

电网低负荷期间发电机组进相运行分析及管理

解兵¹,徐珂¹,刘建坤¹,徐贤²

(1. 江苏省电力公司电力科学研究院,江苏南京 211103;2. 江苏电力公司调度控制中心,江苏南京 210024)

摘要:文中通过机组进相运行数据,建立了发电机组进相运行分析指标,并根据分析指标开展江苏电网春节期间机组进相运行实例分析,得出通过加强机组进相运行管理,能提高电厂电压合格率的结论。最后针对机组进相运行管理,根据江苏电网实际情况提出奖励因子和惩罚因子,对机组进相运行对电网贡献程度等量化,便于公平公正地开展机组进相管理工作。

关键词:发电机进相;分析;管理

中图分类号:TM31

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2015)04-0028-04

随着电网中装机容量不断增加,超高压、特高压线路以及城市高压电缆大量建设和投入,系统容性无功功率不断增长,造成电网低负荷期间电网电压偏高,严重影响系统供电质量,并且危及输变电和用户设备的安全运行^[1-8]。同步发电机进相运行是发电机定子电流超前于机端电压、向系统发出有功、吸收无功的低励磁运行方式,是解决电网低负荷运行期间无功功率过剩、电网电压过高的简便可行、经济性高的有效措施。从20世纪50年代开始,国内外就有关于发电机进相运行的文献报道,至今已取得了一系列的成果。目前发电机进相运行的文献主要停留在试验阶段,而关于解决电网低负荷低谷期的电压偏高问题的实际机组进相运行的案例及分析较少^[9-12]。本文根据最近两年春节期间江苏电网并网机组进相运行数据,提取具体量化指标,开展机组进相运行情况分析,提出机组进相运行管理建议,以充分发挥机组进相运行能力。

1 机组进相运行分析指标

目前江苏电网基本所有机组已完成进相运行试验,并且在电网低负荷期间已经发挥了一定的作用。但因部分电厂对于机组进相运行管理不够重视,导致电厂母线电压长期越上限运行,而机组仍不进相,未发挥机组应有的调压作用。为更好地加强机组进相管理,开展发电机组进相运行情况分析及管理工作、建立机组进相运行分析指标刻不容缓。

江苏省调EMS采集的历史数据包含了全省并网机组的有功、无功、母线电压等数据,采样间隔为5 min。数据分析范围为春节期间包含头尾共10 d,总计2880个时间断面数据。根据机组进相运行情况及管理需要,提取了下列分析指标。

1.1 电压合格率

每年春节期间,华东调度会下发500 kV电厂母线电压控制曲线,江苏调度会下发220 kV电厂母线电压

曲线控制曲线。通过比较并网母线电压和电压曲线,假设电厂母线电压超出调度给出的电压曲线上、下限时,则认为该点电压不合格。电压合格率就是电压合格的点数占总运行点数的比例。

1.2 时间参数

由于省调EMS数据是每5 min采集一个点,时间参数为统计的点数乘以5,单位为分钟。以下均几个参数均以点数描述,实际代表时间。

(1) 机组运行点数。由于春节期间机组调停较多,部分电厂一直运行,部分电厂部分曾调停过,为统一比较机组进相运行管理情况,需考虑机组运行相对参数。机组运行点数是获得相对参数必不可少的参数,统计出机组有功大于10 MW的所有点数则为机组运行点数。

(2) 机组进相运行点数。对于单机组单母线的情况,直接统计该机组无功功率小于0的点数;对于连在同一母线的几台机组,首先计算这几台机组无功的平均值,只有平均值小于0,才认为这几台机组进相,如果无功功率平均值大于0,尽管可能一台机组进相,一台滞相运行,但由于对电网实际效果是未进相,所以仍认为这几台机组未进相,机组进相运行点数则统计所有无功平均值小于0的点数。

