

摘 要

食品气调包装机涉及到机械、电气、气动、流体力学等诸多技术领域，是比较复杂的典型机电一体化产品。本文按照机电气一体化产品的设计思想，从气调包装机的工作原理和 workflow 出发，运用现代机械系统的设计方法和机电气一体化技术，对气调包装机的机械系统、配气系统、包装盒换气系统作了比较系统的探讨。

本文根据气调包装原理探讨了盒式气调包装机整体方案，阐述了盒式气调包装机系统设计，对其包装盒的上、下压合模具以及热封切裁和包装薄膜的送收机构进行了分析。重点对盒式气调包装机换气系统和配气系统进行了研究。

在换气系统的研究与设计中，从提高换气精度、减少混合气体消耗和提高包装效率出发，创造了包装薄膜振动等压换气法，以及真空换气法中的上下模腔的压力自动平衡控制方法。

在对配气系统的研究和设计中，从提高配气精度和配气效率出发，研究和分析了三种气调包装配气方法：质量流量法，压力法和时间法。在质量流量测量原理基础上，设计实现了可动态控制气体配比的质量流量控制系统。在压力法配气原理基础上研制了可连续供气的双气包交替配气系统，同时解决了 PLC 和单片机配气系统的数据通讯的问题。

本文自始至终遵循机电气一体化设备的研究开发方法，刻意避免过去仿造的弯路，完成自主设计，使该类型气调包装机顺利投入市场，且被认定为上海市 2004 年高新技术产品，并为机电气一体化产品创新设计提供了一个实用案例。

关键词：气调包装 盒式气调包装机 配气系统 换气系统

Abstract

Food Modified Atmosphere Packaging(MAP) comes down to the mechanics、electrical、pneumatic、hydromechanics fields etc, and it is a typical kind of perplexing mechatronics product. In this paper, we apply the modern design method and mechatronics technology to study the part of mechanical system, gas ratio mixing and gas replacement system according to mechatronics product design method based on the work theory and flow of MAP.

In the paper,according to the principle of MAP we make a study of the holistic project of Box MAP Machine,and expatiate the system design of Box MAP Machine,and analyse the mould of packaging box and the hot sealing and film-sheared organ.The gas mixed system and the gas replacement system are the emphasis of the study in the paper.In order to enhance the precision and efficiency of gas replacement and reduce the loss of gas,the paper creates the means of packing film libration isotonic gas replacement and the control mean of automatical pressure balance above and below mould container in the mean of vacuum gas replacement.

Based on enhancing the precision and efficiency of MAP,the paper researches and designs the three kinds of means by which mix gas in Box MAP Machine:the mean of mass flow 、 the mean of the pressure and the mean of time.According to the theory of mass flow we design and realize the mass flow control system which is used to mix gas dynamically.Based on the principle of the mean of the pressure,we develop the alternate gas-mixed system which can apply gas continuously.At the same time we solve the problem of the data communication between PLC and SCM gas mixing system.

This paper follows the research method of mechatronics product from beginning to end. We intentionally avoid the copy of the same previously disastrous road for the sake of bringing forth new ideas of industrial application. This type of MAP in the paper becomes homemade by independence design. This paper is innovational in the field of mechatronics product design and has provided a utility design for it.

Key words: MAP 、 Box MAP Machine 、 gas ratio mixing system、 gas replacement system

第一章 绪论

随着生活水平的不断提高,人们对于食品包装的要求越来越高,不仅要求包装中的食品清洁卫生,还要求尽可能保持食品的新鲜度和原有风味。常用食品包装的方法很多,食品气调包装就是其中比较先进的方法之一,这种包装技术根据食品性质和保鲜要求,将不同配比的混合气体置换出包装容器内的空气,改变包装内食品的保存环境,达到抑制细菌和微生物的生长繁衍,或减缓新鲜果蔬的新陈代谢速度,从而延长食品的保鲜期及货架保存期。与冷冻食品及真空包装加高温杀菌食品相比较,理想的食品气调保鲜包装能更有效保持产品的营养成分,提高食品的保鲜质量,保证其原汁原味原貌。通过改善包装食品周围的气氛环境,进一步延长了食品的销售期,国外称这种技术为 MAP (Modified Atmosphere Packaging) 或 CAP (Controlled Atmosphere Packaging)。食品气调包装(MAP)中常用气体为 O_2 、 N_2 和 CO_2 其中的二或三种,根据被包装食品的性质和保鲜要求,配比不同比例的组分气体来置换出包装容器内的空气。可以相信,在以后的一段时间中,食物保鲜将是一个热点,其保鲜方式可以很多,例如保鲜剂保鲜、减压贮藏保鲜和高压保鲜、电子保鲜、磁场保鲜和电离辐射保鲜、生物技术保鲜等。但对于现阶段而言,气调包装仍将是一个很好的方法。根据有关研究资料表明,越来越多的产品可以使用气调包装处理,气调包装的优点同时还在于气调包装新鲜食品时外观形状更加美观,包装盒内的食品与真空包装比较而言不易变形,对运输、保存、货品展示以及货品的增值能力等方面都有帮助。它不仅解决了高温高压、真空包装食品的品质劣化问题,而且也克服了冷藏、冷冻食品的货架期短、流通领域成本高等缺点。因此,食品气调包装将在本世纪获得蓬勃的发展。

1.1 课题来源和要求

1.1.1 课题来源

本课题系上海大学机电工程及自动化学院与上海炬刚机械制造有限公司合作研制项目,并在此课题的基础上,结合盒式气调包装机生产线中的工作原理和关键技术以及其发展趋势,形成本论文。

上海炬刚机械制造有限公司是一家专业食品包装机的生产企业,该厂生产设

备精良，技术力量雄厚。产品有多种型号的食品气调包装机，可满足不同层次和要求的客户需求。

本次研制开发的盒式食品气调包装机在取得成功后，2004年，被认定为上海市高新技术产品，有着广阔的市场前景和丰厚的社会、经济效益，对促进我国食品气调包装制造业水平比较迅速地向发达国家接近有着积极的意义。同时，对食品气调包装机械这样比较复杂的机电一体化产品，自主技术开发的成功，将为同类型的机电一体化产品的开发提供一个实用案例。

1.1.2 本论文研究方法及研究内容

如前所述，气调包装机是一种比较复杂的典型机电一体化产品，其设计和制造一定要遵循机电一体化产品的设计和研究制造程序规律。机电一体化研究如何把机械、电气、气动、流体力学和数字化技术有机地组合成现代机械系统，实现高性能、高效率、节能省料的目标。机电一体化绝对不是机械、电子、气动装置的简单组合。为了实现气调包装机械、电气和流体力学、数字化技术的有机结合和融合，需要探求食品气调包装机的工作原理、功能原理和需求，并深入掌握机电一体化的理论和方法^[1]。

首先是气调包装机系统的总体构思方法。为了从系统原理组成、机电、气动和数字化等方面充分有效地发挥各自特长，合理确定方案，构思方法一方面依赖于设计者的经验和前人的基础，另一方面也需要现代设计方法的理论指导。其次，气调包装机系统是一个含有较多气动、流体和数字化技术的系统，因此需要掌握这些相关技术的理论基础。机电一体化强调机电结合中运用共性技术成果进行集成，只有充分、深入地掌握这些共性技术成果和基础理论，才能设计并开发出机电深度结合、真正一体化的产品和系统。

在过去，我国的大部分食品包装机研制和其它机电一体化机械产品的研制一样，均采用先引进国外先进的机器设备，然后参照样机进行测绘和理论反推的设计方法。这种仿造方法具有很大的缺陷：

- 1、作为仿造，注定永远要等别人的机器设备出现甚至成熟以后，已经成为产品，才能给仿造者以机会，当我们开始仿造时，原厂家已经在进行新的产品开发，使我们的机械制造业永远处于落后、被动的地位，无法缩短和发达国家的差距，

更无法谈及超越。

2、国际知识产权保护日益深入人心，全世界都在进行知识产权的保护，尊重知识，尊重别人的科技成果已经成为一种不可遏止的时代潮流。新的国际形势已经不允许再进行低级的仿造和知识剽窃，盗用别人的先进技术被普遍视为盗窃行为。

3、随着我国 WTO 的正式加入，我国的机械制造业也必定面临着重大的冲击。在激烈的国际竞争过程中，要使我国的机械制造业能立于不败之地，从根本上要改变我们的落后面貌，就必须找到提高机械制造业科技水平的发展之路。创新，是一个民族发展的灵魂。

本课题在立意之初，就刻意避免过去仿造的弯路，力争走出一条新的制造业发展之路，为提高我国的机械制造业水平贡献一些力量。本课题中，我们采用的主要指导思想是：从产品的功能原理、需求和技术要求出发，运用机电气一体化产品的设计思想，由功能原理、需求到其实现，尽量走出仿造的设计桎梏，独立思考，全新创意，自行设计，使机电气一体化设计方法真正发挥功效。本课题总体设计流程图如图 1-1 所示。

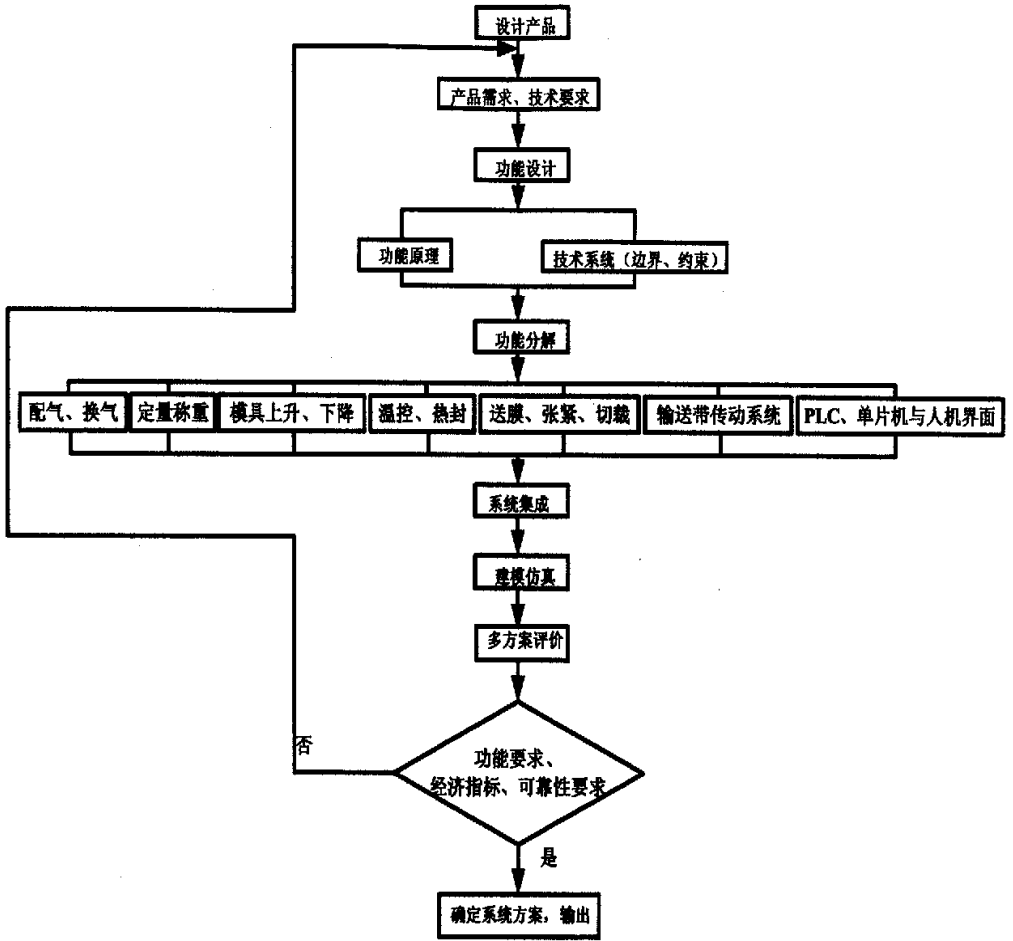


图 1-1 气调包装机机电气一体化产品流程图

本课题在开展过程中，首先深入了解了气调包装机的工作原理和 workflow，从气调包装技术、包装和食品工艺要求出发，分析气调包装机的机械动作、配气系统、换气系统及实现途径，从这些系统功能需求到实现产品设计。一般地来说，对于产品生产，熟悉食品气调包装工艺的技术人员，对机械、电气、控制原理和流体力学较缺乏研究，而研究这些领域的技术人员，则往往会缺乏食品及包装工艺的专门技能，这是一对经常会遇到的矛盾。本课题在进行研究的同时，也是在不断地解决这对矛盾的有效过程。

1.2 气调包装与气调包装机概述

气调包装的起源可追溯至 19 世纪 30 年代。当时将新鲜牛羊肉装在大包装袋保鲜贮运,而在水产品中的应用始于 1930 年。但是这项技术大规模在商业上应用是从 1970 年以后才开始。1979 年英国 Mark & Spencer 公司推出了 MAP 肉制品,两年后应用到了鱼类、火腿等方面。对果蔬气调保鲜的研究,早在 1955 年,美国 Gerhard 国家研究中心植物生理实验室的马尔赛兰,开始研究各种 PE 膜贮藏苹果和梨,并对贮藏环境中的氧气(O_2)和二氧化碳(CO_2)变化作了系统的研究,1960 年发表研究报告,并称为生理包装贮藏。在过去 30 年中,MAP 技术的使用范围不断扩大,包括生熟肉制品、鱼类、家禽、贝类、水果、酱类、脆片、咖啡、茶、蔬菜、面包等。目前 MAP 已成为一些产品的主要包装形式,并且其占有市场份额也不断提高。我国气调包装起步于 20 世纪 90 年代,国家农产品保鲜工程技术中心于 1988 年开发了果蔬专用 PVC 保鲜膜 24 种配方,从中筛选出 32 个品种,47 种规格用于蒜薹、黄瓜、芹菜、葡萄、苹果和鸭梨等保鲜膜袋的实际应用,由于食品气调包装的优势效果非常明显,因此最近几年食品气调包装(MAP)在国际和国内已经成为研究热点。

1.2.1 食品气调包装与气调包装机

1、食品气调包装的原理

食品气调包装是根据被包装食品的性质和保鲜要求,配比不同比例的组分气体来置换出包装容器内的空气。常用的气体为二氧化碳(CO_2),氧气(O_2),氮气(N_2)。各种气体对食品保藏的作用不相同。二氧化碳 CO_2 在低浓度下能促进许多微生物的繁殖,但在高浓度下却能阻碍大多数需氧菌等微生物的繁殖。一般在混合气体中,二氧化碳浓度超过 30% 就足以抑制细菌的增长。当二氧化碳溶于水会产生弱酸性,降低 PH 而对微生物产生抑制作用。二氧化碳对油脂及碳水化合物等有较强的吸附作用而保护食品减少氧化。氮气 N_2 一般不与食品发生化学作用,无味无臭,其主要作用就是取代氧气,抑制食品本身和微生物的呼吸,其次是作为一种充填气体,保证产品在呼吸包装内的二氧化碳后仍有完好的外形,据资料分析,对极易氧化变质的食品,充氮包装能有效地延缓食品的氧化变质并保

全食品质量。氧气 O_2 个性活泼，能氧化维生素和脂肪，引起产品变质和加速腐败细菌的生长，一般包装内都不希望它存在。但氧气在保持肉类新鲜的外观上是不可缺少的角色，肉类包装中含有一定量的氧气就能防止产品脱色脱味。如果采用适当的包装材料和包装方法，就能抑制果蔬储存环境中的氧分压和呼吸速度，为此，通常把二氧化碳和氮气混合成“理想”的气体，作用于生鲜食品的充气包装，则能使生鲜食品内部细胞的活性维持一定时间，延缓其生命过程，保持一定程度的生鲜状态。

在应用充气包装技术时，可以根据产品的不同特性来选择气调的状态。一般为了保持食品的色、香、味及防止氧化，通常使用充入氮气的方法；为了使肉类显色，则充氧气；肉制品，鱼糕，鱼卷以及蛋糕的包装，一般充入二氧化碳和氧气的混合气体，而新鲜牛肉的销售包装则用氮和二氧化碳的混合气体。对于各种具体的食品，应充入气体的种类和混合的方式，还有待于进一步探索。但常用的一些食品对保存气氛要求，人们已经总结出来，人们在研究食品保鲜中已总结出一些食品保鲜的气氛要求，详见下表。

附表：低酸性食品所采用的混合气体

产 品	气 体	货架期	
		空气中	气调包装
红肉	20-40% CO_2 + 60-80% O_2 (O_2 用来保持红色)	2-4天	5-8天
白色肉质鱼	35-45% CO_2 + 25-35% O_2 + 25-35% N_2	2-3天	4-6天
金枪鱼	35-45% CO_2 + 55-65% N_2	2-3天	4-6天
家禽	25-35% CO_2 + 65-75% N_2	4-7天	10-21天
熟肉	20-35% CO_2 + 65-80% N_2	1-3周	3-7周
硬干酪以外的乳制品	10-40% CO_2 + 60-90% N_2	1-3周	4-14周
面条产品	40-60% CO_2 + 40-60% N_2	1-2周	3-4周

2、气调包装的换气方式

在气调包装技术中，只要知道某种食品所需要的气氛环境后，则向食品包装袋内充入其所需要的气体，便可达到保鲜要求。但如使用塑料袋作为包装物时，要注意的是以往用的很多塑料包装袋，由于存在气体渗透的现象，不能直接用来作为气调包装。但塑料制品由于其具有轻便，廉价，透明等特点，尤其是很多塑料制品经过改性，克服了其以往易破漏，漏气的缺点后，在以后的包装中，塑料制品仍是气调包装的主要材料。气调包装的充气方式，国内外主要采用两种方法，

一种称为等压换气法，也称为气体冲洗式；气体冲洗式是指连续向容器内充入配制好的混合气体，以混合气体驱除包装盒内的空气，待盒口形成正压后立即封口。另一种称为真空换气法，也称为真空补偿式。其原理是先将包装盒抽真空，然后充入配制好的混合气体恢复至常压，并立即封口。

3、气调包装的供气方式

食品要达到保鲜的目的，对气氛环境要求较高。因此，不管是何种气调包装机，都首先要求能够准确的配置混合气体。常用的提供给气调包装机混合气体的方式有两种，一种是集中供气，即以供气站的方式，按用户要求配气，其配气的精度可达1%。另一种是将气体比例混合装置和经过改型的盒式包装机、热成型真空包装机、竖式或卧式自动制袋充真包装联机使用，可根据包装产品要求，任意改变配气比例。对这类机型来说，气体比例混合装置是一个很重要的部件。我国自行研制的DQ和HQ型气调包装机内气体比例混合控制装置与其它控制装置一体，由PLC或单片机控制抽气——充气——热封切裁的程序操作。

4、气调包装机械

食品气调包装机械，一般都是在常用的包装机械生产线上经过改进的，根据食品包装的要求，增加了抽气，充气的功能。包装形式有塑料盒，纸塑复合盒，枕式，大袋包装和袋装盒式等。气调包装机大都是在盒式包装、热成型真空包装机，枕式包装机或自动制袋充填包装机等机型上配置气体混合配气装置和充气装置改装而成。

