

文章编号: 1006-6616 (2003) 01-0091-06

# 川西高原甘孜黄土的成因

王运生, 李永昭, 向 芳

(成都理工大学, 成都 601159)

**摘 要:** 本文通过对甘孜满地黄土的粒度组分、石英砂的表面结构以及其它地质现象的综合研究, 对甘孜黄土的成因进行了探讨。在黄土的概率累计曲线上, 跃进组分和悬移组分反映明显, 并以悬移组分为主。悬移组分粒径小于  $2\phi \sim 3\phi$ , 并以粉砂 ( $4\phi \sim 8\phi$ ) 为主, 占悬移总体的 94% ~ 99%; 对甘孜黄土进行扫描电镜观察表明, 石英砂大部分为块状颗粒, 少量 (10%) 呈纺锤形。采用矩阵法计算甘孜黄土的粒度参数: 黄土的平均粒径 ( $d_{50}$ ) 为  $5.057\phi \sim 5.883\phi$ , 明显大于古土壤 ( $6.120\phi \sim 6.549\phi$ )。古土壤的标准偏差 ( $\sigma\phi$ ) 为  $1.513 \sim 1.973$ , 大于黄土 ( $1.205 \sim 1.778$ ); 黄土和古土壤的偏度系数 ( $SK\phi$ ) 为  $-0.088 \sim 0.248$ , 显示为正偏或近于对称。黄土和古土壤的尖度系数 ( $K\phi$ ) 分别为  $0.123 \sim 1.702$ 、 $0.023 \sim 0.059$ , 前者峰形窄, 后者峰形较宽。对甘孜黄土扫描电镜观察表明, 石英砂大部分为方形或长方形颗粒, 少量 (10%) 呈纺锤形。石英砂有密集的翻卷片、蛇曲脊、圆麻坑, 这些结构反映了风成特征。另一方面, 少量石英砂显示冰川作用结构, 例如大大小小的贝壳状断口、平行擦痕等。在甘孜西面、德格以南的金沙江东岸川藏公路 980km 路碑处, 三阶地上部的黄土层中, 发现 3 条冰楔。此外, 甘孜黄土中孢粉稀少。根据上述特征推断, 甘孜黄土应为冰缘风成黄土。

**关键词:** 川西高原; 甘孜; 黄土; 冰缘

中图分类号: P588.23

文献标识码: A

20 世纪 60 年代初, 罗来兴、杨逸畴对川西高原黄土进行过研究<sup>[1]</sup>。尔后, 许多学者先后对川西高原黄土的岩石学特征、产状、地层层位、形成时代、成因、环境意义进行了研究<sup>[2~7]</sup>。四川省甘孜县城附近, 黄土地层发育。这里的黄土是川西高原黄土的典型代表。本文拟在前人工作的基础上, 对甘孜黄土的成因作进一步探讨。

## 1 甘孜黄土的粒度分布

沉积物的粒度大小是受外营力控制的, 与沉积环境关系密切。为探索甘孜黄土的成因,

收稿日期: 2002-09-13

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (编号: 90102002)

作者简介: 王运生 (1960-), 男, 博士, 副教授, 主要从事区域稳定性、新构造及第四纪研究, 已发表相关论文 20 余篇。

作者对甘孜满地黄土的粒度组分进行了分析。在甘孜满地的黄土剖面中，共采集了6块样品。采用筛析法和水力法对这些样品的粒度组分进行了分析。分析结果见表1。根据这些粒

表1 甘孜黄土的粒度组分

Table 1 Granulometric composition of Ganzi Loess

样号	层序	岩性	组分 (%) 采样深度 /m	粒度 ( $\phi$ )									
				-1~0	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~7	7~8	8~9	<9
甘-6	8	灰黄色黄土	7.8	0.2	0.2	0.2	0.8	11.6	46.6	34.1	5.3	0.7	0.3
甘-5	7	古土壤	9.5		0.2	0.2	0.8	7.6	19.5	46.1	7.2	6.4	11.5
甘-4	6	灰黄色黄土	12.3	0.2	0.4	0.2	0.6	5.8	30.7	40.5	5.3	5.6	9.9
甘-3	5	古土壤	13.5		0.2	0.2	0.6	7.2	10.4	53.1	13.9	12.2	2.2
甘-2	4	红黄色黄土	15.5	0.6	0.2	1.6	1.8	13.4	7.3	65.9	5.2	2.8	2.2
甘-1	3	古土壤	18.8	0.4	0.4	0.8	1.2	5.6	9.2	48.4	8.7	6.3	19.0

