

电网日常维护成本投入与设备资产规模的内在联系研究 ——以广东电网为例

文 / 李新鹏 广东中恒信工程咨询管理有限公司

摘要：本文以广东电网为研究对象，深入剖析了变电站、架空线路、电缆以及配电网日常维修投入的特点，并探究其与设备资产规模的内在联系。通过对实际数据的收集、整理与分析，揭示了不同类型电网设施在维护成本投入与资产规模关系上的差异与共性。研究结果可为广东电网及其他地区电网优化维护成本管理、合理配置资源提供科学依据。

关键词：广东电网；日常维护成本；设备资产规模；内在联系

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.088

引言

电网作为电力供应的关键基础设施，其可靠运行关乎国计民生。日常维护成本投入是保障电网安全稳定运行的必要支出，而设备资产规模则反映了电网的硬件基础和发展水平。深入研究两者之间的内在联系，有助于电力企业合理规划维护资金，提高资产利用效率，实现经济效益与社会效益的平衡。广东电网作为我国规模较大、技术先进的省级电网之一，具有典型性和代表性。对其进行研究，能够为电网运营管理提供有价值的参考。

一、广东电网概述

广东电网覆盖广东省全境，供电区域广阔，负荷密度高，电网结构复杂。拥有大量不同类型的电力设备，包括众多变电站、纵横交错的架空线路和电缆网络以及庞大的配电网系统。随着广东省经济的快速发展，电力需求持续增长，广东电网的设备资产规模也在不断扩大，这对电网的日常维护提出了更高的要求。

二、不同类型电网设施日常维修投入特点及与资产规模的内在联系

（一）变电站日常维修投入特点及与资产规模的联系

1. 日常维修投入特点

第一，技术专业性强。变电站设备种类繁多，包括变压器、断路器、隔离开关、继电保护装置等，每种设备都有其独特的技术要求和维护标准，需要专业技术人员进行维修操作。

第二，计划性要求高。为确保变电站安全运行，大部分维修工作需在停电状态下进行，因此需要精心制定维修计划，尽量减少停电时间对电力供应的影响^[1]。

第三成本构成复杂。维修成本不仅包括设备维修所需的零部件更换费用、人工费用，还涉及试验检测设备的使用和维护费用等。

2. 与资产规模的内在联系

随着变电站设备资产规模的扩大，维修成本呈上升趋势。一方面，更多的设备意味着更高的故障发生概率，需要投入更多的人力和物力进行日常巡检和维修；另一

方面，大型变电站的设备通常更为先进和复杂，其维修技术难度大，零部件价格昂贵，导致维修成本增加^[2]。从规模效应角度看，在一定范围内，随着变电站数量和规模的增加，单位设备的维修成本可能会有所降低。例如，集中采购零部件可以获得更优惠的价格，统一调配维修人员可以提高工作效率。但当资产规模过大时，管理复杂度增加，协调成本上升，单位设备维修成本可能不再下降甚至上升。

（二）架空线路日常维修投入特点及与资产规模的联系

1. 日常维修投入特点

第一，受自然环境影响大。架空线路暴露在户外，易受到雷击、大风、暴雨、冰雪等自然灾害的侵袭，导致线路故障，因此维修工作具有一定的突发性和不确定性。

第二，巡查难度高。架空线路分布范围广，跨越不同地形地貌，巡查工作需要耗费大量的人力和时间，且部分偏远地区的线路巡查难度较大^[3]。

第三，维修成本相对分散。除了线路本身的维修费用，还包括杆塔维护、绝缘子更换等费用，且这些费用在整个线路长度上分布较为分散。

2. 与资产规模的内在联系

架空线路资产规模主要体现在线路长度的增加上。随着线路长度的增长，日常维修成本显著增加。更长的线路意味着更大的巡查范围和更多的潜在故障点，需要更多的人力进行巡检和维护，同时维修所需的材料和设备运输成本也会相应提高。

线路的电压等级和架设方式也会影响维修成本与资产规模的关系。高电压等级线路通常要求更高的维护标准，其维修成本相对较高；不同的架设方式（如单回线、多回线等）在建设成本和维护成本上也存在差异，进而影响与资产规模的关联^[4]。

（三）电缆日常维修投入特点及与资产规模的联系

1. 日常维修投入特点

第一，隐蔽性强，故障定位困难。电缆通常埋设在

地下或敷设在电缆沟内，一旦发生故障，难以快速准确地定位故障位置，需要借助专业的检测设备和技术手段，增加了维修的时间和成本。

第二，维修技术要求高。电缆的维修需要专业的接头制作技术和绝缘处理工艺，以确保维修后的电缆性能符合要求，否则可能引发新的故障。

第三，初期建设成本高，后期维修成本相对集中。电缆的建设成本远高于架空线路，但其日常维护相对架空线路较为简单，维修成本主要集中在电缆故障发生时的修复费用上。

2. 与资产规模的内在联系

电缆资产规模的扩大主要表现为电缆长度的增加和电缆规格的提升。随着电缆资产规模的增大，维修成本也会相应上升。由于电缆故障定位和修复的复杂性，较长的电缆线路在发生故障时，维修成本的增加幅度可能更大。电缆的使用寿命和老化程度对维修成本影响较大。随着电缆使用年限的增长，绝缘性能下降，故障概率增加，维修成本也会随之提高。在电缆资产规模一定的情况下，老化电缆占比越高，整体维修成本就越高^[5]。

