

[英] Roger G. Barry



山地天气和气候

气象出版社

山地天气和气候

罗杰 G. 巴里著

安顺清 王长根译

盛芝义校

气象出版社

内 容 简 介

本书着重阐述了一些地理因子如纬度、高度和地形对气候诸要素和天气系统的影响，讲述了山地天气气候的一些基本特征，并列举了世界不同纬度带的七个山地气候研究实例，还阐述了山地生物气候和山地气候变化的一些问题。可供天气气候、农业气象、林业气象、地理、农业、林业、水文等专业工作者及有关专业的教师和学生参考。

Roger G. Barry

MOUNTAIN WEATHER AND CLIMATE

Printed in the United States of America 1981

山地天气和气候

罗杰 G. 巴里著

安顺清 王长根译

盛芝义校

责任编辑 殷 钰

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路48号)

香河县埝口印刷厂印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 印张：10.25 字数：228千字

1988年6月第一版

1988年6月第一次印刷

印数1—1500

定价：3.60元

ISBN 7-5029-0140-X/P·0097

译 者 的 话

山地丘陵有丰富多彩的自然资源，它对人类的重要性将日益显露出来。

山区有广阔的森林供人们采伐，并能调节气候，储藏水源；有丰富的矿藏供人们开发利用；有各种各样的生物繁衍生息；有“天然水库”供人们生产、生活；有壮丽的风光和清新的空气为旅游者和疗养者所喜爱；有险峻的山峰和天然的雪场吸引着大批登山爱好者和滑雪爱好者；有垂直的气候带是发展立体农业和多种经营的良好基地……。这一切表明山地已成为人类的一笔宝贵财富，待人们保护、开发和利用。

要很好利用山区的自然资源，首先要充分了解它。山区地形复杂，天气多变，气候多样，与人类活动关系密切。正是因为如此，山地的天气和气候很久就引起人们的注意，并进行了不同目的、不同规模、不同方式的气候考察活动。但是，由于山地环境的复杂性和观测的艰巨性，使得山地气象研究工作在过去的相当长的时期内进展缓慢。今天，随着科学技术的发展，许多先进的技术装备，如卫星、雷达、飞机和无人气象站等成为获取山区气象资料的有力工具。再加之人们生产和生活对山区的需要日益迫切，因此山地气象考察和研究工作发展迅速。山地较多的一些发达国家，利用先进的仪器进行有计划有系统的山地气候观测，如欧洲的阿尔卑斯山和美国的落基山。在德国、苏联和日本等国家也很重视山区气候的研究工作，特别是对山地的农业气候资源研究更为重视，并形成了一门新兴的农业地形学。我国山地丘陵占总面积的三分之二，它对于我国的经济有着极为重要的作用，因此从本世纪五十年代起就开始进

行了许多考察工作，其目的也多种多样，有的是为山区工厂污染物质的排放而进行的短期考察，有的是为农业气候资源合理利用而进行的较长时间的定点观测，有的是为旅游服务的山地气象考察等。在全国一些主要山地基本上都开展了气象观测、调查工作，取得了大量的资料，发表了不少论文，写成了许多气候专著，并召开了全国山地气象学术讨论会，这一切显示出我国山地气候研究工作的实力和成绩，并为今后山地气候的进一步研究奠定了良好的基础。

正当我国山地气候研究工作蓬勃开展的时候，我们翻译了此书，以便供研究者参考。该书是由罗杰 G. 巴里编著的，他进行过极地的气象研究，也从事过山地气象研究，该书是根据他本人的研究成果并收集世界上大量山地气象研究的文献而写出来的。它为我们提供了世界上山地气象研究的进展情况和山地天气气候的一些基本特征及其应用方面的知识，可以开阔我们的眼界。但是本书也有其不足之处，一是某些山区站点少，所分析的结果难以完全反映客观情况，二是本书没有涉及利用先进技术进行观测的研究结果。因此，降低了其参考价值。

