

## 发电机断路器的作用

发电机断路器(Generator Circuit Breaker, 以下简称GCB), 也称其为发电机出口断路器, 是直接连接在发电机主回路中的断路器, 位于发电机与厂用分支节点之间。发电机出口加装GCB以后, 对整个电气系统有以下好处:

### (一) 保护发电机

在发电机出口发生非对称短路或承受不平衡负荷时, GCB可以迅速切除故障, 防止发电机遭受损坏。发电机带不平衡负荷运行、外部或内部发生非对称短路时, 转子本体表面将感应出两倍工频涡流, 在转子中引起附加发热。同时, 两倍工频的交变电磁转矩使机组产生倍频振动, 引起金属疲劳和机械损伤。

### (二) 保护主变和高压厂用变

采用GCB后, 不论是发生操作故障或系统振荡时, 还是发电机、变压器内部发生故障时, 都可以提高其保护功能的选择性, 从而提高机组安全运行的可靠性。

在发生操作故障或系统振荡时, 只需要能迅速断开GCB即可, 而不用切换厂用电源。故障消失后, 发电机与电网之间可以通过GCB快速恢复连接并网, 避免了由于厂用电源的切换故障造成全厂停电事故。

当发电机内部发生故障时, 可以在不切换厂用电源的情况下, 切除有故障的发电机, 保证了发电机有选择地进行保护跳闸, 简化了保护方式的接线, 而且机组内部的故障不需要动作于高压断路器, 从而避免了厂用电源的切换, 这对于消除一些瞬时性故障, 特别是来自于锅炉、汽机的热工误发信号, 尽快恢复机组运行和避免误操作而导致的事故是非常有利的。

对故障发生率比较高的变压器内部故障和变压器接地故障, GCB开断时间(几十毫秒)相对发电机灭磁的时间(数秒)要快得多, 大大减小了故障电流对变压器的危害程度, 有利于缩短维修时间, 减少直接和间接经济损失, 可提高电厂可用率0.7%~1%。

### (三) 可省去启备变, 简化厂用电源切换操作程序

安装GCB后, 机组启停电源可经过主变倒送至厂用变, 可省去启备变, 机组起停机或故障只需跳开GCB而不需跳高压系统断路器, 减少了在没有GCB时厂用电源切换的操作程序, 降低了运行难度, 提高了系统的可靠性。

### (四) 提高机组保护的选择性

当发电机发生内部故障时, GCB迅速跳闸, 使发电机与电网隔离, 而不必连主变压器一并切除, 停机厂用电源仍可由系统通过主变压器倒送, 从而避免了厂用电源系统的事故切换, 这样减轻了运行人员的压力, 为迅速处理故障创造了条件。

避免高压厂用电源的切换, 简化了厂用电源的控制和保护接线, 从而提高厂用电系统的可靠性。发电机出口装设GCB使发电机变压器组保护的配置简单清晰, 并减少了以往保护动作的连锁复杂性。机组正常起动或停机时, 厂用电源均由系统通过主变压器供给, 而无需厂用电源的切换。

机组并网或停机只需通过GCB就可完成, 缩短了机组起动时间, 对电动机的电冲击和机械冲击也减少了。操作元件的减少也降低了误操作的机率。

### (五) 简化了同期操作顺序

采用高压断路器进行并网操作的同时, 断路器将会承受电压应力, 在外部绝缘受到污染情况下, 这些电压应力可以造成断路器外部绝缘的闪络, 当同期操作在发电机的等级进行时, 对高压断路器的电压应力便会消失。利用GCB进行同期操作, 比较的是GCB两侧的同级电压, 使得同期操作更加简便可靠。另外由于GCB安装在室内, 环境条件比较好, 绝缘裕度宽, 将保证了同期操作的更加可靠。

### (六) 方便试验、调试

采用GCB将发电机和变压器分割为两个部分, 因此可以进行分组逐级调试、试验, 当厂用电源由主变提供时, 发电机可以在欠励条件下进行调试、试验和测试工作。由GCB实现这种实体分隔对发电机和变压器的调试和维护检修提供了很大的方便, 也为了电机进行的短路试验工作提供了便利条件。

