

McKinsey
Global Institute

摘要

气候风险 与应对

自然灾害和社会经济影响



2020年6月

麦肯锡全球研究院

麦肯锡全球研究院(MGI)自1990年创立以来,始终致力于深入了解快速发展变化的全球经济。麦肯锡全球研究院作为麦肯锡公司的商业和经济研究部门,旨在为企业、政府和社会事业领导人提供各种事实和洞见,作为其制定管理决策和政策决策的依据。

我们的研究融合了经济学与管理学两门学科,结合经济学的分析工具和商业领袖的深入见解。通过“从微观到宏观”的方法,从分析微观经济的产业趋势入手,以求更好地了解影响商业战略和公共政策的宏观经济因素。麦肯锡全球研究院发表的深度研究报告目前涵盖了20多个国家和地区的30多个产业,现阶段的研究重心围绕6大主题:生产力与经济增长、自然资源、劳动力市场、全球金融市场演变、科技和创新的经济效应以及城市化。最新报告主要进行了如下几方面的研究与评估,包括:数字经济、人工智能和自动化对就业的影响、收入不均、生产率难题、解决性别歧视问题带来的经济利益、

全球竞争新纪元、中国的创新、数字和金融全球化等。

麦肯锡全球研究院的工作由三位麦肯锡全球资深董事合伙人负责领导,他们分别是James Manyika, Sven Smith和华强森(Jonathan Woetzel)。James Manyika与Seven Smith同时兼任麦肯锡全球研究院联席主席。麦肯锡全球研究院董事合伙人包括 Michael Chui, Susan Lund, Anu Madgavkar, Jan Mischke, Sree Ramaswamy, Jaana Remes, 成政珉(Jeongmin Seong)和Tilman Tacke。Mekala Krishnan是麦肯锡全球研究院的资深研究员。

我们的项目团队由麦肯锡全球研究院资深董事和资深研究员领衔,成员包括来自全球麦肯锡分公司的咨询顾问。这些团队充分利用了麦肯锡的全球董事和行业以及管理专家网络资源。MGI委员会由全球麦肯锡分公司领导者以及业务部门领

导者组成包括Michael Birshan, Andres Cadena, Sandrine Devillard, Andre Dua, Kweilin Ellingrud, Tarek Elmasry, Katy George, Rajat Gupta, Eric Hazan, Acha Leke, Scott Nyquist, Gary Pinkus, Oliver Tonby和Eckart Windhagen。我们的顾问团队中不乏顶尖经济学家,其中包括诺贝尔奖得主。

麦肯锡全球研究院的研究项目由麦肯锡全球董事合伙人提供资金;不受任何企业、政府部门和其他机构的委托。如欲了解更多信息或下载报告,请访问:

www.mckinsey.com/mgi。

与麦肯锡公司可持续发展部门和全球风险部门合作完成

麦肯锡公司可持续发展部门(McKinsey & Company's Sustainability Practice)帮助企业 and 政府在向低碳可持续增长经济转型的过程中降低风险、管理干扰因素和把握机遇。客户从我们综合性、系统化的研判视角中获益,我们的视角跨越了从能源和交通到农业和消费品等各个行业,同时也网罗了从战略和风控到运营和数字科技等各个商业职能板块。

我们专属的研究和科技赋能工具为商业领袖和政府政策制定者采取坚毅自信行动提供了必要的坚实基础。研究结果:领先的解决方案可帮助新参与者和现有客户推动商业模式升级,实现持久的业绩改善。

www.mckinsey.com/sustainability

麦肯锡全球风险部门(McKinsey & Company's Global Risk Practice)与客户一道探索风险管理、增强恢复能力并创造价值。今日的企业组织面临一系列新条件带来的前所未有的风险等级和类别。其中包括科技进步带来的网络安全威胁和迅速演变的模型和数据风险;不可预知的地缘政治环境和气候变化等外部变动;以及被社交媒体加速和放大的不断演化的信誉风险环境。借助深厚的技术专长、广博的行业洞见和开创性的分析方法,我们帮助企业组织在各种风险领域建立风险应对能力和资产。这些风险包括金融风险、资本和资产负债表相关风险、非金融风险(包括网络、数据隐私、行为准则风险和金融犯罪等)、合规和控制、企业风险管理和风险文化、模型风险管理和

风险应对和恢复力等,我们的核心卓越能力是通过先进分析来管控风险。

www.mckinsey.com/business-functions/risk

摘要

气候风险 与应对

自然灾害和社会经济影响

2020年6月

作者:

华强森 (上海)

Dickon Pinner (旧金山)

Hamid Samandari (纽约)

Hauke Engel (法兰克福)

Mekala Krishnan (波士顿)

Brodie Boland (华盛顿)

Carter Powis (多伦多)

前言

麦肯锡对环境可持续问题的关注由来已久,可追溯至1970年代早期的客户研究。2007年,我们研究了全球温室气体减排成本曲线,并于2009年对其进行了更新。自那时起,我们对一些国家开展了减排研究,其中包括巴西、中国、德国、印度、俄罗斯、瑞典、英国和美国。近期研究成果包括《塑造抵御气候变化的发展决策框架》(Shaping climate-resilient development: A framework for decision-making, 2009年与气候适应经济学工作组联合发布);《迈向循环经济》(Towards the Circular Economy, 2013年与艾伦·麦克阿瑟基金会联合发布);《展望流动性未来的综合视角》(An integrated perspective on the future of mobility, 2016年);《工业部门脱碳:下一个前沿领域》(Decarbonization of industrial sectors: The next frontier, 2018年)。麦肯锡全球研究院(McKinsey Global Institute)也以类似方式发布了可持续发展方面的报告,其中包括《资源革命:满足世界对能源、物资、粮食和水的需求》(Resource revolution: Meeting the world's energy, materials, food, and water needs, 2011年)和《超越超级循环周期:技术如何重塑资源产业》(Beyond the supercycle: How technology is reshaping resources, 2017年)。

在本报告中,我们探讨了气候变化所带来的有形影响。我们探索了当前和未来三十年将面临的风险,同时也研究了一些案例,以便搞清楚有形气候变化导致更多社会经济风险的机制。我们也预估了潜在影响的可能性和力度。我们的目的是提醒全世界的决策者,使他们可以更好地评估、适应和减缓气候变化的有形影响。

本报告是麦肯锡公司为期一年跨学科研究的成果,团队由麦肯锡全球研究院和麦肯锡可持续发展部门和全球风险部门联合指导。该研究由华强森(Jonathan Woetzel, 麦肯锡全球资深董事合伙人、麦肯锡全球研究院联席院长,常驻上海办公室)、Mekala Krishnan(麦肯锡全球研究院资深研究员,常驻波士顿办公室)、Dickon Pinner(麦肯锡全球资深董事合伙人,常驻旧金山办公室)、Hamid Samandari(麦肯锡全球资深董事合伙人,常驻纽约办公室)、Hauke Engel(麦肯锡全球董事合伙人,常驻法兰克福办公室)和Brodie Boland(麦肯锡全球副董事合伙人,常驻华盛顿)等联袂主持。项目团队由Tilman Melzer, Andrey Mironenko和Claudia Kampel领导,其他成员包括Vassily Carantino, Peter Cooper, Peter De Ford, Jessica Dharmasiri, Jakob Graabak, Ulrike Grassinger, Sebastian Kahlert, Dhiraj Kumar, Hannah Murdoch, Karin Ostgren, Jemima Peppel, Pauline Pfuderer, Carter Powis, Byron Ruby, Sarah Sargent, Erik Schilling, Anna Stanley, Marlies Vasmel和Johanna von der Leyen等。Brian Cooperman, Eduardo Doryan, Jose Maria Quiros, Vivien Singer和Sulay Solis等人提供了建模、分析和数据支持。

尽管麦肯锡聘请了许多科学家,其中包括气候科学家,但我们并非一家气候研究机构。伍兹霍尔研究中心(WHRC)在本报告中对有形气候灾害进行了科学分析。WHRC自1985年以来一直专注于气候科学研究,其科学家在主要科学期刊上发表了大量作品,他们在世界范围内为立法者提供依据,主要媒体也经常引用他们的观点。本研究的方法设计和结果均经牛津大学环境变化研究所资深科学家独立审核,以确保公正性,并检验了本报告新作分析的科学依据。最终设计选择和对气候灾害结果的解读由WHRC作出。此外,WHRC的科学家为报告制作了相关地图并使数据可视化。

我们对以下学术顾问表示感谢,他们对我们的研究提出了挑战,并且提出了新的洞见: Richard N. Cooper博士, Maurits C. Boas哈佛大学国际经济学教授; Cameron Hepburn博士, 牛津大学史密斯企业与环境学院环境经济学教授及可持续经济学项目主任; 和Hans-Helmut Kotz, 法兰克福歌德大学欧洲金融可持续发展框架(SAFE)政策中心项目主任、哈佛大学欧洲研究中心常驻研究员。

我们也感谢顾问委员会分享他们的真知灼见并协助本报告付梓,他们分别是: 傅成玉, 中石化原董事长; John Haley, 韦莱韬睿惠悦咨询公司(Willis Towers Watson)CEO; 薛澜, 清华大学公共管理学院前院长; 徐林, 中美绿色基金董事长; 和Tracy Wolstencroft, 美国国家地理学会总裁兼首席执行官。我们也要感谢英格兰银行与我们进行讨论,尤其是英格兰银行气候风险行动的发起人Sarah Breeden花时间对本报告进行反馈。同时,贝莱德(Blackrock)首席执行官Laurence Fink和可持续投资部门全球主管Brian Deese也提出了宝贵反馈意见。

我们的气候风险工作组为我们在过去一年里开展的研究提供了帮助和指导,我们特别要感谢: Murray Birt, 德意志资产管理公司(DWS)环境、社会和公司治理(ESG)资深策略师; Andrea Castanho博士, 伍兹霍尔研究中心(WHRC); Michael T. Coe博士, 伍兹霍尔研究中心(WHRC)热带地区项目主任; Rowan Douglas, 韦莱韬睿惠悦咨询公司(Willis Towers Watson)资本科学和政策实践部门主管; Philip B. Duffy博士, 伍兹霍尔研究中心(WHRC)董事长和执行董事; Jonathon Gascoigne, 韦莱韬睿惠悦咨询公司风险分析部门董事; Spencer Glendon博士, 伍兹霍尔研究中心(WHRC)高级研究员; Prasad Gunturi, 韦莱再保险经纪公司(Willis Re)执行副总裁; Jeremy Oppenheim, SYSTEMIQ公司高级执行合伙人; Carlos Sanchez, 韦莱韬睿惠悦咨询公司气候恢复力金融部门主任; Christopher R. Schwalm, 伍兹霍尔研究中心(WHRC)副研究员和风险项目主任; Rich Sorkin, Jupiter Intelligence公司CEO; 和Zachary Zobel博士, 伍兹霍尔研究中心(WHRC)项目科学家。

许多组织和个人慷慨地贡献出自己的时间、数据和专长。麦肯锡公司内部的多个小组也贡献了自己的分析和专长。本报告由麦肯锡全球研究院(MGI)资深编辑Anna Bernasek, 编辑主任Peter Gumbel, 制作经理Julie Philpot, 设计师Marisa Carder, Laura Brown和Patrick White以及图片编辑Nathan Wilson共同制作。我们也感谢以下作出贡献并提供支持的同事: Dennis Alexander, Tim Beacom, Nienke Beuwer, Nura Funda, 归一菡(Cathy Gui), Deadra Henderson, Kristen Jennings, Richard Johnson, Karen P. Jones, Simon London, Lauren Meling, Rebeca Robboy和Josh Rosenfield等。

同麦肯锡全球研究院(MGI)所有研究一样, 这项研究工作是独立的, 反映了我们自己的观点, 我们并未受到任何企业、政府或其他机构的委任。我们欢迎您通过MGI@mckinsey.com联系我们, 交流意见与建议。

James Manyika

麦肯锡全球研究院联席主席,
麦肯锡全球资深董事合伙人
常驻旧金山办公室

Sven Smit

麦肯锡全球研究院联席主席,
麦肯锡全球资深董事合伙人
常驻阿姆斯特丹办公室

华强森 (Jonathan Woetzel)

麦肯锡全球研究院联席院长,
麦肯锡全球资深董事合伙人
常驻上海办公室

2020年5月

气候风险及应对： 自然灾害和社会经济影响

在经历了万余年相对稳定的时期之后，地球气候正在变化。随着平均气温上升，诸如热浪和洪灾等严重急性自然灾害在频率和严重性方面均有升级，而诸如干旱和海平面上升等慢性灾害也在加剧。在本报告中，我们重点探讨气候变化在未来三十年将导致的自然灾害的性质和程度，并对有形风险进行推演，因为它是转型风险和责任风险的基础。我们预估了气候变化的固有有形风险（不采取适应行动和减缓风险情形下）以测算气候风险所带来的挑战的力度，并着重分析了一些案例及可采取的行动。我们的气候科学大量使用了从较低二氧化碳浓度（代表性浓度路径2.6，即RCP2.6，下同）和较高二氧化碳浓度（RCP8.5）的假设情景。我们选择重点关注RCP8.5情景，因为它描绘的更高排放情景使我们可在没有进一步脱碳举措的情况下评估有形风险。我们将气候模型和经济预测关联起来，对九个案例进行研究，它们或是暴露在极端气候变化下，或是在接近物理阈值的区域。我们对105个国家开展了独立的地理空间评估，对六项指标进行检测，评估了对社会经济的潜在影响。本研究也为决策者提供了一个新的框架和方法，供其在自身特定背景下预估风险。核心发现如下：

气候变化在世界各个地区已经对当地造成了巨大的有形影响；受影响地区的数量和范围均将扩大。自19世纪80年代以来，全球平均气温已经上升了约1.1摄氏度，不同地区存在巨大差异。这使极端气温出现的可能性增大，危害加剧。在接下来十年甚至可能是更长时间里，气候的持续变化将意味着受有形影响威胁的地区数量和范围将持续增加。这将对五大社会经济系统产生直接影响，即宜居和宜业性、粮食系统、实物资产、基础设施服务和自然资本等。

气候变化带来的社会经济影响可能是非线性的，这是因为气候变化已经突破了系统阈值，继而产生了连锁效应。过去，由气候变化导致的危害的增加大多源自其本身暴露于更多的气候灾害之下，而非灾害自身平均强度或截尾强度的增加。未来，气候灾害的加剧可能将产生更大作用。风险最大的社会和系统较为接近物理和生物阈值。比如，随着印度炎热和潮湿程度加剧，到2030年，在二氧化碳RCP8.5情景下，若未采取适应性应对措施，约1.6亿至2亿人将生活在超出健康人体承受阈值的环境，其年均出现概率约为5%。海洋变暖将减少渔获，这将影响到6.5亿至8亿依赖渔业收入的人群的生计。在胡志明市，到2050年，百年一遇的洪灾对基础设施造成的直接损失将从今天的约2亿至3亿美元增加到5亿至10亿美元，而连锁效应成本将从1亿至4亿美元增加至15亿至85亿美元。

随着气候变化影响人类、有形资本和自然资本，在全球范围内，气候变化对全球社会经济带来的影响将是巨大的。到2030年，我们调查的所有105个国家，将至少会出现我们所评估的六大社会经济影响指标之一的情形。到2050年，在二氧化碳RCP8.5情景下，生活在致命热浪出现概率非零地区的人口将从今天的0增长至7亿至12亿（未考虑空调普及因素）。到2050年，在全球受影响地区，因极度炎热或潮湿而损失的年度户外劳动工时平均比例将从当前的10%上升到15%至20%。较之于1901-1925年区间，陆地区域经历气候类型变化的概率将从今天的约25%上升到45%左右。

金融市场可提前对受影响地区进行风险识别，这对资本分配和保险将造成影响。对气候风险的广泛认知将可能加大

长期借贷的困难性，也可能影响是否可获取保险和获取成本，并降低最终价值。这将触发资本再分配和资产再定价。例如，在佛罗里达州，基于过往趋势的预测显示，在其他条件相同的情况下，到2050年，洪灾造成的损失或将使暴露在风险下的房屋贬值大约15%至30%，或300亿至800亿美元。

人均GDP较低的地区普遍面临更大风险。较为贫困地区的气候通常更接近物理阈值区域。它们更依赖户外工作和自然资本，而且可用以迅速适应的金融手段更少。气候变化也会为一些国家带来好处，比如加拿大的作物收成会改善。

应对有形气候风险将需要更加系统化的风险管理、加速适应和脱碳进程。决策者将需要借助系统化的风险管理和强大的建模工具，把对气候科学的认知转换为对潜在有形损失和金融损失的评估。采取适应性措施将有助于可协助管理风险，尽管对于受影响地区而言，这可能意味着高昂的代价和艰难的抉择。为适应所做的准备，无论是防波堤、降温庇护设施还是抗旱作物，将需要整体考量，尤其是关于哪些方面应予以投资或放弃。尽管当前采取适应措施是十分紧迫而且存在大量适应机遇的，但气候科学显示，唯有实现温室气体净零排放，方可阻止进一步的气候变暖 and 风险加剧。

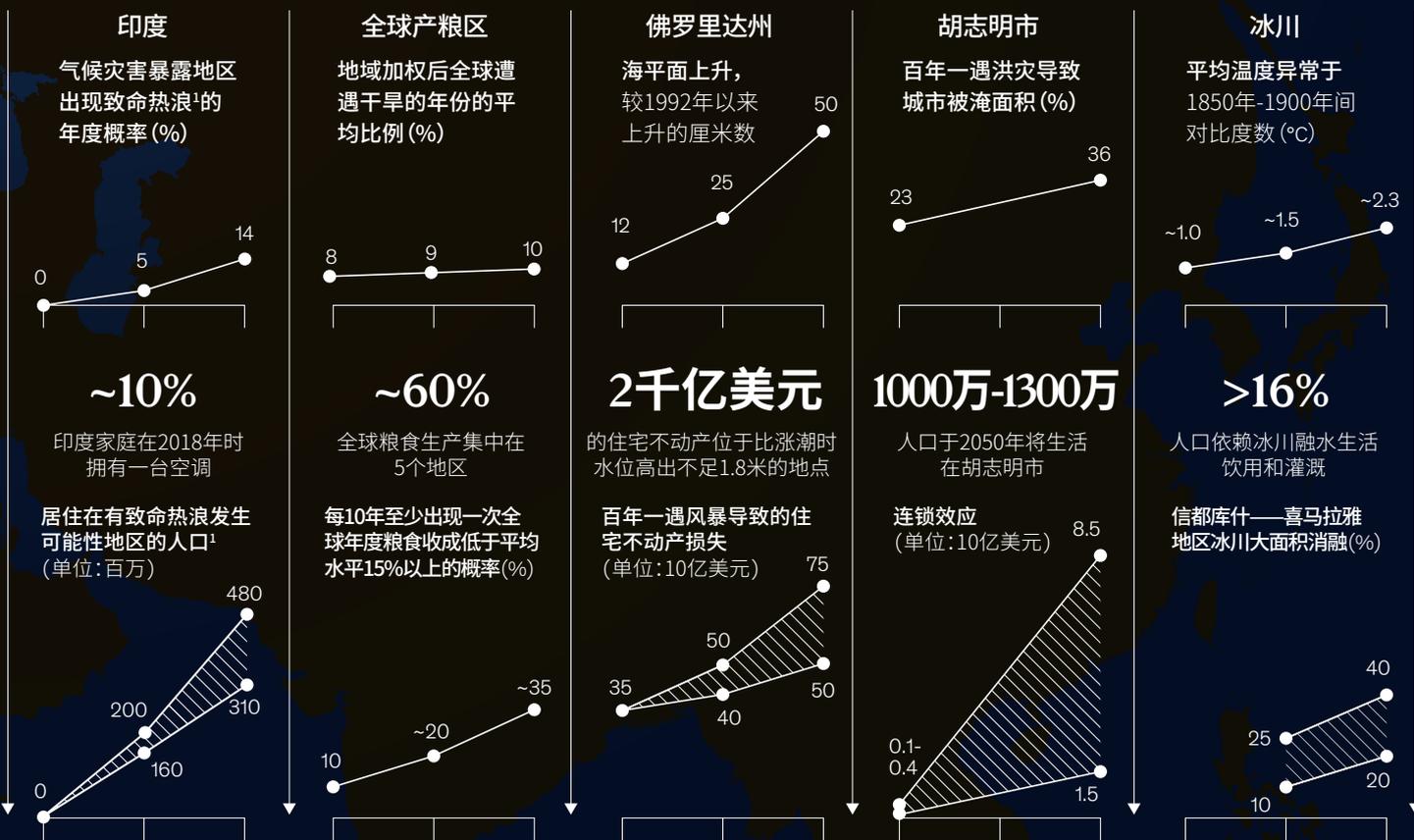
气候变化如何影响社会经济体系

有形气候变化直接影响的五大体系



有形气候风险对不同地域和行业在**当前、2030年和2050年**产生直接影响的举例

对有形气候风险危害及其影响的评估基于“固有风险”情景，即未考虑采取任何适应和减缓的应对措施。分析基于温室气体浓度在RCP 8.5情景下的建模。



到2050年的全球地理空间气候风险评估



应采取哪些措施来适应加剧的有形气候风险?