(3) 进相后电压合格点数。统计电厂母线电压在调度给定曲线上下限范围以内,并且无功平均值小于0的点数。

(4) 进相后电压越上限点数。进相后电压越上限点数=机组进相运行点数-进相后电压合格点数。

(5) 电压越上限未进相点数。统计电厂母线电压大于调度给定曲线上限,并且无功平均值大于0的点数。

1.3 进相运行深度参数

发电机进相运行深度分绝对进相深度和相对进相深度两类指标。绝对进相深度是指无功平均值小于0的无功功率;相对进相深度是指该机组绝对进相深度除以该机组的进相限额。尽管目前江苏电网机组的进相试验已基本完成,已获得所有机组的进相运行限额。但进相

运行试验时,一般只在 $50\%P_n$ 、 $75\%P_n$ 和 $100\%P_n$ 的 3 个有功工况进行试验,并获得对应限额,而机组实际有功是不断变化的。本次进相运行限额以当前有功进行插值计算获得当前有功下进相限额。多台机组试验表明,以插值计算获得的进相限额数值比实际进相限额略低,误差在可接受范围,因此可认为该计算限额基本能反映机组进相的实际情况。由于纳入统计的机组类型各不相同,机组容量不同,机组的进相能力不同,所以从机组进相程度来看,相对进相深度更合理,下列参数涉及的进相深度均指相对进相深度。目前进相深度总共设定了 4 个指标。

- (1) 最大进相深度。对参与进相的某台机组一段时间内所有进相深度取最大值;
- (2) 平均进相深度。对参与进相的某台机组所有进相深度取平均值;
- (3) 进相后电压合格期间平均进相深度。对电压合格期间,参与进相运行机组的进相深度取平均值;
- (4) 进相后电压越限期间平均进相深度。对电压越上限期间,参与进相运行机组的进相深度取平均值。

2 江苏电网机组运行情况实例分析

通过分析指标计算方法,计算出 2013 年春节期间江苏电网并网机组进相运行情况数据,江苏并入 500 kV 电网机组进相运行分析数据如表 1 所示。

通过表 1 的江苏电网并网机组进相运行情况分析,电压越上限主要原因为:(1) 电网电压越上限时,机组未参与进相运行;(2) 电网电压越上限时,机组参与

进相运行,但进相运行深度不够;(3) 电网越上限运行时,机组也参与了进相运行,且基本达到限额。

2.1 越上限未进相点数较多案例

从表 1 可看出 N 电厂越上限未进相时间较长,将电厂母线电压、调度给定电压上限、无功功率以及对应有功下进相限额画在一个图上,即 N 电厂运行情况图,如图 1 所示。

从图 1 可看出,在 500 kV 母线电压越 526 kV 上限值时,图中 1,2,3,4 标识中,机组大部分时间未进相运行,甚至发出无功,其余几处尽管进相运行,但离进相限额有较远距离,可见该机组未充分发挥机组进相能力,电压合格率通过有效管理,安排机组进相运行有进一步改善空间。

2.2 进相深度不够案例

从表 1 可看出,R 电厂越上限期间尽管大部分时间安排机组进相运行,但越上限期间平均进相深度仅为 32%,离进相限额有较远距离。从 R 电厂运行情况图中可看出,在 500 kV 母线电压越 523 kV 上限值时,图中多处位置机组无功尽管进相运行,但进相无功深度普遍较浅,无功曲线离进相限额曲线有较远距离,导致电压合格率较低,由此可见,通过机组进相管理,通过安排机组进相,电压合格率必然会大幅改善。R 电厂运行情况如图 2 所示。

