

煤矿电工手册

MEIKUANG DIANGONG SHOUC

4

煤炭工业出版社

第五章 继电保护与自动装置

第一节 概 述

矿山供电系统的继电保护是保证煤矿安全供电的重要工具。装设继电保护装置应根据矿山电力系统的接线和运行的特点,适当考虑其发展,合理地制定方案,选择设备力求技术先进经济合理。

电力系统中的电力设备和线路应有主保护和后备保护,必要时可增设辅助保护。

主保护——应能快速并有选择地切除被保护区域内的故障。

后备保护——应在主保护或断路器拒绝动作时切除故障。后备保护可分为远后备和近后备两种形式:

远后备——当主保护或断路器拒绝动作时,由相邻设备或线路的保护实现后备。

近后备——当主保护拒绝动作时,由本设备或线路的另一套保护实现后备;当断路器拒绝动作时,由断路器失灵保护实现后备。

辅助保护——当需要加速切除线路故障或消除方向元件的死区时,可采用由电流速断构成的辅助保护。

主保护是在其被保护的整个元件范围内考虑的。

远后备由于是相邻两级之间的后备,因而包含了断路器、操作电源的后备;而近后备则不能,因之近后备尚需考虑断路器和操作电源工作的可靠性而采取措施,这种后备在煤矿继电保护中应用甚少。

一、保护装置的装设原则

一般均需考虑下列因素:

- 1) 当被保护元件发生短路或足以破坏系统正常运行的情况时,保护装置应动作于掉闸;在发生不正常运行时,保护装置应动作于信号。
- 2) 煤矿供电系统一般属于小接地电流系统,根据《煤矿安全生产规程》规定,矿井变电所的高压馈电线上,应装设有选择性的检漏保护装置,以提高矿井供电可靠性。
- 3) 保护装置应以足够小的动作时限去切除故障,保证系统剩余部分仍能可靠运行。
- 4) 动作于掉闸的保护装置一般应保证选择性,在必须加快动作时,应考虑由自动重合闸来补救保护的无选择性动作。
- 5) 满足第三项要求或用作后备保护时,保护装置容许以带时限切除故障。
- 6) 选择保护方式时,不应考虑可能性很小的故障类型和运行方式。为提高其工作可靠性应力求使用最小数量的继电器和触点,并使其接线最简单可靠。
- 7) 保护装置的电压回路断线时如能造成误动作,则应装设防止这种误动作的闭锁装置并发出信号,若不致发生误动作,则容许只装设动作于信号的装置。
- 8) 对表示保护装置动作的必要回路内应装设信号继电器,在运行人员易于分析和统

计保护动作的条件下，应力求装设最少数量的设备。

9) 保护装置除作为被保护元件的主保护外，如有可能还应作为相邻元件的后备保护。

10) 当保护装置因动作原理而不能起相邻元件后备保护作用时，应在所有或部分断路器上装置单独的后备保护。

11) 为了起到相邻元件后备保护作用而使保护装置复杂化，或在技术上不能达到完全的后备作用时，允许缩短后备作用范围。

12) 在实际可能出现的最不利方式和故障类型下，保护装置应对计算点有足够的灵敏系数。保护装置的灵敏系数为：

(1) 对反应电气量上升的保护装置

$$\text{灵敏系数} = \frac{\text{保护范围内发生金属性短路时故障参数计算值}}{\text{保护装置的动作参数}}$$

(2) 对反应电气量下降的保护装置

$$\text{灵敏系数} = \frac{\text{保护装置的动作参数}}{\text{保护范围内发生金属性短路时故障参数计算值}}$$

各种灵敏系数的概略值如下：

(1) 过流或负序过流式保护约为1.25~1.5；

(2) 电流方向保护（带或不带低电压闭锁）的起动元件约为1.25~1.5，对于接在全电流和全电压上的方向元件没有规定；

(3) 阶梯式电流、电压保护（带或不带方向元件）在被保护元件末端短路约为1.25~1.5；

(4) 线路和电力变压器的纵联差动保护装置约为2；

(5) 平衡和横联差动保护装置的起动元件，在故障线路两侧断路器均未断开前，两侧保护装置在相同灵敏点上约为2，当线路一侧断开后，相继动作侧约为1.5，接在全电流和全电压上的方向元件没有规定；

(6) 后备保护的最小灵敏系数约为1.2；

(7) 作为线路辅助保护的无时限电流速断的最小保护范围，在正常运行方式下一般不小于被保护线路的15~20%；

(8) 装在发电机、变压器和电动机上的无时限电流速断，当保护装置安装处发生短路时约为2。

13) 保护装置的灵敏度应该互相配合，从故障点向电源侧方向逐步降低保护装置的灵敏度。

14) 保护装置所用的电流互感器，在保护装置动作前，对最大负载和最大可能整定的故障电流，其误差应小于10%。

15) 复杂保护装置的接线图中应装设试验部件，以便进行试验检查。

二、保护装置的电源

这里所说的电源，包括了保护装置本身各元件的工作电源和相关断路器掉闸的操作电源。由晶体管继电器组成的保护装置对工作电源的要求较严格。一般情况下上述的工作电源与操作电源可以分为直流操作与交流操作两大类。

直流操作包括蓄电池和整流操作电源，后者又可分为复式整流和电容器储能等，均取源于系统中交流电磁元件上。因此曾将这类电源归属于交流操作。所有这些操作电源对保护装置中元件的选择与保护装置接线图构成的影响都是一致的，所以把上述电源均归属于直流操作是合适的。上述各种电源装置将在第六章中详细讨论。

交流操作一般应利用被保护元件的电流互感器作为短路保护装置的交流操作电源。

交流操作继电保护装置的电流互感器既作为保护装置的工作电源也要作为断路器掉闸的操作电源，因此在考核上述电流互感器时一般可分两步：首先在保护装置动作前，电流互感器负担保护装置构成元件的最大负载，在通过最大故障电流的条件下其误差不大于10%；其次在保护装置动作后，加入了掉闸回路的负载，此时在不致使保护装置返回或发生其他误动作的条件下，电流互感器的输出能力应足以使掉闸线圈动作并允许有更大的误差。

三、自动装置

本章只讨论煤矿电力系统常用的自动重合闸和备用电自动投入装置。

自动装置的装设原则应简单可靠，使继电器触点及可动部分的数量最少，接线最简单。在选择自动装置时，应考虑到使用这些自动装置的技术经济效果。

第二节 3~10千伏线路保护

一、保护装设的原则

1. 煤矿3~10千伏系统一般都是小接地电流系统，根据《煤矿安全生产规程》规定，供电系统的中性点是按绝缘方式运行的。因此通常只装设防止相间短路的保护装置和防止单相接地的高压漏电保护装置。大多数情况下，馈电线路均以单侧电源辐射状方式供电，个别虽有环状结构，也可以考虑开环运行。

