

基于改进层次模糊评判的地区电网AVC系统告警信息分级模型

明 娇¹, 刘代勇²

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 四川德阳电业局, 四川 德阳 618000)

摘要: 为实现对地区电网自动电压控制(AVC)系统告警信息重要性等级的有效评判, 引入了层次模糊综合评判方法, 构建了告警信息重要性等级的多层次模糊综合评判模型, 阐述了评判的实现过程。对层次模糊综合评判法进行了改进, 通过将某些评判指标的可量化影响因素以权重再修正的方式考虑, 可减少评判指标数目, 简化分层模型, 减少计算量。通过实例分析计算, 验证了该方法能科学合理地评定各告警信息的重要性等级。

关键词: 告警信息; 模糊综合评判; 层次分析法; 等级划分; 权重修正

Alarm information classification model of AVC system for district power network based on improved analytic hierarchy process and fuzzy synthetic evaluation

MING Jiao¹, LIU Dai-yong²

(1. School of Electric Engineering & Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China;
2. Sichuan Deyang Electric Power Bureau, Deyang 618000, China)

Abstract: In order to assess the differentiation in levels of alarm information of AVC system for district power network effectively, on the basis of the principle of AHP and fuzzy method, the multi-level fuzzy synthetic evaluation model for importance level of alarm information is established, and the implementation of the evaluation is described. The multi-level fuzzy synthetic evaluation method is improved by amending again the weight of some quantifiable assessment in the hierarchical model, which can reduce the number of indices, simplify the hierarchical model and reduce the computation. Example analysis shows that fuzzy comprehensive evaluation method can assess the importance level of alarm information reasonably and scientifically.

Key words: alarm information; fuzzy comprehensive evaluation(FCE); analytic hierarchy process (AHP); classification; weight amend

中图分类号: TM734 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2011)02-0050-05

0 引言

地区电网 AVC 系统^[1]的在线报警信息可帮助值班人员分析异常和处理故障。正确有效地评判系统运行过程中出现的各告警信息重要性等级, 将按重要性等级划分的各告警信息准确直观地呈现给用户, 有助于值班人员抓住系统关键异常, 快速采取相关处理措施。目前, 许多文献都指出了对告警信息进行分类显示、分层处理的重要性和必要性^[2-4], 但都未能给出明确的告警信息划分准则及具体的分类实现方法。

告警信息重要性等级的划分难以直接定性或定量描述, 往往具有模糊性。模糊综合评判是利用模糊线性变换原理和最大隶属度原则, 考虑与被评价事物相关的各因素, 将各项指标统一量化, 并根据

不同指标对评判对象的影响程度来分配权重, 从而给出合理的综合评价^[5]。文献[6]应用模糊综合评判方法对电力信息系统安全风险进行了评估, 但权重系数仅根据专家的专业知识和经验确定。文献[7]将模糊集理论与层次分析法相结合, 采用AHP法确定指标权重, 使指标隶属度的客观性与专家定性分析的主观性有机结合。文献[8]为解决非一致判断矩阵需要多次调整, 带有随意性, 引入了最优传递矩阵概念, 使评判矩阵自然满足一致性要求。文献[9]提出用三标度法代替九标度法确定判断矩阵, 可解决标度过于细化、相对重要程度不易确定的问题。

上述文献中均是将各影响因素作为指标进行综合评判, 使得评判指标较多, 层次模型复杂。针对此问题, 本文在采用层次模糊综合评判方法对告警信息重要性等级进行综合评定的基础上, 提出缩减

指标的方法, 通过将某些指标的可量化影响因素按其偏离正常值的程度修正对应指标的权重, 不作为专门的评判指标, 从而减少了评价指标数目、简化了评判模型的复杂程度, 使得专家评判更简单, 同时减少了隶属度、权重等计算的工作量。最后通过实例分析计算验证了该方法能合理有效地评定告警信息的重要性等级。

