

潘守文 编

小气候考察的 理论基础 及其应用



高等教育出版社

小气候考察的理论基础 及其应用

潘守文 编著

气象出版社

内 容 简 介

本书较全面和系统地阐述了小气候考察的理论基础、近地层能量平衡方程中各物理量的计算方法、仪器探测方法、小气候考察全过程和观测资料及其误差的数学处理等。对近年来采用的具有八十年代先进水平的各类测试仪器，如日射和大气辐射表、分光辐射表、紫外辐射表、净辐射表、风速梯度观测装置、土壤热流板、薄膜电容湿度计、电测温度表和微机遥控探测系统等也都作了较充分的介绍。

本书可作为气候、气象、农林牧、自然地理、水文、城市规划、环境保护等专业的教学参考书；也可作为综合考察队、农业气象站、大气监测站、水文站、气象气候台站、日射台站、城乡建设环境保护部门以及农田防护林营造和管理部門中科技工作者的参考书。

小气候考察的理论基础及其应用

潘守文 编著

责任编辑：曾令慧

气象出版社 出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京邮电学院印刷厂印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32 印张：13.25 字数：328千字

1989年11月第一版 1989年11月第一次印刷

印数：1—1000 定价：2.35元

ISBN 7-5029-0261-9/P·0157(课)

前 言

由于地理环境的复杂多变，即使在相同的气候条件下，也会出现各式各样的小气候差异。小气候现象的存在及其对人类活动与生态环境的影响，是重要的环境因子之一。人类的生产和生活活动可能自觉地或不自觉地改变周围环境的小气候，但是人的主观能动作用却可以使之朝着有利于自身的方向发展。正如恩格斯所说：“只有人才能在自然界上面打上自己的印记，因为他们不但变更了动植物的位置，而且也改变了它们居住地方的面貌和气候”（《自然辩证法》，第15页，人民出版社，1957）。大型水库的建设、防护林带的营造、灌溉设施、城市规划与布局、山区开发、山地气候资源的利用、人工改造小气候的实施等，都有可能引起气候环境的有利的或不利的变化，这就需要利用小气候考察方法进行研究和评价。诚然，小气候模拟、人工气候室和物理实验法可以提供各类小气候变化的数量指标和定性特征，却不能复制出在自然条件下可能出现的各种各样的小气候现象和小气候过程，因此小气候考察方法在目前仍然是从事小气候研究的主要手段之一。本书试图从小气候考察的理论基础、研究方法及其在国民经济建设中的应用等方面进行较全面地和系统地阐述，希望能对小气候研究工作的开展及其应用有所帮助。作者根据多年来的教学与研究以及野外考察的实践写成本书，其内容主要围绕野外小气候考察工作展开讨论，至于将考察资料进行序列延长和无资料地区的推算问题不属本书范围，如有需要可参考书末所附有关文献。书中计量单位采用我国法定单位制，为了便于与已有的工作进行比较，附录中给出有关的单位换算。

全书共有十二章。第一章介绍小气候考察的基本内容和必要

的知识；第二至第六章作为小气候考察的理论基础，着重阐明下垫面辐射平衡、热量平衡和水分平衡的物理意义及其在小气候形成中的作用，以及能量平衡各分量的计算方法；第七至第九章介绍小气候考察的测量仪器和观测方法，对近年来所采用的具有八十年代先进水平的测试手段也作了介绍；第十至第十二章介绍小气候观测资料的数据处理问题、观测程序和各种类型小气候的考察方法；附录中给出小气候计算所必备的数据，书末所附参考文献，不仅是本书写作过程中的主要参考内容，而且也可为我们作进一步的深入研究提供帮助。

为了便于掌握和理解小气候考察的原理并能在实际工作中推广应用，书中还按照小气候考察的类别给出不少实例。

承蒙南京大学大气科学系金一铎为本书提供有关自制热电偶测温装置，唐怡峰提供有关微机遥控探测系统的资料和说明；曹彩珠承担书中有关内容的程序设计并完成全部计算工作。在此谨一并表示衷心的感谢。