2. 多相短路保护应按下列原则装设

1) 一般均应装设两段电流保护装置，第一段无时限电流速断装置作为被保护线路的辅助保护，第二段带时限过电流保护装置作为主保护。

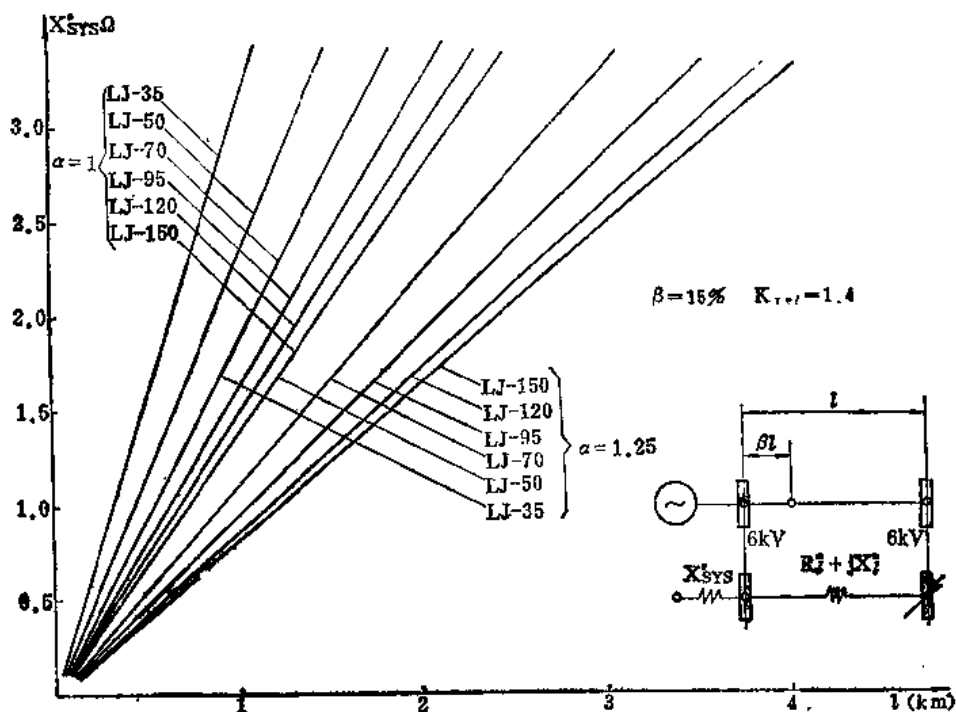
2) 采用两相式接线。在整个系统中继电器皆装设在同名相的两相上（即都装设在相同的两相上，一般为A、C相）。

3) 第一段电流速断装置按煤矿电力系统的特点应有选择的动作，其装设条件是满足最小保护范围的要求。

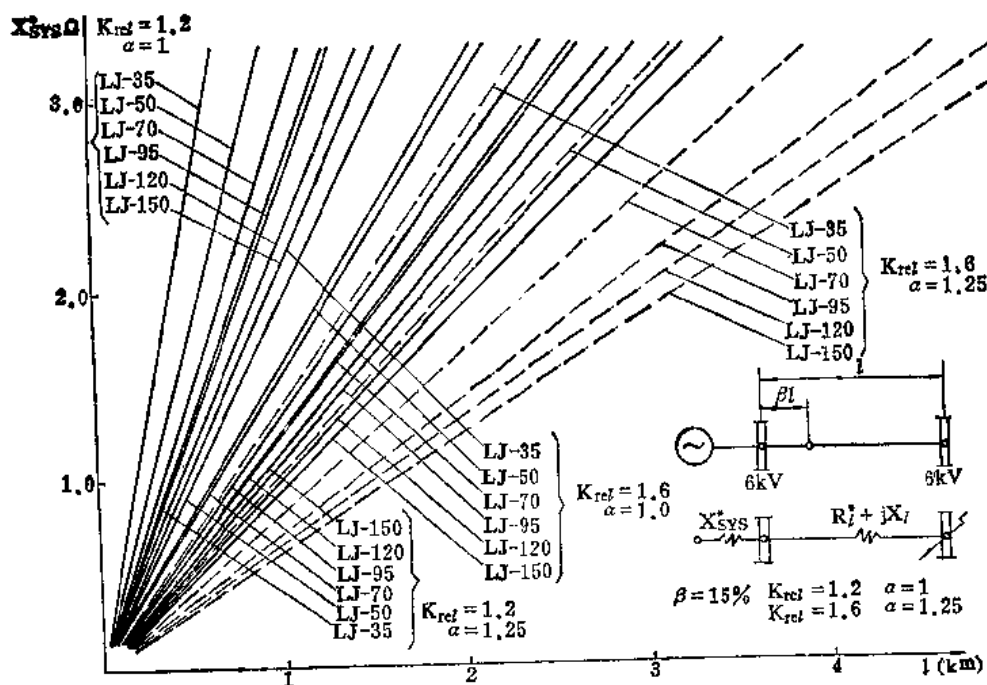
图5-2-1和图5-2-2是满足上述条件下，不同截面导线的架空线路对所在配电母线三相短路综合计算阻抗与被保护线路最小安装长度的关系曲线。图中横座标 l 为6千伏的被保护线路最小安装长度，如被保护线路为3千伏时，则最小安装长度应为 l 座标数值的四分之一。

由图5-2-1和图5-2-2可以看出6千伏架空线路安装长度最多4公里左右，3千伏架空线路安装长度最多约1公里左右均可满足上述要求。

4) 当速断保护不能满足最小保护范围的要求时，且过电流保护的时限不大于0.5~0.7秒则可以不装设电流速断保护，或只装设GL型等反时限继电器构成的过电流保护。

图 5-2-1 6 千伏线路速断保护 $l_{min} = f(x^*_{sys})$ 关系曲线(一)

β —最小保护范围; x^*_{sys} —被保护线路所在母线三相短路综合计算电抗; $\alpha = \frac{x^*_{sysmin}}{x^*_{sysmax}}$ —被保护线路所在母线最小短路计算电抗与最大短路计算电抗之比; K_{rel} —可靠系数当采用直接动作式继电器时为1.6; 当采用GL型继电器时为1.4; 当采用DL型继电器时为1.2

图 5-2-2 6 千伏线路速断保护 $l_{min} = f(x^*_{sys})$ 关系曲线(二)

5) 采用远后备方式。

6) 对母线残余电压有严格要求的矿井变电所(如由发电厂3~10千伏母线直配的矿井变电所等)可采用无时限电流速断保护。其保护范围应能切除足使母线残余电压低于60%额定电压的各种故障。保护装置可无选择地动作。

3. 矿井变电所3~10千伏馈电线上,应装置具有选择性的高压漏电保护装置。

4. 负载较大,总长在一公里以下的重要用户的电缆线路,为了加速切除短路故障可以采用纵联差动电流保护装置;由同一个断路器送电的平行线路则可采用横联差动电流保护装置,此时平行线路中任一回路发生短路将同时从系统中切断。

