

文章编号: 1009-3850(2005)01-0180-09

青藏高原北部温泉活动沉积盆地的沉积特征 及其地质意义

段志明, 李 勇, 李亚林, 张 毅, 王 谋, 黎 兵

(成都理工大学 沉积地质研究所, 四川 成都 610059)

摘要: 晚新生代温泉沉积盆地, 是青藏高原腹地在南北向挤压、东西向伸展的构造背景下, 沿南北向边界走滑断层, 经边界正断层和内部张剪断层的进一步发展而形成的近南北向单断单剪楔形半地堑活动沉积盆地。它可能代表了晚新生代青藏高原第三期强烈挤压隆升事件, 是侧向向东剪切挤出的结果。笔者以盆地充填序列和 TL、ESR 测年资料为主要依据, 推测唐古拉山在300~250ka前后全面进入冰冻圈; 而以温泉活动沉积盆地为代表的中更新世晚期(224.0~150.2ka)的冰碛-冰水堆积则对应于青藏高原第三期隆升的断陷盆地发育阶段; 中更新世晚期—晚更新世中期(144.0~56ka)为湖相沉积; 晚更新世中期至今(35~0ka)对应于高原缓慢隆升与夷平发育阶段。长江溯源在35ka切割通天河盆地, 形成通天河; 而在16ka侵蚀切穿雁石坪-温泉兵站峡谷, 形成布曲河。

关键词: 晚新生代; 活动沉积盆地; 温泉盆地; 青藏高原

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

青藏高原的隆升和崛起是晚白垩世以来发生的最重大的地质事件之一, 高原隆升的动力学机制及由于隆升所引起的自身和周围自然地理与环境变化等问题, 长期以来一直是地球科学研究的重点和热点^[1,2], 同时也成为探讨地球岩石圈、水圈、生物圈和大气圈等相互作用的理想场所。青藏高原晚新生代的强烈隆升是一个逐渐孕育和发展的过程, 高原的隆升犹如一个大型的波浪运动并导致夷平面的变形^[3]; 与高原强烈隆升相伴出现东西向走滑和南北向断陷盆地, 并在断陷盆地中接受巨厚的第四纪沉积^[4]。人们也对高原南麓吉隆盆地、札达盆地, 高原腹地的瓦里百里塘盆地、双湖地堑以及高原北麓昆仑垭口盆地等进行了详细的研究, 但由于地层记录的不完整性和差异性, 迄今尚不能对青藏高原隆升过程及其不均匀性作出合理解释。

地处高原腹地的温泉活动沉积盆地较好地记录

了晚新生代以来的构造活动与岩石圈动力学的耦合过程, 借助盆地分析可以恢复青藏高原的隆升史。为此, 在新一轮国土资源大调查青藏高原中部羌塘地区1:25万区域地质调查中, 笔者选择了温泉活动沉积盆地进行剖析, 通过盆地的充填序列, 应用TL、ESR测年手段, 恢复盆地沉积演化史, 探讨青藏高原形成的动力学机制, 剖析高原隆升机制的两种端元假说, 即Argand(1924)提出的双倍地壳模式和Tapponnier and Molnar(1975, 1977, 1982)提出的地壳侧向向东挤出模式对高原形成的贡献。因此, 研究高原晚新生代南北向伸展断裂及其断陷盆地特征, 对于探索高原隆升机制与环境变化以及国土整治和环境预测都具有重要的作用和意义。

1 区域地质概况

温泉盆地位于青藏高原腹地, 地理坐标介于

收稿日期: 2004-07-06 修改时间: 2005-01-06

第一作者简介: 段志明, 1963年出生, 博士生, 第四纪地质学专业。

资助项目: 中国地质调查局1:25万温泉兵站幅区域地质调查(146C003002), 国家自然科学基金(403720847), 国家自然科学基金(40202022)。

$33^{\circ}00' \sim 33^{\circ}30'N, 91^{\circ}45' \sim 92^{\circ}10'E$ 之间, 大地构造地处羌塘盆地唐古拉山中央隆起带北坡, 青藏公路及正在新建的青藏铁路从盆地通过。该盆地北与拉竹龙-金沙江缝合带毗邻, 南与班公错-怒江缝合带相界。温泉盆地由断陷带(盆地)及其两侧断隆带和正断层系组成(图 1, 图 2), 其中断隆带海拔 5300 ~ 5700m, 为中—上侏罗统碎屑岩和碳酸盐岩; 断陷盆地长 45km、宽 4 ~ 8km, 盆底海拔 4845 ~ 5000m, 呈狭长带状。盆地内为第四纪冰川与河湖相沉积, 厚度大于 1000m^[5], 是藏北地区第四纪沉积厚度最大的地区之一, 盆地东西两侧分别为陇哈钦断层和唐古拉兵站断层。

自白垩纪末的印度与欧亚板块碰撞以来, 印度大陆并没有停止其向北的漂移, 只是速度比以前减慢了, 但仍以每年 5cm 的速度向北移动。高原处在



图 2 温泉盆地卫片影像

Fig. 2 The satellite image of the Wenquan Basin

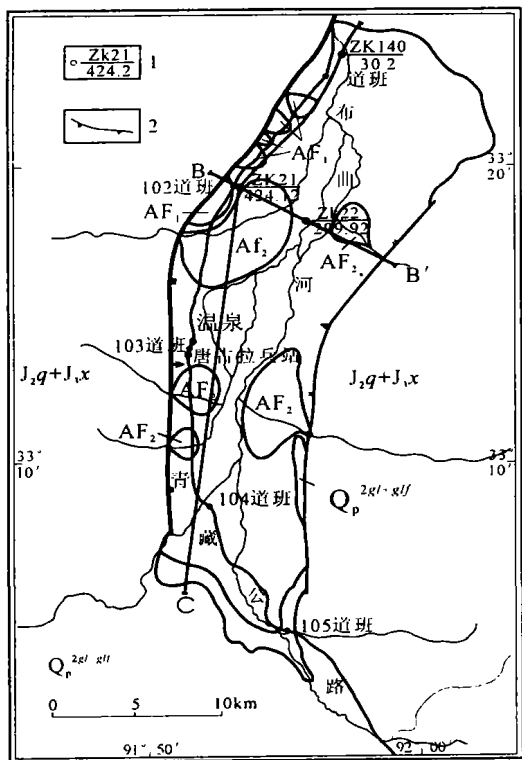


图 1 温泉盆地地质简图

J_2q+J_3x , 侏罗系雀莫错组—雪山组; $Q_p^{2gl+glf}$, 中更新统冰碛—冰水沉积; AF_1 , 老冲积扇; AF_2 , 新冲积扇。1. 钻孔编号及孔深(m); 2. 缝合带

Fig. 1 Simplified map of the Wenquan Basin
 J_2q+J_3x = Middle Jurassic Qoima Formation and Upper Jurassic Xueshan Formation; $Q_p^{2gl+glf}$ = middle Pleistocene glacial deposits and glaciofluvial deposits; AF_1 = old alluvial fan; AF_2 = new alluvial fan. 1 = borehole number and depth (m); 2 = suture zone

强大的南北向挤压力场中, 地震断层面解或震源机制解表明青藏高原处在双向挤压的动力学环境。为适应强大的南北向挤压应力, 一方面各断块产生褶皱, 并且相互逆冲, 地壳经向缩短, 垂直增厚; 另一方面使物质向东挤出, 产生走滑^[6]。新水平走滑发生的时间主要在喜马拉雅运动的第二期(20Ma)和第三期(3.4Ma)^[7], 地表和浅层的东西向伸展构造只不过是这一南北向挤压作用相派生的产物和不同表现形式^[8]。唐古拉山瓦里百里塘曲果组湖相沉积古地磁年龄为 4.32 ~ 2.20Ma, 为一套厚达 330.5m 的灰绿、棕褐色重粘土和粘土层^[5], 粒度极细, 岩性均匀; 从早至晚各时段的沉积速率大体接近, 分别为 19.4 → 14.3 → 17.43cm/ka, 平均沉积速率 16.98cm/kaBP, 反映当时构造相对稳定, 地势较为平坦, 代表了青藏高原第二期隆升后东西向伸展的断陷盆地发展阶段。而 3.4 ~ 1.7Ma 的青藏运动和 1.1 ~ 0.7Ma 的昆-黄运动使高原进入第三期强烈隆升阶段, 从温泉盆地已知最老的中更新世晚期冰碛-冰水沉积推论, 中更新世晚期可能是温泉盆地形成和演化的壮年期, 与之对应温泉断陷盆地两侧正断层出现运动速率和盆地塌陷速率显著增大, 并指示了同期高原向东挤出量达到最大值, 可能代表了青藏高原第三期快速隆升后的断陷盆地快速堆积发展阶段。

2 盆地沉积特征

2.1 盆地沉积基底

盆地充填在侏罗系雀莫错组—雪山组碎屑岩和碳酸盐岩之上,并与下伏地层呈角度不整合接触。该界面凸凹不平,为新近纪末期以来,高原经过广泛剥蚀、夷平过程,而形成的具有山麓剥蚀平原性质的不整合面(即高原面)。温泉盆地北部 ZK140 钻孔底部冰碛-冰水泥砾采样,经 ESR 测年为 224.0ka(表 1),表明温泉盆地形成于中更新世晚期。

表 1 ZK140 钻孔 ESR 测年数据表

Table 1 ESR age determinations for the ZK140 well			
样品编号	孔深/m	测年矿物	年龄/ka
ZK140-5	1.8	碳酸盐	144.0
ZK140-8	3.5	碳酸盐	162.0
ZK140-21	30.2	碳酸盐	224.0

2.2 盆地结构

温泉盆地具明显不对称的楔状结构,地貌上表现为西部山坡陡直,洪积扇发育,而东部山坡较缓,洪积扇相对不发育。经 102 道班旁 ZK21 钻孔(青海省地矿局第一水文地质工程地质队,1997,青藏线格尔木-安多水文地质工程地质调查研究报告)揭露的第四纪沉积物厚达 424m,未及基岩;102 道班东侧 ZK22 钻孔揭露的第四纪沉积物厚 300m,未及基岩。据物探资料显示,104 道班以南基岩埋藏很浅,104 道班至 103 道班间的第四纪沉积物厚度竟超过 1000m^[9]。上述钻孔及物探资料表明:温泉盆地的沉积基底面为整体西倾或西南倾斜。盆地的沉降中心位于 104 道班至 103 道班间,主要由中更新统冰碛-冰水堆积、中—晚更新统湖积及晚更新统-全新统冲洪积物组成,其中晚更新统湖积不发育。

2.3 盆地充填序列

根据地表地质调查和钻孔资料,温泉盆地充填实体均为松散碎屑堆积物。该套沉积物在垂向上表现为以 3 个沉积间断面分割的 3 个向上变细或变粗的层序组成(图 3)。

1. 层序 1

层序 1 为温泉盆地充填序列下部层序,介于沉积间断面 T_A 与 T_B 之间,其底界面 T_A 为盆底不整合面。层序内已知最老的充填物为中更新世晚期倒数第二次冰期之冰碛-冰水泥砾,厚达 30~1000m,经 ZK140 钻孔顶、底取样(图 2),ESR 年龄为

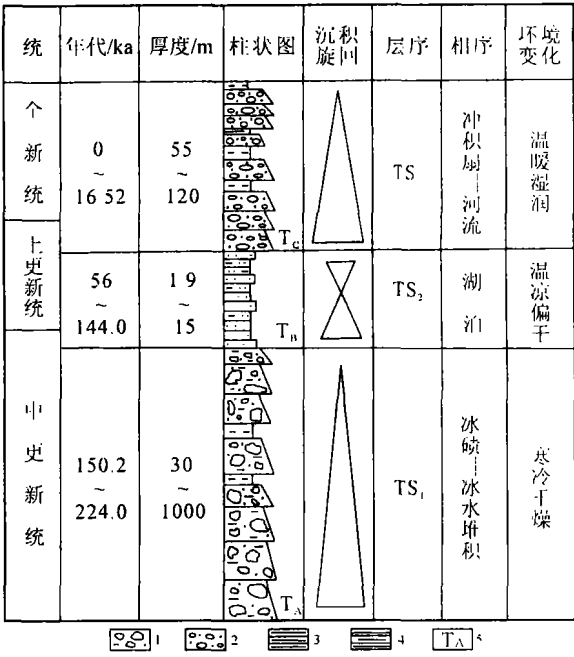


图 3 温泉盆地晚新生代地层层序

1. 冰碛泥质砾; 2. 砂砾石; 3. 粉砂; 4. 粘土; 5. 不整合面

Fig. 3 Late Cenozoic stratigraphic sequences in the Wenquan Basin

1= glacial muddy gravel; 2= sandy gravel; 3= silt; 4= clay; 5= unconformity

224.0~162.0ka(表 1);在陇哈钦沟南采样,经 TL 测年为 150.21±12.77ka(表 2)。冰碛泥砾中砂、亚沙土及亚粘土等填隙物含量约占 55%~65%,砾石含量约占 35%~45%,砾泥混杂;冰碛砾石成分以岩屑长石砂岩、灰岩、长英质角岩及花岗岩为主,呈棱角状一次棱角状,少数砾石具磨圆现象,砾径 0.2~5cm,大者达 30~75cm。冰碛砾石中偶见条痕石,常见丁字型的冰川擦痕。ZK22 号钻孔揭露,在孔深 420m 和 340m 有亚粘土夹层,表明该冰碛层在垂向上至少由 3 个以上的冰碛-冰水泥砾旋回层组成。旋回层厚度总体向上变薄,粒径向上变细,显示为退积迭覆序列;横向上,河口地段砾石较为粗大,并含有少量漂砾,向下游粒径减小,显示出短距离搬运、快速堆积的冰川冰碛-冰水沉积特征。沉积物源区主要来至于南部唐古拉山雪山及龙亚拉雪山。

2. 层序 2

该层序为盆地充填序列中部层序,介于沉积间断面 T_B 和 T_C 之间。层序内充填物为中—晚更新世湖相沉积,厚约 1.9~15m。垂向上由 2 个以上的向上变细或变粗的旋回层组成,岩性为浅色、黄灰色

表 2 温泉地区冲积洪积及冰碛物 TL 测年数据表

Table 2 TL age determinations for the alluvial and glacial deposits in the Wenquan Basin

样品编号	采样地点	放射性元素含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$			年剂量率 $\text{Cy/a}\times 10^{-3}$	等效剂量 $\text{ED}(\text{Gy})$	样品年龄/ka
		U	Th	K_2O			
$\text{P}_{11}\text{-TL}_4$	通天河 1 级阶地	2.60	11.6	3.02	2.25	16.5	7.33 ± 0.62
$\text{P}_{11}\text{-TL}_1$	通天河 4 级阶地	1.84	7.46	1.98	1.49	52.5	35.23 ± 2.99
D2099TL_4	温泉盆地 1 级阶地	3.28	14.70	3.61	2.81	20.0	7.12 ± 0.59
D2099TL_1	温泉盆地 2 级阶地	2.10	9.85	2.23	1.81	16.7	9.23 ± 0.78
D2099TL_2	温泉盆地 2 级阶地	2.35	12.60	2.69	2.19	28.0	12.78 ± 1.09
$\text{P}_{38}\text{-10TL}_1$	温泉盆地 3 级阶地	2.47	13.30	2.91	2.33	38.5	16.52 ± 1.41
$\text{P}_{38}\text{-5TL}_1$	陇哈钦沟口冰碛	2.44	13.50	2.89	2.33	350.0	150.21 ± 12.77
$\text{P}_{34}\text{-2TL}_1$	瓦里百里塘冰碛	1.59	7.05	2.50	1.51	372.0	246.36 ± 20.94

由中国地震局地壳应力研究所热释光实验室测试,放射性元素核工业地质分析测试中心检测。

含细砾细砂→细砂→粉砂→粘土质粉砂→粉砂质粘土组成,发育微细水平层理,微波状层理。沉积物物源主要来至于盆地周围的山地,反映当时构造相对稳定。经 ZK140 钻孔取样,ESR 测年为 144.0ka; 同期,唐古拉山北部的通天河盆地 95 道班东,第三级阶地的冲洪积砂砾卵石层下,亦发现了一套厚达大于 18~160m 的湖相沉积,湖相粉沙上部 4 个 U 系同位素年龄值分别为 88.9±9.2ka、73.7±6.8ka、61.3±4.3ka 和 56.2±6.3ka,孢粉组合亦显示了温凉偏干的气候环境^[9],具有从倒数第二次冰后期经末次间冰期到末次冰期早冰阶的特征,亦与藏北高原东南部所发现的晚更新世早中期的古湖——“羌塘大湖”^[10,11] 的年代一致。

3. 层序 3

层序 3 为盆地充填序列上部层序,由上更新统和全新统组成,并介于沉积间断面 Tc 之上。Tc 界面为一个陆上侵蚀不整合面。该层序在垂向上由 3 个向上变细的旋回构成,分别对应于 1~3 级阶地,每个旋回的下部为褐灰、黄灰色砂砾石层,上部土黄、黄绿色为粘土层,具典型的二元结构。砂砾石层中 0.2~6cm 的砾石约占 50%~60%,6~9cm 的卵石约占 0~5%,砂、亚砂土等填隙物约占 35%~45%;砾石成分为岩屑长石砂岩、灰岩、石英角岩和花岗岩,呈棱角状一次圆状,分选差,具粒序层理,反映出快速堆积特征;粘土主成分高岭土、绢云母及绿泥石等,兼有一定的粉细砂(10%~20%);沉积物物源来自南部的唐古拉山地区。三级阶地的 TL 年龄介于(16.52±1.41)~(13.03±1.11)ka 之间,二级阶地的 TL 年龄介于(12.78±1.09)~(7.33±0.62)ka 之间,一级阶地的 TL 年龄为 7.12±0.59ka

(表 2)。而第四系全新统冲洪积扇则广泛分布于现代沟谷的出口处,组成冲洪积扇群,并被 SN 向的唐古拉兵站活动断层所切,发生向北的偏转迁移,呈现为歪嘴扇。

3 盆地形成、演化及环境变化

3.4~1.7Ma 的青藏运动和 1.1~0.7Ma 的昆-黄运动使高原进入第三期强烈隆升阶段,早更新世一中更新世,伴随高原强烈隆升,激活并沿早期形成的经向边界走滑断裂,经边界正断层和内部张剪切断层的进一步发展,进而形成温泉活动沉积盆地。224.0~150.2ka 期间在温泉盆地堆积的厚达 30~1000m 的冰碛-冰水泥砾对应于第三期隆升后的断陷盆地发展阶段。根据盆地结构、充填序列和不整合面之间的相互关系,将温泉盆地形成演化过程划分为 4 个演化阶段。

1. 中新世一中更新世边界断裂发育阶段

中新世初(23.5Ma)的喜马拉雅运动 B 幕,使青藏高原隆升到现代高度的一半以上^[12]。与此响应,高原出现大规模的东西向走滑,并在张应力集成的地带出现近南北方向或北北东向的边界走滑断裂,即温泉兵站断裂。ESR 测年成果表明(表 3),断层形成于 9.3Ma,并在 6.6Ma、6.3Ma、6.0Ma 和 3.7Ma 间出现多期活动。

早更新世一中更新世伴随青藏高原第三期强烈隆升,由于强烈的南北向挤压,高原地块整体向东挤出,在高原地壳表面自由面逐渐增加和东西向伸展作用下,开始形成一系列等间距分布的、近南北向和北北东向平行排列的边界正断层,经内部张剪力耦的相互作用,形成兼具走滑性质的正断层。正是唐

表3 温泉兵站断层 ESR 测年数据表
Table 3 ESR age determinations for the Wenquan Bingzhan fault

样品编号	测年矿物	年龄/Ma
D2086	碳酸钙	3.7
D2076	碳酸钙	6.0
D2080-2	碳酸钙	6.3
D2080-1	碳酸钙	6.6
D2080-3	碳酸钙	9.3

注: 由成都理工大学应用核技术研究所分析

格局。古拉兵站边界活动断裂的形成, 进而发展为菱形的温泉活动沉积盆地, 最终形成现今盆-山相间的地貌

温泉盆地西侧发育以唐古拉兵站正断为代表高角度活动正断层系, 这些正断层走向为南北—北北东, 断面东倾, 倾角一般大于 70° ; 温泉兵站断层南北向延伸长约40km, 发育宽约10~39m的构造破碎带, 沿破碎带分布有泉化胶结的构造角砾岩, 带内岩石破碎, 角砾岩棱角分明、大小混杂、无定向组构, 沿断层面发育断层三角面、断层崖、擦痕及阶步; 南北向高角度正断层除拉张性质外, 还兼有走滑特征, 并表现出明显的左行走滑分量。

温泉兵站活动断裂控制着现代构造地貌和水系发育状态; 而第四纪冲洪积扇则广泛分布于现代沟谷的出口处, 组成新、老两期冲洪积扇群, 并被南北向的活动断层切割, 发生偏转迁移, 呈现为歪嘴扇; 亦控制了该区泉点分布。

2. 中更新世晚期断陷盆地发育阶段

中更新世中晚期, 随着青藏高原隆升的幅度和速率的加大与加快, 活动构造的分异也随之日益加剧, 隆起带急剧隆升, 推测唐古拉山在300~250ka隆升至3000m以上的临界高度^[23], 全面进入冰冻圈, 发育了以“唐古拉冰期”(瓦里百里塘冰碛 TL 测年为 $246.36 \pm 20.94\text{ka}$)和“扎加藏布冰期”(青藏公路111道班东侧的冰碛台地 $^{10}\text{B}-^{26}\text{Al}-^{21}\text{Ne}$ 核素暴露年龄为 $200.1 \pm 25\text{ka}$ ^[13]; 青藏公路111道班南侧冰碛台地 $^{10}\text{B}-^{26}\text{Al}-^{21}\text{Ne}$ 核素暴露年龄为 $169.3 \pm 15.1\text{ka}$ ^[14])为代表的冰川作用; 中更新世晚期, 断陷带大幅度沉降, 在温泉盆地堆积了厚达30~1000m的“扎加藏布冰期”(ESR 测年介于224.0~162.0ka, TL测年为 $150.21 \pm 12.77\text{ka}$)之冰碛-冰水泥砾。由此可以得出这样的推论: 中更新世中晚期, 构造分异作用极为强烈, 活动构造带中的隆起带不断抬升, 成为强烈的

剥蚀区; 断陷带不断沉降, 堆积了巨厚的第四纪沉积物。瓦里百里塘冰碛物孢粉组合以草本植物为主, 计有藜科、菊科、蒿属、豆科和石竹科等, 此外还含有较多的木本植物园柏和杜鹃花粉, 反映了寒冷干燥的气候环境^[5]。温泉盆地冰碛-冰水堆积物中亦含有少量的孢粉化石, 孢粉组合以草本植物占绝对优势, 计有菊科、蒿粉属、藜粉属和拟白刺粉属等, 兼有木本植物柳粉属和藜粉属、蕨类植物水藓孢属和水龙骨单缝孢属, 反映了寒冷干燥的气候环境。

3. 中更新世末一晚更新世中期湖相沉积

由于青藏高原的进一步隆起, 阻碍了印度洋季风的入侵, 使中更新世晚期的冰川规模缩小。中更新世末气候转暖, 进入倒数第二次冰后期、末次间冰期及末次冰期早冰阶, 而温泉盆地与之相应沉积了一套湖相地层(ESR测年为144.0ka; 通天河盆地湖相粉沙 U 系同位素年龄值介于 $88.9 \pm 9.2 \sim 56.2 \pm 6.3\text{ka}$ 之间), 与下伏中更新世晚期冰碛-冰水泥砾呈平行不整合接触。孢粉组合以喜温性的针叶裸子植物松、喜温凉偏干的草本植物蒿、藜、禾及乔木植物松为主, 显示了温凉偏干的气候环境; 亦与“羌塘大湖”遥相辉映。

4. 晚更新世中期—全新世为冲积-冲洪积沉积

晚更新世中期, 青藏高原在印度地盾的持续挤压下, 进入缓慢隆升与夷平发育阶段, 由于气温的进一步转暖, 古湖消失, 长江源溯源侵蚀形成长江源水系。长江源溯源侵蚀切割通天河盆地, 在通天河沿北东 85° 方向, 平距22.5km的通天河谷西岸堆积形成4级阶地(图4): 四级阶地形成于 $35.23 \pm 2.99\text{ka}$, 三级阶地形成于 $13.03 \pm 1.11\text{ka}$, 二级阶地形成于 $7.33 \pm 0.62\text{ka}$, 一级阶地形成于 $7.12 \pm 0.59\text{ka}$ 。长江溯源侵蚀切穿雁石坪-温泉兵站峡谷, 形成布曲河, 在温泉盆地西侧堆积形成3级阶地(图5): 三级阶地形成于 $16.52 \pm 1.41\text{ka}$, 二级阶地形成于 $12.78 \pm 1.09 \sim 9.23 \pm 0.78\text{ka}$ 。晚更新世末, 高原再度隆升, 导致活动构造构造的进一步分异, 使晚更新世二级阶地沉积物发生缓倾斜, 并产生活动的南北向次级活动正断层(图5); 全新世开始以来, 特别是中、晚全新世以来, 随着南北向挤压的加强, 青藏高原隆升作用加剧, 活动构造再次表现得异常活跃。在断陷带的边界断裂附近, 常有地震分布, 如1959年在唐古拉山北坡发生的7.5级地震、1971年在唐古拉山口发生的6.5级地震和1975年在唐古拉山口发生的6.7级地震即是南北向活动断裂地应力释放的产物。与此同时, 在唐古拉兵站边界断裂附近,

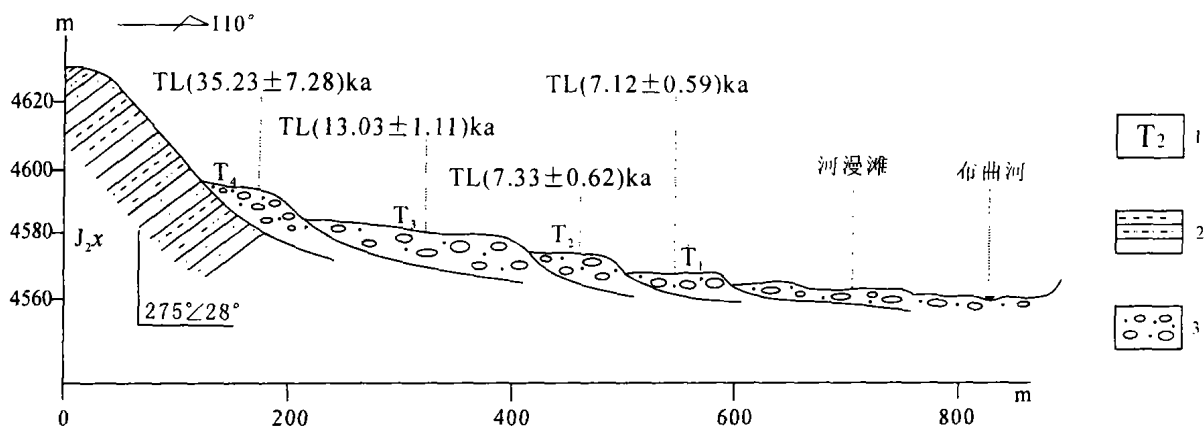


图 4 通天河沿东 12km 阶地剖面图

J₂x. 夏里组. 1. 阶地及编号; 2. 砂、泥岩; 3. 砂砾石

Fig. 4 Cross-section of the terraces at a distance of 12 km east of Tongtianheyan, Qinghai

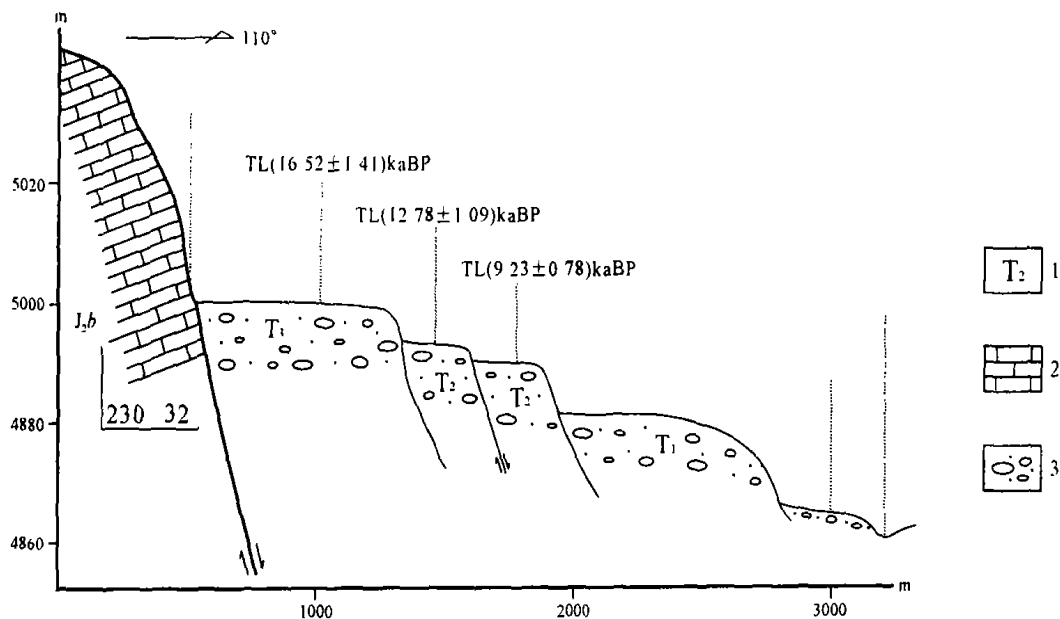
J₂x = Gyari Formation. 1 = terrace and its number; 2 = sandstone and mudstone; 3 = sand and gravel

图 5 温泉盆地 D—D' 阶地剖面图

J₂b. 布曲组. 1. 阶地及编号; 2. 灰岩; 3. 砂砾石

Fig. 5 Profile through the D—D' terraces in the Wenquan Basin

J₂b = Biqu Formation. 1 = terrace and its number; 2 = limestone; 3 = sand and gravel

特别是几组不同方向活动断裂交叉部位, 分布着许多强烈的水热活动区, 并构成近南北向延伸的水热活动带。

总之, 晚更新世—全新世是温泉盆地演化的最后阶段, 沉积厚度较薄, 并切割下伏沉积物, 显示出整体抬升, 差异沉降的特点。

4 东西向伸展构造与断陷盆地属性

4.1 东西向伸展构造与高原隆升

从 Molnar 和 Tapponier (1978) 提出地堑构造是高原最新构造变形样式以来, 对于地堑构造形成的动力学机制及其与青藏高原隆升的关系一直是青藏高原构造研究的重要问题和争论焦点。以 Molnar

等为代表,认为南北向正断层和东西向伸展作用是青藏高原隆升达到最大地壳厚度和海拔高度之后产生重力塌陷作用的结果,并引证 Pan Yun et al. (1992) 羊八井地堑8Ma年龄,认为青藏高原在7~8Ma时已达到和现代相似的地壳厚度和海拔高度。Coleman et al. (1995) 在尼泊尔木斯塘地堑谷东侧的一个小张性断裂面上,取得一个标志断层活动的新生矿物白云母Ar-Ar年代数据为14Ma,据此推论青藏高原在14Ma前即隆升达到最大高度,以后因重力崩塌而下降。Hanison and Tumer(1993) 从深部动力学作用过程分析入手,认为高原地壳在地堑形成之前曾经因变形缩短、增厚,由于岩石圈突然减薄或岩石圈地幔部分因对流剥离(Convective removal),软流圈物质上涌,高原强烈隆升,并引发正断层活动,并根据熔岩年龄为13Ma左右,得出高原快速隆起也是在此时发生的。张进江等(2003)认为是南北向挤压应力的分解形变。李吉均等(1979)则认为由于南北向挤压应力场作用,与此相应产生的东西向拉伸的结果。

根据野外大量地质调查表明,早期南北向挤压体制下产生的褶皱和逆冲断裂构造被晚期南北向伸展构造所改造,如在双湖地区中新世双湖组(N_1s)中东西向的褶皱和逆冲断层被南北向正断层所截切^[5];在沱沱河地区,南北向正断层割切了沱沱河组(E_1-2t)和雅西措群(E_2-3y)东西向褶皱和断裂构造,而这种先于伸展构造的挤压变形造成的短缩率达45%~50%,造成地壳显著增厚^[6]。本次测得的温泉兵站正断层时代分别为9.3Ma、6.6Ma、6.3Ma、6.0Ma、3.7Ma,而且至今还在活动;同时,地堑断陷盆地内沉积地层均近水平,表明断陷构造形成于高原大规模地壳挤压短缩变形之后,反映出伸展构造主体形成于中新世晚期。

4.2 东西向伸展构造与断陷盆地属性

晚新生代以来,由于强烈的南北向挤压,东西向走滑,导致高原块体向东挤出的构造背景下,沿南北向温泉兵站边界走滑断裂,经边界正断层和内部张剪切断层的进一步发展,逐步演化为断陷盆地。温泉盆地平面呈“菱形”,盆地西侧受温泉兵站高角度正断层控制,东侧由反向陇哈钦正断层限定,东西向伸展形成“之”字形追踪张断裂体系(或共轭走滑剪切断裂系),指示南北向挤压的应力状态,其西侧边界断裂断距大,对盆地第四纪沉积起着明显的控制作用,而东侧断距小,致使盆地呈现为单断单剪楔形半地堑活动沉积盆地特征(图1,图2,图6)。温泉

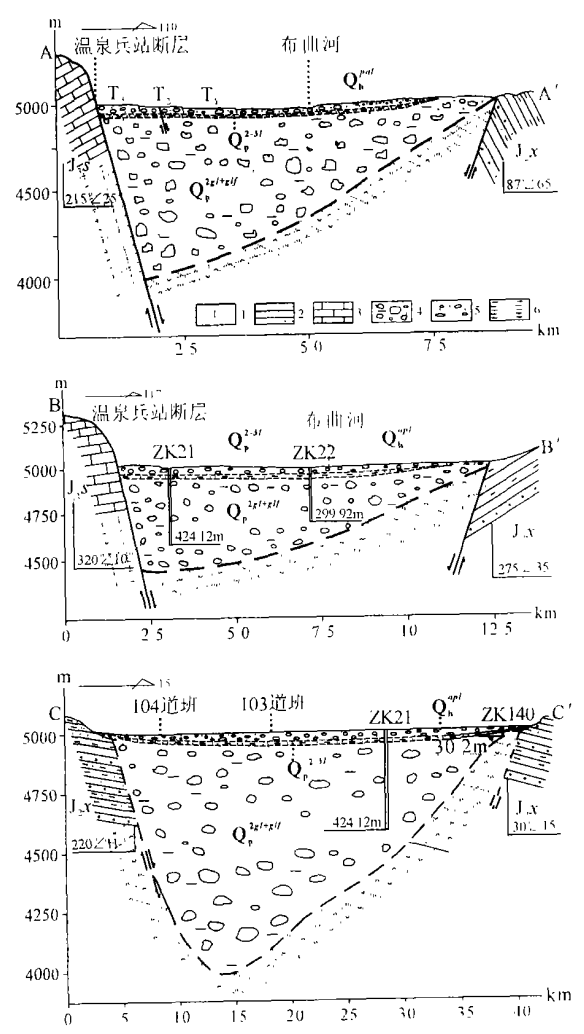


图6 温泉盆地地质剖面图

J₂x. 夏里组; J₃s. 索瓦组; Q_p^{2gl+glf}. 中更新统冰碛—冰水沉积; Q_p^{2-3l}. 中、晚更新统湖积; Q_p^{all}. 全新统冲洪积。1. 阶地及编号; 2. 砂岩及粉砂岩; 3. 灰岩; 4. 冰碛泥砾; 5. 粉砂; 6. 粘土质粉砂

Fig. 6 Geological sections in the Wenquan Basin

J₂x = Gyari Formation; J₃s = Sogwa Formation; Q_p^{2gl+glf} = middle Pleistocene glacial deposits and glaciofluvial deposits; Q_p^{2-3l} = middle-late Pleistocene lacustrine deposits; Q_p^{all} = Holocene alluvial and fluvial deposits. 1 = terrace and its number; 2 = sandstone and siltstone; 3 = limestone; 4 = glacial muddy gravel; 5 = silt; 6 = clayey silt

活动盆地形成于走滑断层带中行阶相同的次级走滑断层连接部位的拉分区,是走滑断层带内派生的局部压性之张性应力作用的产物;从盆地内已知最老的充填物推论,温泉盆地快速塌陷时代为中更新世晚期,这可能代表了青藏高原第三期最强烈隆升后的东西向伸展断陷盆地形成阶段,是侧向向东剪切挤出的结果。

根据温泉盆地中第四系冰碛-冰水沉积厚度及其形成时代,在150.2~224.0ka期间,唐古拉兵站边界断层断距大于1300m(包括地表断距300m),盆地平均塌陷速率为1.76mm/a,亦表明高原在中更新世晚期向东挤出量达到最大值。

综上所述,青藏高原东西向伸展作用的动力学机制和高原隆升密切相关,为高原强烈的南北向挤压隆升,导致高原块体向东挤出的构造背景条件下,所派生的东西向引张伸展作用的产物,属于次一级的构造单元,其形成时代约为14Ma—现代;伸展作用不仅是对印度与欧亚大陆汇聚的变形调节,而且与高原整体向东挤出密切相联,伸展构造是高原隆升的必然结果。

5 结 论

对温泉活动沉积盆地的研究,可以得出如下几点认识:

(1) 南北向的温泉兵站断裂形成于9.3Ma,并在6.6Ma、6.3Ma、6.0Ma、3.7Ma和第四纪间出现多期活动,沿边界断层常有不同规模、不同年代及不同力学性质的地热和地震分布,表明青藏高原的地热、地震与南北向活动正断层密切相关。

(2) 从温泉盆地已知最老的中更新世冰碛物年龄推论,温泉活动沉积盆地可能是青藏高原第三期最强烈隆升的早期(2.2~0.3Ma),在强烈的南北向挤压,东西向伸展的构造背景下,激活并沿南北向边界走滑断裂,经边界正断层和内部张剪切断层的进一步发展,而形成的近南北向单断单剪楔形半地堑活动沉积盆地,是侧向向东剪切挤出的结果。

(3) 在224.0~150.2ka期间,温泉盆地充填了厚达30~1000多米的冰碛-冰水泥砾,盆地沉降中心位于104道班至103道班间,第四纪沉积物厚达1000多米,盆地塌陷速率为1.76mm/a,指示青藏高原同期向东挤出量达到最大值。

(4) 长江源溯源侵蚀切割通天河盆地,在通天河沿北东85°方向,平距22.5km的通天河谷西岸堆积形成4级阶地,第四级阶地形成于35.23±2.99ka;长江溯源侵蚀切穿雁石坪-温泉兵站峡谷,形成布曲河,在温泉盆地西侧堆积形成3级阶地,第三级阶地形成于16.52±1.41ka;至此,长江全线贯通。

(5) 根据温泉盆地晚新生代冰碛→湖积→冲洪积的广泛发育和形成时代等迹象表明,高原隆升的过程也就是测区不断干旱化的过程。

(6) 温泉断陷盆地的结构特征、变形样式与藏南

和藏北断陷盆地^[15, 17~22]不但相似,而且成因相同。温泉盆地可能形成于第三期强烈隆升期,而藏南断陷盆地形成于高原第二期强烈隆升期,都是高原强烈隆升的标志。藏南和藏北盆地都是高原南北向缩短增厚,东西向伸展变形的产物,平面上表现为菱形,横向上呈现出单断半地堑特征。因此,广泛发育于青藏高原中一南部垂直于造山带的伸展断陷构造代表了不同期次强烈的挤压隆升事件。晚新生代温泉活动盆地沉积模式与Argand(1924)提出的双倍地壳模式相左,而与Tapponnier、Molnar(1975, 1977, 1982)提出的地壳侧向向东挤出模式相吻合,是高原强烈隆升、侧向向东剪切挤出的产物。从唐古拉山冰期的发育时间、湖群的广泛分布及温泉盆地阶地形成时代等种种迹象表明:青藏高原是一个年青的高原。

参考文献:

- [1] SUN HONGLIE, ZHENG DU. Studies on Qinghai-Xizang Plateau [A]. Qin Dahe, Chen Panqin, Ge Quansheng. Advances in Global Change Studies of China [C]. Beijing: China Ocean Press, 1998, 60—57.
- [2] 李吉均. 青藏高原隆升与环境研究的回顾与争议[A]. 施雅凤, 李吉均, 李炳元. 青藏高原晚新生代隆起与环境变化[C]. 广州: 广东科技出版社, 1998. 1—17.
- [3] 李吉均. 青藏高原地貌轮廓及形成机制[J]. 山地研究, 1983, (1): 7—15.
- [4] 李吉均, 文世宣, 张青松, 等. 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—611.
- [5] 蒲庆余, 吴锡浩, 钱方. 青藏公路沿线唐古拉山地区的第四纪地质问题[A]. 青藏高原地质文集(4)[C]. 北京: 地质出版社, 1982. 19—33.
- [6] TAPPONNIER P et al. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau [J]. Science, 2001, 294: 1671—1677.
- [7] 张青松. 高原新构造运动的若干问题[A]. 郑度, 等. 青藏高原形成环境与发展[C]. 石家庄: 河北科技出版社, 2003. 48—56.
- [8] 潘裕生. 高原形成演化及动力学[A]. 郑度, 等. 青藏高原形成环境与发展[C]. 石家庄: 河北科技出版社, 2003. 20—29.
- [9] 刘琦胜, 叶培盛, 赵希涛, 等. 长江上源布曲盆地古湖相沉积的发现及其U系年龄[J]. 第四纪研究, 2003, 23(1): 111.
- [10] 赵希涛, 朱大岗, 严富华, 等. 西藏纳木错末次间冰期以来的气候变迁与湖面变化[J]. 第四纪研究, 2003, 23(1): 41—52.
- [11] 赵希涛, 朱大岗, 吴中海, 等. 西藏纳木错晚更新世以来的湖泊发育[J]. 地球学报, 2002, 23(4): 329—334.
- [12] 郭正堂. 高原隆升与中国风尘堆积[A]. 郑度, 等. 青藏高原形成环境与发展[C]. 石家庄: 河北科技出版社, 2003. 70—79.
- [13] 赵志忠, 吴锡浩, C. Schluchter等. 青藏高原第四纪冰川的宇宙核素暴露年龄首次测定[J]. 地质力学学报, 2002, 8(4): 306.

[14] JORG M. SCHAFFER, SILVIO TSCHUDI, ZHIZHONG ZHAO et al. The limited influence of glaciations in Tibet on global climate over the past 170 000 yr [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, 194: 287—297.

[15] 李亚林, 王成善, 伊海生, 等. 西藏北部双湖地堑构造与新生代伸展作用[J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31(增刊): 228—233.

[16] WANG CHENGSHAN, LIU ZHIFEI, YI HAISHENG et al. Tertiary crustal shortening and peneplanation in the Hoh Xil region: implications for the tectonic history of the northern Tibetan Plateau[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2002, 20(3): 211—223.

[17] HARRISON T M, COPELAND P K W. Raising Tibet[J]. Science, 1992, 255: 1663—1670.

[18] LOUIS M J, ROLANDO A, TAPPONNIER P. Changes from late Tertiary compression to Quaternary extension in southern Tibet during the India-Asia collision [J]. Tectonics, 1987, 6(3): 275—304.

[19] COLCHEN M. The Thakkhola-Mustang graben in Nepal and the late Cenozoic extension in the Higher Himalayas [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 1999, 7(5—6): 683—702.

[20] 韩同林. 西藏的活动构造[A]. 中华人民共和国地质矿产部地质专刊[C]. 北京: 地质出版社, 1987. 17—60.

[21] 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.

[22] 张进江, 丁林. 青藏高原东西向伸展及其地质意义[J]. 地球学报. 2003, 38 (2): 179—189.

Sedimentary characteristics in the Wenquan Basin on the northern Qinghai-Xizang Plateau and their geological implications

DUAN Zhi-ming, LI Yong, LI Ya-lin, ZHANG Yi, WANG Mou, LI Bing
(Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: The Late Cenozoic Wenquan Basin is interpreted as a half graben active sedimentary basin created from the NS-trending compression and EW-trending extension of the hinterland of the Qinghai-Xizang Plateau. The basin has recorded the Late Cenozoic uplifting of the Plateau and lateral shearing and expulsion, and is always controlled by the Tanggulangzhai boundary fault. The middle Pleistocene (224. 0—150. 2 ka BP) glacial deposits and glaciofluvial deposits represented by the basin as a fault basin was responded to the third phase of the uplifting of the Plateau. During the late stage of the middle Pleistocene to the early stage of the late Pleistocene (144. 0—56 ka BP), the lacustrine deposits were accentuated in the basin. From the middle stage of the late Pleistocene to the present (35—0 ka BP), the Plateau has long been subjected to slow uplifting and peneplanation.

Key words: Late Cenozoic; active sedimentary basin; Wenquan Basin; Qinghai-Xizang Plateau