

一项对配电网进行可靠性评估的新指标

张新勇¹, 黄群古², 任震¹

(1. 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640; 2. 广电集团中山供电分公司, 广东 中山 528400)

摘要: 电力系统可靠性是电力系统运行的一项重要衡量指标。传统的电力系统可靠性指标反映了电力系统元件或网络的可用度,但是没有反映出其经济成分。因此提出了一种对电力系统配电网进行评估的新指标——经济可靠性,不仅反映了电力系统的可靠性,也反映了电力系统的经济性,这对于提高电力系统的经济效益,具有重要的意义。

关键词: 电力系统; 经济; 可靠性

中图分类号: TM732 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)02-0019-04

0 引言

电力系统可靠性研究,在许多文献中都有涉及^[1~3],所研究的内容也非常广泛:高压电力网络的可靠性、高压直流输电可靠性、高压开关设备的可靠性,等等。

配电系统是电力系统的一个重要组成部分。配电系统可靠性评估,是对正在运行的配电网,或者是对新设计的配电网作出供电可靠性评价,从而确定该配电网供电可靠性的优劣。通过对配电网可靠性评估,可以确定出计划停电以及故障停电对供电可靠性的影响,由此确定提高供电可靠性的技术措施和寻求提高供电可靠性的管理方法。

一般说来,在常规可靠性评估时,可靠性高的配电网不一定经济性好,经济性好的配电系统不一定可靠性高。本文提出的“经济可靠性”指标高的配电网,同时具有较高的可靠性和经济性。

1 配电网系统常规可靠性评估

在进行配电网系统可靠性评估时,在传统上,较常用的指标有:输变电设备的故障率、计检率。而故障率,一般用单位“次/年·台”或“次/年·km”表示,说明一年中平均每台设备发生故障的次数,或一年中平均每千米线路发生故障的次数。此外,还通常使用下列的可靠性指标:

(a) 系统平均停电频率指标 SAIFI(System Average Interruption Frequency Index):

$$SAIFI = \frac{\text{用户停电总次数(户·次)}}{\text{用户总数(户)}} \quad (1)$$

(b) 用户平均停电频率指标 CAIFI:

$$CAIFI = \frac{\text{用户停电总次数(户·次)}}{\text{受停电影响的总用户数(户)}} \quad (2)$$

(c) 系统平均停电持续时间 SAIDI:

$$SAIDI = \frac{\text{用户停电持续时间的总和(户·时)}}{\text{总用户数(户)}} \quad (3)$$

(d) 用户平均停电持续时间 CAIDI:

$$CAIDI = \frac{\text{用户停电持续时间的总和(户·时)}}{\text{用户停电次数(户·次)}} \quad (4)$$

(e) 平均供电可用度指标 ASAI:

$$ASAI = \frac{\text{用户总供电时间(户·时)}}{\text{用户要求供电时间(户·时)}} \quad (5)$$

上式也称供电可用度或供电可靠率。

(f) 平均不可用度指标 ASUI:

$$ASUI = \frac{\text{用户停电总时间(户·时)}}{\text{用户要求供电时间(户·时)}} \quad (6)$$

复杂的配电网都是由放射型网络和环型网络构成的。显然在可靠性方面,环型网络要优于放射型网络,带有分段或分支开关的要优于不带开关的网络。这主要是根据网络故障时停电的范围确定的,即根据停电“户数×时数”确定的。

然而,用指标“户数×时数/年”或“次数/km”或“次数/年”来进行配电系统可靠性评估,仅仅反映一个停电范围方面,故障停电所带来的经济损失却不能反映出来。一个大用户(装变容量很大)与一个小用户(装变容量很少),在同样的停电时间内,对指标“户数×时数/年”或“次数/km”的贡献是一样的,但显然,两者的经济损失相差很大。下面的“经济可靠性”的指标,主要是从经济的角度对配电网系统可靠性进行评估。

