

# 精对苯二甲酸装置中空气流量测量的研究与优化

于海鹏<sup>1</sup>, 陈来夫<sup>2</sup>

(1. 京鼎工程建设有限公司, 北京 100011; 2. 中国科学院力学研究所 微重力重点实验室, 北京 100190)

**摘要:** 精对苯二甲酸(PTA)生产工艺中空气流量测量的准确性,会影响最终产品的收率,但空气的体积和密度会随工况压力和温度变化而变化,存在流量测量不准确的问题。针对上述问题更换测量仪表为精度更高、信号更稳定的涡街流量计,并通过温压补偿的方式,由DCS编程组态实现空气流量的准确测量,使产品质量和产量得到了大幅提高。

**关键词:** 精对苯二甲酸; 流量测量; 温压补偿; 仪表选型; 控制系统

**中图分类号:** TH814

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1007-7324(2024)03-0096-02

随着人们对化工和化纤产品需求量的不断增加,推动了化工和化纤行业的深入发展,作为化工行业重要产品的精对苯二甲酸(PTA),又是化纤行业的重要原料,近年来的发展如火如荼。由于PTA生产工艺中,空气既是反应原料又是二次氧化的氧化剂,并且参与最后物料平衡的计算,所以准确测量空气流量尤为重要。

某PTA装置在前期采用孔板流量计直接测量空气流量,由于空气的体积和密度受工况温度和压力的影响比较大,导致测量偏差也比较大。因此,将测量仪表更换为测量精度更高的涡街流量计,采用温压补偿的方式,由分散控制系统(DCS)编程组态,实现对空气流量的准确测量<sup>[1]</sup>。

## 1 工艺简介

PTA生产工艺通常分为氧化和精制两个单元<sup>[2]</sup>。氧化单元包含氧化、结晶、过滤、干燥等工序,精制单元包含加氢精制、结晶、分离(过滤)、干燥等工序,PTA工艺流程如图1所示。

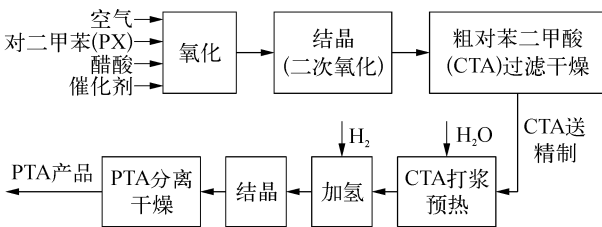


图1 PTA工艺流程示意

## 2 精对苯二甲酸中空气测量的意义

由PTA生产工艺可知,空气作为氧化反应的原料,在结晶单元的二次氧化过程中,为使物料中尚未氧化的中间产物进一步氧化,在第一结晶器中通入少量空气进行二次氧化,通过控制空气流

量使气相中 $\varphi(\text{O}_2)$ 为2%~5%,从而提高粗对苯二甲酸(CTA)收率,并且空气还要参与最后物料平衡的计算,影响最终产品的质量,所以必须要准确测量空气的流量。

该装置前期使用孔板流量计测量空气流量,由于孔板流量计在测量气体时没有温压补偿的功能,而且节流件前后压损较大,测量精度较低,经常出现测量值与真实值偏差较大,导致反应空气的流量不稳定,偏离氧化和二次氧化过程中空气流量的要求,从而降低了CTA的收率和最终PTA的产品质量。

通过分析、调研和实验验证,最终选定涡街流量计测量空气。

涡街流量计的测量是基于流体振荡的原理,当流体流过非流线型阻挡体时会产生稳定的旋涡列,旋涡产生的频率与流体流速成正比关系,流量的大小与旋涡频率成正比,由此测量频率的变化,就可以得知流体的流量。

当测量气体流量时,涡街流量计的体积流量计算如式(1)所示:

$$q_{V_n} = q_V \frac{p T_n Z_n}{p_n T Z} = \frac{f}{K} \cdot \frac{p T_n Z_n}{p_n T Z} \quad (1)$$

式中:  $q_{V_n}$ ——标准状态下的体积流量;  $q_V$ ——工作状态下体积流量;  $p$ ——工作压力;  $T_n$ ——标准状态下的温度;  $Z, Z_n$ ——工作状态下和标准状态

稿件收到日期: 2024-01-15, 修改稿收到日期: 2024-03-26。

基金项目: 国家重点研发计划课题“真空、微重力下熔融金属液桥稳定性、润湿铺展和凝固成形机理”(2023YFB4603701)。

作者简介: 于海鹏(1986—),女,2009年毕业于辽宁石油化工大学自动化专业,获学士学位,现就职于京鼎工程建设有限公司,主要从事仪表自动化控制设计工作,任高级工程师。

