

光伏运维系统辅助决策模块设计探讨

徐红武^{1,2}, 檀庭方¹, 李靖霞¹, 王东霞¹, 王涛¹, 沈煌¹, 张哲¹

(1. 国电南京自动化股份有限公司, 南京 211106; 2. 东南大学, 南京 211106)

摘要: 辅助决策模块是光伏运维系统中的核心模块, 它对于实现智能运维, 提升运维管理水平都起到了十分重要的作用。对光伏电站生产运行指标体系的建立、基于模糊综合评判的光伏电站运行评估算法做了详细的介绍。通过对光伏电站整体运行情况的科学评估, 可以及时发现光伏电站运行中存在的问题, 及时整改, 提高光伏电站经济运行水平。

关键词: 辅助决策; 状态评估; 隶属度; 模糊综合评判

中图分类号: TM 615 文献标志码: B 文章编号: 1674-1951(2018)04-0073-04

0 引言

光伏运维系统辅助决策模块根据系统采集到的设备运行数据、历史存储数据以及运维人员、行业专家反馈给系统的经验数据等, 实时分析光伏电站生产经营情况。光伏电站辅助决策模块一般包含电站运行分析、设备运行分析、电站安全分析、物资分析、电站投资收益分析、设备故障诊断分析、预测分析等。

1 建立生产运行指标体系

光伏电站生产运行指标体系, 是对光伏电站进行科学评估的必备要素。光伏电站生产运行指标一般包含电量指标、能耗指标、设备运行指标。电量指标主要由理论发电量、实际发电量、上网电量、购网电量等组成。能耗指标主要由电站用电量、逆变器损耗、箱变损耗、升压站损耗等构成。设备运行指标主要由设备故障时间、最大出力、设备运维成本、电网限电至设备停运时间等构成, 具体运行指标因素如图1所示。

2 经济运行评估方法

模糊综合评判是利用模糊数学理论来对事物进行评估的科学方法, 把模糊综合评判的方法应用在光伏电站经济运行的评估方面, 可以克服以往根据某些指标来对光伏电站进行评估的局限性, 模糊综合评判从宏观上考虑影响变电站经济运行的所有主要因素, 因而评估结果更全面、更科学。

2.1 确定评估因素集

评价光伏电站经济运行情况, 片面、单一的评价是不够的, 只有从多个角度出发对其进行综合评价

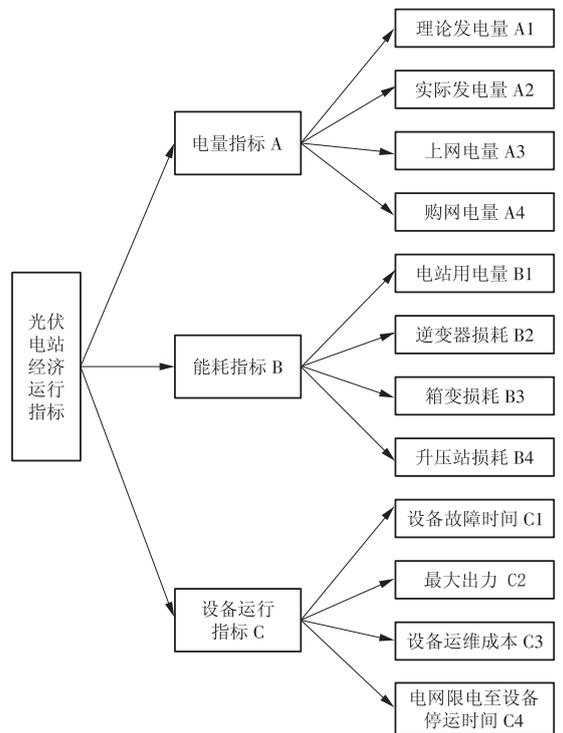


图1 光伏电站经济运行指标因素

才可得到更为准确的结果。例如, 可以从理论发电量、实际发电量、电站损耗、性能比、运维效率等多重角度来进行评判。将所有影响因子集合在一起时构成一个体系, 便可以将称之为评估对象集如下式。

