

# 压缩机知识讲座

## 第一节

### 压缩机概述

一、定义：压缩机是用来提高气体压力和输送气体的机械。

二、主要用途：

1.动力用压缩机：

(1)压缩气体驱动各种风动机械，如：气动扳手、风镐。

(2)控制仪表和自动化装置。

(3)交通方面：汽车门的开启。

(4)食品和医药工业中用高压气体搅拌浆液。

(5)1.纺织业中，如喷气织机。2.气体输送用压缩机(1)管道输送——为了克服气体在管道中流动过程中，管道对气体产生的阻力。(2)瓶装输送——缩小气体的体积，使有限的容积输送较多的气体。3.制冷和气体分离用压缩机如氟里昂制冷、空气分离。4.石油、化工用压缩机(1)用于气体的合成和聚合，如：氨的合成。(2)润滑油的加氢精制。

三、压缩机的分类

(1)按作用原理分：容积式和速度式（透平式）

(2)按压送的介质分类：空气压缩机、氮气压缩机、氧气压缩机、氢气压缩机等

(3)按排气压力分类：低压（0.3-1.0MPa）中压（1.0-10MPa）

高压（10-100MPa）超高压（>100MPa）

(4)按结构型式分类：

压缩机——容积式、速度式。容积式——回转式（包括螺杆式、滑片式、罗茨式）、往复式（包括活塞式、隔膜式）。速度式——离心式、轴流式、喷射式、混流式。

## 第二节

### 压缩机的著名厂家

一、国外著名的压缩机企业有以下几家：

(1)日本有七家：日立（Hitachi）、三井、三菱（Mitsubishi）、川崎、石川岛（IHI）、

荏原（EBRARA，包括美国埃理奥特 ELLIOTT）和神钢（Kobelco）；

(2)美国有五家：德莱赛兰（DRESSER-RAND）、英格索兰（Ingersoll-rand）、库柏（Cooper）、通用电气动力部（GE, 原来的意大利新比隆 Nuovo Pignone 公司）和美国 A-C 压缩机公司；

(3)德国有二家：西门子工业（原来的德马格—德拉瓦）、盖哈哈—波尔西克（GHH-BORSIG）；

(4)瑞士有一家：苏尔寿（SULZER）；

(5)瑞典有一家：阿特拉斯（ATLAS COPCO）；

(6)韩国有一家：三星动力。

1.国外压缩机企业简介：

美国英格索兰公司是一家在全球五百家，最大工业企业中名列前茅的跨国公司，成立于

1871年，至今已有129年的历史。<http://www.irair.com.cn/>

瑞士苏尔寿公司”是世界著名跨国工业集团公司，创建于1834年，已有一百多年历史。

## 2. 在选型时应注意：

(1)使用进口设备，注意电控、仪控、机械备件等方面的配置，同时注意国内厂家可替代的备件，维修时费用可以降低。

(2)使用空气作介质时，应同时考虑机前过滤器的选型；灰尘进入机组，易使振动升高，发生的故障率较高。使用洁净介质时，发生的故障率相对较少。

(3)从使用的角度来看，国外的压缩机真正能够“洋为中用”才是重要的。

## 二、国内著名的压缩机企业

沈阳气体压缩机股份有限公司：<http://www.sygcc.com.cn>

杭州杭氧股份有限公司：<http://www.hangyang.com/>

[br]

## 第二章

### 离心压缩机

#### 第一节

#### 离心压缩机概述

离心压缩机是产生压力的机械，是透平压缩机的一种。透平是英译音“TURBINE”，即旋转的叶轮。在全低压空分装置中，离心压缩机得到广泛应用，逐渐出现了离心压缩机取代活塞压缩机的趋势。

一、定义：指气体在压缩机中的运动是沿垂直于压缩机轴的径向进行的。

#### 二、工作原理：

是具有叶片的工作轮在压缩机的轴上旋转，进入工作轮的气体被叶片带着旋转，增加了动能（速度）和静压头（压力），然后出工作轮进入扩压器内，在扩压器中气体的速度转变为压力，进一步提高压力，经过压缩的气体再经弯道和回流器进入下一级叶轮进一步压缩至所需的压力。打个比方说：一般是由一台原动机（电机）带动一根轴，轴上装有4个叶轮，就好像一根轴带了4个电扇，一个电扇的风传给了第二个电扇，又传给了另一个电扇，最后你感觉到风的力量很大一样。离心压缩机就是这样通过叶轮把气体的压力提高的。

气体在叶轮中提高压力的原因有两个：一是气体在叶轮叶片的作用下，跟着叶轮作高速的旋转，而气体由于受旋转所产生的离心力的作用使气体的压力升高，其次是叶轮是从里到外逐渐扩大的，气体在叶轮里扩压流动，使气体通过叶轮后压力得到提高。

#### 三、特点：

离心压缩机是一种速度式压缩机，与其它压缩机相比较：

优点：(1)排气量大，排气均匀，气流无脉冲。(2)转速高。(3)机内不需要润滑。(4)密封效果好，泄露现象少。(5)有平坦的性能曲线，操作范围较广。(6)易于实现自动化和大型化。(7)易损件少、维修量少、运转周期长。

缺点：(1)操作的适应性差，气体的性质对操作性能有较大影响。在机组开车、停车、运行中，负荷变化大。

(2)气流速度大，流道内的零部件有较大的摩擦损失。

(3)有喘振现象，对机器的危害极大。

四、适用范围：大中流量、中低压力的场合。

五、分类：(1)按轴的型式分：单轴多级式，一根轴上串联几个叶轮。双轴四级式，四个叶轮分别悬臂地装在两个小齿轮的两端，旋转\*电机通过大齿轮驱动小齿轮。(2)按气缸的型式分：水平剖分式和垂直剖分式。(3)按级间冷却形式分类：级外冷却，每段压缩后气体输出机外进入冷却器。机内冷却，冷却器和机壳铸为一体。

(4)按压缩介质分类：空气压缩机、氮气压缩机、氧气压缩机等。

## 第二节

### 操作机组

介绍沈鼓空压机、杭氧氧气透平压缩机、瑞士苏尔寿空压机、美国英格索兰压缩机

下面将以下使用的压缩机为例，结合相关书籍、说明书、规程以及相关论坛、网站的资料，汇集内容，共同作好这份资料。

(1)沈鼓空压机：DH90-6型空气透平压缩机系单进气、双轴、齿轮式、四级等温压缩机。设计压力0.52MPa，流量75500 NM<sup>3</sup>/H。低速轴转速7142转/分，高速轴9090转/分，由一台电压10000伏，功率7400KW的同步电动机拖动，为空分提供原料气源。

(2)杭氧氧气透平压缩机：3TYS89+2TYS60型氧气透平压缩机系双缸，10级，水平剖分型式。设计压力2.9MPa，流量16000NM<sup>3</sup>/H，配置了一台功率3400kw的异步感应电动机。

2TYS100+2TYS76型氧气透平压缩机系双缸，8级，设计压力2.9MPa，流量23500NM<sup>3</sup>/H。

(3)瑞士苏尔寿空压机系单进气、齿轮式、等温压缩，设计压力0.52MPa，流量120000NM<sup>3</sup>/M<sup>3</sup>；为空分提供原料气源。

(4)美国英格索兰压缩机：4C90M×4N2型氮气透平压缩机系单进气，四轴离心式压缩机，设计压力在生产上主要向炼钢压送氮气。另外为空分设备液体工况提供原料气源，以及作各氧透机组的密封气。2CLL35M×3N2型氮气透平压缩机系单进气，三轴离心式压缩机，设计压力2.3MPa，流量5042Nm<sup>3</sup>/H，在生产上主要向炼钢压送氮气。目前另两种英格索兰压缩机型号不详，只是流量有所增大变化。

(5) 15000Nm<sup>3</sup>/h~20000Nm<sup>3</sup>/h空分装置配套

## 第三节

### 空气透平压缩机情况简介

#### 一、制造商

15000Nm<sup>3</sup>/h~20000Nm<sup>3</sup>/h空分装置配套空气透平压缩机制造商有：

- a、瑞士MAN-turbo公司（苏尔寿）
- b、德国ATLAS COPCO公司
- c、美国COOPER公司

#### 二、技术评价

(1) 瑞士MAN-turbo公司（苏尔寿）是世界上著名的压缩机制造商，德国ATLAS COPCO公司、美国COOPER公司相对于前一家公司要逊色一些，但他们均具有设计、制造此类空压机的实力。从技术上看，各制造商均有自己的特点，德国ATLAS COPCO公司、美国COOPER

公司两家均采用齿轮式多轴三段压缩，而瑞士 MAN-Turbo 公司则采用单轴四级压缩。

(2) 齿轮式多轴压缩机与单轴压缩机两种方案的比较：

a) 齿轮式多轴压缩机由主电机通过联轴器直接驱动大齿轮再由大齿轮带动两根小齿轮轴，每根小齿轮轴上分别有二个或一个叶轮，由于两根小齿轮轴的转速不同，可以实现叶轮与转速的良好匹配且单级压缩比可以比较高；单轴压缩机由主电机经齿轮箱驱动压缩机主轴，在主轴上安装了四只同方向的各级叶轮，每级叶轮的转速相同；因此一个转速不能良好的照顾到各个叶轮的匹配。这种结构前面段叶轮的线速度高，后面段线速度低，因而导致每级压缩比要小一些。这就是单轴压缩机采用四级压缩而齿轮式多轴压缩机只需三级的原因。

b) 齿轮式多轴压缩机一根小轴上最多带两个叶轮，轴向长度短，有利于机器布置及转子、临界转速的提高。另外小轴上的两个叶轮属背\*背形式，转子的轴向力能部分抵消。单轴压缩机各级叶轮均朝一个方向，各叶轮的轴向力互相叠加，轴向力很大，只能\*加平衡盘来平衡轴向力，且对止推轴承要求很高。

c) MAN-Turbo 单轴压缩机采用内置式气体冷却器，结构紧凑，由于冷却器布置在转子的两侧，具有吸音的作用，同时单轴压缩机叶轮线速度较小，因此整机噪音较小。由于单级压缩比小且级间有三个中冷，气体出口温度较低。但与齿轮式多轴压缩机相比，单轴压缩机耗水量要增加不少。

d) 多轴齿轮式压缩机叶轮与主轴的联接，德国 ATLAS COPCO 公司采用端面齿（HIRTH）联接，这种结构的特点是紧固力大，叶轮可拆卸，重复拆卸对转子的动平衡几乎无影响；美国 COOPER 公司叶轮与主轴采用热套型式，属不可拆卸结构。这一点对今后的转子维修很不利。MAN-Turbo 公司单轴压缩机由于在一根主轴上布置四只叶轮，均采用热套，也属不可拆卸结构。

e) 从制造要求看，齿轮式多轴压缩机对齿轮的加工精度要求高。如果叶轮与主轴采用 HIRTH 联接，则 HIRTH 的加工精度也有很高的要求。

(3) 从德国 ATLAS COPCO 公司和美国 COOPER 两家齿轮式压缩机来看，特别是美国 COOPER 公司生产的压缩机叶轮采用半开式叶轮，机组效率要低一些。而且此机型美国 COOPER 公司来说属非常大的型号，业绩不多。

综上所述，三家制造商从技术上来说，MAN-Turbo 公司在空气透平压缩机方面是世界一流的，技术成熟、运行稳定、质量可\*，业绩众多，是此类机型的主导产品。特别是 MAN-Turbo 公司的单轴空气透平压缩机等温效率高，轴功率低，噪声低，深得用户欢迎。德国 ATLAS COPCO 公司、美国 COOPER 齿轮式压缩机结构相对简单，效率要低一些，轴功率要高一些。但德国 ATLAS COPCO 公司和美国 COOPER 公司相比，德国 ATLAS COPCO 公司采用闭式叶轮和端面齿（HIRTH）联接，技术和质量均比美国 COOPER 公司要好。

(6) 空气透平压缩机的技术比较及选择

空气透平压缩机作为空分重要部机，其可\*性及能否达到高效、稳定的运行，直接关系到空分装置正常生产。因此，空气透平压缩机选择原则是在满足长期稳定运行的前提下，尽量使用效率高、调节性能好的设备。

一、大型空压机组的型式

目前中大型空压机主要型式有：1、多轴齿轮式多级离心压缩机；2、单轴多级离心式压缩机。

多轴压缩机特点：

- 1、效率高，每级叶轮与转速匹配较好；
- 2、调节范围大；
- 3、单级压比大；
- 4、噪音较高；
- 5、结构紧凑。

单轴压缩机特点：

- 1、机组运行平稳可靠；
- 2、单级压比较小，级数较多；
- 3、级数较多意味需更多次的中间冷却；
- 4、更接近等汽压缩；
- 5、噪音小；

## 二、国内大型压缩机情况

目前，国内大型空压机（15000Nm<sup>3</sup>/h 以上）基本上采用进口，主要原因：

- 1、沈鼓配 15000Nm<sup>3</sup>/h 空分的齿轮式压缩机在各个用户现场由于振动而引起事故，并且至今仍未有大的改进，杭氧的齿轮式压缩机最大只能配到 18000Nm<sup>3</sup>/h 空分，再大就没有做过，业绩较小；
- 2、国内压缩机等汽效率较低，等汽效率约为 66~70%，而国外压缩机效率为 78~81%，能耗相差较大；
- 3、可靠性方面，进口设备要远优于国产。

## 三、国外大型压缩机生产厂家

目前，空分配套的大型空压机多选用进口产品，主要生产厂家有：1、德国 siemens 公司；2、Man\turbo 公司；3、德国 Atlas 公司；4、美国 Cooper 公司，这四家公司均能生产齿

轮式多轴压缩机，Man-turbo 公司还生产单轴压缩机。

Siemens 和 Man-turbo 的生产大型压缩机为主（主要配 20000Nm<sup>3</sup>/h 以上空分），Atlas 和 Cooper 主要配 10000~20000Nm<sup>3</sup>/h 空分。这几家国外公司在技术实力和品牌上有一定的差别，但价格上也相关较大，因此，在最终选择供应商时，可根据技术、商务等方面进行多方比较，根据性能价格比后最终确定。

### 第三章

#### 离心压缩机的基本原理

##### 第一节 离心压缩机的工作原理分析

一、常用名词解释：(1)级：每一级叶轮和与之相应配合的固定元件（如扩压器等）构成一个基本的单元，叫一个级。如：杭氧 2TYS100+2TYS76 氧气透平压缩机高低压气缸共有八个叶轮，就叫八级。(2)段：以中间冷却器隔开级的单元，叫段。这样以冷却器的多少可以将压缩机分成很多段。一段可以包括很多级，也可仅有一个级。(3)标态：0℃，1 标准大气压。(4)进气状态：一般指进口处气体当时的温度、压力。(5)重量流量：一秒时间内流过气体的重量。(6)容积流量：一秒时间内流过气体的体积。(7)表压 (G)：以当地大气为基准所计量的压强。(8)绝压 (A)：以完全真空为基准所计量的压强。(9)真空度：与当地大气负差值。(10)压比：出口压力与进口压力的比值。

二、压缩机级中的气体流动叶轮被驱动机拖动而旋转，气体进入叶轮后，对气体做功。那么气体既随叶轮转动，又在叶轮槽中流动。反映出气体的压力↑，温度↑、比容↓。叶轮转动（理解“转动”）的速度即气体的圆周速度，在不同的半径上有不同的数值，叶轮出口处的圆周速度最大。气体在叶轮槽道内相对叶轮的流动（理解“流动”）速度为相对速度。因叶片槽道截面积从进口到出口逐渐增大，因此相对速度逐渐减少。气体的实际速度是圆周速度与相对速度的合成，又称之为绝对速度。

##### 三、级内气体流动的能量损失分析

(一)、能的定义：度量物质运动的一种物质量，一般解释为物质做功的能力。能的基本类型有势能、动能、热能、电能、磁能、光能、化学能、原子能等。一种能可以转化为另一种能。能的单位和功的单位相同。能也叫能量。

##### (二)、级内气体流动的能量损失分析

压缩机组实际运行中，通过叶轮向气体传递能量，即叶轮通过叶片对气体做功消耗的功和功率外，还存在着叶轮的轮盘、轮盖的外侧面及轮缘与周围气体的摩擦产生的轮阻损失，还存在着工作轮出口气体通过轮盖气封漏回到工作轮进口低压低压端的漏气损失。都要消耗功。这些损失在级内都是不可避免的，只有在设计中精心选择参数，再制造中按要求加工，在操作中精心操作使其尽量达到设计工况，来减少这些损失。另外，还存在流动损失以及动能损失以及在级内在非工况时产生冲击损失。冲击损失增大将引起压缩机效率很快降低。还有高压轴端，如果密封不好，向外界漏气，引起压出的有用流量减少。故此，我们有必要研究这些损失的原因，以便在设计、安装、操作中尽量减少损失，维持压缩机在高效率区域运行，节省能耗。

1、流动损失：定义：就是气流在叶轮内和级的固定元件中流动时的能量损失。产生的原因：主要由于气体有粘性，在流动中引起摩擦损失，这些损失又变成热量使气体温度升高，在

流动中产生旋涡，加剧摩擦损耗和流动能量损失，因旋涡的产生就要消耗能量；在工作轮中还有轴向涡流等第二次流动产生，引起流量损失。在叶轮出口由于出口叶片厚度影响产生尾迹损失。弯道和回流器的摩擦阻力和局部阻力损失等。

## 2、冲击损失

定义：是一种在非设计工况下产生的流动损失。叶轮进口叶片安装角  $\beta_{1A}$ （实际）一般是按照设计气流的进口角  $\beta_1$ （设计）来决定的。一般是  $\beta_1 = \beta_{1A}$ ，此时进气为无冲击进气。但是当工况发生偏离设计工况时，气流进口角  $\beta_1$  大于或小于  $\beta_{1A}$  将发生气流冲击叶片的现象。习惯把叶轮进口叶片安装角  $\beta_{1A}$ （实际）与设计气流的进口角  $\beta_1$ （设计）之差叫做冲击角，简称冲角。用  $i$  表示。 $\beta_{1A} < \beta_1$ ， $i < 0$ ，叫负冲角。 $\beta_{1A} > \beta_1$ ， $i > 0$ ，叫正冲角。在正负冲角的情况下，都将出现气流与叶片表面的脱离，形成旋涡区，使能量损失。冲击损失的增加与流量偏离设计流量的绝对值的平方成正比。

## 3、轮阻损失

叶轮的不工作面与机壳之间的空间，是充满气体的，叶轮旋转时，由于气体有粘性，也会产生摩擦损失。又由于旋转的叶轮产生离心力，靠轮的一边气体向上流，靠壳的一边气体向下流，形成涡流，引起损失。轮阻损失的计算，有实验公式，有兴趣可查书籍。

4、漏气损失：包括内漏和外漏。内漏气是指泄露的气体又漏回到压缩气体中。包括两种情况：一种是从叶轮出口的气体从叶轮与机壳的空间漏回到进口。另一种是单轴的离心压缩机，由于轴与机壳之间也有间隙，气体从高压的一边经过间隙流入低压一边。外漏是指压缩气体通过轴与机壳密封处间隙或机体的间隙直接漏到大气中。漏气损失是一个不可忽视的问题，我们在维修、操作中应特别注意，有些空压机出现气量打不到设计值就是内漏和外漏引起的

## 第四章

### 离心压缩机的基本结构

#### 第一节

##### 离心压缩机系统组成

众所周知，整套离心压缩机组是由电气、机械、润滑、冷却、控制等部分组成的一个系统。虽然由于输送的介质、压力和输气量的不同，而有许多种规格、型式和结构，但组成的基本元件大致是相同的，主要由转子、定子、和辅助设备等部门组成。

#### 第二节

##### 主机部件

##### 一、离心压缩机的转子

转子是离心压缩机的关键部件，它高速旋转。转子是由叶轮、主轴、平衡盘、推力盘等部件组成。

##### 叶 轮

叶轮也叫工作轮，是离心式压缩机的一个重要部件，气体在工作路轮中流动，其压力、流速都增加，同时气体的温度也升高。叶轮是离心式压缩机对气体作功的唯一元件。

1. 在结构上，叶轮典型的有三种型式：

(1)闭式叶轮：由轮盘、轮盖、叶片三部分组成。

- (2)半开式叶轮：无轮盖、只有轮盘、叶片。
- (3)双面进气式叶轮：两套轮盖、两套叶片，共用一个轮盘。

2.叶轮的的结构以叶片的弯曲形式来分：

- (1)前弯叶片式叶轮：叶片弯曲方向与叶轮的旋转方向相同。叶片出口角 $>90^\circ$ 。
- (2)后弯叶片式叶轮：叶片弯曲方向与叶轮的旋转方向相反，叶片出口角 $<90^\circ$ 。
- (3)径向叶片式叶轮：叶片出口方向与叶轮的半径方向一致，叶片出口角 $=90^\circ$ 。我们使用的英格索兰压缩机的叶轮就是半开式后弯型结构。

主

轴主轴的作用就是支撑安装其上的旋转零部件（叶轮、平衡盘等）及传递扭矩。在设计轴确定尺寸时，不仅考虑轴的强度问题，而且要仔细计算轴的临界转速。所谓临界转速就是轴的转速等于轴的固有频率时的转速。

平衡盘推力盘

在多级离心压缩机中，由于每级叶轮两侧的气体作用力不一致，就会使转子受到一个指向低压端的合力，这个合力，我们称为轴向力。轴向力对于压缩机的正常运转是不利的，它使转子向一端窜动，甚至使转子与机壳相碰，发生事故。因此应设法平衡它，平衡盘就是利用它的两侧气体的压力差来平衡轴向力的零件。热套在主轴上，通常平衡盘只平衡一部分轴向力，剩余的轴向力由止推轴承来承受。推力盘是固定在主轴上的止推轴承中的一部分，它的作用就是将转子剩余的轴向力通过油膜作用在止推轴承上，同时还确定了转子与固定元件的位置。

