[石化电气]

石油化工企业电气主接线设置及主变压器选择

文/中国石油华北石化公司　刘喜逢　王　林
中石油华东设计院有限公司　崔培良

石油化工企业总变电所为工艺生产装置提供长周期、连续运转提供可靠的电力保障，其电气主接线设置及主变压器选择恰当与否，直接影响到全厂供用电的安全性、可靠性。通过对石化企业电气主接线及变压器选择在规划设计中易被忽视的几个问题进行了探讨，并给出了合理的建议。

石油化工企业总变电所为工艺生产装置提供长周期、连续运转提供可靠的电力保障，属石油化工企业重要性生产设施，在全厂占有重要地位。石油化工企业的总变电所设计，主接线设置合理与否，主变压器选择恰当与否，直接影响到全厂供用电的安全性、可靠性。恰恰在这两条上，很多石化企业使用单位及设计单位受各种条件制约、认识上的局限性等因素，使得总变电所的规划设计存在或多或少的缺陷，主接线和主变压器选择的不当，几乎成为所有石油化工企业供配电网络的发展扩建的瓶颈，成为与长周期、连续运转要求相悖的安全隐患。

本文就石油化工企业常见的电气主接线设置及主变压器选择做详细探讨和论述，并对存在的几个问题进行了剖析与探讨，并给出了合理建议。

主接线设计原则

合理地选择、配置总变电所的电气主接线是与供电可靠性、调度、操作的灵活性、用电的安全性以及经济性密切相关的，它对全厂供配电网络的设置、电气计算、设备选择与校验、配电装置的布置、控制方式、继电保护乃至通信调度管理、SCADA系统的设置都具有决定性的作用，应该说电气主接线是电气规划设计的首要问题，不合理的主接线会成为企业发展扩容的严重制约瓶颈，会给以后改造扩建带来诸多困难，且降低供电的可靠性，会给安全运行带来事故隐患，以致于影响到工艺生产装置的连续性，造成重大的经济损失。

主接线设计的应着重考虑解决如下问题。

（1）供电范围及对象

总变电所按其供电负荷的对象、范围及其在石油化工企业所占的地位来确定其主接线的规模与配置。石油化工企业大多为大中型联合企业，从炼油生产装置到后续石油化工生产装置的精细深加工，由诸多分厂组成，每个分厂又有生产装置、储运系统、辅助设施和生活设施等，其用电负荷容量也较为可观，既是分厂,总变电所或区域性变配电所也不止一个。较单一的炼油型、化工产品加工型工厂为数不多，一般规模较小。石油化工企业的总变电所属于全厂重要设施，要求为专用，各级母线均不考虑向外部（企业所属的生活区或服务设施除外）供电。

（2）负荷情况和负荷性质

石油化工生产装置的用电负荷根据其对供电可靠性、连续性的要求来划分，绝大部分为一级负荷及一级负荷中特别重要负荷、二级负荷。

一级负荷及一级负荷中特别重要负荷的供电电源应由两个电源供电，且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负荷除由两个电源供电外，尚应增加应急电源，并严禁其他负荷接入应急电源系统。应急电源系统在总变电所的主接线设计中不考虑，由生产装置的配电系统设置。

（3）潮流分布的变化

根据总变电所所处的地理位置，在电气网络主接线中所处的位置，终端变电所（包括带配出线的终端变电所）还是具有穿越容量的联络变电所，依据系统潮流分布计算结果，确定正常运行时及系统主接线运行方式改变时的电压质量、功率传递范围，明确主接线、自动装置的操作和运行方式、用电负荷调配情况等。

（4）电气主接线配置

电气主接线的配置应当满足在接线方式改变时，倒闸操作便捷、切换可靠和迅速，尽量缩短停电时间或不停电。在电源恢复时，避免用电负荷的再次停电。主接线的设置应考虑在主设备、配电装置和母线设备故障需退出运行时的供电容量及可靠性要求。

