

智能电网

天津大学 余贻鑫

2008. 10. 31

在2006年22届年会和去年的广州会议上讲过“面向21世纪的城市自愈电网（USHG）”。

经常有人问：

自愈电网与智能电网是一回事吗？

它与目前电网的主要区别是什么？

智能电网涵盖输电网吗？

实现智能电网从何开始？

其中考虑防灾啦吗？

提纲：

- 将来的智能电网和目前电网功能上的区别？
- 智能电网的主要技术组成？
- 实现智能电网顺序？
- 自愈与防灾的关系？

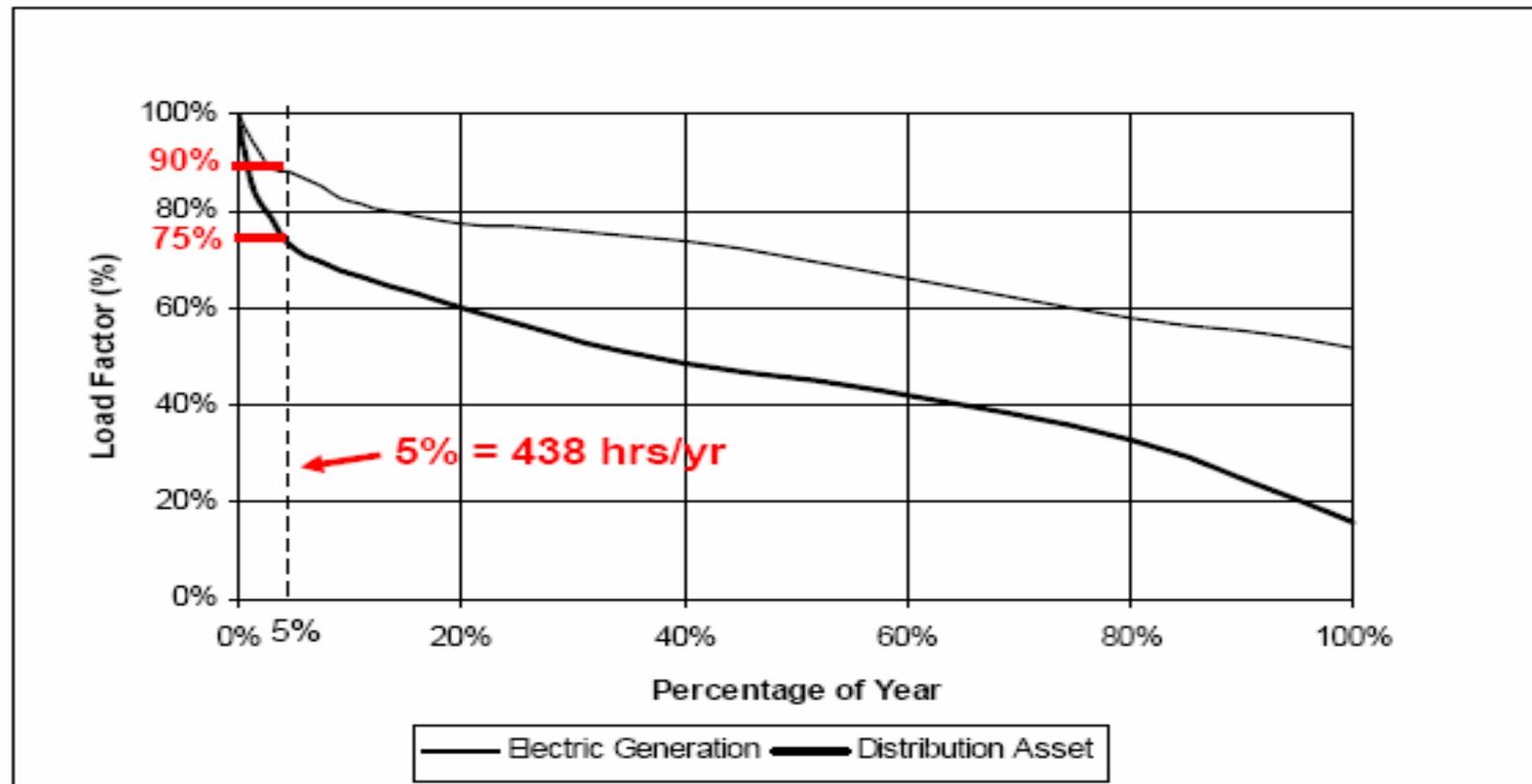
I. 将来的智能电网和 目前电网功能的比较

现代电网研究的目标：

1. 实现（以抵御事故扰动为目的）安全稳定运行，降低大规模停运的风险；
2. 使分布式电源得到有效的利用；
3. 提高电网资产的利用率；
4. 提高用户用电的效率和电能质量。

现实电网的利用系数很低（据美国统计，约55%）需要电力公司与用户友好合作，达到双赢。

一年内只有少数时间资产被完全使用



对配电网各种约束日益提高（提高可靠性、提高电能质量、节能降损和环保）。

- **美国对未来 20 -30 年对电网可靠性的预测**

可靠性

比例

- **Reliability of 9 nine** **0.6 % 增加到 10 % ;**
- **Reliability of 6 nine** **8- 10 %增加到 60 %**

为了解决这些问题，国际上形成了一些大型科研群体,开展面向21世纪电网的研究

常见名词:

IntelliGrid

SHG

Smart Grid

Modern Grid

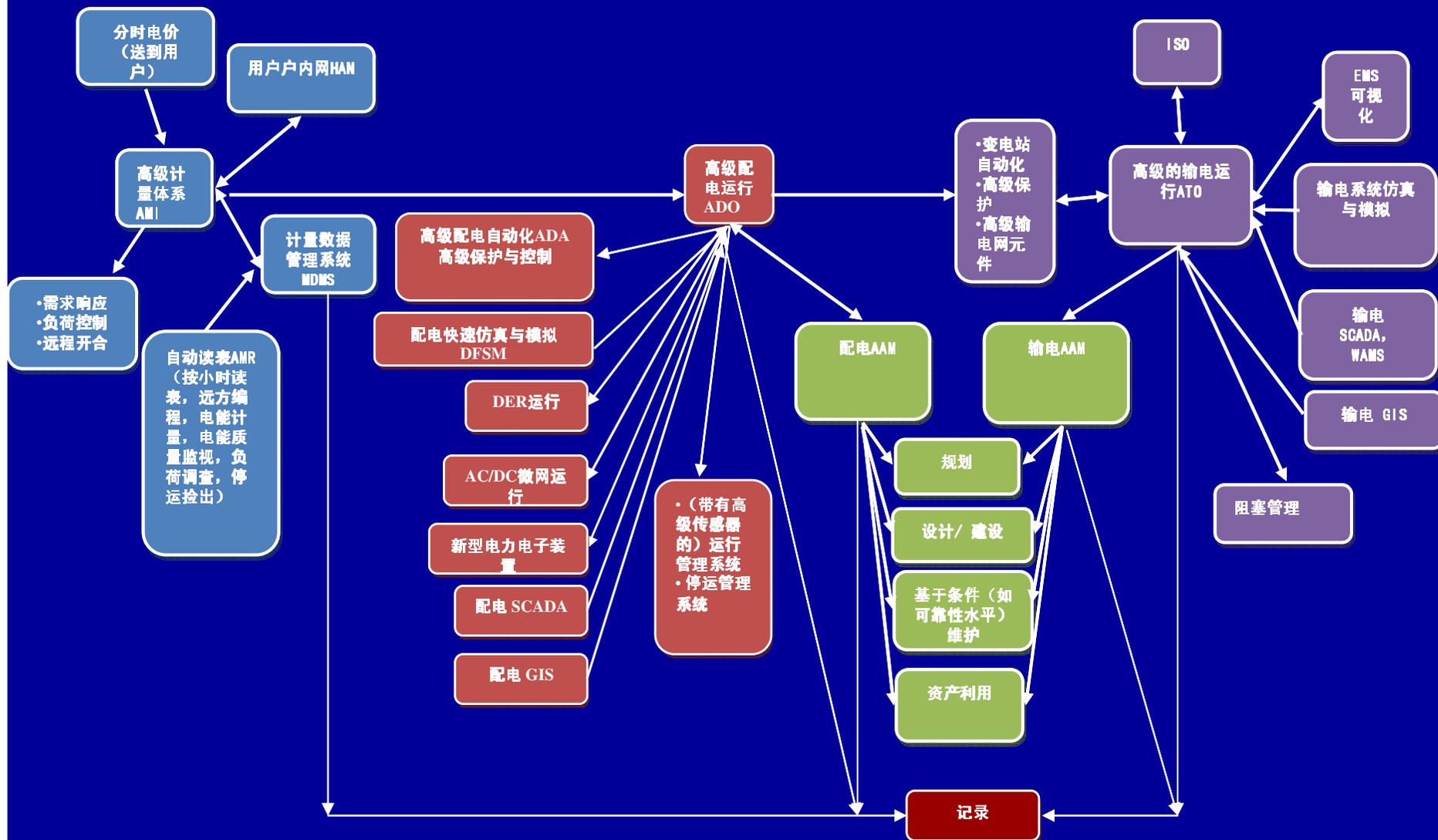
- SHG主要是对配网而言
- 由于Smart不好译，中文大家多用“智能电网”一词

