



“三江”北段沱沱河盆地古近纪—新近纪沉积格架与盆地演化分析

刘燕学¹, 王光辉², 江小均¹, 侯增谦¹, 李政³, 宋玉财¹, 王晓虎¹

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 中国地质调查局西安地质调查中心, 西安 710054; 3. 国土资源部信息中心, 北京 100812)

摘要:通过对青藏高原腹地沱沱河盆地古近纪—新近纪沉积序列、区域不整合面、岩性特点及分布特征等的分析研究,认为沱沱河盆地古近纪—新近纪沉积由下而上可分为沱沱河组、雅西措组、五道梁组和曲果组4个向上变浅序列,构成两个完整的陆相造山磨拉石建造序列。盆地分析表明,古近纪—新近纪沱沱河盆地经历了前陆盆地演化阶段(56.5~45.0 Ma)→走滑拉分盆地阶段(45.0~30.0 Ma)→整体抬升,山间残留盆地阶段(23.5~16.0 Ma)→前陆盆地—局限盆地—山间残留盆地阶段(16~2.6? Ma)等阶段。根据构造岩相古地理的演化史认为,在雅西措组沉积早期,大约在45 Ma左右,区域大地构造背景发生了大的转换,由区域挤压增厚阶段转变为以板块间的侧向走滑作用为主,由此进入陆内板块汇聚演化阶段。从沱沱河盆地古近纪—新近纪的沉积演化来看,印度板块与欧亚板块的碰撞是脉动性的,整个古近纪—新近纪的沉积中4个区域不整合面和2个磨拉石建造序列是脉动造山过程的沉积响应,初始碰撞可能发生在白垩纪与古近纪之交,时间在56.5 Ma之前。

关键词:沱沱河盆地, 青藏高原, 古近纪—新近纪, 沉积格架, 盆地演化

中图分类号: P512.2; P534.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2011)03-0381-10

An analysis of Paleogene-Neogene sedimentary framework and basin evolution of Tuotuohe basin in the northern segment of the Sanjiang region

LIU Yan-xue¹, WANG Guang-hui², JIANG Xiao-jun¹, HOU Zeng-qian¹, LI Zheng³, SONG Yu-cai¹ and WANG Xiao-hu¹

(1. Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China; 2. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, China; 3. Information Center, Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China)

Abstract: Based on an analysis of sedimentary sequence, regional unconformity, lithologic character and distribution of Paleogene-Neogene sediments, the authors hold that the Paleogene-Neogene sediments can be divided into four upward-shallowing sequences of Tuotuohe Formation, Yaxicuo Formation, Wudaoliang Formation and Quguo Formation, which constitute two complete continental orogenic molasses formation sequences. Basin analysis shows that the Paleogene-Neogene Tuotuohe basin has experienced such evolutionary stages as foreland basin evolution stage (56.5~45.0 Ma)→strike-slip pull-apart basin stage(45.0~30.0 Ma)→overall uplift and intermountain residual basin stage (23.5~16.0 Ma)→foreland basin-confined basin-intermountain residual basin stage (16~2.6? Ma). According to tectonic, lithofacies and paleogeographic evolution, it is considered that at the early stage of the deposition of Yaxicuo Formation (45 Ma or so), regional geotectonic background experienced remarkable transformation from the regional compression-thickening stage to the domination of inter-plate lateral strike-slip action, thus entering into the intracontinental plate convergence evolution stage. Viewed from Paleogene-Neogene sedimentary evolution of the Tuotuohe basin, the collision between the Indian plate and the Eurasian plate was of pulsation nature, the four regional surfaces of unconformity and two molasses formation

收稿日期: 2011-03-22; 修订日期: 2011-04-13

基金项目: 国家科技支撑项目(2006BAB01A08) 中国地质调查局大地调查资助项目(1212010818096)

作者简介: 刘燕学(1964-), 男, 研究员, 沉积学专业, 主要从事沉积及盆地分析研究, E-mail: lyxue@sohu.com

sequences in the whole Paleogene-Neogene sedimentation seemed to be sedimentary response to pulsating orogenic process, and the initial collision probably took place at the time when Cretaceous changed into Paleogene before 56.5 Ma.

Key words: Tuotuohe basin; Qinghai-Tibet plateau; Paleogene-Neogene; sedimentary framework; basin evolution

青藏高原被称为地球的“第三极”,其形成与隆升过程及其对全球气候变化的影响备受国内外学者的普遍关注。已有研究主要集中在对青藏高原周边及邻近的海洋和陆相盆地上,多通过周边地区而不是高原本身来研究高原的隆升机制(Copeland, 1997)。前人对研究区新生代地层、火山岩做了大量的工作,张以弗等(1994)对可可西里盆地的地层、岩浆作用和构造演化进行了研究和探讨;刘志飞等(2000, 2001a, 2001b)、王成善等(2004)研究了可可西里盆地的磁性年代地层学,并进行了古地理环境的研究和重建;谭富文等(2000)、刘燊等(2001)对研究区火山岩的地球化学特征、大地构造背景进行了讨论;Blisniuk等(2001)、李金冬等(2004)、吴珍汉等(2009)、李勇等(2006)利用不同实验手段对研究区新生代地层进行了年龄限定,这些成果为后续研究打下了坚实的基础。

青海省区调队(1989)^①依据岩性、古生物学资料将出露于测区的古近纪-新近纪地层体按时代划分为古-始新统(E_{1-2})、渐新统(E_3)和中新统(N_1),并根据测区内阿布日阿加宰一带的古-新近纪实测剖面,建立了沱沱河群、雅西措群两个群。青海省区调队(1989)^②将五道梁附近的中新统(N_1)命名为五道梁群,并被1:20万沱沱河、章岗日松幅所引用,将出露于测区查香结德一带的上新统(N_2)命名为曲果组。青海省地质矿产局(1997)统一改群为组。

沉积盆地中的充填物不仅详细记载了沉积盆地的形成与演化历史,同时也系统记录了与其相邻造山带的构造演化过程,有很高的研究价值。鉴于此,笔者在过去的4年中开展了高原腹地沱沱河盆地古近纪—新近纪沉积与盆地性质演化的相关性研究。初步成果表明,盆地的演化对于反演青藏高原早期隆升和地壳缩短具有重要作用。