5 气调包装品质控制的手段和方法

气调包装需要保证充入的气体和所要求的标准比例是符合的。目前的检测方法是进行随机取样，即在某规定时段内取出一定数量的已包装好的产品，用空气分析仪分析其内气体是否达到比例。这样做很烦琐，并且有一定的延迟性，如果检测得太频密，势必要花费很多的人力，物力，要是检测时间相隔太长，一旦发现问题，可能要造成很多产品报废。目前最新的检测方法是在线检测，即将气体分析仪安装在包装封口的地方进行抽样，假如气体气氛没达到要求，控制器就会报警，停止工序，直到进行纠正，达到要求为止。这种方法很突出的特点就是能及时发现问题，及时发现气体混合比例中出现的误差，况且节省人力，如果配合使用可编程控制器，在出现气体配合比例失调时，进行自动调整，可极大提高生产率。

对包装物进行测漏也是一个很重要的环节，包装出现泄露，将会影响食品的保存，尤其是含氧包装，一旦出现了泄露，食品就会变质。现在常用的测漏方法是将包装袋放进水里，挤压袋子，或者是在水面上抽真空，看是否有水泡出现，这种方法的缺点是显而易见的，不仅烦琐，况且也只能进行抽样检测。对此，现在还没有很先进的方法，但有资料表明，一种称示踪气体法的测漏方法正在研究和实践中。示踪气体法是指在特定的真空状态中安装气体传感器，对待测包装袋进行检测，据称，此方法可和包装生产线连接在一起，进行自动化检测，在近期内可望获得运用。

1.2.2 气调包装和气调包装机的发展现状

气调包装和气调包装机在我国还处于起步阶段，而在国外应用就较广泛。尤其是在欧洲。英、德等西欧国家的气调包装机械有十多个基本机型，其中多数用于小包装，用于大包装的较少。包装形式有塑料盒，纸塑复合盒，枕式，大袋包装和袋装盒式等。气调包装机大都是在热成型真空包装机，枕式包装机或自动制袋充填包装机等机型上配置气体混合装置和充气装置改装而成。现概要地介绍国外气调包装机的基本形式^[3]：

1、卧式气调包装机

此机型只能用做冲洗式气调包装。供应厂商有Rose Forgrove、Aucoturer等，这种机型是自动制袋充填机改型，主要用来气调包装烘烤、快餐、咖啡等食品。

2、FFS卧式热成型气调包装机

这种机型可采用上述的两种充气方式，对半刚性塑料盒气调包装较好，此机型是在热成型真空包装机的改型，其生产厂商主要有Dixie Union、Kramer&Grebe和MULTIVAC等。主要用于新鲜肉、鱼方面的包装。

3、预制袋或盒气调包装机

预制袋气调包装机是箱式真空包装机的改型，只能做真空气调式包装，预制盒气调包装机可用做两种包装方式。它们都是半自动化的。生产能力较小。

4、纸塑复合盒气调包装机

根据纸塑复合盒类型分两类，一种是预制涂塑纸盒放入自动充填热封包装机

做真空补偿或气体冲洗式气调包装，一种是热成型真空包装机上放入预制板盒后嵌入机器上热成型的塑料盒。

5、袋装盒或袋装箱气调包装机

袋装盒或袋装箱气调包装机均可用作两种充气方式。袋装箱式包装的气调方式是有二根气管插入大包装袋内充气 and 抽气。主要用于咖啡，茶叶等散装料和大块肉类气调包装。

我国各种具有充气功能的真空包装机都可做气调包装，但除插管式真空包装机外，其他类型真空充气包装机充气包装时均不能直接充入塑料袋内，每次抽真空后再充气，因耗气量大而造成成本高，如单室或双室真空包装机的充气功能因耗气量大而一般不能直接用，需经过改进设计才能发挥起充入气体的功能。

1.2.3 气调包装和气调包装机的发展趋势

气调包装技术，不但可以延长食品的保存时间，还可以很好的保存食品的原有风味。因此，经过气调包装的食品，可以实现延长食品产品的保存期，可以使食品反季节销售，增加食品的附加值。结合传统烹饪技术开发出可用气调包装的速食性食品，则适合生活节奏快的人们的需要。因此，气调保鲜包装技术，在本世纪将会得到极大的重视和利用。但由于目前的任何一种单一保鲜方法都存在其自身的弱点。保鲜效果不很理想、不能完全解决问题。随着水果保鲜基础研究的不断深入，以及扩大流通的需求，一些更新更好的综合保鲜方法将不断涌现并成为主流。

气调包装机械作为包装机械的一种，有着其比较特殊的要求，但同时有着食品包装机械的相同共性。进入 21 世纪，我国包装机械行业将向机电化、智能化、自动化控制方面发展。包装机械的未来是各种高新技术、新机构、新控制方法的高度结合，未来包装机械的技术特征将趋于“三高”，即高速、高效、高质量。重点发展方向趋于节能降耗，质量和性能稳定可靠，控制水平先进、结构紧凑，占地空间小，噪音低、效率高，操作简单方便。外观造型适应环境和操作人员心理要求，有利于环保等。

当前发达国家为满足现代商品包装多样化的需求，开始不断发展适应多品种、小批量的食品气调包装机械及设备。同时又紧跟当代高科技技术发展步伐，不断

应用先进的技术。开发和发展应用高新技术的现代化专用型包装机械。

目前和未来,包装机械所应用到的新技术包括:微波技术、航天工业技术(热管制袋)、微电子技术(控制表)、信息处理技术、传感技术(光电及化学类)、激光技术(切割、防伪方面)、磁性技术、生物技术以及新的加工工艺,新的机械部件结构,新的纤维材料等。这些技术使得许多包装机械已趋于智能化。

1.3 本论文研究意义

此次项目的开发与合作,有着积极的意义。首先,此次研制了具有比较先进水平的盒式食品气调包装机,它包括很多新技术,如:动态配气系统、换气系统、包装膜张紧定长系统等。其次,此次气调包装机的研制从机械到电气、气动产品,单片机控制控制系统和配气和换气系统设计的绝大多数部件本着降低成本原则,尽量的,以便于今后大规模的生产,从而提高性价比。其三,项目的研制不仅可以弥补国内空白,给我们带来很好的经济效益和社会效益,同时也可以缩小我国同世界先进国家水平的差距,提高我国的食物包装设备的水平,为我们在世界范围内参与社会竞争,更好的迎接加入“WTO”后的贸易挑战,迅速和国际大市场接轨创造条件。

尽管气调包装机具有如前述的许多优点,但在国内的推广并不很尽如人意,原因有多方面的,但是其主要原因在于:

- 1、气调包装技术不过硬,气调包装的产品质量不很稳定。
- 2、相对与食品普通真空包装来说,气调包装的成本较高,对于刚步入小康生活水平的中国人来说,降低食品包装成本是十分重要的。

为此,对于盒式气调包装来说,需要解决如下问题:

- 1、如何提高气调包装配气和换气精度,如何提高热封的质量和稳定性,同时被包装食品和包装材料在未包装之前如何有效的消毒灭菌的问题。
- 2、在成本方面,如何节约耗气量和包装耗材的问题。
- 3、在效率方面,如何进行高效率的配气和换气,如何尽量减少各工序中无效时间,从而减少整个包装循环的工作时间。

自始至终贯穿机电气一体化的设计思想,本文作者完成了盒式气调包装机的大部分设计任务,在工作中探讨和采用了一些比较有创新思路的设计。本文主要

内容分五章叙述，对食品气调包装机系统进行了较详细的描述，每章大体内容如下：

第一章，阐述了气调包装和气调包装机械的工作原理及工作过程，并介绍了当前国外和国内气调包装和气调包装机械的技术现状和发展趋势，提出了课题研究的目的与思路。

第二章，气调包装机械部分分析设计。重点介绍了气调包装机械总统方案设计研究，同时对其包装模具、热封、切裁机构和包装薄膜推进张紧和定长机构进行了简要分析研究。

第三章，重点对盒式气调包装机换气系统和配气系统进行了研究。在换气系统的研究与设计中，从提高换气精度、减少混合气体消耗和提高包装效率出发，创造了包装薄膜振动等压换气法，以及真空换气法中的上下模腔的压力自动平衡控制方法。

第四章，着重介绍了食品气调包装机配气系统设计。根据配气系统配气原理对不同的配气方法进行了比较深入的研究，同时也是本文重点阐述的部分。在质量流量测量原理基础上，设计实现了可动态控制气体配比的质量流量控制系统。在压力法配气原理基础上研制了可连续供气的双气包交替配气系统，同时解决了PLC和单片机配气系统的数据通讯的问题。

第五章，结论与展望。

本课题的研究，以盒式食品气调包装机系统研制作为一次机电气一体化产品的研究和开发，是机电气一体化产品设计的一次新的应用创新，并为其提供了一个实用案例。

第二章 盒式气调包装机系统分析设计

2.1 盒式气调包装机系统总体方案设计

2.1.1 机械系统总体方案设计的基本原则^[2]

现代机械系统的概念和功能随着科学技术的发展,机械系统的概念有了比较大的发展。机械系统总体方案设计是产品设计过程中极其重要的一部分,是产品设计的关键,它直接关系到产品的功能、性能和质量及其在市场上的竞争力和企业的效益。在机械系统总体方案设计过程中,应遵循一些基本的原则和法规,以保证设计的质量,杜绝不应有的浪费。这些基本原则包括有:

1、需求原则 产品的功能来源于需求,产品要满足市场需求是一切设计最基本的出发点。需求有三个特征,即时尚性、差异性和动态性。时尚性是指需求是随时间变化的,任何产品都有一定的市场寿命。差异性是指客户的需求是有层次性的,不同的客户有不同的需求。动态性是指需求是随社会的发展、经济水平的提高而发展变化的。需求的发展可以导致产品的不断改进、升级和更新换代。

2、效益原则 产品设计必须时时考虑效益,包括技术经济效益和社会效益。

3、信息原则 现代社会已经进入信息化时代,先进的信息处理技术使设计的产品在正式加工制造之前即可采用虚拟现实技术在虚拟工厂中显示出加工制造、安装调试直到运行的全过程,从中发现问题,以便在正式加工制造之前进一步改进设计,以改善性能和质量。

4、系统原则 每一个机械产品都可以认为是一个系统,所以应该以系统工程的观念来指导其设计。其基本思想就是从系统的整体目标出发,将整体功能分解成若干子功能,然后找到能完成各子功能的技术方案,再把能完成各子功能的技术方案进行协调组成方案组,最后进行分析、评价和优选,进而实现整体优化。

5、创新原则 设计人员的大胆创新,有利于冲破各种传统观念和惯例的束

缚，创造发明出各种原理独创、结构新颖的产品。

6、继承原则 继承原则就是将前人的成果有批判的吸收、推陈出新、加以发扬、为我所用，从而可以达到事半功倍地创新设计，集中精力解决设计中的问题。

7、优化原则 由于机构、传动系统和原动机的类型和组合方式众多，因此能满足设计基本要求的方案很多。应该从这些方案中以科学的标准和方法评价各种方案，评价价值最高者为优选方案。

8、简化原则 在确保满足功能的前提下，应力求设计方案简单化，以确保质量的同时减低成本。

9、理论与实际相结合的原则 产品设计不仅要有理论知识，更要注意工程实践，力求做到理论与实际相结合。

10、广义的原则 现代机械系统已经成为有计算机控制的机、电包括光、液、气一体化的综合系统。在产品设计中不仅要用到机、电、气知识，而且还必须向其他学科扩展。

基于上述原则，食品气调包装机的方案设计也必须从这些原则出发，同时在设计中贯彻执行一些基本的法规和标准。如概念和原理的标准化、产品及其零部件的标准化，设计和加工生产的程序。由于食品在卫生上的特殊要求，因此食品气调包装机在遵循各项原则的基础上，还必须了解和遵守国际和国内关于食品生产的法律和法规。

2.1.2 基于功能原理与功能分析的方案设计

基于功能原理与功能分析方案设计的任务是：针对机械系统的某些确定的功能要求，去寻找某些物理效应、原理方法，并借助一些作用原理来求得实现这些功能目标的解法原理。在功能方案设计中常常引入某种新技术、新工艺、新材料，它首先要求设计者要有新想法、新构思。同时同一功能要求可以采用不同的工作原理来实现，而同一种工作原理，又可以采用不同的实现方法，从而等到不同的方案设计。

当明确了设计任务后，把要实现的设计任务进行功能分析，分析其总功能。

为了便于实现，一个系统的总功能常常需要分解成若干个分功能，并相应找到实现各分功能的原理方案，如果分功能还是太复杂，则可进一步分解为更低层次的分功能。一个同时对总功能进行功能分解，可以得到不同的功能元，再通过系统搜索得到一系列的功能元解，从而形成功能元矩阵，就可以得到若干种组合方案。机械系统方案设计的最终目的是要寻求一种既能实现预期功能要求、又能性能优良、价格低廉的最佳方案。最后通过对各种方案进行分析、比较，经过科学的评价和决策，才能获得最佳方案^[2]。

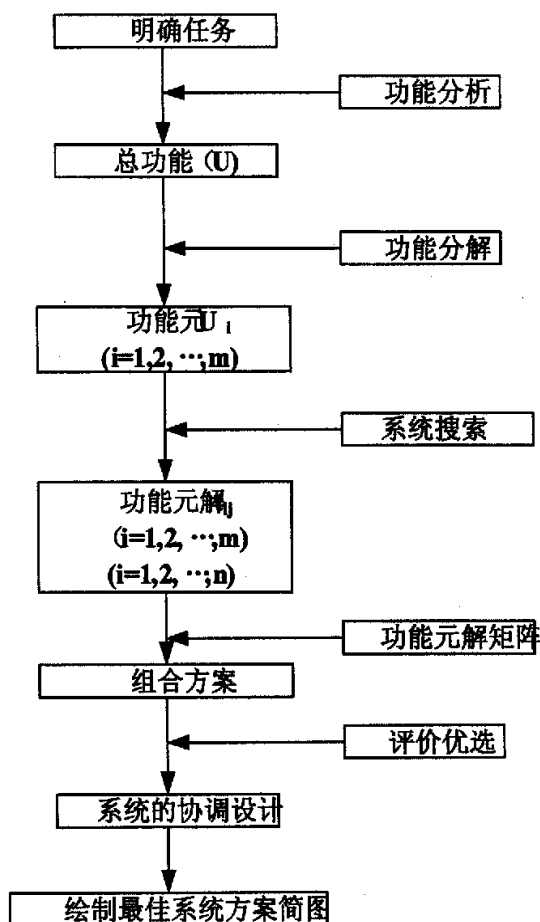


图 2-1 基于功能分析的机械系统方案设计

2.1.3 盒式气调包装机功能原理与功能分析

盒式气调包装机作为一种典型的机电一体化产品，主要由两部分组成：第一部分为气体比例混合装置，它可以作为单独部件与气调包装机、真空包装机配套使

用,也可以与气调包装机控制系统有机的结合在一起。气体比例混合装置的作用,是根据不同的食品包装工艺的需要,很方便地将 O_2 、 N_2 、 CO_2 混合成各种不同比例的混合气体,供包装工作时使用。另一部分为包装机,其作用是先将待包装的食品通过定量系统定量后,装入食品包装盒中,在包装模具中与包装薄膜形成密封腔,再将装有食品的盒中的空气抽出,然后充入所需的比例混合保护气,然后将包装盒热封封口,用切裁系统切除包装膜,然后通过输送带输出包装成品。

传统的盒装气调包装机为人工辅助机型,一般设计为双工位,分别为取放盒位和气体置换封切位。模具往复运动于两工位间,需要人工把包装成品取出模具、然后把待封合硬塑包装盒放入,生产效率较低,取决于工人操作的熟练程度。而且,传统机型均采用无压差气体置换技术,也就是在充入保鲜气体前,并没有排除干净盒内固有空气,包装后的食品内部不可避免存在残留空气,影响保鲜效果。有鉴于此,盒式食品气调包装机的研究开发,首先要实现过程自动化,其次要保证食品包装盒不存在残留空气。实际设计中,需要解决的难题是:如何使待包装盒自动进入模板并置于密封室中,然后在实现气体置换和封合分切后,又能自动脱出模板,并且这一过程必须连续循环进行。这一切决定了机器的工作机构应具备机械手的功能,因此其结构需要有针对性的作特别设计。盒式气调包装机应自动完成如下功能要求和工序如图2-2所示:

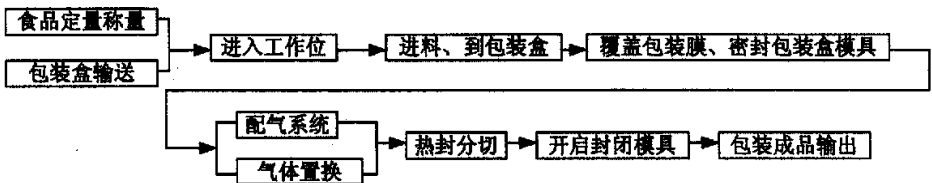


图 2-2 盒式气调包装机功能要求和工序

现代机械系统^[1]的目的是对输入物质、能量和信息进行预定的变换(加工、处理)、传递(移动、输送)和保存(保持、存储和记录)。现代机械系统同时要必须具备四种内部功能,即主攻能。动力功能、控制信息功能和结构功能。其中主功能是实现系统目的所必须的,它表明了系统的主要特征和功能。食品气调包装机的主功能就是定量称重待包装食品入包装盒,然后把配气系统配置好的一定比例的组分气体置换出包装盒中的空气,形成气调包装。动力功能为系统的运行提供必要的能量。控制信息功能包括信息检测、处理以及控制,是使系统正常运行,达到精确、可靠、节能、协调所必须的。