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}, \quad (1)$$

式中: U 为评估对象集合; U_1, U_2, \dots, U_m 分别为 m 个评估对象。

2.2 确定评语集

评语是指对事物评判结果。由各种不同评语构成的集合称为评语集, 如下式。

$$V = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_p\}, \quad (2)$$

式中: V 为评语集; $V_1, V_2, V_3, \dots, V_p$ 分别为 p 个评语。

本文根据光伏电站运行时可能出现的情况, 把光伏电站运行情况分成良好状态 (V_1)、一般状态

(V_2)、注意状态(V_3)、不合格状态(V_4)4种等级。

2.3 确定权重值

确定权重有求和平均法、对比综合法等。求和平均法计算过程比较粗糙,受主观因素的影响较大。对比综合法计算过程较精细,可以有效降低主观因素的影响。对比综合法采用各因素相互比较重要程度,得到权重对比模糊互补判断矩阵,然后判断模糊互补判断矩阵是否一致性,若模糊互补判断矩阵不一致,继续优化模糊互补判断矩阵,直至一致性,最后根据模糊一致性矩阵与权重的关系,计算出电站经济运行的权重向量值。模糊一致性矩阵与权重值间存在着相应的关系,具体表达式如下。

$$\omega_i = \frac{1}{n} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{na} \sum_{k=1}^n a_{ik}, \quad i \in \{1, 2, \dots, n\}^{[1]}. \quad (3)$$

式中: ω_i 为权重值; n 为评价因素的个数;调整参数 a ,且 a 与 n 之间的关系为 $a > (n - 1)/2$,随着 a 的数值逐渐增大,各个因素的权重值之间差距逐渐减小,所以此处 a 的值应满足 $a = (n - 1)/2$, a_{ik} 为模糊矩阵的元素,即下文中的 R 。

首先,为了求模糊互补判断矩阵,需要定义统一的标度标准,本文根据0.1~0.9标度法来求模糊互补判断矩阵,见表1。

表1 标度定义表

标度 a_{ij}	定义	解释
0.5	同等重要	i 元素与 j 元素同等重要
0.6	略微重要	i 元素比 j 元素略微重要
0.7	明显重要	i 元素比 j 元素明显重要
0.8	强烈重要	i 元素比 j 元素强烈重要
0.9	极端重要	i 元素比 j 元素极端重要
0.1, 0.2, 0.3, 0.4	与以上相反	j 元素比 i 元素的重要程度

根据各指标因素的重要程度,确定第一层指标权重对比见表2。

表2 第一层指标因素相对权重定义

	电量指标	能耗指标	设备运行指标
电量指标	0.5	0.4	0.6
能耗指标	0.6	0.5	0.7
设备运行指标	0.4	0.3	0.5

则第一层模糊互补判断矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.6 \\ 0.6 & 0.5 & 0.7 \\ 0.4 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix}.$$

根据式(3)可以计算出第一层因素权重向量 $\omega = (0.3333, 0.4333, 0.2333)$,同理确定第二层A指标权重对比见表3。

表3 第二层指标因素A相对权重定义

	理论发电量	实际发电量	上网电量	购网电量
理论发电量	0.5	0.4	0.4	0.6
实际发电量	0.6	0.5	0.5	0.7
上网电量	0.6	0.5	0.5	0.7
购网电量	0.4	0.3	0.3	0.5

则模糊关系矩阵为:

$$R_A = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.4 & 0.6 \\ 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.7 \\ 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.7 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix}.$$

同理可以计算出第二层A因素权重向量 $\omega_A = (0.2333, 0.3, 0.3, 0.1667)$,确定第二层B指标权重对比见表4。

表4 第二层指标因素B相对权重定义

	逆变器损耗	箱变损耗	升压站损耗
逆变器损耗	0.5	0.7	0.7
箱变损耗	0.3	0.5	0.5
升压站损耗	0.3	0.5	0.5

则模糊关系矩阵为:

$$R_B = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.7 & 0.7 \\ 0.3 & 0.5 & 0.5 \\ 0.3 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}.$$

