

文章编号: 1000-0240 (1999) 03-0242-07

玉龙山东麓更新世冰川作用

赵希涛¹, 曲永新¹, 李铁松²

(1. 中国科学院地质研究所, 北京 100029; 2. 四川师范学院地理系, 四川南充 637002)

摘要: 利用 1:10 000 地形图和航空照片, 对玉龙山东麓更新世冰川作用遗迹进行了调查和填图。据冰川与冰水沉积物的钙质胶结物和冰湖相钙板的 ESR 测年结果, 初步划分出 4 次冰期, 即 0.7~0.6 Ma BP 的玉龙冰期, 0.53~0.45 Ma BP 的干海子冰期, 0.31~0.13 Ma BP 的丽江冰期和晚更新世的大理冰川, 其中最早一次冰期为规模较大的山麓冰川, 后 2 次冰期为规模较大的山谷冰川。

关键词: 更新世; 冰川堆积; 冰期划分与对比; 冰川演化史

中图分类号: P343.6 文献标识码: A

1 前言

玉龙山位于云南省丽江纳西族自治县北部 (27°10'~27°40' N, 100°9'~100°20' E), 主峰扇子陡海拔 5 596 m。这里不仅是中国最南和欧亚大陆纬度最低的山区发育有现代冰川的雪山, 而且保存有多次更新世冰川作用的遗迹。研究更新世冰川作用遗迹和重建古冰川作用的历史, 不仅在恢复第四纪冰川、气候与环境的变化和探讨横断山脉与青藏高原上升、金沙江河谷发育及亚洲季风的形成与发展等重大问题上具有重要的科学意义, 而且对本区丰富的水力资源和旅游资源的开发与保护也有十分重大的实际价值。

最早对玉龙山东麓第四纪冰川作用进行研究的是任美镠等^[1], 除全新世的冰期外, 他们将干河坝、扫坝和蚂蟥(蝗)坝的终碛与侧碛定为大理冰期, 将玉湖村南玉石坎洪积扇下端 7 个弧形排列的孤立岗阜(纳西语称为阿吕吕去), 定为较早一次冰期的终碛, 并命名为丽江冰期。随后, 黄培华^[2]和南京大学地理系地貌学教研室^[3]对这一观点又进一步加以阐述。云南省地质局第一区域地质调查大队^[4]则在现代冰川之外划分出 3 次冰期, 从老到新分别称为金沙江冰期、丽江冰期和大理冰期。对于保存在玉

龙山东麓的后 2 次冰期的冰川遗迹, 尽管他们引用了前人的名称, 但其内容却不完全一致。他们把干河坝南侧扫坝东侧前人图中的 2 条灰岩长梁定为丽江冰期的侧碛, 其余的冰碛物全部归为大理冰期。最早一次冰期系因冰川沉积已进入金沙江而命名, 认为属于中更新世, 还将丽江盆地南部的几套第四纪河湖相地层, 即早更新世蛇山组和晚更新世木间(家)桥组及北部大具盆地的滨湖相沉积作为冰期前与间冰期的代表, 从而建立了一个以冰期、间冰期为主要内容的第四纪地层表。谢又予等^[5]对黑白水谷地以南地区的第四纪冰川作用提出了新的划分方案, 他们也将干河坝与扫坝的终碛与侧碛定为末次冰期, 即大理冰期(相当于玉木冰期)。其中, 前者仅将黑白水谷地的低侧碛与终碛定为这一冰期, 而后者则将谷地中除最高侧碛以外的几列侧碛与终碛都定为该冰期。同样, 前者将白水谷地南岸的 4 列高侧碛定为倒数第二次冰期(里斯冰期), 即丽江冰期, 而后者仅认为其最高的一列属于该冰期, 并将前述阿吕吕去的 7 个小丘及扫坝东侧干河坝南侧的长丘均定为早第三纪的“丽江角砾岩”。他们还将干海子附近东侧和有玄武岩山地西侧的一系列冰碛小丘定为倒数第三次冰期的老冰碛, 前者称其为明德冰期, 后者则称为老冰期。明庆忠对阿吕吕去 7 个小

收稿日期: 1998-09-18; 修订日期: 1999-04-07

基金项目: 中国科学院重点项目(KZ-952-J1-416); 云南省丽江玉龙雪山旅游开发总公司资助

作者简介: 赵希涛(1941-), 男, 江西省玉山县人, 研究员, 1963年毕业于北京大学地质地理系地貌专业, 1967年毕业于中国科学院地质研究所暨地球化学研究所第四纪地质专业研究生, 主要从事第四纪地质、地貌与环境问题研究。