分析盒式气调包装机功能、信息视图如图 2-3、2-4 所示。



图 2-3 盒式气调包装机功能视图

气调包装机各种信息包括有用户的包装需求、包装机工作时各种包装参数、热封温度、配气系统各气体配气比例，包装膜长度和光标图案等各种信息。

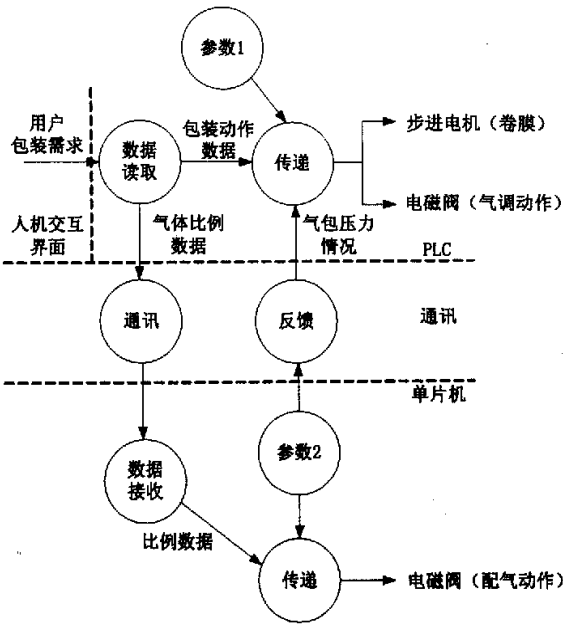


图 2-4 盒式气调包装机信息视图

根据上面所述盒式气调包装机功能原理和需求，可进行如下方案设计，如图 2-5 所示

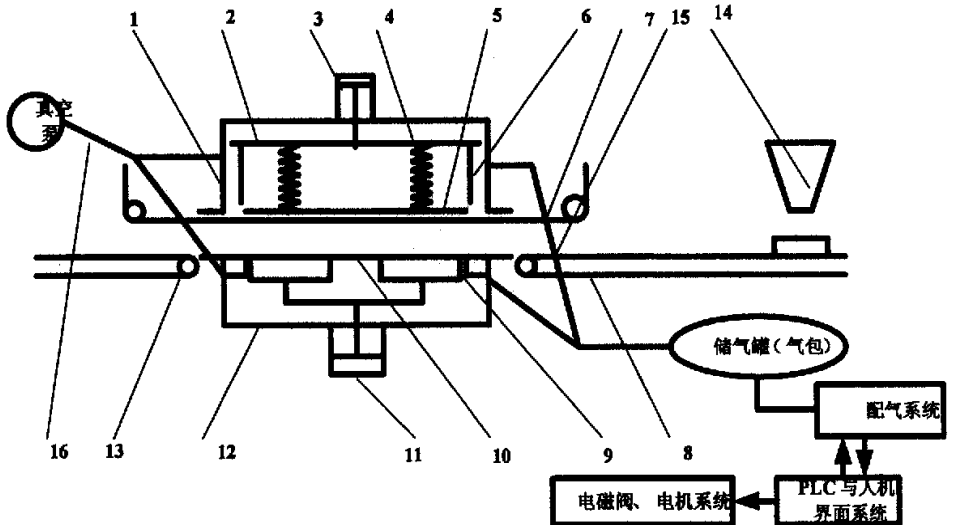


图 2-5 盒式气调包装机工作原理图

1. 上模具 2. 压板 3. 封切气缸 4. 弹簧 5. 热封头 6. 切刀 7. 包装膜

8. 进盒输送带 9. 包装盒 10. 托板 11. 推送气缸

12. 下模具 13. 出盒输送带气缸 14. 自动定量称重系统 15. 充气管 16. 抽气管

其工作位设计常采用上或下运动室式结构，设备的关键装置为气体密封室，由

上模具 1 和下模具 12 共同组成。其中上模具固定不动，下模具可由气缸驱动作升降运动，向上升可与上模具压合形成一个密封工作室，以便抽真空和实现气体置换。上模具 1 内安装有压板 2，压板平面布置有若干热封头 5 和切刀 6，由弹簧 4 压紧，热封头内藏电热丝，由温控仪控制表面温度。通过气缸 3 可驱动压板并带动热封头和切刀作下压冲切运动。下模具内装配有承托模 11，承托模内配合托板 12，气缸 13 可带动托板 12 升降。托板上升到顶刚好与承托模相平，方便导入待包装盒；托板下降则可使待包装盒依靠重力进入承托模具。

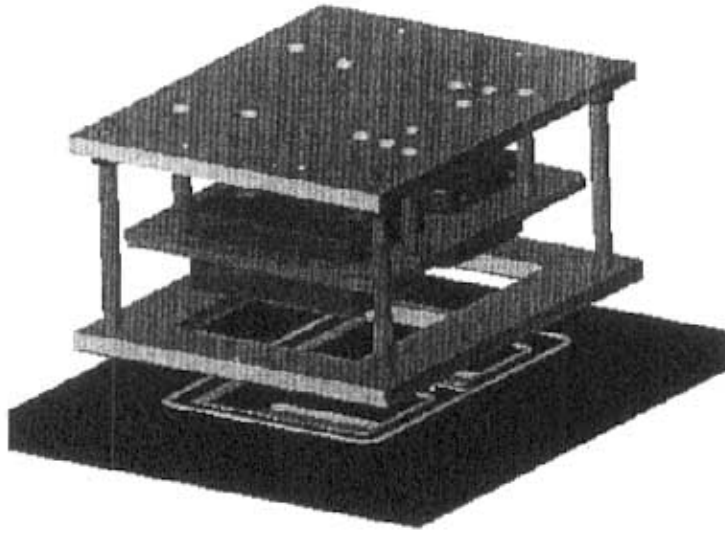


图 2-6 上、下模具三维图

气调密封封合室右边布置有进盒输送带 8，运动方向由外向内，采用平顶链结构，链面与下降状态的下室座面相平。输送带 8 右侧安装推送气缸，可通过推板把进入的特包装盒向左推送至承托模上。气调封合室左边布置有出盒输送带 13，用于卸出完成包装的成品。具体的包装工序如图 2-2 所示，分述如下：

- 1、盒送进定位。已装填物料的硬塑盒由输送带 10 送进，到端部被挡板定位，同时触发接近开关，发出一个定位信号；
- 2、盒推送至下室座。接受定位信号后，机械手或气缸动作，通过推板把盒向左平推入下室座，置于托板面上；推板向右撤回，托板 12 受气缸 13 带动下降，盒依靠重力落入承托模内；
- 3、气调封合室密封。下室座 14 由气缸驱动上升，与上室座压合形成一个密封

工作室,使硬塑盒及其覆合上膜置于密封室内。密封室接通真空管路,把室内空气抽除,经抽气后的室内真空度一般可达到 $0.0970 \sim 0.0987 \text{ Mpa}$, 创造一个洁净的环境。其后,按一定配比混合的保鲜气体充入室内,由上膜与硬塑盒的两侧接合缝隙进入并充满盒内空间。最后,气缸 3 驱动压板 2 下行,同时带动热封头 5 和切刀 6 动作,热封头首先接触上膜,通过弹簧施压,使上膜与硬塑盒接触面热融封合;当弹簧压缩到一定程度,切刀到达盒面,实现冲切薄膜动作;

4、气调封合室开启、盒出模。下室座降落,已封合并分切上膜的成型盒随座下降。其后,气缸 13 动作,驱动托板 12 上升,把包装盒顶升并脱出承托模;气缸 9 动作,通过推板把新送进并定位的待包装盒向左平推入下室座,而成品盒则被待包装盒推出下室座,并被输送带 15 卸出。与此同时,封合上膜在卷膜机构的驱动下步进一段行程,步进长度与硬塑盒长度相适应。如上所述,可实现整个包装工序的自动循环。

同时,从以上的方案设计来分析,硬塑盒气调保鲜包装的过程控制,与室式真空充气包装机相似,实际上是一连串工序按顺序调控而实现的,其效率受到各工序时间的影响,其单位时间工作循环计算公式为^[7]:

$$T=60/(t_1+t_2+t_3+t_3+t_4+t_5+t_6)$$

式中:

T 为工作循环(1/min);

t₁ 为推送盒时间(s);

t₂ 为包装盒入模和上下模具压合时间(s);

t₃ 为抽真空时间;

t₄ 为充气时间(s);

t₅ 为热封时间(s);

t₆ 为室座分离和包装盒出模时间(s)。

推送盒时间 t₁ 受机械手或气缸速度和推送行程影响,推送行程为固定值,通过调整节流阀可改变气缸速度,使推送运动迅速而平稳。t₂ 和 t₆, 同样受气缸速度和运动行程影响,其中运动行程取决于硬塑盒深度,可根据实际设计确定。热封时间 t₅ 与包装材料有关,而且应配合不同的热封温度来选择,应根据不同的包装材料选择不同的热封温度以及热封时间。由于采用的旋片式真空泵属于容积式泵,因此真空时间 t₃ 和充气时间 t₄ 可参考本文第三章换气系统时间计算公式确定,

在此不再赘述。

2.2 盒式气调包装盒模具设计

从食品气调包装原理可知，气调包装要完成对包装盒进行抽气、充气、热封和切裁等功能，所以必须对包装盒形成一个密封容积腔和辅助机构，以保证对包装盒抽、充气时不至于漏气。同时可以根据气调包装换气方式的不同选择不同的包装盒模具以及辅助机构。另外，由于盒式包装盒尺寸大小、形状和材料各有不同，所以设模具设计时要充分考虑到包装盒的各种因素，力求在更换不同包装盒时能使模具更换时能更安全、更便捷，并同时能尽量能适用于更多的不同包装盒类型。

2.2.1 盒式气调包装盒和包装薄膜

食品气调保鲜包装较常用的材料为塑料，有软袋装和成型盒两种，其中以硬塑盒的形式最为理想，如图 2-7 所示。配以封合膜的硬塑成型盒包装，具有一定的刚性，同时由于跟食品直接接触，要求无毒、无味、耐油、耐化学性能好、具有良好的热封性和黏合性，不但能方便实现气调，而且能整齐堆叠，其保护性、工艺性和美观性是无可置疑的。



图 2-7 硬塑盒包装形式

a 硬塑成型盒 b 封合上包装膜的硬塑盒包装

气调包装中都是要用塑料薄膜来实现气调，达到储藏保鲜和保质的。用作食品包装的保鲜薄膜的种类繁多^[6]，主要有聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚丙烯(PS)和聚氯乙烯(PVC)等材料组成。同时食品包装膜又可以分为普通塑料薄膜和复合包装薄膜等。食品包装膜要求在阻湿性能、气体阻隔性能、耐热性、热封性等要求上有不同的要求。包装塑料薄膜尽管其本身有许多优良的性能，但是单一材料不可能用于包装材料应有的全部性能，不能满足食品包装的全面要求，因此，往往根据使用的目的将不同包装材料薄膜加以复合，使其拥有多种综合的包装性能，就产生了复合包装薄膜。

常用的复合包装薄膜内层一般要求无毒、无味、耐油、耐化学性能好，具有热封性和黏合性，中间层要求高阻隔性，外层要求光学性能好，印刷性能好，具有强度和刚性。

2.2.2 气调包装模具换气方法研究

在气调包装技术中，只要知道某种食品所需要的气氛环境后，则向食品包装袋内充入其所需要的气体，便可达到保鲜要求。但如使用塑料袋作为包装物时，要注意的是以往用的很多塑料包装袋，由于存在气体渗透的现象，不能直接用来作为气调包装。但塑料制品由于其具有轻便，廉价，透明等特点，尤其是很多塑料制品经过改性，克服了其以往易破漏，漏气的缺点后，在以后的包装中，塑料制品仍是气调包装的主要材料。气调包装的充气方式，国内外主要采用两种方法，一种称为等压换气法，也称为气体冲洗式；气体冲洗式是指连续向容器内充入配制好的混合气体，以混合气体驱除包装盒内的空气，待盒口形成正压后立即封口。另一种称为真空换气法，也称为真空补偿式。其原理是先将包装盒抽真空，然后充入配制好的混合气体恢复至常压，并立即封口。

2.2.3 包装盒模具构造设计

气调包装机在包装工作时要求上、下模形成密封腔，根据模具的运动特点可以有两种形式。一种是上模固定，其内部有弹簧和热封切裁机构，下模上下运动，向上可与上模形成密封腔，向下运动即可与其分离让包装盒顶出。另一种是上模运动，下模固定。本盒式气调包装机下模气流通道构造设计如图 2-8 所示，下模常用来承载包装盒和物料，同时抽气、充气气流通道布置在下模。

由于包装盒的大小、形状各有不同，所以下模的构造和尺寸也做出相应的变化。考虑到对于不同包装盒的有不同的深度，图 2-8 中所示的 β 角度要求会不同，本气调包装机中设计了一个气流角度调节管如图 2-9 所示，来可以来调节图 2-8 中的 α 角度，气流通过包装薄膜的反射就可以改变角度 β 。

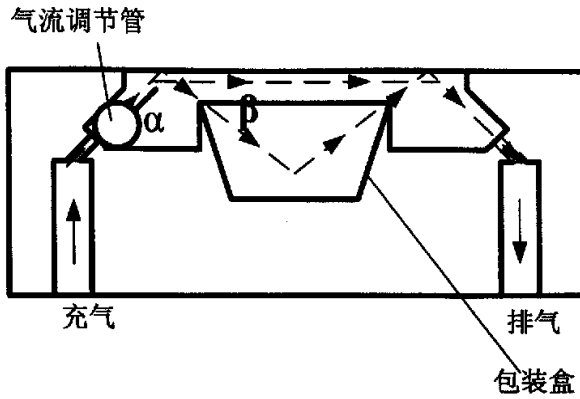


图 2-8 下模气体通道构造示意图

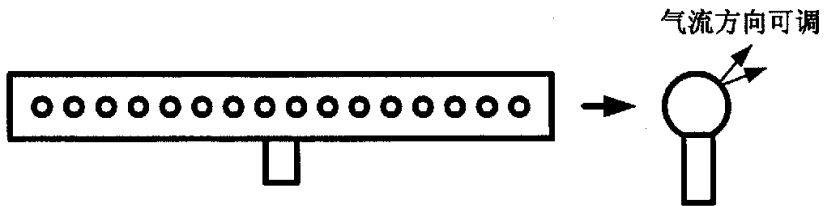


图 2-9 气流方向调节管示意图

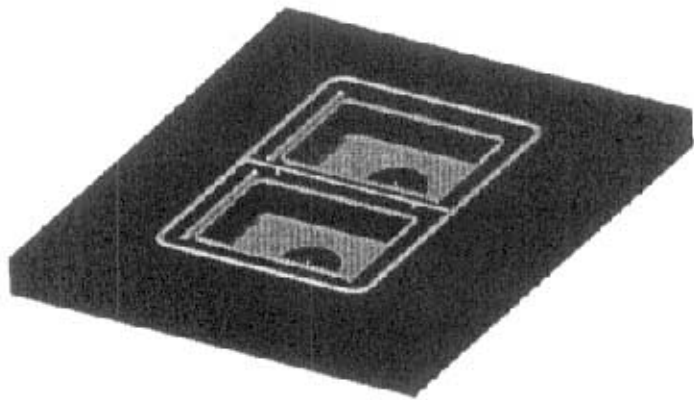


图 2-9 下模三维模型图

下模换气腔两端的充气 and 抽气射流孔以对称布置为最佳。这些射流孔对称布置可以设计为两种结构形式：一是每组中的射流孔横向并列相间设置，两端的射流孔一一对应。，这种形式比较适合于长方形、正方形和椭圆形包装盒。二是每组中的射流孔横向弧形设置，两端的射流孔交叉对应。，这种形式比较适合于圆形包装盒。所述“包装盒”为上位概念，包括包装盒、包装杯等包装物。

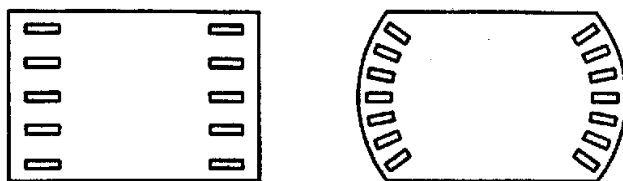


图 2-10 a 长方形、正方形和椭圆形包装盒 b 适合于圆形包装盒

2.3 热封和切裁机构设计

在气调包装机中，包装盒与包装薄膜的封合通过加热棒上模具中的加热热封模具来完成，当热封合之后，通过切刀切裁掉包装盒边缘的包装膜，废膜再通过收膜机构收集。上模中热封和切裁系统结构如图 2-11 所示，当下模向上运动到与上模压板接触时，由于上模中的弹簧作用，与下模形成密封腔，由气缸磁性传感器输出信号，气缸停止运动。经过抽、充气气体置换之后，气缸再向上运动，下模和包装膜与热封模具接触，由于热封模上弹簧作用，与其形成压力作用，使包装膜和包装盒热封。热封好之后切刀切裁包装膜。

对于不同的包装薄膜或同一品种的包装薄膜，厚度不同，环境温度不同，对热封温度的要求也有所变化。因而，调温^[14]是对包装机热封器的基本要求。一般采用温控仪来控制热封模具中的电加热棒的加热温度，采用温控仪控制温度可以保持理想的加热温度，但温控仪的价格较贵。有的热封薄膜和包装盒材料不宁采用该种方式加热，而采用电热丝式瞬时脉冲加热的热封器，它是靠调节通过电热丝的电流大小来控制热封温度的。由于电热丝及电路的电阻值一定，所以实际上是靠调节加到电热丝两端的电压大小来实现热封温度调节。传统的包装机上大多采用多抽头变压器或变压器式调压器，不能很好地满足工作要求，或虽能满足工作要求，但体积大、重量大、价格高。采用了可控硅调压电路^[8]，通过改变电阻值便可以改变变压器初级电压，从而使变压器次级电压也发生改变，以调节电热丝上通过的电流大小，达到调节热封温度的目的。可控硅调压器的调节范围为 220V~110V，热封电压则可在 36V~18V 范围内调节。这种无级调压电路，可以很好地满足热封的需要，而且调压部分的体积小、重量轻、成本低、可靠性高。

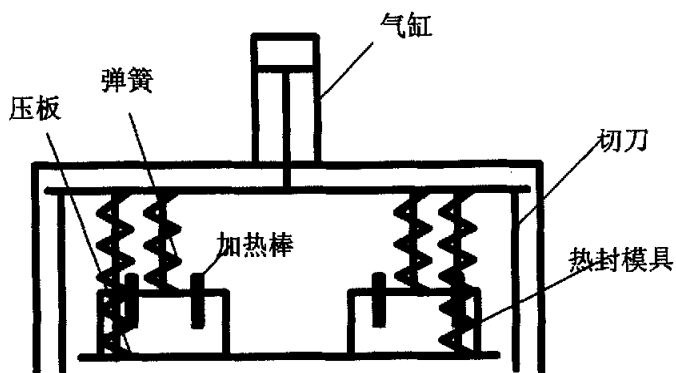


图 2-11 上模热封和切裁机构简图

2.4 包装薄膜推进张紧机构设计

2.4.1 包装薄膜张紧机构设计

气调包装机包装薄膜在完成人工或自动安装到包装机后，进入薄膜牵引装置。牵引装置的作用是将拉伸的薄膜展平、定位并与包装盒相对应，以免漏气和形成较好的热封质量，最终希望以较恒定的速度将薄膜送往收卷装置。

包装薄膜经过包装后的废料薄膜通过收卷装置的张力控制辊、送膜辊、跟踪辊等，最后缠绕在废料薄膜收卷辊的卷芯上。图 2-12 即为包装薄膜送膜张紧机构的主要结构。

送膜和收膜机构动力都有送、收膜电机来提供，电机则由可编程控制器或单片机来控制。张紧辊的运动位置通过上、下两个位置光电传感器来检测。张紧辊由重物构成，可以条形槽中自由上下运动。

