

埃森哲观点
加速智能电网的成功步伐

成就卓越绩效



目录

前言	4
----	---

智能电表数据管理系统	6
------------	---

电表数据管理系统（MDMS）：智能电网实施的关键推动力

核心要素

五级MDMS功能评估框架

1级：工商业用户（C&I）计量收费流程

2级：居民用户计量收费、客户选择、支持节能及削峰费率

3级：智能计量数据收集、现场服务和客户服务流程

4级：智能计量操作和基础设施管理

5级：支撑智能电网

为何选择埃森哲？

应用先进配电管理方法实现卓越绩效	14
------------------	----

DMS功能

DMS数据模型

DMS架构

DMS系统集成

DMS与AMI/MDM集成

DMS与馈线自动化集成

DMS高级应用

DMS研发

DMS业务优势

实施DMS需要考虑的因素

智能电网分析的十大领先实践

28

超越商业智能

智能电网数据的先进分析

智能电网分析的十大领先实践

功能领先实践

技术领先实践

结论

利用领先实践实现卓越智能电网测试

52

基础要素/智能电网组件

关键测试领域和挑战

智能电网要素/组件与测试领域映射

智能电网计划测试的领先实践和新兴趋势

埃森哲的措施和方法

实现卓越的智能电网测试

智能电网关键基础设施保护

64

网络安全事件激增

攻击范围逐步扩大

固有安全缺陷

智能电网网络安全原则

埃森哲的作用

前言

2010年3月，温家宝总理在向十一届全国人大三次会议所做的《政府工作报告》中明确提出：“大力开发低碳技术……加强智能电网建设”。这是智能电网建设问题首次在中国政府的工作报告中出现，标志着智能电网建设取得了中国政府的认可，从企业行为上升为国家战略。在2011智能电网国际论坛上，国家电网公司总经理刘振亚更表示，在特高压和智能电网发展纳入国家“十二五”规划的背景下，国家电网公司将全面加快坚强智能电网发展，计划未来5年投资2500亿美元，建设联接中国大型能源基地和主要用电负荷中心的“三纵三横”结构的特高压骨干网架，新建电动汽车充换电站2950多座和充电桩54万个，安装智能电表2.3亿只。

随着中国智能电网建设的全面铺开和逐步深入，新的问题，如海量数据处理、高级分析应用、信息安全等也逐渐凸显出来。作为全球领先的管理咨询、信息技术

和外包服务机构，埃森哲很早就参与到欧美国家的智能电网建设中，迄今为止已经在世界范围内开展了超过140个智能电网的规划和建设项目（其中也包括国家电网公司、南方电网公司的智能电网相关项目）。埃森哲非常希望与中国的电力企业分享世界智能电网建设领域的最新成果和先进经验，促进中国智能电网建设实现更好、更快的发展。《加速智能电网的成功步伐》这一系列文章应时而生，我们希望藉此为中国电力企业迅速开启成功之门。

基于对智能电网建设的深刻理解，参考全球范围内智能电网建设的最新业务实践，并针对当前中国智能电网建设的情况，埃森哲认为以下几个方面是现阶段中国电力企业推进智能电网建设时所必须予以重视的问题：

• 海量计量数据的处理与应用

随着智能电表的大量部署，抄表间隔由过去的每月一次缩短为每天一次、乃至

每15分钟一次，由此产生了海量的抄表数据。如何对这些数据进行存储、验证、汇集，继而从中提取出有用的信息，并将其作为支持业务开展的依据，是所有实施智能电表的电力企业必须面临的挑战。埃森哲认为必须要有效应对这一挑战，关注电表数据管理系统（MDMS）或者被称为智能电表主站系统的实施。尤其对于中国电力企业而言，由于缺乏灵活的电价政策支持，无法像国外电力企业那样通过智能电表部署实现较好的需求响应，就更需要充分发挥电表数据管理系统的功能、发掘智能电表数据在客户服务、设备管理、分布式电源整合等方面的作用。从某种意义上来说，能否实现海量计量数据的高效处理和有效应用，是智能电表部署成功与否的关键。

• 先进配电管理系统的实施

随着智能电网时代的到来，大量分布式电源及储能装置的接入将使电网尤其是配电网的潮流流动由单向变

为双向，与客户的互动服务要求也更高，这使得传统的配电自动化/SCADA已经无法完全满足需求，必须引入新技术和创新管理方式。先进配电管理系统（DMS）是智能电网下配电网控制中心用来可靠、高效并安全地监控配电网运行的重要应用系统，与目前的配电自动化系统相比，除了传统的网络拓扑维护、配电网监控、故障定位等功能外，还具备更强的故障处置及恢复功能、更高效的资源管理功能、更透明的信息发布功能，以及与其他业务系统更紧密的交互功能，这些功能提升将极大改善配电网管理的工作效率、提升供电可靠性、真正实现配电网的“自愈”。

• 基于智能电网的高级分析应用

随着智能电网下各类传感器的大规模部署，电力企业在电网运行状态、设备状态及用户行为方面都拥有了更全面、更详细的数据。能否对这些通过大量资金投入获取的海量信息进行有效的管理、分析以及采取相应行动，是衡量智能电网建设在财务及运营两个维度成功与否的重要标志。基于智能电

网的高级应用分析包括通过建立新的业务模型、引入神经网络等新的分析方法、采用新的IT系统架构等方式，从海量数据中发掘有用的信息，指导未来业务开展和决策，提升IT系统处理能力，改善数据质量等。此外借鉴其他行业的类似经验，例如电信行业基于客户细分的套餐方案设计，证券行业处理海量交易数据、减少交易延迟的经验等，对于电力企业开展基于智能电网的高级分析应用也是一个有效的途径。

