施耐德电气

数字化和电气化

架构参考

配电网

分布式能源资源 (DER) 集成——最大化 DER 渗透率，最小化负荷削减量

适用于大中型配电网的解决方案

Life Is On | Schneider Electric 施耐德电气

目录

背景 3

亟待解决的问题 3

DER 对配电网的影响 4

施耐德电气建议的办法 5

我们的综合解决方案 6

客户案例 7

ADMS-DERMS 解决方案部署 10

一般性建议 11

电气化架构：地下“环型”配电网示例 12

数字化架构：地下“环型”配电网示例 13

电气化架构：架空“放射型”配电网示例 14

数字化架构：架空“放射型”配电网示例 15

EcoStruxure 电网架构 16

本用例中包含的施耐德电气产品 17

Ecostruxure 电网 - 服务项目 21

英文缩写一览表 22

背景

电网现代化作为一项**战略举措**，如今已经成为电力公司面临的最大挑战。

在全球许多配电网中，配电网的运行管理仅限于规划、设备维护和故障处理。

电网现代化将进一步提高自动化水平，助力推进智能化管理。它可以**从根本上改变**公用事业运营电网及与终端用户互动的方式。但由于管理这些改变过于困难，大多数电力公司往往要经过数年时间才决定采取行动。

施耐德电气可以与电力公司一起，为电网发展制定一套指导方针。为了实现对电网性能和电网发展的期望，在完善目标并制定恰当解决方案的过程中，“超前思考”十分重要。

本文件是一份关于分布式能源资源 (DER) 集成的用例说明。

亟待解决的问题

DER 接入对配电网的影响已不再是新命题。

电网运营商都知道，每当 DER 发电**馈入**电网时，接入点的电压就会**升高**。在 DER 渗透率较高的情况下，整个电网的电压都会升高，**如果管理不当**（过电压，超过**可接受**范围），很快便会成为一个大问题。

较高的 DER 渗透率还可能伴随着逆功率流，换句话说，配电网可以将功率倒送至上游网络，而该网络在设计之初并未考虑在这种条件下正常运行。如果电网中存在许多分散的发电机，那么保护方案就不再适用，并可能出现相间不平衡等等情况。

在过去几年里，为了解决所有的技术问题，许多电力公司首先采用的解决方案是最简单的“**什么都不做**”，**将 DER 集成限制在**所谓的“**安全水平**”。但这不再是一个可接受的解决方案。随着“绿色发展”、“综合能源”、“需求响应”等新能源政策目标的提出，现实/事实是“越来越多的 DER 接入配电网”。一些电气公司表示愿意将 DER 集成度提高到 100%。

毫无疑问，在 DER 影响下出现的技术问题必须得到处理。但如何处理？在 DER 渗透率较高的配电网中，DER 发电处理起来非常复杂，因为 DER 电力的来源多样（光伏、风能、电池、生物质、热电联产等），且发电设备一般具有逆变器接口。发电机组可能由公用事业拥有，也可能由第三方拥有。

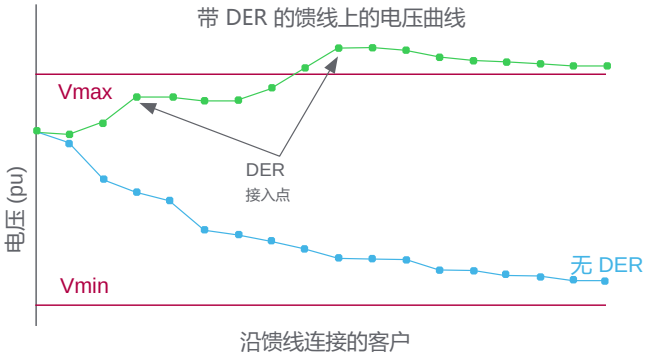
电网运营商不仅须应对运营约束，还须应对多个行为主体之间的互动，不能仅凭**经验和人工操作**来运营电网。自动化、通信和智能辅助工具是电网运营需引入的关键功能。当然，增加更多的功能（主要是自动化和通信）会带来更多约束，这些约束对于电网运营商来说是全新的挑战，如复杂性、弹性、大数据管理、数字安全等。

在此过程中，我们将陪伴客户，帮助他们找到以下问题的答案：在配电网中，DER 集成将在何时引发哪些问题（或者企业是否已经面临问题）？目前企业 DER 集成“安全水平”上限是怎样的？如果想要或需要超过这个上限，企业必须采取哪些行动？

DER 对配电网的影响

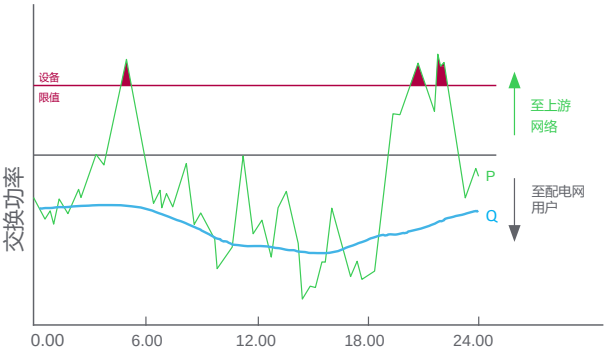
技术问题：

- 提高 DER 接入点及其周围的电压
- 可能出现反向有功功率流
- 超出设备额定值上限
- 短路电流增加
- 发电的间歇性和不确定性 vs. 用电的波动性
- 馈线和相位之间的不平衡



法规与监管：

- 能源政策目标（供应安全和服务质量 vs. 环境和经济效率）
- 综合能源市场（价格和电价监管）
- 需求响应（柔性的价值）
- 电网规范的要求



间歇性大风天的交换式电源变化

技术问题：

- 多种电力来源
- 基于逆变器、低/无惯性、快速动态响应的发电机
- 提供电网支持服务（电压支持、无功功率供应、谐波污染控制或缓解等）的能力有限

通信和网络安全：

- 复杂性提升和大数据管理
- 通信基础设施和性能
- 数字安全和弹性

施耐德电气建议的办法

施耐德电气提出的系统方法分为 3 个步骤：

何时以及如何处理配电网中日益增长的 DER 渗透率？

1 电网评估和长期目标预测

在维持现有基础设施、不进行任何升级的情况下，如果想要系统令人满意地运行，允许的最大 DER 渗透率是多少？

2 通过 DER 集成规划提升电网规划和运行水平

鉴于电力系统的复杂性，需要具备充分的技术能力，以便进行有效的规划、预测并制定运营策略。

3 优化网络扩展

微电网、需求响应、能效技术、新基础设施……

每种方法都应从评估现有电网开始。每家公用事业公司都是独特的，且需求各异。了解他们当前面临的挑战、他们的期望以及他们对未来电网发展的愿景十分关键。以此作为第一步，有助于准确制定现代化项目的目标。

通常情况下，首先需进行承载能力分析。它可以为公用事业公司提供“在维持现有基础设施、不进行任何升级的情况下，如果想要系统令人满意地运行，允许的最大 DER 渗透率是多少？”的准确答案。详细阐释请见下章示例。

