

文章编号: 1006-6616 (2013) 04-0392-11

# 中祁连木里盆地古近系 ESR 年龄 及地质意义

戚帮申<sup>1,2</sup>, 胡道功<sup>2</sup>, 王进寿<sup>3</sup>, 赵希涛<sup>4</sup>, 张绪教<sup>1</sup>,  
张耀玲<sup>2</sup>, 杨肖肖<sup>4</sup>, 高雪咪<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

3. 青海省地质调查院, 青海 西宁 810007;

4. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

**摘要:** 对中祁连木里盆地新生代红层进行 ESR 测年, 获得了祁连山地区新生代红层沉积时代及构造变形年代学数据。研究表明, 中祁连木里盆地内沉积了巨厚的新生代红层, 较好地记录了祁连山隆升历史。盆地最老的新生代地层为始新世由湖相沉积组成的火烧沟组, ESR 年龄为 40.2 ~ 35.3 Ma, 与上覆沉积时代为 32.6 ~ 24.3 Ma 的渐新世湖相沉积组成的白杨河组呈角度不整合接触。构造变形特征与沉积环境的变化说明始新世末与渐新世初木里地区发生了构造变形和山脉的隆升, 与祁连山地区新生代早期的隆升有很好的对应关系。

**关键词:** 白杨河组; 火烧沟组; ESR 年龄; 中祁连

**中图分类号:** P597<sup>+.3</sup>

**文献标识码:** A

## 0 引言

青藏高原的隆起是新生代意义重大的地质事件, 对中国乃至全球的气候产生了巨大的影响<sup>[1-5]</sup>。关于高原的隆升时代、幅度和成因一直是青藏高原研究的焦点, 有研究者通过夷平面、动物化石、孢粉分析和新生代沉积物的研究提出了青藏高原于上新世末开始隆升, 经过多次构造运动达到现今海拔高度, 距今 4 ~ 3 Ma 为主要的隆升期<sup>[6-7]</sup>。裂变径迹研究同样表明高原隆升具有阶段性, 距今 3 Ma 以来是高原最强烈的隆升时期<sup>[8-9]</sup>。但是也有些学者认为青藏高原的隆升时间为中新世<sup>[10-13]</sup>, 还有部分学者认为青藏高原在中新世之前就已经达到海拔 4000 m 以上<sup>[14-15]</sup>。

目前, 青藏高原的隆升具有阶段性已经成为共识, 但是青藏高原是否为整体隆升还存在很大的分歧。有些学者认为青藏高原的南部和北部的隆升时间不一致, 高原自南到

收稿日期: 2013-07-23

基金项目: 项目基金: 中国地质调查局“祁连山及邻区天然气水合物资源勘查(控矿因素综合研究及编图)”项目(GZHL20120301)

作者简介: 戚帮申(1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事地貌与新构造运动研究。E-mail: qibangshen@126.com

北逐步隆升<sup>[16-17]</sup>; 也有学者认为高原的南部和北部于距今 50 ~ 40 Ma 发生整体隆升, 不存在自南向北的顺序隆升<sup>[18-19]</sup>。研究青藏高原不同地区的隆升时代可以很好地解决上述问题。

祁连山呈北西西—南东东走向, 构成青藏高原的北东边界<sup>[20]</sup>, 祁连山的构造变形特征对研究青藏高原隆升问题有着重要的意义<sup>[21]</sup>。前人研究认为阿尔金走滑断裂活动于中新世, 祁连山地区中新世开始隆起<sup>[22]</sup>, 六盘山地区的裂变径迹数据同样显示自距今 7.3 ~ 8.2 Ma 开始六盘山向东逆冲<sup>[23]</sup>, 青藏高原东北缘晚新生代(距今约 8 Ma) 发生了准同期、影响深远的构造隆起<sup>[24]</sup>; 而有的学者认为阿尔金走滑断裂活动于晚始新世或渐新世<sup>[18-19,25]</sup>, 古地磁和哺乳动物化石的研究也表明祁连山可能在渐新世就已隆起<sup>[26-27]</sup>。

木里盆地位于中祁连山地块, 盆地新生代沉积物和地层变形记录了祁连山的隆升历史。前人对木里盆地的新生代红层研究较少, 1965 年煤田勘探队在江仓附近地层中发现植物和介壳化石, 从而确定木里盆地第三系的存在, 张雪亭等<sup>[28]</sup>通过区域地层对比, 将其定为白杨河组 ( $E_3N_1b$ ), 但是至今仍缺乏其形成时代的年代学和化石依据。本文对木里盆地新生代红层进行了 ESR 测年, 获得了祁连山地区新生代红层沉积时代及构造变形年代学数据, 为祁连山地区早期构造变形和隆升历史提供了新的证据。

