

# Discussion on Global Warming and Responsive Measures

Mingyi Xu

School of Water Resources and Hydropower Engineering, Wuhan University, Wuhan Hubei  
Email: myxu@whu.edu.cn

Received: Nov. 23<sup>rd</sup>, 2019; accepted: Dec. 6<sup>th</sup>, 2019; published: Dec. 13<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In this paper, the fact data of global warming and its great harm to human beings are collected. Measures to slow down climate warming are summarized as “heat rejection, heat fixation, energy saving, heat dissipation, heat smoothing and cold source putting”, among which the most economic and effective method is tree planting and forestation. Expanding the forest area and combining energy saving and emission reduction measures will play an active role in controlling climate warming.

## Keywords

Climate Change, Climate Engineering, Extreme Weather, Energy Saving, Emission Reduction, Forest

---

# 全球气候变暖及应对措施探讨

徐明毅

武汉大学, 水利水电学院, 湖北 武汉  
Email: myxu@whu.edu.cn

收稿日期: 2019年11月23日; 录用日期: 2019年12月6日; 发布日期: 2019年12月13日

---

## 摘要

收集了全球气候变暖及对人类带来的巨大危害的事实资料, 将减缓气候变暖的措施, 概括为“拒热、固热、节能、散热、平热、投冷”, 其中最为经济有效的手段当推植树造林, 扩大森林覆盖面积, 结合节能减排措施, 将对控制气候变暖发挥积极作用。

## 关键词

气候变化, 气候工程, 极端天气, 节能, 减排, 森林

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

2019年给人们留下了触目惊心的气候事件,如美国中西部遭遇极寒,澳大利亚遭受极端高温,中国辽宁开原发生龙卷风,墨西哥降下超级冰雹,法国热浪破纪录,日本遭遇水灾和台风,亚马逊雨林大火蔓延等等,许多科学家都认为以后各类极端天气会越来越频繁,人类生存面临巨大考验。对极端天气发生的原因,最为广泛接受的观点就是全球气候变暖。很多专家认为,全球变暖让极端气候,比如法国发生的夺命热浪的可能性增加了5倍以上。2017年超过15000名科学家在《生物科学》杂志上联名发布文章《世界科学家对人类的警告:第二次通知》,提醒众人地球正身处气候变化、淡水减少、森林缩减、物种灭绝的恶性循环之中。2019年11月5日,全球一万多名科学家在《生物科学》杂志上再次发出警告称,若不及时做出深刻且持续的改变,人类将自食其果,面临数不清的灾难,未来堪忧。

2019年4月,中国气象局气候变化中心发布了《中国气候变化蓝皮书(2019)》,该蓝皮书中提供了中国、亚洲和全球气候变化的最新监测信息,科学客观地反映了气候变化的基本事实。报告中指出,气候系统的综合观测和多项关键指标表明:气候系统变暖趋势进一步持续,中国极端天气气候事件趋多、趋强,冰冻圈消融加速,气候风险水平呈上升趋势。从1951年到2018年,中国年平均气温每10年升高0.24℃,升温率明显高于同期全球平均水平。

地球气候变化已引起了全人类的关注,因为这关系到人类的未来命运。本文收集整理相关资料,试图为人们从多方面对气候现状提供较为清醒的认识,回答人们共同关心的问题:地球的气温是否在升高,升高的原因到底是什么?怎样才能控制气温升高?在原因和目标明确后,在科技迅速发展的现代社会,希望全球气温升高只是暂时的现象,能够被全人类同心协力有效地减缓,以保证人类在地球上的可持续发展。中国作为世界上的重要大国,在中华民族复兴之际,应该未雨绸缪,先人一步,担当减缓气候变暖的重大责任,对人类的科技进步和美好未来做出独特的贡献。

