

文章编号: 1000-0550 (2005) 02-00210-08

青藏高原沱沱河盆地渐新—中新世沉积环境分析

刘志飞¹ 王成善² 金玮³ 伊海生³ 郑洪波¹ 赵西西⁴ 李亚林³

1 (同济大学海洋地质教育部重点实验室 上海 200092)

2 (中国地质大学地球科学学院 北京 100083)

3 (成都理工大学沉积地质研究所 成都 610059)

4 (美国加州大学构造研究所和地球科学系 圣克鲁斯 CA95064)

摘要 沱沱河盆地保存着青藏高原内部至今发现最完整的渐新世至中新世连续沉积记录,由渐新世雅西措群 (31.3 ~ 23.8 Ma)和早中新世五道梁群 (23.8 ~ 21.8 Ma)组成,总厚度 2 393 m。雅西措群主要为紫红色、砖红色砂岩、粉砂岩与泥岩韵律互层,五道梁群为一套内陆湖泊相泥灰岩、内碎屑灰岩和叠层石灰岩沉积。沱沱河盆地渐新—中新世沉积环境经历了 3 个阶段的演化: (1)早渐新世,以河流环境为主,古水流以北向为主,反映古气候条件比较干燥; (2)中晚渐新世,以湖泊环境为主,古水流以东北向为主,古气候条件相对温暖潮湿; (3)晚渐新世至早中新世,主要为湖泊环境,古水流转为南向,沉积岩性由雅西措群顶部的砂泥岩互层为主转变为五道梁群的泥灰岩为主,反映当时的物源区发生重大转变,构造活动趋于稳定,古气候条件由温暖潮湿转为干燥。沱沱河盆地渐新—中新世气候和构造活动历史对于研究青藏高原早期隆升作用和全球气候变化都有重要意义。

关键词 沉积环境 雅西措群 五道梁群 渐新—中新世 沱沱河盆地 青藏高原

第一作者简介 刘志飞 男 1969 年出生 教授 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

被誉为“渐新—中新世青藏高原”^[1]的可可西里地区位于广袤的青藏高原腹地,厚度巨大的新生代沉积物保存了从始新世早期至中新世的高原腹地构造活动记录^[2, 3]。最近研究显示可可西里地区在 35 ~ 30 Ma 期间发生了快速隆升作用^[4-8],并于晚渐新世至早中新世发生了准夷平作用^[9],从而显示出渐新世至中新世是青藏高原早期隆升过程的关键时期。然而,正因为这段时期在青藏高原腹地广泛发育的准夷平作用,造成可可西里地区中部风火山盆地始新世—早渐新世风火山群和雅西措群与早中新世五道梁群之间是区域性角度不整合接触关系^[4, 9],从而缺乏连续的沉积记录以供研究。

我们最近连续三年 (2002 ~ 2004 年)在可可西里地区南部、唐古拉山口以北约 120 km 的沱沱河盆地开展地质调查,发现该盆地东部通天河剖面保存了完好的渐新世雅西措群至中渐新世五道梁群的连续沉积记录。磁性年代地层学^[10]结果证实,这条剖面是

青藏高原内部至今发现最完整的渐新世至中新世连续记录,从而为青藏高原早新生代构造活动历史研究提供最佳材料。本文主要介绍这个剖面的沉积环境研究。

2 地质背景

沱沱河盆地位于羌塘地体东北部,北邻金沙江缝合带,南部以唐古拉断裂为界,地处可可西里地区南部,青藏公路从盆地中部穿过,因长江源头沱沱河和通天河均发育于该盆地,故名为沱沱河盆地^[10] (图 1)。盆地基底主要由三叠系砂岩、粉砂岩、泥晶灰岩和侏罗系砂岩与生物灰岩和泥晶灰岩组成,并含少量石炭系生物灰岩和砂岩、二叠系泥晶灰岩和碎屑砂岩,它们之间均存在角度不整合或平行不整合接触,本文将盆地基底沉积物统称为前新生代基底 (图 1)。盆地的新生代盖层包括由下向上的三套地层,分别为始新世至早渐新世风火山群、渐新世雅西措群、早中新世五道梁群。风火山群由砖红色、紫红色、黄褐色复成分砾岩、含砾砂岩、砂岩和粉砂岩组成,局部夹泥

岩,厚约 600 m。风火山群在沱沱河盆地中原名为沱沱河组^[12],沱沱河组创名于 1989 年的“沱沱河群”,时代划为古新世至始新世;而创名于 1957 年的北部风火山盆地“风火山群”无论在岩性组成、层序变化,还是形成的区域背景等方面都与沱沱河组类似^[12]。而且,根据风火山群岩石和磁性年代地层详细研究和区域对比分析,风火山群的年代已确定为始新世至早渐新世^[2-4]。因此,本文认为该沱沱河组相当于风火山盆地中的风火山群层位,使用先命名的风火山群较为合适。风火山群是新生代沱沱河盆地的早期沉积产物,主要以粗碎屑岩相分布在逆冲断层前渊,在本文实测的通天河剖面的背斜核部也有少量分布(图 1),但由于野外露头保存条件差,本文不作详细研

