

# 陕西乾陵石刻材料溯源\*

杨钟堂

(西安地质矿产研究所, 西安, 710054)

**摘要** 乾陵石刻材料源自何处,是今人关注之事。本文通过对乾陵石刻材料以及来自乾陵所在地——梁山灰岩和富平等地灰岩的岩石学及地球化学、材料性质、岩石风化特征等进行的对比分析,认为乾陵石刻材料主要源自本地,但不排除有部分石刻材料(如碑石)来源于富平等外地的可能性。

**关键词** 乾陵 石刻材料 来源地 唐代 陕西

陕西乾陵(唐高宗李治与女皇武则天的合葬墓陵)石刻群,以其种类数量繁多、规模博大雄浑、造型逼真优美、比例协调、雕刻技艺娴熟而倍受世人赞誉,被称之为“唐代露天石刻艺术博物馆”,列入全国第一批重点文物保护单位。当人们流连这些石刻群、欣赏这栩栩如生的艺术精品,赞叹我国灿烂的古代文化艺术之余,会禁不住地要问,这些巨大的石刻材料究竟来自何处?乾陵石刻材料源自何处,一直被人们和专家学者们所关注。议论纷纭。大致可归纳为以下两种见解。一种认为由于乾陵所在地——梁山本身就蕴藏着大量的石材原料,乾陵便是穿山掘穴而建,因此石刻材料就来源于本地,属就地取材。另一种认为乾陵石刻材料应来源于渭北其他地方,属异地取材,甚至有人认为唐18座帝王陵墓的露天石刻材料都与陕西富平桥山石灰岩有关。近年来,笔者在从事与石质文物保护有关的科研项目研究过程中,曾对乾陵石刻材料的岩石学、矿物学、岩石地球化学、风化蚀损程度进行了较详细的研究,并对梁山灰岩和富平桥山石灰岩分别进行了相应的对比分析,从而探讨了乾陵石刻的来源。现整理成文,请同仁斧正。

## 1 岩石学特征

### 1.1 乾陵石刻材料的岩石学特征

野外考察表明,尽管石刻类型种类多,规模大小有别,但其石刻材料均为石灰岩质材料。从颜色和岩石物质组成判断,大致可分为浅灰色和深灰色两类。浅色调的石灰岩以质纯、致密、粒度细微、均匀为特征。主要为隐灰状、微晶状碳酸盐为主,因其中含有泥质、炭质物及铁质物数量较少,故颜色呈现为浅灰色。深灰色调的灰岩,不仅在色调上与浅色灰岩有差异,且由于前者含有较多的团块和生物骨屑,表面常有不规则的瘤状突起而呈现为疙瘩状。对这

收稿日期:1998-01-15

作者简介:杨钟堂,男,生于1950年,1975年毕业于西北大学地质系,副研究员,主要从事区域构造、构造岩石及矿物学研究,已在国内外有关刊物发表论文数十篇。

\* 中国地质科学院资助项目的部分成果。

两种类型的石刻材料的岩石薄片的光学显微镜鉴定表明：浅色调灰岩主要由微晶状、隐晶状方解石组成（含量高达90%），次为次生的细晶或者粒晶状碳酸盐岩脉以及各种杂质物（如硅质物、铁质物以及泥质物等），尽管也见有泥晶碳酸盐团块，但仅在局部地方出现。深灰色调岩石则以含有大量的碳酸盐泥晶团块和一定量的生物骨屑为特征，而微晶状方解石仅作为胶结物质形式存在。碳酸盐泥晶团块多呈线粒状、团粒状和圆粒状，含量高达50%以上，生物骨屑含量不等，有些含量高（达10%），有些则较低（约3%），因而可依据生物骨屑含量是名为含生物骨屑泥晶灰岩和泥晶灰岩。

此外，乾陵石刻材料大都选用整块石头雕刻，如石人、石马和石狮等，仅仅是基座材料与主体是分离的。这些巨厚岩块的高度一般都大于1 m，甚至高达3 m，厚度也有1 m左右到七八十厘米，没有明显的层理等原始岩层构造，反映了原始岩的岩层厚度比较大。

