

# 110kV 变电站一次系统设计关键技术 with 优化方法研究

马晓青

石家庄电业设计研究院有限公司 河北 石家庄 050000

**【摘要】**：随着电力系统高质量发展及城乡电网升级，110kV 变电站作为电力输送与分配的核心枢纽，其一次系统设计的合理性、经济性与可靠性协同不足问题日益突出。本文结合工程实际，分析了一次系统设计方案合理性 with 经济性平衡、可靠性 with 经济性协同匹配、设计与运行可靠性衔接三大核心问题，针对性提出多方案比选、协同设计模型应用、运行数据结合三大可落地优化方法，通过具体实践路径解决协同不足问题，提升变电站一次系统运行效能，为 110kV 变电站一次系统设计与优化提供实践参考，助力实现技术升级 with 效益提升的双重目标。

**【关键词】**：110kV 变电站；一次系统设计；优化方法

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.005

## 引言

在电力系统向智能化、高效化转型的背景下，110kV 变电站承担着衔接高压电网 with 配网终端的重要职责，其一次系统设计直接决定电力供应的稳定性、经济性 with 安全性<sup>[1]</sup>。当前，新能源大规模并网、区域负荷刚性增长，对 110kV 变电站一次系统设计提出更高要求，但实际设计中普遍存在合理性、经济性与可靠性协同不足的问题，制约了变电站运行效能的提升。基于此，本文聚焦 110kV 变电站一次系统设计核心痛点，探索可落地的优化方法，明确研究意义 with 实践价值，为后续设计优化提供理论与实践支撑，推动变电站实现高效、可靠、经济运行<sup>[2]</sup>。

## 1 110kV 变电站一次系统设计相关背景 with 现状

在电力系统高质量发展进程中，110kV 变电站作为衔接高压电网 with 配网终端的核心枢纽，其一次系统设计的科学性、合理性直接关系电网供电可靠性、运行经济性 with 技术适配性，更是本研究聚焦的核心方向<sup>[3]</sup>。当前，城乡电网升级改造持续推进，新能源发电站快速建设带动大规模并网、区域负荷刚性增长，对 110kV 变电站一次系统设计提出了更高标准，既需满足电网安全运行的技术规范，又要兼顾全生命周期经济性，更要为关键技术优化提供实践载体。结合当前设计现状，110kV 变电站一次系统设计仍存在与核心需求衔接不够紧密的细节问题，部分设计环节未充分聚焦主接线优化、主变选型、设备配置等关键技术要点，缺乏对设计合理性、经济性 with 可靠性协同关系的提前考量，导致投运后运维工作不便、扩建难度大。本研究立足这一现状，聚焦一次系统设计关键技术痛点，通过梳理设计实践中的细节短板，为后续优化方法的提出奠定坚实的基础，确保研究贴合题目核心，凸显 110kV 变电站一次系统设计与优化的实践价值，助力提升变电站一次系统运行效能，实现技术升级 with 效益提升的双重目标<sup>[4]</sup>。

## 2 设计合理性 with 经济性可靠性的协同不足

### 2.1 一次系统设计方案缺乏合理性 with 经济性平衡

110kV 变电站一次系统设计方案缺乏合理性 with 经济性平衡，核心症结在于设计环节脱离工程实际场景，未建立科学的多目标决策机制，导致方案选型陷入“重规范轻成本” or “重成本轻合理”的误区。在实际设计实践中，部分设计人员仅依据行业规范进行理论化设计，未深入调研区域负荷特性、电网规划布局及工程投资预算，盲目选用高端化、大容量设备 with 复杂接线方式，如在负荷密度较低的乡镇区域，仍采用双母线接线方式，造成设备利用率不足、建设投资增加 30% 以上，同时后期运维成本每年额外增加 15%-20%，形成“设计合规 but 经济性缺失”的困境。反之，部分工程为压缩建设成本，刻意选用低成本、低规格的一次设备，如选用额定容量不足的主变、简化主接线保护配置，导致设计方案无法适配区域负荷逐年增长的需求，运行 3-5 年后便出现主变过载、运维工作不便等问题，需投入额外资金进行设备改造 and 线路调整，反而增加了全生命周期的经济负担。这种失衡不仅违背了 110kV 变电站“经济适用、安全可靠”的设计初衷，更导致设计方案 with 工程实际脱节，无法实现建设投资 with 运行效益的最优匹配，凸显出合理性 with 经济性协同设计的短板<sup>[5]</sup>。

### 2.2 设计可靠性 with 经济性协同匹配度较低

设计可靠性 with 经济性协同匹配度较低，是 110kV 变电站一次系统设计中亟待解决的关键子问题，核心表现为设计环节未建立协同优化模型，导致两者脱节严重、无法兼顾。可靠性设计层面，部分设计人员过度关注设备绝缘、短路耐受等技术指标，优先选用进口高端设备、增加保护配置，虽能提升运行可靠性、降低故障发生率，但未考量经济性，使设备采购成本超预算 25%-35%，且进口设备后期运维及配件成本远高于国产设备，加重长期经济负担。经济性设计层面，部分设计为控制成本，盲目简化可靠性设计，减少保护装置、降低绝缘等级，

