

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

磷质叠层石的成因探讨

盛 章 琪*

(贵州省地质矿产局——五地质大队)

叠层石是藻类等微生物作用而成的生物沉积构造。至今发现的现代叠层石都是碳酸盐的,而在地史中,除见到丰富的碳酸盐叠层石外,尚发现有大量磷质叠层石。中国南方震旦纪磷块岩,以及印度、苏联、澳大利亚^[1]、尼泊尔^[2]、西班牙、赞比亚等国前寒武纪及寒武纪磷块岩中的磷质叠层石,不仅是磷块岩的重要矿石类型,而且对判断磷块岩的沉积环境和探索藻类微生物对磷酸盐的聚集和富化都具有十分重要的意义。

关于磷质叠层石的成因(是原生或是交代碳酸盐叠层石而成),目前众所纷纭。近几年来,我们在研究南方晚震旦世陡山沱期磷块岩的成矿规律时,对磷质叠层石的分布、产状、类型、岩相序列、物质组份、微构造、显微结构及微生物组合等都进行了较详细的观察和研究。本文试图就磷质叠层石的成因提出一点看法。

一

中国南方上震旦统陡山沱组磷质叠层石,集中分布于黔中、武陵、神农架—荆门浅海台地边缘,位于陡山沱组第一段或第二段上部层位,呈一定递变系列构成四个迎波浪北凸的层礁及斑礁产出。

磷质叠层石按其形态特征,可归纳为层状叠层石、柱状叠层石、球状叠层石等三大类 20 余种^[2]。按组成叠层石的物质组份可分为单磷酸盐磷质叠层石及碳酸盐质磷质叠层石两大类:前者组成叠层石基本层的物质组份为磷酸盐,后者组成基本层的物质组份由磷酸盐及碳酸盐(白云石)相互叠置而成。它们分别隶属于两种不同的岩石组合(图 1): (1) 单磷酸盐磷质叠层石。以贵州开阳龙洞沟剖面为代表,在陡山沱组第二段内,磷质叠层石赋存于砂砾屑磷块岩之上(图版 I—1),上覆围岩为白云岩,其中磷质叠层石自下而上由层状叠层石(*Stratifera* sp.)→开阳拟锥叠层石(*Paraconophyton kaiyangensis*)→多芽帕托姆叠层石(*Patomia multigemmia* (sp. nov.))→角状帕托姆叠层石(*P. corniformis* (sp. nov.))组成一个海进层序递变系列。(2) 碳酸盐质磷质叠层石。以湖北鹤丰白果坪剖面为代表(图 1),在陡山沱组第二段顶部 17 米内,磷质叠层石与白云岩或含磷白云岩呈韵律性互层(图版 II—1),上覆及下伏围岩为白云岩。其中磷质叠层石自下而上由高大分叉的敏雅尔叠层石(*Minjaria baiguopingensis* (sp. nov.)) (图版 II—2)→瘤状、结核状、柱状叠层石(*Poniscollenia* sp., *Compactocollenia* sp.)→层状、具核状、颈状叠层石(*Stratifera* sp., *Nucleenia* sp., *Collumnacollenia* sp.)→层纹石(*Stratifera* sp.)组成一个向

* 参加野外工作的有周茂基、江荣吉、陈枫。

1) Bashyal, R. D., 1983, 尼泊尔最西部拜塔迪地区磷块岩的初步评价。地质科技动态,第 6 期。

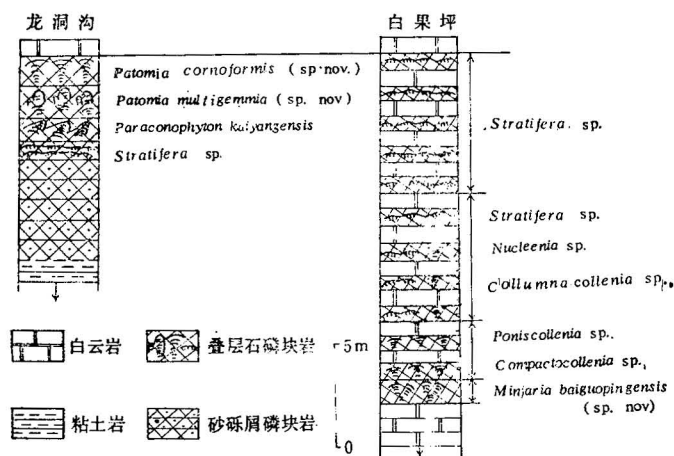


图 1 两种含磷建造(及其所含的两种磷质叠层石)的岩性柱状剖面
Fig. 1 Columnar section showing the lithology of phosphatic formations