### 1.2 梁山石灰岩岩石学特征

乾陵所在地——梁山为陕西渭北北山山地灰岩残丘区。乾陵墓便以梁山北峰为势，穿山掘穴而建。实地观察表明，梁山及其周围一带灰岩多呈厚到巨厚层状，如北峰灰岩层厚约20~40 cm，其南侧的东西乳峰的灰岩层厚可达到1.0~1.2 m。岩层产状为北东45°走向，倾向北西，倾角为10~20°。以往，付力浦等人（1993）曾在梁山附近灰岩中发现：*Tasmanognathus badouensis* (Zhang), *Belodina confluens* Sweet 以及 *Panderodus felilneri* (Glenister) 等牙形石化石，经区域地层及古生物对比，梁山灰岩属于中奥陶世泾河组。

经采样鉴定分析，梁山灰岩主要有两种类型的石灰岩：浅色调和深灰色调等两种。前者以隐晶状、微晶状方解石为主（85%~90%），泥质、铁质及其他杂质含量相对较少（约10%以下），局部偶见石英等碎屑矿物；后者含大量的团粒状或圆粒状的方解石泥晶（可高达50%，一般为25%~45%）以及生物骨屑化石（5%~10%），它们均被隐晶状和微晶状碳酸盐所胶结。此外，还含有一定量的铁质物和其它杂质。前者可定名为微晶灰岩，后者依据生物骨屑化石含量定名为含生物骨屑泥晶灰岩和生物骨屑泥晶灰岩。

### 1.3 富平石刻材料岩石学特征

富平桥山石灰岩石材被认为是在石刻（特别是碑石）方面应用很广的材料。现在新铺设的乾陵司马道用石料便来自富平。因此，我们选择了富平的石材原料进行对比研究。源自富平桥山的石灰岩经研究是属于中奥陶世泾阳组之上的金粟山组。其岩性、岩石结构均与梁山石灰岩有着明显的差别，与现存的乾陵石刻材料也有着显著的不同。富平灰岩呈深灰黑色，甚至墨黑色，被称之为“墨玉”。该岩石具有清晰的层理构造，为薄层状，层厚几厘米到数十厘米不等，层理呈平行状，浅黑相间互层。黑色层理成分主要碳酸盐泥晶以及碎屑物构成，杂质含量较高，其中还发育有不规则的层纹构造；浅黑色薄层理则由晶形较好的方解石、白云石等细晶碳酸盐集合体构成，其中还可见到有不规则形态的碳酸盐泥晶角砾团块。由于层理发育，富平灰岩极易沿层理面剥离而成为薄厚不等的板状石材，这种薄板状石材则是雕刻以及柱栏、桩之类刻面的上好材料，但不适应制作大型的石雕制品。

## 2 岩石稀土及微量元素地球化学特征

大量的岩石地球化学研究表明，由于稀土和微量元素特有的地球化学性质，因而形成在

不同岩类中便有不同的稀土和微量元素组合及配分特征。对于沉积岩而言,影响沉积岩石稀土元素配分模式的主要因素是物质来源和沉积环境。因此,分析测定岩石中的稀土和微量元素,可以大致地确定其成因和沉积环境,结合石刻材料的对比研究,便可确定古代石刻材料的来源地。

本次工作中,分别选择了典型的石刻材料以及梁山灰岩和富平桥山灰岩样品,采用中子活化法对其稀土元素及微量元素含量进行了测定(表1)。其中乾陵石刻样品 QS-5 采自原功德碑南边废弃的基座(现已搬移),QS-6 采自司马道西侧自北而南第七石人像基座,前者定名为泥晶灰岩,后者定名为含生物骨屑泥晶灰岩。

从表1可以看出,乾陵石刻材料的稀土元素浓度含量与梁山 Q-2 样品相接近,而与富平样品(F)和梁山 Q-3 样品相差较大,这是由于乾陵石刻材料与 Q-2 号样品均为含生物骨屑泥晶灰岩所致,反映出它们之间的内在关联性。

