

12 吨真空等离子焊箱真空系统改造的可行性分析与实施

王秉章 李兵

(湖南金天钛业科技有限公司 湖南 常德 415001)

摘要: 为了满足钛及钛合金电极的焊接要求, 湘投金天钛业从配套 12 吨真空自耗电弧炉的角度考虑, 由德国引进了 12 吨真空等离子焊箱, 其真空系统前级真空泵为干式螺杆泵, 维修难度较大, 如在使用过程中出现故障, 则现场很难及时维修, 车间其他设备的真空系统前级真空泵均为滑阀真空泵, 所以考虑对此进口的 12 吨真空等离子焊箱的真空系统进行相应的改造, 以一套滑阀真空泵及配套设施暂时替代干式螺杆泵, 已满足车间连续生产的需求。

关键词: 真空等离子焊箱; 真空系统; 真空泵; 漏率

0 引言

众所周知, 钛是高活性金属, 在高温下会与氧、氮等气体发生剧烈反应, 在大气中熔焊会使它的焊缝氧化及完全脆化。因此, 钛及钛合金在防止与气体剧烈反应的环境下才可进行焊接。此类焊接方式具有焊接质量可靠, 焊接工件不受污染和保护效果好等特点。

为了满足钛及钛合金电极的焊接要求, 公司从德国引进了一台 ALD 公司 12 吨真空等离子焊箱, 其真空系统前级泵采用干式螺杆真空泵, 其结构简单紧凑、抽气腔元件无摩擦、寿命长、能耗低、无油污染等优点, 但由于其装配精度很高, 在海绵钛压制电极在真空焊箱中进行焊接时, 过程中产生的大量挥发物进入泵腔, 导致泵腔发热, 长期运行甚至导致部件磨损变形, 进而卡死跳闸, 导致整个真空系统停止工作。这种干式螺杆真空泵, 装配精度高, 维修难度大, 生产车间不具备现场维修及装配能力, 需发至国外生产厂家进行维修, 维修费用很高, 如购置备件, 周期较长且费用较高, 所以为了满足车间连续化生产的要求, 拟以一套滑阀真空泵系统替代干式螺杆泵, 以满足生产的需求。

1 ALD 真空等离子焊箱及其真空系统简介

真空等离子焊箱的基本工作原理是: 真空机组逐级启动, 对炉室进行抽空, 当炉室内大气压力小于 3Pa 时, 充入氩气, 控制炉室内氩气压力保持在 30000 ~ 60000Pa 之间, 在焊枪中通入氩气, 控制焊枪自身正吸引弧, 起弧后焊枪喷嘴的氩气被电离, 形成等离子体, 夹持在夹具上的电极块在等离子弧的作用下熔化, 电极块被牢靠地焊接在一起, 经充氩冷却后出炉, 形成真空

自耗电弧炉所需自耗电电极。

等离子真空焊箱真空系统为一台干式螺杆泵与两台大小罗茨泵串联, 对炉室进行预抽空, 当炉室的真空度达到预真空要求时, 停止抽空, 供气系统开始给炉室充氩, 达到焊接设定压力时, 停止充氩, 开始焊接。同时对炉室内部气体压力进行检测, 控制干式螺杆泵和电磁阀对炉室进行抽空、充气保证焊接的整个过程的氩气压力保持在要求的范围内。

2 真空等离子焊真空系统用 H-150 滑阀真空泵代替 SP630 干式螺杆泵方案的技术论证

原真空系统 (图 1) 泄漏率: $\leq 1 \times 10^{-2} \text{mbar} \cdot \text{L/S}$;
 $S=1\text{Pa} \times \text{L/S}$, 真空系统抽至 1Pa 的抽空时间 $\leq 25\text{min}$ 。

2.1 罗茨泵辅助前级泵选定一般应满足三个条件

(1) 在罗茨泵的排气口处应产生低于主泵最大排气压强的压力, 即:

$$S_q \times P_n > Q_{\max}$$

式中: S_q — 前级泵在主泵排气口处的有效抽速 (L/S);

P_n — 主泵允许的最大排气压强 (Pa);

