

Discussion on Loss Calculation of Factory Power Supply and Distribution Lines and Energy-saving Renovation Measures

Jianqiang Li

Hebei Dahe Handan Iron and Steel Design Institute Co., Ltd., Handan, Hebei, 050000, China

Abstract

This paper focuses on the research of power supply and distribution line losses in factories, clarifies the type differences between technical losses and management losses, and analyzes the core influences of conductor material, cross-sectional area, load characteristics, power supply distance and ambient temperature on losses. Construct a calculation system that includes single-phase lines ($\Delta P=I^2Rt$), three-phase lines ($\Delta P=3I^2Rt$), and actual load correction (introducing the maximum load loss hours τ), emphasizing the calculation precautions for unified units, multi-line superposition, and joint resistance compensation. Renovation measures are proposed from five dimensions: optimizing wire selection, improving load characteristics, enhancing power factor, optimizing network structure, and strengthening operation management. The effects are verified through case studies. Research shows that reasonable renovation can reduce line losses and keep the payback period of investment within a relatively short period, providing practical and feasible technical solutions for factories to improve the efficiency of power supply and distribution and lower production costs.

Keywords

Factory Power supply and distribution wires; Electrical line loss Energy-saving renovation

工厂供配电线路损耗计算与节能改造措施探讨

李建强

河北大河邯钢设计院有限公司, 中国·河北 邯郸 050000

摘要

本文围绕工厂供配电线路损耗展开研究,明确技术损耗与管理损耗的类型差异,剖析导线材质、截面积、负荷特性、供电距离及环境温度对损耗的核心影响;构建包含单相线路($\Delta P=I^2Rt$)、三相线路($\Delta P=3I^2Rt$)及实际负荷修正(引入最大负荷损耗小时数 τ)的计算体系,强调单位统一、多线路叠加及接头电阻补偿的计算注意事项;从优化导线选型、改善负荷特性、提高功率因数、优化网络结构、加强运行管理五个维度提出改造措施,并结合案例验证效果。研究表明,合理改造可使线路损耗降低,投资回收期多控制在较短年限以内,为工厂提升供配电能效、降低生产成本提供切实可行的技术方案。

关键词

工厂; 供配电线; 电线路损耗; 节能改造

1 引言

工业领域是我国能源消耗的核心板块,其中工厂供配电系统承担着电能传输与分配的关键职能,其运行效率直接关联企业生产成本与能源利用水平。当前,部分工厂仍存在供配电线路设计不合理的问题,使得线路损耗居高不下,年浪费电能可达数百万千瓦时。随着国家《工业能效提升行动计划(2023-2025年)》的推进,要求重点工业行业供配电系统能效提升5%以上,线路损耗控制成为核心抓手。然而,多数工厂对线路损耗的计算仍停留在经验估算层面,未结合实际负荷特性与环境条件进行精准分析,导致节能改造措施

缺乏针对性,投资效益不佳。基于此,本文将对工厂供配电线路损耗计算与节能改造措施进行相关研究。

2 工厂供配电线路损耗的类型与影响因素

2.1 线路损耗的类型

工厂供配电线路的技术损耗本质是有功损耗,源于导线自身的电阻,当电流通过导线时,因焦耳效应产生电能向热能的不可逆转化,这种损耗也常被称为“铜损”,其计算依据欧姆定律与焦耳定律,损耗大小与电流平方、导线电阻及通电时间成正比,是线路损耗的绝对主要形式^[1]。而管理损耗则是因运行管理不当导致的额外损耗,常见来源包括计量误差,比如电表长期使用后的失准导致电能统计偏差;偷漏电问题,如线路绝缘层破损引发的接地漏电;以及空载损耗,即设备未处于工作状态却空转产生的无效电流损耗等。

