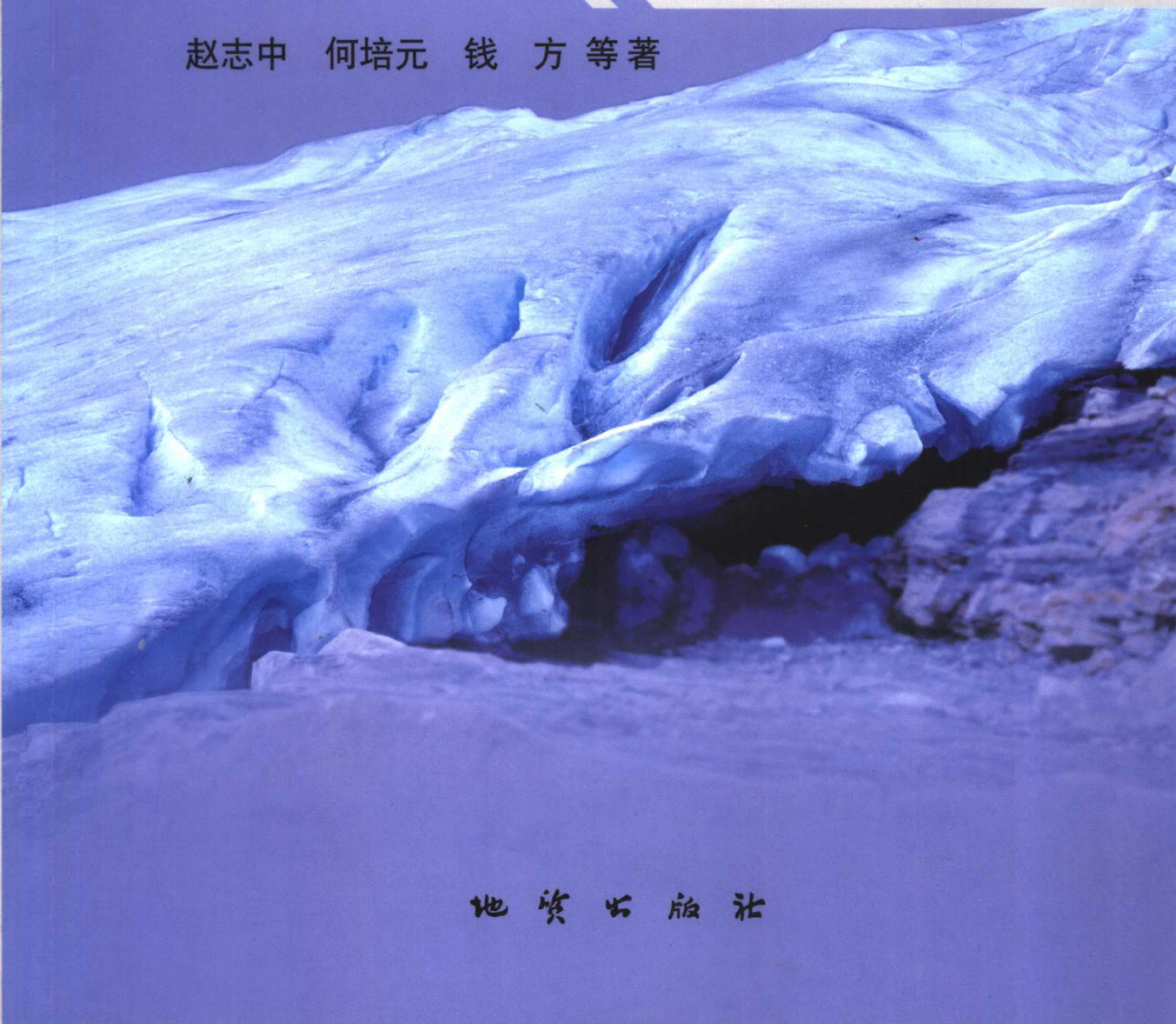


LUSHAN DISIJI BINGCHUAN YANJIU DE
YOUGUAN WENTI

庐山第四纪冰川研究的 有关问题

赵志中 何培元 钱 方 等著



地质出版社

庐山第四纪冰川 研究的有关问题

赵志中 何培元 钱 方
乔彦松 刘 莉 吴锡浩 著

地质出版社

· 北 京 ·



赵志中，博士，研究员，1966年生，现任中国地质科学院地质力学所科技发展处处长，中国地质学会第四纪地质专业委员会秘书长，兼国家地质公园研究规划中心副主任，为地质公园与旅游地质研究分会委员。先后主持各类项目近10项，公开出版专著3部，发表论文40余篇。曾获北京市科技进步二等奖，地矿部科技成果三等奖，北京市优秀青年科技论文二等奖。现主要从事中国大陆第四纪冰川地质与全球变化的研究，开展第四纪地质环境调查与评价工作，开展地质公园、地质遗迹的规划研究，将过去全球变化研究应用到环境评价、灾害预警和区域经济发展中，为国家和社会需求服务。

序

庐山地区第四纪冰川研究,始于20世纪20年代。著名的李四光教授对庐山第四纪冰川地质作过详尽研究,1947年《冰期之庐山》一书以中英文形式正式出版问世,使得第四纪冰川研究成为第四纪研究的一条主线,翻开了中国第四纪地质研究的新篇章。继庐山第四纪冰川研究之后,地学工作者先后开展了华北、黄山、鄂西、滇黔桂、湘西、川西、秦岭-大别等地区的第四纪冰川调查工作,在中国大陆掀起了深入研究第四纪冰期的高潮。同时,庐山第四纪冰川和第四纪地质研究工作也在不断深入,20世纪50年代江西地质矿产局完成了1:20万瑞昌幅区域地质调查,80年代完成了1:20万水文地质普查;1992年地质力学研究所完成了庐山第四纪冰期与环境的专题研究;1993年江西区调队完成了庐山及邻区1:5万区调。1996年地质力学研究所与江西地质矿产局承办了第30届国际地质大会考察路线“庐山第四纪冰川与鄱阳湖第四纪地质”。庐山地区第四纪地质与环境研究有了长足的进展,但是自从庐山发现第四纪冰川以来,国内外学者一直有不同意见,关于中国东部中低山地有无古冰川发育的争论持续了70年。一方面庐山是否有冰川;另一方面庐山何时形成冰川。

