

# 介绍一种小电流接地系统的线路保护装置

许昌继电器研究所 谢世坤

## 一、问题的提出:

在我国小电流接地系统的距离保护装置中都采用  $\frac{U_{\varphi-\phi}}{I_{\varphi} + K3I_0}$ , 所谓  $+30^\circ$  接线的“接地——相间切换方式”的方向阻抗继电器, 用以切除线路的接地(不同地点的接地)及不接地(包括同一地点的两点接地)的各种类型的故障, 其在不同故障时的测量阻抗分别为:

相间短路时:

$$Z_{CL} = \frac{\dot{U}_{\varphi-\phi}}{\dot{I}_{\varphi}} = \frac{2\dot{I}_{\varphi}}{\dot{I}_{\varphi}} Z_1 = 2Z_1,$$

三相短路时:

$$Z_{CL} = \frac{\dot{U}_{\varphi-\phi}}{\dot{I}_{\varphi}} = \frac{\dot{I}_{\varphi-\phi}}{\dot{I}_{\varphi}} Z_1 = \sqrt{3} e^{j30^\circ} Z_1,$$

接地短路时, 为使其获得相同于相间短路时的测量阻抗值, 利用另序电流重动继电器将  $U_{\varphi-\phi}$  切换为  $U_{\varphi}$ , 同时将其变压器变比升高一倍, 从而其测量阻抗为:

$$Z_{CL} = \frac{2\dot{U}_{\varphi}}{\dot{I}_{\varphi} + K3\dot{I}_0} = 2Z_1,$$

以上显见, 其在相间短路和接地短路时的测量阻抗是相同的, 均为  $2Z_1$ 。而三相短路的测量阻抗较相间短路的测量阻抗在数值上减小了  $1 - \frac{\sqrt{3}}{2}$  倍, 在相位上超前了  $30^\circ$ , 故在理论上讲, 三相短路时的测量阻抗恰落在以  $2Z_1$  为直径的阻抗特性圆的园周上, 如图 1, 亦即此种结线的方向阻抗继电器在两相短路和三相短路时的保护范围是相同的。

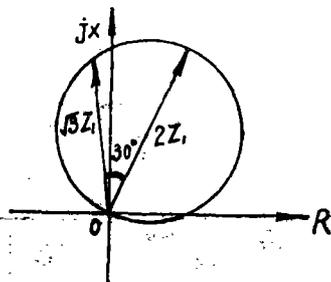


图 1

但是, 应当指出: 上述结论只是当系统频率稳定, 短路时不计及负荷电流的影响, 非突然短路的情况下, 方是成立的。当考虑到以上因素影响时, 按上述接线构成的方向阻抗继电器显然具有下列问题:

1. 当系统频率变化时, 将使三相短路时的保护范围发生较大的伸长或收缩, 众所周知, 具有极化电压的方向阻抗继电器, 在极化电压回路中没有谐振回路, 其

对频率很敏感，当系统频率偏离极化回路的谐振频率时，由于极化电压与工作电压产生了相角差，使得方向阻抗继电器动作特性发生了变化，如图 2：

由图 2 可知，当极化电压与工作电压的相角差发生变化时，其动作特性为以方向阻抗继电器转移阻抗  $Z_b$  为公共弦的一族圆。亦即当线路阻抗角等于继电器的内角时，其两相短路时的保护区是不随频率变化而变化的，而三相短路时的保护区将产生较大的伸长（当系统频率高于极化回路的固有谐振频率时）或收缩（当系统频率低于极化回路的固有谐振频率时）。

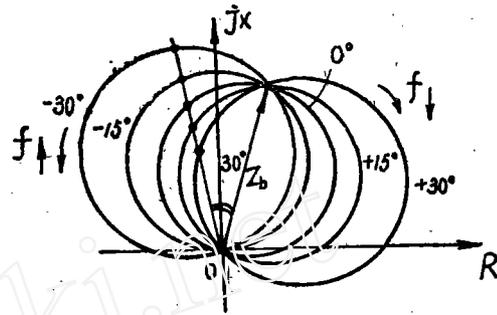


图 2

2. 由于非故障相负荷电流的影响，使得两相短路时的测量阻抗无论是在数值上还是在相位上均偏离方向阻抗继电器的整定阻抗，从而使得两相短路时的保护区发生变化，以 BC 相短路，B 相阻抗继电器为例说明：