5. 负载较小的非重要用户可以采用熔断器保护,操作比较频繁的可以装设负荷开关。

二、保护装置接线方式

根据前述原则煤矿3~10千伏线路保护装置接线方式分述如下:

1. 两段过流保护装置接线图

1) 将电流速断继电器接在同名相的两相上,而将过电流继电器则接在相差上,这样虽使过流保护的灵敏系数降低了 $\sqrt{3}$ 倍,但因继电器动作时阻抗降低了三倍使互感器的负载相对降低了 $\sqrt{3}$ 倍,在过流灵敏度足够时对保护装置总的来说是有利的。减少了一个继电器使接线简化,相对提高了可靠性。见图5-2-3。

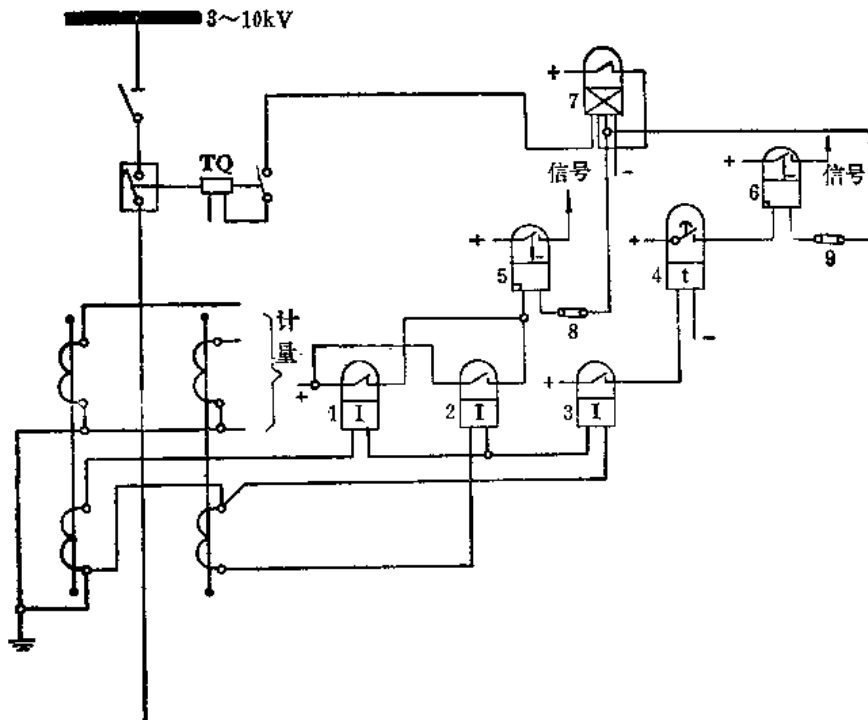


图 5-2-3 3~10千伏线路两段过流保护原理图之(一)

1、2、3—DL-11电流继电器; 4—DS-112时间继电器; 5、6—DX 11信号继电器;
7—DZB 127中间继电器; 8、9—YY₁-D连接片

2) 如果过流保护作为远后备的灵敏度不够,或末端有较大容量的人/△接线电力变压器需送端作为远后备时,则可采用图5-2-4接线方式。图中的过电流保护亦采用了两相式并接在同名相上。

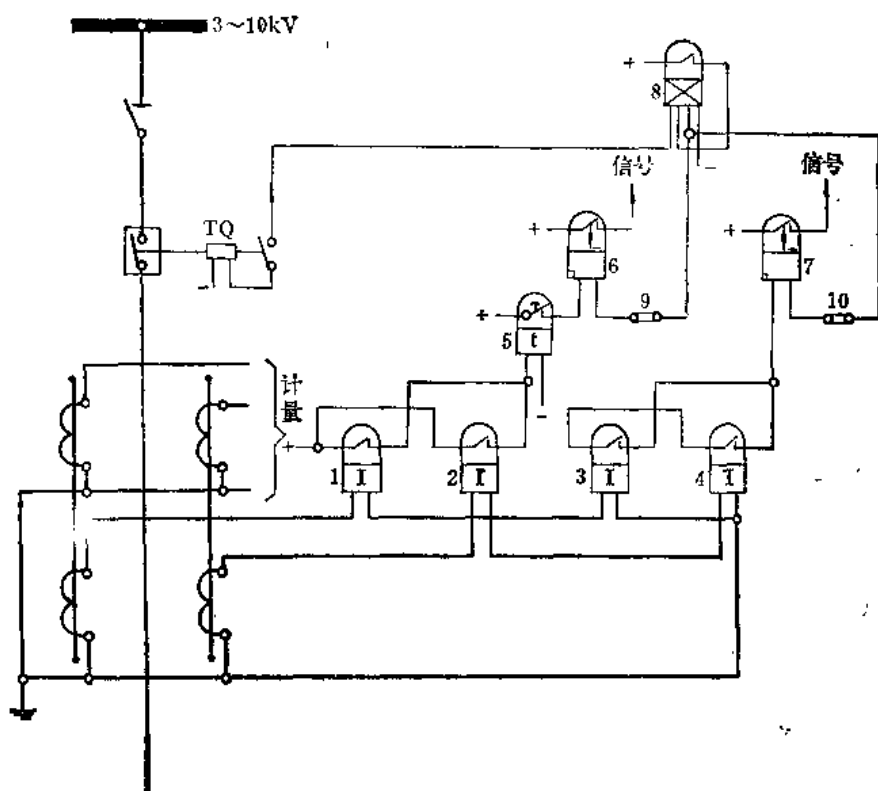
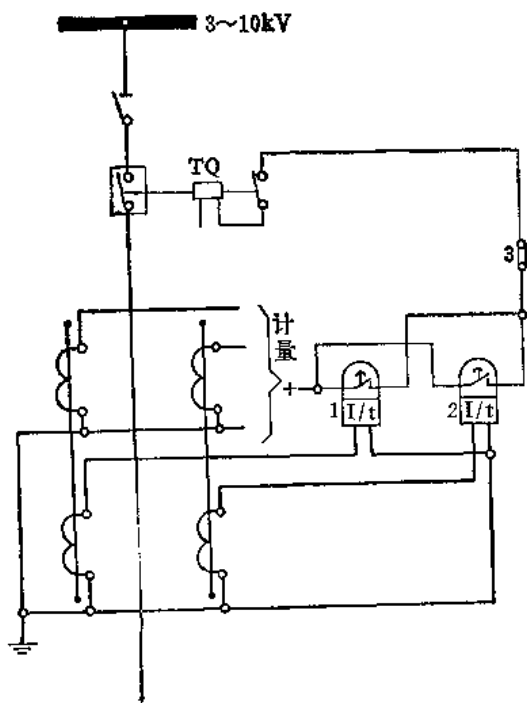


图 5-2-4 3~10千伏线路两段过流保护原理图之(二)