由于作者水平所限，恐错误缺点在所难免，热诚欢迎批评指正。

——编著者

目 录

前 言

第一章 小气候考察.....	(1)
§1.1 小气候考察的意义.....	(1)
§1.2 小气候考察的基本方法.....	(4)
§1.3 测点分类与选点原则.....	(7)
§1.4 测点描述.....	(13)
§1.5 观测时制.....	(21)
§1.6 小气候观测的若干规则.....	(23)
第二章 下垫面能量平衡方程.....	(25)
§2.1 下垫面与活动层.....	(25)
§2.2 下垫面辐射平衡方程.....	(27)
§2.3 下垫面反射特性.....	(29)
§2.4 下垫面辐射特性.....	(37)
§2.5 下垫面热量平衡方程.....	(39)
§2.6 下垫面水分平衡方程.....	(48)
第三章 辐射能的计算.....	(52)
§3.1 概述.....	(52)
§3.2 关于辐射能计算的几个参量.....	(54)
§3.3 大气上界的太阳辐射.....	(62)
§3.4 坡面上太阳辐射.....	(66)
§3.5 到达地表面的太阳辐射.....	(75)
第四章 近地层感热的计算.....	(84)
§4.1 近地层的基本特征.....	(84)

§4.2	物理量的铅直输送	(86)
§4.3	湍流交换系数的计算	(90)
§4.4	感热通量的计算	(118)
第五章	下垫面潜热的计算	(124)
§5.1	蒸发的物理过程	(124)
§5.2	影响蒸发的基本因子	(126)
§5.3	水域下垫面蒸发的计算	(131)
§5.4	陆面下垫面蒸发的计算	(143)
第六章	土壤热交换的计算	(151)
§6.1	土壤热力特性	(151)
§6.2	土壤温度的变化特性	(154)
§6.3	土壤热扩散率的计算	(161)
§6.4	土壤热通量的计算	(175)
第七章	太阳短波辐射的测量	(183)
§7.1	辐射测量的概念	(183)
§7.2	直接太阳辐射的测定	(186)
§7.3	散射辐射、总辐射和反射率的测定	(194)
第八章	大气辐射、净辐射和分光辐射的测量	(213)
§8.1	大气长波辐射的测定	(213)
§8.2	净辐射的测定	(222)
§8.3	太阳分光辐射和紫外辐射的测定	(232)
§8.4	辐射测量的记录显示	(239)
第九章	小气候考察的梯度观测	(241)
§9.1	梯度观测的概念	(241)
§9.2	近地层温度和湿度的测量	(245)
§9.3	近地层风的测量	(258)
§9.4	土壤热通量的测量	(272)
第十章	小气候观测资料的数据处理	(279)

§10.1 小气候观测的误差	(279)
§10.2 小气候观测数据的检验与处理	(293)
§10.3 绝对误差与相对误差	(303)
§10.4 重复读数的次数问题	(307)
第十一章 小气候观测程序	(313)
§11.1 观测程序的基本内容	(313)
§11.2 辐射观测程序	(315)
§11.3 梯度观测程序	(320)
§11.4 小气候数据自动采集系统	(336)
第十二章 各类型小气候考察方法	(339)
§12.1 观测场地与仪器安装	(339)
§12.2 各类型小气候考察法	(351)
§12.3 平衡气球观测法	(376)
参考文献	(389)
附录一 本书采用常数	(398)
附录二 太阳赤纬	(399)
附录三 时差表	(401)
附录四 日地距离订正值	(403)
附录五 太阳赤纬、日地距离订正和时差的旬平均和月 平均	(405)
附录六 大气上界太阳光谱辐照度	(406)
附录七 中纬度地区每月 15 日的日出日没时刻	(410)
附录八 卡/(厘米 ² ·分)换算为毫瓦/厘米 ² 或 ×10 瓦/米	(412)
附录九 毫瓦/厘米 ² 换算为卡/(厘米 ² ·分)	(413)
附录十 小气候观测记录簿	(414)

