

文章编号: 1000-694X(2011)02-492-08

当代气候变化的主要特点、关键问题及应对策略

张强^{1,2,3}, 李裕^{1,4}, 陈丽华⁵

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室/中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃兰州 730020; 2. 兰州大学大气科学学院, 甘肃兰州 730000; 3. 中国气象科学院, 北京 100081; 4. 西北民族大学化工学院, 甘肃兰州 730030; 5. 中国人民解放军总参谋部气象水文局, 北京 100081)

摘要: 总结归纳了当代气候变化的主要特点和基本规律, 并从能量角度分析了全球气候变化的原因和气候变暖的本质驱动力。同时, 还提出了目前气候变暖中几个值得重点关注的问题, 讨论了为何要更加重视气候变暖的不利影响及其不利影响的深刻性和广泛性, 并从长远发展和短期现实角度对目前科学应对气候变暖做了一些初步思考。

关键词: 气候变化; 驱动力; 不利影响; 应对策略

中图分类号: P467

文献标识码: A

从2003年8月席卷整个欧洲大陆的高温热浪数日之间造成1.2万人死亡, 到2008年初发生在中国的雨雪冰冻灾害让大半个国家陷入了空前的瘫痪, 这一系列频繁发生的、历史罕见的极端天气、气候事件正在突破人们以往所认识的天气特点和气候规律, 对人类防范气象灾害和应对气候变化提出了更加严峻的挑战^[1]。气候到底怎么了? 极端天气和异常气候事件增多是否与全球变暖有某种关联? 这已成为目前国际社会十分关注的问题。

虽然现在的证据还不足以完全解释目前气候变暖与这些罕见的极端天气和异常气候事件之间存在怎样的关系, 但谁也无法否认他们之间所表现出的某些密切联系。而且, 越来越多的研究也表明, 气候变化问题已经触及全球的每一个角落, 对人类的影响也越来越深刻而广泛^[2-5]。气候变暖已经不再只是人类的“远虑”, 而且已经成为我们迫在眉睫的“近忧”。

然而, 即便如此, 人类今天面对气候变化的挑战仍然没有战胜的良策。美国国家大气与海洋管理局的Solomon等^[4]从事的一项所谓“复杂性地球模拟系统(EMIC)”的研究发现, CO₂的浓度下降的如此缓慢, 以至于未来1 000 a内的水平仍将高于工业革

命以前的水平, 只有到公元3000年以后才有可能下降。因此, 她指出“许多科学家认为人类如果痛下决心削减所有排放量, 降低大气中CO₂水平就不会需要很长时间的观点事实上是不正确的”。尽管研究人员提出了许多减排方案, 并促使各国认识到碳问题的严重性。但从最近的研究来看, 无论国际上采取何种减排的措施, 让气候从变暖的颠峰变冷是件非常艰巨的事情^[6]。

而且, 既是一些气候变化的基本问题国际上仍有许多的争议, 比如大气安全浓度应当是什么水平? 虽然IPCC、欧盟都已明确了减排的目标, 但对于类似的问题并没有从科学上完全达成共识。美国国家航空航天局戈达德空间研究所的Hansen等^[7]在2008年撰文认为应该将大气CO₂的安全浓度控制在350 mg · kg⁻¹以下, 而非原来所说的450 mg · kg⁻¹以下, 理由是大气中CO₂的水平已经超出了安全水平。因此, 人类不仅需要减排, 更重要的是要扭转这种局面。虽然Hansen等的观点现在还没有被科学界完全接受, 但越来越多的科学家一致认为大气CO₂的挑战可能比预估的情况要更为严重。因此, 笔者试图对当代全球气候变暖的主要特点和需要重点关注问题及其应对策略等进行进一步深入

