

## 国外学者访华报告

# 大气粉尘及其石英中的氧同位素比率\*

M. L. 杰克逊

(美国威斯康星大学)

大气粉尘主要是风成的硅酸盐矿物尘粒,其粒径<10微米,能被中等强度的风携带上高空并运到很远的地方。对自然界尘土的矿物研究,已有很长的历史。远在本世纪初,就有人用光学显微镜来进行鉴定,并称这种物质是“随世界性的风而漂流的尘土”。自从六十年代末,我们开始使用质谱测定粉尘大小的石英中的氧,研究其同位素比率,追索其来源或成因。

如图1所示,上面的平流层是不受气候影响的大气层,而下面的对流层,约离地面10至20公里,则受气候影响。在急气流处,携带着很细的大气粉尘;地方性的风形成沙丘,在中国和其他国家的沙漠地区都有这样的沙丘;漂砂比沙丘的砂细,黄土粒比漂砂还细,而大气粉尘比黄土粒更细,所以它可以在高空中随风到处漂流,当遇降雨时随雨水落到地面或海洋沉置海底。在太平洋海底,就沉积着许多来自中国和其他国家的荒漠地区的粉尘。大气粉尘能到达高空并漂

亚来的冷气流经过中国的西北上空,便把那里的风成粉尘(包括黄土在内)从北方带到南方。为此,曾引起中国的气象学家、地质学家、环境学家和矿物学家们的注意。然而这种粉尘的沉降是区域性的,所以有的地方沉得多,有的地方沉得少。

由X射线分析得知,对流层中的粉尘含有许多种矿物,如云母、高岭石、蒙脱石、闪石、石英和长石等。为了分析石英中的氧同位素,必需先把粉尘、土壤和沉积物中的石英提纯。经过回收试验及扫描电子显微镜观察,进行反复对比,认为值得推荐的方法是用焦硫酸钠( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$ )熔融去除石英和长石以外的矿物,再用氟硅酸处理去掉长石,最后得到纯石英。用此方法提出来的石英对氧同位素的测定结果没有什么影响,尤其对粉砂粒级中<10微米部分(即粉尘粒大小)效果更佳。这方法的操作顺序如图2。

石英中的氧同位素测定是用 $\text{BrF}_5$ 提取石英中的氧,测定氧回收率后,把氧转换成 $\text{CO}_2$ ,然后用 $r=1.5$ 厘米、60度角的双管收集质谱仪测定同位素值。石英中的氧同位素比率(又称氧同位素丰度)用下式求得:  $\delta^{18}\text{O}$

$$= \frac{(\text{样本的 } ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}) - (\text{标准的 } ^{18}\text{O}/^{16}\text{O})}{\text{标准的 } ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}} \times 1000$$

式中标准的 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 是以海水中氧的标准平均数作参值。 $\delta^{18}\text{O}$ 用千分数(‰)表示。

测定粉尘大小的石英含量及其氧同位素比率有助于研究土壤和沉积物中的尘土来源。例如在夏威夷群岛中的瓦陀岛有一土壤剖面,除表层是有机质层外,下面有漂白层和玄武岩发育的土层,这层的土壤矿物颗粒结晶很细,但没有石英和云母,而在其下的二个土层则分别含44%和33%的石英,且夹有许多云母。据测定,这里的玄武岩的同位素比率很低,少于千分之