• 智能电网组成要素的测试

与传统电网相比，智能电网是广泛系统、硬件及内部和外部网络的组合，引入了更多新型的电力设备，其自动化、集成化和智能化程度更高，同时对IT系统和通信网络也提出了更高的要求，新的系统集成架构、IT应用程序和网络通讯设备不断被引入。直接导致智能电网下的设备数量和种类较之传统电网都有了巨大的提升，从而对传统测试方法提出了严峻挑战。为有效应对这一挑战，采用新的测试方法，针对不同的智能电网组成要素开展有针对性的测试

就成为保障中国智能电网建设顺利开展的关键要素之一。

• 智能电网的安全防范

智能电网建设实现了电网的可观测、可控制和自动化，在极大提高电力企业业务管理水平和效率的同时，也带来了相应的安全风险。虽然与互联网不同，电网是一个相对独立的网络，但不代表针对电网的网络攻击是缺乏依据的空泛理论，去年发生在伊朗的针对核电站运行管理系统的病毒攻击就是一个最新的例证。因此详细分析智能电网所面临的安全风险，建立相应的应对措施，并应用于对智能电网建设方案的改进中，防微杜渐，是中国电力企业开展智能电网建设时一个不可或缺的步骤。

结合在全球参与的智能电网项目的经验，埃森哲对上述问题提出了自己的见解和相应的解决方案，并有针对性的列举了国外其他电力企业在开展智能电网建设的先进实践。希望他山之石、可以攻玉，能够对中国智能电网的建设尽绵薄之力。

智能电表数据管理系统 助您实现卓越绩效



电表数据管理系统 (MDMS): 智能电网实施的关键推动力

纵观全球电力市场，越来越多的公用事业企业开始实施和利用智能计量技术。为了适应政府法规和减排指标要求，公用事业企业计划的智能电网实施时间表大多十分紧迫。

实施智能计量技术的一个主要影响是数据流量将比此前传统计量方法出现多个量级的增长。激增的数据量不仅会流入公用设施管理，而且会发送到或由第三方电力零售商进行输出，用于新的或修订后的市场交易处理。

公用事业企业需要管理这些数据并将其转换为商业智能，这会为智能计量实施带来挑战。为了应对挑战，公用事业企业可以应用电表数据管理系统 (MDMS) 构建以业务为中心的解决方案，以便存储、验证、汇集并处理海量的数据，为计费、结算及其它对账和报表处理做准备。部分市场要求公用事业企业适时集中公布数据，MDMS能够帮助满足上述要求。

核心要素

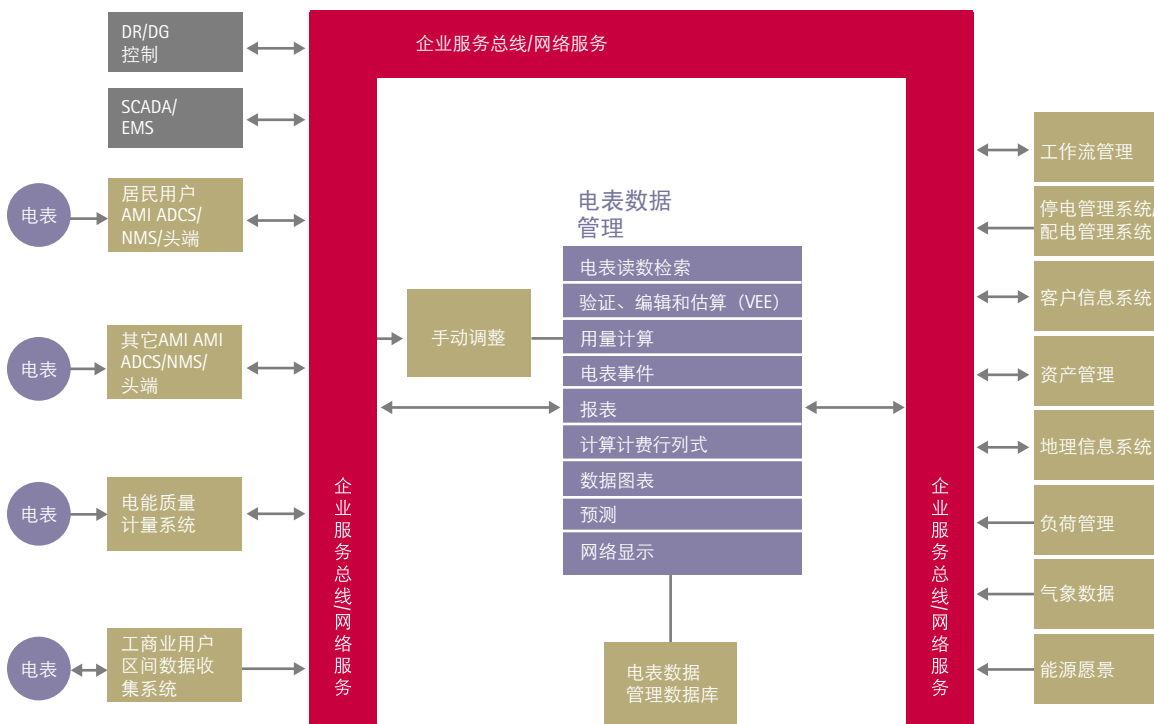
MDMS的特定架构取决于厂商提供的软件环境和各公用事业企业的独特部署。但MDMS核心包含同类系统共有的数个要素，主要设计目标是简化预定义功能。

预定义功能包括：

- 集中数据存储库用于保存电表读数。
- 采集系统的适配器支持MDMS加载从智能电表收集的原始数据，同时支持数据控制。
- 电表读数管理组件可以验证、估算和编辑电表读数，并将公用事业企业指定或法规指定的业务逻辑应用于数据读取。
- 计算能源用量、需求及其它计费行列式的工具。
- 连接下游系统的适配器，以便利用已处理的电表数据，例如计费、结算、负荷预测、资产管理和客户门户网站等。

图1 是一个MDMS架构示例，包括与上游采集系统和下游企业系统的接触点。

图1. MDMS架构示例（包含上游和下游接口）。



ADCS = AMI数据采集系统, AMI = 先进计量架构, C&I = 工商业用户, DR = 需求响应, DG = 分布式电源, DMS = 配电管理系统, EMS = 能量管理系统, ESB = 企业服务总线, NMS = 网络管理系统, OMS = 停电管理系统, SCADA = 数据采集与监控系统。

