

М. И. Будыко



气候的过去和未来

气象出版社

气候的过去和未来

[苏] М. И. Бudyko 著

翁笃鸣 刘惠兰 译

气象出版社

内 容 简 介

本书论述了气候的自然和人为变化规律；讨论了地质历史时期和现代气候变化的物理机理；提出了计算气候变化的理论；得出了关于未来几十年气候条件的结论；探讨了气候变化对自然条件和人类经济活动的影响。

本书可供对全球气候变化问题感兴趣的科学工作者参考。

М. И. Бudyko

КЛИМАТ

В Прошлом И Будущем

Ленинград Гидрометеониздат

1980

气候的过去和未来

М. И. 布德科 著

翁笃鸣 刘惠兰 译

责任编辑 殷 钰

*

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

常熟文化印刷厂排版·广益印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·全国各地新华书店经销

*

开本：787×1092 1/32 印张：11.25 字数：246 千字

1986年12月第一版 1986年12月第一次印刷

印数：1—3,000

统一书号：13194·0360 定价：2.40元

译 者 的 话

气候是人类环境最重要的因素之一。自有地球史以来,气候经历了漫长的变化过程。随着工业化的迅速发展,人类经济活动对气候产生愈来愈大的影响。七十年代初期,全球性的气候异常现象频繁发生,引起了各国气象学界以及某些国家政府的关注。因此,发表了大量的研究论文和报告,召开了一系列与气候科学(首先是未来气候变化)有关的国际会议。未来气候如何,已成了人们普遍关心的议题。

苏联著名气候学家 М.И.Будыко(布德科)的新著《气候的过去和未来》(Климат в прошлом и Будущем)是一本专门阐述气候变化的著作,它是作者继七十年代出版的专著《气候与生命》(Климат и жизнь, 1971)、《气候变化》(Изменение климата, 1974)、《全球生态学》(Глобальная экология, 1977)以及一系列小册子和论著之后的综合性论著。作者系统地阐述了气候变化问题的研究现状、大气圈的演化、气候变化的半经验理论、气候的自然变化、人类活动对气候的影响以及对未来气候条件的展望等问题。书中以大量的古生物,古地理以及历史年代和现代气候资料论证了地球气候的变化,并利用自己提出的热状况半经验理论进行模拟,结果表明,由于人类的经济活动,未来半个世纪的气候将变暖。因此,全世界气候学界应在研究气候的人为变化及其对自然环境的影响方面进行广泛的合作。

当然,未来气候变化趋势是一个十分复杂的问题,这不仅是因为影响气候的因子多,而且影响的机理也尚未完全清楚。

因此,气候学界的认识远未统一,持变冷说和循环说的学者也不少。本书对不同学术观点有所介绍,但似嫌不足。即便如此,仍不失其应有的科学价值。

本书按俄文本译出,个别地方参照了英文版本。在翻译过程中,得到南京大学地质系李生林副教授的很大帮助,特致谢意。

本书序和第一、二、三章以及第四章第一节由刘惠兰译;其余部分由翁笃鸣译;并相互校对,最后由翁笃鸣校阅定稿。由于译者水平有限,译文中的错误和不妥之处在所难免,谨请读者批评指正。

1984 年 5 月

序

本人和同事们自 1961 年起便从事研究在自然因素和人类经济活动影响下的全球气候变化问题。

在上述领域的近期研究工作中,取得了一些新的、目前尚未用专著形式发表的成果。这些成果补充了以前得到的、关于气候自然变化原因的论据,并证实了在保持现代能源发展趋势的情况下,全球气候在未来几十年内变暖很多的结论。数年前还仅仅是个别专家发表这种意见,现在它已被各国研究气候变化问题的大多数气候学家所接受。

