

# Research on Power Supply and Distribution System Optimization and Energy Efficiency Improvement in Electrical Engineering Design

Binjia You<sup>1</sup> Baitao Cao<sup>2</sup>

1. Yantai Wanhua Chemical Design Institute Co., Ltd., Yantai, Shandong, 264000, China

2. Wanhua Chemical Group Co., Ltd., Yantai, Shandong, 264000, China

## Abstract

The electrical engineering design of chemical projects faces complex load requirements and strict equipment operation demands. In terms of voltage levels, 10kV and 690V are common configurations, with the 690V voltage level widely used in industrial projects for low-voltage distribution systems to meet the power needs of various devices. Common transformer specifications are 1600kVA and 2500kVA, and their selection must fully consider load fluctuations and equipment operation stability. Chemical projects typically involve multiple installations and structures, requiring the electrical design to not only meet power demands but also ensure the system's safety and reliability. Particularly in explosion-proof areas, equipment selection must strictly adhere to safety standards to ensure safe production. Additionally, while photovoltaic systems are rarely applied in chemical projects, the introduction of energy-saving equipment and intelligent management systems has become an effective way to enhance energy efficiency. By optimizing electrical designs and equipment configurations, system efficiency can be significantly improved, energy consumption reduced, and reliable support provided for the safe and stable operation of chemical projects.

## Keywords

chemical projects; electrical engineering design; voltage levels; transformer specifications; energy efficiency improvement

## 电气工程设计中供配电系统优化与能效提升研究

由斌甲<sup>1</sup> 曹佰涛<sup>2</sup>

1. 烟台万华化工设计院有限公司, 中国·山东烟台 264000

2. 万华化学集团股份有限公司, 中国·山东烟台 264000

## 摘要

化工类项目的电气工程设计面临复杂的负荷需求和严格的设备运行要求。电压等级方面, 10kV、690V和400V为常见配置, 特别是690V电压等级已在化工等工业项目中广泛应用于低压配电系统中, 以满足不同装置的电力需求。变压器规格常见为1600kVA和2500kVA, 选型时需充分考虑负载变化与设备运行稳定性。化工项目通常涉及多个装置与构筑物, 电气设计不仅要满足电力需求, 还需考虑系统的安全性和可靠性。尤其是在爆炸危险区域, 设备选型需严格符合安全标准, 确保安全生产。通过优化电气设计与设备配置, 可以有效提高系统效率、降低能耗, 为化工项目的安全稳定运行提供可靠支持。

## 关键词

化工类项目; 电气工程设计; 电压等级; 变压器规格; 能效提升

## 1 引言

化工类项目的电气工程设计复杂且具有特殊性, 主要体现在高负荷、多装置及安全要求上。化工项目通常涉及多种设备与工艺流程, 电力供应系统需要兼顾高效、安全与可靠。电压等级的选择是设计中的关键, 10kV、690V、400V为常见配置, 690V电压等级多应用于低压配电系统, 满足化工装置的远距离、多样化电力需求。变压器作为供电系统

的重要组成部分, 规格通常选择1600kVA到2500kVA, 其选型过程需考虑负载需求的波动性及系统稳定性。由于化工项目中存在多个装置与构筑物, 电气设计必须充分考虑各类负荷和系统互联性, 以确保电力供应的稳定性和可靠性。尤其在涉及防爆区域时, 设备选型需符合严格的安全标准, 并重点探讨化工类项目电气工程设计中的优化策略, 并为类似项目提供设计指导。

【作者简介】由斌甲(1983-), 男, 中国山东龙口人, 硕士, 工程师, 从事电气工程设计研究。

## 2 电气工程设计中化工类项目供配电系统的特点分析

### 2.1 化工类项目电压等级的选择与常见配置

化工类项目的电压等级选择主要依据项目规模与供电需求, 10kV、690V、400V 电压等级为常见配置。10kV 电压常用于主干电力输配系统, 主要负责区域内的电力分配。690V、400V 电压等级则广泛应用于低压配电系统, 供电至各类工业装置和设备。690V 电压系统通常被选用于大功率设备和生产线中, 以适应设备的远距离负荷运行需求, 电压波动控制在  $\pm 5\%$  以内, 以确保设备稳定运行。在负荷密集的区域, 合理的电压等级选择不仅能有效降低线路损耗, 还能提高供电系统的稳定性与可靠性。电压等级的选择需要综合考虑项目的规模、设备功率需求以及电力传输距离等因素, 从而确保电气系统的高效运行与安全性。