收稿日期: 2010-08-07; 改回日期: 2010-11-08

基金项目: 国家公益性行业科研专项“西北地区旱作农业对气候变暖的响应特征及其预警和应对技术研究”和国家自然科学基金重点项目(40830957)共同资助

作者简介: 张强(1965—), 男, 甘肃靖远人, 研究员, 博士生导师, 主要从事大气边界层、陆面过程、干旱气候与环境等领域的研究。

Email: zhangqiang@cma.gov.cn

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

探讨,以加深我们对全球变暖问题的科学理解。

1 气候变化的主要特点和本质驱动力

1.1 人类活动因素和自然因素交叠影响

气候变暖是指气候系统总体温度随时间不断升高的趋势,当然是以大气温度升高为主要特征。气候变化有自然变化,也有人类活动引起的变化。应该说自然变化是气候变化的基本背景,人类活动引起的变化是气候变化的扰动过程。它们在本质上是不同的,一个反映的是自然倾向,另一个则反映的是人为拉动。自然变化的影响因子主要包括进入地球系统的太阳辐射能量变化、地球系统内的能量转化过程及其大气成分自然变化等,人类活动的扰动主要包括人类对大气成分的改变、土地利用、能源利用、甚至人口增加本身等因素^[8-9]。目前,无论是自然倾向还是人为拉动,气候都在向变暖的趋势发展,而且很多时候自然因子和人为因素往往交叠作用于影响气候变化的同一个环节上。

1.2 温室气体排放是气候变暖的主要贡献因素

温室气体对地球系统的能量调配发挥着比较特殊的作用,它能够透过太阳短波辐射,却吸收地表长波辐射,从而使地球系统变暖。地球在自然演化过程中,大气的温室气体已逐步形成了一个基本平衡的自然循环状态,其在大气中维持的值也恰好达到了较为适中的水平,有利于地球保持一个适于人类生存在温度环境,这就像给地球穿了一件薄厚适宜的保暖外衣一样。至少在工业化前的几十万年间,大气二氧化碳浓度很少超过 $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其自然振幅也基本保持在 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以内。目前,气候变化问题的关键在于人类活动已经严重打破了自然界温室气体的原有平衡。由于人类排放的温室气体增加,气候系统中温室气体的排放已经明显超过了其自然吸收能力,大气的温室气体正在不断积累,浓度正在逐步增加,温室效应也在不断加强,气候系统温度在持续不断升高。这就像给地球不断添加过多的衣服一样,其温度正在超出地球环境的适宜状态。

二氧化碳等温室气体的非自然性排放往往与能源开发利用和人类生产活动及植被的改变有关。同时,人口增加及生活方式的奢侈化和现代化也会增加二氧化碳排放量。到2006年,大气中的二氧化碳

浓度已经高达 $381.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,大约比工业革命前增加了 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右,人类活动引起的百年尺度增幅已超过了以往十万年尺度的自然振幅。所以,近百年来温室气体增加对气候的干扰正在变得越来越显著,它对气候变化的贡献已明显超过了气候的自然变率^[6]。有研究表明^[10],自工业革命以来,太阳活动变化引起的直接辐射强迫仅为 $0.12 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,而全球二氧化碳、甲烷和一氧化二碳等温室气体变化引起的辐射强迫的累计效应却高达 $2.3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,人为强迫已远远超出了同期的自然变化。尽管人类排放的硫酸盐等一些气溶胶有负强迫效应,但人类活动对大气成分的全球平均净影响是明显变暖的,其变化引起的辐射强迫幅度仍然高达 $1.6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,要比自然背景变率大一个量级以上。

1.3 土地利用等人类活动的贡献似乎并不显著

人类活动对气候变化的另一贡献行为就是以城市化为核心的土地利用过程。城市化对气候变化的影响包括城市热岛效应及下垫面特征改变所引起的辐射效应。随着城市规模的不断扩大和城市功能的强化,城市化对气候变化的影响正逐渐变得重要起来。城市化使热岛效应增强,造成大气增温这比较容易理解的。城市植被改变对气候变化的影响则比较复杂:一方面,植被减少导致蒸发减弱,使大气调节增温的能力降低,从而对气候变暖更敏感,增温速度一般会加快;另一方面,植被减少将导致地表反照率增大,使地表吸收的太阳辐射减少,可能会引起大气降温。总体而言,植被减少可能会引起低层大气增温,而高层大气降温。不过,资料分析发现^[11],目前城市化引起的全球陆地大气升温率小于 $0.006 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,海洋还要更小一些。所以,目前来看城市化的影响几乎可以忽略。

同时,人类活动排放温室气体的同时还会将其他形式的能源不断转化为热能。所以,人类对气候的影响不只在于增加了地球系统截获的太阳辐射能量,而且还有人类自身直接增加地球系统热量的过程,只是现在这种影响还没有在气候变化检测中表现出明显的信号。

总之,影响当今气候变暖的因素虽然仍然无法完全排除自然变化的贡献,但人类活动已经成了主导因素。并且,尽管人类排放的硫酸盐气溶胶的降温效应不应该被忽视,土地利用等人类活动因素也