2 配电网系统经济可靠性指标

在电力系统中,与经济直接相关的是供电量。系统故障停电时,影响的也是供电量。在系统故障

时,一是要缩短停电时间,二是要缩小停电范围,即停电的户数,三是(也是最重要的)要使因停电而损失的供电量达到最小,即不仅要考虑“户数×时数”,还要考虑“千瓦×时数”或“兆伏安×时数”。这里的“兆伏安×时数”指标,突出了大用户权重,而减轻了小用户的地位,从而使得配电网可靠性指标不仅能反映故障停电的范围,也能反映停电时经济损失有多大。

根据上面的概念,在进行配电网系统可靠性评估时,特提出下列经济可靠性指标如下:

(a) 故障率指标：

$$= \frac{\text{总故障次数}}{\text{年 MVA}} \quad (7)$$

(b) 系统平均停电经济频率指标 SAIEFI:

$$SAIEFI = \frac{\text{用户停电的总容量} \times \text{次数 (MVA} \cdot \text{次)}}{\text{用户总容量数 (MVA)}} \quad (8)$$

(c) 用户平均停电经济频率指标 CAIEFI:

$$CAIEFI = \frac{\text{用户停电总容量} \times \text{次数 (MVA} \cdot \text{次)}}{\text{受停电影响用户的总容量数 (MVA)}} \quad (9)$$

(d) 系统平均停电经济持续时间 SAIEDI:

$$SAIEDI = \frac{\text{用户停电持续时间的容量和 (MVA} \cdot \text{h)}}{\text{用户总容量数 (MVA)}} \quad (10)$$

(e) 用户平均停电经济持续时间 CAIEDI:

$$CAIEDI = \frac{\text{用户停电持续时间的容量和 (MVA} \cdot \text{h)}}{\text{用户总容量} \times \text{次数 (MVA} \cdot \text{次)}} \quad (11)$$

(f) 平均供电经济可用度指标 ASEAI:

$$ASEAI = \frac{\text{用户供电总容量} \times \text{时间 (MVA} \cdot \text{h)}}{\text{用户要求供电容量} \times \text{时间 (MVA} \cdot \text{h)}} \quad (12)$$

上式也称供电经济可用度或供电经济可靠率。

(g) 平均经济不可用度指标 ASEUI:

$$ASEUI = \frac{\text{用户总停电容量} \times \text{时间 (MVA} \cdot \text{h)}}{\text{用户要求供电容量} \times \text{时间 (MVA} \cdot \text{h)}} \quad (13)$$

下面用经济可靠性指标对某市区的配电网系统可靠性进行评估。

3 应用实例

为了清晰起见,这里例子仅限于放射型配电网,环型配电网可同样分析。

设某市所辖的一个独立 10 kV 中压配电网小系统,总户数 620 户,总装变容量 359 MVA,线路总长度 245.53 km,10 kV 线路 55 条,其停电数据统计

表如表 1 所示。

表 1 某 10 kV 配电网停电数据统计
 Tab. 1 Statistics in power supply interruption of a 10 kV distribution network

项目	故障	计划	合计
时数/h	132.2	296.8	429
次数/次	68	47	115
户次/(户·次)	1660	1438	3098
户时/h	3717.20	12860.85	16578.05
缺供/(kW·h)	489492	2030707	2520199
停容(kV·A)	581370	599120	1180490

下面的分析中,原可靠性指标用下标 Y 标出;经济可靠性指标用下标 W 表示。该系统的故障率和每次停电平均时间 T 如表 2 所示。

表 2 某 10 kV 配电网和 T 指标比较
 Tab. 2 Comparison of and T indexes of a 10 kV distribution network

原可靠性	经济可靠性
$\gamma = 0.277$ (次/年·km)	$w = 0.189$ (次/年·MVA)
$T_Y = 1.940$ (h/次)	$T_W = 1.940$ (h/次)

