cpem
设备管理大会

第11届中国电力设备状态检测与故障诊断技术高峰论坛暨展示会
暨第七届全国电力设备带电检测技术高峰论坛

2022年4月

电力
人工智能大会

第三届电力人工智能大会

2022年10月

电力设备在线监测与状态检修综　　述

孙振权
博士教授级高级工程师
szq1120@163.com
2021年12月

CPEM全国电力设备管理网

目　录

- 基本概念
- 历史回顾（前世）
- 现状机遇（今生）
- 未来展望（未来）

CPEM全国电力设备管理网

基本概念

电气设备老化：

电气设备一般由绝缘材料、导电材料、导磁材料等。绝缘材料包括矿物油、绝缘纸、绝缘件等各种有机合成材料。运行中受电、热、机械、环境等各种因素的作用，发生电气老化、电化学老化及热老化等现象。电气老化时间较短，热老化时间周期较长，而电化学老化随机性较大，风险不确定。

CPEM全国电力设备管理网

基本概念

在线监测、在线检测；带电监测、带电检测；离线检测、离线试验。

项目	停电时间	运行时间	设备配置	判据
在线监测	0	实时	一对一	定性
在线检测	0	选择时段	一对多	定性
带电监测	0	实时/选择时段	一对一/一对多	定性
带电检测	0	选择时段	一对多	定性
离线检测	T	确定时间间隔	一对一	定量
离线试验	T	确定时间间隔	一对一	定量

CPEM全国电力设备管理网

基本概念

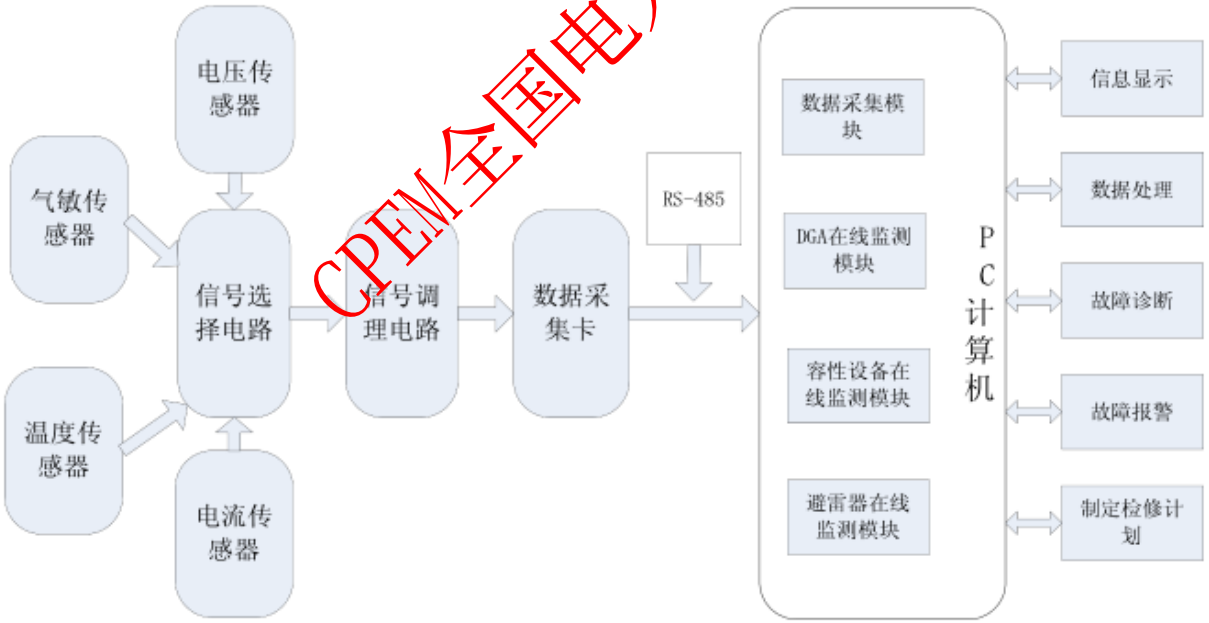
在线监测系统组成：

(1)现场设备端：各种传感器、采集器、集中器；

(2)通信：各种通信方式的通信装置、设备及网络；

(3) 专家分析系统应用平台：基于在线监测数据，实现设备状态的远程分析诊断。

CPEM全国电力设备管理网



基本概念

故障检修：

设备运转至损坏再维修。适合于工艺过程重复，有备用机组，生产损失并不明显的小型、简单、低速等设备；不适合现代化生产中使用的大型、复杂、高速、连续等设备。

周期检修:

按照规定周期检修。可能造成过剩维修，也可能造成维修不足，且有时反而加速某些设备损坏。属于预防性维修，但缺乏经济性。

状态检修：

将定期检修变成为实时测量设备的运行状态，根据监测结果，决定是否检修。

是设备检修的高级策略。

CPEM全国电力设备管理网

基本概念

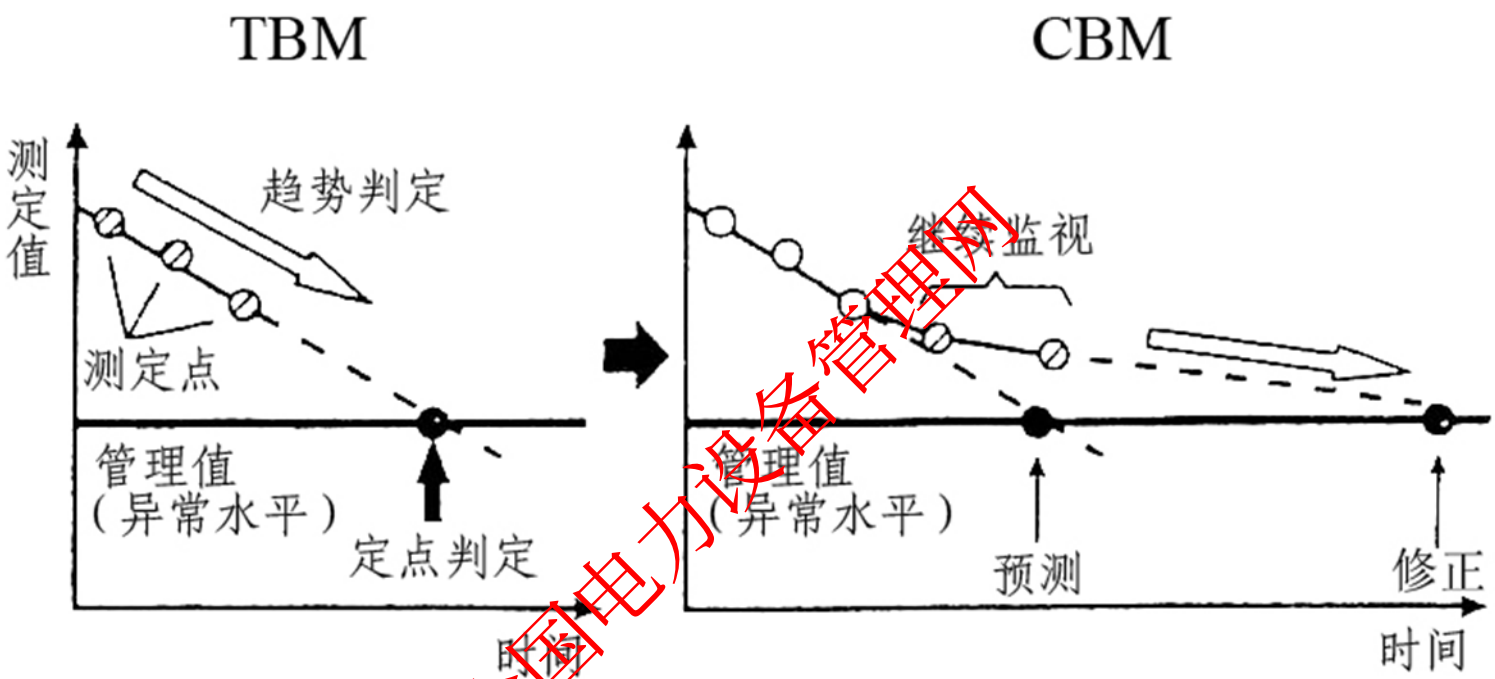
故障检修（CM Correction Maintenance)：发生故障后检修，事后检修，不坏不修、坏了再修，修必修好；

