

[供电系统]

无扰动电源切换装置在10 kV供电系统中的应用

文/中国平煤神马集团尼龙科技公司 郭克锋 张丽纳

无扰动电源切换装置能降低因供电系统晃电造成的停车次数，从而避免了因非正常停车造成的损失。

大中型化工企业，由于外部电网或内部供电网络故障或异常原因造成非正常停电、或短时断电（俗称“晃电”）的情况屡见不鲜。由于工艺流程的特殊性，供电的中断或异常往往会造成设备停运或工艺流程中断或产生废品，有时甚至造成生产设备的报废等严重后果。目前，解决供电可靠性的主要办法是采用双路或多路电源供电，再辅以备自投装置。对一般工业企业而言，备自投装置已经可以满足要求。而在化工、冶金等要求连续供电的企业，备自投的使用效果并不理想。原因是这些企业有大量的电动机负荷，由于电动机反馈电压的存在，从失电到失压进而无压，备自投完成动作的过程持续时间长达1~2 s，甚至更长，此时电动机已经被分批切除。此时恢复供电将造成较大的电动机自启动电流，对供电网络产生冲击。而对400 V系统而言，低电压将造成接触器脱扣，变频器停止工作。备自投并没有真正起到保障供电连续性的作用。

尼龙科技公司作为大型化工企业，对生产的连续性有着特殊的要求，一旦出现非计划停车，所造成的损失巨大，而全系统恢复生产耗时长、投入巨大。且对供电系统提出了更高的要求，因此治理外电网“晃电”的顽疾是保障公司安全的当务之急。针对上述问题公司采用10 kV无扰动快切技术来实现供电网络的稳定。无扰动快切装置针对工业企业的需求和技术特点进行原理、功

能、性能的专门性设计和开发：在启动条件上，采用失压启动的同时把有关的保护动作、失电作为启动条件以缩短启动时间；在合闸（合备用电源）条件上，采用延时和无压判据。在厂用电切换中已经获得巨大成功的母线电压、频率、相位实时跟踪技术，真正实现了“快速切换”。

无扰动快切装置克服了备自投装置的缺点，大大提高了工业企业控制自动化的水平。其模块化的设计、丰富的切换逻辑、灵活的设置以及高速的运算能力，在功能和性能上处于国内领先水平。

装置简介

无扰动快切装置可提供手动启动、保护启动、变位启动、失压启动、无流启动及逆功率启动方式。

1) 手动启动。手动启动方式用于进线检修或故障后进线恢复时使用，由人工启动装置的切换功能。对单母分段运行方式如图1所示，手动启动可以实现1DL到3DL之间的互相切换，也可以实现2DL和3DL之间的互相切换。

2) 保护启动。将线路/线变组/主变等电源侧设备的快速主保护接点引入到快切装置中，系统正常运行时，一旦检测到电源侧主保护动作，本装置立即启动切换，断开故障线路，投入备用电源。

3) 变位启动。当系统正常运行时，若本处于合位的开关跳开且进线无流，则装置启动切换，合上另一侧电源以保证母线供电。

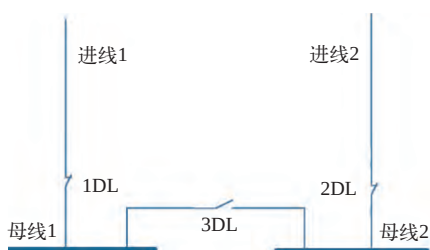


图1 单母分段运行方式

4) 失压启动。当检测到母线三相电压均低于失压启动整定值且进线无流，经整定延时装置启动切换功能。此启动方式可通过定值中控制字投退。

5) 无流启动。当装置检测到进线电流从有流到无流，且母线频率小于无流启动频率整定值时，

装置经整定延时启动切换功能。无流启动方式主要用于进线本侧保护无法接入到装置的情况。当进线发生故障且被其他保护跳开时，进线电流必然呈下降趋势。此启动方式可通过控制字投退。

6) 逆功率启动。当无进线快速保护接点启动装置切换时，用此启动判据可实现故障情况下的快速切换，时间最少要整定为相邻线路主保护的動作时间+该进线开关的跳开时间。满足如下逻辑时，逆功率元件启动：相电流反向（定义从进线流向母线为电流正方向）；相电流大于0.1 A；线电压小于逆功率电压门槛。单母分段运行方式和单母运行方式下，各种启动方式以及运行状态之间的转换如图2所示。

