



全球可持续制冷普惠的 风险与机遇



序 言

2018年7月16日，联合国可持续发展高级别政策论坛在纽约总部召开，会上发布了由联合国人人享有可持续能源（SEforALL）非营利性组织编写的《Chilling Prospects: Providing Sustainable Cooling for All》（全球可持续制冷普惠的风险与机遇）报告（以下简称《报告》）。该《报告》量化并评估了全球制冷领域逐渐增长的趋势及蕴含的机遇，是联合国首次发布与制冷技术应用有关的报告。

鉴于该《报告》对制冷空调行业发展前景具有重要的指导意义，中国制冷学会组织将其翻译为中文，便于行业全面了解全球制冷、空调需求现状，以应对能源、环境等问题。

感谢丹佛斯自动控制管理（上海）有限公司、艾默生环境优化技术（苏州）有限公司、冰轮环境技术股份有限公司对《报告》翻译及出版发行工作给予的支持。

中国制冷学会

编辑策划：范薇 翻译：郭潇阳 校对：张婷婷
校对审核：胡敏

鸣谢

联合国非营利性组织SEforAll(Sustainable Energy for All)在此由衷感谢以下个人以及机构, 本报告的诞生离不开他们的投入和帮助, 他们是:

国际专家委员会成员

Achim Steiner

联合国开发计划署署长

Dan Hamza-Goodacre

基加利制冷能效项目办公室执行主任

Durreen Shahnaz

社会效应投资交易所创始人、首席执行官

Erik Solheim

联合国环境规划署署长

Iain Campbell

落基山研究所常务董事

Jürgen Fischer

丹佛斯制冷事业部总裁、集团执行团队成员

Kate Hampton

儿童投资基金会(英国)首席执行官

Kurt Shickman

全球城市降温联盟常务董事

Maria Neira

世界卫生组织公共卫生部主任

May Mei

为蓝低碳发展促进中心首席执行官

Rachel Kyte

SEforAll首席执行官、联合国秘书长特殊代表

Tina Birmpili

臭氧秘书处执行秘书

Veerabhadran Ramanathan

加利福尼亚大学教授 斯克里普斯海洋研究所 应用海洋学研究部 特聘教授

特别鸣谢

Brian Holuj, Brian Motherway, 胡敏, Julia Panzer, Katharina Arndt, Meg Seki, Steve Kukoda, Professor Toby Peters, Kizzy Charles-Guzman, Daniella Henry, Nicola Twilley, Johannes Heister, Clay Nesler

追加鸣谢

法律和社会政策中心(CLASP): Ana Maria Carreño, Eric Gibbs, Jeff Stottlemeyer, Jenny Cory Smith, Yasemin Erboy Ruff, Sam Grant, Elisa Lai, Nicole Kearney

21世纪可再生能源政策网络(REN21): Rana Adib, Laura Williamson

德国国际合作机构(GIZ): Nika Greger; Boson Energy

欧洲能源与环境合作伙伴协会(EPEE): Andrea Voigt

美国制冷学会(AHRI): Joe Trauger

GFCCC: Juergen Goeller, Rajan Rajendran

ARAP: Kevin Fay

由衷感谢大家的支持!

Cooling for All 全体成员

前言



Rachel Kyte
SEforAll首席执行官、
联合国秘书长可再生能
源普惠特别代表

当天气炎热时，我的孩子们已经将享受制冷终端产品给他们的生活带来的便利当成理所当然的事情，不论是早餐吃的新鲜水果，学校教室里和校车上的空调，还是预防疾病的疫苗。然而，在地球上一些高温地区还有很多儿童和成年人由于缺少制冷普惠，严重影响着他们的健康状况、工作能力、营养食品供应以及丰富多彩的生活。

《全球可持续制冷普惠的风险与机遇》（Chilling Prospects: Providing Sustainable Cooling for All）报告警示我们由于制冷缺失所导致的人类前所未有且不断恶化的诸多风险。同时《报告》还揭示了人类的需求给制冷行业所带来的机遇与挑战，提示全人类在保护环境的同时，开发可持续高效的制冷解决方案，有利于经济发展，为子孙后代提出可持续制冷的必要性。

以近两年全球达成的历史性国际公约为基础，我们与基加利制冷能效项目（Kigali Cooling Efficiency Program）组成员共同完成了这份《报告》。首先，“联合国可持续发展目标”（Sustainable Development Goals，简称SDGs）规定了在2030年前要达成的目标和规划，其中包括贫穷、健康、教育、可持续能源以及食品安全等。其次，“联合国可持续发展目标”需要在“巴黎协定”的框架范围内完成，这就要求各国建立绿色经济和低碳经济，使得全球升温稳定在2℃以下。最后，《蒙特利尔议定书》基加利修正案即将施行，该协定规定在未来30年将全球变暖潜值（GWP）高的制冷剂用量减少

80%，比如氢氟碳化合物（HFCs），促使人们研发更加环保的制冷剂和制冷技术。

这三个具有里程碑意义的国际公约向我们提出了挑战：如何高效、经济、可持续并且可靠地满足所有人的制冷需求？

上述问题是《报告》的初衷，也是诸多行业内制冷技术和商业模式不断创新的必然产物。然而，不断涌现的创新多数独立发生，相互联系较少。我们逐渐意识到，可持续的能源变革（这也是“SDGs”和“巴黎协定”的要求）需要更高效的协调整合。我们经常听说可再生能源领域内的巨大突破，而这些成就很少应用在供热/冷和传热领域。如果不改变这一局面，将很难实现我们之前设定的目标。

《报告》分析了制冷空调技术在人类生产和生活的众多领域所面临的难题，首次对重要地区和特定国家的制冷普惠缺口进行量化，介绍了量化方法及系统地规划方案以满足人们可持续用冷的需求。并在此基础上，进一步提升食品安全、人类健康和劳动生产力。

《报告》提示大家思考如下问题：为什么实现“联合国可持续发展目标”的关键之一是制冷的普惠？如何判断高温地区最脆弱的人群？如果不采取更快速、有效的行动，对“巴黎协定”的实施有何影响？如何系统地考虑制冷技术、财政以及实现“SDGs”和“巴黎协定”的规划？

随着人口的持续增长和全球温度持续突破新纪录，缺乏可持续制冷带来的健康和经济损失比以往任何时候都要严重。这些风险在贫穷国家和发展中国家尤为严重，高温危害与日俱增。同时，我们也不能忽略其他国家的脆弱群体，即使在发达国家，那里的环境温度也在逐步升高。

《报告》揭示了更加全面分析问题的必要性。我们要注重一些简单易行的制冷方式为更多人带来舒适的生活环境和健康的生活保障，比如将屋顶刷成白色和使用太阳能驱动的风扇等。为了降低保存疫苗的能源消耗，还需要研发新型的制冷技术。在

食品从农场到餐桌的整个过程，我们还需要思考如何保证食品安全，保持营养成分，并且尽量减少能源的消耗。可持续供冷是功能性、包容性、绿色经济的“冷核”。

本文已提到，这份《报告》是一个警示，也是行动的呼吁。对于政府而言，改善制冷普惠程度对经济和社会有深远的积极影响：减少劳动时间损失、提高劳动生产率、减少由食品中毒或疫苗失效所产生的医疗成本、增加农民收入、增加绿色经济支持岗位等；对于行业而言，为了应对《蒙特利尔

议定书》，暖通和制冷行业的企业已经在创新中投入了很多，“基加利修正案”更是下一轮创新的源动力。您能找到金字塔底部的“制冷商机”吗？

要实现人人享有可持续的制冷，既要大力推广目前最高效的制冷技术，也要不断为急需的领域开发更新、更高效的技术方案，还需要新的商业模式、员工的再培训以及联合政府、行业、金融机构和社会团体的全面合作。

任务艰巨，需要我们每一个人从我做起，从现在做起。

Rachel Kyte

校对审核：杨一凡

目 录

鸣谢	2
前言	3
概述	6
术语	13
1. 简介：为什么强调“制冷普惠”？	14
2. 制冷：可持续发展进程中的机遇与风险	16
3. 制冷普惠缺口的确定与量化	21
4. 无室温效应制冷普惠技术	27
5. 制冷普惠的整体规划	30
6. 满足制冷普惠过程中的机遇——先进技术和生活方式的转变	33
7. 资金缺口	35
8. 建议及下一步行动计划——国家制冷普惠计划行动方案	38
总结	42
参考文献	43

概述

制冷技术是现代社会的发明之一，然而在地球最热的区域还有众多人群没有机会享受这项发明，高温给他们的生活造成严重影响。制冷普惠有助于解决饥饿问题和营养不良，保证疫苗的有效性，削弱高温热浪的影响。全球每年有上百万人的死亡与制冷缺失有关。制冷普惠还可以保证农产品上市的质量，提高销售价值，增加农民的收入，使其摆脱贫困。

制冷对“联合国可持续发展目标”（SDGs）中大多数目标的实现至关重要。然而，由于制冷的匮乏，出现越来越多的影响人类生活的问题。全球范围内，暴露在极端高温环境下的人口数量随着地球环境温度的升高进一步扩大。一份2017年的报告预测，如果全球二氧化碳的排放量继续按照当前的轨迹发展，到本世纪末，四分之三的人口将会面临极端的高温环境^[1]。

高温环境对经济的影响也不可忽视。预计到2050年，全球10个地区由于高温导致的劳动时间损失将达到2%，而在南亚以及西非等严重高温地区，这一损失将高达12%，意味着数十亿美元的经济损失，相当于年度GDP的6%。即使按照每年平均GDP损失2%来计算，在未来30年，全球GDP增长率将比不出现极端高温天气的情况降低50%以上^[2]。

通过对极端高温天气、食物损失以及疫苗和药品的损坏的衡量，《报告》第一次定义并量化了制冷缺乏带来的风险和制冷普惠面临的挑战，包括评估了不同国家实现制冷普惠的巨大差距和因此面临的风险级别。

这些利好在不同的地区、不同的领域和不同的财力中有不同的表现形式。未来的制冷方式应具备经济、高效以及对环境影响小等要素，还必须体现系统性、全面性和适用性：例如，高效空调的研发对缓解能源消耗至关重要，然而对于电力供应匮乏的地区还不能发挥全面作用，除非配套相应的家庭太阳能发电系统或迷你电网。

经过对52个易受冲击国家的调查分析，大约11亿人面临缺乏制冷的风险，其中，约有4.7亿人生活在完全没有电力供应的贫穷农村，对于生活在气温较高的城市地区的6.3亿贫困人口，有的没有电力供应，有的供电时断时续，还有一些地区电费太昂贵。2018年5月，巴基斯坦卡拉奇连续40℃以上的热浪¹导致60多人死亡，就是这一现状的不幸证明^[3]。

《报告》还在发展中国家发现为数不少的特殊风险人群——23亿正在走向富裕的低中等收入群体。这个阶层的人买得起空调，但仅限于最低能效最便宜的产品。他们买得起空调，但通常会选择低能效低价格的产品。这一增长主要源于中国、印度、印度尼西亚以及巴西等国家的城市居民生活水平的提高，其潜势巨大，若不及时考虑在增长的同时大幅度提升能源效率，2100年的相关能源需求将扩大到现在的33倍^[4]。简单来说，全球制冷如果得不到良好的引导和管理，对地球环境将是一场灾难。

《报告》主要介绍了9个人口最多并且面临巨大制冷相关风险的国家，包括5个亚洲国家、3个非洲国家和1个拉丁美洲国家。印度在各方面的风险人群数量都是最大的。印度、孟加拉国、尼日利亚、苏丹和莫桑比克面临健康风险、食品营养安全问题的农村人口最多，而中国、印度、尼日利亚、巴西和巴基斯坦的城市贫困人口最多。购买低能效电器人口最多的是印度，其次是印度尼西亚、巴基斯坦、孟加拉国和巴西。

挑战与机遇

制冷是文明的核心之一；尽管人类掌握和利用制冷技术长达好几个世纪，集成空调设备的现代建筑直到上世纪五十年代才开始走入主流。在很多发达国家，特别是美国、澳大利亚以及一些中东国家和地区，建筑物内的空调负荷常常超过实际需求，

¹ 世界卫生组织（World Health Organization, WHO）定义了“热浪”的持续天数。参考网站：<http://www.who.int/globalchange/publications/heatwaves-health-guidance/en/>。

风险人群可以大致分为四个类型。

农村贫困人口

大约4.7亿人

- 生活在贫困线以下，缺少电力来驱动冰箱和电风扇
- 勉强维生的农民一般没有完整的冷链系统，农产品无法运送到更远的高端市场
- 小诊所一般没有冷藏箱，疫苗的活性得不到保障

可能的解决方案

- 家用太阳能发电系统，为电风扇和冰箱等提供电力
- 建设冷库，并为农产品在运输和销售提供预冷设备
- 公共空调房和高温行动预案

城市贫困人口

大约6.3亿人

- 城市贫困人口一般拥有电力供应，但是住宅的质量很差，收入又比较低，甚至用不起电风扇
- 一部分家庭可能拥有电冰箱，但是时断时续的电力供应导致食物可能变质，甚至发生食物中毒
- 疫苗安全有保障，医疗服务也比较完善

可能的解决方案

- 被动冷却设计改造
- 阴凉屋顶和墙壁
- 对高效电风扇和冰箱的财政支持
- 公共空调房和高温行动预案

低中等收入群体

大约23亿人

- 生活水平不断改善的低中等收入群体，刚开始买得起一些便宜的空调
- 有限的收入限制了制冷产品的购买种类，他们一般选择能效较低的产品，造成能源的过度消耗和温室气体的大量排放
- 享受完整的食品和疫苗冷链

可能的解决方案

- 提升电器的能源效率标准（MEPS）
- 强制推行建筑物标准
- 推广建筑内的绿化和通风设计，包括绿色屋顶等

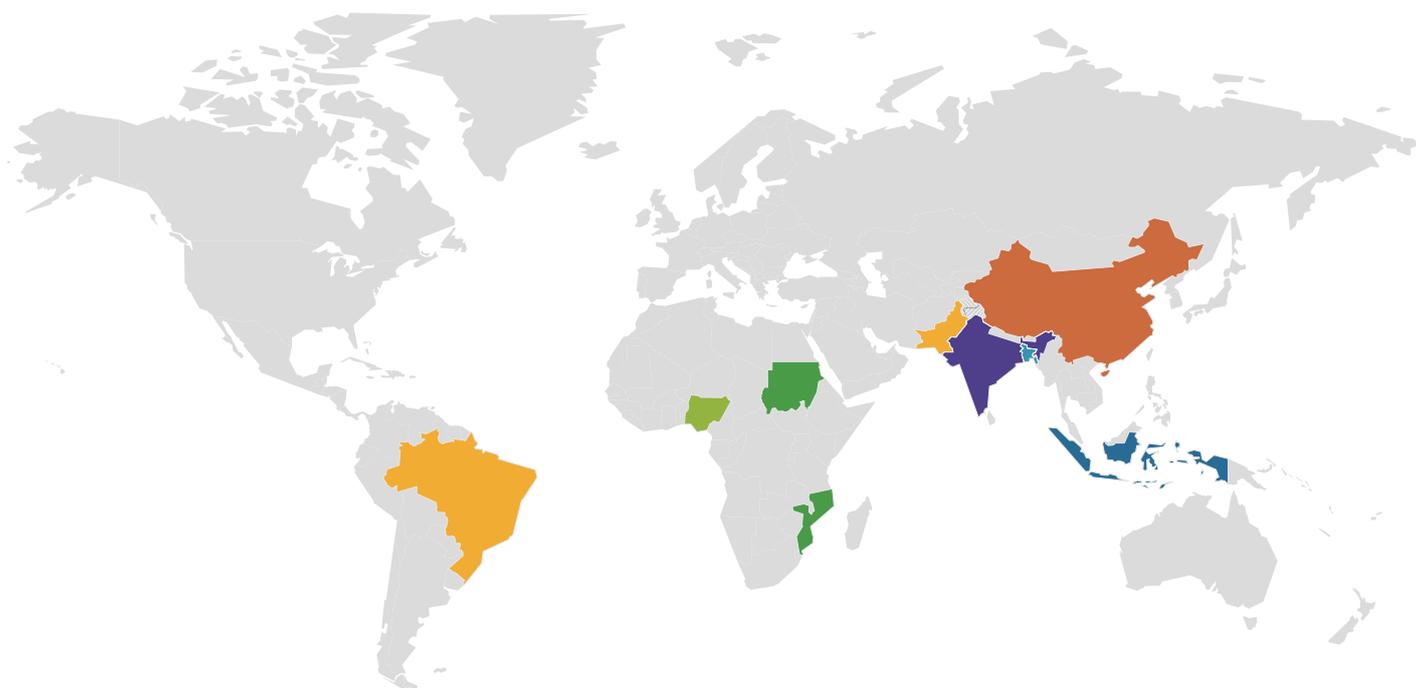
中等收入群体

大约11亿人

- 拥有一台较高能效的空调
- 作为中产阶级的代表，有能力将住宅改造成为更加可持续的建筑，包括散热系统的设计

可能的解决方案

- 带有散热系统的住宅设计
- 区域供冷以及以热能的方式储存能量
- 超高能效电器和超高的能源效率标准



1 风险种类

- 农村贫困人口
莫桑比克, 苏丹
- 城市贫困人口
中国
- 低中等收入群体
印度尼西亚

2 风险种类

- 农村贫困人口/城市贫困人口
尼日利亚
- 城市贫民/低中等收入群体
巴西, 巴基斯坦
- 低中等收入群体/农村贫困人口
孟加拉国

3 风险种类

- 农村贫困人口/城市贫困人口/低中等收入群体
印度

关于本报告图示的注解：1. 查谟和克什米尔地区的虚线为印度和巴基斯坦的实际控制线。查谟和克什米尔地区的局势还不明朗。2. 所有地图类示意图由SEforAll在联合国标准地图的基础上制作，参考网址：<http://www.un.org/Depts/Cartographic/map/profile/world.pdf>。地图上的边界、颜色、宗派以及其他任何信息不代表SEforAll对任何领土和边界问题的态度。

图1 风险最高的9个国家

本报告中的所有地图均转自联合国报告原文，不代表本刊对任何领土及边界问题的态度。

使得建筑物内的劳动者即使是在最热的季节也要多穿几件衣服。尽管制冷产品的能效已不断提高，但是能源需求的增长仍然令人震惊：美国3.28亿人口每年在空调领域的耗电量与非洲11亿人口在所有领域的总耗电量基本相当^[5]。

这一现状使能源公平成为关注的焦点：满足无制冷和缺乏制冷人群的需求（即生存环境舒适需求以及食品或药品保存需求），都需要财政和能源成本。我们需要找到一种可持续、高效并且经济的方式来满足人们的制冷需求，杜绝浪费，尽量减少对温室效应的影响。

“巴黎协定”和《蒙特利尔议定书》基加利修正案两个最新通过的国际公约明确了制冷、能源需求和气候变化的内在联系。“巴黎协定”签署于2015年12月，规定在本世纪内将全球温升控制在2℃以内，并通过一些努力将其降至1.5℃以下。2016年通过的“基加利修正案”规定在未来30年将氢氟碳化合物（HFCs）和高全球变暖潜值（GWP）的制冷剂的生产和用量减少80%。HFCs是破坏臭氧层制冷剂的替代品，广泛用于空调和其他制冷设备。然而，HFCs的GWP是CO₂的几千倍，任何泄漏都会对温室效应产生显著的影响。低GWP制冷剂的引入需要制造商重新设计制冷产品，也是提高能效的好时机，能效的提升还有非常大的潜力。因此，HFCs的逐步淘汰对于“巴黎协定”目标的达成也是一个很好的契机²。

“联合国可持续发展目标”、“巴黎协定”、《蒙特利尔议定书》基加利修正案相互交叉、融合给弥补全球制冷缺失带来了新机遇，但我们还需要有大胆尝试和全面的战略计划。

在最炎热的区域，高温行动预案有助于改善由于高温引起的生产力损失，降低死亡率。“阴凉屋顶（Cool Roof）”项目可以将屋内的温度降低20%。绿化和树荫计划可以为户外人群提供荫凉的

