

# 矿山电气设备的 继电保护

宏 良 编

煤炭工业出版社

# 目 录

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第一章 高压系统的繼电保护                 | 3   |
| 第一节 地面变电所高压繼电保护               | 3   |
| 一、自一端供电綫路的过电流繼电保护装置           | 3   |
| 二、綫路的自动重合閘                    | 27  |
| 三、电网的过电流方向保护                  | 38  |
| 四、变压器的繼电保护                    | 44  |
| 第二节 井下变电所高压繼电保护               | 65  |
| 一、井下VPB-6, VPB-6/3型高压配电箱的繼电保护 | 65  |
| 二、普通配电箱中的繼电器整定及試驗方法           | 68  |
| 第二章 井下低压系统的繼电保护               | 71  |
| 第一节 低压綫路短路电流的計算               | 71  |
| 一、低压綫路短路电流的計算方法               | 71  |
| 二、低压綫路短路电流的計算                 | 79  |
| 第二节 低压綫路保护装置的选择               | 85  |
| 一、低压綫路保护装置的选择                 | 85  |
| 二、保險絲的选择                      | 91  |
| 第三章 繼电保护装置的試驗                 | 111 |
| 第一节 試驗前的工作                    | 111 |
| 一、試驗用仪表                       | 111 |
| 二、試驗前一般检查及注意事項                | 112 |
| 第二节 各种繼电器的試驗                  | 115 |
| 一、过电流繼电器的試驗                   | 115 |
| 二、过电流保护装置的整組試驗                | 122 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 三、电压繼电器試驗.....       | 125 |
| 四、电压繼电保护装置的整組試驗..... | 130 |
| 五、時間繼电器的試驗.....      | 131 |
| 六、輔助繼电器的試驗.....      | 133 |
| 七、差动繼电器試驗.....       | 135 |
| 八、电流互感器特性試驗.....     | 137 |

# 第一章 高压系统的繼电保护

## 第一节 地面变电所高压繼电保护

### 一、自一端供电线路的过电流繼电保护装置

#### (一) 定时限的过电流保护

自中央变电所（或开关站）到井口变电所（或开关站）一般常用的电压为35、10、6<sup>6</sup>、3<sup>3</sup> 千伏，由中央变电所向井口变电所供电的线路或由井下中央变电所供电的高压线路都是較长的，电力设备也很复杂，因此对线路的保护就有其重要的意义。

1. 时间的定置。在电力网的各段串联的线路上安装时限不等的保护装置，这些时限是逐段上升的，即距电源愈近的保护装置时限愈大，也就是说逐段间的动作时间必须相差一个 $\Delta t$ 秒（约为0.5—0.7秒）。在苏联繼电保护装置书中称 $\Delta t$ 为时限阶段，约为0.5秒，以图1为例说明。

从图1可看出在1, 3, 5 三处有繼电保护的选择性，必须在断路器1, 3, 5 处装設繼电保护装置，如果在1 处发生故障，靠近1 的保护装置应该立即动作（因它是直接保护电动机的），因此它的时限 $t=0$ ；在3 处的保护装置的时限应该大一級， $t=0.5$ 秒；在5 处的保护装置时限比3 处又大一級， $t=1.0$ 秒。

#### 2. 保护装置的动作电流的选择

整定动作电流是非常重要的一项技术，现简要地加以说明(图2)。

线路1上发生的故障为A点。在消除事故后，线路2及3上的负荷电流小些，因发生故障那段负荷已被切断。但当短路被切断的当时，因为有电动机自己起动（因线路上电压由近于零而上升到额定），所以线路2及3上电流可能大一些，在整定动作电流及时限时必须估计这些因素，现举例说明。

假定线路2的正常电流为170安，变电所B所需的负荷电流为100安，线路1的保护装置的时限为0.5秒，而线路2的保护装置时限为1.0到2.0秒；事故发生的瞬时，线路电流上升，经过0.5秒以后，线路1保护装置应当动作（实际上可能在0.8秒后，才切断线路，因开关本身动作时和继电器误差之和有0.3秒）。短路刚切断后，线路2上的电流并非马上就是100安而是电动机的起动电流（假设为250安），0.6秒以后，即电动机起动完后才是100安，因为电动机的起动电流为正常负荷电流的2.5倍，线路正常电流的1.5倍。为了在发生短路时不使线路的保护装置无选择地动作，返回电流应当不仅根据正常电流来选择，还应当考虑电动机自己自动起动时的起动电流。如果F点发生故障，在短路一段被切断后，线路2供电的用户可能不变，这时自动起动的电动机就增多了，其严重性也比上述情况大得多了。

