



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

数字化赋能现场运维应用技术

汇报单位：国网杭州供电公司

汇报人员：裘愉涛

■ 主讲人介绍



裘愉涛 Qiu Yutao

- 国家电网首席专家
- 正高级工程师
- 全国劳动模范
- 国网公司继电保护专家组成员
- IET Fellow; IEEE Senior Member

主持或参与国网公司、浙江电网40多项重要项目和课题的研究，62次获得省部级以上科学技术奖励，在国内外各类科技期刊上发表论文92篇，授权专利145余项，先后主持或参与标准69项，编写教材24本。



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

目录

CONTENTS

- 01 背景概述
- 02 数字图纸模型构建
- 03 数字图纸场景应用
- 04 建议与展望



国家电网
STATE GRID

背景概述| -政策驱动

国家政策：2024 年国家能源局在《关于加强电力安全治理以高水平安全保障新型电力系统高质量发展的意见》中进一步提出构建新型电力系统安全责任体系，要求**强化设备运维的数字化管理**。

行业政策：2023年以来电力行业继电保护标委会多次组织召开继电保护数字化设计及应用专题研讨会，从需求、模型、工具等多维度擘画了继电保护及二次回路数字化蓝图，继保标委会立项了多个标准规范。

公司政策：2024年国调中心调继〔2024〕29号文《推进继电保护智能运检技术应用工作方案》，强调**二次图纸由图形图**
纸向数字图纸转变，建立贯通“制造-设计-建设-运检-改造”数字图纸全生命周期维护机制。





背景概述| -需求驱动

在当今电网安全和保供压力日益增长的形势下，继电保护作为**电网安全运行的第一道防线**，其高可靠性运行要求与运维人力日益紧张、检修窗口期不断缩短之间的**矛盾日益凸显**，叠加新型电力系统下继电保护安全运行**不确定风险急增**、数字化转型下对**IT填报需求剧增**，亟需开发高效应用，**辅助运检人员进行科学决策和质效提升**，更好促进专业进步、保障电网安全稳定运行。

装置规模快速增长导致运检工作量成倍提升、人员承载力持续加大。如国网220千伏及以上继电保护装置现有 **23.43万台**，较2015年以来增长**54.76%**。

VS

基层班组人力配置**缺口严重**，如南网变电继保人员配置**缺口23%**，单贵州电网测定人员**490**人员、实际**295**人，缺口达**40%**。现场调试作业的增加与人员配置及技能的不匹配问题日益突出。





背景概述| -问题驱动

现有变电站二次回路信息仍以**纸质方式呈现**，存在设计输出缺乏模型信息、竣工图纸与现场实际接线不一致、运维现场查线困难、技改站图纸丢失等问题，**给图档管理、运维检修造成了极大麻烦。**

图纸查找难题



图纸的多样性和复杂性导致作业过程中查找效率低且容易出现遗漏重要资料的风险。

图纸存放难题



图纸零散，存放占用空间，在传递的过程中易破损，且更新难度大。

调试质量难保证



调试验收依赖人工对照图纸验证回路，系统联调效率低，且测试结果的一致性难以把控。

现场问题

技改勘察繁杂



传统安措票人工编制模式依赖纸质图纸经验判读，存在效率低、易疏漏等问题但缺乏 SPD 二次实回路安措票自动生成。

辅助核验缺失



验收阶段，图模物一致性核验工作负荷繁重，自动化辅助验收技术的支撑较为匮乏。

运维检修定位困难



现场工作缺乏专业性的引导，未采用可视化展示方式、智能化故障定位方法，严重依赖运维检修人员专业能力，整体效率低下。



背景概述| -技术驱动

电力系统正经历以**数字化、智能化为核心的深刻变革**，运检模式在新技术驱动下迎来全面重构。**设计作为工程数据库的源头**，数字化设计为“制造-设计-建设-运检-改造”**全生命周期贯通和人工智能、数字孪生的发展提供“数字”底座**，从底层推动继电保护运检向“智能感知、自主决策、精准执行”的方向演进。