1、2、3、4—DL-11电流继电器；5—DS-112时间继电器；6、7—DX-11信号继电器；
8—DZB-127中间继电器；9、10—YY₁-D单连接片



3) 当电流速断装置不能满足最小保护范围的要求，或母线残余电压有严格要求的3~10千伏线路保护，可采用图5-2-5及图5-2-6的接线方式。

2. 重要用户的短电缆线路，带纵联差动电流保护和横联差动电流保护装置的接线方式见图5-2-7及图5-2-8。图中之过电流保护是作为后备和相邻元件远后备保护而装设的。

分段母线上带电抗器与不带电抗器的下井平行电缆线路可采用图5-2-8所示的带横联差动电流保护的接线方式。

图 5-2-5 由反时限继电器组成的过流保护原理图

1、2—GL-10型电流继电器；3—YY₁-D单连接片

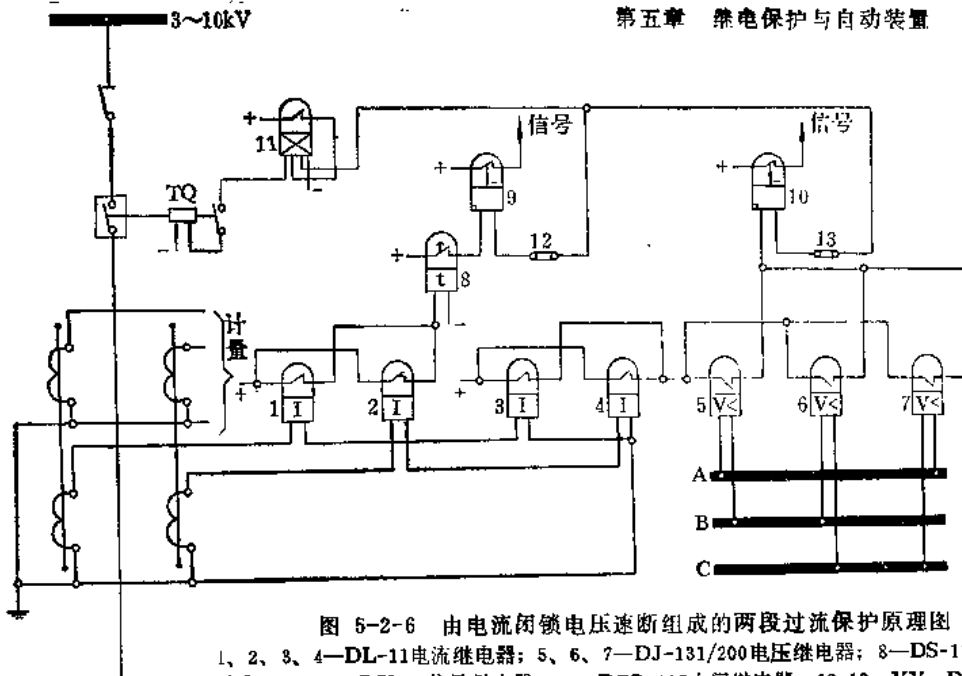


图 5-2-6 由电流闭锁电压速断组成的两段过流保护原理图
1、2、3、4—DL-11电流继电器；5、6、7—DJ-131/200电压继电器；8—DS-112时间继电器；9、10—DX-11信号继电器；11—DZB-127中间继电器；12、13—YY₁-D单连接片

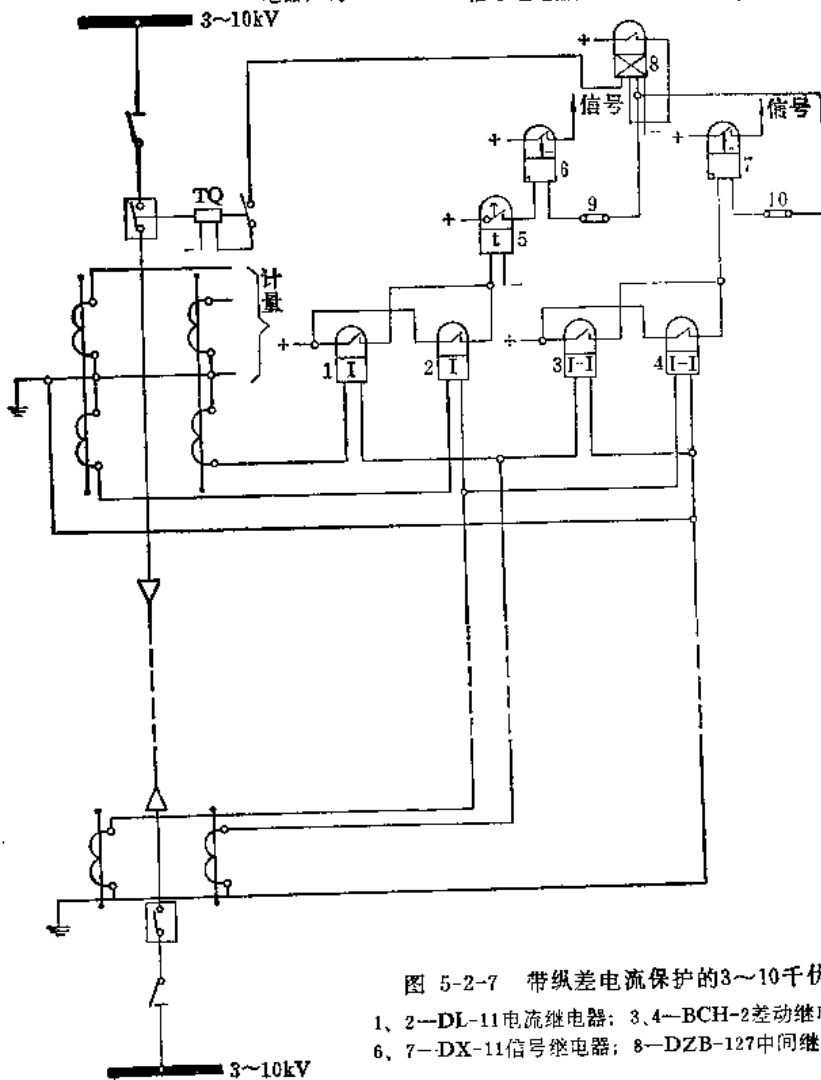


图 5-2-7 带纵差电流保护的3~10千伏短线路两段保护原理图
1、2—DL-11电流继电器；3、4—BCH-2差动继电器；5—DS-112时间继电器；6、7—DX-11信号继电器；8—DZB-127中间继电器；9、10—YY₁-D单连接片

