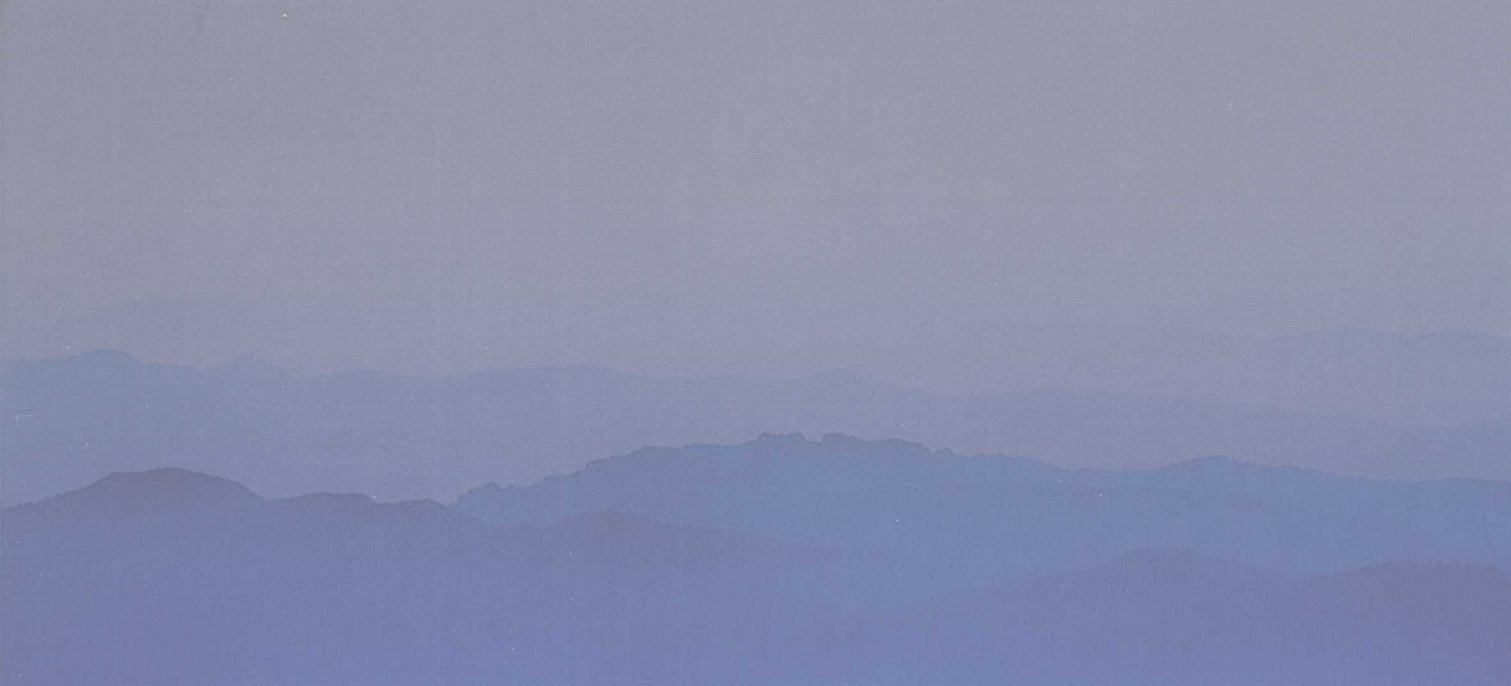




冰期白云山

BINGQIBAIYUNSHAN

福州大学屏南县白水洋浅水广场景观成因研究课题组

| 施满堂 | 俞建长 | 著

地质出版社

冰期白云山

B I N G Q I B A I Y U N S H A N

福州大学屏南县白水洋浅水广场景观成因研究课题组

施满堂 俞建长 著

地质出版社

·北 京·

图书在版编目(CIP)数据

冰期白云山/施满堂, 俞建长著. —北京: 地质出版社,
2009.6
ISBN 978-7-116-06098-2

I. 冰… II. ①施…②俞… III. 第四纪—冰川—研究—
福建省 IV. P343.725.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第071326号

责任编辑: 郑长胜
责任校对: 谭 英
出版发行: 地质出版社
社址邮编: 北京海淀区学院路31号, 100083
电 话: (010) 82324575
网 址: <http://www.gph.com.cn>
电子邮箱: zbs@gph.com.cn
传 真: (010) 82310749
印 刷: 北京地大彩印厂
字 数: 250千字
开 本: 889mm × 1194mm 1/16
印 张: 10.25
版 次: 2009年6月北京第1版·第1次印刷
定 价: 168.00元
书 号: ISBN 978-7-116-06098-2

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

代序：专家评述



景才瑞教授

景才瑞教授，1958年调入华中师范学院地理系任教。先后兼任湖北省政协委员、湖北省地理学会理事长、湖北省李四光研究会副理事长兼秘书长、全国地学哲学委员会常务理事、中国地质学会第四纪冰川与第四纪地质专业委员会委员、中国地理学会理事兼该会长江分会副主任、中国地理学会地貌专业委员会委员、湖北省优秀学术论文评审会委员、中国地质大学（武汉）兼职教授等职务。

景才瑞教授对冰川、黄土的研究有着执着的追求。特别是对中国东部第四纪冰川问题的研究进行了大量的野外调查工作，花了大量心血考察论证。他坚持实践出真知，在艰苦、困难的环境下探索第四纪冰川遗迹。庐山、黄山的每个角落都留下了他的汗水和足迹，对这两地的第四纪冰川现象了如指掌，并且在李四光过去研究的基础上，有了更深入的研究，取得了巨大的成绩。他常说：实践是检验真理的唯一标准，只有在实践中才能发现问题，研究问题，发展和深化理论。在对第四纪冰川考察和研究中，曾先后发表论文20多篇。



