

自动负荷升降系统在 DCS 上的实现及应用

毛金华, 张 湜, 林锦国

(南京工业大学自动化学院, 江苏 南京 210009)

摘 要: 针对扬子石化丁二烯生产装置, 以达到负荷自动升降为目标, 介绍了 DeltaV DCS 系统利用自身模块和 SFC 功能块的强大组态功能, 对装置的控制回路进行改造, 应用顺序控制策略, 完成了自动负荷升降系统在其 DCS 上的实现及应用。

关键词: 自动负荷升降; SFC; DeltaV 系统; 顺序控制

中图分类号: TP293 文献标识码: A 文章编号: 1009-606X(2004)02-0168-05

1 前 言

在过程工业生产中, 随着产品的供需变化, 企业的生产负荷也要相应地变化。以前的负荷升降大多都是由人工完成, 如今在过程工业系统中, 大部分采用集散控制系统(DCS, Distribute Control System), 实现了生产的自动化控制, 对于负荷升降系统同样也要求在 DCS 系统上自动实现。针对此, 在扬子石化丁二烯生产装置的 DCS 系统上, 通过对一些影响负荷的控制回路的改造, 运用顺序控制策略(Sequential Control Strategy)来实现控制整个装置的负荷升降。其中在许多主要控制回路中使用了串级控制、比值控制和前馈控制等改造方案, 并且对一些控制回路的控制模式也作了相应的要求。丁二烯生产装置的 DCS 系统采用的是美国 EMERSON 过程管理公司(前称 Fisher-Rosemount 公司)的控制系统—DeltaV。DeltaV 中对现场每个控制点都使用了 PID 功能块, 通过 PID 功能块的扩展功能以及与其他功能块的组态, 可以较方便地实现控制回路之间的复杂控制, 这为 DCS 系统中负荷升降提供了基本的条件。同时, 在 DeltaV 中还集成了顺序功能图(SFC, Sequential Function Charts)功能块, 使负荷升降系统按照一定的顺序来控制执行成为可能, 因而为实现整个自动负荷升降系统的 DCS 提供了保证。

2 自动负荷升降系统概述

自动负荷升降系统是根据市场的需求来调整生产负荷, 当产品供不应求时, 进行负荷提升生产, 当产品供大于求时, 则进行负荷下降生产。

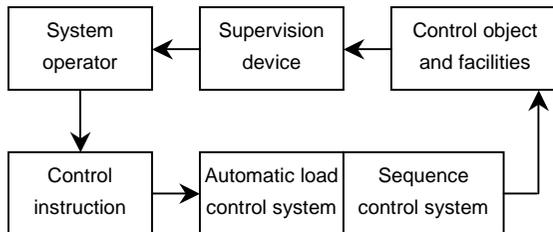


图 1 自动负荷升降系统概念图

Fig.1 The concept chart of automatic load control system

而整个负荷调整过程是个完全自动化过程。如图 1 所示, 由操作工给出负荷升降控制指令, 启动负荷升降系统, DCS 上负荷升降系统直接对控制对象和设备进行控制, 完成负荷升降整个过程的执行。这里的负荷升降过程是按照工艺要求以及操作人员的操作经验得出的顺序操作过程, 因此, 在自动负荷升降过程中应用了

顺序控制策略,把整个负荷升降过程作为一个顺序步骤依次执行.同时系统通过监控装置把系统过程运行信息反馈给操作工,起到系统监控作用.

所谓顺序控制,就是按预先设定好(包含多种状态)的顺序,根据生产装置内部或外部的变化,依次地选择运算步骤和进行步骤的执行^[1].过程工业的丁二烯生产装置是一个多变量控制对象,塔与塔之间,一个塔的进料、塔顶排出、塔釜排出和塔的回流之间的控制作用相互影响.顺序控制系统就是把塔的物料输入输出在参数检测、过程调节、连锁响应和逻辑控制等各个方面作为一个顺序进行控制,另外再加上对装置中的再沸器、回流罐和压缩机的控制,使塔和其他生产装置共同承担丁二烯的负荷升降过程与整个生产过程的稳定任务.

3 自动负荷升降系统的 DCS 实现

整个自动负荷升降系统的实现包括两个部分,一是控制回路的改造,二是顺序功能图(SFC)的设计.控制回路改造主要是为自动负荷升降实现提供条件,顺序功能图设计完成自动负荷升降的顺序控制过程.