周期检修（TBM Time-Based Maintenance)：定期检修，预防性检修，到期必修、修必修好；

状态检修（CBM Condition-Based Maintenance)：状态监测，故障诊断，预知性检修，该修则修、修必修好。

CPEM全国电力设备管理网

项目	停电影响	计划性	工作量	预案
故障检修	大	无	未知	不完全
周期检修	较大	有	确定	有
状态检修	小	精准	精确	完全确定



Time based maintenance (TBM) → **Condition based Maintenance (CBM)**

CPEM全国电力设备管理网

持续的监督可以提高设备的可靠性，延长设备寿命

基本概念

1. BDM

故障检修

- 故障后更换或检修
- 凭经验准备足量、确定规格的维修用零部件
- 高水平的检修技师队伍，确保快速反应时间

2. TBM

周期检修

- 一段时间之后必须对零部件进行更换或检修
- 不充分考虑实际使用情况
- 制定更换和检修周期
- 按期准备好确定规格的零部件

3. CBM

状态检修

- 对系统、设备及关键零部件开展在线监测
- 评估设备及零部件的可用性
- 结合运行需要，根据掌握的信息，决定零部件是否需要更换/检修
- 根据零部件状态有针对性地分别准备，不占用大量库存

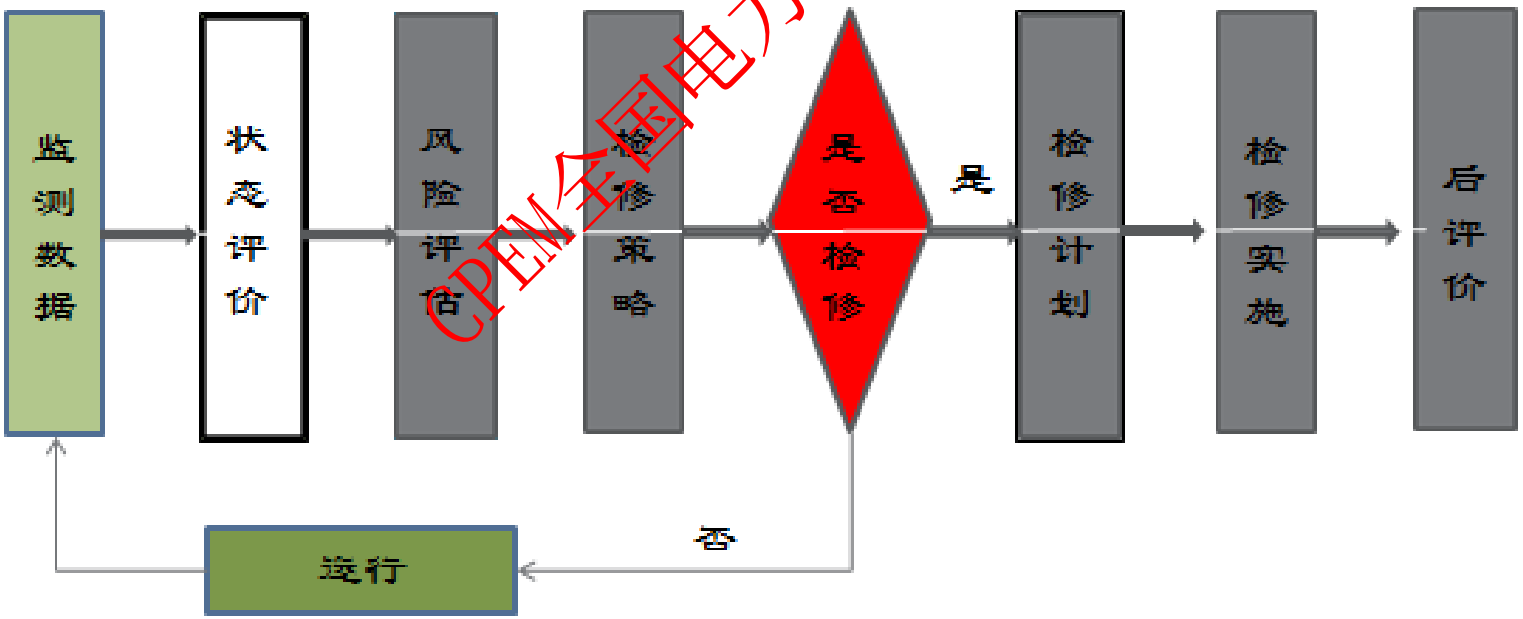
智能化运维解决方案

被动 → 预防 → 预测

CPEM全国电力设备管理网

基本概念

在线监测与状态检修：在线监测将设备的关键状态参数实时提供；状态检修则集成系统论、控制论、信息论在设备检修中的综合应用；基于在线监测数据与离线实验数据，确定状态评估方法和设备故障诊断技术，对设备状态做出合理的综合评估，选择最优的检修方式和检修时间。方法有：阈值诊断、模糊诊断、时域波形诊断、频率特性诊断、指纹诊断、基于人工神经网络的诊断、人工智能专家诊断等。



CPEM全国电力设备管理网

基本概念

在线监测与状态检修优点：

1）能正确监测设备状态特征量；

2）不搞定期维修，减少材料消耗和工作量，也可避免因修理出现的人为故障；

3）提高了设备的可靠性及安全性；

4）在线监测结果可确定哪些机器需要修理、应什么时间修理、修理什么部位等。

CPM全国电力设备管理网

历史回顾

20世纪50年代之前：故障检修

20世纪60年代至今：周期检修

20世纪80年代开始：状态检修

CPEM全国电力设备管理网

历史回顾

状态诊断技术发展过程：

80年代到90年代 末期，研发、验证及示范应用阶段；2000年前后，产业化及工程化应用阶段；2010年提出增量设备全面推广应用；2013年之后又转回到存量设备改造、总结经验阶段；5G及泛在电力物联网构建又推动了应用进程。