2.3 越上限时达到进相运行限额案例

从表 1 看出,P 电厂尽管电压合格率不高,但该机组所有电压越上限期间,均安排机组进相运行,电压越上限期间平均进相深度达到了 87%。从 P 电厂运行情

表 1 江苏电网部分发电机进相运行分析数据

电厂	电压合格率/%	总点数	进相点数	进相后电压合格点数	进相后电压越上限点数	超上限未进相点数	最大进相深度/%	平均进相深度/%	进相电压合格进相深度/%	超上限平均进相深度/%
A	100	2880	0	—	—	7	—	—	—	—
B	100	2880	1975	1972	3	0	101	34	34	38
C	100	2880	1007	1002	5	2	90	43	43	68
D	100	2880	1358	1328	0	0	132	32	32	0
E	100	683	60	59	1	1	17	4	4	4
F	99	2880	1858	1829	29	5	107	54	54	63
G	99	479	0	—	—	4	—	—	—	—
H	98	2880	2309	2275	34	23	72	24	24	30
I	97	2880	378	378	0	84	30	11	11	2
J	97	2880	1558	1462	96	0	6	20	19	32
K	96	2880	2712	2593	119	0	112	55	55	64
L	95	2880	1268	1111	157	0	64	30	29	35
M	92	2880	2289	2065	224	0	68	34	33	44
N	91	2880	726	675	61	205	31	13	13	12
O	86	2880	2357	1956	401	0	59	26	25	33
P	78	2880	2337	1698	639	0	123	67	59	87
Q	74	2880	2098	1354	744	1	82	41	32	58
R	47	2880	1995	519	1476	50	50	28	17	32

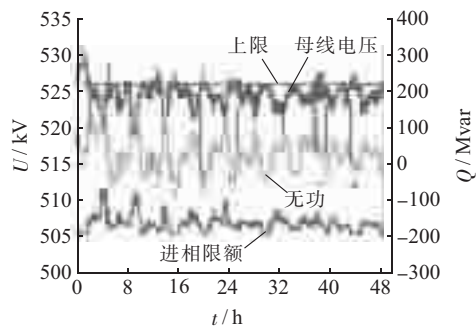


图 1 N 电厂运行情况

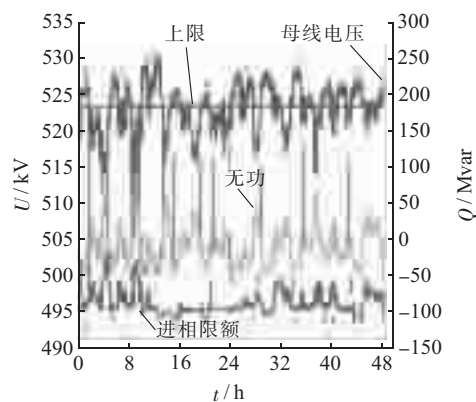


图 2 R 电厂运行情况

况图上可看出画圈部分均为母线电压高于电压上限曲线部分,此时无功曲线与进相限额曲线几乎重合,可见机组电压越上限时,机组基本发挥其应有的进相能力。只有通过加装 500 kV 高压电抗器及改善电网网架结构等方面提高电压合格率。P 电厂运行情况如图 3 所示。

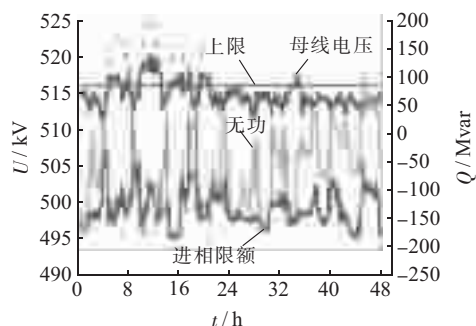


图 3 P 电厂运行情况

3 电网低负荷期间进相运行管理

通过江苏电网机组运行情况实例分析,可见加强机组进相运行管理,对合理安排机组进相,充分发挥机组进相能力,提升电网电压水平,具有极其重要的意义。江苏电网目前也采用了奖惩措施,对于电压越上限运行,机组未安排进相或者进相深度不够的电厂进行考核并罚款。但由于电厂对机组进相管理的好坏、对电网电压贡献的大小目前尚未量化,对于被考核电厂说服力不够。本文根据机组进相运行分析指标,对机组进相管理好坏情况、对电网贡献大小等进行量化,提出奖励因子 M 、惩罚因子 N 以供探讨。

通过江苏电网机组进相情况分析,电网低负荷期间,运行机组主要有以下 4 种情况:进相后电压合格、未进相电压合格、进相后电压不合格、未进相电压不合格。

进相后电压合格情况是主要需要奖励的部分,但有的机组进相较浅,有的机组进相很深,这 2 种情况对电网的贡献当然不同,所以奖励因子应考虑进相深度情况。针对奖励因子的计算,提出 2 种计算方法,即:

$$M_i = a \cdot \text{进相深度} \quad (1)$$

$$M_i = a \cdot k \quad (2)$$

$$k = \begin{cases} k1 & \dots\dots\dots 0 < \text{进相深度} \leq 25\% \\ k2 & \dots\dots\dots 25\% < \text{进相深度} \leq 50\% \\ k3 & \dots\dots\dots 50\% < \text{进相深度} \leq 75\% \\ k4 & \dots\dots\dots \text{进相深度} > 75\% \end{cases} \quad (3)$$

