

能源转型将取决于电缆。

二〇二五年二月

作者：马丁·霍格尔，奥克萨娜·丹科娃，巴斯·苏德梅耶，莫里斯·伯恩斯，伊尔克·克拉克，费迪南德·瓦尔加，劳拉·维拉尼，丹尼尔·韦瑟





波士顿咨询集团与商业和社会领域的领导者携手合作，共同应对他们最重要的挑战并把握最大的机遇。BCG成立于1963年，是商业战略的先驱。今天，我们与客户紧密合作，采用旨在惠及所有利益相关者的转型方法——赋能组织增长，构建可持续的竞争优势，并推动积极的社会影响。

我们多元化的全球团队拥有深厚的行业和职能专业知识以及各种视角，这些视角质疑现状并激发变革。BCG通过领先的管理咨询、技术和设计以及企业数字化项目来提供解决方案。我们在整个公司内以及客户组织的所有层面上采用独特的协作模式，这一模式以帮助客户繁荣发展和使他们能够使世界变得更美好为目标。

能源转型将取决于电缆。

电力传输和分配电网在能源转型中发挥着关键作用。如今，政治家和能源专家们都将“没有传输就没有转型，没有分配就没有解决方案”作为他们的座右铭。

建设适应脱碳世界的电网将需要巨大的投资。根据国际能源署（IEA）的数据，从现在到2050年，电网投资需要25万亿美元，以实现碳中和。这个数字相当于当今世界每年经济产出的约四分之一。这个金额也大致相当于将需要的金额 **为支付到2050年增加全球太阳能和风能容量的费用**。

输电和配电电网在能源转型中扮演着不同但同等重要的角色。然而，由于它们更大的视觉影响、建设过程中的各种影响以及象征性作用，输电电网（本文的主要焦点）往往更容易受到公众的关注。

随着输电电网公司开展这一代际任务，他们在五个关键领域面临重大挑战：

- 网络公司已经在受限的供应链中运营，导致关键设备和服务的严重短缺和价格上涨。例如，高压直流（HVD C）电缆的价格在过去几年中上涨了50%，尽管订单交货时间已经延长了三倍。
- 大多数电网公司缺乏实现其建设目标所需的三到五倍资本支出（capex）增长所需的能力和劳动力容量。

政府领导人正在对公司在建设速度方面施加巨大压力。但当地对项目的反对意见——连同复杂的规划规则以及在某些时候的监管环境——为电网公司增加了额外的障碍。

- 涉及的资本量将对电费造成压力并引发相关抵制

来自消费者。此外，电网投资的融资已经严重挤压了许多公司的资产负债表。

- 许多电网公司面临日益增长的电网拥堵问题，进一步加剧了电网建设的复杂性。公司计划中的电网扩张将需要时间来缓解这一问题。

尽管国际能源署的净零排放情景的可实现性正在受到越来越多的审查，但这些挑战（以及本文的分析和结论）在替代情景中同样适用。无论是净零排放、通过人工智能实现负荷增长，还是通过更灵活的需求管理更有效地使用现有电网容量——我们都需要更多的电网。

为了应对这些挑战，电网公司必须在四个关键领域进行范式转变：

- **清除拥堵，降低成本：重新思考网络规划。** 为了减少电网建设在长期对自身和消费者带来的巨大成本，电网公司——与其他参与者协同工作——必须采取协调的、全面的电网开发方法，考虑到涉及能源转型的所有关键部门和邻近地区。与政府当局一起，他们需要挑战昂贵的技术决策，并仔细权衡特定技术方法的目标效益与其相关风险，包括对它们的潜在反对意见。他们还需要更早地拥抱新兴的创新。为了缓解短期电网拥堵的增加，电网公司和其他参与者应考虑如何更有效地利用未使用的备用容量，降低电网风险缓冲，并加强需求侧响应机制。

- **资本掌控：以少胜多。**

电网公司必须提高项目优先级和顺序安排的能力，采用可衡量的目标以促进项目逻辑权衡，并更有效地部署稀缺资源。实现这些目标将涉及追求综合工作和资源规划以及基于数据的概率情景规划。根据项目特征和目标、供应链具体情况和公司自身能力，确定最合适的交付和合同模式，可以帮助电网公司降低成本并更快完成项目。为了更有效地交付单个项目，电网公司还应采用诸如基于细粒度单位成本的预算编制、针对不同资产类别的单位成本和交付绩效目标、资产模块化以及更多迭代和动态的计划和执行流程等做法。利用如建筑信息模型、地理信息系统和数字孪生等数字工具可以进一步优化设计、物流和端到端的项目执行。

实现这一目标需要政策制定者和电网公司之间的合作，同时也需要与公众的合作。建立一个更加强有力的关于电网建设将带来的长期经济繁荣的故事至关重要，这对于鼓励和维护公众支持是必要的。

- **加强骨干：构建供应链以实现交付。** 电网公司需要更加紧密地管理其多层次供应链，增加对供应商未来产能的透明度，并尽早识别瓶颈，以确保他们有足够的供应。为了在供应受限的市场中有效地获取设备和服务，电网公司应考虑从特定项目的现货招标转向多个项目的批量采购策略，并辅以灵活的合同和定价模式，以减轻与不确定范围和进度相关的风险。这需要具备复杂的、概率性的需求规划能力。电网公司还应通过更强的参与和更深入的协作，努力成为其主要供应商的首选客户，通过采用技术规格的供应市场标准，简化招标程序，以减轻其供应商的行政负担。

对于他们而言，政府和监管机构可以通过引入支持性政策和措施，在促进更有效率的电网建设方面发挥至关重要的作用。例如，在国家及区域规划中做出更清晰的选择可以提升资本支出效率，并加速电网建设，即使这意味着放弃一些选择权，并最终在电网中拥有比长期需求更多的容量。此外，在建立电网费用结构时，政策制定者应仔细考虑价格信号的需求，以缓解电网限制，并更准确地反映相对的电力运输成本，这些成本因地理位置而异。另一个选择是建立更互联互通和协调的跨国电网。

鉴于电网对社会至关重要的地位，为使电网准备好进入净零世界所需的巨额投资，以及电网建设的复杂性，政策制定者还需要重新考虑哪种融资、所有权和资金模式最能服务于每个国家的公共利益。

任务规模

为了提供实现能源转型所需的基建，电网公司必须大幅增加其在网络上的投资。仅传输电网公司到2050年就需投资总额7万亿美元，这个数字几乎是现今德国经济价值的两倍。但电网公司还必须加快投资步伐，特别是在现在至本世纪末这段时间内。为了与IEA的净零排放情景相匹配，从2020年到2030年，全球在传输和配电网网络上的平均年度投资需要比2012年至2021年期间高出88%。
(见附图1。)

- **连接断裂：为净零电网协调利益相关者。** 电网公司需要加快与外部利益相关者的接触——特别是监管机构、政府当局和当地社区——以帮助营造更支持性的环境，用于交付电网基础设施。这一努力包括修订电网公司的激励机制及其供应链；向更大程度的规划和资金确定性迈进；简化许可和规划流程；并在全国范围内提升工业能力。

