

气象科学的发展与时间观变革的初步探索

叶梦姝

(中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081)

摘要: 科学技术的发展往往受到特定社会环境与观念的影响。从科学社会学的角度来看, 气象科技史的发展和时间观念变革关系密切。通过分析古代社会的循环时间观、工业社会的线性时间观中, 人类对天气、气候现象不同的认识规律, 将历史不同时期的时间观念与大气科学发展特点、气象业务开展情况对应起来; 以19世纪天气图的绘制、气候内涵的演变、现代社会对天气预报的强烈需求、人类对待天气和气候的态度这四个事件为例, 阐述气象科技内史及其背后所隐含的时间观; 分析了20世纪之后大气科学研究中对时间性的强调, 以及对时间性问题的处理方式。

关键词: 科学史, 科学哲学, 气象, 时间观

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2014.06.007

On Relationship Between History of Meteorology and Ideas of Time

Ye Mengshu

(CMA Training Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: As we know, scientific knowledge of a certain discipline develops in corresponding with social ideas. This paper tries to figure out the relationship between the development of Meteorology and the ideas of Time from a historical perspective of Sociology of Science. It compared the differential weather cognition with weather service under cyclical time conception and linear time conception; the paper analyzed how revolution of social ideas interacted with the scientific progress by recalling four iconic events in the history of meteorology, including the graphing of first weather map, the emergence of modern climatology, booming demand of weather forecast, and the rotational appearance of optimistic/pessimistic attitude among the general public; the essay finally elucidates the emphasis of timeliness in both physics and meteorology in 20th century and how the scientists dealt with the nonlinearity and complexity when they attempted to imitate the motion in the physical world.

Keywords: history of science, philosophy of science, meteorology, ideas of time

1 引言

科学知识社会学的基本问题是科学是如何发展起来的。毋庸置疑, 人类对科学知识的探索和对技术的应用在本质上都是社会行为, 受到生产力发展水平及社会文化观念等的影响。关于在这其中哪些因素起决定性作用, 又在多大程度上影响了科学发展的速度和方向, 科学社会学家的观念有所差异^[1]。以美国社会学家索罗金 (Pitirim A. Sorokin) 为代表的文化学派认为“观念”等文化因素是包括科学发展在内的社会变迁的基本源泉和结果^[2], 与之相对, 以马克思为代表的持唯物史观者认为“生产力与生产关系”是制约整个社会生活和精神生活的“现实基础”。

对于大气科学来说, 影响其发展的物质因素主要有观测技术、信息与计算技术、观测站网的建立等, 影响其发展的文化因素主要有时间、空间的概念, 人与自然的关系, 知识的用途等。简而言之, 前者决定了大气科学能不能发展起来, 后者决定了要不要发展大气科学, 而沟通两者的重要因素就是多元化、层次复杂的社会需求。本文拟就不同历史时期人类对天气气候现象的认识规律与时间观念变革的对应关系做初步探讨。

时间是最重要的哲学概念之一, 对于大气科学来说, 对时间的认识是所有研究无法回避的前提。首先, 接连发生的天气现象表现出明显的时滞相关, 无法和其发生的时间割裂开来认知, 雨过天晴等相继出现的天气现象是人类对时间流逝最直观的认识途径; 第二, 逐日、逐年、年代际和长期的天气气候现象差异巨大, 决定不同时间尺度天气气候现象的物理规律也不尽相同, 人们所能够认知的的时间尺度影响着其所

收稿日期: 2013年8月5日; 修回日期: 2014年5月12日
作者: 叶梦姝 (1987—), Email: yems@cma.gov.cn
资助信息: 中国气象局气象干部培训学院“气象科技史研究”项目

关注的天气气候现象，认为时间的历史只有几百年的人自然不会对千年以上的气候变化产生认知；第三，天气变化、气候变迁和人类活动共存于一个时空，人类可以迁徙，或设计、建造空间，但是却不能摆脱或控制时间；第四，从人类文明发源之始，未知的天气变化就是人类必须面对的挑战和威胁之一，也是关于未来的众多不确定性中最常见的一个，因此对于处于任何发展阶段的社会，天气预报都有巨大的社会价值。