同理可以计算出第二层B因素权重向量 $\omega_B = (0.4667, 0.2667, 0.2667)$,确定第二层C指标权重对比见表5。

表5 第二层指标因素C相对权重定义

	设备故障时间	最大出力	设备运维成本	电网限电至设备停运时间
设备故障时间	0.5	0.7	0.7	0.5
最大出力	0.3	0.5	0.5	0.3
设备运维成本	0.3	0.5	0.5	0.3
电网限电至设备停运时间	0.5	0.7	0.7	0.5

则模糊关系矩阵为:

$$R_C = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.7 & 0.7 & 0.5 \\ 0.3 & 0.5 & 0.5 & 0.3 \\ 0.3 & 0.5 & 0.5 & 0.3 \\ 0.5 & 0.7 & 0.7 & 0.5 \end{bmatrix}.$$

同理可以计算出第二层C因素权重向量 $\omega_C = (0.3167, 0.1833, 0.1833, 0.3167)$ 。

2.4 确定综合评判矩阵

根据各评价因数的物理特征,选择合适的隶属度函数。在模糊数学中,常见的模糊分布有:矩形分

布、梯形分布、正态分布、K 次抛物线形分布、T 形分布、柯西形分布。

在光伏电站经济运行评估领域,梯形模糊分布函数用得比较多。要为每一个指标因素的每个评价选择好合适的隶属度函数,首先要对该指标因素对评价的影响做科学的统计分析,以确定该指标因素与评价的大致函数分布,然后与模糊数学中经典的模糊分布函数进行对比,以便选择最佳的模糊函数,并确定该模糊函数中常量的具体取值,如此下来,也就将该指标因素对于该评价的隶属度函数确定下来了。例如对于设备故障时间这个指标因素,因为大部分设备故障时间很低的时候,几乎不会对电站经济运行产生明显的影响,所以对于评语 V_1 ,可以考虑偏小型半梯形分布函数;当设备故障时间持续很长的时候,势必对光伏电站的经济运行产生严重的影响,所以对于评语 V_4 可以考虑偏大型半梯形分布函数。而对于评语 V_2 、 V_3 ,则可以考虑中间型梯形分布函数^[1]。

2.5 进行模糊计算

模糊数学中定义了四种模糊算子,分别是主因素决定型 $M(\wedge, \vee)$ 、主因素突出型 $M(\cdot, \vee)$ 、加权平均型 $M(\cdot, +)$ 、均衡平均型 $M(\wedge, +)$ 。因为影响光伏电站经济运行的因素比较多,而且各因素的作用都比较明显,因此,采用加权平均型模糊算子 $M(\cdot, +)$ 来对光伏电站经济运行情况进行评估比较合适。加权平均型模糊算子 $M(\cdot, +)$ 定义如下: $b_j = \sum_{i=1}^n (a_i \cdot r_{ij})$, 其中 b_j 为评判结果向量, a_i 为权重向量, r_{ij} 为单因素评判结果。对于权重 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, 根据 $B = A \circ R$, 可以计算出综合评判结果向量。其中“ \circ ”就是上述所说的模糊算子。

2.6 得出评判结果

最大隶属度原则 I 表述如下。

设 A_1, A_2, \dots, A_m 为给定的论域 U 上的 m 个模糊模式, $x_0 \in U$ 为一个待识别对象, 若 $A_i(x_0) = \max\{A_1(x_0), A_2(x_0), \dots, A_m(x_0)\}$, 则任务 x_0 优先属于模糊模式 A_i ^[2]。

3 详细算法运算过程

假设某地一个 10 MW 的光伏电站,其经济运行指标见表 6。

根据每个评价因数所属的隶属函数,可以计算出二级评价因素集 A 对应的模糊关系矩阵为:

$$R_A = \begin{bmatrix} 0.8264 & 0.3093 & 0.2156 & 0.0328 \\ 0.7533 & 0.3166 & 0.2017 & 0.0023 \\ 0.9236 & 0.4533 & 0.1026 & 0.0012 \\ 0.9356 & 0.4622 & 0.0855 & 0.0022 \end{bmatrix}$$

