

# 复杂一次主接线备自投的简化与逻辑代数证明

许志龙，汤大海

(镇江供电公司，江苏 镇江 212001)

**摘 要：**以双电源供电的五角形接线备自投和双电源供电的扩大内桥接线备自投为例，阐述了多达 10 多种运行方式的复杂一次主接线备自投可以简化为 2 个或 2 个以上的简单一次主接线备自投组成。用逻辑代数分别证明了由 2 个的简单一次主接线备自投组合成的“五角形接线备自投”或“扩大内桥接线备自投”的运行方式是与之对应的备自投“穷举”的运行方式是一致的，从而证实了这样的简化与处理方法是正确的。该逻辑代数证明方法也可推广到其他复杂一次主接线备自投的简化证明中去。

**关键词：**复杂一次主接线；简化；备自投；运行方式；逻辑代数；证明

## 0 引言

电网中有许多复杂的一次主接线，与之相适应的备用电源自动投入装置<sup>[6~8]</sup>（简称备自投）运行方式非常多，一般多达 10 多种，不容易记忆；用“穷举法”构成的复杂接线备自投逻辑也非常复杂。实践经验证明复杂一次主接线可以简化为 2 个或 2 个以上的简单一次主接线，其备自投也可由 2 个或 2 个以上的简单一次主接线备自投组成<sup>[1~2]</sup>。双电源供电的五角形一次接线方式和双电源供电的扩大内桥一次接线均属于复杂一次主接线，文献[1]、[2]论述了上述复杂一次主接线备自投分别可以简化成由 2 个简单一次主接线的备自投组成，而组合成的备自投运行方式是否与“穷举”的运行方式一致，文

献[1]、[2]只是简单的说明了一下，但没有给出令人信服的数学证明方法。本文将以前述双电源供电的五角形一次接线方式备自投<sup>[1]</sup>和双电源供电的扩大内桥一次接线备自投<sup>[2~3]</sup>为例，阐述这 2 种复杂一次主接线及其备自投的简化，并用逻辑代数的演算证明简化了 2 个的备自投逻辑构成的复杂一次主接线备自投逻辑的正确性。