从以上四点可以看出，时间观从很多方面影响着人类如何定义、研究、使用和传播气象相关知识和信息。以下三个部分将分别从古代社会、近代社会和现代工业社会人类的时间观念出发，探讨不同时间观主导下的大气科学发展特点和方向，以及大气科学的研究成果对社会时间观的反向影响，尝试对科学发展与社会观念、技术水平等之间的复杂互动关系进行初步描述。

2 循环时间观与古代气象研究

以四大文明古国为代表的古代人类文明中，最早得到清晰阐述的是时间循环往复的特征，其时间观念以循环观为主。循环时间观强调时间的周期性、稳恒性和无限性。古希腊人是循环观的最典型代表，他们认为，时间是一个周而复始、循环往复的圆圈，过去的事情以后还会继续发生，过去、今天和未来在时间上没有本质区别；古埃及人在天狼星的运动和尼罗河的涨落中，发现了稳定循环的周期年，并最早进行了季节的划分；古代印度将时间的循环由自然世界扩展到了人类社会，他们认为社会生活也是反复进行的，当下、历史和未来没有什么分别，因此也不需要记录已经发生的事情^[3]；古代中国文明很少深入探究时间的本质，其时间观念中既包含线性时间观，也有循环时间观的影子，中国古代认为变化是万事万物的本质属性，中国人寻求的是内心的永恒。

可以说，古代人类对天气现象的记录、传播和研究都十分有限，这一方面受限于古代文明的生产力水平，一方面也受到了循环时间观的影响。

首先，持循环观者相信并珍视永恒，而对瞬息万变的天气现象相对关注度不高。和永恒相比，天气变化可能被看作是较为低级的现象，例如荷马史诗《奥德赛》中曾这样赞美奥林波斯：“奥林波斯，人们说那是诸神之家，永远安全和牢固；没狂风袭击，无暴雨淋漓，雪不飘落在附近，乌云全无”。此外，和自然的历史相比，人类的历史都很短暂，人的一生更是须臾，在万千气象能被研究透彻之前，人类个体甚至

整个种族可能已经消亡和毁灭了。

第二，持循环观者倾向于认为自然界的变化是自给自足的，且不会受到人类活动的影响，因此缺乏气候变化这一概念。例如亚里士多德在《气象学》精确描述了地球上的水循环，他认为降雨和海水蒸发构成了一种平衡，海陆的交替会在淤积和海水侵蚀中不断进行，这种观念和现代人对于河流干涸、湖水枯竭以及气候变化的恐惧形成鲜明对比。

第三，古代循环观倾向于定性认识时间，限制了对天气现象发生发展过程的详细观察和定量描述。古代文明中的时间测量多是以天文现象为载体，人们尚没有把时间和表征其存在的天文现象分离开来，因此没有把天气现象和独立的时间轴相结合。例如，亚里士多德认为时间是质的范畴，只意味着从A到B的一种变化，而变化过程和变化量并不在亚氏的关注范围内。因此，《气象学》研究主要是基于一些浅显的观察，通过逻辑推理，对天气现象的形式因和目的因做出定性的描述，虽然逻辑上能够自洽，实际上却谬之千里^[4]。

第四，循环观主导下人们对片段记录可能拥有的巨大价值的认识往往不够充分。例如，古希腊人认为准确的历史学是不可能的，因为在变化着的世界之中，事物不断地出现和消灭，很难被清楚认知^[5]，因此无论是历法、纪年还是重大历史事件，希腊人都记录甚少，更不用说气候、物候的变化了。虽然在古代中国，官方和民间都有详尽的气候和物候记录，但除了一些表征统计规律的天气谚语外，很少有从天气的记录中总结出的天气变化的因果规律。

昼夜更替、四季循环塑造了人类的循环时间观，同时，日月变化的周期性和天气变化的非周期性，是古代人类面对天气现象时的最大困惑。天文学气象学传统试图将天气现象和规律的天文现象直接关联，即是循环时间观下人类试图理解天气现象的一种努力。

3 线性时间观与近代气象科学的建立

顾名思义，线性时间观与循环时间观相对，线性时间观强调时间流逝的单向性，往往还伴随着测度时间的均匀和有限性。西方文明在继承了古代印度—希腊文明的循环时间观的传统之后，又受到了犹太—基督的线性时间观的强烈影响。文艺复兴和启蒙运动之后，科学知识和人类社会“与时俱进”的发展观念深入人心，精确的时间测度被工业社会的需求推向了极致。19世纪以来，线性观逐渐压倒了循环观，成为了表征现代文化的时间观念^[6]。

