

文章编号: 1006-6616 (2016) 01-0135-17

藏南及邻区典型晚新生代盆地磁性地层研究现状与时代对比分析

何林^{1,2}, 吴中海², 哈广浩², 张海军¹

(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)

摘要: 在系统梳理扎达盆地、尼泊尔 Thakkhola 半地堑盆地、吉隆—沃马盆地、乌郁盆地磁性地层研究成果的基础上, 对古地磁年代所代表的地质事件进行了对比和分析, 认为藏南及邻区各近南北向裂谷盆地自形成以来均发育 2 次明显的沉积变动事件, 第一次为距今 10.6~8.1 Ma 期间各盆地分别开始接受沉积, 第二次为距今 3.5~2.0 Ma 各湖盆的连续消亡; 总结高原的气候变化可以发现, 高原在距今约 8 Ma 及 3 Ma 左右也有明显的 2 次气候变化, 即沉积事件与气候变化事件在时间上具有近同时性。扎达盆地、吉隆—沃马盆地、达涕盆地三趾马化石的时代都处于距今 7.0~6.5 Ma 之间, 也具有近同时性。结合高原的整体演化, 认为其可能在距今 10.6~8.1 Ma、3.5~2.0 Ma 发生了 2 期比较强烈的隆升运动。同时, 分析指出了青藏高原南部及邻区晚新生代盆地磁性地层研究过程中存在的问题及解决方法, 并对今后青藏高原南部及邻区地区晚新生代磁性地层研究提出了建议。

关键词: 青藏高原; 晚新生代; 磁性地层; 近南北向断陷盆地; 高原隆升

中图分类号: P542

文献标识码: A

0 引言

由于印度板块向欧-亚板块俯冲导致新特提斯洋关闭, 引发了两大板块间的大规模地壳缩短, 岩石圈加厚, 伴随距今约 60 Ma 印度板块与欧-亚板块的持续强烈碰撞^[1] (Harrison T M 认为是距今 50~40 Ma^[2]), 形成了世界屋脊——青藏高原。青藏高原的隆升和形成很可能是一个多阶段的不等速和非均变的复杂过程, 对于其快速隆升过程和达到现在高度的时间一直没有形成统一的认识; 对于隆升的方式也一直存在严重分歧。因此, 青藏高原的隆升及其环境效应一直以来都是地质科学研究的热点, 也是认识晚新生代很多重大区域性和全球性环境变化产生机制的重要突破口。但随着对高原研究的深入, 逐渐发现高原的形成与演化是一个很复杂的构造运动过程, 并造就了今天中国大陆的地质地貌格架, 同时还影响着周边地

收稿日期: 2015-10-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41171009); 中国地质调查局项目“青藏高原东南缘重要活动断裂厘定与活动构造体系综合研究” (1212011120163); 中国地质科学院地质力学研究所基本科研业务费项目 (DZLXJK201202)

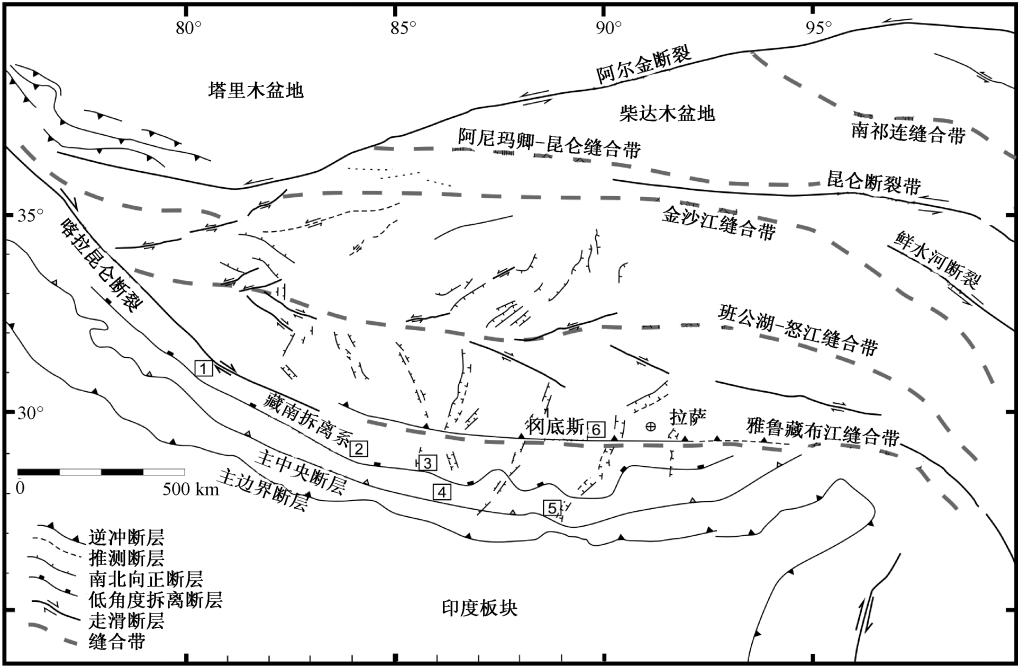
作者简介: 何林 (1992-), 男, 硕士研究生, 研究方向为构造盆地与磁性地层学。E-mail: 1009322912@qq.com

通讯作者: 吴中海 (1974-), 男, 研究员, 从事第四纪地质和活动构造研究。E-mail: wzhh4488@sina.com

区的气候与环境变化^[3~11]。

青藏高原内部第四纪裂谷作用被认为是高原地壳增厚、高原隆升以及隆升到一定高度后的重力跨塌、最后达到平衡的一个标志^[12]，因此，研究高原不同区域发育的众多晚新生代近南北—北东向断陷沉积盆地沉积地层对于理清青藏高原的隆升过程有着至关重要的意义。磁性地层方法通过与标准磁极性柱的对比限定盆地沉积地层时代，进而约束盆地沉积所反映的重大地质事件发生的时间，一直是青藏高原南部及邻区晚新生代盆地研究的重要手段，对于高原的演化研究有着不可替代的作用。

晚新生代期间，伴随青藏高原内部的近东西走向的伸展变形作用，青藏高原南部及邻区发育了一系列近南北向—北东向裂谷盆地，包括扎达盆地、吉隆—沃马盆地、乌郁盆地、帕里盆地、亚汝（聂聂）雄拉达涕盆地和尼泊尔的 Thakkhola 半地堑盆地等（见图 1），这些盆地中很多都发育了较完整的晚新生代地层。通过 20 世纪 70 年代以来的深入调查与研究，青藏高原南部及邻区晚新生代磁性地层研究已经取得了很多成果^[13~16]。但是，由于不同盆地所处地域和构造环境的不同，针对单个盆地的研究可能并不能代表整个高原的演化。要对高原演化有一个全面准确的认识，还必须对高原内的盆地沉积研究成果进行系统全面的梳理分析，并在整个区域上进行归纳对比。本文在详细梳理分析青藏高原南部及邻区晚新生代盆地磁性地层研究成果的基础上，对比分析已开展磁性地层研究的盆地的主要地质事件，进而综合探讨盆地演化与高原隆升之间的内在联系，以期对认识青藏高原南部及邻区晚新生代地质演化及高原隆升过程有所裨益。



1—扎达盆地；2—Thakkhola 盆地；3—吉隆—沃马盆地；4—达涕盆地；5—帕里盆地；6—乌郁盆地

图 1 青藏高原南部及邻区进行过磁性地层研究的晚新生代主要盆地大地构造简图（据文献 [10] 修改）

Fig. 1 The tectonic diagram of late Cenozoic basins magnetostratigraphic study in the Southern Tibetan plateau and its adjacent area

1 盆地地层研究

青藏高原沉积盆地是高原隆升历史的重要记录载体,因此,研究高原不同区域盆地沉积地层对于理清青藏高原的隆升过程有着至关重要的意义。

青藏高原南部及邻区地势起伏大、地形复杂,宽谷盆地和高山—极高山等各种地貌类型都有分布。对西藏地层的调查研究已经有超过一个世纪的历史,1966—1968年与1973—1976年期间,中国科学院组织了珠穆朗玛峰地区综合地质考察,对珠峰地区的地层进行了系统性研究,为青藏高原南部及邻区地层研究打下了良好的基础,也为青藏高原南部及邻区以及整个高原后续的研究积累了大量的基础资料和成果^[17]。