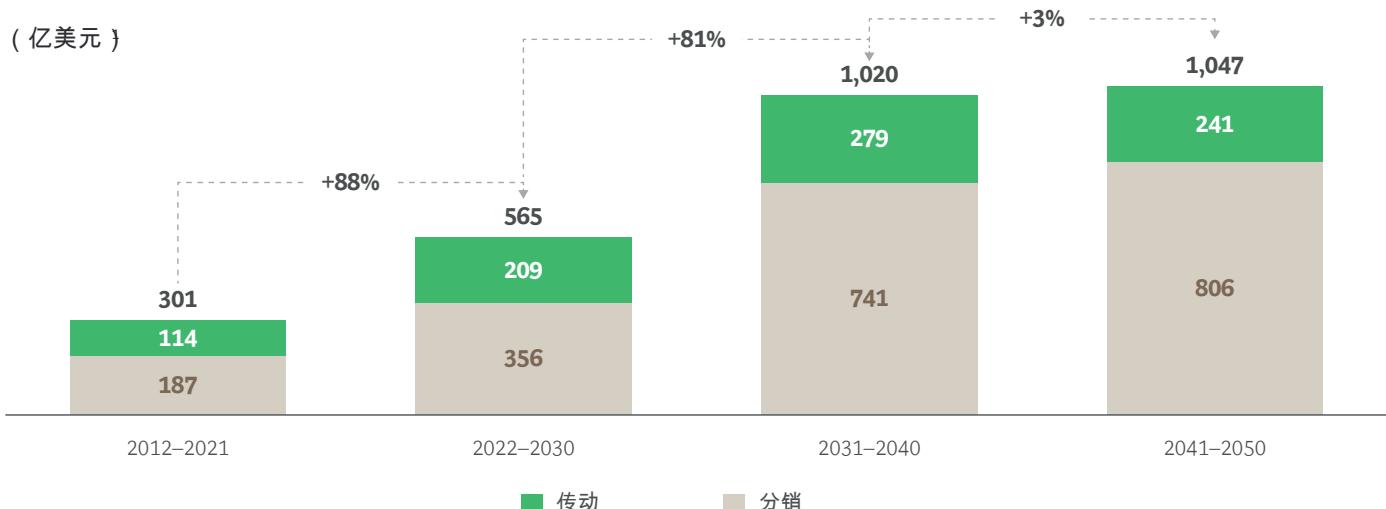
投资不仅对帮助电网公司应对更多可再生能源和需求侧的更高电气化至关重要，而且还能使它们更换和升级老旧基础设施，并实现电网的现代化。**(见侧边栏，“推动电网投资的四大因素。”)**

演示 1

电网基础设施的投资速度和规模需要在未来几十年中显著增加

◦

全球NZE情景下按十年计算的年均输电和配电网络投资



来源：国际能源署《2022年世界能源展望》；国际货币基金组织；BCG分析。1国际能源署《2050年实现净零排放情景》。

电网公司在五个方面面临建设扩张的挑战。

电网公司需要在多个领域进行投资，以确保他们的网络能够适应能源转型。但它们正受到资产负债表压力、供应链和工作力容量限制、规划和许可障碍以及电网拥堵的限制。

资本需求影响

在许多西方国家，支付给电网公司的网络费用已经占消费者电费账单的15%至30%。[\(见附件2。\)](#)然而，在未收回电网投资成本的情况下，网络费用可能会进一步上涨，从而推高电费。例如，比利时的费用预计在未来三年内将上涨近80%。

鉴于近年来全球电价的大幅上涨，通过征收更高的电费来弥补更高的网络费用可能会损害公众对能源转型的大力支持，并削弱高能耗行业的成本竞争力。

同时，为电网建设项目筹集大量资本资金的需求正对众多电网公司的资产负债表施加巨大压力，近几年来，平均净债务/EBITDA比率和利息保障比率明显恶化。[\(见展览3。\)](#)

电网公司通常通过举债来融资其大部分投资需求——要么是因为它们无法获得公共股权，要么是因为它们想避免投资者对公共股权所寄予的相当大的期望。但增加电网公司的负债显然会影响其资产负债表。历史上，这并没有给电网运营商带来太多问题，因为监管机构允许它们通过客户账单收取新和现有受监管资产公平回报。通过这种方式，公司可以增加盈利，保持健康的债务覆盖率、债务股权比率（以及更关键的净债务/EBITDA），并随着时间的推移减轻资产负债表压力。

四项推动电网投资的要素

输电电网运营商必须增加对其网络的投入，以便能够应对四个不同的力量：发电组合中可变可再生能源份额的增长；对电力的需求增加；电网基础设施的老化；以及电网现代化。

在发电组合中可再生能源的可变部分所占份额持续增长。

传输公司需要适应，因为越来越多的全球发电量将来自变动的可再生能源（据国际能源署（IEA）“2050年净零排放路线图”，从今天的约10%上升到2050年的近70%）。大规模的风力和太阳能农场必须建在风和阳光充足，且物业成本经济合理的地区。因此，输电公司必须扩建其网络，以便连接到地理位置比过去分散得更多的大型发电机。特别是，在许多主要市场，海上风力发电业务的 dramatic expansion 将需要增加输电线路和变电站，以便将海上项目连接到输电网，并增加陆地电网容量，以防止网络过载。

没有重大投资，电网公司面临着更高的维护费用、更频繁的设备故障以及与使用过时技术相关的日益增长的环境风险。随着气候变化导致更多严重的天气事件，除非公司采取措施通过更换和翻新计划来提高其网络的物理韧性，否则这些事件对电网资产的有害影响将会加剧。

电力需求不断增加

国际能源署的净零情景预计，从2022年到2050年，电力需求将增长超过150%。增长将由交通、用电力代替天然气进行供暖（主要是热泵）、对制冷的更强需求所驱动。数据中心中的AI处理，并最终在特定电力和工业流程应用中出现氢能。为确保其网络能够应对更高需求带来的压力，输电电网公司需要投资增加容量，并在大型能源用户中支持需求侧灵活性。

老化电网基础设施

为了防止成本和风险加剧，电网公司需要更换或翻新那些即将达到使用寿命的基础设施资产。例如，在美国，大多数大型电力变压器已经超过了40年的使用寿命。在其他主要市场也存在类似情况。到2030年，欧盟输电和配电网络的平均年龄将超过40年。在法国和澳大利亚维多利亚州，传输基础设施的平均年龄已经达到大约50年。

电网现代化

技术进步、新的使用模式以及新兴的风险来源正对电网公司施加新的压力，迫使它们投资升级网络。以下是五个主要示例：

- 随着传统发电厂逐渐被可变可再生能源电源取代，电网的可靠性降低。这是因为传统发电机中的旋转部件为电网提供了稳定惯量，而基于逆变器的可再生能源（如太阳能和风能）则无法提供。为了解决这个问题，**电网公司需要更复杂的控制解决方案**。（具有同步电抗器的组网逆变器解决方案是其中一个例子）。

- 随着分布式能源资源（DER）的扩展——即电网后端的小规模发电和储能设备网络——从电力分配网络对输电基础设施的需求可能会暂时非常低（有时甚至相反）。当输电运营商无法控制DER的影响时，维护电网稳定性变得更加困难，需要投资于额外的技术，如电池储能系统（BESS）。

