Life Is On | Schneider Electric 施耐德电气

为医院建设有弹性的高效微电网：从设计到融资

作者：Markus Hirschbold 和 Andy Haun

执行摘要

世界各地的医院越来越多地采用微电网技术来提高弹性和降低能源成本。为了优化微电网解决方案，医院团队必须开展精细的可行性研究，部署规模得当的分布式能源。应考虑采用模块化架构，以帮助简化微电网的设计和安装，同时降低维护成本。应对所有的融资方案、激励措施和运营模式进行评估，以减少风险，实现收益最大化。

引言

2003年，一场大规模停电导致美国东北部大部分地区陷入瘫痪，许多医院的备用电源系统由于发电机故障或过热而无法运行。那些仍能运行的系统，其发电能力仅能为每家医院的部分设施提供支持，而且许多系统的燃料很快就耗尽了。[1]

2012 年桑迪超级风暴期间，纽约的贝尔维尤医院因备用电源故障而不得不疏散人员[2]，而该市的少数区域（包括一些大学在内）凭借自有的微电网发电系统得以继续运作。[3] 2001年热带风暴艾利森致使德克萨斯州的22家医院停业，而 2017 年哈维飓风期间，德克萨斯医疗中心凭借其微电网得以保持全面运营。[4]

这些灾难带来的教训促使医院和其他各类关键设施越来越多地采用微电网技术。然而，电力连续性和患者生命安全并不是医院认为微电网具有吸引力的唯一原因，设施的能源成本也是备受财务团队关注的问题。这是由三大现实因素决定的：

1. 医院消耗的能源是其他类似规模的商业建筑的 2.5 倍
2. 许多医院需要扩建设施并增加更多的能源密集型设备
3. 能源价格持续上涨

这增加了管理者的预算压力，迫使他们想方设法降低与能源有关的运营成本。微电网可以充分发挥现场分布式能源 (DER) 的优势，利用高效发电手段，如热电联产 (CHP)、燃料电池以及太阳能、风能等可再生能源发电，并结合可以移峰填谷的储能与智能管理供需的高级控制工具，提供有效的解决方案。

图 1：微电网技术通过提高对电网中断的弹性来帮助医院保障患者的生命安全，同时控制与能源相关的运营费用。

1 “是什么导致纽约市医院的发电机频出故障？”，CBS 新闻，2012
2 “飓风桑迪快报”，CNN, 2018
3 “微电网势头：建设高效、有弹性的电力”，气候与能源解决方案中心，2017
4 “哈维飓风后重新开灯”，Power Generation，2017

微电网系统技术已经成熟，预计在全球范围内将以每年 20% 的速度持续增长，而自 2014 年以来， 微网的一次性投资成本预计下降了 25% 至 30%。[5]现在是医院利用这一经济高效的手段减少对公用电网依赖的最佳时机。当电网停电时，医院可以从电网中"孤立"出来，独立运行一段时间。当电网能源成本上升时，微电网可以增加对现场可再生能源或储能的消耗。在能获得最佳经济效益之时，还可以将储存的能源回售给电网。最大化可再生能源消耗也有助于达到温室气体减排目标[6]。

本白皮书面向正在研究微电网优势和成本的医院团队，简要概述了有助于确保其微电网解决方案得到全面优化的考虑因素和选项：

- 开展可行性研究，以确保获得足够的投资回报
- 正确设定 DER 的规模，以实现医院的能源目标
- 利用模块化、预预置化的微电网设计来简化安装、运行和维护
- 考虑最新的微电网融资和运营方案

设计最佳的医院微电网

微电网设计需要将并网运行和孤岛模式考虑在内。需要部署一个完善的 DER 组合，以便在从公用电网孤立开来的过渡期间和孤岛运行期间为关键设施负载供电。为了节约成本，设计需要考虑 DER 的最佳组合和规模。两种运行模式都需要有恰当的控制水平来实时部署 DER。

微电网设计进入新时代

由于需要达成运营和财务目标，并从诸多可能的系统架构中进行选择，微电网设计颇具挑战性。幸运的是，目前出现了一些设计工具，这些工具使用高级建模算法来协助进行多种可选设计方案的可行性分析。

