

壳牌远景

# “天空” 远景

达成《巴黎协定》的目标



2050

2055

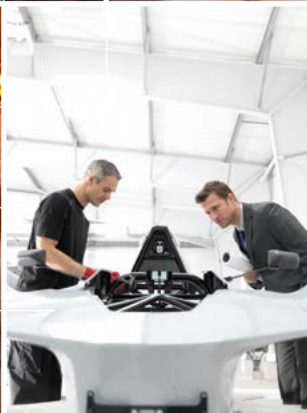
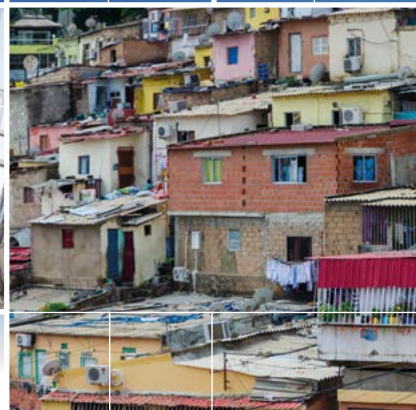
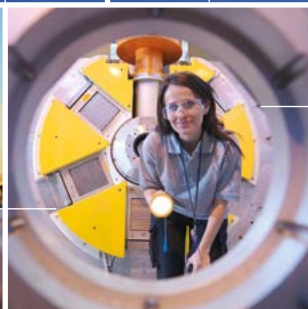
2060

2065

2070

2075

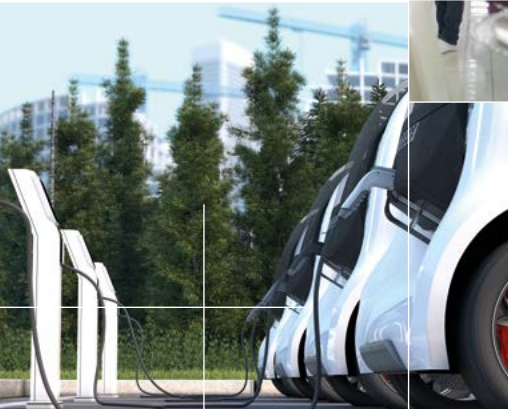
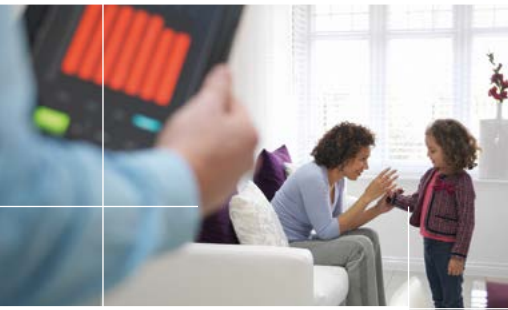
20





# 目录

第一章 2°C 以下: 巴黎协定目标	3
第二章 21 世纪远景的挑战	11
第三章 从“高山”远景与“海洋”远景到“天空”远景	19
第四章 成功的远景——“天空”远景	25
第五章 行业转型	35
第六章 达到平衡	53
第七章 实现巴黎协定的宏伟目标	63





第一章  
2°C 以下：  
巴黎协定目标

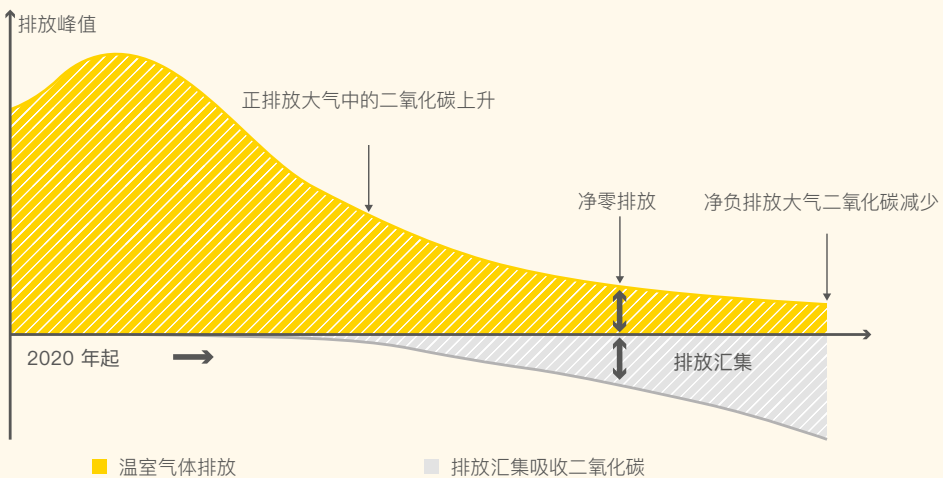
# 1. 2°C 以下: 巴黎协定目标

2015 年 12 月份的气候变化《巴黎协定》是一份标志性文件。这份协定在短短 25 页内为解决社会所面临的最艰难的一个问题提供了一份实际的蓝图。该《协定》的目的在于使全球平均气温上升幅度远低于工业化以前水平 2°C 以上, 并努力限制温度上升到工业化以前水平的 1.5°C 以上。

为达成这一目标,《协定》呼吁“本世纪下半叶人为温室气体源汇平衡”。这种对“平衡”的强调——也称作“净零排放”——是一项重要的进展, 因其认识到地表温度升高与大气中的二氧化碳的累积总量有直接关系。如果总累积排放量超过临界值, 那么就有必要超越净零排放, 实现“净负”排放, 即从空气中提取二氧化碳, 而不是继续排放。在这种情况下, 全球地表平均温度才可能下降。

目前《协定》正在执行, 大多数国家政府对批准和交付首笔国家捐款的呼吁迅速做出响应。由政府主导的碳定价和逐步淘汰煤炭的新联盟也已形成, 但是这项艰巨的任务才刚刚开始。成功是有希望的, 但并非唾手可得。

《巴黎协定》呼吁尽早达到碳排放峰值, 接下来在本世纪下半叶减少至净零排放。



来源: 壳牌图表

## 有关未来路径的背景

我们 2016 年出版了《健康的地球, 让生活更美好》, 我们认识到世界上大多数人口对更美好生活的向往——这意味着, 尽管相对富裕国家的能源需求可能会降低, 但相对贫穷国家的能源需求则会上升。在人人都过上更美好生活的背景下, 我们指出了每一个主要经济领域——工业、交通、建筑和发电——的关键变化, 这些变化是实现能源净零二氧化碳排放的必要条件。

虽然我们了解净零排放通常需要哪些关键条件和能源系统变化, 但找出一条实现 2070 年目标的路径会很有帮助。2070 年是将全球平均气温的上升控制在 2°C 以下的合理时间点。因为未来是不可预测的, 尤其是在较长时间段内预测复杂全球系统 (包括技术、政府政策和消费者行为), 那就更加困难, 所以探索这条路径最佳的方法就是利用远景。

## 能源远景的未来之路

远景是描绘未来的另一种方式, 能帮助我们吸取现在的教训。远景不是政策建议, 不主张应该做什么。远景也不预测社会、业界或个人应该做什么。远景描述了可以做什么事情——未来的合理途径以及沿途有益的见解。

过去二十年多间, 壳牌远景的设想中已纳入气候变化问题, 不同的远景在解决这一重要问题时表现出不同程度的成功。但是, 20 世纪 90 年做远景分析时所采用的 25 年时间框架, 以及本世纪初所采用的 50 年的时间框架, 在描述如何通过全球能源体系的转型来解决气候问题时, 其描述都欠清晰。这种转型始终是一场世代相传的旅程, 而现在延伸到了本世纪末。

“

在“天空”远景中, 2035 年之后, 全球碳排放的下降率将会超过我们在本世纪中所看到的增长率——这是一项极大的成就。

2013 年，壳牌公司公布其 《“新视野远景”，由两个名为“高山”与“海洋”的远景组成。这是业界首次将能源系统建模的远景延伸至 2100 年，可以在整个过程中观察长期的转变。在探索不同的社会政治环境时，远景表明针对二氧化碳的政策框架的持续和广泛运用，包括大规模的使用可再生能源和碳捕获和储存的广泛使用，能源系统可以做到净零排放。然而，两种远景的结果都是在本世纪末实现的，这意味着未能达到《巴黎协定》中的温度目标。

## 超越“高山”远景与“海洋”远景

我们从以前的工作和其他分析中吸取教训，得出一种可能的途径：使全球经济脱碳，到 2070 年达到能源净零排放的社会目标。我们将之称为“天空”远景。

“天空”远景认识到，当前工作的简单延伸——无论是能效的强制标准、不痛不痒的碳税和可再生能源的供应，这些都不足以产生足够大的变化。能源与自然体系中的相关转变需要步调一致的行动，一方面是执行气候政策行动，一方面在政府政策环境中大规模地部署颠覆性的新技术，大力促进投资与创新。没有单独一个因素能够实现转型 相反，在相互加强的各种推动因素的综合作用下，

## “天空”介绍——将全球平均气温的上升控制在 2°C 以下的宏伟远景。

在相互加强的各种推动因素的综合作用下，加之社会、市场和政府不断加速实现这些推动因素，“天空”远景才能得以实现。

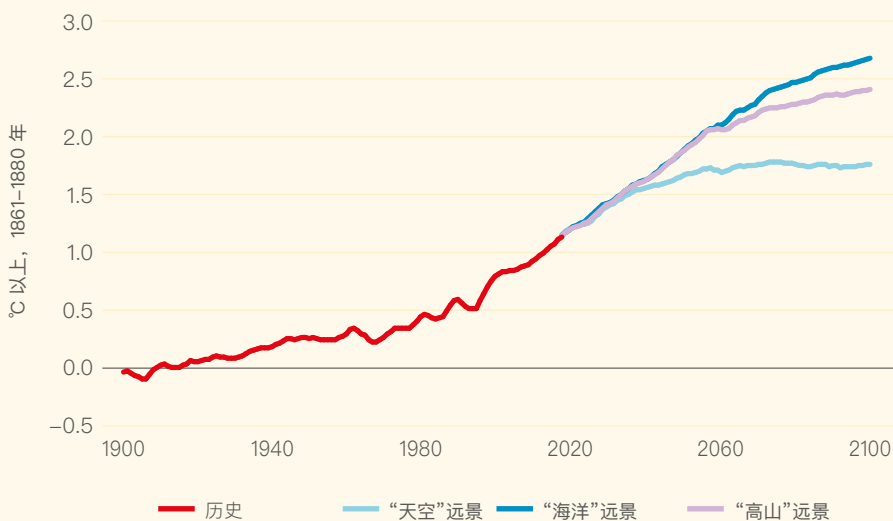
### 从现在到 2070 年——

1. 消费者心理的变化意味着人们会优先选择低碳、高效的方式来满足日常能源服务需求。
2. 能源利用效率跳跃式发展所产生的收益将超过历史。
3. 到 2020 年，全球各国政府采用碳定价机制，消费品和服务价格中将包括具有实际意义的二氧化碳成本。
4. 最终能源的电气化率将提高3倍以上，全球发电量将达到当前水平的近5倍。
5. 到 21 世纪 50 年代，新能源增长高达50倍，一次能源中可再生能源的占比使得化石燃料黯然失色。
6. 建造约一万个大型碳捕获和储存设备，而在 2020 年，这一数量还不到 50。
7. 实现净零森林砍伐。此外，重新植树造林的面积相当于巴西的国土面积可能将变暖温度限制在 1.5°C，即《巴黎协定》的终极目标。





## 壳牌远景比较——全球平均地表温度上升



注：美国麻省理工学院“全球变化科学和政策联合项目”模拟对比了“天空”远景的气候影响，并将其与“高山”远景和“海洋”远景中的影响作对比。所有系列均为五年流动平均值。

来源：美国麻省理工学院

而且社会、市场和政府还要不断加速实现这些推动因素，“天空”远景才能得以实现。

由于气候挑战源自空气中温室气体的总累积，因此未来几十年内，每年减少排放的可能途径是无限的，这可能与巴黎宏伟目标产生一样的结果。当然，这其中一些途径比其他途径更加合理——您不可能指望全球经济在一夜之间全部重组。

“天空”远景起始点是当前经济各行业的结构、政府政策、以及目前产生变化的能力。随后，“天空”远景认为会有非常激进但仍然切实可行的能力建设，而且《巴黎协定》头两个五年周期中各国政府所做的政策承诺会得到极大的加强。除此之外，关于政策与技术如何在全球得到制定和执行的问题，肯定存在很大的不确定性。因此，远景逐渐受到 2070 年实现净零排放的宏伟目标的驱动，并同时充分考虑到不同国家经济中不同行业的规模、技术替代和投资的特点。



这种目标驱动的远景有时称为“规范标准”。基于当前能源系统的现状，再结合具体长期目标的方法，我们认为“天空”既是宏伟远景，也是当前实际考虑的现实工具。

此外，我们的“天空”远景公布了大量的数据集，方便其他人能够查阅并利用这些信息。

《巴黎协定》向世界传递了一个信号，气候变化是各国政府决心解决的严重问题。到 2070

年，可能出现一个截然不同的能源系统。这个系统能将现代能源带向全世界，同时不会产生社会难以适应的气候遗留问题。这就是“天空”远景的本质。



2015

2020

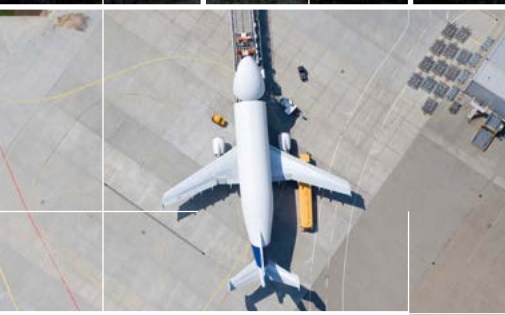
2025

2030

2035

2040

2045





## 第二章 21 世纪远景的挑战

## 2. 21 世纪远景的挑战

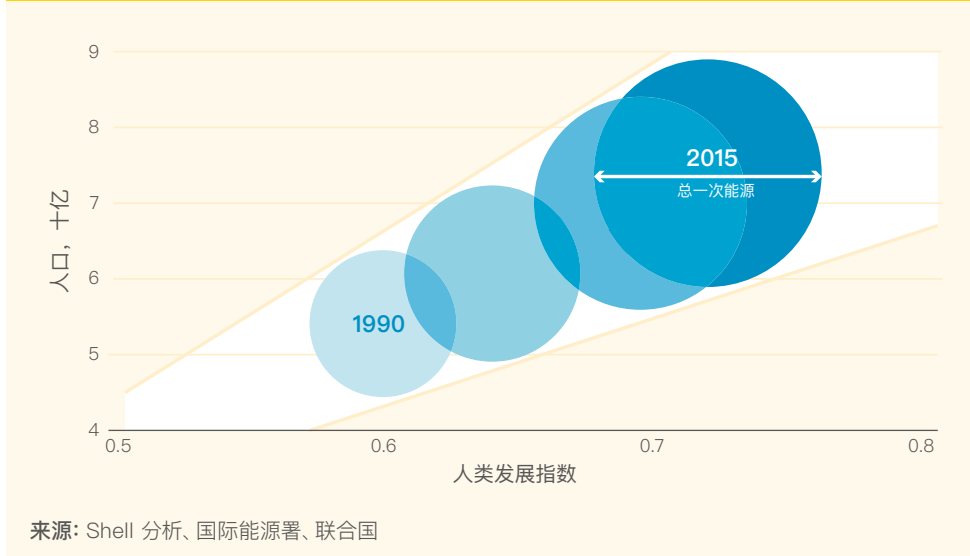
### 挑战：能源需求不断上升

能源带动整个经济的运转。日常生活随处都需要能源——家庭、工厂、商店、学校、个人交通、货运、卫生、水系统、农业和建筑。能源是制造和提供现代社会所需一切的产品和服务的重要隐形原料。

整个 20 世纪，全球能源需求增长了 10 倍，人口增长了两倍多，经济的增长与发展的激增，流动性扩大成为常态，大量新能源服务的出现，从本世纪初的制冷服务，到本世纪末的数据相关服务。但是，根据联合国可持续发展目标，仍有数十亿人迫切需要获得清洁的水、卫生、营养、医疗保健和教育，以追求更美好的生活。能源是满足这些基本要求的关键因素。

每年按人均计算，现在的一次能源使用范围是从肯尼亚等国家的 20 吉焦耳 (GJ) 扩大至美国的 300 吉焦耳 (GJ)。目前全球平均水平约为 80 千焦，但是由于本世纪内几乎全世界都可以获得现代能源，预计这一数字还会上涨。

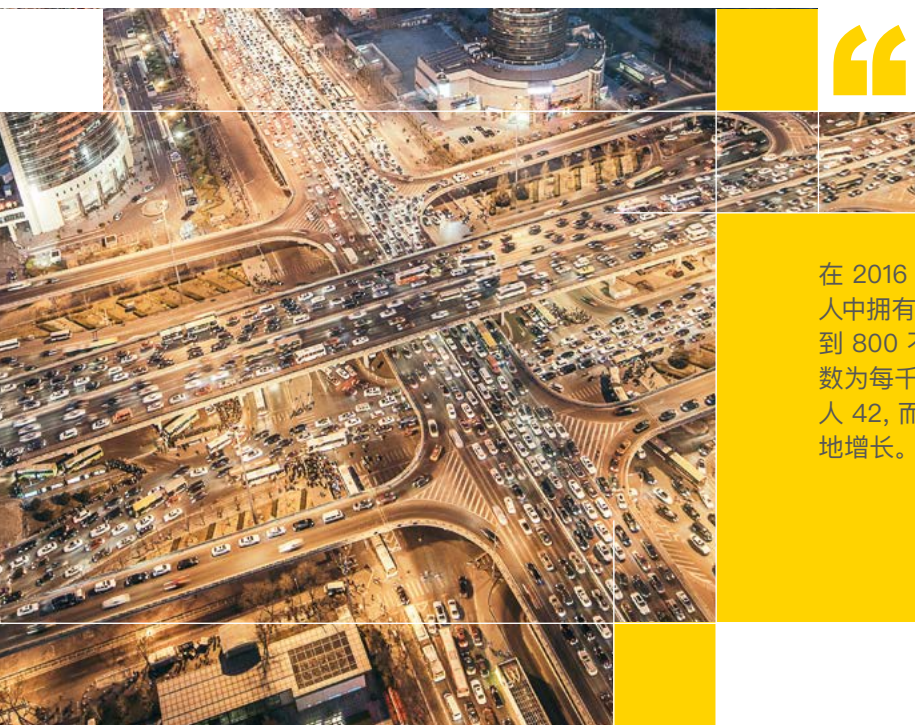
世界能源需求随着人口增长和经济发展而增长



从提供舒适生活与工作的人造环境中的广泛运用，到“物联网”内数万亿的连接设备，新能源服务也将在 21 世纪发挥重要作用。有一个较早的例子，即人们通过国际旅行获得的联系在本世纪头二十年已经翻倍（以国际航空到港人数衡量）。人口增长、急需的发展、新能源服务和现有服务的扩展使用，都导致了能源需求的增长。