现在以曲线表示(图3)，当线路1上发生短路及用户的电动机继之自动起动时线路2上的电流变化。

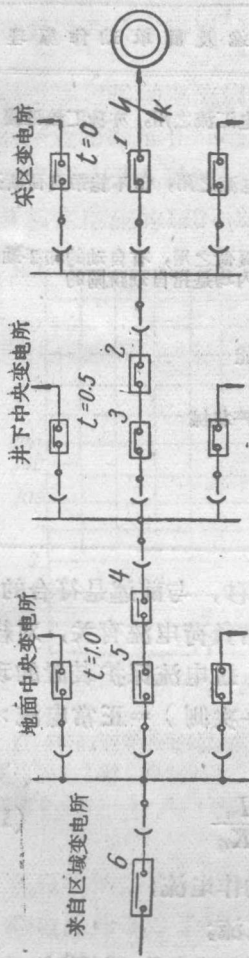


图 1 矿山供电线路示意图

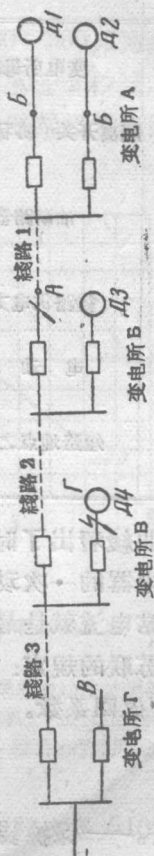


图 2 辐射式线路系统示意图

圖 1 之 圖 例

| 符 号                                                                               | 名 称        | 用 途 及 簡 单 动 作 原 理                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------|
|   | 变电所母綫      | 作供配电汇流之用，亦称汇流母綫                   |
|   | 隔离开关（亦称刀閘） | 作隔离电源之用，但不能帶負荷断开                  |
|   | 油断路器       | 作切断負荷之用，有自动的和手动的，<br>在本書內均是指自动跳閘的 |
|  | 綫路供电方向     | 輸送电能                              |
|   | 电 动 机      | 驅动生产机械                            |
|   | 短路地点之符号    |                                   |

从曲綫看出了时限阶段为0.5秒，与前述是符合的。

繼电器的一次动作电流与正常負荷电流有关，对綫路來說正常电流就是最高負荷电流，过电流保护装置的動作电流按苏联的規定：動作电流（一次側）=正常电流×常备系数/返回系数。

即

$$I_{s.c} = K_H \frac{I_H}{K_G} \quad (1-1)$$

$I_{s.c}$ ——保护装置的一次側動作电流；

$I_H$ ——被保护綫路的額定电流；

$K_G$ ——繼电器的返回系数（約为0.7—0.92）；

$K_H$ ——常备系数（即安全系数）约为1.2。

将系数值代入公式得出  $\frac{I_{3.c}}{I_H} = 120-170\%$ 。发电机油开关用的继电器之起动电流以额定电流之120—200%为范围，变压器按短路标准在25倍电流时，应可承受2秒钟，14倍电流时应可承受5秒钟，因此在选择继电器起动电流时，应选其额定电流的140—200%。

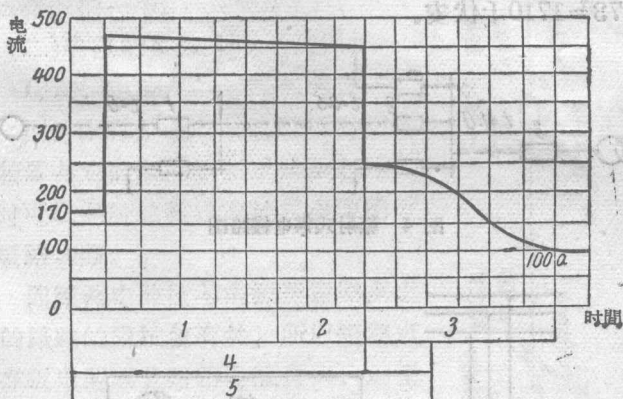


图3 当线路1上发生短路及用户的电动机继之自己起动时，线路2上的电流变化图

1—线路1保护装置的时限0.5秒；2—开关本身动作时间与继电器误差之和（共为0.3秒）；3—用户电动机自己起动时的持续时间0.6秒；4—短路持续时间0.8秒；5—线路2的保护装置置时限1.0秒。

现以实例计算一下：设某线路变压器容量为1000千伏安，线电压为3.3千伏，如图4所示3号保护装置上的，变流比为100倍，则变流器二次侧额定电流  $= 1000 / \sqrt{3} \times$

