

空分设备自动变负荷先进控制技术

周芬芳 王凯

(杭州杭氧股份有限公司设计院, 杭州东新路 388 号 310004)

摘要: 介绍了国产大型空分设备自动变负荷控制的实现, 优化控制及方案, 技术特点, 控制策略等

关键词: 自动变负荷, 先进控制

Advanced Control Technology of Automatic Load Change of air separation units

Abstract: Introduced the Automatic Load Change about Large-scale ASU made in China, optimized control and project, special technology, control resource ect.

Keywords: Automatic Load Change, Advanced Control

随着大型、特大型空分设备的迅速发展, 空分设备用户对控制的要求越来越高。由于装置产气量大, 一旦负荷发生变化, 如果产品放空, 会造成很大的能量损失, 于是提出变负荷控制要求的用户越来越多, 由此推动我们将自动变负荷控制技术进行实施。

我们以南钢 2 万内压缩空分项目为依托, 进行了项目的实施。该项目产品规格如下表:

产品名称	产量(Nm ³ /h)			纯度(vol)	压力 MPa(G)	备注
	工况 1	工况 2	工况 3			
氧气	20000	21600	15000	≥99.6%O ₂	3.0	内压缩
氮气	30000	30000	27000	≤5ppmO ₂	0.007	
液氧	1600	0	1120	≥99.6%O ₂		
液氮	0	0-1000	0	≤2ppmO ₂		
氩气	400	400	400	≤1ppmO ₂ ≤3ppmN ₂	3.0	内压缩
液氩	410	410	150	≤1ppmO ₂ ≤3ppmN ₂		

且要求氧气产量在 75%~105%能够自动调节, 并对变化速率有一定要求。

由于空分过程具有装置多、流程长、相关性大、结构复杂等工艺特点, 决定了变负荷过程操作涉及的控制点多、相关因素耦合严重、操作难度大等难点。所以在设计过程中必须统盘考虑。

一、变荷工作简单描述

首先在流程设计计算过程中, 针对 75%~105%不同负荷范围作流程模拟计算及建立数学

机理模型，结合静态分析，建立了空分设备自动变负荷的控制变量、操纵变量及扰动量等确定关键监控点。将上塔、下塔、粗氩塔、精氩塔以单元形式相互独立并相互关联分析。其他系统在满足主要单元部分正常工况的情况下，通过调整机组导叶、机组喷嘴、冷却水流量、设备余气排放等逐步实现自动变工况的目的。

在数据采集点的建立时，考虑的检测点要比平常的常规控制要多，譬如下塔液空纯度分析，液空流量监控等，同时对调节手段也有所提高，针对负荷变化过程中可能需要调节的阀门都采用自动调节阀，以利于过程量的调整。在阀门的选择上，对其调节要求更高，需要阀门在高负荷状态和低负荷状态都能比较好的调节特性范围内，同时部分阀门设置了阀位反馈功能，以利于及时观察其调节效果；对于一些中间过程纯度分析量，比常规空分增设了在线分析仪，这样在负荷调节过程中可以随时观察其成分变化，以利于更好更快的达到负荷调节要求而不影响工况和产品质量。

对现场装置进行阶跃测试，检查现场仪表、调节阀、执行机构等的使用情况，PID回路整定；分析测试数据，检验数据采集系统；分析现场装置测试数据并建立动态模型，进行多变量模型辨识，建立并完善操作员界面等等。

二、系统构成

系统构成如图 1 所示，该项目 DCS 系统采用 HONEYWELL 公司生产的 PKS 系统，系统共配置 3 面 I/O 机柜，一台 Server, 三台 Station。先进控制系统是在 PKS 控制系统之外，再设置了一套上位机工作站，并用 OPC 技术打通通信联系，使数据通信上下畅通。在上