根据**承载能力分析**和目标预测审查的结果，我们可以很好地了解现有网络及其与安全水平上限的相差幅度。

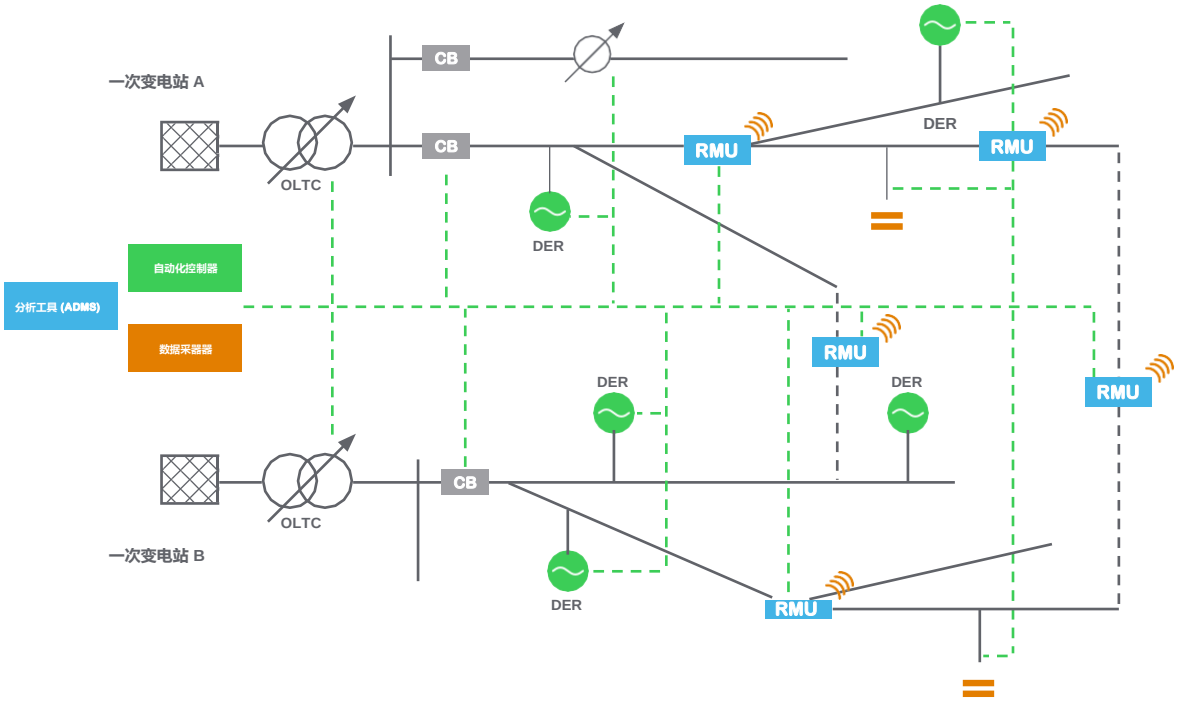
这将有助于确定薄弱环节、关注重点以及应如何优化网络运行。我们的经验表明，网络通常未以最佳容量运行。引入自动化、通信和智能辅助决策工具将有助于在无需新增基础设施（电线、馈线或变电站）的情况下，推动网络以最大容量运行。

最后，当所有可能性已得到充分探讨，且显示有必要为未来发展而扩展网络时，便可提出新方案/概念：微电网、需求响应管理系统，或增加新的基础设施。

我们的综合解决方案

实现 DER 集成的有效管理，需要以下 4 个关键要素：

- 使用高效设备
- 优化智能互联设备（数量和位置）
- 优化 DER 的部署（位置和规模）
- 采用先进的分析工具 (ADMS-DERMS)



在规划和运营阶段都必须考虑到 DER 集成，这一点非常重要。

规划阶段使用的典型功能：

- 网络加固
- 电容器放置
- 配网自动化 (RMU)
- 稳压器放置
- 客户连接
- 承载能力
- DER 集成规划
- 预测（近期、短期、长期）

柔性运营使用的典型功能：

- 状态估计
- 潮流优化
- 电压/无功优化
- 电网重组
- 减载
- LV 分析
- 三相负载平衡
- DERMS 监测、感知和控制
- 自动聚合和约束管理
- 电压/无功/有功优化

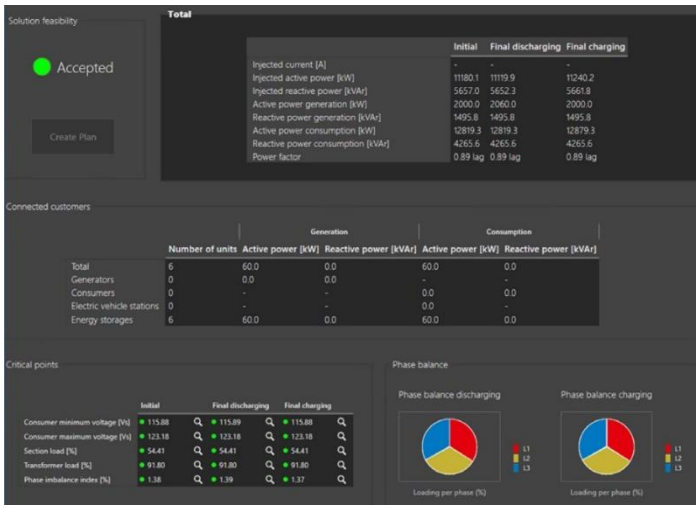
客户案例

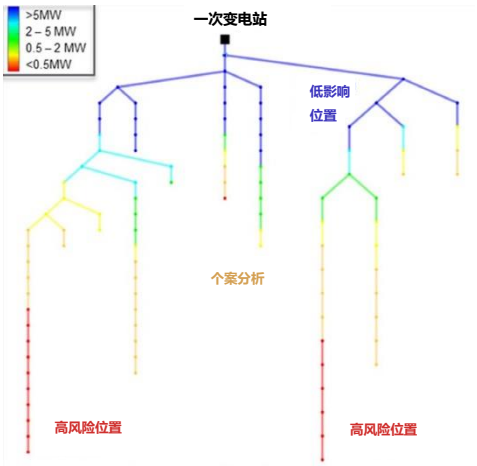
1 网络评估和长期目标预测

在维持现有基础设施、不进行任何升级的情况下，如果想要系统令人满意地运行，允许的最大 DER 渗透率是多少？

如前所述，每种方法都应从评估开始。掌握当前的情况能让我们更好地勾画未来。

下面是一个**承载分析**工具的例子，分析结果以“**热图**”形式显示。





这张“**热图**”报告了节点级、馈线级、变压器区、变电站级、全系统级的**承载能力**。从这张热图上，我们可以看到不同位置的 DER 连接可能性（按风险水平排列）。

馈线末端的节点仅具有较小的 DER 承载能力，小于靠近一次变电站的节点。

根据该热图，每当收到 DER 接入请求时，网络运营商只需运行该工具，就可以非常清楚地看到连接可能性较高的位置（绿色部分及以上）。黄色部分是连接可能性较低的位置，红色部分是不具有连接可能性的位置。