人工智能技术



数字孪生技术

全周期贯通



“数字”底座

构建以数字图纸为核心的变电站二次回路数字描述文件



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

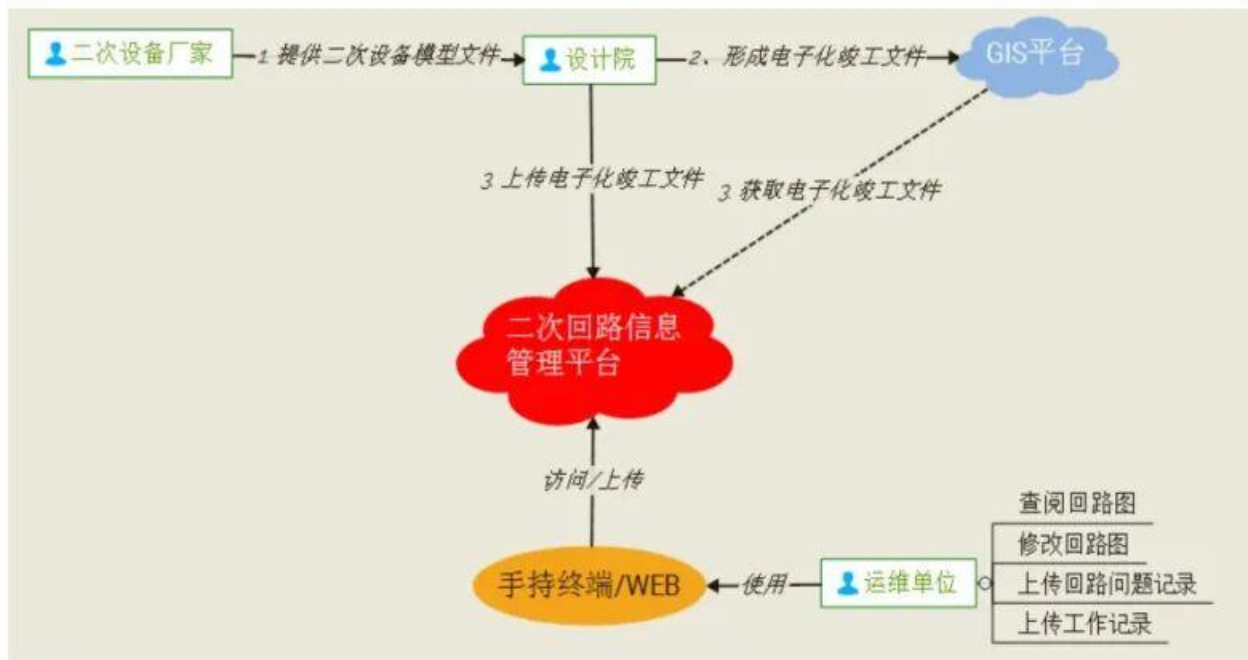
目录

CONTENTS

- 01 背景概述
- 02 数字图纸模型构建
- 03 数字图纸场景应用
- 04 建议与展望



数字化模型构建-总体建模思路

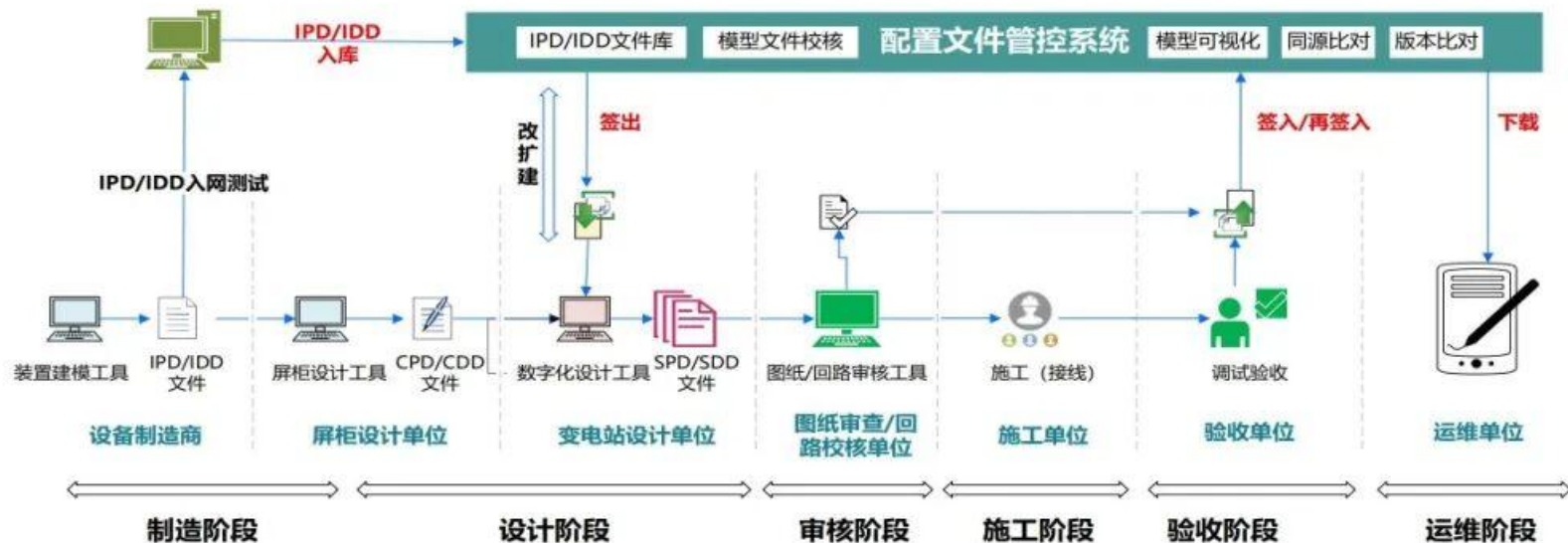


设计过程**自动化**、设计成果**数字化**、运维管理**智能化**、图档**全生命周期**管控



数字化模型构建| -总体技术方案

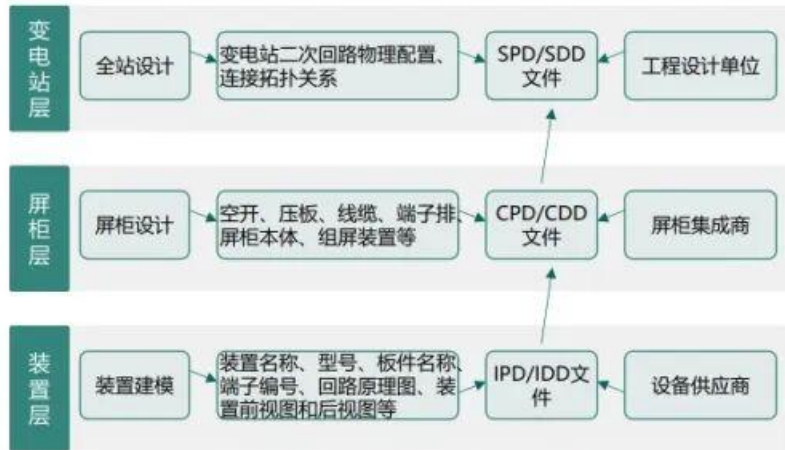
