

先进控制在国产大型空分设备中的应用

王文峰

(邯郸钢铁集团有限责任公司动力厂, 河北省邯郸市复兴路 232 号 056015)

摘要: 根据邯钢 2 套 35000 m³/h 空分设备运行特点, 结合自动变负荷技术, 设计并应用了以多变量模型预测控制为主的先进控制技术, 实现了空分设备稳定、高效运行。详细介绍先进控制系统的控制器方案设计、中间点建立和安全切换程序、操作界面以及自动变负荷与先进控制技术结合运行操作。

关键词: 大型空分设备; 先进控制技术; 多变量模型预测控制; 应用; 高效运行

中图分类号: TB663 **文献标识码:** B

Application of advanced control technology in domestic made large sized air separation plant

Wang Wenfeng

(Power Plant, Handan Iron & Steel Group Co., Ltd., 232 Fuxing Road, Handan 056015, Hebei, P. R. China)

Abstract: In accordance with the operation features of two sets of 35000 m³/h air separation plant of Handan Iron & Steel Group Co., Ltd. and in combination with automatic load variable technology, we design and use advanced control technology mainly based on multivariable model prediction control, and realize stable and effective operation of air separation plant. The controller scheme design, establishment of intermediate points, safe switching-over program, operation interface, and operation of automatic load variable in combination with the advanced control technology in the advanced control system are described in details.

Keywords: Large sized air separation plant; Advanced control technology; Multivariable model prediction control; Application; Effective operation

1 开发背景和先进控制技术概况

2009 年邯郸钢铁集团有限责任公司(以下简称:邯钢)动力厂新建 2 套 35000 m³/h 空分设备,由川空设计、制造,采用立式径向流双床层分子筛吸附器常温吸附净化、增压透平膨胀机制冷、规整填料塔精馏、无氢制氩、稀有气体全提取技术和氧气、氮气外压缩流程。2 套空分设备于 2009 年相继一次试车成功,目前运行稳定,各项经济技术指标达到或超过设计参数。

邯钢动力厂 2 套 35000 m³/h 空分设备采用浙江中控软件技术有限公司(以下简称:浙江中控) ECS-100 控制系统,控制水平较高。但由于常规控制系统难以解决复杂过程的控制问题,控制品质难以满足在各种扰动条件下确保空分设备产品质量和高效率的要求,由邯钢动力厂、川空与浙江中控协作,在现有 DCS 控制系统的基础上,应用以多变量模型预测控制为主的先进控制技术,并结合流程模拟技术,建立合理的控制模型,克服生产过程中

收稿日期: 2009-12-21; 修回日期: 2010-03-26

作者简介:王文峰,男,1974 年生,2007 年毕业于西安交通大学,现为邯郸钢铁集团有限责任公司动力厂 35000 车间副主任,从事空分设备的生产管理工作。

干扰因素的影响,提高空分设备运行的平稳性,降低能耗,实现最佳的经济效益和社会效益。

先进控制技术采用具有良好鲁棒性的多变量预测控制技术和智能控制技术的 APC-Adcon 先进控制软件,建立空分设备先进控制系统。该系统可以解决具有复杂动态特性、纯滞后、多变量、有不可测干扰、变量有约束等过程,并在工况变化时仍有较好的控制性能,可充分发挥装置的生产潜力,优化生产,便于操作,运行可靠。

先进控制技术的核心是多变量鲁棒预测控制器(APC-Adcon)。预测控制算法具有三大本质特征:预测模型、滚动优化和反馈校正。其计算步骤如

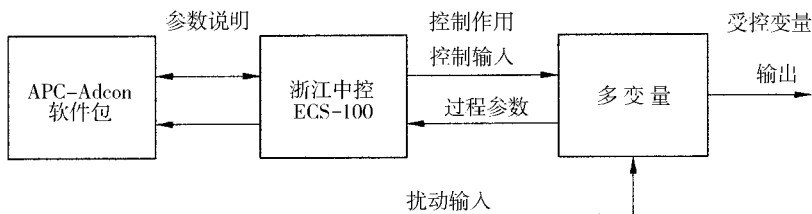


图1 浙江中控 ECS 100 控制系统支撑的 APC Adcon 软件包控制结构

2 常规控制说明

邯钢 2[#] 35000 m³/h 空分设备已采用浙江中控 ECS-100 控制系统,对大多数控制回路采用 PID 控制,对工艺设备和生产过程的各种参数(如温度、压力、流量、液位等)分别加以控制,构成一个个相互独立的控制回路。在实际运行中,这些控制系统大多能发挥良好的控制效果,为设备的平稳运行提供有力的保证。但从过程控制角度看,空分设备还存在以下几个主要问题:

(1) 分子筛吸附器切换均压阶段空气流量波动幅度大,难以得到有效控制,对整个过程单元影响较大。

(2) 上塔氩馏分纯度波动幅度较大,对制氩系统的工况影响很大。

(3) 氧气管网压力波动幅度大,氧压机系统控制较差。受氧压机吸入压力的影响,气氧回路流量跟踪较差。

(4) 水冷却塔出口水温度波动幅度大。

(5) 粗氩中氧含量波动幅度非常大。

根据邯钢 35000 m³/h 空分设备的实际生产特点,主要采用多变量模型预测控制技术和智能控制技术,设计了适合邯钢 35000 m³/h 空分设备生产特点的控制器。

下:在当前时刻,采用过程动态模型来预测未来一定时域内每个采样点的过程输出,并用当前时刻的预测误差来修正模型的预报值;然后,基于输出期望设定值与预测值的偏差,按某个优化目标函数计算出当前及未来一定时域的控制量。为了柔化控制量和防止超调,一般要求设定值按某种参考轨迹达到其目标值。每次计算后,仅输出当前控制量并施加给实际过程。至下一时刻,根据新的测量数据重新按上述步骤计算控制量。因此,这种计算是一个不断滚动的局部优化过程。APC-Adcon 软件包控制结构如图 1 所示。

3 控制器方案设计

3.1 空压机控制器

空气进精馏塔流量是空气分离过程的重要工艺指标,空气流量稳定是后续操作单元稳定的基础,空气进精馏塔流量的波动往往导致整个工序波动。

原有控制方法为:在均压阀打开后 1 分钟,将空压机导叶开度增大 4%,然后由 PID 控制;均压阀关闭前 1 分钟,将空压机导叶开度减小 4%。通过此优化控制,均压阶段空气进精馏塔流量波动得到很大程度补偿,但仍仍然存在一些问题,如:导叶向上调节不及时,导致空气流量在前 1 分钟有较大的下降;中间过程 PID 控制仍难满足要求,空气进精馏塔流量波动较大;导叶回调不及时,空气进精馏塔流量反方向超调比较明显。

针对存在的问题,采用如下先进控制方案实现空气进精馏塔流量的稳定:

(1) 在均压阶段开始时,及时补偿空气进精馏塔流量。当均压阀打开时,将空气进精馏塔流量控制回路改为手动状态,空压机导叶开度增大 3%(具体调节幅度可由操作人员在控制系统画面设定),然后将控制回路状态切换回自动状态。

(2) 在均压期间,实时跟踪空气进精馏塔流量。根据分子筛吸附器均压后的压力分几个阶段进

行判断, 当空气进精馏塔流量低于设定值时, 对导叶按一定幅度增长率进行调节, 否则不进行调节。这样在均压过程中间阶段有效防止了空气进精馏塔流量的下降, 同时避免了导叶过度调节。

(3) 均压阶段后期及时回调空压机导叶。通过分析历史数据发现, 当分子筛吸附器压力达到 0.45 MPa 后, 空气进精馏塔流量开始剧烈回升, 几分钟后即达到最大值。因此当分子筛吸附器压力达到 0.45 MPa 时, 将空压机导叶开度减小 1%, 然后将控制回路切换回自动状态。以后每隔 30 秒导叶开度减小 1%, 直至减小到分子筛吸附器切换前的开度。这样可以防止空气流量反方向超调, 同时避免导叶调节过度。