本书第 1—3 章由安顺清译，第 4—7 章由王长根译。我们请了南京气象学院盛芝义同志帮助校对。由于我们水平有限，书中难免有错误和缺点，欢迎读者批评指正。

最后，本书的参考文献是分章节给出的，由于印制不便，在译文中没有给出。

序 言

虽然山地天气和气候研究将近一个世纪，但在以往出版的这类书中，没有一本是对其进行全面阐述的。早期笔者在英国和北美曾有过一阵从事山地测候工作的热情。以后，这种热情就锐减了。高山气象研究也就转移到欧洲阿尔卑斯山脉各国去了。因此，大量的气象文献对于大多数使用英语的科学家来说实际上是陌生的。W.M.戴维斯 1887年写山地气象学一书时，还曾引用过 Julius Hann 用德文发表的当时最新成果，但是在今天操英语的国家中，几乎没有多少研究者能有这种语言能力了。

我对山地环境的兴趣可追溯到童年在英国北部的彭奈恩山区和以后在斯诺登尼 (Snowdonia) 及 (西北部) 大湖区的徒步旅行。但我对这个课题真正感兴趣是在 1968 年进入科罗拉多大学附属的北极和阿尔卑斯山研究所之后。当时研究所领导的弗兰特山区的几个观测站都保存有完好的气候记录，但对这些资料几乎没有从气象角度去研究。虽然我的主要精力集中在研究北极气候及气候的变化上，但我也逐渐形成献身于探索山地气候的雄心。我在 1975 年所作的工作对我鼓舞很大。那时，我曾有幸在巴布亚新几内亚的威廉山 (Wilhelm) 工作过两个星期；尔后，又对曾组织调查过新几内亚山地气候的澳大利亚国立大学生物地理和地貌学系作了较长时间的参观访问。

在北美，对山地气候的兴趣曾经集中在气流特征这些理论问题上，但近来又对山地云的人工降雨发生了兴趣。在这方面可列举的国外文献是比较多的。在本书中，我又打算进行理论

上的阐述，因为就许多论题来说，这种论述可能还是相当不成熟的。相反，我则试图为气候专业课程提供一本适用的教材，同时也试图为从事某些学科〔如植物学、森林学（林学）、冰川学和水文学〕而对山地有关现象感兴趣的专家们提供一本参考材料。本书首先讨论影响气象要素的纬度、高度和地形诸因子，然后讨论与山岳地形有关的大气环流。第三章讨论不仅受上述基本支配因子影响，而且还受环流系统影响的气候特征，即讨论其它一些错综复杂的相互作用。在第五章中提供了经过选择的可代表不同纬度带的山地气候研究的实例。第六章是生物气候专题。最后则对山地气候变化进行了扼要的讨论。

我能完成这本著作是由于诸友的襄助。我要特别感谢我的同事 Jack Ives 博士（在我写书期间他一直任 INSTAAR 主任），他是我这项工作自始至终的导师，是最早使我对这个课题感兴趣的人；感谢 A. Brazell, R. F. Grover, J. Hay, M. Marcus 和 U. Radok 博士对本书中有关章节给予的有益批评和建议；感谢许多朋友和同事向我提供了他们曾经发表过的著作；感谢在维也纳的 F. Lauscher 博士和在因斯布鲁克（奥地利）的 F. Fliri 博士；感谢 Marilyn Joel 为本书作了许多图表，感谢 Nancy Hensal 和 John Adams 在本书最后阶段所给予的帮助；感谢 Laura Koch 和 Margaret Strauch 所承担的部分打字任务及 Mcthuen 出版社的 Janice Price 和 Mary Ann Kernan 的细心审校工作。不难理解，如果没有我的家庭的支持和理解，这项工作仍然只不过是那个设想罢了。在此，我仅向他们——Valerie, Rachel 和 Christina 奉献上这本书。

罗杰 G. 巴里

1980 年 8 月于博尔德科罗拉多大学

目 录

序 言

| | |
|--------------------|------|
| 第一章 山地及其气候研究 | (1) |
| 1.1 前言 | (1) |
| 1.2 山地特征 | (2) |
| 1.3 山地天气和气候研究史 | (5) |
| 1.4 山地天气及气候的研究 | (13) |
| 第二章 影响山区气象要素的地理因子 | (17) |
| 2.1 纬度 | (17) |
| 2.2 高度 | (22) |
| 2.2.1 气压和空气密度 | (22) |
| 2.2.2 水汽压 | (24) |
| 2.2.3 太阳辐射 | (27) |
| 2.2.4 红外辐射 | (41) |
| 2.2.5 净辐射 | (43) |
| 2.2.6 温度 | (45) |
| 2.2.7 风 | (59) |
| 2.3 地形 | (63) |
| 2.3.1 山脉各向尺度的作用 | (63) |
| 2.3.2 地势起伏的作用 | (67) |
| 2.3.3 坡度和方位 | (71) |
| 2.3.4 地形气候和小气候 | (80) |
| 第三章 山岳地形对环流系统的影响 | (96) |
| 3.1 动力学影响 | (96) |
| 3.1.1 山脉对行星尺度系统的影响 | (96) |

