

藏南吉隆盆地中新世—早更新世沉积演化

陈奋宁¹, 徐亚东^{2,3}, 陈锐明¹, 江尚松^{2,3}

CHEN Fen-ning¹, XU Ya-dong^{2,3}, CHEN Rui-ming¹, JIANG Shang-song^{2,3}

1. 中国地质调查局西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054;

2. 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北 武汉 430074;

3. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 湖北 武汉 430074

1. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

3. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, Hubei, China

摘要:位于喜马拉雅北麓的吉隆盆地中新统旦增竹康组,为冲积扇—辫状河沉积。沃马组沉积演化自下而上依次为扇三角洲—滨浅湖—扇三角洲,总体上表现为进积—退积—进积的沉积旋回。沃马剖面在 10~7.4Ma 期间,古流向主体为 SEE 向;7.4~1.67Ma,古水流方向主体为 SWW 向,说明 7.4Ma 以后,吉隆盆地古地理格局发生显著变化,古地势由原来的西高东低转变为后期的东高西低。根据沉积学、磁性地层学、年代学等方面的研究资料,将 10Ma 以来吉隆盆地的湖盆演化大致划分为 3 个阶段:10~7.4Ma,湖盆裂陷形成期;7.4~3.6Ma,湖盆扩展与稳定发展期;3.6~1.67Ma,湖盆萎缩消亡期,代表了盆地周围喜山的 3 次隆升期,即 10~7.4Ma、7.4~3.6Ma 和 3.6~1.67Ma,其中 3.6~1.67Ma 为强烈隆升期。

关键词: 吉隆盆地;中新世—早更新世;古流向;沉积演化

中图分类号:P512.2;P534.6

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2013)01-0154-11

Chen F N, Xu Y D, Chen R M, Jiang S S. Late Miocene–Early Pleistocene sedimentary evolution in Gyirong Basin, southern Tibet. *Geological Bulletin of China*, 2013,32(1):154–163

Abstract: The Gyirong Basin was located in the northern piedmont of the Himalayas. Sedimentary facies in Miocene Danzengzhukang Formation of the basin are composed from the bottom upwards of alluvial fan–braided river. The Orma Formation consists of delta facies–lacustrine facies–delta facies from bottom to top, which represents a progradation–reggradation–progradation sequence. The paleocurrent reflected in Orma section was mainly in SEE direction in 10–7.4Ma, and was in SWW direction in 7.4–1.67Ma. These data imply that the paleogeographic framework of Gyirong Basin changed drastically and its topography changed from high in the west and low in the east into high in the east and low in the west after 7.4Ma. Based on the sedimentary, magnetostratigraphic and chronologic data available, the authors hold that Gyirong Basin has experienced three evolutionary stages since 10Ma: 10–7.4Ma was the stage of rift and formation; 7.4–3.6Ma was the stage of expansion and steady development, an 3.6–1.67Ma was the stage of withering and extinction. These three stages represented the three uplift period of the Himalays, which included 10–7.4Ma, 7.4–3.6Ma and 3.6–1.67Ma, and the Himalayas was strongly uplifted during 3.6–1.67Ma.

Key words: Gyirong Basin; Late Miocene–Early Pleistocene; paleocurrent; sedimentary evolution

青藏高原的形成和隆升过程及其对全球气候环境的影响已成为地球科学研究的焦点^[1-4]。青藏高原及

其周边盆地新生代以来的沉积与生物化石群直接记录了高原隆升与气候演变的历程。但是过去几十年

收稿日期:2012-08-13;修订日期:2012-12-24

资助项目:中国地质调查局国家青藏高原专项项目《青藏高原新近纪隆升过程与地质事件群研究》(编号:1212011121261)、国家自然科学基金项目(批准号:41102073)和东昆仑成矿带基础地质综合研究(编号:1212011086005)。

作者简介:陈奋宁(1983-),女,硕士,助理研究员,从事沉积学及古生物学研究。E-mail:fenningsc@yahoo.com.cn

中,对于青藏高原隆升与气候变化的研究主要集中于高原周缘地区和远洋沉积方面^[5-17],而对高原内部所做工作甚少。

吉隆盆地位于青藏高原西南部、喜马拉雅山北坡的吉隆河上游,平均海拔 3900~4300m,出露面积 284km² (图 1)。吉隆盆地受其东侧一条南北向同沉积正断裂控制,形成了南北长、东西窄的带状断陷盆地(图 1)。盆地自中新世晚期以来沉积了巨厚的河湖相沉积地层,盆地的沉积过程完整地保存了新生代以来青藏高原隆升和盆地演化的重要信息,是研究青藏高原隆升和盆山耦合效应的理想地区。

20 世纪 60 年代以来,国内外学者先后对吉隆盆地做了较深入的研究,主要涉及古生物学^[18-23]、磁性地层学^[22,24-25]、古气候和古环境学^[21-22,26-29]、构造年代学^[3,30]等方面的研究。但晚新生代以来吉隆盆地沉积演化及其与高原隆升的关系一直没有统一的认识,笔者基于对吉隆盆地构造年代学、沉积学、物源、古水流、古地磁学、古生物和孢粉学等资料的分析,通过精细测制剖面、地层描述研究,对吉隆盆地的沉积盆地演化进行深入探讨。

1 实测剖面

本次实测沃马剖面位于吉隆盆地南部沃马村南约 2km 处(N28°45'01"、E85°17'56"),据区域地质填图资料^①,剖面位于盆地沉积中心。剖面自下而上出露的地层为中新统旦增竹康组(217.0m),中新统一下更新统沃马组(386.4m)和下更新统贡巴组(>60m)。旦增竹康组与下伏上侏罗统门卡墩组角度不整合接触,与上覆沃马组整合接触,沃马组与下更新统贡巴组整合接触(图 2)。旦增竹康组为灰红、紫红、粉红、橘红夹灰白、灰色和灰黄色等以红色为主的杂色巨厚层状砾岩,叠瓦状构造和冲刷面十分发育,夹紫红色含砾薄层泥岩、含砾粉砂质泥岩、含砾粗砂岩透镜体和灰白色砂质条带。沃马组下部和上部均以灰黄、黄褐砾岩和含砾粗砂岩与灰黄、黄褐、灰黑等杂色粉砂岩、泥岩互层为主,中部以灰黄、黄褐夹蓝灰、灰黑等杂色砂岩、粉砂岩、泥岩为主,夹少量砾岩和含砾粗砂岩。下更新统贡巴组下部主要为灰红、紫红、夹灰白、

