

# 德莱赛兰抽汽式透平机调速系统的故障分析与处理

马红民

(谦比希铜冶炼有限公司 动力分厂, 赞比亚 卡鲁鲁西)

**[摘要]** 本文以德莱赛兰抽汽式透平机为例, 针对机组启动过程中出现的转速失控的故障现象, 通过利用 505E 数字控制器的阀门标定功能对调速系统的控制设备进行了模拟试验, 经过综合分析确定了故障原因, 归纳和总结了抽汽式透平机转速失控故障处理中的实践经验, 为同类机组调速系统的故障处理提供借鉴。

**[关键词]** 抽汽式透平机; 505E; HP 阀; 模拟试验

**[中图分类号]** TK263

**[文献标志码]** B

**[文章编号]** 1003-8884(2022)04-0081-06

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.04.018

## 0 前言

某铜冶炼有限公司是一家以铜冶炼为主的多金属综合处理工厂, 其冶炼高温烟气经过两台余热锅炉进行降温冷却, 每小时产生的饱和蒸汽约为 40 t/h, 压力为 4.2 MPa, 蒸汽送往余热发电机组进行发电, 其余发电机组采用德国德莱赛兰公司生产的单抽汽式透平发电机组, 透平机控制器采样美国 Woodward 公司 505E 数字控制器, 回收排汽凝结水送至除氧器补充锅炉汽包用水, 达到充分利用能源和循环利用水资源的目的。

## 1 抽汽式透平设备简介

### 1.1 单抽汽式透平 (Extraction steam turbine)

单抽汽式透平又称为一次调节抽汽式汽轮机, 由高压部分和低压部分组成, 相当于一台背压式汽轮机与一台凝汽式汽轮机的组合。如图 1 所示高压蒸汽通过 T&T 阀 (紧急切断阀), 由高压调节阀 HP (调速阀) 控制蒸汽流量进入透平做功, 在高压段后、低压阀之前设有抽汽口, 由低压调节阀 LP (抽汽阀) 控制进入低压级的蒸汽量, 抽汽由抽汽管道输出, 当低压阀打开时, 进入低压段的蒸汽量增加, 抽

汽量减少; 当低压阀关闭时, 进入低压段的蒸汽量减少, 抽汽量增加。控制系统根据抽汽式透平设计性能参数要求, 自动控制高压阀和低压阀的开度, 保持透平的转速/负荷和抽汽压力/流量不变, 来实现需要的功能。

图 1 为典型抽汽式透平结构示意图。

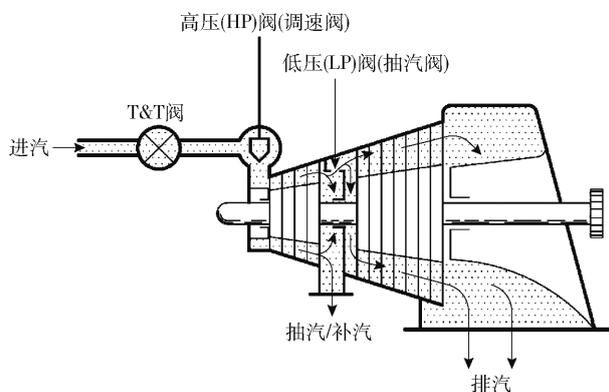


图 1 抽汽式透平结构示意图

### 1.2 T&T 阀

T&T 阀 (trip and throttle valve) 是指安装在高压蒸汽管道上的紧急切断阀, 在机组触发跳闸信号时快速切断高压蒸汽, 阻止高压蒸汽进入透平, 以保证设备和人员的安全。

### 1.3 HP 阀和 LP 阀

HP 阀是指高压蒸汽调节阀, 由三个调节阀组成的阀组也称之为汽门, 由电液转换器、油动机和线性位移传感器组成的调节回路控制, 通过调节进入喷嘴的蒸汽流量来控制透平机的转速和负荷。

