

# [石化电气专题]石化企业电能质量分析

2009-07-01

## 1 石油化工的行业背景

### 1.1 行业背景

大型石油化工企业，是国民经济的支柱产业，资源资金技术密集，产业关联度高，经济总量大，产品广泛应用于国民经济、人民生活、国防科技等各个领域，对促进相关产业升级和拉动经济增长具有举足轻重的作用。

我国是石化产品生产和消费大国。进入 21 世纪以来，石化产业保持快速增长，产业规模不断扩大，综合实力逐步提高。工业增加值年均增长 20%左右，拉动国民经济增长约 1 个百分点。成品油、乙烯、合成树脂、化肥、农药等产品产量位居世界前列。相继建成了 14 个千万吨级炼油、3 个百万吨级乙烯生产基地。

石化工业的规模实现跨越式发展，我国跻身于世界石化生产大国的前列。2007 年，我国炼油能力 4.2 亿吨 / 年，乙烯能力 998.5 万吨 / 年，合成树脂能力 3300 万吨 / 年，合成橡胶能力 165.8 万吨 / 年，均居世界第二位；合成纤维能力 2674 万吨 / 年，居世界第一位。2007 年实际加工原油 3.27 亿吨，生产汽、煤、柴油 1.95 亿吨，乙烯产量达 1027.8 万吨。2007 年乙烯当量消费量为 2112 万吨，需求满足率为 48.7%。我国是世界第六大石油生产国和第二大石油消费国。2007 年原油产量 18666 万吨，石油消费量 37073 万吨。2007 年石油净进口量达 18348 万吨，石油对外依存度为 49.5%。

石化企业的生产介质为高温、高压、易燃、易爆、有毒、有害、强腐蚀性。生产特点为点多、链长、面广、生产工艺连续性强，自动化程度高，装置之间关联程度复杂，涉及的专业和设备种类繁多。

石化生产以石油为原料，原油占总成本的 90%，产品有：汽油、柴油、航空煤油、石脑油、液化气、石油焦、沥青、聚乙烯、聚丙烯、苯乙烯等五十多个；年产值巨大，以广州石化为例，2008 年的产值为 525 亿元，平均每天有 1.438 亿的产品被生产出来并销售出厂。

### 1.2 国务院《石化产业调整和振兴规划》规划目标

2009~2011 年，石化产业保持平稳较快增长。经过三年调整和振兴，到 2011 年，产业结构趋于合理，发展方式明显转变，综合实力显著提高。

(1) 产量保持稳步增长。到 2011 年，原油加工量达到 40500 万吨，成品油、乙烯产量分别达到 24750 万吨、1550 万吨。化肥产量达到 6250 万吨，钾肥产量达到 400 万吨，高浓度化肥比重提高到 80%；在原料产地生产的化肥比重提高到 60%。

(2) 产品结构显著改善。2009 年车用汽油全部达到国 III 标准，2010 年车用柴油全部达到国 III 标准，2011 年轻质油品收率达到 75%，高端石化产品自给率明显提高。

(3) 技术进步明显加快。丁基橡胶等产业化技术取得突破，千万吨级以上炼油、百万

吨级乙烯、大型粉煤制合成氨等成套技术装备实现本地化，煤制油、烯烃、乙二醇等示范工程建成投产。

(4) 节能减排取得成效。到 2011 年，石化产业单位工业增加值能耗下降 12%以上，污水、二氧化硫和粉尘等污染物排放量减少 6%以上，吨原油加工耗标准油低于 63 千克，吨乙烯耗标准油低于 640 千克，吨氨综合能耗低于 1.8 吨标准煤。

(5) 产业布局趋于合理。成品油“北油南运”的状况得到改善。长三角、珠三角、环渤海地区产业集聚度进一步提高，建成 3—4 个 2000 万吨级炼油、200 万吨级乙烯生产基地。

(6) 抓紧组织实施好“十一五”规划内在建的 6 套炼油、8 套乙烯装置重大项目，力争 2011 年全部建成投产。在现有基础上，通过实施上述项目，形成 20 个千万吨级炼油基地、11 个百万吨级乙烯基地。炼油和乙烯企业平均规模分别提高到 600 万吨和 60 万吨。

(7) 统筹重大项目布局。

坚持保护生态环境、发展循环经济、立足现有企业、靠近消费市场、方便资源吞吐、淘汰落后产能的原则，按照一体化、园区化、集约化、产业联合的发展模式，统筹重大项目布局，严格控制炼油乙烯项目新布点。做好新建重大炼油乙烯项目论证和区域环境影响评价等工作。近期重点做好利用境外资源在国内合作加工的炼化项目前期工作，选择 2—3 个条件好的现有大型炼化企业进行扩建。结合中缅原油管线的进展情况，适时开展西南地区炼化项目的布局研究。

