

文章编号: 1000-0550(2000)03-0355-07

可可西里盆地早渐新世雅西措群 沉积环境分析及古气候意义^①

刘志飞^{1, 2} 王成善²

1 (同济大学海洋地质教育部重点实验室 上海 200092)

2 (成都理工学院沉积地质研究所 成都 610059)

摘要 可可西里盆地是青藏高原腹地最大的第三纪沉积盆地, 第三纪沉积地层包括早始新世—早渐新世风火山群、早渐新世雅西措群、早中新世五道梁群。其中, 雅西措群为紫红色、砖红色泥岩、含膏泥岩与紫红色粉砂岩、细砂岩韵律互层, 夹白色石膏薄层和石膏结核层, 沉积厚度为 670.0 m, 沉积环境主要由河流和湖泊环境组成, 并以湖泊环境为主, 古水流方向反映盆地沉积中心逐渐向东向北迁移。雅西措群中石膏层的突然大量出现发生在底部地层距今约 32.0 Ma, 体现了渐新世最早期的全球变冷变干事件在青藏高原北部的记录。

关键词 沉积环境 气候事件 雅西措群 早渐新世 可可西里 青藏高原

第一作者简介 刘志飞 男 1969 年出生 博士后 沉积学 青藏高原地质 海洋地质

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 前言

全球气候环境在新生代发生了巨大变化, 地球表面从新生代早期两极无冰盖的暖室期依次演变到新生代中期南极有冰盖的凝室期和新生代晚期两极有冰盖的冰室期^[1]。深海底栖有孔虫的 $\delta^{18}O$ 测量表明, 世界大洋的底层水温从大约 55 ~ 50 Ma 前达到新生代最暖时期, 至今已经下降了 15 °C 以上^[2], 表明新生代发生了全球变冷的过程。这种全球性气候格局的重大变化被认为是以青藏高原为主的高原构造隆升所驱动的^[3, 4], 因此, 青藏高原隆升及其对全球气候变化的影响成为“构造—气候”相互关系研究的典型实例^[4]。

目前, 前人对青藏高原隆升过程及其气候响应研究主要是在高原周边及邻近海洋和陆相盆地中开展的, 而不是通过高原内部古气候记录的详细研究^[5]。鉴于此, 我们在过去的 3 年中开展了高原腹地可可西里盆地第三纪沉积与青藏高原隆升及其气候响应的关联性研究, 初步成果已经显示可可西里盆地对于开展青藏高原早期隆升、地壳短缩和全球气候变化研究具有重要作用^[6, 7]。本文主要介绍可可西里盆地早渐新世雅西措群的沉积环境研究, 以及渐新世最早期 (32.0 Ma) 的全球变冷变干事件在本研究区的沉积响应初步分析。

可可西里盆地分布在昆仑山和唐古拉山之间, 平均海拔高程 5 000 m 以上, 分布面积 101 000 km², 是青藏高原腹地最大的第三纪沉积盆地。盆地的第三纪沉积由下至上主要由风火山群、雅西措群和五道梁群组成。雅西措群由青海省区调综合地质大队 (1989) 创名于格尔木市唐古拉山乡雅西措, 时代为渐新世^②。中英青藏高原综合地质考察队将雅西措群并入未分风火山群, 时代为早第三纪或始新世^[8]。青海可可西里综合科学考察未采用地方性地层名称, 称为渐新统^[9]。本次研究对雅西措群及其下伏的风火山群开展了详细的磁性年代地层学研究^[10], 结果显示雅西措群沉积时代为早渐新世, 年代为距今 32.0 ~ 30.0 Ma; 同时也获得了风火山群的沉积时代为早始新世—早渐新世, 年代为距今 56.0 ~ 32.0 Ma。不整合于雅西措群和风火山群之上的五道梁群生物碎屑灰岩沉积, 地质时代为早中新世^[9]。雅西措群及其相邻地层单元地质年代的确定为进一步青藏高原隆升和古气候响应研究提供可靠的基础。

2 地质背景

可可西里盆地位于巴颜喀拉地体西段和羌塘地体的北部, 覆盖金沙江缝合带, 北部以昆仑南缘缝合带为界, 南部以坎巴塔软断裂为界, 青藏公路从东部穿过

① 国家杰出青年科学基金 (批准号: 49625203) 国土资源部九五重大基础项目 (9501101-02)

