

## 第26章 常用工业炉调整

曾正明 龚楚明

### 第1节 工业炉的调整与烘炉

工业炉制造安装完毕，或是经过大修改造之后，能否达到生产工艺要求；工业炉在日常生产过程中经常会发生一些故障，需要及时组织排除，所有这些都需有严密的调整工作。

工业炉调整内容如下：

1) 烘炉：凡新建、大修、改装后的炉子，在投产前都必须经过烘炉。烘炉操作要严格按规定的升温曲线进行。

2) 技术性能鉴定：新建或大修后的炉子一般均需经过技术性能鉴定，检查炉子的主要技术参数是否达到设计要求，能否满足生产工艺。

3) 排除设备故障：在炉子发生故障的调整工作中，可用目测或仪器测定，找出炉子不正常工作的原因，正确判断，提出排除故障的办法，并组织故障的排除工作，以达到正常运行。

4) 设备定期检查：为了保证连续生产、能源消耗合理和安全生产，一般对精密、大型、稀有、关键炉子设备需要进行定期检查。

5) 建立调整档案：调整工作完毕后要写出书面报告，提交有关单位和存档。炉子调整试验技术资料的积累是一项很重要的工作，不仅使设备有实际技术状态的记录，它对炉子设计、维修、改造也

是重要的参考资料。

6) 制订安全操作规程：炉子的不正确操作容易造成大量废次品，对产品质量影响很大。在炉子操作上不安全因素较多，因此，必须制订保证质量和安全的操作规程，并要求严格遵守，以避免不必要的损失。

#### (一) 工业炉的调整方法

一般来说，工业炉的调整方法分为3步，即观测状况、分析判断和排除故障。

##### 1. 观测状况

观测工业炉的技术状况，可以采用目测和仪表两种方法。目测的方法比较简单，但必须有丰富的经验。仪表测量要有一定的设备条件，但可获得较精确的数据，减少盲目性。在工业炉的调整工作中，目测经常用于处理临时性紧急故障以及常发性一般故障，这样可以大大减少影响生产的时间。

(1) 通过感官测定 是工业炉调整的主要方法之一。

1) 目测温度：目测炉墙、金属的颜色，可以判断出炉膛温度和金属加热温度(表26-1-1)。但在目测时要注意炉子外部光线的不同情况：如在阴暗的情况下，观察的火色会比实际亮些；如在光线充足的情况下，观察的火色会相对地暗些。一般有经验的人，目测温度的误差不大于 $\pm 20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。

表26-1-1 金属在不同温度下的火色

颜色名称	加热温度(°C)	颜色名称	加热温度(°C)
暗褐色	530~580	淡红色	830~900
赤褐色	580~650	桔黄色	900~1050
暗红色	650~730	深黄色	1050~1150
暗樱红色	730~770	淡黄色	1150~1250
樱红色	770~800	黄白色	1250~1300
亮樱红色	800~830		

2) 目测火焰的颜色, 可以判断烧嘴工作时空气量供给的情况, 不足、适当、还是过大。火焰的颜色与燃料的性质有关, 不同的燃料燃烧时, 其火焰颜色略有区别, 见表26-1-2。燃油时各种火焰的情况分析见表26-1-3。

表26-1-2 各种燃料燃烧时火焰颜色与空气量的关系

燃料名称	火焰颜色	空气量状况
发生炉混合煤气 (含氢量较高)	蓝色火焰无力, 有飘浮现象	不足, $\alpha < 1$
	蓝色火焰较长	不足, $\alpha < 1$
	蓝黄色火焰	稍不足, $\alpha < 1$
	黄色火焰有力	适当, $\alpha = 1.02 \sim 1.05$
	黄白色火焰	过大, $\alpha > 1.05$
油煤气 (含氢量较低)	蓝黄色火焰, 有飘浮现象	不足, $\alpha < 1$
	浅黄色火焰, 有力	适当
	黄白色火焰	过大, $\alpha > 1.05$
油	暗红色火焰, 有黑烟	不足, $\alpha < 1$
	淡橙色火焰, 有力	适当
	黄白色火焰	过大, $\alpha > 1.25$

3) 目测烟气, 可以判断燃料的燃烧情况, 见表26-1-4。

4) 用手触摸炉壳, 可以判断炉子的隔热情况。一般高温炉的炉壳温度如不高于70°C, 则认为隔热情况良好。当手触摸炉壳时, 如烫得马上缩回, 则说明炉壳温度已超过70°C。一般低温炉的炉壳温度应不高于40°C, 当手触摸炉壳感到温和而略高于人的体温, 说明隔热情况良好。

5) 用手触摸冷却水以估计水温的高低 (表26-1-5)。一般冷却水的出口温度应控制在50~60°C之间。

6) 目测油的粘度。油的粘度是随油的温度而改变的。温度高, 粘度小; 温度低, 粘度大。油的粘度在5~8°E时, 用在低压油嘴上一般有利于燃烧。知道了油的牌号, 用手触油管温度或看油的流动性能大致辨别出油的近似粘度 (表26-1-6)。

7) 目测压力和流量:

① 观察炉前煤气压力。煤气压力与流量是正比关系。压力大流量也大, 压力小流量也小。当炉膛温度达不到工艺要求时, 观察现场运行的压力表, 如煤气压力低于额定压力, 供热能力就达不到

表26-1-3 燃油时各种火焰的情况分析

油嘴着火情况	原因分析	处理方法
火焰白橙光亮, 不模糊, 有力	1. 油嘴良好, 位置适当 2. 油、风配合良好 3. 调风器使用正常, 燃烧强烈	燃烧良好
火焰暗红	1. 雾化片质量不佳或孔径太大, 安装油嘴位置不当 2. 风量不足 3. 油温太低 4. 油压太低或太高	1. 检查雾化片, 调整油嘴位置 2. 增大风量 3. 提高油温 4. 调整油压
火焰紊乱	1. 油、风配合不佳 2. 油枪角度及位置不当	1. 合理调整风量 2. 调整油枪角度及位置
着火不稳定	1. 油枪与调风器位置配合不良 2. 油嘴质量不佳 3. 油中水分过多 4. 油嘴油压不稳定	1. 调整油枪与调风器的位置 2. 检查并更换油嘴 3. 与泵房联系解决 4. 调整油压
火焰中放蓝花	1. 调风器位置不当或油嘴周围结焦 2. 油嘴孔径太大或各接缝处漏油	1. 调整调风器或打焦 2. 检查并更换油嘴
火焰中有回火及黑烟	1. 油嘴与调风器位置不当 2. 油嘴周围结焦 3. 风量不足 4. 炉膛温度太低	1. 调整油嘴与调风器的相对位置 2. 打焦 3. 调整风量 4. 不应长时间低负荷运行
火焰中有黑线条	1. 油嘴质量不佳, 局部堵塞或雾化片未压紧 2. 风量不足	1. 清洗或更换油嘴 2. 调整风量

表26-1-4 各种燃料燃烧情况与产生烟气的关系

燃料名称	烟气情况	燃烧情况
煤及油	1. 冒黑烟, 有烟臭 2. 烟呈灰白色, 浓淡适当 3. 烟色淡白	1. 空气量过少, 燃烧情况不佳 2. 燃料与空气配比适当, 燃烧良好 3. 空气量过大
煤气	炉外或烟窗仍有较长火焰, 并有臭味	燃烧情况不好, 空气量不足

表26-1-5 触觉与水温对照表

手 感 觉	水 温 (°C)
温 和	36~40
有 点 热	45~50
烫 手	60~65
非常烫手	70~75
手接触后马上缩回 (有热气)	80~85

表26-1-6 触觉与油粘度的对照表

名 称	牌 号	温 度 (°C)	粘 度 (°E)	手 感 觉
轻柴油		常 温		同室温
重 油	20	69~80	≥5	烫 手
	60	80~89	≤11	非常烫手
	100	80~95	≤15.5	碰上缩回
	200	100~105	≤5.5	泼水沸腾

设计能力,造成炉膛温度低,大多数情况是由于管道积水或焦油堵塞等引起的。

② 观察油嘴前油压。炉子在运行中必须保证最低额定油压。当观察到燃烧情况不好,供油量不足而引起炉膛温度低,则油压不足就有可能存在。为此应首先检查过滤器、加热器、截止阀、管路等有无堵塞现象,回油阀开启度是否太小。

③ 观察炉膛气流及压力情况。在炉底要求微正压的炉子,一般看炉气在炉门口底处微微往外溢出为适宜。若在炉门口大量喷火及燃烧,说明燃料消耗量过大及烧嘴工作不良。调整炉压的方法,首先是调整烧嘴及烟道闸板。而烧嘴的位置和角度不合理、排烟口堵塞或太小,也会使炉门口喷火。炉底气压是否在±0状态,在较难判断时,可用薄纸条放在炉门底部开启的小缝隙处,当纸条吸入炉内,说明冷空气吸入炉内,证明在这部位炉内是负压。为了清楚观察炉膛气流情况,在冷炉开始点炉时观察更容易发现问题。但要注意炉温不一样,则炉膛压力也不一样。

④ 观察风压和风量。有鼓风机的炉子,鼓风机应能满足炉子最大供热需要的风压和风量,使其燃料能得到充分燃烧。当观察到烧嘴或油嘴的工作恶化,要观察风管系统是否合理布置、插板阀开启度、鼓风机型号及实际出力是否相符。要注意鼓风机转速对风压和风量的影响。

8) 目测设备状况;

① 观察换热器工作情况。煤气换热器有泄漏

时,煤气从换热器漏出,使环境污染造成危害和浪费,如引起燃烧,会使换热器温度增高而烧坏,一般用肉眼能观察到。当空气换热器有泄漏时,如采用喷射式烧嘴的炉子,烟气能吸入换热器的空气通道中,使预热空气中含氧量相应减少,烧嘴工作恶化。同时,由于漏入高温烟气而使空气预热温度过高。当预热温度过高时,往往存在着某些故障,要引起注意。

② 观察煤气烧嘴的工作性能。煤气在一定额定压力下,压力升高或降低,使吸入的空气量也按比例随之增加或减少,而过剩空气系数始终保持在理想状态,这样不用手动调节空气阀就能保证正常燃烧,说明自调性能良好。喷口离烧嘴混合管的距离过深过浅都会影响吸入空气量,影响烧嘴的自调性能。但其他低压煤气烧嘴的调节,必须对煤气阀和空气阀同时进行调节。

③ 观察油嘴的工作性能。油嘴的工作性能可用目测火焰的办法来确定。良好的火焰,不应有亮点和黑点,要避免大量冒黑烟和烟点。因此要注意在一定油压风压范围内使油嘴雾化性能良好,得到充分燃烧。

9) 目测加热工件。通过目测加热工件,同样可了解到炉子工作好坏,操作是否合理。如锻造炉,在高温下,金属表面层与炉内氧化气氛起化学反应就生成氧化皮,造成金属的烧损。烧损的主要原因与金属成分、炉气成分、加热温度及加热时间等有关。

(2) 使用仪表测量 仪表测量要正确操作和合理选定测量位置,如负压区域测温,仪表的伸入口必须严密,防止冷空气渗入,造成误差;安装流量孔板要注意管道直线段;气体取样时要防止空气混入等。测量项目、位置及采用仪表见表26-1-7。

## 2. 分析判断

判断炉子产生故障的原因是炉子调整中甚为重要的关键。在判断炉子故障时,对下列3种炉子类型要注意区别。

1) 新设计投产的炉子:采用新技术、新结构、新材料的炉型,由于缺乏实际经验,往往在设计、制造、安装中存在问题较多。

2) 大修时改装的炉子:产生的问题往往与改装内容、制造、安装质量有关。

3) 正在生产中的炉子:正在生产中的炉子发生故障时,主要与日常维修、不按计划大修或操作不

表26-1-7 测量项目位置及采用仪表

测量项目和位置	采用仪表	测量项目和位置	采用仪表
(1) 温度测量		(2) 压力测量	
① 换热器前空气(室温)	水银温度计或室温自动记录仪	④ 混合气	U形水柱压力计
② 换热器后空气	EA热电偶, EA补偿线UJ-32 电位计或EA毫伏计	⑤ 煤气进口	U形水银柱压力计(低压烧嘴 用U形水柱压力计)
③ 换热器前煤气	水银温度计	⑥ 烧嘴前煤气	U形水银柱压力计(低压烧嘴 用U形水柱压力计)
④ 换热器后煤气	同②	⑦ 换热器前烟气	微压计
⑤ 换热器前烟气	EU热电偶, EU补偿线UJ-32 电位计或手提式毫伏计	⑧ 烟道烟气	微压计或U形水柱压力计
⑥ 换热器后烟气	EU热电偶, EU补偿线UJ-32 32电位计或手提式毫伏计	⑨ 炉膛炉气	微压计或U形水柱压力计
⑦ 炉膛	光学高温计或铂铑-铂(LB-3) 热电偶, 铂铑-铂补偿线 UJ-32 电位计或LB手提式毫伏计	⑩ 油压	弹簧压力表
⑧ 金属	光学高温计或铂铑-铂(LB-3) 热电偶, 铂铑-铂补偿线 UJ-32 电位计或LB手提式毫伏计	(3) 流量测量	
⑨ 耐火砖与绝热砖间	同②	① 煤气	流量孔板或浮子式流量计
⑩ 炉顶、炉外壁表面	表面温度计	② 空气	风速表或比托管、微压计测定 动压
⑪ 冷却水入口	水银温度计	③ 冷却水	量桶、秒表
⑫ 冷却水出口	水银温度计	④ 油量	油量计或油标尺
⑬ 加热器前油温	水银温度计	⑤ 烟气	比托管、微压计测定动压
⑭ 加热器后油温	水银温度计	(4) 气体分析	
⑮ 喷油嘴前油温	水银温度计	① 煤气成分发热量	半自动全分析仪
(2) 压力测量		② 烧嘴混合气体	同上或奥氏部分分析仪
① 换热器前空气	微压计或U形水柱压力计	③ 炉膛炉气	同上或奥氏部分分析仪
② 换热器后空气	微压计或U形水柱压力计	④ 换热器前烟气	同上或奥氏部分分析仪
③ 空气阀前空气	U形水柱压力计	(5) 生产率	
		统计毛重单位时间加热数	测定炉子和锻压设备有效工作 时间
		(6) 金属烧损率	
		加热前后称试样重量	天平