五级MDMS功能评估框架

为帮助公用事业企业获得最高的智能电表投资回报并实现卓越绩效，埃森哲设计了MDMS能力评估框架（如图2所示）。

该框架采用分级（五级）方法评估MDMSD的效能，可帮助公用事业企业优化实施MDMS的收益计划，以及客户信息系统（CIS）、智能电表和智能电网现代化改造计划的技术与功能范围。

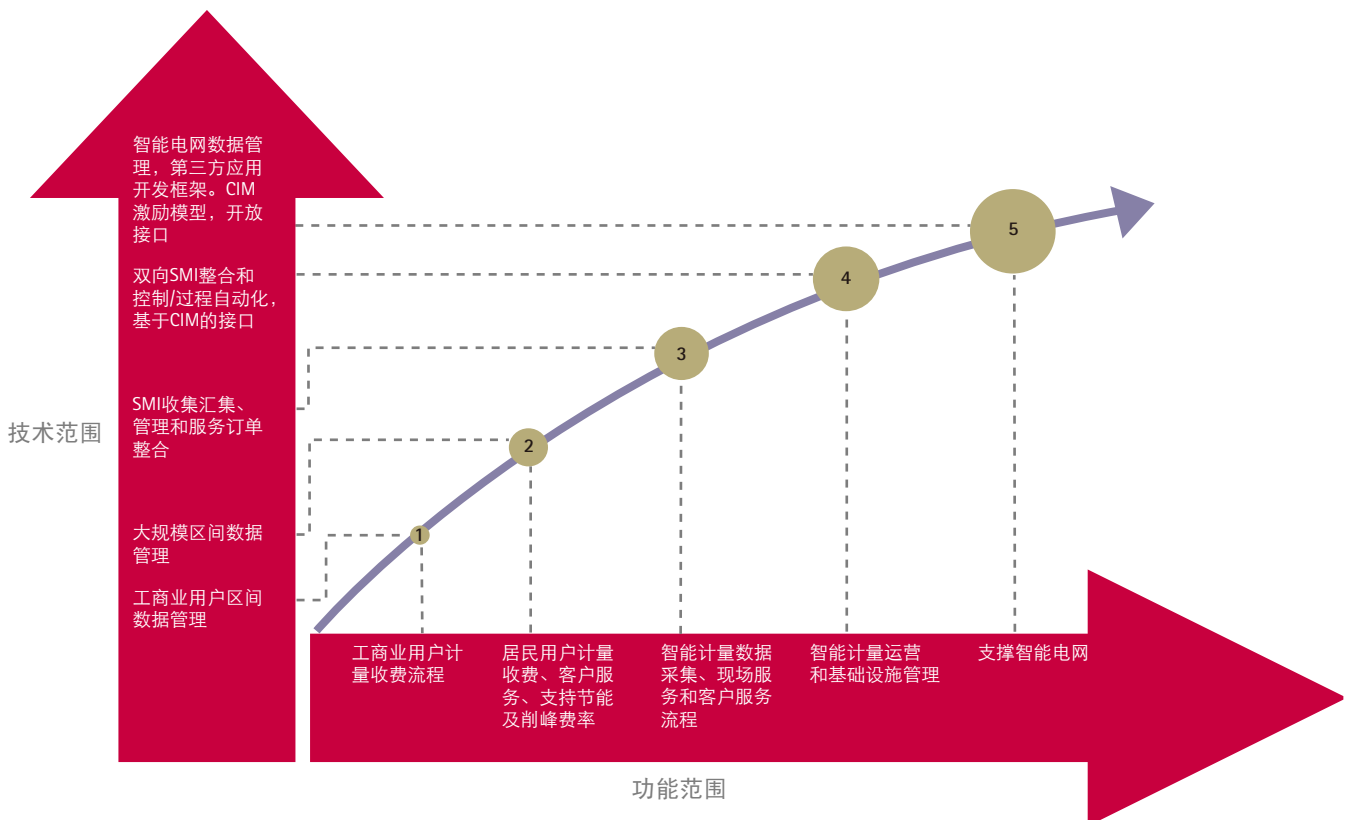
为推动结构化MDMS功能评估方法，埃森哲评估框架实现了技术和功能在范围/复杂程度上的对应。然而，技术和功能之间既非指定也非相互依存。根据复杂

程度和应对的业务需求，具体实施过程中可能出现单方具有较高成熟度的情况。通常，MDMS实施的成熟度应当与整个先进计量架构（AMI）部署计划的实施阶段相匹配。

如图2所示，五级评估框架包含智能计量运营的功能范围以及对应的技术成熟度。下面是每一个层级的详细展示：

- 第1级：工商业用户（C&I）计量收费流程。
- 第2级：居民用户计量收费、客户选择、支持节能及削峰费率。
- 第3级：智能计量数据收集、现场服务和客户服务流程。
- 第4级：智能计量运营和基础设施管理。
- 第5级：支撑智能电网。

图2. MDMS功能评估框架。



注释：CIM = 通用信息模型，SMI = 智能计量计划，C&I = 工商业用户。

第1级：工商业用户（C&I）用电计量收费流程

公用事业企业在过去几年里一直运行与MDMS类似的应用程序，例如MV-90 PBS和Lodestar计费与结算应用程序。公用事业企业此前选择这些应用程序的目的是支持大客户计量收费流程，预测服务区域负荷随时间的变化以及支持批发市场交易结算等。

然而，在上述领域使用这些应用程序存在一定的困难。困难之一是费率和账单计算涉及大量的成本和精力，需要后台管理多通道（2至4）高度粒化的间隔用量和需求数据，包括复杂计费行列式的收集、存储、VEE和计算。

