摘要

电力系统作为维持国计民生的重要组成部分，其稳定性、可靠性及安全性至关重要。近年来，世界各地发生的多起大停电事故也引起越来越多专家学者的关 注。研究表明大多数大停电事故的发生原因是局部故障，而综合评估和识别电网的脆弱环节并采取有效控制措施是避免大停电事故发生的关键,在此背景下，本文针对基于结构与状态的电网脆弱性综合评估模型展开研究。

本文研究了复杂网络特征参数和网络模型，验证分析电力系统的小世界性和无标度性。通过研究复杂网络脆弱性得出电力系统的脆弱性在于其存在脆弱环节，明确了本文研究的关键问题。

本文结合复杂网络脆弱性概念和电力系统脆弱性特征，提出电力系统脆弱性的定义，从结构和状态两个方面研究电网脆弱性模型。在结构方面，基于复杂网络理论建立电网拓扑模型，提出结构脆弱性指标，建立了电网结构脆弱性模型；在状态方面，从节点电压稳定性、过负荷能力和电网损耗方面提出状态脆弱性指标，结合电力系统负荷概率模型，通过蒙特卡洛方法对状态脆弱性指标进行计算分析，建立了电网状态脆弱性模型。

本文构建了电力系统脆弱性指标评估体系，选取并分析电网结构和状态脆弱性二级指标，对其进行归一化处理，在结构脆弱性方面，采用改进熵权法对结构脆弱性二级指标集进行权重分配得到结构脆弱性一级指标；在状态脆弱性方面，采用离差最大化法对状态脆弱性二级指标进行权重分配得到状态脆弱性一级指标，进而利用 D-S 证据理论对一级指标进行数据融合电网脆弱性综合评估指标，建立了基于结构与状态的电网脆弱性综合评估模型。

最后，本文以 IEEE39 标准算例模型为研究对象，依据电网脆弱性综合评估模型，分别对电力系统的结构和状态脆弱性进行分析，得到结构脆弱性和状态脆弱性评估结果，根据电网脆弱性综合指标，分析电网节点的综合脆弱性。最后，基于聚类算法和电网脆弱性综合评估结果进行脆弱节点等级评估，根据得到的电网综合脆弱性等级评估结果，识别出电网的脆弱环节。

关键词：复杂网络，结构脆弱性，状态脆弱性，综合评估模型，脆弱环节识别

第 6 章 总结与展望

6.1 全文总结

电力系统作为维持经济和社会发展的重要组成部分，对于国家发展的重 要性不言而喻。电网脆弱性已成为越来越多专家学者研究的热门领域，本文针对电力系统中脆弱性现象给出了科学合理的定义与数学描述，从电网的结构和状态两个方面提出脆弱性评估指标，采用指标融合方法建立了电网脆弱性综合评估模型，对电力系统进行脆弱性分析与量化评估，识别出电力系统的脆弱环节，这对于设计优化电网结构、降低电网大停电事故发生的概率等方面具有现实意义。全文的主要工作及取得成果总结如下：

(1) 查阅相关文献资料，对电力系统脆弱性的发展及研究方法进行了综述。基于复杂网络理论验证分析了电力系统模型的小世界性和无标度性，通过研究复杂网络中局部与整体的关系，明确了本文研究的关键问题。

(2) 通过研究复杂系统脆弱性概念和电网脆弱性特征，得到了电力系统的脆弱性本质在于其对内、外扰动的耐受程度，并从结构和状态两个方面建立电力系统脆弱性模型，得出了较为清晰全面的系统脆弱性概念。在结构脆弱性方面，侧重于电网结构保持完整性的能力和系统受影响的程度，基于复杂网络理论对电网系统进行建模，提出结构脆弱性指标；在状态脆弱性方面，本文针对电压稳定性、承受负荷能力和电网损耗分别提出状态脆弱性指标，建立了随机负荷模型，结合潮流计算采用蒙特卡洛模拟实验方法计算分析电网的运行状态指标。

(3) 针对提出的结构和状态方面的二级脆弱性指标，对其进行归一化处理，然后采用改进熵权法和离差最大化法分别对结构和状态指标集进行权重分配，得到了结构和状态脆弱性一级指标，最后采用 D-S 证据理论对结构和状态一级脆弱性指标进行融合得到系统综合脆弱性指标，建立了基于结构与状态的电网脆弱性综合评估模型。

(4) 以 IEEE39 标准系统为例，依据本文所建立的电力系统脆弱性综合评估 模型，使用 MATLAB 工具进行仿真实验，结合电网结构和系统状态参数，分别 研究分析了电网节点的结构和状态脆弱性，根据系统脆弱性综合指标，分析了电网节点的综合脆弱性。最后，通过电网脆弱性综合评估结果对系统节点的脆弱程度进行了等级评估，识别出电网的脆弱环节。