② 青海省区调综合地质大队. 1:20 万沱沱河幅、章岗日松幅 (I-46-[15]、[16]) 区域地质调查报告 (地质部分). 青海省地质矿产局 (未出版), 1989

(图 1)。盆地基底由三叠系、二叠—三叠系汉台山群、石炭—二叠系西金乌兰群组成,这三套岩系的总厚度达 23 000 m,它们之间均存在角度不整合^[9,11]。盆地的第三纪盖层包括由下向上的三套地层,分别为前述的早始新世—早渐新世风火山群、早渐新世雅西措群、早中新世五道梁群。风火山群由灰紫色砂岩、泥岩和砾岩组成,夹灰绿色含铜砂岩、灰黑色生物碎屑灰岩和灰白色薄层状石膏岩,厚度为 4 782.8 m。风火山群的沉积环境演化经历了四个阶段,从早期 56.0~52.2

Ma 河流为主的环境,到中期 52.2~43.1 Ma 的湖泊环境和 43.1~38.3 Ma 的河流与扇三角洲环境,演变到晚期 38.3~32.0 Ma 河流为主的环境^[12]。雅西措群为紫红色、砖红色泥岩、含膏泥岩与紫红色粉砂岩、细砂岩韵律互层,夹白色石膏薄层和石膏结核层、少量灰绿色钙质粉砂岩和少量灰紫色砾岩。五道梁群表现为一套内陆湖泊相碳酸盐岩沉积,发育少量扇三角洲相砂岩、未固结砂泥以及底砾岩沉积,并在局部地区发育黑色油页岩^[13]。

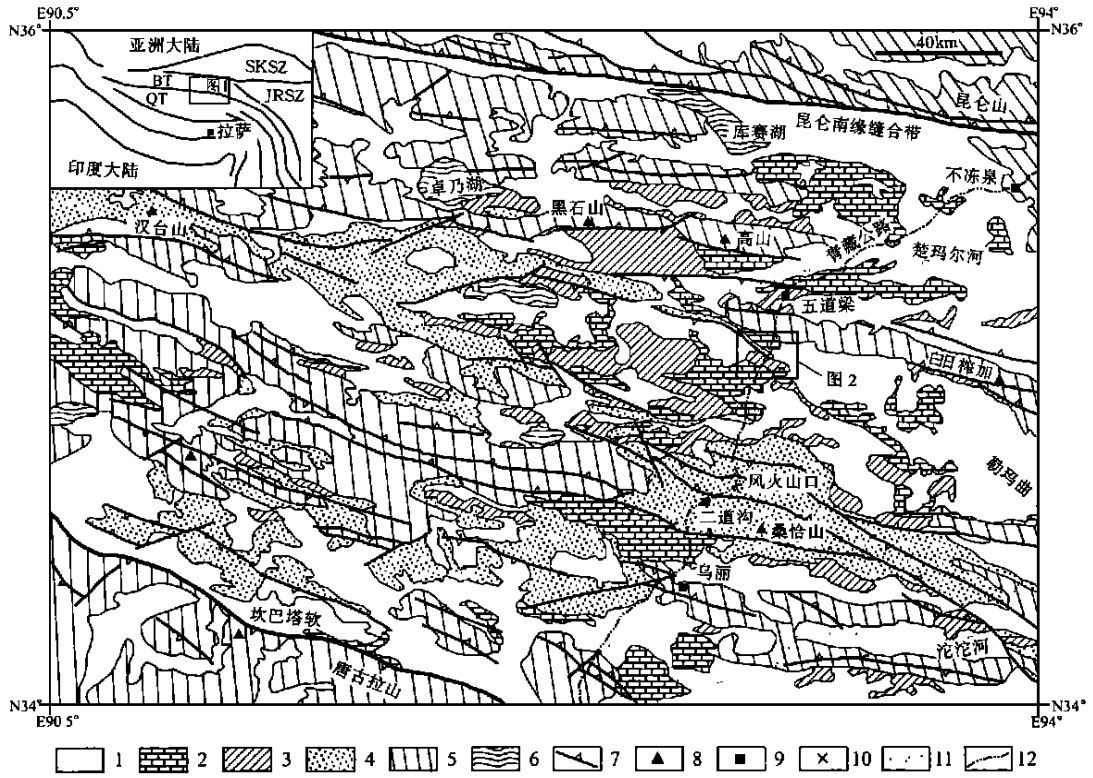


图 1 可可西里盆地地质简图(据文献[9]修改)