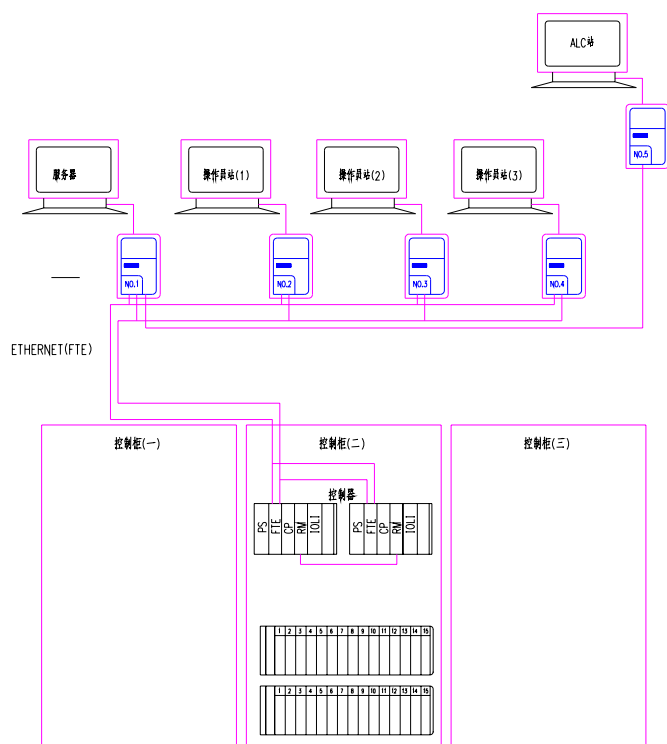


图 1

位机上加载监控平台软件、预测控制软件、鲁棒 PID 软件、稳态及动态流程模拟软件、优化软件、故障诊断软件等以构成一个完整的大型空分装置自动变负荷软件包。

三、变负荷（ALC）功能描述

变负荷先进控制的主要特性：1. 以现代控制理论为基础。2. 借助于计算机来实现。数据处理与传输、模型辨识、控制规律的计算、控制性能的监控、整体系统的监视等均依赖于计算机。即在上位机上设置了自动变负荷（ALC）先进控制软件。是以 MPC (Model Predictive Control, 基于测试模型的多变量预测控制) 和 RTO (Real Time Optimization, 实时操作模拟与优化) 相结合的专家控制系统, 操作人员仅仅通过对几个主要产品的产量设定值的改变来实现自动变负荷, 使工艺参数的设定点在其控制之下, 实现对整个工艺过程的自动变负荷。先进控制站通过 RTO 逐步给出理想参考值, MPC 在确保产品质量指标前提下, 逐步实施, 最终向目标的给定工况逼近。使用 MPC 与 RTO 相结合的方式可大大提高变负荷的速度, 有效改善变负荷过程中产品质量, 平稳化变负荷过程的操作, 并消除人工变负荷过程中所有人为误操作因素影响。主要的可以设定的产品包括: 氧气、液氧、液氮。

四、自动变负荷技术特点

根据工艺要求, 氧气产量需求不同, 各控制回路的最佳设定值也不同 (即工况要求相应地改变)。变负荷调节系统, 根据氧气产量的需求变化, 经过准确合理的流程参数模拟计算, 送到与负荷变化相关的各个调节回路, 作为其设定值, 从而构成以 MPC 控制为核心的随动系统, 与监控、APC、优化系统一起, 在上位机和基本控制系统 DCS 上共同实现生产负荷的调节变化, 以减少无功生产、降低氧气放空量, 减少电耗。

五、 负荷的控制目标

由于空分过程具有装置多、流程长、相关性大、结构复杂的工艺特点, 决定了变负荷过程操作具有涉及控制点多、相关因素耦合严重、操作难度大的特点。自动变负荷需要综合应用流程模拟与计算、优化控制和实时监控技术实现, 是一个典型的多变量、系统强耦合、时变、强非线性、大滞后的控制命题, 其优化控制的目标为确保变负荷过程按照一定的速

率进行调节，同时保证变负荷过程中空分操作的平稳运行和产品质量。

在装置工艺条件基本不变的前提下，先进控制方案将产生以下三方面效益：

a. 在保证产品质量的前提下，实现全流程全自动负荷跟踪调节，变负荷能力达到75~105%；

b. 变负荷速率达到平均百分之一负荷调节变化时间短、速度快，大大优于目前的手动变负荷平均调节速度；

c. 实现氧气放散量大幅度降低。

d. 节能降耗。

六、主要控制策略

基于稳态流程模拟和动态模拟仿真的过程对象数学模拟。

建立基于过程对象数学模型的MPC模拟预测控制系统，使用过程动态模拟和可测量信息来预测过程输出的未来行为。预测控制技术是一种基于模型、滚动优化并结合反馈校正的优化控制算法。预测控制综合利用实时信息和模型信息，对目标函数不断进行滚动优化，并根据实际测得的对象输出修正或补偿预测模型。如图2所示