科学革命早期的科学研究中就可以看到线性时间观的影响。伽利略的运动定律把时间看成实数一样的连续统(Continuum)，即产生了“时间轴”的概念，把物体的运动过程放到时间轴上去研究，继而定义了匀速运动、加速运动等；化石研究和地理深时(Deep Time)的发现，把人们对时间尺度的认识从几千年、几万年扩展到了数十亿年^[7]，进化论把生物进化史放到了数十亿年的时间坐标中，并规定了严格的时间方向：人由猿进化而来，不可能再循环回去。虽然有很多著名的科学家如牛顿、维柯、尼采等都是坚定的循环论者，但至少在19世纪初，线性时间观作为一种新的社会思想已经得到了广泛传播。

线性时间观为天气现象的观察和理解提供了一个全新的视角。首先，有了可以精确度量的时间轴后，天气现象也可以看成一种运动形式，同一时刻的天气可以绘制成天气图，不同时刻的天气演变则可以在时间轴上进行深入研究，天气的变化过程有了实在的意义；第二，随着人类对不同时间尺度的认识，气候概念的内涵也随之丰富，气候学的研究面貌为之一新；第三，精确度量的时间和准确安排的社会生活，带来了天气预报的强烈需求，极大地促进了大气科学的发展；第四，线性观粉碎了循环观者稳固永恒的世界观念，带来了不确定的未来。自此人类只能依靠过去来定义“正常”，对未来则交替出现乐观主义和悲观主义情绪，或坚信未来能够控制天气、制造天气，或担忧某一天会被极端气候事件所毁灭。

3.1 四维时空与天气图

工业革命之前，人们通过模糊和单一的方式确定自身的存在：对定居的民族而言，地点的确定使时间的流逝成为标注存在的唯一方式；对于犹太人以及其他游牧民族而言，没有稳定的住所，四处漂泊，他们的生活不是通过空间得以开展的，而是通过《圣经》、《古兰经》等传世千年的著作在历史的绵延中展开的。在这样松散的生产生活方式中，时间或空间是天气变化的单独变量，天气系统展开所需要的宏大时空坐标系在古代人脑海中并不存在，人类无法在动态的四维时空中全面认识天气现象及天气系统。

19世纪中叶天气图的问世大大延伸了人类认识世界、观察天气的视野，刷新了人类对大气科学的认知。一般认为，电报的发明是促使天气图产生的重要因素，但值得注意的是，电报并不是制作天气图的必要条件，制作天气图的必要条件是统一的时间度量、准确的地图和规范量化的气象要素记录。欧洲大部分地区在16世纪宗教改革之后使用了统一的新历，亚

洲则在几千年里一直使用农历规范的纪年，13世纪24等分昼夜的机械钟已经在欧洲被制造出来，并逐渐由阿拉伯传至东方；16世纪关于世界上大部分地区的地图对于制作天气图来讲已经足够精确；而温度、湿度、气压等基本气象要素在18世纪之前也已经有仪器进行规范测量。然而最早的天气图却是1854年法国天文台长勒弗里埃为研究英法联军在克里米亚战争中的失利而绘制的，比它可能产生的年份至少推迟了百年之久。

究其原因，一个可能合理的解释是，天气图诞生的决定性因素是社会需求而非科学技术。19世纪航海贸易和军事行动对天气预报的强烈需求，极大地推动了对天气现象的观测和研究，欧洲建立了最早的观测站网。勒弗里埃使用书信收集的各地天气信息，天气信息无法赶在天气系统发展之前汇集到一起。19世纪中叶，人类驾驭了以光速传播的电磁波，电报可在几秒之间联通欧洲和美洲。电报的发明彻底解决了这个问题，电报立刻被用在了天气信息的传播中，制作天气地图是电报发明之后首要和最重要的应用之一。此时绘制天气图的目的非常明确，了解天气系统的发展情况，用来预报未来的天气。