对气候变暖有一定贡献,但人类排放的温室气体的增温效应更加显著和持久。正是由于人类活动对温室气体的改变在气候变化过程中的作用已经十分突出,《联合国气候变化框架公约》已经把气候变化直接定义为直接或间接改变全球大气成分的人类活动所引起的气候变化^[10]。

1.4 人类活动对气候变化的影响深刻而久远

Ruddiman^[12]最近的研究表明,早在大约8 000 a前,当人类开始砍伐森林、种植作物、饲养牲畜后,大气中二氧化碳浓度就已经开始升高,而在此后3 000 a左右甲烷浓度也开始增加,这已经在一定程度上破坏了延续了40 ka的大气正常规律,已经在气候变化趋势中包含了一些人类活动信息。这种观点与过去认为史前温室气体增加完全是自然变化的说法不太一致,值得我们深思。

同时,气候变化影响的深远性也远远超出我们的想象。最近,Lamb等^[13]的研究认为,气候变化与山脉之间的影响可能是相互的,而不是气候变化只被动地受山脉影响。他们发现,安第斯山脉的隆起就很可能通过气候变化造成的侵蚀和沉积物沉降作用引起。这意味着,不仅山脉隆起可以驱使气候变化,而且气候变化也可以移动山脉。

现在,国际上已经达成的共识认为,人类活动是全球气候变化的主要原因,甚至很多时候将驱动全球气候变化的人类活动的动力归因于富国与落后国家之间的经济不平衡^[14-15]。

1.5 气候变化的驱动力

温度和降水是气候变化最主要的要素,由于驱动温度和降水变化的因素不同,它们在气候变化中所扮演的角色也具有本质差别。气候系统温度的改变主要靠气候系统内部总热能及其分布状态的改变来实现。但降水的变化却不是由于气候系统中总水分的改变引起的,而主要是由其分布状态的改变而引起。尽管气候系统的水分总量是基本守恒的,但气候系统中水分的存在状态和输送过程往往会由于温度的变化而改变,从而改变气候系统的大气水分含量和降水过程。具体而言,温度增加会使蒸发加大,从而可以加快水分的循环进程;温度增加还会减少气候系统中的固态水比例,增加液态和气态水比例,这都会大大增加大气的持水量,并能在一定程度

上增加降水。同时,温度变化还可以通过改变大气环流和大气热力过程来影响降水特征。可见,在气候变化中,温度变化是直接和主动的,它是气候变化的主导因素;而降水变化则是间接和被动的,更多是对温度变化的直接或间接响应,基本上处于从属地位。所以,温度变化才是气候变化的本质。不过,降水变化更受人们关注,它是影响人类生存环境的决定性因素,所以它又是气候变化的核心。由此可见,气候变化主要由地球系统能量过程所控制,包括进入气候系统的外强迫能量改变和气候系统内部能量结构调整等^[16-17]。驱动气候变化的本质动力应该是气候系统内部的总热能变化。

1.6 气候系统热能改变的主要途径

气候系统总热能改变的最主要的途径是气候系统外部能量强迫的改变,这包括进入地球系统的太阳辐射能量的改变和地热能量的突然释放。太阳和地球轨道参数变化及太阳黑子爆发等太阳活动均能改变通过太阳辐射进入地球系统的能量,而地热能则更多是太阳辐射加热能量向地下传输的长期积累。这些因素引起的气候变化反映的是自然变率。不过,太阳和地球轨道参数改变引起的变化是有规律和周期性的,而太阳活动和地热能释放则大多是不具严格规律性的,但可能会有一定的准周期性。

其次,改变气候系统内部结构也是改变气候系统总热能的重要方式,它可以引起气候系统对太阳辐射能量截获能力的改变和能量结构的调整。这一过程主要是由气候系统大气成分和地表特征的改变而引起的。大气成分的改变可以影响太阳辐射能量在大气中的传输和分配过程,而陆地利用可以改变地表反照率和热传导率。这些辐射效应均能够改变气候系统截获太阳辐射的程度及其对大气和地表的加热能力。由于大气是全球循环的,所以大气成分改变引起的气候变化是全球性;而地表特征是局地因素,其改变引起的气候变化更多是局地或区域性的。气候系统内部结构改变同时包含了自然过程和人类活动的贡献。自然过程主要指火山喷发的火山灰和植被覆盖随气候的自然波动;人类活动贡献主要包括了人类排放到大气中的二氧化碳等温室气体和土地利用等。人口数量和人均能源消耗量的增长是温室气体排放增加的主要原因。就目前而言,人类活动已成为主导因素。

