

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

# 我国极端干旱区边缘阿羌沙尘堆积剖面的地质时代

李保生

李森 王跃 董光荣 靳鹤龄

(华南师范大学地理系, 广州, 510631) (中国科学院兰州沙漠研究所, 730000)

阎满存 高全洲

王贵勇

(中国科学院广州地球化学研究所, 510640) (中国科学院兰州沙漠研究所, 730000)

**内容提要** 根据对昆仑山北麓阿羌地区第四纪风成沙尘沉积物的调查、地层对比和 107 组古地磁标本(321 块样品)的测定结果认为,阿羌地层剖面记录了 Brunhes 时以来我国极端干旱区最完整的风成沙尘堆积序列;剖面中间冰期形成的生草层 1PE 和细粒风尘堆积 29FGL、31FGL、33FGL、35FGL、37FGL、39FGL、42FGL 在形成的地质时代上可依次与黄土高原古土壤  $S_0$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_6$ 、 $S_7$  进行对比,而与 1PE 和细粒风尘堆积 29FGL、……、42FGL 互为叠覆的冰期气候形成的风成极细砂和粗粒风尘堆积则可与黄土高原黄土  $L_1$ 、……、 $L_8$  进行对比。此外,在阿羌剖面沙尘堆积底部 42FGL 层中发现有 0.7 Ma B P 前的宇宙尘埃物质,这对于该地风成砂尘下限年代的确定、研究极端干旱区气候的发展历史和晚新生代地外灾变事件的对比具有重要意义。

**关键词** 极端干旱区 阿羌地层剖面 Brunhes 时 风成砂尘时代 新疆

我国干旱尤其是极端干旱区黄土层系堆积厚度一般较小、时代较新且通常并不拥有像黄土高原黄土与古土壤互为超覆<sup>[1]</sup>的那种发育良好的沉积序列,而是以单一或者含风砂物质的风成土状堆积形式出现的。因而,这一广泛旱化的区域是否存在厚度较大、时代较老的黄土?其与黄土高原黄土-古土壤在古气候发展史上是否具有对比意义?这是迄今尚未解决的中国黄土地质研究的主要问题之一。为此,本文将位于极端干旱区边缘的风成沙尘堆积的阿羌地层剖面研究结果为例,试图为回答上述问题提出一些初步看法。

## 1 阿羌地层剖面

阿羌地层剖面位于新疆于田县阿羌乡西南约 4 km,处于塔克拉玛干沙漠南缘亚砂土带与昆仑山北麓黄土带交界的位置(图 1)。地理坐标大致在  $81^{\circ}56'E$ 、 $36^{\circ}28'N$ ,海拔高度约为 2420~2492.5 m。该地多年平均降水、蒸发量和温度分别是 170 mm、2590 mm 和  $12^{\circ}C$ ,干燥度  $> 16$ ,属极端干旱区边缘。剖面总厚 72.50 m,含 29 层黄土(粉砂)、12 层亚砂土(粉砂质极细砂)、2 层砂砾石层和 1 层生草层。其中黄土与亚砂土主要系风成的沙尘堆积,厚度达 66.20 m,覆于由冲洪积砂砾石构成的  $T_3$  阶地上。按岩石地层单位,阿羌剖面自上而下可分为如下几组

注:本文为“七五”后期国家科技攻关资助项目(编号 870104),并得到国家自然科学基金(编号 49473192)、中国科学院兰州沙漠研究所和广东省重点学科基金资助。

本文 1996 年 9 月收到,1997 年 8 月改回,周健编辑。

地层(图2):

全新统库拉甫组(地层编号 1PE1—1PE5)

生草层,暗棕黄色粉砂—粉砂质极细砂,疏松—较紧实,分选较均匀,含白色假菌丝,虫孔和较多草本植物残体和根系,层间和该层以上常见灰黄色风成亚砂土。

2.30 m

上更新统普鲁组(2A—29FGL)

以亚砂土与黄土互层为主要特征(2A—27A),灰黄色粉砂—粉砂质极细砂,松软,分选较均匀,含略被钙质胶结的灰白色薄层亚砂土和黄土层,常呈现为水平—微倾斜的“盐积层”,有时可见微弱的流水作用痕迹。其间夹有数层棕黄色较紧实的黄土,厚 44.40 m。该组近底部为一暗灰—灰黄色冲坡积砂砾石层(28G),