## 2 石化企业的电力系统的特点

2.1 工艺的特殊性对供电可靠性要求很高，电力系统稍有不慎就可能引发化工装置很严重的安全事故和很大的环境破坏事故。

2.2 企业内部电网一般包括输电、发电、配电三个环节

2.3 配电的可靠性要求非常高

对连续运行的石化企业来说，仅几个周波的电力系统故障就能造成大量生产装置停工，甚至引起灾难性的后果。(毫秒级、经济损失——非计划停车、诱发安全事故、导致环境污染)。

2.4 负荷相对平稳及三相相对平衡

石化企业的负荷是相对平稳的，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。

2.5 大型石化企业供电系统容量一般在 200MVA 以上，用电负荷 150MW 以上。

自发电能力强自备发电机容量一般在 200MW 以上；同外电网连接电压等级高，一般为

220kV，联络回路数为 2 个及以上。

## 2.6 异步电动机为主

石化企业的负荷主要是以大型异步电动机拖动风机、压缩机以及隔爆或增安型异步电动机拖动的机泵为主。电动机占总用电负荷的 85% 以上。同时也有少量的同步电机。

## 2.7 一定数量的非线性负荷，如变频器、UPS、直流电源、整流变压器、可控硅控制的电加热器

## 2.8 大型电动机启动

炼油催化主风机和乙烯聚合造粒机等大型电动机的启动虽然次数很少，但启动时间却较长，对母线电压影响较大，是大型石化企业供配电系统的关键问题之一。

## 2.9 有大量异步电动机的运行，一般采用电力电容器组对其功率因数进行有效的补偿。电力电容器组安装在主变电所、多区域配电所或多区域变电所内。

## 2.10 电力网结构复杂，双母线或双母线分段；供电电压等级多，220kV、110kV、35kV、10kV、6kV、380V 等多个电压等级；变配电站多而分布很散高压输电线路纵横交错，电缆配电系统庞大。

## 2.11 化工的用电负荷大部分为一级用电负荷，有相当一部分分为一级负荷中的重要负荷，配备有 UPS、EPS 或事故柴油发电机作为安保电源。特大型石化企业还配备有用于紧急黑启动的外部热备用电源。

## 2.12 新建的石化电网自动化水平高，继电保护配置先进

## 2.13 有企业自备热电厂

大型石化企业都具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，通常仅能为本企业提供一定负荷及保安电源。石化企业的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。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，各发电机很难保证此时的稳定运行。通常大型石化企业的热电厂既是企业供配电系统的中心。

# 3 石化供电系统电能质量指标及分析

## 3.1 质量指标

一个理想的电力系统应以恒定的频率和正弦波形，按规定的电压水平对用户供电。在实际情况下，由于电能输送过程中受到各种因素的干扰和影响，到达用户的电压和频率会偏离规定值，原本应为正弦波的电能波形也发生畸变。电能质量不仅取决于发电、输电和配电

系统本身，而且伴随着现代工业化的迅速发展，接入公用电网的半导体换流器和非线性负荷也明显干扰或降低配电网中的电能质量。

对于电能质量指标，石化行业同其他行业并无特别之处，只是石化装置对供电要求更为苛刻一些，所以石化供电系统电能质量具有其普遍性的特征。衡量电能质量的主要指标有：

(1) 电压偏差 (voltage deviation)：是电压下跌(电压跌落)和电压上升(电压隆起)的总称。

(2) 频率偏差 (frequency deviation)：对频率质量的要求全网相同，不因用户而异，对于该项偏差标准都有相关规定。

(3) 电压三相不平衡 (unbalance)：表现为电压的最大偏移与三相电压的平均值超过规定的标准。

(4) 谐波和间谐波 (harmonics & inter-harmonics)：含有基波整数倍频率的正弦电压或电流称为谐波。含有基波非整数倍频率的正弦电压或电流称为间谐波，小于基波频率的分数次谐波也属于间谐波。

(5) 电压波动和闪变 (fluctuation & flicker)：电压波动是指在包络线内的电压的有规则变动，或是幅值通常不超出 0.9—1.1 倍电压范围的一系列电压随机变化。闪变则是指电压波动对照明灯的视觉影响。

### 3.2 六项电能质量国家标准

GB/T12325—2003 供电电压允许偏差

GB/T12326—2000 电压波动和闪变

GB/T14549—1993 公用电网谐波

GB/T15543—1995 三相电压允许不平衡度

GB/T15945—1995 电力系统频率允许偏差

GB/T18481—2001 暂时过电压和瞬态过电压

### 3.3 电能质量特点

由于电能的特殊性，电能质量有以下几个特点：

(1) 电能质量的整体性：保证电能质量要靠多方努力。因此要求电力供应方、电力使用方、设备制造商等共同协作，制定统一和可操作的合适质量标准或单独的供电质量协议，或者按电力用户对电能质量的不同要求实行分级控制和管理。

(2) 电能质量的传播性：[电力](#)系统是一个复杂的网络，为电能提供了最好的传输途径。电能传播速度快，[电气](#)污染波及面大，会大大降低相连系统的电能质量。

(3) 电能质量的动态性：电能从[发电](#)生产到用户消耗是一个整体，其流动始终处于动态平衡中，并且随着[电网](#)结构和负荷的改变而不断变换。在整个[电力](#)系统中，不同时刻、不同地点，电能质量指标往往是不同的，电能质量始终处在动态变换中。

