

# 功能领先实践4

使用通过分析和商业智能获得的洞察，完成业务流程持续改进的循环过程。

实现持续的流程改进要求公用事业企业针对具体流程定义并设定流程目标，然后利用从分析中获得的洞察对执行情况进行评估，了解可以在哪些地方加以改进，怎样实施改进以保证流程改进的持续性。通过这种方式进行分析，公用事业企业可以发现流程瓶颈和效率低下的所在，采取适合的措施实现流程执行的持续改进。

## 整合新流程

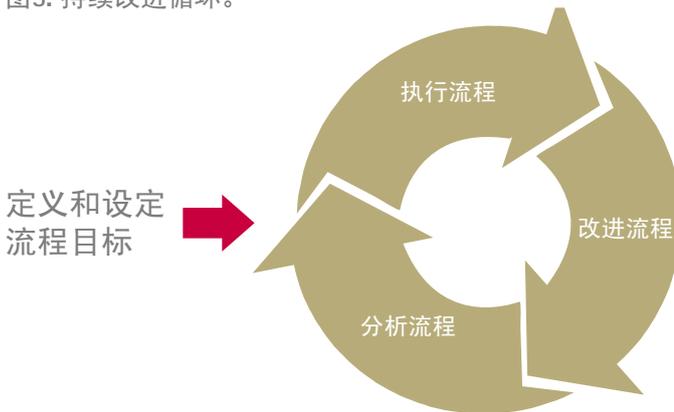
随着分布式电网的功能逐渐增强，流程将会发生改变。例如，计量仪表与其他电网资产之间实现双向通信后，故障/停电分析能够提供足够的情报以供制定明智的决策，做出适当的响应，操作员和车辆将不再需要到现场对设备进行评估。

新旧流程的整合将分四步进行：（1）照常运营；（2）改进电网；（3）在照常运营模式下研究新流程；（4）更新流程。

## 持续改进循环

图5显示了持续流程改进的循环“分析——改进——执行——分析”。成功的公用事业企业将会利用分析方法来评估是否成功达到了流程目标。它们还将“行动和适应”——了解存在的瓶颈或效率低下问题的前因后果，得出深入的认识并根据这些认识采取措施，从而逐渐提升公用事业企业实现目标的能力。

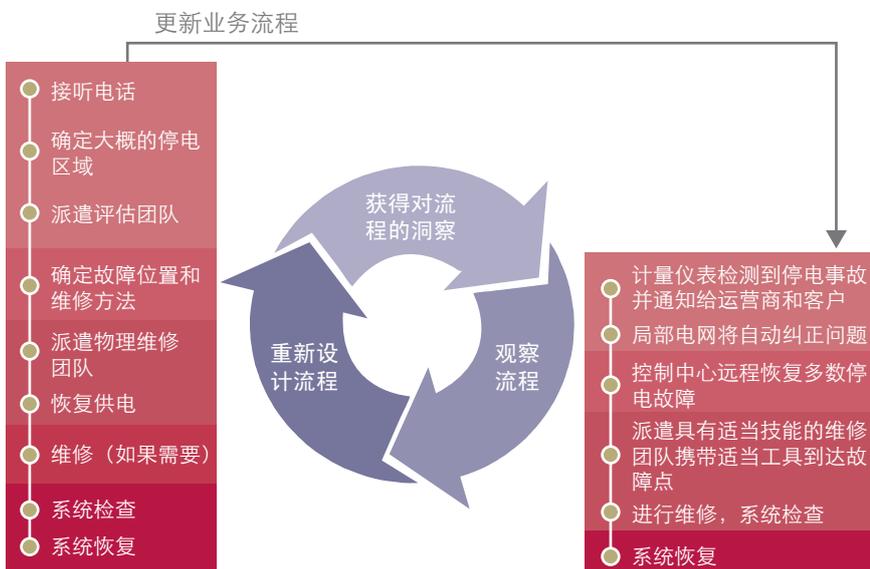
图5. 持续改进循环。



## 示例：使用分析进行故障恢复

故障恢复往往需要耗费大量时间——因为它通常依赖于运营商与客户之间的双向通信，还包括劳力密集型的人工故障排查。

图6. 使用分析进行故障恢复。



智能电网承诺会更加自动化、更加准确地发现并排除故障。因此，“智能”故障恢复将会更快、更高效，成本更低（见图6）。

# 功能领先实践5

积极与其他业界同行共享信息，树立基准，深入洞察卓越绩效的特性。

在许多行业中，通过分析得到的数据使企业能够与业界同行分享和比较绩效，为它们提供可行的洞察，帮助它们改善绩效。例如，在能源行业中，跨国石油巨头通过覆盖整个行业范围的数据库定期分享勘探活动的相关信息。该数据库为单一表格，内含全球油井运营的全面信息。

为了获得信息共享的能力，并获得绩效基准，公用事业公司必须权衡考虑保护客户隐私，既要使客户保持匿名状态，遵守本地和跨司法权的其他地区的数据隐私政策，也要提供足够的信息来支持关键分析活动，让分享信息的参与方都增加价值。为了实现适当的平衡，公用事业企业需要能够提取“匿名”客户数据作为模型和总结。

同时，当数据受到移动性限制时，可以在公用事业企业环境中执行本地优化和分析服务。

## 行业中的数据共享：当前状况与未来发展

国家和地方政府为鼓励智能电网利益相关者的信息共享，在政策和资金方面提供了相当大的支持。2009年，美国能源部（DOE）选择了20项指标来评估智能电网行业的现状。<sup>1</sup>“实时系统运营数据共享”是其中一项指标，凸显了其对实施和运营高效智能电网的重要性。

某些数据已经在公用事业行业中实现了共享，例如GIS Shape（形状）文件和气象信息。先进计量基础设施（AMI）/智能电网使许多额外的数据类型的展示成为可能，包括资产、客户人口统计信息、客户消费、需求侧管理计划中的客户行为以及故障信息。这些新数据的大部分不会被所有公用事业企业收集。但是为了在全国和全球范围内实现最佳效果，了解智能电网的全面运营和影响还是非常有价值的。