表 6 某光伏电站运行指标

评价项目	数值
理论发电量(反应光照时间、强度)/ [(kW·h)/年]	1600 × 10 ⁴
实际发电量/[(kW·h)/年]	1200 × 10 ⁴
上网电量/[(kW·h)/年]	1000 × 10 ⁴
购网电量/[(kW·h)/年]	20 × 10 ⁴
逆变器损耗/[(kW·h)/年]	200
箱变损耗/[(kW·h)/年]	100
升压站损耗/[(kW·h)/年]	100 × 10 ⁴
设备故障时间/h	0
最大出力/MW	7.5
设备运维成本/年	10 × 10 ⁴
电网限电至设备停运时间/h	0

$$\begin{aligned} \text{则 } B_A &= \omega A \circ R_A = [0.2333, 0.3, 0.3, 0.1667] \circ \\ &= \begin{bmatrix} 0.8264 & 0.3093 & 0.2156 & 0.0328 \\ 0.7533 & 0.3166 & 0.2017 & 0.0023 \\ 0.9236 & 0.4533 & 0.1026 & 0.0012 \\ 0.9356 & 0.4622 & 0.0855 & 0.0022 \end{bmatrix} = \\ &= [0.8518, 0.3802, 0.1558, 0.0091] \end{aligned}$$

B_A 归一化值为: $B_A' = [0.6098, 0.2722, 0.1115, 0.0065]$, 同理可计算出二级评价因素集 B 对应的模糊关系矩阵为:

$$R_B = \begin{bmatrix} 0.9012 & 0.7326 & 0.2576 & 0.0127 \\ 0.9287 & 0.7102 & 0.3072 & 0.0235 \\ 0.0026 & 0.8743 & 0.2586 & 0.1033 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{则 } B_B &= \omega_B \circ R_B = [0.4667, 0.2667, 0.2667] \circ \\ &= \begin{bmatrix} 0.9012 & 0.7326 & 0.2576 & 0.0127 \\ 0.9287 & 0.7102 & 0.3072 & 0.0235 \\ 0.0026 & 0.8743 & 0.2586 & 0.1033 \end{bmatrix} = \\ &= [0.909, 0.7645, 0.2711, 0.0397] \end{aligned}$$

B_B 归一化值为: $B_B' = [0.4581, 0.3853, 0.1366, 0.02]$, 同理可计算出二级评价因素集 C 对应的模糊关系矩阵为:

$$R_C = \begin{bmatrix} 1 & 0.8023 & 0.1602 & 0 \\ 0.8031 & 0.9588 & 0.2978 & 0.0002 \\ 0.5862 & 0.8876 & 0.2085 & 0.0031 \\ 1 & 0.4933 & 0.0967 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{则 } B_C = \omega_C \circ R_C = [0.3167, 0.1833, 0.1833, 0.3167]$$

$$\begin{aligned} &= \begin{bmatrix} 1 & 0.8023 & 0.1602 & 0 \\ 0.8031 & 0.9588 & 0.2978 & 0.0002 \\ 0.5862 & 0.8876 & 0.2085 & 0.0031 \\ 1 & 0.4933 & 0.0967 & 0 \end{bmatrix} = \\ &= [0.4979, 0.7488, 0.1742, 0.0006] \end{aligned}$$

B_C 归一化值为 $B_C' = [0.3503, 0.5268, 0.1225, 0.0004]$, 因此可得到一级模糊关系矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} B_A' \\ B_B' \\ B_C' \end{bmatrix}。$$

则一级评判结果为:

$$B = \omega \circ R = [0.3333, 0.4333, 0.2333]。$$

$$\begin{bmatrix} 0.6098 & 0.2722 & 0.1115 & 0.0065 \\ 0.4581 & 0.3853 & 0.1366 & 0.02 \\ 0.3503 & 0.5268 & 0.1225 & 0.0004 \end{bmatrix} = [0.4834, 0.3806, 0.1249, 0.0109]，$$