- 在大型工业型、表后发电设施安装之后，变电站将需要更频繁地进行升级或更换。

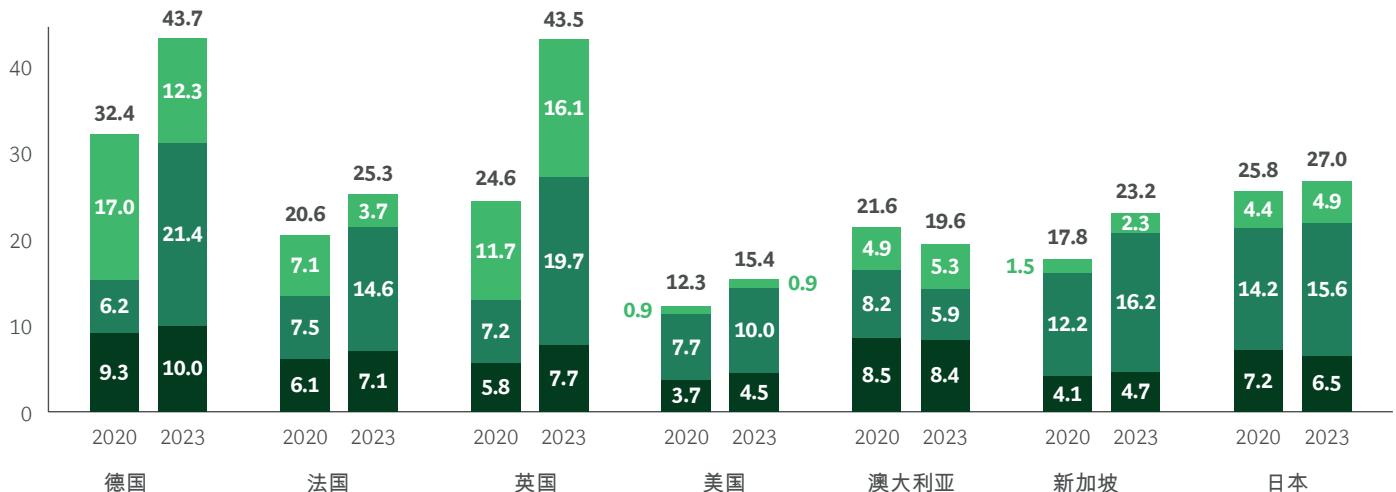
- 高压直流（HVDC）输电线路因其提供的技术优势而越来越受欢迎，例如在更长的输电距离上降低功率损失。然而，将HVDC线路与现有的高压交流（HVAC）输电线路相结合，增加了电网公司的复杂性和成本。

- 随着不良行为者越来越频繁地针对能源系统，公司需要确保其基础设施能够抵御网络攻击。

展品 2

电力账单的压力预计将增加

各国居民电费构成 (美分/千瓦时 , 美元货币)



2023年按国家组成的比例 (%)

28.1	14.6	37.0	6.0	26.9	9.9	18.0
48.9	57.5	45.3	65.0	30.2	69.9	58.0
23.0	27.9	17.8	29.0	42.9	20.2	24.0

■ 网络费用

2

■ 批发力价格

3

■ 税收、征税及其他费用

4

来源：欧统局；英国政府网；国家电网；Ofgem；澳大利亚能源市场委员会；新西兰商业委员会；新加坡能源市场管理局；美国能源信息署；俄亥俄州AEP；俄亥俄州公共事业委员会；Arbor能源；Statista；日本经济贸易省；日本电力公司联合会；BCG分析。

注意：由于四舍五入，并非所有百分比总和加起来等于100%。1以俄亥俄州为代表。2“网络费用”指的是输电和配电费率、网络成本、售后服务成本、系统服务成本以及计量设备和计费成本。3“批发电价”指的是发电、聚合、平衡能源、能源供应成本、客户服务、售后服务以及其他供应成本的费用。4“税收、摊派及其他费用”指的是区域产生的税收和摊派以及包含在价格中的任何其他成本。

然而，在支持公司进行实质性电网投资方面，这种方法存在几个局限：

• 在过去四年间，不断增长的投资需求和总供应链成本的不预期提升，达到资产类别和地区的30%到60%，这需要的额外资金远远超出参与者先前规划的资金，对它们的资产负债表产生了负面影响。这是因为，大多数国家中的行业规范运作方式导致这些前所未有的电网投资没有无缝地转化为息税折旧摊销前利润(EBITDA)和现金流增长。例如，在大多数规范框架内，存在供应链成本增加的延迟或仅部分回收问题，对于关键设备的早期付款要求的现金流量和财务风险评估得不到支持。

• 同时，在2021年触底后，利率已回升至2008年全球金融危机前的水平。这些更高的利率正在增加公司的债务服务成本，并影响其净盈利能力。持续的通货膨胀也在对盈利能力施加额外压力。

• 总体而言，监管机构尚未适应利率上升的趋势。在政治家和公众的压力下，大多数监管机构（美国是一个明显的例外）持续降低他们允许电网公司在受监管资产上获得的回报率，随着全球利率和公用事业相关的资本成本自2008年以来下降，并在2020年代初达到历史低点。这种允许回报率的下降使得电网公司更难产生足够的回报来服务其不断增长的资本成本。

展示3

电网公司正面临债务水平不断上升的问题。



来源：Capital IQ；BCG分析。1 净债务/EBITDA的计算公式为（总债务 - 现金及现金等价物）/EBITDA。2 澳大利亚、比利时、加拿大、丹麦、法国、德国、爱尔兰、意大利、荷兰、新西兰、挪威、葡萄牙、西班牙、英国和美国22家电网公司（输电公司和综合公用事业公司）的中值。3 利息保障倍数是EBIT除以利息费用得出的比率。

数家电网公司已采取积极措施加强其资产负债表并保护其信用评级——通过非核心资产出售、现有所有者的现金注入、向新或现有所有者出售股权份额、政府支持的贷款（对于部分由政府拥有的电网公司而言）或使用混合债务股权证券筹集资金。

世界所需的是对各国最适合服务于公众利益的融资和所有权结构进行重新思考。确实，有人可能会认为，必要的基础设施建设构成了关键国家基础设施——其长期效益和回报超过50年——因此需要合适的政府资金机制。

例如，意大利的Terna在2022年将其拉丁美洲电力传输业务出售给加拿大养老基金投资公司（CDPQ）。同样，荷兰政府在2023年6月为Tennet荷兰部分提供了16亿欧元的现金注入以覆盖资金需求，并在2024年9月为Tennet德国部分提供了190亿欧元的过桥贷款。

根本挑战不是缺乏资金来扩展电网。从机构投资者那里有足够的资金可用。问题是拥有适当的社会-监管结构来支付费用。

国家融资和电网所有权仍然是电网最经济的融资形式。然而，许多州在如何借款方面面临限制。以Tennet有意剥离其德国业务以及德国国家在支付Tennet德国电网资产方面的困境为例。私营电网公司只能承担有限数量的债务。而机构投资者需要可预测和充足的回报。

供应链限制

近年来，对建设电网所需设备和服务的需求空前增加，导致全球供应链出现严重短缺。（见附录4。）例如，自2020年以来，高压直流输电电缆的平均订单交货期已从一到一年半增加到四到五年。导致交货期延长的一个关键因素是，在一个高度集中的供应市场中，年度订单量翻了两番，导致客户之间为争夺工厂产能而竞争激烈。