上变浅的海退层序递变系列。磷质叠层石岩相序列的差异,与其沉积环境和沉积条件密切相关。据此,为判别磷质叠层石的成因提供了环境依据。

—
—

表(1)为磷质叠层石主要矿物含量表,从表(1)中可以看出单磷酸盐磷质叠层石含磷酸盐矿物 >90%,碳酸盐质磷质叠层石其磷酸盐矿物及碳酸盐矿物都为主要组份。其中至为重要的是组成叠层石基本层矿物之间的相互关系和产出特征,乃是判别磷质叠层石是原生还是交代成因的重要标志。

表 1 磷质叠层石主要矿物含量表
Table 1 Content of Main Minerals in Phosphatic Stromatolite

类 型	主 要 矿 物 含 量 (%)						
	碳氟磷灰石	白云石	碎屑石英	自生石英	水云母	海绿石	褐铁矿
单磷酸盐磷质叠层石	90—95	0—5	1—3	0—3	1—3	0—0.5	1
碳酸盐质磷质叠层石	35—65	30—65	0—0.5	3—10	0	0	0—0.5

单磷酸盐磷质叠层石基本层的矿物组合关系比较单一(图版 I—4)。富藻层均由单一的磷酸盐组成,非晶质的碳氟磷灰石呈胶状集合体,其中富含有机质,并包含少许水云母碎片及石英粉砂碎屑,褐铁矿呈黄铁矿假象沿层成点线状展布;富屑层主要由磷质颗粒(内碎屑、球粒等)组成,伴生有少量石英碎屑、海绿石等。随着叠层石生长不同时期内的物质供给的变化,个别富屑层则由陆源石英碎屑富集而成。不同时期生长的富屑层中,颗粒的胶结物均为层纤状碳氟磷灰石。叠层石柱体之间的陷集物及连接桥的物质组份亦由磷酸盐组成,它们呈不同粒级的内碎屑、球粒等颗粒陷集于柱体之间。沉积期后的次生白云石及石英沿粒间孔隙充填仅局部可见。在长达上千米,厚十余米的叠层石礁体中,无论

在叠层石柱体还是其陷集物中,都未见到磷酸盐交代碳酸盐的现象。上述事实只能说明单磷酸盐磷质叠层石,是在藻类生物作用下的原生沉积物。

碳酸盐质磷质叠层石基本层的矿物组合关系比较复杂,可分为下述两类:

1. 在同一叠层石个体中,基本层的矿物组合关系、产出特征具多种形式。富藻层可以由单一的磷酸盐组成,也可由纯净的泥晶碳酸盐组成。或者二者交替成极细的显微纹层(图版 II—3、4)。富屑层中藻类捕集的碎屑颗粒,既有磷质颗粒(内碎屑、球粒等)也有白云质粒屑(内碎屑、球粒等),它们相互混杂堆积,被磷质或白云质所填间。在不同时期生长纹层中,这些颗粒的含量及填间物质的类别,看来取决于带入潮汐地带并在藻丛上展布成薄层的沉积物的无规律的补给和介质性质的变化。基本层矿物组份的交替叠置,反映了物质供给、介质性质随叠层石的生长呈周期性的有序的变化。正是由于上述原因,充填于叠层石柱体之间的陷集物和连接桥,也随之由磷酸盐和碳酸盐组成。值得注意的是在后期生长纹层中的磷酸盐可沿基本层接触介面及粒间孔隙,交代先期生长纹层中的碳酸盐(图版 II—5)。也就是说磷酸盐交代碳酸盐的作用,是在叠层石生长的不同时期内发生的。这就为此类叠层石的原生成因提供了矿物学依据。至于沉积期后次生白云石及石英的交代现象更是屡见不鲜。