基于同行争论的焦点问题,作者在系统分析国内外资料基础上,首次提出用砾石的应力测量值来判断沉积物成因的新方法,辅以石英砂表面形态的电镜扫描分析,对沉积物一粗一细两种组分的成因分析,提出冰碛物识别的确证,来开展庐山第四纪冰期与环境研究。在研究思路,从现代冰川砾石中找寻应力记录的信息,再对西部冰碛砾石开展应用研究,最后回到庐山第四纪砾石的应力实验上,成功地测试出相应的应力记录值。同时,采取了古地磁、ESR、 ^{36}Cl 测年等综合定年方法,来研究庐山第四纪冰期年代学,得出了各期亚冰期的绝对年代,初步建立了庐山第四纪冰期年代系列。两方面的成果又将庐山第四纪冰期研究大大向前推进了一步。

《庐山第四纪冰川研究的有关问题》一书的最终出版,是研究中国第四纪冰川的一件大事,必将对重新认识中国东部中低山地第四纪冰川问题产生重要影响,使得第四纪冰川研究回到应有的地位上来,在过去全球变化的研究中发挥更大作用;同时,为国内外同行在生产和科研中提供有意义的参考。

孙叔卿

2005年8月8日

前 言

自从1922年李四光教授在太行山东麓和山西大同盆地发现第四纪冰川遗迹以来,中国第四纪冰川地质研究得到了国内外专家的广泛关注,成为研究第四纪地质的一条主线。但是中国东部第四纪冰川的研究一直存在较大争论,时至今日国内外同行专家仍然有不同意见。20世纪80年代,施雅风等对中国第四纪冰川进行了针对性的普遍研究,范围遍及川西高原、秦岭—大巴山、庐山、黄山、天目山、北京西山、桂林地区、东北长白山、台湾玉山等,指出中国东部第四纪冰川只发育在陕西太白山、东北长白山及台湾玉山,并发表了专著《中国东部第四纪冰川与环境问题》。同时期,何培元、段万倜等对争论热点的庐山地区第四纪冰川也进行了深入的研究,认为庐山第四纪冰川存在是确定无疑的,也发表了专著进行论述。20世纪,国际上许多知名地质学家都到庐山等地进行过实地考察,如波兰的柯萨尔斯基,美国的米勒,瑞士的施鲁克特,英国的德比希尔等对中国东部第四纪冰川存在与否亦有不同意见。许多知名学者认为中国东部第四纪冰川仍然是一个值得深入研究的科学问题,应以新的思维去考虑这一问题。

有关庐山第四纪冰川研究,早在1931年李四光教授就确认了庐山地区为中国东部第四纪冰川发育的典型地区,1947年《冰期之庐山》中英文版公开出版问世,一系列古冰川地貌和堆积物被发现。1933年李四光等开展了庐山地区1:5万地质调查。1955~1966年江西区测二分队完成了瑞昌幅1:20万区调填图。1981~1986年江西水文地质工程地质大队开展了庐山地区1:20万水文地质普查,对鄱阳湖地区第四纪地质作过专题研究。1992年地质力学研究所完成了庐山第四纪冰期与环境的专项研究。1993年江西调查研究大队区调一队完成了庐山幅、马回岭幅1:5万区域地质调查。1996年江西地质矿产局与地质力学研究所承办了第30届国际地质大会会后考察路线之一“庐山第四纪冰川和鄱阳湖第四纪地质”。70多年来,庐山及邻区第四纪地质和环境研究有了长足的进展,但是有两方面问题一直困扰着中外地质工作者,一方面庐山是否有冰川;另一方面何时形成冰川。古冰川事件是第四纪时期气候波动的最直接的地质证据,是过去全球变化研究的重要内容。冰碛物为古气候突变的沉积记录,不同时段冰碛物直接反映了古气候变化的阶段性特征,第四纪冰期的研究成为第四纪气候环境变化的核心研究内容。因此,庐山第四纪冰川研究的意义促使几代人在持续努力地探究着这一科学问题。

随着科学技术的发展,一些新技术、新方法应该在第四纪冰川领域上得到很好的应用,同时新认识、新见解也要进一步印证和总结提高。本书作者在全面分析国际国内资料和科学实验基础上,首次提出用砾石的应力测量值来判断沉积物成因的新方法,再辅以石英砂颗粒表面形态的电镜扫描分析,抓住沉积物中一粗一细两种组分,提出冰碛物识别的确证;在这种思路下开展庐山第四纪冰川研究,重新认识中国东部中低山地的冰川问题。

