

我国气候科学四十年来的蓬勃发展

么枕生

(南京大学大气科学系)

我国于1912年在北京设立了中央观象台(包括天文与气象),但只限于气候观测,谈不到气候学的研究。我国气候学研究迄今可以说有两个转折点。一个转折点就是1928年在南京成立了中央研究院气象研究所,开始了气候学的研究。第二个转折点就是新中国成立后在南京大学气象系于1952年设立了气候专业。

国际上的气候学发展在70年代确已从描述性进入定量性的阶段,发展了动力气候学与统计气候学数值模拟,并且向气候预报方向逐渐发展,尤其是统计预报发展更快。最近,又把非线性动力学引入气候变化问题中,在非线性动力学中要讨论在一个非线性系统的时间发展中可有平衡态周期性与混沌现象的分叉问题。在气候系统随时间的变化中,确有平衡态与混沌现象,更有循环特性。

在总结我国四十年来有关气候学文献时,已经发现在不同的科学内逐渐发展了不同阶段的气候学分支。今后应像为发展地理科学所开的各届“全国天、地、生相互关系学术讨论会”一样,要认识到气候科学不应只在不同的科学系统上纵向发展,更要有不同学科系统的耦合与渗透去发展气候学的新方向。本人在1987年提出所谓“天-地-生气候学”,并以这个概念由邹进上教授主编了《气候研究——“天、地、生”相互影响问题》。

一、我国在气候形成方面的发展

1. 天文气候学

在60—70年代有作者开始把太阳活动和西风环流指数与活动中心联系起来。太阳活动对气候变化有无显著影响在国际上一直争论不休,我国作者进一步正面证实了这个问题。太阳活动准11年振动和同期以及以后1—3年夏季北半球副高各种指数间具有很显著的相关性。最近,模拟出太阳辐射有无日变化对于许多气候要素都有不同影响以及可在南亚大陆上增强西南季风的结论。

天文方面有行星与卫星在运动周期中冲合所引起的气压潮,有的作者对此加以注意,更有些工作倡导用月-地关系(即引潮力)去作气候预报。月球、地球和另一天体之间的相对运动会使天气系统具有某种非经典的引力效应,气候振动的准周期可从日、月、地三者相对位置的周期性(即日、月引潮力的周期性)去解释。

本文1988年2月25日收到。

本文在编辑过程中,限于篇幅作了若干删节,谨向作者与读者致歉。

地球自转速度具有季节变化与不规则变化。北半球夏季当地转自转加快时,副热带高压应该向高纬移动,冬季则相反。又借激发函数从地球自转速度的两年振荡求得全球纬向环流的两年振荡。更引人注意的就是地球自转急剧减慢是形成Elnino现象的一个主要原因,根据地球自转日长变化资料可对Elnino事件做出约为1年的长期预报。地极移动对于气候也具有一定影响,这可引起海洋与大气运动的一系列变化。

2. 地气候学

在50年代初曾注意到地温对近地层局地气候的影响。到80年代初在分析了我国地温异常与后期降水异常历史天气事实的基础上,发展了长期降水预报的气候热力学模式。进一步研究中,发现冬季(12—2月)地温高温轴线与次年汛期(4—9月)的多雨轴线基本相合,但副高的强弱程度可使两种轴线在东西方向上南北偏离,在美国也有地温和后一季降水的相似关系。也有根据一个准地转34层球坐标模式研究青藏高原对夏季北半球定常行星波形成的热力作用,结果说明热力作用要比动力作用大得多。

从另一角度,用GCM数值积分研究了在地-气相互作用中降水对土壤湿度的变化可形成大气环流的滞后反馈效应。以后,用改进的Lorenz低谱湿模式说明小尺度湿对流与大尺度环境场的相互作用对模拟北半球夏季大气环流有明显影响,尤其对夏季北半球副高流型的形成、发展与维持可能有重要作用。又从分解与计算,讨论了中纬度平均径圈环流与纬圈环流的维持,去说明气候转变过程中这两种环流间的内在联系与统一的物理机制。更应用球坐标具有热力强迫项与纬向风速分布的两层高截谱模式,讨论了副高在热力强迫超过一定强度时,副高就由稳定的平衡态转为振荡,并数值试验了平衡态的特点。总之,我国在80年代在地-气系统中的气候学问题有很大的发展。

3. 生物气候学

生物气候就是研究生物圈对气候影响的问题。生物气候学的研究内容就是研究生态系统在气候形成、反馈调节与改造的过程,但研究比较多的是植物(包括森林)气候学的研究成果。

森林可增加降水量最重要的原因就是森林蒸散问题。我国在60年代已开始了森林蒸散的测定设计与计算的研究。应用能量平衡-鲍文比法,对东北落叶松的蒸散进行了测算,又对海南热带季雨林用同样方法求得1983—1985年逐日的蒸散值。并在海南省热带森林上研究鲍文比日变化,证明森林在干季有涵水作用,又有降温作用。

在60年代许多作者也开始了森林是否可提高降水量的问题。有些作者根据推测或观测分析,认为森林可增加降水量。更根据内循环理论估算黄河流域大面积植树种草与施行水利后,可使降水量增达7.3%。从理论上估算了我国西北地区全面绿化后年降水可增加176mm,但只有在湿润季节内才有明显效果。但是,也有学者认为砍伐热带森林种植橡胶后,并未出现气候干旱化的趋势。东北三江平原伐林除草、排水、悬荒后,气候变化问题也有争论。更有作者博引国外资料,认为森林区降水所以增多是林中空地风力减弱的结果。最近,根据能够消除外因影响的对比观测,指出在热带森林遭到破坏(覆盖率已由70%降到30%)后,虽有部分橡胶林代替,仍对各种气候要素有明显不良变化,热带森林减少对于地方气候确有影响,凉季变干而冷,干热季变干而热。降水量在干季已减少最高达20%,在雨季减少最高达8%。

我国在50年代开始对林带防护效应的研究。通过大量对比观测资料,结合作物生长和受灾情况,初步弄清了林带的防风、防旱、防寒作用。此后,这项研究工作普遍开展,阐明林带和森林的气象效应、水文效应和生物效应以及林网和森林内各种气象要素时空分布的特点和规律,肯定了林带的增产作用。根据气流通过林带后动能的变化,从理论上研究了各种不同结构林带的防护效应。根据风洞试验得到了林带的有防护距离与林带通风度的实验关系以及林带有效防护距离与风向偏角的关系。

森林能净化大气。在研究合肥城市气候时,就曾根据城市气候特点选择不同的绿化树种与绿化结构,了解绿化对净化空气防暑降温以及防病病原菌的扩散传染的效果。

为了估价大范围植被覆盖度变化的气候效应,曾经用过低谱湿模式进行长时间数值积分,结果说明大范围植被覆盖度的增加,能使模式降水量增加,并可能影响到农业生态环境,因而这个问题值得继续研究。在分析了草地上热量平衡的剩余项时,证明了草地因有保水效用,夏季可以降温,而冬季又可以保温。为从基本上说明草地气候效应。应用三种方法估算草地上净辐射日总量,发现月平均净辐射与总辐射间的关系式并非直线关系。

从垦荒小气候效应的观测研究指出,垦荒以后土壤的物理和热力特性都有明显变化,大大改变了地面热量平衡各分量的组成。在河西地区的绿洲中,有冷岛效应。这些研究都说明了植被是气候形成过程中不能不考虑的因素。这些研究也指出改造我国西北干旱气候的主要措施是如何恢复这个地区的原始植被问题。