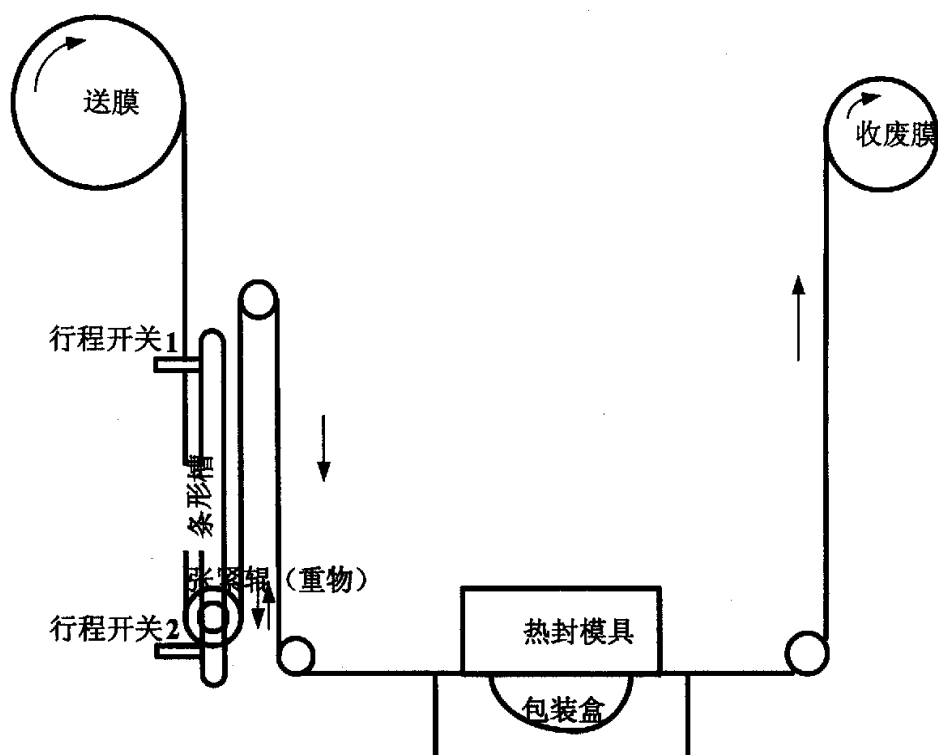


图 2-12 包装膜送膜张紧机构简图

一、薄膜送、收卷的机理

当气调包装机工作时，送膜电机带动送膜辊送膜，张紧辊则在条形槽中往下运动，直到行程开关 2 位置，送膜电机停止送膜。同时收膜电机带动收膜辊运动，张紧辊在条形槽中向上运动，直到行程开关 1 位置。薄膜运动长度可由定长机构决定。

此张紧辊是控制薄膜收卷时合理张力的主要部件，通常薄膜的张力通过张力辊两端轴承下方的压力传感器进行检测，检测的信号通过电子线路，控制收卷电机的转速，以保证适当的收卷张力。

收膜辊由收卷电机驱动，收卷速度的控制系统与送膜电机的驱动系统联网，与拉伸机同步，受张力控制器的反馈控制。

二、薄膜张力对热封质量的影响

为了牵引薄膜并将其卷到卷芯上，必须给薄膜施加一定拉伸并张紧的牵引力，其中张紧薄膜的力即为张力。通常由于薄膜的材料厚度及性能不同，以及选用的收卷方式也有不同，张力的大小可设定为 100-600N 之间。

张力过大，收卷过紧，薄膜容易产生皱纹；张力不足，包装盒热封后可能漏

气，而废料薄膜的密度小，薄膜容易在芯卷上产生轴向滑移及严重的错位，以至造成无法卸卷。所以收卷机必须具有良好的张力控制系统。

三、收卷辊的控制系统

收膜辊的控制主要包括速度控制和张力控制两部分。气调包装机工作时，随着包装薄膜辊直径变小，收膜辊直径增大，如果收膜辊的转速仍然不变，则随着收膜线速度的增大，必然引起收膜张力的递增，（可假设从送膜装置送出的薄膜速度是不变的），这样会造成膜卷的内松外紧，造成切裁时位置不准，同时会增加切裁难度，影响切裁切质量。因此，收膜辊的收卷转速必须随着送、收卷膜辊直径的变化而变化。

收膜辊的控制方案主要有以下三种：

1、采用张力传感器直接进行张力检测的控制方案

张力传感器安装在张力检测辊的轴承下面，将检测到的薄膜张力转换成电信号，送到张力调节器中，与原设定的张力信号比较后，进行 PID 计算，然后输入收卷电机控制器，达到控制收膜辊转速的目的。

一般收膜辊的线速度设定为牵引电机输出速度的 105%~110%，实际上，由于薄膜的弹性及张力力矩的影响，收膜辊的线速度不会超过牵引机的输出速度。这种方案的优点是控制精度高，动态性能好，适用范围广。

2、采用浮动辊间接进行张力检测的控制方案

在跟踪辊前装一套浮动辊，浮动辊的位置用一个电位器进行检测，张力控制的方式是靠维持浮动辊的位置尽量不变来保持张力的恒定。

3、采用磁粉离合器控制输入收卷辊的转动力矩^[24]，以达到张力稳定的控制方案

磁粉离合器由主动部分和从动部分组成，通过万向联轴器等传动机构与收卷辊相连，中间填入微细铁磁粉作为力矩传递媒介。激磁线圈通入一定电流形成磁场。磁粉被磁化。磁化后的磁粉互相吸引而形成链条状排列。主动部分以恒速转动时，破坏磁粉链之间的联接力而形成圆周切向力。该切向力与磁粉圈半径的乘积便是驱动从动部分收卷的转动力矩，实现在连续的转动中将输出力矩从主动部分耦合到从动部分。

若给定激磁电流不变，则输出转矩：

$$M = r \cdot \sum \tau = \text{常数}$$

式中:

r 磁粉离合器磁粉圈半径;

τ 磁粉链形成的切向阻力。

而薄膜张力为:

$$F = \frac{M}{P} = r \cdot \sum \frac{\tau}{\rho}$$

式中:

ρ 膜卷半径。

随着薄膜母卷的 ρ 值逐渐增大, 若转矩 M 不作变化, 必导致张力 F 减小, 张力的变化触发传感机构, 发出一反馈信号 U_2 , 与给定信号 U_1 叠加而成综合信号 ΔU 增大 (设定 $\Delta U = U_1 U_2$), 经过电路的转换, 使输出转矩 M 加大, 张力 F 得以保持不变。达到张力稳定。

从上分析可得:

1、薄膜收卷的质量主要受薄膜收卷张力的影响, 因此收膜辊的控制系统是关键所在。

2、薄膜的收卷质量还受其他因素的影响, 如薄膜的材料、温度、性质 (如弹性) 以及薄膜厚度的均匀性等等的影响。因此, 设定的收卷张力必须与薄膜的这些特性相适应。

2.5 PLC 控制系统和人机界面

可编程序控制器 PLC 英文全称 Programmable Logic Controller, 中文全称为可编程逻辑控制器, 其一般定义是: 一种数字运算操作的电子系统, 专为在工业环境应用而设计的。它采用一类可编程的存储器, 用于其内部存储程序, 执行逻辑运算, 顺序控制, 定时, 计数与算术操作等面向用户的指令, 并通过数字或模拟式输入/输出控制各种类型的机械或生产过程。

所谓人机界面指的是介于人和 PLC 控制系统之间的一个工作界面, 操作人员可以通过人机界面与 PLC 控制系统进行信息、数据的处理和交流。对于一个有实际应用价值的 PLC 控制系统来讲, 除了硬件和控制软件之外, 还应有便于用户操作的方便的人机界面。用户可以通过人机界面随时了解、观察并掌握整个控制系统的工作状态, 必要时还可以通过人机界面向控制系统发出故障警报, 并进行人

工干预。

目前,智能化人机界面产品硬件可分三类:电容感应板、电阻感应板、电磁感应板。与 PLC 控制系统结合的人机界面主要是多功能控制面板和触摸屏。触摸屏的基本原理是用手指或其它物体触摸安装在显示器前端的触摸屏时,所触摸的位置(以坐标形式)由触摸屏控制器检测,并通过接口(如 RS-232 串行口)送到 PLC。从而确定输入的信息。触摸屏系统一般包括两个部分:触摸屏控制器(卡)和触摸检测装置。

因而触摸屏有如下特点:

- 1、体积小,操作简便,用手指等物体在屏幕相应信息区轻触即可。
- 2、高可靠性,触摸屏机体封闭,可防水汽,防灰尘,抗干扰能力很强。
- 3、设计开发简单,通过对其自身支持软件的简单开发即可开发出美观的操作和监视界面。
- 4、采用 RS232C/RS422 等方式使触摸屏与 PLC 可进行网上互连通讯。
- 5、可以对屏幕数据及文件、图表实时打印。

2.5.1 PLC 与人机界面(触摸屏 TP)在气调包装机的应用

触摸屏(TP)与可编程控制器(PLC)的联合使用不但使对系统操作和实时监控更简便,而且可对提高产品质量、稳定工艺状况起到重要作用,因而此二者的联合控制系统越来越广泛地应用于工业生产的各个领域^[26]。

系统工作时,触摸屏以界面形式使操作状态、当前过程值以及连接的 PLC 的故障可视化,并通过组态变量建立触摸屏与 PLC 的通讯,使触摸屏上的各项设定值输入 PLC。同时 PLC 接收现场各状态检测信号,按预先编写的程序实现计算和控制输出功能从而实现该系统对电气开关柜及气动系统的控制。

触摸屏提供了多种控制器件库、图形控件和功能组件,通过组态出各种显示和控制功能,实现系统操作状态、当前过程值及故障的可视化。利用人机界面操作被监控系统,对 PLC 中的实时数据进行显示、记录、存储、处理,从而满足各种监控要求。软件还可以为不同的操作人员设定不同的操作密码和相应的操作权限,对一些重要参数设定访问权限,从而保证系统和生产安全。触摸屏软件的设计包括创建画面和信息,并将它们与 PLC 程序相连。具体可概括为以下三

个步骤:

(1)界面的可视化设计。界面划分为固定区域和活动区域两部分。固定区域为各画面所共有,用于动态显示系统运行中最重要的工况指标显示。活动区域则要根据各画面的实际控制功能差异分别设计。界面组态具体涉及输入/输出区域组态、指示器组态、功能键组态、控制键组态及文本显示等多种格式。

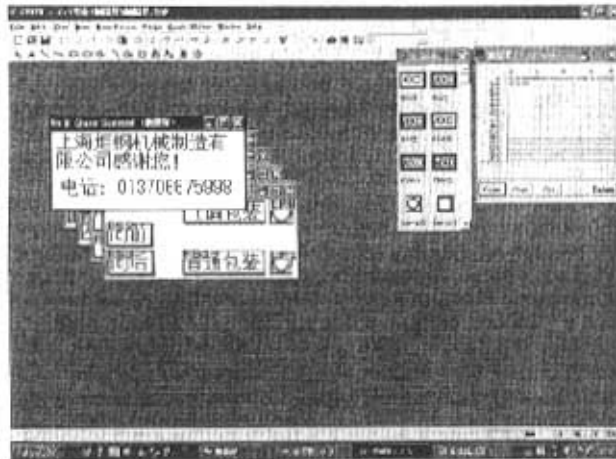


图 2-13 触摸屏可视化界面

(2)设定变量。变量在触摸屏的组态功能(输入/输出区域、功能键等)与 PLC 的相应 I/O 接点及存储单元之间建立联系,实现触摸屏敏感元件对 PLC 控制及参数的输入、PLC 当前过程值及报警信号向触摸屏的输出。这些变量包括有:抽气时间、充气时间,热封时间、配气比例等参数。

(3)设置通讯参数,实现触摸屏与 PLC 的通讯根据实际情况,主要组态以下画面:

(1)主画面。触摸屏的默认画面,实现系统工作状态的显示,并可切换到其他任意画面。其中,状态信号包括包装机的当前工作状态、工作中时抽、充气状态、报警指示等参数,作动态显示。其底部是各个画面的切换按钮及一些功能键。

(2)控制画面。操作人员对系统实现控制的一个界面,具有各种操作的确认按钮。

(3)系统设置画面。技术人员为系统设置一些功能参数的界面,例如:时间、日期、操作模式等。画面可设有高级口令保护。

(4)口令设置画面。用来设定操作权限的界面。

2.6 小结

盒式气调包装机在功能上要求对包装盒抽、充气，热封和切裁覆盖在包装盒上的包装薄膜，同时由于要保证包装后的包装盒美观平整和保持密封，因此要求包装薄膜在热封前张紧。因此盒式气调包装机的机械系统由较多部分组成。本章在盒式气调包装机总体方案基础上，对包装盒模具结构，热封和薄膜切裁机构、张紧机构和 PLC 控制系统与人机界面进行了研究。

由于气调包装抽、充气都在模具中进行，因此包装盒模具是整个系统设计的重点和难点，气调包装盒的换气时间在整个气调包装生产时间中占较大比重，而包装盒模具的设计质量直接关系到包装盒的换气质量和换气效率，因此它的设计也就关系到整个气调包装生产的质量和效率。测试表明本气调包装机中模具设计对于换气效率和包装效率有了较大的提高。

包装薄膜张紧机构比较好的解决了薄膜松弛对包装盒热封质量的影响，防止包装盒的漏气现象，同时使其更加美观。

PLC 控制系统和人机界面作为气调包装机的控制中枢，各种工作状态和参数如气调比例、抽、充气时间、热封时间等通过人机界面输入和显示。

第三章 盒式气调包装机换气系统研究

3.1 换气系统概述

在气调包装技术中,只要知道某种食品在食品包装工艺上所需要的气调气氛环境后,则向食品包装盒内充入配气系统配置好的其所需要比例的混合气体,便可达到保鲜要求。通常把怎样置换出包装容器中原有的空气称气调包装的换气方式,国内外主要采用两种方法,一种称为等压换气法,也称为气体冲洗式;另一种称为真空换气法,也称为真空补偿式。

3.2 换气系统的换气时间和换气方法研究

3.2.1 包装盒换气时间的研究

由于等压换气法换气原理比较复杂,很难用具体的数学模型来描述,因此在本节中研究的是真空换气法的换气时间。当采用真空换气法向包装盒充气时,首先是通过真空泵对包装盒(包括包装盒模具容腔)抽气至真空。一般与气调包装机配套得真空泵常采用容积式旋片泵。一般来讲,对一定体积的容器进行抽气,容积压强随时间变化按指数规律下降。

设被抽真空的包装盒^[4](包括包装盒模具容腔)的体积为 V ,泵的抽速为 S ,根据抽速的定义,经过 dt 后抽除气体量为 $p \cdot S \cdot dt$,而容积内的压强变化为 dp ,抽除气体量为 $dp \cdot V$ 。显然这两个应变量应相等,建立微分方程为:

$$pSdt = -Vdp$$

$$\int dt = -\frac{V}{S} \int \frac{dp}{p}$$

可得:

$$t = \frac{V}{S} \ln \frac{k}{p}$$

设初始条件: $t=0$, $k = p_0$, p_0 为抽真空时包装盒初始压强,代入上式所得变化抽气时间:

$$t = \frac{V}{S} \ln \frac{p_0}{p}$$

使包装盒(真空容器)内的气体压力由真空状态下的低压力(P_2)充至与混合气体压力(P_1)相平衡则需要一定的时间。然而,真空容器充气时间的计算目前尚无简易方便的计算公式。在此通过对空气流经充气阀孔时气体流动状态的判别及真空容器与充气装置的构成关系,建立数学模型,导出了通过充气阀孔向真空容器充气所耗用时间的计算通式、简易计算式和平均充气速率的计算式。

一个气体分子与其他气体分子进行二次碰撞间所走过的路程称之为分子自由程。气体分子在同一压强状态下二次碰撞间的自由程有长有短,有很大的差异,然而它们的自由程平均值却是一定的。例如对于20℃的空气其平均自由程可用下式计算:

$$\bar{\lambda} = \frac{6.7 \times 10^{-3}}{P} (\text{m}),$$

其中:

$\bar{\lambda}$ 是20℃时空气的平均自由行程, m

P 是真空容器的压力值, Pa

当向真空容器(包装盒)充入 $P=1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的大气时,其分子平均自由程为 $\bar{\lambda} = 6.7 \times 10^{-3} / 1 \times 10^5 = 6.7 \times 10^{-8} (\text{m})$ 。显然该平均自由程的值远远小于任何充气阀门的阀孔直径。因此,标准状态的气体通过充气阀孔流入真空容器时,不论真空容器内的压强是高还是低其流动状态只能是粘滞流(或湍流)。

假设充气阀孔截面积为 $A(\text{cm}^2)$,充气混合气体压力为 P_1 ,真空容器的容积为 $V(\text{L})$,气体流过充气阀门的流量为 $Q(\text{Pa} \cdot \text{L}/\text{s})$ 。由于充气阀装置与真空容器的连接管路一般都很短,相对容器来讲可视为小孔。假设 $P_2 < P_1$,在向真空容器充气时, P_2 将逐渐升高最终达到 P_1 ,而通过充气阀孔流入真空容器的气体流量也将随着 P_2 的升高由最大流量 Q_{max} 而趋向于零。设在某一时刻 t ,真空容器 V 中的压力为 P_2 ,经过时间 dt 后, V 中的压强增至 $P_2 + dP_2$,则 V 中的气体增量为 VdP_2 ,这也就是说经过时间 dt ,从充气阀流入真空容器 V 中的气体流量为 Qdt ,由此可得:

$$VdP_2 = Qdt$$

则有:

$$dt = \frac{VdP_2}{Q}$$

同时根据对充气阀充气时气体流动状态的判别及充气孔为小孔的假设,在粘滞流状态下,气体流经小孔的流量为^[11]:

$$Q = AP_1 \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^{\frac{1}{r}} \sqrt{\frac{2r}{r-1} \frac{RT}{M} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{r-1}{r}} \right]} \quad (\text{Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s})$$

A——充气阀孔截面积, m^2

P_1 ——混合气体压力, Pa

P_2 ——真空容器内压力, Pa

r ——绝热指数 ($r = \frac{C_p}{C_v}$, C_p 为定压比热容, C_v 为定容比热容)

R——气体常数, $8.3143 \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

M——气体摩尔质量, kg

T——气体温度, K

把通过充气阀孔向真空容器内的充气, 看作是粘滞流在小孔中的流动, 可得:

$$\begin{aligned} dt &= \frac{V}{A} \frac{dP_2}{P_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{r}} \sqrt{\frac{2r}{r-1} \frac{RT}{M} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{r-1}{r}} \right]}} \\ &= \frac{V}{A} \frac{\frac{1}{P_1} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{-\frac{1}{r}} dP_2}{\sqrt{\frac{2r}{r-1} \frac{RT}{M} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{r-1}{r}} \right]}} \\ &= -\frac{V}{A} \sqrt{\frac{2r-1}{r} \frac{M}{RT}} \cdot \frac{-\frac{r-1}{2r} \cdot \frac{1}{P_1} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{r}} dP_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{r-1}{r}}}} \end{aligned}$$