CPEM全国电力设备管理网

历史回顾

我国电力设备状态检修发展历程：

起步阶段

1997年11	上海研讨会

发展阶段

2007年	国网公司职代会提案

逐级推广阶段

2008年	国网公司管理规定试行

CPEM全国电力设备管理网

历史回顾

从知识、技术、工程应用三个维度展示：

传感器类别不多、精度不高，仅能按成数据采集功能；

通信技术及装置实时性、可靠性、传输速率等受限；

应用后台仅限于基本展示与输出，缺乏算法支撑及有效判据。

技术上以系统集成为主，缺乏针对性地关键技术，以单一特征量为主，无法关联多维参量，不能给出故障诊断高可信度判据。

工程应用限于存量设备技术改造项目，特征参数单一，技术上似乎完备一些，但工程应用指导意义不大，仅提供定性的评价，无法大规模推广。

CPEM全国电力设备管理网

现　状

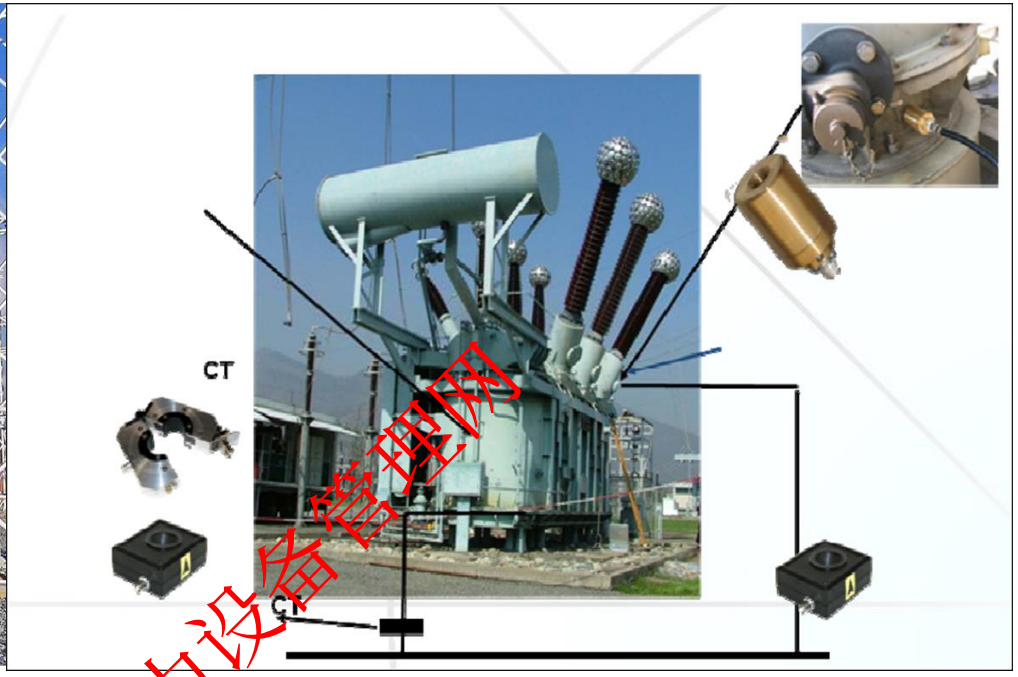
传感器仅具有数据采集功能，且采集的速率与设备特征参数值频域不吻合，缺乏初步分析及数据粗处理的能力，准确度参差不齐，没有统一的标定方法；

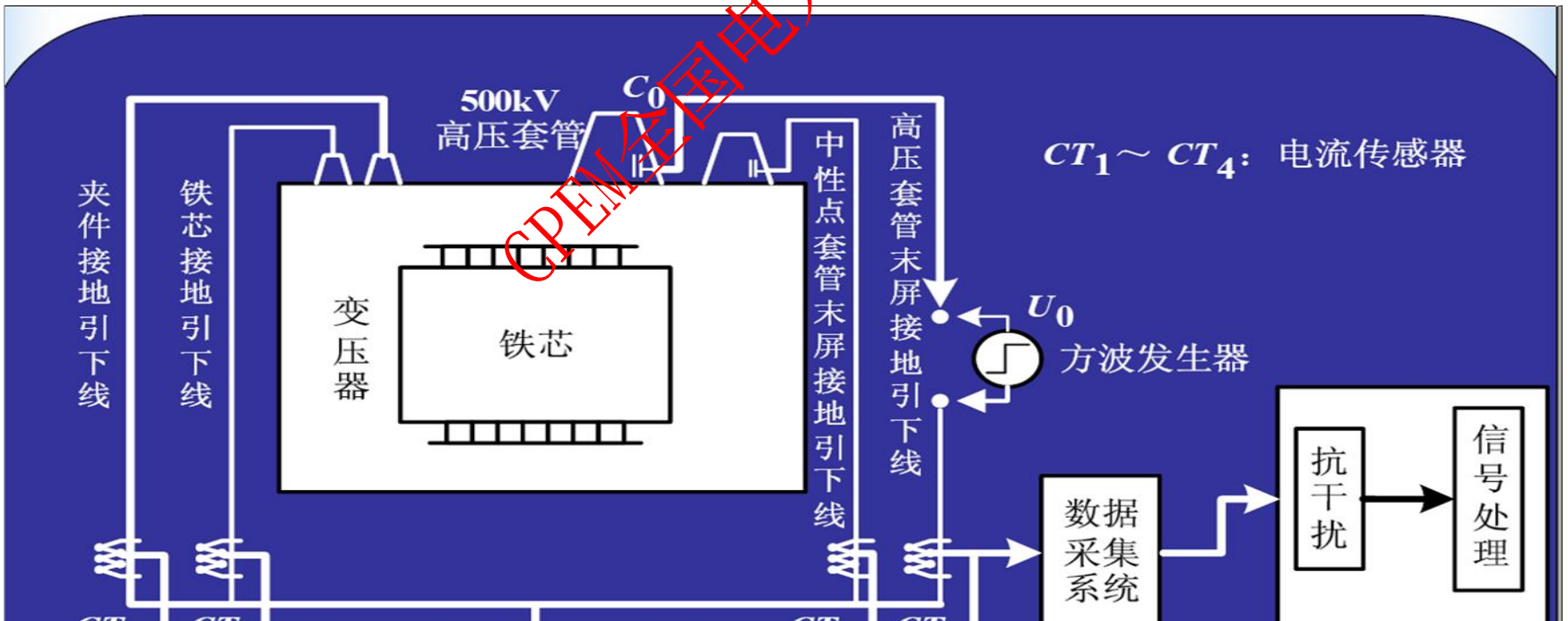
通信环节受速率、带宽限制，实时性、可靠性均不能保障；

应用后台算法单一，缺乏大数据理念的相关性技术支持，各种特征参数各自独立且不能很好地自洽，与运行参数、周围环境参数没有有效协同一致，电力泛在物联网技术应用还不尽完善。