## 1 区域地质背景

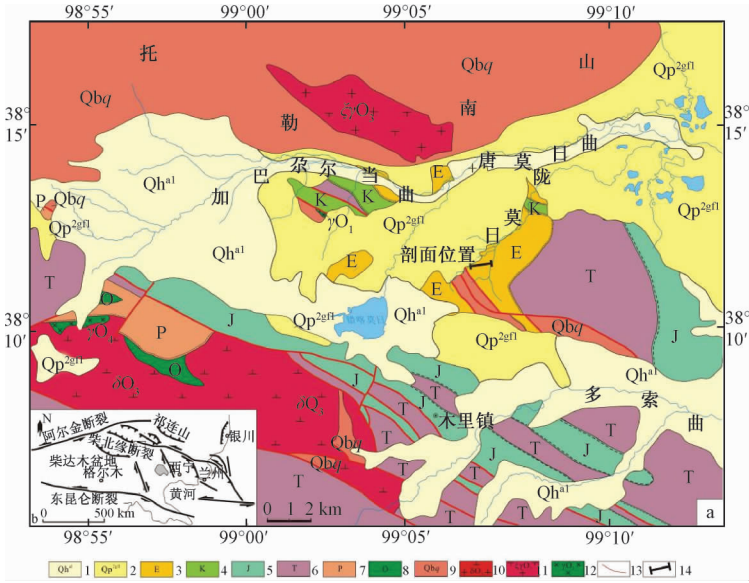
祁连山地区构造带主体由白垩纪以来的再生造山带及相伴生的压陷性盆地带组成<sup>[29]</sup>。新生代以来伴随着祁连山西缘阿尔金断裂的活动及青藏高原东北缘的地壳缩短变形, 祁连山地区受一系列的北北西向和北西西向逆冲断裂影响, 形成了盆山相间的挤压盆岭构造地貌格局。木里盆地处于中祁连地块大通河上游拗陷带中, 走向为北西西—南东东向, 受早期喜马拉雅运动的影响, 处于整体隆升状态, 特别是渐新世期间的北北东—南南西向挤压最为强烈。中新世以来, 南祁连地块沿中祁连南缘断裂, 北祁连地块沿中祁连北缘断裂, 均向中祁连地块逆冲推覆, 祁连山快速隆起, 木里盆地转变为前陆挤压盆地<sup>[29]</sup>。

木里盆地内新生代地层主要由古近系、中更新统(冰碛—冰水沉积)和全新统(现代河流沉积)组成(见图 1)。古近系沉积厚度较大, 晚新生代构造变形强烈, 岩层陡倾, 后期普遍被夷平。

古近系在青海省天峻县木里镇北陇莫日附近出露比较连续(见图 2a), 火烧沟组 ( $E_{2-3}h$ ) 是紫红色、橙红色、灰绿色和灰白色等杂色的粉砂质黏土、粉砂和细砂互层(见图 2b)。白杨河组 ( $E_3b$ ) 以棕红、紫红、棕褐色砾岩、含砾砂岩和中细粒砂岩为主, 一般为碎屑支撑结构, 局部夹有细砂和黏土(见图 2c)。火烧沟组剖面西侧与白杨河组呈角度不整合接触(见图 2d), 东侧发育一逆断层, 火烧沟组由西向东逆冲于白杨河组之上(见图 2e)。

## 2 陇莫日剖面特征

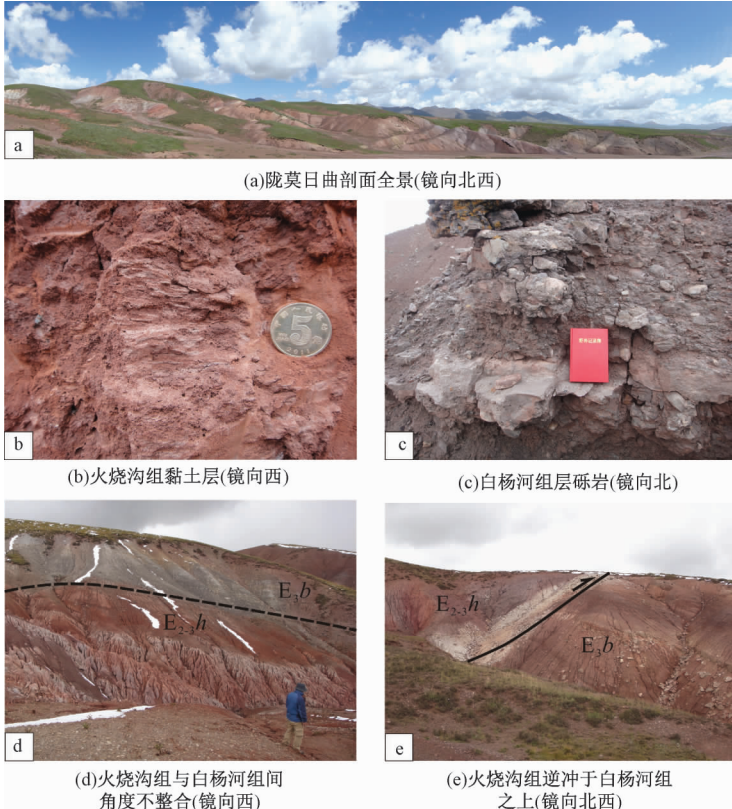
ESR 测年样品采自于陇莫日附近 (N 38°11'56.58", E 99°07'9.70", 见图 1), 采样位置及测年结果见图 3。



1—全新世冲积物；2—中更新世冰水沉积；3—古近系；4—白垩系；5—侏罗系；  
 6—三叠系；7—二叠系；8—奥陶系；9—青白口系；10—晚奥陶世灰色中细粒花岗岩；  
 11—晚奥陶世肉红色中细粒正长花岗岩；12—早奥陶世灰绿色辉长岩；13—断层；14—剖面位置

图 1 木里盆地地质构造略图及剖面位置

Fig. 1 Geological map of the Muli Basin and location of profiles



(a) 陇莫日曲剖面全景(镜向北西)