【作者简介】李建强(1981-),男,中国河北邯郸人,本科,高级工程师,从事电气工程、工厂供配电研究。

管理损耗与技术损耗不同，可通过强化日常管理措施有效规避，其在总损耗中的占比通常低于10%，因此在节能改造中，技术损耗的控制是提升供电效率的核心重点。

2.2 线路损耗的核心影响因素

结合技术损耗的核心计算公式 $\Delta P=I^2Rt$ ，其影响因素可从导线特性、负荷状态、传输条件等维度展开分析。导线材质与电阻率，电阻率是导线材质的固有属性，相同条件下铜导线的损耗更低，部分老旧工厂仍在使用的铝导线，其损耗较同规格铜导线高约65%。根据电阻计算公式 $R=\rho L/S$ （ L 为线路长度， S 为截面面积），导线截面越小，电阻越大，损耗与截面面积成反比增加。负荷率过低、波动过大时，若高峰电流是平均电流的2倍，损耗会按电流平方增长，实际损耗将是恒定负荷的4倍；而三相不平衡问题同样显著，当三相电流偏差超过10%时，中性线会产生额外电流 I_n ，总损耗会增加 $\Delta P_n=I_n^2R_n$ （ R_n 为中性线电阻），严重时损耗可提升30%。供电距离与电阻成正比，距离越长损耗越大，5km线路的损耗是3km线路的1.67倍，部分工厂将配电房设置在厂区边缘，导致末端线路损耗大幅激增。导线电阻率随温度升高而增大，依据公式 $R_t=R_{20}[1+\alpha(t-20)]$ （ α 为温度系数，铜 $\alpha=0.00393/^\circ\text{C}$ ，铝 $\alpha=0.00403/^\circ\text{C}$ ），夏季高温时（ $t=40^\circ\text{C}$ ），铜导线电阻较20℃时增加39.3%，损耗也会同步上升。

3 工厂供配电线路损耗计算方法

3.1 基础理论公式

3.1.1 单相线路损耗计算

单相线路损耗计算主要适用于220V低压单相线路，如车间照明线路、小型单相设备供电线路等，其核心计算公式为 $\Delta P=I^2Rt$ （瞬时有功损耗，单位kW）与 $\Delta W=\Delta Pt$ （累计电能损耗，单位kWh），其中 I 为线电流（单位A）， R 为导线电阻（单位 Ω ）， t 为通电时间（单位h），公式中的电阻 R 需根据实际环境温度进行修正，修正公式为 $R_t=R_{20}[1+\alpha(t-20)]$ ，以确保电阻数值与实际运行条件相符。

3.1.2 三相线路损耗计算

三相线路损耗计算适用于10kV高压线路与380V低压三相线路，如工厂机电设备、大型生产机组的供电线路等，其核心计算公式为 $\Delta P=3I^2Rt$ 与 $\Delta W=3I^2Rt$ ，与单相线路不同，三相线路的线电流 I 需通过实际负荷参数计算得出，计算公式为 $I=P/(\sqrt{3}U\cos\phi)$ ，其中 P 为线路承担的有功功率（单位kW）， U 为线电压（单位kV）， $\cos\phi$ 为功率因数，这三个参数直接影响线电流的准确性，进而决定损耗计算结果的精度。

3.2 实际负荷修正计算

工厂实际运行中，负荷多为波动负荷，如间歇生产的机床、周期性启停的熔炉等，若仅采用平均电流进行损耗计算，会因未考虑负荷高峰的影响导致结果偏小，因此需引

入最大负荷损耗小时数（ τ ）进行修正^[2]，修正后的计算公式为 $\Delta W=3I_{\max}^2R\tau$ ，其中 I_{\max} 为线路最大线电流（单位A）， τ 为最大负荷损耗小时数，该参数需根据工厂负荷特性查询《工业与民用配电设计手册》获取，例如连续生产负荷的 τ 值通常为7000~8000h，间歇生产负荷的 τ 值则为3000~5000h， τ 值的精准选择直接影响修正结果的可靠性。

3.3 计算注意事项

在进行工厂供配电线路损耗计算时，需注意三个关键问题以确保结果准确。第一是单位统一，计算过程中电流（A）、电阻（ Ω ）、时间（h）等参数的单位需严格匹配，若出现单位混淆，如将线路长度单位“米”误记为“千米”，会导致电阻计算值缩小1000倍，最终损耗结果也会出现数量级偏差，因此在计算前需逐一核对各参数的单位，确保符合公式要求。第二是多线路叠加计算，工厂供电系统通常包含多条分支线路，如高压主线、低压支线、车间内分支线路等，不同线路的导线规格、负荷参数、运行时间均存在差异，若对所有线路进行整体估算，会掩盖部分高损耗线路的真实情况，因此需分别计算各条线路的损耗后求和，确保每一条线路的损耗都被精准量化。第三是接头电阻补偿，导线接头在长期运行中会因氧化、松动等问题导致接触电阻增大，这部分电阻未包含在导线固有电阻计算中，若忽略会导致损耗结果偏小，根据实际运行经验，接头电阻产生的损耗通常占总损耗的10%~15%，老旧线路的接头电阻占比甚至可达20%，因此在计算时需在固有电阻损耗基础上增加相应比例的补偿量，确保计算结果与实际损耗高度一致。

