电力系统可靠性基本数据的统计分析

宋云亭,郭永基,程　林

(清华大学电机工程与应用电子技术系,北京　100084)

摘要:电力系统元件可靠性数据的统计分析对电力工业有重要意义。本文按国际通常采用的方法对现有的数据进行了收集、整理和统计分析,给出了我国电力系统元件 1995～1999 五年的平均可靠性指标。统计结果具有重要的实用价值,已应用于江苏田湾核电站外电网运行可靠性分析项目中。

关键词:可靠性;　统计分析;　电力系统元件;　5 年平均指标

中图分类号:TM732　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1003-4897(2002)07-0014-03

1　引言

电力系统可靠性研究结果的实际价值的大小,有赖于基础数据的可信程度[1]。发输电合成系统可靠性分析所需要的基本数据按其性质可分为确定性和随机性二类[2];按其组成部分又可分为发电系统和输电系统二部分,如图 1 所示[3]。

- 基本数据(发电系统、输电系统)
  - 确定性数据(发电、输电)
    - 系统数据
    - 元件数据
  - 随机性数据(发电、输电)
    - 系统数据
    - 元件数据

图 1　基本数据分类

由于系统是由元件(设施或设备)组成,因此在系统规划中,在分析可靠性时需要设备和设施的基本可靠性数据,其中确定性数据是已知的,可由设计或运行实测或计算求得,而随机性数据则必须对运行中的设备进行专门的系统的统计分析,才能收集到。而元件可靠性数据是评价系统可靠性的基础,对系统可靠性指标的可信度有重要影响[4]。所以本文对此重点分析。

我国对设备和系统的可靠性统计工作自 1983 年开始,积累了大量经验。中电联可靠性管理中心每年发布电力系统设备的可靠性数据推动了全国的可靠性管理。本文探讨按国际上通常方法取 5 年平均值作为设备的可靠性数据[5]。原始数据来自可靠性管理中心。

2　统计分析及统计结果

对原始可靠性数据进行适当的计算加工十分必要,因为原始数据不一定完全符合需求,因此我们对全国的各种元件可靠性数据进行了收集和加工,方法如下。

2.1　发电机组

火电、水电和抽水蓄能机组:由[6]表 3.3 查出全国 100MW 及以上容量火电、水电和抽水蓄能机组 1995～1999 五年平均可靠性指标,包括 PH 统计期间小时、运行时间 SH(小时),可用时间 AH(小时),强迫停运次数 FOT(次)、强迫停运累计时间 FOH(小时)、根据下述公式计算各指标:

①可用系数 $AF = \dfrac{AH}{PH} \times 100\ \%$

②强迫停运率 $FOR = \dfrac{FOH}{FOH + SH} \times 100\ \%$

③平均无故障可用小时 $MTBF = \dfrac{AH}{FOT}$

④故障率 $\lambda = \dfrac{PH}{SH/FOT}$(次/台年)

⑤修复率 $\mu = \dfrac{PH}{FOH/FOT}$(次/台年)

其中 PH(小时)为统计期间小时,此处 $PH = 8760$ 小时。计算结果见表 1、表 2 所示。表 3 列出了全国输变电设备 5 年平均可靠性指标供参考。

2.2　输变电设备可靠性指标计算

①可用系数 $AF = \dfrac{AH}{PH} \times 100\ \%$

②故障率 λ = 非计划(故障)停运次数/统计台(百公里)年数

③修复时间 = 故障停运时间/故障停运次数

④计检率 = 计划检修(停运)次数/统计台(百公里)年数

⑤计检平均时间 = 计划停运时间/计划停运次数

由[7]查出 1995～1999 年 220kV 和 500kV 架空线、变压器、断路器的统计台(百公里)年数、年平均故障率、故障停运时间和故障停运次数等指标。按上述公式可计算出故障率、修复时间、计检率、计检平均时间等指标。

由[7]查出 1998～1999 年的母线、隔离开关的统计台(百公里)年数、年平均故障率等指标。按上述公式可计算出故障率、修复时间、计检率、计检平均时间等指标。计算结果见表 4。