丘的堆积物作了粒度、孢粉分析^[6], 再次肯定了它们的冰碛成因, 但认为是比丽江冰期更老的推挤终碛. Ives 将玉龙山东麓的第四纪冰川作用划分为 3 000 ~ 100 a BP 生成的新冰期、25 000 ~ 18 000 a BP 出现的玉龙冰期 (认为相当于早玉木或维斯康辛冰期) 和丽江冰期 (认为相当于早玉木或前玉木冰期, 但否认阿吕吕去 7 个小丘的冰碛物性质)^[7]. 最近, 明庆忠将玉龙山东麓的第四纪冰川作用划分为新的 4 次冰期和全新世的新冰期^[8,9], 认为更新世最老的冰期形成于早更新世晚期, 其代表为丽江城旁的象山山麓的混杂堆积物和大具大沟头胶结较好的冰碛, 并以象山山麓的混杂堆积物为典型, 命名为象山冰期. 其后 3 个冰期称为干海子冰期、黑白水冰期和干河坝冰期.

笔者于 1996 年 10 月与 12 月, 1997 年 6 ~ 8 月及 11 ~ 12 月, 对该区进行了详细的地质与地貌调查, 并利用 1 : 10 000 地形图与航空照片填图, 进行了年代测定与古土壤样品的分析测试, 初步确定出本区中、晚更新世的 4 次冰期, 从老到新分别称为玉龙冰期、干海子冰期、丽江冰期和大理冰期.

2 古冰川作用遗迹

据调查和研究, 在玉龙山东麓, 清晰地保存着 4 次更新世冰川作用的遗迹 (图 1), 自老至新为:

2.1 最老或倒数第四次冰期

本次冰期的冰川作用遗迹分布最为广泛, 是本区所能辨认的最老的冰川沉积物. 冰碛物主要保存于丽江盆地北缘的干河坝南侧与扫坝东侧, 为 2 条长约百米的长梁, 由称之为老冰碛或老冰碛岩的胶结良好的灰岩角砾组成. 这 2 条长梁与其东大约同高但延伸方向为南北向的玄武岩长梁, 分别扼守在丽江通往云杉坪及大具的公路两侧. 在公路东侧玄武岩长梁的西坡与山麓, 还有几个很小的小丘也是由这种冰碛组成的, 它们不整合地贴附于玄武岩之上. 对此冰碛, 有人认为是丽江冰期冰碛, 也有人认为是第三纪的丽江角砾岩. 我们认为这些结论是值得商榷的, 因为它与老第三纪红色的丽江砾岩或角砾岩的分布、产状及岩性特征完全不同. 如果考虑到来自玉龙山体的沉积物主要是晚古生代的灰岩和大理岩, 容易被溶解和胶结, 而且, 胶结作用在第四纪时期也经常发生, 特别是钙质胶结作用分布十分广泛, 那么就可以根据沉积物本身的沉积特征及其所组成的地貌形态来判断其成因. 由组成这两条长梁的沉积物成分较单调 (南部以灰岩为主, 北

部以大理岩为主, 夹少量玄武岩)、块度很大、大小混杂、缺乏层理、分选很差、磨圆不好等特征判断, 它们有可能是古代的冰碛物. 同时, 以这两条长梁与路东长梁之间的谷地为起点, 向南即向丽江盆地北部呈扇形展开一个低台地. 在扇顶附近, 该台地高出后期 (丽江冰期与大理冰期) 的冰水扇 3 ~ 5 m.

