

# 西藏高原洞穴堆积物的粘土矿物组合特征及其古地理意义\*

彭 拙

(南京大学大地海洋科学系)

**提 要** 本文通过对西藏高原洞穴堆积物的粘土矿物组合特征的分析,初步探讨了喀斯特地貌形成的古地理环境。喜马拉雅山北坡旧定日东山洞穴堆积物是较温湿的森林草原环境下的产物,新定日西侧遮普若山北坡洞穴堆积物则是在高寒草甸环境下形成的;拉萨西南曲水大佛后溶洞堆积物形成于湿热的亚热带气候环境,而拉萨西山洞穴堆积物却形成于较温湿的草原环境;唐古拉山南坡安多一带的洞穴堆积物则是在高寒的草甸环境下形成的。并以此研讨了西藏高原喀斯特的成因和时代。

**关键词** 西藏高原 洞穴堆积物 粘土矿物 喀斯特地貌 古地理

我国科学工作者自 70 年代以来,对西藏高原喀斯特进行了研究<sup>[1-8]</sup>,但前人大都从地貌形态、植物孢粉、古脊椎动物化石、第四纪沉积特征等论述了西藏喀斯特地貌的类型、成因和分布规律、古地理环境及其与青藏高原隆起的关系等。无疑,这些研究对恢复当时的地理环境,尤其是气候环境起了一定的作用。但由于各自掌握的资料不同,其结论不甚一致。而在这些研究中,却很少有人从洞穴堆积物的粘土矿物组成来研究其形成时的地理环境,所以粘土矿物的分析工作是很有必要的。

本文根据 1987 年参加南京大学与英国牛津大学等共同组成的“中英合作西藏喀斯特科学考察队”,对西藏几个地区的洞穴堆积物及洞外堆积物和土壤进行了较为完整而系统地采样,通过粘粒 X-射线衍射分析、电子显微镜照像等方法所获得的初步结果,试图说明各洞穴堆积物的古地理环境及其演变。

## 一、样品的采集及分析方法

西藏高原喀斯特洞穴,在考察区范围内自喜马拉雅山北坡的定日东山至唐古拉山南坡的安多北山等地均有不同程度地分布,但洞穴的规模一般都较小,洞高大多在 2 米以内,洞深多数小于 10 米。大多数洞穴中堆积物不发育,洞口和洞壁均较光滑。除少部分样品采自洞穴底部堆积物外,大都采自于洞壁下部裂隙中的堆积物(红土和碳酸钙的填充物)。同时,对新定日西侧的遮普若山、拉萨西北及安多北山等地洞穴外的地表堆积物及土壤,按其性质进行了分层采样,以便于比较。所有分析样品由作者及章典采集。采样点的

