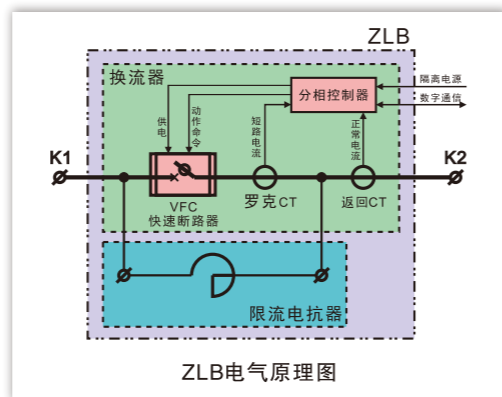


回路简介

如右图所示，ZLB系列零损耗深度限流装置（以下简称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。

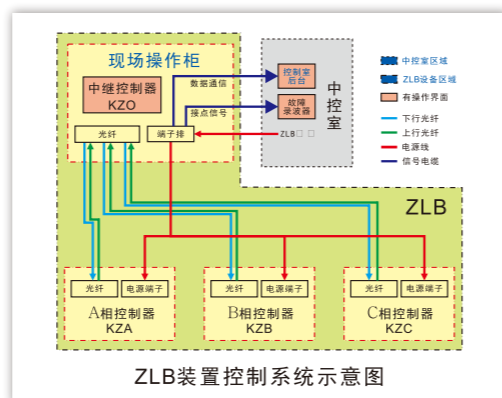
其中“换流器”是以加拿大Max-Swi公司制造的VFC系列“涡流驱动”快速断路器为主要元件的并整合了短路电流快速判断的测控装置的组合电器；“限流电抗器”正常运行时被换流器旁路处于退出状态，损耗为零，仅在短路故障时才投入，故障解除后再自动退出。



控制系统简介

ZLB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。



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，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ZLB启动定值的超标短路电流时，命令VFC及时分闸，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，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ZLB误分之后的自愈保护。

核心元件—VFC“涡流驱动”快速断路器

(1) 总则

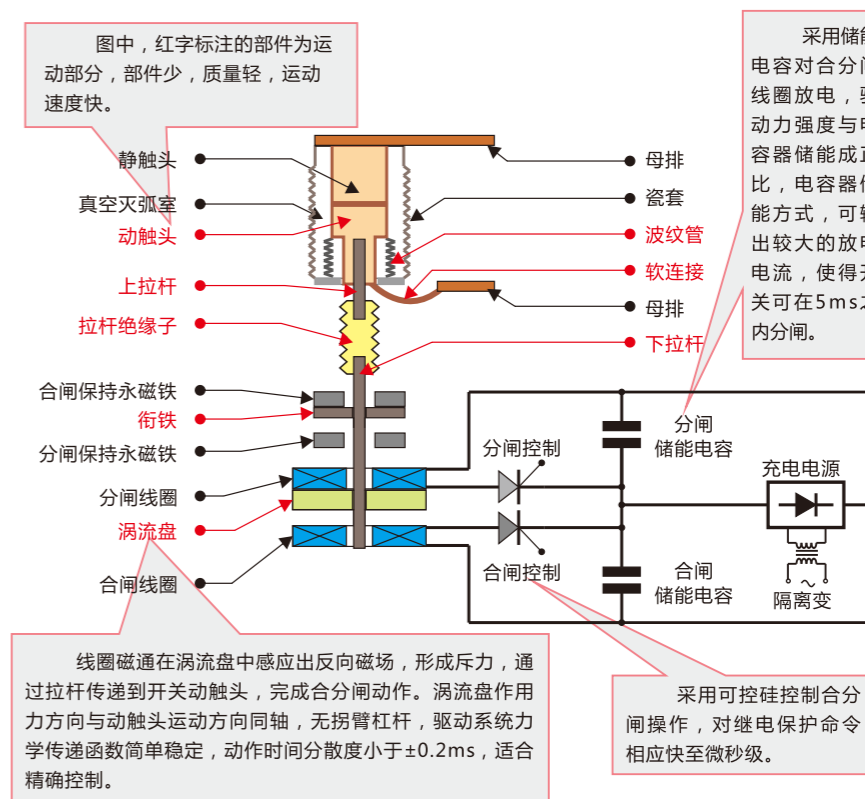
VFC系列“涡流驱动”快速断路器是加拿大Max-Swi公司制造的一种电容器储能、涡流盘驱动、永磁保持、直动式的快速永磁真空断路器，机械分闸时间小于5ms、最大开断电流不小于80kA CO100次；已于2011年通过了西高所“型式试验”和“大电流开断性能试验”。