1 地质背景

沱沱河盆地位于羌塘地块的北部,北界为金沙

江缝合带的南缘,南至唐古拉山北坡山前断裂,东至东经 $94^{\circ}30'$,西界为沱沱河大拐弯处,青藏公路横穿研究区。新生代盆地基底由上古生界和中生界构成,除上白垩统为陆相地层外,其余地层基本上为海相地层,其中包含着两个区域性不整合面,一个位于上古生界和中生界之间,缺失下、中三叠统,上三叠统以角度不整合或平行不整合覆盖在上古生界不同层位之上;第二个区域不整合位于侏罗系与白垩系之间,缺失下白垩统,上白垩统以角度不整合覆盖在前白垩纪地层之上。上古生界主要为海相碎屑岩与海相碳酸盐岩交互出现为主,下部海相碎屑岩中夹岛弧型玄武质安山岩和玄武岩;三叠系和侏罗系同样以海相碎屑岩与海相碳酸盐岩交互出现为主,晚三叠世早期以岛弧型玄武质安山岩、安山岩和玄武岩为主。上述地层大致以沱沱河为界,呈双向对冲叠瓦状逆冲推覆体出现在新生代盆地内部(图1)。

由于白垩纪早期班公湖-怒江大洋型岛弧双向俯冲,拉萨地块完全拼合到羌塘地块,受到巴颜喀拉地块(包括金沙江缝合带)的阻挡,唐古拉山隆起,羌塘地块整体抬升,结束了海相沉积,晚白垩世开始接受陆相沉积。盆地构造的特点,大致以沱沱河为界,北羌塘形成了大量双向叠瓦状的冲断带,以发育密集逆冲断层为特点,奠定了沱沱河盆地新生代的区域构造格局。

盆地内的新生代地层自下而上包括沱沱河组、雅西措组、五道梁组和角度不整合上覆的曲果组、第四系,以陆相的冲洪积扇、湖相砂泥互层和干旱盐湖相膏岩层沉积为主。沱沱河组和雅西措组中发育一系列走向NWW的逆冲断层和褶皱,野外观察上覆的五道梁组仅发育很弱的后期变形作用,为角度一般小于 30° 的单斜构造,两者之间可能存在着沉积间断。研究表明古近纪—新近纪沉积经历的强烈后期变形作用主要发生在雅西措组沉积之后、五道梁组沉积之前。曲果组可能为另外一期构造运动的产物(图1)。

① 青海省区调综合地质大队, 1989. 1:20万沱沱河幅、章岗日松幅区域地质调查报告(地质部分)。

② 青海省区调综合地质大队, 1989. 1:20万错仁德加、五道梁幅区域地质调查报告(地质部分)。

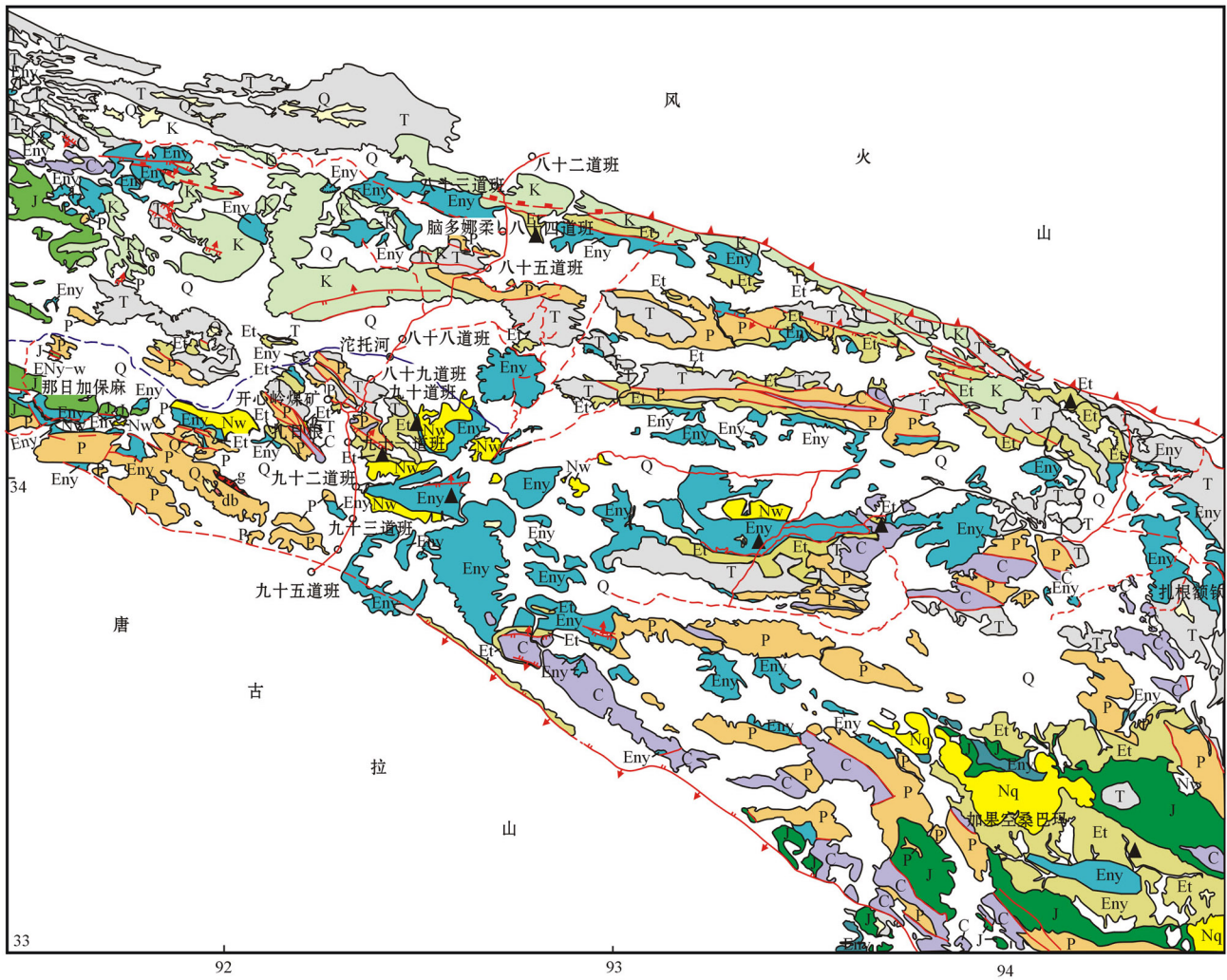


图1 沱沱河盆地地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Tuotuohe basin

2 新生代地层格架

大约在中生代末和新生代初期,由于印度板块向欧亚板块俯冲,其远源效应造成羌塘地块大面积前古近纪地层褶皱和近东西逆冲断裂的形成,同时造成古近纪地层与下伏地层形成区域高角度不整合。沱沱河组、雅西措组为连续沉积,五道梁组与下伏雅西措组和上覆曲果组均为角度不整合接触。第四纪沉积物以高角度不整合覆盖在前第四纪所有地层之上。