在这一背景中，共享的服务模型可以经济高效地为公用事业企业排除一些需求侧管理分析障碍，而且风险较低。使用上述方法提取和共享“匿名”客户数据用作模型和总结，可以透明并成功地解决数据管理和隐私问题。

<sup>1</sup> “智能电网系统报告”，美国能源部，2009年7月。 [www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/SGSRMain\\_090707\\_lowres.pdf](http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/SGSRMain_090707_lowres.pdf)。

## 数据共享活动的示例

### 美国西部电力协调委员会

这个项目的目标是支持“智能电网投资拨款融资机会公告（Smart Grid Investment Grant Funding Opportunity Announcement）”的目标，旨在加速全国电力输电和供应系统的现代化，促进对智能电网技术的投资，提高智能电网的灵活性、功能、互操作性、网络安全性、环境感知和运营效率。美国西部电网同步相量计划（WISP）的主要目标是：避

免大规模停电事故；提高输电效率；提高间歇性可再生能源发电效率；降低支持间歇性可再生能源发电的生产成本。

WISP的次要目标包括：改善环境感知；更快、更高效地进行同步相量数据访问；改善同步相量数据的质量；改善关键同步相量测量的覆盖范围；加速部署关键的同步相量测量基础设施；实现同步相量信息的地区性共享；建设更稳固的同步相量数据采集基础设施；改善实时和事后分析能力；改善对智能电网的资本投资决策；创造即时和长期的工作岗位。

来源：拨款汇总（Grants – Award Summary），[Recovery.gov](http://Recovery.gov)，[www.recovery.gov/Transparency/RecipientReported-Data/pages/RecipientProjectSummary508.aspx?AwardIdSur=105322&AwardType=Grants](http://www.recovery.gov/Transparency/RecipientReported-Data/pages/RecipientProjectSummary508.aspx?AwardIdSur=105322&AwardType=Grants)。

### 国家空间数据基础设施（NSDI）框架

这个项目得到了联邦地理数据委员会（FGDC）的资助，创造了收集基础地理数据的广泛渠道。该框架概括了三个重要方面：

- 数据——回答的问题包括：什么是数据？数据格式有哪些？数据的来源有哪些？数据何时更新？什么是元数据？
- 构建和使用数据的程序和技术
- 支持这一环境的制度关系和商业实践

来源：NSDI框架，美国联邦地理数据委员会，[www.fgdc.gov/framework](http://www.fgdc.gov/framework)。

# 技术领先实践1

根据流程和业务能力本身需要支持的延迟分析需求采用合适的分析和架构方法。

分析需要满足特殊流程的延迟要求。有些复杂的分析需要很长的处理时间，然而某些业务流程要求快速的周转时间。测定执行特殊流程需要多快的信息，将决定处理和交付信息的方式。

适时提供适当分析的架构有多种不同的类型——从单枚处理器到昂贵的分布式平台，这取决于分析技术（精度）和计算复杂程度（速度）之间的折中。考虑到各种属性方面的需求，例如数据流处理/复杂事件处理（CEP）、数据存取、数据量以及数据结构（从关系型数据表或数据文件的查询）等等，这些解决方案必须经过具体问题具体分析评估。

## 反映流程延迟要求的分析

图7举例证明的方法，突出显示了延迟范围极端的两个流程：故障隔离和向客户直接发送邮件的邮件营销。紫色链接指示有关故障隔离的分析，红色链接指示有关直接邮件营销的分析。从分析层面来说，有效的故障隔离要求在几毫秒内完成从起始到结束的全部分析过程。

一般说来，事件响应的延迟等于数据延迟加上确定响应所需要进行的分析延迟。图8说明了图7所概述的两个流程（故障隔离和基于用户细分的直接邮件营销）分别对应的这个等式。

## 追求适当的平衡：抗拒过度建设的诱惑

在延迟和分析精度之间实现适当的平衡至关重要，必须抗拒过度建设分布式分析环境的诱惑，因为它们的成本过于高昂。公用事业企业需要确定它们达到适当的平衡，避免过度投资于为所需的流程过度设计的系统架构。

如果对某个单一流程采用多种分析方法都产生相似的洞察，那么需要考虑延迟和分析精度的最佳平衡来决定采用哪种分析方法。例如，分布式电网必须有能力在亚秒间隔内反应和“自愈”，以确保故障或停电事故不会扩大影响到更多客户。在这种情况下，加快周转时间的一个方法是将分析结果转换成数据，而不是相反。

还必须考虑到优化算法和分析之间在开发和执行处理时间上的差异。优化算法需要较短的开发时间，但是分析的枚举性导致其执行时间较长。

## 示例：营销分析和“倾向性分数”

客户从公寓搬到同一服务区内的独立住所，并要求客户服务部门通知公用事业公司。由于搬家，客户的人口统计信息有所变化，因此可能拥有不同的“注册倾向性”，即他或她将加入特定

能源管理计划的可能性。这种可能性可以通过“倾向性分数”来评价。

然而现在客户有可能会提供一个或多个随意选择的需求侧管理计划，增加分析将使未来的公用事业企业准确找出适合客户新环境的计划。

## 倾向性分数的驱动力

为了通过倾向性分数驱动市场营销流程和系统，必须确保从确定客户呼叫原因时起15秒内对每个潜在报价提供倾向性分数。这个15秒的时间段是“流程延迟要求”。凭借倾向性分数，客户服务代表将能够根据客户的最高倾向性为其提供最具吸引力的方案。不同算法——提供不同等级的数据特征精度——将支持客户细分的派生。取决于算法和数据量，开发阶段的执行花费了几分钟，而执行模型返回倾向性分数需要几秒钟。