港湾。

小型太阳能发电系统的销售量增长迅猛，这一系统通常与低能耗的风扇或冰箱配套使用。然而，为了支撑这个市场和消费信贷的持续繁荣，需要更多的资金支持。PAYGO系统（客户分期付款，商家在未收款的情况下控制风险）是一个解决方案，然而这些还远远不够。

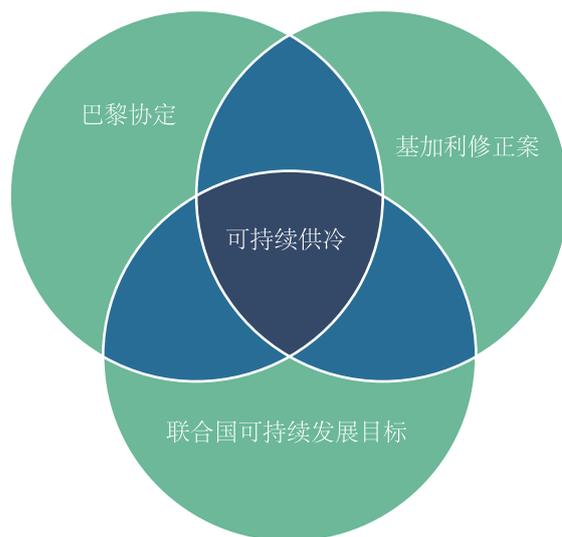


图2 “联合国可持续发展目标”、“巴黎协定”、“基加利修正案”相互交叉示意图

制冷技术发展的显著特点是遵循典型的时间规律：创新产品一般初始成本较高，即使是设备运行费用很低，从面世到被市场普遍接受也需要很长的时间。政策干预可以促进甚至强制新技术的应用，然而这些政策的制定和施行同样需要时间。发展新城区的确给建筑物和城市的重新规划提供了机会，可以优化制冷负荷设计以及制冷的方式和设备。在印度，2030年规划中的建筑有75%还没有开始动工，这就意味着这些建筑可以设计被动冷却系统和规划新城区的区域供冷。

制冷普惠对经济的发展至关重要。完整的冷链

² 科学家们在人类活动趋势的基础上用气候模型评估了温室效应的发展，包括制冷技术的选择以及发电材料的演变。如果采用低排放的发展方式，包括使用低GWP的制冷剂以及降低化石燃料的使用，他们设置预测温室效应的趋势将会停止。关于这一点，Y. Xu和V. Ramanathan在2017年发表的文章中写到，降低HFCs和其他短期内使用的气候污染制冷剂，温室效应到2050年和2100年将分别降低0.6℃和1.2℃。美国国家环境计划正在评估和量化“基加利修正案”对温室效应的延缓作用。

系统使农产品的品质更好，市场更远，农民的收入增加，对未来的生活更有信心。制冷技术还可以减少食品的浪费，为消除饥饿做出重大贡献。制冷新技术和现有技术均有进一步推广的潜力。在一些缺少电力供应的地区，蒸发式冷却器可以用来延长蔬菜和水果的储存时间。这些蒸发式冷却器尽管技术含量不高，但是成本很低。在尼日利亚，采用两个粘土罐和湿润的沙子组成的简易蒸发式冷却设备造价不到2美元，却能够将蔬菜和水果的货架期从2天延长到20天^[6]。

同样，为了在产地甚至长距离运输途中保证疫苗和药品的安全，需要全链条、创新以及低成本的制冷模式。世界卫生组织为已经评估并认定了16种用于疫苗短距离运输的带冷冻冰包的绝热保温容器以及21种用于长距离运输的冷藏箱，尽管这些方式还存在结冰的问题^[7]。

建议及下一步行动计划

制冷普惠的重要性、紧迫性以及复杂性越来越被认可。《报告》描述了处于最严重高温风险的11亿人群，他们急需可持续的制冷方式，特别是完整、可持续的冷链。另外，还有23亿人需要我们去影响并促使他们购买更高效的制冷设备。这些人需要我们去提供经济的解决方案。《报告》提供了一些参考，我们需要采取紧急措施来确定制冷需求，分析优先区域和人群，敦促政府和私营企业发展并测试新的方案，包括新的商业模式。

● **9个最关键的目标国家的确定：**根据“农村贫困人口”、“城市贫困人口”、“低中等收入群体”以及“中等收入群体”的排名情况分析确定了9个优先国家。选择这9个国家同样还考虑了高温风险人群的基数（代表了新技术潜在市场规模）以及在不同表单中的排名（代表了政府对新技术的重视程度）。《报告》中的数据提供了一些初始的定量分析和数据基础，但是问题的关键是，这9个国家如何针对不同的目标人群、不同的地理分布和时间节点制定切实可行的计划来填补制冷缺口。一些国家已经针对“基加利修正案”制定了相应的HFCs淘汰计划，因此这些国家已经不需要调动人力和财力来与

各国政府合作制定计划。因此这9个国家完成后，下一步还有21个国家同样需要制定计划。最终目标是所有52个高温风险最高的国家全部制定相应的计划。

● **清凉城市：**城市中越来越多的人口以及“热岛效应”值得我们高度关注。还有很多措施可以减少极端高温对城市的影响，一些城市的先进创新经验也可以借鉴，包括印度艾哈迈达巴德和一些发达国家的城市。在发达国家，应对城市极端高温也是一个重要的课题，特别是一些平时温度不高的地区以及贫民基数较大的城市。城市降温联盟（Global Cool Cities Alliance）所采取的一些举措，比如“阴凉屋顶”计划已经在部分地区取得了成功。这一经验应该得到大力推广和复制。为了缓解“城市热岛效应”，还应加快电器最低能效标准和建筑标准的实施。

● **绿色农业：**完整的冷链对于降低食品损失和浪费非常重要。保持在0℃的新鲜鱼能保存10天，30℃条件下只能保存几小时。芒果在13℃条件下可以保存2~3个星期，43℃的条件下只能保存2天。新兴技术不断涌现，越来越多的企业家推出了创新的设计，但是这些技术还需要商业化的措施来促使其进一步开发和大规模应用，新的商业模式有助于降低这些技术的应用成本。“商业天使（Business Angels）”网络可以给企业创始人和新技术研发初期阶段提供专业指导和资金支持。一些针对可持续技术设置的奖项，比如阿什登奖（Ashden Awards），可资助突出成就，扩大影响力。

目前，面临的一个严峻挑战是冷藏运输，在不同仓库或者零售门店之间的运输用冷藏车存在一定问题。有些国家冷藏车的数量不足，但是如果满足数量要求，车辆的碳排放量将显著增加。更深层次的研究可以关注“从农田到餐桌”的完整冷链的实现、冷藏车和其他制冷设备的能效提升以及开发新型制冷技术方面，比如由印度国家冷链发展中心（NCCD）牵头，国家强制认证机构、综合农业类企业和制冷设备协会合作进行的研究。

● **行业和金融的显著地位：**行业内部的充分合作可大力促进新技术的开发和向发展中国家的快速

转化，也是《蒙特利尔议定书》目标达成的关键。在制冷技术金字塔的底部也有很多理想的解决方案，但是制造商、企业创始人和投资人还需要更加拓展思路，努力寻找为贫困群体提供制冷设备的方式。金融界的强有力参与将推动新的合作模式和商业模式的产生，特别是针对小企业家的资金支持和针对消费者灵活的付款方式。全球气候金融实验室（The Global Lab for Climate Finance）提供的一种可能的商业模式催生了很多创新的想法。**新项目的实施必须由行业和金融界共同参与，从开始就保证项目的创造力、吸引力和可实施性。**

● **支持能力构建和技术发展：**很多关于制冷普惠现状问题的解决方案的制定都需要创新的思维和正确的引导。这就需要政策制定者一起参与并在此领域培训更多的合格劳动者，因此，我们需要更多的培训项目和培训材料。**这些工作大部分都包含在现有的政策以及新的相关政策中，但是这些政策的制定者必须明白制冷的重要性以及制冷与其政策的关系。**这同样是一个建立专业研发中心的好机会，与制冷行业一起开发创新的制冷方法。

● **提升关注度：**人们对于制冷普惠在应对贫困和实现“联合国可持续发展目标”中的重要作用还不能完全接受和认同。“基加利修正案”有效提升了制冷与气候变化内在联系的关注程度，但是对于能源供应挑战的重要性和复杂性还没有足够的重视。发展中国家和发达国家政策制定者要定位自身的需求：对于发展中国家，要与现行的能力构建政策联系起来，并将制冷普惠纳入其中；对于发达国家，需要将制冷的观念从奢侈品转变为生活必需品，并且当作一个不断发展的挑战来应对。

为应对这些需求，需设立一个类似“秘书处”的机构并授予相应的权利：提升关注度并给予专业

的回应；协调潜在的合作伙伴，包括公共机构、商业机构和居民社团等；与行业、捐赠者和国际机构共同设计试点方案；为政府提供技术支持；项目进程跟踪和报告。“秘书处”还可以管理文中提到的“商业天使投资”网络。

这个影响证明制冷普惠是个更宏观的发展议题，我们需要吸引更广泛的关注并且将制冷融入社会发展的大潮中去。提高影响力的活动必须涉及到气候适应团体、基础建设、医疗及公共卫生、经济适用房和教育部门等领域。投资者以及发展伙伴还需要在考虑和设计新项目的过程中，将绿色高效的制冷设备作为重要的组成部分。

人人享有的制冷

人是制冷需求的驱动力。我们希望为全人类提供制冷设备，就不能将30亿贫困人口排除在外，同样要为他们提供舒适的居住环境、农产品冷链、安全的疫苗以及其他需要制冷产品才能正常提供的服务。制冷普惠可以带来巨大的经济及社会影响：减少劳动时间的损失；提高工厂的生产力；避免由于不新鲜的食品和保存不当的疫苗带来的健康成本；增加农民收入；增加制冷产业范畴内的工作机会等。

《报告》揭示了更加全面分析问题的必要性。作为一个基本原则，**要求我们首先要减少不必要的制冷和能源消耗，在满足制冷普惠缺口时，使其对环境和社会经济的负面影响最小化，积极影响最大化。**我们既要推广现阶段最高效的技术，还要为一些急需制冷产品的人群和地区开发创新的、高效的解决方案。这就需要新的商业模式、员工的再培训以及联合政府、行业、金融机构和社会团体的全面合作。

缩写注释表

\$	美元	MTPA	吨/每年
AC	空调	NDCs	国家减排贡献
AIDS	获得性免疫缺陷综合症，艾滋病	NGO	非政府组织
ASEAN	东南亚国家联盟	NO _x	氮氧化物
Bcm	十亿平方米	NRDC	自然资源保护协会
BMUB	德国联邦环境、自然保护、核安全部	OGS	离网区域
CLASP	国际电器标准标识合作组织	PATH	帕斯适宜卫生科技组织
CO ₂	二氧化碳	PAYGO	现收现付制
DFID	英国国际发展部	PM _{2.5}	空气动力学当量直径小于等于 2.5 微米的颗粒物
EESL	能源效率服务公司	PnP SHS	即插即用式家用太阳系统
GAVI	全球疫苗免疫联盟	PV	光伏
GDP	国内生产总值	R&D	技术开发
GEF	全球环境基金	SDG	联合国可持续发展目标
GHG	温室气体	SEAD	国际超高能效设备电器推广项目
GW	千兆瓦特	SEforALL	人人享有的可持续能源组织
GWP	全球变暖潜值	SO ₂	二氧化硫
HFCs	氢氟烃化合物	TEAP	技术和经济评估小组
ICA	国际铜业协会	tpd	吨/每日
IEA	国际能源机构	TRUs	冷藏运输设备
IFC	世界银行国际金融公司	TW·h	兆瓦时
K-CEP	基加利制冷能效项目	UN	联合国
kW·h	千瓦时	UNDP	联合国开发计划署
LEDs	发光二极管	UNFCCC	联合国气候变化框架公约
LEIA	低能耗电器	WHO	世界卫生组织
MT	吨		

术语

金字塔底部：用来形容每天生活支出少于2.5美元的最贫困人群。

冷水机组：提供冷冻水的大型空调系统，冷冻水通过管道通入室内的风机盘管中冷却空气。

冷链：一个温控供应链，由一系列冷藏生产、储存和配送活动以及相关设备和物流组成，可保持所需的低温范围。它用于保存、延长和确保产品的保质期。

制冷普惠缺口：包括以下两种：（1）目前或不久的将来会缺乏合适的制冷，以至于无法得到很多社会经济、健康和环境方面的益处；（2）未来十年会获得一定的制冷，但是在现行的商业模式发展进程中，这些制冷设备存在不可持续、能效低以及成本高等问题。

发达国家：高度发达的后工业经济体，拥有先进的基础设施。

发展中国家：经济和技术还没有高度发展，生活和工业生产水平还很低，还未完全实现工业化的国家。

食品损失、食品浪费和食品消耗：与食品供应有关的术语。食品损失是指非主观意愿的食品减少，主要原因是供应链的不足：基础设施和物流系统的不完善或不科学、管理能力低下或缺乏等。食品浪费是指食品从生产到终端消费者整个供应链上的将仍然安全有营养价值的食物丢弃或者用作非食品使用渠道。食品消耗包括食品损失和食品浪费。

全球变暖潜值（GWP）：气体相对于全球变暖效应的贡献值与CO₂的比值，CO₂的GWP为1。

热浪：一段持续的极端高温天气，一般伴随很高的湿度。这一概念的判定一般与当地的气候以及当季的正常温度有关。

氢氟烃化合物（HFCs）：由包含氢、氟、碳三种元素的有机组分构成的化合物。HFCs是一种人工合成的有机物，主要用在制冷系统中。HFCs的GWP一般是CO₂的140~11000倍。

“基加利修正案”：《蒙特利尔议定书》的一部分，旨在逐步淘汰HFCs的生产和使用。这一协议将在2019年正式施行。

对低GWP物质说不：一种绿色技术的概念，聚焦一些物质哪怕很小的全球变暖影响潜力。

跨国合作发展（ODA）：除军事目的贷款外，政府的财政支出用来帮助发展中国家发展经济和福利，一般是双边或多边合作。

可持续制冷：指制冷设备环境可持续、高效、成本低廉并且充足而没有额外的浪费。

“联合国可持续发展目标”（SDGs）：在2015年发布，官方标题是“新的征程和行动——面向2030”，包括17项全球目标和169项指标。

“巴黎协定”：在2015年12月由195个国家共同签署的全球气候公约，2016年11月正式实施。

“巴黎协定”按照现在的工业水平衡量，在本世纪内将全球温度升高的程度控制在2℃以内，甚至是通过一些努力将这个数字降低到1.5℃以下。

制冷普惠的整体规划：对能源利用的全面考虑，鼓励人们充分理解供暖和供冷需求并研发最高效的方式满足需求，研究供热和供冷需求的发展趋势和来源，探寻除电力以外其他的能源储存方式。

城市环境：聚焦于人口和基础设施集中的城市区域。

1. 简介： 为什么强调“制冷普惠”？

目标：普及环保且高效的制冷产品

制冷是现代生活神奇的发明之一，使得生活中的很多事情成为现实，比如炎热气候中的建筑物变得更加宜居以及享用新鲜的肯尼亚豌豆。然而，地球上还有30亿人缺乏生活必须的制冷，面临获取有效的疫苗和药品、减少食物损失、增加农民收入以及抵御极端炎热的气候的严峻挑战。

全球极端的热浪每年会导致大约12000人的死亡，如果政府不采取有效的措施（主要是城市），世界卫生组织（WHO）预计到2050年，每年由于高温导致的死亡人数将达到255000人。（WHO 2014年发布）

几个世纪以来，制冷一直是文明社会的焦点。公元2世纪，中国发明家丁欢发明了一种人力驱动的旋转风扇用来制冷。19世纪40年代，内科医生John Gorrie博士建议在室内放置冰块降温，抵御“高温危害”，可以有效防治疟疾等疾病，使病人更加舒适^[8]。第一台机械制冷设备于20世纪初问世，价格昂贵且不适合家用。直到20世纪30年代，不可燃的制冷剂氟氯碳化物（CFCs）的发明才使得空调进入了普通家庭^[9]。然而，根据国际能源组织（International Energy Agency）的说法，“空调（ACs）的普及是20世纪50年代从美国开始的，原因包括商用机性能的改善、成本降低以及经济的繁荣发展”^[10]。在许多发达国家，特别是美国、澳大利亚以及中东的一些国家，建筑内的空调负荷常常超过了实际需求，哪怕是在最炎热的天气，室内员工都需要多穿几件衣服。有证据显示，当环境温度低于23~24℃时，员工的生产力和错误概率都会上升^[11]。

一个令人震惊的事实：美国3.28亿人口每年在空调领域的耗电量与非洲11亿人口在所有领域的总耗电量基本相当。（IEA，2018）

制冷产品已经成为人类日常生活的必需品，然而还有数以亿计的人缺少制冷设备，哪怕是最基本的装置。对于发展中国家的农民来说，制冷可以减少食品损失，完整的冷链可以帮助农作物在市场中获得更高的价格，增加收入，打开美好生活的门户。制冷可以有效缓解饥饿和营养不良，保证疫苗的有效性，每年由于制冷缺失导致的死亡人数超过百万。

如果食品最少损失地区的成功经验可以在全球推广，那么全球的食品损失可以减少50%，多出来的食品可以供10亿人生活。（Kummu等，2012）

每年由于疫苗的缺失或失效导致约150万5岁以下儿童死亡^[12]。

随着全球人口的增加和收入的增长，空调需求的增长与电力需求的增长密切相关，同样也会导致污染问题，包括温室气体排放等³。在一些电力主要来自火力发电的国家，比如中国和印度，碳排放的水平将会显著增长，加剧温室效应，应对的方法是采用更高效的制冷技术以及可再生能源的推广。这是实现“巴黎协定”和“联合国可持续发展目标”的重大挑战。《报告》研究了一些亟待解决的问题，因为短期内出台的政策将对未来产生深远影响——如建筑物的设计寿命一般为几十年，而空调的设计寿命有10~20年。但是，机遇也蕴含在其中：在印度，2030年规划中的建筑有75%还没有开始动工，这就意味着这些建筑可以应用最优化的设计，比如整体设计区域供冷的新方式。

³ IEA一篇新的报告《制冷的未来》一文中预测，到2050年，全球三分之二的房屋将会安装空调。美国劳伦斯伯克利国家实验室的研究人员预测到2030年新增加的空调保有量将达到7亿台，到2059年将达到16亿台。



随着地球温度的升高，每年暴露于可对人类生存造成威胁超过20天高温天气下的人口达到全球总人口的30%。针对全球气候变化中极端高温和降水演变的研究表明，地区的气候变化与温室效应有着非常密切的关系^[13]。该研究的量化结果用“等量影响指数 (Equivalent Impacts Index)”来表示，再次强调了贫穷阶层受害最深。地球温度如果上升1.5℃，非洲、印度的大部分地区以及南美的大部分地区将会首先遭受到由于气候变化带来的灾难。中纬度国家和地区的影响不明显，直到全球温度上升3℃后才会显著。

采用更加高效的方式满足制冷需求使得全球三大国际公约（“巴黎协定”、“联合国可持续发展目标”和《蒙特利尔议定书》基加利修正案）第一次有了交叉点，这个交叉点就是逐步减少高GWP的氢氟碳化合物 (HFCs) 这种强效温室气体的生产和在空调及冷冻领域的广泛使用。

“制冷技术直到最近还是能源领域的灰姑娘，然而它却是文明社会的支柱之一。没有制冷技术，食品、药品和数据的供应系统就会瞬间崩塌。”

