

# 电力输电网中的电力损耗降低技术探索

张建平 况余学 吉 鑫 黄 威  
德阳明源电力集团有限公司 四川 德阳 618000

**摘要：**在能源需求持续增长且倡导绿色发展的当下，电力输电网的高效运行至关重要。本文围绕电力输电网中电力损耗降低技术展开探索，首先概述了相关技术的重要性与应用价值，随后从电阻损耗、电抗损耗、管理因素及负荷特性四个维度分析了电力损耗的成因。在此基础上，重点阐述了降低损耗的技术措施，包括优化电网结构、提高功率因数、优化变压器运行、应用智能电网技术及采用新型输电技术。研究旨在为提升输电网效率、减少能源浪费提供技术参考。

**关键词：**电力输电网；电力损耗；降低技术

**引言：**随着社会经济的快速发展，电力需求持续增长，电力输电网的高效稳定运行成为能源保障的关键。电力损耗作为输电网运行中的重要问题，不仅降低能源利用效率，还增加供电成本，制约电力系统的经济性与可持续性。因此，探索并应用有效的电力损耗降低技术，对于提高电网运行效率、推动能源节约型社会建设具有重要意义。基于电力输电网的运行特点，深入分析损耗产生的原因，系统梳理并阐述当前主流的降损技术措施，为相关研究与工程实践提供理论支持和实践指导。

## 1 电力输电网中的电力损耗降低技术的概述

电力输电网作为电力系统中连接发电端与用电端的核心环节，其电力损耗直接关系到能源利用效率、供电成本及系统稳定性。电力损耗降低技术是指通过技术革新、结构优化、智能管控等手段，减少电能在输电过程中因电阻、电抗、管理缺陷或负荷波动等因素造成的能力损失，以提升电网整体运行效率的综合性技术体系。该技术体系具有多维度、跨学科的特点，涵盖电网规划设计、设备选型、运行调控、智能监测等多个层面。从技术属性来看，既包括传统的电网结构优化、无功补偿

**作者简介：**张建平，1991年1月13日出生，男，吉林四平人，工程师，本科，主要从事输电工程项目管理。

况余学，1970年01月29日出生，男，四川中江人，助理工程师，大专，主要从事输变电工程施工管理及施工组织，同时内外部协调及相关工作。

吉鑫，1986年1月11日出生，男，四川达州人，工程师，本科，主要从事变电工程项目管理、变电站安装及调试技术、二次设备等领域的研究开发。

黄威，1984年1月20日出生，男，湖南常德人，工程师，本科，主要从事变电工程项目管理、变电站安装及调试技术、二次设备等领域的研究开发。

等成熟技术，也包含智能电网、特高压输电、超导材料应用等新兴技术；从应用目标而言，不仅追求降低实时损耗，更注重实现电网长期经济运行与能源可持续利用的平衡。随着新型电力系统建设推进，分布式能源接入、用电负荷多元化等趋势对降损技术提出了更高要求，推动其向智能化、精准化、高效化方向发展。研究与应用电力损耗降低技术，对缓解能源供需矛盾、促进“双碳”目标实现具有重要的现实意义和战略价值<sup>[1]</sup>。

## 2 电力输电网中电力损耗的原因分析

### 2.1 电阻损耗

电阻损耗是电力输电网中最主要的损耗形式之一，其本质是电流通过输电导线时，因导线自身电阻产生的能量损耗，遵循焦耳-楞次定律，即损耗功率与电流平方、导线电阻及输电时间成正比。导线材质（如铜、铝）、截面面积、长度及温度等因素直接影响电阻大小：材质电阻率越高、导线截面越小、长度越长，电阻越大；而输电过程中导线因电流流过产生的焦耳热会升高温度，进一步增大电阻，加剧损耗。尤其在远距离、大容量输电场景中，电流强度较大，电阻损耗更为显著，成为制约输电效率的关键因素。

### 2.2 电抗损耗

电抗损耗源于输电线路的电感和电容特性，是交流输电系统特有的损耗形式。当交流电流通过导线时，导线周围会产生交变磁场，引发感抗；同时，导线与大地之间形成电容，产生容抗，两者共同构成线路电抗。电抗会导致电流与电压相位差增大，使输电过程中出现无功功率交换，造成额外的能量损耗。此外，输电线路的布置方式（如导线间距、排列方式）、线路长度及电压等级等因素，会直接影响电抗值大小，进而影响损耗程度，尤其在超高压、远距离输电中，电抗损耗的占比显