华中师范大学

HUAZHONG NORMAL UNIVERSITY

Wuhan 430079, Hubei, P.R.China 电话 027

拜读《冰期白云山》书稿的认识
(景才瑞华中师大地理系 武汉 430079)
最近拜读毕松基、俞建长同志专题研究
作的《冰期白云山—福安白云山周边第四纪冰
川遗迹考察报告》书稿，深受启发与教益。此书
稿内容充实，丰富多彩，冰川遗迹多种多样，
确凿无疑，多为作者们在当地野外考察所获得
第一手科学资料，十分宝贵，立论有根有据，
具体分析合情合理，又加旁证博引，互相印证，
是我国东部中低山地海洋性古冰川研究的区一
优秀成果。为了开展百家争鸣，推动地学研究
的进一步发展，建议此书稿尽快公开出版面世，
为我国东部中低山地的第四纪冰川研究，增光
添彩，以广交流，发挥更大的社会效益，对发
展旅游，普及科学知识也有很大的作用。
景才瑞 2008年11月11日





郭宝罗教授

郭宝罗是中国地质大学一位资深教授，是一位非常认真、严谨的构造岩石学专家。几十年来专心研究用显微构造分析方法解决各种构造问题，尤其是对韧性剪切带有很深入的研究。著有被广泛引用的几本专著和多篇有关韧性剪切带和糜棱岩研究论文。

如：郭宝罗，李志中，成勇，杜岳鸿《用偏光显微镜进行显微构造分析的一种方法》，地球科学——中国地质大学学报，1989年S1期；郭宝罗，李志中，成勇，杜岳鸿《东秦岭丹凤—商南剪切带的构造岩研究》；钟增球，郭宝罗编著《构造岩与显微构造》，武汉：中国地质大学出版社，1991年；郭宝罗，郑伯让《压力影构造的初步研究》，地质科技情报，1982年第2期；郭宝罗，钟增球，李志中《山东玲珑金矿田控矿断裂地球化学的初步研究》，武汉地质学院出版社，1984年；郭宝罗《矿物包裹体研究及其地质上的应用》；郭宝罗《造山带核部杂岩变质过程与构造解析》，武汉：中国地质大学出版社。

中国地质大学

我认真阅读了福州大学的“福建省屏南县白水洋‘水上广场’成因研究组”所写《冰期白云山》之后，认为该考察报告展示的大量图片，从宏观、微观和超微观方面，详细地论证了白云山周边几条溪谷中的冰序岩面、层面上所出现的韧性剪切带及糜棱岩化现象是无可非议的。尤其可喜的是，报告列举多方面的证据，证明那里的单叶性剪切带是冰川作用形成的。这乃发现，至少在国内是首次发现，功劳很大。

报告中合理有据地论述，冰川作用之所以能在岩石上引发韧性剪切带，主要是与上覆冰体挤压作用时间较长以及有冰川压融水的参与有关，这个观点是可以接受的。

本人完全同意该考察报告的结论。

中国地质大学 郭宝罗

二〇〇八年十一月十二日

前言

白云山周边几条溪谷中岩洞很多。这是2000年为建水库拦水后才大量显现的。福建省建设厅专家苏淡光最先注意到这些岩洞。他认为可能是冰臼,建议请中国地质科学院韩同林教授来鉴定。韩同林教授于2007年考察后认定是冰臼。消息见报后,有些人对冰臼说持否定意见,认为是溪流作用形成的壶穴。后来福安市有关单位看到我们的光碟——2007年底省地质学会年会上我们所作的《福建屏南第四纪古冰川遗迹的发现及白水洋成因分析》(福建省科技厅下达的科研任务)报告后,认为福安与屏南邻近,既然屏南的古冰川遗迹那么多、又那么典型,福安应与其相似,于是邀请我们来进一步考察。我们在福安市旅游局和白云山风景名胜区管委会的大力协助下(尤其是提供了大量野外照片)开展了野外和室内的考察和测试。

我们考察的主要范围是白云山周边4条溪——蟾阳溪、长洋溪、龙亭溪(峡谷)和黄兰溪(峡谷)的一些段落及其两侧山坡。目标只是判断本景区是否存在第四纪古冰川活动遗迹。结果发现这里的确存在古冰川遗迹,而且类型繁多,数量巨大,特征显著,保存完好,远非单纯一种岩洞而已。

考察场地上的冰川擦痕多如牛毛,而且类型多样,有直线形、弧形、楔形等,且保存完好;这里的冰川擦槽十分典型,槽底和边棱全被磨光,塑性变形特征特别明显,有些擦槽宽度达2m以上;更值得一提的是,这里存在大量新月形凿口和新月形裂纹。李吉均院士认为:“磨光面上冰川所特有的作用还在于能形成各种新月形凿口、裂口和裂纹。……这种新月形的破裂结构还没有人发现有非冰川成因的。”

我们在考察工作中最大的收获是发现在冰川作用下基岩表层竟然能形成韧性剪切带。迄今为止,韧性剪切带都被认为是在地壳较深部形成的构造,即在正常温压条件下,长英质岩石于地下10~15km、温度约300℃时,才有可能从脆性变形转变为塑性变形,才会形成韧性剪切带。由于在冰川作用下形成韧性剪切带是前所未有的地质事件,所以我们对其进行特别认真的观测和分析、研究,通过宏观、微观和超微观的观测,又从其形态特征、展布规律,以及岩性、地层等方面分析,我们确信已掌握了充分的证据,表明它只是表皮构造,不是在地壳深处形成的,是新发现的最重要的冰川遗迹,是确认古冰川活动的最可靠的证据。

