

文章编号: 1006-4729(2005)03-0229-05

发电机断路器在大容量机组上的应用

韩晓辉

(华东电力设计院 电气二科, 上海 200063)

摘 要: 分析了发电机断路器(GCB)在大容量机组上使用的优缺点. 装设 GCB 虽然初期投资大, 但简化了厂用电切换操作程序, 提高了发电机及主变、高压厂用变压器的保护水平, 简化同期操作, 便于检修、调试, 缩短故障恢复时间, 提高了机组可用率.

关键词: 发电机断路器; 大容量机组; 厂用电切换; 启动 备用变

中图分类号: TM 64; TM 561 **文献标识码:** A

Generator Circuit Breaker is Used in Huge Capacity Power Plant

HAN Xiao hui

(East China Electric Power Design Institute Shanghai 200063 China)

Abstract The paper analyses the advantages and disadvantages of the Generator Circuit Breaker used in great capacity unit. In spite of the high investment on installing GCB at the initial stage, the transfer operation program for plant power will be simpler, the protection for the generator, the main transformer and the unit service transformer will be improved, and the automatic synchronizing system operation will be easier. It's more flexible for examining, overhauling and debugging. The plant's recovering time will be shortened in case of fault. The usage of unit plant will be increased.

Key words generator circuit breaker; great capacity unit; power transfer; standby transformer

北仑电厂经过两期工程建设, 现装有 5 台单机容量为 600 MW 亚临界燃煤机组, 装机总容量为 3 000 MW. 一期工程 2×600 MW 机组分别于 1991 年和 1993 年投产. 二期扩建工程 3×600 MW 机组, 分别于 2000 年至 2001 年间先后投入商业运营. 三期工程建设规模为 2×1 000 MW 超超临界燃煤机组, 拟于 2008 年和 2009 年各投产 1 台. 根据北仑发电厂三期 2×1 000 MW 机组可研阶段系统资料, 本工程新建独立的 500 kV 升压站, 采用一个半开关接线, 建设有 2 个主变进线间隔; 2 个 500 kV 出线间隔; 1 个至老厂 500 kV 升压站的连线间隔.

1 启动 备用电源方案

《大火规》13.3.10 条规定“高压厂用备用或启动 备用电源可采用下列引接方式:

(1) 当无发电机电压母线时, 由高压母线中电源可靠的最低一级电压母线或由联络变压器的第 3 (低压) 绕组引接, 并应保证在全厂停电的情况下, 能从外部电力系统取得足够的电源, 包括三绕组变压器的中压侧从高压侧取得电源;

(2) 当有发电机电压母线时, 可由该母线引接 1 个备用电源;

(3) 当技术经济合理时, 可由外部电网引接

专用线路供电;

(4)全厂有 2 个及以上高压厂用备用或启动 备用电源时, 应引自 2 个相对独立的电源”.

《大火规》13.3.13 条第 3 款规定“容量为 600MW 的机组, 当发电机出口不装设断路器 (GCB) 或负荷开关时, 每 2 台机组可设 1 台或 2 台高压厂用启动 备用变压器, 当配置 2 台时, 应考虑 1 台高压厂用启动 备用变压器检修时, 不影响任何 1 台机组的起停; 当发电机出口装有断路器或负荷开关时, 4 台及以下机组可设 1 台高压厂用备用变压器……”.

根据上述规定, 北仑电厂三期启动 备用电源考虑如下 2 个方案:

方案 1 不设 GCB 和 220 kV 引接. 每台发电

机出口不设 GCB 2 台机组设 2 台启动 备用分裂变压器, 容量与厂用工作变压器相同. 2 台启动 / 备用变压器从老厂 220 kV 配电装置上引接一路电源.

方案 2 设 GCB 和 220 kV 引接. 每台发电机出口设 1 台 GCB 2 台机组设 1 台停机 检修变压器, 仅考虑停机检修负荷容量. 停机 检修变压器电源从老厂 220 kV 配电装置上引接.

此外也可考虑采用架空线直接接入本期 500 kV 配电装置. 但考虑到高压备用变压器采用 500 kV 电压等级的目前国内运行业绩较少, 可靠性较差, 而老厂又具备提供 220 kV 电源的条件, 连接方便, 可靠性高. 本阶段设计暂不推荐该方案. 图 1 和图 2 分别是主接线单线图方案 1 和方案 2

