

电力行业统一时间同步解决方案

副标题：面向电厂、变电站、新能源场站、调度中心和电力二次系统的统一、可靠、可监测时间同步基础设施

开篇导语

在电力生产运行中，一件事经常困扰着现场技术人员：

保护装置记录了一次动作，故障录波器也触发了波形，监控后台弹出了告警，网络安全设备同时产生了登录日志——但四个系统记录的时间相差几十毫秒甚至几秒。保护动作、开关变位、录波触发、告警产生、运维登录，这五个事件本应落在一条清晰的时间线上，却因为时间基准不一致，变成了谁也说不清顺序的碎片。

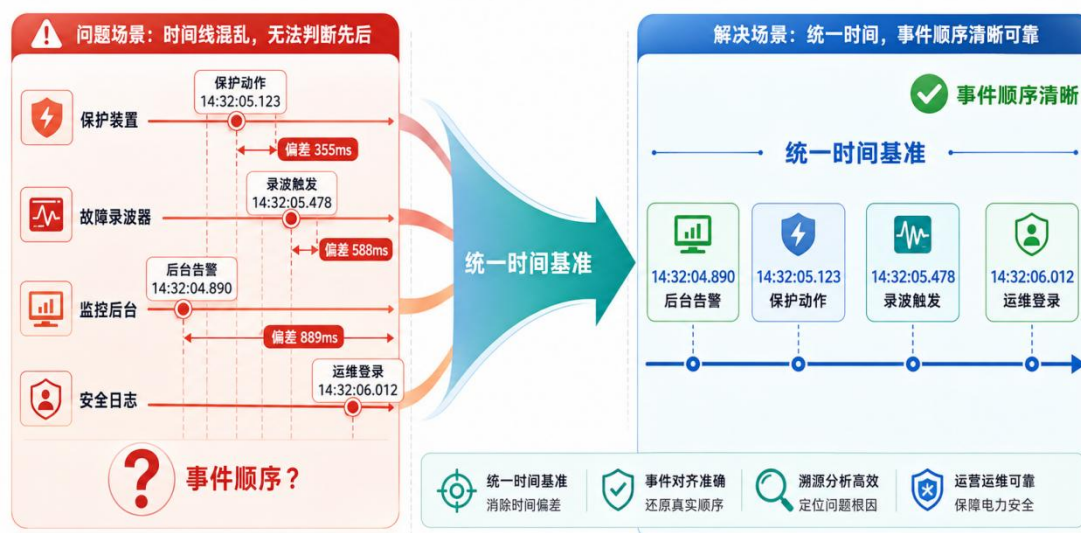
故障复盘时，不同系统的时间偏差让事件顺序难以还原。安全审计时，日志时间不一致让追溯链条出现缺口。并网验收时，多系统时间同步的测试记录不完整，让交付依据打了折扣。

这些问题背后指向同一个事实：电力现场需要一套服务于保护、录波、SOE、SCADA/EMS、DCS、网络安全设备、日志审计平台和运维系统的统一时间同步基础设施。

本方案面向发电企业、电网公司、新能源投资运营商、系统集成商和设计院，提供一套可配置、可测试、可验收、可运维的厂站级统一时间同步解决思路。

1. 现状与挑战

电力现场时间线不一致问题示意图



电力二次系统和自动化设备的时钟管理，长期存在以下几类典型问题：

多系统时间基准不一致

一座厂站内通常同时运行保护装置、故障录波、测控装置、PMU、监控后台、远动装置、DCS/PLC、保信子站、网络安全设备和日志审计平台。这些设备来自不同厂家，各自拥有独立的时钟机制。当各系统之间的时间偏差达到数十毫秒甚至数秒时，保护动作、开关变位、录波触发、后台告警和安全日志无法放到同一条时间线上进行比较，事件顺序分析的可信度显著下降。

设备厂家多、接口类型多

现场被授时设备涉及保护、自动化、通信、监控、网络安全等多个专业，时间同步接口类型包括 IRIG-B (DC/AC)、NTP/SNTP、PTP、1PPS、TOD、10MHz、E1、串口报文、DCF77 等，物理连接方式涵盖光纤、BNC、RJ45、RS-422/RS-485 等。单一协议或单一接口的授时设备难以覆盖全站需求。

时间同步系统异常不可见

很多厂站的时间同步装置在投运后长期处于“无监测”状态。天线故障、GNSS 信号丢失、主备切换失败、守时精度超差、端口输出异常等问题可能持续存在而未被发现——形成“隐形失效”。直到某次故障复盘或安全审计时，才发现时间戳从一开始就不准。

