

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

1 引言

中国是世界上人均资源匮乏的国家之一，社会建设和工业生产都需要大量的能源的支持，而陶瓷行业作为一个能耗较大的工业部门，消耗的能源中，大部分用于烧成和干燥工序，它们的能耗占 80% 以上。陶瓷窑炉的控制系统的优劣直接决定了产品的质量和能源的利用率。窑内温度易受外界因素影响，如不及时稳定调节，将严重影响产品的成品率和能源的浪费。因此有效及时控制窑内温度成为当前一个非常重要的研究课题。

1.1 课题背景及研究意义

中国是世界陶瓷及耐火材料的生产大国，陶瓷的总产量已接近世界总产量的百分之五十，1993 年以后我国建筑卫生陶瓷产量一直高居世界首位。1998 年陶瓷砖产量占世界总产量的 34.5%，卫生瓷占世界总产量的 23.4%。2002 年陶瓷砖年产量约 25 亿平方米，卫生瓷年产量约 5500 件。到 2004 年我国日用瓷、建筑瓷和卫生瓷产量均居世界第一。陶瓷产量在世界上遥遥领先，但是能源和资源的消耗无疑也是巨大的。陶瓷工业所消耗的能源，大部分用在窑炉中烧成和干燥这两道工序，所占比重超过总能耗的 80%。相比陶瓷原料制备和陶瓷制品成型过程中的节能技术，窑炉节能技术的进步在降低能耗方面更大的贡献。据报道，英国陶瓷工业的能耗中，约有 61% 用于烧成工序，干燥工序能耗约占 20%。虽然我们国内陶瓷窑炉的发展方向已由过去提出的辊道化、自动化、煤气化、轻型化、大型化向绿色(环保、节能和智能型)窑炉方向发展。但是，目前我国陶瓷行业的能源率与国外相比差距甚大，发达国家的能源利用率一般高达 50% 以上，美国达 57%，而我国仅达到 28%，-30% 左右。因此，如何降低陶瓷工业的能耗，特别是窑炉的能耗，是摆在我国陶瓷行业的一项迫切任务。在现代的陶瓷生产中，陶瓷窑炉仍是生产工艺的关键，是陶瓷生产中最重要热工设备，在综合指标消耗最小的情况下获得满足工艺要求的良好产品，追求“优质，低耗，灵活，无污染，轻体力”是现代辊道窑的控制目标。然而，国内现有的陶瓷辊道窑控制系统主要有组合仪表分散控制系统、计算机集中控制系统、计算机集散控制系统 3 种，计算机集散控制系统实际是前两类系统的综合。现在新建的陶瓷窑大多采取计算机集散控制系统方式，调节仪表采用成熟的 PID 模糊控制器，但这种方式也存在一些缺点：如通信线路较多，成本较高等，由现场总线构成的控制系统已成为工业企业网中控制网络的典型模式。FCS 由于采用了现场总线技术，在开放性、控制分散等方面优于传统 DCS。但是由于它是 1 种新技术，其本身都还没有制定统一，因此 FCS 与成熟的 DCS 相比，还存在下列的一些欠缺：

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

(1)在某些场合 FCS 还无法提供 DCS 已有的控制功能。因软硬件水平方面的限制，功能还不是很强，品种也不够齐全：用现场仪表还只能组成一般的控制回路如单回路、串级、比例控制等，复杂、先进的控制算法还无法在仪表中实现，对单回路内有多输入输出的情况缺乏好的解决方案。

(2)现场总线的主要特点之一是可互操作性，但现有的 12 种现场总线国际标准中，异种现场总线之间是不能进行互操作的，虽说可以通过网关通信或通过 OPC (OLE for Process Contr01) 协议进行互操作，但这种互操作只能在各自的主机间进行，不能在彼此的现场仪表间进行。综上所述，研究新的窑炉控制系统，提高陶瓷生产行业的自动化水平，降低陶瓷生产成本，提高陶瓷生产质量，节能减排的绿色控制有着重大的现实意义。

综上所述，研究新的窑炉控制系统，提高陶瓷生产行业的自动化水平，降低陶瓷生产成本，提高陶瓷生产质量，节能减排的绿色控制有着重大的现实意义。

1.2 陶瓷辊道窑控制系统的发展现状

陶瓷辊道窑过程控制系统的特点是按工艺曲线的要求分段控制，各控制节点在空间上分散。现有的陶瓷辊道窑过程控制系统按拓扑结构，主要有仪表组合分散控制系统、计算机集中控制系统、总线型控制系统等 4 种结构。

(1) 仪表组合分散控制系统结构

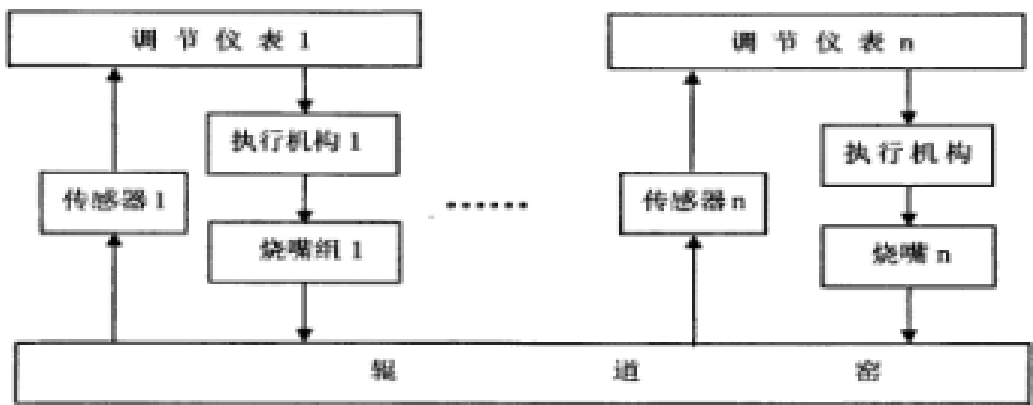


图 1

主要采用电动仪表单元组合控制。特点是每个控制节点自己独占一套控制回路，各个控制回路部分在控制上无任何联系。早期的辊道窑的控制普遍采用这种结构。

(2) 计算机集中控制系统结构

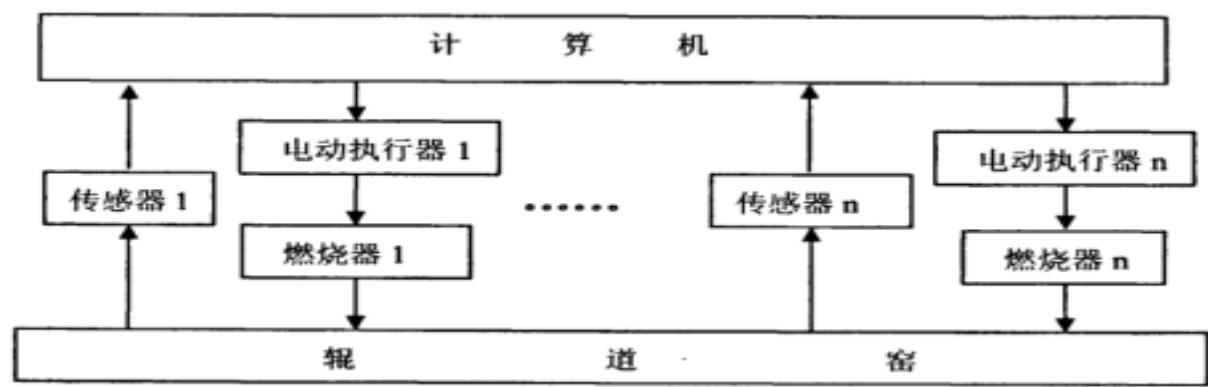


图 2

主要是由一台上位计算机控制每个回路的测量、计算以及执行。特点是由计算机统一管理各个控制回路，具有一定的智能程度，且能实现人机交互，如控制量的输入，图表的表示，报表的打印等。这种控制系统主要依靠计算机统一但是控制回路之间没有冗余设计，往往是一点故障即涉及到全局，可靠性存在问题。

(3) 计算机集散控制系统结构

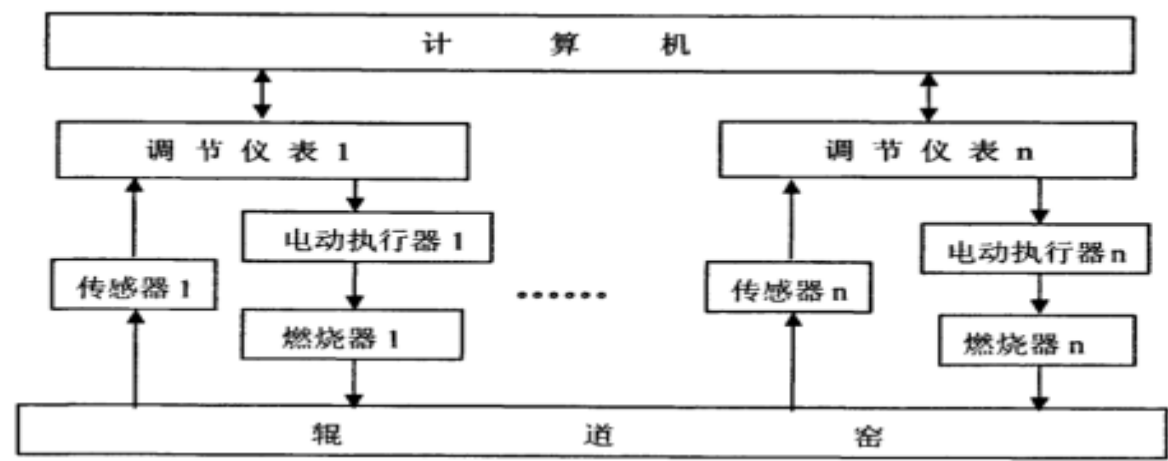


图 3

在这个系统里，计算机只负责控制系统的管理工作，并不参与控制，现场信息的采集和控制由各个控制回路分别完成。该控制系统的主要特点是分散控制，集中管理。兼具有卜而两种控制系统的优点，结构简单，具有一定可靠性和智能程度。人们可以通过计算机根据生产变化情况对仪表的各种控制参数进行在线修改，做到实时控制。同时，也存在一定的缺陷，所以调节仪表的信息都通过各自的信道同上位机通信，当仪表数量

