

西藏阿里札达盆地早更新世早期沉积 及其古气候与古环境变化

朱大岗¹ 孟宪刚¹ 邵兆刚¹ 杨朝斌² 韩建恩¹
余 佳¹ 孟庆伟¹ 吕荣平¹

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 西藏自治区国土资源厅, 西藏 拉萨 850000)

摘要:综合分析了西藏阿里札达盆地早更新世早期的多种与气候环境变化密切相关的地质记录, 结果表明该区早更新世早期的沉积可划分为 3 种不同的沉积相和 4 个岩性段; 古气候与古环境变化可划分为 4 个阶段: (1) 2.68~2.45 Ma, 为冲洪积相沉积, 冻融褶皱开始出现, 植被以乔木为主, 主要为松、藜、蒿, 属山地寒温气候; (2) 2.45~2.11 Ma, 为冲洪积相, 地层中冻融褶皱多呈扭曲状, 草本植物迅速上升, 显示出灌木草原气候特征, 气候变得凉爽干燥; (3) 2.11~1.49 Ma, 沉积相为冲洪积相—冰缘沉积相, 以冰缘沉积相为主, 冻融褶皱层开始增多, 出现了喜凉的介形类化石, 草本植物数量和种类达到最大, 灌木也相对增加, 显示气候进一步趋于干旱; (4) 1.49~1.36 Ma, 为冰湖沉积相, 地层中普遍出现冻融褶皱, 喜凉的介形类化石丰度很高, 草本植物有小幅下降, 但蕨类植物增加幅度较大, 显示了干冷草原气候特征, 气候干旱寒冷。

关键词:西藏札达; 早更新世早期; 孢粉记录; 冻融褶皱; 气候与环境变化

中图分类号: P532 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000—3657(2006)06—1276—09

青藏高原早更新世的气候与环境变化是第四纪早期全球变化的重要时期, 对第四纪以来的全球变化起到了奠基作用, 而且影响着其后的全球气候与环境的变化过程, 对于判断未来全球气候变化能提供重要的参考依据^[1-3]。但是, 由于受后期风化剥蚀作用的影响, 早更新世的气候与环境变化的地质纪录往往保存不完整, 且很少出露。因此, 有关的调查研究成果报道很少。

西藏札达盆地地处青藏高原西部结点的阿里地区象泉河流域(N31°40', E79°45'一带), 由于平均海拔 5 800~6 000 m 的喜马拉雅山, 及其北面支脉阿伊拉日居山耸立在研究区的两侧, 使位于该区的札达盆地及其周缘高山区, 分属于藏南谷地温暖半干旱高原季风气候和羌塘寒冷半干旱季风气候两种截然不同的气候区^[4]。正是这种特殊的地理条件致使该区对青藏高原的气候变化反映极为敏感, 在早更新世期间, 研究区内发育了湖相地层、河流沉积、冰川沉积、冲洪积物等多种成因的堆积物。在上述沉积物中包含了丰富的区域气候与

环境变化的信息。笔者根据区内冲洪积—冰缘相地层的沉积相、孢粉组合特征、介形类组合特征、冰缘现象的发育等地质记录, 来综合分析探讨札达盆地早更新世早期气候与环境变化过程。

1 札达盆地早更新世早期沉积地层与沉积相

1.1 沉积地层与剖面位置

札达盆地早更新世早期沉积地层香孜组(Qp¹x), 其剖面(P₄、P₅)位于盆地的北部(图 1)香孜乡附近, 剖面起点(P₄)坐标: N31°49', E79°40', 海拔 4 538 m(GPS 测量); 剖面终点(P₅)坐标: N31°49', E79°38', 海拔 4 287 m(GPS 测量)。出露的地层厚度为 250.2 m, 其中, 砾岩、砂砾岩厚达 204 m, 占 81.6%。

1.2 沉积相划分

根据野外观察, 按其岩性特征, 将该剖面由下至上划分为 3 种不同的沉积相和 4 个岩性段(图 2)^[5]:

收稿日期: 2006-05-22; 改回日期: 2006-09-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40572134)和中国地质调查局项目(1212010511902)共同资助。

作者简介: 朱大岗, 男, 1951 年生, 研究员, 博士生导师, 从事区域地质、沉积相与古环境研究; E-mail: dagangzhu@sohu.com。

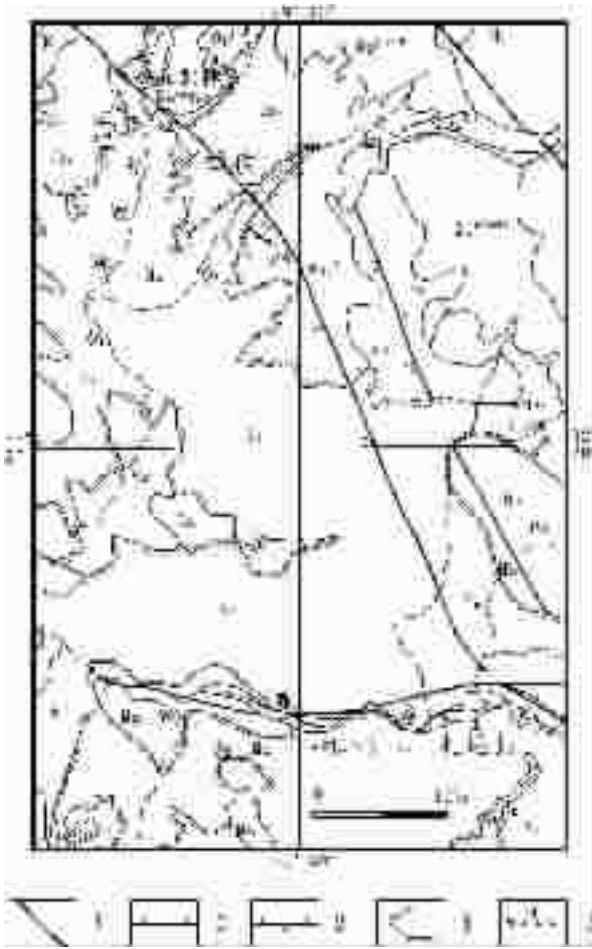


图 1 札达盆地香孜剖面位置及区域地质图

Qpx¹⁻¹—下更新统香孜组; Qp¹⁻⁽²⁻⁵⁾—更新统冰水冰碛堆积;
Qp²⁻³—中上更新统冰碛冰水堆积; N₂—上新统; Mz—中生界;
Pz—古生界; 1—断层; 2—正断层; 3—逆断层;
4—不整合界线; 5—剖面及编号

Fig.1 Geological map and location of the Qangzê Formation section in the Zanda basin

Qpx¹⁻¹—Lower Pleistocene Qangzê Formation; Qp¹⁻⁽²⁻⁵⁾—Pleistocene glaciofluvial till; Qp²⁻³—Middle-upper Pleistocene glaciofluvial till; N₂—Pliocene; Mz—Mesozoic; Pz—Paleozoic; 1—Fault; 2—Normal fault; 3—Reversed fault; 4—Unconformity; 5—Section and number

(1) 冲洪积相: 香孜组中下部为冲洪积相, 由第一和第二岩性段组成, 砾岩常夹杂泥质岩, 成层性较差, 砾石磨圆度、分选性差, 多为次棱角状, 岩石胶结不佳, 易风化, 厚 159 m。

(2) 冰缘沉积相: 香孜组上部为冰缘相, 由第三岩性段组成, 其特点是冻融褶皱十分发育, 厚 68.5 m。

(3) 冰湖沉积相: 香孜组顶部为冰湖相, 出现较为发育的冰湖纹泥沉积, 并见有坠石现象, 厚 22.7 m。

1.3 岩性段划分

根据不同的沉积相, 自下而上可分为:

(1) 第一岩段(Qp^{1-1a}x): 为灰色—灰紫色厚层砾岩夹含砾长石岩屑粗砂岩及灰黄色泥质粉砂岩, 后者局部夹有黑色炭质条带。砾石磨圆度和分选性较差。砾石成分因地而异, 多与周边基底岩性相同。岩石的成熟度和成层性不佳。本段中部和底部见有大型单斜板状交错层理及不明显的平行层理。具有一定的冲洪积成因特征, 可能属于冲洪积扇靠近扇头部分。砾岩多为厚—巨厚层状, 粉砂岩多为中厚层—薄层状。本段底部为厚 15 m 左右的砾岩, 与下伏古格组(N₂g)呈角度不整合接触^[6]。厚 101.1 m。其 ESR 年龄 2.68~2.33 Ma(表 1)。

(2) 第二岩段(Qp^{1-1b}x): 上部为深灰色厚层状砾岩。砾石中出现灰黑色片状板岩、千枚岩砾石。砾石多为次棱角状, 部分为次圆状, 砂泥质胶结, 成岩性差, 比较松散。下部为砾岩夹含砾长石岩屑粗砂岩, 砾岩与粗砂岩厚度比为 2:1, 厚 57.9 m。本段不明显的平行层理比较常见, 属于冲洪积扇的扇中部分。其 ESR 年龄为 2.24~1.97 Ma(表 1)。

(3) 第三岩段(Qp^{1-1c}x): 本岩段在香孜一带多有出现, 厚度为 68.5 m, 其 ESR 年龄 1.81~1.51 Ma(表 1)。为一套深灰色—灰黑色厚层状砾岩与灰黄色中厚层状泥质粉砂岩、含砾钙质岩屑长石砂岩互层。本段所出现的数层泥质粉砂岩中普遍出现冻融褶皱。这一现象为本岩段最为突出的地质特征。本段偶见板状交错层理, 不明显的平行层理比较常见。属于冰缘沉积相。该岩段内产植物孢粉和介形类。

(4) 第四岩段(Qp^{1-1d}x): 本岩段与上覆的下更新统香巴组(Qp¹⁻²x)冰水沉积砾呈整合接触。其 ESR 年龄为 1.49~1.36 Ma(表 1)。下部为砾岩, 上部为薄层状粘土质、粉砂质泥岩、细砂岩, 呈灰黄色、灰红色页片状, 由厚 1~10 mm 的红、黄纹泥组成, 一般层厚不超过 1 m, 有坠石现象。厚度为 22.7 m, 属于冰湖沉积相。

因此, 笔者认为札达盆地香孜组沉积形成的时代为 2.68~1.36 Ma^[7-8], 即早更新世早期。

2 孢粉组合特征及其古植被与古气候意义

2.1 样品采集与分析

笔者在香孜组剖面上共采集到 34 个孢粉分析样品, 由于岩性不同, 采样间距也不等。样品按粘土含量程度取 50 g、100 g、120 g 不等, 每个样品经氢氟酸溶矿处理过筛后获得孢粉化石及藻类化石, 然后进行分析。藻类化石有盘星藻(*Pediastrum*)、双星藻(*Zygnema*)及刺球藻(*Baltisphaeridium*)。孢粉由中国地质科学院水文地质环境地质研究所童国榜研究员鉴定。统计的孢粉化石含量用百分数表示, 基数为木本、草本、蕨类植物的总和, 藻类含量以浓度表示。

2.2 主要孢粉类型

在 34 个样品中共统计鉴定到 3660 粒孢粉, 平均每样 107.6 粒, 孢粉平均浓度为每样 27.2 粒/g(一般低于 30 粒/g, 最低为 4.6 粒/g, 最高为 101.7 粒/g), 分属 180 个类型。

主要孢粉类型有乔木植物花粉: 松(*Pinus*)、云杉(*Picea*)、冷杉(*Abies*)、桦(*Betula*)、柳(*Salix*); 灌木植物花粉: 绣线菊

界	系	统	组与岩性段		代号	柱状图	厚度 (m)	沉积相	岩性描述
			香巴组	一岩段					
新 生 界	第 四 系	下 香 孜 新 统	香巴组	一岩段	Qp ^{1-2g} _x		>60	冰川	冰川泥砾堆积, 砾石成分复杂, 多呈棱角状、次棱角状
				四岩段	Qp ^{1-1d} _x		22.7	冰湖	下部为砾岩, 上部为粘土质粉砂质泥岩、细砂岩, 含坠石构造。产介形类化石
				三岩段	Qp ^{1-1c} _x		68.5	冰缘	砾岩与泥质粉砂岩、含砾钙质岩层长石见砂岩互层, 顶部细砂岩。粘土质粉砂岩, 质细砂岩。冻融褶皱发育。产石抱粉和介形类化石
				二岩段	Qp ^{1-1b} _x		57.9	冲积	上部砾岩; 下部砾岩类夹含砾长石岩屑粗砂岩, 产抱粉和介形类化石
				一岩段	Qp ^{1-1a} _x		101.1	洪积	砾岩夹含砾长石岩屑粗砂岩及少量粘土粉砂质细砂岩。顶部为含砾细砂岩; 底部砾岩交错层理发育, 产抱粉化石
	新近系	上新统	古格组	五岩段	N ₂ ^{2-5g}		>30	浅湖	砾岩与泥质粉砂岩互层

图 2 札达下更新统香孜组地层柱状图

Fig.2 Columnar section of the lower Pleistocene Qangzê Formation in Zanda County, Tibet

(*Spiraea*)、麻黄 (*Ephedra*)、水柏枝 (*Myricaria*)、接骨木 (*Sambucus*) 等; 草本植物花粉: 藜科 (*Chenopodiaceae*)、蒿 (*Artemisia*)、禾本科 (*Gramineae*)、菊科 (*Compositae*)、毛茛 (*Ranunculus*)、玄参科 (*Scrophulariaceae*)、虎耳草 (*Saxifraga*)、蔷薇科 (*Rosaceae*)、唇形科 (*Labiatae*) 等, 还有少量新近纪形态属分子: 多种三沟粉 (*Tricolpopollenites*)、扁三沟粉 (*Tricolpites*)、网面三孔沟粉 (*Retitricolpites*)、单沟粉 (*Monocolpollenites*) 等; 蕨类植物孢子: 凤尾蕨 (*Pteris*)、铁线蕨 (*Adiantum*) 等, 还有形态属分子水龙骨单缝孢 (*Polypodiaceasporites*) 等。

2.3 孢粉带划分及其所反映的古植被与古气候

依据札达香孜剖面几种典型孢粉类型图示 (图 3), 初步

将其划分为 2 个大的孢粉带, 4 个孢粉亚带, 从下至上分别为: 2.3.1 I 带

剖面深度为 191~247 m, 样品采自早更新世香孜组第一岩段 (Qp^{1-1a}_x) 下部, 反映早更新世初期的植被状况。本带孢粉比较丰富, 共鉴定出孢粉 389 粒, 其中乔木花粉 215 粒, 灌木花粉 40 粒, 草本植物花粉 121 粒, 蕨类孢粉 13 粒。浓度一般为 8~80 粒/g。以乔木植物花粉组合为主, 含量约 65%。其次为草本植物花粉, 约为 20%。灌木和蕨类孢粉较少, 均为 10% 左右。主要花粉成分为松 (*Pinus*)、藜科 (*Chenopodiaceae*)、蒿 (*Artemisia*)。其特点是以喜阴的针叶林花粉为主, 反映了山地寒温带暗针叶林气候特征^④。

表 1 西藏阿里札达盆地香孜剖面 ESR 样品测年数据

岩段	样品编号	剖面深度/m	岩性	测试矿物	年龄/Ma
第四岩段	P4E2	2.4	粘土粉砂质细砂岩	石英	1.36±0.1
	P4E4	15.6	砂岩	石英	1.49±0.2
第三岩段	P4E6	35.1	泥质粉砂岩	石英	1.51±0.2
	P4E10	55.2	泥质粉砂岩	石英	1.62±0.2
	P4E12	72.9	泥质粉砂岩	石英	1.72±0.2
	P4E14	89.4	泥质粉砂岩	石英	1.81±0.2
第二岩段	P5E10-6	105.75	含砾粗砂岩	石英	1.97±0.2
	P5E9-1	107.7	含砾粗砂岩	石英	2.11±0.2
	P5E9	116.7	含砾粗砂岩	石英	2.17±0.2
	P5E8	124.5	含砾粗砂岩	石英	2.24±0.2
	P5E7	159.6	含砾细砂岩	石英	2.33±0.3
	P5E6-1	175.8	含砾粗砂岩	石英	2.41±0.3
第一岩段	P5E6	191.1	含砾粗砂岩	石英	2.45±0.3
	P5E5	206.1	含砾粗砂岩	石英	2.57±0.3
	P5E4	221.1	粘土粉砂质细砂岩	石英	2.68±0.3

注:ESR 样品的年代由成都理工大学 ESR 实验室梁兴中教授测定,2004。

2.3.2 II 带

剖面深度为 0~191 m,样品采自早更新世香孜组第一岩段(Qp^{1-1a}x)上部和香孜组第二、第三、第四岩段(Qp^{1-1b}x、Qp^{1-1c}x、Qp^{1-1d}x),反映早更新世早期植被状况。本带中草本植物花粉占绝对优势,在鉴定出的 3271 粒孢粉中,乔木花粉 1089 粒,灌木花粉 342 粒,草本植物花粉 1748 粒,蕨类孢粉 92 粒。浓度一般为 6~100 粒/g。以草本植物花粉组合为主,达 53%左右,乔木植物花粉迅速减少,由早期的 55%下降到 33%左右,灌木植物花粉显著增加,约 10%,最高达到 27%,此阶段是整个剖面中灌木植物最为发育的时期。蕨类植物孢子呈断续出现,分布不均匀,平均为 3%左右。晚期蕨类植物孢子明显增加,达到 28%。主要花粉为蒿(*Artemisia*,约 22%)、松(*Pinus*,约 28%)、藜科(*Chenopodiaceae*,约 11%)、禾本科(*Gramineae*,约 4.5%)、绣线菊(*Spiraea*,约 5%)、毛茛(*Ranunculus*,约 1%),以及麻黄(*Ephedra*,约 1%)等。按灌木植物花粉和蕨类孢子含量变化,II 带又可分为以下 3 个亚带:

(1)下部亚带 II₁:剖面深度 103~191 m,样品采自早更新世香孜组第一岩段(Qp^{1-1a}x)上部和香孜组第二岩段(Qp^{1-1b}x)。在时间上从老到新,孢粉组合特征为木本花粉快速下降,草本植物花粉迅速上升,其中松(*Pinus*)、桦(*Betula*)孢粉下降最为显著,而落叶栎(*Quercus*)、常绿栎(*Cyclobalanopsis*)孢粉在这一带中开始出现,特别是常绿栎仅在这一带中出现,说明这一时段内有过短期的气温相对变暖,但是整体趋势是在变冷;同时,下部亚带 II₁又是整个地层中唯一没有检测到蕨类孢子的区段,反映当时的气候向干旱寒冷转变,体现了由山地暗针叶林向灌木草原气候变化的特征^[9]。

(2)中部亚带 II₂:剖面深度 5~103 m,样品采自早更新世香孜组第三岩段(Qp^{1-1c}x)和第四岩段(Qp^{1-1d}x)下部,基本保持了下部亚带 II₁晚期的组合特征,松(*Pinus*)、桦(*Betula*)孢粉均保持了相对低的水平,而落叶栎(*Quercus*)、常绿栎(*Cyclobalanopsis*)孢粉已经消失,同时蕨类孢子断续出现。草本植物孢粉保持了很高的含量(平均达 57%),最高含量可达 73%,同时种类有所增加;灌木花粉也相对增加,特点是喜阴的针叶林花粉逐渐减少,反映气候进一步趋于干旱,高寒灌木草丛群落占优势。本段灌木花粉含量在相对稳定基础上存在几次较少波动,同时伴随有藜科的增加和蒿属的降低,体现了在高寒灌木草原大的气候条件下出现的高寒荒漠气候波动特征^[10]。同时,该带中冻融褶皱十分发育,说明在一定的时期内,该区的气温低于零摄氏度。

(3)上部亚带 II₃:剖面深度 0~5 m,样品采自早更新世香孜组第四岩段(Qp^{1-1d}x)顶部的纹泥层,孢粉主要类型与前带基本相近。组合中草本植物有小幅下降,灌木花粉下降明显,但蕨类植物孢子增加幅度较大,最大为 28%。属于干草原气候特征^[12]。

3 介形类组合显示的时代、古气候与古环境

笔者在香孜组剖面上共采集到微体古生物样品 37 块,经常规处理分析,在 34 块样品中发现了介形虫化石共计 5 属 11 种,由中国地质科学院地质力学研究所田国强副研究员鉴定。

产于下更新统香孜组中上岩段(Qp^{1-1b}x、Qp^{1-1c}x、Qp^{1-1d}x)介形虫化石含量很丰富,如见 *Candona xizangensis* Huang;

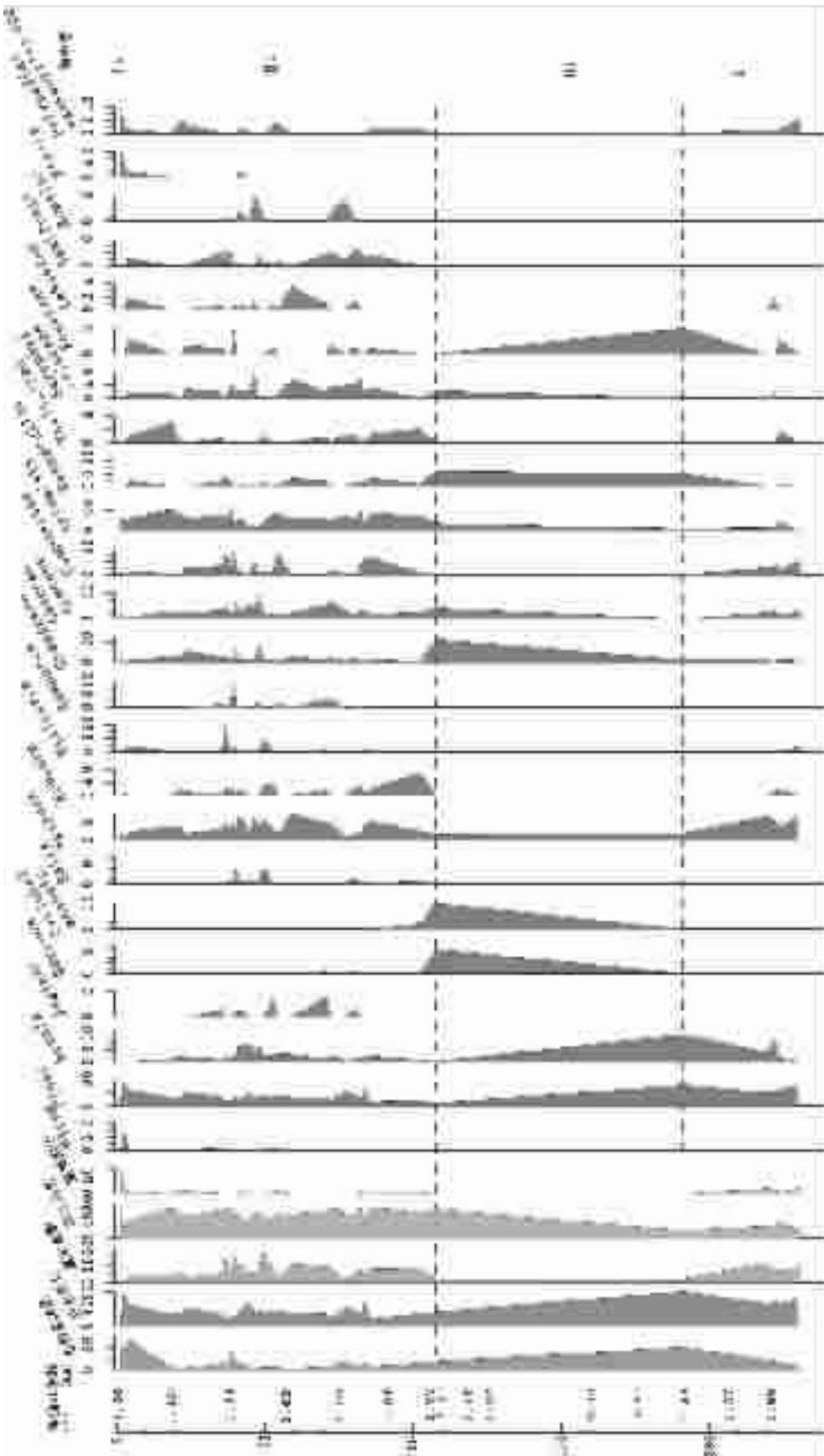


图3 西藏札达盆地香孜组地层中常见孢粉类型的百分含量变化图式
Fig.3 Variation diagram of percentages of common sporopollen types in strata of the Qangzê Formation in the Zanda basin, Tibet

Candoniella xizangensis You et Huang; *C. mirabilis* Xchneider; *C. vulgaris* Yang; *Lencocythere mirabilis* Kaufmann; *L. postilirata* Pang; *L. exilitropis* Huang; *L. dorsotuberosa* Huang; *L. reticulata* Huang; *Leucocytherella sinensis* Huang; *L. trinoda* Huang 及少量的轮藻化石。因此, 香孜剖面上的介形虫化石组合为湖花介属 *Limnocythere*; 小湖花介属 *Limnocytherellina*; 小白花介属 *Leucocytherell* 等, 为典型的冷水湖相属为主的化石组合。以玻璃介属 *Candona*; 小玻璃介属 *Candoniella* 为主的化石组合, 指示近静水环境^[13,14]。

从香孜组剖面所见介形虫化石的地质、地理分布来看, 大多是晚新生代地层中较为常见的化石, 除部分可在上新世地层中出现外, 大多数则在更新世地层中广泛发育。因此, 可以推论香孜组的地层时代不会早于上新世, 也不应晚于更新世, 将其时代定为更新世早期为宜。

该化石组合以 *Lencocythere* 属 5 种, *Leucocytherella* 属 2 种, *Candoniella* 属 2 种, *Candona* 属 1 种的化石丰度很高, 这后两个属均为喜凉生物。该组合化石未见喜暖的 *Ilyocypris* 属, 而喜凉的 *Candona*、*Candoniella* 属的化石丰度很高, 其含量从开始出现—增多—极为丰富, 故推测当时是气候逐渐偏凉的沉积环境。

4 古冰缘现象

分布于冰川作用的外围地区的古冰缘现象具有重要的古气候与古环境意义^[15]。札达盆地及其周缘高山区分布最广的和最典型古冰缘现象主要是冻融褶皱。冻融褶皱是一种在极度寒冷条件下形成的非构造成因的小型褶曲, 是在细粒冰水沉积物经过反复结冻和融化的物理变化过程中形成的小型层理弯曲现象, 其与构造挤压成因的褶曲有所不同, 分布较杂乱, 方向性不好^[16]。

札达盆地及其周缘的冻融褶皱, 具有多期性, 可分为 4

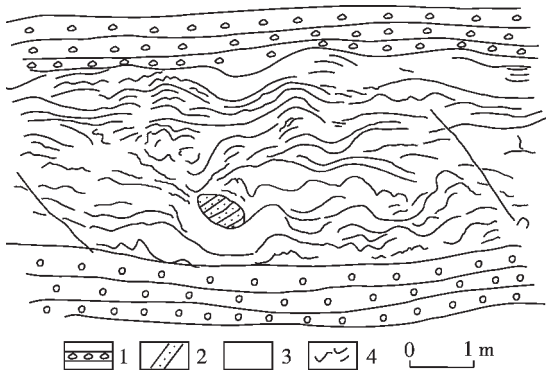


图 4 香孜组三岩段(Qp^{1-3x})中发育的冻融褶皱
1—砾岩; 2—砂岩; 3—泥质粉砂岩; 4—冻融褶皱

Fig.4 Freeze-and-thaw folds in the Third Member of the Qangzê Formation

1—Conglomerate; 2—Sandstone; 3—Argillaceous siltstone; 4—Freeze-and-thaw fold

期。最早的一期始见于早更新世香孜组的下部第一岩段(Qp^{1-1a}x), 褶皱幅度较大, 可达 0.4~0.6 m; 第二期, 少见于早更新世香孜组的中部第二岩段(Qp^{1-1b}x), 褶皱较宽大, 幅度也较大, 呈扭曲状。在海拔 4 300 m 的香巴地区, 早更新世香孜组第三岩段(Qp^{1-1c}x)的砂岩、泥质粉砂岩中, 呈波状起伏的冻融褶曲十分发育, 局部有穿绕现象(图 4), 反映冰缘沉积环境特征^[7]。在香孜组第四岩段(Qp^{1-1d}x)沉积层中冻融褶皱也极为常见, 可达十余层之多, 但褶皱幅度较小, 为厘米级。

总的来说, 香孜组剖面从下至上, 冻融褶皱从偶见到发育, 从稀疏到密集, 从少到多, 从褶皱幅度较大→扭曲状褶皱→局部有穿绕现象, 表明该地区的古气候从早到晚呈现出逐渐变冷的趋势。

5 札达盆地早更新世早期气候与环境演化

根据古冰缘现象、沉积地层演化及其地层中所含孢粉、介形类化石记录, 可将札达盆地早更新世早期的气候环境演化过程, 从早到晚, 划分为以下 4 个阶段(表 2)。

(1) 2.68~2.45 Ma, 以冲洪积成因的灰色—灰紫色厚层砾岩夹含砾长石岩屑粗砂岩及灰黄色泥质粉砂岩组成, 最早一期褶皱幅度较大的冻融褶皱开始出现。地层中的孢粉浓度不高, 为 8~80 粒/g。以乔木植物花粉为主, 含量约 65%。其次为草本植物花粉, 灌木和蕨类孢粉较少。主要花粉成分为松、藜、蒿, 还有少量常绿栎、落叶栎及暖性针叶树种雪松等, 以喜阴的针叶林花粉为主。气候温凉偏干, 显示出山地寒温带暗针叶林气候特征。

(2) 2.45~2.11 Ma, 以冲洪积成因的深灰色厚层状砾岩和砾岩夹含砾长石岩屑粗砂岩组成, 此时, 不很发育的冻融褶皱多呈扭曲状出现。喜凉的 *Candona*、*Candoniella* 属的介形类化石开始出现。地层中的木本植物花粉快速减少, 草本植物花粉迅速增加, 其中松、桦孢粉减少最为显著, 而落叶栎、常绿栎的孢粉含量有所提高, 反映气候向干旱寒冷转变。此时, 气候凉爽而干燥, 显示出由山地暗针叶林向灌木草原气候变化的特征。

(3) 2.11~1.49 Ma, 沉积相为冲洪积相—冰缘沉积相, 以冰缘沉积相为主, 其岩性主要有砾岩、粗砂岩、粉砂岩等, 在冲洪积相地层中冻融褶皱层开始增多, 在冰缘沉积相地层中普遍出现冻融褶皱。地层中喜凉的 *Candona*、*Candoniella* 属的介形类化石逐渐增多; 松、桦孢粉均保持了相对低的水平, 而落叶栎、常绿栎孢粉已经消失, 蕨类孢子断续出现, 而草本植物孢粉保持了最高含量, 同时种类有所增加, 灌木花粉也相对增加, 特点是喜阴的针叶林花粉逐渐减少, 反映气候进一步趋于干旱, 高寒灌木草丛群落占优势。体现了在高寒灌木草原大的气候条件下, 气候偏冷而干旱, 出现了高寒荒漠气候波动特征。

(4) 1.49~1.36 Ma, 以冰缘沉积相的深灰色—灰黑色厚层状砾岩与灰黄色中厚层状泥质粉砂岩、含砾钙质岩屑长石砂岩互层组成, 在数层泥质粉砂岩中可见褶皱幅度较小的冻

表2 西藏阿里札达盆地香孜组生物演化与气候环境变化关系

Table 2 Relations of the biological evolution and climatic and environmental changes of the Qangzê Formation in the Zanda basin, Ngari, Tibet

阶段	时限/Ma	冻融褶皱	微体古生物	孢子花粉	古植被	古气候
4	1.49~1.36	褶皱幅度较小	<i>Candona</i> 、 <i>Candoniella</i> 属化石丰度很高	草本植物、蕨类植物为主	高寒草原	寒冷干旱
3	2.11~1.49	冻融褶皱层增多, 普遍出现	<i>Candona</i> 、 <i>Candoniella</i> 属化石含量增多	松 (<i>Pinus</i>)、桦 (<i>Betula</i>) 少量, 灌木为主, 见草本植物	灌木草原	偏冷干旱
2	2.45~2.11	扭曲状褶皱	<i>Candona</i> 、 <i>Candoniella</i> 属化石开始出现	落叶栎 (<i>Quercus</i>)、常绿栎 (<i>Cyclobalanopsis</i>) 为主	暗针叶林-灌木草原	凉爽干燥
1	2.68~2.45	褶皱幅度较大		松 (<i>Pinus</i>)、藜 (<i>Chenopodiaceae</i>)、蒿 (<i>Artemisia</i>) 为主	暗针叶林	温凉偏干

融褶皱。地层中喜凉的 *Candona*、*Candoniella* 属介形类化石丰度很高;草本植物孢粉含量则有大幅度下降,灌木花粉下降更为明显,蕨类植物孢子增加幅度较大,最大为 28%,显示出寒冷干旱的高寒草原气候特征。

从上面的分析可以看出上新世时期,本区气候是一种干旱(或半干旱)-半湿润的亚热带高山或高山类型^[7,9-12];进入早更新世后,本区气候趋于干旱寒冷,出现了冰川堆积^[18],笔者认为这正是本区快速隆升、海拔升高的结果。

6 结论与讨论

(1)从孢粉带百分比图式(图3)的变化来看,带Ⅰ、带Ⅱ之间是一明显的分界,带Ⅰ孢粉组合中乔木植物花粉占优势,主要为松,其中经常含有多量云杉及一定量的落叶栎、常绿栎或栗/石栎等,且有少量亚热带成分,具新近纪特点。带Ⅱ孢粉组合中草本植物花粉占优势,主要为藜、蒿,而云杉、栎类花粉及亚热带花粉成分等少见,具第四纪特点,这与从沉积物特征分析得出的结论基本一致^[5,8,17]。而在剖面深 191.1 m 处,ESR 样品年龄为(2.45±0.3) Ma,这点大致位于带Ⅰ、带Ⅱ之间的分界位置处,这与上新世和更新世的分界年代 2.60 Ma 比较接近。

(2)从盆地沉积记录看,早更新世早期香孜组(Qp^{1-1x}),属冰缘区冲洪积相—冰缘沉积相,主要岩性为下部砾岩夹含砾长石岩屑粗砂岩及少量粘土粉砂质细砂岩;中部为砾岩夹含长石岩屑粗砂岩;上部为砾岩与泥质粉砂岩、含砾钙质长石岩屑砂岩互层;顶部粘土质粉砂质细砂岩纹泥层,并被第四纪早更新世冰碛所覆盖。这表明札达盆地早更新世早期经历了冲积体系域和水进体系域,即沉积了香孜组后,便进入了第四纪冰期。

(3)从环境记录看,本套地层中上部层位(Qp^{1-1b}x、Qp^{1-1c}x、Qp^{1-1d}x)产介形虫,介形虫含量极为丰富,共见 5 属 11 种,其中 *Lencocythere* 属 5 种, *Leucocythere* 属 2 种, *Candoniella* 属 2 种, *Candona* 属 1 种,化石丰度很高,其中喜凉的 *Candona*、*Candoniella* 属的化石丰度很高,而未见喜暖的 *Ilyocypris* 属,反映当时是气候偏凉的冰水湖相沉积环境。

(4)香孜组的孢粉组合中以草本植物的花粉占优势,主要为藜、蒿,而云杉、栎类花粉及亚热带花粉成分少见,反映此

时喜马拉雅山北坡已成为寒冷干旱的高山冻荒漠。

(5)香孜组中冻融褶皱多达十余层,尤以中上部最为发育,砾石压坑多见,反映此为与冰川活动有关的冰缘环境的冰湖相沉积,气候是寒冷的。

(6)根据多种与气候环境变化密切相关的地质记录,可将西藏阿里札达盆地早更新世早期的气候变化划分为 4 个阶段:①2.68~2.45 Ma,属山地寒温气候;②2.45~2.11 Ma,气候变得凉爽干燥;③2.11~1.49 Ma,气候进一步趋于干旱;④1.49~1.36 Ma,为寒冷干旱草原气候。

综上所述,在札达盆地早更新世早期香孜组的河湖相地层中,发育着不同的沉积相和冻融褶皱,埋藏着不同类型的植物孢粉、介形类化石,它们能比较可靠地反映当时的古植被的演替、古气候和古环境变化的情况。因此,通过札达盆地早更新世早期香孜组沉积及其气候环境演化研究,可为青藏高原早更新世地层时间序列标尺的建立、早更新世早期地层的划分与对比,探讨青藏高原的隆升时间、隆升过程,以及高原气候与环境变化等提供重要的依据。

致谢:在野外工作期间得到了西藏自治区国土资源厅王保生厅长、河南地质勘查局区域地质调查院王建平院长、河南地质勘查局区域地质调查队刘彦明队长、白朝军高级工程师、王丰收工程师、贾共祥工程师等同志的热情帮助和全力支持,使该项研究得以顺利进行;在调查研究工作中还得到孙立蓓研究员、韩同林研究员、马天林研究员、王建平研究员的具体指导,在此一并表示衷心感谢。

参考文献(References):

- [1] 刘东生,施亚风,王汝建,等.以气候变化为标志的中国第四纪地层对比表[J].第四纪研究,2000,20(2):108~128.
Liu Dongsheng, Shi Yafeng, Wang Rujian, et al. Table of Chinese Quaternary stratigraphic correlation remarked with climate change[J]. Quaternary Sciences, 2000,20(2):109~128(in Chinese with English abstract).
- [2] 中国科学院青藏高原综合科学考察队.西藏第四纪地质[M].北京:科学出版社,1983.
Comprehensive Scientific Expedition, CAS. Quaternary Geology in Tibet [M]. Beijing: Science Press, 1983(in Chinese).

- [3] 李文漪. 中国第四纪植被与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
Li Wenyi. The Vegetation and Environment in China during Quaternary [M]. Beijing: Science Press, 1998(in Chinese).
- [4] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏自然地理[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
Comprehensive Scientific Expedition, CAS. Physical Geography of Tibet[M]. Beijing: Science Press, 1982(in Chinese).
- [5] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 西藏阿里札达盆地上新世—早更新世沉积相及其构造演化特征[J]. 地质力学学报, 2004, 10(3): 245~252.
Zhu Dagang, Meng Xian'gang, Shao Zhaogang, et al. Features of Pliocene—lower Pleistocene sedimentary facies and tectonic evolution in the Zanda basin, Ngari area, Tibet [J]. Journal of Geomechanics, 2004, 10 (3): 245~252 (in Chinese with English abstract).
- [6] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 西藏阿里札达盆地上新世—早更新世河湖相沉积中两个不整合面的发现及意义 [J]. 地质通报, 2004, 23(5~6): 605~608.
Zhu Dagang, Meng Xian'gang, Shao Zhaogang, et al. Discovery of two unconformities in Pliocene—early Pleistocene fluvio—lacustrine deposits in the Zanda basin, Ngari, Tibet [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23 (5~6): 605~608(in Chinese with English abstract).
- [7] 孟宪刚, 朱大岗, 邵兆刚, 等. 西藏阿里札达盆地上新统犀类化石的发现及意义[J]. 地质通报, 2004, 23(5~6): 609~612.
Meng Xian'gang, Zhu Dagang, Shao Zhaogang, et al. Discovery of rhinoceros fossils in the Pliocene in the Zanda basin, Ngari, Tibet [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23 (5~6): 609~612 (in Chinese with English abstract).
- [8] 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的重新厘定与划分 [J]. 地质通报, 2005, 24(12): 1111~1120.
Zhu Dagang, Meng Xiangang, Shao Zhaogang, et al. Redefinition and redivision of the Pliocene—early Pleistocene lacustrine strata in Zanda basin, Ngari, Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24 (12): 1111~1120(in Chinese with English abstract).
- [9] 李文漪, 梁玉莲. 札达盆地上新世湖相沉积的孢粉分析[A]. 见: 西藏第四纪地质[C]. 北京: 科学出版社, 1983. 132~144.
Li Wenyi, Liang Yulian. Pliocene sporopollen of the Zhada basin of lacustrine deposit [A]. In: Quaternary Geology of Tibet [C]. Beijing: Science Press, 1983. 132~144(in Chinese).
- [10] 李建国, 周勇. 西藏西部札达盆地上新世孢粉植物群及古环境 [J]. 微体古生物学报, 2001, 18(1): 89~96.
Li Jianguo, Zhou Yong. Pliocene palynoflora from the Zanda basin, west Tibet and the palaeoenvironment [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2001, 18(1): 89~96(in Chinese with English abstract).
- [11] 朱大岗, 孟宪刚, 赵希涛, 等. 西藏纳木错和藏北高原古大湖晚更新世以来的湖泊演化与气候变迁 [J]. 中国地质, 2004, 31(3): 269~277.
Zhu Dagang, Meng Xiangang, Zhao Xitao, et al. Evolution and climatic change of Nam Co of Tibet and an ancient large lake in the northern Tibetan Pleistocene [J]. Geology in China, 2004, 31 (3): 269~277(in Chinese with English abstract).
- [12] 韩建恩, 余佳, 孟庆伟, 等. 西藏阿里札达盆地香孜剖面孢粉分析 [J]. 地质力学学报, 2005. 11(4): 320~327.
Han Jianen, Yu Jia, Meng Qingwei, et al. Palynological Records in the Qangze Section of the Zanda Basin, Ngari, Tibet [J]. Journal of Geomechanics, 2005, 11(4): 320~327(in Chinese with English abstract).
- [13] 黄宝仁, 杨恒仁, 尤坤元. 西藏南部和西南部上新世及第四纪介形类 [A]. 见: 西藏古生物 (第 10 分册) [C]. 北京: 地质出版社, 1982. 326~348.
Huang Baoren, Yang Hengren, You Kunyuan. Pliocene and Quaternary Ostracoda of southern and southwestern Tibet [A]. In: Paleontology of Tibet (Vol. 10) [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1982. 326~348(in Chinese).
- [14] 王强. 察尔汗盐湖的突然形成与地表系统巨变——据介形类研究 [J]. 地质力学学报, 1998, 4(4): 82~87.
Wang Qiang. Abrupt Formation of the Charhan Salt Lake and the megaevolution of the Earth surface system—on the basis of Ostracoda [J]. Journal of Geomechanics, 1998, 4 (4): 82~87 (in Chinese with English abstract).
- [15] 吴锡浩, 李永昭. 青藏高原的冰碛层与环境 [J]. 第四纪研究, 1990, 2: 146~158.
Wu Xihao, Li Yongzhao. Moraines and environments in Qinghai—Xizang Plateau [J]. Quaternary Sciences, 1990, 2: 146~158 (in Chinese with English abstract).
- [16] 朱大岗, 孟宪刚, 赵希涛, 等. 西藏纳木错地区第四纪环境演变 [M]. 北京: 地质出版社, 2004.
Zhu Dagang, Meng Xiangang, Zhao Xitao, et al. On the Quaternary Environmental Evolution of the Nam Co Area, Tibet [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004(in Chinese).
- [17] 孟宪刚, 朱大岗, 邵兆刚, 等. 西藏西部札达盆地早更新世香孜组沉积特征和时代——对青藏高原第四纪底界的约束 [J]. 地质通报, 2005, 24(6): 536~541.
Meng Xian'gang, Zhu Dagang, Shao Zhaogang, et al. Sedimentary characteristics and age of the early Pleistocene Qangze Formation in the Zanda basin, western Tibet, China: Constraints on the lower boundary of the Quaternary of the Tibet—Qinghai Plateau [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(6): 536~541(in Chinese with English abstract).
- [18] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 西藏札达盆地及周缘高山区第四纪冰川堆积及冰川进退程讨论 [J]. 中国地质, 2006, 33(1): 86~97.
Zhu Dagang, Meng Xiangang, Shao Zhaogang, et al. Quaternary glacial deposition and glacial advance and retreat in the Zanda basin and its surrounding mountains in Ngari, Tibet [J]. Geology in China, 2006, 33 (1): 86~97(in Chinese with English abstract).

Early Pleistocene deposits and paleoclimatic and paleoenvironmental changes in the Zanda basin, Ngari area, Tibet

ZHU Da-gang¹, MENG Xian-gang¹, SHAO Zhao-gang¹, YANG Chao-bin²,
HAN Jian-en¹, YU Jia¹, MENG Qing-wei¹, LÜ Rong-ping¹

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

2. Department of Land and Resources of the Tibet Autonomous Region, Lhasa 850000, China)

Abstract: The paper analyzes various geological records closely related to the earliest Pleistocene climatic and environmental changes in the Zanda basin, Ngari, Tibet. The analytic results indicate that the earliest Pleistocene deposits in the study area may be divided into three sedimentary facies and four lithozones and that the paleoclimatic and paleoenvironmental changes may be divided into four stages: ① the 2.68–2.45 Ma stage, which is marked by alluvial and diluvial deposits, when freeze-and-thaw folds started to appear and the vegetations were dominated by arbores, mainly including *Pinus*, *Chenopodiaceae* and *Artemisia*, indicating a cool-temperate alpine climate; ② the 2.45–2.11 Ma stage, which is also marked by alluvial and diluvial deposits, when most freeze-and-thaw folds in strata were contorted, herbaceous plants increased rapidly, showing the features of the shrub-grassland climate, and the climate became cool and dry; ③ the 2.11–1.49 Ma stage, which is marked by alluvial-diluvial and periglacial deposits (mainly periglacial deposits), when the freeze-and-thaw folds increased, there appeared cryophilic ostracods, and the quantity and varieties of herbaceous plants reached a maximum and the shrubs also increased relatively, showing that the climate became more and more arid; and ④ the 1.49–1.36 Ma stage, which is marked by glaciolacustrine deposits, when the freeze-and-thaw folds appeared extensively in the strata, the abundance of cryophilic ostracods was very high and the herbaceous plants decreased slightly but pteridophytes increased significantly, showing the features of the cold-dry grassland climate.

Key words: Zanda, Tibet; earliest Pleistocene; sporopollen record, freeze-and-thaw fold; climatic and environmental change

About the first author: ZHU Dagang, male, born in 1951, senior researcher, doctor director, engages in the study of regional geology, sedimentary facies and paleoenvironment; E-mail: dagangzhu@sohu.com.