与此同时，使用现有应用系统实现MDMS功能的公用事业企业将面临更大的挑战：例如，新费率推行和监管变动扩大了分时计量客户的范围和/或现有系统的局限性。迄今为止，MDMS已经广泛用于管理数量较少但使用了分时计量电表和复杂费率的大客户。AMI产生了大量的应用不同费率和法规的分时计量数据，但现有MDMS可能因扩展性或灵活性不足而无法应对这一变化。基于上述原因，公用事业企业可能选择部署专用MDMS，以满足相关需求。

MDMS优势案例分析：安大略本地配电公司（LDC）和安大略智能表计计划（SMI）¹

通过安大略智能表计计划，独立电力系统运营商运营的中央/地方MDMS能够为安大略管制价格计划（RPP）提供一致的验证、估算与编辑（VEE）规则和计费。RPP计划是安省能源局强制推行的三级阶梯分时（TOU）计价方案。²

目前，该地区MDMS的运营范围仅限于负荷低于50千瓦（kW）的家庭和小型企业客户。这些客户通常采用单通道方式按小时计量用电量。因此，在公用事业企业为所有新增及现有客户（包括负荷高于50kW的一般用户和大型工商业用户）部署智能电表的同时，独立电力系统运营商的计量数据管理和存储（MDM/R）系统在未来一段时间内可能无法支持每15分钟或更小间隔计量读数的多通道数据管理和复杂计费。

如上所述，饱受基础设施局限困扰的安大略配电公司无法处理大型工商业客户的分时计量数据和计费，而部署专属MDMS以支持这些功能可以让公司获益匪浅。

第2级：居民用户计量收费、客户选择、支持节能及削峰费率

公用事业企业实施MDMS以支持智能计量基础设施计划的主要目的之一是获取应用分时计量流程的能力，以采集大量的居民用户读表数。例如，该功能支持居民用户分时电价、紧急尖峰电价（CPP）及其它节能费率。在欧洲，该功能还可以支持大规模或选择性负荷曲线数据管理以及计量收费流程。以下是推动公用事业企业引入MDMS的部分因素。

关注点分离

MDMS可为公用事业企业的应用架构提供关注点分离。它能够处理所有与电表数据相关的任务，并且可以一站提供全部当前和历史电表的使用信息，从而建立一致的企业内部电表数据公布流程。

验证、估算和编辑

VEE组件使用符合规则的可配置算法验证电表数据，可提供实际电表数据或最可能的估算值，并且可以进一步分析无效数据以查找故障根源，从而提供标准化的给定客户群体数据显示，保证数据质量和一致性。

客户服务

MDMS能够帮助公用事业企业吸引客户，精确响应计费查询要求，提升客户满意度以及客户忠诚度。此外，它还支持公用事业企业向客户传授能源使用模式、相关成本和环境影响等知识

与内容，帮助构建以能源效率及节约为核心的消费文化。客户门户网站通常可为客户提供能源使用统计数据、详细的间隔消费信息以及账单信息。

计费

MDMS应用程序通常包括支持非分时电价、分时电价和紧急尖峰电价/紧急尖峰补贴（CPP/CPR）的计费功能。

新趋势

需求响应和分布式发电等新兴趋势会增加电表数据管理和计费的复杂性，这可能会增加对MDMS实施效果的预期。例如，支持居民用户需求响应计划可能需要使用以下信息评估客户参与状况：

- 需求响应事件信息。
- 家用电器设备报告反映出的客户超负荷使用情况。
- 使用复杂方法对比多个类似的无事件日（已根据气候调整），计算客户基线。
- 基线比较。

分布式发电的发展也提出了额外的功能要求。支持家庭、农场和企业利用可再生能源发电（例如风能、水力、太阳能和生物质能），并将过剩电力输入电网，这需要：

- 能够计量并存储至少2个通道的所有客户能源间隔使用数据（输入和输出值）。
- 净计量（消费者将根据分段计价内的净能源使用量支付费用）。
- 复杂的验证和估算程序，用以

计算客户返回能源（可抵消间隔内的净能源使用量）。

- 结合发电定价表与客户账户
- 能够执行“净额结算”功能（即根据单独的发电价目表，补偿客户向电网输送的电量）。

进行计费、客户服务和对需求响应和分布式发电计划进行效率分析，这可能也是公用事业企业实施MDMS的目标。

第3级：智能计量数据采集、现场服务和客户服务流程

智能计量基础设施数据管理运营数据存储

AMI数据可以为公用事业企业提供信息，以发现更多价值。但该信息仅在公用事业企业具有功能完备且存取便利的数据存储时可用。这是公用事业企业实施MDMS（作为智能计量计划的一部分）的主要动力。AMI提供的信息不仅覆盖间隔能源使用状况，还包括状态、事件及警报。在已经部署地方或中央MDMS的地区（例如在州、省或乡村等管辖区域实施的单一MDMS，用于为辖区内所有的公用事业企业与客户提供公共数据存储、计费和客户使用状况显示），公用事业企业能够通过智能计量基础设施数据获得提升运营可见度和效率等优势。并且，公用事业企业能够监测和处理来自智能电表的正常信息和篡改信息。集中部署的MDMS通常无法支持所有公用事业企业实现上述功能。

使用智能计量基础设施支持现场服务流程

逻辑上说，提升现场服务流程的效率是实施运营数据存储的下一个步骤。整合服务订单管理系统以实现自动创建服务订单和现场分派（例如调查智能电表发出的低电量警告），在客户迁址时优化现场服务流程（利用运营数据存储/MDMS的最近计量读数以获得初始/最终读数），这些方法都可以提升效率。

智能计量数据收集聚合

除了管理智能电表的能源计量数据之外，MDMS还可提供一系列的适配器和接口，以整合采用不同技术和数据格式的智能计量基础设施系统。这一特性可以有效解除自动计量基础设施与下游应用程序的绑定，支持整合新兴技术和终止淘汰技术，避免受制于单个厂商或AMI实施。这表示使用AMI数据输出的客户可将MDMS作为不同AMI系统的统一接口，获取标准化数据显示。