(b) 火烧沟组黏土层(镜向西)

(c) 白杨河组层砾岩(镜向北)

(d) 火烧沟组与白杨河组间角度不整合(镜向西)

(e) 火烧沟组逆冲于白杨河组之上(镜向北西)

图 2 木里盆地火烧沟组 ( $E_{2-3}h$ ) 与白杨河组 ( $E_3b$ ) 特征

Fig. 2 The characteristics of  $E_{2-3}h$  and  $E_3b$  in Muli Basin

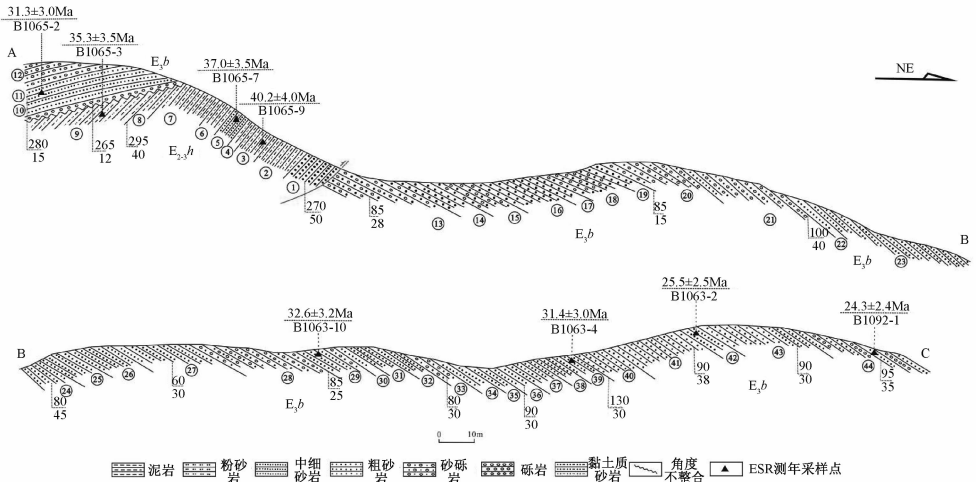


图 3 木里盆地火烧沟组 ( $E_{2-3h}$ )、白杨河组 ( $E_3b$ ) 实测剖面

Fig. 3 Measured profiles of  $E_{2-3h}$  and  $E_3b$  in Muli Basin

剖面描述如下：

层号	岩性	厚度/m
44	暗棕色薄层中粒砂岩与砾岩互层，砾径以 1~3 cm 为主，砾石呈棱角一次棱角状，砾石成分以砂岩为主（植被覆盖，未见顶）	>10.00
43	灰色薄层中细粒砂岩	6.47
42	黄色厚层细砂岩	2.80
41	上部和下部为暗棕色中薄层中粗粒砂岩，中部为灰紫色中薄层中粗粒砂岩，底部夹 0.8 m 厚的黄色细砂岩	15.70
40	由上至下为灰黄夹灰色 - 灰色 - 棕黄色中粗粒砂	8.80
39	上部为 0.5 m 厚的灰白色中细粒砂岩，下部为黄色中粗粒砂岩，成岩较好	3.50
38	黄棕色中细粒砂	5.20
37	暗棕色细砂，并含少量黏土	5.50
36	铁灰色细砂，上部含黄色纹层细砂	3.68
35	灰色中层细砂岩，成岩较好	1.50
34	铁灰色细粒砂	3.74
33	暗棕色含砾粗粒砂，砾径以 1~3 cm 为主，分选较好，砾石次棱角一次圆状磨圆，砾石成分以砂岩、石英岩为主	1.50
32	棕紫色细砂	2.50
31	灰紫色薄层中粒含砾砂岩	4.49
30	黄色薄层中细粒含砾砂岩	2.00
29	棕紫色中薄层含砾中粒砂岩夹砾岩、中细粒砂岩。砾岩砾径以 1~3 cm 为主，少数可达 25 cm，分选较差	7.44
28	灰紫色中薄层中粗粒含砾砂岩	11.92
27	土黄 - 浅棕黄色粗粒砂与棕色中粗粒砂岩互层	12.85
26	棕黄色细粒砂与棕色粗粒砂互层	10.54
25	棕色 - 紫色中细粒砂	5.27
24	黄绿色中薄层细粒砂岩	0.60
23	上部为黄棕、灰棕色中细砂，中部为土黄色薄层中细粒砂岩，下部为浅黄、灰棕色中细粒砂	12.75
22	黄绿色中薄层中粒砂岩	1.00
21	黄棕色与棕色薄层中细粒含砾砂岩互层	7.49