著提升。

### 2.3 管理因素导致的损耗

管理因素导致的损耗主要源于电网运营管理中的制度缺陷与执行疏漏，属于人为可控的非技术性损耗。例如，计量装置老化、精度不足或安装不当，会导致电能计量偏差，造成“跑冒滴漏”；电网巡检维护不及时，线路设备因腐蚀、氧化或机械损伤出现性能下降，间接增加损耗；此外，用电监管不到位可能引发偷电、漏电等违规行为，进一步加剧电能流失。此类损耗与管理体系的完善程度、人员专业素养密切相关，具有隐蔽性强、分布范围广的特点，是降损工作中需重点管控的环节。

### 2.4 负荷特性导致的损耗

负荷特性对电力损耗的影响主要体现在负荷的波动性、不对称性及功率因数等方面。用电负荷随时间（如昼夜、季节）的剧烈波动，会导致输电线路和变压器长期处于非经济运行状态，当负荷率过低时，设备效率下降，损耗率升高；三相负荷不对称会使中性线产生额外电流，增加线路损耗；而用户端大量感性负荷（如电动机、变压器）会降低系统功率因数，导致无功电流增大，不仅增加线路电阻损耗，还会降低输电设备的有效利用率。此外，负荷集中区域与电源点的距离过远，也会因输电距离增加而放大损耗效应<sup>[2]</sup>。

## 3 降低电力损耗的技术措施

### 3.1 优化电网结构

#### 3.1.1 合理规划电网布局

合理规划电网布局需以电源分布与负荷需求为核心，构建“电源贴近负荷、线路路径最优”的输电网络。通过将变电站、换流站等关键节点设置在负荷集中区域，缩短电力输送距离，减少电能在长距离传输中的自然损耗。同时，避免线路出现迂回、交叉或过度绕行等不合理走向，降低无效线路长度；针对城市建筑群、山区等复杂环境，采用紧凑化线路设计或地下电缆敷设方式，减少地理因素对线路路径的干扰。此外，均衡分配各条线路的负荷承载量，避免部分线路因过载运行而加剧损耗，通过优化网络拓扑结构提升整体输电效率。

#### 3.1.2 简化电压等级

简化电压等级旨在减少输电网络中不必要的电压转换环节，降低多级变压带来的能量损失。部分地区电网存在电压等级过多、层级复杂的问题，导致电能在多次变压过程中损耗叠加。通过合并功能相近的电压等级，减少变压次数，可降低变压器在能量转换中的损耗；同时，简化后的电压体系能减少电压匹配不当引发的无功功率交换，避免因多级变压导致的效率衰减。此外，清

晰的电压层级便于电网运行调控，提升负荷分配的灵活性，从系统层面减少因结构冗余造成的电力浪费。

#### 3.1.3 采用合理的导线类型和截面

导线类型与截面的科学选择是降低电阻损耗的关键。在导线类型上，优先选用导电性能优异的材料，减少电流通过时的电阻阻碍；对于高负荷线路，采用耐高温性能强的导线，避免因温度升高导致的电阻增大。在截面选择方面，结合线路的负荷承载需求，在经济合理范围内增大导线截面，降低单位长度电阻；同时，根据不同环境条件选用具备防腐、抗老化特性的导线，减少因材质劣化导致的电阻上升，通过优化导线参数从源头控制电力损耗。

### 3.2 提高功率因数

#### 3.2.1 安装无功补偿装置

安装无功补偿装置是提高功率因数最直接有效的技术手段，其原理是通过装置产生与系统无功功率性质相反的无功电流，抵消部分无功需求，减少从电源端输送的无功功率。无功补偿装置可根据安装位置分为集中补偿、分散补偿和就地补偿三种方式：集中补偿装置通常安装在变电站或大型配电室，适用于平衡区域内的整体无功负荷；分散补偿装置设置在配电线路上的中段或分支点，用于缓解局部线路的无功压力；就地补偿装置则直接安装在感性负荷设备附近，如电动机、变压器等，可就近抵消设备产生的无功损耗，避免无功功率在线路中传输造成的能力浪费。合理配置无功补偿装置能使功率因数显著提升，减少输电电流，从而降低导线和变压器的损耗，同时还能改善电压质量，避免因电压波动导致的额外能耗。

#### 3.2.2 推广节能型用电设备

用电设备的性能是影响系统功率因数的关键因素，传统高耗能设备往往具有较高的感性负载特性，运行时会消耗大量无功功率，导致整体功率因数下降。推广节能型用电设备可从源头减少无功需求，这类设备通过优化内部结构和电路设计，在实现同等功能的前提下，降低对无功功率的依赖。例如，新型节能电动机采用高效铁芯材料和优化的绕组设计，运行时的功率因数相比传统电动机有明显提升，能有效减少无功损耗；节能型变压器则通过改进磁路结构，降低空载和负载时的无功损耗，减少对系统无功功率的占用。

