

Research on Intelligent Upgrading and Transformation of Desalinated Water Substation

Shuai Wang Caiping Chen

Ocean Petroleum Fudao Island Co., Ltd., Dongfang, Hainan, 572600, China

Abstract

The Desalinated Water Substation, which has been in operation since 2003, has faced persistent challenges including outdated protection systems, deteriorating insulation performance, and high equipment failure rates due to aging, severely compromising the safety and stability of power equipment. This study implemented a systematic intelligent upgrade for the substation through core measures such as optimized distribution system layout, standardized drawings and labeling, design defect corrections, and smart equipment replacement. Innovative technologies including flexible busbar crossing connections, enhanced automatic transfer switch synchronization functionality, integrated smart protection systems, and reserved communication interfaces were successfully applied, enabling completion of the renovation within the tight deadline. Practical results demonstrate that post-renovation the substation has completely eliminated safety hazards while achieving significant improvements in protection accuracy, operational reliability, and intelligentization levels. This project provides replicable technical solutions and project management experience for intelligent retrofitting of aging substations in chemical enterprises.

Keywords

intelligent upgrade; desalinated water substation; distribution system; standby automatic transfer switch; integrated protection

脱盐水变电所智能化升级改造研究

王帅 陈才平

海洋石油富岛有限公司, 中国·海南 东方 572600

摘要

脱盐水变电所自2003年投运已持续运行18年, 存在保护系统落后、绝缘性能劣化、设备老化故障率高等问题, 严重威胁装置安全稳定运行。本文针对该变电所开展系统性智能化升级改造, 通过配电系统布局优化、图纸与标识标准化、设计缺陷修正、智能设备替换等核心措施, 创新应用母线槽柔性跨接、备自投同期功能完善、智能保护集成及通信接口预留等技术, 在极限工期内完成改造任务。实践结果表明, 改造后变电所彻底消除安全隐患, 保护精度、运行可靠性与智能化水平显著提升, 为化工企业老旧变电所智能化改造提供了可复用的技术方案与项目管理经验。

关键词

智能化升级; 脱盐水变电所; 配电系统; 备自投; 综合保护

1 引言

供配电系统是化工生产装置的核心公用工程, 其安全、稳定、智能运行直接决定化工装置连续生产能力。脱盐水变电所作为脱盐水装置的供配电核心, 承担着、甲醇一期、华能、DCC 等关键生产装置的供水供电保障任务。该变电所投运年限已久, 传统继电保护、配电柜等设备老化严重, 保护功能单一、绝缘水平不达标、运维成本居高不下, 已出现电机烧毁、故障风险激增等问题, 无法满足现代化工生产的安全与智能化要求。

传统变电所改造多聚焦设备替换, 缺乏智能化设计与

工期优化, 难以适配化工装置停车窗口期短、改造要求高的场景。基于此, 本文围绕 脱盐水变电所, 开展智能化升级改造研究, 明确改造内容、创新技术方案、管控实施过程, 全面提升变电所安全水平与智能运维能力, 为同类工业变电所改造提供实践参考。

2 项目背景

脱盐水变电所自 2003 年投运以来, 已持续运行 18 年, 为脱盐水装置提供核心供配电服务。该变电所采用双回路供电结构, 配置两台 6kV/0.4kV 变压器及 11 面 0.4kV 配电柜。经长期运行, 设备元器件普遍老化严重, 主要问题如下:

1. 保护系统落后: 电机保护依赖继电器、热继电器等传统方式, 功能单一、可靠性低, 已导致因保护失效引发的电机烧毁事故。

【作者简介】王帅(1987-), 男, 中国山东泰安人, 本科, 中级职称, 从事电气自动化研究。

2. 绝缘性能劣化：母线绝缘电阻实测值仅约 $1\text{M}\Omega$ ，远低于安全运行标准，存在重大安全隐患。

3. 设备老化风险高：整体设备运行年限长，故障率上升，维护成本激增，严重影响装置安全稳定运行。

基于上述现状，对脱盐水变电所进行系统性升级改造势在必行。本项目核心内容包括：拆除原有 11 面 0.4kV 开关柜及母线槽；安装 13 面新型 0.4kV 开关柜及配套母线槽；拆除并安装 2 套 6kV 隔离刀闸；完成全部新设备的安装调试工作。

3 主要改造内容与技术实施

3.1 配电系统升级与布局优化

针对原有 11 面配电柜（柜宽 1000mm ）因馈出回路不断增加导致的容量不足问题，本次改造统一采用 600mm 宽新型开关柜，显著提高空间利用率和设备集成度。将原 $8\text{E}/2$ 馈电柜优化为 $8\text{E}/1$ 规格，进一步提升设备可靠性。因布局调整幅度大，多处馈出柜电缆长度不足。项目团队通过多次现场实测与方案优化，为设备制造商提供了精准数据，确保了设备制作与安装的精确性。