天气图相当于表征空间大气运动的气象要素的变化在时间轴上的截面，电报的发明帮助人类用更少的时间换取了更多的空间，连续时间段的天气图扩展了人类认识大气运动的时间尺度和空间尺度，是现代天气学诞生的必要条件。

3.2 气候概念内涵的演变

现代气候描述的是一段时期内气象要素和天气现象的平均或统计状态，其中一段时间可以是月、季、年、百年、万年以至数亿年以上，可以说，明确的时间尺度是所有气候研究的前提。随着人类对自然认识的不断深化和时间观念的不断丰富，气候本身的概念和气候学的研究对象也在一直变化。首先，气候研究由关注不同地区同一时间段的气候，转而关注同一地区不同时期的气候，气候的时间性不断凸显，气候变化的概念逐渐得到认同；第二，从最早关注的日循环的逐时气候变化和年循环的逐日气候变化，逐渐向更短的时间尺度和更长的时间尺度扩展，气候研究的时间尺度不断丰富；第三，气候研究对自然和社会的各类型历史信息的极为重视，气候学的实证主义研究比动力学研究更容易受到广泛关注；第四，人们对气候影响因子的关注由周期性的外强迫逐渐扩大到非周期性的外强迫，循环时间观的影子更加弱化。

英语中“气候(Climate)”一词源自希腊语中的

Klima, 意为倾斜, 意指太阳光线倾斜的角度。古希腊人已经知道气候的冷暖与太阳的入射倾角有关, 极地入射倾角小则冷, 赤道上入射倾角大则暖。可以看出, 以古希腊人为代表的早期气候者在循环时间观的背景下, 假设一地的气候是平稳不变的, 关注的是不同地区的气候差异, 包括气候分类和气候带划分等。而现代气候学体现出强烈的线性观, 强调的是某个特定地区气候的变化, 并在此基础上提出了气候变化和气候异常等概念, 年平均气温的波动曲线不仅是气候学家的研究对象, 也成为了社会关注热点。

对人类来说, 相对较容易察觉到的是气温等要素的日变化和年变化的速率。随着地质学和天文学的发展, 人们有能力研究更长时间段的气候变化, 并形成了更为全面系统的认识。例如气候学家发现, 气温变化的速率是形成大气变量异常波动和异常天气现象的根本原因; 在日、年、年际、年代际、世纪几个时间尺度的周期性循环中, 时间尺度越小, 气温等气象要素的平均变化速率越大^[8], 时间尺度越长, 气候变化的影响越显著; 越大的变化速率, 非线性效应也越大, 在微观世界温度测量的代表性将完全失效, 量子尺度的气温波动规律还有待进一步的科学研究。

线性观影响下的气候变化研究, 导致人类必须求助于历史资料, 来为“正常”和“平均”气候状态下定义。和“天气预报”相反, 很多气候学研究者致力于“天气回报 (Weather Retro-Cast)”, 从冰芯、黏土沉积物、花粉、树木年轮等各类型的地球档案, 以及物候资料、文学作品、私人日记等各类型社会档案中, 尽可能地恢复古代气候^[9]。虽然这些信息存在了数百年, 但在机械论哲学主导自然科学研究的18、19世纪, 历史“是知识的最低形式”, 是数学推理和逻辑分析的婢女^[10], 而现今, 这些信息受到了前所未有的重视。

在气候动力学方面, 最初气候学者关注了气候的周期性循环变化, 并把它们归因于周期性外强迫, 规则性变化是太阳辐射多时间尺度变化以及地球轨道参数变化的结果。当气候学者以“气候变化”的视角思考问题时, 必然需要求助于周期性或非周期性的外强迫, 例如海气相互作用, 以及人类活动等。各种周期性、准周期性、非周期性的外强迫叠加到一起, 影响气候的动力机制变得更加复杂, 单一的、循环的时间轴已经不能满足研究需要。

3.3 精确时间与天气预报

在工业社会之前, 所有人类社会的劳动和休息时间都基本没有规律, 也没有明确的划分, 没有人会为某项活动安排确切的时间和地点。工业社会后, 单向流动和精确计量的时间被植入日常生活, 工作时间和休闲时间被明显地区分出来, 一切都有了固定时间和特殊的场所, 人们在活动的时间安排上更有计划性。在16世纪就被制造出来的较为准确的机械钟表到了20世纪初终于普及到了社会公众, 它暴露了现代社会追求效率的本质和对单调线性增长的依赖。