（5）主变压器台数

主变压器的台数在主接线较为简单的内桥、外桥和分段单母线接线方式，通常设置两台，与其配电装置对应，接线和布置上比较简明，有一定的供电可靠性。缺点是负荷无法分类，二次侧中压配电装置规模较大、大型机组电动机接入、节能降耗发电机的接入、需设置无功补偿装置、接地补偿装置，在上一级供电母线失电、检修，或外部电源线路故障、检修或主变压器及其二次侧中压配电装置故障检修时，将由另一段线路、变压器及配电装置带全部负荷运行，降低了供电可靠性。总变电所在前期规划设计时，若有条件可考虑多台主变压器、多段配电装置考虑设置或预留。

（6）计量设置及接线要求

用户与供电部门的分界点通常以计量点为界。总变电所的用电量计量按照计量点的位置分为高压侧计量方式和低压侧计量方式。高压侧计量方式根据计量装置的设置，分为接入系统电源侧计量和受电侧（用户侧）计量。对于接入系统电源侧的计量，计量装置由接入系统供电部门负责实施；对于设置在用户的计量装置由总变电所设计考虑，计量装置（包括计量柜）要求按照独立、专用来设置。电压互感器准确度不低于0.5级（尽可能选用0.2级），电流互感器应为独立线圈、准确度不低于0.2级，电流比应选用带中间抽头的电流互感器，以满足不同负荷情况下的准确度要求。用户低压侧6（10）kV电压等级的电压、电流互感器应独立设置。

（7）电力调度隶属关系

总变电所高压配电装置的电源进线开关、分段或母联开关的调度隶属关系要明确，对于大中型石油化工联合企业的枢纽变电站，其电源进线开关、分段或母联开关的调度权通常由电力系统调度，由电力系统供电的110 kV总变电所、电源进线开关、分段或母联开关的调度权的归属关系应在供用电协议合同书中明确，从供电安全可靠性、操作便利灵活性上讲，归属用户较为有利。

（8）大型机组供电方式

随着石油化工企业生产装置大型化的进程，大型机组的供电方式成为主接线必须慎重对待的问题，大型机组的电动机容量与主变压器相比，通常占1/5～1/3 ，有的甚至接近或达到1/2。因此，其接入系统方式、起动时主接线的运行方式和供电母线电压水平应充分注意并慎重对待。

（9）电压波动要求

电压波动分为系统电压波动和企业内部大型机组投入时的电压波动。电力系统接线方式改变、潮流分布的变化和功率振荡是系统电压波动的主要原因；大型机组投入时的电压波动在系统供电母线短路容量不大的情况下会引起系统的电压波动。两者的电压波动范围是主接线设计时要考虑和解决的问题。

（10）系统对谐波的限定

石油化工企业虽然谐波电流源的设备很多，但是换流设备的种类却较少，按容量比绝大部分为交流电动机，有较少容量的变频装置、电子器件的直流电源、UPS整流装置和无功补偿装置的串联电抗器等。谐波电压源的设备有交流发电机和变压器。由系统（包括变压器的接线方式）传输的谐波对用电设备来讲影响可以忽略不计，但由110 kV供电的变电所因其非线性用电设备产生的谐波电流和电压，注入系统时会使电网电压正弦波形畸变，影响电力系统的供电质量。设计主接线时，尚需计算非线性设备产生的及注入系统的谐波值（从2～19次的最大有效值），采取措施防

止发生各次谐波谐振。

（11）系统运行方式及系统短路参数确定

主接线及其运行方式是短路参数计算、设备选择及校验、操作控制、自动装置、继电保护配置和电网调度通信设计的依据，根据其接入系统的方式和系统的要求，以及供电部门或调度部门所提供的要求，确定电气主接线及正常和特定情况下的运行方式。总变电所的短路计算要求供电部门提供如下数据：每一路电源在其接入点的最大、最小运行方式下暂态的短路计算参数、短路容量、短路电流和各序值电抗等。

（12）变压器中性点接地方式及接地点的选择

接入系统为35 kV和63 kV电压等级的总配变电所，中性点接地点设置由系统统一考虑；接入系统为110 kV电压等级的总变电所，至少有2台110 kV主变压器且布置在不同的母线段上，其中性点接地与否还是接地联跳由系统供电调度部门决定。