## 2. 全球气候变暖趋势

全球气候变暖逐渐成为不争的事实[1]-[10]。由于人们焚烧化石燃料时会产生大量的二氧化碳等温室气体,这些温室气体对来自太阳辐射的可见光具有高度透过性,而对地球发射出来的长波辐射具有高度吸收性,如同给地球罩上了塑料大棚,导致地球温度上升,即温室效应。这种导致全球变暖的污染来源有很多,包括焚烧秸秆、森林火灾等,但最严重的污染来源是来自煤炭、石油和天然气这类化石燃料的燃烧。由于温室效应使得全球平均气温不断上升,迄今为止有气象记录以来的地球最热的年份都出现在2000年后,可以说,人们已明显感觉到地球越来越热了。

2018年5月16日,中国杭州城区最高气温达到37.6℃,破当地5月历史最高记录,浙江多地最高温破40℃。2018年7月14日意大利罗马高温直逼40℃,连北极圈内的一些气象站也观测到气温达到32℃。日本和韩国遭遇大范围持续高温,2018年7月23日韩国最低气温创111年来最高值。美国加利福尼亚

州遭遇创纪录的高温侵袭，多地因高温诱发森林火灾。2018年12月下旬，中国青海玉树境内多次出现大范围降雪天气，局部地区积雪达45厘米，形成严重雪灾。

2019年全球高温持续。2019年1月澳大利亚多地打破了高温纪录，奥古斯塔港出现高达49.1℃的温度。与此同时，北半球的美国则遭遇持续寒潮，明尼苏达州创造全美寒冷新“巅峰”，气温低至-38℃。5月底袭击日本的热浪创下了数十项记录，其中包括该国有记录以来的最高气温39.5℃。6月份，印度部分地区的最高气温达到了惊人的53℃，印度和巴基斯坦最少有200人因为热浪而丧生[10]。中国中东部地区夏季出现了2个多月的高温旱情，武汉市在中秋节(9月13日)最高气温仍达到37℃。

2019年9月17日，北极海冰范围约为415万平方公里，比1980~2010年期间的气候平均值628万平方公里小约34%，这一数值仅比2012年数值大，是有现代观测记录以来海冰范围第二小的年份。海冰的反照率是海洋的5~6倍，其面积大小调制着进入地球系统的入射太阳光的多少，通过冰雪-反照率的正反馈机制，对气候变化起到“放大器”的作用。在全球变暖的过程中，北极地区的增暖幅度可达全球平均值的两倍以上，被称作“北极放大”现象。

2019年9月25日，联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)在摩纳哥召开的第51次会议上发布了第六次评估的《气候变化中的海洋和冰冻圈特别报告》，报告评估了最新的关于海洋和冰冻圈的变化、影响和适应对策。报告指出全球海洋和冰冻圈变化加速，在有卫星观测的1979~2018年期间，北极9月份海冰范围以每10年 $12.8 \pm 2.3\%$ 的速度快速减少。1979~2018年期间，5年以上的厚冰的面积减少了约90%。2006~2015年，格陵兰冰盖平均每年减少质量 $2780 \pm 110$ 亿吨，南极冰盖平均每年减少质量 $1550 \pm 190$ 亿吨。

这一切都说明，气候变化已经是板上钉钉的事实，它并不是留待子孙后人解决的问题，而是已经迫在眉睫、时不我待了。为应对全球气候变化，国际社会正不断努力。2015年国际社会达成《巴黎协定》，各缔约方以“自主贡献”方式共同应对气候变化，目标是将全球平均气温升幅较工业化前水平控制在2℃之内，并为把升温控制在1.5℃之内而努力。在2018年12月举行的第24届联合国气候大会上，通过了长达156页的《巴黎协定》实施细则，对加强全球应对气候变化的行动力度做出进一步安排。为逆转全球气候，各国只能加快实施《巴黎协定》而非行动迟缓，否则若按现有减排进度，根据联合国环境规划署的一份报告，预计到本世纪末地球的平均温度将上升约3℃，人类届时将面临严峻的生存考验。