### 挑战：效率能够带来意想不到的结果

在不限制能源服务可用性的情况下，通过快速提高这类服务的效率可能会放缓能源需求增长速度。尽管这种情况在所难免，但是它可能是把双刃剑。一方面，提高效率一直都是 20 世纪经济增长的引擎之一，几十年来，空调等家电的制造成本和能源消耗持续下降。但另一方面，这些较低成本也导致消费者消费数量增加。



在 2016 年，北美和欧洲 1,000 人中拥有汽车的人数从 500 到 800 不等。中国拥有汽车人数为每千人 154，印度为每千人 42，而这些数字会不可避免地增长。

例如，最近效率大幅提高的能源服务是照明设备，LED 灯正迅速取代白炽灯、卤素灯和日光灯。但是现在有明确的证据表明照明服务正在增长，即便那些假定照明已达饱和的城市也是如此。广告正在转变为 LED 模式，从街头海报转为巨型广告牌显示。

### 挑战：煤炭仍受欢迎

限制二氧化碳在大气中总量的增加需要远离化石燃料，改用其他能源资源，并同时利用碳捕获和储存技术。但是新能源也将面临挑战，需要足够快的扩张速度来满足快速增长的需求以及快速撤出现有排放源的需求。持续的高需求增长也会对能源价格带来上行压力，而这又会促进煤炭、石油和天然气的进一步开采，并且阻碍现有基础设施的转型与改造。

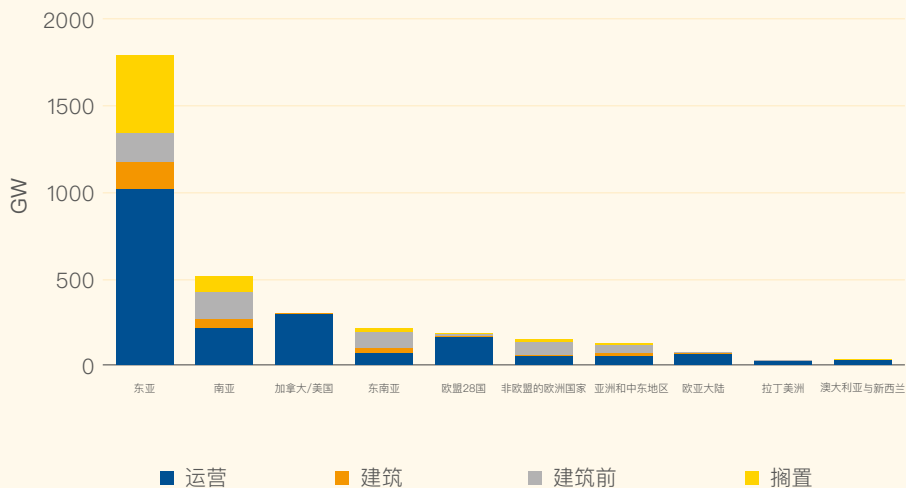
尽管全世界已开始行动，但朝着巴黎目标取得实质性进展仍有很大的挑战性，部分原因在于煤炭。随着可再生能源和天然气在发达国家的能源部门占主导地位，排放量得到减少，但由于一些国家的经济发展需要新的发电能力，这些经济体煤炭的使用量仍会增加。越南就是这样一个经济体，在2018 年建了好几座大型燃煤发电站。

21 世纪早期的一个严峻现实是，对于新兴经济体而言，缺乏一个清晰的不使用煤炭的发展途径。煤炭是一种相对容易开采和使用的资源。煤炭开采只需少量技术，却能带来大量用处，包括电力、供暖、工业以及非常重要的冶炼行业。尽管太阳能光伏和风能可以提供清洁、分布式的电力来造福家庭，但仅靠电力





## 煤炭发电能力



注：煤炭仍受欢迎。中国的国外新项目可能超过其在国内在建项目。

来源：2017年1月，全球煤炭工厂追踪，endcoal.org

目前还不足以实现快速城市化和工业化，包括城市建设和产品制造（如：汽车和电器）。

### 挑战：能源系统的某些部分“很顽固”

不是所有经济体都能同时达到净零排放。欧盟和北美可能需要将其视作 21 世纪 50 年代的目标，在某种程度上是为了平衡在本世纪早些时候才能达到这个目标的国家。作为进步地区的进步国家，瑞典已经将其目标定在了 2045 年。但是在 21 世纪 50 年代实现净零排放对多数工业经济体而言还是一个艰难的任务。航空、海运、水泥制造、部分化学工艺、冶炼、玻璃制造和其他行业明显缺乏低碳解决方案，这意味着工业经济体中的一些重要行业无法迅速达到零排放。到 2050 年，即使是电力行业仍需要传统热力发电的支持。

### 挑战：部分技术“停滞”

目前有一些有前景的技术停滞不前，而氢能或许就是最明显的例子。进入本世纪以来，氢能被认为是公路运输的未来燃料，但是现在却被纯电动汽车的发展所取代。最近，氢能被提为需要强热的工业工艺、冶金行业（煤炭为主要燃料）、家庭供热和航空运输业的可能解决方案，因为这些行业中的电池储存因重量而受到严重限制。

另一个进展比最初预期要慢的领域是生物燃料技术，该技术有可能为某些运输领域提供必要的、高能密度、同时又是低碳的燃料。生物燃料生产也可能成为负排放的一种途径，美国已有一家生物乙醇工厂应用碳捕获和储存技术。

### 挑战：系统转型不可预测且需要时间


根据《巴黎协定》限制全球变暖意味着到 2070 年要实现净零排放，距离现在仅剩 50 多年时间。能源转换过程中，十年只是一眨眼，在一个世纪中可能只看到一些重大的转变，并非所有的转变都遵循预期的路径。

美国在进入 20 世纪时，电动汽车成为交通运输的首选，但是到 1920 年，世界就进入了福特 T 型内燃机的时代。在生产了 40 亿辆汽车之后，基本技术大致不变，但是电动汽车再次出现。

即使是不断改变我们这个世界的电力，也并非快节奏的能源技术。1882 年，第一个电网在纽约出现，距今超过 135 年。尽管该技术已在全球普及，并且几乎无处不在，但在当今终端能源使用中占比不到 20%；我们如今使用的能源中有 80% 并非电力而是化石和生物能源碳氢化合物。在过去的几十年中，终端能源的电气化进展相对缓慢，每年约为 2%，比如，2005 年约为 17%，2015 年为 19%。

核电革命在 20 世纪 60 年代似乎成为可能，但却在 20 世纪 90 年代时完全停滞不前。同样的，在 20 世纪 60 年代，太阳能光伏开始出现在一些非常专业应用领域，但太阳能光伏也用了 50 年才占全球电力生产的 1%。





1839 年发现光伏 (PV) 效应, 最终到 1962 年才作为太阳能光伏部署在卫星上。四十年过去, 全球产能只有 2 GW, 但是在接下来的 15 年内, 产能增加了 200 倍。



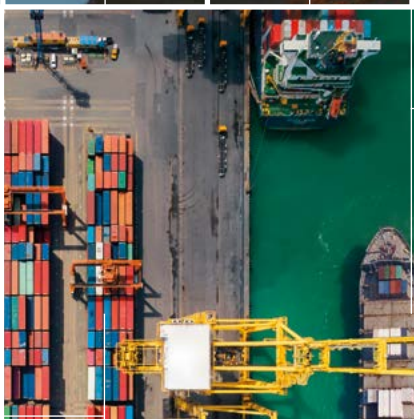
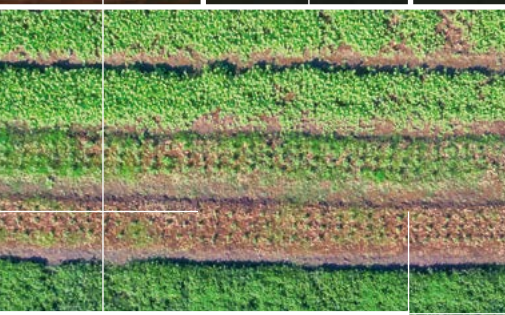
系统转变需要时间的一个原因是一次转型的成功, 例如: 从使用畜力发展到内燃机——可能阻碍下一步发展。成功转型的一个遗留问题是, 当前经济系统所依赖的能源有可能被锁定。这种锁定资源的根本原因是不想放弃最初资本投资和不想失去已创造的工作机会。

**挑战: 考虑到 2070 年的时间框架, 我们耽误不起。**

在 50 年内实现净零排放, 相当于没有为中断、技术停滞、部署延迟、政策由于或国家回溯留余地。相反的, 还需要在能源转型的各个方面迅速加速, 特别是强有力的排放政策框架。只有在社会接受、多国政府主导、多个组织 (包括联合国气候变化框架公约组织、欧盟、东盟) 协调下, 控制气候变化的努力才能达到成功。



2015      2020      2025      2030      2035      2040      2045





2050

2055

2060

2065

2070

2075

2080

### 第三章 从“高山”远景与“海洋”远景到“天空”远景

### 3. 从“高山”远景与“海洋”远景到“天空”远景

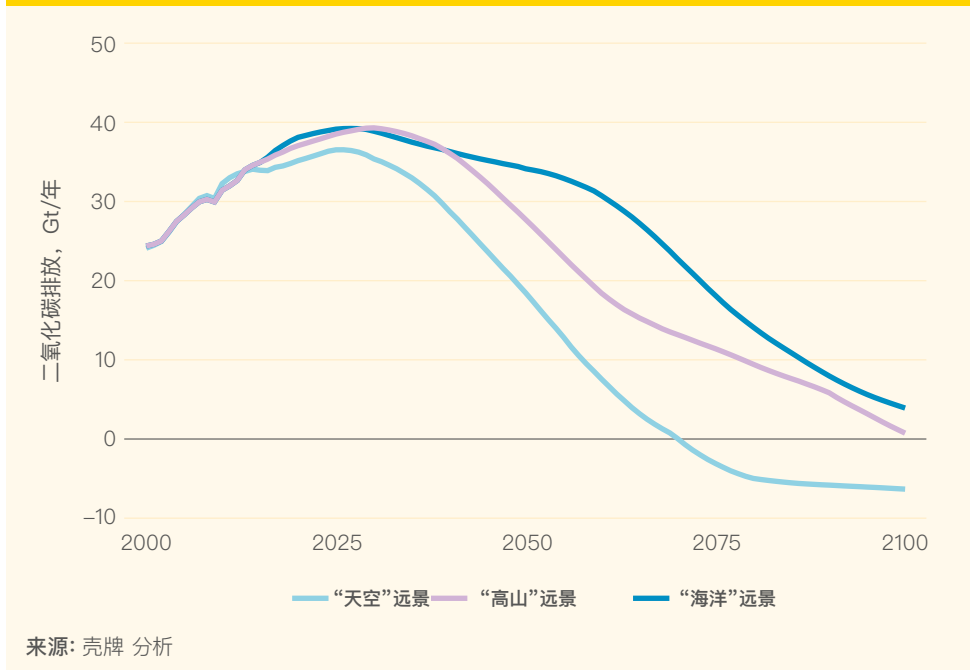
在最初的新视野远景中，我们探索了 21 世纪可能出现的两种发展方式，研究了几个紧迫的全球趋势和问题，并利用它们作为“视野”来观察世界。

“高山”远景与“海洋”远景对当前社会政治趋势及其未来可能的轨迹提供了详细分析，“高山”远景是自上而下的方式，更多为政府主导，而“海洋”远景则是自下而上以市场为驱动的结果。

“天空”远景进一步揭示了良好的多边合作应对气候和空气质量问题的可能性。在这一方面，它结合了“高山”远景与“海洋”远景中最

先进的元素。这种合作方式在之前的现实生活中已经见过，比如关于臭氧层物质消耗的《蒙特利尔议定书》，但是社会并没有看到一个可持续的趋势——真正的长期国际合作和将国家利益与其他国家的不同利益相结合的意愿。然而，尽管有苛刻的同行评审和挑战，但《巴黎协定》就建立在这样一个模式之上。

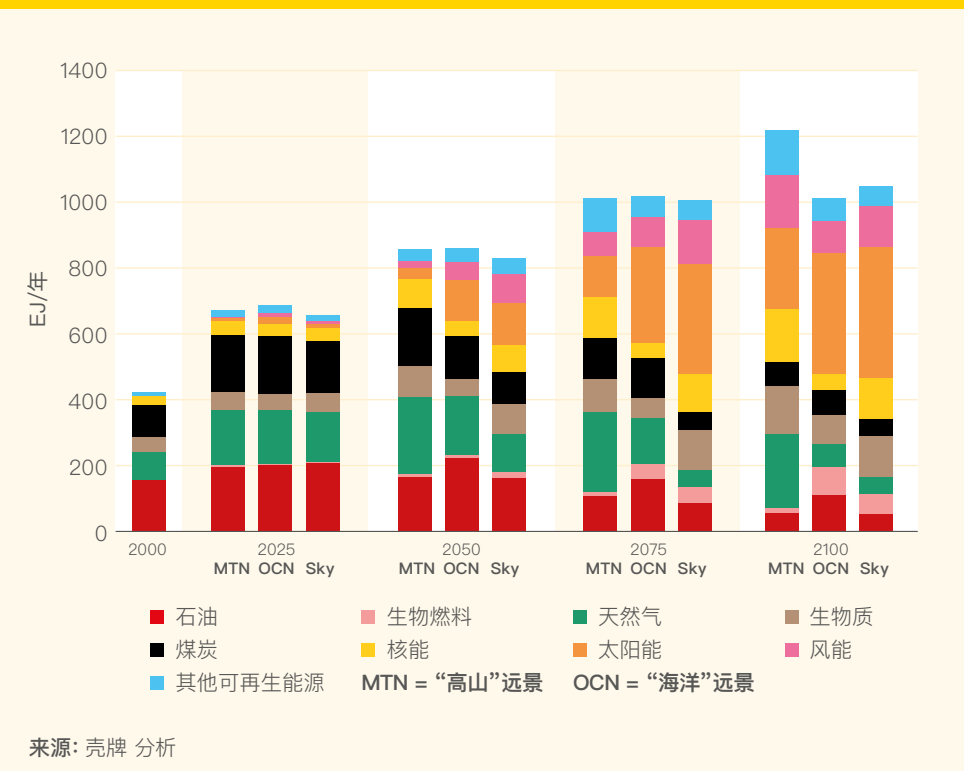
壳牌远景比较——世界能源相关二氧化碳排放

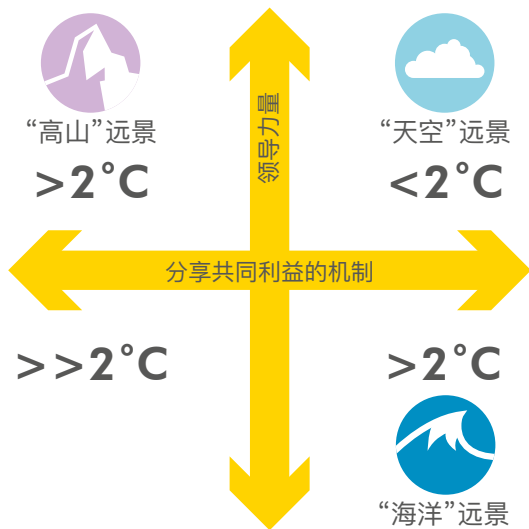


发挥领导力以达成共同愿景是《巴黎协定》的重要因素，在谈判的最后两年几个政府首脑之间的双边协议，证明了领导力的巨大作用。但是，倾听和响应那些最容易受气候变化影响的国家的意见也很重要，如小岛屿国家联盟 (AOSIS) 对海平面上升问题的深切关注。为响应这些关注，一个名为“雄心壮志盟” (High Ambition Coalition) 在巴黎成立，这样联盟负责在《巴黎协定》中纳入一个更大的目标，即将变暖温度控制在 1.5°C。

上面说的这些背景为我们建立了解决全球问题的框架，在这个框架内可以引入多种远景。这个框架并不只依赖技术变革等趋势，因为不管 21 世纪会发生什么事情，技术变革的步伐都是在加速甚至是飞速发展，这个框架源于长期的自身利益和社会对当今问题的倾听与响应。

### 三种远景中的一次能源来源





“天空”远景需要来自社会各界的领导力和新兴联盟。气候变化问题是全球共同的问题，其解决方案涉及到复杂的公共和私人利益的问题。

“海洋”远景想象了一个影响力深远广泛、无权力之争、各方利益都得到满足并且商业为王的世界。虽然领导力不强，但商业活动的一个特色是对共同利益认识的不断提高。随着商业引擎驱动技术部署和效率提升，经济潜能得到释放。

相比之下，“高山”远景所描述的世界是有影响力的国家极力维持现状。稳定性是极受重视的，强大的国家之间互相协调，稳定并谨慎地开发资源，而不是单单取决于市场力量。经济增长有所缓和，但是集权会加速城市转型、革命性地改变运输方式并广泛使用碳捕获与储存技术——这些都对限制总排放量非常重要。