| | | |
|-------|---------------------|-------|
| 3.1.2 | 山脉对天气学尺度系统的影响 | (98) |
| 3.1.3 | 山脉对局地气流的影响 | (108) |
| 3.1.4 | 下降风 | (125) |
| 3.2 | 热力引起的风 | (139) |
| 3.2.1 | 山坡风 | (139) |
| 3.2.2 | 山风和谷风 | (147) |
| 3.2.3 | 区域性尺度系统的相互作用 | (157) |
| 3.3 | 山地风场模式 | (161) |
| 第四章 | 山地气候特征 | (165) |
| 4.1 | 能量收支 | (165) |
| 4.2 | 温度 | (174) |
| 4.2.1 | 坡面上温度廓线 | (174) |
| 4.2.2 | 暖带 | (179) |
| 4.3 | 云量 | (181) |
| 4.4 | 降水 | (187) |
| 4.4.1 | 降水过程 | (187) |
| 4.4.2 | 降水随高度变化的特征 | (193) |
| 4.4.3 | 影响降水的地形分量的计算 | (198) |
| 4.4.4 | 降雪和雪被 | (200) |
| 4.4.5 | 地形降水的理论模式 | (204) |
| 4.4.6 | 观测问题 | (212) |
| 4.5 | 其它水汽凝结物 | (219) |
| 4.5.1 | 雾 | (219) |
| 4.5.2 | 雾滴 | (221) |
| 4.5.3 | 雾松 | (224) |
| 4.5.4 | 水平面上的凝结物 | (226) |
| 4.5.5 | 高吹雪和低吹雪 | (227) |

| | | |
|-------|----------------------------------|-------|
| 4.6 | 蒸发 | (232) |
| 4.6.1 | 蒸发过程及其计算方法 | (232) |
| 4.6.2 | 蒸发及水分平衡 | (238) |
| 第五章 | 实例分析 | (246) |
| 5.1 | 赤道新几内亚山脉 | (246) |
| 5.2 | 喜马拉雅山 | (249) |
| 5.3 | 副热带沙漠山地——阿哈加山脉 | (257) |
| 5.4 | 科罗拉多州的落基山 | (261) |
| 5.5 | 阿尔卑斯山 | (267) |
| 5.6 | 大不列颠沿海山地 | (277) |
| 5.7 | 副极地圣埃利亚斯山脉—阿拉斯加山脉 和育空山脉 | (283) |
| 第六章 | 山地生物气候学 | (289) |
| 6.1 | 人体生物气候学 | (289) |
| 6.1.1 | 生理因子和生理反应 | (289) |
| 6.1.2 | 服装 | (296) |
| 6.1.3 | 适应性 | (297) |
| 6.2 | 危险天气 | (300) |
| 6.2.1 | 闪电 | (301) |
| 6.2.2 | 雪崩 | (303) |
| 6.3 | 谷地空气污染 | (306) |
| 第七章 | 山地气候变化 | (312) |
| 7.1 | 证据 | (312) |
| 7.2 | 意义 | (317) |