设计工具在综合考虑现有设备、成本、功能、项目执行等制约因素的基础上创建微电网模型。为了开发出最完整、最精确的模型，还应考虑以下方面：

- 地理位置限制和当地天气预报
- 基础能源利用率和负荷曲线
- 分时电价和需量电价燃料（如天然气）的成本
- 电气、热能发电和储能资产的成本
- 运维成本
- 该站点计划如何使用能源（购电、自发电、储电、售电、参与辅助服务市场）
- 能源输出限制或净零协议（见侧栏）

净零协议

与公用事业公司签订的"净零"协议旨在平衡可再生能源生产与现场消耗。

"净零"并不是指从公用电网输入的能源为零。由于通常是每年进行一次余额计算，在光伏发电高峰期（即夏季月份）以高于消耗量的水平输出能源，即可抵消低发电或无发电（即冬季月份）时期所消耗的公用电网能源，从而实现净零。

可再生能源的生产和存储规模应以最有利于实现零净协议目标为准绳。

5 "微电网发展为 309 亿美元市场的驱动因素为何？"，Microgrid Knowledge，2018
6 "新型微电网设计如何帮助医院提高弹性、降低成本并改善可持续性"，施耐德电气，2019

设计工具通过采用高级控制算法并同步分析多种类型的 DER，可以确保设施全年的电力和热需求得到满足，并帮助优化 DER 的规模、类型和组合，从而实现最佳财务绩效，缩短投资回收期。

在规划微电网项目时，设计工具采用与最终微电网控制系统相同的算法是很有利的。规划设计阶段中采用的控制器模型与运营时的控制系统保持一致有助于确保实现最佳的微电网性能。

此外，设计模型可以在运行阶段重复使用，作为"数字孪生"来比较真实和模拟数据，以验证性能，检查控制解决方案对现场演变的潜在适应性，并支持"假设 (what-if)"研究（例如电价优化）。

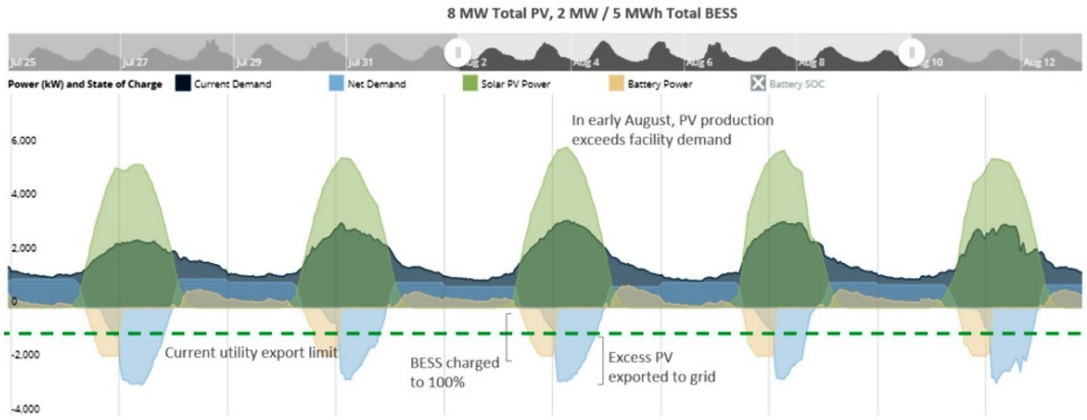

图 2: 新的微电网设计工具对多种 DER 在各种控制情况下的性能进行建模，包括并网和离网。

微网建模举例

表 1 提供了使用高级建模应用程序设计和评估医院微电网可行性的简化说明。根据模拟的结果，可以比较安装微电网前后的运维成本。该模拟使用的是美国加州旧金山地区一家医院的数据[7]，其起始参数如下：

- 5.5 MW 峰值负荷，并网运行
- 每年的耗电量：25 GWh = 4.4 百万美元
- 每年的天然气消耗量：13 GWh = 0.28 百万美元
- 分时电价：0.08226 美元/kWh（非高峰期）至 0.1409 美元/kWh（高峰期）
- 需量电价：从 0 美元/kW（非高峰期）到 13.84 美元/kW（夏季中峰期）再到 17.25 美元/kW（夏季高峰期），全年非偶发费率 14.35 美元/kW
- 天然气价格：0.021 美元/kWh