——Toby Peters博士，英国伯明翰大学

《蒙特利尔议定书》基加利修正案和基加利制冷能效项目

1987年颁布的《蒙特利尔议定书》是保护大气平流层臭氧层的国际公约，旨在淘汰臭氧层破坏物质的生产和使用。《蒙特利尔议定书》作为第一个全球所有国家签署的国际性公约，是非常创新和成功的。2016年添加的“基加利修正案”规定在未来30年将高GWP的HFCs制冷剂的生产和使用减少80%。《蒙特利尔议定书》控制了臭氧破坏物质的使用后，HFCs是广泛应用的替代物质。HFCs是强效的温室气体 (GHGs)，其温室效应对气候变化的影响是CO₂的几千倍。HFCs物质的淘汰可以对本世纪末的全球升温产生重大的影响。化石燃料的发电方式同样也需要改变，这是温室气体排放的另一个重要来源。

基加利制冷能效项目 (K-CEP) 是一个改善人们生活的慈善项目，使人们意识到落实“基加利修正案”对环境的改善以及带来的利益。该项目由18个基金会和个人共同出资5200万美元，用来支持“基加利修正案”实施。K-CEP着力于4个领域：能效提升；能效政策、标准和项目；金融服务；制冷普惠。

现代社会人们还没有对制冷服务的关键作用给予足够重视。可持续制冷技术可以支持一系列目标的达成，包括健康、清洁能源、消除饥饿以及“联合国和可持续发展目标”中的其他目标（后续的章节将会重点讲述）。下列章节根据现有的数据，描述和量化了制冷普惠的缺口；讨论了在尽量降低温室效应的前提下，如何提供人人享有的制冷服务；强调了在追求更高效制冷技术和采用更全面的措施满足制冷普惠所面临的机遇；考虑了金融服务的重要性；最后是总结和建议。

2. 制冷技术 可持续发展进程中的机遇与风险

制冷的缺失导致了每年上百万人的死亡，原因包括食品损失、疫苗失效以及极端的高温。

2015年，联合国将健康、清洁能源和水、教育、可持续城市以及其他一些关乎人类福祉的需求整理并量化为2030“联合国可持续发展目标”。第二年颁布的《蒙特利尔议定书》基加利修正案特别强调了逐步减少造成温室效应的高GWP值HFCs的使用。这两个国际公约的内在联系使人们逐渐意识到，制冷技术已经成为社会和经济发展的关键因素。制冷技术存在于所有“联合国可持续发展目标”中。（参见图3）

确保健康的生活方式、促进各年龄段人群的健康（SDG 3）

制冷技术与健康目标的关系体现在如下方面：
极端高温

人为导致的气候变化包括全球平均温度的升高和温度异常波动，即极端高温热浪发生频率和强度的增加导致死亡率的上升，不论是发达国家还是发展中国家⁴。发生在印度和巴基斯坦的热浪持续了几个星期，温度达到了创纪录的49℃，导致了4500

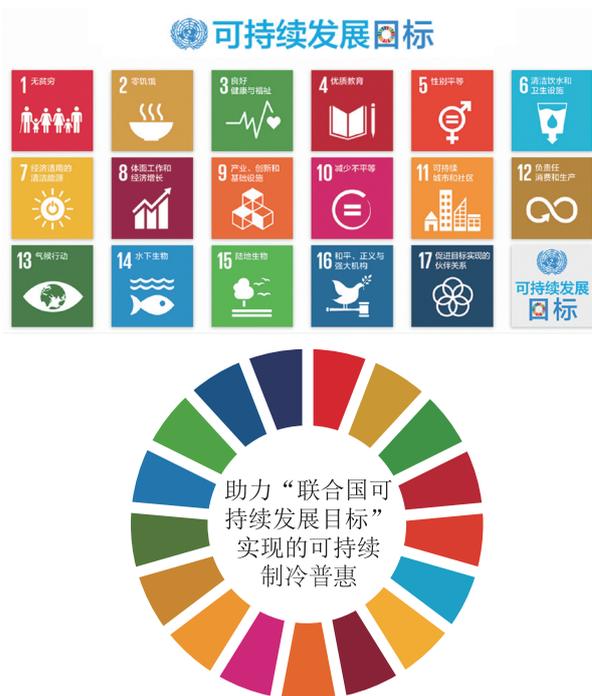
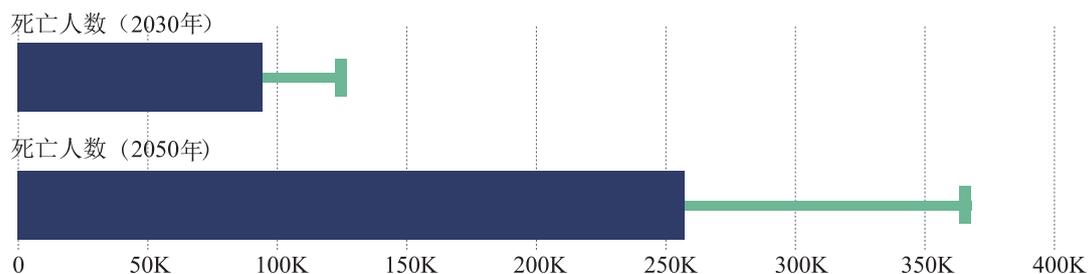


图3 制冷普惠与“联合国可持续发展目标”

人死亡^[14]。受热浪影响最严重的敏感人群，包括老人、儿童和户外工作者。尽管由于热浪导致的死亡只是偶发的，但是每年全球死于热浪的人数也高达12000人。世界卫生组织（WHO）预测，到2030年，这一数字可能高达每年92000人，如果政府不采取有效的应对措施（主要是城市），到2050年则可能高达每年255000人^[15]。（参见图4）



数据来源：世界卫生组织（WHO），2014年

图4 在不采取应对措施的情况下，到2030年和2050年由于气候变化和极端高温导致的死亡人数

⁴ 在发达国家，由于极端高温导致的死亡大多数发生在一些气候极端异常的区域，人们没有做好准备，而且政府也没有采取相应的应对措施。例如一次发生在法国的热浪导致了15000人死亡，大多数是孤寡老人。

Svoboda, M. (2015). 《2003年法国热浪的新发现》。参考网址：<https://www.yaleclimateconnections.org/2015/08/new-analysis-of-2003-fatal-paris-heat-wave/>。

2015年的一项研究预测，到本世纪末夏季温度将上升3℃，印度城市由于热浪导致的死亡人数将翻一倍⁵。事实上，在过去50年，印度造成100人以上死亡的夏季热浪次数已经翻了一倍。最近的一项研究预测，按照目前碳排放的发展趋势，到本世纪末全球四分之三的人将面临致命的热浪，经济将遭受巨大损失^[16]。人口密集的波斯湾沿岸、孟加拉国以及印度东北部可能会变的极端炎热和潮湿，人类将无法生存。

空调普及的国家人口死亡率有显著的下降。20世纪内美国在平均温度超过27℃环境条件下的死亡人数下降了75%，这一改变主要归功于1960年开始广泛普及的空调。不幸的是，由于家用空调的普及需要相应的成本和电力供应，很多人可能在近几十年都无法使用空调。许多有条件使用空调的人购买的空调能效不高，还有一些是由化石燃料驱动。这些空调产生了大量的温室气体，反而大大推动了极端高温天气的发展。要想降低这些风险，就需要降低建筑的能耗，建立城市级别的能源行动方案，应用最新的高效技术，并开发利用可再生能源。

疫苗损失

许多疫苗在使用前都需要在一定的温度下保存，但是每年还是有25%的疫苗失效或部分失效。由于疫苗的缺失或失效，每年有150万人死于相关疾病。世界卫生组织（WHO）估计每年有50%的冻干疫苗和25%的液体疫苗损坏，最主要的原因之一就是冷链的断裂。冷链最主要的挑战来自科学管理——配备了制冷设备并不能保证全程的疫苗安全。在采用冰块制冷的运输车上，许多疫苗是被冻坏的。印度是全球第三大药品生产基地，然而当地的冷链物流发展很不完善。近20%的温度敏感型医疗用品由于冷链的缺失或者不完整导致失效或部分失效，其中四分之一是疫苗。这一问题已经成为WHO的关注点，有一个项目正在评估冷藏箱和疫苗保存箱等新的制冷技术^[17]。

食物中毒

2015年，WHO发布了第一份《全球食源性疾病预防报告》，报告声称每年由于食用不洁食物导致生病的人数达到6亿，几乎每10个人中就有一例，每年因此有420000人丧生，导致的健康寿命损失达到3300万年。5岁以下儿童的情况最为严重，占比达到了40%，每年有125000人死亡。存活下来的儿童今后的生理和精神发育也可能延缓，并且这一影响将伴随其一生^[18]。尽管无法量化，但是制冷的缺失肯定是一个重要的原因。除此之外，可能的原因还包括受污染的水、不洁的卫生状况以及食品生产和储存条件不恰当等。

制冷与渔业

在沿海的发展中国家，完整有效的冷链可以显著提升小型渔场的生产力和雇员个人的收入和营养摄入质量^[19]。在贫穷的发展中国家，常常由于缺少必要的冷藏条件而使渔业资源腐败变质，渔民遭受了很大的经济损失^[20]。这也是为什么塞内加尔将渔业基础设施和储藏设施投资作为国家发展战略重心的原因^[21]。联合国粮食及农业组织（FAO）之前向冈比亚共和国提供的联合国绿色气候基金（GCF）的理念中有一条就是为海边农村的贫困人口提供必要的制冷技术支持。如果被批准，这一项目将会推广太阳能驱动的冷藏设备，替代现在制冷量有限、油耗又很大的燃料驱动设备，还可以节约公益基金^[22]。

消除饥饿，实现粮食安全、改善营养和促进可持续农业（SDG 2）

全球每年粮食的腐败或者浪费达到13亿吨，占全球粮食总产量的三分之一^[23]。粮食浪费是全球8亿人营养不良的主要原因之一。粮食浪费对应的土地面积大约等同于两个澳大利亚的国土面积。粮食浪费的现象主要发生在非洲和亚洲，相当于每人每

⁵ 部分地区温度的上升程度可能会高于全球变暖的平均效应，包括许多发展中国家。Hrrington, L和Freidirike. O. (2018). 《温室效应在1.5~2℃之间，然而人口的动态变化和温度的不均匀导致部分地区的温度剧烈升高》，Environmental Research Letter, 13 034011. 参考网址：<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aaaa99/pdf>.

天浪费400到600卡路里的热量⁶ [24]，近一半的水果和蔬菜被浪费 [25]。在发展中国家，水果和蔬菜的浪费几乎都是发生在供应链上，而不是消费端的丢弃，这些国家冷链基础设施很少或者根本没有。如果食品损失最少地区的成功经验可以在全球成功推广，那么全球食品损失的程度可以减少50%，多出来的食品可以供10亿人生活 [26]。冷藏运输可能是实现这一目标的关键所在 [27]。

通过制冷技术以及相应的冷链系统减少的食品损失可以有效改善地球上10亿人营养不良的现状。

水果和蔬菜可以提高人类的整体营养水平，特别是全球1.8亿儿童，还可以减少食品支出最多达到22%。据联合国营养问题常设委员会（UN's Standing Committee on Nutrition）统计，营养不良是导致疾病最大的单一因素。每年死于营养不良的儿童比死于艾滋病、疟疾和结核病的总人数还要多 [28]。

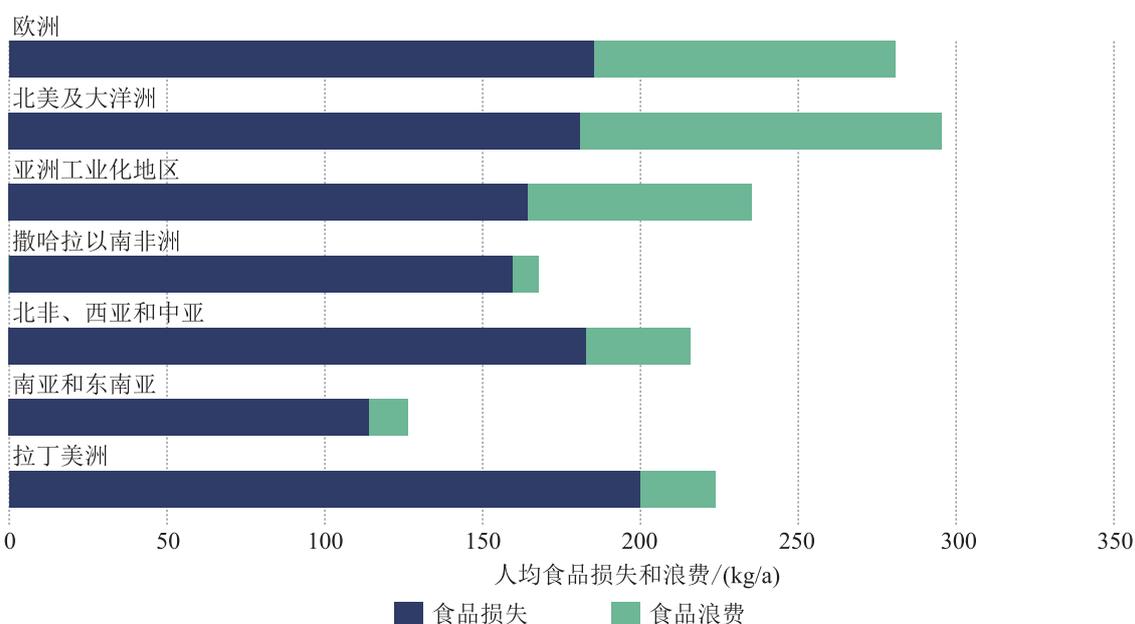
全球损失或浪费的粮食占到粮食总产量的三分

之一，大约等于每年损失7500亿美元，这一现象在小规模农业生产中更为严重 [29]。粮食的损失和浪费既抬高了农产品价格，还降低了农民的收入，4.7亿农民平均损失15%，而这些农民中很多现在还没有达到温饱状态。印度缺少冷藏运输设备，只有4%的农产品可以通过冷藏车运输，每年仅这一项的经济损失就达到45亿美元。而在英国，通过冷藏车运输的农产品比例达到90% [30]。印度的粮食需求到2030年预计会增长40%，而国内的粮食产量只能满足59%的需求 [31]（如图5所示）。

体面工作和经济增长（SDG 8）

稳定的、可持续的冷链（可靠、高效、温控精确的冷链）是增加农业收入的基础，特别是针对发展中国家农村广大从事小规模农业生产的农民。

制冷普惠使农民可以选择生产价值更高的经济作物。例如，水果和蔬菜的种植者、加工商和经销商可以合作生产高附加值的冷冻或冷藏产品，形成许多新的商业模式：奶农可以生产酸奶或者奶酪；果农可以成为水果加工商 [32]。可持续的冷链有助于



数据来源：FAO，2011年

图5 发展中国家食品损失中的90%发生在供应链环节

⁶ 根据这一信息来源，亚洲的饥饿人口最多，占全球饥饿人口的三分之二。撒哈拉以南非洲是饥饿人口最频发的地区，该地区营养不良的人口规模达到了四分之一。全球由于营养不良早晨俄国的社会和经济损失达到3.5万亿美元，平均每人500美元。

小型农业生产的农民对接高价值市场，促进其劳动积极性和贡献输出。根据印度国家冷链发展中心的报告显示，可持续的冷链是实现五年内使农民收入翻倍目标的关键，而且冷链系统的建立还可能产生其他“革命性”的影响^[33]。可持续冷链的建立还会在运输、制造和服务等领域创造非农业就业机会，增加农业收入，还可以减缓农民向城市贫民区的迁移趋势^[34]。冷链涵盖了农产品的整个价值链，从运输到加工，甚至是进出口贸易。

极端的高温还会限制户外活动和降低劳动效率，给经济带来很大的损失。2015年，“劳动力损失（Work Capacity Losses）”项目针对东南亚的户外劳动者进行了调查，比如工地上的工人等，调查显示荫凉处的工作每天的劳动时间损失达到40%~50%，而太阳下的工作劳动时间损失高达60%~70%^[35]。尽管早晨和晚上的气温在某种程度上稍微低一些，但是随着气候的变化，这些行业的工作时间损失将越来越大（如图6所示）。

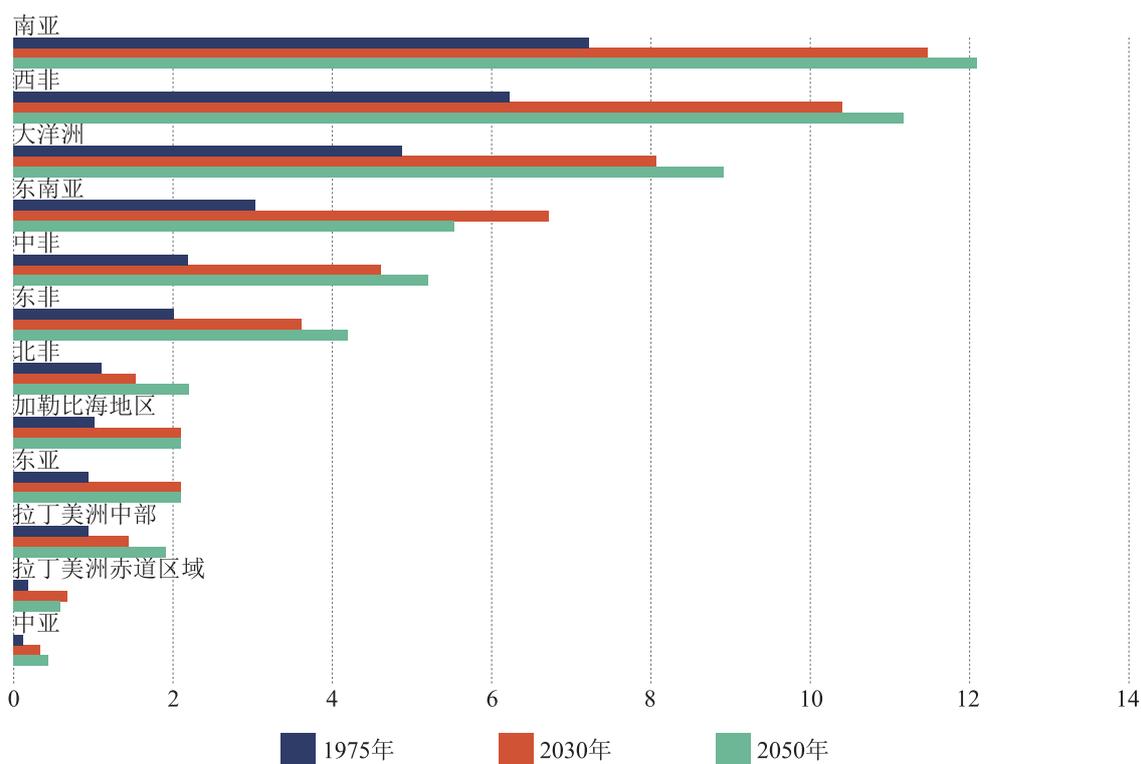
整体而言，2050年全球10个地区的平均劳动时

间损失比例可能达到2%，而在一些最严重的地区，这一比例可能高达12%，例如南亚和西非地区，造成数十亿美元的经济损失。即使按照平均水平2%的单位GDP年损失来计算，在未来30年，全球GDP的增速将比不出现极端高温的情况降低50%以上。

可持续城市和社区（SDG 11）

随着人口的增长和城镇化的推进，到2050年全球城市人口将会增加25亿人，其中90%来自亚洲和非洲^[37]。城市的温度一般会比农村地区更高，原因包括植物覆盖率低、反射强度低以及蒸发效应不高等^[38]。“城市热岛效应”使更多人受到了极端高温的威胁，增加了空调的需求量，也要求现代化城市设立针对高温行动预案，如下文中将介绍到的以及其他一些印度城市中实施的行预案。讽刺的是，安装空调后排放到室外的热空气在晚上可将环境温度提高1℃^[39]。