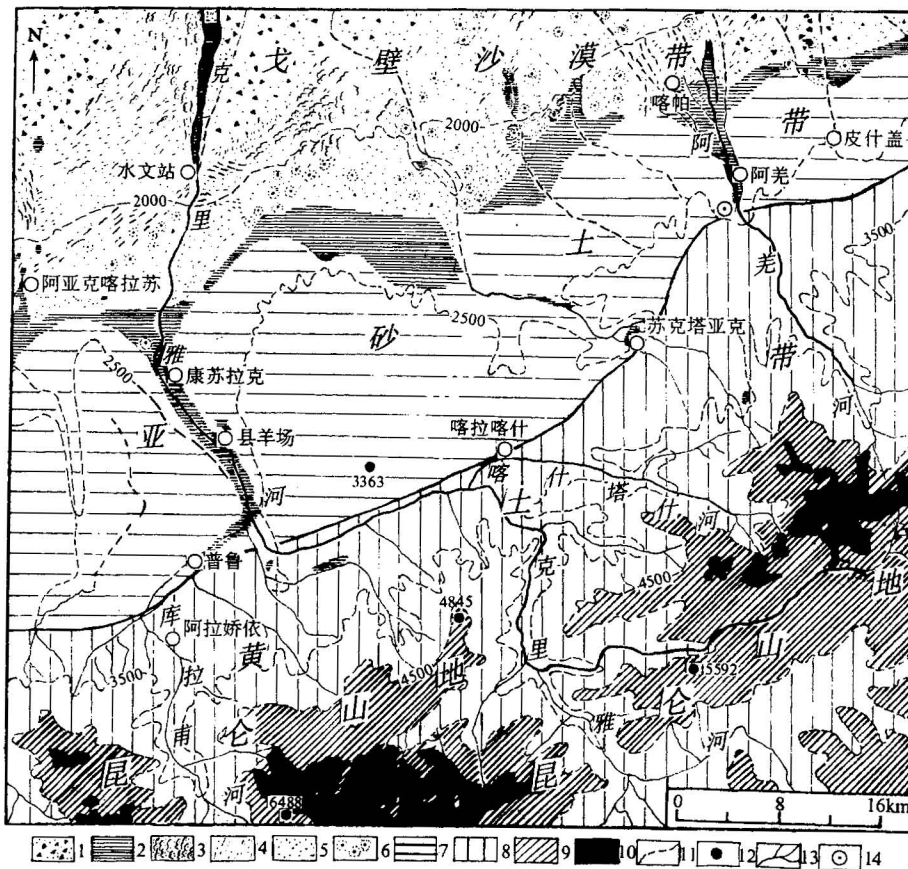


图1 阿羌剖面位置及风积物分布的主要类型

Fig. 1 Map showing position of the Aqiang section and main aeolian depositional types

1—戈壁;2—绿洲(林地及灌溉农田);3—新月形砂丘及砂丘链;4—砂垄及新月形砂垄;5—流动砂地;6—固定一半固定砂丘;7—亚砂土;8—黄土;9—基岩山地;10—冰雪;11—等高线(海拔 m);12—海拔高度点(m);13—河流;14—阿羌剖面位置

1—Gobi;2—oasis(woodlands and irrigated farmlands);3—barchan dunes and barchan dune chains;4—longitudinal dunes and barchan longitudinal dunes;5—mobile sandy land;6—fixed and semi-fixed dunes;7—loess-like fine sand;8—loess;9—mountain;10—ice and snow;11—contour-line(m. a. s. l.);12—the height point above sea level(m);13—river;14—position of Aqiang section

松散,砾径 0.02~0.05 m,次棱角状,砾石成份为花岗岩、花岗闪长岩和辉绿岩,许多砾石表面呈灰黑色荒漠漆及众多风蚀麻点,厚 0.15~0.25 m;该砾石层下伏地层为黄土(29 FGL),暗棕—浅褐色粉砂,较紧实,颗粒较细且垂直节理发育,具铁锰斑点和石膏,厚 0.80 m。总厚约 45.40 m

#### 中更新统阿羌组(30SL—43A)

黄土,暗棕黄色粉砂与暗棕色粉砂互层,具铁锰斑点。前者呈块状,紧实,垂直节理发育,后者则更为紧实、颜色较深、颗粒相对较细且石盐和薄层石膏比较发育。该组中下部一底部含风成交错层理的浅黄色亚砂土,有时可见其中夹有 0.10 m 厚的磨园较好、具有石膏的薄层冲积砂质细砾。20.80 m

#### 下更新统西域组(44G)

冲洪积含砂土的砾石,暗灰黄色,略胶结,磨园较好,砾径一般为 0.05~0.20 m,最大砾径达 0.40 m,砾石成份主要为花岗岩类,含少量玄武岩和灰绿岩。可见厚度 4.70 m

以上地层中,普鲁组和阿羌组分别以克里雅河上游普鲁村和阿羌乡这种地方名称而命名。库拉甫组采用克里雅河上游支流库拉甫河的名称。而西域组则是沿袭在新疆广泛分布的西域砾岩而得到的传统组名。从目前调查结果看,阿羌组仅在阿羌一带、库拉甫河流域比较发育。另外在于田县克里雅河以东和皮山—墨玉间的一些干河床附近亦有露头出现。其余诸组在昆仑山北麓广泛分布。图 3 是按照阿羌剖面粒度分析结果绘制的颗粒累积百分含量,从中可以看到诸层砂尘沉积物不同粒组含量分布的一般状况。

## 2 阿羌剖面的地质时代

### 2.1 阿羌剖面岩石地层年代对比分析

从岩性和沉积相对比上,阿羌剖面的库拉甫组和普鲁组在其主要特征上分别与该地区以西普鲁一带的生草层和下伏含黄土的亚砂土非常相似<sup>[2]</sup>。后两者的形成时代分别为 10 ka B P 至现代和 70~10 ka B P<sup>[3]</sup>,也即全新世和末次冰期这两个时段。郑本兴<sup>[4]</sup>、文启忠<sup>[5]</sup>曾对普鲁及邻近地区亚砂土中的黄土进行过研究,所测得的黄土年代有 29140±430 a、18200±1600 a、17700±1800 a。阿羌剖面普鲁组除图 2 中所列的 57500±2570 a 等年代外,在阿羌生草层下伏的砂尘堆积物中还有 36000±1800 a、24700±3100 a、25400±1260 a 的年龄。普鲁及其以西昆仑山北麓砂尘堆积顶部发育的生草层已有若干测年结果,为 7080±73 a、6610±70 a、5686±155 a、5338±132 a、2486±75 a<sup>[6]</sup>和 4550±230 a<sup>[2]</sup>。而目前测到的生草层下伏砂尘堆积最年轻的年代为 12350±620 a<sup>[3]</sup>。因而可以认为,阿羌一带库拉甫组和普鲁组系普鲁及其以西一带生草层和砂尘堆积的东延部分,将这两个组分别划为全新世和晚更新世是可取的。两者时间界限以 11 ka B P 为宜。