GNSS 异常和主备切换缺少监测

在雷雨天气、天线老化、遮挡或干扰等情况下，GNSS 信号可能劣化或完全丢失。此时主时钟应自动切换至本地守时状态，备用时钟应接管输出。但在缺乏状态监测和告警上

送机制的情况下，现场并不知道切换是否真正发生，也不知道守时精度是否仍能满足 SOE 和录波的要求。

项目验收缺少标准化测试记录

时间同步系统的投运验收往往停留在“看灯亮、看对时正常”的层面，缺少对主备切换、守时保持、输出精度、告警联动和端口同步状态的系统化测试记录。当并网验收、技改交付或安全审计提出时间同步的测试证据要求时，现场可提供的佐证材料不足。

安全日志时间不一致影响事件追溯

网络安全法、等保 2.0 和电力监控系统安全防护要求均强调日志审计和事件追溯。不同安全设备和主机的时间若不统一，安全事件的关联分析和取证溯源将面临根本性困难。

2. 方案目标

本方案的目标是构建一套**统一时间源、统一分发、统一监测、可测试、可验收、可运维、可扩展**的厂站级时间同步基础设施。

具体而言：

- 为全站保护、录波、SOE、测控、PMU、监控后台、远动、DCS/PLC、通信网关、网络安全设备和日志审计平台提供统一的时间基准；
- 默认使用单北斗；（支持北斗/GPS/GLONASS/Galileo 多模授时）
- 提供 IRIG-B、NTP/SNTP、PTP、1PPS、TOD、10MHz、E1、串口报文、DCF77 等多种时间信号输出，兼容新建系统与存量设备；
- 实现主备时钟冗余部署，具备 GNSS 丢失后的本地守时能力；
- 将时间同步系统自身纳入在线监测与告警管理，让时间源状态、主备切换、守时精度和端口输出情况可被感知和追溯；
- 方案设计参考 DL/T 1100 等电力时间同步相关标准及国网、南网、发电集团常见技术要求，可根据具体项目规范进行配置、测试和验证。

3. 系统架构



本方案采用四层架构设计：时间源层 → 主时钟与守时层 → 时间分发层 → 业务系统层，并贯穿一条独立的监测与告警链路。

第一层：时间源层

为全站提供可靠的时间基准来源：

- **北斗卫星导航系统 (BDS)**：方案以北斗为优先时间源，支持北斗二代/三代信号，满足电力行业自主可控方向；
- **GPS / GLONASS / Galileo**：作为辅助参考源，可根据项目安全策略选择启用或禁用；作为补充卫星时间源，提升可用性和抗干扰能力；
- **本地铯原子钟 / 高精度恒温晶振 (OCXO)**：在卫星信号不可用时提供自主守时能力，保障全站时间连续可用；
- **可选外部时间参考**：支持从地面链路引入上级时间基准，用于特殊场景下的时间溯源。

第二层：主时钟与守时层

主时钟层是实现高可靠时间同步的核心：

- 配置双重化主时钟装置（主时钟 A + 备用时钟 B），形成主备冗余；
- 每台主时钟装置标配**双电源**接入，避免单路供电故障导致时钟失效；
- 每台主时钟装置配置**双 GNSS 接收模块**，提升卫星信号接收的可靠性；

- 每台主时钟装置配置**双网口或多网口**，满足不同安全分区和网络冗余需求；
- 内置**铷钟或 OCXO 守时模块**，GNSS 正常时自动驯服本地频率源，GNSS 丢失后无缝切换至守时状态，保持时间输出的连续性和精度；
- 主备时钟之间通过光纤或网线进行**时钟互检与自动切换**，主时钟异常时备用时钟接管时间输出，切换过程有日志记录；
- 主时钟的 GNSS 状态、锁定状态、守时状态、电源状态、端口状态、主备角色和异常事件通过独立链路或网络上送至厂站监控系统或时间同步在线监测平台。

第三层：时间分发层

将统一时间基准以多种信号形式和接口类型分发至全站各类设备：

信号类型	主要服务对象	典型物理接口
IRIG-B（DC/AC）	保护装置、测控装置、故障录波、PMU	BNC、RS-422/RS-485
NTP / SNTP	监控后台、服务器、网络设备、安全设备、日志审计平台	RJ45
PTP（IEEE 1588v2）	数字化变电站合并单元、智能终端、高精度网络设备	RJ45、光纤
1PPS + TOD	通信设备、同步相量测量、部分测控装置	BNC、RS-422/RS-485
10MHz	通信设备、频率基准设备、仪表	BNC
E1	通信传输设备	BNC、RJ45
串口报文	存量保护装置、自动化装置、DCS/PLC	RS-422/RS-485
DCF77	部分存量系统和仪表	BNC、RS-485