二次回路数字化，提出了一套全新的、完整的**理论体系和框架**，使用了一套与现有模式完全不同的方法论对二次回路进行了模型化、数字化，并以**SPD/SDD为核心**，串起二次回路全生命周期各环节高效、智能、协同发展。



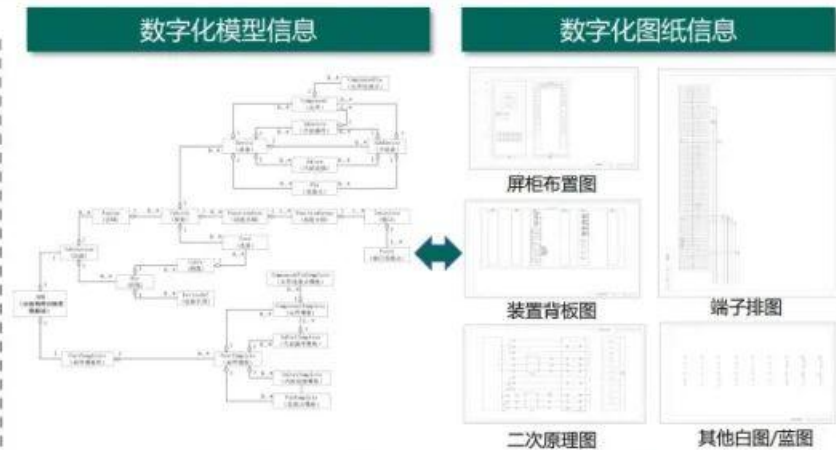


数字化模型构建| -二次回路建模

- **全站一二次物理回路建模体系**：基于一二次装置、屏柜及全站物理回路建模方法，建立贯通“制造-设计-建设-运检-改造”数字图纸全生命周期维护机制。采用面向对象建模技术，实现一二次设备、屏柜连接及功能特性和电、光回路中模拟信号转化为数字信号的**全链路信息关联过程完整刻画**。
- **图模伴生技术的图模一体化设计**：基于二次数字图纸模型标准，通过回路功能图形符号与通用连接模板库的图模库映射方法，实现二次系统**图模伴生智能设计**和图纸数据模型化移交，从**源头保障图纸、模型的一致性**。