2.1 沱沱河组

新生代初期沱沱河盆地沉积的沱沱河组与下伏地层为高角度不整合接触,具有明显的二分结构,发

育从细到粗的演化序列。沱沱河组下部为紫红色、砖红色浅湖相中薄层细砂岩、粗粉砂岩与细粉砂岩、粉砂质泥岩互层沉积;上部主要为山前冲洪积扇相的紫红色厚层复成分砾岩、中薄层砂砾岩沉积。野外统计显示,沱沱河组上部砾岩层序中,主要发育扇根亚相,其砾石成分与相邻的逆冲推覆体地层的岩性密切相关,在开心岭阿布日阿加宰剖面,砾石成分以灰岩和砂岩为主,安山岩为辅,砂岩占80%,灰岩占15%,安山岩占5%,主要来自于开心岭地区的二叠纪—三叠纪地层及晚白垩世风火山群,单层厚度一般为2.5~10 m;常见泥石流微相,厚度一般大于5 m,其中漂砾大小不一,最大者达0.5 m,以棱角状或次棱角状为主,基质支撑。在曲柔杂卡剖面,砾石主要为灰岩,占80%左右,次之为砂岩、火山岩,砂岩

砾石占15%,火山岩占5%,主要来自于三叠纪波里拉组,单层厚度一般为1~5 m,颗粒支撑为主,基质支撑为辅。索家乡南剖面的砾石全部为灰岩,来自石炭纪杂多群上部灰岩段,单层厚度一般为1~3 m(图2、图3a、3b、3c)。

2.2 雅西措组

雅西措组沉积早期形成了含泥灰岩的深-半深湖相沉积,沉积作用遍布整个盆地,向北可达昆仑山南缘,向南至唐古拉山北缘,为一近南北向宽缓大湖。雅西措组与下伏沱沱河组整合接触,其下部以深湖-半深湖相的灰绿色、灰白色细砂岩、泥岩和泥灰岩组成互层,夹砾质辫状河沉积;中部以紫红色、砖红色砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩组成的韵律为主,夹有辫状河三角洲相的河心滩微相、砂坝相的粗砂岩;上部为滨浅湖相中、薄层的中、细砂岩为主,夹小型河道细砾岩沉积。镜下观察,雅西措组砂岩颗粒以石英为主,占40%~90%,碳酸盐岩屑10%~20%,长石含量0~20%,砂岩分选一般,杂基含量较高,颗粒磨圆度很差,以次棱角状、棱角状为主,钙、泥质胶结,为杂砂岩或正常砂岩沉积,显示近源沉积的特点(图2、图3d、3e、3f、3g)。

2.3 五道梁组

五道梁组可能与下伏地层存在着小角度或平行不整合,在开心岭阿布日阿加宰剖面,雅西措组与五道梁组接触部位由于覆盖没有直接接触关系,但雅西措组顶部砂岩的产状为 $90^{\circ}/30^{\circ}$,五道梁组底部地层产状为 $70^{\circ}/49^{\circ}$;在布玛浪纳剖面,雅西措组顶部砂岩的产状为 $181^{\circ}/64^{\circ}$,五道梁组底部地层产状为 $204^{\circ}/46^{\circ}$;在茶曲帕查北部冲沟剖面,两者在接触部位地层近直立,向两侧地层产状逐渐变缓。更直接的证据是沱沱河组和雅西措组地层均发生了褶皱,而五道梁组只发育倾角小于 30° 的单斜构造,没有发生褶皱,表明五道梁组沉积之前发生过构造运动,二者之间存在着沉积间断,而不是以往认为的整合接触,连续沉积,这与刘志飞等(2000)通过古地磁研究得到的结果一致。其下部以浅湖相的灰绿色薄层钙质细砂岩、粉砂岩、泥灰岩为主,上部为干旱盐湖相紫红色的粉砂质泥岩和厚度不等的石膏层。镜下观察,泥灰岩中常含棱角状石英、长石等颗粒和生物碎屑,砂岩分选一般,杂基含量较高,颗粒磨圆度很差,以次棱角状、棱角状为主,钙质胶结,同样显示近源沉积的特点;其上部石膏沉积可分为无序和有序沉积两类(图2、图3h、3i)。

2.4 曲果组

曲果组主要分布在沱沱河盆地东部,以角度不整合覆盖在沱沱河组、雅西措组和五道梁组之上,三分性明显,下部为冲积扇-辫状河相的紫红色厚层复成分砾岩与中薄层砂砾岩互层;中部为砖红色细砂岩与粉砂质泥岩或粉砂岩互层,夹同沉积薄层石膏层和小型河道沉积;上部为干旱盐湖相的厚层石膏沉积。曲果组下部砾岩段主要发育扇根亚相,在索加乡西南阿聂托确剖面,砾岩占95%以上,片流沉积厚度较小,其砾石成分土黄色、灰绿色砂岩、粉砂岩占60%左右,灰岩占40%左右,其砾石以次棱角、次圆为主,普遍分选差,粒径集中在3~8 cm,最大者可达0.3 m,颗粒支撑,古流向显示物源主要来自西南方向的二叠纪、三叠纪地层,单层厚度1~3 m;莫云乡剖面砾石成分同样以杂色砂岩和灰岩,含量各自占据50%左右,以次棱角、次圆为主,分选一般,粒径集中在4~8 cm,最大者可达0.2 m,颗粒支撑,单层厚度1~3 m,古流向显示物源主要来自南边的侏罗纪地层。镜下观察,砂岩颗粒以石英为主,占80%~60%,碳酸盐岩屑10%~20%,长石含量很少,砂岩分选一般,磨圆度很差,以棱角状为主,次棱角状为辅,泥质胶结,显示近源沉积的特点(图2、图3j)。

3 沉积体系划分

3.1 冲积扇沉积体系

冲积扇沉积体系分布在沱沱河组上部和曲果组下部,主要以扇根相沉积为主,以发育复成分砾岩为主要特征,只分布在盆地内北西西向逆冲推覆体的前缘,呈带状分布。在整个层序中,砾岩占80%以上,层理不发育,呈块状构造,单层厚度大,底蚀不明显,常见以细砾和粗砂岩为主的河道沉积,这些都是冲积扇的重要特征。砾石以次棱角、次圆为主,普遍分选差,粒径集中在3~8 cm,最大者可达0.5 m,以细砾、砂和泥质胶结,以颗粒支撑为主,基质支撑为辅。片流沉积单层厚度小,一般在0.1~0.3 m之间,砾石粒径变小,砾石略显分选,磨圆较好,基质支撑。

