「综述」

大型石化企业电网特点及供电系统建设优化

文/四川泸天化股份有限公司　周正权　邹　涛

大型石化企业工艺生产过程复杂，具有高温、高压、易燃、易爆等特点，对电力系统的安全供电提出了很高的要求。从安全的角度分析石化企业电网的特点，并对其电力系统建设、供电方案优化进行探讨，从而有助于企业在改造、扩建或新建过程中，制订投资建设合理、运行可靠的供配电系统方案，满足企业“安稳长满优”生产。

我国大型石化企业的显著特点是：装置多，工艺生产过程复杂；装置间物料联系十分紧密，物料多为易燃、易爆、有毒、有害物质；生产设备工作条件极为苛刻，高温、高压、低温、深冷，这些特点对企业供电系统的安全提出了很高的要求。石油化工生产行业是高危险性的行业，一旦发生火灾、爆炸事故，往往造成较大的伤亡或财产损失。从安全的角度分析，它不同于冶金、机械制造、基本建设、纺织和交通运输等行业。分析石化企业电网的特点，从中查找问题和隐患，从而在改造、扩建或新建过程中，优化供电系统的建设，用尽量少的投资，最大限度地满足生产装置对安全供电的要求，具有十分重要的意义。

石化企业电网特点

石化企业供配电系统是由电源、变配电站、配电线路、用电负荷组成的一个整体系统。相对于其他一般工业用电和民用电，具有自身鲜明的特征。

1. 供电系统容量大

石化企业往往占地面积大，内部的生产装置多，危险因素多，电动机多，其中尤以异步电动机最多，供电系统容量可达数百兆伏安，是地区电网的用电大户。供电系统负荷分级通常都是一、二级负荷。

2. 负荷稳定连续

生产工艺流程要求必须连续生产，从原料的输送到产品的生产、包装，整个过程不间断。因此企业长期追求长周期文化和效益，这是其生产特性决定的，也是企业的效益之源和生存、发展的基础。

在能够连续运行的生产中，其电力负荷是相对平稳的，日负荷曲线的变化很小，生产装置运行正常后，负荷几乎数周甚至数月不变。

3. 建有自备电厂

石化企业大都建有企业自己的热电厂，其规模与企业的规模及地域的需求有关，有些规模大的热电厂除满足本企业的用电需求外还可向电力系统售电，不过通常仅能为本企业提供部分负荷及保安电源。石化企业热电厂的主要作用是为企业内供汽，因此汽轮机多以背压式、抽汽背压式或抽汽凝汽式为主，以汽定电。一旦电力系统发生故障造成石化企业大面积停电，生产装置会立即停止用汽，各发、电动机很难保证此时的稳定运行。

4. 电网结构复杂，供电电压等级多

石化企业的电网由于要满足分布较广的各个生产装置的供电，以及生产装置负荷较大的需要，其电网结构非常复杂，常用的架空输电线路电压等级有220 kV、110 kV、35 kV和10 kV（6 kV）等，常用的电缆输电线路电压等级有110 kV、35 kV、10 kV（6 kV）及以下等级，配置有一至几个中心变电站、数量众多的区域变电所或区域配电所等。

石化企业电网具有发、输、供、配电功能，与地方电网连接，主要由枢纽或中心变电站、自备热电厂发电机组、区域变电所、装置变电站（所）、变配电设施和输配电线路等组成，如图1所示。

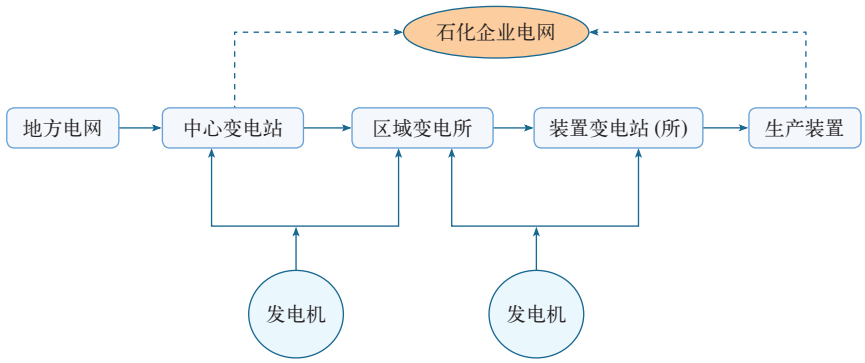

图1　石化企业电网

220 kV、110 kV电压等级的中心变电站通常采用两回架空输电线路接入地区电网两个不同的变电站，以满足设计规范上两个独立电源的要求。中心变电站与石化企业的动力锅炉区域距离较近，以方便自备电厂发电机电源的接入。