因数据有限,上述公式 4 在计算中用计划停运次数代替了计划检修次数,故计检率计算值偏大。

表 1　1995～1999 年全国 100MW 以上容量火力发电机组平均可靠性指标

机组容量(MW)	可用小时	运行小时	备用小时	强迫停运		可用系数	强迫停运率	连续可用小时	无故障可用小时	故障率(次/台年)	修复率(次/台年)
				次数	小时数						
100	8070.70	6631.70	1439.00	1.35	81.50	92.13	1.21	2235.65	5978.30	1.783	145.1
110	8024.40	7101.41	922.99	1.80	42.83	91.60	0.60	1564.21	4458.00	2.22	368.15
120	7569.32	7058.85	510.47	1.90	228.08	86.41	3.13	813.91	3983.85	2.358	72.974
125	8004.99	6728.89	1276.10	1.69	101.80	91.38	1.49	1751.64	4736.68	2.2	145.43
200	7788.19	6751.77	1036.42	2.40	156.14	88.91	2.26	1589.43	3245.08	3.114	134.65
210	8041.40	6527.18	1514.22	1.32	119.26	91.80	1.79	2560.96	6091.97	1.772	96.958
250	7990.61	7867.01	123.60	1.60	91.13	91.22	1.15	2102.79	4994.13	1.782	153.8
270	7425.70	6819.52	606.18	4.20	436.85	84.77	6.02	1326.02	1768.02	5.395	84.221
300	7576.35	6420.81	1155.54	4.53	273.58	86.49	4.09	1021.07	1672.48	6.18	145.05
320	8190.45	4225.90	3964.55	2.15	44.68	93.50	1.05	2127.39	3809.51	4.457	421.53
330	7333.24	6195.30	1137.94	6.24	458.61	83.71	6.89	839.04	1175.20	8.823	119.19
350	7926.63	7388.59	538.04	2.48	75.89	90.49	1.02	1627.64	3196.22	2.94	286.27
500	7006.83	6321.73	685.10	5.64	631.70	79.99	9.08	717.91	1242.35	7.815	78.212
600	7187.25	6723.70	463.55	7.14	459.55	82.05	6.40	643.44	1006.62	9.302	136.1
660	7000.61	6968.61	32.00	11.22	841.21	79.92	10.77	496.15	623.94	14.1	116.84

表 2　1995～1999 年全国水电 40MW 及以上容量发电机组可靠性指标

机组容量	运行	备用	强迫停运		降出力等效小时	等效强迫停运率	故障率	修复率
			次数	小时数				
轴流	5671.35	2443.75	0.64	9.95	0.59	0.21	0.99	563.57
44-99	4421.21	3661.01	0.44	16.06	2.44	0.36	0.88	241.15
100-199	6345.01	1750.30	0.62	6.08	0.00	0.10	0.86	893.58
200 以上	6831.84	1431.99	2.21	37.59	0.00	0.55	2.84	515.84
混流	4913.50	3177.13	0.90	28.26	7.78	0.78	1.60	278.98
44-99	4709.69	3469.54	0.66	15.75	21.80	0.33	1.23	367.04
100-199	5204.45	2841.21	1.11	17.08	0.05	0.36	1.87	570.39
200-299	5433.79	2479.29	1.37	69.83	0.00	1.26	2.21	171.95
300 以上	4400.47	3688.04	1.14	50.32	0.00	1.26	2.26	197.78
抽水蓄能	3921.97	3745.76	8.30	524.24	0.00	15.44	18.53	138.66

表 3　全国输变电设备 5 年平均可靠性指标汇总表

分类	电压等级	统计百台年数(段、套、公里)	故障率(次/百台年或次/百公里)	故障次数(次)	故障停运时间(小时)	修复时间(小时)	计检率(次/台[百公里]年)	计检平均时间(小时/次)
架空线路	220kV	4989.9567	0.176	449	13365.43	29.767	2.145309	22.77228
	500kV	685.2959	0.114	37	415.26	11.223	1.005405	93.60058
变压器	220kV	115.3296	2.861	178	43099.42	242.132	1.210531	89.63866
	500kV	16.0102	2.624	18	10540.44	585.580	0.663327	168.5786
断路器	220kV	395.10	5.791	1326.0	32451.63	24.47	1.217814	54.1519
	500kV	23.24	4.776	64.00	6819.08	106.55	0.91134	73.22978
母线	220kV	53.393	0.094 *				0.24329	26.90831
	500kV	2.294	0.000 *				0.239756	95.31815
隔离开关	220kV	655.024	0.235 *				0.2608	47.37002
	500kV	34.236	0.205 *				0.23192	80.81821