短路时 BC 相残压及 B 相电流如下：

$$\begin{aligned} \dot{U}_{BC} &= (\dot{I}_{KB} - \dot{I}_{KC}) Z_1 + (\dot{I}_{HB} - \dot{I}_{HC}) Z_1 \\ &= 2\dot{I}_{KB} Z_1 + 2\dot{I}_{HB} Z_1 - \dot{I}_{HB} Z_1 - \dot{I}_{HC} Z_1 \\ &= 2Z_1 (\dot{I}_{KB} + \dot{I}_{HB}) + \dot{I}_{HA} Z_1 \end{aligned}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{KB} + \dot{I}_{HB}$$

$$Z_P = \frac{\dot{U}_{BC}}{\dot{I}_B} = \frac{2Z_1 (\dot{I}_{KB} + \dot{I}_{HB}) + \dot{I}_{HA} Z_1}{\dot{I}_{KB} + \dot{I}_{HB}}$$

$$= 2Z_1 + \frac{\dot{I}_{HA}}{\dot{I}_{KB} + \dot{I}_{HB}} Z_1$$

式中：  $\dot{I}_{KB}$ 、 $\dot{I}_{KC}$  为短路时的短路电流；

$\dot{I}_{HB}$ 、 $\dot{I}_{HC}$ 、 $\dot{I}_{HA}$  为短路时的负荷电流；

且  $\dot{I}_B = \dot{I}_{KB} + \dot{I}_{HB}$  的数值及相位亦将随方向阻抗继电器不同的安装地点也不尽相同，如图 3 所示。尤其是当故障电流与负荷电流幅值差别较小时，由于负荷电流造成的测量误差将达相当可观的程度。

3. 由于方向阻抗继电器动态特性的影响，在正向三相短路发生的瞬间（即极化电压逐渐衰减的过程中），将使得继电器的保护范围有所伸长，产生超范围动作；

大家知道，在故障的瞬间，由于极化电压的记忆作用，其幅值及相位都不能发生突变；而是由故障前的数值和相位逐渐衰减为故障后的稳态的数值及相位，在整个衰减过

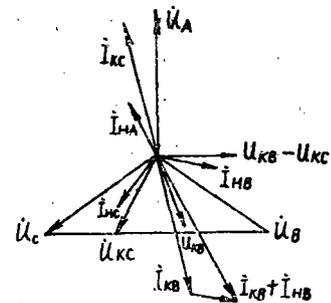
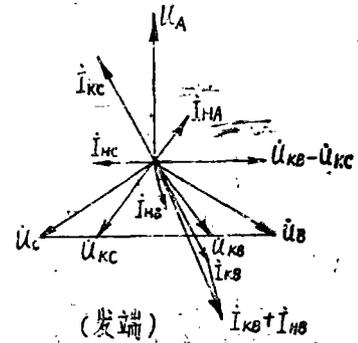


图 3

程中，将使极化电压与工作电压出现逐渐衰减的相角差，使得方向阻抗继电器的动作阻抗特性发生畸变，产生了所谓动态特性，且其动态特性和系统阻抗有关，随着系统阻抗的增大，其动态特性园增大。如图4示。

由图4可看出，其两相短路时的保护范围是不因动态特性的影响而发生变化的，而其正向三相短路时的保护范围却因动态特性的影响而有所伸长。尤其是小电流接地系统其背侧阻抗（即系统阻抗）较大，这种保护区伸长的趋势将会更严重。

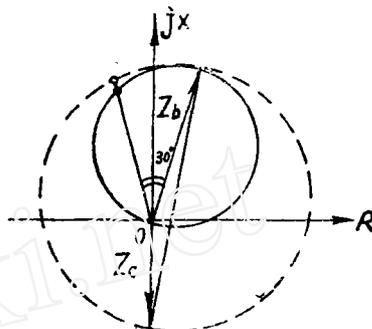


图 4

4.  $\frac{U_{\phi-\phi}}{I_{\phi} + K3I}$  的接线方式由于要同时兼顾接地故障和非接地故障，则需在电压回路进行必要的切换，这样不仅降低了装置的可靠性，而且在相间故障时的不平衡电流较大时也易造成误切换。