中心变电站与下级区域变电所或配电所之间常用架空输电线路或电缆输电线路作为馈线，数量庞大，纵横交错。架空输电线路、电缆竖井、电缆隧道、电缆沟道占用大量的用地空间，而且电缆敷设、巡检、检修不便，经常堵塞，造成排水不畅、积水，影响电缆的使用寿命，同时架空输电线路使用时间较长后其杆塔接地、避雷、绝缘子等易出现问题，维护工作量大，雷雨季往往不能避免因雷击造成失电，对生产装置的影响很大。

中心变电站内部的220 kV、110 kV主接线通常采用单母线分段的方式，回路数和主变台数较多的大型或特大型石化联合企业，采用双母线分段的方式、双母带旁路或双母双分段方式。35 kV、10 kV（6 kV）有两回进线的区域变电所高压侧主接线通常采用单母线分段方式、低压侧主接线采用单母线分段方式。

石化企业供电系统建设优化探讨

石化企业供电系统建设应考虑电气设备能满足厂区气候条件和环境影响，电气设计和安装必须保证供电的可靠性和工厂运行的安全性及操作维护方便性，同时应遵循节能、环保、安全、经济的原则，按照规范及项目近期发展，适当考虑备用量。规划出比较全面的长远的发展计划，对未来整体性、长期性、基本性问题的思考、考量和设计未来的整套行动方案，在众多的方案中寻找最优方案。

电气主接线的方案优化应结合工程实际情况，按照在保证供电可靠、调度灵活、满足各项技术要求的前提下，兼顾运行、维护方便，力争设备元件和设计的先进性与可靠性，又要尽可能地节省投资，坚持可靠、先进、适用、经济、美观的原则。

1. 电源可靠性

石化企业的电力负荷均为一、二级负荷，一级负荷中还有特别重要负荷。根据规范，一级负荷应由两个电源供电，当一个电源发生故障时，另一个电源不应同时受到损坏，一级负荷中特别重要的负荷，除由两个电源供电外，尚应增加应急电源。因此，石化企业的电源数量至少应为3个。

对于一级负荷工作电源的选取，通常包括：

1）两个电源引自地区公共电网。地区公共电网应有足够的容量，两个电源地理位置上可以不在同一地方，并且电气上没有联系，或者两个电源可能取自一个变电所、一个发电厂或一个电网，但必须在系统结构、继电保护、自动装置等方面满足不同时中断供电的需求。

从供电能力上，两个电源应100%的互为备用（电源、线路、母线、开关和变压器等），当一个系统中断供电时，另一个系统能担负全部用电负荷的供电。

公共电网具有供电可靠、节能、高效、电价合理等优点。因此，在建厂时首先考虑从地区电力系统取电源。企业内部建自备电厂的主要目的是利用装置所产生的富余蒸汽进行发电，以节约能源，这种电厂的规模由全厂蒸汽系统设置和富余“蒸汽的量”决定。而且这类自备电厂的发电机组通常为背压式机组，发出的电量与生产装置蒸汽动力负荷情况有关，故自备电厂不能作为主要电源。但是企业自备电厂容量在两个外部电源点失

电后，自备电源能确保生产装置安全平稳停车，不发生次生灾害，尤其是不能发生火灾、爆炸事故，也称作保安电源。当有足够容量时可以保证关键生产装置正常生产运行。

2）两个电源由企业自备电厂供给，地区电网取得的电源仅是自备电厂的联络电源。如地区电网无法满足企业用电要求，只有自建电厂。在以自发电为主的供电方式下，企业供电网仍需与地区电网相联，一方面可加大企业电网的容量，使企业发生冲击性负荷时，能稳定电网；另一方面在自备电厂检修或事故时，地区电网能起到保证供电的作用。