二、离心压缩机的定子定子是压缩机的固定元件，由扩压器、弯道、回流器、蜗壳及机壳组成。

扩压器：扩压器的功能主要是使从叶轮出来的具有较大动能的气流减速，把气体的动能有效地转化为压力能。

扩压器一般分为：无叶扩压器、叶片扩压器、直壁式扩压器。

弯 道：其作用使气流转弯进入回流器，气流在转弯时略有加速。

回流器：其作用使气流按所需方向均匀的进入下一级。

蜗 壳：其主要作用是把扩压器后面或叶轮后面的气体汇集起来，并把它们引出压缩机，流向输送管道或气体冷却器，此外，在会聚气体过程中，大多数情况下，由于蜗壳外径逐渐增大和流通面积的逐渐增大，也起到了一定的降速扩压作用。

轴 承：支撑轴承：用于支撑转子使其高速旋转。止推轴承：作用是承受剩余的轴向力。

第三节

辅助设备

(一)离心压缩机传动系统空分装置中采用的离心压缩机由于转速高，一般采用电动机通过齿轮增速箱来拖动。对于齿轮的材质要求相当高，一般采用优质合金钢，并经渗碳处理，以提高硬度，同时要求提高加工精度。在出厂前，并经严格的静、动平衡实验。平衡：包括静平衡、动平衡两种。静平衡是检查转子重心是否通过旋转轴中心。如果二者重合，它能在任意位置保持平衡；不重合，它会产生旋转，只有在某一位置时才能静止不动。通过静平衡实验，找出不平衡质量，可以在其对称部位刮掉相应的质量，以保持静平衡。



动平衡：经过静平衡试验的转子，在旋转时仍可能产生不平衡。因为每个零件的不平衡质量不是在一个平面内。当转子旋转时，他们会产生一个力矩，使轴线发生挠曲，从而产生振动，因此，转子还需要做动平衡试验。动平衡试验就是在动平衡机上使转子高速旋转，检查其不平衡情况，并设法消除其不平衡力矩的影响。

## (二)离心压缩机的冷却系统

一、冷却的方式主要有风冷、水冷。

二、冷却的主要方面主电机、压缩后的气体、润滑油。

1、冷却主电机:主要为了防止电机过度温升、烧损。通常采用的冷却方式有风冷、水冷。有的大型电机兼而有之。

2、冷却压缩后的气体:主要为了降低各级压缩后气体的温度，减少功率消耗。通常设置水冷却器。在一台机组上设有多个冷却器，有的一级一个。有的两级一个，这样根据冷却器的多少，又可以把压缩机分成几个段。

冷却器内介质流动情况：(1)冷却器管程走气，壳程走水；如：英格索氮压机、杭氧氧透就是这样，同时可以减少噪音。(2)冷却器管程走水，壳程走气。

3、冷却润滑油：

压缩机的油站设有油冷却器。降低油温和在一定范围内调节油温。

## (三)离心式压缩机组润滑系统（内部论坛已发过）

### 第四节

#### 安全保护系统

为了保证压缩机的安全稳定运行，必须设置一个完整的安全保护系统。温度保护系统观察、控制压缩机各缸、各段间的气体温度、冷却系统温度、润滑系统油温、主电机定子温度以及各轴承温度，当达到一定的规定值就发出声光讯号报警和联锁停机。压力保护系统观察、控制压缩机各缸、各段间的气体压力、冷却系统压力、润滑系统油压、当达到一定的规定值就发出声光讯号报警和联锁停机。流量保护系统

观察、控制压缩机冷却系统水流量，当达到一定的规定值就发出声光讯号报警。机械保护系统

1.轴向位移保护离心式压缩机产生轴向位移，首先是由于有轴向力的存在。而轴向力的产生过程如下：在气体通过工作轮后，提高了压力，使工作轮前后承受着不同的气体压力。由于轮子两侧从外径  $D_2$  到轮盖密封圈直径  $D_f$  的轴向受力是互相抵消的，因此，它的轴向力由以下三部分组成：

(1) $F_1$ ---在轮盘背部从直径  $D_f$  到轴颈密封圈直径  $d_f$  这块面积上所承受的气体的力。

(2) $F_2$ ---在工作轮进口部分，从直径  $D_f$  到  $d$  这块面积上所承受的气体压力。

(3) $F_3$ ---进口气流以一定的速度对轮盘所产生的冲击力。在一定的情况下， $F_1 > (F_2 + F_3)$ ，所以每个叶轮的轴向推力都是有叶轮的轮盘侧指向进口侧（轮盘侧）。如果所有叶轮同向安装，则总轴向力相当可观。

从机组设计、制造、安装方面为了平衡压缩机的轴向力，通常采取了：(1)设置平衡盘(2)设置止推轴承(3)采用双进气叶轮(4)叶轮背\*背安装。但是在运行中由于平衡盘等密封件的磨损、间隙的增大、轴向力的增加、推力轴承的负荷加大，或润滑油量的不足，油温的变化

等原因，使推力瓦块很快磨损，转子发生窜动，静动件发生摩擦、碰撞、损坏机器。为此压缩机必须设置轴向位移保护系统，监视转子的轴向位置的变化，当转子的轴向位移达到一定规定值时就能发出声光讯号报警和联锁停机。

常见的轴向位移保护器的类型及工作原理如下：

(1)电磁式：当转子发生轴向窜动时，间隙变动而引起磁组变化，时两侧铁芯磁极绕组产生不同电势，经继电器传给指示仪表。

(2)电触式：转子窜动时，触动电触点，即发出报警或停车信号。

(3)电涡流式：由传感器、交换器和指示器三部分组成。传感器是一个电感应线圈，由于高频信号的激励，产生一高频交变磁场，轴表面相应产生交变磁场相交链的电涡流磁场。由于间隙的变化，引起阻抗的变化，导致输出电压的变化。由变换器完成轴向位移与电压间的转换，通过指示器发出讯号。

(4)液压式：喷嘴与转子凸缘的间隙 $\Delta S$ 变化时，输出的油压发生变化，由曲线 $P=F(\Delta S)$ ，得知相应的轴向位移。曲线 $P=F(\Delta S)$ 由实验测的。

## 2.机械振动保护

离心压缩机是高速运转的设备，运行中产生振动是不可避免的。但是振动值超出规定范围时的危害很大。对设备来说，引起机组静动件之间摩擦、磨损、疲劳断裂和紧固件的松脱，间接和直接发生事故。对操作人员来说，振动噪音和事故都会危害健康。故此，压缩机必须设置机械振动保护系统，当振动达到一定规定值时，就能发出声光讯号报警和联锁停机。目前，大型机组普遍应用了在线的微机处理技术，可以通过测量的数据进行采集、存储、处理、绘图、分析和诊断。为压缩机的运行维护、科学检修、专业管理提供可靠依据。另外，我们还针对旋转设备应用手持式测振仪实行动态检测。

## 3.防喘振保护系统

离心压缩机是一种高速旋转的叶片式机械，它的特性是在一定的转速下运行，随着输气量的改变，排气压力、功率消耗和效率也会相应发生变化，当压缩机在某个转速下运行。压缩机的流量减少到一定程度时，会出现喘振现象，对于离心式压缩机有着很严重的危害。造成：(1)压缩机性能恶化，工艺参数大幅波动。(2)对轴承产生冲击。(3)机组静动件碰撞，机器破坏。(4)密封破坏，尤其是氧气压缩机，严重时大量气体外逸，引起爆炸恶性事故。为此，设置防喘振保护系统。目前大型压缩机组都设有手动和自动控制系统。即可自动和手动打开回流阀或放空阀。确保压缩机不发生喘振现象。具体各套机组防喘振保护系统的原理还会在以后章节说明。

## (四)机前进口过滤器

相关知识在工业区空气的含尘量一般每立方米 1-5 毫克（《氧气及相关气体规程》要求不大于每立方米 30 毫克）。灰尘粒度 0.5-20 微米，以 10000 制氧机的加工空气量计算，每天进入的灰尘就有 10 公斤之多。空压机如果直接吸入，后果可想而知。固体杂质颗粒直径大于 100 微米的在重力作用下会自然降落，小于 0.1 微米的不致引起危害，故净除的对象是 0.1--100 微米的尘粒。显然。粒度越小越难清除。空气过滤器捕集的对象主要是 0.1--10 微米的尘粒。净除后空气中含尘量小于每立方米 0.5 毫克。对空气过滤器考核的性能指标主要是除尘效率、阻力、及过滤器的容尘量。除尘效率——过滤器所捕集的尘量占气体带

入过滤器总尘量的百分比。阻力——就是气体通过过滤器的压降。当然随着捕集灰尘的积累，阻力越来越大。会影响空气量。容尘量——表示过滤器滤料开始工作到需要更换滤料的时间内，过滤器单位面积所捕集的尘量，这一指标反映了过滤材料的消耗，过滤器的制作成本及气体净化成本。为了防止不洁净介质进入压缩机组，造成设备部件磨损、叶轮和气体冷却器污染从而降低效率。同时氧透机组又为了防止因摩擦导致着火、爆炸重大事故发生。故此设置机前过滤器。我厂 DH90-6 型空压机使用了北京科林制造的 LDM-650KL 低压脉冲袋式空气过滤器，其脉冲反吹气源压力在 0.25MPa-0.3MPa。

苏儿寿空压机配备了无锡安活公司制造的自洁式空气过滤器。杭氧透平压缩机、英格索兰氮压机前安装了国产不锈钢过滤器。（具体参阅单体说明书）

## 第一节

### 概述

离心压缩机组的系统结构比较复杂，其运行状况决定于机组本身的特性、工艺管网的配合性能和安装质量等条件外，同时，在生产过程中，操作员主要应作到：

- 1、严格按照按照编制的规程精心操作，正确开、停机组，确保安全运行。由于压缩机组的类型和驱动方式不同、用途不同、开停车的操作方法不同、运行条件也不完全相同，所以应根据机组的特性、厂家的使用说明书、以及试车的记录情况等编制出自己的操作规程和维护规程。
- 2、在生产过程中，加强观察机组各类检测仪表显示的参数并做好记录。并按照点检标准要求点检。
- 3、加强设备运行中的维护。
- 4、配合检修人员作好大、中检修工作。查处设备存在的隐患并及时处理。然后对其进行总结。

## 第二节 试运行

### 试车的目的

安装及检修完毕后，必须进行严格试运转，其主要目的：

- (1)检查设备各系统的装置是否符合设计要求。
- (2)检验和调整机组各部分的运动机构是否达到设计要求。
- (3)检验和调整电气，仪表自动控制系统及其配套装置的正确性和灵敏性。
- (4)检验机组的油冷系统，工艺管路系统及其设备的严密性，并进行吹扫。
- (5)检验机组的振动、轴位移、轴温、压力等工艺参数指标及其设备设计、制造和安装质量进行全面的考核。

另外：(6)由于氧气压缩机对安全性的特殊要求，必须进行严格的以氮气为介质的试运转，在试车中应严格把求质量关，对发现的问题应查找原因，积极处理。以保证在绝对安全可\*的条件下进行氧气试运转。

试运前的准备(1)试运人员的组织培训，作好试运方案。(2)单体试运。(3)机组安装或检修后机械方面具备试运条件。(4)工艺管路的吹扫。(5)油系统的清洗调试。(6)工艺、电器、仪表系统的检查。

### 试运中及试运后的检查

压缩机组进行试运中及试运后,应对机组进行全面的检查、处理.主要包括:

试运中:加强对电机、压缩机运行参数的检查、到现场的检查与检测,能够及时发现处理,并作好记录。

试运后:根据试车情况

机械:检查轴承、齿轮接触面、密封、连接对中等情况,检查试车中的异常部位。

仪控:仪控联锁是否灵敏安全可\*。

电控:对主电机检查。

综合:处理发现的问题

压缩机组经检查后,还要进行再次负荷试车,稳定性试车,试车时间达到规程要求,经有关人员认定合格,即可填写合格记录,办理交接手续,交付生产.

### 第三节 压缩机操作规程

参阅编制的各压缩机组的相关操作规程。

#### 1. 螺杆压缩机操作规程

##### 一、注意事项

a. 使用空气软管,则尺寸要正确,并适合于所采用的工作压力,不要用已擦伤、损坏或易变形的软管,软管端部的连接件和紧固件的型号和尺寸一定要正确,在岷排出压缩空气时,开口端一定要牢牢把握住,否则软管将会挥舞而致伤人,不要将压缩空气直接对人,使用压缩空气清洁设备时要十分小心,并带上眼罩。

b. 不要在有可能吸入易燃或有毒气体的地方操作压缩机。

c. 不要在超过铭牌上规定的压力情况下运转,尽可能不要在低于铭牌上规定的压力情况下运转。

d. 运转时必须关闭全部车棚边门。

e. 定期检查 (a)安全装置的可\*性。(b)软管的完好程度。(c)有无泄漏。(d)所有电气接头应稳固、良好。

##### 二、初次启动前的准备工作

a. 卸除木契、垫木与抱箍及支撑。

b. 检查接线是否正确。

c. 检查电机过载继电器的整定值。

d. 检查电气接线是否符合安全规程的要求,绝缘必须接地以防止短路,接电源开关应设在机组附近。

e. 往储气罐/油气分离器加油至液面计油位“70”处。

f. 接通水路。

g. 关闭两个排放阀。

h. 接上电源,启动后立即停车,使电机稍微移动一下,检查旋转方向与接筒上的箭头指示方向是否一致,若不一致,则重新接线。

i. 机组起动,在空载运行期间检查油是否泄漏后,打开供气阀。

j. 逐渐关闭供气阀至压缩机卸荷运行;检查机组是否正常运行在负荷运行期间注意冷凝液是否能自动排放掉,以检验水气分离器中浮球阀工作是否正常。

k. 检查压力调节器卸载和负载压力整定值。

l. 停车

m. 开车 10 分钟，检查油位，液面计的油位应接近“0”位置。

三、启动前

a. 检查油位液面计的油位应接近“0”位置，如需加油可按程序加油。

b. 关闭水气分离器，气冷却气排放阀。

四、启动

a. 将水路接通。

c. 接上电源，启动电机，检查“电源”指示灯是否亮着。

d. 按下“启动”按钮，启动后，“启动”指示灯应亮所有其它报警指示灯应熄灭。

e. 检查油有否泄漏，启动次数一小时内应不超过 10 次。

f. 打开供气阀。

g. 按下“加载”，压缩机开始正常运行、供气。

五、运行 要定期进行下列各项检查

a. 储气罐/油气分离器中的油位。如油位过低，应加油至运转时处于“0”位置处，加油时应先停车，卸压后方可旋松加油塞加油。

b. 供气温度。

c. 水气分离器浮球阀，冷凝液自动排放的情况。

d. 排气温度应不超过规定值，检查后应将门关上。

e. 压力调节器当压缩机工作压力在上限时应卸载在下限时应负载。

六、停车

a. 关闭供气阀。

b. 按下“卸载”按钮，并至少再运行 30 秒。

c. 按下“停车”按钮“运行”信号灯灭，电机停车。

d. 打开排放阀，排放水气分离器和气冷却器中冷凝水。

e. 排出冷却器中的冷却水。

一、压力调节器的整定卸载压力用其上面的调节螺栓来进行调整，将螺栓顺时针旋转，卸载压力提高，逆时针旋转卸载压力降低。压差值用其底部的差动旋钮来进行调整，逆时针旋转，压差值减少，顺时针旋转，压差值增加。最小压差值推荐为 0.06MPa，调整范围为 0.06—0.25MPa。

二、空气滤清器 吸入空气中的灰尘被阻隔在滤清器中，以避免压缩机被过早的磨损和油分离器被阻塞，通常在运转 1000 个小时或一年后，要更换滤芯，在多灰尘地区，则更换时间间隔要缩短。滤清器维修时必须停机，为了减少停车时间，建议换上一个新的或已清洁过的备用滤芯。清洁滤芯步骤如下： a. 对着一个平的面轮流轻敲滤芯的两端面，以除去绝大部分重而干的灰沙。 b. 用小于 0.28MPa 的干燥空气沿与吸入空气相反的方向吹，喷嘴与褶皱纸少相距 25 毫米，并沿其长度方向上、下吹。 c. 如果滤芯上有油脂，则应在溶有无泡沫洗涤剂的温水中洗，在此温水中至少将滤芯浸渍 15 分钟，并用软管中的干净水淋洗，不要用加热方法使其加速干燥，一只滤芯可洗 5 次，然后丢弃不可再用。 d. 滤芯内放一灯

进行检查，如发现变薄，针孔或破损之处应废弃不用。

三、冷却器 冷却器的管子内，外表面要特别留决保持清洁，否则将降低冷却效果，因此应根据工作条件，定期清洁。

四、储气罐/油气分离器 储气罐/油气分离器按压力容器标准制造和验收，不得任意修改。

五、安全阀 装于储气罐/油气分离器上的安全阀每年至少检查一次，调整安全阀要由专崐人负责进行，每三个月至少要拉松一下杠杆一次，使阀开启和关闭一次，以确保安全阀能正常工作。检验步骤如下： a. 关闭供气阀 b. 接通水源 c. 启动机组 d. 一面观察工作压力，一面慢慢地顺时针方向旋转压力调节器的调节螺栓，当压力达规定数值时，安全阀还未打开或达至规定值前已打开，则必须调整之。调整步骤如下 a. 卸下帽盖和铅封 b. 如果阀开启过早，则松开锁紧螺母并旋紧定位螺栓半圈，如果阀开得过迟则松开锁紧螺母约一圈并松开定位螺栓半圈。 c. 重复检验步骤，如果安全阀在规定压力值时，仍不能打开，则再次调整之。

六、数显温度计的实验数显温度计的检验方法是将其热电偶与一支可\*的温度计一起放在油浴内，若温度偏差大于或等于 $\pm 5\%$ ，则应更换此温度计。

#### 第四节 空气压缩机油性能要求

##### 1. 基础油质量要高

压缩机油的基础油可分为矿物油型和合成油型两大类。矿物油型压缩机油的生产一般经溶剂精制、溶剂脱蜡、加氢或白土补充精制等工艺得到基础油，再加入多种添加剂调合而成。

压缩机油的基础油一般要占成品油的 95%以上，因此基础油的质量优劣直接关系到压缩机油成品油的质量水平，而基础油的质量又与其精制深度有着直接关系。精制深度深的基础油，其重芳烃、胶质含量就少。残炭低，抗氧剂的感受性就好，基础油的质量就高，它在压缩机系统中积炭倾向小，油水分离性好，使用寿命相对就长一些。

合成油型的基础油是以化学合成的方法得到的有机液体基础油再经过调配或加入多种添加剂制成的润滑油。其基础油大部分是聚合物或高分子有机化合物。合成油的种类很多，用作压缩机油的合成油主要有合成烃（聚  $\alpha$ -烯烃）、有机酯（双酯）、聚亚烷基二醇、氟硅油和磷酸酯等 5 种。合成油型压缩机油的价格比矿物油型压缩机油昂贵得多，但合成油的综合经济效益仍超过普通矿物油。它具有氧化安定性，积炭倾向小，可超过普通矿物油的温度范围进行润滑，使用寿命长，可以满足一般矿物油型压缩机油所不能承受的使用要求。

##### 2. 基础油馏分要窄

研究压缩机油的工况认为：改善基础油构成是提高压缩机油质量的关键性因素。由轻、重两种组分调合成的压缩机油注入压缩机气缸后，其中的轻组分因挥发性过强而提前离开工作部位影响润滑效果，而其中的重组分则因挥发性差，完成工作任务后不能迅速离开工作部位，长而久之在热与氧的作用下易生成积炭。因此，在这样的工况下，润滑油应选用窄馏分的组分油，不应选用多种馏分混合的组分油。

19 号压缩机油是用含有大量残渣组分的宽馏分油调制而成的，在使用中压缩机积炭量较大。因此，要提高压缩机油的质量应将 19 号压缩机油中的残渣组分去掉，选用窄馏分基础

油。

### 3. 粘度要适宜

在动力润滑的条件下，油膜厚度随油品的粘度提高而增加，但摩擦力亦随油品粘度的提高而增加。粘度过低的润滑油不易形成足够强的油膜，会加速磨损，缩短机件的使用寿命。反之，润滑油粘度过高，会加大内摩擦力，使压缩机的比功率增大，以致增大功耗和油耗，也会在活塞环槽内、气阀上、排气通道内等处形成沉积物。因此，选择合适的粘度是正确选用压缩机油的首要问题。西安交通大学通过试验证明：在同一型号的压缩机上采用相同的试验条件，使用较低粘度牌号的油品比使用高粘度牌号的油品最多可降低压缩机的比功率约 10%，而机件磨损量却无明显差异。因此，在保证润滑的前提下，选择适宜粘度牌号的油品，对于节能和压缩机的可靠运行有着很重要的影响。

通过研究总结出国内各种往复式空气压缩机选择最佳粘度牌号压缩机油的规范，见表 1 和表 2。

表 1 传动机构选油表（供参考）

活塞力, kN	冬季	夏季
≤35	N32、N46	N46、N68
>35	N32、N46	N68

表 2 气缸部位选油表（供参考）

排气压力, MPa	冬季	夏季
≤1	N46、N68	N68、N100
1-10	N68、N100	N100、N150
10-40	N100、N150	N150 (N220)