对公式两边积分可得:

$$\begin{aligned} t &= -\int \frac{V}{A} \sqrt{\frac{2r-1}{r} \frac{M}{RT}} \cdot \frac{-\frac{r-1}{2r} \cdot \frac{1}{P_1} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{r}} dP_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{r-1}{r}}}} \\ t &= \frac{V}{A} \sqrt{\frac{2r-1}{r} \frac{M}{RT}} \int \frac{-1}{2\sqrt{1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{r-1}{r}}}} d\left(-\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{r-1}{r}} \end{aligned}$$

$$= -\frac{V}{A} \sqrt{\frac{2r-1}{r} \frac{M}{RT}} \sqrt{1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{r-1}{r}}} + C \quad \text{其中} C \text{ 为任意常数}$$

设 $t=0$ ，一般来说此时 $P_2 \ll P_1$ 时可以认为 $\frac{P_2}{P_1} = 0$ ，则有 $C = \frac{V}{A} \sqrt{\frac{2r-1}{r} \frac{M}{RT}}$

所以有充气时间：

$$t = \frac{V}{A} \sqrt{\frac{2r-1}{r} \frac{M}{RT}} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{r-1}{r}}} \right) \quad (4)$$

式就是大气经充气阀孔向真空容器充气时，容器压力由 P_2 上升为 P_1 所需的全部时间计算通式。由(4)式分析可知：充气时间 t 与容器容积 V 成正比，与充气阀孔面积 A 成反比，另外充气时间长短与气体种类、温度等因素有关。

由(4)式还可看出，当 $\frac{P_2}{P_1} < 0.1$ 后，无论 $\frac{P_2}{P_1}$ 再小到什么程度，对充气时间均不会

产生什么大的影响，且 $\left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{r-1}{r}}} \right)$ 始终是 < 1 的值，为简化计算忽略其对

(4) 式的影响，则(4)式可写为：

$$t = \frac{V}{A} \sqrt{\frac{2r-1}{r} \frac{M}{RT}}$$

从以上分析可知，充气时间只有与体积 V 、节流阀截面面积 A 、气体温度 T 等有关。

3.2.2 气调包装换气方法研究与设计

气调包装的换气方式，主要采用两种方法，一种称为等压换气法，也称为气体冲洗式；另一种称为真空换气法，也称为真空补偿式。

2.1 等压换气法

气体冲洗式是指连续向容器内充入配制好的混合气体，以混合气体驱除包装盒内的空气，待盒口形成正压后立即封口。通常大气中的氧气含量在 21% 左右，用此种方式可将包装容器内的氧含量降低到 2.5%。但由于容器内还残存着一些氧气。因此，此方式不适用于对氧气敏感的食品。但由于此方法只向容器内冲气，不需要抽真空。如果包装容器采用的材料是可热封的塑料材料，配合使用热封包装，生产效率将会很高。由于此方法只需要在普通的包装机上添加充气设备就可运用。因此，在那些对氧气不敏感的食品的包装上，则多采用这种气调包装的包装方式。

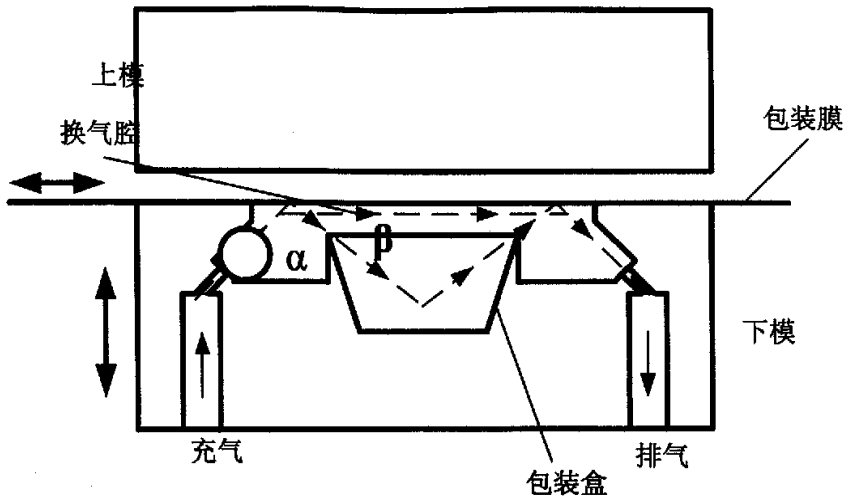


图 3-1 等压换气法示意图

本研究设计中的盒式气调包装等压换气采用如下一种气体置换结构，包括上模具和下模具，其中间部分为包装薄膜。上模具包括压板、热封模具、切刀、弹簧等机构，可固定不动，而下模上下运动，与包装膜与上模具构成一个密封腔。下模具顶面为包装膜，下模凹设有换气腔，换气腔设有低于包装膜的包装盒定位座，换气腔的两端壁面上分别设有一组射流孔，同时下模上设有充气通道和排气通道，充气通道与一组射流孔连接，排气通道与另一组射流孔连接。所述换气腔两端的射流孔倾斜设置，且从射流孔中心发出的射线经热封膜面反射后指向包装盒中央。上述技术方案中，所述射流孔倾斜方位为，从射流孔中心发出的射线与热封膜面夹角为锐角，其角度为 20° — 80° 效果较好，最佳角度为 30° — 60° 。所述每组中的射流孔数量可以为 2—20 个，具体可根据包装盒大小和被包装物要求选定，一般情况下射流孔数量为 4—8 个最佳。上述技术方案是为机械化包装设备所设计，为了完成盒装食品保鲜包装过程，换气系统同时还要和上模的加热模、切刀以及连动机构配合作用，上模压板经压板弹簧和顶板导柱与连动机构中的顶板滑动连接。为了提高盒装食品保鲜包装效率，换气模上可以同时设有多个包装盒结构，同样，在每个换气腔内也可以设有两个以上包装盒定位座。

当气调包装机工作时，下模向上运动，与上模之间的包装膜形成密封容腔，然后启动充、抽气装置，保鲜气体利用充气压力和气流原理，通过进气通道经一端的射流孔射向热封薄膜，其中一部分气流反射到包装盒内，而另一部分气流从热封薄膜与包装盒部的间隙中快速流过并产生负压，这两部分气流经会合，通过

另一端的射流孔和排气通道排出，从而将包装盒内的空气置换为保鲜气体。

气体的流动状态通常呈现有两种：层流和紊流^[22]。在层流时，气体质点之间互不干扰，气体流动呈现线状或层状，且平行与管道轴线；而在紊流时，气体质点的运动杂乱无章，存在剧烈的横向运动。

流体流动状态可用雷诺数来判别。判断流态的是三个参数所组成的一个叫做雷诺数 Re 的无量纲数，即：

$$Re = \frac{vd_H}{\nu}$$

式中的 v 为管道中流体的平均流速， ν 是流体的运动黏度， d_H 为通流截面的水力直径，可用下式计算：

$$d_H = \frac{4A}{x}$$

式中：

A 为通流截面面积；

x 为湿周。通流截面 A 上流体与固体壁接触的周界长度。

流体的雷诺数相同，它们的流动状态也相同。流体从层流转变为紊流时雷诺数和从紊流转变为层流的雷诺数不同，后者数值较小。所以一般是用后者作为判别流动状态的依据，称为临界雷诺数，记作 Re_{cr} 。若雷诺数 Re 小于临界雷诺数 Re_{cr} ，流体为层流流动，反之流体为紊流流动。

常温下气体运动黏度 ν 为 $0.166 \times 10^{-4} \eta \text{ (} m^2 \cdot s^{-1} \text{)}$ ，假设充气射流孔如下图所示的长方形缝隙：

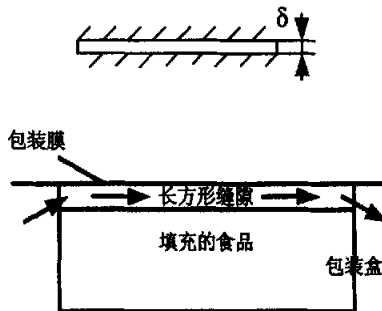


图 3-2 射流孔示意图

其水力直径 d_H 为 2δ ，临界雷诺数 Re_{cr} 。

当雷诺数 $Re = \frac{vd_H}{\nu} = \frac{2\delta v}{\nu} > Re_{cr}$, 即当有 $v > \frac{Re_{cr}\nu}{2\delta}$ 时, 气体流动状态为紊流。当充

气射流孔气体为紊流时, 射流流过射流孔至包装膜之间时混合气体有剧烈的横向运动, 引起上、下模之间的包装薄膜剧烈振动, 气流方向调节管贴近热封薄膜, 当混合保鲜气体经过下模中放置的气流方向调节管充入包装盒中时, 即形成振动气幕, 迅速清除盒内空气, 加快置换速度, 提高置换效率, 达到节省保鲜气体的目的, 从而较高地提高了等压换气法的换气效率。在本设计的基础上, 形成并申请了实用新型专利——振动气幕式气体置换装置, 其专利号为 ZL03210607.6。

从以上分析可得知, 气调包装采用薄膜振动等压换气法有如下优点:

1、由于换气腔两端的射流孔倾斜设置, 且从射流孔中心发出的射线经热封膜面反射后指向包装盒中央。换气模的进气通道在进入换气腔前, 利用倾斜设置的一组射流孔, 使充气气流一部分喷射至热封薄膜后形成反射角, 将气流反射到包装盒中央, 而另一部分气流从热封薄膜与包装盒顶部的间隙中流过, 这两部分气流经会合快速通过换气腔并在包装盒内产生负压, 再通过另一端的射流孔和排气通道排出时, 从而将包装盒内的空气置换掉。经测试上述结构与射流孔垂直于热封膜面布置时, 包装盒内空气的置换效率有了很大的提高。

2、由于充气气流喷射至热封薄膜后, 在垂直方向上产生了一个分压, 该分压将上模压板通孔对应的这部分热封薄膜拱起, 反射作用增加, 因此更有利于提高包装盒内空气的置换效率和置换率。

3、由于设计与现有技术相比包装盒内空气的置换效率和置换率明显提高, 可以加快机械化包装速度, 从而有利于提高盒装食品换气包装效率和质量

4、由于本设计换气效率和换气率高, 从而节省了保鲜气体, 降低了包装成本。

2.2 真空换气法

其原理是先将包装盒抽真空, 然后充入配制好的混合保鲜气体恢复至常压, 并立即封口, 此方式能很好达到气氛要求, 并且对包装容器没限制, 常见的陶瓷、玻璃、塑料等材料制造的包装容器均可以使用。由于要对包装盒先抽真空, 然后在充入混合气体, 虽然换气精度高, 但是同时工作效率较低。

食品气调包装中的包装盒要求不仅盒内气体比例符合其食品包装的工艺要求, 而且要求热封、切裁好的包装盒美观, 封合适中, 热封好的包装薄膜牢固而易撕。同时包装膜平整或稍微向外膨胀。因此对于本气调包装机真空换气法做如

下两种设计:

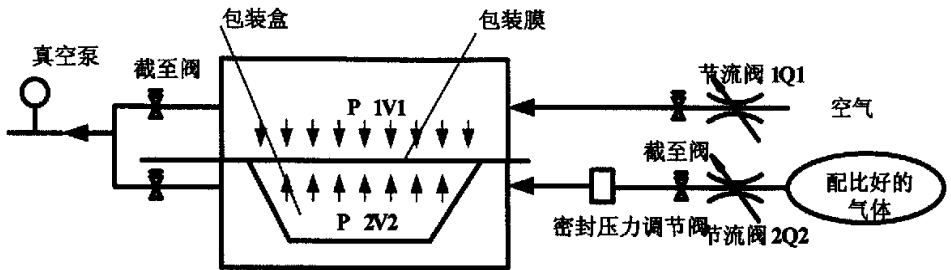


图 3-3 真空换气原理图

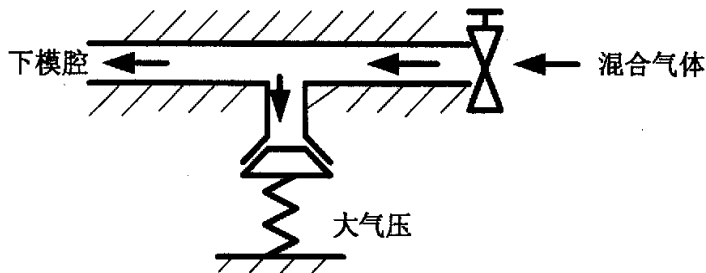


图 3-4 密封压力调节阀示意图

1、为使包装盒热封、切裁时保持平整美观，气调包装机工作，上、下模压合时，上下模腔都各自保持密封，即如图 3-3 所示，上模与包装薄膜形成上模腔，下模与包装模以及包装盒形成下模腔，各自与包装薄膜相互密封，首先由真空泵对上下模腔抽真空，充气口设有如图 3-4 所示的密封压力调节阀。密封压力调节阀的原理是：当有混合气体通过截至阀进入下模腔时，由于混合气体压力常大于大气压，因此下模腔压力大于大气压，就会顶开密封压力调节阀的弹簧阀门，排出气体，从而压力降低。上、下模抽真空时，进气口装有截至阀，因此覆盖有包装薄膜的上、下膜容积腔压力都为真空，上下容积腔压力相等，所以包装薄膜能保持平整。当抽真空完毕后，上模腔充入常压下的空气，而下模腔充入配比好的混合组分气体，由于混合气体压力常大于大气压，这时下模腔压力大于上模腔压力即大气压，密封阀打开，则下模腔压力减小，因而可控制薄膜上、下压力大致相等，当充气完成时包装膜即能保持平整或稍微向外膨胀。即可达到易热封和美观的效果。

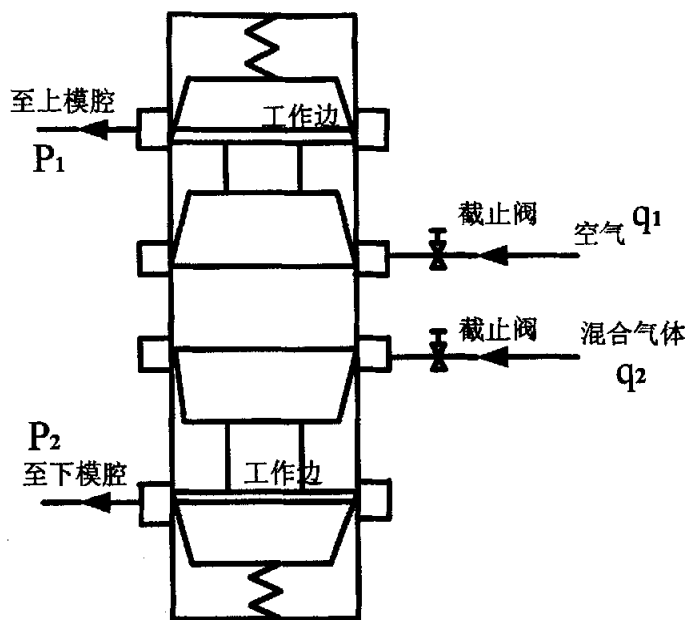


图 3-5 压力平衡调节阀示意图

2、如图 3-5 中所示的压力平衡调节阀设计，压力调节阀两个进气口通过截止阀分别接空气和混合气体储气罐，出气口分别接气调包装机上下模腔。当对上下模腔抽真空时，阀心上下压力相等，阀心静止不动。当包装充混合气体时，两个进气口截止阀打开，由于混合气体压力常大于大气压，所以阀心下方压力大于上方压力，阀心上移位移为 X ，混合气体进入下模腔的节流口变小，而空气进入上模腔的节流口变大，因此下模腔压力变小，上模腔压力变大，阀心下移，当上下模腔压力相等，即阀心上下压力相等时，阀心平衡。由上分析可知，包装薄膜上下压力可保持平衡，即能保持其平整。

设充混合气体时上下节流阀流量为 q_1 和 q_2 ，上、下模腔的体积分别为 V_1 和 V_2 ，压力分别 P_1 和 P_2 ，压力平衡调节阀阀心位移为 X ，阀心质量为 M ，阀心面积为 A 在刚性为 K 的两个弹簧支持下构成二阶振荡系统。

其传递函数：

$$\Phi(s) = \frac{A}{K} \frac{1}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{2\zeta}{\omega_n} s + 1},$$

其中：振荡频率 $\omega_n = \sqrt{\frac{K}{M}}$ ，阻尼比 $\xi = \frac{1}{2\sqrt{KM}}$ 。

压力自动平衡调节阀的工作机理和数学模型如图 3-6 所示。工作初始化时，上、下容积腔抽真空，其压力 P_1 、 P_2 清零。 K_{q1} 为工作边的流量增益系数，框 1 和框 2 表示了上下容积腔的流量的单向性，框 3 和框 4 表示气压的饱和特性，框 3 的最大压力为大气压，框 4 的最大压力为混合气体出口压力。

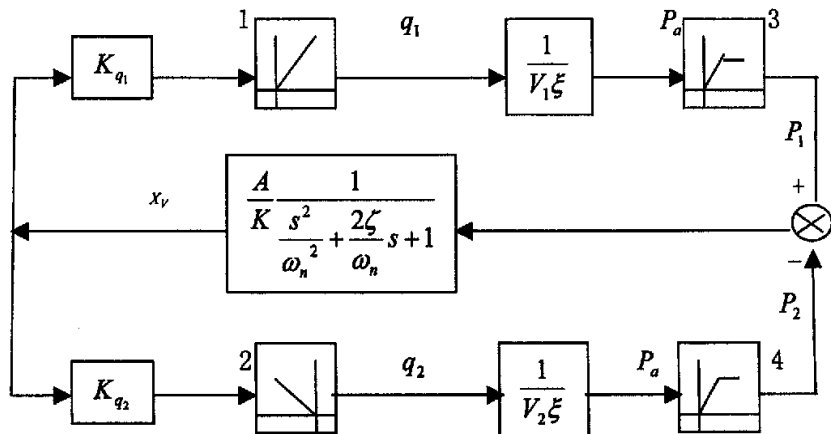


图 3-6 压力自动平衡调节阀的工作机理和数学模型

3.3 小结

本章从气调包装机换气系统原理出发，主要对换气系统的换气时间和方法进行了研究。

由于等压换气法换气原理比较复杂，很难用具体的数学模型来描述，因此在本节中研究的是真空换气法的换气时间。对其建立数学模型，经分析得换气时间与各换气参数的关系。

气调包装换气方法主要是两种，一种称为等压换气法，另一种为真空换气法。等压换气法对于模具设计和制造来说较复杂，换气精度也较低，但由于包装盒内的空气抽出和混合气体的充入在时间上是重叠的，所以工作效率较高。相反，真空换气法由于要先对包装盒抽真空，然后再充入混合气体，所以换气精度高，但工作效率较低。

对于两种换气方式，各有其优缺点，对于不同的包装要求可选用不同的换气方法，如包装要求被包装食品所要求的气氛环境的组分气体比例精度高，可优先选用真空换气法。对于对被包装食品所要求的气氛环境要求较低时，可选用等压换气法。