$3.3 \times 100 = 1.75$  安(一次側为 175 安), 繼电器的动作电流肯定比 1.75 安大。繼电器插头上(以 IT-80 系列繼电器为例)有 2—5 安的及 4—10 安对应的插头位置, 現我們取 3 安, 为 1.75 安的 171%, 这样只有选择 IT-81/2 或 IT-80 型的繼电器其动作电流选择范围为 2—5 安或 2—10 安, 10 倍动作电流时最大时间为 4 秒, 适合于我們的需要。此时, 其起动容量(指一次側)  $= 3 \times 100 \times 3.3 \times \sqrt{3} = 990 \times 1.73 = 1710$  千伏安。

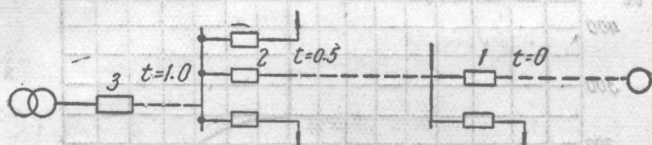


图 4 輻射式供电线路图

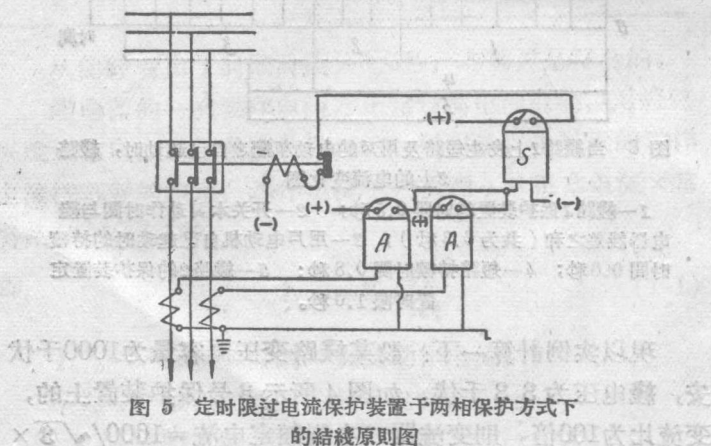


图 5 定时限过电流保护装置于两相保护方式下的結綫原則图

此时应注意的是当线路内有感应电动机在别的线路发生短路时并当它不断开，考虑自动起动时 $K_H$ 约为3—4。

### 3. 接线方法:

图5中之过电流继电器宜于采用瞬时的过电流继电器（可采9T型520系列的）。时间继电器一般采用9B-180, 200型。其产品规格请参考变压器保护一节。

### (二) 有限的反时限过电流保护

#### 1. 动作电流及继电器的选择

反时限保护装置或有限反时限保护装置与定时限保护装置比较起来，有时可以保证比较迅速地将电源附近的短路切断。

因短路电流值与电源至短路点之间的线路的阻抗值有关。所以短路点愈靠近电源则其短路电流愈大；如果保护装置的时限决定于电流时，则当短路电流愈大时，保护装置的动作也应愈快。

图6表示正常工作方式下的负荷电流数值，和事故状态下的短路电流数值，这些短路电流数值不相等的原因是因为短路发生的地点不同所致。



图6 为供电线路保护装置计算所需的正常负荷电流及短路电流

运行中的负荷电流距电源愈远，其数值也愈小，这是因为每一变电所均需把一些电力送往由该变电所供电的一些用户方面去。

同样的短路电流于发生地点距电源愈远时，其数值愈小，这是因为短路地点距电源愈远时，短路回路的阻抗愈大所致。

为了避免因用户的电动机于自己自动起动时产生大电流而影响到保护装置的动作失去选择性，规定保护装置的返回电流较正常负荷电流大20%，因此，如IT-80型继电器的返回系数为0.85，则可求得保护装置的一次侧动作电流如下：

$$\text{在线路1上, } I_{s.c.} = \frac{85}{0.85} \times 1.2 = 120 \text{ 安培。}$$

$$\text{在线路2上, } I_{s.c.} = \frac{170}{0.85} \times 1.2 = 240 \text{ 安培。}$$

$$\text{在线路3上, } I_{s.c.} = \frac{340}{0.85} \times 1.2 = 480 \text{ 安培。}$$

电压在35千伏以下，断路器具有手动操作装置的电气装置，通常采用由交流操作回路供电的有限反时限的继电器，较广泛的采用IT式的感应继电器。下面把IT式继电器的技术数据列出。