20	灰紫色与棕色含砾粗砂互层, 砾径以 1~2 cm 为主, 分选较好	11.40
19	黄棕色中细粒砂	2.80
18	黄棕色、棕色、灰紫色含砾粗粒砂互层	7.04
17	灰黄色中粒砂岩、黄绿色细砂、黄绿色细砂和暗棕色粘土质细砂互层	3.20
16	灰紫色中细粒砂岩夹黄绿色中薄层中细粒砂岩	8.50
15	棕色砂砾岩	5.50
14	黄棕色含砾粗砂岩	4.70
13	棕色中薄层砂砾岩	6.50
12	棕色砾岩、砂砾岩, 砾径以 1~3 cm 为主, 砾石呈棱角状, 分选较好, 砾石成分以石英岩、灰色细砂岩、灰白色粗砂岩和紫红色细砂岩为主, 钙质胶结	8.00
11	黄灰色中细砂	2.92
10	上部灰色薄层中粒含砾砂岩, 下部为灰色中薄层砾岩 ~~~~~角度不整合~~~~~	10.70
9	棕红色黏土质细砂	15.10
8	灰绿色夹棕色薄层细砂	3.50
7	棕色夹灰绿色薄层细砂	11.60
6	灰-灰绿色粉砂质黏土	4.50
5	红棕色细砂	3.50
4	紫色黏土质细砂, 夹薄层变质含砾岩屑砂岩	2.80
3	灰黄色夹红棕色黏土质细砂	5.15
2	灰紫色与红棕色粉砂质黏土互层	10.00
1	黄色中薄层细砂岩, 发育一逆断层, 断面产状和岩层基本一致	8.00

### 3 测试及结果

ESR (电子自旋共振) 测年适用于具有零化过程的地质作用, 石英颗粒在长途搬运过程中, 经过太阳曝晒和摩擦, 石英以前存在的 ESR 信号消失, ESR 年龄开始计时。本文样品的 ESR 年龄测定由成都理工大学应用核技术研究所年代实验室完成。实验过程: 样品自然风干后, 利用 CIT-3000F 数字化全自动铀钍铷谱仪和微机  $\alpha$  采集系统测定  $\alpha$  和  $\gamma$  天然放射性来减少铀钍不平衡产生的年剂量误差。分选出 0.20~0.45 mm 粒级单矿物石英样品约 600 mg, 分成 5 份进行热活化, 置入钴-60 辐照场进行定剂量辐照。利用电子自旋共振仪测定顺磁共振谱, 最终得出的测试参数和年龄结果见表 1, 年龄误差为 9.5%~10%。

## 4 讨论

### 4.1 木里盆地新生代红层时代与区域地层对比

青藏高原东北部可以分为 3 个地层分区, 分别为酒泉—张掖、西宁—兰州和柴达木地层分区<sup>[30]</sup> (见表 2), 其中, 酒泉—张掖地层分区内古近纪—新近纪岩石地层单位有火烧沟组 ( $E_{2-3}h$ )、白杨河组 ( $E_3b$ ) 和疏勒河组 ( $Nsl$ ); 西宁—兰州地层分区内古近纪—新近纪岩石地层单位有西柳沟组 ( $E_{1-2}x$ )、野狐城组 ( $E_{2-3}y$ )、咸水河组 ( $ENx$ ) 和临夏组 ( $Nl$ ); 柴达木地层分区内古近纪—新近纪岩石地层单位有路乐河组 ( $E_2l$ )、干柴沟组 ( $ENg$ )、油砂山组 ( $N_1y$ ) 和狮子山组 ( $Nsz$ )。

表 1 陇莫日曲剖面样品 ESR 测年结果

Table 1 ESR dating result of the Longmori profile in Muli Basin

样品编号	样品位置	地层单位	岩性	顺磁中心浓度/( $10^{15}$ Sp · g <sup>-1</sup> )	铀当量含量/( $\mu$ g · g <sup>-1</sup> )	年龄/Ma
B1092-1	层 44	白杨河组	中细粒砂岩	3.493	4.750	24.3 ± 2.4
B1063-2	层 42	白杨河组	细粒砂岩	2.738	3.550	25.5 ± 2.5
B1063-4	层 39	白杨河组	中细粒砂岩	2.872	3.015	31.4 ± 3.0
B1063-10	层 29	白杨河组	中细粒砂岩	4.956	5.021	32.6 ± 3.2
B1065-2	层 11	白杨河组	中细粒砂岩	3.619	3.813	31.3 ± 3.0
B1065-3	层 9	火烧沟组	细砂	5.213	4.876	35.3 ± 3.5
B1065-7	层 5	火烧沟组	细砂	4.386	3.908	37.0 ± 3.5
B1065-9	层 3	火烧沟组	细砂	5.554	5.311	40.2 ± 4.0

表 2 青藏高原东北部始新世—渐新世岩石地层单位及沉积时代

Table 2 Eocene-Oligocene lithostratigraphic units in the northeast of Qinghai-Tibet Plateau and their ages

地层分区	岩石地层单位	岩性特征	时代/Ma	参考资料
酒泉—张掖	火烧沟组 ( $E_{2-3}h$ )	以红色为主色调的砾岩、砂岩、泥岩	40.2 ~ 33.4	文献 [21]
	白杨河组 ( $E_3b$ )	桔红、棕红色含砾砂岩、砂岩、泥岩夹石膏层	31.0 ~ 24.0	文献 [31]
西宁—兰州	西柳沟组 ( $E_{1-2}x$ )	砖红色砾岩、砂岩夹泥岩	58.0 ~ 51.0	文献 [32]
	野狐城组 ( $E_{2-3}y$ )	紫红色泥岩、膏泥岩、粉砂岩与砂岩互层夹石膏层	51.0 ~ 31.5	文献 [32]
	咸水河组 ( $EN_x$ )	钙质泥岩夹砾岩、砂砾岩	31.5 ~ 15.0	文献 [32]
柴达木	路乐河组 ( $E_2l$ )	紫红色砾岩、砾状砂岩为主夹砂岩、泥钙质粉砂岩	53.5 ~ 43.8	文献 [31]
	干柴沟组 ( $EN_g$ )	含油砂岩、泥钙质粉砂岩、页岩、砂质泥岩夹不稳定砾岩	42.9 ~ 22.0	文献 [31]
	油砂山组 ( $N_{1y}$ )	棕红色、棕黄色泥质粉砂岩、含油砂岩、泥岩为主	22.0 ~ 8.2	文献 [31]