LP 阀是指经过高压透平机做功后进入低压透

**[收稿日期]** 2022-03-05

**[作者简介]** 马红民 (1975—), 男, 山西闻喜人, 工程师, 大学本科, 主要从事冶金自动化维护工作。

**[引用格式]** 马红民. 德莱赛兰抽汽式透平机调速系统的故障分析与处理[J]. 有色设备, 2022, 36(4): 81-86.

平机的蒸汽调节阀,分别安装在独立的管道上,主要作用是调节透平负荷和抽汽需求,也称之为抽汽阀。

## 2 控制系统的主要组成和功能

### 2.1 PLC 控制系统

本机组控制系统主要由西门子 S7-300PLC 和 505E 数字控制器组成,最重要的控制功能是透平机并网前的转速调节和并网后的压力自动控制。控制过程为当 PLC 控制系统接收到启动信号,启动辅助油泵建立控制油压,505E 通过转速/负荷和辅助控制器,调节 HP 和 LP 阀的开度,按照程序设置的停机时间的长短,控制透平机按冷机或热机启动条件顺序启动,按设定的升速曲线进行升速达到额定转速时关闭辅助油泵。当发电机到达设定的励磁转速,发电机励磁系统启动,发电机获得电压,经过同

步检测后,进行并网操作,当控制系统获得发电机断路器合闸反馈信号后,机组将按照控制系统设定的参数自动调节负荷和抽汽控制。

### 2.2 505E 数字控制器

505E 数字控制器具有 505E 的基本功能外,还具有对抽/补汽的控制功能。它具有两个独立的控制通道——转速/负荷和辅助控制,转速/负荷控制具备串级调速功能;辅助控制功能包括频率控制、同步负荷分配、过临界转速、暖机/额定控制和顺序自动启动。505E 基本控制功能如图 2 所示。

### 2.3 启动时转速控制

在透平开始启动时,505E 输出的电流信号经电液转换器转换成对应的调节油压信号,来控制油动机的行程,油动机通过杠杆改变 HP 阀的开度来控制进汽量进而启动透平机,转速探头将检测到的转