### 3. 气候变暖的危害及前景

多份科学报告都向我们指出，地球不仅是在升温，而且升温速度在加快，碳排放浓度也上升到了历史最高水平，夏威夷莫纳罗亚气象台的传感器数据显示，2019年5月11日大气二氧化碳浓度突破了415百万分率(ppm)，这意味着地球的温室效应正越来越强。全球气候变暖意味着热浪肆虐、冰川融化、海平面上升、极端天气越来越多，对人类的生产和生活产生极大的危害。全球变暖将加剧厄尔尼诺现象，引发洪水、森林大火、全球饥荒和国际冲突，使难民人数增加。

气候变暖将导致冰川融化和极冷极热现象。非洲第一高峰乞利马扎罗山由于气温升高，已经失去山顶终年被冰雪覆盖的景象。我国的新疆及青藏高原冰川近百年来基本上处于全面退缩状态，与气候变暖的大趋势基本一致[7] [8]。北极的海冰在面积减少，南极的冰盖在不断崩解。2017年南极洲拉森C冰架崩塌，面积达5000平方公里的超大冰山A68滑入大海，2019年9月26日，南极洲东部阿默里冰架崩塌，又有一座面积1636平方公里的超大冰山滑入大海。地球在靠冰雪储备调节气温的同时，温度的波动十分明显，世界各地都出现了极热极冷的现象，如2019年1月北半球的美国在超级寒潮下瑟瑟发抖，同时南半球的澳大利亚却经受逼近50℃的高温炙烤。热浪导致人们的劳动时间减少，严重打击全球的生产力。超级寒潮则带来暴风雪、交通堵塞、流浪人口冻死饿死的惨状。

气候变暖使得海平面升高。海洋吸收了气候系统额外增加热量的 90% 以上，全球海洋变暖加速，冰盖和陆地冰川的加速消融，引起了全球海平面加速上升。整个二十世纪，全球海平面升高约 15 毫米，2006~2015 年全球海平面增速为每年 3.6 毫米，几乎是 1901~1990 年平均数值(1.4 毫米)的 2.5 倍。冰雪融化得越快，海平面就上涨得越快，沿海城市就会受到淹没的威胁，比如上海和广州这样的大城市，印度尼西亚首都雅加达已因此决定迁都，一些低海拔的岛国则面临无奈举国搬迁的境地。由于沿海城市或城市群大都是经济发达的地区，海水淹没引起的经济损失特别巨大，

气候变暖将引起陆上更强的风暴。更冷更暖空气的交汇使沙尘暴、龙卷风出现的频率和强度大增。2018 年 5 月 2 日，一场超强沙尘暴席卷印度北部，导致至少 77 人死亡，另有 143 人受伤。据印度气象专家分析，来自北部山区的冷空气与南亚次大陆的热气团相遇，产生了巨大的雷暴云团，裹挟着来自“沙漠之邦”拉贾斯坦邦的沙石，形成了强大的沙尘暴。2019 年 7 月 3 日，中国辽宁省开原市地区出现小型龙卷风，造成房屋、电力、通讯设施严重损坏，死亡 6 人，受灾达 9900 余人。

气候变暖将引起海洋产生更多更强的风暴。海洋变得更暖，台风和飓风的出现频率和破坏程度都有逐渐增大的趋势。2018 年北半球总共出现 70 起热带气旋或飓风，而在此之前的平均值为每年 53 起。2019 年 10 月 12 日晚台风“海贝思”在日本伊豆半岛登陆，给日本大片地区带来了创纪录的降雨和泥石流，多条河流决堤，多个地区因洪水而瘫痪，已造成至少 84 人死亡，9 人失踪。日本交通服务几乎全面停摆，10 列新干线列车被浸泡而报废，各地避难所挤满了疏散的民众。