和生物气候学有关的还有物候学。我国物候工作是在竺可桢的倡导和推动下开展起来的。1962年组织了全国物候观测网,进行经常观测,并定期出版物候年报。最近,据此计算了20种植物的物候期随纬度、经度和高度的变化,分析了不同季节物候期南北推移的规律。

二、我国在气候模拟分析方面的发展

1. 统计气候学

1) 分布函数 我国气候界在50年代初论述过降水量遵守正态分布函数的问题。在80年代初首次把二参数Weibull分布应用于风能计算中,分别用三种方法去估计其两个参数,以便计算总平均和有效平均风能密度。更进一步应用三参数Weibull分布拟合气温极值与风速极值,估计参数的方法乃用迭代求解最大似然估计量方程组,又用Gumbel分布做了对比拟合研究,说明对于不同气候要素极值或同一要素极值在不同台站上并非遵守同一渐近分布。

直至80年代末有关分布的论文才稍多起来。首先证明了旱涝游程转折点具有持续性,根据旱涝游程转折点的卷积曾求得旱涝转折周期的概率密度和其平均数与方差。用归纳法也求得旱涝转折周期不同形式的概率密度,但其两个参数不变。从统计力学的思路曾推导出降水量遵守指数概率密度。这正是Weibull分布的一特例,也是异途同归的一个范例。更用指数概率密度的卷积积分,求得多次独立降水过程的卷积指数分布,这对于分析夏季对流性降水过程的气候特征很有价值。新疆气象科学研究所还从统计力学熵的概念推导出其他一些分布律。

2) 时间序列 时间序列主要是随机过程所给出的记录序列,所以在气候学中时间序

列的模拟就是处理随机过程观测记录的问题。最熟知的时间序列统计模式就是自回归模式 (AR), 移动平均模式 (MA) 与混合的自回归移动模式 (ARMA)。在确定 AR 模式的阶方面已有许多方法。ARMA 模式是否适合于模拟气候记录尚有争论。为处理时间序列中的季节性, 曾在长期预报中应用于 ARIMA 季节模式, 以 AIC 为判据用新信息预报方法做外推, 求得一种有效定量的长期预报方法。

在国际上除这种一般形式的线性模式外, 已经研究了一些非线性模式的特别型式, 现在已把门限自回归模式应用于气候预报。

谱分析的非参数方法在我国从 60 年代以来已普遍应用于各种气象学问题中, 获得很多有价值的成果, 更有专著问世。此外, 更有一些专著都讲述很详。

另一个周期图修匀法就是把周期图的纵坐标划分为许多组, 然后取其平均值。这个方法由于计算量大, 迄今尚未普遍应用。

最近, 对用谱分析寻求周期预报的方法提出不同的意见, 曾证明了气候周期振荡是由不同振幅与频率的原始周期所形成的合成结构。但谱分析所找出的合成周期只可用于气候分析, 不能用于周期外推预报。也有根据旱涝转折周期遵守双负二项分布, 且根据用 (0, 1) 序列所求得的谱很近似于一般谱以及叠加周期无持续性为主要理由, 去反对用谱分析作气候预报。

在 60 年代中第一次改进了计算马尔科夫链的组成, 使这个理论在分析与预报晴雨、旱涝及其持续与转换具有应用价值。在 70 年代中又把状态定义加以改进, 用作晴雨预报, 得到良好的结果。

3) 相关与回归 气象要素间的相关性大小决定于两个序列中各种频率分量共振涨落的总效果 (即共谱总和), 因而可用以解释相关系数随时间的波动性。为了消除自相关性对抽样的影响, 提出了改进抽样方案。根据三个变量间线性相关的相互制约, 提出多元回归选因子的标准。

我国在 60 年代中才首次引进逐步回归技术用于气候预报。以后才提出用偏相关计算正文回归的理论, 证明了偏相关的 t 检验等于正交回归的 F 检验, 发展了用偏相关计算回归方程的理论。这个方法不但具有逐步回归的优良性能, 计算结果和逐步回归一样, 而且计算简便, 同时又曾提出用偏相关筛选建立多元回归的方法, 其性能接近于逐步回归, 比简化逐步回归 (国内曾称为正交筛选) 更要优越。用多重相关筛选也能建立回归方程, 其性能等同于偏相关筛选建立回归的技术。为了计算多予报量而同时筛选许多予报因子的问题, 提出了双重筛选多元逐步回归, 因而可用多元因变量去计算逐步回归, 使逐步回归只能作单站预报改进为多站预报。

4) 客观分型与分析 根据正交函数用等距点、离散的正交多项式对我国沿海 1 月和 7 月温度场作定量描述, 分别求出 1 月和 7 月温度的定量描述方程。以后, 曾把车贝雪夫多项式发展到不规则点上去展开, 其结果则车贝雪夫多项式就兼有三角函数、球函数与自然正交函数的优点。

应用最小二乘方原理提出判别分析方法, 把予报因子分为多类, 各类设有参考点, 使予报量和其参考点离差之和成为最小, 而求得判别标准。更考虑到气候预报的特点, 提出离散判别分析, 克服了判别准则中各部分不相适应的问题, 在诸多方面改进原始的判别分析方法。

还提出两分类非线性判别函数, 说明用非线性判别函数比线性判别函数更能反映客观实际, 使在分类预报中提高了判别效果。不久又扩展到多级判别函数, 按各项对区分不同类别的能力大小逐步筛选预报因子, 取得理想效果。更讨论了关于判别式的选择问题。在研讨了泛函值与判别效果间的非同一性问题后, 提出一个和Fisher判别效果一致, 但又无解析形式的泛函, 解决了Fisher判别分析中投影空间的优化问题。

使用二元变量(0, 1)提出历史旱涝的变率、历史旱涝的持续性与可转换性、历史旱涝的指数。

5) 抽样分布与假设检验 用序列变率作为统计量可推导其抽样分布以及其平均数与方差, 并作了参数估计与假设检验, 更提出序列方差与其抽样分布, 以便作序列方差分析, 检验周期与循环周期。根据序贯抽样的留路, 提出相关系数的一种序贯检验方法, 这较一次抽样检验能提高精度, 并可推广到偏相关中。

6) 气候资料的订正 关于气候资料的订正问题, 可用全概率定理对月平均温度与极值等做订正与延长, 又可用内插法去插补缺失的资料, 也用全概率定理作了风向频率、平均风速的订正延长与插补。根据气温场序列自然正交展开, 提出气温场序列的延长与插补方法。

7) 气候统计方法的引进与应用 气候观测记录可用多种分布函数去拟合, 有专著引进较详。40年来关于谐波分析应用有不少工作。在周期分析方面所应用的方法更多, 例如应用相关系数、周期图法、平均与谱分析都做有大量的工作, 以后另外还引进了最大熵谱。时空谱分析是谐波分析的发展。在我国用时-空谱分析就1965—1980年 65°N 一个纬圈上3—6月逐日500毫巴高度图做了计算、对长波、超长波的西退、东进周期以及驻波振荡周期得到有意义的结果, 因为时空谱分析是研究天气气候的有力工具。

用历史演变的概念可组成正则马尔科夫链计算历史旱涝的游程, 又计算出历史旱、涝年游程的统计特征, 如旱涝第一次通过的矩阵与方差矩阵以及旱涝年各种游程出现时间的分位数。用AIC信息准则检验方法, 可确定应用马尔科夫链拟合我国雨日降水过程时所应有的阶数。