青藏高原南部及邻区第四纪沉积类型复杂,自上新世以来的不同时代与不同成因地层均有出露。其中对青藏高原南部及邻区的几个近南北向—北东向晚新生代断陷盆地(包括扎达、乌郁、吉隆-沃马)的研究相对较为深入。特别是1973—1976年间,中国科学院青藏高原综合科学考察队对青藏高原南部及邻区包括扎达剖面、曲松剖面、普兰县科加剖面、沃马龙骨沟三趾马化石层剖面和吉隆县城东侧剖面在内的17个晚新生代地层剖面进行了详细的观察与研究,结果表明,青藏高原南部及邻区的第四纪地层无论是分布、岩相还是时代都有较大差异。在喜马拉雅山北坡,沉积盆地中上新世以来的地层沉积厚度相对较大,地层出露也较好。西部印度河上游地区,上新统和下更新统分布较零星,而各时期的冰碛及上更新统和全新统分布较广。在青藏高原南部及邻区的中部和东部雅鲁藏布江谷地中,虽见渐新统和中新统露头,但除支流邛多江盆地可能有上新统出露外,早更新世沉积的出露也较零星,出露较为广泛的主要是中—上更新统和全新统,而在青藏高原南部及邻区内流湖区常见的出露地层是晚更新世和全新世湖相沉积^[18]。

青藏高原南部及邻区晚新生代盆地中不同时代地层的沉积相也有差异,其中上新世地层以河湖相为主;早更新世地层以河流相和湖滨相为主;中更新统岩相复杂,有冰川相、冰水相和河流相等;上更新统分布最广,沉积相类型也比较复杂,主要有冰川-冰水、冲洪积、湖相和风成沉积等;全新统在河谷中往往组成一级阶地和河漫滩,在内流湖区广泛分布于现今湖泊周缘,并形成低湖岸阶地和现代湖滩。此外,青藏高原南部及邻区各河流的上游高山区还广泛分布冰碛和冰水沉积物^[18]。

本文根据前人资料^[1,4,17~20]对青藏高原南部及邻区晚新生代主要盆地地层进行了初步对比归纳(见表1),可以发现,青藏高原南部及邻区晚新生代盆地地层除了早上新世偶见冲积相以外,中—晚上新世都发育了一套湖相黏土、砂沉积;进入更新世,各盆地都转变为一套河流相的砂、砾石沉积;至中更新世,全部转变为冰川-冰水沉积,并逐渐转变为全新世的冲洪积。

2 盆地磁性地层研究现状

青藏高原南部及邻区的多数近南北向裂谷盆地都发育较完整的晚新生代地层,对其进行磁性地层学研究,可确定裂谷中盆地形成和消亡的年代,对研究高原隆升过程、高原周边气候的变化具有重要的科学意义。20世纪60—70年代对青藏高原南部及邻区晚新生代盆地的研究主要集中在地层剖面的测量以及对地层相对时代的划分和对比方面,当时多数地层剖面

表 1 青藏高原南部及邻区晚新生代主要盆地地层对比

Table 1 Stratigraphic correlation of mainly late Cenozoic basins in the Southern Tibetan plateau and its adjacent area

盆地 地质年代		扎达		吉隆—沃马		达涕		帕里		邛多江		当雄-羊八井		乌郁	
全新世 Q _h (~0.01 Ma)		冲洪积		冲洪积		冲洪积		冲洪积		冲洪积		冲洪积		冲洪积	
更新世 Q _p (0.01 ~ 2.48 Ma)	晚更新世 Q ₃	山麓冰川堆积		冰川-冰水沉积与冲洪积		冰川-冰水沉积与冲洪积		冰川-冰水沉积与冲洪积		冰碛物，以花岗片麻岩为主		冰碛、冰水沉积与黄土堆积		冲洪积	
	中更新世 Q ₂	冰水相砂质黏土与细砾岩互层				冰水相砾石层				聂拉木冰期冰碛物		间冰期红土风化壳、聂拉木冰期冰碛、冰水沉积、		冰川-冰水沉积	
	早更新世 Q ₁	相孜组	冲积相砾岩、岩屑砂岩	贡巴砾岩	河流相砂砾石层	贡巴砾岩上段 贡巴砾岩下段	河流相砂岩夹粉细砂岩 河流相砾石层	贡巴砾岩	河流相砾石夹粉砂岩、砂岩	河流相砂砾层		河流相砂砾层		达孜组	河流相砂砾石层
上新世 N ₂ (2.48 ~ 5.3 Ma)	晚上新世	古格组	湖相砾岩、岩屑砂岩、粉砂岩	沃马组	上段	粘土岩夹粉砂岩、砂岩	达涕组	上部为湖-河相砂岩、细砾岩沉积，见三趾马下颞骨化石。下部为湖相粉砂岩与黏土岩互层（未见底）	湖相泥岩、粉砂岩、砂岩互层（未见底）	湖相中粗砂，粉砂、亚黏土互层夹铁质层	湖相黏土夹细粉砂	乌郁组	湖-河相薄层泥岩与砂岩互层		
					中段	以黏土岩、粉砂岩为主，产三趾马化石									
	中上新世				下段	砾岩为主，夹黏土与砂岩透镜体，局部夹褐煤层									
中新世 N ₁ (5.3 ~ 23.3 Ma)	早上新世	托林组	冲积相砾岩、岩屑砂岩夹粉砂									来庆组	火山碎屑岩，安山岩		
	晚中新世														

的时代都是通过气候地层分析、区域地层对比和古生物化石等推断的，在定量化和精确性方面存在明显不足。随着科技的进步与研究的深入，古地磁方法逐渐被广泛地应用在扎达盆地、乌郁盆地、吉隆—沃马盆地以及尼泊尔 Thakkhola 半地堑盆地等的研究中。

2.1 扎达盆地

札达盆地位于青藏高原西南的阿里地区，海拔在 4000 ~ 4500 m 之间，东西长约140 km，南北宽约 50 km，呈北西—南东向，是介于喜马拉雅及其北支阿依拉日居山之间受喀喇昆仑断裂右旋走滑运动控制的构造断陷盆地，也是青藏高原南部及邻区晚新生代地层发育较好、研究较早、工作较仔细的区域之一。盆地自上新世以来发育了托林组、扎达组和香孜组^[21]

以及后期的冰川与冲洪积地层。该盆地最早的磁性地层研究是在1980—1985年间钱方等参加原地质矿产部青藏高原地调大队八分队工作时完成^[22],在盆地的札达组和香孜组1~3段布置古地磁样点81个,每个样点采2~4块样,并根据测试结果推断札达组沉积时代为距今6.15~3.40 Ma,香孜组为距今3.40~1.25 Ma。之后王世峰等2008年又进一步开展了扎达盆地沉积地层的磁性地层学研究,在厚近750 m的扎达组与托林组中共采集了268块古地磁样品,并在剖面347 m处采集到4枚三趾马下颊骨化石,最后根据分析结果认为,该套地层的沉积时代为距今9.5~2.6 Ma,其中三趾马化石距今约6.5 Ma^[13]。根据扎达盆地的地层时代,通过与周边主要断裂的活动时间进行对比后,王世峰等还进一步提出,该盆地的形成发育主要受喀喇昆仑断裂右旋走滑运动控制^[13]。

2.2 尼泊尔 Thakkhola 半地堑盆地

Thakkhola 半地堑位于中尼泊尔以北地区,在东经83°50′—84°00′,北纬29°00′—28°50′之间,构造位置处于STDS与ITSZ之间,是一个近南北向的半地堑盆地,西边被Dolpo-Mugu-Mustang中中新世淡色花岗岩所限定,东边被古生代和中生代沉积以及Manaslu淡色侵入花岗岩所限定^[13],主要沉积约230 m厚的Tetang组和约720 m厚的Thakkhola组两套地层。Carmala N等^[25]对Thakkhola半地堑Tetang组的沉积时代进行了研究,在约200 m的地层内共采集古地磁样品55个,经过处理分析后,认为Thakkhola半地堑中Tetang组在距今11~10 Ma就已经开始沉积,最顶部的古地磁年龄为9.6 Ma;进一步分析Thakkhola组泥灰岩中¹³C同位素的变化后认为,Thakkhola组早于距今8 Ma开始沉积;同时,综合Thakkhola地堑(Tetang组与Thakkhola组)泥灰岩层中内¹⁸O值的变化,推测自从地堑开始接受沉积以来,该地堑就已隆升至与现在相似的海拔高度。

2.3 吉隆—沃马盆地

吉隆—沃马盆地位于吉隆河上游,平均海拔3900~4300 m,出露面积约280 km²,是中喜马拉雅山西北坡的近南北向断陷盆地。20世纪70年代中国科学院青藏高原综合科学考察队对位于沃马西约1 km的龙骨沟北岸厚达200~300 m的上新世地层中含三趾马化石段约70 m厚的地层进行了详细观察和描述,并赞成黄万波等将吉隆—沃马盆地上新世地层分为上中下的观点,但认为黄万波等划分的沃马组下段三趾马化石层应该为沃马组中段。