“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。



VFC快速断路器斥力驱动机构（合闸位）及电路原理示意图

(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、电快速瞬变脉动群抗扰度、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。

(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。

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) 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。

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器等。

a、罗克CT

罗克CT，学名Rogowski线圈（洛氏线圈），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ZLB装置就地操控维护及远程通信数据中转的作用。

“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平与以下因素有关：触头电流过零时刻的开距大小；灭弧室在电流过零前的燃烧量。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。

当断路器弧隙阻抗为无穷大时TRV最大，也即系统固有TRV；当弧隙阻抗减小时，TRV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形电弧的形成，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 10^7 V/mm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。

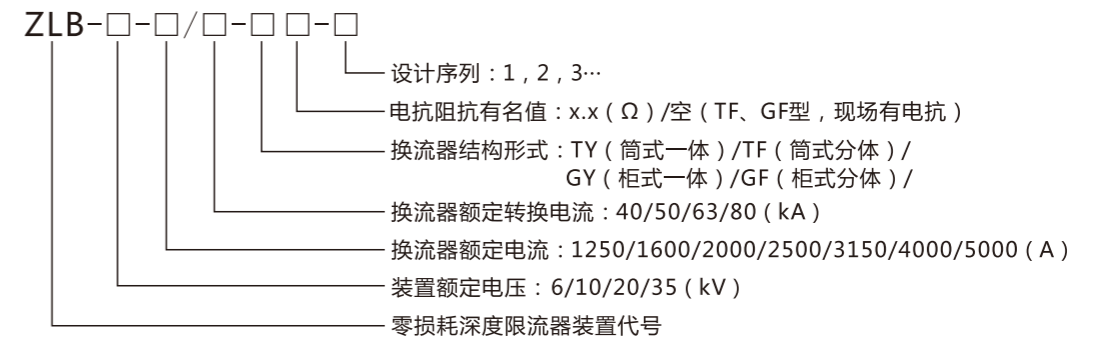
因此，提高触头的刚分速度，并且精确控制零前刚分时刻，可以保证电流过零时的触头开距，刚分速度越高，越有利于绝缘水平的恢复。

c、出厂大电流老练流程

灭弧室老练，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，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，另外就有老练的目的。

型号命名



参数指标


序号	技术特性	单位	参数		
			6	10	35
(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	1250-5000		630-2500
(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°C)	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

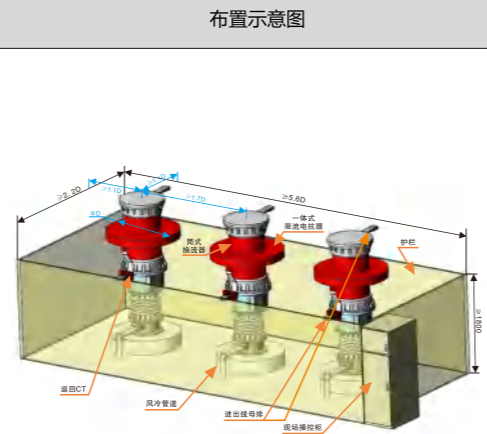
正常使用条件

- 环境温度：-40~50°C，户外（可户内）；
- 日平均相对湿度：≤95%；
- 海拔高度：≤2000m；
- 安装地点：户内、户外；
- 地震烈度：不超过8度；
- 污秽等级：不超过II级；
- 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。