## GVFC系列发电机出口断路器装置

GCB与一般的输配电断路器相比, 由于其在电网中所处位置的不同, 保护的也不一样, 在许多方面要满足特殊的一些要求。主要分以下三方面。

### (一) 额定值

GCB由于位于发电机的出口端, 要求承载的额定电流为5kA至20kA以上, 所要开断的短路电流也特别大, 远远超出同等级输配电断路器。

## (二) 开断性能

GCB应具有开断非对称短路电流的能力，其直流分量衰减时间可达200多毫秒，峰值最大为额定短路开断电流的2.74倍，短路电流失零可长达130多毫秒，这对真空灭弧室来说，要在短时间内实现快速开断，是一个极大的挑战。

## (三) 瞬态恢复电压

因为GCB的瞬态恢复电压（TRV）是由发电机和升压变压器的参数决定的，而非系统决定，所以其TRV上升率取决于发电机和变压器的容量等级。等级越高，瞬态恢复电压上升的越快，其数量级为kV/μs。

对于发电机出口端的真空GCB来说，由于开断条件比普通配电型断路器的开断条件要苛刻很多，所以GBT 14824-2008《高压交流发电机断路器》为GCB制定了相应的标准和技术条件。

## 现有GCB应用情况及不足

由于采用GCB有以上诸多优点，国外早就广泛地应用于100MW到1300MW的发电机出口保护中。

我国在发电机出口是否加装GCB的问题考虑上，从《火力发电厂设计技术规程》(简称“大火规”)的编制和修改中可以看出，其观点在逐渐改变：

1984年版的“大火规”中明确规定，“容量为200MW及以上的发电机与双卷变压器为单元连接时，在发电机与变压器之间不应装设断路器。”

1994年版的“大火规”中规定，“容量为600MW的机组，当升高电压仅有330kV及以上一级电压，且技术经济合理时，可装设发电机出口断路器或负荷开关。”

2000年版的“大火规”中进一步改为，“技术经济合理时，容量为600MW机组的发电机出口可装设断路器或负荷开关。”

进入90年代，国内的一些大型电厂如盘山电厂、沙角C电厂、上海外高桥电厂，广东台山电厂等大型电厂安装了国外品牌的GCB，主要有ABB, GEC-ALSTHOM, MITSUBISHI, BBC等公司生产的SF6式GCB。

近些年，一些中小型电站在改造时也提出安装GCB的要求。真空式GCB以其优越的性价比和环保性逐渐成为中小容量的主力。北京北开电气有限公司推出了ZN□—12/T5000-63型真空GCB，已于2003年通过型式试验投入生产。

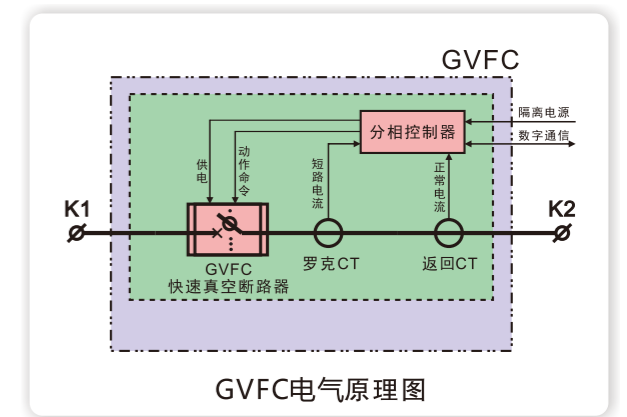
## 装置简介

GVFC系列真空并联高速发电机断路器是一种以单相VFC“涡流驱动”快速真空断路器串联均流电感为支路单元的、通过并联形式组成的、内置相控技术的大容量发电机出口开关组合电器。

GVFC具有以下特点：

- 一、通过串联均流电感，各并联单元间均流系数高，不小于95%；
- 二、采用“涡流驱动”永磁操动机构，各并联单元的分闸时间分散度小，不大于0.2ms；
- 三、具有选相（线）控制分闸功能，有效避免短路电流“失零”的矛盾；
- 四、具有电流相（角）控制分闸功能，有效提高电流过零前灭弧室开距。