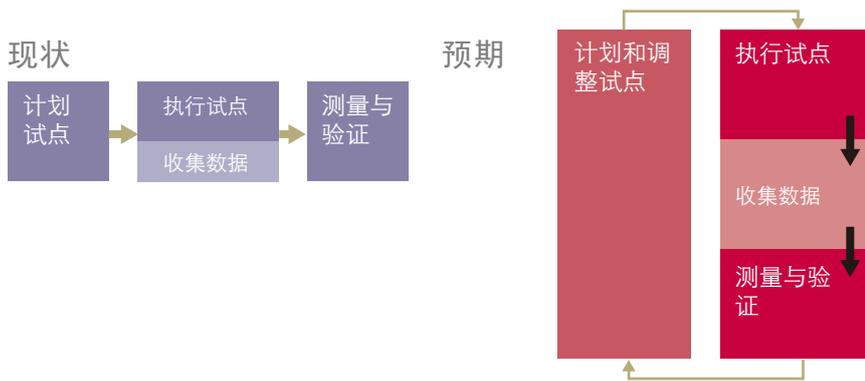
一旦细分派生完成，对注册做出“是”响应的细分客户部分中的每个客户的简单平均将为每个细分客户部分生成一个倾向性分数。由于该客户拥有新的人口统计信息，他/她将需要被重分配给某个部分（倾向性分数已经确定）。此计算在执行阶段进行，需要的处理时间为亚秒级。



# 技术领先实践2

大规模利用您对客户和网络行为的了解，优化实时流程。

图9. 现状 (As-is) 与预期需求侧管理试点 (pilot) 流程比较。



离线分析和高延迟洞察力已经无法满足公用事业企业的所有分析需求。为了达到期望的可靠性、效率和环境影响，公用事业企业必须能够优化电网配置，满足短期需求条件，包括运营需求侧管理计划。

高效、长期的规划要求公用事业企业对客户行为及其对电网运营的负载影响有深入的了解。然而到目前为止，对电网运营细节缺乏了解，阻碍了公共事业企业对其电网配置进行短期优化，同时电网的有限控制能力也影响了这些企业为改善细节洞察力所付出的努力。

智能电网的部署也受到这些限制条件的影响。在智能电网中创建新应用程序，要求对大规模智能电网有更全面深入的了解。它还要求比以往更快地获得这种了解并采取相应的措施。

## 通过持续试点 (pilot) 优化需求侧管理系统

图9说明了在智能电网环境中开发和应用这种了解的方法。目前，需求侧管理试点计划希望按照线性结构，通过执行试点和数据收集，完成从规划到测量和验证 (M&V) 的过程。然而，智能电网通过执行一个循环过程实现持续改进——从试点规划和调整，到执行、数据收集和M&V，再反馈回到新的规划和调整。

随着时间推移，这种方法将提供最佳的中试结果。新的中试方法的各个阶段将包括以下操作：

计划和调整试点。公用事业企业将：

- 通过随机选择统计意义上的大量客户并将其分配到子群（称为“处理单元”），确定影响客户消费的因素。每个处理单元都有唯一的定价方案和支持技术组合（例如，一种家用显示器的计时收费方案和门户网站）。处理单元以这种方式增加，直到在每个单元中产生了代表整个客户人口的样本（主要在人口统计方面）。通过这种方式，公用事业企业可以总结对于每类客户最有效的定价方案和支持技术组合。

- 用公式明确假设；例如，居住在公寓中的单个居民最容易接受使用智能电表和基本的家用电器实现的计时收费方案。

**执行试点：**

- 试点计划首先将客户注册提供给预先分配的处理单元（可选择退出试点）。必须谨慎处理，确保在选择退出后处理单元仍然反映有代表性的人口。
- 对参与者进行调查，收集其人口统计信息。稍后，公用事业企业开始收到调查反馈。

**M&V：在此阶段，公共事业企业可以执行以下评估：**

- 流程评估：试点是否正在按照计划进行？首次运行是否使用了预期的时间量？如果不是，那么确定瓶颈在哪里，并纠正偏差，使试点过程重新与时间表保持一致。

- 定性数据的统计分析：客户选择退出某项计划的数量是否比其他计划更多？如果是，公用事业企业应考虑是否应取消这个处理单元，将客户尽快重新分配给新处理单元，以产生最大的洞察力。如果直到试点结束仍没有对结果进行分析（分析没有开始），那么就不可能建立适应能力，公用事业企业可能会错失它们期望获得的洞察力。

在整个周期中，公用事业企业不是等待获得完整的数据集合再开始分析，而应关注对早期分析的反应，并据此开始改造相关流程。

**示例：测量与验证 (M&V)**

在公用事业企业对分布式系统管理试点计划中的客户行为有实际了解之前，不能大规模部署

分布式系统试点计划或用作发电容量。对分布式系统管理试点结果的M&V研究通常是作为事后分析进行，根据经验描述在试点期间“发生了什么事情”。相比之下，了解试点中的客户行为（虽然该试点仍在进行）可以支持公用事业企业增强洞察能力，从试点中获得更出色的结果。

这更加有价值，因为除了经济分析向监管机构证明试点结果之外，公用事业企业还必须能够预测在执行试点过程中客户对价格和直接负荷控制信号的反应。

这些运营模型支持运营流程的更短的延迟要求，从而支持分布式系统管理计划的管理，最终帮助公用事业企业满足监管机构要求（见图10）。

图10. M&V研究帮助满足运营和能源政策的要求。



注：DSM——分布式系统管理

# 技术领先实践3

设计技术架构和基础设施，满足大规模分析开发和执行的独特需求。

有些分析需要在开发阶段进行大量处理，例如，使用可以随着工作进程扩展的小数据集。客户细分生成是这些分析中的一种。在另一些情况下，分析在执行阶段需要进行大量处理，例如地理空间分析。

分析开发是在试验的基础上进行的，往往使用采样的静态数据集。一次性的特殊提取足以支持学习数据、设计分析方法，最终培训和部署计算和模型。分析开发所使用的系统环境可对其数据后台系统施加极限工作负载。因此，它们往往与专用的、有时是专用的存储解决方案相集成。

