

股票代码：430600



SHANGTU ELEC

尚途电力

支持电力 不遗余力

产品选型手册

Product selection manual

www.ahstdl.com



SHANGTU ELEC

尚途电力

安徽尚途电力保护设备有限公司

Anhui Shangtu Power Protection Equipment Co.,Ltd

地址：合肥高新开发区合欢路26号

电话：0551-65845283 13625515125

传真：0551-65281087 65281038

网址：www.ahstdl.com

2019年3月第三版第一次印刷

版权所有 翻印必究

安徽尚途电力保护设备有限公司
Anhui Shangtu Power Protection Equipment Co.,Ltd

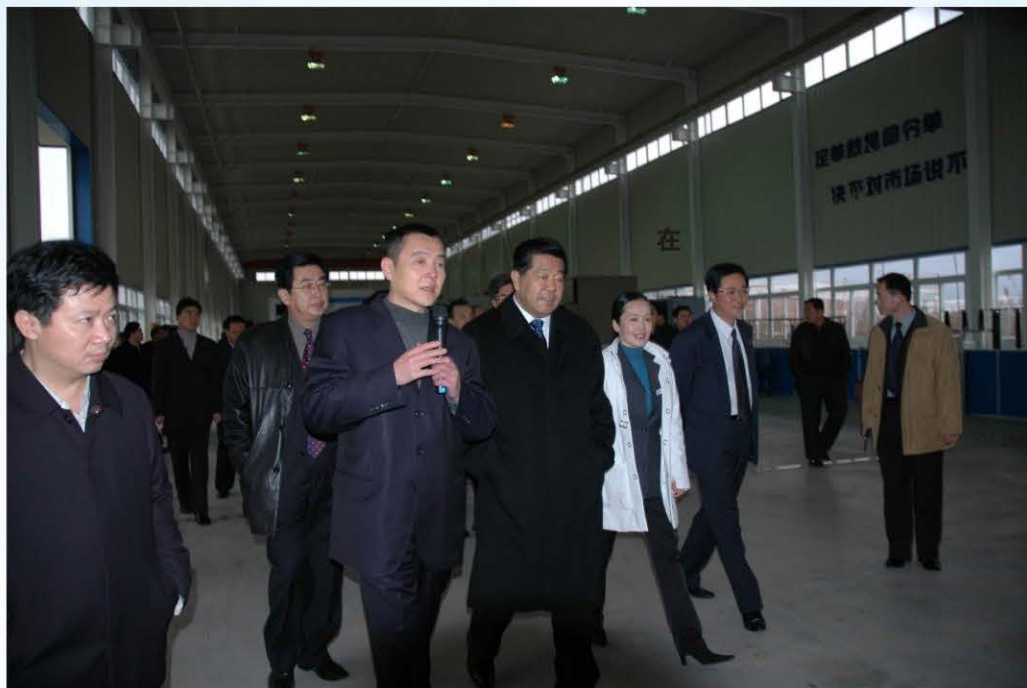
CONTENT目录

01	HDF (FSR) 大容量高速开关装置	01
02	ST-ZLB-Q可恢复式大容量高速开关装置	09
03	ST-ZLB零损耗深度限流装置	17
04	ST-ZRD-6母线残压保持装置	34
05	ST-MS 高速断路器及切换控制器	41
06	ST-MS低压快速切换装置	55
07	ST-GVFC发电机出口断路器装置	66
08	Spark 精准相控合闸装置	76

领导关怀：



国家领导人吴邦国来我公司视察



国家领导人贾庆林来我公司视察

公司简介

INTRODUCTION

安徽尚途电力保护设备有限公司是由王川博士发起成立的高新技术企业，主要从事新型电子设备、电气设备、过电压保护设备、特种开关、高低压成套设备和智能化控制技术、快速分合闸技术产品的研发、生产、销售。公司产品有：HDF（FSR）大容量高速开关装置、ST-ZLB-Q可恢复式大容量高速开关装置、ST-ZLB零损耗深度限流装置、ST-ZRD母线残压保持装置、ST-MS低压快速切换装置、ST-GVFC发电机出口断路器装置、Spark 精准相控合闸装置、SIXH智能型消弧消谐装置、SIZ智能型开关消弧消谐柜、SIZY电网聚优（抑制）过电压综合抑制柜、SIG高能容防爆型过电压保护器、FUR智能型高压限流组合保护装置等。公司产品全部拥有自主知识产权并获得国家专利，且通过安徽省科技厅组织的科学技术成果鉴定，是安徽省科技厅认定的高新技术产品、软件产品，产品广泛应用于电力、石油、化工、冶金、水泥钢铁等行业企业，受到用户的一致好评。

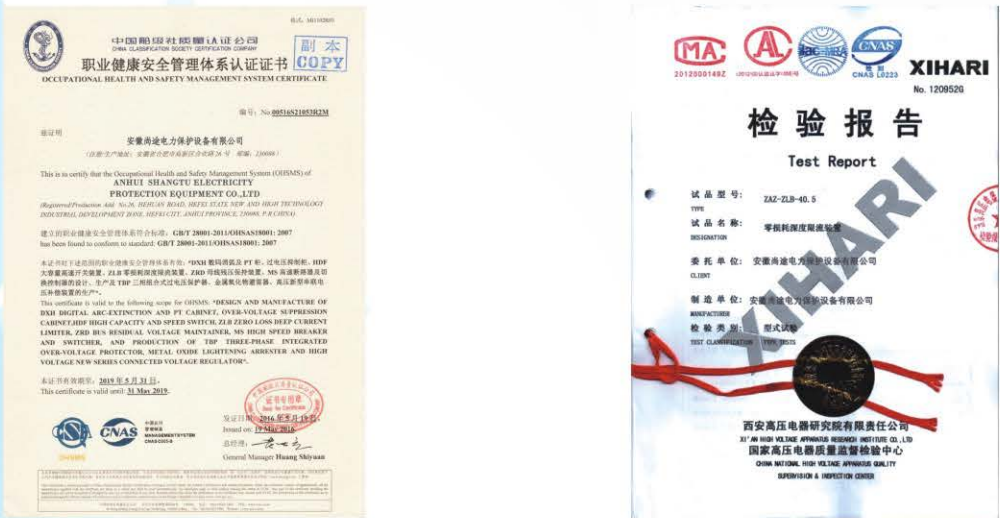
公司通过持续不断的技术创新，始终保持产品技术在同行业处于优先地位。在董事长王川博士的主导下，汇聚了一批具有博士、硕士学历的高级科研人才，并与多所著名大学和科研院所建立战略合作伙伴关系，在电能质量改善和节能节电方面的应用、过电压过电流保护的研发和生产方面取得了良好的成效。

公司在省科技厅的支持下，建立了安徽省中压电网特种电器工程技术中心，公司建立了全国具有影响力的电力系统过电流、过电压实验室，公司技术中心的建成不仅可以加速科技创新成果的转化，而且可以向全国同行提供检测服务。

公司始终坚持技术优先、专注电力保护；以个性化设计、提供整体技术方案，为客户量身订制品质卓越产品；公司在生产经营中遵循以诚为本、恪守信誉、提高效率、持续发展的宗旨。将热情、优质、高效融入售前、售中、售后服务整个过程，最大限度满足客户的要求。

公司秉承高新技术企业人才密集、资金密集、技术密集优势，真诚与电力、电气行业协作，携手共创美好未来！

公司资质 The company qualification



公司剪影 The company silhouette



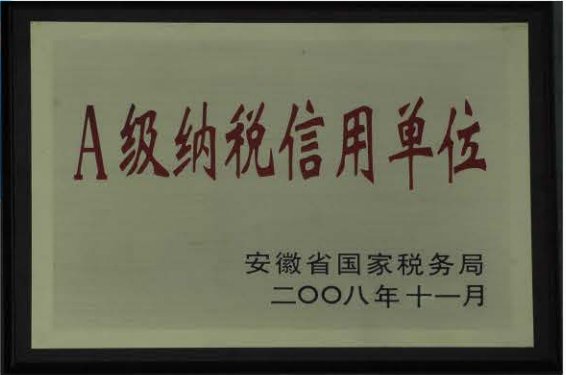
公司行政楼



加拿大公司行政楼



加拿大Max-Swi公司研发中心



加拿大Max-Swi公司厂房



ZLB-35-2500A现场



ZLB在大电流实验室的1:1出厂试验



300kV实验室



ZLB出厂实验室



330kV限流器实验室



低电压穿越装置实验室



双电源切换实验室



高速涡流断路器实验室



01 HDF(FSR)大容量高速开关装置

产品简介

HDF (FSR) 大容量高速开关装置是本公司研制的专利产品。产品通过了国家高压电器质量监督检验中心的大电流开断及EMC等全部型式试验。主要用在发电厂和变电站,大幅度限制短路电流,防止发电机、变压器等主要电气设备在短路电流的冲击下产生绕组变形而损坏,避免灾难性事故的发生,同时它还可改进电力系统的运行方式,进一步提高电能的质量及供电的可靠性。

目前HDF (FSR) 大容量高速开关装置的额定电压为6~35kV,额定电流为1~6kA。其具有开断预期值为100~200kA短路电流的能力,可将实际短路电流限制到预期短路电流值的20~50%,且开断时间仅为3ms之内,从而免除了巨大短路电流对主电力设备造成的灾难冲击和损坏,可解决长期困扰电力系统和电力用户的诸多难题。该产品可用于电力、冶金、化工、水泥、核聚变及航船等用户,防止因供电系统短路而引发的灾难性后果。该产品在我国的多个省市已投入运行,多次成功地开断了短路电流,避免了短路电流对设备造成冲击。



大容量高速开关装置如图1中所示,它由桥体FS、熔断器FU、非线性电阻FR、电流互感器CT及测控单元组成,简称HDF,符号表示为 .

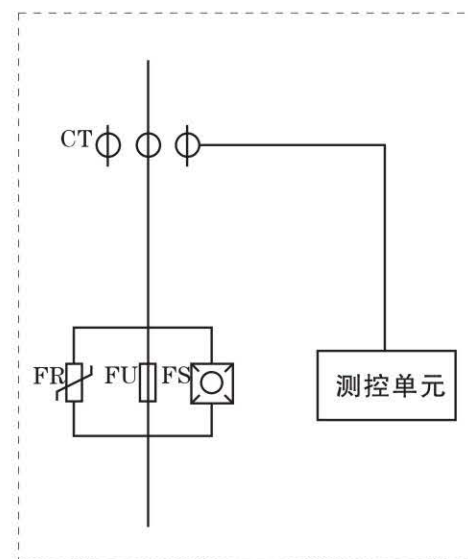


图1

◆ 桥体

正常时流过工作电流,短路时在0.15ms之内快速断开。

◆ 熔断器

桥体断开后全部短路电流转移到熔断器,在0.5ms以内熔断,并产生足够的弧压。

◆ 非线性电阻

熔断器熔断时产生的弧压使其导通,吸收磁能,并把开断时的过电压限制在允许范围内。

◆ 电流互感器 (不饱和CT)

在故障情况下,电流信号不失真、不滞后。

◆ 测控单元

检测电流和电流变化率,故障出现时向桥体发出分断信号。

新颖的原理,先进的技术,巧妙的设计,使得大容量高速开关装置与常规断路器加继电器的保护方式相比,更具有独特的优越性。

◆ 速动性提高20倍以上 (图2)

故障电流在1ms之内被截流,3ms之内衰减到0,故障被完全切除。

断路器加继电器的保护方式至少要60ms才能切除故障。

◆ 增加电流变化率作判据,灵敏度更高

故障时电流变化率增加更明显。

◆ 设计合理,可靠性更高 (图3)

当电流幅值和电流变化率同时超过正常值时,判断有短路发生。

采用三个相同的独立工作的测控部件,以“表决方式”判断,发出分断信号,不会误判断。

◆ 开断容量可以不受限制

正常工作电流从桥体通过。高遮断容量的熔断器产生的弧压足以使非线性电阻导通。非线性电阻导通使熔断器可靠熄弧。

只要配置相应的非线性电阻来吸收磁能,开断容量就做得足够大。

◆ 系统永远达不到预期的冲击电流 (图4)

故障电流在1ms以内即被截断,之后逐渐衰减到0。

截流值 I_p 仅为预期得短路电流峰值 I_{max} 的十分之一左右。

系统承受的电动力大大减小。

所通过的 I^2t 仅为断路器开断方式的几千分之一。

◆ 开断过程中危害性过电压

氧化锌非线性电阻将过电压限制

在国家标准规定的2.5倍额定相电压内。

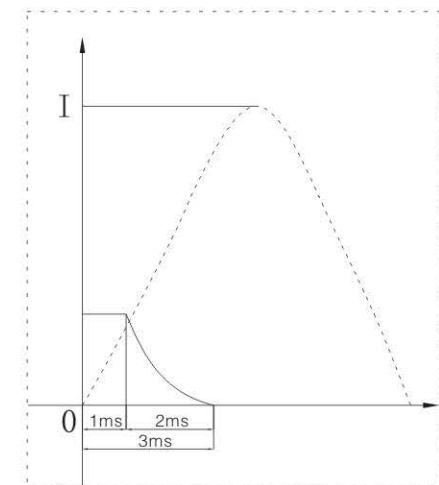


图2

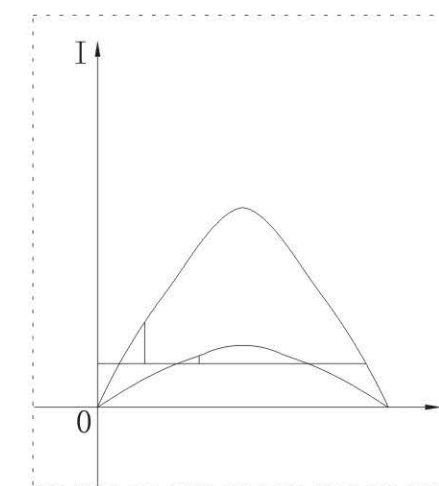


图3

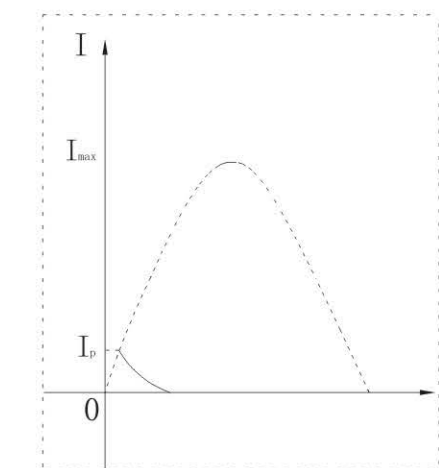


图4

◆ 系统投资大大降低

电力设备可免受强大的短路电流的冲击，机械强度不必设计得很大。
开断快，截流小，电力设备无须考虑冲击问题，导体尺寸不必很大。

◆ 大型发电机出口短路能得到快速有效保护（图5）

开断容量大，是发电机出口及厂用分支理想的开断设备。
使发电机、变压器得到快速有效保护。

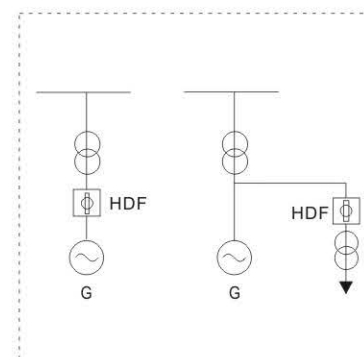


图5

◆ 大大减少系统扩建或联网运行所需要的投资（图6）

短路时HDF快速将系统解列，负荷侧断路器只按单台变压器提供的短路电流选择。

系统扩建时原有开关设备不必更换。

可提高系统供电可靠性，减少重负载启动时的压降。

实现经济运行。

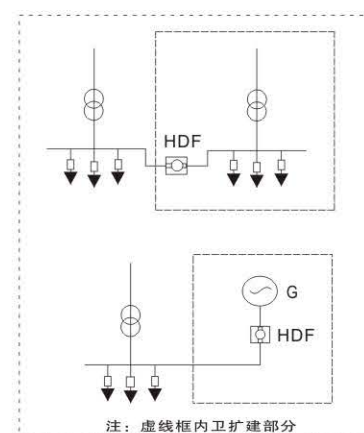


图6

◆ HDF与电抗器并联是最经济有效的限流方案（图7）

正常运行时HDF将电抗器短接，避免了电抗器巨大的能损耗和大型电动机启动时的电压降。

短路时HDF快速断开，负荷侧断路器开断电流受电抗器限制到允许范围。

在新供用电系统设计中，可加大电抗器阻抗，使负荷侧断路器的开断电流进一步减小，降低造价。

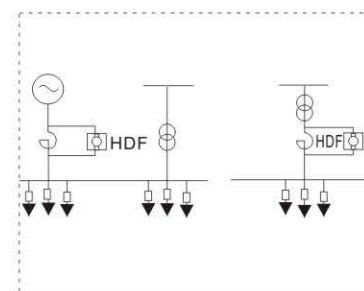


图7

◆ 对不允许瞬间断电或须强行启动的重要负荷，可提高供电质量（图8）

线路短路时，HDF快速断开，将电抗器投入。电抗器上的残压可设计得足以维持重要负荷继续运行而不受影响。

型号

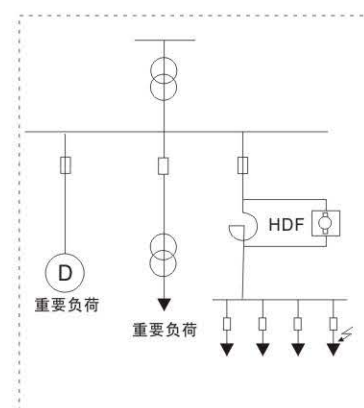
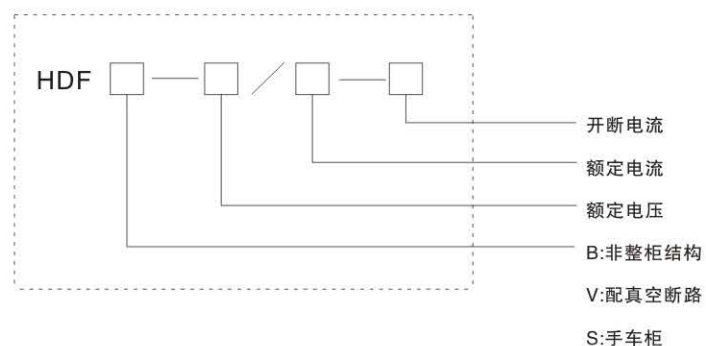
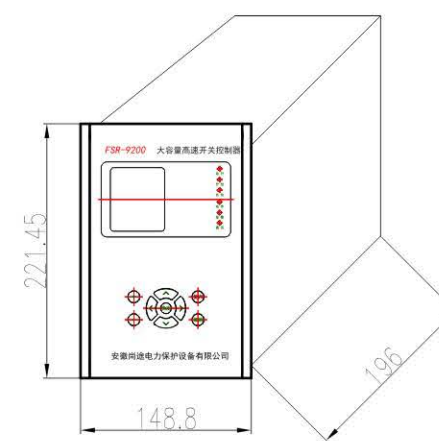


图8

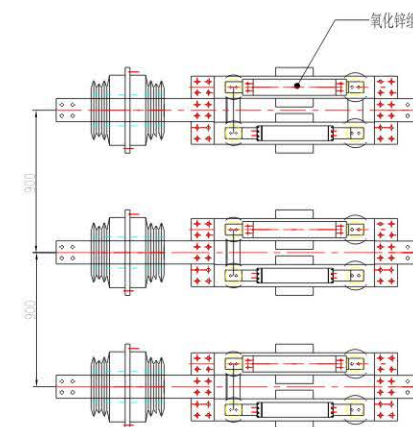
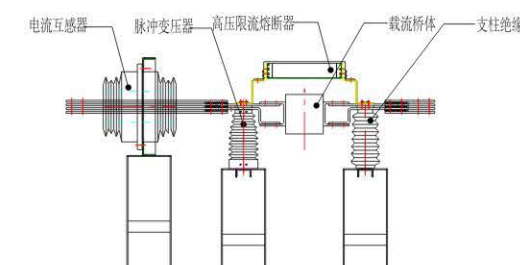
技术参数

额定电压 (kV)	6	10	13.8	15.75	18	35
额定电流 (kA)	1	2	3	4	5	6
开断电流 (kA)	63	80	100	125	160	
分段时间 (ms)	截流时间			电流衰减为0的时间		
	≤1			≤3		



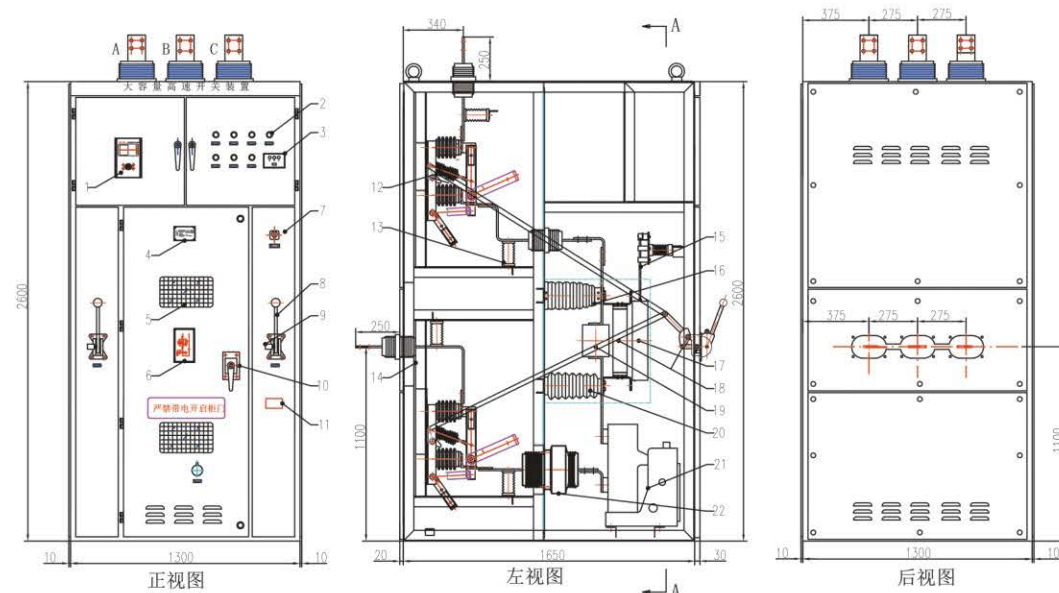
外形尺寸图

测控单元（图9）



HDF-B-12/4000-6000非整柜结构的安装方式

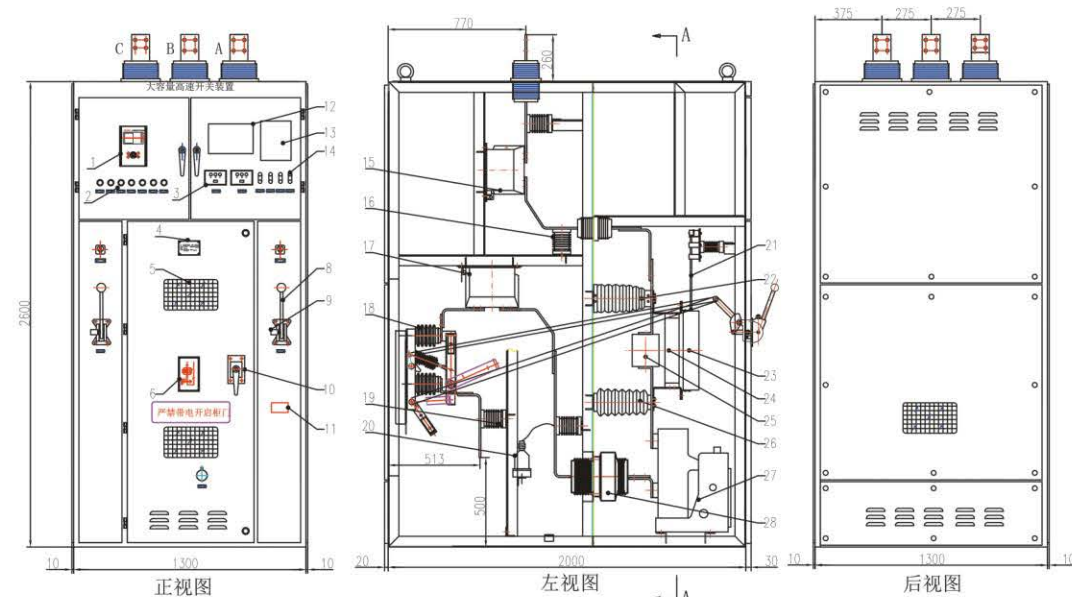
▲ 非整柜体结构（图10）



1、控制器 2、信号灯 3、带电显示器 4、铭牌 5、观察窗 6、一次模拟牌 7、分合闸转换开关 8、操作机构 9、刀闸电磁锁 10、门电磁锁 11、照明灯 12、上隔离开关 13、电压传感器 14、下隔离开关 15、撞击机构 16、专用脉冲变压器 17、高压限流熔断器 18、非线性电阻 19、载流桥体 20、支柱绝缘子 (H=320) 21、真空断路器 22、电流互感器

HDF-12/1000上进后出的安装方式

▲ 柜体结构 (图11)



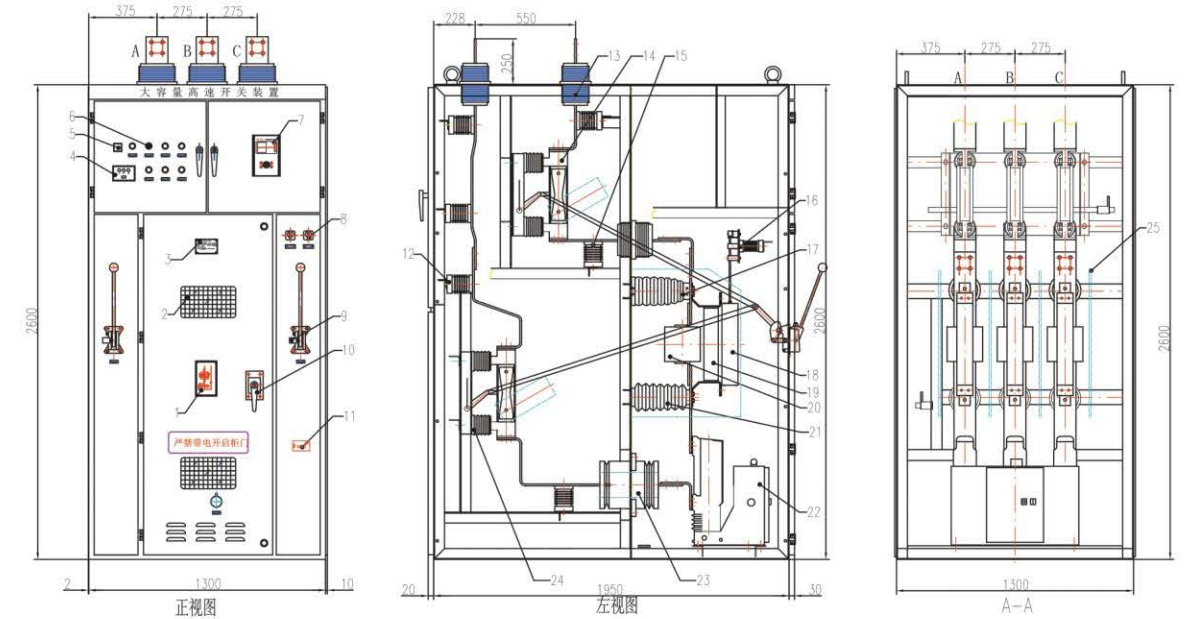
1、控制器 2、信号灯 3、带电显示器 4、铭牌 5、观察窗 6、一次模拟牌 7、分合闸转换开关 8、操作机构 9、刀闸电磁锁 10、门电磁锁 11、照明灯 12、综保 13、电能表观察窗 14、连接片 15、进线侧电流互感器 16、电压传感器 17、出线侧电流互感器 18、隔离开关 19、电压传感器 20、过电压保护器 21、撞击机构 22、专用脉冲变压器 23、高压限流熔断器 24、非线性电阻 25、载流桥体 26、支柱绝缘子 (H=320) 27、真空断路器 28、专用电流互感器

HDF-12/1000上进下出的安装方式

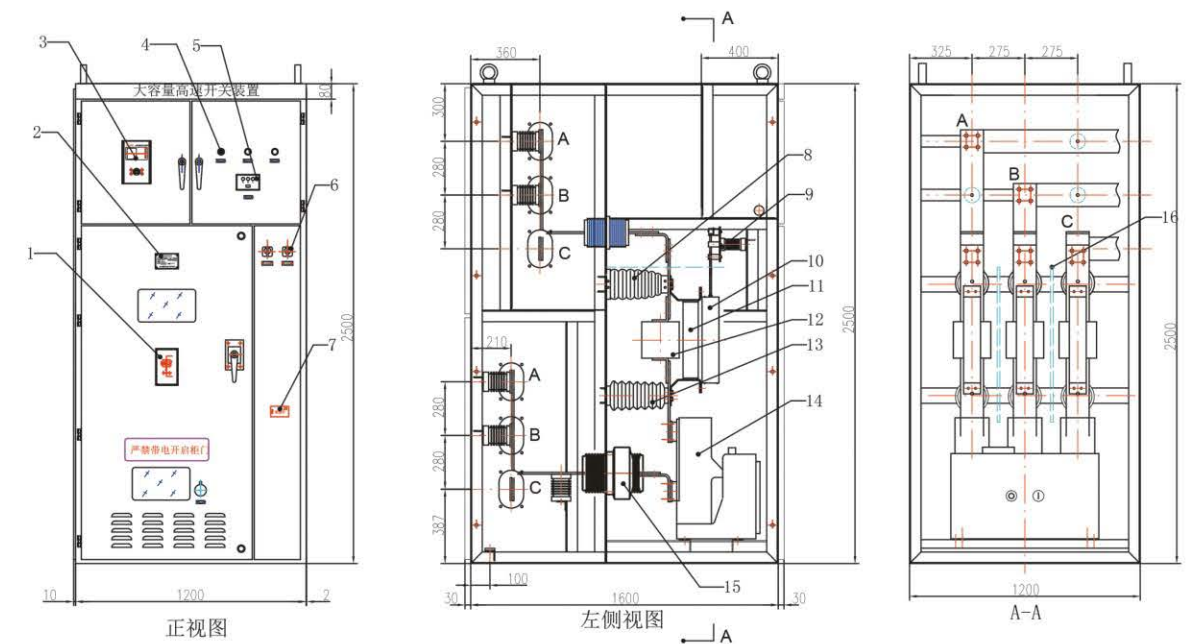
▲ 柜体结构 (图12)

▼ 柜体结构 (图13)

HDF-12/2000上进上出的安装方式



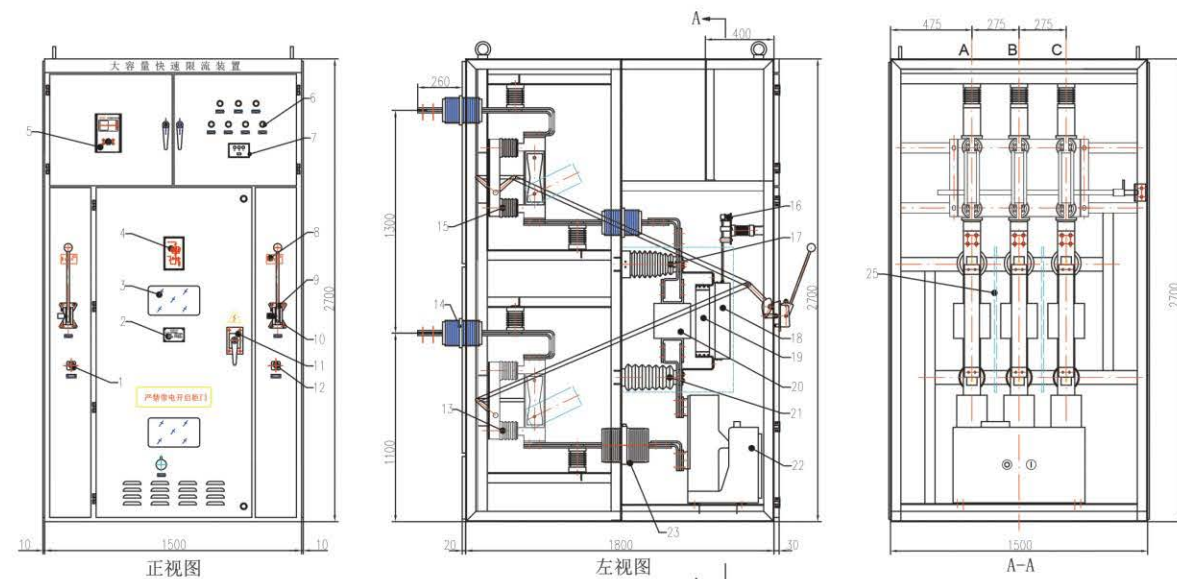
1、一次模拟牌 2、观察窗 3、铭牌 4、高压带电显示 5、温控器 6、指示灯 7、控制器 8、转换开关 9、刀闸电磁锁 10、门电磁锁 11、照明灯 12、电压传感器 13、穿墙套管 14、上隔离开关 15、电压传感器 16、撞击机构 17、专用脉冲变 (320) 18、限流熔断器 19、氧化锌组件 20、载流桥体 21、支柱绝缘子 22、断路器 23、电流互感器 24、下隔离开关 25、隔板 (4块 610*810*5)



1、一次模拟牌 2、铭牌 3、控制器 4、指示灯 5、高压带电指示 6、转换开关 7、照明灯 8、脉冲变压器 9、撞击机构 10、限流熔断器 11、氧化锌组件 12、载流桥体 13、支柱绝缘子 (320) 13、支柱绝缘子 14、断路器 15、电流互感器 16、隔板

