

SHK-ZRD

母线残压保持装置

SHK 合凯集团
HEKAI GROUP

经销商： 上海合凯电气科技有限公司
地 址： 上海漕河泾开发区松江高科技园莘砖公路668号
邮 编： 201612
网 址： www.shhkdl.com www.hekaidq.cn
E-mail: shhkdl@163.com

销售中心： 0551—65684700 65684701
 0551—65684702 65684703
 021—57744362
传 真： 0551—65684705 65684706

制造商： 安徽合凯电气科技股份有限公司
地 址： 安徽合肥双凤开发区双凤大道28号



SHK-ZRD-2019.07-1

SHK 合凯集团 | 上海合凯电气科技有限公司
HEKAI GROUP | SHANGHAI HEKAI ELECTRIC TECHNOLOGY CO., LTD.

One-Stop Service Provider of Comprehensive
Solution to PDN Issues

Concentrating on
Electric Power
for 25 Years

配网故障综合解决方案的
一站式服务商

专注电力
25年





□ 关于合凯集团

合凯集团产业基地分布于上海、安徽等地，是围绕发、供、用电用户为服务对象，专注于打造电能质量治理、电网连续性供电的一站式服务平台。

合凯集团主干企业——上海合凯电气科技有限公司是一家专业从事中高压配网故障防控、电能质量治理、连续性供电和电网节能技术研究与开发的高新技术企业。

经过近20年的沉淀，建立并逐步完善了具有影响力的主动式接地故障转移及选线实验中心、10kV以上100kA大电流开断实验中心、低压80kA大电流开断实验中心、中压配网过电压综合防控技术实验中心、400kV工频耐压及局部放电实验中心、电能质量综合实验中心、12000A大电流温升实验中心。同时与社会广泛合作，成立了教育部电能质量工程研究中心产业化基地、国家能源智能电网上海交大-合凯集团连续性供电技术研发中心、安徽大学-合凯集团电能质量技术研发中心。

合凯集团是中国电力技术市场协会理事单位、中国电力发展促进会知识产权分会发起人单位、安徽省电能质量产业技术创新战略联盟的理事长单位、合肥市电力安全与节能产业创新战略联盟理事长单位。公司汇聚了一批行业专家、学者，并与国内外多所著名大学、院所及大型电力企业结成战略合作伙伴关系。

目前，公司拥有70多项专利技术。10项产品被评为省级新产品，7项产品被认定为高新技术产品。

“上合凯”、“SHK”品牌产品广泛应用于国家电网、五大发电公司、中石油、中石化、中海油、煤化工、冶金、水泥、钢铁、煤炭、造纸、高铁等行业，远销中东、东南亚等国家和地区。

公司严格执行ISO9001/14000/18000“三标一体化”国际质量体系的各项标准，体系覆盖产品研发、设计、生产、销售、物流和售后服务的全过程。

合凯集团倡导“主动、热情、高效、满意”的服务理念，把赢得客户的称赞作为我们的至高荣誉。为客户量身定制高品质的产品，为客户提供专业的增值服务，是合凯人的追求。遍布全国的营销服务网络、响应快捷的专业工程师队伍、完善的客户档案，确保已售的每一台产品都能得到专业及时的维护。



公司拥有现代化的厂房和企业展厅

拥有国内独一无二的1:1实验中心

连续性供电技术实验中心、控制系统高温老化实验中心、中压系统过电压综合实验中心
低压80kA大电流开断实验中心、400kV工频耐压及局部放电实验中心
综合配网实验中心、12000A温升实验中心、电能质量综合实验中心
10kV以上100kA大电流开断实验中心



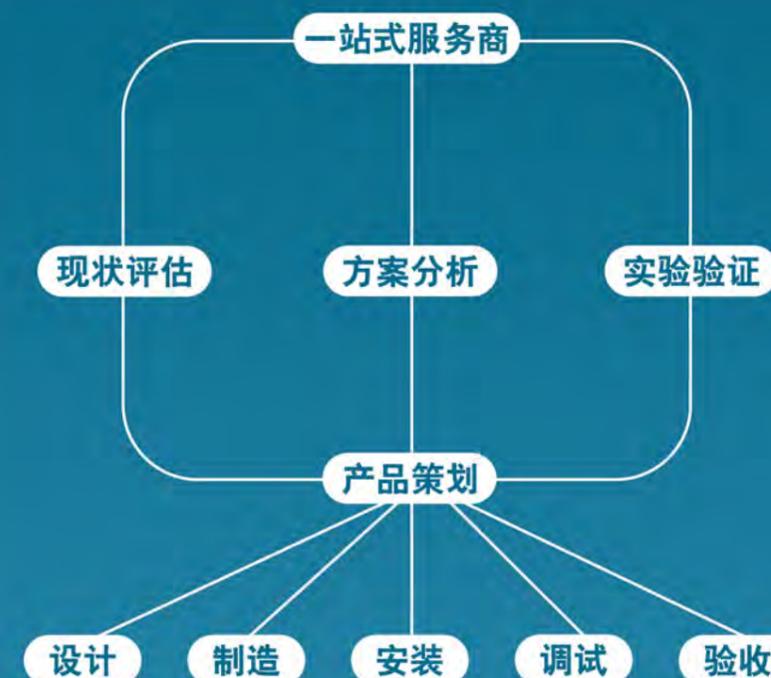
拥有国内一流的专家顾问团队

与国家电网公司、中国电力企业联合会、中国电工技术学会、清华大学、上海交通大学、安徽大学、北京理工大学、合肥工业大学、武汉大学、济南大学建立长期科研技术合作



一站式服务商

我们为您提供专业的现状评估、方案分析实验验证、产品策划、一站式服务完善的售前、售中、售后体系
7*24小时快速响应，为您保驾护航





目录

产品概述	08	型号参数	15	使用条件	20
构成原理	09	型号说明	15	订货要求	20
SHK-ZRD型母线残压保持装置的关键构成	09	应用方案	17	调试及售后服务	20
SHK-ZRD型母线残压保持装置的关键技术	09	用来实现母线之间的快速解列	17	包装和运输	21
SHK-ZRD型母线残压保持装置的种类	10	用来快速隔离故障点	17	母线残压保持装置部分业绩一览表	22
功能特点	14	用作下级开闭所的进线柜	19	用户发表的文章	25
产品功能	14	订货须知	20		
产品特点	14				

□ 产品概述

6~35kV中压电网任一条支路发生短路，都将导致非故障区域母线电压的严重降低，直到100ms左右故障支路被切除后才能恢复到正常电压水平。

在持续大约100ms左右的“电压暂降”（也称“晃电”或“电压骤降”）期间，一些交流接触器低电压保护无压释放导致重要辅机停运并连跳主机，一些变频设备停止供电导致重要生产设备停运或产生废品、废气，一些气体放电灯熄灭、音响异常致使会议厅、展览馆等无法正常工作。

断路器动作速度太慢、继电保护出口时间过长，是导致“电压暂降”的根本原因。为了快速隔离故障点，解决快切装置无法解决内网短路的难题，快速恢复非故障区域的母线电压，保证重要敏感设备的连续运行，大幅度提高线缆、母线及开闭所断路器的热稳定裕度和开断裕度，我公司专门研制出SHK-ZRD型母线残压保持装置。

□ 构成原理

□ SHK-ZRD型母线残压保持装置的关键构成

阻开式母线残压保持装置由快速开关、限流阻抗、微机综合控制器、电流采集器、后备开关组成。

正常运行时，快速开关合闸，限流阻抗退出；当区内短路故障发生后20ms之内快速开关分闸，限流阻抗投入，将母线残压抬升至额定电压的90%以上。

□ SHK-ZRD型母线残压保持装置的关键技术

基于快速涡流斥力技术的快速真空开关：如图1所示，主要由真空灭弧室、绝缘拉杆、分闸线圈、合闸线圈、涡流盘、分闸储能电容、合闸储能电容、分合闸放电控制开关和充电电源等主要部件组成，具体动作原理为：

正常工作时，通过充电电源很快完成对分闸储能电容和合闸储能电容的充电。需要分闸时分闸放电控制开关导通，分闸储能电容向分闸线圈放电，产生强度很高的脉冲电流，伴随脉冲电流的脉冲磁场穿过涡流盘时在涡流盘中感应出涡流，并产生涡流磁场。脉冲磁场对涡流磁场的排斥力推动涡流盘向下运动，同时通过绝缘拉杆带动动触头完成分闸动作。合闸过程相反，合闸线圈的脉冲磁场推动涡流盘向上运动，带动动触头完成合闸。

由于机构大大简化，运动部分的质量大大减轻，为提高断路器的动作速度创造了条件。另一方面，采用电容储能，加大了驱动力，这就大大提高了分、合闸速度。快速真空开关的合闸时间可以做到10ms左右，分闸时间可以控制在5ms以内，开断能力不小于40kA。

基于快速识别技术的微机综合控制器：采用快速识别技术开发的微机综合控制器的快速过流保护，可以在发生短路故障后的2ms左右识别出短路电流的幅值并预测出过零点，在考虑了分闸分散度情况下精确控制快速开关在接近电流过零时刻分闸到位，使得电弧过零点熄灭后触头之间的绝缘迅速恢复，保证电弧不再重燃，从而在电流的第一次过零点完成开断。