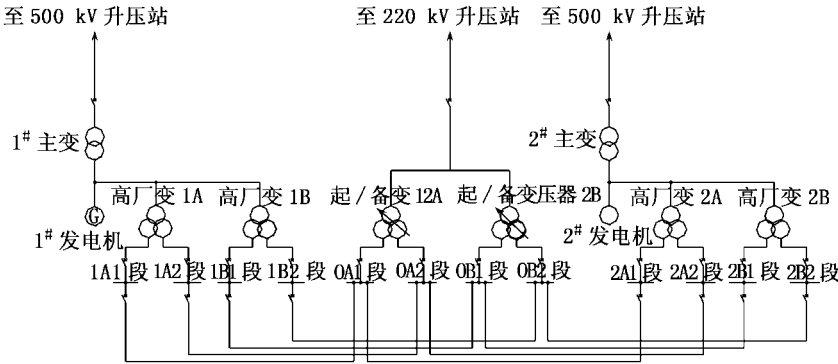


图 1 主接线单线图 (方案 1)

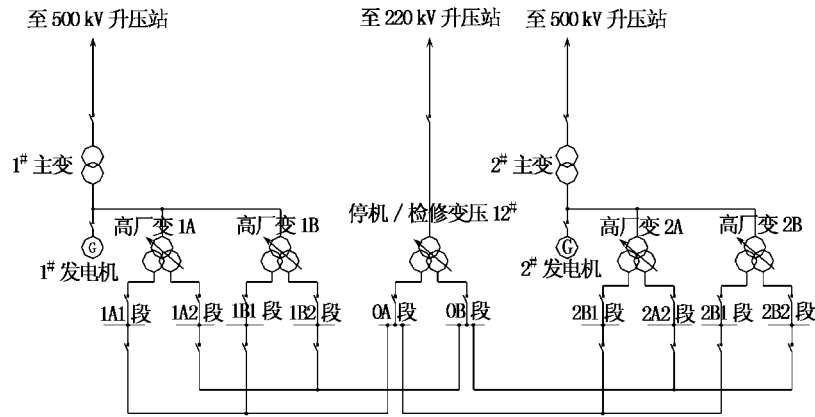


图 2 主接线单线图 (方案 2)

2 发电机出口断路器的特点及要求

发电机断路器与一般的输配电高压断路器相

比, 主要的区别是在电网中所处的位置不同、保护对象不一样, 因此, 在许多方面要满足发电机断路器的特殊要求. 这些要求大致可分为 3 个方面: 第

1是额定值方面的要求;第2是开断性能方面的要求,第3是固有恢复电压方面的要求.从额定值方面来看,发电机断路器需要具有很大的额定短路电流开断和关合能力,需要具备很大的额定电流承受能力等.这些额定值远远大于同级别的输配电断路器.从开断性能看,对发电机断路器有开断非对称短路电流的要求,其直流分量衰减时间达133 ms.另外,还要求其具有关合额定短路关合电流(其峰值为额定短路开断电流交流分量有效值的2.74倍)及开断失步电流等能力.从固有瞬态恢复电压方面看,因为发电机断路器的瞬态恢复电压由发电机和升压变压器参数决定,而不是由系统决定,所以其瞬态恢复电压上升率(RRRV)取决于发电机和变压器的容量等级,等级越高,RRRV值越大,其数量级为 $\text{kV}/\mu\text{s}$.由此可见,发电机断路器在许多方面与一般的断路器不同,需要满足较高的要求.

从用户的角度考虑,发电机断路器应满足以下2点要求:一是要求性能优良;二是要求价格低廉.性能优良是针对发电机断路器所保护对象的重要性而言的,由于其保护的发电机组是电力系统的核心,因此要求发电机断路器一定要达到相应的技术指标,同时一定要操作可靠,故障率低.价格低廉是针对发电机断路器的价格相对较低而言的,价格因素是制约发电机断路器技术推广的关键之一,如果GCB价格能够降下来,势必对电力工业的发展会起到积极的促进作用.从这个角度来说,真空断路器可能比六氟化硫 SF_6 断路器更具有优势,因为 SF_6 断路器在生产时对制造工艺要求很高,加工成本很大,因此其价格很难降下来.发电机断路器所处的电压等级属中压,在这个等级真空断路器占据优势地位,由于真空灭弧室由专业厂家生产,价格较低.同时,操动机构的生产技术也非常成熟,生产成本也低.