第一章 山地及其气候研究

1.1 前 言

山地环境总是令人敬畏的。希腊人相信奥林波斯山是神祇的仙乡。挪威人认为尤通黑门 (Jötunheim) 山是北欧巨人，即冰神的仙居，而西藏人则奉珠穆朗玛峰为“雪神”。人们曾把神和许多巍峨的山峰联想在一起。在日本，人们把 Sengen Sama 神和富士山 (3778 米) 相联系；而在西藏人们则把 Civa-Parvati 神和凯拉斯 (Kailas) 峰 (6713 米) 联系起来。但有时人们又把山地视为妖魔，如在瑞士威莱斯 (Valais) 山区就有魔山鬼谷的地名。这两种情况或许是人们对不同时间在山区环境中所遇到的宁静气氛和可怖景象两种截然不同的情景的反映。山地的气候特征，特别是与山地环境有关的云状，其名称繁多，而且还有许多方言叫法。毛利人的祖先一看到遥远的新西兰山脉时，就把它称之为“飘渺的白云”。南非的台桌山由于它的山头经常覆盖着一片“桌布”似的白云而闻名于世。与山地有关的风也被人赋予专门的名称。到现在还广泛应用的有焚风、钦诺克风和布拉风以及其它一些只在当地还在使用的名称。

今天，景色壮丽的山区已成为重要的旅游区和疗养地。山区也是居民用水和水力发电的重要集水区。山地往往是主要的林木储存区。有的山区还蕴藏着有价值的矿物控源。山地的天气往往是狂暴的，即使在夏季，也常常使那些疏忽大意的游人

遭受意外。在高山区，高山反应还可引起严重的生理不适。尽管山地在这些方面具有重要意义，而且它又占地球陆地的20%，但是人们对大多数山区的天气状况却几乎一无所知。这是因为山区气象站分布稀疏，并且站址设置在交通方便的地方，或者也选在山谷里，而不是选在可以获得有代表性资料的地方所造成的。

过去经常进行山区气候研究的是关心山区独特生态问题的生物学家，或者是对雪水流量感兴趣的水文学家，而不是气象学家。因此，大量确实存在的山地气象资料往往是广泛地散布在这些学科的科学文献中，并且也往往是只有在讨论特定的局地问题的段落中才可以见到。本书的目的在于把我们现有的关于山地天气和气候知识的重要部分汇集在一起。本书第一部分讨论气候现象和天气现象的基本控制因子，第二部分讨论山区气候学和气象学的特殊应用。通过阐述普通气候学的原理，也可为观测资料稀疏的山区可能会出现的各种气象状况进行估计提供依据。

1.2 山地特征

山区的定义不可避免地带有自然的性质。通常对山地和丘陵并不进行定性的、更不进行定量的区分。在北美，一般的定义是把 600 米或 600 米以上的局地隆起地形称之为山地，而低于这个高度的称为丘陵 (Thompson, 1964)。这样高度的山脉足可使气候要素和植被分布在垂直方向上发生差异。Finch 和 Trewartha (1949) 提出，可把 1800 米的隆起高度作为判断“锯齿山脊型”山地的标准。为了使定义山地有一个合理的依据，Troll(1973) 提出参考独特的景观特征来定义高山区。

最重要的景观特征是树线上限和更新世时期的雪线（这个时期产生明显的冰川地形）和冰川边缘消长的下限等。显然，其中每一个特征都是与过去和现在的气候影响有关，也与地面和近地面的微气候状况有关。

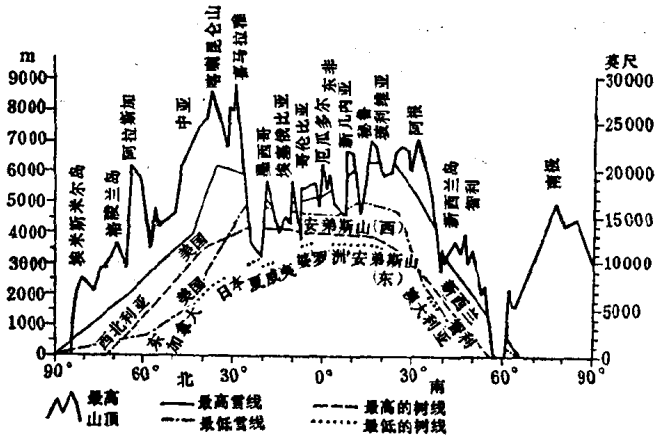


图 1.1 最高山峰、最高和最低雪线、最高和最低树线上限的经向剖面图（摘自 Barry 和 Ives, 1974）

根据 Troll 关于高山区的判据，在斯堪的那维亚北部高山地带的雪线高度下限为海拔数百米，在中欧为 1600—1700 米，在 40°N 的落基山区为 3300 米左右，而在南美的赤道山脉为 4500 米（图 1.1）。在株木无存的干旱的中亚地区，雪线上升到 5500 米以上，因而留下可作判据的仅仅是那里的地形隆凸。