通常，传统的分析系统通过定制的点解决方案与分析执行环境相集成。这意味着分析洞察力往往有效地隐藏在单点解决方案系统的数据后台，使得洞察力很难与其他系统集成和共享，在整个企业范围内实现价值。

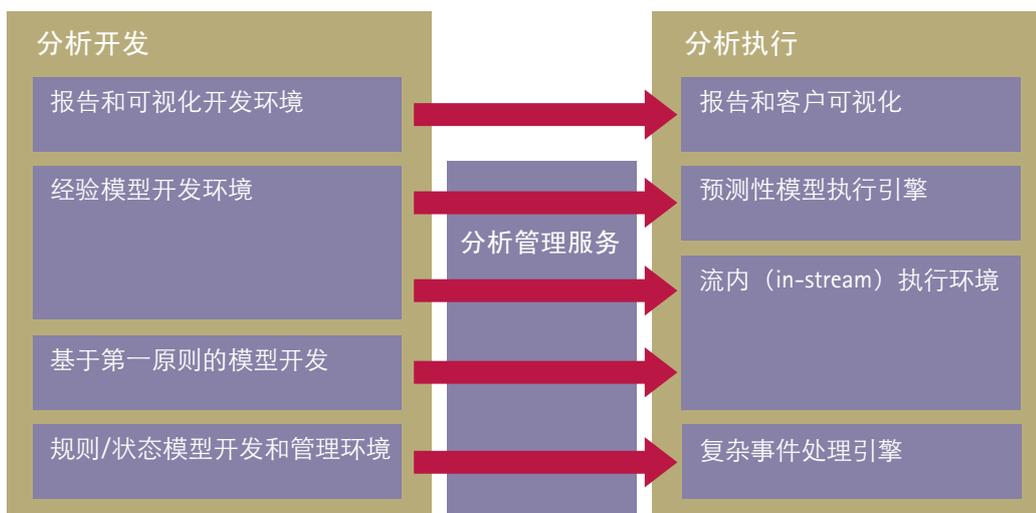
因为智能电网分析往往涉及低延迟要求，同时又要处理高带宽数据流，公用事业企业需要确定它们的开发方法和开发环境适合相应的执行环境——在尽量降低基础设施投资的同时满足延迟要求。

## 不同的建模方法

因此，对于不同的执行架构，采用不同类型的建模方法可能是最适合的。选项可能受到厂商支持的标准以及执行环境所支持的模型的可移植性和集成方法的限制。

例如，神经网络——根据经验进行预测的建模算法——可以在常用的统计环境中进行开发，例如SAS、SPSS和R。这些平台已经捆绑了多个预测性模型执行环境，支持不同的集成选项，以及不同程度的模型可移植性。分析开发与执行（通过分析管理服务进行交互）中的各种元素以及之间的关系在图11中显示。

图11. 分析开发、管理和执行。



# 技术领先实践4

设计分析系统，通过它捕捉结果并将此信息反馈到模型开发流程，完成持续改进分析的循环过程。

四个流程组成分析循环（见图12）。针对公用事业企业价值链中不同类型的数据，分析循环有很多实例，但我们这里将以客户数据为例进行重点讨论。

- 得到数据：从电网资产中量测的客户数据经过网络传输及预处理之后与其他数据源中获取的数据（例如气象数据和调查响应）一起集中存储。
- 分析和预测：开发和执行分析策略，从数据中得到洞察力，常用分析包括统计和确定性分析模型、数值分析、频域分析和预测性分析。

• 优化流程：对电网资产运行状况和客户行为之间相互影响的洞察，使公用事业企业能够制定睿智的决策，并能够通过调整相关业务流程来进行优化。

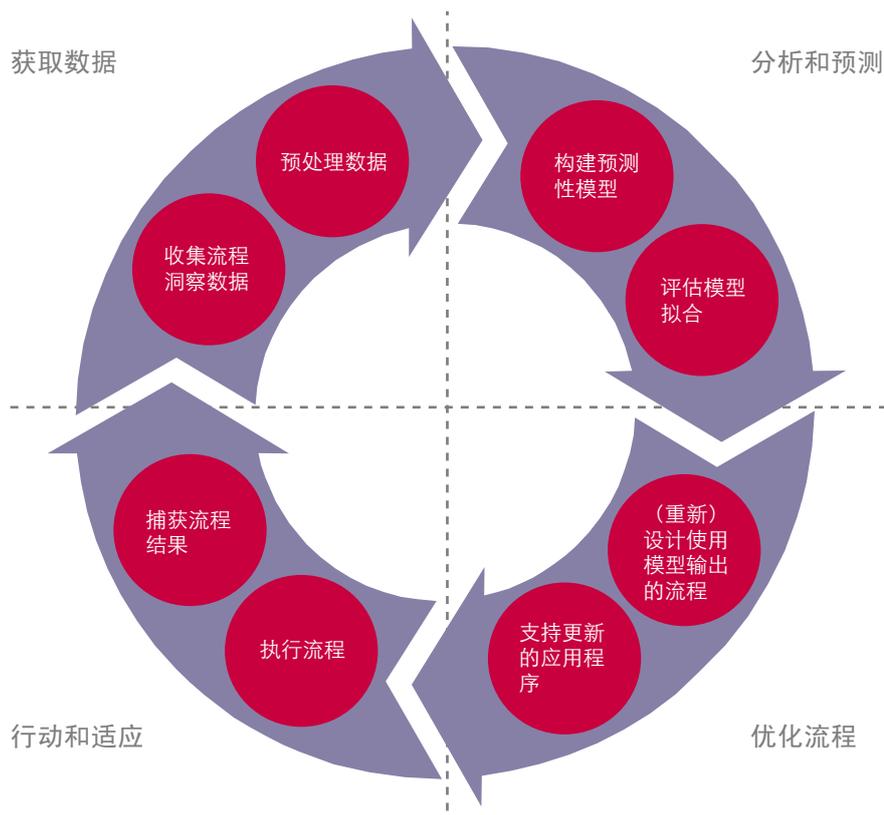
- 行动和适应：维护顺畅的流程并（重新）定义那些给电网资产、客户或电网运营商带来不必要的压力的流程。确定按照循环持续运营，不断优化分析。