### 4. 粘温性能要好

喷油内冷回转式空气压缩机在工作过程中反复被加热和冷却。因此，要求油品粘度不应由于温度变化而有太大变化，应具有良好的粘温性能。精制的压缩机油的粘度指数均在 90 以上。

### 5. 闪点要适宜

闪点是指油品在大气压力下加热形成的蒸气压力，达到用明火点燃的下极限浓度时的温度。闪点过高，油品馏分就重，粘度亦大，沥青质等含量就高，使用时易积炭。若片面追求高闪点的压缩机油，反而会成为不安全因素。所以，压缩机油的闪点要求适宜即可。

闪点只是油品使用的安全指标之一，压缩机油闪点一般控制在 200℃ 以上都可以安全使用。

### 6. 积炭倾向性要小

压缩机油抗积炭倾向性如何对压缩机油的可靠运行是至关重要的。在实际工业使用中，大中型压缩机由于积炭而发生着火爆炸的事故已屡见不鲜。

在油品中易形成残炭的主要物质是沥青质、胶质及多环芳烃的叠合物。润滑油料经深度精制后均可去掉大部分以上物质。一般低粘度和深度精制的润滑油残炭值低，在使用中不易

积炭。因此，优质的 L-DAB 压缩机油应选用深度精制的<sup>①</sup>不含残渣（光亮油）的窄馏分基础油。添加剂也应尽量选用无灰型添加剂。

现在国内外评定空气压缩机油积炭倾向性的试验方法普遍采用润滑油老化特性测定法（GB/T 12709）和减压蒸馏蒸出 80%后残留物性质（GB 9168）。这两项试验方法的试验条件较为苛刻，如果油品的精制深度不够或含有残渣油（光亮油）组分或选用有灰添加剂，都很难达到优质标准。

#### 7. 极好的氧化安定性

从往复式压缩机的使用工况看，润滑油在气缸活塞部位与热的压缩空气不断接触会引起油品的氧化、分解，生成胶质和各种酸类物质。如有磨损的金属杂质掺入，更易引起氧化。分解的油气在压气缸中与氧混合到一定浓度和温度时，可能自燃和有气缸爆炸的危险。因此，往复式压缩机油的氧化安定性是保证油品质量的关键指标。

从回转式压缩机的使用工况看，润滑的环境苛刻。油品在循环使用中，易被氧化变质生成各种酸类、胶质、沥青质等物质，使油品的颜色变深，酸值增高，粘度增大并出现沉积物，从而减少油的喷入量，使油品和机器的温度升高，产生过量磨损，降低工作性能，甚至可能引起气缸爆炸的危险。因此，回转式压缩机油的氧化安定性是保证油品能长期安全使用的主要质量指标，国内的试验方法为 GB/T 12581 汽轮机油氧化安定性测定法。

#### 8. 不腐蚀金属、防锈性好

压缩机的油冷却等部件的材质为铜或铜金属，易被腐蚀，会使油品出现早期氧化变化变质，生成油泥。这就要求油品应有良好的抗腐蚀能力。

空气中的水分易在间歇操作的压缩机气缸内冷却，这对润滑不利并能产生磨损和锈蚀，要求压缩机油应具有良好的防锈蚀作用。

#### 9. 油水分离性好

压缩机在运行中不断与空气中的冷凝水相遇并被剧烈搅拌，易产生乳化现象，造成油气分离不清，油耗增大。由于油被乳化而使油膜破坏，造成磨损。乳化的油会促使灰尘、砂砾和污泥分散，影响阀的功能，增加摩擦、磨损和氧化。因此，优质压缩机油均具有好的抗乳化性能和油水分离性能。

#### 10. 极好的消泡性

回转式压缩机油在循环使用过程中，循环速度快，是油品处于剧烈搅拌状态，极易产生泡沫。压缩机油在启动或泄压时，油池中的油也易起泡，大量的油泡沫灌进油气分离器，使阻力增大，油耗增加，会造成严重过载、超温等异常现象。因此，优良的回转式压缩机油均加有抗泡沫添加剂，以保证油品的泡沫倾向性（即起泡性）小和泡沫稳定性（即消泡性）好。

此外，还要求油品挥发性小，合适的倾点，无机械杂质和水分等性能，以保证压缩机能长期安全运行。

#### 11. 必须通过压缩机油的台架试验

目前，德国、美国、英国、日本等西方国家都开展了压缩机油的台架试验研究，探索用实机试验评定压缩机油的积炭倾向及使用寿命。由西安交通大学负责，上海 703 研究所和锦西炼化总厂参加的“往复空压机油的台架评定与选用技术研究”已取得压缩机行业的认



可，并已通过中国石油化工总公司的技术鉴定。该项目选择了空压机油积炭评定和寿命评定的两种有代表性的压缩机，建立了评定台架，确定了评定方法。台架试验的主要内容有：

1) 评定台架主要参数，见表 3

表 3 评定台架主要参数

项目

积炭倾向评定试验机

寿命评定试验机

型式与型号 WP110 型单列两级水冷

差动式空压机 Z-0.2/10

单缸立式风冷空压机

排气温度，℃ 一级 190±1 二级 180±1 200±2

排气压力，MPa 一级 0.5 二级 3.0 10

压力比

一级 6 二级 5 11

转速，r•min<sup>-1</sup> 970 840

油耗量，g•h<sup>-1</sup> <5 <1.2

评定时数，h 120 600

2) 积炭评定指标

DAA 级油积炭量/参比油 19 号压缩机油积炭量 ≤ 1

DAB 级油积炭量/参比油 19 号压缩机油积炭量 ≤ 1/5

3) 寿命评定指标

酸值改变量<0.15mgKOH/g

粘度改变量<10%

重复性误差<15%

上述评定台架和评定方法已用于 9 家炼厂空压机油产品质量的评定（见表 4）。提出的选用方法已在国内几十家压缩机制造厂和用户推广使用。

表 4 9 种 DAB 油的积炭与 HS-19 油的比值（gDAB/g19 号）

油样编

号	No1	No2	No3	No4	No5	No6
	No7	No8	No9			

积炭比

值	1/10	1/1.5	1/9	1/12	1/3.7	1
/7.5	1/5	1/14	1/4.5			

该台架评定方法能较准确、可\*地评定 DAA、DAB 级不同配方的往复空压机油的实用性能。

气体压缩机油性能要求

1. 天然气

天然气压缩机的润滑一般用矿物油型压缩机油。但天然气会被油吸收，使油的粘度降低，因此选用油的粘度牌号一般要比相同型号，同等压力的空气压缩机所用油的粘度牌号要更

高些。

不同天然气中乙烷以上的可凝物含量，干气为 2-13ml/m<sup>3</sup> 以内，贫气为 13-40ml/m<sup>3</sup>，湿气为 40-54ml/m<sup>3</sup>。

对湿气或贫气，宜在压缩机中加 3%-5%的脂肪油。湿度大的可掺 10%-20%的脂肪油，亦有用 5%-8%不溶的植物油无敏脂或动物脂混合油，以防凝聚物的液体冲洗油膜。

对含硫气体最好用 SAE 30 的重负荷发动机油。对发动机和压缩机在一起的设备，可用发动机所用的相同润滑油，以保护设备不被含硫气体腐蚀。

在 7.5MPa 压力以上时，对含硫气体使用 SAE 50 或 SAE 60 的重负荷发动机油。

## 2. 烃类气体

这类气体能与矿物油互溶，从而降低油品的粘度。高分子烃气体在较低压力下会冷凝，因此要考虑湿度，对润滑油的要求与天然气相同。

丙烷、丁烷、乙烯、丁二烯这些气体易与油混合，会稀释润滑油。为此，需要用较粘的油，以抵制气体和其冷凝液的稀释和冲洗的影响。

压缩纯度要求特别高的气体如丙烷，一般采用无油润滑。若采用油润滑时，可用肥皂润滑剂或乙醇肥皂溶液，以提供必要的润滑。

压缩高压合成用的乙烯时，为了避免润滑油的污染，影响产品性能和纯度，应采用无污染的合成油型压缩机油或液体石蜡等作为润滑油。例如，从日本引进的 30 万吨乙烯装置上的二台高压和超高压压缩机内部用润滑剂为聚异丁烯，其分子量为 1500。

焦炉气大部分是氢合格甲烷，气体不纯净，因此，一般用离心式压缩机。如采用往复式压缩机，可选用 DAA 100 或 DAA 150 空气压缩机油。

## 3. 惰性气体

惰性气体一般对润滑油无作用，氢、氮可使用与压缩干空气相同的压缩机油。

对氦、氖、氩等稀有贵重气体，往往要求气体中绝对无水，并不带有任何油质。因此，一般用膜式压缩机，没有气缸润滑问题。

二氧化碳及一氧化碳均与矿物油有互溶性，会使油的粘度降低，如果有水，还会产生腐蚀性碳酸。因此，在保持干燥的同时，应选用更高粘度牌号的润滑油，以减少油气带出。

压缩二氧化碳介质的润滑油的粘度一般不低于 SAE 50 含添加剂的油，压力 14MPa 时用 SAE 40 的油。

二氧化碳与油混合会使气体污染。当该气体用来加工食品或不允许污染时，应选用液体石蜡或乙醇肥皂作为润滑剂。

新型合成食品级螺杆式压缩机的润滑剂可选用聚  $\alpha$ -烯烃合成油。聚  $\alpha$ -烯烃油经过两次加氢，可以符合食品级的要求，口试无毒，对皮肤和眼睛无刺激性，符合工业白油规格。

采用离心压缩机压缩氨或合成气（常含大量氨）时，系统必须保持干燥，尽可能减少油与输送气接触。因为有水分存在时，氨与油的酸性氧化物作用会生成沉淀。选用润滑油时，最好选用专用的抗氨型汽轮机油。

## 4. 化学活性气体

这类气体与润滑油有作用，应慎重考虑。

氯和氯化氢在一定条件下可与烃起作用，不能使用矿物油。这类气体的压缩机常用无油润

滑压缩机，也有用浓硫酸作为润滑剂的。

硫化氢压缩机的润滑系统及气缸要保持干燥。如有水分存在，则此气体腐蚀性很强，润滑油的选择与压缩湿空气时相同，建议使用抗氧防锈型汽轮机油。

氧气压缩机通常使用无油润滑压缩机。

一氧化二氮与二氧化硫均能与油互混，因而会降低油的粘度，故应使用粘度牌号较高的润滑油，如采用 SAE 40 或 SAE 50 的油。

压缩一氧化二氮时不能用有分散剂的重负荷发动机油，因为添加剂会与可能生成的硝酸起作用而产生大量的沉积物。

当压缩二氧化硫时，由于二氧化硫是一种选择性溶剂，它有助于分出润滑油中任何生成焦油状的成分，并沉淀出来。建议选用防锈抗氧型汽轮机油，并应经常检查油样是否有沉渣。

### 气体压缩机油的选择

压缩机润滑剂的选择取决于压缩机的结构类型、工作参数（压缩比、排气压力和排气温度等）及被压缩气体的性质等多种因素，活塞式压缩机工作条件较为苛刻，对润滑剂选择也较为严格，这里将重点予以说明。

#### 1. 不同的压缩气体决定了对润滑剂类型的选择

在氧气压缩机里，氧分会使矿物性润滑油剧烈氧化而引起压缩机燃烧和爆炸，因此避免采用油润滑，或者采用无油润滑的方式，或者采用水型乳化液或蒸馏水添加质量分数 6%~8% 的工业甘油进行润滑；在氯气压缩机里，烃基润滑油可与氯气化合生成氯化氢，对金属（铸铁和钢）具有强烈的腐蚀作用，因此一般均采用无油润滑或固体（石墨）润滑。对于压缩高纯气体的乙烯压缩机等为防止润滑油混入气体中去影响产品的质量和性能，通常也不采用矿物油润滑，而多用医用白油或液态石蜡润滑等等。只是在一般空气、惰性气体、烃类（碳氢化合物）气体、氮、氢等类气体压缩机中，大量广泛采用了矿物油润滑。表 1 列出了压缩机压送不同气体时所用润滑剂的选用参考表。

表 1 压缩机压送不同气体时所用润滑剂的选用参考表

介质类型

对润滑剂的要求

推荐润滑剂

空气（1）

因有氧，油的抗氧化性能要好，油的闪点应比最高排气温度高 40℃ L-DAB100 或 L-DAB150 号防锈抗氧压缩机油，与 6% ACC-ET 混合使用。

氢氮

无特殊影响，可用与（1）相同的油

普通压缩机油传动部件用 L-AN100 全损耗系统用油，与 6% ACC-ET 混合使用。

氟、氦、氖

气体较贵重、气体中应不含水分和油，多用膜片式压缩机压送

内腔用 L-HL32 液压油、汽轮机油或全损耗系统用油，与 6% ACC-ET 混合使用。

氧

会使润滑油剧烈氧化和爆炸，不用矿物油润滑  
用无油润滑或蒸馏水加质量分数为 6%~8%的工业甘油  
氯

在一定条件下与烃作用生成氯化氢  
无油润滑（石墨）

硫化氢，二氧化碳，一氧化碳  
润滑油应不含水分，否则水溶解气体可生成酸，会破坏润滑性  
防锈抗氧压缩机油或汽轮机油，与 6% ACC-ET 混合使用。

二氧化碳，二氧化硫（2）  
能与油互溶，降低粘度，油中应不含水分并应防止生成腐蚀性酸  
防锈抗氧汽轮机油，与 6% ACC-ET 混合使用。

氨  
如有水分会与油的酸性氧化物生成沉淀，与酸性防锈剂生成不溶性皂  
防锈抗氧汽轮机油，与 6% ACC-ET 混合使用。

天然气  
湿而含油  
湿气用复合压缩机油干气用压缩机油，与 6% ACC-ET 混合使用。

石油气  
会产生冷凝液稀释润滑油 L-DAB100 或 L-DAB150 号防锈抗氧压缩机油，与 6%  
ACC-ET 混合使用。

乙烯  
避免润滑油与压送气体混合而影响产品性能，不用矿物油润滑  
白油或液体石蜡

丙烷  
与油混合可被稀释，高纯度的丙烷应用无油润滑  
乙醇肥皂润滑剂，防锈抗氧汽轮机油

焦炉气，水煤气  
对润滑油无特殊影响，但气体较脏，含硫多时有破坏作用  
压缩机油，与 6% ACC-ET 混合使用。

煤气  
杂质多，易弄脏润滑油  
经过滤的压缩机油，传动部件用 L-AN46、L-AN68、L-AN100 全损耗系统用油，与 6% ACC-ET  
混合使用。

## 2. 润滑油粘度的选择

在多级的空气压缩机中，前一级气缸输出的压缩气体通常经冷却后恢复到略高于进气时的  
温度被送入下一级气缸，因气体已被压缩故相对湿度较高，当超过饱和点时，气体中的水  
分将可能凝结，该水分具有洗净作用，可使气缸表面失去润滑油；其次在烃类气体压缩机  
中，它不仅可溶解在润滑油中降低了油的粘度，而且凝结的液态烃也同水分一样对缸壁具

有洗涤作用，因此对于多级、高压、排气温度较高的烃类气体压缩机和空气湿度较大的空气压缩机易选用粘度较高的油品，粘度较高的油品对金属的附着性好，并对密封有利。如中低压烃类气体和空气压缩机宜用 L-DAA100 的压缩机油，高压多级宜用 L-DAA150 的压缩机油。喷油回转式压缩机选用油的粘度情况也与此类似，压力较低时选用 100℃ 运动粘度为 5mm<sup>2</sup>/s 的 N32 回转式压缩机油，压力较高时选用运动 100℃ 粘度为 11-14 mm<sup>2</sup>/s 的 N100 回转式压缩机油。

其次为防止凝结的液态烃和空气中的水分对润滑油的洗净作用，可采用质量分数 3%-5% 的动物性油（如猪油或牛油）与矿物油相混合的润滑油，动物性油与金属的附着力强，容易抵抗“水洗”，阻止润滑油的流失。

### 3. 油品的代用

在采用油润滑的往复和回转容积式压缩机中除用相应牌号的压缩机油外，还可采用防锈抗氧的汽轮机油、航空润滑油、汽缸油等作为代用的油品，但这些代用油品的性能不应低于相应的压缩机油的质量指标，或应满足在具体条件下的使用要求。当气体压缩机采用油润滑时，外部零件和内部零件的润滑可用同一牌号的润滑油，也可采用不同牌号的润滑油，但不论内部零件采用何种类型的润滑介质，而外部传动零件的润滑都应采用矿物性的润滑油。

#### 气体压缩机用油举例及润滑系统维护

表 1 为各种油润滑的气体压缩机选油的参考表。

压缩机型式

排气压力/MPa

压缩级数

润滑部位

润滑方式

合适粘度 / (mm<sup>2</sup>/s) (100℃)

推荐油品

往复式活塞式

移动式

0.7-0.8

0.7-5

1-2

2-3

气缸及传动部件

飞溅式润滑

7-10

10-12

DAA100 或 DAB100 空压机油，与 6% ACC-ET 混合使用。

固定式

5-20

20-100

>100

3-5

5-7

多级

气缸及传动部件

压力强制润滑及压力注油润滑

12-18

18

18-22

DAA 或 DAB100、150 空压机油 4502 合成油，与 6% ACC-ET 混合使用。

## 回转容积式

### 滑片式

干式 < 0.3

0.7 1

2 气缸轴承

无油润滑油环或油脂润滑 ACC-GR 润滑脂

喷油式 0.7-0.8

0.7-2 1

2 气缸及轴承

喷油循环式 4-5 2DAG32, 46, 或 100 回转压缩机油, 与 6% ACC-ET 混合使用。

### 螺杆式

干式 0.3-0.5 1 轴承及同步齿轮

油环或油脂润滑 ACC-GR 润滑脂

喷油式 0.6-0.7

1.2-2.6 2

3-4 气缸及轴承

喷油循环式 5-7 DAG32-N68, 或 100 回转压缩机油, 与 6% ACC-ET 混合使用。

### 涡轮式

#### 离心式

#### 轴承及密封环

压力循环式、油环式或油脂润滑 5-8 L-TSA32、L-TSA46、L-TSA68 抗氧化汽轮机油, 与 6% ACC-ET 混合使用。ACC-GR 润滑脂

#### 轴流式

带“十字头”的压缩机的外部传动零件可用 L-AN68、L-AN100 全损耗系统用油, 不带“十字头”的压缩机外部零件可用与气缸相同牌号的压缩机油, 与 6% ACC-ET 混合使用。

## 压缩机用油举例

### 气体压缩机润滑系统的使用及维护

气体压缩机中最常见的故障是活塞与活塞环、转子部件、滑动支承处的异常磨损和咬合, 十字头滑块的咬合, 及异常发热等。这些故障都直接或间接地与润滑系统和润滑装置的使用维护不当有关。作为使用维护人员除了应学习掌握有关的润滑系统及其装置的组成原理、性能结构、使用要求等一般知识外, 还应在实践中不断总结积累经验, 加强日常使用维护工作, 以保证压缩机及其润滑系统经常保持良好的运行状态。在日常点检和定期维修中应注意以下各点:

(1) 注意保持润滑油液的清洁脏油或变质的润滑油会引起加速零件磨损的恶性循环, 对强制循环式的润滑系统应注意及时更换和清洗发生堵塞的滤油器中的滤芯; 应避免油箱或油池中的油液暴露在空气中, 以防灰尘和污物等混入油中, 对无压的油箱和油池一般可采用

空气滤清器使其与大气沟通；中、大修时应从油中取样化验其成分，如达到或超过换油指标，应全部或部分更换和补充新油。通常每 3 个月至半年（或工作 2000-4000h）可更换一次新油。回转式压缩机油的换油指标如表 2 所示，可供参考。

表 2 回转式压缩机油换油标准

项目

换油标准

运动粘度（40℃）

总酸值/[mg(KOH)/g]

水分（体积分数）/%

沉淀/（mg/100mL）

颜色

新油粘度的±10%

大于 0.5

小于 0.1

大于 20

急剧变深

（2）应定期检查 应定期检查气缸、气阀及排气管道等处是否积聚有固体的炭粒和胶泥，一经发现应及时清除，否则可能引起气缸的燃烧爆炸、加大排气阻力，造成异常发热。

（3）应注意压缩机的工作状态应注意观察压缩机的工作状态，定期检查气缸气阀的润滑磨损状况，适时调整润滑油量，防止出现润滑油量过大和润滑油量不足的情况。对强制循环系统，润滑压力指示过低或明显下降，往往使润滑油量不足，此时应及时停机维修，必要时更换备品和备件。

（4）注意保持润滑系统中的油温油箱或油池中油液的正常温度以 40-50℃为宜，油温过高，油液的粘度降低，油易氧化变质，油温过低，粘度增高，流动性变差，两者都会引起润滑不足的状况。油温除可从温度表（计）得到直接的观测指示外，从气缸内冷循环水或油冷却器的冷却水温也可得到间接的反应，冷却水温过高和过低都将影响润滑油的工作温度及润滑油的粘度。

### 第五节 空压机原动机的选择

离心压缩机用原动机目前常用的有电动机和汽轮机。

电动机优点：结构简单，启动迅速，简便。

缺点：(1)转速低，为适应离心压缩机的高转速，之间需要增设齿轮增速器。(2)不能和不易变速调节，不利于压缩机最佳调节方式。(3)大型功率电机防暴通风装置复杂。汽轮机优点：(1)驱动功率大。(2)转速可调。(3)利用化工余热产生副产蒸汽，作为原动力的能源，启动几乎不用电。(4)实用性能好，可以带负荷启动。(5)运转周期长。