4 工厂供配电线路节能改造措施

4.1 优化导线选型：降低固有电阻损耗

导线选型的核心是在“初始投资成本”与“长期损耗节约”之间找到平衡，通过选择低电阻率材质与合理截面面积，从源头降低导线固有电阻，进而减少损耗。在材质升级方面，主要针对老旧工厂仍在使用的铝导线线路，这类线路运行时间多超10年，且负荷密度较高，将铝导线更换为铜导线或新型合金导线，可显著降低电阻率^[3]。以某汽车厂为例，其5km长的10kV线路原采用70mm²铝导线，20℃时电阻约为2.02 Ω ，年损耗达85万kWh，改造为同规格铜导线后，电阻降至1.229 Ω ，年损耗减少至52万kWh，按电价0.6元/kWh计算，年节约电费31.8万元，尽管导线差价导致初始投资增加45万元，但投资回收周期仅1.42年，经济效益显著。在截面扩容方面，需根据线路的负荷参数与损耗计算结果，选择能实现“损耗节约额覆盖投资成本”的截面规格，计算逻辑为“年损耗节约额=(改造前损耗-改造后损耗)×电价”，再对比截面扩容所需的投资，选择回收期最短的规格。以某10kV高压线路为例，原采用70mm²铜导线，年损耗56.58万kWh，改造为95mm²铜导线后，20℃时电阻降至0.905 Ω ，经温度修正后 $R_t\approx 0.941\Omega$ ，年损耗减少至

416901kWh, 年节约损耗 148860kWh, 对应节约电费 8.93 万元, 导线截面扩容导致的投资增加仅 12 万元, 投资回收期仅 1.34 年, 是兼具技术与经济可行性的改造方向。

4.2 改善负荷特性: 减少波动与不平衡损耗

负荷特性是影响线路损耗的关键因素, 负荷率过低、三相不平衡都会导致线电流增大, 进而使损耗按平方增长, 因此改善负荷特性需从平抑负荷波动、平衡三相电流两方面入手。在提高负荷率方面, 主要通过错峰调度与负荷转移实现, 对于大功率设备, 这类设备启动电流大、运行功率高, 若同时启动会导致线路电流骤升, 形成负荷高峰, 因此需制定错峰运行计划, 将不同设备的启动与运行时间错开, 避免负荷叠加; 同时可引入中小型储能设备, 在用电低谷时段充电, 高峰时段放电, 进一步平抑负荷波动。某钢铁厂通过实施上述措施, 将线路负荷率从 65% 提升至 85%, 线路损耗降低 28%, 年节约电费 26 万元, 同时还减少了因负荷高峰导致的线路过载问题, 提升了供电可靠性。在平衡三相负荷方面, 需先建立实时监测机制, 安装 RS485 通讯型三相电流在线监测仪, 实时采集各相电流数据, 当三相电流不平衡度超 10% 时自动报警, 提醒运维人员及时调整; 随后对车间内的单相设备进行接线相位调整, 将各相电流偏差控制在 5% 以内。