3.2 三角洲沉积体系

三角洲沉积体系主要分布在沱沱河组下部、雅西措组和曲果组中部湖相地层中,可分为辫状河三角洲沉积和扇三角洲沉积。

辫状河三角洲沉积在上述3个组中均有发育,其发育特点是在湖相地层中发育的河道沉积,底蚀、

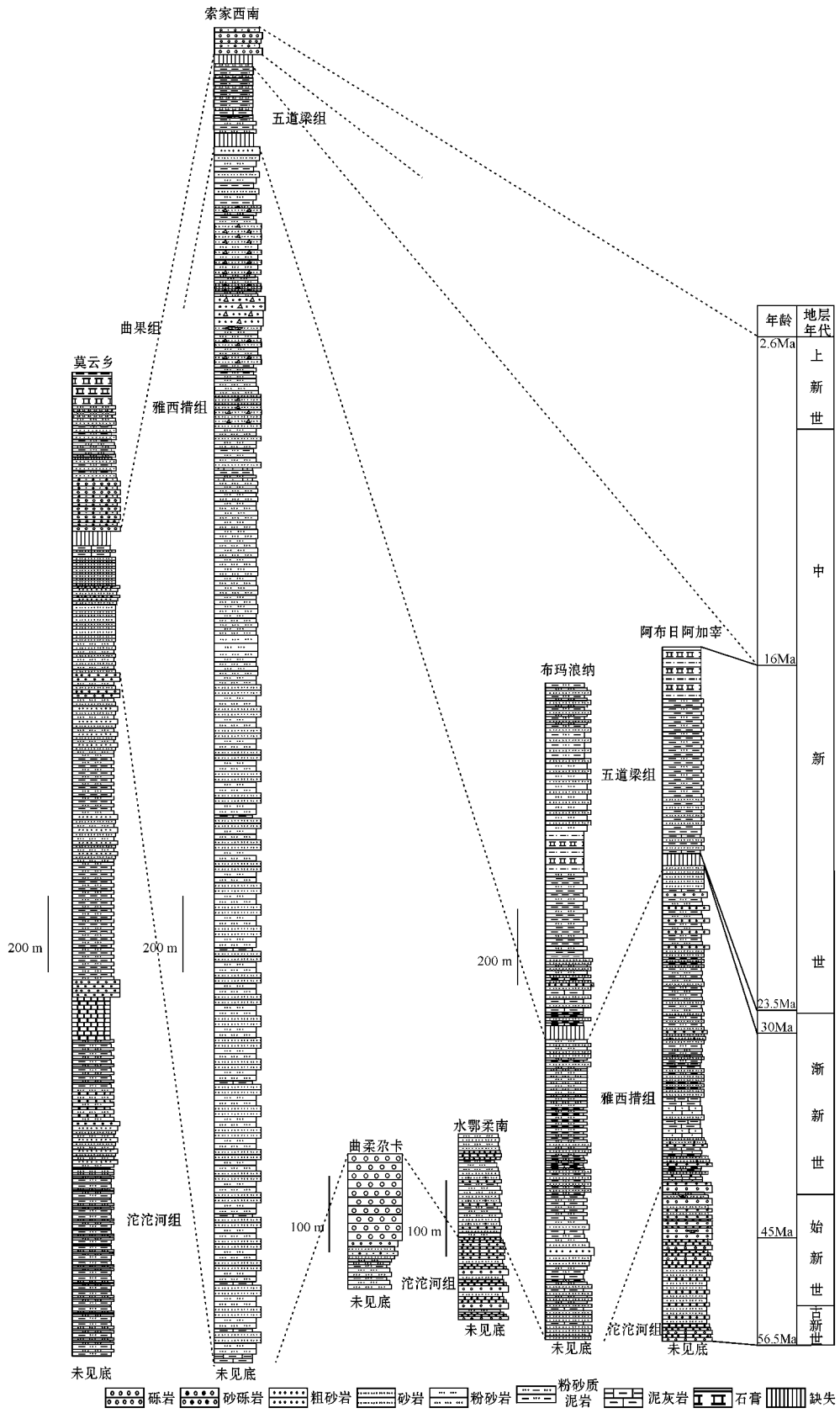


图 2 沱沱河盆地古近纪—新近纪实测剖面柱状对比图

Fig. 2 Measured column section of Paleogene-Neogene sediments in Tuotuohe basin

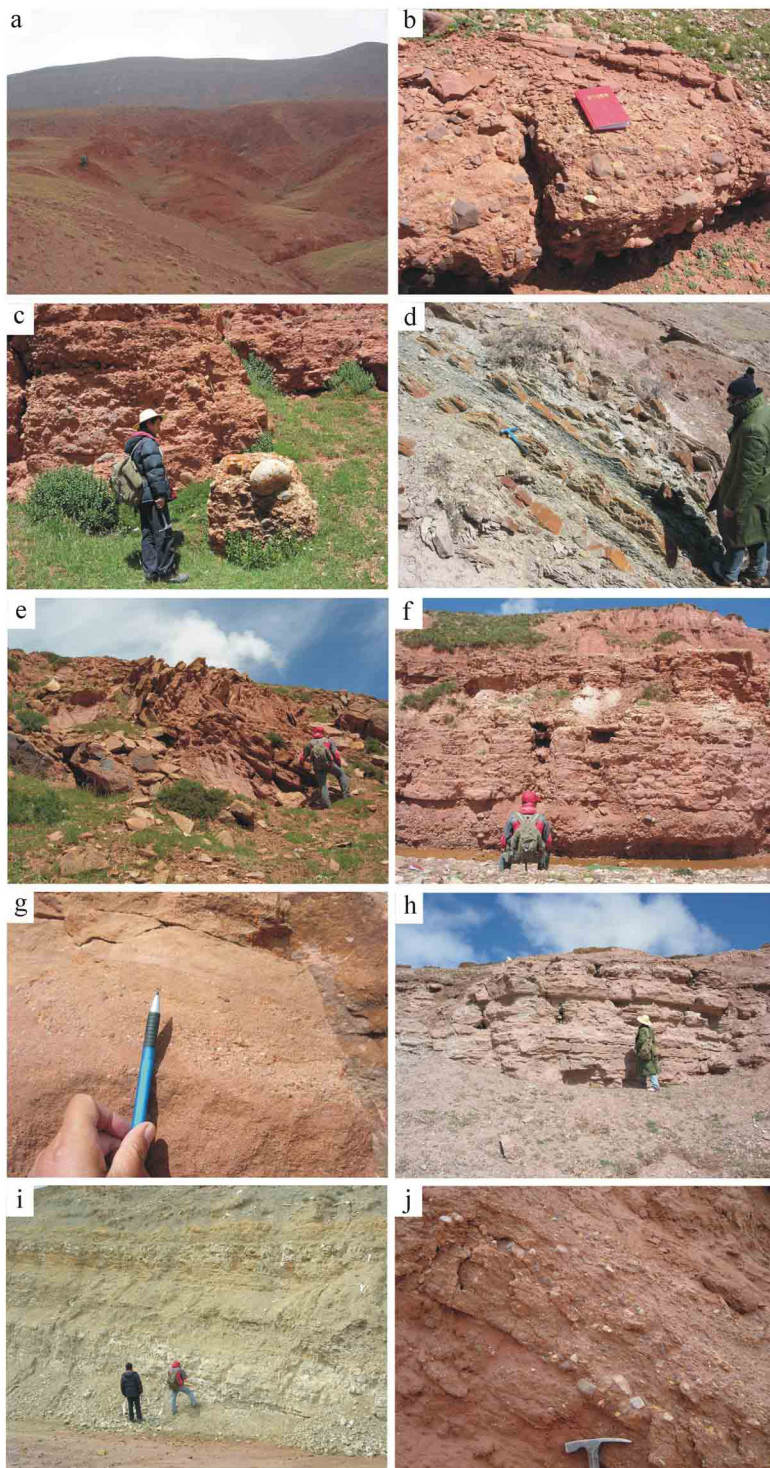


图3 沱沱河盆地古近纪-新近纪沉积特征

Fig. 3 Sedimentary characteristics of Paleogene-Neogene sediments in Tuotuohe basin

a—沱沱河组下部湖相沉积；b—沱沱河组上部冲积扇沉积；c—沱沱河组上部泥石流沉积；d—雅西措组下部半深湖相沉积；e—雅西措组中部浅湖相沉积；f—雅西措组下部扇三角洲沉积；g—雅西措组上部滨浅湖相河道沉积；h—五道梁组上部干旱高盐相沉积；i—五道梁组下部干旱盐湖相沉积；j—曲果组中部辫状河三角洲沉积

a—lacustrine deposit of lower Tuotuohe Formation; b—alluvial fan deposit of upper Tuotuohe Formation; c—mud-rock flow of upper Tuotuohe Formation; d—semi-deep lacustrine deposit of lower Yaxicuo Formation; e—shallow lacustrine deposit of middle Yaxicuo Formation; f—fan delta of lower Yaxicuo Formation; g—channel deposit of shore shallow lacustrine facies of Yaxicuo Formation; h—arid salt deposit of upper Wudaoliang Formation; i—salt lake deposit of lower Wudaoliang Formation; j—braided river delta of middle Quguo Formation

切割现象明显,常呈透镜状发育,发育典型的楔状和槽状交错层理。

扇三角洲沉积主要发育在雅西措组下部和曲果组中部,为冲积扇进入湖水中形成,由于湖水的阻力,其顶部常有类似辫状河道的向上变细的正粒序层理,砾石成分同样来自附近逆冲体。

3.3 湖泊沉积体系

湖泊沉积体系是沱沱河盆地古近纪—新近纪最主要的沉积体系,在4个组中均有发育,其中雅西措组和五道梁组均以湖相沉积为主,可分为淡水湖相沉积和干旱咸水湖相沉积。

淡水湖沉积体系主要发育在沱沱河组下部和雅西措组,其沉积特点为细砂岩、粗粉砂岩与粉砂岩、粉砂质泥岩互层沉积,少见灰岩、泥灰岩沉积。常见沉积构造为波痕构造、小型斜层理和水平层理等。