必须要指出的是，随着记录数量的增加，统计分析模型的精度也会增加——这种“第一原

则”模型可能过分简化实际情况，需要加入其他变量来捕获某种现象。

通过对模型开发流程提供循环反馈，公用事业企业可以更精确地查看建模的现象，并进行必要的调整以解决特殊问题。更广泛地说，公用事业企业可以反复开发包含统计模型的分析，以持续改善绩效。

图12. “分析循环”。



## 示例：市场营销分析

公用事业企业的客户服务部门需要选择一小组智能计量客户，向其推销节能计划。目的是尽量减少受影响客户的数量，同时实现规定水平的负载切断。因此，为了降低营销成本，营销活动只针对有可能注册的客户进行，并且记住客户对公用事业企业进行频繁接触的反应。

需要考虑的因素有许多。注册的客户很有可能具有普通的特征——例如一对居住在独立房屋中，使用天然气进行供暖的老夫妇。公用事业企业能够通过调查和/或利用其客户关系管理系统提供的统计数据，经过分析得出这部分客户细分群体。公用事业企业随后可以通过计算该细分群体中的平均注册次数，来确定每个细分群体的成员注册倾向性。最初的细分模型可能只指示细分群体之间的最小差异：可能将所有不同规模的家庭分配到“节俭”细分群体，同时将包含所有取暖类型（燃气、丙烷、电力）的客户分配到“绿色”细分群体。但是当人口统计和/或注册数据越来越多时，该模型将提供更多的细分群体差异，因此倾向性精度也越来越高。

考虑到这些因素，有一种方法可以确保将该数据反馈给模型，从而持续改善对客户了解，提高绩效。从这个意义上来说，反馈意味着使用较大的数据集重新运行细分群体模型，重新计算细分群体注册倾向性分数。

### 获取数据

- 从公用事业企业计费系统、调查结果和外部提供的任何数据中提取、转换和加载（ETL）客户数据。
- 处理数据，保持统一格式并存储。

### 分析和预测

- 定义每个计划的特征和前提条件（例如，针对使用电动车的具有环保意识的客户定制）。
- 为客户分配分数，表明其注册参加每个计划的可能性，并提供客户获得高分的每个计划的注册。
- 将任何新的客户数据加入数据池（例如对注册提议的响应，对其人口统计信息的更新）。
- 验证期望其参与的客户。错误数据有可能导致误导性的结果。

### 优化流程

- 进行分析来确定主要注册指标（例如家庭规模、采暖类型）。
- 确定响应的可变性（例如季节性）。
- 加入气象变量，以便将季节性纳入分析模型的考虑范围，捕获其对行为的影响。

### 行动和适应

- 在规划和提供注册时应考虑到一年中的不同时间因素。

通过将连续客户交互结果不断加入模型中，公用事业企业可以确保它们所策划的营销活动能够满足客户不断变化的需求，并提供持续的绩效改善。

# 技术领先实践5

采用整体数据管理策略（包括数据质量工具、数据管理流程和应用程序），提供准确一致和容易理解的信息，满足分析系统的要求。

数据质量是指数据满足组织规定的业务、系统和技术要求的能力。数据质量问题可能会导致数据无法满足这些要求。问题可以分成以下一种或多种类别：

- 精度
- 完备性 (Completeness)
- 规范性 (Conformity)
- 一致性 (Consistency)
- 冗余
- 完整性 (Integrity)

任何这些类别的数据质量缺陷都可能导致问题，当数据从一个系统传输到另一个系统时特别容易发生这种风险。多个系统的集成（支持智能电网运营所必不可少的）和新应用程序要求所有数据的质量都要满足高标准。

达到并保持这些标准是一项挑战，因为将数据与新流程的集成必然会暴露数据质量问题。智能电网实施往往整合来自地理信息系统 (GIS)、监控与数据采集系统 (SCADA) 和停电管理系统 (OMS) 的数据——这些数据以

前是隔离的，只能单独在不同系统中使用。虽然数据质量通常足以满足这些系统的需求，但是当新系统与现有系统进行整合并尝试在新应用程序中使用数据时一般会出现质量问题。

## 实施数据质量战略和计划

为了达到要求的高水平和始终一致的数据质量标准，以便支持有效的智能电网分析，公用事业企业应实施数据质量战略。这有助于解决企业内部的数据质量问题，实现持续的改进，使所有流程、能力和应用程序都从中受益。图13中列出了通过实施有效的数据管理战略和计划所获得的结果。

如图14所示，数据质量计划中包含七个重要特性。每个特性都在管理主数据和推动数据质量不断改进方面具有关键作用。为了使数据保持更高的质量和一致性，公用事业企业应使用开放应用程序编程接口 (API)，并利用在企业服务总线 (ESB) 和面向服务的架构 (SOA) 方面的现有实力，对所有系统进行整合。

图13. 通过执行数据质量战略所获得的结果。

将主数据精确地转换和移植到新应用程序足迹中。

将新的主数据输入到系统之前对其进行实时验证。

使用主数据质量指标测量不断出现的数据的质量。

使用有效的补救流程来处理数据质量问题。

最终用户对数据非常信赖，因为它可以生成精确的业务信息，使他们能够制定更出色的决策。

数据质量计划有助于生成准确的商业智能报表。

## 示例：变压器到计量仪表分析

配电变压器与相应计量表计之间正确的映射关系是一个关键的一对多层次连接，它支持关键分析创造高业务价值。

由一台配电变压器供电的计量表计数量由变压器的技术规范 and 计量表计所服务的住宅负载决定。数据应反映这种物理关系。然而通过对北美公用事业企业数据的调查，埃森哲发现按照公用事业企业GIS数据库的数据调研结果（见图15），与一台变压器关联的计量表计数量相差极大。GIS数据显示，有些变压器携带100多块部计量表计，这在实际上是不可能的。