## “高山”远景、“海洋”远景和“天空”远景： 它们有何不同？

“天空”远景的建模与开发与早期壳牌远景工作（如“高山”远景与“海洋”远景）中的所用方法不同。它也与大多数开发出 2°C 远景的能源组织采用的方法不同。

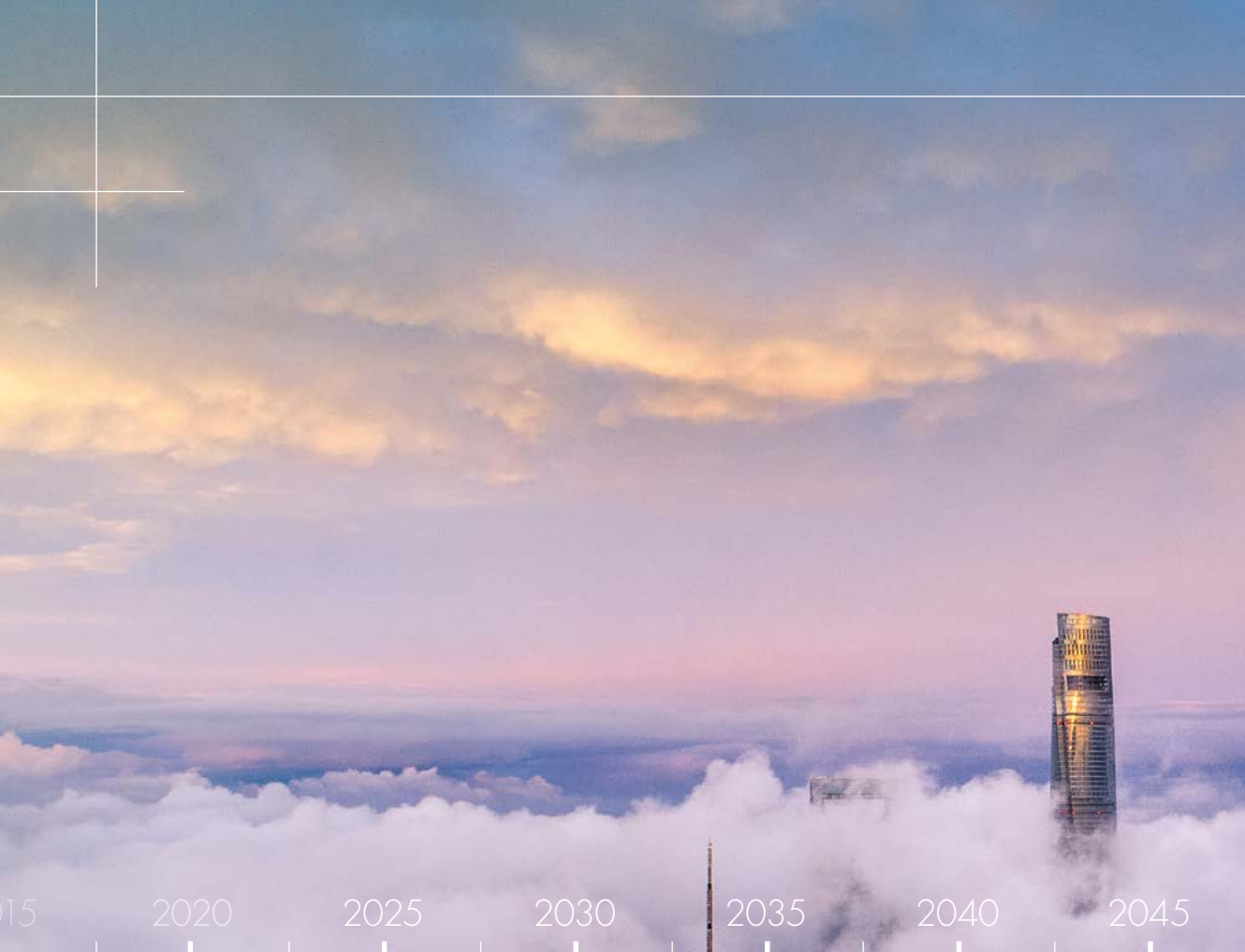
“高山”远景与“海洋”远景始于一系列的研讨会，这些研讨会旨在确定有可能塑造 21 世纪发展的关键社会趋势。远景描述在这个前提下展开，从而形成了两种远景的基础。之后，通过能源建模对这些描述进行测试，以充分探索这种趋势对能源系统中每个远景的影响。建模包括反馈和验证，当情景描述和能源数据非常一致时，就能够得出一个合情合理的远景。这些远景是开放式的，不追求固定的目标，这些远景描述现实政治演变，这些演变会做出相应的能源选择，最后得到气候系统变暖的结果。

相反，2°C 远景从一开始就建立气候变暖程度的目标，不考虑任何时间点的政治与社会状况。设定目标之后再探讨可能的发展途

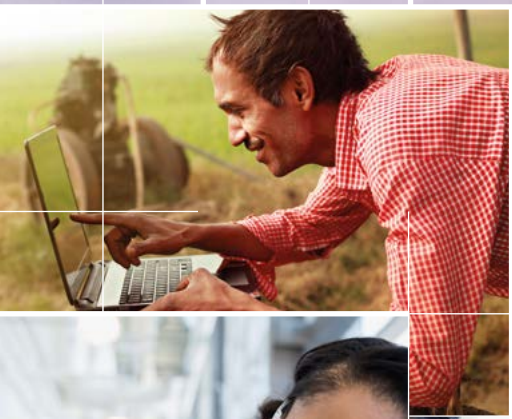
径和相应的情景描述，这些发展途径和情景描述的合理性得到充分讨论和挑战，以达到我们设定的目标。这种建立远景的方法叫“规范分析”。

正如引言中所提到的，“天空”远景采取了一种混合方式，旨在协助那些为社会决策的人士。从 2018 年到 2030 年左右，人们清楚地意识到，考虑到经济成本与可获得技术，即使我们引入了积极的新政策，能源系统在短期内发生巨大变化的可能性不高。但这一时期也被认为是进行建设能力和降低技术的阶段，继《巴黎协定》的两个 5 年周期之后，即在 2030 年之后，政策和技术可以以更快的速度进行部署，从而确保一个远低于 2°C 的结果。





2015      2020      2025      2030      2035      2040      2045





2050

2055

2060

2065

**2070**

2075

2080

## 第四章 成功的远景——“天空”远景

## 4. 成功的远景——“天空”远景

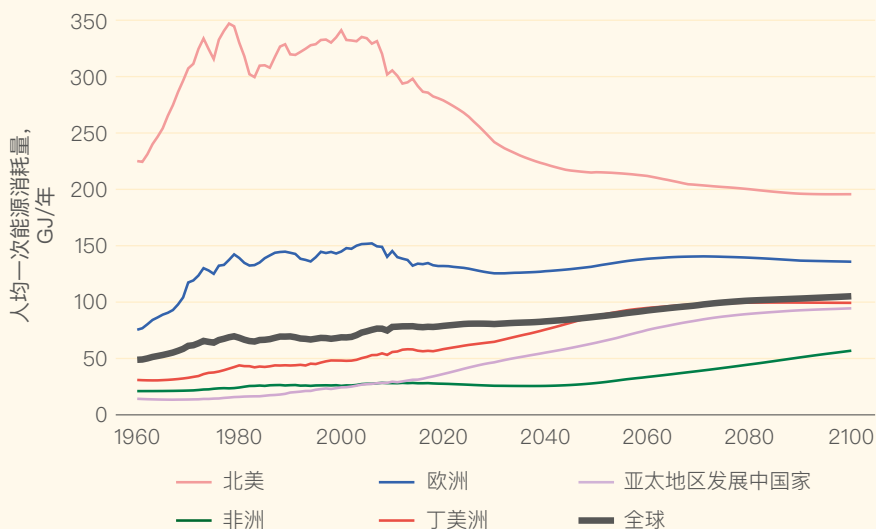
“天空”远景始于《巴黎协定》第一个十年采取的行动。针对《巴黎协定》下国家承诺的评估、审查和改进，各国政府做出积极响应。到 2023 年盘点之前，各国会重新递交自己的承诺，其中中国对减排的承诺会发生显著变化。在“天空”远景中，到 2028 年盘点时，所有的承诺都得到极大改善，到本世纪 30 年代，印度能达到排放峰值。

在“天空”远景中，本世纪 20 年代在加强能力建设的同时，减排进程会相对缓慢。但是自 2030 年起，随着 21 世纪可持续发展所面临的挑战开始得到切实解决，能源转型速度会加快。

### 成功：人人享有能源

在“天空”远景中，全球人口由 2017 年的 75 亿增长至 2070 年的 100 亿，其后趋于稳定。能源需求也在整个世纪过程中上升，到 2080 年接近峰值。重要的是，在“天空”远景中，由于能源服务空前高效，人均使用率保

### 人人享有更美好的生活



注：现在，人均 100 GJ 的需求可以使人人都拥有更美好的生活。在本世纪后期，效率提升意味着可以在更少的能源中实现更美好的生活。

来源：壳牌分析，国际能源署（历史数据）

持相对较低——在整个世纪中，效率提高了将近三倍。其结果是，人均一次能源需求为每年约 100 GJ——远低于现在工业化国家的水平，但这个能源需求水平能够为世界提供更好的生活。例如，一台现代节能冰箱每年只消耗 1 GJ 的能源。

随着人口在本世纪后期上升至 100 亿，以及人均能源使用量的上升，“天空”远景中的能源系统大约为 2010 年的两倍。

### 成功：煤炭的使用

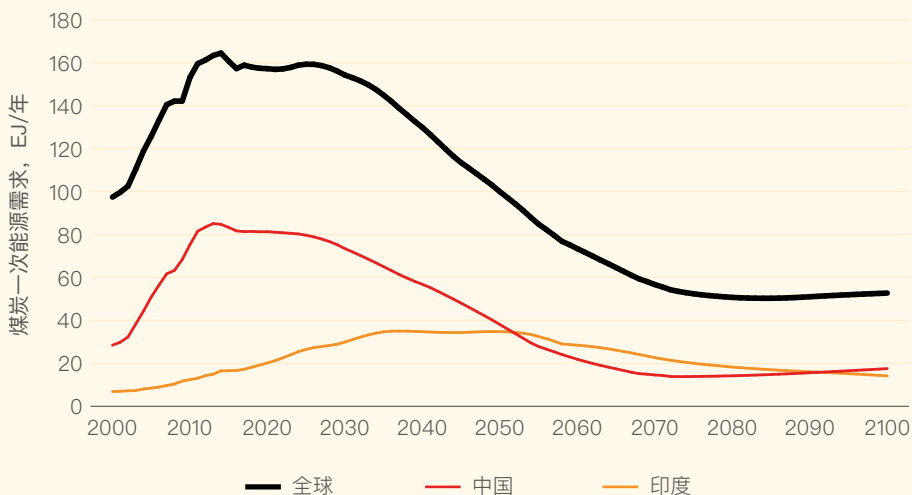
在 2017 年的第二十三届联合国气候变化大会中，25 个国家和地区组成推动淘汰煤炭发电联盟，承诺在其管辖范围内逐步淘汰现有传统煤炭发电。在“天空”远景，接下来的几年内有多个国家加入这一联盟，世界各地的煤炭发电得到减少。在越南，甚至在印度，新建火力发电厂会在 2030 年之前全面停止。到本世纪 30 年代，额外的太阳能和风能够足够满足所有增量电力需求。

在“天空”远景中，中国加速淘汰煤炭的推动意味着全球煤炭的需求峰值已经过去，虽然



在“天空”远景中，印度在2040年成为全球人口最多的国家，其二氧化碳绝对排放量在 2040 年达到峰值。

在“天空”远景中，煤炭峰值已成为过去，从本世纪 30 年代早期起，总消费量迅速下降。



来源: 壳牌分析, 国际能源署 (历史数据)

煤炭在一些亚洲国家仍然重要，炼焦煤仍然是冶炼的关键原料，但是其需求量已经快速下降。到 2070 年，煤炭在全球一次能源中的占比已经从 2020 年的 25% 下降至 6%。

### 成功: 顽固和停滞技术的转型

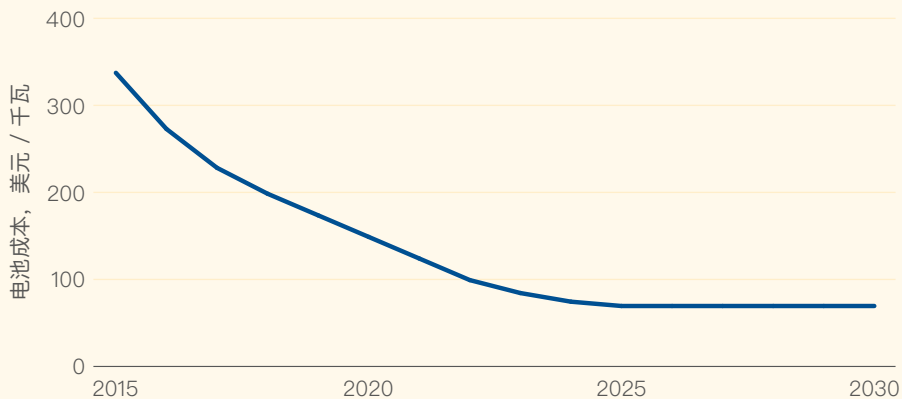
在《巴黎协定》签署后的第一个十年，能源系统的二氧化碳排放在很大程度上受到现有技术、资本存量和社会变革阻力的限制。在“天空”远景里，本世纪 20 年代因能源技术和生产规模的显著提升，面向个人和企业的能源价格下降，能源系统由此逐步开放。政府有针对性的扶持研发工作以及重要的早期商业化，同时电池储存技术、碳捕获与储存技术和高级生物燃料方面取得的重大进展，这些会促进能源系统的开放。

### 成功: 政府加快步伐

在“天空”远景中，世界多国政府执行法律框架来提高效率并快速减少二氧化碳的排放，主要手段是通过强制淘汰老旧能源技术，同时也通过促进竞争机制来部署有成本优势的新技术。

例如，在国家和次国家层面，政府通过调整电力市场适应新的可再生能源技术，并对传统热能发电的碳排放量设定一个合理的价格或限制，以此来加快能源转型。到本世纪 40 年代，许多国家的法律会强制要求电网向 100% 可再生能源转变。

在“天空”远景中，电池成本迅速下降，部分原因是政府对新技术的资金支持。



来源：壳牌分析，彭博社新能源财经（历史数据）

家电、商业和个人住宅以及个人交通都执行很高的能效或排放标准。城市管理者推行低排放区的建设，强制淘汰老式车辆，而在许多城市中，由于其便利性和无所不在的充电站，电动车成为了自然的替代品。以旧换新奖励政策加快了家庭和办公室中过时、低效设备的更新。但是世界多国政府针对排放所采取的最重要的行动，是执行明确的碳定价机制。

自《巴黎协定》签署以来，政府主导的碳定价方式一直受到推动。在 2017 年的 OnePlanet 峰会上，美洲多个国家和州政府

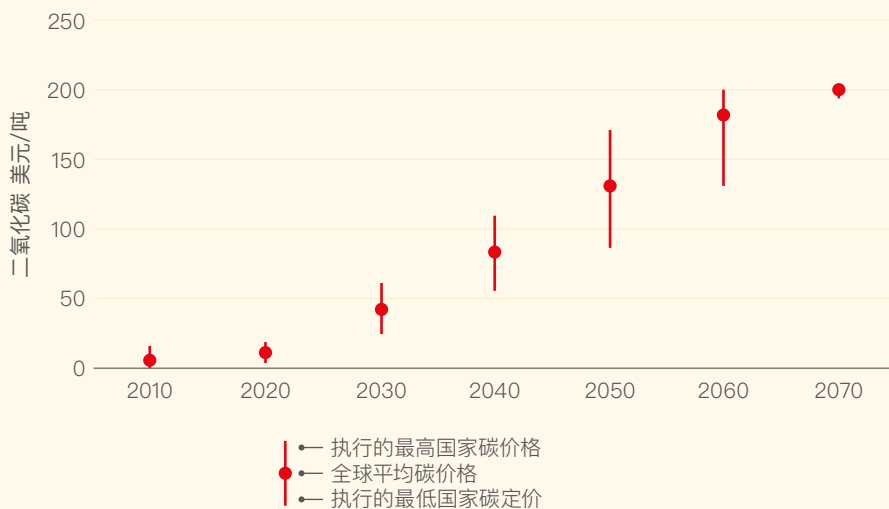
承诺扩大这些机制的使用。同年，中国宣布启动从电力部门开始建立全国性的排放权交易系统。到 2018 年初，加利福尼亚州、魁北克和安大略都在相关的排放权交易体系下进行运转。

“

在“天空”远景中，太阳能光伏保持着每年20%的平均增长率，到 2035 年，装机容量超过 6500 GW。覆盖面积为 10万平方公里，相当于韩国的面积。之后直到 2070 年，每年将增加约 1000 Gw，届时太阳能光伏的全球覆盖面积将接近西班牙的国土面积。



本世纪 20 年代, 世界各国政府迅速采用碳定价机制; 到 2070 年实现完整协调。



来源: 壳牌 分析

在“天空”远景中, 政府主导的碳定价成为一套税收、征税及市场机制。各国政府之间以令人惊讶的速度就排放的合适成本达成共识。

在“天空”远景中, 到 2030 年, 政府主导的碳定价在整个经济合作与发展组织和中国确立, 俄罗斯和印度成为进入碳市场的第二批国家。本世纪 30 年代后期, 各国政府的碳定价全球实施工作已经完成, 届时所有系统都实现了可靠的阻止排放限制。

在“天空”远景中, 碳定价有两大重要结果。第一, 它加速了碳捕获和储存在大型排放设施中的应用, 同时推动了净负技术的部署, 如将碳捕获与储存与生物能源结合的技术。