## 1 五角形接线备自投的简化及其数学证明

### 1.1 五角形接线备自投的运行方式

五角形接线的一次主接线图见图 1。

文献[1]分析，五角形接线备自投按“穷举法”可列举出 18 种运行方式，具体见表 1。

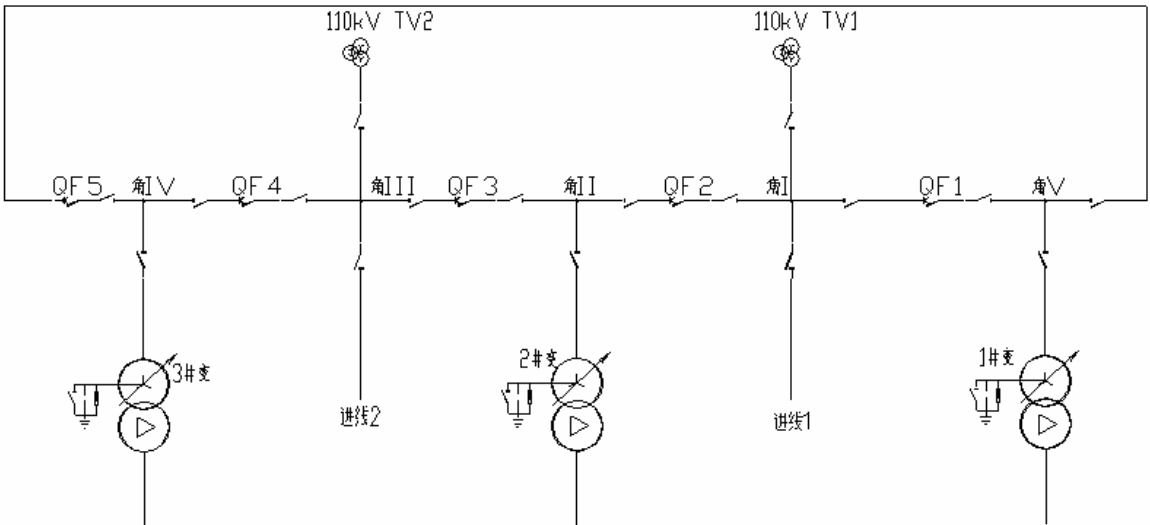


图 1 某变电所 110kV 部分五角形一次系统图

表 1 五角形接线备自投可能的运行方式

方式	运行断路器	热备用断路器	备投断路器	动作过程
1	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub>	当进线 1 失去电源时，跳QF <sub>1</sub> 和QF <sub>2</sub> ，投QF <sub>4</sub> 和QF <sub>3</sub>
2	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>3</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub>	当进线 1 失去电源时，跳QF <sub>1</sub> ，投QF <sub>4</sub> ；当进线 2 失去电源时，跳QF <sub>3</sub> ，投QF <sub>2</sub>
3	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>5</sub>	当进线 1 失去电源时，跳QF <sub>1</sub> ，投QF <sub>5</sub> 上；当进线 2 失去电源时，跳QF <sub>3</sub> 和QF <sub>4</sub> ，投QF <sub>2</sub> 、QF <sub>5</sub>
4	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>3</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>3</sub> 、QF <sub>5</sub>	当进线 1 失去电源时，跳QF <sub>1</sub> 和QF <sub>2</sub> ，投QF <sub>3</sub> 和QF <sub>5</sub> ；当进线 2 失去电源时，跳QF <sub>4</sub> ，投QF <sub>5</sub>
5	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>4</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>3</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>3</sub>	当进线 1 失去电源时，跳QF <sub>2</sub> 断路器，投QF <sub>3</sub> ；当进线 2 失去电源时，跳QF <sub>4</sub> ，投QF <sub>1</sub>
6	QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub>	当进线 2 失去电源时，跳QF <sub>3</sub> 和QF <sub>4</sub> ，投QF <sub>1</sub> 和QF <sub>2</sub>
7	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub>	QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub> 、QF <sub>5</sub>	当进线 1 失去电源时，跳QF <sub>1</sub> 和QF <sub>2</sub> ，投QF <sub>4</sub> 、QF <sub>5</sub> 和QF <sub>3</sub>
8	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>3</sub>	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>4</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>4</sub> 、QF <sub>5</sub>	当进线 1 失去电源时，跳QF <sub>1</sub> ，投QF <sub>4</sub> 、QF <sub>5</sub> ；当进线 2 失去电源时，跳QF <sub>3</sub> ，投QF <sub>2</sub>
9	QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub> 、QF <sub>5</sub>	当进线 2 失去电源时，跳QF <sub>3</sub> 和QF <sub>4</sub> ，投QF <sub>2</sub> 和QF <sub>1</sub> 、QF <sub>5</sub>
10	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>3</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>3</sub> 、QF <sub>5</sub>	当进线 1 失去电源时，跳QF <sub>2</sub> ，投QF <sub>3</sub> ；当进线 2 失去电源时，跳QF <sub>4</sub> ，投QF <sub>1</sub> 、QF <sub>5</sub>
11	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>4</sub>	当进线 1 失去电源时，跳QF <sub>1</sub> ，投QF <sub>4</sub>
12	QF <sub>4</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub>	QF <sub>1</sub>	当进线 2 失去电源时，跳QF <sub>4</sub> ，投QF <sub>1</sub>
13	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>5</sub>	当进线 1 失去电源时，跳QF <sub>1</sub> ，投上QF <sub>5</sub> ；当进线 2 失去电源时，跳QF <sub>4</sub> ，投QF <sub>5</sub>
14	QF <sub>1</sub>	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>4</sub> 、QF <sub>5</sub>	当进线 1 失去电源时，跳QF <sub>1</sub> ，投QF <sub>4</sub> 、QF <sub>5</sub>
15	QF <sub>2</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>3</sub>	当进线 1 失去电源时，跳QF <sub>2</sub> ，投QF <sub>3</sub>
16	QF <sub>3</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub> 、QF <sub>4</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>2</sub>	当进线 2 失去电源时，跳QF <sub>3</sub> ，投QF <sub>2</sub>
17	QF <sub>4</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub> 、QF <sub>5</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>5</sub>	当进线 2 失去电源时，跳QF <sub>4</sub> ，投QF <sub>1</sub> 、QF <sub>5</sub>