鉴于  $\frac{U_{\phi-\phi}}{I_{\phi} + K3I}$  的  $30^\circ$  接线方式存在上述诸问题所以我们在新的小电流接地系统的距离保护原理接线中没有采用之，而是直接采用了东北地区小电流接地系统中有一定运行经验的所谓“假B相”的三相式  $0^\circ$  接线方式。其接线方式如下：

$$\frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{I}_A - (-\dot{I}_A - \dot{I}_C)} ; \quad \frac{\dot{U}_{BC}}{(-\dot{I}_A - \dot{I}_C) - \dot{I}_C} ; \quad \frac{\dot{U}_{CA}}{\dot{I}_C - \dot{I}_A} ;$$

显见，此“假B相”的  $0^\circ$  接线方式在两相短路和三相短路时保护范围是一致的，测量阻抗是正确的。并且这种接线方式尚具有下列特点：

1. 我国小电流接地系统大多为 A、C 两相式电流互感器，采用此“假B相”接线方式就为此种系统装设距离保护而不须再增设 B 相电流互感器提供了方便。

2. 此种“假B相”的接线方式，在单电源幅射线路和同一母线两条线路两不同地点接地故障的多数情况下，基本能满足选择性的要求，也具有保留 B 相的特点，即便是双电源串级线路，由于本保护装置配备有另序电流保护，可以在必要的线路上采用三相电流互感器，引出另序电流，在适当地点实行另序解列，也可保证选择性（关于这方面的详细分析请参阅“继电器”1977年第四期“关于小电流接地的地区电网距离保护的改进意见”）。

## 二、距离保护的组成及原理接线：

### 1. LZ-21型阻抗继电器：

它是整流型，按相灵敏接线方式构成的方向阻抗继电器，全装置共用三个，做为距离保护 I、II 段测量元件。

继电器动作特性在 R、X 坐标上为一过座标原点的园。

如图5示：

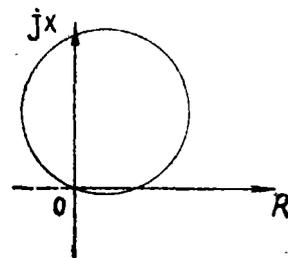


图 5

为保证继电器在线路正向出口短路时可靠动作和反方向出口短路不误动作，继电器设有记忆回路，为提高出口两相短路动作的可靠性而引入了第三相电压。继电器的原理接线如图6示：

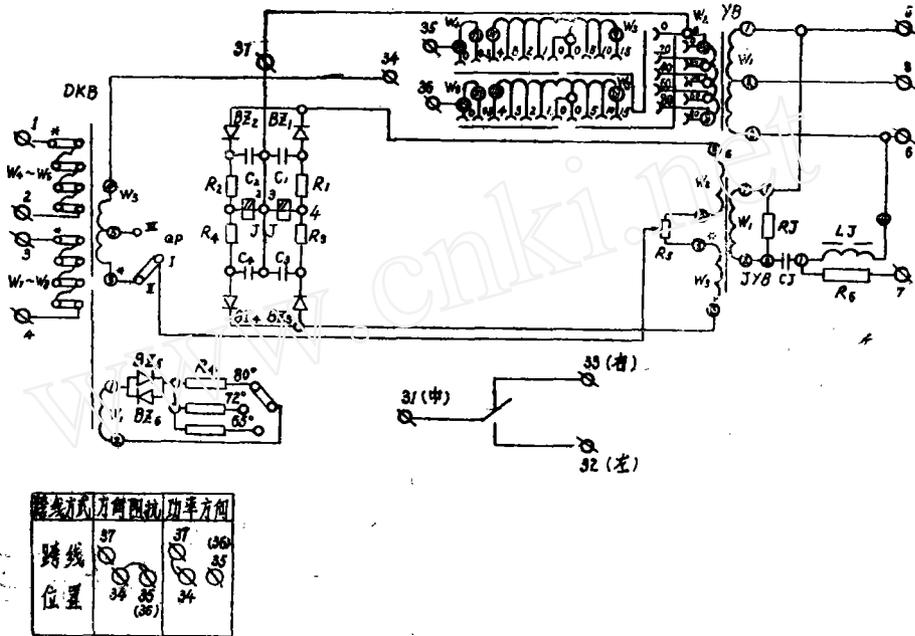


图6 LZ-21阻抗继电器原理接线图

注：跨线接37、34端子为功率方向元件时，必须断开34、35端子及34、36端子间连接。

继电器的动作方程为：

$$|\dot{U}_k - \dot{U}_r + \dot{U}_j| \geq |\dot{U}_k - \dot{U}_r + \dot{U}_j|$$

式中： $\dot{U}_k = K_k \dot{I}_{cl}$  为与短路电流成一定比例关系（并转动一定角度）的电压，由带气隙的电抗变压器DKB取得， $K_k$ 具有阻抗量纲，为电抗变压器的转移阻抗。