3.1 控制回路改造

由于原来丁二烯生产装置大多数采用的是单回路的定值控制,要实现负荷的自动升降,装置的一些重要的控制回路必须改造成为复杂控制回路,以快速响应负荷的变化.在丁二烯生产装置中使用的复杂控制回路方案有比值控制改造方案和串级控制改造方案. DeltaV DCS 中,各个单回路都建立有一个 PID 控制模块,通过 PID 模块的连接组态可以实现控制回路的复杂控制.在负荷升降中,一些不同类型的控制量不能直接采用比值控制来实现负荷变化引起的响应,为了达到它们的快速地跟随,采用了串级控制方法.通过两个 PID 模块之间增加一个增益模块,对它们进行相应的连接和组态,可实现两个单回路的比值控制.如在进料装置中,当顺序控制系统确定要升降负荷时,进料装置的 C4 进料和 DMF 溶剂进料之间必须满足确定的比值关系,也即采用比值控制.

在设计好各个复杂控制模块后,指定目标控制器,存盘并下装到目标控制器中,完成模块间的复杂控制组态.同时在复杂控制中,为了满足工况的要求,在不需要复杂控制时,应可以自动或手动地进行切换,因此利用 DeltaV 中提供的逻辑(Logic)控制模块为复杂控制设置手动(MAN)、自动(AUTO)、串级(CAS)三个控制模式,封装在控制模板中.当负荷升降的时候,打开相应的控制模板,点击 CAS 按钮,切到相应的控制状态,当完成负荷升降时,则相应地切换到 AUTO 或 MAN.这样确保了在负荷升降过程中,当有意外情况发生时能够较快地切换下来,保证了生产的安全性.

另外整个负荷升降过程中,由于各控制参数之间存在耦合关系及相关性,所以必须在比值控制和串级控制中加入前馈控制,以消除由于耦合而产生的扰动.在 DeltaV 系统中,PID 模块中自带了前馈控制(FF, Forwards Feedback)补偿算法,因此只要在 PID 模块的 FF 输入端口引入一个补偿量即可消除扰动.另外在比值控制中,由于控制量的跟随存在滞后作用,因此要在 PID 模块中引入纯滞后环节,以确保控制量跟随的准确性.而对于生产过程中比较难以控制的压缩机部分,负荷升降时,相应也有一定的控制要求:在正常的工况下应维持压缩机的压力恒定,当负荷升降时,压缩机的进料量跟随着升降,而要保持压缩机压力稳定,则必须使压缩机的排出量也随着升降,这样才能保证压缩机内部压力不会超压,以使其正常运行.因此,压缩机的进口和出口也应用了串级控制.

3.2 顺序控制功能图(SFC)设计

按照系统目标的要求, 给出顺序控制系统执行步骤总流程, 通过对控制设备、控制系统的理解和分析, 归纳出顺序控制每步骤的执行条件以及具体的执行任务. 如图 2 所示. SFC 设计时, 在

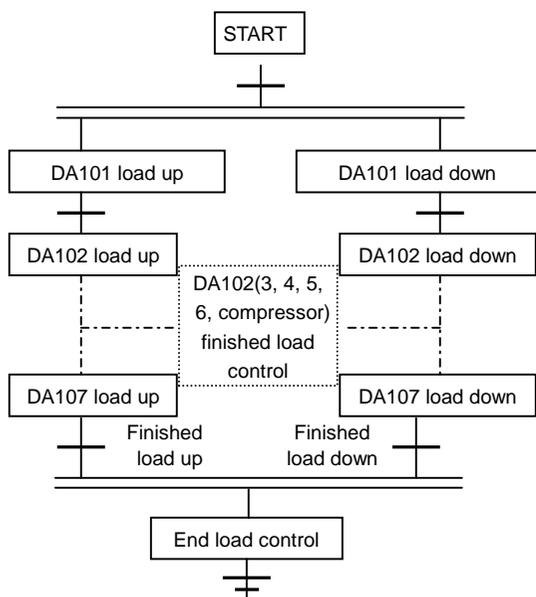


图 2 负荷升降顺序控制功能流程图

Fig.2 The function flow chart of sequence control in load control

DeltaV DCS 系统上运用顺序功能表中的三个功能模块建立顺序控制流程. 图中的长方形表示当给定的条件满足时必须执行的顺序单元, 顺序单元之间的纵线称为连接, 连接上的横线叫迁移, 迁移旁的表达式是迁移条件. 在无特别指定的条件下, 迁移的方向为从上到下. 开始步骤用双线方框表示, 是 SFC 最初的步骤. 顺序的执行是从开始步骤, 沿着连接, 当迁移条件成立时, 移到下一步骤, 系统的自动化顺序可以表示成步骤与迁移的交互连续. 由图 2 可知这里的顺序功能流程具有分支结构(双横线表示), 由于丁二烯的负荷升降 SFC 存在两个分支, 左分支执行负荷提升任务, 右分支执行负荷下降任务. 每个分支都完成从 DA101A 塔到 DA107 塔的负荷升降过程. 步骤 (STEP) 表示一系列顺序中的一个阶段(方框中具体内容), 此时的动作由附在步骤上的动作决定.