2. 在同一叠层石内组成基本层的矿物以碳酸盐为主。富藻层由泥晶白云石组成;富屑层由白云石粒屑(内碎屑、球粒等)组成。磷酸盐与碳酸盐不因叠层石周期性的生长而具分层叠置的有序变化,在显微镜下观察到的是磷酸盐呈断续不规则的集合体,沿基本层层间孔隙无序的交代碳酸盐(图版 II—10)。在透射电镜下磷酸盐溶蚀交代碳酸盐的现象清晰易辨(图版 II—11)。上述特征表明磷酸盐的交代作用是于碳酸盐叠层石形成之后,在层纹间相当大的孔隙中发生。一般常见于层状叠层石,故此类磷酸盐化的叠层石,应属交代成因。

三

表(2)为磷质叠层石元素化学组份表,从表2中可以看出磷质叠层石的 F/P_2O_5 均 >0.084 ,最高可达 0.105,说明组成磷质叠层石的磷酸盐矿物,应属碳氟磷灰石类质同象系列^[3]。

单磷酸盐磷质叠层石 P_2O_5 含量极高, CaO/P_2O_5 比值较稳定;碳酸盐质磷质叠层石 P_2O_5 含量低, CaO/P_2O_5 比值高,变化幅度大,同时富含 MgO 。二者的差异与它们形成的古地理环境、物质供给、介质性质等地质物理和地球化学条件的变化有关。

单磷酸盐磷质叠层石,分布于海进层序岩相系列中,含磷建造的岩石组合由单一的磷酸盐组成。说明成磷阶段物质来源丰富,磷质补给充足,介质性质稳定,在藻类繁盛的浅水域形成高品位的磷质叠层石。

碳酸盐质磷质叠层石,分布于海退层序的岩相系列中,含磷建造的岩石组合由磷酸盐和碳酸盐交互成层。说明沉积阶段物质供给、介质性质具周期性频繁变异。因此也导致所形成的磷质叠层石基本层的物质组份随生长时物质供给和介质性质周期性的变化而递变。故它们的 P_2O_5 含量较低, CaO/P_2O_5 比值不稳定。

交代成因的磷质叠层石,分布于海退层序岩相序列的顶部,处于旋回的末期,此时介

质中磷酸盐浓度低。由于大量碳酸盐的析出,残余的磷质溶液仅能沿碳酸盐叠层石层纹间孔隙充填交代,故 P_2O_5 含量低, CaO/P_2O_5 比值大(表(2)9号样)。

磷质叠层石所含微量元素有 20 余种,含量显著的是 I、Br、Sr、Ba 等。单磷酸盐磷质叠层石普遍含碘,最高可达 100ppm,一般数十个 ppm。碳酸盐质磷质叠层石含碘量一般都低于单磷酸盐磷质叠层石。溴的含量最高达 75ppm。Sr、Ba 在磷质叠层石的含量普遍较高,锶的最高含量达 2600ppm,最低也达 400ppm。碳酸盐质磷质叠层石锶的含量都高于单磷酸盐磷质叠层石。钡的含量最高达 2650ppm,一般数十—数百个 ppm。稀土的含量普遍较低,最高才数十个 ppm。几乎不含铀。经光谱分析在磷质叠层石中尚可见到典型的痕迹元素 V、Ni、Cr、Zn 等有机生物元素组合^[4]。据 P. A. Trudinger^[5] 等人研究,在由大多数藻类和细菌组成的海洋生物群中,元素富集的浓度可以大大超过海水中该元素的平均含量。磷质叠层石中微量元素的特征充分显示了藻类微生物能从各种浓度梯度的海水中聚集元素的能力。