第一章 小气候考察

§ 1.1 小气候考察的意义

气候条件是地理环境中一个重要的组成部分，也是人类社会赖以生存的外部因子之一。气候研究所涉及的空间范围和时间范围都很大，通常将水平范围为 10^5 — 10^7 米，垂直范围为 10^0 — 10^5 米，时间以年为周期出现的气候特点称为大气候。影响一个地区的气候以区别另一个地区的气候的因子有：太阳辐射，大气环流和下垫面性质（大陆或海洋等）。这些因子是不以人们意志为转移而客观存在的，企图通过改变气候形成因子来达到改造气候的目的，暂时只能是一种大胆的设想。但是，人类通过长期的社会实践所积累起来的丰富经验使我们认识到，可以通过改变局部地区的气候特点使之最大限度地造福于人类，却是完全可以办得到的。

所谓局部地区的气候特点是指，在一般的大气候背景下，由于下垫面的不均匀性、微地形的起伏、水域（自然水面、人工水库等）的存在、防护林带的营造、农田及建筑群等的影响所产生的小范围内的气候特点，或称小气候特点。

因此，我们可以将小气候定义为：由于下垫面的不均一性以及人类和生物活动所产生的近地气层和土壤上层中的气候特点。通常，小气候是在一定的自然景观和大气候的背景下产生的局部气候差异，主要表现在气象要素的数量上和垂直分布上以及个别天气现象上。按照气候研究的空间尺度来划分，小气候所涉及的水平范围和垂直范围都是不大的，其水平范围约为 10^1 — 10^4 米，

垂直范围约为 10^{-1} — 10^2 米。根据下垫面的性质不同而产生的局地气候差异，可以区分为农田小气候、森林小气候、护田林带小气候、水域小气候、雪被小气候、起伏地形小气候，城市小气候等等。对于某一类型的下垫面来说，在晴朗无风的条件下，小气候特点表现得最为明显，这时在近地面大气层内的温度、湿度和风的垂直梯度特别大。以温度为例，如按每 100 米的温度梯度来换算，则近地层内的温度梯度可以达到几百度甚至几千度。因此该层内的热量、水汽、动量的垂直交换特别显著，并具有明显的日变化特点。因为人类的大部分活动和动植物的生态环境都处在近地层范围内，而且该层的气候状况又可以按照人们的意志定向地加以改变，所以小气候的研究受到各方面的关注。习惯上，将介于大气候和小气候之间的局地气候和狭小空间的微气候统称为小气候，这是因为划分局地气候、小气候和微气候的依据主要是气候现象的垂直尺度和水平尺度，但从微气候到局地气候的过渡是连续的，它们之间并不存在严格的界限，因此在一般的科技文献和教科书中，通常将下垫面不均一性所产生的气候特点都归结为小气候。

小气候现象主要发生在近地气层和近地土壤层中，越靠近下垫面，小气候特点也就越明显，距下垫面越远，小气候特点也就越来越微弱，直至最后消失。在近地气层和土壤层中，小气候特点主要表现在下列四个方面：1) 气象要素具有明显的日变化特征，2) 具有强烈的脉动性质，3) 铅直梯度远远超过水平梯度，4) 铅直梯度也具有明显的日变化特征。

所谓小气候学是研究不同下垫面上小气候的特点和形成规律的一门学科，它是近几十年来发展起来的气候学的一个分支，主要任务是研究局地气候特点与自然地理环境、天气气候条件和人类及生物活动之间的相互影响和相互作用。概括起来，小气候学的内容有三个方面：理论基础，各种类型小气候和小气候考察方

法。在理论基础中，主要有近地层物理学，下垫面的辐射平衡、热量平衡和水分平衡等；类型小气候主要是研究各种特殊下垫面上小气候的形成规律和特点以及各种人工改良措施所产生的小气候效应；小气候考察方法包括模拟试验、野外小气候考察以及与之有关的仪器设备的设计、检定、安装和观测方法等。小气候学的研究具有很大的实用价值，因为人类的生产和生活活动主要是在近地面大气层进行的，农业、林业和城市建设等部门都和小气候有着密切的关系，而且人类又最容易通过改变下垫面的局部特性来影响和改造小气候，这对提高生产力、发展国民经济有很大的意义和实用价值。

小气候学是一门与人类的生产和生活活动具有紧密联系的科学，因此它的任务在于：1) 调查和研究各种类型小气候的变化特点并给以科学的解释，2) 探索各种类型小气候的形成过程和形成规律，3) 确定小气候现象和小气候要素的定量指标及其与大气候的内在联系，4) 揭示小气候变化的未来趋势并通过各种人为措施给以积极的影响，使之朝着有利的方向发展。