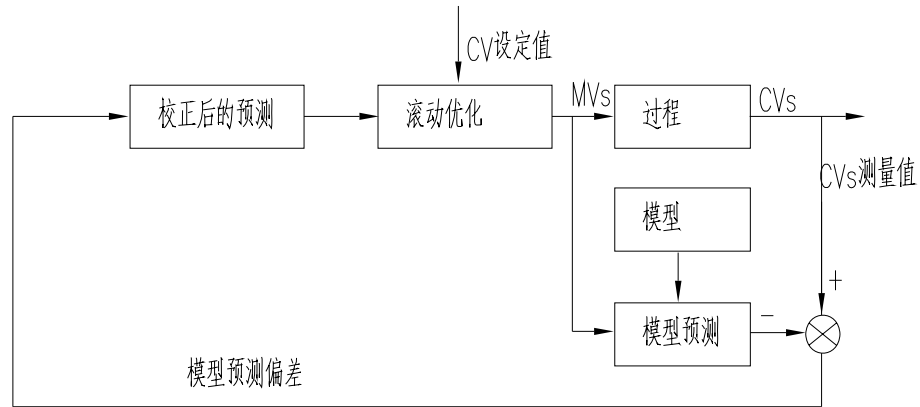


图 2

建立多变量的鲁棒PID，使控制系统在整个负荷变化范围内具有较强的鲁棒性。

建立操纵量的最佳调节梯度及最大允许偏差。

建立关键数据点的健康监控。

建立设备约束条件下的优化控制。

首先，控制器要保证装置操作稳定，减少关键被控变量的波动；根据被控变量的优先级，优先保证重要的被控变量。其次，通过控制器的局部优化功能，在不违反设备约束与

质量指标的前提下，将装置推向以经济效益为目标的最优状态。当被控变量要求满足后，如果还有多余自由度，则控制器将对装置进行优化操作，如：最小化空气量，以节约能耗；最大化氩馏分中氩含量，实现最大氩提取率；最小化膨胀空气量，实现最小化冷量生产等。

七、社会效益

自动变负荷先进控制的投用，填补我国空分行业自动变负荷顶尖技术的国内空白，形成我国具有自主知识产权的自动变负荷高技术自动化统。

降低装置能耗、降低产品成本，带动诸如钢铁等相关产业的发展。

打破国外空分公司的垄断地位，有利于企业形成自主知识产权的创新产品，并提高综合自动化产品的设计能力，增强与国外公司的竞争力。

同时，有助于在大型空分装备中树立国产大型自动化系统的业绩，树立我国具有自主知识产权的大型空分装备自动化成套系统品牌，全面提升我国大型空分装备的竞争实力，具备参与国际竞争的能力。

使我国大型空分设备摆脱以牺牲价格换取市场的一个做法，依靠高技术指标后盾来提升产品价格，有效遏制国外空分公司依靠自动变负荷技术垄断优势来抬高价格的做法，促使国外大公司的大型空分成套设备大幅降价，使国内用户收益。

八、技术指标和参数

在保证产品质量的前提下，实现全自动负荷跟踪调节，变负荷能力达到 75~105%。

变负荷速率达到并超过了合同要求。

九、总结

以空分装备模型化、控制和优化综合技术为核心的空分装置自动变负荷系统，在国产设备上还是空白，实现我国空分装备以流程模拟、优化控制、自动变负荷生产为核心的新一代主控系统的高技术产业化，提升我国空分装备的智能化、信息化高技术水平和装备的国际竞争力，本项目以实现空分装置自动变负荷为核心的新一代主控系统，极大提高了空分装置的自动变负荷能力和优化控制节能效果，加速我国空分行业的信息化、智能化进程，带动一大批相关技术和产业的发展：

推动我国空分装备信息化、智能化的发展；

推动我国冶金、化工、石化等空分设备应用行业的发展；

推动我国工业气体市场的发展。

总之，自动变负荷是综合运用装备建模、流程模拟与计算、优化控制和监控技术实现的一个自动化综合技术。需要解决成套系统大规模系统建模、模拟、模型校正等建模上的关键技术；同时，也是一个典型的多变量、系统强耦合、时变、强非线性、大滞后的控制命题；还是变工作点的并具有不确定性的多目标优化技术。因此，它是一项集成的自动化实现技术。