度分析资料，绘制了以百分含量为纵坐标，以对数粒度为横坐标 ( $\phi$ ,  $\phi = -\log_2 d$ ,  $d$  为颗粒直径，以 mm 计) 的粒度分布概率累计曲线。由于某些样品的粒度分布部分发生重叠，影响图面效果，所以只绘制了4条累计曲线 (图1)。每条曲线都可以划分出3个直线段，分别代表滚动、跳跃和悬移等3个总体。滚动总体的粒径为  $-1\phi \sim 1\phi$ ，跳跃总体为  $0 \sim 3\phi$ ，悬移总体小于  $2\phi \sim 3\phi$ 。悬移总体的重量占总量的94%~99%。在悬移总体中，粉砂 (粒径  $4\phi \sim 8\phi$ ) 占70%~80%。自然界，风和流水都可以使粉砂和粘土呈悬浮迁移。但在洪泛沉积物中，以粘土为主<sup>[8]</sup>，而被气流搬动的悬移物一般以粉砂为主。所以，甘孜黄土的粒度组分反映了风成黄土的特征。

从图1的曲线我们可以看出：

- ①各部分的总量分布在对数粒度标准图上十分直观，共分为3段，从左到右分别表示滚动、跳移和悬移；
- ②每个样品滚动与跃移总量之和一般不足各土样总量的1%，说明粉土占绝对

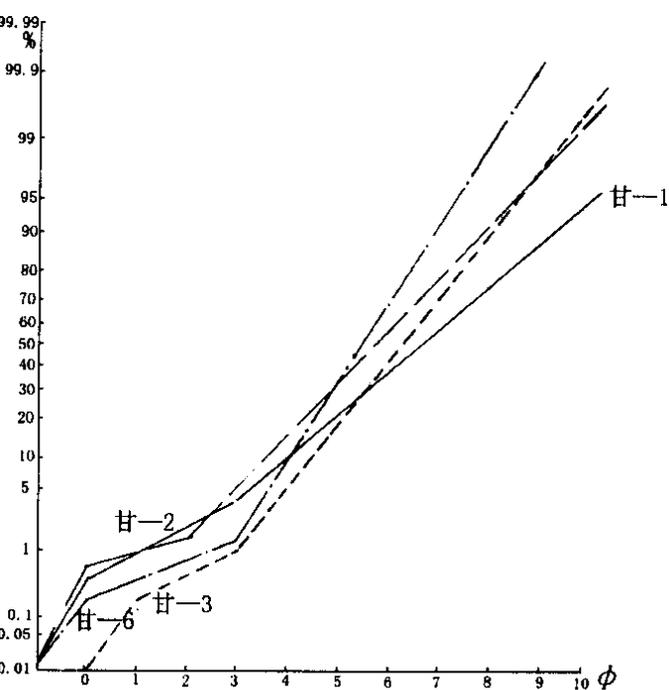


图1 甘孜黄土粒度分布的概率累计曲线

Fig.1 Cumulative curve on arithmetic probability graph paper for grain size distribution of Ganzi Loess

( $\phi = -\log_2 d$ ,  $d$  为颗粒直径，以 mm 计)

优势；③样品甘-3 虽也有滚动和跃移组分，但粒度相对较细；④与其他 3 个样品相比甘-2 跃移组分含量相对较少，表明物源相对较远，由于整个滚动和跃移组分所占比例仅 1% 左右，滚动所占比例略高于跃移有可能与当地气流作用的复合有关。因为中砂以下的颗粒由于受结合水的束缚，很难被风掀起，而粗砂则比较容易滚动，从而导致组分比例上的细微变化。

