

合成催化剂氮气升温替代工艺气升温总结

吴祥平

(四川天华股份有限公司)

摘要：以天然气为原料生产合成氨越来越受到天然气的价格及供给量的限制，每年被迫停车 2-3 次。装置冷态开车耗时长，消耗大，对生产成本及经济效益影响很大。通过对装置进行疏理、开车程序的优化，进行了合成回路氮气升温，最终使装置缩短了 8 小时的开车时间，取得了不错的经济效益。

关键词：合成气压缩机；开工加热炉；升温时间；氮气循环

概 述

四川天华公司年产 30 万吨合成氨装置采用布朗工艺，设计吨氨能耗 7.24Gcal，处于同行业领先水平。合成塔采用三塔串联 (R5, R6, R7)，催化剂是加促进剂的铁触媒。若是长期停车或检修，床层会降至环节温度，重新开车时，需由开工加热炉 H₂ 提供热量，给合成气加热，合成气再提升触媒温度，约需要 3 小时到达 150℃时合成塔暖塔结束，再启动合成气压缩机合成气压缩机加大循环气量对合成触媒进行升温升压操作，约 5 小时触媒床层温度达到 350℃的活性温度，合成气才在触媒的催化作用下进行合成氨反应，同时反应放出大量热加大触媒升温速度，此时停止开工加热炉，合成反应也随着床层温度升高而加大反应速度，产出的氨就越来越多，到了自热平衡时，触媒温度不再升高，反应也趋于平衡，转入正常生产状况。整个合成塔的升温时间约需要 8 小时，这个时间对于本装置来说是比较长的。

合成回路流程如下

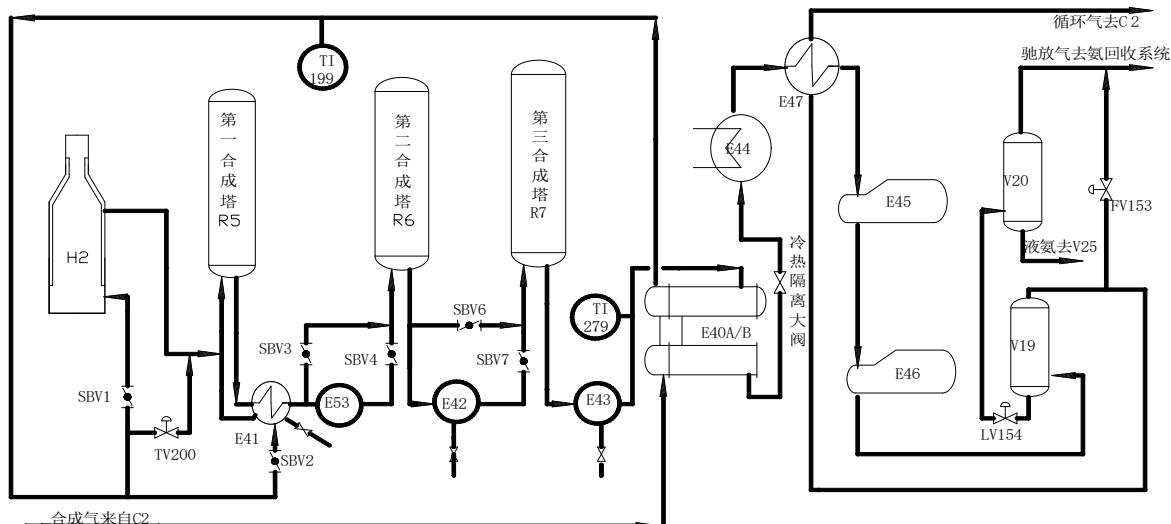


图 1 合成回路流程

1 合成氨正常升温过程及要求

合成回路正常升温情况：合成塔三炉催化剂共计 80m^3 约 150T，高温高压设备，压力高达 150Kgf/cm^2 ，温度达 510 摄氏度，介质是 3: 1 的氢气和氮气，为了防止设备及管道发生氢脆现象，工艺上严格要求对合成塔进行暖塔升温操作，升温速率为每小时小于 50°C 。