### 2.2 防爆要求对电气设备选型与布置的影响

在化工类项目中, 防爆要求是电气设备选型与布置的关键因素。化工环境中可能存在易燃易爆气体、液体或粉尘, 电气设备必须符合严格的防爆标准。设备选型时需选择符合防爆要求的电气设备, 如防爆型电动机、防爆断路器、防爆照明灯具等设备。此外, 爆炸危险区域内的设备布置需遵循防爆设计与制造标准规范, 避免因设备过热或放电故障引发事故。在爆炸危险区域内, 电气设备的接线方式和防爆、防护、防腐等级也是关键考虑因素, 确保设备能够在恶劣环境中安全稳定运行。爆炸危险区域内的电气设计还需要考虑到设备的维修与保养要求, 确保在必要的检修过程中能够保持设备的防爆性能。通过合理设计, 能够有效降低电气设备在化工项目中运行时的安全风险, 保障生产安全。

## 3 化工类项目供配电系统优化设计的关键技术路径

### 3.1 10kV 与 690V 电压等级的应用与优化

在化工类项目中, 10kV 与 690V 电压等级是常见的供配电系统配置, 主要用于保障不同设备和装置的电力需求。10kV 电压主要应用于主干供电系统, 将电力从变电站分配至各区域的配电柜。该电压等级的配电系统通常支持多个装置及其负荷需求, 在常见配置中, 10kV 配电路径的长度一般控制在 3km 以内, 电压降控制在 5% 以内。690V 电压等级多用于低压配电系统, 将电力传输至各类工业设备和电动机。对于负荷较大的设备, 690V 配电系统可通过多级配电柜进行分配, 确保每个设备的稳定供电。通过优化 10kV 与 690V 的配置, 能够在保证电力供应的同时, 降低系统的能量损耗, 并提升运行效率。

### 3.2 大容量变压器的选型与负载匹配

大容量变压器的选型是化工类项目供配电系统设计中的关键。变压器的容量通常选择 1600kVA 至 2500kVA 范围, 特殊时选择 3150kVA, 依据负载需求和电力供应的稳

定性要求来确定。在负载波动较大的化工项目中, 通常使用 2500kVA 的变压器来适应最大负荷需求, 并预留一定的负荷冗余。变压器的负载率控制在 50% 以内, 确保变压器满足二级及以上负荷用电需求和长期稳定运行, 并有效延长使用寿命。变压器选型时, 需综合考虑设备的启停频率、电压降、负载特性等因素, 以便准确匹配负荷需求。变压器的运行效率对系统能效至关重要, 低损耗型变压器能够将空载损耗降低至额定容量的 0.8%, 运行时负载损耗控制在 1.5% 以内。为了确保变压器在高负荷下稳定运行, 需要对变压器的冷却系统进行优化设计, 常用的冷却方式有油浸式与干式变压器, 油浸式变压器在较高负荷下表现更为稳定。在运行过程中, 定期监测变压器的运行状态, 包括温度、电流与电压等参数, 以便及时发现潜在故障并采取预防措施<sup>[2]</sup>。

### 3.3 电气系统防爆设计与安全防护技术

化工类项目涉及易燃易爆气体、液体或粉尘, 电气设备防爆设计至关重要。所有电气设备需符合防爆标准, 防止电火花或高温部件引发火灾或爆炸事故。常用的防爆设备包括防爆型电动机、防爆断路器、防爆灯具等, 其等级应符合国家标准或国际标准, 如 GB50058、GB3836、IEC 60079 系列标准。防爆设备的选型不仅要考虑设备的电气性能, 还需考虑其防护、防腐等级。电气设备的布置也应遵循安全距离要求, 特别是在高风险区域内, 不同防爆、防护、防腐等的设备应布置在不同的区域, 确保发生故障时能够减少事故的扩展范围。对于电气设备的接地系统, 采用两重接地系统, 以确保即使在设备出现故障时, 仍能迅速将故障电流入地。通过对电气系统进行防爆设计和安全防护技术的应用, 可以有效降低化工项目中的电气安全风险, 保障生产和人员的安全。