缺点：(1)辅助设备多、管线多。(2)需要有蒸汽发生系统与冷凝所配套的水泵、冷却塔。(3)开停车操作复杂。(4)一般便于具有化工余热便于生产蒸汽、蒸汽还需要有富裕的场合。

### 第六节 运行检查、维护与管理

离心压缩机是一种庞大、结构复杂、高速运转、高压、大流量的机器设备，日常必须进行全

员的综合检查、维护与管理, 包括以下内容。

(一)运行检查、维护 严格按照操作规程与岗位维护规程作业。

1、检查机组运行参数、信号指示、运行设备

进、出口工艺气体参数(温度、压力、流量、压差);

机组振动值、轴位移、轴承温度; 机组气、油、水路阀门、导叶开度; 检查油、水系统的压力、温度以及油路压差等微机阀门、运行设电器以及就地盘指示灯。厂房、隔音罩通风机的运行情况。

2、现场运行点检、日检、周检以及综合检查机组在正常运行中, 要不断的监视运行变化, 经常注意运行的变化趋势, 防止事故的发生, 确保安全运行。

3、冷却系统的操作、维护与调整

(1)参阅操作规程作业, 正确调节开关阀门、调整水量、水压、水温至正常范围。

(2)维护与调整

A、风冷: 主要是电机除灰。

B、水冷方面, 日常工作中, 经常遇到很多问题, 如: 中间冷却器水侧结垢、水侧堵塞、气侧脏污、水流量减少、进水温度升高, 这些情况出现时, 都会影响冷却器的换热效果。需要检修清洗。

4、润滑系统的维护:

(1)油箱检查:

油位: 保证各机组运行中, 主油箱油位在 2/3 以上。对于氮压机, 因主电机轴承依\*轴承油箱内无压油润滑, 应注意电机油箱油位偏低时及时补加。

油质: 根据规定, 3 个月化验一次油质。

(2)油泵检查: 无异常声响, 测量振动速度应 $<2.8\text{mm/s}$ 。

(3)油冷却器检查: 油温可以在规定范围内调节, 油冷却器工作正常, 无跑、冒、渗、漏, 并在年度检修时对油冷却器清洗。

(4)油过滤器检查: 油过滤器阻力 $<0.15\text{MPa}$ , 并在年度检修时清洗或更换油过滤器滤芯。

(5)注意季节、昼夜温差对润滑油温的变化, 要缓慢调整, 以免对压缩机组振动造成大的影响。

(6)注意润滑油路系统的跑、冒、滴、漏对运行参数的影响。

总之, 在压缩机组的辅助装置中, 润滑油系统发挥着不可忽视的重要作用。做为操作、维护压缩机组的相关人员, 应该在机组检修后, 对润滑油系统进行全面、认真的调试工作; 在机组正常运行时, 认真点检、加强维护、按照规程操作。

5、尽量避免带负荷紧急停车、机组运行中, 尽量避免带负荷紧急停车、只有发生运行规定的情况, 才能紧急停车。当采取紧急停车措施后, 应严格按照紧急停车规程检查。

附录: 操作工的日常工作部分择录(1)环境温度高时, 应检查空透的冷凝水排放、空气过滤器的排灰情况。(2)振动曲线趋势图的绘制。(3)气体冷却器温度、油温、油压的调整。

(4)主电机振动速度的测量。(5)机组润滑油的补充。(6)设备卫生的清洁。应注意: 擦设备时不要\*近运转部位; 不要用有油污的布擦气体的管路、缸体; 不要触动仪控线路等。(二)管理



1、建立压缩机主辅机的设备档案，主要包括：(1)压缩机主辅机的规格、型号、制造厂家、出厂编号及日期、设备重量、价格。(2)设备主要系统、结构、零部件图纸(3)主要技术参数及其性能曲线(4)主要部件的材牌号、成分、机械性能、耐热、耐腐蚀性能。(5)安装前质量检查、安装记录、日期和验收记录。(6)试运记录、次数以及累积运行时数。

(7)开车投产记录、日期。

(8)设备规程(9)润滑记录(10)设备检修方案、记录以及总结等。设备技术档案要及时、准确、清晰、完整。

2、设备备品、备件的管理每台压缩机皆应根据实际具体情况。编制备品备件储备定额和消耗定额。储备足够数量备品备件，加强分类保管和管理，防止变形、锈蚀和损坏。

3、开展设备技术改造、提高设备升级

组织各人员开展设备技术改造，但改造前必须进行详细的设计计算和科学的分析，经过严格的审批。逐步消灭设备存在的不足，不断提高设备的完好程度。

4、设备故障、事故总结

及时总结问题，加强交流，吸取经验，防止类似故障、事故发生

实例：

沈鼓空分装置用 MC01004 离心压缩机组技术方案书

第一章 总述

1.1 机组概括：

MC01004 离心空压机机组，具体构成如下：

1 机组为双层布置，安装在顶棚之下。

1 压缩机由一个缸组成，安装在一个独立的底座上。

1 采用先进的\*\*技术，防结焦、积灰。

1 原动机采用汽轮机拖动，布置在压缩机一侧，安装在另一个独立底座上。

1 润滑油站安装在室内的一楼基础上。

1 段间气管路。

1 机组控制系统采用 GE90-70 系统。

1 气体冷却器（带气液分离器功能）布置在一楼基础上。

1 高位油箱位于距机组中心线 6 米的高度上。

1.2 主要技术参数：

内 容

单 位

参 数

排气量(0℃, 101.325 kPa, dry) Nm<sup>3</sup>/h 95000

压缩机型号 MC01004

压缩介质

空气

流量调节范围 % 80~105

相对湿度 % 66

进口压力(进口法兰处)	MPa (A)	0.096	
排气压力	MPa (A)	0.62	
进口温度	°C	30	
出口温度	°C	≤110°C	
各段的进口温度 1段/2段/3段	°C	30/38/38	
各段的出口温度 1段/2段/3段	°C	112.1/123/81.1	
各段的进口压力 1段/2段/3段	MPa (A)	0.96/0.196/0.415	
各段的出口压力 1段/2段/3段	Mpa (A)	0.2/0.42/0.62	
工作转速 1段/2段/3段	Rpm	6720	
冷却水进口温度	°C	32	
冷却水温升:	°C	8	
轴功率	Kw	7840	
各段的多变效率: 1段/2段/3段	%	85.3/86.6/85.5	
空压机机械损失	Kw	99	
空压机泄露损失	Kw	47	
转动惯量			
汽轮机	Kg. m2		
冷却水耗量:	中间冷却器	M3/h	690
	油冷却器	M3/h	25
振动值(设计值)	&micro;m	34	
噪音等级	DB(A)	85	
外形尺寸(L×W×H)	压缩机	M	6000x4000x3000
重量			
压缩机	Kg	34000	
安装最大件重量	Kg		
检修最大件重量	Kg	13500	
连续运转周期			
年	≥3		

注: 详细参数见数据表

### 1.3 离心压缩机型号及含义:

M C 0 100 4

| | | | \_\_\_\_\_ 共 4 级叶轮

| | |

| | | \_\_\_\_\_ 第 1 级叶轮名义直径为 1000mm

| |

| | \_\_\_\_\_ 第一级悬臂半开三元轮

|

## | \_\_\_\_\_机壳轴向剖分结构

### 1.4 离心压缩机组结构说明

#### 1.4.1 离心压缩机组本体结构说明

MC01004 离心空压机是一种单轴多级离心压缩机。汽轮机设在一侧，压缩机与汽轮机之间设有膜片联轴器。气体在 MC01004 分三段压缩，由第一段 1 级半开三元轮压缩后出来的气体经气体冷却器(带气液分离器功能)后，再进入第二段继续压缩，经过第二段 2 级压缩后经气体冷却器(带气液分离器功能)，再进入第三段 1 级压缩至出口状态。具体结构见技术协议参考图压缩机外型图。

MC01004 采用水平剖分外挂悬臂室结构。第一级悬臂布置结构，二、三段是背\*背布置，共分三段，四级压缩。

压缩机主要由定子(机壳、隔板、密封、支撑隔板等)、转子(轴、叶轮、隔套、平衡盘、联轴器、推力盘、螺母等)、支撑轴承、推力轴承、拉比令密封组成。

MC01004 空气离心压缩机采用焊接机壳，进出口蜗室均为变截面结构。两端密封区的回油腔是通过钻孔形成的。油直接排出，不在机壳内停留，保证了回油畅通。采用焊接机壳，避免了选用铸造机壳而产生的铸造缺陷，同时也提高了机壳的外观质量。

机壳在水平中分面处分成上下两半，用螺栓将上下半机壳紧固在一起。在下机壳法兰中分面处，向两侧伸展出四个支腿，将压缩机支在底座上。一般在机壳的两个支腿上，有横向键槽，是为了压缩机纵向定位用。在压缩机进气管外侧，有两个立键，用于机器的横向定位。这些键能防止机壳位移，保证机器良好对中。并适应因温度变化而引起机壳的热膨胀变形。

MC01004 空气离心压缩机的转子采用的是高效率的三元流动性叶轮。主要是满足大流量的要求，提高了效率，减少了耗功，同时也减小了机器的外形尺寸，节省了投资，由于采用这些高效率的叶轮，能够严格保证出口压力到装置中，出口温度也能够保证在规定的范围内。

第一级叶轮采用半开式三元叶轮，其他三个叶轮采用闭式、后弯叶轮。叶轮和轴之间有过盈，叶轮热装在轴上，隔套热装在轴上，它们把叶轮固定在适当的位置上，而且能保护没装叶轮的部分的轴，使轴避免与气体相接触，且起导流作用。

#### 1.4.2 轴承结构说明

MC01004 空气离心压缩机的支撑轴承，采用可倾瓦轴承。这种轴承有五个活动瓦块，瓦块可绕其支点摆动，以保证运转时处于最佳位置，不会产生油膜振荡，运转平稳可靠\*。

止推轴承也采用可倾瓦轴承，轴承是双面止推的，轴承体水平剖分为上、下两半，有两组止推元件，每组有 8 块止推块，置于旋转的推力盘两侧。推力瓦块能绕其支点倾斜，使推力瓦块能够承受挠曲旋转轴上变化的轴向推力。

#### 1.4.3 轴端密封结构说明

##### 迷宫密封

MC01004 空气离心压缩机的轴端密封采用迷宫密封。

### 1.5 底座的结构特点

压缩机放在一个底座上，汽轮机单独放在一个底座上，可以保证机组良好的对中。压缩机

的进出风口布置在压缩机的正下方。

### 1.7 润滑油系统结构特点

润滑油站是为压缩机轴承、汽轮机轴承、汽轮机调速油系统等部件强制供油用的。设计成独立系统，安装在一个钢结构底盘上（若运输超宽，油箱与油冷分开）。

润滑油站上设有两套油泵组、两台管壳式油冷却器组及两台油过滤器组均为一主一备，用户可在不停机的情况下对油冷器和油过滤器进行维护。

润滑油箱采用蒸汽加热器，加热油温一般控制在  $40 \pm 5^\circ\text{C}$  范围内。油箱上部设有充氮气节流孔板，用氮气对油箱内的烟气进行吹扫，氮气在孔板前压力为  $200\text{mmH}_2\text{O}(\text{G})$ ，耗量  $10\text{NM}^3/\text{天}$ 。

润滑油系统还设有高位油箱。当两台油泵同时事故停车时，由于压缩机和汽机转子转动惯性很大，机器需要一定时间才能完全停下来。因此要用足够的油量来供给轴承润滑，这些油由高位油箱提供。

润滑油系统详见 P&I 图。

### 1.8 气体冷却器结构特点

气体冷却器采用翅片式换热器形式，基管为 20#钢，外套铝翅片，极大地提供了换热面积，同时带气液分离功能，及时排除冷凝液。

### 1.9 机组的防积灰措施：

由于介质中含有少量尘，压缩机可能遇到的问题是积灰问题，为此，沈阳透平机械股份有限公司采取的主要措施是：

#### 1.9.1 采用高效叶轮：

采用高效叶轮，可以使每段气体出口温度降低，降低积灰的可能性。

#### 1.9.2 \*\*

采用世界上最先进的\*\*方法，利用水蒸发的潜热来降低段内气体温度，同时可对附在叶轮上的少量积灰进行定期冲刷，保证压缩机叶轮流道通畅，进而保证压缩机的性能。所喷的水为化肥厂常备的冷凝水。这种方法由于降低了多变指数，虽增加气体流量，但基本不会增加压缩机的耗功。

沈鼓厂的\*\*系统已成功应用在大庆年产 50 万吨乙烯项目的裂解气压缩机及 DH 空气压缩机等许多个机组上。

#### 1.9.3 进行功率储备：

由于介质中灰在机组运转一定时间后会附着在叶轮的流道中，这时机组的流通能力将下降，造成效率下降，转速升高，耗功增加。我厂充分考虑这一点，对叶轮进行特殊设计，这对于解决积灰问题是十分有效的，能够保证机组年连续运转 8000 小时以上。

## 第二章 卖方的供货范围

### 2.1 MC01004 离心压缩机本体 1 台

#### 2.1.1 定子 1 套

#### 2.1.2 转子 1 套

#### 2.1.3 支撑轴承 2 付

#### 2.1.4 推力轴承 1 付

- 2.1.5 迷宫密封 1 套
- 2.2 底座(含不锈钢垫片、地脚螺栓、螺母和垫片) 1 套
- 2.3 机旁润滑油管路 1 套
- 2.4 膜片联轴器 1 套
- 2.5 联轴器护罩 1 套
- 2.6 润滑系统(详见 P&I 图)
  - 2.6.1 润滑油站(包括底座及地脚螺栓) 1 台
  - 润滑油箱 1 套
  - 主油泵(含电机) 1 套
  - 备油泵(含电机) 1 套
  - 泵前过滤器 2 套
  - 双联油过滤器(包括汽轮机调速油用一套) 1 套
  - 双联油冷却器 1 套
  - 内部联接管路、管件及阀门 1 套
  - 2.6.2 高位油箱 1 套
  - 2.6.3 三阀件组 1 套
  - 2.6.4 回油视镜 1 套
  - 2.6.5 排烟机 1 套
  - 油气过滤器 1 套
- 2.7 段间气管路(包括管件、支吊架、膨胀节等) 1 套
  - 2.7.1 中间气体冷却器(带气液分离器功能) 2 套
  - 2.7.2 放空消音器 1 套
  - 2.7 气体入口过滤器 1 套
- 2.8 一次就地仪表 1 套
- 2.9 \*\*系统(含泵及、辅助部件) 1 套
- 2.10 轴振动、轴位移测量仪表(BENTLY3300 系列) 1 套
- 2.11 防喘振阀(无锡工装) 1 套
- 2.12 出口止回阀、安全阀 1 套
- 2.13 机组控制系统(GE90-70) 1 套
- 2.14 低压电控柜 1 套
- 2.15 主汽轮机(见技术附件二汽轮机部分) 1 台

注(1) 由沈鼓配套的管路对外均带配对法兰。

(2) 界区见流程图

### 第三章 公用工程消耗

水耗量:

中间冷却器(二台): 690m<sup>3</sup>/h

油冷却器: 25m<sup>3</sup>/h

汽轮机冷凝器

\*\* (冷凝水) 约 2m<sup>3</sup>/h

电机功率:

主、备润滑油泵 22KW X 2=44KW

注水泵 (型式待定) 功率: 待定

油站排油烟机 1.5KW 电压 380V

氮气耗量:

油箱吹扫氮气: 10NM<sup>3</sup>/天 压力 200mmH<sub>2</sub>O

汽轮机蒸汽耗量: 见技术附件二 (汽轮机部分)

#### 第四章 压缩机主要零部件材质清单

##### 9.1 转子:

主轴: 40NiCrMo7

隔套: 1Cr13

叶轮: FV520B (第一级)

KMN

平衡盘: 1Cr13

推力盘: 45#

轴套: 1Cr13 及 40NiCrMo7

螺母: 1Cr13

##### 9.2 定子

进口导叶 1Cr13

机壳: 16MnR

隔板: HT250

级间密封、口圈密封: ZL104

轴端拉别令密封: ZL104

轴承压盖: ZG200-400

轴承套环: 45#

##### 9.4 底座 Q235-A

##### 9.5 润滑油管路 1Cr18Ni9Ti

##### 9.6 润滑油系统

###### 9.6.1 润滑油箱: 碳钢

双联板式换热器壳/板片: 碳钢/不锈钢

油过滤器外壳: 不锈钢

油过滤器芯子: 合成纤维

管路、法兰及其它联接件 不锈钢

底座: Q235-A

###### 9.6.2 高位油箱: 1Cr18Ni9Ti

##### 9.7 气路系统

###### 9.7.1 气体冷却器:

壳体： 16MNR

管束： 基管 20#

翅片 A1

管板： 16MN

9.7.2 界区内管路及支吊架 碳钢

9.7.3 气管路 碳钢/20

9.8 \*\*系统

管路： 1Cr18`1Ni9Ti

调节阀 阀芯不锈钢

阀体碳钢

过滤器 外壳不锈钢

第十章

控制系统部分

10.1 概述

本控制系统专用于空气气压缩机组设计制造的控制系统及联锁保护系统，设计中既考虑了机组的一般控制功能，又考虑了机组的特殊用途，完全可以满足机组的监控要求。

供货范围包括所有就地仪表和阀门：见仪表报价单

10.1.1 控制系统：

机组配置控制系统一套，控制系统包括一面机柜和一套操作站。

控制系统硬件选型原则及选型厂商：

控制器选用美国 GE 公司 GE90-70 系列可编程序控制器 (PLC)。

机柜选用国内精品。

机柜附件：风扇、开关、按钮、指示灯、继电器、端子排选进口产品。

操作站微机选用进口产品\国内精品

操作台：合资企业生产；其余选用国内精品。

10.1.2 控制系统的工程：包括设计、组装、编程、组态、调试、工厂验收在卖方工厂完成。

用户培训在卖方工厂。现场服务由卖方完成。

10.1.3 控制系统配置图

控制系统由一面机柜和一套操作站及一套 CRT、一套操作站台、一台打印机等组成。

10.2 控制系统的画面及顺序流程

10.2.1 系统画面如下：

模拟画面（P&I 图）。

操作系统画面。

压缩机组的振动、位移、温度画面。

润滑油系统画面。

压缩机动态防喘振曲线画面。

压缩机的管路和阀门画面。

状态画面：允许起动，单机状态。

棒状图画面：

其它画面。

趋势软件包(实时和历史)。

逻辑、报警、计时、函数。

10.2.2 系统控制流程：

压缩机的允许起动条件为：润滑油压、油温正常，气封系统正常，与机组有关的全部联锁状态消除。防喘振阀全开，与机组有关的阀门位置正常。

10.2.3 防喘振控制特点：

选择压比  $(P_d/P_s) \sim h/P_s$  或差压  $(P_d-P_s) \sim h$  的计算方法，进口压力、进口温度、出口压力、出口温度的变化可校正流量。

当工况点以大于规定的速率越过喘振控制线时，则自动打开防喘振阀经冷却器回压缩机入口。

用接点控制电磁阀，在发生剧烈喘振或机组联锁时，直接开防喘振阀。

10.2.4 控制功能：

10.2.4.1 机组的准备起动，起动(含越过机组各临界转速)，达到机组正常工作转速后，经过热稳定运行，进行并网。

10.2.4.2 停机旁路系统：用于在运行状态下，试验和维护停机系统。

界面接口可与上位机通讯及大屏幕 CRT 监视，并与打印机连接，及时或定时打印运行参数及报警联锁事件。

10.2.3 机组及配套辅机系统参数的调节与监控。

控制系统中机组的调节回路如下：

机组的防喘振调节及手操控制。

10.3. 买方对卖方的自控要求

10.3.1 卖方应提供详细的仪表图纸和详细的仪表数据清单，提供 PLC 及仪表详细的接线端子图，连锁原理图，测点平面图，安装图、PLC 卡件布置图、PLC 配置图、供电图。并提供仪表和 PLC 的说明书及详细的技术资料。

10.3.2 提供 PLC 逻辑流程图及 I/O 清单。

10.3.3 在满足主机及辅机(包括汽轮机部分)所需集中指示、调节、报警外，PLC 所用 AI、AO、DI、DO 点及端子都应预留 10% 的余量，主处理器模块，电源模块，应用软件等相关部分都应满足以上要求。

10.4 电气部分

10.4.1 提供详细的电气原理图及接线端子图。

10.4.2 提供电机接地图

10.4.3 提供配套的低压电控柜

1. 选择压缩机应注意的问题

选择空压机的基本准则是经济性、可靠性与安全性。

一是应考虑排气压力的高低和排气量大小。一般用途空气动力用压缩机排气压力为

0.7MPa，老标准为 0.8MPa。目前社会上有一种排气压力为 0.5MPa 的空压机，从使用角度



看是不合理的，因为对风动工具而言其压力余量太小，输气距离稍远一些就不能使用。另外，从设计角度看，这种压缩机设计为一级压缩，压比太大，易引起排气温度过高，造成气缸积炭，导致事故发生。如果用户所用的压缩机大于 0.8MPa，一般要特别制造，不能采取强行增压的办法，以免造成事故。

排气量是空压机的主要参数之一，选择空压机的气量要和所需的排气量相匹配，并留有 10% 的余量。如果用气量大而空压机排气量小，风动工具一开动，会造成空压机排气压力的大大降低，而不能驱动风动工具。当然盲目追求大排气量也是错误的，因为排气量越大压缩机配的电机越大，不但价格高，而且浪费购置资金，使用时也会浪费电力能源。