HDF-V-12/2000 侧进侧出的安装方式

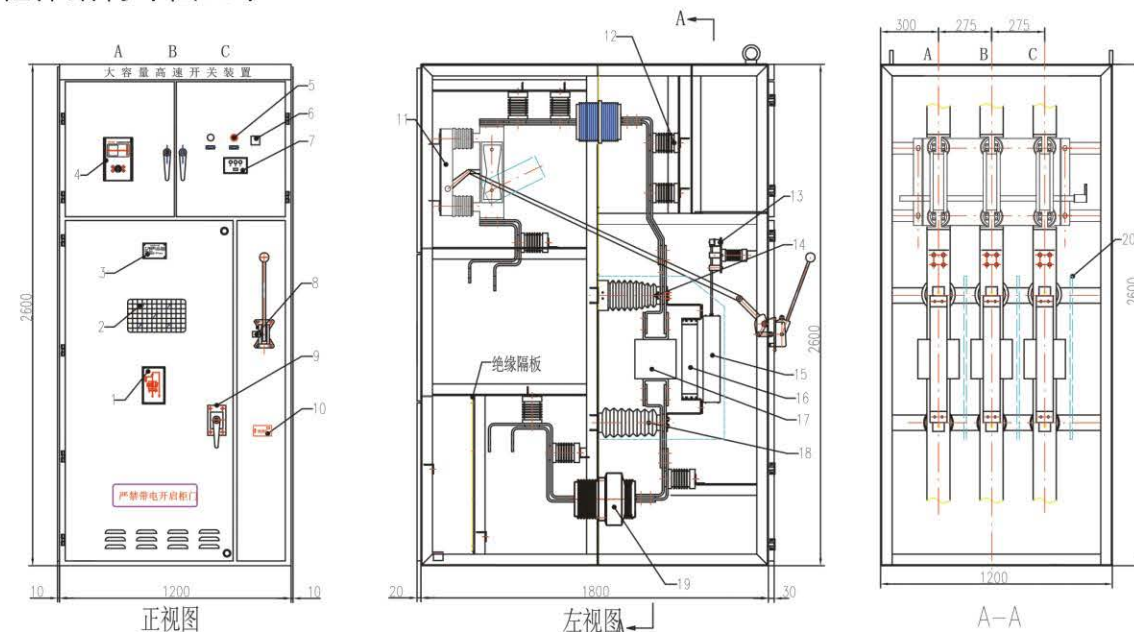
▲ 柜体结构 (图14)



1、就地远方转换开关 2、铭牌 3、观察窗 4、一次模拟牌 5、控制器 6、指示灯 7、高压带电显示器 8、照明灯 9、操作机构 10、刀闸电磁锁 11、门电磁锁 12、断路器合分闸转换开关 13、下隔离开关 14、穿墙套管 15、上隔离开关 16、撞击机构 17、脉冲变压器 18、限流熔断器 19、氧化锌组件 20、载流桥体 21、支柱绝缘子 22、真空断路器 23、专用电流互感器 24、电压传感器 25、隔板 (650*845*5)

HDF-12/3000后出后出的安装方式

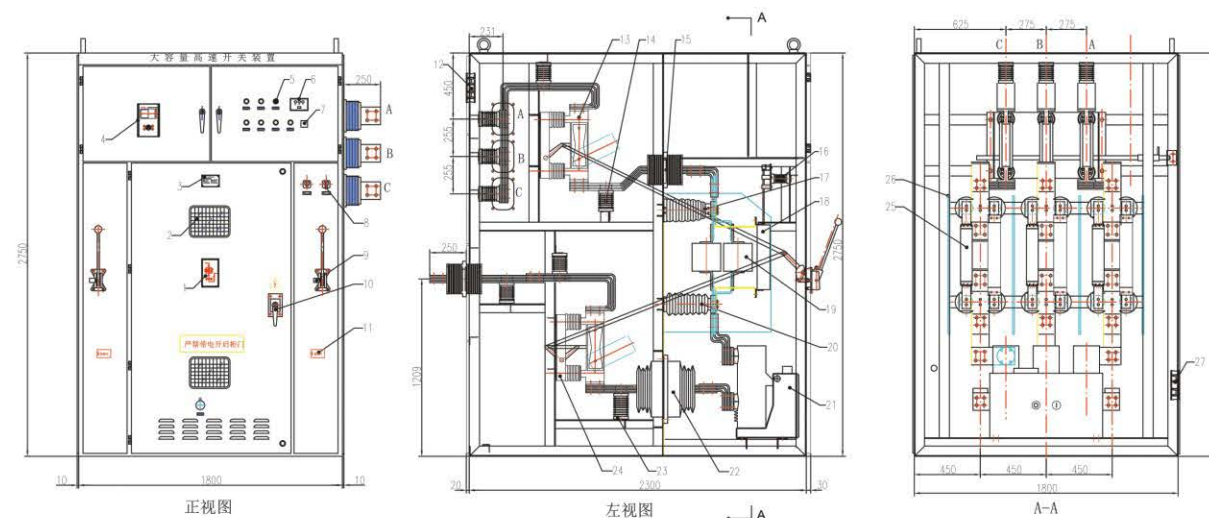
▲ 柜体结构 (图15)



1、一次模拟牌 2、观察窗 3、铭牌 4、控制器 5、指示灯 6、温控器 7、高压带电显示 8、刀闸电磁锁 9、门电磁锁 10、照明灯 11、隔离开关 12、电压传感器 13、撞击机构 14、专用脉冲变 15、限流熔断器 16、氧化锌组件 17、载流桥体 18、支柱绝缘 (320) 19、电流互感器 20、隔板 (3块 650*850*5)

HDF-12/3000上进下出的安装方式

▲ 柜体结构 (图16)



1、一次模拟牌 2、观察窗 3、铭牌 4、控制器 5、指示灯 6、高压带电显示 7、温湿度控制器 8、转换开关 9、刀闸电磁锁 10、门电磁锁 11、照明灯 12、风扇 13、隔离开关 14、电压传感器 15、穿墙套管 16、撞击机构 17、专用脉冲变 (320) 18、限流熔断器 19、载流桥体 20、支柱绝缘子 21、断路器 22、电流互感器 23、绝缘子 (180) 24、下隔离开关 25、氧化锌组件 26、隔板(4块 730*940*5) 27、风扇

HDF-12/4000侧进后出的安装方式

▲ 柜体结构 (图17)

使用环境条件

环境温度 -40℃~ +60℃
海拔高度 一般不大于2000米，大于2000米的要特殊设计
使用环境 不得有粉尘、煤气、烟气等具有爆炸性的混合物
安装地点 户内
相对湿度 90%

包装、运输、储存

一般采用木箱包装，柜体底座应固定在包装箱底板上。
不要在三级以下公路上长距离运输，必要时可拆包装。
长期不用时，应储存在干燥、通风的仓库内，不宜长期在户外储存。
运输过程中HDF主件应避免碰撞、受潮及暴晒。

技术服务

本公司可根据用户要求，调整HDF装置柜体尺寸、进出线方式等，来满足用户的现场条件，同时可应用户的要求，派工程技术人员到现场进行产品介绍、现场勘测、指导安装与调试以及人员培训。

订货须知

- 1、用户应提供系统的电气主接线图，接入系统的短路阻抗（短路容量）、系统的运行方式、系统中最大配电变压器容量和最大电动机功率以及系统中最小的断路器开断电流。
- 2、用户应提供系统中发电机系数（ P 、 $\cos \Phi$ 、 $X_d\%$ ），变压器参数（ s 、 $U_d\%$ ），电抗器参数（ U 、 I 、 $X_d\%$ ）。
- 3、用户应提供本装置的柜体安装位置（单独放置或与别的柜体拼柜）和进出线的方式（上进上出、上进下出、后进后出、上进侧下出、以及侧下进侧上出等）。
- 4、供货期一般为用户确认本公司设计后40天，若有特殊要求可另行协商。

02 ST-ZLB-Q可恢复大容量高速开关装置

可恢复式大容量高速开关装置（符号表示为 ）具备普通断路器的全部功能。

可恢复式大容量高速开关装置更能够用于需要快速开断大电流的场合。当系统发生短路故障时能快速切除故障，不会引起系统电压陡降等不安全因素，避免造成发电机和系统受到过电压冲击，保护系统安全运行。

本装置可用于电厂发电机出口及厂用高压侧，钢铁、化工、水泥等行业的余热发电机出口或替代传统母联开关使用。

本装置使用了本公司六项最新专利技术：

ZI02258132.4、ZL02286665.5、ZL200420024429.6、
ZL2004200789989、ZI200520139696、ZL00219352.3

本装置的工作原理

本装置通过专用不饱和CT，监视系统电流，当短路电流大于设定的幅值和电流变化率，高速DSP通过专用算法，快速精确地预测出三相电流过零点的精确时间，分别在每相电流过零之前发出信号。

进口快速开关在电流过零点时三相分别准确分闸，切断短路电流。

大容量自脱离过电压保护器将开关操作过电压限制在2.5倍额定相电压以内，保证系统绝缘的安全。

测控单元向后台发出动作指示信号。

本装置可在5-10ms内切断短路电流，使系统所受到的短路冲击极小，大大优于一般微机综保加真空断路器的保护模式。

短路故障排除后，可立即给装置发出合闸命令，系统即可恢复正常运行。

本装置的特点

◆动作速度快

本装置能在系统发生短路的5-10ms内切断短路电流。

短路保护装置的动作时间由三部分组成：监控单元采样、计算、发出命令时间，断路器固有分闸时间；燃弧时间。

一般微机保护采样需要一个周波20ms；快速FFT计算及发出命令需30ms；普通断路器固有分闸时间需50ms以上，开断后的燃弧时间，最不利时达15ms，电流才能过零熄弧，故其需要100ms以上，方能切断短路电流。长时间的短路电流对变压器、母线、开关产生巨大冲击力，对系统的动、热稳定有着极高的要求。

本装置使用进口高速涡流驱动开关，能实现5ms以内分闸，10ms合闸。同时测控单元使用高精度、高速数模转换器，不断对系统电流进行检测，当电流和电流变化率大于设定值时，通过高速DSP技术和专用算法，在2ms内快速计算短路电流及电流过零点的精确时刻，并在过零之前发出动作信号，驱动开关在过零点之前切断电路，确保燃弧时间最短，在5-10ms内切断短路电流。

◆开断能力强

本装置的进口开关为三相独立设计，分别动作，利用对触头刚分时间的合理控制，确保各相动作均为过零开断，大大增加了灭弧室的开断余量，短路开断能力可轻松达到80kA。

◆使用寿命长

本装置的进口开关使用高速涡流驱动机构，比普通断路器所使用的弹簧操作机构运动部件减少60%，且使用简单的直线运动，没有复杂的传动机构，磨损极小，机械寿命及可靠性大大提高。同时，本装置系过零点开断，燃弧期间的燃烧量不到普通断路器的20%，触头烧灼小，其触点电寿命呈级数上升。

◆性能高可靠

本装置核心部件均为国外生产，即使在强电磁干扰环境下，仍能可靠运行。同时，电子控制器带有实时自检功能 确保其始终可靠运行。本装置还配备了微机综保装置，具有过电流、缺相、零序和短路的后备保护等普通综保的全部功能。

◆动作分散度小

由于大幅度地缩短了合闸时间并配置了直接驱动的高速涡流驱动机构，合闸分散度可以控制在0.1ms以内。

◆合闸无反弹

根据现场情况，可加装防触头撞击装置，确保合闸无反弹。

本装置的关键技术

◆速动性提高10倍以上

故障电流在5-10ms内被完全切除。而断路器加继电器的保护方式至少需要100ms以上才能切除故障。

◆测控单元灵敏可靠

采用高速、高精度模数转换器，通过高速DSP技术和专用算法，在2ms内快速计算短路电流并发出控制信号。

◆开断容量大大提高

通过高速DSP技术，可分析判断出每相电流过零点的精确时刻，驱动开关在过零点之前切断电路，使燃弧时间最短，可大大提高开关的开断能力，同时减少故障对系统的冲击。

◆开断过程中无危害性过电压

大容量自脱离过电压保护器的氧化锌非线性电阻具有良好的非线性特征，可将分闸开断过程中的过电压限制在国家规定的2.5倍额定相电压以内。

◆装置动作后可快速恢复

短路故障排除后，可立即给装置发出合闸命令，系统即可恢复正常运行，不会产生更换备件的费用和造成停电损失。

本装置的适用范围

◆与电抗器并联是最经济有效的限流方案（图1）

正常运行时本装置将电抗器短接，避免了电抗器巨大的电能损耗和大型电动机启动时的压降。
短路时本装置快速断开，负荷侧断路器的开断电流受电抗器限制到允许范围。
在新供用电系统设计时，可加大电抗器阻抗，使负荷侧断路器的开断电流进一步减小，降低造价。

◆大型发电机出口短路能得到快速有效保护（图2）

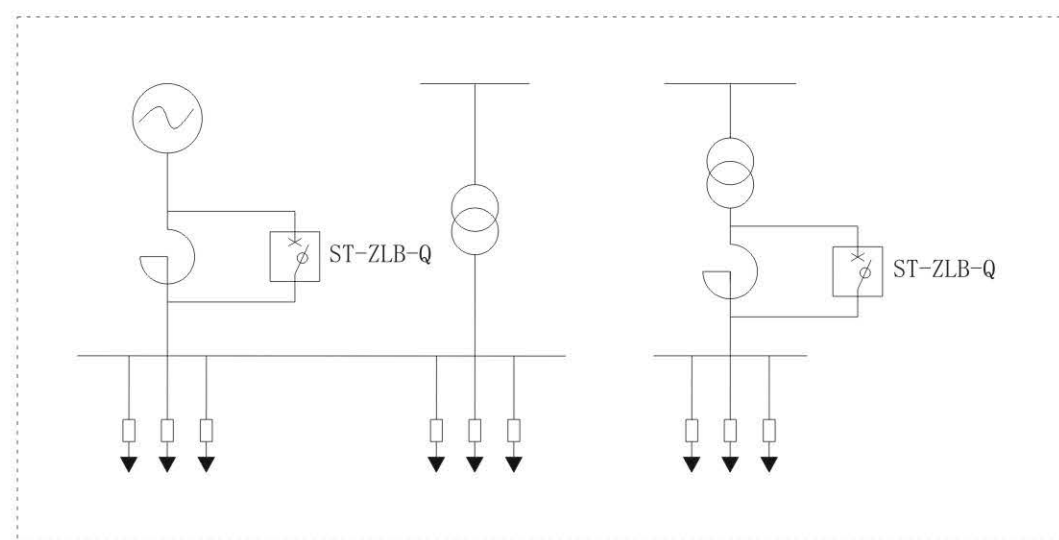
开断容量大，是发电机出口及厂用分支的理想开断设备。使发电机、变压器得到快速有效保护。

◆大大减少系统扩建或联网运行所需要的投资（图3）

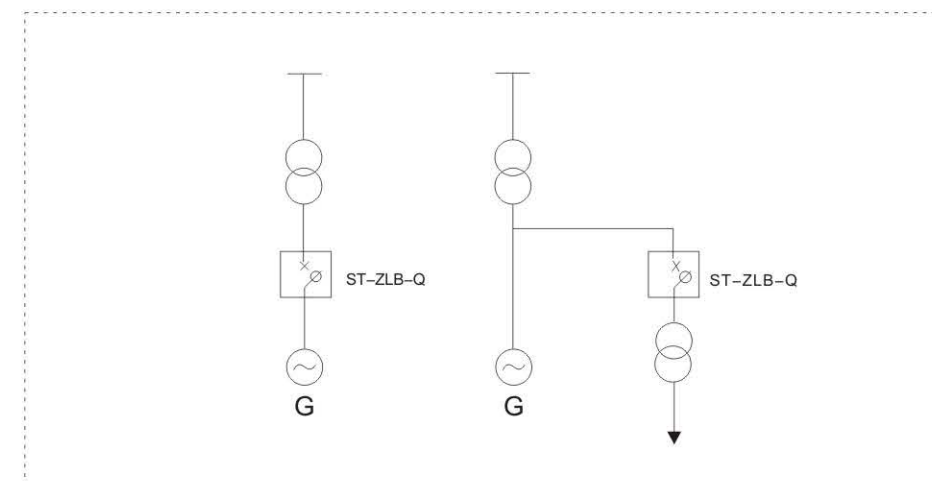
短路时本装置快速将系统解列，负荷侧断路器只按单台变压器提供的短路电流选择。
系统扩建时原有的开关设备不必更换。实现经济运行。
可提高系统供电可靠性，减少重负载启动时的降压。

◆对不允许瞬时间断供电或须强行自启动的重要负荷，可提高供电质量（图4）

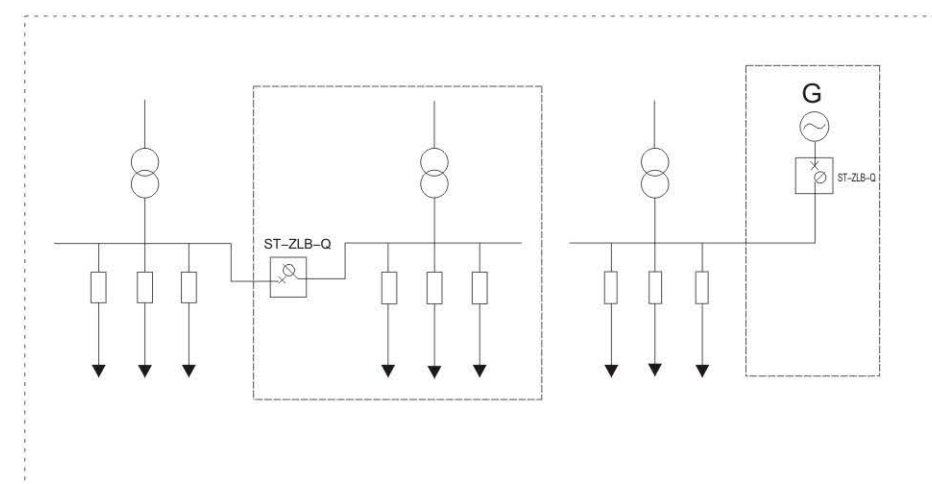
线路短路时，本装置快速断开，将电抗器投入。电抗器上的残压可设计得足以维持重要负荷继续运行而不受影响。



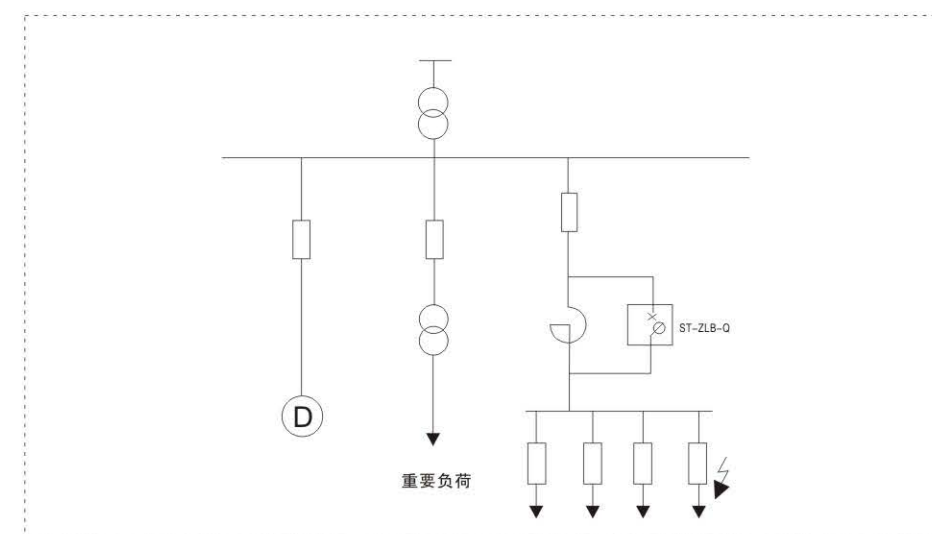
（图一）



（图二）



（图三）

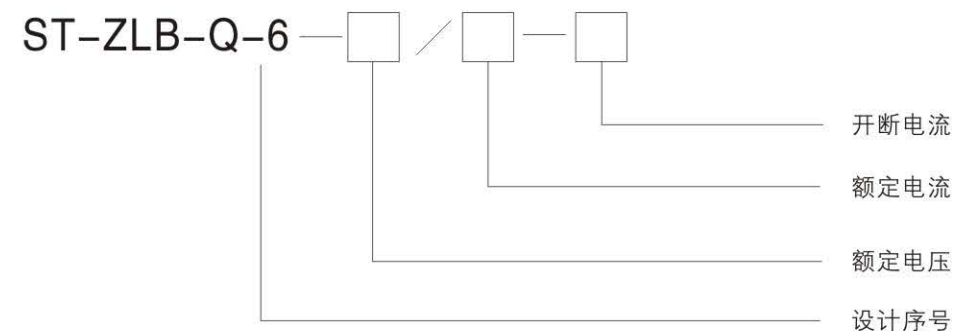


（图四）

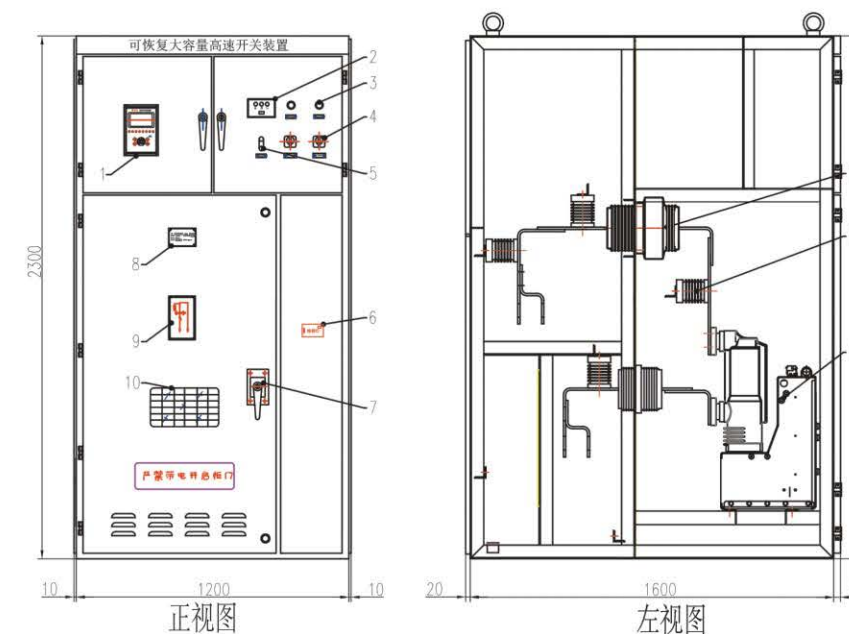
本装置的技术参数

设备名称	6-10kV可恢复式大容量高速开关装置
系统额定电压	6-10kV
系统最高电压	7.2-12.7kV
雷电冲击耐受电压（峰值）	75kV
短时（1min）工频耐受电压	42kV
额定频率	50Hz
额定电流	1000A-8000A
额定短时耐受电流	31.5kA-40kA-50kA-63kA-80kA
额定峰值耐受电流	100kA 160kA
额定短时开断电流	31.5kA-40kA-50kA-63kA-80kA
接触电阻	< 100
合闸时间	10ms
分闸时间	< 5ms
合闸不同期	< 2ms（特殊需要可做到无反弹）

本装置的型号



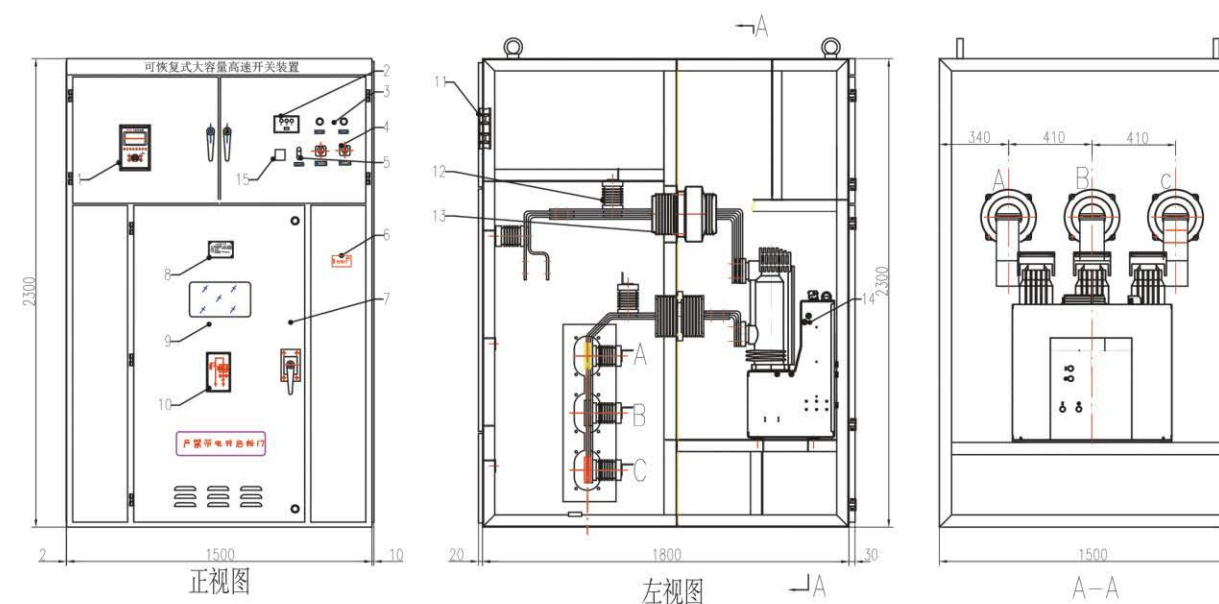
系统短路时大容量高速开关装置（ST-ZLB-Q）分闸电流：根据系统短路电流大小而定。



1、控制器 2、高压带电显示 3、指示灯 4、转换开关 5、运行检修状态 6、照明灯 7、门电磁锁 8、铭牌 9、模拟牌 10、观察窗 11、专用电流互感器 12、电压传感器 13、高速涡流开关

ST-ZLB-Q-12/2000A电缆下进下出

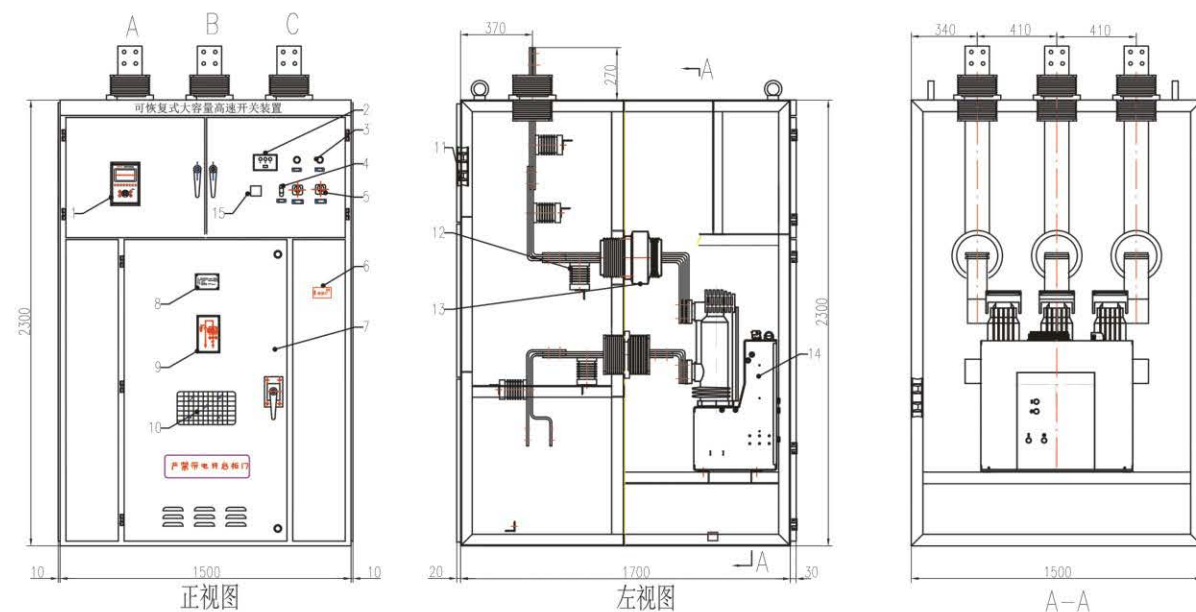
▲ 柜体结构



1、控制器 2、高压带电显示 3、指示灯 4、转换开关 5、运行检修状态 6、照明灯 7、门电磁锁 8、铭牌 9、模拟牌 10、观察窗 11、风扇 12、电压传感器 13、专用电流互感器 14、高速开关 15、温湿度控制器

ST-ZLB-Q-12/3150侧进下出

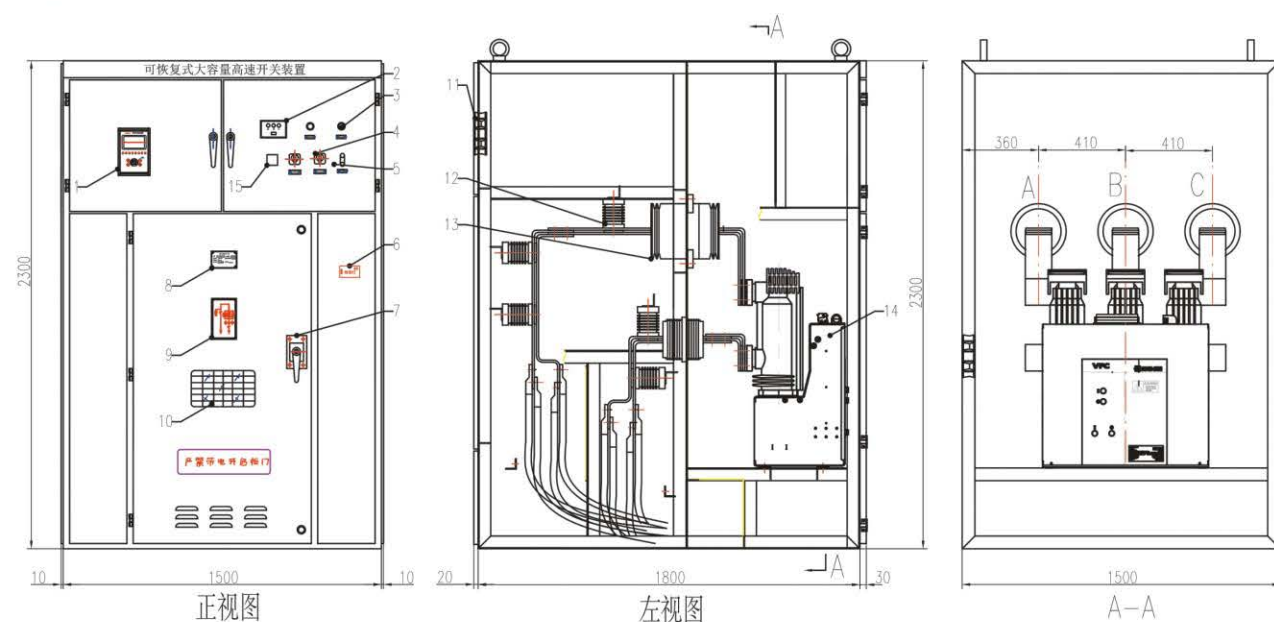
▲ 柜体结构



- 1、控制器 2、高压带电显示 3、指示灯 4、转换开关 5、运行检修状态 6、照明灯 7、门电磁锁 8、铭牌 9、模拟牌 10、观察窗
11、风扇 12、电压传感器 13、专用电流互感器 14、高速开关 15、温湿度控制器

ST-ZLB-12/4000A上进下出

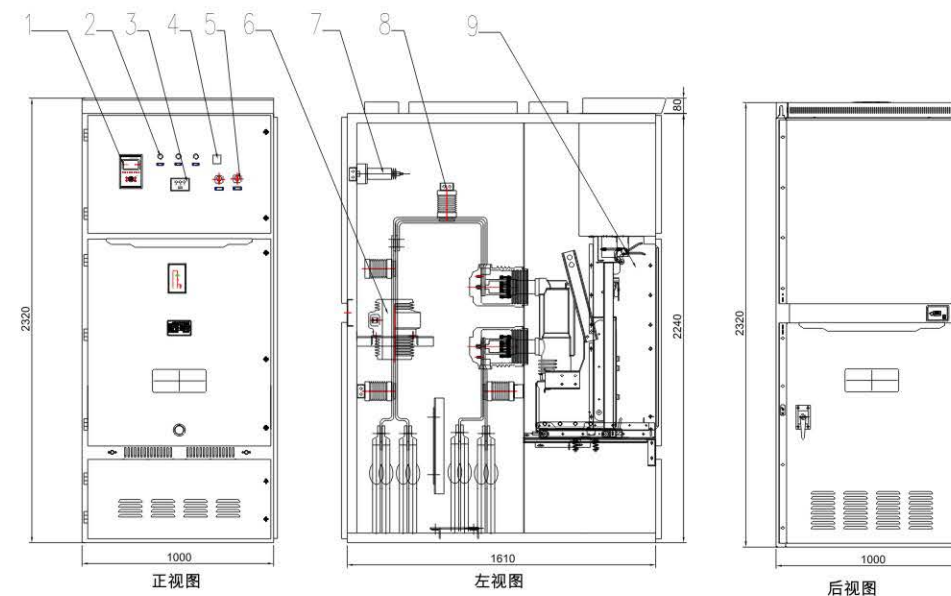
▲ 柜体结构



- 1、控制器 2、高压带电显示 3、指示灯 4、转换开关 5、运行检修状态 6、照明灯 7、门电磁锁 8、铭牌 9、模拟牌 10、观察窗
11、风扇 12、电压传感器 13、专用电流互感器 14、高速开关 15、温湿度控制器

ST-ZLB-12/4000A电缆下进下出

▲ 柜体结构



- 1、主开关测控单元 2、指示灯 3、高压带电显示 4、温湿度控制器 5、转换开关 6、专用电流互感器
7、过电压保护器 8、电压传感器 9、专用高速涡流驱动开关

