

电力转型的梦想与现实

文 | 布鲁姆

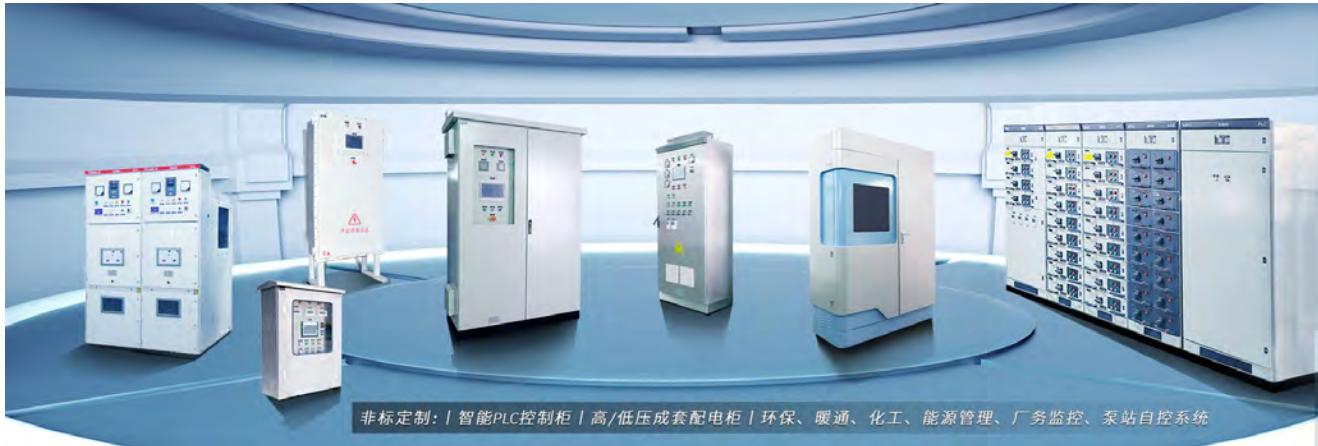
创新科技、再生能源进展、资料中心电力需求成为全美关注焦点之际，内布拉斯加州林肯市让各界看到，扛起能源转型重任的，其实是在地电力公司。

3月中旬某天早上，一场春季暴

风雪滞留在内布拉斯加州东部上空，移动速度缓慢，猛烈吹袭着首都林肯市（Lincoln），时速高达 60 哩的强风夹带雨雪，降雪量最高达 8 吋。当地电力公司林肯电力系统（Lincoln

Electric System）的用户约有 15 万人，中午已有将近一成陷入停电。电线上累积了冰雪重量，彼此拍打，导致电路锁死。阵阵强风持续不断，林肯机场甚至一度测到风速高达 74 哩，导致市区北





缘一整排电线杆应声断裂，倒在空旷田野上。

安彦伍 (Emeka Anyanwu) 将断电分布图打开在荧幕上，差不多每隔 10 分钟就重新整理一次。同时，实地现场派出 18 组维修小组，一共约 75 到 80 名线路工程人员正在全力抢修，设法要缩小荧幕上的橘色圈圈，每一圈就代表数千名断电用户。安彦伍在 2024 年 1 月出任林肯电力执行长，这是他第二次遇到的大风暴，此刻坐在温暖干燥的办公室里，心中挂念着员工面临的处境。安彦伍初入职场时，曾在堪萨斯市电力公司 (Kansas City Power & Light, 现称 Evergy) 工作，负责设计配电系统、监督团队、参与风灾应变等事项。“作为电力从业人员，风灾应变已经成了我的 DNA。”他说。在这种天气下，“光是抵抗强风和移动身体，体力已经很难负荷。”他补充道：“作业速度变慢，有些工作根本无法完成，人就像被高速喷砂一样。”

林肯电力总公司座落在一栋窗明透亮的新大楼里，大楼以前任执行长威尔斯 (Kevin Wailes) 命名，内部设有

宛如机棚般的宽敞车库，让车辆进出无需倒车。抢修人员返回公司休息，换上干燥衣物，脸颊因为雨雪与寒风而泛红刺痛，车辆保险杆的结冰滴落在混凝土地板上。控制室一片昏暗，几名小组长汇整维修人员打来或无线电通报的损害回报。更上级的部门主管则是挤在走廊对面的小会议室里，大荧幕显示着他们自己的断电分布图。

安彦伍尽量避免干预现场运作。“我会参与风灾会议，提出一点想法，但我尽可能不介入太多细节。”他说：“我不会干扰他们工作。我会等到下班时才下楼，因为我不想让大家觉得我在监督。但坦白说，我认为大家做得非常好，不需要我也没关系。”