致命热浪定义为, 连续三日每日平均最高湿球温度超出阴凉处健康人体承受极限的事件。此处数据未考虑空调普及率的因素。这些预测受制于未来大气气溶胶表现和城市热岛或冷岛效应等相关的不确定性。就日期而言, 当前的气候状况定义为1998年至2017年间平均状况, 2030年状况定义为2021年至2040年间平均状况, 2050年状况定义为2041年至2060年间平均状况。



新加坡应对气温上升
© Getty Images

摘要

麦肯锡对于气候变化经济学相关主题的研究由来已久。在过去十年，我们发表了大量研究成果，其中包括例证减缓风险可行途径的成本曲线以及关于理解适应经济学和识别改善资源生产率潜力的报告等¹。本研究以上述研究为基础，着重探讨未来三十年有形气候风险的性质和影响。

我们借助气候模型预测展示了气候是如何变化的和其将如何继续变化，变化的气候如何带来新的风险和不确定性，以及可采取哪些应对措施实现风险的最佳管理。气候影响研究大量使用了假设。四种“代表性浓度路径”(Representative Concentration Pathways, RCPs)是气候模型的标准化输入值。它们勾勒出了2005至2100年间大气中温室气体浓度的不同发展路径。设计RCP的初衷是为了在整体上能够类比届时可能实现的未来排放路径，表示由低(RCP2.6)到高(RCP8.5)的二氧化碳浓度。每一个RCP数值分别由独立建模团队提出，而且不同RCP之间并无恒定社会经济系数假设。到2100年，四种RCP情景会导致程度迥异的气候变暖情形，但是到2050年其所导致的变暖情形差异不大，到2030年其所导致的变暖情形差异较小。鉴于本报告主要研究的是如何理解有形风险，我们选择聚焦于二氧化碳高浓度情景，即RCP8.5情景（因其所代表的高排放低减缓系列假设），以便评估气候变化所带来的最严重的潜在后果及其社会经济影响（图E1）。

我们关注有形风险，即因气候变化而产生的有形影响，包括对人类、社区、自然与有形资本和经济活动的潜在作用，以及对公司、政府、金融机构和个人的影响。有形风险是其他气候风险类型（如转型风险和责任风险）的根本动因²。我们并未将与气候变化相关联的转型风险（即脱碳带来的影响）或责任风险作为重点。尽管理解脱碳及其带来的风险和机遇是个重要课题，但本报告的目的在于探讨无脱碳情景下未来十年至三十年气候持续变化的性质和代价。

¹ 请参见《塑造抵御气候变化的发展决策框架》，气候适应经济学工作组，2009年；《绘制循环经济优势地图》，麦肯锡季刊，2017年6月；《资源革命：满足世界对能源、物资、粮食和水的需求》，麦肯锡全球研究院，2011年11月；和《超越超级循环周期：技术如何重塑资源产业》，麦肯锡全球研究院，2017年2月。减排成本曲线详情请参见麦肯锡网站《温室气体减排成本曲线》。

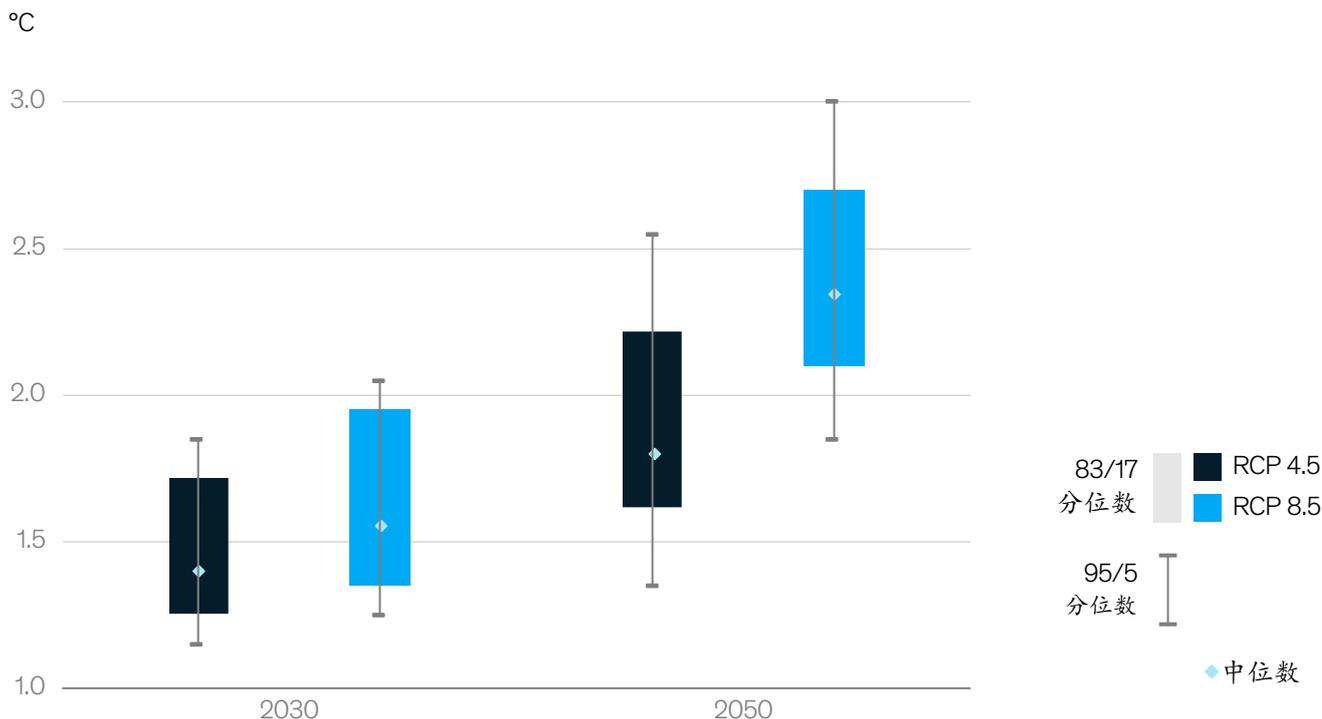
² 转型风险可定义为，转型为低碳经济过程中产生的风险；责任风险可定义为，受气候变化影响的对象在寻求损失补偿时产生的风险。请参见《气候变化：金融稳定风险有哪些？》，英格兰银行知识库(KnowledgeBank)。

我们的研究一方面呼吁各界采取行动，另一方面也提供了一套工具和研究方法，帮助评估气候变化对社会经济带来的风险。我们对“急性”（即一次性事件，如洪灾或飓风等）和“慢性”（即气温等气候参数长期变动）灾害所带来社会经济的风险进行了评估³。我们的研究主要关注两个时间段：当前到2030年以及2030年到2050年。在研究过程中，考虑到气候灾害的潜在变化，我们采用了气候科学家提供的气候灾害数据，并聚焦于其对社会经济带来的影响（见附文E1，“我们的研究方法”）。我们设计了一套方法论用以评估气候变化带来的风险及其导致的不确定性（见附文E2，“我们如何评估不确定性”）。在本摘要的结尾，我们重点分析了利益相关者应关注哪些重点问题，以应对气候变化所带来的严峻风险。（见附文E3，“利益相关者应考虑的问题”）。

图E1

我们采用RCP8.5情景，其描述的高排放情景使我们可在不考虑进一步脱碳的条件下评估有形风险

全球陆地及海平面平均温度相对于1850-1900年间均值的异常变化



注：为使图表清晰起见，95%至5%之外的其他数值未显示。本图表展示了气候模型中最常用的两个RCP数值，以便在不同假设情景中比较。
资料来源：政府间气候变化专门委员会(IPCC)，《自然科学基础》，2013年

³ 我们所定义的“灾害”是指气候变化所引起的对自然和社会经济系统有潜在影响的物理现象。

我们的研究方法

在本报告中,我们按照气候变化对人类、人造实物资产和自然界的影​​响程度来评估气候变化影响。尽管麦肯锡公司聘请了包括气候科学家在内的许多科学家,但我们并非一家气候建模机构。本报告的焦点是将气候科学数据转化为对有形风险及其对利益相关方潜在影响的评估。本报告所开展的大多数气候学分析由伍兹霍尔研究中心(WHRC)完成,在其他情况下,我们采用了可公开获取的气候科学数据,比如来自世界资源研究所等机构的数据。WHRC的研究使用了业界最常用的、且经同行全面评议的气候模型集来预估相关气候事件出现的可能性。以下是我们使用的一些核心方法:

案例研究

为将有形气候风险与社会经济影响联系起来,我们研究了九个案例,它们均处在暴露于极端气候变化情形下或趋近物理阈值区域的情况。这些案例涵盖了多个行业和地理区位,为“微观到宏观”的研究方法提供了基础,这也是麦肯锡全球研究院(MGI)研究方法的特点之一。在甄选这些案例的过程中,我们考虑了30余种气候灾害、行业和地理区位的潜在组合,通过文献研究、专家访谈等形式为基础探索有形气候灾害的潜在直接影响。我们发现,这些灾害或影响到五个不同的核心社会经济系统,即:宜居和宜业性、粮食系统、实物资产、基础设施服务和自然资本。

我们最终选取了九个案例来反映这些系统所受影响的程度,并以案例在气候变化极端情形中的暴露程度和它们当前所趋近的生理学、人造和生态学阈值为基础。因此,这些案例代表了处在最急迫的气候变化风险的情况。案例显示,气候灾害带来的直接风险取决于灾害的严重性及其可能性,各类资本“储备”(人力、实物和自然资本)暴露在灾害中的程度,以及这些储备在气候灾害下的恢复力(比如,实物资产抵御洪灾的能力)。通过案例研究,我们也评估了可能给下游行业或消费者等带来的连锁效应。我们在评估连锁效应时主要依据以往实例和实证预估,考虑到社会经济相关复杂性,这些连锁效应可能并不全面。通过这种“微观”方法,我们为决策者提供了一种方法,他们可据此评估直接有形气候风险及其特征和潜在的连锁影响。

全球地理空间分析

在一项独立分析中,我们使用了地理空间数据来分析105个国家在未来三十年的气候变化情况。这种地理空间分析也采用了与我们在案例分析中所运用的评估直接影响的五大系统框架。对于每一系统,我们均采用了一项或多项评估手段来考量气候变化的影响,并尽可能使用案例中的相关指标。

与前述案例分析所采用的方法类似,我们的分析在网格单元层面展开,我们会将某项灾害(如不同深度的洪水及其发生概率)的基本数据与暴露于灾害的程度(如暴露在洪灾中的资本储备)和评估恢复力的损失公式(如暴露在不同深度洪水中的资本储备损失的比重)叠加起来考量。而后,我们将这些网格单元数值与国别和全球数值合并起来。尽管这项分析的目的在于测量直接影响,但由于数据可获性问题,我们使用了五种社会经济影响量度和一种气候灾害量度(即干旱)。我们选取的105个国家代表着世界90%的人口和90%的全球GDP。尽管我们试图将广泛的风险和尽可能多的国家纳入研究,但由于数据(如森林火灾和风暴潮等数据)所限,我们无法涵盖所有情况。

本报告未涉及的内容

鉴于本报告旨在理解气候变化带来的有形风险和破坏作用，因此有许多方面我们并未涉及。

- 我们并未评估不同气候模型的效能，但我们采用了气候科学文献中的最佳实践方法，并对关键不确定性作了强调。
- 我们并未对可能从气候变化中受益的具体地域和行业进行研究，比如加拿大部分地区农业收成改善的潜力等，尽管我们在地理空间分析中对一些此等利好进行了量化。
- 当有形风险发生后，很可能会有适应性举措的介入，并影响有形风险的程度。在每一个案例中，我们均讨论了适应性应对之道。但我们并未对适应性举措展开详细的自下而上的成本效益分析，而是基于现有文献和专家访谈来研究可采取哪些最重要的适应性举措及其典型成本、效果和实施过程中的挑战，同时，我们也预估了全球采取适应性举措所需的成本支出。
- 我们认识到脱碳进程对于气候风险管理的重要作用，但关于脱碳进程的的详细讨论并不在本报告研究范围之内。
- 尽管我们试图以定性方式（或根据其可能性，以定量方式），将气候变化导致的连锁反应从直接有形影响中分离出来，但鉴于社会经济系统的复杂性，我们认识到这一做法存在局限。可能存在一些连锁效应没有体现在我们的研究中。鉴于此，我们并未尝试对受气候变化风险影响的全球GDP进行量化（详细讨论请参见本报告全文版第4章附文4）。
- 我们并不提供预测或准确预报，我们的重点是评估风险。气候是对一定时间内的天气类型进行统计总结，因此其自身存在一定问题。我们遵循了标准实践思路，因此我们的发现可限定为“统计学预期值”，即一系列高低不等气候效应在统计学上预期的平均影响¹。

¹ 我们也分别以年度和累计方式报告了“截尾风险”值，截尾风险即诸如百年一遇风暴这种可能性较低但后果严重的事件。例如，一种洪灾每年发生的概率为1%（常被描述为百年一遇的洪灾）。在房屋产权整个期限内，比如30年，该房屋遭受至少一次百年一遇洪灾的累计概率为26%。

我们如何评估不确定性

理解气候变化所引起的有形风险的主要挑战之一是其所涉及的一系列不确定性。风险由一连串具有因果关系的事件引起。温室气体排放会影响全球和区域气候变化，它们反过来会影响特定气候灾害（如干旱和海平面上升）所引起的风险，而这些灾害风险会导致有形损失的风险（如农作物短缺和基础设施损坏），且最终会引起金融风险。和其他研究类似，我们的分析是依据沿循因果链条所作出的各种假设而进行的：即排放路径和适应措施、全球和区域气候模型、有形损失函数以及连锁效应。沿循因果链条推演越远，固有的模型不确定性就越大。

从风险管理的视角来看，我们为决策者们提供了一种研究方法，供其展望未来三十年气候变化的固有风险（即无任何适应和减缓应对行动情形下的风险）。另外，我们在案例分析中也就如何通过适应性举措来降低风险作了阐述，并在允许范围内尝试估算了采取这些适应性举措的成本。我们认为，这种方法能够帮助利益相关方理解气候变化影响的潜在程度及所需采取的应对之道。

主要的不确定性包括排放路径和气候变暖的速度、气候模型的精确性和自然界的变化、直接和间接的社会经济影响程度和社会经济领域的应对措施等。通过评估这些不确定性，我们的研究方法对固有风险的估计相对保守，这是因为不确定因素使对危害预测更倾向“更糟”的后果，此外，对由直接有形风险所引起的诸多潜在连锁效应进行建模分析也存在一定的挑战¹。

排放路径和全球变暖速度

如前文所述，我们选择关注RCP8.5情景，因为它所描绘的高排放情景可使我们在无进一步脱碳举措的情形下评估有形风险。在此情景下，科学研究显示，到2050年，全球平均温度比工业化之前的水平高出2摄氏度。但是，减排举措会将这一预测的结果，包括危害和影响，延迟到2050年之后。例如，RCP8.5情景下，全球平均气温预计到2050年会上升2.3摄氏度，而在RCP4.5情景下，预计上升1.8摄氏度。在RCP4.5情景下，到2080年，全球平均气温才将上升2摄氏度。

气候模型的准确性和自然界的變化

我们所采用的气候科学理论为我们提供了充分且强有力的、时间跨度达到30年的研究成果。为降低任何特定气候模型的不确定性，我们使用了一系列气候模型中的平均或中间值预测（取决于建模中的特定变量），这是气候文献研究中的通用做法。我们也注意到，气候模型对于全球气温上升的不确定性分析更倾向于“更糟”的结果，也就是说，不同气候模型的预测更倾向于认为全球温度会更暖更高，而非更冷更低。此外，本报告使用的气候模型剔除了一些潜在的重要的生物反应，例如永久冻土融化所产生的温室气体排放，其也会加速全球变暖。

¹ 请参见Naomi Oreskes和Nicholas Stern的《气候变化将使我们付出比预想更多的代价》，纽约时报，2019年10月23日。

为将全球气候模型应用到区域分析，我们沿用了气候文献中所使用的方法²。其他与有形变化相关的不确定性是由自然机制而非人类因素造成的变化。这种自然气候变化，主要源自常年累月的海洋循环或大气循环的变化（如厄尔尼诺或拉尼娜现象等），可短暂影响全球或区域气温、降水和其他气候变化等。这些自然的变化引出了新的不确定性，即危害会如何演化发展，因为这些变化在短期内使得气候变化在统计意义上呈现出加速或延迟的迹象³。这种不确定性在未来十年将尤为重要，在这段时间内，相对于由自然变化所导致的全球变暖加速或减缓，全球整体气候变化的程度可能相对较弱。

直接和间接社会经济影响

我们在对某一有形气候变化所引起的社会经济影响进行分析时已考虑到了这些不确定性，并做出了相对保守的估计。对于直接影响，我们采用了公开可用的脆弱性评估，但它们可能无法精确地反映某一具体资产或地点的脆弱性。对于间接影响，鉴于社会经济系统其本身的复杂性，我们意识到本研究

并未完全涵盖气候变化及连锁效应所带来的影响。在多数案例分析中，我们或是以定性的方式来分析连锁效应，或是采用了实证估计的方法。这可能会使得我们案例分析中的气候变化固有风险所引起的直接影响被低估，比如胡志明市洪灾的连锁效应，或佛罗里达州房地产金融贬值的可能性。但是，这对我们对105个国家所做的地理空间分析影响不大，因为我们在这一部分讨论的是气候变化的直接影响，并采用了公开可用的区域或国家层面的脆弱性评估结果。

社会经济方面的应对

所暴露出的风险的数量也取决于对风险的应对措施。诸如加固实体基础设施、重新安置人员和资产以及确保后备能力等适应措施可帮助人民应对气候危，降低风险。我们遵循的方法是，首先评估固有风险，而后考量其潜在的应对措施。固有风险或干预前风险是指，未采取任何措施降低风险可能性或严重性之前的风险。我们并未对采取应对措施进行详细的自下而上的成本效益分析，但基于现有文献和专家访谈，

我们研究了每一个案例中最重要的应对措施是哪些、其指导成本是多少、效果如何以及实施起来有哪些挑战等，并且估算了全球采取应对措施的所需成本。我们认识到脱碳是气候风险管理手段中十分重要的举措，但脱碳议题不在本研究报告的讨论范围内。

决策者如何将这些不确定性纳入管理选项将取决于他们的风险偏好和整体风险管理手段。有的人希望了解最有可能的会发生的结果（即我们通常认为的那样），也有的人可能会希望了解更糟或最遭的情况。鉴于前文所提到的诸多复杂性，我们认识到这个重要领域需要更多的研究。然而，我们认为，尽管对于气候变化影响的估计存在诸多不确定性，但是科学和社会经济学分析为决策者提供参与意见是有可能的。关于主要不确定性以及我们如何寻求解决它们的深度讨论请参见本报告全文版第1章。

² 参见技术附录。

³ Kyle L. Swanson, George Sugihara和Anastasios A. Tsonis, 《长期自然变异和20世纪的气候变化》，美国国家科学院院刊，2009年9月，Vol.106，第38期。

我们的研究表明，气候变化已经引起各种风险，而未来这些风险也将越来越多。我们的案例分析重点指出了这些风险的性质，以及利益相关方应如何评估和管控风险。我们提出有形气候风险有七大特征：