使用环境

环境温度 $-40^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$

海拔高度 一般不大于2000m，大于2000m的要求特殊设计

使用场所 无酸碱腐蚀处

安装地点 户内

相对湿度 日平均相对湿度不大于95%

污秽等级 不超过 II 级（不得有粉尘、煤气、烟气等具有爆炸行的混合物）

包装、运输、储存

一般采用木箱包装，柜体底座应固定在包装箱底板上。

不要在三级以下公路上长距离运输，必要时可分解包装。

长期不用时，应存储在干燥，通风的仓库内，不宜长期在户外存储。

运输过程中ST-ZLB-Q主件应避免碰撞、受潮及暴晒。

参数选择及技术服务

本公司根据用户提供的发电机、变压器、线路等系统参数及用户其他要求负责技术设计。

应用户要求，本公司协助现场安装与调试，并负责技术指导。

订货须知

用户应提供发电机、变压器、线路等系统有关参数和图纸及现场设备布置尺寸图。

用户若需要附件备品或有其他特殊要求，应注明种类、规格及数量。

供货期一般为用户确认本公司设计后40天，若有特殊要求可另行协商。

03 ST-ZLB零损耗深度限流装置

前言

众所周知，电力系统发生短路故障时，短路电流一般为额定电流的十几倍，这给变压器、发电机、断路器、输电线路等电气设备造成很大危害，而目前较为经济实用的真空断路器的开断能力均在40KA以下，开断时间需要几十毫秒。随着各类型用电企业的发展壮大，用电负荷大举攀升，主变压器容量也相应增大，各企业电网系统面临短路电流已经接近和达到负载真空断路器的最大使用极限，负载侧真空断路器开断容量不足、变压器抗短路电流冲击能力设计不足等问题，严重威胁着企业用电安全运行。

面临越来越严重的短路电流超标问题，很多企业采用高阻抗变压器限制系统短路电流，但变压器加大阻抗没有最终解决限流深度问题，电动力减少甚微，还带来了有功无功损耗、投资成本上升。

采用普通串联限流电抗器也没有从根本上解决限流深度问题（电抗率均在百分之十几左右），同时带来了有功无功损耗、母线压降、漏磁场等弊病，系统发生短路时由于限流深度不够，不能有效的保护发电机、变压器等主要电气设备，在巨大的短路电流冲击下产生绕组变形而损坏，灾难性事故发生。

目前市场上使用的爆炸型大容量高速开断装置和电抗器并联运行，虽然解决了电抗器有功无功损耗、电压降、漏磁场问题，但是当发生短路故障后其一次元器件动作，电抗器投入工作并没有解决限流深度问题。该类型装置需要更换新的备件，方可重新投入运行。企业运行费用不仅增加，并且增加了安装柜体的空间及电抗器装置之间的母线连接，人为的设置故障隐患点。

因而开发一种能快速、可靠的深度限制短路电流的电抗器，这不仅对电力系统安全、可靠的运行显得十分重要，而且对降低电气设备使用厂家的设备成本也有着十分重要的意义。

优质限流电抗器必须具备：

- 系统无短路故障发生时，电抗器阻抗最小-----零损耗；
- 系统发生短路故障时，电抗器阻抗很大-----深度限流；
- 系统短路故障切除后，立即返回原工作状态。

零损耗深度限流装置(ST-ZLB)是本公司为了满足电力系统对短路保护的需求而开发的一种新型短路限流保护装置，它可在短路电流的初始阶段，快速投入深度限流电抗器即将短路电流限制在可靠的范围内，从而达到了保护发配电设备及供电线路的目的。

工作原理

本装置通过罗氏线圈，监视系统电流，当短路电流大于设定的幅值，高速DCP通过专用算法，快速精确的预测出三相电流过零点的精确时间，分别在每相电流过零之前发出信号。

高速开关在电流接近过零点时三相分别准确分闸开断，短路电流换流进入深度限流电抗器中，限制短路电流短路电流幅值大大降低。

测控单元向后台发出动作指示信号。

本装置在5-10毫秒内将短路电流限制在原幅值50%以下，使系统所受到的短路冲击大大降低，保护系统内变压器发电机等电气设备，同时提高了短路点负载真空断路器使用寿命，保证了系统的安全运行。

短路故障切除后，测控单元自动检测母线电压回升立即给高速开关发出合闸命令，深限流电抗器退出，系统即可恢复正常运行。

装置的特点

◆动作速度快

本装置能在系统发生短路的5-10毫秒内将短路电流开断，深度限流电抗器将短路电流降至50%以下。

短路保护装置的开断时间由四部分组成：监控单元采样、计算、发出命令时间，专用断路器固有分闸时间，燃弧时间，短路电流换流进入深限流电抗器时间。

一般微机保护采样需一个周波20毫秒：快速FFT计算及发出命令需30毫秒，普通断路器固有分闸时间需50毫秒以上，开断后的燃弧时间达十几毫秒左右，电流才能通过零熄弧。故其需要100毫秒左右方能切断短路电流。长时间的短路电流对变压器、母线、开关和发电机等设备的动、热稳定有着极高的要求。

本装置中使用高速涡流驱动开关，能实现5毫秒以内分闸，10毫秒合闸。同时测控单元使用高精度、高速数模转换器，不断对系统电流进行检测，当电流大于设定值时，通过高速DSP技术和专用算法，在2毫秒内快速计算短路电流及电流过零点的精确时刻，并在过零点之前发出动作信号，驱动开关在过零点之前切断电路，确保燃弧时间最短，在5-10毫秒内将短路电流换入深度限流电抗器中。

◆开断能力强

本装置中的进口开关为三相独立动作，利用对触头刚分时间的合理控制，确保各相动作均为临界过零开断，使燃弧时间最小。大大增加了灭弧室的开断余量，短路开断能力可轻松达到80KA。

限流电抗器限流效果好

本装置中深度限流电抗器由于正常运行时，无电流通过。从而无能损耗，无压降，同时也不会产生漏磁场。只有在短路发生时投入工作，电抗值可根据系统需要，将短路电流限制在预期短路电流值的50%以下，从而在发生短路的过程中将短路电流大大降低，变压器免受巨大的短路电流冲击，系统内断路器开断能力也相应降低。

◆使用寿命长

本装置中开关使用高速涡流驱动机构，比普通断路器所使用的弹簧操作机构运动部件减少80%，且使用简单的直线运动，没有复杂的传动机构，磨损极小，机械寿命及可靠性大大提高。同时，本装置系过零点开断，燃弧期间的燃弧量不到普通断路器的10%，开断容量大大提高，触头烧灼小，其触点电寿命呈级数上升，深限流电抗器无短路发生时，处于零损耗，不发热，无压降，使用寿命长。

◆性能高可靠

本装置核心部件均在国外生产，即使在强电磁干扰环境下，仍能可靠运行。同时，电子控制器带有实时自检功能，确保其始终可靠运行，各功能信息均能通过发送后台报警监控。

◆动作分散度小

由于大幅度的缩短了合闸时间并配置了直接驱动的高速涡流驱动机构，合闸分散度可以控制在0.1毫秒以内。

◆合闸无反弹

根据现场情况，可加装防触头撞击装置，确保合闸无反弹。

装置的适用范围

◆本装置为节能和经济的限流方案

本装置可替代高阻抗变压器、普通串联限流电抗器、爆炸型大容量高速开断装置，在新供用电系统设计及企业系统改造时，可利用本装置的深度限流电抗器，加大系统阻抗，使负荷侧断路器的开断电流进一步减小，降低造价。

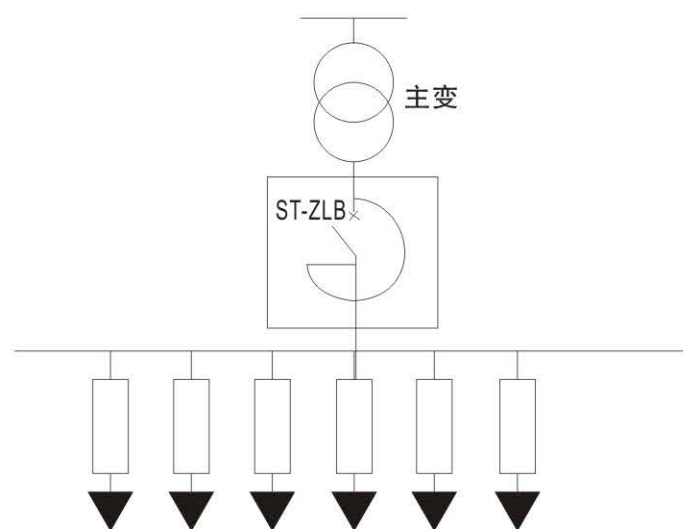


图1：安装主变低压侧

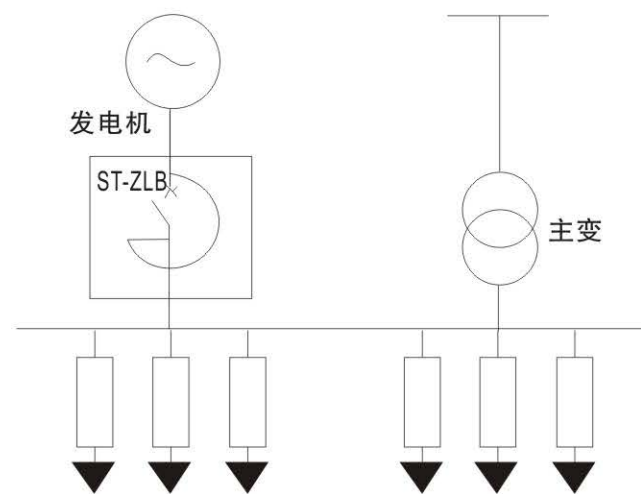


图2：安装发电机出口

◆大大减少系统扩建或联网运行所需要的投资

短时发生时本装置快速投入母联深度限流电抗器，加大系统内抗，故障点切除后，深度限流电抗器退出，不影响整个系统的正常运行，联网运行使变压器的使用价值得到提高。

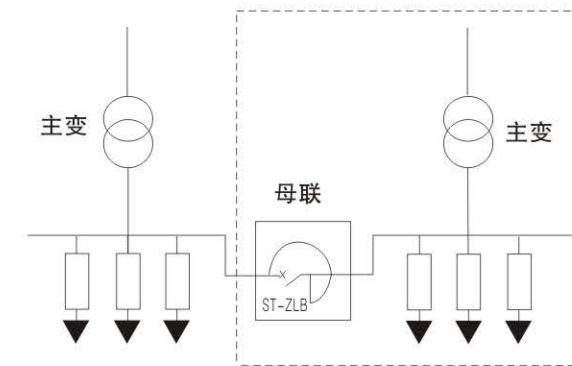


图3：安装母联处

◆对不允许瞬时间断供电须强行自启动的重要负载，可提高供电质量

线路短路时，本装置快速投入电抗器，深度限流电抗器上的残压可完全满足维持重要负荷继续运行而不受影响。

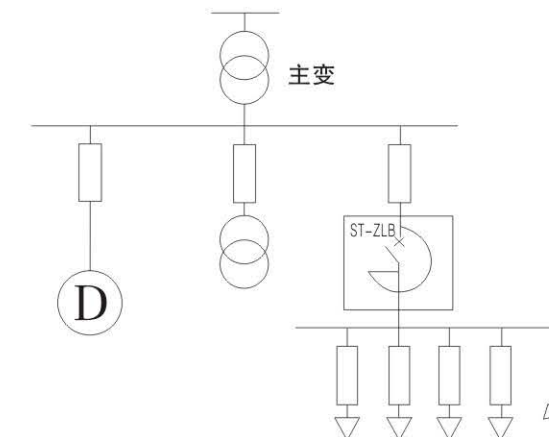


图4：安装重要负荷

◆发电机出口或者厂用高压侧短路能得到快速有效保护

本装置开断容量大、限制短路电流深，是发电机出口及厂用分支的理想保护设备，使发电机、变压器得到快速有效的保护。

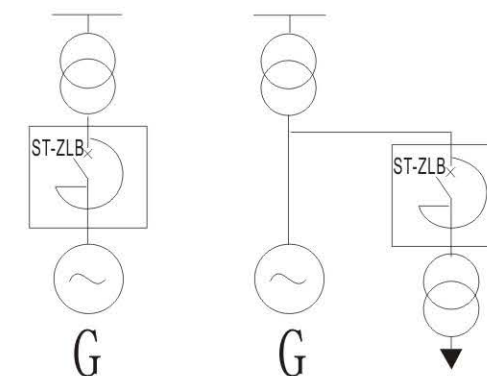


图5：安装发电机出口及厂用分支

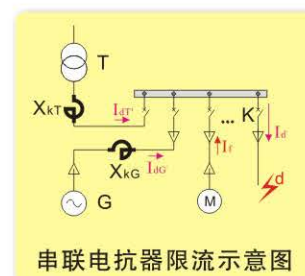
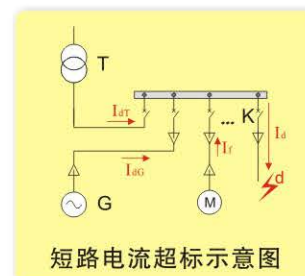
专利技术

ST-ZLB装置采用了以下专利技术：ZL02258132.4，《开关永磁操动装置》、ZL2004200224429.6《备用电源自动投入装置》、ZL200420078998.9《开关永磁操动器》、2120052013969，《可恢复大容量高速开关装置》、ZL00219352.3，《大容量高速开关装置》

一、短路电流超标治理简述

1、短路电流超标现象

如右图，当d点发生三相短路故障时，流过断路器K的短路电流 I_d 为变压器T提供的短路电流 I_{dT} 、发电机G提供的短路电流 I_{dG} 、电机群提供的反馈电流 I_f 之和，即所有电源提供的短路电流和电动机的反馈电流总和，一旦该值超过断路器K的额定开断电流时，称为短路电流超标。



2、典型治理方案一串联限流电抗器

电力系统针对短路电流超标的典型治理方案是：在电源的线路上串联限流电抗器来限制短路电流，如右图中变压器线路中的 X_{KT} 和发电机线路中的 X_{KG} ，二者可分别或同时使用，一旦发生短路故障，可将超标的短路电流限制到断路器 K 的遮断电流以内。

3、串联限流电抗器的损耗问题

长时通流电抗器，流过工作电流，不仅产生有功损耗，其无功功率也侵占了电源系统视在功率中的有功部分，降低了电能的利用效率，并且其无功电流在电网上传输也会产生线路损耗，依据国标GB12497，一台10kV-2.5kA/12%的电抗，按照70%的负荷率，年8000小时的综合损耗计算见下表。

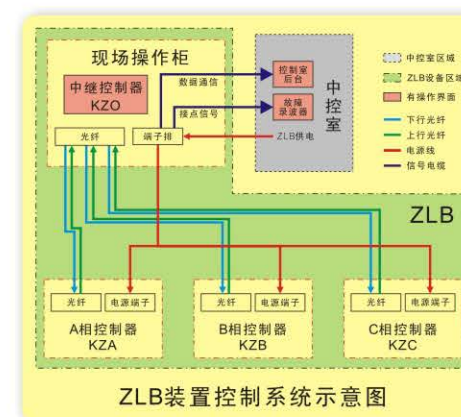
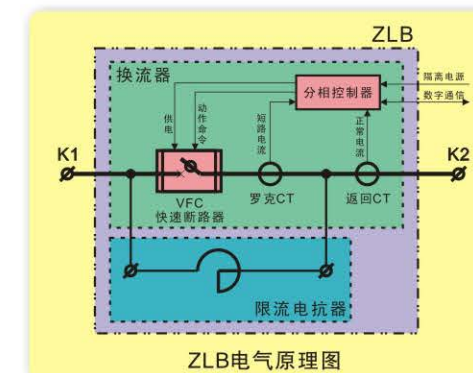
串联限流电抗器综合损耗计算表					
电抗器参数		注： 1、电抗器有名值：$X_k=X_k\% \cdot U_N/1.732/I_N$ 2、负荷率：$\beta =I/I_N$ 3、单相电抗无功功率：$Q=(U_N/1.732) \cdot X_k\% \cdot I_N^2 \cdot \beta^2$； 4、单相电抗有功损耗折算：$P_p=K_p \cdot Q$； 5、单相电抗无功损耗折算：$P_o=K_o \cdot Q$； 6、单相综合损耗：$P_{\Sigma}=P_p+P_o$； 7、依据：GB-T 12497-2006《三相异步电动机经济运行》			
额定电压UN (kV)	10				
额定电流IN (A)	2500				
电抗率Xk%	12%				
平均工作电流I (A)	1750				
常用系数					
计算周期 (h/年)	8000				
煤耗 (g/kwh)	350				
计算费率 (元/kwh)	0.5				
有功损耗系数K _o (kW/kvar)	1.2%				
无功经济当量K _o (kW/kvar)	0.06				
过程数据					
电抗有名值xk (Ω)	0.2771				
平均工作电流I (A)	1750.00				
平均符合率β	0.70				
电抗压降 (kv)	0.48				
单相电抗无功 (kvar)	848.70				
项目		三项有功损耗 (kW)	年损耗电能 (万kWh)	折算煤耗 (T)	折算人民币 (万元)
有功损耗折算		30.55	24.44	85.55	12.22
无功算好折算		152.77	122.21	427.75	61.11
总计		183.32	146.66	513.30	73.33

表.串联限流电抗器综合损耗计算表

二、基于VFC快速断路器的零损耗深度限流装置

1、回路简介

如右图所示，ST-ZLB系列零损耗深度限流装置（以下简称ST-ZLB装置）是由“换流器”与“限流电抗器”并联而成的开关设备，再经由K1，K2点串接在供电线路中。其中“换流器”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；“限流电抗器”正常运行时被换流器旁路处于退出状态，损耗为零，仅在短路故障时才投入，故障解除后再自动退出。



2、控制系统简介

ST-ZLB控制系统包括中继控制器和三个分相控制器。其中中断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换流器单元，中继控制器通过光纤与各分相控制器联络，显示各相换流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。

3、工作逻辑

1) 正常运行期间

VFC处于合闸位，换流器承载线路工作电流，ST-ZLB呈零阻抗状态，表现为零损耗，无压降，同时不会产生磁场污染；

2) 线路发生短路故障时

当且仅当分相控制器通过罗克CT信号检出了超过ST-ZLB启动定值的超标短路电流时，命令VFC及时分闸，ST-ZLB装置可在20ms内投入限流电抗器而呈现高阻抗状态，将短路电流限制在预期值以内，确保常规断路器可靠开断短路故障。

3) 短路故障排除情况

(a) 若分相控制器通过返回CT检出的电流小于返回定值时, 说明短路故障已排除, 命令VFC及时合闸, ST-ZLB装置可在20ms内旁路限流电抗器而呈零阻抗状态, 系统即可恢复正常运行;

(b) 若分相控制器通过返回CT检出的电流达不到返回定值时, 说明系统没有排除短路故障, 也即VFC一直处于分闸状态, 达到2s时间, 为自我保护, 命令VFC合闸, 此功能也作为ST-ZLB误分之后的自愈保护。

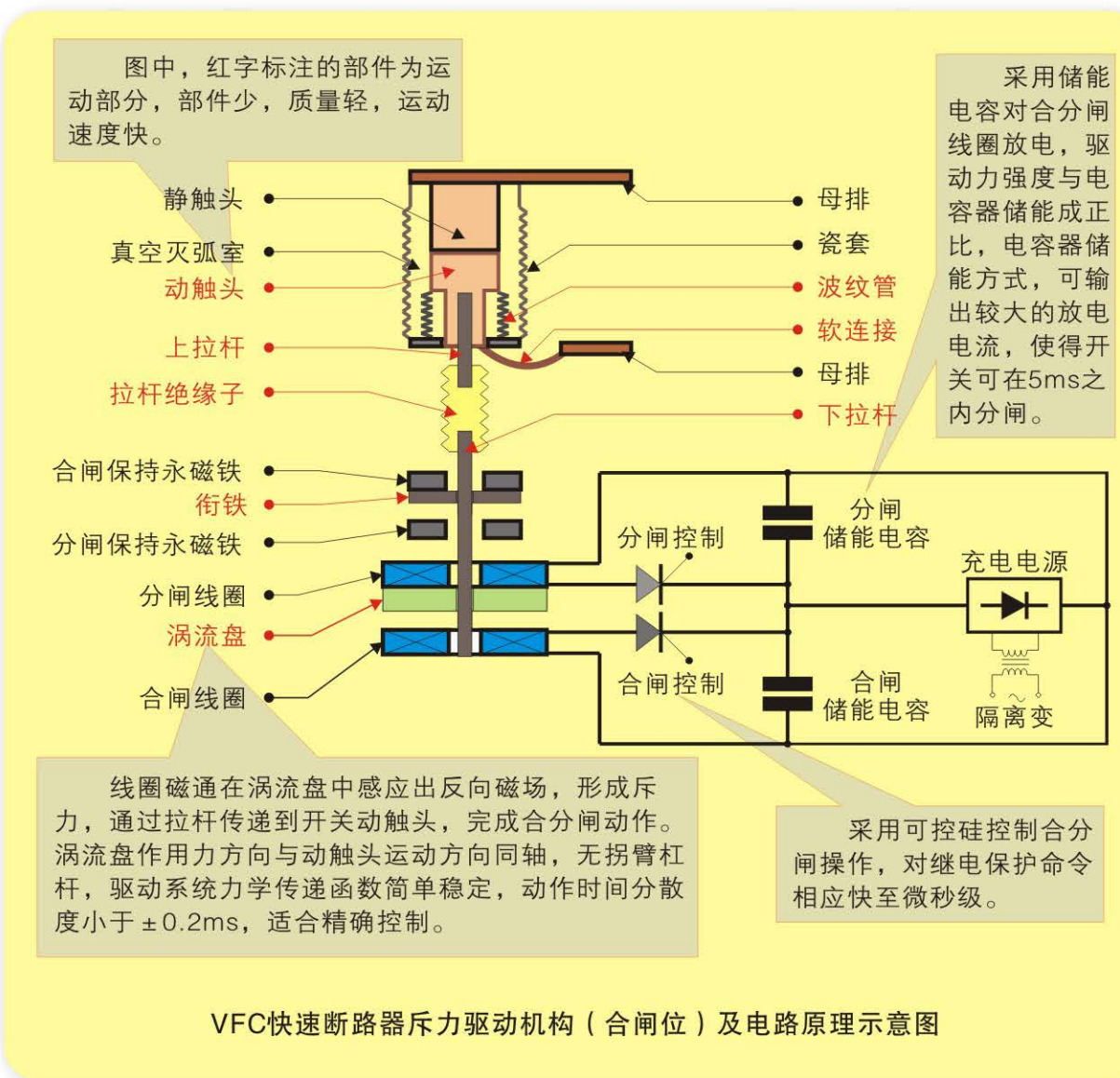
4、核心元件-VFC“涡流驱动”快速断路器

1) 总则

VFC系列“涡流驱动”快速断路器是加拿大Max-Swi公司制造的一种电容器储能、涡流盘驱动、永磁保持、直动式的快速永磁真空断路器，机械分闸时间小于5ms、最大开断电流不小于80kA CO100次；已于2011年通过了西高所“型式试验”和“大电流开断性能试验”。“速度快”和“开断能力强”，是开关型限流器所用断路器必须具备的两个重要指标！

2) 涡流驱动机构

如下图，为VFC开关涡流驱动机构和电路原理示意图。



3) 标准

VFC快速断路器符合GB1984-2003、JB/T3855-2008以及其他相关标准。

该快速断路器通过了以下各种试验，可保证在正常安装条件下安全可靠地工作。

型式试验：温升、机械特性和操作（1万次）、工频耐压、雷电冲击南耐压、震荡波抗扰度、电快速瞬变脉动群抗扰度、冲击电压、开断关合能力试验前后机械物性、短时耐受电流和峰值耐受电流、出线端短路开断试验、异相接地故障开断能力试验。

性能试验：VFC-12/1600-40的型式试验试品完成40kA CO100次后，未经检修，继续进行80kA电烧损及开断CO20次的开断能力试验，VFC-12/5000-80试品80kA下CO100次开断能力试验。

出厂试验：主回路工频耐压试验、辅助和控制回路绝缘性能、主回路电阻测量、1:1模拟现场最大短路电流开断试验。

4) 指标特点及行业同类对比

VFC快速断路器采用了“涡流驱动”的直动式机构，性能指标明显优于其他类型的真空断路器，见下表。

表VFC系列快速断路器关键参数同类对比表

技术特性	单位	参数对比			VFC优势理由
		VFC	弹 操	永 磁	
最大额定电流（r.m.s）	A	5000	5000	1600	/
标称最大开断电流(r.m.s)	kA	> 80	80	40	采用电流过零前分闸技术
最大开断电流次数	次	> 100	3	20	来弧室燃烧量小
控制器判断出口时间 ^[2]	ms	< 1.6	10~20		采用专用快速算法
标称分闸时间	ms	< 5	40~60	20~30	涡流驱动
多次分闸时间分散度 ^[2]	ms	± 0.2	不详		直动式，可控硅开关
燃弧时间	ms	≥2	5~15		采用控制燃弧量技术 ^[4]
开断短路电流时间	ms	< 20 ^[5]	55~95	35~65	判断和动作时间快
单断口最大遮断电流	kV	> 38.5	14		采用了TRV抑制技术 ^[6]
最小合闸弹跳时间	ms	0	< 2		采用了缓冲技术 ^[7]

(1) 短路电流大于40kA时，采用此项技术；

(2) VFC开关自带专用控制器，弹操及永磁开关使用常规微机综保；

(3) 若需要精确控制分闸，此项为必要指标；

(4) 短路电流大于40kA时，采用此项技术；

(5) 控制器判断和开关固有动作时间之和小于7ms，但三相电流过零才能称为开断，一般标称为小于20ms；

(6) 短路电流大于40kA时，采用此项技术；

(7) 需要控制合闸反弹的场合，采用此项技术。

5、其他重要元件

1) 换流器部分

换流器部分主要由VFC快速断路器和响应的测控元件组成，测控元件包括：罗克CT、分相控制器和薄膜电容等。

a、罗克CT

罗克CT，学名Rogowski线圈（罗氏线圈），是一个均匀缠绕在非铁磁性材料上的环形线圈，输出的是电流对时间微分的电压信号，通过积分，就可以真实还原输入电流，通常安装在灭弧室的动触头侧，有以下特点：由于罗克CT不含铁磁性材料，无磁滞效应，相位误差几乎为零，也无磁饱和象，因而可测量大电流而不需要过大的体积；与带铁芯的传统互感器相比，罗克CT具有测量范围宽，精度高，稳定可靠等优点，用在ST-ZLB装置上，可精确测量较大的短路电流。罗克CT输出变比由外部电路和算法决定，因此罗克CT无需单独校准，而是与控制器联合校准。

b、分相控制器

分相控制器根据罗克CT的信号，通过特殊算法，对短路电流信号处理，可在2ms左右计算出短路电流的周期分量、非周期分量、短路初始角，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时刻前分闸，实现大容量换流功能。

c、储能电容器

VFC系列“涡流驱动”快速断路器采用薄膜电容器储能，作为断路器的驱动能源，即使外部供电中断20分钟以上，断路器也可完成一次O-C循环操作，规避了电源的稳定性对断路器动作的影响，同时，薄膜电容的自愈功能及温度不敏感性都提高了VFC断路器操作能源的可靠性。

2) 现场操控柜

现场操控柜为安置于ST-ZLB装置现场护栏外的就地操控箱柜，集成以下功能：提供换流器的工作电源、换流器的就地操控、换流器状态量显示、定值整定、与中控室后台的通信及大电流换流器的风冷系统等，起到对ST-ZLB装置就地操控维护及远程通信数据中转的作用。

6、零前分闸技术提升快速断路器的开断容量

短路故障时，真空开关分闸，在电流过零前，电流以电弧形式维持。电流是否能被开断需要以下两个条件同时满足，第一、电流过零；第二、电流过零时刻，灭弧室绝缘水平恢复到电弧熄灭时的瞬态恢复电压(TRV)以上。其中灭弧室恢复的绝缘水瞬态恢复电压与系统参数和弧隙阻抗有关。因此，要提高开断容量，必须控制电流过零前阶段的触头刚分时刻、刚分速度以及电流过零时刻的恢复电压。

1) 降低触头瞬态恢复电压

瞬态恢复电压是大电流过零时触头弧隙间的振荡电压，存在时间仅几十微秒至毫秒，与工频恢复电压大小与频率、电路的阻尼值（如电感、电容和电阻的数值）以及它们的分布情况有关。当断路器隙阻抗为无穷大时TRV最大，也即系统固有TRV，当弧隙阻抗减小时，TVR也相应减小，因此，制造断路器时，人为减少断路器的弧隙阻抗，可在断路器开断时，降低弧隙的TRV。

2) 提高电流过零时刻灭弧室绝缘恢复水平

a) 减小灭弧室燃烧量

减小真空灭弧室燃烧量可避免集聚电弧的形成，有利于电流过零时绝缘水平的快速恢复，提高开断成功率。

b) 提高触头刚分速度，加大电流过零时刻的触头开距

真空灭弧室的绝缘水平即触头间的绝缘水平，在触头开距小于10mm时，绝缘水平与触头开距呈正比。

在高真空度环境下，绝对平整两极之间，击穿电压达107Vmm数量级，在真空度、触头材料、触头表面形状、老练等诸多因素的影响下，触头的绝缘水平较理想值有所降低，一切只能依靠实验。

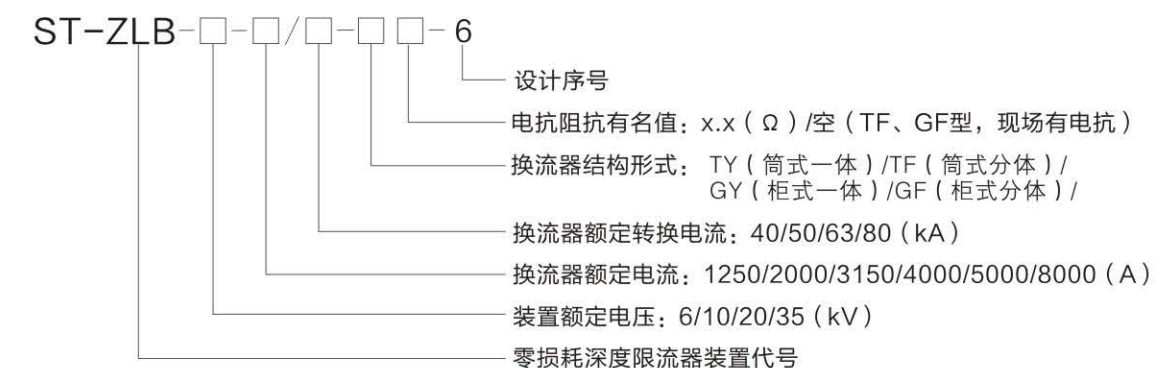
因此，提高触头的刚分速度，并且精确控制零前刚分时刻，可以保证电流过零时的触头开距，刚分速度越高，越有利于绝缘水平的恢复。

c) 出厂大电流老化流程

灭弧室老化，即通过电弧的灼烧，将出厂时灭弧室触头上的晶须烧平，提高触头的平整度，以便在实际应用中就已经具备优良的触头场强均匀度，保障对开断成功率。

因此，ST-ZLB用VFC快速断路器，每台在出厂前都进行1:1模拟现场故障电流开断试验，一方面有验证设备指标的目的，另外就有老化的目的。

型号命名



参数指标

序号	技术特性	单位	参数		
(1)	适用系统额定电压	kV	6	10	35
(2)	额定频率	Hz	50		
(3)	额定电流	A	1250-8000		630-4000
(4)	额定转换短路电流周期分量	kA	31.5/40/50/63/80		25/31.5/40
(5)	短路电流非周期分量倍数		1.8		
(6)	额定短路电流转换次数	次	> 100		
(7)	额定机械分闸时间	ms	< 5		
(8)	额定机械合闸时间	ms	< 20		
(9)	额定转换时间	ms	< 20		
(10)	最大限后短路电流	kA	按用户要求		
(11)	电抗器阻抗有名值	Ω	按限后电流计算		
(12)	电抗器限后电流下持续时间 (绝热条件下温升90℃)	s	2		
(13)	对地工频1min耐压	kV	32	42	95
(14)	相间工频1min耐压	kV	32	42	95
(15)	雷电冲击耐受电压	kV	60	75	185

正常使用条件

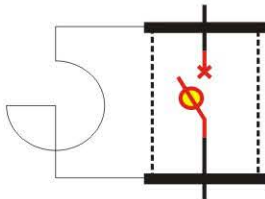
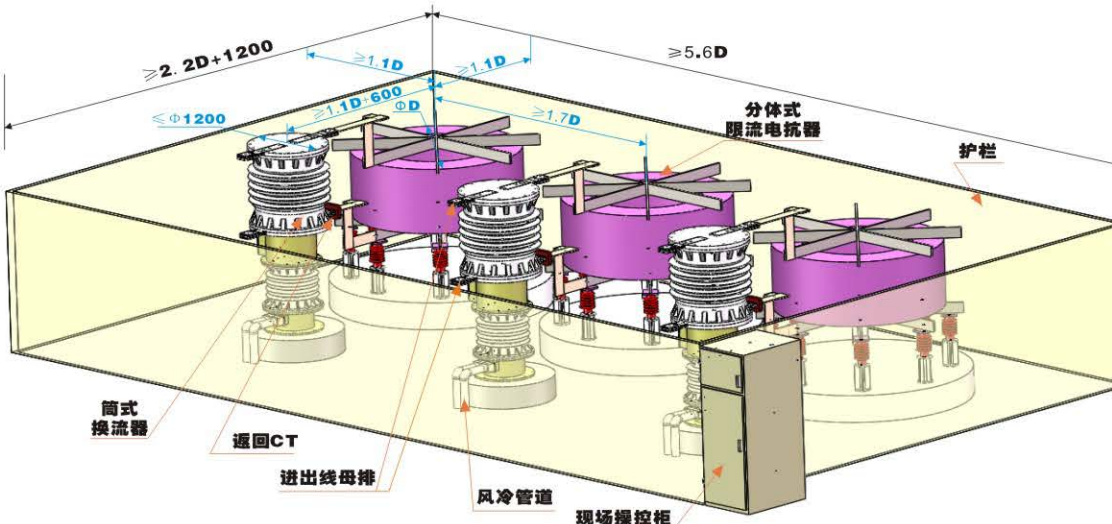
- 1) 环境温度：-40~50℃，户外（可户内）；
- 2) 日平均相对湿度：≤95%；
- 3) 海拔高度：≤2000m；
- 4) 安装地点：户内、户外；
- 5) 地震烈度：不超过8度，
- 6) 污秽等级：不超过Ⅱ级；
- 7) 凡超出上述要求范围之特殊条件，由用户与制造厂协商确定。