本项研究成果是在原地质矿产部“九五”基础项目“中国第四纪冰川与环境变化”(编号 9501120)、地质矿产部青年基金项目“第四纪冰川确认的新方法研究”(编号 9610)、国土资源部基础研究项目“庐山古冰川在第四纪大冰期中位置的确认”(编号 20010209)联合资助下完成的。通过野外资料收集和样品采集,对现代冰川砾石、昆仑山第四纪冰碛物和庐山山体周围不同第四纪砾石层的声发射应力测量、石英砂电镜扫描分析和年代学分析,来完成本成果。其中,声发射应力测量由中国地质科学院地质力学研究所声发射实验室丁原辰、邵兆刚、马越完成,电子扫描电镜由中国地质大学(武汉)测试中心严春杰完成,ESR 测年由 中国地质科学院地质力学研究所 ESR 实验室张淑坤、吴乃芬完成, ^{36}Cl 测年由 中国地质调查局天津地质矿产研究所林源贤完成。本书第一、二章由赵志中、钱方、何培元、吴锡浩完成,第三章由赵志中、乔彦松完成,第四章由何培元、赵志中完成,第五、六、七章由赵志中、何培元、刘莉完成,英文翻译由凌小惠研究员完成。本成果的完成及出版得益于孙殿卿院士的指导和帮助,得到了国土资源部高锦曦处长、白星碧处长,中国地质科学院赵逊副院长、董树文副院长、李贵书处长、熊嘉育副处长,地质力学研究所龙长兴所长、赵越副所长、吴珍汉副所长、蒋复初研究员的大力支持,同时地质力学研究所第四纪地质环境研究中心和科技管理部门的同仁给予了热心的帮助和支持,在此表示衷心的感谢。我们的工作得到了庐山世界地质公园的大力支持,庐山风景名胜区管理局的李延国先生、国土资源局田娇荣局长等给予了热心帮助,庐山地质研究院提供了部分图版照片,在此深表谢意。此外,正值我的导师吴锡浩教授去世 4 周年,吴先生在世时一直念念不忘重新认识中国东部第四纪冰川的问题,谨以此书纪念已故的吴锡浩先生。

著 者
2005 年仲夏

目 录

序

前 言

第一章 绪 论	(1)
第二章 现状分析	(3)
第三章 区域概况与地质背景	(5)
第一节 自然地理	(5)
第二节 地质背景	(5)
第四章 庐山第四纪地层	(7)
第一节 早更新世地层	(7)
第二节 中更新世地层	(9)
第三节 晚更新世地层	(13)
第四节 全新世地层	(14)
第五章 庐山第四纪砾石层的成因	(16)
第一节 典型第四纪砾石层	(16)
第二节 庐山砾石层的成因研究	(19)
第三节 庐山石英砂的成因分析	(28)
第六章 庐山砾石层的时代	(31)
第一节 庐山砾石层的电子自旋共振测年	(31)
第二节 庐山第四纪沉积的磁性地层	(33)
第三节 庐山砾石层的 ³⁶ Cl 测年	(35)
第七章 庐山第四纪冰期与环境讨论	(36)
第一节 冰期成因问题	(36)
第二节 冰期时代问题	(37)
第三节 庐山第四纪冰期与环境演变	(37)
参考文献 (Reference)	(38)
图版及图版说明	(41)

第一章 绪 论

地质历史时期地球曾经历过三次大冰期^[1]，地球发展到第四纪 [2.4 Ma (BP)] 进入到最近一次大冰期时期，在此时期内存在着多次亚冰期—亚间冰期旋回，这些旋回成为第四纪冰川地质研究的一条主线。传统上对冰期沉积物成因的鉴定和分析是从沉积学、地貌学特征上加以综合研究，而不同成因的沉积物在沉积学和地貌学特征方面往往具有相近性和微差性；因此常常造成冰川沉积物成因鉴定的多解性和不确定性，这在第四纪冰川沉积的成因研究中就更显突出。

自 20 世纪 20 年代李四光教授在太行山东麓发现第四纪冰川遗迹至今，中国第四纪冰川研究已有近 80 年的历史。此期间就中国东部第四纪冰川存在与否的问题有过三次争论。时至今日，国际国内地质学家对我国东部山地第四纪冰川的问题仍然持不同看法。20 世纪 80 年代，施雅风等对中国第四纪冰川进行了针对性的普遍研究，范围遍及川西高原、秦岭—大巴山、庐山、黄山、天目山、北京西山、桂林地区、东北长白山、台湾玉山等，指出中国东部第四纪冰川只发育在陕西太白山、东北长白山及台湾玉山，并发表了专著。同时期，何培元、段万倜等对争论热点的庐山地区第四纪冰川也进行了深入的研究，认为庐山第四纪冰川存在是确定无疑的，也发表了专著进行论述。国际上许多知名地质学家都到庐山等进行过实地考察，如波兰的柯萨尔斯基，美国的米勒，瑞士的施鲁克特，英国的德比希尔等对中国东部第四纪冰川存在与否亦有不同意见。许多知名学者认为中国东部第四纪冰川仍然是一个值得深入研究的科学问题，应以新的思维去考虑这一问题；一些新技术、新方法在该领域应很好地得到应用，新认识、新见解应进一步印证和总结提高。地质力学研究所部分研究人员在全面分析国际国内资料和少量实验基础上，首次提出用砾石的应力测量值来判断沉积物成因的新方法，再辅以石英砂颗粒表面形态的电镜扫描分析，抓住沉积物中一粗一细两种组分，提出冰碛物识别的确证。

北半球晚新生代研究表明，古冰川和古人类均有其发生、发展过程，而划时代的大冰期开始、直立人出现及各自在环境与生态方面有因果联系的演变，是第四纪地质过程中最主要的时代标志。中国古冰川和古人类研究的起步时代相近，都在 20 世纪 20 年代。时至今日，古人类研究发展很快，古冰川研究停滞不前。就中国第四纪地质而言，东部山地古冰川发育、黄土高原风成黄土沉积和青藏高原构造隆升^[2,3]，同是最主要的地质作用特色。然而，黄土研究领先了，高原研究进步了，古冰川研究落伍了^[4]。对庐山古冰川在大冰期中的位置与确认进行研究，是造成古冰川研究停滞和落伍的症结所在，即一是在于庐山古冰川是中国第四纪冰川学说的发祥地，有其不可替代的研究意义和基地价值；二是在于受当时的研究水平和认识所限，那些对庐山古冰川存在与否不断提出的诸多在今日看来是不成问题的问题，现今从青藏高原隆升、黄