陇莫日剖面不整合面之下地层的 ESR 测年结果表明其沉积时代为距今 40.2 ~ 35.3 Ma, 不整合面之上地层的 ESR 测年结果显示其沉积时代为距今 32.6 ~ 24.3 Ma (见表 1)。木里盆地属于酒泉—张掖地层分区<sup>[30]</sup>, 根据青藏高原东北部始新世—渐新世岩石地层单位及沉积时代 (见表 2), 陇莫日剖面层 1—层 9 为火烧沟组 ( $E_{2-3}h$ ), 层 10—层 44 为白杨河组 ( $E_3b$ )。

#### 4.2 木里盆地火烧沟组和白杨河组沉积环境及构造意义

红层是中、新生代炎热干旱古气候环境条件下形成的以红色为主色调的碎屑沉积岩层, 并以陆相沉积为主。这主要是因为中国古新世环境继承了晚白垩纪的基本格局, 气候主要受行星风系的控制, 在大约 18°N—36°N 之间形成了一条东西走向的干旱带<sup>[33]</sup>。中国的红层主要沉积时代为三叠纪、侏罗纪、白垩纪、古近纪和新近纪<sup>[34]</sup>。木里盆地火烧沟组和白杨河组均以红色为主色调 (见图 2a), 反映其干燥的形成环境, 为典型新生代红层。

陇莫日剖面火烧沟组 ( $E_{2-3}h$ ) 是紫红色、橙红色、灰绿色和灰白色等杂色的粉砂质黏土、粉砂和细砂互层, 局部夹薄层砾岩, 沉积特征是细碎屑砂泥质岩, 为陆相湖盆和山间凹地型沉积 (见图 2b)。陇莫日剖面白杨河组 ( $E_3b$ ) 以棕红、紫红、棕褐色砾岩、含砾砂岩和中细粒砂岩为主, 一般为碎屑支撑结构, 局部夹有细砂和黏土, 为典型的河湖相沉积 (见图 2c)。

木里盆地火烧沟组的发育说明, 在始新世, 盆地为海拔较低的山间沉积凹地。渐新世以来, 青藏高原北部缓慢隆升, 木里盆地的沉积环境由湖相沉积转变为河湖相沉积, 白杨河组

中砾岩的砾石砾径以 1~3 cm 为主, 普遍较小, 反映祁连山地区渐新世地形起伏不大, 盆山相对隆升的幅度有限。

#### 4.3 火烧沟组和白杨河组不整合的构造意义

印度板块与欧亚板块初始碰撞时间在距今约 65~60 Ma<sup>[35-38]</sup>, 在距今 40 Ma 左右, 特提斯洋最终封闭。青藏地区南部的冈底斯地区首先受到印度板块俯冲而强烈隆起, 冈底斯南缘堆积厚达 2000~4000 m 的磨拉石沉积; 可可西里地区在距今 35~30 Ma 期间发生了快速隆升作用<sup>[39-44]</sup>; 河西走廊盆地于距今 33.4 Ma 发生强烈隆升, 盆地内白杨河组和火烧沟组呈角度不整合接触<sup>[21]</sup>。高原最北部的变形比印度板块初始碰撞时间滞后了 15~20 Ma, 板块碰撞产生的应力经历由南向北的传递过程<sup>[21]</sup>。

逆冲推覆和褶皱变形是典型反映地壳缩短的构造变形<sup>[15]</sup>, 因此区域上的地层不整合是地区构造隆升的反映。祁连山木里盆地始新世火烧沟组和渐新世白杨河组之间存在角度不整合(见图 2d), 上下地层之间存在约 2.7 Ma 的沉积间断。祁连山地区在晚始新世一早渐新世(距今约 35.3~32.6 Ma)存在一次地壳缩短增厚与隆升过程, 与可可西里地区和青藏高原北部新生代早期的隆升时代有着很好的对应关系<sup>[21, 39-44]</sup>。因此, 始新世晚期青藏高原北部受印度—欧亚板块碰撞的远程效应而开始隆升。新生代早期青藏高原北部的隆升明显晚于高原南部的隆升时间, 这主要受印度—欧亚板块碰撞应力由南向北传递的滞后性影响。

## 5 结论

祁连山木里盆地新生代红层包括火烧沟组( $E_{2-3}h$ )和白杨河组( $E_3b$ )。火烧沟组( $E_{2-3}h$ )沉积时代约为距今 40.2~35.3 Ma, 为始新世湖相沉积; 白杨河组( $E_3b$ )沉积时代约为距今 32.6~24.3 Ma, 为渐新世河湖相沉积。

木里盆地始新世海拔较低, 发育山间凹地湖相沉积, 晚始新世一早渐新世祁连山地区发生了构造变形与隆升, 导致火烧沟组与白杨河组呈角度不整合接触。盆地的沉积环境也由湖相沉积转变为河湖相沉积, 沉积特征反映晚始新世一早渐新世祁连山地区盆山相对隆升幅度有限。

