**大论文框架（标红部分为创新点）**

第一章 绪论

1. 综合国内外研究情况、国内外空压机系统应用的现状。
2. 阐述空压机节能的巨大潜力和意义。
3. 空压机基本的运行方式及运行原理。
4. 本文做的工作。

第二章 空压机系统模型建立及仿真

1、建立包括空压机、储气罐、冷却器、阀门等部件的数学模型

2、考虑气体泄漏、压力损失等因素对空压机参数及效率的影响

3、考虑室外气象参数对空压机的影响。包括空压机系统运行过程中温度的变化，室外空气状态点的干球温度、相对湿度、含湿量确定的室外空气的状态点，分别研究各自对空气压缩机功耗的影响。

第三章 基于一级压力需求的节能控制分析

1、变负荷下自动卸载压力调优策略。

2、非变频机到变频机的节能分析。

3、空压机群的稳压节能控制策略。

第四章 基于多级压力需求的控制策略分析

1、多级压力需求的应用改造。

1）背景：在某些工业用气的场合，用气设备对压缩气球的压力要求不一样，例如在某个食品厂，0.05MPa的压缩气体用来通风，0.2-0.3MPa的压缩气体用来发酵，0.6-0.8MPa的压力用于仪表和一般的用气设备，1.3-4MPa的压力用来塑胶和PET吹瓶。

2）解决方案：



解决方案1



解决方案2



解决方案3

解决方案1能够在仅有一个空压机组的情况下满足整个用气系统的用气需求，但是在气体通过减压阀的过程中，压缩气体压力大幅下降，压力损失严重，这意味着电能的大量浪费，所以这种配置方案大幅度的增加了系统的能耗成本。解决方案2是对于每一种压力需求都提供一个独立的空气压缩系统，在这种配置方案下，气体的压力分配更加合理，但是该配置方案占用更多的资源和空间，给空气压缩系统带来了更多的安装费用和维护费用，并且每个系统独立控制，为电路设计和控制器管理等多方面带来了困难。本文接下来介绍一种新型的配置方案，解决方案3，空压机组提供稳定的压力输入，通过阀的开闭来控制压力输入的流向。首先对每一组用气设备都设置一个压力范围，在这个范围内的压力都能被用气设备正常使用，系统检测储气罐中的气体压力，指定阀门开启和关闭的策略，使空压机满足每一个用气网络的用气需求。这种配置方式能做到资源利用的最大化，技能节省系统的安装成本和维护成本，又能减少系统压降，提高节能效率。相对于传统的配置方式，该配置方式通过一个空压机组而不是多级空压机系统，也无需配备减压阀，采用供气集中管理，用气实时调度的方式，制定控制策略来决定进气阀门开闭的顺序，最终满足各个网络的用气需求。

2、空气压缩系统的热力学分析

考虑到一个空气压缩系统在运行过程中由加载和卸载两种运行状态，加载的时候提供了一个额定的质量流量（kg/s），确定网络对应的储气罐体积*V*（m3）,用参数*pin*来描述储气罐中压力的动态增加（*dp/dt*）,具体描述如下：



*R*是气体常数（J/KgK），*Tos*是吸气的环境温度（K）,如上式所示，压力动态增加和用气设备耗气量无关，当空压机群启动时，它是一个定值。此外，由于耗气设备在用气，空气压缩系统的出气压力是变化的，压力的动态减小可以描述为：



由于耗气设备的用气是可以不断变化的，*mu*表示用气设备实时的耗气质量流量(kg/s)，*pout*是动态变化的，最低为0。

通过对空气压缩系统产气环节和用气环节的评估，设定用气设备耗气流量范围：



*mu(t)*表示t时刻系统所有耗气设备的耗气流量之和，*mum*表示所有耗气设备的耗气流量之和的最小值（如果所有设备都没有用气，*mum*为0），*muM*表示所有耗气设备的耗气流量之和的最大值。

由于压力动态减小*pout*的计算式中只有*mu*是变量，根据流量*mu*的变化，定义*pout*的变化范围，如下：



*Pout*(*t*)表示*t*时刻的压力动态减小，和分别对应耗气流量*mum*和*muM*时的动态压力减少。对于一个设计合理的空气压缩系统，*mc*>*mu*，即吸入空气压缩系统必须大于消耗的空气压力。为了进一步描述空气压缩系统压力的动态变化，定义和，表示系统压力动态增量的最小值，及用气设备耗气量最大时的压力增，表示系统压力动态增量的最大值，及用气设备耗气量最小时的压力增。具体数学描述如下：