除了将上述参数输入建模工具外，解决方案提供商咨询团队还利用其独一无二的专家能力来给出 DER 推荐组合建议，以最大限度地提高投资回报率，最小化投资回收期，并尽可能减少温室气体（GHG）排放。下面的拟议投资方案展示了可以实现这些目标的一种可能配置。

7 "商业参考建筑"，Energy.gov（美国能源部）

DER 资产	容量	政策激励	资本支出	运营支出	使用寿命
CHP	1740 kW	无	$4872 k	$0.2 k	25 年
太阳能	3850 kW 标称	30% ITC*	$8085 k	$40 k	25 年
储能	最大 1567 kWh 750 kW	250 美元/kWh 剩余部分可获 30% ITC	$550 k	$15 k	15 年

*ITC 为"投资税收抵免"的缩写

表 1: 现代微电网在智能微电网控制系统的协调下，综合利用各种分布式能源。

建模工具还报告了该方案中的微电网配置估计可以带来怎样的成本节约和投资回报率。

成本节约

这个医院微电网估计会带来以下节约：

- 能源成本减少 214 万美元
- 需求费减少 123 万美元
- **每年节约 337 万美元，相当于微电网总体实施成本的 77%。**

投资回报率

安装这样一个微电网的预计投资回报数据为：

- **5.9 年的投资回报期**
- **242% 的投资回报率**

最后，建模结果还以图示展现了微电网的典型运行特征，包括微电网实施前后的能源输入比较。

如图 3 所示，基于 CHP 的微电网的实施大大减少了所需的电网电力（以蓝色显示）。虽然天然气消耗量增加（以红色显示），但天然气并非仅供应给锅炉用来产热，而是供应给 CHP 系统，以更高的效率向设施输送热量和电力。在许多地区，每单位能源的天然气价格远低于电网电力价格，因此可以节省大量资金。

在此示例中，为设施供电所需的剩余能量（图 A 和图 B 总能量之差）由现场可再生能源发电以光伏电池板和储能的形式提供。初始投资完全收回后，除少量资产维护费用外，可再生能源发电几乎是免费的。

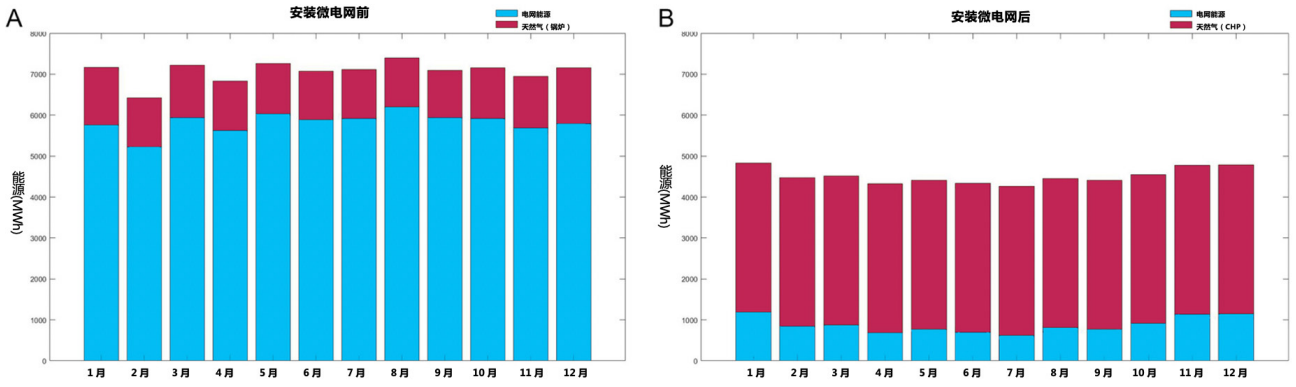

图 3: 微电网安装前后，电网电力和燃气能源的模拟消耗量。

模块化微电网架构

传统上，微电网都是定制的，每一个微电网的设计都是独特的，为特定设施或园区量身打造。这使得设计、安装、甚至运行都可能耗费大量时间和资金。

随着微电网市场日趋成熟，知识和技术进步催生了一种基于标准化、预置化系统组件的新型微电网解决方案。这些构建基块与预定义架构相结合，可以实现按订单配置微电网系统。

预置式控制中心

预置式微电网控制中心允许在制造过程中预先安装选定的组件，以提供即用型解决方案。最新的设计通常包括：

- 控制器和电源管理，负责监管公用电网、DER 和所有关键柔性负载之间的电力分配和控制
- 保护和监测，例如保护继电器、断路器、具有电能质量监测功能的智能电能计量、前面板触摸屏界面
- 可扩展性和适应性，以满足小型或大型站点的要求，并允许将来扩展和快速集成更多 DER

