

LIXINSHI YASUOJI
DE CAOZUO YU KONG ZHI

离心式压缩机 的操作与控制

美国仪表学会 著

化学工业出版社

78.7852
373

离心式压缩机的操作与控制

美国仪表学会著

李斯特等译

化学工业出版社

前 言

编制有关辅导性教材的方案系由美国仪表学会 (ISA) 教育委员会前主任、现学会遴选主席 Hugh Wilson 提出的。该方案就若干业已成熟的仪表装置工艺，从基本原理开始逐步而有次序地介绍到目前常见的实际应用情况。教材的基本内容反映出仪表使用动态的总貌。与一般的教材不同之处，就是不拟把近来发展的最新成就都包括进去。

过去五年中，曾发表过有关精馏、化学反应器及动力站等方面仪表配置的辅导性教材。受到各方面的欢迎，除已由美国仪表协会学报发行外，且已录成电视磁带，以供实习辅导之用。至于精馏方面的电视磁带丛集，已无法购到了，而动力站方面的磁带教材则正在编写之中。

在过去几年里，离心式压缩机已在工业生产中占有一定的地位。从它的特性曲线图中可以看出，它是一种高速机器，其可变因素的相互影响是错综复杂的。有不少的仪表配置型式可供选用，不过，如果配置的仪表不适用于压缩机的操作，则将使其回转部件很快地损坏。当几台压缩机向若干用户同时供气时，操作问题就更加复杂了。本书将就目前常见的关于这类问题的应用技术加以阐述。

我们对 ISA 在编制本丛书时所给予的大力帮助、特别对遴选主任 Guido Carlo-Stella 博士审定本教材及在开会期间所给予的帮助表示感谢。我们也对编写本教材的各位作者表

35075

示感谢。他们都是压缩机和仪表界的著名权威。最后，我们还对 Houston-Host委员会以及ISA 总部的工作人员在完成本读物时所给予的很大方便表示感谢。

Ralph L. Moore.

ISA副主席

目 录

前言

离心式压缩机的附属仪表 J. B. Arant	1
离心式压缩机的操作与控制 (第二部分 压缩机的 操作) J. R. Gaston	20
压缩过程热力学基础综述 J. W. Hall	53
压缩机的过程控制 R. C. Waggoner	67
并联压缩机的控制 A. E. Nisentfeld 及C. Cho	83
压缩机站的控制方案 N. Staroselsky及 A. Rutshtein	97
压缩机典型控制系统配置方式 J. D. Warnock	122

离心式压缩机的附属仪表

J. B. Arant

近代的离心式压缩机是一种精致复杂的机器，如图 1 所示，它的零件精度高，装配要求的公差十分严格。它的功率范围大约为 2,000 至 45,000 马力，转速范围为 6,000 至 11,000 转/分，如果机器一旦运转失常往往会很快地使其内部遭受重大的损坏。因此，对机器及其附属供油系统的运行状况采用必要的附属仪表进行监视是非常必要的。本文涉及的驱动机为蒸汽透平，它的设计要求和可能出现的故障与离心式压缩机相似，属同一设计等级，如图 2 所示。我们之所以强调必需装设附属仪表设备，其原因是十分简单的——因为它已成为完整的生产系统所不可缺少的一部份，如果因采取过少的检测手段，以致造成机器停车或大修故障，这时所要付出的代价将是巨大的。相对于压缩机而言，仪表的投资费用并不高，如在关键地方不装设适当的备用仪表和完整的备用系统，仍是没有任何好处的。究竟附属的仪表包括哪些呢？有如下三类——供油系统，机器运行状况监视系统和控制系统。

1. 供油系统

轴承润滑油；

轴密封油；

透平液压控制用油。

2. 机器运行状况监视系统

径向轴承温度；
止推轴承温度；
轴的径向振动；
轴向位移；
超速防护。

3. 控制系统

速度控制
喘振防护。

在这些项目中的每一项究竟需要哪些仪表、需要多少，这要取决于压缩机—透平系统的特性以及对其性能要求和可能发生故障的详细分析。下面各段分述有关仪表的具体应用，可供正确配置时作为指南。