剖面中阿羌组就其前述的黄土性状而言,与山西西部、陕西北部和甘肃之庆阳、西峰一带的黄土在某些方面是相似的,如前者中的铁锰斑点、发育的垂直节理等。所不同的是,前者所含的结晶石膏、石盐比较显著,后几处则次生碳酸盐非常明显。如再结合阿羌组的层位,可以将阿羌组与离石黄土进行时代对比。

值得商榷的是普鲁组底部砂土砾石层(28G)及其下伏的暗棕—浅褐色黄土(29FGL)的地质时代问题。按其所处层位位置,形成的时代应在阿羌组之后的普鲁组初始阶段。在山西、陕西一带的黄土区,马兰黄土与离石黄土间常常以古土壤 S<sub>1</sub> 作为两者间的一种界限层型;而在

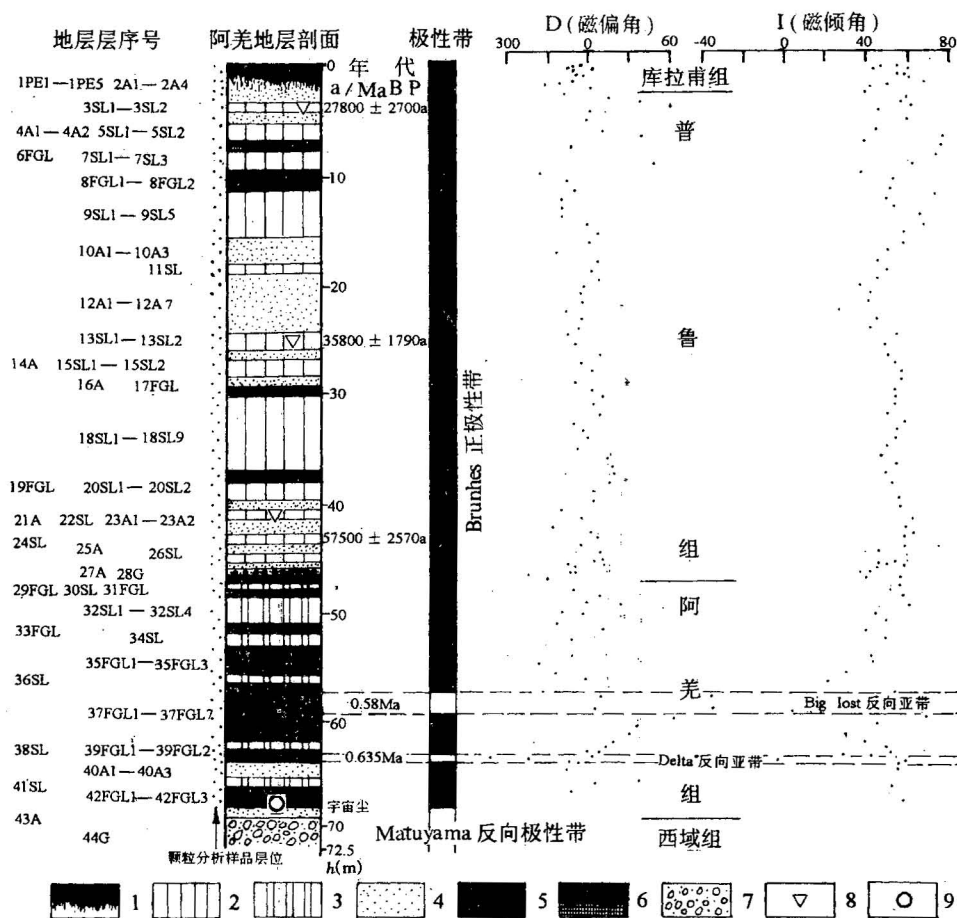


图2 阿羌地层剖面及其砂尘沉积的磁性地层结果

Fig. 2 The Aqiang stratigraphical section and magnetostratigraphic dating from its sand and dust deposition

- 1—生草层; 2—普鲁组灰黄色黄土; 3—阿羌组暗棕黄色黄土; 4—灰黄色亚砂土; 5—阿羌组含蒸发岩类的暗棕色黄土;  
6—普鲁组棕黄色较紧实的黄土; 7—砂土砾石层; 8—热释光年代样品; 9—宇宙尘
- 1—Plaggen epipedon; 2—greyish-yellow loess in Pulu Formation; 3—dark brownish-yellow loess in Aqiang Formation;  
4—greyish-yellow loess-like fine sand; 5—dark brownish loess with evaporates in Aqiang Formation;  
6—brownish-yellow and slightly compact loess in Pulu Formation; 7—gravel layer with silty sand;  
8—sample for thermoluminescent dating; 9—cosmic dust

毛乌素沙漠南缘, 马兰黄土或者同期城川组与离石黄土之间通常是以河湖相为主的萨拉乌苏组作为界限层型的<sup>[7]</sup>。其上限和下限的年代分别为  $70.9 \pm 6.2 \text{ ka}^{\text{①}}$  和  $150.2 \pm 19.1 \text{ ka}^{\text{②}}$ 。故认为 28G 和 29FGL 形成的时代与  $S_1$  或者萨拉乌苏组相当, 大致为  $150 \sim 70 \text{ ka B P}$ 。

剖面中西域组, 依其位置, 无疑形成于较阿羌组更老的年代。另外, 从卫星影象和航空照片判译与实地调查, 发现该地西域组与克里雅河上游的康苏拉克砾岩似均系昆仑山北麓相同时

① 苏志珠. 萨拉乌苏河地区第四纪地层与气候变化. 中国科学院兰州沙漠研究所硕士论文, 1992.

② 李保生. 中国沙区 15 万年来的地质环境. 中国地质大学(武汉)博士论文, 1993.