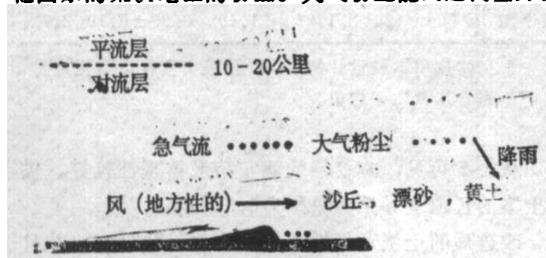
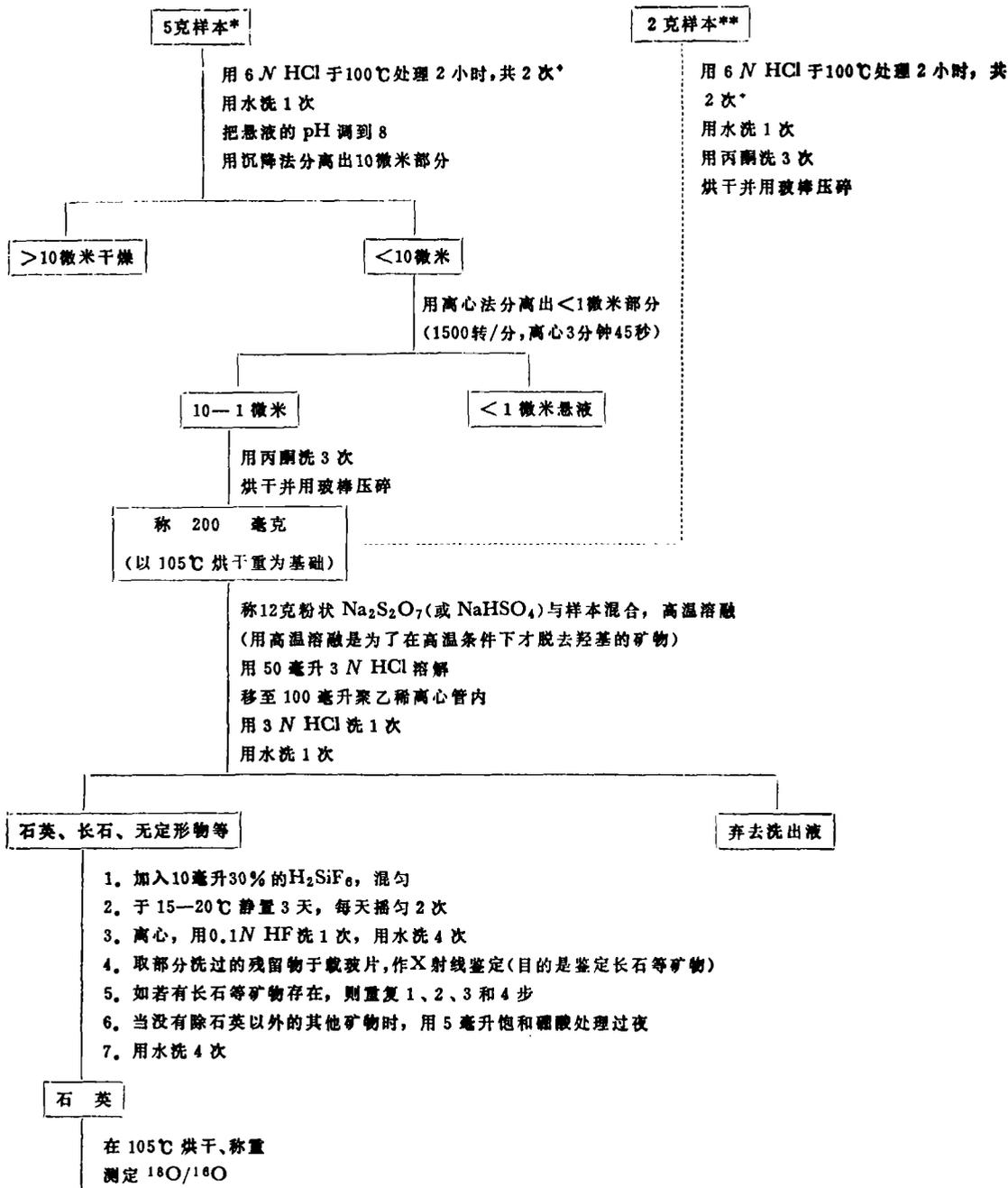


图1 风吹的土粒、地方性的风成沙丘(<1毫米)、漂砂(70—200微米)和黄土(50—70微米)与由劲风携带并随雨而降的粉尘(1—10微米)之间的关系

流,是因为热气流把风成尘粒带到高空(高地1.5公里以上)与冷锋相互作用,使其成旋风式或急气流式地漂流,这种流动遇到降雨时,粉尘就被携带下来。这种情况于1979和1980年在中国就出现过,当时从西伯利

\* 本文系由罗家贵根据美国威斯康星大学土壤化学教授 M. L. 杰克逊于 1982年8月27日在中国科学院南京土壤研究所作的报告整理而成。



- \* 为了分离出 10—1 微米的石英；
- \*\* 为了分离出样本中的全部石英；
- † 为了去碳酸盐， $Fe_2O_3$ ，无定形物和某些粘土。

图 2 供氧同位素分析用的石英的分离技术

几,而且较年轻,只有二百万年。在含石英和云母的土层中,云母的年龄有三百万年,此外石英颗粒的大小主要是粉砂级,与大气粉尘很相似,其同位素比率为17.8%。由此可以确定这个土壤剖面是由不同年龄的土壤母质发育而成,其含石英的土层是来自较玄武岩还早的大气粉尘,其后为玄武岩风化物所覆盖。又如如图3所示的太平洋海底沉积物的石英含量可知,于瓦胡岛处石英含量极低,在夏威夷的地方,海底较深,约4000米,石英量也很低,而在夏威夷海底的弓形处,离瓦胡岛100至250公里左右,石英量增加,随着与瓦胡岛的距离越远,石英的含量越多,到达离该岛东北部北面约500海里处,约有20%的石英。该处的沉积物一般称为太平洋北部的远海沉积物,其石英颗粒很细,与夏威夷岛土壤中的粉尘大小的石英(经杰克逊等证实是来自大气粉尘)相似,而且二者的氧同位素比率也相似,在18%左右,这就说明,含这种石英的沉积物(粉尘大小部分)是由大陆风,也许是半球性的风携带来的,并出于同一距离的起源地。