究。雅西措群为紫红色、砖红色砂岩、粉砂岩与泥岩、薄层灰岩和石膏薄层韵律互层,局部夹少量细砾岩和薄层泥灰岩、内碎屑灰岩和层纹石灰岩,厚约 2 200 m。风火山盆地中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,在早渐新世距今约 32 Ma 突然发育大量石膏层和显著的沉积旋回变化,体现了渐新世最早期全球变冷事件在青藏高原腹地的响应^[13, 14]。五道梁群表现为一套内陆湖泊相碳酸盐岩沉积,发育少量滨湖砂岩沉积,并在可可西里局部地区见到黑色油页岩^[15]。

沱沱河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),表明新生代沉积可能经历了强烈地变形作用。前人在风火山盆地计算过

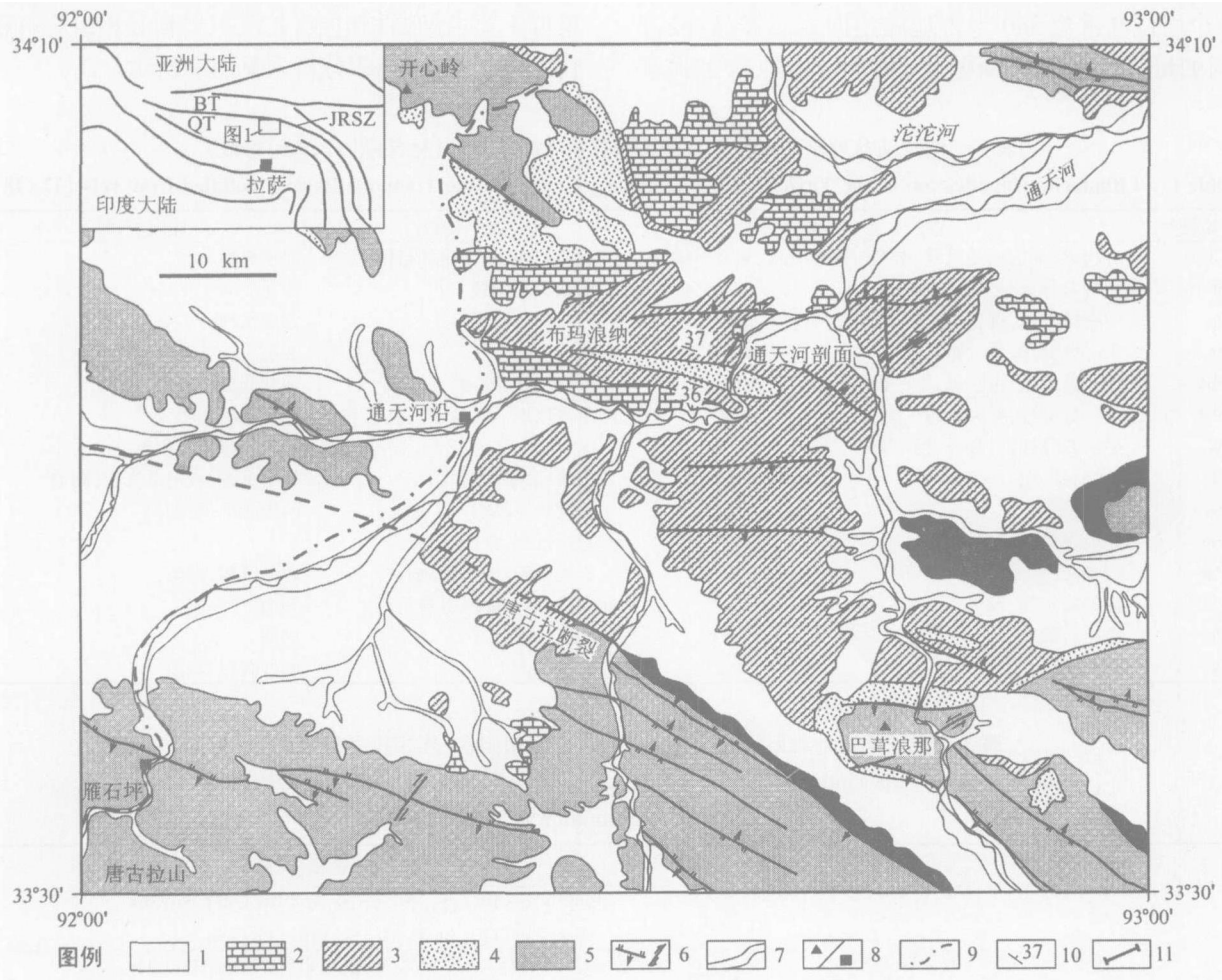


图 1 沱沱河盆地地质简图(据文献[11]和 修改)及通天河剖面位置

1. 第四系; 2. 五道梁群; 3. 雅西措群; 4. 风火山群; 5. 前新生代基底; 6. 逆冲和平移断层; 7. 河流; 8. 山峰和居民区; 9. 青藏公路; 10. 地层产状; 11. 实测剖面; BT 巴颜喀拉地体; QT 羌塘地体; JRSZ 金沙江缝合带

