

# 青藏公路纳赤台地区融冻褶皱 及其古气候意义

王绍令

边纯玉

(中国科学院冰川冻土研究所) (地矿部九〇六水文地质工程地质大队)

**提 要:** 昆仑河及其主要支流的Ⅳ—Ⅰ级阶地发育着融冻褶皱, 其形成时代为两期: 晚更新世末期(距今20725—14941年), 全新世中期(距今约3900年)。它标志着本区在晚更新世末期为连续多年冻土区, 年平均气温较今低 $5-6^{\circ}\text{C}$ ; 在全新世新冰期时为岛状多年冻土区, 年平均气温较今低 $2.5-3.0^{\circ}\text{C}$ 。

**主题词:** 融冻褶皱 分布 成因 古气候意义

昆仑山北麓的青藏公路纳赤台地区, 在昆仑河及其主要支流的Ⅳ—Ⅰ级阶地发育着千姿百态的融冻褶皱。现有的文献〔1—3〕对区内融冻褶皱分布讨论的较多, 但对成因和形成时代论证不足。作者根据近几年的野外调查资料和对所在地层系统采样进行 $^{14}\text{C}$ 年代和x光衍射测定的数据<sup>1)</sup>, 对上述问题进一步深入研究, 并对融冻褶皱的古气候意义进行探讨。

## 1 融冻褶皱的分布

纳赤台位于柴达木盆地南缘、昆仑山北麓的昆仑河谷地内, 海拔3550m, 北距格尔木市90km。昆仑河发源于东昆仑山脉中, 主要支流有野牛沟、小南川和万宝沟等。野牛沟的源头是昆仑湖, 小南川的上游段为西大滩, 三条河在三岔河处汇成昆仑河, 然后由西向东流经纳赤台, 在纳赤台东约20km处(昆仑桥附近)汇入格尔木河, 向北流入柴达木盆地。

昆仑山北麓由于高差大, 地形陡峻, 下切作用强烈, 河流的阶地、“V”型谷及峡谷等非常醒目。昆仑河在纳赤台以西至三岔河口段发育着五级阶地(图1), 其中Ⅴ级为堆积阶地, Ⅳ—Ⅱ级为基座阶地, 它们均以Ⅴ级阶地的沉积物为基座, 基座上堆积薄层的物质, Ⅰ级阶地为堆积阶地。该段Ⅳ~Ⅰ级阶地亚砂土、亚粘土地层中普遍发育着融冻褶皱(图2)。现将野外调查的资料和各阶地地层的 $^{14}\text{C}$ 年代数据分述如下:

本文1989年12月28日收到, 1991年3月18日收到修改稿。

1)  $^{14}\text{C}$ 年代和X光衍射样品分别由中国科学院冰川冻土研究所顾功树、区荣康测定的。

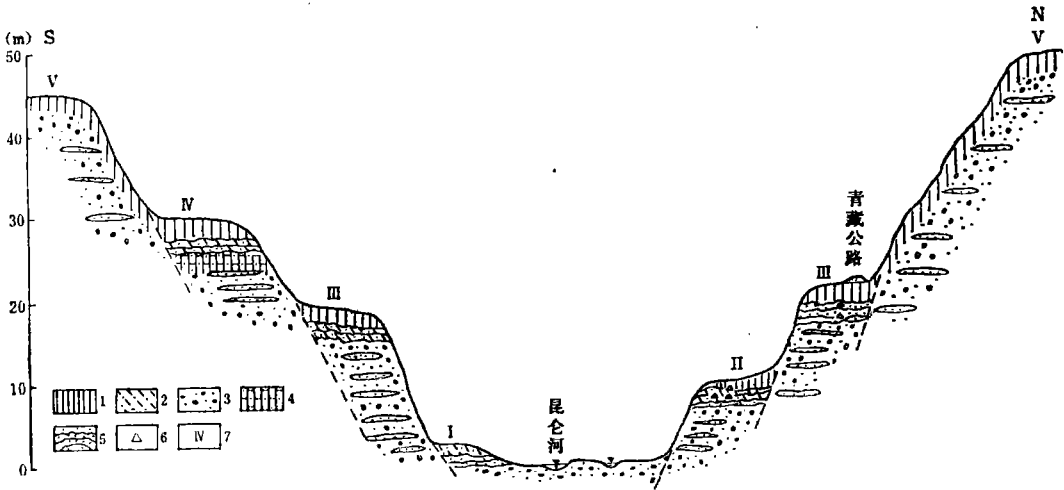


图 1 昆仑河阶地及融冻褶皱分布

Distribution of terraces and involutions in the Kunlun River

1. 黄土; 2. 亚砂土及亚粘土; 3. 砂砾石; 4. 砂化草根化石;  
5. 融冻褶皱层; 6.  $^{14}\text{C}$  采样点; 7. 阶地级别;

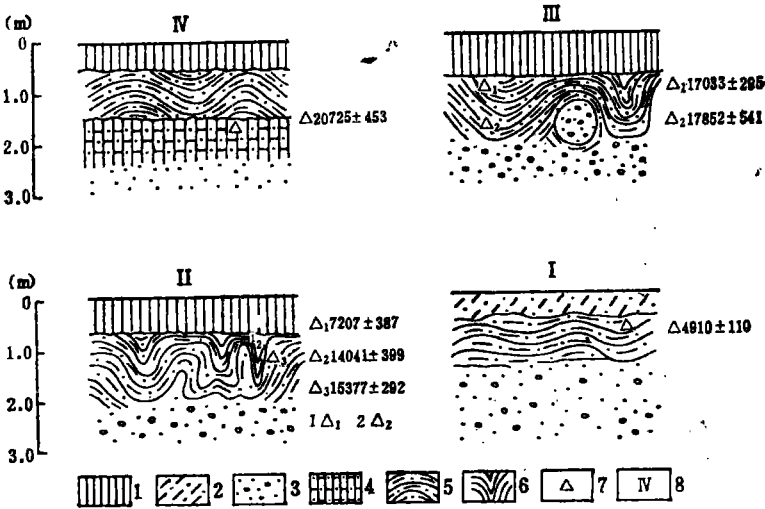


图 2 昆仑河IV—I级阶地融冻褶皱剖面图

The profiles of involutions in IV—I terraces of the Kunlun River

1. 黄土; 2. 亚砂土及亚粘土; 3. 砂砾石; 4. 砂化草根化石;  
5. 融冻褶皱; 6. 土脉及砂楔; 7.  $^{14}\text{C}$  采样点; 8. 阶地级别

**V 级阶地** 高出河床45~50m, 系堆积阶地, 阶面多被冲沟切割破坏, 有的已变为洪积扇, 堆积的物质为砂砾石夹砂质透镜体或互层, 表层为黄土复盖厚2—4m, 局部地段可见现代坡积物堆积。

**IV 级阶地** 高出河床30—32m, 阶面平坦, 宽数十米至数百米, 纵向连续性好, 延展达数公里, 以

第五级阶地堆积物为基座,基座之上物质是亚粘土、亚砂土或粉砂互层,厚2—4m,该层上部偶见融冻褶皱现象,褶皱起伏较平缓似波浪状,以水平层状延展,褶皱层厚0.5—1.0m,紧靠褶皱下方的亚砂土地层中可厚0.7—1.0m的砂化草根化石(图2),经 $^{14}\text{C}$ 测定距今 $20725 \pm 453$ 年,由此可知,其上方融冻褶皱层形成时代肯定要晚于这个时代。在阶面上普遍复盖着黄土层厚1—4m不等。