将来的智能电网和目前电网功能的比较

特征	目前	将来
激励/包括电力用户	电价不透明，缺少实时定价，选择很少	充分的电价信息，实时定价，有许多方案和电价可供选择
提供发电/储能	集中的发电占优，少量DG，DR，储能或可再生能源	大量“即插即用”的分布式电源辅助集中发电
使市场化成为可能	有限的趸售市场，未很好的集成	成熟、健壮、很好集成的趸售市场
满足电能质量需要	关注停运，不关心电能质量	电能质量需保证，有各种各样的质量/价格方案可供选择

特征	目前	将来
优化	很少计及资产管理	电网的智能化同资产管理软件深度集成
自愈	扰动发生时保护资产（保护跳闸）	防止断电，减少影响
抵御攻击	对恐怖袭击和自然灾害脆弱	具有快速恢复能力

II. 智能电网的技术组成与功能



介绍中侧重AMI和ADO

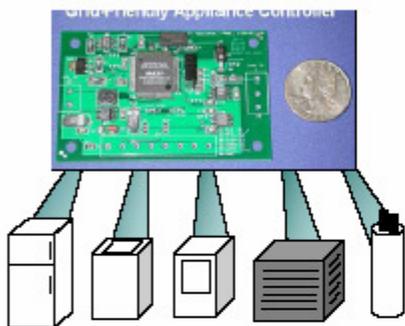
II-1. 高级计量体系（AMI）的 技术与功能

AMI—Advanced metering
infrastructure

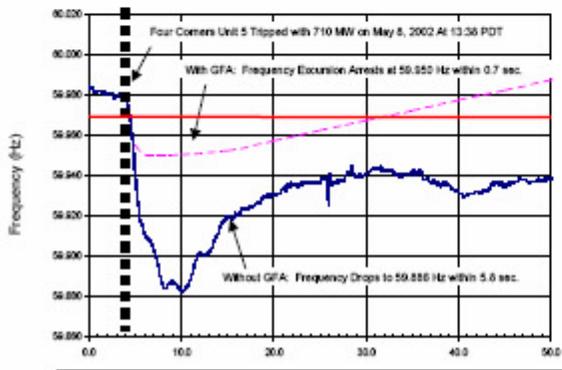
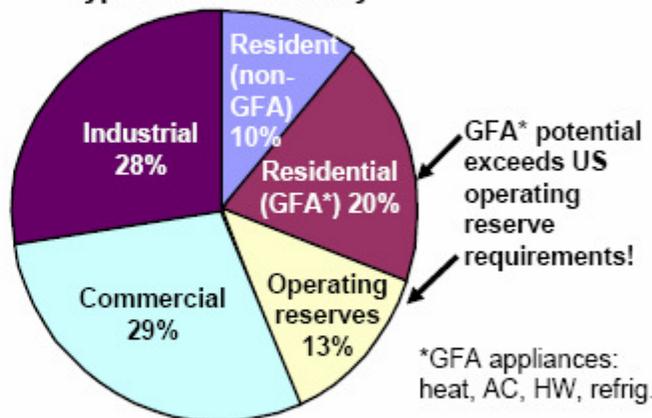
AMI 授权给用户，使系统同负荷建立起联系，使用户能够支持电网的运行

同电网友好的电器（GFAs）可帮助电网提高设备利用率和防止停电事故的发生

Grid-Friendly™ Appliances (GFAs)
Help Keep the Lights On



Loads and Reserves on a Typical U.S. Peak Day



Grid-Friendly Appliances sense grid frequency excursions & control region's appliances to act as spinning reserve – No communications required!

美国的典型峰荷日的负荷与备用饼图:

- GFAs的电器包括: 电热, 空调, 热水器, 电冰箱
- GFAs的潜力超过运行备用的需要

同电网友好的电器GFAs感知电网的频率漂移, 自动担负调频的任务, 起到旋转储备的作用—此事无通讯要求!

分时电价
(送到用户)