用于气候各种类型客观定量分析中的聚类分析, 在国内外日益进展。最近在国内对三种聚类分析方法加以评论。

2. 动力气候学

为了进行动力气候学的理论分析和数值计算, 必须对基本方程组加以简化, 尤其基本方程组是描述一个强迫耗散的非线性系统, 简化这样一个系统应该遵循什么样的准则, 这个问题以往并未澄清。在80年代初已把基本方程组写成算子的形式, 分析了算子的属性, 并据此提出了简化的准则。

1) 动力气候模式 国际上在50年代中期已经用大型电子计算机模拟大气环流, 在我国这个工作是60年代中开始的。但是大量的工作则开始于70年代中期, 特别是在80年代我国的动力气候学发展才非常迅速。1962年首先在南京大学气象系讲授了动力气候课程, 同时开始这方面的研究工作。最早采用两个数值模式, 一个是东半球范围的五层模式, 一个是九层全球谱模式。在五层模式中特别模拟了青藏高原大地形对东亚夏季风的影响, 说明季风主要受海陆分布影响, 大地形起到加强的作用。还用五层模式模拟了海温异常对东亚夏季风的作用。

用。并研究大地形对纬向风带的纯动力作用,得知大地形的直接动力强迫作用可使纬向均匀的高压带在地形区发生断裂,形成青藏高原、落矶山高压与伊朗高压。应用 $P-\sigma$ 混合坐标系5层初始方程模式去模拟索马里低空气流的发展过程,讨论了分为两个阶段的形成机制,且说明在边界层中气流的发展主要决定于非绝热加热的海陆分析。

2) 海-气动力模式 我国作者在海气相互作用的机制方面也不断探索了海气系统相互作用的物理过程。研究结果指出副热带高压对海洋的反馈作用。

用两层原始方程模式从数值计算和用简单二维模式从数学分析得到了东西向洋面温度梯度所造成的Walker环流,以及与其相适应的经圈方向Hadley环流。

应用二次海气相互作用的随机气候模式,对太平洋地区海温周期振荡作出了较为满意的模拟。

近来,根据赤道东太平洋海温异常暖冷年份北半球气压距平场的分析,说明副热带高压对赤道海温的响应在冬季和夏季具有差异,这说明赤道海温异常与否和副高的强弱有关,其结果符合1984年所提出理论模式所指出的现象。又用一个简单海气耦合模式去研究赤道太平洋异常暖水期的大尺度海气相互作用效应,提出热带太平洋海洋-大气系统中的双元自然态。

3) 对冰期气候的模拟 在70年代末,我国用二维纬圈平均模式研究冰期气候。这个工作与国外的计算结果不同,认为只有当太阳常数值比现在减小15%时,考虑了极冰-反射率正反馈作用,才有可能出现全球冰封的气候状况。

在80年代我国作者除对气候学的研究已从叙述性进入数值化外,在古气候模式与模拟技术方面也开始有很大的成绩。用一个热力-动力耦合的理论模式研究了模式气候对太阳常数变化的敏感性,说明冰期的形成和地理环境因素有关系。更提出一个简单随机非线性模式,用以解释气候系统的冰期,间冰期与突变。最近提出的椭圆积分模式,用以计算极圈以外的太阳辐射总量。

4) 过滤式动力气候模式 在这种一层模式中滤掉了高频的Rossby波,并首先预报湿度场,然后从适应作用预报出高度场。预报准确率都已达到和超过惯性预报。把这个一层模式发展为三层后,其予报一个月以后的距平效果较好。

5) 随机-动力气候模式 自从国外提出随机-动力模式以后,很快也引起我国统计动力气候学者的重视,提出了海气耦合的随机动力模式,讨论海洋与大气温度变化,得到了更接近实际的结果。另一随机动力模式是带随机强迫项的随机微分子方程的求解问题。并且已经试用于气候予报。用球函数展开的准地转斜压谱模式,经过时间平均后得到气候预报的平均随机动力模式,可说明初始条件不是影响气候状态的主要因子;随机试验的结果说明一个气候系统虽达到稳定不易,但由于内部耦合机制在一定时段内还可逐步达到平稳。

6) 非线性动力气候模式 自从国际上在80年代初提出中纬度大气环流多平衡态的概念以来,我国气象工作者已得到了一系列的新结果。曾用二层准地转模式得到了平衡态解的解析表达式,对稳定性问题的判别,不仅考虑了平衡态对超长波扰动的稳定性,还考虑了对长波扰动的稳定性。更用二层准地转模式,提出了由于引入地形项可激发出地形驻坡,以及多年平衡态的问题。

大尺度大气环流的另一重要观测事件是我国6月和10月大气环流的突变。例如,提出了

一个大气中对流的突变模式。更把非线性动力学与随机动力模式结合起来,这也确是有益的探索。最近,研究了低阶正压模式的多平衡态与平衡态的突变问题,认为在非线性的低阶正压系统中可以发生高低指数平衡态现象的突变。

3. 辐射-水热平衡气候学

1) 辐射平衡 在新中国成立后的50—60年代里,作者们首先介绍了如何计算中国总辐射的公式、计算分析区域辐射特征、绘制季节总辐射图、图解计算了不同下垫面各种计算方法的差异或研究了中国直达辐射、散射辐射和总辐射的关系以及计算对流层大气辐射平衡,硕果累累,不胜枚举。更有作者研究了中国地表反射率的分布与变化;计算了东亚地区地气系统与大气辐射平衡及其分量的分布,研究了平流层大气对太阳辐射能的吸收,更有作者们自1964年以来对我国辐射平衡各分量的气候学计算方法与时空分布作了许多研究工作,更总结为图集。

在研究我国有效辐射分布特征方面最近也有很大的进展,作者们把常用的国外理论公式订正简化,以便计算我国有效辐射的时空分布。用一个简便的地-气系统太阳辐射平衡的气候学计算方法,就可用常规气候资料计算太阳总辐射与大气吸收辐射以及不同纬度的地-气系统太阳辐射平衡。更用一个计算对流层大气辐射平衡的理论—经验公式去计算我国对流层辐射平衡的时空分布。

(2) 热量平衡 关于我国热量平衡的问题,在50—60年代首先作了各地蒸发量的研究以及区域性热量平衡计算分析。自70年代以来已全面计算了我国地面热量平衡各个组成成分的时空分布,并根据大量船舶资料,计算分析出北太平洋热量平衡时空分布特征,证明热带和副热带有大量热能经由洋流输送于高纬度;这些时空差异可构成天气气候异常。

3) 水分平衡 我国对降水研究在30年代已经开始,但没有考虑水分平衡问题。在40—50年代只在我国降水需要量、夏季降水强度、旱涝分析、降水保证率、降水区划以及区域性降水问题研究作了不少工作。新中国成立后才有我国蒸发量的初步计算,讨论了陆面蒸发量的理论计算问题,以后更进一步作了蒸发计算方法的理论研究。在地表径流方面也有作者讨论了我国地表径流形成的地理因素。在50—60年代我国关于水汽含量、水汽输送与水汽散度的计算也成绩显著。近年来研究了我国平均水汽含量的分布特点和季节变化,并指出了控制水汽含量的基本因子是太阳辐射(温度)、海陆分布、地形和大气环流。其中最重要又最活跃并起决定作用的因子是大气环流。目前水汽输送的研究主要集中在水汽来源问题上;水汽输送的基本特点、分布规律和季节变化;水汽输送、水汽通量散度与暴雨形成之间的联系,特别是大暴雨期间的水汽收支问题;青藏高原、干旱区与半干旱区水汽收支的研究;逐候水汽含量与径向水汽输送与季风活动的关系等。

从50年代起就有许多作者对我国各流域地区的水量平衡首先作过分析与计算。并根据陆面蒸发推导了一个热量交换与水量交换的相关方程,于是再应用热量平衡方程与水量平衡方程就可以做水分气候计算。