较多时，信息的堵塞将严重影响控制系统的正常运行。

(3) 总线型控制系统结构

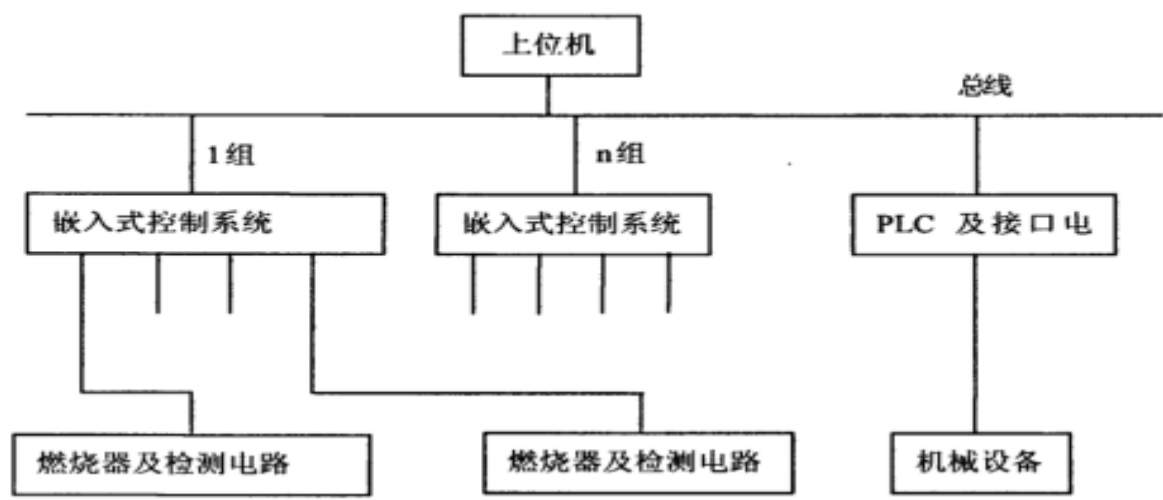


图 4

与集散控制类似，上位机只负责控制系统的管理工作，并不参与控制。现场信息的采集和控制由各个总线控制节点自动完成。控制回路包括嵌入式控制系统、数据采集电路和电动执行器等。总线型控制系统实现了分散控制和分散管理。各个相对独立的控制回路通过一个共用的总线信道和上位机通信，这种结构大大缓解了集散控制系统中可能出现的信息堵塞情况。

以上 4 种控制形式代表了不同时期的现场控制水平，目前的辊道窑控制系统多采用基于现场总线的嵌入式控制系统。所使用的总线形式主要有基于 CAN 总线、Profibus 和高速以太网现场总线等几种。系统的上位机仅负责系统的统筹管理，下位节点完成现场的数据采集和控制。嵌入式系统作为控制的下位机芯片，具有运算处理能力强、可靠性高、运行稳定、系统可定制和人机界面友好等特征。下位节点的微处理器与总线通信控制器配合具有强大的通信能力，但是现有的总线型控制系统中节点之间仍处于相对信息孤立的状态，其网络通信能力没有得到充分发挥。

1.3 论文的主要工作

本文主要做了以下 4 方面的工作：

(1) 分析了陶瓷辊道窑生产过程中的控制系统，并对目前陶瓷辊道窑控制系统进行深入比较研究，得出“基于 PLC 陶瓷窑炉的控制系统”解决方案；

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

(2) 研究并构建了陶瓷辊道窑控制系统，选择控制系统所需智能设备，实现系统互联，有效地解决了由于工艺复杂、I / O 点数多且分布分散、设备类型多样、控制协调性要求高所带来的控制问题；

(3) 设计了与陶瓷辊道窑温度控制密切相关的 PLC 控制系统，满足陶瓷工艺对温度的实时控制要求；对此控制系统的进行 PID 控制，并设计了相关 PID 方框图和并对其仿真。

2 辊道窑控制系统的设计方案研究

本章首先介绍陶瓷辊道窑的生产工艺流程特点及其控制系统特性、陶瓷辊道窑系统的组成、陶瓷辊道窑烧成制度的控制系统组成、控制要求与设计原则；然后通过分析现有常用工业现场控制系统的体系结构，以及现场总线技术与现有控制系统的融合方式，结合具体的工艺特点，确定陶瓷辊道窑控制系统整体构。

2.1 陶瓷辊道窑窑炉工艺

2.1.1 陶瓷辊道窑的生产工艺流程特点及其控制系统特性

陶瓷辊道窑是一种截面呈狭长方形的隧道窑，但与隧道窑不同的是，它不是用装载制品的窑车运动，而是由一根根平行排列、横穿窑工作通道截面的高温辊棒组成“辊道”，制品放在辊道上，随着辊子的转动而输送入窑，在窑内完成烧成工艺过程，故称辊道窑。辊道窑属于连续性生产的隧道式窑炉，按工艺要求可将其分为：预热、烧成和冷却三个带，辊道窑沿窑长方向示意图如图所示。

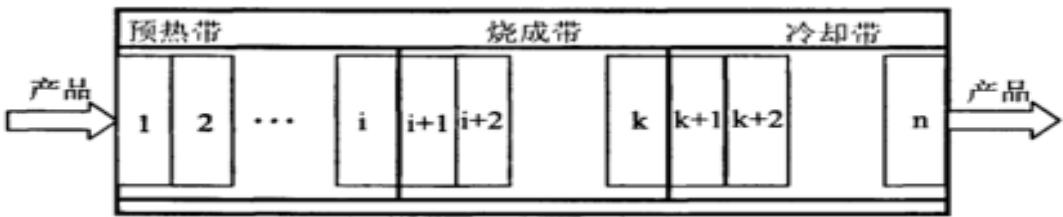


图 5

辊道窑的外宽尺寸一般没有变化，故辊道窑一般按制品温度来划分：窑头至 850~900 度为预热带，850—900 度到制品成瓷温度为烧成带，余下部分为冷却带。窑体通常分成若干节，每节长度大约 2~3m。

目前，窑炉内部工况是按工艺曲线分段相对独立地进行控制，工艺参数温度、压力和气氛也是分开独立调节。然而，辊道窑的烧成过程甚为复杂，在烧成过程中的各个阶段都将发生一系列物理化学变化。一般来说，包括五个过程：制品的变化过程、物料的运动过程、气体流动过程、燃料燃烧过程和传热过程。

(1) 制品的变化过程

制品的变化过程是指陶瓷原坯在经过干燥、锻烧和冷却这三个阶段时所发生的一系列化学物理变化。

(2) 物料的运动过程

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

物料的运动过程是指陶瓷原坯在辊道上平稳移动穿过窑炉的三个工作带。

(3) 气体流动过程

气体流动过程是指由于窑内空气压力场分布不均匀导致的气体流动以及物料运动所带动的空气流动。

(4) 燃料燃烧过程

燃料燃烧过程是指燃料在窑炉内的与氧气的化学反应程度。

(5) 传热过程

传热过程是指热能在窑炉内的传递过程。

以上五个过程不是独立进行的，它们之间有复杂的联系。如制品变化可能产生气态水及其他气体，将改变窑炉内燃气、氧气的含量而影响燃料的燃烧过程，物料在截面相对狭窄的窑炉空间传动将影响空气的流动，进而影响热能的传递，而制品吸收的热量又会影响它在窑炉内的变化等等。五个过程相互影响，相互关联。通过对窑炉工作的深入了解，可以进一步将五个过程抽象为四个环境因素—温度、压力、气氛和传动。

(1) 影响窑炉内的温度状态主要有燃烧过程和传热过程

燃烧过程主要是指窑炉内燃气和空气的比例，燃气比例高就会产生还原气氛，空气比例高就会产生氧化气氛。所以窑炉温度的调节主要是按比值调节燃气和空气的流量。传热过程是指窑炉内空气的压力差所导致的空气流动，热量通过对流或者混合的方式从高温点向低温点传递。辊道窑窑头的风机组和窑尾的排气、排烟风机组是造成窑炉内空气压力差的主要原因，另外辊道携带制品在窑炉内的运动也会影响压力场的变化，进而影响传热过程。

(2) 影响窑炉内压力状态的主要有气体流通和物料运动

气体流动主要是由于空气压力场不均匀导致的。辊道窑压力曲线基本呈进口低，出口高的特点，这样的特点保证了能将烧成段多余的热量以对流的形式传递到窑头，用于制品的干燥。窑炉中的中风机对这样的压力制度有着决定性的影响。如果窑头的风机运行故障将直接导致预热带压力上升，从而使得窑头吸入过多的冷空气，延长烧成时间；窑尾的风机运行故障将导致冷却带压力下降，从而流入更多的烧成带的热空气导致冷却失败。物料运动也会给窑炉内的空气压力场带来变化，甚至形成气体温度层导致制品烧制的上下温度不一致。

(3) 影响窑炉内气氛状态的主要有传热过程和制品的变化

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

窑炉的气氛主要分成氧化、还原和中性气氛 3 种，是通过测量气体中的 CO 来确定的。窑炉内的燃烧系统是由是一个一个独立的烧嘴组成的，每个烧嘴燃烧所形成的气氛状态都是不同的。传热过程中的气体流动导致不同温度气体的混合，同时也导致了不同 CO 含量气体的混合。制品的变化主要是指在烧制过程中，制品发生的一系列复杂化学物理变化对窑内空气 CO 含量的影响，如有机物的燃烧，坏制品同 CO 反应等。

(4) 影响窑炉内传动状态的是物料运动

辊道窑的辊子传动状态主要决定于外部 PLC 对变频器的控制输入。窑炉内部的温度、压力和气氛对其的影响不大，但不排除坏制品掉落或卡在辊道之间而影响币常传动的情况。对辊道窑的传动状态的控制有两个方面，一方面通过传感器探测辊子是否运行故障，即转动否；另一方面如果正常转动，再通过一个测速传感器对辊子的转速采样测量

综上所述，辊道窑生产过程是一个非线性，高耦合的系统。影响制品最后烧成质量的五个过程，四个因素相互关联，相互影响。

2.1.2 陶瓷辊道窑系统的组成

陶瓷辊道窑系统包括传动系统、燃烧系统和自动控制系统三个系统。

(1) 传动系统

传动系统采用 45° 螺旋斜齿轮传动方式。每三个窑段为一传动组，每组由一台减速电机带动，由变频器调节速度。当发生堵窑事故需处理时，事故前的辊棒可以调成往返摆动，事故后的辊棒可继续将砖坯送至窑出 1：3，这样设计可以将事故缩到最小范围。整个传动系统简捷、规整，这种传动方式运行平稳可靠、调整简单、维修量小。螺旋斜齿轮传动都采用油浴润滑，润滑效果好、磨损少、使用寿命长。辊道窑传动系统原理图如图所示