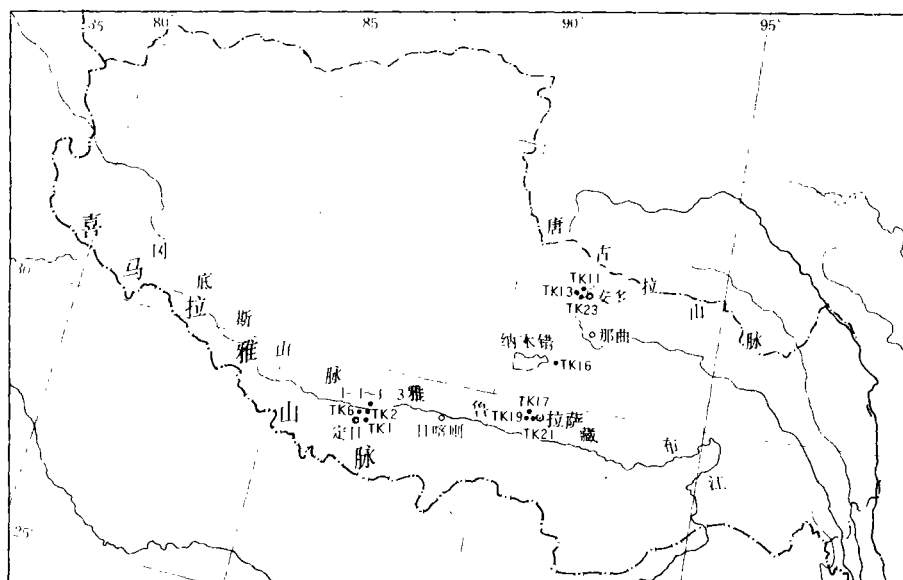
\* 国家自然科学基金资助项目。

本文改回日期: 1992-06-08。

位置如附图所示。

样品的处理、分散及粘粒的提取按土壤常规分析方法进行<sup>[9]</sup>。

X-射线衍射分析: 粘粒采用镁离子所饱和, 用甘油水溶液法在玻璃片上制成约含 2 毫克/平方厘米的定向薄膜, 阴干后放在相对湿度约 50% 的硝酸钙饱和液的干燥器中, 放置一天左右<sup>[10]</sup>。粘粒的 X-射线衍射图谱用 CuK $\alpha$  辐射, 在日本 D/max-IIIc 数字式自动 X-射线衍射仪上获得。



附图 西藏高原洞穴堆积物和土壤采样点分布图

Figure The distribution of sampling spots of speleothems and soils on Xizang Plateau

电子显微镜照像: 粘粒分散后用点样法制成试样, 在国产 1 级 D $\times$ A3-8 型电子显微镜上进行。X-射线衍射分析和电子显微镜照像均由中国科学院南京土壤研究所土壤物理分析室完成。

## 二、洞穴堆积物特征及粘土矿物组合

西藏高原喀斯特洞穴堆积物、土壤等的特征及粘粒(<1 微米)部分的粘土矿物组合于附表所示。

## 三、粘土矿物组合与古地理环境

粘土矿物的形成与分布深受古地理环境, 特别是气候环境的影响。因此洞穴堆积物中粘土矿物组合的特征及变化, 可作为反映古地理环境变迁的重要标志之一。现就西藏高原

各洞穴堆积物中粘土矿物组合与古地理环境的关系分别加以探讨。

附表 青藏高原洞穴堆积物、土壤及粘粒(<1微米)部分的粘土矿物组成

Table The speleothems, soils and clay mineral composition on Xizang Plateau

地区	样号	采 样 地 点	堆积物及土壤特征	主要粘土矿物	次要粘土矿物	附 注
喜 马 拉 雅 山 北 坡	TK <sub>1</sub>	定日东海拔 4350 米处的洞穴	棕红色亚粘土	水云母	三水铝石、高岭石、绿泥石、蒙脱石	侏罗系黑色中厚层灰岩,水云母部分向蒙脱石过渡
	TK <sub>2</sub>	新定日西侧遮普若山北坡海拔 4800 米处的洞穴	洞壁下部裂隙中的棕红色粘土,含少量碎石块	水云母	高岭石、三水铝石、石英	始新统灰岩
	1-1	遮普若山北坡海拔 4600 米左右	高山草甸土、棕灰色的表层、壤质,厚 10 厘米	水云母	高岭石、三水铝石、绿泥石、蛭石、长石	
	1-2		中层、黑色壤粘土、厚约 16 厘米		部分蛭石、高岭石、黑云母、少量三水铝石、长石、绿泥石	
	1-3		灰棕色的底土层、砂壤质,厚约 37 厘米		高岭石、绿泥石、蛭石、三水铝石、长石、石英	
	TK <sub>6</sub>	遮普若山北坡海拔 4900 米的洞穴	红棕色亚粘土	水云母	绿泥石、高岭石、石英、长石	
拉 萨 地 区	TK <sub>17</sub>	拉萨西山海拔 3800 米处的洞穴	浅灰色、砂壤质堆积物	蒙脱石	高岭石、绿泥石、蛭石、水云母、长石	石炭系灰岩、采样层有动物遗骨
	TK <sub>19</sub>	拉萨西南曲水大佛后,洞口离公路 20 米左右	棕红色亚粘土	高岭石	水云母、针铁矿、石英、少量蒙脱石、长石	
	TK <sub>21</sub>	拉萨西郊水泥厂北海拔 3800 米左右	洞内裂隙中红棕色亚粘土	蒙脱石	蛭石、高岭石、水云母(极少)	
唐 古 拉 山 南 坡	TK <sub>11</sub>	安多 10 公里西侧山地海拔 4800 米处	洞穴内裂隙中棕红色粘壤土	水云母	高岭石、绿泥石、长石、少量针铁矿	中侏罗系灰岩
	TK <sub>13</sub>	安多北山海拔 4900 米处洞穴	红棕色亚粘土	水云母	高岭石、较多绿泥石、蒙脱石、长石、少量针铁矿	
	TK <sub>23</sub>	安多北山海拔 4700 米处	石灰岩裂隙中棕红色粘质土	水云母	高岭石、长石、蛭石	
	TK <sub>16</sub>	当雄南水电站附近的一级阶地上	红棕色粘壤土	水云母、石英	高岭石、绿泥石及其混层长石	