4. 天气气候学

我国在天气气候学方面在30—40年代都有许多作者作过研究工作,只有在近40年来才逐步把天气气候学发展了。

青藏高原对我国天气气候学影响很大,在50年代初已提出青藏高原使西风急流分为南支与北支,两支急流会合后,形成冬季北半球最强大的西风急流。此后,又着手研究大地形和大尺度热源对全球平均大气环流形成的作用。80年代以来,根据全球记录每数值模拟,对西风急流分支的研究更为详细,而且指出东风急流中心的影响。根据多年高空平均风场资料,计算出各月高空垂直速度分布,找出在北半球闭合纬向环流圈出现的时间与纬度以及上升与下降气流区。此外,青藏上空天气系统对长江中下游的夏季旱涝的影响及青藏高原对东亚环流的影响,甚至有人认为青藏高原是北半球最强大的大气活动中心之一。

在天气气候型方面的研究上,曾根据天气形势以槽脊分布为基础划分出各种天气气候型及与其相对应的九个雨型。在50年代也开始给出划分夏季自然天气季节的标志,以后在50—60年代又有许多作者研究东亚自然天气季节的划分问题。在80年代有些作者认为自然天气季节的持续与转换过程都和不同空间尺度的长波或超长波有关,并据大气活动中心的季节变化重新划分了东亚的天气气候季节。为了客观划分优势环流型,用候平均环流去分型,共得东亚一年有6个自然天气季节,即春、初夏、盛夏、秋、前冬与后冬,各有若干型。

我国的东南季风是30年代提出的,不过我国的东南季风气候和印度西南季风气候具有根本的不同,40年代才提出西南季风一词以和我东南季风分开,指出西南季风鼎盛期(6、7月)可影响黄河中上游,地面层西南季风可到达南岭南侧,并把南岭做为季风气候区划的界线。有的作者用辐合带作为西南季风、东南季风与西风带间的界面,也有作者用高原切变线作为季风环流的北界,更有些作者研究了季风区与非季风区在纬圈环流方面的差异。

华西山区因爆发的极地冷空气有地形阻流现象,而上空常为西南气流,所以出现华西秋雨,在这个问题上更有作者根据地形影响理论,说明背风坡气旋发展的物理过程,还从大地形讨论了有利于超长波脊或阻塞形势发展的条件。

寒潮问题是30年代早已提出的天气气候问题。在70年代根据高空图的分析,已经提出寒潮冷锋南侵的条件是黑海高压脊前的冷槽、黑海阻塞高压的建立;寒潮活动路径也和横槽过程有联系;寒潮爆发的指标与路径更和极涡的面积、强度与位置有关。极涡还有分裂过程。

关于长江中下流的梅雨在30年代已有论述,在50年代论述更多。有的作者综合各个学者对梅雨成因的看法外,还对梅雨出现的范围以及梅雨期的划分提出意见。长江中下游的梅雨期具有很大变幅,更从理论与实践上论证了梅雨的范围,还论证了梅雨与超长波的关系。

在1940年已指出印度冬季西北低压可以侵入我国。这就是我们现在常用的西南槽。新中国成立后,在50年代中已认为南支西风急流上的波动可以造成西南大槽。西南涡一词在1950年最早提出,以后有许多作者或单位讨论过西南涡的形成与其源地。考虑青藏高原对大气环流的影响成为绕流的情况下,根据数值试验认为绕流是西南涡形成原因之一。

在1939年已首次发现孟加拉湾台风可以衰弱的低压形式经过云南高原在我国东海岸重新发展。在有了卫星云图以后,在70年代关于孟加拉湾台风能进入中国的问题,才引起我国气象工作者的注意并已发现秋季的孟加拉湾台风能影响到青藏高原南部与中部,甚或能使甘肃、陕西出现大暴雨天气。

我国在30年代初已提出八类气旋及其标准路径。在50年代曾按急流的进退推论中国气旋

最常见的路径。以后在1960年认为我国气旋主要有三类即东北，黄河与江淮气旋。在70年代总结认为东海气旋是海气作用形成的。最近数值模拟认为青藏高原背风气旋绝大部分生成在东海岸，并已承认东海气旋。

因为副热带高压的活动和我国大部分地区的旱涝具有联系。所以有关副高的研究也很多。研究证明，赤道海温会影响副高的强度，中纬度扰动也会影响副高流场的演变，尤以长波扰动影响更为深远。此外，对流层上部亚非高原的东西与南北振荡对我国旱涝也有重要指标作用，这是70—80年代我国许多学者所提出的结论。

西北的多雨是在副高西伸、青藏高原暖高压加强以及欧亚大陆北面具有低槽的天气气候形势下形成的；西北旱年，相反是西风槽位于我国东北沿海的情况形成的。

赤道辐合带是低纬度大气环流的重要低值系统，其活动对我国华南沿海的天气气候影响很大。这个辐合带位置及其从南半球进入我国的夏季西南气流的通道数目都有很多研究。在低值系统与副高间还易产生西南风急流，成为华南前汛期（4—6月）的形成因子，后汛期（9—10月）则以台风或热带辐合带与降水为主。

50年代我国作者早已注意到海洋对我国气候的影响，在60—80年代论著十分丰富，从各个角度研究海气关系，以便作出有关地区的气候预报。在60年代初最先计算了海气间热量平衡各分量。并讨论了北太平洋海温分布、海温和副高之间关系、大范围海温持续异常对大气环流的影响。

除表层海水外，深层海洋热状况的异常也反映了海气关系，黄海冷水团深层水温与长江中下游的降水具有关系：水温低时，副高弱，长江中下游多雨，根据计算，说明海洋对大气加热最大海域从11月—5月都出现在黑潮区，加热以冬季最大。根据近五百年旱涝资料的分析，找出我国旱涝与海洋热状况有密切的关系。

由于海气系统变化密切相关问题，另外的研究也指出我国东部地区汛期降水必定和太平洋海温变化存在着一定的遥相关。海温变化和降水的遥相关大多出现在洋流区内，黑潮就是影响大气环流的关键区之一，其影响不只涉及我国上空环流，而且可远及欧洲。

在80年代初还发现海温异常和厚度场的相关乃随不同季节与地区而不同，而大气环流对海温的影响主要表现在太平洋高压与阿留申低压两个大气活动中心的作用。这说明海温与大气环流间具有相互作用。海气相互作用各有其最敏感的区域，北太平洋赤道海温主要受北太平洋赤南部副高的控制，而赤道海温对副高的反馈主要发生在对流层中层的副高中心附近地区。

我国作者们在70年代以后也开始ENSO研究，其结果既证实了Bjerknes的观点，又丰富其内容。根据南方涛动可影响哈得来环流的概念出发，认为冬春南方涛动对初夏东亚环流具有影响，因而可影响长江中下游入梅的迟早。并发现不同尺度的环流波动和ENSO间的关系是不同的，更有作者论述了以ENSO现象为中心的热带海气相互作用的特点及其和年际气候变化的关系，总结了这一研究领域的发展阶段和尚待解决的问题。

三、我国在气候变化与预报方面的发展

1. 现代气候变化

关于我国近百年内的气温变化,一些研究成果由于资料限制大都限于东部地区。近来,根据30年500—1000毫巴厚度,研究北半球对流层下部的温度变化,得知年平均温度距平自1953年以后的20年内降低有 0.88°C ,但70年代又有回升趋势,自1972年到1980年增暖有 0.55°C ,其变化趋势和地面变化十分相似。应用插补方法与主分量分析,得知在近百年内我国除新疆外,东部地区以及青藏高原有两个气温上升时间,一为本世纪初到约1945年,二为70年代以后的时期,其间为一降温时期。以上两个研究结果,虽方法不同,但结果近似。