Fig 1 Simplified geologic map of the Tuotuohe Basin (modified from refs [11] and) and location of the Tongtianhe measured section

成都理工大学唐古拉区调队。1 25万温泉兵站幅(46C003002)地质图。2004(未出版)

风火山群主要在渐新世至早中新世期间发生的南北短缩量约为 42.8% (约 53 km)^[9]。在沱沱河盆地中逆冲断层的倾角一般大于 40°;而且风火山群和雅西措群的地层倾角一般也大致为 40°(图 1),因此本文推测沱沱河盆地在早新生代的南北短缩量大致介于 40%~50%。

本文实测的通天河剖面 (N33°55'45", E92°37'13") 位于沱沱河盆地东南部布玛浪纳山脊的东侧,距青藏公路通天河沿大桥约 25 km (图 1)。剖面野外实测工作在布玛浪纳背斜北翼上进行,从雅西措群底部 (与风火山群的界线处) 向北测至五道梁群上部 (顶部地层未保存),总厚度 2393 m (其中:雅西措群厚约 2192 m,五道梁群厚约 200 m)。我们在该剖面 125 个层位共采集 380 个古地磁定向岩芯样品,经过美国加州大学圣克鲁斯分校 (UCSC) 古地磁实验室

2G 低温磁力仪、主要采用渐近热退磁 (砂岩和粉砂岩) 和交变退磁 (灰岩和泥灰岩) 两种类型实验,并参考国际标准磁性地层^[16]和该剖面生物地层^[11]资料,确定该剖面的地质年代为 31.3~21.8 Ma (早渐新世至早中新世),其中:雅西措群年代为 31.3~23.8 Ma,五道梁群年代为 23.8~21.8 Ma^[8]。该结果与风火山盆地中风火山群与雅西措群界线磁性地层年龄 31.3 Ma 完全一致^[3]。

3 沉积环境分析

通天河剖面的沉积相分析采用 Miall (1978, 1984) 的沉积岩相和相组合分析原理和方法^[17, 18],结果显示雅西措群主要由河流相和湖泊相组成,五道梁群主要由湖泊相组成,其沉积岩相和相组合解释列在表 1 和表 2 中,相分析列见图 2 所示。

表 1 沱沱河盆地雅西措群和五道梁群沉积岩相划分表 (据文献 [17, 18] 修改)

Table 1 Lithofacies classification of the Yaxicuo and Wudaoliang Groups in the Tuotuohe Basin (modified from refs [17, 18])

相符号	岩 相	沉积构造	成因解释
G1	分选差,薄层或透镜状,杂基—颗粒支撑,粗砂至细砾	粒序层理,或无内部结构	河道充填
St	中—差分选,可含砾,细—粗砂	槽状交错层理	沙丘
Sp	中—差分选,可含砾,细—粗砂	板状交错层理	舌形水坝
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	
Pm	泥晶灰岩	含粉砂和/或生物化石	越岸沉积,湖泊
Pb	内碎屑灰岩	含内碎屑和/或生物化石	湖泊
Ps	叠层石灰岩	层状或丘状	湖泊
Pc	很薄层状石膏	薄层状	越岸沉积,湖泊

表 2 沱沱河盆地雅西措群和五道梁群沉积岩相组合 (岩相符号解释见表 1)

Table 2 Facies associations of the Yaxicuo and Wudaoliang Groups in the Tuotuohe Basin (See Table 1 for explanation of lithofacies)

相	亚 相	微相 (岩相)	
雅西措群	河流	河道	分流河道 (DC): Ss, St, Sp; 纵向沙坝 (LSB): St, Sh1 河床滞留沉积 (BLD): G1, Ss; 边滩 (PB): Sp, Sh1
		河道滩	天然堤 (NL): Sr, Sh2, F1; 决口扇 (CS): Sp, Fsc, Fm
			洪泛平原 (FP): Ss, Sr, Sh2, F1, Fsc, Pm
	湖泊	滨湖	Sr, Sh2, Ss, F1, Pm
		浅湖	Sh2, Sr, F1, Fsc, Fm, Ps, Pb
		深湖	Sh2, Pm, G1, F1
盐湖		Pc, Fm	
五道梁群	湖泊	滨湖	Sh2, Ss, F1, Pm
		浅湖	Fsc, Pm, Ps, Pb
		深湖	Sh2, Pm