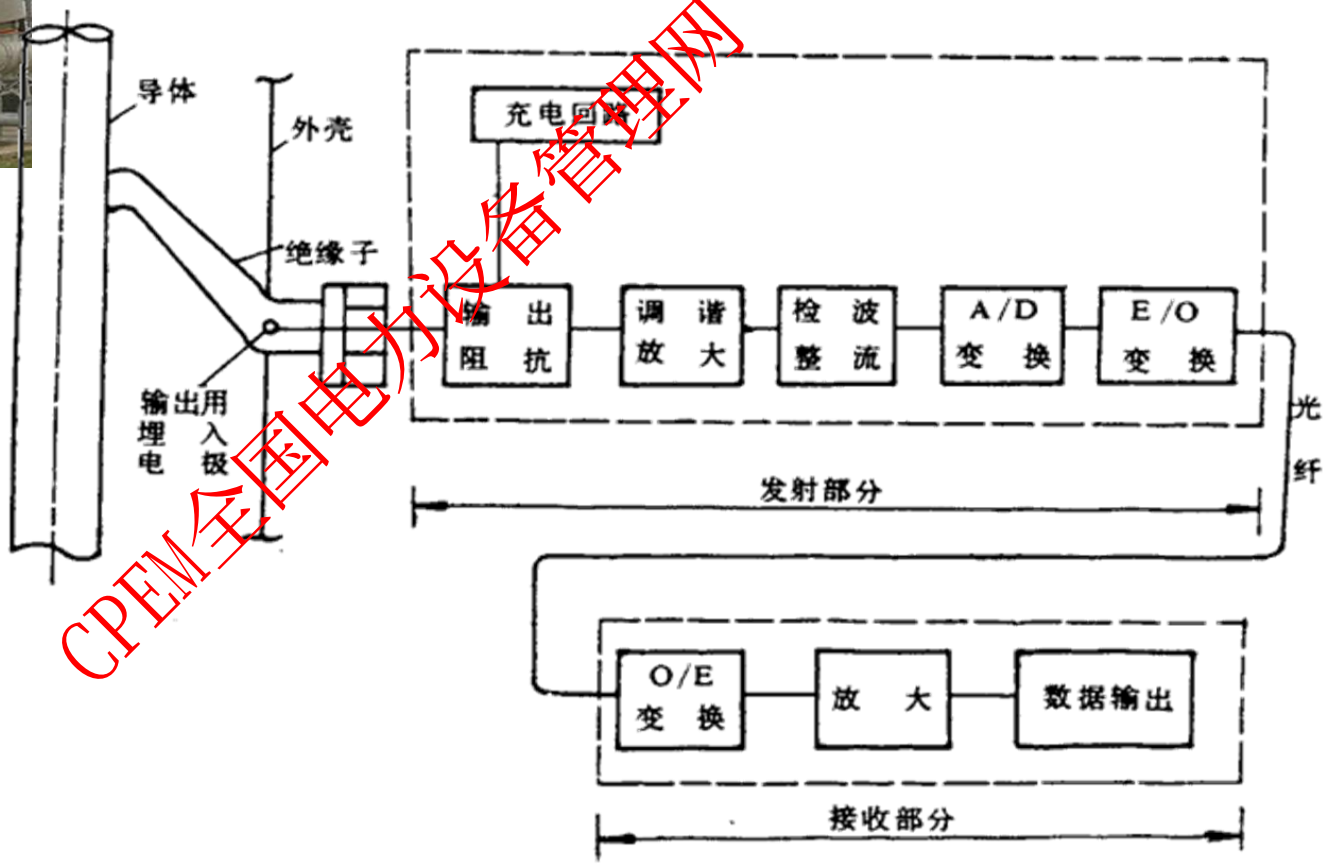
以设备单一特征状态参量为主，自成体系。以变压器为例：局部放电、油色谱、温度（各层油温、绕组温度）、绕组变形、铁芯接地、振动成像等特征量从知识、技术到应用都有所进展，尤其是知识与技术研究与开发得到了长足进步。

