

两台给水泵电动机同时跳闸的原因分析

某热电厂两台锅炉给水泵在切换过程中差动保护动作，电动机跳闸，造成电动机定子线圈烧毁。对该起故障进行了简要分析，并从中吸取经验，以避免类似事故发生，提高设备的稳定性和使用寿命。

张养治 魏 斌/中石油乌鲁木齐石化分公司

0 引言

对于热电厂而言，水是发电过程中必不可少的重要介质，给水系统的平稳运行直接影响着机组与外供热网、电网的稳定性，本文通过对某热电厂两台给水泵电动机同时跳闸的事故分析，进而得出结论，吸取经验，从而提高热电厂生产的稳定性。



张养治/助理工程师

1 系统简介

该热电厂采用的是发电机—变压器组（以下简称发变组）单元制接线，其厂用电母线采用的单母线分段接线方式，分A、B段并列运行，其中5[#]给水泵电动机接在厂用6 kV III A段，6[#]给水泵电动机接在厂用6 kV III B段，两台电动机型号均为YK2500-2/990，如图1所示。

5[#]、6[#]给水泵电动机技术参数如下：电动机型号为YK2500-2/990；额定功率为2 500 kW；额定电压为6 kV；额定电流为275 A；额定转速为2 987 r/min；绝缘等级为F；接法为2Y；出厂编号为J243.96001，J243.96002；原制造厂为北重电机厂。

2 事故经过

2.1 事故过程与装置记录

2014年12月22日工艺车间在进行给

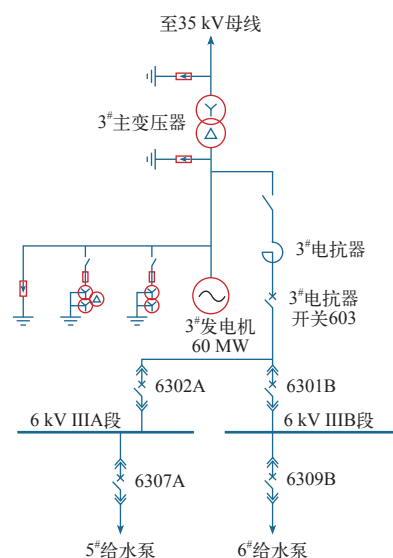


图1 3[#]发变组及厂用电6 kV系统接线示意图

水泵定期切换工作，起动6[#]给水泵电动机过程中，与5[#]给水泵电动机相继跳闸，6[#]给水泵电动机保护器出“B相差动”、“速断”，5[#]给水泵保护器出“C相差动”、“速断”。对两台给水泵电动机分别进行了检查，其中6[#]给水泵电动机定子线圈对地为0.5 MΩ，5[#]给水泵电动机定子线圈对地为0 MΩ，两台电动机三相直阻均不平衡，5[#]给水泵电动机C相线圈和6[#]给水泵电动机B相线圈均偏低约1/3。

由于该系统故障录波装置正在技改尚未接入，故障参数未形成记录，但该起故障在3[#]发变组与3号电抗器保护器均形成事件记录，3[#]发变组保护器事件记录如图2所示。

从该记录中可以看出12:14:45.549 479时出AUX OV1 PKP，即发电机过电压起动，发电机过电压起动的起动值是1.35 U_n ，8.1 kV。3 ms左右后发电机出B相过电流，过电流定值9 600 A。