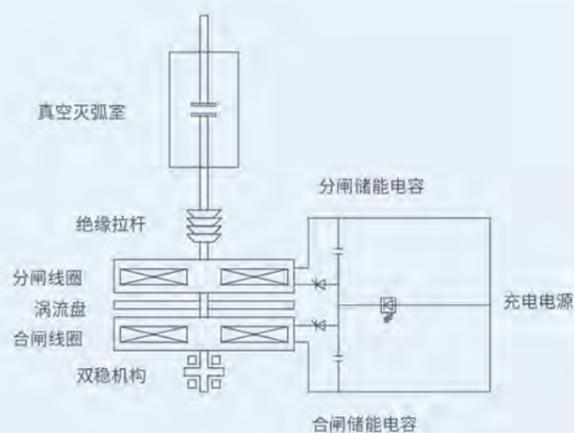


图1

□ SHK-ZRD型母线残压保持装置的种类

母线残压保持装置根据不同的功能要求和组成形式可分为三种类型，分别为直开式、阻开式和单阻式。图2为三种型式的一次模型。

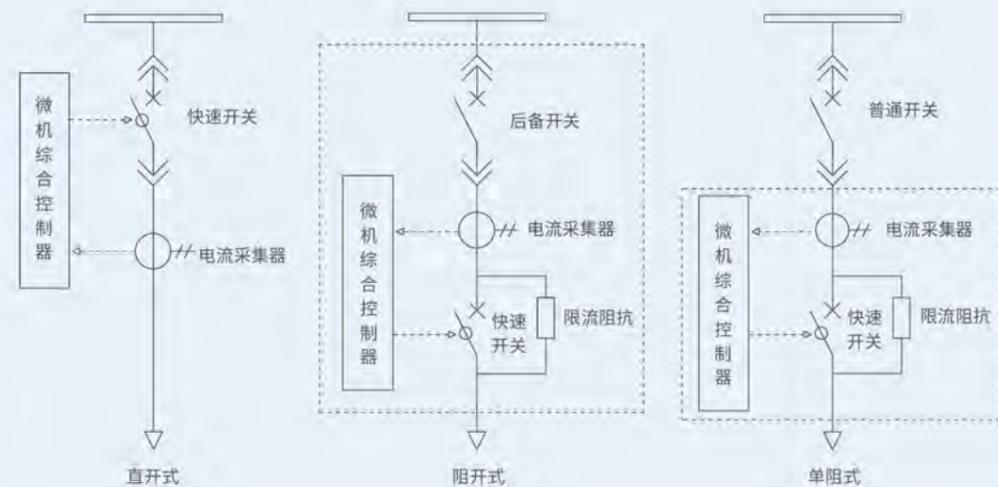


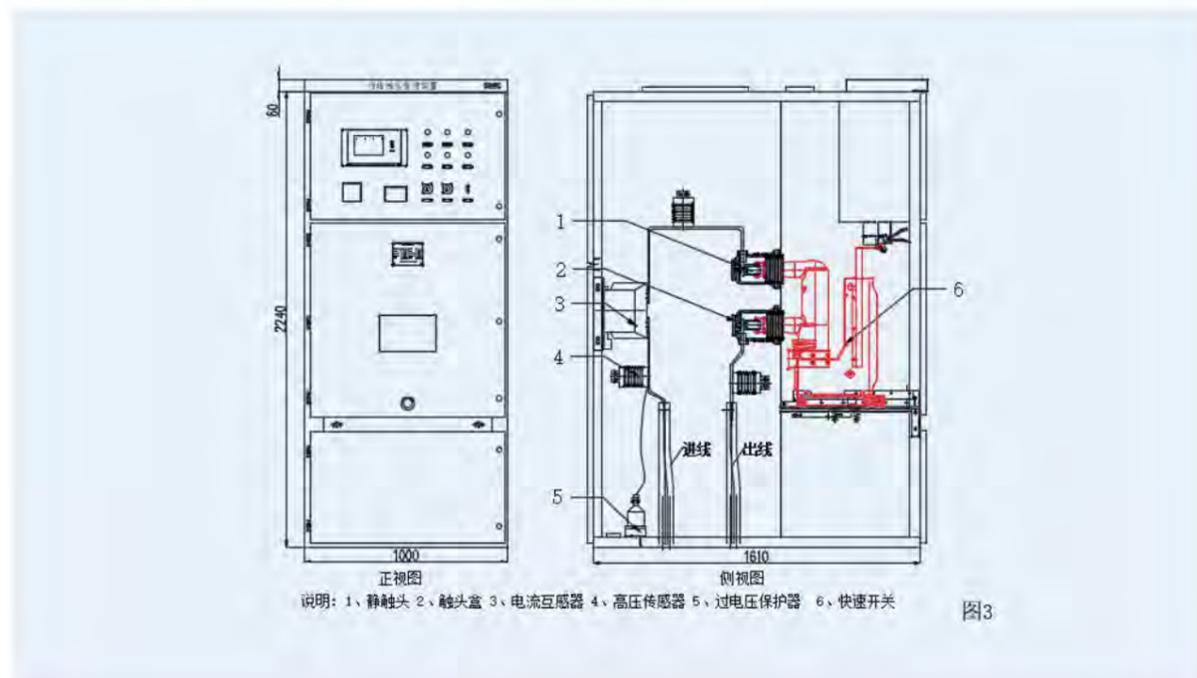
图2

直开式母线残压保持装置：如图3所示，直开式母线残压保持装置主要由快速开关、电流互感器、微机综合控制器和柜体及其附件等组成。

快速开关是母线残压保持装置的重要执行部件，设置有快速过流微机综合控制器是母线残压保持装置的核心控制部件。正常运行时微机综合控制器通过电流互感器实时监测工作电流，一旦超过快速过流保护整定值则在2ms左右判断为短路故障发生，并在5ms左右控制快速开关分闸。用于需要过零开断的场所时，微机综合控制器在考虑了分闸分散度的情况下，精确控制快速开关在接近电流过零时刻分闸到位，确保在电流第一次过零点开断成功。

对于快速过流保护范围以外的不至于导致非故障区域“电压暂降”的短路故障，则由常规三段式过流保护切除故障。

SHK-ZRD型直开式母线残压保持装置，可以取代总降变电站或开闭所直接向负荷供电的出线柜，用以快速切除故障，防止电压暂降导致非故障区域敏感设备的停运事故。



阻开式母线残压保持装置：主要由后备开关、快速开关、限流阻抗、电流互感器、微机综合控制器和柜体及其附件等组成，如图4所示。

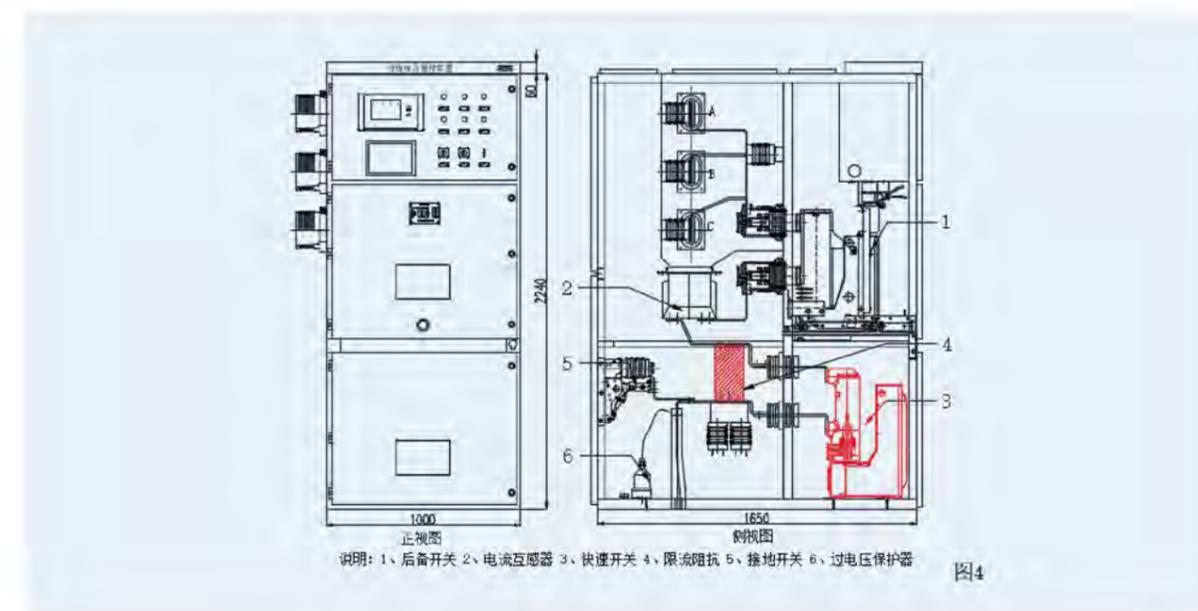
后备开关由普通真空断路器承担，作为后备手段最后切除故障；特殊研制的大容量、高阻值、体积小限流阻抗，用以限制短路电流，提高非故障区域的电压；快速开关由涡流斥力机构的快速真空开关承担，用以将大的短路电流换流到限流阻抗中；电流互感器用以提供电流信号；微机综合控制器作为整个母线残压保持装置的核心控制部件。

当装置下级站开闭所的出线回路发生相间短路故障时，本级开闭所和上一级母线就会受到“电压暂降”的影响。在故障支路没有被切除之前，母线电压一般都会低到额定电压的50%以下，有的甚至低于20%。包括继电保护出口时间、线路断路器固有分闸时间和燃弧时间在内，“电压暂降”一般要持续70~120ms。

SHK-ZRD型母线残压保持装置正常运行时快速开关和后备开关均处于合闸位置，向下一级开闭所正常供电。当微机综合控制器检测到工作电流超过快速过流保护的整定值时，立即判断为近区短路，在5ms左右控制换流开关分闸，短路电流在第一次过零点被强迫转移到限流阻抗支路，随着短路电流的被限制，非故障区域的母线电压迅速恢复到额定值的90%以上。

当故障支路被切除之后，流经母线残压保持装置的电流恢复到正常水平，微机综合控制器立即控制快速开关合闸，系统恢复正常运行状态。如果下一级开闭所出线断路器或继电保护拒动，则后备开关作为后备手段延时0.3s-0.6s（时限可按照用户要求设定）切除故障。

SHK-ZRD型阻开式母线残压保持装置，适合于新建或扩建工程，可取代总降变电站向开闭所供电的出线柜，用以快速隔离故障点，防止电压暂降导致非故障区域敏感设备的停运事故，同时保证继电保护有选择性地动作。



单阻式母线残压保持装置：图5所示的是单阻式母线残压保持装置，除了没有后备开关之外，与图4所示的阻开式母线残压保持装置结构及原理相同，稍有不同的是当下一级开闭所保护拒动时微机综合控制器直接向原有的常规断路器发出跳闸指令，由原有的常规出线柜最后切除故障。

SHK-ZRD型单阻式母线残压保持装置，适合于已投运工程的技改项目，可串联在总降变电站向开闭所供电的出线柜与开闭所进线柜之间，用以快速隔离故障点，防止电压暂降导致非故障区域敏感设备的停运事故。同时保证继电保护的选择性动作。