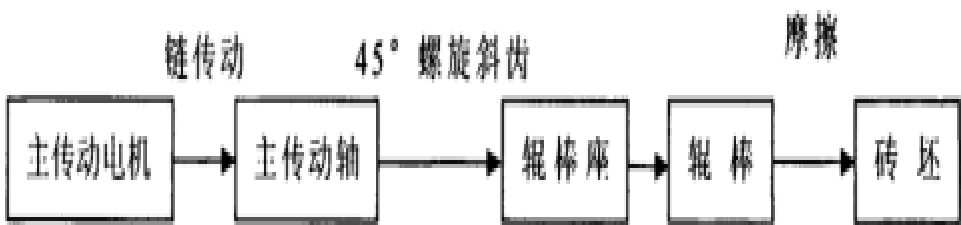


图 6

由于辊道窑的陶瓷辊棒在高于 700° C 的窑温下必须处于转动状态，否则辊棒会弯曲，

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

实际生产中遇有停电现象时主传动电机停止工作，这时传动系统就要采取应急驱动。应急驱动是一台小型柴油发电机(用户自备)，在正常情况下，发电机并联在窑炉的电控系统中，处于备用状态。停电时，要求在 30 秒内启动挂电机，同样在启动后 30 秒内转换到窑炉上(转换装置用户自备)，主传动电机工作，辊棒继续转动。

(2) 燃烧系统

燃烧系统即温度系统，一般为小流量多烧嘴系统，以达到窑内温度均匀和调节方便的目的，烧嘴在窑段两侧辊子中心上下交错布置。水平安装，烧嘴喷出的火焰产生横向射流，使窑内气体充分搅动均匀混合，最终达到窑内断面温度均匀之目的。辊道窑燃烧系统现场图如图

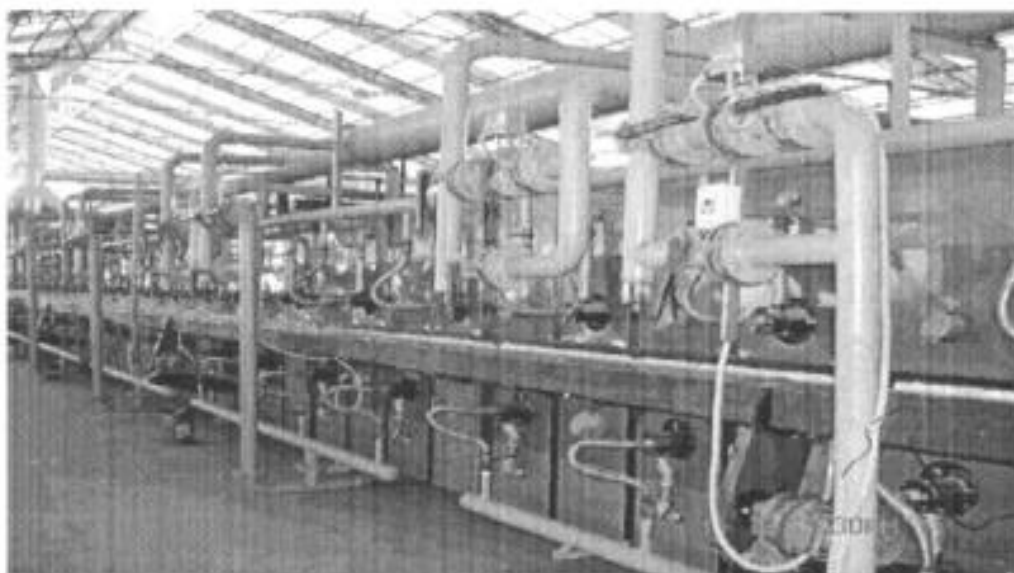


图 7

(3) 自动控制系统

自动控制系统实现陶瓷辊道窑的温度、压力、传动等控制。如图所示，每个温度控制组分为辊道上下两个单回路温度控制单元，每个单元由一个温度调节器、一个电动执行器和燃气控制阀、一支热电偶及若下个烧嘴组成。在控制组之间的窑膛内设有马弗板和马弗墙，马弗板与辊子的间距可根据需要设定，增加了温度控制的易调性和控制区温度的均匀性。在窑的关键部位设置窑压表，随时可以监测窑内压力变化。另外设有巡检

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

仪。可以巡检前后窑的温度。燃烧系统中的助燃空气风压一经确定后，一般将不再改变，窑温主要是通过调节燃气量的大小来调节。

2.2 陶瓷辊道窑烧成制度的控制系统组成

陶瓷生产过程中对产品品质起决定性作用的是烧成工序，烧成过程中要有一定的温度、气氛和压力变化，以保证坯体的物理化学变化过程正常进行，这就是温度制度、气氛制度和压力制度。

陶瓷辊道窑控制水平的高低就体现在能否最好的满足各个制度要求并实现系统的优化(节能高效)。简单地说，温度制度就是炉内一些关键点的温度符合相应的烧成曲线要求；气氛制度保证窑炉内烧成部分的氧化或还原气氛，依据是相应工艺要求；压力制度使窑内气体流动通畅，同时也是气氛制度的重要保证，一般窑炉内两头(窑头窑尾)为微负压，中间为微正压。系统主要控制对象是窑炉内相应检测点温度、压力及氧含量。在满足工艺要求条件下，进行燃烧优化实现节能并提高制品品质。

陶瓷辊道窑烧成制度的控制系统主要有陶瓷辊道窑温度控制子系统、陶瓷辊道窑压力控制子系统、陶瓷辊道窑氧化气氛控制子系统和陶瓷辊道窑速度控制子系统等组成。

2.2.1 陶瓷辊道窑温度控制子系统组成

温度制度决定制品质量，辊道窑是典型大滞后、大时间常数的近似一阶系统。沿窑炉纵向分布十几个温度测点，每点温度设定值由烧成曲线得出，控制目标是使温度测量值与设定值吻合且波动很小，温度的测量值由专门的现场总线温度变送器。在满足其它工艺条件下，温度控制越好陶瓷制品质量越高(能提高优等品率)。温度控制须从整体考虑，原系统每个PID温控仪表仅对一个工位点对应的8个燃气阀门进行控制，10几个温控仪表各自控制相应工位点对应燃气阀门，未考虑燃烧时各个工位点(尤其是相邻的)之间的影响，控制效果不理想，经常会出现一些油嘴阀门开到最大，温度却升小到设定值，而有些燃气阀门开得很小，温度却降不下来。因此系统在控制温度时在每个回路中，将相邻工位点的温度作为前馈引入，陶瓷辊道窑控制子系统如图

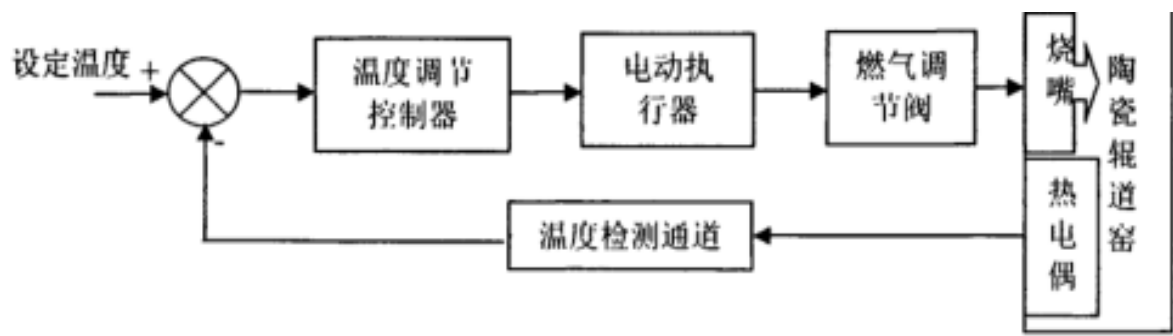
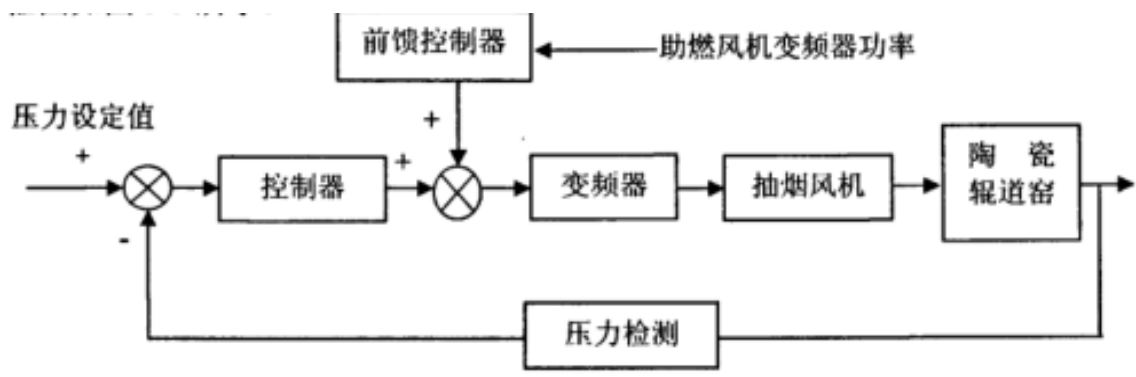


图 8

2.2.2 陶瓷辊道窑压力控制子系统组成

陶瓷辊道窑炉内压力控制保证温度制度实施，同时影响炉内气氛。窑炉的压力检测，工人凭经验调节风机挡板改变风量，效果不好，产品质量波动很大，引入压力控制有很强现实意义。在窑头附近零压力点安装压力传感器，通过压力变送器将信号测得，实现压力监测。通过改变与各个风机相连变频器的功率大小，增大或减小相应风机功率影响检测点压力大小。陶瓷辊道窑压力子控制系统组成如图



雾化风机送出雾化风必须满足一定风压要求，使燃油变成极细油雾，与助燃空气充分混合后燃烧，雾化风风压大，流量小，对炉内压力影响较小。助燃风机送出助燃风，提供燃烧所需空气，风压较小，流量大，风机功率增加，窑炉内压力增加；功率减小，压力减小。抽烟风机从窑头抽走窑炉内废烟气，保证气流通畅，风机功率增大，窑炉内压力减小，相反，压力增大。通过控制相应风机变频器实现压力控制。变频器功率为 37kW 两根信号线控制，控制电流为 4—20mA 通过 D/A 模块改变电流大小，电流信号控制变频器工作功率，一者呈线性关系，4mA 代表功率为零，20mA 代表功率最大即 100%，实践中得到较好控制效果。