气候变暖使干旱和洪涝灾害增加。海洋变得更暖就会有更多的水蒸气从海洋蒸发到空中，更温暖的空气含有更多的水蒸气，当饱含湿气的空气在陆地遇冷凝结，后果就是巨量的降水，进而引发洪水灾害。比如 2017 年袭击中国广州的洪水，就是在 24 小时内降雨量达到 524 毫米引发的。多余的热量也会将土地的水分带走，使干旱时间更久，干旱程度更深，中国受其影响尤其明显。2019 年中国中东部地区的夏秋连旱，使得主要农作物产区粮食减产，部分地区人畜饮水困难。

气候变暖也增大了森林火灾的风险。亚马逊雨林是全球最大及物种最多的热带雨林，在 2019 年 8 月末，亚马逊雨林的大火持续超过了三周。火势较集中的地区位于巴西、秘鲁与玻利维亚交界处，火场上空可以清晰地看见大片的浓烟。火灾烟气对南马托格罗索州、圣保罗州和帕拉州部分地区造成明显影响，巴西圣保罗市天空被黑云覆盖，白昼宛如黑夜。森林大火不仅是气候变暖的“果”，而且也成为推动气候继续变暖的“因”，因为燃烧释放了更多的二氧化碳等温室气体。

气候变暖也让医疗告急。由于变暖的气候条件扩大了蚊、虱以及其它携带热带疾病的传染病生物载体的生存范围，一些热带疾病传播到了高纬度地区。另外，随着气候变化扩大了物种的分布范围，使各个地区的入侵物种增加，危害原有的生态平衡，使得热带海洋、温带森林、北极苔原等生态系统面临着不同的困境。全球变暖还引起海洋酸化以及基础设施遭到破坏等。

总之，全球气温升高已经成为事实，带来的危害也是有目共睹，但环境保护和经济发展的两难问题一直考验着世界各国的决心，很难做到步调一致地应对这一挑战。如果世界各国不联合起来，则全球气温不断升高的趋势将难以得到有效控制，人类的生存将面临极大考验，前景将十分黯淡。推想气候变暖继续恶化的进程，首先是寒热乖离，气温的波动幅度加大，陆地和海洋的风暴进一步增强；温度继续上升，北极将在某年夏季无海冰覆盖，北半球的夏季将炎热难耐；气候模式也随着温度上升而发生改变，亚热带甚至温带地区会变得如热带一样，没有四季变化，只有雨旱两季，旱涝灾害交替出现；气温再继续升高，旱季时焚风肆虐，使得森林火灾此起彼伏，难以控制，森林面积急剧缩小；在森林损失殆尽后，大气中的二氧化碳浓度已达到很高的数值，温室效应进一步增强，推动气温加速上升，此刻全球暖化的趋势已难以逆转，若无特别的措施，人类家园将被热浪吞没，恐一步一步变为金星一样的炼狱。人类只能在高山或地下躲避酷热，最后由于雨在降落过程中就全部蒸发而无法到达地面，致使江河逐渐断流枯

竭，失去生存条件的人类将被迫逃离地球，但人类新的家园在何方？何时才能到达新的家园？

#### 4. 控制气候变暖的对策

全球气候变暖不仅危害自然生态系统的平衡，还直接威胁到人类的生存。应对气候变化是人类共同使命，世界各国都在密切注意这一全人类共同面对的变化[11]。从大的方面来看，应对气候变化主要有两种方法：一是主动预防——通过改变人类活动来延缓气候变化的发生；二是被动防御——在气温升高的条件下如何保障人类的生产生活。从长远看，应以预防为主，防御为辅，将全球升温控制在一定幅度内，人类生活不至有大的改变，这是最理想的情况，也是《巴黎协定》想要达到的目标。