灰色和灰黄色为主的巨厚层状砾岩,夹杂色中—细砂透镜体,砾岩中叠瓦状构造和冲刷面十分发育,未见顶。实测剖面岩石地层、年代地层序列和逐层岩性岩相描述详见图 2。

本文对吉隆盆地沃马组的年代地层格架,综合利用了王富葆等^[22]和岳乐平等^[25]建立的 7.2~1.67 Ma 的磁性地层年代。对整合于沃马组之下总厚为 217.0m 的旦增竹康组底部年龄,本文确定为约 10 Ma(图 2)。主要依据是:对导致吉隆盆地形成的正断层两侧进行了锆石和磷灰石裂变径迹年代学研究,得出该正断层的断裂活动起始年代为 13.4Ma±1.9Ma。Garziona 等^[31]通过对 Thakkhola 地堑填充物的研究,指出 Thakkhola 盆地形成于 11~9.6 Ma。吉隆盆地与 Thakkhola 盆地属同一地理区带,在成因上具有相似性,推测 2 个盆地控盆断裂的形成时

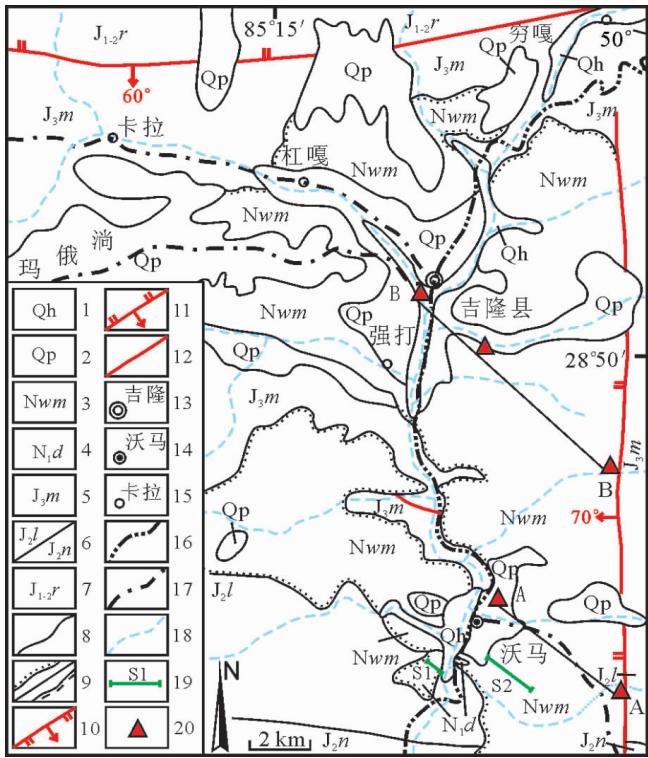


图 1 西藏吉隆盆地沃马组剖面位置及其地质简图

Fig. 1 Simplified geological map showing the location of the study section in Gyirong Basin, Tibet

- 1—全新统;2—更新统;3—中新统一下更新统沃马组;4—中新统旦增竹康组;5—上侏罗统门卡墩组;6—中侏罗统拉弄拉组/聂聂雄拉组;
- 7—下—中侏罗统日当组;8—一般地质界线;9—角度不整合/平行不整合界线;10—正断层;11—逆断层;12—性质不明断层;13—县行政所在地;14—村镇/居民点;15—居民点;16—公路;17—简易公路;
- 18—河流;19—剖面位置及编号;20—前人研究剖面位置

代基本一致。综合古地磁测年值与盆地形成的锆石和磷灰石裂变径迹年龄,笔者将吉隆盆地裂陷初始沉积的时间确定为 10Ma,得出吉隆沃马剖面上旦增竹康组年龄为 10~7.4Ma,沃马组年龄为 7.4~1.67Ma(图 2)。

2 沉积相及沉积体系

2.1 岩相类型划分

前人对吉隆盆地新生代的地层沉积相已开展了不少研究^[25, 27, 29, 32],但是缺乏对中新统旦增竹康组沉积相的研究。本文主要根据 Miall^[33-35]的岩相和岩相组合分析原理对沃马剖面自下而上进行详细的沉积相分析,讨论盆地的古流向、物源、沉积演化对盆地构造演化阶段的响应。

通过对沃马剖面进行详细的野外观察和室内综合分析研究,共识别出 12 个岩性相(表 1)。

通过对沃马剖面沉积地层的岩相及岩相组合进行分析,认为沃马剖面新近纪地层的沉积相类型主要包括冲积扇、辫状河、湖泊和扇三角洲 4 种沉积体系(图 2)。

2.1.1 冲积扇

该相主要发育于沃马剖面第 1~22 层和 122 层(图 2)。

沉积岩相主要为 Gc、Gm、GSs、Gh、Sp、Fm 岩相类型见表 1。Gc 为灰红色、紫红色、浅红色、粉红

色巨厚层、厚层状粗—巨砾岩夹砂岩透镜体,碎屑支撑,部分为泥质充填。砾石最大粒径可达 30cm,以 2~5cm 为主,砾石磨圆度为次圆—圆状,分选差。砾石成分以灰黑色硅质灰岩为主,含量在 50%以上,其次为石英岩和石英砂岩。单层厚度最厚可达 23m,砾石呈叠瓦状排列(Gm),其中砂岩透镜体中可见平行层理(Gh)、大型板状交错层理和楔状交错层理(Sp),层面底部发育底冲刷面(图版 I—B、D、E),为冲积扇扇根—扇中碎屑流沉积(图版 I—A、B、E)。Fm 为浅红色厚层状砾岩夹薄层状含砾泥岩夹含砾薄层泥岩,为冲积扇扇端低流态悬浮沉积(图版 I—C)。