注：无论变电所 1 号、2 号、3 号主变为运行还是停用，但相应的备自投装置不运行，即为停用方式

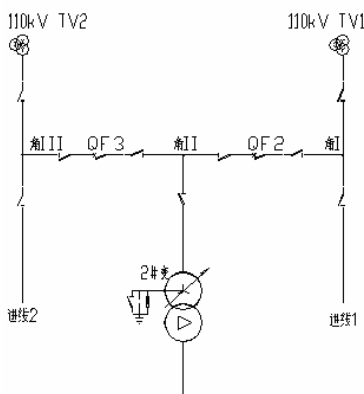


图 2 双电源单母线一次系统图

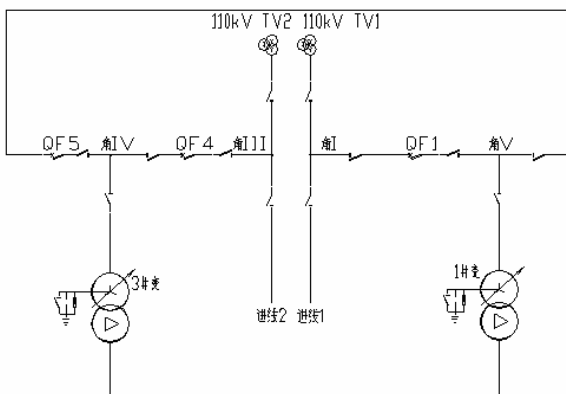


图 3 内桥一次系统图

## 1.2 五角形接线及其备自投的简化

文献[1]介绍，五角形接线可以简化成 2 个简单的一次主接线，即可以由 1 个单母线接线和 1 个内桥接线组成：

a.由QF<sub>2</sub>、QF<sub>3</sub>组成双电源两进线断路器的单母线接线（见图 2），2 号主变压器的运行由QF<sub>2</sub>、QF<sub>3</sub>控制；

b.由QF<sub>1</sub>、QF<sub>4</sub>、QF<sub>5</sub>组成双电源三断路器的内桥接线（见图 3），1 号、3 号主变压器的运行由QF<sub>1</sub>、QF<sub>4</sub>、QF<sub>5</sub>控制，其中QF<sub>5</sub>为桥断路器。

同样，双电源供电的五角形接线方式的备自投控制逻辑也可由单母线接线备自投和内桥接线备自投这 2 部分组成：

a.由QF<sub>2</sub>、QF<sub>3</sub>组成双电源两进线断路器的单母线接线的备自投；

b.由QF<sub>1</sub>、QF<sub>4</sub>、QF<sub>5</sub>组成双电源三断路器的内桥接线的备自投<sup>[4~5]</sup>。

## 1.3 五角形接线备自投简化的数学证明

五角形接线备自投是否可以简化为由 1 个单母线接线备自投和内桥接线备自投来组成，我们可以用逻辑代数的方法证明该简化方法是否正确。图 1 中 断路器QF<sub>1</sub>、QF<sub>2</sub>、QF<sub>3</sub>、QF<sub>4</sub>、QF<sub>5</sub>分别用 A、B、C、D、E表示，A、B、C、D、E分别表示QF<sub>1</sub>、QF<sub>2</sub>、QF<sub>3</sub>、QF<sub>4</sub>、QF<sub>5</sub>断路器为运行状态，

用逻辑代数分别表示为 1；用  $\bar{A}$ 、 $\bar{B}$ 、 $\bar{C}$ 、 $\bar{D}$ 、 $\bar{E}$

$\bar{E}$  分别表示 QF<sub>1</sub>、QF<sub>2</sub>、QF<sub>3</sub>、QF<sub>4</sub>、QF<sub>5</sub> 断路器为不运行状态，即为热备用状态，用逻辑代数分别表示为 0。