第四层：业务系统层

接受统一时间服务的全站设备和系统：

- **保护装置、测控装置**：通过 IRIG-B 或串口报文获取精确时间，确保保护动作和开关变位时标准确；
- **故障录波器**：通过 IRIG-B 获取高精度时间，保证录波数据的时标可信；
- **SOE（事件顺序记录）**：基于统一时间基准记录事件顺序，支撑事故分析；

- **PMU (同步相量测量装置)**：通过 IRIG-B 或 1PPS+TOD 获得高精度同步时标；
- **监控后台 / SCADA / EMS**：通过 NTP/SNTP 同步时间，确保告警和事件记录时间一致；
- **远动装置 / 通信网关**：通过 NTP 或 IRIG-B 获取时间，保证上送调度主站的数据时标准确；
- **DCS / PLC**：通过 NTP、串口报文或 IRIG-B 获取时间，服务于发电工艺控制和事件记录；
- **保信子站**：通过 NTP 或 IRIG-B 获取时间，保证保护信息时标准确；
- **网络安全设备**（防火墙、入侵检测、安全监测装置、堡垒机等）：通过 NTP 获取时间，支撑安全事件关联分析；
- **日志审计平台**：通过 NTP 获取可靠时间，保证日志时间戳的一致性和可审计性。

监测与告警链路

从主时钟装置至厂站监控系统或时间同步在线监测平台，独立上送以下状态信息：

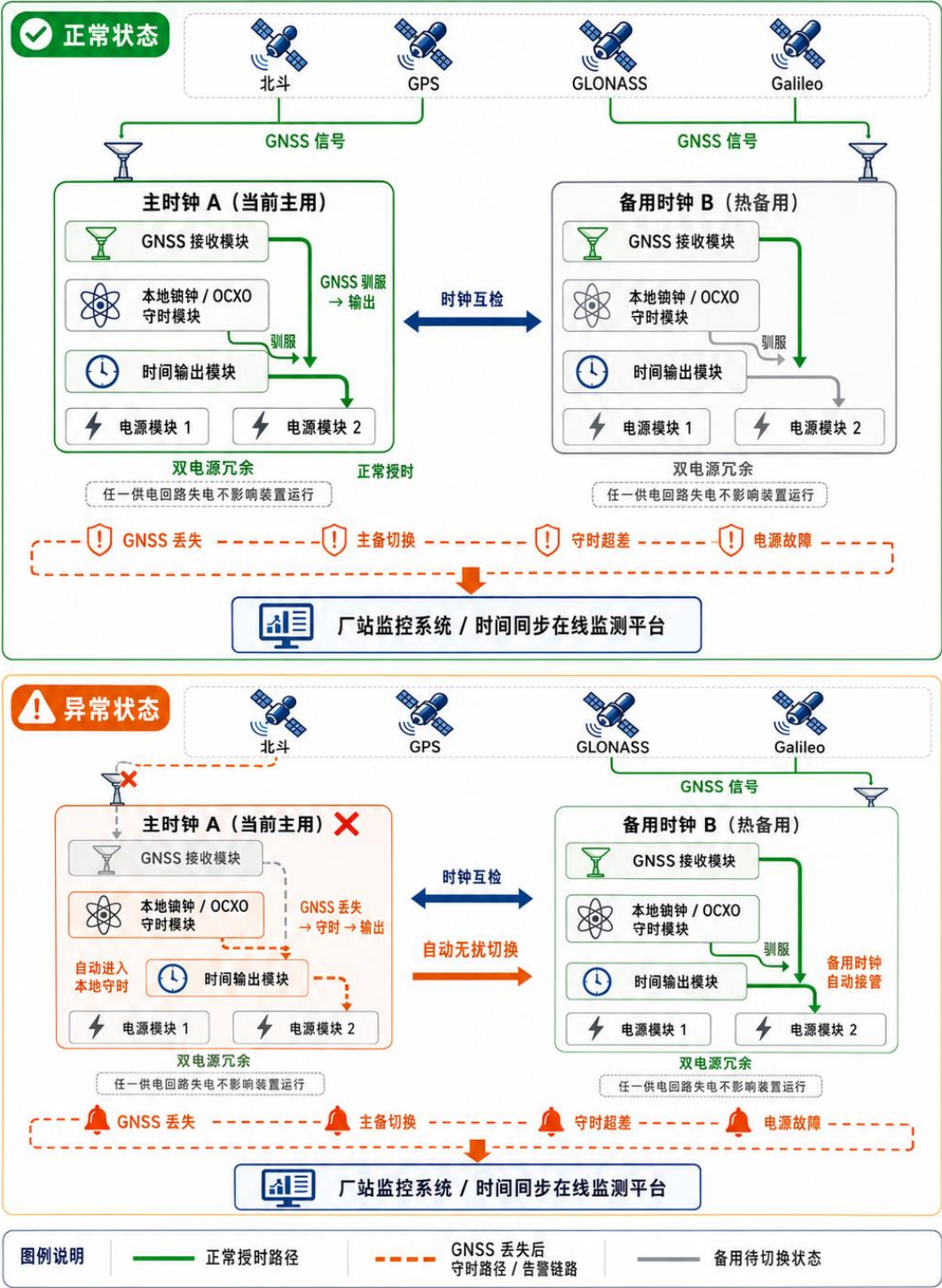
- GNSS 天线状态（正常 / 开路 / 短路）；
- 锁定卫星数量及信号质量；
- 当前时间源（北斗 / 守时）；
- 主备角色（主 / 备）；
- 守时状态（驯服 / 守时 / 超差）；
- 端口输出状态；
- 电源状态；
- 主备切换事件记录；
- 时间跳变告警。