这意味着在这种关系中存在着明显的**数据质量问题**——我们已经与处理类似数据的合作伙伴证实了这一假设。这些数据质量问题影响的关键功能将包括：

- 收入保护：无法精确地识别窃电。
- 预测性维护：无法精确地捕获历史负载变化和容量利用效率。
- 停电确认：无法精确地确定哪些客户与被认定为停电源的设备相连接。
- 故障分析：在对设备运行状况进行分析时，遗漏了重要的输入数据，无法构建故障分类模型。

图14. 数据质量战略的七个特性。

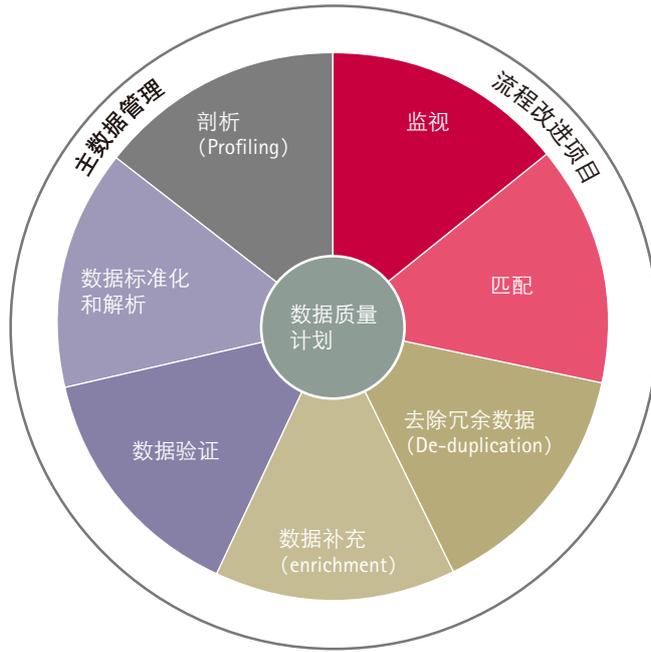
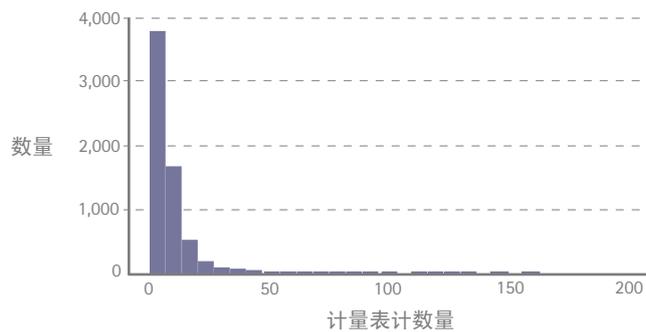
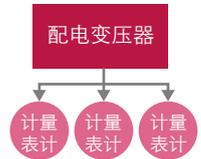


图15. 变压器与计量表计的数量对比。



某些变压器携带100多部计量表计——在实际上是不可能的。



# 结论

## 智能电网分析——实现卓越绩效的关键因素

如前所述，高水平的数据分析能力对于公用事业企业实现预定的——也许是以前未曾预料到的——智能电网投资回报至关重要。

我们迄今积累的经验显示，公用事业企业有关智能电网的分析需求将首先集中在两个重要领域。一个领域是了解客户对特定负荷事件的反应行为。另一个是了解电力系统对分布式发电、分布式储存和极端天气的反应行为，以及利用智能电网提供的增强可视性构建“自愈”电网。随着时间的推移，分析应用程序将从这些领域扩展到整个公用事业价值链。

在制定其智能电网部署战略时，公用事业企业应借鉴其他行业进行大规模部署和使用分析的成功经验，避免重蹈覆辙。要想真正发挥作用，它们必须将这些经验和对公用事业运营模式的特定洞察结合起来。埃森哲曾帮助金融服务和电信等行业完成许多先进分析项目，因而具有得天独厚的优势，能够将亲身累积的跨行业分析经验、对公用事业行业的洞察以及实施智能电网规划和部署项目的成功记录完美结合。

这种深入洞悉与丰富经验的独特结合使我们能够定义和审查在本文中重点论述的十大领先实践。我们认为，公用事业企业如果能够将这些实践融入其智能电网的规划、部署和运营之中，将可屹立在业界发展的最前沿，成为现在正在形成的智能电网世界中的卓越绩效企业。



# 利用领先实践实现卓越 智能电网测试

公用事业如何应对智能电网部署中的测试挑战



# 序

## 新技术，新的测试要求

智能电网实施计划对公用事业企业来说不仅仅意味着一次技术变革。事实上，智能电网的作用在于推动公用事业企业实现根本的端到端转型，包括数据生成、信息传输、决策制定、流程执行和客户交互等。

对业务影响较大的测试领域同样受到了影响。智能电网计划中庞大的绝对组件数量和繁杂的种类对传统测试方法提出了严峻挑战，公用事业企业需要应用创新思维以避免在深入部署智能电网时碰到更复杂、代价更高的障碍。