“城市热岛效应”对于一些疾病的传播也起到了推波助澜的作用。在巴西圣保罗，学者们发现当



数据来源：Kjellstrom和Lemke，2013年

图6 1975年、2030年、和2050年区域极端高温导致的劳动时间损失天数预测

美国凤凰城安装的空调可以将夜晚外部环境的温度提高2℃。

温度越高、湿度越低、植物覆盖率越低时，越有利

于蚊子传播登革热，而上述几个条件正是“城市热岛效应”的几个主要标志。登革热主要发病于温度高于28℃的区域，温度超过32℃后尤为明显^[40]。

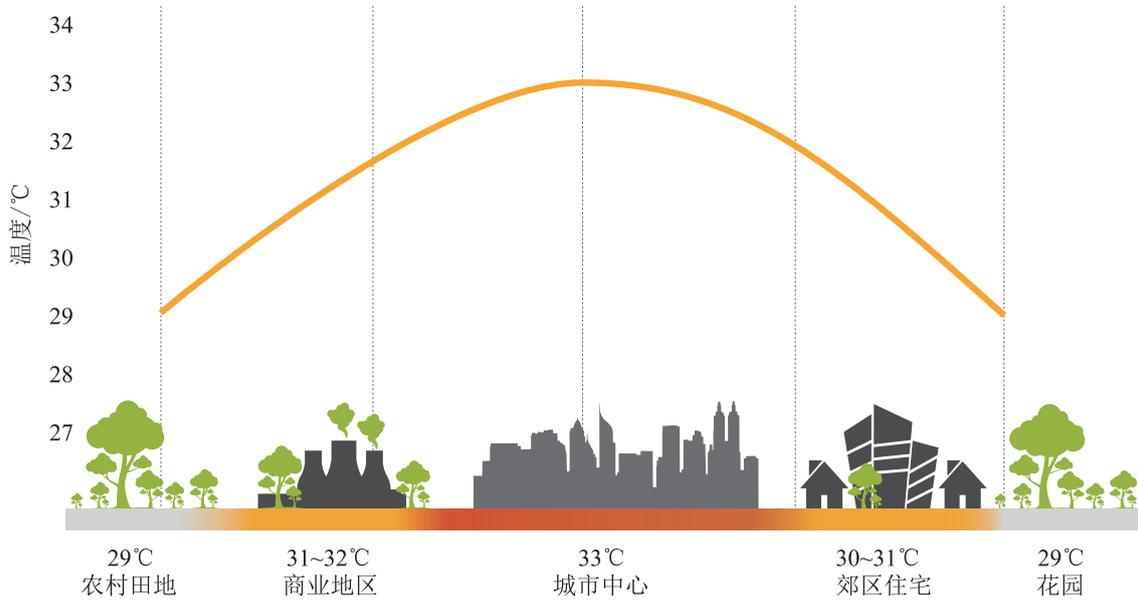


图7 城市热岛效应



3. 制冷普惠缺口的确定与量化

制冷普惠缺口的确定可以帮助人们认识到可持续制冷技术的紧迫性和挑战，明确努力的方向。这些挑战在不同的区域和方面各有不同（例如建筑/城市环境、医疗、农业等），不同的国家解决问题的能力 and 意愿也各不相同。如果再考虑到制冷设备的类型和适用性就更加复杂，不能为了解决一个问题而引发其他问题。为了与“联合国可持续发展目标”、“巴黎协定”和“基加利修正案”保持一致，所有制冷设备都必须具有GWP低、成本低廉以及能效高等特点。作为一个基本原则，这就要求我们首先要减少不必要的制冷和能源需求，在满足制冷普惠缺口的同时使其对环境和社会经济的负面影响最小化，积极影响最大化。

量化制冷普惠缺口

目前的制冷需求中既有生活必需的需求，也有非生活必需的需求，而现有的数据很难量化后者的规模。前者量化的关键是至少要考虑三方面需求，这三方面需求有部分内容重叠：健康需求，包括抵御极端高温和健康疫苗需求；缺少冷链带来的食品安全和保鲜需求；保证工作环境和工作能力，增加

收入的需求。尽管有争议，但我们还是简单把是否缺少电力供应作为出发点来量化受极端高温威胁的人群，特别是农村区域⁷。2016年，全球约有10亿人缺少电力供应，其中80%的人生活在20个国家，集中在亚洲以及撒哈拉以南非洲^[41]。另外还有10亿人的电力供应非常不稳定，不能满足驱动制冷设备的要求，造成很大的经济损失。比如坦桑尼亚，每年由于电力中断问题导致的企业全年销售额降低15%^[42]。

制冷普惠的缺乏使城市和农村都产生了脆弱人群。例如，居住在布基纳法索郊区的贫困农民，由于缺少电力供应，在炎热的夏天不能享受风扇带来的清凉，由于缺少完整的冷链，生产出来的农产品无法销售到更远的高端市场，安全疫苗和药品的供应同样匮乏。与此相对应的是居住在孟加拉国城市中的低收入人群，尽管有充足的电力供应，但是设计不合理的住宅以及环境因素使室内温度很高，而收入的限制导致他们无法购买和享受必要的制冷产品。据估计，全球有10亿城市贫民生活在随意建造的贫民窟中，许多人都在贫困线上挣扎^[43]。

《报告》中的脆弱人群可以用缺少制冷普惠所



图8 高温环境带来的一系列风险

⁷如同接下来将要讨论的议题，由于“城市热岛效应”，城市居民受极端高温的威胁更大。有数据显示气候的变化会加剧这种现象。

Zelenakova, M. (2015). “气候变化对城市和农村的影响。” *Procedia Engineering* Volume 119, pp 1171-1180. 参考网址：<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.968>。

面临的风险来衡量，风险一般以以下三方面来衡量：住宅和城市环境、农产品冷链、疫苗冷链。我们根据温度、电力供应、疫苗接种率、食品损失以及收入等因素对于健康和生产力的影响对一些国家和人群进行了分类。《报告》的数据有限，性别、健康状况以及受教育程度等因素的影响没有考虑在内，有待于将来的研究和总结。

从住宅和环境方面而言，生活在城市中的贫困人口所受到的风险最大，他们每天的生活费不到1.9美元，而且缺少电力供应和制冷产品。从疫苗的角度考虑，由于缺少完整的冷链，生活在农村的未接种人群的风险最大。从农产品冷链的角度考虑，那些由于冷链不能正常运转而导致大量食品损失的国家风险最大⁸。

《报告》共列举了52个国家，这些国家在2020—2039年至少部分月份的平均气温能够达到30℃以上，它们存在显著的高温风险人群，或者冷链高度不完善。不同地区的情况同样可以帮助我们理解基于不同制冷需求的人群所面临的不同类型的风险。

农村贫困人口——大约4.7亿人

农村贫困人口的生活极端贫困，没有电力供应，他们大部分为了生计在土地上耕作，由于完整冷链系统的缺失，农产品无法运送到更远的高端市场。药品冷链同样不太完整，疫苗的活性问题对人们的威胁很大。

城市贫困人口——大约6.3亿人

城市贫困人口一般有电力供应，但是住宅的质量很差，收入又比较低，甚至用不起电风扇。他们中一部分家庭可能拥有电冰箱，但

是时断时续的电力供应导致食物可能变质，甚至发生食物中毒。然而，由于他们生活在城市中，疫苗的安全基本上有保障，且医疗服务也比较完善。

低中等收入群体——大约23亿人

低中等收入群体是指生活水平不断改善的下层中产阶级人群，他们刚开始买得起一些简易的空调或冰箱。有限的收入限制了制冷产品的购买，他们一般选择能效较低的产品，造成能源的过度消耗和温室气体的大量排放。

中等收入群体——大约11亿人

中等收入群体一般可以购买一台较高能效的空调。他们开始有意识不使用空调或者尽量减少使用空调。作为中产阶级的代表，他们有能力搬到设计更好、能效更高的住宅和工作场所中。



⁸ 本报告的主要数据来源有世界发展指数、世界银行气候变迁数据中心、全球数据追踪网络（2017）、WHO/UNICEF全球免疫接种率预测（2017）、皮尤研究中心《全球中产阶级比现实更加理想》（2015）、联合国粮食和农业组织数据库（2013）以及全球食品冷链委员会（2015）。



农村贫困人口

大约4.7亿人

- 生活在贫困线以下，缺少电力驱动冰箱和电风扇
- 勉强维生的农民一般没有完整的冷链系统，农产品无法运送到更远的高端市场
- 小诊所一般没有冷藏箱，疫苗的活性得不到保障

可能的解决方案

- 家用太阳能发电系统，为电风扇和冰箱等提供电力
- 建设冷库，并为农产品运输和销售前的提供设备
- 公共空调房和高温行动预案



10个国家的农村贫困人口数量最大:

- | | |
|---------|--------|
| 01.印度 | 06.尼日尔 |
| 02.尼日利亚 | 07.马拉维 |
| 03.孟加拉国 | 08.乌干达 |
| 04.苏丹 | 09.安哥拉 |
| 05.莫桑比克 | 10.也门 |



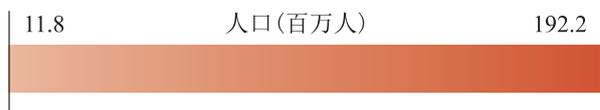
城市贫困人口

大约6.3亿人

- 城市贫困人口一般拥有电力供应，但是住宅的质量很差，收入又比较低，甚至用不起电风扇
- 一部分家庭可能拥有电冰箱，但是时断时续的电力供应导致食物可能变质，甚至发生食物中毒
- 疫苗安全有保障，医疗服务也比较完善

可能的解决方案

- 被动冷却设计改造
- 阴凉屋顶和墙壁
- 对高能效电风扇和冰箱的财政支持
- 公共空调房和高温行动预案



10个国家的城市贫困人口数量最大:

- | | |
|---------|----------|
| 01.中国 | 06.孟加拉国 |
| 02.印度 | 07.印度尼西亚 |
| 03.尼日利亚 | 08.菲律宾 |
| 04.巴西 | 09.苏丹 |
| 05.巴基斯坦 | 10.伊拉克 |

(a) 农村贫困人口和城市贫困人口



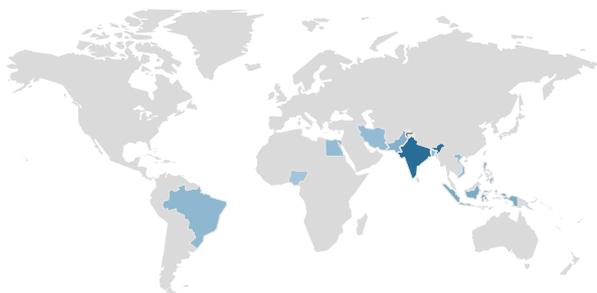
低中等收入群体

大约23亿人

- 生活水平不断改善的低中等收入群体，刚开始买得起一些便宜的空调
- 有限的收入限制了制冷产品的购买种类，他们一般选择能效较低的产品，造成能源的过度消耗和温室气体的大量排放
- 享受完整的食品和疫苗冷链

可能的解决方案

- 提升电器的能源效率标准（MEPS）
- 强制推行建筑物标准
- 推广建筑内的绿化和通风设计，包括绿色屋顶等



10个国家的
低中等收入
群体数量最大：

- | | |
|----------|---------|
| 01.印度 | 06.越南 |
| 02.印度尼西亚 | 07.菲律宾 |
| 03.巴基斯坦 | 08.伊朗 |
| 04.孟加拉国 | 09.埃及 |
| 05.巴西 | 10.尼日利亚 |



中等收入群体

大约11亿人

- 拥有一台较高能效的空调
- 作为中产阶级的代表，有能力将住宅改造成为更加可持续的建筑，包括散热系统的设计

可能的解决方案

- 带有散热系统的住宅设计
- 区域供冷以及以热能的方式储存能量
- 超高能效电器和超高的能源效率标准



10个国家的
中等收入群体
数量最大：

- | | |
|-------|----------|
| 01.中国 | 06.阿根廷 |
| 02.巴西 | 07.印度尼西亚 |
| 03.印度 | 08.菲律宾 |
| 04.泰国 | 09.秘鲁 |
| 05.埃及 | 10.摩洛哥 |

(b) 低等收入群体和中等收入群体

图9 风险人群

案例研究：

尼日利亚的制冷普惠缺口

为了更好的说明制冷普惠的缺口，《报告》以尼日利亚及其人口结构来解释如何衡量基本的和更高层次制冷普惠的缺口。这个模型根据现有数据（包括不同性别、健康状况以及教育程度的人群的不同特征），可以看出人群的交叉并得出一些有用的结论，可以根据不同人群的用冷需求来衡量市场和风险人群。

假如全球变暖的趋势继续，2020—2039年尼日利亚将至少有一部分月份的平均温度超过30℃^[4]。尼日利亚2015年的人口数量达到1.835亿，而到2016年缺乏电力供应的人口规模达到7500万。而根据2013年的数据，70%以上的尼日利亚人口生活在贫困线以下，大约1.3亿人。按照现有的全球大范围评估的结果，尼日利亚有农村贫困人口、城市贫困人口和低中等收入群体三个人群最缺少制冷普惠：

农村贫困人口。2015年，尼日利亚大约有5820万农村人口缺少电力供应，约占农村人口的60%，如果把标准提升到稳定的电力供应，这一比例还要更高。根据最近的一份农村贫困人口普查（2009）的结果，在该国贫困线的定义中，大约有5060万贫困人口，约占农村人口的52.8%。按照该国的贫困线定义，一些没有电力供应的人口可能不算是贫困人口。考虑到一些其他的因素和数据的可信度，我们取比较小的比例作为尼日利亚极端贫困并且缺少电力供应的人口规模。因此，尼日利亚确定的农村风险人群规模大约为5060万。

尼日利亚农村面临的风险

全国大约还有5140万农村人口没有接种对抗三种最常见疾病的疫苗，约占农村总人口的28%。

由于冷链的缺乏和不完整，尼日利亚农产品损失达36.7%，表明该国用于药品和农产品的冷链还有很大的缺陷。

城市贫困人口。尼日利亚缺乏电力供应的人口达到7500万，其中1680万人生活在城市中。城市贫民社区的居民包括这些缺乏电力的人口，也包括一些有电力供应但是收入不足以支撑制冷产品的购买和使用⁹。尼日利亚的城市贫民人数大约为4400万，无论是否有电力供应。

低中等收入群体。这一群体收入较低，但电力供应稳定，可以购买和负担一台制冷产品，以备不时之需。较低的收入限制了他们选购制冷产品的范围，一般选择能效较低的产品，本质上增加了温室气体的排放。这一人群的数量大约为5150万，他们的生活水平高于贫困线，低于中等或更高收入标准。中产阶级或更高收入的人群大约为3500万（占人口总数的1.9%），他们每天的生活标准超过10.01美元。

中等收入群体。全国比较富裕的一个阶层，能够购买空调并全天使用。

高风险国家排名

制冷普惠缺口的分析以及影响的描述可以从一个国家的层面衡量风险大小，使得政府在做决策的时候可以将制冷普惠的目标与其他有内在联系的目标结合在一起，比如能源、气候、性别、健康等。为了确定风险最高的国家，我们按照每个子群体人口数量和面临的风险对一些国家进行了排名。

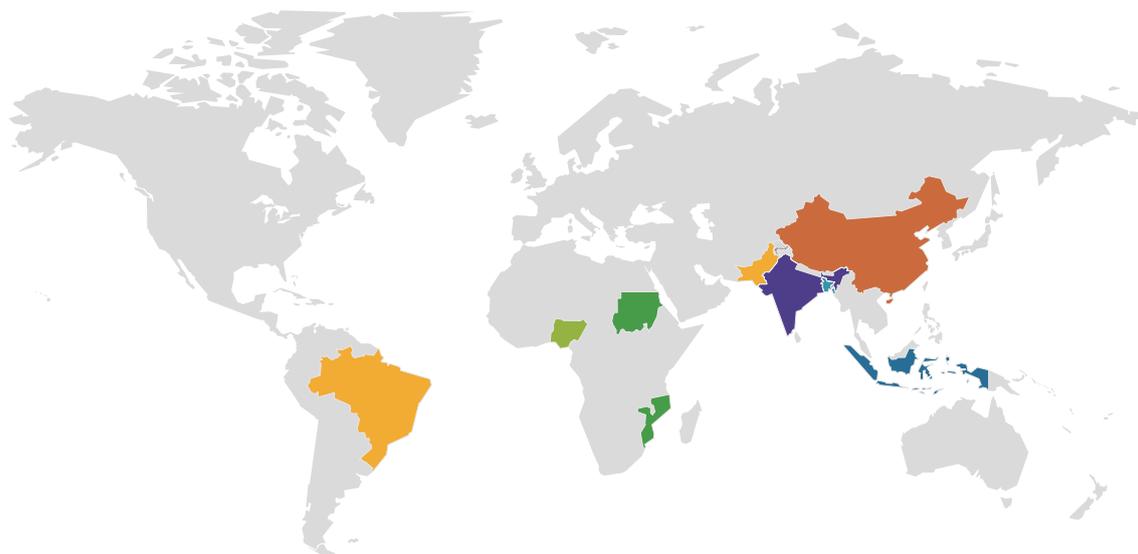
参与排名的52个国家在2020—2039年至少有部分月份的平均温度超过30℃，有很大的风险人群及高度不完善的冷链系统，这些国家分别按照农村贫困人口、城市贫困人口以及低中等收入群体分类的人口规模进行排名¹⁰。《报告》的数据来源还有一些漏洞，需要进行一些假设，且各个子群体之间有一定程度的交叉。我们计算了每个子群体数量最多的5个国家的人口占比，由此定义了一些风险最大的国家，或者叫热点国家。这些国家需要更详细的评估，对制冷普惠行动计划的需求也最为迫切。

⁹ 定量分析的下一个难题是分析一些有电力供应，但是电力服务不稳定或者没钱用电的群体，更别谈负担空调的费用了。对这一群体来说，低能耗的电风扇可能是短期内很好的解决措施。

¹⁰ 排名标准不包括中等收入群体，因为这一阶层拥有必要的制冷设备，健康和劳动的风险相对来说很小。最大的中等收入群体在中国，家用空调的覆盖率已经达到了60%。IEA, The Future of Cooling(2018)。

这9个制冷缺口风险最大的国家分别为：孟加拉国、巴西、中国、印度、印度尼西亚、莫桑比克、尼日利亚、巴基斯坦和苏丹。印度在所有的子

项中人口数量都是最多的5个国家之一，巴西、孟加拉国、尼日利亚和巴基斯坦分别有两个子项位于前五，如图10所示。



1 风险种类

- 农村贫困人口
莫桑比克, 苏丹
- 城市贫困人口
中国
- 低中等收入群体
印度尼西亚

2 风险种类

- 农村贫困人口/城市贫困人口
尼日利亚
- 城市贫困人口/低中等收入群体
巴西, 巴基斯坦
- 低中等收入群体/农村贫困人口
孟加拉国

3 风险种类

- 农村贫困人口/城市贫困人口/低中等收入群体
印度

图10 风险最高的9个国家



4. 无温室效应制冷普惠技术

未来几十年，空间制冷的需求及由此产生的能源需求还会继续增长。在地球最炎热地区生活的28亿人中，目前仅有8%的人口拥有空调，而这一比例在美国和日本为90%。在当前所有市场中，销量最好的空调的能效甚至不到最高能效的一半。（IEA，2018）

“随着全球持续变暖，为了满足快速增长的制冷需求，耗能电器正在制造一个环境灾难——名副其实的碳排放炸弹。”

——Dan Hamza-Goodacre

基加利制冷能效项目执行总裁

世界各国能源需求的持续增长与制冷需求的增长密切相关，特别是中国和印度。在中国、印度、印度尼西亚和巴西等发展中国家，城市的空调用电需求持续增长，预计到2060年将会超过城市供暖用电需求，到2100年制冷用电需求将增加33倍^[45]。应对持续增长的制冷需求与清洁能源的目标类似，当降低制冷设备的用电需求时，将需要更多的太阳能、风能以及其他清洁能源作为替代能源¹¹。这一阶段多出现在系统运行费用最高、效率最低的用电高峰时段。