20世纪90年代,王富葆等^[15]在塔千沟、加莫沟、沃马龙骨沟以及定日加布拉等4个地层剖面(仲喀组、卧(沃)马组、贡巴南木林组)共采取古地磁样189件,进行测试分析后认为吉隆盆地的主要沉积时间为距今7.0~1.7 Ma,距今1.7 Ma之后盆地被来自喜马拉雅山南坡的河流贯穿,在距今1.7~0.8 Ma形成冲洪积相顶盖砾岩;并根据岩相带的变化将盆地演化分为距今7.0~6.5 Ma前、4.3~3.4 Ma、2.0~1.7 Ma以及0.8 Ma以来4个阶段,认为分别代表了区域的4次隆升。同时,通过与周边区域对比得出,盆地沉积速率和沉积物粒度变粗时间与印度河扇、孟加拉扇基本一致,也与东喜马拉雅强烈隆升时间相似,并由此认为当时喜马拉雅山的构造活动有一个较大的影响区域。

2004年,岳乐平等^[16]在青藏高原南部及邻区吉隆—沃马盆地龙骨沟剖面160 m的地层中采集了348块古地磁样品(采集密度0.5块/m),在剖面第七层采集到三趾马化石。在极性变化序列特征的基础上结合古生物因素,并与Cande S C等^[25]的V95古地磁年表进行对比后,推断剖面底部年龄约为7.2 Ma,剖面顶部年龄约为3.2 Ma,指示盆地的发育至少始于距今7.2 Ma,距今3.2 Ma后逐步消亡。根据地层年代结果提出,在距今7.2 Ma喜马拉雅山有一次明显抬升,断陷盆地形成接受沉积,距今3.2 Ma由于青藏地区整体隆升,河流切

穿盆地导致其遭受侵蚀切割并逐渐消失。同时,根据三趾马动物群化石在地层中的位置,得出三趾马动物群化石层年龄约为 7.0 ~ 6.7 Ma,与华北平原三趾马化石相似^[26~27],推测当时喜马拉雅山北坡的地理、气候环境与华北地区相近,且海拔高度相差不大,现今盆地的高海拔状态是之后强烈隆升的结果。对于吉隆—沃马盆地中的三趾马化石,黄万波等^[28]、邱占祥等^[29]等也得出了基本相同的结论。

2.4 达涕盆地

达涕盆地是西藏聂拉木县境内亚汝雄拉南坡的一个小型山间盆地,位于聂拉木北约 45 km,希夏邦马峰北东约 40 km,海拔 4700 ~ 5100 m,沉积了晚新生代的达涕组河湖相地层和贡巴砾岩层。20 世纪 70 年代,赵希涛等^[30]认为贡巴砾岩层位于达涕组之下,前者时代属于早更新世,后者对应中更新世加布拉间冰期沉积。20 世纪 80 年代,中国科学院青藏高原综合科学考察队的考察结果^[18]认为,达涕组湖相层位于贡巴砾岩之下,且该湖相层中含的软体动物化石很多是中国华北上新世—早更新世湖相地层中的常见种,三趾马化石特征与吉隆盆地的三趾马化石较接近,介形类化石石化程度较深,孢粉分析显示时代可能属上新世,从而推断达涕古湖盆的这套湖相地层属于上新世沉积。1980 年,朱志文等^[33]对该盆地中达涕组地层与贡巴砾岩层剖面进一步开展了初步的磁性地层时代研究,在 9 个层段共采集 49 个样品,其中 6 个层位属下伏达涕组,3 个层位位于上覆的贡巴砾岩层中,古地磁测定结果指示,达涕组主体属于高斯正向期沉积,贡巴砾岩层属松山反向时期沉积,两者之间的界线年龄为 2.43 Ma,即贡巴砾岩在达涕组之上。

2015 年,邓涛等^[32]在达涕盆地发现了一件三趾马上颌和一枚第三掌骨近端化石,通过对化石特征的研究,认为其属于福氏三趾马 (*Hipparion forstenac*),与西藏吉隆和山西保德发现的福氏三趾马的时代对比,推断达涕盆地含福氏三趾马层位的年龄约为 7 Ma,在此基础上将原定的上新世达涕组的时代纠正为晚中新世,并进一步推测达涕盆地在距今 7 Ma 的古海拔高度为 2400 ~ 2900 m,自晚中新世以来快速上升了至少 2000 m。

2.5 帕里盆地

帕里盆地位于喜马拉雅山东段,属于亚东—谷露裂谷南段多庆错—帕里地堑南部的北北东向断陷盆地,面积超过 100 km²,海拔 4300 ~ 4500 m 之间,发育一套湖相层与河流向砾石层。20 世纪 70 年代,中国科学院青藏高原综合科学考察队首先发现该盆地的帕里兵站附近存在一套出露厚度约 30 m 的湖湘地层(称为“帕里湖相层”)和厚 200 m 左右相当于贡巴砾岩层的河流相砾石层,并认为帕里湖相层位于贡巴砾岩之下。之后,1980 年朱志文等^[31]在帕里湖相层剖面 9 个层位内采集了 44 块古地磁样品,测定结果显示,剖面样品以正极性为主,与达涕组的古地磁测试结果进行对比发现,两组地层的极性相似,磁极距地理北极的距离也几乎一致,由此推论两者可能属同一时代,即都归于高斯正向期,并认为不论从地层接触关系还是从古地磁结果考虑,帕里湖相层都可能形成于上新世。这与赵希涛等^[30]认为的帕里湖相层上覆于贡巴砾岩之上、属早更新世晚期间冰期沉积的观点不一致。在 2000—2002 年间开展西藏亚东地区 1:250000 区域地质调查过程中,刘文灿等^[34]利用 OSL 测年方法对帕里湖相层的时代进行分析后认为,该湖相层形成于距今 89 ~ 58 ka 间的晚更新世,这一结果与早期的古地磁结果相矛盾,而且由于 OSL 方法的测年上限只有 150 ~ 200 ka,将该方法应用于测定形成年代可能明显老于晚更新世的地层本身是不恰当的,因此其结果的可靠性显然值得商榷。但遗憾的是,长期以来由于受到研究程度和技术手段的限制,对于该盆地中湖相层与贡巴砾岩的时代新老,到目前为止都只处于推断阶段,还缺乏可靠、精确的直接

年代数据验证。

2.6 乌郁盆地

乌郁盆地位于西藏南木林县,南距雅鲁藏布江约 60 km,盆地北东方向长 28 km,北西方向宽 12 km,北高南低,面积约 300 km²,平均海拔 4100 ~ 4950 m (西藏自治区地质矿产厅,1996),是位于雅鲁藏布江以北、冈底斯山脉东部的北东向构造断陷盆地。陈贺海等^[14]应用古地磁方法研究了该盆地中新世以来火山-沉积地层上覆湖相沉积序列(朱迎堂等^[19]称为乌郁群,包括下伏乌郁组与上覆达孜组)的年代,其古地磁采样剖面位于达孜镇西乌郁玛曲西侧,为一套厚约 145 m 的湖湘地层,古地磁样品采样间距为 50 cm,共采集 270 块,最后的有效样品共 197 块。结合湖相地层下伏 2 个火山凝灰岩样品的 K-Ar 年龄为 8.1 Ma,将样品极性组合特征与 Cande S C 等^[26]的 V95 古地磁年表进行对比后,得到乌郁盆地的湖湘地层沉积时间为距今 8.1 ~ 2.5 Ma,并认为期间的湖盆沉积粒度较细,岩层基本水平分布,相当于构造平静期;在距今约 2.5 Ma 出现的一套河流砾石层标志着盆地古湖泊的消亡,之后开始发育贯穿盆地的河流,并向南汇入雅鲁藏布江。该区河流的强烈下切作用使湖相地层被切割、侵蚀,在乌郁玛曲可以看见有老基岩地段南北向分布的峡谷型河谷,可能指示了南北向断层的存在和后期较强的东西向构造拉张和南北向张性断裂活动。

3 盆地磁性地层结果的多解性与重新分析

3.1 盆地磁性地层结果的多解性

王世峰等^[13]在扎达盆地扎达组与托林组的磁性地层学研究过程中,将实测 R1-N2 与标准极性柱 2An. 1r-2An. 3n 相对应,可以明显看出实测极性柱与标准极性柱相比差了一个 2An. 2n,且在标准极性柱中 2An. 1r-2An. 3n 属于一个以正极性为主的极性段 2An,但是实测极性柱中 R1-N2 为一个以负极性为主的极性段(见图 2a);除此之外,文中代表 R5 极性段的样品只有 1 个,有可能存在实验误差的情况,假设将图中 R5 剔除掉,则扎达组沉积结束时间就会比原来的距今 2.6 Ma 提前 0.9 Ma 至约 3.5 Ma (见图 2b)。