4. 核心能力

多源授时，北斗优先

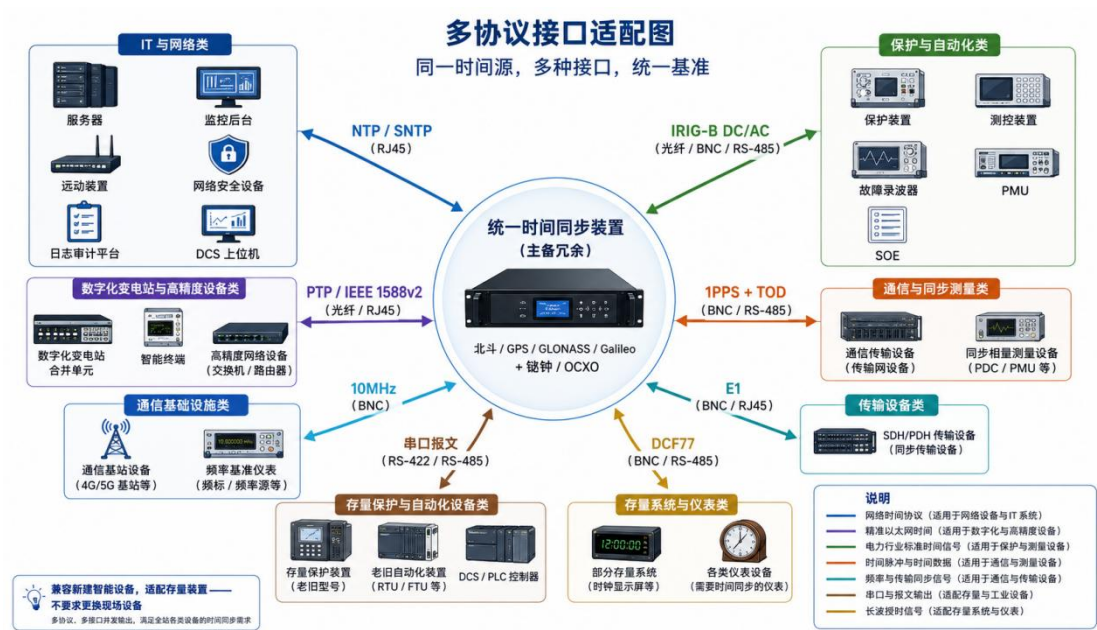
同时接收北斗、GPS、GLONASS、Galileo 多系统卫星信号，以北斗为优先时间源。
多系统并行接收提升卫星可用性和抗干扰能力，北斗优先满足电力行业自主可控方向。
在项目有明确安全策略要求时，可配置为仅使用北斗或仅使用特定卫星系统。