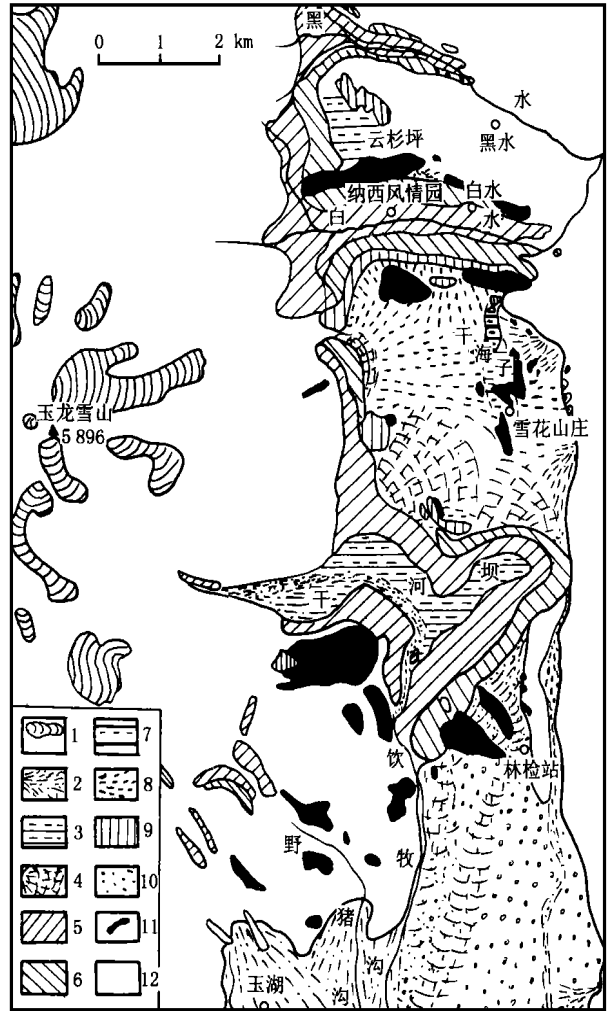


图 1 玉龙山东麓更新世冰川堆积物分布图

1. 现代冰川; 2. 现代冰水扇或洪积扇; 3. 大理冰期冰湖沉积;
4. 大理与丽江冰期冰水沉积; 5. 大理冰期冰碛; 6. 丽江冰期冰碛;
7. 干海子冰期冰湖沉积; 8. 干海子冰期冰水沉积;
9. 干海子冰期冰碛; 10. 玉龙冰期冰水沉积;
11. 玉龙冰期冰碛; 12. 基岩

Fig. 1 Distribution of the Pleistocene glacial deposits along the eastern foot of the Yulong Mountains

由于其表面的倾斜角度比后期的冰水扇稍大, 故两者的高差向南渐渐减小. 最后在离扇顶 5 ~ 6 km 处倾伏于后者之下. 该扇形台地由磨圆中等至良好, 且有明显分选与层理的钙质胶结砾石层或砾岩所组成. 这套我们称之为老冰水砾石层或砾岩的胶结砾

石层,在扇顶附近颗粒粗大,粒径多为 10~30 cm,在扇缘粒径已减小为 1~3 cm.砾石成分以灰岩与大理岩为主,也有个别玄武岩,表明其物质来源也为玉龙山方向.它与前述以灰岩和大理岩为主的胶结角砾的配套出现,表明它们有可能是冰碛丘陵外围的古冰水扇.

在玉龙山东麓保存的另一片面积较大的老冰碛,位于干海子北垭口附近,向西一直延伸到大索道下部站.它与不整合于其上的倒数第三次冰期的冰碛物共同构成干海子盆地与白水河谷的分水岭.该冰碛的原始地貌形态已难恢复,现为覆盖于基岩(灰岩及玄武岩)之上的小丘.由于该冰碛也是钙质胶结的灰岩角砾,且其时代老,因而受到强烈的喀斯特化作用,在其表面上形成了深达 1 m 以上的溶沟与石芽,地表与溶沟中由厚层的红色古土壤所覆盖和充填.

在玉龙山东麓保存的第 3 片面积较大的老冰碛,位于白水谷地北侧和云杉坪台地南部,从玉龙山麓一直延伸到丽江至大具的公路边.它不整合于玄武岩之上,而在东段则与后期的丽江冰期的侧碛堤以不整合接触.

此外,老冰碛还零星保存于玉龙山东坡虫草坪以南海拔 3 820~3 600 m 处、干海子盆地西面的畜牧场、盆地南面的干河坝北侧碛堤以北处及盆地中-北部东面(藏族村西北及雪花山庄北部及以北);在干河坝以南,还保存于饮牧沟上游海拔 3 600 m 丘陵下部,一直延伸到玉湖自然保护点南侧丘顶,野猪沟中游两侧丘陵,玉湖村北丘陵,以及玉石坎沟北侧.它们往往被倒数第三次冰期的冰碛物所覆盖,两者以明显的不整合面接触,有时有红色古土壤发育或间冰期的湖相钙板层出现.

该冰期的冰碛物,除前述冰川沉积所具有的普遍特点外,以强烈胶结为其最主要特征,这可能与冰碛物的成分以及堆积时期或稍后的气候条件有关.其第 2 个最明显的特征是,在地形较平缓部位,它遭受了强烈的喀斯特化与红土化作用,古土壤具有鲜艳的砖红色.

该冰期的冰水砾石层,除林检站南外,还保存于干海子盆地中部东面,呈相对高度 5~10 m 的台地或小丘状;另一片冰水砾石层保存于干河坝东端的罗美洛沟,它是由厚 30~50 m 的钙质砾岩所组成.由于后期强烈的喀斯特化作用,形成了许多溶沟、石芽、石柱、坡立谷、溶洞、漏斗等典型的喀

斯特地形.在罗美洛沟口,该冰水砾石层与林检站以南的大片冰水砾石层相连,成为统一的扇形冰水台地.

2.2 倒数第三次冰期

该冰期冰碛物的分布范围远比前一冰期为小.它在干海子盆地与白水谷地的分水岭处为最发育和最典型.它从大索道下部站向东延伸到干海子北垭口公路拐弯处西侧,与下伏老冰碛及间冰期的湖相钙板沉积为明显的不整合接触.这一冰期的冰碛物以局部胶结和具有许多巨型漂砾为特征,其顶部往往也发育了厚近 1 m 的红色古土壤.其相应的冰水与冰湖沉积分布于干海子盆地西北缘和盆地北部,前者为有不同程度分选和磨圆的大小砾石,其粒径从盆地边缘向中心逐渐减小,构成波状起伏的冰碛丘陵与冰水倾斜平原;后者以钙板或钙质砂岩或砂砾岩为代表,构成宽浅的干涸盆地.