$Q_{\max}$ — 主泵能排出的最大气量 ($\text{Pa} \times \text{L/S}$)。

由原真空系统得知, 在这种状态下, 真空系统基本处于粘滞流, 所以取 $S_q = (0.5 \sim 0.7) S_p$, 其中 S_p 为泵的名义抽速, 所以取 $S_q = 0.6 S_p = 0.6 \times 150 \text{L/S} = 90 \text{L/S}$ 。一般罗茨泵的最大排气压强为 1333Pa, 所以取 $P_n = 1333 \text{Pa}$, 即 $S_q \times P_n = 90 \text{L/S} \times 1333 \text{Pa} = 119970 \text{Pa} \times \text{L/S}$ 。由于罗茨泵的最佳工作区为 133 ~ 1Pa, 所以 $Q_{\max} = 555.4 \text{L/S} \times 133 \text{Pa} = 73868.2 \text{Pa} \cdot \text{L/S}$, 即 $S_q \times P_n > Q_{\max}$ 。

(2) 前级泵还承担抽大气的任务, 必须满足抽空时

间要求。下面就用 H-150 滑阀真空泵代替 SP630 干式螺杆泵后的抽真空时间计算进行。不考虑表面放气和系统漏气，只抽容器 V 中的空气时，下式成立：

$$t=2.3K\frac{V}{S_{\text{效}}}\lg\frac{P_1}{P_2}$$
$$S_{\text{效}}=\frac{C\cdot S_p}{C+S_p}$$

考虑到 C 和 S_p 均随压力 P 的降低而变化，所以 $S_{\text{效}}$ 不是一定数，故上式只对一段时间内 $S_{\text{效}}$ 为定值时有效。为简化计算，多用下式分段计算： P_1 、 P_2 为开始和终了时的压强（Torr）；V 为真空室容积（L）；K 为考虑泵抽速随压力而变化的修正系数；油封式机械泵 K 值参考《真空设计手册》。

$S_{\text{效}}$ 可按公式 $S_{\text{效}}=C S_p/(C+S_p)$ 计算，但多用系数法粗算：分子流时 $S_{\text{效}}=(0.3 \sim 0.4) S_p$ ，粘滞流时 $S_{\text{效}}=(0.5 \sim 0.7) S_p$ ， S_p 为泵的名义抽速。 $S_{\text{效}}$ 为在泵的最佳压强区域内系统的最大有效抽速，L/S。由于此真空系统基本处于粘滞流，计算中取 $S_{\text{效}}=0.6 S_p$ ，V 为真空室容积（L，由图得 $V \approx 30 \text{m}^3=30000 \text{L}$ ）； P_1 、 P_2 为开始和终了时的压强（Torr）；K 为考虑泵抽速随压力而变化的修正系数。

由于真空泵并非同时启动，而是随真空度的变化逐

级启动。所以， $S_{\text{效}}$ 是一个变值，只能分段计算，由原设备真空系统知，一级罗茨泵在 59mbar（44.3 托）时启动，二级罗茨泵在 13mbar（9.8 托，约为 10 托）时启动，所以，时间分段计算如表所示。

合计：总时间 $t=1180 \text{s}=19.6 \text{min}$ 。由于计算中未考虑管道表面放气和漏气，通常做法是将计算时间加倍，即认为排气时间为 40min。

(3) 罗茨泵与前级泵抽速之比一般为 5 ~ 10，

表 抽真空时间表

压力 Torr	工作泵	K	P_1/P_2	$\lg(P_1/P_2)$	$S_{\text{效}}$	$V/S_{\text{效}}$	t/s
760 ~ 100	h-150	1	7.6	0.88	90	333.33	674
100 ~ 44.3	h-150	1.25	2.26	0.35	90	333.33	335
44.3 ~ 10	罗茨 2000	1.25	4.43	0.65	1200	25	47
10 ~ 1	罗茨 7000	1.5	10	1	4200	7.14	25
1 ~ 0.1	罗茨 7000	2	10	1	4200	7.14	33
0.1 ~ 0.01	罗茨 7000	4	10	1	4200	7.14	66