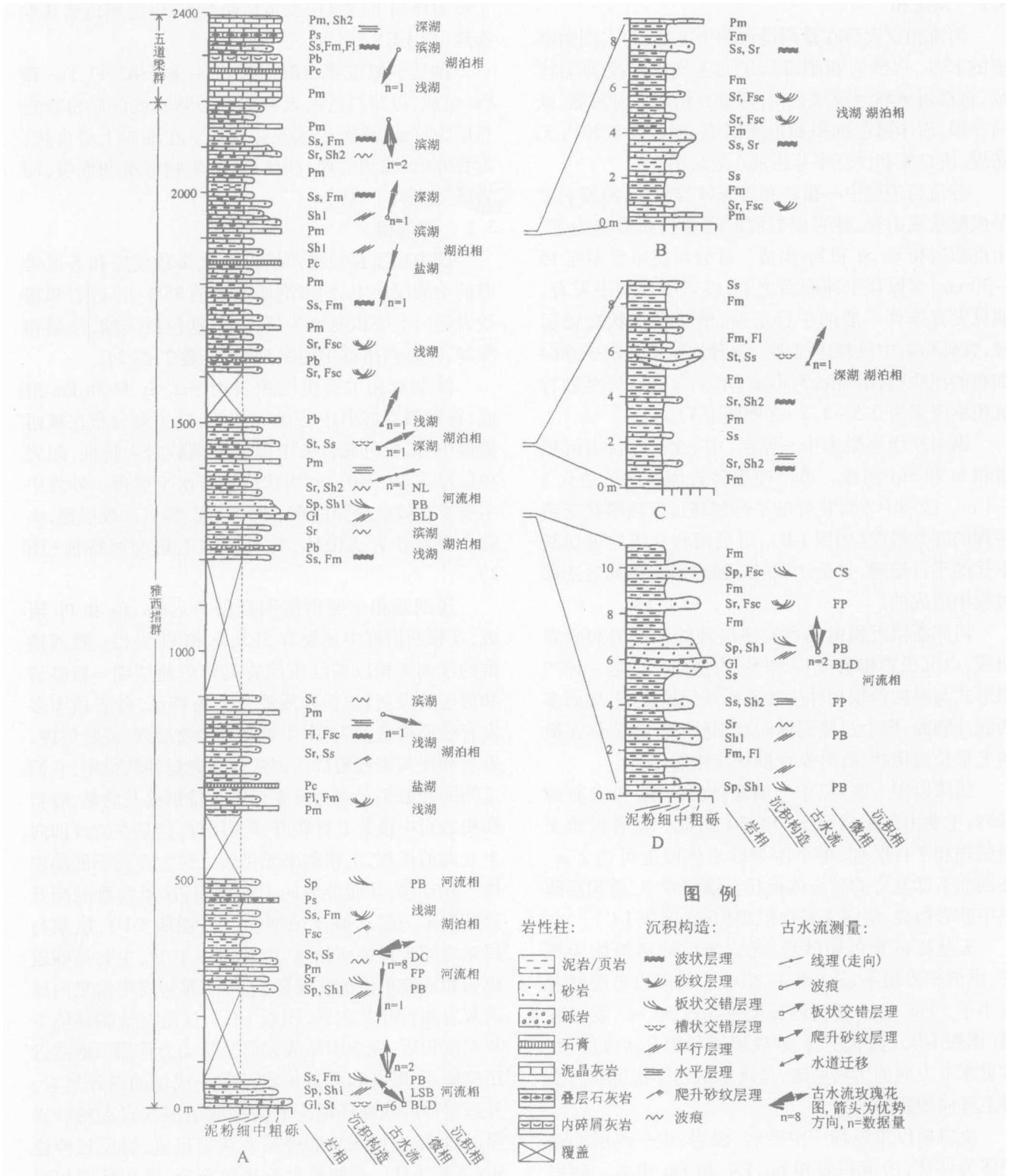


图 2 沱沱河盆地渐新世雅西措群和中新世五道梁群实测剖面的沉积相分析

沉积岩相符号及其解释见表 1, 沉积相组合和微相解释见表 2, 剖面位置见图 1

Fig 2 Sedimentary facies analysis of the Oligocene Yaxicuo Group and Miocene Wudao liang Group from measured sections in the Tuotuohe Basin

3.1 河流相

河流相仅发育在雅西措群的中下部,约占剖面厚度的 15%,以砂岩和细砾岩层向上变细和变薄为特征,包括河道和河漫滩亚相,河道亚相由分流河道、纵向沙坝、河床滞留沉积和边滩组成,河漫滩亚相由天然堤、决口扇和洪泛平原组成(表 2,图 2)。

分流河道以中—粗粒和含砾砂岩为主,地貌上多形成陡坎或山脊,砂岩以岩屑砂岩和长石砂岩为主,由沉积岩相 S_s 、 S_r 和 S_p 组成。砂岩单层厚度多在 15 ~ 30 cm,多保存于冲刷面之上,砂岩中层理不发育,偶见发育条件一般的平行层理、槽状和板状交错层理,含砾砂岩中见粒序层理。这种地貌单元缺少垂向加积的泥质物,由辫状河形成,单个含砾砂岩至砂岩沉积旋回多为 0.5 ~ 1.2 m (图版 1A)。