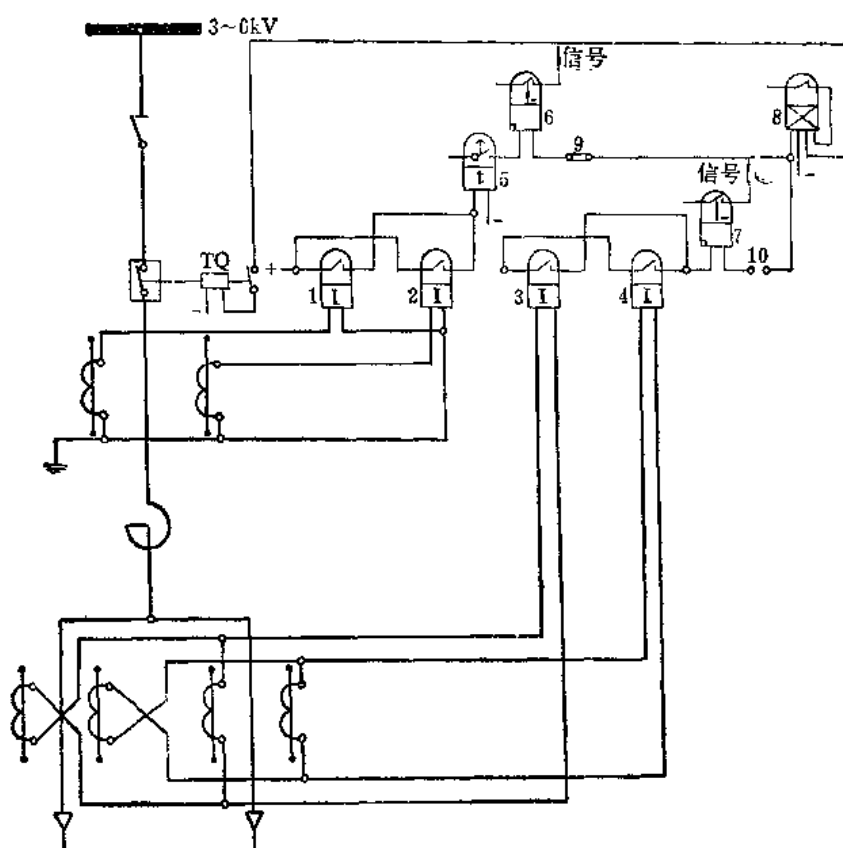


图 5-2-8 带横联差动的平行电缆线路两段保护原理图

1、2、3、4—DL-11电流继电器；5—DS-112时间继电器；6、7—DX-11信号继电器；
8—DZB-127中间继电器；9、10—YY₁-D单连接片

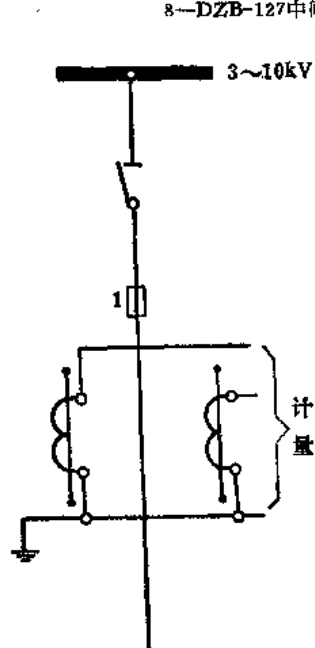


图 5-2-9 由熔断器保护的接线方式
1—高压熔断器

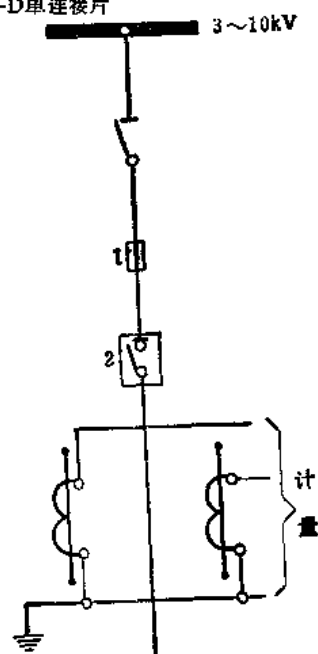


图 5-2-10 带负荷开关的熔断器保护接线方式
1—高压熔断器；2—负荷开关

如果平行两馈电线路均装设了断路器,则应考虑增设能选择切除平行线路中故障线路的横联差动电流方向保护装置,这种保护装置将于第三节讨论。

3. 对小容量的非主要用户采用熔断器保护,接线方式见图5-2-9及图5-2-10。

图5-2-9一般用于所用变压器。

三、保护装置的整定计算

(一) 两段过流保护装置

1. 电流速断保护

1) 动作电流

$$I_{aq} = K_{rel} K_c \frac{I_{K3max}}{K_i} \quad (5-2-1)$$

式中 K_{rel} ——可靠系数;当用DL型时为1.2,用GL型时为1.4;

K_c ——接线系数,均为1;

K_i ——电流互感器变比;

I_{K3max} ——被保护线路末端三相最大短路电流,安。

2) 校验最小保护范围,按15%计算。被保护线路实际安装长度 l 应大于或等于计算最小长度 l_{min} 。满足 $\beta = 15\%$ 计算之最小线路长度 l_{min}

$$l_{min} = \frac{2K_{rel}\alpha - \sqrt{3}}{\sqrt{3} - 2K_{rel}\beta} \times \frac{X_{c,y_{smax}}^*}{Z_1^*} \quad (5-2-2)$$

式中 K_{rel} ——可靠系数,取值同前;

α ——系数,最小与最大运行方式系统计算电抗之比;

$X_{c,y_{smax}}^*$ ——保护装置安装处最大三相短路计算电抗标么值;

$\beta = 15\%$ ——被保护线路允许的最小保护范围;

Z_1^* ——被保护线路每公里阻抗标么值, $Z_1^* = \sqrt{R_1^{*2} + X_1^{*2}}$ 。

2. 过电流保护

1) 动作电流

$$I_{aoc} = K_{rel} K_c \frac{I'_{lm}}{K_{ret} K_i} \quad (5-2-3)$$

式中 K_{rel} ——可靠系数,考虑自启动因素时 $K_{rel} = 2 \sim 3$,不考虑自启动时采用DL型继电器取1.2,采用GL型继电器取1.4;

K_c ——接线系数,当继电器接于相上为1,接于相差为 $\sqrt{3}$;

K_{ret} ——返回系数,取0.85;

K_i ——电流互感器变比;

I'_{lm} ——被保护线路最大计算负荷电流,安。

2) 灵敏系数校验

$$K_m = \frac{I_{K2min}}{I_{aoc} K_i} \geq 1.5 \quad (5-2-4)$$

远后备灵敏系数

$$K_{mi} = \frac{I_{K2\min i}}{I_{aoc} K_i} \geq 1.2 \quad (5-2-5)$$

式中 $I_{K2\min i}$ ——被保护线路末端最小两相短路电流, 安;

$I_{K2\min i}$ ——远后备计算点最小两相短路电流, 安。

3) 过电流保护动作时限

$$t_s = t_{se} + \Delta t \quad (5-2-6)$$

式中 t_s ——保护装置整定的动作时间, 秒;

t_{se} ——末端相邻元件保护整定时间, 秒;