为着实现和完成上述任务，除了理论研究以外，通常是利用野外小气候考察方法来调查和广泛收集所需要的资料，经过加工整理并结合当地的自然环境、天气气候条件，对考察地段的小气候特点提出恰如其分的评价。

野外小气候考察是一项十分艰巨而又要求较高的科学考察活动。考察工作大都是在交通不便、生活条件较差的待开发地区或正在开发的地区。从建国后开展的历次大规模野外小气候考察活动来看，小气候工作者的足迹遍布祖国的四面八方，从祖国南疆的云贵山区到北国边陲的深山老林，从六月飞雪的天山冰川到高寒缺氧的藏北高原，从横断山脉的高山峡谷到沟壑交错的黄土高原，还有那一望无际的内蒙古大草原，炙手可烫的夏季戈壁沙漠以及天寒地冻的冬季茫茫雪原等等。小气候考察工作者虽然不象

地质勘探队员那样成年累月地爬山越岭寻找宝藏，但他们在野外工作期间都要昼夜不停地连续观测，监测风云变幻，捕捉转瞬即逝的气象信息。尽管小气候考察的野外观测时间不长，但是小气候工作者那种冒严寒、顶烈日，不畏艰险的工作精神，却为祖国的社会主义经济建设积累了丰富的气候资料。

毋庸讳言，在以往的小气候考察中或多或少地存在一些问题，有些问题甚至直接影响到野外观测资料是否可信的程度。1981年10月在南京召开的我国第一次“全国山地气候学术会议”上的文件及大会纪要中都曾明确地指出过这方面存在的问题。例如在考察中观测场地的选择和测点的设置问题，仪器安装和观测方法问题，观测资料的准确度和精确度问题，观测资料的审查订正问题等，都没有很好的解决。至于涉及到使用未经订正和校准的质量粗劣的仪器进行观测，不知道测点选择应考虑代表性问题，观测方法粗枝大叶，观测程序随心所欲，照此办理，即使考察资料再多，也是事倍功半，甚至是劳而无功。拿这样的资料去指导生产，必然有害于生产，去评价环境质量，必然导致错误的结论，给经济建设带来无法弥补的损失。因此，在计划开展小气候考察之初必须注意到它的预后。为此，应该对小气候考察工作的目的性和考察工作的特点有一个正确的了解，同时还应当掌握正确的考察方法。

§ 1.2 小气候考察的基本方法

由于自然下垫面的类型复杂多变，要想从小气候方面对每一个地区都进行考察，实际上是不可能的，在组织小气候野外考察时主要是研究不同地区典型地段的物理过程和物理特征上。例如在研究农田小气候时，应当选择在本地区最具代表性的几种主要作物的典型地段进行观测，同时也要考虑不同的农业技术措施（灌溉地或未灌溉地），土壤被覆和地形（谷地、坡地、高地或

丘陵起伏地区)等。在研究护田林带小气候时,应当选择典型林带结构与典型农田相结合的区域内的典型地段。又如在组织农田小气候的考察时,需要有对照地段(休闲地)作比较观测,这样才有可能判断不同作物对本地段小气候特点的影响程度。

进行小气候考察需要事先制定工作大纲,详细说明考察的目的,规定工作方法以及预测可能取得的研究成果。

在考察地区选好测点以后,需要绘制测点所在地区的草图,详细描述观测地段的位置(测点描述),这类工作乃是小气候考察准备阶段的一个重要组成部分,因为在总结考察结果并解释某些小气候现象时,这些描述将是重要的参考材料。地段的描述可以按照测点描述大纲进行。在起伏地形地区进行考察时,对位于不同坡向、坡度的坡面上、谷地和凹地中的测点,以及周围有高大障碍物的测点,需要绘制地形遮蔽图,用以确定测点四周地形地物对观测工作的遮蔽程度。

小气候考察的全过程可按下述步骤进行:

第一步、按照任务确定考察目的和要求,制定考察计划,编写考察大纲;

第二步、按照考察大纲的要求,准备仪器,并对仪器进行严格的检查和鉴定;