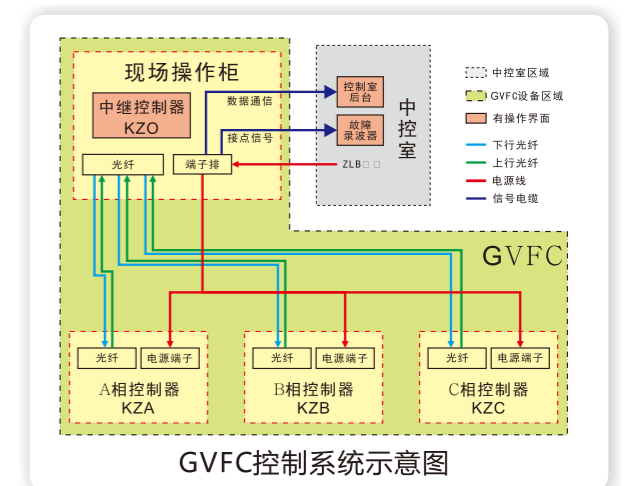
如右图所示，GVFC系列发电机断路器（虚线框内）经K1、K2串接在回路中。其中GVFC真空断路器是以加拿大Max-Swi公司制造的VFC系列“涡流驱动”快速断路器为主要元件的并整合了短路电流快速判断的测控装置的组合电器。正常运行时GVFC真空断路器处于合闸状态，承受发电机出口额定电流，仅在回路发生短路时快速分闸，断开发电机与升压变的连接，保护发电机组。



## 控制系统简介

GVFC控制系统包括中继控制器和三个分相控制器，其中中继控制器装在现场操作柜中，分相控制器分别内置在各相换流器内。

分相控制器独立控制各相断路器单元，中继控制器通过光纤与各分相控制器联络，显示各相断路器状态信息并可维护定值，还提供数据接口和信号节点与中控室计算机管理系统通信。



## 工作逻辑

### (一) 正常运行期间

GVFC处于合闸位，断路器承载线路工作电流。

### (二) 线路发生短路故障时

当且仅当分相控制器通过洛克CT信号检出了超过GVFC启动定值的短路电流时命令GVFC及时分闸，切断故障电流，保护发电机。

### (三) 短路故障排除情况

当确定短路故障排除以后，控制器发出合闸信号，对断路器进行合闸操作，实现发电机故障排除之后的重新并网。

## VFC“涡流驱动”快速真空断路器的并联技术

### (一) 额定工况下并联支路的均流

并联结构中，每极阻抗若以灭弧室接触电阻为主，即使小到 $10^{-5}\Omega$ 数量级，但其分散度也会达到50%以上，不利于各极之间均流，因此，应在各极支路中增加均流感感，以淹没直流阻抗的分散度，将极间阻抗分散度降低，在提高均流系数的同时，并不增加并联支路的有功损耗，确保并联各极可靠运行。

### (二) 分闸时机的相角控技术是并联开断大电流的技术保障

并联开断失败的原因是随机性的分闸命令造成未开极开距不充分而重燃。因此，应在合理的分闸时机范围内发出分闸指令，确保未开极电流过零时的充分开距，达到由多极共同分担开断大电流的目的。

### (三) 并联方式分类

#### A、多台三相开关并联

这种组合电器为多台三相开关通过导线实现各相并联联接，适合大额定电流且小开断电流需求的场合，并联目的旨在解决额定电流的分担，因此，并联时，需要着重控制均流感感即可。

#### B、各相多灭弧室并联

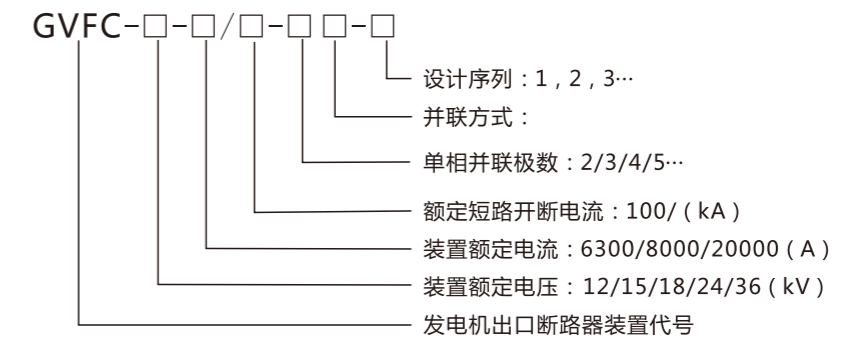
这种并联方式根据操动机构的设置，可分为单相单机构并联和单相多机构并联方式。  
a、每相单机构。此种并联方式适用三极或两极并联，可沿用目前成熟的断路器操动机构，将VFC真空断路器的灭弧室并联作为并联断路器的一相，并联灭弧室之间的同期性由机械结构保障，三相需要分别操动，实现三相合闸的同期性要求。  
b、每相多机构。此种并联方式以一只灭弧室配一套操动机构为一个断路器基本单元，实现三相多极并联，适用三极以上的并联方式，可针对大额定电流和大开断电流进行任意组合，对操动机构的固有动作时间分散度和控制精度即相控技术的要求较高。

