

「电缆」

中压电缆网双链环供电模式的研究与应用

文/珠海供电局 郑林胜

随着我国城市化进程的不断加速，电力供应需求不断增加，如何发挥电网投资的最大效益，使层级合理配置就至关重要。当前中压配电网合理化配置已被提上议事日程，我国部分地区陆续改用20 kV电压等级供电，珠海市横琴新区20 kV电网的建设作为南方电网公司在提升中压配电电压等级的标杆项目，这类负荷密集地区和城市主干道的供电问题解决的根本途径是双线路供电必须覆盖城市每条主干道路，也是城市高密度负荷区最基本的要求。通过分析中压电缆网的布局，从可靠性、灵活性和经济性3个方面对双链环供电模式进行研究，在城市供电线路日益电缆化的今天对配电网布局应用具有很好的指导意义和应用价值。

城市配电网的网络接线方式对城市配电网供电可靠率的提高至关重要，不仅是故障隔离和负荷转移恢复送电的基础，还是正常环网倒闸操作、减少停电的基本要求，也是配电网自动化及智能配电网实现的关键。中压电缆网双环接线方式以其较高的供电可靠性、较灵活的运行方式得到了大力推广和广泛运用。随着经济的发展，人们的用电需求在明显上升，这对双环网的供电能力提出了更高的要求。目前电缆线路的常用接线模式有2-1、3-1、2供1备、3供1备、花瓣和双环网等。其中双环网分为带分段开关和不带分段开关2种模式，带分段开关的双环网因其状如“链”，也称“双链环”。

常见供电模式分析

1. 树干型供电模式

原有的10 kV中压系统供电模式大多数采用树干式。这种模式最大的优点就是节省投资，其一般多在架空线路中使用。架空线和室外变压器受温度和气候影响较大，多种恶劣天气都易导致设

备故障；而且其没有任何备用，如果线路中出现故障，会导致长时间大面积停电，供电可靠性较低。因此在许多大中城市中，这种接线模式正逐步被淘汰。

2. 单环网供电模式

单环网供电模式多在电缆回路中使用，一路电源从变电站出来，沿最近路径连接负荷中心的若干个室外箱变，再与另一个电源环网。正常情况下两电源开环运行，一侧电缆出现故障时，切除故障段电缆，其余部分继续供电。此种接线方法可采用室外箱式变压器，减少电力电缆的用量，投资较少。但由于电缆故障的查找需要较长的时间，且变压器及低压系统无备用，一旦出现事故，将造成较长时间和较大面积的停电，因此不适用于对供电可靠性要求高的用户。

3. 双环网供电模式

在双环网供电模式中，正常情况下2座变压器分别接在2个不同的电源点，且各带一部分负荷。当一路电源或一台变压器出现故障或检修时，可保障用户的不间断供电（有自投装置时，停电时间仅为几秒钟）。此模式可解决单环网供电模式

中因设备故障造成的较大面积较长时间的停电问题，提高供电可靠性。

双链环供电模式的特点

评价接线模式的优劣主要从可靠性、灵活性和经济性3个维度分析。各种接线模式在3个维度上各有优劣，例如2-1的灵活性好于2供1备，3-1的经济性好于2-1。但是，在高负荷增长地区例

如珠海横琴新区，双链环接线模式在3个维度上都领先于其他接线模式，堪称“神奇”。

双链环的主干层和次干层、负荷层接线如图1、图2所示。主干层同一变电站的2回出线来自同一变压器的2个低压分支，为合环运行做准备。次干层可采用2-1配置就地式馈线自动化或者单一开关房配置自投2种方式，次干层环网的两回线路从主干层同一开关站的2段母线馈出。