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

2.2.3 陶瓷辊道窑氧化气氛控制子系统组成

窑炉制品一般用氧化气氛烧成，一般情况下为保证氧化完全通常将助燃给得很大，超过所需用量，所以能耗很大。为此，在零压点附近安装氧化锆，对炉内氧含量进行检测，利用变频器控制助燃风机功率实现对氧含量控制，即引入抽烟风机功率作为前馈，回路结构及控制方一案与压力控制类似。在保证温度、压力、气氛制度情况下，对窑炉燃烧系统进行优化，实现佳风油比，即助燃风和燃油比例，使得燃油消耗最小。若空气不足，燃料小全燃烧，造成燃油损失；空气过量(超过最佳值)，会降低燃烧产物的温度，降低被加热物传热速率，增加排烟热损失，增加油耗。一般用过剩空气系数衡量油比，实际应用中公式近似为：空气过剩系数 $a=21\% / (21\% \text{氧含量})$ ， a 为 1.1~1.3 比较合适，对应氧含量为 1.5%~5%。优化算法是在一定约束下，进行最氧含量搜索，用变频器实现风机控制，达到最佳风油比，满足优化日标函数。陶瓷辊道窑氧化气氛控制子系统组成框图如图

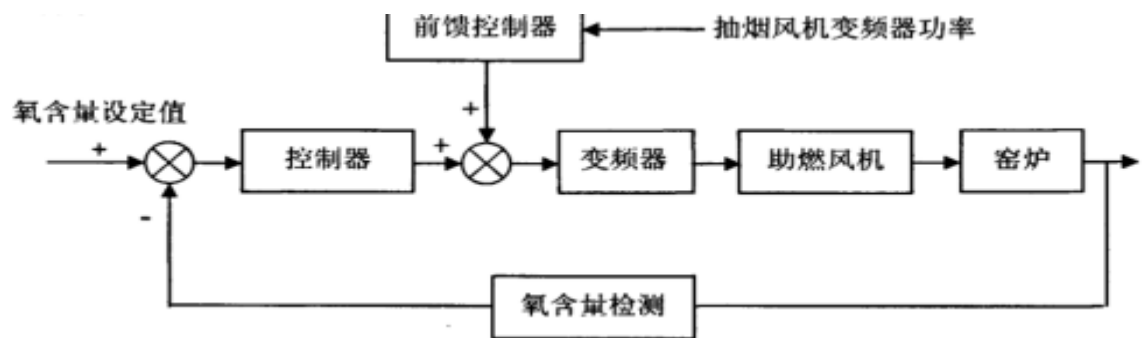


图 10

2.2.4 陶瓷辊道窑速度控制子系统组成

瓷砖的烧制一方面与窑炉各控制点的温度高低有关，另一方面与瓷砖经过窑炉传输带送入窑炉全过程的时间长短有关。换句话说，这与砖坯在整个窑炉中吸热量的多少有关。原有的旧式辊道窑传输带靠异步电动机通过减速齿轮箱实行传输或采用滑差电动机实行无级调速。这两方式都没有实施对窑炉传输带的自动调节，传输带的速度受到交流电网电压波动和传输带负载变化的直接影响，因此在生产过程中传送带的速度波动大，人工无法实施调节，严重影响到磁砖的生产质量和成品率。而今采用“控制器—变频调节装置—测速机”组成的窑炉传输带闭环调速系统将实现对窑炉传输带的速度自动控制，陶瓷辊道窑速度控制子系统组成框图如图

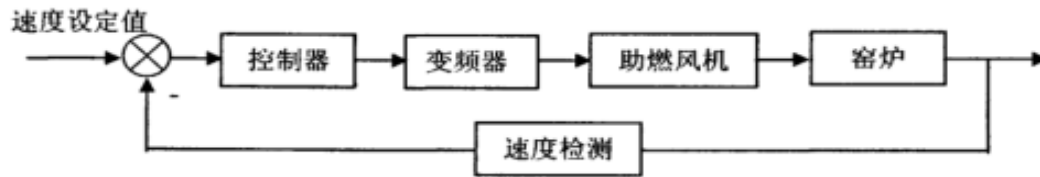


图 11

该调速系统将实现对交流电网电压波动和负载波动干扰自动调节，达到传输带速度静态偏差为零、动态超调最小、过渡过程恢复快的品质指标。

该变频调速系统还可实现传输带软启动，防止通常交流电动机启动时二十多倍启动电流冲击。该变频调速系统还能在出现窑炉堵塞故障时前段传输带变频调速器停转、中段传输带(窑炉加热烧成段)自动定时来回正反转，以防止辊道瓷管停转出现温度过高而烧毁以及后段传输带连续运转把积压瓷砖及时送出窑炉。

2.3 陶瓷辊道窑控制系统要求与设计原则

2.3.1 控制系统的性能要求

(1) 整个辊道窑控制系统要求具备良好的通信能力，能够将数量众多的传感器、执行器、检测仪表和上位机组建成网。既能传输各种现场数据、状态参数以及故障信息，又能将各种控制、维护命令发送到控制现场。最长的辊道窑可达 300m，要求控制网络的直接通信距离至少不短于 1km。

(2) 辊道窑生产工艺复杂，要求所设计的控制系统具有良好的开放性和扩展性，能根据不同的生产状况加载不同的功能模块。

(3) 辊道窑网络化控制系统工作在高温，多尘，嘈杂的恶劣环境中，还要面临工业生产的各种强电磁干扰，要求系统具有良好的抗干扰能力，能适应这类恶劣的工作环境。

(4) 辊道窑控制系统是一种分布式实时系统，有些单个任务要求周期性的执行，有些多个任务要求统一调度执行，且相互之间在时间上严格互锁。要求网络具有良好的实时性。

3 陶瓷辊道窑控制系统的设计

3.1 陶瓷辊道窑控制结构

陶瓷窑炉根据工艺控制要求，需要对陶瓷辊道窑窑内的温度进行严格的控制，陶瓷辊道窑炉窑温度控制系统的示意图如图 12 所示，图中有是针对一个陶瓷窑炉进行控制，分别设置有启动、停止和急停的按钮开关，同时还设有总启动和总停止按钮。要求设计满足下述控制要求的程序。

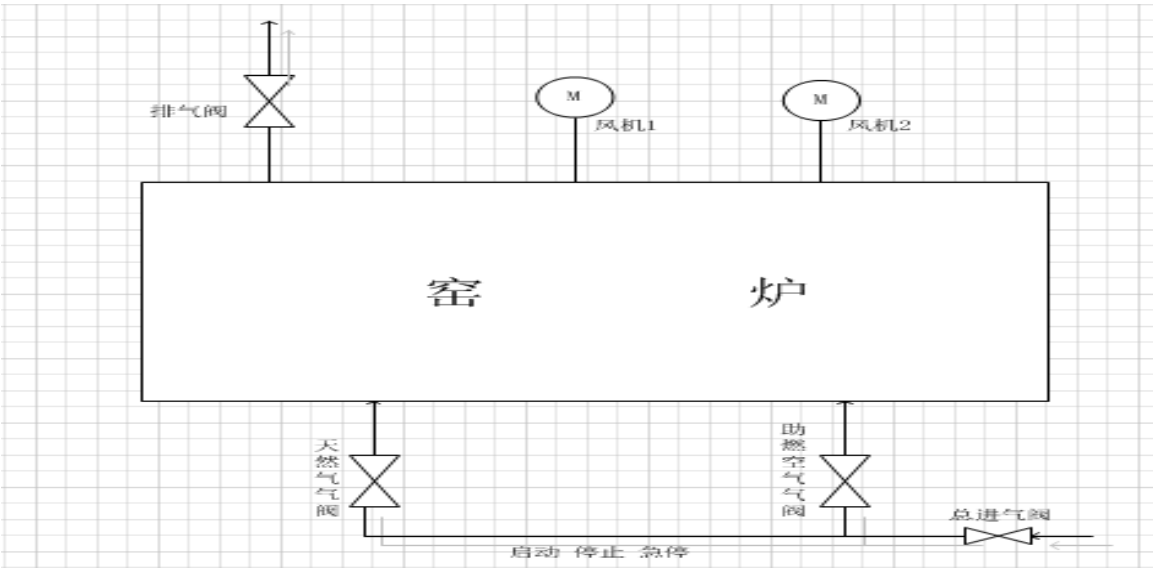


图 12 陶瓷辊道窑温度控制结构示意图

3.2 控制要求

（1）系统总的控制过程

按下总启动按钮后，允许两个炉窑按照各自的控制要求运行，如果按下总停止按钮，则禁止系统运行。

（2）每个炉窑具体的控制要求如下：

- ①按下启动按钮，启动风机电机，使炉窑内的热气流循环；
- ②打开进气阀，使热气流（蒸汽）进入炉窑；
- ③经过一定时间的恒温控制（如 10h），关闭进气阀。
- ④打开排气阀，排出热气流；
- ⑤按下停止按钮，则关闭风机，延时 10s 后关闭排气阀；
- ⑥按下急停按钮，禁止各窑输出控制（即关闭风机电机、排气阀、进气阀）；

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

- ⑦每个炉窑的进气阀只有在总进气阀打开 5s 后才能打开；
- ⑧只要一个炉窑的进气阀需要排气，就要打开总排气阀；
- ⑨每个炉窑通过一只热敏电阻进行温度检测。

（3）系统组成总体结构

根据本次设计系统具体指标要求，可以对每一个具体部分进行分析设计。整个控制系统分为硬件设计和软件设计两部分。

系统硬件框图如下图所示：整个控制系统是一个相对联系的结合体，但是又可以分开讨论。当被控对象为炉内温度，温度传感器检测炉内的温度信号，经变送器将温度值转换成电信号送入 PLC 模块。PLC 将这个测量信号与设定值比较得到偏差，经 PID 运算后，发出控制信号，经电动调节阀的控制，达到温度的恒温控制，下面为温度控制流程图：