将表1数据经过俄罗斯地台灰岩数据标准化处理后,绘制稀土元素配分图(图1)。图1清楚反映出,尽管他们的配分曲线形态相近似,但在各元素配分含量比上有一定的差异,来自富平的样品(虚线表示)位于图上方,其分配比值普遍高于乾陵石刻材料以及梁山石灰岩样品。乾陵石刻样品的配分曲线形态却与梁山石灰岩样品相近,特别是与 Q-2 样品极相近似。此外,通过对测试的结果采用球粒陨石标准化后,计算出  $\delta\text{Eu}_N$  值反映出梁山灰岩和乾陵石刻样品均较低,属弱负铕异常和无铕异常,而富平灰岩则较高,属正铕异常类型。

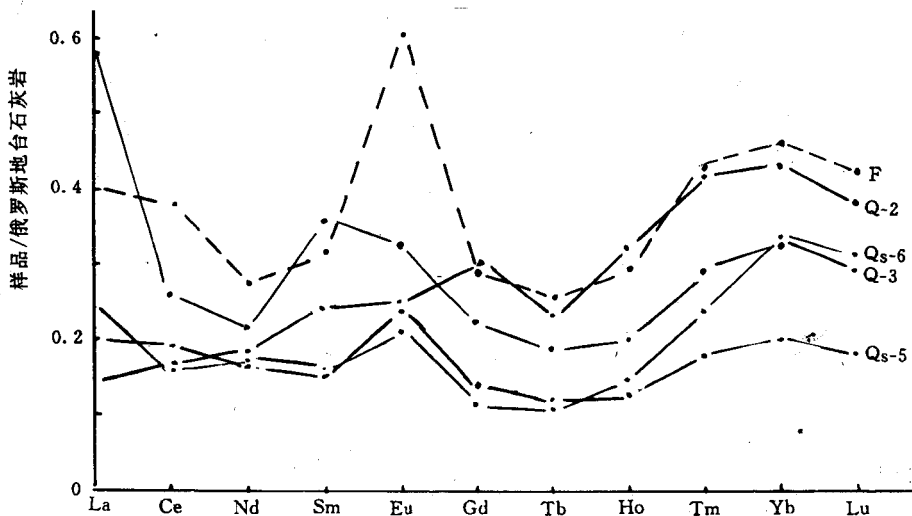


图1 乾陵石刻材料及不同地区石灰岩稀土元素配分图

F. 富平薄层泥灰岩; Q<sub>2</sub>. 梁山含生物骨屑泥晶灰岩; Q<sub>3</sub>. 梁山微晶灰岩; QS-5. 乾陵石刻泥晶灰岩;  
QS-6. 含生物骨屑泥晶灰岩

对微量元素含量测定分析表明,富平灰岩的 Na、Sc、Fe、Th、Ta 以及 Ba、Cs、Sb、Sr、Rb 和 As 等元素含量均较梁山灰岩和乾陵石刻材料高。特别是 Fe、Th、Ta 等元素含量差异尤其显著,约为梁山灰岩和石刻材料的 2~5 倍(表2)。

表1 乾陵石刻材料及不同地区石灰岩的稀土元素中子活化分析表

样品来源	编号	岩石定名	稀土元素含量( $\times 10^{-6}$ )										
			La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Ho	Tm	Yb	Lu
梁山	Q-2	含生物骨屑泥晶灰岩	2.03	2.62	1.39	0.365	0.0751	0.485	0.0696	0.112	0.0421	0.238	0.0375
	Q-3	微晶灰岩	4.84	5.79	2.49	0.536	0.0972	0.355	0.0557	0.0699	0.0292	0.180	0.0283
富平	F	薄层泥灰岩	3.30	6.13	2.20	0.478	0.1811	0.469	0.0773	0.104	0.0429	0.255	0.0416
乾陵石刻	QS-5	泥晶灰岩	1.65	3.13	1.33	0.227	0.0726	0.224	0.0360	0.046	0.0182	0.112	0.0180
	QS-6	含生物骨屑泥晶灰岩	1.19	2.68	1.43	0.229	0.0639	0.186	0.0319	0.0521	0.0243	0.181	0.0309
		球粒陨石	0.32	0.94	0.60	0.20	0.073	0.31	1.05	0.073	0.033	0.19	0.031
		俄罗斯地台石灰岩	8.3	16	7.9	1.5	0.3	1.6	0.3	0.35	0.1	0.55	0.1