第三步、制备观测所需的各类表格,包括观测记录簿、观测资料综合报表,观测期间的日出日没时间表、时差表、太阳赤纬,太阳高度表和大气光学质量表;

第四步、确定考察路线,选择观测剖面,选点及测点的设置;

第五步、进行仪器的自然检定,安装仪器并建立仪器使用档案,测点描述,绘制以辐射观测支架为中心的地形遮蔽图;

第六步、进行野外小气候观测,观测过程中应经常注意检查各类仪器的运转情况,发现异常情况要随时检修或更换,并登记

备查：

第七步、对观测资料进行检查、判断，并进行初步计算，将结果汇总分别抄录在综合报表上，考察结束时就地对所用仪器进行一次自然检定，以确定观测过程中仪器性能是否改变；

第八步、综合考察结果，编写总结报告，总结中应载明考察时间、地点、天气概况、仪器使用情况、主要结论，可能的用途以及需要进一步研究的问题。

上述考察过程中，第一至第三步属于室内准备阶段，第四步为现场勘察，第五至第七步为野外观测阶段，第八步为室内总结阶段。很明显，一次成功的考察，只有在各个阶段工作都很充分并且组织起一支高质量的观测队伍的情况下才能取得。如果顾此失彼而不精心组织，或者草率从事企图一蹴而就，那是不会收到预期效果的。

一次野外小气候考察获得成功的关键在于测点的选择和设置。测点一般分为三类：基本点、辅助点和对照点，考察方式有定点观测和流动观测和路线考察三种。测点必须选择在最具代表性的地段，不同测点之间的观测资料可以相互比较。也就是说，测点应该设置在那些对本地区来说最具典型性的地段上，因为任何地区的小气候的最细致的局部特征都可以用分布在该区域的特征点上的观测资料加以研究，这样的特征点就是布置测点的最佳位置。在一个观测剖面上，如果在若干个特征点上设立基本点或辅助点，那么就可以对该剖面的小气候特点及其分布规律作出科学的分析。

测点的设置应考虑到野外观测资料与具有长序列气象资料的台站的联系问题，因为任何一次野外考察的时间都不可能很长，如果以短系列野外观测资料与最靠近的气象台站的资料联系起来，则可以将野外考察资料订正为长时期的资料。为此，可以在附近的气象台站上设立一个同步观测点，进行不同高度的梯度

观测，同时按不同天气型将观测资料进行分类整理。

野外小气候考察是了解和研究一个地区的小气候特点的重要手段，除了野外考察以外，还可以采用物理实验法和数值模拟法来分析考察地段的小气候特点。例如将研究地段制成模型在人工气候室或风洞内进行试验，或者用数值分析方法在计算机上进行数学模拟，这类方法可以解决诸如城市规划与布局，防护林带结构对风的影响，积雪的分布和沙丘的移动，下垫面特性的改变对温、湿、风的分布的影响等问题。但是任何精确的模拟也不可能在室内完全复制出在野外所观测到的各种各样的小气候现象和过程。因此，野外考察在小气候研究中仍然起着、并将继续起着重要的作用。

此外，一个地区气候资源的调查和利用还可以采用其它方法，例如对当地有经验的劳动人民进行调查访问，根据自然物候现象反推某种气候现象或某一界限温度的出现，根据自然界植物的发芽、开花、落叶时间的先后来推断局地气候差异。类似方法有时也能提供一些有意义的结果，但毕竟是定性的方面居多，而且调查结果也会因人而异，缺乏必需的准确度和精确度。所以用指示物候现象等方法来进行气候资源的调查，特别是在研究一个地区的小气候特点方面似乎还不能认为是一种令人满意的方法。