(4) 电能质量的相关性：电能不易大量存储，其生产、输送、分配和转换过程直至消耗几乎是同时进行的。当系统处在各种运行状态时，电能质量一旦不达标，相关的设备就会受到不同程度的影响。

(5) 电能质量的潜在性：电能质量扰动复杂多变，事故诱发条件复杂，其质量的下降造成对系统用电设备的损害有时并不立即显现，为安全运行留下了隐患。

(6) 电能质量的复杂性：电能质量的多个指标作用于同一个系统时，综合给出电能质量的评判标准是非常困难的。目前尚没有一个准确和普遍认可的定量评估计算方法。

## 4 稳定石化[电网](#)频率的措施

### 4.1 频率变化对石化内部[电网](#)的影响

石化企业大多有热电联产的自备热电站。自备热电站在降低能耗、提高效益及维持企业[电网](#)的有功平衡、电压稳定、紧急情况下起到一定的备用电源作用等方面发挥重要作用。但发电机组接入双星型、放射线、互为备用的石化双电网，在其中的一个同外电网解列形成孤网时，因为有频率下降的暂态过程，以及同另外一个健全电网同期问题，使得故障孤网迅速恢复遇到阻碍，延误系统恢复至正常状态的时间。

在频率稳定方面，如果石化企业小电网同外电源（可以看成无穷大系统）联接的，那么石化电网的频率同外电网的频率是相同的，频率稳定问题是由大的电力系统去解决。假如因某种原因导致石化企业小电网同外电源解列而成孤网运行，而石化企业内部发电机所发有功功率小于总用电负荷，此时石化孤网的频率将不能稳定在额定频率而下降。

系统频率下降---热电站给水泵、给粉机等辅机转速下降——给水泵、给粉机等辅机压力和流量低——进锅炉的燃料和水量少了很多——影响锅炉蒸汽出力下降——导致汽轮进汽量减少——发电机输入轴功率减少——孤网系统的频率进一步下降---恶性循环——最后导致全系统频率崩溃。

在发电机有功容量不足的石化小电网出现孤网的瞬间，根据孤网频率下降幅值及时切除部分负荷，可以有效解决频率稳定问题。根据电力系统稳定性原则而装设的自动低频减载装置是电力系统的第三道防线。DL428《电力系统自动低频减负荷工作技术规定》、DL497-92《电力系统自动低频减负荷工作管理规程》对自动低频减负荷方案制定及管理作出详细规定。

频率是电力系统运行的一个重要质量指标，反映了电力系统有功功率的供需平衡状态。

当全系统的发电总有功出力满足全系统负荷需求、并能随负荷的变化及时调整时，系统频率将保持额定值。如果总有功功率供大于求，频率上升，反之则下降。

#### (1) 频率对汽轮机的影响

汽轮机设计时要求共振频率充分躲开额定转速，当转速偏离额定转速时，振动应力随频率偏离额定值的增大而显著增大，叶片安全持续运行时间随振动应力幅值的增大而显著缩短。

#### (2) 频率对发电机的影响

《汽轮发电机的通用技术条件》GB-7064-86 规定：发电机在额定功率因素电压变动范围 $\pm 5\%$ 和频率变动范围 $\pm 2\%$ 时，应能连续输出额定功率。

频率异常影响发电机出力的原因是当频率降低时导致发电机转速下降，散热用的通风量减少，相应的视载功率降低。

#### (3) 频率对热电站辅机的影响

低频运行对热电站辅机的影响与辅机所带的机械负荷有关。频率降低时，锅炉给水泵循环水泵凝结水泵出力降低明显，从而影响锅炉的蒸汽出力下降，蒸汽出力下降影响汽轮机输出到发电机的轴功率，轴功率的减少使电力系统的有功功率减少，从而进一步导致系统频率下降，从上分析，这个过程是一个正反馈的不稳定的过程。

(4) 频率对负荷的影响（负荷的频率调节效应）电力系统的负荷电功率，与供电母线电压有关，也与系统频率有关。在简化分析计算中，考虑到实际运行电压与母线额定电压不会偏离太多，负荷电功率可组成仅与系统频率相关的函数。系统负荷中的电功率，有的与频率无关，如电热设备、电解槽，有的与频率一次方成正比，如碎煤机、卷扬机、金属切削机床等，有的与频率二次方或二次方以上成正比，如通风机、水泵等。通常情况下，负荷总功率 $P_{\Sigma L}$ 与系统频率 $f$ 的关系式可描述为：

$$P_{\Sigma L} = P_{\Sigma L}^* K_L$$

式中 $P_{\Sigma L}^*$ ---额定频率 $f_N$ 时系统总负荷功率；

$P_{\Sigma L}$ ---频率 $f$ 时系统总负荷功率；

$f^*$ -----频率标么值， $f^* = f/f_N$ ， $f_0$ 为初始频率，一般 $f_0 = f_N$ ；

$K_L$ -----系统总负荷的频率调节效应系数。

## 4.2 稳定石化电网频率的措施

石化企业出现孤网运行时，频率的稳定是非常重要的。内部发电机所发容量不足以满足

石化企业内部用电负荷需要,如果不采取任何控制措施,将会导致石化企业内部最终运行频率非常低,严重时可能导致全系统瓦解。根据孤网频率下降幅值及时切除部分负荷,可以有效解决频率稳定问题。解决频率稳定问题的装置有:

(1) 电力系统频率安全稳定装置,简称安稳装置。它解决小电网内部发电容量远小于用电容量(功率缺额超过 $1/3$ 时),在同外网解裂的瞬间,迅速切除一部分用电负荷,以维持孤网的发用平衡。目前上海石化已经成功投用安稳装置。

(2) 低周低压方向解裂装置,它解决当外电网出现故障时,为了防止石化小电网大量向外网倒送故障电流而设置。当外网故障出现功率倒送时,设在石化电网关口处的解裂装置迅速切除同外网的联络,以求小系统自保。

(3) 低周减载装置,当石化电网孤网运行的频率降低到某一个值时,按轮次启动低周减载装置进行减负荷,直到孤网频率重新恢复和稳定在容许范围内为止。

## **5 提高石化供电系统抗电网电压波动能力**

### **5.1 电力系统安全稳定的基本要求:“N-1”原则**

**N-1 原则:** 正常运行方式下的电力系统中任一元件无故障或因故障断开,电力系统应能保持稳定运行和正常供电,其他元件不过负荷,电压和频率均在允许范围内

电力系统安全稳定的三道防线:

第一道防线: 保持稳定运行和电网正常供电。

正常运行方式下的电力系统受到单一元件故障扰动后,保护、开关及重合闸正确动作,不需采取稳定控制措施,电力系统能够保持稳定运行和电网的正常供电,其它元件不超过规定的事故过负荷能力,不发生连锁跳闸。

第二道防线: 保持稳定运行,但允许损失部分负荷。

正常运行方式下的电力系统受到较严重的故障扰动后,保护、开关及重合闸正确动作,应能保持稳定运行,必要时允许采取切机和切负荷等稳定控制措施。

第三道防线: 当系统不能保持稳定运行时,必须防止系统崩溃并尽量减少负荷损失

电力系统因严重故障导致稳定破坏时,必须采取措施,防止系统崩溃,避免造成长时间大面积停电和对最重要用户(包括厂用电)的灾害性停电,使负荷损失尽可能减少到最小,电力系统应尽快恢复正常运行。

### **5.2 石化电网抗电压降低的措施**

#### **5.2.1 设置母联开关自投**

当一段母线失电后，以最快的速度将母联自投，使断电设备尽快恢复供电，缺点是常规的备自投装置采用残压切换方式切换时间过长。

### 5.2.2 低压自保持和再启动抗“晃电”

6kV高压电机低电压保护延时整定大于母联自投时间，低压脱扣回路中增加延时闭锁或采用微机保护装置实现抗“晃电”功能，躲过瞬间失电时间

利用再启动装置或微机保护装置实现电机分批再启动

### 5.2.3 输电系统选择合理的运行方式：

运行方式为：110kV及以上系统并列运行，一条220kV线路故障，只要其迅速跳闸，不影响正常供电，没有备用电源切换问题。石化内部较大型发电机组直接接入110kV系统，发电和输电系统的运行方式选择并列运行依靠保护的双重化和快速的差动保护，实现故障的快速切除，对运行系统的影响降至最低。

石化电网内部发电、用电保持平衡，维持系统进出电的“调零运行”。即使出现外电网220kV系统电源全部失去，只要在解列瞬间内部电网稳定，也能保证石化生产用电需要。目前石化行业相当一部分企业选择以上运行方式。

### 5.2.4 35 / 10 / 6 / 0.4kV等配电系统尝试应用快切装置

由于大量旋转负荷的存在，故障后母线残压衰减缓慢，基于残压切换方式的备用电源自投装置(BZT)切换时间过长，造成严重后果。将电源快速切换装置应用到石化35kV、10kV、6kV系统中。应用的产品有：电源快切装置、无扰动电源切换装置、电源替续系统等。

对这类装置，因为母线上还有运行的有小型发电机、同步电动机、较多的异步电动机等旋转残压问题，必须针对现场应用的具体情况，有针对性的分析计算，建模和动态模拟，才能得出安全可靠的切换模式。

目前有相当多的石化企业在作这方面的尝试，中石化总部也列出了科研开发课题，进行这方面的研究。

### 5.2.5 大型电动机选择合理的启动方式

石化企业一般有大型电动机。容量超过12MW，它的启动问题应该认真分析。除了选择较低的电动机启动电流（4倍以内），还需选择合理电动机的启动方式，减少在启动时对母线电压的冲击。

直接启动 / 全压直接启动：变频启动；降压启动

**【自耦减压启动Y- $\Delta$ 启动串电阻启动软启动器：软启动控制方式】**

——最简便可靠性最强投资最少的是全电压直接起动,但需要校核大电机起动对电网的冲击和对生产工艺的影响,《电能质量·电压允许波动和闪变》(GB12326-93)规定:

.....