在全球气候变暖加剧的情况下，需要及时研究一些防御措施来保障人类的生存和发展。由于夏季时可能会面对 50℃左右的高温天气，即使在空调的帮助下，一般的建筑也难以在这种气候下坚持较长时间，因此必须要有大型的安全可靠的聚集场所来容纳人群，抵抗夏季高温，比如地下城市、高原城市等，这类设施可以基本满足二三个月的避暑要求。如果全球变暖的趋势恶化，这类设施在数量和功能上将远远不能满足要求，需要及早规划建设抗热建筑。从分类上看，抗热建筑可分为以下几类：一是陆地建筑，包括地面建筑和地下建筑；二是海洋建筑，包括海上城市和海底城市；三是太空城市，包括近地空间站和月球基地等。从难度上看，陆地建筑是首先考虑的选项。其中地面建筑采用抗热抗风的巨型建筑，可以容纳较多数量的人员，建筑间的交通主要采用地铁等形式，以避免地面高温和强风暴影响。地下建筑可以利用废弃的矿井、矿坑进行改造以减少工程量，需要设置较为完善的用水、通风、除湿、采光等设施，以保障人员在地下封闭空间的较长时间生活。

由于气候变暖对人类生产生活各方面的影响，一些适应气候变化影响的行动措施也可及时实施，比如，农业方面，可以改良作物品种，培育和选用抗逆新品种，调整粮食产业结构和布局，研制开发节水灌溉技术，发展节水农业等；水资源方面，加强水资源管理和调控，建设淡水调蓄工程，节约用水，研制开发海水淡化技术等；沿海地区，加强对海平面上升的动态监测，建立相应的预警系统，逐步迁移低海拔地区的人口，修建坝堤等防护工程设施，制定生态系统保护措施等。

被动的防御气候变暖的措施并不能逆转变暖趋势，采用主动措施才是治本的方法。主流观点认为全球气温升高主要源于人类活动和二氧化碳排放的增加，因此限制排放二氧化碳等温室气体成为釜底抽薪的解决措施。许多国家都承诺逐步减少化石能源使用，减少温室气体排放，同时大力发展可再生清洁能源。逐步淘汰内燃机引擎，转而使用电动交通工具。照明市场使用节能的发光二极管，减少能源消耗。目前我国二氧化碳、甲烷、氧化亚氮等温室气体的排放量居世界前列，因为受自身技术、经济能力和经费所限，减排进展还较为艰难。但中国政府已决定在节能减排上承担大国责任，推出退耕还林还草等举措，并设定到 2030 年，非化石能源在总的能源当中的比例要提升到 20%左右。中国的水能资源正加快开发，风能发电量呈指数增长，太阳能发电设备安装也呈现急剧增长。

对于减缓全球气温升高，有许多科学家提出用工程技术手段来控制地球的气温升高，称为“气候地球工程”，又被称为“气候工程”或“地球工程”，为避免风险，需遵循减排优先原则、谨慎应用原则和风险预防原则等伦理原则[12]。已提出的技术手段五花八门，其中不乏大胆的想法。但是，一些方案在当前技术条件下难以实现，一些方案则难以避免产生不可预见的风险，还有一些方案因经济代价太大而难以实施。这些方案归结起来，可主要概括为十二字方针：“拒热、固热、节能、散热、平热、投冷”。

1) 拒热。“拒热”就是太阳辐照管理，通过工程技术手段减少到达地球表面的太阳光。主要方法包括改变地表反照率，如将屋顶刷白，将道路刷白，将沙漠刷白，在海洋表面覆盖白色泡沫，在北极人工制造冰面等，将太阳光尽可能反射回太空；增加大气反照率，如人工造云，在海洋上空注入海盐气溶胶，平流层注入气溶胶等；增加太空反照率，如在太空人工放置“反射板”，实施刘慈欣所著科幻小说中的

“雾伞”计划等[13]。

2) 固热。简单将太阳光反射有些可惜,若将这部分光能利用起来,固定为其它能源形式,代替化石能源,则更为经济,此为“固热”方案。天然的“固热”方案就是绿色植物的光合作用,将光能转换为化学能并存储起来,如现今的化石燃料能源本质上就是地球漫长岁月中捕获的太阳能资源转化而来;可利用闲置土地大力发展光伏发电,将太阳能直接转换为电能;在环绕地球的卫星轨道设置太阳能发电站,一举两得实现“拒热”和“固热”效果;还可在日地之间的第一拉格朗日点(距地球约 150 万公里)建立太空城市,进行太空移民,同时利用巨大的太阳能发电板,为地球遮蔽阳光。