当有关。

判断时尚须从加热工艺上,有加热炉、热处理炉、烘干炉等特点区分;从热源上,有固体、气体、液体燃料和电热等特点区分;还要注意操作人员的熟练程度。

下面对煤气炉“炉膛温度低,升温时间长,达不到工艺要求”的一例,作判断分析:

1) 煤气发热值低:当数台炉子同时生产时,只有其中的一台炉子炉温低,就不一定是燃料发热值的原因。如果数台炉子普遍炉温较低,而煤前煤气压力又正常,一般可认为是煤气发热值低所造成。当只有一台炉子进行调试时,通过煤气分析、核算及炉子状况也可确定发热值问题。新建炉子可能是煤气发热值选择偏低,现生产炉子则可能是煤气供应单位发生故障。

2) 过剩空气系数调节不当:气体燃料过剩空气系数 $\alpha$ 应控制在1.02~1.05,液体燃料 $\alpha$ 控制在1.15~1.25,固体燃料 $\alpha$ 控制在1.2~1.5。大于上

述数据,会增加烟气带走的热损失;小于上述数据,会产生化学不完全燃烧的热损失。判断过剩空气系数的大小,主要是目测火焰和烟气的颜色,或分析煤气、烧嘴中混合气以及烟气的成分。此外,从加热工件的氧化情况也可作为判断的依据。

3) 管路、换热器、烧嘴等处积水、堵塞:此种现象经常发生在现生产的炉子,主要是维护不及时或煤气中的水分、焦油含量突然增加而引起。通常压力降低,多数是煤气总管有堵塞现象。如个别炉子炉温低,则属于局部堵塞的可能大。

4) 烧嘴配制能力小:这会引引起供热量不足,不能达到需要的炉温,而且升温度慢。一般新建的炉子容易出现这种现象。在各种技术参数正常的情况下,判断供热量是否足够,要进行核算。

5) 炉子热损失大:炉子开口多,隔热层差,散热量就大,这也是造成炉温低的因素。

就是这样一步一步地进行分析判断,直至找出真正的原因。

### 3. 排除故障

一旦炉子出现故障后,要求及时、准确的进行排除。为了达到此目的,可从以下几方面着手。

1) 操作不正确产生的故障:一般只要判断正确,同操作人员分析故障原因,从操作上予以改正,即可很快解决。

2) 维修不及时产生的故障:如因管路或烧嘴积水、积灰、积焦油、漏气等而引起的故障,要建立定期的维修制度,就能防止故障的产生。

3) 结构不合理产生的故障:设计结构不合理,不论如何调整,均无法克服缺陷,也不能达到图纸上所规定的技术参数,需经修改设计后方能解决,解决的周期一般较长。

4) 制造、安装质量不好产生的故障:没有按图施工必然会引起故障,所以每当炉子制造安装完毕后应按图进行质量验收。严重者应进行返工,以保证达到质量要求。

## (二) 烘炉制度

通过烘炉,可以对炉子的供热、空气循环、水冷系统、传动装置以及炉子工作温度进行一次考验,以便满足生产要求。同时,通过烘炉,又可以对炉子的制造或修理质量进行一次最现实的检查。

### 1. 烘炉前的准备

烘炉前必须做好下列准备工作:

1) 炉膛内部和烟道彻底清扫干净,要做到无碎砖、木块、尘土以及其它杂物遗留在内。

2) 炉子各部分必须经过全面检查,特别是烟道、燃烧系统、冷却系统以及炉膛等,对传动机构要进行试运转和调整。待检查合乎技术要求后,方可允许烘炉。

3) 检查各种阀门是否灵活好用,检查炉子砌体,特别是炉拱是否有异常现象。

4) 烘炉前,炉子骨架上的所有纵横拉杆是否焊牢,或其螺帽都应拧紧。

5) 根据炉子的具体情况,应由专人制订烘炉操作规程、烘炉升温曲线及注意事项。

6) 如本炉所用燃料不便于烘炉时,则在烘炉前应另行添设临时加热装置。

### 2. 烘炉曲线

烘炉时必须遵守的升温速度、保温时间以及用时间-温度来表示的图表称为烘炉曲线。

(1) 烘炉的三个阶段:

1) 水分排出期。炉子升温从0~200°C是泥浆中的水分以及砌体内的部分潮气的排出期,这时必须打开炉门。同时,在200°C时要保温较长的时间,以保证水分的充分排出。

2) 砌体膨胀期。从200~600°C期间,是砌体开始膨胀及膨胀变形期,这时应缓慢升温。如果升温快,往往容易因砌体急剧膨胀而产生裂纹、损坏,特别是硅砖或铬镁砖,则膨胀更为严重。在此期间更应注意升温速度,一般建议升温速度不超过50°C/h。

3) 保温期。在600°C以上可随炉子工作温度的不同而确定升温速度和保温时间,每升高100~200°C,也应适当保温一段时间,过急往往易于损坏砌体。

### (2) 影响烘炉曲线的因素:

1) 烘炉时间的长短与炉子大小、耐火材料性能、修炉季节及施工方法等有关,如厚度大的砌体所需时间比厚度小的砌体长;硅砖砌体比耐火粘土砖砌体长;冬季施工的砌体比夏季施工的砌体长(长10%~20%);耐火混凝土砌体比耐火砖砌体长。总之,炉子越大烘炉时间就越长,但最小的炉子,其烘炉时间也不应低于20h。

2) 烘炉升温速度主要取决于砌体的热膨胀情况,如一般耐火粘土砖、高铝砖的砌体可按25~50°C/h的升温速度升温,耐火混凝土的砌体可按10~20°C的速度升温。

3) 烘炉的保温温度和保温时间,主要取决于砌体水分(游离水和结晶水)的排出和砖的晶型转化的胀缩情况。

### (3) 火焰炉的烘炉时间及烘炉曲线:

1) 火焰炉的烘炉时间见表26-1-8。

表26-1-8 火焰炉的烘炉时间表

炉子名称	炉底面积 (m <sup>2</sup> )	烘炉时间 (昼夜)
加热炉	<1.5	1.5~2
	1.5~2.5	2~3
	2.5~5	3~3.5
	5~10	3.5~4
热处理炉	3~5	3
	6~7	4~6
	7~10	6~7
烘干炉	炉膛容积<30m <sup>3</sup>	1~3
	20~50m <sup>3</sup>	3~4
	50~100m <sup>3</sup>	4~5

注:表内数据适用于夏季施工,冬季施工的炉子,其烘炉时间应延长10%~20%。

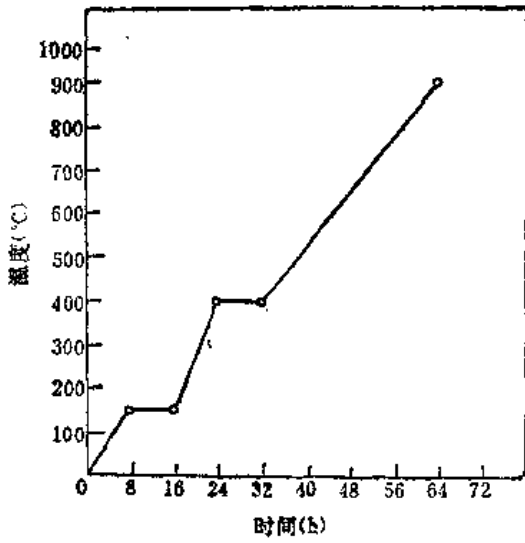


图26-1-1 室式、眼孔式、开眼式加热炉  
(炉底面积 $< 2.5 \text{ m}^2$ ) 的烘炉曲线

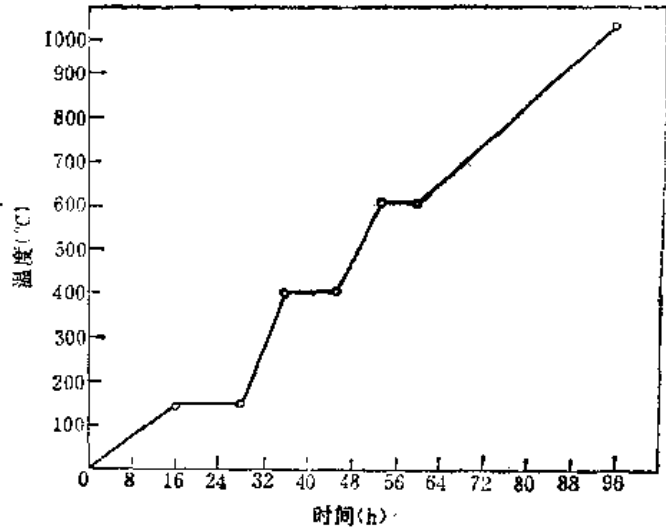


图26-1-2 双室式、半连续式、台车式加热炉  
(炉底面积 $< 9 \text{ m}^2$ ) 的烘炉曲线

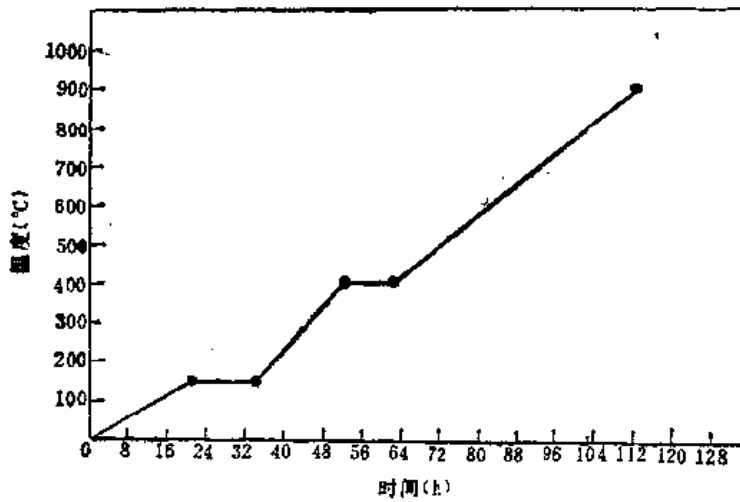


图26-1-3 淬火、回火、正火热处理炉(炉底面积 $< 10 \text{ m}^2$ ) 的烘炉曲线

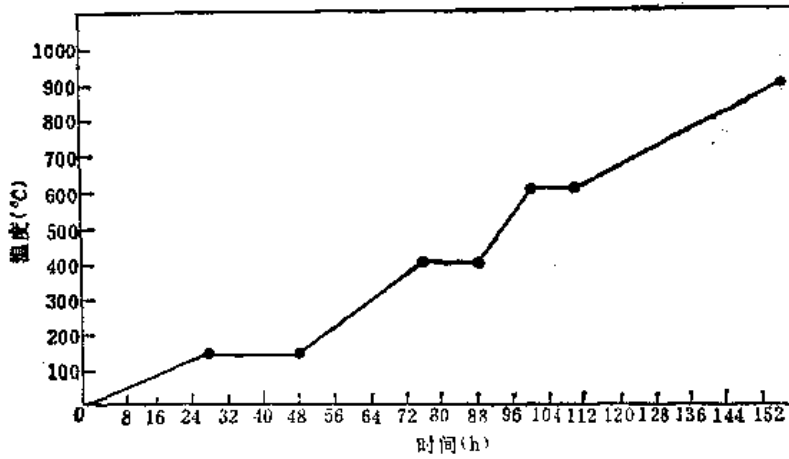


图26-1-4 退火、回火、罩式热处理炉(炉底面积 $> 10 \text{ m}^2$ ) 的烘炉曲线

2) 火焰炉的烘炉曲线, 参考图 26-1-1、图 26-1-2、图 26-1-3 和图 26-1-4。

(4) 电阻炉的烘炉时间及烘炉曲线:

1) 电阻炉的烘炉时间见表 26-1-9。

2) 电阻炉的烘炉曲线, 参考图 26-1-5、图 26-1-6、图 26-1-7 和图 26-1-8。

### 3. 烘炉注意事项

烘炉过程中要尽量使温度的上升和分布保持均匀, 仔细观察砌体和金属部件的膨胀情况以及拱顶的变化情况, 出现问题, 及时处理。一般情况下, 炉膛的烘炉是在烟囱和烟道烘烤之后进行的。对于多段式或多室式炉子, 应在各段或各室内同时加热, 但应注意温度均匀。

用煤气烘炉操作简便, 容易控制升温速度, 因

此, 有条件时要尽可能采用煤气烘炉。当不能用煤气时, 燃煤炉子可用木柴或直接用煤在燃烧室烘炉升温; 燃油炉子先在炉膛内用木柴或煤烘炉, 至炉膛温度能使油嘴稳定燃烧后, 再换用油燃烧升温。

烘炉时应注意下列事项:

1) 用煤气或油烘炉时, 如炉子较大, 燃烧器较多, 一般只点燃少量煤气烧嘴或油嘴即可, 必须定时轮流更换, 以免局部过热。

2) 带有换热器的炉子, 烘炉时应控制换热器前烟气温度, 必须低于换热器的允许工作温度。

3) 烧嘴或油嘴点火时应打开炉门和烟道闸板。如果点火一次未点燃, 应先将炉内烟雾排尽, 才能再次点火, 否则容易引起爆炸。

4) 测定炉内各主要部位的温度, 使其与规定

表 26-1-9 电阻炉的烘炉时间表

名称	型号	炉膛温度 (°C)	升温速度 (°C/h)	烘炉时间		备 注
				升温时间 (h)	保温时间 (h)	
箱式电炉	RJX型	20~150	25	5	10	400°C以下打开炉门, 400°C以上关闭
		150~350	30	7	8	
		350~600	50	5	4	
		600~800	50	4	3	
井式渗碳炉	RJJ型	20~150	25	6	8	400°C以下将炉罐垫起20~300mm, 切断风扇。400°C以上放下炉罐、炉盖, 启动风扇
		150~350	30	7	6	
		350~650	50	6	4	
		650~900	50	5	3	
井式回火炉	RJJ型	20~150	25	5	6	400°C以下升起炉盖, 切断风扇。400°C以上放下炉盖, 启动风扇
		150~350	30	7	4	
		350~650	50	6	3	
坩埚盐浴炉	RYD型	20~150	25	5	8	烘炉前应将坩埚垫起20~30mm
		150~350	30	7	6	
		350~650	50	6	3	
		650~850	50	4	3	
推杆式电炉	RJT型	20~120	25	4	10	烘炉升温时, 启动风扇, 打开炉门。400°C以上关闭炉门
		120~200	20	4	12	
		200~400	50	4	24	
		400~500	25	4	6	
		500~600	25	4	6	
		600~700	25	4	18	
传送带式电炉	RJC型	20~120	25	4	10	烘炉时取下底板、炉门。400°C以上装上底板、炉门, 启动传送带
		120~200	20	4	12	
		200~400	50	4	14	
		400~600	25	8	8	
		600~700	25	4	6	
		700~850	25	6	4	

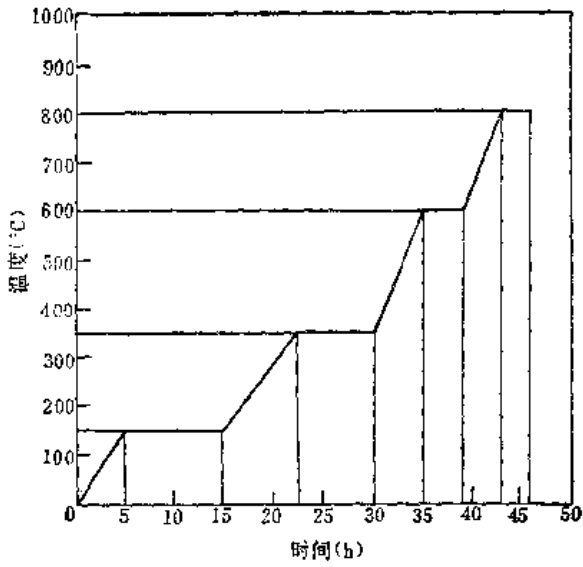


图26-1-5 RJX型箱式电阻炉烘炉曲线

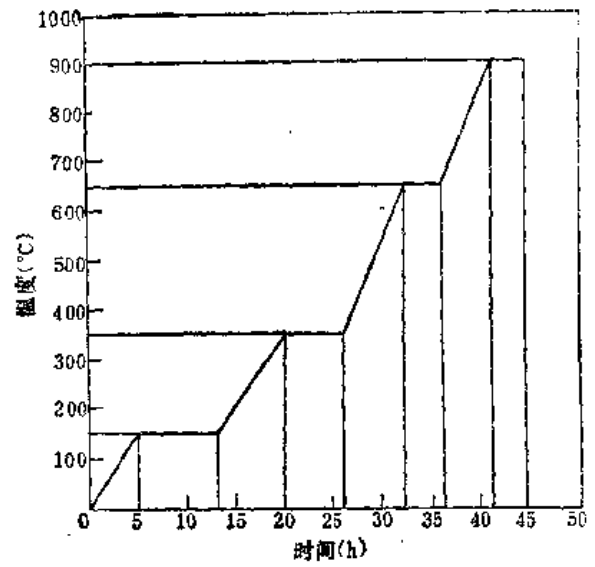


图26-1-6 RJJ型井式渗碳炉烘炉曲线

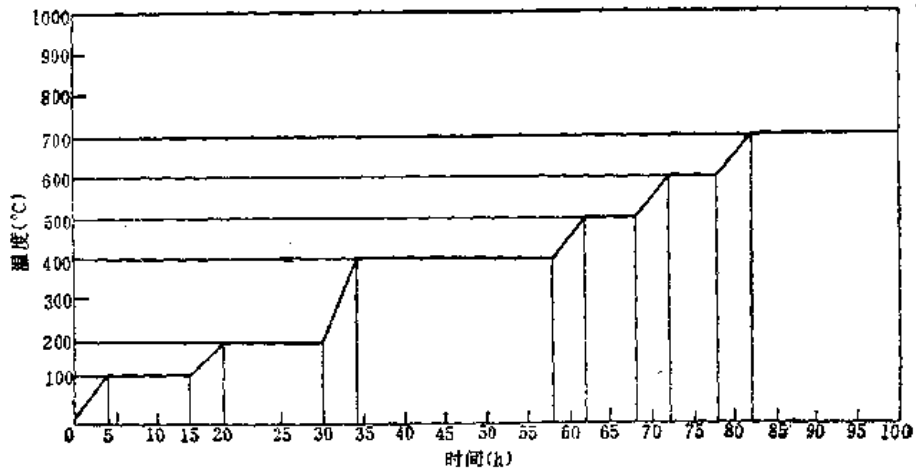


图26-1-7 RJT型推杆式电阻炉烘炉曲线

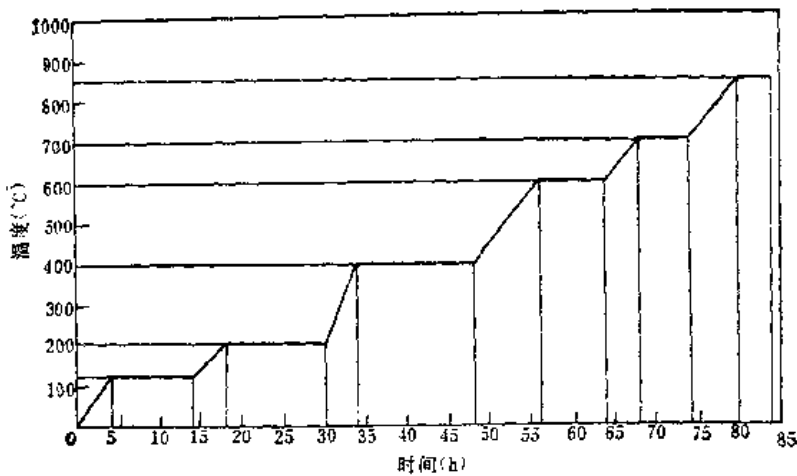


图26-1-8 RJC型传送带式电阻炉烘炉曲线



的烘炉温度一致。利用改变燃料用量和炉膛压力来控制升温 and 保温时间。如果炉温低于预计温度很多，必须缓慢升温，不允许作大幅度快速升温。

5) 烘炉过程中必须经常注意温度、压力情况和管道系统。随着砌体的膨胀，及时调整钢架上的拉杆螺栓。

6) 烘炉前必须将炉门或炉盖打开，待炉温升至400℃时，关闭进出料炉门或炉盖。

7) 炉子如有水冷却系统，当炉温升到300~400℃时，即开始供水，控制出水温度不要超过50℃。

8) 机械化炉子的烘炉，当炉温达到400℃以上时，必须使机械（如传送带、辊子等）运转，以免局部过热。

9) 带有风扇的炉子，炉温升到400℃时，风扇必须投入运转。

10) 带有炉罐或坩锅的电炉，烘炉前必须将炉罐或坩锅垫起20~30mm，并在其上面临时加盖。

11) 送电前应检查炉体对地电阻，当电压为500V时，其对地电阻应大于0.4Ω。

12) 炉子送电后，应经常观察电阻丝或电阻带的工作情况，是否有局部过热现象。

13) 在烘炉过程中应按时记录炉温，密切注意砌体的情况。如因水分来不及逸出，受热不均和体积膨胀过快而产生变形或损坏时，必须及时采取相应措施。

14) 炉子砌有红砖时，最好在烘炉之后再行勾缝。

#### 4. 耐火混凝土炉衬的烘烤

耐火混凝土中含有大量的游离水和结晶水，前者在100~150℃的温度下大量排出，后者在300~400℃的温度下析出。根据水分排出时的温度，一般在150℃和350℃保温，考虑到厚度方向传热的阻力，在600℃再次保温，以利于水分充分排除。耐火混凝土砌筑的炉子的烘炉曲线列于表26-1-10。

耐火混凝土在烘烤过程中很易发生爆裂，所以烘炉时必须注意下列事项：

1) 常温~350℃阶段，最易引起局部爆裂，要特别注意缓慢烘烤。如在350℃保温后仍有大量蒸汽冒出，仍应减缓升温速度。

2) 在通风不良、水汽不易排出的条件下，要适当延长保温时间。

3) 当用重油烘烤时，要严防重油喷在砌体表

表26-1-10 耐火混凝土  
砌筑炉体的烘炉曲线

温 度 (°C)	耐火混凝土砌体厚度 (mm)					
	<200		200~400		>400	
	升温 速度 (°C/h)	保温 时间 (h)	升温 速度 (°C/h)	保温 时间 (h)	升温 速度 (°C/h)	保温 时间 (h)
室温~150	20	24	15	32	10	40
150~350	20	24	15	32	10	40
350~600	20	16	15	24	10	32
600~使用温度	35		25		20	

面，以防局部爆裂。

4) 当用木柴烘炉时，直接接触火焰处往往造成局部升温过急，应加以防护。

5) 对新浇捣的耐火混凝土，至少要停放3天后方可进行烘烤。

此外，耐火混凝土砌筑的炉体的冷却也应缓慢，避免强制通风。

在烘炉过程中耐火混凝土会发生爆裂，其主要原因是：在耐火混凝土拌制过程中，需加入必要的水或其它液体胶结剂，水硬性耐火混凝土还需浇水养护等，因此在已硬化的耐火混凝土中含有较多量的水分。另外，耐火混凝土在成型过程中，气体不易排除，形成较多的封闭气泡，破坏了耐火混凝土的毛细结构；又由于成型时拌和物泛浆，使耐火混凝土表面形成较致密的硬壳，因此，耐火混凝土内的水分也不易排除。据计算，一定量的水如变成同重量的100℃蒸汽，则体积膨胀近1700倍。耐火混凝土如升温过快，单位时间内产生的气体太多而来不及排除时，耐火混凝土内将产生很大的张力，如超过其抗拉强度，即会开裂；如果两者相差特别悬殊时，则可能剥落，甚至爆裂。

#### 5. 烟囱的烘烤

烘烤烟囱的目的：一是驱除烟囱砌体中的水分，使之充分干燥，二是提高烟囱的温度，使之具有一定的抽力，适应烘炉的需要。新建的烟囱在使用前一般都要进行烘烤。冬季施工的烟囱在砌完后，应立即烘干。

确定烟囱烘烤的连续时间，其依据有4项：

(1) 烟囱高度 烟囱越高，烘烤时间越长。如有内衬的砖烟囱，其高在40m以下，烘烤时间为4昼夜；若高100m以上，则需10昼夜。

(2) 施工季度 冬季施工的烟囱, 其烘烤时间一般要比夏季施工的增加50%左右。

(3) 烟囱结构 有内衬的砖烟囱, 其烘烤时间比无内衬的, 一般要增加一昼夜。

(4) 烟囱材料 有砖烟囱和钢筋混凝土烟囱之分。在条件相同的情况下, 砖烟囱的烘烤时间比钢筋混凝土烟囱的一般要增加50%左右。

烟囱烘烤的方法, 一般是在烟道或烟囱底部烧木柴或煤。根据烟囱的不同材质, 烘烤的最高温度是: 有耐火砖内衬的砖烟囱为300°C; 无耐火砖内衬的砖烟囱为250°C; 有内衬的钢筋混凝土烟囱和金属烟囱为200°C。烘烤烟囱的测温点, 一般设在烟囱底部的人孔中心处。