555.4L/S ÷ 150L/S=3.7（可满足）。

2.2 重新校核系统可达真空度

$P=Q/S_{\text{效}}+P_0$ （ P_0 —泵的极限真空度， P_a ）

由《真空设计手册》中取 $P_0=5 \times 10^{-2} \text{Pa}$ ；

Q：相关放气量（ $Q_{\text{料}}$ 、 $Q_{\text{表}}$ 、 $Q_{\text{漏}}$ 、 $Q_{\text{熔}}$ ）

(1) 因焊箱在抽空中不焊接，所以不计海面钛熔化过程中的放气量，即 $Q_{\text{熔}}$ 不计算。

(2) 极因潮湿而产生的放气量因电极的干燥程度而不同，难以确定，暂时假设海绵钛电极经烘干箱加热， $Q_{\text{料}}$ 暂不计算（如 Q 中含有 $Q_{\text{料}}$ 则所得 P 为工作真空度，如无 $Q_{\text{料}}$ 则为空炉极限真空度）。参照《真空设计手册》中部分材料表面放气 $Q_{\text{表}}$ （Torr.L/S.cm²），得出：

$$Q=Q_{\text{表}}+Q_{\text{漏}}$$
$$Q_{\text{表}}=2.8 \times 10^{-7} \text{Torr.L/S.cm}^2 \times (678240 + 43960 + 2355 + 3925) \text{cm}^2$$
$$=2.04 \times 10^{-1} \text{Torr} \times \text{L/S}=27.2 \text{Pa} \cdot \text{L/S}$$
$$Q_{\text{漏}}=1 \times 10^{-1} \text{mbar.L/S}=10 \text{Pa.L/S}$$
$$Q=Q_{\text{表}}+Q_{\text{漏}}=27.2 + 10=37.2 \text{Pa} \cdot \text{L/S}$$

$S_{\text{效}}$ ：系统有效抽速（L/S），有系统详细尺寸时，可按公式 $S_{\text{效}}=SP.C/(SP+C)$ 详细计算，通常取系数估算。气体流动状态为分子流时： $S_{\text{效}}=(0.3 \sim 0.4) S_p$ （ S_p 为泵口处的抽气速率（L/S））；气体流动状态为粘滞流时： $S_{\text{效}}=(0.5 \sim 0.7) S_p$ （ S_p ：泵口处的抽气速率（L/S））。

由《真空设计手册》中气体流动状态的分类及判别，得出：

雷诺准数 $Re=Dv\rho/\eta$ ，D 为导管直径、v 为流速、ρ 为介质密度、η 为黏度。分子平均自由程：气体分子在运动中，两次碰撞之间飞行的平均距离。