- **不断增加。**在我们的九个案例中，到2030年，有形气候风险程度都将增加，且到2050年，风险将进一步增加。在这些案例中，我们发现，到2050年，与目前情况相比，气候风险对社会经济造成的影响会激增约2倍至20倍不等。我们的全球国别分析显示，虽然个别国家或许会受益于气候变化（如加拿大、俄罗斯和北欧部分地区农业收成提升），但有形气候风险在全球范围内整体呈现增长趋势。
- **具有空间性。**气候灾害是本地化的灾害。因此，对有形气候风险带来的直接影响的分析应在特定地理区位内进行。不同国家间和国家的各个地区间均存在差异。
- **非稳定的。**随着地球持续变暖，有形气候风险也在不断变化，而非一成不变。气候模型和基础物理学预测，由于地球物理系统的惯性，未来十年地球持续变暖的趋势已基本“锁定”，而且由于减排方面的社会科技惯性，气温在接下来的几十年里很有可能会继续上升⁴。气候科学家们认为，除非全球温室气体实现零排放，全球变暖及风险增加的趋势将持续下去。此外，鉴于地球系统的热惯性，即便是实现零排放后，全球变暖的趋势也可能再持续一段时间⁵。因此，对于这一风险的管控不能以转向“新常态”来看待，而是要做好应对持续变化的准备。过去，金融市场、企业、政府或个人在多数情况下均不需要应对在不断变化的环境中生存的问题，因此，基于过往经验的而做的决策或将不再可靠。例如，某些地方基础设施设计的工程参数将须重新考虑，而某些地理条件下的房屋业主可能需要调整长期按揭贷款的假设条件。
- **非线性的。**当危害达到阈值，社会经济影响可能以非线性方式快速发展，超出阈值后，生理系统、人造系统或生态系统的运转均会被削弱、崩溃并停止运转。这是因为，这些系统都是经过长年累月、为了适应历史气候而逐渐进化发展而来。比如，为抵抗一定程度洪灾而设计的建筑，或是在特定气候区域种植的作物。尽管从理论上讲，一些系统可以快速进行适应性调整（例如改善一座工厂抵抗洪灾的能力），但是当前气候变暖的速度（至少比过去6500万年史前气候记录任何已发现的情况快一个数量级）意味着，诸如农作物等的自然系统是无法以足够快的速度实现进化，从而跟上气候变化的节奏的⁶。值得注意的是，即使仅仅是稍微超出阈值一些，其带来的影响都将是巨大的。众多风险因素（如暴露在多重灾害中，其他薄弱环节诸如是否有能力获取资金以进行适应性调整，或高度依赖某一暴露在气候灾害中的行业等）出现在单一地理环境中（我们的案例中有这样的情况），是潜在非线性特征的又一促因。
- **系统性的。**尽管气候变化带来的直接影响是本地性的，但通过彼此关联的社会经济体系及金融体系，这些影响或将触发跨地区跨行业的连锁反应。例如，佛罗里达州的洪灾不仅会损坏房屋，也会提高保险成本，影响受灾的不动产价值，继而减少不动产税收。同有形体系一样，许多经济和金融体系的设计模式使其在气候变化面前显得十分脆弱。比如，像供应链或粮食生产系统等全球生产系统，目前这些系统的设计都倾向于优化效率而非恢复力，这样使得它们在重要生产基地遭受严重危害时更容易出现问题。保险系统的设计使不动产保险每年都要重新计价，但是，房屋业主在其不动产投资方面往往放眼于更为长远的时期，比如30年或更久。由于这种期限的不匹配，房屋业主可能面临更高成本的风险，表现为保费上

⁴ H. Damon Matthews等，《累计排放、全球碳预算和气候影响减缓目标实施的关键》，环境研究通讯，2018年1月，Vol.13，第1期。

⁵ H. Damon Matthews等，《累计排放、全球碳预算和气候影响减缓目标实施的关键》，环境研究通讯，2018年1月，Vol.13，第1期；H. Damon Matthews和Ken Caldeira，《稳定气候要求几乎零排放》，地球物理研究通讯，2008年2月，Vol.35；Myles Allen等，《迈向万吨吨排放的变暖》，《自然》，2009年4月，Vol.485。

⁶ Noah S. Diffenbaugh和Christopher B. Field，《生态严峻的陆地气候环境下的变化》，《科学》，2013年8月，Vol.341，第6145期；Seth D. Burgess, Samuel Bowring和Shu-zhong Shen，《地球最严重灭绝的高精度时间线》，美国国家科学院院刊，2014年3月，Vol.111，第9期。

涨，或是影响到是否能获取保险。类似的，许多地方的债务水平也接近阈值水平，因此，在考虑连锁反应时，也应关注市政债券等流动性相对较弱的金融工具。

- **具有回归性的。**在我们所有的案例中，那些最贫困的社区和人口恰恰是最脆弱的。在我们所研究的所有105个国家中，我们发现，到2030年，影响社会经济的六大指标中至少有一项会增加。新兴经济体在宜居和宜业性方面所受的潜在影响最大。较为贫困国家通常更依赖户外工作和自然资本，且可用以迅速应对气候灾害的金融手段更少。气候变化可为特定地区带来好处，比如将旅游业从南欧转移到北欧。
- **准备不足的。**尽管企业和社区已经在采取措施适应、降低气候变化带来的风险，但适应的节奏和幅度可能需要大大增强，以更好管控日益严峻的有形气候风险。适应举措可能会导致成本增加，甚至须决策者作出艰难抉择，包括是否应通过投资增强资产的牢固性、或是重新安置人员和资产等。因此，这需要不同利益相关者之间的协调与配合。

气候变化在地区层面已经产生了重大有形影响，这些影响可能会扩大、增强甚至成倍增长

地球的气候在不断变化，而且在未来十年的时间里，进一步的变化将无可避免，各种可能的情况或都将发生。自19世纪80年代以来，地球平均气温已经上升了1.1摄氏度⁷。卫星测量和全球数十万独立气象站的观测结果均已证实了这一点。地球表面冰盖的快速融化也提供了进一步的证据。相比古气候学对过去6500万年的研究，当前气候变暖的速度至少要快一个数量级⁸。

平均状况掩盖了极端情形下更为剧烈的变化。用统计学术语来讲，气温分布正向右侧发展（变暖）而且在扩大。这意味着许多地方白天的平均温度在上升（“平均均值变化”），而且极度炎热天气的概率更大（“肥尾效应”）。例如，北半球每一万平方公里观测到的夏季均温分布演变显示，夏季气温均值随着时间推移有所升高（见图E2）。北半球经历过明显更炎热（给定年份较高均温在两个标准差内）夏季的区域（以平方公里计算）百分比上升了15倍以上，从不足1%变为15%。北半球经历过极其炎热（给定年份较高均温在三个标准差内）夏季的区域（以平方公里计算）比例从零上升为0.5个百分点。

⁷ 美国国家航空航天局戈达德空间研究所表面温度分析(NASA GISTEMP) (2019)和Nathan J. L. Lenssen等，《戈达德空间研究所表面温度不确定性模型的改进》，《地球物理学研究期刊:大气》，2019年6月，Vol.124，第12期。

⁸ Noah S. Diffenbaugh和Christopher B. Field，《生态严峻的陆地气候环境下的变化》，《科学》，2013年8月，Vol.341，No.6145；Seth D. Burgess, Samuel Bowring和Shu-zhong Shen，《地球最严重灭绝的高精度时间线》，美国国家科学院院刊，2014年3月，Vol.111，第9期。

均值也掩盖了巨大的地域空间差异。在地球全球气候变暖1.1摄氏度的同一时期，非洲南部区域和北极圈的平均气温分别上升了0.2至0.5摄氏度和4至4.3摄氏度⁹。总体上，相比全球1.1摄氏度的均温上升，地表气温的上升程度更高，而热容更高的海洋变暖程度要低一些。

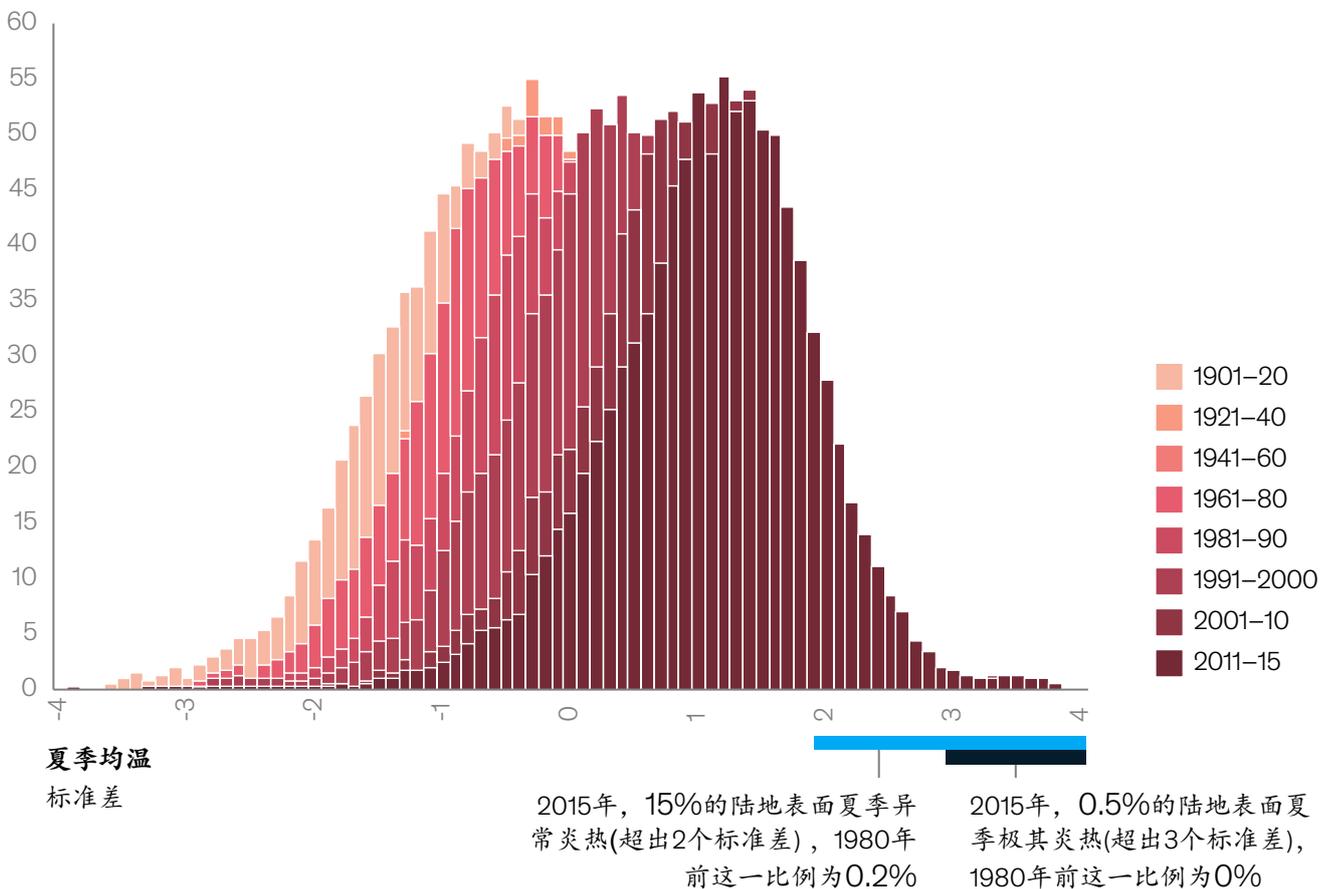
展望未来，至少接下来的十年里，全球进一步变暖的趋势无可避免，且各种情况均可能发生。过去两个世纪里，气温的快速上升主要归因于人为原因造成的大气中二氧化碳(CO₂)和包括甲烷和一氧化二氮在内的其他温室气体的含量上升¹⁰。自18世纪中叶工业革命开始，人类迄今已向大气中排放了约2.5万亿吨二氧化碳，将大气二氧化碳浓度从约280ppmv(每百万体积中所占的体积比)提高到415ppmv，每年提高2ppmv以上。

图E2

平均值的细微变化之下隐含着极端数据的巨大变化

北半球本地气温出现异常的频率

观测站数量，单位千



注：由于1980年以前人为温室气体排放的信号并不明显，上文图表中早期分布出现交叉且不易看出来。北半球地表划分为100km X 100km大小的网格。标准差是基于覆盖所有网格和年限全样本数据的测量。

来源：Sippel等，2015年；麦肯锡全球研究院分析，牛津大学环境变化学院提供了建议。

⁹ 戈达德空间研究所(GISS), 戈达德空间研究所表面温度再分析数据集(2019年)。

¹⁰ 自1850年以来观测到的气候变暖情形98%至100%归因于大气中温室气体浓度的增加，约75%直接归因于二氧化碳。其他变暖情形由甲烷和黑碳气等短寿命温室气体引起，由于它们消散在大气中，它们与排放速度(或流速)形成函数关系使地球变暖，而非作为累积排放量。Karsten Haustein等，《实时全球变暖指数》，《自然-科学报告》，2017年11月13日；Richard J. Millar和Pierre Friedlingstein,《利用历史记录评估累积排放的瞬时气候反应》，英国皇家学会哲学会刊，2018年5月，Vol.376, 第2119期。

二氧化碳在大气中会存留数百年¹¹。因此，人类若无大规模行动从大气中清除二氧化碳，几乎所有出现的变暖效应将永久存在。¹²此外，由于海洋强大的热惯性，无论排放路径如何改变，更多变暖效应可能已经在接下来的十年里基本锁定。2030年之后，变暖将持续至实现净零排放后至少十年。¹³

随着全球均温上升，气候模型显示全球气候灾害在增加。按照气候科学，进一步的变暖将继续提升世界范围内急性气候灾害的频率和严重性，比如致命热浪、极端降水和飓风等，而且也将进一步加剧诸如干旱、高温胁迫和海平面上升等慢性灾害。¹⁴在此，我们描述了WHRC分析的气候模型预测的结果，也描述了关于RCP8.5情景下系列危害的公开可用数据（图E3和图E4）：

- **平均气温升高。**¹⁵预计全球平均气温在接下来三十年里会升高，在RCP8.5情景下，到2050年，较之于工业化之前时期，平均气温将上升2.3摄氏度（左右浮动+0.5或-0.3摄氏度）。取决于具体地点，到2050年，本地平均气温或将比当前温度上升1.5至5.0摄氏度。预计北极圈变暖比其他地方更快。
- **极端降水。**¹⁶世界上部分地区的极端降水情形（此处定义为1950至1981年间50年一遇的降水，即每年概率为2%）将变得更为常见。一些地区极端降水的概率预计将较1950至1981年期间翻四倍以上，其中包括中国、中非和北美东海岸部分地区。
- **飓风。**¹⁷尽管气候变化看起来不大可能改变热带飓风的频率，气候模型和基础物理理论预测这些风暴的平均强度将会增大（因而强烈飓风的频率将增加）。强烈飓风降水的概率，即1981至2000年间每年1%的概率，预计到2040年在美国东南部部分地区将翻番，而在东南亚部分地区将增加到三倍。上述地区均为人口稠密区域，而且经济活动规模巨大，与全球联系密切。
- **干旱。**¹⁸随着地球变暖，预计到2050年，世界上部分地区的干旱在空间范围和时长方面将增加到80%以上，尤其是在地中海、南部非洲、中南美洲的部分地区。

¹¹ David Archer, 《化石燃料产生的二氧化碳在地质年代的命运》，地球物理研究期刊, 2005年3月, Vol.110。

¹² H. Damon Matthews等, 《累计排放、全球碳预算和气候影响减缓目标实施的关键》，环境研究通讯, 2018年1月, Vol.13, 第1期; David Archer, 《化石燃料产生的二氧化碳在地质年代的命运》，地球物理研究期刊, 2005年3月, Vol.110; H. Damon Matthews和Susan Solomon, 《不可逆转并非不可避免》，《科学》, 2013年4月, Vol.340, 第6131期。

¹³ H. Damon Matthews等, 《累计排放、全球碳预算和气候影响减缓目标实施的关键》，环境研究通讯, 2018年1月, Vol.13, 第1期; H. Damon Matthews和Ken Caldeira, 《稳定气候要求几乎零排放》，地球物理研究通讯, 2008年2月, Vol.35; Myles Allen等, 《迈向万亿吨排放的变暖》，《自然》, 2009年4月, Vol.485。

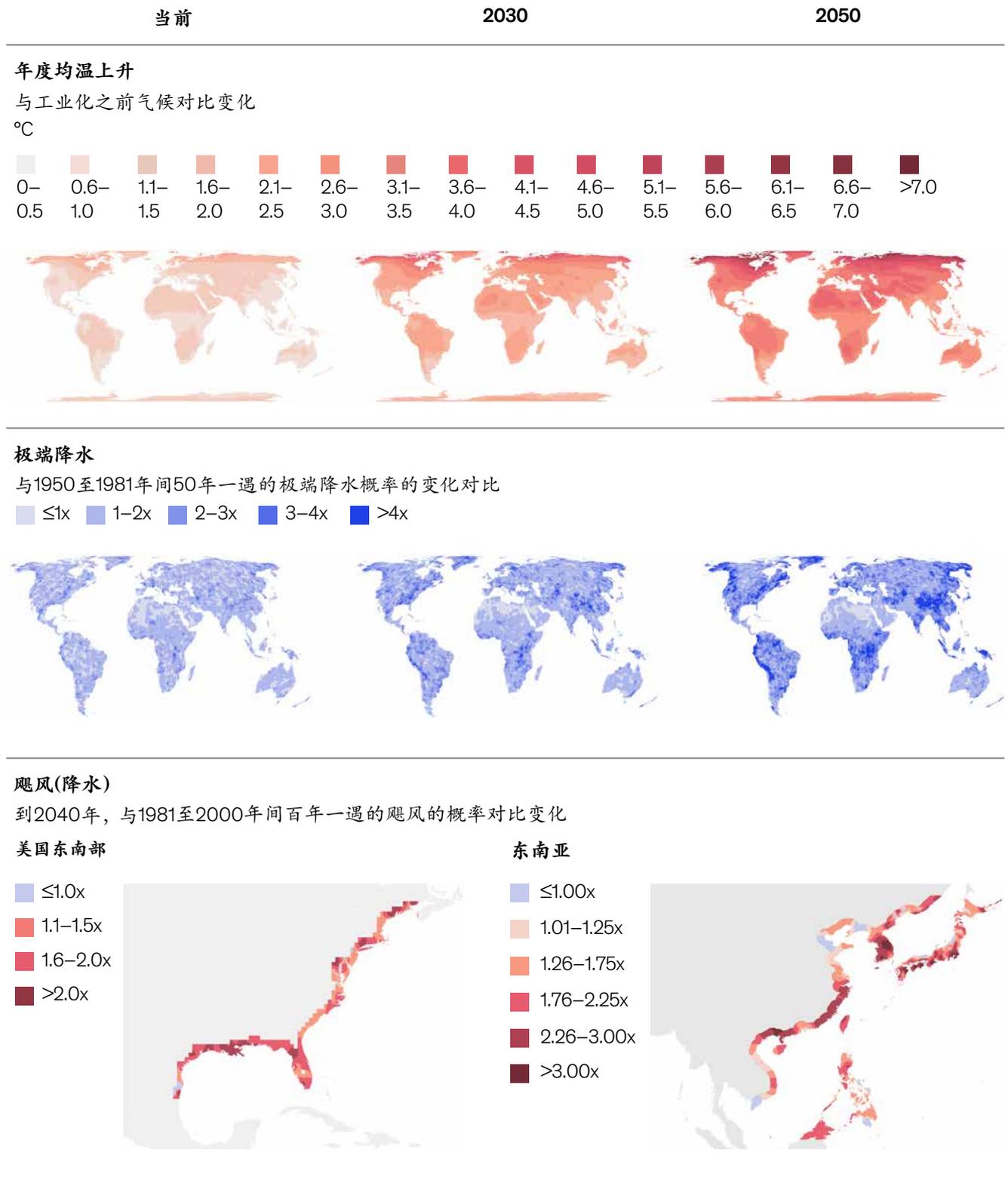
¹⁴ 这份气候灾害清单只是一个子目录，完整清单请见完整报告。这份清单只是例证用的，并不穷尽所有内容。由于数据和建模限制，我们未涵盖以下灾害：森林火灾频率和严重性的增加；病虫害生物和生态影响的增加；飓风风速和风暴潮严重性的增加；以及海平面上升引起的更为频繁和严重的沿海洪灾。