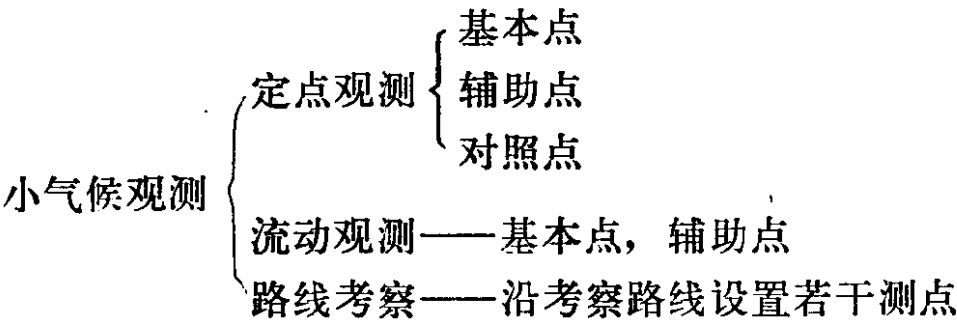
§ 1.3 测点分类与选点原则

一、测点分类

野外小气候考察的任务在于揭示各种不同类型下垫面上小气候的内在规律。换句话说，野外小气候考察是研究和探索在各种类型下垫面影响下产生的小气候特点及其形成过程的一种特殊的气象观测。小气候观测是气象观测的一部分，但又不同于一般气象台站的气象观测。小气候观测所使用的测量仪器，观测项目，

观测次数，观测方法和时间安排都与气象台站的常规观测不同。根据小气候考察的目的和任务的不同，仪器设备和人员的多少，可采用不同的方法进行观测。通常在各种具有代表性的地段上选择若干测点，按照统一的观测大纲和观测程序进行严格的平行观测（即同步观测或同时性观测）。在进行小气候观测时，必需考虑测点的代表性和观测资料的可比性。为此，需要在开阔而平坦的地区设立一个对照点进行对比测量。有时根据任务的不同，观测人员的多少和仪器设备条件的不同，将测点划分为基本点和辅助点，基本点的观测项目较为齐全，辅助点可以根据具体情况适当地减少观测项目和观测次数。有时按照观测方式的不同，可将小气候观测分为定点观测、流动观测和路线考察。基本点、对照点和辅助点属于定点观测，流动观测和路线考察不要求观测的同时性，其方式灵活多变，考察路线上的测点设置可多可少，目的在于获得尽可能多的资料。

因此，在野外小气候考察时，测点设置和分类如下所示：



现将各类测点的主要特点介绍如下：

(1) 基本点

它是在具有区域代表性的地段设立的一种固定测点。基本点的观测项目和仪器设备均较齐全，观测人员和观测次数也较多。在基本点上取得的观测资料应该能反映该地区的一般的小气候特征，并用这些资料去订正流动观测和路线考察所获得的资料。就观测项目来说，可以包括辐射平衡和热量平衡的各个分量以及一

般的常规气象观测。就观测时次来说，可以是每小时或每隔一小时的昼夜连续观测，以便求得气象资料的周期变化特点。

（2）辅助点

它是区别于基本点的一种辅助测点，通常位于两个基本点之间。有时因为观测员和仪器设备的不足，用减少观测项目、观测次数和错开观测时间的办法进行观测。辅助点的观测大都安排在基本点的正点观测以外的时间（提前或推迟若干分钟）进行。这时往往要求基本点的观测员同时兼顾基本点和基本点附近的辅助点的观测工作，以较少的人员取得较多的资料。就仪器设备来说，一般只进行温、湿、风和土壤温度的观测。就观测时次来说，有时只安排在最高、最低温度出现的时间或安排在日出、日没时间，或者每隔三小时观测一次。

（3）对照点

在小气候测点（基本点和辅助点）附近的平坦而又开阔的地段上设立的一种固定测点。对照点是小气候定点观测的必要补充，是为了分析和突出观测地段的小气候特征而设立的。对照点上的观测项目、仪器设备、观测次数和人员配备与基本点相同。例如，为了分析和突出森林小气候的特点，应选择森林影响以外的裸露而又开阔的地段设立对照点；同样，为了研究城市气候的特点，对照点应选择在受城市影响微弱的上风方向的城郊地区。在选择对照点时应注意大气候背景的均一性，因为各种类型的小气候特点都是在一定的自然景观和大气候背景下产生的局地气候差异，如果对照点与考察地段相距过远显然是不适合的。

在野外小气候考察中，可以采用定点观测、流动观测或路线考察等不同方式。有时也可根据需要，采用定点观测和流动观测相结合或交叉进行的方式，或采用定点观测和路线考察相结合的方式。三种考察方式的特点如下：

（1）定点观测