上述压力动态分析是建立在空压机系统加载运行的情况下，系统压力动态增加。下面针对空压机卸载运行进行分析，这是*pin*为0。

同样的，定义和分别表示为系统压力动态减量的最大值和最小值，由空压机系统设备耗气量大小决定。



3、控制策略的调度原理分析

调度是定义各个用气系统获取系统资源（空压机）的顺序。这个实时调度算法考虑N 个周期的任务，具体的定义如下，*Ti*表示两次任务请求的时间间隔。第i个网络的第k次请求的时间为*ri,k=kTi*,kϵN。此外*Ti*也表示采样时间τ的倍数，采样时间表示任务运行的最短时间。*Di*（<=*Ti*）表示任务执行的终点，及在[*kTi;kTi+Di*]时间内任务必须执行完毕。*Ci*(<=*Di*)表示每个*Ti*周期内任务实际执行的时间。

给定N个周期的任务*U*表示系统利用率，表示如下：



一个空压机网络有需要一个固定的空气压力，为了保证终端设备的正常运行，第i个网络的压力必须尽可能的稳定，压力波动要在固定的一个范围内[*pi,min;pi,max*]， *pi,max*和*pi,min*分别表示第i个网络的压力上下限。根据用气设备的差异，有的设备能够在压力差0.15MPa的压力范围内正常工作，但是尽可能的减低压力范围能够很大程度上降低能源消耗。

本文是通过调节进气阀门开关的顺序来确保每个用气网络内的压力在设定的压力范围内。

**具体实现步骤**

每个进气阀门打开时，允许压缩空气进入该网络储气罐进行压力补充来维持压力在正常工作的压力范围。在调度进气阀门开关的期间没有中断发生。在计算机科学中中断表示计算机（操作或者停止）当前的计划转而执行优先级更高的计划。



在这个调度方案中，所有的阀门开关用s(t)={*si*(t),…,*sn*(t)}来表示，并且，即在任何时刻最多只能有一个阀门是打开的。当这个阀门打开时，空压机系统的压缩空气进入该网络进行压力补充，目的是维持该网络气体压力在设定的压力范围(*pi,min;pi,max*)之间。第i个网络的压力水平用状态量*xi*(t)来表示。



*xi*(0)表示第i个网络初始时刻的压力水平，表示t时刻的压力动态增量。描述为



对每个网络的动态压力增量和动态压力减量表示如下





同样的，一个合理的用气网络设计应该具有以下关系：



压力水平*xi*(t)会在压力范围内变化，由于持续的压力输出并且当第i个网络的进气阀门关闭(*si*(t)=0)时,压力水平减小，由于第i个网络的进气阀门打开(*si*(t)=1)时，该用气网络压力水平会增加，动态增量为-。空气压缩系统通过阀门开闭来维持用气网络的压力水平。

定义*Ti,k*和*Ci,k*代表第i个用气网络的第k个周期的运行情况。根据实际情况，他们的值在k值不同时也是不同的，这是由于用气设备具有变化的空气流量需求。

**接下去的理论保证了压力在范围内**

考虑到每个周期开始时的真实压力水平（*pi,min*是第*k*个周期的压力设定值），假设*Ci,k*为



这种状态下*xi*(*t*)不会超过*pi,max*,



该函数表示第*i*个网络压力水平的增长情况，根据设定的压力最高限，压力水平从原先的到*pi,min*需要时间*t*。



**接下来解释系统活跃时间**

当第*i*个网络的每个周期开始后经过*t*=*Ci,k*时刻，网络的压力水平只有在终端用气设备用气量在所有*Ci,k*时间内为*mu*不变的时候达到系统设定最高值*pi,max*，由于终端用气设备用气量是可以变化的并且每个时间段都可以不一样，当*t*=*Ci,k*时刻，真实的压力可以为很多不同的值，但是根据分析可以得到真实的压力会在一个范围内，描述如下：



其中



用气网络能够在所有运行时刻*Ci,k*内用气设备不耗气（压力增量以增长）的情况下到达最高压力*pi,max*。如果终端用气设备在所有运行时刻*Ci,k*内以最大耗气量在工作（），那么在*Ci,k*时刻后网络的压力水平为。从上式中可以看出因为，。所有以下关系式：



证明压力水平比*pi,min*大

*Ti,k*表示



用气网络最小的压力水平往往比*pi,min*大，并且它有一个表示的值



证明：当网络系统进气阀门关闭的时候，为了确保网络系统压力水平大于*pi,min*，考虑最差的状态：1)最小的压力水平2）压力在最大负斜率内变化

能够实现最小的压力为*pi,min*，当

4、控制策略的调度算法

系统保证总利用率小于等于1：

这里还在写程序（待完成）

5、控制结果分析（待完成）

第五章 空压机系统控制实验台

1、实验台电路设计和管道布局

2、系统下位机控制器程序设计

3、系统上位机软件程序设计

1）基于c#平台

2）基于触摸屏平台

4、实验运行分析

第六章总结与展望