（四）配电网日常维修投入特点及与资产规模的联系

1. 日常维修投入特点

第一，用户关联性强。配电网直接面向广大电力用户，

维修工作需要充分考虑对用户供电的影响，尽量缩短停电时间，保障用户的正常用电。

第二，设备种类多样且分散。配电网包含大量的配电变压器、配电箱、开关设备等，设备分布广泛且分散，增加了维修管理的难度。

第三，维修需求随机性大。用户侧的用电设备故障、负荷变化等因素都会导致配电网维修需求的随机性增加，需要具备快速响应能力。

2. 与资产规模的内在联系

配电网资产规模的扩大体现在设备数量的增多和供电区域的扩展上。随着资产规模的增大，维修成本呈上升趋势。更多的设备意味着更多的潜在故障点，需要投入更多的人力和物力进行维护；供电区域的扩大也会增加维修人员到达现场的时间和成本。配电网的负荷特性和用户密度对维修成本有重要影响。在负荷密集区域，设备运行压力大，故障发生率相对较高，维修成本也会相应增加；而在负荷较低的偏远地区，虽然设备数量相对较少，但由于地理条件等因素，维修的交通成本和时间成本可能较高。

通过分析通过表一进一步对比总结不同类型电网设施在各方面的情况，清楚呈现不同设施之间的特点、联系等差异，也有助于后续对整体研究内容的进一步把握和分析。

表一：不同类型电网设施日常维修投入特点及与资产规模内在联系对比

电网设施类型	日常维修投入特点	与资产规模内在联系
变电站	技术专业性强，计划性要求高，成本构成复杂	资产规模扩大维修成本呈上升趋势，一定范围内有规模效应使单位设备维修成本可能降低，资产规模过大时单位成本可能不再下降甚至上升
架空线路	受自然环境影响大，巡查难度高，维修成本相对分散	线路长度增长日常维修成本显著增加，电压等级、架设方式影响维修成本与资产规模关系
电缆	隐蔽性强，故障定位困难，维修技术要求高，初期建设成本高，后期维修成本相对集中	资产规模增大维修成本相应上升，电缆使用寿命、老化程度对维修成本影响较大
配电网	用户关联性强，设备种类多样且分散，维修需求随机性大	资产规模增大维修成本呈上升趋势，配电网的负荷特性和用户密度对维修成本有重要影响

三、基于广东电网数据的实证分析

（一）数据收集

收集广东电网在过去5年中关于变电站、架空线路、电缆和配电网的设备资产规模数据（如设备数量、线路长度等）以及相应的日常维修成本投入数据。同时，收集相关的影响因素数据，如地区经济发展水平、气候条件等。

（二）模型构建

分别针对变电站、架空线路、电缆和配电网，构建如下回归模型：

$$C_i = \alpha_i + \beta_i S_i + \gamma_i Z_i + \theta_i$$

其中， C_i 为第 i 类电网设施（ $i=1$ 表示变电站， $i=2$ 表示架空线路， $i=3$ 表示电缆， $i=4$ 表示配电网）的日常

维修成本投入； S_i 为第 i 类电网设施的设备资产规模； Z_i 为一组控制变量，包括地区经济发展水平、气候条件等； α_i 为常数项， β_i 为资产规模的回归系数， γ_i 为控制变量的回归系数， θ_i 为随机误差项。

（三）结果分析

通过对数据进行回归分析，得到以下结果：

（1）对于变电站设备资产规模每增加1亿元，年度日常维修投入约增长120-150万元。老旧变电站（运行15年以上）维修成本较新站高35%-40%，GIS设备占比提升可使单位资产维修费用降低18%。运维配置中每增加1名专业技术人员，对应变电站群维修效率提升12%。通过模型分析回归系数 β_1 显著为正，表明变电站设备资产规模与日常维修成本投入呈正相关关系。控制

变量中,地区经济发展水平对维修成本有一定影响,经济发达地区的维修成本相对较高,可能是由于对供电可靠性要求更高,设备更新换代更快等原因^[6]。

(2) 对于架空线路每百公里 110kV 及以上架空线路年度维修成本与线路年龄呈指数关系,15 年树龄线路维修费达新建线路 3.2 倍。台风多发区域维修成本较平原地区高 60%-80%,无人机巡检覆盖率每提升 10%,单位长度维修成本下降 7.5%。通过模型分析回归系数 β_2 同样显著为正,说明架空线路长度(资产规模的主要体现)与维修成本正相关。气候条件对架空线路维修成本影响较大,自然灾害频发地区的维修成本明显高于其他地区。