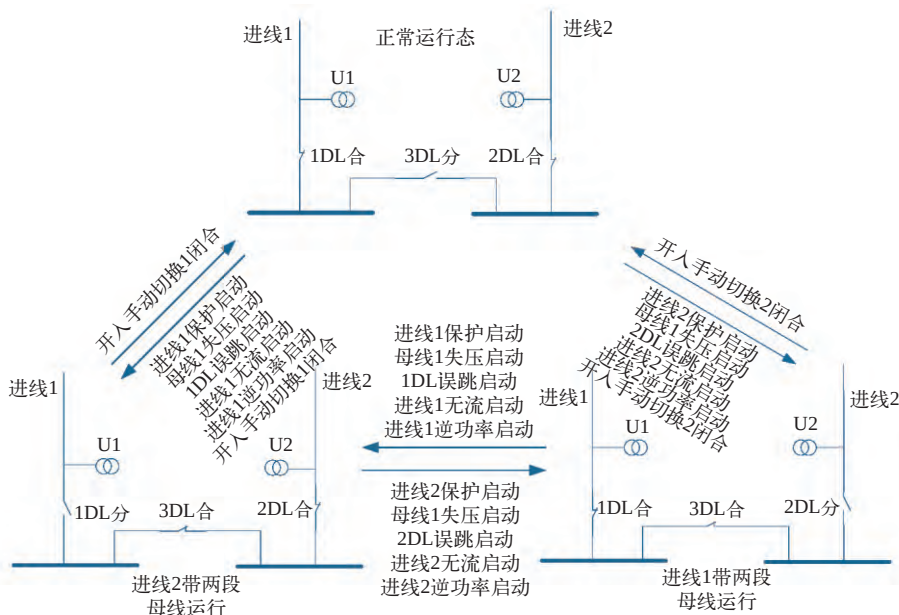


图2 各种启动方式以及运行状态之间的转换

装置在启动后，会按照一定的顺序操作工作电源开关和备用电源开关。下面分别加以介绍。

1. 不同开关操作顺序

在快切原理中，名词“切换方式”用来描述不同开关操作顺序。本装置提供的切换方式包括：并联切换、串联切换和同时切换。

(1) 并联切换

并联切换只能以手动启动方式触发。以从1DL并联切换到3DL为例。手动启动后，若并联条件满足（条件为：开关两侧的频差、相差和压差分别小于定值并切换频差、并切换相差和并切换压差）装置先合上3DL开关，此时进线1、进线2两个电源短时并列，经整定延时（并联跳闸延时）后装置再跳开1DL。如在这段延期内，刚合上

的3DL被跳开（如保护动作跳开3DL），则切换结束，装置不再跳开1DL，以免停电范围扩大。若1DL拒跳，则装置会去跳开3DL开关，以避免两个电源长时间并列。若手动启动后并联切换条件不满足，装置将立即闭锁并进入等待复归状态。

并联切换方式适用于正常情况下同频系统的两个电源之间的切换，可用于进线检修时的人工倒闸或故障后手动恢复。

(2) 串联切换

以从1DL切换到3DL为例。装置启动后，先跳开1DL开关，在确认1DL跳开后，再根据合闸条件发出合母联开关3DL命令。若1DL拒跳，则切换过程结束，装置不再合3DL。串联切换多用于事故情况下自动切换。

串联切换可以有以下几种合闸方式：快速切换、同期捕捉切换、残压切换和长延时切换。当快速切换条件不满足时可自动转入同期捕捉、残压、长延时等切换条件的判别。

(3) 同时切换

以从1DL切换到3DL为例。装置启动后，先发出跳1DL开关命令，然后经一整定的合闸延时，再根据合闸条件发出合3DL的命令。若最终1DL拒跳，则装置会去跳开3DL开关，以避免两个电源长时间并列。同时切换与串联切换相比，不需要确认1DL已跳开再判断3DL合闸条件，只要经过一个延时，即去判断3DL合闸条件，目的是使得母线断电时间尽量缩短。

2. 合备用开关的合闸条件

在快切原理中，用“实现方式”来描述合备用开关的合闸条件。装置在启动后，按照预定的切换方式跳工作开关和合备用开关。无论哪种切换方式都涉及到合备用开关的操作。装置提供的实现方式包括：快速切换、同期捕捉切换、残压切换和长延时切换。