用户户内网HAN

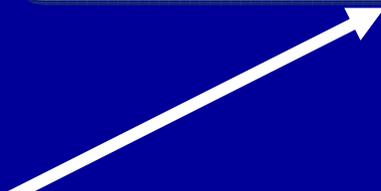
高级计量
体系AMI

计量数据管
理系统MDMS

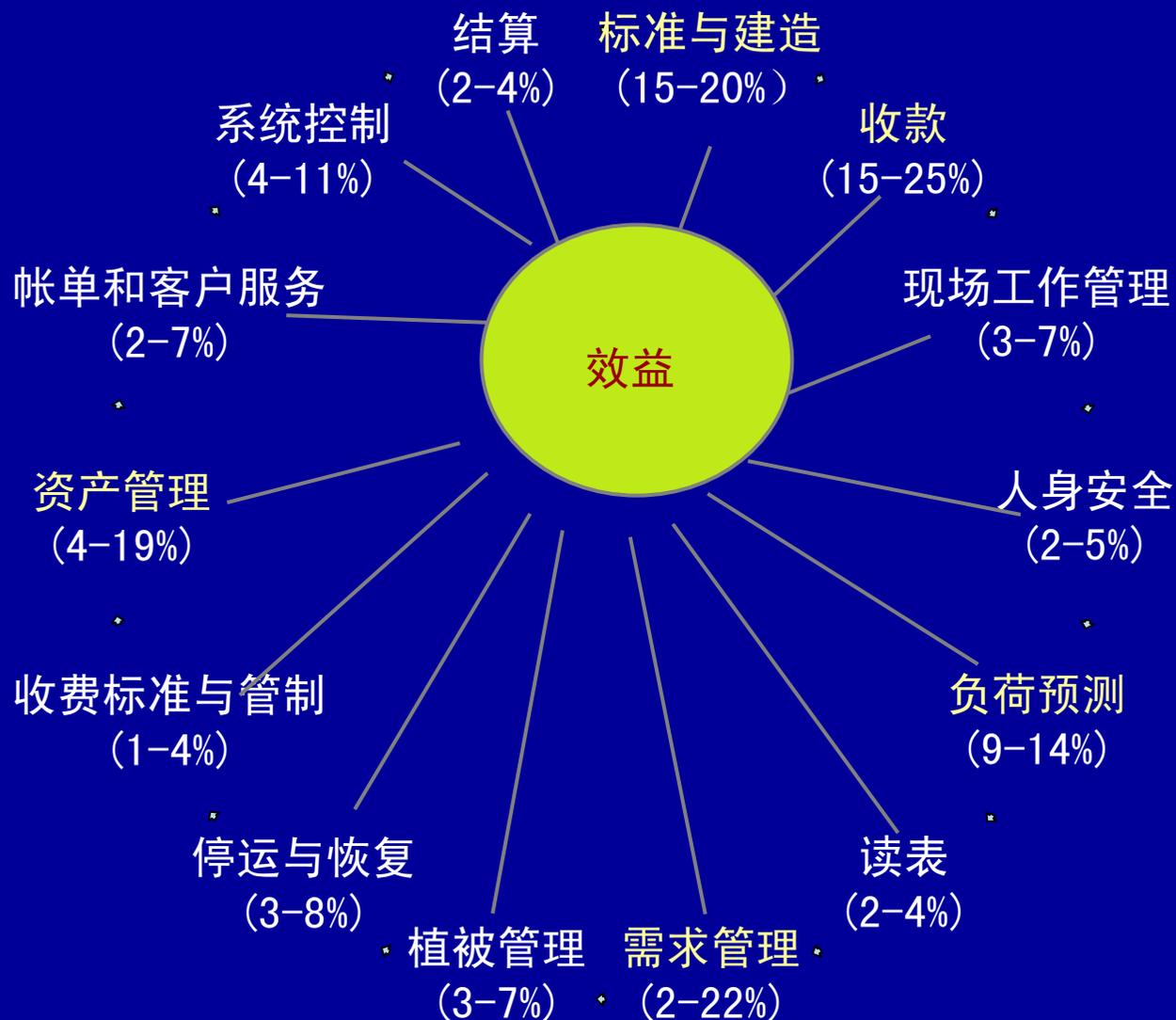
- 需求响应
- 负荷控制
- 远程开合

自动读表AMR

(按小时读表, 远方编程, 电能计量, 电能质量监视, 负荷调查, 停运检出)



AMI和DAO(配电资产优化)可带来的效益



实例

- PG&E 计划用**US\$17亿**做此事, 包括1000万户的电表和气表。 包括**MDMS**。但不在馈线上装。
- BC Hydro计划用**CA\$5亿**做此事, 包括170万户的电表。 包括MDMS。同时在馈线和变压器上装电表, 以便查盗电。同时由于仪表多加电压V的量测而使表贵了些。
- 爱迪生公司**花在MDMS上为US\$1.01亿**

II-2.高级配电运行（ADO）的 技术与功能

高级配电运行（ADO）功能使“自愈”
（“Self Healing”）成为可能

ADO同AMI, ATO and AAM的密切配合实
现配电系统（运行和资产管理）优化

高级配电
运行ADO

高级配电自动化ADA
高级保护与控制

配电快速仿真与模拟DFSM

DER运行

AC/DC微网运行

新型电力电子装置

配电 SCADA

配电 GIS

- (带有高级传感器的) 运行管理系统
- 停运管理系统

每一部分都有新要求，现举例说明如下（可省）

FSM—的基本功能要求

- 状态估计
- 连续优化系统性能
- 提供比实时还要快的预测仿真，以期能够对事先无法预测的扰动进行“what-if”分析，为运行人员推荐方案
- 把市场、政策和风险分析聚合到系统模型中去，同时把市场和政策对系统安全性和可靠性的影响定量化

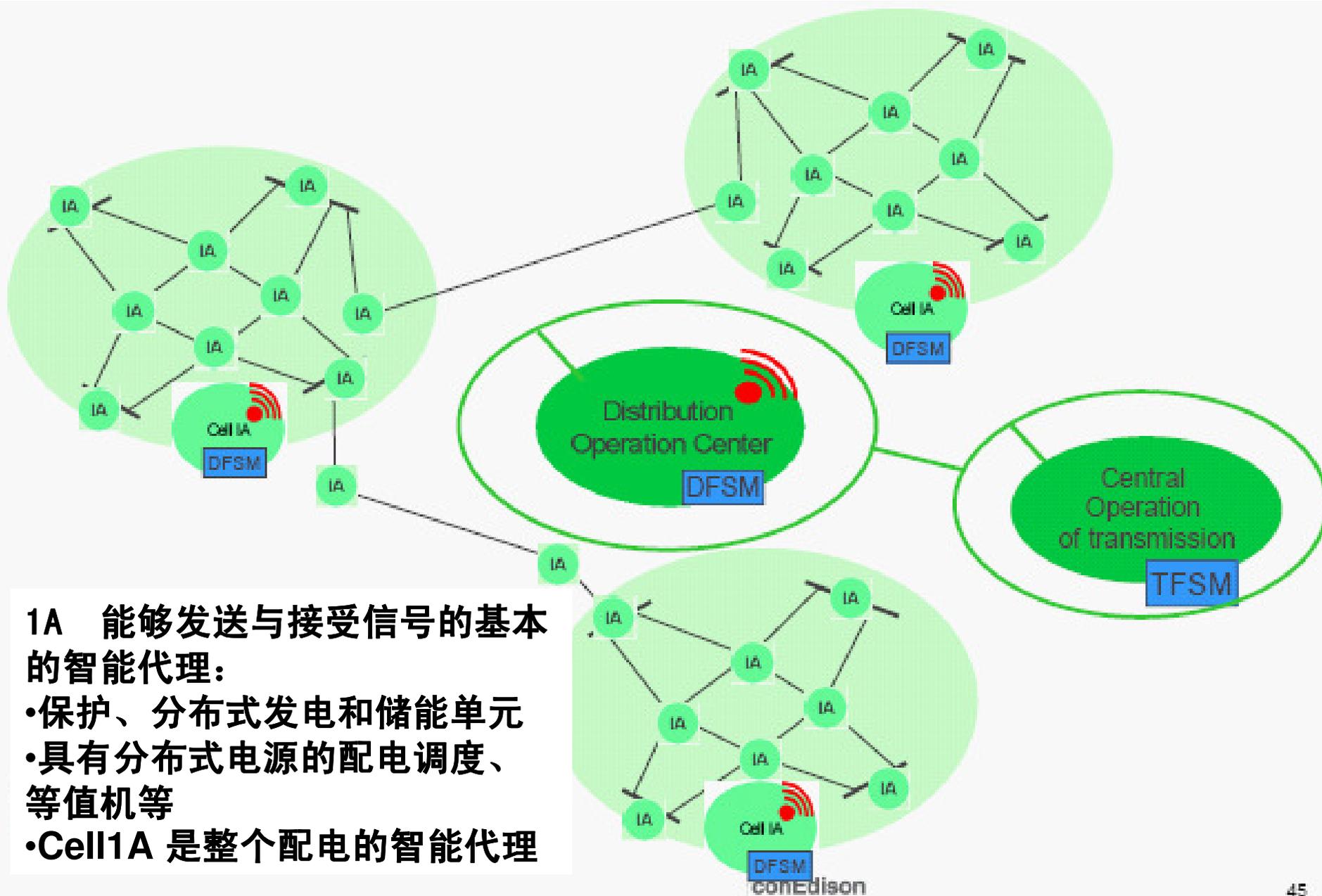
FSM需要适应以下四个主要自愈功能的需要:

- 网络重构
- 电压与无功控制 (VVC)
- 故障定位和隔离 (FLIR, 对减少停电时间意义大)
- (当系统拓扑结构发生变化时) 继保再整定RPR
—实现电力系统更新运行方式后的保护

• 四个主要功能是相互联系的, 例如, 电网的任一重构要求一个新的电压方案和继电保护的配合。因此, 这一问题是很复杂的。

• 电网重构包含恢复供电功能。

分布式（非中央化）的智能体系结构



1A 能够发送与接受信号的基本的智能代理:

- 保护、分布式发电和储能单元
- 具有分布式电源的配电调度、等值机等
- Cell1A 是整个配电的智能代理

- **智能网络代理INAs (intelligent network agents) 通过FMS从全系统要求出发协调决策。**

- **目前电力系统中的大多数代理是按预先确定的方法整定、并对扰动做出反应的 (例如, 在一定条件下断开继电器), 其动作可能使系统情况恶化, 乃至造成连锁停电。**

ADA 一是革命，而不只是传统配电自动化的扩展，因为：

- ADA用于电力交换系统
 - 将使用电力电子、信息技术、分布式计算与仿真方面的新技术
- ADA可为用户提供新的服务

- 系统监视
- 停运检出、定位和管理
- 供电恢复
- 人员调度和工作安排
- 维修作业和区分先后顺序
- 排除事故后的自动切换与事故管理
- 无功与电压管理
- 降低网损
- 资产利用