另外，在选择排气量时还要考虑高峰用量和通常用量及低谷用量。如果低谷用量较大，而通常用量和高峰用量都不大，国外通常的办法是以较小排气量的空压机并联取得较大的排气量，随着用气量增大而逐一开机，这样不但对电网有好处，而且能节约能源。

二是要考虑用气场合和条件。如用气场地狭小(船用、车用)，应选立式；如用气场合有长距离的变化(超过 500 米)，则应考虑移动式；如果使用场合不能供电，则应选择柴油机驱动式；如果使用场合没有自来水，就必须选择风冷式。

在风冷、水冷两种冷却方式上，用户常有错误的认识，认为水冷好，其实不然。国内外小型压缩机中风冷式大约占到 90% 以上，这是因为在设计上风冷简便，使用时无需水源。而水冷式压缩机的致命缺点有四：必须有完备的上下水系统，投资大；水冷式冷却器寿命短；在北方冬季还容易冻坏气缸；在正常的运转中会浪费大量的水。

三是要考虑压缩空气质量。一般空压机产生的压缩空气均含有一定量润滑油，并有一定量的水，有些场合是禁油和禁水的，这时不但对压缩机选型要注意，必要时要增加附属装置。解决的办法：一是选用无润滑压缩机。这种压缩机气缸中基本上不含油，其活塞环和填料一般为聚四氟乙烯。但这种机器也有缺点，润滑不良，故障率高；聚四氟乙烯也是一种有害物质，食品、制药行业不能使用；无润滑压缩机只能做到输气不含油，不能做到不含水。第二种也是常用的方法，是将空压机(无论哪种)再加一级或二级净化装置或干燥器。这种装置可使压缩机空气既不含油又不含水，使压缩空气中的含油水量在 5ppm 以下，可满足工艺要求。四是要考虑压缩机运行的安全性。空压机是一种带压工作的机器，工作时伴有温升和压力，其运行的安全性要放在首位。国家对压缩机的生产实行规范化的“两证”制度，即压缩机生产许可证和压力容器生产许可证(储气罐)。因此，在选购压缩机产品时，要严格审查“两证”。通常有证厂家的产品质量保证系统是完善的，不会出现大的质量问题，即使出现一些问题，也会由厂家负责三包。

## 2. 氧压机危险分析及防范措施

### 【论文摘要】氧压机危险分析及防范措施

由于氧气压缩机(简称氧压机，下同)在运行过程中易发生燃烧爆炸事故，轻者造成部件毁坏，重者造成机毁人亡的惨剧。所以全面分析氧压机存在的隐患、危险并采取相应的措施在氧压机运行过程中是至关重要的。

### 一、危险性分析

#### (1) 气缸内断润滑油引起氧压机着火

2—1. 67 / 150 型氧压机在气缸内断润滑油未能发现，造成气缸内产生高温，在高温高压

下易引起着火。

(2) 压氧机内带油，引起燃爆事故氧压机在管道、阀门安装时，脱脂工作不彻底，氧压机长期运行，气封、刮油环、挡油环因磨损而发生泄漏，使机内带油，与高压高纯度氧接触易产生燃爆事故。

(3) 铁锈易引起燃爆事故

铁锈具有燃爆性，并且其与缸体及缸内零件摩擦撞击产生静电，当静电积聚到一定量时，就具备了燃烧三要素。

(4) 异物进入气缸引起事故在安装时，没有清除干净管道内的杂物或没有把管内焊渣用角砂轮磨掉，在长期气流冲击下，剥落进入气缸，氧压机在长期运行中，由于材料碎裂，阀门片或开口销、垫片等碎块进入气缸，都可能引起事故。

(5) 管理混乱，职工素质低等也会引起事故

1986年6月8日，河北邢台某汽车制造厂2—1.67/150型氧压机在发现二、三级压力超压后，由于操作不当，引起氧压机燃烧爆炸事故。

(6) 止回阀引发事故威远钢铁厂的YZ—33/30型氧压机，1989年6月8日发生一起燃烧事故，引起燃烧的最初原因就是止回阀(这个止回阀为重力升降式)。

(7) 报警和联锁系统的失灵会引起事故的发生轴径向位移、轴温、油压、油温、气封、氧气出口压力等联锁失灵，会造成氧压机损坏，严重时会引起毁机伤人事故。

二、防范措施

1) 防止气缸内断润滑油  
设置蒸馏水断水报警装置，采用液位控制报警系统对报警装置加强维护，确保其及时准确报警。

(2) 防止机构带油在管道阀门安装时，加强加查，严格脱脂清洗工作绝油脂进入气缸，做好气封、刮油环、挡油环管理工作机组运行时间、状态进行统计分析便于对气封、刮油环、挡油环等部件的使用周期做到心中有数，定期检查和更新。

(3) 防止铁锈的产生和进入铁锈的产生与材质有关。由于经济方面的原因，防止铁锈进入成为关键，所以采取在氧压机进口处安装不锈钢网，并且加强维护管理，一方面中小修时(一年一中修，一季度一小修)检修清洗过滤网，有损坏应及时更换；另外，有条件的，要对氧压机进口管线经常或定期进行吹扫，以防潮湿的氧气引起管道内壁生锈和锈渣沉积，这样就能有效的防止铁锈入机，杜绝燃爆事故的发生。

(4) 防止异物产生或进入气缸为防止异物留于机内，严格检修规程，定期检查，配备有经验、有责任心的操作工，在巡检过程中出现异常情况，能做出大致或确切的判断，从而采取有效措施，避免事故的发生。

(5) 提高管理水平，提高职工素质，防止事故发生

首先，提高管理水平，建立一套先进的管理制度，如工艺巡检制度、工艺制度；职责制度等；其次，对职工进行定期培训或举办技术比武之类的活动，不断提高职工的技能，以便适应生产的需要。

(6) 改变阀质和阀类型，防止事故发生对YZ—33/30氧压机出口处止回阀加装不锈钢阀芯，为缓冲撞击，于阀体、阀芯间加装聚四氟乙烯环，避免阀芯与阀体直接撞击。止回阀由重力式改为翻版式。

(7)防止报警、联锁失灵首先，定期对氧压机报警、联锁检验、保养、维护，保证报警、联锁灵敏好用；其次，定期对仪表、电器、设备工人培训，不断提高他们的操作技能，确保报警、联锁系统准确灵敏。

### 三、其他防范措施

- (1)氧压机系统与空压机系统间砌筑隔火墙。
- (2)氧压机与电器、电缆沟砌筑隔火墙。
- (3)油蒸气要引到安全处放空
- (4)投用灭火氮气系统。
- (5)严禁烟火。
- (6)设置接地线，引到室外：并定期检查(防静电聚集)。
- (7)试车介质采用氮气。

### 离心压缩机的操作维护

【论文摘要】本文通过自身的实践，强调对离心压缩机专业理论知识的学习，提高操作技能，了解机组的内部构造，掌握离心压缩机的宏观运行规律的必要性。叙述了利用传统的检测方法、结合先进的检测仪器、科学的逻辑思维方法来全面分析离心压缩机出现的各种故障的心得体会。

#### 1 学习理论知识，了解机组构造

随着国内钢铁企业的蓬勃发展，制氧设备的发展呈现出大型化的趋势，而与之配套的大型离心压缩机的使用越来越普遍。作为一名制氧操作工，加强压缩机基本理论知识的学习，注重总结实际工作中的经验教训，全面提高自身的综合素质，维护和操作好离心压缩机，就显得非常重要。

加强理论知识学习和专业技能的培训是操作离心压缩机的基础，了解自己所辖机组的基本构造是诊断离心压缩机故障的前提。我们需要学习的基础资料有：《制氧工问答》、《压缩机工》、《机械基础》、《电机故障诊断技术》以及相关机组的操作说明书，如：《沈鼓空压机操作说明书》、《杭氧氧压机操作说明书》、《英格索兰氮压机操作说明书》等相关资料。了解机组基本构造最直接的办法是利用检修人员对压缩机检修安装、拆卸时到现场观摩，了解压缩机各部件的形状、位置、组合等等。

#### 2 研究设备特点、掌握运行规律

##### 2.1 压缩机故障的规律

在离心压缩机整个服役期内，设备故障发生的次数和使用的时间有内在的规律性。虽然对于一台离心压缩机而言，发生故障的时间、次数以及运行寿命各不一样，但都有以下一些共同特点：

(1)离心压缩机刚投运的第一年，故障发生的频率较高。其原因在于：设备在设计、制造、安装过程中所存在的问题在运行初期得以暴露，操作人员对设备性能、运行规律也需要一个学习和掌握的过程。以2#14000m<sup>3</sup>/h制氧机的压缩机在安装、调试和投运后的第一年出现的问题为例说明，如表1所示。

表1 14000m<sup>3</sup>/h制氧机配套的压缩机第一年运行故障及分析  
故障类别

举例说明

故障原因

安装方面

氧透‘氧氮密封气’接反

未按要求施工

空透电机振动大

电机地基不牢固

空透过滤器袋吹烂、脉冲气源管脱落

脉冲气源管固定不牢

设备方面

氮透油冷却器泄漏

油管质量不过关

空透电机振动大

电机动平衡不好

设计方面

氮透放空阀在高温下频繁动作时多次卡死

放空阀应设计在冷却器后或放空阀选用耐高温阀门

检修时无法切断氮透水路系统

氮透水路系统未设计上、回水总阀

操作方面

氧透联锁自动停车五次

修改设定值失误，造成四次停车；就地联锁复位不及时造成一次停车

空透倒换油泵遗留隐患

对联锁控制认识不够

(2) 离心压缩机的运行从第二年开始，发生故障的频率会明显下降，设备进入稳定运行区，一般只有个别突发故障的发生。原因在于：设备自身存在的各种问题在第一年已经暴露，并通过检修人员的改造得以解决；随着对设备性能、运行规律的进一步了解和掌握，操作人员的操作技能大幅提高。

(3) 离心压缩机使用寿命一般可达 15 年以上，随着时间的延长，事故发生率还会逐渐提高。造成这一现象的原因是设备各部件的逐渐老化。

## 2. 2 应采取的措施

设备的这些共同特点，可以反映出机组在整个服役期间存在一定的运行规律。我们在掌握了离心压缩机这些运行规律后，就可以对在运行期间的离心压缩机采取不同的措施：

(1) 在设备安装时，应把好质量关。

(2) 在设备调试时，应把好验收关。

(3) 在设备投运初期，应缩短点检周期、提高点检质量，以及时发现故障，并及时诊断处理。

(4) 应该善于吸取同类设备的经验教训，防止其它设备发生过的故障的再次发生。

例如：我厂 1# “14000” 制氧机配套的 DH—90 型的空压机，因为低速轴转子二级叶轮过盈

量不足等原因，共用 34 天时间进行单机试车，严重影响了建设工期和安钢的生产。投产后，空压机的轴振动又逐步上升。最后经过与生产厂家磋商，对机组的核心部位——压缩机高、低速转子轴承进行换型改造，即由原椭圆滑动轴承改造为可倾瓦轴承。改造后，空压机的轴振动明显降低，运行至今基本保持平稳。吸取以上的教训，2#“14000”制氧机空压机也成功地应用了此项改造，并取得良好的效果。

(5) 机组在进入第二年后，必须坚持正常的点检工作，同时根据运行参数是否变化，监测设备运转情况，防止突发事件的发生。

(6) 在设备运转到逐渐老化的阶段，必须适当增加点检次数，以便随时发现设备故障的先兆，帮助诊断设备各部件的运行状态，及时检修或更换，保证设备运行安全，延长设备使用年限。

### 3 善于利用感官、强化常规点检

作为一名制氧操作工首先应该掌握常规的检查方法来诊断压缩机的运行状态，即：凭借人体的感觉，通过目视、耳听、手摸、触觉的方法，直观的看到跑、冒、滴、漏的液体、闻到刺鼻的气味、听到尖利的或沉闷的响声、摸到发热的部件，利用自己积累的经验，诊断出某个部位是否发生故障。

#### 3.1 视觉的方法

诊断冷却器是否漏水。开车前、停车后，机组的冷却水未断时，对压缩机的气体冷却器都应进行此项检查：打开气体冷却器气侧排放阀，看到冷却水连续不断放出，可以判定气体冷却器内漏。

停车后，油泵停运但油冷却器没停水时，对压缩机油冷却器都应进行此项检查：在油箱油位指示上作好标记，如看到油位上升，可以判定油冷却器内漏。

#### 3.2 听觉的方法

诊断压缩机放空阀、防喘振阀是否漏气。当压缩机放空阀关闭时，此时是诊断放空阀、防喘振阀是否漏气最好的时机。到放空口处听一下声音，如有声响，说明放空阀、防喘振阀必有漏气现象。

#### 3.3 手摸的方法

诊断级间气体冷却器后气体温度突然升高。通过手摸各级气体冷却器回水管路，如某一级发热烫手，而其它各级不发热，则此气体冷却器一定存在故障，可能是水路堵塞、回水阀脱落等。

#### 3.4 触觉的方法

诊断氧压机止回阀是否漏气。氧压机每次停车时(送氧阀已关)，打开送氧阀与止回阀之间的氧气纯度分析阀，如用手感觉到有氧气连续放出，说明管网氧气通过止回阀倒流，可以判定止回阀漏气。

以上这些常规的诊断方法虽然很简单但却非常实用，全面和系统地掌握这些方法将非常有助于判断机组的故障，并为检修工作提供依据。

### 4 运用检测手段、综合诊断故障

对于操作这些大型离心压缩机的制氧工来说，已很难单单依\*常规的的检查方法来诊断故障。应用先进的检测仪器(如：便携式红外线测温仪、便携式测振仪、示波器等)，掌握先

进的在线检测和 DCS 集散控制技术，同时运用科学的推理方法来综合诊断设备故障，已成为监测、诊断和处理离心压缩机故障的重要手段。

#### 4.1 应用先进的检测仪器监测设备

(1)应用便携式测振仪，诊断空压机电机运行状态。在空压机电机的轴承、基础、机壳处选取几个测点，利用便携式测振仪定时检测振动，采集数据并绘制趋势图，监测电机运行状态。对安装在刚性基础上的、转速为 600~3600r/min 之间的大型电机，测量电机轴承在其稳定状态下长期运行时的振动速度有效值(单位为 mm/s)，然后对照国家对电机振动强度标准界限规定(见表 2)，诊断电机振动是否超高。

表 2 电机振动强度标准

测量值 / (mm / s)	<2.8	2.8~4.5	7.1~11.2	>11.2
----------------	------	---------	----------	-------

状态

好

允许

可以承受

不允许

2002 年 11 月，检查运行中的 2#“14000”制氧机空压机电机时，发现南轴承油压不正常，停车检查发现南轴瓦已受损，但实际上当时检测电机振速为 7.12mm/s，并没有超过电机的“可以承受”范围；2003 年 7 月 19 日 16:38，2#“14000”制氧机因停电全线停车，18:22 在恢复启动过程中，检测电机的轴承各测点振动速度：电机北轴向 10.1mm/s、北垂直 12.1mm/s、北水平 6.5mm/s、南垂直 7.9mm/s、南水平 7.8mm/s。对照以上标准同时与上一次的测量值比较，振速明显超高。根据上次经验，我们及时采取了停车、检修电机的措施，检修时发现南轴瓦已受损严重。通过这两次故障，我们对“电机振动强度标准”有了新的认识：电机振速在 7.1~11.2mm/s 的范围内长期运行或振速突然增大时，电机轴承也会受到损坏，因此，对于振速在这一范围内运转的电机也应作为“破坏状态”来对待。

(2)应用便携式测振仪，诊断 2\*“14000”制氧机空压机油泵运行状态。2003 年 1 月 19 日 19:23，操作人员点检时，利用手持式测振仪检测到空压机运行油泵振速值参数如下：北轴向 6.3mm/s、北垂直 6.9mm/s、北水平 3.4mm/s、南垂直 8.7mm/s、南水平 5.2mm/s，比油泵正常运行值大幅升高，依据以上标准及时判定了运行油泵振速超高，应作为“破坏状态”来对待。于是当即采取更换备用油泵供油、检修运行油泵的紧急措施。经检查发现该油泵的地脚螺栓松动、\*背轮间隙太小、泵与电机对中不好。因更换油泵及时，油泵及电机并未受损。

目前，用手持式测振仪检测旋转设备，对比电机振动强度的国家标准，判断旋转设备运行状态已经逐渐成为我们一项常规的检测方法。

#### 4.2 掌握先进的检测技术诊断故障

(1)应用机组运行中的曲线，诊断空压机各级振动波动的原因。2001 年 12 月 23 日，空压机各级振动突然超高报警，操作工通过查找微机上各级振动在线监测曲线，发现低速轴振

动最高达  $71\ \mu\text{m}$ ，高速轴振动最高达  $81\ \mu\text{m}$ ，而后迅速恢复到原值(幸好未造成机组联锁停车的事故)，同一时刻空压机电流曲线也有所升高。后经询问调度，其它车间的大型机组刚刚启动，而启动时间与振动波动的时间一致，而且这些设备是在同一回路的电网上。电流和振动曲线的波动原因，很可能是由于其它大型机组启动时引起电网波动，进而使空压机电机的运行条件改变造成的。为避免类似现象的发生，我们采取以下措施：在今后同一电网回路上有大型机组启动前，采取暂时解除振动超高停车联锁的应急措施。采取这一措施后，没有再出现过因其它机组启动，造成本套相关机组振动波动、停车的事故。我们通过多次观察机组的振动曲线，包括其它车间在内的多套大型机组在同样条件下，均发现有类似的振动波动现象，这也验证了我们对这一现象产生原因的判断是正确的。

(2)应用机组停车后的曲线，诊断空压机轴瓦积炭的原因。2002年6月11日，2#“14000”制氧机空压机准备检修，在空分系统停车、空压机卸压停车后，空压机油泵按操作说明书的要求运行了20分钟后停运。但是在打开空压机各级轴承进行检查时，发现部分轴瓦表面有油膜炭化痕迹。为解释这一现象，我们首先查看了各级轴承温度的变化曲线，发现这些温度曲线在机组停运后都有一上升的阶段，于是我们又查看润滑油压力的变化曲线，将这两组曲线进行对比后，确认各级轴温是在油泵停运后开始上升的。最后，我们通过分析，认为轴瓦积炭原因是：空压机停车后，油泵虽然也运行了20min才停运，但机组的叶轮和蜗壳温度仍然很高，油泵停运后，这一部分热量通过轴及间隙传到轴承，使得轴承表面温度升高，导致油膜炭化。为避免类似现象的发生，我们采取以下措施：空压机卸压后，适当延长机组运转时间，这样可以起到冷却叶轮和降低蜗壳温度的作用；空压机停车后，应适当延长油泵运行的时间，以带走轴承周围的残余热量。

#### 4.3 运用科学的推理方法综合诊断故障

(1)诊断并解决空压机运行中加油时，大齿轮箱测振探头引线处向外喷油的问题。沈鼓DH90型空压机油烟冷却回收系统效果不佳，造成润滑油日常损耗大(月耗量150公斤左右)，为了确保供油系统正常的油位和油压，需在不停机的情况下定期补充润滑油。但是往往在加油的过程中，会出现大齿轮箱测振探头引线处向外喷油的现象。大齿轮箱测振探头引线为什么会喷油呢？我们知道：正常运行时，排烟风机在将油箱内未冷却的油烟和齿轮箱内集聚的油烟抽出并排至大气的同时会使齿轮箱内产生负压，防止齿轮箱向外渗油。而对机组进行补充润滑油操作时，需打开油箱上部的加油孔盖，这时空气就会立刻进入油箱，并迅速破坏油箱的负压，进而通过未充满油的回油管路到达齿轮箱内，破坏齿轮箱负压，造成大齿轮箱测振探头引线处向外喷油。为此，我们对加油口进行如下改造：在油箱上部的加油孔盖上安装了一个控制阀门和相应的管道，加油时首先连接好加油管道再打开控制阀门，在保持油箱负压的前提下启动滤油机进行加油操作，从而避免了一边加油、一边喷油的问题。

(2)诊断因空压机三级排气压力表不准，而引发的测振仪故障。2001年，2#“14000”制氧机试车过程中，空压机启动、送气、加压后，进行现场检查时，发现就地柜三级排气压力表显示较低。通过对比，该值小于四级进气压力表显示。初步诊断原因有二：①压力表不准，②仪表管线漏气。问题虽小，但不能放过，于是打开就地仪表柜的后门进行检查，立刻发现三级排气压力表与管线连接处漏气带水，恰巧落在下面测振仪的散热孔内，于是我

们马上关闭此表的进气阀。水虽然没了，可测振仪元件受水的影响，测量值显示大幅波动，振动值报警。马上通知仪表人员解除振动联锁，用仪表空气吹除测振仪元件的水，直至恢复正常。之后分析：压缩机停车后，在仪表排气测量管线里，存在残余的空气，由于温度的降低会有冷凝水析出，当测量表与管线连接处密封不严时，再次开车时就会出现漏气带水的现象。

因此，操作工对发现的异常参数不论大小都不要掉以轻心，不查出原因决不放过。

(3) 诊断 4C90M×4N2 型氮透放空阀不能加载 关闭的原因。2002 年 12 月，2#“14000”制氧机停车检修期间，氮透在压送 1#“14000”制氧机氮气 向管网送气时，氮透突然放空。操作人员通过查看 就地控制器的相关信息，发现机组是由于喘振造成 “电流限流极限值”增高(该机组采用“恒压控制” 方式)，放空阀受控而打开。为了恢复压送氮气，依据以往经验，设高“限流极限值”后，操作加载 按钮，但放空阀在逐渐关闭后又迅速打开。通过进一步分析机组运行信息，我们发现了一个重要的运行参数：管网氮气压力低于氮透设定的排气压力。在“恒压控制”的运行状态下，管网氮气压力在未达到氮透设定的排气压力时，为什么氮透会卸载放空呢?后经检查确定原因是：因为检修需要暂时停 止仪表气供应，导致氮透送气阀后的管网连通阀（气开式）因无仪表气而自动关闭，致使氮透压力 气体无法送入管网。于是，我们马上恢复仪表气供应、打开管网连通阀、恢复“电流限流极限值”， 再次操作加载按钮后，问题得以解决。

