**在IEEE33节点系统的联络线中安装两个移相变压器，；另外三个为联络开关。**

上层模型目标函数主要是最小化年度总成本C：



其中，，，，，分别为移相变压器投资和维护成本、分布式电源投资和维护成本、向上级购电成本。

（1）移相变压器的投资和维护成本：

（d=0.08、y=20、=2000）

(a=0.01、=0.01)

其中，、为移相变压器的单位容量投资和运行成本，为移相变压器的总数，d为贴现率，y为使用寿命，为年维护成本系数，为第i个移相变压器的容量。

（2）分布式电源的投资和维护成本：

(d=0.08、y=20、=9000)

（=0.28）

其中，、为分布式电源的单位容量投资和运行成本，为分布式电源的总数，为场景T下总运行时间，为第i个分布式电源在场景T下的发电量，N为总场景数。

（=0.6）

其中：向上级电网单位购电电价，为在T场景中上级电网提供的功率注入量。

约束条件：

分布式电源容量约束

（500KVA）

其中、分别风电和光伏的出力上限

移相变压器容量约束：



其中，为移相变压器的容量，为容量上限。

下层模型目标函数主要是为了减少功率损耗与合环电流为目标：



其中，，，分别为网络损耗、合环电流越限惩罚、系统可靠性成本

（1）网络损耗：

（=0.6）

其中，为单位网损成本，、为线路损耗和移相器的损耗，为一年中总的运行时间。

（2）合环电流越限惩罚：



（3）可靠性成本：



其中，为可靠性收益系数。

约束条件：

（1）潮流约束：













其中、分别为ij支路在t时刻传输的有功和无功功率；,、分别为ik支路在t时刻传输的有功和无功功率；和分别为ij支路的电阻和电抗；、分别为t时刻注入i节点的有功和无功功率；为支路ij在t时刻的电流幅值；、分别为节点i和节点j在t时刻的电压幅值；为t 时刻节点 i 上分布式电源注入的有功功率；、为 t 时刻节点 i 上负荷消耗的有功功率和无功功率；、为t时刻移相变压器注入节点i的有功和无功功率；为节点i处负荷在t时刻恢复系数。

（2）网络拓扑约束：





其中，是与节点i连接的支路集合，且每个节点（除了电源节点）必须通过一条支路与父节点相连。为二元变量，若支路ij连接为1，否则为0。为所有节点；为电源节点。为二元变量，当某个支路发生故障后，网络重构后节点i的需求完全恢复时等于1，否则为0。

（3）系统运行约束：

（0.95、1.05）

（1.0）

其中，、为电压上限和下限，为支路的电流上限。

（4）移相变压器运行约束：

其有功约束为：



和分别为为移相变压器一、二次侧绕组的有功损耗。

由移相变压器移相角的约束：

（-10、10）

移相变压器可带负荷存在限值，受转供后不应超过该限值，该约束公式为：



β为负载率上限值。为移相变压器的容量。

**EENS计算**

（1）如果是通过断路器进行重新配置，由于通过断路器进行恢复会产生较大的电流，有可能产生线路保护的误动作，从而延长负荷的停电时间，并且还要考虑容量问题，若负荷过载，则需要先切除部分负荷，需要考虑切除负荷时间。则重要负荷节点i的停电时间ti为：







其中，为0-1变量，若断路器成功恢复为1，否则为0。（0.5h）为断路器合闸时间，（3h）为故障修复时间，为0-1变量，若负荷超过联络线容量为1，否则为0。为合环电流；为保护电流的整定值；为节点i的负荷容量。为联络线容量。表示切除负荷的时间

联络线合环下普通负荷节点的停电时间为：



（2）如果是通过移相器（0.1h）进行配置，由于移相器具有减小合环电流的能力，可以做到柔性合环，不会影响系统中的保护装置，然而，移相变压器的容量问题也需要考虑（移相变压器的容量比联络线大很多）。此时，节点i的停电时间为：





移相变压器合环下普通负荷节点的停电时间：



（3）若节点位于分布式电源DG的供电区域内，其可通过分布式电源进行孤岛运行，首先判断故障点是否在DG的供电区域内，若是则不能进行孤岛，其故障持续时间与上述分析一致，若没在DG供电区域内，故障持续时间即为断路器断开时间，此时的停电时间为：



为断路器断开时间。

系统的可靠性指标为：











其中，为支路集合；为线路xy的故障概率；为0-1变量，当线路xy故障时负荷i断电时为1，否则为0；为负荷节点集合，为节点i处的用户数；为b级负荷的平均持续时间；B为负荷等级集合；为节点i处负荷的需求。