### 1.3.1 单母线接线备自投的逻辑代数表达式

图 2 单母线一次主接线中，QF<sub>2</sub>、QF<sub>3</sub> 断路器的运行与不运行，构成了单母线接线备自投 3 种运行方式，其中之一为停用方式：

a. 运行断路器 QF<sub>2</sub>；备投断路器 QF<sub>3</sub>；当进线 1 失去电源时，跳 QF<sub>2</sub>，投 QF<sub>3</sub>。其运行方式的逻辑代数表达式为： $\bar{B}\bar{C}$ 。

b. 运行断路器 QF<sub>3</sub>；备投断路器 QF<sub>2</sub>；当进线 2 失去电源时，跳 QF<sub>3</sub>，投 QF<sub>2</sub>。其运行方式的逻辑代数表达式为： $\bar{B}\bar{C}$ 。

c. 无论变电所 2 号主变为运行还是停用，但相应的备自投装置不运行，即为停用方式。其运行方式的逻辑代数表达式为： $\bar{B}\bar{C}$ 。

由上述可得到单母线备自投运行方式满足的逻辑代数表达式为：

$$\bar{B}\bar{C} + \bar{B}\bar{C} + \bar{B}\bar{C} \quad (1)$$

### 1.3.2 内桥接线备自投的逻辑代数表达式

图 3 内桥接线，一次主接线中 QF<sub>1</sub>、QF<sub>4</sub>、QF<sub>5</sub> 的运行与不运行，构成了内桥接线备自投 6 种运行方式，其中之一为停用方式：

a. 运行断路器 QF<sub>1</sub>、QF<sub>4</sub>；备投断路器 QF<sub>5</sub>；当进线 1 失去电源时，跳开 QF<sub>1</sub> 断路器，投上 QF<sub>5</sub> 断路器；当进线 2 失去电源时，跳开 QF<sub>4</sub> 断路器，投上 QF<sub>5</sub> 断路器。其运行方式的逻辑代数表达式为： $\bar{A}\bar{E}\bar{D}$ 。

b. 运行断路器 QF<sub>1</sub>、QF<sub>5</sub>；备投断路器 QF<sub>4</sub>；当进线 1 失去电源时，跳开 QF<sub>1</sub> 断路器，投上 QF<sub>4</sub> 断路器。其运行方式的逻辑代数表达式为： $\bar{A}\bar{E}\bar{D}$ 。

c. 运行断路器 QF<sub>4</sub>、QF<sub>5</sub>；备投断路器 QF<sub>1</sub>；当进线 2 失去电源时，跳开 QF<sub>4</sub> 断路器，投上 QF<sub>1</sub> 断路器。其运行方式的逻辑代数表达式为：

$\bar{A}\bar{E}\bar{D}$ 。

d. 运行断路器 QF<sub>1</sub>；备投断路器 QF<sub>4</sub>、QF<sub>5</sub>；当进线 1 失去电源时，跳开 QF<sub>1</sub> 断路器，投上 QF<sub>4</sub>、QF<sub>5</sub> 断路器。其运行方式的逻辑代数表达式为： $\bar{A}\bar{E}\bar{D}$ 。

e. 运行断路器 QF<sub>4</sub>；备投断路器 QF<sub>1</sub>、QF<sub>5</sub>；当进线 2 失去电源时，跳开 QF<sub>4</sub> 断路器，投上 QF<sub>1</sub>、QF<sub>5</sub> 断路器。其运行方式的逻辑代数表达式为：

$\bar{A}\bar{E}\bar{D}$

f. 无论变电所 1 号、3 号主变为运行还是停用，但相应的备自投装置不运行，即为停用方式。

其运行方式的逻辑代数表达式为： $\bar{A}\bar{E}\bar{D}$ 。

由此得到内桥备自投运行方式满足的逻辑代数表达式为：

$$\bar{A}\bar{E}\bar{D} + \bar{A}\bar{E}\bar{D} + \bar{A}\bar{E}\bar{D} + \bar{A}\bar{E}\bar{D} + \bar{A}\bar{E}\bar{D} + \bar{A}\bar{E}\bar{D} \quad (2)$$