土高原黄土成因和东亚古环境变迁的研究进展来看，已有可能通过确认它在大冰期中的时空位置来给予合理的解释；三是在于第四纪全球变化的综合集成研究方法和新技术手段的发展，使确认庐山古冰川的存在、分期和特征有了现实可行性，并且有可操作性。

20 世纪 90 年代以来，包括庐山在内的长江中下游地区，第四纪地质研究取得的重要研究进展之一，是初步建立了风成的网纹红土和下蜀黄土的地层序列，并大致可与黄土高原离石期和马兰期的黄土-古土壤地层序列进行对比^[5]。在这个基础上，就可确定庐山地区各套冰碛层对应的风积地层层位和时代，可从根本上改变过去对其时空位置认识上的不确定性。另一方面，粗碎屑沉积中石英颗粒表面形态的组合特征，已经为国内外研究者证实，是一种确定混杂堆积成因类型的有效方法。对于冰碛层而言，由于冰川动力作用的特殊性，石英颗粒表面形态组合的统计规律，更能作为反映其成因的微观证据。

庐山古冰川的确认，既是解决中国东部第四纪冰川问题的最佳切入点，又是排除重新认识中国第四纪地质作用和环境变迁障碍的首要突破口，并可发挥立竿见影的研究基地作用。其科学意义在于，在过去全球变化研究的大背景下，使古冰川研究获得新的活力，促进当代构造驱动气候假说的深入研究，为中国第四纪地质学的跨世纪发展作出不可或缺贡献。另一方面，消除中国第四纪冰川研究中的误区、迷茫和困惑，建立起冰川与黄土可以对比的第四纪地层划分方案，对已经开始的国土资源大调查中的地质生态环境调查，可提供正确的理论指导和合理的工作依据，因而具有广阔的应用前景。庐山古冰川研究，可以把中国第四纪冰川研究中的误解转化为理解，把学科上的隔阂转化为合作，对中国地质科学和环境科学中的创新研究也有着积极的示范意义。

第二章 现状分析

以庐山古冰川为典型代表,由李四光教授在 20 世纪 30 年代开创的中国第四纪冰川学说,曾长期在反复的质疑声中不断发展^[6]。经 20 世纪 80 年代早期的激烈争论后,由于受学术性与非学术性因素的交叉影响,使以庐山为中心的中国东部古冰川,排斥在第四纪地质与环境的研究领域之外,难能在迅速兴起的过去全球变化研究中占据其应有的位置,失去了与中国的古季风、古气候和古环境研究同步发展的机遇,乃至成为 20 世纪中国地质学研究史上最难解决的疑难问题之一。

时至新世纪到来,国内外已在过去全球变化和晚新生代大冰期研究领域取得重大进展。当前,在地球系统科学的层次和水平上重新开始庐山古冰川研究,从确定它在新构造运动及第四纪大冰期气候和环境演变的时空框架中的位置入手,确认它在东亚环境系统中的存在与特征,用新的技术方法确证古冰碛层的成因,不仅已有可能,而且能反过来加深对东亚古季风、古气候和古环境变迁过程和机制的认识。

国际上自 20 世纪 60 年代末开始深海钻探计划 (DSDP),以及 80 年代相继的大洋钻探计划 (ODP) 实施以来,在最近 30 多年间以深海氧同位素曲线为代用指标的地球轨道周期的气候变化规律被揭示,一度沉眠的米兰科维奇 (Milankovitch) 冰期理论得以复苏,并取得长足的研究进展,发展成为现代冰期旋回理论。与此同时,以阿尔卑斯山古冰川为代表的经典冰川学说,虽然曾在一定程度上受到深海记录的挑战,但很快就在更高的层次和水平上开展以古冰碛层为标志的古冰川研究,把现代冰期旋回理论与经典冰川学说融为一体,相互印证,互为补充,共同发展。特别值得指出的是,通过北大西洋和北太平洋深海沉积中冰筏碎屑层的研究,相当清楚地阐明了北半球晚新生代大冰期来临、开始和演变的过程。例如,中中新世晚期,正当早在晚始新世至早渐新世就发育的南极冰盖进一步扩张之时,北极陆地才初现冰川。而后,约 11 Ma (BP),来自斯堪的纳维亚和格陵兰冰盖的冰筏物质沉积于挪威海中的 Vøring 高原^[7]。至 7 Ma (BP),来自格陵兰冰盖的冰川海洋沉积分布于北大西洋西北端的 Irminger 盆地^[8]。从 2.8 Ma (BP) 开始,挪威海已持续堆积冰筏碎屑^[7]。此外,冰岛有年龄为 3.1 Ma (BP) 的冰碛层保存^[9],地处中纬的美国内华达山脉^[10]在 3.0~3.1 Ma (BP) 有山地冰川发育,中国青藏高原也有高斯时的冰碛层^[11],而且阿尔卑斯山的比伯期高台地冰碛层形成于松山时早中期。但是,鉴于山地冰川的早期冰川遗迹难以保存和确认,上述这些晚中新世、上新世和早更新世的古冰川证据,尚不足以全面说明北半球何时进入大冰期及大冰期中的中纬山地冰川是如何进退演变的。