公共时间的精确度量催生了大众对于天气预报的强烈需求。机械化、每日重复的生产方式和生活方式, 迫使天气——现代生活无法逃避的唯一的自然界因素——也需要按照技术时代的观念被认知。为了一切工作的开展都能“准时”, 保证工作效率, 天气这个不可控因素的影响需要减小到最低, 人们对天气信息的需求越发强烈和细致。钟表创造了一个客观的、数学的、纯粹量的世界概念, 全世界都被放在了一个共同的、单向流逝的时间轴上, “过去”和“未来”被“当下”清晰的分割开来, 当下的意义在于奔向未来, 过去只代表曾经存在, 人们需要实时更新的天气预报, 预报的重要性远远胜于实况, 而当未来成为历史, 预报变成了记录, 就完全不重要了。在普通百姓看来, 昨日的天气或历史天气资料几乎完全没有价值。

3.4 关于天气与气候的乐观与恐慌

循环时间观代表着永恒和安全, 而线性观意味着未来的不确定性。在这里, “一切坚固的事物都烟消云散了”, “自然界不是‘存在着’, 而是‘生成着’并‘消逝着’”^[11], 在公众对大气科学的理解中, 乐观主义和悲观主义的情绪往往交替出现。

20世纪初盛行的未来主义是对单向线性时间观的乐观回应, 它使天气信息很快在大众媒体上站稳脚跟, 成为现代科技服务日常生活的典范。未来成为了先验的, 可以给人无穷无尽的承诺, 虽然大气科学在天气预报上的应用属于“猜测的科学 (Guessing Science)”^{① [12]}, 但是没有人怀疑这种基于科学的猜测准确率会与日俱增。一向严谨的《纽约时报》以《用电子计算机预报乃至控制天气的新计划》为题报道了1946年1月9日计算机之父冯·诺依曼对美国国家气象局具有重大意义的访问^②。气象部门和科学共同

① 加州理工大学Guggenheim Aeronautical实验室的Theodore von Karman命名。

② 原文: Startling but Noteworthy Proposal to Use Von Neumann's Planned Electronic Digital Computer to Forecast and Ultimately to Control the Weather, New York Times, 1946.

体当时也曾向大众传递过这种乐观、野心勃勃的科学主义信念：“气象工作者正在倾注全力向天气进行斗争，要了解它、研究它、掌握它直至利用它，使它按照人类的意图驯服地为我们服务，人工造雨、人工消雾、人工消雹终究要先后实现的”^[12]。

然而，人们对资本主义发展过程中“美好的速度”的夸赞并没有持续很久，资本主义经济危机后未来主义破灭引发的担忧也同样反映到了对天气信息的态度上。在19世纪，人们还觉得地球是年轻的；到了20世纪中期，人们就觉得地球已经要毁灭了。对天气信息报道的时间从过去逐渐转向未来，时间段也越来越精细：过去的信息的所有价值就是用来界定什么是“正常”，以确保明日依旧安全。美国天气频道2006年推出了“明天可能发生（It Could Happen Tomorrow）”系列节目，关于未来大灾难的幻想呼吁观众在“后911时代”为可能的灾难做好准备，学会面对生活中越来越多的风险。

4 科学中的时间性与20世纪后的大气科学

按照对时间的处理方式，可以把科学理论划分成强时间性科学和弱时间性科学。在以牛顿力学为代表的古典自然科学，在机械决定论的指导下寻求对力学现象的解释，其动力学方程中时间参数都是在平方项中出现的，描述或可逆或平衡的过程和状态，其自然概念中并不包括“时间性”这个维度^[13-14]。爱因斯坦的相对论虽然取消了绝对时空的假设，但并没有引入对时间性的强调，相对论强调的是时间的广延概念，把时间和空间对等，宇宙是在引力和斥力的作用下呈现出一个恒定状态的，他也认为“时间性”对于物理并没有本质的意义^①。它们都属于古典自然哲学的范畴，在其指导下的科学理论属于弱时间性的科学。