该冰期的冰碛物还见于干河坝以北二小垄岗顶部和干河坝以南海拔 3 600 m 的基岩丘陵顶部,以及云杉坪台地北部.它们或不整合于基岩(主要是玄武岩)之上,或与下伏的老冰碛以不整合相接触.

2.3 倒数第二次冰期

该次冰期冰碛物的分布与前两次冰期明显不同.前两次冰期的冰碛物在玉龙山东麓及干海子盆地中呈面状分布,而本次冰期的冰碛物则仅限于黑水、白水、干河坝、蚂蟥坝及玉石坎等谷地之中,而以白水谷地为最典型.在白水谷地,该冰期冰碛物构成谷地两侧的 2~3 道高侧碛,从西向东延伸.在最高侧碛外缘的侧缘沟槽中,有冰水或冰湖相砂砾与钙板发育,其终碛下伸到河南岸海拔 2 860 m 处.在黑水则到达海拔 2 900 m 左右的黑水桥以东 100 m 处的河南岸.在干河坝与扫坝,该冰期冰碛物为其外围的 2~3 道侧碛与终碛垄.在蚂蟥坝与干海子,亦有该冰期的冰碛物零星分布,主要为侧碛或终碛垄.该冰期的侧碛与终碛垄形态保存基本完好,冰碛物的分选、磨圆及胶结均较差,其表面仅发育了一定厚度的红色古土壤层.

2.4 末次冰期

末次冰期冰碛物的分布特征与其上一次冰期基本相同,亦分布于前述之各谷地.它构成各谷地底部之低侧碛或终碛,也以白水谷地为最典型.在白水谷地之白水南源,可见到 3~4 道低侧碛,向东逐渐合并为一道,并在白水山庄东部留下其终碛垄.

表 1 玉龙山东麓更新世冰川沉积物的 ESR 年龄测定结果

Table 1 ESR dates of the Pleistocene glacial deposits along the eastern foot of the Yulong Mountains

样品编号		冰 期	地点与沉积	样 品	年 龄/ka BP
野 外	室 内				
Y3	37- 29	丽江冰期	白水南岸 侧缘沟槽	钙板	257. 2 ± 51. 4
Y8	37- 33		白水南岸高侧碛冰碛物	钙质胶结物	316. 3 ± 63. 2
Y9a	37- 5	干海子冰期	干海子北部冰湖相钙板	钙板	380. 0 ± 76. 0
JS- 7	37- 28		干海子北垭口湖相钙板	钙板	448. 3 ± 89. 0
Y4a	37- 2		干海子北垭口冰碛物	钙质胶结物	524. 0 ± 104. 8
Y6a	37- 4	玉龙冰期	玉龙山变电站冰碛岩	钙质胶结物	500. 9 ± 100. 0
Y7	37- 31		云杉坪北冰碛岩?	钙质胶结物	592. 6 ± 118. 5
Y9	37- 34		干海子北垭口冰碛岩	钙质胶结物	645. 0 ± 129. 0
Y1e	37- 28		干海子北垭口冰碛岩	钙质胶结物	697. 1 ± 139. 2

在干河坝与扫坝, 则表现为高大的侧碛与终碛垄。但在坝内, 亦有一道规模较小的侧碛与终碛。此外, 在黑水、蚂蟥坝及玉石坎, 均有该冰期规模较小的侧碛与终碛垄保存。该冰期的侧碛与终碛垄形态保存得相当完好, 其冰碛物看起来十分新鲜, 表面只有很薄的灰褐色土壤层发育。冰碛物的分选与磨圆很差, 有不少粒径大于 5 ~ 10 m 的巨型漂砾突出于冰碛垄之上。在白水上游段, 该冰期的冰碛物局部胶结较好。

在林检站以南, 该冰期的冰水砾石层分布在由老冰水砾岩所组成的扇形冰水台地的小冲沟中。

3 冰期划分与对比

3.1 冰川沉积物测年与冰期划分及其命名问题

玉龙山地区的第四纪冰期已有不少学者作过研究。按命名从先的原则, 考虑到大理冰期 (即末次冰期) 一词最早出现于玉龙山第四纪冰川研究文献中^[1], 并且已在中国第四纪地质文献中广泛应用, 虽然也有主张用玉龙冰期代替它^[1], 但我们认为欧洲阿尔卑斯山处于 5 个国家中, 其末次冰期均用玉木 (Wurm) 一名, 而玉龙山与大理苍山仅相距百多公里, 故我们认为大理冰期一名应继续沿用。在白水林场附近的大理冰期冰碛的¹⁴C 年代为 24 018 ± 1 335 a BP, 表明该冰期形成于晚更新世, 相当于玉木冰期。