干旱咸水湖沉积主要发育在五道梁组和曲果组中上部,以出现钙质沉积和膏盐沉积为特征,由于气候干旱,湖水不能充分补给,出现 BaSO_4 的过饱和和结晶沉淀,形成了五道梁组和曲果组中上部大套的石膏层沉积。

4 沱沱河盆地性质及演化

4.1 沱沱河盆地古近纪—新近纪沉积年代学约束

对青藏高原新生代沉积地层的时代,前人开展了卓有成效的工作,取得了重要的成果。刘志飞等(2001a, 2001b)、王成善等(2004)根据磁性地层学资料,确定了可可西里盆地(包括沱沱河盆地)风火山群—雅西措组(大致相当于沱沱河组—雅西措组)形成时代为 $56.5 \sim 30.0 \text{ Ma}$,五道梁组形成时代为 $23.5 \sim 16.0 \text{ Ma}$ 。朱立东等(2004)认为五道梁组形成时限为 $23 \sim 20 \text{ Ma}$,其上石坪顶组沉积时限 $20 \sim 5.3 \text{ Ma}$ (大致相当于曲果组)。Blisniuk 等(2001)利用在双湖盆地西边界切割五道梁组构造岩中的白云母、绢云母获得 Rb-Sr 等时线年龄 $13.5 \pm 1.5 \text{ Ma}$;李金冬等(2004)在昆仑山南部木孜塔格西南蚕眉山中新世上覆玄武岩中获得全岩 K-Ar 年龄 $12.81 \pm 0.40 \text{ Ma} \sim 14.51 \pm 0.23 \text{ Ma}$ 。这些年龄资料限定了五道梁组的形成时代早于 $13.5 \pm 1.5 \text{ Ma}$ 。吴珍汉等(2009)在五道梁组下伏逆冲推覆带的断层泥中获得绿泥石 $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$ 年龄为 $26.5 \pm 2.7 \text{ Ma}$,在风火山地区五道梁组下伏花岗斑岩中获得单颗粒锆石 U-Pb 年龄 $27.6 \pm 0.50 \text{ Ma}$,黑云母与钾长石单矿物

$^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$ 年龄 28.8 Ma 。这些测年资料显示,五道梁组的形成时代不早于 26.5 Ma 。

李勇等(2006)利用砂岩中石英颗粒,通过电子自旋共振(ESR)法测得通天河地区沱沱河组的顶部年龄 44.1 Ma ,雅西措组底部年龄 43.4 Ma ,顶部年龄 31.4 Ma ;与雅西措组共生的查保玛组粗面岩中获得黑云母 K-Ar 同位素年龄分别为 $37.3 \pm 0.7 \text{ Ma}$ 和 $33 \pm 0.7 \text{ Ma}$ 。本项目在沱沱河盆地西南部那日尼亚获得与雅西措组交互沉积的查保玛组粗面岩锆石 U-Pb 年龄 38 Ma 左右(另文发表),与李勇等(2006)获得的结果基本一致。

综合上述有关同位素测年资料,可以推断沱沱河组的沉积时限大约在 $56.5 \sim 45.0 \text{ Ma}$,雅西措组形成于 $45 \sim 30.0 \text{ Ma}$,五道梁组的沉积时限为 $23.5 \sim 16.0 \text{ Ma}$,这些结果比较可信。曲果组由于资料较少,暂将其定为中新世晚期—上新世(图2)。