图 4: 示例为一个集成的微电网控制系统，采用模块化、可扩展的设计。

预定义的控制算法

除了模块化的开关设备设计外，预封装的微电网管理软件还包括预先设计的算法，可以为所有重要的决策和控制应用提供支持。

在本地"边缘控制"层，侧重于监测和控制电力生产和消耗的功能将包括：

- **并离网管理。**支持离网运营，支持切除关键负载，并在事件发生后重新连接。
- **孤岛模式下的 DER 管理。**确保能源产消平衡，在可能时最大限度地利用可再生能源，储存多余的能源。
- **保障微电网安全性。**在并网模式、孤岛模式和过渡期间，保障本地微网的供电可靠性，管理设施范围内电网的频率和电压。
- **并网模式下的 DER 管理。**最大限度地利用可再生能源，储存多余的能源，管理向公用电网输电。

如需深入了解微电网的优势和应用，请参考施耐德电气白皮书《新型微电网设计如何帮助医院提高弹性、降低成本并改善可持续性》。

在"能源分析"层，做出各种决定和行动，以最大限度地降低成本和提高可持续性，包括：

- **避免产生需量超限罚款。**通过消耗更多现场能源或暂时关闭非关键负载来动态管理需量。
- **电价管理。**确定在何时消耗现场能源、将负载转移到非高峰期或进行储能，以响应价格信号。
- **参与需求响应。**通过选择使用本地发电、储能或负载管理来应对限电要求，优化需求响应参与。
- **优化可再生能源自消纳比例。**决定何时消耗本地太阳能和风力发电最具经济意义，何时储存、消耗或出售储能最合理。

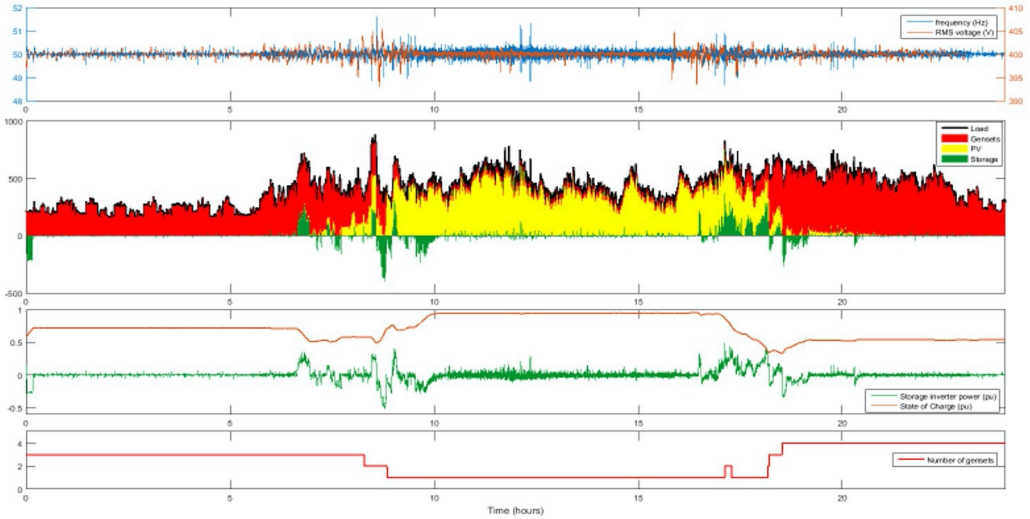

图 5: 模块化的、预先设计的算法使复杂的 DER 管理能够更简单，例如本例中所示的离网控制场景。

模块化带来简单性和可靠性

软硬件模块化方面的进步为医院微电网建设带来如下好处：

1. 由于可复用性提高，**更易于设计**
2. **更易于安装**，部署成本更低
3. 利用标准化供应商服务，可以**更便捷地获得支持**
4. 简化的服务和标准化组件的即插即用式替换使**维护成本更低**
5. 经过测试和验证的架构**更加可靠**
6. **更具适应性**，随着时间的推移，可以适应新的能源技术