通过对这一故障的处理，提醒我们今后的工作 应做好以下两点；①切断本套仪表气源时，应注意 保证单体运行机组的仪控用气。②机组发生问题时，应全面检查、确定原因、排除故障后才能恢复 运行。

(4) 诊断 2C1135M×3N2 型氮透密封气压力低 造成的自动停车 2003 年 7 月 3 日，氮透自动停车。通过查看就地控制器的相关信息，发现是密封气压力低造成的。为什么密封气压力会低呢?进一步分 析，原因有：①是否有密封气供应，②密封气管线 是否泄漏，③密封气过滤器是否脏堵，④密封气设定压力是否过低。对以上诊断进行逐一检查后发 现，有密封气供应，但密封气管线上接头处有漏 气的部位，紧固处理后又对密封气过滤器进行反吹，最后通过调压阀把密封气压力适当调高。综合各方面原因，采取相应措施，最终解决了这一问 题，很快恢复了机组运行。

(5) 诊断氮透 2C3511M×3N2 型二级进气温度 突然升高造成的自动停车。2003 年 7 月 20 日 7:00， 氮透二级进气温度突然升高，造成自动停车，按照 常规的分析，判定原因往往是一级冷却器的冷却效果差造成的。但是通过分析运行压力参数的变化， 原因却是这样：7:00，5000 氮透排气压力达到设定值 1.8MPa，此时机组阀门的动作状态是先自动关小进气 阀门，电机电流随即呈逐渐下降趋势，当电 流下降到设定的“电流限流极限值”时，放空 阀自动打开。但是由于厂家在设备调试时，对“电流限流极限”这一参数设定太低，在进 口阀门逐渐关闭的情况下，电机电流不能降到设定的“限流极限 值”，放空阀受控就不能 自动打开，进而造成机组因进口气体流量减少、机组背压高、高压高温气体倒流，机组发 生喘振现象。同时引发了二级进气温 度偏高，导致联锁停车。通过以上分析后，我们采 取适当设高“电流限流极限值”的方法，使进气阀 开度、电流限流极限值、放空阀打开这三 个条件之间合理对应。当再次启动该机组后，氮透恢复了正常的调节功能。



通过对这一故障的处理，也使我们进一步加强了对喘振这一现象的认识。

可以看出，加强专业理论知识的学习，提高操作技能，了解机组的内部构造，掌握离心压缩机的宏观运行规律，利用传统的检测办法并且结合先进的检测仪器和科学的逻辑思维方法，就可以全面分析离心压缩机出现的各种故障，并能采取正确的措施予以解决。

### 透平压缩机的振动危害及监察分析

透平压缩机的振动是压缩机设计制造、安装和运行管理的综合反映。也就是说，导致或影响透平压缩机正常运行的内部和外界因素很多，而众多因素反映出的就是振动。西方简述我单位三台 H200—6.3/0.97 型透平压缩机组几年来的运行情况，和由于振动所造成的严重危害。

## 一、振动的原因

### 1、开车运行后的振动

1.1 原先在安装时电动机和大齿轮的同轴度完全根据设计要求来校正。由于机组启动电流大，瞬间扭力也很大，造成电动机有移位感。根据气温，设计要求安装时径向轴向误差允许在 $\pm 0.02\text{mm}$ ，我们严格照办。机组运行一段时间后再测，明显测得轴向无变动，而径向的水平方向走动了 $0.18\sim 0.20\text{mm}$ 左右。这说明机器在对中后走调的情况下运行，振动就会很大。

1.2 空气中带有腐蚀性气体的冷凝水造成转子（尤其是3~4级）、气封、扩压器、碳钢空气管道等腐蚀十分严重，产生空气涡流的振动。管道氧化物的被冲刷造成子平衡百战不殆，振动激烈，因此而被迫停车，此类事故已发生两次。

1.3 频繁开停车对机组振动也有影响。由于客观条件不允许或机械故障被迫一年中开停多次，使转子平衡被破坏。停车时会把积在转子上的尘土或其他氧化物不均衡地脱落，破坏了转子的平衡。

### 2、检修后的振动

2.1 齿轮偏载造成工频振动。透平机的转速很高，1~2级转速为15200rpm，3~4级为19200rpm，因而齿轮的精度要求也很高。保持较高的齿轮接触面很重要，在静态下检查齿轮接触面无法得到动态的实际接触情况，我们的做法是在静态下使接触面不低于85%。其中一台机组在检修时发现齿轮接触面差，一只新齿轮只运行两个多月就严重点蚀和大齿面剥落（一只大齿现价30万元左右）。机组振动很大，齿轮的损坏就呈恶性循环，难以挽救。

2.2 油膜涡动引起的低频振动。轴承中的油膜在转轴和轴承间运行起着盗运和润滑作用，如轴承稳定性不好，会导致油膜半速涡动。我三透平机转速为19200，约在10000左右产生低频振动。低频振动产生与转子工作转速不合拍的激振力，对转子和轴寿命的影响程度超过工频振动的影响，它使转子振动总量增大，这历来被人们所禁忌。如低频值是工频值的105时，就应引起重视。我们原有的机器低频值大于工频值的5%，已造成严重后果。轴瓦的锡基合金多次剥落（其实是撞落），被迫停机。2级转子振裂落掉一块（累计运行了13442小时），约 $1.5\text{mm}^2$ ，3~4级转子轴头振断裂（累计运行11000小时）。更换两根转子要工几十万无，还直接影响生产。

## 二、消减振动的措施

## 1 采用不刮削或少刮削轴瓦

轴承是引起振动的关键所在，透平机的轴承（尤其是齿轮式压缩机）是解决三轴平行（水平方向和垂直方向）和轴交角度的根本。轴承若选得不当，会造成整机振动激烈，齿轮使用寿命缩短。同时瓦背与轴承座接触面的保证和轴瓦与压盖过盈量的恰到好处，也起着重要的保证作用。轴与轴瓦的接触，并不是传统上的认识，并非要达到 60%。理论和实践证明，轴和轴瓦应是接触一条线，才能形成供液体润滑的油楔，但前后接触必须均匀。

轴承传统刮削工作效率低，质量得不到保证，检修工人劳动强度大，成本高。我们大胆采用不刮削或少刮削轴瓦，也就是说从整体提高加工精度，使椭圆轴承在大机床上加工成型，从而保证了透平机轴承的精度要求，也是消除油膜半波涡动的最好办法。可怕的半波涡动消除，机组安全、稳定、长期运行得到了保证，从而保证生产，降低备件消耗，大大减少检修工时。

## 2. 操作管理对振动的控制

透平机一般情况开车时各指标正常，振动值不大，在长周期运行中变化不会太大，也不太可能造成机组的振动加大。但油温控制不理想，也会造成机组振动加大，出现异常。油温作为开车连锁的条件之一，在正常运行中，油温的稳定也能保证机组安全、稳定、长期运行。

油温控制在 40℃左右为最理想状态，因为回油温度一般在 50~55℃，通过冷却可达到理想的油温，帮操作工要根据天气的冷热，早晨、中午、傍晚、半夜不断地调整油温，稳定油温，这样可对机组减少工频和低频振动。

## 三、监察分析

1994 年 12 月，我们对三台 H200 透平压缩机配置了微机监测和诊断系统，在线动态监测机组的温度、压力、振动、流量等参数，用计算机进行数据采集和数据处理，实现了机组运行监测、信号处理、故障诊断以及机组历史资料管理等功能。

### 1. 动态监察系统功能

机组运行监察，对空压机模拟测点信号，进行计算机实时监测，并有集中参数显示、小型显示、模拟图显示。

### 2. 机组故障诊断

在频谱分析的基础上，利用模糊数学方法，根据其他信号变化的特性，对机组故障进行诊断。可诊断的常见故障为：转子不平衡，轴承座松动，箱体、支座松动，油膜涡动，油膜振荡，气流脉动等。

### 3. 机组历史资料的管理与检索

对机组历史数据保存一个报警事件，可保存十次报警事件前五分钟的追忆数据。可保存一个月内每天每个通道每一小时的数据，并都可打印、制表、输出。

### 离心压缩机油封漏油的分析处理

TAE-200A / 15 型离心式压缩机是我公司二期 6000m<sup>3</sup> / h 制氧机的配套机组，由美国 COOPERTURBO COMPRESSOR 公司制造。该机的主要性能参数如下：排气量 34000m<sup>3</sup> / h，排压 5.8bar，轴功率 3020+4%kW，该机为三级压缩。

1 故障现象该机于 1997 年 8 月底调试完毕，9 月中下旬随着我公司二期 6000m<sup>3</sup> / h 制氧

机的调试工作的开始而正式投入运行。投运以来，该机运行情况一直很好。然而，同年10月初的某一天，我们突然发现该机齿轮箱一级侧油封向外“甩油”，且情况十分严重。

2 原因分析由于漏油部位是一级侧油封，故我们怀疑该油封密封性能不好，然而该机投运才十几天，且运行情况一直很稳定，按理油封是不该出现突然损坏的。另外一种可能的原因是齿轮箱回油不畅，导致油从油封处外泄。鉴于该机处于保修期，我们不便贸然拆开齿轮箱盖对油封实施检查，故我们将该机漏油的情况向 COOPER 公司在香港的代理商 ASCENTIC 公司反映。ASCENTIC 公司不同意我们打开齿轮箱盖，但向我们提供了一条有益的信息：国内某厂向 COOPER 公司购买的一台离心式压缩机也曾出现过二级油封漏油的情况，当时 COOPER 公司的建议是更换油箱的除油雾器芯子，这条信息提醒了我们(该机调试时，外方专家曾让我们接一条仪表气管到除油雾器，我们向外方专家询问除油雾器的机理，他只告诉我们该仪表气可帮助除油雾)，于是我们重新仔细考察该机除油雾器。由于缺乏图纸资料，我们只能从外观及仪表气引入的原因等方面分析推测该除油雾器的机理，推测其原理简图如图 1。如图 1，一定压力的仪表空气流经拉法尔喷管后，在混合室形成一定的真空度，从而将油箱内的油雾吸入。在混合室中，高速仪表空气与油雾发生碰撞、混合，进行能量交换，流向扩压管、混合气体经扩压管扩压后，速度下降、压力升高，后经除油雾器芯子过滤油雾，回收润滑油。因此，我们怀疑除油雾器芯子阻力过大，导致油箱内压力升高，从而使油从油封处向外泄漏。

3 故障处理于是，我们将除油雾器芯子拆下来进行检查，发现除油雾器芯子并不很脏。同时，我们亦发现，当拆下除油雾器芯子后，油封处很快停止泄漏。而将除油雾器芯子重新装上时，泄漏又发生。这时，我们对除油雾器芯子进行清洗并重新装上，开机后泄漏情况消失。然而，该机运行一天后，重又出现漏油现象。我们对该除油雾器再次进行检查分析，发现该除油雾器引入的仪表气管太细，直径大约为 10mm，而除油雾器仪表气接口尺寸为 1”。故我们判断仪表气量不够，经拉法尔喷管后，压力下降不多，混合室内难以形成足够的真空度，从而油箱排油雾不畅，导致油箱压力上升，使油从油封处外泄。

下式为喷管流量的计算公式：

此主题相关图片如下：

式中 M——容积流量

A——拉法尔管喉部通流面积

P1、 $\rho_1$ ——拉法尔管入口压力、密度

P2——拉法尔管出口压力

由上式，可得出流量 M 与 P2 / P1 的关系 曲线(见图 2)。由上图知，当流量 M 减小时，P2 / P1 趋 于 1，即当流量太小时，拉法尔管难以起到降压的作用。于是我们停机整改，将原 10mm 仪表管换成广管，开机后泄漏情况消失。该机运行至今未再发生漏油现象，说明 我们对该除油雾器的机理分析与故障处理是 成功的。

压缩机性能测试系统

应用领域：产品测试

使用的产品：LabVIEW、NIDAQ、SCXI

挑战:

用基于计算机的测控系统代替手工操作,提高自动化水平,改善工作条件,确保监测数据的精确、可靠。

应用方案:以NI公司的LabVIEW软件、DAQ卡、SCXI卡和现有的变送器等构成一套基于PC的压缩机性能自动测试系统。

介绍:

压缩机是一种工业生产中广泛使用的机械设备。这种机械依靠在气缸内作往复运动的活塞或作旋转运转的转子的作用,使吸入气体的体积缩小而提高压力,以满足生产需要。这种产品的结构比较复杂,除机械、电气部分外,还有气、油、水等多种回路。为了保证和提高压缩机的质量,对其性能进行测试是一个不可缺少的环节。但是到目前为止,这项工作基本上是以手工为主进行的。因此,工作效率低、劳动条件差,测试结果的可靠性、准确性也不高。少数单位开发了自动测试系统,不过,并没有很好地用上去,或者,测点少,功能不强。本文针对国内现状提出一种基于计算机的自动测试系统方案。

## 1 总体结构

本文介绍的测试系统由带有PCI总线的工业控制计算机、NI公司的LabVIEW软件、1块DAQ采集卡、9块SCXI调理卡(1块SCXI-1121、7块SCXI-1125、1块SCXI-1162)、1台12槽机箱SCXI-1001和温度、压力、流量变送器等构成(图1)。在计算机的控制之下,按照国标《一般用容积式空气压缩机性能试验方法》(GB3853)的规定,测定单级和两级压缩的压缩机性能,绘制特性曲线,打印试验报告。

此主题相关图片如下:

测试系统采集的参数有:吸气温度、压力;排气温度、压力;压缩机转速、轴功率;强电系统的电压、电流、功率;冷却水的温度、压力、流量;供油系统的压力、温度等。与此同时,测试系统还通过输出控制电路对机组的工作状态进行控制。

2 信号I/O和调理按照试验要求和标准规定,测试系统的测温范围为 $0\sim 2000^{\circ}\text{C}$ ,测量吸入排出空气温度和冷却水温的误差 $\leq \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ,测量油温的误差 $\leq \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。为满足要求,将被测温度经标准铂电阻Pt100等转变为 $100.00\sim 176.00\Omega$ 的电阻或 $4\sim 20\text{mA}$ 的电流,送SCXI-1121和SCXI-1125调节,然后输入PCI-MIO-16E-4DAQ卡。

SCXI-1121有4个隔离的输入通道,每个通道都带有激励源。测试系统利用它提供的 $0.15\text{mA}$ 精密(准确度为 $\pm 0.04\%$ )恒定电流,将电阻信号转变为精确的电压信号,以四线制方式测出此电压:经隔离、放大、抗噪声滤波后(以适应恶劣的现场环境),送DAQ。

SCXI-1125有8个隔离的输入通道。在输入端子SCXI-1138(含有 $249\Omega$ 的精密电阻)的配合下,将变送器输出的 $4\sim 20\text{mA}$ 电流转变为 $1\sim 5\text{V}$ 电压,以读数的 $0.08\%$ 精度对其进行测量。按标准规定,测量吸排压力的误差小于 $\pm 0.4\%$ 即可(测量油压的误差小于 $\pm 2\%$ ),故SCXI-1125也用来测量气压、油压(已由变送器变换为 $4\sim 20\text{mA}$ 电流)。此外,SCXI-1125的 $5\text{V}$ 输入通道还用来测量经互感器和变送器变换的交流电流、交流电压和功率(精度要求为 $\pm 0.5\%$ )等强电电量。各块SCXI卡的输出分别接入具有16个单端模拟输入通道的PCI-MIO-16E-4DAQ卡的不同通道。DAQ卡可以高达 $250\text{ks/s}$ 的采样速率采样, $5\text{V}$ 量程时的测量精度为读数的 $0.07\%$ 。在各输入模块的配合之下,完全满足了动态测试、“同时

读取”工况参数和较高的测量精度要求。此外，这种 DAQ 卡还带有 2 个模拟输出口，8 个数字 I / O 口等。压缩机的转速和输入扭矩用转速转矩传感器转变为数字量，冷却水的流量经流量变送器转换为数字量，然后经过具有 32 个输入通道且以光耦隔离的 SCXI-1162 卡也送入 DAQ 卡测量。

DAQ 的数字 I / O 口除用于输入测量外，还通过输出控制 LU 路控制配电柜的继电器、接触器的通断；而它的模拟输出部分则通过 D / A 转换及相关电路向阀门定位器输出 4~20mA 电流，控制阀门开度，调节流过的水量或气体压力。

### 3 试验流程和程序

测试压缩机性能的程序用 LabVIEW 图形化编程环境编制，利用它的模块化、层次化结构，工程技术人员在几周内即可构成或基本构成要求的测试系统。这种解决方案直观、简单易学，使用起来也不复杂。在本系统中，测试程序大致由试验管理模块、数据采集模块、输出控制模块、数据处理模块、显示模块、文件管理模块和报警模块等构成。软件程序借助于 DAQ 卡采集被测量和控制试验的进行。利用键盘、鼠标和显示器(图形化软面板)等进行人机对话。软件的主要功能与试验流程(图 2)相对应：

1. 运行试验管理模块，按照试验要求和 GB3853 标准等规定，输入试验的类型、试验的项目、额定参数、规定的工况参数、试验条件和硬件配置等。
2. 运行采集和控制等模块，起动机组预运转，扫描轴承、机壳等部位的温度，考核零部件的配合情况，判断机组能否平稳运行。
3. 机组能平稳运行则转入下一步，按 GB3853 的要求，将运转参数，如冷却水温、总压力比、主轴转速等，调整(测量、计算、比较、调整)到允许的波动范围之内。
4. 在规定的工况下，测量吸排气温、压力，冷却水温度、压力，油系统温度、压力、压缩机转速与轴扭矩等。进行常规性能测试，处理测得的数据和显示测试结果。
5. 调节阀门的开度和主轴转速等，进行超温、最高许可转速、最高许可压力等试验。考核机组能否可\*运转。
6. 机组关机。运行数据处理模块和文件管理模块等，详细分析、处理测得的数据。如，以测得的温度、压力等计算求得压缩机的排气量，以测得的转速、扭矩求得轴功率，以排气量和轴功率求得规定工况下的比功率；绘制示功图、气流脉动曲线等；打印试验报告和将试验文件存档。
7. 压缩机试验期间，测试系统不断对其转速、压缩比、排气温度和油温等进行监控，发现越限则立即调用报警模块报警和强行停车。上述以 LabVIEW 等实现的系统既可用于产品出厂检验，又可用于型式试验；既可用于测点较少的小型产品测试，又可用于测点较多的机组性能测试。

### 4 结束语

LabVIEW 是一套专为数据采集、数据分析和数据表达而设计的图形化编程环境，功能强大、灵活直观，可大幅度减少传统系统设计所需的开发时间；DAQ 卡、SCXI 卡足以模块为基础的硬件，也给系统的组建、变更和维护带来很多方便。可以想像，以 LabVIEW 和 DAQ 卡、SCXI 卡等构成的压缩机性能自动测试系统肯定会给用户带来许多好处，在行业中也有较高的推广价值。若在硬件中增加新的插卡/机箱，在软件中增加新的功能模块，测试系统的功

能还可进一步扩展。如，将测点扩展到几百点，或同时测试多台机组的性能；扩大系统的输出控制功能；分析测得的数据，提出产品改进意见或方案；在企业内部或企业间通信，协同工作，共享有关数据等。

此主题相关图片如下：

### 氧气透平压缩机的安全运行问题

物质在燃烧过程中，氧气起着助燃作用。在大气条件下，氧气的含量约占 21%，金属材料通常不会燃烧。但在高压的纯氧环境中，金属材料的燃点大大降低。只要有合适的温度，钢铁同样会发生燃烧。因此，在高纯度、高压力、高流速的压缩机中，如果氧气温度意外升高，遇上外来杂质与流道摩擦、与氧气接触的流道壁面有橡胶或油脂等燃点较低的物质、转子与静止件意外碰撞等情况，都可能引起着火，造成机毁人亡的重大事故。因此，纯氧被认为是一种危险性气体。无论是制造商还是氧压机用户，都必须认真对待氧压机的安全问题。杭氧透平机械有限公司从 1970 年开始生产离心式氧气压缩机，至今已有 30 多年的历史。迄今为止，已生产各种离心式氧压机近百台。1982 年杭氧引进了日本日立公司氧气透平压缩机的全套设计制造技术，使杭氧氧气透平压缩机(以下简称氧透或氧压机)的技术水平提高到接近国际先进水平的高度。经过多年来不断地发展与改进，杭氧的氧透已经从原来的单缸型发展到双缸型，从为数不多的几种产品发展到多品种多规格比较完整的系列产品，基本满足了国内冶金、化肥、煤化工等不同用户的需要。

## 1 氧透机组的配置情况

### 1.1 主机的配置

氧压机的基础为两层框架式结构。主机布置在上层，辅机在下层。除供油装置和控制仪表外，全部设备由防火墙隔离。双缸型氧压机主机的排列形式如下：主电机—增速机—低压压缩机—高压压缩机；或：主电机—低压缸增速机—低压压缩机—高压缸增速机—高压压缩机。高、低压压缩机均采用水平剖分的单轴多级多段压缩机。如前所述，杭氧氧透的机型是专为压送氧气而设计的，对于防止转子与静止元件碰擦，防止氧气被污染，防止氧、油外漏，限制氧气过高的温升和流速等压氧的安全性作了周全的考虑。压缩机的壳体用数控龙门铣床精密加工。压缩机转子用高强度不锈钢制造。用于氧气的迷宫密封用铜镍合金制造。低压缸一级叶轮进口前设置可调式叶栅导流机构，以实现流量的自动调节。低压缸各级采用叶片扩压器以提高效率；高压缸采用无叶扩压器以扩大调节范围。