3 发电机装设出口断路器技术比较及两种方案的经济性比较

3.1 发电机出口断路器的发展及应用概况

从1969年第1台GCB诞生以来,GCB在世界各国得到了广泛应用.现在的GCB集成了电压互感器、电流互感器、隔离开关、接地开关等发电机与主变压器之间的设备,成为具有多种功能的

组合电器.根据CIGRE所做的调查表明,目前全世界有超过50%的核电厂与超过10%的火电厂采用了GCB.特别是对厂用电系统可靠性要求较高的核电厂与大容量火力发电厂采用GCB已成为一种趋势.在美国、英国、法国等发达国家中,其电力以核能、抽水蓄能电站为主,且机组容量较大,发电机出口均装设了GCB.在德国,新建设的容量大于259 MVA的核电厂与容量大于588 MVA的火力发电厂的发电机均装设了GCB.我国的相关设计规程中也对采用GCB的原则作了规定.《火力发电厂设计技术规程》DL 5 000-2 000中第13.2.8条规定,“技术经济合理时,容量为600 MW机组的发电机出口可装设断路器或负荷开关”.近年来,国内核电站、水电站,以及新近建设的火力发电厂也广泛装设了GCB.核电机组因为核安全的要求,均在发电机出口装设GCB,如秦山、大亚湾核电站等.水电机组由于要调峰,启动频繁,因此也都装设GCB,如最近建设的四川二滩、广西岩滩、青海李家峡、黄河小浪底及三峡水电站等.火电厂目前600 MW以上机组中,已投运的广东沙角C电厂、盘山二期,以及正处于建设中的上海外高桥电厂和正在做施工图设计的浙江玉环 $2\times 900\text{ MW}$ 燃煤电厂均装设了GCB.目前正处于前期设计中的安徽阜阳电厂、湖北黄冈电厂、河南沁北电厂等火力发电厂,也有GCB方案.因此,国内发电厂中采用GCB,特别是大容量机组中装设GCB已成为一种趋势.

3.2 装设发电机出口断路器的优越性

发电厂装设GCB的主要作用是在于简化运行操作程序,减小发电机和变压器事故范围,简化厂用电切换及同期操作,提高运行可靠性,方便调试和维护.

3.2.1 简化厂用电切换操作程序

在发电机正常启动时,首先通过启动备用变压器获得启动电源,当发电机建立正常电压并带一定负荷后,通过厂用电切换装置将启动备用变供电切换到由厂用工作变压器供电;发电机的停机过程与之相反.因此,在不设发电机断路器的发电厂,其正常起、停机组不可避免地要进行厂用工作变压器与启动备用变压器之间的关联切换.由于厂用工作变压器与启动备用变压器的电源取自不同的系统,两台变压器的阻抗值也不相同,这

就造成了两台变压器低压侧母线之间存在初始相位差. 由于初始相位差的存在, 使得在正常并联切换时, 两台变压器之间将产生较大的环流, 情况严重时环流可达数千安培. 如此大的环流, 即使在并联切换时间内对变压器不造成瞬时故障, 也会对变压器的寿命产生累积影响. 这对变压器的安全运行构成了很大的威胁.

采用发电机断路器后, 发电机组的起停电源由经过主变压器倒送电至厂用工作变压器供给, 从机组起动一直到发电机并网发电, 整个过程都无须厂用电源切换.

有关分析结果表明: 采用发电机断路器后, 使厂用电源切换时间减少到约 1 B48 作用显著, 从而有效地提高了发电厂运行的安全性和可靠性. 同时也使厂用电的操作、运行大大简化.

3 2 2 提高发电机及主变压器和高压厂用变压器的保护水平

采用发电机断路器后, 不论是在发生操作故障或在系统振荡时, 还是在发电机或变压器发生短路故障时, 都将提高保护的选择性和清除故障的快速性, 从而提高机组运行的安全性和可靠性.

当发电机外部发生故障时, 快速断开 GCB 可避免发电机继续提供故障电流; 当发电机内部发生故障时, 断开 GCB 可阻止外部向发电机提供故障电流. 基于上述两点, GCB 对于保护发电机及与其相接的主变、厂变等设备是有利的.

3 2 3 简化同期操作

采用高压断路器进行同期操作时, 断路器将会承受电压应力, 在受到污染的情况下, 这些电压应力可以造成断路器外部绝缘介质的闪络. 当同期操作在发电机电压等级进行时, 高压断路器的电压应力便会消失. 利用发电机断路器进行同期操作, 是将发电机断路器两侧的同级电压进行比较, 因而使得同期操作系统更加简单、可靠. 另外, 由于发电机断路器安装于室内的封闭金属壳内, 环境条件好, 其充分的绝缘安全裕度保证同期操作更加可靠.

3 2 4 缩短故障恢复时间 提高机组可用率

GCB 将发电机变压器组分隔为两个部分, 即发电机部分和变压器部分, 这种电气分隔是 GCB 隔离开关组合后实现的, 因而不同的部分可以分组逐级测试. 此外, 当厂用电由主变压器提供时可以在欠励磁条件下测试发电机. 由 GCB 实现

的这种实体分隔为发电机和变压器的调试与维护提供了极大的便利. GCB 也为发电机短路试验提供了方便.