式(1—3)中: M_i 为某个电厂第 i 个点对应的奖励因子; a 为奖励因子中的权重系数,需要根据所有电厂奖励因子之和和惩罚因子之和综合考虑,确保最终奖励因子与惩罚因子总数相等; k 为不同进相深度的贡献因子,可以根据式(3)进行设置, $k1$ 建议在 0~0.25 取值, $k2$ 在 0.25~0.5, $k3$ 在 0.5~0.75, $k4$ 在 0.75~1.0。

式(1)以进相深度值确定当前点对电网的贡献因子;式(2)则对进相深度分区段,将某个区段的进相深度设定为一个贡献因子,式(2)的计算方法,避免了某个点进相能力在 0 附近导致进相深度超高的情况。对于未进相电压合格情况,考虑到主要是电网网架结构,对于该部分机组不需要进相运行,电压也能满足电网要求,从机组进相的角度来看,这类情况应该既不奖励也不惩罚。进相后电压不合格情况是需要考核的部分,跟奖励情况类似,惩罚情况也需考虑机组进相深度情况,同样提出了 2 种计算方法,即:

$$N_i = \begin{cases} b \cdot |\text{进相深度} - 1| & \dots\dots\dots \text{进相深度} \leq 1 \\ 0 & \dots\dots\dots \text{进相深度} > 1 \end{cases} \quad (4)$$

$$N_i = b \cdot l \quad (5)$$

$$l = \begin{cases} l1 & \dots\dots\dots 0 < \text{进相深度} \leq 25\% \\ l2 & \dots\dots\dots 25\% < \text{进相深度} \leq 50\% \\ l3 & \dots\dots\dots 50\% < \text{进相深度} \leq 75\% \\ l4 & \dots\dots\dots \text{进相深度} > 75\% \end{cases} \quad (6)$$

式(4—6)中: b 为惩罚因子中的权重系数,需要结合奖励因子综合考虑,确保最终奖励因子与惩罚因子总数相等; l 为不同进相深度的贡献因子,可以根据式(6)进行设置, $l1$ 建议在 0.75~1.0 取值, $l2$ 在 0.5~0.75, $l3$ 在 0.25~0.5, $l4$ 在 0~0.25。

式(4)则直接将取(1-进相深度)的绝对值,而式(5)则按进相深度分区段设定惩罚因子。未进相电压不合格情况也是主要考核部分,考核的程度比第三种情况应更严厉,其惩罚因子计算为:

$$O_i = b \cdot l5 \quad (7)$$

式(7)中权重系数 15 应该为一个大于 1 的数值。对比式(1)和式(2),以及式(4)和式(5),前者计算起来更简单方便,但对于部分进相能力接近于 0 的时候出现进相深度超大的情况会使得整个奖励因子和惩罚因子的计算有所失真,推荐采用第二种方法计算。

由于每个电厂上述 4 种情况均同时存在,通过上述方法,可分别计算出每个电厂的惩罚因子和奖励因子数值,由此获得第 j 个电厂被考核的金额 X_j 和奖励的金额 Y_j ,即:

$$X_j = e \cdot (\sum N_i + \sum Q_i) \quad (8)$$

$$Y_j = e \cdot \sum M_i \quad (9)$$

式(8,9)中: e 为单位惩罚因子数值被考核的金额,该值应根据各省实际情况以及计算出来惩罚因子数值等因素确定。

对于一个电厂,如果计算出来 X_i 大于 Y_i' ,则该电厂实际被考核金额为 $(X_i - Y_i)$;反之该电厂被奖励金额为 $(Y_i - X_i)$ 。