从当代冰期旋回理论来看,来自赤道太平洋的深海氧同位素记录和黄土高原的风尘沉积记录都表明,7.2~3.4 Ma (BP) 的全球陆地冰量尚处于较低水平上,气候显示高频、小幅振荡变化;3.4~2.6 Ma (BP) 的冰量迅速波动增加,气候显示较大幅度的振荡,是大冰期开始前的过渡期。约 2.6 Ma (BP) 大冰期开始,黄土高原冰期

发育黄土层、间冰期发育古土壤层的黄土-古土壤地层序列,标志着北半球进入第四纪大冰期,而且其磁化率和粒度等代用气候指标的变化曲线,都能在准 2×10^4 a、准 4×10^4 a、准 10×10^4 a 等地球轨道周期上与深海氧同位素曲线进行良好的对比^[12]。因此,国际学术界十分关注中国黄土记录^[13],其原因就在于它通过地层剖面上黄土层与古土壤层的交替分布,直观记录不同时间尺度的第四纪大冰期气候变化;并通过它直接反映东亚古季风变迁信息,特别是冬季风与夏季风的盛衰关系,把风成黄土的沉积-成壤过程与全球大冰期气候和冰量变化建立联系。

中国黄土记录的大冰期气候阶段性发展和大幅度冰期、间冰期气候变化,以及东亚夏季风和冬季风演变,必然在地处长江中下游的庐山有所反映。所以,与中国黄土沉积过程相联系的冰期之庐山,有无古冰川发育?在哪些时段发育?为什么发育?现已成为再也不能回避而必须回答的科学问题。进一步说,现已认识到,庐山古冰川和中国黄土一样,它们都是青藏高原隆升及其气候和环境效应的产物。

研究已表明,以中国黄土为代表的大陆气候变化记录与深海氧同位素曲线也有不一致之处。能说明现代冰期旋回理论的黄土-古土壤序列,其中特征时期的冰期黄土层、间冰期古土壤层还可与青藏高原的冰碛-古土壤序列进行有效的对比^[14],从而能在时间尺度上把经典的冰川学说与现代冰期旋回理论沟通。其原因在于,青藏高原的阶段性隆升既是北半球气候变化进入大冰期的主要驱动因素,又是大冰期中冰期气候阶段性发展的决定性因素。当前,国际、国内正把大洋、大陆和冰盖的记录以及风尘黄土作为大气的记录联系起来,通过青藏高原分阶段上升到不同高度的古气候模拟,对业已提出的事件性的构造上升驱动气候变化的假说进行更为深入的研讨^[15],试图建立当前 Milankovitch 轨道驱动理论不能解释大冰期的构造上升驱动气候变化理论。就其基本思路和内涵而言,与孙殿卿等在 20 世纪 80 年代初就提出的构造气候旋回概念及近 20 年的理论发展在实质上是-致的^[16]。

古冰川遗迹不是冰川进退的连续记录,不能像深海沉积、湖泊沉积和黄土沉积那样记录大冰期气候的连续变化过程。但是,在当今正在进行的以青藏高原阶段性隆升为主驱动大冰期气候发生事件性变化的研究中,古冰川遗迹或古冰川事件恰是各种记录中最直接的地质证据。如此,中国东部的古冰川及经典的冰期划分,与青藏高原阶段性隆升及相应的古冰川特征,以及与黄土高原黄土-古土壤序列中的特征性冰期黄土层进行联系和对比,已成为长时间尺度过去全球变化研究中不应回避的环节和内容,并有可能揭示出东亚环境变迁过程中尚未充分意识到的深层次科学问题。在中国,对长江中下游古冰川与黄土高原黄土和青藏高原隆升的耦合关系进行研究,是大冰期全球变化地质学发展的必然趋势。

鉴于上述情况,当前重提庐山古冰川研究,不再是一般意义上重复过去中国东部第四纪冰川问题的讨论,更不是关于冰川遗迹的争论,而是在第四纪大冰期地质环境演变的时空坐标中,确定其合理的时空位置及其存在的宏观和微观特征。所以,以庐山为切入点和突破口的古冰川研究,是地球系统科学发展及全面认识大冰期全球变化特征的必要举措和重要组成部分。

第三章 区域概况与地质背景

第一节 自然地理

庐山位于我国江西省北部，北近长江、东邻鄱阳湖，山体沿北东—南西延伸，长 30 km，宽 5~10 km（图 3-1，图版 I）。庐山自古命名的山岭 171 条，重要山峰 99 座；主峰为汉阳峰，海拔 1473.8 m，地理坐标为东经 115° 57'，北纬 29°30'。一般山峰和岭脊海拔 1200~1400 m，属中山地形^[17]。