第二, 碳定价鼓励整个经济进行减排, 特别是通过提高能源效率, 从而使得消费者和生产者的行为发生重大转变。

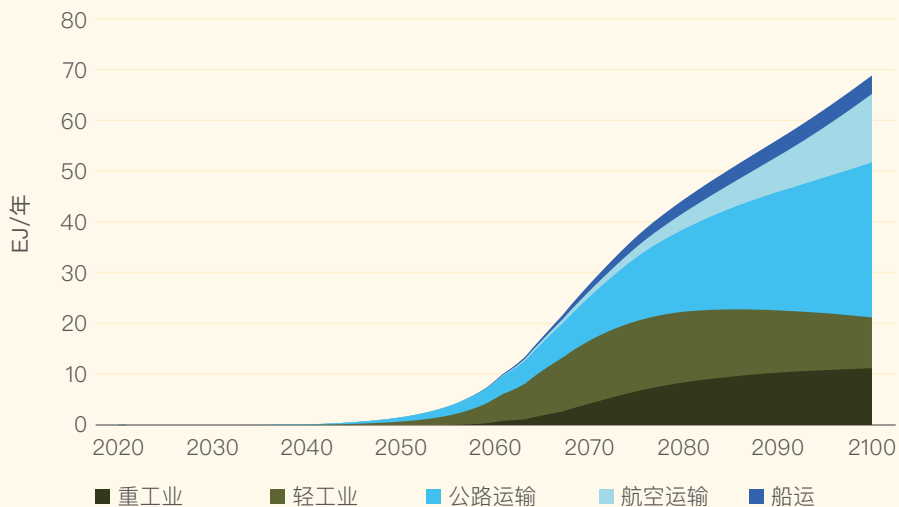
### 成功: 新能源系统出现

在“天空”远景中, 世界开始出现陆上和海上的电解氢系统。最开始, 他们利用的是日益增长的可再生能源非高峰电力, 但后来成为了完全集成的基础负载系统。因此, 到 2040 年之后, 氢成为重要的能量载体, 并且稳步增长, 在本世纪末占据全球终端能源消耗的 10%。

在“天空”远景中, 随着石油和天然气使用量逐渐减少, 多余的油气设施将会改造成为氢气的储输设备。此外, 本世纪前十年不断增长的液化天然气供应使得氢能够立足并且有一定发展规模。电网与氢气管道的大规模建设确保了安全实惠的电力和氢气供应, 从而刺



在“天空”远景中，2040年之后，氢能作为一种重要能源载体出现，主要运用于工业和运输业



注：到 2100 年，氢能可以满足 25% 的运输能源需求和 10% 的工业能源需求。

来源：壳牌 分析

“

在“天空”远景中，氢能在 2040 年成为能源载体，到 2070 年全球产能将达到每年 8 亿吨——是当前全球液化石油气市场的两倍多。



激了跨行业的能源转换，特别是在运输和工业领域。

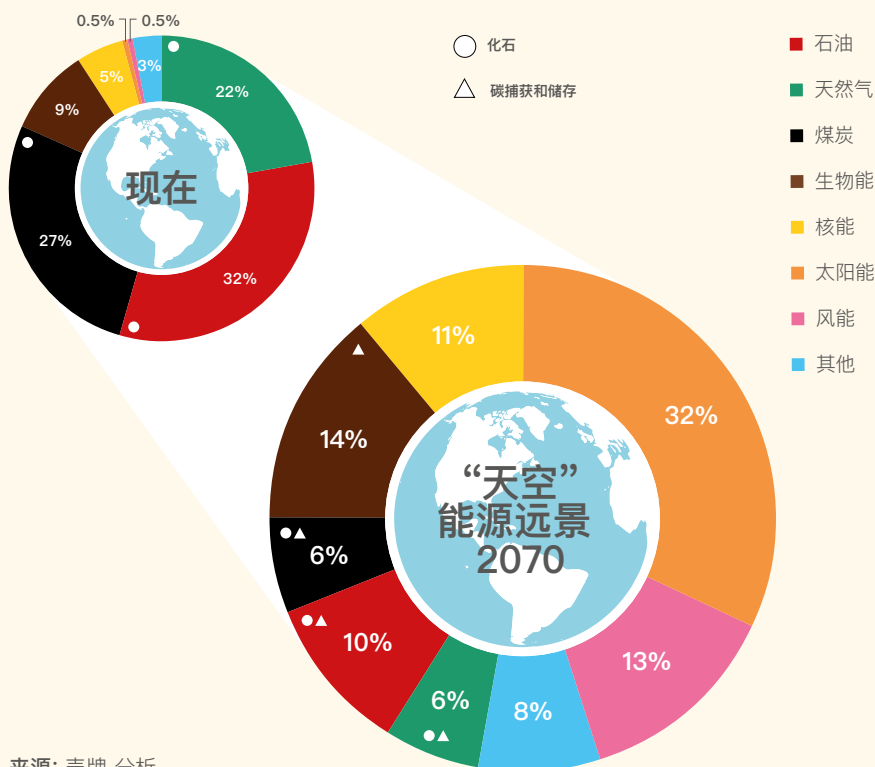
在“天空”远景的前十年，尽管航空和海运还是依赖于原油，但是生物质合成的燃料开始占据越来越多的市场份额。“天空”远景认为主要是液体生物燃料，因为它具有最强的灵活性，但是如果生物质转化为甲烷更成功，那么它也能成为压缩或液化沼气，可以用于船舶、铁路和道路运输。在能源转型的后期，

氢能成为一种新能源载体，尤其可用于航空领域。

### 成功：巴黎的任务

在“天空”远景中，由于政府在各个层面实施有针对性的能源政策，同时全球经济所有领域（包括能源行业）采取积极的行动，《巴黎协定》得以成功。

在 2070 年的净零排放世界，太阳能、生物能和风能主导着可再生能源的供应，但是石油仍然是最大的化石能源供应源



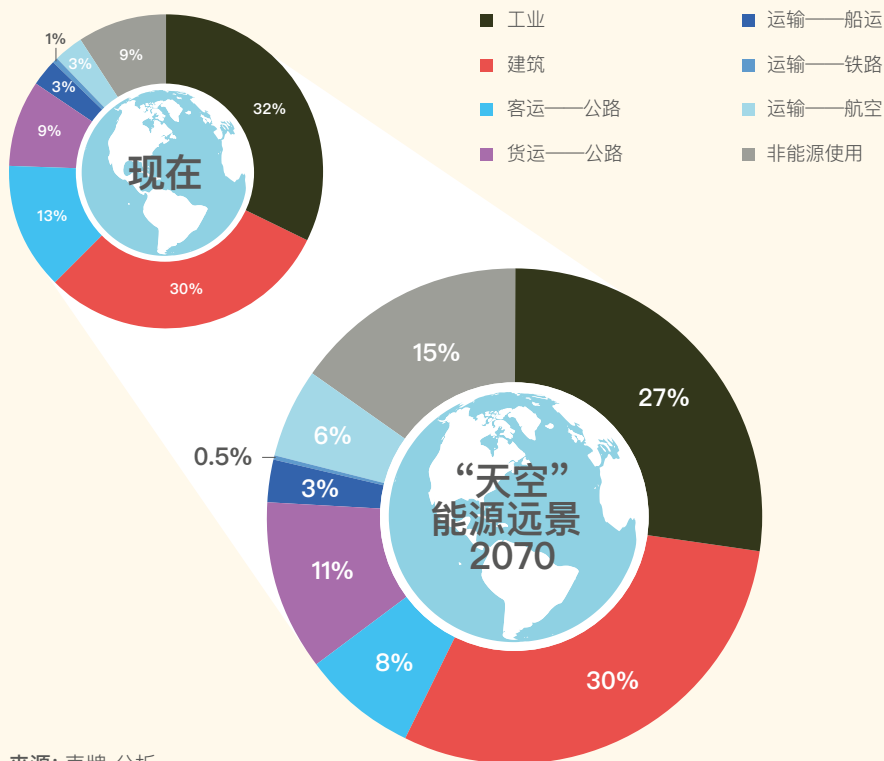
来源：壳牌 分析

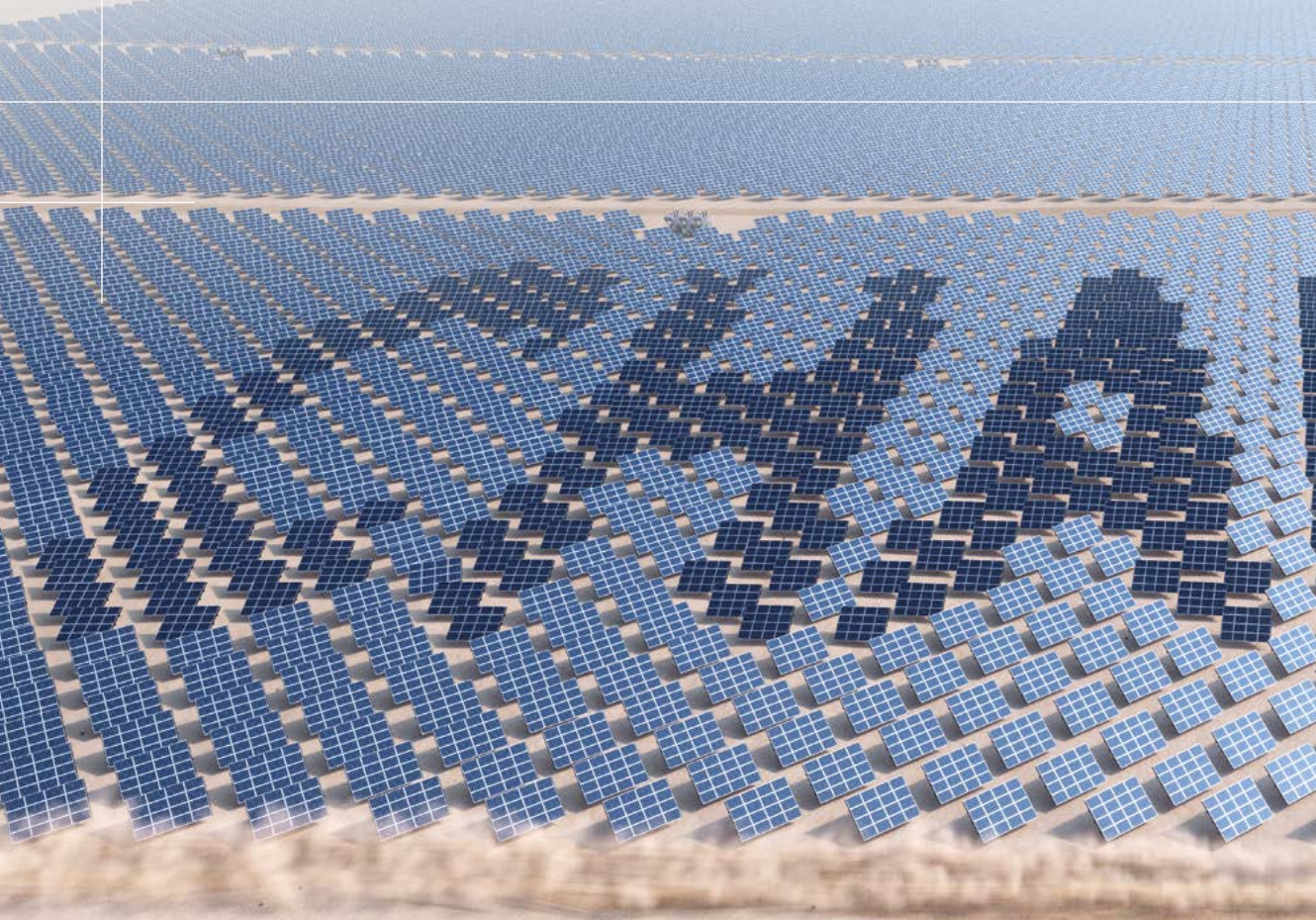
这些行动以及类似的行动迅速增加。首先，政府领导负责变革的速度，但越来越多的同辈压力为《巴黎协定》中所包含的透明度框架提供助力。随着规模的增加，新技术本身越来越具有成本竞争力。五年棘轮机制适用于“天空”远景中。

到 2070 年，并非所有国家都达到了净零排放。但是自 2020 年起，进步国家跟随瑞典早期的法律承诺，在 2045 年达到净零排放。

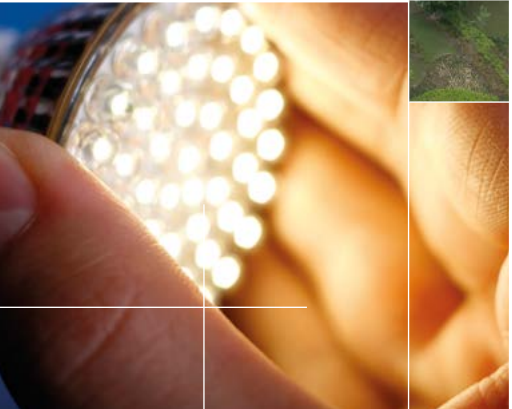
与巴西和其他大型经济体一样，许多欧洲国家在 2060 年达到净零排放，有些国家的排放量持续下降，以致于其经济系统排放成为负值——负值的意思是，从空气中吸取二氧化碳。这是通过结合生物质能源和碳捕获和储存技术而取得的。之后，这些国家就可以向那些排放仍为正值的国家转移负排放，从而达到《巴黎协定》中呼吁的全球平衡。

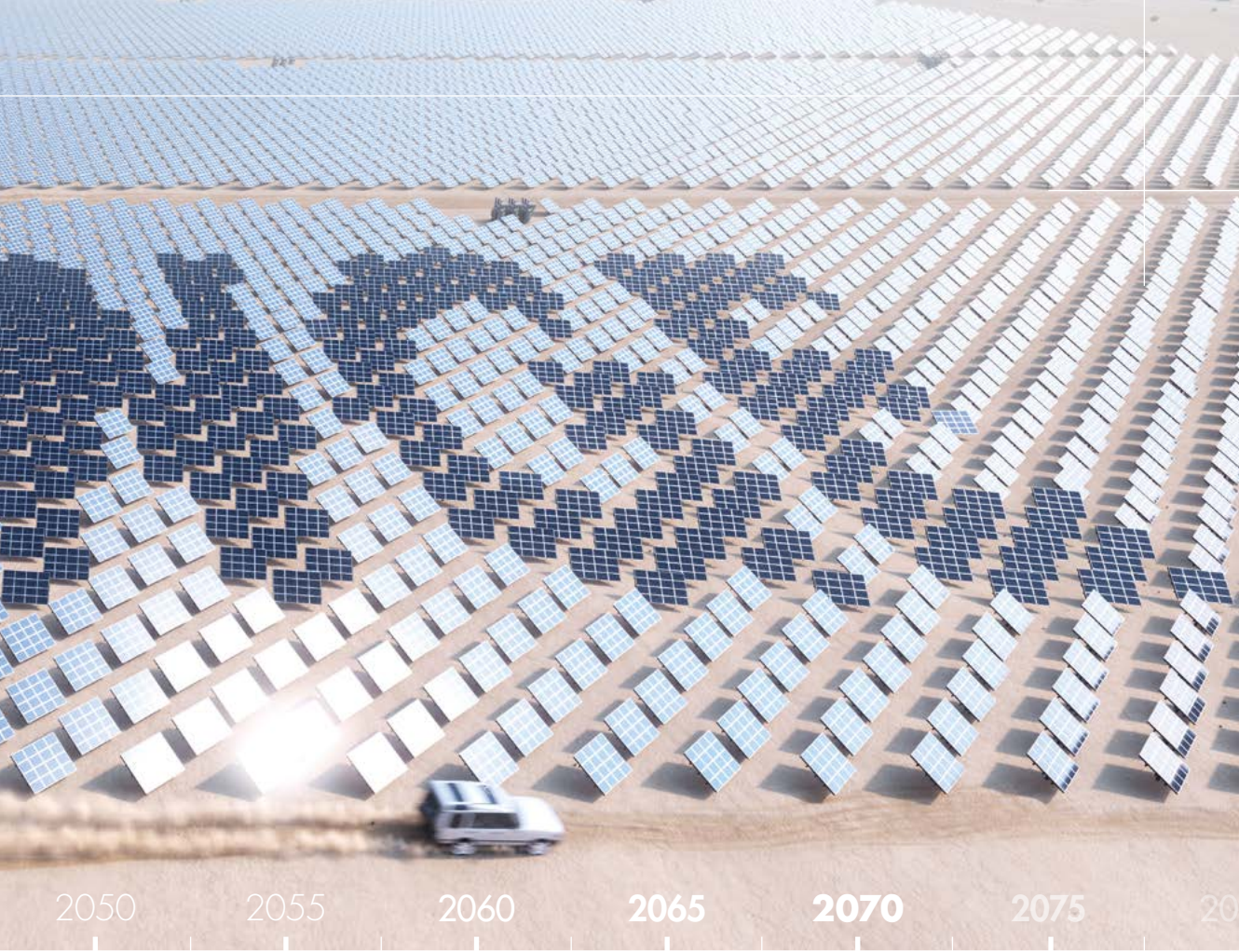
### 在“天空”远景中，全球行业总终端能源总消费量





2015      2020      2025      2030      2035      2040      2045





2050

2055

2060

2065

**2070**

2075

2080

## 第五章 行业转型

## 5. 行业转型

在“天空”远景中，到 2070 年实现净零排放的途径包括经济和能源系统中每个层面的变革，从城市结构到消费者对能源的需求，再到替代化石燃料所需的技术突破。在“天空”远景的世界中，为了减少温室气体排放，能源系统的转型必须与其他行业转型相匹配（那些行业产生了三分之一的温室气体）。

在“天空”远景中最重要的能源系统趋势之一是电气化，越来越多的电气化取代化石燃料（如烹饪用的天然气和汽车用的汽油）。

### 一场成功的运输变革

到 2020 年，运输系统能源转型的基础已经建立了起来。2009 年哥本哈根气候大会之后成立全球清洁能源部长会议，以鼓励全球向清洁能源经济转型，并早期行动之一是电动汽车计划，目标是到 2030 年在全球将会有 2000 万辆电动汽车，并在 2030 年电

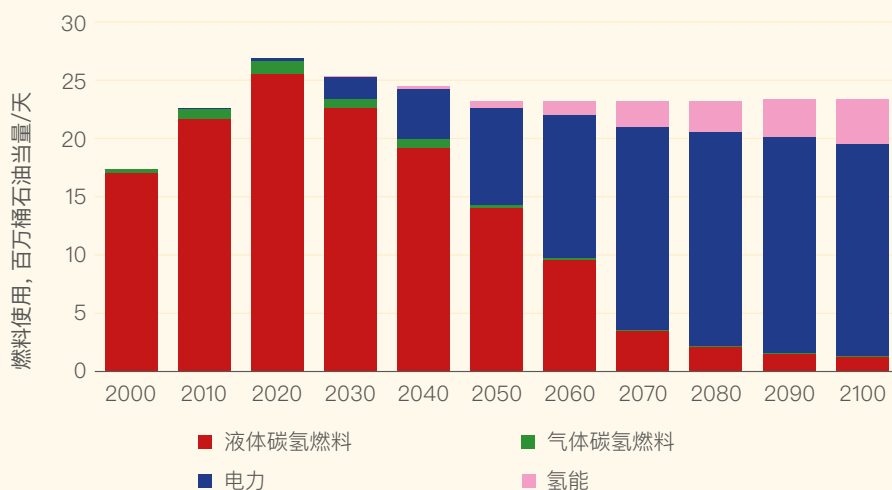
动汽车销售占新车销售的 30%。英国承诺到 2040 年逐步停止销售内燃机乘用车。