以自发电为主要电力来源的自备电厂，其发电机组以抽汽凝汽机组为主。但也要配一些背压式机组，按稳定的最低热负荷选背压机组容量，以配合工艺装置用汽。

3）从地区电网取得一个电源，企业内部建自备电厂作为一个电源。当地区电网用电比较紧张，不能短时间提供企业全部负荷用电的情况下，自备电厂的能力要能在外电网中止供电时，全部担负企业用电。机组选择：背压机组按稳定的最低热负荷选择容量，其余选择抽汽凝汽机组，保证发电量。

对于大型联合企业应尽量增大自备发电机组的容量，利于电网无功功率调整，优化潮流分布，稳定系统电压，增强抗扰动能力。

以上3种供电系统为保证电压质量，必须保证系统内的无功功率平衡，为避免无功功率长距离交换，自备电厂要调节发出无功功率的大小，特别是企业内的大型电动机群起动时，所需的无功功率尽量由自备电厂供给。

2. 负荷与电压等级

石化企业的用电负荷通常都在100～200 MW的范围，现在最高电压等级大多取110 kV也能满足供电要求，但是从可靠性角度考虑，同时拥有220 kV更好。200 MW及以上规模的企业，大多有220 kV、110 kV、35 kV、10 kV、6 kV、380 V这6个电压等级。近几年的趋势是：企业电网接入外电网取220 kV电压，可以提高可靠性并减少按变压器容量计算的基本电费；110 kV作为输电网、自备发电机组接入系统、区域变电所和大容量电动机电源的电压，比其他电压等级更合适；35 kV适用于中等规模生产装置的装置变电站，三电源变电站可向大型生产装置供电；10 kV、6 kV、380 V是用电设备直接需要的电压等级，必不可少。

3. 系统主接线

在设计电气主接线时，应使其满足供电可靠、运行灵活和经济等基本要求。

电气主接线可靠性设计时要同时考虑一次设备和二次设备的故障率及其对供电的影响。可靠性并不是绝对的，同样的主接线对某所是可靠的，而对另一些所则可能还不够可靠。因此，评价可靠性时，不能脱离变电站在系统中的地位和作用。通常分析和衡量主接线可靠性应从以下几方面考虑：①断路器检修时，能否不影响供电。②线路、断路器或母线故障时，以及母线检修时，停运出线回路数的多少和停电时间的长短，以及能否保证对重要用户的供电。③变电站全部停运的可能性。电气主接线灵活性要求有以下几方面：①调度灵活，操作简便方面，应能灵活地投入（或切除）某些变压器或线路，调配电源和负荷，能满足系统在事故、检修及特殊运行方式下的调度要求。②检修安全方面，应能方便地停运断路器、母线及其继电保护设备，进行安全检修而不影响电力网的正常运行及对用户的供电。③扩建方便，应能容易实现从初期过渡到最终接线，使扩建过渡时，在不影响连续供电或停电时间最短的情况下，投入新装变压器或线路而不互相干扰，且一次和二次设备等所需的改造最少。