王富葆等^[15]对吉隆—沃马盆地塔千沟和加莫沟剖面仲喀组顶盖砾岩的磁性地层学研究获得的实测极性柱与标准极性柱的对比结果明显值得商榷。其根据实测极性柱给出的 5.44 Ma 和 6.92 Ma 两个年龄点,与标准极性柱上的极性段差异较大,标准极性柱上 5.44 ~ 6.92 Ma 区间以负极性为主,但其却将塔千沟剖面实测极性柱中以正极性为主的段落与之对应(见图 3a)。而如果将其原剖面的 5.44 Ma 年龄点与标准极性柱的 7.0 Ma 左右相对应,将 6.92 Ma 年龄点与标准柱的 8.7 Ma 左右对应,即可将实测极性柱与标准极性柱基本对应起来(见图 3b)。从重新比对后的结果中可以看出,与标准极性柱中包括 4 个正极性段的 3n 相对应的实测极性柱中仅有 2 个极性段,究其原因在于代表这一极性段的岩性以砂砾岩为主,该段可能采样精度不够或局部无法采集古地磁样品,从而造成局部极性段缺失。如此,吉隆—沃马盆地的仲喀组开始沉积的时间将从原来认为的距今 7.0 Ma 变为约 9.0 Ma,并与扎达盆地开始接受沉积时间相接近,而盆地开始消亡的时间将从原来认为的 1.67 Ma 提前至约 2.2 Ma (见图 3b)。

3.2 盆地磁性地层研究结果整理与重新分析

对青藏高原南部及邻区主要晚新生代盆地的磁性地层研究,扎达盆地、吉隆—沃马盆地、乌郁盆地中采集样品数量较多,研究也较仔细,尼泊尔 Thakkhola 半地堑盆地、达涕盆

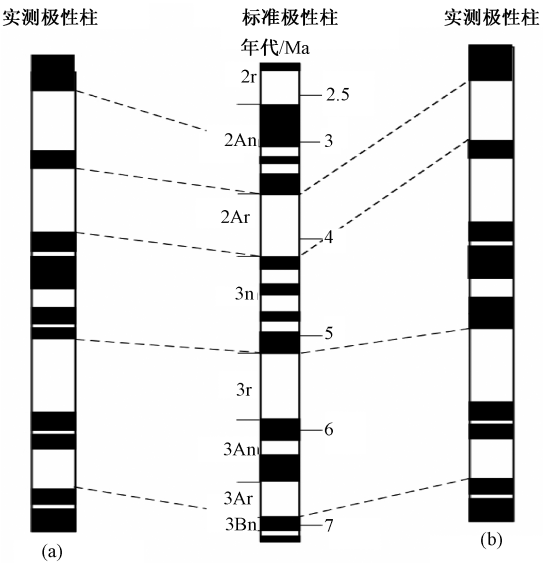


图2 扎达盆地磁性地层多解性对比^[13] (a为原文, b为重新解释)
Fig.2 Magnetic stratigraphy multiple solutions contrast figure of the Zhada basin

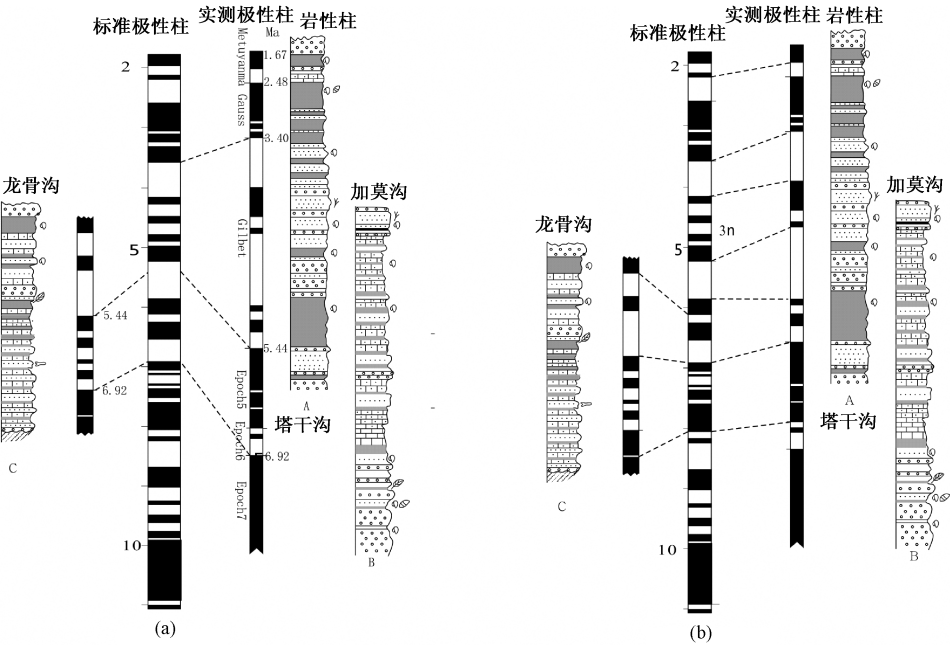


图3 吉隆—沃马盆地磁性地层多解性对比图^[15] (a为原文结果, b为重新解释后结果)
Fig.3 Magnetic stratigraphy multiple solutions contrast figure of the Gyirong-Oma basin

地和帕里盆地采样较少, 采样间距较大。各盆地磁性地层学研究结果整理与重新分析见表2。

表 2 青藏高原南部及邻区晚新生代主要盆地磁性地层研究结果整理与重新分析
Table 2 Magnetic stratigraphy results of mainly late Cenozoic basins in the Southern Tibetan plateau and its adjacent area

盆地	采样剖面 地层名称	地层厚度/ m	采样间距/ m	采样数量/ 块	原来确定的 地层时代/Ma	重新解释 结果/Ma	资料来源
扎达	香孜组, 札达组	未知	未知	样点 81 个, 每个样点 2~4 块	6.15~1.25		钱方等, 1999
	扎达组, 托林组	750	2~3	268	9.5~2.6	9.1~3.5	王世峰等, 2008
Thakkhola	Tetang 组	230	未知	55	10.6~9.6	10.6~9.6	CarMa la N. Garzione 等, 2000
吉隆—沃马	贡巴南木林组, 卧马组, 仲喀组	320~440	未知	189	7.0~1.7	9.0~2.2	王富葆等, 1996
	沃马组	160	0.5	348	7.2~3.2	7.2~3.2	岳乐平等, 2004
达涕	达涕组	未知	未知	49	高斯正向期 (2.4~3.4)		朱志文等, 1980
帕里	帕里湖相层	32.5	1	44	高斯正向期 (2.4~3.4)		朱志文等, 1980
乌郁	乌郁湖相层 (朱迎堂等 ^[34] 称为乌郁群, 包括下伏乌郁组与上覆达孜组)	145	0.5	270	8.1~2.5	8.1~2.5	陈贺海等, 2007