与其相对应的是强时间性的科学。对时间性的强调是20世纪以来自然哲学和科学哲学最重要的主题之一^[15]，时间性的引入不仅是实验观测所要求的解决方案，更是观念转变的结果。将时间的不可逆性作为一个基本事实，是一种哲学信念的表达，具有强烈的方法论特征^[16]。热力学第二定律是客观世界的强时间性向古典自然科学体系发出的第一次冲击。虽然热力学第二定律本身并不涉及时间变量，但它描述了一个不可逆的、有明确方向的过程，其他内部蕴含着一个时间之矢^[17]。洛伦兹的混沌理论描述了计算数学中初值误差随时间的增长情况，揭示了非决定论的普遍

性^[18]。普里戈金的耗散结构理论将时间性较为系统地引入到了物理世界。

大气科学的研究对象具有很强的时间性。天气变化是永不重复的，大气运动时刻伴随着能量的补充和耗散，包括摩擦、辐射、湍流等非绝热的物理过程，具有内在随机性。20世纪，随着大气科学的理论体系不断成熟，其内部的时间性问题也逐渐凸现出来。在旋转坐标系下的大气运动基本方程组中，只有理想气体状态方程是诊断方程，其他的方程都有时间导数项。这就决定了大气科学在理论上是一门十分复杂的科学^[19]。虽然早在17世纪，科学革命的先驱笛卡尔就已经开始关注了气象这个领域，并把气象学研究作为推广他实证主义科学新方法的范例，但是气象学的革命并未随着天文学、物理学革命一并到来，也晚于之后的生物学、化学革命。这一方面是由于缺少用于研究的观测资料，从本质上来说，也是由于大气运动的种种现象，皆是由大气回归平衡态前后暂时的波动造成，不在经典物理学的研究范畴内。

在天气预报的实用主义需求推动下，大气科学研究者采取了各种技术方法来削弱大气运动中的时间性带来的复杂影响。例如在现代数值预报中，就是通过地转平衡、静力平衡等前提假设在物理上对大气运动过程进行简化，再通过尺度分析等方法在数学上去掉时间导数项，以及缩小资料的时间尺度等技术方法，把非线性偏微分方程组变成一个常系数的线性方程组而进行求解的。这种弱化时间性、求助于决定论的方法在实践中取得了相当大的成功，但也面临着一个两难：如果完全取消时间性，大气运动变成完全地转平衡的、静力平衡的、绝热无辐散的，那就意味着所有的天气现象就不存在了。归根结底，这个无法回避之矛盾的根源在于，目前气象业务的核心预报业务所追求的可预报性，其本质就是要和大气运动的时间性、混沌、非线性相抗衡。

5 初步结论

纵向看历史变迁，从循环的时间到线性的时间、从无限时间到有限时间、从随意流逝的时间到精确度量的时间、从松散的时间到严格安排的时间、从单一尺度的时间到各种尺度时间的综合，随着人类文明的进步，人类对时间的认识也在不断丰富。从本质上来说，时间观的变化是近代人和世界关系的变化的一個具体体现。在现代社会，人类一方面深刻认识到，自

① 爱因斯坦悼念青年时代好友贝索时说：“对于我们有信仰的物理家来说，过去、现在和未来之间的分别只不过有一种幻觉的意义而已，尽管这幻觉很顽强。”^[15]

然先于人类存在，并在自足的独立中运转，人的命运取决于自然^[20]，另一方面更加强烈地向自然索取，利用自然、控制自然。在公众对大气科学的理解和应用上，这种态度表现为面对气候变化和极端天气事件时的无力和恐慌，与对天气预报的强烈依赖和在时间和空间上对天气预报更加精细化的需求。

气象科技史和气象事业发展中的多次重要转向和重大进步，都是基于特定的时间观念而完成的，大气科学在19世纪后半叶至20世纪的迅速发展，以及现代社会中气象部门以天气预报和气候预测、灾害性天气预警、天气信息服务为主的业务格局，正是在线性的、单向的、有限的、精确测量的、多尺度的时间观念中逐渐发展成形。当下，细化观测场等资料的时间维度是以数值预报资料同化技术为代表的大气科学前沿研究的一个重要的突破方向，未来，大气科学的发展将继续从时间观念的革新与对时间性的强调中获得关键性推动。