全站二次回路多维全息建模



图模伴生的一体化建模



数字化模型构建| -数字化设计工具

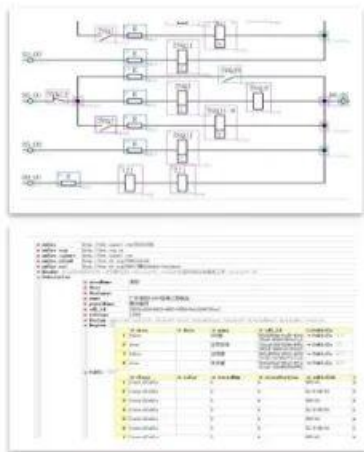
□ 基于AI识图的高效数字化建模应用

增量站主要由屏柜集成商提交屏柜模型，设计院完成全站数字化模型集成，存量站通过“AI识图+智能审核”技术将**图纸数据或实物图像视频**转换为场站数字化模型数据，有效解决无现场屏柜模型、图纸缺失、图实不一致情况下模型构建问题，实现存量站**高效、准确数字化建模**。

屏柜布置图 装置背板图 柜内元件图



端子排图 二次原理图 光缆连接图



分类图纸AI识别

实物图像AI识别

数字化模型自动构建



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

目录

CONTENTS

- 01 背景概述
- 02 数字图纸模型构建
- 03 数字图纸场景应用
- 04 建议与展望



数字图纸场景应用|-全生命周期应用

围绕生产制造、调试检验、施工验收、运维检修等**全生命周期关键场景**，通过数字化技术集成与应用创新，构建形成覆盖二次系统全流程的应用解决方案，实现二次系统**建设高效化、运检便利化、改造智能化**。

生产制造

基于屏柜CPD、三维等模型文件，屏柜生产企业可方便进行图纸无纸化调用、智能标签、自动布线、辅材报表统计等功能，大大节约屏柜生产时间，提升生产数字化程度

调试检验

基于屏柜CPD等模型文件，试验部门可针对性进行试验模板调用，完成开入、开出、采样等多种回路自动测试。



施工验收

基于全过程数字化生成的SPD模型文件，实现图模实一致性校验，图纸在线编辑管理，保障现场回路正确性。

运维检修

基于SPD等模型文件，实现变电站回路可视化，支持变电站故障定位仿真、自动生成安措票，实现三维全景监视等高级应用的部署。





数字图纸场景应用|-生产制造

屏柜自动布线/下线：通过CPD模型**自动生成布线路径、布线长度**，屏柜导线从裁剪-标签套管-压接冷压头均由机器全自动完成，实现下线效率**提升60%**，**正确性100%**，接线**可靠性100%**。

屏柜外观自主检查：通过对屏柜各类标识、文字等进行视觉识别，并将**识别结果与CPD模型比对检查**，解决人工检查耗时且易出错遗漏的问题，构建了全流程质量追溯体系，综合收益**提升30%**。

智能指导辅助试验：解析CPD与SPD模型信息**自动生成屏柜试验方案**，通过**文字和语音播报**引导操作并实时反馈调试结果，实现高效、规范的自动试验，解决了“人工记录数据、试验标准不统一”的问题。



CPD
模型文件



屏柜自动下线系统



物料型号、参数



压板、端子、标签信息



屏柜外观检查系统



实现指导式单人试验，极大降低试验人员技能要求，**综合效率提升50%**

屏柜辅助试验系统



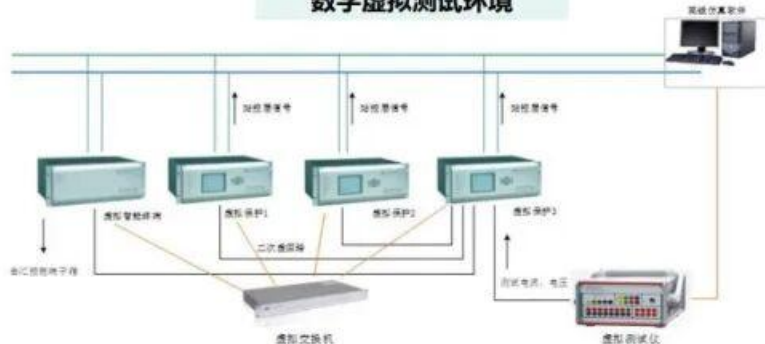
数字图纸场景应用| -调试检验

虚实回路同源维护：基于SCD及SDD模型，自动建立了**二次设备虚、实全回路模型信息关联**，降低了变电站集成工作量，还避免了“信号描述与实际回路不匹配”的风险，为**后续调试奠定了模型基础**。

二次回路离线仿真验证：进场测试前，基于SPD及SDD模型**构建数字虚拟测试环境**，结合标准化回路规则对虚实二次回路、交换机转发配置等设计产物进行**自动/半自动检查**，**提前发现设计问题**。

现场自动测试验收：通过现场测试仪在相关通道加量，依据SPD文件定位信号开入端子，检测相关遥信变位情况，完成**保护、间隔、跨间隔的闭环自动测试以及验收**，提高变电站系统联调效率及质量。