在印度孟买，空调设备的电能消耗约占40%。在沙特阿拉伯的盛夏，这一比例超过50%，相当于每年燃烧10亿桶石油产生的能源。（Henley，2015）

中国和印度的空调需求增长率尤为重要，将对能源需求和环境产生较大影响。中国城市家庭的冰箱普及率从1995年的7%上升到2007年的95%^[46]，印度的空调保有量从2006年的200万台上升到2011年的500万台，预计到2030年这一数字将会达到2亿台^[47]。

人类强大的需求在推动这一趋势继续发展。对于每月支出小于450美元的印度家庭而言，购买空调是一项对孩子学业的投资，使他们在炎热的夏天有相对舒适的学习环境。如同一位母亲所说：“如

今我们已经习惯空调，再也不愿回归原来的生活状态了^[48]”。这一需求随着收入的增加以及城市极端高温的频发还会迅速增长。

制冷与气候变化之间的关系是多方面的，最直接的关系是采用高GWP物质作为制冷剂。这些化学物质的温室效应达到CO₂的140~11000倍。然而，将这些物质与CO₂直接对比较复杂，因为在维护良好的系统中，制冷剂的泄漏率很低，且这些化学物质在大气层的生命周期很短，有的物质短至几年，远小于CO₂几个世纪的生命周期^[49]。《蒙特利尔议定书》基加利修正案指出了上述问题，呼吁削弱制冷剂对温室效应的影响，并建议了HFCs制冷剂淘汰的时间表。

“基加利修正案”淘汰HFCs

“基加利修正案”规定了具体的目标以及18种高GWP的HFCs物质用更加环保的物质替代的时间表，禁止或限制议定书或修正案签约国与未签约国之间有关上述物质的贸易，规定发达国家有义务在财政上支持发展中国家向更安全的制冷剂进行转变。

“基加利修正案”最终版将签约国分为三类，分别规定了三种淘汰的时间表。发达国家需从2019年开始减少HFCs的生产和使用，包括美国和欧盟国家。其他大部分国家从2024年开始禁止HFCs的使用，包括中国、巴西和整个非洲国家。另外还有10个最炎热地区的发展中国家的时间表最为宽泛，可以从2028年开始禁止HFCs的使用，主要是中东地区。

为了使用新型制冷剂，空调和制冷设备需要重新设计，同时需要优化能源利用效率以缓解能源需求的快速增长趋势。如果空调和制冷设备消耗的电能主要来自于化石燃料，特别是碳排放量大的煤

¹¹ 最近IEA的报告，The Future of Cooling聚焦于制冷需求减少、空调设备能源利用效率提升以及非化石可再生能源对于电力能源的替代带来的温室气体减排等话题的内在联系。

炭，那么发电导致的温室效应会远远大于制冷剂的效应。根据目前对于很多发展中国家能源结构的统计和预测，煤炭及其他化石燃料燃烧发电的比例非常高。在炎热的夏季，空调能耗能占城市总能耗的50%甚至更多，如印度和中东地区。这一现状导致更低的发电效率和更高的传输损耗，因此造成碳排放量的增加¹²。

制冷技术发展的一个显著特点是遵循传统的时间规律：新型设备一般初投资较高，即使当运行费用很低时，从面世到普遍应用也需要很长的时间。政策干预可以促进甚至强制新技术的应用，然而这些政策的制定和施行同样需要时间。新城区的开发的确从根本上给建筑物和城市的重新规划提供了机会，以优化冷负荷及制冷技术。在印度，2030年规划中的建筑有75%还没有开始动工，意味着这些建筑可以应用被动冷却的设备，整体设计区域供冷的新方式。与此同时，目前制冷设备的寿命一般都超过20年，而建筑的寿命取决于地理位置、结构以及用途，则会更长。一些近期的决策会产生“锁定”效应，无论是制冷设备、城市和建筑的设计，还是其他的一些制冷应用（如汽车和数据中心）。同时，随着温室气体排放量的增加，实现气候目标变得越来越困难¹³。

温室气体减排可以缓解温室效应和气候变化的恶劣程度，全球已经就此达成共识，这也是“巴黎

协定”的基础。该协定于2015年12月由195个国家共同签署，并于2016年11月4日表决通过开始实施¹⁴，希望在本世纪内将全球升温控制在2℃以内，甚至通过一些努力将其降至1.5℃以下¹⁵。为了达成这些目标，在未来几十年内，CO₂以及其他温室气体的减排都将是重中之重。每个成员国都必须提交国家减排贡献报告或者NDCs，以便明确和沟通各个国家2020年后的气候行动^[50]。目前各个国家的承诺还远远不够，2017年全球碳排放量增长了1.5%^[51]，我们需要采取更有效的措施控制温室气体的排放。制冷设备目前在温室效应影响中约占10%，且还在快速增长中。未来制冷剂的选择、制冷技术的能效以及制冷能源的来源将会对“巴黎协定”目标的达成产生重大影响。

IEA在一篇新的报告《The Future of Cooling》中评估了气候变化对空调需求增长的影响，制冷设备能效的当前趋势，以及采用石油发电驱动空调过程中产生的碳排放问题。该报告讲述了提高空调设备能效的重要性以及如何帮助实现“巴黎协定”的目标，包括能效改善过程中的双重好处，既减少了制冷剂的排放，还通过可再生能源的应用进一步降低温室气体的排放。该报告还预测空调造成的温室气体排放量将从2016年的11.35亿吨增长到2050年的20.7亿吨，与此同时，能源消耗量将从2016年的2021亿度电增长到6200亿度电。

¹² 通常计算的碳排放是一个平均水平，并不能反映需求旺季的碳排放水平。温度越高，发电设备用水的冷却效率更低，从而使发电效率更低，碳排放更高。

¹³ CO₂和一些制冷剂在大气中的生命周期很长，所以减排工作开始的越晚，就越需要迅猛有力的减排措施来保证大气中温室气体的浓度在气候目标以内。

Tollefson, J.(2018). Can the World Kick its Fossil-Fuel Addiction Fast Enough? *Nature* 556, 442–425. doi: 10.1038/d41586-018-04931-6.

Available at Chemnick, J.(2017). The Window is Closing to Avoid Dangerous Global Warming. 参考网址：<https://www.scientificamerican.com/article/the-window-is-closing-to-avoid-dangerous-global-warming/>。

¹⁴ “巴黎协定”于2016年11月4日签署，在至少55个《联合国气候变化框架公约》缔约方（其温室气体排放量至少占全球总排放量的55%）交存其批准、接受、核准或加入文书之日后第30天起生效。

¹⁵ “前工业化”并不是联合国公约或者其他政府间气候变化委员会的专业名词，它一般是指1850—1900年工业革命以及化石燃料的大规模利用之后的一段过程。然而，“前工业化”的定义标准还有一定的争议，反过来对人类活动造成的温室效应也有影响。Hawkins, E. (2017). Defining ‘Pre-Industrial’. 参考网址：<https://www.climate-lab-book.ac.uk/2017/defining-pre-industrial/>。

全球可持续制冷普惠的风险与机遇

4. 无温室效应制冷普惠技术

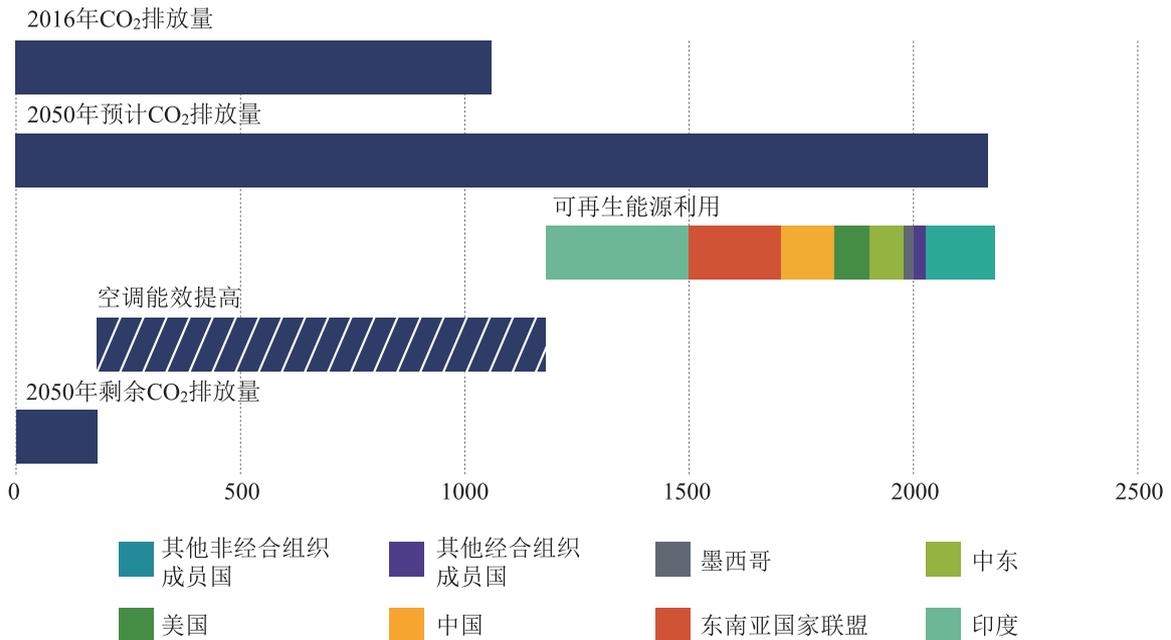
IEA对空调的温室气体排放评估的影响可能更加深远。位于金字塔底部的人群缺少生活必须的制冷普惠，为了满足他们的制冷需求，我们要对他们的所有需求进行深入评估，包括冷链供应及其他可能提高能效的技术。冷藏运输和冷链建设可能造成温室气体排放和发电的压力更大，但是科技带来的能效提升、建筑设计和建造的优化、冷链的改善以及区域供冷等先进理念可以有效缓解温室气体的排放压力。

国际应用系统分析研究所 IASA (International Institute for Applied Systems Analysis) 利用一套完整的模型框架并假设积极的能源效率，探索能源结构的改变对能源需求的影响。尽管研究方案的问题还很多，但是他们得出了结论，在不依赖负排放技术

的情况下，1.5°C的气候目标和很多联合国可持续发展目标 (Sustainable Development Goals) 都可以实现^[52]。

IEA《制冷的未来》报告

IEA开发了很多模型和方案用来衡量目前空调发展趋势的影响以及改善能源效率所带来的益处。其中一项研究表明，如果保持现有的政策和市场发展规律不变，2050年的CO₂排放量将达到2016年的2倍，而来自空调系统的CO₂排放量的占比将由2016年的8%增加到15%。为避免这一棘手的结果产生，我们需要提升空调和冷水机组的能效等级，并且转变制冷设备的能源消耗结构。（见图11）



数据来源：IEA，2018

图11 空调能效的提高对全球CO₂减排的贡献

5. 制冷普惠的整体规划

如前文所述，由于目前市场上销售的空调能效与最高能效相比差距较大，因此可在短期内有效降低能源的需求和温室气体的排放，减少发电厂的建设并且维持老百姓的用电成本。然而，如果制冷服务无法进一步普惠，依然有很多人面临高温威胁、食品损失水平依然很高，药品和疫苗仍然在运输过程中失效。

实际上，有许多已经被证明收效甚高的能效提高方法还没有推广开来，因为政府缺乏相应的法规、补贴以及其他干预措施^[53]。原因包括缺乏相应的资金支持（下文会详细讨论）、信息不对称（消费者不知道或不相信可节省能耗）以及缺乏成熟产品等^[54]。因此，我们需要开放思维，开拓多种方法来满足制冷需求，包括设立政策鼓励减少制冷的需求，以及研究替换现在建筑内机械制冷系统的方法¹⁶。幸运的是，很多替代技术正在不断涌现，包括更加环保的制冷剂以及许多已经开始商业化的系统方案。

短期内可以采取相应的措施改善室内热量聚集的现状，比如阴凉屋顶和阴凉道路，即采用的材料和颜色选择可有效降低建筑物和城市街道的光反射。城市中屋顶和道路的面积约占城市表面积的60%，大面积使用反射型材料可以有效降低城市的热岛效应，降温可达4℃^[55]。建筑材料的选择和相关政策的灵活运用与环境 and 气候密切相关。印度德里进行了一项试点项目，对不同的材料、涂层以及砖瓦进行优缺点分析。另外，在南非一个15000人的乡镇（凯斯镇）推广了阴凉屋顶计划，有效缓解了住宅的高温威胁。

另外，区域供冷也是比较理想的替代技术，在城市地区推广可以显著节约能源。印度城市塞恩刚刚完成了区域供冷的可行性研究，预计能源节约效果非常好（如图12所示）。还有一种新的技术，显热制冷和潜热制冷分离技术（Separate Sensible and

Latent Cooling，简称SSLC），原理是用干燥剂除湿，然后再用机械制冷系统或蒸发冷却降温，其中蒸发冷却不消耗任何能源。如果采用机械制冷系统，干燥剂除湿也可以有效提升制冷系统的效率，而且干燥剂再生仅消耗少量的热量^[56]。

南非凯斯镇降温涂层项目

凯斯镇是一个拥有15000人的乡镇，位于南非最热的地区。凯斯镇的很多住宅由波纹状金属建造而成，白天室内温度高到不能久留，全家人都得睡在室外。与其他乡村小镇一样，凯斯镇缺少工作机会，尤其是年轻人。几年前，一个有远见的镇长Theresa Scheepers联络国家政府机构得到测试可持续制冷技术的机会，而后又有幸加入了美国能源部（U.S. Department）与南非国家能源发展部（South African National Energy Development Institute）的联合发展计划。该计划引入了一些降温涂层的供应商，在一些住宅设立高效反射降温涂层的试点。

这个试点证明降温涂层可以有效降温20%并节约15%的能源。当地居民对于温度和舒适性改善的直观体验促进了更大规模的推广，目前约有500个住宅已经使用了降温涂层。

该项目进行的同时也为当地创造了一系列就业机会和商机。项目的组织者提供了针对劳动力的培训，并且增加了当地的住宅保有量。这个项目为凯斯镇的降温提供了全新的供应链，提升了就业率，创造了可持续的经济价值。该镇的工人学会了如何准备和混合涂料、清洁墙面以及粉刷涂层。该项目已经成功从一个很小的试点行动推广到了南非的大城市。

（信息来源：全球降温城市联盟（Global Cool Cities Alliance））

¹⁶ 《蒙特利尔议定书》技术和经济评估小组（TEAP）已经对这些技术进行了认定。TEAP认为这些可以作为“非同类”技术逐步替代蒸气压缩循环制冷技术在建筑制冷系统中的应用。



在发展中国家的农村，液态空气“蓄冷罐”技术可以将冷量和电力资源以冰的形式储存起来，不需要电池也可以使得没有电力供应的人群享受制冷和电力供应，英国机械工程师协会(Institution of Mechanical Engineers)最近报道了这一项技术^[57]。这些“蓄冷罐”大多数都可以利用可再生能源，对于可再生能源在传统制冷系统中的应用而言也是一个很好契机。

因此要实现可持续制冷，就必须系统化地减轻并深入理解不同的制冷需求，并全面了解制冷需求和电力供应的规模、分布以及时间限制。为了实现这一目标，我们需要首先问自己一个新的问题：“如何更加高效和环保地满足人们的需求？”而不是“我们需要多少发电量？”

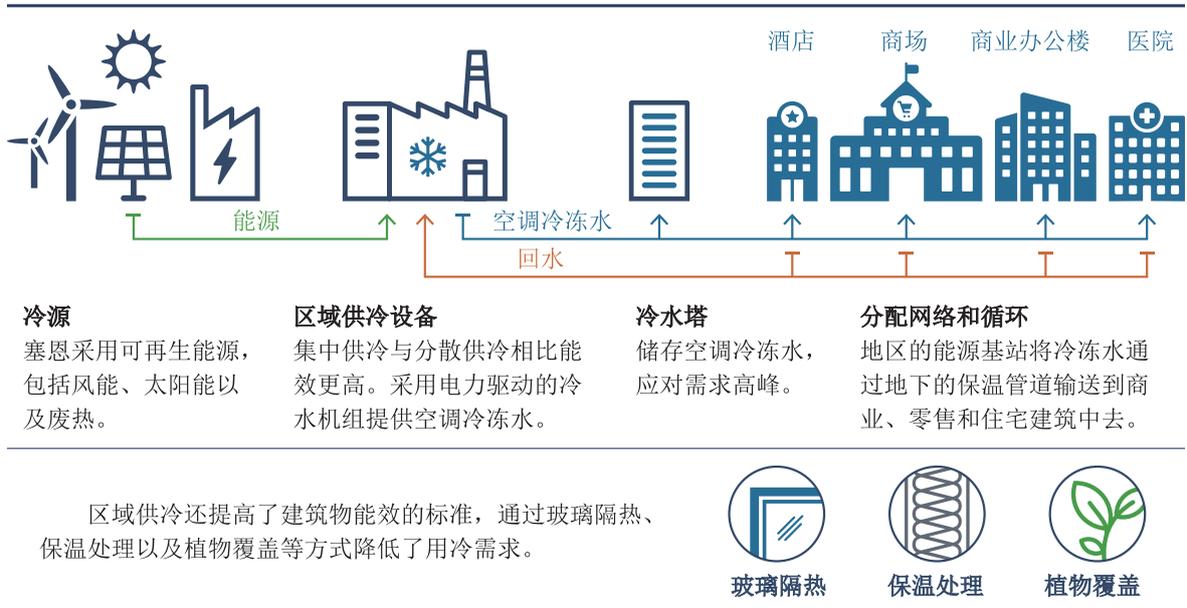


图12 发展中国家的制冷探索——印度试点城市塞恩的区域供冷

印度塞恩的制冷需求增长迅速，加之人口的增长和对现代能源供应的要求，电力基础设施不堪重负。新城市的发展、生活水平的提高、环境温度升高、提高能效的要求，这些因素共同促进了区域供冷的发展。

塞恩还在实验小型的绿色能源解决方案，将来希望应用于孟买这样的大城市 and 全印度。SEforALL 已经选择塞恩作为印度第一个区域供冷试点城市。

注：感谢联合国环境规划署（UN Environment Programme）、哥本哈根能效中心（Copenhagen Center on Energy Efficiency）以及倡导地区可持续发展国际理事会南非秘书处（ICLEI South Asia Secretariat）对本案例的支持。本案例只是提供一种选择，并不否认其他方案的可行性研究。该项目目前由塞恩主导进行，联合国环境规划署、IFC、EESL、ICLEI以及碳基金（Carbon Trust）也提供了大力支持。

塞恩简介

项目地点

塞恩薇薇安娜商场 (Viviana Mall) 及周边区域。

能源节约估算*

- 碳排放减少：35%
- 电力节约：35%
- 高温能源消耗：35%
- 制冷剂节约：15%

经济利益

- 建筑冷却成本节省
- 投资回报率 (Estimated ROI) 估算：15%

*如果冷水机组采用可再生能源或废热，节能效果将更高。



6. 满足制冷普惠过程中的机遇 ——先进技术和生活方式的转变

实现高效和可持续制冷的两个关键因素在于科技的进步和生活方式的改变，使新技术发挥更大的作用。这两个因素常常是相互联系的。

在没有电力供应的地区，低功率电风扇和冰箱的设计和市场推广经常与小型太阳发电系统混在一起，消费者希望能得到廉价且稳定的电力服务。全球离网照明协会GOGLA（Global Off-Grid Lighting Association）最近发布的《离网太阳能市场趋势报告》（Off-Grid Solar Market Trends Report）中提到了这一点。不同国家的制冷需求不同，电风扇在炎热气候的地区特别受欢迎。太阳能电池板的经销商通常还会打包销售一些专为当地市场开发的高能效电器^[58]。

