

节约一期公用段用电费用，缩短母线停电时间

王欣 刘志 曾建锋 汪红星

(国能神皖马鞍山发电有限责任公司 安徽马鞍山 243000)

摘要：通过优化调整厂用电运行方式，投入公用的6kV联络快切装置，为公司一期机组全停时公用系统乃至二期运行机组的用电安全做好充分装备，为厂用电的用电经济创造先决条件，对其他同类型发电机组6kV厂用电系统改造有着很好的借鉴意义。

关键词：优化调整；厂用电运行方式；用电安全；用电经济

我公司一期高压厂用电系统由#1高厂变、#2高厂变、#01高备变通过联络开关组成，二期高压厂用电系统由#3高厂变、#4高厂变、#02高备变通过联络开关组成，一、二期6kV厂用电系统之间配有联络开关，且大量公用设备集中布置在一期6kV公用段上。尤其当一期机组全停时，公用设备的运行可靠性，直接关系到全厂发电机组安全稳定运行。

1. 一期机组全停时6kV厂用电供电现状

(1) 一期机组全停时运行方式安排

#01高备变带一段6kV公用段母线运行，二期运行的机组带一段6kV公用段母线

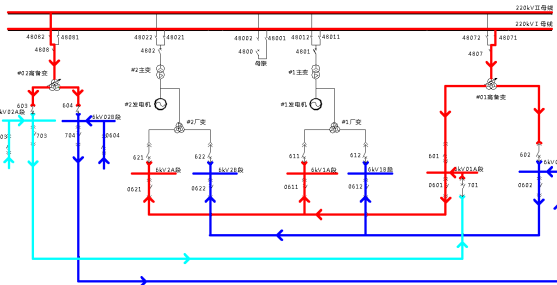


图1：技术攻关前，公司6kV厂用电供电系统图

(2) 6kV01A段电量使用情况调查

6kV公用01A段月报表									
报表日期:	2021/2/1		单位: MWh						
时间	601开关	备用	备用	AC开关	A除灰变	A雨水变	701开关(正)	701开关(反)	0601开关
1	0.04	0.00	0.00	1.82	9.89	2.12	0.04	0.00	36.90
2	0.04	0.00	0.00	1.44	10.15	2.24	0.04	0.00	33.60
3	0.04	0.00	0.00	1.47	10.28	2.26	0.04	0.00	33.03
4	0.03	0.00	0.00	1.52	10.48	2.15	0.04	0.00	33.24
5	0.04	0.00	0.00	2.33	13.57	2.30	0.04	0.00	37.81
6	0.04	0.00	0.00	1.91	14.13	2.05	0.04	0.00	34.73
7	0.04	0.00	0.00	1.25	12.45	2.00	0.04	0.00	31.00
8	0.03	0.00	0.00	3.23	10.61	1.89	0.04	0.00	32.24
9	0.04	0.00	0.00	3.11	10.39	2.14	0.04	0.00	32.91
10	0.04	0.00	0.00	1.99	10.08	1.55	0.04	0.00	32.27
11	27.92	0.00	0.00	0.96	5.74	1.14	0.04	0.00	15.91
12	37.83	0.00	0.00	2.07	5.08	1.08	0.04	0.00	0.00
13	42.54	0.00	0.00	3.58	4.64	1.12	0.04	0.00	0.00
14	48.56	0.00	0.00	2.50	4.25	1.10	0.04	0.00	0.00
15	45.95	0.00	0.00	0.94	11.02	1.23	0.04	0.00	10.14
16	0.03	0.00	0.00	1.05	12.14	1.11	0.04	0.00	27.44
17	0.04	0.00	0.00	0.94	12.87	1.30	0.04	0.00	29.13
18	0.04	0.00	0.00	0.70	12.33	1.20	0.04	0.00	28.29
19	0.03	0.00	0.00	0.89	9.63	1.18	0.04	0.00	25.49