表 1：升温过程

升温气体：合成工艺气 2.35MPa	投用开工加热炉：最低气量 48000	暖塔：常温 150°C	启动合成压缩机：合成回路压力 10MPa
加压升温+炉水换热： $150\text{--}350^\circ\text{C}$	合成回路正常反应：入口温度 388°C 、出口温度 510°C		停开工加热炉

2 合成催化剂升温要素分析，确认氮气升温的可行性

2.1 升温流程的确定

合成回路设备多，管路长且属于高压设备，如果在回路上增设专用氮循环管线，一是要增加大量的投入，二是增加了焊接难度，同时也为系统增加了泄漏的风险。在整个回路中，提供热量的开工加热炉具备提前启动条件，循环水在系统开车前已经能够供应，氨冷系统可以提前启动，氮气循环考虑用合成气压缩机作为驱动机进行加压，整个升温流程均具备条件，因此采用正常流程来实现氮气升温是可行的。

升温流程：合成气压缩机→E40A/B 管程 $\text{H}_2\rightarrow\text{R5}\rightarrow\text{E41}\rightarrow\text{E53}\rightarrow\text{R6}\rightarrow\text{E42}\rightarrow\text{R7}\rightarrow\text{E43}$ →E40A/B 壳程→16"隔离阀→E44→E47 管程→E45→E46→V19→E47 壳程→HV105→合成气压缩机循环段。

2.2 升温载气及循环量的选择

合成触媒的毒物主要是氧气和含氧化合物，而氮气是一种惰性气体，对合成触媒及管线都无不良影响，升温流程与工艺气升温流程一样，针对我们公司现有公用氮气压力约 6Kgf/cm^2 ，纯度达 99.97%，符合催化剂要求的合格介质。由于公用工程提供氮气约 $500\text{m}^3/\text{h}$ ，因此必须对合成回路提前充压，在合成气压缩机运行后只要保证补充氮气量大于系统泄漏量和其他损失量，就不会对循环量造成影响，也能保证机组正常运行需要的气体流量。现有流程中没有外供氮气，所以必须增加外供氮气管，在合成压缩机进口阀旁路处增设了一根 2"硬管，与氮气总管相连，并增加了一道阀门，保证氮气升温时的补充量，在工艺气到来后也可随时将氮气切除系统。

2.2.1 氮气升温热量来源

(1) 开工加热炉：设计压力 158.6 Kgf/cm^2 ，出口温度 420°C ，利用天然气加热，最大载气量 $120000 \text{Nm}^3/\text{h}$ ，完全满足氮气升温需要。

(2) 利用炉水同时对三塔触媒进行升温

本装置三个合成塔分别与三个废热锅炉 (E53、E42、E43) 相连，正常运行时是利用合成反应热给炉水加热而产生高压蒸汽，在合成暖塔期间，炉水温度已经有 300°C 。但是在前系统开车未正常时，炉水温度较低，无法利用炉水给二塔、三塔进行升温，完全利用循环气加热时间将会达到 40 小时才能满足各床层温度 350°C 的活性温度，因此，我们考虑通过外加中压蒸汽到炉水系统，逐渐提高炉水温度，从而达到炉水加热循环气，使后两个塔的催化剂与第一塔升温同时进行，当第一塔升温达 350°C 时，二、三塔也达到 300°C ，当工艺气进入时，各塔均能反应，利用反应热将各塔提至正常生产温度。

2.2.2 升温时间的选择及控制

由于受到氮气量的限制，流过触媒的气量远不如工艺气量，按工艺气升温速率 $50^\circ\text{C}/\text{h}$ 是不可能的，我们根据氮气量大小确定合成触媒的升温速率小于 $25^\circ\text{C}/\text{h}$ ，加上准备时间和考虑富余时间，要想在工艺气进入合成气压缩机进口前触媒达到活性温度 300°C 我们必须比以前提前 12 小时启动合成气压缩机，从大氮升温开始到工艺气进入合成气压缩机有 20 小时空余时间，在大氮升温时就启动合成气压缩机能够大大满足氮气升温时间要求，这样，我们选择在前系统大氮升温期间启动合成气压缩机。

