

发电机断路器在中型水电站中的应用

刘晓兰¹, 刘晓梅²

(1. 郑州工业大学电气信息工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 黄河水利委员会勘测规划设计研究院, 河南 郑州 450003)

摘 要: 中小容量的发电机断路器在国内水电站中的应用研究目前尚属起步阶段, 是新的电气设计课题. 以西霞院水电站设计为例, 对中型水电站发电机出口装设发电机断路器而非普通配电型断路器的必要性进行了探讨, 提出国产设备应尽快实现小型化、成套化的发展设想, 以增强与国外先进设备的竞争能力, 解决中型水电站地下式厂房电气设备布置空间紧张的突出矛盾, 从而使发电机断路器能够在国内中型水电站中得到推广应用.

关键词: 中型水电站; 中小容量; 发电机断路器

中图分类号: TM 561; TV 742 **文献标识码:** A

0 引言

发电机断路器(以下简称 GCB), 作为在最苛刻开断条件下的大电流、大容量、价格昂贵的中压断路器, 在大型水电站中的应用已较为成熟和广泛, 但在中型水电站中, 由于认识不足, 再加上场地布置和经济方面的考虑, 发电机出口采取装设 GCB 的设计方案极为少见, 大多以普通配电型断路器替代, 使机组长期安全运行存在潜在危险. 如今, 随着中小容量 GCB 制造技术的发展, GCB 在中型水电站中的应用与研究已逐步提到议事日程. 小浪底反调节水库西霞院电站是一个中型水电站, 其发电机出口采用了 GCB 设计方案. 本文以此为例, 对中型水电站发电机出口装设 GCB 的必要性进行了探讨, 并对中小容量 GCB 在国内的应用和发展谈一些个人见解.

1 西霞院水电站电气主接线设计

西霞院水电站装设 6 台轴流式水轮发电机组, 单机容量为 35 MW, 总装机容量为 210 MW. 距洛阳地区负荷中心仅 33 km, 在系统中的作用主要是在满足反调节发电的基础上参与系统调峰运行. 电站以 220 kV 电压等级接入系统, 220 kV 出线 2 回. 借鉴国内同等类型水电站的设计经验, 经

过多个方案的综合比较, 最终推荐发电机 - 变压器组合采用二机一变扩大单元接线, 220 kV 升压侧采用双母线接线的方案, 其主要接线如图 1 所示.

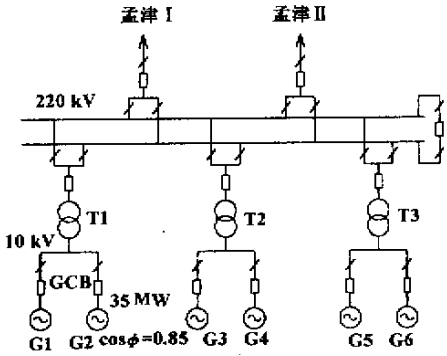


图 1 西霞院水电站电气主接线简图

2 发电机出口装设 GCB 的问题探讨

2.1 发电机出口断路器的技术性能比较

发电机 - 变压器组合采用扩大单元接线, 每台发电机出口必须加装断路器. 西霞院水电站 35 MW 发电机出口回路持续工作电流为 2358 A, 三相短路电流计算结果为 36.4 kA.

根据 35 MW 机组对装在发电机出口断路器的典型要求, 现将 GCB 与普通配电型断路器的有关技术性能列表如下.

表 1 GCB 与普通配电型断路器的性能比较表

技术参数	GCB	普通配电型断路器
适用标准	GB/T14824 DL427 - 91 IEEE C37-013 - 1993	GB 1984 - 89 IEC56
对地和相间 1min 工频耐压有效值/kV	42	42
断口间 1min 工频耐压有效值/kV	50	-
额定电流/A	最小 4000	最大 4000 ~ 5000
额定短路开断电流交流分量有效值/kA	最小 63	最大 40 ~ 50
额定短路开断电流直流分量/%	≥60	≤50
额定峰值耐受电流/kA	125	≤100
额定失步对称开断电流直流分量/%	≤20	-
额定失步非对称开断电流直流分量/%	60	-
预期瞬态恢复电压上升陡度(kV/μs)	≥1.6 ~ 2.2 (最大可达 6)	< 1
预期瞬态恢复电压幅值	≥1.84U (> 1.05 √3U)	1.05 √3U
相间同期性/ms	≤5	≥5
电气寿命(额定负荷(2000 A)开合次数)	≥2000	2000