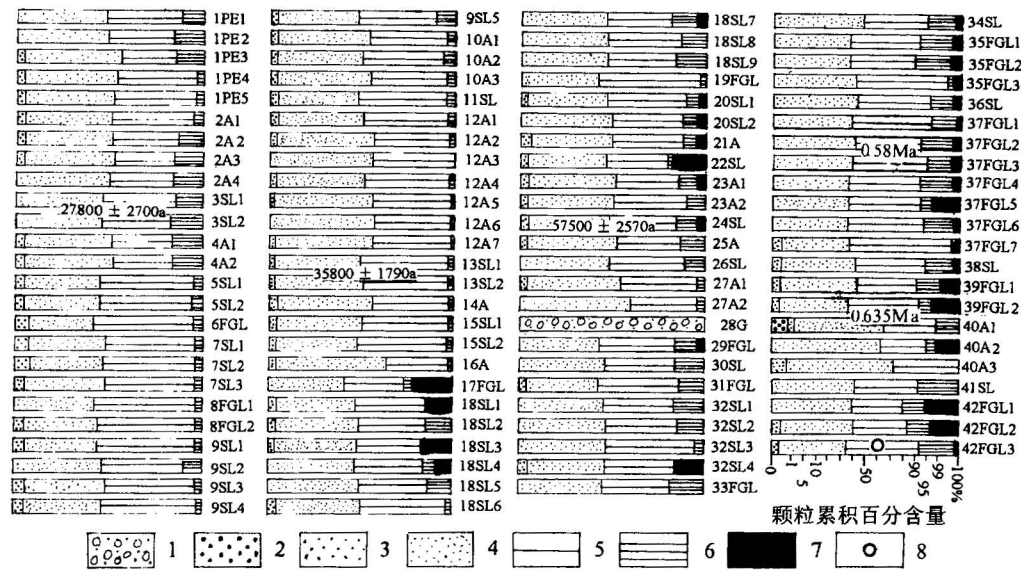


图 3 阿羌剖面砂尘堆积的颗粒分析结果

Fig. 3 Particle analysis results of sand and dust accumulation from the Aqiang section

- 1—砂土砾石; 2—中砂(1~2Φ); 3—细砂(2~3.32Φ); 4—极细砂(3.32~4.32Φ); 5—粗粉砂(4.32~6.64Φ);  
6—细粉砂(6.64~7.64Φ); 7—粘粒(>7.64Φ); 8—宇宙尘
- 1—Gravels with silty sand; 2—medium sand(1~2Φ); 3—fine sand(2~3.32Φ); 4—very fine sand(3.32~4.32Φ);  
5—coarse silt(4.32~6.64Φ); 6—fine silt(6.64~7.64Φ); 7—clay(>7.64Φ); 8—cosmic dust

代的冲洪积扇群,且两地砾石组分、磨圆状况亦非常相似。刘嘉麒等对康苏拉克砾岩中夹的两层玄武岩即下和上康苏拉克熔岩的 K-Ar 年龄测定值分别为  $1.43 \pm 0.03$  Ma 和  $1.21 \pm 0.02$  Ma<sup>[8]</sup>。在上康苏拉克玄武岩之上还覆有约 8 m 厚的冲洪积砾岩。这就是说,康苏拉克砾岩的时代是早更新世,而阿羌剖面的西域组与之时代相同。

郑本兴等对昆仑山地区第四系时代进行了详细研究,并制成该区地层对比表(表 1)。结果显示:①将普鲁地区的风成砂和黄土作为里田冰期或末次冰期产物看待,但末次间冰期沉积内容尚未解决;②根据 K-Ar 年龄,将黑龙江—乌鲁克等火山幕定为中更新世,期间尚有冰积、湖积和古土壤发育;③康苏拉克砾岩和其中的火山熔岩同西域砾岩被视为同一时代,即早更新世;④末次间冰期和早中更新世均缺失风成的砂尘堆积。因而根据阿羌剖面普鲁组中 28G—29FGL 和阿羌组的地层位置并结合与康苏拉克的区域地层对比,将两者形成时代分别划为末次间冰期和中更新世,这是对昆仑山地区第四纪地层表的填补。有意义的是,文启忠等近年对康苏拉克砾岩以上黄土与亚砂土的研究结果首次表明,昆仑山北麓有较末次冰期更老的中更新世黄土,其热释光年龄为  $199 \pm 18$  ka<sup>[5]</sup>。这从区域地层年代学的一个方面亦支持了本文关于阿羌组时代的看法。至于阿羌组的下限时代,从该组与西域组存在的连续堆积关系上看,可以近似地视之为西域组的上限时代。换言之,也即西域组与阿羌组之间是下更新统与中更新统的界限。

## 2.2 阿羌剖面磁性地层年代

共采集阿羌剖面古地磁标本 107 组,321 块。采样间隔一般选择 0.80 m,在组间界线附近,

表1 阿羌剖面沉积序列、磁性地层及其与昆仑山和黄土高原地层的对比

Table 1 A correlation of sedimentary sequences and magnetostrata of the Aqiang section with the strata in the Kunlun Mountain and Loess Plateau

