

# 10kV配电无功补偿技术要点与经济效益分析

赵嘉焯

国网河北省电力有限公司邯郸市永年区供电分公司

**摘要:** 随着电力系统的快速发展, 10kV配电线路在电力系统中的地位日益重要。然而, 线路无功补偿技术一直是影响电力系统稳定和经济效益的关键因素。本文主要探讨了10kV配电无功补偿技术要点及其经济效益。首先, 介绍了10kV配电网中无功补偿的技术原理和应用价值。接着, 阐述了10kV配电无功补偿的设置原则, 包括补偿位置、补偿容量和补偿点数量的确定。然后, 对10kV配电无功补偿的计算优化进行了分析, 包括补偿前线路功率因数、最小有功功率和线路补偿容量。最后, 从提高功率因数、减少电能损耗、提高设备利用率和减少故障损失等方面, 对10kV配电无功补偿的经济效益进行了分析。

**关键词:** 10kV配电线路; 无功补偿技术; 经济效益

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-627X.2023.04.239

## 引言

随着电力系统的快速发展, 10kV配电线路在电力系统中的地位日益重要。然而, 由于配电网中的设备多样性和运行方式的复杂性, 导致配电网中的无功功率流动问题日益突出。为了提高配电网的供电质量和经济效益, 无功补偿技术成了解决这一问题的有效手段。本文将重点探讨10kV配电无功补偿技术要点及其经济效益。

### 一、10kV配电网中无功补偿的技术原理与应用价值

#### (一) 技术原理

通常来说, 配电线路的输出功率由有功功率和无功功率组成。有功功率是指设备在正常运行中直接消耗的电能, 它可以转化为热能、光能和机械能。而无功功率则是将电能转化为另一种形式的能, 为电气设备的工作提供条件。在纯电阻性负载的情况下, 交流电能会转化为热能, 因此会产生无功功率。但在实际负载中, 往往是混合性负载, 电流通过时会有部分电能不做功, 这部分无功功率需要进行补偿以提高电能利用率。无功补偿技术的主要功能是稳定配电系统的功率因数在正常范围内, 从而减少变压设备和输电线路的电能损耗, 提高配电系统的运行质量。如果采用不合理或无效的无功补偿技术, 可能会导致电压波动、谐波增大等问题。此外, 无功功率平衡、无功电源分布及传输等因素也会对电力系统的损耗和经济性产生影响。因此, 合理的无功补偿技术对于降低电能耗损、保障供电质量非常重要。

#### (二) 应用价值

10kV配电无功补偿技术在提高电力系统稳定性和经济性方面具有显著的应用价值。首先, 无功补偿能够提高功率因数, 降低线路电流, 从而减少电能损耗。根据计算, 当功率因数从0.8提高到0.95时, 线路电流降低约16%, 电能损耗减少约20%。其次, 无功补偿可以提高设备的利用率。通过合理配置无功补偿设备, 可以平衡

电网的无功功率, 降低电压波动和谐波污染, 延长设备使用寿命, 提高设备利用率。再次, 无功补偿可以减少故障损失。有效无功补偿可以提高电网的稳定性和抗干扰能力, 降低系统故障率, 减少故障损失。最后, 无功补偿有助于实现绿色环保。通过提高电能利用率, 减少电能损耗, 降低碳排放, 有助于实现电力系统的绿色环保目标。

### 二、10kV配电无功补偿的设置原则

#### (一) 补偿位置的确定

补偿位置的确定是10kV配电无功补偿的关键环节。一般来说, 补偿位置的选择应遵循以下原则: 首先, 补偿位置应尽量靠近无功功率源, 以减小无功功率流动带来的电压降低和电能损耗。其次, 补偿位置应根据电网结构和负荷特性进行选择, 以确保补偿效果最佳。最后, 补偿位置的确定还需考虑设备的布局和运行方式, 以满足系统的稳定性和经济性要求。