上述结论曾得到七十年代后半期召开的数次国际学术会议的支持,从而引起了世界气象组织和许多国家政府部门的关注。

考虑到现在全球气候的可能变化,在本书中提供了近年来的研究成果。

作者于列宁格勒

1979

目 录

序

第一章 绪论	(1)
第一节 未来气候条件问题	(1)
第二节 研究的进展	(7)
第二章 大气圈的演化	(25)
第一节 大气圈	(25)
第二节 碳循环	(32)
第三节 大气化学成分的变化	(39)
第三章 气候变化的半经验理论	(57)
第一节 地球的能量平衡	(57)
第二节 大气热状况	(79)
第三节 热流量对热状况的影响	(99)
第四节 大气中的水分循环	(128)
第四章 气候的自然变化	(139)
第一节 地质历史气候	(139)
第二节 现代气候变化	(164)
第五章 人类活动对气候的影响	(208)
第一节 局地气候的变化	(208)
第二节 大气成分的变化	(226)
第三节 全球气候变化	(242)
第六章 未来气候	(255)
第一节 二十世纪末和二十一世纪初的气候条件	(255)
第二节 最近将来的生物圈	(285)
第三节 遥远未来的生物圈	(307)
第四节 结束语	(330)

第一章 绪 论

第一节 未来气候条件问题

人和气候 自人类的最初阶段起,气候条件就影响其生活和活动。许多学者曾多次发表过意见,认为上新世和更新世的气候变化严重地影响了人类进化,这是该时期气候普遍变冷的结果。由于高纬度地区的变冷最强,导致了经向气温梯度增加,使大气环流系统发生了变化,高压带移向较低纬度。因为高压带内大气降水少,所以在辽阔的热带地区,湿润条件发生了变化,因而在许多地区热带草原和半荒漠取代了热带森林。

有理由认为,在发生这种气候变化之前,人类祖先曾居住在非洲的热带森林中,生活方式与其他人猿等高级动物差别很少。在空旷地区,由于没有大树躲藏,人类祖先在许多不很大的非洲热带草原猛兽面前,几乎毫无防御能力。此外,在热带森林中,滋养人类祖先的许多食用植物消失,更增加了人类获取食品的困难。人类祖先具有较发达的大脑和灵巧的双手,以及完全自由和直立行走的能力,是他们能够生存的主要因素。可以想象,是当时非常严峻的自然条件,导致人类高速进化,特别是高级神经活动的进化。

现代人类起源于与最后一次第四纪冰川发育有关的气候振动时期。看来,生态条件的急剧变化大大地加剧了人类争取生存的斗争,并促使形成了人的形态 (И. П. Герасимов, 1970; М. И. Будыко, 1977; 等等)。

虽然原始人类大多是随气候条件迁居的,但也应指出,就是在人类生存的最初阶段,也具有防御不利天气、保护自己的 ability。在旧石器时代,人类已经能用火烧制食品和防寒。建造住所和穿着衣服对开拓寒冷气候地区具有极大的意义,因此在数万年前人类就已居住在除南极以外的所有大陆上。

应当指出,尽管人类在技术上取得了巨大的成就,但到目前为止,在不同地区定居的程度仍依赖于气候条件。

现在,广大的两极地区(南极、格陵兰中部地区和其它地区)没有常住居民。在大部分气候干燥地区,人口密度也很小,而气候最干燥的地区则是无人区。北极和副极地地区,在许多高山地区和以沼泽为主的过分湿润地区,居民也很少。因此,大部分人类都集中在有限的大陆地区,那里的气候条件对人类的生活和活动最为有利。此种地区的范围在逐渐扩大。但是,就是在现代人口急剧增长的情况下,向不太有利的气候区迁居还是比较慢的。

众所周知,气候条件明显地影响人类经济活动的效果。农业对气象条件的依赖性较大。在不同气候区里,农业的形式完全不同。在同一地带内,农业生产力可因个别地区气象条件的差异而有明显变化,且不同程度地随天气和气候的变化而变动。在湿润状况不稳定的大陆性气候区,粮食作物产量的变化特别大。由于上述地区对世界粮食生产贡献很大,所以这些地区湿润状况的变化大大影响全球粮食生产的均衡。

近年来,由于人口的迅速增长,很多国家粮食生产开始落后于保证最低需求的水平。因此,任何使收成减少的气候振动都可能带来严重的后果。气候变化对农业发展具有重要意义,为了有效地运用现代农业技术,就必须要有关于未来气象状况的可靠信息。这对于水利建设、在寒冷气候带中设计采