任美铎等^[1]最早发现以阿吕吕去的 7 个弧形终碛残丘为代表的倒数第二次冰期冰碛, 将其命名为丽江冰期。虽然有反对其冰川成因的意见或认为它的时代更老, 至今尚无确切的测年资料。根据笔者在白水南岸该冰期高侧碛钙质胶结物和侧缘沟槽冰湖相钙板所采样品的电子自旋共振法 (ESR), 测年

结果分别为 316. 3 ± 63. 2 ka BP 和 257. 2 ± 51. 4 ka BP (表 1), 该冰期发育于中更新世晚期, 相当于里斯冰期。

本区的倒数第三次冰期我们命名为干海子冰期, 因为该冰期冰碛物主要分布于干海子以北、以西, 与最老一次冰期的冰碛岩为明显的不整合接触, 其间夹有间冰期的湖相沉积物。冰期时, 干海子为冰川外围的冰水湖泊。根据干海子北垭口该冰期冰碛钙质胶结物及其下伏湖相钙板和干海子北部湖相钙板的 ESR 年龄测定结果分别为 524. 0 ± 104. 8 ka BP, 448. 3 ± 89. 0 ka BP 和 380. 0 ± 76. 0 ka BP, 虽然前两个数据与层位有所颠倒, 但属于误差范围, 而后一样品有可能属于间冰期, 故该冰期的年代可大致定为 0. 53 ~ 0. 45 Ma BP 左右的中更新世中期。

本区最老的冰期以老冰碛为代表。由于老冰碛广泛保存于玉龙山东、西、北麓, 故我们将形成本区最早一次冰川作用的时期, 命名为玉龙冰期。根据干海子北垭口公路拐弯处及其西侧湖相钙板下伏的老冰碛、玉龙山变电站东侧老冰碛 (?) 和云杉坪以东小路南侧老冰碛的钙质胶结物的 ESR 年龄测定, 结果分别为 645. 0 ± 129. 0, 697. 1 ± 139. 2, 500. 9 ± 100. 0 和 592. 6 ± 118. 5 ka BP。考虑到第 3 个数据虽然偏新, 但在误差范围内, 故将该冰期定为 0. 7 ~ 0. 6 Ma BP 的中更新世早期, 相当于全球最大冰期明德冰期。而明庆忠^[8,9]所称的第一次冰期, 其所见的大具盆地西南角大沟头的胶结较好的冰碛, 也就是我们所说的玉龙冰期老冰碛。而其据以命名为早更新世晚期的象山冰期的象山山麓的混杂堆积物, 从其粒度分析结果看, 将其定为非冰川成因似乎更为妥当些。

表 2 玉龙山与青藏高原更新世冰期对比

Table 2 A comparison of the Pleistocene glaciations in the Yulong Mountains and the Tibetan Plateau

时 代	玉 龙 山	贡 嘎 山	稻城海子山	西 藏	西 昆 仑 山
晚更新世	大理冰期	贡嘎冰期	末次冰期	白玉冰期	里田冰期
	末	次	间	冰	期
中更新世	丽江冰期	南门关冰期	龙古冰期	古乡冰期	布拉克巴什冰期
	大			冰	期
早更新世	干海子冰期	雅家埂冰期	稻城冰期	聂聂雄拉冰期	玉龙喀什冰期
	玉龙冰期			聂聂雄拉冰期	
早更新世	蛇山组	昔格达组	下木拉组	希夏邦马冰期	西域砾岩
				贡巴砾岩	