一次接线方案现场布置示意图

1) ST-ZLB-TY形式（筒式电抗一体）

一次接线方案					
符号图			说明		
			换流器结构形式代码		-TY
			解释		换流器筒与电抗一体
			电抗器运行方式		仅短路时投运
			适用场所		户内、户外
			安装要求		需提供基座及二次预埋管道
			备注		/
主要配置					
元件名称		型号规格	单位	数量	备注
换流器	筒体	根据实际需要	个	3	/
	柜体	/	面	/	/
	快速断路器	VFC	台	3	单极式，内置于筒体
电抗	电抗	**Ω·4s	个	3	短时电抗，与筒体固定为一体
	支撑绝缘子	/	个	/	/
操控	现场操作柜	1600*800*800	面	1	户外时，为箱式柜；户内时，为焊接柜
	风冷模块	FX-I	台	1	线路工作电流超过 3000A 需配置
配件	母排	/	米	/	/
	光纤	多模	米	按需	连接操作柜和换流器
	电源电缆		米	按需	连接操作柜和换流器
	信号电缆		米	按需	连接操作柜和换流器
	风管	PVCΦ75-2	米	按需	与风冷模块相同
	风机		台	2	与风冷模块相同，备用
布置示意图					

2) ST-ZLB-TF形式 (筒式电抗一体)

一次接线方案					
符号图			说明		
			换流器结构形式代码	-TF	
			解释	换流器筒与电抗分体	
			电抗器运行方式	可长（长时电抗）/短时投运	
			适用场所	户内、户外	
			安装要求	需提供基座及二次预埋管道	
			备注	若电抗器电抗率大于 12%时 则电抗不必采用长时电抗	
主要配置					
元件名称		型号规格	单位	数量	备注
换流器	筒体	根据实际需要	个	3	/
	柜体	/	面	/	/
	快速断路器	VFC	台	3	单极式，内置于筒体
电抗	电抗	Uk%	个	3	与筒体分立
	支撑绝缘子	随电抗器	组	3	带隔磁支架
操控	现场操作柜	1600*800*800	面	1	户外时，为箱式柜；户内时，为焊接柜
	风冷模块	FX-I	台	1	4000A 装置需配置
配件	母排	按需	米	按需	连接换流器和电抗器
	光纤	多模	米	按需	连接操作柜和换流器
	电源电缆		米	按需	连接操作柜和换流器
	信号电缆		米	按需	连接操作柜和换流器
	风管	PVC Φ75-2	米	按需	与风冷模块相同
	风机		台	2	与风冷模块相同，备用
布置示意图					
 $\geq 2 \cdot 2D + 1200$ $\leq \Phi 1200$ $\geq 1.7D$ $\geq 1.7D - 800$ $\geq 1.7D$ $\geq 5.6D$ ≥ 1000 筒式换流器 返回CT 进出线母排 风冷管道 现场操控柜 分体式限流电抗器 护栏					
说明： D为电抗器最大外径。					

3) ST-ZLB-GY形式 (柜式电抗一体)

一次接线方案					
			说明		
			换流器结构形式代码	-GY	
			解释	换流器柜与电抗一体	
			电抗器运行方式	仅短路时投运	
			适用场所	户内、户外	
			安装要求	需提供基座及二次预埋管道	
备注			/		
主要配置					
元件名称	型号规格	单位	数量	备注	
换流器	筒体	/	个	/	/
	柜体	根据实际要	面	3	户外时，为箱式柜；户内时，为焊接柜
	穿墙绝缘子	根据实际要	个	6	户内时，则更换为穿墙套管
	快速断路器	VFC	台	3	单极式，内置于柜体
电抗	电抗	**Q · 4s	个	3	短时电抗，与柜体组装为一体
	支撑绝缘子	根据实际要	个	18	带隔磁支架
操控	现场操作柜	1600*800*800	面	1	户外时，为箱式柜；户内时，为焊接柜
	风冷模块	FX-II	套	1	4000A 装置需配置
配件	母排	/	米	/	/
	光纤	多模	米	按需	连接操作柜和换流器
	电源电缆		米	按需	连接操作柜和换流器
	信号电缆		米	按需	连接操作柜和换流器
	风管	/	米	/	/
	风机		台	2	与风冷模块相同，备用
布置示意图					
说明： D为电抗器最大外径。					

4) ST-ZLB-GY形式（柜式电抗分体）

一次接线方案					
符号图			说明		
			换流器结构形式代码	-GF	
			解释	换流器柜与电抗分体	
			电抗器运行方式	可长（长时电抗）/短时投运	
			适用场所	户内、户外	
			安装要求	需提供基座及二次预埋管道	
			备注	若电抗器电抗率大于 12%时， 则电抗不必采用长时电抗	
主要配置					
元件名称		型号规格	单位	数量	备注
换流器	筒体	/	个	/	/
	柜体	根据实际需要	面	1	户外时，为箱式柜；户内时，为焊接柜
	穿墙绝缘子	根据实际需要	个	6	户内，则更换为穿墙套管
	快速断路器	VFC	台	3	单极式，内置于柜体
电抗	电抗	** Ω · 4s	个	3	长时电抗，与柜体分立
	支撑绝缘子	/	个	/	带隔磁支架
操控	现场操作柜	/	面	/	/
	风冷模块	FX-II	套	1	4000A 装置需配置
配件	母排	按需	米	按需	连接换流器和电抗器
	光纤	/	米	/	/
	电源电缆	/	米	/	/
	信号电缆	/	米	/	/
	风管	/	米	/	/
	风机		台	2	与风冷模块相同，备用
布置示意图					

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，应明确限前短路电流及限后短路电流，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、明确设备安装场地及空间位置；
- 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。

包装、运输、储存

- 1、一般采用木箱包装，装置固定在包装箱的底座上。
- 2、不得在三级以下公路上长距离运输，必要时，可分解包装。
- 3、长期不用时，应存储在干燥、通风的仓库内，不宜长期在户外储存。
- 4、运输过程中装置应避免碰撞、受潮及暴晒。

质量保证与售后服务

- 1、质保期为交货后18个月或投运后12个月，以先到为准，质保期内免费维护，质保期外有偿服务，终身保修。
- 2、我方派专业人员配合用户在进行投运前现场试验。
- 3、质保期内发生质量问题，除免费维修外，维修部件质保期按修复后重新计算。

ST-ZLB装置使用相关问题与解答

- 1、ST-ZLB是否对原系统继电保护定值产生影响？

不会产生影响。ST-ZLB装置的作用是，当且仅当系统出现了超标的短路电流时才会动作，而且一般将超标的短路限流限制到普通短路的遮断电流的0.8倍，保障故障线路断路器的可靠开断，因此，即使ST-ZLB投入后，短路电流也足够大，不会影响到原系统继电保护定值的灵敏度。

2、ST-ZLB换流器动作后会不会造成不平衡？

ST-ZLB当且仅当系统发生短路故障时才动作，尤其是两相短路故障时已经造成了不平衡工况，因此，此时已经不考虑平衡问题，而是需要尽快结束这种故障现象，限流装置的投入不仅限制了故障电流，而且有利于断路器切故障，只有好处，没有坏处。

3、ST-ZLB能否配合线路重合闸？

若重合闸期间，ST-ZLB无电流流过，只要调整返回策略为延时返回即可；若有电流流过，则必须增加分合闸电源的数量，以便配合重合闸的时间间隔。

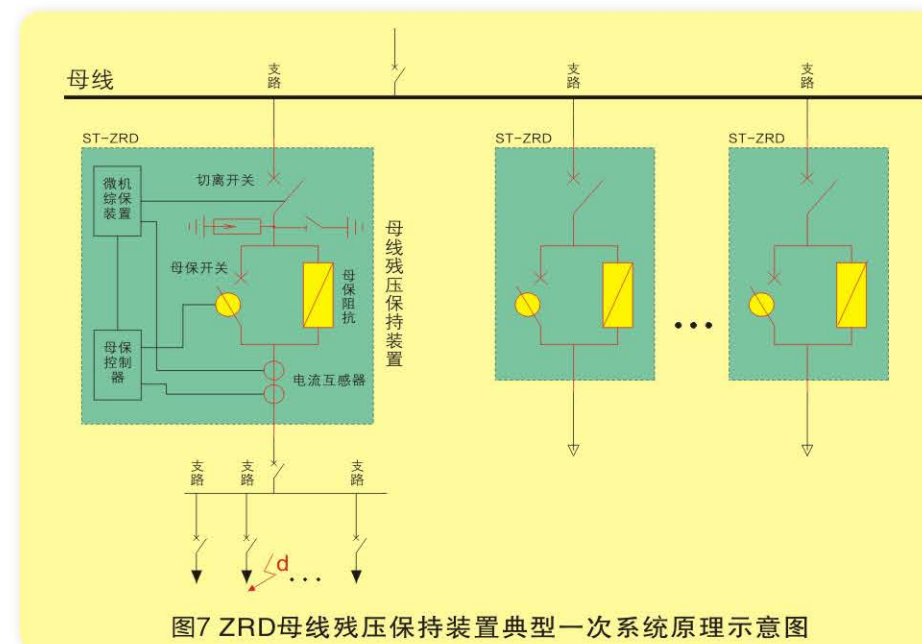
尤其是电网用户，一般有重合闸需求，因此，在订货时，需要声明有无重合闸配合要求，且重合闸时间是多少。



04 ST-ZRD-6母线残压保持装置

定义

一种以“短路故障快速判断技术”为控制基础的，基于“涡流驱动快速开关”的，以达到快速隔离本支路的短路故障点对电源（母线）电压的影响，切断非故障支路异步电动机磁场能量的衰减通路，抬升母线残压，减小电源恢复时异步电动机的二次冲击，保障电源（母线）对其它非故障线路连续正常供电目的的高阻抗自动投切的短路故障隔离设备，称为母线残压（剩余电压）保持装置（简称“母保”，代号ST-ZRD），装置外形为开关柜形式，适用于新建和改造项目。



组成

典型的ST-ZRD装置主要由母保开关、母保阻抗、母保控制器、切离开关、电流互感器、综保、过电压保护器、柜体及附件等组成，其中母保开关新型“涡流驱动快速开关”切离开关为普通真空断路器。

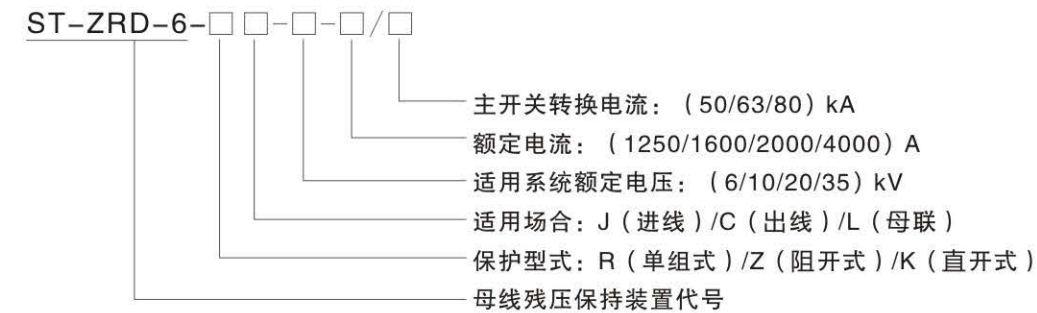
工作逻辑

正常工作时，切离开关、母保开关处于合闸状态；

当发生短路故障d时，ST-ZRD控制器通过电流互感器测到短路电流，经“路故障快速判断算法”判断出故障，立即发出母保开关分闸指令，将母保阻抗投入线路，补偿本支路因短路而损失的阻抗，将本支路电流从短路值限制到额定电流以内，从而维持了母线的剩余电压，保障母线对其它未发生短路故障的支路连续供电。

若故障点d被切除后，本支路负荷恢复，电流会发生至少50%的变化，控制器立即发出母保开关合闸的指令，恢复本支路的正常供电；若故障点d切除失败，控制器在故障后200ms向切离开关发出分闸指令，协助微机综保实施后备保护动作，并在300ms时命令母保开关合闸，退出母保阻抗，完成一次母线残压保护功能操作。

装置型号及命名



参数指标

表3 参数表

序号	技术特性	单位	额定参数
通用电气参数			
1	适用系统额定电压	kV	6/10/20/35
2	额定电压	kV	7.2/12/24/40.5
3	额定电流	A	1250/1600/2000/4000
4	额定短路转换 (开断) 电流	kA	50/63/80
5	额定绝缘水平	断口额定短时 (1min) 工频耐受电压	kV 32~95
		断口额定雷电冲击耐受电压 (峰值)	kV 60~185
6	额定频率	Hz	50
机械参数			
7	额定分闸时间	ms	<5
8	合闸弹跳时间	ms	<2
关键参数			
9	母线残压 (剩余电压) 保持率	%	>85
10	装置作用完成时间	ms	<16

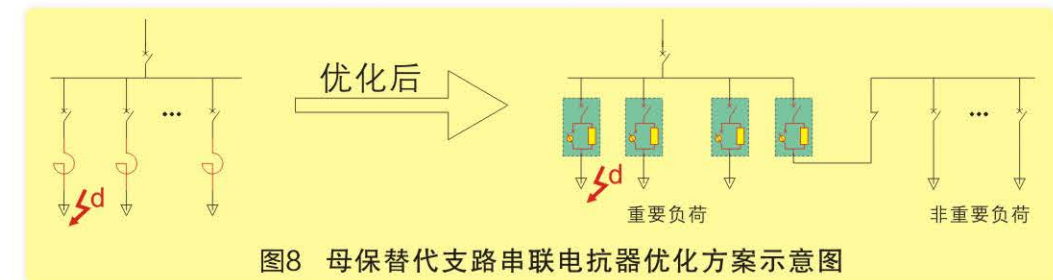
使用环境

安装地点 户内, 无酸碱腐蚀
环境温度 -40~50℃
相对湿度 ≥95%
污秽等级 ≤II级
海拔高度 ≤2000米, 超过2000米需特殊设计

用途

■ 抬升母线剩余电压, 替代支路串联电抗器

● 优化方案示意图 (见图8)



● 方案对比 (见表2)

表2 母保与支路串联电抗器方案对比表

项目	方案	对比方案		母保优势
		支路电抗器	母保	
1	基本原理	利用短路电流在阻抗上的电压降, 抬升母线剩余电压, 不涉及到继电保护定值调整		相似
2	作用效果	因电抗率不宜过大, 一般保持在0.6~0.7pu	适应任何短路工况, 可将母线残压抬升至0.85pu以上	指标高, 满足运行设备需求
3	运行方式	长时, 阻抗固定	短时, 阻抗可变	灵活先进
4	功耗和压降	运行时存在阻抗, 各支路阻抗的综合损耗总和高, 需额外增加补偿设备适当降低损耗	无损耗, 也不需要增加补偿设备	节能
5	阻抗选择	考虑剩余电压抬升效果, 宜选大; 考虑功耗和压降, 宜选小; 因负荷会影响压降, 因此, 限制了负荷增容	等效为该支路负荷阻抗, 正常时, 不参与运行	阻抗选择灵活
6	安装空间	根据新标准, 电抗不得垂直安装, 平铺后实际占地面积为标准开关柜的八倍以上	仅为单台开关柜占地面积	不增加占地面积, 节省基建投资
7	可靠性	针对电抗, 必须额外增加6个/组或更多电缆头, 增加了事故隐患	柜内母排连接, 安全可靠	安全性高
8	差异投资	电抗器、电缆、电缆头、场地等	进口快速开关、母保阻抗	投资小

■ 节省断路器和主变的投资

母保可在20ms以内转换80kA以内的短路电流, 并将其限制到本支路的额定电流以下, 用在总降压变电所, 可使得下级变电所在断路器设计选型时节省大量投资; 同时, 主变的短路阻抗也可适当选小, 避免使用高阻变, 节省投资和运行损耗。

■ 保护变压器免受短路电流冲击

母保的限流作用, 使得变压器的限后短路电流相对限前短路电流下降了N倍, 电动力也就下降了N²倍, 客观上降低了短路电流对变压器的冲击效应, 可延长变压器寿命。

■ 用于母联处实现并列方式下快速解列

在母联处使用母保, 可积极考虑采用并列运行方式; 当发生短路故障时, 母保在20ms之内实现快速解列, 降低短路容量, 达到明显的限流效果, 并避免故障穿越现象发生。

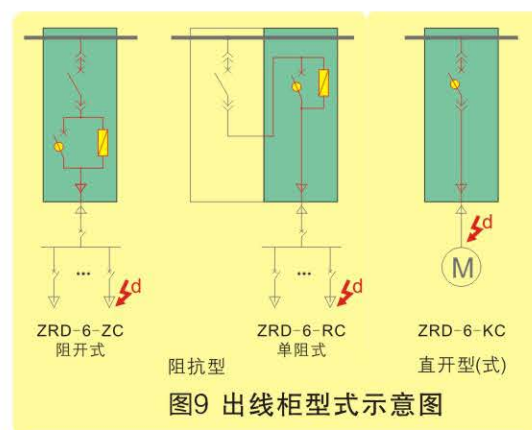
母保选型方法

■ 支路出线处（出线柜一口C型）

母保装置的典型用法。

若本支路有后备保护配合需求，则选用阻抗型出线柜，阻抗型又分阻开式和单阻式两种型式，其中，阻开式较阻抗式多整合了一台普通断路器和综保等元件，但节省了一面开关柜，对现场空间有利，综合造价有所降低。

若本支路无后备保护配合需求，如单负载或是降压变等，则可选用直开型出线柜，具体见图9。



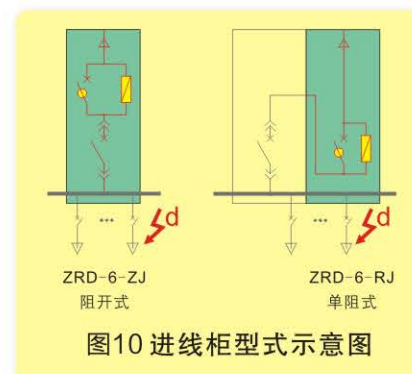
■ 母线进线处（进线柜一口J型）

母保装置的折衷用法。

一般在总降出线处不便安装，不得已安装在开闭所的进线处，实际上保护的是总降的（上级）母线电压。

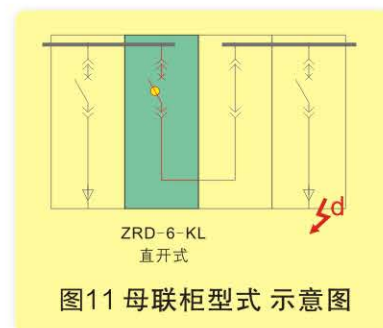
在开闭所进线处加装母保，通常需考虑后备保护功能，因此，选用阻开式或单阻式的阻抗型进线柜。

改造项目中，系统已存在普通断路器进线柜，建议采用单阻式进线柜；新建项目宜采用阻开式进线柜，具体见图10。



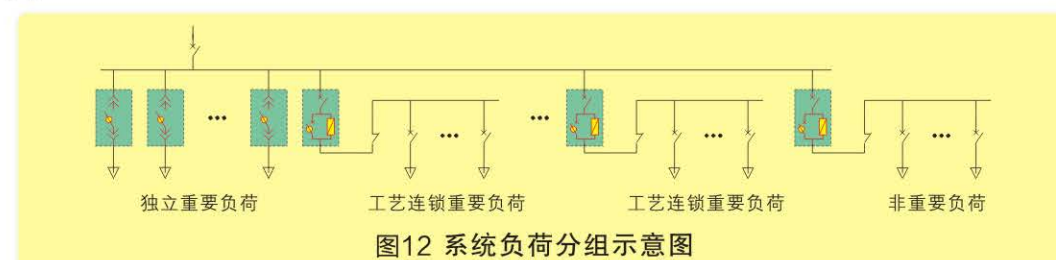
■ 母联处（母联柜-KL型）

在母联处加装母保，短路故障时，要求母联柜快速解列，因此采用直开式母联柜，具体见图11。



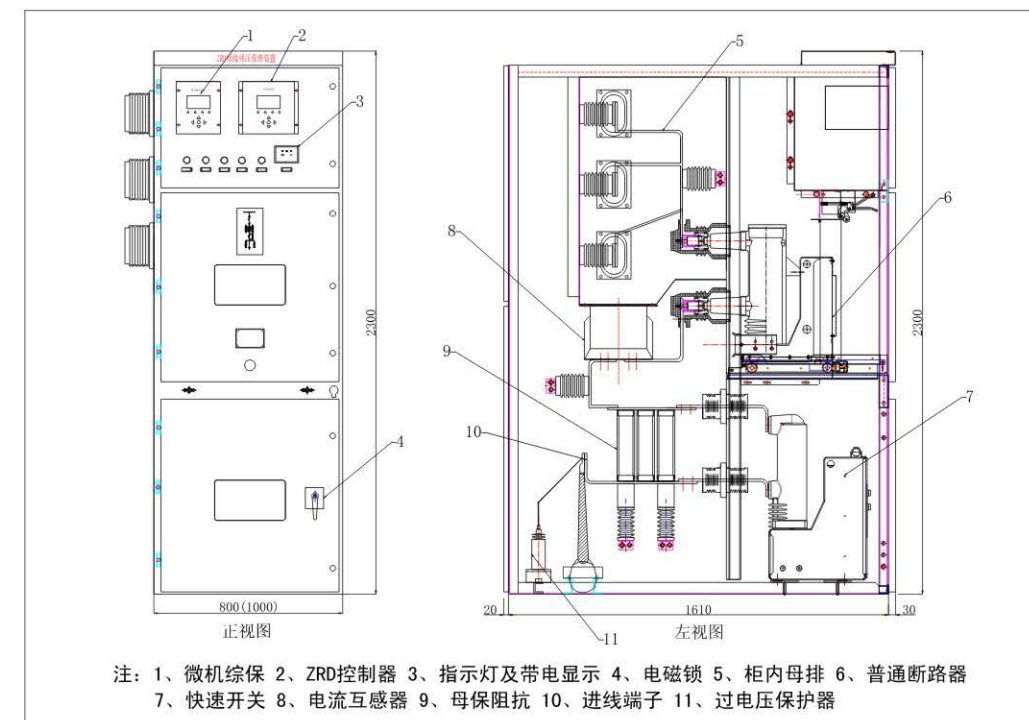
负荷分组的益处

见图12，根据负荷的工艺性质，可分为“独立重要负荷”、“工艺连锁重要负荷”和“非重要负荷”，将这些负荷分组成段，配置母保，可节约母保和断路器投资。

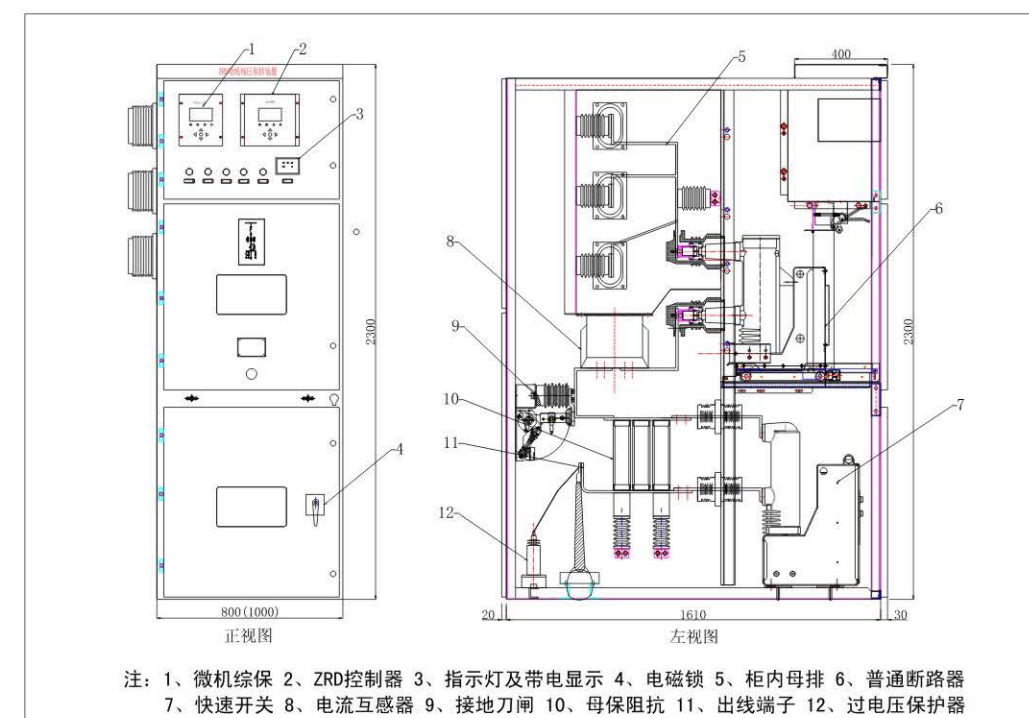


10（6）kV柜型结构

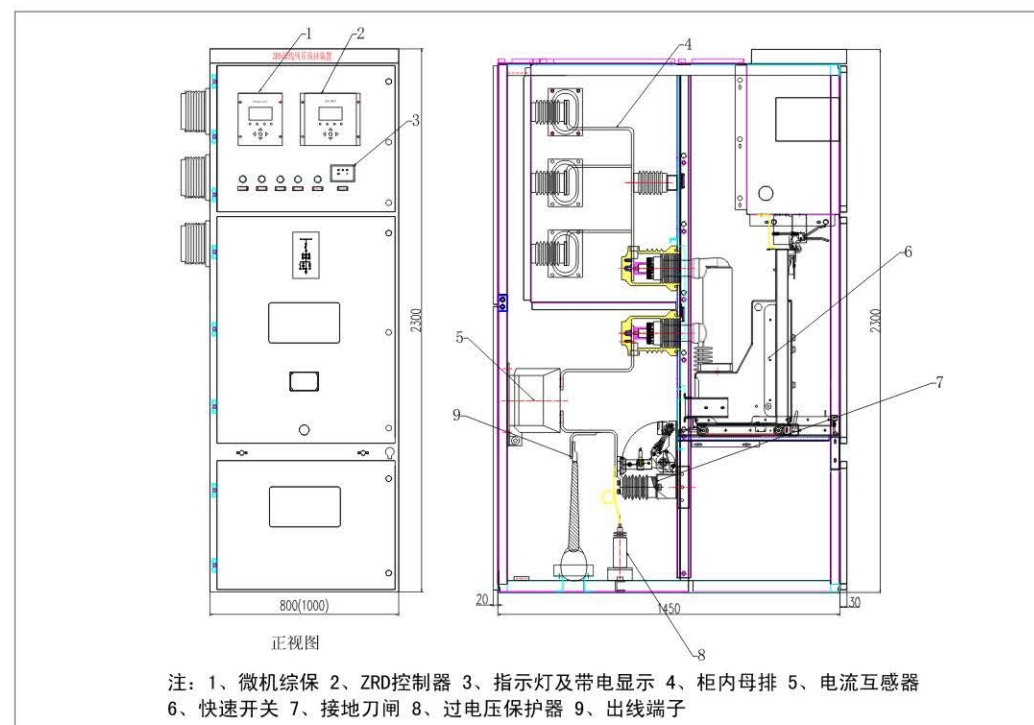
■ 阻开式进线柜（ST-ZRD-6-ZJ型）



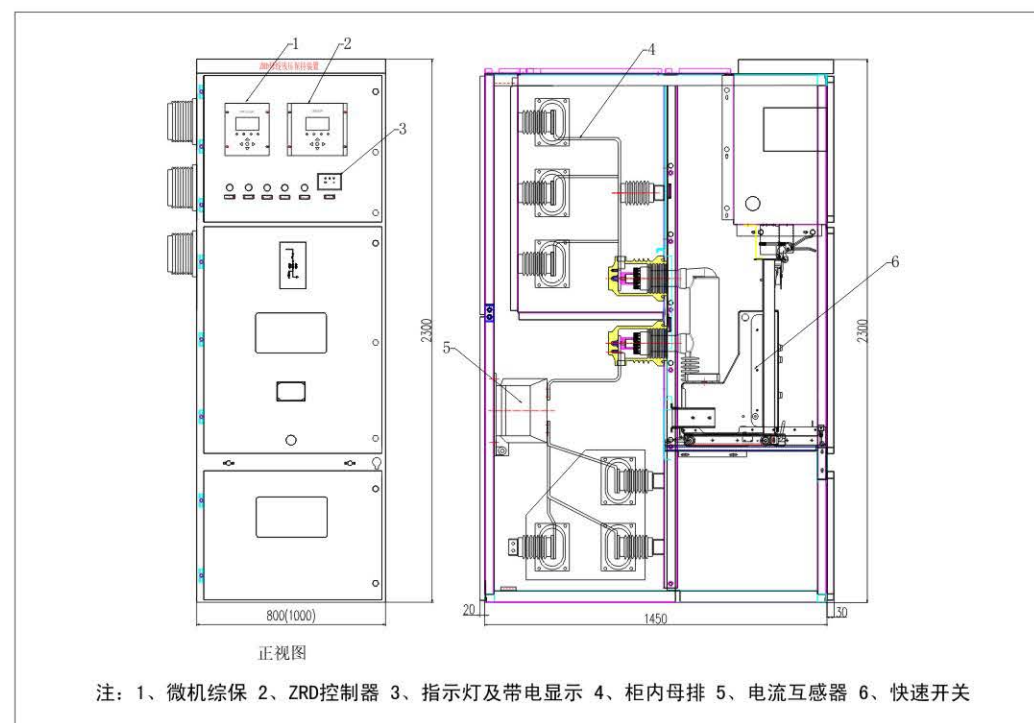
■ 阻开式出线柜（ST-ZRD-6-ZC型）



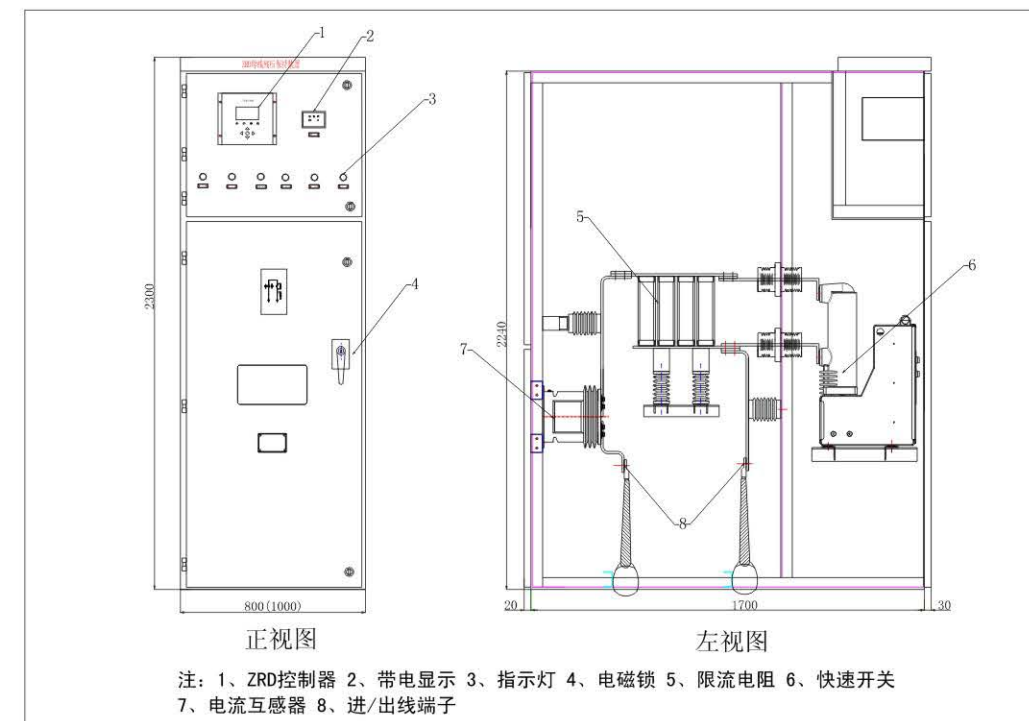
■直开式出线柜（ST-ZRD-6-KC型）



■直开式母联柜（ST-ZRD-6-KL型）



■单阻式进/出线柜（ST-ZRD-6-R□型）



■35kV直开式出线柜（ST-ZRD-6-KC-35型）

35kV母保柜的高度和深度与普通35kV开关柜相当，但是柜宽不得小于1600。

主要配置

表4 主要配置表

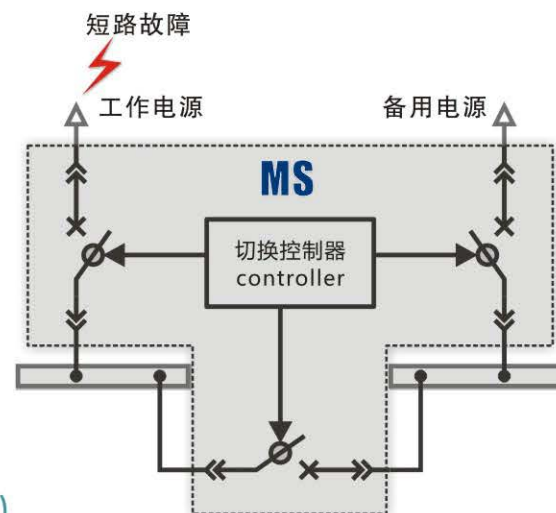
元件名称	阻开式		直开式		单阻式		供货厂家
	进线	出线	出线	母联	进线	出线	
快速开关	●	●	●	●	●	●	安徽尚途电力
母保阻抗	●	●	/	/	●	●	安徽尚途电力
母保控制器	●	●	●	●	●	●	安徽尚途电力
电流互感器	●	●	●	●	●	●	安徽尚途电力
柜体	●	●	●	●	●	●	安徽尚途电力
过电压保护器	●	●	●	●	/	/	安徽尚途电力
常规断路器	○	○	/	/	/	/	
微机综保	○	○	○	○	/	/	
接地刀闸	/	○	○	/	/	/	