3.2 图纸与标识标准化

针对装置 18 年间多次改造导致的图纸、线号、标记方法不统一问题，本次改造对所有控制回路线号进行了全面梳理，严格按最新设计图纸统一标识，极大提升了后续运行维护的效率和准确性。

3.3 设计审查与缺陷修正

在设计图纸审查阶段，发现关键设计缺陷：

备自投（BZT）逻辑中，自动位下仍能通过开关柜合闸按钮合闸，存在误操作风险；手自动开关置于“0”位时，控制柜无法分闸，影响安全操作。

配电柜综合保护装置（综保）设计电源（直流）与现场实际电源制式不符。

项目团队及时联系设计院及设备厂家，对上述缺陷进行了有效修正，确保了系统功能的正确性和安全性。

3.4 项目管理与执行

项目严格执行合同条款，重点把控设备参数确认、设计审查、供货界面划分、到货计划及到货检验等关键环节。

得益于充分的施工前准备（包括详尽的方案论证、风险评估及物资准备），项目施工过程中顺利，进度控制良好（实际安装调试工期 5 天，较计划提前 10 天）。

工程质量严格遵循施工方案要求，执行到位。

4 主要技术创新点

本次改造的核心技术创新体现在系统性解决历史问题、引入先进设备与理念、构建智能化基础三个方面：

4.1 创新点一：极限工期下变电所改造动态响应与方案优化

本项目面临变电所布局重大调整与关键母线槽无法预

制的双重挑战，且存在多处馈出柜电缆长度预留不足的问题。原定改造工期为 10 天。然而在改造前夕，因脱盐水设备对、甲醇一期、华能、DCC 生产装置供水的极端重要性，工艺技术人员要求将工期压缩至仅 6 天。面对近乎不可能的工期压力，本项目创新应用以下技术实现高效安全改造：

1. 母线槽柔性跨接与倒闸置换：突破传统工序，使用临时柔性电缆跨接方案，优先恢复核心供电。待母线槽现场精确测量后制作，利用倒闸操作实现单回路安全供电，无缝完成新母线槽安装。该方案化解关键路径瓶颈，节省工期约 4 天。

2. 控制回路统一设计与预接线：整合 80% 以上功能相似控制回路图纸，形成标准化图纸；现场采用标准化并行作业，提升接线效率 30%，缩短工期约 0.5 天。

3. 母线槽与馈出柜布局优化：基于精准复测优化整体布局，重新规划开关柜整体布局及馈出柜位置，最大优化电缆路径。节省电缆敷设时间约 0.5 天。

核心成效：

成功在极限 5 天内完成全部改造任务，较工艺最终要求的 6 天提前 1 天，较原计划 10 天压缩 50%。

改造期间及投运后，系统运行稳定可靠，未发生任何因改造导致的供电中断或安全事故，保障了脱盐水设备的连续、安全供水。

通过图纸整合布局优化与预接线，减少现场接线错误率至 2% 以下。

4.2 创新点二：完善系统设计，根治历史缺陷

1. 备自投（BZT）同期功能完善：

问题：原设计母联备自投逻辑未引入两段进线电源的同期检查信号。若在电源不同期状态下合环，将产生巨大的合环冲击电流，极可能导致保护跳闸甚至设备损坏，存在重大设计隐患。

创新：本次改造在备自投逻辑中新增同期继电器，确保仅在两路电源电压、频率、相位差满足设定条件时才允许合环，彻底消除了非同期合闸风险，大幅提高系统操作安全性。

2. 保护定值优化与级差配合：

问题：原进线断路器电流保护定值与上级 6kV 系统变压器保护整定值配合性不足，可能导致 0.4kV 配电系统故障时，保护越级跳闸或拒动，影响选择性保护。

创新：基于系统短路电流计算和保护选择性分析，对 0.4kV 进线及馈线保护定值进行了系统的重新整定，确保与上级 6kV 变压器保护形成有效配合，提升整体配电系统的保护选择性和可靠性。