此处 B 即为模糊综合评判结果集。根据最大隶属度原则,可知该光伏电站运行在良好状态^[3-4]。

4 结束语

光伏电站辅助决策系统是光伏运维系统的核心部分,涉及的算法主要体现在状态评估、故障诊断及一些预测类(如投资预测、光伏组件损耗特性预测)的需求上。由于模糊综合评判算法从系统全局的角度对事物进行了综合考察,因此,用该方法所得到的结果更科学、更准确。当然,要获得比较准确的评估结果,为每个评语选取合适的隶属度函数就显得尤为重要,这是进行科学评估的前提。由于时间有限,

(上接第 58 页) 压持环温度最终降至 377/362 ℃。

3.3 滑停过程注意事项

机组滑停过程中,燃料的增减操作应与给水流量的变化相匹配,避免给水流量偏大而燃料量减得过快造成汽温陡降^[4]。控制主、再热蒸汽温降速度 < 1.0 ℃/min。停机过程中严密监视机组振动、轴向位移、推力瓦温度、胀差、轴封母管压力和温度、凝汽器真空度等参数以及除氧器、凝汽器、各加热器水位。主/再热蒸汽过热度不得低于 50 ℃,防止蒸汽带水。汽温滑降过程中需密切监视主/再热蒸汽温度、胀差、轴向位移、振动、各支持及推力轴承温度等,如影响机组安全要及时汇报,立刻停止缸温滑降,果断打闸停机处理,从而保证汽轮机的安全。

4 结束语

滑参数停机可以使汽轮机缸体、转子及锅炉本体得到均匀而迅速的冷却,缩短机组停机至检修的时间,从而提高机组的可用系数。停机前,根据机组的实际情况及检修工作的具体要求,确定滑参数停机的最终参数及停机曲线,明确停机过程中的参数控制限值及控制方法,制订完善的滑参数停机技术措施以及停机操作票,通过控制水煤比来调整燃烧,

本文的隶属度函数选取可能还不够完善,在今后的研究工作中还需要在这方面重点加以研究;同时,由于光伏辅助决策模块涉及较多的算法,况且各种算法的运行效率、准确性、适用性也不尽相同,为了让各种算法发挥最好的效用,也需要对各种算法加以甄别,以便能选出最适合于相关应用的算法,以提高系统的智能化运维水平。

参考文献:

[1] 李跃军. 智能变电站二次设备状态评估模型及其应用的研究[D]. 保定:华北电力大学电气与电子工程学院.

[2] 贾鑫,卢昱. 模糊信息处理[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1996.

[3] 檀庭方,李靖霞,吴世伟,等. 基于“互联网+”的智能光伏电站集中运维系统设计与研究[J]. 太阳能,2017(9): 23-28.

[4] 王禹,李旭东. 一种居民屋顶光伏电站巡检运维系统[J]. 电气技术,2018,19(2):123-126.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

徐红武(1980—),男,江西玉山人,高级工程师,从事云计算、大数据、光伏运维研究相关方面的工作(E-mail: 569150229@qq.com)。

严格控制过热器一、二级减温水量,使主/再热蒸汽温度及压力保持平稳下降,即可实现安全、经济的滑参数停机。

参考文献:

[1] 靳智平. 电厂汽轮机原理及系统[M]. 北京:中国电力出版社,2004.

[2] 国电铜陵发电有限公司集控主机运行规程:Q/GDTF-309.01A—2010[S].

[3] 袁斌,张月. 600 MW 机组滑参数停机操作及分析[J]. 锅炉制造,2008(4):21-23,26.

[4] 王小龙,马平. 1 000 MW 机组滑参数停机的运行控制及分析[J]. 华电技术,2016,38(6):17-20.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

闫旭(1982—),男,安徽淮北人,高级工程师,工程硕士,从事火电厂集控运行工作(E-mail: 270169389@qq.com)。

刘虎(1983—),男,河南博爱人,工程师,从事电厂锅炉运行及节能技术管理工作。

阮西山(1974—),男,安徽铜陵人,助理工程师,从事火电厂燃料管理工作。