¹⁵ 摘自荷兰皇家气象研究院(KNMI)的Climate Explorer (2019年)，采用了耦合模型五比较项目第5阶段(CMIP5)整个模型集的平均值。

¹⁶ 由伍兹霍尔研究中心(WHRC)使用20个CMIP5全球气候模型(GCMs)中间值预测建模。为了精确估算极端降水事件的可能性，使用了称作统计引导的程序。由于这些预测并未估算绝对值，而是时期内的变化，未进行偏差修正。

¹⁷ 由伍兹霍尔研究中心(WHRC)使用麻省理工学院(MIT)Kerry Emanuel的耦合飓风强度预测系统(CHIPS)建模，2019年。飓风建模可用的时期为1981至2000年的对比基线和2031至2050年的未来时期。这些是世界两大主要飓风区域的结果，包括印度次大陆在内的其他区域未建模。

¹⁸ 由伍兹霍尔研究中心(WHRC)使用20个CMIP5全球气候模型(GCMs)中间值预测建模，使用了自校正的帕尔默旱度指数(PDSI)。预测值被校准并解释了大气中二氧化碳浓度升高的原因。



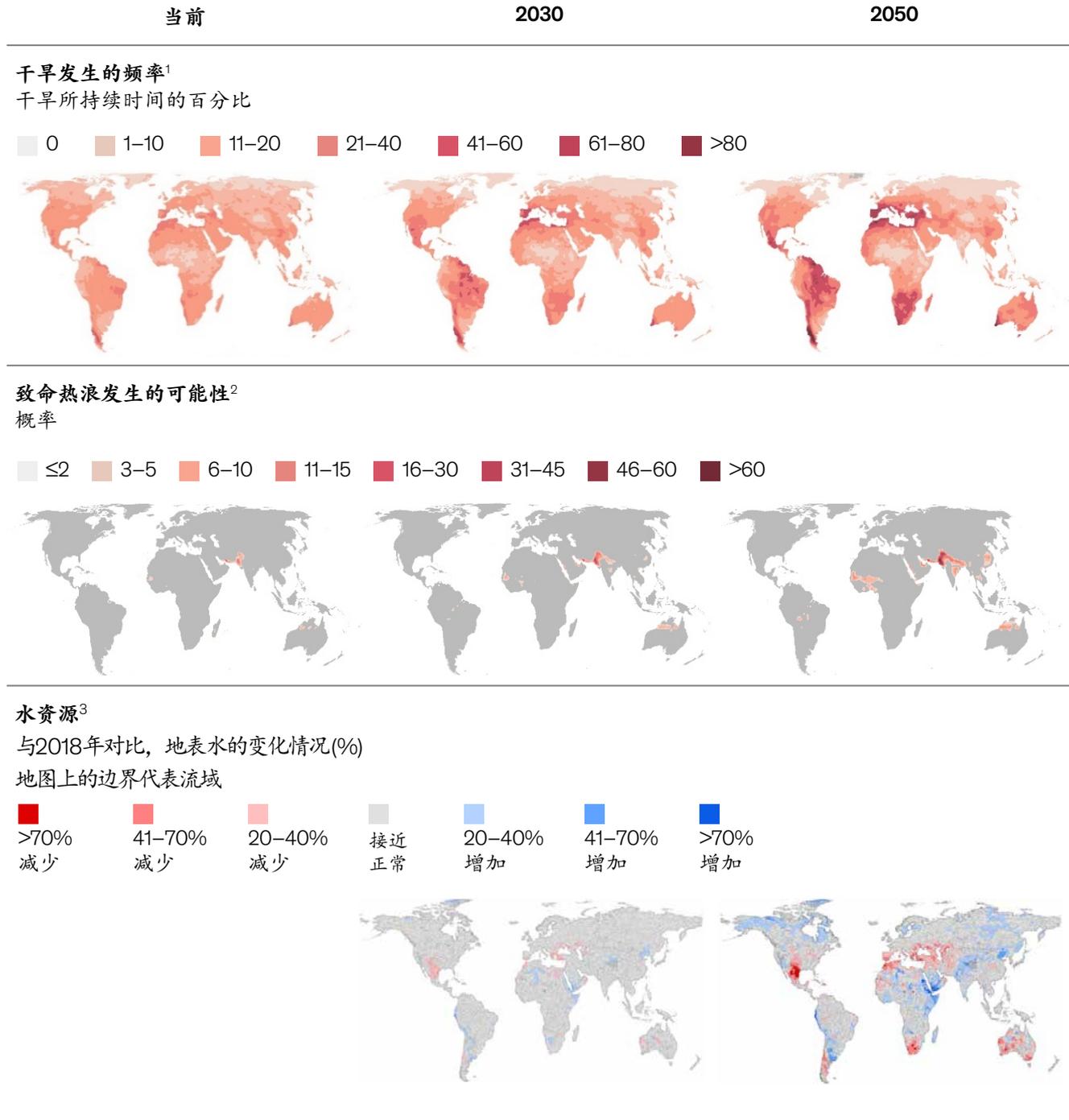
注：请参见技术附录了解我们为何选取RCP8.5情景。所有预测基于RCP8.5情景，耦合模型互比较项目第5阶段(CMIP5)多个模型集。炎热数据偏差已校准。我们遵循了标准实践，特别将现在和未来(2030年和2050年)状况定义为数十年间平均气候表现。当前的气候状况定义为1998至2017年间平均状况，2030年状况定义为2021至2040年间平均状况，2050年状况定义为2041至2060年间平均状况。

来源：伍兹霍尔研究中心；世界资源研究所水风险图集(2018年)；世界资源研究所洪灾风险分析；麦肯锡全球研究院分析

图E4

预计世界许多地区的气候灾害将加剧(续)

基于RCP8.5情景



1. 测量时采用三个月滚动平均值。干旱定义为滚动三个月期间平均帕尔默干旱指数(PDSI)<-2。PDSI是一个基于气温和降水的干旱指数，计算时以历史均值的偏差为基础。数值一般介于+4(极度湿润)和-4(极度干旱)之间。

2. 致命热浪定义为连续三日每日最高湿球温度高于34℃，而湿球温度是指，在恒压下一团空气可通过蒸发冷却的最低温度。选择这一阈值是因为，通常定义的人类可生存热度阈值为35℃湿球温度，而带有强烈城市热岛效应的大城市可使34℃湿球温度的热浪超过35℃阈值。在这种条件下，阴凉处水分保持良好且健康的人体在曝晒四五个小时后，躯干温度将上升到致命水平。这些预测受制于未来大气气溶胶表现和城市热岛或冷岛效应相关的不确定性。

注：请参见技术附录了解我们为何选取RCP8.5情景。所有预测基于RCP8.5情景，耦合模型互比较项目第5阶段(CMIP5)多个模型集。炎热数据偏差已校准。我们遵循了标准实践，特别将现在和未来(2030年和2050年)状况定义为数十年间平均气候表现。当前的气候状况定义为1998至2017年间平均状况，2030年状况定义为2021至2040年间平均状况，2050年状况定义为2041至2060年间平均状况。

来源：伍兹霍尔研究中心；世界资源研究所水风险图集(2018年)；世界资源研究所洪灾风险分析；麦肯锡全球研究院分析

- **致命热浪。**¹⁹致命热浪定义为三日间日均最高湿球温度超出阴凉条件下健康人体可承受阈值的情形。²⁰在RCP8.5情景下,到2050年,印度和巴基斯坦部分地区的城市地带,将成为世界上最早经历超出健康人体承受阈值热浪的地方,而小部分地区每年经历这种热浪的概率预计将达到60%。
- **水资源。**²¹若雨型、蒸发、融雪时间和其他因素发生变化,可再生淡水资源将受到影响。世界上部分地区,如南非和澳大利亚,预计将出现水资源减少的情况,而其他地区,包括埃塞俄比亚和南美洲部分地区,预计水资源将会增加。到2050年,一些地区,如地中海地区、美国和墨西哥的部分地区,年均地表水资源预计将减少70%以上。水资源减少这么多将导致或加剧长期缺水,并升级不同领域对资源的竞争。

由于超出系统阈值及连锁效应的产生,气候变化导致的社会经济影响可能将是非线性的

气候变化影响着人类生活和我们经济活动赖以存在的生产要素,进而影响到财富的保值和增值。我们测算气候变化的影响时,要看其在多大程度上会干扰或破坏资本(如人力、实物资本和自然资本等)储备,以及这种干扰或破坏对社会经济所造成的影响。以GDP测算的对经济活动的影响是对这些资本储备所造成直接影响的结果。

气候变化已经对社会经济造成了可测量的影响。在世界范围内,我们找到了这些影响的例子及其与气候变化的联系。我们将这些影响在一个包含五大系统的框架进行了分类(图E5)。如附件E1中所提到的那样,这个影响框架,是我们捕捉有形气候灾害所造成系列社会经济影响的最佳尝试。

¹⁹ 由伍兹霍尔研究中心(WHRC)使用20个CMIP5全球气候模型(GCMs)对每日最高地表温度和每日平均相对湿度中间值预测建模。已使用欧洲气象中心资料(ERA-interim)数据集对模型进行了独立偏差校准。

²⁰ 致命热浪定义为连续三日每日最高湿球温度高于34摄氏度,而湿球温度是指,在恒压下一团空气可通过蒸发冷却的最低温度。选择这一阈值是因为,通常定义的人类可生存热浪阈值为35℃湿球温度,而带有强烈城市热岛效应的大城市可使34℃湿球温度的热浪超过35℃阈值。在这个温度下,一个待在阴凉处的健康人可在户外存活四五个小时。这些预测受制于未来大气气溶胶表现和城市热岛或冷岛效应相关的不确定性。如果某些地区致命热浪非零概率在针对现在的模型中出现,这种零值设置是为了说明CMIP5模型中这些地区观测到的高值大气气溶胶活动影响代表性很差。高值大气气溶胶活动产生的冷却效应掩盖了风险。详情请参照印度案例和我们的技术附录。分析基于RCP8.5情景。

²¹ 摘自世界资源研究所水风险图集(2018年),依据6个耦合模型互比较计划(CMIP5)模型。这一原始数据集对应的时间段为分别以2020年、2030年和2040年为中心的20年。1998-2017年和2041-2060年间的数据是根据基础数据提供的60年趋势线性推测出来的。

图E5

气候变化的社会经济影响已逐渐显现，并正在影响所有地区



受影响的 经济系统	直接风险地区	社会经济影响	气候变化所导致 的危害的程度
宜居和 宜业性	1 2003 欧洲热浪	损失150亿美元	2倍
	2 2010 俄罗斯热浪	约5.5万人死亡	3倍
	3 2013-14 澳大利亚热浪	生产损失约60亿美元	最多3倍
	4 2017 东非干旱	索马里约80万人流离失所	2倍
	5 2019 欧洲热浪	法国约1500人死亡	对法国影响约达到10倍
粮食系统	6 2015 南部非洲干旱	农业减产15%	3倍
	7 海洋变暖	北大西洋渔获减少达35%	全球海洋表面温度上升了0.7°C
实物资产	8 2012 飓风桑迪	受损价值620亿美元	3倍
	9 2016 加拿大麦克默里大火	受损价值100亿美元,150万英亩森林遭焚	1.5-6倍
	10 2017 飓风哈维	受损价值1250亿美元	强度增加8%-20%
基础设施 服务	11 2017 中国洪灾	包括严重基建破坏损害在内的直接经济损失达35.5亿美元	2倍
自然资本	12 2012 北极海冰现30年以来最低值	反射作用减弱，变暖加剧	70%至95%归因于人为引起的气候变化
	13 喜马拉雅冰川消融	超2.4亿人水供应可能减少	过去20年约70%全球冰川大量消失归因于人为引起的气候变化

来源：R. Garcia-Herrera等，2010年；K. Zander等，2015年；Yin Sun等，2019年；Parkinson, Claire L等，2013年；Kirchmeier-Young, Megan C.等，2017年；Philip, Sjoukje等，2018年；Funk, Chris等，2019年；网站ametsoc.net；Bellprat等，2015年；网站cbc.ca；网站coast.noaa.gov；网站dosomething.org；网站eea.europa.eu；Free等，2019年；Genner等，2017年；网站iopscience.iop.org；网站jstage.jst.go.jp；Lin等，2016年；网站livescience.com；Marzeion等，2014年；Perkins等，2014年；网站preventionweb.net；网站reliefweb.int；网站reuters.com；Peterson等，2004；网站theatlantic.com；网站theguardian.com；van Oldenburgh，2017年；网站water.ox.ac.uk；Wester等，2019年；西部与荷兰中央统计局；网站worldweatherattribution.org；麦肯锡全球研究院分析

个别气候灾害可能影响多个系统。例如，极端炎热可通过致命热浪和无法工作的白昼时长来影响社区，它甚至会改变粮食系统、扰乱基础设施服务，并使诸如冰川等自然资源濒危。极端降水和洪灾可毁坏实物资产和基础设施，同时会使沿海和沿河社区面临危险。飓风可影响全球供应链，而生物群落可影响生态系统服务。我们框架中的五大系统为：

- **宜居和宜业性。**热浪等自然灾害将影响人们的户外工作能力，极端情形下，人员生命也会面临风险。高温会降低劳动生产率，因为工人为了避免中暑必须不时停工休息，而且身体也会本能地节省气力以防虚脱。气温升高也会移动疾病媒介，进而影响人类健康。
- **粮食系统。**干旱、洪水或极端气温将对土地和作物产生影响，进而干扰粮食生产。气候变化引起产量波动的同时，也会改善或破坏特定地区的粮食系统。有时将提高作物收成，有时却会突破某个阈值，使作物颗粒无收。
- **实物资产。**极端降水、潮汐性洪水、森林火灾等自然灾害可能损毁建筑物等实物资产，甚至会对整个资产网络造成严重冲击，例如城市中央商务区。
- **基础设施服务。**基础设施属于一种特殊的实物资产，其功能可能会在使用时遭到毁坏或干扰，进而破坏其服务能力或者推高其服务成本。举例而言，极端高温可能减弱电力设施的生产力；高温、大风、洪灾等自然灾害可能干扰基础设施服务，在依赖这些资产的相关领域中引发连锁效应。
- **自然资本。**气候变化正在改变自然生态系统、毁坏某些对人类社会具有重要意义的自然资本，包括冰川、森林、海洋生态系统，从而危及人类的栖息地和经济活动。此类影响很难通过建模来衡量，但其发展可能是非线性的，并且在某些情况下与气温上升一样不可逆（如冰川融化）。某些影响可能由人类活动失当而引发，例如森林大火和水资源短缺，但气候变化会放大其影响范围和程度。

我们研究的九个分属不同地理区域和行业的有形气候风险的案例，包括其直接影响和连锁效应以及适应成本和策略等，可协助例证不同有形气候灾害对人类、实体系统或自然系统造成的特定社会经济影响。我们的案例涵盖了不同地理区域的全部五大系统，并且包含了在同一地点偶尔出现的多种气候灾害。总体而言，我们的案例凸显了气候变化下的广泛脆弱性。

我们着重研究了气候变化对印度和地中海地区生活和工作适宜性的影响；通过考量全球产粮区和非洲农业来研究对粮食系统的干扰；实物资产毁坏在佛罗里达州住宅不动产和半导体及重稀土金属供应链方面的表现；五种类型基础设施服务破坏，尤其是洪灾对城镇区域的威胁；以及通过影响冰川、海洋和森林对自然资本的破坏等。

我们的案例研究显示,有形气候风险在增加,而且通常是以非线性方式在增加。有形气候影响在不同地区之间蔓延,尽管危害在地区内部发展得更严重。

为了评估每一案例中直接有形气候风险的程度,我们考量了灾害的严重性和可能性;人员、资产或经济活动在灾害中的暴露程度;以及系统面临风险的脆弱程度。我们调查了自然灾害所造成损失的保险数据后发现,截止目前,大多数情况下,直接影响增大更多是由于在气候灾害中暴露较多,而非气候灾害自身程度加剧造成的。²²未来,气候变化自身可能会发挥更大的作用。随着地球变暖,灾害将变得更为密集和频繁。由于生理、人造和生态系统因历史气候原因随着时间推移已经演变或优化,若恢复力物理阈值被打破,即使危害强度出现很小的变化,也会造成严重后果。

阈值存在于我们所调查的所有系统中。例如,人体在稳定的约37摄氏度体核体温下正常运转,而高出这个温度后,人体肢体和思维功能就会不可避免地受到减损;玉米收成在20摄氏度以上会严重减产;移动信号塔的建造是为了抵御特定风速,超出这个风速,信号塔就会倒下(图E6)。

一旦超越这些阈值,影响将会是巨大的。例如,到2030年,在RCP8.5情景下,若未采取有效适应性应对措施,我们预计印度有1.6亿至2亿人口将生活在每年遭遇超出健康人体承受阈值的热浪概率为5%的区域(未考虑空调普及因素)。²³

户外劳动生产力预计也将下降,这样就会减少可在户外工作的有效时长(图E7)。截止2017年,在印度,热暴露工作创造了约50%的GDP,推动了约30%的GDP增长,雇佣了约75%的劳动大军,人数达3800万。²⁴我们估计,到2030年,印度平均白昼工作时长损失的增长将致使本国每年2.5%至4.5%的GDP面临风险。

²² 许多研究者已尝试确定每一相关因素在迄今所造成经济损失方面的影响。对诸如洪灾、飓风和森林大火等急性自然灾害所造成的损失的保险记录显示,随着时间推移所受损失按实值计算呈明显上升趋势,分析显示这种情形大多系因暴露增加所致。这是基于将因GDP、财富和危害暴露的增加而产生的真实损失正规化,从而提出暴露增加带来的影响。比如,可参见Roger Pielke,《在可持续发展目标指标下追踪灾害经济成本的发展》,《环境危害》,2019年,Vol.18,第1期。Pielke的研究发现,在将损失数据正规化后,经济影响没有上升趋势,同时自1990年以来,天气或气候损失在GDP中的比例的确下降了。其他研究者发现,在计算了GDP、财富和人口影响后,有小幅上升趋势,这表明气候变化在迄今所造成损失方面发挥着潜在影响。可参见Fabian Barthel和Eric Neumayer,《自然灾害投保损失正规化的趋势分析》,《气候变化》,2012年,Vol.113,第2期;Robert Muir-Wood等,《正规化天气相关灾难损失全球目录趋势追踪》,气候变化和灾难损失研究室,2006年5月;以及Robert Ward和Nicola Ranger,《天气相关事件经济和保险损失趋势:一种新的分析》,气候变化经济与政策中心和慕尼黑再保险公司,2010年11月。例如,Muir-Wood等对1970至2005年的保险行业数据进行分析后发现,在计算了财富变化、人口增长和流动以及通胀因素后,天气相关的灾害损失自1970年代以来每年增加了2%(尽管这些损失在澳大利亚、印度和菲律宾等地区明显下降了)。慕尼黑再保险公司的分析发现,在过去将近30至40年里,在美国和德国天气相关事件保险损失在统计上出现了大幅提升。

²³ 致命热浪定义为连续三日每日最高湿球温度高于34摄氏度。选择这一阈值是因为,通常定义的人类可生存热度阈值为35°C湿球温度,而带有强烈城市热岛效应的大城市可使34°C湿球温度的热浪超过35°C阈值。这些预测受制于未来大气气溶胶表现和城市热岛或冷岛效应相关的不确定性。如果某些地区致命热浪非零概率在针对现在的模型中出现,这种零值设置是为了说明CMIP5模型中这些地区观测到的高值大气气溶胶活动影响代表性很差。高值大气气溶胶活动带来的冷却效应会隐藏风险。详情可参见印度案例。这一分析不包括致命热浪概率低于1%的网格区域,排除了统计意义不大的地区。

²⁴ 暴露领域包括完全处于户外环境的农业、采矿和采石等行业,同时也包括空调普及程度差的室内行业,如制造业、酒店业和交通运输等。印度储备银行,印度经济数据库,网站dbie.rbi.org.in/DBIE/dbie.rbi?site=home。