纵向沙坝主要为中—厚层、中—细砂岩,由沉积岩相 S_r 和 Sh_1 组成。单个沙坝砂岩体厚度可达 0.5 ~ 1 m。沙坝中发育良好的平行层理过渡到槽状交错层理的完整层序(图版 1B),可见槽状交错层理切割下伏的平行层理,它是沙坝向下游或斜交主河道迁移过程中形成的。

河床滞留沉积由发育粒序层理的细砾岩和砂岩组成,以沉积岩相组合 G_1 和 S_s 为特征。这是一种产出形式与纵向沙坝相伴生的砂砾质河床沉积,底面多为底冲刷面,向上过渡到纵向沙坝砂岩。砾岩体在横向上呈长透镜状,有时发育槽状交错层理。

边滩以中—厚层、中—细粒砂岩为主,可含有细砾岩,主要由沉积岩相 S_p 和 Sh_1 组成。发育板状交错层理和平行层理,单个沙坝砂岩体厚度可达 2 m。在剖面下部发育的砂岩体板状交错层理中,前积层薄层中砂岩构成,层间无粒序层理构造(图版 1C)。

天然堤以紫色粉砂岩、泥岩薄层或透镜体为特征,由沉积岩相 S_r 、 Sh_1 和 F_1 组成。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(图版 1D)、波状层理、砂纹层理和爬升沙纹层理,常见水平方向的生物遗迹,是洪水期越岸水流在河漫滩上垂向加积的产物。

决口扇以紫色粉—中砂岩、泥岩,中—薄层或透镜体为特征,由沉积岩相 S_p 、 F_{sc} 和 F_m 组成。砂岩单层大于 20 cm,发育板状交错层理、细纹理,底部为冲刷和充填构造,是发洪水时过量的洪水冲决天然堤,在天然堤靠近洪泛平原一侧的斜坡上形成。决口扇沉积由于沉积速度快,容易使下伏沙层在未固结的状态下发生同生变形作用,如形成包卷层理,这是由

于重力作用下沙纹层发生挠曲变形,但层理仍然基本连续(图 1E)。

洪泛平原主要由沉积岩相 S_s 、 S_r 、 Sh_2 、 F_1 、 F_{sc} 和 P_m 组成,以紫红色泥岩夹薄层粉砂岩或泥质粉砂岩互层为特征,并夹少量泥晶灰岩。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,泥岩厚度多大于 30 cm。

3.2 湖泊相

湖泊相发育在雅西措群在大多数层序和五道梁群的全部层序中,约占剖面厚度的 85%,以砂岩和粉砂岩层向上变粗变厚为特征,分别包括滨湖、浅湖和深湖,在雅西措群中还发育盐湖(表 2,图 2)。

滨湖亚相主要由沉积岩相 Sh_2 、 S_s 、 F_1 和 F_m 组成,在雅西措群中还见有 S_r 岩相,并主要分布在雅西措群中,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,具有下细上粗旋回特征(图 2)。

浅湖亚相主要由沉积岩相 F_{cs} 、 P_m 、 P_s 和 P_b 组成,在雅西措群中还发育 Sh_2 、 S_r 和 F_1 岩相。雅西措群的浅湖亚相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,这是在波纹即向上又向前迁移,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,这里发育的爬升沙纹层多为迎水坡侵蚀型(A型,图版 1F),层系与层系之间为侵蚀面相隔,爬升角小于 7° ;主要是砂质碎屑和底流形成的浅湖环境^[19]。泥灰岩中常见内碎屑灰岩和竹叶状灰岩(图版 1G),这是在浅湖环境下灰泥沉积后、完全固结成岩前又受动力作用原地或近距离搬运、磨圆和分选形成的单一成份的内碎屑岩。五道梁群的浅湖环境主要由中薄层泥灰岩夹粉砂岩至泥岩、内碎屑灰岩和叠层石灰岩组成,岩层延伸稳定(图版 1H),是陆源供给比较充分、沉积环境相对稳定的沉积环境。

深湖亚相主要由沉积岩相 Sh_2 和 P_m 组成,在雅西措群还发育 G_1 和 F_1 岩相,但在实测剖面中分布较少(图 2)。雅西措群的深湖亚相主要表现为湖底水道层序,并见有少量灰黑色结晶灰岩沉积。湖底水道

是物源区构造相对活跃、向湖泊提供阵发性水流的结果;而结晶灰岩是沉积环境非常稳定时期的灰泥沉积产物。五道梁群的深湖亚相主要表现为薄层泥灰岩沉积。

盐湖亚相主要由沉积岩相 P 和 Fm 组成,仅分布在雅西措群层序中,以薄层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。石膏岩以薄层状形成产出,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。