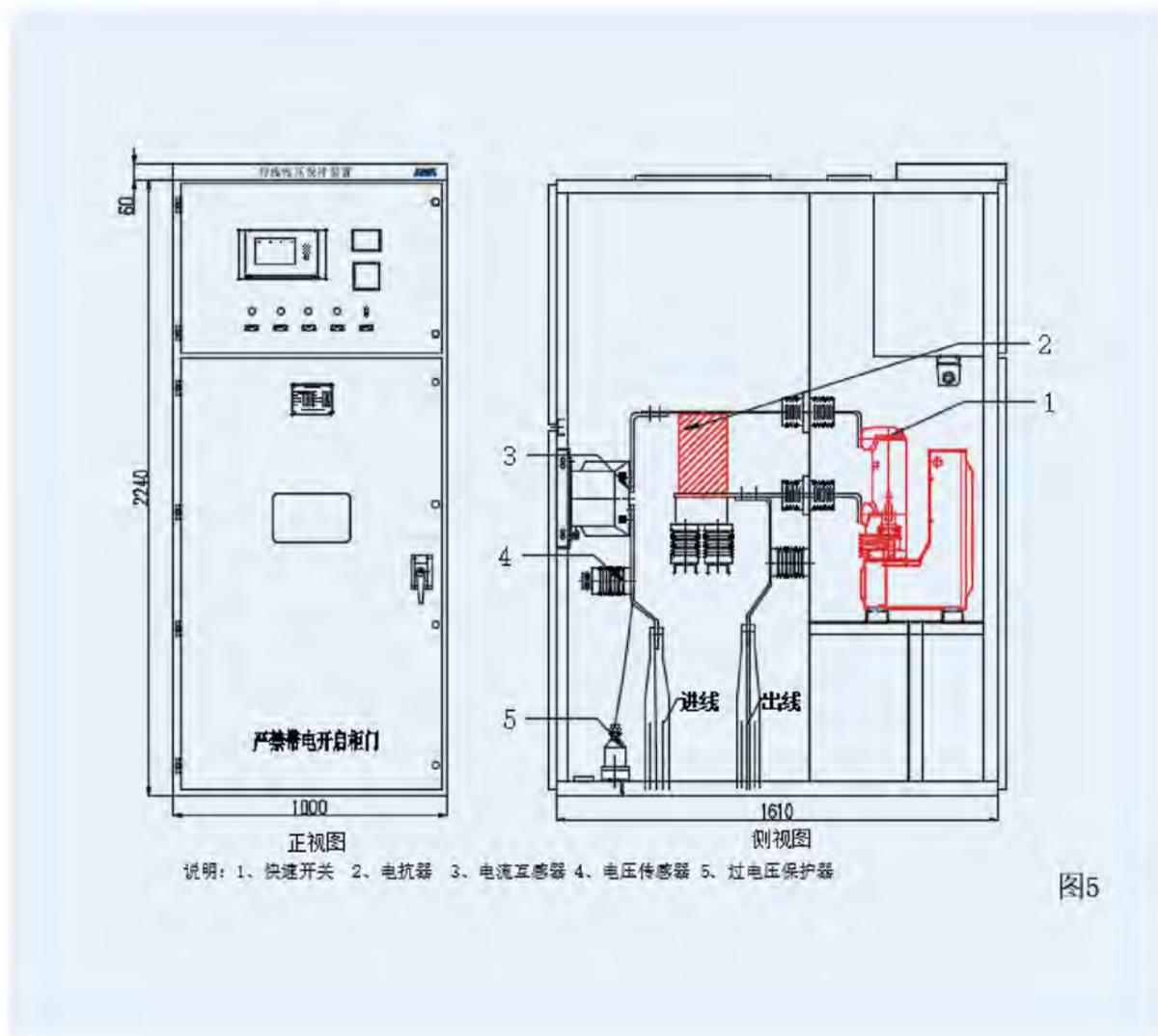


图5

□ 功能特点

□ SHK-ZRD型母线残压保持装置的关键构成

快速恢复母线电压：装设在馈线侧的母线残压保持装置在区内短路时，快速开关迅速分闸，20ms内保持母线残压90%以上。

快速隔离故障：装设在向开闭所供电的回路时，能在20ms内快速投入限流阻抗，降低短路电流的同时迅速将非故障区域的电压恢复到额定值的90%以上；装设在直接向负荷供电的回路时可以在20ms内快速切除故障，避免非故障区域的电压暂降。

自动恢复运行：下一级开闭所的故障支路被切除后，微机综合控制器立即将限流阻抗退出，恢复到正常运行状态；如果装置动作后0.3s-0.6s内下一级故障支路仍然没有切除，则微机综合控制器立即控制后备开关或原有出线柜的常规断路器作为后备手段切除故障。

远程通讯功能：本装置预留数据接口，可以与现场的微机监控系统进行数据交换，可以按上一级监控中心的命令进行快速开关和后备开关的分合闸操作。

事件记忆功能：本装置具有故障自检功能，故障录波功能，B码校时功能，发现系统故障时可以自动发出报警信号，能够记录装置动作或故障发生的时间、类型、相别和电气参数。

□ 产品的特点

动作迅速：线路短路后可在2ms左右迅速作出判断并发出动作指令，装置在5ms左右快速动作，20ms之内母线电压迅速恢复到接近正常运行的水平。

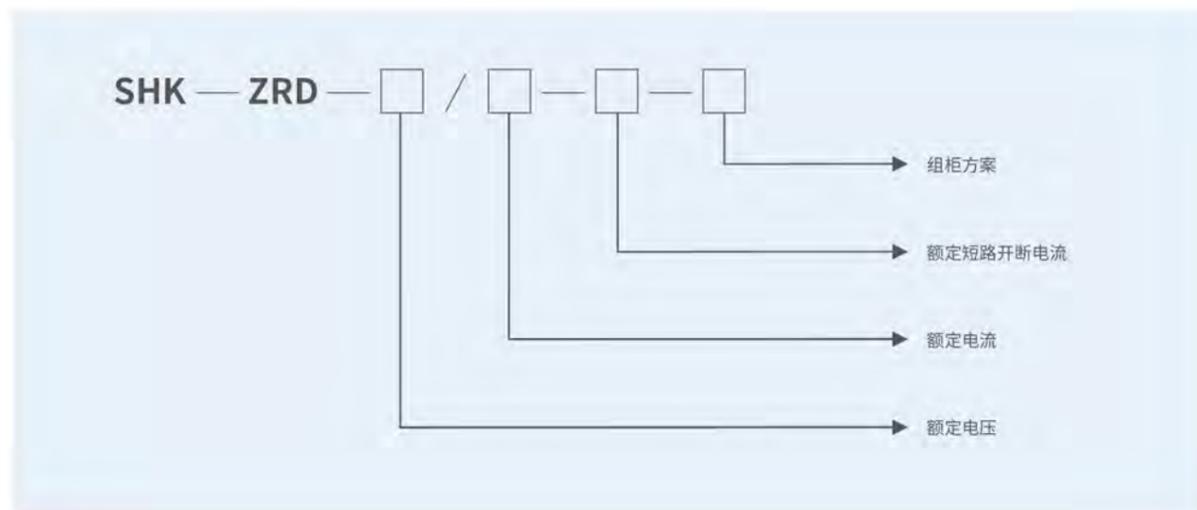
运行可靠：快速开关使用直线运动的快速涡流驱动机构，没有复杂的传动机构和转动部件，磨损极小，机械寿命及可靠性大大提高。

性价比高：本装置除了短路故障的快速识别之外，还配置了常规的微机综保、事件记忆、远程监控等功能，可完全取代变电站的出线开关柜。

应用广泛：本装置适用于电力、石化、化工、冶金、水泥、造纸、集成电路及电子器件生产企业，适用于展览馆、会议场馆等场所，可保证非故障区域重要敏感设备的连续运行。

□ 型号参数

□ 型号说明



装设场所	额定电压 (KV)	额定电流 (A)	类别	组柜方案
电源进线柜	6、10、20、35	1250、1600、2000、3150、4000	直开式	KC
用作母联柜	6、10、20、35	1250、1600、2000、3150、4000	直开式	KC
用作馈线柜	6、10、20、35	630、1250、1600、2000、3150	直开式	KC
用作馈线柜	6、10、20、35	630、1250、1600、2000、3150	阻开式	RC
用作馈线柜	6、10、20、35	630、1250、1600、2000、3150	单阻式	RC

参数类型	参数名称	数值范围	单位
额定参数	额定电压	6、10、20、35	kV
	额定电流	630、1250、1600、2000、2500、3150、4000	A
	额定频率	50	Hz
绝缘水平	1min工频耐受电压	6/30、10/42、20/55、35/95	kV
	雷电冲击耐受电压	6/60、10/75、20/125、35/185	kV
开断能力	额定短路开断电流	31.5、40、50、63	KA
	2s额定短时耐受电流	31.5、40、50、63	KA
	额定峰值耐受电流	80、100、125、160	KA
机械特性	主回路直流电阻	<100	μΩ
	合闸时间	1600~2500A ≤12ms 3150~4000A ≤16ms	ms
	分闸时间	<5	ms
	合闸分散度	<2	ms
	分闸分散度	<0.5	ms
综合控制器	工作电源	DC/AC 220	V
	环境温度	-30~+60	°C
	输出继电器接点容量	5	A
	通讯接口	RS485/MODBUS通讯规约	
	电磁兼容	GB/T14598.9~10、13~14	

备注：35kV额定电流在3150A以下，开断在40kA以下。

应用方案

用来实现母线之间的快速解列

如图6所示，两段母线并列运行不仅可以提高供电可靠性，也可减小重负载起停引起的母线电压波动，还提高变压器的运行效率，有利于两段母线供用电的平衡。但是，并列运行后母线短路电流的增加将会加大更换现有断路器的投资压力。直开式母线残压保持装置用作母联断路器后，正常时保留并列运行带来的各种好处，一旦系统发生短路时，可在20ms之内快速解列，大幅度减小短路电流，避免更换现有断路器所需的巨大投资。

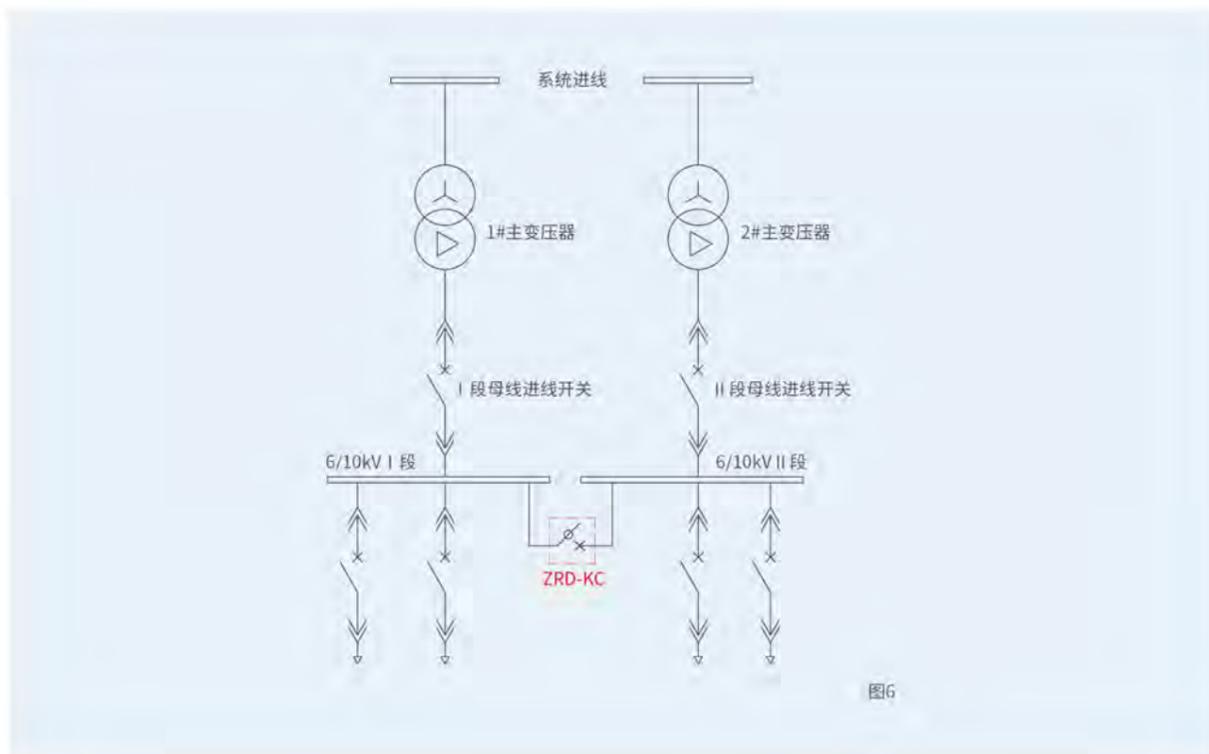


图6

用来快速隔离故障点

如图7所示：

- 1) 对于直接连接鼓风机、电动机、电弧炉等负载的供电回路，直开式母线残压保持装置可在20ms内快速切除故障（此方式主要适用于新建或改造工程）；
- 2) 对于向下一级开闭所供电的回路，阻开式母线残压保持装置可在20ms内将故障支路经高阻抗隔离，保证非故障区域重要敏感负荷的连续运行（此方式主要适用于新建工程）；