注：由中国科学院北京高能物理研究所测定。

表2 乾陵石刻材料及不同地区石灰岩微量元素测定结果表

样品编号	微量元素含量 ( $\times 10^{-6}$ )															
	Na	K	Sc	Cr	Fe	Th	Ta	Hf	Ba	Cs	Sb	Sr	Rb	As	Zn	Co
Q-2	186	16200	0.345	4.78	1610	0.437	0.061	0.158	22.4	0.390	0.087	317	5.19	0.604	52.7	0.428
Q-3	92.5	28800	0.280	3.08	1340	0.393	0.040	0.129	14.0	0.168	0.126	131	2.91	0.203	39.2	0.458
F	237	1190	0.638	4.39	3980	0.788	0.636	0.151	43.5	0.634	0.367	328	6.46	0.914	11.3	1.89
QS-5	63.0	656	0.277	2.98	932	0.337	0.177	0.073	13.5	0.290	0.160	167	2.95	0.788	15.6	1.06
QS-6	80.4	882	0.158	1.94	1090	0.196	0.024	0.101	20.9	0.411	0.244	235	2.62	0.335	25.8	1.30

注：由中国科学院高能物理研究所测定。

造成以上稀土和微量元素浓度含量的差异原因在于富平灰岩含有较多的泥质物,而粘土物质则对稀土和微量元素有吸附作用。

由以上可以看出,乾陵石刻材料无论在岩石结构构造,还是在岩石地球化学特征方面与梁山灰岩样品相近,而与富平灰岩相差甚远。由此可以初步判断,乾陵石刻材料极有可能来源于本地,而非外地。当然,也不排除某些石刻(如石碑、柱栏等)使用外地灰岩的可能性。

### 3 生物风化侵蚀程度及速度

乾陵石刻经历了 1 000 多年自然界风雨的洗礼,天灾人祸的破坏,大都受到了不同程度的风化和侵蚀。这种风化不仅包括物理风化、化学风化,也包括生物风化和侵蚀。同样,如果能够发现古代采石场遗迹,那么原始采石面的裸露岩石也会遭到相同的风化作用。因此,将石刻材料的风化侵蚀程度进行估算,并与相关岩石露头的风化程度相比较,也能判断石刻材料采集地位置。

在对乾陵石刻风化特征的研究中,发现除了物理风化和化学风化以外,生物风化侵蚀也是乾陵石刻风化的重要类型。近 10 多年以来,随着对生物岩溶作用研究的不断深入,许多学者都已注意到运用生物作用的某些现象来探讨石灰岩及石灰岩质古文物的风化侵蚀程度。A·Danin (1983) 通过对耶鲁撒冷石灰岩建筑物上蓝藻溶蚀孔的测量研究,建立了建筑物建成年代与生物钻孔深度之间的经验函数公式。王福星等人对广西桂林靖江王石灰岩造像(建于 AC 1370 年)上的生物溶蚀孔计算出桂林直接生物岩溶的溶蚀速率,谢新生、肖振敏对我国北方地区丽石黄衣生长情况进行研究,总结出北方地区不同自然区带地衣生长年龄与地衣形态的关系。

乾陵石刻表面多有地衣和藻类覆盖。对其中石人造像表面的黄衣直径测量统计,其一般都在 30~50 mm 之间,最大者可达到 120 mm,而对华表西侧棱面下部的白衣直径测定大都在 50~90 mm 之间,最大者为 100 mm。对有地衣生长部位的岩面观察,其岩表面都有微小的蚀坑存在。对岩石薄片的光学显微镜观察,这些地衣生长部位发育有生物钻孔作用而形成的网络微构造现象,钻孔直径 0.002 mm,最大钻孔深度为 0.35 mm。依据谢新生、肖振敏提出的应用于我国北方暖温带半湿润区丽石黄衣生长年龄与其直径间的关系式;

$$T_{(D)} = 0.1142 D^{1.894}$$

计算出直径为 50 mm 的黄衣生长年龄为 200 年,然后利用最大生物钻孔深度值 0.35 mm (为黄衣生长处岩石薄片显微镜下的测定数据)计算,估算出生物钻孔的速率为 1.75 mm/1 000 年。