2.1.2 辫状河相

该相发育于沃马剖面旦增竹康组上段第 23~29 层,沃马组下段 30~32 层(图 2)。

沉积岩相主要有 Gm、GSs、Sh、Sp 和 Fm。Gm 岩性主要为灰色—灰白色巨厚层砾岩夹石英粗砂岩透镜体,碎屑支撑,砾石最大粒径可达 10cm,主要为 1~3cm,砾石磨圆度为次圆—圆状,分选差。砾石成分主要为硅质灰岩,含量在 60%以上,其次为石英岩。砾岩中砾石呈叠瓦状排列(Gm)(图版 II—A)或岩石呈块状或与灰黄色巨厚层含砾岩屑石英中—粗砂岩呈粒序韵律层理(GSs)(图版 II—B),含砾砂岩、石英中—粗砂岩中发育楔状交错层理和板状交错层理 (Sp)(图版 II—C、D),局部夹紫红色中厚层状,块状中粗砂

表 1 沃马剖面主要岩相类型^[33-39]

Table 1 Major lithofacies types of Orma section

岩性相	岩相代码	沉积构造	解 释
砾石, 泥质填隙	Gc	块状构造	碎屑流沉积
砾石, 颗粒支撑	Gm	块状构造, 叠瓦状构造	河道滞留沉积
砾石, 颗粒支撑	Gss	粒序韵律层理	重力流沉积
砾石, 颗粒支撑	Gp	楔状, 板状交错层理	纵向沙坝, 横向沙坝
细—粗砂, 可含砾	Sh	平行层理	高流态, 平坦床砂迁移
细—粗砂, 可含砾	St	槽状交错层理	低流态, 沙丘迁移
细—粗砂, 可含砾	Sp	楔状, 板状交错层理	纵向沙坝, 横向沙坝
粉—细砂	Sr	波状层理	水流波痕迁移
细—粗砂	Ss	滑塌变形层理	三角洲前缘快速堆积, 同生或准同生变形
泥—细砂	Fl	砂泥互层水平层理	低密度重力流与悬浮沉积交替
泥—粉砂	Fm	块状层理, 水平层理	悬浮沉积

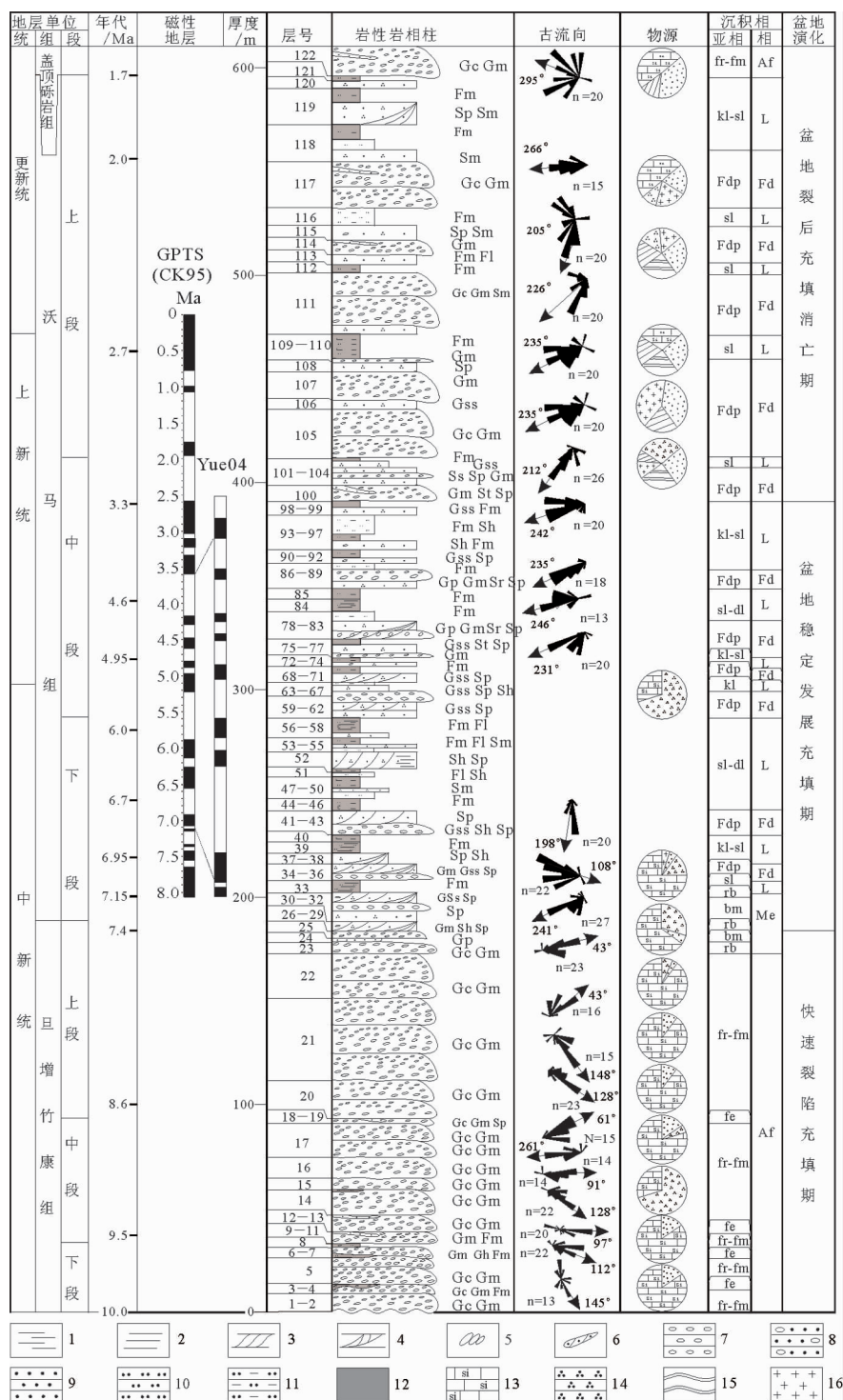


图 2 西藏吉隆盆地沃马剖面中—上新世旦增竹康组与沃马组综合柱状图

Fig. 2 Composite stratigraphic columnar section of Neogene Danzengzhukang Formation and Orma Formation in Gyirong Basin, Tibet

