# 输电线路网格化风险分析及评估方法研究

根据网格内的风险源以及国家标准或行业标准对网格内的风险进行分析和评估，并对风险值进行量化。既考虑了影响输电线路网格内正常运维的常见风险，也针对运维的需要进行必要的处理和调整，根据评估后网格内的风险值制定对应的运维策略，这样对各个网格内的风险做到有针对性，而且针对不同的网格风险投入相应的资源，避免资源浪费。

时 磊[1] 刘文明[2] 虢 韬[1] 王 伟[1] 李梦姣[2]/1.贵州电网有限责任公司输电运行检修分公司 2.贵州电力设计研究院

时 磊/工程师

关键词/Keywords
输电线路·
网格化·
风险·
分析及评估·

## 0 引言

改革开放以来，我国经济持续高速发展，电力系统的稳定发展给国家和社会提供了强劲的发展动力，同时电力系统也越来越多地面临着内外部高危或突发事件[1-3]。如果造成大面积停电，极有可能酿为现代社会重大灾难，给人们的生活质量和社会的财富积累造成严重的损失。但是由于电力系统中的线路暴露在野外中，尤其是在地形起伏大、自然环境恶劣的贵州省，不仅会受到来自社会环境的影响，而且还会受到来自风、雪、雷和电等恶劣自然环境的影响，给电力系统的安全运行带来了很大的压力。电力系统作为国家的重要基础设施，其安全稳定运行关系到国家经济和人民生活，在电网络系统内加强电网灾害的监测预警，做好电网灾害的防范工作十分必要[4]。

由于贵州的地形起伏较大，按照目前架空线路的管理方式来说，给人工巡线带来了很大难度；同时受地形地貌的影响，贵州气候具有复杂性和多样性的特点，导致同一条架空线路在不同地区受到的风险源可能不同，这样导致对一条架空线路采取同样的运维策略存在不合理性[5-7]。参考计算机领域提出的网格理论，对贵州范围内的输电线路进行网格划分。由于网格内的地形相对起伏不大，提高了工作人员的效率；受地形地貌的影响，不同的网格区域内危险源的种类及威胁程度不同，根据网格内的实际情况部署不同的运维策略，提高架空线路的安全运行能力[8-9]。

为了对输电线路进行风险评估，需要对输电线路各网格的风险值进行量化，最终得出网格内风险值计算模型。

## 1 网格内风险危害值量化评估模型研究

通过收集输电线路各网格的风险类型、发生的时间、影响范围、影响大小和造成的损失等信息，来评估该网格内的风险对电力系统安全的威胁和负荷损失的程度，并最终量化。

其计算公式如下

风险危害值＝危害严重程度分值×社会影响因数×损失负荷或用户性质因数（1）

其中，危害严重程度及分值取值如表1所示，社会影响因数取值如表2所示，损失负荷或用户性质因数如表3所示。

## 2 风险发生概率值量化评估模型

根据引起后果发生概率的大小，电网安全风险可能性分为可能性很大、可能性较大、可能性一般、可能性较小和可能性很小。

表1 电网风险危害的定级及分值

| 风险威胁程度 | 对应的事故/事件等级 | 分值 |
|---|---|---|
| 特大事故风险 | 特别重大事故 | 4 000～8 000 |
| 重大事故风险 | 重大事故 | 2 000～2 400 |
| 较大事故风险 | 较大事故 | 400～600 |
| 一般事故风险 | 一般事故 | 200～250 |
| 一级事件风险 | 一级事件 | 100～150 |
| 二级事件风险 | 二级事件 | 10～40 |
| 三级事件风险 | 三级事件 | 1～5 |
| 四级事件风险 | 四级事件 | 0 |
| 五级事件风险 | 五级事件 | 0 |

表2 社会影响因数

| 检修时间 | 一般时期 | 特殊时期保供电 | 二级保供电 | 一级保供电 | 特级保供电 |
|---|---|---|---|---|---|
| 分值 | 1 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 2 |