白云山景区中的岩洞非常多,仅从所拍到的照片统计,直径1m以上的至少有800多个。最大的岩洞——九龙洞,直径达30m,深度达60m。从保存较完好的洞壁上的各种冰川遗迹,包括韧性剪切带,都是在上下方向上展布的规律看,我们深信,这里的岩洞绝非是溪流作用形成的壶穴;但也不能用冰臼说解释其成因,应该是冰川冰夹带岩屑,以固体状态,在压融水的参与下挤进岩石中原有的空隙,刮蚀隙壁、掘蚀其底部,使其逐渐扩宽和加深的结果。我们暂以“冰蚀岩洞”称之。

本景区古冰川遗迹种类繁多,形态特征非常典型,保存又很完好,景点也比较集中,实在是中外所罕见,可以建造成绝佳的古冰川遗迹的天然博物馆。对它进一步全面、深入的研究,对于福建省的第四纪地质、地质灾变、地基勘察、砂矿普查等工作都会有很大促进作用,对于开展地质学,尤其在冰川地质学、地理地貌学的科普宣传方面将会有很好的效果,对于促进这里的观光旅游业的发展将起极大的作用。

福安白云山周边的古冰川遗迹分布范围很广,科研领域的深度和广度非常之大。我们只是初步涉及,工作很粗浅,尤其是对于古冰川地貌、冰碛泥砾、冰期划分等方面的考察、研究工作基本上还未起步。由于人力不足,水平有限,书中错漏之处必然甚多,望读者批评、指正。

Preface

Numerous potholes exist along the riverbeds in the peripheral of Baiyun Mountains, Fu'an City. This was uncovered when a dam was constructed in 2000. Mr. Su Danguang, expert of Fujian Provincial Construction Department noticed the phenomenon and thought they were probably glacier potholes. Prof. Han Tonglin was invited to do geological investigation on the potholes. Prof. Han identified them as glacier potholes after investigation in 2007. But contradictory comment also appeared. Some people argued that the potholes were formed by action of stream water.

Later, after having read our 2007 report "Discovery of Quaternary ancient glacier relics of Fujian Pingnan County and genetical analysis of Baishuiyang", Fu'an City authority invited us to do geological investigation in their area since they were so close to Pingnan County. We were offered extensive support during investigation. They supplied us with large amount of photos taken at the site.

The main area of our study was the 4 brooks (Chanyang Brook, Changyang Brook, Longting Brook and Huanglan Brook) and their surrounding slopes around Baiyun Mountains. Our main aim was to identify the existence of relics of Quaternary ancient glaciers. Out of our expectation, relics of ancient glaciers in this area existed in great varieties and enormous amount. They were significant and well preserved. The potholes are by means more than a single type.

In the study area, glacier striae existed in huge amount and great varieties. There were very well preserved linear shape, arc shape and wedge shape etc. Glacier rub troughs were also typical, the bottom and edges were rounded. Plastic deformation were very distinctive. The width of some rub troughs reached over 2m. It's worth mentioning that crescent incision and crescent cracks existed in huge quantities. Academician Li Jijun pointed out that crescent incision and crescent cracks could also be formed on the polished surfaces under the unique action of glacier...These crescent incision and crescent cracks have not been found in origin other than glacier.

The most important result of our study is the ascertainment of the formation of ductile shear zone in surface layer of the bedrock. Up to now, ductile shear zone has been considered as a structure formed deep under the earth crust. That's to say, ductile shear zone can only be formed in felsic rocks in the depth of 10 to 15km and under 300°C, where brittle distortion turns into plastic deformation. Since the formation of ductile shear zone under glacier action has never been reported before, we studied and analyzed the macroscopic, microscopic and super microscopic observations with special attentiveness. From its patterns, distribution and lithological and stratigraphy characteristics, we are certain that we have ample evidence to prove that the ductile shear zone are only epidermis structure, they are not formed deep under the crust. This is a newly revealed and most important vestige of ancient glaciers. It is a most important indication of activities of ancient glaciers.

There are numerous potholes in this area. An estimation from the photos taken, there are at least 800 potholes that are over 1m in diameter. The largest grotto is Jiulong Hole, which is 30m in diameter and 60m in depth. The well preserved ductile shear pattern shows a vertical downward distribution, we strongly believe that it could not have been formed by stream water, nor is it formed by mere glacial action. They must have been formed by glaciers carrying rock debris in solid state and under concomitant of pressure melted water that squeezed into crevices, gradually expanded the holes by shoveling and digging the wall rocks. We suggest to give them an interim name of "GLACIAL EROSION GROTTTO".

There are variable types of ancient glacial relics in this area. They have typical morphology, they are more or less concentrated in distribution and are extremely well preserved. This is very seldom seen at abroad and domestic. It can be constructed into an amazing natural museum of ancient glaciers. Further comprehensive study of this topic will contribute greatly to the understanding of Fujian Quaternary geology, geological disaster, foundation pioneering, placer survey and so on. It is also a contribution to the study of glacial geology, geographic geomorphology and could be a strong promotion to the local tourism as well.

The ancient glacier relics are extensively distributed in the peripheral of Fu'an Baiyun Mountains. Our studies are only preliminaries, there are still many scientific domain untouched. Especially ancient glacial geomorphology, glacial boulder clay and ice age division etc. Due to lack of manpower and experience, errors are inevitable in this book. Comments and criticism are welcome.