在“天空”远景中，这种转型比预期要快得多；早到 2030 年，全球汽车销售中就有一半是电动汽车，到 2050 年，乘用车将全部是电动汽车。其中一个原因是在繁华大城市中，上班族们享受无人驾驶电动汽车所带来的自由与方便。电动汽车数量快速上升的另一个原因则与这种新选择所带来的兴奋感有关。例如，在“天空”远景中，标准化的汽车底盘设



在“天空”远景中，到 2025 年，电动汽车在乘用车领域与内燃汽车达到相同成本。到 2035 年，欧洲、美国和中国所销售的新车 100% 为电动汽车，其他国家和地区也紧随其后。

在“天空”远景中，乘用车的燃料种类快速变化，到2070年电力占主导地位，从2020-2050年，液体燃料将减半



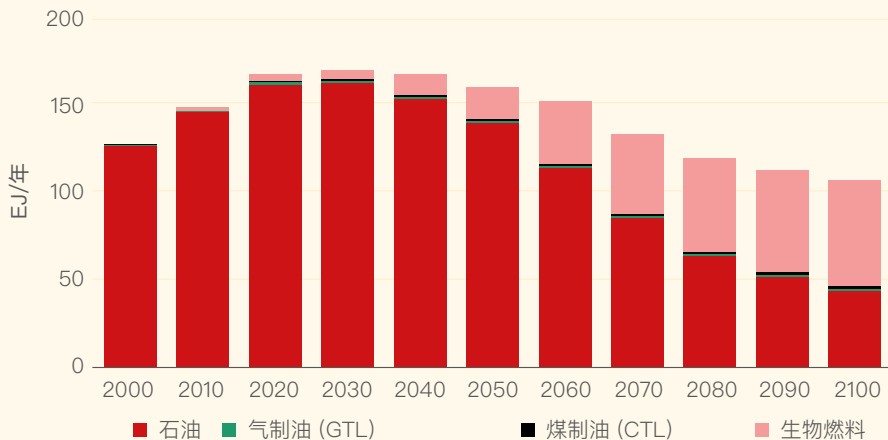
来源: 壳牌 分析

计与电池或燃料电池（燃料电池电动汽车）结构相结合，以近乎平装的形式运输至本地公司，本地企业利用 3D 打印技术进行定制车身制造。专门的 CarOS（汽车操作系统）不断发展（包括电池管理和自动驾驶操作），成为通用的人车交互接口。

在这种情况下，受益于新的制造方式和提供完整定制的客户价值主张，电动汽车的普及率增加，而且定制化的出现将弥补不能选择引擎功率所带来的损失。这一变革与装配生产线的出现一样意义深远。

在“天空”远景中，生物燃料将在运输领域的能源转型中起着关键作用。对高能源密度的液体燃料的持续依赖，同时响应二氧化碳减排的需要，生物燃料将得以迅速扩张。虽然第一代燃料（如：甘蔗乙醇）一直到本世纪中叶才开始减少，航空、陆运和航运使用生物质合成燃料的增加，将刺激生物质能源的进一步发展。这种燃料可以从更广泛的生物原料中获取，从而减少对庄稼的依赖。

在“天空”远景中，先进生物燃料迅速增长，从而对满足液体碳氢燃料持续增长的需求。



注：到 2100 年，生物燃料生产以达到每天 3000 万桶石油的当量。

来源：壳牌分析

在“天空”远景中，乘用车的转型在 2070 年基本完成。在 2020–2050 年期间，液体碳氢燃料消费几乎减少一半，到 2070 年下降 90%。尽管公路货运到本世纪 50 年代还在使用柴油（因为需要使用高能量密度燃料），但运输业也经历了自身的转型，分为生物柴油、氢燃料和电气三种方式。

### 建筑环境

建筑环境的变化，包括住宅和商业物业，将在今后几十年持续，但其基础是在本世纪 20 年代建立的。在此期间，各国政府对建筑标准进行根本变革，为家电设置很高的能效标准，为区域供热需求建设新的基础设施，鼓励发展紧凑式城市。

受益于能源效率的提高，在全球人口不断增长并且大部分人都能获得便利设施的情况下，包括供暖、照明和家电等住宅服务在内的终端能源需求能够在整个世纪稳定在 90 EJ 左右。

建筑物的电气化进程加速，天然气使用量自 2030 年开始逐渐下降。到 2070 年，在北美和大多数欧洲国家，天然气不再用于住宅供暖和烹饪。



自 1970 年起，美国家用冰箱的能效提高了 3 倍。为了给所有人提供更好的生活，也为了管理能源需求，“天空”远景在整个经济体中应用了这些成功。



## 工业化转型

净零排放所需的工业转移遵循一条更加渐进的道路，主要由政府碳定价系统的逐步实施，以及随着各国政府对《巴黎协定》的响应所导致的最终价格上涨而驱动。这一转型意义深远，并且遵循以下三条截然不同的路线：

- 能源效率不断提高，到本世纪 50 年代，大多数工业化过程接近热力和机械效率极限。
- 一些工业过程转向电力，尤其是轻工业，到 2020–2040 年间其电力使用量翻倍。到 2050 年，随着天然气使用量下降，氢能作为轻工业的一种重要燃料出现。但直到 2050 年之后，重工业才会出现类似的变革，氢能、生物质和电力取代天然气和部分煤炭的使用。
- 在整个世纪中，煤炭在冶金行业和某些行业中仍然很重要，但是随着政府制定的碳价格上涨，碳捕获和储存技术将是一个可行的解决方案。

对循环经济的持续关注有利于工业的转型，循环经济会在整个世纪里大规模发展，这在某种程度上会减少某些资源的开采。

## 电力世界

随着电力快速进入运输、家庭供暖与烹饪以及工业化进程之中，其在能源系统中的作用得到增长。到本世纪 70 年代，电力超过终端使用能源的 50%，而 2010 年这个数字不到 20%。

随着可再生能源普及率的上升，可再生能源的间歇性和电网基础设施相关的问题受到政策关注。公用事业规模和分布式电力与传统热力发电的竞争越发激烈，导致一些市场中的电力价格低于低效煤炭和燃气工厂的可变成本，从而加速传统热力发电的淘汰。



在“天空”远景中，核能电力稳步增长，产能从 2020 年的 450 GW 上升到 2070 年的 1400 GW。



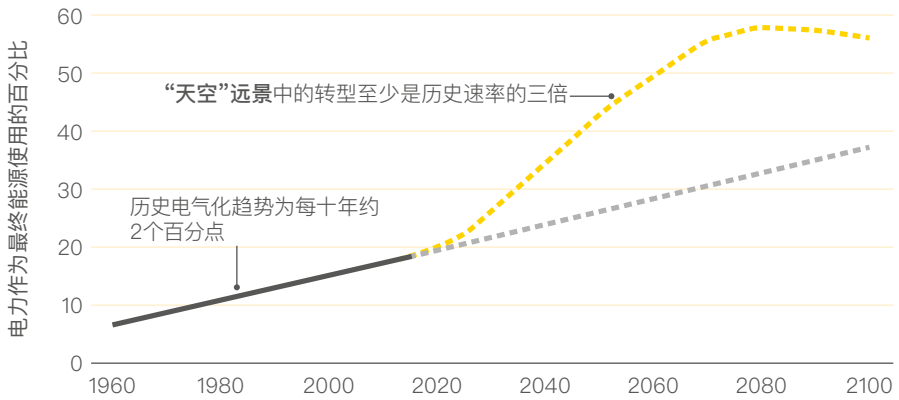


## 21 世纪的电力

现在，全球电力需求为每年 22,000 太瓦时 (TWh)。在“天空”远景中，本世纪的下半叶每年需求上升至 100,000 TWh，或者，从现在起每年增加 1,400 TWh。给大家一个参考，英国在建的 3.3 GW 欣克利角核电站在建成后增加电力约为 29 TWh。以此速度发展，那就相当于全球每年要增加 50 个巨型发电站，或者说每星期新建一个类似的设施。2016 年，全球风能和太阳能产能约为 1,300 TWh，从 2015–2016 年，总新增发电

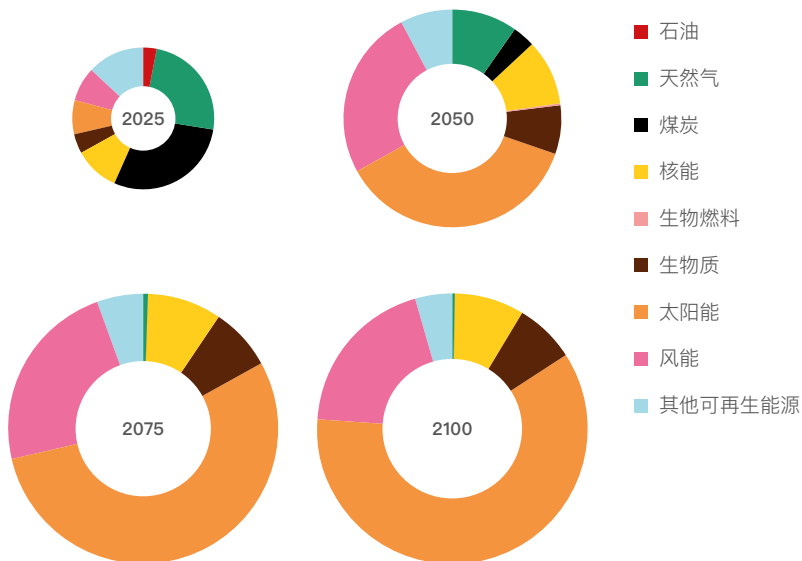
量约为 600 TWh。因此，新太阳能和风能远不能满足新增的需求。尽管这两种能源都在快速增长，但至少在本世纪中叶时，火力发电站仍然存在。这也意味着全球电力生产的排放量只会在中期内下降到天然气和核能够取代煤炭的程度。

## 当前电气化趋势对“天空”远景 而言并不够



来源: 壳牌 分析, 国际能源署 (历史数据)

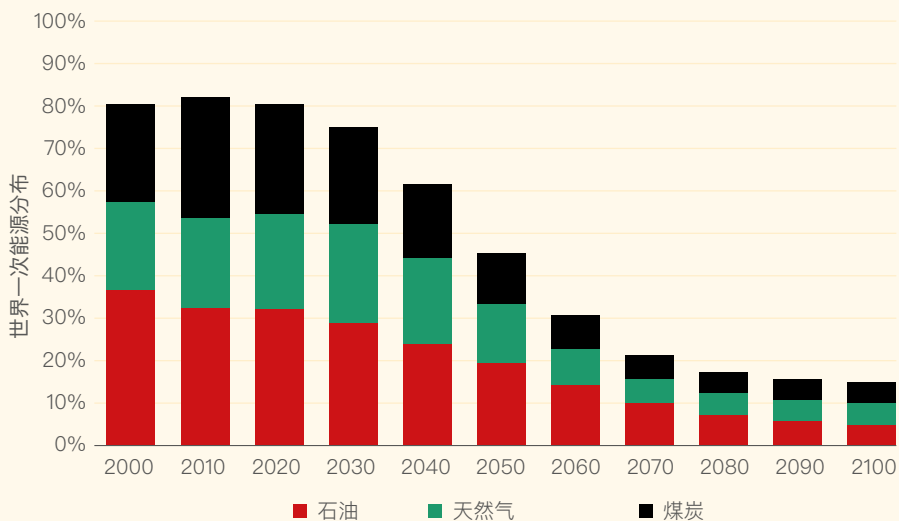
## 整个世纪中, 电力组合大部分向太阳能转移



注: 饼图的直径代表总电力需求。

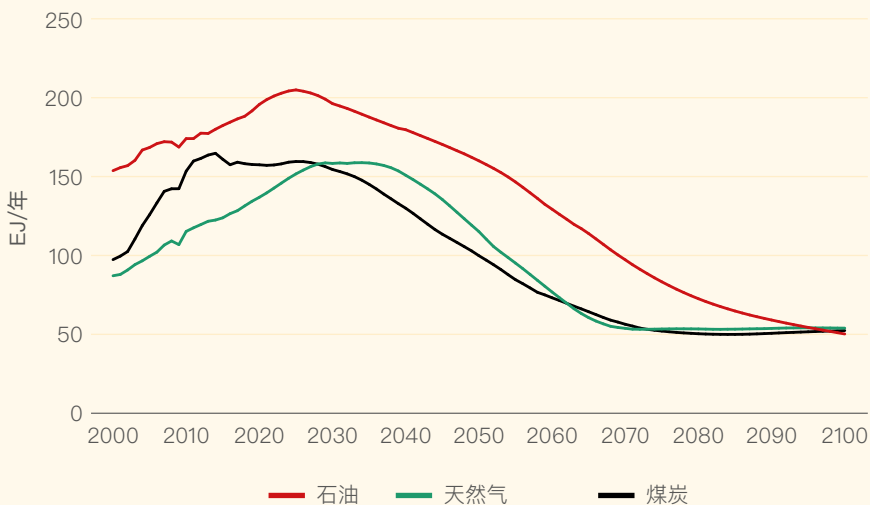
来源: 壳牌 分析

在“天空”远景中，到本世纪中叶化石能源最终将不在全球能源系统占主要成分



来源: 壳牌分析

在“天空”远景中，煤炭需求峰值已成为过去，石油需求峰值将在2020年到来，天然气需求从2040年起迅速下降。



来源: 壳牌分析

在“天空”远景中，电力可靠性问题主要通过结合改进的市场设计（如：容量市场）、电网集成（如：欧洲的跨境集成）、需求侧管理（如：智能电网）和具有成本效益的热能、电池和氢气储存的部署来进行管理。不断下降的资本成本确保可再生能源附加产品价格合理，从而使新能源系统的花费与历史水平相一致，即在全球GDP中的占比不变。

到本世纪 70 年代，发电行业实现两个根本性转变。第一个是规模，生产电力水平比 2017 年增加了五倍。能源结构也发生变化，化石燃料逐渐推出发电行业，到 2070 年，太阳能能够满足全球电力需求的一半以上，并且还在不断增长。该行业中新增加了生物质燃烧，与碳捕获和储存技术相联，提供重要的碳汇。

### 新能源系统

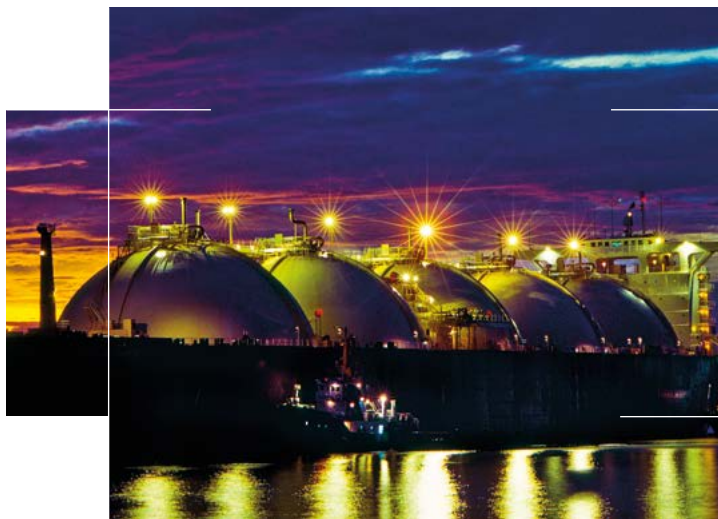
在“天空”远景中，转型的第一个明显信号出现在本世纪 20 年代，石油需求萧条、煤炭需求下降、天然气更多地取代煤炭，太阳能因紧随核能成为能源系统中最占比最多的非化石能源。

到 2070 年，由于仍然提供大量的服务，石油产量仍保持在每天约 5000–6000 万桶。非公路运输持续大量使用液体碳氢燃料，全面增长直至 2070 年。生物燃料作为液体燃料的补充，2050 年后，氢能将发挥越来越重要的作用。

随着风能与太阳能在电力行业的发展，天然气（包括管道气体和液化天然气）在替代煤炭发电和支持可再生能源间歇的早期起着重要的作用。但随着太阳能光伏的迅速扩张、电池成本下降、碳排放成本的走高，即使天然气也将受制于这种转型。天然气是最后达到峰值的化石燃料，在 2040 年后需求迅速下降。到 2055 年，全球用于发电的天然气将回归到 2015 年的水平。

到本世纪中叶，能源组合开始变得非常不同，到 2055 年左右，太阳能成为占主导地位的一次能源来源。

到本世纪 20 年代中期，能源系统二氧化碳排放峰值约为 35 Gt，之后该数值将持续下降。



在“天空”远景中，全球天然气需求从 2017 年每年的 3.7 万亿立方米 (bcma) 上升至 2028 年的峰值 4.6 万亿立方米 (bcma)。

## 其他温室气体和非能源行业

到 2070 年，尽管不同部门和国家之间的分布大相径庭，“天空”远景能达到全球能源系统的二氧化碳净零排放。这涵盖了用作能源的煤炭、石油和燃气中所有的碳，但不包括非能源产品中的原料（如：塑料）。