由《真空设计手册》得气体分子在运动中不同压

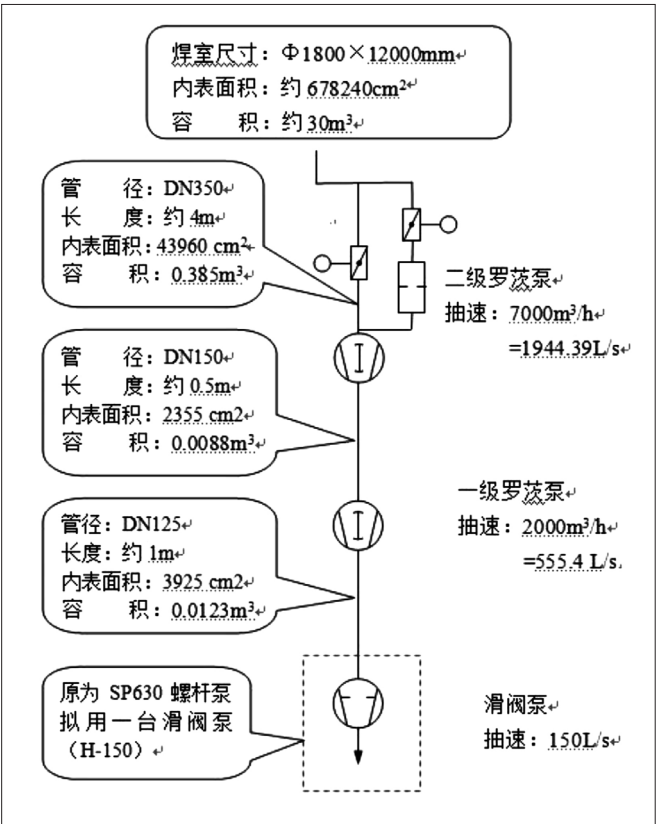


图 原真空系统原理图

强下的平均自由程,系统基本处于粘滞流,计算中取 $S_{\text{效}}=0.6 S_p$ 。得出: $S_p=(1944.39+555.4+150) \text{ L/S}$
 $=2649.79 \text{ L/S}$ 。所以: $S_{\text{效}}=(0.5 \sim 0.7) \times S_p=0.6 \times S_p=0.6 \times$
 $(1944.39+555.4+150)=1589.9 \text{ L/S}$;

真空度: $P=Q/S_{\text{效}}+P_0=0.073 \text{ Pa}=7.3 \times 10^{-2} \text{ Pa}$

3 真空系统的改造及设计安装注意事项

3.1 真空机组的设计

由于H-150滑阀泵为油式真空泵,SP630螺杆泵为干式真空泵,所以更换泵体后,还需重新设计配套设施,并对其启停控制方式进行相应的修改。

(1) SP630为干式螺杆真空泵,采用自带风冷结构,而H-150滑阀泵油式真空泵,需对真空油进行水冷,可以由真空焊箱内循环水对H-150滑阀泵进行冷却;

(2) SP630干式螺杆泵与H-150滑阀泵的启动方式相同,然而两者的停止方式有所不同,如果采用H-150滑阀泵,当H-150滑阀泵停止时,真空挡板阀关闭,并且同时破空阀打开,可对真空管道进行破空,防止真空油反吸;

(3) 由于海绵钛电极在焊箱中进行焊接时,产生的大量挥发物将进入真空系统,携带挥发物的气体在通过H-150滑阀泵时,挥发物将被真空油所吸附,所以需在前级真空管道增加过滤装置,且定期进行清理、维护、更换。

3.2 真空系统安装注意事项

(1) 安装泵的场地必须水平,最好留有槽沟,避免泵保养、检修、拆装时放油、放水沾污工场,泵的地脚螺栓必须拧紧。

(2) 泵的联接,通径不小于泵的进气口径,尽量短,尽量少用弯头,进气管内壁应无油垢、焊渣、灰尘等杂物,密封性好,与泵口联接处的进气管应向上,对于长管路应考虑便于分段检漏、测试与装拆、调整,应考虑与系统隔震。

(3) 排气管路。打开泵排气口,排气管路联接原则

与进气管路相近,但要求较低,排气管最好接到室外,管口朝下或加帽朝上。

(4) 冷却水路。通径不小于接口的通径,管路上应装调节阀门,可以调节水量,出水温度不高于 40°C ,避免在泵的冷却水套内产生水垢,影响冷却。

4 结语

综上所述,采用SP630干式螺杆泵替代H-150关键问题是改造后的真空系统抽至 1 Pa 的抽空时间,极限真空度及设备在此工况下的适用性问题,经上述论证计算,改造后的真空系统可以达到原系统的技术指标及工况要求。鉴于此,对于改造后的真空系统,在日常的工作中,需加强维护,对过滤装置定期进行清理、维护、更换,定期换油,清理真空油中真空系统的挥发物,只有这样才能确保改造后的真空系统长期稳定可靠地运行。

参考文献:

- [1] 邹武装. 钛手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [2] 马开道, 鲁毅, 马琨. 稀有金属真空熔炼技术及其设备设计 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011.
- [3] 达道安. 真空设计手册 (第三版) [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [4] 成大先. 机械设计手册 (第六版) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2017.
- [5] 沈阳机电学院焊接教研室. 等离子弧与焊接 [M]. 北京: 科学出版社, 1978.

作者简介: 王秉章 (1981.11-), 男, 汉族, 陕西宝鸡人, 本科, 工程师, 研究方向: 设备管理与维修、过程装备与控制工程; 李兵 (1993.10-), 男, 汉族, 湖南岳阳人, 大专, 工程师, 研究方向: 电气设备的管理与维修、电气自动化。