目 录

Contents

代序:专家评述

前言

Preface

一、白云山的地理位置	1
二、白云山景区的地层与岩石	1
三、冰川的基本概念	3
四、白云山周围4条溪谷及旁侧山坡上的第四纪冰川遗迹	4
(一) 冰川擦痕	4
1. 冰川擦痕的基本概念	4
2. 本考察区的擦痕具有冰川擦痕的各种特征	5
(1) 擦痕分布很广, 同组产状稳定	5
(2) 擦痕的形态特征	5
(3) 擦痕在急剧转折的起伏岩面上连续延伸	11
(二) 冰蚀割痕	13
1. 直线形割痕	13
2. 弧形割痕	14
(三) 冰川擦槽及其特征	16
1. 很多擦槽成片展布, 大量擦槽和擦痕一样, 也是在急剧转折的磨光岩面上连续延展	16
2. 单个擦槽的形态不但奇特、多样, 而且内部和边棱全被磨光	20
3. 冰川作用下岩石的塑性变形	21
(四) 山坡上的冰溜沟痕	23
(五) 压坑和磨压坑	24
(六) 冰蚀“新月形凿口”和“新月形裂纹”	29
(七) 本考察区冰川底部的岩石表层在冰川作用下所引发的韧性剪切带	37
1. 韧性剪切带的基本概念	38
2. 韧性剪切带中的新生面理及显微特征	39
3. 冰川作用引发韧性剪切带可能有的主要影响因素	40
4. 本考察区韧性剪切带的特征	42
(1) 露头上宏观韧性剪切带的特征	42
(2) 本考察区冰蚀韧性剪切带的微观分析	48
(3) 本区韧性剪切带存在的超微观证据	85
5. 本考察区韧性剪切带肯定是冰川作用形成的	97
(1) 韧性剪切带的产状在岩洞周边急速变化, 而且仅限于表层	97

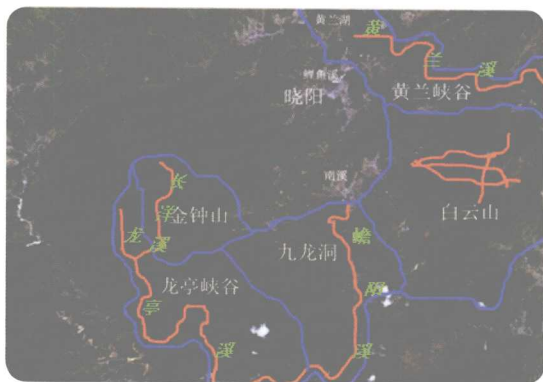
Contents

(2) 溪槽中存在大量没有韧性剪切带的空当	103
(3) 韧性剪切带只出现在溪谷中冰川作用地段很浅的岩面上, 溪谷旁侧新开路上的岩石保持原生结构	104
(八) 冰川漂砾	107
1. 冰川漂砾的基本概念	107
2. 本考察区冰川漂砾的特征	108
(九) 冰蚀岩洞	121
1. 冰臼、壶穴之争	121
2. 冰蚀岩洞的成因分析	121
3. 本考察区的冰蚀岩洞的特征及成因分析	124
(1) 数量很多, 在花岗岩和火山岩上, 在基岩和漂砾上都有	124
(2) 大小不一, 形态多样	124
(3) 考察区冰蚀岩洞的成因分析	124
(4) 水蚀环痕是叠加于冰蚀遗迹之上的	126
(5) 壶穴说或冰臼说都无法解释围椅状的冰蚀构造——“壁龛”	127
(6) 壶穴说或冰臼说都无法解释水平岩洞	129
(十) 冰川地貌	130
1. 雪线附近的地貌景观	130
2. 冰冻裂石及其成因分析	130
3. 本区冰川谷的特征及成因分析	133
(1) 冰斗-山谷冰川	133
(2) 冰下河的下蚀作用	133
4. 冰坎与冰盆	138
(十一) 结论	139
五、相关的几个问题的释疑	140
(一) 中国东部果真不可能有古冰川活动吗?	140
(二) 本地区古冰川活动条件的探讨	144
1. 海拔高度问题	144
2. 雪线高度的问题	146
3. 冰川活动区的生态问题	148
4. 溪床中的古冰川遗迹能否保存至今	153
六、白云山地区古冰川遗迹发现的意义	154
七、关于冰期问题	155
参考文献	156

一、白云山的地理位置

白云山位于福建省宁德市属福安市的西北隅,在该市与寿宁、周宁两县交界点的东面约24km处,隶属晓阳镇,距福安市区约50km。白云山是闽东的次高峰,海拔1448m,因白云常绕其峰而得名。

现有古冰川活动的景点主要分布在白云山周边的四条溪谷：黄兰溪（峡谷），位于白云山北面；蟾溪，也称蟾阳溪，位于白云山西面；长洋溪和龙亭溪，位于蟾阳溪西面。长洋溪是龙亭溪的支流（参考图1、2）。



参考图2 白云山景区航空照片

(据福安市旅游局供图)

Reference Fig.2 Aerial photograph of Baiyun Mountain scenic area
(Supplied by the Fuan Travel agency)

二、白云山景区的地层与岩石

景区内分布的岩石主要是火山岩和侵入岩。火山岩是晚侏罗世南园组上段和早白垩世的火山碎屑岩、酸性熔岩夹碎屑岩（参考图3、附表1）；据福建省地调院的资料，本景区的侵入岩是侵入于中白垩世火山岩中的燕山晚期花岗岩和沿花岗岩断裂带贯入的脉岩——花岗斑岩，中白垩世及其以上的地层在1:50000福安幅地质图的范围除了周宁县城周围出现小面积第四纪（Qh）沉积物外全部缺失。考察中接触最多的岩性有如下3种。

1.晚侏罗世南园组上部的酸性粒状碎斑火山熔岩

样品取自蟾阳溪旁侧新开路上(薄片编号11)(下面简称“火山熔岩”)。

岩石具斑状结构,斑晶含量约20%,大小1~2mm,主要矿物成分为石英(40%)、钾长石(40%)、斜长石(18%)。石英斑晶自形程度较高,无色透明;钾长石自形程度也较好,呈板柱状,横切面呈完好的正方形,表面呈褐色,可见出溶条纹;斜长石呈板状,正交偏光下可见聚片双晶。基质矿物为他形,具粒状结构,也见球粒结构。主要矿物成分为石英、钾长石和斜长石,钾长石具有文象结构(见图363~365)。