注：●代表母保装置的基本功能必要配置；○代表可由客户指定供货厂家的配置

05 ST-MS 高速断路器及切换控制器

产品说明

快速阻断负荷系统异步电动机磁场能量向故障工作电源短路点衰减的通路，减小切换电源时异步电动机的二次冲击，避免切换后，异步电动机失稳停转。



高速断路器及切换控制器装置（MS）

定义

一种以“供电电源故障快速判断技术”为控制基础的、基于“涡流驱动快速开关”的电源故障时的备用电源快速切换装置，称为“快速断路器及切换控制器装置”（简称“快切”，代号MS）。主要为了快速阻断负荷系统异步电动机磁场能量向故障工作电源短路点衰减的通路、减小切换电源时异步电动机的二次冲击，避免切换后电机失稳停转。电源短路故障时的最快切换时间不大于16ms。装置为多面开关柜成套形式，适用于新建和改造项目。

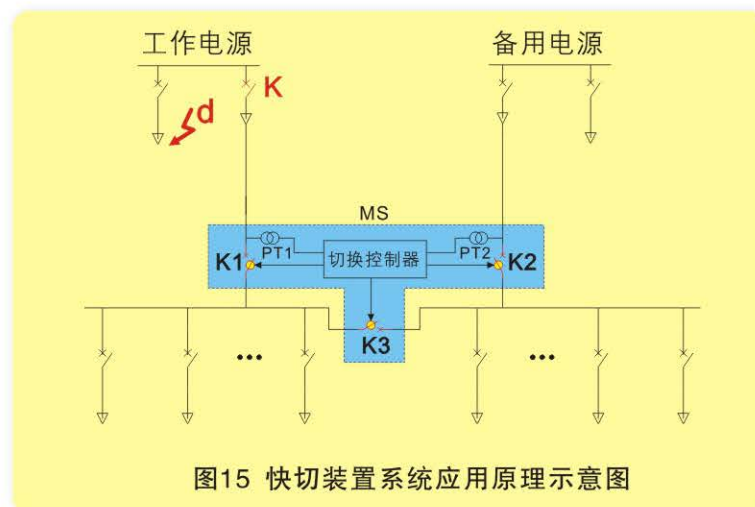


图15 快切装置系统应用原理示意图

组成

见图15，MS装置主要由切换控制器、工作电源进线开关K1、工作电源电压监测PT1、备用电源进线开关K2、备用电源电压监测PT2和母联开关K3、综保、柜体及附件等组成。

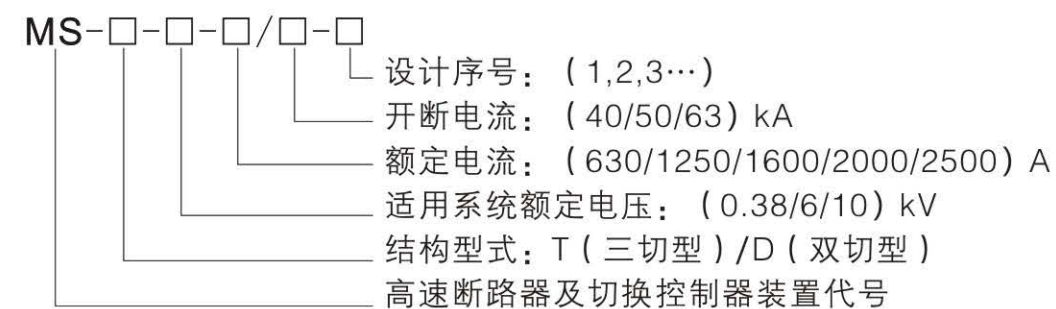
其中K1、K2、K3为分闸时间小于5ms、合闸时间小于15ms的涡流驱动快速开关。

工作逻辑

正常运行时，工作电源进线开关K1、备用电源K2处于合闸状态，母联开关K3处于分闸状态；切换控制器实时监测工、备电源的电压同期状态，符合并网条件时，快切功能解锁，不符合并网条件时，快切功能闭锁，并报警。

当工作电源系统发生开路（开关K偷跳）或短路（d点）故障时，并且工备电源的电压同期性满足并网条件，切换控制器命令K1跳闸，然后再合K3，实现对负荷供电的切换，故障解除后，可自动或手动返回。

装置型号及命名



参数指标（见表6）

表6 参数表

序号	技术特性	单位	额定参数
装置电气参数			
1	额定电压	kV	0.4/7.2/12/24
2	适用系统额定电压	kV	0.38/6/10/20
3	额定绝缘水平	额定短时（1min）工频耐受电压	kV 2.5-50
		额定雷电冲击耐受电压（峰值）	kV 8.0-125
4	额定频率	Hz	50
5	额定电流	A	1250/1600/2000/2500/3150
6	额定短路开断电流	kA	40/50/63
机械参数			
7	额定分闸时间	ms	<5
8	额定合闸时间	ms	<15
关键参数			
9	最快切换时间	ms	<16

使用环境

安装地点 户内，无酸碱腐蚀
 环境温度 -40~50℃
 相对湿度 ≥95%
 污秽等级 ≤II级
 海拔高度 ≤2000米，超过2000米需特殊设计

快切选型及用途

■三切式（MS-T）

符合并列运行条件但采用分裂运行方式的双电源供电系统，在进线和母联处采用三台快速开关柜的三切式快切，见图16。

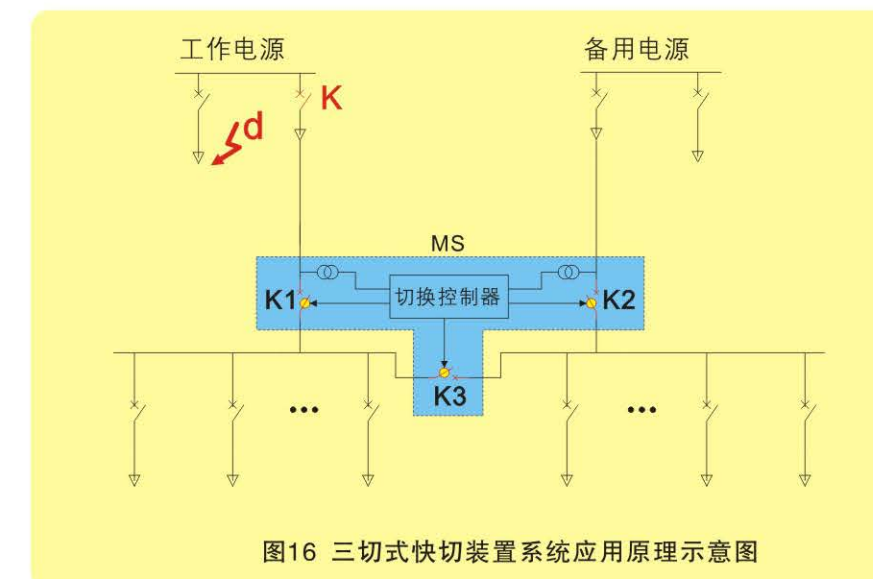


图16 三切式快切装置系统应用原理示意图

■双切式（MS-D）

符合并列运行条件且采用并列运行方式的双电源供电系统，在进线处采用两台快速开关柜的双切式快切，见图17。

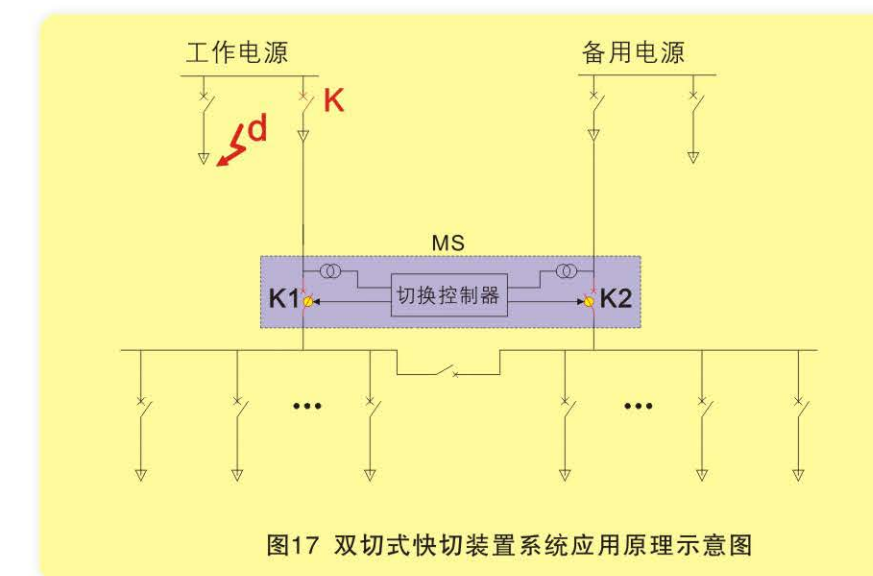
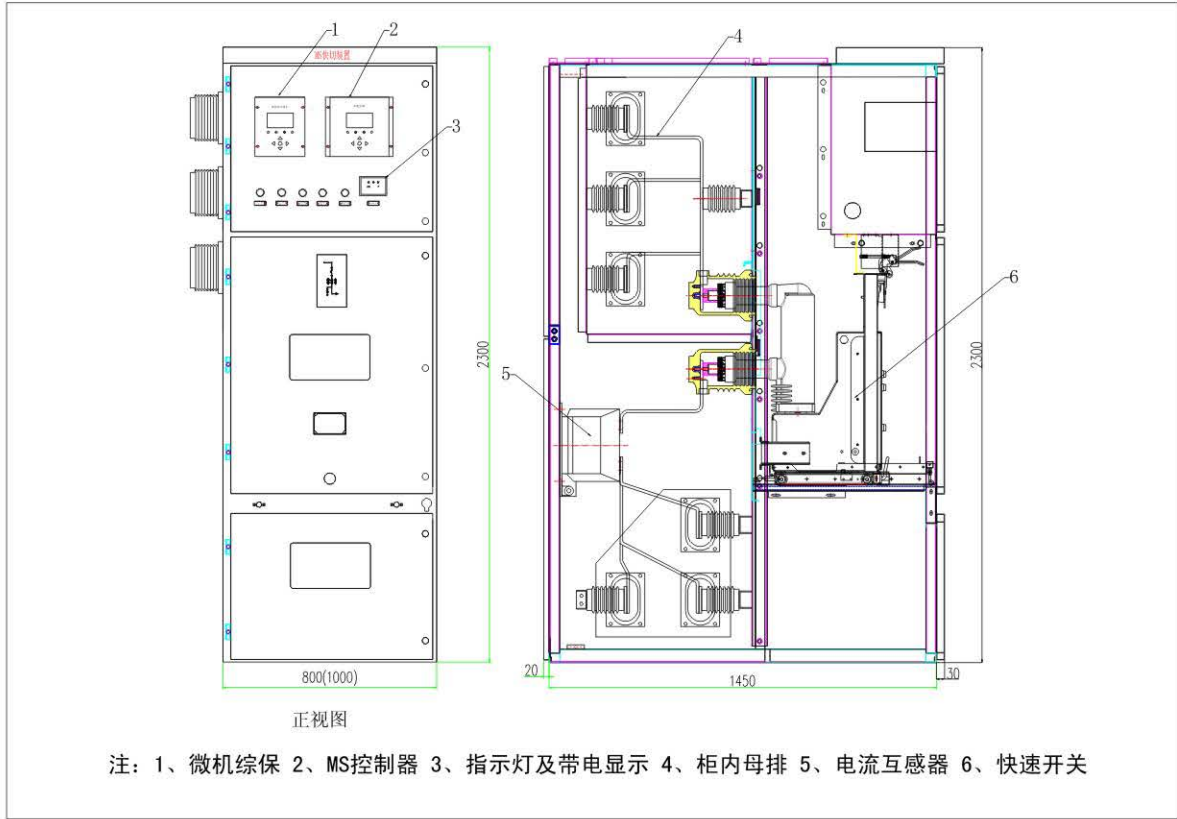


图17 双切式快切装置系统应用原理示意图

10（6）kV柜型结构



主要配置（见表7）

表7 MS主要配置表

元件名称	三切		两切		供货厂家
	单位	数量	单位	数量	
快速开关	台	3	台	2	安徽尚途
电压互感器	组	2	组	2	安徽尚途
专用电流互感器	组	2	组	2	安徽尚途
快切控制器	台	1	台	1	安徽尚途
综保	套	3	套	2	安徽尚途
过电压保护器	台	3	台	2	安徽尚途
高压带电显示及指示灯	套	3	套	2	安徽尚途

使用维护

- 开箱检验无损坏，方可对照柜体编号就位安装。
- 必须按照装置《调试大纲》进行必要的投运前试验。
- 一切合格后方可投运，并提交《投运报告》。
- 正常运行过程中，按照普通开关柜维护规程进行维护。
- 当装置动作后，须按照《调试大纲》对柜内关键原件进行检查，若出异常，质保期内，实行无偿服务。

订货须知

- 签订《技术协议》前应提供以下数据资料：系统一次接线图及主要参数，并明确提出治理要求，其中主要参数包括：系统额定电压、系统最大方式短路电流、系统可正常生产的小方式短路电流，母保还需要支路额定电流及综保定制表，快切还需要负荷类型。
- 根据以上数据确定个母保装置的型号及供货范围。
- 签订《技术协议》和商务合同。
- 单套装置供货周期为：45个工作日，超过5套交货期另计。

包装、运输、储存

- 一般采用木箱包装、装置固定在包装箱的底座上。
- 不得在三级以下公路上长距离运输，必要时，可分解包装。
- 长期不用时，应存储在干燥、通风的仓库内，不宜长期在户外储存。
- 运输过程中装置应避免碰撞、受潮及暴晒。

质量保证与售后服务

- 质保期为交货后18个月或投运后12个月，以先到为准，质保期内免费维护，质保期外有偿服务，终身保修。
- 我方派专业人员配合用户在进行投运前现场试验。
- 质保期内发生质量问题，除免费维修外，维修部件质保期按修复后重新计算。

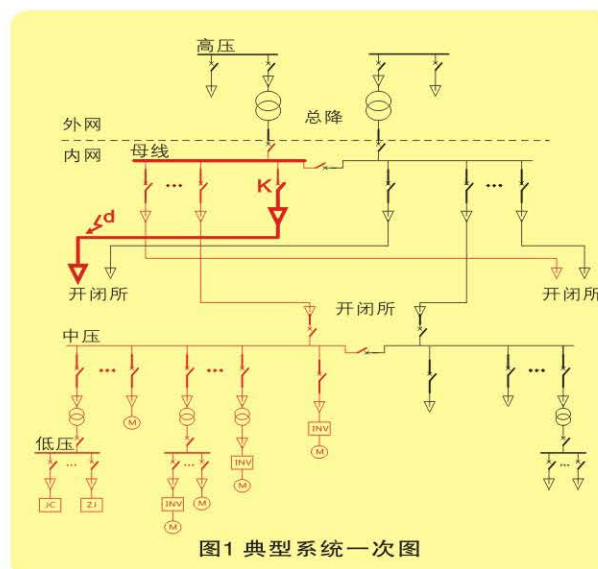
专利技术

- ZL02258132.4，《开关永磁操作装置》
- ZL02286666.5，《气体放电管驱动器》
- ZL200420024429.6，《备用电源自动投入装置》
- ZL200420078998.9，《开关永磁操动器》
- ZI20052013969，《可恢复大容量高速开关装置》
- ZL00219352.3，《大容量高速开关装置》

关于晃电

如图1所示，内部电网（简称“内网”）总降母线上某条支路发生短路故障d，母线电压出现骤降……在断路器K切除该故障支路之前，母线上所有的负荷将一直处于低电压工况……短路故障切除后，电压才开始恢复，由于异步电动机群磁场重建的二次冲击电流会延缓母线电压的恢复时间，这个母线电压从骤降直至恢复到额定电压70%以上的短暂低电压供电的“电压凹陷”现象，称为“晃电”！

晃电是否给企业造成停产损失，取决于母线上负荷是否能成功实现低电压故障穿越，即负荷对低电压的忍耐时间与晃电时间的博弈结果！



晃电时间包括：继电保护判断时间、断路器固有分闸时间、燃弧时间和电压恢复时间之和，一般要超过80ms，甚至更长。

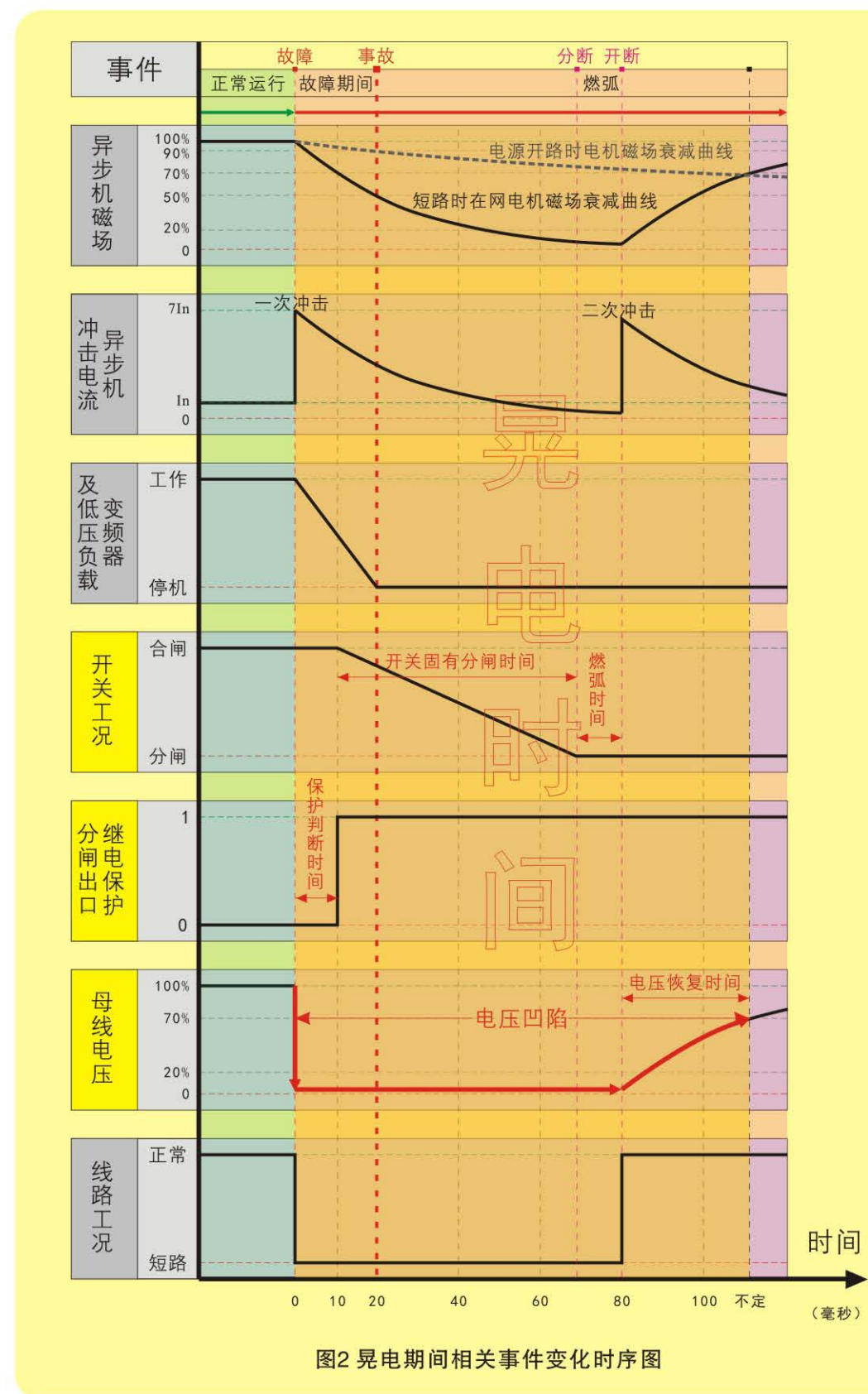
从图2的时序图就可以看出：中、低压的变频器和低压系统的继电器、接触器、电磁阀等，忍耐极限一般就只有20-30ms，必然穿越失败。但是，可以通过采用一些附加设备或软件优化的方法，延长这些设备对低电压的忍耐时间，实现低电压穿越……

然而，问题的要点不在这，中、低压系统断路器的控制电源为直流，不会因交流系统的低电压而跳闸，因此它们所控制的异步电动机在低电压期间则一直在网，并以发电方式向短路故障点反馈输出短路电流，直到绕组内的磁场衰减完毕或短路故障点被切除，此过程为电机的“一次冲击”；一般异步电动机的绕组短路衰减时间常数T为30-40ms左右，就是说只要内网短路故障持续3T左右的时间，电机的磁场就会衰减殆尽，变成挂在网上减速旋转的铁疙瘩……

当短路故障点被断路器K切除时刻，母线电压进入恢复期，所有在网的异步电动机同时重建磁场，此时电动机的软启动装置都处于退出状态，实际上就是“电机群直接启动”，启动伊始要向电网索取相当于电机群额定电流总和5-7倍的无功电流，形成强烈的电流冲击，此过程称为电机的“二次冲击”。

二次冲击电流在该系统变压器和线路的阻抗上会形成较大的压降，降低了电动机的机端电压，致使电机的电磁转矩不足，影响了电机转速恢复，并增加了过流时间，客观上延缓了母线电压的恢复过程，也就是电动机磁场重建的过程。只要当造成冲击电流的电机群总容量达到本系统电源容量的40%以上时，母线电压极易低于70%（电磁转矩小于50%），一旦这些电机处于额定负载状态，必然导致电机群失稳（详见《电机学》中关于“电磁转矩”的相关论述）停转，最终使该系统崩溃。

这就是，即使断路器K成功地切除了内网短路故障，还是经常会发生大面积停机事故的根本原因！



现有的治理措施

■ 串联支路电抗器方案

如图3，在需要保护的母线的每条出线串联支路电抗器，用以抬升支路短路故障（d1）时的母线剩余电压，保障供电。

支路电抗器方案也存在一定的问题，尤其是当电抗器进线侧电缆头故障时（如图3所示d2点），电抗器反而起不到保障母线供电的作用！

这是目前针对内网晃电的典型设计。

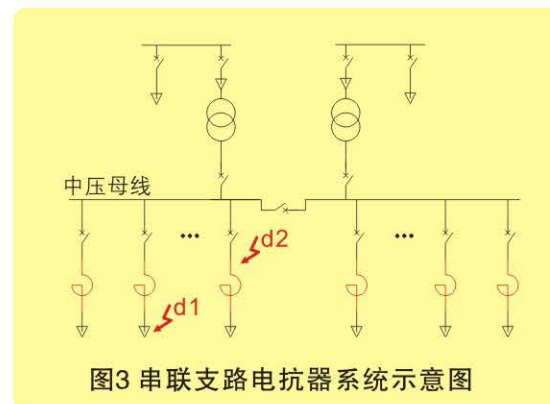


图3 串联支路电抗器系统示意图

■ “防晃电模块”和“分批延时重启继电器”解决方案

“防晃电模块”是针对继电器、接触器，在晃电时延长线包保持时间的一种低压系统的解决方案，达到晃电时不跳闸的效果……可是无法解决异步电机的“二次冲击”问题。

因此，为了避免二次冲击，不得不有选择地使用防晃电模块，先接受部分跳闸的事实，事故后利用“分批延时重启继电器”，将跳闸的负荷，根据工艺特点、容量大小预先分组，在跳闸后自动分批重启，以期尽快恢复生产。该方案不仅要求熟悉生产工艺，而且接线复杂，实际操作难度大，并且，由于模块本身的可靠性低于被保护对象的可靠性，又衍生出更多的故障。

这两种方案只针对低压系统，并不能解决中压系统的晃电问题。

■ “快切”解决方案

有时将电源开路故障（K偷跳）片面地认为就是“晃电”，因此提出了一种“快切”解决方案，即针对电源开路故障的“备自投”控制器；对短路故障d1可能引发的二次冲击问题，则主张跳掉一部分负荷，再分批延时重启。指导思想与上述方案有类似的不足之处。

关键是，此“快切”方案仅提供控制器，而K1-3还是采用普通断路器，当KO切除d1故障点时刻，也就是K1开断时刻，电源已经恢复正常，K1断开纯属多余；再合K3，整个切换时间远大于KO开断时间（即晃电时间），用大于晃电时间的操作治理晃电，不符合逻辑。

尤其是对于故障点d2，对母线来说，属负荷故障，快切还不能动作，母线上的负荷还是要承受d2故障的影响。因此，治理晃电，单方面考虑快切策略，还显不足。

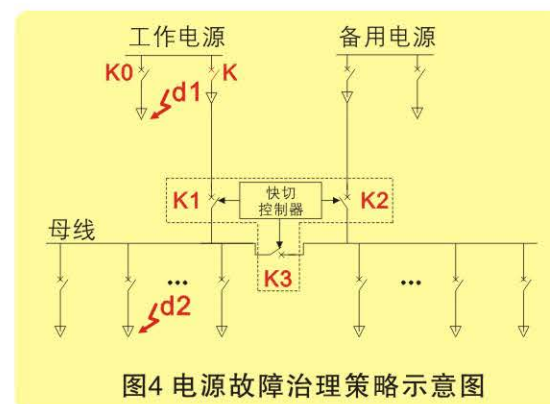


图4 电源故障治理策略示意图

晃电治理的思想要素

■ “减小二次冲击”是方向

变频器、接触器等都有抗晃电治理办法，但是，异步电动机在电压恢复时刻的“二次冲击”却是造成大面积停电事故的根本原因。

针对这一客观物理现象，减小异步电动机的“二次冲击”，避免电机在二次冲击期间停机事故的发生，是治理晃电的方向。

■ “缩短晃电时间”是要点

“停产即事故！必须在事故发生前完成治理。

因此，缩短晃电时间——在事故即将发生前就提前结束晃电是治理的要点！

图5中可以看出，将“晃电期间”压缩到“原事故点”（20ms时刻）之前即可避免变频器及低压负载等设备停运事故的发生，而且实际运行经验证明，只要在短路后第一个大半波（小于20ms）之内将短路故障隔离，就可以将异步电动机的“二次冲击”电流限制到2倍左右额定电流以内，避免电机失稳，确保生产的连续性。

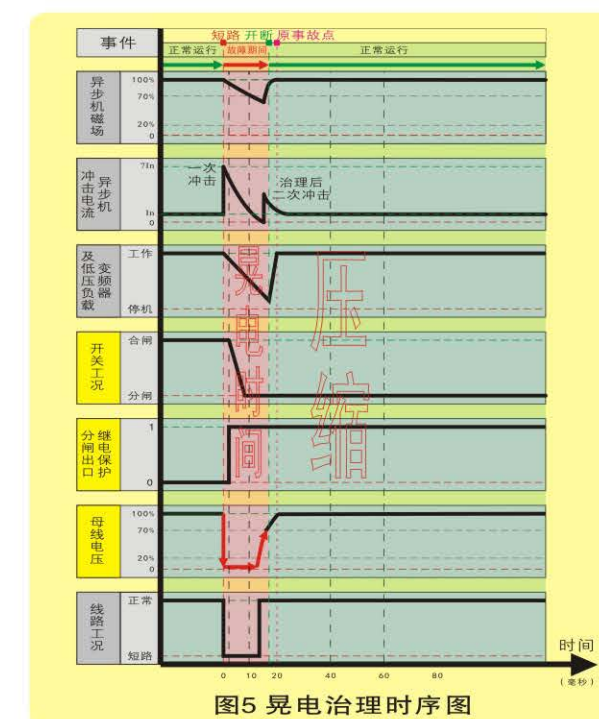


图5 晃电治理时序图

■ “快速设备”是物质基础

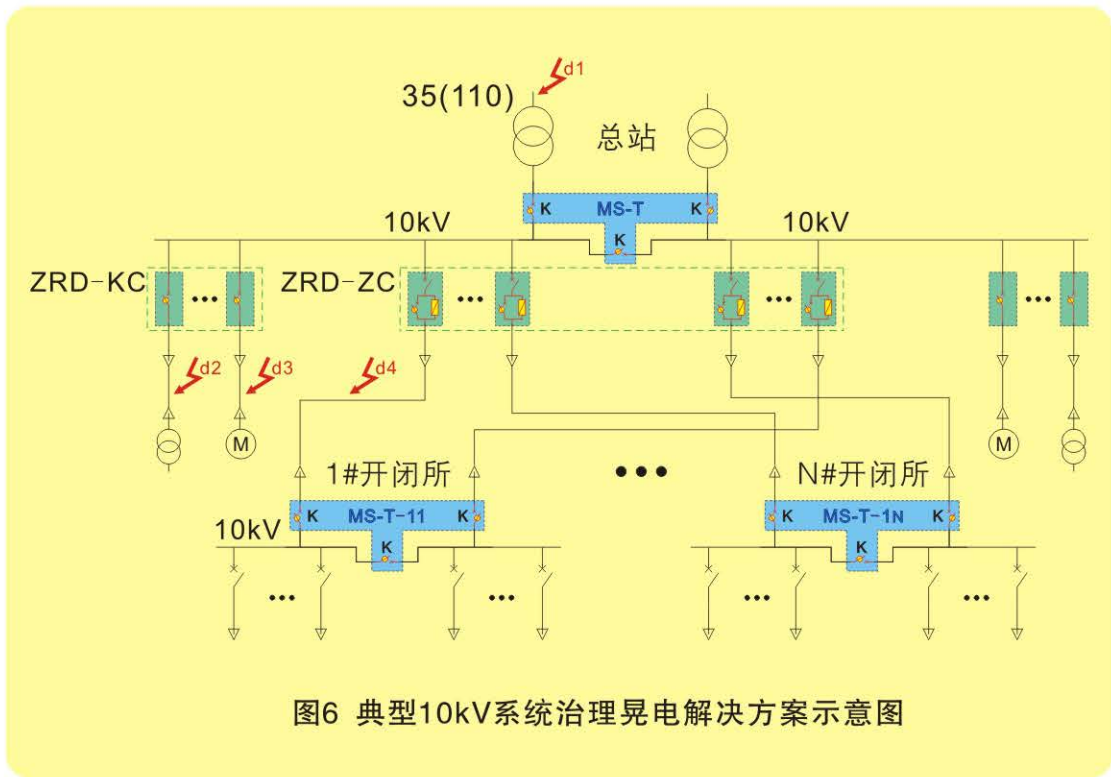
因此，20ms之内完成“故障判断”和“执行操作”的“快速”设备，是成功治理晃电的物质基础，尤其是基于安徽尚途电力公司制造的5ms内分闸的“涡流驱动”快速开关而成套的母线残压保持装置（ZRD）和高速断路器及切换控制器装置（MS），是综合治理晃电的重要设备。

■ “孤立故障点”是策略

如图6所示，对于造成内网晃电的短路故障点d4，采取两头治理的策略：一头是在故障点的电源侧，即母线支路开关的位置，采用“母线残压保持装置”（ZRD）简称“母保”（图6中绿色的模块），来快速隔离故障点对母线电压的影响，保障母线对其它非故障支路的连续供电；另一头是在故障点的负荷侧，采用“快速断路器及切换控制器装置”（MS）简称“快切”（图6中蓝色和紫色的模块），将故障点以下的负荷切换到备用段电源或电压已经被“母保”恢复的本段其它支路的电源上。这样可以将故障点彻底地从系统中孤立出去，去除故障点的负面影响，最大限度地保障系统对所有负荷的供电连续性！