第四章 气调包装机配气系统设计

食品气调包装(MAP)的关键技术之一就是如何精确的配制符合被包装食品工艺要求的组分气体,常用的气调包装配气方法有质量流量法、时间法和压力法等方法。其中质量流量法精度高、方法简单,并可以动态连续配气,同时由于采用直接控制气体的质量流量,因而不受气体温度、压力等外部条件的影响,从而使气体配置能稳定精确的得以控制实现。但质量流量控制器成本较贵,且一台机器要使用多个质量流量控制器,因此如果大批量的应用的话则成本较高。时间法装置简单但精度较低。压力法配气装置也比较简单,通过气体储存装置——气包的合理安排也可实现连续配气,还可与机器本身 PLC 控制系统较好的融合在一起,并可通过单片机微控制系统中软件算法来修正其误差,从而达到较高的配气精度。混合气体的配制从原理来看有静态配气法和动态配气法。静态配气法是将原料气按质量或体积逐个送入某个容器里混合后再使用,目前国内多用此法进行气调包装,如上海水产大学研制的 GM—1 型气体比例混合装置是根据压力法进行静态配气,四川工学院的 DQ—200A 型和江苏工学院的 HQ—250 型气调包装机则是根据体积法进行静态配气。静态配气法的特点是比较简单,具有一定的可靠性。但这类方法理论上一般需要两倍于配气总量的容器,设备占地面积大。而且最大的弊端是不能实现连续配气。对于包装生产难以实现连续供气的要求。同时对于需要配制不同种类的混合气体场合,往往需要一次配气使用完毕后才能进行另一种混合气体的配制。因此,为了适应连续配气和配制不同比例混合气体的生产和实验室的需要,而基于质量流量的微机控制动态配气系统就可以好的解决这些问题。动态配气法能迅速将各种原料气按一定比例随配随用,但与静态配气法相比,对测量仪器和控制元器件的精度和准确度要求更高,因而测量仪表计量和控制的精度和准确性将直接影响配气比例的精度和准确性。

4.1 气调包装机质量流量法配气系统研究

气体质量流量控制法是以质量流量的形式对每一路组分气体进行单独控制,而每一路气体的质量流量根据配气比例计算而来。由于气体质量流量是指标准状态(0℃, 101.325kPa)下的流量,因此压强及温度等环境参数的变化不会对气体流

量和配气比例产生影响,不会因压力控制精度影响气体流量的控制,因此,气体质量流量控制法的配气精度较高。

4.1.1 质量流量及其测量原理

1. 质量流量

所谓质量流量^[18]是指单位时间内,流体通过封闭管道或敞开槽有效截面流体的质量。多数质量流量的测量,不论是直接式的或是间接式的,其工作原理都是基于下列质量流量的基本方程式:

$$q_m = \rho v A \quad (1)$$

$$q_m = \rho q_v \quad (2)$$

上两式中: q_m 为流体的质量流量, kg/s; ρ 为流体密度, kg/m³; v 为流体流速, m/s; A 为通道截面积, m²; q_v 为流体的体积流量, m³/s。由式(1)知,通道截面积为常数时,测得流体密度 ρ 和流速 v 的乘积,就可得到流体的质量流量 q_m 。常见的质量流量计可分为两种:一种为直接式质量流量计,另外一种为推导式质量流量计。而 ρ 与 v 的乘积即代表流束单位截面上的动量,这样,任何一种能够直接检测瞬时动量的仪表,就称作直接式质量流量计。而只能分别测得 ρ 和 v , 并将 ρv 之乘积作为输出的仪表,即经过运算满足(1)式或(2)式的仪表,就称作推导式(或称间接式)质量流量计。

2. 热式质量流量测量原理

质量流量计的形式可以分为直接称重式、角动量式、差压式以及量热式等几种,都可以直接测出流体的质量流量。目前应用的较为常见的质量流量计是用于液体质量流量测量的科里奥利质量流量计,属角动量式。而气体质量流量计还不多见,其测量原理主要是通过测取气体的温度以检测其质量流量。热式质量流量测量原理是通过测量导管上下游温度差,进行计算得出流量值的。热式质量流量测量传感器原理图如图4-1所示^[16]。

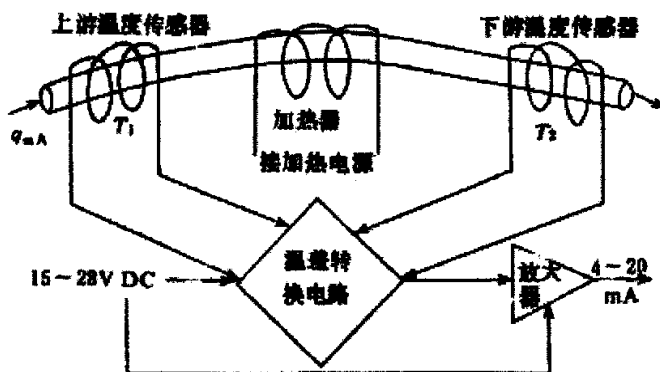


图 4-1 热式质量流量测量传感器原理图

精密电源给加热器提供持续的电流，加热器置于测量导管的中间点。当零流量时，上下游的温度是相等的，即 T_1 等于 T_2 。当有气体通过测量导管时，导管上游温度下降，而在下游由于气体吸收了热量，则 T_2 大于 T_1 。 T_2 与 T_1 间的温差与气体的流量成正比。 T_1 与 T_2 间的温差与气体质量流量有下列关系式成立：

$$\Delta T = APC_p q_m \quad (1)$$

其中在 (1) 式中：

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (K)$$

C_p —— 在一定压力下气体的比热, $kJ/(kg \cdot k)$;

P —— 加热器功率, kJ/s ;

q_m —— 质量流量, kg/s ;

A —— 仪表常数 $S^2 K^2 / kJ^2$

这样测量导管内的气体质量流量为：

$$q_m = \frac{T_2 - T_1}{APC_p}$$

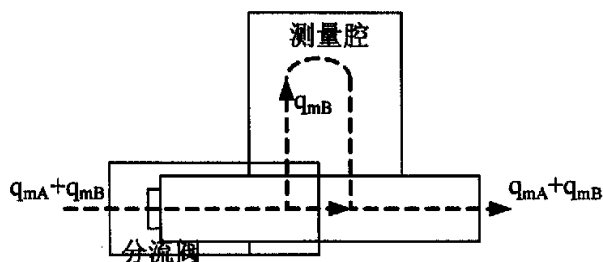


图 4-2 分流阀示意图

在图 4-2 中可以看出并不是所有的气体都进入到测量导管，而是其中的一小部分进入到测量导管。为了保证测量准确，在控制器的流体腔内设置了一个分流

阀,该分流阀的作用与电流计中的分流电阻类似,确保实际流量($q_{m_A} + q_{m_B}$)与测量导管内的流量 q_{m_A} 有着如下的关系: $q_{m_A} + q_{m_B} = Kq_{m_A}$,K为比率常数。只要做到在测量导管内压力差与流量成线性关系,分流阀内压力差与流量成线性关系,并且这两者的线性关系相同,就能做到K为常数,在流量控制器测量的整个流量范围,该常数都保持恒定。可根据流量大小选择合适的分流阀。这样实际质量流量为:

$$q_{m_A} + q_{m_B} = Kq_{m_A}$$

气体流经分流阀时气体分成两路,一部分气体向上流出至测量腔传感器,另一路经过毛细管到伺流阀。由于细管长度是其直径的几倍,因而气体流经分流阀时,气体流动模式变为层流模式。

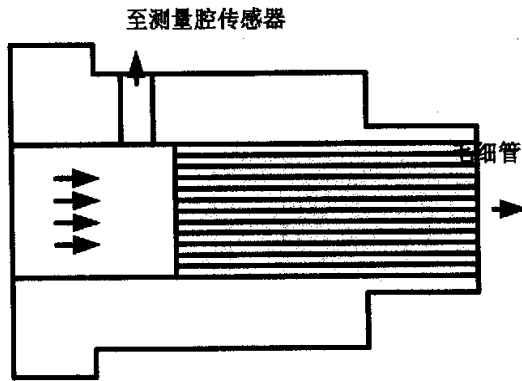


图 4-3 分流阀结构简图

设 R_s 和 L_s 分别表示传感器毛细管的半径与长度, R_p 和 L_p 分别表示分流阀中一根毛细管的半径和长度,N表示毛细管的根数, $(P_1 - P_2)$ 表示传感器、分流阀两端的压力差。 ρ 表示单位压强时的气体密度。根据克努曾公式,可以求出每秒流过气管的气体质量M:

$$M = \frac{\sqrt{2\pi}}{6} \cdot \sqrt{\rho} \cdot (2R)^3 \cdot (P_1 - P_2) / L$$

可以得出每秒流过传感器得气体质量 M_s 与流过分流阀的气体质量 M_p 之比:

$$M_s : M_p = R_s^3 \cdot L_p : R_p^3 \cdot L_s \cdot N$$

从公式中可得出,单位时间流过传感器、分流阀的气体流量之比只与其几何尺寸有关,而与气体压力、温度无关。

如图 4-4 所示,两个热敏电阻与另两个电阻 R 组成惠斯登电桥,当气体流经毛细管引起上、下游热敏电阻线圈阻值发生变化,桥式电路和差分放大器将温差

($T_2 - T_1$) 信号转换成 0—5VDC 线性电压信号, 而该电压信号与气体的质量流量成正比。

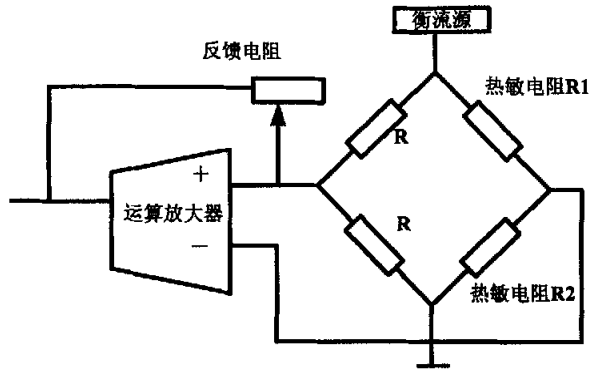


图 4-4 测量电路原理图

4.1.2 质量流量控制阀设计实现

由于质量流量控制阀基于质量流量法原理, 采用直接控制气体的质量流量, 因而气体流量控制不受气体温度、压力的影响, 从而可以温度精确的控制气体的质量流量。常用的质量流量控制阀主要由传感器、分流阀(旁路器)、伺服控制阀和必要的电子线路板组成。他们之间的控制关系可用图 4-5 中的方框图表示^[17]。

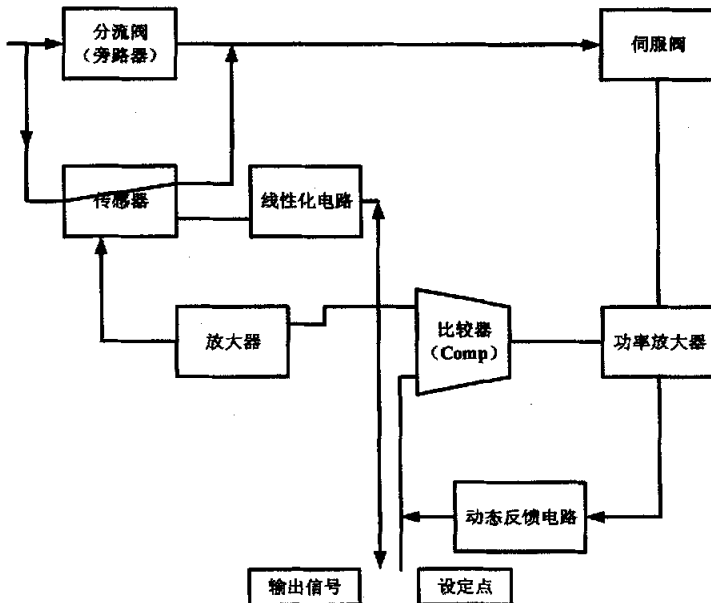
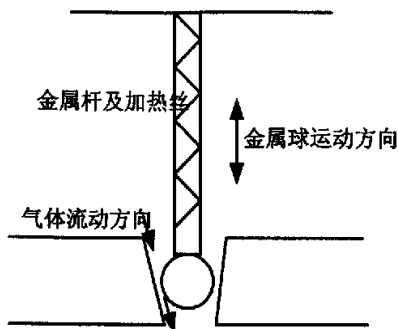


图 4-5 质量流量控制阀控制关系框图

气体质量流量测量传感器原理如上节可知。分流阀作用一是扩大量程, 使测量更准确, 二是改变气体的流动模式, 可是气体流量测量不是气体压力和温度等

外部因素影响。

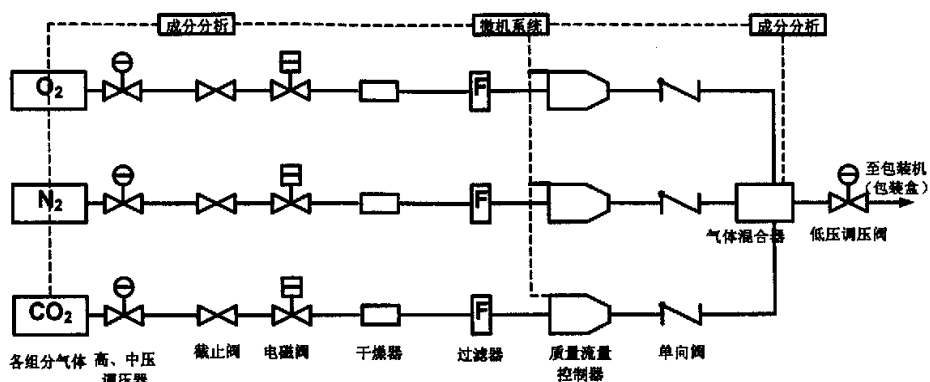


伺服控制阀如图 4-6 所示，其执行元件为一热敏金属杆，该金属杆随温度的高低变化膨胀伸长、缩短。金属杆内装加有加热丝，用于控制金属杆的长短。金属杆前端焊接有一金属球，通过金属杆的长度变化，金属球可以改变流过气体小孔的截面积，从而来控制流经小孔的气体流量。质量流量控制器通过传感器的输出值与设定值的差值量来控制的开启大小，直至其差值量趋向于零，从而使流量达到设定值。

4.1.3 气调包装质量流量法配气系统设计

1) 系统组成

气调包装质量流量配气系统^[19]气路主要是以一定的压力产生的平稳气流，并在气体混合器中混合，产生所需的一定比例的混合气体。由气源、减压阀、稳压阀、电磁阀、干燥器、过滤器和气体混合器组成。对气体的要求是无尘、干燥。因此可以根据需要选择干燥器和过滤器。减压阀和稳压阀控制输出气体的压力，产生平稳气流。控制电路主要是用来检测和按比例控制气体的流量，包括有电磁阀、质量流量控制器和微控制系统等。



2) 控制过程

开机后，首先设定配气比例，微机系统根据换算关系将比例换算为质量流量。由于质量流量控制单元一般是以 N_2 为基准进行校正，因此不同性质的气体应乘以相应的修正系数 $C_{F_x} = \frac{Q_x}{Q_{N_2}}$ ，式中 C_{F_x} 为某种气体的修正系数， Q_x 为某种气体的流量； Q_{N_2} 为氮气的流量。修正系数取决于气体的密度、定压比热及气体常数。然后根据输入气体的质量流量控制各质量流量控制阀开启，使气体按比例混合输出；微机根据质量流量计反馈的各气体质量流量进行配气总量的累加和控制，整个系统的控制流程图如图 4-8 所示。

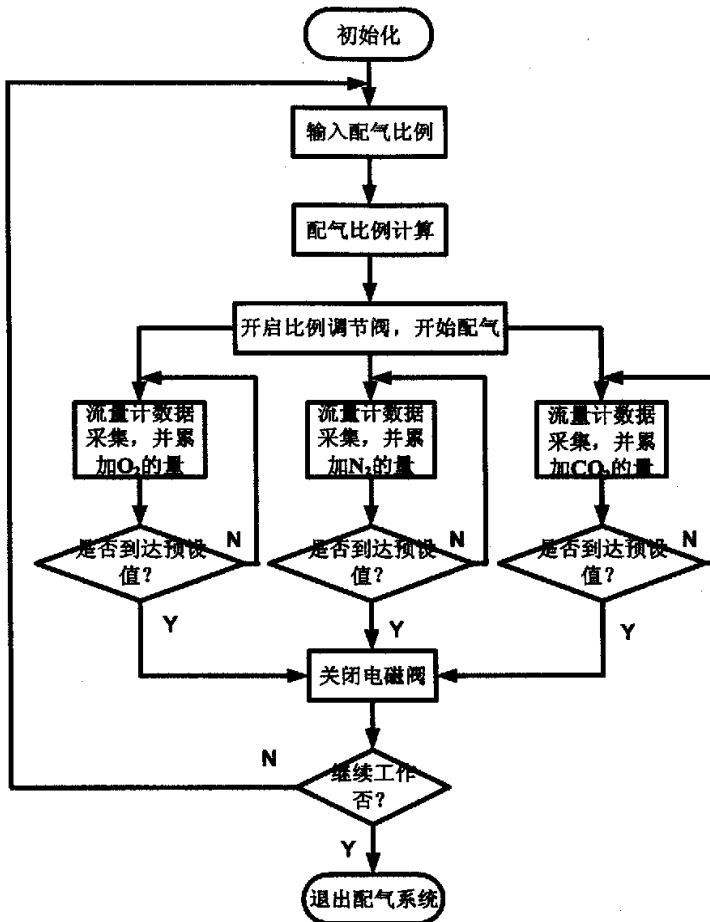


图 4-8 系统的控制流程图

配气精度是指所配混合气体中各气体组分所占体积百分比的准确程度。在系统中, 由于测量元器件和电子元器件都有一定的精度和响应时间量流量计的准确度为士 1%, 电磁阀的响应时间为 2ms, 同时气体在瞬间混合不很均匀, 因此, 应对系统的配气精度进行检测, 连续地对气体比例进行监测, 对质量流量控制进行连续的调整. 但气体成分连续检测成本太高, 通常使用的气相色谱仪只能进行间断的检测. 这样, 可以对原料气进行间断采样, 采样后立即对质量流量的控制进行调整. 由于气体成分的变化是一个缓慢的变化过程, 因此, 只要采样的间断时间不是太长, 其质量流量的控制精度就足够满足其精度要求.