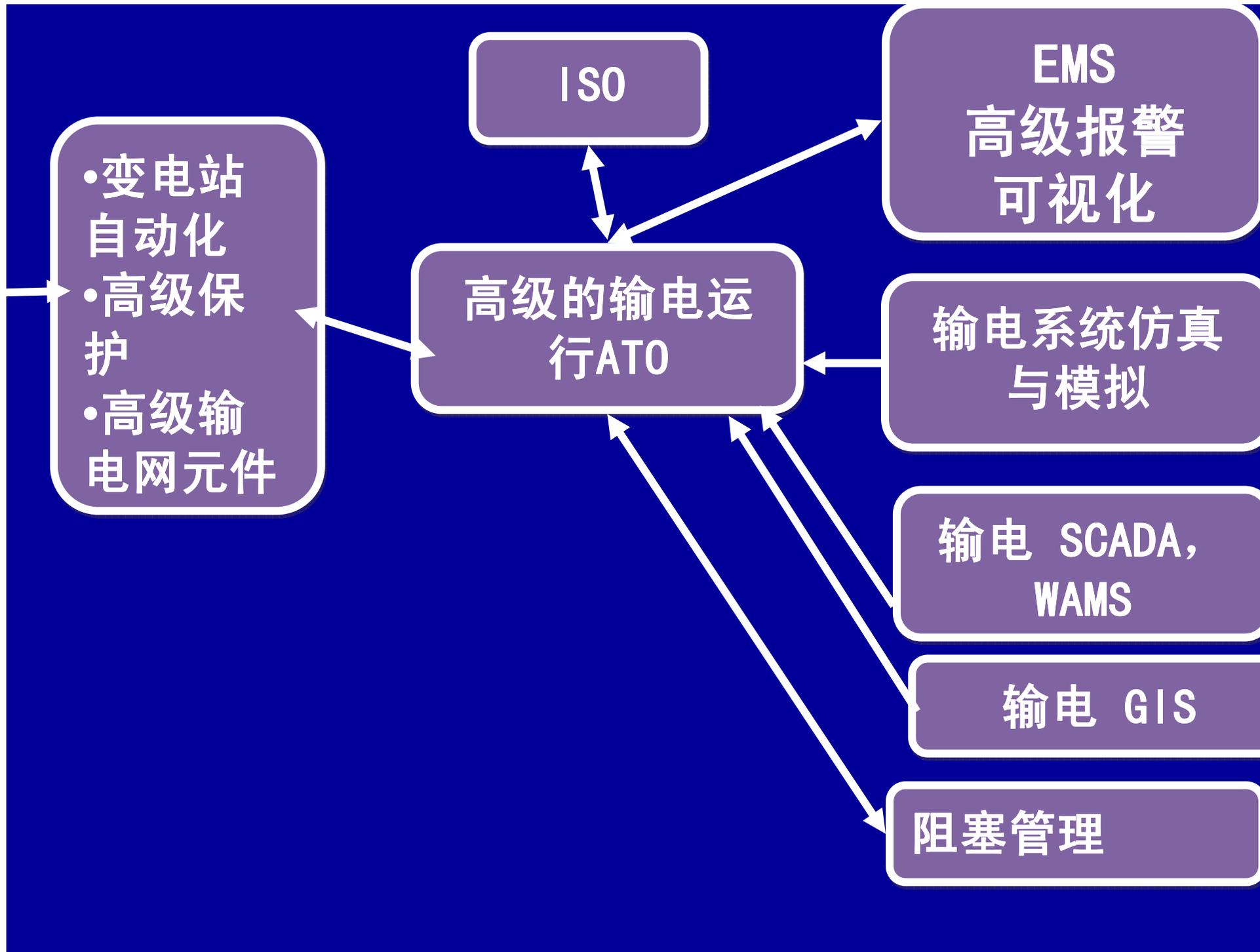
IUT—以电力电子系统替代传统的变压器—
是EPRI ADA项目的努力中的一个基础性的装置（cornerstone device）。

- 不含有危险的液体介质
- 模块化的，减少了备件的库存量
- 向用户提供直流或400Hz的电力
- 可改变接线组别
- 容许从一条单相线路上传递三相功率
- 可作为折断潮流的可控开关
- 实时的电压调节和解决电能质量问题
- 有远方通讯能力，可辅助配电监视，并广泛地支持系统的自动化功能。

II-3. 高级输电运行（ATO）的 技术与功能

**ATO 强调阻塞管理和降低大规模
停运的风险**

**ATO同 AMI, ADO and AAM的密切
配合实现输电系统的（运行和资产
管理）优化**



II-4. 高级资产管理（AAM）的 技术与功能

Advanced Asset Management (AAM)

**AMI、ADO和ATO 同资产管理过程的
集成将大大改进电网的运行和效率**

```
graph TD; DAAM[配电AAM]; TAAM[输电AAM]; P[规划]; DC[设计/建设]; CM[基于条件 (如可靠性水平) 维护]; AU[资产利用]; DAAM --> P; DAAM --> DC; DAAM --> CM; DAAM --> AU; TAAM --> P; TAAM --> DC; TAAM --> CM; TAAM --> AU;
```

配电AAM

输电AAM

规划

设计/ 建设

基于条件 (如可靠性水平)
维护

资产利用

II-5. 决定顺序

AMI and DR

AMI 授权给用户，使系统同负荷建立起联系，使用户能够支持电网的运行

Distribution (ADO)

ADO 使系统可自愈

Transmission (ATO)

ATO 强调阻塞管理

Asset Management (AAM)

AAM 大大地改善资产管理

顺序有价值

AMI

- 同用户建立通讯联系
- 提供带时标的系统信息
(Provides time stamped system information)