同时, 气候系统内部其他能量形式向热能的转化过程也可以引起一定程度的气候变化, 尤其是把贮存在生物化石和植物燃料中的化学能转化成热能及把风能和水能通过电能再转化为热能等无疑会增加气候系统的总热能, 从而引起气候系统的增温。而且, 目前人类活动造成的这种方式的能量转化趋势正在不断加速^[18]。

另外, 气候系统内部子系统之间的相互作用也能引起短期气候变化^[19-20], 这主要反映的是气候系统内部对外强迫的不断调整和响应过程, 主要是由于对气候系统某些子系统的外强迫引起的其他子系统的自然联动, 它实质上是前面几种变化过程的后续连锁效应。

2 当代气候变暖的重点问题

尽管对全球变暖的质疑之声仍然不绝于耳, 但对气候变暖问题丝毫不应该被我们所轻视, 它极有可能是当代人类需要面对的最大挑战之一, 尤其如下几个方面问题特别值得关注:

2.1 偏离气候常态的变化方向

历史上自然增温往往是波动式的, 它的变化方向总是在不断趋向于气候常态。而当前以人类活动为主要驱动力的气候变暖过程却几乎是完全单调上升的, 它的演化方向一直在持续偏离气候常态, 甚至有可能发展到另外一个气候状态。其次, 当前地球系统已经达到了较高的温度状态, 已经突破了近 1 000 a 来的最高值, 而且这种趋势还在进一步加剧, 这可能会引起气候系统的非线性效应, 使气候系统从当前状态跳跃到另一状态^[4]。另外, 气候系统温度仅在过去 100 a 就增加了近 1 °C, 而且主要是最近 10 多年的贡献, 正在突破人类适宜的温度环境, 可能会引起人类生活环境不可逆转的重要改变。最令人担忧的是, 一旦气候产生了突变, 环境发生了不可逆转的改变, 其后果难于预料, 很可能到那时采取一切应急措施都不一定来得及。

2.2 快速而剧烈的变化速度

虽然过去 100 a 的增温的幅度也许还没有超过历史上的自然增温极值, 但当前的增温速度要比以往任何时候都快得多, 也剧烈的多, 使人类对气候变暖的适应过程十分仓促, 对人类适应能力的挑战更

加巨大。同时, 许多模式的情景预测已经表明, 未来 100 a 气候变暖的幅度在 1.1~6.4 °C 之间^[21], 将比过去 100 a 更迅速、更剧烈, 其最大增温幅度将会明显超过千年时间尺度的最大增幅, 几乎在历史气候时期没有类似的气候情景可供参照。

2.3 人类活动和自然因素同向迭加效应

目前人类活动引起的气候变暖正好迭加在气候自然增温趋势上, 这使得人类活动对气候的影响似乎更加强烈, 产生的后果也更加严重。同时, 比较不巧的是当今气候变暖正好还与人类对自然环境的严重破坏迭加在了一起, 也似乎与一些自然灾害的发生有某些联系, 使全球变暖的影响变得更加复杂和严峻。另外, 目前人均自然资源量似乎已经达到了社会需求的最低临界值, 地球环境可能正处在适应性较差的时期, 地球环境和人类社会对气候变暖的响应会比任何时期都更加敏感。

2.4 长久而持续的影响过程

以二氧化碳为主导的温室气体对气候变暖的影响是长期的、持久的, 即使人类的减排措施有效, 保持住了目前的排放水平甚至降到更低, 但由于二氧化碳要在大气中存活 50 a 以上, 所以大气中的温室气体浓度仍然会上升。同时, 由于气候系统内部的相互作用及其响应需要一定的时间过程, 即使温室气体浓度若干年后逐渐趋于稳定, 增暖也仍可能持续上升数个世纪。另外, 由于气候变暖影响的惯性作用, 以往在变暖后几百年才出现海平面上升, 气候变暖的深远性可能远远超过我们今天的预想。