| 黄土高原 <sup>[1]</sup>     | 阿羌剖面 (本文)              | 火山堆积 <sup>[4]</sup> 及老黄土 <sup>[5]</sup>                                | 冰积、风积与河湖相 <sup>[4]</sup>   | 冰期与间冰期 <sup>[4]</sup> |      |
|-------------------------|------------------------|--|--|-----------------------|------|
| S <sub>0</sub>          | 现代风成沙尘                 | 阿什火山III, 1951年5月27日爆发  | 现代冰积与现代终积<br>崇侧冰帽终积: 2740±86a<br>崇侧冰川终积: 3983±120a                 | 现代                    | 全新世  |
|                         | IPE                    | 阿什火山II <0.05 Ma  | 普鲁风成砂生草层: 4550±230a<br>末次冰期冰积上钙膜: 6421±92a<br>甜水海湖相上部钙板: 9767±135a | 现代小冰期<br>新冰期<br>高温期   |      |
| 0.01 Ma                 |                        |  |  |                       |      |
| L <sub>1</sub>          | 2A                     |  | 邦达错湖相: 15900±120a<br>里田河谷终积差: 16150±533a<br>末次冰期终积差: 25000~15000a  | 里田冰期主期                | 晚更新世 |
|                         | 3SL                    |  | 普鲁风成砂: 31000±1500a<br>阿拉萨依冰川底部淤泥: 33665±585a<br>甜水海湖相: 46850±297a  | 间冰阶段                  |      |
|                         | 4A: 27800±2700a        |  | 普鲁风成砂: 66700±3300  | 里田冰期早期                | 更    |
|                         | 5SL~12A                |  | ?  | 末次间冰期                 |      |
| 13SL: 35800±1790a       |                        | 阿什火山I: 0.12Ma  |  |                       |      |
| 14A~22SL                |                        | 康苏拉克老黄土: 0.199Ma<br>乌鲁木齐火山: 0.20Ma                                     | 布拉克什较老冰积: 206000±17000a<br>相同时期系甜水海湖相沉积<br>昆仑山南坡古土壤                | 布克拉巴什冰期               | 中    |
| 23A: 57500 ± 2870a      |                        |  |  |                       |      |
| 24SL~27A                |                        | 月牙山火山: 0.31Ma  | 邦达错高阶地<br>玉龙喀什冰期老冰积: 33000±46000a                                  | 末次大间冰期                | 更    |
| 28G~29FGL               |                        | 迷宫山火山: 0.44Ma  |  |                       |      |
| S <sub>1</sub> 0.075 Ma | 30SL                   | 大黑山火山: 0.60~0.50Ma   |  | 玉龙喀什冰期                | 新    |
| L <sub>2</sub>          | 31FGL                  |  |  |                       |      |
| S <sub>2</sub> 0.25 Ma  | 32SL                   |  |  |                       | 更    |
| L <sub>3</sub>          | 33FGL                  |  |  |                       |      |
| S <sub>3</sub> 0.33 Ma  | 34SL                   |  |  |                       | 新    |
| L <sub>4</sub>          | 35FGL                  |  |  |                       |      |
| S <sub>4</sub> 0.41 Ma  | 36SL                   |  |  |                       | 世    |
| L <sub>5</sub>          | Big lost 37FGL 0.58 Ma | 黑龙江火山: 0.67Ma  |  |                       |      |
| S <sub>5</sub> 0.56 Ma  | 38SL                   |  |  |                       | 世    |
| L <sub>6</sub>          | Delta 39FGL 0.635 Ma   |  |  |                       |      |
| S <sub>6</sub> 0.66 Ma  | 40A~41SL               |  |  |                       | 世    |
| L <sub>7</sub>          | 42FGL                  |  |  |                       |      |
| S <sub>7</sub>          |                        |  |  |                       | 世    |
| L <sub>8</sub>          |                        |  |  |                       |      |
| 0.73 Ma                 |                        | 康苏拉克熔岩(上): 1.21Ma<br>康苏拉克熔岩(下): 1.43Ma<br>马蹄山火山: 1.65Ma<br>西山火山: 2.8Ma | 西域康苏拉克羌塘组<br>砾岩砾岩湖相  |                       | 早更新世 |
| Matuyama                | 反向极性带 44G              |  |  |                       | 新    |

标本的采集密度相应加大,间隔为 0.40 m,甚至 0.20 m。古地磁标本处理采用交变退磁,交变场峰值强度为 250~350 Ost。测得的阿羌剖面 1PE—42FGL 诸层 I (磁倾角)和 D (磁偏角)示于图 2。由图 2 可见,阿羌剖面中绝大多数古地磁标本的 I 值为正偏,仅 37FGL2、37FGL3 和 39FGL、40A1 中的几组数值呈负偏,分别位于 57.60~59.50 m 和 63.00~64.00 m 的剖面深度。该剖面古地磁标本 D 值与 I 值的变化基本趋于同步。这些古地磁测定数据,总体上显示出从 42FGL 以来的风成沙尘堆积处在一个地磁的正极性带内,仅是在剖面近底部出现两个可能经历时间短暂的地磁反向亚带。在这两个亚带间层段的 59.50~63.00 m 深度,测得 8 组古地磁标本的 I 值均为正偏,为 31°~72°;自下而上第 1 个地磁反向亚带之下层段的 64.00~68.20 m 深度,测得 5 组古地磁标本, I 值亦均为正偏,范围在 54°~61°。据此并考虑到阿羌剖面沙尘堆积的延续性较好,笔者认为尽管阿羌剖面近底部存在负的极性漂移事件,但将其作为