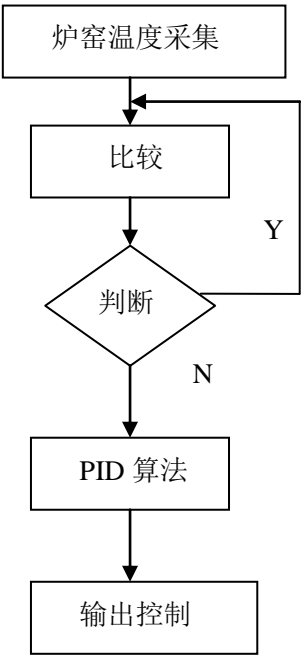


图 13 炉窑温度控制系统流程图

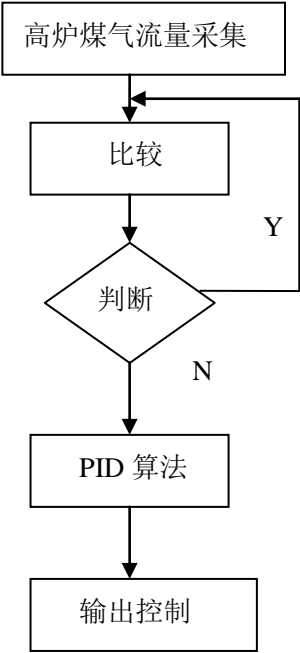


图 14 高炉煤气流量控制系统流程图

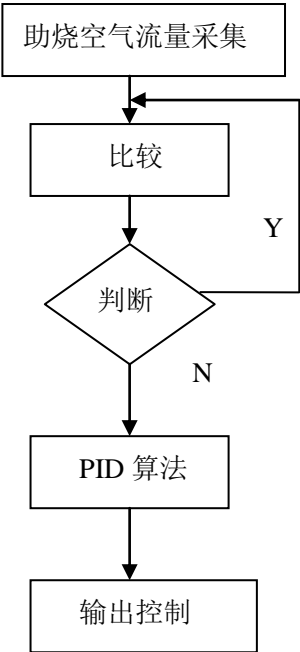


图 15 助烧空气流量控制系统流程图

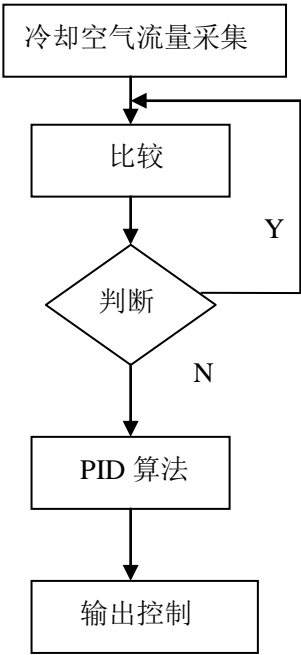


图 16 冷却空气控制系统流程图

流程图是流经一个系统的信息流、观点流或部件流的图形代表。在企业中，流程图主要用来说明某一过程。这种过程既可以是生产线上的工艺流程，也可以是完成一项任务必需的管理过程。

流程图作为一种直观的图形，对准确了解事情是如何进行的，以及决定应如何改进过程极有帮助。画出正确的流程图不仅可以帮我们直观的分析设计的过程，也能让我们更清楚明了的看见控制系统运作方向。

炉窑温度控制系统流程图如下所示：

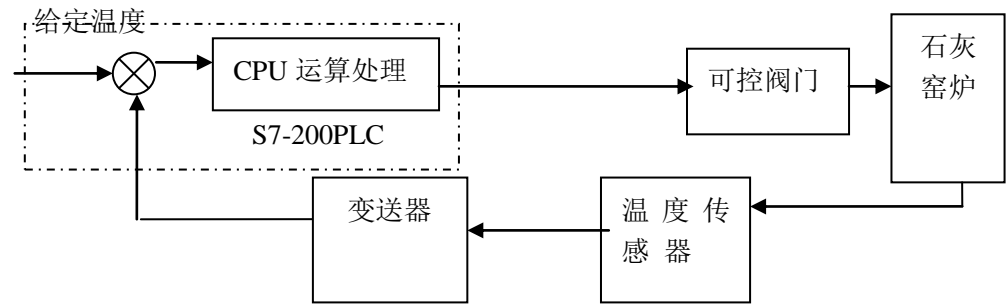


图 17 温度系统硬件框图

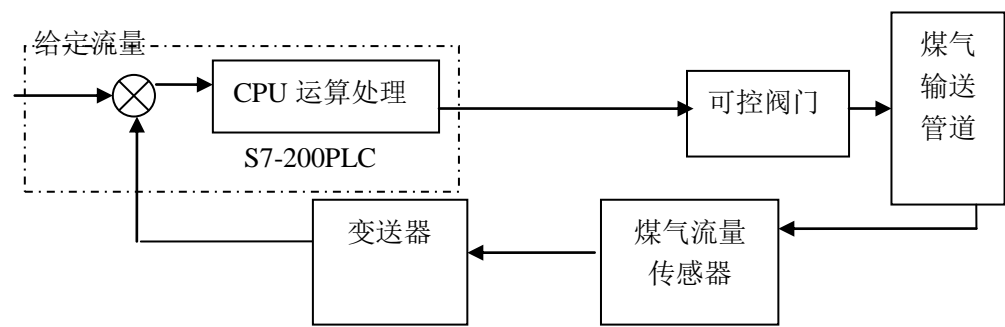


图 18 高炉煤气系统硬件框图

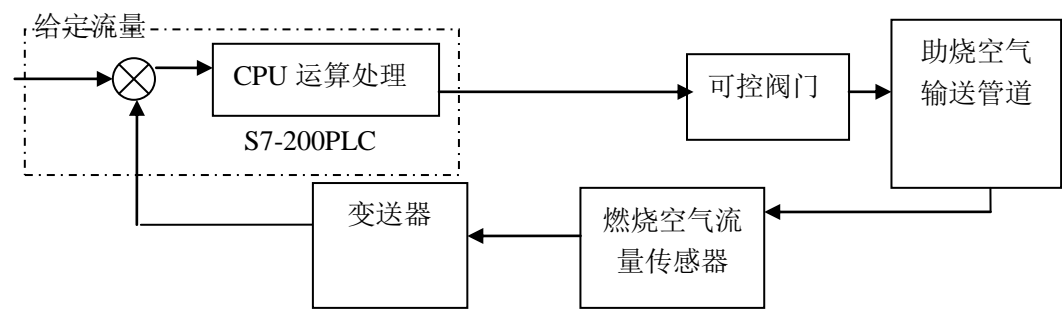


图 19 燃烧空气系统硬件框图

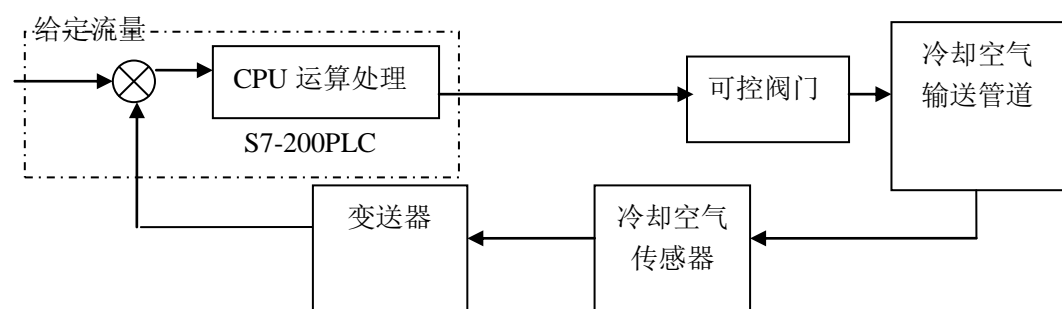


图 20 冷却空气系统硬件框图

3.3 炉窑内的温度控制

炉窑内的温度控制通常采用模糊控制算法或 PID 算法。本设计要求采用 PID 算法，每个炉窑的进气阀采用电动阀（模拟量输出），通过调节电动阀门的开度来调节助燃气体和空气进气量，完成恒温控制。

3.4 系统硬件设计

3.4.1 选取 PLC 的类型及容量

S7-200 系列 PLC 是由德国西门子公司生产的一种超小型系列可编程控制器，它能够满足多种自动化控制的需求，其设计紧凑，价格低廉，并且具有良好的可扩展性以及强大的指令功能，可代替继电器在简单的控制场合，也可以用于复杂的自动化控制系统。由于它具有极强的通信功能，在大型网络控制系统中也能充分发挥作用。

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

S7-200 系列可以根据对象的不同, 可以选用不同的型号和不同数量的模块。并可以将这些模块安装在同一机架上。

控制核心采用西门子 PLC 的 CPU224, 提供数字量输入点数 14 点, 数字量输出点数 10 点(提供给扩展单元 DC5V 电流能力为 660mA), 完全满足系统的数字量和开关量输入输出点数的要求。CPU224 本身不具备模拟量输入和输出单元,

SiemensS7-200 主要功能模块介绍:

(1) CPU 模块 S7-200 的 CPU 模块包括一个中央处理单元, 电源以及数字 I/O 点, 这些都被集成在一个紧凑, 独立的设备中。CPU 负责执行程序, 输入部分从现场设备中采集信号, 输出部分则输出控制信号, 驱动外部负载. 从 CPU 模块的功能来看, CPU 模块为 CPU22*, 它具有如下五种不同的结构配置 CPU 单元: ①CPU221 它有 6 输入/4 输出, I/O 共计 10 点. 无扩展能力, 程序和数据存储容量较小, 有一定的高速计数处理能力, 非常适合于少点数的控制系统。②CPU222 它有 8 输入/6 输出, I/O 共计 14 点, 和 CPU 221 相比, 它可以进行一定的模拟量控制和 2 个模块的扩展, 因此是应用更广泛的全功能控制器。③CPU224 它有 14 输入/10 输出, I/O 共计 24 点, 和前两者相比, 存储容量扩大了一倍, 它可以有 7 个扩展模块, 有内置时钟, 它有更强大的模拟量和高速计数的处理能力, 是使用得最多 S7-200 产品。④CPU226 它有 24 输入/16 输出, I/O 共计 40 点, 和 CPU224 相比, 增加了通信口的数量, 通信能力大大增强。它可用于点数较多, 要求较高的小型或中型控制系统。⑤CPU226XM 它在用户程序存储容量和数据存储容量上进行了扩展, 其他指标和 CPU226 相同。