3) 节能。“节能”即节约使用能源,减少热量生成。由于能源消耗后,绝大部分转换为废热,因此节约使用能源可减少废热排放。中国在节能降耗上有巨大的潜力,可研究相关技术,提高设备的能源使用效率,通过节约能源措施,达到低能耗、多产出。发展绿色建筑和低碳交通,发挥互联网优点,提倡共享办公等,可减轻交通拥堵,建立资源节约型、环境友好型社会。对个人来说,早睡早起,使用高效节能灯泡照明,杜绝浪费,循环利用废旧材料,交流捐赠多余物品,垃圾分类处理,出行多使用公共交通等,都能为“低碳节能”社会做出贡献。

4) 散热。“散热”即为增加地球的长波辐射,向太空散发多余热量。通过减少大气中的温室气体含量,使长波辐射所携带的能量更容易穿过大气,发散到太空。温室气体包括二氧化碳、甲烷、水汽等,使用清洁能源,提倡低碳生活,减少使用化石燃料,可减少温室气体排放,进一步可通过增加森林覆盖率以吸收固定二氧化碳,刺激海洋中的浮游生物快速生长以吸收二氧化碳,也可利用吸碳机捕获二氧化碳,然后用特殊的方法深埋地下或制成其它产品等。通过减排固碳的技术进步,力争在二十一世纪中叶,使全球二氧化碳气体由净排放转变为净吸收,增加大气散热能力,以强有力遏制气候变暖。

5) 平热。“平热”即为均平气温,减少温度大幅波动,尤其是消减高温。水是生命之源,也是地球调温的主要工质。地球气温上升后,水循环会加快,两极融冰增多,高原冰川融化加快,海洋蒸发量加大,陆地降雨增加,但并非均匀分布,时旱时涝或为大概率事件。因此需要加强水利设施建设,既可保证人们生产生活需要,也为水循环提供便利条件。高温季节通过水的蒸发降温,低温季节通过水的蓄热或结冰释放潜热。大力发展以岩土体、地下水或地表水为热源的空调系统,利用其温度较为恒定的特点,夏季制冷,冬季供暖,达到“平热”效果,其耗能小的优点能降低常规空调引起的温度正反馈机制和城市热岛效应,使城市居民平稳度过夏季酷暑。

6) 投冷。“投冷”即投放冷源使地球降温。据英国天文学家比尔·纳皮尔在《英国皇家天文学会月刊》上发表的研究报告宣称,13000年前地球遭受数千块彗星瓦解碎片撞击,导致地球降温 $8^{\circ}\text{C}$ ,中断了当时冰河时代末期的升温,并使冰川再次蔓延。此次地球降温持续千年,期间造成 35 种北美洲哺乳动物灭绝。鉴于此,可考虑捕获经过地球附近空间的冰冻彗星,分解为碎片后降落到海洋,使地球降温。另外,美国行星科学家科瑞坎斯凯还提出,在小行星或彗星从地球身边通过时,利用引力效应帮助地球调整自己的轨道,将日地距离拉大,使地球运行在更为凉爽的轨道上。从人类现有的科技水平看,此类方案还只能停留在设想阶段,没有能力实施。

## 5. 大力推广植树造林

目前来看,减缓气候变暖的工程技术方案虽然繁多,但最为经济有效的措施当属植树造林,如苏黎世联邦理工学院的气候变化生态学家托马斯·克劳瑟表示:“这是迄今为止最廉价、也最有效的气候变化解决方案”。增加绿色植被,特别是森林,具有储能减排的双重效果。一方面植被通过光合作用,将太阳能转化为化学能储存起来,起到“固热”效果,另一方面将会有大量的二氧化碳被吸收,从而减少温室气体,增加大气的长波辐射透射率,起到“散热”效果。