3.2 空气预冷系统控制器

水冷却塔出口水温度 TIA_1103 波动幅度较大, 而水冷却塔出口水温度直接影响冷冻水进空冷塔温度, 通过调节水冷却塔进水量可以调节水冷却塔出口水温度。

因此选取水冷却塔补水流量调节阀开度 LIC1103.MV 为操作变量, 水冷却塔出口水温度 TIA_1103 以及水冷却塔液位 LIC1103.PV 为被控变量, 建立模型预测控制器, 实现水冷却塔出口水温度以及水冷却塔液位的稳定控制。当 LIC1103.PV 在正常范围内, LIC1103.MV 用来控制 TIA_1103; 当 LIC1103.PV 超出上限或下限, LIC1103.MV 用来控制 LIC1103.PV。这样在实现水冷却塔出口水温度稳定控制的同时, 也保证了水冷却塔液位在合适范围内。

3.3 精馏塔控制器

精馏塔控制器主要包括 2 个控制器: 下塔控制器、上塔控制器。

3.3.1 下塔控制器

根据空气进下塔量计算出下塔污液氮量的设定值, 并根据液空纯度实际值与控制目标的偏差来修正污液氮进上塔量。根据空气进下塔量计算出空气进上塔液氮量的设定值, 并根据下塔液氮纯度实际值与控制目标的偏差来修正液氮进上塔量。为了避免频繁调节污液氮、液氮进上塔量, 当液空纯度保持在设定值的 ± 0.25 以内、液氮纯度保持在设定值的 ± 0.2 以内, 不进行调节。

3.3.2 上塔控制器

选取气氧产量与空气进精馏塔量的比值为操作

变量, 产品氧纯度 AIA_102A、氩馏分纯度 AIA_701 为被控变量, 克服液氮进上塔量、污液氮进上塔量以及富氧液空进上塔量等因素的干扰, 建立模型预测控制器, 实现上塔工况的稳定。当氧纯度在合理范围内时, 气氧产量与空气进精馏塔量的比值用来调节氩馏分; 当氧纯度超出合理范围时, 气氧产量与空气进精馏塔量的比值用来调节氧纯度。

气氮产量以及膨胀空气旁通量从物料平衡角度来调节, 当空气进精馏塔量变化较大时, 按照比值采取相应的调节。空气流量主要通过生产负荷的改变来调节, 当氧气管网压力较高、氧气放空时, 减小空气进精馏塔量; 当氧气管网压力较低时, 增加空气进精馏塔量, 保证正常生产的情况下尽可能减少氧气放散。

3.4 制氩系统控制器

制氩系统控制器的目标是在保证制氩系统工况稳定、氩产品质量合格的前提下, 使氩产量尽可能提高。实际运行时发现粗氩中氧含量波动幅度较大, 为了减小粗氩中氧含量的波动值, 以粗氩 II 塔出口气体流量与空气量的比值为操作变量、粗氩 I 塔出口氧含量 AIA_704 作为被控变量, 建立模型预测控制器, 克服干扰, 保证粗氩中氧含量的稳定。

控制器方案设计中主要操作变量见表 1。

表 1 控制器方案设计中主要操作变量列表

| 操作变量 (MV) | 被控变量 (CV) | 干扰变量 (DV) |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 空压机导叶开度 FIC101.MV | 空气进精馏塔量 FIC101.PV | 空气进精馏塔量 FIC101.PV |
| 水冷却塔液位调节阀开度 LIC1103.MV | 水冷却塔出口水温度 TIA_1103 | 污液氮进上塔量 FIC2.PV |
| 液氮进上塔量 FIC1.SV | 富氧液空纯度 AIA_1A | 液氮进上塔量 FIC1.PV |
| 污液氮进上塔量 FIC2.SV | 产品氧纯度 AIA_103A | 富氧液空进上塔 调节阀开度 LIC1.MV |
| 富氧液空进上塔调 节阀开度 LIC1.MV | 污氮氧含量 AIA_104 | |
| 气氧产量 FIC102.SV | 下塔液位 LIC1.PV | |
| 气氮产量 FIC103.SV | 产品氧纯度 AIA_102A | |
| 空气进精馏塔量 FIC101.SV | 氩馏分纯度 AIA_701 | |
| 气氧回上塔量 HIC1.MV | 主冷液氧液位 LIC2.PV | |

4 中间点建立和安全切换程序

为实现先进控制系统的正常运行以及先进控制系统与常规控制系统之间的切换，需要在 DCS 控制系统中建立自定义变量，包括：DCS 控制系统通信保护程序相关位号、控制器开关、报警位号和先进控制系统位号。先进控制系统位号包括被控变量 (CV) 的相关位号，包括设定值、上限、下限、开关标志位、报警等；操作变量 (MV) 的相关位号包括先进控制系统输出值、上限、下限、速度约