关于我国近百年内降水的变化也早有研究工作。根据降水量插补方法与自然正交函数分解,得出我国逐年的年季降水变化的基本分布型式是旱涝带交替出现,更有和南方涛动相应的周期振动。根据夏季半年30年间平均降水资料的分析,指出我国华南与华中的降水和El-nino现象的相关性的彼此相反的。长江中下游夏季大部分年份属正常,而华北地区夏季降水和El-nino现象关系不大。

应用全球卫星数据研究平流层下层亮度温场的长周期振动,指出长周期振动的振幅在高纬度有明显纬向非对称特征,在热带则相反;位相分布在中高纬度具有自西向东和自中纬度向极地传播的趋势。在研究 $30^{\circ}\text{--}80^{\circ}\text{N}$, $50^{\circ}\text{--}120^{\circ}\text{E}$ 范围内的高空低频振荡后,指出在青藏高原经度范围内各纬度带具有30—40天的周期振荡;在对流层青藏高原是大气低频振荡源地,在对流层上层中纬度是大气低频振荡源地;由两种源地所产生的低频波都可向南向北传播。应用主分量、复主分量以及交叉谱分析方法,对我国30年逐月降水记录进行分析,指出华北与长江中下游具有显著的准两年周期振荡,其传播方向主要是由东(东北)到西(西南),且有同相关系。

根据气候随机事件的理论研究,计算出我国东部广大地区具有为期3—4年的气候循环,并在此基础上提出游程序列中有转折周期的概念,认为气候时间序列中并不存在用谱分析所求得的周期性(准周期),而是有基本周期,周期愈长,愈很少出现。基本周期就相当于转折周期(循环周期)。

关于气候变化原因的分析,有的作者归纳为自然与人为两个方面。气候变化的人为原因有大气污染对工业城市辐射的影响、大型水库对邻近地区气候的影响以及大气中 CO_2 的含量。气候变化的自然原因有作者认为火山爆发向平流层上空所喷出的大量灰云既有降低地面气温作用,同时也有增温效应,但主导热力影响仍为有净冷却作用。根据近五百年的火山资料,研究大火山的喷发和我国旱涝、冷暖的相关性,发现火山活动对气温的影响比对降水的影响要明显得多。

2. 历史时代气候变化

四十年来,我国历史气候学家以及另外一些文史工作者对我国历史气候资料都作过大量整理工作。在70年代国家除开展树木年轮研究建立较长的气候序列,另一方面利用我国历史悠久、文字记载丰富的特点,于1975年与1977年分别组织了以北京大学地球物理系与南京大学气象系领导的两次整理地方志等历史上灾害资料的“会战”。此外,各省(区)还出版了有关文字资料及500年的旱涝图集(1982)。

很多作者在此基础上作了很多工作。首先有的用自然正交函数分析了我国降水和500年旱涝分布特点;有的认为在冷暖、干湿变化上,存在有11、22、80—90以及200年左右的周

期。有的研究认为较显著的旱年、涝年周期只是短周期(3—6); 25年以上的周期其置信度小于75%; 有的作者研究过小冰期(1430—1850)内广东省的气候振动。在我国历史时期内, 在冷的年代里西干东湿, 反之在暖的年代里是西湿东干。也有根据历史记录已作出的近2—3千年降尘时空分布图和频数曲线, 认为降尘频繁期相当于干旱气候。关于我国古气候与历史气候以及气候预报方面的研究工作也有同志作过全面性评价。

兰州冰川冻土所1975年根据祁连山所采年轮达975轮圆柏的年轮分析, 指出我国从12世纪50年代到19世纪60年代具有一个持续600多年天气气候周期, 但是其间又叠加了6次不规则的小周期。近廿年来对高原地区的气候变化也进行了不少研究, 得出了高原地区百年尺度的气候变化大体与我国平原地区趋势一致, 但其位相比平原地区平均要早15年, 并且认为高原不但是一个天气变化的启动区, 而且可能也是一个气候变化的启动区的结论。

冰川与气候条件的关系是十分密切的, 因而冰川的进退可作为气候变迁的一个指标。有些作者认为5—6千年前, 我国几个山脉的冰川都已融化, 当时我国温度比现在可高 $2-4^{\circ}\text{C}$

3. 地质时代气候变化

一些研究者根据西部高原与高山隆起对第四纪气候的影响, 讨论了中国大陆早第三纪与晚第三纪的古气候面貌。其他一些研究根据冰缘地貌的研究, 恢复了第四纪晚更新世气候变化与气候期的划分。

生物代用资料长期以来也是研究气候变迁重要根据。根据植物化石群的变化, 对西藏高原从晚第三纪以来亚热带气候演变为现代高寒气候的过程作出了阐明。70年代以来又利用黄土剖面中沉积相的变化、古土壤所含蜗牛及孢粉化石等, 去推测一、二百年以来我国气候变化的工作, 也取得巨大成就。从70年代开始, 利用沉积物中有孔虫、介形虫等水生微体古生物的变化, 去测定水温变化、海面升降变化, 进而推测古气候变化的工作有很大进展, 对于推断我国东部晚更新世以来的气温变化作出了成绩。根据孢粉组合的层序变化, 不仅对东北、华北、西北、西南、华东、华中等地晚更新世以来的气候变迁过程作出了定性分析, 甚至对气温、降水的变化取得了半定量的结果。

生物—地层证据说明: 第三纪晚期我国东部已存在冬干夏湿相交替的季风气候现象。到更新世时期青藏高原急剧隆起后, 不仅改变了高原本身的气候环境, 同时也改变了东亚环境结构, 使我国现代的季风气候, 就性质、强度以及影响范围都极不同于第三纪晚期的“古季风”。现代季风的出现, 极大影响着我国自然环境的演变。

我国西部大沙漠就在中更新世形成; 由于第四纪以来喜马拉雅山及西藏高原的加速隆起, 西北地区更加干燥, 我国东部气温明显低于全球同纬度地区。有些作者把这种气温偏低现象称之为冰期或冷期中东亚“冷孤”。在中国东部第四纪冰期与间冰期的更替中, 气温变化较同纬度地区更为剧烈, 使气候带、冰缘现象、动植物区系、古土壤带等都曾有过大幅度的移动过程。在第四纪间冰期中, 我国东部气候带较冰期时普遍北移了10—15个纬度, 冰期中的情况则相反, 热带辐合带压缩南退、蒙古冷高压增强、气候特别严寒干燥、寒温带动植物的南界移至 30°N 以南, 还证实了第四纪冰期气温愈向第四纪晚期愈趋寒冷而干燥。晚更新世最后冰期时, 我国西北、东北等地区, 年平均温度低于现代 $10-12^{\circ}\text{C}$, 华南一带降温较少, 可能低于现代 5°C 左右; 西南地区在地形影响下, 降温幅度小于东部同纬度地区。由于寒冷

与干旱相结合,当时我国北方大范围地区处于“冰缘”环境下。

中更新世是我国气候演变的一个关键时期,生物-地学证据证明,我国西部与华北都曾经历一个雨水丰沛的湿润时期,此后,虽也存在着干、湿期的交替,但我国北方和西部呈现旱化趋势。不但现代西北、内蒙的沙漠都是中更新世以后才逐渐形成的,秦岭对我国东部的南、北气候分界意义也是中更新世以后才日益显著的。