在对乾陵及其周缘地区的地质地貌考察过程中,于乾陵西侧沟中见到几处可能是原采石地露头,特别是西乳峰附近,可见到数处陡崖,高约 1.5~2.6 m,岩层呈厚层—巨厚层状,裂隙较少。在陡崖处还可观察到前人采石留下的楔孔。楔孔呈平行排状分布,楔孔间距约为 30~50 cm。单个楔孔形态似矩形板斧状,由外向里变薄直至尖灭,孔深为 100 mm 左右,与现今成排打钎取石方法相同。显然,这里曾是采石场无疑,但究竟是否乾陵石刻材料采集地还需进一步判断。为此,我们又对断面附近岩石的生物风化侵蚀现象作了相应观察和测定并采样进行了室内光学显微镜的观察分析。该处岩石表面发育地衣(黄衣、白衣)和藻类,地衣

最大直径者为 140 mm，一般为 90~120 mm，将地衣用针挑开，可发现在地衣生长部位岩石表面呈现芝麻点状的溶孔和蚀坑。将岩石切成光薄片在高倍光学显微镜下观察，生物钻孔现象尤为发育，钻孔多垂直于岩面向岩石表面内部呈单枝状生长，局部呈现网状。钻孔密度较高，在 1.0 mm 的间隔内就有 20~28 个钻孔。最大的钻孔深度为 2.106 mm。该处岩石为含生物骨泥晶灰岩，生屑含量 3%~5%。

将西乳峰断面岩石的最大生物钻孔深度值代入依据前述的用乾陵石刻所估算得到的生物钻孔生长速率值计算，那么西乳峰岩石断面上的地衣生长已有 1 200 多年了。若采用谢新生等的公式，用该处地衣最大生长直径值 (140 mm) 计算，则其生长也已达到 1 300 多年了 (表 3)。这就说明，该西乳峰采石断面的形成历史距今已有 1 300 多年了。由此可以初步判断西乳峰附近甚至在乾陵西侧所见到的采石遗迹，极有可能是唐代乾陵主要巨型石刻材料的来源地。

表 3 西乳峰附近采石崖形成年龄估算表

计算方法	公式	使用参数	年龄值 (ka)
生物钻孔	$T=L/V$	$V=1.75 \text{ mm/ka}$ $L=2.106 \text{ mm}$	1.203
地衣直径	$T(D)=0.1142D^{1.894}$	$D=140 \text{ mm}$	1.326

## 4 结 论

通过以上分析讨论，初步认为现存地表的大型乾陵石刻群材料主要来源于梁山及其周围，西乳峰附近可能为一原始采石场遗迹。鉴于材料规格及使用用途不同，或者乾陵建成以后的陵园修建过程中，由于作为皇家禁地等原因，部分材料可能来自其他地方。

工作过程中，曾得到乾陵博物馆大力支持，樊英峰馆长还曾就有关问题共同进行了有益的讨论，在此一并表示感谢。

## 参 考 文 献

- 1 何本善. 富平墨玉与石刻文物. 文博, 1992(2)
- 2 付力浦等. 鄂尔多斯中上奥陶统沉积环境的生物标志. 西北地质科学, 1993, 14 卷(2)
- 3 杨钟堂等. 乾陵石质文物风化蚀变的微观特征研究. 考古与文物, 1994(6)
- 4 何 玲等. 乾陵石刻化学风化研究. 考古与文物, 1995(6)
- 5 Danin. A. Weathering of Limestone on Jerusalem by cyanobaeteria, Z. Geomorph, N. F., 27. 413~421
- 6 王福星等. 生物岩溶. 北京: 地质出版社, 1993
- 7 谢新生, 肖振敏. 地衣测年法研究及其在陕西若干地质事件中的应用. 科学通报, 1989, 34(24)