的丰度演化	(224)
4. 碱性橄榄玄武岩中锶的含量	(227)
5. 霞石碧玄岩、橄榄霞岩及霞白灰玄岩中锶的含量	(227)
6. 粗面岩中锶的含量	(227)
7. 响岩中锶的含量	(228)
8. 辉长岩及苏长岩中锶的含量	(228)
9. 闪长岩类岩石中锶的含量	(229)
10. 花岗岩类岩石中锶的丰度演化	(230)
11. 花岗伟晶岩中锶的含量	(239)
12. 流纹岩及黑曜岩中锶的含量	(239)
13. 正长岩中锶的含量	(240)
14. 霞石正长岩中锶的含量	(240)
15. 碳酸岩中锶的含量	(241)
(五) 沉积岩中锶的丰度演化	(242)
1. 页岩中锶的丰度演化	(242)
2. 砂岩中锶的丰度演化	(244)
3. 石灰岩及白云岩中锶的含量	(245)
4. 磷灰岩中锶的含量	(246)
5. 板岩、石英岩及砾岩中锶的含量	(247)
6. 不同时代的沉积岩中锶的丰度演化	(248)
(六) 沉积物中锶的含量	(249)
(七) 煤、鱼化石及某些生物体中锶的含量	(249)
(八) 海水中锶的含量	(250)
(九) 变质岩中锶的含量	(250)
(十) 多成因碳酸质岩石中锶的含量	(251)
(十一) 陨石及岩石中锶的丰度演化规律	(255)
五、铈的丰度演化	(264)
(一) 铈的分布概况	(264)
(二) 陨石中铈的丰度演化	(265)

1. 石铁陨石	(265)
2. 球粒陨石	(265)
3. 无球粒陨石	(267)
4. 玻璃陨石	(268)
(三) 地球各层圈中钕的丰度演化	(270)
(四) 岩浆岩及其衍生物中钕的丰度演化	(271)
1. 橄榄岩	(271)
2. 金伯利岩	(272)
3. 玄武岩类	(272)
4. 碱性橄榄玄武岩	(278)
5. 霞石碧玄岩、霞白灰玄岩及橄辉霞岩	(279)
6. 粗面岩	(279)
7. 响岩	(280)
8. 辉长岩	(280)
9. 苏长岩	(281)
10. 基性岩脉	(281)
11. 闪长岩类	(281)
12. 花岗岩类	(283)
13. 花岗伟晶岩中钕的含量	(296)
14. 云英岩中钕的含量	(296)
15. 酸性岩脉中钕的含量	(296)
16. 流纹岩中钕的含量	(297)
17. 黑曜岩中钕的含量	(297)
18. 正长岩中钕的含量	(297)
19. 霞石正长岩中钕的含量	(297)
20. 碱性岩不同岩相中钕的丰度演化	(298)
21. 碳酸岩中钕的含量	(299)
(五) 沉积岩中钕的丰度演化	(301)
1. 页岩中钕的丰度演化	(302)
2. 砂岩中钕的丰度演化	(308)
3. 石灰岩、白云岩及大理岩中钕的含量	(310)
4. 磷灰岩中钕的含量	(315)
5. 板岩、石英岩及砾岩中钕的含量	(315)
6. 不同时代沉积岩中钕的丰度演化	(318)
(六) 沉积物中钕的含量	(319)
(七) 煤、鱼化石及某些生物体中钕的含量	(320)
(八) 海水中钕的含量	(321)
(九) 变质岩中钕的含量	(322)

(十) 多成因碳酸盐岩石中钕的丰度演化	(323)
(十一) 陨石及岩石中钕的丰度演化规律	(327)
六、钐的丰度演化	(345)
(一) 钐(Sm)的分布概况	(345)
(二) 陨石中钐的丰度演化	(346)
1. 铁陨石中钐的含量	(346)
2. 石铁陨石中钐的含量	(346)
3. 球粒陨石中钐的含量	(347)
4. 无球粒陨石中钐的含量	(349)
5. 玻璃陨石中钐的含量	(351)
6. 陨石中钐的丰度演化	(352)
(三) 地球各层圈中钐的丰度演化	(352)
(四) 岩浆岩中钐的丰度演化	(354)
1. 橄榄岩中钐的含量	(354)
2. 金伯利岩中钐的含量	(355)
3. 玄武岩类岩石中钐的丰度演化	(356)
4. 斜长岩及苏长岩中钐的含量	(360)
5. 辉长岩中钐的含量	(360)
6. 基性岩脉中钐的含量	(361)
7. 闪长岩类岩石中钐的含量	(361)
8. 花岗岩类岩石中钐的丰度演化	(362)
9. 流纹岩中钐的含量	(371)
10. 黑曜岩中钐的含量	(371)
11. 碱性岩类岩石中钐的丰度演化	(371)
(1) 碱性橄榄玄武岩中钐的含量	(372)
(2) 霞白灰玄岩中钐的含量	(372)
(3) 霞石碧玄岩中钐的含量	(372)
(4) 橄榄霞岩中钐的含量	(373)
(5) 霓霞岩及霓长岩中钐的含量	(373)
(6) 橄榄煌斑岩中钐的含量	(373)
(7) 响岩中钐的含量	(373)
(8) 霞石正长岩中钐的含量	(374)
(9) 正长岩中钐的含量	(375)
(10) 粗面岩中钐的含量	(375)
12. 碳酸岩中钐的含量	(376)
(五) 沉积岩中钐的丰度演化	(378)
1. 页岩中钐的含量	(378)
2. 不同地质时代页岩中钐的丰度演化	(381)