主备冗余与 GNSS 失效守时示意图



多协议、多接口时间分发

同一台主时钟装置可同时输出 IRIG-B、NTP/SNTP、PTP、1PPS、TOD、10MHz、E1、串口报文、DCF77 等多种时间信号，覆盖保护、录波、测控、PMU、监控后台、远动、DCS/PLC、通信设备、网络安全设备和日志审计平台的各类对时需求。同一时间源，多种接口，统一基准——兼容新建智能设备，也适配存量装置。



主备冗余与高可靠部署

主备时钟双重化配置，每台装置采用双电源、双 GNSS、双网口/多网口设计，消除单点故障风险。主备之间通过光纤或网络进行时钟互检，主时钟异常时备用时钟自动接管，切换过程有日志记录且可上送至监控系统。双电源接入不同供电回路，确保单路失电不中断时钟服务。

GNSS 异常时本地守时

当 GNSS 信号因天线故障、恶劣天气、遮挡或干扰而劣化或丢失时，主时钟自动切换至本地铷钟或 OCXO 守时状态，持续为全站设备提供时间服务。守时精度和持续时间取决于所选守时模块的配置等级和运行环境，可支撑 GNSS 中断期间的故障录波、SOE 记录和安全日志的时间连续性。

状态监测与告警上送

时间同步系统自身具备状态监测与告警上送能力，将天线状态、锁定卫星数量、当前时间源、守时状态、主备角色、端口状态、电源状态和异常事件等信息，通过硬接点、SYSLOG、SNMP 或电力专用规约上送至厂站监控系统或时间同步在线监测平台。让时间系统的运行状态不再是"黑盒"，运维人员可以持续掌握时间基础设施的健康度。

支持现场验收和运维闭环

方案从设计阶段就考虑验收和运维需求——端口规划、主备策略、告警策略、测试计划均在方案设计中明确。联调测试阶段逐项记录同步状态、主备切换、守时保持、告警联动和端口输出等关键指标。验收时交付测试报告、配置文档、端口分配表和运维建议，帮助客户形成长期运维管理闭环。

适配存量设备与新建系统

对于正在运行的老旧保护装置、自动化装置和 DCS/PLC，可通过串口报文、IRIG-B 或 DCF77 等方式接入统一时间；对于新建的智能变电站、数字化系统和网络安全平台，可通过 PTP、NTP 和 IRIG-B 提供高精度时间服务。方案不要求现场更换存量设备，而是在现有设备基础上构建统一的时间同步基础设施。

5. 典型应用场景

典型应用场景与授时方式矩阵图						
业务系统/设备	发电厂	变电站/升压站	新能源场站	调度中心/数据中心/通信机房	网络安全与日志审计	
保护装置	IRIG-B 串口	IRIG-B	IRIG-B	—	—	
故障录波器	IRIG-B	IRIG-B	IRIG-B	—	—	
SOE 装置	IRIG-B	IRIG-B	IRIG-B	—	—	
PMU	IRIG-B 1PPS+TOD	IRIG-B 1PPS+TOD	IRIG-B 1PPS+TOD	—	—	
测控装置	IRIG-B 串口	IRIG-B 串口	IRIG-B 串口	—	—	
监控后台/SCADA/EMS	NTP	NTP	NTP	NTP / PTP	—	
DCS/PLC	NTP 串口 IRIG-B	—	NTP	—	—	
运动装置/通信网关	NTP	NTP	NTP	NTP	—	
保信子站	NTP	NTP	NTP	—	—	
服务器/工作站	NTP	NTP	NTP	NTP / PTP	NTP	
网络设备	NTP	NTP	NTP	NTP	NTP	
网络安全设备	NTP	NTP	NTP	NTP	NTP	
日志审计平台	NTP	NTP	NTP	NTP	NTP	
通信传输设备	1PPS+TOD 10MHz E1	1PPS+TOD 10MHz E1	—	1PPS+TOD 10MHz E1	—	

IRIG-B

NTP

PTP

1PPS+TOD

串口

10MHz

E1

DCF77

—

IRIG-B (DC/AC)

NTP / SNTP

PTP (IEEE 1588v2)

1PPS + TOD

串口报文

10MHz

E1

DCF77

不适用 / 不需要

使用频率参考（颜色深浅）

主流（高频使用）

少数场景（低频使用）

不同场景对精度、接口、冗余和验收要求不同，上表为典型配置参考，实际方案以项目调研和技术规范为准。

场景 A：发电厂统一时间源

适用范围： 火电、水电、燃机、核电、自备电厂及生物质/垃圾发电等。

现场特点： 发电厂内系统种类多、分区复杂——继电保护、励磁、调速、DCS、SIS、故障录波、PMU、后台监控、远动通信、保信子站、网络安全设备、MIS/SIS 服务器等均有时间同步需求。涉及安全 I 区、II 区、III 区的网络隔离和跨区时间分发。