## 分相控制器

断路器在开断三相短路故障时，电流首先过零的一相称之为首开相。开断三相短路故障的关键在于首开相，首开相顺利熄弧，其他两相均能顺利熄弧，但燃弧时间比首开相时间长，会产生烧损严重情况。因此，三相选相（选首开相别、选开断相角）开断，可顺利完成故障电流的开断，也可减少真空开关的烧损。

分相控制器通过特殊算法，对短路电流信号进行处理，可在2ms左右计算出短路电流的周期分量、非周期分量、短路周期角，迅速判断出首开相的相别，并结合断路器的机械固有分闸时间做出适当的延时，控制断路器在短路电流过零前分闸。

## 型号命名



## 参数指标

### (一) 100MW及以下机组断路器装置参数指标

| 序号   | 技术特性             | 单位 | 参数  |
|------|------------------|----|-----|
| (1)  | 适用系统额定电压         | kV | 12  |
| (2)  | 额定频率             | HZ | 50  |
| (3)  | 额定电流*            | kA | 6.3 |
| (4)  | 额定短路开断电流*        | kA | 80  |
| (5)  | 额定机械分闸时间         | ms | ≤5  |
| (6)  | 额定机械合闸时间         | ms | ≤20 |
| (7)  | 并联极数*            | 极  | 2   |
| (8)  | 对地工频1min耐压(有效值)  | kV | 42  |
| (9)  | 相间工频1min耐压(有效值)  | kV | 42  |
| (10) | 断口间工频1min耐压(有效值) | kV | 50  |
| (11) | 对地雷电冲击耐受电压(峰值)   | kV | 75  |
| (12) | 相间雷电冲击耐受电压(峰值)   | kV | 75  |
| (13) | 断口间雷电冲击耐受电压(峰值)  | kV | 85  |

### (二) 125MW机组断路器装置参数指标

| 序号   | 技术特性             | 单位 | 参数  |
|------|------------------|----|-----|
| (1)  | 适用系统额定电压         | kV | 15  |
| (2)  | 额定频率             | HZ | 50  |
| (3)  | 额定电流*            | kA | 8   |
| (4)  | 额定短路开断电流*        | kA | 120 |
| (5)  | 额定机械分闸时间         | ms | ≤5  |
| (6)  | 额定机械合闸时间         | ms | ≤20 |
| (7)  | 并联极数*            | 极  | 3   |
| (8)  | 对地工频1min耐压(有效值)  | kV | 50  |
| (9)  | 相间工频1min耐压(有效值)  | kV | 50  |
| (10) | 断口间工频1min耐压(有效值) | kV | 59  |
| (11) | 对地雷电冲击耐受电压(峰值)   | kV | 90  |
| (12) | 相间雷电冲击耐受电压(峰值)   | kV | 90  |
| (13) | 断口间雷电冲击耐受电压(峰值)  | kV | 102 |

### (三) 135MW机组断路器装置参数指标

| 序号   | 技术特性             | 单位 | 参数  |
|------|------------------|----|-----|
| (1)  | 适用系统额定电压         | kV | 15  |
| (2)  | 额定频率             | HZ | 50  |
| (3)  | 额定电流*            | kA | 8   |
| (4)  | 额定短路开断电流*        | kA | 120 |
| (5)  | 额定机械分闸时间         | ms | ≤5  |
| (6)  | 额定机械合闸时间         | ms | ≤20 |
| (7)  | 并联极数*            | 极  | 3   |
| (8)  | 对地工频1min耐压(有效值)  | kV | 50  |
| (9)  | 相间工频1min耐压(有效值)  | kV | 50  |
| (10) | 断口间工频1min耐压(有效值) | kV | 59  |
| (11) | 对地雷电冲击耐受电压(峰值)   | kV | 90  |
| (12) | 相间雷电冲击耐受电压(峰值)   | kV | 90  |
| (13) | 断口间雷电冲击耐受电压(峰值)  | kV | 102 |

