

复杂工况下能源工程系统运行可靠性建模研究

随着能源系统规模不断扩大和多样化发展，能源工程系统在电力、热力及综合能源供应中扮演着重要角色。然而，能源系统在长期运行中常面临复杂工况，包括负荷波动、可再生能源出力不确定性、设备退化及外部扰动等因素，这些复杂条件对系统运行可靠性提出了更高要求。系统可靠性不仅影响能源供应的安全性，也对经济性、环境绩效及可持续发展具有重要工程意义。

能源工程系统通常由多种能源转换单元、储能设备及传输网络构成，系统各子单元间存在耦合关系。复杂工况下，设备失效、运行异常或外部扰动可能引发连锁反应，影响整体系统性能。传统可靠性分析方法多针对单设备或稳态工况，难以准确反映复杂运行条件下的系统可靠性特征。因此，需要针对复杂工况，建立系统级可靠性建模方法，以量化不确定性和风险对能源系统运行的影响。

本文围绕能源工程系统可靠性建模问题，提出一种面向复杂工况的系统级建模方法。通过构建包括设备状态、负荷波动、可再生能源出力及外部扰动的多因素模型，对系统运行过程中的故障概率、失效模式及影响范围进行分析。基于可靠性指标和风险评估方法，对系统在不同工况下的运行安全性进行量化评价。同时，通过典型能源系统案例，验证所提出建模方法在识别系统脆弱环节和辅助决策方面的有效性。

研究结果表明，该可靠性建模方法能够全面刻画复杂工况下能源工程系统的运行风险和性能变化，为系统规划、设计优化及运行管理提供工程化依据。本文为能源系统在多变运行环境下实现高可靠性、高效能和可持续运行提供了方法支持和实践参考。