常见时间同步问题：

- DCS 与保护装置时间不一致，工艺参数变化与电气事件难以对应；
- 多台机组时间各自独立，全厂事件无法统一排序；
- 安全 III 区的日志审计平台与生产大区设备时间不同步；
- 调度主站对发电厂上送数据的时间准确性有明确要求。

推荐授时方式：

- 主时钟层：双重化主时钟 + 铷钟/OCXO 守时 + 北斗优先 + 双电源；
- 安全 I/II 区：IRIG-B 接入保护、录波、PMU，NTP 接入监控后台、远动、保信子站；
- 安全 III 区：通过二级 NTP 服务器获取时间，服务 MIS、SIS、日志审计平台和安全设备；
- 扩展单元：通过 IRIG-B 或光纤扩展至不同机组和配电区域。

客户价值：

- 全厂机组和公用系统统一时间基准，故障分析有据可循；
- 满足发电厂并网调度协议中对时间同步的要求；
- 提升全厂安全日志和审计记录的可用性。

场景 B：变电站 / 升压站时间同步

适用范围： 各电压等级变电站、新能源升压站、用户变电站、开关站。

现场特点： 保护、测控、故障录波、SOE、PMU、监控后台、远动装置集中在站控层和间隔层，对时间精度和可靠性要求高。保护装置通常要求 IRIG-B 对时，部分老旧装置仍使用串口报文或脉冲对时。

常见时间同步问题：

- 保护装置与故障录波时间偏差，导致保护动作顺序难以确认；

- SOE 事件时标不准，事故调查时开关变位时间顺序不可信；
- 远动装置上送调度主站的数据时标不一致；
- 主备时钟切换无记录，异常状态下时间源状态不可见。

推荐授时方式：

- 主时钟层：双重化主时钟 + OCXO/铷钟守时 + 双 GNSS + 双电源；
- 间隔层：IRIG-B (DC/AC) 接入保护、测控、录波、PMU、SOE；
- 站控层：NTP 接入监控后台、远动、通信网关、网络安全监测装置；
- 扩展单元：通过 IRIG-B 扩展至不同电压等级的继电器室。

客户价值：

- 保护动作、开关变位、录波触发、SOE 事件可沿统一时间线排列；
- 事故分析和故障回溯效率显著提升；
- 主备状态和 GNSS 状态上送监控，时间系统不再"隐形"；
- 支撑并网验收和技改交付中的时间同步测试要求。

场景 C：新能源场站时间同步

适用范围： 风电、光伏、储能电站及多能互补项目。

现场特点： 设备厂家多、分布范围广、系统分散。风机/逆变器/储能变流器就地控制系统、箱变保护、汇集线路保护、故障录波、功率预测系统、AGC/AVC、电能质量监测、远程集控等均需要时间同步。地理分布上可能横跨数十平方公里，网络条件复杂。

常见时间同步问题：

- 风机/光伏逆变器就地时间与升压站时钟不统一；
- 功率预测系统时间偏差影响预测精度评估；
- 故障穿越分析时，风机/逆变器的就地记录与升压站录波时间无法对齐；
- 远程集控中心看到的多个场站数据时间基准不一致；
- 储能电站的充放电时序与电网调度指令时间需要严格对应。

推荐授时方式：

- 主时钟层：升压站部署双重化主时钟 + 北斗优先 + OCXO/铷钟守时；
- 升压站区域：IRIG-B 接入保护、录波，NTP 接入监控后台、远动、功率预测；
- 风机/光伏/储能就地：通过 NTP（场站局域网或环网）获取统一时间；

- 分散区域：通过光纤扩展单元或独立 NTP 服务器实现远程时间分发。

客户价值：

- 全场站统一时间基准，支持故障穿越分析和事件追溯；
- 满足电网对新能源场站涉网设备的时间同步要求；
- 提升远程集控运维效率，多场站数据可统一对比分析；
- 储能电站充放电事件时间可精确记录，支撑调度考核和电量结算。

场景 D：调度中心 / 数据中心 / 通信机房时间同步

适用范围： 各级电力调度中心、集控中心、数据中心、通信枢纽机房。

现场特点： 服务器、网络设备、数据库、SCADA/EMS、通信网管系统、安全设备等大量 IT 基础设施依赖 NTP 对时。设备数量多、网络层级复杂、安全分区严格。日志关联分析、实时监控、通信网管等场景对时间一致性要求高。