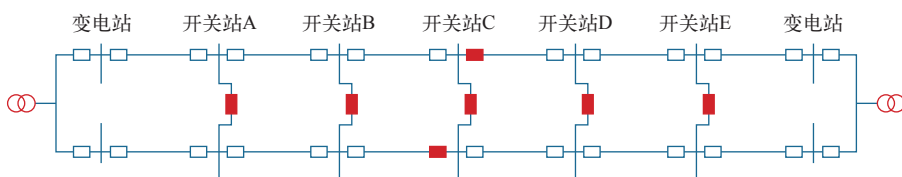


图1 开环运行的双链环主干层

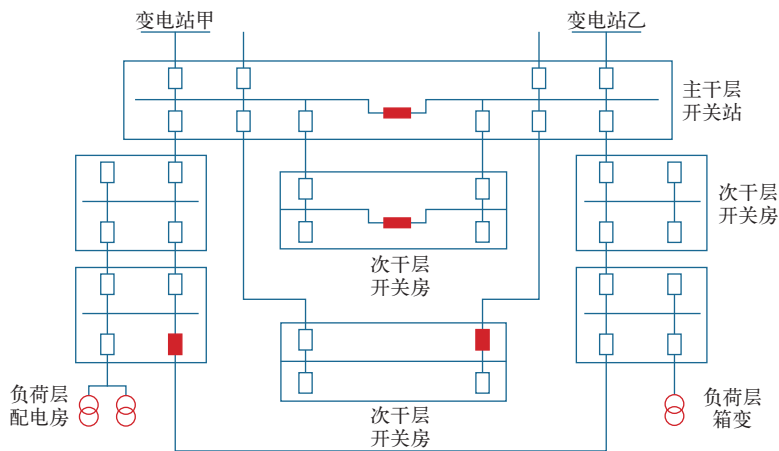


图2 开环运行的双链环次干层

1. 可靠性

1) 变电站主变压器N-1，如图3所示，若2#主变压器停运时，变电站20 kV分段备自投动作，2#主变压器变低负荷均分到1#和3#变压器，不损失负荷。变电站主变压器N-2，如图3所示，若2#、3#主变压器停电时，2#主变压器的右侧分支停电，左侧分支转移到1#主变压器供电，不损失负荷。

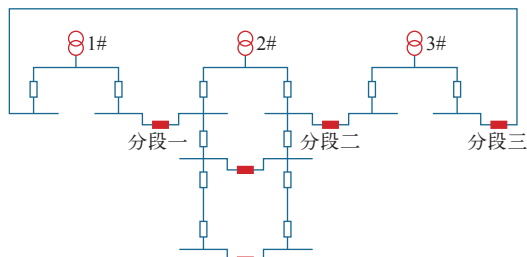


图3 双链环主干层N-1分析示意图

2) 变电20 kV母线N-1，负荷可以通过线路联络开关转移到联络线路上，也可以通过开关站分段开关转移到另一个环网上，不损失负荷。变电20 kV母线N-2，负荷可转移到联络线路上，不损失负荷。

3) 20 kV线路N-1，负荷可以转移到联络线路上，也可以转移到另一个环网上，不损失负荷。20 kV线路N-2，负荷可转移到联络线路上，不损失负荷。

4) 开关站母线N-1，故障母线的负荷通过次干层转移到另一段母线上，其余开关站负荷可以转移到联络线路上，也可以转移到另一个环网上，不损失负荷。开关站母线N-2，负荷无法转移，可以通过在次干层适当位置预留旁路供电备用开关应对这种极端情况。

综上，双链环基本可以满足N-2要求，只是

在开关站全站停运时，负荷无法转移，可以通过在次干层适当位置预留旁路供电备用开关应对这种极端情况。N-2分析下，双链环的可靠性跟花瓣形接线相当。但是双链环每一个开关站有3个电源，花瓣形接线只有2个电源，因此在极端故障下，双链环的可靠性优于花瓣形接线。双链环可实现合环运行，这在短时停电次数的指标上也不逊色于花瓣形接线。