## 要素和组件

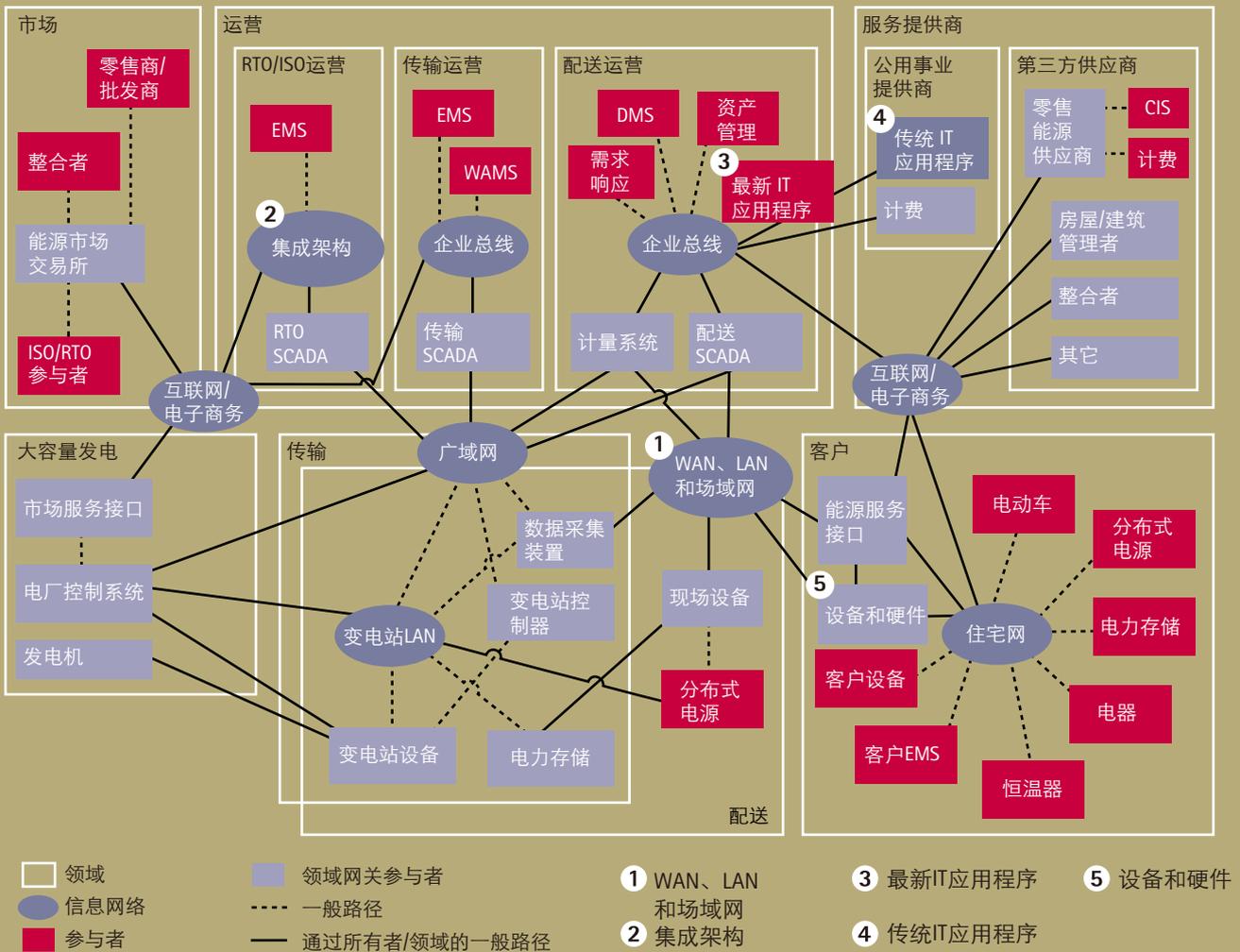
鉴于此，智能电网实施计划的关键成功因素包括：单独测试基础要素/智能电网组件，在端到端业务流程环境下综合测试这些要素和组件，以及高效并协调执行上述测试，从而为实现智能电网投资预期回报和收益奠定良好基础。

美国国家标准技术研究院（NIST）列出了五个关键的基础要素/智能电网组件（如图1所示），分别为：

1. 广域网（WAN）、局域网（LAN）和场域网
2. 集成架构
3. 最新IT应用程序
4. 传统IT应用程序
5. 设备和硬件

下面我们将详细分析这些要素和组件，着重阐述在实施智能电网过程中每个要素和组件引发的挑战以及测试需要考虑的关键因素。

**图1.**  
基础要素/智能电网组件



来源: NIST 智能电网互操作标准框架及路线图, 版本1.0。美国商务部国家标准技术研究所, 2010年1月。  
www.nist.gov/public\_affairs/releases/upload/smartgrid\_interoperability\_final.pdf.

# 基础要素/智能电网组件

1. 广域网 (WAN)、局域网 (LAN) 和场域网
2. 集成架构
3. 最新IT应用程序
4. 传统IT应用程序
5. 设备和硬件

## WAN、LAN和场域网

### 挑战

如何在总体解决方案中集成现有基础设施和配置是智能电网实施计划面临的WAN、LAN和场域网的相关测试挑战。许多情况下，支持智能电网的高效运行需要对现有基础设施进行部分重组或替换。事实上，使用不同通信协议联网的传统IT系统和现场设备会进一步加大挑战。

### 测试需要考虑的关键因素

安全性和时延性是智能电网WAN、LAN和场域网测试最重要的两个考虑因素。

确保网络安全的关键在于分析和评估现有基础设施支持的安全效力，分析与目标安全标准的差异，在需要的地方重新配置安全功能，并重新测试智能电网的安全性。始终需要重点考虑的是，虚拟LAN是实施真正安全的智能电网的关键组件。

就网络时延而言，公用事业必须全面测试时延，以最大程度降低时延对业务流程的影响，尤其支持和处理智能电网设备和应用程序之间交易的业务流程。

除了安全性和时延性，稳健性和连通性是另外两个重要的考虑因素。硬件、软件、基础设施管理、传输介质和物理位置等各类组件都会影响总体稳健性。实施计划必须包括重点针对以上组件进行的冗余测试、可用性和灾难恢复功能测试。同样，网络中所有关键点都需要进行稳健性和弹性测试，以确保稳固连接。

时间同步/传播也是必需的一项全面测试。WAN/LAN/场域网必须支持共有时间参考传播，实现毫秒级设备同步，例如故障指示器。智能电网需要充足的带宽，以便在WAN关键战略点之间传输兆字节的数据。数据优先顺序测试（服务质量或QoS）非常重要，目的在于确保关键事件数据（例如仪表故障）在网络传输时的优先级高于非紧急数据（例如仪表低电量报警）。