1 评判体系研究的总体思路

本文将层次模糊综合评判方法引入告警信息重要性等级评定中, 首先对可能引起告警的各类异常进行分类共性分析, 抽象出告警信息重要性等级评判的简化指标体系, 其次用改进的AHP方法^[8-9]建立指标层次结构并确定各层次因素的权值, 再结合实际情况对严重性可量化的指标权重进行修正, 最后运用模糊综合评判原理进行综合分析计算出各层次及总目标的评估结果。综合评判模型如图1所示。

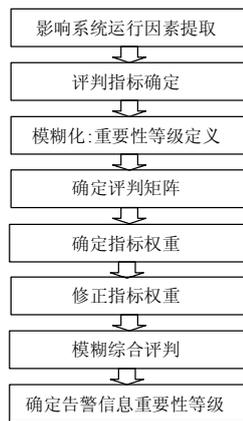


图 1 告警信息分级综合模糊评判模型

Fig.1 Fuzzy comprehensive evaluation model for importance level of alarm information

2 告警信息等级的模糊综合层次评估

2.1 确定分级模型的评判指标体系

电力系统运行过程中各类故障时有发生, 对系统安全稳定运行影响程度各异, 需要考虑的指标因素较多且各指标间存在着不同的层次。故障对系统的影响程度除了与其类型相关, 也与其严重程度有关, 如均是 110 kV 母线电压越限, 其紧急性还与越限量有关。若将故障严重程度作为评价指标考虑, 将增加评判模型的复杂程度, 增大判断矩阵的阶数, 导致计算量较大, 且在故障实际严重程度未知的情况下不便于专家比较, 因此本文将越限量、负载率等可量化的因素不作为专门的评判指标, 而以权重

再修正的方式考虑, 以减少指标数目、简化指标体系。为了尽量使评判指标全面、合理, 能真实反映当前告警信息的紧急状况, 参考文献[10-11]中不同角度的信息分类方法及《电力系统安全稳定导则》等相关细则, 将各告警引发原因按故障类型分为 SCADA 通信异常、电容器异常、变压器异常、母线异常、线路异常、开关异常六大类, 再对每一大类进行细分, 划分出多个子类, 列出了如图 2 所示的三级评判指标体系。