下的气体压缩系数;  $p_n$ ——标准状态下的压力;  $T$ ——工作温度;  $f$ ——输出频率;  $K$ ——流量计仪表系数。

涡街流量计与孔板流量计相比,具有以下优势:

- 1) 可以减小测量误差,精度更高,一般为测量范围的1.0%~1.5%。
- 2) 安装简单,运维方便,不需要引压管和阀组,避免了泄漏、引压管堵塞等情况。
- 3) 量程比更宽,最大范围可达25:1。
- 4) 压力损失很小,约为孔板流量计的25%~50%。
- 5) 可输出脉冲信号,所以没有零点漂移。

涡街流量计在检测流体流量的同时,还可以检测出流体的密度、温度、压力。通过DCS编程组态,实时修正流量值,从而得到更为准确的空气流量值。

### 3 温压补偿的原理和意义

#### 3.1 原理

温压补偿是在标准温度、标准压力下进行定义的<sup>[3]</sup>,而在实际工况中温度和压力都是不断变化的,导致被测气体的密度也是动态的。温度不变时,压力越高,气体的密度越大;压力不变时,温度越高,气体的密度越小。所以实际测量中需要引入测量点的温度和压力动态补偿流量值,才能实现对其准确测量。

#### 3.2 温压补偿的实现和应用

##### 3.2.1 温压补偿的实现

若想实现流量准确测量,需要将温度、压力、流量等信号引入该装置DCS<sup>[4-5]</sup>,在DCS控制模块中完成温压补偿计算及逻辑组态,并在上位机显示,输出最终温压补偿后的标准值。

温压补偿实现的步骤如下:

- 1) 信号引入。将被测介质的温度、压力和流量等测量信号引入DCS,定义引入信号的位号和地址,为后面温压补偿逻辑计算做准备。
- 2) 温压补偿过程。在下位机定义通用计算模块,引入的初始温度、压力和流量信号作为计算模块输入变量,编程写入温压补偿计算公式,将经修正后的流量值即补偿后的标准流量值赋值给输出变量,实现温压补偿。
- 3) 标准流量显示。在上位机流程图中定义显示位号,将显示位号,链接到下位机的输出变量,实现温压补偿后的标准流量值才可以在流程图中显示。

##### 3.2.2 应用效果

在PTA生产过程中,空气流量主要分两路,

一路参与催化氧化反应,另一路进结晶装置,参与二次氧化反应,所以要计量整体装置消耗空气量。早期的空气流量总计量是通过操作工定点手动计量,任务繁重且存在误差,给生产造成很大困扰。现在通过DCS程序定义用于计量的逻辑功能块<sup>[6]</sup>,将温压补偿后的两路标准空气流量引入该装置工艺物料平衡计算中,优化工艺参数使空气流量测量精度得以提升。

### 4 温度、压力和流量仪表的选型

空气流量实现准确测量必须要进行温压补偿,需要选择合适的温度、压力和流量仪表。

在实际操作工况下,以CTA一级结晶器中密度为1050 kg/m<sup>3</sup>,黏度为5×10<sup>-4</sup> Pa·s的压缩空气为例,工艺参数见表1所列。

表1 结晶器中压缩空气的工艺参数

参 数	指 标		
	最大	正常	最小
质量流量/(t·h <sup>-1</sup> )	18.50	13.30	1.85
温度/℃	140	105	80
表压/MPa	3.20	1.09	0.60

根据表1可知,温度的测量范围为80~140℃,所以选用适合低温测量、灵敏度高的热电阻Pt100作为测温元件。为了便于查看仪表示值及日常维护,变送器选用分体式安装。

一般压力仪表正常测量值应处于测量范围的30%~70%,最大不超过90%<sup>[7-8]</sup>。表1中,压缩空气表压最大为3.20 MPa,想要同时满足最大和正常的操作压力无法实现,经过核算,最大操作压力只是一个理论值,这种情况下,选择仪表量程时按正常压力选择,最终选择压力表(表压)量程范围为0~1.6 MPa。变送器也采用分体式安装,并配有就地显示屏,便于现场查看示数。

该装置前期测量仪表采用孔板流量计,由于空气的体积和密度受温度和压力的影响比较大,导致测量偏差比较大,另外孔板流量计测量精度也相对较低,因此更换具有信号稳定、准确度高、故障率低、维护方便的涡街流量计<sup>[9-11]</sup>。根据表1数据计算和选型规定,流量仪表量程选择0~20 t/h即可满足测量要求。

### 5 结束语

在该装置前期测量中,应用孔板流量计直接测量空气流量时,由于受温度和压力的影响,导致测量数据结果偏差较大,影响产品精度。通过更

(下转第102页)