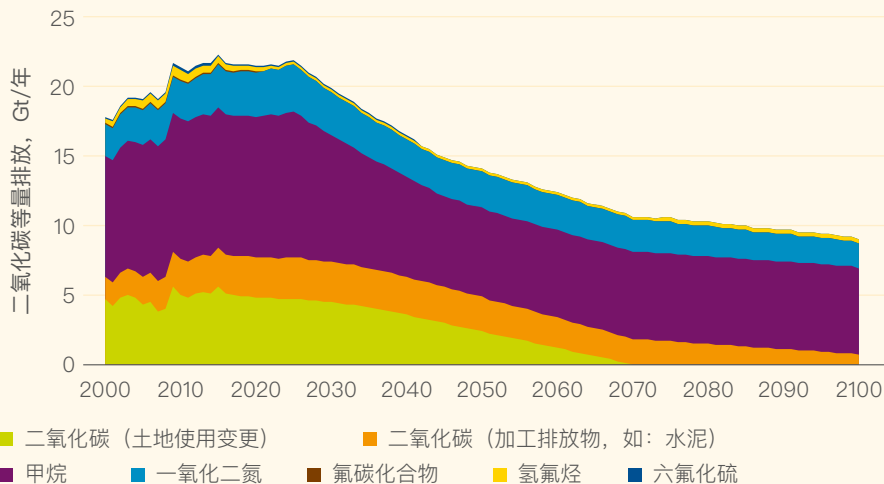
但是，许多其他人类活动改变了大气中的微量气体成分，这对气候系统的变暖也有一定影响。水泥制造就是一个实例，石灰岩的煅烧会释放二氧化碳。

农业系统增加了大气中的甲烷，主要来源于牛类家畜和水稻的增长。几个世纪以来的土地使用变化，如森林砍伐和土壤农业退化，也降低了陆基生物圈的碳载能力，而这反过来又增加了大气中的二氧化碳。

现代生活中，所有这些活动都在加速，新的长期微量气体出现，其中有些有很大的温室效应。气体绝缘变压器中常见的六氟化硫就是一个例子，其变暖潜能是二氧化碳的 24,000 倍。

在“天空”远景中，所有产生温室气体的行业都发生了重大变化。尽管附表中所有的项目都代表了某些地方的当前最佳实践，“天空”远景描绘的途径表明 2030 年左右全球减排普遍增加，但是最不发达经济体则有所下滑。对于像甲烷这样的短期气体，对它的要求是减少排放，而不是净零排放，因为这些气体会在几年之内在大气中分解。

在“天空”远景中，非能源系统温室气体也急剧减少

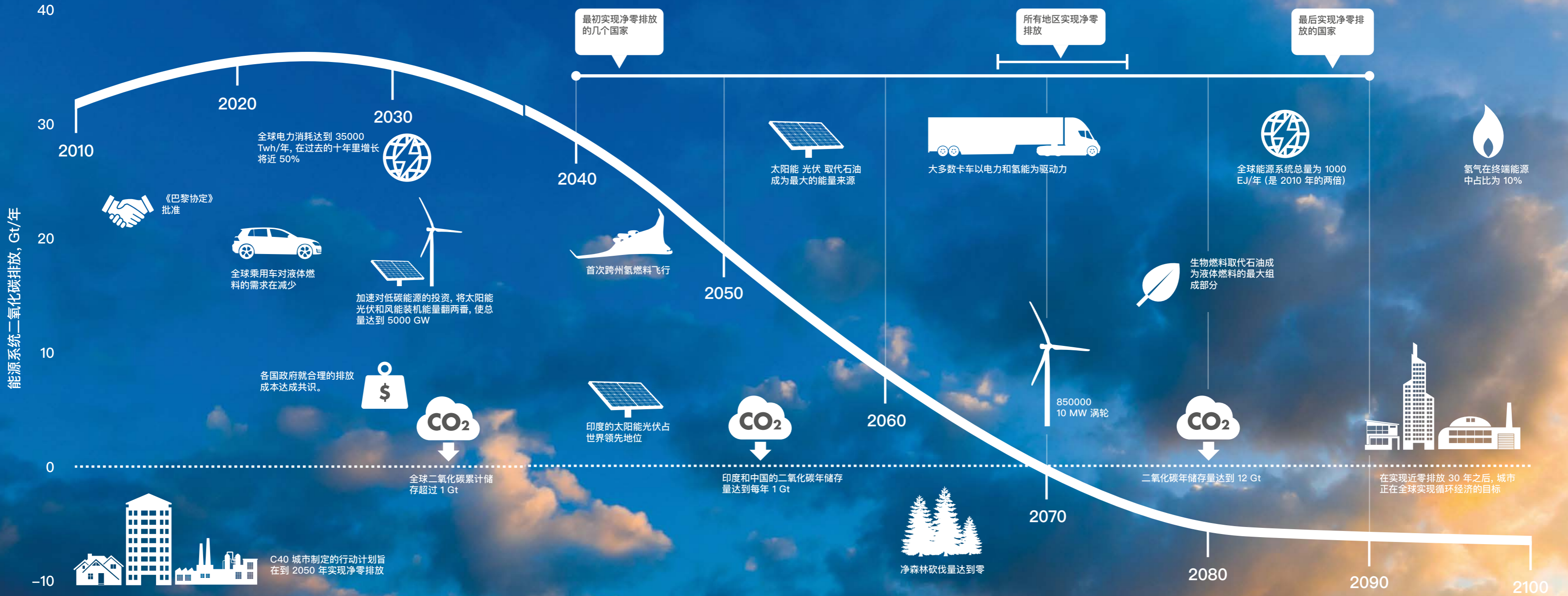


来源: 壳牌分析, MIT

尽管“天空”远景的重点是能源系统中二氧化碳的排放量，但是需要了解温室气体排放的所有方面才能完成这一远景，并了解表面温度上升的潜在因素。这种了解是在完全执行表格的所有步骤的基础上发展的。

天然气	行业	“天空”远景所呼吁的行动
二氧化碳	水泥	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 逐步取代建筑物中的水泥</li> <li>■ 一些替代石灰岩的原料，如：使用粉煤灰</li> <li>■ 利用碳捕获和储存 (CCS) 技术</li> </ul>
	工业 (过程排放)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 利用 CCS</li> </ul>
	农业	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 停止森林砍伐以获得土地收益</li> <li>■ 执行土壤碳计划，如：免耕农业、土地循环使用</li> </ul>
	城市化与发展	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 通过大面积植树，打造绿色城市</li> <li>■ 在市内和周边地区保留绿化带</li> <li>■ 通过更高密度的居住模式，避免城市扩张</li> <li>■ 通过现代能源获取项目来解决传统的生物质利用问题</li> </ul>
甲烷	煤炭开采	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 减少煤炭消耗</li> <li>■ 采用煤矿瓦斯排放和使用的最佳实践 (如：UNECE 指南)</li> <li>■ 废弃矿区管理</li> </ul>
	石油与天然气工业	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 减少石油与天然气的消费</li> <li>■ 自本世纪 20 年代起，石油和天然气领先企业采用最佳方案，到 2050 年，全球生产使用最佳实践</li> </ul>
	养牛业	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 为消费者提供替代产品</li> <li>■ 改变牛的粮食，以此减少甲烷</li> </ul>
	水稻生产	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 降低稻田的强制水冲洗</li> </ul>
	城市化与发展	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 从垃圾填埋场捕获甲烷</li> </ul>
一氧化二氮	农业	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 实施氮肥管理 (如：施用量、配方 (肥料类型)、施用时间、肥料放置)</li> </ul>
	工业生产过程	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 实施催化分解和热破坏技术</li> </ul>
氟化气体	多种多样 (如：IT 产业、制冷、变压器)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 逐步替换 PFC、HFC 和 SF<sub>6</sub>。</li> <li>■ 采用最佳实践管理</li> <li>■ 为淘汰设备引入恢复计划 (如：冰箱、变压器)</li> </ul>

在“天空”远景中的全球变革规模呈现前所未有的趋势



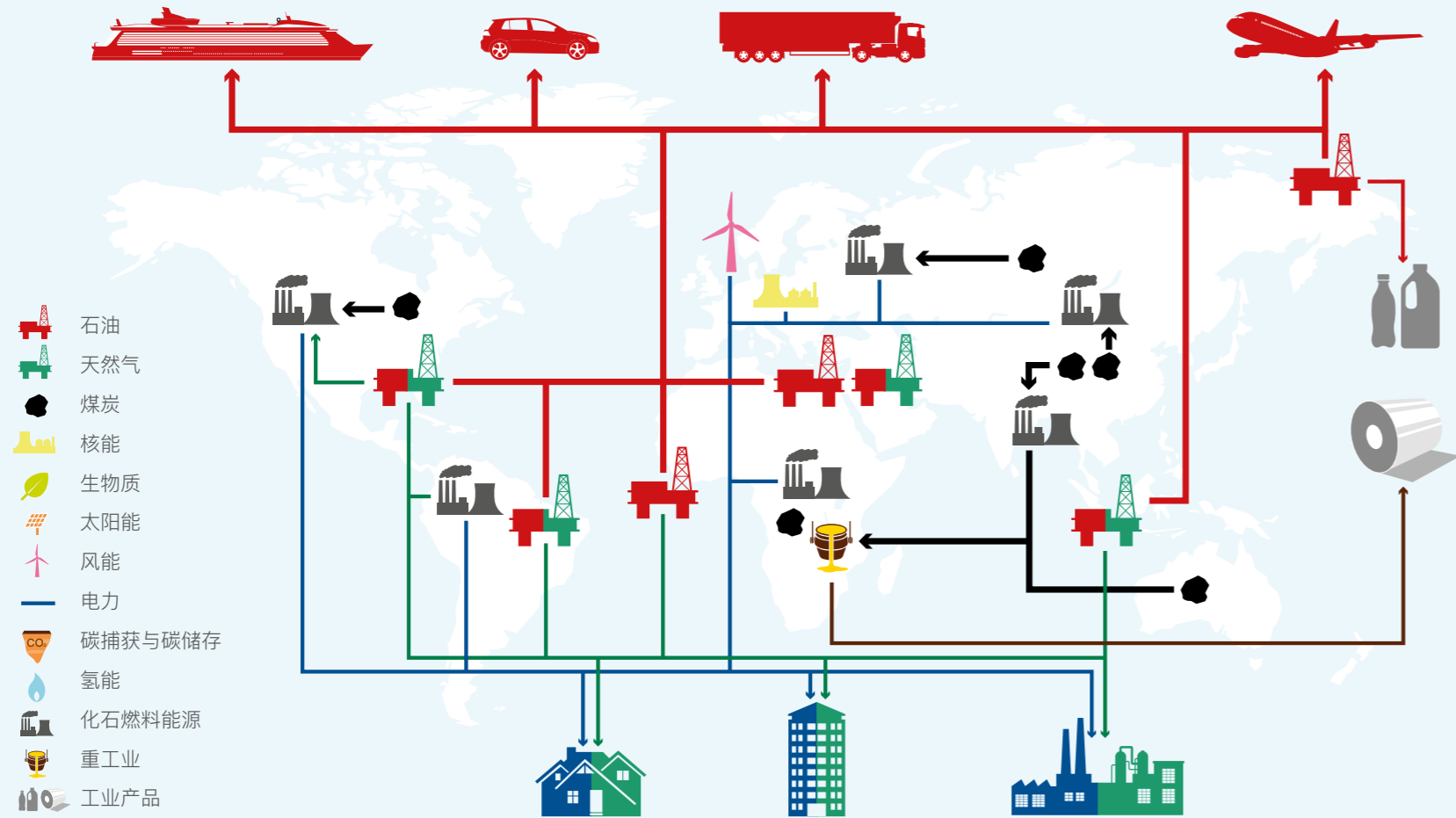


## 新能源系统

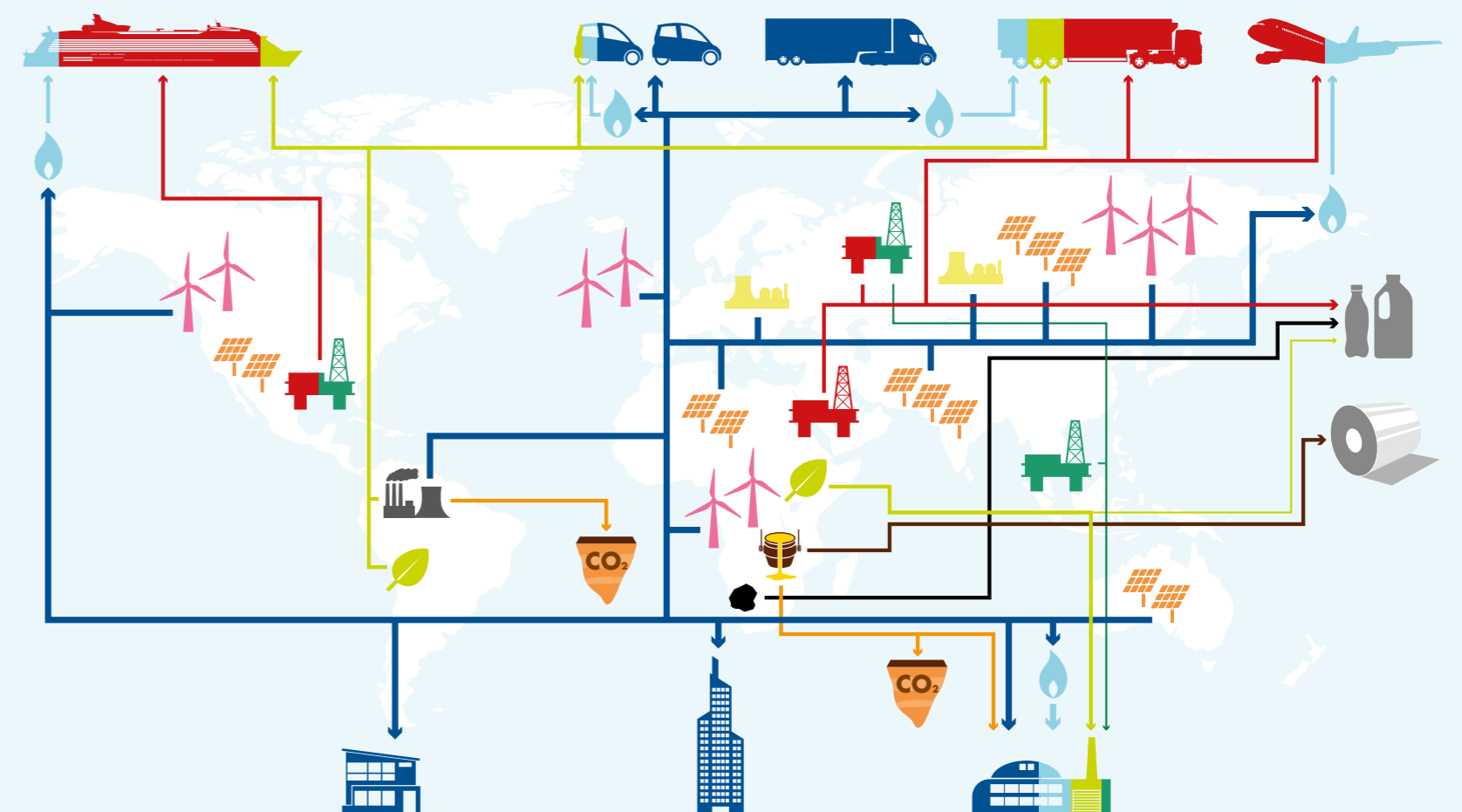
在过去的 200 年里, 我们与能源的接触发生了根本性变化。对于 19 世纪初期的大部分人口而言, 尽管煤炭才刚开始在城镇和城市中的应用, 但能源需求的满足是通过单一的收集和燃烧木头来实现的。家庭照明用的蜡烛要么是家庭制作, 要么是从本地蜡烛商 (用各种动物脂肪制作) 手中购买的。一百年之后, 照明方面实现城镇燃气和煤油灯, 并且为迅速增加的人口提供电力, 但

主要是在富裕国家。尽管现在仍有许多人无法获得能源, 但是全球大多数人口能够使用石油产品、天然气和电力。但是, 我们在本世纪后叶达到净零排放时会是什么样子呢? 在“天空”远景中, 一个以电力为基础的能源系统取代了现有的以化石燃料为基础的大型系统。

