

# 面向农村配电网的轻量化自动化监控系统设计与成本效益评估

胡 鑫

张家口宏垣电力实业有限公司阳原分公司 河北阳原 075800

**摘要：**农村经济不断增长的时候，农村地区对于电力供应的可靠性、稳定性和经济性提出了更高的要求。传统的农村配电网大多依靠人工巡检，这种模式有着故障排查效率低，运行维护成本高而且供电不怎么可靠的状况，很难符合农村现代化发展的要求。针对农村配电网负荷分散，地域跨度大，资金有限这些情况，本文提供了一种轻量化自动监测系统的规划思路，该系统着重于“低成本，易安装，适配好”的核心目的，经过缩减硬件架构，改进软件功能，选用国产化元器件等方式，做到对农村配电网运行状况进行随时观察，确定故障并且远距离掌控等功能，进而给农村配电网自动改善赋予可行方案。

**关键词：**农村配电网；轻量化自动化监控系统设计；成本效益

农村配电网是电力系统和农村用户之间连接的“最后一公里”，它的运行质量直接影响着农村居民的生活、农业生产以及乡村产业的发展。近年来，国家大力实施乡村振兴战略，农村地区的用电负荷快速增长，并且负荷类型也更加多样化，从传统的农业灌溉用电、居民生活用电逐渐发展到农产品加工用电、乡村旅游用电、分布式光伏等新型负荷。设计出一套针对农村配电网的轻量化自动化监控系统，成为了解决农村配电网监控难题、提高供电可靠性的关键之举，轻量化系统绝非简单地缩减功能，而是从农村配电网的实际需求出发，对硬件选择、软件架构以及通信方式等展开有针对性的改良，从而达成“功能合适、成本可控、运维方便”的效果，而且，科学的成本效益评定是该系统得到推广运用的重要先决条件，经由对系统投资成本以及所产生的经济效益（节能降耗、缩减停电损失、削减运维开支等）予以量化之后，能够给电网企业作出投资决策给予依据，促使农村配电网自动化水平有所改善。

## 1. 农村配电网轻量化自动化监控系统设计意义

### 1.1 提高农村配电网供电可靠性水平

农村配电网故障大多体现为单相接地、线路短路、设备过载等情形，人工巡检的传统模式下，故障定位常常要花上好几小时乃至数天，致使长时间停电，严重干扰到农村居民生活以及农业生产，轻量化自动化监控系统凭借布置在线监测终端，电压电流监测器，故障指示器等设备，可以即时搜集配电网运作数据，一旦出现故障，系统就能迅速找出故障地点，再把故障信息传送给监控中心，调度人员便能立刻

安排抢修，从而大幅度削减故障处理时间，据数据表明，运用自动化监控系统之后，农村配电网故障定位时间由平均 4 小时缩减到 15 分钟以内，停电时长减少 60% 以上，供电可靠度明显改善<sup>[1]</sup>。

### 1.2 降低农村配电网运维成本

农村配电网地广人稀，人工巡检需投入大量人力、车辆和时间成本，且巡检效率低、覆盖面小，无法做到全方位、常态化监控，轻量化自动化监控系统可远程实时监测，减少人工巡检频次，降低巡检成本，对配电网设备运行状况进行预警（变压器油温过高、线路绝缘老化等），提前开展“预防性运维”，避免因设备故障引发的高额维修成本，以某县域农村配电网为例，采用轻量化系统后，年均人工巡检次数由 12 次降至 4 次，巡检成本降低 50%，设备故障维修成本年均减少 30 万元，运维总成本降低 25%–35%<sup>[2]</sup>。

### 1.3 农村配电网资金与技术条件的适配性研究

农村配电网建设与改造资金主要由电网公司投入，且农村技术人员较少，若使用城市配电网的大型自动化系统，初期投资高（一套传统 SCADA 系统投资一般超过 100 万元）并且需要专业技术人员运维，难以在农村普及。轻量化自动化监控系统采用低成本、国产化硬件设备（如基于嵌入式芯片的监测终端），简化软件功能（满足基本的监控需求，如数据采集、故障报警、远程控制等），初期投资成本控制在传统系统 50%–60% 之间，系统操作界面简洁、运维流程简单，农村电网基层人员经过简单的培训即可上手，适合农村地区资金、技术条件<sup>[3]</sup>。