据上述粒度分析资料，采用矩阵法计算了甘孜黄土的粒度参数（表 2）。黄土的平均粒径（ $d_{50}$ ）为  $5.057\phi \sim 5.883\phi$ ，明显大于古土壤（ $6.120\phi \sim 6.549\phi$ ）。古土壤的标准偏差（ $\sigma\phi$ ）为  $1.513 \sim 1.973$ ，大于黄土（ $1.205 \sim 1.778$ ），表明古土壤的分选性比黄土差。黄土和古土壤的偏度系数为  $-0.088 \sim 0.248$ ，显示为正偏或近对称。黄土和古土壤的尖度系数（ $K\phi$ ）分别为  $0.123 \sim 1.702$ 、 $0.023 \sim 0.059$ ，前者峰形窄，后者峰形较宽。

表 2 甘孜黄土的粒度参数

Table 2 Grain size parameters of Ganzi Loess

样号	层序	岩性	采样深度 /m	粒度参数			
				平均粒径 ( $d_{50}$ )	标准偏差 ( $\sigma\phi$ )	偏度 ( $SK\phi$ )	尖度 ( $K\phi$ )
甘-6	8	灰黄色黄土	7.8	5.057	1.205	0.213	1.242
甘-5	7	古土壤	9.5	6.120	1.818	0.138	0.051
甘-4	6	灰黄色黄土	12.3	5.883	1.778	0.248	0.123
甘-3	5	古土壤	13.5	6.214	1.513	-0.059	0.059
甘-2	4	红黄色黄土	15.5	5.640	1.502	-0.044	1.702
甘-1	3	古土壤	18.8	6.549	1.973	-0.788	0.023

## 2 甘孜黄土石英砂的表面结构

石英砂表面像录相带一样记录着作用于它的动力过程。它不仅具有高处侵蚀、低处沉淀的基本特征，而且不同的动力过程形成特殊的形态标志，这些标志的组合特征与相互关系可以反映出颗粒所经历的不同环境，因此，石英砂表面标志不仅仅反映着最后一次事件，而且也包含着一系列的沉积历史过程<sup>[9]</sup>。

为探讨甘孜黄土的沉积环境，对甘-1、2、3、5、6 号 5 块样品的石英砂的表面结构进行了观察。对每块样品都观察了 15 颗石英砂。这些石英砂是在经过处理后在双目镜下挑选的，无裂纹，粒径为  $0.2\text{mm} \sim 0.6\text{mm}$ ，有一定代表性。使用的电镜是 S-450 日立型扫描电镜，分辨率  $60^\circ \text{Å}$ 。这些石英砂的主要表面结构特征是：