Matuyama 时处理比较牵强,而将 42FGL 及其以上的地层置于 Brunhes 正极性时是合适的。

在初步确定了阿羌剖面上述年代之后,该剖面砂尘沉积的初始年龄便成为必然要涉及的问题。前以述及,阿羌剖面西域组与康苏拉克砾岩的时代均属早更新世。于是笔者进一步推断两地砾石层堆积顶面就其堆积的连续性而言应该是一等时面。刘嘉麒、郑本兴和文启忠等<sup>[4,5,8]</sup>都将康苏拉克砾岩时代归属于早更新世。因而可以认为,1.43 Ma 或 1.21 Ma 年龄的康苏拉克熔岩以上的砾岩应该是这两层熔岩所处的 Matuyama 地磁反向带的向上延伸部分。再则,康苏拉克砾岩上覆黄土有约 0.2 Ma 的年龄,属 Brunhes 正极性带上部。而表 1 中的中更新世若干火山幕的最老年代为黑龙山火山幕,K-Ar 年代为 0.67 Ma。这个年龄比较接近 Brunhes 正极性带下限或 Matuyama 反向极性带上限的 0.73 Ma 的年龄。据此并按表 1 沉积年代序列排比,将康苏拉克砾岩顶面作为 B/M 面看待更符合实际。因而亦可同等地将阿羌剖面阿羌组/西域组间的界面近似视为磁性地层的 B/M 面。如此看来,阿羌剖面 Brunhes 正极性带中出现的上下两个地磁反向亚带,依其已接近西域组的堆积位置,应分别与 W. Brian Hariand 和 Allan. V. Cox 等 1989 年编制的磁性地层年表(该表中将 B/M 面时限置在 0.77 Ma B P) Brunhes 带中最先出现的 Big lost 和 Delta 地磁反向亚带<sup>[9]</sup>的年龄相当,年代分别为 0.58 Ma 和 0.635 Ma B P(图 2)。显然,阿羌剖面砂尘堆积初始的磁性地层年代应该是 Brunhes 时之初始;阿羌一带砂尘堆积是 Brunhes 时以来逐渐形成的。

### 2.3 Brunhes 时以来黄土高原黄土-古土壤序列与阿羌剖面砂尘层序年代的对比

如果将昆仑山北麓风成砂尘与黄土高原黄土-古土壤序列进行古气候阶段对比,则两地风成沉积的古气候发展史上出现难以解释的矛盾现象。突出地表现为,Brunhes 时黄土高原古土壤发育期间,极端干旱区依然是砂尘堆积的环境。这可能是由于间冰期或暖期时,西伯利亚—蒙古反气旋风系从黄土高原经鄂尔多斯向北大幅度衰退<sup>[10]</sup>,冬季风作用减弱而所受夏季风影响较大的缘故。而间冰期时的极端干旱区,由于东南和西南夏季风未及至此,即已为强弩之末的势态,故砂丘和黄土上很难成就土壤化过程。但此时因冬季风作用衰退导致的极端干旱区的环境效应却是明显的。例如在晚近地质时代暖期,5.5~4.4 ka B P 几度泛入塔克拉玛干沙漠,具众多干燥裂隙的洪泛堆积,其颗粒主要是粉砂,其次为粘粒,极细砂含量较低,而缺失末次冰期以来风砂物质中普遍存在的细砂粒组<sup>[3]</sup>。这至少说明,暖期时冬季风已不再是该区物质堆积的主要驱动机制。不仅于此,施雅风教授等依据大量证据论述的,我国西北干旱区全新世大暖期增温驱动的高山冰雪和湖面变动,以及湖区周围的一些生态变化<sup>[11]</sup>,实际上已十分清楚地说明暖期时冬季风衰退的情景。此外,冬季风的衰退情形还可从极端干旱区特别是其中的绿洲今古风成砂尘的变化上明显反映出来。如塔克拉玛干沙漠南缘于田—和田绿洲冷季和冷期时,冬季风强劲,绿洲所受沙漠影响剧烈,风砂成为该地的主要沉积特征;暖季和暖期时的绿洲风积物则以降尘为主要沉积特征<sup>[12]</sup>。从这个意义上讲,这恰与黄土高原古土壤发育时呈大幅度骤减的冬季风力作用的性质是一致的。因此,理论上讲,Brunhes 时以来本区虽不具备黄土高原 S<sub>0</sub>、S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>、S<sub>3</sub>、S<sub>4</sub>、S<sub>5</sub>、S<sub>6</sub>、S<sub>7</sub> 的发育条件,但就其堆积的连续程度而言,却应该含有与这些古土壤等时的沉积。在上文,已确定阿羌剖面库拉甫组的时代为全新世,相当于 S<sub>0</sub> 时期,下文要解决的是阿羌剖面与 S<sub>1</sub>、……、S<sub>7</sub> 的对比关系。可从如下 4 个方面对其进行探讨。

(1) 在 28G 以下、43G 之上的几乎全部是阿羌组的层段,29FGL、31FGL、33FGL、35FGL、37FGL、39FGL 和 42FGL 层位的粉砂与粘粒含量相对较高,两者之和在 61.40% 以上,其余主要为极细砂。而它们的夹层粉砂与粘粒之和则在这一含量以下,极细砂含量较高(图 3),常构

成颗粒众数;这些层位中发育的石盐、石膏往往形成于燥热气候条件下<sup>[13]</sup>。因而可以 29FGL、31FGL、33FGL、35FGL、37FGL、39FGL 和 42FGL 作为暖期的标志并依次与  $S_1$ 、……、 $S_7$  进行对比。

(2) 前述曾将普鲁组底部的 28G—29FGL 的形成年代定为萨拉乌苏期或者  $S_1$  时期。如果这种看法无误,则可将 28G—29FGL 以下的第 4 层暗棕色黄土(37FGL)与  $S_5$  进行对比。前者系 Biglost 磁性反向亚带的发生层位,年代为 0.58 Ma B P,与  $S_5$  近下限的 0.56 Ma B P 年龄非常接近。自 28G—29FGL 以下的第 5 层暗棕色黄土(39FGL)与 40A1 之间系 Delta 磁性反向亚带的发生层位,为 0.635 Ma B P,而  $S_6$  下限的年代为 0.66 Ma B P。依次下推,第 6 层暗棕色黄土(42FGL)及其下伏风成砂(43A)应分别与黄土高原  $S_7$  和  $L_8$  相当,最后可能达到阿羌组和西域组的组间磁性年代时限 B/M 面的位置。