供 油 系 统

油是离心式压缩机和透平驱动装置的命脉。它不但润滑着轴承，而且对控制系统还起着制约纽带的作用。根据压缩机组的规格及其复杂程度的不同，供油系统也有所不同。总的目标是，要使系统在联锁动作以及辅助油泵起动时不要出现互相干扰的现象。供油系统一般包括有：一是供给透平—压缩机组的润滑以及透平的调节用油系统，另一是供给压缩机轴密封的用油系统。根据用油有无可能受到污染的情况，润滑油和密封油系统可以共用一只贮油箱或采用各自的油箱。尽管压缩机或透平制造厂家能提供现成的供油系统，但是，Du-Pont 公司工程部还是经常按自己的技术要求条件自行设计和制造供油系统。这样，我们就有了一套完整的控制系统的全面配置，包括泵、冷却器、过滤器、管线和阀门等设备的规格以及全部必需的仪表。如果供油系统的设备

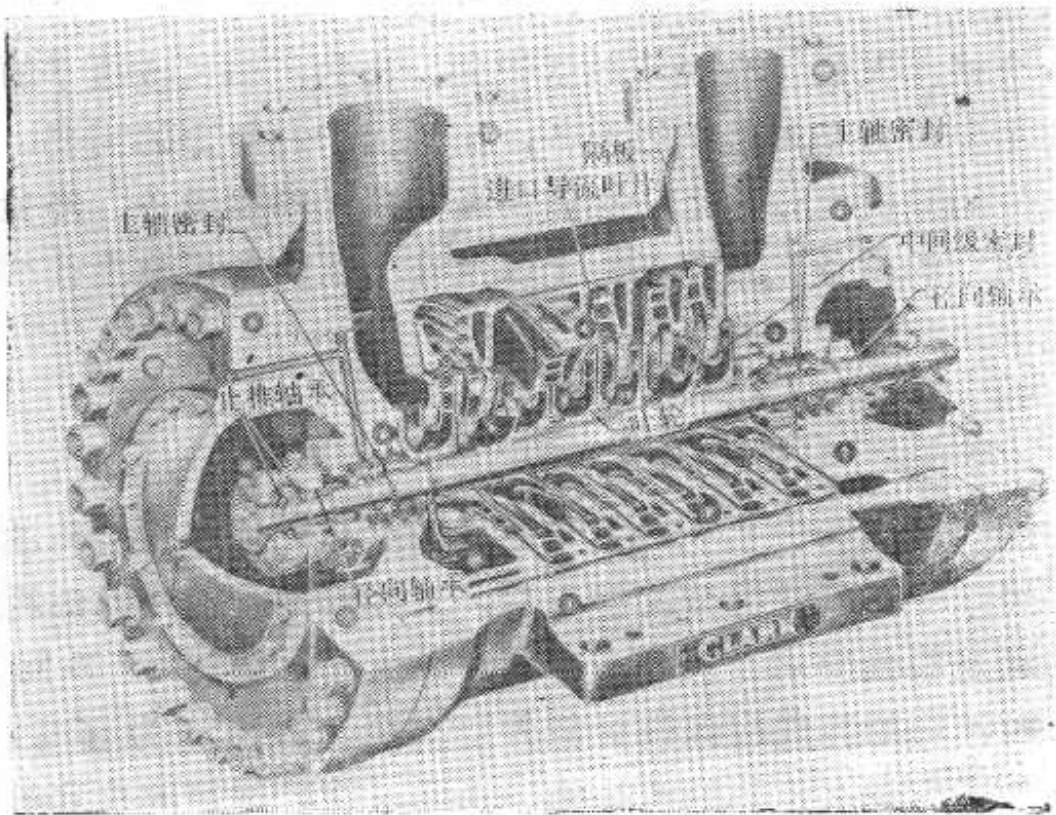


图 1 近代的离心式压缩机（筒式）结构图

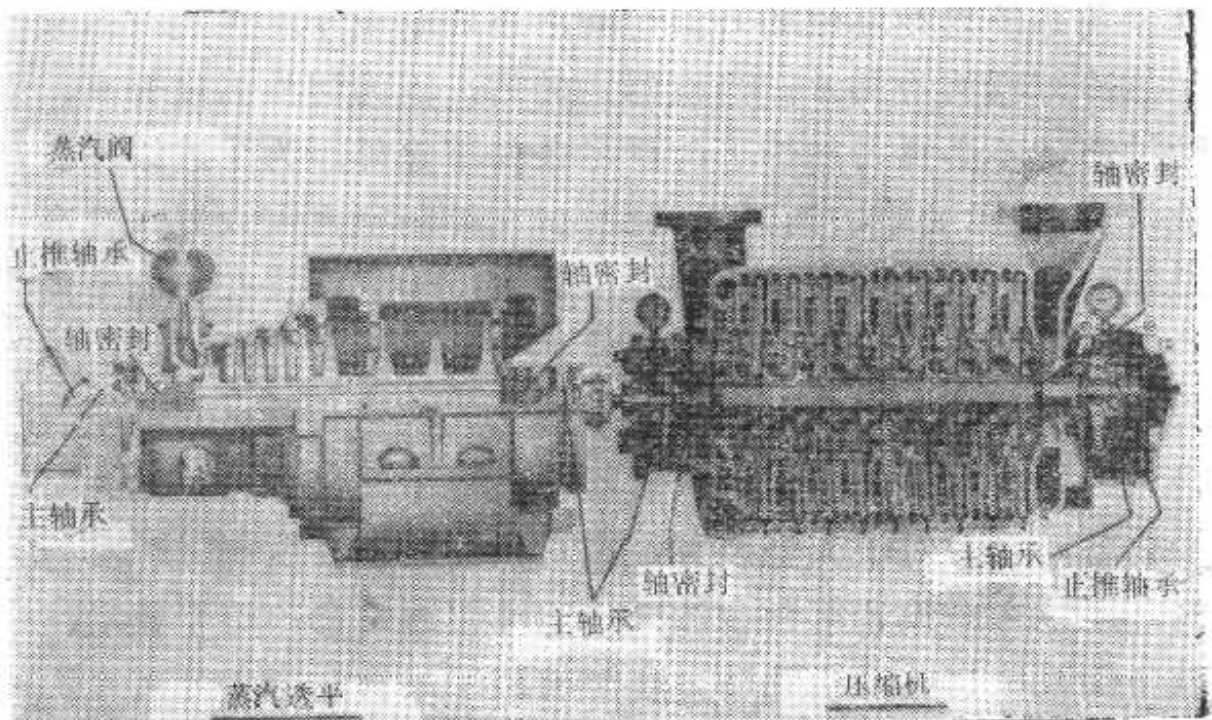


图 2 蒸汽透平驱动离心式压缩机机组图
(其中任一机器出现较小故障都能导致机组的严重损坏)

是买现成的，就应仔细检查，看其设计是否可靠、具体设备是否合格。人们应当现实地认识到，出售压缩机或透平的商人的主要业务是制造机组设备，而且出于竞争上的需要，又迫使他们只提供设计上所必需的最起码的附属设备。经验表明，这样的设备在技术条件上以及在必需的备用量上往往都不能满足我们的严格要求。