CPEM全国电力设备管理网

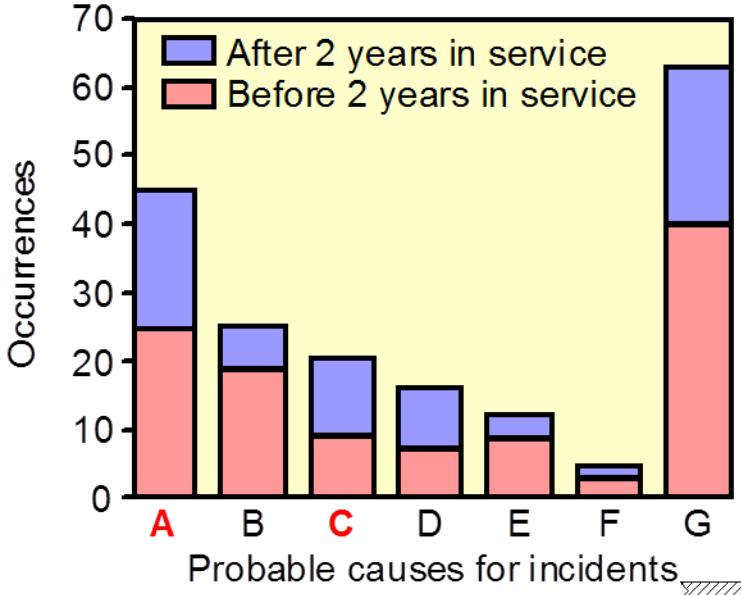




CPEM全国电力设备管理网

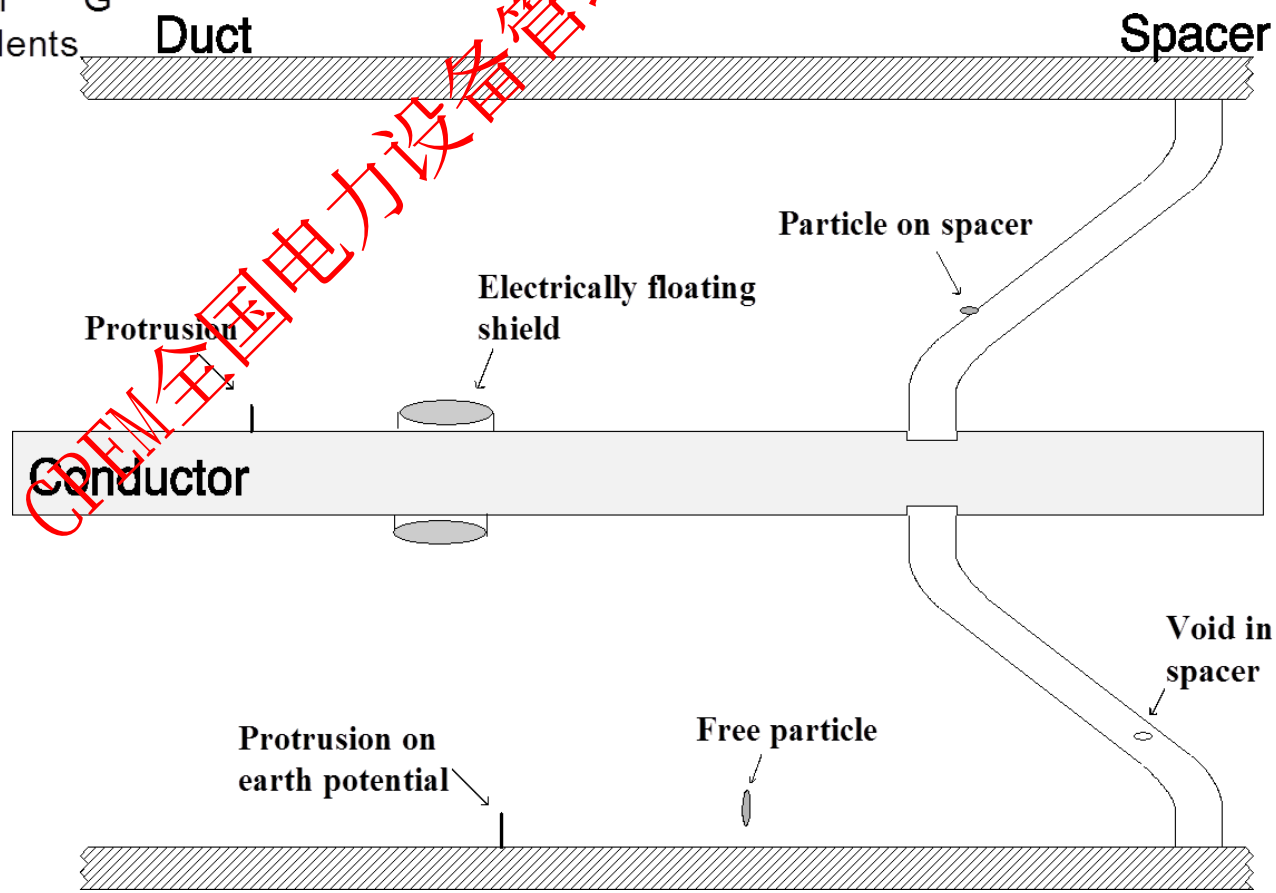


CPEM全国电力设备管理网



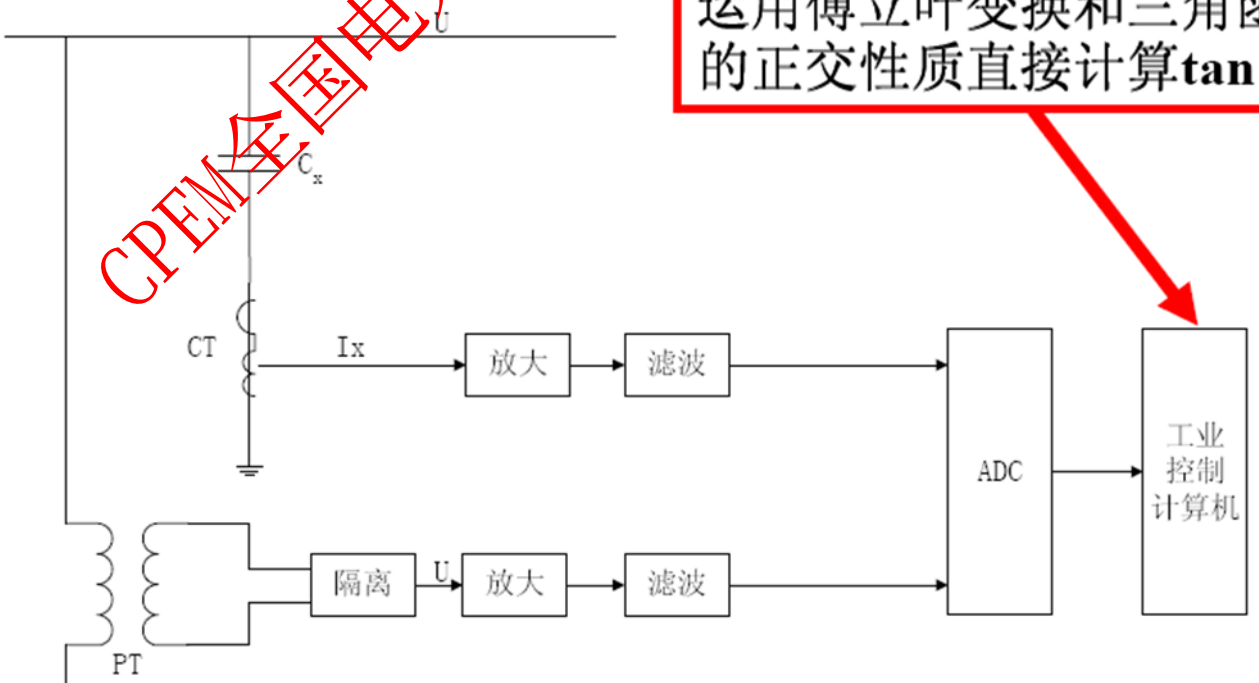
A : **Particles**
B : Partial discharges
C : **Insulator defect**
D : Mechanical defect
E : Component failure
F : Human error
G : Other

典型故障及位置



CEEM全国电力设备管理网

运用傅立叶变换和三角函数的正交性质直接计算tan δ

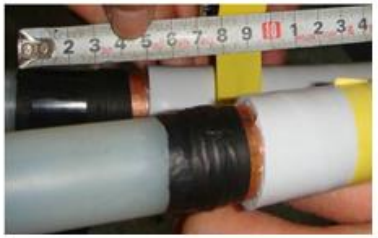


CPEM全国电力设备管理网

终端悬浮

外半导电层破损

接头内部杂质



终端覆盖电缆外半导电层过多

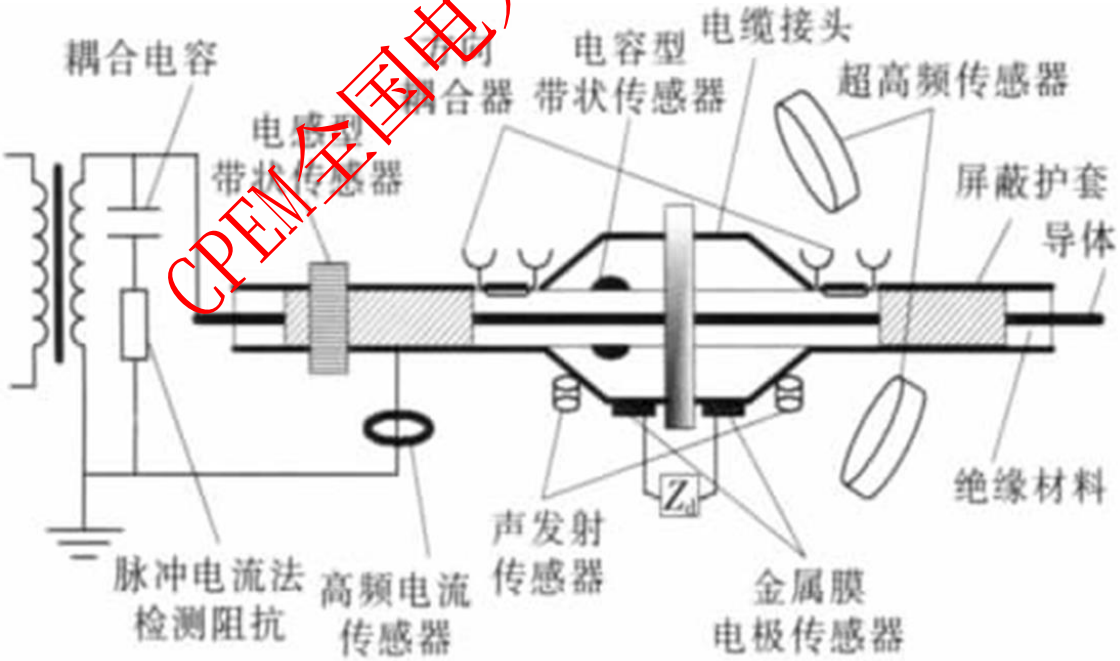
中间接头压接管错用绝缘胶带

终端接头毛刺

外半导电层无倒角

局部受损

CPEM全国电力设备管理网



现　状（问题）

- ✓ 在线监测与故障诊断还处于试运行与积累经验阶段；
- ✓ 数据分析应用手段不健全，没有完全建立在线监测数据与设备典型故障之间的直接关系；
- ✓ 在线监测系统硬件可靠性、准确度、抗干扰及软件滤波去噪问题还未完全解决；
- ✓ 设备运行参数、状态参数及周围环境参数还未有效关联；
- ✓ 设备故障诊断与状态评估的应用分析缺乏统一的标准，不能给出定量的判据；
- ✓ 还存在套用离线试验成熟的标准，来分析评价状态监测数据的问题。