$\dot{U}_r = K_r \dot{U}_{cl}$  为与短路残压相位一致，数值上成一定比例关系的被测量电压。

$\dot{U}_j = K_j \dot{U}_c$  称为极化电压，取自电感L和电容C，组成按50Hz谐振回路中电阻R上的压降。

其工作原理有关资料已有详细介绍，此处不再赘述。

## 2. LZ-22型阻抗继电器：

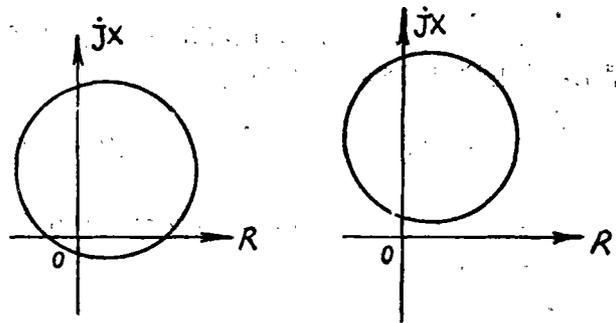


图7

它是整流型按均压接线方式构成的偏移阻抗继电器，全装置共用三个，做为距离保护的Ⅲ段测量元件。

继电器的动作特性在  $R$ 、 $X$  坐标上如图 7 示，改变  $QP$  连接片的位置可使特性向Ⅲ象限偏移或向Ⅰ象限抛球。

继电器的原理接线如图 8 示。

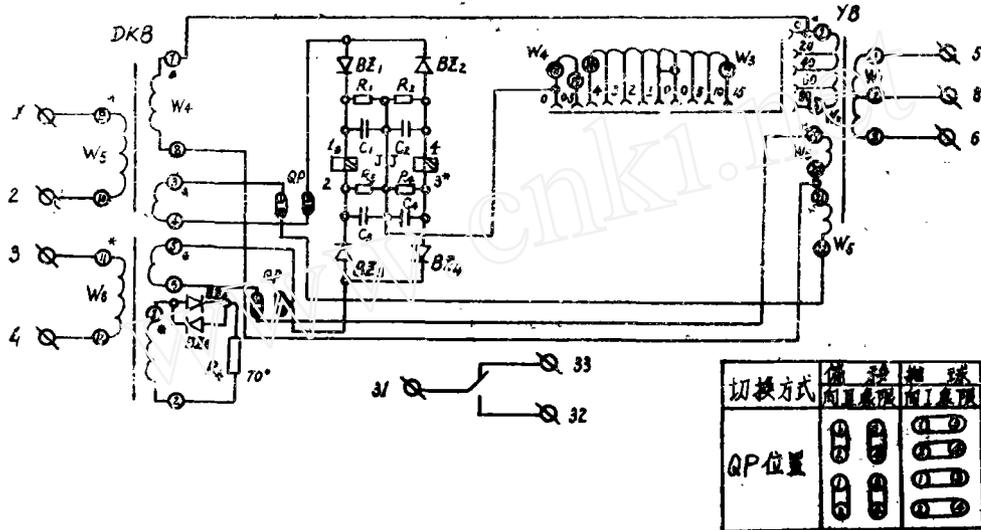


图 8 LZ-22 原理接线图

继电器的动作方程式为：

$$\left| (\dot{U}_{K1} - \dot{U}_Y) + \left[ \frac{\dot{U}_Y}{K'} - (-\dot{U}_{K2}) \right] \right| \geq \left| (\dot{U}_{K1} - \dot{U}_Y) - \left[ \frac{\dot{U}_Y}{K'} - (-\dot{U}_{K2}) \right] \right|$$

上式为向Ⅲ象限偏移。

$$\left| (\dot{U}_{K1} - \dot{U}_Y) + \left( \frac{\dot{U}_Y}{K'} - \dot{U}_{K2} \right) \right| \geq \left| (\dot{U}_{K1} - \dot{U}_Y) - \left( \frac{\dot{U}_Y}{K'} - \dot{U}_{K2} \right) \right|$$