### 参 考 文 献

- [1] 潘保田, 李吉均, 陈发虎. 青藏高原: 全球气候变化的驱动机和放大器-I: 新生代气候变化的基本特征 [J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 1995, 31 (3): 120~128.  
PAN Bao-tian, LI Ji-jun, CHEN Fa-hu. Qinghai-Tibetan Plateau: A driver and amplifier of global climatic changes-I: Basic characteristics of climatic changes in Cenozoic Era [J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 1995, 31 (3): 120~128.
- [2] 潘保田, 李吉均, 朱俊杰, 等. 青藏高原: 全球气候变化的驱动机和放大器-II: 青藏高原隆升的基本过程 [J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 1995, 31 (4): 160~167.  
PAN Bao-tian, LI Ji-jun, ZHU Jun-jie, et al. Qinghai-Tibetan Plateau: A driver and amplifier of global climatic changes-II: Uplift processes of the Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau [J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 1995, 31 (4): 160~167.
- [3] 潘保田, 李吉均. 青藏高原: 全球气候变化的驱动机和放大器-III: 青藏高原隆起对气候变化的影响 [J]. 兰州

大学学报: 自然科学版, 1996, 32 (1): 108~115.

PAN Bao-tian, LI Ji-jun. Qinghai-Tibetan Plateau: A driver and amplifier of global climatic changes-III: The effects of the uplift of Qinghai-Tibetan Plateau on climatic changes [J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 1996, 32 (1): 108~115.

- [4] 李东旭. 大陆边缘反 S 状造山带三维模式兼论青藏高原结构与隆升 [J]. 地质力学学报, 2007, 13 (1): 31~41.

LI Dong-xu. 3D model of reversed S-shaped orogenic belts on the continental margin: With a discussion of the internal structure and uplift of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Journal of Geomechanics, 2007, 13 (1): 31~41.

- [5] 朱大岗, 孟宪刚, 赵希涛, 等. 西藏纳木错盆地 116ka 以来沉积演化与青藏高原隆升 [J]. 地质力学学报, 2005, 11 (2): 172~180.

ZHU Da-gang, MENG Xian-gang, ZHAO Xi-tao, et al. Sedimentary evolution of the Namco Basin, Tibet, since 116ka BP and Qinghai-Tibet Plateau uplift [J]. Journal of Geomechanics, 2005, 11 (2): 172~180.

- [6] 李吉均, 文世宣, 张青松, 等. 青藏高原隆升的时代、幅度和形式的探讨 [J]. 中国科学, 1979, (6): 608~616.

LI Ji-jun, WEN Shi-xuan, ZHANG Qing-song, et al. The age, range and forms of the Qinghai-Tibet plateau uplift [J]. Science in China, 1979, (6): 608~616.

- [7] 李吉均, 方小敏. 青藏高原隆升与环境变化研究 [J]. 科学通报, 1998, 43 (15): 1569~1574.

LI Ji-jun, FANG Xiao-min. The Qinghai-Tibet plateau uplift and environmental change research [J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43 (15): 1569~1574.

- [8] 丁林, 钟大赉, 潘裕生, 等. 东喜马拉雅构造结上新世以来快速抬升的裂变径迹证据 [J]. 科学通报, 1995, 40 (16): 1479~1500.

DING Lin, ZHONG Da-lai, PAN Yu-sheng, et al. The fission track evidence about eastern Himalayan tectonic rapid uplift since Pliocene [J]. Chinese Science Bulletin, 1995, 40 (16): 1479~1500.

- [9] 钟大赉, 丁林. 青藏高原的隆升过程及其机制探讨 [J]. 中国科学: D 辑, 1996, 26 (4): 289~295.

ZHONG Da-lai, DING Lin. The Qinghai-Tibet plateau uplift process and its mechanism [J]. Science in China; Edition D, 1996, 26 (4): 289~295.

- [10] Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, et al. Activation of the Nyainqentanghla shear zone: Implications for uplift of the southern Tibetan Plateau [J]. Tectonics, 1995, 14 (3): 658~676.

- [11] Blisniuk M P, Hacker R B, Glodny J, et al. Normal faulting in central Tibet since at least 13.5 Ma ago [J]. Nature, 2001, 412: 628~632.

- [12] Coleman M, Hodges K. Evidence for Tibetan Plateau uplifted before 14 Myr ago from a new minimal age for east-west extension [J]. Nature, 1995, 374: 49~52.

- [13] Turner S, Arnaud N, Liu L, et al. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: Implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts [J]. Journal of Petrology, 1996, 37: 45~71.

- [14] Rowley D B, Currie B S. Paleo-altimetry of the late Eocene to Miocene Lunpola Basin, central Tibet [J]. Nature, 2006, 439: 677~681.

- [15] 吴珍汉, 吴中海, 胡道功, 等. 青藏高原渐新世晚期隆升的地质证据 [J]. 地质学报, 2007, 81 (5): 577~587.

WU Zhen-han, WU Zhong-hai, HU Dao-gong, et al. Geological evidences for the Tibetan Plateau uplifted in late Oligocene [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81 (5): 577~587.

- [16] Tapponnier P, Xu Z Q, Francoise R, et al. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau [J]. Science, 2001, 294: 1671~1677.