然后，就可以进行具体的研究，通过准确评估 DER 在不同网络运行条件下会产生的影响，来验证 DER 连接的可行性。

这项影响研究还将显示出哪里是薄弱环节，在运营中需要做出哪些改变（网络重新配置），保护定值是否必须更新，等等。

承载能力分析可以根据现有情况进行，也可利用预测数据根据未来发展情况进行。

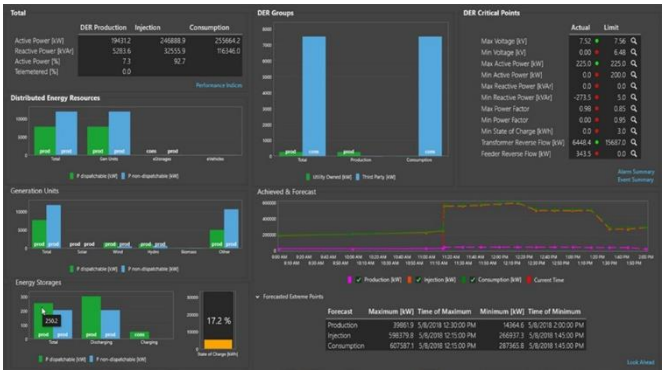
2 通过 DER 集成计划提升电网规划和运行水平

鉴于电力系统的复杂性，需要具备充分的技术能力，以便进行有效的规划、预测并制定运营策略。

第二步是在电网规划和运营中考虑到 DER 集成。

要将 DER 纳入电网运营，运营人员必须了解其实际可用功率、输出功率的增减范围，以及该 DER 是会吸收电力还是会发电。运营商还必须能够向 DER 装置发送设定点（DER 装置必须能够接收设定点并将其作为输入命令）。

难点在于，DER 可能是具有间歇性、可变性的可再生能源发电系统。对设定点的优化必须是动态、实时进行的，并在长期、短期、近期内都保持良好的预测质量。此外，还必须建立适当的通信基础设施，并与独立发电商建立合作模式。



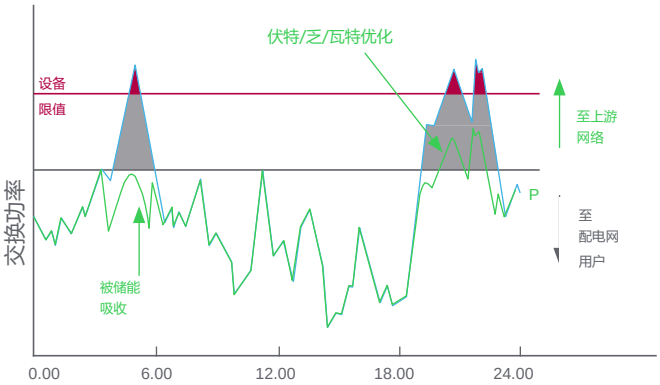
ADMS-DERMS：DER 监测窗口

右图是一个典型的伏特/乏/瓦特优化曲线示例。

在这个例子中，可以看到 2 个问题：

- 从配电网到上游网络的倒送功率（曲线灰色区域）
- 超出设备容量的功率流（一次变压器或线路）

为了解决这些问题，如果上游网络无法接纳反向功率流，则运营商可以使用电池或其他类型的储能系统来吸收临时的过剩功率。如果上游网络可以接纳反向功率流，则可以进行伏特/乏/瓦特优化，重新引导网络中的功率流，避免特定设备过载。这有助于储存电能，以备在适当情况下使用。



所需能力：

- 近期和短期预测
- DERMS 监测、感知、控制和指挥
- 伏特/乏/瓦特优化
- 瓦特/乏柔性
- 网络重构

3 优化网络扩展

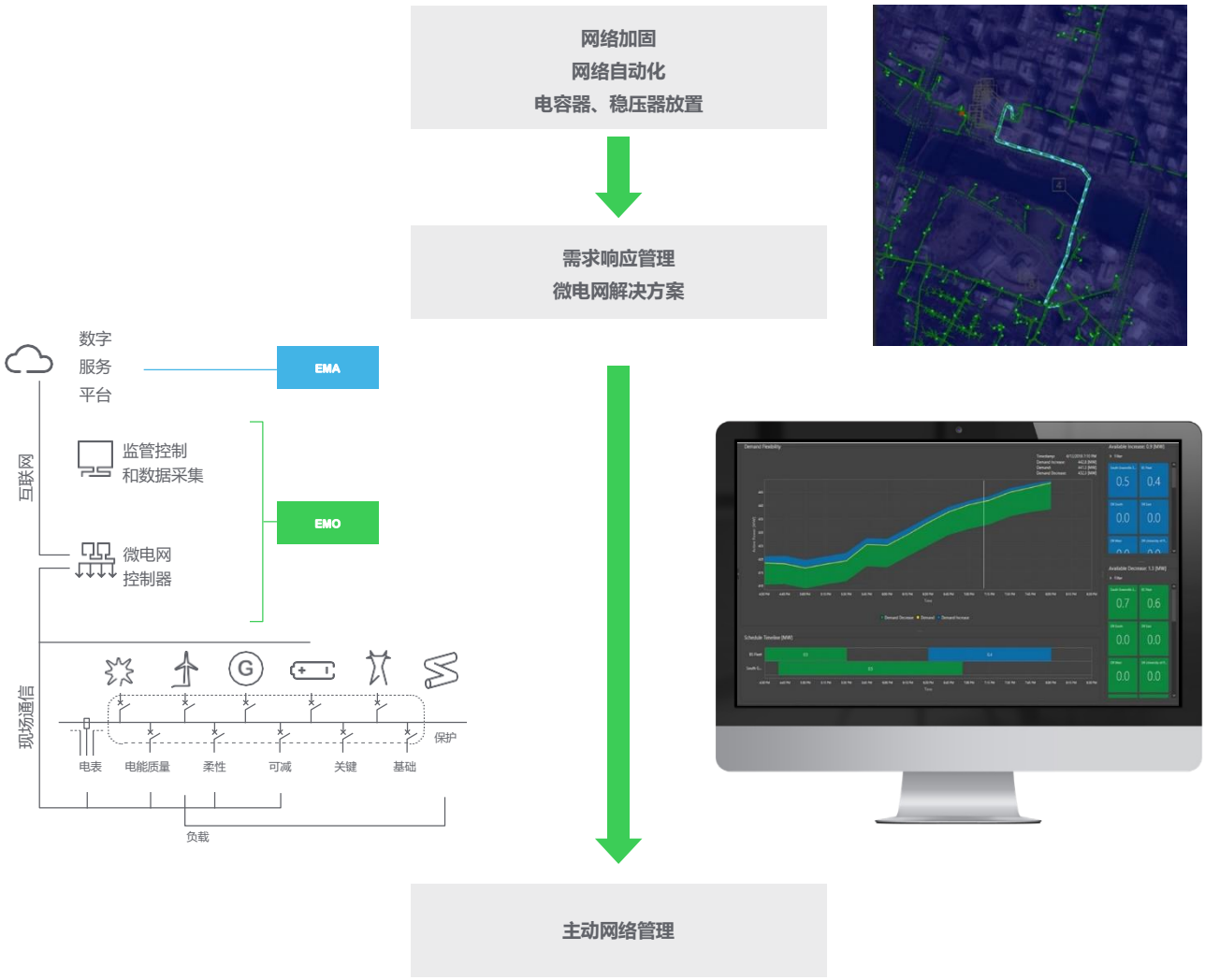
微电网、需求响应、能效技术、新基础设施.....