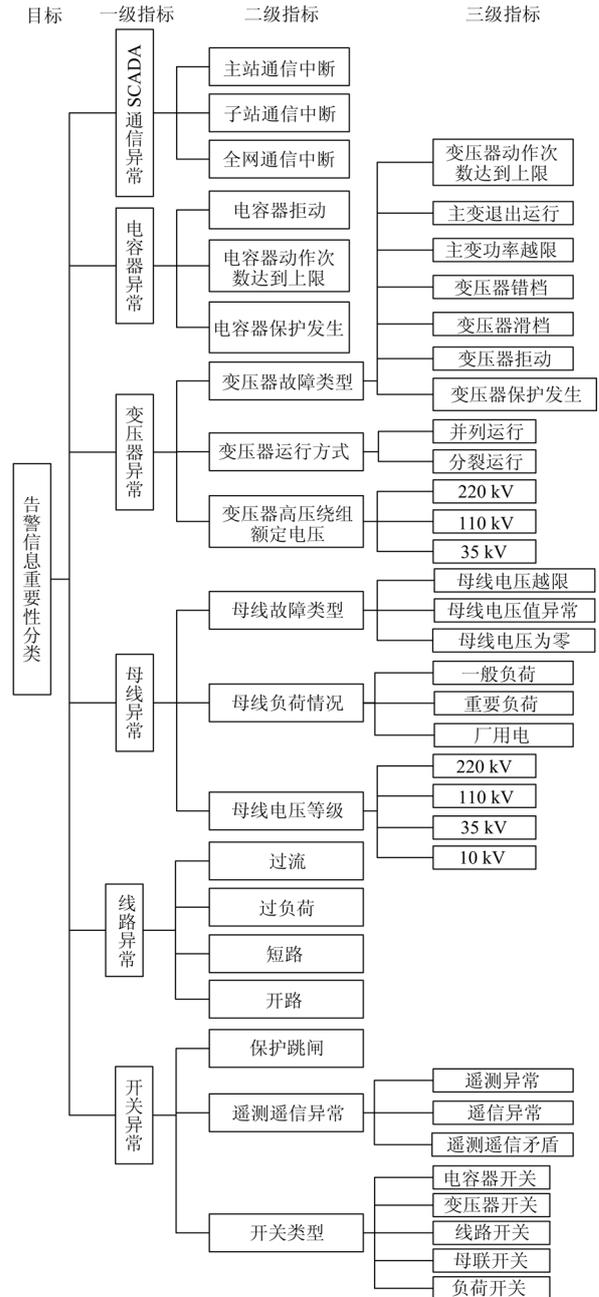


图 2 评判指标体系

Fig.2 Evaluation indices system

2.2 确定分级模型的评判集

系统运行过程中，特别是系统故障情况下，各类告警信息不断涌现，根据各类故障对系统安全稳定运行影响程度不同以及运行人员是否需要立即采取相关处理措施，将各告警信息划分为三个等级，为了便于值班人员快速辨识各级告警信息，依次用红、黄、绿三种通用的预警颜色标记。

紧急告警：此时需要值班人员人工干预，尽快采取措施，解除相关故障，否则系统将无法正常运行；

一般告警：此时无需值班人员立即人工干预，值班人员可在能力范围内选择性解除相关故障；

提示告警：此时系统处于安全运行状态，告警信息仅起提示作用，提醒值班人员，当前发生的操作信息。

由此，定义告警信息分级模型的评判集 $Q\{\text{红色}(R), \text{黄色}(Y), \text{绿色}(G)\}$ ，分别对应上述三个等级，相应的等级分值分别为 1, 0.5, 0.1。

2.3 层次模糊评判矩阵的建立

对各评判指标按层次通过专家调查的形式，制定专家评分表，对每项指标根据专家经验和看法进行评定，在评分表中的对应等级处划勾，然后对所有专家的评分结果进行汇总，得到各个评判指标对应等级的频数，按式(1)进行归一化处理即可得到各指标对应等级的隶属度，从而得到式(2)所示的模糊综合评判矩阵，其中 R_i 为评判矩阵， m 为评判指标数目， μ 表示评判指标的隶属度。

$$\text{隶属度} = \frac{\text{将指标 } i \text{ 评判为等级 } j \text{ 的专家人数}}{\text{参与评判的专家总人数}} \quad (1)$$

$$R_i = \begin{bmatrix} R_{i1} \\ \vdots \\ R_{im} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \mu_{13} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu_{m1} & \mu_{m2} & \mu_{m3} \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.4 指标权重的确定

权重反映的是各指标因素在评估过程中的地位和作用，建立指标体系后，需根据层次间、指标间的相对重要性赋予相应的权重^[12]。各层次评判指标权重的求取采用层次分析法，先填写判断矩阵，再计算出判断矩阵 P 的最大特征值 λ_{\max} ，然后求解特征方程，求得最大特征值所对应的特征向量，再对特征向量进行归一化处理，即为该层次各评判因素相对于上一级指标的重要性排序——权重。

2.4.1 改进的层次分析法

判断矩阵的值反映了人们对各因素相对重要性的认识，为降低判断者的判断难度，使判断结果更准确，改进的层次分析法采用三标度替代九标度，以 u_i 表示评价因素， $u_i \in U (i=1,2,\dots,m)$ ， B_{ij} 表示

u_i 与 u_j 比较的结果 ($j=1,2,\dots,m$)， B_{ij} 按表 1 所示规则取值值得比较矩阵 $B=(B_{ij})_{m \times m}$ 。