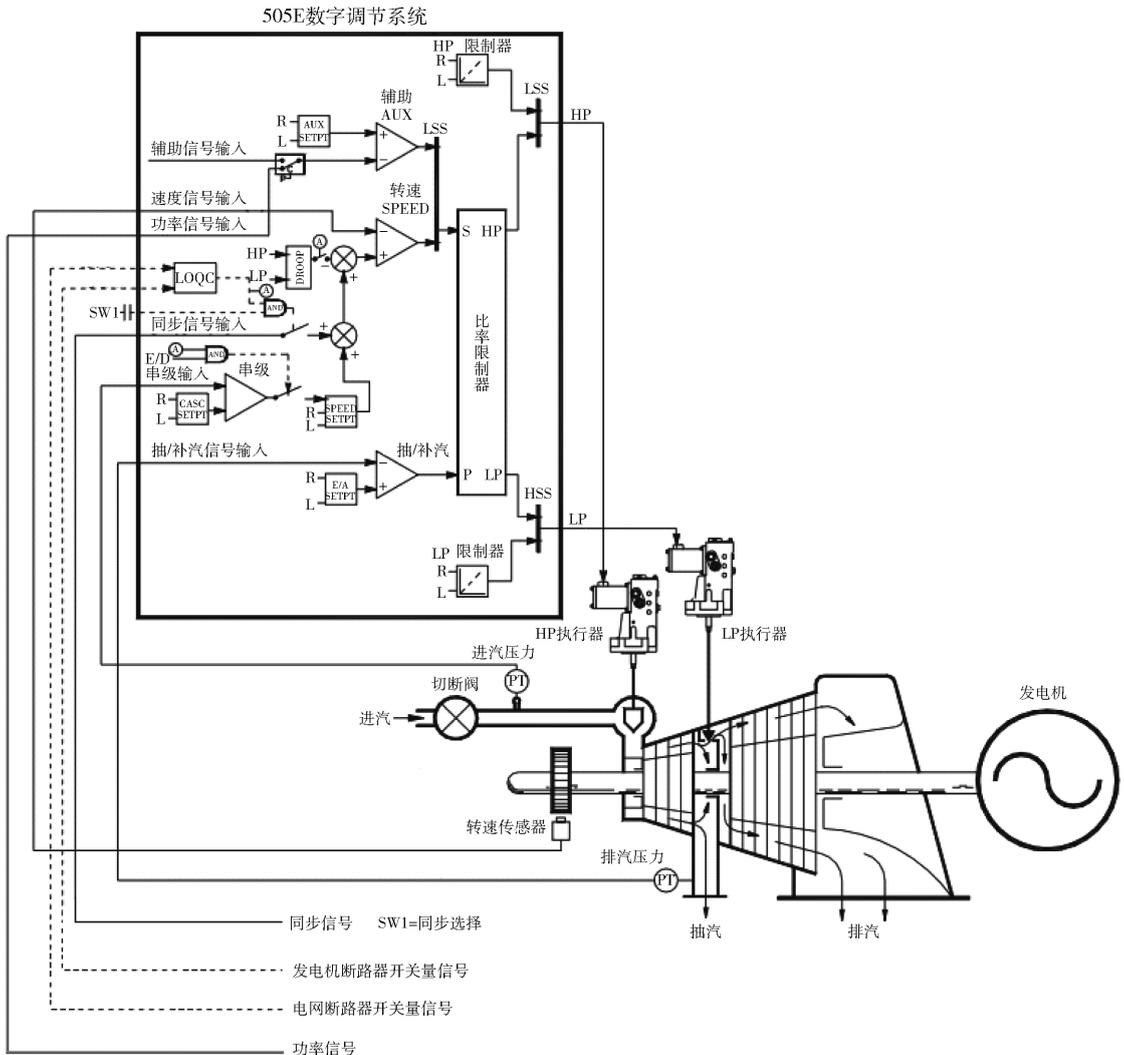


图 2 505E 控制功能图

速信号传送给 505E,速度 PID 控制器将该信号与速度设定值相比较,产生一个输出信号给执行机构(通过一个低信号选择总线),从而维持透平在设定转速下运行,控制原理如图 3 所示。

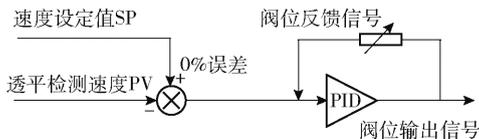


图 3 速度自动控制原理图

## 2.4 自动暖机转速控制

当透平机冲转时,505E 控制透平机从 0 r/min 上升至设定的低暖机转速,并停留在该转速下直到设定的暖机时间结束,然后升至设定的高暖机转速并停留直到高暖机时间结束,最后升至设定的额定转速。机组的升速和暖机时间取决于透平机的停机时间长短,确定机组是按冷态还是热态启动曲线进行。自动暖机升速曲线如图 4 所示。

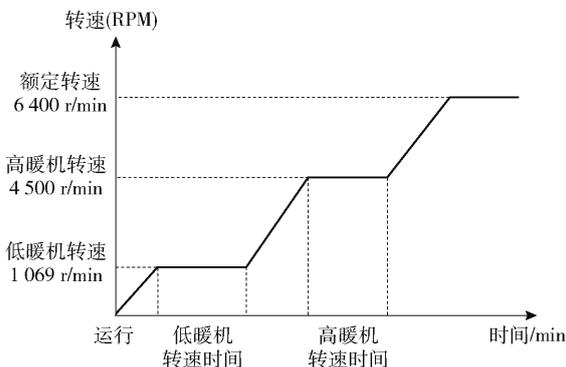


图 4 自动暖机升速曲线

## 2.5 压力自动控制

发电机组是利用余热蒸汽进行发电的,为了不影响熔炼主工艺的正常运行,需要采用调压运行方式维持主蒸汽压力的稳定,即根据锅炉蒸汽量的多

少发电,而主蒸汽压力基本保持不变。当发电机并网断路器合闸后,505E 控制器由速度控制方式切换为串级控制方式,由透平入口蒸汽压力控制。它与速度 PID 串级,将透平入口蒸汽压力变送器来的 4~20 mA 过程信号与串级设定值相比,比较结果输出用于重新设定速度调节器的速度设定值,从而改变透平负荷直到透平入口主蒸汽压力与设定压力匹配为止。至此,透平处于调压运行状态,透平进入正常运行状态。