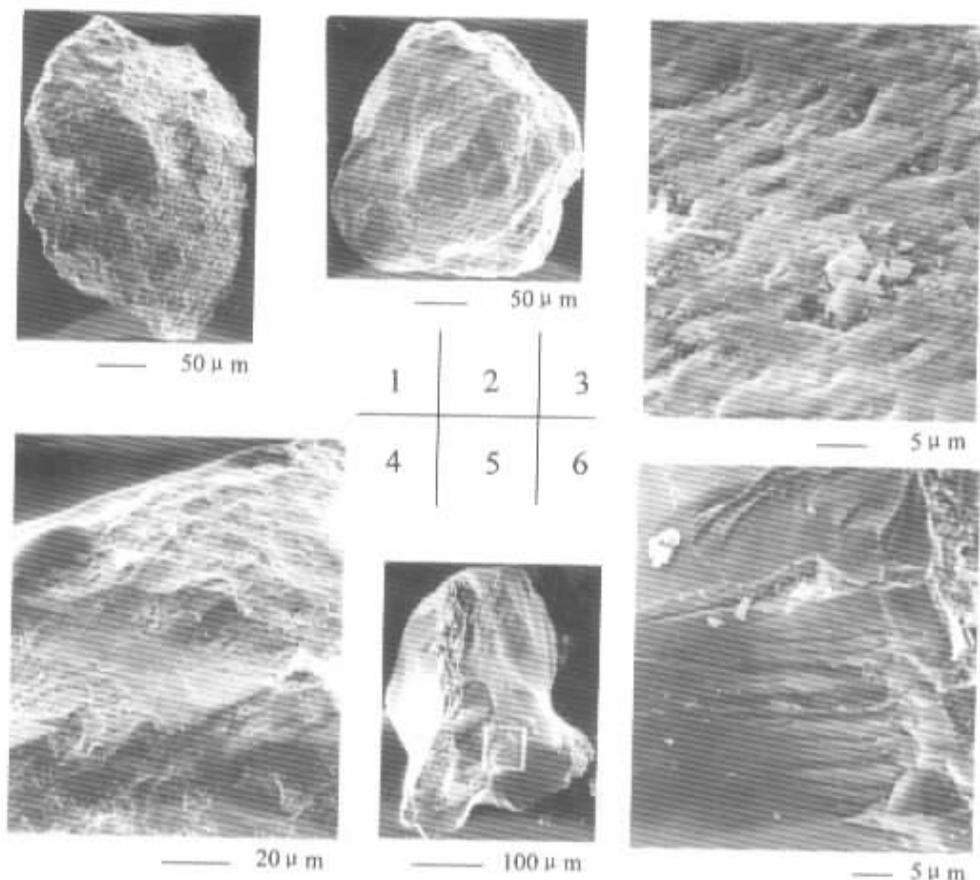
### (1) 纺锤形石英砂

大多数石英砂为等轴状，只有少数为纺锤形（照片 1）。据资料<sup>[9]</sup>，流线型砂是气流长期搬运的产物。

### (2) 发育的机械成因翻卷片

95% 以上的石英砂表面都发育有机械成因的翻卷片（照片 2）。翻卷片个体细小，宽和高均为数  $\mu\text{m}$ ，密集分布，几乎遍布整个颗粒表面。Krinley D. H, Doorcamp J. 曾用模拟实验制造出与天然风成砂完全相同的棱角圆滑、翻卷片密集细小的石英砂<sup>[10]</sup>。

### (3) 圆麻点



照片 1 甘-1 号黄土样, 纺锤形石英砂

照片 2 甘-1 号黄土样, 具密集翻卷片的石英砂

照片 3 甘-5 号黄土样, 石英砂表面的风成园麻点

照片 4 甘-5 号黄土样, 石英砂表面蛇曲脊 (照片中部)

照片 5 甘-2 号黄土样, 发育贝壳状断口的石英砂

照片 6 照片 5 方框部分的放大, 平行擦痕

少数石英砂表面布满细坑, 像天花疤痕一样 (照片 3)。这些表面结构是石英砂在气流搬运过程中遭受撞击的痕迹。

#### (4) 蛇曲脊

由贝壳状断口彼此相互交切形成的弯弯曲曲的棱脊 (照片 4)。这些贝壳状断口个体细小, 半径约  $20 \sim 30 \mu\text{m}$ , 较均一, 而冰川石英砂的贝壳状断口个体大小极为悬殊。Krinsley D. H. & F. unnell B. M. 认为, 蛇曲脊是鉴定风成石英砂的重要标志之一<sup>[11]</sup>。

#### (5) 贝壳断口和平行擦痕

在甘-2 号样品中, 有一颗石英砂表面发现有平行擦痕 (照片 5、6)。这颗石英砂贝壳状断口发育, 且大小不等。照片 6 是照片 5 方框部分的放大。照片 6 上, 有两组擦痕, 它们的夹角约  $10^\circ$ 。擦痕长  $10 \sim 50 \mu\text{m}$ 。一般认为, 包含在冰川内部的碎屑物既承受着由上覆冰层重量所产生的压力, 同时还受到由冰层内部的差异运动所产生的切应力。在这两种力的共同作用下, 冰体内部彼此相邻的石英砂将会发生研磨和摩擦。经受研磨的石英砂, 当压应力一旦