3) 对于直连小发电机组的供电回路，直开式母线残压保持装置可在20ms内快速隔离发电机，避免因其他馈线回路发生短路故障，发电机励磁向故障点提供短路电流，导致故障点的短路电流超标，原选型开关无法断开的情况（此方式主要适用于工程改扩建或新上发电机组）。

变电站出线回路采用了母线残压保持装置后，可以在以下几方面优化系统设计，大幅度降低工程造价：

- 1) 变压器容量较大时避免10kV侧短路导致高压系统的电压波动；
- 2) 10kV母线短路容量较大时可节省变电站开闭所采用高开断能力断路器导致的巨大投资；
- 3) 对于负荷较集中的地区和由110kV或220kV直接降压到10kV，取消35kV电压等级，优化系统设计，节省大量投资；
- 4) 大大降低穿越性故障对主变压器的冲击倍数，防止大型变压器的严重损坏事故，节省修复或更换变压器的费用；
- 5) 可取代出线回路的限流电抗器，不仅在线路发生短路时可以保持上一级母线有足够的残压，还可避免限流电抗器正常运行时巨大的电能损耗。

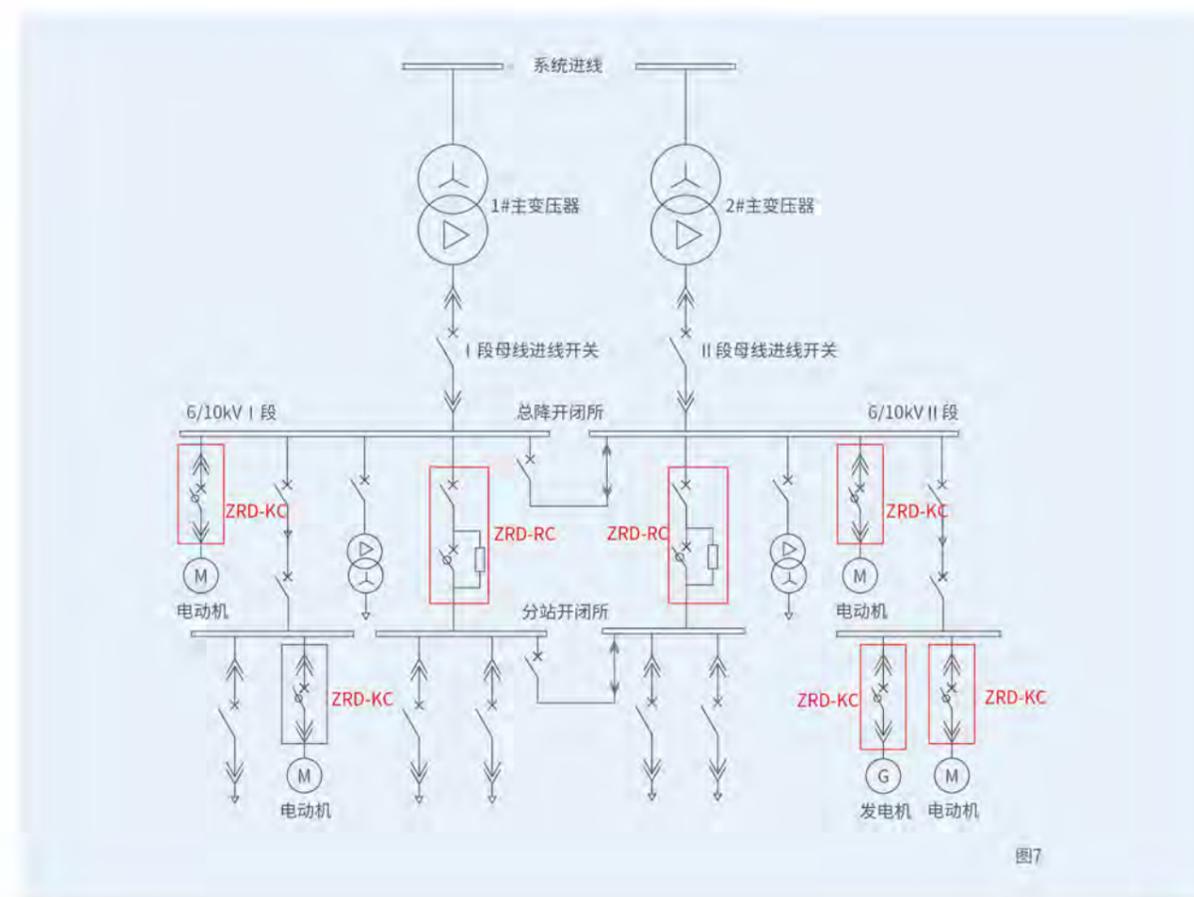


图7

□ 用作下级开闭所的进线柜

如图8所示，单阻式母线残压保持装置用作下级开闭所的进线柜时，可在20ms之内快速隔离下级开闭所某馈线回路的故障点，避免因电压暂降导致总降开闭所其它馈线回路重要敏感负载的停运事故（此方式主要适用于改造工程）。

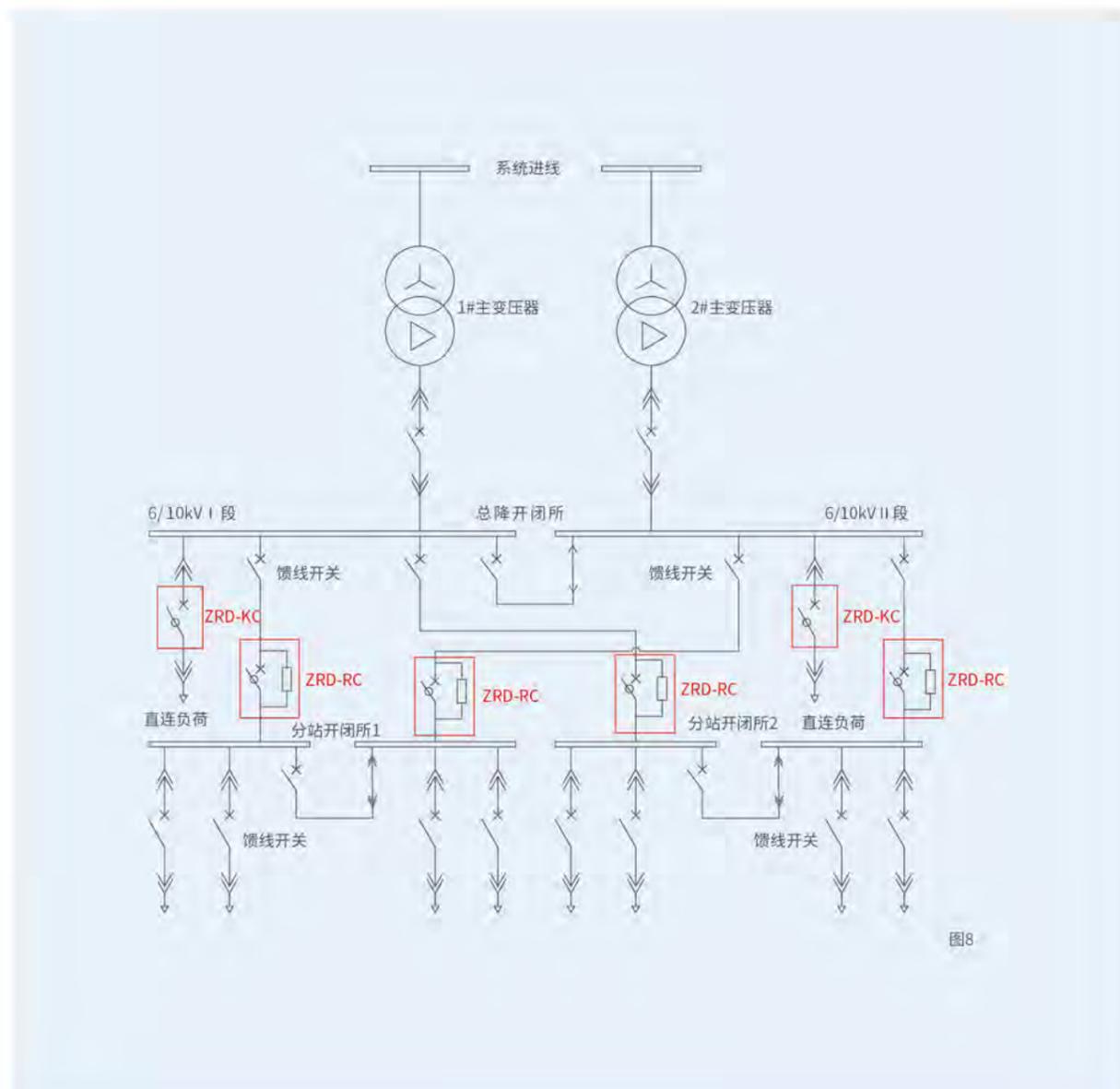


图8

□ 订货须知

□ 使用条件

环境温度：-20℃~+40℃。

海拔高度：≤2000 m（高海拔地区按海拔系数矫正）

周围空气湿度：日平均湿度≤96%、月平均湿度≤90%。

地震烈度：8度（水平加速度0.25g、垂直加速度0.105g）。

使用环境：不得有粉尘、煤气、烟气等具有爆炸性、腐蚀性和易燃性的混合物。

□ 订货要求

- 1) 用户需提供本装置安装地点的一次主接线图、主变压器相关参数（包括额定容量、变比、短路阻抗等参数）、发电机相关参数（如有）、系统短路阻抗或短路容量、馈线侧高压电动机参数、以及各出线回路的最大负荷电流；
- 2) 环境温度、海拔高度或使用环境超出本装置的允许范围时，请在订货技术条件中详细注明，以便我公司为用户进行特殊设计、特殊供货；
- 3) 签订技术协议及订货合同后，单套装置订货周期不低于40天。