以该市的某条 10 kV 线路为例(如图 1 所示),进行可靠性评估,并用传统的可靠性和经济可靠性分别评估。

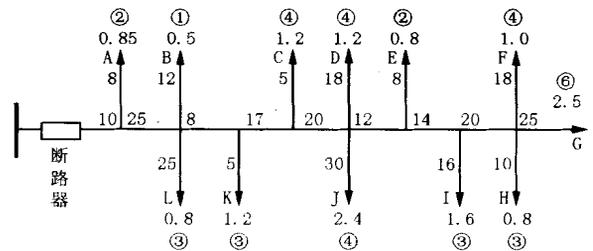


图 1 不带开关的 10 kV 线路用户分布

Fig. 1 Distribution of consumers supplied by 10 kV power line without switches

为方便起见,将所有的支线都等效为一段带箭头的线段,分支线上所带的所有容量都等效为其总容量。图 1 中的大写字母 A、B、C 等为用户编号,箭头指向的为该支线所有用户的装变容量(MVA),线段旁边的数字为该线段长度(km),圆圈内的数字为该支线上所有用户数。

设变电站全停一次时间为 8 h,这样图 1 网络上的所有 39 户用户均受影响;由于线路上没有装设开关,则当线路上任何一点发生永久性故障时,都将造成图 1 所示的全线停电,其停电时间为故障排除时间,设为 4 h。根据表 1,可算出变电站全停时,该网络的户×时数 h_{Y1} 和 h_{W1} 、计划停电的户×时数 h_{Y2}

和 h_{w2} , 和故障停电户 \times 时数 h_{y3} 和 h_{w3} , 考虑全停、计划停电和事故停电的 ASAI, 以及只考虑故障停电时的 ASAIF, 结果如下表 3。

表 3 图 1 中的 10 kV 配电网指标比较

Tab. 3 Comparison of indexes of the 10 kV distribution network in Fig. 1

原可靠性指标	经济可靠性指标
$h_{y1} = 312$ (户 \cdot h/年)	$h_{w1} = 118.8$ (MVA \cdot h/年)
$h_{y2} = 719.7$ (户 \cdot h/年)	$h_{w2} = 182.43$ (MVA \cdot h/年)
$h_{y3} = 371.65$ (户 \cdot h/年)	$h_{w3} = 166.72$ (MVA \cdot h/年)
ASAI _Y = 99.59 %	ASAI _W = 99.64 %
ASAIF _Y = 99.89 %	ASAIF _W = 99.87 %

从表 3 可以看出, 图 1 系统的原可靠性和经济可靠性指标接近。

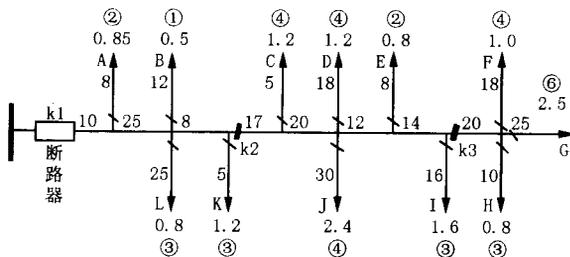


图 2 带开关的 10 kV 线路用户分布

Fig. 2 Distribution of consumers supplied by 10 kV power line with switches

当线路上装有分段开关和分支开关时, 如图 2 所示结构, 分别计算其原可靠性和经济可靠性指标, 结果如表 4 中。

表 4 图 2 中的 10 kV 配电网指标比较

Tab. 4 Comparison of indexes of the 10 kV distribution network in Fig. 2

原可靠性指标	经济可靠性指标
$h_{y1} = 312$ (户 \cdot h/年)	$h_{w1} = 118.8$ (MVA \cdot h/年)
$h_{y2} = 719.7$ (户 \cdot h/年)	$h_{w2} = 182.43$ (MVA \cdot h/年)
$h_{y3} = 215.74$ (户 \cdot h/年)	$h_{w3} = 95.291$ (MVA \cdot h/年)
ASAI _Y = 99.635 %	ASAI _W = 99.695 %
ASAIF _Y = 99.937 %	ASAIF _W = 99.927 %