#### IT-80型系列

动作电流2—10安，动作时间延时及瞬时，返回系数0.85以上，接触点有常开及常闭。

ИТ-80型系列的繼电器数据 表 1

| 型 号     | 額定电流 | 动作电流选定范围 | 10倍动作电流最大時間 |
|---------|------|----------|-------------|
|         | 安    | 安        | 秒           |
| ИТ-81/1 | 10   | 4—10     | 4           |
| ИТ-81/2 | 5    | 2—5      | 4           |
| ИТ-82/1 | 10   | 4—10     | 16          |
| ИТ-82/2 | 5    | 2—5      | 16          |

各单位可根据实际的最大負荷电流及原有的变流器的变流比来选择使用。

## 2. 时限特性的选择

从距电源最远的一点开始，即从綫路 1（如图 6）开始。当变电所 4 处的某一用戶側发生短路时，綫路 1 的保护装置时限应較用戶的保护装置时限大一阶段。茲假定时限阶差为 0.5 秒，且用戶的保护装置为瞬时动作的保护装置，因此当短路发生在 B 点时，綫路 1 的保护装置动作时限应为 0.5 秒。这样的—个时限，适合于与用戶側所发生的短路电流相等的电流，也就是当短路电流为 360 安时，在綫路 1 的保护装置时限定为 0.5 秒后，我們才可能保証这一保护装置动作的选择性，因为較小的时限只能当短路电流大于 360 安培时才能发生，而大于 360 安培的短路电流的产生，仅当綫路 1 的本身发生短路时（靠近电源）才有可能。为了求得 ИТ-81 型繼电器时限杠杆所必須的位置，需求出短路电流与动作电流比較的倍数：

$$\frac{360}{120} = 3.$$

如今只需要根据适合于时限为 0.5 秒及电流为继电器动作电流三倍的条件来选择时限杠杆的位置。

根据上述情况对线路 1 的保护装置所选出的时限特性曲线示于图 7。

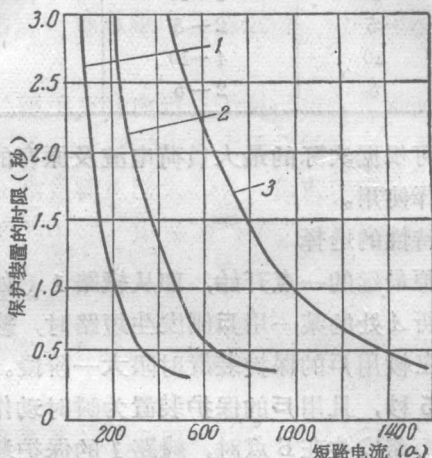


图 7 用 NT-81 型继电器保护线路 1, 2, 3, 但不使其担任高速度断流装置作用时的时限特性曲线

曲线 1 的终端为 540 安，因为比比较大的电流仅可能发生在线路 1 以前，例如在线路 2 上（靠近电源侧），但线路 2 上所产生的短路在线路 1 上已不需要考虑。

为了保证线路 2 保护装置的動作选择性，必须使保护装置的时限较变电所 B 侧保护装置的最大时限大一时限阶段，即大 0.5 秒。在所举例中，变电所 B 侧共有两个用户，保护装置时限最大的用户是线路 1。线路 2 的保护装置时限应较线路 1 上产生最大短路电流时的时限大一时限阶

段。綫路1的最大短路电流为540安时其保护装置时限为0.35秒(图7),所以綫路2的保护装置时限应为

$$0.35 + 0.5 = 0.85 \text{秒}。$$

为了求得时限杠杆所必須的位置,需求知540安的电  
流与綫路2的保护装置动作电流相比較的倍数。

$$\frac{540}{240} = 2.25。$$

現在需要用实验方法来选择适合于时限为0.85秒及电  
流为动作电流的2.25倍的时限杠杆位置。合于这种条件的  
保护装置时限特性,对于綫路2講来是图7当中所示的曲  
綫2。这一曲綫的終端电流为1100安培,因为更大的电流  
只能当短路发生在綫路2以前(靠近电源側)才有可能,  
当然那种电流是不經過綫路2的。

同样可以对于綫路3选出其保护装置的时限性,这一  
特性为图7中的曲綫3。

研究了图7中所选定的保护装置特性曲綫以后,我們  
就可以看到不論在任何一点发生短路时,均能保証保护装  
置的选择性,因为串联的各段綫路的保护装置时限之間有  
一个时限阶段存在,这时限阶段在算例中为0.5秒。当任  
何一点发生短路时,該綫路的保护装置的时限不超过0.85  
秒,而如果短路发生在任何綫路首端附近时,則該綫路保  
护装置的时限約为0.35秒。如对綫路3來說其此时的时限  
要比用定时限的保护装置的时限至少要减少到四分之一。