□ 调试及售后服务

- 1) 本公司可负责现场装置的调试服务，调试过程中用户需提供必要的配合与协助，调试人员可根据现场装置的原理及运行规程进行相关的培训及讲解；
- 2) 在用户遵守保管及使用要求的情况下，装置投运之日起12月内或发货之日起18月内（以先到者为准），产品由于质量原因而发生损坏或不能正常工作，乙方将无偿地为用户维修或更换配件；
- 3) 本公司对产品终身维修，在上述质量保质期之外以优惠的价格提供备品配件，对所发生的其他费用只收取工本费；

□ 包装和运输

- 1) 装置采用木包装箱，柜体固定在包装箱底座上；
- 2) 装置长期不用时，应储存在干燥、通风的仓库内，不宜长期在户外储存；
- 3) 运输过程中，装置应避免碰撞、受潮及暴晒；
- 4) 不得在三级以下公路上长距离运输。

□ 母线残压保持装置部分业绩一览表

序号	产品型号	数量	项目名称
1	SHK-ZRD-B-10KV-630A	1	安徽省马鞍山市马钢股份重机公司1#变电所供电系统改造工程
2	SHK-ZRD-B-10KV-1250A	1	安徽省马鞍山市马钢集团冷轧总厂循环水变电站改造项目
3	SHK-ZRD-10-1600-JRK	2	山东省青岛市经济开发区热电燃气总公司70MW复合碳浆环保锅炉配套项目
4	SHK-ZRD-10-2000A/40KA-JRK	2	山东省招远市玲珑橡胶有限公司10KV改造项目
5	SHK-ZRD-10-2500A/40KA-SR2	1	山东省招远市玲珑橡胶有限公司10KV改造项目
6	SHK-ZRD-12KV-1600A	2	广西省钦州市华汇新材料有限责任公司一期工程4X33MVA镍铁电炉项目
7	SHK-ZRD-10kv-1250A/50kA	4	河北省石家庄正元化肥有限公司2X30MW余热发电项目
8	SHK-ZRD-10kv-1600A/50kA	5	河北省石家庄正元化肥有限公司2X30MW余热发电项目
9	SHK-ZRD-11-1250/40KA	1	信义(马来西亚)玻璃工业园余热电站项目
10	SHK-ZRD-10kv-1600A/50kA	2	河北省沧州正元化肥有限公司余压余热发电项目
11	SHK-ZRD-10kv-1600A/50kA	1	河北省邯郸市永洋特钢工业园河北邯郸永洋特钢集团有限公司搬迁配套建设50MW煤气发电
12	SHK-ZRD-10kv-1250A/50kA	1	河北省邯郸市永洋特钢工业园河北邯郸永洋特钢集团有限公司搬迁配套建设50MW煤气发电
13	SHK-ZRD-12KV-1250A	2	河北省唐山市中溶科技有限公司110KV变电站工程
14	SHK-ZRD-12KV-1250A	2	河南省许昌市硅烷科技发展有限公司2000吨硅烷及电子级多晶硅项目

14	SHK-ZRD-12KV-1250A	2	河南省许昌市硅烷科技发展有限公司2000吨硅烷及电子级多晶硅项目
15	SHK-ZRD-10kv-1250A/50kA	9	河北省唐山市华西钢铁有限公司发电项目
16	SHK-ZRD-10kv-1600A/50kA	1	河北省唐山市华西钢铁有限公司发电项目
17	SHK-ZRD-10kv/1600A/50kA	4	安徽省池州市东至广信农化有限公司安徽东至经济开发区2X12MW热电联产北区工程项目
18	SHK-ZRD-10kv/1600A/50kA	2	安徽省池州市东至广信农化有限公司安徽东至经济开发区2X12MW热电联产北区工程项目
19	SHK-ZRD-10kv-2500A/50kA	1	辽宁省本溪市本钢发电厂4--5号焦炉干熄焦余热蒸汽利用
20	SHK-ZRD-35kv-1250A/31.5kA	4	山西省长治市霍氏自备电力有限公司1*150MW发电工程
21	SHK-ZRD-12kv-1250/40kA	1	新疆克拉玛依市绿翔糖业有限责任公司九师朝阳新区新建锅炉及发电机组工程
22	SHK-ZRD-10kv-1600A/40kA	2	河南省济源市金瑞能源有限公司1亿立方米/年液化天然气项目-980变电所
23	SHK-ZRD-10kv/1600A/50kA	2	山西省长治市沁新能源集团煤研石发电厂锅炉节能增效及超低排放改造工程
24	SHK-ZRD-10kv/2000A/50kA	1	山西省长治市沁新能源集团煤研石发电厂锅炉节能增效及超低排放改造工程
25	SHK-ZRD-G-1250/10	1	河南南阳市中国石化集团河南石油勘探局6-35kV快速分相开断系统的研制
26	SHK-ZRD-10kv-2000A/50kA	1	河北省秦皇岛市秦皇岛佰工钢铁有限公司45MW高温超高压煤气综合利用发电工
27	SHK-ZRD-10kv-1250A/50kA	1	河北省秦皇岛市秦皇岛佰工钢铁有限公司45MW高温超高压煤气综合利用发电工
28	SHK-ZRD-10kv-1600A-40kA	1	湖北省应城市湖北应城新都化工有限责任公司电气改造项目
29	SHK-ZRD-12kv-2500A/40kA	2	山西省长治市山西建滔潞宝化工有限公司30万吨/年甲醇项目
30	SHK-ZRD-10kv-1600A-50kA	1	安徽马鞍山市山鹰国际控股股份公司17-热电-11(01)10KV母线残压保持装置项目
31	SHK-ZRD-12-2000A/40kA	1	河北武安市新武安钢铁集团文安钢铁有限公司35MW高温超高压煤气发电工程新增两路馈线
32	SHK-ZRD-12-1250/40KA	1	广东省湛江市冠豪高新技术股份有限公司快速故障隔离装置项目
33	SHK-ZRD-10kv-1600A-40kA	2	河南济源市河南金马能源股份有限公司焦粒造气项目
34	SHK-ZRD-10kv-1250A/40kA	4	山东昌邑市山东海天生物化工有限公司110KV变电站技改项目

35	SHK-ZRD-10kV-1250A/40kA	1	吉林省白城市梅花集团年产40万吨赖氨酸配套供热站工程项目
36	SHK-ZRD-10kV-1600A-40kA	1	吉林省白城市梅花集团年产40万吨赖氨酸配套供热站工程项目
37	SHK-ZRD-10kV-1600A-50kA	1	山西省长治市沁新能源集团股份有限公司炼矸石发电厂135t/h供热备用锅炉建设工程项目
38	SHK-ZRD-10kV/1600A/40kA	1	山西省长治市沁新能源集团股份有限公司炼矸石发电厂135t/h供热备用锅炉建设工程项目
39	SHK-ZRD-10kV/1600A/40kA	1	山西省长治市沁新能源集团股份有限公司炼矸石发电厂135t/h供热备用锅炉建设工程项目
40	SHK-ZRD-10kV-1600A-40kA	2	河南省许昌市首山化工苯胺、备煤、甲醇开闭所10kV进线母线残压保持装置(甲醇站)
41	SHK-ZRD-10KV-1250A/31.5kA	2	河南省许昌市首山化工苯胺、备煤、甲醇开闭所10kV进线母线残压保持装置(苯胺二厂)
42	SHK-ZRD-10KV-1250A/31.5kA	2	河南省许昌市首山化工苯胺、备煤、甲醇开闭所10kV进线母线残压保持装置(备煤站)
43	SHK-ZRD-35kV-1600A/40kA-RC	1	福建泉州闽光有限公司动力厂35KV高棒变白三线改造项目(原三安钢铁)
44	SHK-ZRD-10kV-1600A/40KA-RC	2	河南省济源市金马能源股份有限公司空分造气项目
45	SHK-ZRD-10.5kV-1600A/40KA-RC	2	东方希望(三门峡)铝业有限公司固废回收项目母线残压保持装置
46	SHK-ZRD-G-12-1250A/31.5KA-KC	1	河南石油勘探局有限公司科技外协智能保护控制系统研制项目
47	SHK-ZRD-12kV-2000A/40KA-KC	1	广东惠州市光大水泥企业有限公司余热发电工程改造项目
48	SHK-ZRD-12KV-2500A/40KA-RC	2	河北省保定市两机专项10KV变电站电力增容工程项目
49	SHK-ZRD-10kV-1250A-RC	8	云南省昆明市呈钢钢铁有限公司1#、2#、3#主变10KV系统优化改造项目
50	SHK-ZRD-10kV-1600A-RC	4	云南省昆明市呈钢钢铁有限公司1#、2#、3#主变10KV系统优化改造项目
51	SHK-ZRD-10kV-2000A-RC	1	云南省昆明市呈钢钢铁有限公司1#、2#、3#主变10KV系统优化改造项目
52	SHK-ZRD-12kV-1600A/40kA	7	陕西黑猫焦化股份有限公司母线电压暂降综合治理项目
53	SHK-ZRD-35-1600A/31.5kA-RC	4	河南省焦作市龙蟒佰利联集团股份有限公司分布式能源项目配套110kV变电站成套开关柜
54	SHK-ZRD-10kV-1600A/40KA-RC	1	河南省周口市河南护理佳纸业热力有限公司鹿邑县城区热电联产项目

□ 用户发表的文章

基于快速开关的某化工企业电气系统优化方案及应用

吴桂林, 颜云飞

(湖北三宁化工股份有限公司, 湖北 枝江 443206)

电压暂降会引起继电器、交流接触器、变频器、电机等重要敏感类设备的大范围停运, 并由此导致企业停产, 近年来在大型企业中时常发生, 多者每年发生3~5次, 每次停产都会给企业造成至少数百万元的经济损失。故障支路切除时间太长, 超过敏感设备对电压暂降的承受极限是导致大范围停运的根本原因。利用快速开关切除故障或隔离故障点, 快速恢复非故障区域的母线电压作为避免敏感设备的大范围停运的解决方案。并经某化工系统应用, 结果表明: 当馈线及其所带的开闭所分支线发生短路故障时, 可以在20ms之内隔离故障点, 上一级母线电压快速恢复, 能够避免非故障区域敏感设备的停运。

引言

湖北某化工企业属连续生产作业型企业, 对供电可靠性要求高^[1], 110kV变电站10kV母线带有多个10kV开闭所, 10kV系统接线较为复杂, 故障率较高, 任何一点发生短路都会造10kV系统持续时间为100ms左右的电压暂降^[2]。而无压释放时间: 交流接触器20~30ms, 交流电磁阀30~40ms, 低电压保护20~30ms^[3]。变频器超过20ms以上会停止对外供电。由此导致的电气设备停运每年都有发生。

该化工企业的尿素配电中心10kV II段母线的馈线回路发生短路, 会引起关联系统10kV8号母线电压暂降, 由此导致8号母线215开关下的尿素配电中心I段部分负荷失电停运。多年的运行经验表明, 若不能在最短的时间内将故障支路切除或隔离故障点, 就会发生大范围设备停运^[4]。而普通开关速度不够快, 总体切除时间至少70ms, 不能有效避免大范围停运。