3.2 冰期对比

在大区域的更新世冰期对比时，我们首先要抓住的是 3 个具有共同性的大事件，即末次冰期、最大冰期与最大间冰期。

末次冰期的冰川遗迹以侧碛、终碛的形态保存完好为特征，并已获得了许多测年资料的支持，特别是末次盛冰期的冰川遗迹。青藏高原的最大冰期，绝大多数地区为巨大的山麓冰川。在喜马拉雅山北坡称为聂聂雄拉冰期，该冰期的冰碛覆盖在早更新世的贡巴砾岩之上^[10,11]。在卓奥友峰西北加布拉附近的高山上，在中尼公路的亚汝雄拉冰碛冰高平台上和在聂拉木的高冰碛平台上，都可以分为两个阶段^[12,13]。在青海昆仑山口，该冰期称为望昆冰期，冰碛物覆盖在早更新世羌塘组河湖相地层之上，冰碛形成年代为 0.7 Ma BP^[4]。在西昆仑山，该冰期称玉龙喀什冰期，冰碛高台地上部的红色砂层的 TL 测年为 333 ± 46 ka BP，属于大间冰期中的风成砂^[5]。西昆仑古里雅冰帽 309 m 冰岩芯底部的冰³⁶Cl 测年资料为 760 ± 60 ka BP，说明该山区最老的冰帽和外围冰碛形成于 0.7 Ma BP。中国最大冰期的冰碛层上部都发育有红色古土壤层。在聂拉木高冰碛平台上部的红土层中有铁锰结核层，表明冰碛形成后经过一次时间较长的湿热的大间冰期。从地形发育和风化程度看，均可与阿尔卑斯山的明德-里斯大间冰期相对比。在欧洲阿尔卑斯山和北美落基山脉，大间冰期是第四纪冰期对比中的一个重要标志^[6]。至于早更新世的冰川，因其规模较小，仅在青藏高原的希夏邦马峰和普兰西面的丁喀山口附近发现，并处于喜马拉雅主山脊前高山顶。希夏邦马峰北海拔 6 200 m 山顶上的最老冰碛岩屑的岩性统计中，以浅变质岩和沉积岩为主，约占全部成分的 70%，与贡巴砾岩的岩性成分相似^[7,18]。它的形成时间虽不确切，但很有可能属于早更新世中晚期。参考有关文献 [12]、[15]、[19] 和 [22]，我

们可把玉龙山与青藏高原几个主要山区的更新世冰期进行对比（表 2）。

4 冰川演化史

据崔之久等研究，7~19 Ma 前，玉龙山、丽江盆地、鹤庆盆地、拉石海盆地以及各盆地间的山地，均为统一的准平原面，是青藏高原古准平原面的东南延伸部分^[23]，其当时的海拔仅为 500~1 000 m。

上新世至早更新世，上述准平原面被南北向展布的断裂切割。切割玉龙山的西麓断裂和东麓断裂均为大的逆断层。正是在这两处断层的作用下，玉龙山体呈断块上升，东山背斜也被其两侧断裂所切割，成为地垒状小背斜。丽江、鹤庆和拉石海则以断陷盆地形式相对下降。玉龙山以西的石鼓-龙蟠谷地以及玉龙山东北端的大具盆地亦于此时形成。

丽江盆地南侧的蛇山台地，由早更新世蛇山组和中更新世东元桥组组成。在蛇山组上段地层中，产哺乳动物化石中国犀 (*Rhinoceros sinensis*)、云南马 (*Equus yunnanensis*)、李氏野猪相似种 (*Sus cf. lydekkeri*)、猪 (*Sus sp.*)、鹿 (*Cervus sp.*)、牛 (*Bovidae indet.*) 等。孢粉分析结果表明，早期为以松为主的针阔叶混交林，反映当时气候温和稍湿，周围地形为低山、丘陵或台地；晚期的孢粉和哺乳动物化石则反映该期气候变得更暖和些^[24]。上述研究结果表明，早更新世冰期前玉龙山较低，尚未发育冰川。

中更新世早期，玉龙山上升到雪线之上，进入冰冻圈，加之这里又处于夏季风的迎风坡，山地的切割程度也较今为小，降水更加丰富，因而形成了本区最早一次冰期即玉龙冰期的规模较大的山麓冰川。在玉龙山东坡，该冰期冰川边缘到达干海子东山山麓，在北面则伸到大具盆地西南角，在西麓则充填了长达 27 km 的龙蟠谷地大部分地段，包括现今的金沙江西岸的许多地点。在玉龙冰期后的气候

变暖过程中, 这里比青藏高原内部的变暖程度更加明显, 冰川大幅度退缩, 从而可划分出一次间冰期. 在该间冰期中, 干海子、龙蟠、大具等盆地可能已积水成湖.

在中更新世中期干海子冰期时, 气候变冷, 冰川又重新前进, 为中小型山麓冰川. 在玉龙山东麓, 仅局部到达干海子以西地区, 而冰融水则形成干海子冰水湖泊. 而在玉龙山西麓, 仅到达金沙江东岸的低剥蚀面东部. 干海子冰期后, 为大的间冰期, 石鼓-龙蟠谷地与大具盆地积水成湖, 成为规模巨大的古龙蟠湖与古大具湖. 它们的湖面分别达到现今海拔 1 860 m 和 1 790 m 的高度. 同时, 在玉龙冰期的老冰碛上形成溶蚀沟、溶蚀漏斗和厚达 1 m 以上的红色古土壤. 在干海子冰期的冰碛、冰水和冰湖相沉积上, 也形成了厚近 1 m 的红色古土壤. 而在这两次冰期冰碛的灰岩漂砾表面上则发育了不少溶蚀沟.