2. 燕山期晚期花岗岩

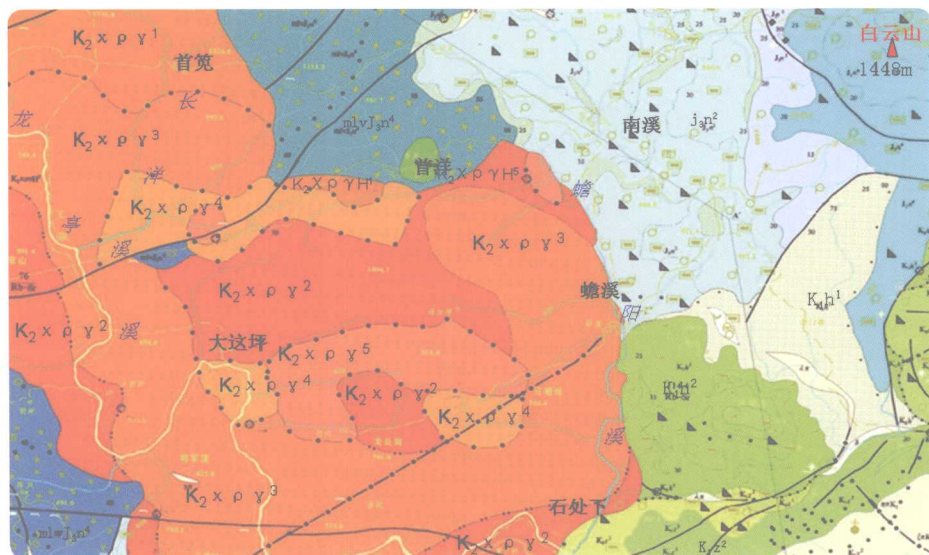
样品取自蟾阳溪九龙洞附近的新开路上（薄片编号1）。

岩石具粒状结构。主要矿物成分为石英（35%）、条纹长石（40%）、斜长石（20%）和黑云母等（5%），石英为粒状，自形程度差，大小1~2mm，无色透明，最高干涉色一级黄；条纹长石为板柱状，大小1~6mm，表面灰白色，条纹结构十分明显；斜长石为板状，自形程度较好，大小1~3mm，无色透明，具聚片双晶；黑云母呈片状，大小2~7mm，黄褐色，最高干涉色三级绿，平行消光(见图355~358)。

3. 花岗斑岩

样品取自长洋溪中段侧旁的新开路上（薄片编号12）。

岩石呈似斑状结构。斑晶含量约15%，大小2~5mm，主要矿物成分为石英（50%）、钾长石（47%）。石英为粒状，无色透明，最高干涉色一级黄；钾长石为板柱状，灰白色，最高干涉色一级灰，具条纹结构。基质为细粒结构，矿物颗粒大小0.5~1mm。主要矿物成分为石英（40%）、钾长石（45%），少量黑云母等。石英它形、无色、干净；钾长石条纹结构明显(见图359~362)。



参考图3 白云山景区地质图

裁自福建省地调院1:50000地质图

(注:1.图例见附表1。2.黄兰溪在白云山东北边,见参考图2)

Reference Fig.3 Baiyun Mountain scenic area geologic map

modified from the Fujian Academy of Geological sciences. 1:50000 geologic map

(Notes:1.The legends shown in the Appended Table 1; The Huanglan Brook in the northeast of the Baiyun Mountain, See the referece Fig.2.)

附表 1 白云山景区火山岩地层和侵入岩时代及岩性

白垩系下统	寨下组下段	K_{1z}^1		154.40~254.43	紫红、灰紫、浅灰绿色中厚层状，复成分砾岩、凝灰质（复成分）砂砾岩、中层状粉砂岩、细粒岩屑砂岩、薄层状（含砾）沉凝灰岩夹流纹岩、英安流纹质晶屑凝灰岩
	上段黄坑组	K_{1h}^2		35.40~431.88	深灰、灰色安山岩、英安质含集块火山角砾岩、流纹质（含角砾）晶屑熔结凝灰岩夹英安质含晶屑凝灰岩、流纹质晶屑凝灰岩、玻屑凝灰岩
晚侏罗世南园组	第四段	$M_{1v}J_3n^4$		396.8	浅灰、浅肉红色酸性隐晶状碎斑熔岩、酸性（含角砾）霏细状碎斑熔岩、酸性（含角砾）粒状碎斑熔岩
		J_3n^4		494.59~1585.0	下部：灰白、浅灰色流纹质晶屑熔结凝灰岩、（含角砾）晶屑凝灰岩流纹质凝灰岩；上部：灰紫色流纹质（含角砾）晶屑熔结凝灰岩、晶屑凝灰岩、火山集块岩、流纹质集块角砾溶岩、自碎角砾、岩块集块流纹岩
	第三段	J_3n^3		179.71~>824	下部：灰、浅灰色英安岩、英安质自碎角砾岩夹石泡流纹岩、安山质岩屑凝灰岩；上部：深灰色安山岩、角闪安山岩、集块角砾安山岩、英安质晶屑熔结凝灰岩、晶屑凝灰岩
	第二段	J_3n^2		>1100.82~>1130.73	下部：浅灰、灰白色流纹质晶屑熔结凝灰岩、（含岩屑）晶屑凝灰岩、流纹岩夹流纹质凝灰岩、中—薄层状泥岩、砂质泥岩；上部：灰紫色流纹质晶屑凝灰岩、（含角砾）晶屑熔结凝灰岩、集块火山角砾岩夹中层状含粉砂质泥岩、硅泥岩、沉凝灰岩
白垩世	洪山	$K_2 \times p \vee H^4$			肉红色晶洞（微）细粒碱长花岗岩
		$K_2 \times p \vee H^5$			肉红色晶洞斑状细粒碱长花岗岩
		$K_2 \times p \vee H^3$			肉红色晶洞少斑中细粒碱长花岗岩
		$K_2 \times p \vee H^2$			肉红色晶洞含斑中细粒碱长花岗岩
		$K_2 \times p \vee H^1$			肉红色晶洞细粒碱长花岗岩