原始设备制造商已增加生产能力以扩大设备供应。但它们谨慎行事以维持良好的供需平衡。对长期需求和关键原材料（如铜）供应的不确定性也导致了供应短缺。

展示 4

关键零部件和服务的交货期及价格在过去几年显著上升。

资产类别	支出类别	严重程度	交货期增加超过	价格增长超过
			过去几年	过去几年
材料	钢结构	●	有限的 但地区间存在差异 (美国 : 50-100%) 但是地区差异较大 (美国 : 30-50%)	
	导体	●	>100% (对于某些供应商 , 时间跨度超过 10-18 月)	
	电力变压器 / 反应堆	●	>100% (平均为 24 至 48 个月)	30-60%
	开关设备	●	>200% (从 14-16 周到 40-60 周)	>50%
	暖通空调电缆	●	>100% (对于某些供应商 , 时间跨度超过 10-18 月)	
	高压直流电缆	●	>100% (4-6 年 , 依据补充材料而定)	30-80%
工程与安装服务	转换器	●	50-100% (5-7 年)	30-50%
	离岸平台	●	有限 (目前 5-7 年)	新兴价格上涨
	电气安装	●	>200% 对于一些地区和服务	>50%
	土木工程	●	有限的 除了专业领域之外	高达 20% , 可能对专业领域更高
	工程服务	●	有限的 除了专业领域之外	>30% , 特别是在专业领域。

严重程度 低 ● ○ ● 高度

来源：BCG项目经验

注意：数据涵盖了过去三到四年的交货时间增加和价格上涨。HVAC = 高压交流电 ; HVDC = 高压直流电。1严重程度评分涵盖了价格上涨和供应链限制。

类似的情况也存在于其他关键电网设备，如电力变压器、换流站和开关设备。在这种具有挑战性的环境中，供应商们更频繁地要求电网公司进行大量的预付款和产量承诺，以确保为自己或支持生产能力的扩张获得生产份额。

此外，随着关键设备供需平衡的转移，价格大幅上涨。在过去的几年中，直流输电 (HVDC) 或高压交流 (HVAC) 电缆的价格上涨了 50% 以上。此类上涨，加上供应商产能短缺，导致大型电网项目的预算大幅增加和执行延误。例如，西班牙和法国之间的比斯开湾互联项目的成本预计将超过其原始预算 60% 以上，因此项目将推迟数年。

此外，设备供应商和服务提供商面临重大技能短缺。在关键电网设备方面，电网公司供应链中经验丰富的设计和项目经理的缺乏可能比可用生产能力的限制更加严重。

这种熟练的安装技术人员的稀缺，如导体绳索工和电缆接合工，也威胁到了电网扩展计划。我们估计，到 2030 年，英国至少需要现在可用的导体绳索工的三到四倍才能实现其电网扩展计划。在欧洲，安装人员的短缺促使公司从竞争对手那里挖走员工，并推动技术人员搬迁到提供最具吸引力工作机会的国家。

缺乏经验工程师
在电网公司供应链中
可能是一个更严重的瓶颈
比生产能力限制。



能力与劳动力容量限制

大多数电网公司在过去五年中，由于业务需求的增长，已经将他们的员工规模增加了40%至100%。面对缺乏具有行业经验的候选人，一些公司从相邻行业，如石油和天然气行业招聘，并对新员工进行再培训。

然而，由于大多数电网运营商需要在下一个十年内将其历史资本支出增加到三到五倍以实现其扩建目标，仅仅增加 workforce numbers 不会足够。电网公司还需要找到方法，以在给定的工作人员数量下提供更多服务。这可以包括外包更多工作，这一选项将增加电网公司的复杂性。但首先，公司应该建立新的能力，以提供更高的效率，并允许在部署资源以应对不断变化的任务需求时拥有更大的灵活性。

新的能力肯定将是管理所需的。

电网公司项目管道的规模和复杂性

在接下来的几年里，鉴于充满挑战的背景

规划和项目交付环境及

供应链受限。例如，需要组合管理和协调的能力，以及选择适合的项目执行策略。

在过去的几十年里，为了应对更加精简且不确定的工作手册以及监管和金融激励措施，电网公司推动了一个更加灵活的外包劳动力。因此，对于基础设施开发和交付至关重要的各种能力，如专业工程技能，现在通常位于电网公司之外。这种碎片化为电网参与者带来了额外的协调和整合挑战。

规划和监管障碍

复杂的规划与审批流程成为快速且高效地建设电网基础设施的巨大障碍。在英国、德国和美国，从确定需要新建输电线路到将其接入电网的典型时间为12至14年。大部分时间都花在了开发阶段以及获取规划批准和许可证上，而不是在建设资产本身上。

在规划阶段，来自当地利益相关者的反对，通常通过土地使用权和环境影响挑战，可能是项目延误的关键因素。当地居民在私有电网公司寻求建设他们认为受益于他们的新资产许可时，可能会特别感到愤怒。

公司股东从居民的负担中获益。在一个公平和开放的社会中，让公民在影响他们日常生活项目的决策中发出声音是重要的——但确保服务于大众利益的项目得以建成也同样重要。政府需要在这两个目标之间寻求平衡。

电网公司也可能因特定监管环境中的规划和资金不确定性而受到影响。在一些国家，电网法规包含限制网络扩展的要素——这是监管者密切关注成本和推迟电网投资时代的遗留问题——以及推进这些要素所需的批准——直到它们绝对必要。这些历史因素为电网参与者带来了更多不确定性。这样的监管障碍增加了利益相关者的风险，并削弱了电网公司做出确保从关键供应商那里获得足够供应能力所需坚定承诺的能力。

为了给社会创造一个公平的交易，政府和监管机构必须平衡为建设社会关键基础设施的私营电网公司提供长期投资（和收入）确定性、可接受的财务回报以及确保适当社会结果的治理机制。

增长中的电网拥堵

电网公司面临着建设其网络的重大长期挑战，但它们还必须应对日益严重的短期电网拥堵问题。

例如，荷兰快速电气化和增加可再生能源发电的结合导致了传输和配电网的严重拥堵，预计网络部分将出现电力超负荷。因此，电网公司无法将高功率需求的新行业以及包括电池在内的众多可再生能源项目接入电网。这反过来又减缓了国家可持续发展目标的实现，并使该国国内生产总值每年减少高达350亿欧元。

持续进行的电网扩建工作短期内不会显著缓解拥堵。此外，增加电网容量的过程涉及安排计划内的停电以升级现有基础设施并连接新设施。但随着可再生能源在发电组合中的份额增加，关闭电网部分区域而不牺牲系统运行性变得更加困难。因此，需要更多的停电，加剧了电网拥堵。因此，除了加速电网扩建外，迫切需要更有效地利用现有基础设施。

电网输送领域的范式转变

为应对上述详细阐述的挑战，并交付能源转型所需的基础设施，电网公司应重点关注以下四个关键领域：（见展示5）：

• **网络规划。** 为了减少电网建设带来的巨大长期成本，既包括自身也包括消费者，同时缓解日益增长的短期电网拥堵，电网公司——与其他参与者协同合作——必须重新配置他们的网络规划方法。

• **资本执行卓越。** 电网公司需要建设新的能力并调整其在资本项目交付中的人力资源管理模式，以克服庞大的工作簿带来的负担，并提高资本效率和交付速度。

• **供应链卓越。** 电网公司必须调整其采购实践以适应供不应求的环境。

• **外部利益相关者参与。** 电网公司需要更有效地与外部利益相关方（尤其是监管机构、政府机构和当地社区）合作，以创造一个更有利于提供电网基础设施、实现可负担能源转型的支持性环境。