图E6

若阈值被突破，气候变化所带来的直接影响将变为非线性的

系统	举例	非线性行为
人体	炎热和潮湿影响户外劳动	<p>特定小时内劳动量¹ %</p> <p>湿球黑球温度² °C</p>
实物资产	洪水对典型英国火车站的影响	<p>资产影响³ 百万美元</p> <p>洪水深度 米</p>
	电网 ⁴ 线路过载(如因炎热导致电线下垂)的影响	<p>线路跳闸可能性</p> <p>线路负载占额定容量百分比</p>
自然	气温影响作物收成	<p>玉米生殖生长率 %</p> <p>气温 °C</p>

1. 时效效应：长时间暴露将导致健康急剧恶化。人体暴露在35°C湿球温度下可存活四五个小时。在这段时间内，完成少量工作是可能的，这也是为何工时曲线在35°C湿球黑球温度(WBGT)(在阴凉处大致相当于35°C湿球温度)下并不趋向零值。
 2. 基于阴凉处湿球黑球温度(WBGT)。WBGT被定义为一种表现温度，通常考虑了气温、湿度、风速和可见光和红外线对人体的辐射等因素。
 3. 在全球范围内新建一座火车站的平均成本被视作英国火车站资产影响(或成本)，一旦资产超越毁坏阈值，其残余价值被认定为零。
 4. 急性事件(如洪水、火灾、风暴等)和气候条件长期变化(如炎热)均可影响电网并导致供电中断。
 来源：Dunne等，2013年，根据Foster等人观点有所调整，2018年；Henneaux，2015年；Korres等，2016年；CATDAT历史洪灾事件全球数据库；麦肯锡基础设施基准成本；欧盟委员会联合研究中心损失函数数据库；历史保险数据和专家工程师关于故障阈值的访谈；麦肯锡全球研究院分析

图E7

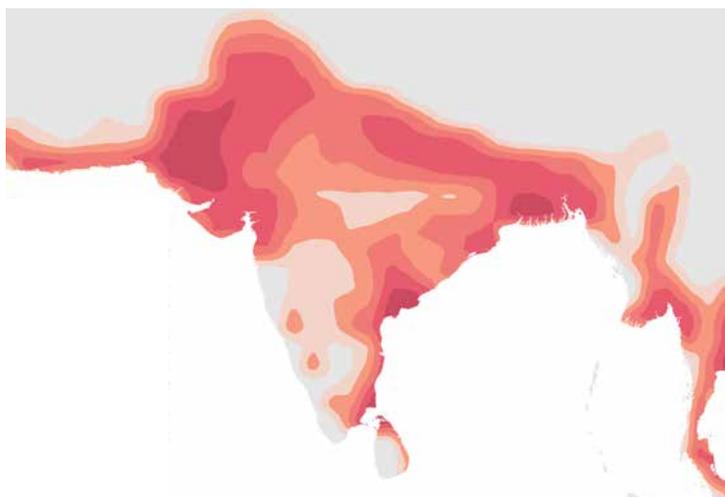
受极端炎热与潮湿影响的区域范围和强度预计均将增加，导致工时损失所占的比重增加

基于RCP8.5情景

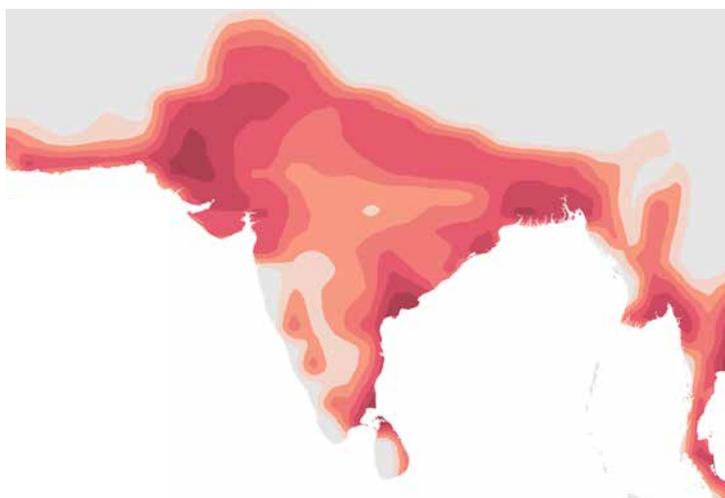
损失工时比重¹
%



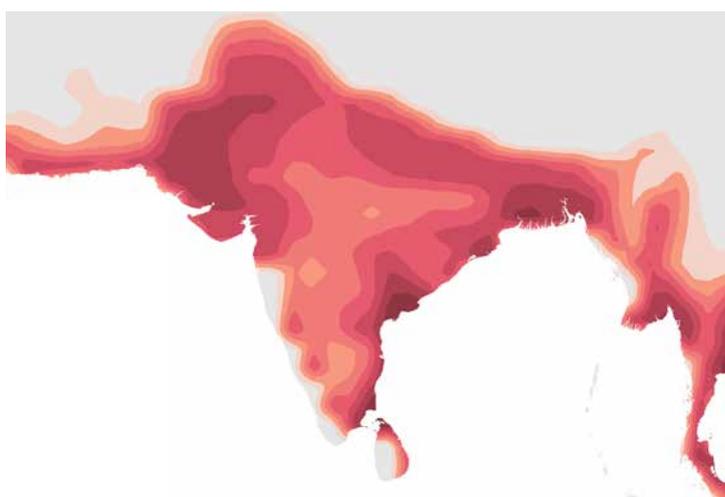
当前



2030



2050



1. 损失工时包括工人生产率损失和歇工，基于反映不同气候模型总体平均值的均匀年份。

注：请参见技术附录了解我们为何选取RCP8.5情景。所有预测基于RCP8.5情景，耦合模型互比较项目第5阶段(CMIP5)多个模型集。

炎热数据偏差已校准。我们遵循标准实践，将现在和未来（2030年和2050年）状况定义为多个十年期平均气候表现。当前的气候状况定义为1998至2017年间平均状况，2030年状况定义为2021至2040年间平均状况，2050年状况定义为2041至2060年间平均状况。

来源：伍兹霍尔研究中心

经济和金融系统均针对特定风险等级以类似方式进行设计和优化，增加的灾害可能意味着这些系统是脆弱的。我们已经注意到，供应链设计通常较恢复力而言更注重效率，倾向于将生产集中于某些地方并保持较低的库存水平。粮食生产也是高度集中的；仅仅五个地区性粮食产区就占据了全球谷物生产的约60%。因此，增强的气候灾害可能导致这些系统出问题。金融和保险也有软肋；尽管它们被设计用以管控一定等级的风险，增强的气候灾害会加大它们的局限性。例如，佛罗里达州的住宅房地产市场（图E8）。房屋业主依赖保险来构建抵御洪灾等风险的金融恢复力，但保费会随着风险增大而增加，而且保险并不覆盖房屋价格的减值。若房屋业主违约，银行将承担一些风险。面临其他潜在后果的同时，联邦政府一直在提供支持，但可能需要准备好提供更多金融支持。

在考量的其他案例中，我们强调了当阈值被打破时出现的大规模连锁效应。若受影响的人员和资产处于当地经济核心地位，而这些当地经济活动又与其他经济和金融系统紧密关联时，连锁效应尤为明显。

面临季风和风暴潮洪灾的胡志明市就是一个例子。我们估计，现在百年一遇洪灾造成的基础设施资产直接损失可能在2亿至3亿美元之间。到2050年，假设没有额外适应性投资且不考虑不动产相关影响，这一损失会增加到5亿至10亿美元。除了直接损失，我们估计连锁效应带来的成本也将是巨大的。它们将从现在的1亿至4亿美元增长为2050年的85亿美元之多。我们估计，当前规划到2050年建成的新基础设施资产有至少价值200亿美元，这比胡志明市主要资产价值的二倍还要多（图E9）。许多待新建的基础设施资产，尤其是当地的地铁系统，已经进行了防御更多洪灾的设计。然而，在最糟糕的情形下，比如海平面上升180厘米，这些阈值可能在许多地方被打破。²⁵

我们案例研究中的另一个例子，即佛罗里达州的沿海不动产，显示了气候灾害是如何带来不可预测的金融影响的。佛罗里达州的地理条件，即海岸线广阔，海拔低，多孔渗水的石灰岩地基，使得该地区在面对洪灾时脆弱不堪。若未采取任何适应性应对措施，不动产面临的直接有形损失将随着气候变化而增加。现在，这些住宅不动产因飓风风暴潮而遭受的年均损失约20亿美元。这一损失预计到2050年会增加至30亿至45亿美元，这取决于资产暴露风险不变还是增加。²⁶到2050年，对于百年一遇的飓风而言，风暴潮造成的损失从现在的350亿美元将增加到500亿至750亿美元之间。

²⁵ 这是极端情形，到2050年其发生的可能性不容忽视。然而，有例证表明，如果不采取重大减缓措施，计划在2050年或之前短暂时间内完工的基础设施，在2060年某个时候或之后风险可能发生巨大变化。

²⁶ KatRisk, 2019年；所有住宅不动产（投保和未投保的）年均直接损失。这是任一年份可能出现的长期平均损失，通过对一种气候灾害出现概率与该灾害出现所带来损失乘积建模，并加总所有概率事件计算得出。基于海平面上升的分析与美国陆军工程兵团绘制的陡升曲线相吻合，这是东南佛罗里达气候变化契约组织(Southeast Florida Regional Climate Change Compact)推荐的曲线之一。东南佛罗里达气候变化契约组织海平面上升工作组，《统一海平面上升预测：东南佛罗里达州》，2015年10月。广义来看，考虑到飓风灾害，尽管整体飓风频率随着气候变化有望维持不变或是轻微下降，但是累计飓风降雨率、平均强度和可达4-5级强度风暴比重预计均将上升，全球平均气温也有可能上升2°C或更小幅度。《热带气旋和气候变化评估：第二部分人为变暖预计应对措施》，美国气象学会，2019年。范围基于评估暴露差异程度，基于不动产增长历史数据，分为经常暴露和暴露。

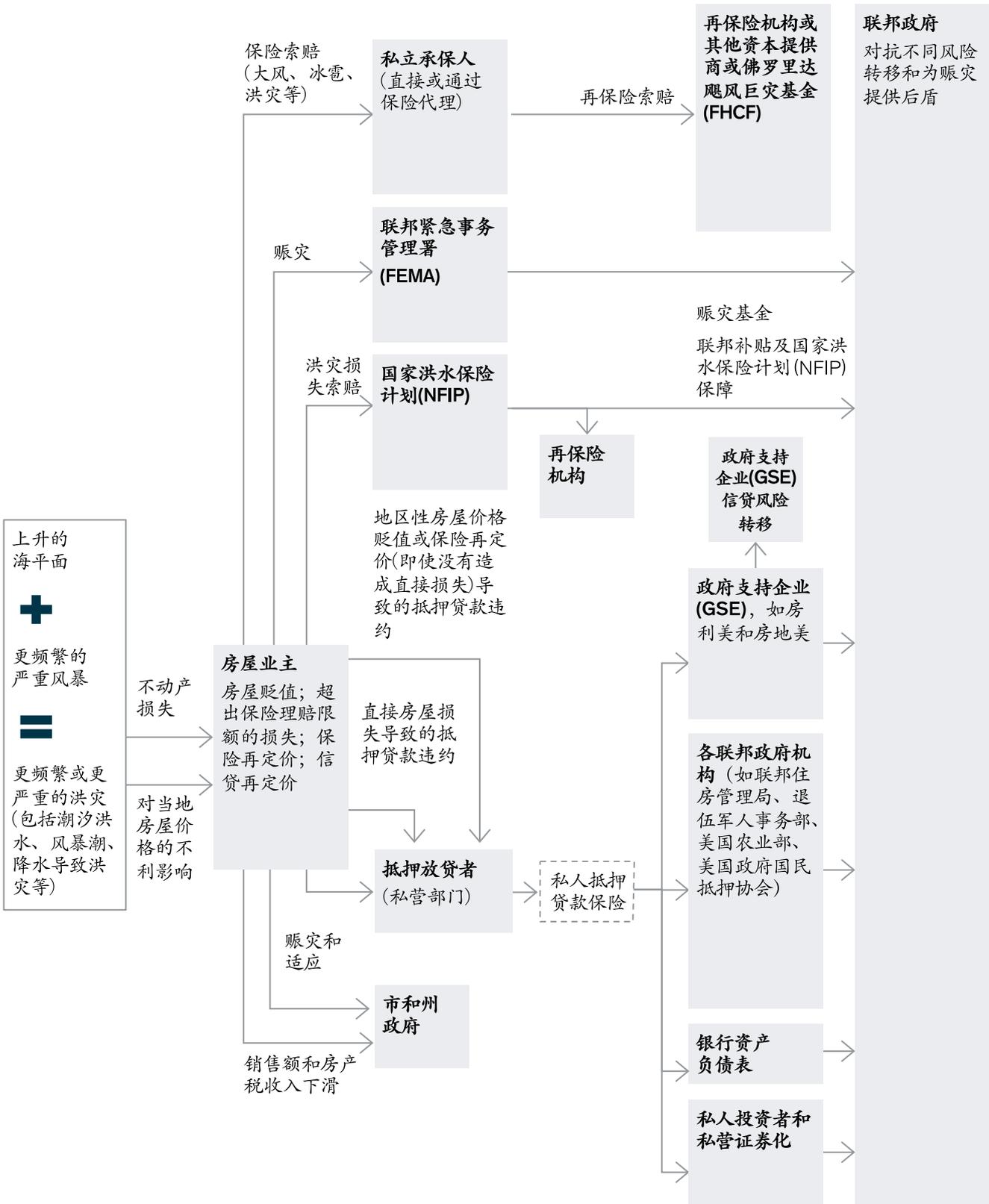
图E8

风险由谁承担?

佛罗里达州住宅不动产市场利益相关方概览

■ 利益相关方 → 交易

风险 一级追索 二级追索 最终后盾



来源: 麦肯锡全球研究院分析

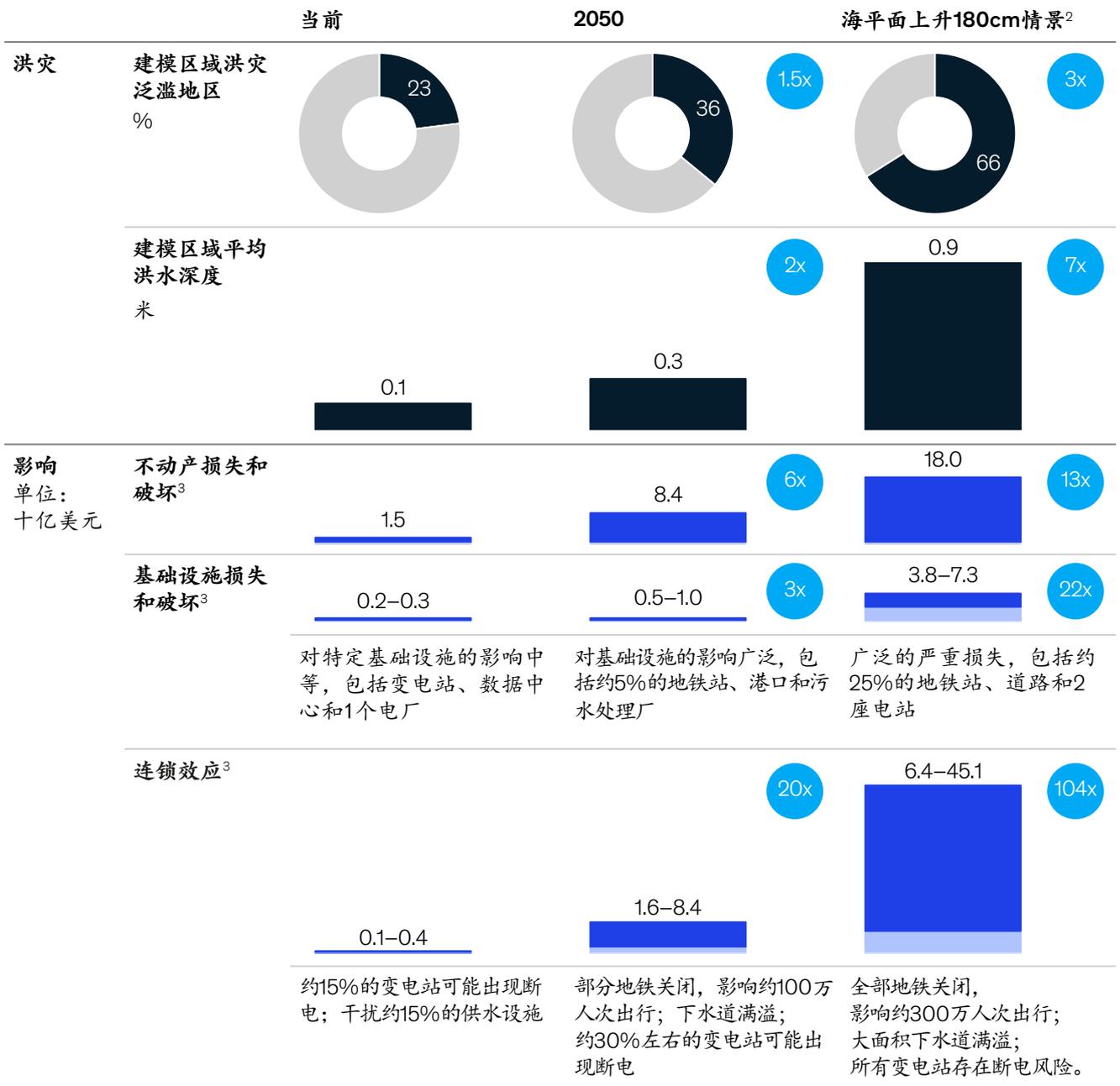
图E9

到2050年，在胡志明市，极端洪灾导致的经济影响将会是目前的5至10倍

基于RCP8.5情景

胡志明市遭遇百年一遇洪灾的影响¹

x 与今日相比的比例 高 低



1. 修理和替换成本。对先前情景而言，对损失和连锁效应的定性描述是额外的。
 2. 若不采取重大措施减缓气候变化的影响，当前规划预期寿命较长的资产（如地铁）可能会存在足够长的时间，并在本世纪末遭遇最糟糕情形下（即海平面上升180厘米）概率为1%的洪灾。
 3. 洪灾更广泛社会后果的价值，即主要因基础设施故障而造成的后果，包括因电力、干净水源和地铁服务缺失造成的货运损失、丢失数据收入和损失工时等。已根据到2050年经济和人口增长情况对2050年和海平面上升180厘米的两种情景进行调整。
 注：请参见技术附录了解我们为何选取RCP8.5情景。所有预测基于RCP8.5情景，耦合模型互比较项目第5阶段(CMIP5)多个模型集。我们遵循标准实践，将现在和未来（2030年和2050年）状况定义为多个十年期平均气候表现。当前的气候状况定义为1998至2017年间平均状况，2030年状况定义为2021至2040年间平均状况，2050年状况定义为2041至2060年间平均状况。假设不采取进一步的适应性行动。由于四舍五入，数值加起来可能不是100%。
 来源：亚洲发展银行；BTE；CAPRA；CATDAT灾害数据库；Daniell等，2017年；荷兰基础设施和环境部；联合国拉丁美洲和加勒比经济委员会(ECLAC)；欧盟理事会；灾害损失评估系统(HAZUS)；牛津经济研究院；胡志明市人民委员会；Scussolini等，2017年；联合国；越南国立大学，胡志明市；世界银行；历史保险数据；注册工程咨询师对基础设施资产故障临界点的回顾；麦肯锡全球研究院分析。

这些数字未包括洪灾导致的不动产的潜在贬值。到2030年,与无风险的房屋相比,存在风险暴露的房屋将面临300亿美元到800亿美元的贬值,或15%至30%的贬值。²⁷较低的不动产价格转而会带来连锁效应,包括损失的房产税收入(州政府收入重要来源之一)、房屋业主财富和支出减少、居民流入减少、受限或反向流出以及政府支出被迫变动。例如,上文讨论的价格因素会对受影响最大县市房产税收入的15%至30%(尽管对整个州的影响较小,约2%至3%)产生影响。在高风险县市,商业活动会受到负面影响,同样会受到影响的还有保险与抵押融资的可获性与价格。金融市场会传导这些风险,觉察到未来较大变化会导致价格调整。例如,对气候风险的意识会使长期借贷更为昂贵或更难获得,并降低估值水平。这种认识很快就會发生,并且存在后果层叠的可能性。