#### (二) 补偿容量的确定

补偿容量的确定是另一个重要环节。补偿容量过大或过小都会影响无功补偿的效果。补偿容量的确定应考虑以下因素: 首先, 根据电网的负荷特性, 确定无功补偿的基本容量。其次, 结合线路的电压波动和电能损耗情况, 确定补偿容量的调整范围。最后, 考虑系统运行方式的改变和负荷波动, 确定补偿容量的备用容量。

#### (三) 补偿点数量的确定

补偿点数量的确定应根据电网结构和负荷特性进行分析。一般来说, 补偿点数量越多, 补偿效果越好。但同时, 补偿设备的投入和运行维护成本也会增加。因此, 在确定补偿点数量时, 需综合考虑以下因素: 首先, 根据电网的无功功率流动情况, 确定基本的补偿点数量。其次, 结合负荷分布和设备布局, 优化补偿点的位置和数量。最后, 考虑系统运行方式和负荷波动, 确定补偿点数量的备用容量。

### 三、10kV配电无功补偿的计算优化

在10kV配电线路运行期间，由于线路结构复杂、功率因数低、负荷分布不均等因素的影响，会导致线路损耗较大。为了确保供电质量并减少不必要的经济投入，需要对无功补偿技术进行计算优化。通过优化计算，可以确定最佳的无功补偿方案，从而提高功率因数、降低电能损耗，提高设备利用率和减少故障损失，从而实现更好的经济效益。

#### （一）补偿前线路功率因数

在确定补偿前，需要对线路的功率因数进行计算。功率因数的计算公式为：功率因数=有功功率/（有功功率<sup>2</sup>+无功功率<sup>2</sup>）的平方根。通过对线路功率因数的计算，可以了解补偿前线路的无功功率状况，为后续无功补偿设计提供依据。

#### （二）最小有功功率

最小有功功率的计算是为了确定无功补偿设备的最小容量。最小有功功率的计算公式为：最小有功功率=线路最大负荷×（1-功率因数提高率）。功率因数提高率是指补偿后功率因数与补偿前功率因数的差值。通过对最小有功功率的计算，可以为无功补偿设备的选型和容量配置提供参考。

#### （三）线路补偿容量

线路补偿容量的计算是为了确定无功补偿设备的容量。线路补偿容量的计算公式为：线路补偿容量=线路无功功率×（1-补偿后功率因数）/补偿电压。补偿电压一般选取为线路电压的1.1倍。通过对线路补偿容量的计算，可以确保无功补偿设备在投入运行后，能够达到预期的补偿效果。

### 四、10kV配电无功补偿的经济效益分析

#### （一）提高设备供电能力

在满足有功负荷相同的情况下，通过无功补偿技术可以降低变压器在功率方面的作用。根据视在功率与有功功率的关系式 $P=S\cos\phi$ ，可得出实施无功补偿技术后，实现 $\cos\phi_1$ 向 $\cos\phi_2$ 的转变。进一步计算， $\Delta S=S_1-S_2=P(1/\cos\phi_1-\cos\phi_2)$ 。在满足功率相同的情况下，无功补偿技术可以提高变压器有功输出的作用。在实施无功补偿技术后， $P_1$ 、 $P_2$ 分别为补偿前后的有功功率。根据公式， $P_1=S\times\cos\phi_1$ 、 $P_2=S\times\cos\phi_2$ 。由于 $\cos\phi_2\geq\cos\phi_1$ ，这意味着在相同的容量状态下，供电设备可以输出更多的有功功率。此外，除了考虑负载的有功功率外，还需要关注功率因数。因为变压器的有功输送能力会随着功率因数的降低而降低。为了避免变压器超载的情况，需要更多地关注功率因数。通过应用无功补偿技术，可以显著增加有功功率、减少无功功率，从而降低电力系统的无功负荷，这样可以保证供电