（据福建省地质调查研究院1：50000地质图图例）

三、冰川的基本概念

冰期，在天气严寒、降雪量充沛的高山上，积雪随着厚度的增大，雪花逐渐被压实，变成丧失晶体特征的圆球状雪，称为“粒雪”。当上覆压力不断加大，粒雪的硬度和它们之间的紧密度也逐渐增大，就形成“冰川冰”。与此同时，“雪线”上方“累积区”基岩中的层理、裂隙和劈理等构造因受长期风化和侵蚀作用而扩宽，渗透性增大，冰期前的雨水和冰期的冰、雪溶水不断往里渗透，并随渗入孔隙后的压力降低而冻结成冰，体积增加9%左右，对周围岩体施展着强大的侧压力。压力最大可达2t/cm²。在这样强大的冰冻胀力作用下，穴壁岩石严重破碎，称“寒冻风化”（这种过程是反复进行的）。山体前沿的冰、雪在重力作用下就裹夹着破碎了的大小岩块、岩屑时不时地向下滑落和崩塌，叫做“冰坠”。它们通常先停积在雪线附近山坡凹坑中，边累积边消融。若消融速度较慢，混在一起的冰和碎石、岩屑就越积越多，在重力的作用下，对凹坑边部、底部进行磨蚀、掘蚀使其加深、扩宽，并在前沿留下比内部高的岩槛，这样形成的冰川地貌单元叫做“冰斗”（参考图26）。上方物质进一步滑落，冰斗中的冰、石量越积越多、越重，就会冲破岩槛向下面的“消融区”滚落，并在其下落途中，铲刮岩壁形成“冰溜沟痕”。当崩塌、滑落下来的冰川冰和岩屑到达谷底时，因有横向空间的存在（原有的溪床），就基本上停滞下来并逐渐消融。这种作用，也是反复进行的。要是从累积区崩落的冰川冰的补给量大于消融区的消融量和蒸发量，当累积的冰、石重量和谷底坡度的关系达到临界点时，冰川冰就夹着岩块、碎屑形成

“冰舌”，在压融水参与下内部以塑性剪切状态，底部以滑动作用向下游方向缓慢“流动”，这就是“山谷冰川”。冰期结束后，若地壳长期处于较稳定状态，且基岩较坚硬不易受侵蚀，尤其是当溪谷中常年有流水覆盖，冰川遗迹就可以较好地保留下来。本地区正是符合这样的条件。

白云山周边第四纪古冰川和我国东南部其他地区一样，属于分布在中、低纬度的海洋性（也称暖水型）古冰川。本考察区古冰川的具体分类应属“冰斗—山谷冰川”。

这种冰川类型的特点，景才瑞教授在论述庐山第四纪冰川时有精辟的描写^[1]：“海洋性冰川区，降雪多，雪线低，气温并不太低，时冻时解，冰川主要依据丰富的降水所提供的物质条件而发育，进行着有活跃的冰雪融水参与成冰过程的暖型成冰作用，速度加快，补给充足，冰川作用能大，运动速度较快，消融强烈，可塑性强，进退幅度大，波动次数多，地质—地貌作用强烈，水分循环速度快，冰川作用活跃。……正因为如此，所以庐山的面积虽不太大，冰川的规模也不太大，积累区更不算大，但冰川却十分活跃，能够形成像王家坡、大校场等这样巨大的U形谷与大坳冰斗等冰川侵蚀形态，……”这段论述，对于研究白云山古冰川具有重要启示作用。

四、白云山周围4条溪谷及旁侧山坡上的第四纪冰川遗迹

（一）冰川擦痕

1. 冰川擦痕的基本概念

“冰川擦痕”是“冰川条痕”的一种类型。擦痕有多种成因，内力的构造运动，外力的冰蚀作用、山崩、泥石流，还有人为作用等都会在岩石上留下擦痕，但冰川擦痕有其专属特征。真正的冰川擦痕是冰川遗迹的重要证据之一。

李四光先生对冰川条痕有详细的描述^[2]。如：“石块之一、二面有时甚平而甚滑，其上偶带条痕。条痕粗细不等，有时互相平行，亦有时彼此异向。常可分为数组，每组各异其向。条痕直者居多，然亦间有弯曲者在，后者凹痕内部有时存在‘蜈蚣足状的颤痕’。是皆因石块随冰流注，与其他石砾或冰底之岩石，互相磨擦而生，故石块之质坚而粗者，虽经冰流运转，往往罕见条痕。若其质匀细软弱，则一遇砂粒之硬者，即被刻划。此种石块，为记录冰流最良之物。惜其质既软弱，常不耐风化。因此等天然之限制，故冰碛层中，有时竟无一带条痕之石块可睹。”上面提过，擦痕成因很多，除冰川作用外，断层，甚至山崩、泥石流也会形成擦痕。故李先生又提出分辨标志。冰川条痕和断层条痕最易识别的标志是：“冰流所致之条痕，往往不限于一个方向；而断层面之条痕，则只限于一个方向而已。”至于山体滑坡、泥石流肆虐，“……其中乱石，亦有受磨擦而生条痕者。但此种条痕，仅可见于极软弱之石面，其痕迹亦不甚深，而石块之棱角亦无磨灭之理。盖无冰川为之运输倾压，破碎之象，既能保持，深刻之条痕，亦无由发生也。高峰之旁，有时石块下坠，与其他石块互相碰击，亦可发生若干刻划之痕迹。此种伤痕常甚粗而甚短，绝无细长深刻者。”