(2) 开关量 I/O 扩展模块 当 CPU 的 I/O 点数不够用或需要进行特殊功能的控制时, 就要进行 I/O 扩展, I/O 扩展包括 I/O 点数的扩展和功能模块的扩展。通常开关量 I/O 模块产品分 3 种类型: 输入模块, 输出模块以及输入/输出模块。为了保证 PLC 的工作可靠性, 在输入模块中都采用提高可靠性的技术措施。如光电隔离, 输入保护(浪涌吸收器, 旁路二极管, 限流电阻), 高频滤波, 输入数据缓冲器等。由于 PLC 要控制的对象有多种, 因此输出模块也应根据负载进行选择, 有直流输出模块, 交流输出模块和交直流输出模块。按照输出开关器件种类不同又分为 3 种: 继电器输出型, 晶体管输出型和双向晶闸管输出型。这三种输出方式中, 从输出响应速度来看, 晶体管输出型最快, 继电器输出型最差, 晶闸管输出型居中; 若从与外部电路安全隔离角度看, 继电器输出型最好。在实际使用时, 亦应仔细查看开关量 I/O 模块的技术特性, 按照实际情况进行选择。

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

由于本系统是单回路的反馈系统，CPU224XP 相比与其他型号具有更好的硬件指标，其上自带有模拟量的输入和输出通道，因此节省了元器件的成本，CPU224XP 自带的模拟量 I/O 规格如表：

表 2.1 模拟量 I/O 配置表

I/O 信号 \ 信号类型	电压信号	电流信号
模拟量输入*2	$\pm 10V$	/
模拟量输出	$0\sim 10V$	$0\sim 20mA$

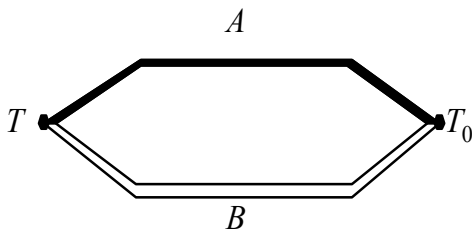
CPU224XP 自带的模拟量输入通道有 2 个，模拟量输出通道 1 个。

在 S7-200 中，单极性模拟量的输入/输出信号的数值范围是 $0\sim 32000$ ，双极性模拟信号的数值范围是 $-32000\sim +32000$

3.4.2 温度传感器的选择

在此设计中，炉窑窑顶安装两个热电偶传感器进行炉内温度采集。按照测温的范围，选择热电偶传感器。热电偶传感器的测量范围为 $-50^{\circ}C\sim 1600^{\circ}C$ ，精度为 $\pm (1\%\sim 5\%)$ 。1 号炉和 2 号炉的温度分别由两个热敏电阻传感器进行采集。按照测温的范围，选择热敏电阻传感器。

热敏电阻：由具有很高电阻温度系数的固体半导体材料构成的热敏类型的温度检测元件。热敏电阻器是敏感元件的一类，按照温度系数不同分为正温度系数热敏电阻（PTC）和负温度系数热敏电阻器（NTC）。热敏电阻器的典型特点是对温度敏感，不同的温度下表现出不同的电阻值。正温度系数热敏电阻器（PTC）在温度越高时电阻值越大，负温度系数热敏电阻器（NTC）在温度越高时电阻值越低，它们同属于半导体器件。热电偶温度传感器的工作原理：两种不同的金属 A 和 B 构成闭合回路，当两个接触端 $T > T_0$ 时，则在该回路中就会产生电动势，这种现象称为热电效应，该电动势称为热电势。这两种不同材料的导体或半导体的组合称为热电偶，导体 A、B 称为热电极。两个接点，一个称热端，又称测量端或工作端，测温时将它置于被测介质中；另一个称冷端，又称参考端或自由端，它通过导线与显示仪表相连。



景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

图 21 热电偶传感器

热电偶是一种感温元件，是一种仪表。它直接测量温度，并把温度信号转换成热电动势信号，通过电气仪表（二次仪表）转换成被测介质的温度。热电偶测温的基本原理是两种不同成份的材质导体组成闭合回路，当两端存在温度梯度时，回路中就会有电流通过，此时两端之间就存在电动势——热电动势，这就是所谓的塞贝克效应(Seebeck effect)。两种不同成份的均质导体为热电极，温度较高的一端为工作端，温度较低的一端为自由端，自由端通常处于某个恒定的温度下。根据热电动势与温度的函数关系，制成热电偶分度表；分度表是自由端温度在 0℃时的条件下得到的，不同的热电偶具有不同的分度表。

热电偶传感器的测量范围大（-200℃~1300℃，特殊情况下-270℃~2800℃）；机械强度高，耐压性能好；耐高温可达 2800 度；装配简单，更换方便；压簧式感温元件，抗震性能好。所以窑炉温度控制采用热电偶传感器能到达较高精度，对烧制陶瓷成品率有所提高。

3.4.3 流量传感器的选择

流量传感器是对进入养护炉空气流量的检测部件，在此论文中选择法兰式 V 锥流量传感器 FFM61S。

工作原理：V 锥流量计是由 V 锥传感器和差压变送器组合而成的一种差压流量计，可精确测量雷诺数（ $8 \times 10^3 \leq Re \leq 5 \times 10^7$ ）范围内各种介质的流量。

其测量理论是：由于实际流体都具有粘性，不是理想流体，当其在管道中流动时，在充分发展管内流动的前提下，具有层流和紊流两种流动状态。根据连续流动的流体能量守恒原理和伯努力方程：对于以层流状态流动的流体，其流速分布是以管道中心线为对称的一个抛物面，流体通过一定管道的压力降与流量成正比；对于紊流状态流动的流体，其流速分布是以管道中心线为对称的一个指数曲面，流体通过一定管道的压力降与流量的平方成正比。

3.4.3 控制开关及电动机的选择

电动调节阀是工业自动化过程控制中的重要执行单元仪表。随着工业领域的自动化程度越来越高正被越来越多的应用在各种工业生产环节中。与传统的气动调节阀相比具有明显的优点，节电，环保，安装便捷。

可控阀门是对进出炉窑内空气流量的控制部件，在此论文中选择电动调节阀。

风机电动机的额定功率 22Kw，额定电压 380V，额定电流 7A，额定转速 1450rpm。电机使气流在炉窑内循环，因此应该考虑其功率和电流的大小，所以选择 YC YCL 系列的电

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

动机。

3.4.4 控制开关及电动机的选择

电动调节阀是工业自动化过程控制中的重要执行单元仪表。随着工业领域的自动化程度越来越高正被越来越多的应用在各种工业生产领域中。与传统的气动调节阀相比具有明显的优点，节电，环保，安装便捷。

可控阀门是对进出炉窑内空气流量的控制部件，在此论文中选择电动调节阀。

风机电动机的额定功率 22Kw，额定电压 380V，额定电流 7A，额定转速 1450rpm。电机使气流在炉窑内循环，因此应该考虑其功率和电流的大小，所以选择 YC YCL 系列的电动机。

第 4 章 基于 PLC 的陶瓷辊道窑模糊控制

输入/输出信号在 PLC 接线端子上的地址分配是进行 PLC 控制系统设计的基础。对软件来说，I/O 地址分配以后才可进行编程；对控制柜及 PLC 的外围接线来说，只有 I/O 地址确定以后，才可以绘制电气接线图、装配图，让装配人员根据线路图和安装图安装控制柜。

4.1 系统各元件对应的 I/O 地址

根据设计任务书所给资料和设计任务要求，现把各元器件对应的 I/O 地址列在下表：
I/O 地址分配表

名称	代码	地址编号	名称	代	地址编号
总启动按钮	SF1	I0.0	助燃空气气阀	—	AIW1
总停止按钮	SF2	I0.1	排气阀	—	AQW0
窑炉急停	SF3	I0.2	天然气气阀	—	AIW0
风机 1 启动	SF5	I0.4	总进气阀	—	AIW2
风机 2 启动	SF6	I0.5	风机 1	MB1	Q0.0
风机 1 停止	SF7	I0.6	风机 2	MB2	Q0.1
风机 2 停止	SF8	I0.7	窑炉	MB3	Q0.2

4.2 软件系统的设计

4.2.1 S7—200 软件的介绍

S7—200 PLC 编程软件是由西门子公司专为 S7-200 系列 PLC 设计开发，它功能强大，主要为用户开发控制程序使用，例如创建用户程序、修改和编辑原有的用户程序，编辑过程中编辑器具有简单语法检查功能。同时它还有一些工具性的功能，例如用户程序的文档管理和加密等。此外，还可直接用软件设置 PLC 的工作方式、参数和运行监控等。

程序编辑过程中的语法检查功能可以提前避免一些语法和数据类型方面的错误。梯形图中的错误处的下方自动加红色曲线，语句表中错误行前有红色叉，且错误处的下方加红色曲线。

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

软件功能的实现可以在联机工作方式（在线方式）下进行，部分功能的实现也可以在离线工作方式下进行。

联机方式：有编程软件的计算机与 PLC 连接，此时允许两者之间做直接通信。

离线方式：有编程软件的计算机与 PLC 断开连接，此时能完成大部分基本功能。如编程、编译和调试程序系统组态等，但所有的程序和参数都只能存放在计算机上。

两者的主要区别是：联机方式下可直接针对相连的 PLC 进行操作，如上载和下载用户程序和组态数据等；而离线方式下不直接与 PLC 联系，所有程序和参数都暂时存放在磁盘上，等联机后在下载至 PLC 中。

4.3 系统 PID 算法及仿真

4.3.1 PID 算法的简介

在工程实际中，应用最为广泛的调节器控制规律为比例、积分、微分控制，简称 PID 控制，又称 PID 调节。PID 控制器问世至今已有近 80 年历史，它以其结构简单、稳定性好、工作可靠、调整方便而成为工业控制的主要技术之一。当被控对象的结构和参数不能完全掌握，或得不到精确的数学模型时，控制理论的其它技术难以采用时，系统控制器的结构和参数必须依靠经验和现场调试来确定，这时应用 PID 控制技术最为方便。即当我们不完全了解一个系统和被控对象，或不能通过有效的测量手段来获得系统参数时，最适合用 PID 控制技术。PID 控制，实际中也有 PI 和 PD 控制。PID 控制器就是根据系统的误差，利用比例、积分、微分计算出控制量进行控制的。

比例（P）控制：比例控制是一种最简单、最常用的控制方式。其控制器的输出与输入误差信号成比例关系。当仅有比例控制时系统输出存在稳态误差（Steady-state error）。