润 滑 油

图 3 所示为一典型的系统流程图。从贮油箱用泵将油打出，经冷却、过滤、分配输出后，又经回油管流回贮油箱。为了满足脱气要求以及停车时能容纳所有系统的全部回油量，贮油箱的容积应保证油能停留 5 至 8 分钟。为了启动方便，还应设有预热油的措施。通常，在贮油箱的夹底处设置一蒸汽盘管或电加热丝。在大型的装置中，为了缩短机器启动前系统内循环油的升温时间，还应附设一蒸汽混合器来加热冷却器的冷却水。当机器运转后，因为回油温度升高，贮油箱就不必再行加热了，严冬条件下除外。为了连续不断地供热，使贮油箱的油温保持稳定，在控制室内需设置一台高温报警器。贮油箱所须的其他仪表有：一只设置在控制室内的高、低限液位报警器，一只就地安装的圆盘式温度计，一只玻璃液位计和一只可控制的干燥氮气吹除装置（它使空气带入的湿分减至最少量，或者置换流程中的气体），供油泵至少要备两台。对于大型装置，或对机器要求高度连续运行时，还应考虑设置第三台油泵。主油泵通常都由透平驱动，而备用泵则由电动机驱动。小型的透平尽管运行十分可靠，但当它经长时间停车后往往由于自动启动不可靠，所以不宜作为备用。这些透平一般都装有简易的机械式调速器。经验