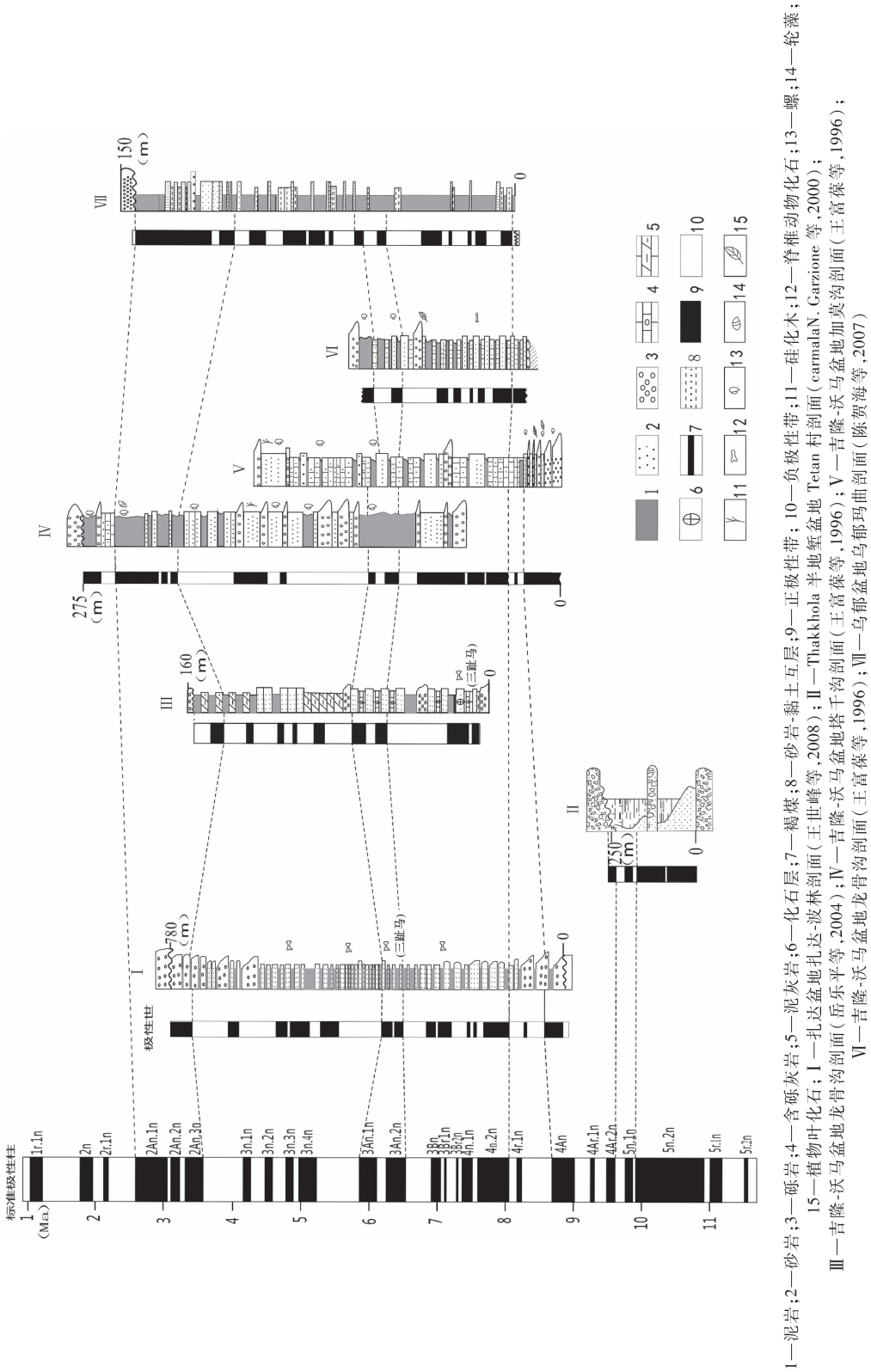
4 盆地磁性地层对比分析

对青藏高原南部及邻区晚新生代近南北向裂陷盆地 (包括扎达盆地、尼泊尔 Thakkhola 半地堑盆地、吉隆—沃马盆地、乌郁盆地) 的磁性地层研究结果进行重新解释后, 通过对比分析 (见图 4), 可以发现其形成演化具有明显的相似性: ①除 Tahkkhola 半地堑盆地在距今 10.6 Ma 开始沉积以外, 其他盆地都在距今 9~8 Ma 开始接受沉积; ②扎达盆地、吉隆—沃马盆地龙骨沟剖面以及达涕盆地都发现了三趾马化石, 扎达盆地三趾马化石发现于海拔 4250 m, 年代距今约 6.5 Ma^[13]、吉隆—沃马盆地龙骨沟剖面森林-草原型三趾马化石发现于海拔 4100 m 以上, 年代距今 6.7~7.0 Ma^[16]、达涕盆地福氏三趾马化石发现于 4960~4970 m, 年代距今约 7.0 Ma^[33]; ③从距今 3.5 Ma 开始至 2 Ma, 各盆地相继出现代表湖泊消亡的、与下伏地层角度不整合接触的一套很厚的似贡巴砾岩的粗砾石标志层, 且出现时间相差不大; ④各盆地在距今 8.0~3.5 Ma 期间都以发育一套稳定的湖相黏土、砂沉积为特征, 直至距今 3.5 Ma 之后各盆地才陆续出现与下伏湖相层不整合接触的河流相粗砾石标志层。

5 讨论

5.1 盆地的形成演化与高原隆升、气候变化之间的关系

藏南及邻区近南北向裂谷是青藏高原发育最广泛、特征最显著的构造, 也是陆-陆碰撞引起的陆内变形结果和青藏高原隆升的阶段产物。前人认为高原南北向断陷盆地的形成主要有垮塌 (高原达到最大高度后发生的東西向伸展^[34~38])、侧向挤出 (高原物质在南北向汇聚挤压作用下向东挤出^[12,39~40])、南北向挤压 (南北向挤压的应变分解^[41~44]或印度大陆斜向俯冲产生的底部剪切牵引力^[45])、深部作用 (造山带的去根作用^[46]、岩石圈的热结构



改变^[47])等4种模式,其中尤以垮塌模式(认为近南北向裂谷的出现是高原达到最大高度之后东西向伸展垮塌的标志)被广泛关注^[12,34~38,48~49]。

Liu等^[50]通过三维有限元模拟,认为高原达到现今高度的75%即可开始垮塌。关于高原的隆升历史,很多地质学家已经从构造、沉积、地层、气候等方面加以研究。从数据上看,隆升时间主要集中在距今约40 Ma^[51~52]、约33 Ma^[53]、25~17 Ma^[51]、约15 Ma^[55]、约10 Ma^[56~57]以及8 Ma左右^[58~62]。同时,刘晓东等^[63]认为在青藏高原隆起过程中存在一个临界高度(1.5~2 km),当高原隆起突破这一临界高度时,就会对大气流动产生影响,造成大气环流、大气热力结构、亚洲以及全球气候的巨大转变。从印度-欧亚板块碰撞以来,青藏高原不断隆升到今天的高度,自然也影响着周边地区的气候环境,也引起了人们对高原隆升与气候变化之间关系的大量研究。根据气候研究成果,高原及周边气候在距今约8 Ma^[26,64~66]和3 Ma^[26,67~68]前后都发生了明显改变,其中距今约8 Ma左右亚洲季风开始形成,约3 Ma左右亚洲冬季风开始兴起,同时亚洲季风得到强化。

关于藏南及邻区近南北向裂陷的形成与演化,Harrison等^[71]认为在距今9~7 Ma之间形成,但是根据盆地磁性地层特征,本文认为可能从距今约11 Ma就已经开始形成,以9~8 Ma为主。从盆地最早接受沉积的时间来看,Thakkhola半地堑盆地最早开始接受沉积,时间约为距今10.6 Ma,而扎达盆地和吉隆—沃马盆地地表可见的最早断陷沉积都在约9 Ma开始出现,乌郁盆地为约8.1 Ma。如果上述盆地是因高原隆升形成,考虑到盆地沉积一定滞后于控盆断裂开始活动的时间,则高原隆升时间一定在约11 Ma就已经开始;综合其他研究者的观点,如:高原在距今10 Ma^[56~57]以及8 Ma^[58~62]左右发生隆升,11~9 Ma是喜马拉雅主中央断裂和主边界断层开始显著活动的构造年代学证据^[70~74]以及羊八井地堑西侧念青唐古拉山剪切带中变质岩约8 Ma开始快速冷却的热年代学证据^[2],南北向申扎一定结裂谷前期的韧性变形时间为13~8 Ma^[77],说明距今10.6~8.0 Ma的隆升可能是连续进行的,尤其在9~8 Ma期间发生的隆升较为强烈,并导致藏南及邻区一系列近南北向盆地的出现;再加上距今8 Ma左右高原周边气候的变化^[26,64~65,67]以及扎达盆地、吉隆—沃马盆地、达涕盆地三趾马化石的时代都处于7.0~6.5 Ma之间,说明约11~8 Ma期间的隆升可能使高原在8 Ma左右开始影响周边的气候环境,至7.0~6.5 Ma可能已经超过了三趾马能够生存的最高海拔。

从盆地湖泊消亡的时间来看,距今3.5~2.0 Ma期间各盆地相继出现代表湖泊消亡的与下伏地层角度不整合接触的一套似贡巴砾岩的粗砾石标志层,其中,扎达盆地最早消亡,时间约为距今3.5 Ma,乌郁盆地约为2.5 Ma,吉隆—沃马盆地约为2.2 Ma,Takkkhola半地堑盆地约为2 Ma^[76],可以看出即使各盆地地理位置不同,其湖泊消亡时间也相差不大,且消亡特征具有相似性。综合藏南及邻区气候在距今3 Ma发生显著变化和钟大赉等^[51]1996年从实验中磷灰石FT年龄大部分落在3 Ma左右得出的东构造结在3 Ma以来发生集体抬升的热年代学证据,以及3 Ma左右高原和全球显著的气候变化^[26,67~68]等观点,认为在距今3.5~2.0 Ma期间青藏高原南部及邻区可能又发生了一次区域性的构造隆升活动,使高原海拔又一次发生明显改变,并导致亚洲季风的强化以及亚洲冬季风的兴起。

5.2 当前研究中存在的主要问题及建议

藏南及邻区晚新生代盆地磁性地层研究过程中主要存在3个方面的不足:

①研究对象太少,区域代表性不够。研究主要集中在少数几个盆地中,且只有扎达、吉隆—沃马、乌郁3个盆地研究较为深入,而扎达盆地位于高原南缘西部,吉隆—沃马盆地位

于高原南缘中部,乌郁盆地相对远离高原南缘,3个盆地相对孤立,需要进一步加强青藏高原南部及邻区其他近南北向断陷盆地的深入研究,特别是对高原南缘东部以及位于乌郁盆地与扎达、吉隆—沃马之间的南北向断陷盆地的研究,这样就可以对比高原南缘东、中、西三个部位构造、环境、沉积的特征,从而进一步分析高原隆升在不同区域所表现出来的异同。