例如，加拿大一家公用事业企业引入了运营数据存储/MDMS，以确保数据在发送到当地或总部的MDMS之前已经：

- 使用独立电力系统运营商VEE规范指定的规则进行验证。
- 转换为独立电力系统运营商的电表数据格式。
- 内容标准化（例如时间显示方式和工程单位）。

使用MDMS存储运营数据以汇集采集的数据可以帮助公用事业企业增强对不同系统数据质量和一致性的控制。此外，尽早发

现数据质量问题（例如大量读数丢失或其它异常）的能力可以让公用事业企业在数据发送至独立电力系统运营商和客户之前采取补救措施。

收集管理

收集管理指MDMS可提供完善的功能，例如针对多个智能计量基础设施头端和系统的读数鉴定、读数完整性检验、数据拒绝、数据汇集、调度和服务水平协议（SLA）监控。这是MDMS在技术层面的主要优势，特别适用于希望部署多个智能表计系统以覆盖其整个服务区域的公用事业企业。

第4级：智能计量运营和基础设施管理

双向流程自动化

在双向智能计量基础设施网络中，MDMS通常作为路由和管理元件以实现所需的双向流转流程。要实现该功能，通常需要使用手动流程与配有集成远程连接/断开（RCD）开关的智能电表组合整合公用事业企业的“接通/断开”流程。基于此，如果客户信息系统决定断开客户的电源，实施MDMS可以确定接通/断开操作是否需要现场服务订单（取决于电表类型），或通过智能计量基础设施系统直接执行。

如果存在多个智能计量基础设施系统，MDMS也可用于通过具体实施细节归纳业务流程。例如，智能计量基础设施系统需要在RCD开关操作之后读取电表以验证RCD状态。MDMS支持的其它流程自动化包括：

- 由客户服务发起的按需读取
- 停电确认
- 智能电表配置和硬件升级管理
- 需求响应事件编制和管理。

异常监测、报告和管理

MDMS能够接收自动计量基础设施发送的事件、状态信息、预警和警报，从而提供实时网络和现场服务监测。提供的信息可以帮助公用事业企业深入分析运营问题和设备状态以及运营态势。例如：

- 利用报告的电表状况事件派遣电表技术人员进行现场服务，查看是否有迹象表明特定批次或型号电表存在质量问题。
- 通过“异常”波动指标检测篡改和窃电行为。
- 分析配电馈线或次级绕组电表报告的瞬时停电指示，以确定是否需要修剪植被。
- 集成入侵探测系统，以通知智能计量基础设施网络中潜在的安全漏洞（例如未经授权的电表光探头访问）。
- 通过智能电表停电和恢复信息计算和报告可靠性指标。

标准接口

考虑到紧密整合以及流程自动化可以大幅简化第四层级的功能，符合标准且配有IEC 61968/CIM或Multispeak等企业系统接口的MDMS是企业整体架构的重要组件，有助于确保计划实施过程中的灵活性和可扩展性。

第5级：支撑智能电网

公用事业企业努力通过部署新的智能电网技术来优化运营，而MDMS是支持智能电网的关键组件。电网中的智能设备可提供增强的数据采集、存储、分析和决策支持功能，这是推动MDMS发挥上述功效的因素。

下列业务驱动因素可能促使公用事业企业实施支持智能电网的MDMS，以支持智能电网数据管理解决方案，包括：

整合分布式电源

尽管少量的分布式电源不会对配电网造成重大影响，但技术的发展可能导致分布式电源在配电网中广泛传播和/或集中，包括支持家庭、农场和企业利用风能、水力、太阳能和生物质能等可再生能源发电并将多余电力输入电网的项目，以及插入式发电设备（可作为用电高峰时分布式电源）的广泛应用。

这些分布式发电资源通常采用基于逆变器的技术。根据部分行业研究^{3,4}的定义，分布式电源的大规模聚集，即服务地区超过10%的电源来自馈线或乡村低密度馈线上的分布式电源，会导致供电质量问题，包括过压、欠压、相电压不平衡、电压突变、谐波过多、频率波动以及意料外孤岛效应。尽管坚强的电力规划能够减少或消除大部分上述问题，配电公司仍需保持对电网中分布式发电资源的监测，同时监测配电网的电压、电力质量、频率及其它设备。

MDMS可以存储与分布式电源有关的计量数据，例如负荷曲线、静止期和供应质量数据。其它外部系统可利用这类信息进行数据分析并计算数据关联，为改进电网运营提供有价值的资料。

整合需求响应

将需求响应作为资源进行整合，需要协调需求响应事件、监测、测量与验证等功能的通信，并且可能需要以下能力：

- 在计划停电时段将一组客户临时切换到另一条馈线，或依据天气预报管理预期峰值负荷，对支持配电运营的馈线进行预测性参与分析。
- 对每个需求响应计划的容量进行预测分析，以支持公用事业企业将需求响应作为资源参与批发市场容量、能源和辅助服务投标。

智能电网设备和配置管理

越来越多的公用事业企业都开始研究如何发挥智能电表网络作为通信网络的功用，以创建并实施更加智能的配电网。新设备（例如变压器和馈线表计）正在成为智能电网部署的构成部分。作为设备和配置管理的一部分，公用事业企业还需要跟踪可能不属于其自有资产的用户设备及其生命周期，例如恒温系统和负荷控制开关。此外，多数新设备可支持远程配置和重新编程。

这会给公用事业企业管理上述资产配置及生命周期时带来新的挑战。电网监测装置（例如变压器表计和馈线表计）的部署也要求公用事业企业精确掌握配电网的分层信息。例如，公用事业企业需要应用程序的支持以跟踪台区表计及其服务终端。