表明，安装这种调速器并不适宜。最起码的要求是，应装一带油压继动器的液压调速器，以保证机器能达到直至超过NEMA（美国电气制造协会）所规定的A类调速性能（调速精度可达 $0.75\%^*$ ）。也可采取另一种更完善的调速系统来代替。这种系统一般由磁力式速度传感器、转速变送器、现场转速调节器以及装在蒸汽管线上的调节阀所组成。这种系统具有转速直读，易于调整，便于与备用电动泵相配合等优点。另外，在任何情况下，为了保护透平，还必需设置能切断供汽阀的超速联锁装置。有关电驱动的备用泵的启动，习惯上采用下述一只或一只以上的压力开关来控制：

在泵出口到冷却器前的排油总管上装有低限压力开关；

在各独立用油端点管线上装有低限压力开关；

在透平驱动油泵上装有低限转速开关，或在透平汽室装有低限压力开关。

液压调节装置供油系统和润滑油的供油系统一样，装在排油总管上的低限压力开关起着保护液压调节装置的作用，而装在各用油端点上的低限压力开关则起着保护各轴承的作用。如因透平驱动的油泵联锁切断造成油压下降，这时泵的低限转速开关，或者汽室中的低限压力开关就会立即动作，并发出启动备用泵的讯号。总之，电动机必需备有一个以上的启动设备。保护轴承还有最后一种措施，即在每一用油端点上必需设一最低限油压开关，以供直接停车时使用。所有这些报警点都是按“先出”的顺序引至控制室的，它是一个专门的系统，通过它能从一系列接触讯号中识别出何者首先动作。此外，在控制室中还装有电驱动泵备用是否可以运转

* 按NEMA规定，此值即指机器在稳定工况下，偏离调定速度变化总值与额定转速的比值，亦即机器的不灵敏性。——译者注

的状态讯号灯，以显示电动机线路是否正常，以便随时都可投入工作。

在油冷却器上，装有在控制室有指示的就地温度控制回路，和高一低限报警器，报警器可从温度变送器取出信号，也可以在现场单独装设温度开关作为备用的报警源。在两台过滤器上还设有一差压指示器和一高限差压报警器（都引至控制室）。这套仪表根据调节系统的要求既可由两台过滤器共用，也可分开配置。