3.3 沉积环境演化

由上述雅西措群和五道梁群沉积相分析可以看出,在早渐新世至早中新世 31.3~21.8 Ma 期间,沱沱河盆地沉积环境经历了 3 个阶段的重要演化,同时古水流方向也发生了转变(图 2)。雅西措群发育的早期(0~500 m,渐新世早期)以河流环境为主,古水流以北向为主,并含短期的浅湖环境,反映当时的气候比较干燥。在渐新世中晚期(500~1700 m),雅西措群的沉积环境转为以湖泊为主,夹有短期河流沉积环境,古水流以东北向为主,层序中时常夹有内碎屑灰岩和叠层石灰岩薄层,说明该时期气候相对温暖潮湿。渐新世晚期至早中新世时期(1700~2400 m),整个盆地的沉积环境保持在湖泊环境,古水流转为南向,但沉积岩性由雅西措群顶部的砂泥岩互层夹泥灰岩薄层转为以泥灰岩为主的五道梁群,这段时期还发育短期的盐湖沉积,说明当时的古气候环境由温暖潮湿转为干燥,物源区发生重大转变,构造活动趋于稳定。其中,渐新世/中新世界线位于雅西措群/五道梁群岩性分界处,磁性地层的年龄为 23.8 Ma,表明沱沱河盆地的该期气候和构造活动可能与全球早中新世变冷事件^[20]和青藏高原隆升与亚洲沙漠化^[21]都有密切联系,显示沱沱河盆地对于研究青藏高原早期隆升历史和全球气候变化都有重要意义。

4 主要结论

青藏高原沱沱河盆地渐新世雅西措群为紫红色、砖红色砂岩、粉砂岩与泥岩韵律互层,夹薄层泥灰岩和石膏薄层,局部夹少量细砾岩和薄层内碎屑灰岩和层纹石灰岩,厚约 200 m,沉积环境由河流和湖泊环境组成,并以湖泊环境为主。早中新世五道梁群为一套内陆湖泊相泥灰岩、内碎屑灰岩和叠层石灰岩沉积,并以中薄层泥灰岩为主,发育少量滨湖砂岩沉积,

厚约 200 m。沱沱河盆地渐新—中新世沉积环境经历了 3 个阶段的演化:(1)早渐新世,以河流环境为主,古水流以北向为主,发育短期的浅湖环境,反映古气候条件比较干燥;(2)中晚渐新世,以湖泊环境为主,夹有短期河流环境,古水流以东北向为主,古气候条件相对温暖潮湿;(3)晚渐新世至早中新世,主要为湖泊环境,发育短期盐湖环境,古水流转为南向,沉积岩性由雅西措群顶部的砂泥岩互层为主转变为五道梁群的泥灰岩为主,反映当时的物源区发生重大转变,构造活动趋于稳定,古气候条件由温暖潮湿转为干燥。

拓守廷、白宪洲、李勇教授参加野外工作,借此表示谢忱。

参考文献 (References)

- 1 Tapponnier P, Xu Z, Roger F, *et al* Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau Science, 2001, 294: 1671~1677
- 2 Liu Z, Wang C. Facies analysis and depositional systems of Cenozoic sediments in the Hoh Xil basin, northern Tibet Sedimentary Geology, 2001, 140: 251~270
- 3 Liu Z, Zhao X, Wang C, *et al* Magnetostratigraphy of Tertiary sediments from the Hoh Xil Basin: implications for the Cenozoic tectonic history of the Tibetan plateau Geophysical Journal International, 2003, 154: 233~252
- 4 Liu Z, Wang C, Yi H. Evolution and mass-balance in the Cenozoic Hoh Xil basin, northern Tibet Journal of Sedimentary Research, 2001, 71: 971~984
- 5 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.地质学报,2001,75(2):250~258 [Liu Zhifei, Wang Chengshan, Yi Haisheng, *et al* Reconstruction of depositional history of the Cenozoic Hoh Xil Basin Acta Geologica Sinica, 2001, 75(2): 250~258]
- 6 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.见: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 Zhifei, Wang Chengshan, Yi Haisheng, *et al* Early Cenozoic subsidence history of the Hoh Xil Basin in the northern Qinghai-Tibetan Plateau In: Chen Yuchuan, ed., Academic Papers of 80th Anniversary of the Geological Society of China Beijing: Geological Publishing House, 2002 111~119]
- 7 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.沉积学报,2001,19(1):28~36 [Liu Zhifei, Wang Chengshan Depositional environment of the Tertiary Fenghuoshan Group in the Hoh Xil Basin, Northern Tibetan Plateau Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(1): 28~36]
- 8 刘志飞, Lachlan K Stewart 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.沉积学报,2002,20(2):354~358 [Liu Zhifei, Stewart Lachlan