传统资产管理系统无法提供上述能力。MDMS与器件配置/固件管理系统结合，能够帮助公用事业企业弥合“当前”和“愿景”之间的差距。

先进资产管理

先进资产管理指管理配电网中资产运行状态和性能的能力。结合关于配电网拓扑的信息以及台区表计、低压和中压传感器（馈线表）等新型智能电网设备提供的数据以及智能电表和电网传感器的计量数据，公用事业企业能够开发大量的监测、分析和可视化应用程序。这些应用程序的组合使用可以提高配电控制中心对配电网的监测力度。配电网规划人员也可运用这些信息获得显著收益。

例如，了解配电网资产的运行特征（例如负荷、损耗、相位不平衡和设备利用率），优化现有资产的利用率和推迟购买新资产的资本支出。

MDMS能够跟踪电网资产、网络层次和电网设备发送的数据，是智能电网架构和先进资产管理应用程序整体解决方案中不可缺少的组成部分。

可扩展性

在智能电网企业架构中，MDMS可能不是唯一可以实现所有智能电网分析应用的解决方案，重要的是MDMS支持上述功能的能力。从技术角度来说，支持作用要求MDMS是一个开放的系统，具有公共信息模型（CIM）支持的数据模型和符合标准且定义明确的接口，可以方便地连接第三方开发的应用程序。

为何选择埃森哲？

参考资料

埃森哲具有业界领先的专家经验与知识，可以帮助全球大型公用事业企业评估重大资产投资项目的收益，并创建稳健的商业案例，例如CIS、智能电表、智能电网和企业资产管理（EAM）。承接项目后，埃森哲将深入了解您的客户信息系统、MDM/R以及智能电表/电网基础设施组合，为您量身打造差异化业务优势。

埃森哲电表数据管理系统（MDMS）功能评估框架业已经过验证，可以帮助公用事业企业评测CIS、智能电表、智能电网现代化规划的技术和功能影响，并详细评估实施MDMS的潜在收益。

尽管单一商用MDMS无法支持本文所介绍的全部能力，但MDMS拥有十分广泛的潜在收益，实施了集中MDM/R的公用事业企业和当地配售商同样能够从中受益。

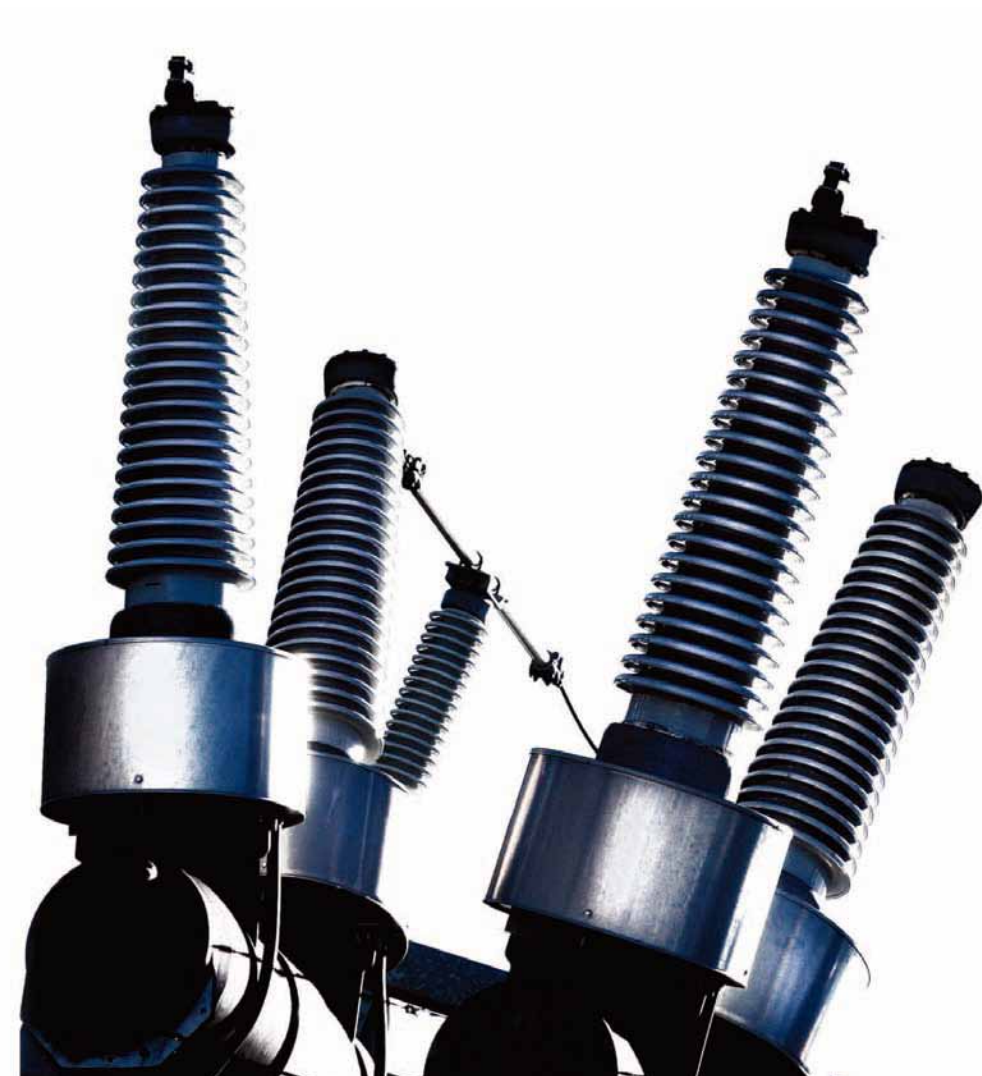
1. 安大略省能源部，智能电表，www.mei.gov.on.ca/en/energy/electricity/?page=smart-meters。

2. 安大略省能源部，智能电表和分时计价，www.mei.gov.on.ca/en/energy/conservation/smartmeters；独立电力系统运营商（IESO）智能计量实体，www.smi-ieso.ca。