## 2. 农村配电网轻量化自动化监控系统设计策略

### 2.1 硬件架构轻量化设计

农村配电网轻量化自动化监控系统在硬件层面按照“按需选择、结构简化、降低硬件成本”的思路开展，其监测终端侧重故障监测与运行参数采集部分，采取基于 STM32 嵌入式芯片的廉价设备并结合必要的电压、电流、功率因数采集与故障检测，去掉多余的硬件功能，并采用模块化设计，搭配国产品牌传感器，达到硬件成本与设备兼容度均有所改进的目的；监控中心摒弃传统的“市级主站 + 县级子站”这种高成本模式，采取覆盖 1-2 个县域的“区域级小型主站 + 云平台”模式，以工控机作为核心硬件，再配合以 Linux 为基础的轻量级监控软件，在监控中把不需要实时的数据上传至云平台进行共享，并且大大减少了最初的投资成本；对于系统之间的通信方式，首先选择无线通信方式，平原区使用 4G/5G 公网通信来减少建立成本，山区、偏僻地区则采用低功耗、远距离、价格便宜的 LoRa 无线通信方式。对于一些重要节点还配备了光纤通信做为备份，确保了通信的稳定性<sup>[4]</sup>。

### 2.2 软件功能轻量化设计

软件功能方面，按照“核心优先、简洁易用”的原则，数据采集和处理环节只采集线路电压，电流，变压器油温等重要数据，放弃一些不必要的辅助数据，采用“边缘计算 + 云端汇总”的方法，由监测终端直接做数据预处理，再把结果传给监控中心，减轻数据传送和存储的压力，故障监测和定位环节针对农村配电网常见的单相接地，线路短路之类的故障，用比较简单又计算量少的办法来做数据融合，依靠故障指示器的数据，保证故障定位精确度符合抢修要求，远程控制和预警部分只针对配网开关，分布式能源并网开关之类的要害设备给予最简单的操作，预警部分依照设备运行的阈值来自动发警告并且通知运维人员，免除复杂的控制逻辑，人机交互界面按照模块化设计，分成“运行监测”，“故障报警”，“设备台账”，“运维管理”这四个关键模块，布局很清晰，并且可以使用移动终端登录，缩减农村电网基层人员的使用难度。

## 3. 农村配电网轻量化自动化监控系统成本效益评估方法

### 3.1 成本构成分析

系统成本可分为初期投资成本、运维成本和升级成本三部分。初期投资成本有硬件设备的成本、软件开发成本和

安装调试成本、人员培训成本三类组成，以覆盖了 100 个配电台区和 500km 线路的该县农村配电网作为例子，初步估计硬件设备的成本大约为 30 到 40 万元，包含 100 台线路监测装置、50 台变压器监测终端、2 台区域级小型主站设备、10 台 LoRa 网关以及这些网关配备的通信模块；软件开发成本约莫为 5 到 8 万元，包含了有关数据收集、故障查找、遥控执行以及人机互动等功能模块的代码创作，在此使用了开源架构以削减软件研发成本；安装调试的成本大概是 8 到 10 万元，在这个过程中要涉及到货物运送，现场组装与架线操作，联调系统等，而且，由于是针对乡镇地区的配电配电网，人工费用要比城市中低一些，这部分支出可以做到有效管控，并且人员培训也花费约莫 2 到 3 万元，在此会涵盖 15 到 20 名负责底层维护的工作人员的讲解课件，实际训练安排，相关教科书以及教师等，初步估计整个项目的投资额约为 45 到 59 万左右、通讯模块这类易损部件，一台设备年均维护成本大概 200-300 元），4G/5G 流量费、LoRa 网关电费等年均 1-2 万通信成本（150 个监测终端月均流量费 800-1200 元，10 个 LoRa 网关年均电费 2000-3000 元），2 名运维人员年均 10-12 万工资（农村地区运维人员薪资比城市低，人均月薪 4000-5000 元左右），年均运维成本 13-17 万，比传统人工巡检模式年均 25-30 万的运维成本低很多。升级成本包括硬件升级和软件升级成本，每 5 年升级一次，硬件升级主要是更换老化监测终端、通信设备等，单次升级成本约为 3-5 万元，软件升级主要是新增功能模块、优化算法等，单次升级成本约为 2-3 万元，单次升级成本合计约为 5-8 万元，年均升级成本约为 1-1.6 万元，长期运维成本可接受<sup>[5]</sup>。

### 3.2 效益构成分析

系统效益分为可量化的直接经济效益和不可量化的间接经济效益，直接经济效益包括节能降耗收益、减少停电损失收益、降低运维成本收益。节能降耗收益通过实时监测线路负荷分布，优化配电网运行方式，将农村配电网线路损耗率由 8%-10% 降至 6%-7%，某县域农村配电网年供电量 1 亿 kWh，居民用电和农业生产用电平均电价 0.5 元 /kWh，年均减少线路损耗电量约 200-300 万 kWh，年均节能收益约 100-150 万元，且随着农村用电负荷的增长，节能收益将逐年提高。减少停电损失收益通过缩短故障处理时间，将农村配电网年均停电时间由 100 小时降至 40 小时，该县域平