(3) 我国黄土高原  $S_5$ <sup>[14]</sup>和相同时代的发育于欧洲中部喀尔巴阡盆地黄土上的古土壤  $F_6$ <sup>[15]</sup>记录了第四纪以来的气候最宜时期。中欧与我国黄土高原虽相距遥远,但却共同显示出  $S_5$  时的间冰期,可能是更新世以来欧亚大陆冬季风影响最微弱的时期。阿羌剖面 37FGL 中风砂含量普遍偏低,7 个样品的砂质含量分布范围为 28.34%~37.76%,平均为 32.17%,而粉砂和粘粒之和均在 62%以上。这就是说,37FGL 的形成在很大程度上可能也与这一时期欧亚大陆冬季风显著衰退的形势有关,应该是相同时期的产物。

(4) 已有证据表明,发生在 0.7 Ma B P 前的天体撞击事件所导致的宇宙尘埃覆盖面积相当广泛<sup>[16]</sup>。黄土高原洛川黄土剖面 B/M 界限以上的  $L_8$  上部至近  $S_7$  底部的层位曾发现这类沉积(微玻璃陨石),其沉降年龄被认为是 0.72~0.724 Ma B P<sup>[17]</sup>。为了审验以上对阿羌剖面的推想年代,笔者试图从与  $S_7$  相当的阿羌剖面 42FGL 之底部即 42FGL3 中寻找 0.7 Ma B P 前的宇宙尘埃物质。为此,戴枫年利用 EPM-810Q 型电镜与电子探针对该样品进行了详细观察与分析。结果发现 42FGL3 中存在两颗宇宙尘埃物质,呈近于理想的球体,属硅酸盐质微陨石(图 4)。其表面结构和化学成份等与我国沙漠某些现代硅酸盐质宇宙尘<sup>[18]</sup>非常相似。显然,这一发现,不仅验证了该层可与  $S_7$  进行对比,而且对阿羌剖面 B/M 界限和上述阿羌剖面 Brunhes 时砂尘堆积的年代顺序确定都赋予了有利的证据。

综上所述,将阿羌剖面 1PE、28G—29FGL、31FGL、33FGL、35FGL、37FGL、39FGL 和 42FGL 依次与黄土高原  $S_0$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_6$  和  $S_7$  进行对比合宜。该剖面其它层位的砂尘堆积可相应与黄土高原 Brunhes 时黄土进行对比。

近 10 年来,中外学者陆续对昆仑山北麓风积物进行了多次调查,厚度较大的风成砂尘堆积尚未见报道。因而,阿羌剖面也是迄今为止笔者在新疆极端干旱区内发现的厚度最大的风成砂尘堆积断面。上述研究除了可以将 Brunhes 时阿羌剖面砂尘堆积与黄土高原黄土-古土壤序列加以对比外,亦可以将两者与昆仑山及其北麓一些地点的冰积、风积、湖积、火山堆积等<sup>[4,5]</sup>有时序地联系起来(表 1),从而补充了这一地区的区域地层学内容。同时,由于本区处于青藏高原与塔里木盆地衔接地带,青藏高原 Brunhes 时以来的大幅度强烈隆起<sup>[19]</sup>无疑对其北与之紧邻的塔里木盆地的长期持续旱化环境的影响最为直接、深刻。从这个意义上说,阿羌剖面砂尘生长层序及其时代划分将在青藏高原隆起与过去全球气候波动的叠加过程中我国极端干旱地带的区域响应问题上提出了一个地层学方面的重要认识线索,进而可以其作为一个方面的依据去进一步察视 Brunhes 时青藏高原隆起过程对西南季风、东南季风和西伯利亚—蒙古反气旋风系的强烈影响。不仅于此,阿羌剖面的研究结果对于了解 Brunhes 时本区地处的中亚腹



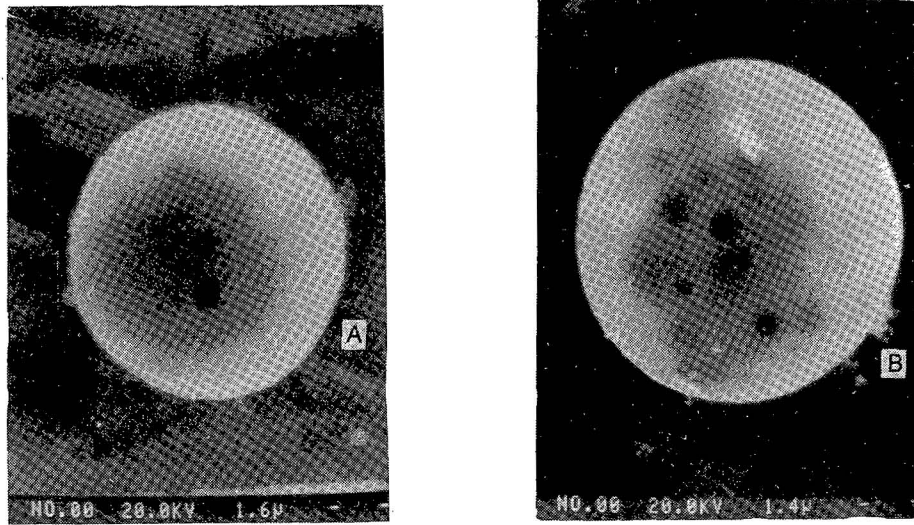


图4 阿羌剖面42FGL3中的宇宙尘埃(A×6000;B×7000)

Fig. 4. The cosmic dust particles preserved in 42FGL3 of the Aqiang section (A×6000 and B×7000)

地的干旱大陆风砂风尘的堆积变迁历史及其对比和发展模式具有特殊意义。

阿羌剖面磁性年代、热释光年代、宇宙尘和颗粒分析结果分别由安芷生院士、丁梦麟高级工程师、戴枫年研究员和张焕新、宋维佳女士完成,陈惠忠参加了野外调查工作,本文撰写过程中得到闫桂林、刘本培、吴正等教授和安芷生院士的指导和帮助,在此一并致谢!