2.2.3 合成气压缩机动力蒸汽的选择

合成气压缩机正常运行时采用的是 125Kgf/cm^2 ， 520°C 的高压蒸汽，目前我厂在合成装置未运行时是没有高压蒸汽的，唯有动力中心供给的 40Kgf/cm^2 的中压蒸汽，也就是说，在升温初期合成气压缩机的动力改为中压蒸汽，查找比对原始试车资料，采用中压蒸汽作为驱动是可行的。

2.2.4 合成气压缩机转速的确定

合成气压缩机正常工况下额定转速 11250rpm ，压缩介质是 $75\% \text{H}_2$ 和 $25\% \text{N}_2$ 以及小于 5ppm 的 CO 及含氧化合物，进口压力 23.5 Kgf/cm^2 ，改为纯氮气后，介质的摩尔质量由 8.5Kg/mol 提高到了 28Kg/mol ，那么在同一转速下，压缩氮气的压比比压缩合成气的压比高，而压比升高后机组每段排气温度也要升高，所以在氮气工况下不允许超过正常

转速的 55% (小于 6187rpm)，而合成气压缩机临界转速是 4000rpm 至 5000rpm, 所以转速选择两种结果：要么小于 4000rpm，要么在大于 5000rpm 且小于 6187rpm，还要考虑转速的波动，再结合我厂氮气总管压力低，入口压力只有 6 Kgf/cm²，所以确立氮气升温期间合成气压缩机运行转速选低限 3700rpm 左右，启动前还要联系仪表旁路入口压力低联锁，正常工况联锁值为 15 Kgf/cm²。

3 实施过程控制

2012 年 8 月 14 日 4:40 分合成开始大氮升温，中压蒸汽加入炉水循环系统，合成回路充氮，10:40 分合成气压缩机开车，转速维持在 3750rpm 运行（临界转速 4000-5000rpm），11:40 分开工加热炉 H₂ 点火，整个氮气升温过程中 FC141 约 42000Nm³/h，FC142 约 24000 Nm³/h，升温速率约 25°C/小时，在 8 月 15 日 7:00 工艺气到合成气压缩机入口放空，R5 床层达 300°C 以上，热点已达 323°C，关合成气压缩机充氮阀，关 16" 冷热隔离阀，倒工艺气入合成回路，开循环气放空阀逐渐置换氮气，合成气压缩机升转至额定转速，于 7:40 开 16" 冷热隔离阀，工艺气倒入合成塔，系统开始产氨。

4 过程优化及效益

这次合成升温期间，氮气补充量能够保证，又加上在大氮升温时就准备合成气压缩机启动，留给合成氮气升温的时间较充裕，所以升温结果较理想，整个过程也比较顺利，氮气转为合成气没有停合成气压缩机，整个过程较连贯，节省时间。不足之处就是氮气循环量始终偏小，如果外界氮气更充足，可以将合成气压缩机转速升至大于 5000RPM 运行，这样的升温效果更好，速率更高。2013 年利用两次大修冷态开车机会，对合成气压缩机转速进行了重新界定，将转速直接升到 6500 转，一是增加循环气量，合成塔升温速度达 35°C，在合成气并入系统时合成塔床层温度已达 350°C；二是合成气压缩机转速控制稳定且实际流量远离压缩机喘振区，保证了机组的安全运行。

由于采取了以上措施，大大缩短了合成触媒升温时间，从而缩短了整个装置的开车时间 8 小时，若装置按 60% 负荷运行，每小时产氨 24t，吨氨生产尿素 1.76 吨，尿素以 1600 元/t 计算，则每次大修后的开车可以增产尿素价值 54 万元。