灾情当前，安彦伍选择团队合作，而非控制。他抱持的心态是，并非只有他一人能解决问题，而是相信团队掌握了任务内容，也有达成任务的准备。但对他而言，这场春季暴风雪只是小问题。尽管这类风暴有愈来愈频繁的迹象，但毕竟是可预测的干扰事件，不久之后的考验恐怕更加严峻，对林肯电力还是全体电力业者都是硬战。

电力产业称这个未来的挑战是“三重困境”：如何在供电稳定、价格可负担与永续发展之间取得平衡，成为近乎无解的难题。随着风灾与火灾更加极端与频繁、网络攻击与实体设施破坏的风险升高，再加上政策与法规态度高度不明朗，电力公司必须持续维持供电不中断，同时还要因应通胀成本而压低电价。此外，电力公司必须与时俱进，因为电网运作模式已经彻底转变，发电来源逐渐从化石燃料转型为太阳能与风能等再生能源。

殊不知，三重困境在过去一年反而变成基本门槛，其他如科技进展与经济考量亦逐渐形成强大压力，使得未来的干扰几乎已成定局。在不久的将来，电网除了面临无法抵挡的变革力量，还要面对难以撼动的既有局限，众多因素彼此牵动，却又互相对立。正因如此，安彦伍冷静理性的因应态度，让各界能够借镜林肯电力，切实检视电网即将面对的挑战。

风暴愈演愈烈

对电力公司而言，最迫切的技术面

挑战在于用电需求攀升，这点有一部分与人工智能进展有关。回顾电力产业历史，人口成长每次带来用电量成长的同时，能源效率也不断提升（主要是LED照明与家电技术进步的贡献），因此节能量默默抵销了用电量增幅。这个平衡如今不复存在。除了新建资料中心与工厂之外，车辆、厨房与居家暖气的电气化亦提高用电需求，打破长期平衡模式。自2000年以来，用电负载量年增长率原本始终低于1%，如今预计超过3%。2022年，电网原先预估未来5年将新增装置容量达23吉瓦(GW)，如今预计再增加128吉瓦。

至于政治面的考验，相信全世界都不陌生，那就是川普不惜天下大乱的行政风格。拜登政府时期推出多项重大法案，带动数十个产业纷纷采用再生能源。拜大规模税务优惠之赐，洁净科技制造与再生能源开发得以欣欣向荣；政府政策鼓励风能与太阳能在联邦土地兴建设施；次世代能源技术如储能、核能与地热等，亦能取得资金活水。如今川普政府路线急转弯，又以气候相关政策最为明显。政府一方面减缓、甚至中止离岸与在岸风电设施的核可，一方面又发布行政命令，鼓励发展煤炭与其他化石燃料（但此举势必引起法律诉讼）。川普政府宣布美国进入“能源紧急状态”，可能严重打乱电网错综复杂的监管架构，颠覆电力公司的游戏规则。光是川普的煽动性言论，就足以让部分社区壮胆，加强反对新建风电与太阳能计划，导致开发商面临更高的成本与变量，甚至造成计划不具开发效益。

尽管如此，能源转型的动能依旧强劲，甚至已沛然莫之能御。根据美国能源信息协会(Energy Information

Administration)在2月发表的2025年预测，公用规模的发电容量将增加63吉瓦，其中有93%来自太阳能、风电或储能。以德州为例，并网互联等待名单(电厂兴建计划的领先指标)约有92%为太阳能、风电与储能系统。电力产业未来如何发展，既显而易见，却又难以预测，目前局势混乱交织了许多大型力量，还有一场政治风暴来搅局，形同在三重困境里再添两难局面。

现实缩影

难关当前，执行长该怎么办？安彦伍接下林肯电力的职位，一部分原因就在于他能正面克服技术挑战，又能化解政治难题。他的专业背景在输配电，正是电网的关键环节。他曾任职于堪萨斯市政府，加入林肯电力前在西雅图电力公司(Seattle City Light)主导创新工作，负责解决电气化、能源市场、资源规划、网络安全与电网现代化等问题。

新创企业的执行长往往胸怀愿景又善于推销，反观安彦伍的个人魅力很不一样，散发出责任感与尽忠职守的气息，亦即公用事业所重视的素养。身为“第三文化小孩”(third culture kid)，他出生于美国爱荷华州阿美斯市(Ames)，父母来自奈及利亚，当时赴美进修农业与幼儿教育。他后来随着父母搬回奈及利亚，童年大多在这里度过，长大后才返美就读爱荷华州立大学(Iowa State University)。他今年45岁，身高6呎2吋，育有3名子女，都未满10岁。无论是出席林肯电力的董事会公开会议、接受播客访谈，甚至拿到产业奖项，安彦伍始终强调，功劳与肯定应该由整个团队分享。他不吝给予赞赏与肯定，从中凝聚共识。暴风雪