一万到一万二千年以来的全新世气候曾发生较大的波动。波动频数也非传统上的早中晚三分法所能概括。我国全新世“新高湿期”于距今七千年前达到高峰。此时我国东部广大地区都比目前要温暖而湿润。当时我国年平均温度约高于现代 $2-3^{\circ}\text{C}$, 东部各地区普遍湿润,华北地区属于暖湿亚热带气候。一些作者在60年代初,在我国西北地区的研究曾发现了我国最末次冰期——望峰冰期及我国西部地区全新世小冰期,并对天山更新世与近代冰缘发育作了开拓性研究。利用生物-地学证据以复原新、旧石器时代文化遗址的气候环境工作也卓有成就,从对北京猿人居住环境的气候,一直到安阳殷墟等等许多地点的研究都获得许多有意义的结论。

Milankovitch模式可以解释时间尺度为一万到10万年的冰期与间冰期循环。最近,对零维能量平衡模式导出了相应的Fokker-plank方程进行求解,得知当太阳常数随机变化时将导致冰期与间冰期温度下降,气候变冷;当太阳常数平均保持不变(但其随机性变化大于31%)现在气候状态也将消失。

4. 气候预报

我国由70年代中到70年代末曾盛行过韵律预报法,有些作者怀疑其准确性,但也有些作者支持这个预报方法,提出其应用标准与统计检验,以后更出现动态相似法,又提出分类逐步相似预报,这个方法类似相似模式。在70年代还出现了阶段分析、分割法、极差分析、模式输出预报法等等。由70年代末到80年代中又盛行一时期模糊数学方法,从80年代初到现在又出现了聚类分析,还有逐步聚类分析,多用于筛选预报因子。自从多元分析引入后,在80年代初出现了自然正交分解与判别分析,正交多项与混合正交多项式。自从不规则格点上车贝雪夫多项式出现以后至今就应用于统计预报。这个方法精度较高,简便易行,可估计预报误差,且对于长、中、短期都可使用。

有的作者把我国35个站的秋冬逐月降雨与气温记录序列进行自然正交展开,计算得知我国大尺度降水分布特征冬季较秋季明显,温度分布则相反;秋冬大尺度降水场和次年初夏降水有很好的相关;冬季大尺度温度场也能对次年初夏降水提供预报信息。

自60年代直至现在还有很多作者用周期分析与谱分析找周期去预报。在70年代出现极差分析用于周期检查,其效果等于方差分析,但更简便。

在回归模式中选择预报因子的问题非常重要。曾提出许多方法,例如有预报因子群的选择方法、有初选与精选的两段筛选、更有对初选因子再用自然正交函数提取主分量的三段筛选、还有在初选以后的精选中提出了三个方案等等。近年来在选择预报因子时,越来越注意其物理意义,并比较了不同选择预报因子的方法,比较了其预报效果的好坏,更有作者,指出也应当注意相关系数的符号问题,提出在少数情况下不独立的因子组合还会比独立的因子组合,在分类预报和定量预报中更加有利,并给出其判别标准。

此外，还有二分变量的预报方法，最近有人在二分变量序列中提出转折点的概率函数，并发现游程长度序列具有较大的自相关性，因而提出游程自回归模式去预报旱、涝年。为了改进游程自回归模式的预报效果，又应用门限游程自回归模式能预报3年以上的游程转折点。

有些作者从80年代初开始就深入开展了对我国第四纪气候变化和海面升降运动、第四纪环境演变的研究工作，并对近代气候变化以及未来气候环境变化趋势预测等作了一系列的研究工作，而且愈来愈引起广大研究者的注意。

四、我国在小气候学方面的发展

我国四十年来小气候学是从萌芽时代开始发展的，特别是对地形小气候、农田小气候和森林带小气候研究最多，发展也最快。1956年夏由南京大学气象系与前华北农科所农业气象组合作，对西北黄土高原不同地形、沙丘、植被和各种水土保持措施的小气候效应全面进行野外考察。以后，南京大学气象系（1962—1983）又先后又在不同地区组织了小气候、地形小气候和山地气候观测，发表了一系列研究论文。同时，为弄清楚我国山区气候随海拔高度变化的一般规律，中央气象局委托福建、江西两省气象局在我国东南最高的武夷山脉主峰连续两年（1959—1960）进行山地气象观测，中国科学院大气物理所在四川、湖南、湖北、河南等地山区于1968—1970年进行了温度和风的时空变化观测。在1979年青藏高原气象科学实验中还发现了不少高原辐射气候和小气候的独特点。为了修建青藏铁路的需要，有关单位组成气候考察队到昆仑山和唐古拉山进行气候考察，于1972—1979年发表论文多篇。还有许多单位从1965—1984年相继开展了山地气候的野外考察和研究工作；中国科学院地理研究所于50年代以来还对我国南方不同地形条件下橡胶树冻害与地形小气候的关系，以及防止橡胶树受风害、冻害的措施进行了长期的工作，有效地把橡胶种植界限北移。

我国在山地气候分析和理论方面，在50年代中早有开拓性的工作，以后有作者不但理论分析山地各气象要素随海拔高度、坡地方位以及地形型式变化而变化的特点与规律，还研究了在各种理想起伏地形中可照时间与辐射平衡各分量的理论计算以及山谷风的理论模式，更提出了许多推算山地气候资料的方法，并综合写了专著。

有些作者首先对影响我国山区气温直减率及其变化的主要因子做过分析研究，以后更进一步论述了山地气温直减率的影响因子并计算了全国气温直减率的时空分布。

在50年代中到80年代初，在我国先后发表了很多研究农田小气候特性和在近地层气候、小气候的物理基础和人类活动对气候的影响方面也做了大量工作。有些作者运用相似理论和因次分析研究了近地面层中的湍流交换，根据对土壤蒸发的物理考虑，由量纲分析和微分方程理论得出了与计算土壤蒸发和陆面蒸发的普通公式。大型水库和大面积绿化对降水的影响和估算方法也有研究工作，指出大型水库建立会明显改变降水的地理分布，但对整个水库流域的总降水量影响不大；大面积绿化只在中干旱地区会使降水明显增加，在非常干旱地区则对降水影响不大。在治沙方面根据野外考察结合气候资料，曾总结出起砂风和流砂的关系，并绘出西北干旱地区起砂风各种气候特征的分布图。

关于城市气候问题，南京大学气象系早在1957—1958年曾进行过城市气候的观测，后又

在80年代初做过两次观测,说明天气条件对城市的低层气象要素有不可忽视的影响。1983年起华东师范大学地理系和上海市气象局合作建立10个固定观测站迄今已有5年历史并有专著与论文集问世,为我国城市气候的研究做出贡献。在贵阳、北京、杭州前后也相继提出城市气候的研究工作。在城市气候的研究中,热岛效应的形成过程及其相互关系的研究最为突出。指出热岛的形成主要由于建筑物的屏蔽,尤以最低温度最为显著,并于冬季最强,夏季最弱。建筑屏蔽效应,根据南京114米的两个铁塔一年的逐时风速资料,用市内外相对风速差,分析了城市对风速的削弱作用随高度而减小,冬季大于夏季;空气层结稳定时大于不稳定,因而城市对风速的削弱高度在空气层稳定时要较高。

城市还有大气污染和气候条件的相互作用。在城市绿化方面,有在什么城区采用什么树种,以便除降温保暖外,更能多减少不同的城市污染,净化空气的问题。现代城市气候的研究是走向数值化问题。最近,有些作者用非常定非线性二维数值模式,在一些假设下,得到城市热岛的暖中心底部位于市中心,但其暖轴随高度倾斜,即使在中性层结下也约在500米高度下,在市中心上风方向有上升运动,下风方向有下沉运动。也有作者从大气热力-动力学方程组出发,分析了由于城市的单纯加热作用而引起的热岛环流特征,发现在城市上空有波动形式的流场;如平均风速大于 6m/s 时,热岛现象即可消失。