### (一)喜马拉雅山北坡洞穴堆积物与古地理环境

定日东海拔 4350 米左右的洞穴堆积物(TK<sub>1</sub>)中粘土矿物组合以水云母(伊利石)为主,含少量的高岭石、蛭石、绿泥石、三水铝石和蒙脱石。从电子显微镜中尚可见到水云母部分向蒙脱石过渡。目前,洞穴处于半干旱的草原环境,在这种自然条件下形成的亚高山草原土,其土壤粘粒部分的矿物组成,以水云母、夹层水云母为主,伴存的粘土矿物有高岭石、蛭石、绿泥石,Bc 层有少量长石等,很可能有三水铝石和针铁矿<sup>[13]</sup>。可见洞穴堆积物的粘土矿物组合与目前亚高山草原土中 Bc 层十分相近。少量三水铝石的存在,表明其形成过程中曾经受到较强的风化作用,且风化作用很深,不象是目前亚高山带水热条件下应

有的产物<sup>[11]</sup>,而是较目前略为暖湿条件下形成的结果。由此,我们可以推测洞穴中棕红色亚粘土堆积物不是在目前高寒的草原环境中形成的,而很可能是较目前略为暖湿的森林草原环境下形成的产物,洞穴堆积物中含少量的蒙脱石,表明它在一定程度上受到流水的作用<sup>[12]</sup>。

新定日西侧遮普若山北坡海拔 4800 米与 4900 米处的洞穴堆积物(TK<sub>2</sub>,TK<sub>6</sub>),其粘土矿物组合以水云母占优势,含少量的高岭石、三水铝石、绿泥石及石英等,海拔 4900 米处的洞穴堆积物中绿泥石的含量较多。这些洞穴堆积物的粘土矿物组合与我们在洞外海拔 4600 米处采取的高山草甸土(1—1,1—2 与 1—3)的粘土矿物组合十分相近。此土壤表、中层中均含有少量三水铝石,其成因可能与黑云母和绿泥石等矿物在风化初期所释放出大量的低价铁在高原的特殊水热条件下,导致铁的氧化和水化作用有关<sup>[11]</sup>;同时,在土壤形成过程中可能不断有强烈风化作用产物通过淋溶和泻溜作用进入土壤中。显然,这两处洞穴堆积物是在高寒草甸环境中,经强烈风化作用堆积而成。