上式为向Ⅰ象限抛球。

式中：

$\dot{U}_{K1} = K_K \dot{I}_L$  是与短路电流成一定比例关系并转一定角度的电压， $K_K$  具有阻抗量纲，为电抗变压器的转移阻抗。

$\frac{\dot{U}_Y}{K'}$  是从  $YB$  次级取出与  $\dot{U}_Y$  成一定比例关系的电压。

$\dot{U}_{K2}$  是从  $DKB$  次级取出与  $\dot{U}_K$  成一定比例关系的电压。

其工作原理从略。

### 3. LFL-3 负序电流增量继电器：

系采用整流原理，反映负序电流在突变过程中的增加量，而不反映稳态的负序电流

量以及负序电流滤过器的不平衡输出，在系统振荡开始的第一个周期内保证可靠不动作，而在三相短路时，只要有瞬间的不平衡输出，继电器即能动作，本保护用它做为振荡闭锁的起动元件。

继电器的原理接线如图 9。

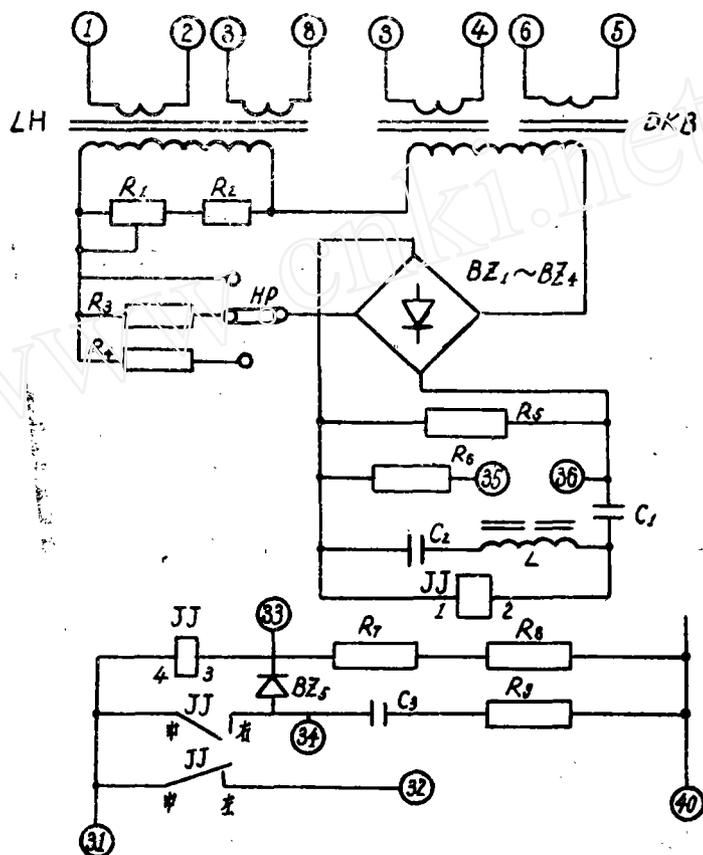


图 9 LFL-3 负序电流增量元件原理接线

#### 4. 组合 I:

由距离保护逻辑回路中 1.2ZZJ, QHJ, QDJ, BZJ 等四个电码继电器及附加电阻、电容等元件组合而成。

QHJ: 为距离保护 I、II 段切换继电器;

1.2ZZJ: 为距离保护 I、II 段阻抗重动继电器;

QDJ: 负序电流增量重动继电器;

BZJ: 振荡闭锁执行继电器;

#### 5. 组合 II:

由距离保护逻辑回路中 3ZZJ, BKJ, GDJ, BSJ 等四个电码继电器, 断线闭锁继电器 DBJ 及附加电阻、电容等组合而成。

**3 ZZJ**: Ⅲ段阻抗重动继电器;  
**BKJ**: 用以控制振荡闭锁开放时间的继电器, 短路后延时复归 $0.12\sim 0.14$  S。  
**GDJ**: Ⅲ段阻抗固定继电器;  
**BSJ**: 距离保护总闭锁继电器;  
**PBJ**: 断线闭锁继电器, 为瞬时动作的电磁型继电器, 由DY-32电压继电器改制。