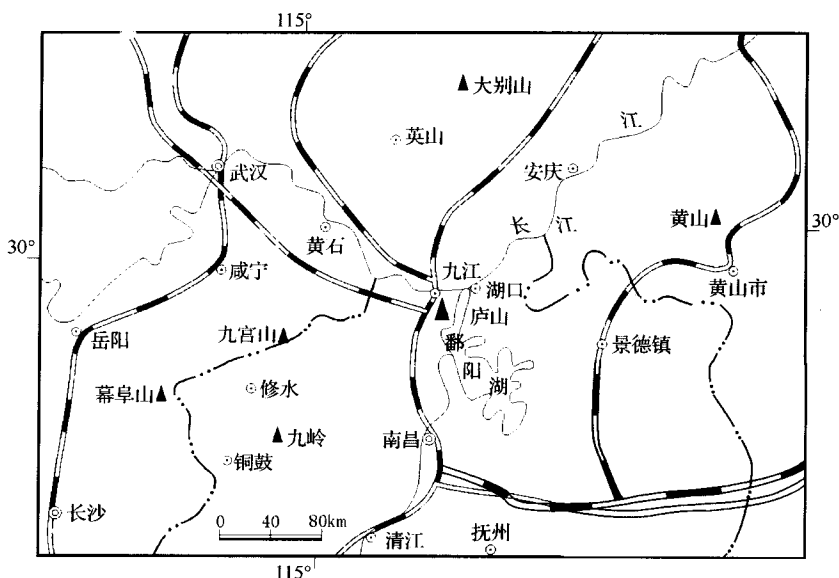


图 3-1 庐山交通位置示意图

庐山在自然区划上位于北亚热带混交林区的南缘，与中亚热带常绿阔叶林的北界接壤；庐山属中国红壤及黄壤带中的华中山地红壤、山地黄壤和山地棕色森林土区。庐山气候上位于北亚热带季风风湿气候区，季风特点突出，冬季干冷，夏季湿热，春夏季多南风，秋冬季多北北东风，风向季节变化十分明显。

第二节 地质背景

庐山为一褶皱断块中山（图版Ⅶ），位于江南台背斜与下扬子凹陷交接带，有较

强的活动性。庐山的基岩地层据时代可分为南北两部分，大致以九奇峰—仰天坪为界。北部主要为下震旦统南沱组地层，下部为块状石英岩，中部为长石石英岩、凝灰岩，上部为长石石英岩、砂砾岩。山体南部主要为前震旦系板溪群板岩、片岩和片麻岩。庐山外围的鞋山和白石嘴一带出露石炭系黄龙灰岩^①。

早在 1931 年李四光教授就确认了庐山地区为中国东部第四纪冰川发育的典型地区，1947 年《冰期之庐山》公开出版问世，一系列冰川地貌和堆积物被发现（图版 II-V、图版 VIII-XI）。1933 年李四光等开展了庐山地区 1:5 万地质调查。1955~1966 年江西区测二分队完成了瑞昌幅 1:20 万区调填图。1981~1986 年江西水文地质工程地质大队开展了庐山地区 1:20 万水文地质普查，对鄱阳湖地区第四纪地质作过专题研究。1992 年地质力学研究所完成了庐山第四纪冰期与环境的专项研究。1993 年江西调查研究大队区调一队完成了庐山幅、马回岭幅 1:5 万区域地质调查。1996 年江西地质矿产局与地质力学研究所承办了第 30 届国际地质大会会后考察路线之一“庐山第四纪冰川和鄱阳湖第四纪地质”。70 多年来，庐山及邻区第四纪地质和环境研究有了长足的进展，但是有两方面问题一直困扰着中外地质工作者，一方面庐山是否有冰川；另一方面何时形成冰川。古冰川事件是第四纪时期气候波动的最直接的地质证据，也是过去全球变化研究的重要内容。冰碛物为古气候突变的沉积记录，不同时段冰碛物直接反映了古气候恶化的阶段性特征，第四纪冰期的研究成为第四纪气候环境变化的核心研究内容。因此，庐山冰川研究的意义促使几代人在持续努力地探究着这一科学问题。

① 江苏省地质局区域地质调查大队。1:20 万瑞昌幅区域地质调查报告，1966 年。

第四章 庐山第四纪地层

庐山第四纪地层分布较为广泛，主要分布于庐山山麓的东部、西北及北部地区。庐山第四纪地层分布较为分散，地表露头地层剖面厚度较小，沉积较为单一，整个第四纪地层为粘土砾石层、亚砂土、亚粘土层的沉积序列交替出现。庐山第四纪地层的研究，主要通过地表露头和相关的钻孔获得地层层序的相关资料。研究表明，庐山第四纪地层出露比较完整的剖面，主要集中于王家坡—高垄谷地；观音桥—叶家垄谷地；莲花洞—张家山一线；九江市的甘棠湖地区；以及庐山山上的冰蚀谷谷地之中（图版Ⅲ）。庐山地区第四纪地层的沉积厚度通过地表实测及钻孔钻探证实，其累计厚度约 130 m 左右。

依据沉积结构、地球化学、生物遗迹以及年代学的研究资料等，分别将庐山第四纪地层划分为早更新世、中更新世、晚更新世及全新世地层，以下分别将各个时期的地层发育较为完整的剖面介绍如下。

第一节 早更新世地层

早更新世地层在地表主要出露点位于庐山山麓东南的大排岭，为一套泥砾层；另外在星子县叶家垄 ZK503 钻孔，九江市 ZK21-4 钻孔中见有大排—鄱阳间冰期沉积层，鄱阳冰期的冰水沉积层，以及鄱阳—大姑间冰期沉积层。在庐山其他区域均未发现早更新世地层，下面从老到新将早更新世地层描述如下。

一、大排岭剖面

该剖面出露于庐山东南侧大排岭上，其堆积厚度 12.50 m；它是由大小不同的岩块及砾石、砂质粘土所组成（图 4-1，图版Ⅺ）。砾石和岩块大小混杂，无分选，呈深棕红色。可见最大砾径约 7.23 m，一般砾块均在 0.5 ~ 1 m 之间；砾石多呈棱角状及次棱角状，砾石风化较深，砾石风化圈一般也有 1 ~ 2 cm；其主要岩石成分为片麻状含砾石英砂岩、长石石英砂岩、石英岩、凝灰岩及石英片岩等。该层覆盖在花岗片麻岩状混合岩、花岗伟晶岩的风化壳之上。此冰碛层可分为上、下两个部分。上部厚约 2 m，砾石普遍较小，有粗的层理结构，夹有砂砾透镜体，有较为明显被流水冲刷的痕迹，色调为棕红色，色调比下部砾石层更深，与下覆砾石层没有明显的沉积间断，呈渐变关系。下部泥砾层，层理不清，砾径相对普遍较大，粘土质胶结，无分选。据庐山地区磁性地层分析及其相应的地层层序关系，大排岭泥砾层年龄应在 2.50 ~ 3.00 Ma。庐山早更新世地层的底界年龄亦在 3 Ma 左右。