四

磷质叠层石的微观特征包括基本层的微构造、显微结构及其所含微生物组合。中国南方震旦纪磷质叠层石基本层的微构造经常可见有带状、线状、凝块状等。显微结构有斑

表 2 磷质叠层石元素化学成份表

Table 2 Chemical Composition in Phosphatic Stromatolites

样品号* \ 化学成份	类型	单磷酸盐磷质叠层石					碳酸盐质磷质叠层石					
		1	2	3	4	平均值	5	6	7	8	9	平均值
P_2O_5		37.37	38.08	37.45	37.55	37.61	21.51	26.74	21.25	20.01	11.15	20.13
CaO		51.47	51.62	52.11	52.05	51.81	48.77	46.52	39.35	41.14	36.06	42.36
SiO_2		2.54	0.00	2.14	1.62	1.57	4.12	6.57	15.4	2.70	4.09	6.56
MgO		0.25	0.20	0.40	0.78	0.41	3.29	2.97	6.28	10.44	15.52	7.7
Al_2O_3		0.61	0.52	0.30	0.72	0.54	0.33	0.44	0.28	0.50	0.22	0.35
Ti_2O_3		0.17	0.17	0.87	0.60	0.45	0.12	0.17	0.10	0.05	0.11	0.09
FeO		0.75	0.17	0.13	0.11	0.29	0.03	0.12	0.04	0.08	0.07	0.06
Na_2O		0.31	0.37	0.38	0.35	0.35	0.11	0.14	0.14	0.16	0.07	0.12
K_2O		0.17	0.12	0.11	0.10	0.13	0.09	0.21	0.11	0.34	0.04	0.16
F		3.27	3.23	3.31	3.52	3.33	2.12	2.49	2.04	2.04	1.18	1.97
I		0.0035	0.0018	0.0093	0.004	0.0046	0.001	0.0007	0.0009	0.001	0.001	0.0009
CaO/P_2O_5		1.337	1.355	1.391	1.386	1.378	2.267	1.739	1.851	2.06	3.23	2.273
F/P_2O_5		0.087	0.084	0.088	0.093	0.088	0.098	0.093	0.091	0.102	0.105	0.097

*1. *Stratifera* sp. (开阳龙洞沟)。 2. *Patomia multigemmia* (sp. nov) (开阳龙洞沟)。 3. *Boxonia xifengensis* (息烽)。 4. *Patomia cornoformis* (sp. nov) (开阳红岩沟)。 5. *Minjaria baiguopingensis* (东山峰白果坪)。 6. *Collenilla* sp. (东山峰白果坪)。 7. *Compacrocollenia* sp. (东山峰大陈湾)。 8. *Stratifera* sp. (东山峰清官渡)。 9. *Stratifera* sp. (东山峰清官渡)。

点状、丝状、放射纤维状、云雾状、蠕虫状等。根据朱士兴^[6]等人的研究,磷质叠层石所含微生物化石可分为丝状及球状两大类,其中除部份可以确定为蓝藻及绿藻外,多数为分类位置不明的疑源类,它们可能为更高级的真核藻类或真菌生物。这些疑源类微生物可能就是磷质叠层石的主要造叠层石的生物。

据对现代叠层石的研究资料,在叠层石物质成份的形成上,藻类生物作用包括生物化学沉淀碳酸盐和机械捕集颗粒这两个方面。磷质叠层石基本层的矿物组份虽然有别于现代碳酸盐叠层石,但基本层的矿物组合形式及其微构造、显微结构、微生物组合等特征。都体现了藻类生物作用的这两个方面。

单磷酸盐磷质叠层石基本层的矿物成份均一,因此其微构造、显微结构及微生物化石清晰易辨,保存完好(图版 I—1)。在富藻层中,磷酸盐矿物呈胶状集合体,具典型的凝胶结构^[7](图版 I—4),单偏光下黄褐色的有机纹层微波起伏,呈蠕虫状、云零状结构(图版 I—2、3)。在高倍镜及透射电镜下经常可见藻类等微生物化石(图版 I—5、6、7)。富藻层中的微构造、显微结构,虽然取决于有机物的形态和分布状态,但也可能与藻类微生物的形态和生长习性有关。这些特征充分显示了由于藻类通过光合作用和菌解作用,促使磷酸盐的富集和聚沉,体现了在生物化学作用下的胶体沉积。在富屑层中具有明显的颗粒结构(图版 I—4),被藻类粘结,捕陷的颗粒富集成极薄的纹层,颗粒内部及颗粒外缘胶结物中,有时尚可见到藻类生物活动的痕迹。颗粒的大小随纹层生长的周期及丝状体的捕集能力而具一定的分选性。上述特征表明了它是在藻类生物作用下的物理富集。

原生碳酸盐质磷质叠层石,虽然在叠层石生长的不同时期内,物质供给、介质性质具周期性的递变,但体现藻类生物作用的两个方面仍然可辨。基本层的微构造、显微结构及微生物化石的保存,完全可以与单磷酸盐磷质叠层石媲美(图版 II—3、4、5、6、7、8)。特别是在磷酸盐组成的富藻层中,显微结构极为清晰,在显微镜下及透射电镜下都可观察到丰富的藻类微生物化石(图版 II—9)。富屑层由于沉积物无规律的补给和微化学环境的变异,导致藻类捕集的颗粒具多种组份,其突出的颗粒结构正是藻类机械捕集的佐证(图版 II—4)。