过后，他特别感谢林肯市民“一如既往愿意共体时艰”。

三重困境对任何一家电力公司都不轻松，林肯电力固然不是例外，但也有特别之处。它的规模够大，足以发挥影响力，但规模又算小，便于管理。以太平洋煤电公司(PG&E)来做比较，其用户数约是林肯电力的37倍。林肯电力持有3座大型燃煤电厂的部分股权(其中最新一座在2007年启用)，另与风力发电业者签约，取得302百万瓦(MW)的供电容量。林肯电力的供电区域内，甚至还有一家庞大的资料中心即将进驻；Google预计年底前在这里成立全新园区，占地约580英亩，紧邻80号州际公路，离市区只有10分钟车程。从技术面来看，林肯电力正代表了电力业者面临的挑战与机会。

同样值得关注的是，林肯电力并不是营利事业。美国有三分之二的电量来自民营电力公司，公营非营利机构(如林肯电力)或民营非营利合作社则占其余三分之一。不过，内布拉斯加州是美国唯一百分之百实施“公营电力”的州，州内电力公司皆由地方社区拥有与管理，并由当地董事会治理，完全聚焦在符合客户的需求与期许。“林肯电力是公营电力公司，以服务公共利益为明确使命。”在当地一家科技公司担任高阶主管、同时是林肯电力无给职董事长的萨巴尔卡(Lucas Sabalka)说：“林肯电力对外非常强调公共利益，并积极争取民意反馈，力求让大众觉得参与其中。”善尽公民责任是它的最高原则。

“我们和大众没有利益抵触的问题。”安彦伍说：“我们不会为了获利就拚命收购电力设备资产。这不是我们的营运方向，也不是我们存在的理由。”

他补充说：“我们身为电力公司的责任在于尽职管理，在社区扮演兢兢业业的守门人。”

政治难题

2020 年，林肯电力召开多场公开会议，部分场次甚至吸引超过 200 人参与。民众纷纷呼吁董事会通过一项值得关注的决议，要求林肯电力的发电阵容在 2040 年前达成净零碳排。林肯电力并非例外，内布拉斯加州另两家大型电力公司也订下类似的非强制减碳目标，包括奥马哈公营电力公司(Omaha Public Power District) 与内布拉斯加公营电力公司 (Nebraska Public Power District)。

这些目标承袭了已经启动多年的能源转型。过去 10 年，风力发电已经翻转内布拉斯加州的能源产业，2023 年占该州净发电量的三成。对石油资源明显不及邻近几州的内布拉斯加来说，风电趋势对经济是利多发展。

但同时，高耸矗立的风机也沦为争议焦点，除了外观让人诟病，也有人不满风机取代大片农地——讽刺的是，这些农地原为玉米田，用于生产乙醇燃料。自川普第二次当选以来，争议愈演愈烈，全州各地的太阳能与风电计划都遭到在地社区强烈反对。

兰开斯特郡 (Lancaster County) 委员会原已一致通过林肯市郊的太阳能电厂案，装机容量预计达 304 百万千瓦，将是该州最大的太阳能电厂之一，但后续却遭到当地反对民众上诉。该案开发商为总公司位于佛州的能源大厂新纪元能源 (NextEra Energy Resources)，在今年 3 月曾经登上新闻版面，因为公司执行长公开赞扬川

普政府的能源政策，同时又强调太阳能与储能仍是扩大能源供给的最快途径。

毕竟，内布拉斯加州是共和党的大本营；根据耶鲁大学气候变迁沟通计划 (Yale Program on Climate Change Communication) 调查，仅约 66% 的成年民众认为全球暖化正在发生。川普总统在全州拿下近六成选票，但在兰开斯特郡仅有 47% 的支持率，成为共和党票仓中的一小点摇摆区。

“这个问题没有简单的答案。”安彦伍照常慎重地说：“电力产业有很多人想要赢得意识形态的争辩，觉得事情非黑即白。但我认为，如果大家愿意诚实面对问题，应该都很清楚，凡事都不可能只存在两种答案。”