### 1.3.3 五角形接线备自投的逻辑代数表达式

同理，我们对照表 1 可以列出五角形接线备自投在各种运行方式下的逻辑代数表达式，并得到五角形接线备自投的逻辑代数见式 (3)

$$\begin{aligned} & \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} \\ & + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} \\ & + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E} \end{aligned} \quad (3)$$

### 1.3.4 五角形接线备自投的逻辑代数证明

由于五角形接线化可以简化成单母线和内桥接线，这 2 个接线在运行中互相构成各自小系统，相互之间的对外供电可以看成互不干扰，因此五角形接线备自投可以看作是由单母线接线备自投和内桥接线备自投来完成，因此，对形成的 2 个接线的备自投在逻辑上相当于“与”的逻辑关系，因此简化后的五角形接线备自投的运行方式的逻辑代数表达式有：

$$(\bar{B}\bar{C} + \bar{B}\bar{C} + \bar{B}\bar{C}) \cdot (\bar{A}\bar{E}\bar{D} + \bar{A}\bar{E}\bar{D} + \bar{A}\bar{E}\bar{D} + \bar{A}\bar{E}\bar{D} + \bar{A}\bar{E}\bar{D} + \bar{A}\bar{E}\bar{D}) \quad (4)$$

演算并整理, 得到简化后的五角形接线备自投的运行方式的逻辑代数表达式为:

$$\begin{aligned} & (\overline{B}C + B\overline{C} + \overline{B}C) \cdot (\overline{A}ED + A\overline{E}D + \overline{A}ED + A\overline{E}D + \overline{A}ED + A\overline{E}D) \\ & = \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} \\ & + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} \\ & + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} + \overline{A}B\overline{C}D\overline{E} \end{aligned} \quad (5)$$

由(5)式可见, 逻辑代数演算结果表示简化后的五角形接线备自投有 18 种运行方式, 与(3)式的逻辑代数表达式一致, 从而证明了五角形接线简化成 1 个单母线和 1 个内桥接线组成, 并由 1 个单母线备自投和 1 个内桥接线备自投共同构成形成的简化五角形接线备自投的运行方式与“穷举法”所列运行方式相同。

## 2 扩大内桥接线备自投的简化与数学证明

### 2.1 扩大内桥接线备自投的运行方式

图 3 为扩大内桥一次主接线。

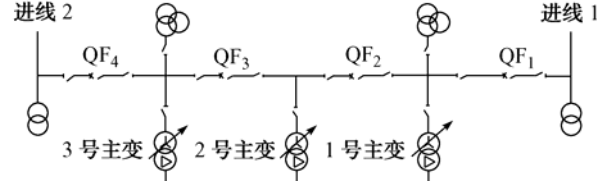


图 3 某变电所 110kV 部分扩大内桥一次系统图

“穷举”扩大内桥接线备自投的运行方式如见表 2 所示, 即扩大内桥接线备自投的运行方式为 12 种。

表 2 扩大内桥接线备自投可能的运行方式

方式	运行断路器	热备用断路器	备投断路器	动作过程
1	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub>	QF <sub>4</sub> 、	QF <sub>4</sub>	当进线 1 失去电源时, 跳 QF <sub>1</sub> , 投 QF <sub>4</sub>
2	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>3</sub>	QF <sub>3</sub>	当进线 1 失去电源时, 跳 QF <sub>1</sub> , 投 QF <sub>3</sub> ; 当进线 2 失去电源时, 跳 QF <sub>4</sub> , 投 QF <sub>3</sub>
3	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>2</sub>	QF <sub>2</sub>	当进线 1 失去电源时, 跳 QF <sub>1</sub> , 投 QF <sub>2</sub> ; 当进线 2 失去电源时, 跳 QF <sub>4</sub> , 投 QF <sub>2</sub>
4	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>1</sub>	QF <sub>1</sub>	当进线 2 失去电源时, 跳 QF <sub>4</sub> , 投 QF <sub>1</sub>
5	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub>	QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub>	当进线 1 失去电源时, 跳 QF <sub>1</sub> 断路器, 投 QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub> ;
6	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub>	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub>	当进线 1 失去电源时, 跳 QF <sub>1</sub> 断路器, 投 QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub> ; 当进线 2 失去电源时, 跳 QF <sub>4</sub> , 投 QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub>
7	QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub>	当进线 2 失去电源时, 跳 QF <sub>4</sub> , 投 QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub>
8	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>3</sub>	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>4</sub>	当进线 1 失去电源时, 跳 QF <sub>1</sub> , 投 QF <sub>2</sub> 、QF <sub>4</sub>
9	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>3</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>3</sub>	当进线 2 失去电源时, 跳 QF <sub>4</sub> , 投 QF <sub>1</sub> 、QF <sub>3</sub>
10	QF <sub>1</sub>	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub>	QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub>	当进线 1 失去电源时, 跳 QF <sub>1</sub> , 投 QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub> 、QF <sub>4</sub>
11	QF <sub>4</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub>	QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub>	当进线 2 失去电源时, 跳 QF <sub>4</sub> , 投 QF <sub>1</sub> 、QF <sub>2</sub> 、QF <sub>3</sub>