由于采用了 GCB 不仅实现了发电机、变压器有选择的保护跳闸, 同时简化了保护接线, 而且多数保护无须动作于高压断路器, 从而避免了厂用电的失去. 这对于一些瞬时性故障 (特别是对来自于锅炉、汽机的热工误发信号) 的排除, 尽快恢复机组的运行, 避免因误操作而导致更大的损失非常有益. 根据沙角 C 厂的经验, GCB 动作后大多可以在数十分钟内恢复机组的运行.

为定量分析 GCB 对 2×600MW 机组可用率的影响, ABB 公司利用蒙特卡罗 (Monte carlo) 逻辑数学模型, 分别对带与不带 GCB 两种方案进行了比较. 模拟结果见表 1.

表 1 一台机组 8760 h 是否带有 GCB
两种方案的计算结果比较

两种方案	时间不可用率 %	平均停机时间 /h
没有 GCB 布置	4 0344E - 2	353. 41
有 GCB 布置	3 648E - 2	319. 61

当使用 GCB 时, 一台机组一年停机时间平均减少约 33. 8 h 对电厂而言经济效益是明显的.

3 3 装设 GCB 存在的问题

主要问题包括以下 4 个方面.

(1) 价格偏高, 影响工程的造价.

(2) 在正常情况下主变压器作为升压变压器运行, 向电网输电; 在机组起动或停机情况下, 需要通过主变压器从电网取得电源, 主变压器作为降压变压器运行, 电压变动幅度较大, 而厂用电源要求较为稳定的电压, 要求高压厂用工作变压器或主变压器带负载调压, 由于前者高压侧电流比较大, 国内外普遍认为大电流带负载调压的高压厂用工作变压器或主变压器的可靠性远低于无载调压的普通高压厂用工作变压器或主变压器.

(3) 发电机至主变压器回路, 一般采用离相封闭母线, 厂用分支和电压互感器等分支线均采用封闭母线, 发电机出口没有装设断路器. 经过多年运行, 运行单位普遍认为, 发电机主回路可靠性高. 在发-变组回路中串联了断路器 (包括配套的隔离开关和接地刀闸), 增加了电气元件和电气

连接点, 使该回路的可靠性相对降低, 当断路器、隔离开关、接地闸刀本身或其操作机构发生故障或检修时, 将直接影响机组的运行.

(4)为了提高设备可靠性以及考虑到供货方面的原因, 上述 2 个设备在实际采购中基本采用

进口设备, 造成维修和备件供货的不方便.

3 4 两种方案的经济性比较

不设 GCB和设 GCB两种方案的经济性比较见表 2

表 2 两种方案的经济性比较

项目	GCB			起 备用变压器			停机 检修变压器			高压厂用工作 变压器调压			起备变压器调压			200 kV 断路器		
	单价	总价	数量	单价	总价	数量	单价	总价	数量	单价	总价	数量	单价	总价	数量	单价	总价	数量
	万元		个	万元		个	万元		个	万元		个	万元		个	万元		个
方案 1				714	1 428	2							100	200	2	120	120	1
方案 2	1 300	2 600	2				714	714	1	100	400	4	100	100	1	120	120	1

项目	200 kVXLPE 电缆			200 kV 电缆头			200 kV 引接时, 起 备变压器或 停机 检修变压器的电度电费			发电机引出线 PT 柜, 避雷器柜			6 kV 电缆母线			总价 合计 万元
	单价	总价	数量	单价	总价	数量	单价	总价	数量	单价	总价	数量	单价	总价	数量	
	万元		m	万元		个	万元		个	万元		个	万元		m	
方案 1	0.086	77.4	900	12 1	72 6	6	108	216	2	120	240	2	1 5	2 100	1 400	4 454
方案 2	0.086	77.4	900	12 1	36 3	3	108	108	1				1 5	1 650	1 100	5 806

4 结束语

综上所述, 发电机出口是否装设 GCB 各有利弊, 但总的来说装比不装好. 装设 GCB 虽然初期投资大, 但效果十分明显. 首先是简化了厂用电切换操作程序, 使发电机及主变压器、高压厂用变压器的保护水平大为提高, 其次是使同期操作大为简化, 便于检修、调试, 缩短了故障恢复时间, 提高了机组可用率. 因此笔者推荐发电机出口装设 GCB.

参考文献:

[1] 贾约明. 大容量发电机断路器的应用 [J]. 山西电力技术, 1999 52~55.

[2] 王季梅, 刘志远. 大容量真空发电机断路器的研究和开发 [J]. 华通技术, 2004 (3): 3~7.

[3] 郑择中. 大容量发电机断路器浅介 [J]. 高压电器, 1993 48~51

[4] 李 标. 大型机组设置发电机断路器的必要性 [J]. 电力建设, 1996 (10): 36