3. 砂岩中钐的含量	(382)
4. 不同地质时代砂岩中钐的丰度演化	(328)
5. 石灰岩、白云岩及大理岩中钐的含量	(384)
6. 磷灰岩中钐的含量	(386)
7. 板岩中钐的含量	(386)
8. 蚀变板岩中钐的含量	(387)
9. 石英岩中钐的含量	(387)
10. 砾岩中钐的含量	(388)
11. 不同类型的沉积岩中钐的丰度演化	(389)
12. 不同地质时代沉积岩中钐的丰度演化	(389)
(六) 沉积物中钐的含量	(390)
(七) 煤中钐的含量	(394)
(八) 生物体中钐的含量	(394)
(九) 海水中钐的含量	(395)
(十) 变质岩中钐的含量	(397)
(十一) 多成因碳酸盐岩石中钐的丰度演化	(398)
(十二) 陨石及岩石等中钐的丰度演化规律	(416)
七、铕的丰度演化	(430)
(一) 铕 (Eu) 的分布概况	(430)
(二) 陨石中铕的丰度演化	(431)
1. 铁陨石中铕的含量	(431)
2. 石铁陨石中铕的含量	(431)
3. 球粒陨石中铕的含量	(432)
4. 无球粒陨石中铕的含量	(435)
5. 玻璃陨石中铕的含量	(435)
6. 陨石中铕的丰度演化	(437)
(三) 地球各层圈中铕的丰度演化	(438)
(四) 岩浆岩中铕的丰度演化	(439)
1. 橄榄岩中铕的含量	(439)
2. 玄武岩中铕的丰度演化	(440)
3. 苏长岩中铕的含量	(444)
4. 辉长岩中铕的含量	(444)
5. 基性岩脉中铕的含量	(444)
6. 闪长岩类岩石中铕的含量	(444)
7. 安山岩及英安岩中铕的含量	(445)
8. 花岗岩类岩石中铕的丰度演化	(447)
9. 流纹岩中铕的含量	(456)
10. 黑曜岩中铕的含量	(456)

11. 金伯利岩中铈的含量	(457)
12. 碱性橄榄玄武岩中铈的含量	(458)
13. 霞白灰玄岩中铈的含量	(459)
14. 霞石碧玄岩中铈的含量	(459)
15. 橄榄霞岩中铈的含量	(459)
16. 霓长岩中铈的含量	(459)
17. 霓霞岩中铈的含量	(459)
18. 橄榄煌斑岩中铈的含量	(460)
19. 响岩中铈的含量	(460)
20. 白榴岩等中铈的含量	(461)
21. 黄长煌斑岩中铈的含量	(461)
22. 霞石正长岩中铈的含量	(462)
23. 正长岩中铈的含量	(462)
24. 粗面岩中铈的含量	(463)
25. 碳酸岩中铈的含量	(464)
(五) 沉积岩中铈的丰度演化	(466)
1. 页岩中铈的含量	(466)
2. 砂岩中铈的含量	(473)
3. 石灰岩中铈的含量	(478)
4. 白云岩中铈的含量	(481)
5. 蚀变白云岩中铈的含量	(481)
6. 大理岩中铈的含量	(482)
7. 蚀变大理岩中铈的含量	(483)
8. 板岩中铈的含量	(483)
9. 蚀变板岩中铈的含量	(485)
10. 石英岩中铈的含量	(485)
11. 砾岩中铈的含量	(486)
12. 磷灰岩中铈的含量	(487)
13. 煤中铈的含量	(487)
14. 不同地质时代沉积岩中铈的丰度演化	(487)
(六) 沉积物中铈的含量	(488)
(七) 生物体中铈的含量	(494)
(八) 海水中铈的含量	(496)
(九) 变质岩中铈的含量	(496)
(十) 多成因碳酸质岩石及其有关的矿石中铈的丰度演化	(499)
(十一) 陨石及岩石等中铈的丰度演化规律	(521)