- 1. 第四系/覆盖; 2. 五道梁群; 3. 雅西措群; 4. 风火山群; 5. 前第三系基底; 6. 湖泊; 7. 逆冲断层; 8. 山峰; 9. 居民区; 10. 山口;
- 11. 河流; 12. 公路; BT. 巴颜喀拉地体; QT. 羌塘地体; SKSZ. 昆化南缘缝合带; JRSZ. 金沙江缝合带

Fig. 1 Simplified geologic map of the Hoh Xil basin(Modified from ref[9])

可可西里盆地的盖层和基底岩系中发育一系列的走向北西西的逆冲断层(图 1),表明第三纪沉积可能经历了强烈地变形作用。前人研究已经显示风火山群发育了强烈地褶皱和断层作用^[7,14],在二道沟地区计算的风火山群南北短缩量约为 40%^[14],在二道沟—五道梁地区计算的风火山群和雅西措群南北短缩量为 42.8%(约 53.1 km)^[7];而且,野外观察不整合上覆的五道梁群发育很弱的后期变形作用,一般呈角度小于 30°的倾斜,这表明风火山群强烈的后期变形作用主要是发生在五道梁群沉积的早中新世之前的 因此,研

究雅西措群和风火山群的沉积环境对于我们深入了解青藏高原的早期隆升和地壳短缩以及早第三纪本地区的古气候环境变迁具有一定作用。

3 沉积环境分析

雅西措群的沉积环境分析工作主要是在位于盆地中部五道梁以南地区的磁性年代地层剖面上进行的(图 1, 2)。在野外观察和卫星照片纹象分析的基础上,考虑到露头质量、交通等方面原因,我们选择了雅西措群地层出露和通行条件都比较好的五道梁以南地

区,实测了GG2剖面(图2)。GG2剖面分布在一个倒转向斜的北西翼上,由东向西,层序出露比较完整,连续性很好。雅西措群沉积相分析采用Miall的沉积岩相和相组合分析原理和方法^[15,16],显示出雅西措群主要由河流相和湖泊相组成,并以湖泊相为主。其相分析内容列在图3中,沉积岩相和相组合解释列在表1和表2中。

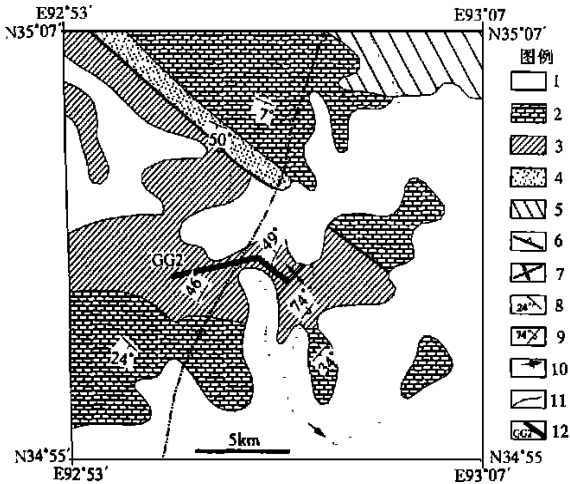


图2 可可西里盆地中部五道梁地区地质图

1. 第四系/覆盖; 2. 五道梁群; 3. 雅西措群; 4. 风火山群
5. 前第三系基底; 6. 逆冲断层; 7. 向斜; 8. 正常产状; 9. 倒转产状
10. 河流; 11. 公路; 12. 实测剖面, 位置见图1

Fig. 1 Geologic map of the southern Wudaoliang area in the middle Hoh Xil basin

3.1 湖泊相

湖泊相以砂岩和粉砂岩层向上变粗变厚为特征,包括滨湖、浅湖和盐湖亚相(表2)。

滨湖亚相由沉积岩相Sr、Sh2、Ss和Fl组成,以紫色泥岩夹中薄层中细砂岩为特征,泥岩单层厚约20~40 cm,块状或发育水平层理,砂岩中主要发育波状交错层理、沙纹层理、爬升沙纹层理,夹有小型粉砂岩透镜体,具有下细上粗的旋回特征,砂岩顶面见有虫迹,虫迹与波痕可伴生。在雅西措群GG2剖面中上部,相差仅2 cm厚的两层薄层粉砂岩表面发育两组古水流近垂直的波痕(图版I-A),上部为直线脊波痕,较小,古水流方向为55°;下部为叠加波痕,较大,古水流方向为130°,这表明湖泊注入流(下部层位的叠加波痕)和湖岸沿岸流(上部层位的直线脊波痕)的滨湖沉积特征。