## 3 故障现象

在一次检修后发电机组在启动过程中,透平机转速上升至 1 069 r/min 时,没有维持低速暖机时段,而是直接升至 3 540 r/min,没有按照暖机升速曲线设定的参数运行,为保护机组设备的安全,运行人员拍下急停按钮手动停运机组。这种情况透平机的转子在没有充分预热的状态下高速旋转,极易引起转子叶片的断裂,进而引发透平机组报废的可能,这一故障严重影响机组的安全运行。图 5 为启动过程中转速失控实拍图。

## 4 故障分析与排查

针对这一故障现象,仪控维修人员对机组 PLC 控制系统、505E 控制器、测速传感器、调速及阀位传感器等控制设备,应用排除法逐一检查排除,以确定转速失控的主要原因。

### 4.1 PLC 及传感器的检查

- (1)首先检查确认 PLC 的 CPU 和模拟量 AI 模块运行正常无故障,排除由 PLC 模块引起的故障。
- (2)检查 505E 控制器低速暖机速度设定点为 1 069 r/min,排除控制参数不准确引起的故障。
- (3)现场检查速度测量电缆和屏蔽连接紧固无



图 5 启动过程中转速失控实拍图

松动,排除信号线虚接或干扰引起的故障。

(4)用万用表测量速度传感器静态时感应线圈阻值为 500 Ω,阀位反馈位移传感器的阻值在 0 ~ 5 kΩ 均匀变化无断点现象,说明速度传感器和阀位反馈传感器正常,排除了现场传感器故障引起的原因。

### 4.2 505E 调速系统的静态试验

为了检查 505E 调速系统工作是否正常,在冷态下对机组进行静态试验,检查 505E 控制器的输出和 HP 阀门执行机构之间的动作是否符合线性关系,既控制器的输出信号 4 ~ 20 mA 与阀门位置 0 ~ 100% 之间的对应关系是否一致,进而判断是控制器还是阀门出现故障,实验方法如下:

(1)确认机组当前处于停机状态,蒸汽源已经

切断,工艺系统具备静态调试条件。

(2)检查 HP 阀的连杆装置连接良好,调节部件符合试验要求。

(3)确认 505E 的模拟试验接线无误,闭合或短接 505E 紧急停机输入触点。

(4)按照阀门执行器标定步骤方框图,对 HP 阀进行试验。图 6 为标定步骤方框图。

(5)记录试验数据,检查 505E 的输出开度与阀门实际开度是否对应。

通过对 505E 控制器和阀门执行器的连接、动作、线性度和重复性的试验。测试了 505E 显示的 0% ~ 100% 阀门位置与 HP 阀门的实际行程一致,进而判断控制器、电液转换器、阀门执行器和阀位反