中更新世中晚期, 本区作为青藏高原的一部分经历了一次强烈的新构造上升运动, 龙蟠古湖与大具古湖被断裂活动与河流的溯源侵蚀作用所贯通, 湖水外泄, 从而该段金沙江被形成, 并具有宽谷与峡谷相间的河谷地貌. 金沙江的主要支流, 包括玉龙山东麓的黑白水, 北麓的大沟(渐台河), 西麓的仁和、中义、新联等支沟于此时形成, 从而进一步形成了玉龙山地区高山深谷的地貌特征.

在中更新世晚期丽江冰期时, 玉龙山东麓的冰川沿黑白水谷地下伸, 形成长达 8~9 km 的复式山谷冰川, 在白水古冰川下伸到海拔 2 860 m 左右处, 黑水古冰川下伸到海拔 2 900 m 左右. 在干河坝的古冰川直抵山麓, 成为干河坝盆地与丽江盆地之间的一道由冰碛物组成的分水岭. 它具有 2 个冰舌, 一是向东延伸的干河坝冰舌, 其末端下伸至罗美洛沟头海拔约 3 000 m 处; 二是向南延伸的扫坝冰舌, 下伸到海拔 2 920 m 左右. 在玉湖南, 形成了宽尾山谷冰川, 其末端海拔为 3 700 m. 在玉龙山西坡的 3 条支谷中, 也有几道侧碛与终碛垄发育.

晚更新世末次冰期时, 玉龙山继续升高, 大理冰期时一般雪线下降到海拔 4 000~4 200 m 处. 由于雪线以上的高山区范围减小, 玉龙山两侧冰川发育的条件已不如丽江冰期. 在白水, 大理冰期古冰川比丽江冰期短 1.5 km, 亦为规模较大的复式山谷冰川. 在干河坝, 该期古冰川发育在前一冰期的冰碛物之上, 成为高出两侧盆地的溢出山谷冰川. 它仍具有 2 个冰舌, 即干河坝冰舌与扫坝冰舌.

末次冰期最盛期, 大约发生于 24 000~18 000 a BP. 最盛期后, 冰川仍有一次进退变化, 如在干河坝, 侧碛内侧尚有一列较低侧碛. 此后, 冰川退缩于玉龙山体上部.

致谢: 中国科学院兰州冰川冻土研究所郑本兴研究员共同参加了 1997 年 7~8 月和 11 月两次对玉龙山东麓的野外考察、有关报告的撰写和本文的起草, 虽然我们对玉龙冰期的一套已胶结的混杂堆积物的冰川与冰水成因上的看法不尽一致, 但他对本区与青藏高原更新世冰川作用期对比等段落提供了极其宝贵的意见, 谨此致谢.

参考文献:

- [1] 任美镛, 刘振中, 雍万里, 等. 丽江和玉龙山地貌的初步研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 1957, (4): 9~18.
- [2] 黄培华. 论云南之地貌发育问题[J]. 中国第四纪研究, 1960, 3(1~2): 39~56.
- [3] 南京大学地理系地貌学教研室. 中国第四纪冰川与冰期问题[M]. 北京: 科学出版社, 1974. 1~172.
- [4] 云南省地质局第一区域地质调查大队. 中华人民共和国区域地质调查报告(1:200 000) 丽江幅(G-47-XI)(地质部分)[R]. 昆明: 云南省地质局, 1977.
- [5] 谢又予, 崔之久. 滇北玉龙山, 中国东部第四纪冰川与环境问题[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 106~119.
- [6] 明庆忠. 玉龙山区一种孤立“岗丘”成因辨析[J]. 云南地质, 1992, 11(1): 88~93.
- [7] Ives, Jack D, Zhang Yongzu. Glaciation of the Yulongxue Shan, North-western Yunnan Province, People's Republic of China[J]. Erdkunde, 1993, 47(3): 165~176.
- [8] 明庆忠. 滇西北玉龙雪山第四纪冰川沉积特征研究[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 1996, 14(增刊): 1~6.
- [9] 明庆忠. 滇西北玉龙雪山第四纪冰川作用的探讨[J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 1996, 16(3): 94~104.
- [10] 赵希涛, 郭旭东, 高福清. 珠穆朗玛峰地区第四纪地层. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告 1966~1968, 第四纪地质[M]. 北京: 科学出版社, 1976. 1~28.
- [11] 郑本兴, 施雅风. 珠穆朗玛峰地区第四纪冰期探讨. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告 1966~1968, 第四纪地质[M]. 北京: 科学出版社, 1976. 29~62.
- [12] 郑本兴. 喜马拉雅山的古冰川遗迹. 西藏冰川[M]. 北京: 科学出版社, 1986. 195~202.
- [13] 郑本兴, 沈永平, 焦克勤. 希夏邦马峰东南富曲河谷的冰川沉积和冰川构造[J]. 沉积学报, 1994, 12(4): 1~10.
- [14] 施雅风, 郑本兴, 李世杰, 等. 青藏高原中东部最大冰期时代、高度与气候环境探讨[J]. 冰川冻土, 1995, 17(2): 97~112.
- [15] 郑本兴, 焦克勤, 李世杰. 西昆仑山第四纪冰川与环境变化. 中国西部第四纪冰川与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 15~23.
- [16] Richmond G M. Comparison of the Quaternary stratigraphy of the Alps and Rocky Mountains[J]. Quaternary Research, 1970, 1(1): 3~28.
- [17] 张淑媛. 希夏邦马峰地区第四纪细屑冰碛物的研究[A]. 希夏邦马峰地区科学考察报告[R]. 北京: 科学出版社, 1982. 127~143.
- [18] Zheng Benxing. The influence of Himalayan uplift on the development of