束、开关、报警等。

安全切换程序的主要目的是实现先进控制系统与常规控制系统的切换工作。为了让先进控制系统具有良好的灵活性，先进控制系统每一回路均可以自由切换。安全切换程序包含 5 个方面：先进控制回路的投运，先进控制回路的切除，先进控制系统与常规控制系统之间的无扰切换，先进控制计算值校验，以及先进控制切换报警。其切换逻辑如图 2 所示。

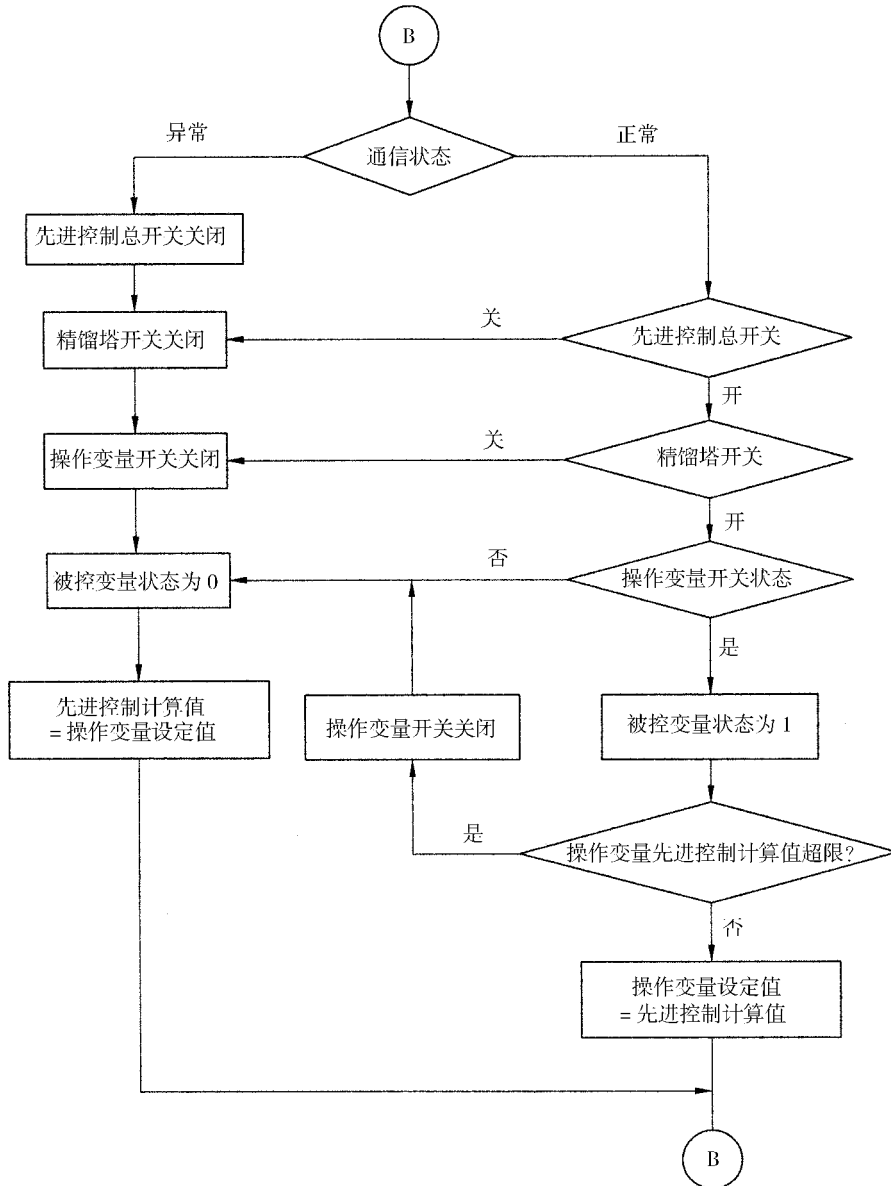


图 2 先进控制系统切换逻辑框图

5 操作界面

先进控制系统的操作界面是操作人员访问先进控制系统的操作平台，操作人员必须通过先进控制系统操作界面才能实现先进控制的切除与投用以及

画面参数修正。操作界面主要实现了先进控制系统总开关，各单元控制器分开关，各控制变量回路的上、下限，各子控制器开关的输入及显示等功能，控制器运行状态监控及其他相关报警功能。先进控制系统的操作画面如图 3 所示。