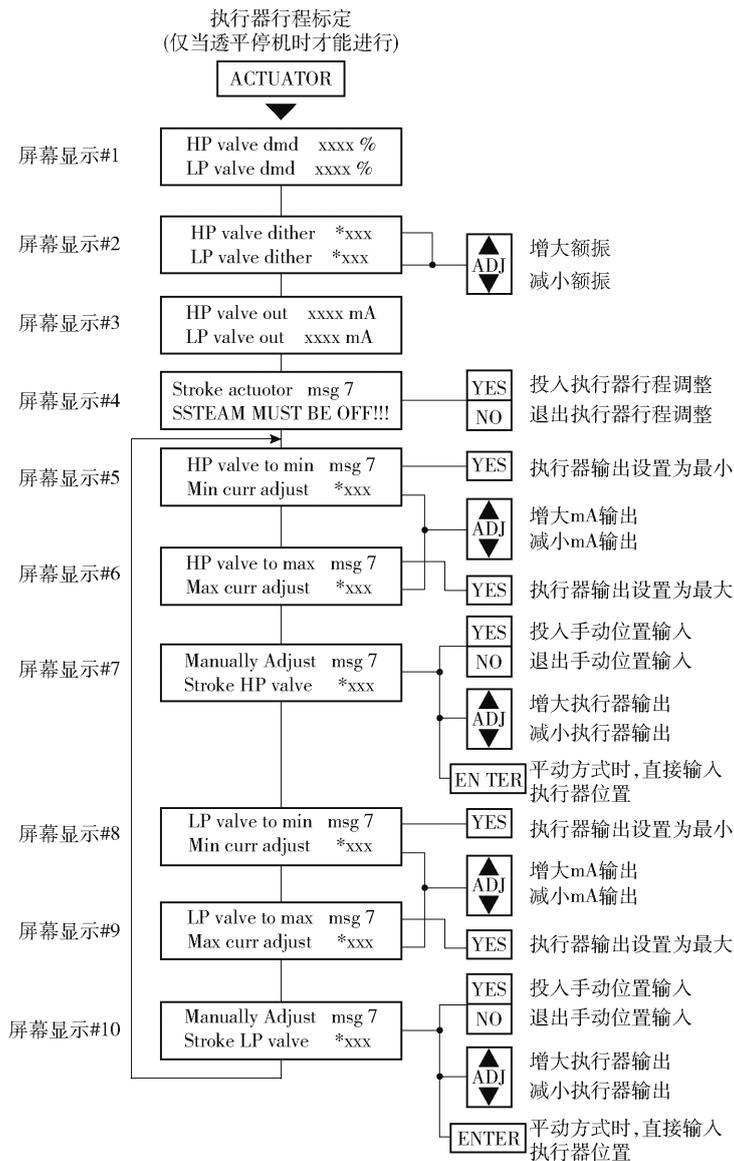


图 6 阀门执行器标定步骤方框图

馈变送器控制设备是正常的。

### 4.3 HP 阀体的解体检查与故障要因确定

在排除了控制系统和执行机构都正常的情况下,通过查看设备图纸对透平机进汽系统的结构分析,在暖机过程中控制系统没有发出升速信号,但是实际透平转速已升高,最可能的原因是 HP 阀组的阀芯有泄漏,导致不可控的蒸汽进入透平驱动叶轮转动。

协同钳工解体 HP 阀组的第一个调速阀检查,使得阀芯与阀组脱离单独测试,发现此阀芯与常规的调节阀阀芯在结构上有很大的差别,为了减小高压蒸汽对阀芯的冲击,在阀芯外部设有阀芯导向套筒,在阀锥的底部有三个导汽孔和阀体顶部的平衡汽室连通,平衡阀芯上下的压力,以便阀芯平稳的动作。在手动推动阀芯移动时发现阀芯与导向套筒之间有明显的间隙,并在阀芯中部留有石墨粘结物,至

此断定阀芯与导向套筒之间的石墨密封填料失效,进一步拆开导向套筒的上端盖检查石墨填料已老化,随后拆开另外两台调速阀的密封填料都有不同程度的磨损,找到相应的石墨密封填料全部更换。如图 6 所示结合阀体结构分析阀芯在长期运行中由于高压蒸汽的冲击和涡流作用,使阀芯处于很高的频率下振动,在运行一定的周期后会造成密封填料老化磨损,使得高压蒸汽沿阀芯与导向套筒之间的间隙泄漏到平衡室再通过导汽孔进入透平机,这些不受控制的高压蒸汽致使透平转速失控。经过分析这是转速失控的主要原因。