浅湖亚相主要由沉积岩相Sh2、Sr、Fl、Fsc和P组成,以紫红色泥岩夹紫色薄层细—粉砂岩和薄层的泥灰岩、粉砂质泥灰岩为特征,砂岩顶面多发育波痕构造,砂岩中主要发育沙纹层理、波状层理 砂岩和泥灰

岩或粉砂质泥灰岩横向延伸较稳定,它们之间的接触关系多为突变接触。特别提及的是,砂岩和粉砂岩中极其发育爬升沙纹层理。爬升沙纹层理(climbing ripple cross-lamination)是由沙纹沿一个爬升角迁移时产生的层理,又称为沙纹迁移层理(ripple-drift cross-lamination),分为迎水坡侵蚀型(erosional-stoss)和迎水坡沉积型(depositional-stoss)两种类型^[17,18]。雅西措群的浅湖相都发育这两种类型的层理(图版I-B、I-C),迎水坡侵蚀型形成于爬升角小于迎水坡倾角,而迎水坡沉积型形成于爬升角大于迎水坡倾角。爬升沙纹层理发育时,波纹既向上又向前迁移,沉积物来源供给太快太多而不能随流体一起迁移,从而形成向上的加积^[19],这表明爬升沙纹层理形成于特定的沉积环境中,结合本地区的研究,反映了一种物源供给充足的浅湖环境,可能为浅湖浊流成因。

盐湖亚相主要由沉积岩相Pc、Pt和Fm组成,以大套的紫色含膏泥岩夹泥质细砂岩和粉砂岩为特征,细砂岩、泥岩及泥质粉砂岩具块状构造或发育不好的波状、水平状纹层,细砂岩层底部见发育有重荷模。石膏以薄层状(图版I-D)和层状展布的结核(图版I-E)产出,也见次生的脉状石膏呈斜切纹理的网状。在粉砂岩夹层中,主要见小型沙纹层理和波痕,代表了局限的含膏盐湖特征沉积环境。

3.2 河流相

河流相以砂岩和砾岩层向上变细和变薄为特征,包括河道和河漫滩亚相,河道亚相由舌形沙坝组成,而河漫滩亚相则由天然堤和洪泛平原组成(表2)。

舌形沙坝主要由沉积岩相Sp和Sh1组成,以中—厚层中细粒砂岩为主,层理类型以板状交错层理和平行层理为主,单个沙坝砂岩体厚度可达3~4 m。在实测的GG2剖面中,舌形沙坝以Sh1岩相为主,沿走向延伸可达100 m以上(图版I-F)。

天然堤主要由沉积岩相Sr、Sh2和Fl组成,以紫红色、砖红色粉砂岩、泥岩薄层或透镜体为特征,粉砂岩单层厚度以小于5 cm为主,透镜体长度不超过50 cm,发育波痕、波状层理、沙纹层理和爬升沙纹层理,在空间上常与舌形沙坝砂岩沉积伴生,是洪水溢岸水流在河漫滩上垂向加积的产物。

洪泛平原主要由沉积岩相Ss、Sr、Sh2、Fl和Fsc组成,以紫红色、砖红色泥岩夹薄层粉砂岩或泥质粉砂岩为特征,在地貌上呈齿状,发育波痕、波状层理、沙纹层理、生物遗迹和泥裂,泥岩单层厚度多大于30 cm,泥质粉砂岩或泥质细砂岩以小于单层10 cm厚的占多数,顶面多发育小型波痕,砂岩底面可见小型冲刷构造

表 1 可可西里盆地雅西措群沉积岩相划分表(据文献[15-16]修改)

Table 1 Lithofacies classification of the Yaxicuo Group in the Hoh Xil basin(Modified from refs. [15]and[16])

相符号	岩相	沉积构造	成因解释
Sp	中-差分选, 可含砾, 细-粗砂	板状交错层理	舌形沙坝
Sr	中-好分选, 粉-粗砂	各种波痕	波痕
Sh1	中-差分选, 可含砾, 中-粗砂	平行层理, 线理	面状底流沉积
Sh2	中-好分选, 粉-粗砂	水平层理	低流态沉积
Ss	中-差分选, 可含砾, 粉-粗砂	无	片状颗粒流沉积
F1	砂、粉砂、泥	细纹理, 很小的波痕	越岸沉积, 或退洪沉积, 湖泊
Fsc	粉砂、泥	纹理状至块状	河漫滩沉积, 湖泊
Fm	粉砂、泥	块状, 泥裂	越岸沉积, 湖泊
P	薄层状碳酸盐岩, 粉砂质灰岩	含粉砂和生物化石	越岸沉积, 湖泊
Pc	很薄层状石膏	薄层状	越岸沉积, 湖泊
Pt	结核状石膏	层状展布	越岸沉积, 湖泊