注: 无论变电所 1 号、2 号、3 号主变为运行还是停用, 但相应的备自投装置不运行, 即为停用方式。

### 2.2 扩大内桥接线及其备自投的简化

文献[2]介绍, 扩大内桥接线可以简化为 2 个内桥接线:

a) 由 QF<sub>1</sub>、QF<sub>2</sub>、QF<sub>4</sub> 断路器组成第一组内桥接线 (见图 3, QF<sub>3</sub> 认为在运行状态);

b) 由 QF<sub>1</sub>、QF<sub>3</sub>、QF<sub>4</sub> 断路器组成第二组内桥接线 (见图 3, QF<sub>2</sub> 认为在运行状态)。

同样可以由 2 个内桥备自投的控制逻辑来构成一个完整的扩大内桥接线的备自投控制逻辑:

a) 由 QF<sub>1</sub>、QF<sub>2</sub>、QF<sub>4</sub> 断路器组成第一组双电源两进线的内桥接线的备自投 (以下简称备自投 1);

b) 由 QF<sub>1</sub>、QF<sub>3</sub>、QF<sub>4</sub> 断路器组成第二组双电源两进线的内桥接线的备自投 (以下简称备自投 2)。

因此, 扩大内桥接线的备自投由内桥接线备自投 1 和内桥接线备自投 2 这 2 部分备自投控制逻辑

共同完成。

### 2.3 扩大内桥接线备自投简化的数学证明

扩大内桥接线备自投是否可以简化为由 2 个内桥接线备自投来组成, 我们可以用逻辑代数的方法证明该简化方法是否正确。图 3 中 QF<sub>1</sub>、QF<sub>2</sub>、QF<sub>3</sub>、QF<sub>4</sub> 断路器分别用 A、B、C、D 表示, 用 A、B、C、D 表示 QF<sub>1</sub>、QF<sub>2</sub>、QF<sub>3</sub>、QF<sub>4</sub> 断路器分别为

运行状态, 用逻辑代数分别表示为 1; 用  $\overline{A}$ 、

$\overline{B}$ 、 $\overline{C}$ 、 $\overline{D}$  表示 QF<sub>1</sub>、QF<sub>2</sub>、QF<sub>3</sub>、QF<sub>4</sub> 断路器分别为不运行状态, 即热备用状态, 用逻辑代数分别表示为 0。

#### 2.3.1 内桥备自投 1 与内桥备自投 2 逻辑代数表达式

内桥接线备自投的逻辑代数表达式前面已经分析过, 因此我们得到内桥备自投 1 逻辑代数表达

式为式 (6):

$$\bar{A}\bar{B}D + A\bar{B}\bar{D} + \bar{A}B\bar{D} + A\bar{B}D + \bar{A}\bar{B}\bar{D} + \bar{A}B\bar{D} \quad (6)$$

同样也得到内桥备自投 2 逻辑代数表达式为式 (7):

$$A\bar{C}D + A\bar{C}\bar{D} + \bar{A}C\bar{D} + \bar{A}C\bar{D} + \bar{A}\bar{C}D + \bar{A}\bar{C}\bar{D} \quad (8)$$