## 集成架构

### 挑战

智能电网环境中测试集成架构的最大挑战是整合不同平台的已有和全新应用程序。

### 测试需考虑的关键因素

安全性是集成架构测试的一个关键考虑因素。为了有效地测试安全性，所有数据元素、数据表、消息模式、企业服务总线（ESB）传输层都必须独立分割，并执行严格的追踪和数据记录测试。

面向服务架构（SOA）是另一个需要重点考虑的内容，即测试应用程序之间的服务和接口。作为接口测试的一部分，智能电网计划应使用端到端的方法验证转换、路由和数据流。

结合以上考虑因素，业务流程管理（BPM）需要被测试，以确保现有业务流程功能不会在无意中丢失。例如，仪表自动读取可能会对计费系统的计费周期产生影响，因此需要测试、量化此类影响并加以管理。

公共信息模型（CIM）测试需关注智能电网计划中系统最小数据的定义和属性。这种方法使用CIM验证系统流出数据以及对流入数据的适当处理。

## 全新IT应用程序

### 挑战

新系统带来的主要挑战在于许多新应用程序尚不成熟，中长期稳定性不足。新功能不断添加，每个应用程序在端到端流程中的作用仍不确定。每一个新版本都需要进行大量的回归测试，进而产生持续性日常支出。

许多情况下，由于没有现成的数据，测试新系统的性能需要创建数据。例如，为了测试主电源故障，系统需要100,000个仪表的“最近计量”信号。智能电网需要深入掌握最新应用程序的资源，因此新系统测试还会面临培训和技能方面的挑战。为了支持实施有效的测试，新应用程序提供商对现有资源进行培训十分必要。

### 测试需要考虑的关键因素

显然，关于新应用程序的首要考虑因素是它们能否胜任，这意味着应用程序功能以及受到定制影响的代码功能必须加以验证。因此，新应用程序需进行性能测试，以验证应用程序能否满足目标集成标准和性能要求。

新系统还必须进行错误处理测试，以验证系统处理日常差错和异常的能力，包括错误记录和根据服务协议进行分级。应用程序安全性测试包括验证和确保应用程序符合安全标准规定。

## 传统IT应用程序

### 挑战

如果当地的隐私法规不允许在未去除个人身份信息的情况下重复使用生产数据，数据构建将是传统系统性能测试面临的一大挑战。传统应用程序通常只有用户才会熟练掌握，进一步加大了测试难度。因此，用户参与是确保传统应用程序测试真正高效的一个必要条件。

### 测试需要考虑的关键因素

有效测试和验证传统应用程序的错误处理能力非常关键，包括错误记录和根据服务协议进行分级。另外，将传统应用程序集成到智能电网计划中需要包括其它应用程序功能，因此必须对附加功能加以测试，并且对现有功能进行验证。为确保系统满足集成性能要求，必须对传统应用程序进行性能测试。

## 设备和硬件

### 挑战

在现场的任意时间点，智能电网网络中都同时存在多类系统设备和设备固件版本。IT应用程序需要处理所有来自这些不同型号和版本设备的数据。此外，在部署之前必须完成所有设备固件版本的测试。

### 测试需要考虑的关键因素

连通性是一个需要重点考虑的因素，网络中所有的关键点都应进行稳健性和弹性测试。而且，设备的应用程序接口需要进行向后兼容性测试。升级设备固件时，测试步骤应遵从供应商推荐的更新流程。

# 关键测试领域和挑战

智能电网是广泛系统、硬件及内部和外部网络的组合，因此必须确保每个测试阶段和领域具有充分的覆盖范围。

关键测试领域和挑战：

- 单个应用程序功能测试
- 物理硬件和网络测试
- 安全测试
- 性能测试
- 自动测试
- 回归测试
- 端到端测试

## 单个应用程序功能测试

应用程序测试阶段旨在确保应用程序符合功能要求，验证每个应用程序的功能性、安全性、性能及与智能电网中其它应用程序集成的能力。

### 挑战

新的智能电网应用程序，例如先进直连结构（ADCS）和仪表数据管理系统（MDMS），仍在不断发展，每个新版本都会带来一次大的变革。持续的变化大幅增加了应用程序测试的重复工作量。

如前所述，传统应用程序通常只被其用户所熟知，意味着测试传统应用程序的资源有限，吸收用户参与可能会引发测试计划问题。新的系统和程序缺乏实际使用经验和真实生产数据，因此为执行单个应用程序的性能测试构建数据将成为极大的挑战。

新系统通常自带应用程序，并针对特定客户需求进行了调整，因此测试流程存在破坏相关应用程序功能的固有风险。智能电网的实施还需要多个环境，以适应多样性的系统、应用程序、设备和固件。

## 物理硬件和网络测试

物理硬件测试验证不同类型设备的功能。例如，实施智能电网计划应针对每一类型的仪表执行测试，而不是统一仪表类型。除了各类标准测试，网络测试还包括渗透测试和验证实时负载处理能力、安全性及应用程序与网络的时间同步。

### 挑战

网络带宽和时延测试需要在实时负载条件下执行，但测试环境下很难复制这样的负载条件。因此，测试需要确保环境可用而且能够连接适当的应用程序环

境。仪表和户内装置等设备对嵌入式固件的依赖性极高，而固件之间差异较大并且会定期更新，因此固件也需要进行测试。

## 安全测试

安全测试用于验证网络数据传输保护状况以及数据使用是否符合预期。智能电网计划所有组件都必须进行安全测试，包括新系统、传统系统、接口、网络和仪表等硬件。

### 挑战

公用事业收集的客户数据在广度和深度方面均出现了大幅提升，因此测试并确保信息存储、传输和使用的安全性变得十分迫切。对外设备和硬件组件易受攻击和非法存取威胁，因此需要执行渗透和缺陷测试，以确定潜在威胁并在必要时建立风险减缓控制。