步骤有 TRUE 和 FALSE 两个逻辑状态, 任何瞬间顺序的状态都由 TRUE 的步骤、内部变量和输出变量的值来决定. 步骤可以用图形表示, 也可以用语句形式表示. 步骤标识由步骤 TRUE 或 FALSE 表示, 步骤经过时间由该步骤进入 TRUE 到 FALSE 经过的时间来表示^[3]. 步骤名可以用 STEP_N 或者其他象征性的名称. 从一个步骤到另外一个步骤的连线上的横线表示迁移(transition), 横线旁的注释表示迁移条件. 迁移条件是逻辑判断条件. 结束(TERMINATION)表示整个顺序控制的条件判断以及顺序执行结束, 完成顺序控制. 最后的双横线标志表示顺序控制结束功能模块.

在 DeltaV 系统 SFC 设计中, 顺序功能表设计具有一定的规则:

- (1) 顺序的初始状态指的是只有一个初始步骤为 TRUE, 其他步骤均为 FALSE.
- (2) 两个步骤之间一定存在迁移, 同样两个迁移之间也一定存在步骤.
- (3) 先行步骤 TRUE(两个以上先行步骤时, 全部为 TRUE), 并且与其后面的步骤之间的迁移条件成立, 则与这迁移连接的步骤(两个以上时)全部进入 TRUE 状态, 同时先行步骤进入 FALSE 状态, 顺序继续进行.
- (4) 与其后续步骤间的迁移只有一个, 后续步骤由双重水平线连接, 且有两个以上时, 当它们的条件成立时, 同时进入 TRUE 状态, 这是并行顺序的开始.
- (5) 先行步骤两个以上, 与其后续步骤用双重水平线连接, 双重水平线与后续步骤间只有一个迁移时, 为并行顺序步骤的迁移条件, 先行的两个以上的步骤都为 TRUE, 迁移条件成立.
- (6) 先行步骤与两个以上的迁移连接, 称为选择迁移. 先行步骤 TRUE 时, 迁移条件成立的后续步骤也为 TRUE. 当两个以上的迁移条件同时成立时, 如指定了优先权则按优先权执行, 若无优先权指定, 则先左后右.

3.3 顺序控制功能流程的程序设计

在 DeltaV 中,顺序控制流程都是通过程序来进行顺序控制的执行,其程序可以写在迁移条件模块和步骤执行模块中,这两个模块中提供了基本的程序表达式(EXPRESSION)编写参数,包括简单的判断、赋值和运算等操作符,可以直接运用相应的操作符来进行程序的编写。

(1) 迁移条件程序编写:在对条件功能块编写条件语句时,只需要双击条件功能块,显示 EXPRESSION ASSISTANT 窗口,即可在该窗口中编写迁移条件表达式,当顺序步骤执行到该迁移条件判断时,如果条件成立(TRUE)则执行后续步骤.多条件间可以加入逻辑与(AND)、或(OR)和非(NOT).在负荷升降的顺序控制迁移条件程序编写中,把每一个回路的负荷升降条件写入相应的条件模块中即可.这里需要注意条件之间的关联性。

(2) 执行步骤程序编写:首先给相应的步骤添加动作任务(ACTION),再双击 ACTION,同样在显示的窗口编写执行步骤语句.多动作任务之间加分号“;”即可.同样在每一动作任务功能块中写入负荷升降所要执行的动作程序语句。

(3) 顺序控制结束功能块中只要保持缺省值(FALSE)即可。

如图 3 所示,T1 中的 EXPRESSION 为迁移条件程序,S1 中为具体执行任务程序.如果 F103 模块中的 START 参数功能块的当前值为 1,则 F104 模块的 PID 目标控制模式切入 CAS 模式。

在迁移条件功能块和执行步骤功能块中,都自带了时间滞后和延时功能,只要在其中输入相应滞后或延时的时间(s),顺序控制执行到该步骤时,就自动执行滞后或延时任务.在负荷升降过程中,存在物料流量、温度和压力变化的纯滞后和延时过程,所以这些纯滞后或延时的时间需要从工艺人员操作经验中获取,再填入其中。