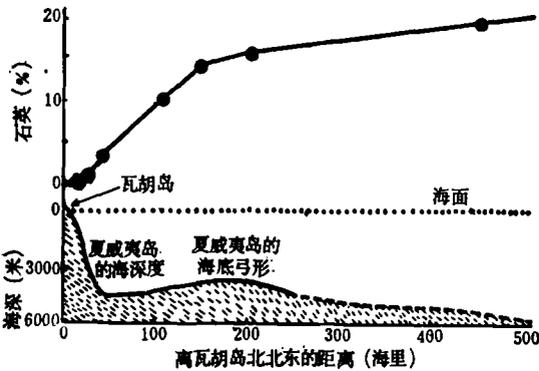


图3 太平洋海底沉积物的石英含量与瓦胡岛距离的关系

通过石英中的氧同位素比率分析,可以推测古大陆的位置。先测得不同岩石和沉积物中石英的氧同位素比率,再测定不同地质时期南北半球物质的氧同位素比率,便可进行推测。从图4可以看出各种类型岩石中石英氧同位素丰度。在高温条件下形成的石英,其氧同位素丰度值低,如在喷出岩、侵入岩和闪岩中, $\delta^{18}\text{O}$ 少于15%。把世界各地海滩中的砂取样分析,结果表明其石英的氧同位素丰度也不高。燧石是低温形成的,其氧同位素丰度很高,最高者达35%以上,平均是25%。燧石是结晶很细的 $\text{SiO}_2$ ,通过扫描电子显微镜可观察到,颗粒较大并有完整形态者,是未受风化的燧石,而粒细的不规则形状者,说明受到风化。土壤碎屑物中含有燧石,但多数以团块出现,其直径可达几十毫米。若发现土中有单粒燧石,则很细,粒径多在0.5—10微米之间。整个夏威夷群岛土壤样本的分

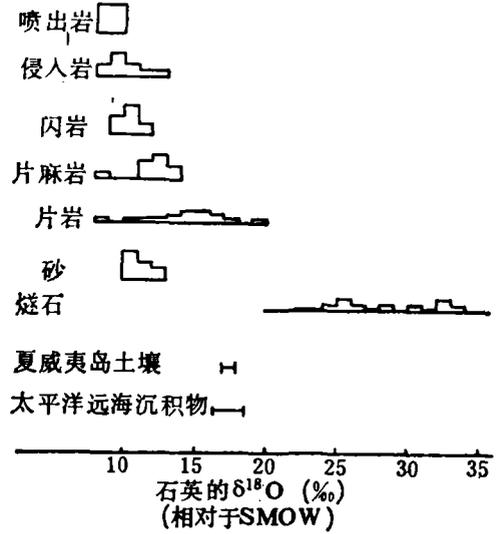


图4 各种岩石类型的石英氧同位素丰度

析结果表明,夏威夷土壤的氧同位素丰度是火成岩、变质岩和燧石混合的结果。远海沉积物是采集于离瓦胡岛500海里的太平洋海底,有很多研究报告表明,太平洋远海沉积物是风成物。为此,我们曾对远海沉积物中小于10微米的石英,以及由火成岩、变质岩和燧石组成的页岩中小于10微米的石英的氧同位素丰度进行了比较,结果表明,这种远海沉积物的氧同位素丰度与夏威夷群岛土壤的相同。

在确定不同来源的石英的氧同位素丰度的基础上,分析不同地质时期南北半球各种物质的石英氧同位素丰度是很有趣的。从图5看出,北半球含自生结晶的生物硅、显生世的燧石和前寒武纪后期的燧石较多,所以氧同位素比率高于南半球。就页岩而论,北半球的页岩是在暖和气候时期由火成—变质岩和生物硅形成的燧石混合形成的,所以石英的氧同位素丰度是 $19 \pm 2\%$ 。而南半球的页岩是在寒冷时期形成,并且主要是火成岩和变质岩(即属喷出岩,侵入岩和闪岩等类型的岩石)混合,所以石英的氧同位素丰度为 $12 \pm 2\%$ 。图6也清楚表明,石英中的氧同位素丰度在南北半球分布不同,沉积物中的丰度值与南半球的纬度之间成负相关, $r = -0.73$ 。