公司在这些领域采取了一些行动，但他们需要做更多。

展示5

交付能源转型所需的基础设施将需要 电网公司将经历一次范式转变



网络规划

构建电网的长期愿景，同时解决短期拥堵问题。

- 构建正确的事物
- 加强作为能源转型一部分的综合规划
- 提高当前电网容量的利用率



资本市场执行

有效地交付项目

- 优先协调资本项目组合
- 调整项目交付和人力模型
- 更有效率地交付项目



供应链

成为客户的首选

- 制定综合需求/供应预测
- 管理多层供应链
- 定义增强的采购策略
- 加强关键供应商关系



外部利益相关者参与

提供社会一个可投资的风险/回报交易

- 确立资金确定性
- 审查和改革激励机制
- 促进许可简化
- 提升社区关系 • 加强工业劳动力渠道 • 保持能源系统可负担

来源：BCG项目经验。

网络规划

电网公司、监管机构以及电力系统运营商（如澳大利亚、英国和美国等国家，其中电力系统运营商是独立的）需要找到方法，在缓解短期瓶颈的同时，大幅降低长期电网建设成本。

建立正确的事物。 大多数电网公司已经采用了解决方案来增加其资产的容量和寿命，以避免需要建设新的设施。例如，重新导电架空线路（更换传输线路中的现有载流导体）是一种成熟的做法。此外，新材料和技术为采用它们的玩家带来了额外的利益。

一种新型导电材料，铝封装碳芯，使公司能够将电网容量扩大高达300%。与传统替代品相比，它还能将线路损耗降低30%至50%，且无需改变架空线路的结构。同样，动态线路评级，在有利天气条件下增加输电线路的最大运行参数，可以将现有输电线路的容量额外增加10%至30%。

政府和电网运营商在选择新技术解决方案用于新建输电资产时面临困难选择，这由于成本、社会、环境和政治等方面的考虑。不同技术的每公里建设成本差异很大。例如，建设和安装地下HVAC电缆的成本通常比使用架空HVAC线路覆盖相同距离和容量高出约五到八倍。与架空电缆相比，隧道建设的成本增加因素约为15到20倍。

发展中国家——由于电网建设预算有限、监管标准和规划流程不同——在做出输电技术选择时往往将成本放在社会和环境因素之上。因此，涉及在城市地区建设输电线路的项目并不少见。

相比之下，发达国家在技术选择上通常反映了在广泛的利益相关者之间寻求妥协的努力。这可能导致大量的额外建设成本和更长的项目时间表。例如，2015年，为了克服公众的反对，德国政府为几个陆上高压直流输电项目将地下电缆优先于架空线路，尽管成本差异达到四到五倍。

为降低长期电网建设成本，电网公司及政府部门需要挑战昂贵的科技决策，并仔细权衡特定技术的预期收益。

针对相关风险的应对方法，包括对它们的潜在反对意见。一些国家已经这样做。作为其能源战略的一部分，英国政府已经将架空线路作为事实上的技术选择，用于新的陆上输电连接；而德国政策制定者正在重新考虑未来高压直流（HVDC）陆上项目使用架空线路（而不是地下电缆），受到预计到2045年将节省350亿欧元的吸引。

加强综合规划。 能源转型正变得越来越复杂。氢能、电池储能以及电力到X技术等新兴能源和技术的出现正导致这种复杂性。但这些解决方案的市场渗透率和它们的采用速度仍然不明确。

因此，要么是过于迅速地投资于输电电网，要么是不足以快速建设电网的风险正在增加。任何一种结果都可能导致能源转型成本大幅上升。例如，根据国际能源署（IEA）的数据，由于流程不完善，目前有1.5太瓦的可再生能源项目正等待电网接入队列。

部分原因是许多国家连接排队系统的不足。解决此问题的方法之一可能是更广泛地采用一些改革措施——例如，对寻求电网连接的美国可再生能源项目发电能力的限制，以及在澳大利亚开发可再生能源区——这些措施一些国家已经启动。

然而，这也表明了在能源转型过程中采用更协调、整合和全面的规划方法可能具有潜在价值，以降低电网开发成本。据德国能源局称，一种旨在考虑能源转型所有关键领域的协调方法可以将德国实现2050年净零排放所需的输电和配电电网成本降低1200亿欧元。此外，这还将使德国的总体净零排放账单减少近5400亿欧元（约相当于2023年德国国内生产总值的13%），报告指出。

尽管大多数潜在节约涉及更长期的跨部门规划，但大多数国家迫切需要从跨部门的角度审查其国家电网投资计划的充分性（从现在到大约2030年这个近期的时段内）。

除了采用更全面的规划方法外，政府可以通过扩展国家电网基础设施，建立与邻近市场的更多互联互通，从而降低其能源系统的总体成本。通过提供附近地区低成本可再生能源的接入，互联设施可以帮助国家避免过度建设发电和储能能力，降低批发电力成本，并降低容量市场和削减成本。

互联器代表了大量的电网投资。但由于它们通常是未受监管的资产——有时带有受监管的上限和下限机制，该机制平衡了投资激励与消费者保护——因此它们是在监管网络费用之外融资和支付的，从中抽取一部分经济利益作为对用户的商业费用。

一个在地区间更加互联的电网将需要连接国家之间更强的电力市场机制协调和更合适的电网融资结构。前者是为了保护消费者免受由此产生的电力市场极端情况的影响；例如，2024年12月，由于德国和丹麦的寒冷 dunkel flaute（暗淡萧条期），挪威和南部瑞典出现了极端的电价上涨。后者对于确保邻国及其各自的电力消费者之间电网扩建成本的公平分配至关重要，因为一些输电系统运营商在制定其国家电网规划时需要考虑与邻国特定的政治导向的输电容量。

类似于互联器，节点电价依赖于市场机制。此外，它可以通过提供更清晰的信号以促进更好的投资决策，从而减少长期电网投资需求。大多数国家电力市场运营的定价系统为全国设定统一的电价。相比之下，节点定价反映了电网不同位置（节点）上电的实际成本。

通过考虑需求、发电可用性和传输限制，节点定价向未来投资发送未掩盖的价格信号，激励公司在新工厂或数据中心选址于可再生能源发电丰富的地区，并减少电网扩展的需求。同样，它们可以帮助电网运营商将建设努力转向高需求地区，从而在长期内减少电网拥堵。加拿大和几个美国地区已引入全面节点定价；意大利、墨西哥和斯堪的纳维亚部分地区运营混合节点-区域定价方案。

节点定价有其自身挑战。引入这些方案为电网公司带来了更大的规划复杂性，并且在不同地区对个人和公司的影响不成比例。节点定价也可能增加投资者对市场波动的暴露。需求侧响应定价机制（激励用户在电网容量需求高峰期间减少电力需求，并将这些需求转移到供应充足期间）与日益增长的需求侧弹性相结合，提供了一种应对这一问题的方法。

节点定价产生的潜在波动性也凸显了在输电和配电网中进行综合规划的重要性，以适当考虑灵活性全面范围。

管理方法以及分布式能源资源对电网扩展需求的影响。

提高电网容量利用率。除了在长期内建设电网基础设施之外，电网公司还必须解决由更大规模的电气化和可再生能源来源增加所造成的瓶颈紧张问题。[近期BCG关于荷兰的报告](#)建议电网公司可以考虑采取一些措施来增加现有电网容量的利用率。这些措施包括更好地利用未使用的备用容量，通过将主要瓶颈处的资产负荷提高30%（可能以资产更快退化为代价），并降低电网风险缓冲（伴随对供应中断容忍度的微小增加，目前电网可用性水平达到99.99%）。此外，通过合同激励等需求侧响应机制鼓励公司更好地分配尖峰负荷，也有助于提高现有电网容量的利用率。

在全球范围内实施类似的机制，可以在更大规模的电网扩展正在进行时，使现有基础设施容量得到更有效的利用。

资本执行卓越

从资本配置中获得最佳结果，取决于在三个关键领域的行动。

优先协调项目组合。面对对它们资源的多种需求，电网公司需要改进如何在它们的投资组合中对项目和任务进行优先级排序和排列——例如，是优先考虑新的客户连接还是提高网络可靠性的工作。