注:1.修复时间为 1995 —1997 年全国平均值。

2. *母线和隔离开关的故障率、计检率、计检时间为 1998～1999 年全国平均值。

表 4　华东输变电设备 5 年平均可靠性指标汇总表

分类	电压等级	统计百台年数(段、套、公里)	故障率(次/百台年或次/百公里年)	故障次数(次)	故障停运时间(小时)	修复时间(小时)	计检率(次/台[百公里]年)	计检平均时间(小时/次)
架空线路	220KV	796.7724	0.103	48	626.71	13.056	2.055794	28.13449
	500kV	176.4164	0.046	4	108.13	27.033	0.867266	103.9208
变压器	220kV	23.356	2.398	24	16859.39	702.475	1.088799	90.18337
	500kV	3.2704	2.446	2	260.47	130.235	0.5932	172.5984
断路器	220kV	85.33	6.598	311.00	4339.50	13.95	1.138058	56.62235
	500kV	5.69	8.962	25.00	478.71	19.15	0.657224	77.90981
母线	220kV	11.362	0.088 *				0.167224	48.96776
	500kV	0.4	0.000 *				0.1	243.9938
隔离开关	220kV	143.767	0.292 *				0.153234	53.01705
	500kV	6.714	0.149 *				0.147453	151.483

注1. 修复时间为 1995～1997 年华东平均值。

2. *母线和隔离开关的故障率、计检率、计检时间为 1998 —1999 年华东平均值。

由表中数据可看出,华东系统中除断路器和 220kV 隔离开关的故障率略高于全国平均水平外,其它元件的故障率均低于全国平均值。

3　可靠性指标的分析比较[8]

下面以全国的元件可靠性指标为例,作图分析如下:

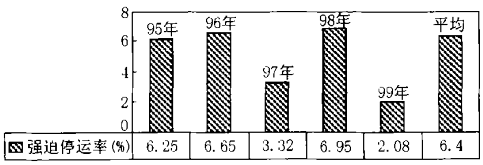

图 2　600MW 火电机组强迫停运率 5 年平均与单年值比较

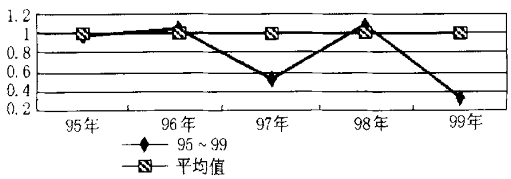

图 3　600MW 火电机组各年 FOR 与平均值比值图

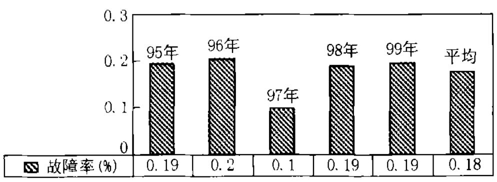

图 4　220kV 架空线路故障率 5 年平均与单年值比较

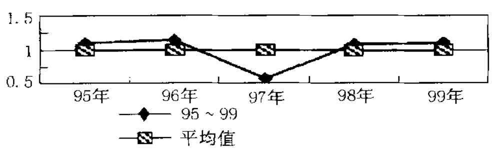

图 5　架空线路各年故障率与 5 年平均值比值图

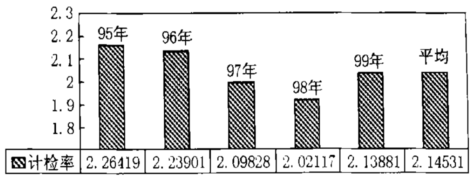

图 6　220kV 架空线路计检率 5 年平均与单年值比较

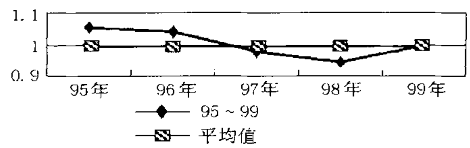

图 7　架空线路各年计检率与平均值比值图

分析图 2～图 7 我们发现,在 5 年中单年指标波动较大,而 5 年平均值则较好地反映了元件的实际可靠性指标。因此,采取 5 年平均值作为设备的可靠性数据较为合理。并且由于加大了统计子样,因此数据的可信度很高。

4　结论

(1) 由于单年的可靠性指标波动较大,因此采用 5 年均值作为设备的可靠性指标更为合理。

(2) 本文开发了软件用于加工各种元件的 5 年平均可靠性指标,可滚动应用。

(3) 本文给出的 5 年平均值的部分可靠性统计指标已应用于江苏田湾核电站外电网运行可靠性分析项目中,计算结果令人满意。

参考文献:

[1]　郭永基. 电力系统可靠性原理和应用(上册) [M]. 北京:清华大学出版社,1985.