气候变化会带来不平等——在为一些地区带来利好的同时伤害到其他地区。例如,气温上升可刺激北欧地区的旅游业,同时就会降低南欧度假胜地的经济活力。到2050年,德国和荷兰的水量会增加1%到5%,但北非、希腊和西班牙谷地的水量将会减少15%以上。²⁸到2050年,温和的地中海气候预计会变得更加炎热,法国港口城市马赛的气候可能变得更接近今天的阿尔及尔,这将重创当地重要行业,如旅游业和农业等。²⁹

在地区内部,我们案例中最贫困的社区和人口恰恰是面对气候事件最脆弱的群体。他们常常缺少金融手段和来自公共或私营机构的支持。比如,急性气候事件会导致多个产粮地区减产,即一个或多个水稻、小麦、玉米和大豆核心产区收成远低于平均水平。我们估计,未来十年出现一次收成损失15%情况的概率将从现在的10%增加为2030年的18%,而未来十年出现一次收成损失10%情况的概率将从45%增加为70%。³⁰考虑到当前谷物储量很大,约占消费量的30%,世界不会出现缺粮情况。但是,前车之鉴表明,若全球粮食供应下降15%且减少储量,则短期内价格将上涨100%或更多。这将尤其伤及最贫困的社区,包括生活在国际贫困线以下的7.5亿人口。

随着气候变化直接影响人力、实物和自然资本,其对全球社会经济造成的影响将会是重大的

尽管我们的案例研究证实了变化的气候产生了本地性的影响,但气温上升却是全球趋势。为了搞清楚有形气候灾害如何在世界范围内演变,我们就未来30年间的气候影响开展了全球地理空间评估,覆盖105个国家。³¹我们依然借助于气候变化对人类、实物和自然等五大系统直接影响的框架。针对每一个系统,我们都确定了一种或多种量度来定义气候变化的影响,通常依据我们案例研究中使用的量度,并根据广泛国别覆盖和数据可获性选择最佳量度。³²比如,针对生活和工作的适宜性,我们使用了预计经历致命热浪年度概率非零地区生活人口比重,以及在气候灾害暴露地区每年受极端炎热和潮湿影响有效工时的比重等。这与我们在印度案例研究中遵循的方法是类似的。

我们发现,在研究的全部105个国家,到2030年,在气候变化对人力、实物和自然资本储备产生的主要影响中,至少有一种影响预计将会增大。不断加剧的气候灾害会让数以百万计的生命面临风

²⁷ 分析获得第一大街基金会(First Street Foundation)资助,2019年。

²⁸ 世界资源研究所水风险图集,2018年。

²⁹ Jean-Francois Bastin等,《从类似城市的全球分析来理解气候变化》。PLoS ONE 14(7):e0217592,2019年。

³⁰ 为了估算概率,我们运用了农业模型比较与改进项目(AgMIP)模型库中的作物模型,将气候模型的产出值转换为每一建模网格的作物收成。借助跨越20年期间所有可用气候模型,我们绘制了每一网格中各个作物收成的可能性分布图。请注意,我们考虑了更高二氧化碳水平对植物生长的潜在积极影响(“二氧化碳施肥效应”)。分析基于农业生产率未改善的假设(与我们的“固有风险”框架相一致)。更多详情可参见产粮区案例。

³¹ 为了开展这一分析,我们依据了地理空间气候危害数据,数据来源包括来自伍兹霍尔研究中心(WHRC)对耦合模型互比较计划第五阶段(CMIP5)全球气候模型输出值分析,世界资源研究所,欧洲中期天气预报中心(ECMWF),以及Rubel等人提供的数据(从国家海洋和大气管理局获得)。我们使用了有关人口、资本储备和GDP方面的地理空间数据,这些数据分别来自欧洲委员会全球人类住区(GHS),联合国《降低灾害风险的全球评估报告》,以及第4章述及的其他来源。值得注意的是,我们的分析聚焦于可能出现的气候危害子集:致命热浪、炎热和潮湿及其对工作适宜性、水分胁迫、河流泛滥、干旱的影响,以及气温上升和降水变化对生物群落变化的影响。分析基于RCP8.5情景。

³² 我们的地理空间分析所使用的指标包括:生活在遭遇致命热浪年均概率非零地区的人口比重;气候危害暴露地区极端炎热和潮湿所影响有效户外工时年度比重;年度水需求与年度水供应之比算出的水分胁迫(这三项为生活和工作适宜性量度,在我们的印度和地中海地区案例中有所考量);气候危害暴露地区面临洪灾损害风险的资本储备年度份额(资产破坏和基础设施服务;资本储备损失的类似量度应用于我们佛罗里达州和洪水泛滥地区案例);十年间出现干旱的时长比重(粮食系统量度,我们也用以考量地中海地区案例中的干旱影响);每年出现气候类型改变的地表比重(自然资本量度,这被用于我们的地理空间分析,以便我们提出针对自然资本风险的全球量度)。应注意,在这个框架中,干旱是一种危害的量度,而非风险的量度。这么做是因为,获取农业收成影响国别数据存在许多限制,这是由于用以预测农业收成的农业模型比较与改进项目(AgMIP)气候模型仅用于相对大型的产粮区,而非国家级产粮区。我们可使用农业模型比较与改进项目(AgMIP)数据结果就大型产粮区给出全球趋势和结果,但是此等结果并不包含在国别分析中。我们也未涵盖因飓风、风暴潮和森林大火等危害造成的风险,这是因为获取不同国家足够精细且有力的数据十分困难。详情请参见第4章。

险,同时面临风险的还有价值数万亿美元的经济活动、实物资本和世界自然资本的储备。不同地区气候灾害的加剧将会使本不受此等危害影响的区域进入新的风险地带。

- **宜居和宜业性。**到2030年,在RCP8.5情景下,我们的研究显示,2.5亿至3.6亿人口将生活在超出阴凉处健康人体承受阈值、热浪出现概率非零的地区(宜居性量度之一,未考虑空调普及因素)。³³一个人生活在2030年前后十年且至少出现一次此等致命热浪风险地区的平均概率预计约为60%。³⁴一些暴露在此等风险下的地区概率会低些,而一些地区概率会高些。到2050年,生活在存在此等热浪风险地区的人口会进一步增加,在不考虑通过空调普及进行适应性应对的情形下,居住在风险地区的人口会增加到7亿至12亿。这反映了一个事实,即世界上人口最为密集的大多数地区通常也是最炎热和最潮湿的地区,而且,如下文所述,这些地区正变得更为炎热和潮湿。今天,印度的空调普及率约为10%,中国约为60%。³⁵在暴露地区因不断加剧的炎热和潮湿而损失工时的全球平均数值到2050年几乎会翻番,即从10%上升为15%至20%。这是因为,世界上更多的地区将暴露在风险中,而且已暴露在风险中的地区将出现更剧烈的炎热和潮湿影响。我们根据这些预测来估计因损失工时而导致面临风险的GDP水平。到2050年,在一般年份,全球范围内面临风险的GDP将高达4万亿至6万亿美元(图E10)。这相当于2050年GDP的2%至3.5%,而今天这一比例约为1.5%。³⁶
- **粮食系统。**我们的研究显示,全球农业收成波动趋向于更糟的情形。比如,到2050年,特定年份小麦、玉米、大豆和水稻收成减少10%的年度概率预计将从6%上升为18%。³⁷特定年份收成增加10%的年度概率预计将从1%上升为6%。这些趋势在不同国家并非一致,尤其是,一些国家可能出现农业收成改善的情况,而其他国家则遭受不良影响。比如,欧洲和俄罗斯的一般产粮区预计到2050年将出现平均收成增加4%的情况。尽管这些地区收成下降10%的年度概率将升高,到2050年时从每年8%上升为11%,但是同时期丰年收成比平均水平高出10%的年度概率提高幅度更大,会从8%上升为18%。
- **实物资产和基础设施服务。**许多灾害,包括洪灾、森林大火、飓风和炎热,可能会破坏实物资产,或是中断基础设施资产服务。统计数据预测,河流泛滥对资本储备造成的损失,在2030年可能是现在水平的2倍,而到2050年可能是现在水平的4倍。囿于数据可用性,针对潮汐洪水、大火和风暴造成的更为广泛的影响进行类似估计较为困难。³⁸
- **自然资本。**随着气温升高和降水变化,世界部分地区的生物群落预计会发生变化。生物群落是指,栖息在特定区域并自然出现的动植物群体。在本报告中,我们使用了柯本气候分类系统(Köppen Climate Classification System)中描述的变化,作为生物群落变化的指示性参照。³⁹比如,热带雨林存在于由气温和降水特征限定的特定整体气候下。在世界上许多地方,这一整体气候可能开始被更为干燥的“热带稀树草原”气候类型取代,后者会威胁到热带雨林。与1901至1925年时期相比,今天约25%的地球陆地面积已经出现了气候类型变化。到2050年,预计这一比例将上升到约45%。到2050年,几乎每个国家均会面临生物群落变化的风险,这会影响到生态系统功能、当地生计和物种栖息地。

³³ 如前文一样,此处致命热浪是指连续三日每日平均最高湿球温度超过34摄氏度。选择这一温度是因为,城市热岛效应很强的城镇地区会将34℃的环境温度放大,从而超出35℃湿球温度的承受阈值。这些预测受制于未来大气气溶胶表现和城市热岛或冷岛效应相关的不确定性。如果某些地区致命热浪非零概率在针对现在的模型中出现,这种零值设置是为了说明CMIP5模型中这些地区观测到的高值大气气溶胶活动影响代表性很差。高值大气气溶胶活动产生的冷却效应掩盖了风险。详情可参见印度案例。这一分析不包括致命热浪概率低于1%的网格区域,排除了统计意义不大的地区。此外,这些数据假设没有空调保护措施,因此应被视作上边界。详情请见第2章。分析基于RCP8.5情景。

³⁴ 该计算是粗略近似值。它假设以2030年为中心的十年期每年出现概率约为9%。我们首先计算出该十年期不出现热浪的累计概率,即91%的10次方。这样,该十年期至少出现一次热浪的累计概率就是1减去这个数值。

³⁵ 《印度冷却行动计划草案》,印度政府环境、森林和气候变化部,2018年9月;《中国降温的未来》,国际能源署(IEA),巴黎,2019年。

³⁶ 这里的区间是基于不同国家间行业转型的步伐。若经济更大比重来自户外工作,则面临风险的GDP会更高。该区间低值假设当前的行业组成持续,而高值基于埃士信(IHS Markit)《经济学和国家风险》对行业转型的预测。

³⁷ 全球收成基于对占全球小麦、大豆、玉米和水稻四大作物产量70%的六大世界产粮区的分析。在计算分别以2030和2050年为中心年份的十年期累计概率时,使用了以2030和2050年为中心年份的十年期气候状况年度概率值。年度概率值是独立的,因而可通过加总来算出累计十年期概率。此处的收成不正常情况是比对1998至2017年期间平均收成计算的。

³⁸ 详情请见第4章。

³⁹ 柯本气候分类系统(Köppen Climate Classification System)将气候分为五大主要气候类型,每个类型又按照季节降水量和气温模式划分为子类型。这并非一个评估生物群落位置和组成的理想系统,但是这两大特征的确与气候类型有着密切的相关性,因此这被视作一个评估破坏性生物群落变化风险的合理参照。

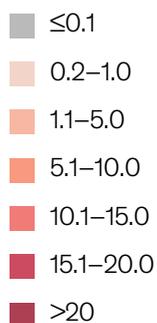
图E10

由极端炎热和潮湿气候导致的有效工时损失将影响GDP，影响程度随时间推移而增加

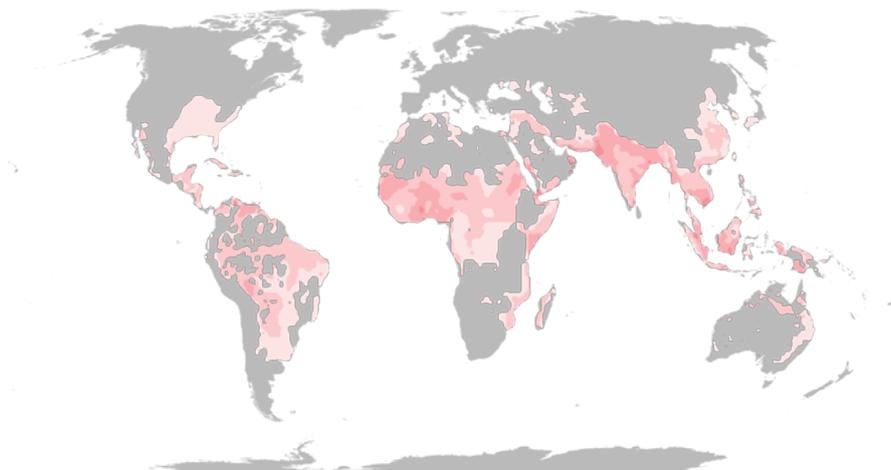
基于RCP8.5情景

因炎热和潮湿气候(仅直接影响,无行业转型情况下)导致的工时损失而受影响的GDP %

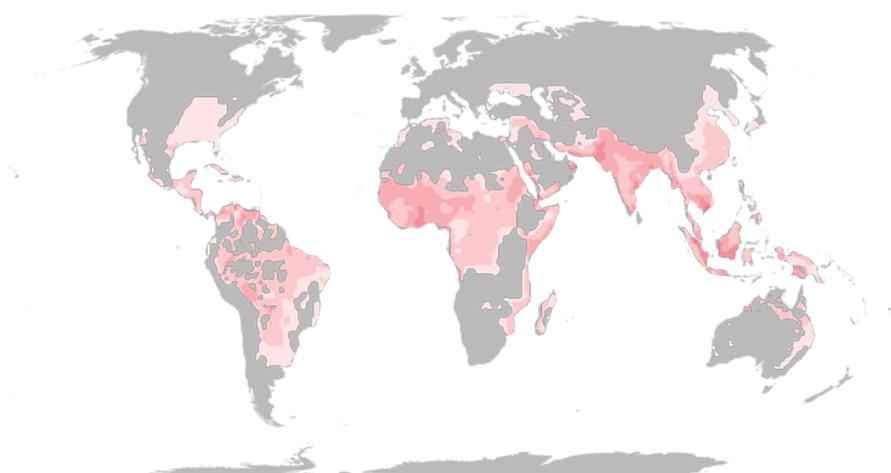
%



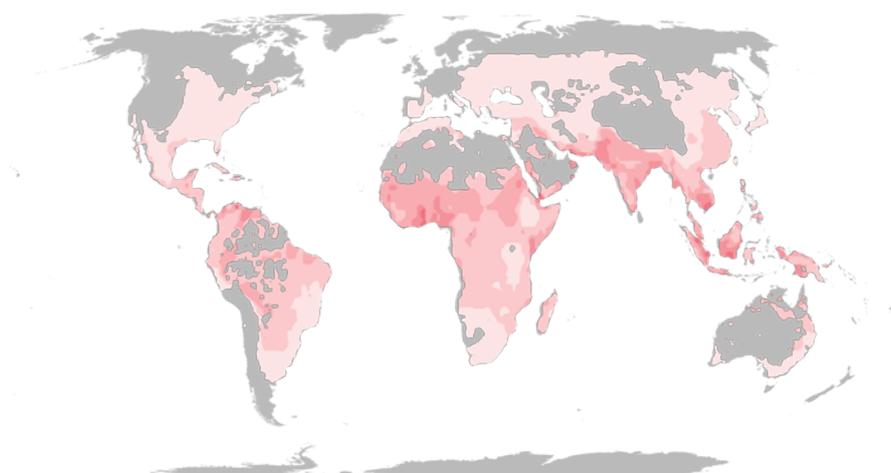
当前



2030



2050



注: 请参见技术附录了解我们为何选取RCP8.5情景。所有预测基于RCP8.5情景, 耦合模型互比较项目第5阶段(CMIP5)多个模型集。炎热数据已进行偏差校准。这些地图在预测对未来劳动生产率影响时未考虑行业变化——户外劳动比重和空间分布保持恒定。在该分析中, 户外劳动被视作仅包含农业、建筑业、采矿业和采石业, 对其他行业带来的连锁效应并未予以考虑。我们遵循标准实践, 将现在和未来(2030年和2050年)状况定义为多个十年期平均气候表现。当前的气候状况定义为1998至2017年间平均状况, 2030年状况定义为2021至2040年间平均状况, 2050年状况定义为2041至2060年间平均状况。

来源: IHS Markit《经济学和国家风险》; 伍兹霍尔研究中心; 麦肯锡全球研究院分析

人均GDP最低的国家通常暴露在更多风险中

尽管所有国家均受气候变化影响, 但我们的研究表明, 最贫困国家通常暴露在更多风险中, 因为它们通常有着更接近危险物理阈值的气候。这一风险增长的方式在各个国家有所不同。从广义上讲, 根据增长风险的方式 (图E11, E12和E13) 可将不同国家分为六组。⁴⁰

⁴⁰ 这些模式主要是基于考量与生活和工作适宜性、粮食系统和自然资本相关指标。考虑了因气候危害暴露地区河流泛滥损失而面临风险的资本储备年度比重这一指标, 但该指标并非较低风险国家之外任何其他国家的定义性特征。

图E11

按照气候影响变化的模式，我们将国家分为六种类型

基于RCP8.5情景

国家	变化年份 (2018-50,pp)	宜居和宜业性		粮食系统	实物资产/ 基础设施服务	自然资本
		生活在致命热浪年均概率非零地区的人口比重 ¹	暴露于气候灾害的地区因极端炎热和潮湿而导致有效户外工时损失的年化比重	缺水 ²	十年内干旱持续时间所占的比重	暴露于气候灾害的地区因洪灾而受处于风险之下的资本储备的年化比重 ³
明显更为炎热和潮湿的国家						
孟加拉国		高风险	高风险	中风险	高风险	高风险
印度		高风险	高风险	中风险	高风险	高风险
尼日利亚		高风险	高风险	中风险	高风险	高风险
巴基斯坦		高风险	高风险	中风险	高风险	高风险
同组其他国家：贝宁、布基纳法索、柬埔寨、科特迪瓦、厄立特里亚、加纳、缅甸、尼日尔、塞内加尔、泰国、越南、也门						
平均状况 (同组所有国家)		高风险	高风险	中风险	高风险	高风险
更为炎热潮湿的国家						
埃塞俄比亚		中风险	高风险	中风险	高风险	高风险
印度尼西亚		中风险	高风险	中风险	高风险	高风险
日本		中风险	高风险	中风险	高风险	高风险
菲律宾		中风险	高风险	中风险	高风险	高风险
同组其他国家：安哥拉、喀麦隆、乍得、厄瓜多尔、几内亚、圭亚那、约旦、老挝、利比里亚、马达加斯加、巴布新几内亚、沙特、索马里、苏里南、坦桑尼亚、乌干达、乌拉圭、赞比亚						
平均状况 (同组所有国家)		中风险	高风险	中风险	高风险	高风险
更炎热国家						
哥伦比亚		中风险	中风险	中风险	高风险	高风险
刚果民主共和国		中风险	中风险	中风险	高风险	高风险

1. 我们把致命热浪定义为连续三日每日最高湿球温度超过34°C湿球温度。选择这一阈值是因为，通常定义的人类可生存温度阈值为35°C湿球温度，而带有强烈城市热岛效应的大城市可使34°C湿球温度的热浪超过35°C阈值。这些预测受制于未来大气气溶胶表现和城市热岛或冷岛效应相关的不确定性。

2. 水分胁迫通过年度水需求与年度水供应之比来计算。在这一分析中，我们假设随着时间推移水需求是恒定的，以便我们单独测算气候变化的影响。出于对预测稳健性的考虑，我们排除了对于干旱少雨地区水分胁迫的预测。

3. 风险值的计算基于“期望值”，即面临风险的概率加权值。

注：请参见技术附录了解我们为何选取RCP8.5情景。所有预测基于RCP8.5情景，耦合模型互比较项目第5阶段(CMIP5)多个模型集。炎热数据偏差已校准。我们遵循标准实践，将现在和未来(2030年和2050年)状况定义为多个十年期平均气候表现。当前的气候状况定义为1998至2017年间平均状况，2030年状况定义为2021至2040年间平均状况，2050年状况定义为2041至2060年间平均状况。