超过它的强度极限时，它就会破裂，从而形成大大小小的贝壳状断口。与此同时，包含在冰川内部彼此相邻的石英颗粒相互摩擦时，尖锐而坚硬的颗粒将会对相邻颗粒表面进行刻划，形成擦痕。若被刻划的石英砂在冰体内部的相对位置发生变动，于是又会在另一个方向上形成擦痕。所以，这种具有大大小小的贝壳状断口和擦痕的石英砂是典型的冰川石英砂。值得注意的是，这颗石英砂的棱角已有磨损，并有个体细小的贝壳状断口，这些结构又反映了风成特征。

### 3 黄土地层中的冰楔构造

在甘孜县城东面、德格县城正南方向、金沙江东岸、川藏公路 980km 路碑附近公路壁可见，三阶地上部的黄土层中有 3 条冰楔（图 2）。冰楔长约 2m，顶端宽 0.2m。冰楔由岩屑组成。这些岩屑的成分与上覆岩屑层基本相同，主要为板岩、千枚岩，粒径 3cm ~ 8cm。这里的黄土也发育褐土型古土壤，与甘孜黄土岩性特征类似，完全可以对比。一般认为，冰楔是多年冻土区的典型标志之一。

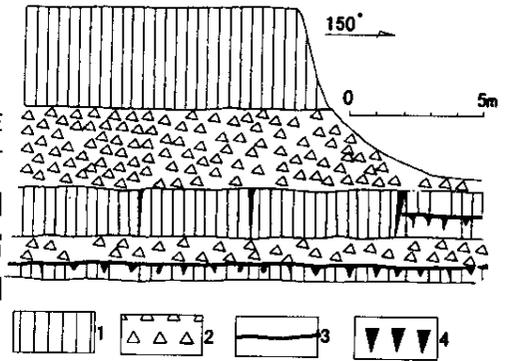


图 2 甘孜西金沙江东岸川藏公路 980km 路碑附近三阶地上部黄土剖面

Fig.2 Loess profile of Upper third order terrace, near 980km road sign on Qing-Zang Road, east bank of Jinsha Jiang, west Ganzi  
1. 黄土; 2. 岩屑堆积; 3. 古土壤; 4. 冰楔

### 4 孢粉

在甘孜满地黄土剖面中，曾采集 6 块样进行孢粉分析。结果仅在甘-1 和甘-2 两块样中发现了少量孢粉。甘-1 中，低等孢子 24 粒，*Picea* 15 粒；甘-2 中，低等孢子 24 粒，*Athyriaceae* 1 粒，*Selaginella* 1 粒，*Quercus* 1 粒，*Chenopodiaceae* 3 粒。孢粉稀少，且多低等孢子，表明黄土沉积时，气候寒冷，地面植被稀少，可以与冰楔互相印证。

### 5 甘孜黄土的成因

如前所述，甘孜黄土的粒度组分和石英砂的表面结构特征都反映了气流搬运的特点，深深留下了风成的烙印。甘孜黄土中冰川石英砂的发现表明，黄土物质部分来源于冰川沉积物。黄土中冰楔的发现进一步证明，这些黄土是在冰缘环境堆积的。此外，黄土中孢粉的贫乏，为冰缘环境提供了有力佐证。据上述事实推测，当冰期来临时，川西高原冰川规模扩大，高原高处冰川发育，形成冷高压，而在其周围为相对低气压区，这时气压梯度的方向由冰川中心指向外围，致使地面附近的大气层由冰川中心向周围运动，形成反气旋。反气旋气流吹起冰川沉积物的细颗粒物，并在背风的低洼处堆积下来，形成了黄土，即一般所谓冰缘黄土。