Δt ——时间阶段, 对DL继电器 $\Delta t = 0.5$ 秒, GL继电器 $\Delta t = 0.7$ 秒。

3. 电流闭锁电压速断

1) 电压元件的动作电压

$$u_a = 60\% u_N \quad (5-2-7)$$

式中 u_N ——电压互感器额定线电压为100伏。

2) 电流元件的动作电流

$$I_a = K_{rel} K_c \frac{(1 - 60\%) I_{K3\max s}}{K_i} \quad (5-2-8)$$

式中 K_{rel} ——可靠系数, DL: 取1.2, GL: 取1.4;

K_c ——接线系数, 1;

K_i ——电流互感器变比;

$I_{K3\max s}$ ——被保护线路始端最大三相短路电流, 安。

3) 灵敏系数校验

$$\text{对电压元件} \quad K_m = \frac{u_a}{u_{r\max} K_u} \quad (5-2-9)$$

$$\text{对电流元件} \quad K_m = \frac{I_{K2\min i}}{I_a K_i} \quad (5-2-10)$$

式中 u_a ——电压元件动作值, 伏;

I_a ——电流元件动作值, 安;

$u_{r\max}$ ——被保护线路末端短路时保护装置安装处最大剩余电压, 伏;

$I_{K2\min i}$ ——被保护线路末端最小两相短路电流, 安。

(二) 短线路纵联差动电流保护

1. 纵差动作电流

$$I_a = \frac{K_{rel} I_{0\max}}{K_i} = \frac{K_{rel} (\Delta I + \Delta X + \Delta Z) I_{K3\max s}}{K_i} \quad (5-2-11)$$

式中 K_{rel} ——可靠系数取1.2;

$I_{0\max}$ ——被保护线路穿越性短路时流入保护装置的最大不平衡电流, 安;

$\Delta I = 10\%$ ——电流互感器最大允许误差;

$\Delta X = 5\%$ ——电流互感器的不同型系数;

$\Delta Z = 5\%$ ——计算误差;

$I_{K3\max s}$ ——被保护线路末端最大三相短路电流, 安。

2. 灵敏系数校验 采用BCI-2差流继电器时按下式校验灵敏系数

$$K_m = \frac{I_{K2mins} W_{sd}}{60 K_i} \geq 2 \quad (5-2-12)$$

式中 I_{K2mins} ——被保护线路始端最小两相短路电流, 安;

W_{sd} ——差动继电器整定匝数 = $\frac{60}{I_a}$ 匝;

K_i ——电流互感器变比。

(三) 平行线路横联差动电流保护 见图5-2-8

1. 横差保护动作电流 应躲过穿越性短路时的最大不平衡电流

$$I_{unt} = \frac{K_{rel}}{K_i} (I_{u1} + I_{u2}) \quad (5-2-13)$$

$$I_{u1} = 0.1 K_1 K_2 \frac{I_{K3maxe}}{2}$$

$$I_{u2} = C K_2 I_{K3maxe}$$

式中 K_{rel} ——可靠系数取1.2;

K_i ——电流互感器变比;

I_{u1} ——由电流互感器误差引起的不平衡电流;

I_{u2} ——由两平行线路阻抗不等引起的不平衡电流;

0.1——电流互感器允许最大误差10%;

K_1 ——互感器同型系数, 当互感器型号相同且处于同一情况下, 取0.5, 型号不同时取1;

K_2 ——考虑暂态过程的系数取2;

I_{K3maxe} ——末端最大三相短路电流;

C ——双回线电流差值比例系数;

$$C = \sqrt{\frac{(r_1 - r_2)^2 + (x_1 - x_2)^2}{(r_1 + r_2)^2 + (x_1 + x_2)^2}}$$

r_1 、 x_1 ——甲线路的电阻与电抗;

r_2 、 x_2 ——乙线路的电阻与电抗。

2. 灵敏系数校验

$$K_m = \frac{I_{K2mice}}{I_{unt} K_i} \geq 1.5 \quad (5-2-14)$$

式中 I_{K2mice} ——末端最小两相短路电流。

3. 保护装置死区

$$L_d = L \cdot \frac{K_i I_{unt}}{I_{K3maxs}} \quad (5-2-15)$$

式中 L_d ——死区长度, 米;

L ——被保护线路总长度, 米;

I_{K3maxs} ——始端最大三相短路电流, 安。

四、计 算 实 例

〔例 1〕 6 千伏架空线路两段过流保护

某大型矿井变电所 6 千伏母线供西风井配电线路，两回分列运行，导线 LJ-185 全长 3.75 公里。西风井设 6 千伏配电所，主要负荷有：通风机 1000 千瓦两台，提升机 440 千瓦一台，下井电缆两回以及压风机等地面低压动力照明负荷。最大计算负荷为 $S_m = 4000 + j1920 = 4440 \angle 25.7^\circ$ ，功率因数因设电力电容器补偿为 0.9 左右。每回线的一次接线见图 5-2-11。

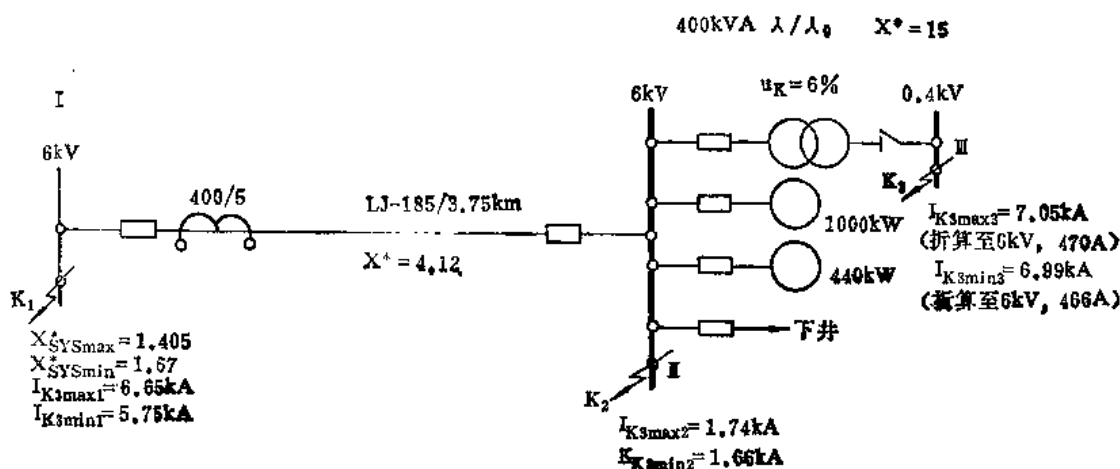


图 5-2-11 一次接线图

系统最大最小运行方式等计算参数均载于图中。保护装置拟采用图 5-2-4 接线方式。

解：1. 电流速断保护

速断保护动作电流按式 (5-2-1) 计算

$$I_{aq} = K_{rel} K_c \frac{I_{K3max2}}{K_t} = 1.2 \times 1 \times \frac{1740}{80} = 26 \text{ 安}$$