3. 凯勒·J和Krposki·B，“了解基于逆变器的分布式能源的故障特征”，NREL技术报告TP-550-46698，2010年1月。

4. Baran, M.E.和El-Markaby, I，“存在分布式电源的配电馈线故障分析”，《IEEE Transaction》，2005年。

应用先进配电管理方法 实现卓越绩效



序

以往，配电网管理主要包括发生停电后的故障恢复以及由于施工、检修需要的开关操作。很多公用事业企业通过手工、非电子化的方式完成上述工作。

例如，调度员可能将呼叫中心收到故障工单打印并分检出，根据地区进行分组，然后将其打包发送给现场工程师，以便现场查找并进行检修。在收到隔离电网特定区域的请求后，公用事业企业通常在完成书面文件后制定开关切换计划。最后，执行人员将根据纸质地图确定需要操作的开关以及执行的步骤和次序。

随着技术的发展和配电网网络复杂性的增加，加上客户对可靠性和信息要求的增强，很多公用事业企业已经实施停电管理系统（OMS）。这些系统中维护了网络的当前运行方式，并可据此对故障工单自动分组。停电管理系统可以更精确地预测停电设备和故障内容，从而确保更快速的修复，为客户提供更详细的信息。

部分停电管理系统还包括开关应用程序，可以按计划自动完成电网开关切换操作。这样开关切换请求将完全电子化执行。计划安排人员可以以电子化的方式制定并验证操作工单，并使用与停电管理系统相同的运行模型。

开关切换步骤、指导和执行以及需要的授权和撤销记录可保存到数据库中，以便用于之后的访问和报告。

直至最近，由于配电系统延用了传统模型，上述流程一直运行良好。电流单向流动，大型发电机组满足消费者的能源需求，基础设施拥有充足的容量冗余，调度员熟知其系统。

公用事业企业面临的行业变革和智能电网技术的发展将改变这一局面。

当今公用事业企业正在经历前所未有的行业变革。未来配电网将实现电力的双向潮流，应用新技术生产的能源以及不同规格电源都将在任何位置与电网连接，客户需要调整需求以应对供应限制，老化的基础设施将面临高负载和低冗余的挑战。工作人员也在趋向老龄化，上世纪60和70年代进入职场的员工将逐步退休，导致大量的系统知识流失。幸运的是，新技术和创新方法将帮助我们应对这一挑战，并将引发持续数年的变革。

新技术与创新方法意味着配电管理功能的空前增强，不再局限于处理计划内或计划外的停电事件。公用事业企业将更为主动地运营系统，应用更多智能设备、传感器和先进的分析应用程序。这一变革将包括所有配电变电站的自动化改造以及通过安装自动重合闸装置、开关、调节器、电容器和其它智能设备与传感器实现馈线自动化。本文将介绍先进配电管理系统（DMS）的基本概念，以及该系统的实施和未来发展路线图。

DMS功能

配电管理系统（DMS）是配电控制中心调度员用来可靠、高效并安全地监控配电网运行的重要应用系统。

DMS具有以下功能：

- 维护网络的当前运行拓扑：反映设备运行状况、临时性网络变化（跳线、线路切断和相位变化）以及网络模型上的安全和信息标记，以创建在应用程序和可视化中使用的精确运行模型。
- 监测并控制配电网：监测网络的电力状态，处理超限和其它警报，准备并应对突发事件，根据需要实施控制措施，以确保配电网可靠安全地运行。
- 管理正常和极端气候条件下的故障恢复流程：接收故障通知，检查并应对停电事件，管理恢复流程，预计恢复时间，确保完成必需的信息。
- 派遣适合的人员，完成恰当的工作：监测现场人员的状态和位置，恰当地完成任务派遣，为任务人员提供需要的信息，管理任务人员的活动。
- 定位、隔离故障，并恢复服务：接收和处理来自故障设备和定位应用程序的故障信息，实现故障定位，制定电网开关切换方案以隔离故障，恢复非故障地区的服务。
- 管理开关计划性切换：接收和处理开关切换请求，制定并验证实施方案，确定并通知受影响的客户，发布并管理授权和撤销，执行开关工单。
- 向利益相关方及时发布准确的信息：准确捕获并计算信息，以便向内部和外部利益相关方发布信息，例如客户、管理层、服务方和媒体。
- 与企业保持紧密的数据交换：与其它系统实现实时集成，发送和接收数据及交易信息，以支持企业系统和应用程序的集成和顺利运行。

DMS带来的上述及其它功能增强将提升配电管理工作效率，同时支持配电网提升能效和系统可靠性。

DMS数据模型

DMS系统的核心是详细且准确的配电网模型，调度员可以根据这个模型做出决策和控制系统。但是，DMS高度依赖地理信息系统（GIS）、客户信息系统（CIS）和其它数据源提供的数据，以便构建和维护配电网模型。

需要的数据包括：

- 基础设施数据（设备样本、类型、位置和状态值）
- 元数据（元素名称、类型数据、限制数据、分析参数）
- 网络拓扑（连通性、相位、标准设备状态）
- 客户数据（名称、地址、电话号码、表计、类型）
- 客户与电网连接（通过架空入户线或变压器）
- 工程数据（阻抗、连接、设置和感应节点）

该模型的网络数据通常保存在GIS中。GIS系统源自绘图系统（自动绘图/设备管理或AM/FM），最初用于绘制公用事业企业不同部门使用的纸质地图。随着技术的进步，GIS系统可用于捕获并处理电网的地理信息，例如网络连接信息。GIS至DMS的接口用于构建和更新DMS中的网络模型（标准连接）。GIS

反映了物理网络模型，DMS则反映实际运行网络模型（当前连接）。通过GIS定期更新DMS数据的流程称为增量更新流程，该流程需要经常运行，例如每天或每周。

除了基础网络数据和客户数据，DMS网络模型还需要工程数据，例如线路和变压器阻抗以及变压器分接头、调节器、线路降压补偿装置和电容器的连接和设置。这些数据设置可能储存于规划、工程、资产或其它数据中，是设计DMS数据接口时必须考虑的因素。幸运的是，工程数据可以与数据类型对应，例如线路类型和设备类型，数据类型不会频繁变化。