②构造年代学与热年代学研究工作不足。构造年代学与热年代学是限定断陷盆地形成年代的一种重要方法,与磁性地层学结果有相互检验的作用。但是在进行磁性地层研究的藏南及邻区裂谷盆地中,只有吉隆盆地^[77]、Thakkhola 半地堑盆地^[36]进行了热年代学研究,应在条件允许的情况下,加强其他南北向断陷盆地控盆断裂的构造年代学与热年代学研究。

③盆地磁性地层研究中存在多解性。野外工作过程中,由于地层可能存在间断,或因为地层的同时异相或同相异时而出现不同采样剖面对接时的地层缺失或重叠,或剖面岩性差异导致剖面样品分布的不连续等,古地磁样品数量与采样精度会受到一定程度的限制,加之在室内整理加工处理阶段对实验样品的破坏或实验误差,必然导致实测极性柱与标准极性柱有所差异,造成磁性地层结果的多解性,需要在实测极性柱与标准极性柱对比过程中对样品间距、沉积速率等因素加以考虑,并辅以及其他能够判断年代的方法(地层、古生物、ESR、各种可利用的同位素测年等)进行限定和检验。

6 结论

藏南及邻区晚新生代盆地除了早上新世偶见冲积相以外,中—晚上新世都发育了一套湖相黏土、砂沉积;进入更新世,各盆地都转变为套河流相的砂、砾石沉积;至中更新世,全部转变为冰川-冰水沉积,并逐渐转变为全新世的冲洪积。藏南及邻区各近南北向裂谷盆地自形成以来都发育两次明显的沉积变动事件,第一次为距今 10.6~8.1 Ma 期间盆地分别开始接受沉积,第二次为 3.5~20. Ma 各盆地湖盆消亡;且沉积事件与气候变化事件(高原在 8 Ma 以及 3 Ma 左右有明显的两次气候变化)在时间上具有近同时性。通过与高原整体演化的联系,认为高原可能在距今 11~8 Ma、3.5~2.0 Ma 发生了两期比较强烈的隆升运动,并导致了高原及周边气候明显的变化。当然,目前对于青藏高原的隆升时代与机制尚存在巨大争议,仅靠现在有限的研究还很难确定藏南及邻区的近南北向裂陷盆地是在隆升之后出现还是在隆升的同时出现,这些盆地的构造演化过程以及构造阶段性的时限等也需要进一步的磁性地层学和热年代学工作来限定。

参 考 文 献

- [1] 钟大赉,丁林,季建清等. 中国西部新生代岩石圈汇聚和东部岩石圈离散的耦合关系与古环境格局演变的探讨[J]. 第四纪研究, 2001, 21 (4): 303~312.
ZHONG Da-lai, DING Lin, JI Jian-qing et al. Coupling of the lithospheric convergence of west china and dispersion of east china in cenozoic: link with paleoenvironmental changes [J]. Quaternary sciences, 2001, 21 (4): 303~312.
- [2] Harrison T M; Copeland P; Kidd W S; Yin A. Raising Tibet [J]. Science, 1992, 255 (5052): 1663~1670.
- [3] 施雅风. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化 [M]. 广东科技出版社, 1998.
SHI Ya-feng. Late Cenozoic Qinghai-Tibet plateau uplift and environmental changes [M]. Guangdong Science and Technology Press, 1998.
- [4] 潘保田,高红山,李炳元,等. 青藏高原层状地貌与高原隆升 [J]. 第四纪研究, 2004, 24 (1): 50~57.
PAN Bao-tian, GAO Hong-shan, LI Bing-yuan, et al. Step-like landforms and uplift of the Qinghai-xizang plateau [J].

Quaternary sciences, 2004, 24 (1): 50 ~ 57.

- [5] 李吉均, 方小敏. 青藏高原隆起与环境变化研究 [J]. 科学通报, 1998, 43 (15): 1569 ~ 1574.
LI Ji-jun, FANG Xiao-min. Uplift of the Tibetan Plateau and environmental changes [J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43 (15): 1569 ~ 1574.
- [6] 施雅风, 汤懋苍, 马玉贞. 青藏高原二期隆升与亚洲季风孕育关系探讨 [J]. 中国科学 (D 辑), 1998, 28 (3): 263 ~ 271.
SHI Ya-feng, TANG Mao-cang, MA Yu-zhen. Discussion on the relationship between the second phase uplift of the Tibetan Plateau and Asian monsoon development [J]. Science in China (Series D), 1998, 28 (3): 263 ~ 271.
- [7] AN Zhi-sheng, HUANG Yong-song, LIU Wei-guo, et al. Multiple expansions of C4 plant biomass in East Asia since 7Ma coupled with Strengthened monsoon circulation [J]. Geology, 2005, 33 (9): 705 ~ 708.
- [8] Quade J, Cerling T E, Bowman J R. Development of Asian monsoon revealed by Marked ecological shift during the latest Miocene in Northern Pakistan. Nature, 1989, 342: 163 ~ 166.
- [9] Zheng H, Powell C M, Rea D K, et al. Late Miocene and mid-Pliocene enhancement of the East Asian monsoon as viewed from land and sea [J]. Global and Planetary Change, 2004, 41 (3/4): 147 ~ 155.
- [10] 汪洋, 张开均. 青藏高原新生代构造研究最新进展和构造发展的阶段性 [J]. 南京大学学报 (自然科学版), 2006, 42 (2): 199 ~ 219.
WANG Yang, ZHANG Kai-jun. Cenozoic Polyphase Deformation of Tibetan-Himalayan Orogen: A Review [J]. Journal of nanjing university (natural science), 2006, 42 (2): 199 ~ 219.
- [11] 安芷生, 张培震, 王二七, 等. 中新世以来我国季风-干旱环境演化与青藏高原的生长 [J]. 第四纪研究, 2006, 26 (5): 678 ~ 693.
An Zhi-Ssheng, Zhang Pei-zhen, WANG Er-qi, et al. Changes of the monsoon-arid environment in china and growth of the Tibetan Plateau since the miocene [J]. Quaternary sciences, 2006, 26 (5): 678 ~ 693.
- [12] Armijo R, Tapponnier P, Mercier J L, et al. Quaternary extension in southern Tibet: field observations and tectonic implications [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1986, 91 (B14): 13803 ~ 13872.
- [13] 王世锋, 张伟林, 方小敏, 等. 藏西南札达盆地磁性地层学特征及其构造意义 [J]. 科学通报, 2008 (6): 676 ~ 683.
WANG Shi-feng, ZHANG Wei-lin, FANG Xiao-min, et al. Magnetic stratigraphic characteristics of zhada basin in the southwest of the Tibet and its tectonic significance [J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53 (6): 676 ~ 683.
- [14] 陈贺海, 汉景泰, 丁仲礼, 等. 藏南乌郁盆地晚新生代沉积序列的时代及其区域构造意义 [J]. 中国科学:, 2007, 37 (12): 1617 ~ 1624.
CHEN He-hai, HAN Jing-tai, DING Zhong-li, et al. The sedimentary sequence era of wu yu basin in the Southern Tibet since the late Cenozoic and its tectonic significance [J]. Science in China (Series D): Earth Science, 2007, 37 (12): 1617 ~ 1624.
- [15] 王富葆, 李升峰, 张捷, 等. 吉隆盆地的形成演化、环境变迁与喜马拉雅山隆起 [J]. 中国科学:, 1996, 26 (4): 329 ~ 335.
WANG Fu-bao, LI Sheng-feng, ZHANG Jie, et al. The relationship between the formation、evolution、environment changes of Gyirong basin with the Himalayas uplift [J]. Science in China, 1996, 26 (4): 329 ~ 335.
- [16] 岳乐平, 邓涛, 张睿, 等. 西藏吉隆—沃马盆地龙骨沟剖面古地磁年代学及喜马拉雅山抬升记录 [J]. 地球物理学报, 2004, 47 (6): 1009 ~ 1016.
YUE Le-ping, DENG Tao, ZHANG Rui, et al. Paleomagnetic chronology and records of Himalayan uplift on the Longgugou section of Gyirong-Oma basin in Xizang (Tibet) [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2004, 47 (6): 1009 ~ 1016.
- [17] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏地层 [M]. 北京: 科学出版社, 1984: 373 ~ 399.
The Qinghai-Tibet plateau comprehensive scientific expedition of the Chinese academy of sciences. stratigraphy of Tibet [M]. Beijing: Sciences Press, 1984: 373 ~ 399.
- [18] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏第四纪地质 [M]. 科学出版社, 1983: 1 ~ 61.
The Qinghai-Tibet plateau comprehensive scientific expedition of the Chinese academy of sciences. Quaternary geology of Tibet [M], Sciences Press, 1983: 1 ~ 61.