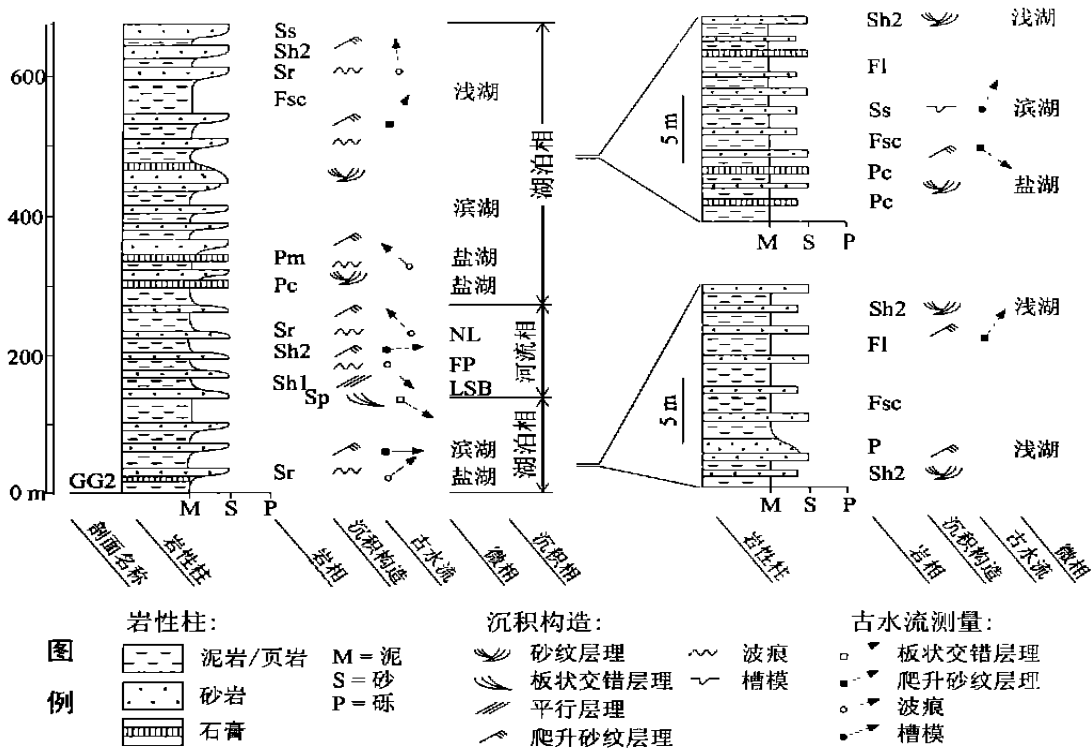


图 3 可可西里盆地雅西措群实测剖面的沉积相分析

Fig. 3 Sedimentary facies analysis of the Yaxicuo Group from the measured section

4 早渐新世全球气候事件记录初步分析

雅西措群的沉积环境分析表明, 沉积环境以湖泊相为主, 在早中期发育河流相; 古水流方向显示早期向东为主, 晚期向北为主(图 3), 表明盆地的沉积中心逐

渐向东向北迁移, 这样的古环境发展格局与下伏的早始新世—早渐新世风火山群相同^[12], 可以认为是风火山群沉积环境格局的发展。然而, 有一个重要的沉积环境标志是明显不同的, 从雅西措群沉积开始就发育了大量薄层石膏夹层; 而风火山群中仅有下部发育少量石膏夹层, 在其中上部均为正常盐度的冲积和湖泊

沉积。石膏层的突然大量出现发生在雅西措群的底部,大约是雅西措群与风火山群边界位置,年代为距今 32.0 Ma^[10],表明当时的古气候至少突然变干。

表2 可可西里盆地雅西措群沉积相组合
(岩相符号解释见表1)