### (二)拉萨附近洞穴堆积物与古地理环境

拉萨西南曲水大佛后溶洞堆积物(TK<sub>19</sub>)的粘土矿物中,高岭石的含量占绝对优势,其伴生粘土矿物中含有一定量水云母、较多针铁矿、石英及少量蒙脱石和长石。高岭石类矿物是热带、亚热带土壤的一种指示矿物。针铁矿一般也分布于亚热带及热带土壤中,且含量较多,我国北方及高山土壤中虽含有少量氧化铁,但不易从电子显微镜中见到,而此溶洞堆积物的粘土矿物中氧化铁(针铁矿)却在电镜中明显可见。因此该堆积物的粘土矿物组合不同于我国北方及高山地区的土壤。但它不含三水铝石,则又与我国热带及南亚热带的土壤不同。由此可以推测,该洞穴堆积物很可能是在比较湿热的环境中形成的,其湿热程度大致相当于我国东部地区的北亚热带,是一种相当于目前西藏高原东南部地区山地准亚热带半常绿阔叶林环境<sup>[13]</sup>。

拉萨西山洞穴堆积物(TK<sub>19</sub>,TK<sub>21</sub>)的粘土矿物组合均以蒙脱石为主,伴生的粘土矿物有蛭石、高岭石和少量水云母。蒙脱石类矿物一般分布于草原土壤中,而成为草原土壤的一种指示矿物<sup>[12]</sup>。虽然蒙脱石也或多或少存在于其它类型的土壤中,但无论如何难以成为一种特征性的矿物,湿度高和排水不良是形成蒙脱石的有利条件<sup>[14]</sup>。我国东北中部草原地区气候温湿,对蒙脱石的形成很有利,因此黑土中的粘土矿物以蒙脱石为主。拉萨西山洞穴堆积物的粘土矿物组合类似于黑土,而不同于目前拉萨一带土壤中粘土矿物以水云母为主的半干旱的高原草原土<sup>[15]</sup>。因此我们可以推测其洞穴堆积物可能是在一种对蒙脱石形成极为有利的温暖半湿润的高原草原环境下形成的,显然,堆积时的气候较目前温暖湿润些。

### (三)唐古拉山南坡洞穴堆积物的粘土矿物组合与古地理环境

安多北山 10 公里处西侧山地的洞穴堆积物(TK<sub>11</sub>)及安多北山的洞穴堆积物(TK<sub>13</sub>)和石灰岩裂隙堆积物(TK<sub>23</sub>)中粘土矿物组合均以水云母为主,伴随的粘土矿物有高岭石、绿泥石和蛭石,前两种洞穴堆积物中含少量针铁矿,蒙脱石仅出现 TK<sub>13</sub>的洞穴堆积物中。大量水云母的存在显示堆积时期的古地理环境只适合于原生矿物风化到初步阶段。并且,它们的粘土矿物组合特征与西藏高原的高山草甸土颇为相近<sup>[11]</sup>。因此有理由认为这

些堆积物可能是在目前高寒的高山草甸环境下形成的。

#### 四、从洞穴堆积物粘土矿物组合特征初探 青藏高原喀斯特地貌的成因和时代

据研究,青藏高原上新世时的海拔约 1000 米,自然景观的面貌接近亚热带类型;高原强烈隆起的时代始于上新世末,自此至今青藏高原平均隆升了 3500—4000 米。无疑,第三纪时青藏高原的湿热环境对喀斯特地貌的发育极为有利,因此人们认为目前青藏高原的喀斯特地貌大都经过长期的溶蚀作用,并于上新世以后残留下来的,它是一种与目前环境条件很不适应的古喀斯特<sup>[1-6]</sup>。很显然,这里有些问题是值得进一步商讨的。