2.2 GCB 的性能优势

(1) GCB 是发电机出口专用断路器 ,它是针对发电机出口回路的特殊技术要求而设计的 ,与普通配电型断路器相比 ,具有极强的开断短路电流直流分量的能力和失步开断的能力 ,很高的机械和电气操作寿命 ,其三相联动操作机构能提供安全的同步操作 .应用 GCB 还可以减小升压变压器的故障平均恢复时间和发电机的故障平均恢复时间 ,使电厂的可用率增加 ,从而提高电厂的盈利 .尤其是 GCB 开断发电机出口延迟过零短路电流的能力 ,是普通配电型断路器所不具备的 .

(2) 本电站发电机电压设备均集中布置在主厂房下游侧狭长的副厂房内 ,场地紧张 ,希望出口断路器体积小并能与其他发电机电压成套柜并排布置 .目前 ,国产 10 kV 真空开关柜已具有开断短路电流交流分量有效值 50 kA 的分断能力 ,但这种普通配电断路器并非针对发电机回路的特点而设计 ,其对短路电流直流分量的分断能力较低 .

每一种交流断路器的开断都须要有一个电流过零点 ,电弧会在电流过零点自动地分开 .在某些条件下 ,来自发电机的短路电流可能具有 100 ms 或更长的延时电流零点 .在发电机空载状态下 ,如果短路发生在电压最低状态 ,那么就会出现具有直流分量的非对称短路电流 ,尤其是故障前 ,当发电机在欠励磁状态下且具有超前功率因数时出现最高非对称值 ,在此条件下 ,短路电流的直流分量将高于对称分量 ,并一直保持到延时电流零点 .图 2 为发电机源馈电故障时短路电流的波形图 .

从图 2 可以看出 ,短路电流的交流分量和直流分量的衰减规律不同 ,交流分量随着发电机短路次暂态和暂态时间常数 T_d'' , T_d' , T_q'' , T_q' 按指

数递减 ,直流分量随着短路时间常数 $T_a = X_d'' / (2\pi f R_a)$ 其中 : X_d'' 为直轴次暂态电抗 ; R_a 为电枢电阻)按指数规律衰减^[1] .根据发电机不同尺寸和设计结构 ,这些时间常数值变化很大 ,当短路电流的交流分量比直流分量衰减得快时 ,在某段时间内就产生了延时电流零点 .小容量发电机因电感与电阻的比值小 ,短路时间常数小 ,直流分量衰减很快 ,短路一般经数十毫秒即通过零点 ,灭弧较易 .而 35 MW 发电机短路时间常数 T_a 较大 ,超过 150 ms ,直流分量衰减慢 ,短路电流有经数百毫秒也不通过零点的情况 .若发电机出口选用常规配电断路器 ,断路器动作切断短路故障时会产生异常过电压 ,灭弧不易 ,而需选用 GCB ,以利用断路器触头分离产生较高的电弧电压 ,来增大与 R_a 相串联的电弧电阻 ,使短路电流直流分量快速衰减 ,从而产生电流零点 .在这方面 ,具有磁场旋转电弧 ,自动增压技术的 SF₆ 型 GCB ,因其电弧电压与电弧电流成反比 ,能在触头分离后一个周波内强制电流过零而占有更大的优势 .

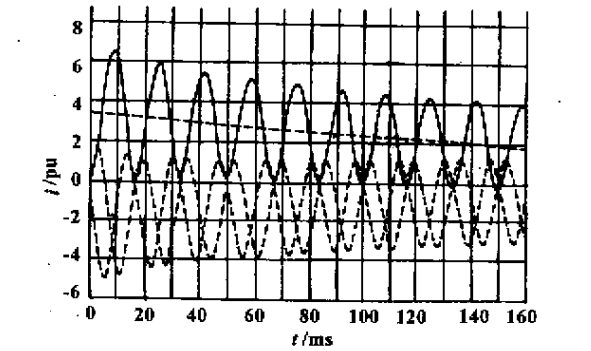


图 2 发电机源馈电故障时的短路电流波形图
(3) GCB 除了适用于开断不过零的电流外 ,