交代成因的磷质叠层石,由于基本层的矿物组成均为碳酸盐,受后期磷酸盐的交代和成岩重结晶及藻类的降解作用,其微构造、显微结构和微生物化石的保存都大大逊色于原生磷质叠层石。其中最为明显的区别是在磷酸盐矿物中,几乎不含有机组份和藻类微生物的痕迹。

五

综上所述特征,可获如下认识:

1. 磷质叠层石按组成基本层的矿物组份,虽可划分为单磷酸盐及碳酸盐质磷质叠层石,但它们的成因除少量碳酸盐质叠层石是交代成因外,无论是单磷酸盐磷质叠层石或碳酸盐质磷质叠层石,与现代叠层石一样,是受环境制约的藻类微生物作用而成的生物沉积构造。

2. 磷质叠层石分布于濒广海的浅海台地边缘的浅水域,它们物质组份的变化是与古构造、古地理、物质供给、介质性质等地质物理、地球化学条件变化有关。在中国南方震旦

纪磷块岩中,单磷酸盐磷质叠层石主要分布于“构造”型台地边缘海进层序岩相序列(如黔中台地开阳磷矿、瓮安磷矿)。碳酸盐质磷质叠层石则分布于“建造”型台地海退层序岩相序列(如武陵台地东山峰磷矿)。交代成因磷质叠层石仅见于“建造”型台地海退层序岩相序列旋回的末期,与原生碳酸盐质磷质叠层石共生。

3. 叠层石的基本层表现了生物-沉积作用的周期性,基本层物质组份的交互叠置的有序变化,很可能是其洋流强弱,气候节律,介质性质等变异的物质反映。

4. 藻类微生物成磷作用的重要性,日益引起国内外磷矿地质工作者的重视。并把磷质叠层石视为生物成磷作用的佐证。在中国南方震旦纪磷块岩中,除见到大量叠层石磷块岩外,在不同沉积环境(浅海台地或浅海盆地)的各类磷块岩中(凝胶磷块岩或颗粒磷块岩),都可见到藻类微生物化石,其数量之丰富,保存之完好,实属罕见。似乎可以认为,中国南方震旦纪磷块岩可能就是古代微生物繁衍和菌解作用富集而成的隐藻磷块岩。世界各地不同时代的海相磷块岩中,都可找到石化的藻类、细菌、真核等微生物的残存体。因此,有机微生物的成磷作用,应予以重视。

作者在研究过程中,曾得到曾允孚教授的指导,杜祥林主任工程师审阅了全文,在此深表感谢。

参 考 文 献

- [1] Schmitt, M. and Southgate, P. N., 1982, A Phosphatic Stromatolite (*Ilicia cf. composita Sidorov*) from the Middle Cambrian, northern Australia. *Alcheringa* 6, pp. 175—183.
- [2] 周茂基、盛章琪、朱士兴, 1983, 中国南方震旦纪的磷质叠层石。第五届国际磷块岩讨论会论文集。地质出版社。
- [3] 盛章琪、周茂基, 1983, 中国南方震旦纪磷块岩的岩石学。第五届国际磷块岩讨论会论文集。地质出版社。
- [4] Prevot, L. and Lucas, J., 1980, Behaviour of Some Trace Elements in Phosphatic Sedimentary Formations. S. E. P. M. Special publication No. 8 pp. 31—39.
- [5] K. H. 乌尔夫主编, 1980, 层控矿床和层状矿床, 第二卷, 地质出版社。
- [6] 朱士兴、王砚耕、张麟, 1983, 中国开阳磷矿的形成与古代微生物的关系。第五届国际磷块岩讨论会论文集。地质出版社。
- [7] 周茂基、盛章琪, 1982, 贵州晚震旦世陡山沱期磷块岩的矿石结构及其地质意义。地质学报, 第 56 卷, 第 1 期。

A STUDY ON ORIGIN OF PHOSPHATIC STROMATOLITE

Sheng Zhangqi

(115 Geological Party of Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources)