（13）无功功率补偿

用电负荷的功率因数应满足供电部门的规定，功率因数低于其规定值时将使费用增加，同时也应避免向系统反馈输过剩的无功功率。无功功率补偿通常采用静止型的电容器无功补偿、生产装置同步电动机所发出的超前无功功率补偿以及企业自备电站发电机组方式。电容器无功补偿采用总变电所集中补偿时，补偿装置参数的选择和随负荷的变化电容器分组投入时，应避免在各次谐波电流下的谐振。

（14）企业自备电站及余热电站的接入方式

把石油化工企业生产装置在裂化裂解过程中废气热能、干气和可燃气等过剩能源，利用其发电，经济效益显著。为提高发电机组的运行稳定性，通常挂靠于电力系统并联运行。主接线设计应根据机组台数、容量的大小、机组凝汽方式（纯凝汽机组、抽凝机组还是背压机组）和自备电站的主接线运行方式，需要解决电源接入电力系统、接入总变电所母线的解裂和同期点、与系统解列后全厂有功功率及无功功率的平衡等问题。

（15）无穿越功率的终端变电所－中压侧电源点问题

主变压器二次侧若挂有同步发电机，无穿越功率的终端变电所性质发生了变化，成为低压侧带电源点的终端变电所，将影响电力系统的继电保护、自动装置及总变电所主变压器的选择。

按照全厂负荷的性质、构成、回路数和各回路的最大供电容量、发展规划，确定中压配电装置现行规模和预留量。对于中压配电装置母线直供的大型机组、容量较大的配变电所，要充分考虑接入系统诸问题，配出线接线并便于试验检修。

全厂用电负荷较大，并经技术经济或其他特殊情况限定，主干供电网络非采用6（10）kV网络不可时，避免采用两台主变压器和带电抗器或分裂变压器的主接线方案，因电抗器（分裂变压器）仅对限值短路电流作用明显，而对限值由负荷的反馈冲击电流效果甚微。母线、开关设备虽满足开断、关合电流，但冲击峰值电流的动稳定却难以保证。故此时应采用多台主变压器、多段母线的配电装置。为抑制电动机反馈冲击短路电流，可考虑采用大容量高速开断装置。

主变压器的选择原则

对于两路电源进线、主接线为分段单母线接线方式的总变电所，应设置两台主变压器；对于两路电源进线、主接线为双母线接线方式的总变电所，主变压器容量在40 MV·A及以下时宜按两台设置；主变压器容量大于40 MV·A、对于三路电源进线、主接线为三分段单母线接线方式的总变电所，主变压器应按3台设置；对于两路或三路电源进线、主接线为双母线接线方式的总变电所，主变容量在40 MV·A及以上时宜按4台设置，使主变压器的容量不大于40 MV·A为宜。

主变压器容量的确定：大于全厂发展规划的一、二级负荷总的计算容量；满足大型机组在不改变接线运行方式下（尽可能在最小运行方式）直接或降压起动时，配电装置母线和机端电质量的要求，且不至于对其他用电负荷造成大的影响和对电力系统造成影响以致于改变其运行方式，主变压器按两台设置时，除全厂生产装置在开停工时期，每一台均应满足带全部一、二级负荷连续运转；主变压器按3台及以上设置时，应保证在一台退出运行时，其余的能带全部负荷长周期连续运转的要求，且尚需留有裕量；对于专供的大型机组的线路－变压器组的容量满足负荷容量、起动时母线电压水平和机端电压水平；正常运行负荷率在能耗、经济的最佳点。

主变压器绕组的确定：根据主接线的要求，确定两绕组或三绕组型式；绕组组别接线，110 kV绕组都采用Y0接线，根据系统运行和调度

的要求，采用直接接地或不接地方式，或与另一台主变压器实施接地联跳方式；当35 kV电压等级作为全厂主干供电网络时，且接地电容电流接近或预期大于规范要求值时，采用YN，yn0，d11接线；当总变电所的35 kV电压等级有可能与电力系统35 kV联网或并列运行时，变压器35 kV绕组的接线方式应与系统取一致。