表 1 比较矩阵标度及其含义

Tab.1 Comparing matrix scaling and its implications

标度	定义
2	u_i 比 u_j 重要
0	u_j 比 u_i 重要
1	u_i 与 u_j 同等重要

通过式(3)将比较矩阵 B 转变为判断矩阵 A ，

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & r_{\max} = r_{\min} \\ \frac{r_i - r_j}{r_{\max} - r_{\min}} \cdot (b_m - 1) + 1 & r_{\max} \neq r_{\min} \text{ 且 } r_i \geq r_j \\ \left[\frac{r_i - r_j}{r_{\max} - r_{\min}} \cdot (b_m - 1) + 1 \right]^{-1} & r_{\max} \neq r_{\min} \text{ 且 } r_i < r_j \end{cases} \quad (3)$$

式中： $r_i = \sum_{j=1}^m b_{ij} (i = j = 1, 2, \dots, m)$ ； $r_{\max} = \max r_i$ ；

$r_{\min} = \min r_i$ ； $b_m = \frac{r_{\max}}{r_{\min}}$ 。

为解决传统层次分析法需要通过人为估计对未通过一致性检验的矩阵不断调整，利用最优传递矩阵使之自然满足一致性要求，其计算过程如下：

(1) 计算判断矩阵 P 的反对称矩阵 C

$$C = \lg P \quad (c_{ij} = \lg p_{ij}) \quad (4)$$

(2) 计算反对称矩阵 C 的最优传递阵 L

$$l_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (q_{ik} - q_{jk}), \forall i, j \quad (5)$$

(3) 计算判断矩阵 P 的拟优一致阵 P^*

$$P^* = 10^L \quad (6)$$

(4) 用方根法求 P^* 的特征向量 A^*

2.4.2 指标权重的修正

文中的判断矩阵仅建立在专家对故障类型的认知上，尚无法区别对待故障类型相同而严重程度不同的情况，需要对严重性可量化的指标的权重根据其偏离正常值的程度进行修正才能使最终的评判结果准确合理。设 Δx 为评价指标越界量， $Z(\Delta x)$ 为指标越限的严重程度，由电力系统实际运行情况可知，随着指标越界量增加，对系统安全稳定运行的影响越大，系统越不稳定，其越限量增加速度越快，故 $Z(\Delta x)$ 应满足：

$$Z'(\Delta x) > 0 \quad (7)$$

$$Z''(\Delta x) > 0 \quad (8)$$

介于上述原则，本文选用如下权重修正公式：

$$a_i = a_i \cdot Z(\Delta x) > 0 \quad (\text{其中 } Z(\Delta x) = e^{\Delta x}) \quad (9)$$

再通过修正后经归一化处理得模糊权向量 A :

$$A = [a_1, a_2, \dots, a_m] \quad \sum_{r=1}^m a_r = 1 \quad (10)$$

2.5 模糊综合评判运算模型

依据文中确定的指标体系采用如式 (11) 所示的加权平均模型进行模糊综合计算, 如此逐层向上计算, 最后可得到综合指标的模糊综合评判结果。

$$B = A \cdot R_i = [b_1 \ b_2 \ b_3] \quad (b_j = \sum_{i=1}^m (a_i \mu_{ij}) \quad j=1,2,3) \quad (11)$$

将求得的模糊评判矩阵 B 进行归一化处理得 B' , 然后与 Q^T 进行乘法运算, 即可得最终的总评分 N :

$$N = B' \cdot Q^T \quad (12)$$

3 实例分析

以某地区电网系统运行过程中出现的告警信息“某变电站 110 kV 侧并列运行的主变拒动闭锁”为例, 按照文中所述过程求出未修正的指标权重并进行归一化处理, 其结果如表 2 所示。

表 2 评判指标的权重

Tab.2 Weights table of every index

指标	下属子指标的权重						
综合指标	0.335 7	0.078 8	0.241 2	0.168 6	0.096 8	0.078 8	
D		0.258 3	0.104 7	0.637 0			
C		0.637 0	0.104 7	0.258 3			
T		0.555 6	0.222 2	0.222 2			
T1	0.025	0.014 8	0.044 44	0.433 6	0.257	0.145	0.080 2
T2			0.75	0.25			
T3		0.637 0	0.258 3	0.104 7			
B		0.637 0	0.104 7	0.258 3			
B2		0.258 3	0.104 7	0.637 0			
B3		0.563 8	0.117 8	0.055 0	0.263 4		
L		0.117 8	0.055 0	0.563 8	0.263 4		
S		0.637 0	0.104 7	0.258 3			
S2		0.104 7	0.258 3	0.63 7			
S3	0.032 9	0.51	0.263 8	0.063 7	0.129 6		