## 广告索引

- |          |                          |          |                     |
|----------|--------------------------|----------|---------------------|
| 封面       | 浙江力诺流体控制科技股份有限公司         | 前彩 19    | 江苏华海测控技术有限公司        |
| 封二       | 普利默智能科技(上海)有限公司          | 前彩 20,21 | 中石化宁波工程有限公司         |
| 封三       | 重庆川仪自动化股份有限公司流量<br>仪表分公司 | 前彩 22    | 公益广告                |
| 封底       | 美卓伦仪表(常州)有限公司            | 前彩 23    | 北京振威展览有限公司          |
| 前彩 1     | 重庆川仪十七厂有限公司              | 前彩 24    | 杭州振华仪表有限公司          |
| 前彩 2     | 北京平和创业科技发展有限公司           | 前彩 25    | 艾德威尔瑞拓(山东)自控技术有限公司  |
| 前彩 3     | 大韩仪器(上海)有限公司             | 前彩 26    | 浙江伦特机电有限公司          |
| 前彩 4     | 杭州优稳自动化系统有限公司            | 前彩 27    | 杭州晶锐仪器仪表有限公司        |
| 前彩 5     | 无锡市亚迪流体控制技术有限公司          | 前彩 28    | 苏州安特威工业智能科技股份有限公司   |
| 前彩 6     | 上海辰竹仪表有限公司               | 中彩 1     | 沈阳北星仪表制造有限公司        |
| 前彩 7     | 无锡斯考尔自动控制设备有限公司          | 中彩 2     | 天津市协力自动化工程有限公司      |
| 前彩 8     | 重庆川仪分析仪器有限公司             | 中彩 3     | 杭州康吉森自动化工程技术有限公司    |
| 前彩 9     | 德菲电气(北京)有限公司             | 中彩 4     | 天津市中环温度仪表有限公司       |
| 前彩 10    | 上海同欣自动化仪表有限公司            | 后彩 1     | 捷流阀业(苏州)有限公司        |
| 前彩 11    | 工装自控工程(无锡)有限公司           | 后彩 2     | 恩德斯豪斯(中国)自动化有限公司    |
| 前彩 12    | 浙江派沃自控仪表有限公司             | 内插 1     | 天华化工机械及自动化研究设计院有限公司 |
| 前彩 13    | 无锡福斯拓科科技有限公司             | 内插 2     | 天津市中环温度仪表有限公司       |
| 前彩 14    | 湖南楚一机电有限公司               | 内插 3     | 捷流阀业(苏州)有限公司        |
| 前彩 15    | 北京埃希尔控制科技有限责任公司          | 内插 4     | 浙江力诺流体控制科技股份有限公司    |
| 前彩 16,17 | 南京菲尼克斯电气有限公司             | 内插 5     | 厦门宇电自动化科技有限公司       |
| 前彩 18    | 英国 FLYGER 弗莱戈阀门          | 内插 6     | 承德菲时博特自动化设备有限公司     |

(上接第 97 页)

换精度高的涡街流量计,引入温度、压力等信号并用 DCS 组态对流量测量结果温压补偿,实现了对原料空气的准确测量和计量,有效降低了操作人员的工作量,提升了装置的自动化水平,提高了产品的质量。

### 参考文献:

- |     |   |      |   |
|-----|---|------|---|
| [1] | 蒋兴加.集散控制系统组态应用技术[M].北京:机械工业出版社,2014.                            | [5]  | 孙勇.DCS 系统过程控制功能的设计与实现[D].厦门:厦门大学,2014.                        |
| [2] | 张建芳,山红红,涂永善.炼油工艺基础知识[M].2 版.北京:中国石化出版社,2009.                    | [6]  | 陈来夫.稳定塔压力控制的改进与研究[J].工业仪表与自动化装置,2019(03): 97-101.             |
| [3] | 庞汉宠,王彦辉,魏跃桥.涡街流量计在 SAGD 蒸汽管线上的应用[J].石油和化工设备,2020,23(06): 81-83. | [7]  | 王树青,乐嘉谦.自动化与仪表工程师手册[M].北京:化学工业出版社,2020.                       |
| [4] | 张树利.DCS 系统组态软件设计的研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2004.                        | [8]  | 黄步余,范宗海,马睿.石油化工自动控制设计手册[M].4 版.北京:化学工业出版社,2020.               |
|     |   | [9]  | 牛泽亭.涡街流量计在工业生产中的使用与维护[J].化工管理,2021(05): 135-136.              |
|     |   | [10] | 刘会敏.浅谈涡街流量计的应用及在 TPS 系统上温压补偿[J].科技展望,2016,26(21): 160.        |
|     |   | [11] | 陈来夫.煤直接液化气体流量测量温压补偿的实现方法与研究[J].自动化技术与应用,2018,37(04): 110-114. |