(1) 快速切换

快速切换是最理想的一种合闸方式，既能保证电动机安全，又不使电动机转速下降太多。在并联切换方式下，实现快速切换条件为：母线和待并侧电源电压差 $|du| < \text{“并联切换电压差”}$ ，且频差 $|df| < \text{“并联切换频差”}$ ，且相差 $|dq| < \text{“并联切换$

相差”

。在串联或同时切换方式下，实现快速切换的条件为：母线和待并侧电源频差 $|df| < \text{“快速切换频差”}$ 且相差 $|dq| < \text{“快速切换相差”}$ 。快速切换是速度最快的合闸方式。

(2) 同期捕捉切换

当快速切换不成功时，同期捕捉切换是一种最佳的后备切换方式。同期捕捉切换的原理是实时跟踪母线电压和备用电压的频差和角差变化，以同相点作为合闸目标点。

(3) 残压切换

当母线电压衰减到20%~40%实现的切换称为残压切换。残压切换虽能保证电动机安全，但由于停电时间过长，电动机自启动成功与否、自启动时间等会受到较大限制。残压切换的实现条件为：母线电压 $< \text{“残压切换电压幅值”}$ 。

(4) 长延时切换

当备用侧容量不足以承担全部负载，甚至不足以承担通过残压切换过去的负载的自启动，只能考虑长延时切换。长延时切换的实现条件为：装置启动后延时 $t > \text{“长延时整定值”}$ 。

无扰动快切装置提供6种启动方式。手动启动时支持并联、串联及同时3种切换方式。其他4种启动方式只支持串联切换或同时切换。并联方式只有快切合闸方式，串联和同时支持快速、同捕、残压和长延时等方式。如图3所示。