Troll 方法是根据德国学者关于高山（如阿尔卑斯山和塔特山）与高度较低且山势平缓的山脉（包括莱孙格必格 (Riesengebirge) 山和孚日山脉在内的米特尔戈皮格 (Mittel-

gebirge)山脉)的区分标准而得出的。从气候学的观点来看这并不完全恰当。虽然高山地区生态分布的界限的确定是随纬度而异的,但正是由于海拔高度的影响才导致山区气候具有许多独特的特征的。

本书着重讨论的是由高度引起的高山影响。不过,鉴于中等高度的地形障碍引起的气流改向可导致高地和低地之间气候的重大差异,所以这种高度的影响也加以讨论了。

最近 Louis (1975) 对山地所占的陆地面积重新进行了计算,他所计算的山地和高原面积列于表 1.1 中。

表 1.1 地球上的山地和高原面积

| | 山 地 | 高原(10°公里²) | 山地/陆地(%)** |
|-------------|-----|------------|------------|
| 3000米* | 6 | | 4.0 |
| 2000—3000 米 | 4 | 6 | 2.7 |
| 1000—2000 米 | 5 | 19 | 3.4 |
| 0—1000 米 | 15 | 92 | 10.1 |
| 总计 | 30 | 117 | 20.2 |

- 整个陆地海拔高于 3000 米
- 陆地总面积约为一亿四千九百万平方公里。约占二百万平方公里的海岛面积未包括在所列举的面积之内。

图 1.2 给出了世界上主要山脉、高原及其气候带的位置。经向延伸较长的山脉是南、北美洲西部的连绵山脉,东西向延伸较长的山脉是喜马拉雅山及其毗邻的中亚细亚山脉。还应该提一下西藏 3000 米以上辽阔高原以及更大的格陵兰岛及南极洲的冰雪高原。所有这些山脉和高原对于大气环流各种尺度的天气和气候现象都具有重要意义。相反,东非和其它地方的一些主

要的但孤立的火山山峰却只能对局地天气和气候产生独特的影响。

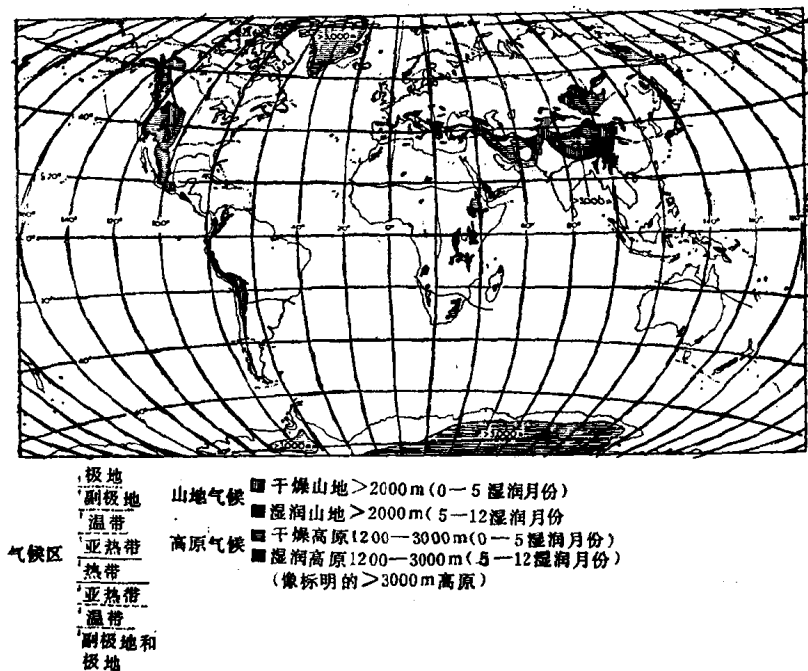


图 1.2 高山和高原地区及其气候特征 (摘自 N. Creutzberg, 1966, 收于 Blüthgen 一书。Ives 和 Barry, 1974)