频繁起动的电动机起动时, 配电母线末端的电压降应 $\leq 10\%$

偶尔起动的电动机起动时, 配电母线末端的电压降不宜 $> 15\%$

直供配电线路的电动机起动时, 配电母线末端电压降允许达 20%

电动机起动时, 电网总负荷容量不应超过变压器额定容量的 1.15 倍

实际上对于石化企业, 因有变频器和UPS, 运行中规定不能低于 10%

.....

——在投资允许的提前下, 变频调速起动是比较理想的方案, 基本上对电网无冲击

——电动机软启动控制旨在限制启动电流, 减小冲击电流对电网的影响。从级控制过渡到无级控制、从硬件调节到软件调节、从机械自动化过渡到智能自动化。

这是利用了可控硅的移相调压原理来实现电动机的调压起动, 主要用于电动机的起动控制, 起动效果好但成本较高。

### 5.2.6 静止补偿装置 (SVC) 和静止无功发生器 (SVG)

静止无功补偿器是一种典型的柔性交流输电装置 (Flexible AC Transmission System, FACTS)。实现调相调压功能, 提高线路的输送能力, 提高稳定运行水平, 改善电能质量。应用于石化行业, 可进行动态无功功率补偿, 电压控制, 谐波和负序治理, 对于降低大型电机启动等冲击性负载影响母线电压和维持系统无功平衡具有重要作用。

静止补偿器的基本作用是连续而迅速地控制无功功率, 即以快速的响应, 通过发出或吸收无功功率来控制它所连接的输电系统的节点电压。

静止补偿器由于其价格较低、维护简单、工作可靠, 在国内仍是主流补偿装置。静止补偿器(SVC)先后出现过不少类型, 目前来看, 有发展前途的主要有直流助磁饱和电抗器型、可控硅控制电抗器型和自饱和电抗器型 3 种。

静止无功发生器(static var generator, SVG)又称静止同步补偿器(STATCOM), 是采用GTO构成的自换相变流器, 通过电压电源逆变技术提供超前和滞后的无功, 进行无功补偿。与SVC相比, 其调节速度更快且不需要大容量的电容、电感等储能元件, 谐波含量小, 同容量

占地面积小，在系统欠压条件下无功调节能力强。

### 5.3 石化电网防过电压的措施

#### 5.3.1 过电压分类

电力系统的架空输电线路、电缆线路、母线、变压器和旋转电机的绕组，都属于具有分布参数的电路元件。无论线路遭受雷击或者系统内部发生操作和故障，都会在系统中产生电磁暂态过程，形成一定水平的过电压。

过电压分为外过电压和内过电压两大类。内部过电压分为三大类：操作过电压、工频过电压、谐振过电压。外部过电压对电力系统的破坏方式有四种：直击雷过电压、感应雷过电压、雷电波侵入过电压、雷电地电位反击过电压。



#### 过电压的分类

##### 5.3.2 现代防雷保护的三道防线

——外部保护，将对电力系统有威胁的绝大部分雷电流直接引入地下泄散；如避雷针（线）等；

——屏蔽保护，屏蔽对带电导体有过电压危害的雷电冲击波；如避雷带、防反击措施、选用电缆及户内设备等；

——内部保护，限制被保护设备上雷电过电压幅值。如避雷器、放电间隙等这三道防线

相互配合，各尽其职，缺一不可。

防雷防雷综合技术：

——接闪器技术

——引下线技术

——接地技术

——屏蔽技术

——防反击技术

——等电位连接

——防电源过电压侵入技术

从外线路进来的过电压，经 220-110-35-10（6）-0.38-0.22（kV）各级避雷器和放电间隙，包括低压电源线路并联的电涌保护器（SPD）连至接地线，它们的作用是把过高电压抑制，在短时间内导通，将雷电过电压波在避雷器或SPD处分流入地，也就是将电源方向传递过来的雷电流的所有入侵通道堵截了，而且不只一级堵截，可以多级堵截。实现电力系统整体各级电压在安全幅值范围内。

### 5.3.3 石化系统防过电压的具体措施

#### （1）防止外部入侵的雷电过电压的措施

①与外电网联络的电源架空线路，大多为 110kV及以上电压等级，应该设置非常完善的避雷线，防止直击雷。

②在厂区按设计规范设置多支独立避雷针。110kV以上的配电装置须设避雷针。接地引下线、接地网、接地极、接地带符合规范。

③外电源架空线路的进线开关前的避雷器设置是非常重要的。它对沿外线路传递过来的过电压有重要的抑制作用，是防止过电压的第一道防线。

④变压器一般是户外布置，高压侧是架空线，此时在高压侧必须装设避雷器；变压器的中性点须装间隙放电保护。

⑤对于 6/10kV装置变电所直配厂区外的架空线路（如取水口、成品油中转站、生活区的电源），有条件时可串接变压器，将架空线路同厂内电网进行适当隔离。变电所直配架空线回路的避雷器参数选择必须正确