数字虚拟测试环境



自动验收软件框架





数字图纸场景应用| -施工验收

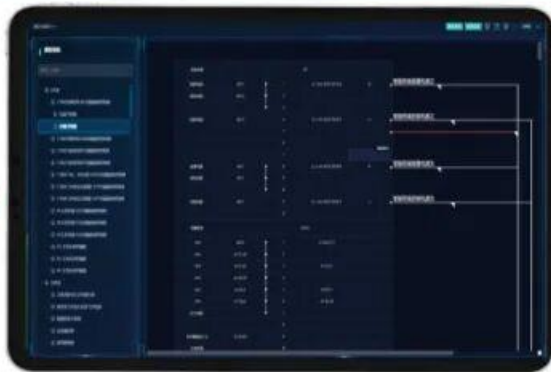
□ 实现“现场采集-智能分析-实时校核-当场处置”的闭环验收

人工验收向自动验收转变：采集现场**屏柜端子排、各类标识文字的照片或视频**，基于AI识别数据与图纸数据、模型数据进行比对校验，实现**图纸、模型、现场接线一致性自动验收**，校核时间**缩短70%**。

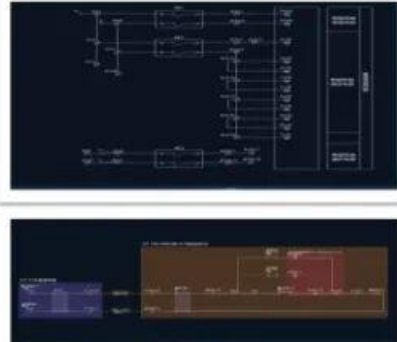
图纸“一处修改、多处同步”：通过数字图纸的“可视化 - 在线编辑 - 关联同步”，设计人员根据校核报告**在线修改图纸信息**，基于图模互逆更新机制保证**图模一致性100%**，显著提高响应和沟通效率，减少施工停摆时间。



图片/视频识别



图模在线编辑



蓝图/白图/衍生图自动关联更新



数字图纸场景应用|-运维检修

□ 全回路可视化，解决纸质图纸“看图纸、查回路”不便痛点

大幅提升二次回路查看速度：基于SPD自动生成**屏柜线缆连接图、缆芯连接图、信号全回路图、交换机通讯拓扑图、信号全回路图等**，通过SDD、SCD模型文件映射，实现二次系统回路全景可视化展示，看图效率综合**提升60%以上**。

显著提升图纸关联搜索效率：基于模型的拓扑关系信息，实现**回路、端子级别精准查询**，图中元素**自动跳转**相关图纸，实现**静态图纸活化应用**。



线缆连接图



信号回路图



图纸智能检索



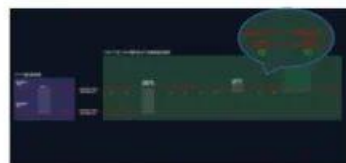
数字图纸场景应用|-运维检修

□ 回路运维由经验判别向智能分析转变

二次回路运行状态可视化展示：通过SPD/SCD 模型信息融合，结合录波器数据实现二次回路运行状态可视化展示及稳态运行监视。

回路级故障定位及消缺指引：实时数据结合专家知识库及二次回路模型，在故障发生或人工触发诊断时快速研判，定位至具体回路或回路段，实现故障回路级定位，如控制回路断线告警等。