1—平行层理;2—水平层理;3—板状交错层;4—楔状交错层理;5—叠瓦状构造;6—砂砾石透镜体;7—砾岩;8—含砾砂岩;
9—砂岩;10—粉砂岩;11—泥质粉砂岩、粉砂质泥岩;12—泥岩;13—硅质灰岩;14—石英岩;15—板岩;16—花岗岩;
Af—冲积扇;fr—fm—扇根—扇中;rb—河流;fe—扇端;Me—辫状河流相;bm—河道砂坝;fp—泛滥平原;fd—扇三角洲;
Fdp—扇三角洲平原;L—湖泊;kl—滨湖;sl—浅湖;dl—深湖

岩(Sm),为辫状河河道砂坝沉积。整体由多个粗—细韵律组成,每个韵律通常代表一次洪水作用(图版Ⅱ-B)。Fm为灰色薄层状、块状粉砂岩、泥岩,为辫状河泛滥平原沉积(图版Ⅱ-C)。

2.1.3 湖泊相

该相主要发育于沃马剖面第33、37~40、44~58、64~74、82~85、89~99、104、110、112~113、116、118~121层(图2)。

沉积岩相主要有Gp、Sp、Sh、Sr、Fm和Fl。实测剖面深湖相地层少见,主要为滨浅湖相。Sp为灰黄色石英中粗砂岩,黄褐色厚层石英粗砂岩局部夹细砾岩透镜体,含砾粗砂岩(Gp)。Sh为深灰色、黄色中—细砂岩(Sr)(图版Ⅱ-D、G),局部夹Sr(图版Ⅱ-H)。Fm为青灰色薄层泥岩与灰黄色薄层泥岩互层,蓝灰色、浅蓝灰色粉砂岩,土黄色泥岩和深灰色泥岩互层,红棕色薄层泥岩(图版Ⅱ-C、E)。Fl为青灰色薄层状粉砂岩与杂色薄层粉砂质泥岩互层,灰黑色薄层粉砂岩与粉砂质泥岩互层,深灰色中层细砂岩,灰黄色细砂岩(图版Ⅱ-F)。层内见植物化石,腹足、孢粉、介形虫化石:*Leucocytherella glabra*, *L. trinoda*, *L. hyalina*, *Candoniella xizangensis*, *C. zadaensis*, *Leucocythere sp.*, *Leucocythere mirabilis*, *Leucocythere dorsotuberosa*, *L. mirabilis*, *L. buranyensis*, *L. subsculpta* Huang, *Ilyocypris xizangensis*, *I. subdushanensis*, *Qinghaicypris medialis* Yang, *Herpetocyprilla dvalyi*, *Candona himalayaensis*及轮藻化石,反应滨浅湖沉积。

2.1.4 扇三角洲相

该相主要发育于沃马剖面第34~36、41~43、59~63、75~81、86~88、100~103、105~109、111、114~115、117层(图2)。

沉积岩相主要有Gc、Gm、GSs、Gp、Sp、St、Ss和Sm。Gc为深灰色、灰红色巨厚层巨砾岩、中粗砾岩。主要为碎屑支撑,部分为泥质充填。砾石最大粒径可达10cm,以1~3cm为主,砾石磨圆度为次圆—圆状,分选差。砾石成分主要为硅质灰岩和花岗岩,其次为石英岩和石英砂岩。砾石呈叠瓦状排列(Gm)(图版Ⅲ-A、F、H)或定向排列形成粗糙大型斜层理(Gp)(图版Ⅲ-B)或岩石呈块状或与灰黄色巨厚层含砾岩屑石英中—粗砂岩呈粒序韵律层理(GSs)(图版Ⅲ-D),具明显的冲刷凹槽,其中发育有大量的大中型槽状交错层理(St)(图版Ⅲ-E)、大型板状和楔状交错层理(Sp)(图版Ⅲ-B),局部夹紫红色中厚层

状、块状中粗砂岩(Sm)(图版Ⅲ-G),含砾砂岩、石英中—粗砂岩中发育楔状交错层理和板状交错层理(Sp)(图版Ⅲ-E)其中冲刷充填构造十分发育。此外,在局部砂岩中发育滑塌变形层理(Ss)(图版Ⅲ-C),滑塌变形层理的发育显示沉积物当时快速堆积于坡度较大的水下斜坡,由于重力失稳在同沉积期发生滑塌变形,它是扇三角洲前缘沉积的重要标志。上述这种沉积组合与浅湖砂泥岩共生,表明它们是由高密度碎屑流推进湖泊的过程中,受湖水改造的产物。这种沉积组合代表扇三角洲沉积体系。

3 古流向与物源分析

3.1 古流向分析

古流向数据和砾岩成分分析提供了盆地演化期间大量沉积物源区的位置和组成的信息。露头古水流方向的测量是揭示沉积区古物源的有力手段,它是鉴定古沉积环境和重塑古地理景观的重要方法^[40~41]。研究古流向及物源对于恢复研究区的古地理有着重要的意义。吉隆沃马剖面保存有数量众多的指示古水流方向的沉积标志。笔者在野外对沉积地层中板状、楔状交错层理的前积纹层及砾石扁平面进行了系统的产状统计,得到了旦增竹康组共16组古流向数据,沃马组共14组古流向数据。

室内研究阶段对统计数据进行了校正,并绘制古流向玫瑰花图,恢复了沃马剖面在沉积时期流水的古流向(图2)。沃马剖面1~22层同沉积时期,古水流方向主体为SEE向(图2),显示沉积古地势为西高东低。从第25层开始古水流方向发生显著变化,自第26层开始古水流方向主体为SWW向(图2),说明第25层后约7.4Ma吉隆盆地的古地理格局发生了明显变化,研究区古地势由原来的西高东低转变为后期的东高西低。

3.2 物源分析

沉积岩中的砾石和碎屑成分为揭示沉积物物源及源区的隆升、剥露历史提供了重要证据。通过对沃马剖面旦增竹康组第1~26层冲积扇相砾石成分的统计分析得出,旦增竹康组砾石成分以硅质灰岩为主,未见花岗岩和板岩(图2),这些硅质灰岩主要来自盆地西部的侏罗纪地层。对吉隆沃马剖面第32~122层河道砾岩和扇三角洲相砾石成分统计分析得出,砾石仍以硅质岩为主,花岗岩和板岩占有一定的比例。结合本文的古流向数据,笔者认为硅质