⑥从防雷角度，尽量选择电缆线路输电。

⑦切实作好二次系统的等电位连接措施，防感应过电压和防雷电反击过电压。

⑧电力系统的防雷及防过电压措施，必须严格执行，保证由电源部分传输到弱电系统的电压水平在容许范围内。电源部分配置三级SPD，限制钳位被保护设备上浪涌过压过流幅值在设备可承受的范围

⑨自动控制仪表等弱电系统防雷。

---装设防雷栅（安全栅）

---采用双屏蔽布线系统

---采用容错技术

---动作信号加短延时

---适当提高仪表工作电压

---将仪表工作电源改为直流电源

---建立雷电预警系统。

（2）防止内部过电压措施

①6-10-35kV系统中性点接地方式，从限制过电压角度来讲，希望小电阻或中电阻接地。

②尽量选用抗谐振的PT。同时PT的消谐措施要落实。应限制PT中性点接地数量。

③电网的谐波容易诱发谐振，消除谐波很重要。

④配置快速保护，比如光纤纵差保护母差保护，快速切出故障。

## 6 石化供电系统谐波的产生及抑制

### 6.1 谐波的产生

在理想的干净供电系统中，电流和电压都是正弦波的。在线性元件(电阻、电感及电容)的简单电路里，流过的电流与施加的电压成正比，流过的电流是正弦波。

在实际的供电系统中，由于有非线性负荷的存在，当电流流过与所加电压不成线性关系的负荷时，就形成非正弦波电流。任何周期性波形均可分解为一个基频正弦波加上许多谐波频率的正弦波。谐波频率是基频的整数倍或分数倍。

供电网谐波来自三方面：

(1) 发电质量不高产生的谐波

发电机由于三相绕组在制作上很难做到绝对对称，铁芯也很难做到绝对平衡从而抑制饱和，发电源在运行时多多少少会产生一些谐波，但一般很少。

(2) 输配电系统产生谐波

输配电系统中主要是电力变压器产生谐波，由于变压器铁芯的饱和，磁化曲线的非线性，加上设计变压器时考虑其经济性，其工作磁密度选择在磁化曲线的近饱和段上，实际运行时铁芯容易进入饱和区，因而含有奇次谐波。它的大小与磁路的结构形式、铁芯的饱和程度有关。铁芯的饱和程度越高，变压器工作点偏离线性越远，谐波电流也就越大，其中3次谐波电流可达额定电流的0.5%。

(3) 石化用电设备产生的谐波

——晶闸管整流设备：

石化企业广泛使用电脱盐、电除尘、电解槽、电加热器、开关电源、UPS等许多晶闸管整流设备，给电网造成了大量的谐波。如果整流装置为单向整流电路，在接感性负载时则含有奇次谐波电流，其中3次谐波的含量可达基波的30%；如果整流装置为三相全控桥6脉冲整流器，变压器原边及供电线路含有5次及以上奇次谐波电流；如果是12脉冲整流器，也有11次及以上奇次谐波电流。经统计表明：有整流装置产生的谐波占所有谐波的近40%，这是最大的谐波源。

——变频装置：

变频装置常用于石化装置的风机、水泵等驱动设备中，由于采用了相位控制，谐波成分很复杂，除含有整数次谐波外，还含有分数次谐波，这类装置的功率一般较大，随着变频调速的发展，对电网造成的谐波也越来越多。

——气体放电光源：

石化行业大量使用的荧光灯、高压汞灯、高压钠灯与金属卤化物灯等属于气体放电类电光源，会给电网造成奇次谐波电流。

## 6.2 造成当前石化企业电能质量问题主要原因

——电力负荷构成的变化。目前，石化企业大量使用非线性负荷：大规模电力电子应用装置（节能装置、变频设备等）、大功率的电力拖动设备、直流输出装置、化工整流设备及其他非线性负荷。

——存在很多快速变化的冲击性负荷：如大型马达和马达群组等。

——大量谐波注入电网含有非线性、冲击性负荷的新型电力设备在实现功率控制和处理的同时，都不可避免的产生非正弦波形电流，向电网注入谐波电流，使公共连接点的电压波形严重畸变，负荷波动性和冲击性导致电压波动、瞬时脉冲等各种电能质量干扰。

### 6.3 供电系统中的谐波危害

石化行业电力事故发生的可能性将逐步表现为由电能质量不合格所引起。

(1) 增加了发、输、供和用电设备的附加损耗，使设备发热，降低设备的效率和利用率。由于谐波电流的频率为基波频率的整数倍，高频电流流过导体时，因集肤效应的作用，使导体对谐波电流的有效电阻增加，从而增加了设备功率损耗、电能损耗、使导体的发热严重。