常见时间同步问题：

- 不同安全分区的服务器时间不一致，跨区数据难以关联；
- 数据库时间与 SCADA 前置机时间不统一，历史数据查询结果混乱；
- 网络设备日志时间不准确，故障定位和性能分析不可靠；
- 安全审计时，跨设备的事件时间线无法拼接。

推荐授时方式：

- 主时钟层：双重化主时钟 + 铷钟守时 + 北斗优先；
- 核心层：PTP/NTP 双模授时，服务于 SCADA/EMS 前置机和核心服务器；
- 汇聚/接入层：NTP 层级分发，服务于各安全分区的服务器、网络设备和安全设备；
- 通信机房：1PPS+TOD、10MHz、E1 等接入传输和同步设备。

客户价值：

- 调度中心全业务系统统一时间基准，日志和事件可跨系统关联；
- 安全审计和合规检查有可靠的时间依据；
- 通信网络管理和故障定位效率提升；
- 各安全分区时间一致，跨区数据融合分析可信。

场景 E：网络安全与日志审计可信时间源

适用范围： 电力监控系统安全防护体系中的堡垒机、日志审计平台、态势感知平台、安全监测装置、入侵检测系统、防火墙等。

现场特点： 等保 2.0 和电力监控系统安全防护对日志时间戳的准确性和一致性有明确要求。安全事件追溯、攻击路径还原、合规审计均依赖统一且不可篡改的时间基准。安全设备通常部署在安全 III 区或安全接入区，通过隔离装置与生产大区连接。

常见时间同步问题：

- 不同安全设备时间不一致，安全事件关联分析困难；
- 日志审计平台收到的时间戳混乱，无法形成有效的攻击链还原；
- 合规检查时，日志时间的一致性被质疑；
- 跨区时间同步路径需要考虑安全隔离和网络可达性。

推荐授时方式：

- 安全 III 区：部署专用 NTP 服务器或通过隔离装置从安全 I/II 区获取可信时间；
- NTP 层级结构：主 NTP 服务器 → 二级 NTP 服务器 → 各安全设备和主机；
- 日志审计平台：直接从可信 NTP 源获取时间，确保审计数据库的时标准确；
- 可选：结合项目安全要求，扩展访问控制、管理口令策略、SYSLOG 上送等安全管理能力。

客户价值：

- 安全事件时间线清晰，攻击链还原和取证分析有可信依据；
- 满足等保 2.0 和电力监控系统安全防护对日志时间的合规要求；
- 运维和安全管理团队可基于统一时间轴进行事件研判和应急响应。

6. 方案价值

故障分析可信

全站保护动作、开关变位、录波触发、SOE 事件、后台告警和安全日志以统一时间基准记录。事故演化过程可沿一条清晰的时间线呈现，事件先后顺序不再因时间偏差而产生争议，故障复盘的效率和结论的可信度显著提升。

事件顺序清晰

基于统一时间源，SOE 装置所记录的事件顺序、保护装置的动作时序、故障录波器的波形时标能够严格对应。对于需要还原毫秒级事件先后关系的复杂故障分析，统一时间基准是不可替代的基础条件。

并网与技改验收更有依据

方案设计阶段即明确端口规划、主备策略和测试计划。联调测试阶段逐项验证时间同步状态、主备切换、守时保持、告警联动和端口输出，形成完整的测试记录。验收时交付测试报告、配置文档和运维建议，让时间同步系统的交付从"看灯亮"升级为"有数据、可追溯"。

运维状态可视

时间同步系统自身的运行状态——GNSS 天线状态、锁定卫星数量、当前时间源、守时状态、主备角色、电源状态和端口输出状态——通过告警链路上送至监控系统。运维人员不再被动依赖故障后排查，而是可以持续掌握时间基础设施的健康度，在问题影响业务系统之前做出响应。

时间异常可告警

天线故障、卫星信号丢失、守时超差、主备切换、端口异常、电源故障等事件可实时上送告警。与厂站监控系统或时间同步在线监测平台联动，时间同步系统从"无监测"变为"可感知、可追溯"。

北斗优先，自主可靠

以北斗卫星导航系统为优先时间源，融合本地铷钟或高精度晶振守时技术，从时间源头保障电力时间基础设施的自主可控。在 GNSS 信号不可用的极端情况下，本地守时确保全站时间服务不中断。