当网络在接近其最大容量或最大可能性的情况下运行时，便该考虑“扩展项目”了。

增加新的基础设施（电线、馈线或变电站）需要进行大量投入，不仅须对新增的部分进行研究，还须对重组和完善整个网络的运营管理进行研究。

其他选项包括引入“需求响应管理”概念，让聚合商参与微电网解决方案。

所有这些都关系到向未来解决方案——“**主动配电网管理**”过渡的准备过程。

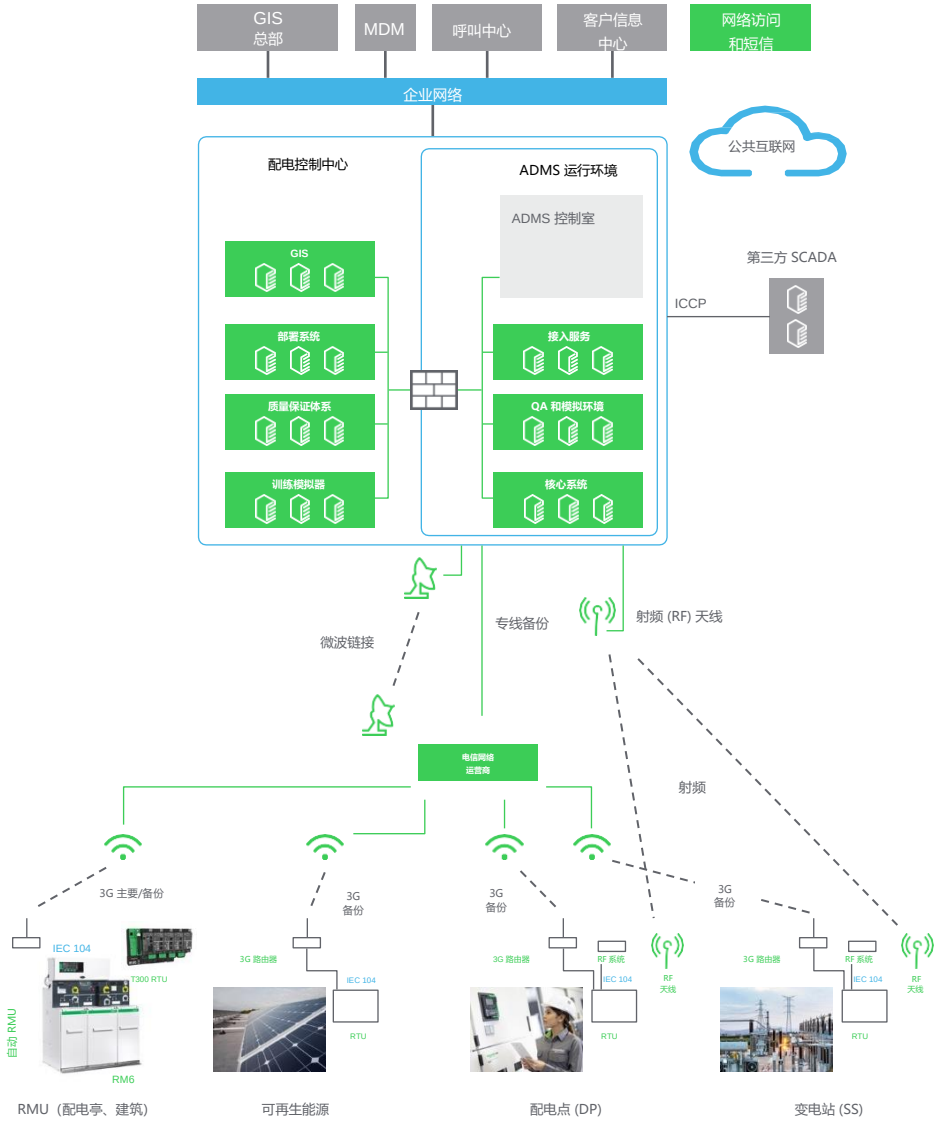


ADMS-DERMS 解决方案部署

面对日益增长的 DER 渗透率，施耐德电气为配电公司推荐一种系统方法，而其部署需要依靠 ADMS-DERMS 解决方案作为平台。

构成 ADMS-DERMS 解决方案的主要项目清单：

- 地理信息系统 (GIS)
- 高级配电管理系统 (ADMS)
- 用于监测、感知、控制和指挥的 DERMS
- 通信系统
- 环网柜 (RMU) 的部署
- 变电站自动化系统的现代化
- 控制室整修



一般性建议

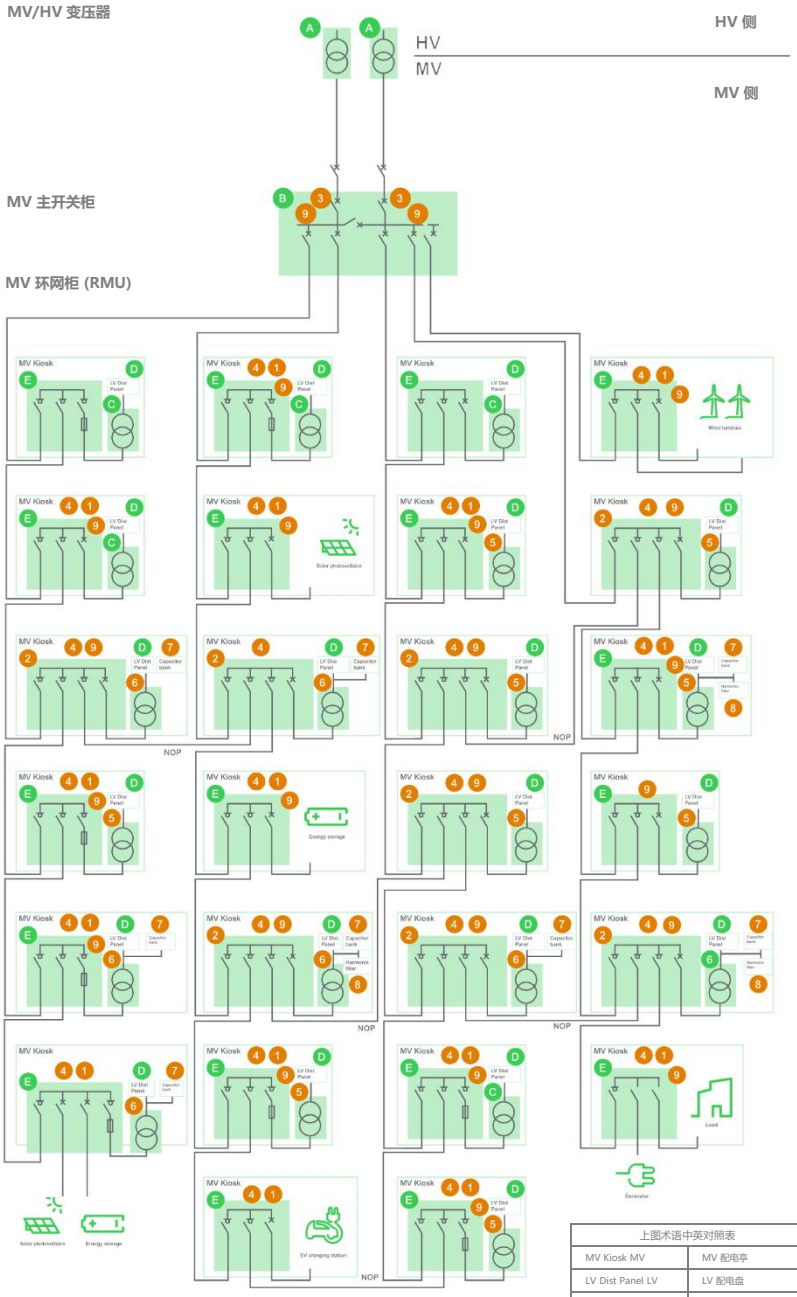
将 DER 成功地集成到配电网中，在很大程度上有赖于**有效的规划和柔性运营**策略。