欲实施微电网解决方案的医院团队应考虑选择提供模块化方案的供应商，从而尽可能缩短交付时间、降低成本，同时最大限度地提高投资回报率。

微电网的经济性

Navigant Research 预计，“不断发展演变的电力行业和客户因素将增加对创新 DER 融资方案的需求”，并且“商业和工业能源用户将越来越多地寻求经济高效、定制化、全面的能源解决方案，以确保在无需资本支出且不影响日常运营的前提下降低能耗、节省成本，满足对可持续性和运营效率的需求。”[8]

即使医院乐于获得本文所述的诸多好处，在决定是否实施微电网的过程中，也仍需进行一系列财务方面的考虑。

例如，医院团队应评估其能源基础设施的当前状态。锅炉是否已接近使用寿命终点，需要更换？如果是的话，这可能是替换为基于 CHP 的微电网的绝佳时机。此外，如前所述，当地的电价、需求罚款结构以及天然气价格都将对现场能源的经济性产生影响。

图 6: 如果锅炉已经老化并接近使用寿命终点，不妨利用这个好机会将其更换为基于 CHP 的微电网。
图片来源：Pixabay

如果综合各方面考虑，微电网解决方案都是可行的，那么最后一步将是确定新基础设施的最佳融资和运营方式。融资涉及到一个问题：需要考察政府出台的所有适用激励措施。

8 “排行榜：能源即服务解决方案提供商，Navigant Research，2019 Q1

微电网融资方案

如今，微电网有两种主要的融资和运营模式：

客户自有

一些组织机构更愿意使用自有资金或银行贷款，直接拥有他们的微电网。在这种情况下，医院拥有对系统的完全控制权，并可以获得财务回报。该模式下的微电网是一项资本支出，但所有的财务、技术和运营风险都由医院承担。

能源即服务 (EaaS)

这种模式提供了一个灵活的所有权结构，本质上是一种可以利用股权和债务融资结构的购电协议模式。所涉及的各方可能包括供应商、融资人和公用事业。EaaS 协议可以采纳一系列融资、合同订立方面的概念和创新[9]，包括：

- 设备租赁/贷款
- 购电协议
- 效率节约协议
- 节能绩效合同
- 节能收益共享协议
- 能源资产特许协议

医院将每月向微电网的第三方所有者支付运营费用。这种模式消除了医院进行资本投资的需要，降低了医院管理部门的财务和运营风险。该模式还使医院能够受益于专门从事电力系统设计和建模人员的专业知识。