关键词/Keywords

给水泵 ·
跳闸 ·
分析 ·

File Name: C:\Documents and Settings\Administrator\桌面\3号发变组.evt

Shown Number of Events: 1024

0 days 0 h : 0 m : 4.126958 s

Event Number	Date/Time	
41559	Dec 22 2014 12:14:45.676437	QDFS Off
41568	Dec 22 2014 12:14:45.676437	QDFS DPO
41567	Dec 22 2014 12:14:47.767749	QDFS On
41566	Dec 22 2014 12:14:47.767749	QDFS OP
41565	Dec 22 2014 12:14:47.767749	QDFS PKP
41564	Dec 22 2014 12:14:47.318145	QDFS Off
41563	Dec 22 2014 12:14:47.318145	QDFS DPO
41562	Dec 22 2014 12:14:46.868387	QDFS On
41561	Dec 22 2014 12:14:46.868387	QDFS OP
41560	Dec 22 2014 12:14:46.868387	QDFS PKP
41559	Dec 22 2014 12:14:45.679352	AUX_OV1 DPO
41558	Dec 22 2014 12:14:45.669359	Stat_G DPO
41597	Dec 22 2014 12:14:45.649378	PHASE TOC1 DPO C
41596	Dec 22 2014 12:14:45.649378	PHASE TOC1 DPO B
41595	Dec 22 2014 12:14:45.649378	PHASE TOC1 DPO A
41594	Dec 22 2014 12:14:45.641882	PHASE TOC2 DPO B
41593	Dec 22 2014 12:14:45.641882	PHASE TOC2 DPO A
41592	Dec 22 2014 12:14:45.579434	PHASE TOC1 PKP C
41591	Dec 22 2014 12:14:45.579434	PHASE TOC1 PKP B
41590	Dec 22 2014 12:14:45.571947	PHASE TOC2 PKP B
41589	Dec 22 2014 12:14:45.571947	PHASE TOC2 PKP A
41588	Dec 22 2014 12:14:45.571947	PHASE TOC1 PKP B
41587	Dec 22 2014 12:14:45.569451	PHASE TOC1 PKP A
41545	Dec 22 2014 12:14:45.549479	AUX_OV1 PKP
41422	Dec 22 2014 12:14:45.539455	Stat_G PKP

Event Recorder - [C:\Documents and Settings\Administrator\桌面\3号发变组.evt]

Phase OV... Event Re... Event Re... Phase TO... FlexLogi... Phase IO...

图2 3#发变组保护器事件记录

3#电抗器的事件记录如图3、图4所示。

File Name: C:\Documents and Settings\Administrator\桌面\电抗器.evt

Shown Number of Events: 1024

0 days 0 h : 0 m : 0.000000 s

Event Number	Date/Time	
4827	Dec 22 2014 12:14:45.590099	PHASE TOC5 DPO C
4826	Dec 22 2014 12:14:45.590099	PHASE TOC4 DPO B
4825	Dec 22 2014 12:14:45.590099	PHASE TOC3 DPO B
4824	Dec 22 2014 12:14:45.580098	PHASE TOC6 PKP C
4823	Dec 22 2014 12:14:45.580098	PHASE TOC5 PKP C
4822	Dec 22 2014 12:14:45.580098	PHASE TOC4 PKP B
4821	Dec 22 2014 12:14:45.580098	PHASE TOC3 PKP B
4820	Dec 22 2014 12:14:45.570098	PHASE TOC6 PKP B
4819	Dec 22 2014 12:14:45.570098	PHASE TOC6 PKP A
4818	Dec 22 2014 12:14:45.570098	PHASE TOC5 PKP B
4817	Dec 22 2014 12:14:45.570098	PHASE TOC5 PKP A
4816	Dec 22 2014 12:14:45.570098	PHASE TOC4 PKP C
4815	Dec 22 2014 12:14:45.570098	PHASE TOC3 PKP C
4814	Dec 22 2014 12:14:45.570098	PHASE TOC2 PKP C
4813	Dec 22 2014 12:14:45.570098	PHASE TOC2 PKP B
4812	Dec 22 2014 12:14:45.570098	PHASE TOC1 PKP C
4811	Dec 22 2014 12:14:45.570098	PHASE TOC1 PKP B
4810	Dec 22 2014 12:14:45.560098	FZA_IO CP
4809	Dec 22 2014 12:14:45.560098	FZE_IO PKP
4808	Dec 22 2014 12:14:45.560098	FZA_IO CP
4807	Dec 22 2014 12:14:45.560098	FZA_IO PKP
4806	Dec 22 2014 12:14:44.640090	PHASE TOC6 DPO B
4805	Dec 22 2014 12:14:44.640090	PHASE TOC5 DPO B
4804	Dec 22 2014 12:14:44.610089	PHASE TOC6 PKP B
4803	Dec 22 2014 12:14:44.610089	PHASE TOC5 PKP B
4802	Dec 22 2014 12:14:44.610089	PHASE TOC4 DPO C