图版 I Plate I



A.沃马剖面第2层冲积扇扇根重力流沉积,发育叠瓦状构造,底部具底冲刷面;B.第7层冲积扇扇根-扇中重力流沉积,发育叠瓦状构造,底部具底冲刷面;C.第8层冲积扇扇端沉积,发育水平层理;D.第9层冲积扇扇根-扇中重力流沉积,发育叠瓦状构造,底部具底冲刷面;E.第19层冲积扇扇中重力流沉积,发育楔状交错层理,平行层理,底部具底冲刷面;
F.第15层冲积扇扇根-扇中重力流沉积,发育粗序韵律层理。岩相代码同表1

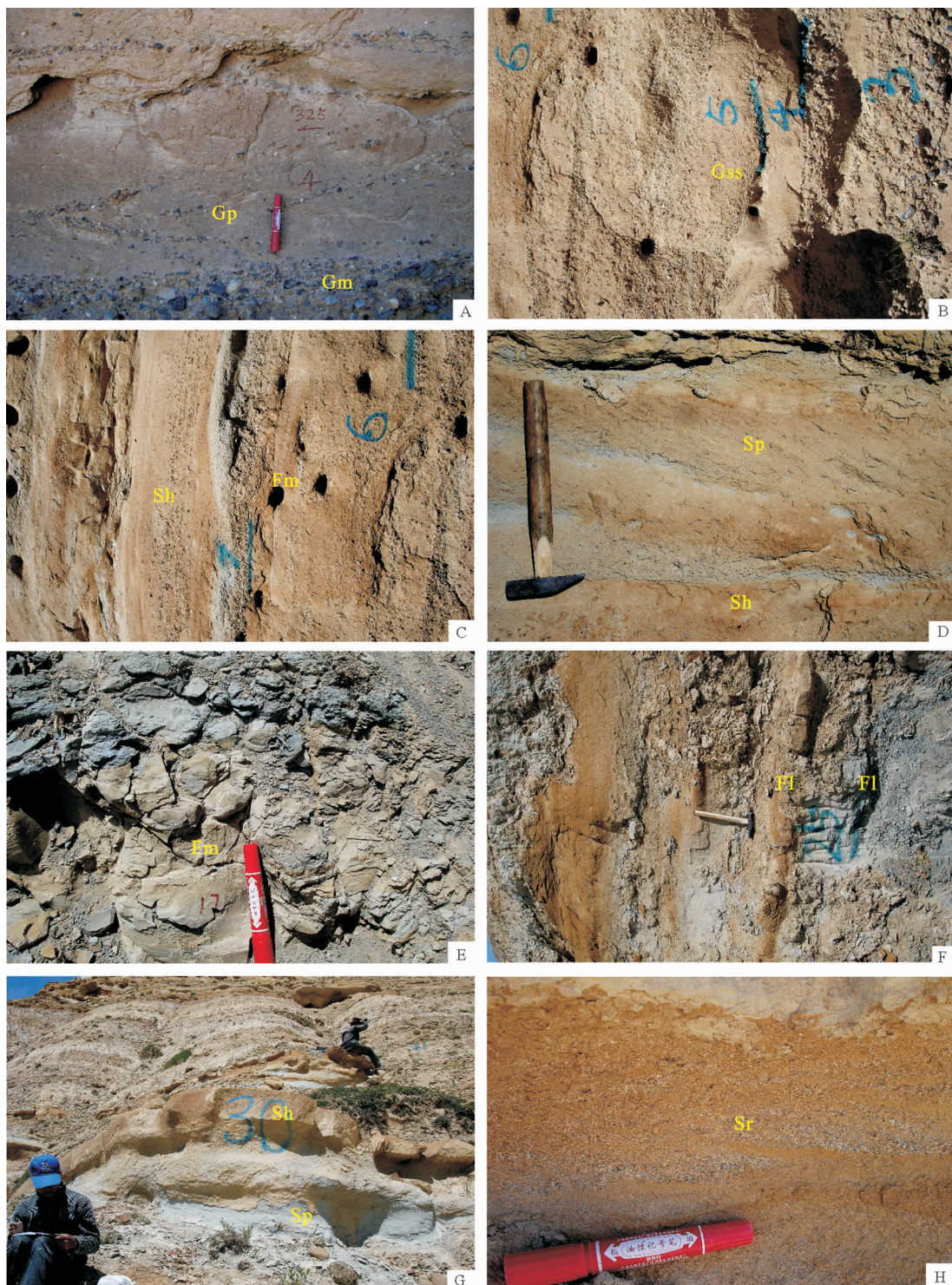
岩、板岩来源于盆地东部的侏罗纪地层,花岗岩来源为新生代的侵入岩。这种物源的显著变化再次佐证了25层后约7.4Ma, 吉隆盆地古地理格局发生了明显变化, 研究区古地势由原来的西高东低转变为后期的东高西低。