为了有效优先处理，公司必须确定可衡量的目标，如提高电网可用性、增加可再生能源的利用率、缩短接入队列或提高系统灵活性。他们还需要找到在这些目标之间进行合理权衡的方法。采用单一货币的方法——即通过对竞争目标应用共同计量单位，例如碳减排、花费的时间或货币成本——是实现这一目标的一种方式。

电网运营商也需要使用综合工作和资源规划来改善他们在整个投资组合中协调工作，包括运营支出（opex）和资本支出（capex）。这将使他们能够优化稀缺资源的部署。简单来说，这涉及到将项目规划成一个项目组合的一部分，而不是独立的项目。在区域层面，这可能涉及使用相同的资源池来协调和执行同一资产类别的多个项目的相关工作，或者可能涉及在规划区域资产维护活动时考虑更广泛的电网建设活动的影响。

为了实现此类方法，电网公司需要投资于高级数据模型和概率模拟（与带宽和P值一起工作），这些模型支持跨多个参数的复杂情景分析。

调整项目交付和人力模型。通过

基于项目的特点（如规模、复杂度、项目范围的可确定性以及可复制性）、供应链的具体情况（包括供应链瓶颈和供应商能力），以及公司自身的实力，电网公司可以提高其对稀缺的内部和外部资源的利用效率，降低成本，并更快地交付项目。

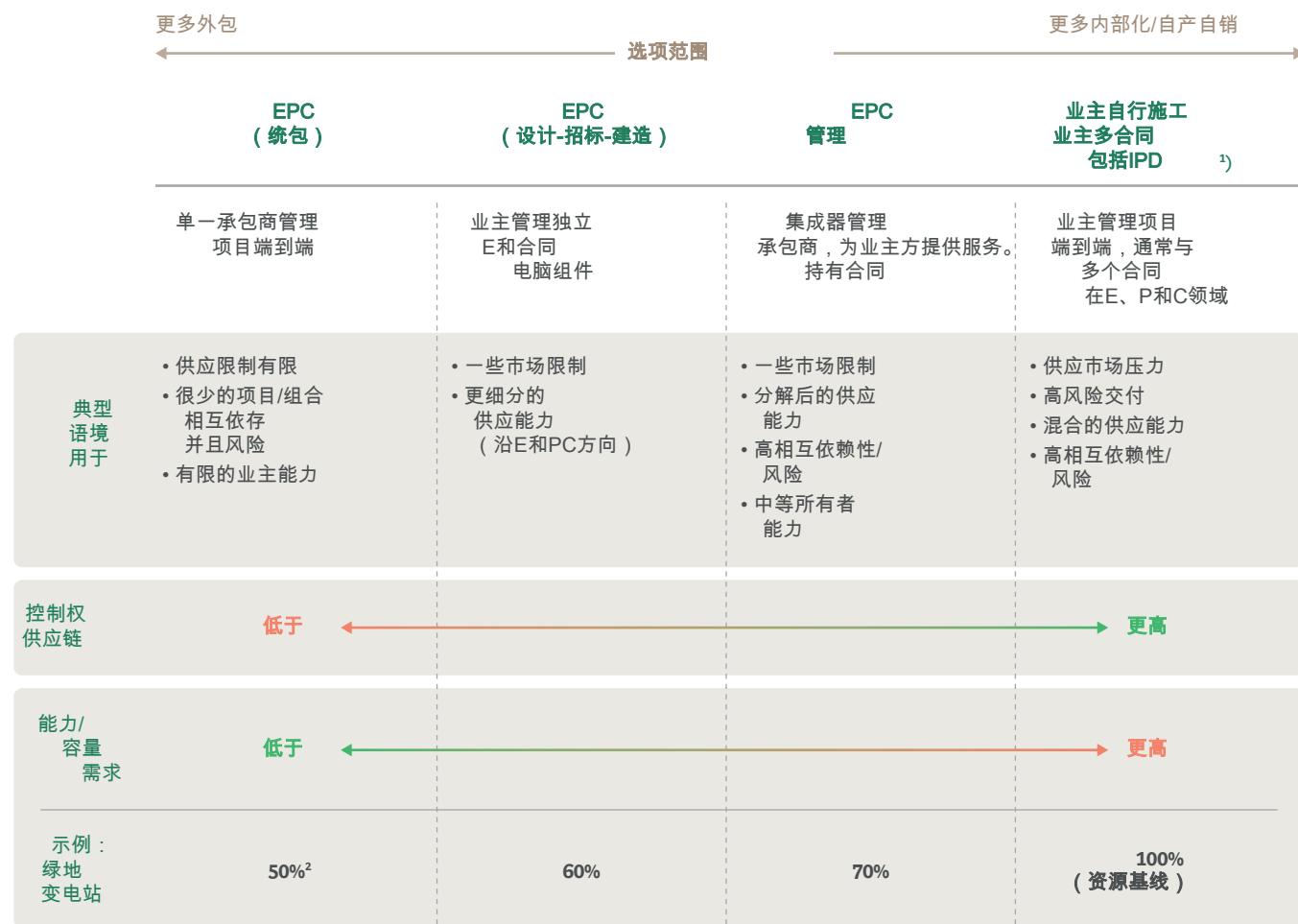
鉴于目前存在的供应链限制，一些电网运营商可能需要能够使他们对其供应商施加更大控制的配送模式。（见 Exhibit 6。）

这可能在某种程度上意味着，至少就它们的部分投资组合而言，偏离了较为统一的工程、采购和建设（EPC）模式——无论是以统包或设计、投标、建造合同的形式——转而采用交付模式，在这其中电网公司自身管理和整合各自单独的工程、物料和建设合同，或者雇佣一个整合者来替他们完成这项工作。

电力公司在选择交付模式时，也需要考虑到资源的影响。公司没有无限的容量来扩大内部员工队伍以应对不断增长的项目管道。因此，许多公司未来将不得不更依赖于其供应商的资源和能力。

展示6

电网公司选择配送模式将取决于多个因素



来源：BCG项目经验

注意：EPC = engineering, procurement, and construction（工程设计、采购和施工）。1 集成项目管理（业主促进多方合作的协议）。2 与“业主自行完成”相比，需要大约50%更少的资源（主要在于工程设计、采购和管理/协调）。

与关键方进行更紧密的接触
供应商和有效的激励措施
安排是必不可少的。
项目交付不断改善。



在项目开发阶段，电网公司传统上利用专业公司的技能，例如土地测量员、环境影响评估师和工程承包商（例如进行前端工程设计工作）来补充他们自己的能力。然而，随着对内部资源的需求不断增长，一些电网公司已经开始开始将开发阶段的很大一部分外包出去。

尽管如此，那些对电网公司所需资源较少的交货模式在需要更多资源的工程项目实施阶段可能更具吸引力。例如，以典型的新建变电站为例，在采用工程、采购和 construction (EPC) 模式的情况下，电网公司的内部资源需求通常比采用业主自行采购的模式低 50%。

因为电网运营商在选择交付模式时可能会面临潜在冲突的目标，公司在做出决策之前必须明确这些目标的本性和相对重要性。他们还应该考虑特定项目及其特性的特定交付模式的适用性，而不仅仅是默认采用相同的模式。