据研究,新构造运动活跃的南迦巴瓦峰地区,平均上升速度为 2.47 毫米/年,平均侵蚀速度为 0.95—1.26 毫米/年,上升全盛期的侵蚀速度达 3.10—4.10 毫米/年<sup>[16]</sup>。我们取侵蚀平均速度的下限 1 毫米/年作为青藏高原的年平均侵蚀速度是较为合理的。显然,这种侵蚀速度一般是代表寒冻风化作用强烈的高寒地区。如果中更新世以来喜马拉雅山北坡抬升量(绝对)达 450—500 米,唐古拉山中部地区抬升量达 300—350 米<sup>[3]</sup>,那么,上述喀斯特地貌分布地区的海拔,在喜马拉雅山北坡定日一带已达 4000—4400 米以上;唐古拉山一带则达 4300—4800 米左右,喀斯特发育的山脊地区寒冻风化作用已较强烈,平均侵蚀速度至少也有 1 毫米/年左右,经历中更新世以来约  $72 \times 10^4$  年长期强烈风化剥蚀作用,其侵蚀厚度可达 720 米左右,地上部分的喀斯特正地形,如“峰林”、“石墙”等早已剥蚀殆尽,夷为平地或坡地,恐怕难以残留至今。因此认为目前青藏高原喀斯特地貌主要是上新世晚期残留下来的解释是难以令人信服的。

目前青藏高原的喀斯特地貌类型几乎都沿着石灰岩地层的层面、节理面、断裂破碎带或岩层褶皱转折部位,经寒冻风化等作用发育而成。因此青藏高原的喀斯特是一种特殊的类型,可称为“高海拔冰缘塔状喀斯特”<sup>[1]</sup>。根据高纬冻土地区喀斯特研究的结果,在多年冻土区或冬季时间很长的地区,岩溶多分布深处,因此青藏高原地区的溶蚀作用及泉华堆积在地下是比较活跃的,在各地均可见流量较大的喀斯特泉及溶洞<sup>[3]</sup>。

喜马拉雅山北坡定日一带的喀斯特地貌,从洞穴堆积物粘土矿物组合特征来看,分布的海拔不同,其形成时的环境略有差异,海拔 4600 米以下的喀斯特正地形多形成于从寒温带森林向高寒草甸(或草原)过渡的山地森林草甸环境;海拔 4600 米以上的喀斯特正地形多形成于亚高山寒冷的草甸环境。因此我们可以推测,它们很可能发育于晚更新世末期或全新世初期。目前该地区所表现出来的喀斯特正负地形,其形成的时代在青藏高原强烈隆起和剥蚀的特殊地区,可能是不一致的。一般来说,负地形的形成时代要早于正地形,目前所见到的洞穴、喀斯特泉等负地形在地下开始形成发育时,其地上部分的“塔状”或“锯齿状”等喀斯特正地形逐渐剥蚀殆尽,而目前所见到的喀斯特正地形则是在原来的基础上,经晚更新世末或第四纪初期以来的长期寒冻风化作用逐步继承发展起来的。原有规模

1) M. M. Sweeting, Bao Haosheng and Zhang Dian, 1988.

较小的溶洞暴露出地面以后,自晚更新世末期以来的强烈寒冻风化等作用,形成目前规模大小不一的洞穴。

拉萨附近一带的喀斯特地貌形成的时代,从洞穴堆积物的粘土矿物组合特征来分析,海拔 4000—4100 米塔状和锯齿状的石峰或石墙的形成时代较新,很可能是全新世以来发育而成的;中层海拔 3750—3900 米的洞穴则可能形成于更新世时的温暖半湿润的草原环境;海拔 3650 米左右的下层溶洞,其洞穴堆积物的粘土矿物组成以高岭石占绝对优势,含量达 80% 以上,形成的时代很可能属于上新世,当时青藏高原大都处于暖润的亚热带气候环境。

安多一带海拔 4700—4900 米处洞穴堆积物,从粘土矿物组合特征来分析,它们均是在高寒草甸环境下堆积而成,但洞穴中的灰华尚保存草原或较温湿的草本半灌木高原草原环境的孢粉成份。因此洞穴形成的时间可能始于第四纪的初期或中期,那时它们已在地面的一定深处开始发育,露出地面的时间最早也恐怕是在晚更新世的后期。海拔 5000—5100 米处的塔状喀斯特则是全新世以来强烈的寒冻风化作用形成的。