积分（I）控制：在积分控制中，控制器的输出与输入误差信号的积分成正比关系。对一个自动控制系统，如果在进入稳态后存在稳态误差，则称这个控制系统是有稳态误差的，或简称有差系统（System with Steady-state Error）。为了消除稳态误差，在控制器中必须引入“积分项”。积分项对误差取决于时间的积分，随着时间的增加，积分项会增大。这样，即便误差很小，积分项也会随着时间的增加而加大，它推动控制器的输出增大使稳态误差进一步减小，直到等于零。因此，比例+积分（PI）控制器，可以使系统在进入稳态后无稳态误差。

微分（D）控制：在微分控制中，控制器的输出与输入误差信号的微分（即误差的变

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

化率）成正比关系。自动控制系统在克服误差的调节过程中可能会出现振荡甚至失稳。其原因是由于存在有较大惯性组件（环节）或有滞后(delay)组件，具有抑制误差的作用，其变化总是落后于误差的变化。解决的办法是使抑制误差的作用的变化“超前”，即在误差接近零时，抑制误差的作用就应该是零。这就是说，在控制器中仅引入“比例”项往往是不够的，比例项的作用仅是放大误差的幅值，而目前需要增加的是“微分项”，它能预测误差变化的趋势，这样，具有比例+微分的控制器，就能够提前使抑制误差的控制作用等于零，甚至为负值，从而避免了被控量的严重超调。所以对有较大惯性或滞后的被控对象，比例+微分(PD)控制器能改善系统在调节过程中的动态特性。

4.3.2 模糊 PID 控制设计

(1) 控制方式

模糊自整定 PID 参数控制系统如图 2 所示。图 2 中主要由参数可调整 PID 和模糊控制器两部分组成。参数可调整 PID 完成对被控对象的控制；模糊控制器采用二输入三输出结构，以偏差和偏差变化率为输入量，以 PID 的参数 K_P ， K_I 和 K_D 为输出量，利用模糊控制器模糊推理的方法对 PID 参数 K_P ， K_I 和 K_D 进行在线自整定，以满足不同的和对系统控制的要求，使被控制对象具有良好的动态和静态性能。

(2) 模糊子集及隶属度

取系统偏差和偏差变化率为模糊控制器的输入量，参数 K_P ， K_I 和 K_D 为模糊控制器的输出量，其各模糊子集如下：

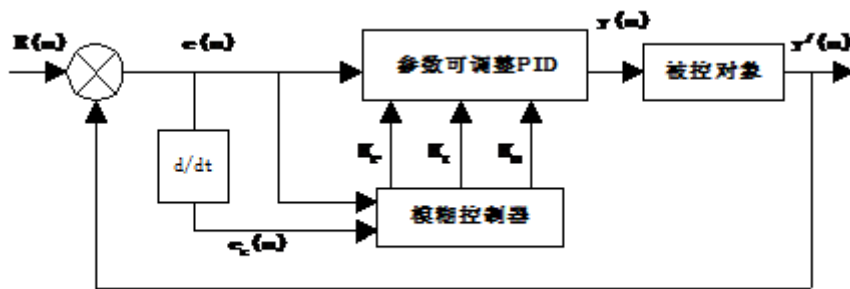


图2 模糊自整定PID参数控制系统框图

$$e(n): E = \{NB, NM, NS, NE, PS, PM, PB\}$$

$$e(n): EC = \{NB, NM, NS, NE, PS, PM, PB\}$$

$$K_P: U_P = \{NE, PS, PM, PB\}$$

$$K_I: U_I = \{NE, PS, PM, PB\}$$

$$K_D: U_D = \{NE, PS, PM, PB\}$$

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

式中：NB，NM，NS，NE，PS，PM，PB 分别为负大，负中，负小，零，正小，正中，正大。

依据炉窑的实际工作情况和操作经验，选取各输入量和输出量论域为：

$e(n)$ 属于 $[-20, 20]$ ， $e(n)$ ：属于 $[-3, 3]$ ， K_p 属于 $[0, 30]$ ， K_i 属于 $[0, 15]$ ， K_d 属于 $[0, 10]$ 。将各输入量与输出量分别进行线性化尺度变换，得各量的模糊论域为： E 属于 $[-6, 6]$ ， EC 属于 $[-6, 6]$ ， K_p 属于 $[0, 6]$ ， K_i 属于 $[0, 6]$ ， K_d 属于 $[0, 6]$ 。

模糊控制器在 PLC 中只能以查模糊控制作用表的方式实现，且取有限精度。 E 与 EC 取 13 级， K_p ， K_i 和 K_d 取 7 级。

各模糊子集在相应基本论域上隶属函数可按正态分布

$$u(x) = e^{-\frac{x-\chi_0}{2\delta^2}} \quad \text{-----} \quad (2)$$

式中： χ_0 为输入量标准值； x 为输入量； δ 为数据的标准差。

由此得到模糊输入变量 E ， EC 和输出变量 U_p ， U_i 和 U_d 的隶属度赋值如表 1 和表 2 所示。

表 1 模糊输入变量 E，EC 的隶属度赋值													
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
NL	1.0	0.7	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NM	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0
NS	0	0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0	0	0	0	0	0
NE	0	0	0	0	0.3	0.7	1.0	0.3	0	0.3	0	0	0
PS	0	0	0	0	0	0	0.3	1.0	0.7	1.0	0.7	0	0
PM	0	0	0	0	0	0	0.3	0.7	0.7	1.0	1.0	0.7	0.3
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.7	1.0

表 2 模糊输出变量 U_p ， U_i ， U_d 的隶属度幅值							
	0	1	2	3	4	5	6
ZE	1.0	0.5	0.1	0	0	0	0
PS	0.1	0.7	1.0	0.6	0.1	0	0
PM	0	0	0.1	0.7	1.0	0.6	0.1
PB	0	0	0	0	1.0	0.7	0.1

(2) 模糊控制规则

根据系统响应，在控制过程中对于不同的系统偏差 和偏差变化率 的模糊量化值 E 和 EC ，归纳 PID 参数 K_P ， K_I 和 K_D 的模糊控制规则如下：

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

1. 系统启动瞬间， 为最大， 为零， 为加快系统的响应速度， 应取较大的 K_P 和较小的 K_D ；为防止因 的瞬间变大可能引起的积分溢出，取 $K_I = 0$ ，语言规则为：if is PB and is ZE then K_P is PB , K_I is ZE, K_D is PS.

2. 当响应过程中期， 中等大小， 较大时， 为使系统静态误差尽快消除， 应取较大的 K_I ， 且适当增加 K_D 值； 为使超调小， K_P 值适当减小， 语言规则为： if is PM and is NB then K_P is PM, K_I is PB, K_D is PM.

3. 当响应接近规定输出值时， 很小而 较大， 为使系统响应的超调减小， 系统性能稳定， 应取较小的 K_P ， 较大的 K_D 和较大的 K_I 语言规则为： if is ZE and is NB then K_P is PS, K_I is PB, K_D is PB.

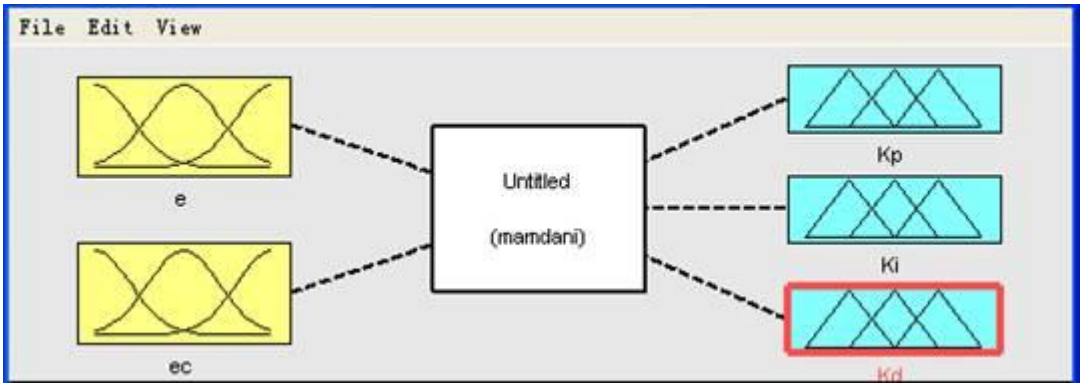
由以上规则和操作经验可以列出输出量 K_P , K_I 和 K_D 的模糊规则表，例如 K_P 控制规则表如表 3 所示

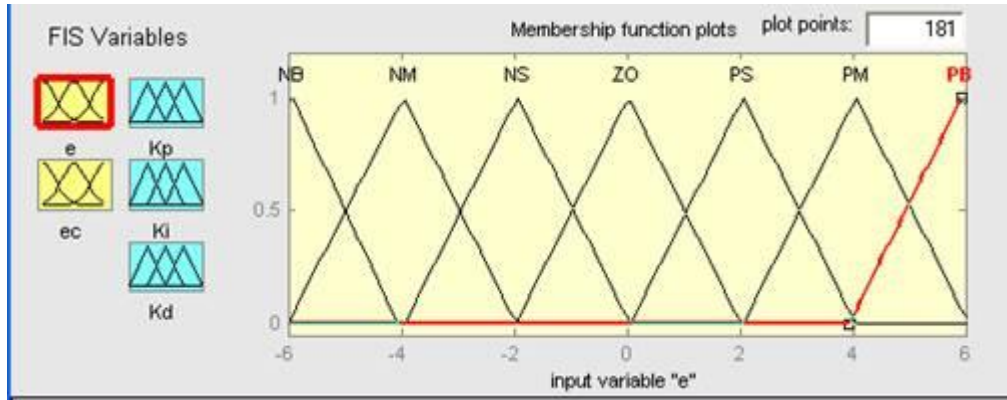
表 3 K_P 控制规则表

E							
E_C	NB	NM	NS	NE	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PS	PM	PB	PB
NM	PB	PB	PM	PS	PM	PB	PB
NS	PB	PS	PS	NE	PS	PM	PB
PE	PB	PM	PS	NE	PS	PM	PB
PS	PB	PM	PS	NE	PS	PM	PB
PM	PB	PM	PM	PS	PM	PB	PB
PB	PB	PM	PM	PS	PM	PB	PB