Abstract

Phosphatic stromatolites are widespread in the Cambrian and Pre-Cambrian phosphorites. According to its composition, the phosphatic stromatolite of the Sinian phosphorite in South China may be divided into monophosphatic and carbonatic-phosphatic stromatolites. The former contains more than 35% P_2O_5 , and the latter, about 20%. The studies on the characteristics of their occurrence, lithofacies mineral assemblages, chemical composition, microstructures, microtextures and microfossil assemblages indicate that except a small quantity of carbonatic-phosphatic stromatolite that is of replacement origin, both types of stromatolites, like the recent stromatolite, are of primary sedimentation under the influence of algae formation.

The mono phosphatic stromatolites are distributed in the "tectonic type" platform transgressive sequence. The mineral assemblage in the basic beds is composed solely of phosphate. The CaO/P_2O_5 ratio is stable. Microtextures and microfossils that reflect the characteristics of stromatolite can be seen everywhere. Mineralogical study indicates that in the stromatolitic reef, up to 1000 m long and 10 m or more across, phosphatic replacement of carbonate is neither seen in the stromatolitic column nor in its captured materials.

The primary carbonatic-phosphatic stromatolites are distributed in the "formation type" platform regressive sequence. The mineral assemblages in the basic beds were generated by super-imposition of phosphate and carbonate, depending on the periodic variation of material supply and medium properties at the time of stromatolite growth. The Ca/P_2O_5 ratio is high, but varies greatly. MgO is rich. Its microstructures and microfossil contents are well preserved, comparable to those of the monophosphatic stromatolite. Only the phosphate in the secondary lamina of late origin is found to replace the carbonate in the primary lamina.

The phosphatic stromatolites of replacement origin were formed at the end of the regressive period. Mineralogical study indicates that the phosphate replacement took place in the relatively large pore space between the primary lamina post to the formation of the carbonate stromatolites. The microstructures, microtextures and microfossil contents are only poorly preserved.

图 版 说 明

图 版 I

1. 单磷酸盐磷质叠层石 *Patomia corniformis* (sp. nov.) 赋存于砂砾屑磷块岩上。
2. 基本层具线状及带状微构造。单偏光, $\times 20$ 。
3. 富藻层中保存的有机质(黑色), 微波起伏, 呈蠕虫状, 云雾状显微结构。透射光, $\times 15$ 。
4. 富藻层由非晶质磷灰石组成胶状集合体(灰黑色); 富屑层由磷质内碎屑、球粒等富集而成, 被层纤状磷灰石胶结(灰白色)。正交偏光, $\times 20$ 。
5. 富藻层中之丝状藻类化石。单偏光, $\times 135$ 。
6. 富藻层中之球状藻类化石。单偏光, $\times 135$ 。
7. 富藻层中之真菌化石。单偏光, $\times 135$ 。
8. 富藻层中之藻类丝状体化石。透射电镜, $\times 2750$ 。

图 版 II

1. 碳酸盐质磷质叠层石与白云石呈互层状产出。
2. *Minjaria* 碳酸盐质磷质叠层石。
3. 基本层具线状微构造, 白云石(灰白色)呈点线状与磷酸盐(黑色)交互叠置。正交偏光, $\times 20$ 。
4. 富藻层由泥晶白云石组成; 富屑层由磷质(黑色)及白云质(灰白色)内碎屑、球粒等富集而成, 二者相互叠置呈带状微构造。正交偏光, $\times 20$ 。
5. 基本层由磷酸盐(黑色)及碳酸盐(灰白色)叠置而成条带状微构造, 后期生长纹层中的磷酸盐沿介面溶蚀交代先期生长纹层中的碳酸盐。正交偏光, $\times 20$ 。
6. 富藻层具丝状显微结构。单偏光, $\times 135$ 。
7. 富藻层具放射纤维状显微结构。单偏光, $\times 56$ 。
8. 富藻层中藻类丝状体。单偏光, $\times 135$ 。
9. 富藻层中藻类孢子。透射电镜, $\times 6100$ 。
10. 磷酸盐(黑色)呈不规则集合体溶蚀交代碳酸盐叠层石。正交偏光, $\times 20$ 。
11. 磷酸盐溶蚀交代白云石(粒状)现象。透射电镜, $\times 2750$ 。