谨以此文对吴锡浩研究员和段万侗研究员的不幸逝世表示深切哀悼！

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 罗来兴, 杨逸畴. 川西滇北地貌形成探讨 [ J ]. 地理集刊, 1963. 1 ~ 47.
- [ 2 ] 李承三, 吴燕生, 李永昭, 等. 龙门山南段东坡及其前山带第四纪冰川遗迹 [ A ]. 中国第四纪冰川研究工作中中心联络组. 中国第四纪遗迹研究文集 [ C ]. 北京: 科学出版社, 1964. 70.
- [ 3 ] 田代沂. 若尔盖高原边缘地区的黄土观察 [ J ]. 地质论评, 1966, 24 ( 1 ): 68 ~ 70.
- [ 4 ] 柴宗新. 川西高原的黄土 [ A ]. 中国第四纪研究委员会编. 第三届全国第四纪学术会议论文集 [ C ]. 北京: 科学出版社, 1982. 273 ~ 274.
- [ 5 ] 陈富斌, 高生淮, 等. 甘孜黄土剖面磁性地层初步研究 [ J ]. 科学通报, 1990, 35 ( 20 ): 1600.
- [ 6 ] 方小敏, 陈富斌, 等. 甘孜高原黄土与青藏高原冰冻圈演化 [ J ]. 科学通报, 1996, 41 ( 20 ): 1865 ~ 1867.
- [ 7 ] 蒋复初, 吴锡浩, 等. 川西高原甘孜黄土地层学 [ J ]. 地球学报, 1997, 18 ( 4 ): 413 ~ 420.
- [ 8 ] 刘宝, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1985. 102.
- [ 9 ] 王颖, 迪纳瑞尔, B. 石英砂表面结构图集 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1985. 1.
- [ 10 ] Krinsley D H, Doorcamp J. Atlas of Quartz Sand Surface Textures [ M ]. New York: Cambridge Press 1973.
- [ 11 ] Krinsley D H, Funnell B M. Environmental history of sand grains from the Pleistocene of Norfolk [ J ]. The Quarterly Journal of the Geological Society of London, 121 ( 484 ): 435 ~ 457.

## THE GANZI LOESS ORIGIN IN THE WEST SICHUAN PLATEAU

WANG Yun-sheng, LI Yong-zhao, XIANG Fang

( Chengdu University of Technology, Chendu Sichuan 610059, China )

**Abstract :** The Ganzi Loess origin in the West Sichuan Plateau has been discussed based on synthetic study in grain composition of the loess, surface texture of quartz sand, as well as other geological phenomena. On the cumulative curve of grain size distribution in Ganzi Loess of logarithmically probability graph paper, saltation mass and suspension are obvious, and the later is principal. In the suspension, the grain size is not more than  $2 \sim 3\phi$  in diameter, and the silt grains ( $4 \sim 8\phi$ ) are principal. The grain size parameters of Ganzi Loess were counted by the matrix method. Its mean grain size is  $5.057 \sim 5.883\phi$ , and bigger than one of fossil soil in the loess. The  $1.513 \sim 1.973$  of standard deviation ( $\sigma$ ) of fossil soil is bigger than the loess ( $1.205 \sim 1.778$ ). The skewnesses ( $Sk$ ) of the loess and fossil soil are  $-0.088 \sim 0.248$ . The kurtosis ( $K\phi$ ) of the loess is  $1.242 \sim 1.702$ , and the one of the fossil soil is  $0.023 \sim 0.059$ . The quartz sand surface textures of Ganzi Loess have been observed with Scanning Electron Microscope. Most of quartz sands are blocky, and a few of grains are fusiform. On the surfaces of the quartz sands, there are a number of aeolian features, such as concentrated upturned plates meandering ridges, pocks, and others. These ones are characteristics of aeolian origin. On the other hand, a few of the quartz sands are characterized by glacial surface textures, such as all sizes conchoidal fractures, and parallel striations. In the West Ganzi, and the South Dege, by the East bank of Jinsha River, three ice-wedges are discovered in the loess strata on the top of third order terrace. Furthermore, the sporo-pollens are scarce in the loess strata. As above, it appears that Ganzi Loess is aeolian sediment in the periglacial environment.

**Key words :** West Sichuan Plateau ; Ganzi ; loess ; periglacial