在冬季竣工且已烤好的烟囱, 如停放过久, 在投产前还要进行第2次烘烤, 但时间可较正常规定的少一半。

烟囱烘干后如出现裂纹, 应进行补修。已经烘干的砖烟囱, 冷却后应再次紧钢箍。

烟道是通过炉子烘烤的废气温度缓慢上升, 而达到烘烤目的的。

## 第2节 煤气炉的调整

### (一) 常见故障分析

煤气炉的常见故障分析见表26-2-1。

表26-2-1 常见故障分析

序号	故障现象	产生原因	排除方法
1	炉膛温度达不到工艺要求	1. 煤气发热值低 2. 空气换热器损坏, 烟气漏入空气管道 3. 空气过剩系数太大 4. 空气过剩系数太小 5. 煤气喷嘴被焦油堵塞, 致使煤气流量减少 6. 煤气换热器堵塞, 致使煤气压力降 7. 炉前煤气管道积水, 致使煤气压力下降 8. 炉膛内出现负压力 9. 烧嘴配置能力偏小 10. 炉内水冷管带走热量大, 或炉衬损坏, 致使局部热损失大 11. 煤气或空气预热温度低	1. 在煤气站找出发热值低的原因, 提高煤气发热值 2. 分析换热器后空气的含氧量, 如低于20%, 则修理空气换热器 3. 调节进风阀, 如升温效果不显著, 可改大喷嘴(d)或改小喷头(D) 4. 调节进风阀及煤气阀, 可增大喷头(D) 5. 用钎子捅喷嘴, 清除焦油渣 6. 清除煤气换热器堵塞的管道 7. 定期放水 8. 增加烟道阻力或改变烧嘴位置和角度 9. 配置大能力烧嘴 10. 改善水冷管隔热, 修复炉衬 11. 检修换热器
2	炉膛温度分布不均	1. 烧嘴位置布置不合理 2. 烧嘴工作不均衡 3. 排烟口位置及尺寸不合理, 排烟不均 4. 靠近炉门口处温度低	1. 改变烧嘴位置或喷射角度 2. 调整烧嘴, 使炉内热量均衡 3. 改变排烟口位置或尺寸 4. 将靠近炉门口处的一个或两个烧嘴能量加大, 比其他烧嘴能量大20%左右
3	炉膛压力过大, 喷火	1. 烟道闸门关得过小 2. 不完全燃烧, 使煤气漏出炉外燃烧 3. 煤气流量过大 4. 烟道堵塞或有水 5. 烟道截面积偏小 6. 装料方式不合理 7. 烧嘴的位置布置不合理	1. 调整闸门开启度 2. 调整 $\frac{D}{d}$ 的数值, 使空气过剩系数控制在1.02~1.05 3. 在保证炉温的情况下, 适当减少煤气流量 4. 清理烟道, 排水 5. 修改烟道截面积 6. 改变装料方式 7. 重新布置烧嘴的位置

(续)

序号	故障现象	产生原因	排除方法
4	燃烧不稳定	1.煤气中水分太多 2.煤气压力不稳定经常波动 3. $\frac{D}{d}$ 比值过大时,易回火 4.烧嘴喷头内表面不够清洁或烧坏 5.烧嘴砖选用不当 6.冷炉点火,煤气量少	1.根据季节,定期放水 2.消除煤气量供应不稳定造成的驼峰 3.适当缩小 $D$ ,保证混合气的最小允许出口速度 4.清理内表面脏物或更换喷头 5.更换烧嘴砖 6.开大煤气总阀和炉前煤气阀
5	被加热工件氧化烧损严重	1.过剩空气系数太大 2.炉膛负压 3.工件加热时间太长(炉温偏低,炉子高温区太长) 4.高温待锻时间长 5.燃料含硫量高 6.炉膛内局部温度过高	1.调整空气阀 2.调整烟道闸阀或改变烧嘴位置和角度 3.缩短高温区加热时间 4.锻压设备能力和工人操作熟练程度要与炉子生产能力相适应 5.采取除硫措施 6.在相对位置调整个别烧嘴能量
6	煤气自动控制失灵	1.煤气控制阀后压力控制达不到要求 2.煤气控制阀后最大压力和最小压力参数选择不当 3.煤气压力最小时,烧嘴回火	1.减小煤气控制阀关闭时的间隙面积(即加大控制阀阀片直径) 2.正确选择煤气控制阀的前、后压力参数 3.保证烧嘴、喷头直径 $D$ 的出口速度不低于着火速度

## (二) 调整实例

### 1. 过剩空气系数的调整

通过分析煤气成分( $\text{CO}_2\%$ 、 $\text{C}_m\text{H}_n\%$ 、 $\text{O}\%$ 、 $\text{CO}\%$ 、 $\text{H}_2\%$ 、 $\text{CH}_4\%$ 、 $\text{N}_2\%$ )和分析煤气空气混合气体的主要成分( $\text{CO}_2\%$ 、 $\text{O}_2\%$ 、 $\text{CO}\%$ ),就可确定空气的过剩系数( $\alpha$ )的数值。如发生炉煤气成分分析为 $\text{CO}-30\%$ 、 $\text{H}_2-14\%$ 、 $\text{CH}_4-2\%$ 、 $\text{O}_2-0.2\%$ 、 $\text{C}_m\text{H}_n-0.5\%$ 、 $\text{CO}_2-33\%$ 、 $\text{H}_2\text{S}-0.1\%$ 、其余为 $\text{N}_2$ 。发热值 $Q_{\text{低}}=6314\text{kJ}/\text{Nm}^3$ 经计算理论空气量 $L_0=1.3\text{Nm}^3/\text{Nm}^3$ ,试用分析混合气中含氧量的方法来测定过剩空气系数,过剩空气系数计算式为:

$$\alpha = \frac{\text{O}_2}{(21 - \text{O}_2)L_0}$$

式中  $\text{O}_2$ ——混合气中含氧量(%),

$L_0$ ——理论空气量( $\text{Nm}^3/\text{Nm}^3$ )。

经分析混合气中含氧量为12.1%时,则

$$\alpha = \frac{12.1}{(21 - 12.1) \times 1.3} = 1.05$$

因煤气燃烧的过剩空气系数( $\alpha$ )值为1.02~1.05时,就能达到完全燃烧,因而可以认为混合气中含

氧量达到12.1%是合适的。

当 $\alpha < 1.02$ 时,首先要检查空气阀是否还可开大,空气管路上是否有阻力,煤气喷嘴的几何形状、安装位置是否正常。如烧嘴的外部条件全都认为正常,则可用缩小喷嘴( $d$ )的直径或扩大喷头( $D$ )的直径进行调整。采用这种方法,要看炉温和整个炉子供热情况而定。当 $\alpha > 1.05$ 时,先用关小空气阀的方法进行再次分析混合气成分,使达到要求数据。如果确认这是空气阀开大而造成,可用规定操作方法解决,或限止阀门的开启度来控制。如分析含氧量与要求数据相差很大,则再用扩大喷嘴的直径或缩小喷头的直径进行调整。

图26-2-1表示混合气中含氧量与过剩空气系数的关系,在分析煤气成分和混合气含氧量后就可确定过剩空气系数。

分析混合气体确定过剩空气系数时,取样的操作很重要。采样点要在混合管后扩散段的末端,在取样过程中不要使空气混入。采样时要注意烧嘴操作情况,煤气压力要正常,煤气阀及空气阀应该全部打开。还要注意炉况。当炉膛为负压时, $\alpha$ 值会较大;当炉膛压力为正压时, $\alpha$ 值就较小。

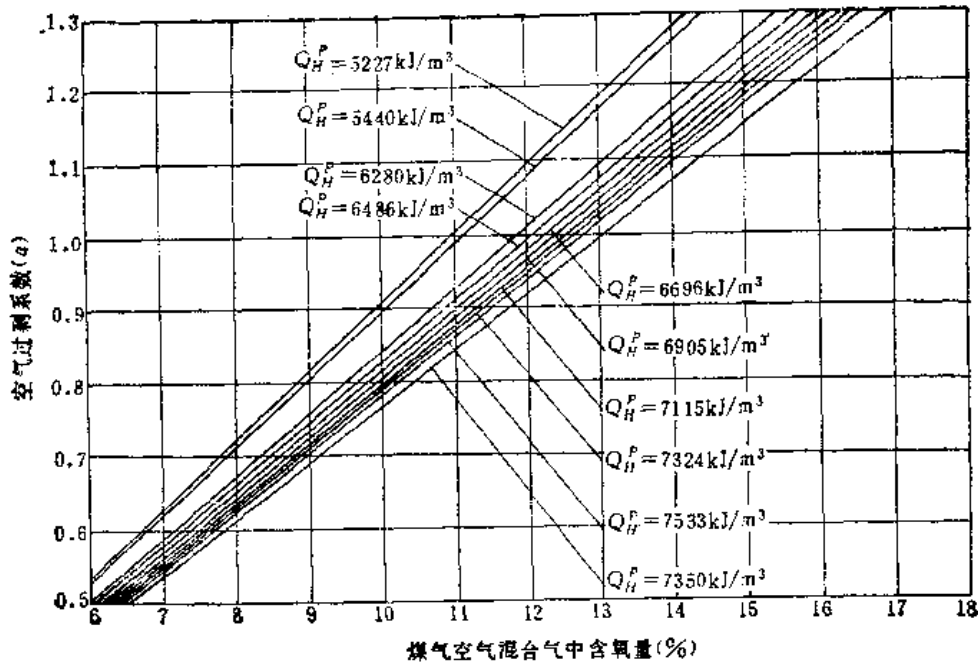


图26-2-1 混合气中含氧量与过剩空气系数的关系

因煤气成分并非一成不变，有时发热量的变化可相差837~1256kJ/m<sup>3</sup>，所以分析α值时要考虑这一因素，要以接近于额定煤气发热量时的成分作为依据。

2. 烧嘴燃烧能力的调整

测定烧嘴前煤气压力及喷嘴尺寸，通过计算可求得煤气流量，其近似计算公式为：

$$V_M = W_M \cdot F = \sqrt{\frac{2gP}{\gamma}} \cdot \eta F 3600 \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

式中  $V_M$ ——煤气流量 (m<sup>3</sup>/h)；

$W_M$ ——煤气流速 (m/s)；

$F$ ——喷嘴截面积 (m<sup>2</sup>)；

$g$ ——重力加速度9.8m/s<sup>2</sup>；

$P$ ——煤气烧嘴前的压力 (Pa)；

$\gamma$ ——煤气密度 (kg/m<sup>3</sup>)；

$\eta$ ——流量系数 (取0.82~0.84)。

用煤气发热值为5024~9211kJ/m<sup>3</sup>的高压喷射式烧嘴为例，一般它能适用于煤气最小压力为1kPa，最大压力为16kPa，调节比为1:4。这种烧嘴的煤气压力和流量的关系可用计算式或图表来决定，根据煤气压力改变得出流量改变的公式为：

$$V_{M1} = V_M \sqrt{\frac{P_1}{P}} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

式中  $V_M$ ——当煤气压力为  $P$  (Pa) 时煤气流量 (m<sup>3</sup>/h)；

$V_{M1}$ ——当煤气压力为  $P_1$  (Pa) 时煤气流量 (m<sup>3</sup>/h)。

如喷射式烧嘴的煤气喷嘴 ( $d$ ) 的尺寸为  $\phi 18\text{mm}$ ，当用  $Q_{\text{定}} = 6280\text{kJ/m}^3$ ，煤气额定压力为10kPa时，煤气流量经计算为100m<sup>3</sup>/h。如果煤气压力改变成12kPa时，该烧嘴流量 ( $V_{M1}$ ) 为多少？又煤气压力改变成9kPa时，该烧嘴流量 ( $V_{M2}$ ) 为多少？

$$V_{M1} = 100 \sqrt{\frac{120}{100}} = 100 \times 1.1 = 110 \quad \text{m}^3/\text{h}$$

$$V_{M2} = 100 \sqrt{\frac{9}{10}} = 100 \times 0.9 = 90 \quad \text{m}^3/\text{h}$$

生产中，可以通过调节煤气阀，以达到改变煤气压力的办法来调节煤气流量的变化。

工业炉调整中，为了改变烧嘴煤气量，通常是根据额定压力去改变  $\frac{D}{d}$  的尺寸，才能使燃烧稳定。

如要把  $\frac{D}{d} = \frac{\phi 50}{\phi 18}$ ，煤气量为100m<sup>3</sup>/h的烧嘴改变为煤气量为150m<sup>3</sup>/h，额定压力都是100Pa而煤气燃烧的参数都没有变化。则先求出烧嘴喷头直径  $D$  与煤气喷嘴  $d$  的比值  $\frac{D}{d} = \frac{50}{18} = 2.78$ ，因为改变后的