3) 气调包装质量流量法配气系统的优点:

1、采用了质量流量控制法进行混合气体比例配制, 具有温度压力自动补偿特性, 从而减少了环境因素对系统的影响, 使系统具有较高的配气精度。

2、与 PLC 控制系统和人机界面相结合进行控制, 使得系统的操作界面很友好,

使用方便。

3、采用了动态连续配气方式，不仅满足了连续生产的需要，也为一些配气量不大的特殊情况提供了便捷的途径。

4、用微机系统进行数据处理，提高了计算的精度，同时也使得系统具有更强大的管理功能。

5、完善与充气包装机械接口，可实现气调包装的自动化；与机械气调库相结合，可组成全自动的机械气调储藏库。

4.2 气调包装机压力法配气系统研究

气体比例混合通常用气体的体积百分比来表示，如空气为 21% 的 O_2 和 79% 的 N_2 ，气调包装压力法一般采用压力传感器或定量充气缸控制混合气体各组分气体的分压力，使各组分气体按照一定比例混合。总体来说压力法配气的灵敏度较高，配气精度较易控制，同时设备的成本较低。

可编程控制器 PLC 作为工业控制计算机的一员，以其应用简便、稳定可靠、控制功能强大、抗干扰能力强等特点在工控领域有着广泛的应用。但是它也要自身也要一些弱点，比如数据的计算处理与管理能力较弱、价格比较昂贵，较难给提供用户良好的人机操作界面。而单片机系统价格低廉、数据计算和处理能力强等优点正好能弥补 PLC 控制系统在这方面的缺陷。因此在气调包装压力法配气系统中单片机系统作为下位机承担气体压力即压力传感器模拟量检测、数据计算处理和管理以及与人机界面和 PLC 系统的数据交换功能，而 PLC 与人机界面作为上位机承担数据输入输出和工作状态显示、通讯传输等功能。

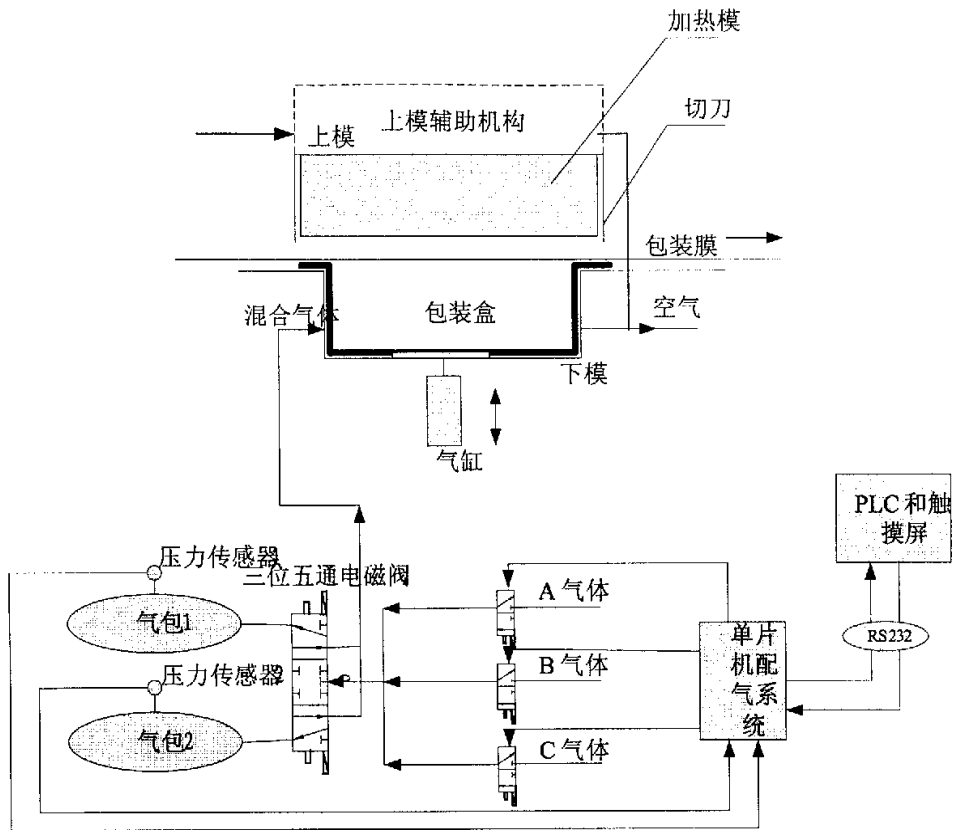


图 4-9 根据压力法配气系统的气调包装机工作原理图

在压力法配气过程可实现动态配气，根据压力法配气系统的气调包装机工作原理图如图 4-9 所示，主要包括以下几个部分：机械和模具部分、气动系统、配气系统、PLC 和触摸屏控制系统等部分。其中机械部分和气动系统在 PLC 控制系统的控制下完成起包装动作，即在密封环境下通过配气系统配制好的一定比例的混合气体置换出包装盒中的空气，由热封模热封好包装盒，使包装盒中形成一种适合食品储存的气氛，然后通过切刀切除包装盒外围包装膜，再顶料气缸把包装好的食品盒顶出，人工或者自动地输送到物料输送带上。

4.2.1 压力法配气原理

气调包装压力法^[23]配气装置比较简单，通过气体储存装置——储气罐的合理安排也可实现连续配气，还可与机器本身 PLC 控制系统较好的融合在一起，并可通过单片机微控制系统中软件算法来修正其误差，从而达到较高的配气精度。各

组成气体百分数，本应是各气体的质量(或摩尔数)百分数，但理想状态下，1摩尔气体体积为 22.4L，故通常是指气体体积百分数。一般气体在压强不太大、温度不太高的情况下，可以被看成理想气体。由理想气体组成的混合物均遵从理想气体各定律。

根据理想气体状态方程和理想气体混合物分压定律可知：

$$\frac{P_{A,B,C,\dots,N}}{P} = \frac{n_{A,B,C,\dots,N}}{n} = N_{A,B,C,\dots,N} \quad \text{其中 } P = P_A + P_B + P_C + \dots + P_N$$

根据理想气体混合物分体积定律可知：

$$\frac{V_{A,B,C,\dots,N}}{V} = \frac{n_{A,B,C,\dots,N}}{n} = N_{A,B,C,\dots,N} \quad \text{其中 } V = V_A + V_B + V_C + \dots + V_N,$$

由此可得： $\frac{V_{A,B,C,\dots,N}}{V} = \frac{P_{A,B,C,\dots,N}}{P} = N_{A,B,C,\dots,N}$ ，式中：

$P_{A,B,C,\dots,N}$ 分别为混合物各气体组份的分压力

$V_{A,B,C,\dots,N}$ 分别为混合物各气体组份的分体积

$n_{A,B,C,\dots,N}$ 分别为混合物各气体组份的摩尔数

$N_{A,B,C,\dots,N}$ 分别为混合物各气体组份的分子分数

P 、 V 、 n 分别为混合物各气体组合气体总压力、总体积和总摩尔数

由以上分析可知，在一定容积的密闭容器内，当气体混合物的总压力一定时，各气体组份的分压力与总压力比值等于分体积与总体积的比值。任意设定各气体组份的分压力与总压力的比值，通过控制气体组份的分压力就可得到相应的体积比例混合物，这就是基于压力法的气调包装配气原理。

4.2.2 压力法配气法配气程序

由于采用压力法原理，不能实现动态配气，所以为实现本气调包装机的连续工作，配气系统由两个气包（气包 1、2）组成，微机控制系统通过不断检测气包压力，两个气包分别作为工作作用和配气用，不断的交替使用。系统开始工作时（配制新气，即与配制与气包中原来的比例不同的气体），首先设定一个气包为配气用，另一气包可为工作作用，系统检测它们的压力，当工作作用气包的压力值低于系统设定的某一设定值时，两个气包通过三位五通电磁阀交换使用(如图 4-9 所示)，即原来配气好的气包变为工作气包，原来工作气包则变为配气用气包，如此连续循环使用。需要说明的是，如果是配制新气，则需首先用真空泵把气包中的残余气

体的压力抽至系统设定的真空度 P_0 (如图 4-11 所示)。如果是配制与气包中气体相同比例的混合气体时, 就不必抽取残余气体。

由于考虑到一般常用的 PLC 模拟量模块价格较贵, 同时配气系统对 PLC 模拟量模块的利用率较低, 所以模拟量即气包的压力检测由微控制系统的 A/D 转换器来承担, 并还可以用数码管显示其压力值, 同时进行压力计算和数据保存。PLC 在包装工作时, 其输入的开关量有行程开关、光电开关和控制按钮等, 其输出即用来控制步进动作和抽充气电磁阀等。当进行配气工作时, 各种参数由触摸屏输入, 单片机系统检测气包压力, 执行配气程序, 控制各配气用电磁阀, 同时保存数据。显然, 这两种工作状态可同时进行, 从而达到可连续工作的目的。

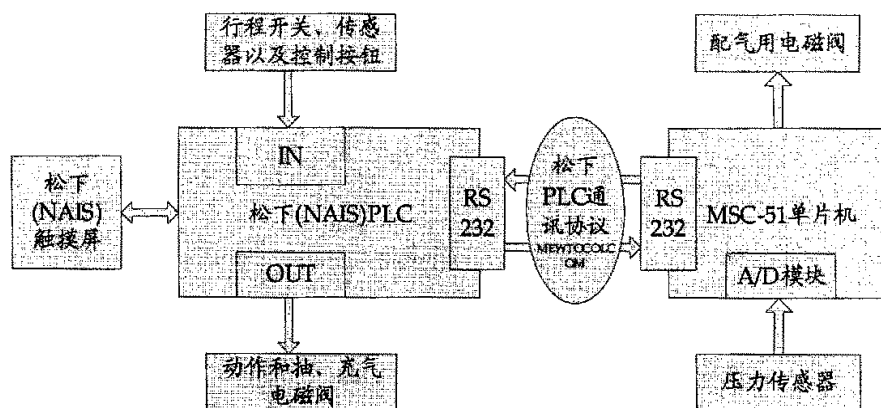


图 4-10 压力法配气系统原理图

配气系统程序框图如图所示, 以配制三种混合气体 A、B 和 C 为例。在重新开始配气之前, 需通过触摸屏设置各组份气体的配气比例 $A\%$ 、 $B\%$ 和 $C\%$, 气包的真空度 P_0 和最大压力值 P_{max} 由系统预先设置, 无需重新设定, 这些数据通过触摸屏及 PLC 与单片机通讯, 数据保存到你 FLASH 存储器中。程序启动后, 打开真空泵至 P_0 , 打开 A 气体控制阀, 充入 A 气体至测量压力 $P_{测}$ 等于 $P_0 + P_{max} \times A\%$, A 气体控制阀关闭, B 气体控制阀打开, 充入 B 气体至测量压力 $P_{测}$ 等于 $P_0 + P_{max} \times B\%$, B 气体控制阀关闭, C 气体控制阀打开, 充入 C 气体至 P_{max} , 如此循环配气。至于配气前气包中的残余气体和各气体控制阀的误差等因素引起的系统误差可以通过系数来修正, 以达到较高的配气精度。

基于上述压力法配气原理, 气调包装机配气系统程序框图如图 4-9 所示, 以配制三种混合气体 A、B 和 C 为例。在重新开始配气之前, 需通过触摸屏设置各组份气体的配气比例 $A\%$ 、 $B\%$ 和 $C\%$, 气包的真空度 P_0 和最大压力值 P_{max} 由系统预先

设置，无需重新设定，这些数据通过触摸屏及 PLC 与单片机通讯，数据保存到其 FLASH 存储器中。程序启动后，打开真空泵至 P_0 ，打开 A 气体控制阀，充入 A 气体至测量压力 $P_{测}$ 等于 $P_{max} \times A\%$ ，A 气体控制阀关闭，B 气体控制阀打开，充入 B 气体至测量压力 $P_{测}$ 等于 $P_A + P_{max} \times B\%$ ，B 气体控制阀关闭，C 气体控制阀打开，充入 C 气体至 P_{max} ，如此循环配气。至于配气前气包中的残余气体和各气体控制阀的误差等因素引起的系统误差可以通过系数来修正，以达到较高的配气精度。

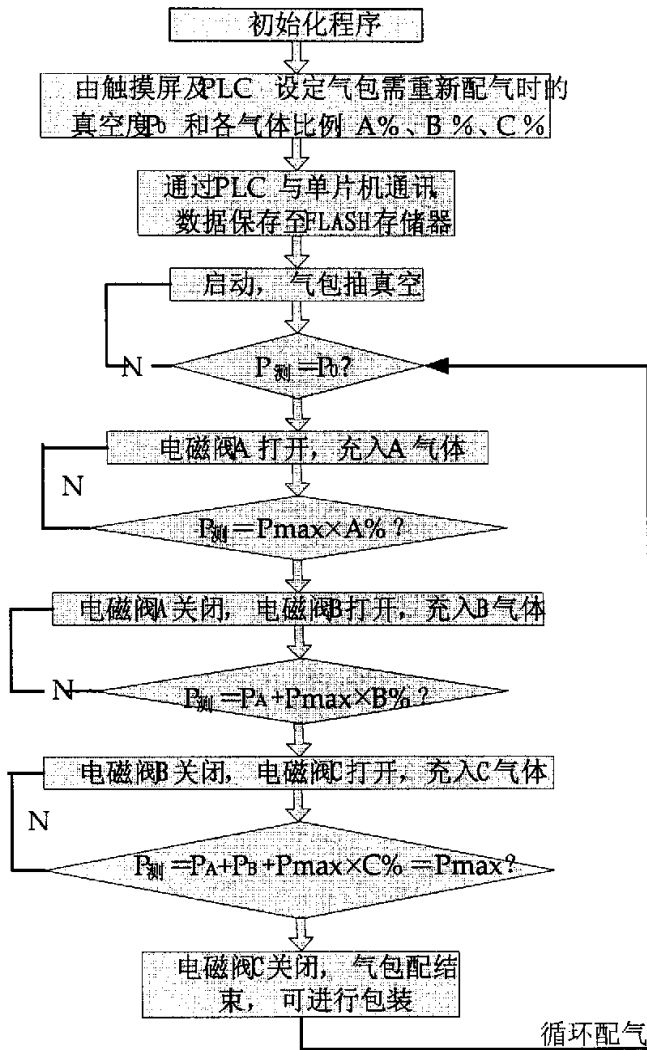


图 4-11 基于压力法配气系统程序框图

说明：A%、B%、C%表示 A、B、C 三种气体的百分比， $P_{测}$ 为压力传感器所测压力值， P_0 为系统所设气包真空度， P_{max} 为系统所设配气完整周期的气包最大压力值。

4.2.3 PLC 系统与单片机系统的通讯

在气调包装机工作时,配气比例数据要由人机界面(触摸屏)输入,通过触摸屏和 PLC 系统,与单片机控制系统通讯,数据保存至单片机的数据存储器。同时单片机配气系统数据如气体压力等也要通过触摸屏显示其状态。所有的 PLC 系统与单片机的数据交换与通讯,可以通过它们之间的串口通讯来完成。

在 P L C 组成的工业控制设备中,用户多利用其并行接口进行功能的扩展,如键盘、显示等,这就要占用大量的 I/O 点资源。其实,优秀的 P L C 都配有高性能的串行接口单元(S I U),这个 S I U 专门负责高速的串行通信任务,不需要或仅需少量的 C P U 干涉,它将 C P U 解放出来集中解决数据处理或实时控制问题。P L C 的 R S—232 C 接口就是一个典型的串行通信接口。若通过单片机与 P L C 进行通信,对 P L C 各寄存器进行读写,就可充分利用单片机成本低、扩展方便的特点,使 P L C 应用更具灵活性。

下面就以松下电工 F P 0 系列 P L C^{[20] [21]}与 MCS—51 单片机的通信为例,阐述其通信接口的实现方法。F X 系列 P L C 串行通信采用 A S C I I 码传输模式,通讯波特率 9600 b p s,起始位 1 位、数据位 7 位、偶校验位 1 位、停止位 1 位。该通信协议序列的数据结构分为起始码、命令码、元件首址、字节数、数据块、结束码和校验码部分。根据命令码含义的不同,组成通信数据的各部分也不一样^[12]。

起始码:固定为符号 S T X,其 A S C I I 码为 02H,表示主机与 P L C 开始发送数据,为通讯数据流的第一个字符。

命令码:表示主机对 P L C 的各种操作方式。

元件首地址:表示 P L C 内部各元件类型及起始元件号。例如:Y 0 的首地址为 02A 0H, M 200 的首地址为 0319H, D 157 的首址为 113A H 等。

字节数:从元件首地址起,读取或写入 P L C 元件的数据个数。

数据块:待写入或读取的 P L C 元件的状态(或数据)。

结束码:固定为符号 E T X,其 A S C I I 码为 03H,表示主机与 P L C 之间传送数据正文结束。

校验码:通讯数据的校验和,从指令码开始连续累加至结束码为止,仅取累加和的低八位。

1)、51 单片机有一个全双工的串行通讯口，所以单片机和 PLC 之间可以方便地进行串口通讯。进行串行通讯时要满足一定的条件，比如 PLC 的串口是 RS232 电平的，而单片机的串口是 TTL 电平的，两者之间必须有一个电平转换电路，我们采用了专用芯片 MAX232 进行转换，虽然也可以用几个三极管进行模拟转换，但是还是用专用芯片更简单可靠。我们采用了三线制连接串口，也就是说和电脑的 9 针串口只连接其中的 3 根线：第 5 脚的 GND、第 2 脚的 RXD、第 3 脚的 TXD。这是最简单的连接方法，但是对我们来说已经足够使用了，电路如下图所示，MAX232 的第 10 脚和单片机的 11 脚连接，第 9 脚和单片机的 10 脚连接，第 15 脚和单片机的 20 脚连接。

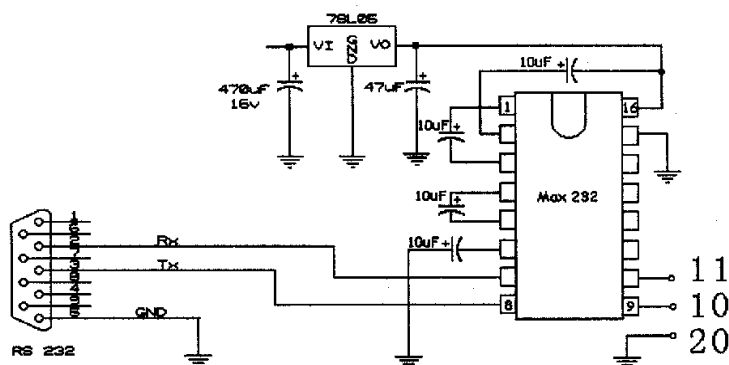


图 4-12 RS-232C 串行通信转换接口

2)、RS-232C 串行通信接口的设置:

(1) PLC 串行口的设置 松下电工 PLC 是通过设置系统寄存器来实现串行接口初始化的, 如 FP0 的系统寄存器 No. 413 (传输格式设置寄存器) 可指定 RS 232C 串口通信格式, 其中控制字各位可设置为 H00, 即 1 个起始位、8 个数据位、无校验、1 个停止位。No. 414 (串口波特率设置寄存器) 指定 RS 232C 串口波特率, 可设置为 H01, 即 9600 bps; 另外, No. 412 (串口方式设置寄存器) 可设置为 H01, 即计算机链接通信方式, No. 415 (站号设定寄存器) 可设置为 H01, 即站号为 01#。