大多数电网公司决定增加供应商能力以交付大型资本项目的决策意味着参与者必须应对更大的碎片化和复杂性，以及需要额外的协调。尽管如此，如果他们要利用规模效应，他们必须加大资产规格和交付流程标准化的力度，并发展程序性引导、协调和整合能力。

提高项目交付效率。除了采取上述行动，电网公司还需要加倍努力，以更有效的方式交付项目。随着项目规模和可复制性增加，电网公司应应用工业和消费品行业的风险管理实践。这从在预算和决策过程中应用最新的成本数据进行细分项目单元开始。采购的设备和服务占项目成本的绝大部分，因此，公司必须确保采购职能在提供此数据方面发挥作用。

在提高项目交付效率的任务中，还需定义标准工作量，以实现更高程度的模块化，并设定和管理与不同资产类别的项目单位成本及交付表现相关的目标（无论是有无敷设一公里的高压电线或建造具有特定容量的变电站）。为了达成这些目标，采纳包括成本控制设计、技术创新及更好的交付技术如精益建筑在内的一系列举措也至关重要。我们已经观察到电网公司在使用不同类型的工程和交付实践中，在资产单位成本方面存在着显著差异。

由于供应链在项目交付中扮演着关键角色，与关键供应商的密切合作以及有效的激励措施对于电网公司的改进努力至关重要。在大型建设项目或多项目计划中，我们观察到合同方法（如目标成本）的使用增加，这些方法鼓励电网运营商与其供应商之间进行更紧密的合作，以及共同提高绩效。

企业还有显著的机会改进其端到端项目规划和执行过程中的效率。例如，通过使阶段-门控流程（公司通常用于改进项目开发）更加迭代和动态，参与者可以从中受益于工作中的学习。同时，基于项目类型和规模的流程差异化可以提升效率。然而，过于频繁的是，电网公司在项目时间表中过早寻求确定性。这导致额外工程，开发过程变慢，以及前端工作成本增加。

部署数字解决方案是提高效率的另一种方式。这包括建设信息模型，可以促进完全集成的设计、编程、4D现场物流和完全集成的供应链；地理信息系统，可以收集和存储更广泛的项目数据，如用于利益相关者参与和评估潜在法律限制的岩土和环境信息；以及在架空资产（如塔楼和线路）建设中的数字孪生，以数字化设计（包括改进的路线模拟）、最小化现场访问需求以及模拟天气影响。

供应链卓越

为确保在供应受限的市场中获得零部件和服务并控制成本，电网公司应考虑用跨多个项目的批量采购来替代传统的项目特定现货招标方法。近期例子包括国家电网为多达15个高压直流输电项目发布的590亿英镑的招标，以及Ampriion为两个高压直流输电陆上地下电缆项目的土建工程发布的数十亿欧元招标，这些项目的建设将于2029年开始。

大型长期项目的集中采购通常需要电网运营商预先承诺合同。这比传统方法涉及更多关于范围、数量和时间的不确定性，增加了电网运营商的商业风险水平。公司可以采用几种策略来减轻这种风险：在承诺项目规格之前在时间表上提供更多灵活性；与供应商使用技术标准；为多项目计划中预定稍后发生的项目提供合同选择性；并采用更具灵活性的定价模型。

渐进式的价格转换，涉及根据范围变得更加清晰时调整初始单位价格至固定或基于目标的定价，以及涉及供应商早期参与的协作合同模式，是此类策略的两个例子。尽管这些做法具有益处，但在公用事业行业中，这些做法仍然相对不常见。

为了实施高级采购策略，电网公司需要复杂的采购计划流程，这将使它们能够根据未来的项目组合，更精确地预测对设备和服务的细粒度需求，同时考虑不同场景和确定性的水平。为了支持它们，电网运营商可能需要一个可以自动将项目转换为不同支出类别的需求量的集成主数据平台。然后，它们可以将这些量与可用的供应商产能相匹配。

同样，电网公司需要对其多层供应链进行更加紧密的管理，以降低行业产能风险。通过建立对供应商多年制造能力（包括其供应商的产能扩张计划和对竞争对手供应商的竞争）的透明度，以及早期识别建筑服务中的潜在瓶颈（无论是由于熟练工人（如线路工和电缆接头工）或关键机械设备（如牵引张力器）的可用性），公司可以确保其扩建计划所需的供应。

电网公司可以利用这一知识通过拓宽其需求范围（从而增加可以为他们服务的供应商池），从其他地区采购，以及积极促进新兴供应商和创新的发展，来扩大其关键设备的供应基础。然而，克服工程部门对熟悉、成熟的解决方案的典型依赖，将需要公司管理者付出巨大努力。

为了在竞争中脱颖而出，电网公司应努力通过加强参与——尤其是公司高级领导的参与——以及与供应商的更深入合作，成为其主要供应商的首选客户。为了与供应商建立更牢固的关系，公司应考虑分享其最新的需求预测，采用技术规格的供应市场标准，简化合同流程，并简化投标程序以减轻供应商的行政负担。更好的参与可能还涉及支持供应商能力的扩展，以及在技术创新方面进行更紧密的合作。

在这不断变化的环境中，电网公司采购部门的角色将需要改变。为了满足对其更高的期望，采购部门必须

开发新能力，并在组织内成为完全集成的业务合作伙伴。尽管这一转变主要是由采购部门的领导负责的任务，但获得高级管理层的强力支持以促进变革将是至关重要的。

外部利益相关者参与

如上所述，电网公司有很多机会调整其做法以应对当前的挑战。但它们还需要通过有效参与该环境中有影响力的利益相关者——特别是监管机构、政府部门和当地社区——来培育其运营环境的变化。我们已经确定了电网公司应关注的六个关键领域的行动。

提高监管的确定性以加强项目规划和资金支持。在今天的挑战性

环境，电网公司需要对其项目管道有更大、更早的监管确定性，以确保他们有足够的资源到位。在德国和荷兰，公司可以获得陆上和海上高压直流输电项目的初步批准，比项目目标完成日期提前12至14年。对于大型基础设施投资，类似的监管透明度（至少延伸至10年）需要在其他地方成为常态。

监管机构在处理电网公司作为其新监管期发展计划的一部分提交的拟议中的中型投资（如新建变电站）时，也必须从被动转向主动。通过提前预见公司的需求并提供早期批准，监管机构可以为参与者提供所需的确定性水平。监管流程应首先处理系统级设计和审批，然后解决可能后来被争议的要素。例如，监管机构可能会在考虑任何正式需求案例之前支持资金发展工作。

电网公司在当前环境中也面临着更大的财务风险。在大多数监管体系中，针对在个别项目批准前提供资金储备和预付款的政策，以及制定更全面的通货膨胀风险覆盖方法，将显著提高电网公司的资金确定性。

除了改善私营电网公司的投资环境之外，然而，监管机构需要确保他们为社会建立一个公平的安排。这涉及到在私营电网公司所承担的财务风险和可接受的财务回报之间找到一个适当的平衡，并采取适当的治理措施以保证公众受益。

修改激励结构。 监管机构如何设计激励机制对电网基础设施项目的交付可以产生巨大影响。过去将成本作为主要绩效指标的倾向可能产生意想不到的后果，即推迟对于能源转型至关重要的电网建设。这种方法的另一个不利后果是整体系统成本的增加，因为在许多情况下，关键基础设施无法及时到位，无法连接更便宜、更清洁的可再生能源发电，这将会降低系统调度和拥堵成本。