本文分析了造成电压暂降导致停产的原因, 归纳了现有解决措施的效果, 阐述了治理电压暂降的根本方法, 介绍了基于快速开关的母线电压快速恢复装置避免大范围停运的解决方案, 并以某化工企业的尿素配电中心10kV系统为例, 证明了母线电压快速恢复装置对于避免大范围停运的应用效果。

现有解决方案分析

采用光纤纵差保护

光纤纵差保护是利用负荷电流、线路分布电容电流、制动系数k和电流互感器TA特性构成的一种分相式相电流突变量差动保护^[5]，利用线路两侧电流构成差动后备保护新方案，可以无延时地切除全线故障。由于采用普通断路器作为执行部件，包括继电器保护出口时间20~40ms、断路器固有分闸时间40~60ms和燃弧时间10~20ms，电压暂降持续时间长达70~120ms，已远远超过敏感设备的容忍时间。必须大幅度提高断路器动作速度、缩短继电器保护出口时间，才可能真正解决电压暂降引起的大范围停运。电压恢复后采用PLC分批再启动^[6]仅仅是生产设备已经停运后，解决电压暂降恢复时避免多台电动机同时启动导致电源开关跳闸的问题。

馈线出口串联电抗器

有些国内大型企业常在馈线出口串联限流电抗器，以提高母线残压。出于避免非故障支路电压暂降的考虑，希望馈线出口电抗率越高越好，但这又会导致正常运行设备端电压严重降低甚至电压质量不合格。大量的运行实践表明，串联限流电抗器后母线残压一般不超过60%，并不能避免变频器、继电器等敏感设备的停运，而且还会产生巨大的电能损耗。

图1所示的系统，2号主变压器10kV侧尿素配电中心II段馈线短路电流有效值为 $I_{k2}=39.14\text{kA}$ ，折合系统阻抗有名值 0.1549Ω 。线路出口短路时若需要维持母线电压不低于80%，需要串入 $X_k=0.619\text{ }\Omega$ 的电抗器，设计额定电流1000A，额定电抗率10.73%。

查电抗器手册得XKK-10-1000-10%电抗器额定有功损耗26.89kW，三相无功损耗为：

$$Q_k = \sqrt{3} \times 10 \times 1000 \times 0.1073 = 1858.49 (\text{kVA}) \quad (1)$$

按无功当量0.1考虑、负荷率 $\beta=0.7$ 、年运行 $T=8000\text{h}$ 计算，每年每组限流电抗器的电能损耗为：

$$P = 0.72 \times (26.89 \times 0.1 + 1858.49) \times 8000 = 83.39 (\text{万kWh}) \quad (2)$$

若市电价格按0.5元/kWh计算，则每组电抗器每年因电能损耗造成的经济损失高达41.7万元。

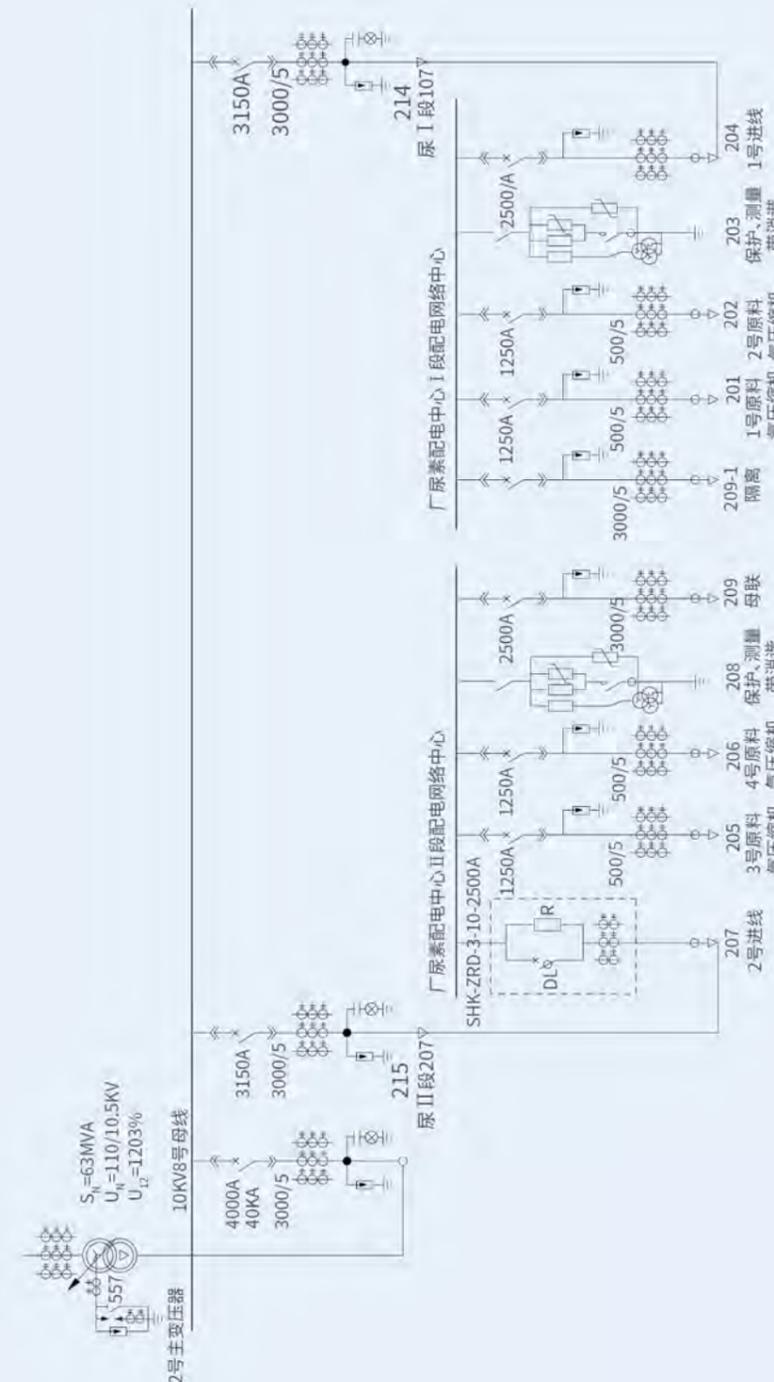


图1 系统原理图

母线电压快速恢复装置

母线电压快速恢复装置由快速换流器、限流阻抗、后备开关、综合控制器、电流采集器等构成，如图2中虚线框内所示。

快速测控单元通过电流采集器监视馈线电流，当发生短路时高速DSP通过专用算法在2ms左右快速精确的预测三相短路电流有效值，并控制换流器在5ms左右快速分闸，短路电流换流到限流阻抗中，上一级母线电压立即恢复到额定值的95%以上，非故障区域的电压暂降时间被控制在1个周波以内，系统中的变频器、接触器、电动机等敏感设备来不及停运。测控单元检测到馈线电流恢复正常时立即控制换流器合闸，限流高阻抗退出，系统即可恢复正常运行。若装置动作后300ms故障没有解除，表明下一级保护拒动，测控单元立即控制后备开关分闸，作为后备手段最后切除该支路。

母线电压快速恢复装置具有动作速度快（在7~15ms内将短路电流换入限流阻抗中）、开断能力强、母线残压高（保持95%以上）和运行可靠性高等特点。

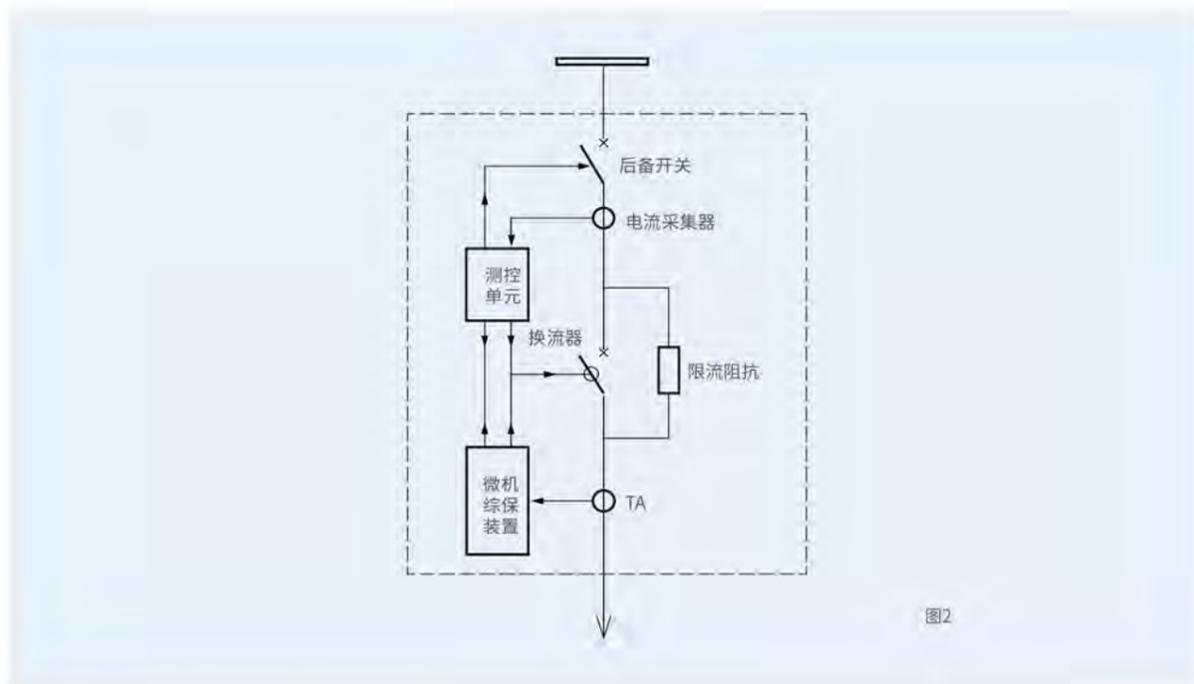


图2

防止大范围停运的解决方案

方案的电气原理图

母线电压快速恢复装置安装在某化工企业尿素配电中心10kV II段进线回路，如图1所示（正常运行，尿素配电中心 I 段和 II 段母联开关分闸）。

母线电压快速恢复装置技术参数

2号主变压器参数如图1所示，110kV变电站2号主变压器低压侧配置4000A/40kA断路器。

经计算10kV 8号母线短路时：主变压器提供短路电流 $I_{k1}=26.52\text{kA}$ ，电动机反馈电流 $I_D=12.62\text{kA}$ ，2号主变压器10kV侧尿素配电中心 II 段馈线短路总电流有效值： $I_{k2}=I_{k1}+I_D=39.14\text{kA}$ (3)

母线电压快速恢复装置开断电流选择 $I_k=50\text{kA}$ 。

加装SHK-ZRD-3后，快速换流器投入限流阻抗 R_f ，将 I_k 限制到额定电流 I_n ，限流阻抗设计： $R_f=\frac{U_n}{I_n}$ ，取 2.308Ω 。