(2) 单片机的串行口设置 MCS-51 内部有一个全双工的串行口, TXD P3.1 为发送端, RXD P3.0 为接收端。它是可编程接口, 对它的初始化只要用两个控制字分别写入特殊功能寄存器 SCON 和电源控制寄存器 PCON 中即可。在用软件设置的四种通信工作方式中, 方式 1 是标准的异步通信方式, 在此工作方式下, 串行口为 8 位异步通信接口, 特别适合集成的点对点连接接口的 8 位数据传输。每帧信

息包括 10 位：1 个起始位、8 位数据位和 1 个停止位。波特率由定时器 T1 的溢出率和串行口控制器 SMOD 的状态确定，在 CPU 的晶振为 11.0592MHz 时，波特率采用 4800bps。单片机的初始化程序如下：

```

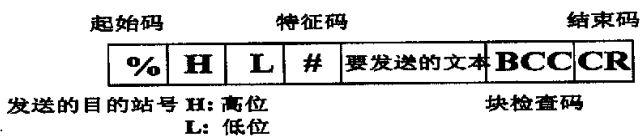
MOV SCON #50H
MOV TMOD #21H
MOV PCON #80H
MOV TH1 #0F3H
MOV TL1 #0F3H

CLR EA          清中断
CLR ES
CLR ET1

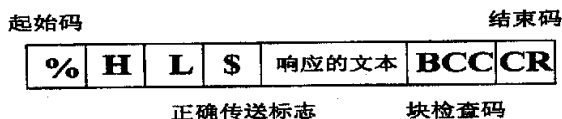
SETB TR1       开定时器
    
```

单片机的串行端口有一个数据寄存器 S B U F，该寄存器为发送和接受所共有，在一定条件下，单片机向 S B U F 写入数据就启动了发送过程，读 S B U F 就启动了接收过程。当 P L C 通过 R S—232 C 串行接口与单片机进行通信时，首先由单片机向 P L C 发出命令帧格式——发送过程；发送过程结束后，P L C 立即作出响应，同时单片机接收由 P L C 发出的响应帧格式——接收过程，以上所有的通信均由单片机来启动和接收，P L C 方无需编制通信程序。

- 1) 发送命令帧格式 通信开始时，先由单片机向 P L C 发出呼叫，它包括一些特殊标志码、P L C 站号和呼叫字符等，其格式如下。



- 2) 响应帧格式 命令帧格式传送成功后，P L C 立刻作出响应并向单片机传送一个响应帧格式，单片机接收 P L C 的响应帧格式如下。



使用 RS232C 端口，可以向外部设备发送数据或指令，也可以从如条形码阅读器等设备中读取数据及指令。这些功能可以通过使用 F144 (TRNS) 指令实现。在缺省设置时，不允许进行数据的传输和接收，因此必须将系统寄存器 412 改变设

置为[通用通信端口 (K2)]。传输速度 (波特率) 和传输格式可通过系统寄存器 413 和 414 进行设定。

任何需要的数据寄存器都可作为传输数据表进行准备, 数据表中存储的数据都可发送。开始符和结束符会被自动添加到传输的数据中, 然后再发送该数据。用于传输数据表的数据寄存器可以由 F144(TRNS)指令指定。执行指令 F144(TRNS)可以进行数据传输。对传输数据的字节数无任何限制。任何字节数都可发送, 只要它不超过所使用的数据寄存器范围。

可以通过 RS232C 端口接收从外部设备发出的数据。接收到的数据被自动存储在作为接收缓存区的、指定的数据寄存器中。可通过系统寄存器 417 和 418 指定被用作接收缓存区的数据寄存器。利用指令 F144 (TRNS) 可允许数据接收。

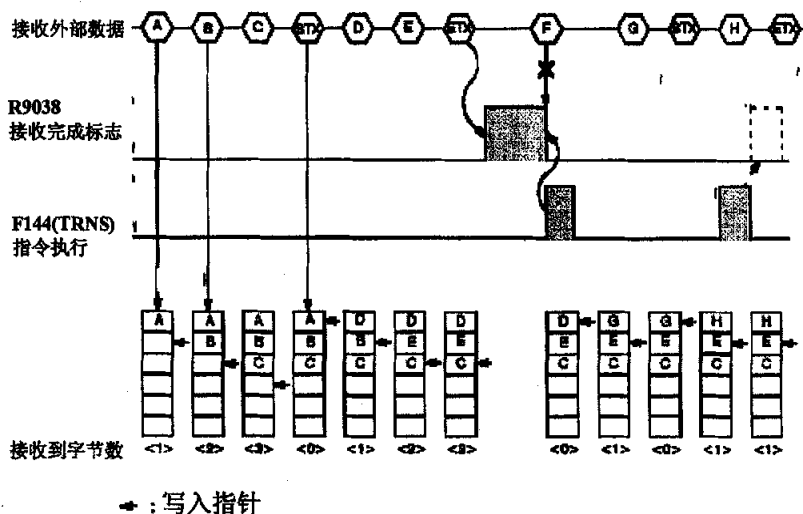


图 4-13 PLC 接收数据时序图

数据按顺序存储在接收缓冲区中, 但是在接收到起始符时, 接收到的字节数目被清除, 地址 (写入指针) 会返回至接收缓冲区的起始地址。当执行指令 F144(TRNS) 时, 接收到的字节数目被清除, 地址 (写入指示器) 会返回至接收缓存器的初始地址。如果存在两个起始符, 那么后一个起始符后的数据被覆盖并存储到接收缓存器中。当接收完成标志 (R9038) 为 ON 时, 接收即被终止。F144 (TRNS) 指令可以清除接收完成标志 (R9038)。因此, 如果在接收到结束符的同时执行 F144 (TRNS) 指令, 就不会检测到接收完成标志。

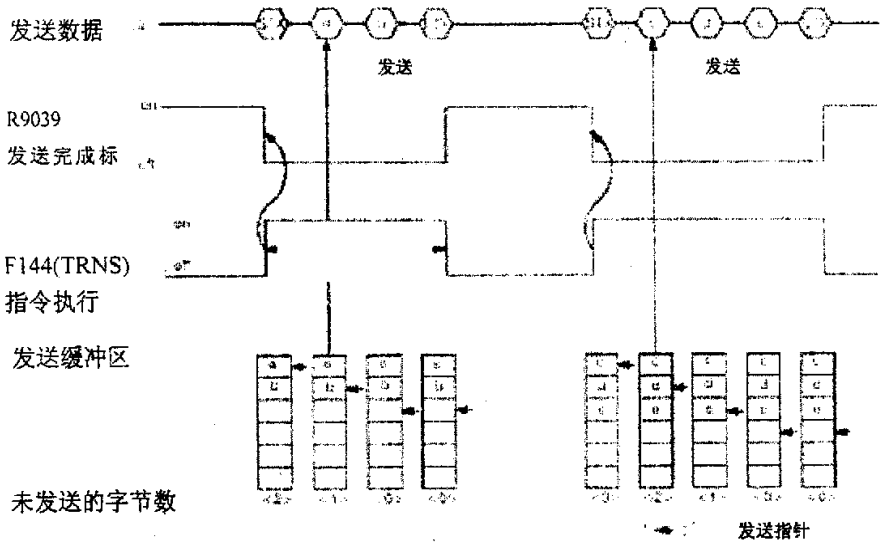


图 4-14 PLC 发送数据时序图

起始符 (STX) 和结束符 (ETX) 被自动添加到要传输的数据中, 然后数据被传输至外部设备中。执行指令 F144 (TRNS) 可以清除传输完成标志 (R9039)。当执行指令 F144 时, 双工传输被禁用。检查传输完成标志 (R9039) 来决定双工传输是否可能。

由以上分析可知, 气调包装机工作时, 各气体配气比例、压力传感器所测压力等数据, 由 PLC 与配气用单片机系统的数据通讯, 可由单片机数据存储器保存, 以便循环配气使用。

4.3 气调包装机时间配气法系统

时间法配气系统设计后, 在本气调包装机的测试结果虽然配气精度较低, 但是配气装置简单而成本较低, 同时操作简易, 对于精度要求不高的一般食品包装还是比较适合的。

4.3.1 时间法配气原理

可以假设从各气源经过减压阀减压稳压后的各气体(温度不太低, 压力不太高的情况下)为理想气体来看^[15]。由理想气体的状态方程:

$$PV = nRT \quad (1)$$

式中:

P——气体压力, Pa

V——气体体积, V

T——气体温度, K

n——气体摩尔数, mol

R——气体状态常数, 8.31J/mol·K

又假设从各气源经过减压阀减压稳压后的各气体流出时, 在截面为 F 的输气管道内的流动为稳定流动, 其流量为:

$$Q = V/t \quad (2)$$

式中:

Q——流量, 表示在一定压力下单位时间内气体流过截面 F 的体积, L/s

V——气体体积, L

t——时间, s

由 1、2 式可以得到:

$$PQt = nRT \quad (3)$$

$$n = \frac{PQ}{RT}t \quad (4)$$

从式 3、4 可以看出, 当 P、Q、T 一定时, 则气体摩尔数 n 与时间 t 成正比。由此分析可以得知, 在一定温度下, 当各气源气体流出的气体量 n 可由各气源气体流入混合容器的时间 t 来控制。同时应当指出, 只有各气体气源出口经过减压和稳

压后压力相等时，从气源流出的流量才会相等。

4.3.2 气调包装时间法配气系统

1、时间法配气系统

时间法配气系统框图如图 4-15 所示，配气系统主要由减压稳压阀、两位三通电磁阀，三位五通电磁阀和混合气罐组成。气体 A、B、C 经过减压阀减压和稳压后，各气体出口压力经调整后大致相等，经过三位五通电磁阀进入到气体混合装置气罐中，系统设置两个储气装置（气罐 0、气罐 1），它们的目的是通过三位五通电磁阀和两个气罐来实现气调包装机的连续工作。

由气调包装时间法配气原理可知，对于混合气体各组分气体比例的控制，主要是对各气源流过输气管道进入气罐的时间来控制，而气体流过输气管道的时间则通过各路气体控制电磁阀的开启时间来控制，即由图中的两位三通电磁阀的开启时间来控制进入气罐内的气体总量。

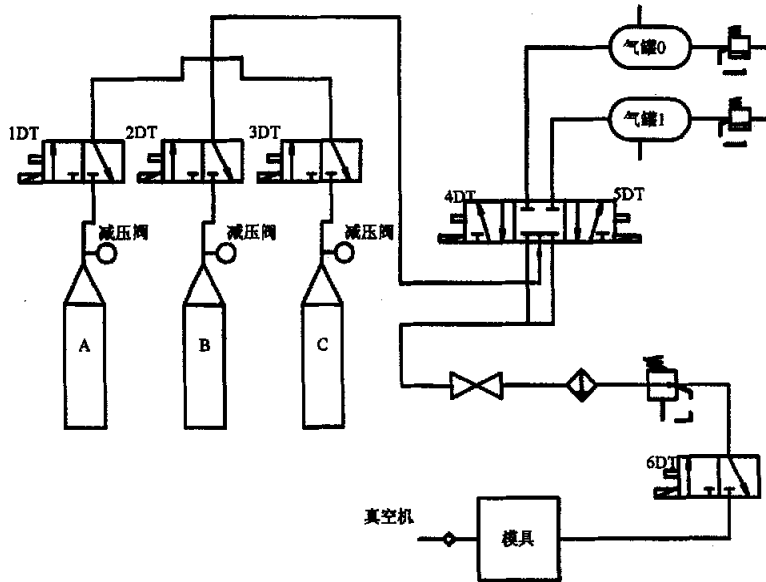


图 4-15 时间法配气系统框图

2、时间法配气程序

假设要配置组分气体 A、B、C 的混合气体，混合气体的比例为 A%、B%、C%。经过实验测定，一定体积的混合气罐完全配置好所需要的时间为 T。时间法

配气流程框图如图 4-16 所示，当要重新配置新的比例气体，初始化程序后，由 PLC 和触摸屏设置重新配气时所需要的时间 T 和各气体比例 A%、B%、C%，系统启动，对要配气的气罐抽真空。接通电磁阀 DT1，输气管道接通的时间为 $A\% \times T$ ，时间结束后，DT2 开启，DT1 关闭，开启时间 $B\% \times T$ ，时间结束后，DT3 开启，DT2 关闭，开启时间为 $C\% \times T$ ，时间到后 DT3 关闭，至此一个配气循环结束。

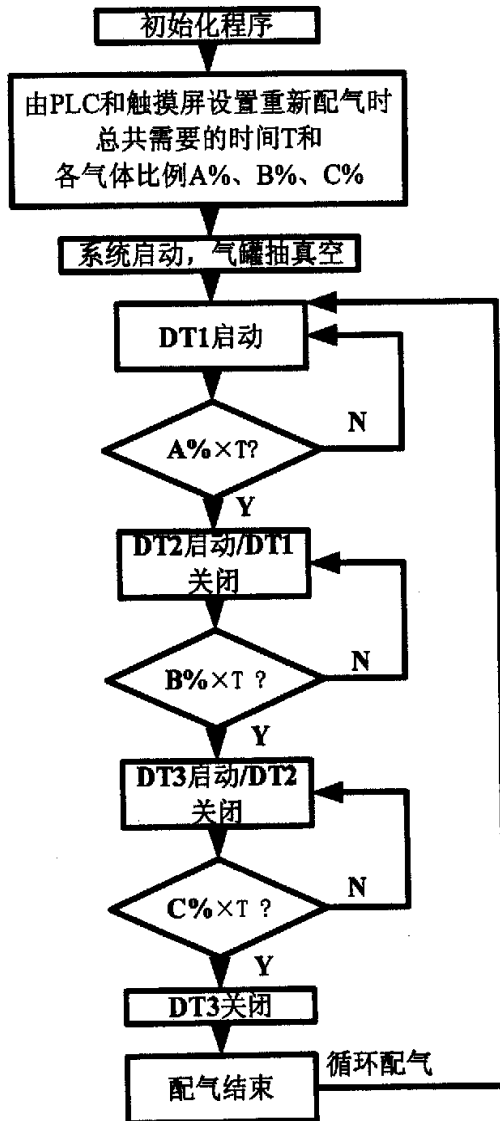


图 4-16 时间法配气流程框图

说明：A 气体流进气罐的时间由电磁阀 DT1 开启时间控制，B 气体流进气罐的时间由电磁阀 DT2 开启时间控制，C 气体流进气罐的时间由电磁阀 DT3 开启时

间控制。

为了提高时间法配气的精度，可以在程序中把每一个气罐的配气总时间 T 分成若干等份的分时间 T_n ，把 T_n 看成是一个总的配气时间，则在 T_n 的时间周期内 DT1、DT2、DT3 开启的时间分别为 $A\% \times T_n$ 、 $B\% \times T_n$ 、 $C\% \times T_n$ ，不断循环配气到总时间为 T 为止。

4.4 小结

本章研究和设计了气调包装机配气系统的三种配气方法，即质量流量法、压力法和时间法，这三种方法对于不同的包装要求均取得了令人满意的效果。

质量流量法适用与大流量、连续性的可动态配气的系统，同时本方法的测试结果配气精度高，缺点是质量流量控制成本较高，难以大批量推广，因此适合配气精度高、比较频繁的改变气体比例的场合。在质量流量测量原理基础上，设计实现了质量流量控制阀和质量流量控制系统。

压力法配气系统装置比较简单，成本较低，同时精度也比较高，因此比较适合气调包装机上大规模的应用。在压力法配气原理基础上，设计出基于单片机的配气系统，同时 PLC 和单片机系统的串口通讯解决了 PLC 和单片机配气系统的数据通讯的问题。

时间法配气系统设计后测试结果虽然配气精度低，但是装置和操作简单，对于精度要求不高的一般食品包装还是比较适合的。

压力法和时间法通过系统中的两个储气罐在工作时的不断交替使用，即一个储气罐用作配气使用时，另一个用作包装时的气源，从而达到气调包装机连续工作的目的。

第五章 总结与展望

盒式气调包装机设计与实现工作是一项任务比较艰巨的工程。我国的食品气调包装机的关键技术的制造水平还处于较初级的阶段，在整体性能和功能上与发达国家的距离还很大。我们对气调包装与气调包装机的研究也缺少必要的经验积累，许多问题往往要通过多次试验，发现问题再回头重新设计。气调包装机的设计理论和方法仍在不断发展中，我们的工作还只是处在边学习边开发研究的阶段。但通过此次用机电气一体化的设计思想指导系统的设计工作使本人受益匪浅，并且所取得的初步成功也令我感到比较高兴。

在本文中，主要完成了如下工作：

1、盒式气调包装机械系统研究与设计。盒式气调包装机作为包装机械的一种特殊形式，在通用的包装机械的基础上，如物料输送、包装盒热封、薄膜切裁等机构的基础上增加上、下模压合密封系统，从而形成整个盒式气调包装机。

2、盒式气调包装机换气系统研究。在换气系统的研究与设计中，从提高换气精度、减少混合气体消耗和提高包装效率出发，创造了包装薄膜振动等压换气法，以及真空换气法中的上下模腔的压力自动平衡控制方法。

3、气调包装机配气系统研究与设计。对质量流量配气法、压力法、时间法进行了分析和研究，在质量流量测量原理基础上，设计实现了可动态控制气体配比的质量流量控制系统。在压力法配气原理基础上研制了可连续供气的双气包交替配气系统，同时解决了 PLC 和单片机配气系统的数据通讯的问题。

本气调包装机经过一年多的不断的改进和完整，现在已经度过了样机阶段，正式生产，2004 年 10 月还被认定为上海市高新技术产品。

但以上诸工作仍有许多要改进的地方，离理想目标还有不小的差距，具体表现在：

1、换气系统中也存在有须继续改进的问题，为了能够取得更好换气精度和换气效率，等压换气法中需要用更好的流体力学的方法进行研究，而真空换气法需要更好的解决换气时包装膜两侧压力不同而变形的的问题。

2、在配气系统中，需要找到更好的配气方法，以解决配气时成本高、耗气量大，稳定性较差的问题。

总之，通过本课题的研究和开发，一方面使我看到了气调包装机广阔的市场前景，另一方面使我对机电一体化产品开发过程和实现途径有了很深刻的领会、理解，对机械技术、系统技术、自动控制技术、传感与检测技术、气动技术等等的掌握都有了很大程度的提高。但是我国的工科水平离发达国家还有较大的距离，我们在这里要做的工作还很多很多。

由于历史原因，我国的现代化包装和食品包装机械的发展起步较晚，基础比较薄弱，通过引进、消化吸收和自主开发，已经形成了比较齐全的国产食品包装机械产品品种，有半自动化的、初级自动化的、微机控制的现代化的各类包装机械。但是国产食品包装机械仍然以机械电器控制为主，只有少部分的产品应用到光机电气一体化技术、微机控制技术、智能化技术和网络化技术等高新技术。包装机械的发展方向是自动化、智能化，因此数字控制技术在包装机械中将发挥至关重要的作用。这些技术中，可编程控制器 PLC 和人机界面不仅在包装机械的顺序、流程控制和人机间信息交换等方面有着广泛应用，而且在现代化生产厂家的传统的集中式控制到多级分布式控制系统中 PLC 有着通讯和网络的功能，能够相互连接、远程通讯，构成生产控制网络。