大型石化企业内中心变电站的接线方式通常采取：1单母线分段方式（图2）、2单母线分段带旁路方式（图3）、3双母线接线方式（图4）、4双母双分段方式（图5）等四种。

中心变电站可能有穿越功率和接入发电机的220 kV、110 kV配电装置，适合采用双母线接线。输

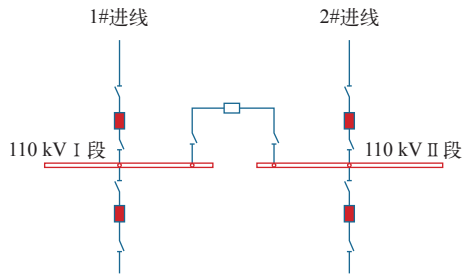

图2　单母线分段接线

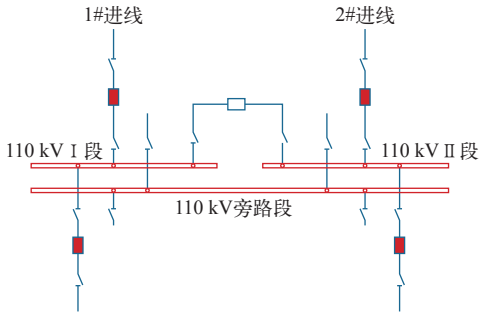

图3　单母线分段带旁路

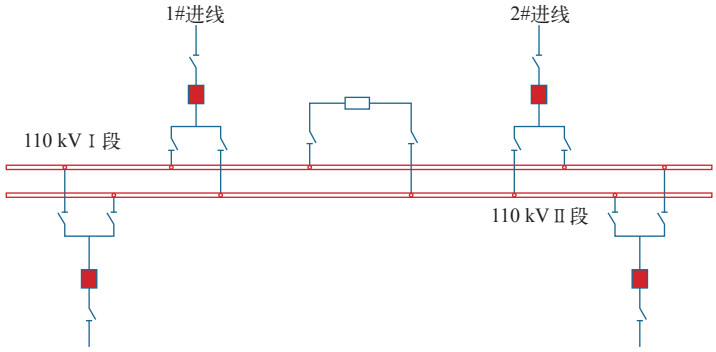

图4　双母线接线

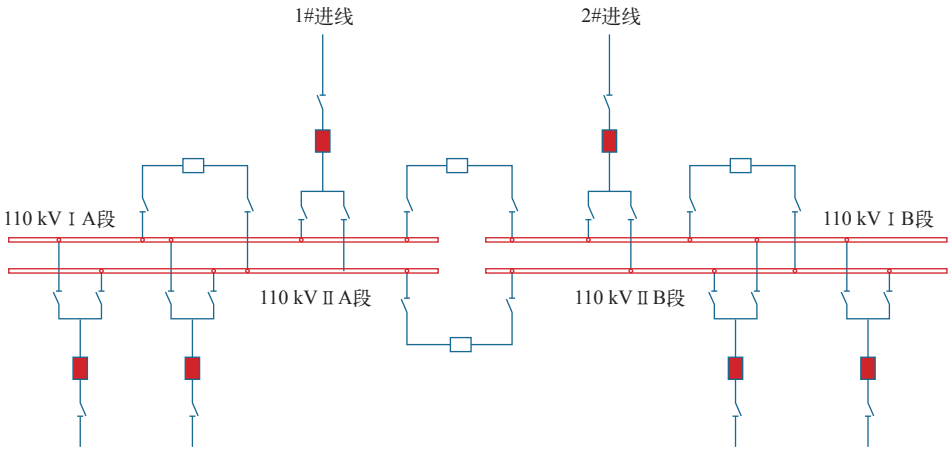

图5　双母线双分段接线

电网中的110 kV和35 kV配电装置，要求灵活调整负荷的，采用双母线接线（图4）或双母双分段接线（图5），没有调整负荷任务的采用单母线分段接线。在110 kV区域电网中，110 kV区域变电所和装置变电站之间设110 kV联络线的，以110 kV/10 kV变压器电动机组带大容量电动机的，其110 kV配电装置宜采用双母线或双母双分段接线，没有上述任务的采用单母线分段或线路—变压器组接线方式。35 kV装置变电站，在6 kV（10 kV）开关柜不宜选用气体绝缘组合电器设备GIS（Gas Insulated Switchgear），而又被要求长周期运行、需要边运行边轮修的，适合采用35 kV侧GIS扩大内桥、6 kV（10 kV）侧单母四分段接线；无须边运行边轮修的，采用35 kV侧线路变压器组、6 kV（10 kV）侧单母二分段（双电源双主变）、四分段（三电源三主变）接线。

高压GIS双母双分段接线方式适合进出线超过8回路的配电装置。变压器在不利的电压相角、剩磁或过小短路容量下合闸，其励磁涌流会造成系统低电压，装置变电站主变容量不可太大，110 kV等级不宜超过50 MV·A、35 kV等级不宜超过25 MV·A，并且接近或达到上限的主变应挂在双母线或双母双分段配电装置上。

所有供配电系统均以放射式向辖属的下一级变配电所或变配电装置直供。不应采取“T”接方式。中心变电站之间宜设置站际联络线，不仅可以做到站间负荷的转移，避免因外线路停电所造成的单回路供电风险，当任何一台大功率发电机解网时，联络线也能起到负荷平衡作用。

4. 中心变电站设置

中心变电站是石化企业电力负荷的中心，站址的选择在满足防爆、防火安全距离的前提下，应接近负荷中心并使进出线方便，有扩建和发展的余地，有和生产装置同时检修的可能，满足防洪抗震要求。尽量位于主导风向的上风侧，并考虑施工、运输方便、尽量避免西晒。