故障全过程回溯与推演仿真：模拟回路断线、虚接、接地短接等故障态，通过数字化模型关联查找衍生回路，并带入仿真运算，实现故障状态的回路推演。



故障定位
仿真模拟

监盘
↓
定位
↓
指引
↓
仿真



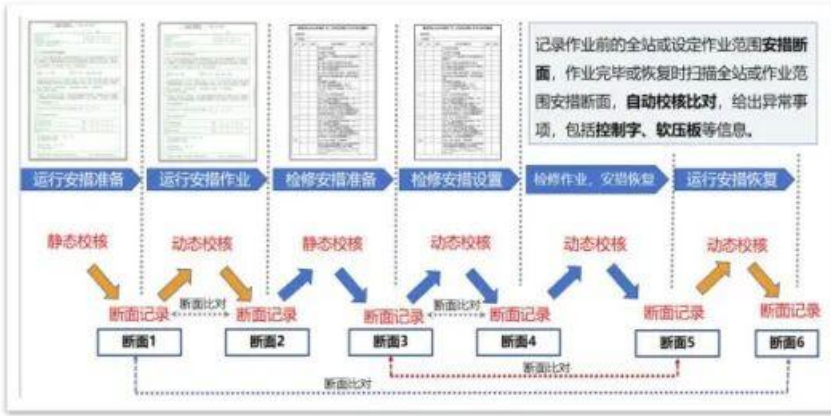
数字图纸场景应用| -辅助安措

人工拟票转换为智能出票，并辅以安措作业风险管控，保障现场作业安全

基于数字化模型文件提取二次回路物理信息，结合SCD虚回路信息及从SSD文件提取一二次关联关系，实现按安措作业类型**自动生成工作票和安措票**，大幅缩短现场作业资料准备时间。安措执行过程中依托智能录波器、软硬压板监测系统及智能锁具等多源数据，通过多源数据校核和数据分析，动态评估作业风险，**实时监控安措执行与恢复状态**，杜绝安措执行不到位。常规安措票**编制及校核时间缩短50%以上**。



安措自动生成



安措作业风险管控



辅助安措系统

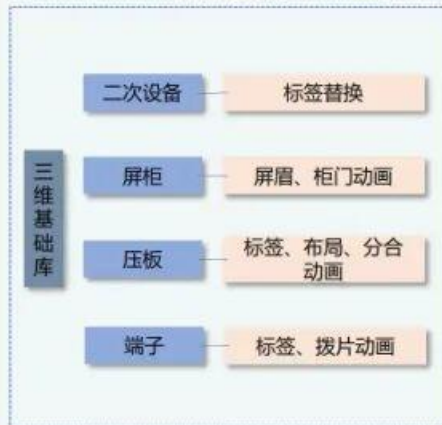


数字图纸场景应用| -三维设计

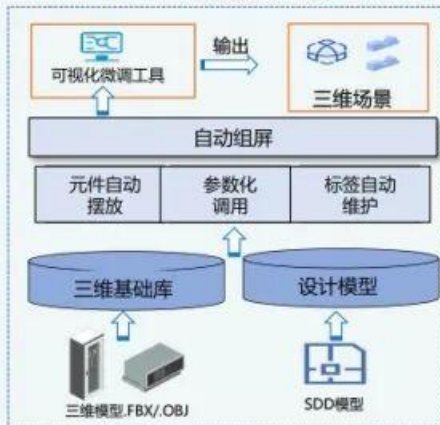
□ 以“智能组装”为核心，三维屏柜快速建模与批量应用

以设备/元件为基础对象，建立可版本化、可参数化、可复用的三维模型库。解析变电站数字化设计模型文件，抽取所属关系与连接关系，基于标签与动画、布局参数，实现参数化封装 + 自动布局 + 标签替换 + 动画预置，输出可直接用于工程交付的三维屏柜。

基础建模



三维自动组屏



实施效果



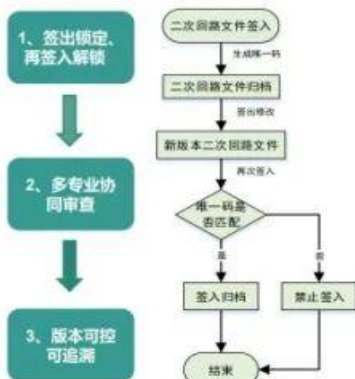


数字图纸场景应用|-文件管控

□ 签入签出的模型文件安全管控，结合模型智能校核及版本比对确保二次回路正确性

二次回路修改与校对协同作业机制，实现数字化设计模型文件全生命周期版本安全管控，针对验收阶段及改扩建阶段的模型文件语义语法智能校验、SPD与SCD一致性校验、版本差异可视化确保二次回路信息安全与逻辑正确性。

模型管控管理手段



模型管控技术手段

- 1 唯一标签溯源性校验；确保数据溯源性，取回路的关键信息经CRC算法计算所得。
- 2 角色访问权限控制；提供严格的权限管理技术确保数据修改的安全性，并支持灵活的权限控制
- 3 信息安全技术：数字签名加密算法、操作防误逻辑算法

模型校验/比对





数字图纸场景应用| -工程实际应用概述

国网工程应用

截至目前，山东、河北、冀北、浙江、安徽、河南、湖北、江西等8个省公司已完成或计划开展共计16座220kV变电站和28座110kV变电站的数字图纸试点工作。



看图纸查回路



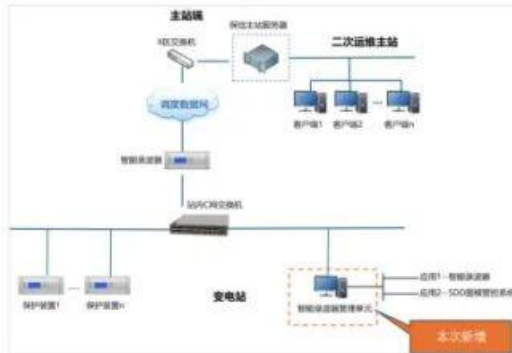
安措票编制



服务于现场运维，查图纸看回路综合效率提升60%以上，安措票编制时间大幅降低，加快现场作业效率

南网工程应用

数字化设计应用已在深圳110kV后海三变、贵州110千伏白岩站、广西220kV金葡变、云南昆明110kV石虎关变、东莞220kV赵林变等站点进行推广应用，目前广东省逐步开展大批量推广应用。