暖建筑 and 解决许多其它有重大经济意义的问题时，也是必不可少的。

由于国民经济各部门对未来气候条件信息的需求迅速增长，以前所采用的方法，亦即根据观测资料取得过去气候状况的方法，现在往往显得不够了。

现代研究确认，在最近几十年内人类活动已开始影响全球气候。这种影响有三种主要途径：

- 1) 大气中二氧化碳含量的增加；
- 2) 被人类消费的能源生产的增长；
- 3) 大气气溶胶浓度的变化。

由于燃烧煤碳、石油和其它燃料的数量日益增加，所以大气中二氧化碳浓度的增长可对气候产生很大的影响。因为二氧化碳对短波太阳辐射几乎是透明的，并能明显地减弱长波辐射，所以它是产生大气温室效应的主要因素之一。温室效应能使大气低层的温度升高。因此，大气中二氧化碳含量增高导致全球变暖。

人类活动影响气候的第二种途径，与各种经济活动中消耗能量所造成的对大气补充加热有关。人类所消费的全部能量都变成了热量，而其大部分则是促使大气升温的补充能源。

在人类消费的所有现代能源中，只有水能和包含于木质和农产品中的能量，是地球每年吸收太阳辐射的转换能。消耗这类能源不改变地球的热量平衡，也不会引起补充加热。但是，这类能源只占人类所消费全部能源的一小部分。煤、石油和天然气的能量，以及原子能等新的热源，它与现时太阳辐射能的转换无关。

在能源消费继续增长的情况下，人类生产活动中所释放

的热量可占被地面吸收的太阳辐射能的相当一部分，这就引起了全球气候的变暖。

大气气溶胶对气候条件的影响比较复杂，气溶胶质粒能散射并吸收短波和长波辐射。由于经济活动使大气气溶胶质量增多，所以就导致大气辐射状况的变化，这在一定情况下既有利于变冷，也有利于变暖。

由于人类活动已成为全球气候变化的重要因子，所以研究气候变化就成了现代大气科学的中心课题之一。这一方面决定于许多经济部门对气候条件的依赖关系；另一方面也决定于气候全球变化对生物圈中所有自然过程的不可避免的影响。

众所周知，现代人类活动对形成地理环境的许多自然过程会产生重大影响，而且这种影响几乎在地球的所有地区都表现出来。

地球上植物群落和动物群落的变化特别大。许多种动物已完全被人类所消灭，而还有许多种动物正在急剧减少，并处于被消灭的威胁之中。这不仅包括陆地上的所有大型动物，而且也包括很多海洋动物，如海洋哺乳动物，这些动物由于人类的追捕受到特别严重的残害。

在大部分大陆表面，陆地植被起了巨大的变化。大面积野生植物消失，代之以农田。就是现在被保留下来的森林，大部分也是再生的，亦即与自然植被相比，也是强烈地受了人类影响的。许多草原和热带草原地区的植被，由于过量放牧家畜，也发生了巨大变化。

人类对自然植被的作用，显著地影响着该地区土壤的形成过程，并引起了土壤物理和化学性质的变化。由于经常性的农田耕作、施肥和销毁大量正在生长的植物，使土壤发生更

大的变化。

人类活动对陆地水文状况的影响迅速增大。由于兴建水利设施，不仅小河径流，而且很多大河径流都发生了巨大变化。河川径流中的大部分水量是为保证工业和城市居民用水以及灌溉农田的。兴建大型水库急剧地改变了广大地区的蒸发和径流状况。在很多情况下，大型水库的面积可与大型天然湖泊相比。

应当指出，自然环境的所有这些变化，通常是各种局部影响的综合结果。它们具有全球性的特点，但这不是由于人类改变了全球规模的自然过程，而是由于人类活动的局部作用（区域性作用）扩展到很大范围的结果。

当人类影响全球性气候的时候，将产生一种完全崭新的情况。气候的人为变化可对河川和湖泊状况、动植物、土壤被覆以及自然环境的其它要素都产生影响。因此，人类活动第一次从整体上成了生物圈发展的主要因素。显然，阐明这种作用的巨大影响是很必要的。

研究课题 关于研究未来气候条件的实际意义，决定于气候可能变化的范围及其到来的时间。假若这类变化很大，并在不远的将来出现，那么，预报将来的气候变化便很紧迫。

本课题的意义还在于：各国国民经济主要依赖于现代气候条件，且显著的气候变化需要付出巨额投资，以保证经济活动适应新的条件。

获取有关未来气候变化信息必需的时间尺度，看来可与现在设计的工、农业建筑和系统（其使用情况决定于气候）运营的可能期限相比拟。对于长久性建筑，这种时期可达50—100年。假设气候在将来可能发生重大变化，那么很显然，在