3 气候变暖的不利影响

3.1 为何要更加重视气候变暖的不利影响

气候变暖对人类社会的影响是双刃剑, 不过今天我们需要更加关注气候变暖的不利影响。这其中首要的原因是气候变暖影响的不利程度可能要远远超过其有利程度。其次, 气候变暖的不利的影响直接关乎人类未来的存亡和发展, 而有利影响只是一个把握和利用的问题, 即使没有及时预料到那也是意外的惊喜。第三, 现代生活方式的养尊处优已使人类适应气候变暖的本能减弱, 面对气候变暖现代人无疑要比我们的祖先脆弱得多, 这无形中加重了

气候变暖不利影响的程度。第四,气候变暖的不利影响在很大程度上还不可预测,我们只有做好最坏的打算,才能防患于未然,做到万无一失。

3.2 气候变暖的不利影响十分广泛

从气候系统科学的角度,我们比较容易理解气候变化引起的包括温度升高、环境变迁、海平面上升、干旱、洪涝和其他极端天气事件都将对自然和人类社会构成广泛地威胁^[22]。特别是自然生态系统中那些对气候狭适性的物种对气候变化的反映会尤其脆弱,气候变化通过对物种多样性的影响会造成自然生态系统不可逆转的退化。现在物种的分布正在向两极和高纬度地区转移^[23-28]及两栖类中超过1%的物种灭绝表明气候变化已经对生物多样性起到了重要的影响^[29]。气候变化还会改变植被的类型^[30],在南欧已发现了落叶林向常绿林转换的证据^[31]。这些变化意味着生物多样性和人类赖以生存的生态系统正在不断恶化。

气候变化令人担忧的另一个重要原因,还在于不断增加的、似乎与气候变暖有关的自然灾害所造成的日益巨额的经济损失。仅2003年全世界因自然灾害造成的直接损失比2002年增加了9%左右,比全球GDP增长的速度还要快一倍左右,这其中大部分的自然灾害是由极端天气和气候事件引起。美国气象学会等8个机构2008年向国会提供的研究报告指出,极端天气和异常气候事件可使美国的经济收入损失1/4左右,高达约2万亿元之巨。极端天气和气候事件造成的间接损失更无法估量,肯定要远远高过直接损失。

毫无疑问,包括人类在内的地球物种对气候变化只有有限的适应能力,超出适应能力的变化才是真正可怕的。就全球而言,如果平均温度增加在1~3℃范围之内,预计粮食生产潜力一般还有可能随温度增加而有所增加;但如果温度增幅超过这一范围粮食生产潜力则会呈迅速下降趋势^[32-33]。而且,低纬度地区和干旱地区适应性还要更弱一些,即使增温幅度超过1~2℃粮食生产潜力也会下降。如果变暖幅度达到4℃,平均损失可能要高达国内生产总值的1%~5%^[34],将与目前所有自然灾害的损失相当。更大的灾难还在于,如果相对于1980—1999年增温幅度达到1.5~2.5℃,根据评估^[35]将有20%~30%的物种可能要面临灭绝的风险;增温

幅度达到3.5℃,则将有高达40%~70%的物种可能面临灭顶之灾。可见,大约3℃左右的变暖幅度是挑战人类适应能力的一个关键极限,在低纬度和干旱地区这个极限指标可能还要更低一些^[36-37]。而这个指标正好处在IPCC第四次评估报告所估算出的21世纪可能的增温范围(1.1~6.4℃)之内。

如果按照目前情景预测的增温幅度进行影响评估,未来我国亚热带的北界将很可能会从现在的淮河秦岭一带扩展至黄河以北,东北和青藏高原的多年冻土及祁连山和天山一带的小冰川将会完全消失^[38],造成我国气候带整体北移,导致我国降水格局发生重大调整^[39]。很可能使我国110°E以西的黄河和长江上游变得十分湿润,而东部地区特别是江淮平原地区变得比较干旱。这将对目前气候条件支撑下的我国社会经济格局提出严重挑战,严重威胁我国东部地区已经形成的经济繁荣局面。