线电压快速恢复装置的使用效果预测

3.3.1 迅速提高母线电压

图3中，假设尿素配电中心 II 段在d点出现短路故障。

加装母线电压快速恢复装置前，流经短路点的短路电流为 I_k ，尿素配电中心 II 段母线至故障点的线路阻抗为 X_f ，10kV 8号段母线残压为：

$U_{c1}=I_k X_f$ ，由于 X_f 很小，导致10kV 8号段母线残压较低。

加装母线电压快速恢复装置后发生短路时，由于限流阻抗的投入将短路电流限制到进线开关额定电流的水平，8号段母线残压为： $U_{c2}=I_n(R_f+jX_f)$ 。因 $R_f \gg X_f$ ，所以 X_f 对残压的影响可以忽略，母线电压恢复到接近额定电压。

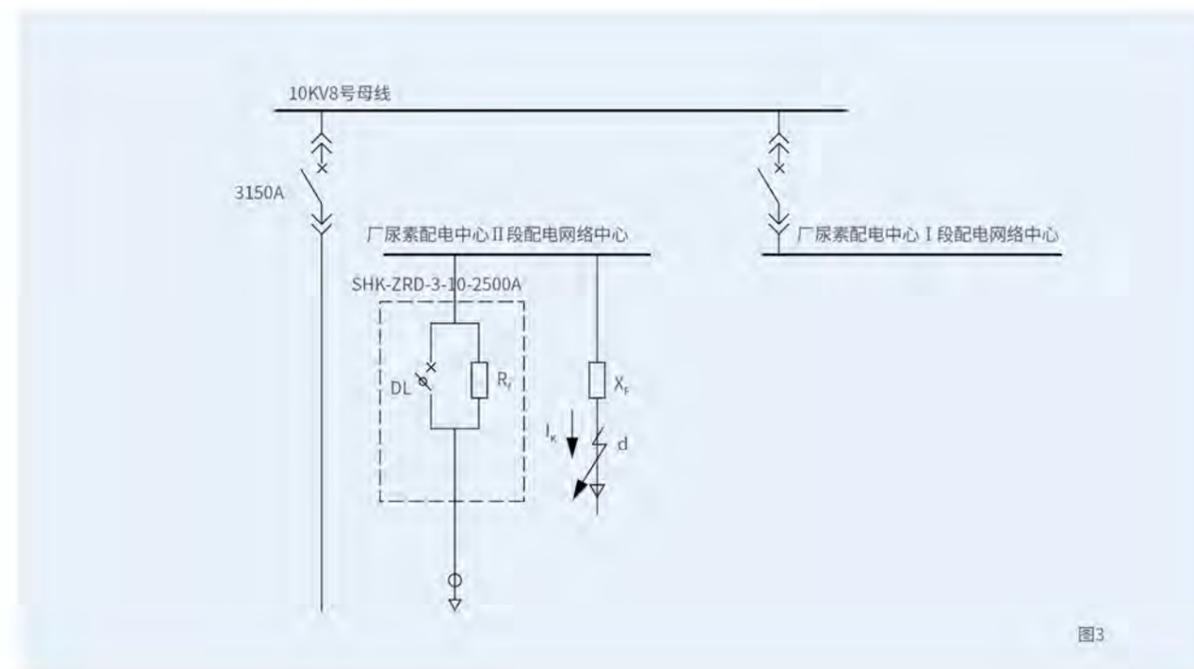


图3

3.3.2 提高下级开闭所馈线开关开断裕度

发生短路故障时换流器在6ms左右分闸，限制短路电流至原额定电流 $I_n=2500A$ 。

下级开闭所馈线开关开断裕度， $K_r = \frac{31.5-2.5}{31.5} \times 100\% = 92.06\%$ 。

3.3.3 提高动热稳定裕度

1) 热稳定裕度。短路电流在电缆导体会产生热效应 $Q_d (kA^2 \cdot s)$ ，按照短路热稳定条件计算电缆导体允许的最小截面的计算公式： $S \leq \frac{\sqrt{Q}}{C} \times 10^2$ (4)

式中： C 为热稳定系数，铜芯一般为13700，铝芯一般为9000； Q 为短路持续时间内，电缆导体的发热量。

表达式为： $Q=I^2$ (5)

式中： I 为系统电源供给短路电流的周期分量起始有效值， A ； t 为短路持续时间， s 。

经过简化： $S_d = \frac{10^2}{C} \cdot I \cdot \sqrt{t}$ (6)

可见，电缆短路热稳定最小截面 S_d 与短路电流 I 和短路持续时间 t 的平方成正比。目前，采用中速开关直配负荷的末级电缆短路持续时间 t 一般选为150ms；若采用分闸时间小于5ms的快速开关，短路持续时间 t 则可降低选为20ms，那么电缆短路时热稳定最小截面 S_d 就可以减小到以中速开关设计的电缆截面的 $\sqrt{20/150} \times 100\% = 36.5\%$ 。

2) 动稳定裕度。短路电动力以两根平行导体为例：流过电流分别是 i_1 和 i_2 ，导体间的相互作用力 F 为： $F=0.2K_x i_1 i_2 \cdot \frac{l}{D} N$ (7)

式中： i_1 、 i_2 为流过导体的电流瞬时值； l 为平行导体的长度； D 为导体中心距离； K_x 为导体形状系数。

电动力对电气设备的破坏是通过电动力对设备做功来完成。即 $W=FS$ 。而设备的形变位移 S 与作用力持续时间 t 和运动速度 V 有关。他们之间的关系满足冲量公式 $Ft=MV$ 当电动力持续的时间 t 大幅降低时，形变的速度 V 也大幅降低，相应的位移 S 也大幅降低。即电动力对设备的破坏力做功大大降低。

结语

本文通过对电压暂降根本原因进行分析，提出利用母线电压快速恢复装置实现20ms内快速隔离故障点，迅速恢复上一级母线电压的解决方案。结合湖北某化工电气系统的实际案例，分析了方案实施后的效果，表明采用母线电压快速恢复装置能够快速恢复上一级母线电压，保证非故障支路的敏感类设备连续可靠运行，避免电压暂降导致的电气设备大范围停运，进而给大中型连续型作业型企业如石化、化工、冶金、铸造等企业，挽回重大的经济损失。从此方案的实施及使用效果分析，母线电压快速恢复装置能够有效避免电压暂降带来的危害，值得推广。

基于快速开关的某化工企业电气系统优化方案及应用

刘瑞国，童雪燕

(石家庄市柏坡正元化肥有限公司，河北 石家庄 050401)

摘要

某化工企业6kV电气系统存在短路电流严重超标的问题，从系统概况、存在问题、经济效益、实施效果等层面分析，采用常规的串联限流电抗器、新建升压站、更换开关柜等解决方案都不适用。采用基于快速开关的无损耗深度限流装置和母线电压快速恢复装置的优化方案，并经实际运行表明，解决了系统短路电流严重超标的问题，保证了系统中开关的安全可靠运行，避免了敏感性负荷出现大面积停机、跳闸和停产的现象，具有很高的投资回报率。

引言

某化工企业属连续生产作业型企业，对供电可靠性及安全运行要求很高。现110kV变电站安装有2台容量为31.5MVA、额定电压为110kV/6kV的主变压器，经110kV架空进线供电，6kV系统采用单母线双分段接线方式，正常两段6kV母线不并列。6kV所带的负载大部分为电机设备，6kV开关柜额定开断电流多为31.5kA，少部分为25kA。随着生产规模的不断扩大，原110kV变电站的主变压器容量不能满足系统负荷的需要，采用常规的串联限流电抗器、新建升压站、更换开关柜等解决方案都不适用。随后，决定新建2台30MW的发电机组，分别经两段6kV母线并入110kV系统。2台30MW发电机组并网后，整个6kV系统母线三相短路电流的有效值达到59.32kA，已经远远超过现有6kV开关柜的开断能力，给企业的安全运行带来了相当大的隐患，必须尽快采取限流措施，将短路电流限制到25kA以下，以保证整个系统的安全可靠运行。

解决问题的常规方案

采用传统的限流电抗器限制短路电流

为了将6kV系统包括电动机的反馈电流在内的短路电流限制^[5]在25kA以下，通过详细的短路电流计算，需要在2台主变压器低压侧（6kV）串入额定电压6kV、额定电流4000A、额定电抗率为50%的限流电抗器，同时需要在新扩建的2台发电机出口装设额定电压6kV、额定电流4500A、额定电抗率为60%的限流电抗器。通过与国内大型的电抗器厂家联系得知，此种规格的电抗器制造工艺难度大，即使采用特殊技术处理，制作出来的电抗器的成本相当高（仅电抗器本身的投资将近360万元）、加工工期也是相当长，而且体积庞大、安装空间也成问题。系统在正常运行时，此种规格的电抗器将给系统造成以下影响：

- 1) 电抗器强大的漏磁场，将使周围的金属框架、钢筋混凝土产生附加损耗和振动，影响运行寿命，对通信的干扰甚至导致企业的通信系统无法正常运行。
- 2) 电抗器的发热严重，能耗巨大。1台6kV、4500A、60%电抗器的总的年经济损失为440万元，1台6kV、4000A、50%电抗器的总的年经济损失为326万元，4台电抗器年经济损失为1532万元。
- 3) 负荷电流在电抗器上产生的巨大电压降，将严重恶化6kV母线的电压质量，尤其重负载启停将会造成6kV母线大幅度的电压波动，极有可能因电压暂降导致敏感负荷的大范围停运，甚至较大型电动机启动过程发生电压崩溃，使系统无法正常运行。

更换系统中的现有开关柜

为了保证系统安全可靠运行，需将原6kV系统中150面开关柜更换为额定开断电流为63kA的断路器，原6kV系统中的母线及其支持绝缘子、进出线电缆、互感器、接地开关都按照63kA进行重新设计和校验；6kV开关柜的外形尺寸需要加大配电室的基础需要重新设计，且空间需要扩大。此方案必须停电停产才能施工，建设周期长投入资金大，仅元器件部分直接投资概算将近2250万元。

新建35kV升降压站

新上的30MW的发电机首先通过额定电压为6/35kV、额定容量为40MW的升压变压器将电压升到35kV，再通过额定电压为35/6kV、额定容量为40MW的降压变压器将电压降到6kV后与原总降变电站的6kV系统并网。通过新建35kV的升降压站^[6]解决系统的短路电流^[7]超标的问题，这需要增加4台额定电压为35/6kV、额定容量为40MW的变压器及其辅助的开关柜设备，仅元器件部分直接投资概算约为1000万元，而且将加大电压暂降的幅度，建设周期长。

优化方案的关键技术

无损耗深度限流技术

图1所示为无损耗深度限流装置，主要由快速换流器、深度限流器、快速识别器和电流采集器等组成。正常运行时快速换流器将深度限流器短接，限流装置呈低阻态，几乎无损耗、无压降，也不会产生漏磁场。发生短路故障时，快速识别器在5ms左右控制快速换流器分闸，在电流第一次过零点投入深度限流器，实现深度限流^[7]。故障切除后，限流装置可自动恢复到无损耗状态运行，大大减少维护工作量、降低运行成本。