从现场试点应用反馈，全回路可视化、图实校验、辅助安措、故障定位等在“提升标准化水平、保障电网安全”方面成效显著，切实实现“为基层减负、为管理赋能”，试点项目应用也验证了数字化设计整体方案。



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

目录

CONTENTS

- 01 背景概述
- 02 数字图纸模型构建
- 03 数字图纸场景应用
- 04 建议与展望



建议与展望| -建议加大数字化设计推广力度

□ 为基层减负、为管理赋能，提升数字化设计技术与经济效果

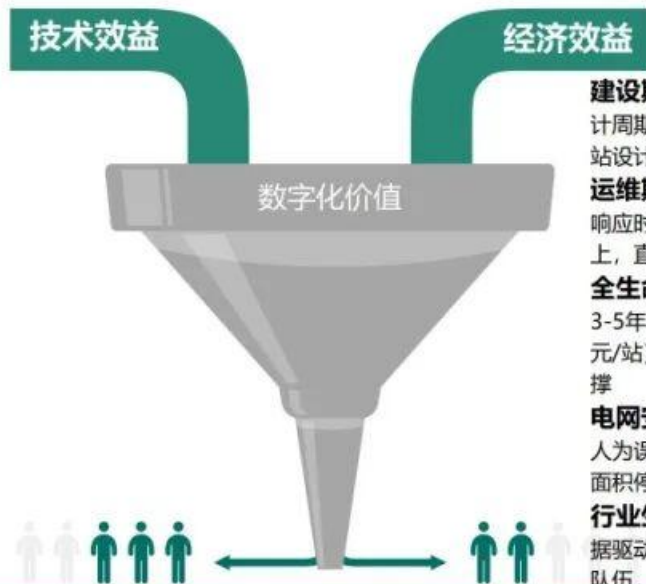
坚持以人为本，从**解决基层工作面临的实际问题出发**，充分考虑技术的实用性和各单位的地域差异性，科学合理推广数字化设计应用，切实为**基层班组减负**，真正做到“从基层出发、对基层负责、为基层服务”。

作业模式变化：传统的纸质或者电子图纸作业，质变成无纸化作业

交互模式变化：静态图纸变成动态交互图纸

分析模式变化：人工看图提升到智能识图，支持完整的逻辑分析

应用模式变化：支持图纸和路径的导航，支持各类应用场景，无缝衔接机器人、saas平台



建设期降本：通过AI自动成图与模型生成技术，使二次回路设计周期缩短40%以上，减少30%以上的人工校核成本，典型变电站设计费用可降低25-35万元

运维期增效：基于缺陷智能诊断与安措自动化技术，可将缺陷响应时间压缩至30分钟内，单站年故障停电时间减少120小时以上，直接提升供电可靠性收益约80万元/站/年

全生命周期价值：通过图模物一致性管理，延长设备寿命周期3-5年，减少因接线错误导致的设备损坏（年均节约维护成本15万元/站），同时标准化模型数据可为数字孪生电网建设提供基础支撑

电网安全提升：通过安措执行智能校核与缺陷闭环处置，降低人为误操作风险70%以上，有效防范继电保护拒动/误动引发的大面积停电事故

行业生态革新：推动二次系统设计运维从“经验驱动”向“数据驱动”转型，培育电力AI工程师、数字孪生运维师等新型人才队伍，助力能源行业智能化升级



建议与展望| -建议统一规划标准规范

建议从**顶层设计统一规划标准规范体系**，建立覆盖模型建模、数据交互、接口协议、现场应用等标准化框架，通过分层分类制定统一技术规范，**解决当前标准分散、模型异构等问题**，核心要素应足够简单、方便、易于理解，尽可能**避免复杂、晦涩难懂**，为数字化系统集成与协同运行提供基础支撑。

1：需要一套完整、清晰、成体系的标准规范

二次回路数字化设计涉及的面很广、对行业的影响很大、很深，而缺乏一个完整的、清晰、成体系的标准规范，使产业链、生态链上的设备**研发人员**、**工程设计人员**、**工具开发人员**、**工程实施人员**、**运维使用人员**等缺乏一个**清晰的定位和有力的指导**。