10kV系统晃电的典型治理方案

■10kV一次系统晃电治理示意图



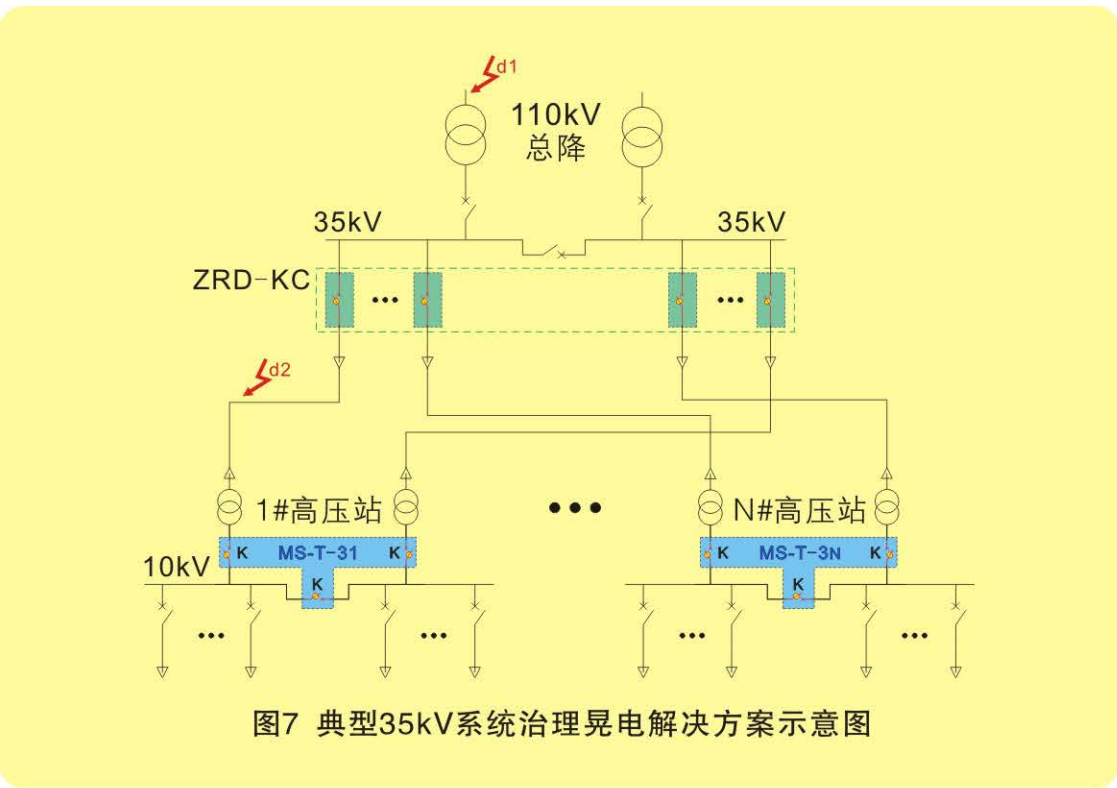
■10kV晃电故障点及质量方案（见表1）

表1 10kV晃电故障点及治理方案说明简表

故障点	d1	d2	d3	d4	
故障位置	供电方向	电缆或变压器	电缆或电动机	电缆或开闭所负载	1#开闭所进线
故障类型	电源	单负荷		多负荷	电源
故障现象	总站10kV母线低电压	总站母线低电压，连带影响非故障出线			开闭所10kV母线低电压
治理策略	切换电源	直接隔离		隔离并后备	切换电源
治理设备	ST-MS-T	ST-ZRD-KC直开式母保		ST-ZRD-ZC阻开式母保	ST-MS-T-11
备注	/	单负荷，直接速断		多负荷，需后备返回	/

35kV系统晃电的典型治理方案

■典型35kV一次系统晃电治理示意图



■35kV晃电故障点及治理方案（见表2）

表1 35kV晃电故障点及治理方案说明简表

故障点	d1	d2	
故障位置	供电方向	电缆或变压器	35kV进线或1#降压变
故障类型	电源	单负荷	电源
故障现象	总站35kV母线低电压	总降35kV母线低电压，连带影响非故障出线	1#高压站10kV母线低电压
治理策略	切换电源	直接隔离	切换电源
治理设备	ST-MS-T-31~N	ST-ZRD-KC直开式母保	ST-MS-T-11
备注	/	单负荷，直接速断	/

治理晃电整体解决方案

■整体解决方案示意图

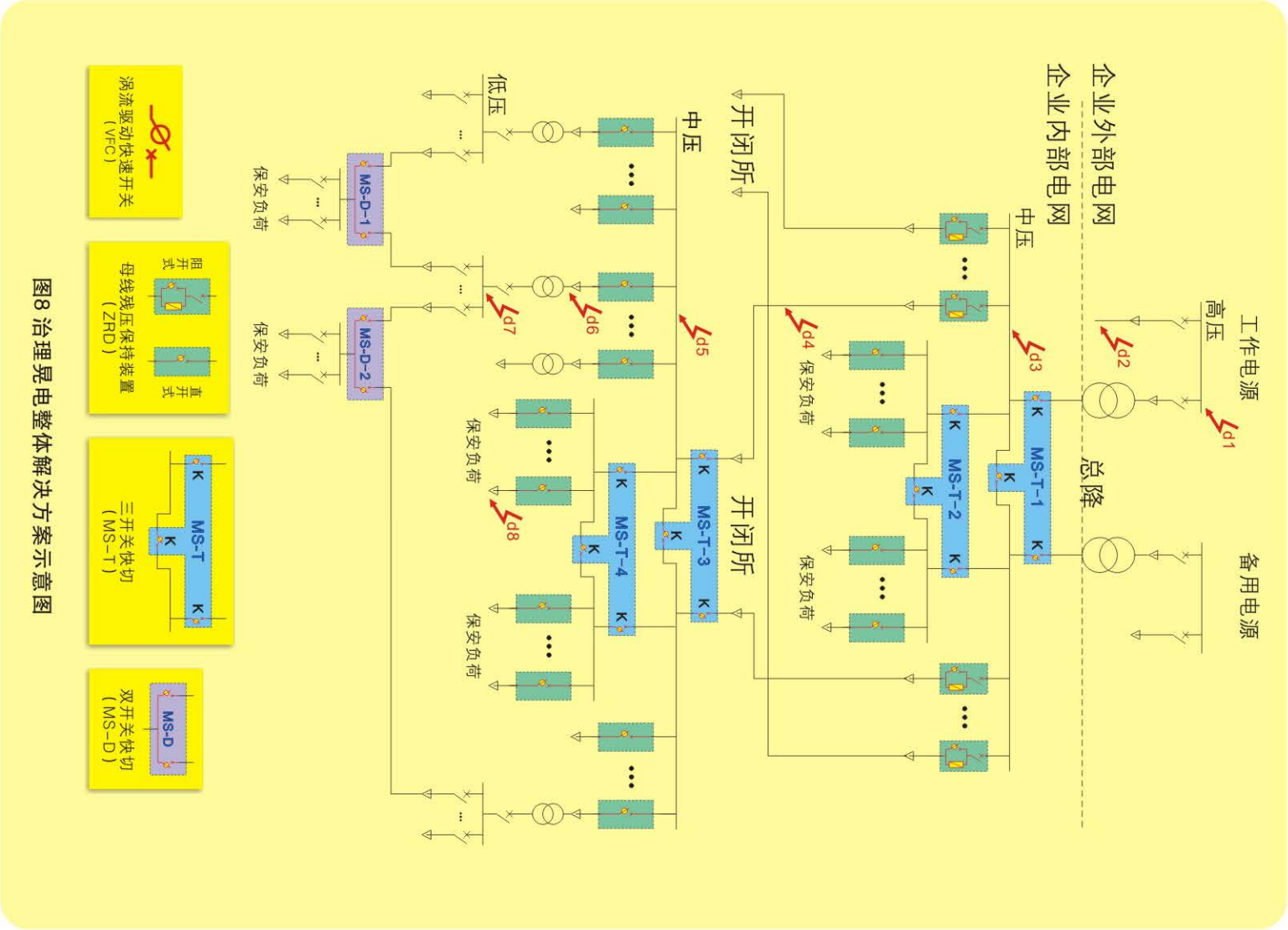


图8 治理晃电整体解决方案示意图

■治理方案描述

●各种电故障点及治理方案说明简表（见表3）

表3 各晃电故障点及治理方案说明简表

故障点	故障区域	故障位置	故障类型	故障现象	治理策略	治理设备	备注	
d1	外网	母线	电源	内网全部负荷低电压	切换电源	ST-MS-T-1	须有两路供电	
d2		其它支路						
d3		总降母线						
d4	内网	总降出线	多负荷	总降母线低电压，连带非故障线路低电压	隔离故障	ST-ZRD-ZC	阻开式母保	
		开闭所进线	电源	故障点以下全部负荷低电压	切换电源	ST-MS-T-3	配合ZRD可用于单电源系统	
d5		开闭所母线	多负荷	总降母线低电压，连带其它开闭所低电压	隔离故障	ST-ZRD-ZC	阻开式母保	
		保安负荷供电	电源	故障点以下全部负荷低电压	切换电源	ST-MS-T-4 ST-MS-D-2	/	
d6		开闭所出线	单负荷	开闭所母线低压，连带本段母线及总降母线低电压	隔离故障	ST-ZRD-KC	直开式母保	
		低压负荷供电	电源	故障点以下全部负荷低电压	切换电源	ST-MS-D-1/2	配合ZRD可用于单电源系统 例如MS-D-1的安装位	
d7		低压母线						
d8			单负载出线	单负荷	供电电源低电压，连带上级母线低电压	隔离故障	ST-ZRD-KC	直开式母保

06 ST-MS低压快速切换装置

晃电简介

◆1.1 概述

大中型企业的内部电网（简称内网）和国家电网（简称外网）相连，形成供电系统。该系统内任何一支路出现短路都会造成整个系统的电压跌落。短路发生后，该支路的保护装置将动作使断路器跳闸切除故障支路。从短路发生到故障切除这段时间，系统电压经历从跌落到恢复的过程，这种情况在不同的行业有不同的叫法，有的被称为“晃电”，有的被称为“失电”，或“晃动”、“陡降”等等。

在本说明书中提到的晃电的定义是：当电力系统中某处发生短路，线路上的电压有明显下降；当发生短路的支路被切除后，电压恢复正常。为了叙述方便，我们也用晃电来描述“电压凹陷”。电压凹陷的时间一般在0.1秒左右，是断路器切除短路故障的时间。晃电现象在系统运行时出现的几率很高，快速切换保持装置应针对消除晃电的危害而进行设计。

各种用电负荷对晃电的反应差别很大，对他们可以根据晃电产生的后果进行分类：当晃电结束后，负载能够继续正常运行的，称之为非感性负载，比如照明、电炉等。在电压发生凹陷的过程中以及在电压恢复的时刻，运行中断的负载，或对电路产生大电流冲击的负载，称之为敏感负载，这类负载的特点是由机械运动以及有电或磁储能元件的存在，如电动机、变频调速机组、继电器等。

◆1.2 敏感负荷在晃电故障时的反应

在电力系统中根据负载类型分为“有源负载”和“无源负载”；有源负载：当系统发生短路时，可以向短路点提供短路电流，成为“有源负载”，如电动机、发电机等。无源负载：当系统发生短路时不向系统提供短路电流的负载，成为“无源负载”，如卤素灯、电弧炉等。

1.2.1 变频器

无论是开路还是短路故障，对变频器来说，都是致命的，其前端整流部分失压或低压，都不能给储能电容器继续充电，后端的逆变部分只能依赖电容器在电源故障前储存的能量继续工作，事实证明，当变频器前端电压低于70%时，电容器储能仅能维持变频器满负荷工作18ms，之后就保护停机，因此，变频器要求低于70%电压的工况不得超过18ms。

1.2.2 异步电动机

开路故障时，电动机磁场衰减缓慢，机端电压可以维持几百毫秒以上；可在短路故障时，电动机磁场衰减时间常数只有30ms左右，90ms后恢复供电时，相当于电机群直接起动，二次冲击电流接近最大值，因此，电动机要求供电故障时间越短越好。

◆1.3 晃电引发事故造成的危害

晃电引起的事故，往往造成很大的经济损失。对化工企业的一套生产装置来说，它每小时的产值可能有数十万元。它的生产流程一旦中断，重新恢复生产有规定的启动程序，还包括清除现有的中间态的原材料等，生产中断数小时并不少见。如果安装一套有效的保护装置，就能防止晃电造成的停产，从而有效避免由此带来的损失；而发生一次这样事故造成的损失，可能就已经相当于对保护装置的投入了。

◆1.4 晃电治理的思想

1.4.1 “减少二次冲击”是方向

变频器、接触器等都有抗晃电治理办法，但是，异步电动机在电压恢复时刻的冲击确实造成大面积停电事故的根本原因。

针对这一客观物理现象，减少异步电机的二次冲击，避免电机在二次冲击期间停电事故的发生，是治理晃电的方向。

1.4.2 “缩短晃电时间”是要点

停电即事故！必须在事故发生前完成治理。

因此，缩短晃电时间——在事故即将发生前就提前结束晃电是治理的要点。将“晃电期间”压缩到“原事故点”（20ms时刻）之前即可避免变频器及低压负载等设备停运事故的发生，而且实际运行经验证明，只要在短路后第一个大半波（小于20ms）之内将短路故障隔离，就可以将异步电动机的“二次冲击”电流限制到2倍左右额定电流以内，避免失稳，确保生产的连续性。

1.4.3 “快速设备”是物质基础

因此，20ms之内完成“故障判断”和“执行操作”的“快速”设备，是成功治理晃电的物质基础，尤其是基于安徽尚途电力公司制造的4ms内分闸的“涡流驱动”快速开关而成套的高速断路器及切换控制器装置（MS），是综合治理晃电的重要设备。

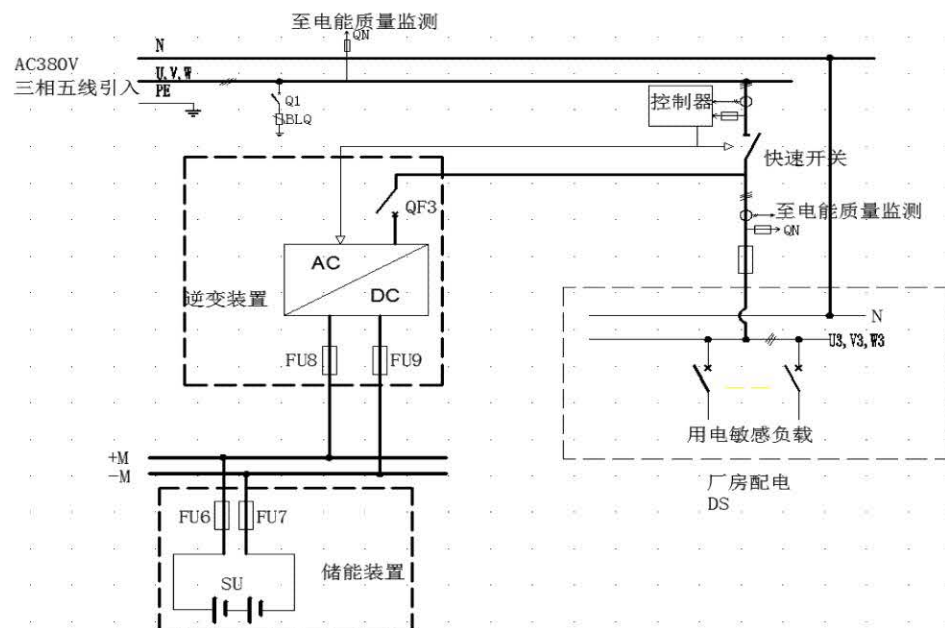
MS装置及保护方案

◆2.1 MS装置简介

MS有源快速投切装置采用超级电容或碳基电容电池作为储能介质，通过DC/AC逆变器输出与电网同步的AC380V或其它电压等级的交流电源，作为电网的短时备用电源。当电网出现“晃电”或短时停电时，通过涡流驱动真空快速切换开关（切换时间<20ms），将用电敏感设备快速的切换至储能单元供电，待电网恢复正常后，再切回电网供电，保证用电敏感设备在电网发生波动期间能够正常工作，以避免造成重大经济损失。

本装置采用分布式、多点治理即就地治理，每台装置最大可带敏感负荷200kW/2（5）s，是目前治理电压陡降的最有效、最经济，且完全满足Ⅰ、Ⅱ类敏感负荷对供电电能质量持续性的要求的治理方式，适用于精密制造、半导体制造、汽车制造、钢铁石化及大型公共场所照明等场所敏感负荷对供电电能质量持续性的要求。

◆2.2 典型400V系统晃电治理示意图



高速断路器及切换控制器装置（MS），如上图所示，它由切换装置、逆变装置、储能装置三个单元组成。

◆2.3 切换装置

切换装置由快速切换开关及切换控制器组成，工作逻辑快速切换开关闭合时流过正常工作电流，当出现晃电时在20ms内将敏感负载的电源从工作电源切除，切换控制器对逆变装置发出供电命令，由逆变装置对负载进行供电。

◆2.4 逆变装置

储能单元储存的能量通过DC/AC逆变器逆变为与电网同步的三相交流AC380V或其它电压等级的电源，当电网发生“晃电”或短时故障时，短时给用电敏感负载供电。（详见P9）

◆2.5 储能装置

储能单元SU由碳基电容电池组组成，单节电池容量为1.3AH，采用多节串并联组成，单体电池间无需均衡，循环寿命达万次以上且免维护，输出可直接短路，温度特性好，寿命长，可以满足系统200kW/2（5）s短时间、高倍率供电时间要求。

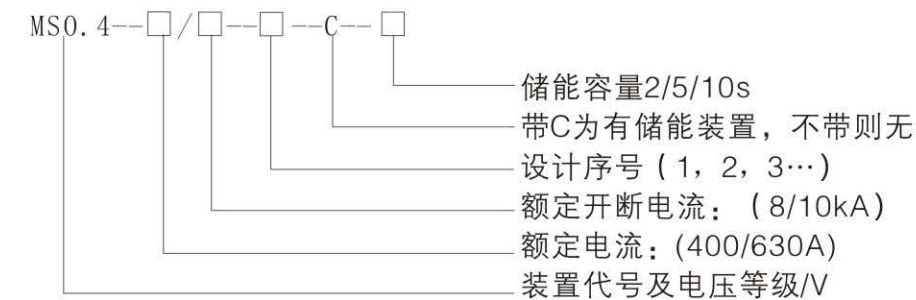
3AH，采用多节串并联组成，单体电池间无需均衡，循环寿命达万次以上且免维护，输出可直接短路，温度特性好，寿命长，可以满足系统200kW/2（5）s短时间、高倍率供电时间要求。

◆2.6 Ms工作原理

电网正常情况下，用电敏感设备由电网供电，本装置通过电网给碳基电容电池充电并保持，同时逆变输出与电网同步的交流AC380V或其它电压等级的电源。当电网发生“晃电”或短时故障时，快速切换开关控制器通过对故障进行快速诊断，判断故障是区内或区外故障。若故障为区外故障引起电压陡降，控制器在1ms内立即发出切换指令，快速切换开关在4ms以内将用电敏感设备从电网断开，切换控制器对逆变装置

发出供电命令，由逆变装置对负载进行供电约2s或5s，确保用电设备停电时间不超过20ms。若电网停电时间超过2s或5s，则停机，待电网恢复正常后，用电敏感设备再切回电网供电；若故障为区内故障，则快速开关直接快速切断故障支路，不切换不能把故障引入本设备中。

◆2.7 型号含义

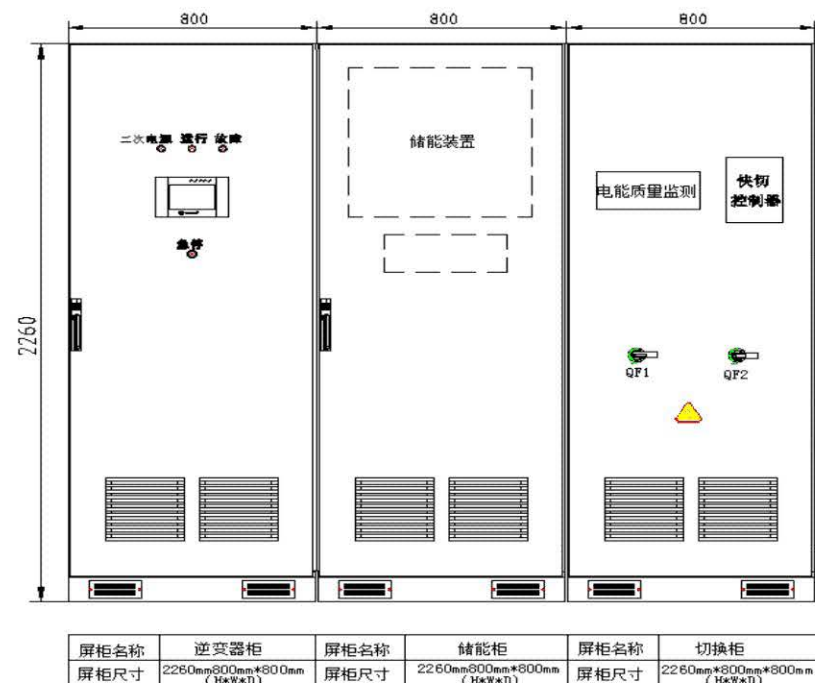


◆2.8 参数指标

序号	技术特性		单位	额定参数
装置电气参数				
1	额定电压		kV	0.4
2	适用系统额定电压		kV	0.38
3	额定绝缘水平	额定短时（1min）工频耐受电压	kV	2.5
		额定雷电冲击耐受电压（峰值）	kV	8
4	额定频率		Hz	50
5	额定电流		A	400/630
6	额定短路开断电流		kA	8/10
机械参数				
7	额定分闸时间		ms	<4
8	额定合闸时间		ms	<10
关键参数				
9	最快切换时间		ms	<20

◆2.9 平面布置图

本装置有2面或3面屏组成，即1面DC/AC逆变器屏、1面或2面储能及快速切换屏，平面布置见下图。



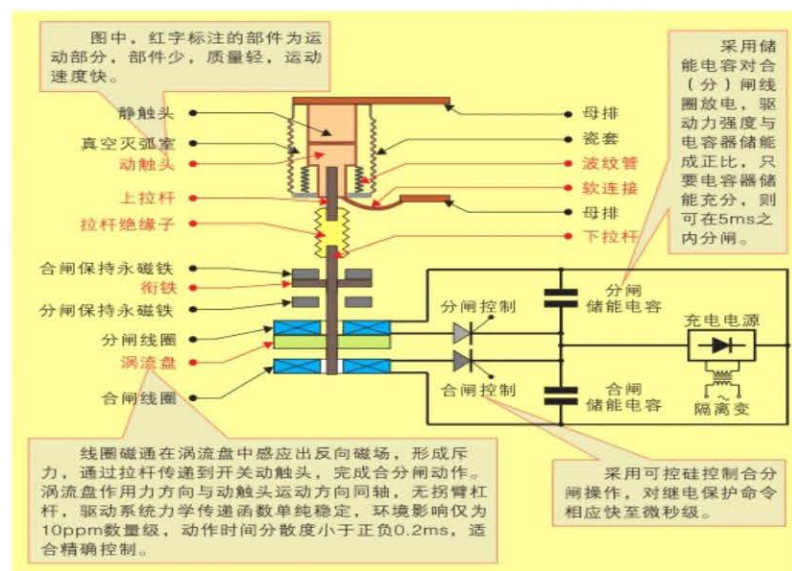
MS装置关键元器件介绍

◆3.1高速断路器

①工作原理

VFC系列“涡流驱动”快速断路器是安徽尚途电力公司制造的一种电容器储能的、涡流盘驱动的、永磁保持的、机械分闸时间小于4ms、最大开断电流不小于80kA Co100次的、直动式快速永磁真空断路器。

VFC系列“涡流驱动”快速断路器采用基于快速涡流驱动技术的高速断路器。VFC系列“涡流驱动”快速断路器具有快速放电开关的分闸时间小于4ms，合闸时间小于10ms。



②技术参数

快速开关		VFC -0.4
额定电压	Un (kV)	0.4
额定绝缘电压	Un (kV)	0.4
额定频率	fn (Hz)	50
额定电流	In (A)	400/630
额定分闸时间	(ms)	<4
开断时间	(ms)	<5
短路开断次数		>100
额定合闸时间	(ms)	<10

③型式试验报告及性能参数报告



◆3.2 切换控制器简介

①控制原理

切换控制器可在工作电源系统发生短路故障或失电的1ms之内发出动作信号，实现两路电源的自动切换。

当本支路以外或外网发生短路故障时，对电动机来说，本支路的电动机向短路点反馈电流较小，电压大幅下降，以此来判定为区外短路，可以进行切换。对变频器的支路来说，电压大幅下降，变频器交流侧电压低于直流侧母线电压，该支路输入电流为零，立即进行切换。

当本支路内部发生近区短路时，短路电流较大，电压大幅下降，为区内短路。此时只能切断支路，不能把发生短路的支路切换到备用电源上去。

通过对系统电流、电压变化特征的分析，可以判断系统故障类型，从而采取相应的投切策略。本公司研发的快速算法，能在短路电流上升1ms内完成对短路电流、母线电压的计算，判断内外网短路及电压凹陷，并发出动作信号。对于有电动机的支路，控制器立即发出分闸信号和切换信号，在第一个周波的过零点切断短路电流，在20ms内完成将敏感负载从短路系统中切开、并切换到备用电源的操作。对于有变频器的支路，由于系统电压下降到低于变频器电容电压，输入电流为零，开关可在20ms内完成将变频器从短路系统切开、并切换到备用电源上的操作。

正常运行时控制器检测工作电源各相电压，面板上显示工作电源母线各相电压和所控支路的负荷电流。若发现备用电源异常则闭锁备用电源切换回路并报警，面板显示故障状态，输出无源状态，输出无源开关量接点信号，并通过微机通讯系统向控制中心报告故障信息。

②控制器组成

采用Rogowski线圈测量系统电流，具有动态范围大，测量精度高的优点。且没有电磁感应式电流互感器因存在的磁饱和问题。采用霍尔传感器测量电压。

采用16位高速、高精度AD转换器，实现高分辨数据采集。大容量FPGA和32为高速浮DSP构成强大的运算能力，确保1ms内完成短路电流计算、电流过零点预测、电压凹陷计算。

③技术参数

控制单元采用了快速测控技术运算速度快，精度高。电子器件经过严格筛选，电子线路经过优化设计，抗干扰能力强，动作可靠性高。

1、直流电源：220V 允许偏差：+15%，-15%

2、开关结构尺寸：双切型700mm（长）×360mm（宽）×520mm（高）

单切型360mm（长）×300mm（宽）×470mm（高）

3、环境温度

正常工作温度：-40~60℃

极限工作温度：-40~60℃

输出接点容量

继电器接点最大导通电流为5A。

通信接口

电气隔离的RS-485通信接口，MODBUS通讯规约。

电磁兼容

脉冲群干扰：能承受GB/T14598.13-1998规定的频率为1MHz及100kHz衰减震荡波（第一半波电压幅值共模为2.5kV，差模为1kV）脉冲群干扰试验。

快速瞬变干扰：能承受GB/T14598.10-1997第四章规定的严酷等级为Iv级的快速瞬变干扰试验。

辐射电磁场干扰：6PJ~GB/T14598.9-1995第四章规定的严酷等级Iv级的辐射电磁场干扰试验。

静电放电：能承受GB/T14598.14-1998中4.1规定的严酷等级为Iv级的辐射静电放电试验。

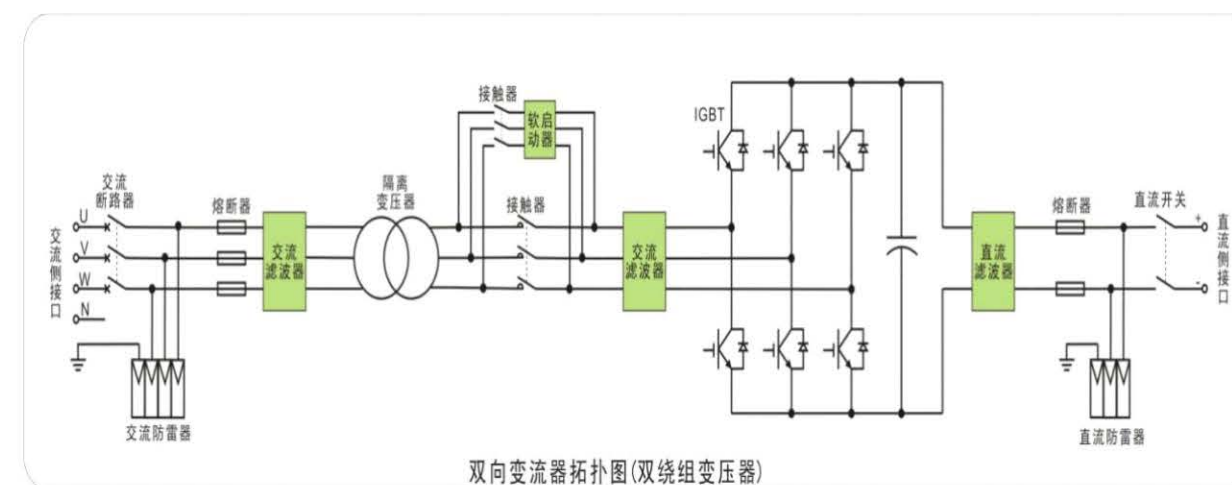
逆变装置简介

◆3.3.1产品概述

HN系列双向变流器/逆变器是安徽尚途电力公司根据储能电站的需要开发的新一代电源产品。该产品采用高质量元器件和先进的DSP数字处理芯片，性能稳定；总电流谐波畸变率 $< \pm 3\%$ ，整机效率高达97%。该电源具有过欠压保护、过欠频保护、过流保护、短路保护、过载保护、过温保护、防孤岛保护、功率翻转保护等完备的保护功能，确保系统、蓄电池和公共电网最大的运行安全。

◆3.3.2产品原理框图

产品原理框图如下图所示：



◆3.3.3型号命名



◆3.3.4产品特点

具有并网运行模式和离网运行两种模式，并可以在两种模式之间进行快速切换，满足用户在实际运用中的不同需求。

具有各种完备的保护功能，如过欠压保护、过欠频保护、过流保护、短路保护、过载保护、过温保护、防孤岛保护、功率翻转保护等等，确保系统、蓄电池和公共电网最大的运行安全。

采用了一系列硬件和软件优化措施，使得设备本身的功耗很小，转换效率可以达到97%以上（半载以上），节能性能优异。

采用先进的软件算法和优异的硬件拓扑结构，因此并网运行状态下，对电网产生的谐波污染很小，电流谐波畸变率 $< \pm 3\%$ （半载以上）。

并网运行时，可根据远程指令或本地设定，向电网注入无功功率，使得并网功率因数可在-1~1之间可调，实现对电网的无功补偿。

输入功率因数高，电磁兼容性能好。充电功率因数 ≥ 0.99 （半载以上），放电输出功率因数0.95~0.99。

预留并联接口，可以扩容至MW级换流器。

具有各种通讯接口，包括RS232/485/CAN/以太网接口等等，可以满足不同监控通讯方式的要求
离网运行状态下，能够产生高质量的交流电能，满足用电负荷对电能质量的要求。

◆3.3.5主要技术指标

型 号		HN-SN***/**B系列	HN-N***/**系列
直 流 侧	电压范围（Vdc）	600~800	
	额定功率/电流（kW/A）	100/132、250/335、500/670	
	充电稳压精度	$\leq \pm 1.0\%$	/
	充电稳流精度	$\leq \pm 1.0\%$	/
	纹波系数	$\leq \pm 0.5\%$	/
	泄漏电流（A）	$< 20\text{mA}$	

交 流 侧	交流相数		三相五线制（R+S+T+N+PE）	
	额定功率/电流（kW/A）		100/155、250/380、500/760	
	并 网 充 放 电	交流电压（Vac）	380±15%	/
		允许频率范围（Hz）	48~50.5	/
		额定功率/电流（kW/A）	100/155、250/380、500/760	/
		总电流谐波畸变率	<±3%（50%负载以上）	/
		充电功率因数	≥0.99（半载以上）	/
		放电输出功率因数	-0.95~0.99	/
	离 网 运 行	交流电压（Vac）	380±5%	
		输出电压失真度	<±3%（额定线性负载）	
		额定输出频率（Hz）	50±2%	
		动态负载电压瞬变	<±5%（阻性负载0到100%跃变）	
	充电 ↔ 逆变转换时间		≤5mS	/
	并网 ↔ 离网运行转换时间		≤10mS	/
	交流过载能力		110%，过载10分钟；120%，过载1分钟	
效率		≥97%（半载以上）	≥98%（半载以上）	
最大短路电流峰值		<2倍额定电流		
功 能	反孤岛效应检测		具备主动、被动式孤岛检测	/
	低电压穿越		具有低电压穿越保护功能	/
	显示		7”彩色触摸屏	
	通信接口		RS232/485/CAN /以太网接口	
一 般 参 数	冷却方式		风冷	
	噪音		≤60dB	
	重量		约900kg/1800kg/3000kg	约300kg/500kg/1200kg
	尺寸（高x宽x深mm）	2260x800x800		2260x600x800
		2260x1800x800		2260x600x800
		2260x2800x800		2260x1200x800
	防护等级		IP30	
	安装环境		室内	
	安全指标		符合国家或行业相关标准	

使用环境

MS装置安装地点:户内, 无酸碱腐蚀环境温度-40~50℃, 相对湿度 $\geq$ 95%, 污秽等级 $\leq$ II级, 海拔高度 $\leq$ 2000米, 超2000米需特殊设计。

使用维护

开箱检验无损坏, 方可对照柜体编号就位安装。

必须按照装置《调试大纲》进行必要的投运前试验。

一切合格后方可投运, 并提交《投运报告》。

正常运行过程中, 按照普通开关柜维护规程进行维护。

当装置动作后, 必须按照《调试大纲》对装置进行检查, 若运行问题, 超过36个月, 公司实行有偿服务。

订货须知

订货前应事先签订《技术协议》, 明确装置型号及供货范围。

技术协议中需提供以下参数: 额定电压、额定电流、装置型号以及该支路继电保护定值表。

包装、运输、储存

一般采用木箱包装, 装置固定在包装箱的底座上。

不得在三级以下公路上长距离运输, 必要时, 可分解包装。

长期不用时, 应存储在干燥、通风的仓库内, 不宜长期在户外储存。

运输过程中装置应避免碰撞、受潮及暴晒

质量保证与售后服务

质保期为交货后18个月或投运后12个月, 以先到为准, 质保期内免费维修, 质保期外有偿服务, 终身保修。

我方派专业人员配合用户在进行投运前现场试验。

质保期内发生质量问题, 除免费维修外, 维修部件质保期按修复后重新计算。

07 ST-GVFC发电机出口断路器装置

发电机断路器简述

◆加装发电机断路器的好处

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:

1) 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。

2) 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%。

3) 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。

4) 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。机组正常启动或停机时, 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, 缩短了机组启动时间, 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。

5) 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。

6) 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。

◆GCB参数的特殊性及要求

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，保护的对象也不一样，在许多方面要满足特殊的一些要求。主要分以下三方面。

1) 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。

2) 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。

3) 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/us。

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GBT14824-2008《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眷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7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。