解决方案的部署需要：

- 使用高效设备（变压器、无功补偿系统等）
- **优化**智能互联设备的**使用**（保护继电器、电能测量仪和传感器、智能 RMU、智能变压器等），因为这制约和限定着所有智能控制系统的附加值
- 优化 DER 的**部署**（位置、规模）
- 拥有并采用**先进的分析工具**（优化算法、实时运营助手）= ADMS & DERMS。

电气化架构：地下“环型”配电网示例

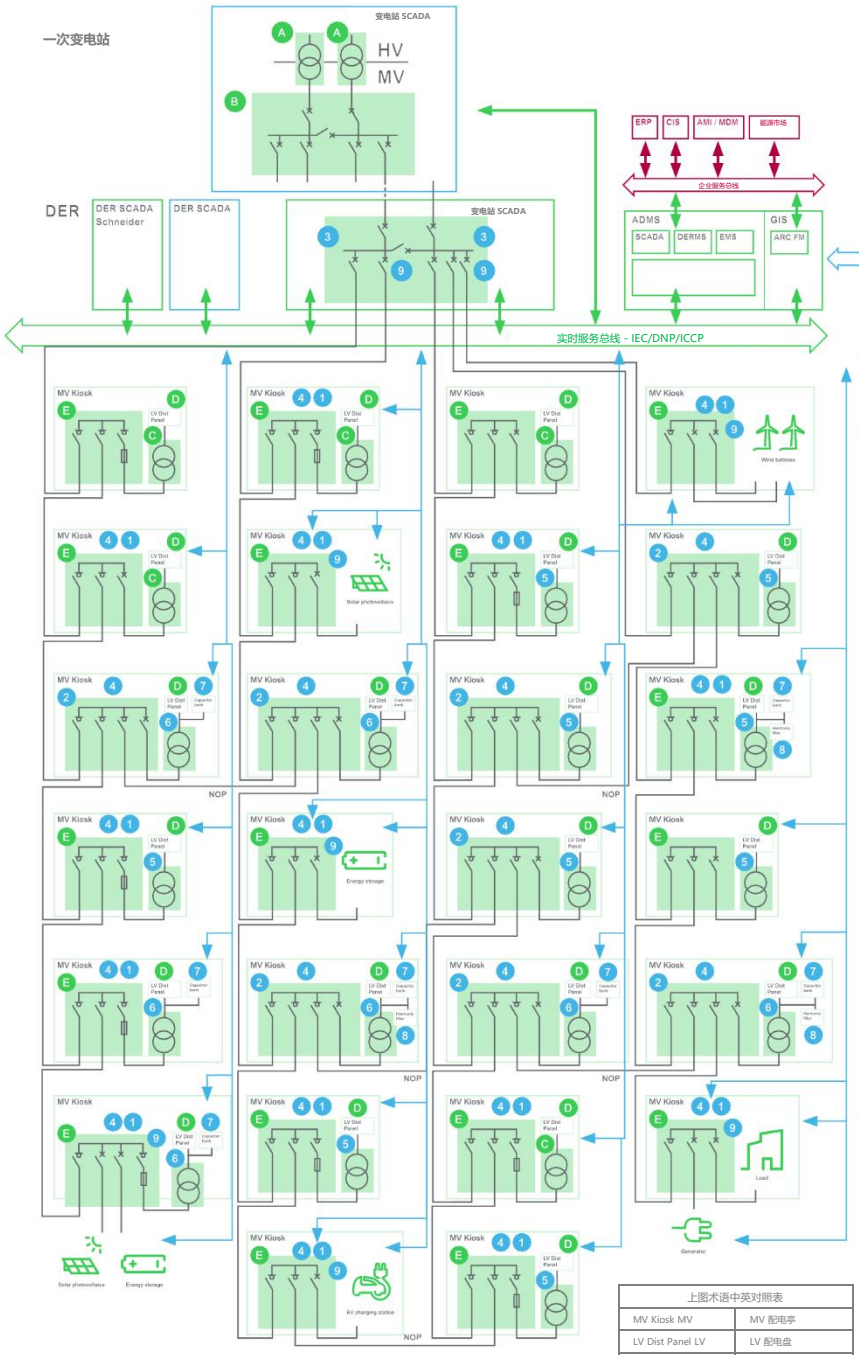
橙色 =	技术性损耗改善涉及的施耐德电气组件
绿色 =	其他施耐德电气组件



上图术语中英对照表	
MV Kiosk MV	MV 配电亭
LV Dist Panel LV	LV 配电盘
Wind turbines	风力涡轮发电机
Solar photovoltaics	太阳能光伏
Capacitor bank	电容器组
Harmonic filter	谐波滤波器
Energy storage	储能
Load	负载
Generator	发电机
EV charging station	电动车充电站