先进DMS应用程序可能也需要更多的数据支持。例如，短路故障定位应用程序可能需要每个节点的短路容量，如配电模型与上一级高压输电网的连接点。

根据项目设计的DMS功能，系统可能需要考虑其它数据因素，包括配电变电站和二级网络

建模、原理图表现构建和维护方法以及计划内施工数据处理。实现上述考虑因素都需要对业务流程进行详细分析，以便实施一个整合多个系统的流程。

多数公用事业企业中高层管理者证实，数据质量是决定DMS实施项目能否成功的最关键因素。数据属性、网络连通性、相位、设备和线路类型等等都可能出现数据质量问题。例如，部分公用事业企业只采集配电线路为单相还是三相的数据，但不会关心单相线路所属的相位。数据不准确或不完整将对智能电网应用程序产生严重影响。

通常，在DMS真正实施前很难确定哪些内容会导致数据问题，因为旧的系统和应用程序仅需要基础数据即可运行。众多公用事业企业在DMS项目实施前实施数据校正和验证项目，或将其作为DMS项目实施的一部分。针对计划构建的功能执行详细的数据分析，以评估如何改善数据质量，对于确保实现DMS项目预期收益非常重要。

DMS架构

配电管理系统的核心组件为SCADA、运行模型、用户接口、停电管理和先进DMS应用程序。理想架构包括一个支持所有组件的解决方案，而不同公用事业企业与供应商正在根据当前投资和业务推动因素构建独有的配电管理解决方案。

单一的监管控制和数据采集（SCADA）系统/DMS/OMS解决方案是最高效的架构，因为这样无需维护和同步多个运行模型，并且可以提供支持配电网调度员完成所有工作的单一用户接口。该解决方案面临的挑战在于确保最佳的功能和特性。并且，单一解决方案意味着公用事业企业业务流程的重大变化，因此需要一个强效治理和变革管理流程来确保新系统能够成功实现业务过渡。

另一个需要考虑的配置是将SCADA/DMS解决方案与现有或升级后OMS解决方案结合。这个方法可以减少公用事业企业必须一次性实现的转变，但同时会带来其它挑战。

主要问题之一是确保使用GIS数据同时更新OMS和MDS模型，以便保持两个系统中模型的当前状态一致。DMS-OMS间的接口需要经过精密设计，以确保一致。用户接口也是一个重要的考虑因素，因为调度员执行业务需要与两个系统交互。

性能是配电管理系统面临的主要架构问题。DMS是一个与能源管理系统（EMS）类似的实时系统，并且在众多方面具有相同

的预期，例如显示呼叫时间。但是，DMS系统需要同时处理更广泛的订单，例如网络元素、事件和用户以及业务交易和流程。

决定性能的关键因素包括：

- 配电网规模
- 服务的客户数量
- 用户数量和位置
- SCADA点数量和扫描周期要求
- 远程办公室通信带宽
- 呼叫、先进表计基础设施（AMI）通知和停电峰值数量
- 系统接口的数量、类型和性能要求

评估上述因素还必须考虑正常条件下和高峰条件下的表现，例如风暴和大型突发事件。

此外，DMS属于任务关键型系统，需要高可用性和灾难恢复功能。因此，系统组件同样必须经过验证，例如应用服务器、数据库服务器、消息中间件和联网设备，以确保消除架构中可能存在的故障点。实现顺利过渡至灾难恢复备份地点并迁回，也是高可用性DMS必不可少的一部分。

安全空间也是DMS架构中重要组成部分。尽管配电系统目前还不属于国家关键基础设施保护（CIP）范畴，但随着配电网的自动化和控制水平的逐步提升，公用事业企业正在给予配电系统安全同样的重视。

DMS架构必须包括一个可扩展且适应程度高的框架，以治理和控制所有敏感数据，进而满足数据保护目标，例如身份和访问管理、入侵探测与预防、安全信息与事件监测、网络和表计安全。

最后，DMS架构必须支持生产及其它环境，包括质量保证系统（QAS）、培训系统、测试系统和其它可以满足业务需要的环境。管理多个环境需要结构化方法，以便管理不同版本的软件、数据库和配置。

设计良好的DMS架构必须考虑以任务为核心以及实时的特性，还包括与其它企业系统集成的需求。DMS将同时为智能电网配电系统运行引入信息技术（IT）和运营技术（OT）。

DMS系统集成

配电管理牵涉众多业务流程，例如客户服务、电能质量、停复电服务、建设和维护等。

DMS系统使用并与多个企业系统交换数据和交易，包括：

- 地理信息系统（GIS），以构建和更新网络模型及地图。
- 客户信息系统（CIS），以更新客户数据和故障工单。
- 交互语音应答（IVR），以实现自动化故障呼叫登记和复电确认以及计划停电的通知。
- 先进计量基础设施（AMI）/表计数据管理（MDM），处理表计的停电和恢复通知以及负载和电压信息。
- 移动数据系统（MDS），以自动向现场人员分配任务，接收任务状态和完成状况更新。
- SCADA/EMS，以接收设备状态、传输与配电之间网络边缘的测量和计算。
- 工作管理系统（WMS），以创建和更新故障和计划内倒闸操作的工单。

此外，DMS可能需要与其它现有和新的系统集成，例如自动车辆定位（AVL）和状态检修（CBM）系统等。

现在，上述接口中多数作为定制或点到点接口实现。随着先进配电系统集成度和复杂程度的增加，公用事业企业需要一个结构化和基于标准的方法来确保整个系统的健全性和可维护性。该方法采用了企业应用集成（EAI）作为IT标准。EAI是一个开放的标准平台，旨在使用面向服务架构（SOA）和企业服务总线（ESB）来简化集成不同系统和应用程序的过程，以构建高度集成的企业架构。EAI是一个集成框架，支持跨应用的业务流程，同时最大限度地减少定制接口数量。