设计这类建筑时,就应考虑这种可能性。

准备和实施调节气候变化以及使国民经济适应这些变化所需要的时间,是估计获取气候可能变化的时间长度的另一标准。实现此类措施要求解决许多复杂的科学和技术问题,可以想象,这种时间长度不可能少于几十年。

因此,最好是掌握未来 50—100 年气候条件变化的信息。

预报由于人类活动而引起的气候变化,与天气预报截然不同。前者可局限于分析大气圈和水圈中的物理过程,后者除此之外,尚需注意人类经济活动指标的时间变化。

因此,预报气候变化须包括两个基本要素——预报一系列经济活动(燃料消耗的增长、大气中二氧化碳浓度的增高、能源生产的增长等等)的发展和计算相应于人类活动改变所产生的气候变化。

这使上述预报具有两个重要特点。第一,它们不可避免地具有假定的性质。人类经济活动是一种对气候条件有影响的过程。特别是当这种活动可引起严重不利的气候变化时,很可能经济活动的性质在这些变化到来之前就已改变。因此,气候学家的任务不在于预报未来的实际气候,而在于计算多种经济发展的可能方案所引起的不利气候变化参数。根据计算结果,并采取克服不利气候变化的措施之后,就能最优地作出发展国民经济的长期规划。因而,预报气候变化是采取调节措施的基础。第二个特点与预报精度有关。既然由于许多原因要提前定量预报几十年后的经济发展是困难的,那么这种预报精度就不可能很高。因此,在未来气候的计算中,用近似方法是正确的。但是,这些近似方法应能正确估计气候可能变化量的符号和数量级。

此类估计的实际意义在于：能使我们从各种经济发展方案中，把那些能够引起巨大气候变化的方案区分出来。这些超过了计算误差的气候变化对于国民经济是重要的。

因为在经济活动的长期规划中，需要使用对未来气候条件的估计，因此，有必要尽可能提高这种估计的准确性。由于各种原因，要获取未来气候的准确估计是很困难的。譬如，在计算各种经济活动对气候条件的影响时，所利用的气候理论就很不完善。

为了克服上述困难，在研究中利用了两种独立的方法。其一是运用有关古代气候资料。该方法的基础是研究地质历史时期大气化学成分的演化，其研究结果可见本书第二章。其二是利用大气热状况半经验理论。这种方法将在本书第三章中详细叙述。第四章引证了运用该理论解释气候自然变化的物理机理所取得的资料。气候自然变化不仅发生在地质历史时期，而且也发生在现代。气候自然变化的计算结果与经验资料的一致性，是可能运用所述理论估计未来气候条件的基础。第五章叙述的是人类经济活动对现代气候影响的估计。最后，在第六章中引证了运用上述两种研究方法所取得的关于未来气候条件的结论。利用这些方法所得结果的一致性，对于证实本著作所得结论具有重大意义。

第二节 研究的进展

气候变化的原因 阐明气候自然变化的原因，对解决有关未来气候条件问题具有重要意义。尽管很多研究者对这些原因感兴趣，但至今无论是对现代，还是对地质历史时期气候变化的物理机理，意见还没有一致。由于缺少精确的气候

理论和必需的专门观测资料，各种相互矛盾的关于气候变化原因的假说，被人们认为是不能证实的，并引起了各种异议。这一领域在最近几十年内取得了很大的进展。因此，在抛弃了许多错误假说之后，现在已可以区分出正确的气候变化的物理机理。本书主要阐述以前完成的那些气候变化研究，从本课题研究现状来说，这些研究是最有成效的。

在有关气候变化原因的著作中，都非常注意研究二氧化碳浓度对气候的影响。

一百多年以前，Tyndall(1861)曾指出，因为除水汽外，二氧化碳也能够吸收大气长波辐射，所以大气中二氧化碳浓度的变化就能引起气候振动。

以后，关于大气二氧化碳影响气候的问题又引起了 Arrhenius(1896, 1903) 和 Chamberlin (1897, 1898, 1899) 的注意，他们曾假定，二氧化碳含量的变化可能是产生第四纪冰期的原因。

在 Arrhenius 的著作中曾研究了大气中辐射通量的吸收情况，并提出了根据大气性质确定地面气温的数值模式。他利用该模式得出：当二氧化碳含量增加 1.5—2 倍时，气温增高 8—9°C；而二氧化碳含量减少 38—45% 时，气温降低 4—5°C。