### (四) 600MW机组断路器装置参数指标

| 序号   | 技术特性             | 单位 | 参数  |
|------|------------------|----|-----|
| (1)  | 适用系统额定电压         | kV | 24  |
| (2)  | 额定频率             | HZ | 50  |
| (3)  | 额定电流*            | kA | 20  |
| (4)  | 额定短路开断电流*        | kA | 252 |
| (5)  | 额定机械分闸时间         | ms | ≤5  |
| (6)  | 额定机械合闸时间         | ms | ≤20 |
| (7)  | 并联极数*            | 极  | 8   |
| (8)  | 对地工频1min耐压(有效值)  | kV | 65  |
| (9)  | 相间工频1min耐压(有效值)  | kV | 65  |
| (10) | 断口间工频1min耐压(有效值) | kV | 80  |
| (11) | 对地雷电冲击耐受电压(峰值)   | kV | 125 |
| (12) | 相间雷电冲击耐受电压(峰值)   | kV | 125 |
| (13) | 断口间雷电冲击耐受电压(峰值)  | kV | 145 |

### (五) 660MW机组断路器装置参数指标

| 序号   | 技术特性             | 单位 | 参数  |
|------|------------------|----|-----|
| (1)  | 适用系统额定电压         | kV | 24  |
| (2)  | 额定频率             | HZ | 50  |
| (3)  | 额定电流*            | kA | 20  |
| (4)  | 额定短路开断电流*        | kA | 252 |
| (5)  | 额定机械分闸时间         | ms | ≤5  |
| (6)  | 额定机械合闸时间         | ms | ≤20 |
| (7)  | 并联极数*            | 极  | 8   |
| (8)  | 对地工频1min耐压(有效值)  | kV | 65  |
| (9)  | 相间工频1min耐压(有效值)  | kV | 65  |
| (10) | 断口间工频1min耐压(有效值) | kV | 80  |
| (11) | 对地雷电冲击耐受电压(峰值)   | kV | 125 |
| (12) | 相间雷电冲击耐受电压(峰值)   | kV | 125 |
| (13) | 断口间雷电冲击耐受电压(峰值)  | kV | 145 |

说明：参数表格中带\*部分表示可根据工程实际与用户协商

### 正常使用条件

- 1、环境温度：周围空气温度不超过40℃，且在24h内测得的平均值不超过35℃（户内）；
- 2、海拔高度：≤1000米；
- 3、空气环境：周围空气没有明显地受到尘埃、烟、腐蚀性和/或可燃性气体、蒸气或盐雾的污染；
- 4、湿度条件如下：
  - 在24h内测得的相对湿度的平均值不超过95%；
  - 在24h内测得的水蒸气压力的平均值不超过2.2kPa；
  - 月相对湿度平均值不超过90%；
  - 月水蒸气压力平均值不超过1.8kPa；
- 5、电磁干扰：在二次系统中感应的电磁干扰的幅值不超过1.6kV。
- 6、凡超出上述要求范围之特殊条件，由用户与制造厂协商确定。

### 使用维护

- 1、设备安装前，须完成必要的基础建设和线缆敷设；
- 2、开箱检验，无损坏，方可就位安装；
- 3、须按照《调试大纲》进行必要的投运前试验，并提交《调试报告》；
- 4、合格后方可投运，并提交《投运报告》；
- 5、正常运行过程中，按照《检修维护规程》进行维护。

### 订货须知

- 1、订货前，应明确“额定电流”、“额定电压”、“最大短路电流”，需提供“短路电流计算书”或必要的系统参数（一次系统单线图、额定电压、额定电流、短路阻抗、线路阻抗、系统短路容量等）；
- 2、明确设备安装场及空间位置；
- 3、装置及备品的型号、规格和数量；
- 4、有无重合闸配合要求以及重合闸时间间隔；
- 5、装置使用在特殊环境条件下，应在订货时详细说明；
- 6、其他特殊要求。