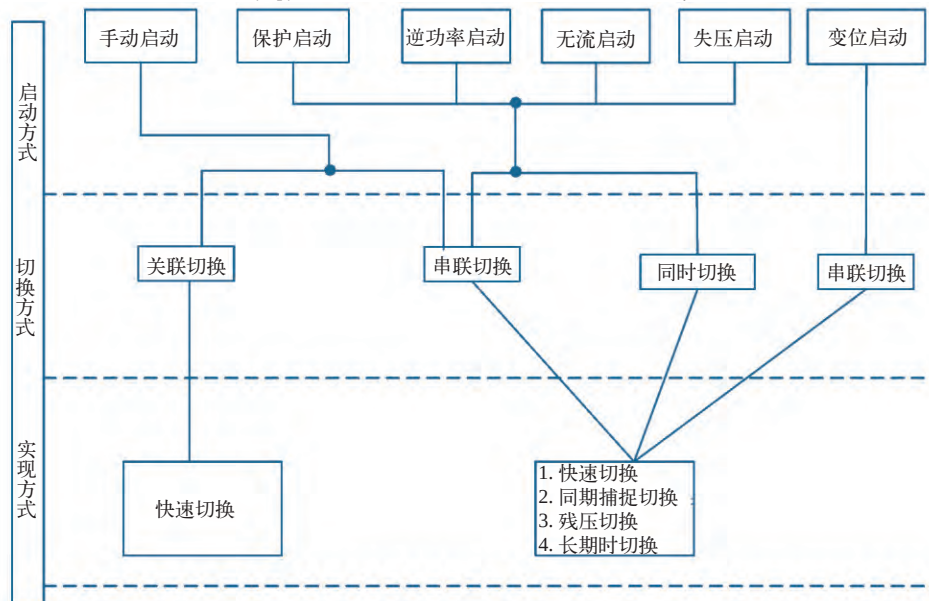


图3 无扰动快切装置的启动方式

实践应用分析

尼龙科技公司两条110 kV进线电源分别取自襄店220 kV变电站和叶县220 kV变电站，10 kV二

级变电所共有7个，正常单母分段运行，当出现一条线路故障及晃电时快切动作，快速将负荷切至正常供电一侧，保证了系统的稳定及避免了因线

路故障及晃电给化工企业造成的损失。当故障切除后，母线电压上升到70%额定电压短暂低电压供电的“电压凹陷”现象。尼龙科技公司10 kV系统负荷端大部分为高压电动机，当系统出现晃电时异步电动机在低电压期间一直在网并以发电方式向短路故障点反馈输出电流，直到绕组内磁场衰减完毕，此称为电动机的“一次冲击”，一般电动机的衰减常数 τ 为30~40ms，当故障及晃电时间超过为 4τ 即120~160 ms时电动机磁场会衰减完毕，如果此时母线电压处于恢复期，那么所有异步电动机将重建磁场，电动机群直接起动，起动伊始要向电网索取相当于电动机群5~7倍的电流，形成强烈的冲击，有可能会造成系统的崩溃。为了防止系统崩溃出现故障及晃电时避免造成重大经济损失，尼龙科技公司10 kV二级变电所共装设7套无扰动快切装置，在切换过程中，装置实时跟踪开关两侧电源的电压、频率和相位，随时对其进行比较分析，并提供了多种可靠的启动方式和切换实现方式，能够保证在80 ms内快速安全地投入备用电源，电动机磁场未衰减完毕不会对电网造成大的冲击。

无扰动快切装置自2015年在尼龙科技公司开始投入使用，为保证其在公司正常生产时能发挥巨大作用，相关技术人员结合公司供电系统实际情况，计算设定具体参数、采用科学的启动方式和切换方式，并进行反复试验、反复论证。结合外电网“晃电”事故，查看动作记录，对具体数据进行深入分析、研究，对部分参数进行调整，以保证装置能在故障状态下可靠动作，发挥作用。2015年8—9月，空分变电所、北区变电所、南区变电所、热电变电所和综合变电所10 kV分列运行，快切装置投入，分别在总变电站停一路出线，真实模拟故障停电状态，各无扰动快切装置均迅速动作，达到设计要求。报告显示：系统方式母联、启动方式失压、切换方式串联、实现方式快速、压差12%、频差0.3 Hz、相角差9.21、完成切换时间76 ms。且快切动作后变电所一路进线跳开，母联合闸，整个变电所高低压设备没有出现跳闸现象，且对整个供电系统无明显影响（整个动作在80 ms内完成）。2015年11月24日，因外气候原因（大风及雨雪），外电网在1:40和4:50连续出现两次“晃电”故障，帘子布发展公司受此影响出现大面积跳闸事故，造成巨大的经济损失。而尼龙科技公司的无扰动快切装置在晃电时

可靠动作，在78 ms内完成切换，保证了整个电网的稳定供电，未造成任何经济损失。

经济效益分析

110 kV电源取自节庄变电站，供电可靠性较低，晃电及系统短路事故频发。统计帘子布发展公司近3年来因供电故障晃电次数约为28次，尼龙科技公司与帘子布发展公司属同一供电系统，参照以上数字，我公司每年晃电按6次计算。所造成的损失估算如下。

我公司正常生产后总负荷为50 000 kW，开车周期为24 h。晃电一次公司全系统跳车造成损失的具体费用计算如下。

(1) 电价0.68 元/kW·h×50 000 kW×24 h=816 000元。

(2) 煤价260 元/t×60 t/h×24 h=374 400元。

(3) 天然气2.77 元/m³×10 000 m³=27 700元。

(4) 水价3.5 元/t×400 t/h×24 h=33 600元。

合计：816 000+374 400+27 700+33 600=1 251 700元。

年损失总计：1 251 700×6=7 510 200元。

综上所述该项目每年为公司节约资金，即直接经济效益7 510 200元。

另外，晃电对设备的运行寿命有极大的危害：每次晃电电气设备损失估算80万元；仪表设备损害估算50万元；机械设备损害估算100万元。

废水废料处理估算100万元；成品损失估算200万元；部分订单流失估算100万元；公司品牌形象损失100万元。间接经济损失730万元。

共计：直接经济损失+间接经济损失=1 481.02万元

结束语

无扰动快切技术在尼龙科技公司10 kV系统中的推广使用，极大地提高了公司整个供电系统的可靠性和安全性，使工厂供电的可靠性上了一个新的台阶，为大型化工企业提供了更加安全、稳定的供电保障，能够为企业挽回因非计划停车造成的经济损失；对比传统的备自投方案，实现了电源快速切换的技术升级。该技术在尼龙科技公司的应用，为公司电力系统的稳定运行积累了宝贵的经验。EA

（收稿日期：2016.01.16）

（编辑：杨得润）