越来越多的商家开始为离网消费者量身打造产品，包括生产性设备和一些家用电器。目前，小型离网发电系统搭配的电风扇以及其他电器的能效还较低，导致这些设备的使用成本较高，贫困人口基本上用不起。这里蕴藏了一个双赢的商机，企业家和贫困家庭都能从中获益。比如，英国国际发展部（DFID）正在资助一项全球性的竞赛，内容就是为离网的贫困人口开发高能效的冰箱^[59]。

制冷新技术和现有技术的改进同样都有很大的潜力。在一些电力资源匮乏的地区，蒸发式冷却器就是一种成本低廉、技术含量低的制冷方法，可以有效延长水果和蔬菜的保鲜时间。将农产品装在小容器中，放到更大的容器里，在容器间隙中注入水，随着水的蒸发，小容器也得到了冷却。在尼日利亚，采用两个粘土罐和湿润的沙子组成的简易蒸发式冷却设备造价不到2美元，却能够有效延长蔬菜和水果的储存期限，从2天延长到20天^[60]。

关于限制建筑内的热量积聚已有多种方法。几个世纪以前，生活美国西南部的印第安人（Native Americans in the Southwest of the USA）喜欢住在朝南的悬崖上，房屋的设计冬暖夏凉^[61]。现在，这些原理已经成为了自然冷却的设计原则——屋顶采用浅色材料、玻璃外有反射涂层、屋顶和墙壁保温、

绿化荫凉设计以及应用低功率风扇辅助通风等^[62]。国际金融公司IFC（International Finance Corporation）开发了一款针对发展中国家住宅设计的简易软件（EDGE），通过融入绿色原则，将经济适用房的财政支持与能源和水的可持续利用相结合^[63]。

国际金融公司开发的EDGE工具^[64]通过改善设计提升了住宅的舒适性

考虑到消费者行为的多样性，住宅的舒适性设计带来了巨大的机遇和挑战。使用国际金融公司EDGE工具设计出来的住宅能效高且凉爽。

南非的瀑布公园项目着力于自然冷却的设计和能源利用效率。该项目在232栋EDGE认证的绿色住宅中实现了屋顶保温、低辐射玻璃镀膜、自然通风、室内和室外的节能照明、公共区域和室外照明控制、太阳能热水系统以及智能电表。这些住宅的能耗比南非有能效要求的建筑标准还要低21%。

菲律宾的Via Verde项目同样采用太阳能光伏发电系统和电池系统，优良的设计使这些住宅的能耗降低约40%，水的消耗量降低约25%，建筑材料的制造能耗降低约38%。当地的居民可以同时享受照明、电视以及风扇，生活水平有很大提高，还节省了一大笔水电费^[65]。

创新的技术同样可以满足其他类型的制冷需求。比如卢旺达在2016年推出了运输血液和药品的新技术即Zipline无人机^[66]，该无人机可以在30min内将急用的血液或药品从专门的分配中心送到病人身边，由于时间很短，所以不需要冷藏运输。医疗机构可以通过短信来订购服务，费用和汽车运输相近，除非对运输时间有额外的要求。

WHO为疫苗的运输已经评估并认定了16种短距离运输的绝热保温容器以及21种用于长距离运输的冷藏箱，尽管这些方式还存在结冰的问题。该组织

还发布了最优项目来论证和评估理想的新技术，更高效地满足疫苗的运输要求^[67]。

人类行为方式的转变可以有效控制制冷需求的增长和气候的变化。艾哈迈达巴德高温行动预案（Ahmedabad Heat Action Plan）用不同颜色代表不同等级的高温预警，提醒市民们到应急空调房中躲避。该城市为市民提供了高温预警以及避难场所，但是预警的效果还要看市民的反应^{[17][68]}。

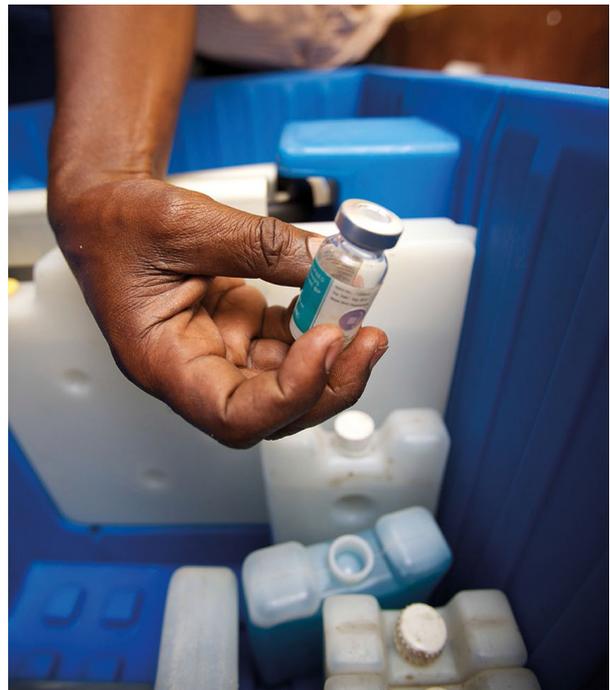
日本环境部（Ministry of Environment）2005年开始开展了一项名为“夏季环保商务新装束”（Cool Biz）的全国节能运动，该运动一般从五月持续到九月或十月。这项得到首相支持，并获得高关注度的行动成功改变了公民的行为习惯。办公室和零售场所的温度控制在28℃或以上，允许员工穿不太正式的服饰上班。公共建筑被要求带头响应运动，包括学校、社区中心和图书馆等。尽管Cool Biz运动开始实施的时候遭受了怀疑甚至抵制，包括龙头企业的抗议，该运动还是成为了日本最成功的环保举措之一^[69]。中国的政策要求夏天空调的控制温度不低于26℃^[70]，提醒人们通过生活方式的转变减少能源的消耗^[71]。

印度家用空调市场规模每年的增长率达到10%~15%，CEPT（Centre for Environment Planning & Technology）大学的研究人员提出了印度舒适体验模型IMAC（India Model for Adaptive Comfort），旨在衡量建筑居住者放弃空调，使用其他方式降温的可行性。通过6330人的调查发现，印度人对于高温的忍耐力高于全球平均水平，在自然通风的建筑内，不同季节可接受的温度范围为20.5~28.5℃。而有空调的建筑内，可接受的温度区间为22~27℃，印度建筑空调内的温度全年控制在 (22.5 ± 1) ℃，这显然是不合理的^[72]。

落基山研究所RMI（Rocky Mountain Institute）在美国科罗拉多州设计和建造一幢零能耗的建筑物，该项目表明为了降低对能源的需求，舒适性体验必须与设计和技术相平衡。相比单一的室内温度

控制而言，电风扇以及温控座椅等小型设备给个人带来的舒适体验可能更好，能耗更少。尽管为了确保舒适度，该项目还是作出一定的妥协，比如安装备用系统，但是该项目足以证明摆脱单一温度控制的设计理念的潜在优点。RMI强调，“这些试点基础促进了更全面的设计，使用该系统可以满足个人的舒适要求”，该项目的经验告诉我们，提升建筑的舒适性体验需要考虑多种多样的途径^[73]。

还有一个需要考虑的问题是，未满足或“潜在”的舒适性要求，新设备带来的能效方面的提升可能导致空调的过度使用，造成电力需求降低的程度达不到预期。2009—2012年，墨西哥通过消费退税和消费融资鼓励消费者更换10年以上能效较低的冰箱和空调^[74]，老式空调的淘汰数量达到167000台，高能效空调的大量使用也导致能耗和电费支出的增加，原因是单位时间更低的运行费用导致运行时间更长，反映出潜在的舒适性需求。类似这种意料外的后果需要在项目论证阶段预测和评估，考虑成本和收益问题。



¹⁷ 公民对于高温警告的反应研究数据主要来自发达国家，但是这些研究数据应该能够反映全人类对于警告的反应情况。Porter, R. E. (2013). Public Perception and Response to Extreme Heat Events. 参考网址：<https://scholarworksuiupui.edu/bitstream/handle/1805/3802/Thesis.pdf;sequence=1>。

7. 资金缺口

制冷普惠过程中的资金问题是最主要的挑战之一，包括公共财政支持和个人资金支持。从能源普及的资金问题中我们可以看出，缺乏电力供应是制冷普及的一大阻碍。SEforALL最近的报告《能源资金》（Energizing Finance）统计了能源普及项目中的资金流，分析了20个能源供应缺口最大的国家。报告指出：

分布式能源领域的资金投入非常小，每年的规模约为2亿美元，只占2013—2014年度这些国家可追溯的电力投资总额的1%。

分布式能源领域投资规模小有很多因素。第一，国家财政预算对这一领域的支持还非常有限。第二，外部的资金支持只流向了有限的几个国家，撒哈拉以南的非洲国家得到的支持非常少，而这些国家缺少电力供应的人口占全球的一半以上。与一些发电厂建设或其他大型能源项目等大投资相比，小规模的投资缺少应有的支持和相应的投入。2013—2014年，对于小规模的投资只有3200万美元，比如洁净厨房等小项目。新的资金解决方案和商业模式正在应运而生，下文会详细讨论这一点。因此，针对不同的市场、不同的消费群体以及分配链的不同情况，资金问题还面临着不同的挑战。

由于空调、能源消耗以及气候变化之间的联系，更多的资金投入到了住宅空调能耗的提高上，而不是制冷普惠上。然而，关于离网能源项目的公共投资和个人投资还是有一些成功的案例，这些案例可以为制冷普惠提供可能的成功模式。小型离网太阳能系统与风扇以及其他生产设备的捆绑销售就是一个很好的例子，这些设备的销售从不多的资金支持开始起步，现在市场已经遍布非洲和南亚的离网区域。

消费金融在农村的多样化需求十分显著，哪怕是设备能够即刻带来可观的费用节省回报，比如太阳能灯对煤油灯的替代。随着现收现付制PAYGO（pay-as-you-go）的推广，离网太阳能市场近几年发展迅猛：

PAYGO是指允许消费者通过消费金融来购买产品的商业模式。PAYGO模式的公司允许消费者采用分期付款的方式购买太阳能产品（大部分是家用太阳能系统和多光源设备），接下来的付款周期从6个月到8年不等。尽管支付方式包括刮刮卡、移动通信时间和现金，但是消费者一般还是采用移动支付^[75]。（OGS, p. XVI）

离网太阳能系统市场

全球环境基金GEF（Global Environment Facility）2007年在非洲开展了名为“点亮非洲”（Lighting Africa）计划，为太阳能灯的销售提供了资金支持。现在，这个项目已经成为小型太阳能系统销售的基础。该项目为一些收入有限的消费者（尽管不是非常贫穷）购买风扇和小型冰箱（直流电源，低功率电器）提供了资金支持和支付方式选择，比如PAYGO。现在，“点亮非洲”计划除了支持市场发展的一系列服务外还包括一些额外的支持内容，比如消费金融服务、产品标准和质量认证、国家政策发展以及市场营销等。根据2014年对该计划的独立评估，该计划的投资回报率高达2000%，收益支出比为87:1。年度预测报告包含了对市场发展方向和挑战的分析，对于小型企业的拥有者而言是一份重要的信息来源。



PAYGO的支付方式一般与购买采用太阳能系统的电器有关，因为这些设备通常比较贵，需要一些消费的金融支持。绝大多数PAYGO还款额与家庭每周购买传统能源的费用（比如煤油）相当或更低，而且付款方式相比传统的消费金融方式来说更加灵活。PAYGO业务模式受广大低收入消费者需求的推动，这一趋势预计将持续下去^[76]。这种业务模式的成功反过来改善了产品制造商的资金状况。在东非和西非，PAYGO业务模式的公司提供的资金规模增长了2.63亿美元，比2016年上升了19%，服务了超过70万的消费者^[77]。

根据《离网太阳能报告》，PAYGO业务模式已经逐渐发展到了更广的商品领域^[78]。尽管各个地区各个市场金融需求不同，但是与太阳系统相关的产品买的最多的还是风扇和冰箱，其他的产品还包括电视、收音机和手机充电器。一些市场中的小型电器经销商也开始设计更高效的产品来减少能耗，降低产品的运行成本，并开拓这些产品组合的消费人群。

公共批量采购降低成本，改善能效：能源效率服务公司（EESL）是印度电力部（Government of India Ministry）与公共事业服务中心PSUs（Public Service Undertakings）的合资公司，该公司2017年的一个项目投资6800万美元用来资助100000台空调的批量购买计划。这些空调的能效等级要高于市场上常见的空调设备^[79]。这些空调来自两个品牌，一个是日本品牌（松下），另一个是印度本土品牌（德雷吉）。在此之前，在公共服务领域还有一个类似的批量采购——道路照明设施的整体替换升级。2018年5月，EESL得到了世界银行（World Bank）的贷款，用来扩大业务规模，将高能效风扇纳入产品范围内。

企业投资：针对离网区域OGS（off-grid sector）每年的资金支持已经翻番，2016年的总额达到了3.17亿美元，从2012年以来已累计增长了9.22亿美元。但是，2016—2017年的消费降级可能使一些投资者心存疑虑。历史融资模式反映了正在增长的企业投资需求和行业投资者信心。每年的业务数量从2012年的15个增长到了2016年的79个（年均增

长超过50%），体现了投资市场巨大的增长潜力。单个业务的平均规模也有所增长，说明投资者更倾向于规模较大的项目，这些项目单位投资的成本较低，包括法律成本和劳动成本^[80]。

小型电网投资：服务于小型社区或者乡镇的小型电网可以给离网区域带来很大的利益，但是大型电网的服务质量更高，可以满足低功率风扇、冰箱、手机充电器以及电视等不同的需求。随着太阳能系统成本的降低，小型电网的服务公司正在积极寻求更加灵活的商业模式，并取得更大的成功。2017年，发展中国家已完成的基于可再生能源的小型电网项目超过了100个，主要集中在非洲和南亚^[81]。然而，这些项目的消费者一般不会申请短期消费贷款，成本的巨大投入使消费贷款的周期长达10~15年，这样还款额才会比较低，经济上才有可行性。商业借款机构一般不愿意或者没有能力满足这么长的贷款周期。但是，在需求最为旺盛的国家，这种消费贷款的利率可能会超过15%，并有很高的抵押要求^[82]。

捐赠基金来源提供的优惠贷款

《能源资金》和《离网太阳能系统市场发展报告》（Off-Grid Solar Market Trend）两篇报告都强调了与能源需求相关的资金问题的多样性和复杂性，制冷普惠的资金问题也是一样。这两份报告都强调了为当地小型企业家融资的重要性，这些企业家对市场需求和条件高度敏感。债务融资特别重要，在企业发展的初期，发展机构的优惠贷款比商业贷款更少风险规避。最近的OGS报告显示随着市场的蓬勃发展，资金的流动情况越来越好，然而这些资金的流动还是集中在一些市场已经初步成熟的公司：“以商业为重点的投资者和众筹已经初现端倪，但是当地的资本投入还很有限，社会投资可能会跟随潮流扩大影响^[83]。”《能源资金》报告提到了各国国内投资的显著不同。在孟加拉国，电力融资中，国内融资金量占总融资的44%。是埃塞俄比亚的两倍多，中国是埃塞俄比亚最主要的投资者，但是这些支持中只有40%有优惠条款^[84]。

英国碳信托基金最近对能效投资案例进行了分

析，介绍了一些可能对制冷普惠有促进作用的潜在的创新融资模式^[85]。这些融资模式的初衷都是促进空调设备的销售，并不能直接应对制冷普惠过程中的挑战，他们思考了这些金融工具的创造性用法，并推进环境目标。例如，能源节约保险项目可以用于确保投资者的目标投资收益。另外，保险业务还可以为贷款机构针对小风扇和冰箱的贷款保驾护航。世界银行在泰国提供了针对能效相关设备的低息贷款服务，该服务也覆盖了与制冷普惠相关的其他类似项目。

由于制冷普惠的产品和市场的界定还比较模糊，政府拨款以及优惠贷款就显得尤为重要。这些资金的用途需要加以严格限制，包括农村气候项目（NDCs）的技术支持以及国家和地区的政策立法促进，如制定电器能效标准标识体系、推广建筑节能标准、实施降温城市计划，创新科技研发的支持，小型制冷设施的资金支持以及低收入者消费信贷业务等。因此，捐助的支持非常重要。

针对气候变化的捐助资金来源¹⁸有很多，在最近20年，这已经成为清洁能源领域政府拨款和优惠贷款的重要来源。该模式由全球环境基金GEF（Global Environment Facility）发起^[86]，最近的资助是绿色气候基金^[87]。然而，除了一些电器能效提升的研究，这些项目能够提供的资金非常有限。为了达到《蒙特利尔议定书》的目标，多边基金为制冷剂的替代项目提供了资金支持，不包括能效提升的项目¹⁹。这些基金对制冷普惠的支持几乎为零^[88]，

然而，随着《基加利修正案》的实施，来自基金的支持可能会慢慢增多。例如德国环境部（German Environment Ministry）支持的基金计划国际气候行动（International Climate Initiative）将“环境友好型建筑制冷设备、物流以及生产工艺”纳入了其2018年资助计划中²⁰。

落实《蒙特利尔议定书》的多边基金为发展中国家提供了技术和资金支持，以促使它们履行蒙特利尔议定书的控制措施。2017年，该基金补充到了5.4亿美元，满足2018—2020年三年计划的需求。为了应对“基加利修正案”对HFCs物质的淘汰要求²¹，多边基金执行委员会正在编写资助原则，包括与能效相关的内容。一些慈善家以及私人基金会正在资助能效普及联盟推动能效的提升和清洁能源应用，行动内容包括超高能效电器的市场推广、创新支持以及行业合作等。由英国援助机构支持的低能耗电器LEIA（Low-Energy Inclusive Appliances）项目正在进行一项研究，希望能够加快清洁能源驱动高效电器的发展。在LEIA项目中，英国援助机构在五年内将投入1800万美元用来改善多种电器应用清洁能源的实用性、成本以及效率，促进发展中国家相关技术的发展^[89]。

目前，制冷普惠程度和项目支持程度与制冷在社会、环境和发展方面的重要程度完全不相符。在初期阶段，贷款和投资的状态需要详细的定义、跟踪和报告。SEforALL将这种能源普及演变的进程当作一种产品来推广。

¹⁸ 气候基金信息更新（www.climatefundupdate.org）是一个由海因里希博尔国际开发研究所负责维护的网站，网站公布了多边气候基金的运转信息，包括项目抵押和放贷信息以及不同区域不同领域的资金分配情况。

¹⁹ 《蒙特利尔议定书》实施多边基金的信息参见网址：<http://www.multilateralfund.org/default.aspx>。UNDP GEF在毛里求斯的气候项目证明了协调不同来源基金支持的重要性。参见网址：<https://www.thegef.org/project/realising-energy-savings-and-climate-benefits-implementing-mandatory-energy-auditing>。项目的理念没有问题，但是实施起来还存在一定困难。

²⁰ 该基金项目一般会寻求合作来满足国家和地区的需求，对发展中国家目标项目的支持额度一般在1500万到2000万欧元之间，优先满足“与德国联邦环境、自然保护、核安全部特别沟通”过的项目和需求。

²¹ 作为该问题的背景，《蒙特利尔议定书》科技与经济评估小组在2018年5月发布了一份报告，DECISION XXIX/10 TASK FORCE REPORT ON ISSUES RELATED TO ENERGY EFFICIENCY WHILE PHASING DOWN HYDROFLUOROCARBONS，参考网址：http://conf.montreal-protocol.org/meeting/owg/owg-40/presession/Background-Documents/TEAP_DecisionXXIX-10_Task_Force_EE_May2018.pdf。