- [17] Meyer B, Tapponnier P, Bourjot L, et al. Crustal thickening in Gansu-Qinghai, lithospheric mantle subduction, and



oblique, strike-slip controlled growth of the Tibet plateau [J]. *Geophysical Journal International*, 1998, 135 (1): 1~47.

- [18] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen [J]. *Annual Review of Earth Planet Science*, 2000, 28: 211~280.
- [19] Yin A, Rumelhart P E, Bulter R, et al. Tectonic history of the Altyn Tagh fault system in northern Tibet inferred from Cenozoic sedimentation [J]. *GSA Bulletin*, 2002, 114 (10): 1257~1295.
- [20] 陆洁民, 郭召杰, 赵泽辉, 等. 新生代酒西盆地沉积特征及其与祁连山隆升关系的研究 [J]. *高校地质学报*, 2004, 10 (1): 50~61.
- LU Jie-min, GUO Zhao-jie, ZHAO Ze-hui, et al. Cenozoic sedimentary characteristics of Jiuxi Basin and its relationship with uplift of Qilian Mountains [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2004, 10 (1): 50~61.
- [21] 戴霜, 方小敏, 宋春晖, 等. 青藏高原北部的早期隆升 [J]. *科学通报*, 2005, 50 (7): 673~683.
- DAI Shuang, FANG Xiao-min, SONG Chun-hui, et al. Northern Qinghai-Tibet Plateau early uplift [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50 (7): 673~683.
- [22] Wang E Q. Displacement and timing along the northern strand of the Altyn Tagh fault zone, northern Tibet [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1997, 150 (1-2): 55~64.
- [23] 郑德文, 张培震, 万景林, 等. 六盘山盆地热历史的裂变径迹证据 [J]. *地球物理学报*, 2005, 48 (1): 157~164.
- ZHENG De-wen, ZHANG Pei-zhen, WAN Jing-lin, et al. Apatite fission track evidence for the thermal history of the Liupanshan Basin [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2005, 48 (1): 157~164.
- [24] 张培震, 郑德文, 尹功明, 等. 有关青藏高原东北缘晚新生代扩展与隆升的讨论 [J]. *第四纪研究*, 2006, 26 (1): 5~13.
- ZHANG Pei-zhen, ZHENG De-wen, YIN Gong-ming, et al. Discussion on late Cenozoic growth and rise of northeastern margin of the Tibetan Plateau [J]. *Quaternary Sciences*, 2006, 26 (1): 5~13.
- [25] Meng Q R, Hu J M, Yang F Z. Timing and magnitude of displacement on the Altyn Tagh fault: Constraints from stratigraphic correlation of adjoining Tarim and Qaidam basins, NW China [J]. *Terra Nova*, 2001, 13 (2): 86~91.
- [26] Gilder S, Chen Y, Sen S. Oligo-Miocene magnetostratigraphy and rock magnetism of the Xishuigou section, Subei (Gansu Province, western China) and implications on shallow inclinations in central Asia [J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2001, 106: 30505~30521.
- [27] Wang X M, Wang B Y, Qiu Z X, et al. Danghe area (western Gansu, China) biostratigraphy and implications for depositional history and tectonics of northern Tibetan Plateau [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2003, 208 (3/4): 253~269.
- [28] 张雪亭, 杨生德, 杨站君, 等. 青海省区域地质概论 [M]. 北京: 地质出版社, 2007: 72~82.
- ZHANG Xue-ting, YANG Sheng-de, YANG Zhan-jun, et al. The regional geology of Qinghai Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 72~82.
- [29] 孙红波, 孙军飞, 张发德, 等. 青海木里煤田构造格局与煤盆地构造演化 [J]. *中国煤炭地质*, 2009, 21 (12): 34~37.
- SUN Hong-bo, SUN Jun-fei, ZHANG Fa-de, et al. Structural framework and coal basin tectonic evolution in Muli Coalfield, Qinghai [J]. *Coal Geology of China*, 2009, 21 (12): 34~37.
- [30] 张克信, 王国灿, 季军良, 等. 青藏高原古近纪-新近纪地层分区与序列及其对隆升的响应 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2010, 40 (12): 1632~1654.
- ZHANG Ke-xin, WANG Guo-can, JI Jun-liang, et al. Paleogene-Neogene stratigraphic realm and sedimentary sequence of the Qinghai-Tibet Plateau and their response to uplift of the plateau [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2010, 53: 1271~1294.
- [31] 宋春晖. 青藏高原北缘新生代沉积演化与高原构造隆升过程 [D]. 兰州: 兰州大学, 2006: 1~326.

SONG Chun-hui. Tectonic uplift and Cenozoic sedimentary evolution in the northern margin of the Tibetan Plateau [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2006: 1~326.