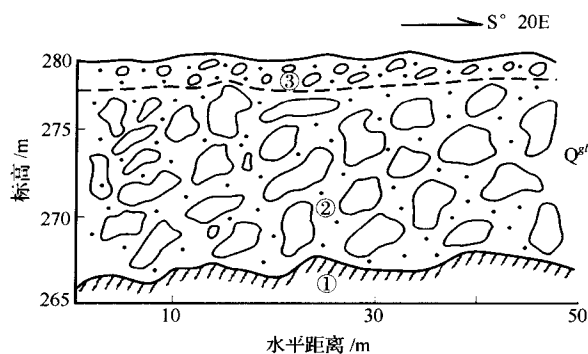


图 4-1 庐山大排岭第四系剖面
①基岩（花岗岩麻岩）；②棕红色砂砾层（冰碛）；③棕红色带粗层理砂砾石层

二、大排-鄱阳间冰期地层

这套地层在庐山地区地表均未出露，仅通过钻孔揭示。在庐山星子县叶家垄钻孔中有所发现，厚度约有 20.5 m。它由一套棕褐色、棕黄色粘土夹砾石组成，可细分为两个部分，底部由灰白色棕褐色粘土夹砾石组成，砾石砾径一般在 1~2 cm，砾石含量为 10%~15%，最大砾径为 8 cm。砾石成分以石英砂岩、石英岩及硅质岩为主，砾石的磨圆度为次圆，形状多

以扁平状、球状为主。上部为棕黄色、黄色、棕红色粘土夹砾石，砾石砾径较小，一般均在 2 cm 以下，大的砾径在 6~8 cm。砾石的形状、磨圆度及砾石成分大致与底部相似。局部有明显的纹层构造，此层段在古地磁年表的松山负极性世底界与奥尔都维事件底界之间，约在距今 1.80~2.48 Ma。此层为一套河湖-冲积相沉积，此段孢粉含量较少，主要孢粉化石有禾本科、蒿，其次为栎、藜、榆等。

三、鄱阳期沉积地层

此段沉积地层，在本区主要发现于庐山星子县叶家垄钻孔（ZK503）和九江市锁江楼钻孔（ZK21-4）之中。在叶家垄（ZK503）钻孔中地层厚约 13.76 m，由褐黄色、浅褐色粘土夹砾石所组成，砾石多为棱角状、次棱角状，砾径一般在 2~5 cm，最大砾径约为 20 cm；砾石的主要成分为石英岩、石英砂岩。局部地段有明显的纹层结构。孢粉化石较少，主要有松、禾本科、藜及柳等。本段位于古地磁年表的松山负极性世的奥尔都维事件，距今 1.60~1.80 Ma 之间。

九江市锁江楼钻孔（ZK21-4）中也见相同时代的沉积地层。该层厚约 9.62 m，此层段为棕黄色、灰白色砂砾石层，其中夹有厚层粘土砾石层。砾石大小较为均一，一般砾径约 1~5 cm，最大的砾径约 10 cm，砾石多呈扁平状，磨圆较好。砾石主要成分为石英岩、硅质岩及石英等。此层段位于古地磁年表的松山负极性世的奥尔都维事件，大约距今 1.60~1.80 Ma。本层未发现孢粉化石。

通过对此层段岩相、地球化学、重矿物和粘土矿物等研究，同时对磁性地层、孢粉组合、石英颗粒的电子扫描以及气候环境的分析研究后，确认本层段为庐山地区另一寒冷期的冰水沉积相堆积物。

四、鄱阳-大姑间冰期地层

这段地层在庐山地表没有发现，它在庐山的星子县叶家垄钻孔（ZK503）和九江市锁江楼钻孔（ZK21-4）中段被揭示。在星子县 ZK503 孔深 6.76~28.6 m 处，其厚

度约为 19.04 m。它由一套粉红色、棕黄色、棕红色粘质砂土夹细砾所组成。砾石多呈扁平状,砾石大小一般在 5~10 cm,最大砾径约 50 cm。砾石主要成分为石英砂岩、石英岩。砾石磨圆较好,为一套冲积-河流相沉积。少量孢粉化石为禾本科,松、柳、栎及藜科等。据古地磁测定,它位于古地磁年表中松山负极性的奥尔都维事件的上界,大约距今 1.10~1.60 Ma。在九江市锁江楼钻孔(2K24-1)中也有相当的层位出露,在孔深 48.60~56.20 m,厚为 7.60 m;该层为浅灰色、浅棕黄色、肉红色砂砾石层。该层由细砂、粉砂及粘土夹细砾石的互层组成;在其顶部约 20 cm 处色调变深呈棕红色。砾石砾径均较小,仅有 0.2~0.4 cm,砾石分选较好,磨圆度较高,具有典型的流水沉积特征。本层未发现孢粉化石。据占地磁测试资料,它大致处在古地磁年表中的松山负极性世贾拉米诺事件与奥尔都维事件之间,大约距今 1.10~1.60 Ma。

据地层的层序关系、岩相、地球化学、矿物组合、磁性地层学等多项研究结果,该层应为另一间冰期的冲积-河流相沉积地层。

第二节 中更新世地层

中更新世时期的地层,在庐山分布面积最为广泛,它除了庐山的南麓地区外,在庐山山麓的东、西、北三个方位上均有分布,一直到达鄱阳湖畔、长江岸边。我们选择以下几个较为典型的剖面叙述如下。