### 2.3.2 扩大内桥接线备自投的逻辑代数表达式

同理, 我们对照表 2 可以列出扩大内桥接线备自投在各种运行方式下的逻辑代数表达式, 并得到扩大内桥接线备自投的逻辑代数见式 (9)

$$\begin{aligned} & ABCD + A\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + A\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}B\bar{C}\bar{D} \\ & + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} \end{aligned} \quad (9)$$

### 2.3.3 扩大内桥接线备自投的逻辑代数证明

内桥备自投 1 与内桥备自投 2 在运行中需要相互之间协作, 才能完成扩大内桥接线备自投的逻辑。即扩大内桥接线备自投的逻辑的某些运行方式可以由内桥备自投 1 完成, 某些运行方式可以由内桥备自投 2 完成, 甚至某些运行方式必须由内桥备自投 1 与内桥备自投 2 共同完成; 因此, 内桥备自投 1 与内桥备自投 2 在逻辑上应该是“或”的逻辑关系, 因此有简化后的扩大内桥接线备自投运行方式逻辑代数表达式:

$$\begin{aligned} & (\bar{A}\bar{B}D + A\bar{B}\bar{D} + \bar{A}B\bar{D} + A\bar{B}D + \bar{A}\bar{B}\bar{D} + \bar{A}B\bar{D}) \\ & + (A\bar{C}D + A\bar{C}\bar{D} + \bar{A}C\bar{D} + \bar{A}C\bar{D} + \bar{A}\bar{C}D + \bar{A}\bar{C}\bar{D}) \end{aligned} \quad (10)$$

考虑逻辑代数公式有  $C + \bar{C} = 1$  和  $B + \bar{B} = 1$ , 因此有简化后的扩大内桥接线备自投运行方式逻辑代数表达式变为式 (11):

$$\begin{aligned} & (\bar{A}\bar{B}D + A\bar{B}\bar{D} + \bar{A}B\bar{D} + A\bar{B}D + \bar{A}\bar{B}\bar{D} + \bar{A}B\bar{D}) \\ & + (A\bar{C}D + A\bar{C}\bar{D} + \bar{A}C\bar{D} + \bar{A}C\bar{D} + \bar{A}\bar{C}D + \bar{A}\bar{C}\bar{D}) \\ & = (\bar{A}\bar{B}D + A\bar{B}\bar{D} + \bar{A}B\bar{D} + A\bar{B}D + \bar{A}\bar{B}\bar{D} + \bar{A}B\bar{D}) * (C + \bar{C}) \\ & + (A\bar{C}D + A\bar{C}\bar{D} + \bar{A}C\bar{D} + \bar{A}C\bar{D} + \bar{A}\bar{C}D + \bar{A}\bar{C}\bar{D}) * (B + \bar{B}) \end{aligned} \quad (11)$$

演算 (11) 式并整理, 得到简化后的扩大内桥接线备自投运行方式的逻辑代数表达式变为式 (12):

$$\begin{aligned} & (\bar{A}\bar{B}D + A\bar{B}\bar{D} + \bar{A}B\bar{D} + A\bar{B}D + \bar{A}\bar{B}\bar{D} + \bar{A}B\bar{D}) \\ & + (A\bar{C}D + A\bar{C}\bar{D} + \bar{A}C\bar{D} + \bar{A}C\bar{D} + \bar{A}\bar{C}D + \bar{A}\bar{C}\bar{D}) \\ & = \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} \\ & + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} \\ & + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} \end{aligned} \quad (12)$$