表1：一期运行机组带6kV01A段时6kV01A段电量

2021年02月06日-2021年02月10日，一期运行机组带6kV01A段。由表1可知，通过0601开关统计5天6kV01A段消耗电量为163.1MWh，机组上网电费421元/MWh（数据由计划经营部提供），计算厂用电费为：163.1MWh × 421元/MWh=68665.1元。

6kV公用01A段月报表

6kV公用01A段月报表									
报表日期:	2021/2/1		单位: MWh						
时间	601开关	备用	备用	AC开关	A除灰变	A雨水变	701开关(正)	701开关(反)	0601开关
1	0.04	0.00	0.00	1.82	9.89	2.12	0.04	0.00	36.90
2	0.04	0.00	0.00	1.44	10.15	2.24	0.04	0.00	33.60
3	0.04	0.00	0.00	1.47	10.28	2.26	0.04	0.00	33.03
4	0.03	0.00	0.00	1.52	10.48	2.15	0.04	0.00	33.24
5	0.04	0.00	0.00	2.33	13.57	2.30	0.04	0.00	37.81
6	0.04	0.00	0.00	1.91	14.13	2.05	0.04	0.00	34.73
7	0.04	0.00	0.00	1.25	12.45	2.00	0.04	0.00	31.00
8	0.03	0.00	0.00	3.23	10.61	1.89	0.04	0.00	32.24
9	0.04	0.00	0.00	3.11	10.39	2.14	0.04	0.00	32.91
10	0.04	0.00	0.00	1.99	10.08	1.55	0.04	0.00	32.27
11	27.92	0.00	0.00	0.96	5.74	1.14	0.04	0.00	15.91
12	37.83	0.00	0.00	2.07	5.08	1.08	0.04	0.00	0.00
13	42.54	0.00	0.00	3.58	4.64	1.12	0.04	0.00	0.00
14	48.56	0.00	0.00	2.50	4.25	1.10	0.04	0.00	0.00
15	45.95	0.00	0.00	0.94	11.02	1.23	0.04	0.00	10.14
16	0.03	0.00	0.00	1.05	12.14	1.11	0.04	0.00	27.44
17	0.04	0.00	0.00	0.94	12.87	1.30	0.04	0.00	29.13
18	0.04	0.00	0.00	0.70	12.33	1.20	0.04	0.00	28.29
19	0.03	0.00	0.00	0.89	9.63	1.18	0.04	0.00	25.49

表2：#01高备变带6kV01A段时6kV01A段电量

2021年02月11日-2021年02月15日，#01高备变带6kV01A、1A段。由表2可知，通过601开关和0601开关电量差值统计5天6kV01A消耗电量为201.9-26=175.9MWh，网购电单价800元/MWh（数据由计划经营部提供），计算网购电费为：231.9MWh × 800元/MWh=140720元。

(3) 恢复一期公用段供电时间

正常恢复一期公用段运行方式，运行人员通过厂用电同期装置按步操作手动合环，查阅操作卡预估操作时间60秒左右。以此类推，当一期公用段失电时，运行人员仍需通过厂用电同期装置按步操作手动合环，操作时间至少需要60秒。

2. 项目存在问题

经过项目前期讨论，本项目主要存在以下问题：

(1) 一期全停时，使用#01高备变带6kV公用段。#01高备变带6kV01A段期间比一期运行机组带6kV01A段电费明显增加。

(2) 701(702)开关保护动作跳闸，一期公用段失电时，运行人员需通过厂用电同期装置按步操作手动合环，恢复一期公用段供电时间较长。

(3) 二期带一期公用段的机组跳闸，相应机组快切未切换成功，一期公用段失电时，运行人员需通过厂用电同期装置按步操作手动合环，恢复一期公用段供电时间较长。

3. 目标可行性分析

目标1:一期全停时，节约公用段用电费用约1万元/日。

可行性分析1:

#01 高备变带一期 6kV 公用一段，每日所需网购电费：140720 ÷ 5=2.8144(万元)

二期运行机组带 6kV 公用一段，每日所需上网电费：68665.1 ÷ 5=1.3733(万元)

日可节约电费：2.8144-1.3733=1.4411(万元)，一期全停时，节约公用段用电费用约 1 万元/日的目标是切实可行的。

目标 2:将恢复一期公用厂用电系统时间从 60 秒缩短至 6 秒内。

可行性分析 2:

10.5 关于快速切换时间

快速切换时间主要涉及到两个方面，一是开关固有跳合闸时间，二是快切装置本身的动作时间。

就开关固有跳合闸时间而言，当然是越短越好，特别是备用电源开关的固有合闸时间越短越好。从实际要求来说，固有合闸时间以不超过3-4周波为好，国产真空开关通常都能满足。若切换前工作电源与备用电源基本同相，快切装置以串联方式实现快速切换时，母线断电时间在100ms以内，母线反馈电压与备用电源电压间的相位差在备用电源开关合闸瞬间一般不会超过20°-30°，这种情况下，冲击电流、自启动电流、母线电压的降落及电动机转速的下降等

图 2：串联切换时间

1、一、二期厂用电联络电源 A 段快切装置

序号	整定值名称	动作性质	TA/TV 变比	装置名称	整定值参数
1	正常并联切换电压差		6.3/0.1kV	MFC2000-6	定值
2	正常并联切换频率差				10%
3	正常并联切换相差				0.5Hz
4	正常并联切换延时				20°
5	同时切换备用延时				0.1s
6	同时切换合闸延时				10ms
7	备用高压合闸延时				0ms (开联方式有效)
8	快速切换频率差				2Hz
9	快速切换相差				30°
10	快速切换电压差				5Hz
11	同频耐受超前相角				60°
12	同频耐受越前时间				70ms (合闸回路总时间)
13	残压启动电压幅值				35%
14	失压启动电压幅值		6.3/0.1kV		70%
15	失压启动延时				5.0s
16	后备失压电压幅值				80%

表 3：失压启动时间

由图 2 和表 3 可知，串联切换时间 ≤ 100ms，失压启动动值为 5s，将恢复一期公用厂用电系统时间从 60 秒缩短至 6 秒内的目标是完全可行的。

3.研究制定对策

序号	要因	对策	目标	措施
1	一期全停时，使用 #01 高备变带 6kV 公用段	调整一期 6kV 公用段运行方式	一期全停时，节约公用段用电费用约 1 万元/日	一期全停后，运行方式改为由二期运行机组带 6kV01A(01B)段，#01 高备变作为后备电源。
2	701 (702) 开关保护动作跳闸	新增一二期厂用电联络电源快切装置	6kV 公用段失电后，串联切换时间 ≤ 100ms	1.当 701 (702) 开关差动保护动作，由联络快切装置将公用段电源切换至#01 高备变。 2.当 701 (702) 开关过流保护动作，闭锁联络快切装置，不切换。
3	二期带一期公用段的机组跳闸，相应机组快切未切换成		6kV 公用段失电后，失压启动快切切换时间少于 6s	3.当二期机组快切未切换成功时，6kV 公用段失压启动联络快切，实现快速自投。