4.2 盆地性质及演化

盆地分析,特别是陆相盆地分析,最关键的是要正确判断砾岩的性质、成因和分布特征、区域不整合面的存在以及盆地沉积的序列及沉积粒度、沉积相序和分布特征演变,其相互变化和联系是正确进行盆地分析的重点研究内容。

在沱沱河盆地古近纪—新近纪地层中发育4个区域性角度不整合面,分别是 K/E 界线附近、雅西措组与五道梁组之间、五道梁组与曲果组之间和 N/Q 界线附近。研究区沉积建造中发育的重要不整合面完全可以和青藏高原中北部沉积盆地中的主要不整合界面对比,这些区域角度不整合面可能分别对应于青藏高原隆升与脉动造山过程。

古近纪—新近纪,沱沱河盆地发育3个主要沉积期,分别为沱沱河组和雅西措组沉积期、五道梁组沉积期和曲果组沉积期,并由区域上的角度不整合所分割,可分为沱沱河组、雅西措组、五道梁组和曲果组4个向上变浅旋回,构成两个大的磨拉石沉积建造序列(图2)。

4.2.1 第一个磨拉石建造序列($56.5 \sim 16.0 \text{ Ma}$)

第一个磨拉石沉积建造序列包括沱沱河组、雅西措组和五道梁组,发育时限大致为古近纪晚期至中新世早期。

古新世早期($>56.5 \text{ Ma}$),在沱沱河盆地目前没有发现任何沉积记录,沱沱河组与下伏地层以高角度不整合接触为主,表明盆地此时隆起为剥蚀区,存在较长时间的沉积间断。由于晚侏罗世—早白垩世

班公湖-怒江大洋型岛弧双向俯冲,拉萨地块完全拼合到羌塘地块。此时羌塘地块的隆升、缺失地层沉积,应为印度板块与欧亚板块初期碰撞的响应。

野外剖面测量显示,沱沱河组(56.5~45.0 Ma)沉积显示下细上粗、沉积相从滨浅湖到冲洪积扇向上变浅、呈带状分布在逆冲断裂的前缘、物源来自逆冲体等沉积特征,表明其沉积与逆冲断裂密切相关,并受其控制,盆地内沉积物充填序列为典型的冲断-压载-挠曲-沉降和盆地形成-沉积物堆积的前陆盆地演化过程,而前陆盆地沉积序列的出现代表了板块汇聚的开始(李锦轶,2009)。沉积物的堆积显然在压载-挠曲阶段才开始,滞后于逆冲断裂的形成,而这种特征恰能间接证明盆地直接受控于逆冲断层的形成演化,受控于印度板块与欧亚板块的相互作用(图4)。

雅西措组(45~30.0 Ma)沉积初期,从沱沱河组上部砾岩快速过渡到中深湖相的泥灰岩、粉砂质泥岩沉积,显示盆地沉积性质发生了根本性的改变,表明区域构造发生了较大的性质转换。结合盆地沉积越过金沙江断裂带向北延伸到昆仑山南缘、大湖盆呈东西向分布等特点,推断青藏高原各块体之间发生了侧向快速走滑挤出作用,在印度板块和欧亚板块的相互作用下,羌塘地块由于受到北部昆仑山以北诸地块和巴颜喀拉地块等的阻挡作用,在沱沱河盆地北缘金沙江断裂带和南部班公湖-怒江断裂带可能出现了左旋走滑作用,受此影响,雅西措组早期形成了含灰黑色泥灰岩的深-半深湖相沉积,表明在挤压过后,存在一个东西向快速走滑拉伸作用,特别是金沙江断裂带的走滑作用导致了沱沱河-可可西里近南北向裂谷,形成大湖格局。雅西措组沉积中