$\frac{D_1}{d_1}$  的比值仍不变, 等于 2.78。先求  $d_1$ ,

这样, 我们可以按下公式计算

$$F_1 = \frac{V_{M1}}{W_{M1}} = \frac{V_{M1}}{\sqrt{\frac{2gP}{Y} \cdot \eta \cdot 3600}}$$

$$= \frac{150}{\sqrt{\frac{2 \times 9.8 \times 10000}{1.1} \times 0.82 \times 3600}}$$

$$= 0.00381 \text{ m}^2$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4F_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.00381}{3.14}}$$

$$= 22 \text{ mm}$$

然后, 再求  $D_1$ 。

$$D_1 = 2.78 \times d_1 = 2.78 \times 22 = 61 \text{ mm}$$

扩大或减小煤气量, 在烧嘴混合管尺寸允许范围内都可用上述方法改变额定煤气量。

一般工厂的煤气额定压力是恒定的, 变化率很小。烧嘴的煤气量是以额定压力计算的。所以最大用量的煤气额定压力计算, 逐步减小阀门, 则改变了喷嘴的压力和流量。例如, 今有  $Q_{\text{煤}} = 6280 \text{ kJ/m}^3$  的煤气 (理论空气量  $L_0 = 1.3 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) 其喷射式烧嘴  $\frac{D}{d} = \frac{\phi 50}{\phi 18}$ , 额定煤气压力  $P_M$  由  $10 \text{ kPa}$  变化到  $1 \text{ kPa}$  的计算流量变化, 可见表 26-2-2。

表 26-2-2 煤气压力与流量的关系

序号	额定煤气压力 $P_M$ (Pa)	煤气流量 $V_M$ ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	煤气喷嘴流速 $W_M$ (m/s)	烧嘴喷头流速 $W_V$ (m/s)
1	16000	128	169	41.8
2	14000	119	158	38.5
3	12000	110	146	35.8
4	10000	100	134	32.6
5	8000	91	120	29.5
6	6000	79	104	25.7
7	4000	63	85	20.5
8	2000	45	60	14.5
9	1000	32	42	10.5

从 9 组数据来看, 序号 1、2、3 三组完全能适应燃烧, 但这种煤气发热值用这种煤气压力是不经济的。序号 4、5 两组为最佳, 从实践证明: 燃烧完全、稳定。序号 6、7 两组也较好, 序号 8、9 两组就不太稳定了, 原因是喷头出口速度较低, 容易回火。

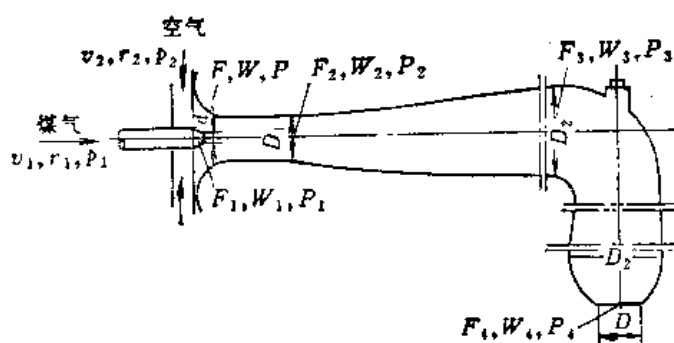


图 26-2-2 高压喷射式烧嘴

$d$ 、 $D$ —直径  $F$ —面积  $W$ —气体速度  $P$ —气体压力  
 $v$ —气体流量  $\rho$ —气体密度

喷射式烧嘴的调节比, 在实际应用中, 都是根据煤气发热量去选择额定压力, 所以调节范围一般都小于 1:4。调整煤气烧嘴的流量对烧嘴的阻力系数有影响, 但在实际生产调整中, 这些误差可以允许。

煤气预热, 空气不预热; 煤气不预热, 空气预热; 煤气、空气全预热; 预热温度一样或不一样。以上四种情况在煤气流量改变时均应考虑温度因素, 可参照煤气烧嘴修理中的计算方法进行调整。

### 3. 煤嘴回火的调整

这是由于混合气体喷出速度低于混合气体的燃烧速度而引起的, 经常在关小煤气阀操作时发生, 因此, 在操作中应保持混合气体的喷出速度, 使用发生炉煤气 ( $Q_{\text{煤}} = 5024 \sim 9211 \text{ kJ/m}^3$ ) 的混合气体的最佳喷出速度为  $25 \sim 30 \text{ m/s}$ 。在选用喷头 ( $D$ ) 的截面积, 当不能接近于混合管扩散段 ( $D_2'$ ) 的截面积时 (图 26-2-2), 就不能保证混合器中混合气体的均匀速度, 容易使火焰产生回火。一般  $D_2'$  与  $D$  之截面积应保持如下关系尺寸,

$$F_3 = 1.2F_4$$

式中  $F_3$ —混合管的流通截面积 ( $\text{mm}^2$ ),

$F_4$ —喷头截面积 ( $\text{mm}^2$ ),

1.2—保持速度均的安全系数。

此外, 烧嘴受燃烧道的高温辐射, 温度太高, 也易回火。

### 4. 空气换热器漏气率的鉴定

使用高压喷射式烧嘴的炉子, 空气在换热器中是负压。如换热器有烧坏渗漏现象, 则烟气就被吸入到空气中, 使预热空气中含氧的浓度下降, 从而使燃烧恶化。

要鉴定渗漏程度, 可在换热器后的空气管道上

取样,用部分分析仪分析含氧量,就可判断泄漏程度。换热器的空气漏气率可按式计算:

$$\eta = \frac{O_2' - O_2''}{O_2'} \times 100(\%)$$

式中  $O_2'$ ——空气中氧的含量(%)

$O_2''$ ——预热空气中氧的含量(%)。

例 取样分析预热空气中氧的含量  $O_2''$  为18%,求换热器的空气漏气率  $\eta$ ?

$$\eta = \frac{21 - 18}{18} \times 100 = 16.6(\%)$$

一般空气换热器漏气率大于15%时,就应检修或更换。

### 5. 半连续式煤气加热炉调整实例

原设计半连续式煤气加热炉的示意图如图26-2-3所示。

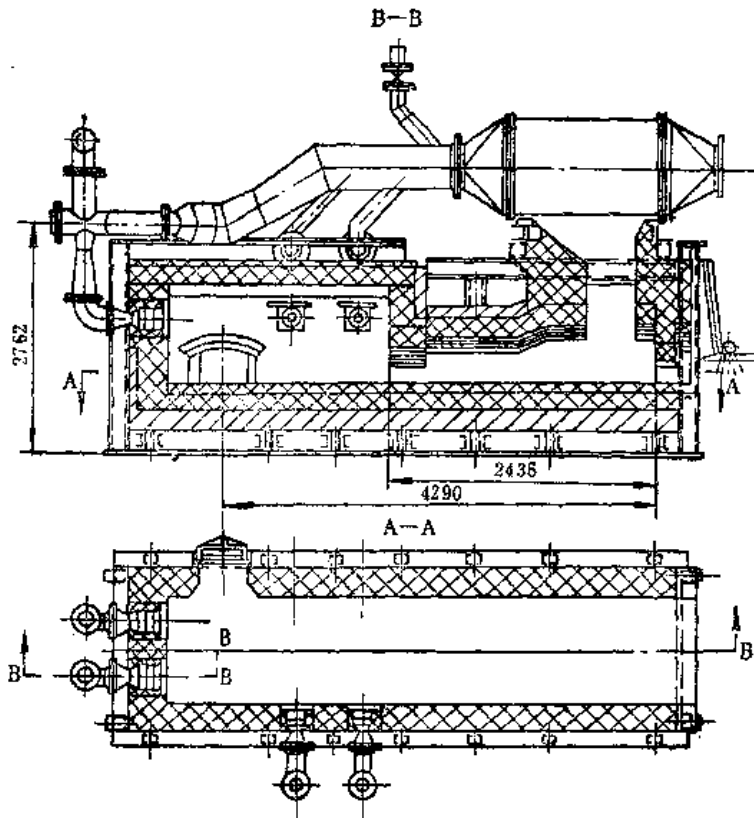


图26-2-3 原设计半连续式煤气加热炉示意图

(1) 炉子设计性能:

1) 炉子用途——供加热载重汽车转向臂和大齿轮锻造毛坯用(与3t、5t模锻锤配套)。

2) 炉底尺寸—— $1.3 \times 4.29 = 5.6m^2$ 。

3) 烧嘴型式和数量——喷射式煤气烧嘴  $\phi 100$ (2个)、 $\phi 75$ (4个)。

4) 炉子生产率—— $1900kg/h$ 。

5) 加热金属温度—— $1260^\circ C$ 。

6) 发生炉混合煤气发热量( $Q_{\text{混}}$ )—— $7536 kJ/m^3$ 。

7) 燃料消耗量—— $1050m^3/h$ 。

8) 炉底单位面积生产率—— $340kg/(m^2 \cdot h)$ 。

9) 炉底单位面积热强度—— $1423512kJ/(m^2 \cdot h)$ 。

10) 换热器最大空气阻力—— $250Pa$ 。

11) 空气消耗量—— $1730m^3/h$ ( $\alpha = 1.05$ 时)。

12) 空气预热温度—— $320^\circ C$ 。

(2) 设备存在问题:

1) 高温区炉膛温度不均,在出料口处温度下降,使所加热的钢件发生粘钢现象。

2) 进入换热器的烟气温度过高,致使金属针状换热器迅速烧坏。

3) 炉膛压力太大,炉门口向外喷火,严重恶化了操作条件。

4) 炉膛底部至车间地面高度偏小,工人出料时要弯腰操作,增大了劳动量。

(3) 情况了解与测量 根据上述设备存在问题,进行下列观察和仪表测量。

1) 观察高温区情况:炉膛温度分布不均,金属温度偏低,有等温现象,炉门口有大量喷火及燃烧现象。

2) 观察预热区情况:进入换热器前的烟气温度过高,在进料口有大量烟气溢出,并有燃烧现象。

3) 观察炉前煤气压力情况:煤气压力  $10.8kPa$  为正常。

4) 观察烧嘴喷出火焰的情况:发现个别烧嘴燃烧情况不好,呈蓝色,燃烧无力,且火焰较长,存在不完全燃烧现象。

5) 观察空气换热器情况:发现有漏气现象。

6) 仪表测量:测得所有数量见表26-2-3。

(4) 判断 根据了解与测量的上述情况,可作出下列判断:

1) 高温区(出料)供热不够,致使炉膛温度偏低,加热时间延长,并产生了加热工件粘在一起的现象。

表26-2-3 调整前测量所得数据表

序号	测量名称	数值	备注
1	煤气发热量(kJ/m <sup>3</sup> )	6699	
2	炉膛温度(°C)	1260~1300	
3	金属温度(°C)	1226~1230	
4	换热器前烟气温(°C)	823~966	
5	换热器后烟气温(°C)	471~597	
6	预热空气温度(°C)	206~240	
7	室温(°C)	9~15	
8	炉膛气体压力: 进料口(Pa)	6~30	
	出料口(Pa)	10~44	
	换热器前(Pa)	20~30	
9	炉子生产率(kg/h)	1890	
10	混合气含氧量(%)	10.3~13	侧烧烧嘴
11	过剩空气系数(α)	0.84~1.0f	不完全燃烧
12	预热空气含氧量(%)	15.2	较为严重

2) 炉膛气体压力高, 有下列原因造成:

- ① 煤气不完全燃烧;
- ② 换热器烟道面积太小;
- ③ 烧嘴位置(角度)布置不当。

3) 烟气温度过高, 致使换热器使用寿命短的原因有:

- ① 炉身有效长度不够, 特别是预热段短, 这

样炉气与被加热金属间未得到充分热交换, 就进入了换热器。

② 部分煤气在炉内没有燃烧, 随后跑到换热器内燃烧, 大大提高了换热器内的烟气温度。

4) 烧嘴工作情况不佳的原因有:

① 空气换热器的空气道漏入烟气, 致使预热空气中的含氧量减少(含氧量只有15.2%), 使煤气燃烧时氧量不足。

② 烧嘴喷头(D)与喷嘴(d)比值不当。

综上所述, 由于炉子结构存在着一定问题, 故没有达到设计性能。需修改设计后方能排除这些故障。

(5) 故障排除: 根据上述判断, 炉子需作下列修改和调整(图26-2-3和图26-2-4)。

1) 在高温区侧墙增加一个烧嘴 $\frac{D}{d}$ 为 $\frac{120}{27}$ , 原端墙两个烧嘴扩大供热量, 由 $\frac{100}{25}$ 改为 $\frac{130}{27}$ , 使煤气量增加11.4%。

2) 侧墙4个烧嘴的喷头与喷嘴的尺寸原为 $\frac{75}{20}$ , 现改为 $\frac{92}{21}$ , 以改善燃烧状况。

3) 扩大换热器: 重新设计制造换热器(增大空气预热量及烟气通过量等, 如烟道截面积就增大33%)。

4) 侧墙4个烧嘴角度倾斜15度。

5) 原炉身有效长度4290mm, 加长至5348mm(高温段由2784mm加到2913mm, 预热段由2435mm加到3364mm)。

6) 炉底与地面之间的距离加高200mm。

(6) 改进后测量所得数据见表26-2-4。

(7) 结论:

1) 增加供热量后, 提高了高温区的炉温, 缩短了工件在高温区的加热时间, 保证了工件的加热质量。

2) 降低了进入换热器的烟气温, 使换热器在正常状态下进行, 延长了使用寿命。

3) 消除了煤气不完全燃烧,

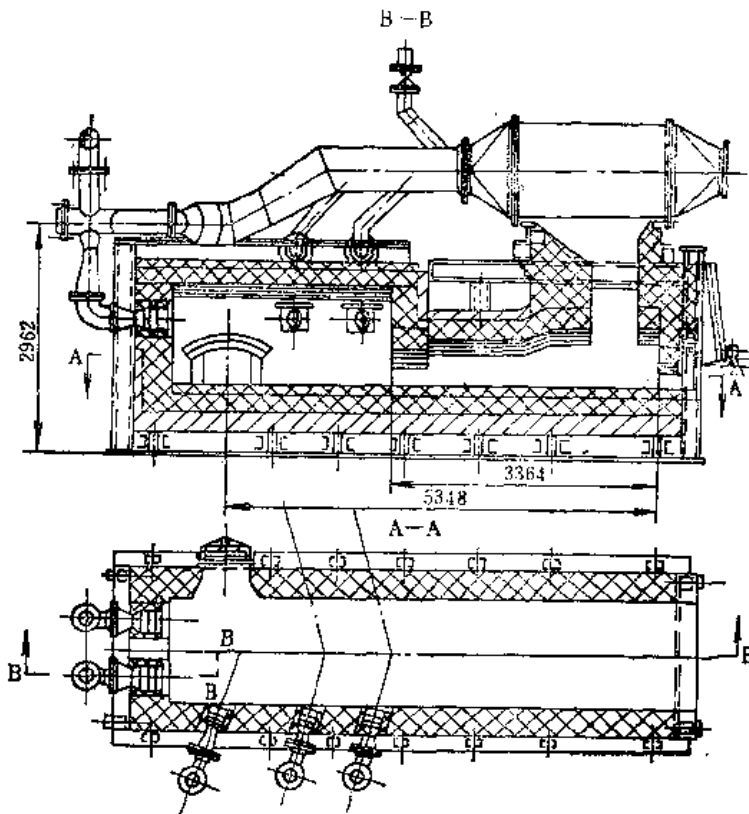


图26-2-4 修改后半连续式煤气加热炉示意图

表26-2-4 改进调整后测量所得的数据

序号	测量名称	数值	备注
1	炉膛面积 (m <sup>2</sup> )	1.276 × 5.34 = 6.8	与改进前相似
2	炉子生产率 (kg/h)	2400	
3	炉膛温度 (°C)	1367	
4	加热金属温度 (°C)	1260	
5	煤气发热值 (Q <sub>高</sub> ) (kg/m <sup>3</sup> )	7118~7725	
6	燃料消耗量 (m <sup>3</sup> /h)	1170	
7	炉底单位面积生产率 [kg/(m <sup>2</sup> ·h)]	350	
8	炉底单位面积热强度 [kJ/(m <sup>2</sup> ·h)]	1222546	
9	空气消耗量 (α = 1.05时) (m <sup>3</sup> /h)	1770	
10	空气预热温度 (°C)	320~476	
11	换热器前烟气温度 (°C)	741	
12	换热器后烟气温度 (°C)	528	
13	炉膛气体压力: 进料口 (Pa)	2	
	出料口 (Pa)	6~8	
	换热器前 (Pa)	4~6	
14	混合气含氧量 (%)	13~13.2	
15	过剩空气系数 (α)	1.02~1.05	
16	预热空气含氧量 (%)	20~20.5	

使烧嘴在理想状态下工作。

了设计的技术性能。

4) 消除了炉膛气体压力太大与喷火现象, 改善了操作条件。

### 第3节 油炉的调整

5) 炉底与地面距离加高, 方便了工人操作, 减轻了劳动强度。

#### (一) 常见故障分析

6) 炉子结构改进后, 满足了工艺要求, 达到

油炉的常见故障分析见表26-3-1。

表26-3-1 常见故障分析

序号	故障现象	产生原因	排除方法
1	炉膛温度达不到工艺要求	1. 油嘴配置能力小 2. 油管部分堵塞, 供油量不足 3. 油嘴结焦堵塞 4. 油嘴雾化不好, 致使燃烧质量差 5. 炉型结构不合理 6. 油压过低影响供油量	1. 配置大能力油嘴 2. 用蒸汽吹洗 3. 清洗油嘴 4. 检查油压油温, 调节空气流量, 对油量的配比 5. 修改设计 6. 提高油压, 关小回油阀
2	炉膛内温度分布不均	1. 油嘴开闭不均衡 2. 排烟口位置布置不当, 尺寸不合理 3. 油嘴布置不合理	1. 观察炉膛改变油嘴操作 2. 修改排烟口尺寸或位置 3. 改变油嘴位置或角度
3	炉膛压力过大喷火	1. 阀门关得过小, 烟道有水 2. 雾化不良, 空气量不足 3. 油嘴位置不当, 互相干扰 4. 油嘴能力过大 5. 烟道截面积小或排烟系统堵塞	1. 调节烟道阀门 (开大) 或排除烟道积水 2. 开大空气阀, 调整空气量 3. 观察炉气流动情况, 改变油嘴相对位置 4. 调整油嘴供油能力或更换小能量油嘴 5. 扩大烟道截面积或清理排烟系统脏物
4	燃烧不稳定	1. 油中水分过多, 火焰跳动 2. 油嘴雾化不良 3. 油温不够	1. 定期放水 2. 油压低或空气量不足 3. 按油质要求提高油温



(续)

序号	故障现象	产生原因	排除方法
4	燃烧不稳定	4. 油压风压急剧波动 5. 油嘴结焦堵塞	4. 平衡其他炉子启动, 停炉时间, 注意调节稳定油管风管压力 5. 清洗油嘴
5	被加热工件氧化烧损严重	1. 过剩空气系数太大 2. 炉膛负压 3. 工件加热时间太长 4. 炉膛局部温度过高 5. 油料含硫量高	1. 调小空气量 2. 关小烟道闸门 3. 缩短加热时间, 及时出炉 4. 在相应位置, 调整个别油嘴的供油量 5. 油的含硫量有一定要求一般取 $>1\%$

## (二) 调整实例

### 1. 供油系统的调整

供油系统包括下列设备: 油箱、过滤器、流量计、油泵、加热器、油压调节器、管道等, 如图26-3-1所示。供油系统发生故障, 经常会造成油嘴工作不良。

油压和油量的调节, 一般是控制油泵后回油阀, 应能满足2~3倍的使用油量, 油嘴前油压以保持稳定为准。

油嘴前的油温应符合设计要求。当油质改变后, 应按改变后的油温要求加热, 才能获得良好的雾化性能。

如果发现管路压力下降, 应从堵塞方面去检查, 如过滤器堵塞、拐弯处油温过低造成堵塞等。

### 2. 点火时的调整

油炉点火不成功大致由下列原因造成, 可根据情况及时处理。

- 1) 油温太低;
- 2) 点火火炬的火焰太小或火炬的位置不当;
- 3) 空气蝶阀的开度不合适;
- 4) 油量太大或太小;
- 5) 供给的油有间歇;

6) 炉膛正压太大。

### 3. 油嘴雾化性能的调整

油嘴雾化性能与下列因素有关:

- 1) 油嘴型式和结构;
- 2) 油压;
- 3) 油的粘度和油温;
- 4) 风压、风量。

油嘴雾化优劣是一个综合因素, 可参照油嘴修理中的故障处理部分。

### 4. 台车式退火炉的调整

台车式退火炉如图26-3-2所示。

(1) 主要技术性能:

- 1) 炉子用途——铸钢件退火, 铸铁件时效。
- 2) 最高温度—— $880^{\circ}\text{C}$ 。
- 3) 台车炉底尺寸—— $7.392 \times 2.78 = 20.5\text{m}^2$ 。
- 4) 最大装料量—— $50\text{t/h}$ 。
- 5) 耗油量—— $200\text{kg/h}$  (重油 $Q_{\text{油}} \approx 41868\text{kJ/kg}$ )。
- 6) 炉底热强度—— $418680\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。
- 7) 油嘴型号——RK型2"(8个)。
- 8) 鼓风机型号——8-18-6\*风机。风量 $3800\text{m}^3/\text{h}$ , 风压 $8350\text{Pa}$ 。

(2) 设备存在问题:

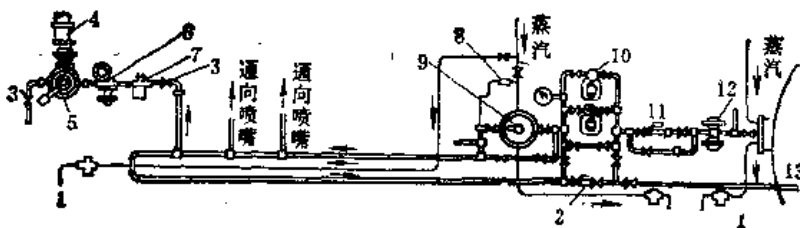


图26-3-1 主回油管道系统

- 1—截水器 2—油安全阀 3—截止阀 4—蝶阀 5—B型喷嘴 6—油压调节器 7—滤油器  
8—清温控制器 9—油加热器 10—油泵 11—流量计 12—粗滤油器 13—工作油缸

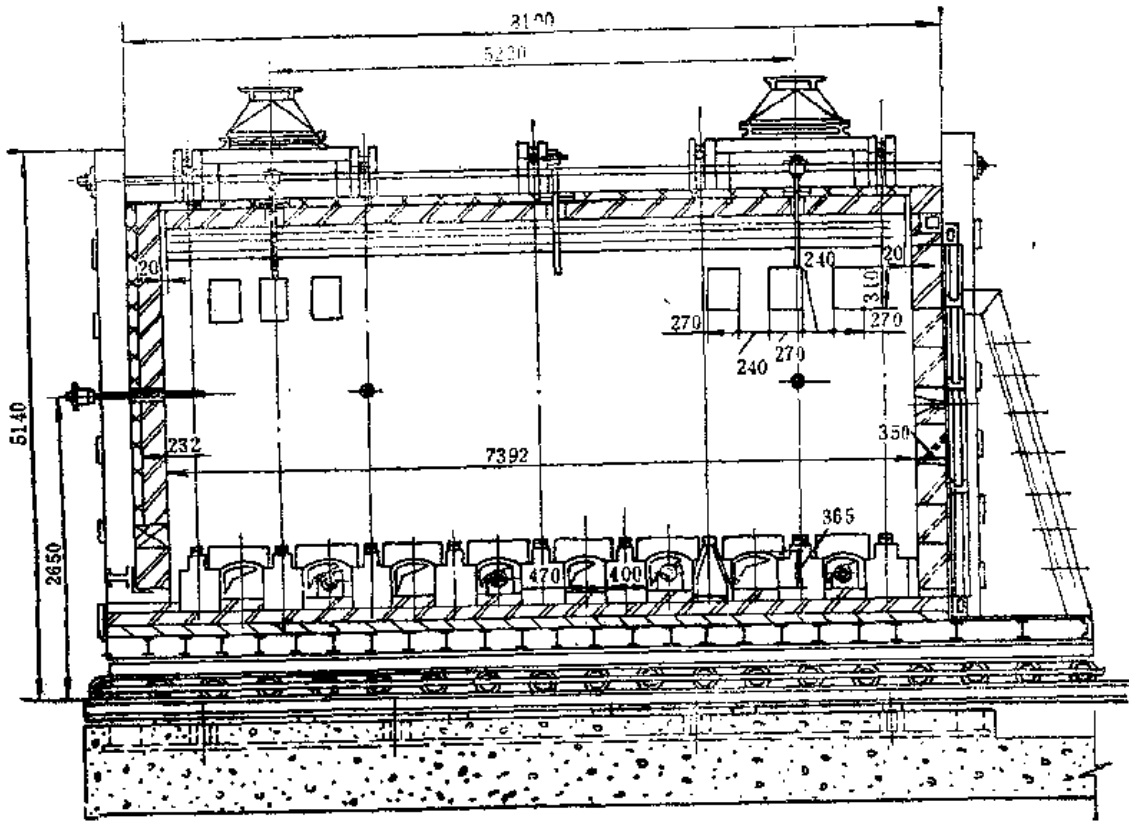


图26-3-2 台车式退火炉

1) 冷炉点火时, 从炉子缝隙冒出大量黑烟, 污染厂房及周围环境。

2) 炉门固定在台车上, 与炉体门框有40~50mm隙缝, 每次开炉要用砖、泥临时堵塞, 劳动条件及炉子密封都差。如堵塞不严, 炉门处温度比中部低100℃以上, 热损失大。