Table 2 Facies associations of the Yaxicuo Group in the Hoh Xil basin

相	亚相	微相(岩相)
湖泊	滨湖	S ₁ Sh ₂ S _s Fl
	浅湖	Sh ₂ S _r Fl, F _{sg} P
	盐湖	P _G Pt, F _m
河流	河道	舌形沙坝(LSB); S _p Sh ₁
	河漫滩	天然堤(NL); S _r Sh ₂ Fl 洪泛平原(FP); S _s S _r Sh ₂ Fl, F _{sc}

新生代时期共经历了四次重大气候事件^[2, 20],包括中生代始新世晚期(37 Ma)的全球变冷事件、渐新世最早期(33 Ma)的变冷变干事件、中新世晚期(7 Ma)的C4草地扩张事件、上新世—更新世(2.5 Ma 至今)的快速气候变化事件,这些事件在海洋记录、氧同位素、陆地植物等中找到了响应。其中,渐新世最早期的全球变冷变干事件是新生代最重要的气候事件,导致了南极冰川的出现以及全球温度降低 5~6 °C^[2]。可可西里盆地早渐新世雅西措群的沉积记录了这次事件,体现了古气候至少突然变干。更详细的古气候研究正在进行之中。

5 主要结论

可可西里盆地雅西措群为紫红色、砖红色泥岩、含膏泥岩与紫红色粉砂岩、细砂岩韵律互层,夹白色石膏薄层和石膏结核层,少量灰绿色钙质粉砂岩和少量灰紫色砾岩,沉积厚度为 670.0 m,沉积时代为早渐新世,年代为距今 32.0~30.0 Ma。雅西措群的沉积环境主要由河流和湖泊环境组成,并以湖泊环境为主,古水流测量显示盆地沉积中心逐渐向东向北迁移。雅西措群沉积发育了大量薄层石膏夹层,这种石膏层的突然大量出现发生在雅西措群的底部约 32.0 Ma,体现了渐新世最早期的全球变冷变干事件在青藏高原北部的记录。

伊海生教授、刘顺副教授、李祥辉副教授、胡修棉、魏明建副教授、朱利东副教授、王士峰参加野外工作,汪品先教授、Stephen D. Ellen 博士为本文提出宝贵意见,借此一并表示谢忱。

参 考 文 献

1 汪品先 亚洲形变与全球变冷——探索气候与构造的关系 第四纪

研究 J. 1998, 3: 213~221

- Miller K G, Fairbanks R G, and Mountain G S. Tertiary oxygen isotope synthesis, sea level history, and continental margin erosion[J]. *Paleoceanography*, 1987, 2: 1~19
- Ruddiman W F and Kutzbach J E. Plateau uplift and climatic change [J]. *Scientific American*, 1991, 264: 66~75
- Ruddiman W F, Raymo M E, Prell W L, et al. The uplift—climate connection: A synthesis[A]. In: Ruddiman W F. *Tectonic uplift and climate change*[C]. New York and London: Plenum Press, 1997. 471~515
- Copeland P. The when and where of the growth of the Himalaya and the Tibetan plateau[A]. In: Ruddiman W F. *Tectonic uplift and climate change*[C]. New York and London: Plenum Press, 1997. 19~40
- 刘志飞. 青藏高原腹地第三纪沉积与高原隆升的关系: [D]. 成都: 成都理工学院, 1999
- Wang C—S, Liu Z—F, Zhao X, et al. Sedimentary of the Fenghuoshan Group in the Hoh Xil basin, northern Qinghai—Tibet plateau: Implication for the plateau uplift history. In: Universities of Potsdam, Tübingen and Würzburg [C]. *The 14th Himalaya—Karakorum—Tibet Workshop*. Kloster Ettal: Terra Nostra, 1999. 166~167
- 尹集祥, 徐均涛, 刘成杰等. 拉萨至格尔木的区域地层. 见: 中英青藏高原综合地质考察队. 青藏高原地质演化[R]. 北京: 科学出版社, 1990. 1~48
- 张以恭, 郑健康. 青海可可西里及邻区地质概论[M]. 北京: 地震出版社, 1994. 177
- Liu Z F, Zhao X, Wang C S, et al. Magnetostratigraphy of Tertiary sediments from the Hoh Xil basin: Implications for the Cenozoic tectonic history of the Tibetan plateau[J]. *Geophys J Int*, 2000 (submitted)
- 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991. 662
- 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*, 2000. 待刊
- Liu Z F and Wang C S. Oil shale in the Tertiary Hoh Xil basin, northern Qinghai—Tibet plateau[J]. *Am Assoc Pet Geol Bull*, 1999, 83: 1890
- Coward W P, Kidd W S F, 潘耘等. 拉萨至格尔木的构造. 见: 中英青藏高原综合地质考察队[R]. 青藏高原地质演化. 北京: 科学出版社, 1990. 321~347
- Miall A D. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary[A]. In: Miall A D. *Fluvial Sedimentology*[C]. *Can. Soc. Petro. Geol. Mem.* 5, 1978. 597~604
- Miall A D. *Principles of sedimentary basin analysis*[M]. New York: Springer—Verlag, 1984. 668
- Harms J C, Southard J B, and Walker R G. Structures and sequences in clastic rocks: Lecture notes for short course No. 9. Boulder: The United States of America and The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1982. 3—1~3—27
- Collinson J D and Thompson D B. *Sedimentary structures*[M]. London Boston Sydney: George Allen & Unwin, 1982. 59~71
- Davis Jr R A. *Depositional systems: An introduction to sedimentology and stratigraphy*[M]. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice—Hall, 1992. 65~69