表3 损失负荷或用户性质因数

| 损失负荷或用户性质 | 一般负荷 | 重要城市负荷 | 特级和一级重要用户 |
|---|---|---|---|
| 分值 | 1 | 1.2～2.5 | 1.2～2.5 |

注：重要城市包括省会、经济特区和重要旅游城市。

表4为风险可能性与量化取值的对应关系，在出现紧急风险灾害需要对网格进行灾害的风险评估时，可以让专家进行主观预估风险发生的概率。

表4 风险可能性与量化取值对应表

| 概率等级 | 分值 |
|---|---|
| 可能性很大 | 0.7以上 |
| 可能性较大 | 0.4～0.7 |
| 可能性一般 | 0.2～0.4 |
| 可能性较小 | 0.1～0.2 |
| 可能性很小 | 0～0.1 |

基准的风险评估风险概率值由以下公式计算得出

风险概率值＝设备类型因数×故障类别因数×历史数据统计因数 （2）

其中各类一、二次设备的类型因数取值如表5～表7所示。

表5 电气一次设备类型因数

| 设备 | 站内设备 | | 交流线路 | | | 直流线路 | 发电机 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 主变压器 | 母线 | 电缆 | 架空线 | 同杆双回线 | | |
| 分值 | 0.8 | 0.4 | 0.8 | 1 | 0.5 | 1.2 | 1.2 |

表6 通信设备类型因数

| 设备 | 光缆 | | 站内设备 | | | | | | | 高频通道 | 其他 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 架空 | 地埋、管道 | 光传输设备 | 数据网设备 | 程控交换设备 | PCM设备 | 载波设备 | 通信电源 | 联络线缆 | | |
| 分值 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.8 | 0.8 | 0.4 | 0.4 | 0.7 | 0.2 |

表7 自动化设备类型因数

| 设备 | 辅助系统 | | 主系统 | | | | | | | 其他 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 电源 | 空调系统 | SCADA子系统 | 前置子系统 | 网络设备 | 安全设备 | 基础平台 | 商用数据库 | AGC | |
| 分值 | 0.9 | 0.6 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.6 | 0.9 | 0.6 | 0.9 | 0.5 |

注：概率分值为便于量化计算的综合分值，并不代表故障发生的可能性。

一次设备、保护和稳控等元件故障类别因数的分类参照《电力系统安全稳定导则》规定的三级故障分类方法，取值如表8、表9所示。通信、自动化设备的故障类别因数分类方法如表10、表11所示。

表8 故障类别因数

| 类型 | 第一级故障 | 第二级故障 | 第三级故障 |
|---|---|---|---|
| 分值 | 0.8～1.2 | 0.1～0.6 | 0～0.2 |

历史数据统计因数＝同类设备每年平均发生故障次数/南方电网范围内该类设备年平均故障次数。

表9 一次、保护及稳控等元件故障类别取值建议

| 故障类别取值建议 | 单相故障 | 两相及以上故障 | 开关拒动作、保护拒动作及安自误动作、拒动作 | 主变压器 $N-2$ | 母线 $N-2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 分值 | 1.0 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.15 |

表10 通信设备故障类别因数

| 类型 | 第一类故障 | 第二类故障 | 第三类故障 | 第四类故障 |
|---|---|---|---|---|
| 分值 | 1～0.8 | 0.8～0.6 | 0.6～0.2 | 0～0.2 |

南方电网范围内设备年平均故障次数如表12所示。

表11 自动化设备故障类别因数

| 类型 | 自动化单系统单一设备故障 | 自动化单系统冗余节点双机故障 | 自动化主备系统冗余设备双机故障 |
|---|---|---|---|
| 分值 | 1 | 0.4 | 0.2 |

表12 南方电网范围内设备年平均故障次数

| 设备类型 | 架空输电线路 | 主变压器 | 母线 |
|---|---|---|---|
| 单位 | 次/百公里年 | 次/百台年 | 次/百条年 |
| 南方电网范围内设备年平均故障次数 | 1.02 | 0.13 | 0.03 |