### 三、逻辑回路的接线原则:

距离保护逻辑回路考虑到大电流接地系统距离保护逻辑回路已为广大运行人员所熟悉, 本保护当亦采用之, 当又考虑到小电流接地系统一些特点, 本保护的逻辑回路中尚增加下述回路:

1. 考虑到在单电源或无振荡问题的线路上, 为简化接线及防止电压回路断线的误动作, 提供了采取过电流闭锁的可能, 将有关跨线引至端子排上, 可由用户自行选择。

2. 设置了当线路一点接地或操作时, 即行快速复归振荡闭锁的快速复归回路, 此回路的工作原理及调试注意事项请见: “小电流接地系统振荡闭锁装置所考虑的问题及调试注意事项”。

按照上述原理构成的距离保护, 又配以两相式电流速断、三相式定限时过电流, 定限时另序电流、三相一次重合闸及其操作回路共同组成了 $P \times H - 02$ 型小电流接地系统线路保护装置。

其原理接线见图10;

### 四、结 构:

$P \times H - 02$ 型线路保护装置考虑到现场运行维护的方便, 全部采用了嵌入式抻拔结构, 六个阻抗继电器、一个负序电流增量继电器, 两个组合元件, 三相一次重合闸元件及逻辑回路中的中间、时间、电流、信号继电器等均散装于屏上, 屏面布置整齐大方, 结构牢固。

其屏面布置图见图11;

### 五、结束语:

由许昌继电器研究所、沈阳电业局、西南电力设计院等单位共同研制的 $P \times H - 02$ 型小电流接地系统线路保护装置, 经过整组试验, 厂内鉴定, 现已由许昌继电器厂正式投入生产, 准备投入系统运行, 积累经验, 不断改进, 以期更好地为电力系统服务。



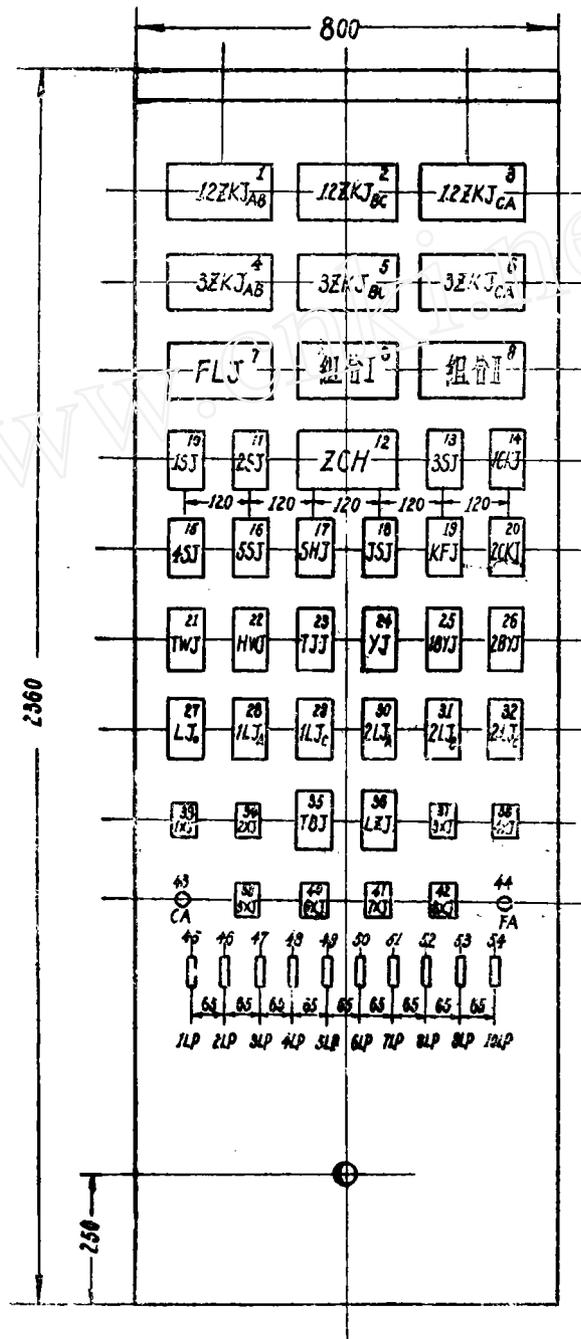


图11 屏面布置图