8. 建议及下一步行动计划

——国家制冷普惠计划行动方案

越来越多人逐渐理解了制冷普惠的重要性、紧迫性和复杂性。报告讲述了处于最严重高温风险的11亿人群，他们急需可持续的制冷方式，特别是完整的、可持续的冷链。另外，还有23亿人需要我们提供经济的解决方案，并促使他们购买更高效的制冷设备。报告提供了一些参考，我们需要采取紧急措施来确定需求，分析优先区域和人群，吸引私营企业与政府合作发展并探索新的方案及新的商业模式。

根据不同的具体情况，缩小制冷普惠差距的解决方案各有不同。上文已经讨论了扩大资金来源的重要性，包括在气候变化、健康、食品安全以及能源领域多种多样的行动。设备制造商和分销商也是关键的合作伙伴，大小型公司都开始为低收入群体研发适宜的产品。尽管创新技术有帮助，最急需是能帮助已有技术迅速扩大市场规模的措施，包括现有的高能效产品和可再生能源发电设备的结合。需要在多层面上建立合作伙伴——设备制造商、建筑设计和承包商、市政府、农产品加工企业、药品生产商、医疗机构、金融机构、公共卫生团体以及民间团体等。公共发展机构和能源组织也是主要参与者，如IEA。

9个风险国家的目标

我们的分析确定了9个优先国家，标准包括“农村贫困人口”、“城市贫困人口”、“低中等收入群体”以及“中等收入群体”。选择这9个国家同样还考虑了高温风险人群的基数（代表了新技术的潜在市场规模）以及在不同表单中的排名（代表了政府对新技术的重视程度）。报告中的数据提供了一些初步的定量分析和基数，但下一步的关键是这9个国家分别根据其行业、地理位置制定切实可行的减

少这些差距的计划，并附上具体的时间节点。一些国家已经应对“基加利修正案”制定了相应的HFC淘汰计划。《蒙特利尔议定书》和《联合国气候变化框架公约》对目标的达成和国家行动计划的制定提供了指导²²。国家目标的设立和计划需要充分调动人力资源和资金支持。捐助资金一般用来支持国家的减排计划和气候适应行动²³。

前文提到现有制冷普惠的数据还比较粗略，这些数据是判断国家和人群风险程度的依据，也是研究解决方案的基础。我们需要不同的数据来源，涵盖不同的时期甚至不同的人群，这也是目前遇到的首要问题。优先程度最高意味着数据的详细收集最有必要，我们需要对制冷普惠缺口的数据进行详细调查和分析，然后才能采取行动进行改善，比如为农村农民提供冷链和疫苗、在极端高温的城市中施行高温行动预案、国家制冷普惠发展以及区域供冷的可行性研究等。

上述9个国家完成数据收集、目标和方案设定后，这些经验可以推广到其他21个国家，它们一样需要制定计划，最终目标是为前52个高温风险国家制定相应的计划。在此过程中，发展联盟和行业必须紧跟趋势，并为需要的人提供正确的数据。

清凉城市

城市由于热量集中产生了热岛效应，其中的制冷普惠缺口也很显著，因此城市是比较重要的潜在合作伙伴。幸运的是，城市可以进行的改善措施有很多，而且很多城市已经开始了减轻热岛效应以及制冷普惠的工作。这些工作包括反射率更低的建筑外立面改造、“绿色”屋顶、植树运动和浅色路面铺设等。一些城市已经开始实践上述方法，下文会有进一步叙述。为了降低“城市热岛效应”，

²² “巴黎协定”规定签署国确定缓解全球变暖效应的行动并提交减排计划，即“国家减排贡献”。联合国气候框架公约组织将这些国家减排共享放到了网上，参考网址：<https://unfccc.int/news/ndc-interim-registry>。

²³ 国家气候适应支持项目由很多捐助者支持，致力于气候适应行动的开展。参考网址：<http://globalsupportprogramme.org/nap-gsp>。

还应加快电器最低能效标准（Minimum Energy Performance Standards）和建筑物标准的实施。

城市的高温行动预案（Heat Action Plans）在极端热浪来袭的时候引导人们获得短暂庇护。印度艾哈迈达巴德是南亚第一个颁布高温行动预案的城市，该预案在2010年那次毁灭性的热浪袭击后正式发布^[90]。市政府与一些外部合作伙伴共同制定了这项预案，比如自然资源保护协会NRDC（Natural Resource Defense Council）和印度公共卫生部IPH（Indian Institute of Public Health），该预案还得到了气候与发展知识网络的大力支持。当地政府针对包括贫民在内的高风险人群社区开发了一套易于理解的预警系统，还建立了应对热浪的城市行动计划。按颜色分级的预警将会通过媒体发布，通信公司也会通过短信发送预警，社区志愿者还会走进贫民社区分发补水袋和热安全手册。初始投资很小，大概只有60000美元。随着时间的推移，艾哈迈达巴德的预警项目已经成为城市预警的典范，并得到了广泛的传播^[91]。根据2013—2015年的评估，这个预警项目十分成功，2015年时，有效降低了热浪中的伤亡人数，而全印度的死亡人数高达几千人。截至2017年6月，17个城市和11个省已经出台或者正在研究高温行动预案^[92]。

美国的一些城市这些年也开始实施制冷计划。旧金山强制要求新建房屋的屋顶要安装太阳能设备。纽约在2016年的一次热浪后开展了一场投资1.06亿美元的“阴凉社区”计划，还通过绿色植物或者浅色涂层为270万平方英尺的房顶降温。费城和丹佛也有阴凉屋顶计划，西雅图则要求新建社区必须满足绿化率的最低要求^[93]。

法国在2003年的严重热浪后实施了严格的高温行动预案机制，要求企业重新安排户外劳动的时间，学校限制户外活动，地方政府关怀老人等^[94]。一些国际性活动为城市经验共享提供了契机，包括全球降温城市联盟（Global Cool Cities Alliance）、洛克菲勒100座韧性城市竞赛、C40城市气候领导委员会（Cities Climate Leadership Group）以及倡导地区可持续发展国际理事会（ICLEI）等。

阴凉屋顶计划已经取得了一些成功经验，这些

全球降温城市联盟的成功实践应该得到大规模的推广和复制。为了降低“城市热岛效应”，还应加快电器最低能效标准和建筑物标准的实施。

绿色农业

完整的冷链对于降低食品损失和浪费至关重要。保持在0℃的新鲜鱼能保存10天，但是30℃条件下只能保存几小时。芒果在13℃条件下可以保存2到3个星期，但是43℃的条件下只能保持2天。冷链由不同的阶段组成，一般最少包括预冷、冷藏以及运输。其中预冷和冷藏一般被看作静止的制冷需求，这两个阶段一直有先进的技术被开发出来，越来越多的企业也参与开发了多种创新方案。这些技术还需要商业化的措施以促进进一步开发和大规模量产，新的商业模式有助于降低这些技术的应用成本。“商业天使投资（Business Angels）”的网络可以给企业创始人和新技术研发初期阶段提供专业指导和资金支持。针对可持续技术设置奖项可以对一些突出成就的技术提供支持，扩大其影响力，比如阿什登奖（Ashden Awards）。

目前面临的严峻挑战是冷藏运输，使用冷藏车在不同仓库或者零售门店运输农产品存在难题。在一些国家，冷藏车的数量不够，但是如果数量满足要求，车辆的排放将会显著增加。进一步的深入研究可以把重点放在发展综合制冷的议题上，从农场到餐桌的可持续发展的完整冷链，着眼于货车和制冷设备的效率，以及研究替代制冷技术。例如，印度国家冷链发展中心（NCCD）正在进行的研究，以及类似授权机构与农业企业和制冷行业之间的合作。

聚焦完整低碳的农产品冷链，奖励可持续的商业解决方案。

行业的显著地位

与行业的合作至关重要。《蒙特利尔议定书》可能是最成功的环保公约，被全世界广泛接受。该公约成功的原因包括发达国家和发展中国高度合作，对于HFCs生产和使用削减目标的严格遵守以及对发展中国家工厂和设备转型过程的捐赠基金

支持^[95]。更加重要的原因是，在较早期对公约的设计和与应用与相关行业进行广泛沟通和协定。制冷与空调行业与其他行业一起，积极支持新制冷剂的应用、评估替代品以界定“基本”用途的例外情况、以及先进技术在发展中国家的应用等^[96]。

印度能效经济联盟（Alliance for an Energy Efficient Economy）将对宣传能效有兴趣的公共机构、公民社会组织（包括国内的和国际的）、行业和学术界广泛联合起来，取得较好的效果。该联盟近期起草了一份关于印度制冷问题的报告，详细阐述了如何减少城市热量积聚以及提高制冷能效等问题，包括政策和技术^[97]。尽管技术和市场存在差异，但此次合作为今后应制冷普惠需求的再次合作奠定了良好的基础。

满足制冷普惠需求的路上荆棘密布。2018年的《离网太阳能市场趋势报告》阐述了为离网的低收入人群研发真正适合的产品的的重要性：“很显然，如果行业希望消费者的能源等级上升，那么就需要帮助消费者把钱留在口袋里。”一些业内人士在接受采访时指出，他们可能增加研发预算，研发并实验有效用的解决方案，比如农业工具以及冷链中的冷柜/冷库等。然而，这个共有市场还远没有成熟，比较分散，还需要有针对性的支持。现有水平上额外的投资（特别是研发的投资）可以促进生产性电器市场的整合。规模较大的太阳能项目（小型电网、自备电厂）已经对生产性设备的应用做了很多尝试，而PAYGO OGS的公司了解如何通过产品消费信贷来改善资产管理，两者有很大的合作潜力，这一点非常重要^[98]。”

OGS报告同样强调了消费者信贷方法的重要，包括地方债务融资以及资产证券化，这些途径可以有效促进离网太阳能市场的增长以及风扇和冰箱的销量，这两样电器是缺少电力供应的地区需求度最高的。PAYGO是比较理想的途径之一，但是我们还可以通过与金融机构更深层次的合作进一步提高^[99]。还有许多重要的专业金融项目可以促进高效电器的推广，包括欧洲和美国捐赠基金联合支持的全球LEAP+RBF（结果导向的金融项目）设施^[100]。前文提到的疫苗保存方面的创新奖励就是其中之

一，还有一些关于水果、蔬菜以及奶制品冷藏方法创新的竞赛^[101]。

全球气候融资实验室（Global Lab for Climate Finance）是一种可以应用于制冷普惠的实践模型^[102]。实验室成员包括捐赠代理、国际金融机构以及商业银行，三者都对应对气候问题的可持续的金融方案很感兴趣。实验室通过广泛的意见征集，选择最理想的方案进一步开发，最终认可并付诸实践。2018年3月，实验室宣布了里程碑式的成果：26个用于气候改变行动的投资账户中可供使用的金额达到10亿美元，其中2.2亿美元来自实验室成员的融资^[103]。截至目前，该实验室还没有就应对制冷普惠方面的项目进行资助，一个潜在的解决途径是通过金融机构跨界合作。

新项目必须与业界共同创建。引导金融界的参与，激发其兴趣，利用其创造力、借助其市场影响力，并确保从一开始就赢得其认可。

能力构建和技术发展

联合国环境规划署臭氧行动部（UN Environment's OzonAction）是《蒙特利尔议定书》4个执行机构之一。臭氧行动部旨在建立技术和政策的公众信息平台，并组织区域性的技术问题研讨会。此外，在K-CEP的帮助下，臭氧行动部和联合效率（United for Efficiency）共同组织了一个两年的“成对计划”（two-year “twinning” project），旨在向各国臭氧问题官员和能源政策制定者提供能力建设，促进能源效率和《蒙特利尔议定书》基加利修正案目标的衔接^[104]。

技术合作也非常适合解决质量保证问题。太阳能灯市场存在类似问题，廉价劣质产品使消费者对其信心受挫。因此，有兴趣的利益相关者们创立了点亮全球质量保证项目（Lighting Global Quality Assurance program）^[105]，该模型适用于所有小型电器设备。国家的政策和项目需要类似行动的支持，这样才能更好地满足为制冷普惠提供助力。

上述行动需要根据脆弱人群以及国家和地方政策因地制宜实施。一些国家可能希望更详细地衡量制冷普惠缺口的大小，而有的国家可能对冷链技术

培训和制冷普惠整体规划更感兴趣，还有一些国家则可能优先考虑城市发展和实施更加严格的建筑标准以及高温行动预案。制冷设备依赖进口的发展中国家可能希望对他们的海关官员进行培训，以确保进口的设备符合相关标准和政策推广的节能电器。太阳能系统设备的关税最高能达到25%，这对于行业的发展而言是个很大的障碍^[106]。我们还需要对设备维护人员进行培训，因为一些制冷设备的高能效依赖定期的维护，如果维护不当或缺失，可能导致能效降低甚至有泄漏风险。NCCD的主要任务是为冷链基础设施提供推荐性的标准和协议，为人力资源开发提供指导，以及为冷链的发展提供适当的政策建议。世界上还有许多大学的项目和研究人员正在努力建立发展中国家制冷解决方案和经验共享网络^[107]。

推广制冷普惠研究中心最好直接建立在风险较高的国家，甚至是风险较高的地区。这些中心最好能拥有创新制冷方法的研发和实验能力。如同健康领域对于创新方案的补助和奖励，我们也应该在制冷领域建立类似的机制^[108]。

关于能力构建和技术发展的大部分内容都可以纳入现有的政策及相关的新政策中，但是这些政策的制定者必须明白制冷的重要性以及制冷与其政策的关系。

随着95亿台设备投入市场，如果我们想维持一个环境友好型的行业，那么设备的安装和维护培训必须抢在需求曲线之前完成^[109]。

提升关注度

所有活动的初衷是使人们认同制冷普惠在应对贫困和实现《联合国可持续发展目标》中的关键作用。“基加利修正案”成功将制冷与气候变化的内在联系提上了国际的议事日程中。然而，制冷不仅仅是制冷行业和气候学家的问题。前文提到，制冷是一个不断发展的课题，我们需要提升关注度以便将制冷问题纳入发展规划的范畴。引发关注的活动必须涉及到气候适应团体、基础设施建设、医疗及公共卫生、经济适用房和教育部门等领域。捐赠者以及发展伙伴还需要在考虑和设计新的项目的过程中注重绿色高效的制冷措施。

对于发达国家而言，迫切需要转变观念，制冷不应被看做奢侈品，而是生活必需品，并不断有突破性发展。

根据这些需求，应对方式是设立一个类似“秘书处（Secretariat）”的机构并给与相应的授权：提升关注度并给予专业的回应；协调潜在的合作伙伴，包括公共机构、商业机构和居民社团等；与行业、捐赠者和国际机构共同设计试点方案；为政府提供技术支持；项目进程跟踪和报告。这一委员会还可以管理前文中提到的“商业天使投资”网络。首要的紧急工作是在这9个风险最大的国家内更详细地确认弱势群体和他们面临的风险。该秘书处的主要任务就是发布年度“前景”报告以及组织所有关键的相关人士召开年度洽谈会。

如以上建议，实施细节还需要进一步与多利益相关方进行对话，包括公共机构、私营机构以及公民社会团体等。

总 结

人是制冷需求的驱动力，如果我们要为全人类提供制冷措施，就不能将30亿贫困人口排除在外，同样要为他们提供舒适的居住环境、农产品冷链、安全的疫苗以及其他需要制冷措施才能正常提供的服务。

《报告》揭示了更加全面分析问题的必要性。我们要开始考虑一些简单易行的制冷措施让更多人生活舒适，比如将屋顶刷白和使用太阳能驱动的风扇等。我们需要推广当前最有效的技术，应用可再生能源，并将购买和维护成本控制在金字塔底部人群可接受的范围。在食品从农场到餐桌的整个过程，我们还需要思考如何保证食品安全，保持营养成分，并且尽量减少能源的消耗。

制冷普惠可以带来巨大的经济及社会影响：减少劳动时间的损失；提高工厂的生产力；避免由于不新鲜的食品和保存不当的疫苗带来的健康成本；

增加农民收入；增加制冷经济范畴内的工作机会等。

暖通空调和制冷行业有能力也有决心大力开拓创新，以应对《蒙特利尔公约》的要求，而且该行业已经成为“基加利修正案”背后的源动力。现在，空调和制冷行业需要行动起来切实解决金字塔底部和顶端不同的制冷难题。

要实现人人享有制冷（Achieving Cooling for All）的目标，既要大力推广目前最高效的制冷技术，还要不断为新兴领域开发创新、更高效的技术方案，同时，还需要新的商业模式、员工的再培训以及跨越政府、行业、金融机构和民间团体的全面合作。

前路艰险，需要我们每一个人从我做起，从现在做起。



参考文献

- [1] Im, E. et al (2017). Deadly heat waves projected in the densely populated agricultural regions of South Asia. Available at <http://advances.sciencemag.org/content/3/8/e1603322.full>
- [2] Kjellstrom, T. et al. (2014). Technical report 2014: 2 Threats to occupational health, labor productivity and the economy from increasing heat during climate change: ... an emerging global health risk and a challenge to sustainable development and social equity. Available at <http://www.climatechip.org/sites/default/files/publications/Technical%20Report%20Climate%20change%2C%20Workplace%20Heat%20exposure%2C%20Health%2C%20Labor%20Productivity%2C%20and%20the%20Economy.pdf>
- [3] Ahmad, M. (2018). Looking for a Bit of Shade as Intense Heat Wave Hits Karachi. Available: <https://www.nytimes.com/2018/05/29/world/asia/karachi-heat-ramadan.html>
- [4] IPCC (2014). Fifth Assessment Report – Working Group II. Available at https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIAR5-Chap10_FINAL.pdf
- [5] International Energy Agency, (2018). Future of Cooling, Opportunities for Energy-Efficient Air conditioning. Available at http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/The_Future_of_Cooling.pdf
- [6] Practical Action. (2003). Evaporative Cooling. Available at <http://www.fao.org/climatechange/17850-0c63507f250b5a65147b7364492c4144d.pdf>
- [7] WHO and PATH (2013). Innovative Passive Cooling Options for Vaccines. Available at http://www.who.int/immunization/programmes_systems/supply_chain/optimize/evidence_brief_passive_cooling.pdf
- [8] US Department of Energy (2015). History of Air Conditioning. Available at <https://www.energy.gov/articles/history-air-conditioning> <https://www.energy.gov/articles/history-air-conditioning>
- [9] US Department of Energy, History of Air Conditioning (2015), online: <https://www.energy.gov/articles/history-air-conditioning> <https://www.energy.gov/articles/history-air-conditioning>
- [10] International Energy Agency, (2018). Future of Cooling, Opportunities for Energy-Efficient Air Conditioning. Available at http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/The_Future_of_Cooling.pdf
- [11] Murphy, K. (2015). Enduring Summer’ s Deep Freeze. Available at <https://www.nytimes.com/2015/07/05/sunday-review/enduring-summer-deep-freeze.html>
- [12] UNICEF (2018). Millions of children are still not reached by potentially lifesaving vaccines. Available at <https://data.unicef.org/topic/child-health/immunization/>
- [13] Schiermeier, Q. (2018). “Clear Signs of Global Warming Will Hit Poorer Countries First.” *Nature* 556, 415-416. doi: 10.1038/d41586-018-04854-2
- [14] U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (2015). India Heat Wave Kills Thousands. Available at <https://www.climate.gov/news-features/event-tracker/india-heat-wave-killsthousands>
- [15] World Health Organization (2014). Quantitative Risk Assessment of the Effects of Climate Change on Selected Causes of Death, 2030s and 2050s. Available at http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/134014/9789241507691_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [16] Moira, C. et al. (2017). “Global Risk of Deadly Heat.” *Nature Climate Change* volume 7, pages 501–506. doi:10.1038/nclimate3322
- [17] World Health Organization (2013). Innovative Passive Cooling Options for Vaccines. Available at http://www.who.int/immunization/programmes_systems/supply_chain/optimize/evidence_brief_passive_cooling.pdf
- [18] World Health Organization (2017). Food safety. Available at <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs399/en/>
- [19] World Bank (2018). Oceans, Fisheries, and Coastal Economies. Available at <http://www.worldbank.org/en/topic/environment/brief/oceans>
- [20] Kruijssen, F. (2016). At a loss: The big impact of wasted fish on the poor. Available at: <http://blog.worldfishcenter.org/2016/09/at-a-loss-the-big-impact-of-wasted-fish-on-the-poor/>; Kumolu-Johnson, C.A. and Ndimele, P.E. (2011). A Review on Post-Harvest Losses in Artisanal Fisheries of Some African Countries. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 6: 365-378. Available at <https://scialert.net/fulltextmobile/?doi=jfas.2011.365.378>
- [21] Klasa, A. (2018). Senegal’ s fishing small fry take on