所有顺序控制系统设计完成后,应在 DCS 上进行顺序功能表的检测(CHECK SFC),当检测通过时,再下装到控制器中,完成整个顺序控制系统的设计.如果检测不通过,则顺序功能表中设计存在问题,需要修改,直到检测通过为止。

完成自动负荷升降的 SFC 设计后,还要设计自动负荷升降的操作界面,操作界面中主要设计了系统的启动按钮、负荷升降的过程时间和初始化数据,初始化数据包括了负荷升降的目标值及比值控制中的对应比例系数,这些都在负荷升降之前完成输入。

4 自动负荷升降系统的应用

通过在 DeltaV DCS 系统上运用顺序控制模块,实现了自动负荷升降系统的顺序控制.在负荷升降之前,首先判断相关回路(改造后回路)的控制模式是否符合要求,如果符合则可以进行负荷升降.当按下负荷升降开始(START)按钮后,顺序控制模块 STEP 按照一定的执行顺序将装置的重要回路切入 CAS(串级和比值)模式,使它们响应负荷的升或降.而当负荷升降到一定的目标值,并且控制回路稳定后,顺序控制模块按照一定的顺序将相关回路切回 AUTO(自动),完成负荷升降的全部过程.这里需要注意的是在整个负荷升降过程还没有结束,遇到了异常情况而必须要求停止当

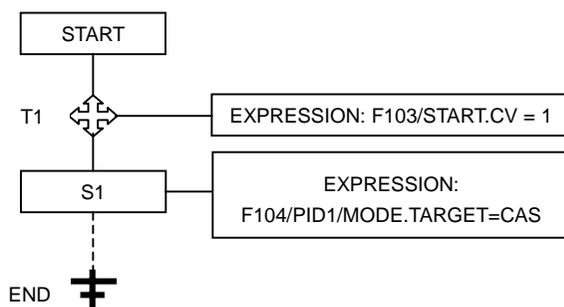


图 3 顺序功能表程序表示图
Fig.3 The expression chart of SFC

前的负荷升降时,采取跳到中断升降模块执行的措施,来确保整个生产装置的安全稳定.当系统检测到负荷升降 STOP 按钮已经按下,而整个负荷升降过程还未结束时,则结束当前负荷升降的顺序控制程序,跳转到中断顺序控制程序中去执行.让已经切入 CAS 的回路全部切回到 AUTO 控制模式.

另外在负荷升降过程中,为了达到工艺安全要求,在顺序控制模块执行程序中使用的都是脉冲信号(PULSE)来对控制回路的控制模式进行触发.这样在负荷升降过程中一些控制回路的控制量不稳定时,可以由操作工将该回路切换到 MAN(手动)模式,进行手动调节,从而能够确保一些控制回路不至处于失控状态,影响生产的正常进行.

5 结束语

自动负荷升降系统是复杂过程控制工业发展的要求和趋势,它利用 DCS 的组态软件系统进行模块的连接和组态,不需要任何硬件的投入,而真正实现了生产控制的完全自动化.与传统的负荷升降系统相比,减少了人力物力的投入,使负荷升降趋于稳定,保证了生产的安全可靠运行,同时达到了生产负荷的升和降的要求.通过在扬子石化丁二烯生产装置的 DeltaV 系统中对其一系列控制回路进行改造,成功地实现了自动负荷升降系统在该装置上的应用,这对其它 DCS 系统的负荷自动升降系统的开发和应用有一定的启发作用.

参考文献:

- [1] Hans P W. 面向负荷的生产控制—理论基础、方法与实践 [M]. 肖田元, 范玉顺, 姚晓东译. 北京: 清华大学出版社, 1999. 198-199.
- [2] Van de V J. Sequential Design of Multivariable Control Systems [J]. Control Theory and Applications, 1998, 2: 103-110.
- [3] 萨福德 E L. 顺序控制技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1987. 215-216.

Achieving and Applying of Automatic Load Control in DCS

MAO Jin-hua, ZHANG Shi, LIN Jing-guo

(College of Automation, Nanjing University of Technology, Nanjing, Jiangsu 210009, China)

Abstract: In process industry, it is required that the load of production could be adjusted automatically, in order to adapt the need of market. This article introduces mainly the configuration of modules and SFC function block in DeltaV DCS in Yangzi Company, for the sake of reaching the target of automatic load control of the butadiene device. Just with the powerful configuration function of the system control loops reconstruction was finished and the SFC of automatic load control was designed. Finally this paper introduces the achieving of automatic load control in DCS, and its application by sequence control strategy.

Key words: automatic load control; SFC; DeltaV system; sequential control