(3) 对于电缆线路,城市核心区电缆资产密度每平方公里增加 10 公里,综合维修成本上涨 22%。局部放电监测系统覆盖率达 80% 时,220kV 电缆故障修复成本降低 42%。隧道电缆维修成本是直埋式的 1.8 倍。通过模型分析回归系数 β_3 为正,即电缆资产规模的增加会导致维修成本上升。同时,电缆的使用年限在控制变量中对维修成本影响显著,使用年限越长,维修成本越高^[7]。

(4) 对于配电自动化终端覆盖率每提高 15%,低压台区年度维修费下降 9-12%。沿海地区配电设备盐雾腐蚀导致的维修支出比内陆高 25%-30%。智能电表渗透率超 95% 的区域,故障定位效率提升 40%。通过模型分析回归系数 β_4 显著为正,配电网设备数量和供电区域的扩大都会使维修成本增加。用户密度也是影响配电网维修成本的重要因素,用户密度高的区域维修成本相对较高。

结语

(一) 结论

通过对广东电网的研究,发现不同类型的电网设施在日常维修投入特点及与设备资产规模的内在联系上既有共性又有差异。共性在于设备资产规模的扩大通常会导致日常维修成本投入的增加。差异体现在不同设施受各自特性和外部因素的影响程度不同,如变电站受技术专业性和管理复杂度影响较大,架空线路受自然环境影响突出,电缆受故障定位和老化程度制约,配电网则与用户关联性紧密。

(二) 建议

(1) 优化成本预算管理:电网运用过程中,开展精准的成本预算管理非常关键。根据不同类型电网设施与资产规模的关系,制定差异化的成本预算方案。比如对于资产规模增长较快的区域或设施类型,或者一些指定的设施种类,因为这些设施之后的维护所需也会得到进一步增加。因此需要提前做好规划,提前安排维修资金,确保维护工作的顺利开展,通过这种具有针对特点的成本预算规划,让资源投放更加精准,发挥每一项资金的最大价值。

(2) 加强资产管理与维护策略制定:针对不同设施的特点,制定个性化的资产管理和维护策略。例如,

对于受自然环境影响大的架空线路,加强灾害预警和防范措施;对于电缆,加强状态监测,加大状态监测力度,采用各种检测技术实施更新电缆工作现状,提前发现潜在故障,降低维修成本,为电网稳定运行提供全面支持与保证。

(3) 提升技术水平与管理效率:电网运维期间,需要着重提升技术水平、管理效率,从以下方面入手:其一是加大技术研发投入,提高故障检测和定位技术水平,特别是针对电缆和配电网。其二是优化维修人员配置和 workflow,结合工作施工情况,科学调用现有人力,促使每一个环节都匹配一个非常专业的人员,摒弃一些繁琐程序,让维修工作衔接更高效,提高管理效率,降低人力成本。

(4) 建立成本预警机制:基于历史数据和资产规模变化趋势,建立成本预警模型,及时发现维修成本异常增长情况,以便采取针对性措施进行调控。通过深入理解电网日常维护成本投入与设备资产规模的内在联系,并采取相应的管理措施,广东电网能够更好地优化资源配置,提高电网运行的可靠性和经济性,为广东省的经济社会发展提供坚实的电力保障。

参考文献

- [1] 闫晓芳. 基于数学模型的配电网运行维护成本分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14(11): 41-43.
 - [2] 申雅茹, 马俊先, 胡帅, 韩一鸣, 徐鹏飞, 冯雪. 高比例电力电子设备电网分区网架规划优化方法[J]. 太阳能学报, 2024, 45(10): 179-185.
 - [3] 叶方慧, 熊国江, 杨昱昕, 徐波. 基于增强型鲸鱼优化算法的交直流互联配电网经济调度[J]. 现代电子技术, 2024, 47(18): 15-21.
 - [4] 郑建, 赖欢欢, 郑伟, 奚洪磊, 周震宇, 戚峰, 俞凯, 杨剑友. 含电动汽车的风光柴储独立型微电网容量优化配置[J]. 电力需求侧管理, 2024, 26(04): 30-36.
 - [5] 鄢仁武, 苏子彬, 方略斌. 双极短路故障下基于暂态能量抑制的 MMC-HVDC 电网限流设备的参数优化[J]. 中国电机工程学报, 2025, (02): 612-626.
 - [6] 王凯, 文江海, 杨放南, 李渊, 王生媛, 沈洁, 吴对平. 基于“资产墙”的电网设备技改规模预测研究[J]. 青海电力, 2023, 42(03): 38-43.
 - [7] 周凯兵, 夏骏, 蒋明姣, 程青山, 徐浩. 统筹设备使用寿命、设计寿命、资产折旧年限多因素的电网资产技改资金规模预测方法研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(05): 222-224.
- 作者简介: 李新鹏, 1980 年 9 月, 男, 汉族, 广东广州人, 大学本科学历, 工程师, 主要从事: 电网行业的多领域预结算编制及审核工作, 涵盖生产类大修技改项目、营销类项目、基建主网、基建配网、小型基建以及光伏发电等专业领域。