一次接线方案及现场布置示意图

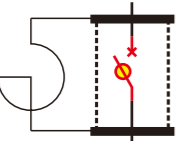
(1) ZLB-TY形式（筒式电抗一体）

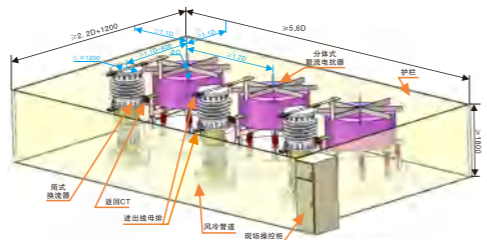
一次接线方案					
符号图		说明			
		换流器结构形式代码	-TY		
		解释	换流器筒与电抗一体		
		电抗器运行方式	仅短时投运		
		适用场所	户内、户外		
		安装要求	需提供基座及二次预埋管道		
备注		/			
主要配置					
元件名称	型号规格	单位	数量	备注	
换流器	筒体	根据实际需要	个	3	/
	柜体	/	面	/	/
	快速断路器	VFC	台	3	单极式，内置于筒体
电抗	电抗	**Q-4s	个	3	短时电抗，与筒体固定为一体
	支撑绝缘子	/	个	/	/
操控	现场操作柜	1600*800*800	面	1	户外时，为箱式柜；户内时，为焊接柜
	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



说明：
D为电抗器最大外径。


(2) ZLB-TF形式（筒式电抗分体）

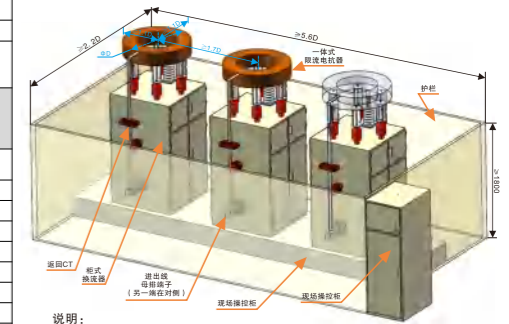
一次接线方案					
符号图		说明			
		换流器结构形式代码	-TF		
		解释	换流器筒与电抗分体		
		电抗器运行方式	可长（长时电抗）/短时投运		
		适用场所	户内、户外		
		安装要求	需提供基座及二次预埋管道		
备注		若电抗器电抗率大于 12% 时，则电抗不必采用长时电抗			
主要配置					
元件名称	型号规格	单位	数量	备注	
换流器	筒体	根据实际需要	个	3	/
	柜体	/	面	/	/
	快速断路器	VFC	台	3	单极式，内置于筒体
电抗	电抗	Uk%	个	3	与筒体分立
	支撑绝缘子	随电抗器	组	3	带隔磁支架
操控	现场操作柜	1600*800*800	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	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



说明：
D为电抗器最大外径。

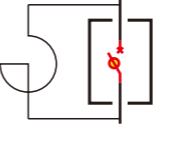
(3) ZLB-GY形式（柜式电抗一体）

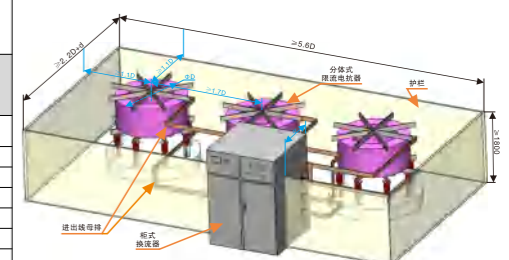
一次接线方案					
符号图		说明			
		换流器结构形式代码	-GY		
		解释	换流器柜与电抗一体		
		电抗器运行方式	仅短时投运		
		适用场所	户内、户外		
		安装要求	需提供基座及二次预埋管道		
备注		/			
主要配置					
元件名称	型号规格	单位	数量	备注	
换流器	筒体	/	个	/	/
	柜体	根据实际要	面	3	户外时，为箱式柜；户内时，为焊接柜
	穿墙绝缘子	根据实际要	个	6	户内时，则更换为穿墙套管
	快速断路器	VFC	台	3	单极式，内置于柜体
电抗	电抗	**Q-4s	个	3	短时电抗，与柜体组装为一体
	支撑绝缘子	根据实际要	个	18	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



说明：
D为电抗器最大外径。

(4) ZLB-GF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	-GY		
		解释	换流器柜与电抗一体		
		电抗器运行方式	仅短时投运		
		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		/			
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



说明：
D为电抗器最大外径。

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。

ZLB装置使用相关问题与解答

1. ZLB是否对原系统继电保护定值产生影响？

不会产生影响。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器的遮断电流的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. ZLB换流器动作后会不会造成不平衡？

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除故障，只有好处，没有坏处。

3. ZLB能否配合线路重合闸？

若重合闸期间，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。

ZLB实物图