这种机型的另一大优点是运转十分稳定。径向轴承采用抗失稳能力强的可倾瓦轴承。推力轴承采用美国进口的自动均压推力轴承。每个轴承处设置振动监测探头。每根转子设置轴向位移监测探头。

主电机采用异步电动机。在机组启动阶段，转子系统有一个不稳定阶段。如采用同步电机拖动，当电机牵入同步转速时会对转子产生扭转冲击，对于氧压机来说这是不允许的。主电机与低压缸增速机之间采用绝缘型联轴器连接，以防止电机转子端的感应电流传入压缩机。其余各部机之间采用进口的挠性膜片式联轴器。这种联轴器对转子的不对中度不敏感，且外形小，无需润滑，具有很小的转动惯量和很高的可\*性。根据近三十年来的使用经验，绝无发生意外事故的记录。配置高压缸增速机的优点在于可以分别选择高、低压缸转子的最佳转速，以满足小流量氧压机最佳的性能匹配和最宽的调节范围。对于大流量的氧压机，

则无需配置高压缸增速机。

## 1. 2 辅机的配置

**氧气冷却器：**压缩机每两级冷却一次，防止过高的氧气温度，降低能耗。采用氧气走管内、冷却水走管外的列管式冷却器。因为氧气侧换热表面必须无油、干净。组装后的管束的内壁便于脱脂、清洗和检查，有利于保证氧气侧表面的清洁度。

**氧气过滤器：**在压缩机进口前、回流氧气旁通阀前以及氧气平衡管压力控制阀前，分别设置了氧气过滤器，用以清除氧气中的杂质，避免氧气高速气流流过压缩机流道和阀芯时与壁面发生碰撞产生火花。此外，轴端密封用氮气的进口调节阀前也设置了过滤器。

**管道膨胀节：**氧气冷却器通过联接管道与压缩机相连，形成封闭回路。当高温氧气通过时，由于热膨胀而对压缩机产生很大的附加作用力。为此，在各冷却器进气管上设置波纹膨胀节，吸收管道的热变形：

**强制润滑油系统：**从供油装置的吸油口开始，粗过滤器、油泵、油冷却器、精过滤器以及相关的管道和控制阀门均为双元件结构。每一组都可单独工作，互为备用，通过控制系统可实现自动或手动切换。还设有排烟风机和油气分离器以保持油系统的负压状态，避免由于内压引起润滑油的外漏，减少油的损耗。供油的压力和温度由控制系统自动控制在正常范围内，保证主机的正常运转。一旦发生低压电断电或供油系统出现重大故障，机组连锁自动停车。转子堕转期间由高位油箱继续供油。

## 2 钎焊技术在小流量高压比氧压机上的应用

除了对安全可靠性的特殊要求之外，氧压机的另一特点是流量小压力高。这两方面的特点对设计制造提出了新的要求。高压小流量氧压机的难点之一在于叶轮流道狭窄，难于焊接。如果采用电弧焊，无论采用从流道内侧的角焊还是采用从外侧的塞焊，由于焊接的高温收缩、飞溅和表面氧化的缘故，流道的尺寸精度和表面粗糙度都难以保证。这对窄流道叶轮叶一分不利，导致性能的偏差和高能耗。此外，塞焊叶轮还容易在流道内侧形成缝隙，对压氧的安全性构成威胁。除非采用像钎焊、扩散焊这一类特殊焊接技术方可确保叶轮的高质量。

1989年以来，杭氧特种焊接研究所一直致力于各种钢叶轮的钎焊试验和工艺改进。杭氧生产的氧透叶轮以高强度不锈钢为母材，流道用数控机床铣制成形，然后与轮盖钎焊成。叶轮在钎焊炉内加热均匀，焊接温度较低，无有害气体存在，可以确保叶轮的焊透性。同时流道不变形，表面光洁、无氧化皮。还可实现同炉热处理，省工省料。现在，该所已具备真空炉和氮气保护两种专门用于叶轮的钎焊炉，掌握了多种钎料的钎焊技术。引进了专门用于叶轮焊缝无损探伤的C扫描设备检查焊缝内部的缺陷。扫描的结果用图像方式输出，使检查者可以直观、准确地了解和判断焊接的可\*程度。当焊缝缺陷不可接受时，还可以方便地回炉补焊，而不影响流道的几何精度和母材的机械性能。这是钎焊叶轮的又一大优点。根据杭氧历次进行的叶轮破坏性试验的结论，钎焊焊缝的强度已经超过了叶轮母材的强度要求。

总的来说，杭氧用于氧透的叶轮具有强度高、几何尺寸精度高、流道表面光洁、无缝隙、无氧化皮等优点。迄今为止，杭氧已成功地进行了一百多个产品叶轮的钎焊。有了设备和技术上的保证，杭氧可以制造流道更窄、压比更高的高质量高性能的氧压机。

### 3 氧透的操作与控制

#### 3.1 操作控制的基本原则

从保障人机安全和提高设备的操作控制水平出发，全部监测仪表及控制按钮均设在防火墙外的中控室和机旁盘上。氧压机的正常启动或停车采用单手柄(按钮)操作，通过控制仪表发出指令控制一系列的启动或停车动作。进入正常运转后，用户同样可以发出指令改变氧压机的运行状况，调整氧压机的运行参数。设备的各个要害部位和运行状况均处于仪表不间断的监视之下。一旦超出正常值，系统首先控制相关部机作出相应调整，保证正常运行；如果超出报警设定值，系统发出声光报警，提醒操作人员采取进一步措施；如果达到设定的危险点，系统将自动控制各相关部机作一系列的停车准备动作后紧急停车，保障设备和人员的安全。用户可以根据自身的承受能力和实际需要选择控制仪表的先进性。例如：计算机控制、常规仪表控制或混合型仪表控制等。其中以计算机控制最为先进，推荐优先采用。但无论用户选择何种类型的控制仪表，设备成套商都将确保仪表的可\*性。

#### 3.2 基本的监测控制

机组启动条件控制

机组启动程序控制

机组正常停车程序控制

进口氧气衡压控制

排出氧气衡压控制

密封及保安氮气气源衡压控制

轴端氮气密封系统的衡差压控制

氧压机各氧气腔危险温度监测及灭火停车保护控制

转子振动及轴向位移监测控制

润滑油的衡压衡温控制

断电保护控制

重故障紧急停车控制

除以上监测控制回路以外，还设置了周全的监测报警系统。

#### 3.3 氧压机的启动过程

无论从设备的机械运转角度还是从介质的热力过程看，氧压机的启动过程都是一个不稳定过程。为避免误操作，确保氧气机的安全启动，系统设定了机组启动条件的检查程序和启动过程的控制程序。为保证人员安全，氧压机运转时的全部操作在中控室进行。

当把操作手柄(或按钮)置于“准备”位时，系统将按设定的时序自动操作各氧、氮阀门和进气导叶机构到位，并自动对水、电、气、油等外部条件以及辅助设备、仪控、电控系统等进行检查，确认全部符合启动条件后发出允许启动的信号。当把手柄置于“启动”位时，按照设定的时序，主电机启动，机组首先进入内部的氮气循环运转。进气导叶和相关阀门按程序动作，排气压力自动调整到规定值。操作人员确认机组运转稳定、一切正常后，再打开氧气进口阀，氮气进口阀自动关闭，放空阀进入自调状态。随着氧气的进入，机组流道中氮气的浓度逐渐降低。当氧气的浓度经由取样阀取样分析合格后，通过仪控系统控制排气压力上升到需要的送氧压力，打开氧气出口阀，放空阀自动关闭，完成氧压机的启动



过程。

除此以外，系统还设置了氮气试车的操作控制程序。氮气运转操作在机旁仪表盘上进行。氮气试车主要用于设备最终安装完成后或设备经检修后，进入氧气运转之前，确认设备的完好状态。

#### 4 防火安全措施

对于透平氧压机来说，核心问题是安全。因此，如何保证氧压机长期、可靠、稳定地运转，避免人机事故的发生，成了氧压机的设计、制造、安装和运行的中心课题。根据杭氧长期积累的实践经验，只要制造厂、安装队和用户都对这一问题有清醒的认识，给予足够的重视，采取必要的防范措施，遵照必要的安全技术规范 and 规定程序进行各项工作，完全可以避免事故的发生。自引进“日立”氧透技术后，杭氧生产的数十台氧压机在国内外用户一直长期正常运转，就是最好的例证。

除前述的有关措施以外，主要还有以下各项保安措施：

##### 4.1 材料的选择

凡与氧气接触的金属表面，均须采用化学稳定性好、不易氧化的材料制造。压缩机机身、隔板用铸铁件，对氧气流道及密封腔采用表面镀铜。密封器采用燃点极高的铜镍合金。转子、叶片扩压器，以及氧气、氮气、氧氮混合气和进油的管道、氧气阀门、冷却器(换热元件用铜制造)、过滤器、膨胀节，以及凡与氧气接触的其他辅助设备，均采用不锈钢制造。用于氧气的密封垫片和填料，用不含有机物的弹性材料制造。

##### 4.2 零部件的清洁度

氧压机出厂前，压缩机、冷却器、过滤器和阀门等部机，凡与氧气接触的表面都经严格的脱脂处理，并清洗干净，经由专用仪器油分分析仪化验确认合格后再行组装。最后，机内充入氮气并经密封后再发运出厂。现场最终安装前，除对上述设备的含油量进行复验外，还要对氧气管道和其它辅助设备进行上述的脱脂及清洗处理，以保证全部氧气通道干净无油。

##### 4.3 限制氧气的温升

氧压机中，氧气的最高温度发生在各段排气蜗壳处，设计者须采取必要的手段限制各段的温升，同时在各要害部位设置温度测点进行监控。当冷却水量不足、冷却器排气温度或蜗壳温度过高时，系统发出报警，提醒调整冷却水量或采取其他措施。当蜗壳温度超过连锁设定值时，系统即认为氧压机处于事故状态，自动紧急打开放空阀，关闭氧气进出口阀，同时向机内喷入氮气，停车，避免事故的扩大。此外，还要限制流经管道和阀门的氧气流速，避免混入氧气中的杂质与流道过分摩擦生热。

##### 4.4 防止氧气和油气外泄漏

氧压机在结构上的特点之一是轴封端特有的充气式差压密封系统。对于压缩机两端的轴承箱内的润滑油和油蒸气，通过排烟风机保持包括轴承箱在内的整个油系统一定的真空度，并在轴承箱口充入一定压力的惰性气体进行密封，防止油气和油气外漏。对于压缩机两端的轴孔处，通过与两轴端的一组密封腔相通的密封管路、相应的仪表和阀门控制氧一混合气、氮一混合气以及混合气一进口氧气的差压，确保压缩机轴端无氧气外漏。对于机体的剖分面，涂上不可燃的密封涂料防止漏氧。此外，通过下层防火墙上的两台通风机，防止

由辅助设备意外泄漏的氧气浓度过高而形成富氧空间。

#### 4.5 采用绝缘型联轴器

采用绝缘型联轴器防止压缩机转子感应轴电流，通过地线接地释放设备可能感应的电荷。

#### 4.6 设备防火墙

作为保障人员安全的最后屏障，设置防火墙，把全部氧气设备、管道、阀门用阻燃材料构成的墙体与外界隔离。用于运行数据的显示、控制及操作的仪表、手柄(按钮)，均设在防火墙外。这样，氧压机运转期间，工作人员均在危险区外，避免意外的人员伤亡事故发生。

#### 5 氧气流量的调节方式

氧压机的流量调节，采用在氧压机进口处设置可调导流叶栅机构，并通过气动长行程执行器进行自动控制的方式进行。长行程执行器受进气和排气衡压控制回路的控制，工作原理是：当用户的用氧量与空分的产氧量不平衡时，进气压力或排气压力发生波动，一旦压力波动超过规定范围，长行程执行器就带动导流叶栅转动，改变气流方向，促使进排气压力在新的流量条件下重新平衡下来。与在进气管上设置碟阀的调节方式相比，采用可调导流叶栅调节有如下优点：调节范围宽，能耗低。

空气压缩机排气量下降的原因分析与处理

##### 1 前言

山东莱芜钢铁集团公司 4#制氧机是引进德国林德公司生产的 12000m<sup>3</sup>/h 制氧机，该装置采用了国际先进水平的制氧工艺，其先进的特点是采用了规整填料塔、无氢制氩、膜式冷凝蒸发器等技术。产品有 12000m<sup>3</sup>/h O<sub>2</sub>、12000m<sup>3</sup>/h N<sub>2</sub>、240m<sup>3</sup>/h L O<sub>2</sub>、100m<sup>3</sup>/h L N<sub>2</sub>、410m<sup>3</sup>/h L Ar。该装置于 1996 年 5 月开始安装，9 月进入试车阶段，1997 年 7 月正式投产。投产后运行状况良好，并且通过了合同要求的运行考核。在其运行近三年后，氧气产量逐步下降，且精馏工况易产生波动。尤其在 2000 年 9 月份以后，氧气产量明显下降，通过对比，氧气产量比 1999 年同期下降了 200~300m<sup>3</sup>/h。经过初步分析确认，氧气产量下降的主要原因是由于配套的空压机排气量不足造成的，下面就空压机排气量不足的原因分析与处理以及其结构性能作一介绍。

##### 2 空压机简介

该空压机是林德公司为我车间 12000m<sup>3</sup>/h 制氧机配套的主体设备，是由 Atlas Copco 生产的 GT 系列离心式压缩机，型号为 cT078. L3K3，分三级压缩，两极冷却。马达是由西门子公司生产的 6kV 交流同步电动机。

###### 2.1 整体结构

GT 系列离心式压缩机是整体驱动径向式压缩机。有一个主动齿轮，两个高速齿轮，分别与三个轴连为一体装在水平分列式的齿轮箱内。齿轮是单螺旋、直齿圆柱型的。叶轮装在两个高速轴的悬伸位置，有利于轴向进气，与蜗壳等部件可靠地连接在齿轮箱体上。

###### 2.2 空气压缩机核心部件

(1) 蜗壳 其横断面积沿叶轮转动方向扩展。

(2) 转子 由一个或两个悬伸叶轮和压缩机的小齿轮轴组成。小齿轮轴装有热配正锁推力轴套。

(3) 轴封 该轴封为浮动碳环密封，用来密封叶轮背面和齿轮箱之间的空间，将泄漏降至最

小。

(4) 叶轮轴向密封 用于把使用封闭式叶轮时 从叶轮出口到叶轮进口的泄漏降至最小。

(5) 入口导流叶片 它是一种装在吸人壳中的 标准化组装件,由气动调节可实现均匀无级调节。

### 2. 3 GT078. L3K3 型空压机的有关性能参数

表 1 中数据其设计值均是查自林德公司提供的 技术资料,在实际运行中所监控的参数点并不完全 与其一致。

表 1 空气压缩机性能参数

项目

压缩机数据

设计保证值

实际值

空压压缩机

排气流量, m <sup>3</sup> / h	61400	5000~62000	
实际入口流量, m <sup>3</sup>	73379	<74060	
一级吸入口压力, MPa	0. 0974	0. 096~0. 098	
一级入口温度, °C	30	-12~38	
排出气体压力, MPa	0. 51	0. 54	
在 P2/P1 不变时喘振极限, m <sup>3</sup> / h		42000	
一级振动, μ m	29. 6	7~8	
二级振动, μ m	29. 6	12~13	
三级振动, μ m	29. 4	11~12	
轴承 1, °C	80	<76	
轴承 2, °C	80	<70	
轴承 3, °C	80	<60	
自由端轴承, °C	80	<70	
传动轴固定轴承, °C	80	<79	
传动轴浮动轴承, °C	80	<62	
气体冷却器			
中间冷却器 1 后的温度, °C	36	<36	
中间冷却器 2 后的温度, °C		37. 1	<36
中间冷却器 1 后的压力, MPa(表压)		0. 09	无监测
中间冷却器 2 后的压力, MPa(表压)		0. 178	无监测
总水流量, m <sup>3</sup> / h	320	无监测	
污垢系数, m <sup>2</sup> . k/w	2×10 <sup>-4</sup>	无监测	
冷却水			
上水压力, MPa(表压)	0. 343	0. 33~0. 36	
上水温度, °C	30	<30	

## 2. 4 空压机运行状态说明

该压缩机自投产后，从空压机轴振动及温度方面看未出现异常，运转平稳，运行状态良好。从压缩机的出力状态看，即使是在投产后的前两年，其排气量也相对偏小。这主要表现在受环境因素的影响较大。当气温达 35℃ 以上时，空气量下降 5%。但在使用近三年后，空气压缩机的排气量有明显减少的趋势，尤其在 2000 年 9 月，排气量已不足 55000m<sup>3</sup> / h，且此时空压机的进口导叶也已接近全开。由于无法保证分子筛均压切换时的空气量，导致空分精馏工况产生波动，调节困难。为进一步明确问题，排除环境方面的影响，下面将 2000 年 9 月与 1999 年 9 月在水温和气温基本相同的状况下，出力状况比较如表 2 所示。

表 2 空压机同期性能比较

参数

时间

气温℃	水温℃	一级吸入温度℃	二级吸入温度℃	三 级吸入温度℃	导叶开度%	排气流量 m <sup>3</sup> / h	排气压力 kPa
1999.9	20.3	22.4	25	29	28	79	59.60
					419	97	
2000.9	18.3	25	26	28	27	78.4	56349
					408	97	
1999.9	21	24.5	24	27	25	71.7	60115
					420	97	
2000.9	19	24	22	26	26	66.2	56011
					408	97	
1999.9	22	22.7	21	29	28	67.5	59868
					419	97	
2000.9	20	23.9	23	26	26	65.8	55866
					407	97	
1999.9	23	21.3	24	29	26	70.5	59503
					419	97	
2000.9	21	23.39	22	27	28	81	55869
					408	97	
1999.9	24	23	27	30	27	68.9	59176
					417	97	
2000.9	22	24.3	20	26	26	69.7	54800
					406	97	
1999.9	25	24.1	20	29	28	70.1	58882
					418	97	
2000.9	23	25.3	23	27	27	79.9	

### 3 原因分析

影响空气压缩机排气量的因素有以下几个方面：吸入温度过高；叶轮脏；导流叶片、空压机通道脏；空气过滤室阻力过大；中间冷却器冷却效果差；入口导流叶片开度错误设置；空压机轴封和叶轮密封泄漏造成内外损失，降低空压机效率。

针对以上因素，结合空压机的运行参数，首先排除最不可能的因素，逐步找出影响该空压机排气量下降的主要因素：

(1)首先从环境温度看吸气温度远低于设计温度，吸气温度过高的因素被否定；中间冷却器冷却效果差，从运行参数看其二级和三级吸入温度也明显低于设计值，而且在2000年初已对两只中间冷却器水侧进行了清理，且上水与回水温差比较明显，显然中间冷却器冷却效果差不是影响本空压机气量的主要因素。

(2)从空压机使用状况看，自投产以来运行平稳未出现错误操作，而且在现场监听也未发现各级密封有明显的泄漏。同时对进口导流叶片开度进行检查，微机显示开度与现场指示开度完全相符且动作灵活，所以进口导流叶片错误设置也不可能。

(3)从表2中的吸入压力可能看出比设计值低1~1.4kPa，而影响吸入压力的因素：一是环境气压的变化，是不能人为调节的；二是吸入过滤系统的阻力，第二级和第三级布袋均有阻力仪表，其阻力值均在正常范围，第一级旋风子过滤器无阻力显示，但明显的脏，大部分通道已被灰尘堵塞，这也会影响空压机的吸气量，但不是最主要因素。

(4)通过上述分析，影响空压机排气量的因素也就只有叶轮脏、入口导流叶片脏、空压机通道脏等因素了。回顾该空压机的使用历史，尽管空压机的运转平稳，没有出现误操作，但是其空气过滤系统两级布袋的使用效果是不能令人满意的。所以叶轮、导流叶片、空压机通道脏是极有可能的。这是因为这两级布袋过滤器，在两年随机备品用完后，曾换过几个厂家的产品进行替代，所使用的布袋不仅初始阻力高，而且过滤效果也较差，多次检查都发现布袋背面已透过灰尘，透过布袋的灰尘必将污染空压机的流通通道。为证实这一观点，我们对空压机作了进一步的检查，对于空压机内部的污垢在运行期间是不可能看见的，能间接反映的运行参数，如各级进排气压力、温度也没有全部用仪表显示，只有吸气和排气的压力和一、二、三级进气温度有指示，其余均未设置，因此我们在现有的情况下，利用红外线测温仪对空压机的各级排气温度进行测量，结果见表3。

表3 空压机各级排气温度

参数

变化

	一级排气温度 °C	二级排气温度 °C	三级排气温度 °C
最高	119.1	93.7	94.8
最低	105.8	85.4	89.6
平均	110.84	89.97	92.06

表3数据是2000年9月20日以后连续测量10天，在排除吸入温度的影响后，用20组数据计算的。从表4中可以明显地看出第一级排气温度明显比二、三级排气温度高出近20°C，而二、三级排气温度比较一致，因无排气温度的历史记录，只能作横向比较，按理论计