**Ⅱ级阶地** 高出河床18—20m,阶面宽数米至数十米,纵向连续性较差,个别可延伸数百米,基座上物质呈二元结构、下部系河床相砂砾石、厚1—2m不等,上层为河漫滩相亚砂土或亚粘土,一般厚1.5—3.0m,该层普遍发育着强烈的融冻褶皱,褶皱层厚1.5—2.0m,在水平方向呈均匀的连续分布,褶皱形态为对称的波浪状、锚状及锅状等,有的褶皱挤压的很紧密或呈逆掩或倒转现象,将底层的砾石卷入其中形成包裹状或球状。在融冻褶皱的上面整齐地复盖着厚0.5—1.0m的黄土层或被来自后缘及第四级阶地上含砾砂层所掩复。在该褶皱层一断面距地面0.75—2.80m深处的黄绿色亚砂土(图2)取样进行 $^{14}\text{C}$ 测定距今 $17033 \pm 295$ 年;距地面1.2—1.3m深处的黄色亚砂土 $^{14}\text{C}$ 测定距今 $17852 \pm 541$ 年,说明该褶皱层形成年代要晚于17033年。

**Ⅲ级阶地** 高出河床8—10m,阶面宽数米至数十米,纵向连续数十米至数百米左右,仍以第五级阶地为基底,基座上物质呈二元结构,下部为厚0.5—2.0m的砂砾层,上部为厚1.5—2.5m亚砂土及亚粘土,该层发生强烈的融冻褶皱,其形态和规模与Ⅱ级阶地上的基本相似,除此并伴生有土脉和砂楔。褶皱层水平方向延续性好,分布相当广,其上伏黄土层厚0.5—1.5m不等,在一断面取样(图2)距褶皱层顶部以下0.6—0.7m深处的青灰色亚粘土样 $^{14}\text{C}$ 测定距今 $15377 \pm 292$ 年,土脉中的黄土样 $^{14}\text{C}$ 测定距今 $14041 \pm 399$ 年,融冻砾层之上的黄土层(距地面0.5m),其样品 $^{14}\text{C}$ 测定距今 $7207 \pm 387$ 年,很明显,该融冻褶皱形成于距今7207—15377年。

**I级阶地** 高出河床3—4m,阶面宽十余米至数四米,纵向延续数十至数百米,阶地仅河在流凸岸段保存较好,呈二元相结构的堆积阶地,下部砂砾石出露厚1—2m,上部为河漫滩相亚砂土、粉细砂,局部夹有碳质亚砂土或亚粘土透镜体,该层中也发现融冻褶皱、其形态以波浪状居多,褶皱层厚约0.5m、规模小,水平方向上不连续。对褶皱层中的碳质亚砂土 $^{14}\text{C}$ 测定距今 $4010 \pm 100$ 年(图2),因此可断定该褶皱层形成时代应晚于碳质亚砂土沉积时代。

在万宝沟相应的阶地上也发现类似的融冻褶皱。

## 2 融冻褶皱形成时代

区内融冻褶皱普遍的发育在Ⅳ—I级阶地的河漫滩相的亚砂土、亚粘土地层中,褶皱层与上下地层似水平状接触,因此可断定融冻褶皱形成时代晚于本身地层的时代,而早于其上伏地层的时代,根据Ⅳ—I级阶地所采集样品测定的 $^{14}\text{C}$ 年代,初步将区内融冻褶皱形成时代归纳为两期:

### 2.1 晚更新世末期

区内Ⅳ—Ⅱ级阶地都是以第五级阶地的沉积物为基座,基座上的地层均为二元结构,岩性相同,各级阶地融冻褶皱所发育的地层、埋深及其形态和规模都很相似。根据上述的 $^{14}\text{C}$ 年代数据得知:亚砂土、亚粘土层沉积于距今17852—15377年,Ⅳ级阶地该层下部位的砂化草根化石距今20725年,Ⅱ级阶地融冻褶皱层中土脉顶部黄土样距今14041年,以此推断Ⅳ—Ⅱ级阶地融冻褶皱都形成于距今20752—14041年,属晚更新世末期。

### 2.2 全新世中期

I 级阶地的碳质亚粘土、亚砂土沉积于距今 4910 年<sup>[1]</sup>，该地层内的融冻褶皱形成晚于这个时代，可能是全新世距今 3 000 年来新冰期时的产物。由此断定该融冻褶皱形成时代距今约 3 000 年。