2：各方应在建模核心关键上达成共识

现有技术体系和规范应用，缺乏广泛而深入的工程实际和各方深度参与，如建模范围是否包含一次、互操作性如何保障等，需要更基础、更底层、更简单清晰的建模思想、方法，夯实数字化底座，使各方诉求在核心建模观点和关键要素上**达成共识**、并以此**百花齐放、各美其美**。

✓ 构建标准规范体系

从思路方法、建模要求、技术路线、工程应用、一致性测试等维度构建《导则》、《设备（含屏柜）建模要求》、《建模语言定义及文件要求》、《设计深度要求》、《工程应用指导》、《软件工具要求》、《一致性测试》等标准规范体系

✓ 坚持图模一体设计

采用图模一体设计方法和要求，规范图形（图元）设计和表达要求，促进国产化设计软件工具发展

✓ 面向对象分层建模方法

采用面向对象、按功能分层建模方法，建模思路应清晰、明确、逻辑性强；建议采用变电站、屏柜、设备三层结构，建模以端子（连接点）为核心，清晰表达对象**层次结构和连接关系**

✓ 加强模型关联与映射

将物理模型SDD与功能模型SCD、变电站拓扑结构描述文件SSD、主站模型CIM、三维模型GIM等进行关联，共同构筑二次模型体系，



建议与展望| -建议管理及技术同步发展

数字化技术作为新型生产力要素，正在深刻改变电力的**运行逻辑与信息流动方式**，数字化设计不仅是技术的升级，也涉及到运维组织方式、管理制度及工作模式的变化，需通过**“技术—管理”协同发展**，才能真正释放数字生产力。



不同业态差异化发展



管理流程再造



运维方式变革



规章制度更新

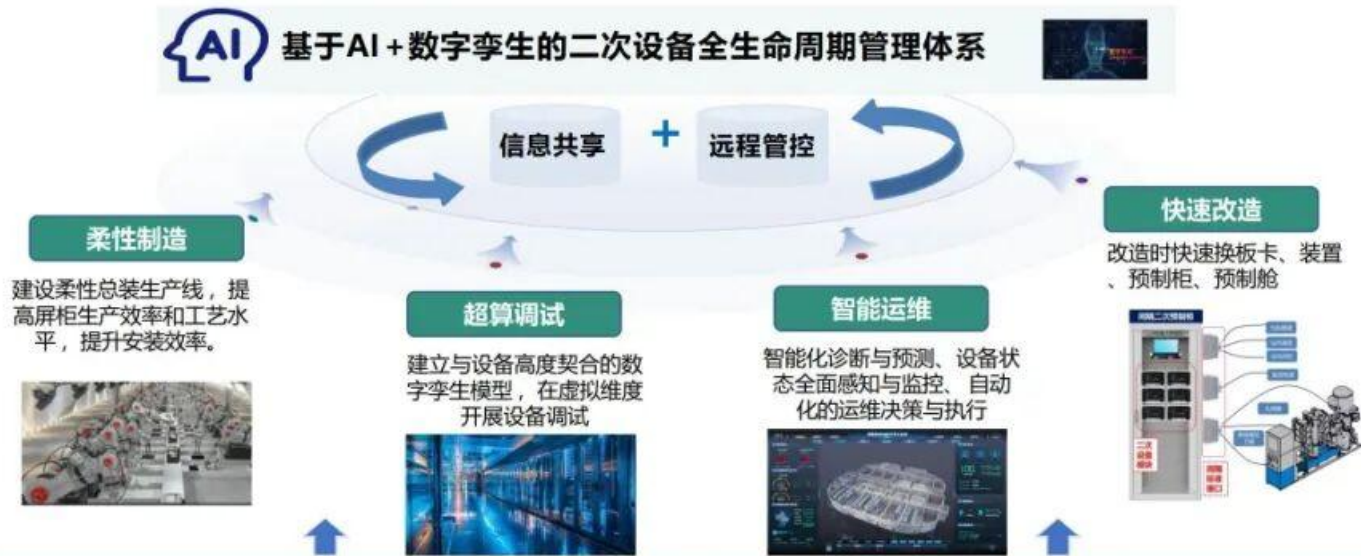


专业人才转型



建议与展望| -未来展望

数字化设计为二次设备**全生命周期贯通**、**人工智能和数字孪生的发展提供“数字”底座**，从底层赋能柔性制造、超算调试、智能运维、快速改造的**深化演进**，也将持续推动二次设备向“智能感知、自主决策、精准执行”的方向前进。





国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

汇报完毕，谢谢！