Arrhenius 在分析了地质研究资料后还曾指出，现代大气中的二氧化碳含量是过去大气中吸收、并在形成碳酸盐岩类中消耗的那部分二氧化碳的一小部分。由此，他得出结论，大气中二氧化碳浓度可在很大范围内变化。这些变化曾对气温产生过很大影响，足以使冰川形成和消退。

Chamberlin 的研究主要涉及上述问题的地质方面。他在研究二氧化碳的收支时指出，来自岩石圈的二氧化碳，可因火

山活动的程度和其它因子的影响而有明显的变化。例如，与遭受大气侵蚀作用的岩石表面变化相对应，在地质过程中消耗的二氧化碳也强烈地变化着。当岩石表面增大时。由风化作用所引起的二氧化碳消耗量就增大。

Chamberlin 曾假定，冰川是强烈的造山作用和大陆面抬升的结果，大陆面抬升使侵蚀基准面增大，风化岩表面扩大和大气二氧化碳浓度降低。他为了证实这一假定，曾进行了一些计算，但是不能把这些计算看作是某种完全定量的模式。

以后曾阐明，在二氧化碳的吸收辐射带中（辐射波长为13微米—17微米），出现了水汽对辐射的显著吸收，后者减小了二氧化碳浓度变化对热状况的影响。

考虑了这种影响之后，Callender(1938)所得到的二氧化碳浓度变动时地面的气温变化量，要比 Arrhenius 的结果小些。根据 Callender 的资料，二氧化碳含量增加一倍可使气温升高 2°C ，而且二氧化碳浓度变化对温度的影响是随浓度增大而减小的。

关于二氧化碳对大气热状况的影响问题，在 Möller (1963) 的著作中也曾讨论过。他曾注意到，当气温变化时，绝对湿度一般也要变化，然而空气相对湿度却大致保持不变。当温度升高时，空气绝对湿度的增大加强了大气对长波辐射的吸收，这就额外地升高了温度。他曾发现，二氧化碳浓度增加一倍所引起的地面升温值，在空气绝对湿度定常的情况下可达 1.5°C ，如在相对湿度定常时，升温值可增大几倍。此外，他还指出，二氧化碳含量变化对热状况的影响可由空气绝对湿度或较小的云量变化所补偿。

Manabe 和 Wetherald(1967) 曾完成了气温与大气中二

氧化碳浓度关系的详细研究。并指出了 Möller 计算的不精确性。Möller 只根据地面热量平衡资料来评价大气热状况的变化,而没有研究整个大气的热量平衡。

他们还注意了水汽、二氧化碳和臭氧对长波辐射的吸收,并计算了大气中温度的垂直分布。在计算中利用了根据经验资料所给出的空气相对湿度的垂直分布。他们推测,假如垂直温度梯度不超过 $6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$,那么温度分布便由局部辐射均衡条件决定。由于对流过程对温度梯度增大的限制性影响,上述温度梯度值被认为是最大可能值。

他们也曾发现,在平均云量条件下,当空气相对湿度定常时,二氧化碳浓度增加一倍可使地面气温升高 2.4°C ,如将现有浓度减小一半,则气温降低 2.3°C 。

在 Manabe 和 Wetherald 后来的工作中,运用三维大气环流理论模式,计算了二氧化碳对气候的影响。在模式中考虑了大气水分循环、海洋中和大陆上(在理想化地形情况下)的热量交换、冰雪覆盖与大气热状况的反馈作用(1975)。这一研究曾发现,二氧化碳浓度增加一倍可使地面平均气温升高 2.9°C 。近年来的许多研究也得到了类似的估计值,研究中利用了各种简化的气候理论模式。

阐明大气热状况与二氧化碳浓度间的依变关系,就能够研究二氧化碳浓度变动对气候变化的影响。作者关于二氧化碳浓度的减小可显著地影响新生代末期气候向变冷方向变化的假定(1974),曾被显生宙大气化学成分演化的资料所证实(М.И.Будыко, 1977; М.И.Будыко, А.Б.Ронов, 1979)。通过对这些资料的分析,曾得出结论,二氧化碳浓度的减小使平均气温降低,而这种降温过程自中生代末开始一直持续到新生代。