GVFC系列发电机断路器装置介绍

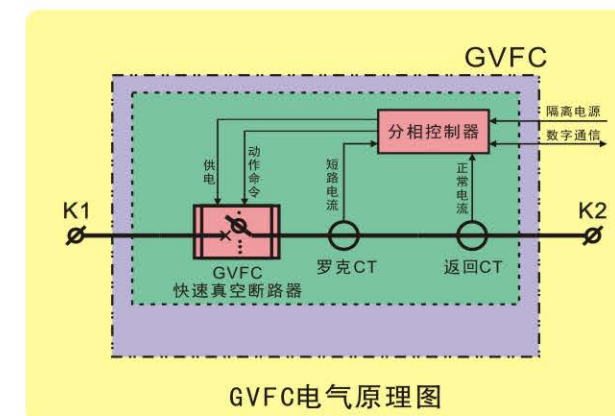
1、回路简介

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，断开发电机组与升压变的连接，保护发电机组。

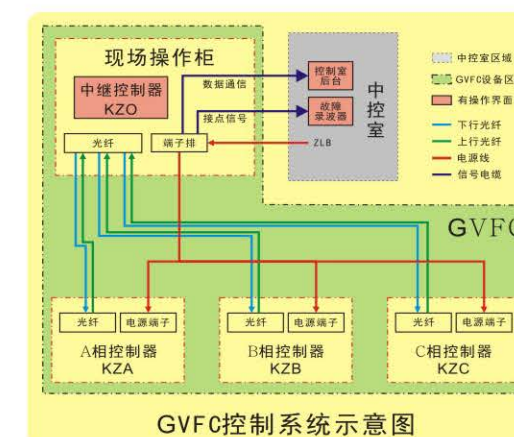


GVFC电气原理图

◆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。



GVFC控制系统示意图

◆工作逻辑

1) 正常运行期间

GVFC处于合闸位，断路器承载线路工作电流。

2) 线路发生短路故障时

当且仅当分相控制器通过罗克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。

3) 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。

◆核心元件-VFC“涡流驱动”快速断路器

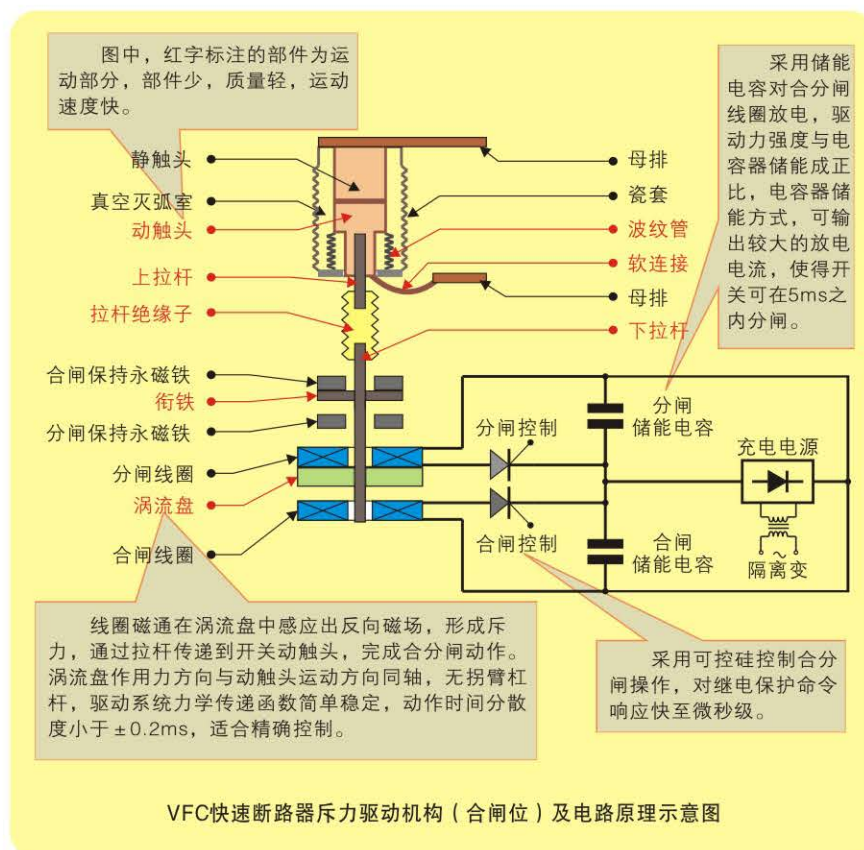
1) 总则

VFC系列“涡流驱动”快速断路器是加拿大Max-Swi公司制造的一种电容器储能、涡流盘驱动、永磁保持、直动式的快速永磁真空断路器，机械分闸时间小于5ms、最大开断电流不小于80kA Co100次；已于2011年通过了西高所“型式试验”和“大电流开断性能试验”。

“速度快”和“开断能力强”，是开关型限流器所用断路器必须具备的两个重要指标！

2) “涡流驱动”机构

如下图，为VFC开关“涡流驱动”机构和电路原理示意图。



3) 标准

VFC快速断路器符合GB1984-2003、JB/T3855-2008以及其他相关标准。该快速断路器通过了以下各种试验，可保证在正常安装条件下安全可靠地工作。

型式试验：温升、机械特性和操作（1万次）、工频耐压、雷电冲击耐压、震荡波抗扰度、电快速瞬变脉冲群抗扰度、冲击电压、开断关合能力试验前后机械特性、短时耐受电流和峰值耐受电流、出线端短路开断试验、异相接地故障开断能力试验。

性能试验：VFC-12/1600-40的型式试验试品完成40kA CO100次后，未经检修，继续进行80kA电烧损及开断CO20次的开断能力试验、VFC-12/5000-80试品80kA下CO100次开断能力试验。

出厂试验：主回路工频耐压试验、辅助和控制回路绝缘性能、主回路电阻测量、1:1模拟现场最大短路电流开断试验。

四) 指标特点及行业同类对比

VFC快速断路器采用了“涡流驱动”的直动式机构，性能指标明显优于其他类型的真空断路器，见下表。

表 VFC系列快速断路器关键参数同类对比表

技术特性	单位	参数对比			VFC优势理由
		VFC	弹操	永磁	
最大额定电流(r.m.s)	A	5000	5000	1600	/
标称最大开断电流(r.m.s)	kA	>80	80	40	采用电流过零前分闸技术 ^[1]
最大开断电流次数	次	>100	3	20	灭弧室燃烧量小
控制器判断出口时间 ^[2]	ms	<1.6	10-20		采用专用快速算法
标称分闸时间	ms	<5	40-60	20-30	涡流驱动
多次分闸时间分散度 ^[3]	ms	±0.2	不详		直动式，可控硅开关
燃弧时间	ms	≥2	5-15		采用控制燃弧量技术 ^[4]
开断短路电流时间	ms	<20 ^[5]	55-95	35-65	判断和动作时间快
单断口最大遮断电压	kV	>38.5	14		采用了TRV抑制技术 ^[6]
最小合闸弹跳时间	ms	0	<2		采用了缓冲技术 ^[7]

1.短路电流大于40kA时，采用此项技术；
2.开关自带专用控制器，弹操及永磁开关使用常规微机综保；
3.若需要精确控制分闸，此项为必要指标；
4.短路电流入于40kA时，采用此项技术；
5.控制器判断和开关固有动作时间之和小于7ms，但三相电流过零才能称为开断，一般标称为小于20ms；
6.短路电流大于40kA时，采用此项技术；
7.需要控制合闸反弹的场合，采用此项技术。

◆VFC“涡流驱动”快速真空断路器的并联技术

1) 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 $10^{-6}\Omega$ 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电感，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。

2) 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。

3) 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，需要着重控制均流电感即可。

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。

4) 真空并联断路器的指标

额定电流

开断电流

并联极数

均流系数

单极额定电流

单极开断电流

合闸相间同期

分闸并联极间同期

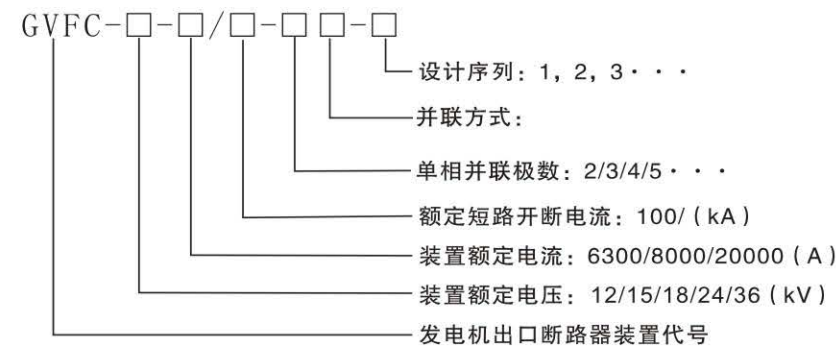
相控

◆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故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。

包装、运输、储存

- 1、一般采用木箱包装，装置固定在包装箱的底座上。
- 2、不得在三级以下公路上长距离运输，必要时，可分解包装。
- 3、长期不用时，应存储在干燥、通风的仓库内，不宜长期在户外储存。
- 4、运输过程中装置应避免碰撞、受潮及暴晒。

质量保证与售后服务

- 1、质保期为交货后18个月或投运后12个月，以先到为准，质保期内免费维护，质保期外有偿服务，终身保修。
- 2、我方派专业人员配合用户在进行投运前现场试验。
- 3、质保期内发生质量问题，除免费维修外，维修部件质保期按修复后重新计算。

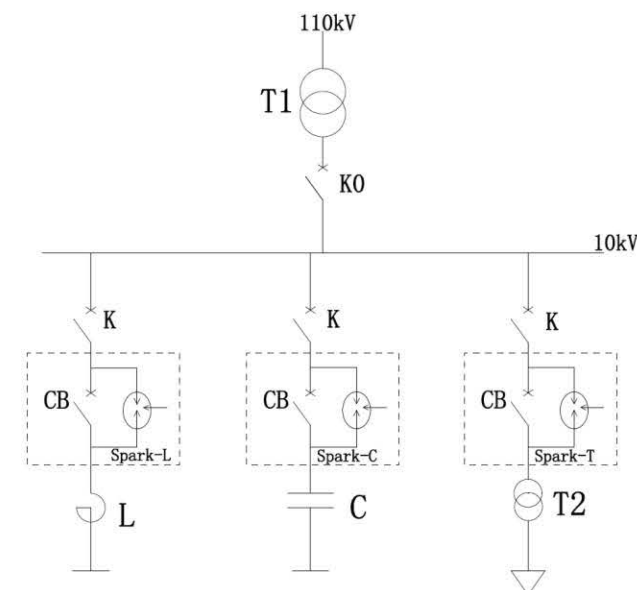
08 Spark 精准相控合闸装置

产品概述

电力系统中断路器在分合闸操作的瞬间，系统电压的相角通常都是随机的和不确定的。这常常导致在投切某些一次设备时，产生涌流。这不仅会对运行设备造成危害，而且会导致保护装置误动，严重威胁系统运行的安全、可靠与稳定。

在交、直流输电系统中，换流站和变电站是电源转换的重要枢纽中心。在换流站中有大量的诸如交流滤波器、站用变、换流变等重要设备，在变电站中有主变、站用变等重要设备，这些重要设备因其固有物理特性，在随机投切过程中极大可能产生涌流等电磁暂态过程。

为了避免给整个系统和站内设备的安全、稳定运行带来威胁，就必须通过技术措施来对涌流进行抑制甚至消除，尚途电力Spark相控合闸装置，运用精准的相位控制技术实现了对涌流的有效抑制，可广泛应用于关合空载变压器、投入并联电容器组及并联电抗器，从源头上抑制涌流等暂态过程的发生，从而为连续安全、高质的送电提供技术方案。



1.1 现状与危害

1.1.1 现状

涌流事故 1：2011 年三月份，广东某 500kV 电厂一台 600MW 运行机组的发电机保护在相邻主变空载合闸时，受和应涌流影响，且发电机两端 CT 特性不一致产生差流，导致发电机差动保护误动，降低了发电机组运行的可靠性，威胁了电网的安全。

涌流事故 2：目前 10kV 电容器、电抗器等无功设备投切过程中普遍存在的问题：电容器组及其投切开关检修频繁、使用寿命短，严重时发生母线停电、电容器故障、投切失败、开关重燃及爆炸等事故。经分析，造成以上问题主要是由电容器组投切过程中产生的合闸涌流、操作过电压所致。经对某省电网公司 2013 年电容器组运行数据分析得出，运行的 2700 多组 10kV 并联电容器组中共发生故障缺陷 240 多人次，其中因电容器组投切涌流和过电压导致的故障缺陷占比为 32%。目前无功投入存在问题较为普遍，因此有必要对无功设备投入暂态过程进行优化治理。

涌流事故 3：2016 年，特高压某直流出现功率波动，波动幅度 40 万千瓦，13 秒后平息。经分析，造成该特高压直流功率波动的原因是受附近 500 千伏#1 主变在检修完成后充电操作过程中产生励磁涌流（有效值最大为 1136A、持续时间 13s），导致换流站 500 千伏母线电压周期性畸变，直流换相失败预测功能频繁调整逆变侧触发角，引起直流功率波动。随着特高压直流工程大量投运，变压器空载合闸励磁涌流对直流系统的影响已不可忽视。

1.1.2 现状与危害

1.1.2 危害

- 1) 继保误动：引发继电保护装置误动，造成变压器投运频频失败。
- 2) 诱发和应涌流：空投变压器产生的“原始涌流”，诱发电网中其他正在运行的变压器产生“和应涌流”而被切除，造成大面积停电。
- 3) 电力破坏：大幅值的励磁涌流有时可达设备额定电流的十几倍或更大，它产生的电动力对变压器及其他电气设备破坏性很大。
- 4) 谐波污染：励磁涌流中含有大量的谐波，对电网产生很大的谐波污染，导致大量电气设备工作不正常、振动、发热及增大功率损耗。
- 5) 电流互感器过度磁化：励磁涌流中含有很大的直流分量，对大量使用的电磁式电流互感器产生过度磁化，导致测量精度大幅下降，继电保护装置误动，甚至使电流互感器产生不可逆的破坏。
- 6) 电能质量恶化：导致电网电压骤升、骤降、恶化电能质量,造成变频器等对电压敏感的设备跳闸。
- 7) 直流换相失败：励磁涌流的非周期分量和二次谐波会造成交流系统母线电压畸变，引起周边直流换流站逆变器换相角频繁变化而导致直流换相失败或功率波动。

1.2 合闸涌流原因

1.2.1 空载变压器

随机相位角合闸和剩磁通是导致变压器产生励磁涌流的主要因素。变压器绕组中，励磁电流和磁通的关系由磁化特性决定，铁芯愈饱和，产生一定的磁通所需要的励磁电流愈大。由于在正常情况下，铁芯中的磁通就已接近饱和，如在不利条件下合闸，铁芯中磁通密度最大值可达到两倍及以上的正常值，铁芯饱和将非常严重，使其磁导率减小。磁导与电抗成正比，因此，励磁电抗也大大减小，因而励磁电流数值大增，由磁化特性决定的电流波形很尖，这个冲击电流可达到变压器额定电流的6~8倍，严重时，可达到十倍以上，且含有大量高次谐波，衰减时间和绕组阻抗有关，从几个工频周期到数秒不等，并伴随着明显的低频震动和声响。

1.2.2 并联电容器组

在变电站中，为了运行时调节无功功率的方便，有时将电容器分成几组，每组由一台断路器控制，各組间并联连接，称为并联电容器组，又称背靠背电容器组。并联电容器组是供电系统使用最广泛的补偿装置，用于提高功率因素，改善电压质量和降低电能损耗。并联电容器组在合闸投运瞬间即产生合闸涌流，因为在电容器第一次合闸投运瞬间，电容器处于未充电状态，其流入电容器的电流，只受其回路阻抗的限制，由于该时回路状态接近于短路，回路的阻抗很小，因此将产生很大的冲击合闸涌流流入电容器。涌流最大值发生在合闸过程中。电容器合闸瞬间产生涌流的倍数与投入电容器的容量和安装地点的短路容量有关，如果电容器在较大短路容量电路中，电路电感较小，则涌流的幅值较大且频率较高。现有的并联电容器组投运时仅为限流时，分组电容器串入3%左右的电抗器即可，但是涌流依然会达到其额定电流的3倍甚至更高，但未串电抗器时合闸涌流一般达到额定电流的5~7倍，严重时可达十几倍以上。频繁投切时直接影响到电容器组的使用寿命。当电容器组串入限流电抗时，由于容性电流在电感上所形成的电压升高，电容器组上的电压亦有所升高，对于并联电容器组这是不利的。我们由并联电容器组投入电网时的涌流计算及仿真可知，在电压为零时投入电容器，涌流最小。

1.2.3 并联电抗器

电抗器大多采用铁芯绕制，一旦发生磁饱和，电感量就会下降。而合闸瞬间的电源初始相位对铁芯磁通影响很大，由于电感电流是电压的积分，如果在电压的峰值瞬间合闸，电流只对电压1/4周期积分，电流会平稳过渡到稳态，因为稳态电流在电压峰值的时刻就是0。如果在电压过零瞬间合闸，电流会对电压整个

半周波形积分，理论上获得2倍的峰值电流。而电抗器出于造价考虑，铁芯饱和磁通并不会设计2倍的余量，因此会进入磁饱和区，出现远超出2倍的最大瞬态励磁电流，产生严重的开机电流冲击，这个冲击电流可达到变压器额定电流的6~8倍，严重时，可达到十倍以上。

1.3 现有治理措施不足

1.3.1 采用软启动方式投入变压器

方案描述：软启动方式即在线路中串联适当数量的并联开关的限流阻抗，先将并联开关打开，当主开关合闸后，再逐个闭合与阻抗并联的开关，达到限制涌流的目的。

缺点：此方案，原理上最贴切，在电机启动上已广泛应用，但是要在变压器主开关回路增加较多设备，造价偏高不利于推广。

1.3.2 修改保护定值避免误动

方案描述：该方法通过修改保护定值，确保在变压器空载合闸时保护不动作，避免因涌流造成的变压器投运失败。

缺点：降低了系统保护灵敏度，给系统带来安全风险。

1.3.3 识别涌流特征避免误动

方案描述：该方法通过对励磁涌流与故障电流进行识别区分，实现变压器空载合闸涌流时继电保护不动作的目的。

缺点：该方法仅解决了因变压器空载合闸时涌流造成的继电保护误动问题，但是涌流依然存在，其对变压器本身造成的损害及对系统的影响并没有消除。

1.3.4 采用分相控制策略抑制涌流

上述三种治理方案都存在一定的缺陷，不能从根本上抑制涌流，因此，有研究提出采用分相控制策略来达到抑制涌流的目的。

1.3.4.1 理想的合闸角度

根据大量研究性论文得知，空载变压器和并联电抗器在电压相角为90度时合闸无涌流。并联电容器组在电压相角为0度时合闸涌流最小，为额定电流的2.23倍，我们只需精准的设定合闸所要角度，就可以在投入设备时将涌流降至最低。

1.3.4.2 开关存在执行问题

分相控制策略由两个环节组成，首先是控制算法得出合闸角度，其次，依靠分相操作的断路器实现分相合闸。但实践表明，分相操作断路器依然存在不足之处。

(a) 机械开关大都是弹簧操作机构，本身的固有合闸时间的分散度都比较大，按国标要求不大于2ms。2ms的时间误差造成的合闸角度与理想合闸角差值为 $\pm 36^\circ$ ，该误差角度足以造成涌流抑制失败；

(b) 在开关合闸过程中由于预放电的存在，客观上提前了合闸角，达不到预期的涌流抑制效果；

(c) 分相操作的开关只有110kV及以上的电压等级才有，110kV电压等级以下的常规开关都为三相联动操作机构，如果要想在110kV以下系统中采用此方法必须更换合闸主开关；

(d) 根据电力系统规程，为了避免出现非全相运行的工况，禁止采用分相操作，这也就从根本上断绝了采用分相开关的可能性。

1.4 理想的抑制涌流策略

综合上节所述，问题出在执行环节上，如同大脑的想法正确了，但执行的过程出现了偏差，归根结底，是负责合闸执行的断路器因自身分散度和预放电问题不能实现理想的合闸效果。因此，需要一种可以实现精准合闸的执行器配合控制器完成抑制合闸冲击电流的设备。

Spark 精准相控合闸装置

Spark 精准相控合闸装置是一种在理想合闸角度自动完成精准合闸的相控合闸开关柜，串联在合闸回路中仅负责负载的合闸功能，不负责开断。无需更换原有开关，无需修改继电保护，可经济性地解决合闸涌流的问题。

2.1 装置原理简介

如图 1 所示，Spark 精准相控合闸装置（以下简称 Spark 装置）是由精准相控控制器 Kz、Spark 合闸器、合闸开关 CB 和 PT 等组成。

其中 Spark 装置仅在需要对合闸开关 CB 进行合闸操作过程中，超前合闸开关 CB 合闸动作实现在理想角度下的精准导通。当合闸开关 CB 完成合闸后 Spark 装置自动退出，Spark 装置恢复关断状态，合闸开关 CB 承载负荷的后续工作电流。

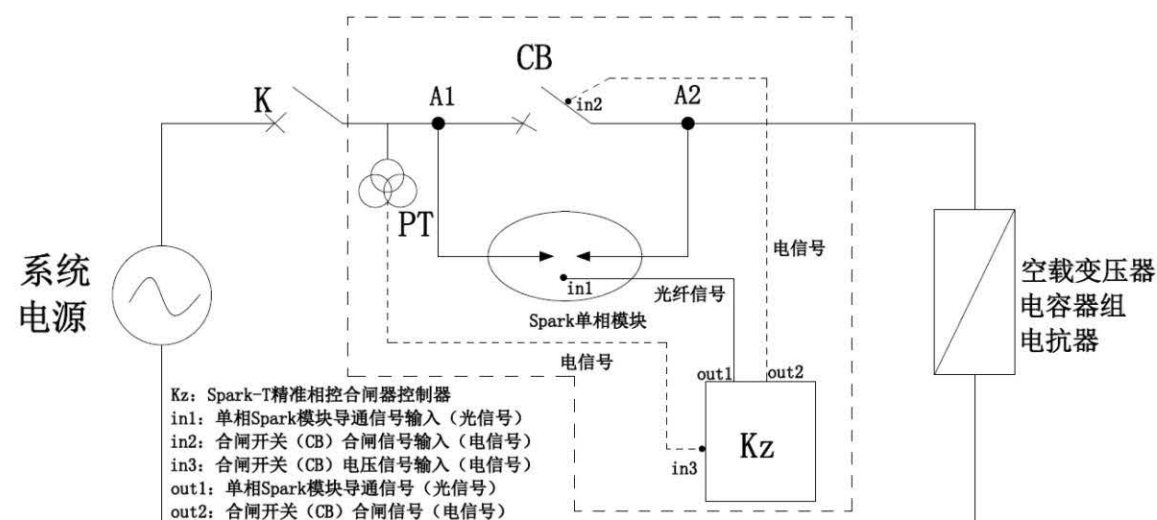


图 1 Spark 精准相控合闸装置（单相）原理示意图

2.2 控制系统简介

如图 2 所示，Spark 装置控制系统包括控制器 Kz、三个 Spark 单相模块，合闸开关 CB，Spark 单相模块与控制器 Kz 通过光纤进行信号连接，合闸开关 CB 控制端子与 Kz 通过电信号连接。

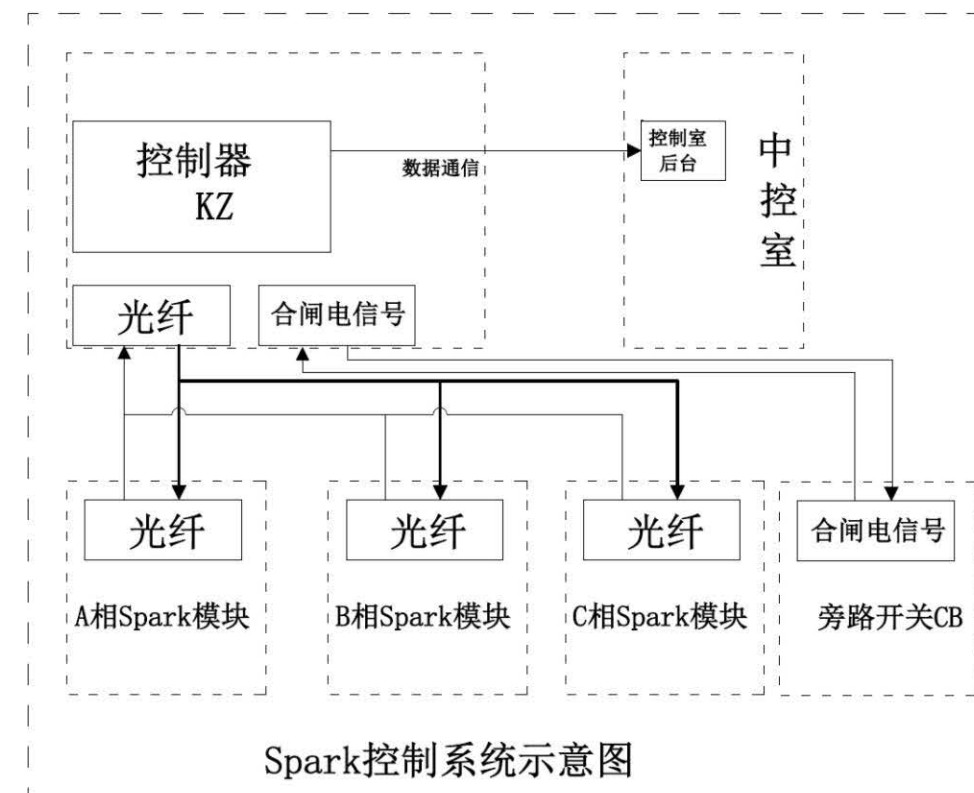


图 2 Spark 装置（三相）控制系统示意图

工作时控制器 Kz 通过返回光纤与各 Spark 单相模块联络，监测显示各相 Spark 模块状态信息，通过电信号监测显示合闸开关 CB 状态，并可维护定值还可提供数据接口与中控室计算机管理系统通信。

2.3 工作逻辑

按照正常操作习惯，操作断路器 K 合闸，电源则送至合闸装置，Spark 合闸器充电完成后，反馈解锁信号；在此期间，PT 获取电压信号通过控制器 Kz 计算出理想合闸角度，收到解锁信号后，立即命令合闸断路器 CB 执行合闸操作；在适当延时后，控制 Spark 合闸器在 CB 预防电之前于理想的角度精准接通电源，随后 CB 断口在无电压状态下完成合闸，将 Spark 旁路，实现一次精准合闸操作。若 CB 拒合，则再次闭锁 Spark 接通命令，并报警；若 Spark 接通时，负载存在短路故障，CB 继续完成合闸动作，保护 Spark，同时命令 K 切断本故障支路。

需要切除负载时，操作 K 进行分闸，K 分闸成功后，PT 失去电压信号，Kz 命令 CB 分闸。

K 的作用非常重要，Kz 需时刻保持与 K 的通信畅通，一旦发生通信故障，则闭锁并报警。

2.4型号命名



2.5参数指标

2.5.1 成套装置参数指标

序号	技术特性	单位	额定参数
装置电气参数			
1	适用系统额定电压	kV	10/35/110/220
2	额定频率	Hz	50
3	额定电流	A	1250/1600/2000/2500/3150/4000/5000
关键参数			
4	合闸时间	us	< 50

2.5.2 Spark 合闸器参数指标

- (1) 导通时间：< 50us
- (2) 分散度：< 10us
- (3) 通流能力：< 1000A
- (4) 使用寿命：> 10000 次

2.6 优势及特点

- (1) 合闸间隙导通时间<0.05ms，分散度<0.01ms。
- (2) 控制精度<±1°，涌流抑制稳定。
- (3) 可操作分相、联动断路器合闸，对断路器分散度无要求。
- (4) 合闸间隙无预放电现象。
- (5) 无需更换原有开关、无需修改继电保护。
- (6) 设备体积小、工程量小，经济性好。

2.7 尺寸

2.7.1 成套装置

10kV Spark-T 精准相控合闸装置柜型尺寸图如图 3 所示，35kV Spark-T 精准相控合闸装置柜型尺寸图如图 4 所示。

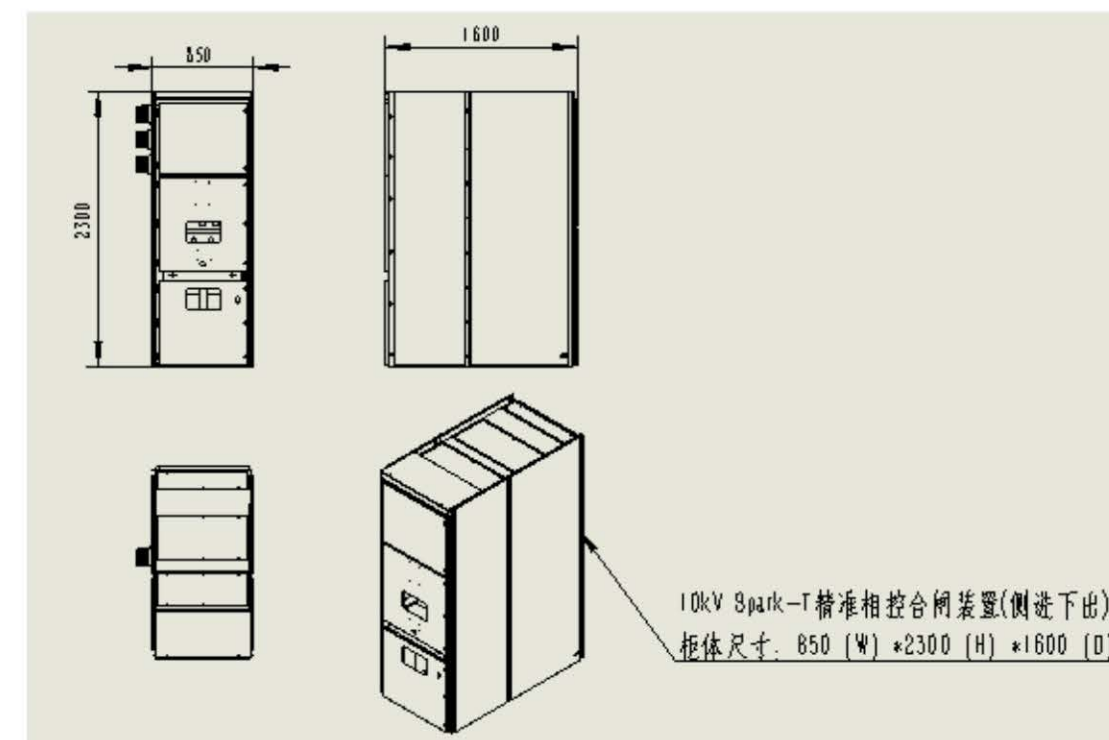


图 3 10kV Spark-T 精准相控合闸装置尺寸图

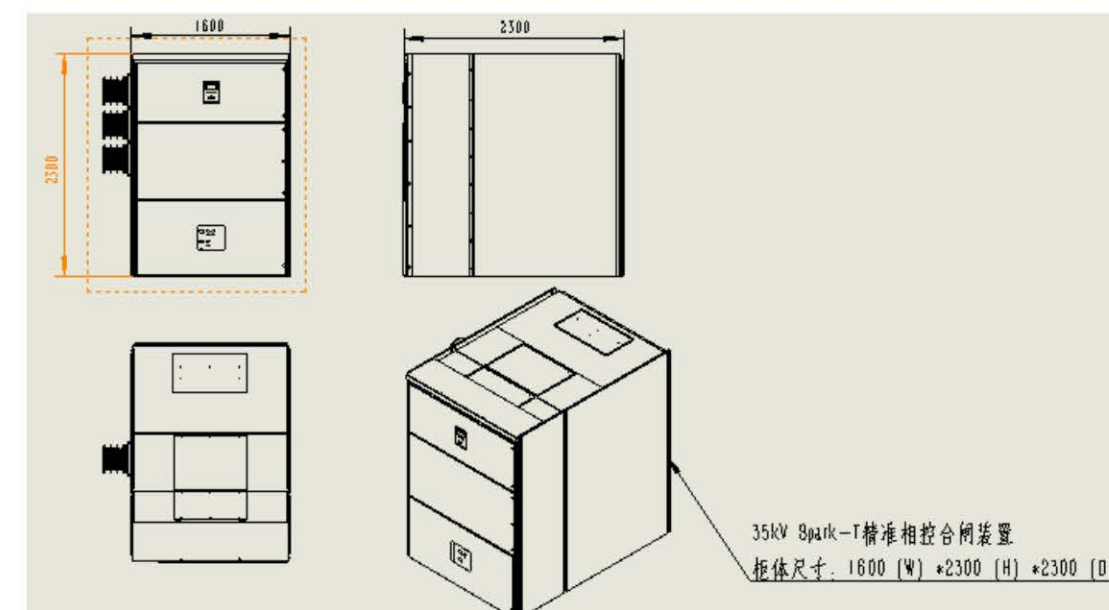


图 4 35kV Spark-T 精准相控合闸装置尺寸图

2.7.2 Spark 合闸器单相模块

10kV Spark-T 合闸器单相模块尺寸图见图 5，35kV Spark-T 合闸器单相模块尺寸图见图 7。

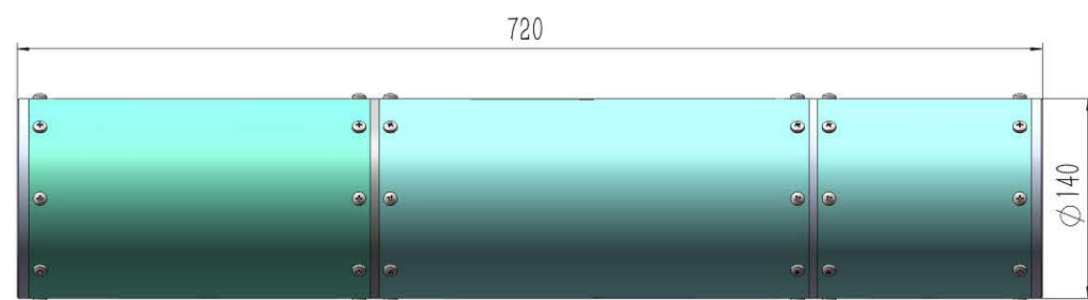


图5 10kV Spark-T合闸器（单相）尺寸图

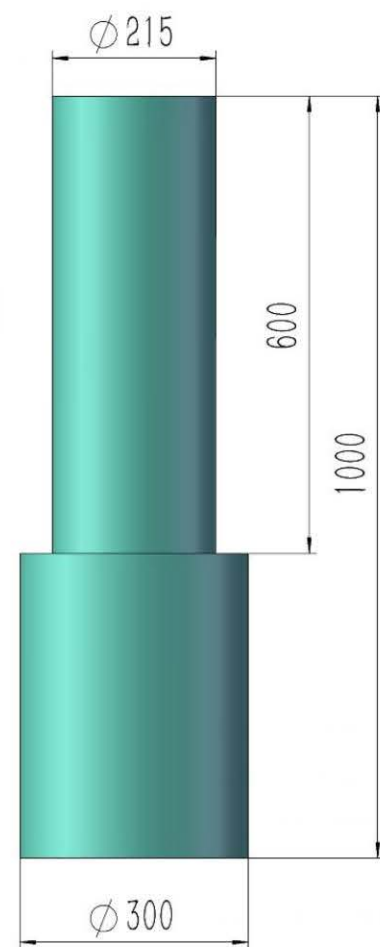


图6 35kV Spark-T合闸器（单相）尺寸图

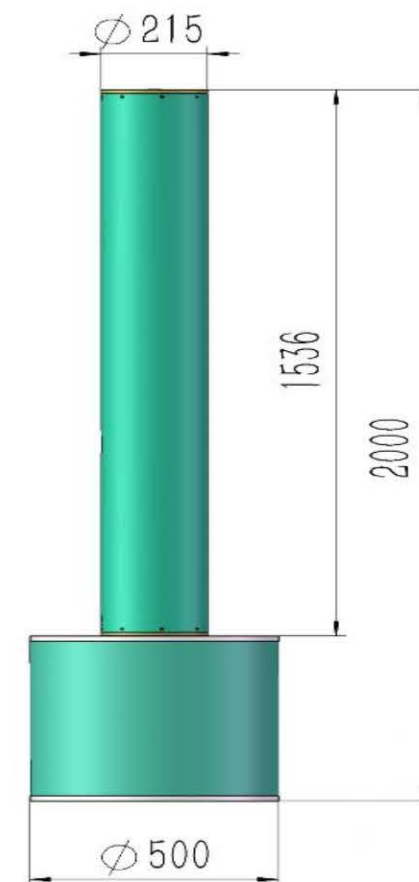


图7 110kV Spark-T合闸器（单相）尺寸图

2.8 电气符号

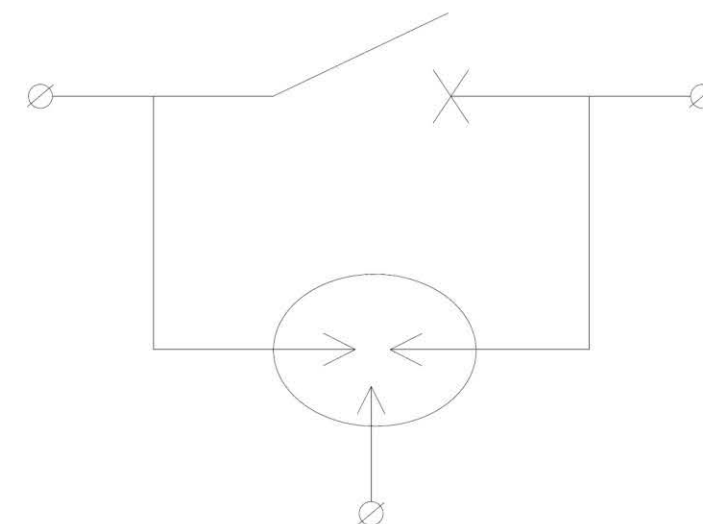


图8 Spark精准相控合闸装置电气符号

2.9正常使用环境

- (1) 环境温度：-40℃~65℃
- (2) 相对湿度：<90%；(25℃)
- (3) 抗震能力：地震烈度8级
- (4) 污秽等级：IV级
- (5) 海拔高度：≤2000米，超过2000米需特殊设计