从表 2 可以看出, 在有分段开关和分支开关的情况下, 图 2 所示网络的原供电可用度较高, 而经济供电可用度较低。

设图 2 中的网络结构、各分支线上用户数和编号都不变, 只是其部分分支上的装变容量有变化, 相当于部分大用户和小用户相互对换, 如图 3 所示。

对图 3 网络结构重新计算各可靠性指标, 发现对换后的网络原可靠性指标不变而经济可靠性指标发生了变化, 经济性可用度增加了。如表 5 所示。

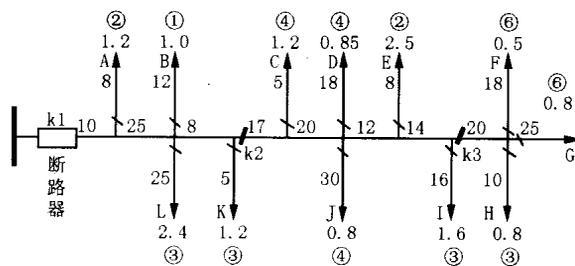


图 3 容量变化时该 10 kV 线路用户分布

Fig. 1 Distribution of consumers supplied by 10 kV power line when its capacity changes

表 5 图 3 中的 10 kV 配电网指标比较

Tab. 5 Comparison of indexes of the 10 kV distribution network in Fig. 3

原可靠性指标	经济可靠性指标
$h_{y1} = 312$ (户 \cdot h/年)	$h_{w1} = 118.8$ (MVA \cdot h/年)
$h_{y2} = 719.7$ (户 \cdot h/年)	$h_{w2} = 182.43$ (MVA \cdot h/年)
$h_{y3} = 215.74$ (户 \cdot h/年)	$h_{w3} = 83.22$ (MVA \cdot h/年)
ASAI _Y = 99.635 %	ASAI _W = 99.704 %
ASAIF _Y = 99.937 %	ASAIF _W = 99.936 %

表 6 图 4 中的 10 kV 配电网指标比较

Tab. 6 Comparison of indexes of the 10 kV distribution network in Fig. 4

原可靠性指标	经济可靠性指标
$h_{y1} = 312$ (户 \cdot h/年)	$h_{w1} = 118.8$ (MVA \cdot h/年)
$h_{y2} = 719.7$ (户 \cdot h/年)	$h_{w2} = 182.43$ (MVA \cdot h/年)
$h_{y3} = 215.74$ (户 \cdot h/年)	$h_{w3} = 78.286$ (MVA \cdot h/年)
ASAI _Y = 99.635 %	ASAI _W = 99.708 %
ASAIF _Y = 99.937 %	ASAIF _W = 99.940 %

再一次将图 2 网络部分用户的装变容重新对换, 并计算相应的可靠性指标, 结果见图 4 和表 6。

比较表 3 和表 4 可知, 当网络安装有分段和分支开关时, 原可靠性指标和经济可靠性指标均有提高, 即两种方法的供电可靠率 ASAI 和 ASAIF 都提高了。可见, 分段和分支开关对提高配电网可靠性具有重要作用。

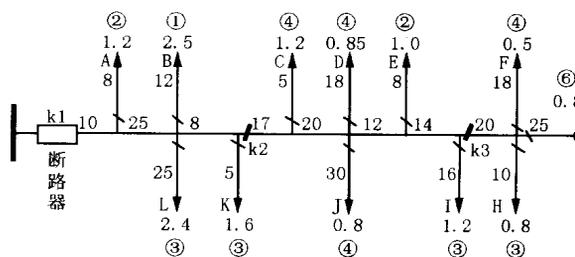


图 4 容量再变化时该 10 kV 线路用户分布

Fig. 4 Distribution of consumers supplied by 10 kV power line when its capacity changes again

比较表 4、表 5 和表 6 可以看出, 网络结构和用户

数不变,仅仅是支线上的用户装变容量发生变化时,原可靠率 ASAI 和 ASAIF 均不变,即网络上连接的不论是大用户还是小用户,对可靠率 ASAI 和 ASAIF 都是不变的。然而经济可靠率却发生了变化,大用户越是靠近线路的电源端段,经济可靠率就越高。