Depositional Environment and Paleoclimatic Significance of the Early Oligocene Yaxicuo Group in the Hoh Xil Basin

LIU Zhi-fei^{1, 2} WANG Cheng-shan²

¹ (Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092)

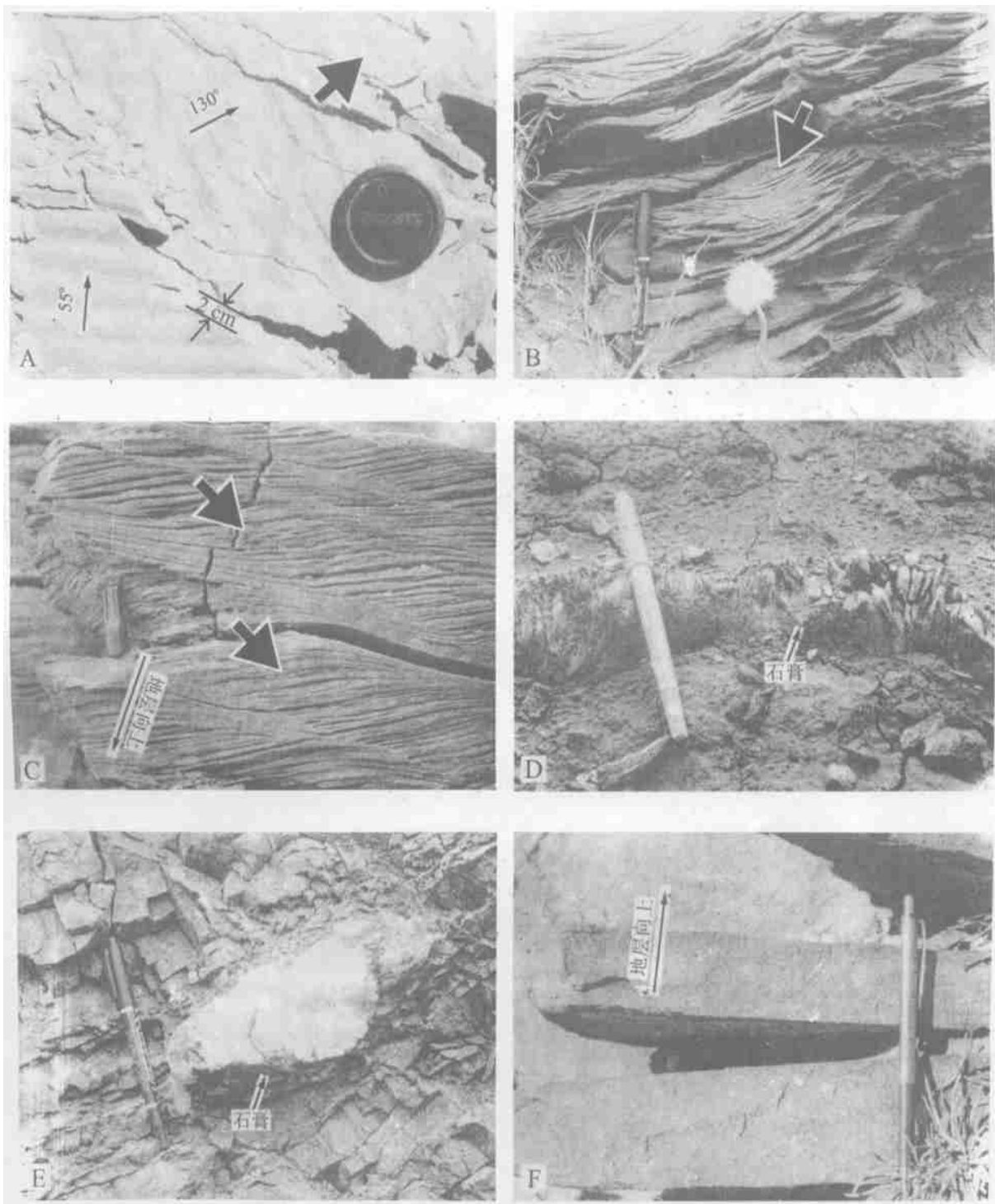
² (Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract

The Hoh Xil basin, which is the largest Tertiary sedimentary basin in the hinterland of the Tibet plateau, is bounded on the north margin by the Kunlun Mountains and the South Kunlun suture zone, and on the south margin by the Tanggula Mountains and the Kangbataqing fault. The basin contains a Tertiary sediment pile of approximately 5.4 km thick of fluvial mudstone, sandstone, and conglomerate and 0.4 km thick of limestone, which was reported to have a closed relationship with the continental collision and early uplift of the Tibet plateau. From lower to upper, the Tertiary sediments include the Early Eocene to Early Oligocene Fenghuoshan Group, the Early Oligocene Yaxicuo Group, and the Early Miocene Wudaoliang Group. Here we clarify the facies analysis of the Yaxicuo Group, which was magnetostratigraphically dated as 32.0–30.0 Ma, and discuss its paleoclimatic significance.

The Yaxicuo Group is 670.0 m thick and consists mainly of violet alternating sandstone and mudstone with intercalated gray layered and tubercular gypsolith. The standard section GG2 of the Yaxicuo Group is situated in the southern part of the Wudaoliang area of the Hoh Xil basin. The Yaxicuo Group consists mainly of lacustrine facies, but contains fluvial facies in the lower–middle part. The lacustrine facies includes shore, shallow lake, and salt lake subfacies. They are characterized by coarsening and thickening upward of sandstone and siltstone. The fluvial facies consists of point bars, natural levees, and flood plains and is characterized by sandstone and conglomerate that fine and thin upward. Paleocurrent directions were measured from sedimentary structures of, for examples, lamination, planar cross–bedding, parallel bedding, and climbing–ripple cross–lamination. They indicate that the depocenter of the Hoh Xil basin was migrated eastward and northward during the period of 32.0–30.0 Ma. The very thin stratified and nodulated types of gypsolith started to suddenly abundantly develop in the lower of the Yaxicuo Group at about 32.0 Ma ago. However, only a few layers of very thin stratified of gypsolith was formed in the lower part of the Fenghuoshan Group, whereas the other parts of sediments belong to fluvial and lacustrine environment with normal salinity. Therefore, the development of the gypsolith at least reflects the drying event in the earliest Oligocene, which was recorded in the northern Tibetan plateau. The paleoclimatic event could be correlated well to the global cooling and drying events of the earliest Oligocene.

Key words depositional environment climatic event Yaxicuo Group Early Oligocene Hoh Xil Tibet plateau



图版I 说明 A. 雅西措群相邻仅 2 cm 厚的砖红色泥质粉砂岩层表面中发育的两组方向近于垂直的单向流水波痕, 上部层位为直线脊波痕, 下部层位为叠加波痕, 大的箭头指示叠加波痕组合中的晚期波痕, 反映流水注入湖泊和湖岸沿岸流的滨湖特征; B. 雅西措群紫红色粉砂岩中发育的迎水坡侵蚀型爬升沙纹层理, 箭头指示前积层; C. 雅西措群紫红色粉砂岩中发育的迎水坡沉积型爬升沙纹层理, 箭头指示前积层, 本层为倒转地层; D. 雅西措群发育的灰白色极薄层层状石膏, 一般厚为 0.8~2.0 cm, 最厚处超过 2.0 cm; E. 雅西措群呈层状展布的白色石膏结核 发育于紫红色粉砂岩中, 结核直径一般为 5.0~10.0 cm; F. 雅西措群紫灰色中砂岩中发育的平行层理, 为高流态的面状底流在河床中的快速沉积。图版中比例尺: 记号笔长 14 cm, 镜头盖直径 5 cm。