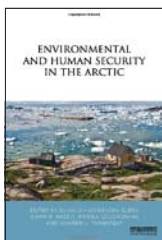
横向看社会因素的复杂互动，在大气科学发展史上，社会观念等文化因素曾经是其发展的主要动力源泉。时间观等社会观念或者直接作用于自然科学研究，主导其研究问题；或者通过催生强烈的社会需求，引发技术变革，提高生产力水平，而反作用于科学发展。理清观念与科学的互动关系，对于理解气象科学的发展，乃至所有自然科学和应用技术的发展，都有着深刻的启示意义。

参考文献

- [1] 默顿R K. 科学社会学. 北京: 商务印书馆, 2003.
- [2] Sorokin P A. Social and Cultural Dynamics. Sargent (Porter) Publisher, 1957.
- [3] 丹尼尔·布尔斯廷. 发现者: 人类探索世界和自我的历史. 上海: 上海译文出版社, 1995.
- [4] 亚里士多德. 气象论宇宙论. 北京: 商务印书馆, 2010.
- [5] 柯林武德. 历史的观念. 北京: 中国社会科学出版社, 1986.
- [6] 吴国盛. 时间的观念. 北京: 北京大学出版社, 2006.
- [7] Gould S J. Time's Arrow, Time's Cycle: Myth and Metaphor in the Discovery of Geological Time. Harvard University Press, 1987.
- [8] 钱维宏. 多时间尺度气候变化. 气象科技进展, 2013, 3(2): 36-40.
- [9] 沃尔夫冈·贝林格. 气候的文明史. 北京: 社会科学文献出版社, 2012.
- [10] 罗伊·波特. 剑桥科学史(第四卷): 十八世纪科学. 河南: 大象出版社, 2010.
- [11] 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局. 马克思恩格斯选集(第三卷). 北京: 人民出版社, 1995.
- [12] 中央气象台服务组编. 收听广播气象的常识. 北京: 财政经济出版社, 1956.
- [13] Savitt S F. Is Classical Mechanics Time Reversal Invariant? The British Journal for the Philosophy of Science. 1994, 45(3): 907-913.
- [14] Hutchison K. Is Classical Mechanics Really Time-Reversible And Deterministic? The British Journal for the Philosophy of Science, 1993, 44(2): 307-323.
- [15] 吴国盛. 20世纪的自然哲学和科学哲学: 实现时间性. 自然辩证法通讯, 1999(1): 2-3.
- [16] Willis F O. The Arrow of Time and the Cycle of Time: Concepts of Change, Cognition, and Embodiment. Psychological Inquiry, 1994, 5(3):69-83.
- [17] Michael C M. Time's Arrow: The Origins of Thermodynamic Behavior. Courier Dover Publications, 2003.
- [18] Lorenz E N. Irregularity: A fundamental property of the atmosphere. Tellus A, 1984, 36A(2): 98-110.
- [19] 丑纪范. 大气科学的非线性与复杂性. 北京: 气象出版社, 2002.
- [20] 埃德温·伯特. 近代物理科学的形而上学基础. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2012.

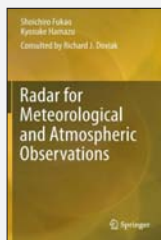
新书架 
NEW BOOK

感兴趣的读者可以到中国气象局图书馆查阅



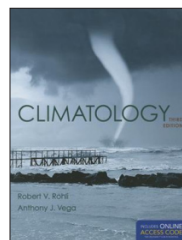
Environmental and Human Security in the Arctic
《北极环境与人类安全》

编著者: Gunhild Hoogensen Gjørsv等
出版者: Routledge
出版年: 2012



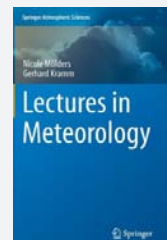
Radar for Meteorological and Atmospheric Observations
《气象和大气观测雷达》

编著者: Shoichiro Fukao等
出版者: Springer
出版年: 2013



Climatology (third edition)
《气候学》(第3版)

编著者: Robert V. Rohli等
出版者: Jones & Bartlett Learning
出版年: 2013



Lectures in Meteorology
《气象学讲座》

编著者: Nicole Mölders等
出版者: Springer
出版年: 2014