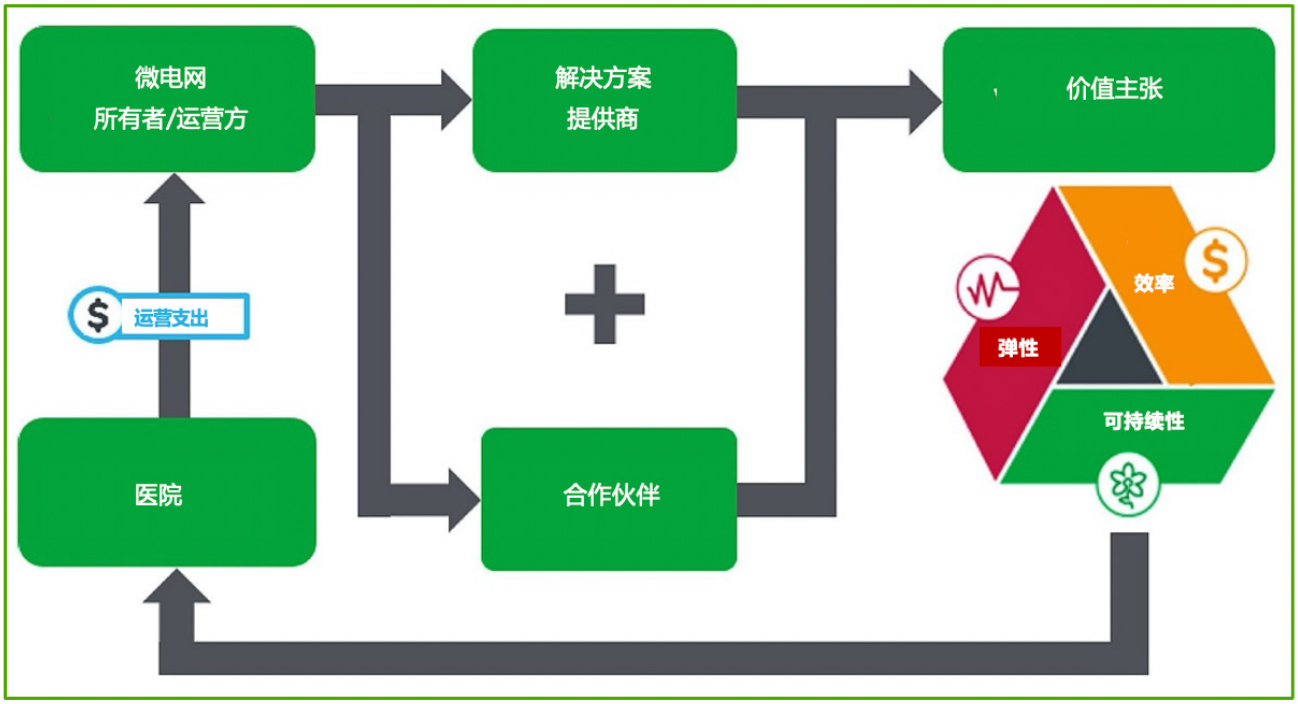

图 7: 能源即服务融资和运营模式下的典型价值链。

对微电网、可再生能源和储能的激励措施

各国各地政府可能会颁布各种政策和激励措施，以促进对太阳能发电和微电网的投资，这具体取决于医院在全球哪个地区运营。一些示例包括：

- **税收抵免。**税收抵免可覆盖很大一部分太阳能和微电网安装成本。
- **可再生能源投资组合标准。**实施此类标准的地区更有可能支持太阳能友好型政策和激励措施。
- **净计量电价。**此类政策使医院可以通过太阳能发电获得报酬，这些报酬有时可在数年内抵消安装成本。
- **互联政策。**一些地区可能为医院免除高昂的互联研究费用，这些费用是微电网开发成本的一部分。
- **补贴计划。**此类计划可以为微电网、太阳能及其他发电和储能技术提供部分资金。

结语

全球越来越多的医院正在采用微电网技术来提高对电网中断的弹性，并降低与能源相关的运营成本。为确保获得优化的解决方案，医院团队应从值得信赖的专业机构处获取最新的微电网规划工具、架构、融资和运营方案。

应使用先进的微电网设计工具来简化微电网性能建模，并验证 DER 资产在世界各地医院的可行性。经过精心设计的成套预置式微电网架构使解决方案的实施、运行和维护更容易也更经济。此外也需考虑融资方案、可用激励措施和运营模式，在确保微电网负担得起的同时，减少财务风险并使回报最大化。

相关资料

医院微电网

"新型微电网设计如何帮助医院提高弹性、降低成本并改善可持续性"，施耐德电气，2019

"医疗微电网：医院走向更可靠、更清洁、更低成本能源的途径", Microgrid Knowledge, 2017

微电网 DER

"分布式能源的演变"，Microgrid Knowledge，2018

微电网融资与运营

"排行榜：能源即服务解决方案提供商"，Guidehouse，2019 Q1

"能源即服务微电网金融决策者指南"，Microgrid Knowledge，2018

作者简介

Markus Hirschbold（专业工程师，能源管理师，项目管理专业人士）
Markus 负责创建施耐德电气的物联网连接解决方案——EcoStruxure Power，该解决方案旨在改善配电系统的各个方面。在施耐德电气工作的 20 多年里，他担任过研发、服务、电能质量、项目管理和产品营销方面的多个关键职位。

Andy Haun（工学学士，工商管理硕士）
作为施耐德电气北美运营部微电网首席技术官，Andy 负责推进电网边缘解决方案的技术路线图。在公司任职 30 多年间，他领导了多种关键产品的开发和多项技术创新，并拥有 21 项与电路保护、继电和电力控制相关的专利。

作者们谨向以下贡献者致以感谢：
来自施耐德电气：分析与人工智能团队仿真组高级专家 Patrick Beguery、智能电网营销经理 Francois Borghese、全球微电网业务开发人员 Francois Guillaume、项目开发与工程经理 Jake Friedman。来自 Expleo 集团：仿真工程师 Yassine Saad。

施耐德电气
© 2022 施耐德电气。版权所有。

998-22117216

Life Is On Schneider Electric 施耐德电气