由此可见,在同一地区从山麓至山顶,喀斯特地貌发育的时代越来越新,某些残存的特征愈来愈少,乃至绝迹。

## 参 考 文 献

- [1] 崔之久,1975,珠穆朗玛峰地区的喀斯特,珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966—1968),现代冰川与地貌,科学出版社,第 169—179 页。
- [2] 崔之久,1981,青藏高原的岩溶,中国地理学会一九七七年地貌学术讨论会论文集,科学出版社,第 123—133 页。
- [3] 崔之久,1981,古岩溶与青藏高原抬升,青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题,科学出版社,第 40—51 页。
- [4] 李吉均等,1979,青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨,中国科学,(6),第 608—616 页。
- [5] 徐叔属,1981,应用地貌分析法探讨唐古拉山地区隆升的时代与幅度,青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题,科学出版社,第 64—77 页。
- [6] 马素达,1981,西藏中部奇林湖北岸的岩溶地貌,地质评论,27(3),第 274—276 页。
- [7] 杨逸畴等,1983,西藏地貌,科学出版社,第 155—165 页。
- [8] 杨逸畴,对西藏喀斯特地貌的疑议,喀斯特地貌与洞穴,科学出版社,第 39—48 页。
- [9] 中国土壤学会土壤农化分析专业委员会,1965,土壤常规分析方法,科学出版社,第 32—34 页。
- [10] 唐诵六、熊毅,1964,X-射线衍射仪鉴定开展式粘土矿物的甘油处理法,土壤学报,12(4),第 461—464 页。
- [11] 中国科学院南京土壤所珠峰组,1975,珠穆朗玛峰地区土壤的粘土矿物,珠穆朗玛峰地区科学考察报告,自然地理(1966—1968),科学出版社,第 57—70 页。
- [12] 熊毅、许冀泉,1964,中国土壤中粘土矿物的分布规律,土壤学报,12(3),第 266—274 页。
- [13] 彭补拙,1986,关于西藏南迦巴瓦峰地区垂直自然带的若干问题,地理学报,41(1),第 51—58 页。
- [14] 熊毅、许冀泉等,1958,中国土壤胶体研究工作,土壤学报,6(2),第 89—98 页。
- [15] 高以信等,1985,西藏土壤,科学出版社,第 66—76 页。
- [16] 刘东生,1985,南迦巴瓦峰地区科学考察成果,山地研究,3(4),第 193—195 页。

## CHARACTERISTICS OF CLAY MINERAL COMPOSITION IN THE SPELEOTHEMS ON XIZANG PLATEAU AND ITS PALAEOGEOGRAPHIC MEANING

Peng Buzhuo

*(Department of Geo and Ocean Sciences, Nanjing University)*

### Abstract

Based on an analysis on the characteristics of clay mineral composition in the speleothems on Xizang Plateau, the palaeogeographic environment in which the karst landforms were formed have been studied.

Speleothems in the karst caves at Tingri with cold and dry steppe environment at present on the northern slope of the Mt. Himalaya were formed in warmer and wetter forest steppe environment. Speleothems in the karst caves on the northern slope of the Mt. Zeberi at New Tingri were formed in the cold alpine meadow environment. The brown-red light clay deposits in a karst cave at Quxü of southwest Lhasa indicate that they may be formed in warmer and wetter environment, corresponding to that of the present northern subtropical zone in East China in terms of its humidity and temperature. The cave deposits of the mountain area at the west part of Lhasa were formed in a rather warm and semi-wet steppe environment which was warmer and wetter than the present. The cave deposits on southern slope of the Mt. Tanggula at Amdo may be formed in the cold alpine meadow environment. Based on these results, the formation and ages of the ancient karst landforms on Xizang Plateau are discussed.

**Key words** Xizang Plateau, cave deposit, clay mineral, karst landform, palaeogeography