4 吉隆盆地新近纪的沉积演化与喜马拉雅山隆升过程

吉隆盆地为典型的受南北向正断层控制的断陷

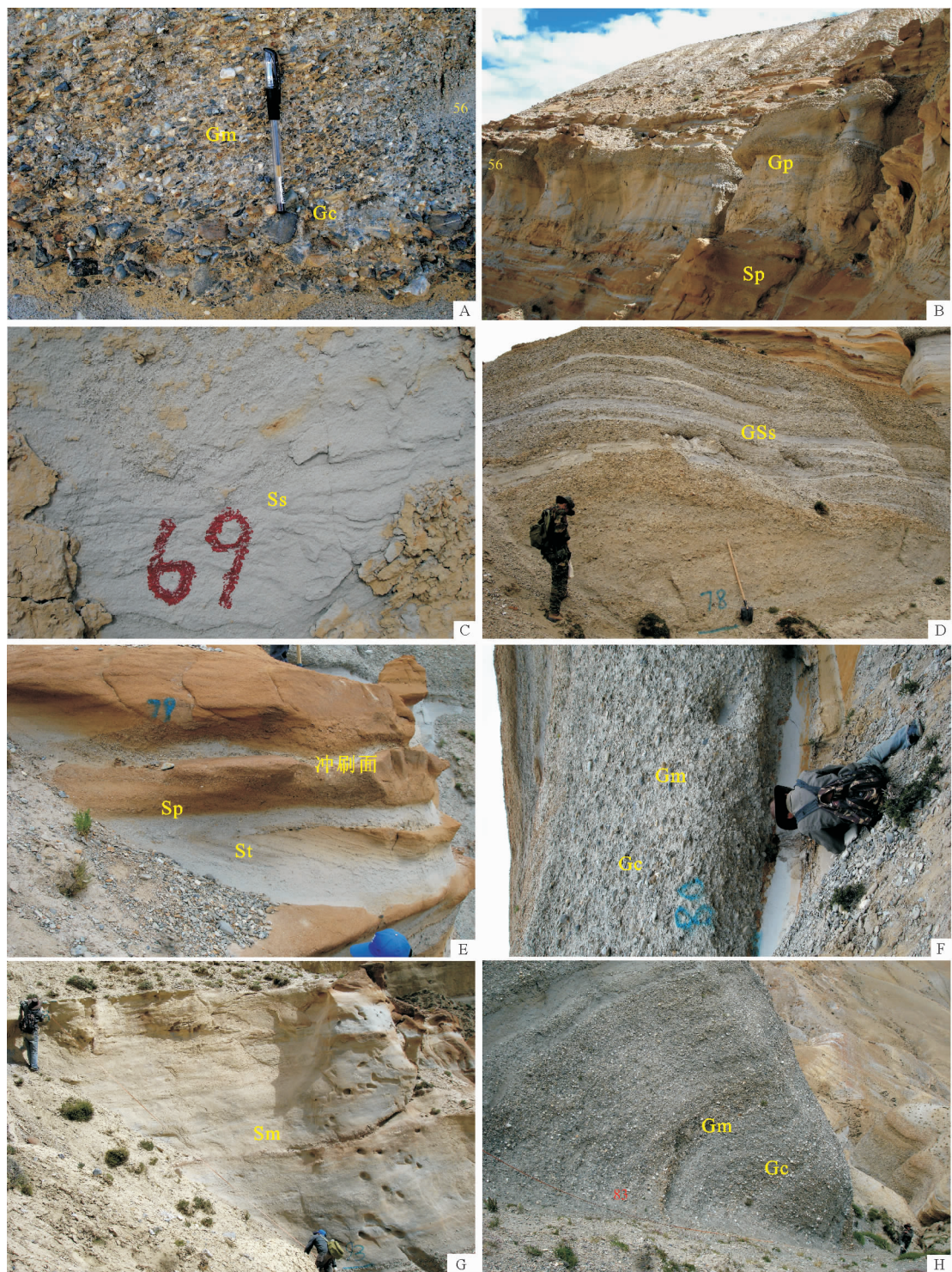
盆地, 且增竹康组沉积时沉积中心位于控盆断裂一侧(图3), 盆地东部深、西部浅, 这个时期盆地形成了大量早期的粗碎屑冲洪积物进入湖盆, 形成了以冲积扇相为主的沉积, 古流向和物源分析数据显示这些碎屑物来源于盆地西部, 说明随着控盆断裂强烈活动, 断陷盆地开始形成, 大量粗碎屑进入湖盆。沃马组下段约7.4Ma, 东缘发育一些小型的扇三角洲沉积, 其它区域以滨-浅湖沉积为主, 未见深湖相沉积, 说明当时湖泊面积较小, 湖水较浅。沃马组中

图版 II Plate II



A. 吉隆沃马剖面旦增竹康组上段第 26 层辫状河重力流沉积, 发育楔状交错层理和叠瓦状构造; B. 旦增竹康组上段辫状河重力流沉积, 发育粗序韵律层理; C. 旦增竹康组上段辫状河高流态沉积, 发育平行层理; D. 旦增竹康组顶部第 29 层辫状河重力流沉积, 发育平行层理和板状交错层理; E. 沃马组下段第 39 层浅湖悬浮沉积, 发育水平层理; F. 沃马组下段第 47 层滨浅湖低密度重力流与悬浮沉积, 发育水平层理; G. 沃马组下段第 52 层滨湖低密度重力流沉积, 发育平行层理和板状交错层理; H. 沃马组中段第 81 层滨湖低密度重力流沉积, 发育波状层理。岩相代码同表 1

图版 III Plate III



A. 吉隆沃马剖面沃马组中段第 78 层水下扇三角洲扇高密度碎屑流沉积,发育叠瓦状构造;B. 沃马组中段第 78 层水下扇三角洲重力流沉积,发育楔状交错层理和板状交错层理;C. 沃马组中段第 91 层水下扇三角洲水下斜坡滑塌层理;D. 沃马组中段第 100 层水下扇三角洲重力流沉积,发育粗粒序韵律层理;E. 沃马组中段第 101 层水下扇三角洲重力流沉积,发育楔状交错层理,板状交错层理和槽状层理;F. 沃马组上段第 102 层水下扇三角洲高密度碎屑流沉积,发育叠瓦状构造;G. 沃马组上段 115 层水下扇三角洲重力流沉积;H. 沃马组上段 105 层水下扇三角洲高密度碎屑流沉积,发育叠瓦状构造。岩相代码同表 1