算，一般空压机的第一级压比稍小，其排气温度不应该最高，其问题实质——空压机排气量低，就与第一级排气温度高有直接的关系，温度过高必将减少空压机的排气量。针对该空压机其排气温度高的原因有两条：一是叶轮脏；二是其一级中间冷却器到二级入口之间有一层 10cm 厚的不锈钢丝网，该丝网被灰尘堵塞的可能性很大(该滤网无阻力指示)。如果其被堵，将引起一级排压高，排压高则排气温度也要相应提高。至此导致该空压机排气流量下降的主要因素归结为以下几条：

- ①一级中间冷却器后不锈钢丝网被堵塞。
- ②进口导叶，一、二级进气口及叶轮脏。
- ③旋风子过滤器通道堵塞，引起吸入压力下降是空压机排气量降低的次要因素，一级冷却器芯子气侧被污染也是空压机排气量下降的一项因素。

#### 4 空压机排气流量低的处理

根据以上分析及所掌握的空压机解体维护工作的经验，特制定如下处理措施，并于 2000 年 11 月 1 日进行处理。

- (1)对一级冷却器抽芯检查清理气侧，对后面的不锈钢丝网进行清洗。
- (2)清理打磨空压机进口导叶及能够拆卸的一、二级进气管道，并检查一、二级叶轮。虽然叶轮也较脏，因怕破坏其动平衡未做打磨清理。
- (3)清洗旋风子过滤器，更换二、三级布袋。
- (4)为便于以后检查，分别加上一、二级排气温度及压力和二、三级进气压力等就地仪表。

#### 5 效果及今后防范措施

(1)经过上述措施的实施后，效果十分明显，空气量大幅提高，达到了设计要求。下面将检修前后 5 天有关运行参数的平均值统计如表 4。

表 4 检修前后空压机有关运行参数比较表

参数	一级吸入温度 °C	二级吸入温度 °C	三级吸入温度 °C	一级排气温度 °C	一级导叶开度%	排气流量 m <sup>3</sup> / h	排气压力 kPa	吸入压力 kPa
检修前	18.85	11.5	22.33	72.28	57864	420	97.4	108.5
检修后	18.1	12.4	20.8	68.76	61444	425	98	96.7

(2)通过这次故障分析与处理，为我们更好地掌握、运用、操作该设备，更好地挖掘该设备的潜力打下了基础，积累了经验。为此在以后的工作中应特别注意以下几点：

- ①每运行一个季度，都要对设备的运行状况作出总结，认真分析记录运行参数的变化，便于及时发现问题，掌握设备的运行状态。
- ②不要轻视空压机吸气过滤器的作用，应选用过滤效果好、初始阻力相对较低的滤料，尽

力减少灰尘对空压机系统的污染。

③针对我们车间的运行状况，对布袋过滤器每周检查一次；对中间冷却器及容易拆卸的部件每两年进行一次清洗，纳入设备维护标准。

空分用 DH63 型空气压缩机增产节能改造

### 1 概述

水城钢铁公司氧气厂 2#KD0N-6000/6600-VII 型全低压切换板翅式制氧机组用 DH63 型空气压缩机，是我国上世纪七十年代末八十年代初的产品，该型压缩机为双轴四级等温压缩机；压缩机的四个叶轮分别安装在两个转速不同的小齿轮轴的两端，构成高低速两个转子；每个叶轮与各自独立锅壳构成气流流道；高低转子分别布置在大齿轮轴的两侧，由大齿轮带动，大齿轮轴通过齿式联轴器与电机联接。其结构形式见图 1。

此主题相关图片如下：

该空压机使用十年来，由于各种原因其运行效率一直不高。在导叶阀全开的情况下，空压机的排气量及排气压力明显达不到设计要求。六盘水市夏季气温  $30^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$  时，平均排气量为  $32500\text{m}^3/\text{h}$ ，排气压力  $530\text{kPa(A)}$  氧产量  $5500\text{m}^3/\text{h}\sim 5700\text{m}^3/\text{h}$ ，氧气纯度  $99.3\%$ 。主冷的液氧液面长期维持在  $2650\text{mm}$  左右（正常值为  $2750\text{mm}$ ）；氧气出塔压力  $15\text{kPa}$  左右（正常值为  $20\text{kPa}$ ）。经分析认为 2#机组出氧能力不足、单耗高的主要原因是空压机效率较低，未能达到最初设计水平。

随着工厂生产水平的提高以及工艺过程的改进，这些老的压缩机设备已不能满足当前生产的实际需要。但由于更换成套设备受到资金、成本和安装调试周期长诸多因素限制，采用了对压缩机进行三元流技术改造方案。水城钢铁公司与西安交大赛尔机泵成套设备有限责任公司合作，对空分用 DH63 型空气压缩机进行了“全可控涡”三元流技术改造，取得了较大的效益，达到了预期的目的。

### 2 DH63 型空压机三元流改造技术方案

(1) 采用“全可控涡”节能型三元叶轮设计技术[1]。保持原有空压机机壳的尺寸不变，原动机功率不变，只对空压机的高、低速轴和转子、大齿轮轴、各级轴承、扩压器、气封油封等进行增产节能改造；在对原机壳进行详细测绘后，设计并制造与原机壳及新叶轮相匹配的叶片扩压器内隔板。

(2) 采用先进的制造工艺及严格的质量控制手段，具体包括：三元叶轮采用整体铣制二体焊结构；空间扭曲型三元叶片采用 CAD / CAM 一体化技术软件自动编程，在五坐标联动数控铣床上加工制造；轮盖与叶片组对点焊后，用空间样板检验，漏光  $< 0.1\text{mm}$ ；用小电流多次焊，满焊后焊缝  $100\%$  检验，再用空间样板检验组对精度，漏光  $< 0.5\text{mm}$ ；叶轮焊完，焊缝检验合格后，整体调质，按标准检验全部力学性能；叶轮精车成型并经过精密动平衡后，在真空超速试验台上作  $115\%$  工作转速下的超速试验；进行转子整体转动平衡试验；所有件的制造与验收均采用相应国标或 AP1617 标准。

### 3 空压机改造后对 2#制氧机产生的效果

#### 3.1 切换式换热器自清除工况得到进一步改善

由于空气流量大幅度增加，压力提高，返流污氮气由原来  $21900\text{m}^3/\text{h}$  增加到现在的  $23100\text{m}^3/\text{h}$ 。换热效率提高，气体不易发生偏流，换热均匀，环流温度上升；切换式换热

器冷区向中部偏移，减小冷端温差，自清除能力得到加强，有利于2#制氧机组的长期、高效运行。

### 3.2 膨胀机制冷量增加，调控范围大，有利于制氧机的安全运行

空分设备正常所需冷量绝大部分来自膨胀机绝热等熵膨胀。改造后由于空气压力的提高，膨胀机入口压力由0.41MPa提高到现在的0.43~0.44MPa，焓降增加，膨胀机制冷量增加。液空、主冷液位受控比较稳定；由过去的(2300~2650)mm，稳定在现在的(2650~2750)mm，满足了液面对制冷量的需要。也使主冷板式全浸式操作成为现实。这对防止主冷微爆，确保制氧机安全运行起到了保证作用。

### 3.3 精馏工况进一步改善，潜力充分挖掘

由于空气量增加及压力的提高，精馏工况所需的传质传热条件得到加强。下流液体及上升蒸汽量的液汽比增加，精馏效果明显提高。在保证氧气质量(纯度 $\geq 99.6\%$ )的情况下，氧气产量可在6600m<sup>3</sup>/h~7000m<sup>3</sup>/h范围内进行调节。从而将国产制氧机10%—15%的精馏潜力得以充分挖掘，较大地提高了制氧机的经济效益。

### 3.4 机组变工况调节范围大，生产组织灵活，综合效益提高

空压机改造后进口导叶阀开度在40°~50°，即可满足空分的需要，调节范围还有很大的余量，可为今后2#机组切换板式流程改为分子筛净化、无氢制氩工艺奠定前期物质基础，进而可改变我厂只有一台机组生产液氩、无法确保检修时外部用户用氩的被动局面。

## 4 经济效益分析

DH63型空压机改造前后的参数对比见表1。

(1)空压机改造后平均每小时可多生产氧气800m<sup>3</sup>/h，按0.375元/m<sup>3</sup>[注]，则全年所创效益为240万元。

(2)空压机改造后，由于空压机出口压力、流量的增加，相应空压机耗电量平均每小时比改造前多耗电416kWh，在电耗上每年多增费用为108.2万元。

(3)空压机改造后每年净效益为：240-108.2=131.8万元[注]

(4)空压机改造后，为2#机组切换式流程改为分子筛净化、无氢制氩工艺打下期物质基础。同时使不锈钢保产能力得到提高，具备了确保炼钢在今年的增产目标基础上多生产10万吨钢的用气需求。DH63型空气压缩机改造后的设备已安装调试完毕，并投入正常运行。实践表明，改造后的机器运转平衡，各项气动参数均已达到设计要求。新设计的四油叶轴承运行良好，机组振动很小，能够保证长周期运转。氧气产量由改造前平均5700(夏季)增至目前的6800(夏季)。每小时平均增产800，使水钢的保产能力大为提高，已经具备了确保炼钢年产180万吨钢的用气需求。

[注]：氧气价格、电费按水钢内部执行价格计算

10000m<sup>3</sup>/h空分设备用离心压缩机的开发与应用

## 1 概述

开封空分集团有限公司自1969年开始制造离心压缩机以来，设计制造离心压缩机已有三十多年的历史。20世纪70年代，主要生产用于1500m<sup>3</sup>/h和3200m<sup>3</sup>/h空分设备的DA200和DA350型单轴离心压缩机。进入20世纪80年代，我公司的离心压缩机生产得到很大的发展，1981年自行研制成功了国内首台H型双轴离心压缩机，用于3200m<sup>3</sup>/h空分设备，



替代原有的 DA350 单轴离心压缩机，使等温效率有较大的提高。随着电子计算机的发展和三元流动理论在离心压缩机中的应用，我公司于 20 世纪 80 年代中期，相继开发研制成功 800~1500m<sup>3</sup>/h 空分设备及空气动力源用的具有三元叶轮的双轴离心压缩机。

20 世纪 90 年代初，根据市场需求和用户要求，我公司利用设计制造 H 型双轴离心压缩机的成功经验，自行开发研制成功了用于 6000m<sup>3</sup>/h 空分设备的 H700 型离心压缩机。在此基础上，又开发了用于 4500m<sup>3</sup>/h 空分设备的 H500 系列压缩机和配 7000m<sup>3</sup>/h 空分设备的 H800 系列压缩机，使双轴压缩机大型化、系列化。与此同时，利用三元流动理论新技术，对原有的 DA200 和 DA350 型压缩机进行了更新改造，设计了大流量三元叶轮转子，提高了原机的等温效率，增大了流量，为空分设备的增容改造提供了保证。近年来，随着 CAD 技术的不断普及和发展，特别是 1995 年以后，通过引进美国 NREC 公司先进的透平机械 CAD / CAM 软件以及五轴联动数控铣床的投入，大大提高了我公司透平机械的设计制造技术水平。我公司 1997 年自行研制的供天津铁厂 15000m<sup>3</sup>/h 空分设备用的 DA1800—51 型离心压缩机，是目前国内自行设计制造的最大的单轴离心压缩机。该机效率高，运转稳定，至今已连续运行了五年。到目前为止，我公司已经设计和生产了双轴 H 型和单轴 DA 型两大系列数十种不同规格百余台空气和氮气离心压缩机，产品遍布全国各地，并出口印尼、印度、越南等国。可以为用户提供流量范围 3000~120000m<sup>3</sup>/h、压力范围 0.5~3.0MPa 的各种空气及氮气离心压缩机。

## 2 10000m<sup>3</sup>/h 空分设备用离心空气压缩机简介

目前，国内外生产的用于 6000m<sup>3</sup>/h 空分设备以上的离心空压机有双轴和单轴型两种。20 世纪 70 年代初期，由于离心压缩机大多采用二元叶轮，为了提高级的多变效率，在小流量范围内，双轴离心压缩机具有较多的优越性，因此流量小于 40000m<sup>3</sup>/h 的多采用双轴离心压缩机，而流量在 40000m<sup>3</sup>/h 以上的多采用单轴离心压缩机。进入 20 世纪 90 年代，由于三元叶轮的采用和先进的加工技术，使这两类离心压缩机的工作范围都有所扩大。国外 Cooper 公司双轴 MSG 系列离心压缩机的量可达 150000m<sup>3</sup>/h；而 Demag 公司双轴 VK 系列离心压缩机的最大流量可达 500000m<sup>3</sup>/h；SULZER 司 RIK 单轴离心压缩机系列的流量范围为 35000~400000m<sup>3</sup>/h；而 Demag 公司开发的 RR 单轴离心压缩机系列流量范围为 50000~500000m<sup>3</sup>/h。可见，在大流量的情况下，双轴压缩机仍具有较强的竞争力。国内，6000m<sup>3</sup>/h 空分设备以上配用的离心压缩机有双轴型，也有单轴型，两者都可以满足需要。而单轴离心压缩机既可以电机驱动，也可以汽轮机直接驱动，更加适合化工行业的空分设备。因此，有着更加广泛的市场前景。

根据我公司透平压缩机的设计制造能力及空分设备的需要，我们认为将双轴型离心压缩机的最大流量为 45000m<sup>3</sup>/h，单轴型离心压缩机的最大流量定为 120000m<sup>3</sup>/h 较为适宜。根据鄂钢集团公司的要求，在对国内外大型离心空压机的结构设计、材料选用、自动控制、安装维护等方面资料收集、分析、研究的基础上，结合我公司多年设计制造离心压缩机的成熟经验，最终确定 10000m<sup>3</sup>/h 空分设备用空压机采用单缸、单吸入、双支承、单轴四级等温离心压缩机。该机共四级叶轮，三次中间冷却。首级为悬臂式，轴向进气，带进口导叶调节，既具有双轴型压缩机调节性能好、气动效率高的优点，又具有单轴型压缩机运转可\*性高的优点。现将该机的情况简要介绍如下。

## 2.1 要技术参数

型号：DA1200—41

介 质：空气

进 口容积流量：1150m<sup>3</sup> / min

进 口压力：0. 097MPa(A)

出 口压力：0. 60MPa(A)

进 口温度：35℃

进 口相对湿度：80%

冷 却水温：≤33℃

轴 功率：4453kW

压 缩机重量：14. 6t(不包括辅助设备和电机)

压 缩机外型尺寸 L×b×h：3000× 2800mm×2000mm

电 动机功率：5400kW

## 2.2 要组成及结构特点

(1)为了获得较高的级效率，我们将四只叶轮全部计成具有良好气动性能的三元叶轮，并采用了叶片扩压器。

(2)为了优化局部负荷工况，一级采用了悬臂式结构，单独蜗壳，使单轴压缩机具备了与双轴压缩机相同的轴向进气进口导叶调节，改善了调节性能，提高了气动效率，这是本机最大的技术创新之处。

(3)机壳采用水平和垂直剖分结构，便于加工制造，结合面经精密加工，保证了机壳内高压气体不致外泄。叶轮采用不锈钢焊接成，经静、动平衡和超速试验，具有很高的可靠性和安全性。一级叶轮用螺栓与轴连接，避免了以往双轴H型压缩机中因转子叶轮振动大而导致轴断裂的现象。整个转子经过严格的动平衡校正，保证了运转的平稳性。

(4)支承轴承为可倾瓦轴承，五个可倾瓦块沿圆周均匀分布，支撑于轴承的内孔，活动瓦块可以适应负荷的变化，沿圆周方向摆动。这种轴承具有较高的抗振性。

(5)机座为钢板焊接而成的整体框架式结构，机壳的四只猫爪座落在机座上，为了减少因机组热膨胀而产生的各轴线位置的偏移和热应力，机座沿轴向和横向均装有导向键，保证了机组之间在任意情况下的同心度。

(6)压缩机与增速器、增速器与电动机之间均由膜片联轴器连结。由于这种联轴器的金属挠性结构，使其有耐热、耐腐蚀、不需要润滑、使用寿命长、吸收更大的轴偏差、降低联轴器安装精度要求、缓和冲击等优点。与齿轮联轴器相比，由于运转中对机组的附加弯矩小，因此对两端轴有很好的保护作用，同时，可以减少轴的振动，提高整个机组的使用寿命。

(7)增速器为单级变速，箱体为铸铁件。大、小齿轮均采用优质渗碳钢，经滚齿、渗碳磨齿，具有很高的加工精度。小齿轮轴承为可倾瓦轴承，轴承温度低，抗振性好。由于增速器为独立结构，避免了因压缩机转子叶轮振动对齿轮啮合的影响，提高了运转可靠性。

(8)机组带有润滑系统和冷却系统。全部油管道和各级进气管道均采用不锈钢制造，冷却器壳体进行了表面防腐蚀处理，避免铁锈进入叶轮，影响动平衡，延长了连续运行周期。

(9) 为了保证机组操作及运行的安全,防止任何事故的发生,设有包括启动联锁条件、运行安全保护、自动停车保护、联锁控制、自动调节、防喘振装置在内的安全保护系统。机组带有轴振动在线监测装置,可时刻查看转子运转情况,延长机组寿命。

(10) 本机设有隔音罩,可减少噪声 15 分贝,隔音罩外噪声小于 85 分贝。

### 2.3 压缩机实际运行结果

DA1200—41 型离心压缩机于 2002 年 2 月在鄂钢集团有限公司安装开车成功。机械运转和性能测试的结果表明,机组运行平稳、可靠,轴承温度和振动均符合设计要求。在进口温度 10℃,进口导叶 60 度,出口压力 0.5MPa(C) 时,出口标准流量为 66000m<sup>3</sup>/h;进口导叶 90 度,出口压力 0.5MPa(G) 时,出口标准流量为 75000m<sup>3</sup>/h,完全可以满足 10000m<sup>3</sup>/h 空分设备的需要。由于该机具有良好的调节性能,若进行适当变型,作为 6000~15000m<sup>3</sup>/h 空分设备的配套空压机是完全可能的。

### 3 结束语

开封空分集团有限公司研制的 DA1200—41 型离心压缩机结构先进,性能优越,运转安全可靠,变型能力强,具有广阔的市场前景。但由于该机投运时间不长,使用中肯定还会暴露出一些不足和问 题,我们将认真听取用户对该产品的改进意见,进一步完善设计,提高制造水平,使这、大型单轴离心压缩机系列更加先进可靠,为我国空分事业的发展做出更大的贡献

#### 大功率空气压缩机的故障诊断与控制

大功率空气压缩机是空分行业的重要设备。功率较大,运行启动步骤复杂,在大功率空压机启动时,企业的很多部门都枯停车,以便给大功率空压机的启动提供足够大的启动电流。因此,大功率空气压缩机的停车再启动会给企业造成巨大的经济损失,对大功率空气压缩机的故障正确诊断与控制,提高设备本身的可靠性将会给企业带来巨大的经济效益。

为了保证大功率空气压缩机设备本身的安全运行,设置了许多监测控制点,来完成空气压缩机的控制及联锁保护。针对不同型号的空气压缩机,监测及控制点的选择应有所有同。关键点的控制对空气压缩机可以起到安全保护作用,但一些非关键点的控制不仅增加了系统的负担,从企业经济效益方面考虑也很不可行。因此,在空气压缩机的监测控制系统中做到最优化,用最少的点来控制空气压缩机,安全保护设备本身正常运转的同时,及时反馈异常信息,做到计算机控制系统实时响应,操作工及时分析处理。在大功率空气压缩机控制中,常规仪表控制,故障率较高,参数点之间的联系不紧密,常常发生误动作,在不该停车时,发出停车信号,使压缩机停车;在应该停车时,不能发出停车信号,给企业生产造成巨大影响。

相对而言,PLC 控制及计算机控制技术在国内外发展的已相当完善。在空压机的进出口阀处,完善其自动功能,实时调节系统运转的工况,在保证各工艺参数正常的情况下,最大可能的提高系统的功效。并且利用计算机综合过程的所有参数,进行更为准确的判断,使误动作降到最低。利用系统的可调性,进行防喘振控制。控制系统软件在正常情况下都能对压缩机运行参数进行处理,记录,存盘,操作人员可随时进行查询分析。利用运行曲线预测故障隐患,当然,系统的追忆事故功能使操作人员理灸准确的诊断故障。但是,检测点

参数的异常波动，都可能被认为是工况异常而这车。有时是传感器故障和一些意外的干扰信号引起的参数波动。为了尽量避免非空气压缩机故障停机而导致影响其他生产设备的运行。提高人为参与故障诊断处理的意识，防范于未然。在我企业，尽是使用防震铂热电阻，旧式热电阻保护套底加软件塑圈，加强防振耐磨，针对旧式放大器温现象，在电涡流传感器前置放大器温现象，在电涡流传感器前置放大器处附设防高温材料，及时更换信号电缆。发现监测控制参数异常时，通过计算机历史记录及运行趋势，全面分析排查，及时做出解决方案，分别在空气压缩机不停车的情况下成功的处理了两起接线松动，一起热电阻进水，一起放大器温漂故障，避免了空压机的停车。同时借助于保护运行及历史记录正确判断出一起瓦碎事故，及时停车处理，避免了更大的经济损失。大功率空气压缩机的故障诊断与控制，要以系统性，可靠性，实时性，在线性，可扩展性及经济性为原则，最大程度上做到系统最优化，尽可能的自动调节压缩机工况，计算机的自诊断故障功率强大，提高系统的容错能力。借助于现代化智能诊断仪，加强人为参与故障诊断分析处理。根据企业的现状，以提高经济效益和耐效益为目的，把现代故障诊断处理理念贯穿到每一位企业员工心中！