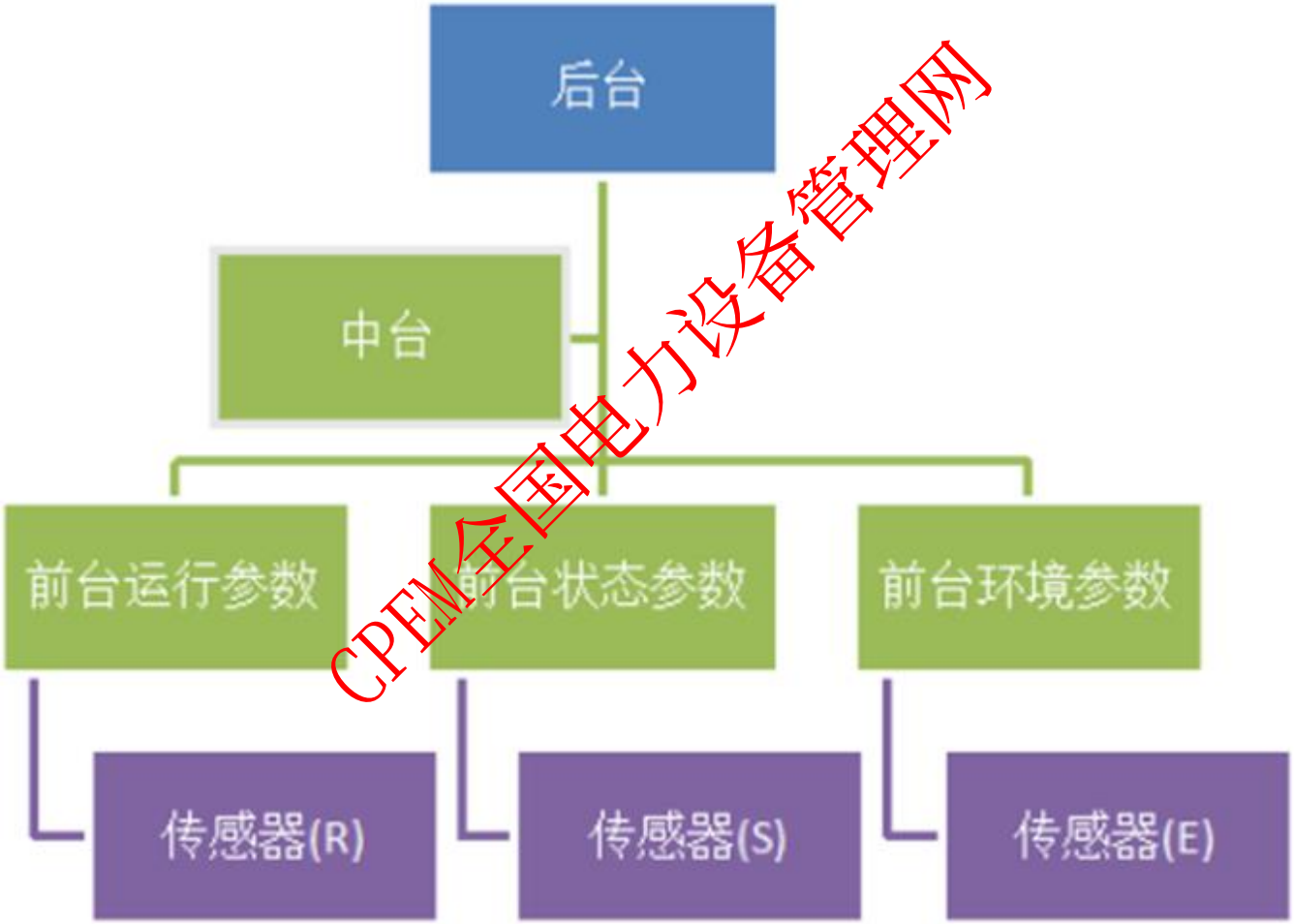
CEEM全国电力设备管理网

未 来

- 重新构建新的在线监测全息系统，顶层设计分三层结构：前台、中台及后台。
- 前台：数据采集、粗处理、清洗（运行参数、状态参数及周围环境参数）。
- 中台：单一参数子系统基本功能及基础应用（单项特征指标分析应用）。
- 后台：高级应用及定制化应用（依据设备状态参数、运行参数及周围环境参数。统计、分析及智能运维策略）结合地理信息、气象和环境条件，参考事故和家族性缺陷史，建立各特征量单一数学模型和多因素条件下的综合分析模型，实现对设备运行状态的综合分析和动态监控，做到预知维修和有效维修。