如未规范配置备用电源自动投入装置,易导致设备击穿、供电中断等故障,可靠性无法保障。此外,设计未对两者进行量化分析,缺乏科学评价标准,无法精准平衡关系,导致方案要么可靠性过剩、要么经济性达标但可靠性缺失,难以实现协同适配。

### 2.3 设计合理性与运行可靠性衔接不紧密

设计合理性与运行可靠性衔接不紧密,核心在于设计环节未充分结合变电站实际运行场景、运维需求及长期负荷发展趋势,导致设计方案与现场运行工况脱节,无法将设计合理性有效转化为运行可靠性。部分设计人员仅依据行业规范进行理论化设计,未深入变电站现场调研地理环境、电网结构及负荷波动规律,如在主接线设计中,未充分考虑区域电网的负荷峰谷差,选用的接线方式虽符合规范,但操作繁琐、故障排查不便,一旦出现线路故障,需花费较长时间隔离故障点,影响供电可靠性;在主变选型环节,未结合变电站5-10年负荷增长预测,选用的主变容量要么偏小,运行中频繁出现过载、损耗增加的问题,要么容量偏大,造成资源浪费,同时主变布置未考虑后期运维空间,设备间距不足,导致检修操作不便,增加故障处置时间。此外,设计环节未预留运维优化空间,部分设备安装位置不合理,如GIS进线间隔法兰盘距地面高度太低,造成安装电缆终端不便,且设计中未充分考虑设备老化、环境腐蚀等因素对运行可靠性的影响,使得设计方案在实际运行中难以适应长期工况变化,设计合理性无法有效支撑运行可靠性,出现“设计达标但运行不稳”的现象,进一步凸显了两者衔接的短板。

## 3 110kV 变电站一次系统设计核心问题的优化解决方法

### 3.1 采用多方案比选优化设计合理性与经济性

采用多方案比选优化设计合理性与经济性,需遵循“精准调研-方案设计-量化核算-择优落地”的全流程可操作路径,每一步均明确具体动作、量化标准,确保落地性和针对性。

设计前期,需组建专项调研小组,深入分析接入系统报告及地区电网负荷预测,同步对接当地供电公司获取近3年负荷统计数据、未来5年电网规划文件,明确工程投资预算、负荷峰值、负荷年均增长率等核心约束条件,形成包含负荷数据、规划要求、预算区间的专项调研报告,作为方案设计的核心依据。基于调研结果,本次为110kV新建变电站工程,一期规模满足近期负荷增长需求,同时充分考虑远期扩建的便利性,减少远期扩建时停电过渡范围及停电时间。110kV配电装置均采用户内GIS,减少占地同时降低运维工作量,设计3套差异化一次系统方案,每套方案均明确主接线方式、主变选型、设备规格等核心细节,避免方案同质化:方案一采用单母线分段接线,一期配备2台63MVA主变(一期规模即终期规模),

选用国产中端GIS配电装置,一期投资预算3500-4000万元。方案二采用扩大内桥分段接线,终期建设3台50MVA主变,一期建设2台50MVA主变,选用国产中端中端GIS配电装置,一期投资控制在4000-4500万元;方案三采用采用双母线接线,终期建设3台50MVA主变,一期建设2台50MVA主变,选用进口中端设备,一期投资预算6000-6500万元;

随后建立量化评价体系,选取设备适配性、接线合规性、投资成本、运维成本4项核心指标,其中设备适配性占比25%、接线合规性占比25%、投资成本占比30%、运维成本占比20%,采用加权评分法对每套方案进行打分,评分过程全程留存计算底稿。针对评分前2名的方案,进一步开展细节设计,如调整GIS间隔布置,方便后期运维度工作;优化10kV配电室到电容器的一次电缆路径;根据远期10kV配网路径,调整消弧线圈容量;优化二次电缆路径,使低压动力电缆与二次控缆分沟敷设。最终结合工程实际,选定评分最高、贴合约束条件的方案,签订设备采购合同明确规格参数,同步形成方案比选报告、评分表、核算底稿,确保每一步操作可追溯、可落地,切实实现设计合理性与经济性的平衡。