均负荷密度 0.1kW/户，总用户数 1 万户，停电损失系数 2 元/kWh（参考《电力系统停电损失计算导则》，农村地区停电损失系数取 2-3 元/kWh），年均减少停电电量约 60 万 kWh，年均减少停电损失收益约 120-180 万元，其中农产品加工企业因停电造成的生产中断损失减少最明显，某小型粮食加工厂年均可减少停电损失约 5-8 万元。降低运维成本收益：从每年减少人工巡检 1-5 次来算，传统的巡检方式下需要 25-30 万/年的运维费用，现在通过减少巡检的次数将运维成本控制到 13-17 万/年，那么每年的运维成本降低效益约 12-17 万，每年减少巡检车辆出行，每年约减少汽油消耗 1-2 万元；综合估算在县域内的经济效益约为：232-347 万元/年，投资回报效益显著。从间接经济效应方面看，供电可靠性提高之后能够更好的保障农村居民用电需求，在生活中用电不再受停电困扰，能够减少因停电带来的生活不便情况；农业生产和用电稳定后灌溉设备、温室大棚的电力供应不会因故障停电而造成农作物缺水枯死，有利于农民种粮食多产粮，增加收入。

### 3.3 量化评估方法

采用净现值法、采用投资回收期、净现值法、投资回收期三种常用的方法，以 10 年为评估周期，基准收益率取电网企业常用 8%（参考电力行业投资项目基准收益率标准），确保评估结果符合行业实际情况。净现值法是通过计算评估周期内各年净现金流量（现金流人为年均直接经济效益，现金流出为年均运维成本与年均升级成本）按照基准收益率折现到评估初期的现值之和，如果净现值大于零，那么系统投资可行。以某县域系统为例，取初期投资成本 50 万元，年均运维成本 15 万元，年均升级成本 1.3 万元，年均直接经济效益 235 万元，可得年均净现金流量约 218.7 万元，用年金现值系数计算（10 年，8% 基准收益率下的年金现值系数为 6.7101），净现值约为  $-50+218.7*6.7101 \approx 1417.5$  万元，净现值远大于 0，表明系统具有极大的经济可行性。投资回报率是计算评估周期内年均净收益与初期投资成本的比率，年均净收益是年均直接经济效益减去年均运维成本再减去年均升级成本后的金额，该县域系统年均净收益约为 218.7 万元，投资回报率为  $218.7 \div 50 \times 100\% \approx 437.4\%$ ，远大于电力行业平均投资回报率（约为 8%-12%），说明系统的投资盈利水平很高，能够给电网企业带来很大的收益。投资回

收期是收回初期投资成本所需要的时间，可分为静态投资回收期和动态投资回收期，静态投资回收期不考虑资金的时间价值，计算方法为初期投资成本除以年均净收益，该县域系统静态投资回收期约为  $50 \div 218.7 \approx 0.23$  年（约 2.7 个月），动态投资回收期考虑资金的时间价值，采用累计净现金流量现值计算法，该县域系统动态投资回收期约为 0.3 年（约 3.6 个月），投资回收速度很快，能够快速回笼资金，减少电网企业的投资风险。

### 结束语：

综上所述，农村配电网轻量化自动化监控系统的设计和推广，是解决农村配电网监控难题、增强供电可靠度的关键步骤，亦是助力乡村振兴战略的途径之一，本文所提出的轻量化设计策略，经由硬件架构精简，软件功能精炼及兼容性扩大，使得系统可以在保持农村配电网核心监控需求的前提下，有效缩减系统成本，适应农村地区的资金和技术条件，而构建起的成本效益评价体系，利用明确构成成本和效益，并采用量化分析方式，来显示系统具备经济性和社会价值，依据实例数据显示，该系统可以大幅度降低系统初始投资和运维成本，压缩故障解决时延，从而提高配电网运行效能，而且，该系统还能对分布式能源加以接纳，给农村能源转型予以保障。

### 参考文献：

- [1] 李祺玥 . 基于 VisualStudio 的农村配电网无功补偿设计与研究 [J]. 科技与创新 ,2024,(24):117-119.
  - [2] 张伟林 . 基于物联网技术的农村配网智能化运维管理系统研究 [J]. 电气技术与经济 ,2024,(12):281-283.
  - [3] 刘苑红, 张伟, 于辉, 等 . 面向高比例光伏接入的农村电网储能电站优化配置方法 [J]. 分布式能源 ,2024,9(06):47-55.
  - [4] 孙明浩, 苏迪, 杜道强, 等 . 基于价值共创理念的农村配电网集约化管理实践 [J]. 河南电力 ,2024,(11):64-65.
  - [5] 邓开, 康操 . 分布式光伏接入对农村配电网的影响及应对 [J]. 农村电工 ,2024,32(11):33-34.
- 作者简介：**姓名：胡鑫（1984.2.28日-），性别：男，民族：汉，籍贯：河北省张家口市，学历：专科，职称：工程师，研究方向：电力系统自动化技术。