比较表 4、表 5 和表 6 故障停电的 MVA·h/年得知,图 2 网络为 95.291 MVA·h/年,图 3 网络为 83.22 MVA·h/年,图 4 网络为 78.286 MVA·h/年。从图 2 网络到图 4 网络,因故障停电的户时数减少了 17.8%,因而经济损失减少了 17.8%。若整个市区的配电网络在中低压配电改造时能同时兼顾经济性,不仅能提高可靠性,而且其经济效益也是非常可观的。

4 结论

本文提出对电力系统配电网络进行评估的新指标——经济可靠性,不仅反映了电力系统的可靠性,也反映了电力系统的经济性。这项指标的提高对于提高电力系统配电网运行的可靠性和经济性都具有重要的意义。

参考文献:

[1] 杨蔚百,戴景宸,孙启宏 (YANG Shi-bai, DAI Jing-chen,

SUN Qi-hong). 电力系统可靠性分析及应用 (Analysis and Application of Reliability in Power System) [M]. 北京:水利电力出版社 (Beijing: Hydraulic and Electric Power Press), 1986.

[2] 任震,黄雯莹,冉立 (REN Zhen, HUANG Wen-ying, RAN Li). 高压直流输电系统可靠性评估 (Reliability Evaluation in High Voltage Direct Current Systems) [M]. 北京:中国电力出版社 (Beijing: China Electric Power Press), 1996.

[3] 任震,谌军 (REN Zhen, CHEN Jun). 大型电力系统可靠性评估的模型和算法 (Model and Algorithm of Reliability Evaluation in Large-scale Power Systems) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 1999, 23(5): 25 - 27.

收稿日期: 2003-05-14

作者简介:

张新勇 (1971 -), 男, 硕士生, 工程师, 主要从事电力系统配网自动化、规划和电力系统可靠性等工作;

黄群古 (1960 -), 男, 博士, 工程师, 主要从事电力系统故障检测与诊断、故障信号分析与处理和微机保护等工作;

任震 (1938 -), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为小波理论及其在电力系统中的应用、电力市场、电力系统可靠性、高压直流输电、谐波分析等。

A new index of reliability evaluation for distribution networks

ZHANG Xin-yong, HUANG Qun-gu, REN Zhen

(1. Electrical Power College, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Zhongshan Power Bureau, Zhongshan 528400, China)

Abstract: Reliability of Power Systems is an important evaluation index for power system operation. Traditional reliability index only reflects the availability of equipments or power networks in power systems, excluding its economic factors. This paper proposes a new index - economic reliability to evaluate the reliability of power system. This new index can not only reflect the reliability of power system, but also its economy, which is of significance to improve the economic results of power system.

Key words: power system; economy; reliability

煤电博弈难解难分 市场期待中央出招

中国电力供应告急,加剧了煤、电两大势力集团的矛盾。现在煤、电双方互相指责,电力集团批评煤炭供应不足,煤商刻意扣起存货抬价;而煤商指责电煤价格与市场脱节,电商低价购煤谋取暴利。两方各执一词,谁胜谁负?

市场预测,这主要看 2003 年 12 月 24 日举行的全国煤炭订货会出面调停的中央官员如何定夺。一名不愿透露姓名的内地电力公司人员表示,“电力价格不涨,煤炭价格最多只应上调 2 至 3 个百分点,再多就不合理了。”如果煤商坚持大幅涨价,只会令今年的煤炭订货重演去年双方拉锯,迟迟未能达成合同协议的局。不过,一名电厂管理层人员认为,“在国家稳定电力供应,确保经济增长的大前提下,相信中央会提早插手,尽早平息风波。”事实上,国家似乎也在为容许煤炭加价作好准备。煤炭商当然不会放过以铁路货运增费这个机会,来增加自己游说国家准许煤炭加价的本金。面对今年冬季一片煤荒,以及国际动力煤现货价涨至 32 至 35 美元的情况,煤炭商态度强硬,力争调高合约价,坚持各种煤价一律每吨加 5 元人民币。