关于泥石流造成的擦痕，杨怀仁教授的描述是^[3]：“黏性泥石流在搬运过程中石块之间的相互撞击，不少石面上有擦痕，但与冰川作用造成的擦痕不同。泥石流撞击的擦痕粗大毛糙，多呈斑状或纺锤状，排列方向也不一致。”

陆镜元在《初论冰溜擦痕的鉴别》^[4]中对各种成因的擦痕特征编制成表格进行比较。现录于此（附

表2)，以作参考。但客观存在的冰川擦痕与该表所述有些出入，如表上所说冰川擦痕近似“水平或倾斜不大”，其实，陡立的冰川擦痕很常见。

附表 2 基岩面上各类擦痕特征比较

成因类型	遗迹特征	遗迹组合
基岩、冰溜面上的冰蚀擦痕	大致相互平行、近似水平或倾斜不大的凹凸条带和两组以上的交叉条痕，条痕细、长、深刻，尤以滑动颤痕与“钉头鼠尾”刻痕为特征	刻痕、擦痕、颤痕、擦槽、大片光滑的磨光面
洪流擦痕	条痕宽、短、浅，边缘粗糙，宽窄悬殊，稀疏地顺溪谷排列，方向单一	擦痕、撞击凹坑、断口
崩塌擦痕	长短参差、深浅不一，边缘粗糙，凿痕两侧多不对称，分布稀疏，顺坡排列，方向单一	凿痕、片状擦痕、断口及大量撞击凹坑
滑坡擦痕	擦痕宽而浅，呈片状分布，顺坡排列，方向单一	擦痕、刻痕
泥石流擦痕	条痕宽、短、浅，粗大毛糙，顺坡排列，方向单一	擦痕、断口，很少有刻痕
冻融泥流擦痕	条痕细、短、浅，顺坡排列，方向单一	擦痕、磨光面不显著
褶皱擦痕	条痕细、长、浅，排列密集，只有一个方向且大致与枢纽垂直	擦痕、磨光面、新月形刻槽
断层擦痕	主要为挤压磨擦条痕，条痕细、长、平行密集排列，以具有多层次擦痕面为特征	擦痕、磨光镜面、滑阶、劈理、断层角砾、糜棱岩化
溶蚀擦痕	刀砍状窄而深的溶蚀条痕，均发生在石灰岩或白云岩上	溶蚀痕、微细岩溶痕纹

(据陆镜元^[4])

2. 本考察区的擦痕具有冰川擦痕的各种特征

(1) 擦痕分布很广，同组产状稳定

本考察区中冰川擦痕不择地貌、不挑岩性随处分布，通常多组混杂，但有主有次，同组擦痕产状稳定。

图1是蟾阳溪花岗岩岩面上一组最显眼的直而长、粗又密的冰川擦痕，断续延伸达几米以上，单个擦痕长10~120cm，宽、深0.2~0.5cm，产状相当稳定；除此，还有多组不同方向的，较细和较稀的，直线形和弧形的擦痕叠加其上（橙色线^❶所示）。请注意，从前面岩性描述中可以看出，这里的岩石，尤其是没有受过冰川作用影响过的岩石都是没有发生变质，呈粒状、无定向排列的结构，附近又无明显的断层存在，所以这里的擦痕不是原生线理或断层擦痕，从上述擦痕的基本概念及与附表2对照看，其他外力作用也不可能形成这样的擦痕。

(2) 擦痕的形态特征

1) 直线形擦痕

除图1外，图2~图7也是直线形擦痕，断续延伸长度常达几米，且都不止一组，并杂有弧形擦痕。既然不止一组，应当不是断层擦痕，其他外力作用也不可能在坚硬的花岗岩上形成组数多、延伸性良好的擦痕。

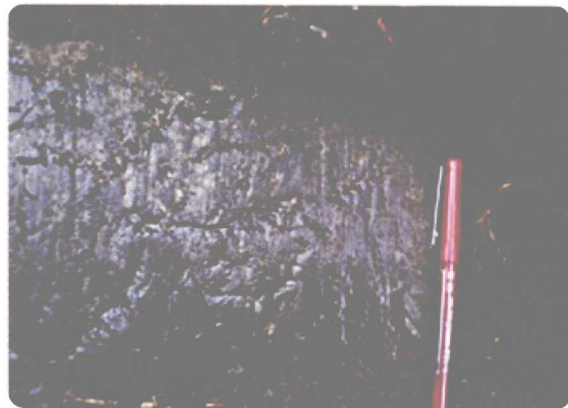
❶ 本书各插图上的色线为标明冰川遗迹的位置、形态和类型而标。



图1 长洋溪上段，花岗岩，冰川擦痕。与参考图4相似
Fig.1 Changyang Brook upside, granite with glacial striation. Similar to the Reference Fig.4



图2 龙亭溪溪床上，花岗岩，冰川直线形和弧形擦痕
Fig.2 On Longting Brook bed, granite with glacier straight line and arc striation



参考图4 台湾雪山黑森林内基岩上的冰川擦痕^[5]
Reference Fig.4 Bedrock glacial striation in Taiwan snowy mountain black forest^[5]



图3 蟠阳溪右侧山坡，花岗岩，冰川擦痕
Fig.3 Hill on right of Chanyang Brook, granite with glacial striation