主变压器阻抗电压选择：容量大于或等于6.3 MkV·A的两绕组变压器，110/6 kV通常选择10.5%的阻抗电压；35/6 kV通常选择8%。

主变压器阻抗电压的选择应统筹考虑以下因素的影响：系统最大、最小运行方式下中压侧和低压侧的短路水平；开关电器的开断电流、冲击峰值电流；电缆满足其热稳定的最小截面积；大型机组电动机的起动方式、起动时间、主接线方式、母线电压水平和机端电压水平；对于变压器－电动机组，变压器的阻抗电压应按照满足起动条件的要求选择。

主变压器有载调压及其分接头选择：设置在变压器的高压侧、星形连接绕组的中性点处；对于35～110 kV总变电所的主变压器（降压变压器），当由石油化工联合企业专属的区域变电站或发电厂及电力系统供电时，宜采用有载调压变压器；当电源进线有接至电力系统，也有接至石油化工联合企业专属的区域电站变或发电厂时，也应采用有载调压变压器；主变压器的电压比应根据潮流分布计算结果选取。

主变压器绕组的绝缘强度：对于中性点不接地或经消弧线圈接地的系统，主变压器的各绕组均应按全绝缘考虑；对于110 kV及以上的中性点直接接地系统，主变压器的各绕组可按半绝缘考虑。当设置为有载调压时，有载调压分接开关的绝缘应与变压器的绝缘取一致。对于变压器中性点调压方式，由于电力系统诸多变压器中性点的绝缘为半绝缘，分接开关的绝缘水平与中性点处保持一致，在选择分接开关时应特别注意。

大气过电压对分级绝缘变压器的中性点是有危害的，需要进行保护。但对全绝缘变压器的中性点，对于处于多雷区单进线的变压器来说，雷电波三相同时入侵的几率为10%左右，也很危险，宜装设避雷器进行保护。变压器中性点的绝缘水平要求如下表所示。

表　变压器中性点的绝缘水平　　单位：kV

电压等级	中性点接地方式及绝缘类型	额定短时工频耐压有效值	雷电全波冲击耐受电压峰值
35	不直接接地、全绝缘	85	180
63	不直接接地、全绝缘	140	300
110	不直接接地、全绝缘	200	425
110	直接接地、分级绝缘	95	250

结束语

石化企业的总变电所与电力系统及其他行业的总变电所设计有很大不同，本文给出石化企业主接线设计需要注重的19个原则问题和主变压器选择的8条原则，足见其差异，供设计人员、运行人员参考。当然，本文针对的是110 kV总变电所，对220 kV总变电所的设计也具借鉴作用。EA

（收稿日期：2018.07.14）

（编辑：朱金凤）

良信电器投资建设低压电器海盐基地

2018 年 12 月 26日下午，良信电器海盐生产基地项目签约仪式在浙江海盐隆重举行，上海良信电器董事长任思龙总裁陈平携高管团队、浙江省海盐县委县政府主要领导王碎社、詹利民、陈峰等出席了签约仪式。参加签约仪式的还有海盐县政府办公室、环保局、海盐经济开发区的相关领导。

良信电器海盐低压电器生产基地项目将在海盐经济开发区投建，项目计划总投资11亿元，总占地面积约206亩，分期建设。良信电器2011年投资建设的上海康桥智能低压电器产业园，经过近8年的建设发展，已经形成了涵盖公司总部、研发中心、试验检测中心和生产制造基地的功能格局，奠定了公司长期稳定发展的扎实基础。随着公司经营规模的不断扩大，为了更好地满足市场和客户需求，提升产品制造能力，优化供应链体系，提升运营效率，积蓄发展后劲，公司经过认真谋划、多方论证、审慎决策，决定在浙江海盐建设低压电器生产基地，持续提升公司高端低压电器制造实力，项目建成后将与上海智能产业园主副相承、共同发展，形成环湾区研发、制造双基地。