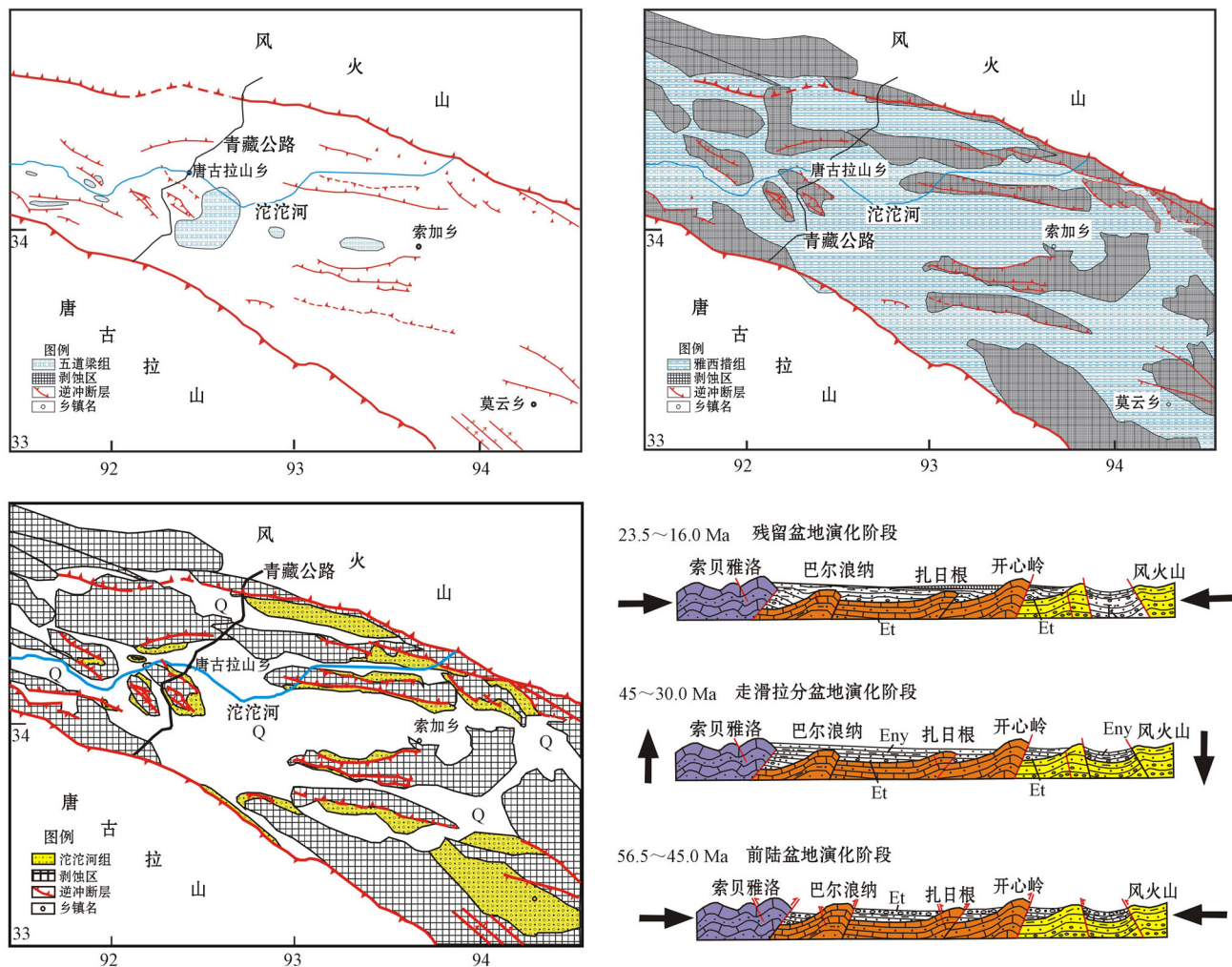


图4 沱沱河盆地沱沱河期-五道梁期构造古地理演化示意图

Fig. 4 Schematic diagram of tectonic paleogeographic evolution during Tuotuohe Stage-Wudaoliang Stage in Tuotuohe basin

晚期,浅湖相沉积逐渐过渡到滨湖相沉积,表明走滑作用减弱,南北向挤压作用又逐渐增强(图4)。

同样来自火山岩的地球化学数据也证实此时大地构造背景发生了大的转换。在羌塘划分出3期新生代火山岩:钠质碱性玄武岩系列(60~45 Ma)、高钾钙碱性系列(44~29 Ma)和白榴石碧玄岩-响岩系列(29~24 Ma),并认为第1期的钠质碱性玄武岩基本上属于地幔岩部分熔融的产物,说明板块内部有俯冲现象,也显示这套火山岩为板块汇聚时期的产物,而钾质火山活动的出现标志着岩石圈增厚停止并开始减薄,高原进入隆升阶段(刘焱等,2001)。羌塘腹地与藏北其他地区的新生代火山岩具有相似的地球化学特征,均为碰撞后陆内拉张环境的产物,羌塘腹地新生代火山岩形成时代为 $44.1 \pm 1.0 \sim 32.6 \pm 0.8$ Ma。结合其与近东西向展布的第三纪拉分盆地共生这一特点,推测其形成可能与南北向的伸展作用有关(谭富文等,2000)。

30~23.5 Ma为沱沱河盆地沉积间断期,缺失了渐新世上部,其下伏沱沱河组和雅西措组地层变形应该发生在此时期,由于岩性的关系,沱沱河组的变形主要表现为小型逆冲断层和宽缓褶皱,而雅西措组的变形主要为逆冲断层和平卧褶皱。这一时期应与印度板块与欧亚板块脉动性的相互作用有关。

五道梁组(23.5~16.0 Ma)沉积期,沉积范围较雅西措组大为缩小,只分布在沱沱河盆地内的山间拗陷部位,其沉积物主要为干旱盐湖相的钙质砂岩、泥灰岩和石膏,显示残留盆地沉积特点。此时沉积中心向北迁移到金沙江缝合带以北,表明羌塘地块由走滑拉伸阶段转为快速隆升阶段,此时周边来水减少,物源供应减少,蒸发作用增强,湖水盐度增加,沉积作用主要发生在山间局限拗陷内,显示北羌塘已经隆升到了相当的高度(图4)。

4.2.2 第二个磨拉石建造序列(<16~2.60? Ma)

第二个磨拉石沉积建造序列为曲果组,发育时限大致为中新世中晚期到上新世。

<16~2.60? Ma沉积的曲果组只分布在沱沱河盆地东部索家乡向南至莫云乡一带山间拗陷中,与下伏地层呈低角度或高角度不整合接触,其沉积特点为由下部粗砾质冲积扇-辫状河磨拉石沉积建造向上过渡到中部浅湖相砂岩沉积建造,上部为巨厚层膏盐沉积建造。从其建造序列来看,曲果组沉积之前,沱沱河盆地经历过一次整体抬升,曲果组下部的磨拉石沉积建造是这次运动局部形成前陆盆地

的滞后沉积响应,上部的巨厚层膏盐沉积建造是盆地持续抬升的结果。从下部的冲积扇、辫状河砾岩沉积过渡到中部浅湖相中厚层细砂岩夹薄层石膏沉积,再到大套厚层石膏沉积的特点,反映其盆地性质大致也经过了前陆盆地、局限盆地和残留盆地等演化阶段。

综上所述,笔者认为印度板块与欧亚板块相互作用的应力可以快速地传递到青藏高原的中北部,甚至1~2 Ma就可能从藏南传递到羌塘盆地。也可用“挤毛巾原理”来解释羌塘地块的快速反应:用两只手握住湿毛巾的两端拧,水从毛巾的中部流出,说明毛巾的中部是应力的集中处,这和羌塘地块处在青藏高原中部类似,印度板块与欧亚板块在白垩纪与古近纪交互时期碰撞,应力以地震波的方式快速向青藏高原北部传递,由于受到北方诸板块的阻挡,应力集中在羌塘地块,造成羌塘地块快速抬升,缺失了古近纪早期地层。其后,两大板块的相互作用,均能快速地在羌塘地块的沉积中反映出来。在此基础上,笔者认为沱沱河盆地古近纪—新近纪的演化过程大致划分为4个阶段:第1阶段(大约为65~45 Ma),为挤压增厚阶段,沱沱河组区域不整合在褶皱与变形的前古近纪地层之上,盆地发育双向叠瓦式逆冲断裂系;第2阶段(45~30 Ma),金沙江断裂带、昆仑山断裂带开始左旋走滑,雅西措组下部快速出现中深湖相灰黑色泥灰岩沉积,是大湖形成时期,这是快速挤压走滑拉伸的结果;第3阶段(30~16 Ma)为挤压隆升阶段,五道梁组与雅西措组之间可能存在的不整合与五道梁组出现的高原特有的干旱盐湖相沉积,同时也是夷平阶段;第4阶段(<16~2.6? Ma),为另一构造旋回,发育时限较短,同样表现挤压增厚→走滑拉伸→挤压隆升3个过程,早期的角度不整合主要表现在盆地东部,盆地西部主要为侵蚀夷平,但由于走滑期时间很短,总体表现为挤压隆升,后期沉积的大套膏盐显示盆地处在隆升侵蚀夷平状态。

由此可见古近纪—新近纪,沱沱河盆地性质演化经过了前陆盆地演化阶段(>56.5~45.0 Ma)→走滑拉分盆地阶段(45~30.0 Ma)→整体抬升,山间残留盆地阶段(23.5~16.0 Ma)→前陆盆地-局限盆地-山间残留盆地阶段(<16~2.6? Ma)。