数字化架构：地下“环型”配电网示例

蓝色 =	旨在改善技术性损耗的 ADMS 通信所涉及的施耐德电气组件
绿色 =	其他施耐德电气组件

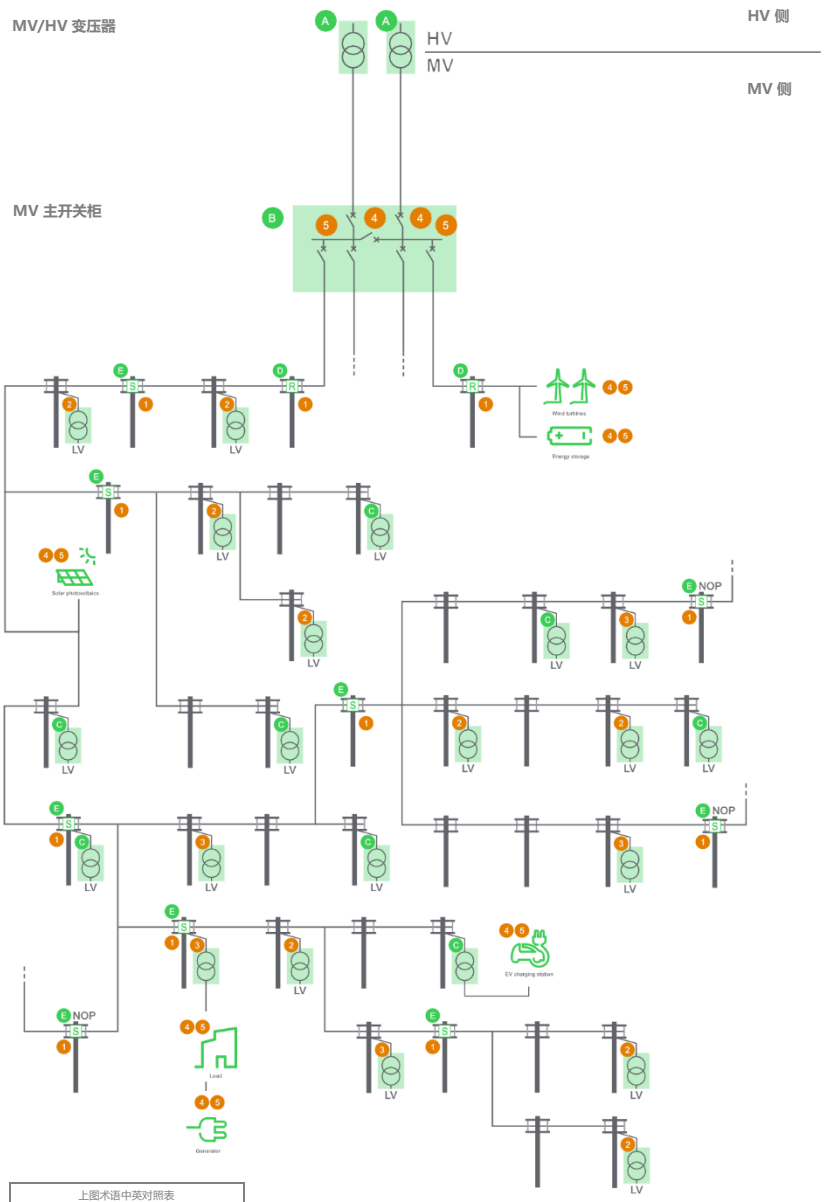


上图术语中英对照表

MV Kiosk MV	MV 配电亭
LV Dist Panel LV	LV 配电盘
Wind turbines	风力涡轮发电机
Solar photovoltaics	太阳能光伏
Capacitor bank	电容器组
Harmonic filter	谐波滤波器
Energy storage	储能
Load	负载
Generator	发电机
EV charging station	电动车充电站

电气化架构：架空“放射型”配电网示例

橙色 =	技术性损耗改善涉及的施耐德电气组件
绿色 =	其他施耐德电气组件



上图术语中英对照表	
Wind turbines	风力涡轮发电机
Solar photovoltaics	太阳能光伏
Energy storage	储能
Load	负载
Generator	发电机
EV charging station	电动车充电站

A MV/HV 电力变压器
Minera MP

B 中压一次开关柜
施耐德电气中压开关柜产品系列

5 保护继电器
Easergy 系列

4 电能测量仪
ION & PM 系列

D 重合器

E 系列　U 系列　W 系列

E 分段器

RL 系列

1 控制箱

ADVC Ultra　ADVC Compact

2 高效 MV/LV 变压器

Minera Ground Mounted
(高效设计)

Minera Pole Mounted
(高效设计)

3 MV/LV
变压器，带自控分接开关

Minera
S Grid

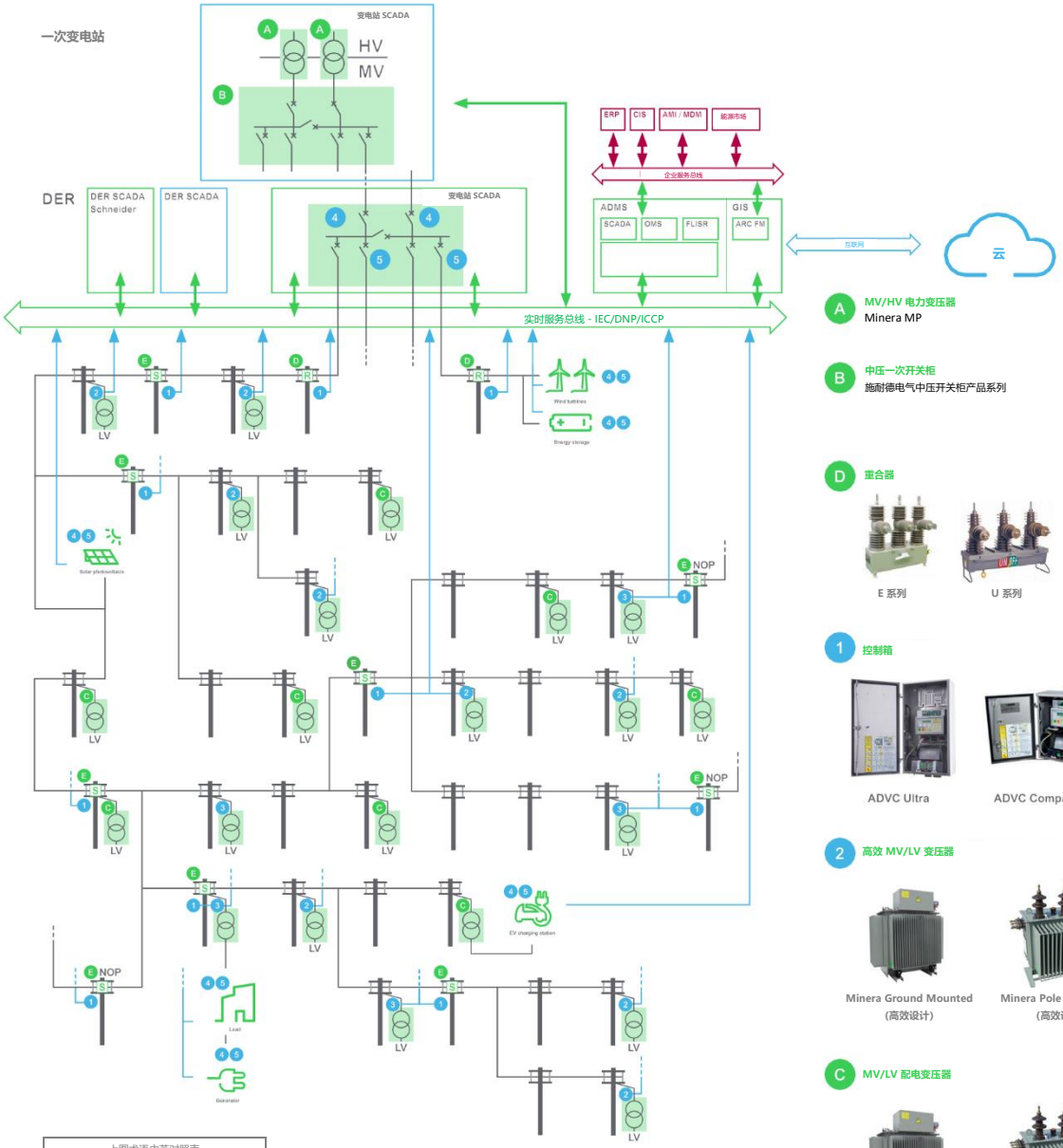
C MV/LV 配电变压器

Minera Ground Mounted
(标准设计)

Minera Pole Mounted
(标准设计)

数字化架构：架空“放射型”配电网示例

蓝色 =	旨在改善技术性损耗的 ADMS 通信所涉及的施耐德电气组件
绿色 =	其他施耐德电气组件



上图术语中英对照表	
Wind turbines	风力涡轮发电机
Solar photovoltaics	太阳能光伏
Energy storage	储能
Load	负载
Generator	发电机
EV charging station	电动车充电站

A MV/HV 电力变压器
Minera MP

B 中压一次开关柜
施耐德电气中压开关柜产品系列

5 保护继电器
Easergy 系列

4 电能测量仪
ION & PM 系列

D 重合器

E 系列　U 系列　W 系列

E 分段器

RL 系列

1 控制箱

ADVC Ultra　ADVC Compact

2 高效 MV/LV 变压器

Minera Ground Mounted (高效设计)　Minera Pole Mounted (高效设计)