3) RK型油嘴操作规程规定油压在0.05~0.15MPa内使用, 这并不恰当, 实践中得出, 如油压增高能雾化得更好, 要求修改操作规程。

4) 炉子虽有8个固定测温点, 但炉底和炉门处没有测点, 操作时观察不够全面。要求测定温度, 帮助找出炉内温度变化规律, 供操作中参考。

(3) 情况了解和测量 根据调查观察和实际操作调整, 针对4个问题作重点探讨。

1) 关于冷炉点火。由于冷炉点火, 烟囱内与外界空气温度一样, 就没有抽力, 非常容易使黑烟排入厂房。曾设想完全依靠提高操作水平去解决这一问题, 但经过反复实践, 总是不能完全成功。

2) 关于炉门固定在台车上这种炉型。门与门框之间的隙缝必然很大, 堵塞麻烦, 两侧高度上两条竖隙缝, 更不容易堵塞牢靠, 容易掉落, 恶化炉

内温度, 操作工人很不赞成这种结构。曾经提出建议作过改进, 就象图26-3-2上的结构那样, 用炉门水冷套和门框水冷套相贴近的办法减少隙缝。由于用了水冷却套, 较好地解决了炉门和炉门框的变形毛病。但用贴近两面去解决密封仍不理想, 因台车停车时有滑行惯性, 不能恰到好处地停止在贴面上, 所以现场使用了双套保险的限位开关, 计量了滑行距离, 使贴面的隙缝控制在5~20mm的距离内。这种改进, 使操作方便了, 但炉门处温度降的问题仍没有解决。

3) 关于调高RK型油嘴在操作中的油压, 以改善雾化性能。通过实际操作和观察火焰状况, 认为很有道理。在风压、风量不变的条件下, 提高油压, 调小油喷嘴 $d$ 的截面, 雾化情况确实比油压低、油喷嘴 $d$ 全开的情况要好。图26-3-3耗油量也并不大。输油系统的齿轮泵压力可达0.8MPa, 所以调节油压也比较方便。

4) 测量炉底炉门处的温度。炉子装料50t, 供可铸铁退火, 最高温度为970℃, 炉底用耐热钢盖板, 盖板间有40~50mm间隙。炉底热电偶从炉顶中间热电偶孔插入, 使测点离炉底盖板有200mm, 测

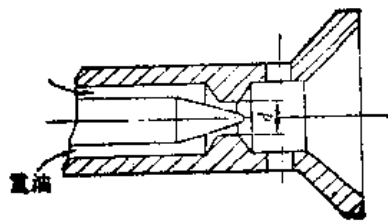


图26-3-3 RK型油针图

点示意及测温曲线见图26-3-4。

(4) 判断 通过测量和了解, 认为1)、2) 两个问题是炉子结构的缺陷, 要从设备改进上去解决。第3) 个问题是操作人员在实践中积累的经验, 提高油压后所以能雾化得好一些, 是因为增加了油流速度, 在环形孔喷出时有机械雾化作用。用这种方法喷油, 应该对喷口  $d$  及圆锥针杆的光洁度和硬度有一定要求, 环形孔中心要严格, 不准有偏

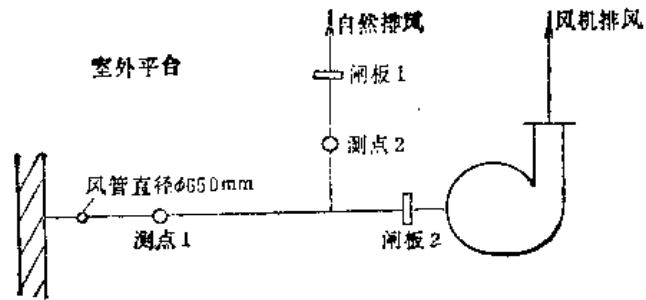


图26-3-6 排烟系统图

说明: 1. 排风机开, 测点1的烟气温度  
2. 排风机开, 闸板2的烟气温度  
3. 排风机开, 测点1的烟气量  
(同时在测点2的空气量为 $3800\text{m}^3/\text{h}$ )

大偏小或抖动状态。这种实验在油粘度稍大(在 $10^\circ\text{E}$ 左右)的情况下更显出一些优越性。

从图26-3-5中所测得的温度曲线说明了下加热、上排烟这种炉型有一定的温度规律, 升温时炉

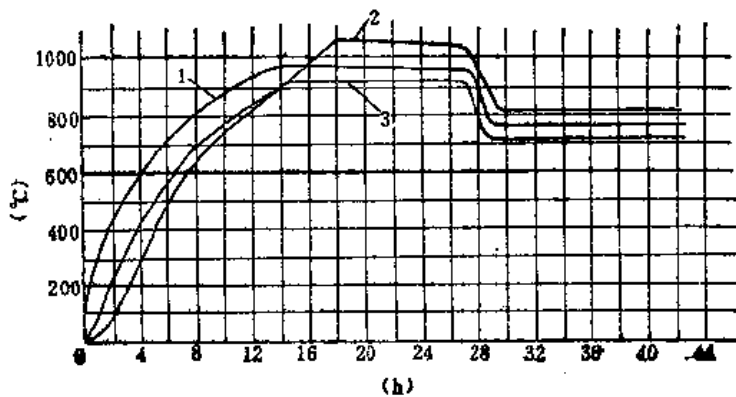


图26-3-4 改进前油炉测温曲线

1—炉顶部 2—炉底部 3—炉门内侧

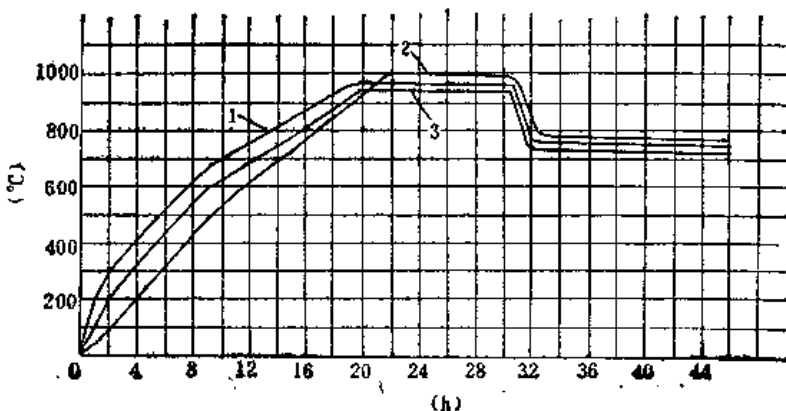


图26-3-5 改进后油炉测温曲线

1—炉顶部 2—炉底部 3—炉门内侧

顶部温度高, 保温时炉子下部的温度高于上部, 这给装料及操作提出了指导意义。但这种炉型的下加热燃烧道的盖板是活动可变的, 盖板可用耐热钢板、耐火粘土砖盖板或不用盖板等多种方法。这台炉是用耐热钢盖板, 而且盖板之间还留有 $40\sim 50\text{mm}$ 的隙缝, 能喷出一部分高温气体。从目测工件温度来看, 有局部温度过高现象。保温段温度第9点温度偏高 $80\sim 90^\circ\text{C}$ , 这与盖板间留有隙缝和用耐热钢板作盖板有关。

(5) 故障排除和改后测量:

1) 在烟道上, 与烟囱并列增加一台抽烟机, 选用4-72-8C型鼓风机(图26-3-6), 其风压为 $1230\text{Pa}$ , 风量为 $12500\text{m}^3/\text{h}$ 。当冷炉点火时, 先开动抽烟机再点火, 因有了机械抽烟, 效果比较显著, 能把点火时的废气及时排出。为了节约能源, 当点火完毕, 并经10多分钟的稳定燃烧后, 就可停止抽烟机的运行, 改

成自然排烟。

2) 在台车水冷门上增加一软性密封垫, 用玻璃丝布包扎  $\phi 30$  盘条石棉绳(石棉绳最好不间断)。石棉绳安装在炉门上的方法是: 沿台车水冷门边的水套上间断点焊一根  $\phi 4\text{mm}$  的钢丝, 然后用细铁丝把石棉绳绑扎在  $\phi 4\text{mm}$  的钢丝上, 使成为一个弹性密封垫。经过几炉实际使用, 效果较好, 热损失大为减少, 炉门处温度也显著提高。改进后再经过测温, 图26-3-5的温度曲线第10点证明有较大改善。第9点的温度由于把盖板间的间隙取消, 温度也有所下降。

(6) 结论:

1) 用增加抽烟机的方法, 去解决重油冷炉点火向厂房冒黑烟的问题, 虽然消除了污染, 但没有从根本上解决点火不冒黑烟的问题, 今后在这方面仍应下功夫。

2) 炉门固定在台车上的炉子增加了软性密封垫, 密封效果较好。由于用水冷套, 可解除炉门框架受热变形之患。与升降式炉门比较, 炉子严密程度还能更好些。对密封垫料如何进一步增加弹性,

还有改善的必要(如采用耐热橡胶垫等)。

3) 油嘴的性能应根据炉子及供油系统的实际情况进行调整, 操作规程要根据设备改进的条件, 及时修订。RK型油嘴适当增压, 使雾化改善, 这应该肯定。

4) 下加热炉型的炉内温度分布及升温规律, 与炉底盖板材料、装料方式、炉门密封、烟道闸板调节以及油嘴调节有密切关系。从调整测温的两张曲线图(图26-3-4和图26-3-5)来看, 这种炉型的升温速度和均匀性还是比较好的, 特别是台车底部的温度与没有底部燃烧道的炉子比较要好得多。关于温度过高问题, 在盖板材料多样性上适当改变, 应该得到满意解决。

## 第4节 电阻炉的调整

### (一) 常见故障分析

电阻炉的常见故障分析见表26-4-1。

表26-4-1 常见故障分析

序号	故障现象	产生原因	排除方法
1	升温太慢或达不到最高工作温度	1. 网路电压太低 2. 单相运行 3. 三相电流不平衡值超过(低值)20% 4. 电热元件局部断路 5. 电热元件电阻值不符设计要求 6. 炉内局部区域碳黑积累过多, 使电热元件有短路现象 7. 电功率偏小 8. 装料量过大 9. 炉衬散热量过大, 表面温度超过额定值 10. 保护气体供给量过大 11. 炉膛偏高 12. 炉门处密封性太差 13. 水冷却系统供水量过大 14. 非金属电热元件出现老化现象	1. 保证额定电压, 维持在允许波动范围内 2. 测量三相电源电压, 检查电热元件是否断路, 电热元件引线连接是否牢固 3. 检查网路电压, 测量电热元件的电阻值, 检查电热元件的截面积是否一致 4. 检查并更换烧断的电热元件 5. 检查并更换不符设计要求的电热元件, 使电阻值保持在允许范围内 6. 及时清除炉内碳黑 7. 经测定和必要的计算, 确认电功率偏小时, 可适当加大炉子电功率 8. 装料量一般应控制在设计范围内 9. 检查并保证炉衬砌筑质量和材料选用符合设计要求 10. 保护气体供给量要适当, 布置、分配要合理 11. 在保证零件合理装料高度情况下, 适当降低炉膛高度 12. 改进炉门的密封性 13. 水冷却系统散热较大, 必须予以注意。供水量控制在最小限度 14. 检查每根非金属电热元件的电阻值, 进行适当的匹配, 通过调压变压器, 适当的提高电压

(续)