Event Recorder - [C:\Documents and Settings\Administrator\桌面\电抗器.evt]

Phase OV... Event Re... Phase TO... FlexLogi... Phase IO...

图3 3#电抗器保护器事件记录1

从电抗器事件记录1和记录2中,可以看出在图3中12:14:44.610 089时出PHASE TOC5 PKP B,即6 kV Ⅲ段分支B过电流1段B相起动作,6 kV Ⅲ段分支B过电流的动作值是2 250 A,出PHASE TOC6 PKP B,即6 kV Ⅲ段分支B过电流2段B相起

File Name: C:\Documents and Settings\Administrator\桌面\电抗器.evt

Shown Number of Events: 1024

0 days 0 h : 0 m : 0.000000 s

Event Number	Date/Time	
4844	Dec 22 2014 12:14:45.660098	FZE_IO DPO
4843	Dec 22 2014 12:14:45.660098	FZA_IO DPO
4842	Dec 22 2014 12:14:45.650098	PHASE TOC6 DPO B
4841	Dec 22 2014 12:14:45.650098	PHASE TOC5 DPO B
4840	Dec 22 2014 12:14:45.650098	PHASE TOC4 DPO C
4839	Dec 22 2014 12:14:45.650098	PHASE TOC3 DPO C
4838	Dec 22 2014 12:14:45.650098	PHASE TOC2 DPO C
4837	Dec 22 2014 12:14:45.650098	PHASE TOC2 DPO B
4836	Dec 22 2014 12:14:45.650098	PHASE TOC2 DPO A
4835	Dec 22 2014 12:14:45.650098	PHASE TOC1 DPO C
4834	Dec 22 2014 12:14:45.650098	PHASE TOC1 DPO B
4833	Dec 22 2014 12:14:45.650098	PHASE TOC1 DPO A
4832	Dec 22 2014 12:14:45.640099	PHASE TOC6 DPO A
4831	Dec 22 2014 12:14:45.640099	PHASE TOC5 DPO A
4830	Dec 22 2014 12:14:45.610098	PHASE TOC2 PKP A
4829	Dec 22 2014 12:14:45.610098	PHASE TOC1 PKP A
4828	Dec 22 2014 12:14:45.590099	PHASE TOC6 DPO C

图4 3#电抗器保护器事件记录2

动,过电流1段动作时间1 s,过电流2段动作时间1.2 s,返回。随后图4中12:14:45.610 098电抗器出A相过电流,3 ms后12:14:45.640 099,B分支A相首先恢复,1 ms后12:14:45.650 098电抗器A、B和C相过电流恢复,A分支C相恢复,B分支B相恢复。

2.2 事故过程分析

从以上分析可以总结出事故发生时,相关过程顺序如下。

1) 12:14:44'61",电抗器保护器记录6 kV Ⅲ段分支B过电流1B相起动作(动作值是2 250 A),随后6 kV Ⅲ段分支B过电流2B相起动作(过电流1动作时间1 s,过电流2动作时间1.2 s),返回。

2) 12:14:45'54",3#发变组保护器事件记录发电机过电压起动作(起动作值是1.35 U_n ,8.1 kV),约3 ms后发电机出B相过电流(定值9 600 A),可判断故障时,该系统电压大于8.1 kV,故障电流大于9 600 A。