Quaternary glaciers [J]. *Z. Geomorph. N. F. Suppl. Bd.*, 1989, 76: 89 ~ 115.

- ①9] 郑本兴, 马秋华. 川西稻城古冰帽的地貌特征与冰期探讨[J]. 冰川冻土, 1995, 17 (1): 23 ~ 32.
- ②0] 郑本兴, 牟昀智, 李吉均. 青藏高原第四纪冰川作用与高原隆起问题. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题[M]. 北京: 科学出版社, 1981. 64 ~ 77.
- ②1] Zheng Benxing and Nat Rutter. On the problem of Quaternary glaciations, and the extent and patterns of Pleistocene ice

cover in the Qinghai- Xizang (Tibet) Plateau [J]. *Quaternary International*, 1998, 45 (45): 101 ~ 122.

- ②2] 施雅风, 黄茂桓, 任炳辉, 等. 中国冰川概论[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- ②3] 崔之久, 高全洲, 刘耕年, 等. 夷平面、古岩溶与青藏高原隆升[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26 (4): 378 ~ 385.
- ②4] 汪新文, 赵其强, 陶国强. 滇西北丽江盆地的形成演化[A]. 纪念袁复礼教授诞辰100周年学术讨论会论文集[C]. 北京: 地震出版社, 1993. 163 ~ 170.

Pleistocene Glaciations Along the Eastern Foot of the Yulong Mountains

ZHAO Xi- tao¹, QU Yong- xin¹, LI Tie- song²

(1. *Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029 China; 2. Department of Geography, Sichuan Normal College, Nanchong Sichuan 637002, China*)

Abstract: Yulong Mountains (27°10' ~ 27°40' N, 100°9' ~ 100°20' E), situated in the north of Lijiang County, Yunnan Province and the southeast margin of the Tibetan Plateau, are the southernmost mountains with glaciers both in China and Eurasia. Along their east, northeast and west feet, there is a series of relics of the Pleistocene glaciation. Studying these glaciation relics and reconstructing their history of evolution have not only an important scientific implication for understanding the changes of glaciation, climate and environment and for discussing the uplift of the Hengduan Mountains and the Tibetan Plateau, as well as the development of the Jinsha River valley and the formation and development of Asian monsoon, but also major practical values for developing and protecting the tremendous resources of hydraulics and tourism in this area.

The authors survey, research and map the Pleistocene glacial deposits along the eastern foot of the Yulong Mountains based on the topographic map with the scale of 1:10 000 and air-photographs, determining ESR dates of samples of calcareous cements from the glacial and fluvio-glacial deposits as well as the calcareous glacio-lacustrine deposits, dividing them into four glaciations, i.e. the early Middle Pleistocene Yulong Glaciation (0.7 ~ 0.6 Ma

BP), the middle Middle Pleistocene Ganhaizi Glaciation (0.53 ~ 0.45 Ma BP), the late Middle Pleistocene Lijiang Glaciation (0.31 ~ 0.13 Ma BP) and the Late Pleistocene Dali Glaciation, and correlating them with the glaciations on the Tibetan Plateau.

Results of study show that the Yulong Mountains area was a part of the united penepplain from the Tibetan Plateau to the Yunnan-Guizhou Plateau, 500 ~ 1 000 m a. s. l., during the Miocene. In the Pliocene and the Early Pleistocene, the Yulong Mountains uplifted and the Lijiang Basin, Daju Basin, Longpan Valley and other basins subsided due to the fault activities. In the early Middle Pleistocene, the Yulong Mountains had uplifted over the snow line, and giant piedmont glaciers of the Yulong Glaciation, the largest glaciation in this area, occurred at their east, west and northeast feet. The glaciers in the Ganhaizi Glaciation were also piedmont ones, but much smaller than the former. During the following grand interglacial, the Longpan Valley and the Daju Basin became two lakes, and then cut by the modern Jinsha River. In the late Middle Pleistocene and the Late Pleistocene, the larger-scale valley glaciers of the Lijiang and Dali Glaciations developed in the tributaries of the Jinsha River.

Key words: Pleistocene; glacial deposits; division and correlation of glaciations; history of glacier evolution