五、我国在区域气候方面的发展

1. 中国气候

我国区域气候的研究是在20年代末已有起步工作。中国气候的整体研究虽从30年代中逐渐丰富,但仍因气候资料不足,未能全面总结出我国的区域气候(中国气候),新中国成立后,由于国民经济建设的需要,我国区域气候的研究才日益发展。首先写出了东北的气候,不久相继有中国气候的专著问世。在70—80年代更因有大量气候资料与丰富文献,写出了面貌各异的中国气候、海洋气候与高空气候。同时,各省(区)也都进行了区域气候的编写工作。

中国气候的基础是基于多年来对形成我国气候的太阳辐射、大气环流(包括季风)、地形及海陆分布对气候的影响深入研究的基础上发展的。其中需要特别指出的是季风与青藏高原在中国气候形成中作用的研究,尤其是70年代初由许多单位组成的“青藏高原气象科学协作组”对高原系统的研究,在70年代末,对该地区气候形成特征及其对周围地区(包括我国东部地区)的影响更有深入的了解。1979年青藏高原气象科学实验中,对高原辐射平衡各分量又都进行了直接测量,1982—1983年兰州高原大气所又在4个站进行了一整年的热源观测,证实了冬季高原大气是冷的结论,从而为提出高原季风奠定了基础,而高原季风的强弱变化与我国气候旱涝关系密切。另外有关高原地区平均流场的结构、高原切变线平均位置的变动、高原气候等等,这些研究都大大丰富与深化了对中国气候的认识。

2. 气候区划问题

我国气候区划的研究也早在30至40年代提出了大同小异的不同方案。新中国成立后,根据积温将全国划分出六个气候带与一个高原气候区,然后以干燥度为准把每一气候带划分为

湿润、半湿润、半干旱与干旱三类四个不等的干湿区。这一方案最终结合传统习惯把全国分成 8 个一级区。以后, 又采用较多资料再次作出了类似于上述方案的气候区划。在气候区划中, 引起争论较多的是我国热带的北界问题。在自然区划工作委员会(1959)所制定的区划中, 亚热带所跨纬度甚广, 后来, 国家气象局的方案分出北、中、南三个亚带。关于热带的分布范围问题, 目前有争议的地区是华南的一个狭窄地带以及云南元江、澜沧江向北伸展的河谷。这些地带在一般情况下可生长热带作物, 但遇到强寒潮南下时, 会使热带作物受到冻害。

在气候区划工作中, 还有根据柯本与桑斯威特的区划标准, 对我国所作的区划, 以及以年温变化的谐波分析作出的气候区划, 后者可以说是一个独特的气候区划方法。又有用我国降水时数时空分布的研究, 把我国划分为若干雨旱季节型类。为弥补柯本在其气候分类中对高度考虑的太粗, 曾提出柯本分类的改进方案。更有依据我国青藏高原的气候资料, 对青藏高原的气候区划进行探讨, 做过一个更详细的高原气候区划。在 80 年代初又提出新气候分类, 即 Köppen 与 Wissmann 分类法的综合修正法, 认为在气候分类中应按纬度高低划分出地带性的气候带, 又应按非地带性因子(海陆分布、山脉等), 在同一气候带内划分出不同的气候型, 在全世界范围内共分 8 个气候带, 17 个气候类型。当然, 这种分类法也适用于我国。

六、我国在应用气候方面的发展

为了服务于国民经济建设的发展, 四年来已逐渐开创了“应用气候”, 在开始阶段乃以简单资料服务为主, 以后逐渐转变为专门问题的分析服务。首先在 50 年代为了适应水利部门的要求, 设计了一些结合水利设计要求的暴雨统计项目, 以后逐渐发展有专著出版。

在建筑气候方面, 有些作者对近地层应用气候与建筑气候分别作了有应用价值的工作, 也完成了建筑气候分区。为了合理利用建设资金, 又对风压计算做出许多工作, 并定出了我国各个地区的风压取值; 还按各种建筑物对风压的要求, 根据极值分布计算了风压值, 最近更有专著问世。有些作者为了风能资源评价以及开发利用, 研究了模拟中尺度山区气候分布。还对高层楼房的振动进行了多次实测研究, 为我国高层建筑物设计提供了宝贵实验数据。另外, 在 80 年代初也对水平面上日射强度研究了 40 个城市夏季与各月逐时不同朝向墙面日射强度, 及北京 8 个方位墙面月平均总辐射日总量值。这对室内空调采暖很有参考价值。

应用气候也对电力、电讯事业开展服务工作。在超高压输电线路最大风速取值研究中, 曾根据地形与风速的关系、分区建立了换算公式。在电线结冰方面, 已做过不少细致的研究工作。

除开发水电资源外, 必须对新能源提供正确的分析。在这方面国家气象局完成的“我国风能资源”与“中国太阳能资源利用区划”具有重要作用。最佳倾斜面上太阳辐射特征的研究也对于提高吸热器效率具有重要作用。以后, 在风能资源方面, 更做出了一定贡献。

从 70 年后期以来环境评价工作也有蓬勃地开展。为了对环境污染进行评价, 在北京、南京、武汉、广州先后建立和利用高度达到 100--300 米的高塔进行近地层气象观测并总结出不少研究成果。也有一些作者根据一些地区太阳辐射资料, 讨论了空气污染对大气透明度和太阳辐射的影响, 更有用大气混浊度系数监测大气污染的论著。

四十年来在农业气候资源、农业气候灾害分析、农业气候区划等作了大量工作,取得了很大的成绩。在50—60年代全国性的农业气候资源分析研究分别提出农业气候指标的研究、分析编绘了和农业气候要素(热量与水分条件)有关的分布图以及稻麦棉作物发育期的物候分布图与农业气候资源分析。从60年代中进入80年代后,为作物引种、农业区划等提供了气候依据,对作物农田的水分条件也开展了多方面的研究。此外,由于各省(区)气象部门展开了农业气候调查,有的省(区)且编写出农业气候专著。此外,我国农业气候资源的分析研究已进入风能资源与温室农业气候条件等新领域。在80年代中还提出主要粮棉作物物候期图与各发育期的光、温、水等农业气候资源图230余幅。关于农业气候生产潜力的研究早在60年代中曾论证了我国太阳辐射量、温度、雨量等气候条件的优缺点及其对粮食生产量的影响,并估算了我国南方地区的粮食生产潜力。进入80年代后,针对水稻与小麦等主要粮食作物的研究更有进展,已从估算单因子的光合潜力,进而考虑光、温两个因子的光温潜力,再次进展到考虑光、温、水诸因子的气候生产力。

在农业气候灾害方面,50年代已对华南热作寒害的降温规律、霜冻特征与分布进行过分析。60年代也对干热风开始进行气候分析。70年代以来,为了农业持续增产对东北低温冷害、南方晚稻寒露风,此方小麦干热风以及柑桔冻害等开展了协作研究,提出了这些灾害的类型、指标、时空分布和变化规律。