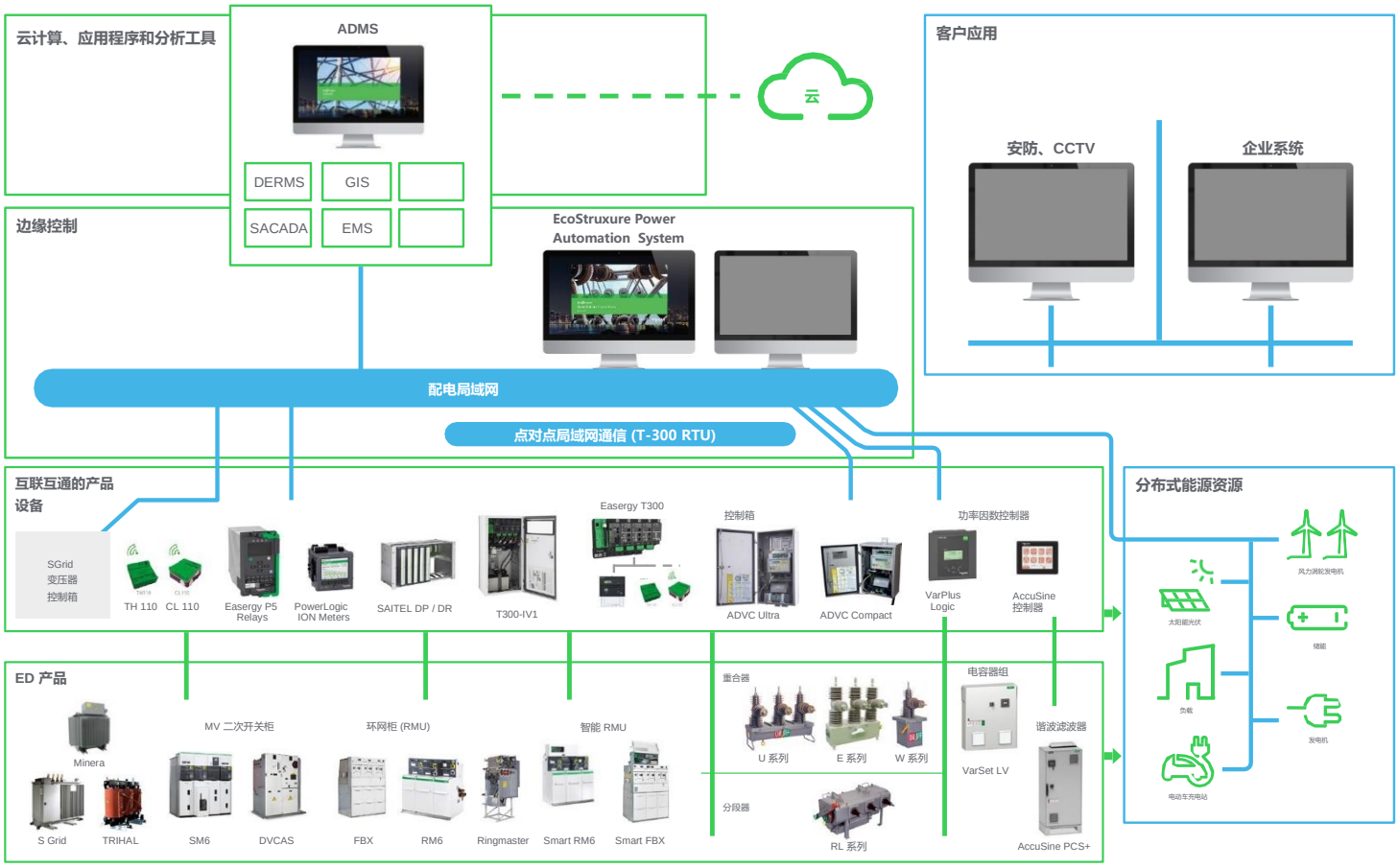
3 MV/LV
变压器，带自控分接开关

Minera S Grid

C MV/LV 配电变压器

Minera Ground Mounted (高效设计)　Minera Pole Mounted (高效设计)

EcoStruxure 电网架构



本用例中包含的施耐德电气产品

网络功能	产品名称	主要技术特点		点击链接，了解报价/规格
ADMS	**EcoStruxure ADMS**	高级配电管理系统，包括以下模块： - DMS、EMS 和 SCADA - DERMS - 运营规划与优化		了解更多
SCADA	**EcoStruxure Power Automation**	基于 PACiS 技术的变电站自动化 SCADA 数字控制系统		了解更多
SCADA	**EcoStruxure Power SCADA Operation**	适用于电气系统的 电力 SCADA		了解更多
保护继电器	**Easergy P5**	中压保护继电器，从过电流保护到差动保护，具有电弧闪络保护、LPCT、LPVT、冗余以太网通信和 IEC 61850。		了解更多
电能测量仪	**ION 系列**	PowerLogic ION 9000 高级电能质量计量装置		了解更多
电能测量仪	**ION 和 PM 系列**	Power Logic PM 8000 / ION7650 & ION7400 紧凑型高性能电能测量仪。		了解更多
RMU	**“智能” RM6**	气体绝缘开关柜，带 T-300 RTU，最高 24kV。短时电流额定值可达 21kA，内部电弧额定值可达 20kA AFLR，可选。		了解更多
RMU	**“智能” FBX**	气体绝缘开关柜，带 T-300 RTU，最高 24 kV。完全采用 SF6 绝缘的 RMU 配电盘，安装时可选择紧凑型或扩展选项。短时电流额定值可达 25kA，内部电弧额定值可达 25kA AFL，可选。		了解更多

网络功能	产品名称	主要技术特点		点击链接，了解报价/规
RMU	**RM6**	气体绝缘开关柜，最高 24kV。短时电流额定值可达 21kA，内部电弧额定值可达 20kA AFLR，可选。		了解更多
RMU	**FBX**	气体绝缘开关柜，最高 24kV。完全采用 SF6 绝缘的 RMU 配电盘，安装时可选择紧凑型或扩展选项。短时电流额定值可达 25kA，内部电弧额定值可达 25kA AFLR，可选。		了解更多
RMU	**Ringmaster**	适用于地下二次配电的高可靠性气体绝缘配电盘。 适用于室内外应用，最高 13.8kV。		了解更多
RTU	**Easergy T-300**	远程终端单元包括： - HU250：头部单元通信网关 - SC150：开关控制器模块 - LV150：变压器和低压监控模块 - PS25/PS50：电源模块		了解更多
RTU box	**Easergy T-300 IV1**	远程终端单元箱，用于室内安装，配备 T-300 RTU。		了解更多
RTU box	**Easergy T-300 OVR**	远程终端单元箱，用于室外安装，配备 T-300 RTU。		了解更多
重合器	**E 系列**	轻量级重合器，最高 38kV 和 170kV BIL。		了解更多