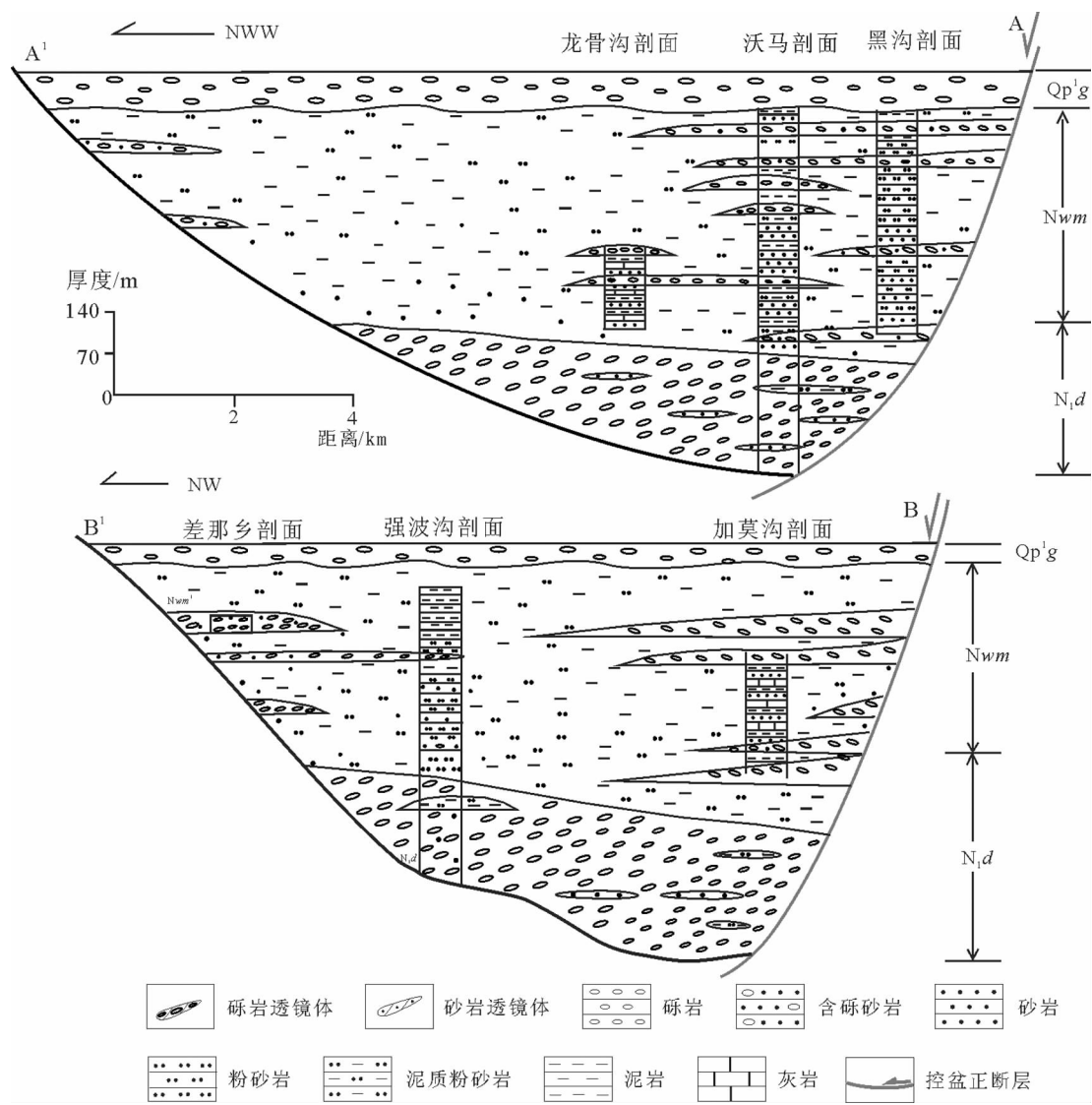


图 3 吉隆盆地旦增竹康组和沃马组对比与横断面(AA' 和 BB' 横切剖面位置见图 1)

Fig. 3 Correlation of Dangzengzhukang and Orma Formations and cross section in Gyirong Basin

N_{id}—旦增竹康组;N_{um}—沃马组;Qp¹g—盖顶砾岩

段沉积时期断陷持续拉张,湖水变深,在断陷的中部见深湖—半深湖沉积,其它区域以滨—浅湖沉积为主,在盆地周缘普遍发育小型扇三角洲沉积,说明沃马组中段较下段湖盆面积变大。沃马组上段约 3.6Ma,受青藏高原的强烈隆升,湖盆开始萎缩,湖水开始变浅,断陷进入萎缩阶段。在断陷周缘普遍发育扇三角洲沉积,其它区域以滨—浅湖沉积为主。1.67Ma 贡巴砾岩的出现代表了吉隆盆地的消亡。

综上所述,形成于 10Ma 的吉隆盆地湖盆演化

大致可分为 3 个阶段:10~7.4Ma,湖盆裂陷形成期;7.4~3.6Ma,湖盆扩展与稳定发展期;3.6~1.7Ma,湖盆萎缩消亡期。这 3 个阶段代表了盆地周围喜马拉雅山的 3 次隆升期,其中 3.6~1.67Ma 为强烈隆升期。

5 结 论

(1)吉隆盆地中新统旦增竹康组自下而上为冲积扇—辫状河沉积。

(2)沃马组沉积演化自下而上依次为扇三角洲—

滨浅湖—扇三角洲,总体上表现为进积—退积—进积的沉积旋回。

(3)沃马剖面 10~7.4Ma 期间,古流向主体为 SEE 向,7.4Ma~1.67Ma 间,古水流方向主体为 SWW 向,说明 7.4Ma 以后,吉隆盆地古地理格局发生显著变化,古地势由原来的西高东低转变为后期的东高西低。

(4)将 10Ma 以来吉隆盆地的湖盆演化大致划分为 3 个阶段:10~7.4Ma,湖盆裂陷形成期;7.4~3.6Ma,湖盆扩展与稳定发展期;3.6~1.67Ma,湖盆萎缩消亡期,代表了盆地周围喜马拉雅山的 3 次隆升期,其中 3.6~1.67Ma 为强烈隆升期。

致谢:本文在研究过程中得到了中国地质大学(武汉)张克信教授、王国灿教授和向树元教授的指导,研究生刘超、王鹏、曾方明和孟艳宁在野外工作过程中给予帮助,审稿专家提出了宝贵的修改意见,在此一并深表感谢。