1.3 山地天气和气候研究史

人们对山区天气状况缜密的科学研究直到19世纪中叶才开始。不过,人们对气象要素随高度变化的认识却要比这早得多。Florin Périer 于 1648 年 9 月应他的表兄 Blaise Pascal 的

请求，使用一个简单的托里拆利水银气压表在法国的多姆山（Puy de Dôme）山顶和山麓进行实验证实了高度对气压的影响。1787年8月，H.B.de Saussure（他也是一个登山爱好者）在攀登勃朗峰期间，使用他研制出来的毛发湿度表进行了相对湿度的测定。1788年7月他又和他的儿子在勃朗峰附近的盖昂特（Col du Géant）（3360米）山上坚持每隔2小时一次的观测，并在沙莫尼山谷（Chamonix）（1050米）和日内瓦（Geneva）（375米）进行了对比观测。由于这些资料，他才得以研究气温递减率及其日变化，且所得的估计值与一个世纪后的Julius Von Hann取得的很接近。他的著作讨论了18世纪关于山区低温成因的理论。与同时代的大多数数理学家相比，他的理论更接近现代的观点（Barry，1978）。De Saussure也曾尝试测定蒸发和观察天空颜色随高度的变化；同时，他还被其它许多山区天气现象和人的高山反应现象所强烈吸引。可以说，他才有资格被认为是世界上“第一个山区气象学家”。

在19世纪五十年代开始系统地进行高山地区的气象观测，不过这种观测经常与天文学研究联系在一起。如在加那利岛上的特内里费（Tenerife）山峰进行的观测就是如此（Smyth，1859）。在美国，最早的大范围的观测是于1853—1859年夏季在新罕布什尔州的华盛顿山（1915米）所进行的（见Stone，1934）。此后不久，美国通信勤务局1870年在华盛顿山，1874年在科罗拉多的派克（Pike）峰（4311米）相继建立了气象台。（Rotch，1892）。1873年夏季在北卡罗莱纳州的米歇尔（Michell）山（1046米）也进行了气象观测（Howgate和Sackett，1873）。1879年在罗马召开的第二届国际气象会议采纳了J.von Hann的建议，随后在欧洲也取得了类似的进展。在一些主要的欧洲国家，特别是在阿尔卑斯山区建立了观

象台 (Rotch, 1886; Roschkott, 1934)。而阿尔卑斯山中的许多观象台现在仍在工作着。表 1.2 给出了主要观象台或观测站的地理位置及其工作情况

在美国, 早期曾对天气资料有过一阵兴趣的。此后, 几个难题的出现使得他们对继续维持山区观象台的兴趣衰减了 (Stone, 1934)。从技术方面来讲, 在山区维护电报线路很困难。不过那时的天气图分析, 几乎只根据地面观测资料进行。因此, 也就没有充足理由在天气图分析中应用高山气象资料。结果美国气象局于十九世纪九十年代终止了华盛顿峰和派克峰的气象观测。而在苏格兰的本尼维斯山观测站由于经费缺乏在 1904 年也遭到了同样的命运 (Paton, 1954)。到三十年代, 当时现代高空气象台站首次开始建立。这时与高空大气研究有关的高山观象台的价值才重新为人们所认识 (Bjerknes 等, 1934)。比如, 科罗拉多州的埃文斯 (E.Vans) 山曾被用作测定臭氧和测定紫外辐射量值的场所 (Stair 和 Hand, 1939)。山区台站可在任何天气条件下进行工作, 且能一天 24 小时收集资料。而探空站却只能每天进行两次观测, 可能还要受到天气条件的限制。由于出于这一考虑, 华盛顿山观象台才在国际极地年期间重新恢复, 且它现在仍在工作 (Smith, 1964)。近年来唯一的重大进展是在冒纳罗亚 (Mauna Loa) 山建立了观象台 (Price 和 Pales, 1963), 这个台的重要意义是在于它是测定太阳辐射和大气成分的基准监测站。德国的祖格斯皮兹 (Zugspitze) 观象台一直作为研究气溶胶、大气电和大气中辐射状况的基地 (Reiter, 1964), 而瑞士的魏斯弗路约奇 (Weissfluhjoch) 观象台则是研究降雪的机构所在 (Winterberichte, 1950)。

在世界其它地区, 山地天气资料主要通过象在喜马拉雅山