3) 再结合6#给水泵起动作过程,可以分析出,6#给水泵起动作过程中,发生了弧光接地,造成3#发变组(含6 kV Ⅲ A、B段)系统超压。

4) 12:14:45'56",3#发变组保护器事件记录分支A,分支B零序电流同时起动作,1 ms后电抗

器B相过电流1、过电流2起动；电抗器C相过电流1、过电流2起动（定值是3 600 A）。随后分支A的B、C相，分支B的A、B和C三相同时过电流，瞬时A分支B相，B分支C相返回。

5) 12: 14: 45'57", 3#发变组保护器事件记录发电机过电流，随即电抗器出A相过电流，3 ms后B分支A相首先恢复，再1 ms后电抗器A、B和C相过电流恢复，A分支C相恢复，B分支B相恢复。

由此可以看出，发生弧光接地后，产生了弧光过电压，系统电压升高，系统内的绝缘薄弱点：5#给水泵电动机C相线圈击穿，也发生了弧光接地，两处接地弧光又造成5#给水泵电动机B、C相短路，6#给水泵电动机A、B和C三相短路，两台电动机保护器瞬间出口动作跳闸，切断故障点，系统恢复。

从现场保护器上得到信息：5#给水泵C相差动动作，速断动作；6#给水泵B相差动动作，速断动作。6#给水泵B相速断值31.2换算到一次侧 $31.2 \times 400 \text{ A} = 12\,480 \text{ A}$ 。

2.3 事故过程分析结论

综合上述记录，可以分析故障过程。

1) 6#给水泵电动机功率为2 500 kW，额定电流275 A，起动瞬间电流过大，超过2 250 A。6#给水泵内部由于定子槽楔大面积脱落，造成绝缘破坏，6#给水泵起动过程中，起动电流引起B相弧光接地。结合电抗器保护器记录，12: 14: 44'61", 6 kV III段分支B过电流1B相起动（动作值是2 250 A），随后6 kV III段分支B过电流2B相起动，可以推出这一结论。

2) 6 kV系统为小电流接地系统，中性点不直接接地，发生单相弧光接地后，由于不稳定的间歇性电弧多次不断地熄灭和重燃，在故障相（B相）和非故障相的电感电容回路上会引起高频振荡过电压，非故障相的过电压幅值一般可达3.15~3.5倍相电压，造成3#发变组（含6 kV IIIA、B段）系统超压。3#发变组保护器记录了这一事故发生的瞬间，12: 14: 45'54"，发电机过电压起动（起动值是 $1.35 U_n$ ，8.1 kV）。

3) 系统因弧光接地过电压超压后，系统内的绝缘薄弱点：5#给水泵电动机C相线圈绝缘击穿，造成了C相发生接地，这一推断，与12: 14: 45'56"，3#发变组保护器事件记录分支A，分支B零序电流同时起动相吻合，两处接地弧光又造成5#给水泵电动机B、C相短路，过大的短路电流，也导致6#给水泵电动机A、B和C三相被烧毁，两台电动机保护器瞬间出口动作，5#、6#给水泵差动及速度保护动作跳闸，切断故障点，系统恢复，12: 14: 45.640 099，B分支A相首先恢复，再随后1 ms 12: 14: 45.650 098电抗器A、B和C相过电流恢复，A分支C相恢复，B分支B相恢复。

3 故障原因分析

3.1 直接原因

对两台给水泵电机拆解后发现，如图5所示，6#给水泵定子槽楔存在大面积脱落现象，受损线圈系松动后绝缘破坏，6#给水泵起动时，造成B相单相接地，系统出现过电压，此时，5#给水泵因长时间运行，内部线圈绝缘老化受损，随即被击穿，如图6和图7所示，造成C相弧光接地，而6#给水泵B相此时已接地，如图8所示，造成系统B相、C相短路，两台电机保护动作跳闸。