(下转第 36 页)

相补偿。

2.4 角内方式

与角外接法一样,角内接法也不会对系统造成谐波污染,它的另一优点在于,晶闸管上流过的电流是电容线电流。以 AB 相为例:

$$I_{ab} = \frac{Q}{U_{ab}} = \frac{Q}{\sqrt{3}U_a} = 0.58 I_a \tag{9}$$

只有相电流的 58 %。其缺点是它也不能进行分相补偿。

3 结论

从以上分析可知,在系统电压存在一定的畸变时,星型有中线接法将会产生较大的谐波电流,对系统造成谐波污染,对补偿装置本身也有危害;其它三种接法则对谐波不敏感,不会产生三次谐波电流。所以,星形有中线接法的补偿装置只适宜于在系统电压波形畸变率很小且需要分相补偿的地方使用,其它时候采用三角形接法的补偿装置效果更好。

参考文献:

[1] 陈允平,刘会金,彭辉. 微机控制的晶闸管开关型低压配电网基波无功动态分相补偿[C]. 全国高校电自专业第十四届学术年会论文集. 153-161.

[2] 马维新. 电力系统电压[M]. 中国电力出版社,1998.

[3] 吕润余. 电力系统高次谐波[M]. 中国电力出版社,1998.

收稿日期: 2002-03-06

作者简介: 张劲光(1971 -),男,学士,从事电力系统调度通信及生产管理方面的工作; 吴加新(1971 -),男,学士,从事电力系统继电保护及生产管理方面的工作; 张宝华(1975 -),男,助工,主要从事高压直流输电方面的工作。

The harmonic characteristic analysis or various low-voltage TSC

ZHANG Jin-guang[1], WU Jia-xin[2], ZHANG Bao-hua[3]

(1. Henan Electrical Power Company, Zhengzhou 450052, China; 2. Xinxiang Power Supply Bureau, Xinxiang 453002, China; 3. Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China)

Abstract: According to the connection between thyristor and capacitor, the low-voltage TSC is classified to four types in this paper. They are Star-Neural, Star-No-Neural, Outer-Delta, Inner-Delta. The harmonic characteristics of the four types is analyzed.

Keywords: reactive power compensation; TSC; harmonic

(上接第 16 页)

[2] 郭永基. 电力系统可靠性原理和应用(下册)[M]. 北京:清华大学出版社,1986.

[3] 郭永基,白同朔. 电力系统可靠性中国电力百科全书电力系统卷[M]. 北京:中国电力出版社,1995.

[4] 周孝信. 中国电力百科全书电力系统卷(第二版)[M]. 北京:中国电力出版社,2000.

[5] North American Electric Reliability Council(NERC). Planning Standard. 1997.

[6] 中国电力企业联合会电力可靠性管理中心. 中国电力可靠性管理简报(发电部分)[R]. 1995-1999.

[7] 中国电力企业联合会电力可靠性管理中心. 中国电力可靠性管理简报(输变电部分)[R]. 1995-1999.

[8] 清华大学电机系. 江苏田湾核电站外电网运行可靠性分析研究报告[R]. 2000.

收稿日期: 2002-01-21

作者简介: 宋云亭(1972 -),男,博士研究生,研究方向为电力系统可靠性和人工智能在电力系统中的应用; 郭永基(1934 -),男,教授,博士生导师,现从事电力系统可靠性和电力系统稳定方面的教学科研工作; 程林(1973 -),男,博士,研究方向为电力系统可靠性和电力系统稳定。

Statistical analysis of reliability data for power system units

SONG Yun-ting, GUO Yong-ji, CHENG Lin

(Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, 100084 Beijing, China)

Abstract: Statistical analysis of reliability data for power system units is valuable for electric industry. This paper uses the world wide accepted method to collect and analyze the present available data. Average indices of power system units in China during 1995-1999 were provided. The statistical results have great significance for practice which have been applied to reliability analysis of Tianwan nuclear power plant.

Keywords: reliability; statistical analysis; power system units; 5-year average index