### 3 融冻褶皱的成因

融冻褶皱普遍被认为是在多年冻土区内季节融化层中形成的，它的动力机制是土的冻胀力（上、下两个方向）及饱和的融化土层的蠕动，其形态特征，分布的地貌部位与其它外力作用所造成地层的褶曲和卷曲现象有明显的区别，根据作者现场调查发现，本区融冻褶皱如下特征：

a. 纳赤台至三岔河（海拔 3 500—3 800 m）段昆仑河及其主要支流的 IV—II 级阶地普遍发育着融冻褶皱（I 级阶地局部可见），这种地域分布上的普遍性说明它不是由局部的应力造成的（如滑坡等）。

b. 褶皱均发育在河漫滩相的亚粘土、亚砂土地层内，呈层状水平延续分布，褶皱层与上、下地层间有清晰而稳定的界面，界面较平整近似水平状，褶皱本身无断错现象，更没有贯穿上、下地层，说明不是新构造运动（垂直错动、断裂等）造成的，与区域性构造无关。

c. 褶皱层的岩性是典型的河漫滩相亚砂土、亚粘土，层内无冰川、泥石流的物质成分。分各阶地阶面坡度 2—3°，也无法产生融冻滑塌，因此可排除冰川、泥石流及滑塌推挤造成的。

d. 同一层位上褶皱形态较多，有波浪状、锚状、锅状及楔状等，但不论是何种形态都是左右对称的，这显然是由于上、下两个方向力共同作用形成的，与土层冻胀和融化挤压有关，它与冰川挤压推冲所造成向一方倾倒卷曲现象有明显区别。

e. 现在区内未见正在发育的融冻褶皱，说明现在的气候和水分条件无法形成融冻褶皱。本区现在为季节冻土区，各阶地的土层均较干燥，因为亚砂土、亚粘土层底部是透水性好的砂砾石层、地下水位埋藏深，不具备形成融冻褶皱的水分条件，而只有在亚砂土、亚粘土层饱和的条件下才能形成融冻褶皱，因此要求底部的砂砾石层必须是隔水的，这表明当时的砂砾石层是多年冻土层，褶皱层埋深 0.5—2.0 m（不包括后来沉积的物质）与季节融化深度相符，可见当时多年冻土上限位于砂砾石层上界面附近，表明区内的褶皱与多年冻土有密切关系。

f. 区内融冻褶皱为何都发育在河流的 IV—I 级阶地内，而在 V 级阶地及洪积扇等较高地段地层内未发现融冻褶皱现象，这说明形成融冻褶皱除要求寒冷的气候条件外，岩性、水分及微地貌部位等因素均是基本条件，V 级阶地及洪积扇的岩性较粗或地表坡度较陡、地层内持水性很差，即使在多年冻土条件下也难以形成融冻褶皱。而其它外力作用产生的褶曲和卷曲在所分布的地貌部位方面则不会有如此鲜明的差别。

g. 和融冻褶皱伴生的土脉和砂楔表明该层当时不但受冻胀和挤压作用，同时还有冻裂作用，也可说明当时是处在寒冷的气候条件下。

h. 地层中不稳定矿物含量与沉积过程中的淋滤作用和化学风化作用关系最密切，而影

响这两种作用的主要因素则是气温和降水。作者在昆仑河北岸Ⅱ、Ⅲ级阶地三个剖面采样进行x光衍射测定(表1),样品中水云母含量为70—75%,绿泥石16—20%,高岭石5—8%,各剖面间差异性小,表明当时Ⅱ、Ⅲ级阶地的沉积环境相似;B值普遍偏低,说明地层的风化改造程度差,也可间接反应当时是冰缘气候环境,形成褶皱的地层B值比上伏地层还低,进一步说明那段时期内的气温更低或者是地层内水分较充足。

综上所述,可断定本区所见的褶皱是属于与多年冻土有关的融冻褶皱。

表1 昆仑河Ⅰ、Ⅱ级阶地土样x光衍射测定结果  
Results of the X diffracted ray determination  
in I—II terraces of the Kunlun River