来源：伍兹霍尔研究中心；世界资源研究所水危机图集，2018年；世界资源研究所阿奎达全球洪水分析器；Rubel和Kotteck，2010年；麦肯锡全球研究院分析

图E12

按照气候影响变化的模式，我们将国家分为六种类型(续)

基于RCP8.5情景

国家	变化年份 (2018-50,pp)	宜居和宜业性		粮食系统	实物资产/ 基础设施服务	自然资本
		生活在致命热浪年均概率非零地区的人口比重 ¹	暴露于气候灾害的地区因极端炎热和潮湿而导致有效户外工时损失的年化比重	缺水 ²	十年内干旱持续时间所占的比重	暴露于气候灾害的地区因洪灾而处于风险之下的资本储备的年化比重 ³
更炎热国家(续)						
马来西亚		风险无/微增长	风险高度增长	风险无/微增长	风险无/微增长	风险无/微增长
韩国		风险无/微增长	风险无/微增长	风险无/微增长	风险无/微增长	风险无/微增长
同组其他国家：博茨瓦纳、中非共和国、古巴、加蓬、危地马拉、洪都拉斯、匈牙利、利比亚、马拉维、马里、毛里塔尼亚、莫桑比克、纳米比亚、尼加拉瓜、阿曼、巴拉圭、刚果共和国、罗马尼亚、塞尔维亚、委内瑞拉、津巴布韦						
平均状况 (同组所有国家)		风险无/微增长	风险高度增长	风险无/微增长	风险无/微增长	风险无/微增长
水分胁迫加剧国家						
埃及		风险无/微增长	风险高度增长	风险高度增长	风险高度增长	风险高度增长
伊朗		风险无/微增长	风险高度增长	风险高度增长	风险高度增长	风险高度增长
墨西哥		风险无/微增长	风险高度增长	风险高度增长	风险高度增长	风险高度增长
土耳其		风险无/微增长	风险高度增长	风险高度增长	风险高度增长	风险高度增长
同组其他国家：阿尔及利亚、澳大利亚、阿塞拜疆、保加利亚、希腊、意大利、哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、摩洛哥、葡萄牙、南非、西班牙、叙利亚、塔吉克斯坦、突尼斯、土库曼斯坦、乌克兰、乌兹别克斯坦						
平均状况 (同组所有国家)		风险无/微增长	风险高度增长	风险高度增长	风险高度增长	风险高度增长
较低风险国家						
法国		风险无/微增长	风险无/微增长	风险无/微增长	风险无/微增长	风险无/微增长
德国		风险无/微增长	风险无/微增长	风险无/微增长	风险无/微增长	风险无/微增长

1. 我们把致命热浪定义为连续三日每日最高湿球温度超过34°C湿球温度。选择这一阈值是因为，通常定义的人类可生存热度阈值为35°C湿球温度，而带有强烈城市热岛效应的大城市可使34°C湿球温度的热浪超过35°C阈值。这些预测受制于未来大气气溶胶表现和城市热岛或冷岛效应相关的不确定性。

2. 水分胁迫通过年度水需求与年度水供应之比来计算。在这一分析中，我们假设随着时间推移水需求是恒定的，以便我们单独测算气候变化的影响。出于对预测稳健性的考虑，我们排除了对于干旱少雨地区水分胁迫的预测。

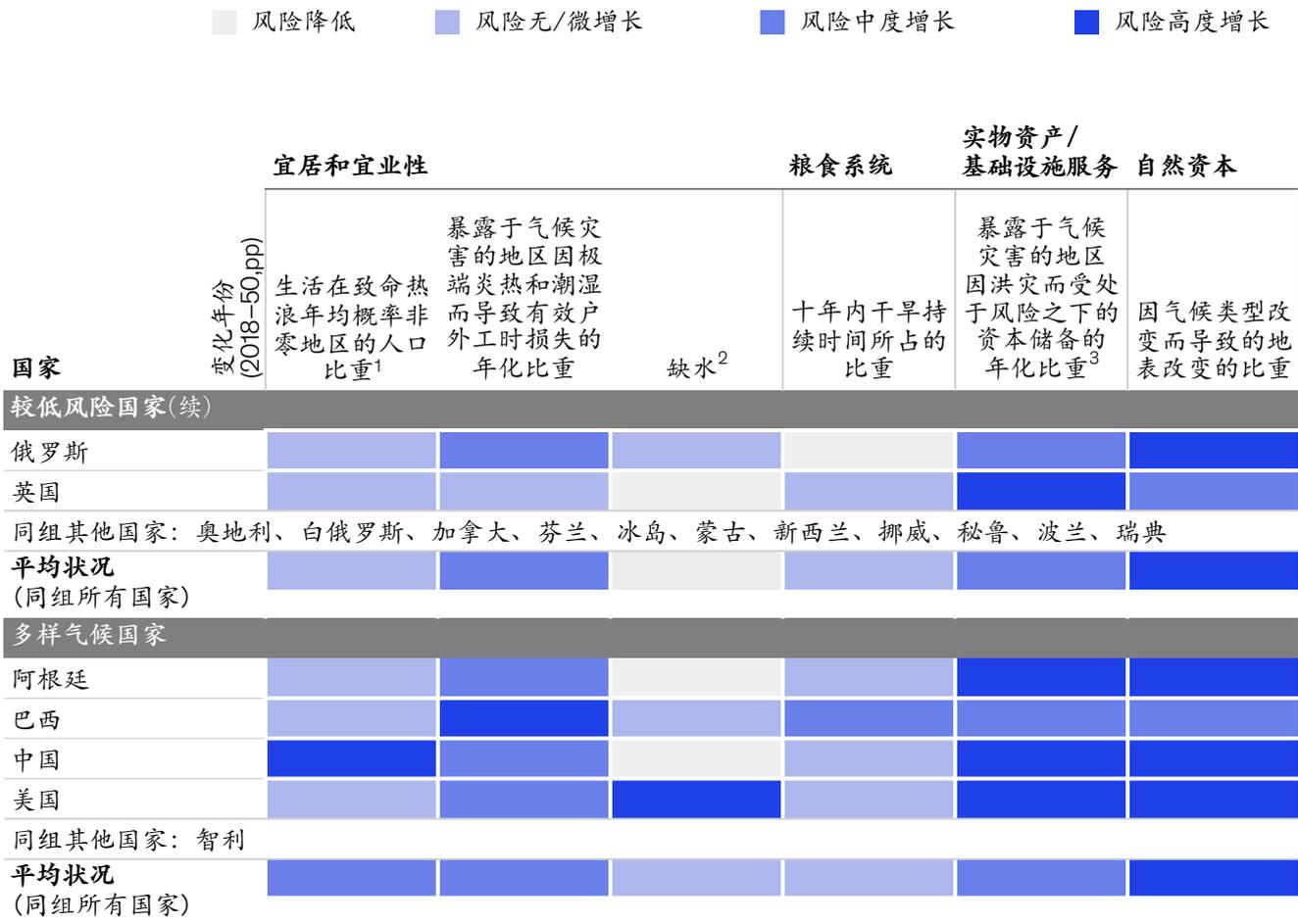
3. 风险值的计算基于“期望值”，即面临风险的概率加权值。

注：请参见技术附录了解我们为何选取RCP8.5情景。所有预测基于RCP8.5情景，耦合模型互比较项目第5阶段(CMIP5)多个模型集。炎热数据偏差已校准。我们遵循标准实践，将现在和未来(2030年和2050年)状况定义为多个十年期平均气候表现。当前的气候状况定义为1998至2017年间平均状况，2030年状况定义为2021至2040年间平均状况，2050年状况定义为2041至2060年间平均状况。

来源：伍兹霍尔研究中心；世界资源研究所水危机图集，2018年；世界资源研究所阿奎达全球洪水分析器；Rubel和Kotteck，2010年；麦肯锡全球研究院分析

按照气候影响变化的模式，我们将国家分为六种类型(续)

基于RCP8.5情景



潜在影响变化，2018-2050年⁴ (百分点)

风险降低	不适用	不适用	<0	<0	<0	不适用
风险微增长	0.0-0.5	0.0-0.5	0-3	0-3	0-0.05	0-5
风险中度增长	0.5-5.0	0.5-5.0	3-7	3-7	0.05-0.10	5-10
风险高度增长	>5.0	>5.0	>7	>7	>0.10	>10

1. 我们把致命热浪定义为连续三日每日最高湿球温度超过34°C湿球温度。选择这一阈值是因为，通常定义的人类可生存热度阈值为35°C湿球温度，而带有强烈城市热岛效应的大城市可使34°C湿球温度的热浪超过35°C阈值。这些预测受制于未来大气气溶胶表现和城市热岛或冷岛效应相关的不确定性。

2. 水分胁迫通过年度水需求与年度水供应之比来计算。在这一分析中，我们假设随着时间推移水需求是恒定的，以便我们单独测算气候变化的影响。出于对预测稳健性的考虑，我们排除了对于干旱少雨地区水分胁迫的预测。

3. 风险值的计算基于“期望值”，即面临风险的概率加权值。

4. 计算时假设暴露风险恒定。暴露风险恒定意味着，我们未将任何人口或资产增加或是人口和资产的空间组合变化的因素考虑在内。这么做我们就可以将气候变化的影响单独拎出来。每一图柱的颜色编码基于在同一指标下各个国家观测到的差异。

注：请参见技术附录了解我们为何选取RCP8.5情景。所有预测基于RCP8.5情景，耦合模型互比较项目第5阶段(CMIP5)多个模型集。炎热数据偏差已校准。我们遵循标准实践，将现在和未来(2030年和2050年)状况定义为多个十年期平均气候表现。当前的气候状况定义为1998至2017年间平均状况，2030年状况定义为2021至2040年间平均状况，2050年状况定义为2041至2060年间平均状况。

来源：伍兹霍尔研究中心；世界资源研究所水危机图集，2018年；世界资源研究所阿奎达全球洪水分析器；Rubel和Kottek，2010年；麦肯锡全球研究院分析

- **明显更为炎热和潮湿的国家。**诸如印度和巴基斯坦这类炎热潮湿的国家预计在2050年将明显变得更为炎热和潮湿。该组国家位于过非洲赤道地区、亚洲地区和波斯湾地区。它们的特征是，炎热和潮湿会严重影响到当地的宜业性，不过缺水状况将有所缓解。由于炎热与潮湿并存，该组国家的宜居性也将受到潜在威胁。
- **更为炎热和潮湿的国家。**该组国家包括菲律宾、埃塞俄比亚和印度尼西亚。这些国家恰好位于赤道和南北纬30度之间。炎热和潮湿将对这些地区的宜业性产生较大影响，但其炎热和潮湿程度可能不会超出人体极限。缺水情况在这些国家也有望缓解。
- **更为炎热的国家。**该组国家包括哥伦比亚、刚果民主共和国和马来西亚。该组中的大部分国家接近赤道。它们的特征是，炎热和潮湿气候将对宜业性产生较大影响，但其炎热和潮湿程度估计不会超过人体极限。但该组国家预计不会变得更加湿润潮湿，而且其中一些国家的干燥和缺水情况将进一步加剧。
- **进一步缺水的国家。**该组国家包括埃及、伊朗和墨西哥，它们与南北纬30度纬线有所交叉。它们的特征是，将面临缺水和干旱频率的大幅增加，而且生物种群或将发生较大变化。在这些地区，哈德里环流圈（将热带水汽通过大气输送的现象，因此世界上沙漠多位于这些地方）在扩张，这些国家的降水预计将进一步减少。
- **较低风险国家。**该组包括德国、俄罗斯和英国。该组中的许多国家位于南北纬30度纬线之外，一般气候较为寒冷。预计，其中一些国家在多项指标上体现出气候变化所带来整体影响将会减弱。这些国家的特征是，受炎热和潮湿影响非常小，许多国家的缺水或干旱时长均将减少。随着这些国家变暖和，当地的极地和寒带气候将逐渐消失，因而可能出现最大的范围的生物种群变化。对其中的一些国家而言，暴露于气候灾害的地区或因河流泛滥而导致陷于风险中的资本储备比重上升。
- **气候多样的国家。**最后这组国家包括一些跨越多个纬度的国家，它们的气候比较多元。其中一些例子包括阿根廷、巴西、智利、中国和美国⁴¹。对于这组国家而言，虽然平均数值可能指示风险仅小幅增加，但却可能令人忽视较大的地区差异。比如美国，其东南部是炎热潮湿的热带气候，炎热对户外工作带来的风险将大幅增加，但其情况还不会达到缺水的程度。而西海岸地区并不会出现炎热对户外工作造成风险大幅增加的情况，但却将面临缺水和干旱。在阿拉斯加州，主要风险将是变化的寒带生物群落及随之而来的生态系统破坏。

由于炎热和潮湿加剧导致宜居性和宜业性下降等相关风险，是贫困国家为何灾面临气候灾害时会显得更为脆弱一个例证（图E14）。

⁴¹ 在某种程度上，许多国家在其国境之内将面临多种风险。这里，我们重点强调气候差异较大及跨越经度较广的国家，这些因素使相关国家不同地方呈现不同情况。

图E14

一些指标显示，人均GDP较低的国家，其遭受风险增加的幅度最大

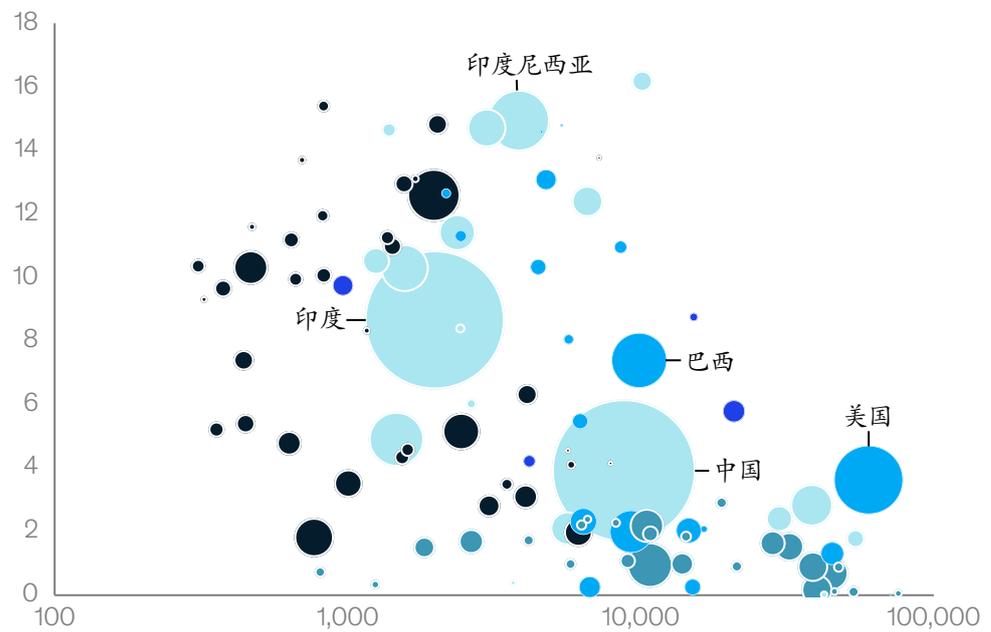
基于RCP8.5情景

变化，2018-2050
百分点

● 非洲 ● 美洲 ● 阿拉伯国家 ● 亚太地区 ● 欧洲和中亚

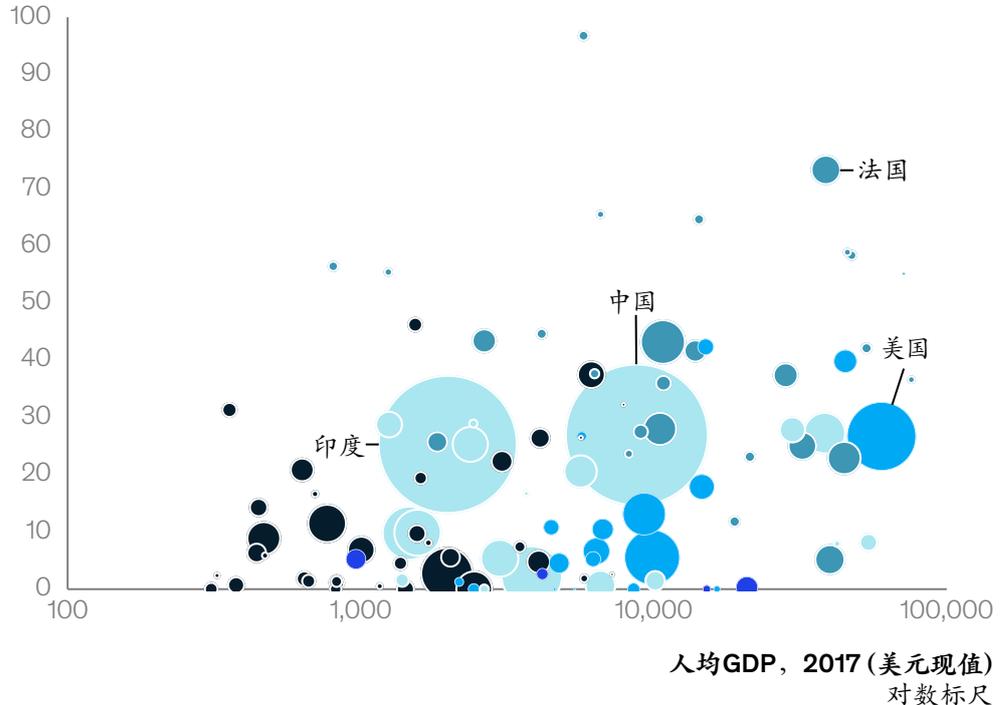
暴露于气候灾害的地区受
极端炎热和潮湿影响而导
致有效户外工时损失的年
化比重

相关系数：
 $r = -0.49$



因气候类型变化
而改变的地表比重

相关系数：
 $r = 0.35$



人均GDP，2017 (美元现值)
对数标尺

注：未按比例。请参见技术附录了解我们为何选取RCP8.5情景。所有预测基于RCP8.5情景，耦合模型互比较项目第5阶段(CMIP5)多个模型集。炎热数据已进行偏差校准。我们遵循标准实践，将现在和未来(2030年和2050年)状况定义为多个十年期平均气候表现。当前的气候状况定义为1998至2017年间平均状况，2030年状况定义为2021至2040年间平均状况，2050年状况定义为2041至2060年间平均状况。
来源：伍兹霍尔研究中心；Rubel和Kottek，2010年；哈佛世界地图；麦肯锡全球研究院的分析

就宜业性这一指标（即因极端炎热和潮湿而损失的户外工时比重）而言，到2050年，人均GDP排名前四分之一的国家所面临风险平均增加约1至3个百分点，而排在靠后四分之一的国家所面临风险平均增加约5至10个百分点。虽然致命热浪与人均GDP的相关性较弱，但值得注意的是，受致命热浪影响最严重的一些国家（如孟加拉国、印度和巴基斯坦等）人均GDP也相对较低。

相反，生物群落变化预计会影响位于南北纬度的国家。由于这些国家大部分许多人均GDP较高，这一指标与发展水平呈现出了正相关性。

决策者将需要更好地理解有形气候风险的影响，同时应加速采取适应和减缓措施。

面临这些挑战，政策制定者和企业决策层须通过正确的工具、合理的分析、清晰的流程和恰当的治理来评估气候风险，采取适应性措施以应对确定的风险，并通过积极脱碳来降低风险的进一步积累。在附文3中，我们提出了一系列利益相关方在寻求管控风险时应考虑的问题。

将气候风险纳入决策过程

如今，包括对信息系统和网络风险的考虑已经纳入企业和公共部门的决策过程，气候变化也应成为决策的一个重要因素。对于企业而言，这意味着在进行资本配置、产品或服务开发以及供应链管理时，将气候因素也考虑进来。对城市而言，关注气候对于城镇规划决策将十分重要。金融机构应在投资组合中考虑相关风险⁴²。此外，尽管本报告聚焦于有形风险，企业或公共部门指定综合性的风险管理策略还应包括对气候的转型风险和责任风险以及这些风险之间的相互作用进行评估。