4 科学应对气候变暖的策略

4.1 减排措施难解目前燃眉之急

恢复温室气体平衡状态是控制气候变暖的关键环节。恢复温室气体平衡的途径:一方面需要减少排放,走低碳经济和节能经济之路,另一方面需要增加吸收,扩大植被的固碳能力,走绿色经济之路。增加吸收主要取决于人类对自然植被的保护和再造林的扩大等自然固碳方式的发展;减少排放则主要取决于人类生产、生活规模和方式的改变。研究表明^[40],1970年以来能源供应、交通、工业生产和土地利用变化等4个方面带来的排放量分别增加了145%、120%、65%和40%,人口数量和人均消费增加造成的排放量分别增加了69%和77%。在当前政策和措施下,尽管有些地区会减少一些排放,但很可能会被其他一些地区迅速增加的排放所抵消。人类活动的无序性仍然会使大气中温室气体的聚集趋势在今后可预测的数十年内持续加强。同时,温室气体的影响也相当持久,气候变暖不会因为温室气体得到控制而立即刹车。控制温室气体排放更多是战略性的效果,它只能对减缓气候变暖产生长远作用,而无法达到迅速扭转目前变暖趋势的目的。如果这个情况持续下去,21世纪气候变暖还将会持续较长一段时间。令人担忧的是,当气候变暖发展到一定程度,补救的代价很可能会十分惨重^[41]。

4.2 地球工程技术可助一臂之力

在对气候变化的策略仅仅考虑减少温室气体可能远远不够,还需要考虑更多战术性的对策来减缓已经面临的现实危机^[40]。2008年美国科学家提出了一种比较新的观点^[42-43],他们认为地球工程技术在控制气候变暖方面的作用不可低估。一般,导致地球变暖的人为驱动力有两个方面,一方面是大气层捕捉的太阳辐射能量增加,另一方面是进入大气的太阳净辐射增加。前者主要是温室气体排放增加的效果,这也正是目前试图通过温室气体减排措施所要改变的,而对后者的改变往往被我们忽视了。地球工程技术就是针对后者引起的气候变暖的应该采取的应对方式,这其中有很多手段可以供我们考虑。1991年菲律宾皮纳图博火山爆发的气候效应给了人们一些这方面的启示。菲律宾皮纳图博火山爆发当时导致地球的降温幅度达到了 3.5°C 左右,持续时间约 $2\sim 3\text{a}$ 。通过人工手段重现这种效果就是地球工程技术的思想核心。现实中,可供采取的办法各种各样:首先,向高层大气中注入少量极细的硫酸颗粒就可以实现挡开 $1\%\sim 2\%$ 太阳辐射光的效果,这足以抵消20世纪地球变暖带来的影响。其次,让舰队向空中喷洒海水或许也能取得类似的效果,因为这增加了低云的厚度,也增加了云的反射率。另外,除了在空中想办法而外,在地面也可以做一些文章。譬如,把楼顶刷成白色可以增加地表对太阳光的反射,减少实际进入大气的太阳净辐射能,达到降低大气温度的目的。在减少温室气体排放的效果不够有效或者不够及时的情况下,这种地球工程技术无疑可以在减缓气候变暖方面助我们一臂之力。

当然,对地球工程技术仍然有不少质疑的声音,认为硫酸颗粒可能导致平流层臭氧损耗、造成酸雨事件、甚至破坏或扰乱地球系统本来的规律,担忧出现不可预期的后果。不过,皮纳图博火山提供的证据表明,它对大气成分的影响几乎微不足道,负面影响不会太大,更何况它与失去控制的全球变暖相比也许风险要小得多。目前,非常认真对待地球工程技术的科学家和环境经济学家已经越来越多,美国国家科学院、美国航天局、能源部等已经肯定了这项技术的可行性^[4]。

事实上两全其美的事情往往很少,很多时候我

们需要在面对挑战和危机的时候做出权衡利弊的选择。地球工程技术有一些负面效应在所难免,但它很可能将是我们权衡其利弊之后的一种科学选择。

4.3 减排是控制气候变暖的主要战略手段

然而,我们绝对不能以地球工程技术措施为借口允许毫无节制地排放。虽然地球工程技术的潜力巨大,但可以肯定的是它并不是解决气候变暖问题的根本办法,也不是最理想的办法,其风险和局限性依然是显而易见的。地球工程技术只可以作为全球向零排放经济过渡阶段的辅助手段,它也许可以帮助人类及时或尽早地控制住目前气候变暖的趋势,但绝对不可能用它来替代减排的手段。从长远看,零排放经济才是比较科学的一劳永逸应对气候变化的科学措施。