通常，润滑油泵还得向液压调节系统供油，用调节伺服马达的方法达到所需压头。由于液压伺服系统所需的油压比轴承供油压力大，所以必须在引至轴承前加以减压。对于小

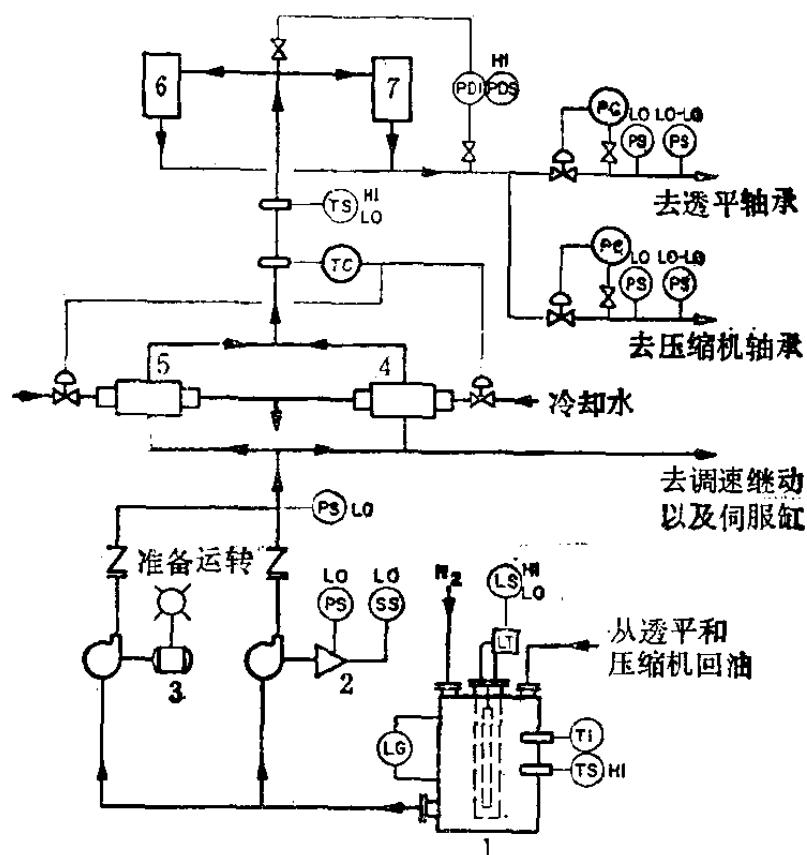


图 3 润滑油系统图（为保证工作可靠，其中还示出装设的各种控制系统和报警开关）

1—贮油箱；2—透平；3—电动机；4、5—冷却器；6、7—过滤器

在管网设计中，应尽力消除其中的气泡和集屑死角。对于新的或经修改过的用油装置，使用前必须对其中的各部份（包括直至机器最后接头为止的全部）都需经清淨、冲洗、排水和再注油的步骤，至于全部仪表应经全面校验，其中还包括作备用泵的动态特性试验。

密 封 油

图 4 所示为一典型的流程图。从中不难看出，密封供油系统与润滑供油系统十分相似。在多数情况下，润滑油与密封油可共用一只贮油箱，不过对其管网应细心设计，以保证泵的吸入量充足，不要因启动油泵时或者由于非正常的需油情况而出现相互干扰的问题。密封油调节的压力可达 2500 磅/英寸²（表压），通常多采用正排量泵^①供油。所以习惯上多采用贮油箱“旁路回流”的控制方法来保证其排出压力。考虑到该压力通常很高，旁路回流调节阀阀芯不仅应经表面硬化热处理，而且还应耐磨蚀。

关于密封油系统的油泵及其驱动机，在转速控制、自动启动备用泵等方面所采用的仪表，与润滑油系统相类似。唯一不同的就是密封系统中根据其不同型式而采用的备用电动机的启动设备是特殊的。有一种供油系统是把高压密封油先打到一高位槽内，然后再把油送到各个轴封上。密封油的贮量是靠油位控制来保证。这些高位贮槽与引来的带参比压力的密封气体相连接，并被加压，这样密封油与用油处之间的压力差仅等于高位槽的压头。还有一种供油系统如图 5 所示，密封油的供给是靠供油与气体之间的压力差，通过调节供油