- [19] 朱迎堂, 方小敏, 高军平, 等. 青藏高原南部乌郁盆地渐新世—上新世地层沉积相分析 [J]. 沉积学报, 2006, 24 (6): 775 ~ 782.
ZHU Yin-tang, FANG Xiao-min, GAO Jun-ping, et al. Oligo-Miocene depositional facies of the Wuyu basin, southern Tibetan Plateau [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24 (6): 775 ~ 782.
- [20] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 西藏阿里札达盆地上新世—早更新世的古植被、古环境与古气候演化 [J]. 地质学报, 2007, 81 (3): 295 ~ 306.
ZHU Da-gang, MENG Xian-gang, SHAO Zhao-gang, et al. Evolution of the Paleovegetation, Paleoenvironment and Paleoclimate During Pliocene-early Pleistocene in Zhada Basin, Ali, Tibet [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81 (3): 295 ~ 306.
- [21] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 西藏阿里札达盆地上新世—早更新世河湖相地层层序地层分析 [J]. 地学前缘, 2006, 13 (5): 308 ~ 315.
ZHU Da-gang, MENG Xian-gang, SHAO Zhao-gang, et al. Sequence stratigraphy of the Pliocene-early Pleistocene fluvio-lacus—trine facies strata in the Zanda basin, Ali, Tibet [J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13 (5): 308 ~ 315.
- [22] 钱方. 青藏高原晚新生代磁性地层研究 [J]. 地质力学学报, 1999, 5 (4): 22 ~ 34.
QIAN Fang. Study on magnetostratigraphy in Qinghai-Tibetan plateau in Late Cenozoic [J]. Journal of Geomechanics, 1999, 5 (4): 22 ~ 34.
- [23] Chamlagain D, Hayashi D. Fault development in the Thakkhola half graben: insights from numerical simulation [J]. 琉球大学理学部纪要, 2005 (79): 57 ~ 90.
- [24] Garzione C N, Dettman D L, Quade J, et al. High times on the Tibetan Plateau: Paleoelevation of the Thakkhola graben, Nepal [J]. Geology, 2000, 28 (2000): 339 ~ 342.
- [25] Cande S C, Kent D V. Revised calibration of the geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic [J]. J Geophys Res, 1995, 100: 6093 ~ 6095.
- [26] An Z S, Kutzbach J E, Prell W L, et al. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the HiMalaya-Tibetan plateau since Late Miocene times [J]. Nature, 2001, 411 (3): 62 ~ 66.
- [27] 黄万波, 计宏祥. 西藏三趾马动物群的首次发现及其对高原隆起的意义 [J]. 科学通报, 1978, 19: 885 ~ 885.
HUANG Wan-po, JI Hong-xiang. Discovery of Hipparion fauna in Xizang [J]. Chinese Science Bulletin, 1978, 19: 885 ~ 887.
- [28] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏古生物 [第一分册] [M]. 北京: 科学出版社, 1980: 18 ~ 32.
The Qinghai-Tibet plateau comprehensive scientific expedition of the Chinese academy of sciences. Palaeontology of Tibet: the first fascicule [M]. Beijing: Sciences Press, 1980: 18 ~ 32.
- [29] 邱占祥, 黄为龙, 郭志慧. 中国的三趾马化石 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.
QIU Zhan-xiang, HUANG Wei-long, GUO Zhi-hui. The Chinese hipparion fossils [M]. Beijing: Sciences Press, 1987.
- [30] 中国科学院西藏科学考察队. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告 [M]. 北京: 科学出版社, 1976: 14 ~ 16.
The Qinghai-Tibet Plateau Comprehensive Scientific Expedition of the Chinese Academy of Sciences. The report of scientific research in Everest region [M]. Beijing: Sciences Press, 1976: 14 ~ 16.
- [31] 朱志文. 西藏南部帕里和亚汝雄拉上新统和早更新统地层的古地磁学初步研究 [R]. 1980.
ZHU Zhi-wen. The paleomagnetism preliminary study of Pliocene-early Pleistocene formation of Pali basin and Yaruxiongla basin in southern Tibet [R]. 1980.
- [32] 刘文灿, 周志广, 高德臻, 等. 藏南亚东县帕里地区晚更新世—全新世湖相地层特征及古湖泊演化 [J]. 地质通报, 2006, 25 (6): 708 ~ 714.
LIU Wen-chan, ZHOU Zhi-guang, Gao De-zhen, et al. Late Pleistocene-Holocene lacustrine deposits and paleolake evolution in the Pali area, Yadong County, southern Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (6): 708 ~ 714.
- [33] 邓涛, 侯素宽, 王宁, 等. 西藏聂拉木达涕盆地晚中新世的三趾马化石及其古生态和古高度意义 [J]. 第四纪研究, 2015, 35 (3): 493 ~ 501.
DENG Tao, HOU Su-kuang, WANG Ning, et al. Hipparion fossils of the Dati basin in Nyalam, Tibet, China and their paleoecological and paleoaltimetry implications [J]. Quaternary geology, 2015, 35 (3): 493 ~ 501.

- [34] Coleman M, Hodges K. Evidence for Tibetan plateau uplift before 14 Myr ago from a new minimum age for east-west extension [J]. *Nature*, 1995, 374 (6517): 49 ~ 52.
- [35] Molnar P, Tapponnier P. Active tectonics of Tibet [J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 1978, 83 (B11): 5361 ~ 5376.
- [36] Searle M P. The rise and fall of Tibet [J]. *Nature*, 1995, 347 (6517), 17 ~ 18.
- [37] Dewey J F. Extensional collapse of orogens [J]. *Tectonics*, 1988, 7 (6): 1123 ~ 1139.
- [38] 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.
- [39] Armijo R, Tapponnier P, Han T. Late Cenozoic right-lateral strike-slip faulting in southern Tibet [J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 1989, 94 (B3): 2787 ~ 2838.
- [40] Royden L H, Burchfiel B C, King R W, et al. Surface Deformation and Lower Crustal Flow in Eastern Tibet [J]. *Science*, 1997, 276 (5313): 788 ~ 790.
- [41] Seeber L, Pêcher A. Strain partitioning along the Himalayan arc and the Nanga Parbat antiform [J]. *Geology*, 1998, 26 (26): 791 ~ 794.
- [42] 张进江, 郭磊, 丁林. 申扎一定结正断层体系中、南段构造特征及其与藏南拆离系的关系 [J]. *科学通报*, 2002, 47 (10): 738 ~ 743.
- ZHANG Jin-jiang, GUO Lei, DING Lin. The relationship between the middle and southern parts structure characteristics of the shen zha-dingjie normal fault system with the southern Tibet detachment system [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47 (10): 738 ~ 743.
- [43] 张进江, 丁林, 钟大赉, 等. 喜马拉雅平行于造山带伸展: 是垮塌的标志还是挤压隆升过程的产物? [J] *科学通报*, 1999, 44 (19): 2031 ~ 2036.
- ZHANG Jin-jiang, DING Lin, ZHONG Da-lai, et al. The Himalayan stretching parallel to orogenic belt: is the sign of collapse, or extrusion process of the product? *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44 (19): 2031 ~ 2036.
- [44] Kapp P, Guynn J H. Indian punch rifts Tibet [J]. *Geology*, 2004, 32 (11): 993 ~ 996.
- [45] McCaffery R, Nabelek J. Role of oblique convergence in the active deformation of the Himalaya and southern Tibetan Plateau [J]. *Geology*, 1998, 26 (8): 691 ~ 694.
- [46] England P, Houseman G. Extension during continental convergence, with application to the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 1990, 94 (B12): 17561 ~ 17579.
- [47] Blisniuk P M, Hacker B R, Glodny J., et al. Normal faulting in central Tibet since at least 13.5 Myr ago [J]. *Nature*, 2001, 412 (6847): 628 ~ 32.
- [48] Yin A, Harrison T M. Geologic Evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen [J]. *Annual Review of Earth & Planetary Sciences*, 2000, 28 (1): 211 ~ 280.
- [49] Yin A. Mode of Cenozoic east-west extension in Tibet suggesting a common origin of rifts in Asia during the Indo-Asian collision [J]. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 2000, 105 (B9): 21745 ~ 21759.
- [50] Liu M, Yang Y. Extensional collapse of the Tibetan Plateau: Results of three-dimensional finite element modeling [J]. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 2003, 108 (B8): ETG 2 ~ 1.
- [51] 钟大赉, 丁林. 青藏高原的隆起过程及其机制探讨 [J]. *中国科学 (D)*, 1996, 26 (4): 289 ~ 295.
- ZHONG Da-Lai, DING Lin. Rising process of the Qinghai-Xizang (Tibet) plateau and its mechanism [J]. *Science in China; Series D*, 1996, 26 (4): 289 ~ 295.
- [52] Chung S L, Lo C H, Lee T Y, et al. Diachronous uplift of the Tibetan plateau starting 40 Myr ago [J]. *Nature*, 1998, 394 (6695): 769 ~ 773.
- [53] Dai S, Fang X M, Song C H, et al. Early tectonic uplift of the northern Tibetan Plateau [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50 (15): 1642 ~ 1652.
- [54] 邓万明. 青藏高原新生代岩浆活动与岩石圈演化. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究学术论文年刊 (1994). 北京: 科学出版社, 1995: 288 ~ 296.
- DENG Wan-ming. Cenozoic magnetic actives and lithosphere evolution of the Qinghai-Xizang. In: *Formation and Evolution of the Tibetan Plateau, Environmental Changes and Ecological Svstem* (1994). Beijing: Science Press, 1995: 288 ~ 296.