森林对水循环起调节作用。树木从土壤中吸收水分，通过蒸腾过程将其从液体转化为水蒸气，释放到大气中，促进了云的形成，可以反射部分阳光，起到“拒热”效果。森林的比热容较裸地大，会使昼夜温差缩小，气温年较差缩小，海陆热力性质差异缩小，起到“平热”效果。树木具有局部降温作用。一方面它们通过树叶的遮挡提供了阴凉，另一方面在蒸腾过程中吸热，使温度降低。在一项研究中发现，如果在热带地区完全移除一片 25 平方公里的森林，会导致当地的年平均气温至少上升 2℃。

森林具有保持水土的作用。可以截留水分，而不是让水涌入湖泊和河流，以此来防止洪水；能够保持土壤，使其不致被雨水冲走，有利于缓解水土流失，使河流含沙量减少。从形象的角度看，森林就是地球的毛发，森林会改变地球的外力作用。地表植被覆盖增加，风力堆积、侵蚀作用会随之减弱，土地沙漠化程度减轻，在沿海地区可以缓冲风暴潮的冲击。

由于森林蓄水能力强，加之面积的扩大和蒸腾作用的增强，海陆间循环旺盛，海洋会有大量水汽进入森林，会使全球海平面有所下降。森林的覆盖率增加，空气湿度增大，降水增多，有利于缓解干旱程度。同时会增加地表水的下渗量，使地表径流减少，有利于缓解洪涝灾害，山体滑坡、泥石流等灾害都会有所减少。因此，森林对于缓解干旱和洪涝灾害都具有积极作用。

树木还可以吸收颗粒物和污染物，净化空气。树木在固碳过程中产生大量氧气，还能够显著增加空气中负氧离子含量。树木可以提供木材、食物和药品，为动物提供栖息场所，根系结构也有助于微生物群落的繁盛。全球经济中存在大量以树木为中心的就业机会，如伐木工和造纸工人，果农和木匠等等。树木和自然环境对我们的心理健康有很多好处，例如，在森林中散步可以促进人体的整体健康，包括减少压力、提高活力水平和改善睡眠。

树木对人类的作用可谓巨大，但现在世界上每年砍伐树木还是大于种植的数量，森林的面积在逐年缩减。森林消失的地方，伴随着树荫消失、水循环中断、气温升高，将对人类和牲畜造成致命威胁。死亡树木的分解又将逐步释放出二氧化碳，增加温室气体含量，大量的碳还将流入海洋，导致海水酸化，威胁大部分海洋生物的生存。

因此，应对气候变化，应当大力发展低碳能源，减少化石能源的使用，积极推进能源技术和体制革新，促进可持续发展。同时，积极植树造林，改良培育生长快、木材质量好的树种，扩大森林面积，发挥树木的多重功效，特别是固碳功能，使全球气候在可控范围内持续稳定。扩大森林面积还是一个正向的循环。森林面积扩大，植被种类会增加，同时由于水热条件良好，生物栖息地面积扩大，食物链充足，十分利于生物生长繁殖。生物种类更多，则更有利于森林的自我平衡和逐步扩张，维护所付出的经济代价远小于其它工程技术手段。

为保障森林的功用得到充分发挥，必须加强水利设施建设。在干旱季节，保证森林的水源供给，维护森林的生态环境，发挥树木的蒸腾降温作用。在洪涝期间，利用水库及时承纳大量地表水和地下水，避免泥石流和滑坡灾害，同时尽量减少低洼处的淹没损失。整修河道，提高泄洪能力，利用滩涂扩大林木种植，增加湖泊和湿地面积，为加快大气水循环提供便利。加强森林防火管理，结合道路建设打造防火隔离带，利用无人机和卫星开展火灾预警监测，研制高效灭火装备器械，提高灭火效率和自动化程度。配合制定有效得力的经济政策，为维持和扩大森林面积提供多方面支持。森林面积扩大，生态环境变好，农业风调雨顺，社会经济发展基础更加稳固，形成良性循环后，全球气候变暖趋势得到控制，人类前景将十分美好。