2. 灵活性

1) 灵活调整负荷。可通过改变联络开关的位置，调整两回联络线路的负载率和变电站的负载率；可以通过改变次干层联络点，调整开关站两段母线的负荷，从而调整线路负载率和主变压器两个分支的负荷均衡度。花瓣形接线的联络点是固定的，无法通过调整联络点来调整变电站负荷。

2) 灵活组网。双链环主干层开关站的数量可以方便地增加或减少，可以很好地应对负荷的不确定性。可以分期建设，例如第一期先建设一个单环网，第二期再建设另一个单环网，或者第一期先建设一个单端双链环，第二期再建设另一个单端双链环组成完整的一个双链环。

3. 经济性

线路占用配电网投资的大部分，因此可以用允许负载率评价一种接线模式的经济性。

如图1所示，双链环的每一回线路都有3个电源点。N-1时，每一回线路还有2个电源点，可以实现负荷均分，因此满足N-1时最大允许负载率是66.7%。例如变电站甲一回出线故障时，可以将开关站A通过分段开关转移到另一个环网上，将开关站B通过联络开关转移到联络线路上，实现负荷均分。每一个双链环有4回线路，4回线路可以互相转供电，实现最大程度的负荷均分，达到满足N-1时最大允许负载率75%。

再仔细研究图1，在左上方线路停运时，先将右上方线路的25%负荷转移到右下方线路，再将左上方线路的50%负荷转移到右上方，最后将左上方线路的25%负荷转移到左下方线路。如果考虑到各回线路间负荷曲线的互补性，最大允许负载率还可以进一步提高，大于75%。花瓣形接线的最大允许负载率为50%。经济性上，双链环明显优于花瓣。

双链环供电模式的应用

究竟多大的负荷密度才可以使用双链环呢？

假设1个长方形供电区域只有1个双链环。双链环主干层采用300 mm² 的电缆，每回线路的长度是5 km，一个双链环的供电区域长度是10 km，供电区域宽度是1 km，那么供电区域面积是10 km²。假设最大允许负载率是50%，300 mm² 的电缆的最大允许载流量是500 A。

对于10 kV供电区域，一个双链环的最大负荷可以达到20 MW左右，负荷密度 $20 \text{ MW} \div 10 \text{ km}^2 = 2 \text{ MW/km}^2$ ，属于C类供电区域的负荷密度。对于20 kV供电区域，一个双链环的最大负荷可以达到40 MW左右，负荷密度约4 MW/km²，仍然是C类供电区域的负荷密度。

双链环适用于C类及以上供电区域，这个结论让人惊讶。问题在于上述的计算模型假设了1个供电区域只有1个接线组。实际上很少有只有1个接线组的供电区域，大部分区域都是同时拥有几个接线组，旧接线组给老用户供电，新接线组给新用户供电，或者转接一部分老用户。从这个角度看，“以供电区域为依据来选择接线模式”的方法存在缺陷，可以“通过负荷增长速度来选择接线模式”。例如预计5年内负荷增长速度达到4 MW/km²就可以在20 kV系统中选择双链环。如果负荷增长速度较慢，也可以通过分期建设来搭建双链环网架，如第一期先建设一个单环网，等负荷增长上来后，再建设另一个单环网构建双链环。

结束语

双链环供电模式正越来越广泛地应用于城市电网的重要用户中，能够给对供电可靠性要求较高的用户提供稳定的电力供应，该模式具有可靠性高、灵活性强、经济性好等优势。课题研究为广东省珠海市中压电缆网的建设与运行提供了理论依据与技术参考，并已在珠海部分地区双链环供电系统中得以实际应用。根据此方案，在对系统快速恢复供电后，调度运行人员可及时通报抢修人员，有效减少设备巡查时间，提高配网的事事故快速解决能力，进而提高供电安全水平和配电网管理水平。这不仅保障了重要用户的生产安全、可靠、合理的用电需求，还可以大幅提升电网生产运行的可靠性，为广东珠海地区智能配电网的发展起到了积极的推动作用。EA

(收稿日期：2017.02.09)

(编辑：刘群焱)