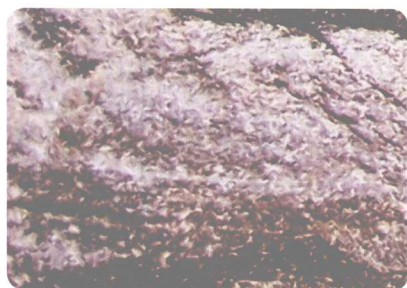


图4 蟠阳溪中段，花岗岩，多组冰川擦痕
Fig.4 In Chanyang Brook center-section, granite with many groups of glacial striation

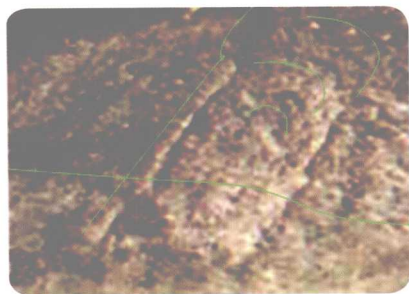


图5 蟾阳溪，花岗岩，两组直擦痕和新月形裂纹

Fig.5 Chanyang Brook, granite with two groups of straight striation and crescent cutting



图6 龙亭溪中段，花岗岩，两组直的冰川擦痕

Fig.6 Longting Brook center-section, granite with two groups straight glacial striation



图7 蟾阳溪水库下，花岗岩，多组直的和弧形的冰川擦痕

Fig.7 Chanyang Brook reservoir, granite with many groups of straight and arc glacial striation

2) 楔形擦痕（有不少是钉头鼠尾状的）



图8 龙亭溪中段，花岗岩，楔形和直线形冰川擦痕

Fig.8 Longting Brook center-section, granite with wedge-shaped and straight line glacial striation



图9 龙亭溪上游，花岗岩，几组楔形冰川擦痕

Fig.9 On Longting Brook upstream, granite with groups of wedge-shaped glacial striation



图10 黄兰溪峡谷中，火山熔岩，楔形冰川擦痕和压坑

Fig.10 Huanglan Brook, volcanic lava with the wedge-shaped glacial striation and presses pit



图11 长洋溪中段，花岗岩，楔形和弧形冰川擦痕

Fig.11 Changyang Brook center-section, granite with wedge-shaped and arc glacial striation



图12 蟾阳溪, 九龙洞内, 花岗岩, 楔形冰川擦痕
Fig.12 Chanyang Brook, granite, with wedge-shaped glacial striation in Jiulong hole

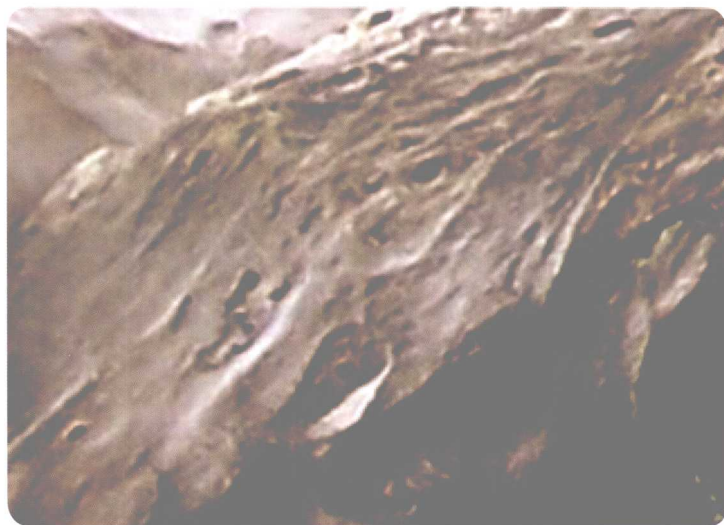


图13 龙亭溪, 花岗岩漂砾, 多组楔形擦痕
Fig.13 Longting Brook, granite boulder, groups of wedge-shaped glacial striation

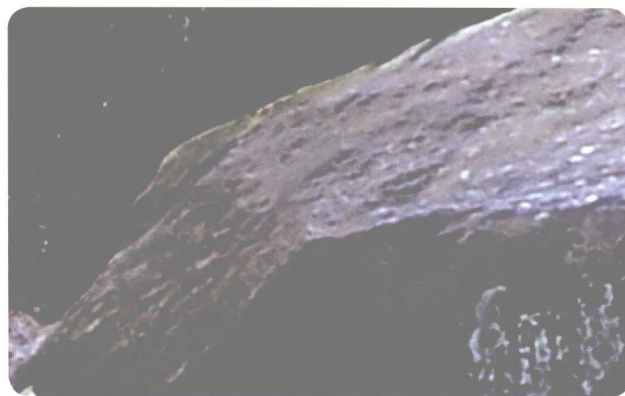


图14 龙亭溪, 花岗岩, 两组楔形擦痕
Fig.14 Longting Brook, granite with two groups of wedge-shaped glacial striation

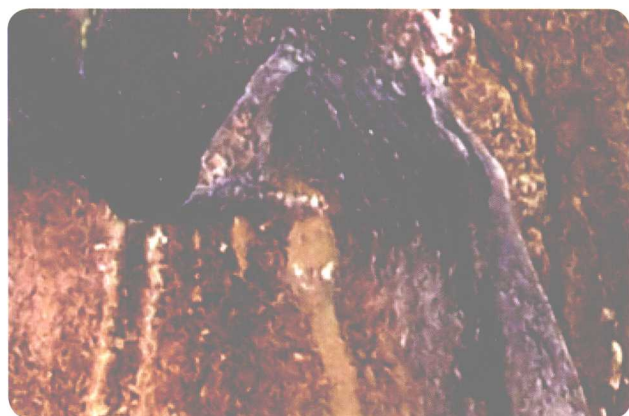


图15 龙亭溪, 花岗岩, 多组楔形擦痕
Fig.15 Longting Brook, granite with many groups of wedge-shaped glacial striation