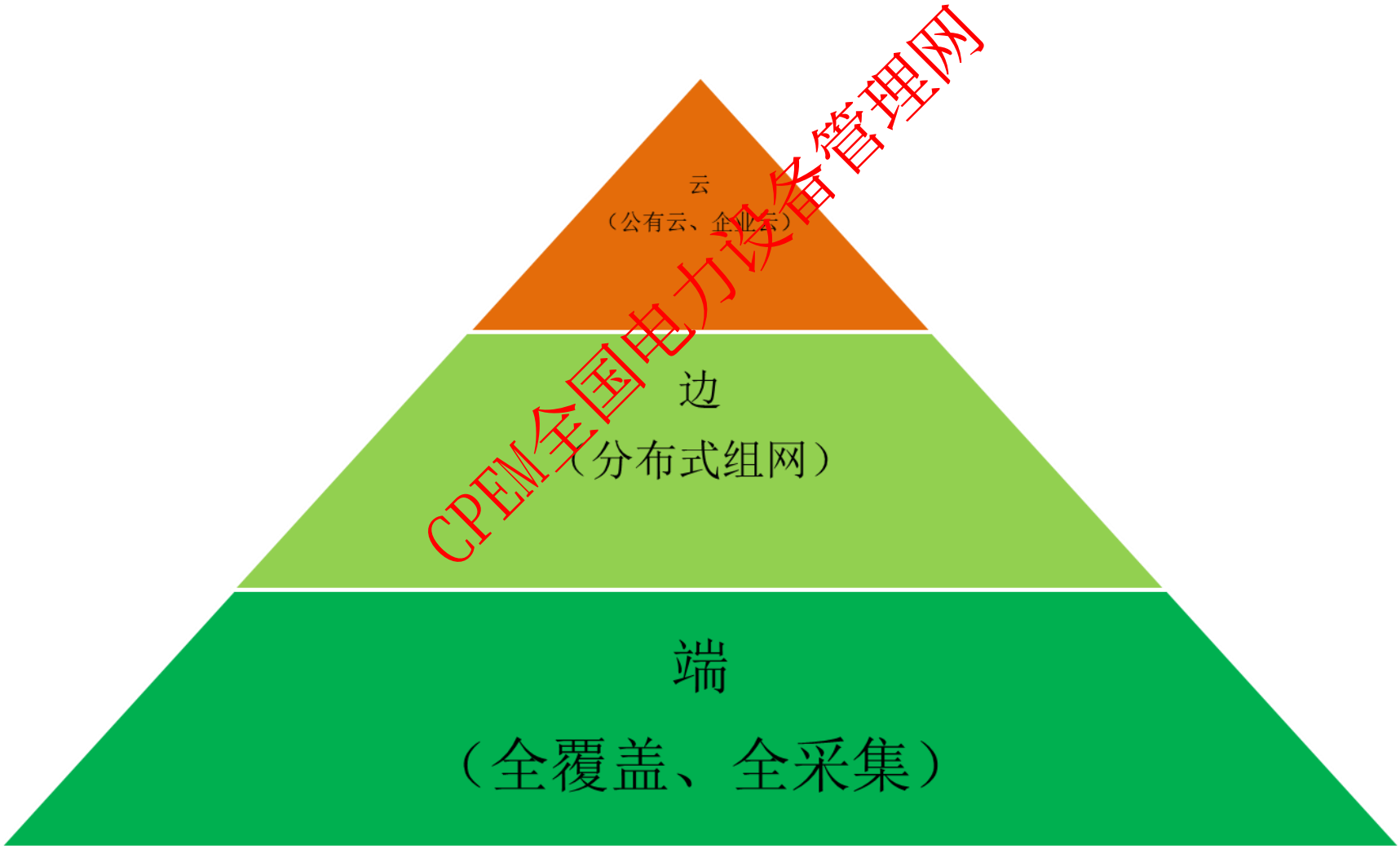
CPEM全国电力设备管理网

未 来（平台架构）



CPEM全国电力设备管理网

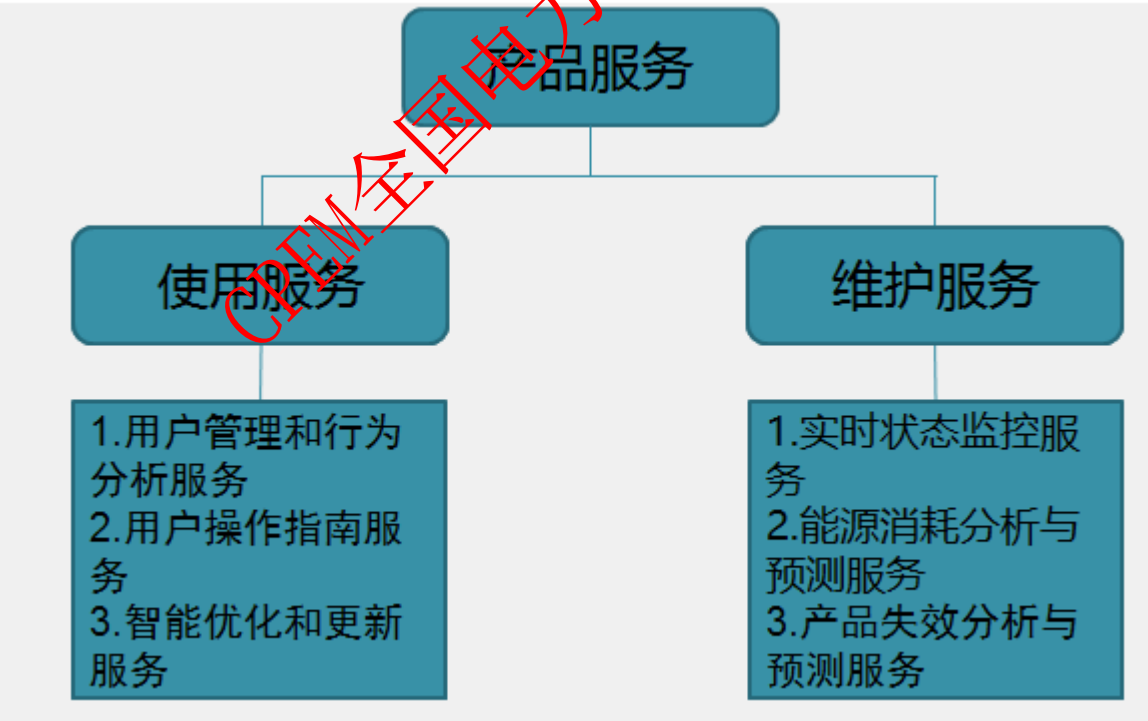
工业物联网技术云、边、端技术，利用边缘通讯网关、5G/IoT网络等设备实现数据互通。