### 3.2 运用协同设计模型提升匹配度优化方法

运用协同设计模型提升可靠性与经济性协同匹配度,核心是构建可直接应用于工程设计的量化协同模型,配套具体操作流程,确保每一步可落地、可验证。

首先明确模型构建的核心参数,可靠性指标选取设备故障率、供电中断时长、保护装置动作准确率3项可量化指标,其中设备故障率控制在0.3%以内、保护装置动作准确率不低于99.8%;经济性指标选取设备采购成本、年运维成本、全生命周期费用3项,明确预算上限,避免成本超支。采用MATLAB软件搭建遗传算法协同设计模型,导入110kV变电站一次系统设计规范参数、设备参数库、区域负荷数据,设定模型约束条件:设备绝缘等级符合GB/T50064-2014《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》、全生命周期费用不超出预算10%、设备故障率不超标。模型运行过程中,先对设备参数进行标准化处理,剔除不符合规范的设备型号,再通过迭代计算得出可靠性与经济性的最优平衡点,例如在设备选型中,模型可精准测算出国产中端110kV主变比进口同规格主变采购成本低32%,运维成本每年节省18万元,且故障率仅高出0.05%,完全满足协同匹配要求。模型计算完成后,输出设备选型清单、成本核算表、可靠性预测报告,据此开展设备采购和设计落地。

同时建立协同验证流程,选取2个试点间隔,按照模型输出方案进行设备安装调试,监测1个月内设备运行参数,若出现故障率超标或成本超支,及时调整模型参数,重新计算优化,形成“模型构建-参数输入-迭代计算-试点验证-优化完善”的

闭环操作，确保可靠性与经济性协同匹配达标，所有操作均留存记录，便于后续复盘和推广应用。

### 3.3 结合运行数据强化设计与可靠性衔接

结合运行数据强化设计与可靠性衔接，需建立“数据采集-分析研判-设计优化-落地验证”的全流程可操作体系，依托变电站现有智能监测系统，实现设计与运行的精准衔接（见图1）。

首先搭建标准化运行数据采集体系，在一次系统主变、断路器、隔离开关等关键设备上加装智能监测终端，实时采集设备运行参数，包括主变负荷率、绕组温度、绝缘电阻、接触电阻，断路器分合闸次数、故障发生时间及原因，隔离开关操作可靠性等数据，设定采集频率为每5分钟1次，每天导出数据台账，每周进行汇总整理，每月形成运行数据分析报告，重点标注异常数据。其次建立数据分类分析机制，采用 Excel 或 SPSS 软件对采集的数据进行统计分析，筛选出影响设计合理性与运行可靠性衔接的关键问题，如主变负荷率长期偏高导致过载，核心原因是设计时未充分考虑负荷增长趋势；扩建工程施工过渡方案复杂且费用高，源于设计时未考虑远期扩建。针对此类问题，开展针对性设计优化，如主变选型优化，结合近3年负荷数据及年均增长率，将原设计的50MVA主变更换为63MVA；同时优化从GIS室到主变的110kV电缆路径，满足运维与防火要求；针对电缆出线路径受限问题，根据远期负荷位置，调整10kV电缆隧道出线方向，二次设备室优化接线节点布局，缩短故障排查时间。优化完成后，开展为期3个月的落地验证，持续采集设备运行数据，对比优化前后的设备故障率、供电中断时长，若优化后主变过载现象消除、断路器故障

频次每月不超过0.5次，说明优化有效。

同时建立设计优化迭代机制，每季度结合最新运行数据，对一次系统设计细节进行复盘调整，如根据负荷变化调整主变运行方式，根据故障数据优化保护装置配置，确保设计方案始终适配运行工况，切实将设计合理性转化为运行可靠性，所有数据采集、分析、优化、验证过程均留存书面记录，确保每一步操作可落地、可追溯，彻底解决设计与运行衔接不紧密的问题。



图1 运行数据衔接优化流程图

## 4 结语

本文围绕110kV变电站一次系统设计关键技术与优化方法展开研究，系统分析了设计合理性与经济性、可靠性协同不足的核心问题及具体表现，针对性提出了多方案比选、协同设计模型应用、运行数据结合的优化方法，所有方法均贴合工程实际、可落地执行。研究有效解决了一次系统设计中的协同短板，提升了设计的科学性与实用性，为110kV变电站一次系统设计优化提供了可行路径。后续可结合更多工程案例进一步完善优化方法，扩大研究应用范围，助力电力系统高质量发展，充分发挥110kV变电站在区域电网中的核心枢纽作用。

## 参考文献:

- [1] 祁元.变电站电气主接线的优化设计与可靠性分析[J].张江科技评论,2025,(10):121-123.
- [2] 马悦曦,王甜.智能变电站一次设备集成化设计与全生命周期可靠性评估[J].应用能源技术,2025,(05):10-12.
- [3] 张建丰,俞宏贵,张亿晨.110 kV 变电站电气一次部分设计[J].设备管理与维修,2026,(07):55-58.
- [4] 马成,宋润发.110kV 变电站接线设计及技术研究[J].电力设备管理,2025,(03):170-172.
- [5] 周耀辉,张斌,代立君,等.110kV 变电站综合自动化设计研究[J].电工技术,2025,(02):188-191.