① 即习称的“容积式泵”，如柱塞泵、齿轮泵等。——译者注

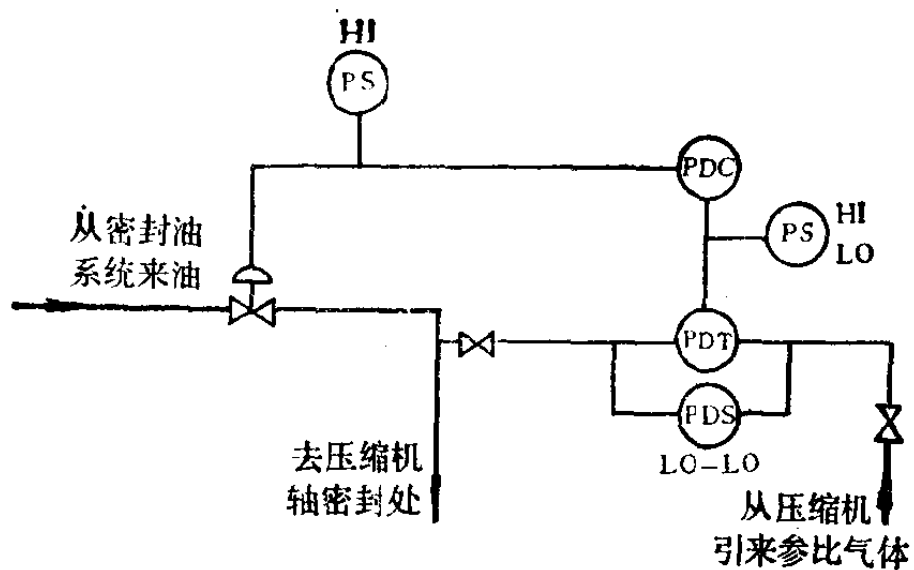


图 5 差压控制的密封油系统简图
(代替有高位槽控制系统)

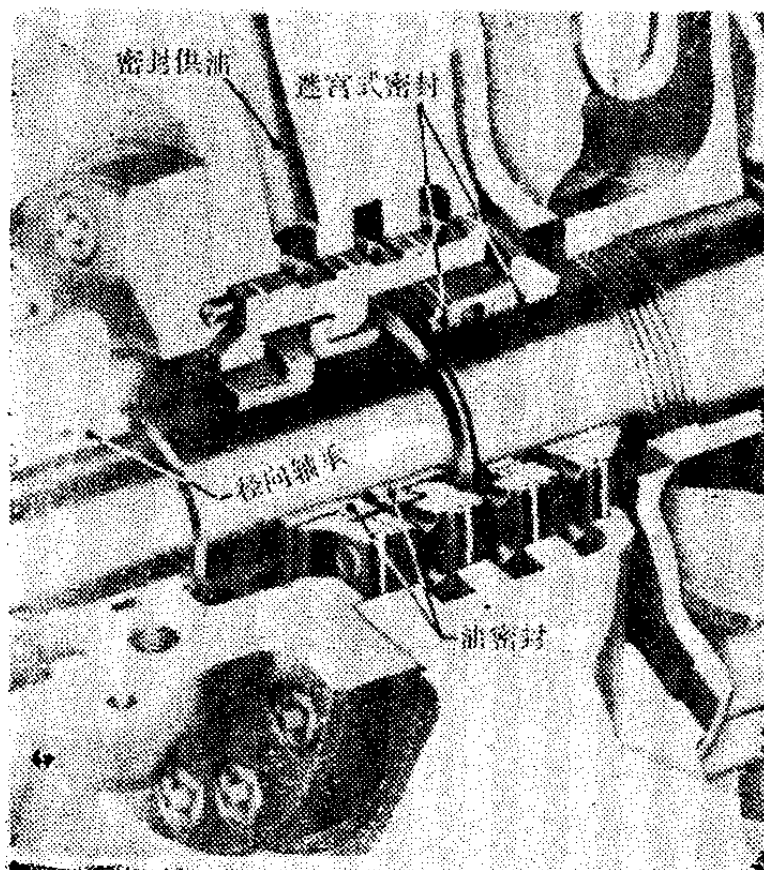


图 6 迷宫式转轴密封结构图
(密封油的压力比工艺气体的压力略高)

阀来实现的。这两种系统的操作均十分可靠和满意。采用高位槽供油系统的优点是：

1. 即使参比压力发生变化，仍能维持低压差的稳定性；
2. 由于压差不大，所以经轴封的密封油泄漏量可以减少；
3. 由于高位槽保有一定的存油量，即使停泵或因故障停止供油时，仍能照旧供油。

采取高位槽的供油系统，应在控制室里备有高一低限油位报警器。高限位报警器是为了防止因调节阀失灵，使高位槽中油满并溢入带参比压力的气体管线中。低限位报警器则是供预报阀门失灵或油耗过大等故障之用，以便能及时启动备用油泵。高位槽上还应单独设一最低限油位开关来直接控制压缩机停车。至于差压控制系统，也应设有相应的报警和联锁装置。此外，为了监视密封油调节阀的空气压力，阀上还设一直连控制室的报警器，它的功用是预报阀开度偏大以及可能因密封失效，而使油耗量过大。图 6 所示为一典型的轴封系统结构图。