4.3 创新点三：采用先进智能设备，提升功能与兼容性

1. 开关柜核心保护升级：

替换：淘汰原电磁式继电器保护器。

采用：选用 ABB Emax 2 型空气断路器内置的尖端综合保护单元。

优势：集成完善的继电保护功能（过流、速断、接地、负序等），可根据负载特性灵活配置。

高精度测量与故障录波。

强大的自诊断功能。

优异的兼容性和扩展性，为系统智能化奠定基础。

2. 备自投控制逻辑升级：

替换：传统继电器硬接线逻辑。

采用：基于可编程逻辑控制器（PLC）的软逻辑控制。

优势：逻辑控制更灵活、精确、可靠。

易于实现复杂判断和时序控制。

调试、修改、维护便捷。

显著提升备自投动作成功率和变电站运行稳定性。

3. 电动机保护全面升级：

替换：传统热继电器 + 接触器模式。

采用：ABB MC510 智能型电动机保护控制器。

优势：集成了过载、堵转、欠载、缺相、不平衡、接地、漏电、tE 时间保护等十余种保护功能。

提供直接起动、星三角起动等多种控制方式。

具备高精度测量、故障记录、运行统计等功能。

实现对电动机更精准、快速的保护，有效避免因保护不及时或不准确导致的电机烧毁事故，提升关键设备运行可靠性。



ABB Emax 2 断路器 / ABB MC510 电动机保护器 / ABB FC61x 多功能电力仪表

4. 测量表计智能化：

替换：原机械指针式表计。

采用：ABB FC61x 系列多功能电力仪表。

优势：高精度测量显示三相电流、电压、频率等基本参数。

实时计算并显示有功/无功/视在功率、功率因数、

电能（kWh, kvarh）等关键数据。

提供丰富的运行数据，为设备状态监测、能效分析、故障诊断提供坚实依据，极大提升运维效率和质量。

4.4 创新点四：构建通信基础，实现信息化赋能

新增功能：在设备改造设计中，集成标准通信模块（如 Modbus RTU/TCP），并在各关键智能设备（综保、PLC、多功能表计）及系统层面预留标准通讯接口。

未来价值：此设计为后续接入厂级电力监控系统（如 SCADA）或能源管理系统（EMS）奠定了坚实基础。接入后即可实现：

“三遥”功能：遥测（远程数据采集）、遥信（远程状态监视）、遥控（远程操作）。

高级应用：实时/历史参数曲线查询、定制化报表生成与打印、故障录波分析、事件顺序记录（SOE）查询、电能质量分析等。

意义：显著提升了变电所的信息化、智能化水平，为实现数字化运维和精益化管理提供了关键支撑。

5 推广应用情况

本项目是首个大型变电所改造项目，因布局改动大（涉及进线柜、母联柜、馈出柜位置调整），实施难度高。改造期间，脱盐水变电所所带负荷包括华能电厂、DCC 装置、甲醇装置等重要用户，停车窗口期极其有限，对工期控制提出严峻挑战。通过多次优化施工方案（如细化停送电步骤、采用分段分区施工、强化交叉作业协调等），项目团队在确保安全的前提下，高质量、短时间完成了改造任务，最大限度减少了对上游装置的影响。

本项目的成功实施，为后续变电所改造及其他生产装置的电仪系统升级，积累了宝贵经验，提供了可复用的技术方案和项目管理模式，具有显著的示范和推广价值。

6 社会效益

6.1 安全与可靠性提升

运行稳定可靠：改造后设备运行参数及各项指标均符合设计要求，投运至今运行稳定可靠。

本质安全增强：从根本上解决了设备老化带来的安全隐患（如低绝缘、保护失效），有效杜绝了因配电系统故障导致的装置非计划停车、人员伤害及次生安全事故，显著提升了公用工程配电系统的本质安全水平。

保护系统升级：淘汰落后保护装置，采用智能化综合保护（详述见技术创新部分），保护功能更全面、动作更精准，大幅降低了电机等关键设备损坏风险。

6.2 技术水平提升

原脱盐水开关柜及配套继电保护单元（2002 年生产）在智能化、信息化及控制理念上已严重落后，且存在设计缺陷。

本项目对配电系统控制原理进行了全面的重新设计，

设备选型聚焦行业主流前沿技术，选用了最具代表性的高性能、智能化产品（详见下述技术创新），整体技术水平实现质的飞跃。

7 结语

本次脱盐水变电所智能化升级改造，精准解决了老旧变电所设备老化、保护落后、设计缺陷、运维低效等核心痛点，通过技术创新与方案优化，在极短工期内完成了配电系统重构、智能设备集成与信息化基础搭建。改造不仅消除了安全隐患、提升了运行可靠性，更形成了适配化工场景的变电所智能化改造技术体系与管理模式。

未来可依托本次改造预留的通信接口，进一步接入厂级电力监控与能源管理系统，实现全流程数字化、可视化运维，推动化工供配电系统向智能、高效、安全、低碳方向发展。

本次实践为工业领域老旧变电所智能化升级提供了实用参考，对提升化工企业公用工程系统本质安全水平具有重要意义。

参考文献

- [1] 国家能源局. 变电所智能化改造技术规范[S]. 2022.
- [2] 李刚. 化工企业低压配电系统智能化升级改造实践[J]. 化工自动化及仪表,2023,50(04):489-492.
- [3] 张健. 备自投装置在工业变电所中的应用与逻辑优化[J]. 电气应用,2022,41(08):56-61.
- [4] 王鹏. 老旧变电所智能保护设备替换与系统集成技术研究[J]. 电力工程技术,2021,40(03):156-160.
- [5] 陈亮. 极限工期下工业变电所改造施工方案优化[J]. 工程建设与设计,2023(12):189-191.