- the sharks Available at <https://www.ft.com/content/2406f368-2d3a-11e8-97ec-4bd3494d5f14>
- [22] Green Climate Fund (2018), Concept Note : Climate Resilient Fishery Initiative for Livelihood Improvement, Available at: https://www.greenclimate.fund/documents/20182/893456/19130_limate_Resilient_Fishery_Initiative_for_Livelihood_Improvement.pdf/269fab05-1eee-5b11-0e3e-11b8594d5c76 FAO. (2018) Food Loss and Food Waste. Available at <http://www.fao.org/food-lossand-food-waste/en/>
- [23] FAO. (2018) Food Loss and Food Waste. Available at <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/en/>
- [24] World Food Programme (2017). Zero Hunger. Available at <http://www1.wfp.org/zero-hunger>.
- [25] FAO. n.d. SAVEFOOD: Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction. Available at <http://www.fao.org/save-food/resources/keyfindings/infographics/fruit/en/>
- [26] Kumm, et al (2012). Lost Food, Wasted Resources: Global Food Supply Chain Losses and their Impacts on Freshwater, Cropland, and Fertilizer Use, *Science of the Total Environment*, Volume 438.
- [27] University of Birmingham Energy Institute (2017), Clean Cold and the Global Goals. Available at <https://www.birmingham.ac.uk/Documents/college-eps/energy/Publications/Clean-Cold-and-the-Global-Goals.pdf> Intergovernmental Organization for the Development of Refrigeration (2009). The Role of Refrigeration in Worldwide Nutrition, 5th Informatory Note on Refrigeration and Food. Available at http://www.iifir.org/userfiles/file/publications/notes/Note-Food_05_EN.pdf
- [28] World Food Programme (2017). Zero Hunger. Available at <http://www1.wfp.org/zero-hunger>
- [29] World Economic Forum (2016). Global Risks Report, 11th Edition. Available at <https://www.mercer.com/content/dam/mercera/attachments/global/wef-global-risks-report-2016-mercera.pdf>
- [30] Peters, T. (2015). Lots of hot air about heat, but why is no one talking about sustainable cooling? Available at <https://birminghamenergyinstitute.org/2015/03/16/lots-of-hot-air-about-heat-but-why-is-no-one-talking-about-sustainable-cooling/>
- [31] Institute of Mechanical Engineers (2014). A tank of cold: Cleantech leapfrog to a more food secure world. Available at <http://www.imeche.org/policy-and-press/reports/detail/a-tank-of-cold-cleantech-leapfrog-to-a-more-food-secure-world>
- [32] Waisnawa, I.N.G.S. et al. (2018). “Model Development of Cold Chains for Fresh Fruits and Vegetables Distribution: A Case Study in Bali Province.” *Journal of Physics: Conference Series*. Volume 953, Conference 1. doi :10.1088/1742-6596/953/1/012109
- [33] National Centre for Cold-chain Development. N.d. Available at <https://nccd.gov.in/>
- [34] University of Birmingham Energy Institute (2017). Clean Cold and the Global Goals. Available at <https://www.birmingham.ac.uk/Documents/college-eps/energy/Publications/Clean-Coldand-the-Global-Goals.pdf>
- [35] Kjellstrom, T., Lemke, B., Otto, M. (2013). Mapping occupational heat exposure and effects in South-East Asia: ongoing time trends 1980-2011 and future estimates to 2050. *Industrial Health*, 51, 56–67. https://www.jniosh.go.jp/en/indu_hel/doc/IH_51_1_56.pdf
- [36] Kjellstrom, T. et al. (2014). Technical report 2014: 2 Threats to occupational health, labor productivity and the economy from increasing heat during climate change: ... an emerging global health risk and a challenge to sustainable development and social equity. Available at http://www.climatechip.org/sites/default/files/publications/Technical%20Report%202_Climate%20change%2C%20Workplace%20Heat%20exposure%2C%20Health%2C%20%20Labor%20Productivity%2C%20and%20the%20Economy.pdf
- [37] UN DESA Population Division, World Urbanization Prospects (2018). Available at <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>
- [38] Zielinski, S. (2014). Why the city is (usually) hotter than the countryside. Available at <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/city-hotter-countryside-urban-heat-island-science-180951985/#PlkJHDkD0EJoxsgO.99>
- [39] International Energy Agency (2018). Future of Cooling, Opportunities for Energy-Efficient Air conditioning. Available at http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/The_Future_of_Cooling.pdf
- [40] Araujo et al. (2015). “São Paulo urban heat islands have a higher incidence of dengue than other urban areas.” *The Brazilian Journal of Infectious Diseases*. Volume 19. Issue 2, pp 146 – 155. <http://dx.doi.org/10.1007/s00143-015-0600-0>

- org/10.1016/j.bjid.2014.10.004
- [41] World Bank Group et al. (2018). Tracking SDG 7: The Energy Progress Report. Available at https://trackingsdg7.esmap.org/data/files/download-documents/tracking_sdg7-the_energy_progress_report_full_report.pdf
- [42] McKibben, B. (2017). The Race to Solar-Power Africa. Available at <https://www.newyorker.com/magazine/2017/06/26/the-race-to-solar-power-africa>
- [43] UN Habitat (2016). Slum Almanac 2015-2016: Tracking Improvements in the Lives of Slum Dwellers. Available at https://unhabitat.org/wp-content/uploads/2016/02-old/Slum%20Almanac%202015-2016_EN.pdf
- [44] World Bank, Climate Change Knowledge Portal. n.d. Nigeria RCP 8.5 Scenario, CMIP 5 Model. Available at http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=country_future_climate&ThisRegion=Africa&ThisCcode=NGA
- [45] Henley, J. (2015). World Set to Use More Energy for Cooling than Heating. Available at <https://www.theguardian.com/environment/2015/oct/26/cold-economy-cop21-global-warming-carbonemissions>
- [46] University of Birmingham Energy Institute (2017). Clean Cold and the Global Goals. Available at <https://www.birmingham.ac.uk/Documents/college-eps/energy/Publications/Clean-Cold-and-the-Global-Goals.pdf>
- [47] University of Birmingham Energy Institute (2017). Clean Cold and the Global Goals. Available at <https://www.birmingham.ac.uk/Documents/college-eps/energy/Publications/Clean-Cold-and-the-Global-Goals.pdf>
- [48] Barry, E. and Davenport, C. (2016). Emerging Climate Accord Could Push A/C Out of Sweltering India's Reach. Available at <https://www.nytimes.com/2016/10/13/world/asia/india-air-conditioning.html>
- [49] US Environmental Protection Agency, Understanding Global Warming Potentials, available at <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- [50] UNFCCC. n.d. Nationally Determined Contributions. Available at <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs>
- [51] Berwyn, B. (2017). Global CO₂ Emissions to Hit Record High in 2017. Available at <https://insideclimatenews.org/news/12112017/climate-change-carbon-co2-emissions-record-high-2017-cop23>
- [52] Grubler, A. et al. (2018). "A low energy demand scenario for meeting the 1.5 ° C target and sustainable development goals without negative emission technologies" *Nature Energy*, Volume 3, 515–527. Available at <https://www.nature.com/articles/s41560-018-0172-6>
- [53] American Council for an Energy Efficiency Economy (2013). Overcoming Market Barriers and Using Market Forces to Advance Energy Efficiency. Available at <https://aceee.org/files/pdf/summary/e136-summary.pdf>
- [54] Montreal Protocol (2018). Report Of The Technology And Economic Assessment Panel. Challenges for the uptake of energy efficient technologies. May 2018. Volume 5. Available at http://conf.montreal-protocol.org/meeting/oewg/oewg-40/presentation/Background-Documents/TEAP_DecisionXXIX-10_Task_Force_EE_May2018.pdf
- [55] Isaac M. & Van Vuuren D. P. (2009) HYPERLINK <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421508005168> "Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change, *Energy Policy* 37:507–521.
- [56] Montreal Protocol (2018). Report Of The Technology And Economic Assessment Panel. Challenges for the uptake of energy efficient technologies. May 2018. Volume 5. Available at http://conf.montreal-protocol.org/meeting/oewg/oewg-40/presentation/Background-Documents/TEAP_DecisionXXIX-10_Task_Force_EE_May2018.pdf
- [57] Institute of Mechanical Engineers (2014). A Tank of Cold: Cleantech Leapfrog to a More Food Secure World. Available at <https://www.imeche.org/docs/default-source/reports/a-tank-of-cold-cleantech-leapfrog-to-a-more-food-secure-world.pdf?sfvrsn=0>
- [58] GOGLA (2018). Off-Grid Solar Market Trends Report. Available at <https://www.lightingglobal.org/2018-global-off-grid-solar-market-trends-report/>
- [59] Energy4Impact (2018). Off-Grid Refrigerator Competition– Lessons and Achievements So Far. Available at <https://www.energy4impact.org/news/grid-refrigerator-competition-%E2%80%93-lessons-and-achievements-so-far>
- [60] Practical Action (2003). Evaporative Cooling.

- Available at <http://www.fao.org/climatechange/17850-0c63507f250b5a65147b7364492c4144d.pdf>
- [61] Green Passive Solar Magazine (2010). Mesa Verde Cliff Dwellings. Available at <https://greenpassivesolar.com/2010/04/mesa-verdecliff-dwellings>
- [62] National Renewable Energy Laboratory (1994). Cooling Your Home Naturally. Available at <https://www.nrel.gov/docs/legosti/old/15771.pdf>
- [63] Mahanta, V. and Babar, K. (2018). IFC, PNB Housing plan \$800m platform for affordable homes. Available at <https://economictimes.indiatimes.com/industry/services/property/-/cstruction/ifc-pnb-housing-plan-800m-platform-for-affordable-homes/articleshow/62953449.cms>
- [64] www.edgebuildings.com
- [65] International Finance Cooperation (2018). In the Philippines, a Blueprint for Low Income Housing Goes Green. Available at https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/news_ext_content/ifc_external_corporate_site/news+and+events/news/impact-stories/philippines-green-buildings.
- [66] Zipline (2018). Available at <http://www.flyzipline.com/uploads/Zipline%20Fastest%20Drone%20Press%20Release.pdf>
- [67] WHO and PATH (2013). Innovative Passive Cooling Options for Vaccines. Available at http://www.who.int/immunization/programmes_systems/supply_chain/optimize/evidence_brief_passive_cooling.pdf
- [68] Porter, R. E. (2013). Public Perception and Response to Extreme Heat Events. Available at <https://scholarworks.iupui.edu/bitstream/handle/1805/3802/Thesis.pdf;sequence=1>
- [69] Smart, R. (2015). Ditch the tie and reduce the AC—Japan’s Cool Biz gets summer hell just about right. Available at <https://qz.com/465327/ditch-the-tie-and-reduce-the-ac-japans-cool-bizgets-summer-hell-just-about-right/>; Takagi, K. (2015). The Japanese Cool Biz Campaign: Increasing Comfort in the Workplace. Available at <http://www.eesi.org/articles/view/the-japanese-cool-biz-campaign-increasing-comfortin-the-workplace>
- [70] Li, B. et al. (2012). Proceedings of 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world – The Chinese Evaluation Standard for the Indoor Thermal Environment in Free-Running Buildings. Available at <https://pdfs.semanticscholar.org/bd39/fe92c6db7cbb4365c089dd5ef9346bffd903.pdf>
- [71] Tsinghua University Building Energy Research Center (2016). China Building Energy Use 2016. Available at https://www.researchgate.net/publication/318106589_China_Building_Energy_Use_2016. Amecke, H. (2013). Buildings Energy Efficiency in China, Germany, and the United States. Available at <https://climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2013/04/Buildings-Energy-Efficiency-in-China-Germany-and-the-United-States.pdf>
- [72] Manu, S. et al (2014). An Introduction to the India Model for Adaptive (Thermal) Comfort. Centre for Advanced Research in Building Science and Energy, CEPET University, Ahmedabad, India. Available at: http://shaktifoundation.in/wp-content/uploads/2014/09/Brochure_IMAC.pdf
- [73] McClurg, C. (2016). Rocky Mountain Institute Insight Brief, Redefining and Delivering Thermal Comfort in Buildings. Available at https://d231jw5ce53gcq.cloudfront.net/wp-content/uploads/2017/03/Insight-brief_Thermal-Comfort-V7_FINAL-FOR-RELEASE.pdf
- [74] Kigali Cooling Efficiency Program and the Carbon Trust (2018). Cooling Efficiency finance case studies. Available at https://www.k-cep.org/wp-content/uploads/2018/04/Cooling-efficiency-financing-case-studies_final-edited03.pdf
- [75] GOGLA (2018). Off-Grid Solar Market Trends Report. Available at <https://www.lightingglobal.org/2018-global-off-grid-solarmarket-trends-report/>
- [76] GOGLA (2018). Off-Grid Solar Market Trends Report. Available at <https://www.lightingglobal.org/2018-global-off-grid-solarmarket-trends-report/>
- [77] REN21, Global Status Report 2018 (highlights), available at <http://www.ren21.net/gsr-2018/pages/highlights/highlights/>
- [78] GOGLA (2018). Off-Grid Solar Market Trends Report. Available at <https://www.lightingglobal.org/2018-global-off-grid-solarmarket-trends-report/>
- [79] Kigali Cooling Efficiency Program and the Carbon Trust (2018). Cooling Efficiency finance case studies. Available at https://www.k-cep.org/wp-content/uploads/2018/04/Cooling-efficiency-financing-case-studies_final-edited03.pdf
- [80] GOGLA (2018). Off-Grid Solar Market Trends Report.

- Available at <https://www.lightingglobal.org/2018-global-off-grid-solarmarket-trends-report/>
- [81] REN21 (2018). Global Status Report. Available at <http://www.ren21.net/gsr-2018/pages/summary/summary/>
- [82] US AID (2018). Challenges and Needs in Financing Mini-Grids. Available at <https://www.usaid.gov/energy/mini-grids/financing>
- [83] GOGLA (2018). Off-Grid Solar Market Trends Report. Available at <https://www.lightingglobal.org/2018-global-off-grid-solarmarket-trends-report/>
- [84] SEforALL (2017). Energizing Finance. Scaling and Refining Finance in Countries with Large Energy Access Gaps. Available at https://www.seforall.org/sites/default/files/2017_SEforALL_FR4P.pdf
- [85] Kigali Cooling Efficiency Program and Carbon Trust (2018). Cooling Efficiency Financing Case Studies. Available at https://www.k-cep.org/wp-content/uploads/2018/04/Cooling-efficiency-financing-case-studies_final-edited03.pdf
- Global Environment Facility (2014). Investing in Energy Efficiency. Available at <https://www.thegef.org/publications/investing-energy-efficiency>
- [86] Green Climate Fund. N.d. How We Work. Available at <https://www.greenclimate.fund/how-we-work/funding-projects>
- [87] Global Environment Facility. N.d. Market Transformation of Energy Efficient Appliances in Turkey. Available at <https://www.thegef.org/project/market-transformation-energy-efficient-appliances-turkey>
- [88] Global Environment Facility. N.d. Lighting and Appliances Efficiency Project (Mexico). Available at <https://www.thegef.org/project/lighting-and-appliances-efficiency-project>
- [89] CLASP (2018). Efficiency for Access – A New Phase of Cooperation to Accelerate Energy Access Through Affordable, Efficient Appliances. Available at <https://clasp.ngo/updates/2018/efficiency-for-access-a-new-phase-of-cooperation-to-accelerate-energy-access-through-affordable-efficient-appliances>
- [90] Ahmedabad Heat Action Plan 2017. Available at <http://www.thehindu.com/news/national/other-states/sixth-edition-of-heat-action-plan-hap-launched-in-ahmedabad/article23509706.ece>
- [91] Jaiswal, A. (2018). Climate Leadership: Ahmedabad's 6th Heat Action Plan. Available at <https://www.nrdc.org/experts/anjali-jaiswal/climate-leadership-ahmedabads-6th-heat-action-plan>
- [92] CDKN (2017). Heat Action Plans - Scaling Up India's Ambition to Protect the Climate-Vulnerable. Available at https://cdkn.org/resource/heat-action-plans/?loclang=en_gb
- [93] Kirn, J. (2018). "Mitigation of Urban Heat Islands: Greening Cities with Mandates versus Incentives," American Bar Association, Natural Resources & Environment section. Vol. 32, No.3, pp. 40-43.
- [94] France24 (2015). France takes steps to avoid deadly 2003 heat wave. Available at <http://www.france24.com/en/20150701-france-paris-heat-wave-alert-deadly-2003-summer-guidelines>
- [95] Andersen, S. and Madhava Sarma, K. (2002). Protecting the Ozone Layer: The United Nations History. New York United Nations Publications.
- [96] Andersen, S. and Madhava Sarma, K. (2002). Protecting the Ozone Layer: The United Nations History. New York United Nations Publications.
- [97] Alliance for an Energy Efficient Economy (2017). Thermal Comfort for All – Sustainable and Smart Space Cooling, available at <http://www.aeee.in/buildings/sustainable-and-smart-space-cooling-coalition/>
- [98] GOGLA (2018). Off-Grid Solar Market Trends Report. Available at <https://www.lightingglobal.org/2018-global-off-grid-solarmarket-trends-report/>
- [99] GOGLA (2018). Off-Grid Solar Market Trends Report. Available at <https://www.lightingglobal.org/2018-global-off-grid-solarmarket-trends-report/>
- [100] Global Leap. n.d. Off-Grid Appliance Procurement Incentives. Available at <http://globalleap.org/incentives/>
- [101] Global Leap. n.d. The Global Leap Off-Grid Cold Chain Challenge. Available at <http://globalleap.org/coldchain/>
- [102] The Lab. Driving Sustainable Investment. n.d. Available at www.climatefinancelab.org
- [103] The Lab (2018). Press release, The Lab reaches \$1 billion milestone in sustainable investment. Available at <https://www.climatefinancelab.org/news/1-billion-milestone/>
- [104] UN Environment and Kigali Cooling Efficiency Program (2017). Twinning of National Ozone Officers and Energy Policymakers. Available at <http://www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/7935->

- e-K-CEP-factsheet-Twinning.pdf [105] Lighting Global (2016). Lighting Global Quality Assurance Framework Past, Present, and Future Support for the Off-Grid Energy Market. Available at https://www.lightingglobal.org/wp-content/uploads/2015/07/LG_QualityAssurance-Roadmap_Sept_2016_v4.pdf
- [106] Information provided by CLASP
- [107] Vorster, J. and Dobson, R. (2011). Sustainable Cooling Alternatives for Buildings. University of Stellenbosch, South Africa, Journal of Energy in Southern Africa. Vol 22 No 4. Available at <http://www.scielo.org.za/pdf/jesa/v22n4/05.pdf>
- [108] Government of New South Wales, Australia (2017). Awards for Greatest Ideas in Health Care. Available at http://www.health.nsw.gov.au/news/Pages/20171026_00.aspx
- [109] Kigali Cooling Efficiency Program (2018). Knowledge Brief, Optimization, Monitoring, and Maintenance of Cooling Technology.” Available at <http://k-cep.org/wp-content/uploads/2018/03/Optimization-Monitoring-Maintenance-of-Cooling-Technology-v2-subhead....pdf>
- [110] SEforALL (2018). Background Papers Supporting the Preparation of Chilling Prospects: Providing Sustainable Cooling for All. Available at <https://www.seforall.org/coolingforall>