至少在过渡关键项目的情况下，电网公司的主要激励措施应该是项目交付的速度。这种激励措施的重新排序已经在英国的一系列重要项目中得到采纳（在国家加速战略输电投资计划下）以及德国。此外，将基于速度的激励措施扩展到供应链可以鼓励主要交付伙伴之间的更大协作和创新，以帮助加快项目交付。更广泛地说，监管机构应根据一系列社会成果来激励电网公司，采用单一货币方法，而不仅仅是基于一两个指标。

简化许可和规划流程。

从识别新大型基础设施的需求到获得规划批准和必要的许可可以推进项目，这个过程可能长达十年。这个漫长的时间框架与实现能源转型所需的电网基础设施提速不相符。

为了缩短这些时间表，许多国家已采取措施简化许可和规划流程。一些国家，如澳大利亚，通过其可再生能源区，已设立享有特殊许可权的地理区域。其他国家，如德国，从2023年开始实施的“规划、审批和实施加速协议”（Pakt für Planungs-, Genehmigungs- und Umsetzungsbeschleunigung）计划，在国家层面引入了更广泛的基础设施方法。

这些方法具有多个共同特征：

- 缩减官僚障碍，通常包括对重要审批的具有法律强制性的截止日期的引入，以避免不必要的延误，以及规范简化和协调。
- 相关当局之间加强合作——例如，通过为关键基础设施项目创建联合任务小组

- 通过定义共同标准和建立一个集中管理共享的批准的环境、社会、地理和经济数据池，实现了加速的影响评估。

规划与许可流程的数字化

- 并行（而非顺序）执行工艺步骤

为了加速电网建设，世界各国政府将需要引入包含这些特征的简化措施。然而，尽管他们在缩短项目时间表，他们必须确保受影响的社区有考虑项目计划并表达关切的机会。

加强社区关系。 与受电网项目影响的社区进行互动对于建立公众对能源转型支持至关重要。许多电网公司已经做出了大量努力，向当地社区通报他们的计划并倾听居民的担忧。然而，还可以采取更多措施，为提供电网基础设施的社区带来直接利益，尤其是在最终项目将为遥远地区供电的情况下。可能的行动包括创造就业机会项目、电费折扣以及投资于更广泛的社区。

提高工业生产能力。 应对电网公司及其供应链中的严重技能短缺问题，需要政府与电力公用事业行业共同合作的方法。该方法的重点要素将包括对行业需求的政府资助审查、为外国工人提供签证支持，以及再教育项目，以便相邻行业领域的工人能够学习新的电网相关技术技能。例如，在澳大利亚和美国，州级项目正在帮助煤炭行业工人转型为线路工人。通过采用更加积极主动的方法，为行业提供更大的确定性，监管机构还可以鼓励供应商扩大其生产能力并投资于其劳动力。

拥抱经济实惠的能源。 大规模投资电网对于社会至关重要，因为这将有助于扩展和加强电网，解决拥堵问题，并支持向更可持续和灵活的能源系统转变。

从长远来看，鉴于可再生能源比化石燃料发电成本更低，这个能源系统将比今天现有的系统更具成本效益。政府和监管机构面临的主要挑战是在密集投资阶段确保能源的负担得起，同时也要保护能源密集型产业的成本竞争力。

国家政策对网络费用和税收有显著影响。例如，在德国和法国，大型基础电力消费者享受80%至90%的网络费用折扣，与居民客户支付的费用相比；但荷兰的费率更为统一。这些补贴安排对社会电网扩张成本的分配有重大影响。通过直接使用公共资金补贴电网投资，政府可以减轻企业和个人面临日益增长的网费负担。

政府还应考虑延长电网运营商的投资回收期，可能通过贷款担保来支持，以平缓客户的网络费用增加。或者，他们可以为电网的某些部分引入不同的融资、所有权和商业化模式，例如用于互联器的非监管资产模式。

政府和电网公司需要意识到，公众普遍缺乏对建设电网基础设施对社会重要性、其真实成本以及可选项和权衡的清晰认识。对于许多人来说，电网建设和电力系统的细节是完全的谜团。为了争取公众对能源转型的大力支持和参与，政府和电网公司需要确保在这些议题上拥有更高的透明度和教育。

结论

历史上，电力传输基础设施的发展经历了几个关键的转折点——从19世纪末第一条电力传输线的出现（将远程水电站与消费者连接起来），到20世纪20年代和30年代传输电网的创建（最著名的是德国和英国），再到20世纪50年代和60年代大规模建设这些网络，作为经济增长和繁荣的支柱。如今又存在这样一个转折点，但这次指导目标是作为能源转型的一部分，为社会提供清洁、安全、负担得起的电力。

电网建设的成本可能会危及公众对这一转型支持，然而，相关的资本需求给许多电网参与者带来了重大的融资挑战。此外，电网拥堵、供应链和劳动力限制以及监管和规划障碍使关键基础设施投资面临成本高昂的延误风险。

作为电网建设项目的协调者，电网企业应专注于在以下四个领域推动范式转变，以协助解决这些挑战：调整其网络规划实践；在项目执行中构建新能力和调整劳动力模式；改变其供应链管理方法；并加快利益相关者参与努力。国家政府和监管机构也需要制定支持电网投资的政策和框架，并重新审视所有权、融资和资金模式，确保它们最好地服务于公众利益。这些努力的成功对于确保所有人都有一个更加光明的能源未来至关重要。

关于作者



马丁·霍格尔 是波士顿咨询集团伦敦办公室的合作伙伴和总监。您可以通过电子邮件与他联系： hoegel.martin@bcg.com .



Oxana Dankova 是该公司迪拜办事处的合作伙伴兼董事。您可以通过电子邮件联系她，dankova.oxana@bcg.com .



Bas Sudmeijer 是BCG伦敦办公室的董事总经理和合伙人。您可以通过电子邮件与他联系，邮箱地址为：sudmeijer.bas@bcg.com .



莫里斯·伯恩斯 是一家公司的管理董事、高级合伙人以及伦敦办公室能源影响中心的主席。您可以发送电子邮件至联系他。berns.maurice@bcg.com .



Eelke Kraak 是BCG阿姆斯特丹办公室的管理总监兼合伙人。您可以通过电子邮件与他联系：kraak.eelke@bcg.com .



费迪南德·瓦加 是一名该公司迪拜办事处的主管董事和高级合伙人。您可以发送电子邮件至联系他。varga.ferdinand@bcg.com .



劳拉·维拉尼 是BCG米兰办公室的董事兼高级合伙人。您可以通过电子邮件与她联系：villani.laura@bcg.com .



丹尼尔·韦斯 是该公司杜塞尔多夫办事处的管理总监和高级合伙人。您可以通过电子邮件与他联系，邮箱地址为 weise.daniel@bcg.com .

关于进一步联系

如果您想讨论这份报告，请联系作者。

致谢

作者们想要感谢他们的同事Eric Roberts、Ilya Gorkov、Anurag Gulati、Anton Revin、Candela Louzao Carabel、Mark Winters、Amir Ahmadzadeh和Pavla Mandatova，以及他们的前同事Ed Zaayman和Rukmini Sarkar，感谢他们为这篇文章作出了各自的贡献。此外，作者们亦对他们的前同事Arthur Downing表示感激，感谢他在本文上提供的极具价值的思想伙伴关系。



有关信息或重新打印的许可，请请联系
BCG at permissions@bcg.com. 为了找到最新的BCG
内容和注册以接收有关此主题的紧急警报或
其他，请访问 bcg.com. 跟踪波士顿咨询集团
集团 [领英](#) , [Facebook](#) 并且[X \(前身为Twitter \)](#)



BCG