兼容存量设备

方案支持 IRIG-B、串口报文、DCF77、1PPS、E1 等多种存量设备常见的对时接口，不要求更换已在运行的保护装置、自动化装置或 DCS/PLC。在现有设备基础上构建统一时间同步基础设施，保护存量投资。

支持未来扩展

方案采用分层架构设计，时间分发层的接口和端口容量可按项目需求配置。当站内新增设备类型或升级系统时，可通过扩展单元或增加输出板卡灵活扩展，满足数字化变电站、新能源场站扩建和二次系统安全建设的发展需求。

7. 实施与交付



方案实施遵循"调研—设计—部署—测试—验收"五步流程，每一步对应明确的输出物，确保项目交付的透明度和可追溯性。

第一步：现场调研

对目标厂站进行全面的时间同步现状梳理，输出内容包括：

- 现有被授时设备清单（设备类型、厂家、型号、数量、安装位置）；
- 各设备的授时接口类型和物理连接方式；
- 现有时间同步装置（如有）的配置、运行状态和存在的问题；
- 天线架设候选位置及防雷接地条件；
- 供电条件（双路电源可用性）；
- 网络拓扑和安全分区情况；
- 现场风险点和特殊约束条件。

第二步：方案设计

基于调研结果，进行针对性方案设计，输出内容包括：

- 时钟层级设计（是否单层/双层/级联）；

- 主备冗余策略（主备切换条件、互检方式）；
- 信号输出类型与端口容量规划；
- 天线架设方案及防雷设计；
- 各安全分区的时间分发路径规划；
- 告警策略（告警内容、上送方式、通信规约）；
- 测试计划（同步精度、主备切换、守时保持、告警联动、端口验证）；
- 设备清单和物料清单。

第三步：设备部署

按设计方案进行设备安装和线缆敷设，内容包括：

- 天线安装（含避雷器及防雷接地连接）；
- 主备时钟屏柜或壁挂式装置就位安装；
- 光纤/同轴电缆/双绞线敷设和端接；
- 双路电源接入；
- 网络接入和 VLAN/安全分区配置；
- 设备上电和初始配置。

第四步：联调测试

与被授时设备逐类、逐台进行时间同步功能验证，内容包括：

- 各被授时设备的对时状态确认；
- 时间输出精度验证（按信号类型和端口进行抽测）；
- 主备切换测试（模拟主时钟故障，验证备用时钟接管时间和输出连续性）；
- 守时保持测试（模拟 GNSS 信号丢失，验证守时精度和持续时间）；
- 告警联动测试（模拟天线故障、电源故障、守时超差等异常，验证告警上送功能）；
- 端口全覆盖验证（确认所有输出端口均在正常输出状态）。

第五步：验收移交

汇总全部测试记录和配置信息，完成项目交付，输出内容包括：

- 测试报告（含时间偏差记录、主备切换记录、守时测试数据、告警测试记录）；

- 配置文档（设备配置参数、端口分配策略、主备策略、告警策略）；
- 端口分配表（每个输出端口对应的被授时设备）；
- 运维手册（日常巡检要点、常见问题处理、告警响应流程）；
- 运维人员现场培训。

核心理念：方案交付的不是一台设备，而是一套可验证、可运维的时间同步基础设施。

8. 适用客户与合作伙伴

直接用户

- **发电企业**：火电、水电、燃机、核电、生物质/垃圾发电等各类发电厂的生技部、继保班、热控班、信息中心；
- **电网公司**：各级供电公司的变电运维、调度自动化、继电保护、通信和网络安全管理部；
- **新能源投资运营商**：风电、光伏、储能及多能互补项目的运行管理部门和集控中心；
- **储能电站**：独立储能、共享储能项目的技术管理部门；
- **大工业用户**：拥有自备电厂和用户变电站的钢铁、化工、冶金、矿山等企业的动力和电力管理部门。

合作伙伴

- **电力设计院**：在新建、扩建和技改工程的一次/二次设计中纳入统一时间同步方案；
- **系统集成商**：在厂站自动化、监控系统和通信系统集成中搭载时间同步能力；
- **二次设备制造商**：为保护、测控、录波、PMU 等装置配套时间同步方案；
- **电力自动化厂商**：在 SCADA/EMS、DCS/PLC、远动和集控系统中集成时间同步；
- **网络安全集成商**：在电力监控系统安全防护、日志审计和态势感知项目中提供可信时间源。