采用 DL-11/50 型电流继电器。

各种牌号导线的 6 千伏架空线路的标么值比阻抗 Z_i^* 计算结果载于表 5-2-1。根据图

5-2-11 所载之参数计算， $\alpha = \frac{X_i^* y_{smin}}{X_i^* y_{smax}} = \frac{1.67}{1.405} = 1.118$ ，代入式 (5-2-2)，即可求出在

保护范围 $\beta = 15\%$ 时，不同截面导线的架空线路最小安装长度 l_{min} 并列入表 5-2-1 末项中。

$$l_{min} = \frac{2K_{rel}\alpha - \sqrt{3}}{\sqrt{3} - 2K_{rel}\beta} \times \frac{X_i^* y_{smax}}{Z_i^*} = \frac{2 \times 1.2 \times 1.118 - \sqrt{3}}{\sqrt{3} - 2 \times 1.2 \times 0.15} \times \frac{1.405}{1.1} = 1.032 \text{ 公里}$$

可见被保护线路的实际安装长度大于最小安装长度。被保护线路的保护范围亦可由式 (5-2-2) 推导得

$$l' = \frac{(\sqrt{3} - 2K_{rel}\alpha)X_i^* y_{smax}}{2K_{rel}Z_i^*} + \frac{\sqrt{3}l}{2K_{rel}} = \frac{(\sqrt{3} - 2 \times 1.2 \times 1.118)1.405}{2 \times 1.2 \times 1.1} + \frac{\sqrt{3} \times 3.75}{2 \times 1.2} = 2.33 \text{ 公里}$$

表 5-2-1 各种截面导线6千伏架空线路的标么值比阻抗 Z_l^*

导线牌号	$r \ \Omega/\text{km}$	$x \ \Omega/\text{km}$	$z \ \Omega/\text{km}$	每公里的 Z_l^* 标么值	当 $a=1.118, \beta=15\% K_{ret}=1.2$ 时线路最小安装长度(km)
LJ-35	0.92	0.41	1.01	2.8	0.405
LJ-50	0.64	0.398	0.753	2.09	0.5435
LJ-70	0.46	0.387	0.603	1.67	0.68
LJ-95	0.34	0.378	0.508	1.41	0.806
LJ-120	0.27	0.371	0.458	1.27	0.894
LJ-150	0.21	0.363	0.42	1.17	0.971
LJ-185	0.17	0.356	0.396	1.1	1.032

保护范围占全线路的62.1%。

表5-2-1所列数字可供参考。用不同系统的 α 值,即可由式(5-2-2)很方便的求出不同导线架空线路的 $I_{\min}$ 。

2. 过电流保护

1) 动作电流 由式(5-2-3)中可靠系数因西风井主要负荷为扇风机及提升机等按煤矿安全生产试行规程不考虑自启动因数,故 K_{rel} 取1.2代入得

$$I_{aoc} = K_{rel} K_c \frac{I'_{lm}}{K_{ret} K_1} = 1.2 \times 1 \times \frac{214}{0.85 \times 80} = 3.77 \text{ 安, 取 } 4 \text{ 安}$$

2) 灵敏系数校验 由式(5-2-4)得

$$K_m = \frac{I_{K2\min}}{I_{aoc} K_1} = \frac{0.866 \times 1660}{4 \times 80} = 4.37 > 1.5$$

远后备灵敏系数,按西风井400千伏安6/0.4千伏变压器0.4千伏侧母线最小两相短路校验,由式(5-2-5)得

$$K_{mi} = \frac{I_{K2\min i}}{I_{aoc} K_1} = \frac{0.866 \times 466}{4 \times 80} = 1.25 > 1.2$$

式中 $I_{K2\min i}$ ——归算至6千伏 $I_{K2\min i} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{I_{K3\min i}}{K_u} = 0.866 \times \frac{6990}{6/0.4} = 0.866 \times 466$

3) 时限整定 对定时限之时限阶段 Δt 采用0.5秒,西风井是末端6千伏配电所,动作时间考虑与井下配合采用0.7秒,所以矿井变电所被保护线路动作时限采用 $0.7 + 0.5 = 1.2$ 秒。

〔例2〕同例1矿井变电所的东风井配电线路,共两回 LJ-150,各长4.3公里,总的最大计算负荷为 $920 + j690 = 1140 \angle 37^\circ$ 。双回线供电分列运行,因东风井通风机为1000千瓦两台,一台工作其他低压负荷较小,双回线分段运行实际上是一回线承担全部负荷另一回线几乎是带电备用,所以其最大计算负荷电流

$$I'_{lm} = \frac{1140 \angle 37^\circ}{\sqrt{3} U_N} = 110 \text{ 安}$$

一次接线与系统参数见图5-2-12。保护装置拟采用图5-2-3的接线方式。

解: 1. 速断保护

1) 动作电流, 由式 (5-2-1) 得

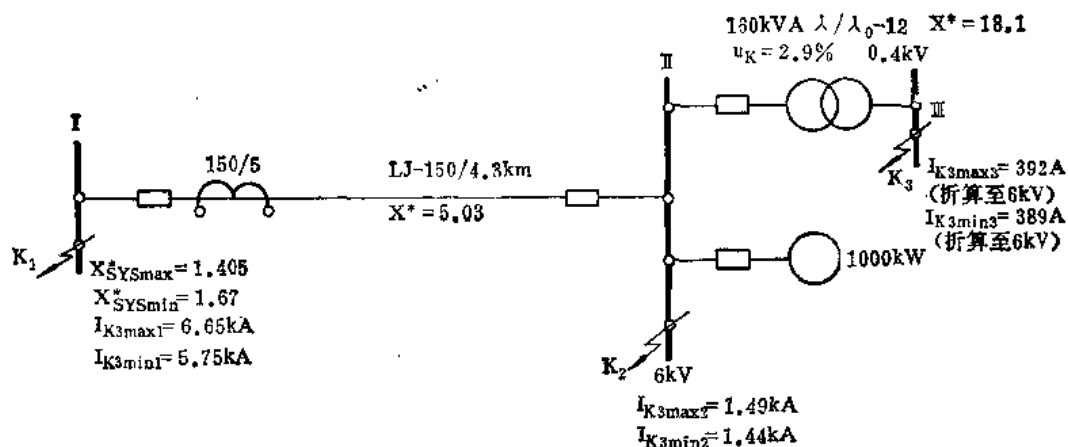


图 5-2-12 一次接线图

$$I_{aq} = K_{rel} K_c \frac{I_{K3max}}{K_1} = 1.2 \times 1 \times \frac{1490}{30} = 59.5, \text{ 取 } 60 \text{ 安}$$