天气影响因素取值如表13所示。

表13 天气影响因数

| 类型 | 正常 | 台风 | 雷雨大风 | 森林火险 | 高温 | 大雾 | 结冰 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 分值 | 1 | 1～4 | 1～2 | 1～1.5 | 1～1.2 | 1～1.2 | 1～1.5 |

设备缺陷因数取值如表14所示。

表14 设备缺陷因数

| 类型 | 正常状态 | 设备异常 | 一般缺陷 | 紧急缺陷 | 重大缺陷 |
|---|---|---|---|---|---|
| 分值 | 1 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.5 |

现场施工因数取值如表15所示。

表15 现场施工因数

| 类型 | 现场施工对运行设备的影响 |
|---|---|
| 分值 | 1～2.5 |

控制措施因数取值如表16所示。

表16 控制措施因数

| 类型 | 无措施 | 设备特巡 | 依靠备自投等安自装置 |
|---|---|---|---|
| 分值 | 1 | 0.8 | 0.1～0.8 |

操作风险因数取值如表17所示。

表17 操作风险因数

| 操作类型 | 无倒闸操作 | 倒母线操作 | 电磁环网合环 | 执行临时保护措施操作 |
|---|---|---|---|---|
| 分值 | 1 | 1.3 | 1.2 | 1.1～1.3 |