## 4 化工类项目供配电系统能效提升的设计策略

### 4.1 提高系统能效的技术措施与应用

提高系统能效的技术措施首先要从优化电力分配系统着手。通过负荷预测与动态调度, 可以使电力系统更精确地匹配各装置的运行需求, 减少过度供电和负荷波动。例如, 通过智能调度系统, 能够将负荷波动控制在 10% 以内, 保证系统在负荷高峰时刻依然保持稳定。变压器的选型也是提高能效的关键, 选用低损耗型变压器, 其空载损耗可降低 10% 以上, 年运行中可节省电量约 30000kWh。在电动机驱动方面, 采用变频器控制技术, 能够根据负荷变化自动调节电动机转速, 节省约 15% 的电能, 特别是在风机、泵类负荷变化较大的情况下, 节能效果显著。此外, 通过无功补偿装置的应用, 功率因数可提高至 0.95 以上, 减少无功功率的传输损失, 线路损耗可减少约 8%。通过以上措施, 整个系统的能效提升可达到 12% 至 15%<sup>[3]</sup>。

例如: 在浙江某石化 4000 万吨/年炼化一体化项目电气系统设计与运行优化过程中, 对供配电系统能效进行了系

统提升。该项目主装置区采用 10kV 供电，关键动力设备采用 690V 电压等级，单台大型电机容量在 500kW 至 1600kW 之间。运行初期系统功率因数约为 0.83，线路综合损耗约为 7.2%。通过引入集中无功补偿装置，总补偿容量配置为 1200kvar，使功率因数提升至 0.96，线路电流下降约 15%，对应损耗降低至 5.1%。在动力系统中，大量泵类与压缩机设备配置变频调速装置，运行频率由 50Hz 调节至 35Hz 至 45Hz 区间，单台 800kW 循环水泵年节电量达到约 18 万 kWh。变压器选用 2500kVA 低损耗型号，空载损耗由原设计的 1.1% 降低至 0.8%，全年节约电量约 2.6 万 kWh。同时，负荷调度系统将峰值波动由 18% 压缩至 9% 以内，系统综合能效提升约 13%。通过多项技术叠加应用，项目供配电系统运行更加稳定，能源利用水平显著提高。

## 4.2 节能型电气设备选型与能效标准

节能型电气设备的选型是提高化工类项目电气系统能效的有效手段。变压器选型时，采用低损耗型变压器，例如采用 S13 系列变压器，空载损耗可比传统型号降低 20% 以上，运行时的负载损耗也能得到有效减少。在电动机选型方面，推荐使用 IE3 及以上能效等级的电动机，其效率可达到 94% 至 96%，较普通电动机提升 3% 左右。在电气照明方面，采用 LED 照明替代传统荧光灯和高压钠灯，LED 照明的能效比传统照明设备提高 30% 以上，并且 LED 灯具的使用寿命长，降低了更换频率和维护成本。所有设备的选型均应符合国家或国际能效标准，如 IEC 60034 或中国能效标识的相关要求。通过节能设备的选型与能效标准的落实，不仅能够减少能耗，还能在长期运行中降低维护成本，达到经济效益和环境效益的双赢。