设备达到额定出力要求。

#### （二）降低线路电力损耗

实施无功补偿技术后，电力系统网络损耗的减少值可以通过公式 $\Delta P=\Delta P_1-\Delta P_2=3(I_1^2-I_2^2)R$ 来表示。其中， $\Delta P_1$ 和 $\Delta P_2$ 分别表示补偿前后的线路损耗， $I_1$ 和 $I_2$ 表示补偿前后通过电力线路的电流， $R$ 表示电力电路电阻。相较于补偿前，补偿后有功损耗的减少值可以用 $\theta=(\Delta P/\Delta P_1)\times 100\%$ 来表示。这个公式可以用于计算无功补偿技术对有功损耗的减少效果。由于无功补偿技术的影响，通过电力线路的电流会减少，从而降低电力系统网络损耗。为了便于计算，可假设 $U_2\approx U_1$ 。在这个条件下， $\eta=(1-\cos\phi_1/\cos\phi_2)\times 100\%$ 可以用来表示无功补偿技术对线路效率的提升效果。例如，如果功率因数从0.7提高到0.95，那么电力线路的有功功率损耗可以减少46.8%，线路电压损失可以减少27.2%。根据电力设计规程，电力线路的电压损耗应保持在5%以内。因此，经过无功补偿后，线路允许的电压损失最大值为6.4%，即线路有功损耗会在6.4%以内。综上所述，无功功率补偿技术可以显著减少电力线路的损耗，提升节能效果。而且，随着功率因数的提高，线路减少的损耗通常会在线路运行总功率的2.9%以内。因此，应用无功补偿技术对于提高电力系统的运行效率和经济效益具有重要意义。

#### （三）减少用户电费支出

无功补偿技术在10kV配电线路中的应用，除了可以提高供电能力和降低线路电力损耗外，还能减少用户电费支出。以下是具体的经济效益分析：

##### 1. 无功补偿技术可以降低用户的功率因数

在电力系统中，功率因数是衡量用电质量的重要指标。低功率因数会导致电网损耗增加，从而使得用户电费上升。通过无功补偿技术的应用，可以提高功率因数，从而降低用户的电费。

##### 2. 无功补偿技术可以减少用户的无功功率

无功功率是电力系统中的一种无效功率，它不仅会增加电网的损耗，还会导致设备的过温和损坏。通过无功补偿，可以有效减少无功功率，从而降低用户的电费。

##### 3. 无功补偿技术可以提高电力系统的运行效率

通过优化补偿方案，可以确保电力系统在满足供电需求的同时，降低能源消耗和运行成本。这将有助于降低用户的电费支出。

#### （四）提高电力系统稳定性

无功补偿技术在10kV配电线路中的应用还可以提高电力系统的稳定性。在电力系统中，稳定性是指系统在遇到外界扰动或内部故障时，能够保持正常运行的能

力。无功补偿技术通过调整电力系统的电压和功率因数，可以提高系统的抗干扰能力，从而提高稳定性。

#### 1. 提高电压稳定性

无功补偿技术可以提高电压稳定性，防止电压崩溃事故。在电力系统中，电压的稳定性受到无功功率的影响。当系统无功功率不足时，电压会下降，可能导致电压崩溃，进而引发系统崩溃。无功补偿技术通过在电力系统中注入无功功率，可以提高电压稳定性，防止电压崩溃事故的发生。

#### 2. 提高系统抗干扰能力

无功补偿技术可以提高电力系统的抗干扰能力。在电力系统中，外界扰动（如雷击、开关操作等）可能导致系统电压和电流发生瞬时变化，进而引发系统稳定性问题。无功补偿技术通过调整系统的电压和功率因数，可以降低外界扰动对系统的影响，提高系统的抗干扰能力。

#### 3. 提高电力设备寿命

无功补偿技术可以提高电力设备的寿命。电力设备在运行过程中，受到电压、电流等环境因素的影响。无功补偿技术通过调整系统的电压和功率因数，可以降低电力设备的电压应力，减少设备的疲劳损伤，从而延长设备的寿命。