- [55] FANG Xiao-min, ZHANG Wei-lin, MENG Qing-quan, et al. High-resolution magnetostratigraphy of the Neogene Huaitoutala section in the eastern Qaidam Basin on the NE Tibetan Plateau, Qinghai Province, China and its implication on tectonic uplift of the NE Tibetan Plateau [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2007, 258 (1/2): 293 ~ 306.
- [56] Chen W, Zhang Y, Zhang Y Q, et al. Late Cenozoic episodic uplifting in southeastern part of the Tibetan Plateau: Evidence from Ar-Ar thermochronology [J]. *Acta Petrologica, Sinica*, 2006, 22 (4): 867 ~ 872.
- [57] Zeitler P. Cooling history of the NW Himalaya, Pakistan [J]. *Tectonics*, 1985, 4 (1): 127 ~ 151.
- [58] Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, et al. Activation of the Nyainquentanghla shear zone: Implications for uplift of the southern Tibetan plateau [J]. *Tectonics*, 1995, 14: 658 ~ 676.
- [59] Molnar P, England P, Martinod J. Mantle dynamics, uplift of the Tibetan Plateau, and the Indian monsoon [J]. *Reviews of Geophysics*, 1993, 31 (4): 357 ~ 396.
- [60] Zheng D, Zhang P, Wan J, et al. Rapid exhumation at 8 Ma on the Liupanshan thrust fault from apatite fission-track thermochronology: Implications for growth of the northeastern Tibetan Plateau margin [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 248 (1/2): 198 ~ 208.
- [61] Wan J L, Wang Y, Li Q, et al. FT evidence of northern Al-tyn uplift in late-Cenozoic [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2001, 20 (4): 222 ~ 224.
- [62] Thiede R C, Arrowsmith J R, Bookhagen B, et al. From tectonically to erosionally controlled development of the Himalayan orogen [J]. *Geology*, 2005, 33 (8): 689 ~ 692.
- [63] 刘晓东, 刘懋苍. 论青藏高原隆起作用于大气的临界高度 [J]. *高原气象*, 1996, 15 (2): 2 ~ 11.
LIU Xiao-dong, TANG Mao-cang. On the critical height of the effect of Qinghai-Xizang plateau uplift on the atmosphere [J]. *Plateau Meteorology*, 1996, 15 (2): 2 ~ 11.
- [64] Quade J, Cerling T, Bowman J. Development of Asian monsoon revealed by marked ecological shift during the latest Miocene in northern Pakistan [J]. *Nature*, 1989, 342 (6246): 163 ~ 166.
- [65] Kroon D, Steens T, Troelstra S. Onset of monsoonal related upwelling in the western Arabian Sea as revealed by planktonic foraminifers [J]. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 1991, 117: 257 ~ 263.
- [66] Turner S, Hawkesworth C, Liu J, et al. Timing of Tibetan uplift constrained by analysis of volcanic rocks [J]. *Nature*, 1993, 364 (6432): 50 ~ 54.
- [67] Wang P X, Clemens S, Beaufort L, et al. Evolution and variability of the Asian monsoon system: State of the art and outstanding issues. *Quaternary Science Reviews*, 2005, 24 (5/6): 595 ~ 629.
- [68] 潘保田, 李吉均. 青藏高原: 全球气候变化的驱动机与放大器——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, 01: 108 ~ 115.
PAN Bao-tian, LI Ji-jun. Qinghai-Tibetan Plateau: A Driver and Amplifier of the Global Climatic Change. Ⅲ. The effects of the uplift of Qinghai-Tibetan Plateau on Climatic Changes. *Journal of Lanzhou University (natural Sciences)*. 1996, 01: 108 ~ 115.
- [69] Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, et al. Activation of the Nyainquentanghla shear zone: Implications for uplift of the southern Tibetan plateau [J]. *Tectonics*, 1995, 14: 658 ~ 676.
- [70] Robinson D M, Pearson O N. Exhumation of Greater Himalayan rock along the Main Central Thrust in Nepal: implications for channel flow. *Geol Soc London, Spec Publ*, 2006, 268 (1): 255 ~ 267.
- [71] 张克信, 王国灿, 曹凯, 等. 青藏高原新生代主要隆升事件: 沉积响应与热年代学记录 [J]. *中国科学 (D辑: 地球科学)*, 2008, (12): 1575 ~ 1588.
ZHANG Ke-xin, WANG Guo-can, CAO Kai, et al. The main Cenozoic uplift events of the qinghai-tibet plateau: sedimentary response and thermal chronology records. *Science in China (Series D): Earth Science*, 2008, (12): 1575 ~ 1588.
- [72] Decelles P G, Robinson D M, Quade J, et al. Stratigraphy, structure, and tectonic evolution of the Himalayan fold-thrust belt in western Nepal [J]. *Tectonics*, 2001, 20 (4): 487 ~ 509.
- [73] Robinson D M, Decelles P G, Patchett P J, et al. The kinematic evolution of the Nepalese Himalaya interpreted from Nd isotopes [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2001, 192 (4): 507 ~ 521.
- [74] Robinson D M, Decelles P G, Garzione C N, et al. Kinematic model for the Main Central Thrust in Nepal [J]. *Geology*,

2003, 31 (4): 359 ~ 362.

- [75] 张进江. 北喜马拉雅及藏南伸展构造综述 [J]. 地质通报, 2007, 26 (6): 639 ~ 649.

ZHANG Jin-jiang. A review on the extensional structures in the northern Himalaya and southern Tibet [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26 (6): 639 ~ 649.

- [76] Hurtado J M, Hodges K V, Whipple K X. Neotectonics of the Thakkhola Graben and implications for recent activity on the South Tibetan Fault System in the central Nepalese Himalaya [J]. Geological Society of America Bulletin, 2001, 113 (2): 222 ~ 240.

- [77] Liu C. Fission track thermochronology study of tectonic exhumation in the Gyirong of Tibet (Dissertation). China University of Geosciences (Wuhan), 2008, 33 ~ 44.

COMPARATIVE ANALYSIS ON THE MAGNETIC STRATA DEVELOPED IN THE LATE CENOZOIC BASINS IN THE SOUTHERN TIBET PLATEAU AND ITS ADJACENT AREAS

HE Lin^{1,2}, WU Zhong-hai², HA Guang-hao², ZHANG Hai-jun¹

(1. College of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The sedimentary strata among the late Cenozoic extensional rift basins with direction south-north or northeast records some important information about the uplift process of the Tibet plateau in southern Tibet and neighboring areas. Magneto stratigraphy is an important method to define the formation and evolution of the late Cenozoic basins. In this paper, we combed and analyzed the magnetic strata research results about the Zhada basin, Thakkhola basin in Nepal, Gyirong-Oma basin and Wuyu basin systematically. In southern Tibet and neighboring areas, we found two distinct sedimentary change events in the south-north basins since they emerged by the comparison and analysis on the geological events represented by the paleomagnetic chronological. The first is that all the basins began to receive deposits between 10.6 ~ 8.1Ma; and the second is that the basins began to die between 3.5 ~ 2Ma continuously. Moreover, the plateau have two obvious climate changes events at about 8Ma and 3Ma respectively by the summary on the climate change. Therefor the sedimentary and climate changes are near simultaneous. Besides, the ages of the Hipparion fossil in the Zhada basin, Gyirong-Oma basin and Datee basin are between 6.5 ~ 7Ma, also with nearly simultaneous. We thought that perhaps there were two relative strong uplift stages on the plateau in 10.6 ~ 8.1Ma and 3.5 ~ 2Ma by contacting with the overall evolution of the Tibet plateau. At the same time, we raised some questions exiting in the research about the magnetic strata of the late Cenozoic basins in the southern Tibet plateau neighboring areas and gave solutions. And, we offered some proposals for future research about magnetic stratigraphy in this region.

Key words: Tibet plateau; Late Cenozoic; magnetic stratigraphy; nearly south-north rifting basins; uplift of the plateau