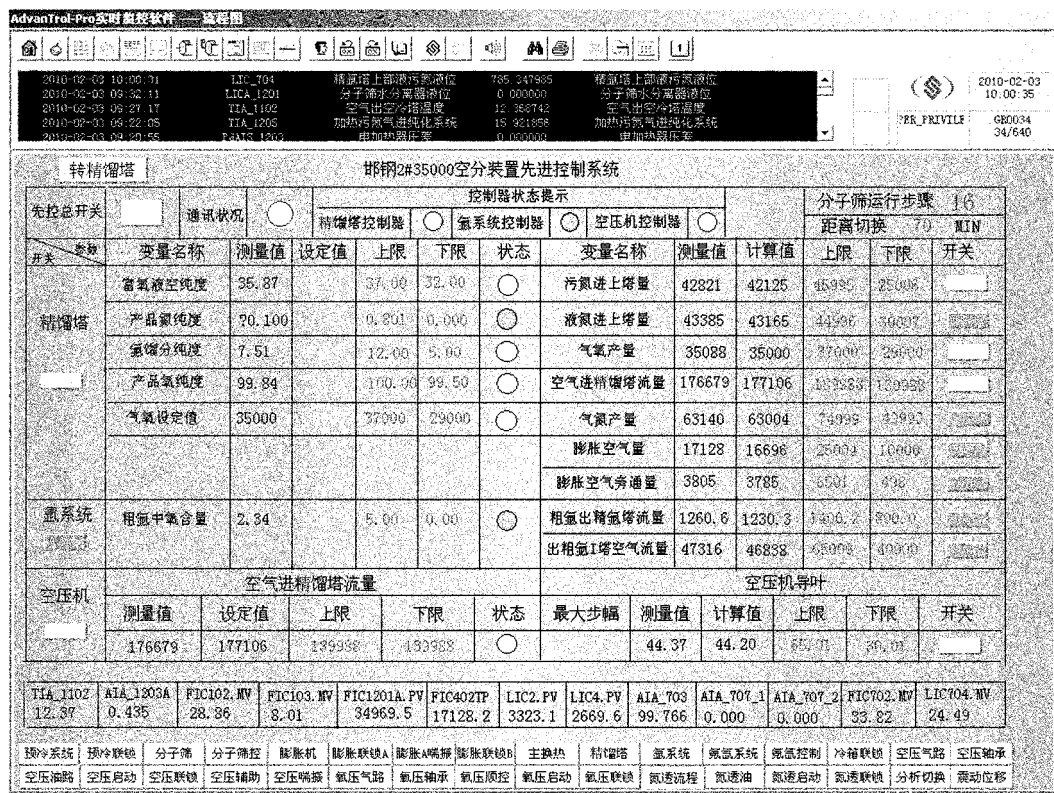


图 3 先进控制系统操作画面

6 自动变负荷与先进控制技术的结合

在进行自动变负荷操作时，在操作画面上更改气氧目标值后，先进控制系统自动进行变负荷调节。先进控制系统在自动变负荷过程中需要及时调节氧压机入口导叶开度，防止因氧气实际流量跟踪不好而影响控制效果。在先进控制系统自动变负荷调节过程中，如果发现膨胀量、旁通量、气氮产量、粗氩出粗氩 II 塔量、出粗氩 II 塔顶部空气量这些控制回路调节不合理，只需把对应回路的先进控制开关关闭，调节完毕后再开启先进控制开关即可。

系统的切除：当需要切除全部先进控制，则只

需单击关闭系统总开关，使按钮颜色变为红色。此时，各控制器开关自动关闭，各控制回路开关也将关闭，先进控制系统切除。如果只需要切除某个控制器的先进控制系统，只需点击该控制器的开关至按钮颜色变为红色即可。

7 实施效果

在空分设备控制系统中应用了多变量预测控制为主的先进控制技术，能够进一步提高操作水平，减少不可测干扰和滞后造成的人为误操作，大大提高了空分设备的运行稳定性和经济性，降低了能耗，具有显著的经济效益和社会效益。□