## 6. 结语

不管是根据研究报告还是人们的自我感受，全球气候变暖越来越为大多数人所认识。据国际气象组织发布的报告，2017 年全球平均温度比工业化前的温度约高 1.1℃，而中国自 1951 年以来，总体明显呈

现变暖的趋势，尤其是上个世纪 80 年代以来，气温偏高的情况更为显著。在二十一世纪初的十几年里，全球已遭受了一波又一波未曾经历的热浪，人们对气候变暖的危害已有切身体会。

许多科学家都认为，导致全球变暖的主要原因是由于随着人类经济的发展，大量使用矿物燃料，排放出二氧化碳等多种温室气体，使地球热平衡发生偏离，致使气温不断上升。气候变化是人类共同面临的问题，各国之间开展广泛深入的合作是应对全球变化的根本出路，已达成的《巴黎协定》体现了国际合作的成果。要实现将地球温度控制在合理的范围，当下最紧要的任务就是多使用低碳能源，将碳排放的水平降低。

控制气候变暖的工程技术手段多种多样，但主要可归结为“拒热、固热、节能、散热、平热、投冷”十二字方针，其中每一项都有大量的方案可以选择，但哪种更为安全、有效、经济，则需要进行更深入的讨论，本文将各类已提出的可能方案罗列出来，以便于集思广益，改进提高。从当前技术水平看，扩大植树造林不失为最为经济有效的手段，树木对人类有着巨大的经济价值，在调节全球气候方面也发挥着多重功效，而维护成本相对较低。因此，保护森林，大力推广植树造林，对改善生态环境，减少温室气体，控制气候变暖具有无可替代的作用。人类需要认识到未来形势不容乐观，必须立即重视并行动起来，全面转变到以地球的主人翁和管理者姿态，为维护地球生物圈的安全，也为人类的美好未来而努力。

## 参考文献

- [1] Stocker, T. (2014) IPCC Climate Change 2013. In: *The Physical Basis: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Inter-government Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [2] WCRP Report (2015) IPCC AR5: Lessons Learnt for Climate Change Research and WRCR. 1-85.
- [3] 中国工程院应对气候变化的科学技术问题研究项目组. 应对气候变化的科学技术问题研究[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [4] 丁一汇, 王会军. 近百年中国气候变化科学问题的新认识[J]. 科学通报, 2016, 61(10): 1029-1041.
- [5] 杨建军, 刘永强, 郭玉川, 等. 新疆近 54 年气温和降水变化特征[J]. 水土保持研究, 2016, 23(2): 128-133.
- [6] 张扬, 楚新正, 杨少敏, 等. 近 56a 新疆北部地区气候变化特征[J]. 干旱区研究, 2019, 36(1): 212-219.
- [7] 雒园, 李慧林, 李忠勤, 等. 托木尔峰地区神奇峰冰川 3950 m 处物质平衡与气象要素关系分析[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(3): 62-67.
- [8] 李开明, 李忠勤, 李明涛, 等. 近 40 年来托木尔峰南坡三条监测冰川对气候变暖的响应[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(12): 98-103.
- [9] 谭红建, 蔡榕硕, 黄荣辉. 中国近海海表温度对气候变暖及暂缓的显著响应[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(6): 500-506.
- [10] 刘政阳, 李挺宇. 全球气候变暖趋势急剧加速[J]. 生态经济, 2019, 35(9): 1-4.
- [11] 杨飞虎, 何源明. 全球气候治理发展新趋势及中国战略选择[J]. 经济全球化, 2016(9): 63-67.
- [12] 史军, 蔡辉. 气候地球工程的伦理原则探析[J]. 武汉科技大学学报(社会科学版), 2017, 19(5): 552-557.
- [13] 刘慈欣. 三体 II · 黑暗森林[M]. 重庆: 重庆出版社, 2008: 344.