#### 4. 提高电力系统运行效率

无功补偿技术可以提高电力系统的运行效率。通过无功补偿技术，电力系统可以在满足相同供电能力的前提下，降低能源消耗。这有助于减少电力公司的运营成本，提高电力系统的运行效率。

#### （五）减少故障损失

无功补偿技术在10kV配电线路中的应用还可以减少故障损失。故障损失包括直接损失和间接损失，直接损失主要包括故障时的电力损耗和设备损坏，间接损失主要包括故障引起的停电损失和维修成本。

##### 1. 降低故障率

无功补偿技术可以提高电力系统的电压稳定性和抗干扰能力，降低故障率。通过调整系统的电压和功率因数，无功补偿技术可以减少电力设备过热、电压击穿等故障原因，从而降低系统的故障率。

##### 2. 减少故障损失的传播

无功补偿技术可以减少故障损失的传播。当故障发生时，无功补偿设备可以迅速调整系统的电压和功率因数，减小故障对电力系统的影响，降低故障损失的传播范围和程度。

##### 3. 提高故障恢复速度

无功补偿技术可以提高故障恢复速度。在故障发生时，无功补偿设备可以迅速调整系统的电压和功率因

数，使电力系统尽快恢复正常运行。通过提高故障恢复速度，可以减少故障对用户的影响，降低间接损失。

#### 4. 提高设备抗故障能力

无功补偿技术可以提高设备的抗故障能力。通过调整系统的电压和功率因数，无功补偿技术可以降低设备运行过程中的电压应力，减少设备的疲劳损伤，从而提高设备的抗故障能力。

#### 结语

综上所述，10kV配电无功补偿技术在提高供电能力、降低线路损耗、减少用户电费支出、提高电力系统稳定性、减少故障损失等方面具有显著的经济效益和社会效益。随着我国电力系统的不断发展和电力市场的逐步开放，无功补偿技术在提高电力系统运行效率、优化电力质量、降低能源消耗和保护环境等方面的作用将愈发重要。在今后的电力系统运行和管理中，应继续加大对无功补偿技术的研究和应用力度，以提高电力系统的整体运行水平和经济效益，满足社会和人民群众对美好生活的需求。同时，还需要加强对无功补偿技术人才的培养，提高专业技能和素质，为我国电力事业的发展贡献力量。最后，电力部门要积极与政府、企业和社会各界合作，共同推动无功补偿技术的发展和應用，为我国电力系统的可持续发展做出贡献。

#### 参考文献

- [1] 刘维. 10kV高压配电线路无功补偿技术[J]. 电脑乐园, 2020(11): 1.
- [2] 黄杰华. 10kV配电网自动化控制中无功补偿技术的研究分析[J]. 电子工程学院学报, 2019, 8(9): 1.
- [3] 李宾雄. 10kV配电变压器容量的选择及其经济效益[J]. 信息周刊, 2019(25): 1.
- [4] 史子羽. 浅析10kV配电线路设计技术要点[J]. 华东科技(综合), 2020, 000(006): P.1-1.
- [5] 黄国兵. 10kV配电网无功补偿方式分析与研究[J]. 中国设备工程, 2020(22): 2.
- [6] 魏艳敏, 高翔, 秦天龙. 提高10kV配电线路供电电能质量水平的技术措施研究[J]. 电子制作, 2019(3): 2.
- [7] 王云. 10kV配电网规划设计的技术经济分析[J]. 农家参谋, 2020, No. 654(09): 179-179.
- [8] 苟坤波. 无功补偿技术在10kV配电网自动化管控中的应用[J]. 电力设备管理, 2020(5): 3.
- [9] 伍耀华. 动态高压无功补偿技术在高速公路10kV配电网中的应用[J]. 中国交通信息化, 2019(8): 5.
- [10] 刘锋. 企业园区配电系统无功补偿装置的应用及经济效益分析[J]. 电气时代, 2021(11): 78-80.