4. 4 利用 MATLAB 模糊逻辑工具设计模糊控制

在 MATLAB 命令窗口中键入 Fuzzy 进入模糊逻辑编辑窗口，确定模糊控制器的结构为两输入（ ， ）、三输出（ K_P , K_I 和 K_D ），并确定输入、输出名，如图 3 所示。打开隶属函数编辑器窗口，选择隶属函数的类型为三角隶属函数 trimf，根据输入、输出变量的模糊子集，选定要编辑变量图标，确定当前变量论域，最后对各变量的隶属函数标明其对应模糊子集的模糊语言值如图所示。

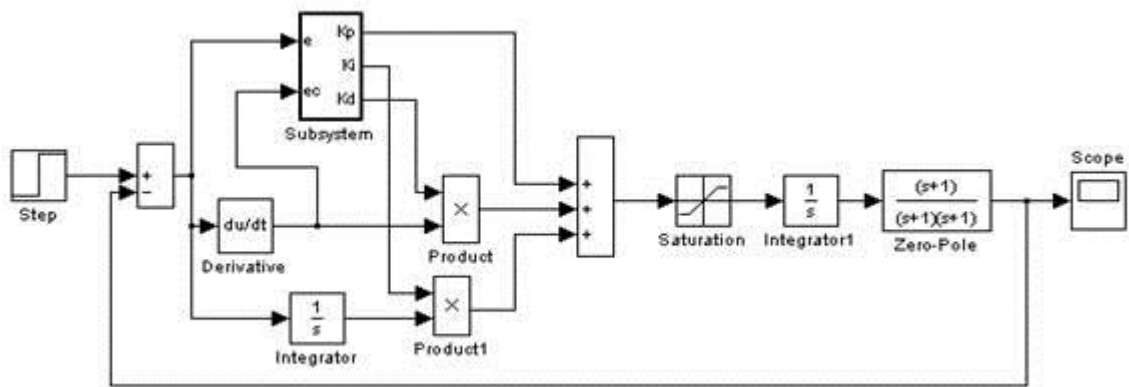




4.4.1 利用 SIMULINK 创建仿真框图

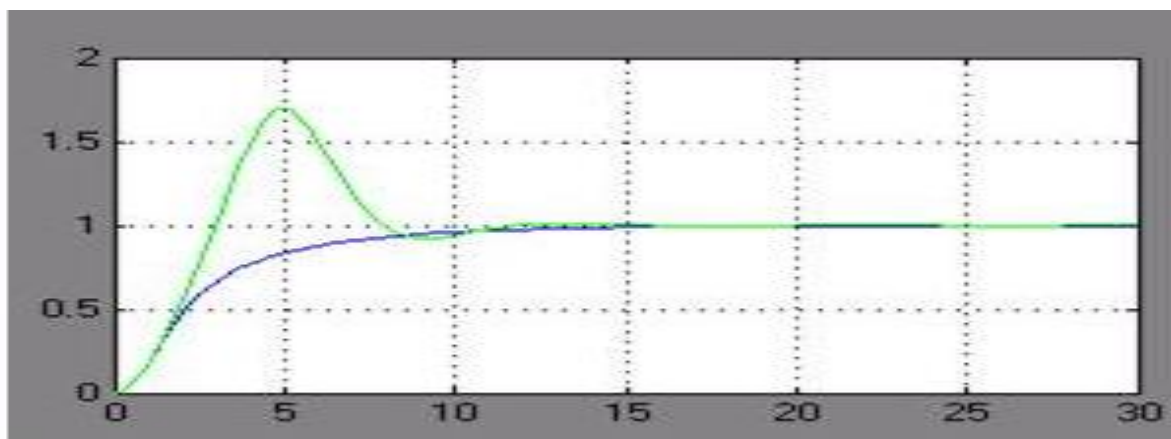
SIMULINK 是 MATLAB 中的一个用来对动态系统进行建模、仿真和分析的软件包。在 SIMULINK 环境下，建立如图所示相应的模糊自整定 PID 控制器的仿真模型，其中 Subsystem 子模块为模糊自调整机构。设被控对象的传递函数为：

$$G(s) = \frac{s+1}{(s+1)(s+1)} \quad (3)$$



4.4.2 仿真结果分析

仿真实验结果如下图所示。由仿真结果可知，基于模糊推理的 PID 控制器相比于传统 PID 控制器，由于模糊控制器能够根据系统偏差 和变化率 对 PID 的三个参数 KP，KI 和 KD 进行在线修正，所以得到的系统动态响应曲线较好，响应时间短，超调量小，稳态精度高；其中参数的 Fuzzy 在线自整定能有效抑制干扰和噪声，提高控制系统品质是有效的，特别是这种模糊自整定算法简单，所需控制时间短，也能够满足实时控制的要求。



可以看出，采用模糊自整定 PID 参数控制器很好的改善了温度控制系统的动态性能，取得了很好效果，烧制时实际温度曲线和设定温度曲线相接近。

5 结 论

本论文主要研究了陶瓷辊道窑控制系统的设计有关问题。从系统集成的角度深入研究了基于现场总线控制系统设计所涉及的关键技术，针对湖北省重大科技专项“高性能陶瓷窑炉装备关键技术开发及示范”，设计了 PLC 的控制方案，解决了工艺复杂、设备类型多样、I / O 点数多且分布分散、各工艺环节之间控制协调性要求高等问题。本论文所取得的研究成果主要有以下几点：

(1) 全面深入研究了陶瓷辊道窑控制系统并进行比较，指出了陶瓷辊道窑控制系统未来的发展方向，也为本系统设计提供了理论依据。

(2) 分析陶瓷辊道窑的生产工艺流程、主要设计内容、控制要求、设计原则；接着通过分析现有常用工业现场控制系统的体系结构，以及现场总线技术与现有控制系统的融合方式，结合具体的工艺特点，最终确定陶瓷辊道窑控制系统整体结构设计为 PLC 现场总线方式

(3) 设计了基于的模糊 PID 控制算法，提高了控制的稳定性。针对陶瓷辊道窑的温度控制系统，设计了一种自适应模糊 PID 控制器，该控制器在大偏差范围内采用模糊控制，根据偏差和偏差变化的需要实时调整 PID 参数，小偏差范围内采用 PID 精确控制。通过仿真结果表明，采用模糊自整定 PID 参数控制器很好的改善了温度控制系统的动态性能，取得了很好效果，使烧制时实际温度曲线和设定温度曲线相接近。

致 谢

首先感谢尊敬的导师冯浩老师，本文是在他的悉心指导和关怀下顺利完成的。在这段论文书写期间，冯老师严谨的治学态度、渊博的专业知识以及忘我的工作热情对我的一生都有着非常深远的影响，激励我不断学习和工作。冯老师在学术上给予我很多指导和帮助，为我们创造良好的学习氛围，正是在这种环境下我才能够顺利完成论文。此外，期间，使我们受益的不仅仅是冯老师广博的知识和丰富的经验，更为重要的是冯老师在为人，为师，以及科研中的态度。

在为人方面，懂得了做人要积极乐观，正直，乐于助人；为师方面，要不遗余力、无私奉献；科研中，要严谨认真、脚踏实地、勤于动脑、勤于动手。这些在我以后的工作和生活中将是我所要努力做到的。

在论文撰写期间，我要感谢许多让我分享他们宝贵经验和知识的老师及朋友。特别感谢冯浩老师给我的支持以及尽心尽力的帮助，为我论文的完成提出了许多宝贵建议及真知灼见。与此同时，我还要感谢帮助过我的同学们。在此表示最深的谢意！

感谢父母的养育之恩！感谢家人的理解与支持！感谢 10 自动化同学的帮助！最后，对评审论文的各位专家、学者表示衷心的感谢。

王光耀

2014.5 .18

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

参 考 文 献

1. 千金堆. 浅析德化陶瓷窑炉的节能技术革新. 能源与环境, 2007
2. 赵新力. 陶瓷窑炉最优控制策略的探讨. 问题与讨论. 1996.
3. 陈作柄, 金雪丰, 黄湘国, 孙巍. 基于 CAN 总线的辊道窑控制系统. 中国仪器仪表. 2005
4. 金雪丰, 何涛, 杨练根, 刘文超. 基于 Profibus 总线的陶瓷生产测控系统. 陶瓷. 2005
5. 胡国林著. 建陶工业辊道窑—京: 中国轻工业出版社, 1998
6. 倪榕生等. 辊道窑炉温度计算机监控系统. 福建建设科技, 1998
7. 高平良. 九五陶瓷工业窑炉自动控制系统发展的思路. 中国建材装备, 1996
8. 林金表等. 辊道窑温度计算机集散控制系统. 交通与计算机, 1997, 15(3)
9. 宣森. 燃油陶瓷高效+1, 能烤花窑炉专家智能控制系统. IU 子与自动化. 1993. (3)
10. 武维善, 王志. 隧道窑温控系统中的参数自适应 Fuzzy. PID 复合控制. 西安建筑科技大学学报, 1996, 28(1)
11. 刘贵山等. 气烧高温日用瓷辊道窑气氛控制的计算机仿真. 人连轻一 I: 业学院学报, 1999, 18(2)
12. 苏彩红等. 人工神经网络在辊道窑炉温度过程建模中的应用. 佛山人学学报, 1997, 15(2)
13. 陈景雨, 陶瓷工业热工过程及设备. 中国轻工业出版社. 1992: 4
14. 刘振群. 陶瓷工业热武汉工业大学出版社. 1989. 10.
15. 庄顺南, 千景福. 陶瓷生产机械化与自动化. 轻工业出版社. 1986. 11
16. McFarland, Andy. Fieldbus Review (J). SensorReview, 1997, 17(3): 204--210
17. 鲍军民, 赵志平, 胡协和现场总线最新动态【J】. 基础自动化, 2001, 8(6):: 33-35
18. 张浩, 谭克云, 朱守云. 现场总线与 T 业以太网应用技术手册(第一册)【M】. 上海: 上海科学技术出版社, 2001: 70--85
19. 阳宪惠. 现场总线技术及应用(M) —北京: 清华大学出版社, 1999: 244-249
20. 乔红伟. 陶瓷明焰窑变结构温度控制的理论与应用研究. 硕士论文. 1994: 1~7
21. 李月琴, 吴基球. 人工神经网络在陶瓷工业的应用与展望. 中国陶瓷. 2001. 37(2)
22. 曾令可, 张明, 千慈, 罗心华. 陶瓷辊道窑宽断面摇解决的问题. 中国陶瓷工业 2001,