应用方法

Spark 精准相控合闸装置适用于新建及改造项目。

3.1 原系统有一台开关柜

- (1) 原系统空间足够

若原系统空间足够，可在原系统开关柜下方加装 Spark 精准相控合闸成套装置。

- (2) 原系统空间不足。

若原系统空间不够，可在原系统开关柜柜顶或柜内加装 Spark 合闸器。

3.2 原系统有两台开关柜

若原系统有两台开关柜，可在原系统下方开关柜内或柜顶加装 Spark 合闸器。

应用案例

4.1 光伏应用案例

新疆和静县某光伏电站一期 30MW 项目是由某阳光新能源投资有限公司投资建设的高压并网光伏电站，规划总容量 60MW，本期建设规模容量为 30MW，属新建项目。图 9 为本次项目一次主接线图，电站共 15 个 2MW 光伏发电单元，每个发电单元设置一台 2000kVA 35kV 双分裂绕组箱式变，5 台 35kV 双绕组箱式变在高压侧并联为 1 回电源进线，共计 3 回电源进线，电源进线经 35kV 母线汇集后由 1 回 110kV 线路送出。本期在 110kV 升压站 35kV 母线上装设 1 组容量为 -6~6Mvar 的 SVG 动态无功补偿装置进行无功补偿。

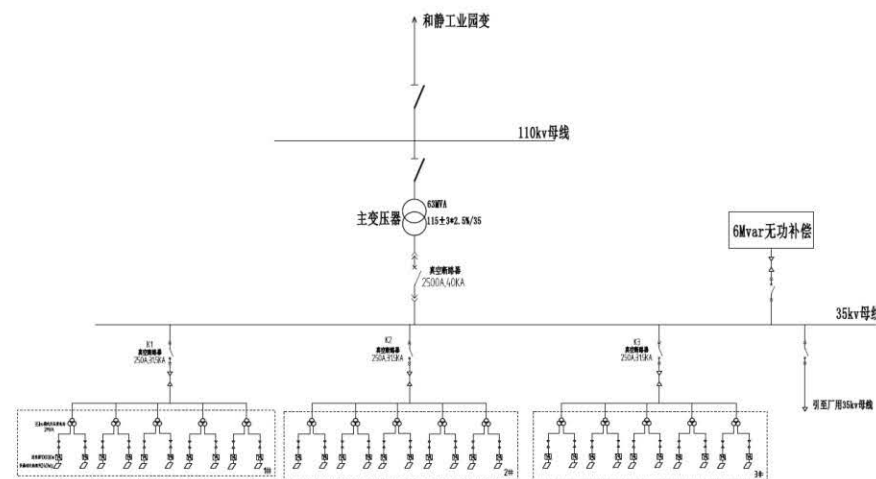


图9 原系统一次主接线图

励磁涌流是变压器空载合闸产生，其大小是额定电流的 6 到 15 倍，峰值甚至达到几十倍，光伏电站中大量使用的箱变在汇集升压站并网发电时，不能避免励磁涌流对箱变和开关的冲击，励磁涌流的冲击使箱变和 35kV 开关的使用寿命减少，导致无法实现每天自动分合箱变，造成大量光伏箱变在不发电时仍存在大量的空载损耗，以下为 SVG 无功补偿装置与箱变的空载损耗计算过程。

太阳能是一种永不枯竭的可再生能源，光伏发电由于其无污染、无排放、不受资源分布地域限制的优点，从而得到大力推广。但是光伏发电受时间、天气影响情况较大，最好的光伏电站发电水平为每年发电时间 1700 小时左右（即平均每天满容量发电 5 小时），不发电时间平均每天 14 小时左右。下表为本项目 30MVA 的光伏电站每天的空载损耗计算。

	空载损耗/kW	每天不发电时间/h	数量/个	每日损耗/kWh
2MVA箱变变压器	4	14	15	840
6MvarSVG无功补偿装置	60	14	1	840
每日损耗总计/kWh				1680

以 0.8 元/kWh 的工业用电的价格计算，一个 30MVA 的光伏电站每天的损耗损失为 1344元，每年的空载损耗约为 49 万元。

由于电网调度管理原因，110kV 变压器上无法安装 Spark-T 装置，所以本次项目选择在35kV 箱变前 K1、K2、K3 断路器下各串联一套 Spark-T 精准相控合闸装置，提高系统运行的经济性。安装 3 套 35kV Spark-T 装置，每套以 30 万元计算，2 年即收回成本。按光伏电站20 年的运营寿命周期来算，可以创造经济价值近 1000 万元。

图10 为加装 Spark-T 精准相控合闸装置后系统一次主接线图

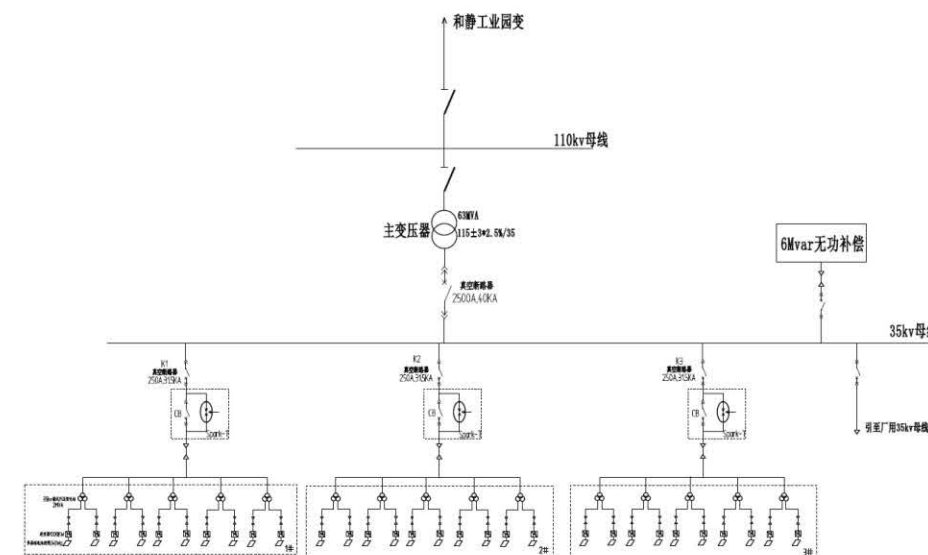


图10 加装 Spark-T 装置后系统一次主接线图

加装 Spark-T 精准相控合闸装置后系统在夜间或阴雨天光伏不发电时，可以自动分闸，使空载运行的箱变及 SVG 无功补偿装置与电网断开连接，降低光伏升压箱变及光伏发电设备的空载损耗，有效解决光伏发电空载损耗的问题，提高系统运行的经济性。

4.2 新疆改造案例

新疆某全新能源有限公司变压器空载合闸涌流抑制改造项目：现阶段新疆某全新能源有限公司还原炉用10kV 变压器在投运时对空载合闸涌流未采用任何抑制手段，变压器容量为9800kVA。自其变电站出口至变压器进线系统简图如图11。

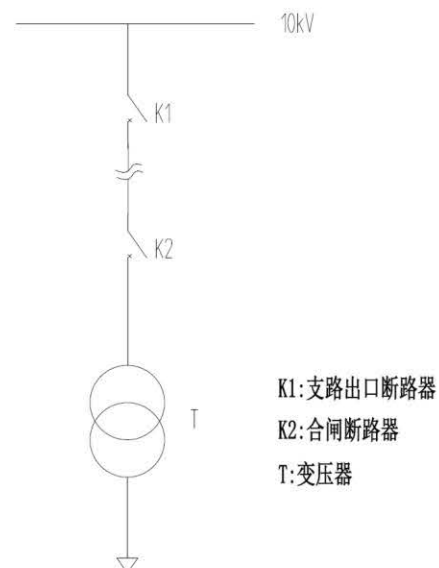


图11 变压器合闸涌流治理改造项目系统简图

图11所示为新疆某全新能源有限公司变压器合闸涌流治理改造项目改造前系统简图。对于被改造变压器T来说，其上端有一合闸断路器K2，远端即变电站10kV 支线出线处有出口断路器K1。其中变压器T在停运期间，断路器K1及K2均处在分闸状态，属两开关改造项目。

为了抑制变压器T在空载合闸时的励磁涌流，避免因涌流造成的继电保护误动作以及电动力对变压器绕组的破坏，考虑在K2断口处并联 Spark-T-10kV 精准相控合闸器（图12中虚线框内所示）。其目的是在对变压器T进行空载合闸投运时，精准选择合适的合闸角度，抑制T的空载励磁涌流。

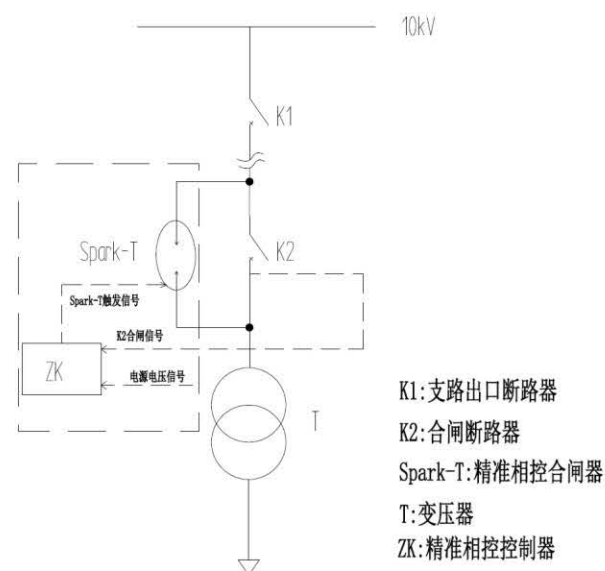


图12 改造后项目系统简图

4.2.1 现场现有工作逻辑

(1) 投运合闸操作：当需要T投运时，自动控制支路出口断路器K1合闸，同时观察现场合闸断路器柜各相电压情况，如电压正常，50s内手动操作K2合闸按钮，完成K2合闸动作，变压器T接入电源。

(2) 正常退出运行时分闸操作：当需要对T进行退出运行操作时，首先对支路出口断路器K1进行分闸操作，K1分闸完成后，变压器T电源侧检测到系统失压K2自动分闸。

(3) 故障退出运行时的分闸操作：当支路出现短路等故障时，K1无时限0s速断保护，K1分闸完成后，K2检测到系统电源侧失压后自动分闸。

4.2.2 改造方案

此次改造只需要加装 Spark-T 合闸器（因原系统中有两台开关柜），该合闸器需要与图10中的断路器K2并联连接。经与用户沟通与讨论，最终 Spark-T 合闸器放置在K2所在现场环网柜（名称：高压出线柜；柜型：（HXGN-12；编号AH2）柜顶，避开泄压板，采用10kV

三芯高压电缆（3*35mm²）进、出线与K2实现并联连接，改造后 Spark-T 合闸器安装位置示意图见图13，控制系统简图见图14。

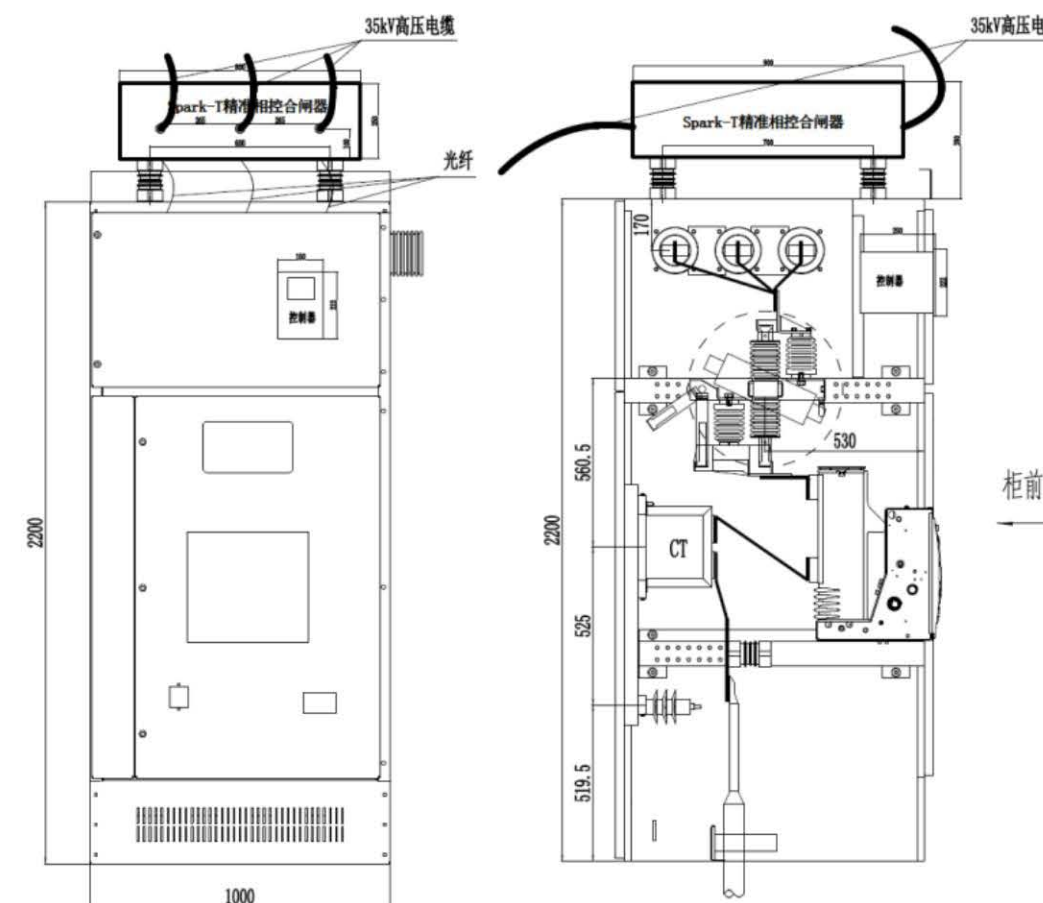


图13 现场改造布置图

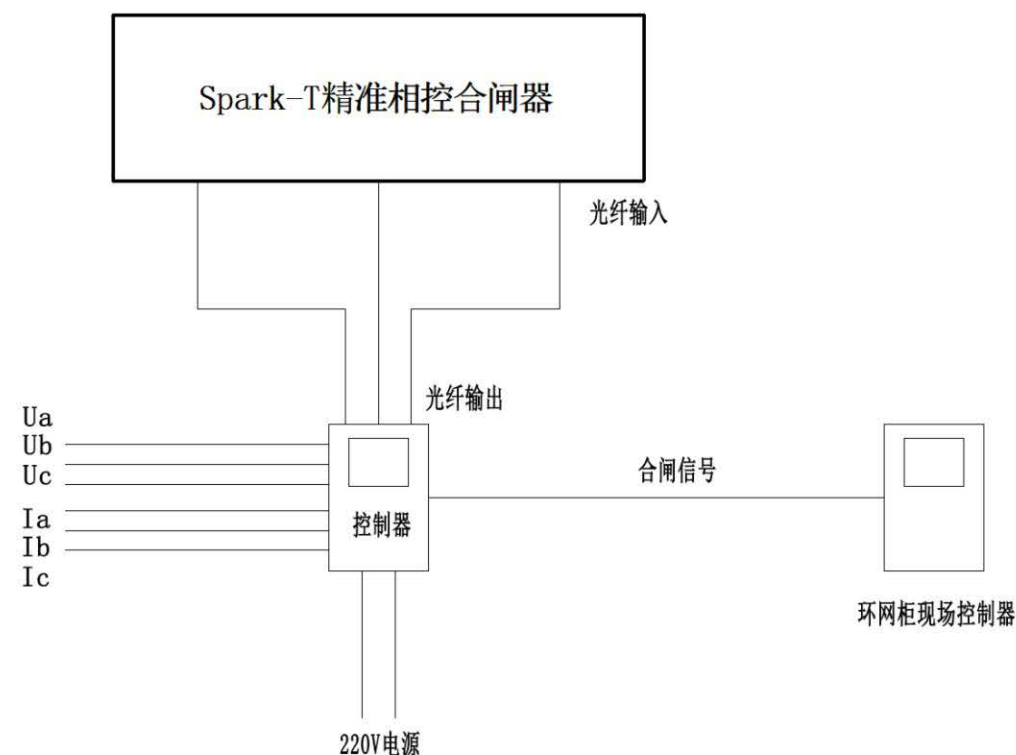


图14 改造后控制系统简图

4.2.3 改造后工作逻辑

(1) 投运合闸操作：当需要 T 投运时，自动控制支路出口断路器 K1 合闸，同时人工观察现场合闸断路器柜各相电压情况，如电压正常，50s 内手动操作 K2 合闸按钮，按下合闸按钮后 K2 的合闸信号同时给至精准相控控制器 ZK，ZK 迅速判断出合适的合闸角度并提前 K2 精准触发导通 Spark-T，变压器 T 接入电源，K2 合闸完成。K2 合闸后，Spark-T 自动退出运行，无电流流过。

(2) 正常退出运行时分闸操作：当需要对 T 进行退出运行操作时，首先对支路出口断路器 K1 进行分闸操作，K1 分闸完成后，K2 检测到系统侧电源失压后自动分闸。

(3) 故障退出运行时的分闸操作：当支路出现短路等故障时，K1 无时限 0s 速断保护，K1 分闸完成后，K2 检测到系统电源侧失压后自动分闸。

包装运输

- 1) 一般采用木箱包装，装置固定在包装箱内；
- 2) 长期不用时应存储在干燥、通风的仓库内，不宜长期在户外储存；
- 3) 运输过程中装置应避免碰撞、受潮及曝晒。

质量保证与售后服务

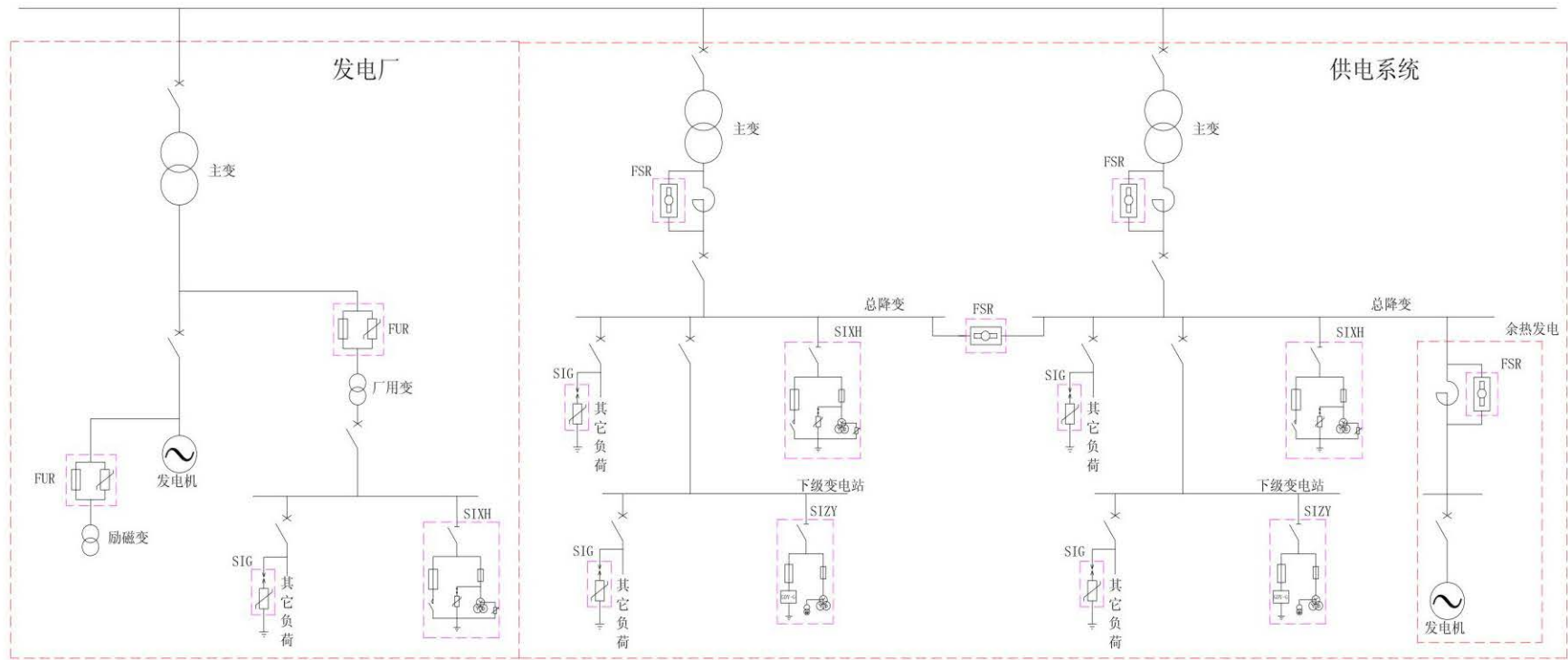
- 1) 质保期为交货后 18 个月或投运后 12 个月，以先到为准，质保期内免费维护，质保期外有偿服务，终身保修；
- 2) 我方派专业人员配合用户在进行投运前现场试验：a、被改造合闸主开关无电合闸试验，目的是测量其合闸固有时间；b、改造完成后带电合闸试验，目的是验证 Spark 精准相控合闸装置对涌流的抑制效果；
- 3) 质保期内发生质量问题，除免费维修外，维修部件质保期按修复后重新计算。

订货须知

- 1) 订货前，应明确须合闸投运的负载类型及参数（额定电压等级、变压器容量、电容器组额定容量、电抗器额定容量、连接组别）；
- 2) 明确设备安装场所及空间位置；
- 3) 装置及备品的型号、规格和数量；
- 4) 装置使用在特殊环境条件下，应在订货时详细说明；
- 5) 其他特殊要求。

公司产品应用系统图一

电网110KV（220KV）

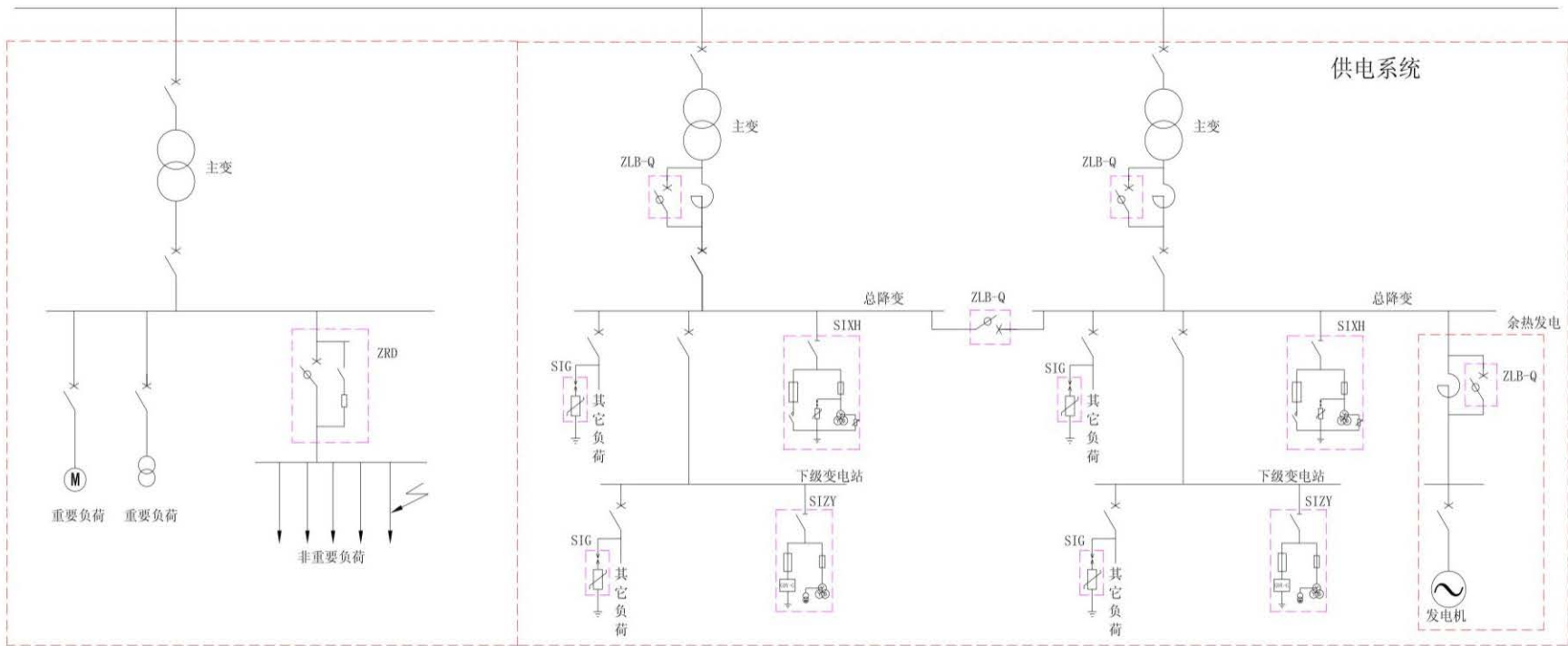


公司产品目录（粉色线框内）

- FSR 大容量高速开关装置(HDF)
 - SIXH 智能型消弧消谐装置
 - SIZY 过电压抑制柜（聚优柜）
 - FUR 高压限流熔断器组合保护装置
 - SIG 大容量防爆型过电压保护器
- 技术联系人：王顶 手机：13625515125

公司产品应用系统图二

电网110KV（220KV）

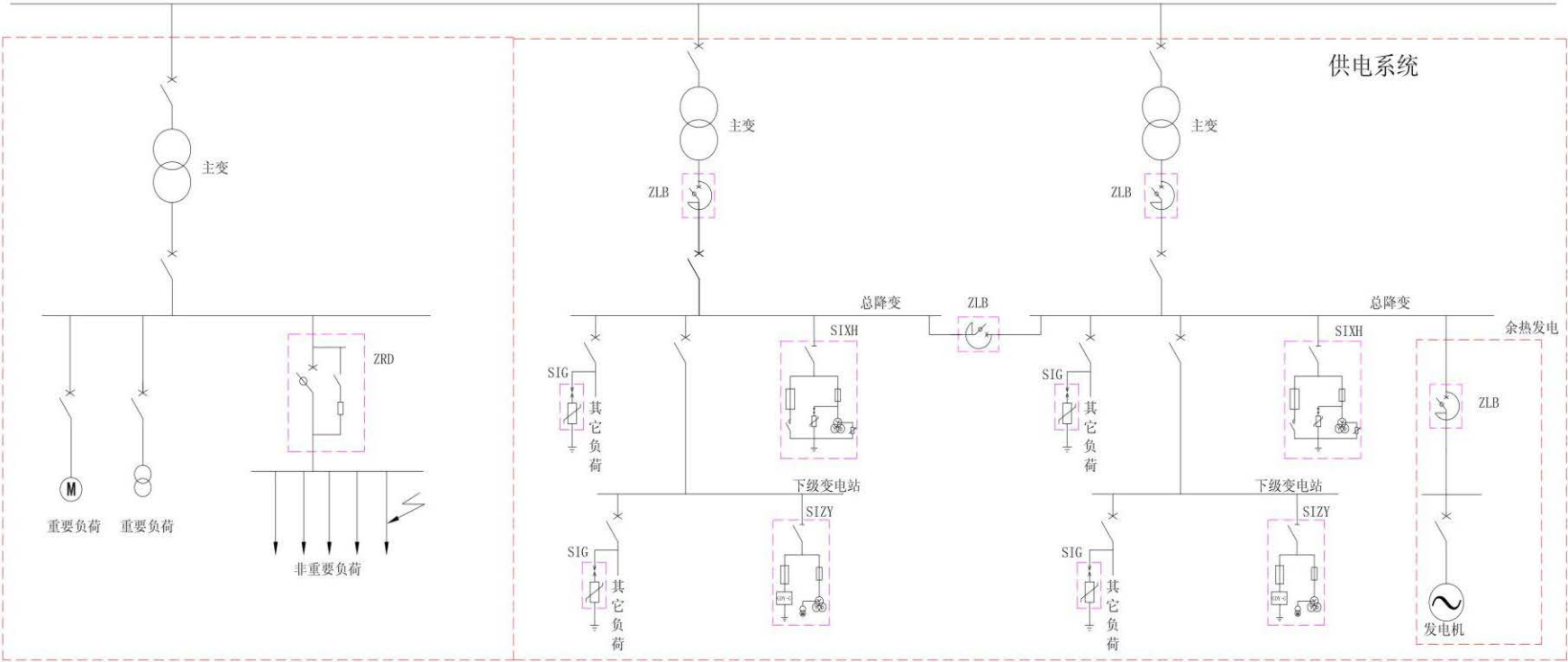


公司产品目录（粉色线框内）

- ZLB-Q可恢复式大容量高速开关装置
 - ZRD 母线残压保持装置
 - SIXH 智能型消弧消谐装置
 - SIZY 过电压抑制柜（聚优柜）
 - SIG 大容量防爆型过电压保护器
- 技术联系人：王顶 手机：13625515125

公司产品应用系统图三

电网110KV（220KV）



公司产品目录（粉色线框内）

- ZLB 零损耗深度限流装置
 - ZRD 母线残压保持装置
 - SIXH 智能型消弧消谐装置
 - SIZY 过电压抑制柜（聚优柜）
 - SIG 大容量防爆型过电压保护器
- 技术联系人：王顶 手机：13625515125

安徽尚途电力保护设备有限公司

销售网络分布图