#### ①对电动机的影响

谐波对电动机的危害主要是产生附加损耗和转矩。由于集肤效应、磁滞、涡流等随着频率的增高而使在电动机的铁芯和绕组中产生的附加损耗增加。谐波电流产生的谐波转矩对电动机的平均转矩的影响不大，但谐波会产生显著的脉冲转矩，可能出现电机转轴扭曲振动的问题。这种振荡力矩是电机的转子元件发生扭振，会缩短电动机使用寿命，甚至损坏。

#### ②对变压器的影响

谐波电流式变压器的铜耗增加，特别是3次及其倍数次谐波对三角形连接的变压器，会在其绕组中形成环流，使绕组过热；对全星形连接的变压器。当绕组中性点接地，而该侧电网中分布电容较大或者装有中性点接地的并联电容器时。可能成3次谐波谐振，使变压器附加损耗增加。

#### ③对输电线路的影响

谐波电流使输电线路的电能损耗增加。当注入电网的谐波频率位于在网络谐振点附近的谐振区内时，对输电线路和电力电缆线路会造成绝缘击穿。

#### ④对电力电容器的影响

含有电力谐波的电压加在电容器两端时，由于电容器对电力谐波阻抗很小，谐波电流叠加在电容器的基波上，使电容器电流变大，温度升高，寿命缩短，引起电容器过负荷甚至爆炸，同时谐波还可能与电容器一起在电网中造成电力谐波谐振，使故障加剧。

#### (2) 影响继电保护和自动装置的工作和可靠性

特别对于电磁式继电器来说，电力谐波常会引起继电保护及自动装置误动或拒动，使其动作失去选择性，可靠性降低，容易造成系统事故，严重威胁电力系统的安全运行。

(3) 影响电力测量和计量仪器的指示和计量准确性

(4) 干扰通讯信息通的工作

电力线路上流过的幅值较大的奇次低频谐波电流通过磁场耦合时,会在邻近电力线的通信线路中产生干扰电压,干扰通信系统的工作,影响通信线路通话的清晰度。

(5) 对用电设备的危害

谐波会使电视机、计算机的图形畸变,画面亮度发生波动变化,并使机内的元件出现过热,使计算机及数据处理系统出现错误。对于带有启动镇流器和提高功率因数用电容器的荧光灯及汞灯来说,会因为在一定参数的配合下,形成某次谐波频率下的谐振,使镇流器或电容器因过热而损坏。对于采用晶闸管的变频装置,谐波可能使晶闸管误动作,或使控制回路误触发。

#### 6.4 石化供电系统抑制谐波的对策

谐波问题是关系到供电质量的重要问题,为减少石化系统的谐波问题,一般从管理上和技术措施上采取以下几种方面的对策:

##### 6.4.1.贯彻性有关谐波的国家标准,加强谐波管理

我国于1998年12月14日发布了国家标准GB17625.1-1998《低压电器及电子设备发出的谐波电流限值(设备谐波输入电流小于等于16A)》。GB17625.1规定了标准接入公用低压配电系统中的电气、电子设备(每相输出电流小于等于16A)可能产生的谐波的限值。只有经过实验证实该电子产品注入系统的总体谐波电流水平低于16A的产品才容许接入供电系统。该标准规定了实验电路和实验电源的要求、对测量设备的要求和实验条件的内容。

我国于1993年颁发的国家标准GB/T14549-1993《电能质量公用电网谐波》,该标准考虑了不同谐波源叠加计算的方法,规定了各级电网电压谐波总畸变率和用户诸如电网的谐波电流容许值,对限制公用电网中的谐波起到了积极的工作。

石化企业认真贯彻执行有关国家标准关于限制谐波的规定,就能从总体上控制供电系统中的谐波水平,保证供电系统供给优质的电力质量。

6.4.2.三相整流变压器采用Y/△或△/Y的接线形式,这样可以消除3的整数倍次的电力谐波,从而使注入电网的谐波电流只有5、7、11.....等次谐波

6.4.3 装设静止无功补偿装置,对晶闸管控制的大型电动机启动装置等非线性设备,由于其负荷是冲击性的,而且是随机的,因此宜装设能吸收动态谐波电流的静止无功补偿装置,提高供电系统承受谐波的能力。

6.4.4 对于大容量的电力设备,特别是大容量的电容器组,回路内增设限流装置或串联

电抗器，以抑制电力谐波的产生。

6.4.5.对容量在 100kVA及以上整流装置和非线性设备的用户，必须增设分流滤波装置，就近吸收电力谐波。

6.6.6 增加整流变压器二次侧的相数。

6.6.7 选择合理的供电电压，并尽可能保持三相电压平衡。

总之，电能质量不仅取决于发电、输电和供电系统本身，而且伴随着现代工业化的迅速发展，接入公用电网的半导体换流器和非线性负荷也明显干扰或降低配电网中的电能质量。

电能质量的下降给电力系统和用电设备带来严重的危害。一方面要严格限制谐波的发射水平。另一方面还要设法提高设备自身的抗谐波干扰的能力，改善谐波保护性能，做到真正意义上的电磁兼容。