- [32] 岳乐平, Heller E, 邱占祥, 等. 兰州盆地第三系磁性地层年代与古环境记录 [J]. 科学通报, 2000, 45 (18): 1998~2003.
- YUE Le-ping, Heller E, QIU Zhan-xiang, et al. Lanzhou basin, Tertiary magnetic formations and paleoenvironment records [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45 (18): 1998~2003.
- [33] Williams M A J, Dunkerley D L, Deckker P D, 等. 第四纪环境 [M]. 刘东升, 编译. 北京: 科学出版社, 1997: 190.
- Williams M A J, Dunkerley D L, Deckker P D, et al. Quaternary environment [M]. LIU Dong-sheng, ed. Beijing: Science Press, 1997: 190.
- [34] 程强, 寇小兵, 黄绍槟, 等. 中国红层的分布及地质环境特征 [J]. 工程地质学报, 2004, 12 (1): 34~40.
- CHENG Qiang, KOU Xiao-bing, HUANG Shao-bin, et al. The distributes and geologic environment characteristics of red beds in China [J]. Journal of Engineering Geology, 2004, 12 (1): 34~40.
- [35] Lee T Y, Lawver L A. Cenozoic plate reconstruction of Southeast Asia [J]. Tectonophysics, 1995, 251 (1-4): 85~138.
- [36] Patzelt A, Li H M, Wang J D, et al. Palaeomagnetism of Cretaceous to Tertiary sediments from southern Tibet: Evidence for the extent of the northern margin of India prior to the collision with Eurasia [J]. Tectonophysics, 1996, 259 (4): 259~284.
- [37] Beck R A, Burbank D W, Sercombe W J, et al. Stratigraphic evidence for an early collision between northwest India and Asia [J]. Nature, 1995, 373: 55~58.
- [38] Dewey J F, Shackleton R M, Chang C F, et al. The tectonic evolution of the Tibetan Plateau [J]. Philosophical Transactions of Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1988, 327 (1594): 379~413.
- [39] Liu Z, Wang C S, Yi H S. Evolution and mass accumulation of the Cenozoic Hoh Xil Basin, northern Tibet [J]. Journal of Sedimentary Research, 2001, 71 (6): 971~984.
- [40] 刘志飞, 王成善, 伊海生, 等. 可可西里盆地新生代沉积演化历史重建 [J]. 地质学报, 2001, 75 (2): 250~258.
- LIU Zhi-fei, WANG Cheng-shan, YI Hai-sheng, et al. Reconstruction of depositional history of the Cenozoic Hoh Xil Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75 (2): 250~258.
- [41] 刘志飞, 王成善, 伊海生, 等. 青藏高原北部可可西里盆地早新生代沉降史及其高原隆升意义 [C] //陈毓川. 中国地质学会 80 周年学术文集. 北京: 地质出版社, 2002: 111~119.
- LIU Zhi-fei, WANG Cheng-shan, YI Hai-sheng, et al. Early Cenozoic subsidence history of the Hoh Xil Basin in the northern Qinghai-Tibetan Plateau [C] //CHEN Yu-chuan. Academic papers of the 80<sup>th</sup> anniversary of the Geological Society of China. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 111~119.
- [42] 刘志飞, 王成善. 青藏高原北部可可西里盆地第三纪风火山群沉积环境分析 [J]. 沉积学报, 2001, 19 (1): 28~36.
- LIU Zhi-fei, WANG Cheng-shan. Depositional environment of the Tertiary Fenghuoshan Group in the Hoh Xil Basin, northern Tibetan Plateau [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19 (1): 28~36.
- [43] 刘志飞, Stewart L K. 图形显示和比较古水流数据的一种软件 (PC99): 以青藏高原北部可可西里盆地新生代古水流数据为例 [J]. 沉积学报, 2002, 20 (2): 354~358.
- LIU Zhi-fei, Stewart L K. A software tool for graphically displaying and comparing palaeocurrent data (PC99): An example utilizing palaeocurrent data of the Cenozoic Hoh Xil Basin, northern Tibet [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20 (2): 354~358.
- [44] 刘志飞, 王成善, 金玮, 等. 青藏高原沱沱河盆地渐新世—中新世沉积环境分析 [J]. 沉积学报, 2005, 23

(2): 210 ~ 217.

LIU Zhi-fei, WANG Cheng-shan, JIN Wei, et al. Oligo-Miocene depositional environment of the Tuotuohe Basin, Central Tibetan Plateau [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23 (2): 210 ~ 217.

## ESR DATING OF THE PALAEOGENE IN MULI BASIN IN THE MIDDLE OF QILIAN MOUNTAINS AND ITS GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

QI Bang-shen<sup>1,2</sup>, HU Dao-gong<sup>2</sup>, WANG Jin-shou<sup>3</sup>, ZHAO Xi-tao<sup>4</sup>, ZHANG Xu-jiao<sup>1</sup>,  
ZHANG Yao-ling<sup>2</sup>, YANG Xiao-xiao<sup>4</sup>, GAO Xue-mi<sup>1</sup>

(1. *School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100029, China;*

2. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100081, China;*

3. *Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810017, China;*

4. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)*

**Abstract:** The technique of ESR was applied to determine the Cenozoic red beds, Muli Basin, therefore, we can get the age of sedimentary and tectonic deformation. The results indicated there were huge thick Cenozoic Red Beds and tectonic deformation geochronological data, well recording the uplift of Qilian Mountains. Based on the ESR dating, the Tertiary sediments include the Eocene to Oligocene Huoshaogou Formation (40.2 ~ 35.3 Ma), which consists mainly of lacustrine facies and the Oligocene Baiyanghe Formation (32.6 ~ 24.3 Ma), which consists lacustrine and fluvial facies. From late Eocene to early Oligocene, an obvious angular unconformity exists between the upper and lower strata and it can be inferred that Qilian Mountains area has been a tectonic deformation and uplift, which has corresponding connection with the early Cenozoic uplift of Qilian Mountains.

**Key words:** Baiyanghe Formation; Huoshaogou Formation; ESR dating; the middle of Qilian Mountains