样品号	取样位置	岩性	深度(m)	粘土矿物组合			B值 = $\frac{\text{水云母}}{\text{绿泥石} + \text{高岭石}}$	融冻褶皱所处层位	C年代(年)
				水云母含量(%)	绿泥石含量(%)	高岭石含量(%)			
1	Ⅰ级阶地 1剖面	黄土	0.5—0.6	75.3	16.7	8.0	3.05		7207±387
2		亚粘土	1.1—1.2	71.7	20.2	8.1	2.53	融冻褶皱层	15377±292
3	Ⅱ级阶地 2剖面	黄土	4.3—4.5	70.7	19.8	9.5	2.91		
4		亚砂土	4.8—5.0	74.2	18.6	7.2	2.86	融冻褶皱层	
5		亚砂土	8.5—8.7	73.0	19.1	7.9	2.70	融冻褶皱层	
6	Ⅲ级阶地 3剖面	黄土	0.5—0.7	75.9	16.1	8.0	3.15		
7		黄干	0.70—0.75	75.3	19.4	5.3	3.05		
8		亚砂土	0.75—0.80	71.4	20.2	8.4	2.50	融冻褶皱层	17033±295
9		亚砂土	1.2—1.3	72.0	19.9	8.1	2.57	融冻褶皱层	17855±541

#### 4 古气候意义

本区融冻褶皱是在多年冻土环境下形成的,是冰缘气候的产物,因此可做为多年古冻土的标志。区内两期融冻褶皱的形成时代为晚更新界末期(距今20725—14041年)和全新世中期(距今约3000年),这恰好和高原上晚更新世末次冰期和全新世新冰期时代相吻合。它为探讨本区晚更新世末期以来多年冻土的分布和演变及古气候环境的重建提供了可靠的证据。

在晚更新世末期，根据区内Ⅳ—Ⅱ级阶地融冻褶皱的分布范围及其发育情况分析，区内当时气候很寒冷，多年冻土相当发育，呈连续分布，按照融冻褶皱分布的下界判断，连续多年冻土的北界在纳赤台以东约5km处（海拔3500m）。用古今多年冻土界线的对比即可推算出当时的古气温。纳赤台站海拔3550m，现在年平均气温 $1^{\circ}\text{C}$ ，年降水量100.6mm（1973年资料）。目前青藏公路沿线连续多年冻土的北界在西大滩西段，海拔4350—4560m，年平均气温约 $-4^{\circ}\text{C}$ （4）。这就意味着连续多年冻土北界在晚更新世末期时较今下降800—1000m，年平均气温较今低5—6 $^{\circ}\text{C}$ 。

I级阶地局部地段的融冻褶皱形成于全新世新冰期时（距今约3000年），根据该阶地的融冻褶皱层薄、平面分布零星在Ⅱ级以上的高阶地地层内再没有发现该期的融冻褶皱等现象，说明当时本区多年冻土分布是很局部的，仅在I级阶地的某些低洼较潮湿地段发育着岛状多年冻土，其它地段均为季节冻土，根据这期融冻褶皱分布的下界判断，岛状多年冻土的北界位于纳赤台以西约7km处（海拔3650—3600m），目前青藏公路沿线岛状多年冻土北界在西大滩中段，海拔约4100—4150m，这就意味着在新冰期时岛状多年冻土北界较今下降500—550m，年平均气温均今低2.5—3.0 $^{\circ}\text{C}$ （这些推算的结论均没有扣除本区构造上升量及由此造成对气温的影响）。

根据上述两期多年古冻土北界的位置、推算的年平均气温及所测定的年代等可进一步讨论本区晚更新世末期以来多年冻土演化和气候及环境的变化。

晚更新世末期是高原上末次冰期最盛期，区内气候严寒，多年冻土广泛分布。Ⅳ—Ⅱ级阶地融冻褶皱中伴生的砂楔和土脉及区内普遍堆积的黄土层表明当时气候不仅严寒，而且干旱，Ⅱ级阶地融冻褶皱层内的黄土土脉（距今 $15377 \pm 392$ 年）及格尔木河水库东岸三级阶地上堆积的黄土层（距今 $18931 \pm 400$ 年）均属该期的产物。