现在——一个以化石燃料为基础的能源系统



“天空”远景2070年——一个以电力为基础的能源系统





15

2020

2025

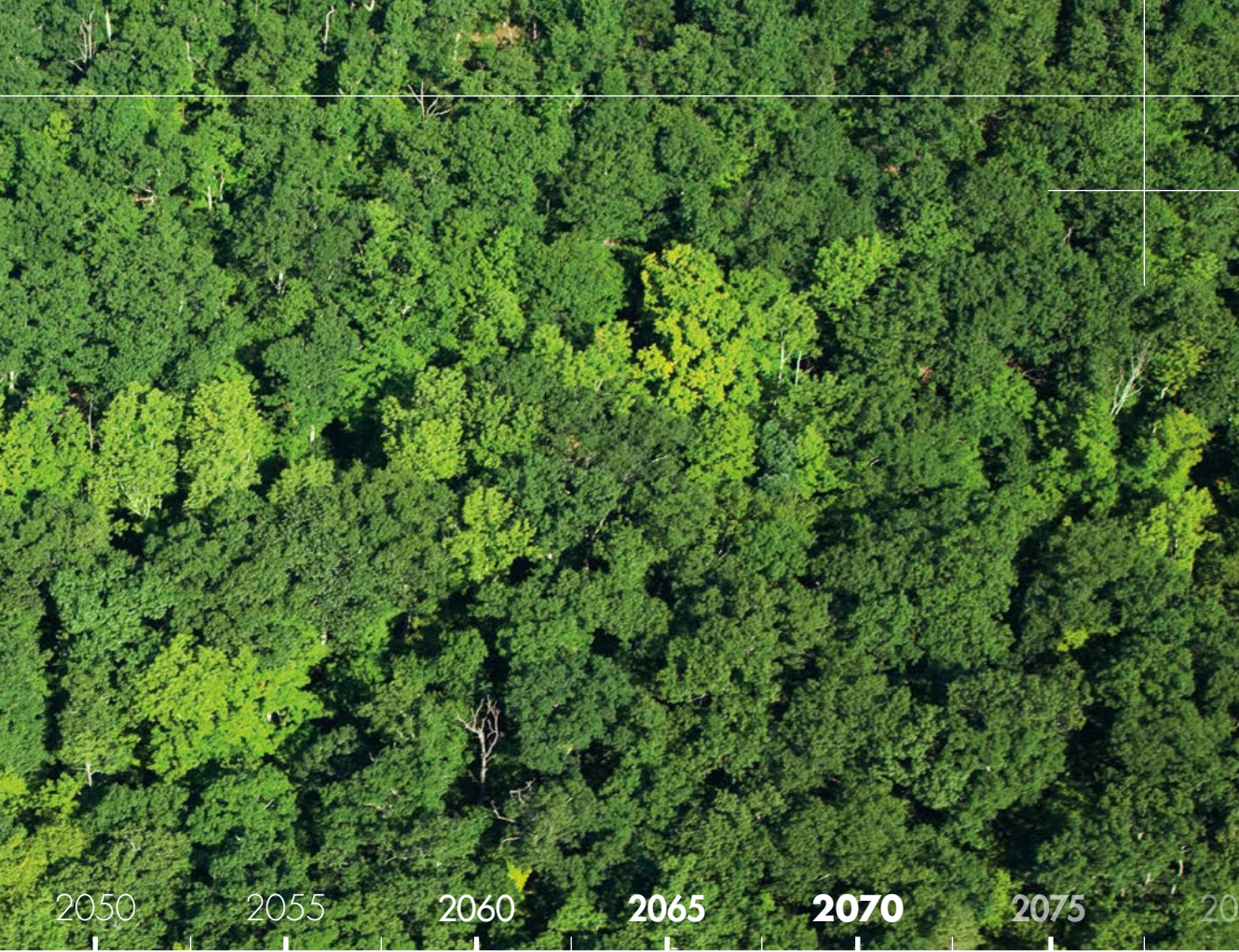
2030

2035

2040

2045





2050

2055

2060

2065

**2070**

2075

20

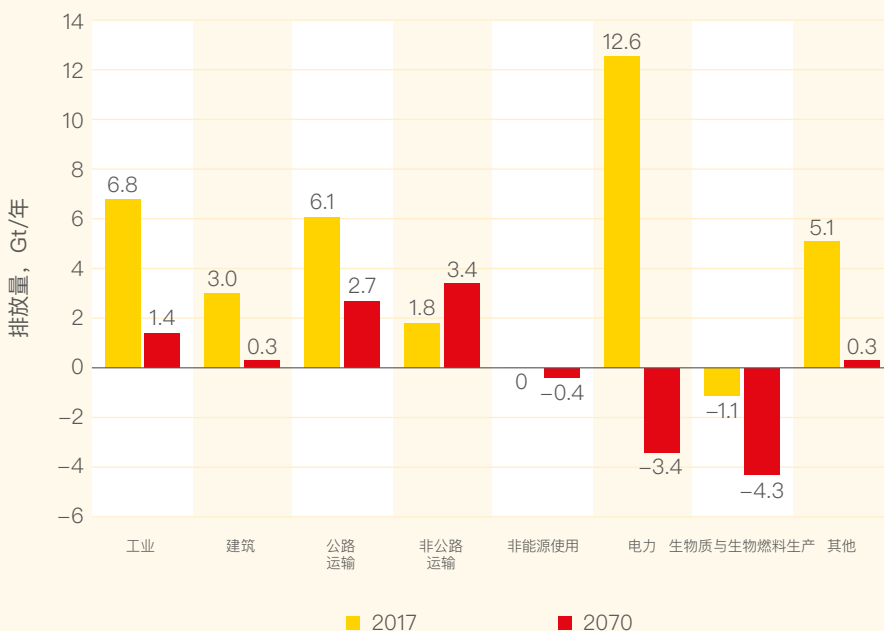
## 第六章 达到平衡

## 6. 达到平衡

### 剩余排放量

在“天空”远景中，2030年之后，化石燃料的使用急剧减少——但是无法在所有行业淘汰化石燃料以便将变暖范围限制在2°C以内。即使拥有大量的技术和50年的部署时间表，并非所有的技术和能源服务都可以按照必要的速度替换为非排放替代物。事实上，在所谓的“难以减轻”的行业中，实用的替代品尚未制成，目前的当务之急仍然是创新而非部署。

在“天空”远景中，能源系统中二氧化碳排放如何在2070年转型为净零排放。



注：“其他”是指其他能源领域的活动，比如化石能源的运输与精炼、集中式供热以及未来的氢能生产。

来源：壳牌分析

## 通过使用消除碳

碳捕获与使用 (CCU) 与碳捕获与储存 (永久性地质储存) 的操作极为不同。如今有一些捕获与使用的实例, 如将二氧化碳转化为某些化学品 (如: 尿素——化肥的基础), 以及塑料制品的生产 (如聚碳酸酯)。这些过程都需要二氧化碳作为原料, 但不一定需要永久保存。如果碳返回到大气中, 例如通过降解或焚烧而回到大气层, 那么就大气中二氧化碳水平而言, 该过程的净影响可能为零。

在未来能源系统中, CCU 可通过两种方式生效:

- CCU 可能注重于制造合成碳氢燃料, 这有可能取代对化石碳氢物新需求。然而, 合成燃料行业需要大量的技术创新, 然后需要大幅扩大规模才可能产生重大影响, 因此这条路线不太可能为实现“天空”远景中的时间有太大贡献。合成燃料本身并不是一种汇集, 一旦其被制造并使用, 二氧化碳就会返回到大气当中。
- CCU 可以应用于某些产品的制造——如建筑材料与塑料。但是作为一种类似于 CCS 的缓解机制, CCU 必须或多或少能够做到永久性储存。这类产品的CO<sub>2</sub>总储存量必须保持很长时间 (至少一个世纪), 以便 CCU 能达到与 CCS 相等的效果。在“天空”远景中, 化石燃料和生物原料用来制造这种产品, 充当有效碳汇集。

这种情况意味着, 为 CCU 配置一个缓解值变得尤为重要。而CCS减排则是相对简单的一——储存的碳都可能算作永久性缓解, 并且将有助于达到净零排放的总目标。CCU 的情况有所不同。虽然能够将碳固定在尿素或聚碳酸酯中, 但没有既定的协议将其定义为永久性缓解。这一领域的工作仍然需时日。

尽管目前能源系统到2070年时各方面已经发生变化或正在转变当中，但剩余化石燃料的使用仍然导致每年的二氧化碳排放量达到15 Gt，在2100年时减少至11 Gt。这一数量大约为现在的三分之一。为此，排放汇集（如：从空气中消除二氧化碳）在大多数短期、低排放能源的远景中（包括“天空”远景）起着重要作用。

《巴黎协定》认识到这一现实，因此呼吁在温室气体的源头排放和温室气体汇集清除中取得平衡。重要的是，该协定认识到即使通过替换进行重大减排活动，温室气体仍会持续排放，这意味着汇集将在某种程度上成为必要的存在。

### 能源系统中的平衡机制

在能源领域“天空”远景利用三种机制，这三种机制或能预防二氧化碳的释放，或能清除空气中的二氧化碳。这些机制将在本世纪内总共处理一万亿吨二氧化碳。

1. 传统的 CCS 技术应用于大型点源排放设备，如：水泥厂或铁矿石冶炼厂。二氧化碳是地质储存，通常储存在地表三公里以下的地方。CCS 技术在今日世界多个设备中得到大规模应用。
2. 传统 CCS 技术应用于可持续生产生物质原料的发电厂。该机制从总体上净化了大气中的二氧化碳。
3. 用化石燃料或生物质原料生产各种产品，如：塑料。这些材料之后由社会使用，能够有效地储存碳，而不是将其以二氧化碳的形式释放到大气中。当碳来源于生物质时，这种机制也会净化大气中的二氧化碳。

温室气体排放的问题超出了能源使用范围，能源系统与自然界也存在相互作用，比如：在使用生物能时。“天空”远景认识到这一点，并且认识不同系统相互作用的范围。



在“天空”远景中，土地使用变革和停止森林砍伐对最终结果至关重要。但是大规模的重新造林可能改变游戏规则，并且有可能进一步推动《巴黎协定》的1.5°C的宏伟目标。



## 基于自然的解决方案: 植树造林、土地复垦及避免森林砍伐

上世纪全球土地使用变革 (但应追溯至几百年前) 使得大气中的二氧化碳增加, 并且仍在继续增加。全球碳计划预计, 土地使用变革导致在过去的二十年里, 每年排放二氧化碳 5 Gt。如果可以停止这种变革, 许多退化的生态系统就可以恢复。大自然保护协会预计总共可以从大气中提取约 500 Gt 二氧化碳, 每吨二氧化碳成本低于 100 美元, 并通过改良土壤和延长的森林覆盖率进行可持续存储。

第四个引入远景的机制是在今天已被广泛理解和使用的一种机制——植树造林、恢复退化土地以及避免森林砍伐。如果不随着能源系统一起处理这些领域, 总体净零排放就无法实现。“天空”远景假定了会有有效的行动使土地使用和农业系统回到平衡, 并确保到 2070 年净森林砍伐量达到零。

此外, 还可能伴随着大规模的植树造林, 为从大气中消除新增碳提供机会, 从而实现《巴黎协定》的延伸目标——将全球平均表面温度的上升幅度限制在 1.5°C。

土地使用领域所需的变革规模将取决于各国政府采取的行动, 包括国内行动和通过国际合作机制的行动, 例如《巴黎协定》中包含的机制。

这些机制的设计、实施和使用可带动私营部门的参与, 从而加速必要的行动。

鉴于退耕还林和植树造林需要数十年之力, 这一领域及早采取行动十分重要。因此, 在“天空”远景中, 这些以自然为中心的具体做法在整个能源转型中发挥着重要作用。事实上, 在未来的几十年内, 这些发展的最初动力可通过行业支持、引进认证系统和认证交易来实现, 从而在难以减排的能源行业进行减排。国际航空碳抵消和减排计划 (CORSIA) (2016 年航空业同意在平衡其不断提高的排放) 是一个很好的例子——其提出减排方案包括了基于自然的解决方案。然而在“天空”远景中, 随着时间的推移, 类似 CORSIA 的系统为达到碳抵消目的, 会转向上述三种碳捕获类别之一。

到 2070 年, 净零排放的目标在能源系统中实现, 并且能源系统和自然系统之间的相互作用仍在继续。如图所示, 能源系统平衡将通过结合二氧化碳的使用和地质封存与生物质原料相结合来实现, 以此平衡仍然会排放到大气中剩余化石燃料的排放量。

通过在所有行业采取更广泛的行动, 包括逐步将净森林砍伐率降为零和退耕还林, 整个《巴黎协定》平衡剩余的人为温室气体排放与汇集的目标将在本世纪下半叶达成。



## 基于自然的解决方案: 通过恢复自然来扩展宏图

我们对“天空”远景的基本情况假设, 到 2070 年土地使用变革产生的二氧化碳排放量降至零, 与能源系统同时达到零净排放。但是恢复生态系统, 包括大规模植树造林, 可以发挥关键的附加作用, 从大气中净化二氧化碳, 从而提供途径达到 1.5°C 的宏伟目标。

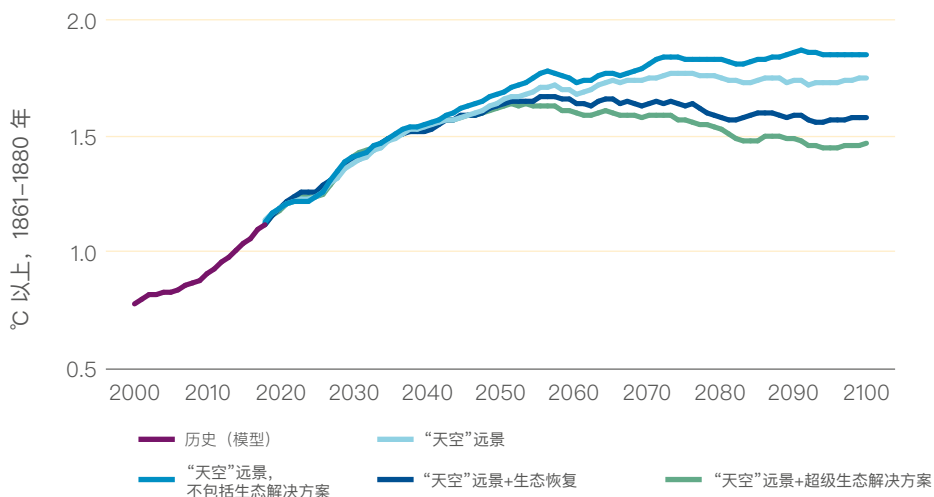
如果可以克服一些社会问题, 例如对农业社区的影响, 那么这些基于自然的解决方案 (NBS) 就可以帮助限制变暖峰值, 因为这种活动的扩张比能源技术转型要快得多。

MIT、伍兹霍尔生态系统中心和大自然保护协会等机构的研究表明, 尽管规模非常庞大, 但通过植树造林, 在“天空”远景中每年多减少 10 Gt 以上的二氧化碳是切实可行的。植树造

林在本世纪大约需要 7 亿公顷土地, 接近一个巴西的面积。

在与大自然保护协会 (TNC) 和 MIT 的协商中, “天空”远景有两方面的考虑。一方面是要加速禁止森林砍伐和加速退耕还林。我们称之为“天空远景 + 退耕还林类型的自然解决方案”。这让“天空”远景每年减少的二氧化碳再增加 5 Gt。第二个方面是“天空远景 + 超级自然解决方案”, 将变暖程度限制在 1.5°C, 并且假定我们可以成功克服许多成本问题和社会问题, 从而达到每年额外减少 10 Gt 二氧化碳的目标 (例如: 每年总计减少 15 Gt)。

### 在“天空”远景宏伟的拓展目标



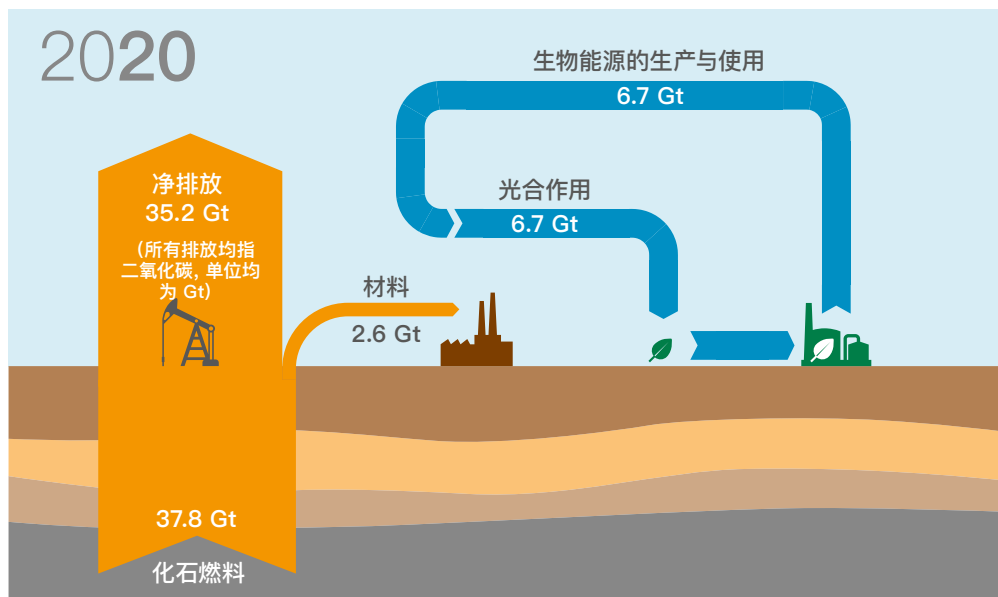
来源: 壳牌分析, MIT



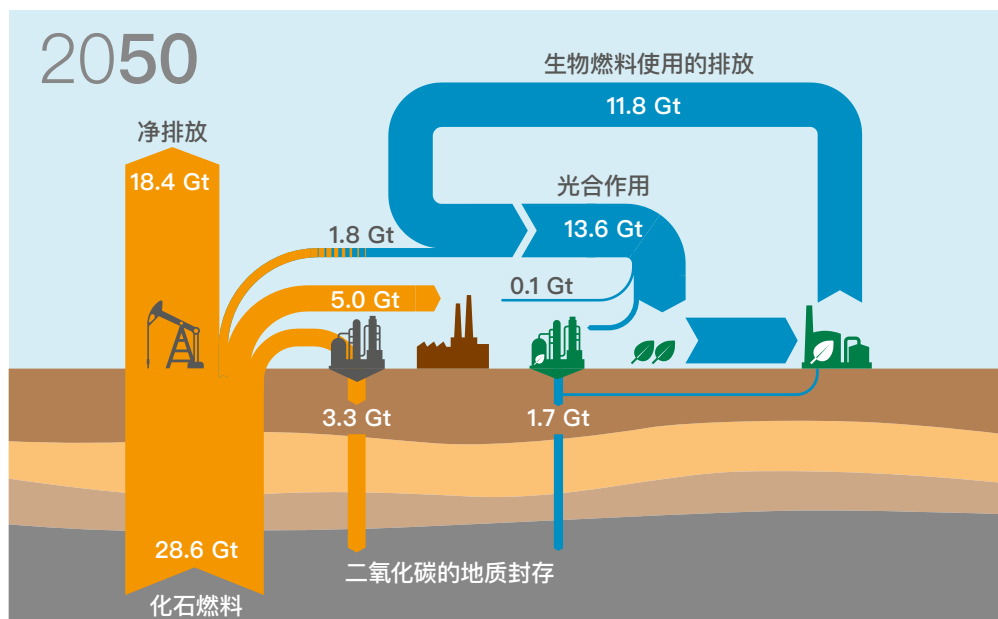


# “天空”远景中发展能源系统 CO<sub>2</sub>排减平衡表

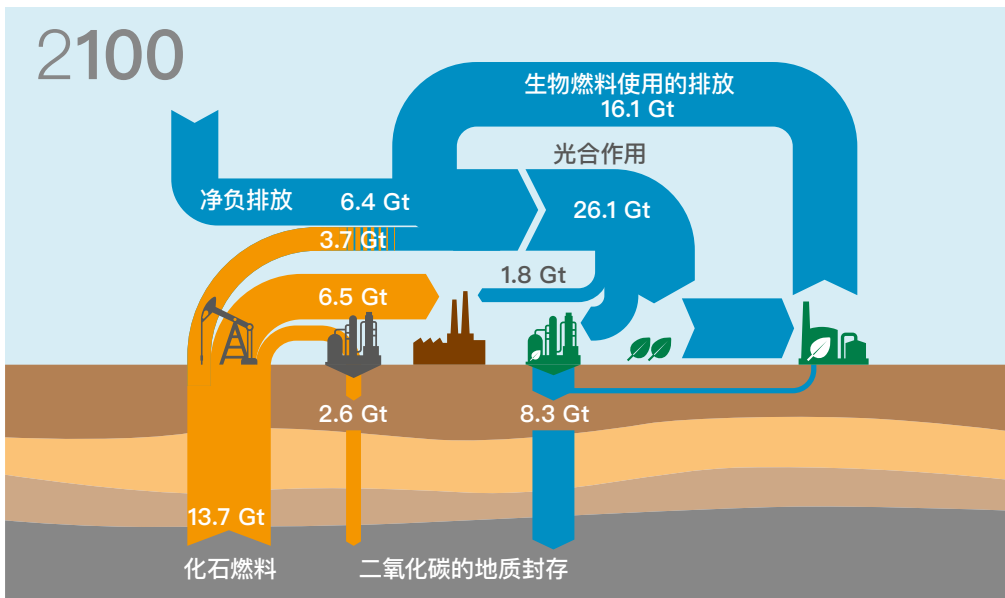
🏭 化石燃料生产
🏠 碳捕获与碳储存
🌱 生物燃料生产
🏠 生物燃料与碳捕获和碳储存
🏭 碳产品
🌱 不断增长的生物质