参考文献

- [1]Kroon D, Steens T N F, Troelstra S R. Onset of monsoonal related upwelling in the western Arabian Sea.Proceedings of the Ocean Drilling Program[J].Scientific Results, 1991, 117: 257-263.
- [2]Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, et al. Raising Tibet[J]. Science, 1992, 255(27): 1663-1670.
- [3]Coleman M, Hodges K. Evidence for Tibetan plateau uplift before 14 myr ago form a new minimum age for southeastern estension[J]. Nature, 1995, 374:49-52.
- [4]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.
- [5]Jian ZM, Cheng X R, Zhao Q H, et al. Oxygen Isotope Stratigraphy and event s in the North South China Sea during the Last 6 Million Years[J]. Science in China (Ser D), 2001, 44 (10) : 952-960.
- [6]宋春晖,方小敏,李吉均,等.青藏高原北缘酒西盆地 13 Ma 以来沉积演化与构造隆升[J].中国科学(D 辑),2001,31: 155-162.
- [7]宋春晖,方小敏,李吉均,等.青海贵德盆地晚新生代沉积演化与青藏高原北部隆升[J].地质评论,2003,49 (4) : 337-346.
- [8]方小敏,宋春晖,戴霜,等.青藏高原东北部阶段性变形隆升:西宁、贵德盆地高精度磁性地层和盆地演化记录[J].地学前缘,2007,14(1) : 230-242.
- [9]郑洪波,陈惠忠,靳鹤龄,等.上新世—早更新世青藏高原北缘隆升的磁性地层学证据 [J].海洋地质与第四纪地质,2002,22(2): 57-62.
- [10]谢远云,李长安,张序强,等.青藏高原东北缘黄土的气候演化与高原隆升的耦合[J].中国地质,2003,30(4) : 436-441.
- [11]范马洁,宋春晖.青藏高原东北缘临夏盆地王家山地区沉积环境分析与构造隆升[J].兰州大学学报:自然科学版,2003,39 (3) : 84-89.
- [12]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.
- [13]孙有斌,安芷生.最近 7 Ma 黄土高原风尘通量记录的亚洲内陆干旱化的历史和变率[J].中国科学(D 辑),2001,31 (9) : 769-776.
- [14]鹿化煜,安芷生,王晓勇,等.最近 14 Ma 青藏高原东北缘阶段性隆升的地貌证据[J].中国科学(D 辑),2004,34 (9) : 855-864.
- [15]施炜,马寅生,吴满路.共和盆地剖面第四纪孢粉组合特征及环境演化[J].地质力学学报,2004,10 (4) : 310-318.
- [16]黎敦明,肖爱芳,李新林,等.青藏高原隆升与环境效应[J].陕西地质,2004,22 (1) : 1-10.
- [17]薛祥煦,岳乐平,周杰,等.陕西旬邑晚新生代红土 2 黄土序列磁化率特征与环境变迁[J].第四纪研究,2003,23 (1) : 103-108.
- [18]徐仁,陶金容,孙湘君.希夏邦马峰高山栎化石层的发现及其在植物学和地质学上的意义[J].植物学报,1973,15(1): 103-119.
- [19]计宏祥,徐钦琦,黄万波.西藏吉隆沃马公社三趾马动物群[C]//西藏古生物(第一分册).北京:科学出版社,1980: 18-32.
- [20]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升的意义[J].科学通报,1979,19:885-888.
- [21]陈万勇.喜马拉雅山中段上新世三趾马动物群生活环境的探讨[J].古脊椎动物与古人类,1982,20(1): 45-54.
- [22]王富葆,李升峰,申旭辉,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(D 辑),1996,26(6):329-335.
- [23]Wang Yang, Deng Tao, Biasatti D. Ancient diets indicate significant uplift of southern Tibet afterca[J]. Geology, 2006, 34(4), 309-312.
- [24]申旭辉,王富葆,张杰.西藏吉隆盆地晚新生代磁性地层学研究及有关问题讨论[C]//青藏高原形成演化、环境变迁与生态环境系统研究学术论文年刊.北京:科学出版社,1995:103-110.
- [25]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.
- [26]李吉均,文世宣,张青松.青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨[J].中国科学(D 辑),1979, (6): 608-616.
- [27]陈万勇,范贵忠,于浅黎.西藏吉隆盆地上新世沉积相、粘土矿物特征及古气候[J].古脊椎动物与古人类,1977,15(4): 260-270.
- [28]孙黎明,阎同生,唐桂英,等.西藏吉隆盆地新近纪孢粉组合及古地理研究[J].中国地质,2007,34(1): 49-54.
- [29]王德朝,张进江,杨雄英,等.吉隆盆地构造、环境演化与青藏高原隆升[J].北京大学学报(自然科学版),2009,45(1): 79-89.
- [30]刘超,王国灿,王岸,等.喜马拉雅山脉新生代差异隆升的裂变径迹热年代学证据[J].地学前缘,2007,14(6): 273-281.
- [31]Garzzone C N, DeCelles PG, Hodkinson DG, et al. East-west extension and Miocene environmental change in the southern Tibetan plateau: Thakkhola graben, central Nepal[J]. Geological Society of America Bulletin, 2003, 115(1): 3-20.
- [32]张振利,田立富,范永贵,等.萨嘎县幅、桑桑区幅、吉隆县幅地质调查新成果及主要进展[J].地质通报,2004,23(5/6): 427-432.
- [33]Miall A D. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: A summary [C]// Miall A D. Fluvial Sedimentology. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, 1978, 5597-604.

[34]Miall A D. Principles of sedimentary basin analysis[M]. New York : Springer-Verlag, 1984:668.

[35]Miall A D. The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology[M]. Berlin:Springer-Verlag, 1996.

[36]JESSE T K, ERIK P K, KENNETH A, et al. Compound paleovalley fills in the Lower Pennsylvanian New River Formation, West Virginia, USA[J]. Sedimentary Geology, 2008, 208:15-26.

[37]Ghibaudo G. Subaqueous sediment gravity flow deposits: Practical criteria for their description and classification[J]. Sedimentology, 1992, 39: 423-454.

[38]Horton B K, Schmitt J G. Sedimentology of the lacustrine fan2delta system, Miocene Horse Camp Formation , Nevada , USA[J]. Sedimentology , 1996, 43: 133-155.

[39]Blair T C, Mcpherson J G. Alluvial Fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages[J]. Journal of Sedimentary Research, 1994, 64: 450-489.

[40]王世虎, 焦养泉, 吴立群, 等.鄂尔多斯盆地西北部延长组中下部古物源与沉积体空间配置[J]. 地球科学, 2007, 32(2):202-208.

[41]王晓丰, 张志诚, 郭召杰, 等. 酒西盆地早白垩世沉积特征及原型盆地恢复[J].石油与天然气地质, 2008, 29(3):304-311.

①河北省地质调查院. 西藏 1:25 万萨嘎县幅(H45C003001)、吉隆县幅(H45C004001)国内部分区域地质调查报告. 2002.