进入全新世，高原大规模的冰期已结束，随着气候转暖，区内多年冻土完全退化，岛状多年冻土北界移至西大滩西段，西大滩中段8号孔在孔深8.5m以上发现六层腐植质层，4.4m深处腐植质 $^{14}\text{C}$ 测定距今 $7530 \pm 300$ 年，腐植层不断加积表明当时气候较暖，孔附近无多年冻土。当时气温虽有所升高，但仍很干燥，在山麓坡脚、阶地及山前洪积扇的表层普遍堆积的黄土和风成砂则是明显的佐证，如Ⅱ级阶地距地表0.5—0.6m深处的黄土样品（距今 $7207 \pm 387$ 年）属该时期内的产物。

全新世中期（大约距今5000—3000年）随着高原的不断隆起，气候又逐渐转冷，相应于高原上新冰期时，岛状多年冻土北界又向北推移到本区内，在I级阶地低洼较潮湿的地段形成了新的岛状多年冻土，与此同时，在较高的地貌部位仍有黄土及风成砂堆积，表明该时期本区气候特征为干、冷（或略干、冷）。

之后，本区又经历几次小的气候波动，距今约2000年以来，气温又开始回升，I级阶地上的岛状多年冻土完全退化，西大滩东段大量的冻胀丘融化坍塌形成古冻胀丘洼地（距今 $720 \pm 39$ 年）证明岛状多年冻土北界此时已移至西大滩中段。气候仍继续向干旱方向发展，区内黄土层上复盖的风成砂（厚2—3m）及砂丘是明显的证据。邻近本区的昆仑山南麓69道班北盐湖，盐层下0.6m深处的淤泥 $^{14}\text{C}$ 测定距今 $1094 \pm 344$ 年，说明该盐湖是近1000年来气候变干而形成的。

近百年来,本区气温有明显转暖趋势,但气候仍在变干,区内已固定的或半固定的砂丘表面又被风砂复盖,地表沙漠化现象越来越严重,沙漠化面积不断扩大,导致草场严重退化,直至演变成目前这种半干旱、半荒漠的环境。

### 参 考 文 献

- (1) 浦庆余等. 青藏公路沿线第四纪冰缘现象及其在古地理上的意义. 青藏高原地质文集(4), 地质出版社, 1982, 51—71.
- (2) 吴锡浩等. 格尔木河水系河谷地貌. 青藏高原地质文集(4), 地质出版社, 1982, 72—87.
- (3) 王绍令等. 更新世以来青藏高原多年冻土形成及演化的探讨, 冰川冻土1989, 11(1).
- (4) 王家澄等. 青藏公路沿线的多年冻土. 地理学报, 1979, 34(1).

## THE INVOLUTIONS AND THEIR PALAEOCLIMATIC SIGNIFICANCE IN THE NACHI TAI REGION ALONG THE QINGHAI-XIZANG HIGHWAY

Wang Shaoling

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences)

Bian Chunyu

(906 Hydrogeological and Engineering Geologic Brigade,  
Ministry of geology and Minerals, China)

**Subject terms:** involutions, distribution, formation, palaeoclimatic  
significance

### Abstract

There are a lot of involutions in the IV—I terraces of the Kunlun River and its main branches. The time that formed involutions may be divided into two periods as follows: The latest period of Pleistocene (20725—14041 Y.B.P.) and the middle period of Holocene (about 3000 Y.B.P.). It means that continuous permafrost was developed at the latest period of Pleistocene and annual air temperature was 5—6°C lower at that time than at present, and that isolated permafrost was developed at the middle period of Holocene and annual air temperature was 2.5—3.0°C lower at that time than at present in this region.

The loess and blown sand accumulation continuously indicate that the climate was drier since the latest period of Pleistocene than at present in this region.