采用 DL-11/100 型电流继电器。

2) 保护范围校验, 由表 5-2-1 可知 LJ-150 导线架空线路在满足最小保护范围 15% 要求时, 其最小安装长度 $l_{min} = 0.971$ 公里, 而被保护线路实际安装长度为 4.3 公里, 故为可以。实际计算保护长度

$$l' = \frac{(\sqrt{3} - 2K_{rel}a)x_{ysmax}^*}{2K_{rel}Z_l} + \frac{\sqrt{3}l}{2K_{rel}} = \frac{(\sqrt{3} - 2 \times 1.2 \times 1.118)1.405}{2 \times 1.2 \times 1.17} + \frac{\sqrt{3} \times 4.3}{2 \times 1.2}$$

$$= 2.627$$

保护范围比为 $2.627/4.3 = 61.1\%$ 。

2. 过流保护 图 5-2-3 过流保护是用一个 DL 型继电器接在相差上。

1) 动作电流, 由式 (5-2-3) 得

$$I_{aoc} = K_{rel} K_c \frac{I'_{lm}}{K_{ret} K} = 1.2 \times \sqrt{3} \times \frac{110}{0.85 \times 30} = 9.08 \text{ 安, 取 } 10 \text{ 安}$$

采用 DL-11/20 型电流继电器。

2) 灵敏系数校验, 由式 (5-2-4) 得

$$K_m = \frac{0.866 \times 1490}{10 \times 30} = 4.3 > 1.5$$

远后备按 180 千伏安变压器二次侧短路, 由式 (5-2-5) 得

$$K_{mi} = \frac{0.866 \times 389}{10 \times 30} = 1.12 < 1.2$$

远后备灵敏度不够, 可采用〔例 1〕所用的图 5-2-4 接线方式, 因其 DL 型继电器均接于相上灵敏度可提高 $\sqrt{3}$ 倍。但此处计算之灵敏系数只稍低于规程规定的数值, 稍缩短远后备保护范围亦应认为可以。

3) 动作时限整定, 同[例 1]。

[例 3] 同前例之矿井变电所电缆线路, $ZQD_{30}-6000/3 \times 120$, 2.1 公里引至井下中央变电所, 中央变电所引至采区变电所的电线路 $ZLQ_{20}-6000/3 \times 95$, 2.8 公里。拟采用图 5-2-5 所示的 GL 型反时限电流继电器构成的保护装置接线方式。一次接线与系统参数见图 5-2-13。

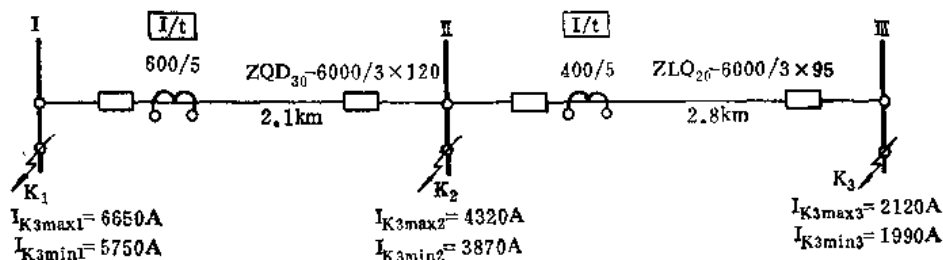


图 5-2-13 一次接线图

解: 1. 保护装置起动电流的整定

1) 安装于变电所 I 处的反时限过流保护动作电流

$$I_{acc I} = K_{rel} K_c \frac{I'_{lm}}{K_{ret} K_j} = 3 \times 1 \times \frac{285}{0.85 \times 120} = 8.35 \text{ 安, 取 } 8 \text{ 安}$$

式中 I'_{lm} 为电缆长期工作的允许电流, 考虑允许的过载因素令 $K_{rel} = 3$ 。

灵敏系数校验, 由式 (5-2-4) 得

$$K_m = \frac{0.866 \times 3870}{8 \times 120} = 3.54 > 1.5$$

远后备灵敏系数, 由式 (5-2-5) 得

$$K_{mI} = \frac{0.866 \times 1990}{8 \times 120} = 1.8 > 1.2$$

速断的动作电流倍数

$$K_q = \frac{K_{rel} I_{K3max2}}{I_{acc I} K_j} = \frac{1.1 \times 4320}{960} = 4.95, \text{ 取 } 5$$

则速断的一次动作电流

$$I_{aq I} = 5 \times 8 \times 120 = 4800 \text{ 安}$$

2) 安装于变电所 II 处的反时限过流保护装置启动电流

$$I_{acc II} = \frac{3 \times 190}{0.85 \times 80} = 8.4 \text{ 安, 取 } 8 \text{ 安}$$

式中 $I'_{lm} = 190$ 安为 $ZLQ_{20}-6000/3 \times 95$ 电缆长期允许电流。

灵敏系数校验, 由式 (5-2-4) 得

$$K_m = \frac{0.866 \times 1990}{8 \times 80} = 3.59 > 1.5$$

速断动作电流倍数

$$K_q = \frac{K_{rel} I_{K3max}}{I_{acc II} K} = \frac{1.1 \times 2120}{8 \times 80} = 3.65, \text{ 取 } 4$$

则速断的一次动作电流

$$I_{aq II} = 4 \times 8 \times 80 = 2560 \text{ 安}$$

2. 时限的整定与配合

I 与 II 变电所均采用反时限过流保护，两者的动作电流与动作时间应完全配合。反时限的时限阶段采用 0.7 秒。

II 处整定 0.7 秒则 I 处整定为 1.4 秒。按反时限延时特性，整定时限为 10 倍动作电流下的动作时限，参照第十三节中 GL 型继电器动作时间特性曲线 I 处与 II 处过流保护动作电流与动作时间列于表 5-2-2，根据表中所列数据绘制动作时间配合曲线图 5-2-14。图中纵座标为继电器的动作时间，横座标为各种故障通过继电器电流（均折算至 6 千伏侧）实际有名值（千安）。可以看出继电器的过流与速断保护在各种过载、短路故障下安装在 I、II 两处的反时限过流、速断保护的動作时限是完全配合的。

表 5-2-2 整定继电器动作电流与动作时间的关系数值

II 处保护装置 $t=f(I)$ ，一次动作电流 640A		I 处保护装置 $t=f(I)$ ，一次动作电流 960A	
继电器通过电流 A	对应左项电流的动作时间 s	继电器通过电流 A	对应左项电流的动作时间 s
$10 \times 640 = 6400$	$t = 0.7$	$10 \times 960 = 9600$	$t = 1.4$
$4 \times 640 = 2560$	$t = 1$	$5 \times 960 = 4800$	$t = 1.8$
$3 \times 640 = 1920$	$t = 1.3$	$4 \times 960 = 3840$	$t = 2$
$2 \times 640 = 1280$	$t = 1.99$	$3 \times 960 = 2880$	$t = 2.35$
640	$t = 5.8$	$2 \times 960 = 1920$	$t = 3.5$
		960	$t = 8$