绪 论

稀土包括镧(La)、铈(Ce)、镨(Pr)、钕(Nd)、钷(Pm)、钐(Sm)、铕(Eu)、钆(Gd)、铽(Tb)、镝(Dy)、钬(Ho)、铒(Er)、铥(Tm)、镱(Yb)、镱(Lu)及钇(Y)等十六种元素。其中除钷以外,其他元素普遍地存在于所有岩石、沉积物和水圈中。

稀土具有重要的经济价值和学术意义,而且有广阔的发展前景。随着我国地学工作的开展,对稀土的认识在不断加深中。

我国稀土资源丰富,矿床规模大,品位高,矿化类型多。其中不少为新类型和新矿种,而且经常和铁、铌、钽、锆、钨、铀、钍、钨、锡、钛及磷等多种有用资源伴生,具有重要的综合利用价值。

为了进一步扩大我国稀土和稀有元素的找矿远景,尤其是关于具有重要用途的Sm、Eu、Ho及Tm等特殊稀土矿产资源的找矿问题,作者曾先后从以下几个方面进行了论述:

- (1) 花岗岩及花岗伟晶岩的演化;
- (2) 花岗岩类岩石中造岩元素与造岩矿物的演化;
- (3) 稀有元素及稀有元素矿物的演化;
- (4) 稀土丰度及配分型的演化;
- (5) 稀土及稀有元素矿化类型的演化;
- (6) 元素赋存形式及配位数的演化。

通过较多的事实的整理和分析,可以看出上述各种演化,有某些共同的规律,例如:

- (1) 具有明显的时间、空间特征;
- (2) 有继承、发展关系;
- (3) 发展有高峰,呈非对称型马鞍式演化;
- (4) 从演化的早期阶段到演化的高峰阶段,花岗岩及花岗伟晶岩中氧和稀土、稀有元素的含量依次增高,同时矿物种类和矿化类型增多。

类似的演化规律,同样存在于基性岩、碱性岩及沉积岩中。

关于产生上述规律的原因,作者曾经从以下几个方面,进行过初步探讨:

- (1) 离子分异;
- (2) 价态平衡;
- (3) 氧的作用;
- (4) 成岩、成矿的三多性(多源、多次、多成因);
- (5) 各种地质作用的迭加;
- (6) 类质同象置换的有限性。

根据类质同象置换有限性的研究,作者初步认为在自然界形成的矿物晶体中,类似的离子之间的置换,一般是有限的,甚至于在同一晶体中,有些离子的分布也是不均匀的。矿物形成后,由于物理、化学条件的改变,将促使这种不均匀性进一步增加。矿物中元素分布的

不均匀与选择溶解之间有密切的关系。

当稀土和稀有元素在岩浆或成矿溶液中的含量很低时, 这些元素彼此之间以及与其他类似的离子之间, 比较容易地在各阶段析出的多种矿物中进行置换, 所形成的稀土、稀有元素独立矿物的种类少, 数量也小。而在稀土、稀有元素的丰度演化过程中, 由于这些元素的含量增高, 类质同象置换减弱, 结果使稀土、稀有元素矿物的种类增多、数量增大。

作者初步认为, 在矿物晶体中, 类似的离子之间不仅可以互相置换, 而且互相排斥。一般含量低时, 互相置换; 而含量高时, 则互相排斥。

在有岩浆活动、沉积、变质作用发育的地区, 稀土、稀有元素的含量往往显著增高, 由这些元素形成的矿物种类增多, 数量也增大。

一般成岩、成矿作用愈复杂, 则元素组合、矿物组合及矿化类型也愈复杂。在这种情况下, 稀土、稀有元素矿物的种类显著增多, 甚至形成某些通常很少见的矿物。

性质彼此类似的离子, 在上地幔及地壳的演化过程中, 由这些离子形成的矿物种类及矿化类型, 从早到晚有明显的增加, 将这种现象暂称之为“类质多型演化”。

根据稀土、稀有元素的类质多型演化预测, 在有多种地质作用迭加的地区, 有可能形成 Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Ho、Tm、Sc 及 Hf 等元素的独立矿物和分别以这些元素为主要组分的矿物。

就大多数地区来说, 由泥盆纪到白垩纪是稀土和稀有元素丰度、稀土配分、矿物种类及矿化类型演化的高峰期, 类质多型演化很发育。在这一期间内, 有各种岩浆活动、蚀变、风化等多种地质作用迭加的地区, 存在上述富含 Sm、Eu、Ho 等矿物的可能性更大。