功			
---	--	--	--

表 4：对策表

4. 贯彻实施对策

4.1 调整一期 6kV 公用段运行方式

一期机组全停时，运行方式调整为：二期运行的机组带二段 6kV 公用段母线运行，#01 高备变作为备用电源。

运行方式一：二期双机组运行带两段 6kV 公用段母线

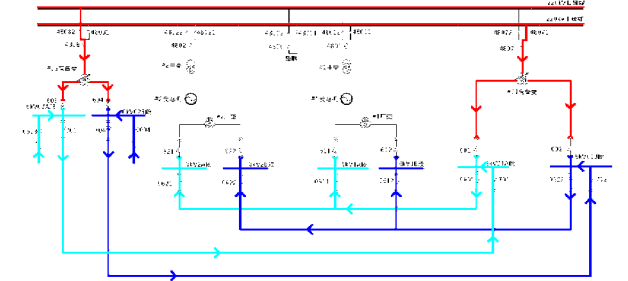


图 3：二期双机组运行带两段 6kV 公用段母线

运行方式二：二期单机组运行带两段 6kV 公用段母线

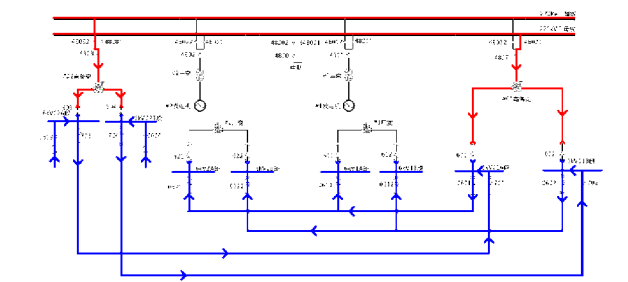


图 4：二期单机组(以#3 机组为例)运行带两段 6kV 公用段母线

4.2. 增设一二期厂用电联络电源快切装置

2021 年 9 月 2 日经设备管理部电气二次、安监部、运行部讨论、审核，制定一、二期厂用 6kV 联络电源快切设计方案。此次会议拟定了快切设计方案、制定新增快切投运后的方案。

由于公司一期机组全停的机会较少，需要投运快切装置的机会比较少，把快切投入、退出放到就地快切屏，监视信号送至 DCS 系统，便于投运期间的监视。

鉴于#2 机 DCS 系统已于 2019 年进行过升级改造，而#1 机组 DCS 系统仍为 2005 年的老系统；而 EPS 为一期公用系统，很难停电，新增快切的画面和信号送至 DCS 需要改变 DCS 点目录，存在一定的安全风险；这次新增快切后的信号和 DCS 画面送至#2 机 DCS 系统，利用#2 机组停机的机会完成。

具体措施 1：如果一、二期联络电源 A (B) 段电缆发生故障，701 开关 (702 开关) 的差动保护动作时，新增的 A (B) 段联络快切装置动作，将 6kV01A (01B) 公用段母线电源切换到由#01 高备变系统的 601 (602) 开

关带，保证 6kV01A (01B) 公用段母线不失电。

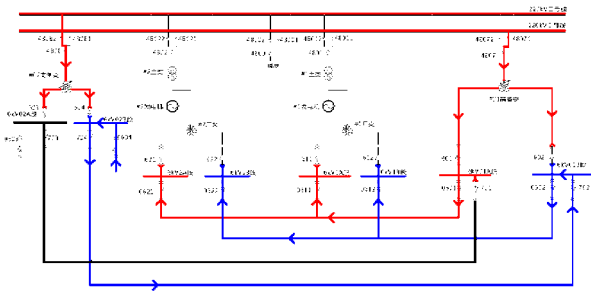


图 5：新增的联络快切装置动作后供电系统图

具体措施 2：如果 701 开关（702 开关）的过流（零序过流）保护动作时，则很可能是 6kV01A (01B) 的母线及其附属设备发生故障，为避免快切自投于故障母线，扩大事故、造成设备严重损坏，则快切装置闭锁，备用电源不自投。

具体措施 3：如果二期运行的机组发生故障(以二期双机组运行，#3 机 6kV3A 段母线失电为例)，故障母线的快切动作不成功，造成 6kV01A 公用段母线失电，则新增的 A 段联络快切装置通过失压启动（延时 5s）方式，跳开 701 开关、合上 601 开关，快速恢复 6kV01A 公用段母线的电源。