- K A software tool for graphically displaying and comparing paleocurrent data (PC99): an example utilizing paleocurrent data of the Cenozoic HohXil Basin, northern Tibet Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(2): 354 ~ 358]
- 9 Wang C, Liu Z, Yi H, *et al* Tertiary crustal shortening and denudation in the Hoh Xil region: implications for the tectonic history of the northern Tibetan plateau Journal of Asian Earth Sciences, 2002, 20: 211 ~ 223
- 10 Liu Z, Wang C, Zhao X, *et al* Oligo-Miocene evolution of the Tuotuohe Basin (headwaters of the Yangtze River) and its significance for the uplift history of the central Tibetan Plateau Abstracts of the 19th Himalaya-Karakoram-Tibet Workshop, 2004, Niseko, Japan Himalayan Journal of Sciences, 2004, 2: 201
- 11 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志. 北京:地质出版社, 1991. 1 ~ 662 [Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Regional Geology of Qinghai Beijing: Geological Publishing House 1991. 1 ~ 662]
- 12 青海省地质矿产局. 青海省岩石地层. 武汉:中国地质大学出版社, 1997. 287 ~ 292 [Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Stratigraphy (Lithostratic) of Qinghai Province. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997. 287 ~ 292]
- 13 刘志飞, 王成善. 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. 沉积学报, 2000, 18 (3): 355 ~ 361 [Liu Zhifei, Wang Chengshan. Depositional environment and paleoclimatic significance of the Early Oligocene Yaxicuo Group in the Hoh Xil Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18 (3): 355 ~ 361]
- 14 Liu Z, Wang C, Trentesaux A, *et al* Paleoclimate changes during early Oligocene in the Hoh Xil region, northern Tibetan Plateau Acta Geologica Sinica, 2003, 77 (4): 504 ~ 513
- 15 Liu Z, Wang C. Oil shale in the Tertiary Hoh Xil Basin, northern Qinghai-Tibet Plateau AAPG Bulletin, 1999, 83: 1890
- 16 Cande S C, Kent D V. Revised calibration of the geomagnetic polarity time-scale for the Late Cretaceous and Cenozoic Journal of Geophysical Research, 1995, 100: 6093 ~ 6095
- 17 Miall A D. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In: Miall A D. Fluvial Sedimentology. Can Soc Petro Geol Mem 5, 1978. 597 ~ 604
- 18 Miall A D. Principles of sedimentary basin analysis New York: Springer-Verlag, 1984. 1 ~ 668
- 19 刘志飞, 王成善, 金玮. 可可西里盆地早渐新世雅西措群爬升沙纹层理及其沉积环境意义. 沉积学报, 2004, 22 (4): 560 ~ 565 [Liu Zhifei, Wang Chengshan, Jin Wei Climbing-ripple cross-lamination of the Early Oligocene Yaxicuo Group in the Hoh Xil Basin and its significance for depositional environment Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22 (4): 560 ~ 565]
- 20 Zachos J, Pagani M, Sloan L. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present Science, 2001, 292: 686 ~ 693
- 21 Guo Z T, Ruddiman W F, Hao Q Z, *et al* Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China Nature, 2002, 416: 159 ~ 163

Oligo-Miocene Depositional Environment of the Tuotuohe Basin, Central Tibetan Plateau

LU Zhi-fei¹ WANG Cheng-shan² JIN Wei³ YI Hai-sheng³ ZHENG Hong-bo¹
ZHAO Xi-xi⁴ LI Ya-lin³