在更换图 7 所示阀体④密封填料后,开机试车透平机能按照在控制器设定的转速自动启动顺序运行,正常并网发电。图 8 为阀体维修过程实物图。

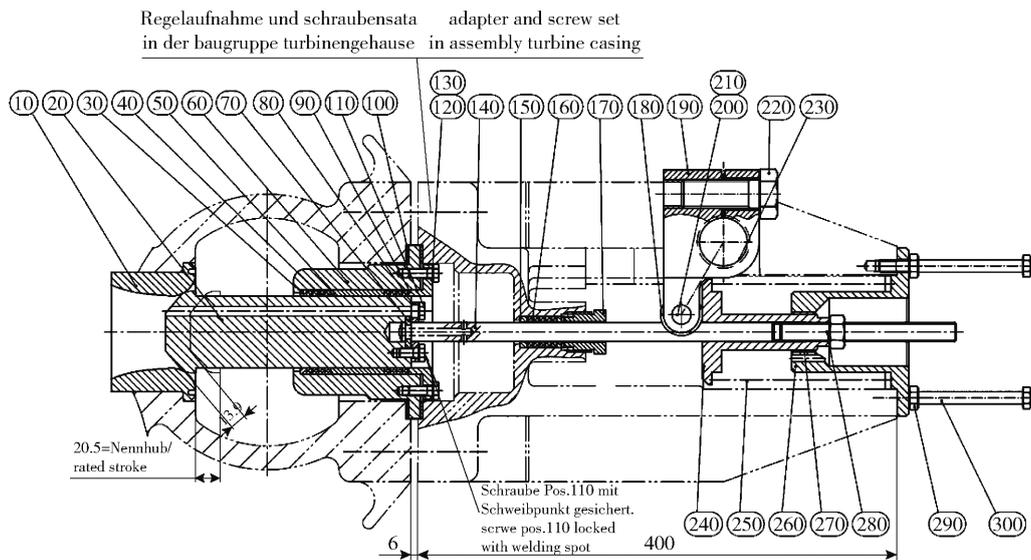


图 7 HP 阀体剖面图



图 8 HP 阀体维修图

## 5 结语

利用余热蒸汽发电和凝结水回收利用在冶炼厂已普遍采用,其机组的运行受冶炼工艺的影响启停较为频繁,会给机组运行带来各种故障,针对调速系统出现的各种故障,维修人员不能局限于单一学科领域,应结合机、电、仪和工艺多方面综合分析故障

原因,才能够快速准确分析判断各种故障,提升维修效率,确保发电机组的安全运行。

### [参考文献]

- [1] 张新闻. 505E 数字控制器在单抽汽轮机上的应用与调试[J]. 电力建设,2005(10):61-64.
- [2] 蔡丹军. 505E 电子调速器透平控制系统的应用[J]. 乙烯工业,2004(3):44-47.

# Fault Analysis and Treatment of the Speed Regulating System of Dresser-Rand Extraction Turbine

MA Hong-min

**Abstract:** This paper takes the Dresser-Rand extraction turbine as an example, in view of the failure phenomenon of speed out of control in the starting process of the unit, made a simulation test of the control equipment of speed regulating system by utilizing the valve calibration function of 505E digital controller, determines the cause of failure through comprehensive analysis, summarizes practical experiences in the fault treatment of speed out of control of exhaust turbine, and provides reference for the fault treatment of the speed control system of similar units.

**Key words:** steam extraction turbine; 505E; HP valve; simulation test



(上接第 76 页)

# Discussion on Emergency Treatment of Medical Waste By Domestic Waste Incineration Facilities

FENG Nan, ZHAO Fa-min, LIU Jie

**Abstract:** The COVID-19 pandemic has been raging. The outbreaks inevitably lead to sudden surges of medical waste, which beyonds the existing local medical waste treatment ability. It is not feasible to blindly build a large number of medical waste treatment facilities, which will cause great waste. However, the waste related to COVID-19 must be properly disposed in time to avoid secondary infection, therefore, under the premise of meeting safety and environmental protection, it is an effective means to use domestic waste incineration facilities to treat medical waste in the specific phase.

**Key words:** medical waste; domestic waste incineration; synergistic treatment