鉴于本报告中所列举的复杂性，对这些风险进行严格的量化分析相对比较困难。对于气候风险的评估需要需要使用新的研究工具、指标和分析方法。企业和社区已经开始就其所面临的气候风险进行评估，但仍有许多工作要做。认识不足将使金融市场和社会经济系统面临的风险和潜在的影响大大增加，例如，将资本导向处于风险地区的高风险资产或是导致利益相关方在毫无防备的情况下遭受损失。

与此同时，气候变化也或将带来一些新的机遇。这些机遇可能源于实际环境的变化，如出现适宜农业生产或诸如旅游业等行业的新地区，以及管控气候风险所需要运用的新科技和新手段。

眼下最为严峻的挑战之一或将源于使用错误的模型来量化风险。这些错误的模型包括用于资本配置决策的金融模型，用于设计结构的工程模型等。正如我们的研究所提出的，气候风险存在诸多不确定性，它们或与全球和地区气候模型相关，或与排放路径的基本假设相关，并且气候灾害所导致的实物资产和金融损失也存在很大不确定性。虽然这些不确定性客观存在，但继续依赖于当前基于稳定历史气候和经济数据所建立的模型，将导致更高的“模型风险”。

⁴² 请参见如《面对实际：评估气候相关风险的情景分析》，贝莱德投资研究所，2019年4月。

下文的三个例子阐述了相关模型不适合变化的气候的情况：

- **地理。**当前模型可能并未充分考虑地理空间纬度。如本报告所强调，气候变化的直接影响在性质上是本地化的，需要通过地理空间分析来理解风险暴露。比如，企业将需要了解他们在全局的资产布局可能会不同的气候灾害，特别是需要了解他们的核心供应商所在地将面临哪些风险。
- **非稳定的。**鉴于气候总是不断变化或非稳定的，基于历史先例和经验所作出的假设须重新予以考虑。这可能包括，比如，新建工厂应具备怎样的恢复力，新的基础设施应采用怎样的耐受度，以及如何设计城镇区域等。决策时应考虑到气候在接下来的几十年里将继续变化。
- **样本偏差。**决策者通常依赖自身经验并将之作为决策的框架。在变化的气候条件下，那样做会导带来非线性后果，从而导致对未来风险的错误评估。

加快、加大采取适应措施的步伐和力度

目前人们已经开始采取措施适应变化的气候，但是其步伐和力度还需大大增加。关键的适应性措施包括：保护人员和资产；增强韧性；减少暴露和确保要有适当的金融和保险措施。

- **保护人员和资产。**尽可能保护人员和资产可帮助限制风险。这些措施可包括优先建立应急响应机制、建立降温庇护设施以及调整暴露在炎热环境下的户外工人的工作时间等。加固现有基础设施和实物资产是一项关键的应对措施。据联合国环境规划署估算，到2030年，发展中国家采取适应措施的成本每年可能高达1400亿至3000亿美元不等。到2050年，该金额将增至2800亿至5000亿美元⁴³。需要加固的基础设施可既包括“灰色”基础设施（如抬高洪水频发地区的建筑海拔高度）和自然资本或“绿色”基础设施。荷兰河流空间打造项目(Dutch Room for the River Program)便是一个例子，该项目设计时考虑了更多防洪空间以便承受更高水位的冲击⁴⁴。另一个例子是种植红树林，这或可在发生风暴时提供保护作用。

在建造新建筑中考虑相关保护措施，可能比日后进行改装更具成本效益⁴⁵。比如，将基础设施系统或工厂设计为可抵抗以往200年一遇的灾害。在变化的气候条件下，构成此等灾害的因素可能有所不同，设计参数也将需要重新评估。据估计，未来十年里花费在基础设施方面的资金将高达30万亿至50万亿美元，其中大部分将落在发展中国家⁴⁶。在设计此等基础设施时考虑到气候风险的因素可帮助减少后期修复和重建成本。此外，我们也需要建设一些专门用于以帮助保护资产和人员的基础设施，比如采用绿色空调方案（低碳动力驱动的高能效节能暖通空调）的冷却技术，建设应急庇护设施等。

⁴³ Anne Olhoff等，《适应措施金融缺口报告》，联合国环境规划署与丹麦科技大学合作项目(UNEP DTU Partnership), 2016年。

⁴⁴ 请参见河流空间打造项目，网站ruimtevoorderivier.nl/english/。

⁴⁵ Michael Della Rocca, Tim McManus和Chris Toomey,《气候恢复力：资产所有者现在须参与进来》，麦肯锡网站，2009年1月。

⁴⁶《填补全球基础设施缺口》，麦肯锡全球研究院，2016年6月；《填补基础设施缺口：世界是否取得进步？》，麦肯锡全球研究院，2017年10月。

- **增强韧性。**加固资产将需要与其他相关措施携手并行，这些措施能够保障各系统在气候灾害的侵袭下保持韧性。保持一定水平的全球粮食及原材料库存以缓解可能出现的短缺风险就是保持韧性、提前准备恢复方案的一个例子，同时也可应对供需变化带来的价格剧烈波动，加大粮食体系的恢复力，私人机构及公共机构可发挥更大作用，研究培育更能抵抗生物性及非生物性影响的农作物品种。正如前文所提到的，气候变化对过去优化供应链运作的假设提出了挑战。因此，这些假设须重新进行评估。比如，通过建立供应链备用存货来减少对正常生产的影响，或是建立从其他地方或供应商获取资源的渠道。
- **减少暴露。**在一些情形下，为减少风险暴露，对一些处于很难被保护的区域的资产和社区进行转移安置也是十分必要的。考虑到许多实物资产的使用寿命很长，在采取任何适应性措施时，需要考虑这些资产的完整生命周期。比如，在未来十年内对某一资产进行加固的同时也许会缩短其设计使用寿命。在接下来几十年里，随着气候灾害的加剧，当实际恢复措施的成本效益不再显著时，那么重新安置和设计资产布局可能是必要的。
- **保险和金融措施。**保险是协助管控风险的重要缓冲器⁴⁷。保险可帮助提供系统恢复力，以便使资产从灾害中更为迅速地恢复或是减少连锁效应的产生。保险也可以通过发出适当的风险信号来鼓励利益相关方改变行为，比如，向购置不动产的房屋业主、提供贷款的机构以及为不动产扩建提供资金的投资者发出此等信号。

诸如参数化保险和重灾债券这样的金融保险工具可为气候灾害引发的损失提供保护，将金融损失最小化，并有利于灾后迅速恢复。对承担灾后重建成本有困难的弱势人口而言，这些产品也可为其提供保护。保险也是一种通过转移风险（比如，作物保险可转移因干旱导致的欠收风险）和提高恢复力（比如，促进对灌溉和作物管理系统的投资，否则农村人口很难通过其他方式承担此种投资）来减少风险暴露的工具。

然而，随着气候变化，当前的保险模型可能需要进一步调整以便其继续提供恢复力以及在某些情形下避免可能增加的系统脆弱性。这是因为，当前的数据和模型可能不足以反映气候变化所带来的有形风险；随着时间推移，当前保险费和承保人的资本化水平可能会逐渐暴露出其不足以应对更大的风险的问题；以及在整个风险转移过程中（从投保人到承保人和再保险人乃至作为终极承保人的政府）各环节参与者履行各自职责的能力需要检验。若风险水平未降低、风险转移和保费金融支持或补助等方面没有变化，对一些地区的某些风险类型进行保险将变得更难，这会使世界上没有强制要求上保的地方的保险缺口继续扩大。

创新手段或许可以帮助弥补保险不足的缺口。在一些情况下，保费有时可以获得补贴，一个例子便是洪灾保险，该险种经常由国家提供并予以补贴。但是，未来也许需要更为谨慎地评估这类项目，以便平衡对脆弱利益相关方的支持，并在不断增加的风险暴露和多种连锁效应背景下发出适当的风险信号。私人保险和公众保险之间的折中，以及对于个人而言，何时进行自我保险或购买保险，均须予以仔细评估。

此外，保险业可能需要转向在特别脆弱地区推动更大幅度的降低风险（比如，建造新的建筑时设置对户外工作时长准则或规则）。这与要求建筑符合消防规范后才可上保的操作类似。在一段时间内，保险业可能会遇到供需要求不匹配的情况；比如，房屋业主可能期待长期、稳定的保费，而承保人可能会要求每年进行重新定价，以便应对不断增加的气候风险和损失。这也适用于现有或正处于规划中的有形供应链，因为能否以可承担的方式对其进行投保将成为日益重要的标准。

⁴⁷ Goetz von Peter, Sebastian von Dahlen和Sweta Saxena, 《未缓解的灾害? 自然灾害宏观经济成本的新证据》，国际清算银行工作底稿，第394号，2012年12月。

采取金融措施以应对气候灾害所带来的影响也至关重要，对于发展中国家而言尤为如此。这可能要求公共及私营部门或多个机构共同参与，以防止气候灾害后资本从风险地区外逃。目前的一些金融措施包括，将市政债券融合到重灾债券中，从而使持有市政债券的投资者不用担心难以评估的气候风险。发展中国家的政府正大力寻求保险和再保险机构及其他金融市场来改善其面对自然灾害的恢复力，并使得考虑在特定地区投资的机构感到安心。

- **采取适应性措施的艰难抉择。**由于多种原因，实施适应性措施可能困难重重。随着时间推移，一些地区，例如那些面临海平面上升风险的地区，其采取适应措施的经济效益可能会减少。适应性措施也可能会受到技术或其他限制。在一些情形下，可能会出现难以权衡的艰难情况，包括对什么人和对象进行保护以及对什么人和对象进行重新安置。比如，需要在个人房屋业主和整个社区之间进行权衡，从而考量不断增加的维修成本及灾后救助费用的负担，因为后者会影响到所有纳税人。

在许多干预情形下，个体行为通常是不够的，因此需要多个利益相关方协同合作共同实施、促成应对措施。这或将包括制定建筑准则和规划条例，授权保险或披露，通过风险共担机制来调动资本，在不同行业群体间分享最佳实践，以及推动创新等。将多元视角融入决策过程也将有助于达成一致意见。

大规模脱碳

脱碳的评估和路线图并不在本报告讨论的范围之内。但是,气候科学和其他研究显示,未来十年不仅对于适应气温升高至关重要,而且对于通过大规模脱碳来防止风险进一步累积也十分重要⁴⁸。稳住变暖节奏(进而稳住风险累积)将要求实现净零排放,这意味着未来经济活动需要尽可能脱碳,同时逐步去除大气中现有的二氧化碳,以便抵消任何残余的难以消除的排放(即实现负值排放)⁴⁹。在此背景下,气候科学也提出了一个值得关注的问题,即,气候系统本身存在闭环反馈回路,比如北极永冻层的融化将释放大量的甲烷。一旦被激活,这些反馈回路将导致进一步的大幅变暖,可能让地球处于一个“温室”状态⁵⁰。科学家估计,将变暖限制在2°C以下水平将会降低启动许多严重反馈回路的风险,而将变暖进一步控制在1.5°C以下水平则将会降低启动大多数严重反馈回路的风险⁵¹。鉴于气候变暖是长期累积排放而导致的后果,我们预期在达到气温上升1.5°C或2°C的阈值前,可以计算出一个最大可排放二氧化碳的确切数量(“碳预算”)⁵²。科学家估计,按照当前每年约400亿吨二氧化碳的排放量计算,达到气温上升2°C的阈值所剩余的碳预算额度约为1万亿吨,该额度预计将会在25年左右时间内耗尽⁵³。同理,达到气温上升1.5°C的阈值所剩余的碳预算额约4800亿吨,约等同于按当前年排放量水平继续持续12年。因此,审慎的风险管理会建议以更为激进的方式限制未来累积排放量,以便将激活此等反馈回路的风险最小化。尽管脱碳并非本研究的焦点所在,但是需要在考虑采取适应性措施以应对气候变化的过程中将脱碳投资考虑在内,尤其是在向可再生能源逐步过渡期间。利益相关方应考虑评估各自脱碳的潜力和脱碳带来的机遇。

⁴⁸ Christina Figueres, H. Joachim Schellnhuber, Gail Whiteman, Johan Rockstrom, Anthony Holey和Stefan Rahmstorf,《用三年时间来保护我们的气候》,《自然》,2017年6月。

⁴⁹ Jan C. Minx等(2018年)《负值排放——第一部分:研究状况和综述》,《环境研究通讯》,2018年5月,Vol.13,第6期。

⁵⁰ Will Steffen等,《人类社会地球系统的轨迹》,美国国家科学院院刊,2018年8月,Vol.115,第33期;M. Previdi等,《人类社会的氣候敏感性》,英国皇家气象学会,2013年,Vol.139;Makiko Sato等,《气候敏感性、海平面和大气中的二氧化碳》,英国皇家学会哲学会刊,2013年,Vol.371。

⁵¹ Will Steffen等,《人类社会地球系统的轨迹》,美国国家科学院院刊,2018年8月,Vol.115,第33期;Hans Joachim Schellnhuber,《为何在巴黎就正确的目标达成了一致》,《自然气候变化》,2016年,Vol.6;Timothy M. Lenton等,《地球气候系统的引爆点》,美国国家科学院院刊,2008年3月,Vol.105,第6期;Timothy M. Lenton,《北极气候引爆点》,人类环境杂志,2012年2月,Vol.41,第1期;Sarah Chadburn等,《基于观测对全球变暖导致永冻层损失的限制》,《自然气候变化》,2017年4月,Vol.7,第5期;Robert M. DeConto和David Pollard,《南极洲对过去和未来海平面上升的作用》,《自然》,2016年3月,Vol.531,第7596期。

⁵² 这一预算值根据诸如甲烷等短寿命气候污染物的排放速度可能会有增加或减少。但是,鉴于二氧化碳排放的相对规模,减少短寿命气候污染物仅能使碳预算值增加一点点,而且仅在排放速度不增加的情况下;H. Damon Matthews等,《关注累积排放、全球碳预算和气候缓解目标实施》,环境研究通讯,2018年1月,Vol.13,第1期。

⁵³ Richard J. Millar等,《与将变暖限制在气温升高1.5°C以内相匹配的排放预算和路径》,《自然地球科学》,2017年,Vol.10;Richard J. Millar等,《估算和追踪严格气候目标下的剩余碳预算》,《自然》,2019年7月,Vol.571,第7765期。考虑到2010-2019年间平均变暖了1.1摄氏度,保守一点,假设维持升温在2摄氏度以下的概率为66%,以及零排放对应0.2摄氏度。

利益相关方应考虑的问题

为应对不断增加的有形气候风险，利益相关方应将气候风险纳入决策过程中。我们在下文列出了一系列广泛问题供各利益相关方参考，以帮助其根据各自的暴露情况应对自身或其社区的有形风险。利益相关方可归入一种或多种类别（比如，一个非金融企业可能也从事投资活动）。这份清单并不详尽，气候变化带来的影响也将促使其他相关方采取行动。

承保人

- 我们是否应进一步投资建立具有前瞻性的与气候相关的模型，以便在保险产品中对气候风险更好地定价，并对当前或未来的投资组合中存在气候风险的部分进行量化评估？
- 我们是否可以进一步鼓励创新，研发新的保险产品，比如，通过开发新的参数化保险产品，以帮助降低制定和管理保单的交易成本，或是考虑保险覆盖上限及公私联营形式？
- 我们是否可以提供风控咨询服务来作为标准保险产品的附加补充服务？包括就当前和未来气候变化带来的风险对目标群体进行教育，以及开发出建立适应力和恢复力的工具包？
- 有哪些方案或激励措施能够鼓励减少风险？比如，对诸如加固实物资产这类适应性措施的进行奖励？
- 在不导致风险暴露进一步积聚的前提下，保险可以从哪些方面帮助降低风险？我们应如何与再保险人、国家保险计划、政府和其他利益相关方合作将保险费用控制在可承担的范围之内（比如，小农的作物保险）？

投资者和银行

- 我们应如何根据气候变化相关财务信息披露工作组(Task Force on Climate-related Financial Disclosures)的建议研究出更好的风险管理实践¹？是否应鼓励被投资方和借贷方对气候风险进行适当的财务披露，以便增加透明度？
- 我们应如何基于可用的科学知识，将气候风险评估与投资组合配置和管理决策融合起来，包括通过压力测试和借助反映有形气候风险概率前瞻性模型来量化投资组合中的气候风险估值(VAR)？
- 有无可能将气候风险与新的借贷和投资活动融合考虑，了解气候对不同地域和不同时长贷款和投资的潜在影响，而后调整信贷政策以反映未来投资的风险估值？
- 气候变化加剧推动了某些行业和产品类型对资本需求的增加，在这些方面存在怎样的资本配置的机遇？比如具有恢复力的基础设施债券？
- 资本可以以哪些创新的方式配置并满足对适应性措施的需求？尤其是在当前商业模式无法提供运营回报的领域（比如，将旅游收入与珊瑚礁保护结合，为与洪灾成本降低相关联的污水处理系统提供长期融资，或通过公共金融机构达成风险共担协议的形式，开发以国家为主体的适应性行动基金等）？
- 我们应如何以最佳方式就当前和未来的气候风险教育债务人，包括开发工具包和数据地图来协助建立被投资方信息库和能力？

监管者、评级机构和央行

- 提升风险意识（比如，提供压力测试的指导，支持基于前瞻性模型的开发，或支持风险披露）的妥当措施有哪些？
- 我们应如何鼓励私营部门、实体机构之间分享最佳实践？比如通过召集行业协会或发布风险管理工具包？
- 我们应如何基于气候变化管理资本间断流动或“外逃”风险？包括考虑是否以及如何调整低收入、高气候风险暴露国家的主权风险评级？

金融行业以外公司

- 围绕气候有形风险会有哪些与自身行业相关的新机遇？包括提供特定行业或区域相关的专门知识？
- 我们应如何建立系统化的风险管理流程以促进良好决策的形成，并将有形风险和气候变化风险评估纳入核心商业决策（比如，采购、资本规划和配置决策等）？
- 气候变化会如何影响核心生产（生产干扰或中断以及生产要素成本上升的风险）、采购和分销（上游供应链或下游分销干扰、物料投入和货物分销延迟或阻碍、产品成本上升或产品价格下降等风险）、融资和风险管理（融资、保险和对冲产品的可获性降低或成本增加的风险）和特许经营权价值（投资和商誉价值缩水、运营权或法律责任干扰等风险）？将需要怎样的商业模式转变？
- 与自身相关的气候风险的程度如何？紧迫性如何？应采取哪些适应性措施？例如，若采购环节发现潜在风险，那就需要考虑寻找替代供应商或提升库存；或评估气候风险暴露所带来的市场变化及可能受影响的资产的价值，并重新进行资产配置投资组合？

¹ 《最终报告：气候变化相关财务信息披露工作组建议》，气候变化相关财务信息披露工作组，2017年6月。

政府

- 我们应如何将对有形气候风险的理解融入到与基础设施和经济发展规划相关的政策和战略决策过程中, 比如投资建立能够分析气候变化带来的可能影响的模型?
- 我们应如何以最佳方式解决市场失灵和社区信息不对称的问题(比如开发灾害地图, 直接为受影响社区提供适应金融支持), 以及机构失灵的问题(比如, 在洪灾保险方面)?
- 基于风险评估和成本效益分析, 我们应如何规划和实施恰当的适应性

措施, 尤其是对诸如公共基础设施等重要资产进行加固? 如何考量涉及艰难选择的措施, 比如什么情形下需要重新安置, 什么情况下需要投资加固设施?

- 我们应如何通过公共平台或社区平台听取多方意见, 并将其融入决策过程, 从而采取更为有效的应对措施, 减少分配中的问题(比如意料之外的用于社区的适应性措施成本)?
- 我们应如何以最佳方式确保金融恢复力, 从而为适应性支出和减灾举措提供支持, 包括寻求全球承诺、多边机构二座, 投资者和借贷机构合作?

- 我们是否应在提供保险方面发挥作用, 包括挖掘不同地区之间风险共担的潜在机遇, 以及具体应该从哪些方面着手?

个人

- 我是否通过对话和学习, 提升自己 and 同伴在气候变化方面的知识和意识?
- 我作为消费者(比如, 在哪里购置不动产)、雇员(比如, 影响企业行为)和公民是否考量了气候风险并将其融入自己的行动?

麦肯锡全球研究院

2020年6月

Copyright © McKinsey & Company

Designed by GCO NewMedia

www.mckinsey.com/mgi

 @McKinsey

 @McKinsey