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

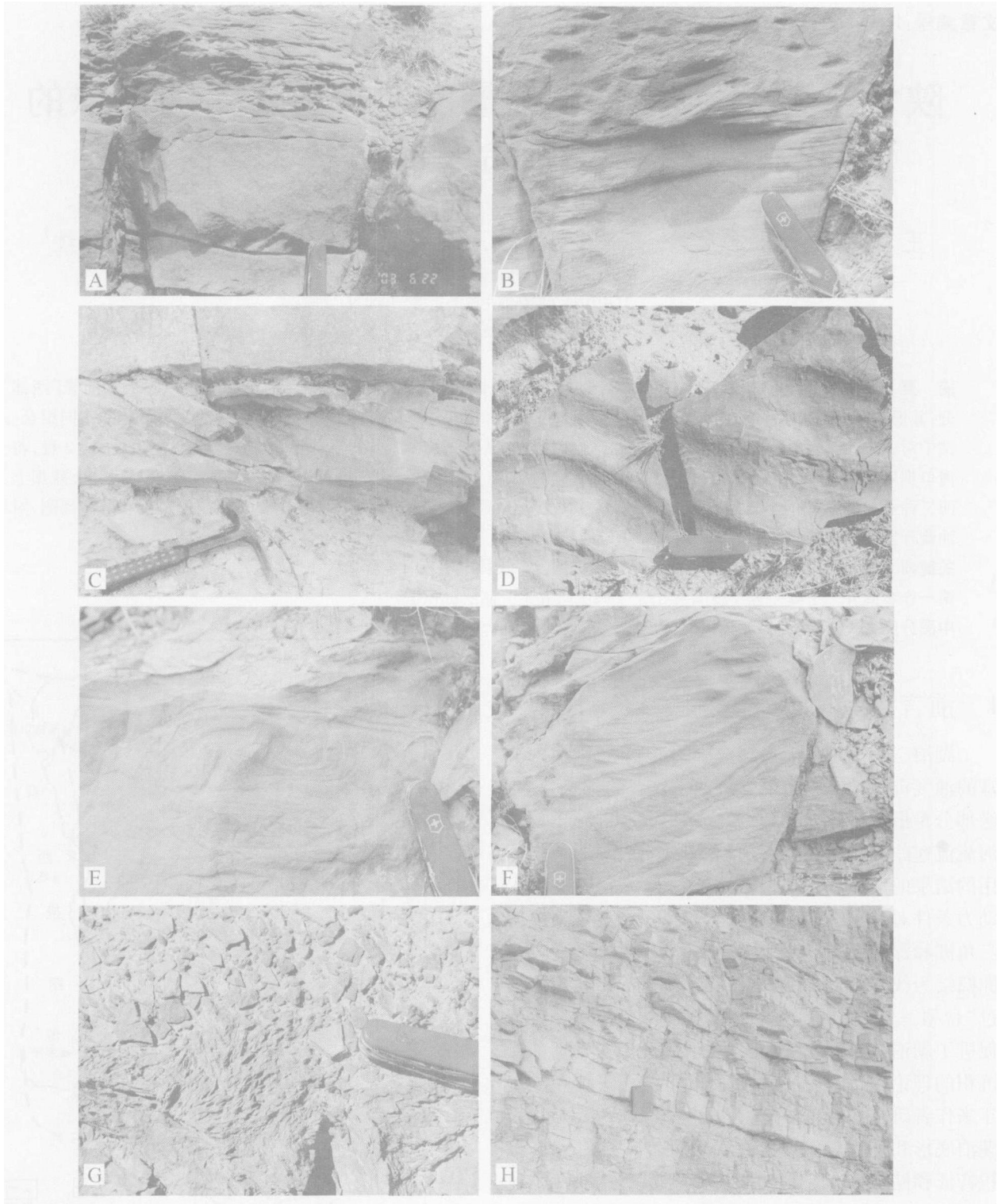
²(School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083)

³(Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

⁴(Institute of Tectonics and Earth Sciences Department, University of California, Santa Cruz, CA 95064, USA)

Abstract A continuous sedimentary record throughout Oligocene to Miocene was discovered in the Tuotuohe Basin and is considered as the most integrated Oligo-Miocene record within the Tibetan Plateau, observed so far. The record includes the Oligocene Yaxicuo Group (31.3-23.8 Ma) and the Early Miocene Wudaoliang Group (31.3-23.8 Ma) with a total thickness of 2393 m. The Yaxicuo Group consists mainly of violet and reddish brown, alternating sandstone, siltstone, and mudstone. The Wudaoliang Group consists of lacustrine marl, intramicrite, and stromatolitic limestone. The Oligo-Miocene evolution of depositional environment of the Tuotuohe Basin underwent three periods: (1) early Oligocene, mainly fluvial environment with mainly northward paleocurrent and arid paleoclimate; (2) middle-late Oligocene, mainly lacustrine environment with mainly northeastward paleocurrent and warm and humid paleoclimate; (3) latest Oligocene to early Miocene, lacustrine environment with southward paleocurrent. During the third period, the lithology changed from alternating sandstone and mudstone of the upper Yaxicuo Group to mainly marl of the Wudaoliang Group, suggesting the significant shift of sediment provenance, the stable trending of tectonic movement, and the aridity of paleoclimate condition. The Oligo-Miocene paleoclimate and tectonic evolution of the Tuotuohe Basin has displayed its significance for understanding the early uplift of the Tibetan Plateau and the global climate change.

Key words depositional environment, Yaxicuo Group, Wudaoliang Group, Oligo-Miocene, Tuotuohe Basin, Tibetan Plateau



图版 1 说明: A. 雅西措群紫红色含砾砂岩至砂岩沉积旋回,下部粗砂岩中发育粒序层理,上部细砂岩中发育交错层理,为辫状河分流河道沉积产物; B. 雅西措群紫红色粗砂岩中发育的平行层理和槽状交错层理,可见平行层理过渡到槽状交错层理的完整层序,是纵向沙坝成因的典型层序; C. 雅西措群紫色中细砂岩中发育的板状交错层理,前积层由薄层中砂岩构成,为边滩的沉积成因; D. 雅西措群紫红色细砂岩中发育的曲线脊单向流水波痕构造; E. 雅西措群砖红色细至粉砂岩中发育的包卷层理,是由于重力作用下沙纹层发生挠曲变形成因; F. 雅西措群紫红色细砂岩中发育的迎水坡侵蚀型爬升沙纹层理,主要形成于砂质碎屑和底流形成的浅湖环境; G. 雅西措群灰色竹叶状灰岩,是在浅湖环境下灰泥沉积后、完全固结成岩前受到再搬运、磨圆和分选形成; H. 五道梁群灰色中薄层泥灰岩层。图版中比例尺:小刀长 9 cm,地质锤长 28 cm,记录本长 20 cm。