CPEM全国电力设备管理网

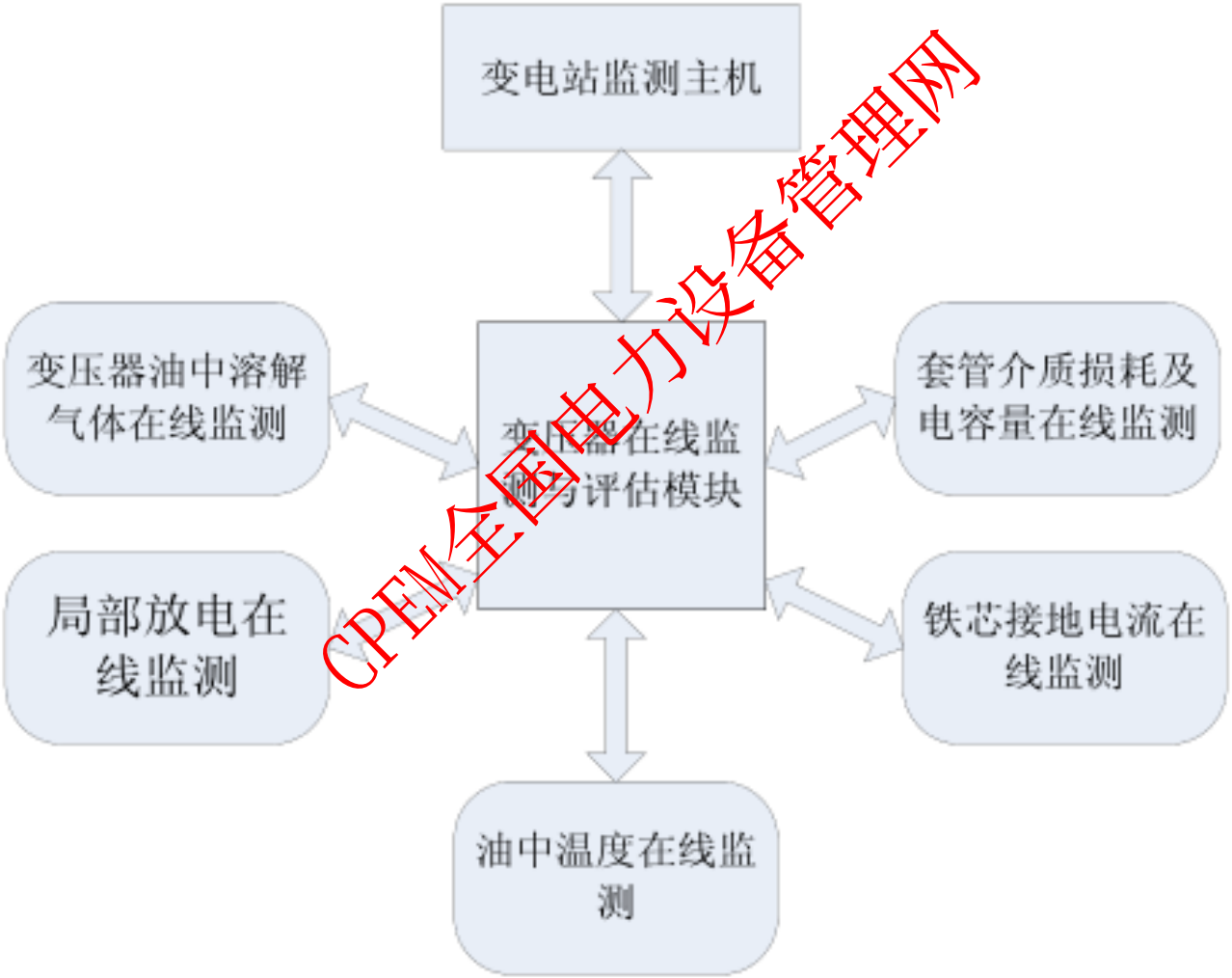
未 来

基于元宇宙理念，开展产品服务（运行与维护），实现电力设备的数字孪生到数字原生再到虚实相生，依托AIOT技术、云计算、边缘计算等支撑，实现电力设备全息（运行参数、状态参数及周围环境参数）实时感知，综合应用。从单一设备多维特征量逐步过渡到系统多设备关联参数诊断与应用。



CEEM全国电力设备管理网

变压器设备到变电站系统



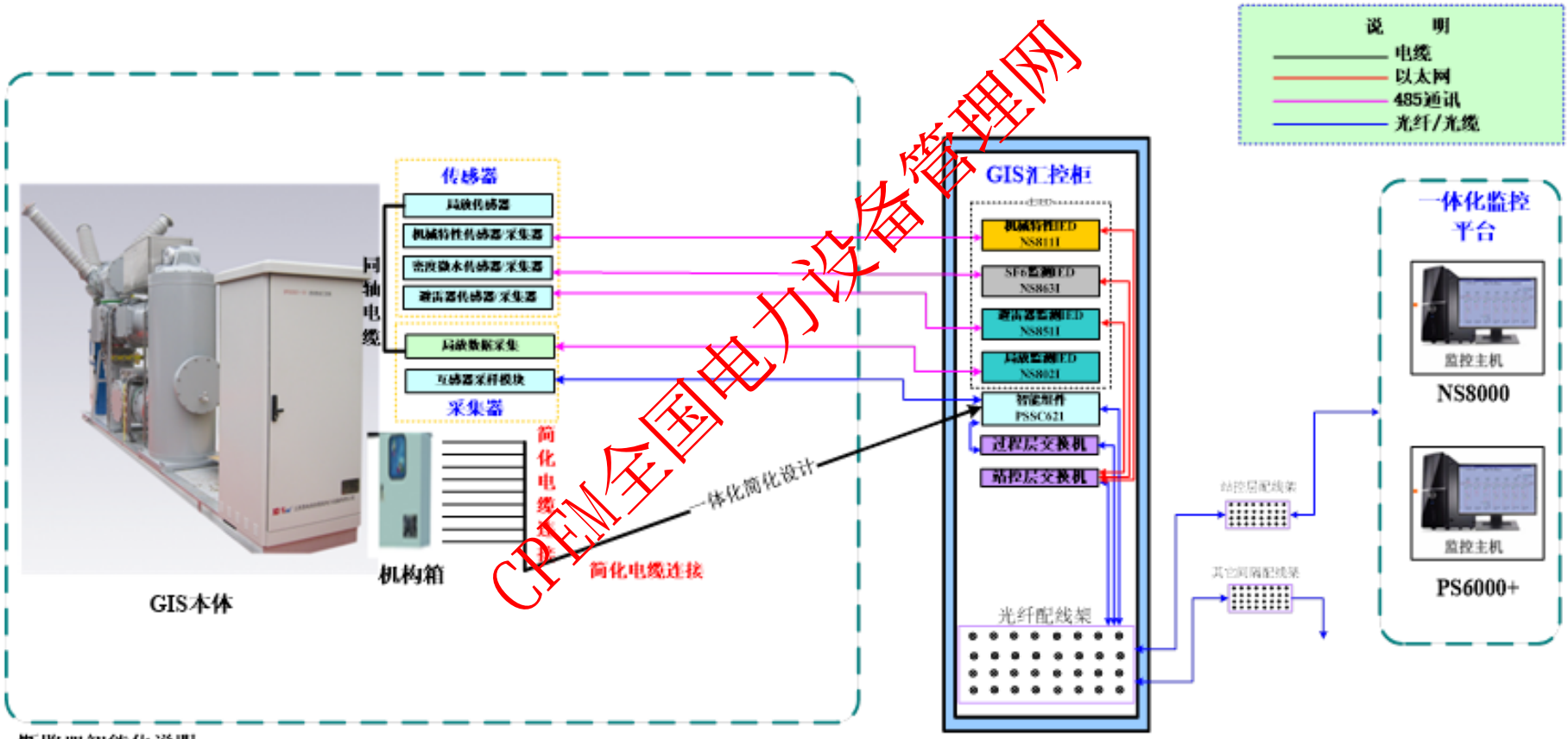
CPEM全国电力设备管理网

数字孪生驱动电力变压器运维服务

数字孪生实现电力变压器的实时状态监测，自身能耗监测分析及电能质量预测分析。

CPEM全国电力设备管理网

GIS智能化系统



CPEM全国电力设备管理网

断路器智能化说明：

1.控制箱和智能组件之间进行少量的电缆连接；

2.传感器全部内嵌在高压断路器中、一体化安装；

3.PSSC621智能组件集成合并单元、开关控制器功能；

4.SF6密度微水、机械特性、局放监测可集成在主IED中。

组合电器智能化示意图

未 来（通用标准）

首项国家标准GB/T　40571-2021《智能服务预测性维护通用要求》正式发布，并将于2022年5月1日起正式实施，该项标准是我国预测性维护领域的首项国家标准，意味着预测性维护从此告别无标准时代。《新标准》通过对预测性维护系统架构、工作流程、功能要求的标准化，以及典型设备预测性维护技术的实例化，为预测性维护技术研究和工程实施提供了规范和依据，有助于打破预测性维护行业概念混乱、行业发展不均衡的现状，统一预测性维护语境，规范行业秩序，引领技术创新，推进传统制造业向服务型制造业转型升级和高质量发展。

我国自主提出的《工业自动化设备和系统 预测性维护》国际标准提案，经国际电工委员会工业过程测量、控制和自动化技术委员会企业控制系统集成分委会（IEC/SC65E）投票成功立项。

CPMA中国电力设备管理网

未 来

- 建立在线监测与状态检修的标准与规范，在线监测数据传输格式与网络的标准化，在线监测系统软件与应用系统的标准化；
- 针对同一种设备，采用多特征参数的 多判据来提高诊断的可信度；在线监测系统多参数整合、多功能集成化；
- 杜绝以离线试验规范及标准，作为在线监测系统诊断分析的依据，建立统一的涵盖所有设备的监测平台；在统一标准出台之前，建议将在线监测数据与离线试验结合起来应用；
- 提高在线监测系统的灵敏度与可靠性，实施在线监测系统与装置智能化，实现诊断自动化。
- 充分应用泛在电力物联网、AIOT、大数据技术、数字孪生技术，为在线监测与状态检修提供支撑。

CPEM全国电力设备管理网

欢迎各位

同行批评指正！

Thanks for

your attention

CPEM全国电力设备管理网