经专家评分, 得到各单因素指标对应的隶属度矩阵如下:

$$R_T = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0.0 & 0.6 & 0.4 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \quad R_{T1} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.4 & 0.5 \\ 0.0 & 0.3 & 0.7 \\ 0.0 & 0.6 & 0.4 \\ 0.5 & 0.5 & 0.0 \\ 0.4 & 0.6 & 0.0 \\ 0.3 & 0.7 & 0.0 \\ 0.2 & 0.7 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$R_{T2} = \begin{bmatrix} 0.15 & 0.7 & 0.15 \\ 0.05 & 0.65 & 0.3 \end{bmatrix} \quad R_{T3} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.7 & 0.2 \\ 0.05 & 0.65 & 0.3 \\ 0.0 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

综合以上结果, 计算单因素评判矩阵:

$$B_{T1} = A_{T1} \cdot R'_{T1} = [0.0435 \ 0.1015 \ 0.0]$$

$$B_{T2} = A_{T2} \cdot R'_{T2} = [0.1125 \ 0.525 \ 0.1125]$$

$$B_{T3} = A_{T3} \cdot R'_{T3} = [0.012915 \ 0.167895 \ 0.07749]$$

结合权重分配, 计算可得:

$$B = A_T \cdot B_T = [0.052035 \ 0.210354 \ 0.042215]$$

$$\text{归一化后为: } B' = [0.1708 \ 0.6906 \ 0.1386]$$

结合评判集分值向量, 可得:

$$N = B' \cdot Q^T = 0.529 \ 96$$

由计算所得的综合评判结果可以看出, 对应一般告警的隶属度最大, 根据最大隶属度原则, 该告警信息重要性等级应评定为一般告警。再根据对应等级的评判集分值向量计算得到的综合评分为 0.529 96, 与一般告警对应分值最为接近, 在实际情况下, 偶尔出现的设备拒动闭锁情况不会危急系统正常运行, 评判出的告警等级与实际情况一致, 证明该评判方法是合理适用的。对于严重程度可量化的故障, 其评判过程与上述过程相同, 仅需按照修正公式对归一化之前的权重进行修正即可。

4 结语

本文将模糊理论与层次分析法引入告警信息重要性等级评判中, 为告警信息重要性等级评判提出了一种新的思路, 建立了较为全面、合理的告警信息三层评判指标体系。提出了缩减指标的方法, 通过将某些评判指标的可量化影响因素以权重再修正的方式考虑, 减少了评判指标数目, 简化了分层评判模型, 减小了计算量。通过实例计算, 证明了该方法能科学合理地评定告警信息重要性等级。

参考文献

- [1] 胡金双, 吴文传, 张伯明, 等. 基于分级分区的地区电网无功电压闭环控制系统[J]. 继电器, 2005, 33(1): 50-56.
HU Jin-shuang, WU Wen-chuan, ZHANG Bo-ming, et al. A reactive power/voltage closed loop control system for regional power grid based on hierarchical level and decomposed zone[J]. Relay, 2005,33 (1) : 50- 56.
- [2] 李洁, 崔锦瑞. 500 kV 变电站报警信息和事故处理流程优化[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (2) : 101-103.
LI Jie, CUI Jin-rui. Process optimization of alarming