例如：在武汉某炼油乙烯项目电气系统建设与节能改造过程中，针对供配电系统能效问题开展了系统优化。项目主供电系统配置 2500kVA 与 3150kVA 等级变压器，改造阶段将原有 S9 型变压器替换为 S13 低损耗型号，空载损耗由 1.15% 降至 0.85%，单台变压器年节电量约 2.2 万 kWh。动力设备方面，大量压缩机与泵类电机升级为 IE3 高效电机，额定效率由 91% 提升至 95%，在年运行时间 6500h 条件下，单台 630kW 电机节电量约 9 万 kWh。照明系统全面采用 LED 灯具，功率密度由 14W/m<sup>2</sup> 降至 7W/m<sup>2</sup>，在约 3 万 m<sup>2</sup> 装置区范围内，年节电量达到约 120 万 kWh。所有设备均按照 IEC 60034 及国家能效等级标准进行选型与验收，系统整体运行能耗下降约 18%，设备维护频次由每年 4 次降低至 2 次，运行稳定性与经济性均得到明显提升。

## 4.3 防爆环境下供配电系统能效优化设计策略

在化工类项目中，防爆环境对供配电系统设计提出更高要求，同时也对能效优化形成约束条件。电气设备需选用隔爆型或增安型产品，设备在满足防爆要求的同时，其能效水平也需达到相应标准。高效防爆电动机额定效率可达到 93% 至 95%，较传统防爆电机提升约 2%，在连续运行

6000h 条件下，单台 400kW 设备年节电量约 5 万 kWh。供电系统中通过合理划分防爆区域与非防爆区域，将高能耗设备尽量布置于非危险区域，可降低整体系统防爆等级需求约 20%，减少设备选型成本并提升运行效率。电缆敷设采用阻燃型或矿物绝缘电缆，线路电阻控制在 0.08Ω/km 以内，使线路损耗降低约 10%。防爆区域内配置本安型监测装置，实现温度、电流与电压的实时采集，监测精度达到 ±1%，可有效避免设备过载运行。通过在防爆设计约束条件下引入高效设备与精细化供电策略，实现安全性与能效水平的协同提升。

例如：在宁波末炼油化工一体化项目供配电系统设计与改造过程中，针对防爆环境下的能效与安全协同问题开展了专项优化。项目中涉及大量易燃介质装置区，约 60% 区域划定为 II B 级防爆区，电气设备选用 Ex d IIB T4 等级防爆型产品。动力系统中配置防爆高效电机，额定效率由原有 91% 提升至 94%，在 500kW 等级压缩机驱动中，单台设备年运行约 7000h，年节电量约 7.5 万 kWh。供电系统采用 10kV 进线、690V 降压供电方式，防爆区域内线路长度控制在 1.2km 以内，电压降控制在 4% 以内。通过优化防爆区域划分，将部分辅助设备迁移至非防爆区，使高等级防爆设备数量减少约 18%。同时配置本安型在线监测系统，对电流、电压及设备温度进行实时采集，监测误差控制在 ±1%，故障预警响应时间小于 0.5s。整体改造后，系统能耗降低约 11%，设备故障率下降约 30%，实现了安全性与能效水平的同步提升。

## 5 结语

化工类项目的电气工程设计涉及复杂的负荷需求与安全要求，优化供配电系统设计对提升系统能效与保障生产安全至关重要。通过合理选择电压等级、优化变压器规格、提升电气系统可靠性与引入节能型设备等措施，可以有效降低能耗，提升运行效率。特别是防爆设计与设备维护管理的完善，确保了系统在严苛环境下的稳定性与安全性。随着绿色设计理念的逐步落实，化工类项目的电气系统不仅在能效上取得显著提升，同时对环境的影响也得到了有效控制。未来，随着智能化和节能技术的不断发展，化工类项目的电气系统设计将更加高效、绿色、智能。

## 参考文献

- [1] 管小果. 石油化工企业电气设备数字化改造中的挑战与对策分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2026, 46(03): 43-45.
- [2] 张瀚文. 化工设计中防爆电气设备选型及危险区域划分[J]. 电气开关, 2026, 64(01): 113-116.
- [3] 李志峰. 面向绿色低碳的化工电气工程设计方法研究[J]. 化工管理, 2026, (05): 59-62.
- [4] 孙文东, 戴如清, 冀泓舟. 调控同步技术在石油化工行业电气监控中的应用[J]. 电器工业, 2026, (02): 115-119+123.