ATO

- 使用 ADO 信息改善运行和管理输电阻塞
- AMI 使用户能够访问市场

ADO

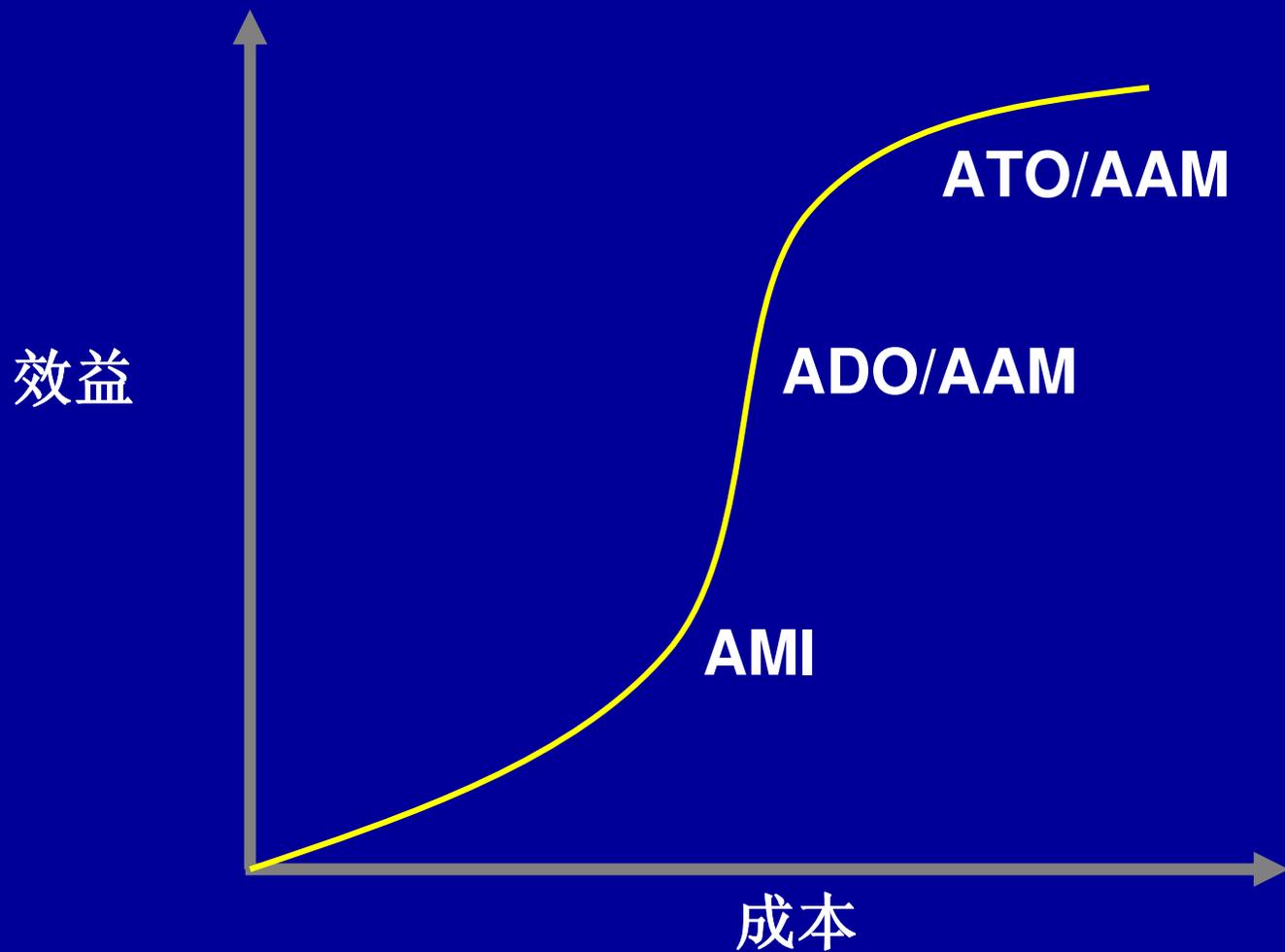
- 使用 AMI 的通讯收集配电信息
- 使用 AMI 信息改善运行

AAM

- 使用 AMI, ADO, and ATO 的信息与控制, 改善:
 - 运行效率
 - 资产使用

顺序会影响成本和效益

一般情况下... AMI 是电网智能化的第一步



III.集成的能量与通讯系统 IECSA —智能电网的基础设施

- 灵活的电网结构是智能电网的基础
- 电网所及之处均有为其服务的通讯网

III-1.灵活的网络结构

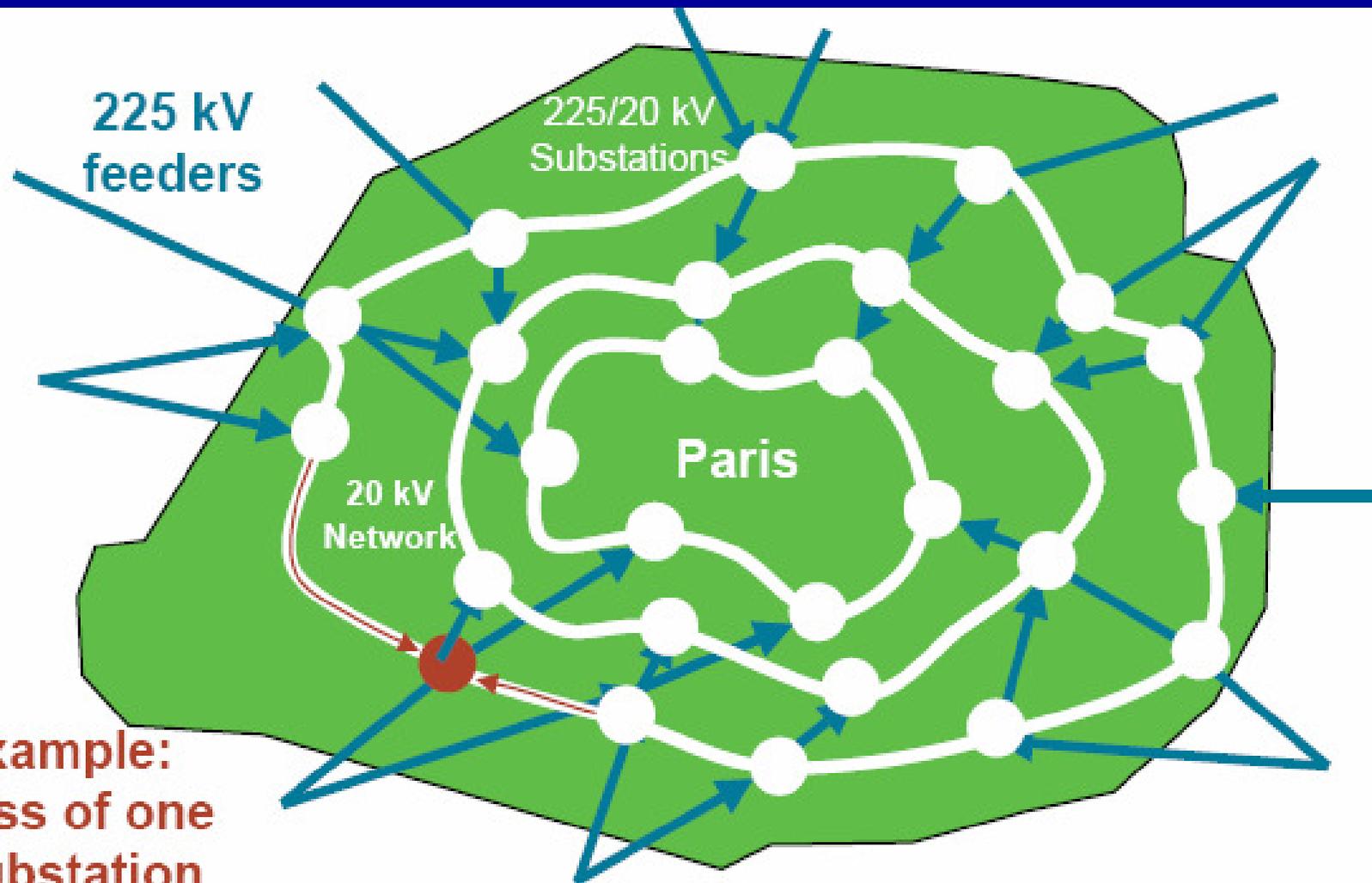
- 系统结构十分重要，它是未来配电系统的基础。
- 未来的系统结构应是现有系统结构和功能的自然扩展，需要较大投资。
- 未来系统的结构必须能支持现在结构所不能支持的两个基本要求：

1. 支持综合考虑终端用户（分布式电源DER，电力调节设备，无功补偿设备和能量管理系统）控制和总体配电系统控制，以达到系统性能的优化、期望的安全稳定性与期望的电能质量。
2. 支持高比重的DER，适应各种比重的DER，以提高系统的整体性、效率和灵活性。