### 3.3 优化变压器运行

#### 3.3.1 合理选择变压器容量和型号

合理选择变压器容量和型号是降低损耗的基础。容量选择需与实际负荷需求匹配，若容量过大，会导致轻载运

行时铁损占比过高；容量过小，则会因过载使铜损剧增。应结合负荷特性，选取容量略大于平均负荷且能应对峰值负荷的型号，实现经济运行。在型号选择上，优先采用节能型变压器，其通过改进铁芯材料（如使用高导磁硅钢片）和优化绕组结构，能显著降低铁损和铜损。

### 3.3.2 调整变压器运行方式

调整变压器运行方式可动态适应负荷变化，减少不必要的损耗。对于多台变压器并列运行的场景，根据负荷波动调整投入台数，在低负荷时段停运部分变压器，避免轻载运行造成的损耗浪费；在高负荷时段则全部投入，满足供电需求。此外，合理调整变压器的分接头，确保输出电压稳定在额定范围，减少因电压偏差导致的附加损耗。对于季节性负荷差异大的区域，采用有载调压变压器，可在不停电的情况下调整电压，使变压器始终工作在高效区间，提升整体运行效率。

## 3.4 采用智能电网技术

### 3.4.1 应用电力监控系统

电力监控系统通过在输电线路、变电站等关键节点部署传感器和智能终端，实时采集电压、电流、功率等运行数据，并借助通信网络传输至控制中心。系统可动态监测线路负荷分布、设备温度及故障状态，及时发现过载、三相不平衡等问题，通过自动预警触发调控指令，避免因设备异常运行导致的损耗激增。同时，监控系统能实现对输电网络的可视化管理，精准定位损耗异常区域，为针对性降损措施提供数据支持，提升故障处理效率，减少停电时间带来的间接损耗。

### 3.4.2 实施需求侧管理

需求侧管理通过引导用户调整用电行为，实现负荷的均衡分布，降低电网峰谷差，从而减少因高峰时段过载产生的输电损耗。借助智能电表等终端设备，电网企业可与用户实时交互用电信息，通过分时电价、峰谷用电激励等措施，鼓励用户错峰用电，将部分高峰负荷转移至低谷时段。此外，需求侧管理能精准匹配电源供应与用户需求，避免电力远距离、跨区域的无效输送，提高本地能源消纳率，从负荷调控角度降低输电网络的整体损耗。

### 3.4.3 利用大数据和人工智能技术

大数据和人工智能技术通过挖掘海量电网运行数据中的规律，实现对损耗的精准预测和动态优化。人工智能算法可分析历史损耗数据、气象条件、负荷变化等因素，

构建损耗预测模型，提前预判高损耗时段和区域，为主动降损提供决策依据。同时，借助机器学习算法优化电网潮流分布，动态调整输电路径，避免线路过载或迂回供电，实现能量传输的最优化配置，从系统层面最大限度减少不必要的电力损耗。

## 3.5 采用新型输电技术

### 3.5.1 特高压输电技术

特高压输电技术以其超高电压等级为核心优势，能显著降低远距离输电中的电力损耗。在相同输电容量下，电压等级越高，输电电流越小，根据电阻损耗公式，损耗与电流平方成正比，因此特高压输电可大幅减少导线的电阻损耗。同时，特高压输电能减少输电线路的回路数量，降低线路建设成本和占地面积，避免因多回路并行导致的损耗叠加。此外，特高压输电系统的稳定性和可靠性更高，能减少因系统波动或故障带来的额外损耗，适用于跨区域、大容量的电力输送，有效提升了整体输电网络的能源利用效率。

### 3.5.2 超导输电技术

超导输电技术利用超导材料在特定低温条件下电阻为零的特性，从根源上消除了输电过程中的电阻损耗，是理想的低损耗输电方式。超导导线在超导状态下，电流通过时几乎没有能量损失，能极大提升输电效率。同时，超导材料具有极强的载流能力，可在较小截面下实现大容量输电，减少线路走廊占用。虽然超导输电需要维持低温环境，会消耗一定能量，但相较于传统输电的电阻损耗，其综合能效仍具有明显优势<sup>[3]</sup>。

## 结束语

电力输电网的电力损耗降低技术探索，是提升能源利用效率、推动电力系统可持续发展的关键路径。从电网结构优化到智能技术应用，从传统设备升级到新型输电技术突破，多元化的降损手段共同构建了高效输电的技术体系。这些技术的实践不仅能减少能源浪费、降低供电成本，更能为新型电力系统的稳定运行提供支撑。

## 参考文献

- [1]王文涛.火力发电厂金属部件无损检测质量控制办法[J].文摘版:自然科学,2019,000(008):P.216-217.
- [2]梁锐敏.火力发电厂金属部件表面检测质量控制办法[J].能源与节能,2019(09):242-243.
- [3]张轶夫,孙金明,杨羽等.基于遗传算法的输电网潮流图自动布局方法[J].制造业自动化,2022,44(09):163-166.