简单而言,减排措施是应对气候变化的战略手段,而地球工程技术更类似于战术手段。

5 结束语

人类活动已成为当代气候变化的主导因素,这使得当代气候变暖所带来的问题已远远超出了增温本身所表现出的严峻性。应对气候变化工作已经越来越被重视,并且已经有了一些通过适应来被动应对气候变化的成功的范例,但总体而言效果仍然十分有限。为了降低气候变化的脆弱性及其带来的危机和挑战,主动应对是十分必要的,最首要的考虑应该是遏制或减缓变暖趋势,为此减排和固碳以及地球工程技术等多管齐下的做法也许是必要的选择。通过采取应对气候变暖的各种政策和措施,许多不利影响即使不能完全避免,但至少可以减缓和延迟。

气候因素和非气候因素会造成气候变化影响脆弱性的时间和地域差异,所以未来的脆弱性不仅取决于气候变化,还取决于发展途径。温室气体稳定水平越低,减排的宏观经济成本通常就会越高,给全球带来的风险也就越大,所以走低碳经济和绿色经济发展之路是国际社会必须做出的共同选择。

目前,人们已意识到任何应对措施都存在局限性和成本的问题,部分原因在于有效的措施往往取决于人们对风险性的顾虑程度,也取决于政治和财政方面的制约程度。如何有效降低风险性和消除对风险的顾虑以及引导政治力量和克服财政障碍将是未来应对气候变暖过程中不能回避的重要问题。

事实上,气候变化问题在许多层面上仍然存在认识上的空白,面对气候变化问题的复杂性和不确定性,需要具备客观的心态和辨证的思想,认真思考和对今天的气候变暖问题。

参考文献(References):

- [1] 徐华清. 全球气候变化的挑战和机遇[J]. 信息与研究, 2003, 537(19): 23– 25.
- [2] Reilly J, Stone P H, Forest C E, et al. Climate change: uncertainty and climate change assessments[J]. Science, 2001, 293(5529): 430– 433.
- [3] Schiermeier Q. Climate change 2007: what we don't know about climate change[J]. Nature, 2007, 445: 580– 581.
- [4] Solomon S, Plattner G K, Knutti R, et al. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106: 1704– 1709.
- [5] Mawdsley J R, O'malley R, Ojima D S. A Review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation[J]. Conservation Biology, 2009, 23(5): 1080– 1089.
- [6] Monastersky R. Climate crunch: A burden beyond bearing[J]. Nature, 2009, 458: 1091– 1094.
- [7] Hansen J, Sato M, Kharecha P, et al. Target atmospheric CO₂: Where should humanity aim? [J]. Open Atmosphere Science Journal, 2008(2): 217– 231.
- [8] Vose R S, Karl T R, Easterling D R. Climate(communication arising): Impact of land-use change on climate[J]. Nature, 2004, 427: 213– 214.
- [9] Hopkin M. Climate change 2007: Climate sceptics switch focus to economics[J]. Nature, 2007, 445: 582– 583.
- [10] 秦大河, 陈振林, 罗勇, 等. 气候变化科学的最新认识[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 63– 73.
- [11] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [12] Ruddiman W F. The early anthropogenic hypothesis a year later[J]. Climatic Change, 2005, 69: 427– 434.
- [13] Lamb S, Davis P. Cenozoic climate change as a possible cause for the rise of the Andes[J]. Nature, 2003, 425(6960): 792– 797.
- [14] Thomas C D, Ohlemiller R, Anderson B, et al. Exporting the ecological effects of climate change. Developed and developing countries will suffer the consequences of climate change, but differ in both their responsibility and how badly it will affect their ecosystems[J]. EMBO Reports, 2008, 9: 28– 33.
- [15] McInerney D, Keller K. Economically optimal risk reduction strategies in the face of uncertain climate thresholds[J]. Climatic Change, 2008, 91: 29– 41.
- [16] 张家诚. 中国气候总论[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 353– 360.
- [17] 王绍武. 现代气候学研究进展[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 458.
- [18] Calov R, Ganopol'ski A. Multistability and hysteresis in the climate-cryosphere system under orbital forcing, geophys[J]. Res. Lett., 2005, 32, L21717.
- [19] 张强, 胡隐樵. 关于我国西北干旱气候的若干问题[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 357– 362.
- [20] 张强, 韩永翔, 宋连春. 全球气候变化及其影响因素研究进展综述[J]. 地球科学进展, 2005, 20(9): 999– 1011.
- [21] 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 422.
- [22] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis[M]. World Resources Institute, Washington, DC. 2005.
- [23] Parmesan C, Yohe G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems[J]. Nature, 2003, 421: 37– 42.
- [24] Root T L, Price J T, Hall R K, et al. Fingerprints of global warming on wild animals and plants[J]. Nature, 2003, 421: 57– 60.
- [25] Walther G R, Berger S, Sykes M T. An ecological 'footprint' of climate change[J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2005, 272: 1427– 1432.
- [26] Wilson R J, Gutierrez D, Gutierrez J, et al. Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change[J]. Ecology Letters, 2005, 8: 1138– 1146.
- [27] Franco A M A, Hill J K, Kitchke C, et al. Impacts of climate warming and habitat loss on extinctions at species' low-latitude range boundaries[J]. Global Change Biology, 2006, 12: 1545– 1553.
- [28] Hickler T, Prentice I C, Smith B, et al. Implementing plant hydraulic architecture within the LPJ dynamic global vegetation model[J]. Global Ecology and Biogeography, 2006, 15: 567– 577.
- [29] Pounds J A. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming[J]. Nature, 2006, 439: 161– 167.
- [30] Scholze M, Knorr W, Arnell N W. A climate-change risk analysis for world ecosystems[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006, 103: 13116– 13120.
- [31] Walther G R, Post E, Convey P, et al. Ecological responses to recent climate change[J]. Nature, 2002, 416: 389– 395.
- [32] 邓振镛, 王鹤龄, 王润元, 等. 气候变化对祁连山北坡农林牧业结构的影响与对策研究[J]. 中国沙漠, 2008, 28(2): 381– 387.
- [33] 邓振镛, 张强, 刘德祥, 等. 气候变暖对甘肃种植业结构和农作物生长的影响[J]. 中国沙漠, 2007, 27(4): 627– 632.
- [34] 潘家华, 孙翠华, 邹骥, 等. 减缓气候变化的最新科学认识[J].