由 (12) 式, 扩大内桥接线备自投表面上有

14 种运行方式, 但  $\bar{A}\bar{B}C\bar{D}$  和  $\bar{A}\bar{B}C\bar{D}$  这两种运行方式分别相当于内桥接线 1 和内桥接线 2 的停用方式, 从原理上看, 也是停用方式; 所以扩大内桥接线备自投的运行方式理论上 12 种, 其中一种为停用方式, 因此, 简化后的扩大内桥接线备自投运行方式逻辑代数表达式变为 (13) 式:

$$\begin{aligned} & (\bar{A}\bar{B}D + A\bar{B}\bar{D} + \bar{A}B\bar{D} + A\bar{B}D + \bar{A}\bar{B}\bar{D} + \bar{A}B\bar{D}) \\ & + (A\bar{C}D + A\bar{C}\bar{D} + \bar{A}C\bar{D} + \bar{A}C\bar{D} + \bar{A}\bar{C}D + \bar{A}\bar{C}\bar{D}) \\ & = \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} \\ & + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} \end{aligned} \quad (13)$$

(13) 式中  $\bar{A}\bar{B}C\bar{D}$  和  $\bar{A}\bar{B}C\bar{D}$  这两种运行方式文献 [2] 没有列举, 但在实际运行中也是存在, 比如, QF2 或 QF3 在变电所新建时, 没有考虑新建时建设该设备 (此时相当于该断路器一致处于运行位置, 该扩大内桥接线此时相当于内桥接

线,  $\bar{A}\bar{B}C\bar{D}$  和  $\bar{A}\bar{B}C\bar{D}$  这两种运行方式相当于内桥接线 1 备自投和内桥接线 2 备自投其中的一个运行方式), 或在变电所新上扩大内桥接线备自投时, 由于只新建 2 台变压器, 一般可以将 QF2 或 QF3 断路器有关量一直置为运行位置, 将扩大内桥接线备自投转化为内桥接线备自投; 因此,

$\bar{A}\bar{B}C\bar{D}$  和  $\bar{A}\bar{B}C\bar{D}$  这 2 种运行方式, 在完善的扩大内桥接线中会很少出现。

从上述分析可知, 逻辑代数演算的结果表示,

简化后的扩大内桥接线备自投的运行方式也为 12 种，与（9）式的逻辑代数表达式一致，从而验证和证明简化后的扩大内桥接线备自投的运行方式与“穷举”的扩大内桥接线备自投的运行方式是一致的。

### 3 结束语

逻辑代数的演算证明，复杂一次主接线的备自投是可以简化为 2 个或 2 个以上的简单一次主接线备自投来组成，同样简化后的复杂一次主接线备自投的运行方式是与“穷举法”的复杂一次主接线备自投运行方式是一致的。复杂接线的备自投通过简化为几个简单接线的备自投组成，且这些简单接线备自投为电网中常见的备自投，可以克服了穷举法运行方式多、逻辑复杂、不容易记忆等缺点，具有牵涉的环节少，动作逻辑和动作流程简单、方便等优点。本文虽然以五角形接线备自投和扩大内桥接线备自投为例用逻辑代数分别证明了这 2 种复杂一次主接线备自投是可以简化成 2 个简单一次主接线备自投的方法是正确的，但该逻辑代数证明方法也可推广到其他复杂一次主接线的备自投的简化证明中去。

#### 参考文献：

- [1] 汤大海.基于双电源五角形接线的备自投控制策略[J].电力自动化设备,2005,25(12):52-54.
- [2] 汤大海.基于双电源扩大内桥的备自投解耦控制策略研究[J].电力系统自动化,2009,33(23):103-107.
- [3] 汤大海, 杨合民, 刘春江,等.一种自适应的扩大内桥备自投装置[J].电力系统自动化,2009,33(15):108 -111.
- [4] 刘沪平, 汤大海, 郑建勇,等. 一种新型自适应备投方案及其实现[J].电力自动化设备,2005,25(8):84-86.
- [5] 阮爱民, 李民, 汤大海.保护闭锁备自投的运用[J].江苏电机工程,2003,22(4):41-42.
- [6] GB-14285-2006,继电保护和安全自动装置技术规程[S].
- [7] DL/T584-2007,3~110 kV 电网继电保护运行整定规程[S].
- [8] DL/T526-2002,静态备用电源自动投入装置技术条件[S].

#### 作者简介：

许志龙(1965-), 男, 江苏淮安人, 高级工程师, 从事电网生产技术管理工作;

汤大海(1963-), 男, 江苏镇江人, 研究员级高级工程师/高级技师, 从事电网继电保护运行管理工作。