有限反时限保护装置的时限及选择性条件与短路电流

大小有很大关系，这一点也就是这种保护装置的缺点。

例如，当短路电流计算值大于实际的数值则保护装置可能在很大的时限下动作。如线路3上发生短路时，由于电弧的影响，短路电流可能不是1100—1600安培而仅是700安培，则从曲线3上得知其时限此时为1.8秒，也就是说，较定时限保护装置动作慢（按定时限线路3的保护装置时限约为1.5秒）。

如果实际短路电流较计算的数值大时，则可能造成保护装置动作无选择性。例如线路1上发生短路，其实际短路电流较计算值大30%时，也就是说不是540安培而是700安培，则线路1及2间的保护装置时限阶段将降低0.18秒（参考曲线）。这样的时限阶段就可能不足以达到保护装置的动作选择性。

由于IT型继电器具有有限反时限的特性，即当实际短路电流与计算规定短路电流相差不太大时，它的动作与这差别有关，其时限跟随电流的增长而减少，如果相差很大，超过一定的界限时，它的动作就是瞬时性的了。因此目前仍广泛采用。

### （三）高速度断流装置

#### 1. 高速度断流装置的作用范围

高速度断流装置继电器是高速度瞬间过电流保护装置，其选择性借选择适当的动作电流来得到保证。

前已指出，短路电流的大小与故障地点有关。故障点距电源愈远时，其短路电流愈小。例如图6中当短路发生在变电所B母线的附近时，通过的短路电流为1100安培。

显然，只有当短路发生在靠近电源时（即在变电所B以前时），才可能有比1100安大的短路电流。所以，在綫路3上可以装設动作电流大于1100安培的瞬时繼电保护装置。如果綫路3发生短路时，这一保护装置（高速度断流装置）将瞬时动作。然而，保护装置的选择性不受影响，因为下一段上发生短路时，例如綫路2上，短路电流（1100安或小于此值）将小于綫路3的高速度断流装置的动作电流。

在綫路2上可以装設动作电流大于540安的高速度断流装置，因为在綫路2上大于540安的短路电流仅当該綫路本身上有故障时才能产生。

由于变电所母綫的电阻很小，当被保护的綫路終端产生短路，或下一段綫路的首端产生短路时，两电流数值实际相等。在所举例中，綫路3終端发生短路时所得的电流（1100安）将与綫路2首端发生短路所得电流相同。

为了避免高速度断流装置产生无选择的动作可能，其动作电流用被保护的綫路終端的短路电流乘以大于1的可靠系数的方法来求得。

茲假定可靠系数为1.4，求出保护图6所示电力網的高速度断流装置的动作电流如下：

綫路1的高速度断流装置动作电流为

$$360 \times 1.4 = 505 \text{ 安。}$$

綫路2的高速度断流装置动作电流为

$$540 \times 1.4 = 760 \text{ 安。}$$

綫路3的高速度断流装置动作电流为

1100 × 1.4 = 1550 安。

按照这种方法选得的高速度断流装置的动作电流，保证了保护装置的选择性，但它们相对的較綫路終端所产生的短路电流大。所以高速度断流装置对于被保护的綫路的終端，并不起反应作用，也就是不保护整个綫路而是保护部分綫路，也就是有保护范围的。

綫路的某一段能借高速度断流装置的作用使短路断路者，称为高速度断流装置的作用范围（或称保护范围）。

高速度断流装置的作用范围，首先决定于計算动作电流时所规定的可靠系数、綫路长度及发生短路时綫路首端終端所得的电流之間的关系。

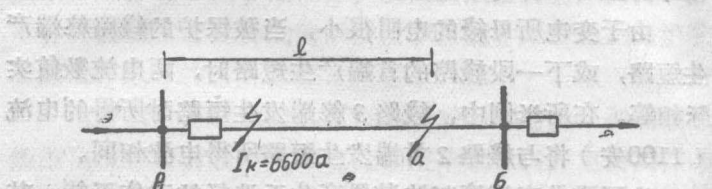


图 8 輻射式电力網中的单回路綫路图

茲将图 8 所示綫路保护装置举例說明之。該綫路为輻射式电力網中的綫路，电源位于一端（变电所 A 側）。綫路两端分别接于变电所 A 及 B 上。

此綫路长度为 25 公里，为测定短路电流，制出曲綫（图 9），图的横座标上为供电变电所 A 与短路点之間的距离  $l$ ，縱座标上为  $a$  点发生短路时的短路电流。

利用此曲綫，求得了綫路首端产生短路（距离为零时）时的短路电流为 6600 安。如短路在变电所 B 母綫附近（在