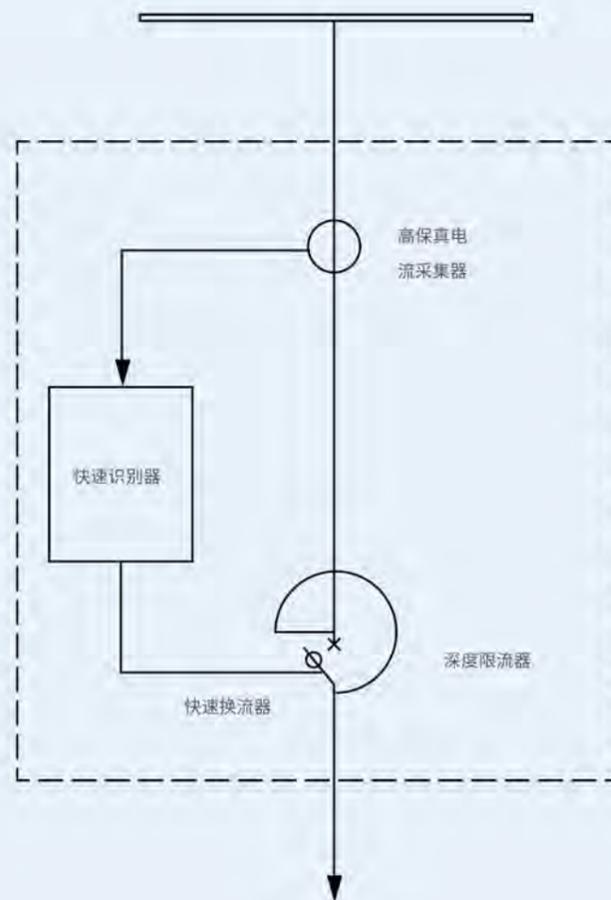


图1

母线电压快速恢复技术

图2所示的母线电压快速恢复装置主要由换流器、限流阻抗、后备开关、电流采集器、微机综保和测控单元等组成。其中用作快速换流器的快速开关^[8]为加拿大Max-Swi制造的“涡流驱动快速开关^[9]”，后备开关为普通真空断路器。

正常工作时后备开关、快速换流器处于合闸状态，保证本支路的正常供电。发生短路故障时，测控单元通过电流互感器提供的电流信号，经“短路故障快速识别算法”在2ms左右做出判断，5ms左右控制换流器分闸，投入限流阻抗，将本支路电流限制到额定电流范围以内，且母线剩电压，从而母线电压立即恢复到95%以上，保障非故障支路不受电压暂降的影响。

短路故障被切除后，测控单元检测到本支路电流恢复到负荷电流以下，立即控制换流器合闸，恢复本支路的正常供电；若下级保护拒动致使短路故障切除失败，测控单元在故障后300ms向后备开关发出分闸指令，作为后备手段最后切除故障。

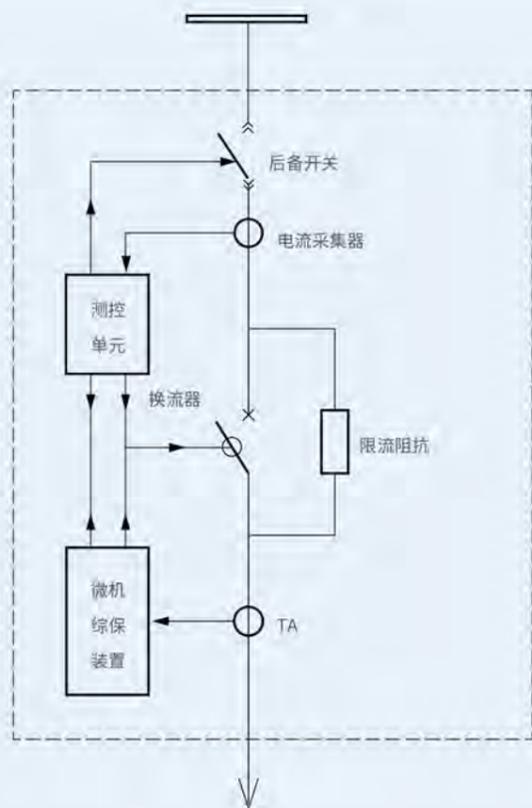


图2

系统优化设计方案

优化设计方案的构成

鉴于该化工企业的特点，为了将6kV系统包括电动机反馈电流在内的短路电流限制在25kA以下，同时为了保证在系统馈线回路发生短路故障时维持6kV母线电压不严重跌落，综合考虑投资规模、改造周期、运行成本、电压暂降治理，以及电抗器的电磁干扰、电能损耗、电压波动等因素，确定采用无损耗深度限流装置和母线电压快速恢复装置的优化设计方案。具体方案如下：

- 1) 在2台主变压器6kV侧加装无损耗深度限流装置，型号为SHK-ZLB-3-6-4000/63-50%。
- 2) 在30MW发电机组出口加装无损耗深度限流装置，型号为 SHK-ZLB-3-6-4500/63-60%。
- 3) 在变电站6kV的9条馈出线回路加装母线电压快速恢复装置，型号为SHK-ZRD-3-6-1600（7台），型号为SHK-ZRD-3-6-1250（2台）。

优化设计方案的特点

- 1) 将系统的短路电流限制到馈线开关的额定开断电流以下。
- 2) 正常运行时限流装置的快速换流器将深度限流器短接，解决了电抗器的能耗、电磁干扰、电压降等问题。
- 3) 由于限流装置中的快速换流器采用的是分闸时间小于5ms快速真空开关，而且可以自动重复使用，克服了运行维护成本高、维护工作量大等缺点。
- 4) 系统内部故障时，6kV的母线电压可迅速恢复到额定值的95%以上，保证了其他重要负荷的安全运行。
- 5) 改造及新建系统时企业停电时间短、投资回报率高。

优化后的一次主接线

图3为优化后的系统主接线图，分别在1号、2号发电机出口及1号、2号主变压器低压侧加装了无损耗深度限流装置^[9]（ZLB-3）；在9条馈出线回路中加装了母线电压快速恢复装置（ZRD-3）。

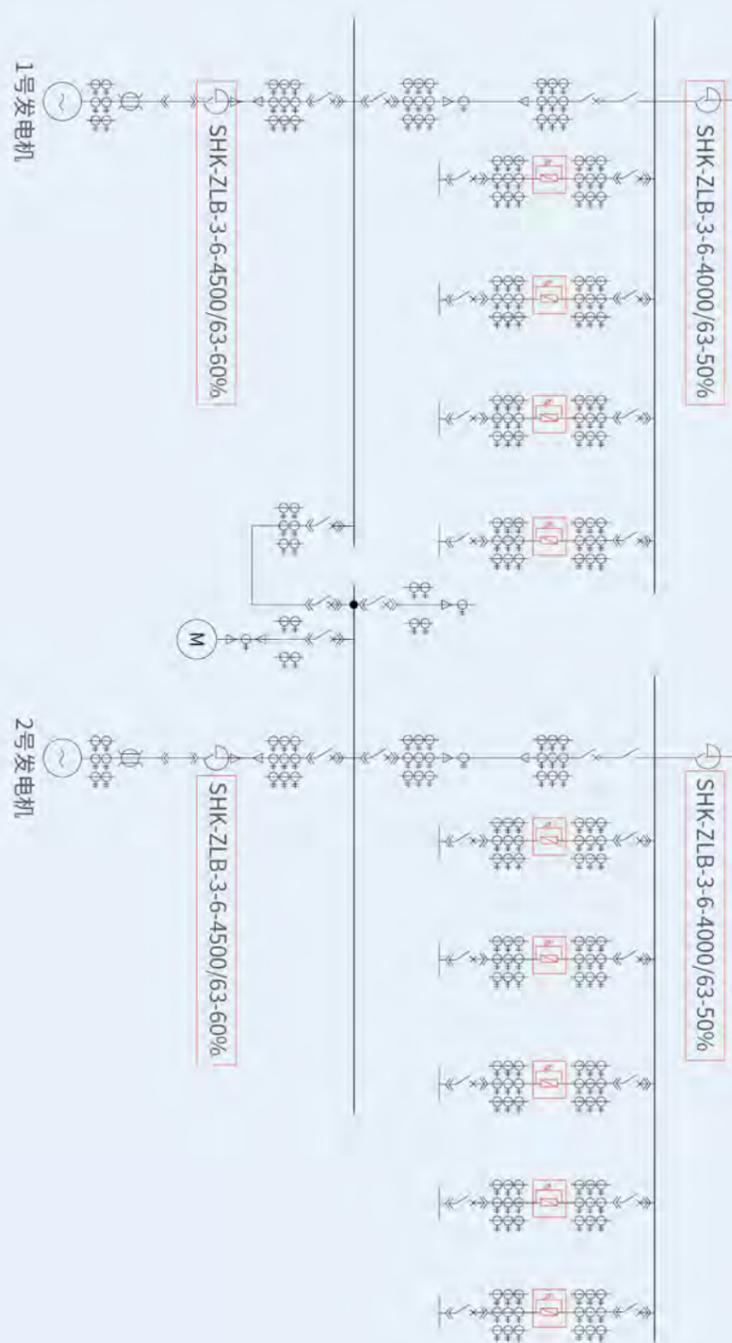


图3 优化后的一次主接线图

应用效果

本优化方案自从2016年10月份实施并投运以来，应用效果十分明显，主要体现在以下几个方面：

- 1) 限流效果：短路电流由原来的59kA限制到9.7kA，大大减小了对主变压器的冲击，限流后对变压器的冲击倍数仅为原来的16%，提高了变压器的抗短路能力，延长了变压器的使用寿命；短路电流仅为系统中最小遮断容量的开关额定开断电流的38.8%，大大提高了馈线开关的开断的可靠性，延长了使用寿命。
- 2) 节能效果：与限流电抗器比较，仅能耗这一项就可节省 $(440+326) \times 2 = 1532$ （万元/年），仅半年就可收回投资成本，具有很高的投资回报率。
- 3) 连续运行：当6kV系统任何一条出线回路发生短路故障时，母线电压快速恢复装置（ZRD-3）可在16ms内将6kV母线电压恢复到额定值的95%以上，保证了6kV母线上所带的敏感性负荷不受影响，避免了因电压暂降导致的停机、停运和停产事故，维持整个系统安全、可靠、连续运行。

结语

该化工企业电气系统中采用了无损耗深度限流装置和母线电压快速恢复装置，解决了因扩建2台30MW发电机组导致的短路电流严重超标和开关遮断容量不足的问题，还避免了敏感性负荷出现大面积停机、停运和停产事故，具有很高的投资回报率。本优化解决方案为今后电力系统短路超标问题及电压暂降治理提供一种独特的思路，对于企业在节能低碳的前提下解决短路电流超标问题以及避免因电压暂降导致的大范围停运等问题，具有极高的参考价值。