中心变电站应为独立建筑物。主要生产装置应设专

用的变电所，由中心变电站直接供电。变电所宜设计为双层或多层结构，设置电缆夹层（电缆室）。

中心变电站以往通常设置在企业厂区的边缘位置，在220 kV、110 kV电缆逐步取代架空线路、变配电装置户内化的情况下，在保障安全间距的前提下，进行综合考虑和规划后中心变电站的位置可以适当深入化工生产区，利于更接近负荷中心，减少出线电缆敷设距离、投资和线损。

5. 电力线路

在城镇化建设深入推进的今天，随着土地价格上涨，架空输电线路的传统优势趋弱，其可靠性不如电缆线路高的缺点进一步凸显，正逐步被后者取代。石化企业电力线路的建设应优先选用电缆线路，采用桥架敷设的方式，充分利用工艺管廊、构建筑物等基础设施，减少建设投资，提高供配电系统的可靠性。

6. 变压器

石化企业内部电力网各级变电站变压器备用容量都较大，负荷率一般是0.5左右。中心变电站多采用两台主变方案，任何一台主变退出运行，另一台主变都能接带全部负荷。对于较大的生产装置，配电所多采用多台变压器供电。选择备用容量的原则是：

1）按1：1配备。当一半变压器失电，带电的另一半变压器应能带全部负荷。

2）条件允许时再设一台备用变压器，正常处于冷备运行状态，任何一台变压器退出运行，备用变压器可立即投入带负荷，确保装置供电。

随着石化企业装置生产规模的逐渐扩大，变压器的负荷率也逐步上升。一般来说区域变电所变压器负荷率不宜超过50%，中心变电站负荷率不宜超过66%。这样，可以在不影响装置正常生产的情况下完成电气设备的检修调试工作。如果负荷率过高，则应及时考虑增大变压器的容量或者考虑多变压器供电的方案。

电力变压器作为企业电网供配电主要设备，其可靠性和制造质量必须严格把关，满足生产装置长周期运行的要求；进出线铜排改为电缆或绝缘管形母线，解决支持瓷绝缘子积灰严重时沿面放电问题；自然油循环全自冷散热方式，根除油泵和风机故障问题，以减少主变故障率，提高供电可靠性。

7. 自备电厂

石化企业自备电厂选址应兼顾热能输送、废气、余热利用，尽量靠近中心变电站。

自备电厂的电气主接线，考虑因素较多，当发电机组台数不多时，选用单母线分段接线，容量大、机组台数多的选用双母线接线。

自备电厂自用高压和低压母线，均宜采用单母线且按炉分段。尽可能把厂用电和生产热量的主要工艺用电设备都接在发电机母线上。

自备电厂的发电机组应与电力系统并联运行，以提高运行的稳定性，同时也应考虑与系统解列后独立的运行方式。解列点应设在发电量与用电量比较接近之处，使被解列的系统易于独立运行。解列点数宜根据需要设置，以适应不同的运行方式。

8. 大电动机起动

随着石化企业生产装置的单体加工能力越来越大，单机设备功率很大，拖动大电动机的应用范围也越广。大电动机的起动问题也成为企业内部电力网的一大矛盾。起动方式的选择不仅直接影响工程的一次投资大小，而且也影响到电力网本身的安全稳定运行。选择起动方式的一般原则是：在系统最小运行方式下，大电动机起动过渡过程中，电网内各个结点（母线）电压降小于15%，电动机机端电压降小于25%。从电压开始下降至恢复到正常电压水平的时间以不影响工艺生产为原则（一般控制在10 s之内为好），否则需采用软起动方式。

大电动机的容量在5 000 kW及以上的宜选用10 kV电压，选择变压器—电动机配线方式，尽量减少与其他负荷的联系。以降补固态软起动、晶闸管降压软起动、变频软起动等方式的起动电流倍数可降低到2～3倍额定电流及以下，对电网的冲击小、压降小、节省供配电的投资，是目前常用的软起动方式。

结束语

石化企业供电系统可靠性要求很高，供配电系统结构复杂，必须以系统性的观点作好整体规划，融合本行业和外部行业有效的方法，依靠科技进步，根据企业的负荷特点及地理位置等，规划出比较全面的长远发展计划，在分析研究设计的先进性与可靠性中，寻找最优方案以尽可能少的投资，建设合理、运行可靠的供配电系统，兼顾运行灵活、维护方便，满足企业“安稳长满优”生产的要求。EA

（收稿日期：2017.05.30）

（编辑：朱金凤）