4.3 提高功率因数: 减小线电流损耗

功率因数 ($\cos \phi$) 与线电流成反比, 功率因数越低, 线电流越大, 损耗按电流平方增长, 因此通过并联电容器补偿无功功率, 将功率因数从当前的 0.8~0.85 提升至 0.95 以上, 可显著减小线电流, 进而降低损耗。在补偿量计算方面, 需根据线路的有功功率与目标功率因数确定, 核心公式为 $Q=P(\tan \phi 1-\tan \phi 2)$, 其中 Q 为所需无功补偿量 (单位 kvar), P 为线路承担的有功功率 (单位 kW), $\phi 1$ 为改造前的功率因数角, $\phi 2$ 为改造后的目标功率因数角。以承担 2000kW 负荷的 10kV 线路为例, 改造前功率因数 $\cos \phi 1=0.85$ (对应的 $\tan \phi 1 \approx 0.620$), 目标功率因数 $\cos \phi 2=0.95$ (对应的 $\tan \phi 2 \approx 0.329$), 经计算所需无功补偿量 $Q=2000 \times (0.620-0.329)=582\text{kvar}$ 。从改造效果来看, 功率因数提升后, 线电流会同步减小, 改造前该线路电流约为 135.86A, 改造后降至 121.55A, 电流降低 10.5%; 对应的年损耗从 56.58 万 kWh 减少至 45.28 万 kWh, 年节约损耗 11.3 万 kWh, 按电价 0.6 元/kWh 计算, 年节约电费 6.78 万元。而 582kvar 电容器的初始投资约为 5.82 万元 (按 100 元/kvar 计算), 投资回收期仅 0.65 年, 是所有改造措施中回收最快的方向之一, 适合在工厂中优先推广。

4.4 优化供配电网络结构: 缩短供电距离

供配电网络结构优化的核心是通过调整配电房位置、优化线路布局, 缩短导线长度, 进而减少电阻与损耗, 主要

适用于配电房远离负荷密集区或线路布局不合理的工厂。在配电房迁移方面, 针对配电房设置在厂区边缘, 导致负荷密集区线路长度超过 5km 的情况, 将配电房迁移至厂区中部的负荷中心, 可大幅缩短供电距离。以某化工厂为例, 其原配电房位于厂区边缘, 至中部生产车间的线路长度达 6km, 导线电阻约 1.47 Ω , 年损耗 72 万 kWh, 将配电房迁移至负荷中心后, 线路长度缩短至 3km, 电阻降至 0.735 Ω , 年损耗减少至 36 万 kWh, 年节约电费 21.6 万元, 尽管配电房迁移涉及土建、设备搬迁等, 初始投资增加 80 万元, 但投资回收期仅 3.7 年, 长期来看仍能产生显著效益, 同时还能改善末端线路的电压质量, 减少设备因电压偏低导致的故障。在环网供电方面, 针对工厂内存在多条平行线路的情况, 采用环网接线方式, 通过断路器实现负荷动态分配, 避免单条线路因负荷过载导致损耗激增。

4.5 加强运行管理与监测: 规避管理损耗

管理损耗虽占比低于 10%, 但通过强化运行管理与监测, 可实现“零成本或低成本降耗”, 是节能改造中不可忽视的环节。在智能监测系统建设方面, 需在工厂供配电系统中部署电力监控系统, 实时采集各条线路的电流、电压、功率因数、损耗等数据, 同时在关键线路、高损耗线路上安装高精度监测终端, 当出现异常损耗时, 系统可在 5 分钟内自动报警, 运维人员及时排查处理, 避免损耗持续增加。在定期巡检维护方面, 需建立月度巡检制度, 运维人员使用红外测温仪检测导线接头、断路器触点的温度, 当温度超过 60 $^{\circ}\text{C}$ 时, 及时进行清理、紧固处理, 减少接触电阻; 同时检查导线绝缘层状态, 对老化、破损的绝缘层进行更换, 避免漏电损耗。

5 结语

本文通过对工厂供配电线路损耗的系统研究, 分析了损耗产生的关键机制, 建立了贴合实际运行场景的损耗计算方法, 提出的多维度节能改造措施经案例验证具备显著的技术与经济可行性。从实践价值来看, 这些措施不仅能帮助工厂有效降低线路损耗, 减少年电费支出数十万甚至数百万元, 还能响应国家《工业能效提升行动计划 (2023-2025 年)》中供配电系统能效提升要求, 助力工业领域碳减排目标落地。

参考文献

- [1] 董志涵. 输电线路损耗分析与节能改造经济效益评估模型的构建与应用[J]. 自动化应用, 2025, 66(S1): 85-87.
- [2] 秦云. 电力输配电线路中的节能降耗措施分析[J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2024(3): 0137-0140.
- [3] 王蕾. 建筑供配电线路的节能设计[J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2020(8): 00259-00260.