一、庐山星子县叶家垄中更新统剖面

叶家垄剖面位于庐山东侧的星子县城北约 1 km 处。它由一套棕红色粘土夹砾石和棕红色、棕黄色条带、白色条带相间的砂质粘土互层所组成,厚约 33.40 m,不整合覆盖在白垩系红褐色砂岩及砂砾岩之上(图 4-2)。剖面可分为 8 个层段,自下往上各层段的特征如下。

第一层段。它由棕红色、浅褐黄色带白色蠕虫状条纹的粘土砾石层组成,厚为 7.6 m,砾石层中夹黄色、灰色砂层及砂质透镜体。砾石大小混杂,无定向排列,分选极差;砾石多呈次棱角状,次圆状;砾石大小悬殊,大者砾石砾径可达 1~1.5 m,小者砾石砾径在 30~50 cm;岩石的主要成分为石英岩、长石石英砂岩、片麻状含砾石英砂岩。此层段含有松、藜科、蒿及禾本科等孢粉化石。据磁性地层学的研究,此层段位于古地磁年表的松山负极性世的贾拉米诺事件,大约距今 0.90~1.10 Ma。

第二层段。此层段由深棕红色带有白色条带的亚砂土及亚粘土所组成。它不整合覆于第一层段之上,厚为 3.60 m。亚砂土和亚粘土中的白色条带的斑纹形如网状,白色条带均由高岭土所组成,网纹一般长约 3~7 cm,宽约 1~1.5 cm,最宽的可达 3~5 cm,长可达 2 m 以上。其白色条带在层中的分布没有明显的规律可循。

第三层段。由棕红色带有白色条带的网纹砂质粘土所组成,与第二层段呈假整合接触,厚约 1.60 m。在该层底界交界处见有 0.5 mm 厚的棕红色铁盘。在层段的下部

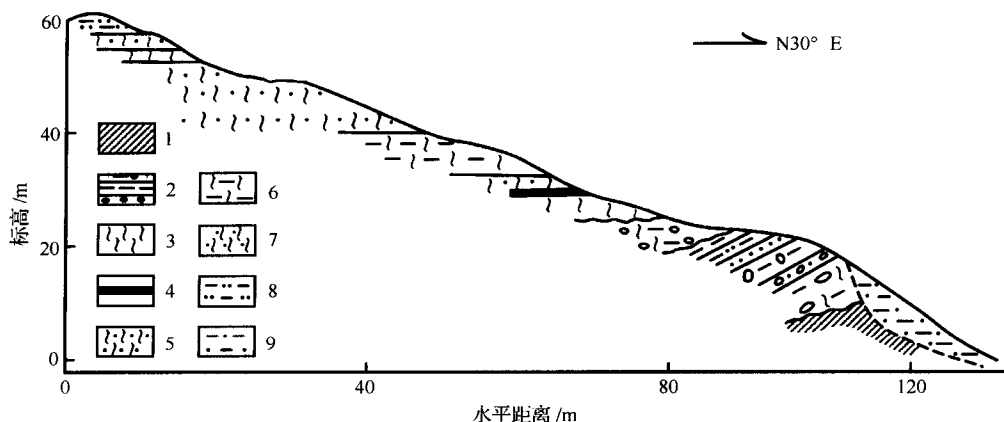


图 4-2 庐山星子县叶家垄剖面

1—基岩；2—棕红色网纹红土砾石层夹砂，粘土层；3—棕红色带网纹砂质粘土；4—棕红色铁皮层；5—棕红色砂粘网纹土层，含铁、锰结核；6—褐黄色砂质粘土网纹土层；7—褐黄色砂质粘土，含铁锰结核网纹土层；8—黄褐色亚砂土含铁锰斑纹；9—褐黄色亚粘土层

可以见到很多被溶蚀的孔洞及铁锰质灰黑色斑纹。

第四层段。此层段为红黄褐色带有白色条带的亚砂土网纹层，厚约 3.6 m。白色条带网纹由高岭土所组成，一般长约 2~3 cm，宽约 0.2~0.5 cm；个别长约 5~10 cm，宽 0.5~1 cm，它的分布无一定的规律。

第五层段。此层段为深棕红色含白色条带的网纹砂质粘土，层厚约 11 m。此层含有丰富的铁锰质结核，结核多为球状，一般直径在 2~3 mm 之间，较大的结核直径可达 5mm。在该层的下部可见被溶蚀的小孔，孔径较大的可以达数厘米，一般孔径约几毫米。它与下伏地层为逐渐过渡的整合接触关系。

第六层段。为浅棕红色带白色条带的网纹砂质粘土层，白色斑纹的色调明显与前述层段有所差异，色调变浅，条带轮廓显得不太明显，其白色条带的大小与前述各层段差别不大，厚约 1 m，与下伏层段为整合接触。

第七层段。此层段为黄褐色带有白色条带的网纹土层。白色条带由高岭土组成，白色条带斑纹普遍比上述层段要细小很多，一般长 2~3 cm，宽仅有 0.2~0.5 cm。土层质地较为疏松，含有少量铁锰质结核，结核直径一般在 1~3 mm 之间，呈零星分布，在局部地段可见到铁锰质的斑纹。此层段厚约 2.00 m。

第八层段。此层段为本剖面的最上面的一层，厚约 1 m。它由褐黄色亚砂土、亚粘土所组成，质地均一，胶结较硬，带有较多的铁锰斑状细纹。它与第七层段为不整合接触关系。

依据地层对比、地层接触关系以及磁性地层学的研究结果来看：本剖面的第一层段到第七层段为中更新世地层，它的沉积时间大致在距今 1.10~0.4 Ma；第八层段为晚更新世地层，距今约 0.4~0.20 Ma。