我国在农业气候区划问题上,也作了不少工作。农业气候区划有综合区划与部门区划两大类,这种概念也和一般气候区划一样。在我国第一个综合农业气候区划中曾采用了积温、干燥度等农业气候要素作为区划指标。以后,在60年代初很多省(区)也进行了农业气候区划或类似的气候区划。对全国综合农业气候区划又进行了新的探索。目前全国综合农业气候区划基本主张首先把全国划分为三个自然区(或大区)作为一级区划,二级区划主张按温度指标划分为若干个气候带与亚带,三级区划则以水分条件划分为若干个地区。在全国综合农业气候区划中争论较多的同样是关于亚热带的划分问题。也开展了部门区划,如作物气候区划、种植制度区划、水稻气候生态区划等。最近完成了“农业物候图集”成为农业气候区划不可缺少的依据。

总之,应用气候所涉及面太广,例如生物气候、医疗气候、污染气候、旅游气候、交通气候、航海气候、水文气候以及军事气候也将成为气候学的一个分支,本文不必备述。

结 束 语

1. 气候学的复杂性问题

气候的生成与变化过程是由很多而又复杂物理系统(大气变化、海洋变化、北极冰冠变化、地貌变化)、宇宙-地球物理因子、化学与生物过程以及人类活动等所形成的气候系统变化过程。所以气候系统是非常错综复杂的非线性变化过程。因为气候时间序列具有显著的周期性,并且在许多气候变量间具有各种时间间隔的自相关与交叉相关,所以气候变化虽无固定周期,但未来气候变化在某种程度上用某种方法是可以预报的。大气变化既是一个复杂的非线性动力系统,随时间的变化又是一个随机过程,所以气候问题既是一个动力学问题,

又是一统计学问题。气候成因只有用动力气候学方法才能分析清楚。气候现象只能用统计气候学方法才能理出头绪。本人认为事物的形成原因必然和事物所表现的现象相互联系着。因此, 动力气候学必然和统计气候学发展成为随机动力气候学, 用以研究气候学问题。

2. 气候学的研究问题

研究气候形成与变化的方法有数值模拟与模型实验。数值模拟有动力学模拟与统计学模拟。关于青藏高原对西风急流分支的最好模型实验就是汛期看兰州黄河大桥桥墩对河水急流的绕流现象。在桥墩东面除有南北两股自西向东的急流外, 其间还有补偿的逆流, 在两股急流与逆流间由于切变就在桥墩东南侧出现有反时针小环流, 东北侧有顺时针小环流。当然, 大气和流水并不尽同。

本人早就认为我国雨带由南向北移动是冷峰活动所形成的。副热带高压是动力高压, 其季节移动是应为确定性的, 而冷空气的爆发是随机性的。雨带北跳是随机性的, 因而其北跳应和冷空气活联系起来。

我国气象界已公认长江与黄河之间气旋产生较少(和雨带北跳有联系), 这个结论似和“江淮气旋”具有矛盾。本人认为气旋有一定的生成地区, 是否应按其生成源地命名较好?

在我国历史气候研究中, 只找出了周期, 没有找出跳跃与奇异点的现象。这既不符合地质时代气候变迁的规律, 也不符合器测时代气候变化的规律, 这个问题还应进一步研究。

近代用气候模式预测世纪平均温度变化时, 多考虑大气 CO_2 含量的影响, 有的还考虑了纬度和海洋的影响以及考虑了火山爆发进入平流层内的气溶胶。本人认为在这个问题上应考虑地极移动与地转变化的问题。由于人类活动与自然地理的恶性循环, 地球自然环境已大大改变, 不但使大气中的 CO_2 含量急剧增加, 还有以半年为周期的地温上下传输, 也可使中高纬地表气温年变化的振幅有加大的问题。这些问题如分主次全面考虑就是天-地-生气候学今后应研究的方向。本人认为这个包括了大气内外许多子系统的天-地-生气候系统, 是非常复杂的强迫耗散非线性系统, 是可具三个吸引子的非线性动力学问题, 但因地带不同而不同。

小气候学应密切结合植物学与土壤学, 应成为气象学与植物学、土壤学间的边缘学科。在小气候学中应考虑短期天气的变化, 因而小气候学也应由确定性的数值模拟, 向随机性数值模拟方向发展, 研究其多平衡态的转换问题, 城市气候也应如此。

3. 区域气候的研究问题

区域气候是在自然地理学的基础上归纳综合各种气候学内容的气候现象。中国气候就是世界气候研究中的区域气候。顾名思义, 在区域气候中应有分区的气候研究。这样, 我国的气候区划标准是否应和世界气候区划取得一致, 才能分辨出我国和其他国家或地区气候不同的特征? 因此, 在区域气候中最重要的问题是气候区划方法。气候既有年际变化, 所以气候区划不只要表示其静态特征, 也要表示其动态特征。本人认为在气候区划中所常用的平均值就能符合这两点要求, 因为用平均值就可以计算方差, 方差就是表示动态的统计量数。当然极值也是表示动态的另一量数。

4. 应用气候的研究问题

应用气候研究问题就是气候资源如何利用的问题。这就是寻求气候资料经过变换后的数据, 以使相应部门直接使用的问题。这样气候资源也是相应部门地理学内容。因为气候资源

应用的方面太广，所以应用气候的研究还有扎根于什么部门的问题，才能使气象学和相应学科渗透的最深入，有对相应的应用气候发展最为有利的问题。

本文总结的次序是从基础到应用，是以应用必须有基础理论的概念而定的。本文因涉及面太广，而篇幅有限，把专家们的论著一一提及势不可能，望加谅解。本文的完成，除本人亲自阅读不少论著外，还有许多同志供给素材，谨此致谢。实际上，本人更多的精力乃用于此文的综合与编排，以及提出问题与今后气候科学应发展的方向，个人之见，错误难免，希读者不吝指教。

编者注：作者在写本文的过程中，引用了40年来有关气候文献与专著474篇（本），因为考虑到会占用较多的篇幅，根据作者的意见，参考文献便没有再一一列出。

VIGOROUS DEVELOPMENT OF THE SCIENCE OF CLIMATOLOGY IN CHINA DURING THE LAST FORTY YEARS

Yao Zhensheng (C.S. Yao)

(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University)

Abstract

Great efforts were made by the author to make exhortation to transform descriptive climatology into quantitative one during the last 40 years. Since the scope of climatology has greatly increased, and a different approach of causes of the climate is directly or indirectly linked with others, "astro-geo-bioclimatology" has recently proposed by the author in order to understand the extraordinarily complicated processes of climatic causes and changes. In truth, during the process of reviewing the progress of climatology in China, it has been found out that accomplishments of the science of climatology have been proved to be the preliminary phase of "astro-geo-bioclimatology".

In China the development of the science of climatology is here summarized by 6 parts: climatic creation, climatic modelling analysis, climatic changes and prediction, microclimatology, regional climate and applied climate.

So far as the problem of causes of the climate is concerned, the author gives closer analyses for advances in astroclimatology, geoclimatology and bioclimatology it being understood that "astro-geo-bioclimatology" has been developing in China.

The emphasis is laid on summarizing developments with respect to climate gimodels, including statistic and dynamic models, models of radiation-thermo-hydrologic budget, and contour models in weather maps, advances in these fields being of great value to researchⁿ of regional climate.

In connection with the methods of climate prediction, climatic changes in the geological, historical and present time are abstracted from a number of papers in the appropriate fields of sciences.

Microclimatic advances have been drawn from every scope of this field, especially from the local climate modelling, but the nonlinear dynamics is required in further research of the microclimate modelling as suggested by the author.

The advances both in regional climate and in applied climate are also summarized, the whole of which should be contributed to improving geographic climatology. Besides, the author suggests that a new method of the climatic classification must be put forward and climatic studies for every climatic type must be practised, though applied climatic classifications are often desired with a view to their eventual uses.