网络功能	产品名称	主要技术特点		点击链接，了解报价/规格
重合器	**U 系列**	轻量级重合器，最高 27kV 和 125kV BIL。		了解更多
重合器	**W 系列**	单相重合器，最高 24kV。		了解更多
分段器	**RL 系列**	三相负荷开关/分段器，最高 38kV。		了解更多
自动重合器控制箱	**ADVC Compact**	304 级不锈钢柜。 ADVC 监控 CB，并提供保护、测量、控制和通信功能（通过控制电缆连接到重合器）。		了解更多
自动重合器控制箱	**ADVC Ultra**	316 级不锈钢柜。 ADVC 监控 CB，并提供保护、测量、控制和通信功能（通过控制电缆连接到重合器）。		了解更多
LV 电容器组	**VarSet LV**	带 VarPlus Logic 控制器的智能 LV 电容器组		了解更多
谐波滤波器	**AccuSine PCS+**	有源谐波滤波器，用于谐波缓解、功率因数校正和负载平衡。		了解更多

网络功能	产品名称	主要技术特点		点击链接，了解报价/规格
变压器	**SGrid**	智能电网 MV/LV 变压器，带自控分接开关的油浸式变压器。（符合环保设计要求）		了解更多
变压器	**Minera HE+**	高效 MV/LV 变压器，矿物油型，非晶变压器。可选无励磁分接开关 (OCTC) 或有载分接开关 (OLTC)。		了解更多
变压器	**Trihal**	高效互联的“树脂浇注”式 MV/LV 变压器。可选有载分接开关 (OLTC)。		了解更多

Ecostruxure 电网 - 服务项目

咨询服务

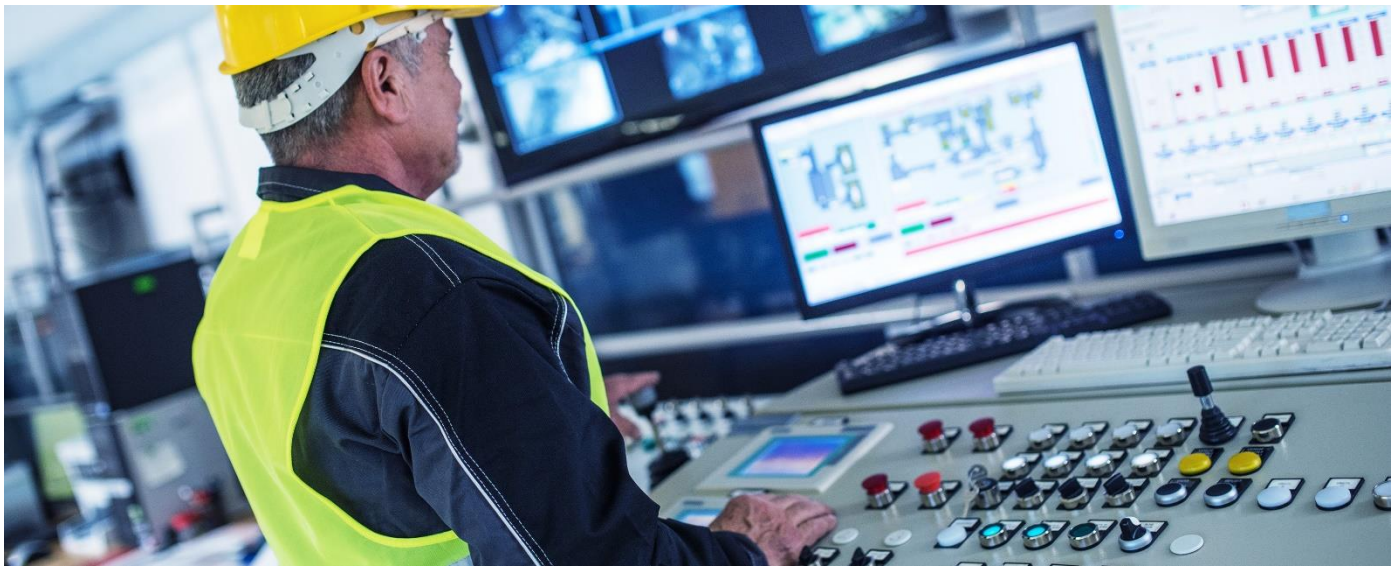
施耐德电气咨询服务可为系统升级所需设备的类型、数量和位置提供建议，助力升级后的系统达到预期的性能水平。

现代化解决方案能够有效地集成更多 DER，并保证足够的安全性。该解决方案包括部署 ADMS-DERMS 系统和智能互联产品。

我们提供的咨询服务可以根据性能预期（希望达到的 DER 渗透率水平）和预算，为**提高**配电系统的**现代化水平**提供建议。

为助力实施现代化战略，我们进行专门研究，以估出关键设备（智能环网柜、智能变压器、智能电容器组等）的最佳数量和位置，满足 DERMS 应用的需要。

如需了解本项目相关咨询服务的详细信息，请参阅有关的“咨询服务技术规范”文件。



英文缩写一览表

AC	交流电
ACB	空气断路器
ACR	自动电路重合器
ADMS	高级配电管理系统
AERC	带远程控制的自动化设备
AFE	主动式前端
A-FLR	仅授权人员可从前端、侧面、后部触及
AHF	有源谐波滤波器
AIS	空气绝缘开关柜
APR	自动渐进式重新连接
ARMU	自动化环网柜
ASAI	平均服务可用性指数
ATS	自动电源投切
CAPEX	资本支出
CB	断路器
CT	电流互感器
DC	直流电
DCC	配电控制中心
DCS	分布式控制系统
DER	分布式能源资源（风能、太阳能、电动汽车等）
DP	配电点
ENS	缺供电量
F&S	消防与安防
FPI	故障指示器
FU	功能单元
GCU	发电机控制单元
GIS	地理信息系统
HMI	人机界面
HV	高压
HVAC	暖通空调
IAC	内部电弧抑制
IEC	国际电工委员会
IED	智能电子设备
IEEE	电气电子工程师学会
IGBT	绝缘栅双极晶体管
IMPR	智能电机保护继电器
IPMCC	智能电源和电机控制中心

LCD	液晶显示器
LV	低压
LSC	丧失运行连续性
MAIFI	瞬时平均停电频率指数
MCC	电机控制中心
MCCB	模压外壳断路器
MV	中压
NOP	常开点
OEM	原始设备制造商
OLTC	有载分接开关
ONAN	石油-天然，空气-天然
OPEX	运营支出
PAC	可编程自动化控制器
PEI	峰值效率指数
PFC	功率因数校正
PLC	可编程逻辑控制器
PCC	电源控制中心
POC	接入点
PQ	电能质量
PWM	脉宽调制
QS	快速研究
RMU	环网柜
RTU	远程终端单元
S/S	变电站
SAG	半自生
SAIDI	系统平均停电持续时间指数
SAIFI	系统平均中断频率指数
SS	软启动器
SSIS	屏蔽式固体绝缘开关柜
TCO	总拥有成本
THD	总谐波失真
TOC	合规表
UPS	不间断电源
VCB	真空断路器
VSD	变速驱动
VT	电压互感器

Life Is On | Schneider Electric 施耐德电气

了解 EcoStruxure 电力 & 电网

se.com/smart-grid

SE 博客

施耐德电气
总部
35, rue Joseph Monier - CS 30323
F92506 Rueil-Malmaison Cedex

© 2020 施耐德电气。版权所有。“Life Is On | 施耐德电气”是施耐德电气有限公司、其子公司和关联公司的商标和财产。“Android”是 Google LLC 的商标。“iOS®”是思科在美国的注册商标，苹果公司获授权使用。

998-21058967