4 结束语

(1) 为加强电网低负荷期间机组进相分析,本文建立了合格率、进相时间参数、进相深度参数等进相分析指标,通过建立的指标,能真实、客观地反映机组进相情况。

(2) 以建立的进相运行分析指标,对江苏电网2013年春节期间开展机组进相运行分析,得出江苏电网机组电压越上限运行有 3 种原因。其一为电网电压越上限时,机组未参与进相运行;其二为电网电压越上限时,机组参与进相运行,但进相运行深度不够;最后是电网越上限运行时,机组也参与了进相运行,且基本达到限额。前 2 种情况可通过加强机组进相管理,提高电压合格率,最后一种情况可通过改变电网网架结构或加装高压电抗器等措施提高电压合格率。

(3) 为加强机组进相运行管理,本文提出了惩罚因子和奖励因子概念,对机组在电网低负荷期间进相

管理工作量化,便于调度部门合理采取各种奖惩措施,公平、公正对全省机组开展进相管理,充分发挥机组进相能力,提高电网供电电压水平。

参考文献:

- [1] 张建忠,万 栗,刘洪志,等.大型汽轮发电机组进相运行及对电网调压试验研究[J].中国电力,2006,39(12):11-15.
- [2] 陈 群,袁庆来,陈 迅,等.当前国内开展进相运行的意义及存在的问题[J].大电机技术,2000(2):14-18.
- [3] 姜理源,卫志农,王成亮,等.基于B/S模式的发电机进相的管理数据库开发[J].江苏电机工程,2010,29(6),78-80.
- [4] 周文俊,吴 熙,施伟成.电力系统无功优化算法性能比较及分析[J].江苏电机工程,2013,32(4),24-27.
- [5] 栗杰鹏,陈天华,杜 磊,等.基于区域策略寻优的地区电网AVC系统[J].江苏电机工程,2013,32(3),30-32.
- [6] 王云洁,胡 弢.SVC电压稳定控制和抑制低频振荡交互影响研究[J].江苏电机工程,2013,32(1),23-29.
- [7] 任旭超,万秋兰.SVC预防电压失稳的快速控制方法[J].江苏电机工程,2014,33(2):1-4.
- [8] 熊 蕙,程 骁,文继锋,等.超高压输电系统中磁可控电抗器保护配置与实现[J].江苏电机工程,2014,33(2):37-39.
- [9] 刘立瑞,尹项根,沈明德.发电机组进相运行在电厂的试验与探讨[J].华北电力大学学报,2003,30(1):107-109.
- [10] 严 伟,陈 俊,沈全荣.大型隐极发电机进相运行的探讨[J].电力系统自动化,2007,31(2):94-97.
- [11] 崔晓丹,鲍颜红,马 明,等.大电网发电机联合进相运行在线辅助决策计算[J].电力系统自动化,2011,35(24):79-83.
- [12] 史家燕,史源素,赵肖敏,等.发电机工况参数模型及进相运行在线监测[J].中国电机工程学报,2006,26(11):139-143.

作者简介:

解 兵(1979),男,江苏张家港人,高级工程师,从事并网机组涉网试验、技术监督及研究分析工作;

徐 珂(1977),男,江苏徐州人,高级工程师,从事并网机组涉网试验、技术监督及研究分析工作;

刘建坤(1980),男,山东潍坊人,高级工程师,从事电力系统计算分析工作;

徐 贤(1978),男,江苏常州人,高级工程师,从事电力系统计算分析工作。

Analysis and Management of Generators' Leading Phase During Low Load in Power Grid

XIE Bing¹, XU Ke¹, LIU Jiankun¹, XU Xian²

(1.Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China;

2.Jiangsu Electric Power Dispatch and Control Center, Nanjing 210024, China)

Abstract: Analysis indicators of generators' leading phase based on operation data of generators are established in this paper. According to these indicators, this paper analyzes the situation of generators' leading phase during low loading level in Jiangsu power grid, and draws the conclusions that the voltage qualification rate can be increased by strengthening the management of generators' leading phase. At last, in order to strengthen the management of generators' leading phase fairly, penalty factor and reward factor are established according to the actual situation of Jiangsu power grid.

Key words: generators' leading phase; analysis; management