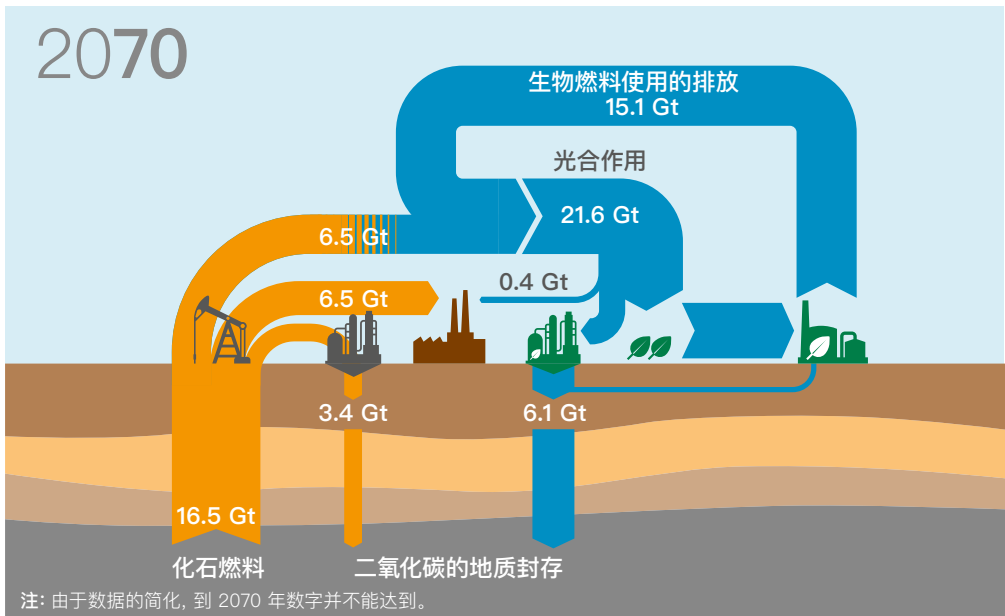
现在, 化石能源生产所产生的大部分碳遭到燃烧并排放到大气中, 而被木材和其他用作能源的植物所吸收的二氧化碳也返回到大气中。



在“天空”远景中, 到 2050 年, 二氧化碳的储存迅速增长。含碳物质在原料生产和 CCS 中对减排的贡献相同。化石能源 CCS 引领这一潮流, 但生物能源 CCS (BECCS) 也紧随其后。

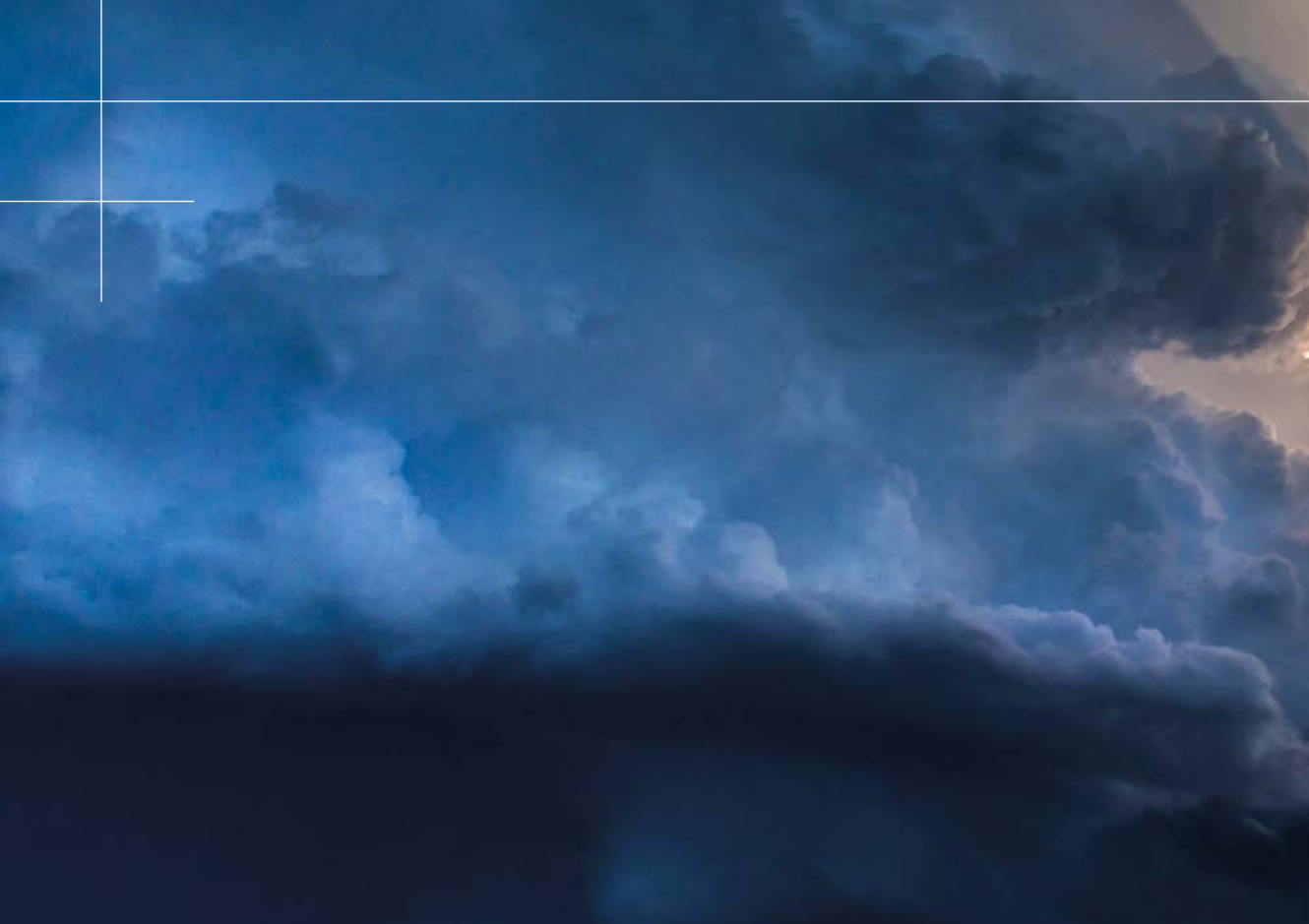


在“天空”远景中，到 2100 年，生物能源系统已达到其资源上限，并且是化石能源系统中二氧化碳排放量的两倍。对二氧化碳的积极管理意味着整个能源系统能够减少大气中的二氧化碳。



在“天空”远景中，到 2070 年，能源系统已经达到净零排放。化石能源产量不到当今水平的一半。除了直接 CCS 技术和碳材料的使用，剩余的化石能源排放量可以完全被扩展后的生物能源系统所捕获的二氧化碳所抵消。





5      2020      2025      2030      2035      2040      2045





2050

2055

2060

2065

**2070**

2075

20

## 第七章 实现巴黎协定的宏伟目标

## 7. 实现巴黎协定的宏伟目标

在“天空”远景中,到 2070 年以后,碳捕获量每年约为 12 Gt,但化石燃料的使用持续下降。这将整个能源系统纳入负排放范围,从而减少生物圈中积累的碳。所以到在本世纪 70 年代,变暖达到峰值,并随后在整个世纪剩余年份中保持平衡。

“天空”远景中描述的独立专家系统对能源系统排放轨迹的分析,到 2100 年,气候系统的变暖将保持在 1.75°C 左右。此外,除碳行业为 22 世纪社会提供了进一步恢复气候的机会。

除了包含“天空”远景所概括的能源系统行动之外,大规模的植树造林以及湿地等自然生态系统的恢复也可能将气候变暖限制在 1.5°C,这是《巴黎协定》的最终目标。

当然,最大的挑战在于是否有政治决心,在有政治决心的情况下,社会意识是否会考虑并维护必要的框架来解决这个令人敬畏的任务——重新为全球未来 50 年的经济布线。

天空 远景中概述了我们认为在技术、工业和经济方面均可行路线。这应该会为我们带来一些希望——也许还能带来一些灵感。从更实际的角度来看,也许这种分析能够为重点关注领域提供有用的指引,这些关注领域能给我们带来最好的结果。



**未来取决于我们现在所做的一切。**

甘地 (Mahatma Gandhi)



## 致谢

感谢在“高山”远景发展过程中外部咨询的所有人士。

特别鸣谢大自然保护协会。

我们还特别感谢麻省理工学院 (MIT) 关于全球变化的技术与政策的联合计划, 以评估“天空”远景的气候影响, 并将其与“高山”远景和“海洋”远景进行对比。

对于“天空”远景, MIT 利用其全球系统整合制模 (IGSM) 框架对影响进行建模。为表彰这一成就, 壳牌公司向该联合计划捐赠了十万美元。本项工作完成之后, MIT 将发布一份联合计划报告。

本项工作是以国际能源署 (IEA) 的世界扩展能源平衡 © OECD/IEA 2017 历史数据为基础。本项工作由 Shell International B.V. 制作, 并不完全反映国际能源署 (IEA) 的观点。

访问[www.shell.com/skyscenario](http://www.shell.com/skyscenario)以获取更多数据表格和进一步背景信息。

# “天空”远景延伸了“高山”远景和“海洋”远景





## 术语表

### 能源单位

bcma	十亿立方每年
GJ	吉焦耳( $10^9$ 焦耳)。焦耳 (J) 是能源的单位; 例如, 将一克水加热 $1^{\circ}\text{C}$ 需要 4.2 J。
EJ	艾焦耳( $10^{18}$ 焦耳)。
kWh	千瓦时 (每瓦时 3600 焦耳)。Wh 通常用做电力单位, J 通常用作能量单位。
TWh	核瓦时( $10^{12}$ 瓦时, 或万亿瓦时)。一个每年运行 300 天的 1 GW 电站产量约为 7 TWh。
GW	兆瓦( $10^9$ 瓦, 十亿瓦)。1 GW 电站是现代煤炭、天然气或核能设备的标准。
Gt	十亿公吨( $10^9$ 吨)

### 其他术语

BECCS	碳捕获和碳储存生物能
CCS	碳捕获和储存
CCS	碳捕获和碳使用
EV	电动汽车, 指电池电动汽车或插电式混合动力电动汽车。
FCEV	燃料电池电动汽车
LPG	液化石油气
NBS	基于自然的解决方案——避免森林砍伐、植树造林和其他自然生态系统的恢复。
NDC	国家确定的贡献; 各国根据《巴黎协定》为减少温室气体排放采取的行动
NZE	净零排放, 即: 资源人为排放和温室气体汇集清除之间的平衡
一次能源	能源供应包括石油、天然气、煤炭、生物能、核能和可再生能源。一次能源是来自自然的能源, 是第一种可用形式。
终端能源	终端消费者对诸如电力或液体燃料等能源载体的需求, 如工业、家庭和运输等所有能源用途。当天然气用于家庭供暖时, 算作终端能源; 当它用来为电站发电时, 算作一次能源。
太阳能 PV	用于发电的太阳能光伏板





## 法律免责声明

本手册包含来自壳牌公司新的“天空”远景的数据。与壳牌以前发布的“高山”远景和海洋等探索性远景不同，天空远景的目标是通过假设来实现社会《巴黎协定》目标的达成，即将全球平均气温上升程度维持在 2°C 以下。与基于合理假设和定量的以开放方式展开的壳牌公司的主高山和海洋远景不同，天空远景旨在以一种技术上可行的方式来实现《巴黎协定》的目标。这些远景是壳牌公司 40 年来用以磨练高管们对商业环境洞察力的流程的一部分。其目的是为了延伸管理，去考虑可能非常遥远的事情。因此，这些情景并非对未来事件或结果的预测，投资者们在对荷兰皇家壳牌有限公司的证券做出投资决策时，不应依赖这些情景。

此外，值得注意的是，壳牌现有的投资组合已经发展了数十年。尽管我们相信公司的投资组合在广泛的展望（2016 全球能源展望）（包括 IEA 的 450 远景）下具备一定的韧性，但其包含的资产涉及一系列能源强度，包括一些高于平均强度的资产。尽管我们试图通过新项目的开发和撤资来提高公司运营的平均能源强度，但对于公司未来 10–20 年的投资，我们目前并无过渡至净零排放投资组合的计划。尽管我们还没有立即转向零净排放组合的计划，但在 2017 年 11 月，我们宣布了我们的愿望，即根据社会实施的《巴黎协定》的目标减少我们的净碳足迹，使全球平均气温远低于工业化前水平 2°C 以上。因此，假定社会与《巴黎协定》的目标相一致，我们的目标是减少我们的净碳足迹，其中不仅包括与生产我们所销售的能源产品相关的直接和间接碳排放，还包括我们客户使用我们销售的能源产品所产生的碳排放，到 2035 年减少 20%，到 2050 年减少 50%。

Royal Dutch Shell plc（荷兰皇家壳牌有限公司）在其中直接或间接拥有投资的公司是独立的法人实体。为了方便起见，本手册有时使用“壳牌”、“壳牌集团”和“荷兰皇家壳牌”来概括指代荷兰皇家壳牌有限公司及其子公司。同样，“我们”也被用来概括指代壳牌子公司或其工作人员。这些表达方式还被用在不必特意指出某个或某些特定公司的语境。本演示文件中所述“子公司”、“壳牌子公司”和“壳牌公司”均指由荷兰皇家壳牌有限公司直接或间接控制的公司。与壳牌共有控制权的实体及非公司机构通常分别是指“合资企业”和“联合经营”。壳牌对其有重大影响，但未对其进行控制或联合控制的实体，被称为“联营公司”。为方便起见，“Shell 权益”一词指 Shell 在一个企业、合伙组织或公司中排除所有第三方权益后持有的直接或间接的所有者权益。

本手册包含有关荷兰皇家 Shell 公司的财务状况、运营结果和各项业务的前瞻性声明。除历史事实之外，所有其他陈述均是或可能被视为前瞻性声明。前瞻性声明是指基于管理层的当前预期和假设而做出的对未来期望的陈述，涉及可能导致实际结果、业绩或事件与这些声明中明示或暗示的内容明显不同的已知和未知风险和不确定性。除了上述内容外，前瞻性声明还包括有关荷兰皇家壳牌公司可能面临的市场风险声明，以及表示管理预期、信念、估计、预测、预示和假设的声明。这些前瞻性声明通过使用下列术语和短语来标识，例如“预期”、“相信”、“能够”、“估计”、“期望”、“目的”、“打算”、“可能”、“目标”、“展望”、“计划”、“大概”、“项目”、“风险”、“安排”、“寻求”、“应该”、“指标”、“将要”以及类似的术语和短语。有多种因素可能影响荷兰皇家壳牌公司的未来运作，并可能导致这些结果与本网页中包含的前瞻性说明中所表达的结果大不相

同，这些因素包括（但不限于）：(a) 原油和天然气的价格波动；(b) 壳牌 产品的需求变化；(c) 汇率波动；(d) 钻探和生产结果；(e) 储量估计；(f) 市场份额减少和行业竞争力降低；(g) 环境和物理风险；(h) 与适当潜在收购资产和目标标识，以及成功的协商和完成这些交易相关的风险；(i) 在发展中国家和受到国际制裁国家（地区）内开展业务的风险；(j) 立法、财政和法规制定，包括由于气候变化引起的法规举措；(k) 各国和各地区的经济和财务市场状况；(l) 政治风险，包括征收和与政府机构重新协商合同条款的风险，项目审批的延迟或者提前，以及分担成本的偿还延迟；(m) 交易条款的变更。对于“未来股息支付将匹配或超过先前股息支付”一事，在此不作保证。通过本节中包含或者参考的警戒性声明，在其整体中明确地量化本手册中包含的所有前瞻性声明。读者不应该过度信任这些前瞻性声明。可能影响未来结果的附加风险因素包含在 2017 年 12 月 31 日年末荷兰皇家 壳牌 公司的 20-F 内（可从 [www.shell.com/investor](http://www.shell.com/investor) 和 [www.sec.gov](http://www.sec.gov) 获得）。以上风险因素也明确限定了本手册中包含的所有前瞻性声明，读者应予以考虑。每份前瞻性说明仅在本手册发行之日生效 [2018 年 3 月 26 日]。荷兰皇家 壳牌 公司及其任何子公司不承担由于出现新信息、未来事件或者其他信息而公开更新或者修正任何前瞻性声明的义务。鉴于存在这些风险，实际结果可能与本网页的前瞻性声明规定、暗示或者推断的结果不同。

我们可能会在本手册中使用了美国证券交易委员会 (SEC) 严禁我们在 SEC 备案文件中使用的一些术语，例如资源。建议美国投资者仔细考虑我们在表 20-F、文件编号 1-32575（可登录 SEC 网站 [www.sec.gov](http://www.sec.gov) 下载）中披露的信息。您也可致电 1-800-SEC-0330，向 SEC 索要该表格。



2020

2025

2030

2035

2040

2045

[www.shell.com/skyscenario](http://www.shell.com/skyscenario)

© 2018 Shell International B.V.

保留所有权利。未经 Shell International B.V. 的事先书面允许, 不得以任何形式或以任何手段转载、在检索系统中储存、刊登或传播本出版物的任何部分。