5 结论

通过上述分析,本文得到以下认识:

(1) 沱沱河盆地古近纪—新近纪沉积发育3个主要沉积期,自下往上分别为沱沱河组和雅西措组沉积期、五道梁组沉积期和曲果组沉积期,并由区域上的角度不整合所分割,可分为沱沱河组、雅西措组、五道梁组和曲果组4个向上变浅旋回,构成两个完整的磨拉石沉积建造序列。

(2) 沱沱河组沉积特点是下细上粗,呈带状分布在逆冲断裂带前缘,符合前陆盆地沉积的特点,为挤压增厚阶段,是印度板块和欧亚板块初次碰撞的沉积响应。

(3) 雅西措组沉积早期,大约在45 Ma左右,区域大地构造背景发生了大的转换,由区域挤压增厚阶段转变为板块间的侧向走滑作用为主,由此进入陆内板块汇聚演化阶段。

(4) 从沱沱河盆地古近纪—新近纪沉积的演化来看,印度板块与欧亚板块的碰撞是脉动性的,整个古近纪—新近纪的沉积中4个区域不整合面和2个磨拉石建造序列,是脉动造山过程的沉积响应。

(5) 古近纪—新近纪,沱沱河盆地性质演化经过了前陆盆地演化阶段(56.5~45.0 Ma)→走滑拉分盆地阶段(45~30.0 Ma)→整体抬升,山间残留盆地阶段(23.5~16.0 Ma)→前陆盆地—局限盆地—山间残留盆地阶段(<16~2.6 Ma)。

References

- Blisniuk M P, Hacker R B, Glodny J, *et al.* 2001. Normal faulting in central Tibet since at least 13.5 Ma ago[J]. *Nature*, 412: 628~632.
- Copeland P. 1997. The when and where of the growth of the Himalaya and the Tibetan plateau[A]. Ruddiman W F. *Tectonic Uplift and Climate Change* [C]. New York and London: Plenum Press, 19~40.
- Li Jinyi. 2009. Cycles and stages of geological history of China mainland[J]. *Geology in China*, 36(3): 504~527 (in Chinese with English abstract).
- Li Jindong, Bai Daoyuan and Wang Shenghui. 2004. Ages of volcanic rocks and planation surface in the Caimei Mountain area, northern Tibet[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(7): 34~39 (in Chinese with English abstract).
- Li Yong, Li Yalin, Wang Mou, *et al.* 2006. Geological Characteristics, Resources and Environment of the Middle Range of Tanggula Mountain[M]. Beijing: Geological Publishing House, 113~207 (in Chinese).
- Liu Shen, Chi Xiaoguo, Li Cai, *et al.* 2001. Geochemistry and genesis of Cenozoic volcanic rock series in northern Tibet[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 31(3): 230~235 (in Chinese).
- Liu Zhifei and Wang Chengshan. 2000. Depositional environment and paleoclimatic significance of the Early Oligocene Yaxicuo Group in the Hoh Xil Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18(3): 355~361 (in Chinese).
- Liu Zhifei and Wang Chengshan. 2001b. Depositional Environment of the Tertiary Fenghuoshan Group in the Hoh Xil Basin, Northern Tibetan Plateau[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19(1): 28~36 (in Chinese).
- Liu Zhifei, Wang Chengshan, Yi Haisheng, *et al.* 2001a. Reconstruction of depositional history of the Cenozoic Hoh Xil Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(2): 250~258 (in Chinese).
- Tan Fuwen, Pan Guitang and Xu Qiang. 2000. The uplift of Qinghai-Xizang Plateau and geochemical characteristics of Cenozoic volcanic rocks from the Center of Qiangtang, Xizang[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 19(2): 121~130 (in Chinese with English abstract).
- Wang Chengshan, Zhu Lidong and Liu Zhifei. 2004. Tectonic and sedimentary evolution of basins in the north of Qinghai-Tibet Plateau and northward growing process Of Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Advance in Earth Sciences*, 19(3): 373~381 (in Chinese).
- Wu Zhenhan, Wu Zhonghai, Hu Daogong, *et al.* 2009. Cenozoic Tectonic Evolution and Uplift Process of the Tibetan Plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House, 151~207 (in Chinese).
- Zhang Yifu and Zheng Jiankang. 1994. Geological Survey of the Hoh Xil Adjacent Regions in Qinghai Province[M]. Beijing: Seismology Press, 166~177 (in Chinese).
- Zhu Lidong, Wang Chengshan and Yi Haisheng. 2004. Basin system evolution and formation time of Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 31(3): 249~254 (in Chinese).

附中文参考文献

- 李锦轶. 2009. 中国大陆地质历史的旋回与阶段[J]. *中国地质*, 36(3): 504~527.
- 李金冬, 柏道远, 王生辉. 2004. 藏北蚕眉山地区火山岩和夷平面时代[J]. *地质通报*, 23(7): 34~39.
- 李勇, 李亚林, 王谋, 等. 2006. 唐古拉山中段地质特征与资源环境[M]. 北京: 地质出版社, 113~207.
- 刘荣, 迟效国, 李才, 等. 2001. 藏北新生代火山岩系列的地球化学及成因[J]. *长春科技大学学报*, 31(3): 230~235.
- 刘志飞, 王成善. 2000. 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[J]. *沉积学报*, 18(3): 355~361.
- 刘志飞, 王成善. 2001b. 青藏高原北部可可西里盆地第三纪火山群沉积环境分析[J]. *沉积学报*, 19(1): 28~36.
- 刘志飞, 王成善, 伊海生, 等. 2001a. 可可西里盆地新生代沉积演化历史重建[J]. *地质学报*, 75(2): 250~258.
- 青海省地质矿产局. 1997. 青海省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 谭富文, 潘桂堂, 徐强. 2000. 羌塘腹地新生代火山岩的地球化学特征与青藏高原的隆升[J]. *岩石矿物学杂志*, 19(2): 121~130.
- 王成善, 朱立东, 刘志飞. 2004. 青藏高原北部盆地构造沉积演化与高原向北生长过程[J]. *地球科学进展*, 19(3): 373~381.
- 吴珍汉, 吴中海, 胡道功, 等. 2009. 青藏高原新生代构造演化与隆升过程[M]. 北京: 地质出版社, 151~207.
- 张以弗, 郑健康. 1994. 青海可可西里及邻区地质概论[M]. 北京: 地震出版社, 166~177.
- 朱立东, 王成善, 伊海生, 等. 2004. 青藏高原盆地系统系统演化与高原隆升时间[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 31(3): 249~254.