注：同时涉及多项操作的，取全部操作的分值之和作为最终操作风险因数。

## 3 风险评估模型

风险评估应分析风险的危害值和风险发生的可能性，综合评估风险的大小，确定风险的等级。参考《南方电网运行安全风险量化评估技术规范》风险评估模型如下

$$\text{电网风险值}=\max\{(\text{风险危害值})\times(\text{风险概率值})\}^{[5]} \quad (3)$$

根据电网风险值大小，电网风险分为六级，各风险的具体划分情况如下。

1）Ⅰ级风险（红色）：风险值≥1 500。

2）Ⅱ级风险（橙色）：800≤风险值＜1 500。

3）Ⅲ级风险（黄色）：120≤风险值＜800。

4）Ⅳ级风险（蓝色）：20≤风险值＜120。

5）Ⅴ级风险（白色）：5≤风险值＜20。

6）Ⅵ级风险：0≤风险值＜5。

## 4 实验

本实验范围只针对贵州省内，实验流程如图1所示。

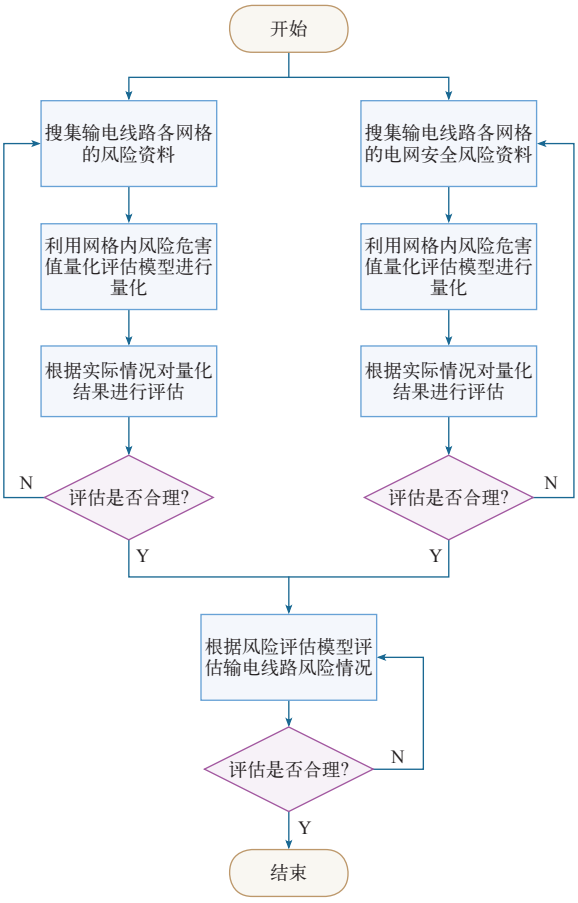


图1 实验流程

首先将贵州省范围按照1 km×1 km网格大小划分为若干个小网格，然后与输电线路数据进行空间分析，获取输电线路的网格数据，如图2所示。

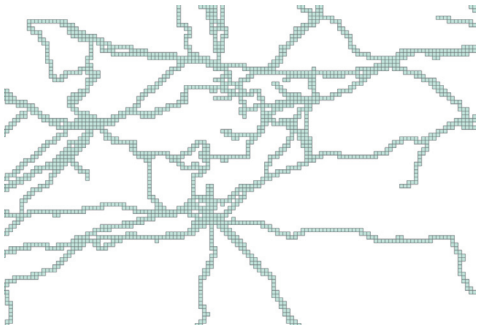

图2 输电线路网格化

输电线路网格化数据与灾害数据进行空间分析统计，获取网格内灾害数量。图3为统计每个网格内的风险类型的数量及类型，图中显示的为风险类型的数量。

图3 网格内灾害数量统计

根据风险评估模型，对网格内的风险进行评估，评估结果如图4所示。

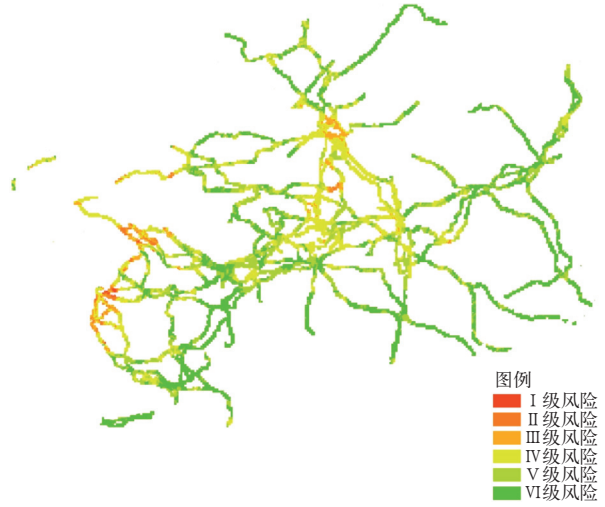


图4 网格内风险评估结果

## 5 结束语

目前在输电线路运维过程中，人工巡线是必不可缺的环节，无人机巡线等还无法完全取代人工巡线。在贵州省地势起伏较大的地区，人工巡线有一定的难度。本文利用网格化的思想，对贵州省内的输电线路进行网格化划分，将人工巡线模式从按照线路走向巡查转变为1 km × 1 km的区域巡查，避免了大量的翻山越岭工作，而且输电线路网格化的区域责任到人，可以大大降低人工巡线的漏巡、责任不明确等问题；对输电线路运维工作提出了新的运维模式。同时利用风险评估模型对输电线路网格化的区域进行综合风险评估，做到重点区域重点运维，提高输电线路运维的安全能力；为输电线路的建设提供参考信息，避免新的输电线路通过高风险区。

### 参考文献

[1] CSG/MS 0406—2005 中国南方电网有限责任公司电力生产事故调查规程 [S].

[2] 詹丽平．南方电网公司战略管理研究 [D]．武汉：华中科技大学，2007.

[3] 中国南方电网有限责任公司．安全生产风险管理体系 [M]．北京：中国电力出版社，2008.

[4] Q/CSG 11104002—2012 南方电网运行安全风险量化评估技术规范 [S].

[5] 皮显松，郑闻成．提升贵州电网安全稳定控制的协调策略研究 [J]．电气应用，2013 (9)：34-37.

[6] 程永建．贵州电力发展现状、问题与对策研究 [D]．贵阳：贵州大学，2006.

[7] 孙严．贵州电力市场及未来动态分析 [D]．贵阳：贵州大学，2005.

[8] 张丽英．基于风险管理理念的电网安全管理研究 [D]．北京：华北电力大学，2004.

[9] Q/CSG 21003—2008 中国南方电网电力调度管理规程 [S].

（收稿日期：2017－01－12）EA