- signals and emergency response for 500 kV substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (2): 101-103.
- [3] 高翔, 张沛超. 电网故障信息系统应用技术[J]. 电力自动化设备, 2005, 25 (4): 11-15.
GAO Xiang, ZHANG Pei-chao. Application technology of power fault information system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25 (4): 11-15.
- [4] 朱东升, 孙纯军, 陈飞. 500 kV变电站远方集中监控系统方案探讨[J]. 电力自动化设, 2009, 29(5): 126-129.
ZHU Dong-sheng, SUN Chun-jun, CHEN Fei. Centralized remote monitoring system of 500 kV substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29 (5): 126-129.
- [5] 满若岩, 付忠广. 基于模糊综合评判的火电厂状态评估[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29 (5): 5-10.
MAN Ruo-yan, FU Zhong-guang. Condition assessment of fossil-fired power plant based on fuzzy comprehensive evaluation[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29 (5): 5-10.
- [6] 梁丁相, 陈曦. 基于模糊综合评判理论的电力信息系统安全风险评估模型及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (5): 61-64.
LIANG Ding-xiang, CHEN Xi. Safety assessment model of electric power information system based on fuzzing synthetical theory and its application[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (5): 61-64.
- [7] 王钦, 文福拴, 刘敏, 等. 基于模糊集理论和层次分析法的电力市场综合评价[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (7): 32-37.
WANG Qin, WEN Fu-shuan, LIU Min, et al. Combined use of fuzzy set theory and analytic hierarchy process for comprehensive assessment of electricity markets[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (7): 32-37.
- [8] 廖瑞金, 王谦, 骆思佳, 等. 基于模糊综合评判的电力变压器运行状态评估模型[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (3): 70-75.
LIAO Rui-jin, WANG Qian, LUO Si-jia, et al. Condition assessment model for power transformer in service based on fuzzy synthetic evaluation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (3): 70-75.
- [9] 郭金, 郭凤仪, 王智勇, 等. 三标度层次分析法模糊评判触头材料的抗电弧侵蚀能力[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2008, 27 (4): 548-551.
GUO Jin, GUO Feng-yi, WANG Zhi-yong, et al. Application of three-degree analytical hierarchy process in fuzzy comprehensive judgement system for arc erosive performance of contact aaterial[J]. High Voltage Engineering, 2008, 27 (4): 548-551.
- [10] 黄树帮, 叶留金, 袁宇波, 等. 电网继电保护及故障信息处理主站系统的设计和实现[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (16): 88-92.
HUANG Shu-bang, YE Liu-jin, YUAN Yu-bo, et al. Design and implementation of protective relaying and fault information processing master system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (16): 88-92.
- [11] 邓国新, 赵冬梅, 张旭. 对地区电网故障诊断系统中信息纠错的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(1): 50-54.
DENG Guo-xin, ZHAO Dong-mei, ZHANG Xu. Research of informations identification on the fault diagnosis system for regional power grid [J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(1): 50-54.
- [12] 姚建刚, 肖辉耀, 章建, 等. 电力设备运行安全状态评估系统的方案设计[J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21 (1): 52-58.
YAO Jian-gang, XIAO Hui-yao, ZHANG Jian, et al. Design of electric equipment operation security condition assessment system[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2009, 21 (1): 52-58.

收稿日期: 2010-01-21; 修回日期: 2010-05-21

作者简介:

明 娇 (1985-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统电压无功优化控制; E-mail: mingjiao7088@163.com

刘代勇 (1976-), 男, 本科, 工程师, 主要从事电力系统运行与控制。

(上接第 49 页 continued from page 49)

- [15] 周维维, 孙鹏菊, 钟渝佳. 变电站直流系统级差配合的建模与分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2007, 21 (2): 20-24.
ZHOU Luo-wei, SUN Peng-ju, ZHONG Yu-jia. Modeling and analysis of stage different coordination for substation DC system[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2007, 21 (2): 20-24.

收稿日期: 2010-01-18; 修回日期: 2010-03-29

作者简介:

刘 毅 (1985-), 男, 硕士研究生, 从事电力电子技术应用研究; E-mail: cristo2006@163.com

周维维 (1954-), 男, 教授, 博士生导师, 从事电力电子技术, 电路理论研究等;

陈国通 (1964-), 男, 高级工程师, 从事电力系统运行工作。