南北半球中各种岩石、沉积物和土壤里的粉尘大小的石英的氧同位素丰度值不同,可使我们得出下面的结论:(1)在石炭纪到三叠纪期间,现在的北半球是位于热带和赤道地带,土壤物质受到强烈的脱硅作用,随之,可溶性硅酸进入河流和海洋,生物成因的二氧化硅沉积,后来结晶成燧石及其它自生物质的细粉砂石英沉于沉积物中。因为大陆块状构造的移动,北半球穿越过赤道,海洋沉积物上升在古生代和中生代的

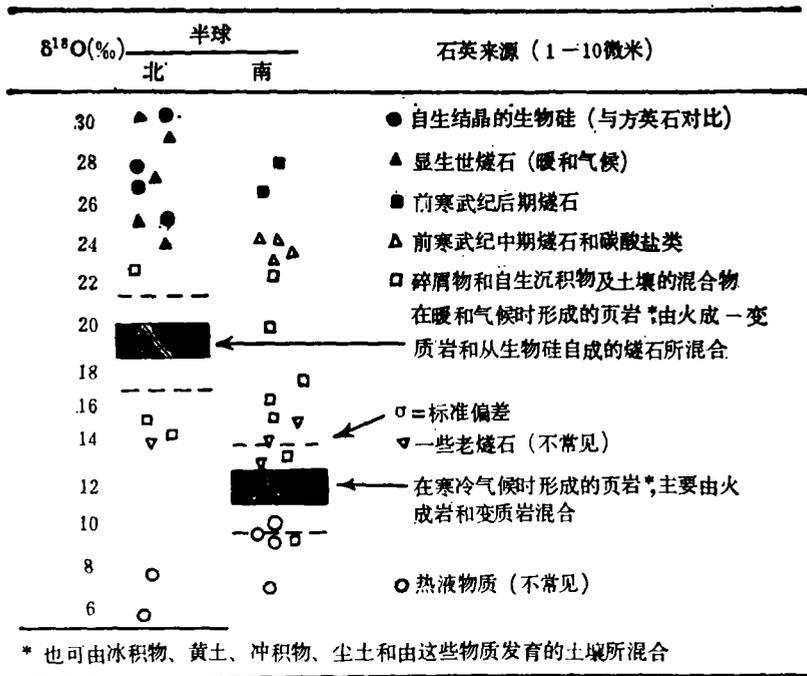


图5 在南北半球中粉尘粒大小的石英的氧同位素丰度

沉积物上，形成大平原，所以低温自生成因的并有高量氧同位素丰度的石英出现在北半球大陆平原的沉积物和土壤中。(2) 现在的南半球在古生代后期是属寒冷大陆，即属南极超级大陆——冈瓦纳大陆，主要由火成岩和变质岩崩解而成的冰积物和河流冲积物组成，氧同位素丰度低，在石炭纪后期、二叠纪和三叠纪期间，粉砂粒大小的沉积物进入大陆架。当大陆向现在的南半球位置移动时，则这些大陆架升起成陆面，所以南半球含有低的氧同位素丰度。(3) 可以推测古大陆的漂移情况。在二叠纪时期，非洲大陆向北移动，与欧洲大陆相碰，使非洲大陆形成了现在的北高南低的地形。约在三千五百万年前，因为陆地块之间的互相排斥，本来与南非大陆相连的澳大利亚大陆向南移，而与北非相连的印度向北移。那时中国大陆（很可能是与台湾岛和日本国各岛连成一块）大约在现在印度的位置，后来向北移，形成现在的地理位置。所以北非、印度和亚洲大陆的石英氧同位素丰度比南非和澳大利亚大陆(包括新西兰)高。

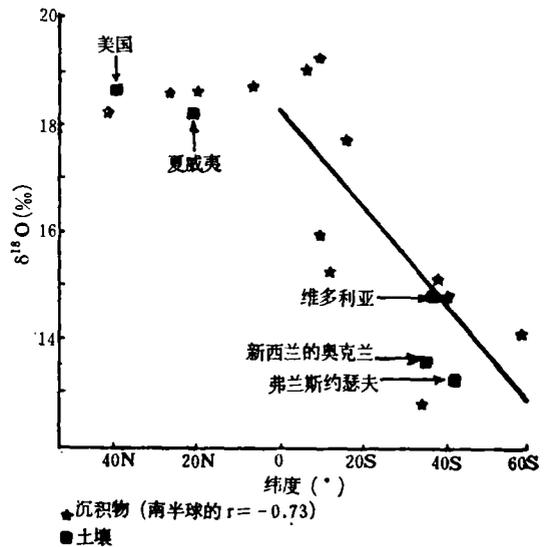


图6 南北半球的纬度与石英中氧同位素的关系