如，通过协同的、分布式的控制，可以利用DER来优化系统性能，并且在发生重大系统故障时利用DER进行局部控制（cell电网，微型电网）。

概念设计— 巴黎供电系统

例：失去一个变电容量，由比邻的两个站供电



**Example:
loss of one
substation
capability**

— Adjacent stations feed the loads that were fed by the lost station

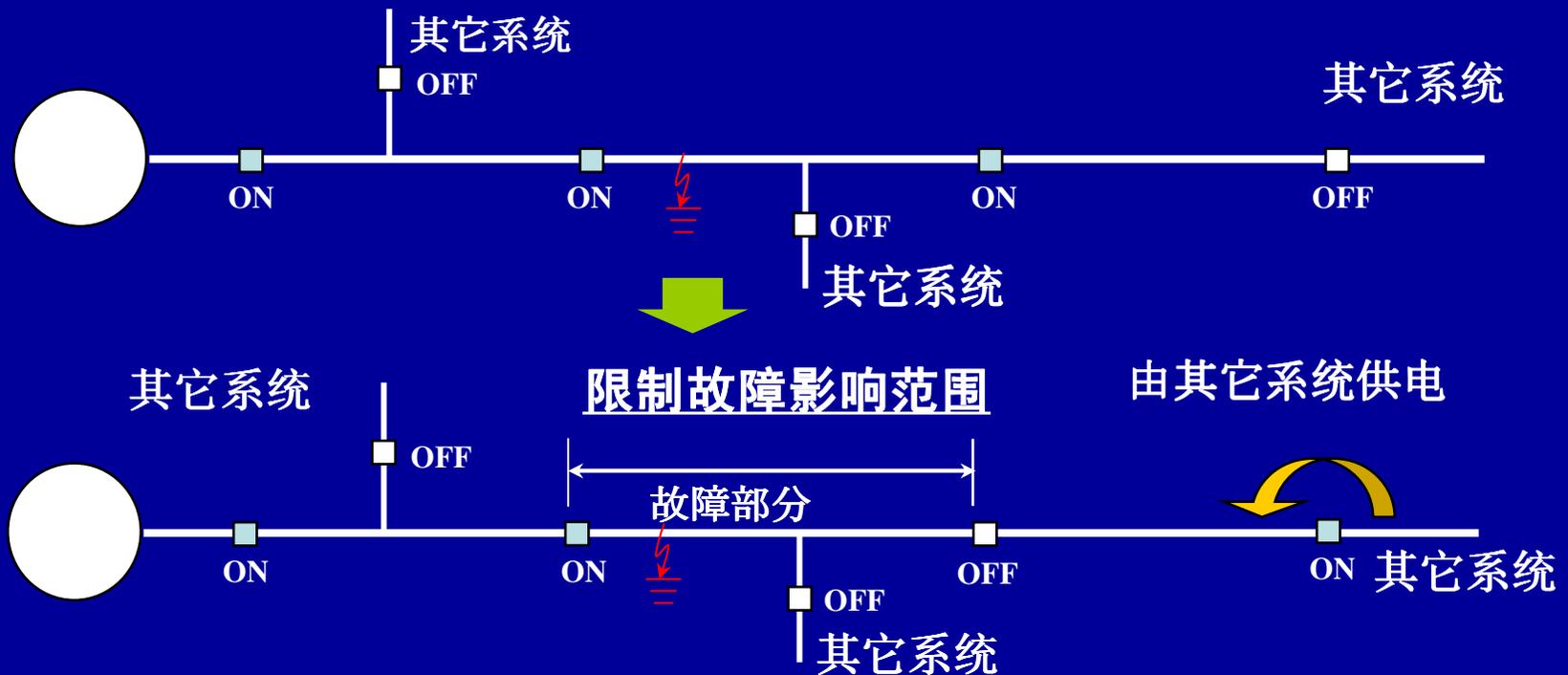
东京电力公司的配电系统

多分割多连接，网络式的拓扑结构

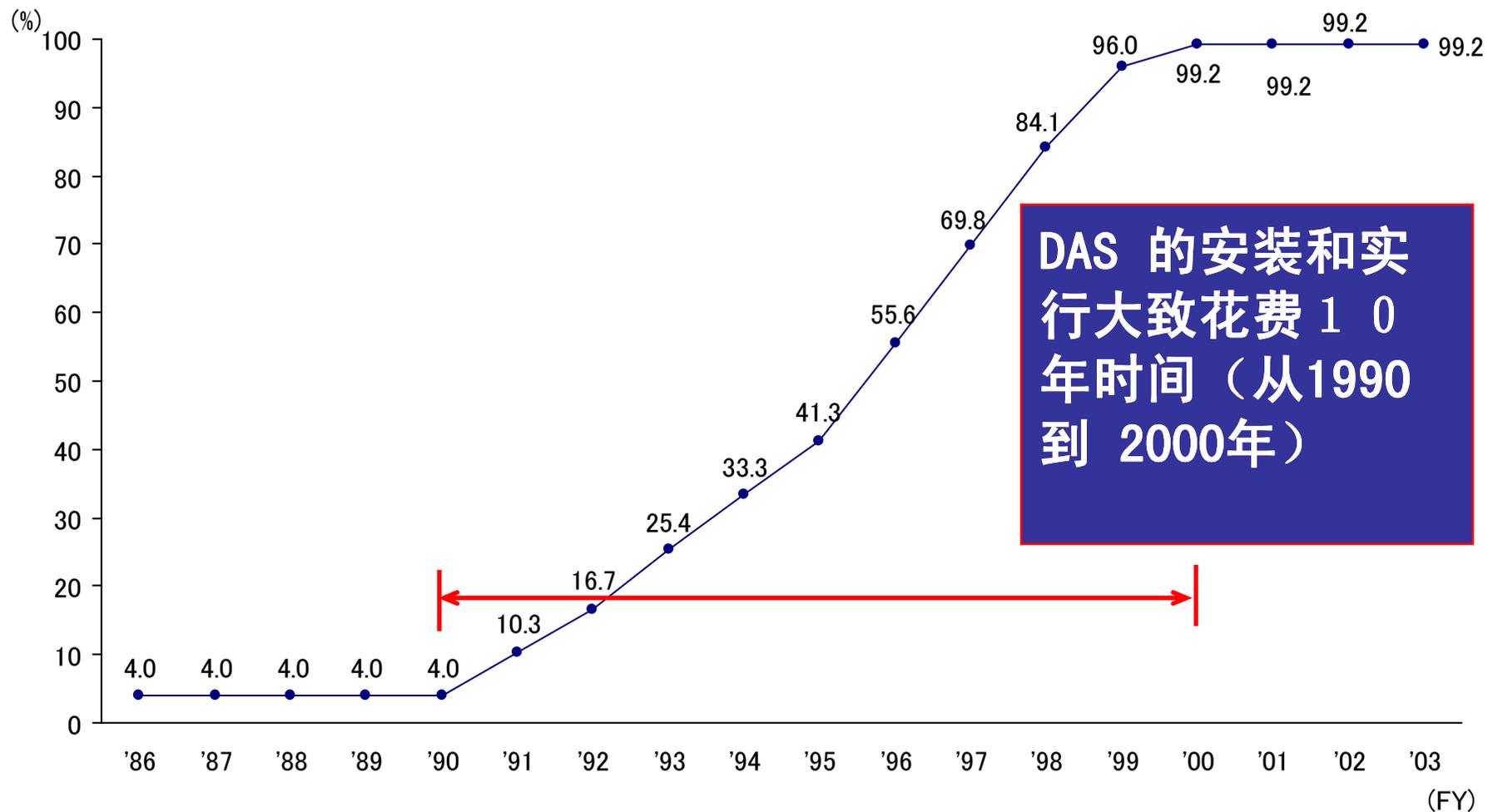
- 把 6 K V 的馈线用开关分成多个区间，并在相应区间安装与其它馈线的联络开关



在故障时把故障影响范围限制在一个区间里



配电自动化系统投入使用范围



系统供电可靠性指标

在2005年

– 系统平均停电时间指标:

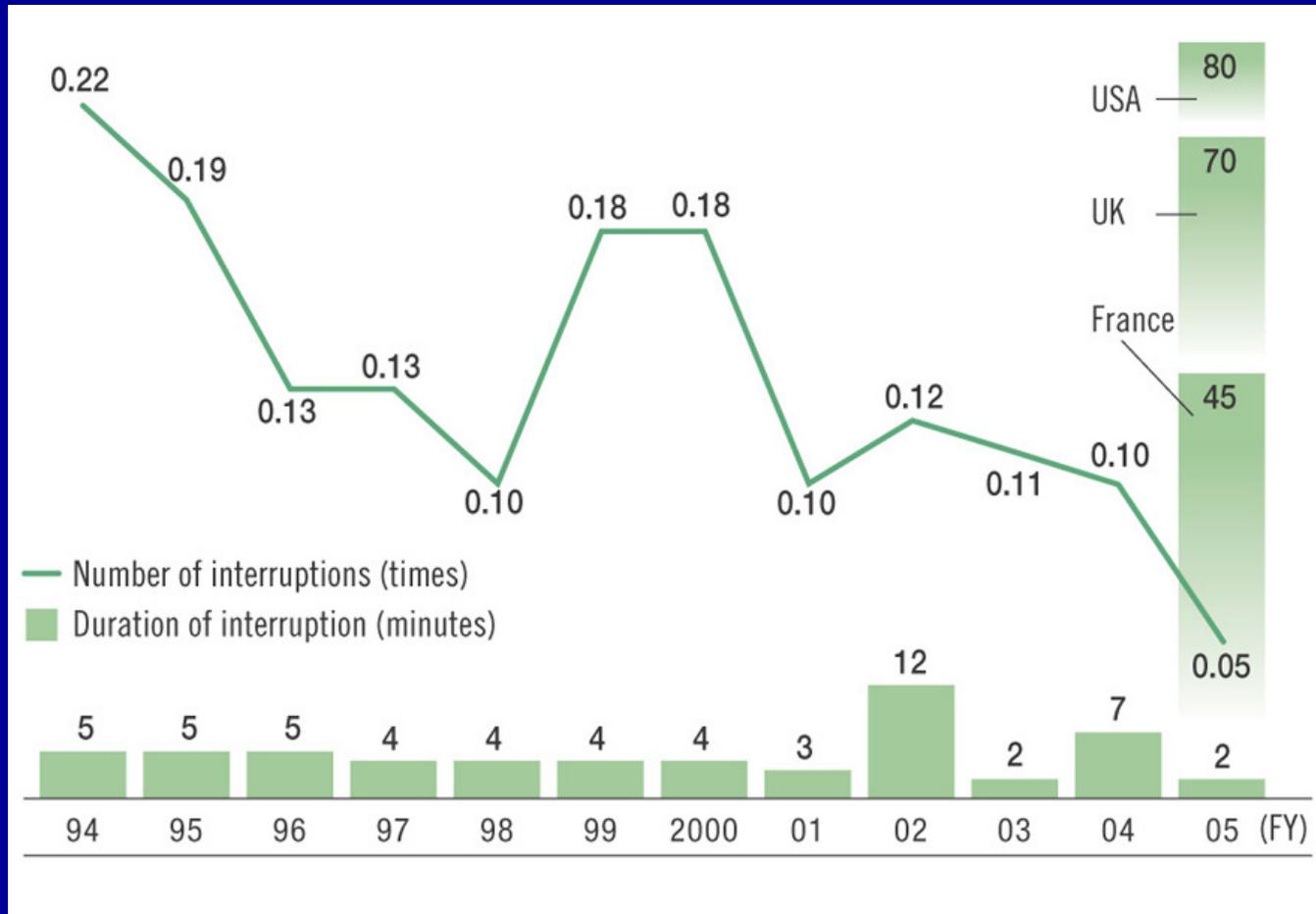
SAIDI

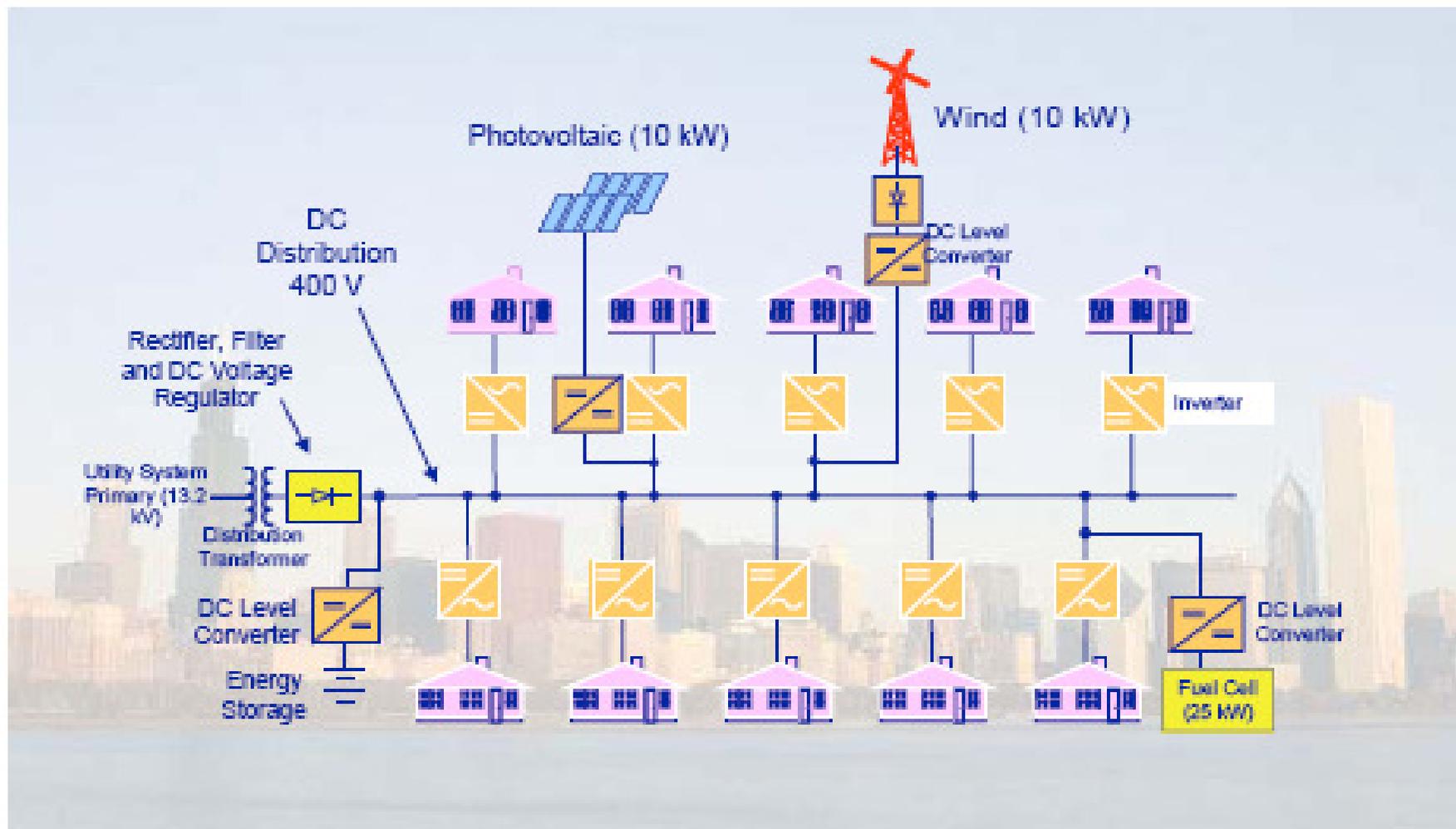
- 东京电力: 2分钟
- 法国: 45分钟
- 英国: 70分钟
- 美国: 80分钟

– 系统平均停电频率指标:

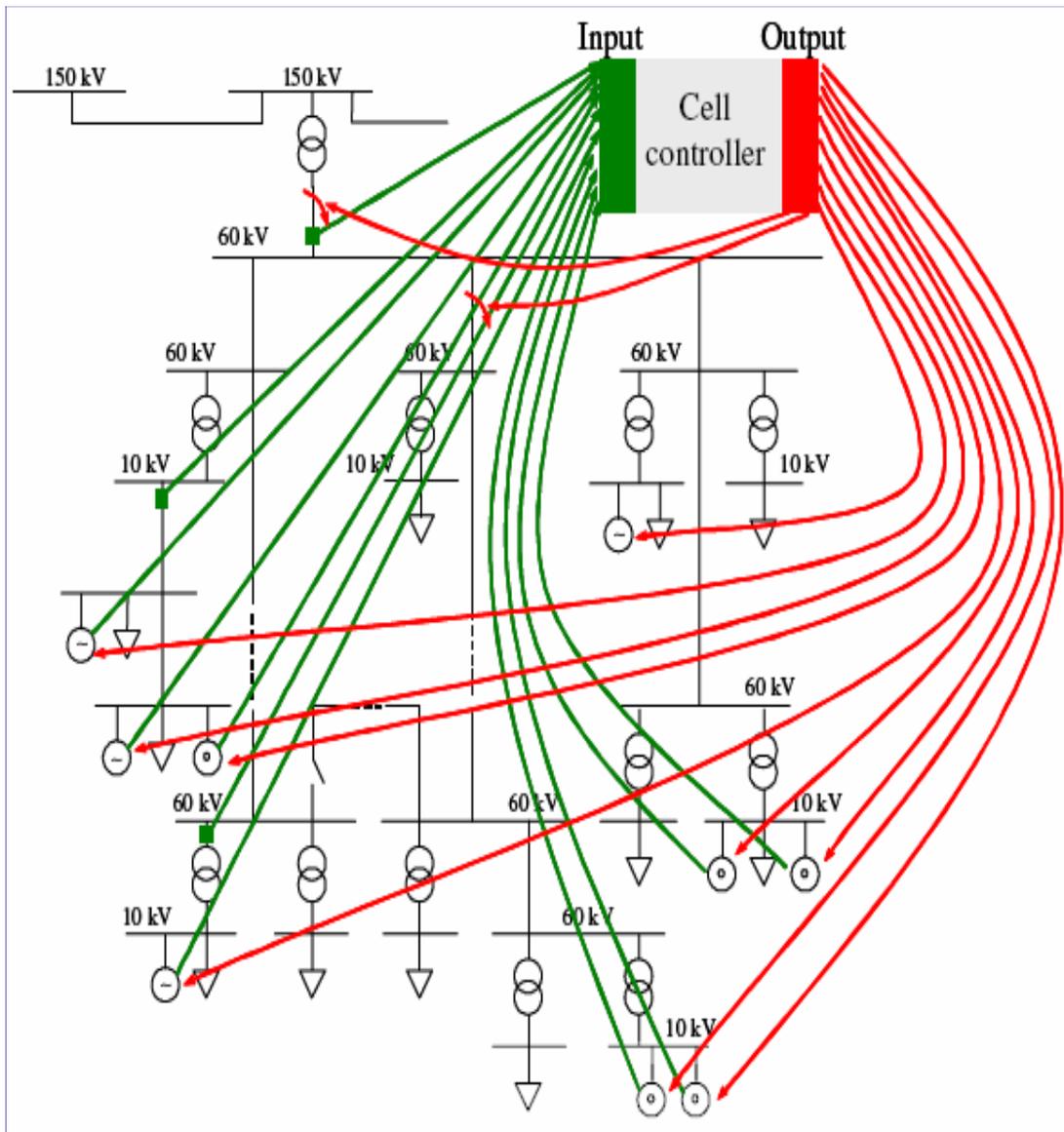
SAIFI

- 东京电力: 0.05次





同传统电力系统相比，图示的DC微网，具有改善能量传输效率、可靠性、安全性、电能质量，以及运行成本的潜力



绿色箭头代表测量。红色箭头代表 cell 控制器的控制行为

丹麦 Cell 控制试点工程的目标为：

(1) 初级目标：全系统崩溃后，cell 自己黑启动，进入可控的孤岛运行状态。

(2) 最终目标：当系统发生严重故障处于不可挽回的紧急状态（如即将出现电压失稳）时，cell 单元主动与高压电网（150kV）解列，由联网运行转为可控的孤岛运行。

III-2.集成的通讯体系

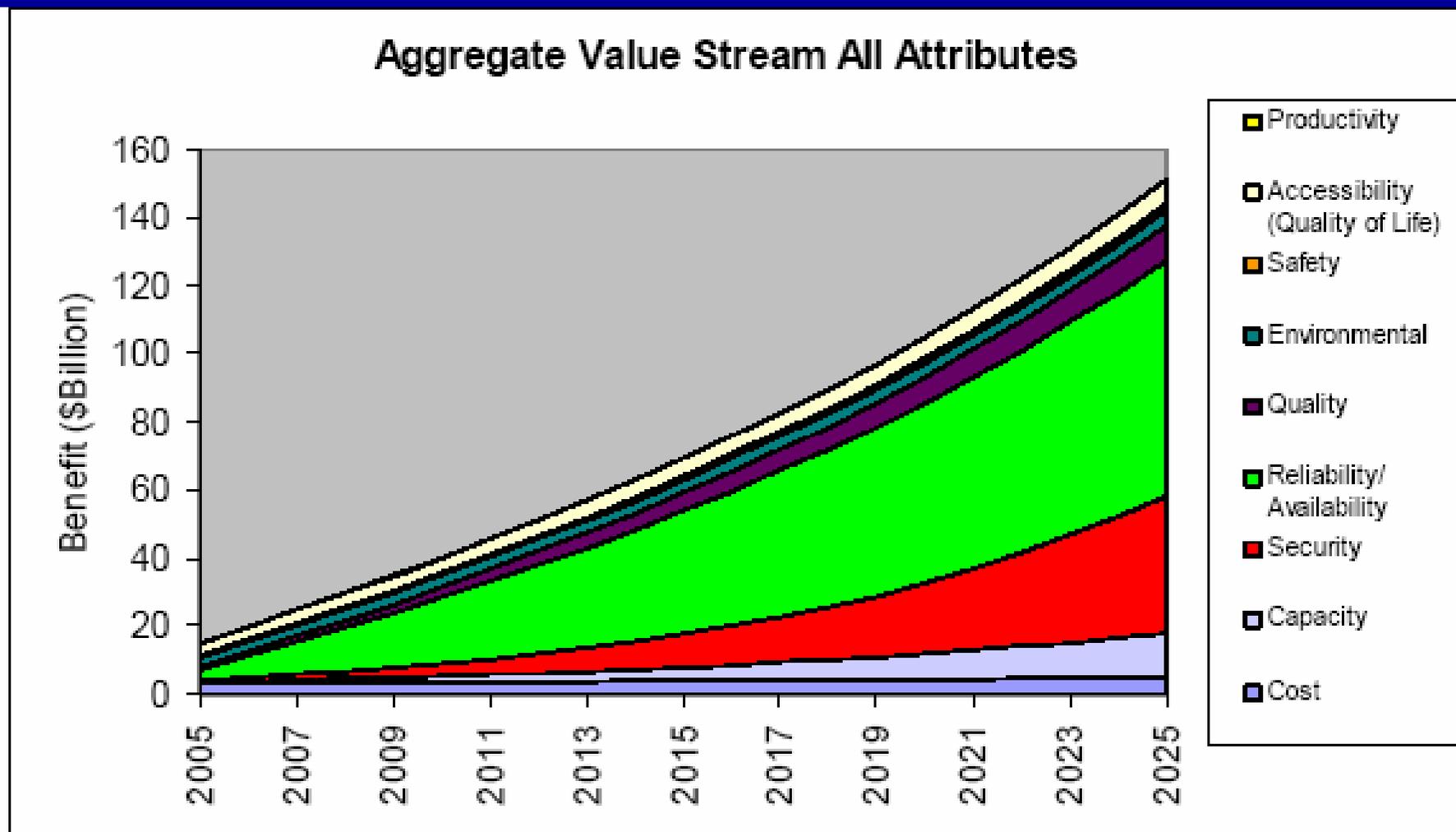
为使电力交换系统具有：

- 依据早期征兆进行预测的能力
- 对扰动做出实时响应的能力

必须把大量的监视传感器连接到一个安全的通讯网上去。

投资与效益

US EPRI 估计在美国实现智能电网需要在未来 20 年投资 1650 亿美元。而在未来的智能电网工程实现后，其综合社会效益可达 6380 亿~8020 亿美元。



自愈与防灾

- 冰雪灾害（缓慢发展）、地震（瞬间发生）等对电网设备造成大范围、长时间的破坏与停运，这与电力系统安全性和目前智能电网所研究的问题不一样。
- 在灾害发生过程中，为了保证极端重要负荷，和快速恢复供电，需要合理的网络结构、通讯体系和高级自动化控制，智能电网为此提供了较大灵活性；
- 配电仿真与模拟的开发要与电力系统应急预案结合起来：提供多套电网运行方式预案、可能发生的拉闸限电序列预案和电厂发电机组开停预案。

结论

1. 智能电网涵盖AMI、ADO、ATO和AAM，它们之间的密切配合实现现代电网研究的四大目标；
2. 同目前的电网相比每一部分都有许多新技术需要研究与开发；
3. 顺序会影响成本和效益，一般情况下 AMI 是电网智能化的第一步；在对电能质量要求高（数字化产业比重大）的地方应该试点ADO；
4. 集成的能量与通讯系统IECSA是智能电网的基础设施，在配电网规划中宜尽早考虑。

谢谢！