气候变化研究进展, 2007, 3(4): 187– 184.

[35] 秦大河, 罗勇, 陈振林, 等. 气候变化科学最新进展: IPCC 第四次评估综合报告解析[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(6): 311 – 314.

[36] 韩邦帅, 薛嫻, 王涛, 等. 沙漠化与气候变化互馈机制研究进展[J]. 中国沙漠, 2008, 28(3): 410– 415.

[37] 史玉光, 孙照渤. 新疆大气可降水量的气候特征及其变化[J]. 中国沙漠, 2008, 28(3): 519– 525.

[38] 白美兰, 郝润全, 沈建国. 近 46 a 气候变化对呼伦湖区域生态环境的影响[J]. 中国沙漠, 2008, 28(1): 101– 107.

[39] 鲁瑞洁, 夏虹, 强明瑞, 等. 近 130 a 来毛乌素沙漠北部泊江海子湖泊沉积记录的气候环境变化[J]. 中国沙漠, 2008, 28(1): 44– 49.

[40] IPCC. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Chang. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge, U K: Cambridge University Press, 2007.

[41] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and vulnerability [M]. Cambridge, U K: Cambridge University Press, 2007.

[42] House K Z. The innovative approach to tackling climate change[J]. Environmental science & technology, 2007, 41 (25): 9464– 9469

[43] House K Z, House C H, Schrag D P, et al. Electrochemical Acceleration of Chemical Weathering as an Energetically Feasible Approach to Mitigating Anthropogenic Climate Change[J]. Environmental science & technology, 2007, 41(24): 8464 – 8470.

Major Characteristics, Key Issues and Coping Strategies
of Climate Change

ZHANG Qiang^{1, 2, 3}, LI Yu^{1, 4}, CHEN Li-hua⁵

(1.Key laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province/Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of CMA, Institute of Arid Meteorology, Chinese Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China; 2.College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 3.Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081,China; 4.School of Chemical Engineering, Northwest University for Nationalities, Lanzhou 730030, China; 5.Meteorological and Hydrological Bureau, Headquarters of the General Staff of the People's Liberation Army, Beijing 100081,China)

Abstract: Scientific literatures contain numerous descriptions of observed and potential effects of global climate change on natural environment and ecosystems. In response to anticipated effects of climate change, environmental conservation organizations and government agencies are taking actions to help human society and ecological systems to adopt to climate change. In the paper, main characteristics and main socio-economic driving forces of climate change are analyzed and key issues and adverse effects of climate warming are discussed. Lastly, the authors give some advices of adaptation to climate change not only for long-term development but also for short-term benefits.

Keywords: climatic change; driving force; adverse effect; strategy