尤其是由选择重熔形成的某些花岗岩以及由交代、选择重熔形成的某些碳酸岩, 稀土分配异常, 有利于形成富含特殊稀土的矿物。从稀土配分及有关元素的比值 (如 $\Sigma Ce/\Sigma Y$ 、Nd/La 及 Pr/La 的比值等) 判断, 碳酸岩与花岗岩及花岗伟晶岩同样, 也可能是多成因的。碳酸岩在稀土和稀有元素含量、有关元素的比值、稀土配分、矿物种类以及碱金属和挥发分的含量等各方面, 都与白云岩、石灰岩及大理岩不同。但碳酸岩本身, 由于形成条件不完全相同, 彼此之间也有一定的差别。

在某些多成因碳酸质岩石以及与其有关的矿床中, 有必要的寻找上述富含特殊稀土和 Sc 等元素的新矿物或新矿种。在多成因的矿床群中, 稀土配分模式有明显的演化。虽然都属于铈族稀土强选择配分型, 但在不同的矿石类型或同一矿石类型的不同矿段, 可以进一步区分为富 La 或富 Nd 等几种不同的亚类。从类质多型及稀土配分演化的一般规律判断, 这些 La 型和 Nd 型-铈族稀土强选择配分型多成因碳酸质岩石或矿石, 是在富碱 (尤其是在富 Na) 的介质中, 经选择溶解、交替析出和矿物演化等作用, 稀土配分演化到高级阶段的产物。在这种情况下, 有利于形成 Pr、Nd、Sm、Eu 及 Gd 等元素的独立矿物或以这些元素为主要组分的矿物。

这种稀土配分型 (特别是 La 型-铈族稀土强选择配分型) 的形成时代比较晚, 多发生在大陆壳中, 是地壳演化到一定阶段的产物。

另外在某些燕山期花岗岩及其风化壳中, 除 Eu 以外, 有必要的寻找富含 Tb、Dy、Ho、Tm 及 Lu 等钇族稀土的矿物。

据作者初步研究, 我国有很多地区具备形成特殊稀土矿床的条件, 不仅 Eu、Tb、Ho、Tm

及Lu都有富集、矿化，形成多种类型矿床的可能，而且有可能发现具有重要意义的新矿床类型和以特殊稀土为主要组分的新矿种。

产生类质多型演化的原因，初步认为主要与类似离子之间的排他性、各种地质营力以及氧的多次反复作用促使稀土、稀有元素富集有关。

为了尽快地找到具有重要工业价值的特殊稀土和稀有元素矿产资源，除了研究这些元素的成矿规律和岩浆、沉积、变质及混合岩化的相互关系以外，在分析、测试方面有必要采取相应的措施，提高稀土元素测定上的灵敏度和准确度；开展微粒、微区矿物的系统研究。在地球化学实验方面，有必要开展稀土分配、岩石和矿物的化学性质、熔融体以及选择溶解的实验研究。

一、稀土元素丰度演化概述

(一) 陨 石

稀土元素丰度演化有某些共同的规律,通过陨石的研究,有助于对地球内部稀土演化问题的了解。

在已经分析过的某些石铁陨石中,稀土的含量、高峰和次高峰元素以及特殊稀土元素的含量顺序,如表1-1所示:

表1-1 石铁陨石中稀土和特殊稀土元素*的含量

石 铁 陨 石	Σ TR (ppm)	高峰 元素	次高峰 元 素	TSE 含 量 顺 序	Σ TSE (ppm)
橄榄石相 (1)		Y(?)	Ce		Lu = 0.0008
” (2)		Y(?)	Ce	Ho > Eu > Lu > Tm	Eu + Ho + Tm + Lu = 0.0092
” (3)	2.8	Y	Ce, Nd	Ho > Tb > Eu > Tm > Lu	0.123
硅酸盐相 (1)	6.2	Y	Ce	Eu > Ho > Tb > Lu > Tm	0.354
” (2)	16.8	Y	Ce	Ho > Eu > Tb > Tm > Lu	0.769

* 本书中所谓特殊稀土元素包括Eu、Tb、Ho、Tm及Lu等五种元素,以符号TSE表示。

在石铁陨石中,由橄榄石相到硅酸盐相,稀土的含量伴随氧含量的增高而增高。其中以无磁性硅酸盐相石铁陨石中的含量最高,可达17ppm左右。

高峰元素为Y,次高峰元素为Ce;在个别情况下,Nd的含量可能近似或稍大于Ce。

特殊稀土元素的含量,也以无磁性硅酸盐相石铁陨石最高,其次为硅酸盐相石铁陨石,而以橄榄石相石铁陨石的含量最低。各种特殊稀土元素的平均含量以Ho最高,依次为Eu、Tb、Tm及Lu。

在球粒陨石中,稀土的含量、高峰和次高峰元素以及特殊稀土元素的含量顺序和含量,如表1-2所示: