

ISSN 1001-7410
CN 11-2708/P
CODEN DIYAEB

第四纪研究

QUATERNARY SCIENCES

第26卷 第1期

Vol. 26 No. 1

2006

(单印本)

中国科学院地质与地球物理研究所 主办
中国第四纪研究委员会
科学出版社 出版

西藏东南雅鲁藏布大峡谷入口处 第四纪多次冰川阻江事件*

刘宇平^① D. R. Montgomery^② B. Hallet^② 唐文清^①
张建龙^① 张选阳^①

(①成都地质矿产研究所,成都 610082;②华盛顿大学第四纪研究中心,西雅图,WA98195-1310 USA)

摘要 在第四纪的末次冰期、新冰期和小冰期期间,位于大峡谷入口处的则隆弄跃动冰川发生多次的快速前进,多次发生阻塞雅鲁藏布江事件,在大峡谷以上河段形成 4 期(Ⅳ~Ⅰ)的林芝古堰塞湖。¹⁴C 测年结果指示第 2 次、第 3 次和第 4 次堰塞湖分别发生在 9760~11300aB. P., 1220±40~1660±40aB. P. 和 287±93~394±83aB. P.。估计Ⅳ~Ⅱ期堰塞湖库容量约 2150km³, 835km³ 和 81km³。冰川阻塞湖坝的溃决释放突发性洪水,对下游的雅鲁藏布大峡谷河段及下游地区的环境产生巨大的影响。

主题词 湖相阶地和沉积 则隆弄跃动冰川 雅鲁藏布江冰川阻江事件 林芝古堰塞湖 地质灾害

中图分类号 P534.63, P512.4 **文献标识码** A

1 前言

第四纪时期地球上最大洪水是发生在中亚的库那(Kurray)洪水和发生北美的密苏拉(Missoula)洪水,是在晚更新世由冰川阻塞河流形成的冰川阻塞湖溃决形成冰川湖突发性洪水^[1]。雅鲁藏布江及其支流常发生泥石流、滑坡、冰川、冰碛物等多种原因的阻江事件,如 1900 年、1953 年和 1773 年发生的泥石流、滑坡、冰碛物等对帕隆藏布和易贡藏布的堵塞,形成了易贡、古乡和然乌堰塞湖^[2,3]。南迦巴瓦峰西坡的则隆弄冰川即是海洋性冰川,又是周期性快速前进的跃动冰川^[4],在 1950 年和 1968 年,该冰川的冰体快速前进到雅鲁藏布江中形成十几米的冰坝,阻塞雅鲁藏布江形成短暂的堰塞湖^[4]。

则隆弄冰川位于雅鲁藏布大峡谷入口处附近,则隆弄冰川以上河段发育多级阶地和湖相沉积^[3,5],早期的研究认为湖相沉积与雅鲁藏布江大拐弯峡谷段被阻塞形成的堰塞湖有关,造成雅鲁藏布江阻塞的原因有支沟冰川、泥石流、滑坡或地震崩塌等^[3,5,6]。近年来我们通过合作对雅鲁藏布大峡谷以上河段和尼洋曲的湖相沉积进行了追踪研究和湖相沉积的测年工作^[7],结合南迦巴瓦峰地区冰川

研究的成果,认为雅鲁藏布大峡谷以上河段的湖相沉积与雅鲁藏布江多次被阻塞有关,其阻塞的原因与在第四纪冰期的雅鲁藏布大峡谷入口处的则隆弄冰川多次快速前进有关。本文主要报道由则隆弄冰川跃动对雅鲁藏布大峡谷入口处的多次阻塞事件,以及对因阻塞形成的林芝古堰塞湖的恢复。

2 雅鲁藏布大峡谷以上河段的湖成阶地和湖相沉积

2.1 雅鲁藏布江概况

雅鲁藏布江发源于西藏西南部喜马拉雅山北麓的杰马央宗冰川,流向大致由西向东,在米林县的派镇附近折向东北,之后又改向南流,围绕南迦巴瓦峰(最高峰 7782m)形成马蹄形大拐弯后向南流,形成了世界第一的雅鲁藏布大峡谷和大拐弯,经巴昔卡流入印度境内,改称为布拉马普特拉河,最后在孟加拉与恒河相汇流入印度洋。

按照雅鲁藏布江河谷地貌的形态特征,将雅鲁藏布江可分 3 段^[3]: 1) 从海拔 5590m 的源头至海拔 4400m 的拉孜县里孜为上游段,全长 295km,由 3 个宽谷盆地串联而成,谷地宽广,河道曲折而分叉,

第一作者简介:刘宇平 男 43 岁 研究员 构造地质和第四纪地质专业 E-mail:cdlyuping@cgs.gov.cn

* 美国科学基金大陆动力学项目(批准号:EAR-0003530-002)和中国地质调查局地质调查工作项目(批准号:1212010540105)共同资助
2005-09-02 收稿,2005-11-01 收修改稿

谷底海拔在 4500m 以上,多冰川,平均坡度为 0.1445%;2)从里孜到海拔 3108m 的米林县派镇为中游段,全长 1361km,平均坡度 0.1118%,谷底海拔从 4500~3108m。河谷宽、窄相间,其中峡谷段比较陡,水流湍急,河道单一,宽谷段比较平缓,河谷宽坦,水流较缓;3)下游段从派镇到墨脱县巴措卡,为雅鲁藏布大峡谷段,长 504.6km,坡度 0.155%,峡谷区占 2/3,谷底海拔从 3108m 一直降到 155m,河谷都为深切切割的峡谷,阶地零星,两侧谷坡陡峻,河水湍急,峡谷江面最窄处宽为 35m。相对切割深度达到 2000~4000m,其中南迦巴瓦峰和加拉白垒峰两峰之间的峡谷深为 4817m,峡谷最深处在南迦巴瓦峰和东侧里勒峰之间达 6009m;峡谷围绕南迦巴瓦峰的核心河段平均深 2673m^[8]。根据喜马拉雅地区河流的剥蚀速率指数的空间分布模拟和综合研究^[9,10]得出,雅鲁藏布江的下游段具有较高的下切速率。在雅鲁藏布大峡谷上游的鲁霞水文站记录从 1956 年到 2001 年的年平均流量仅在 2000m³/s 以下,最大峰量是 13700m³/s,雅鲁藏布江径流总量约为 $15 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ^[11]。

2.2 雅鲁藏布大峡谷以上河段阶地中发育的湖相沉积

雅鲁藏布大峡谷起点位于米林县东派镇附近的大渡卡,雅鲁藏布大峡谷以上河段指雅鲁藏布江边的加查县到米林县派镇附近直白村以上的河段(图 1),该河段是宽窄相间的河谷段。在该河段及其支流尼洋曲河段发育多级阶地(见图 1),分布于则隆弄沟以上的有格嘎、宜淀、大渡卡、米瑞、鲁霞、岗嘎、米林、朗县、加查等地;支流尼洋曲同样发育多级阶地^[3],主要分布在尼洋曲的下游河谷地段,如八一、林芝发育 3~4 级阶地。阶地多为堆积阶地,并发育多期的湖相沉积^[3],发育湖相沉积的阶地有 4 级(L1, L2, L3 和 L4),主要分布高程在约 2950m, 3100m, 3550m 和 3800m(图 2 和图 3a~3f)。以 3100m 阶地保留最好,3550m 和 3800m 阶地属于高阶地保留较少。这些阶地的高度与则隆弄冰川形成的冰碛物平台的分布高度接近(图 3g)。

雅鲁藏布大峡谷以上河段及其支流尼洋曲主要有 4 套湖成阶地和湖相沉积。

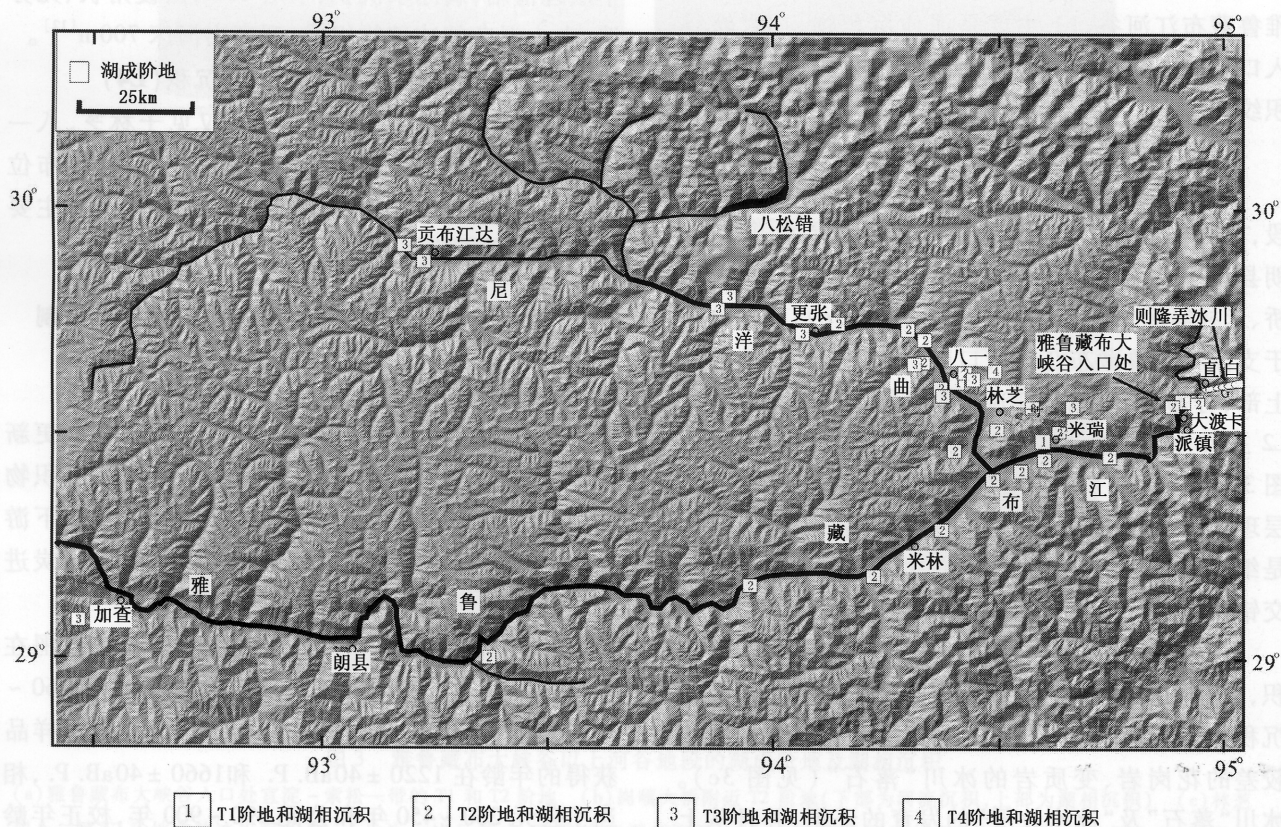


图 1 雅鲁藏布大峡谷以上河段的湖成阶地分布图(地形为数字地图)

Fig. 1 Distribution of lacustrine terraces in the upstream of the Yarlung Zangbo Great Canyon (topograph is from a digital map)

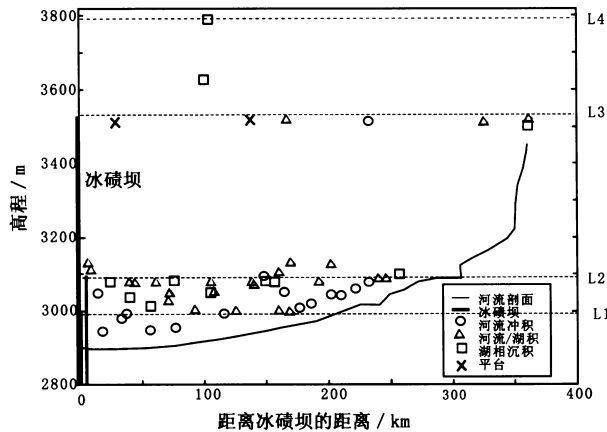


图2 雅鲁藏布大峡谷以上河段主要湖相阶地和冲积阶地高程分布图

Fig. 2 Elevation distribution of lacustrine terraces and alluvial terraces in the upstream of the Yarlung Zangbo Great Canyon

第一套湖成阶地 (T1) 和湖相沉积 (L1)

T1 阶地分布于则隆弄冰川以上的格嘎村、玉松村、米瑞、米林和尼洋曲的八一、林芝等地,其海拔高程在 2930 ~ 2950m (见图 2 和图 3a)。L1 发育于 T1 阶地中,在尼洋曲河谷,L1 厚约 3 ~ 5m,主要是细泥质沉积,发育水平纹层,它的上下为河流冲积沉积。雅鲁藏布江河谷,L1 主要是泥质沉积物,在大峡谷入口处的玉松村和鲁霞村该湖相沉积中发育冰水湖积纹泥¹⁾。

第二套湖成阶地 (T2) 和湖相沉积 (L2)

在尼洋曲 T2 阶地分布于林芝更张以下的河段,在雅鲁藏布江,T2 阶地分布于则隆弄冰川以上、朗县以下的河谷两岸,如宜淀、鲁霞、米瑞、岗嘎大桥、米林等地 (见图 1 以及图 3a, 3b 和 3e),且多分布于支流与雅鲁藏布江的入口处。L2 位于 T2 阶地的上部,分布于 3071 ~ 3104m 的海拔高度 (见图 2)。L2 主要为水平纹理发育较好的泥质、粘土沉积 (见图 3b),L2 中有木炭产出,L2 以下为具有爬升沙纹层理的河流相沉积。在雅鲁藏布江河谷中,L2 主要是细泥质沉积,发育水平纹层,L2 以下是发育大型交错层理的河流相沉积 (见图 3b)。

湖相沉积中发育与冰川作用有关的冰水纹层沉积,如在大峡谷入口处,湖相沉积中发育冰水纹泥的沉积¹⁾,而在林芝、八一的湖相沉积中有大量的分选较差的花岗岩、变质岩的冰川“落石” (见图 3c)。冰川“落石”及“冰水纹层”的发育的证据,并且从上游向下游从冰川“落石”转变为静水纹层。

在雅鲁藏布大峡谷入口附近宜淀和索松的 T2 阶地,海拔在 3100 ~ 3200m,高出河床 260m。在宜淀一带数个十立方米级的冰川漂砾,约 10m 级间距一字排列,其连线指示了来自南迦巴瓦峰方向,因此该阶地为冰水平台^[12]。

第三套湖成阶地 (T3) 和湖相沉积 (L3)

T3 出露于较高的海拔高程,分布范围较广。地形上略有显示,单独的阶地缺乏广泛的地形表现,少量顶部保存在沿着主要山谷的港湾处,目前仅保留在米瑞、八一、林芝、百巴、贡布江达等地,T3 海拔在 3525 ~ 3540m 的范围。八一镇的尼洋曲东西两岸山坡均有 T3 和 L3 分布,以比日神山最为发育 (见图 3d),L3 是较早的湖相沉积,主要由泥质组成,层理不发育,沉积物中有木炭产出。

在没有发育 T3 阶地和湖相沉积的河谷地段,如在尼洋曲与雅鲁藏布江的相汇处,可见到古湖岸线和湖蚀带 (见图 3e 和图 4)。

在南迦巴瓦峰西坡雅鲁藏布江西岸的打林村,在海拔 3600m 分布厚度约 50m 的沉积物,分为上下两层:上层 30m,顶部细粒物质,向下为细砂砾石,水平层理清晰,属冰水沉积;下层 20m,由棱角状、无分选、大小混杂的冰碛物组成,现高出河床 700m^[12]。

第四套湖成阶地 (T4) 和湖相沉积 (L4)

T4 现在高程在 3800m 以上,仅见于林芝、八一镇的比日神山 (见图 3f)。由于形成较早,且分布位于较高的海拔高度,不容易被认识和保留。L4 主要是泥质的沉积物。

2.3 测年结果、冰川活动及湖相沉积物年龄限制

2.3.1 年龄测试结果

雅鲁藏布大峡谷以上河段的阶地时代在晚更新世到全新世,林芝附近组成高阶地的河湖相沉积物的¹⁴C 年代测定为晚更新世^[3]。用¹⁴C 对尼洋曲下游林芝、八一的 L2 和 L3 湖相沉积物中残留的木炭进行年龄测定,其结果见表 1。

L3 湖相沉积的两个样品获得校正年龄范围在 8860 ± 40aB. P. 和 9870 ± 50aB. P.,经校正为 9760 ~ 10160aB. P. 和 11190 ~ 11300aB. P.,L2 的两个样品获得的年龄在 1220 ± 40aB. P. 和 1660 ± 40aB. P.,相当于公元 260 ~ 450 年和公元 690 ~ 900 年,校正年龄为 1102 ~ 1312aB. P. 和 1552 ~ 1742aB. P.。

1) 中国地质调查局成都地质矿产研究所. 1:250000 墨脱县幅区域地质调查报告. 2003



图3 雅鲁藏布大峡谷以上河谷地段的湖成阶地及湖相沉积

(a) 雅鲁藏布大峡谷入口处宜定-索松一带的 T1 和 T2 阶地 (b) 岗嘎大桥附近 T2 阶地(下部为河流沉积,上部为湖相沉积) (c) 林芝和八一镇 T2 阶地中的冰川沉积物 (d) 八一比日神山 T3 阶地和湖相沉积 (e) 米林里龙附近的 T2 阶地和湖相沉积及 L3 湖岸线 (f) 八一比日神山 T4 阶地和湖相沉积 (g) 南迦巴瓦峰西坡的则隆弄冰川及发育的多级冰碛物平台

Fig.3 Lake terrace and lacustrine sediments in the upstream of the Yarlung Zangbo Great Canyon

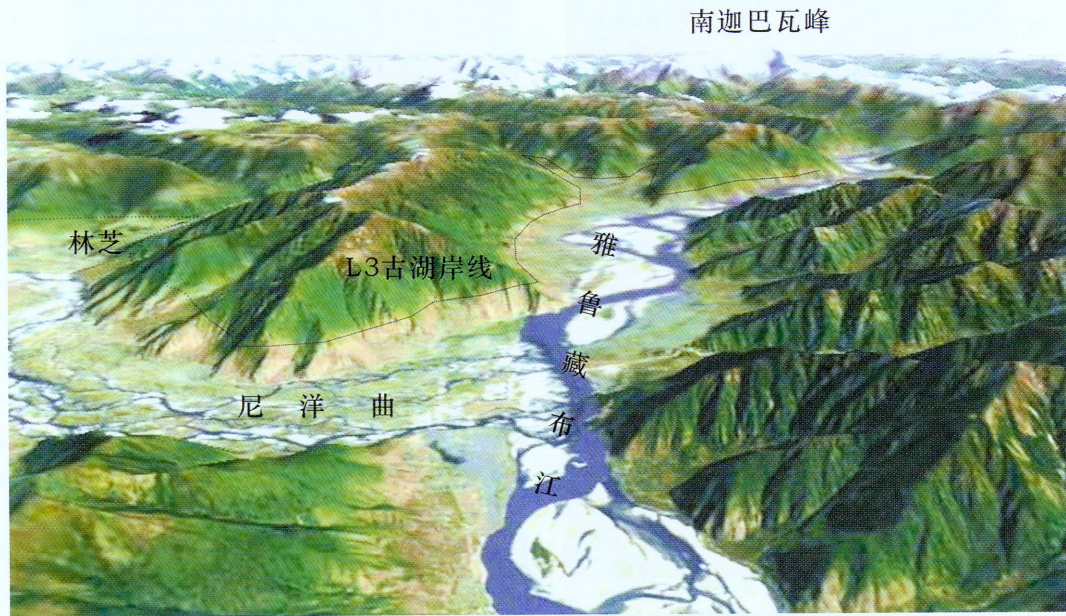


图4 雅鲁藏布江与尼洋曲相汇处 L3 古湖岸线及湖岸线以下的湖蚀带(据 <http://earth.google.com>)

Fig. 4 L3 ancient lake shoreline and erosion belt below shoreline in Yarlung Zangbo River and its tributary Nyang River (from <http://earth.google.com>)

表1 湖相沉积物中木炭放射性的测年结果*

Table 1 Radiocarbon ages of wood samples from lacustrine terrace sediments

采样位置	分析样品编号	^{14}C 年龄 /a.B. P.	校正年龄 /a.B. P.
T2 阶地、 L2 湖相沉积	Beta-16937	1220 ± 40	1102 ~ 1312
	Beta-168580	1660 ± 40	1552 ~ 1742
T3 阶地、 L3 湖相沉积	Beta-168578	8860 ± 40	9760 ~ 10160
	Beta-168579	9870 ± 50	11190 ~ 11300

* 由美国华盛顿大学第四纪研究中心测试

2.3.2 南迦巴瓦峰西坡的则隆弄冰川的活动

海拔 7782m 的南迦巴瓦峰地处我国西藏东南部,是喜马拉雅山脉东端的最高峰,受印度洋吹来的湿润海洋性季风哺育,发育以南迦巴瓦峰为首的青藏高原东南部海洋性冰川中心,由于降雪补给量大,在这个中心发育着我国最长的海洋性冰川——长达 35km 的恰青冰川^[13,14],冰川可以向下延伸到海拔很低的地方,常常可见到冰川末端下达到海拔 2500m 左右。

南迦巴瓦峰西坡的则隆弄冰川是我国首次发现的跃动冰川^[4,15,16]。跃动冰川是周期性快速前进的

现代冰川,其运动速度往往是非跃动冰川的(常态冰川)运动速度的数倍,乃至数十倍。它是具有跃动形迹的超长运动冰川。跃动冰川的间歇期似乎是固定不变的,故又称为波动冰川。冰川跃动时对下游的森林、村庄和道路等危害极大,可造成河流的阻塞,因此,也称跃动冰川为灾难性冰川、前进或威胁性冰川。

根据对南迦巴瓦峰地区及邻区的研究^[4,12-21],南迦巴瓦峰地区的冰期可划分为 25000 ~ 10000a.B. P. 的末次冰期、3500 ~ 1000a.B. P. 的新冰期和 400 ~ 200a.B. P. 的小冰期^[17](见图 3g)。各冰期在本区的主要特征有:

(1) 末次冰期白玉冰进。较早的一次冰期,是南迦巴瓦峰地区中更新世大冰期,堆积遗迹残存在山体上部,高差在 700 ~ 900m,破坏严重。残存冰碛上发育有红棕色古土壤层。由于这期冰碛物残存在较高的台地上,因而称为高台冰期^[15]。14853 ± 265a.B. P. 是末次冰期最盛的时期^[4],在波密地区末次冰期白玉冰进的年龄为 19700 ± 300a.B. P. 和 24390 ± 750a.B. P.^[18]。

(2) 末次冰期育仁冰进。则隆弄末次冰期冰川的终碛分布在 2850m 的海拔高度,厚度达 200m。

冰川末端高程 2850m, 厚约 100m。该次冰进的侧碛分布在则隆弄沟两侧及直白村以西, 形成 3550 ~ 3600m 的冰碛平台(见图 3g), 并跨过雅鲁藏布江, 如在则隆弄冰川对岸谷坡打林村上方有该期的冰碛物残存, 现在的海拔高度为 3500 ~ 3600m, 高出雅鲁藏布江江面 600 ~ 700m。在则隆弄冰川的南部, 雅鲁藏布江两岸的索松、宜淀高出江面 800 ~ 900m 处均有残留的冰碛物产出^[16]。在 3040m 冰碛物的¹⁴C 年代测定为 11265 ± 328 aB. P.^[17], 与邻区的波密则普冰川获得的 11252 ± 209 aB. P. 育仁冰进接近^[18]。

(3) 新冰期时期。在 1660 ~ 1220 aB. P. 或 1481 ± 134 aB. P., 则隆弄冰川又一次活跃, 形成的冰碛分布在海拔 2920 ~ 4000m(见图 3g), 冰碛层厚度 150m 以上。相邻的波密则普冰川新冰期冰进可明显分为 3 次冰进: 即大拿(3242 ± 101 aB. P.)、大拿顶(相当于若果冰进, $1920 \pm 110 \sim 1540 \pm 85$ aB. P.) 和白同(1056 ± 115 aB. P.)^[14, 18]。

(4) 小冰期时期。在则隆弄冰川发育 2 ~ 3 道新鲜终碛垄是小冰期的产物, 冰碛物中朽木¹⁴C 年代测定, 分别为 287 ± 93 aB. P. 和 394 ± 83 aB. P.^[17]。

2.3.3 阶地中湖相沉积的时代探讨

湖相沉积中有冰水湖纹沉积和冰川“落石”, 表明发生湖相沉积时间与冰期接近, 可以根据湖相沉积和冰碛物的¹⁴C 测年结果对各阶地和湖相沉积的形成时间大致推测, 各湖相阶地的形成时间大致为: L4 湖相沉积形成较早, 大致在晚更新世, 与末次冰期的白玉冰进冰川活动时期接近, 大致在 14853 ± 265 aB. P.^[4]; L3 湖相沉积形成于 9760 ~ 11300 aB. P., 与末次冰期的冰川活动时期接近; L2 湖相阶地的获得的年龄值与新冰期相近, 与新冰期的冰川活动有关, 大致在 1312 ~ 1552 aB. P.; L1 湖相沉积分布有限, 与小冰期的冰川作用有关, 估计不超过 400 aB. P.。

3 南迦巴瓦峰则隆弄冰川对雅鲁藏布江阻塞的讨论

3.1 雅鲁藏布江的阻塞

雅鲁藏布大峡谷以上河段分布的湖相沉积反映了某个时期局部该河段具有湖相的沉积环境, 而不能认为它就是一个内陆湖泊, 而是河谷中的外流湖泊性质, 其范围并没有占整个河谷, 上游部分仍是河流。推测河谷湖泊的形成, 很可能是由于雅鲁藏布大峡谷的某个部位曾经被阻塞, 使上游水位壅高,

江面扩大, 犹如现在的天然水库一样^[3]。造成雅鲁藏布江阻塞的原因可能有滑坡、泥石流、支沟冰川。根据阻塞湖形成的湖相沉积的分布和南迦巴瓦峰及邻区的冰川活动特征表明, 阻塞发生在雅鲁藏布大峡谷的入口处, 即南迦巴瓦峰西坡的则隆弄冰川与雅鲁藏布江的相汇处(见图 3g 和图 4), 造成雅鲁藏布江阻塞与在第四纪冰期时冰川的冰进和跃动有关。

3.2 湖成阶地、湖相沉积和古湖岸线的分布指示阻塞湖

多期的湖相沉积表明雅鲁藏布江及其支流曾经蓄水成为湖泊。以往的研究已认识到分布于大峡谷入口以上河段阶地的湖相沉积是与雅鲁藏布江阻塞有关^[3-6, 12]。湖成阶地和湖相沉积仅分布在则隆弄冰川与雅鲁藏布江相汇处的以上主河段及其支流尼洋曲的河段, 而隆弄冰川以下是著名的雅鲁藏布大峡谷, 湖成阶地和湖相沉积不发育。除了湖相沉积外, 在则隆弄冰川以上的雅鲁藏布江河段及支流尼洋曲河段两岸, 可以见到古湖岸线和湖蚀带残余。如在大峡谷的入口处的大渡卡、宜淀、索松(见图 3a)或在尼洋曲与雅鲁藏布江的相汇处米林里龙、米瑞等地, 它们分布于不同高度的古湖岸线(见图 3e)。在卫片上可清楚见到不同的古湖岸线(见图 4), 湖岸线以下是蓄水湖期间湖岸湖蚀带。表明雅鲁藏布江及其支流曾经成为湖泊。湖成阶地和湖相沉积以及残留的古湖岸线表明则隆弄冰川与雅鲁藏布江相汇处极有可能是雅鲁藏布江受阻的地段。

与雅鲁藏布江阻塞湖有关的湖相沉积仅分布于则隆弄冰川与雅鲁藏布江相汇的以上河段, 湖相沉积中有冰水沉积和冰川落石表明湖相沉积与冰川有关, 南迦巴瓦峰西坡则隆弄冰川是活动性极强的跃动冰川^[3, 20]。则隆弄冰川的快速前进, 形成的冰碛平台分布在 3800m, 3500 ~ 3600m, 3200m 和 2950m 的海拔高度, 与则隆弄冰川和雅鲁藏布江相汇处以上河段湖相沉积的海拔高度基本一致。则隆弄冰川快速前进可能是造成雅鲁藏布江阻塞的原因。

3.3 南迦巴瓦峰的则隆弄冰川对雅鲁藏布江的阻塞

位于雅鲁藏布江右岸的则隆弄冰川是海洋性跃动冰川, 冰川呈东西向与雅鲁藏布江近于垂直。在第四纪冰期所形成的冰碛物分布在雅鲁藏布江的两岸(见图 3g), 表明冰进时则隆弄冰川及冰碛物已跨过雅鲁藏布江, 即雅鲁藏布江已受到则隆弄冰川的

阻塞。在末次冰期、新冰期和小冰期,则隆弄冰川冰进形成的冰碛物分别分布在 3800m, 3500 ~ 3600m, 3200m 和 2950m 左右不同的高度平台。这些冰碛平台分布的海拔高度与则隆弄以上河段湖相沉积的分布海拔高度一致,说明则隆弄冰川及冰碛物在不同的冰进时期在雅鲁藏布江上形成阻塞坝,在阻塞坝以上河段形成不同时期的冰川堰塞湖。

则隆弄冰川是周期性快速前进的跃动冰川,在不同的冰期可以通过前进或冰体跃动超过雅鲁藏布江面达到左岸,与雅鲁藏布江左岸的山体构成坝体,从而形成对雅鲁藏布江的阻塞。在近代历史上两次超长运动(1950-08-15 和 1968-09-02)和一次块体快速滑动(1984-04-13)都形成了阻塞雅鲁藏布江的冰坝^[4,21],可以说明在第四纪冰期内则隆弄冰川前进形成对雅鲁藏布江的阻塞是并非不可能的。

则隆弄冰川是海洋性冰川,它的固体降水来自印度洋的水汽。雅鲁藏布江下游作为印度洋湿暖气流伸入高原内部的水汽通道^[22],哺育了青藏高原东南部发育的海洋性冰川。发育良好的海洋性冰川往往沿山坡前进,末端可以向下延伸到海拔很低的地方,常常可见到冰川末端下达到 2500m 左右。雅鲁藏布江下游作为水汽通道的作用是在中更新世奠定的,一直延续到今天,即中更新世南迦巴瓦峰地区进入了大冰期的发育阶段^[22]。

在第四纪冰期期间,位于水汽通道内的南迦巴瓦峰西坡的则隆弄冰川,受到印度洋湿暖气流哺育,受印度洋的湿润海洋性季风的惠赐和大量的降雪补给,其冰川可能前进到较低江面的高度,由于则隆弄冰川冰进方向与雅鲁藏布江近于垂直,而地形上在冰川与江相汇处江的左岸是海拔为 3800m 稳定的呈近东西向的山脊,当在冰川前进时其冰川末端、侧碛可能达到雅鲁藏布江的对岸,由于受到对岸山体的阻挡和冰川的继续前进作用,使雅鲁藏布江阻塞。而在冰期时期上游地区的降水以雪的形式出现,因此雅鲁藏布江的径流可能没有多大,前进的冰体、前碛、侧碛和对岸山体构成相对稳定的坝体,随着冰川的继续前进坝体将增大,坝体以上的河段形成堰塞湖,当湖水的压力与坝体达到平衡后,堰塞湖稳定发展。而在间冰期,堰塞湖的冰坝溃决、湖水消退,在阻塞坝以上河段保留了湖相阶地和湖相沉积。

第四纪期间南迦巴瓦峰地区的冰川经历了末次冰期、新冰期和小冰期 3 个冰期,在每个冰期冰进期间则隆弄冰川的前进都可能对雅鲁藏布江形成阻

塞,在其阻塞以上河段形成堰塞湖。在不同的冰期,冰川发育的规模和前进的幅度不同,形成的堰塞湖的规模大小不同,如末次冰期冰川发育的规模较大,形成的堰塞湖也较大。

如在末次冰期时,第四纪古冰川遗迹和¹⁴C 同位素年龄测定表明^[4,6,12-21], 14853 ± 265aB. P. 是末次冰期最盛时期,则隆弄冰川曾是一条较现代冰川规模大得多的扇形冰川。其北端沿雅鲁藏布江而下,直达现今海拔 2650m 的龙白地界,末端距离南迦巴瓦峰约 30km;南端则溯江而上,直抵现今海拔 2950m 的大渡卡境内,至今在宜淀大渡卡一线留有冰川漂砾,末端距离主峰约 23km。当时的冰川面积为现代冰川面积的 5 倍,达 90 余平方公里,则隆弄冰川汇入雅鲁藏布江后向下伸展,在派镇与两侧的冰川相汇,构成一道 20 余公里长的“大冰坝”将雅鲁藏布江堵塞^[20],部分水流则以冰下河道等形式排出,所以在则隆弄沟口以上长达十几公里的邻区的雅鲁藏布江谷地及尼洋曲谷地内形成冰川堰塞湖。

冰川作坝形成阻塞湖在阿拉斯加有许多实例,如拉塞尔(Russell)湖是现代冰川阻塞河流形成堰塞湖的最好实例,该湖是在 1986 年拉塞尔海湾的出口被 Hubbard 冰川阻塞而形成^[1]。而在第四纪时期冰川作坝形成的最大堰塞湖是北美的密苏拉(Missoula)湖和在中亚的库那(Kuray)湖^[1,23,24]。密苏拉湖是在晚更新世时期(大约在 13000 年以前),科迪勒拉(Cordilleran)大冰盖向南延伸进入爱达荷狭长地带形成阻塞克拉克福克河大冰坝后所形成的一个水深达 700m 蓄水达 2200m³ 的巨型湖泊^[1,23];库那湖是在晚更新世(14 ~ 11kaB. P.)时期中亚的阿尔泰山由于冰川作用在楚雅(Chuya)河上形成两个冰坝,因此形成了库那湖和楚雅湖,两个湖蓄水达到 3500m³,在库那湖的最大水深达到 900m^[1,24]。

3.4 古堰塞湖的恢复

由于则隆弄冰川在末次冰期、新冰期和小冰期时期的多次跃动,造成了雅鲁藏布江阻塞,形成不同时期的古堰塞湖,因此将古堰塞湖称之为林芝古湖(IV ~ I)。

根据湖相沉积和冰碛平台分布的最大海拔高程可以估计堰塞湖面最大的高程,结合则隆弄冰川沟口所在的雅鲁藏布江面的高程(见图 1),以及现代地形(DEM)可估算 4 个古堰塞湖分布范围和蓄水量(图 5)。

末次冰期是南迦巴瓦峰地区最强的冰川活动,

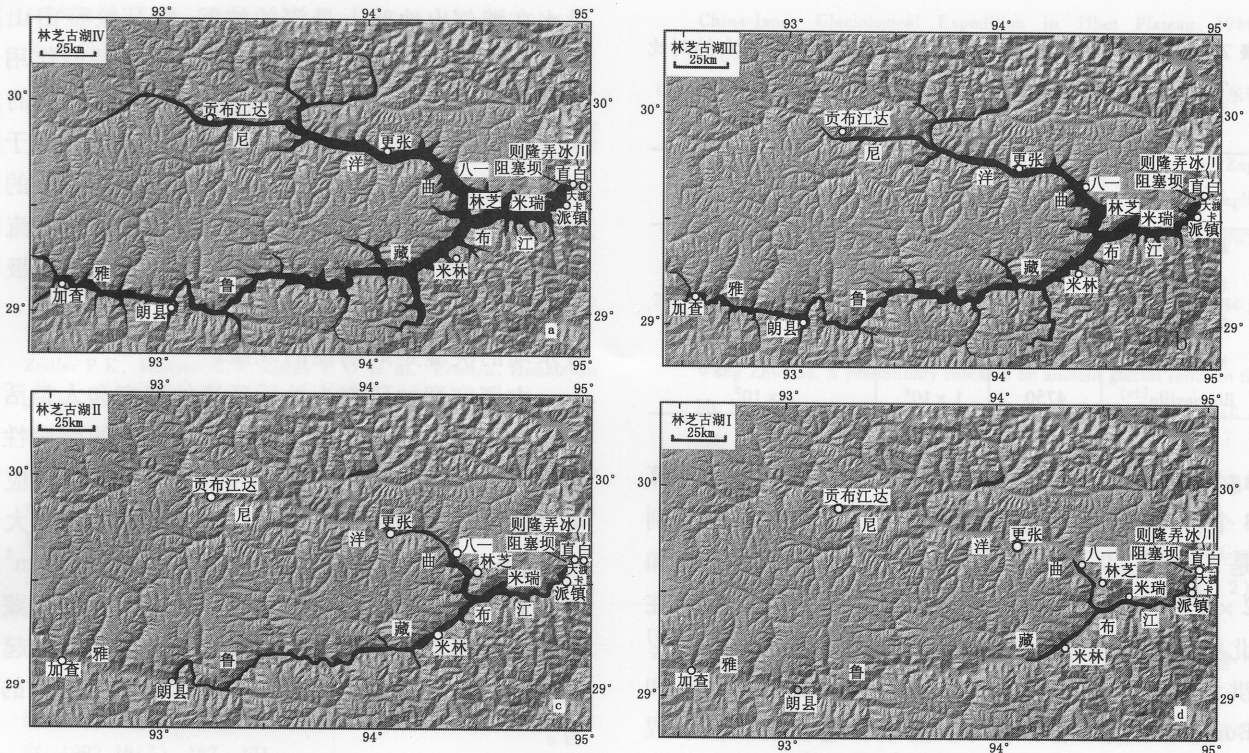


图5 恢复的林芝古湖(IV ~ I)的范围

Fig.5 Maps showing reconstructed extent of the Linzhi ancient lakes(IV ~ I)

该冰期分为白玉和育仁两次冰进,造成雅鲁藏布江的两次阻塞,形成林芝古湖IV和林芝古湖III。

在末次冰期白玉冰进时,则隆弄冰川的跃动造成雅鲁藏布江的阻塞,形成古堰塞——林芝古湖IV,湖面高度大致在 $3800\text{m} \pm$,分布范围大致在贡布江达县松多以下的尼洋曲河段和加查—则隆弄沟一线雅鲁藏布江河段地区(见图5a),估计湖蓄水量在 2150km^3 。

在末次冰期育仁冰进时,则隆弄冰川对雅鲁藏布江的再次阻塞,形成林芝古湖III,范围在贡布江达县城以下的尼洋曲河段和则隆弄冰川沟口到加查的沿雅鲁藏布江地区(见图5b)。根据湖面 $3530\text{m} \pm$ 的海拔高程,林芝古湖III覆盖面积约 2847km^2 ,出口处水深大约 680m ,估计湖蓄水量约 835km^3 。

在新冰期冰进时,则隆弄冰川的跃动使雅鲁藏布又一次受到阻塞,并形成林芝古湖II(见图5c),分布范围在林芝更张村以下的尼洋曲和朗县—则隆弄冰川沟口的雅鲁藏布江河段。根据湖面 $3100\text{m} \pm$ 的海拔高程,估计覆盖面积在 799km^2 ,蓄水量约 81km^3 ,估算林芝古湖II出口处水深大约 240m 。

在小冰期时,则隆弄冰川的跃动造成雅鲁藏布江的又一次阻塞,形成的堰塞湖是河流和湖泊的过渡(见图5d),湖面的高度在 2930m 左右,分布在八

一以下的尼洋曲和米林以下的雅鲁藏布江河段,湖的覆盖范围与现代的河流相差不大。

3.5 冰川阻塞湖的溃决

由冰川阻塞河流形成的阻塞湖在条件改变的情况下容易发生溃决,冰川阻塞湖溃决的机理有几种^[13],但冰川退缩可能是个重要的原因。冰川阻塞湖的溃决将形成冰川湖突发性洪水(glacier lake outburst food,简称GLOF)。由则隆弄冰川阻塞形成林芝古湖的蓄水量、溃决时形成洪峰及单位动能的估算结果见表2。Cenderelli^[25]编译及分析了天然和人造的水坝决堤,提出洪峰流量的计算公式: $Q_p = 0.3(VD)^{0.49}$,其中 Q_p 是洪峰流量(m^3/s), V 是湖体积(m^3), D 是湖深度(m)。估算出林芝古湖VI ~ II的最大洪峰流量大约分别为 $9 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$, $5 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ 和 $1 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ (见表2)。

通过公式 $\omega = \rho g Q_p S/W$,用估算的洪峰流量计算出流经雅鲁藏布大峡谷突发性洪水的单位河流动能(ω)。式中 S 和 W 是经过峡谷平均的河道坡度和宽度, ρ 是水的密度, g 是重力的加速度。突发性洪水流经的雅鲁藏布大峡谷最窄江面宽为 35m ,一般宽度 $< 200\text{m}$,但突发性洪水可能使河道加宽。使用数据 $Q_p = 1 \times 10^6 \sim 9 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$, $S = 0.02$, $\rho = 1000$

表 2 估计林芝古湖的洪水特征以及与世界大洪水的对比

Table 2 Estimated characteristics of Linzhi ancient lakes compared with other ancient lakes in the world

古洪水	蓄水量 /km ³	洪峰 /m ³ ·s ⁻¹	单位河流动能 /W·m ⁻²
林芝古湖Ⅳ	2150	9 × 10 ⁶	2 × 10 ⁶ ~ 9 × 10 ⁶
林芝古湖Ⅲ	835	5 × 10 ⁶	1 × 10 ⁶ ~ 5 × 10 ⁶
林芝古湖Ⅱ	81	1 × 10 ⁶	2 × 10 ⁵ ~ 1 × 10 ⁶
Missoula ^[23]	2184	1.7 × 10 ⁷	2.5 × 10 ⁵ ~ 3 × 10 ⁵
Bonneville ^[26]	4750	1 × 10 ⁶	1 × 10 ⁵

kg/m³, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 和 $W = 200 \sim 1000 \text{ m}$, 由此估算 3 个古湖 (Ⅵ ~ Ⅱ) 溃决的单位水流动能的范围分别是 $2 \times 10^6 \sim 9 \times 10^6 \text{ W/m}^2$, $1 \times 10^6 \sim 5 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ 和 $2 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ 。与在晚更新世时期发生在北美的密苏拉 (Missoula) 洪水^[1,23] 和 Bonneville^[1,26] 洪水相比, 尽管林芝古湖的蓄水量比 Missoula 和 Bonneville 湖的蓄水量小, 由于林芝古湖溃决形成的突发洪水流经世界最深和狭窄的雅鲁藏布大峡谷, 因此, 估算的林芝古湖溃决时形成洪水的单位动能超过晚更新世 Missoula 洪水和 Bonneville 洪水的单位动能 (见表 2)。

4 研究意义

冰川跃动 - 雅鲁藏布江阻塞成湖及溃决 - 湖相沉积事件是第四纪期间南迦巴瓦地区重要的环境演化。在冰期冰进时, 则隆弄冰川的跃动在雅鲁藏布江形成冰坝, 致使雅鲁藏布江的阻塞而形成堰塞湖, 形成相应的湖相沉积。当处于间冰期时, 则隆弄冰川退缩, 冰坝溃决, 释放出突发性的洪水, 对冰坝的下游地区进行冲刷, 冰坝以上的湖水消失, 形成湖成阶地。在第四纪以来, 在冰川跃动 - 雅鲁藏布江阻塞成湖 - 湖相沉积事件至少有 4 个周期, 其随着时间演化的冰川跃动的幅度减小、堰塞湖的范围减小、湖相沉积减少, 并形成现代地貌地理特征。

则隆弄冰川阻塞坝以下的雅鲁藏布江是著名的雅鲁藏布大峡谷, 尽管对大峡谷的形成有不同的认识^[27-29], 但大峡谷的形成是河流的下切侵蚀作用、地质构造和地壳抬升等方面综合作用的结果。林芝古湖的形成演化对于形成雅鲁藏布大峡谷在形成中起到什么作用? 冰川堰塞湖的溃决造成的超级洪水对大峡谷的形成起着重要的作用, 即表现在对河床的下切作用, 巨大的洪水对河床的下切和河岸的侧切作用是普通时期的数倍到数十倍。因此, 突发性

洪水在雕刻出地球上最深的峡谷、喜马拉雅山山脉和其他的冰川地区壮观的地形中扮演重要的作用。

周期性的堰塞湖湖坝溃决将释放出巨量的洪水, 洪水流向地球上最深的雅鲁藏布大峡谷, 由于洪水流经陡峭、狭窄部分大峡谷, 在决堤期间河流的动能将超过已知陆上最大的洪水的动能, 产生河流的下切作用, 像这样灾难事件的剥蚀动能揭示了极端事件在喜马拉雅山河流下切的作用, 大的冰川 - 滑坡水坝的决堤是周期性的现象。

古堰塞湖的研究为地质环境的演变和人类活动的影响提供了启示。堰塞湖的溃决产生的突发性洪水将对下游地区产生巨大的冲蚀作用, 造成相应的地质灾害。如 2000 年 4 月 9 日易贡藏布发生大滑坡, 堵断易贡藏布形成为一个覆盖面积约 33km² 的堰塞湖, 当堰塞湖坝溃决时, 突发性洪水对帕龙藏布和易贡藏布两岸形成了 50 多米的冲蚀带, 引起滑坡、崩塌等灾害的发生, 对下游地区造成了巨大的灾害。

从水利工程的角度, 林芝古堰塞湖和古堰塞湖坝可作为现代大型水库的天然模型, 可以为将来的南水北调西线工程的规划和建设水库时提供许多值得借鉴之处。

致谢 审稿人对本文的审阅及修改提出宝贵的意见, 在此谢忱。

参考文献 (References)

- O'Connor J E, Costa J E. The world's largest floods, past and present: Their causes and magnitudes. U. S. Geological Survey Circular 1254. Reston; U. S. Geological Survey, 2004. 1 ~ 13
- 陈志明. 西藏高原湖泊的成因. 海洋与湖泊, 1981, 12(2): 178 ~ 187
Chen Zhiming. The origin of lakes on Xizang Plateau. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1981, 12(2): 178 ~ 187
- 杨逸畴, 李炳元, 尹泽生等. 西藏地貌. 北京: 科学出版社, 1985. 1 ~ 266
Yang Yichou, Li Bingyuan, Yin Zesheng et al. *Geomorphology of Xizang (Tibet)*. Beijing: Science Press, 1985. 1 ~ 266
- 张文敬. 南迦巴瓦峰跃动冰川的某些特征. 山地研究, 1985, 3(4): 234 ~ 238
Zhang Wenjing. Some features of the surge glacier in the Mt. Namjagbarwa. *Mountain Research*, 1985, 3(4): 234 ~ 238
- 李炳元, 王富葆, 张青松等. 西藏第四纪地质. 北京: 科学出版社, 1983. 1 ~ 179
Li Bingyuan, Wang Fubao, Zhang Qingsong et al. *Quaternary Geology in Xizang*. Beijing: Science Press, 1983. 1 ~ 179
- 王富葆, 张厚生. 南迦巴瓦地区第四纪地质拾零. 山地研究,

- 1985, 3(4): 321 ~ 324
- Wang Fubao, Zhang Housheng. Quaternary geology sidelight in Mt. Namjagbarwa area. *Mountain Research*, 1985, 3(4): 321 ~ 324
- 7 Montgomery D R, Hallet B, Liu Yuping *et al.* Evidence for Holocene megafloods down the Tsangpo River gorge, Southeastern Tibet. *Quaternary Research*, 2004, 62(2): 201 ~ 207
- 8 杨逸畴. 徒步穿越考察世界第一大峡谷最新成果. 山地学报, 1999, 17(3): 200 ~ 206
- Yang Yichou. New exploring results of the Greatest Canyon in the world. *Journal of Mountain Science*, 1999, 17(3): 200 ~ 206
- 9 Zeitler P K, Meltzer A S, Koons P O *et al.* Erosion, Himalayan geodynamics, and the geomorphology of metamorphism. *GSA Today*, 2001, 11(1): 4 ~ 9
- 10 Finlayson D P, Montgomery D R, Hallet B. Spatial coincidence of rapid inferred erosion with young metamorphic massifs in the Himalayas. *Geology*, 2002, 30(3): 219 ~ 222
- 11 刘天仇. 雅鲁藏布江水文特征. 地理学报, 1999, 54(增刊): 157 ~ 163
- Liu Tianchou. Hydrological characteristics of Yarlungzangbo River. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54(Suppl.): 157 ~ 163
- 12 阎顺, 陈亚宁. 西藏南迦巴瓦峰地区第四纪环境探讨. 山地研究, 1992, 10(3): 167 ~ 171
- Yan Shun, Chen Yaning. Research on Quaternary environment in Namjagbarwa region, Xizang. *Mountain Research*, 1992, 10(3): 167 ~ 171
- 13 施雅风, 黄茂桓, 姚檀栋等编. 中国冰川与环境——现在、过去和未来. 北京: 科学出版社, 2000. 1 ~ 402
- Shi Yafeng, Huang Maohuan, Yao Tandong *et al.* eds. *Glaciers and Their Environments in China: The Present, Past and Future*. Beijing: Science Press, 2000. 1 ~ 402
- 14 李吉均, 郑本兴, 杨锡金等. 西藏冰川. 北京: 科学出版社, 1986. 1 ~ 328
- Li Jijun, Zheng Bengxing, Yangxijin *et al.* *Glaciers of Xizang (Tibet)*. Beijing: Science Press, 1986. 1 ~ 328
- 15 杨逸畴. 记南迦巴瓦峰科学考察. 山地研究, 1983, 1(1): 41 ~ 47
- Yang Yichou. The scientific expedition to Mt. Namjagbarwa (Namchar Barwa). *Mountain Research*, 1983, 1(1): 41 ~ 47
- 16 杨逸畴. 再记南迦巴瓦峰科学考察. 山地研究, 1984, 2(1): 43 ~ 48
- Yang Yichou. Represent on the scientific expedition to Mt. Namjagbarwa (Namchar Barwa). *Mountain Research*, 1984, 2(1): 43 ~ 48
- 17 张振拴. 南迦巴瓦峰西坡末次冰期以来的冰川变化. 冰川冻土研究, 1988, 10(2): 181 ~ 188
- Zhang Zhenshuan. Fluctuations of glaciers on the northwest slope of Mt. Namjagbarwa since the Last Glaciation. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1988, 10(2): 181 ~ 188
- 18 姚檀栋, 上田丰, 大畑哲夫等. 1989 年中日青藏高原冰川联合考察研究. 冰川冻土, 1991, 13(1): 1 ~ 8
- Yao Tandong, Ageta Y, Ohata T *et al.* Preliminary results from China-Japan Glaciological Expedition in Tibet Plateau, 1989. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1991, 13(1): 1 ~ 8
- 19 焦克勤, Shuji Iwata, 姚檀栋等. 3.2kaBP 以来念青唐古拉山东部则普冰川波动与环境变化. 冰川冻土, 2005, 27(1): 74 ~ 79
- Jiao Keqin, Shuji Iwata, Yao Tandong *et al.* Variation of Zepu Glacier and environmental change in the eastern Nyainqentanglha Range since 3.2kaBP. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, 27(1): 74 ~ 79
- 20 王志超. 南迦巴瓦峰地区古冰川遗迹概述. 山地研究, 1984, 2(3): 216 ~ 220
- Wang Zhichao. A preliminary research on ancient glacial relics in the Mt. Namjagbarwa region. *Mountain Research*, 1984, 2(3): 216 ~ 220
- 21 张文敬, 高登义. 世界第一大峡谷——雅鲁藏布大峡谷科学考察新进展. 山地学报, 1999, 17(2): 99 ~ 103
- Zhang Wenjing, Gao Dengyi. The scientific expedition in the Great Canyon, Yalungtsangpo. *Journal of Mountain Science*, 1999, 17(2): 99 ~ 103
- 22 杨逸畴, 高登义, 李渤生. 雅鲁藏布江下游河谷水汽通道初探. 中国科学(B辑), 1987, (8): 893 ~ 902
- Yang Yichou, Gao Dengyi, Li Bosheng. Primremary studying water vapor pass along the downstream of Yarlung Zangbo. *Science in China (Series B)*, 1987, (8): 893 ~ 902
- 23 O'Connor J E, Baker V R. Magnitudes and implications of peak discharges from Glacial Lake Missoula. *Geological Society of America Bulletin*, 1992, 104: 179 ~ 267
- 24 Baker V R, Benito G, Rudoy A N. Paleo-hydrology of Late Pleistocene superflooding, Altay Mountains, Siberia. *Science*, 1993, 259: 348 ~ 350
- 25 Cenderelli D A. Floods from natural and artificial dam failures. In: Wohl E E ed. *Inland Food Hazards*. New York: Cambridge University Press, 2000. 73 ~ 103
- 26 O'Connor J E. Hydrology, Hydraulics, and Geomorphology of the Bonneville Flood. Boulder: Geological Society of America, 1993. Special Paper, 274: 1 ~ 83
- 27 杨逸畴. 再论南迦巴瓦峰地区的地貌. 山地研究, 1985, 3(4): 237 ~ 233
- Yang Yichou. The second report on the geomorphology in the Mt. Namjagbarwa region. *Mountain Research*, 1985, 3(4): 227 ~ 233
- 28 季建清, 钟大赉, 丁林等. 雅鲁藏布大峡谷地质成因. 地学前沿, 1999, 6(4): 231 ~ 235
- Ji Jianqing, Zhong Dalai, Ding Lin *et al.* Genesis and scientific significance of the Yarlung Zangbo Canyon. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(4): 231 ~ 235
- 29 王二七, 陈良忠, 陈智樑. 在构造和气候因素制约下的雅鲁藏布江的演化. 第四纪研究, 2002, 22(4): 365 ~ 373
- Wang Erchie, Chen Liangzhong, Chen Zhiliang. Tectonic and climatic element-controlled evolution of the Yalungzangbu River in Southern Tibet. *Quaternary Sciences*, 2002, 22(4): 365 ~ 373

QUATERNARY GLACIER BLOCKING EVENTS AT THE ENTRANCE OF YARLUNG ZANGBO GREAT CANYON, SOUTHEAST TIBET

Liu Yuping^① D. R. Montgomery^② B. Hallet^② Tang Wenqing^①
Zhang Jianlong^① Zhang Xuanyang^①

(^①Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082;

^②Quaternary Research Center, University of Washington, Seattle, WA 98195 - 1310 USA)

Abstract

There are four sets of lacustrine terraces and sediments distributing along the upstream of the Yarlung Zangbo River and its tributary Nyang River in Southeast Tibet. Researches on lacustrine sediments and glacier activities which were located near the entrance of the Yarlung Zangbo Great Canyon, combined with ¹⁴C dating have confirmed glacier blocking events and dammed lakes along the upstream of the Yarlung Zangbo River in Quaternary.

The Zelunglung glacier which was located at the entrance of the Yarlung Zangbo Great Canyon and the west slop of the Mt. Namche Barwa (7782m) is an active oceanic as well as surge glacier. In Quaternary along the Yarlung Zangbo Great Canyon the India oceanic water vapor supplied enough precipitation to form oceanic glaciers distributing in East Tibetan Plateau, including the Zelunglung Glacier. Ancient lakes dammed by moraines from the Zelunglung Glacier were formed in the upstream of the Yarlung Zangbo Great Canyon at the eastern Himalayan Syntaxis. At least four damming events were recorded in the lacustrine and alluvial terraces and sediments distributed in that area; the first and second events happened during the Last Glaciation, the third and fourth occurred in the New Glaciation and the Little Glaciation respectively. Radiocarbon dating of wood and charcoal yields ages of 9760 ~ 11300aB. P. for the second damming, 1220 ± 40 ~ 1660 ± 40aB. P. for the third damming, and 287 ± 93 ~ 394 ± 83aB. P. for the fourth damming. Estimated volumes of the ancient glacier dammed lakes (named Linzhi Ancient Lakes) were 2150km³, 835km³, and 81km³ respectively. During interglacial phases the outburst floods down to the gorge of the Yarlung Zangbo River were estimated at peak discharge of up to 1 × 10⁶ to 9 × 10⁶ m³/s. The erosive intensity represented by the estimation for such a catastrophic lake breakout implies that the post-glacial megafloods down to the Yarlung Zangbo River were likely among the most erosive events in recent Earth history.

Key words Zelunglung surge glacier, Yarlung Zangbo Great Canyon, glacier block event, Linzhi ancient dammed lakes, geological hazard

《第四纪研究》征稿细则

一 办刊宗旨

《第四纪研究》是由中国科学院地质与地球物理研究所和中国第四纪研究委员会主办的第四纪研究综合性学术刊物。它的任务是:反映国内外第四纪和全球变化研究发展趋势,刊登最新成果,促进学术交流。涵盖第四纪有关的地球科学、环境科学和人文科学各分支学科。其宗旨是贯彻“双百”方针,开展学术讨论,提高第四纪研究的基础研究和应用研究水平。

二 来稿要求

1 来稿要求论点明确、数据可靠、逻辑严密,文字简练。每篇论文必须包括:1)题目、作者姓名、作者单位、邮政编码;2)文首的中文摘要(约200字)及主题词;3)首页地脚处的第一作者简介(姓名、性别、年龄、职称、从事专业和E-mail地址)、资助来源(注明批准号);4)文末的参考文献;5)与1500~2000汉字对应的英文摘要500~1000字(中、英文摘要一并寄来)。

2 文稿篇幅(含图表)一般不超过8000字。文中的计量单位一律使用《中华人民共和国法定计量单位》,非许用单位符号务必换算成许用单位符号。有关地层名称和地质时代,须按全国地层委员会《中国地层指南》的规定处理。外国人名用原文全称。本国地名以地图出版社最新出版的《中华人民共和国分省地图集》为准,外国地名按《世界地名译名手册》,手册上查不到的请加注原文。

3 文稿请尽可能使用电子文本,其中外文字母,符号必须分清大小写,正斜体,黑白体;上下角标的字母、字符和符号,其位置高低应区别明显,容易混淆的外文字母、符号请在第一次出现时用铅笔注明。

4 正文中的各级标题一律左起顶格写,层次划分形式用:1;1.1;1.1.1等表示,后边空一字距再写标题。引言和结论也按序编号。

5 文稿中的图、表应放在第一次提到该图、表的自然段末,附图切勿过大或过多,一般附图不超过3个。图、表名应附相应的英文名。附图力求简明清晰,墨色要黑,线条要匀,图中文字、符号、纵横坐标必须写清,并与正文一致。凡涉及国界线的图件必须绘制在地图出版社公开出版的最新地理底图上。柱状图应标明深度,剖面图应标明方向和深度。图版原则上不超过2幅,长×宽不超过26cm×17cm。照片要求图像清晰,层次分明。文稿中须留出插图与表的位置。

6 本刊参考文献选用顺序编码制,按文中出现先后顺序连续编号,所引文献必须是作者直接阅读过的,最主要的、发表在正式出版物上的文献;未公开发表的资料或写作成果,应征得有关方面同意,以脚注方式顺序标明。在正文中引用文献的序号应置于方括号中,引文如写作者,序号应置于作者姓名的右上方;如引用文献序号作为文句中的组成部分,则不作角标标示;如文献未写作者姓名,其序号应置于引文中适当位置的右上方。要求文中的参考文献序号与文末的参考文献序号一致。参考文献的著录格式如下:1)专著:作者(或编者). 书名. 版次(第一版不著录). 出版地:出版社,出版年. 本文参考页码;2)文集:作者. 题目. 见(In):编者. 文集名. 版次. 出版地:出版社,出版年. 起止页码;3)连续出版物(中文期刊要按原文写成英文):作者. 题目. 期刊名(外文刊名写全称,斜体),出版年,卷号(期号):起止页码。

参考文献中的作者、编者、译者不超过3人时全部写出,超过者只写前3名,后加“等”或“et al.”,人名之间用“,”分开;外文作者或编者书写时,姓前名后,名用缩写,不加缩写点;外文书名、文集名中的实词第一个字母均大写;文集和连续出版物中的题目,除篇首第一个字母、地名、专有名词外,其余均小写。

文末参考文献中中文必须按原发期刊英文形式标注(包括中文文献中的英文作者姓名、英文题目、英文期刊名等),原发刊物不含英文题目,注意翻译正确。

三 审稿

本刊遵循公平公正、符合本刊宗旨、择优选用的原则。采取编辑部初审、同行专家评审、主编终审的三审制度。

投稿者可建议3~5名审稿者(请注明学位、职称、研究领域、单位、通信地址、邮编和电话),供编辑部参考。要求回避的审稿者不得超过1~2人。

四 投稿约定

1 文稿不得一稿两投。凡在国内外用外文发表的文稿,本刊不再接受。

2 来稿经编辑部送有关专家审阅和主编、编委会讨论,原则上将在4个月内决定采用与否。超过4个月后(以收稿邮戳为凭)作者又未收到编辑部的信函提出延期,可自行处理,此期间内收到复函和录用通知者,不得另投它刊。

3 来稿一式三份并附文章电子版,如不符合上述要求则退还作者修改后再投,达到要求后再接受送审,并以稿件符合要求寄到时间作为收稿日期,自留稿件底稿,刊用与否恕不退稿。

4 稿件文责自负。编辑部对来稿有权作技术性和文字性修改,实质性内容修改须征得作者同意。

5 来稿一经发表,需按规定交纳版面费,编辑部酌致稿酬,并赠送抽印本20份及样刊1册。

来稿请用挂号投寄:北京德外祁家豁子中国科学院地质与地球物理研究所《第四纪研究》编辑部,邮政编码:100029,并注明作者通讯地址、联系电话及E-mail地址。

编辑部电话:(010)62008107, 传真:(010)62007752. E-mail地址:dsjb009@sohu.com 或 dsjs@mail.igcas.ac.cn。