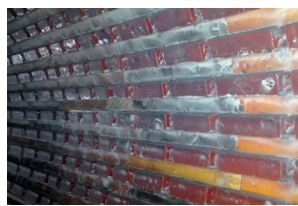


图5 6#给水泵定子槽楔脱落情况1

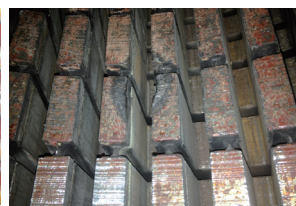


图6 5#给水泵定子铁心受损情况



图7 5#给水泵线圈烧熔



图8 6#给水泵定子槽楔脱落情况2

3.2 间接原因

电动机日常检修维护工作不到位。查看该电动机的检修记录,两台给水泵电动机在更换定子线圈大修后至今运行六年,仅安排了小修,未安排抽转子的解体常规大修检查,导致槽楔松动脱落未及时发现,最终引起线圈松动后绝缘受损下降。未能严格执行两年一大修的规定。

定期切换工作不合理。按照工艺车间规定,给水泵每月切换一次,对大功率设备而言相对仍显频繁,起动大电流冲击(超过2 250 A),不仅会造成电动机线圈振动、槽楔脱落及绝缘受损,对该其他设备和系统平稳运行也带来影响。

3.3 管理原因

电动机检修周期规定不合理:电动机修理周期一般随机械设备的检修而进行,其主要设备也可按两年一大修进行。实际情况为5[#]给水泵自2008年后,机械再未安排大修,5[#]给水泵对应的3[#]锅炉为主力机组长期高负荷运行,5[#]给水泵电动机两年一大修的计划,不符合生产实际。

检修、维修力量无法满足生产要求,人员力量有限。

技术管理不到位,电动机检修计划没有得到补充完善。

4 后期改进措施

1) 加强电动机日常检修维护,制定符合设备状态的维修策略,根据SD230—1987《发电厂检修规程》,燃煤锅炉主要发电设备每三年安排一次大修,其辅助生产装置同时安排检修,将每三年安排给水泵等电动机抽转子的解体常规大修检查,并编制设备检修计划。

2) 合理定期切换安排工作,避免大功率设备频繁起动带来的设备损伤。根据生产的实际情况,并结合相关电厂的经验,将高压电动机定期切换由每月一次改为每两月一次。

3) 加强技术管理,补充完善电动机检修计

划,对检修规程进行更新修订出版。

4) 加强检维修力量,合理调整人员力量,对热电厂实施公司内部检维修人员联动,同时申请招聘新员工,改善检修人员年龄断层、青年员工不足的现象。

5) 加强电气专业技术培训,弥补力量薄弱无法满足生产要求的现状,聘请厂内兼职教师以及各学校专业教师,对检修人员进行理论及技能培训,提高人员技能水平。

5 结束语

两台电动机故障后,工艺车间通过给水母管应急方式给锅炉供水,保证了机组与外供热网、电网的安全运行,故障电动机经修复后先后投运,本次故障未给生产造成直接影响。在上述防范措施实施一年多来,该厂再未出现过类似故障。

通过该起事故的分析可以发现,主要原因是对设备疏于管理,对设备的检修维护工作不到位,设备内部出现问题后未能及时发现,最终因设备损坏导致了事故的发生。而在该起事故发生后,吸取了经验教训,对全厂电动机进行了排查,对未及时安排检修的电动机逐步进行了大修,避免了类似事故的发生。由此可见,设备事故是可以预防的。只要做到精细管理,精心维护,合理安排维护工作,做好各种隐患的排查,防患于未然,就能将事故扼杀在萌芽状态,避免给生产造成重大损失。

参考文献

- [1] 张保会. 电力系统继电保护 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [2] 吴晓梅, 邹森元. 电力系统继电保护典型保障分析 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [3] 李光琦. 电力系统暂态分析 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

(收稿日期: 2015-12-24) **EA**