### 参 考 文 献

- 1 刘东生等. 黄土与环境. 北京:科学出版社,1985.
- 2 李保生,董光荣,祝一志,李森,任秀生,靳鹤龄,金炯,高尚玉. 末次冰期以来塔里木盆地沙漠、黄土沉积环境与演化. 中国科学(B),1993,23(6):644~651.
- 3 李保生,董光荣,张甲坤,李森,靳鹤龄,陈惠忠,温向乐,王跃,祝一志. 塔克拉玛干沙漠及其以南风成相带划分和认识. 地质学报,1995,69(1):78~87.
- 4 郑本兴,焦克勤,李世杰,刘嘉麒. 青藏高原第四纪冰期年代研究的新进展——以西昆仑山为例. 科学通报,1990,35(7):533~537.
- 5 文启忠,乔玉楼. 昆仑山北坡晚更新世以来沉积物的古气候记录. 见:中国青藏高原研究会编. 青藏高原与全球变化研讨会论文集. 北京:气象出版社,1995,96~104页.
- 6 王富葆. 喀拉昆仑山—昆仑山地区的粉尘堆积. 见:刘东生,安芷生主编. 黄土、第四纪地质、全球变化(三). 北京:科学出版社,1992,108~115页.
- 7 李保生,董光荣,高尚玉,邵亚军. 鄂尔多斯萨拉乌苏河地区马兰黄土与萨拉乌苏组的关系及其地质时代问题. 地质学报,1987,61(31):218~230.
- 8 刘嘉麒,买买提,依明. 西昆仑山第四纪火山分布与K-Ar年龄. 中国科学(B),1990,20(2):180~187.
- 9 Hariad W B, Armstrong R L, Cox A V, et al. A geologic time scale. Cambridge Uni-Press,1989. 150~151.
- 10 李保生,董光荣,高尚玉,邵亚军,丁同虎. 陕西北部榆林第四纪地层剖面的粒度分析与讨论. 地理学报,1988,43(2):125~133.
- 11 施雅风,张祥松. 气候变化对西北干旱区地表水资源的影响和未来趋势. 中国科学(B),1995,25(9):968~977.
- 12 Li Baosheng, Yuan Baoyin, Zhou Xinjia, Zhu Feng, Wang Yue, Yan Mancun. The Evolution of Yutian-Hotan Oasis since 13500 a B. P. Chinese Journal of Arid Land Research, Allerton Press, Inc / New York,1996,9(2):137~145.
- 13 张彭熹,张保珍. 柴达木地区近三百万年来古气候环境演化的初步研究. 地理学报,1991,46(3):327~335.
- 14 王永炎. 中国黄土区第四纪古气候变化. 中国科学(B),1987,17(10):1099~1106.

- 15 Wintle A G, Packmann S C. Thermoluminescence ages for three Sections in Hungary. *Quaternary Science Reviews*, 1988, (7):315~320.
- 16 肖志峰, 欧阳自远, 林文祝. 新生代巨大天体撞击作用的气候效应模拟. *科学通报*, 1995, 40(2): 151~153.
- 17 李春来, 欧阳自远, 刘东生, 安芷生. 黄土中微玻璃陨石和微玻璃球的发现与意义. *中国科学*, 1992, 22(11):1210~1219.
- 18 戴枫年, 王远平, 屈建军, 康国定. 沙漠宇宙尘的初步研究. *科学通报*, 1994, 39(17):1592~1594.
- 19 李吉均, 文世宣, 张青松, 王富葆, 郑本兴, 李炳元. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨. *中国科学*, 1979, 6:608~616.

## Geological Age of the Sand and Dust Deposits of the Aqiang Section in the Extremely Arid Region of China

Li Baosheng

(*Department of Geography, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong, 510631*)

Li Sen, Wang Yue, Dong Guangrong, Jin Heling

(*Lanzhou Desert Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Gansu, 730000*)

Yan Mancun, Gao Quanzhou

(*Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangdong, 510640*)

Wang Guiyong

(*Lanzhou Desert Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Gansu, 730000*)

### Abstract

The Aqiang section has recorded the most complete aeolian sand and dust depositional sequences since the Brunhes Normal Polarity Time. In the section the plaggen epipedon 1PE and fine loess layers 29FGL, 31FGL, 33FGL, 35FGL, 37FGL, 39FGL and 42 FGL can be geochronologically correlated with palaeosol layers  $S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$ ,  $S_5$ ,  $S_6$  and  $S_7$  in succession in the Loess Plateau, while loess-like fine sand layers and sandy loesses in the section correspond well with  $L_1, \dots, L_8$  sandwiched between the palaeosols. In this paper the formation time of the sands and loesses (dust) in the Aqiang section and the pattern and cause of their deposition are discussed. In addition, the cosmic dust particles, formed prior to 0.7 Ma B P, have been found in loess layer 42FGL3 near the bottom of the section, which is of important significance for determining the lower limit of the sand and dust deposits of the section and studying the extraterrestrial events in the Late Cenozoic.

**Key words:** Extremely arid area; Aqiang section; Brunhes Normal Polarity Time; age of aeolian sand and dust; Xinjiang

### 作者简介

李保生, 1951年生。1978年毕业于北京大学地质地理系地貌专业, 1993年获中国地质大学(武汉)理学博士学位。多年在中国科学院兰州沙漠研究所从事中国干旱半干旱区第四纪地质、沙漠环境演变和沙漠化防治与治理等研究工作。现调到华南师范大学地理系任教。通讯地址: 510631, 广州市天河区石牌华南师范大学地理系。