技术新关卡

真正存在的，是一连串难题。对林肯电力而言，其中最棘手的问题在 2024 年 4 月浮出台面，亦即如何增加发电容量，又不会提高成本或碳排。和美国绝大多数电力公司一样，林肯电力必须仰赖独立的“区域输电组织” (RTO)，由后者平衡电力供需，确保电网供电稳定，同时经营电力交易市场等。这个体系的运作原则在于：所有电力公司共同分担电网的用电量与发电量时，全体都能受惠，既能达到供电稳定，又有经济效率。“不妨把市场想成是大家各自准备一道菜聚餐。”安彦伍说：“每个人都应该带来足够自己吃的美食，但不代表就要吃自己带的那份。”也就是说，每家电力公司都必须依照自己的尖峰用电需求，贡献足够的发电容量，但所有电力都会共享，供整体系统使用。而电网规模愈大，就愈能吸收小幅波动或突发故障。

但如今，聚餐的人愈来愈饿，烤箱却不见得正常运作。过去，发电厂的唯一变量只是“开或关”，判断发电容量相对简单。一座 164 百万千瓦的天然气或燃煤电厂，通常可稳定提供相同的发电量。风电与太阳能虽然没有燃料成本或碳排，却打破了这个模式。业界所谓的“资源充足性” (resource adequacy)，牵涉到错综复杂的平均值与预估值，均是根据电力公司的旺季用电负载高峰计算。遇到破纪录的用电高峰时，所有电厂必须同时上线供电。但风力与太阳能无法说开就开，夏季尖峰日可能刚好阴天或无风，冬季尖峰日又一定是太阳提早下山的时候。燃煤与天然气电厂也不是没有供电稳定的挑战。这类电厂经常因为维修而停机。到了冬天，输送天然气的地下管线还可能冻结，难以同时应付家庭暖气与大型电厂的庞大需求。

在发电资源组成快速变化的背景下，负责美国大部分地区（包括内布拉斯加州在内）的区域输电组织“西南电力联盟” (Southwest Power Pool) 决定审慎为上，因此在 2024 年 8 月修正“容量认证”标准，亦即各类型电厂在尖峰期预计能稳定贡献多少电量。所有电力来源依可靠性曲线评分。倘若天然气发电厂经常故障，认证容量就比较低；如果拥有大量风电，则在冬季（风势较强）尖峰期的认证容量会高于夏季；太阳能发电厂在夏季的认证容量比冬季高，因为夏天日照长又充足。

依照西南电力联盟设计的新公式，林肯电力必须贡献更多电力到电网，这就好比有人自行认定一磅汉堡肉能喂饱的人比一磅豆腐还多。新制明显偏袒化石燃料发电，惩罚风电与太阳能，因此



遭到洁净电力与环保倡议团体嗤之以鼻。（制度调整是产业游说、意识形态根深蒂固，或是技术理解不足的结果，尚不得而知。）然而，“资源充足性”这件事本身难以反驳，没有人敢小看供电不稳定的问题。

以电力产业的三重困境来看，这形同是手持“可靠性”的棍子，打着“可负担性”的马匹，而“永续性”只能在一旁等待出场。政治因素顿时不再是重点，维持稳定供电（包括因应人工智能资料中心的用电需求）成了新的目标。

寻找出路

接下来怎么办？林肯电力可以游说抗议西南电力联盟的规则，但还是必须遵守。在地社区可以有自己的期许，但供电不能中断。艰难的抉择时刻即将来

临。对于 2040 年达成净零的决议，安彦伍说：“我们不会为了追逐这个目标就随便投资，也不会做出不明智的财务决定。我们不会为了净零就牺牲供电稳定。但在这些现实条件之下，社区还是能够做出选择，表达对净零的重视。”为了配合营运策略规划，林肯电力已经启动多项问卷调查与社区座谈。问卷的问题之一，是请受访者依重要性为“供电稳定”、“价格可负担”与“永续发展”排序。

问卷让大家看到，电力公司扮演了管理者的角色，不只经营基础设施，也守护着在地社区的利益。在各界聚焦于创新技术、再生能源发展、资料中心电力需求之际，实际承担能源转型重担的，正是地方电力公司。这样的角色常常遭到忽视，原因可能是业者的每季股

价表现备受检视、可能是受到森林大火风险的拖累，也可能是已经成为某区域的产业龙头，握有庞大的政治影响力，但林肯电力的例子点出了未来的潜力与考验。

“在地社区总是要有一点梦想吧？”安彦伍说，但他也坦言：“而我们这些技术专家必须当泼冷水的人，提醒大家梦想虽然很美，但我们实际能做到的是这样，等于是要大家不要期望过高。”

“但你也不希望民众完全没有梦想，没有任何期盼或愿景。”他补充道。对安彦伍而言，这就是他想扮演的角色：

“我愿意带着公司怀抱一点梦想，有抱负、有雄心、有勇气。但骨子里，我还是必须以电力公司的营运为使命。”**MFC**