轴 承 温 度

一只设计完善的轴承，只要它的供油洁净，油温、油压合适，就不会产生任何问题。不过，还要密切监视轴的运行情况，通常要求测出它的回油温度或轴瓦（金属）温度。对于大型的或者生产上要求严格的机器，两者温度皆应测出。

轴瓦的温度一般采用铁—康铜热电偶测量，热电偶要装在紧靠轴瓦背或靠近巴氏合金处。监视径向轴承的温度一般用两支装在轴承的承载区上的热电偶来测量。止推轴承的温度，则通过在每隔一块止推块处装设的热电偶来监视，不论

主载侧或副载侧上均需装设。此外，在每一轴承的回油管上还需装设热电偶。至于小型者，采用圆盘式温度计即可。

如果系统的设计系由制造厂提供，就应仔细检查机内、外的热电偶以及其导线是否有保护措施。在机内要求有足够的支承点和紧固点，穿线处应带弹性。在机外则要求采用金属软管或其他保护措施，并接引至接线盒上。一台典型的压缩机—透平机组一般有十六至廿只热电偶。

实践表明，所有轴承上大约有一半的热电偶需引至控制室，并与一带扫描的高限温度报警装置相连接。这种装置可以是模拟式，也可以是数字式。其余的热电偶或作为备用或由装在现场表盘上的数字式温度计来监视。回油温度也在现场表盘上，由数字式指示器显示。对于大型的机器来说，一般还应把主止推轴承的顶部和底部的温度记录下来，以作为有关轴承问题的原始数据。

轴 振 动

测振监视器能显示出复杂的高速回转机械内部可能发生的问题，因此是非常重要的。在每一透平—压缩机机组中通常装有五只测振监视器。两只径向位移探头相差九十度地装在轴的每一端，用来监测径向位移。另一探头用来监测轴向位移。所有探头都与控制室的连续指示器和报警器相连接，一般都装在控制室控制盘后的框架上。从每一轴端上取一个径向位移的指示信号连同轴向位移的指示信号进行连续记录。凡属制造厂设计的探头，均需仔细检查其位置及安装方式，正确的安装应使探头在受振动和温度影响下，仍能保持应有的稳定性，和易于间隙的调整以及引线的保护设施。

指示仪表盘犹如整台机器的“诊断中心”一样，起着监

视机器运行状况的作用。盘上通常有一插座板，在其上安有九十度配置(或X-Y配置)的探头，监视着轴的径向运动或它的运动轨迹，并通过一台“键式相位器”同一台完善的信号分析装置相连。“键式相位器”是另一种探头，它以间断的方式探测着轴的运动，并能按着轴转动发出位置信号或“时间讯号”，从而就可确定出旋转轴的相位。转轴的轨迹图象与实际的时间频率可显示在示波器上或高速记录系统装置上。这样，机器的“讯息”便可记录下来，如与其他时刻录下的同类“讯息”相比，就可借以弄清机器情况和存在的问题。这一“诊断中心”的重大意义还在于，当机器发生振动时，能有助于找出可能发生故障的原因以及应采取什么对策。对于大型的、单系列机组来说，分析机器异常工况的能力是非常重要的，这是因为在按计划正常停车以前，通常机器都是连续运转得很好的，即使在低产率运行时也是如此。另一方面，这种分析还能及时而又有步骤地提出停车要求，以免机器进一步遭受损坏。通常情况下，Du-Pont公司是不采用测振监视器来联锁停车机构的，不过这要由每个用户自己判断决定。

其 他 监 视

作为分析故障的辅助测量参数还有转子平衡盘上迷宫密封的压差以及油—气压密封装置上的压差。后者系指高位槽式的油密封系统而言的。对于高压机来说，还应测出轴封上工艺气体的泄漏量，该参数有助于发现机内迷宫密封上存在的问题。

透平速度控制

透平的调速型式有好几种。Du-Pont公司一般采用的