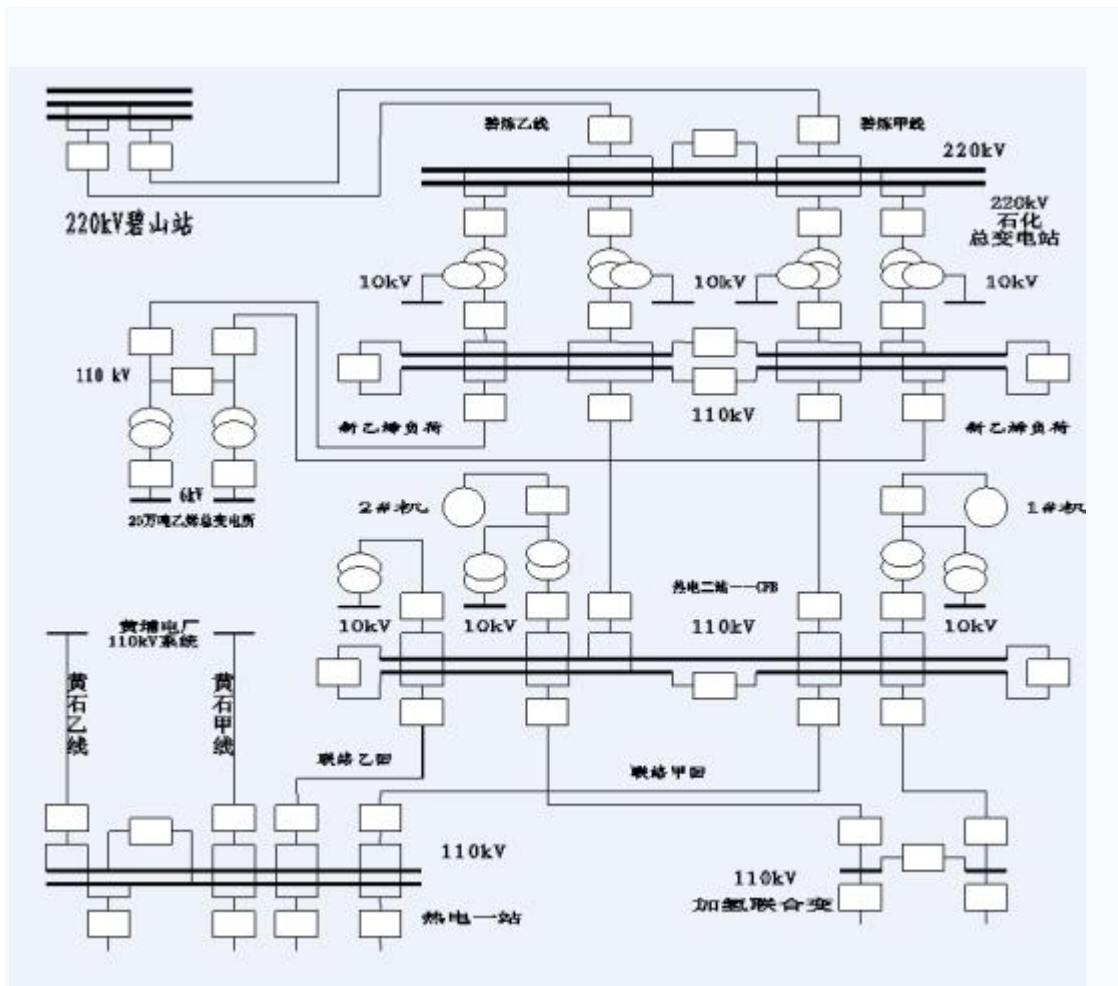
## 7 总结

石化电网电能质量问题，主要是频率问题、电压问题、谐波问题。解决电能质量问题，必须从系统性、整体性的角度全面分析和治理。

石化系统的频率问题主要是由于孤网运行引起。首要目标是要加强主网构架、选择合理的运行方式，电源运行方式必须符合N-1 校核，极力减少孤网运行的可能。其次，配置的三级频率保护装置应相互匹配，当石化电网万一形成孤网时能确保其内部电网频率的稳定，符合电力系统稳定性的三道防线的要求。

石化系统的电压问题分为电压降低问题和电压升高问题。避免电网的内外故障，选择合理的电动机启动方式，作好电网的无功平衡可以有效解决电压降低问题。合理配置电气主接线和运行方式、电源快速切换装置、静止无功补偿装置、电动机软启动装置、电源浪涌吸收器，可以减少各种扰动对母线电压波动的影响。同时需要采取各种措施防止电网出现的内部和外部过电压问题。

电网的谐波是引起电能质量问题的最重要的因素。按照“谁污染谁治理”的原则，首先在接入设备的谐波含量必须标准要求；其次在公共电源点设置滤波装置，确保各级电网的公共母线谐波含量在规定范围内；第三，严密监测各级电源网络的谐波及时汇总分析，并制定和实施治理措施，确保石化电网的运行指标符合规范标准。



[http://dq.shejis.com/dqlw/200907/article\\_77897\\_9.html](http://dq.shejis.com/dqlw/200907/article_77897_9.html)