5. 实施效果检查

5.1. 应用后经济效益：

2022 年 03 月前已完成#01 高备变运行方式调整工作和新增一二期厂用电联络电源快切。调查实施后 4 个月 6kV01A 段的电量使用情况如表 5 所示：

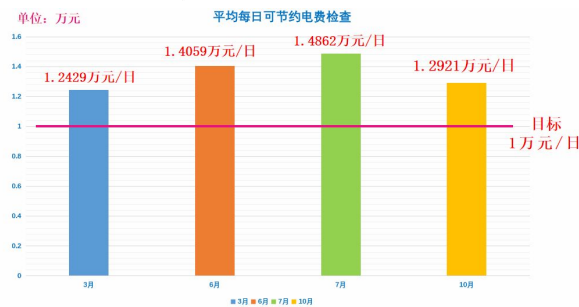


表 5 每日电费检查

5.2. 应用后安全效益：

通过模拟正常运行情况下 701（702）开关差动保护动作使联络快切动作；模拟 6kV 公用段母线故障闭锁联络快切，达到预期效果。

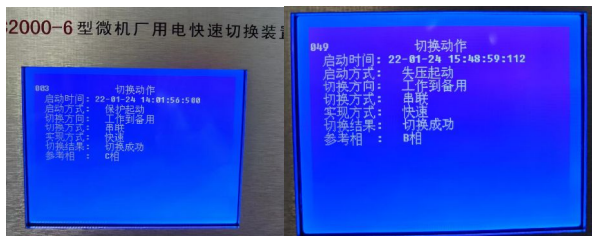


图 6：保护启动快切

图 7：失压启动快切

通过模拟正常运行情况下 6kV 公用段母线失电（延时 5s），联络快切正确动作,达到预期效果。

效果总结：

(1) 通过优化调整厂用电运行方式，为公司即将实行筹备百万大机组，调停一期小机组，保证厂用电的用电经济创造先决条件。

(2) 通过投入公用的 6kV 联络快切装置，为公司一期机组全停，保证公用系统乃至二期运行机组的用电安全做好充分装备。

6. 项目继续改进建议

(1) 将#01 高备变由目前的明备用(4807 开关合上)，改为暗备用(4807 开关分开，回路在热备用状态)，可能需要省调同意。

(2) 在联络快切动作后，先合 4807 开关，经过延时后(确认 4807 开关已合上)合上 601 开关(602 开关)。此项工作利用#01 高备变年度停电检修时，进行试验，试验成功后，投入此项功能，可以进一步减少公司购网电量，提高公司的经济性。

(3) 此项目具有很好的其他同类型电厂项目推广意义。

7. 结束语

通过此次科技攻关活动，极大地提高了 6kV 厂用电系统尤其是公用 6kV 厂用电的供电可靠性，为发电机组的安全稳定运行奠定了良好的基础，同时也为今后发电企业电气系统设计与改造提供了新的思路和经验，为提高电厂整体安全水平做出了贡献。同时攻关小组对公司 6kV 厂用电系统从设备结构、设计理论、试验检测工艺规程进行剖析，上了堂理论联系实际的现场培训课，提高电气二次人员技术学习的热情，激发大家赶学比超的工作积极性，整个攻关小组尤其是青年员工得到了充分锻炼。

参考文献：

[1]基于神经网络分位数回归的上海市长期用电负荷预测[J]. 肖其师;刘哲.合肥工业大学学报(社会科学版),2019

[2]基于人体舒适度指数的居民用电分析及用电负荷预测研究[J]. 卜飞飞;白宏坤;王圆圆;韩丁.中国测试,2023

[3]基于梯度提升树的短期用电负荷预测系统设计[J]. 曹敏.电子设计工程,2020

[4]城镇住宅区域全年逐时用电负荷模拟模型构建方法研究[J]. 褚渊;王潇;方伟;王祯;徐杰彦;康旭源;燕达.建筑科学,2023

[5]输电网中复杂用电负荷能效计量系统设计[J]. 徐文林.电子设计工程,2022