序号	故障现象	产生原因	排除方法
1	升温太慢或达不到最高工作温度	15. 电热元件连接 (接线方式) 不正确 16. 热电偶热点位置无代表性 17. 炉用变压器输出电压不对 18. 通风循环系统的风机旋转方向不对	15. 按图纸提出的技术要求进行连接 16. 进行必要的测温, 找出理想温度控制点 17. 调节输出电压, 以达到电热元件所需的电压 18. 改变旋转方向
2	炉膛温度不均, 温差较大	1. 炉内电功率分配不合理 2. 电热元件局部断路 3. 炉衬塌陷造成局部热损失过大 4. 炉门处散热量过大 5. 炉体密封性不良 6. 炉衬结构不合理 7. 炉底处温度偏低 8. 带循环风机的低中温炉, 炉气循环不均匀 9. 循环风机的力小, 风力不足 10. 热电偶安装位置及插入深度不能反映炉膛内真实温度 11. 炉罐内外温差大 (因测温元件一般都放在炉罐外) 12. 炉内电热元件分布不合理 13. 非金属电热元件出现老化现象 14. 向炉膛 (罐) 内通入保护气体量过大 15. 炉膛 (罐) 内装料量过高过密	1. 根据工艺要求和炉子结构型式进行必要的核算, 改进电功率的配置 2. 检查并更换烧断的电热元件 3. 测炉壳表面温度 (一般应低于 60°C) 检查炉衬消除局部塌陷 4. 改进炉门的隔热性能; 如可能, 可在炉门处增设电热元件; 尽量少开启炉门 5. 消除炉体密封性不良的影响因素 6. 炉衬结构要考虑到温度高低和电功率分配情况相匹配, 一般高温炉炉衬应较厚, 炉门口处应较深 7. 改变电功率的分布, 改善炉底砌砖体结构, 低温炉应考虑在适当位置装设循环风机 8. 通过实测温度场分布, 消除死角; 消除短路循环, 减少炉气循环阻力; 合理放置零件 9. 有可能时予以改进, 加大风力 10. 通过实测炉内温度场分布情况, 重新确定理想的热电偶安装位置及插入深度 11. 可定期的在炉罐内插入热电偶, 测罐中温度, 然后把罐内外温度加以比较进行校正 12. 根据实测情况, 对电热元件的分布密度作适当调整 13. 检查每根非金属电热元件的电阻值, 进行适当的匹配 14. 根据工艺要求进行适当调小 15. 注意力求分层布置, 为炉气对流循环和热辐射创造有利条件
3	炉子密封性差, 工件氧化脱碳严重, 影响工件加热质量	1. 炉门密封性不良 2. 有保护气体的炉子, 炉体密封性不良 3. 保护气体引入及排出口位置设置不当 4. 电热元件引出棒孔处密封不良 5. 热电偶插入孔密封不良 6. 炉门开启时冷空气逸入炉内	1. 采取措施, 力求使炉门的密封性良好, 如采取倾斜炉门、双重炉门、有砂封槽的炉门和有压紧装置的炉门等等, 用型钢和钢板焊接的炉门必须用水冷却以防变形 2. 检查密封情况, 消除炉体的漏气处, 在炉子通气情况下, 要用火把进行点燃检查 3. 保护气体引入和排出口的位置设置要使炉内保护气体流动没有死角, 并要保证保护气体有效的充满整个炉膛, 特别是保证炉底要处于微正压状态 4. 必须加足填料使引出棒牢固的定位 5. 热电偶紧固装置内必须加足填料, 以使热电偶牢固地固定在紧固装置上 6. 可采用炉门处装火帘管, 当炉门打开时, 从火帘管喷出可燃气体, 由点火嘴点燃,

(续)

序号	故障现象	产生原因	排除方法
3	炉子密封性差, 工件氧化脱碳严重, 影响工件加热质量	7. 炉顶盖密封不良 8. 炉底砂封系统局部密封不良 9. 工件安放位置不当  10. 耐热钢炉罐漏气  11. 风扇轴处密封不良	使其在炉门口处形成气幕封住炉门口, 以减少或隔绝冷空气侵入 7. 炉顶盖可采用双层砂封、沥青封和铬矿砂封等 8. 消除密封不良现象 9. 工件的安放位置一般不要太靠近炉门口, 最好放在保护气体有效流动的区域, 同时工件应分层放置以消除死角 10. 检查炉罐的气密性, 发现漏气处应及时进行焊补, 焊后经检查确认无渗漏现象, 方可再用 11. 改装风扇轴处密封结构, 如可采用迷宫式密封环、滚动轴承与冷却水套的结构等
4	温度控制失灵, 造成工件超温或炉温偏低	1. 仪表周围有较强的电磁场 2. 仪表安装处环境温度超过允许范围  3. 仪表本身出故障  4. 热电偶补偿导线与电力线敷设在同一管道内造成干扰 5. 热电偶接线端处直接受热辐射的影响或热电偶插入过深, 致使自由端温度超过很高时 6. 热电偶和补偿导线由于化学成分、组织结构等因素不符合技术要求 7. 热电偶与补偿导线型号不配套 8. 由于绝缘瓷子损坏、接线端处有污垢和补偿导线绝缘不良等因素, 造成热电极间、热电极与保护管和补偿导线间的短路 9. 炉内气氛进入热电偶保护管内, 对热电极材料起浸蚀作用, 导致热电特性变化 10. 热电偶插入炉膛内与电热元件距离太近	1. 应采取排除措施及时排除 2. 采取必要措施, 如加强通风和增设隔热屏等 3. 仪表应定期核对, 发现异常时需及时修理或更换 4. 及时改进分管敷设 5. 及时改进, 使热电偶自由端处于常温下工作 6. 热电偶和补偿导线应附有校对说明书, 并应定期进行校正, 发现异常时需及时更换 7. 应要求进行配套使用 8. 注意保持清洁, 保证绝缘性能, 不符规定时需及时更换 9. 注意保护管的气密性, 特别是要防止高温时渗碳气氛的侵入, 发现异常, 应及时更换 10. 更改孔位, 加大距离

(二) 调整实例

1. 井式气体渗碳炉的调整 (图26-4-1)。

(1) 设备技术规格

设备的简要技术规格见表26-4-2。该设备用于小零件的渗碳。

(2) 设备存在问题 大修后炉罐内温差大, 不能满足工艺要求。

(3) 情况了解与测量:

1) 炉罐内炉气循环情况: 当炉盖盖好并启动风扇后, 发现炉盖上U形压力表指示偏低, 当打开炉盖后发现风叶和挡板的距离偏大。这样由于吸力不够, 使罐内空气流动不好。

2) 热电偶的使用情况: 热电偶密封不够好,

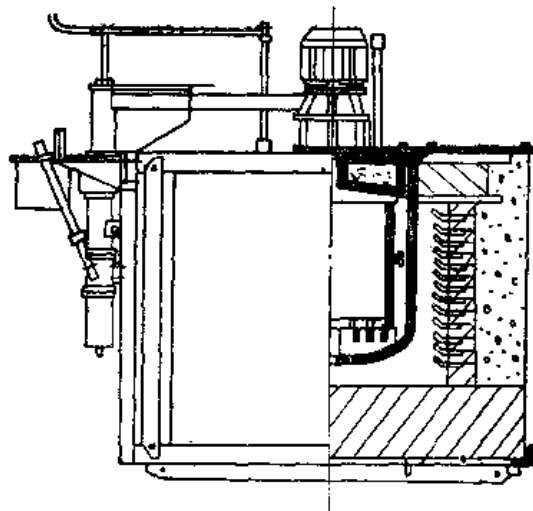


图26-4-1 RJJ25-9T型井式气体渗碳炉

表26-4-2 RJJ25-8T型井式气体渗碳炉的技术规格

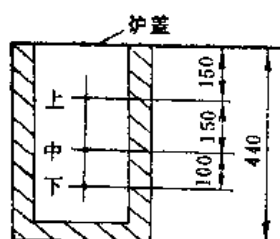
序号	技术规格名称	数值
1	炉子工作温度(°C)	950
2	炉子功率(kW)	25
3	电压(V)	380
4	相数	3
5	装料盘直径(mm)	300
6	装料盘高度(mm)	450
7	装料盘一次最大负荷(kg)	30

有部分冷空气从此孔吸入。

3) 炉盖的密封情况, 炉盖是用螺钉将其压紧, 但由于盘根未放好, 造成密封不好。

4) 三相电阻值的测量, 用惠斯顿电桥测量在冷态情况下ABC三相电阻, 电阻值分别为:  $R_A = 5.03\Omega$ 、 $R_B = 4.95\Omega$ 、 $R_C = 4.75\Omega$ 。

5) 温度的测量: 当仪表指示温度为950°C时, 用EU热电偶和III电位计测量炉罐内的实际温度, 如图26-4-2所示。



测量点	上	中	下
温度(°C)	897	930	941

(温度场温差为±22°C)

图26-4-2 测点示意图

(4) 判断和故障排除:

1) 三相电阻不平衡(A、B相电阻大): 可将A、B相电阻丝截去17~20圈, 使三相电阻相等。

2) 罐内空气流动不好: 可调整风扇叶轮和挡板间的距离, 由15mm减到10mm(图26-4-3)。

3) 热电偶的密封性不好: 可用石棉绳将热电偶孔的间隙填满, 并压紧。

4) 炉盖密封性不好: 将石棉盘根压在炉罐槽中, 然后方能拧紧螺钉。

(5) 改后测量 对改进后的炉子进行了测量, 将有关数据列入表26-4-3。

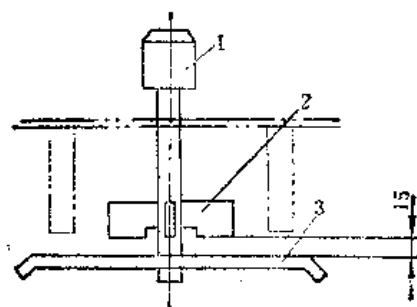


图26-4-3 叶轮和挡板间距的调整

1—电动机 2—叶轮 3—挡板

表26-4-3 改进后测量所得数据

序号	测量名称	数值
1	炉膛温度(°C): 上部	948
	中部	954
	下部	958
2	仪表指示温度(°C)	960
3	炉子功率(kW)	29
4	电压(V)	380
5	相电流(A)	44
6	炉子生产率(kg/h)	20
7	炉壳表面温度(°C)	80~70

(6) 结论:

1) 当仪表指示960°C时, 罐内温度场温差为±5°C, 满足工艺要求, 可以投入生产。

2) 操作人员关闭炉盖时, 必须注意盘根安放位置正确, 随时掌握盘根损坏情况。

2. 飞轮加热炉的调整(图26-4-4)。

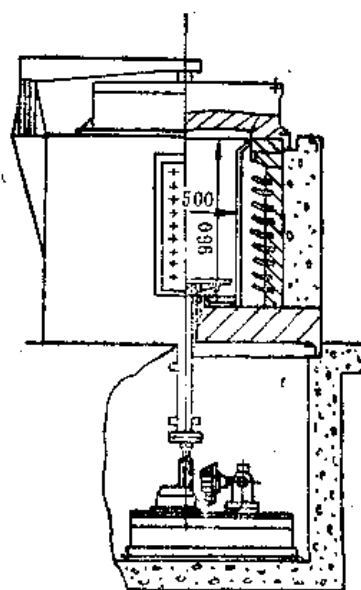


图26-4-4 飞轮加热炉

(1) 设备技术规格 见表26-4-4。该设备用于汽车飞轮外圈的退火。

表26-4-4 飞轮加热炉的技术规格

序号	技术规格名称	数值
1	炉子工作温度 (°C)	860~870
2	炉子功率 (kW)	30
3	电压 (V)	380
4	相数	3
5	炉子相功率 (kW)	10
6	炉膛有效尺寸 (mm): 直径	500
	高度	850
7	炉子生产率 (kg/h)	144

(2) 设备存在问题:

- 1) 升降机构加热后, 轴与轴承经常卡死。
- 2) 炉膛内上下温度不均匀。
- 3) 电阻丝经常损坏。
- 4) 仪表指示温度不能代表炉膛内的实际温度。

(3) 情况了解与测量:

- 1) 升降机构的情况, 氧化皮经常掉入轴承内, 实心轴受热膨胀变形而卡死。
- 2) 炉膛内温度情况: 炉内电阻丝分布不当, 其中炉内有两根备用电阻丝, 平时不通电, 这样造成相应的位置温度低。炉子散热较大, 隔热材料差, 保温不好, 炉膛内测量上下温差  $> \pm 20^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 判断:

1) 升降机构卡死: 改进的办法是将炉内带孔的保护筒改成不带孔的, 并要定期清理筒底。将轴承改为水冷, 并在轴承上部增加一个防氧化皮掉入的密封装置。

2) 炉内温度不均, 可重新排列电阻丝, 使其在炉膛内均匀分布, 拆除其备用电阻丝。采用较好的筑炉材料, 砌筑时砖缝应在 2mm 以下, 以减少热损失。

3) 电阻丝经常损坏, 可加大电阻丝的直径, 增加电阻丝的长度, 以减小其表面负荷, 由原设计的  $1.85\text{W}/\text{cm}^2$  改为  $1.05\text{W}/\text{cm}^2$ 。增加一排钩电阻丝的小钩, 将电阻丝牢牢钩住, 使其加热后不致越出钢板砖。将带孔的保护筒改成不带孔的保护筒, 以防止加热时氧化皮飞溅而造成电阻丝短路。

4) 仪表指示温度不能代表炉膛温度: 可将热电偶插入深度重新进行调整, 把原热电偶的位置往下移动 200mm 左右。

(5) 故障排除和改后测量 根据上述意见和改进措施, 在这台设备大修时, 对炉子做了全面改进, 有关改进措施基本予以落实。改后测量所得数据列入表26-4-5。

(6) 结论:

- 1) 炉内温度比较均匀, 炉内温差为  $\pm 6^{\circ}\text{C}$ , 符合工艺要求, 可以满足生产。
- 2) 找到仪表指示温度和炉膛温度之间的实际温差, 便于掌握组织生产。
- 3) 炉盖部分温度较高, 散热较大, 影响上部温度。
- 4) 今后修理时, 建议改善隔热状况。

表26-4-5 改进后测量所得的数据

序号	测量名称	数据
1	炉膛温度 (°C): 上部	888
	下部	900
2	仪表指示温度 (°C)	920
3	炉子功率 (kW)	30
4	电压 (V)	360
5	相电流	47、48、49
6	炉子生产率 (个/炉)	30
7	升温时间 (h)	3
8	炉盖表面温度 (°C)	175
9	炉墙表面温度 (°C)	60、90

## 第5节 可控气氛发生装置的调整

### (一) 可控气氛及其特性

#### 1. 可控气氛的分类和用途

可控气氛是一种成分、性能可适当控制并能适应多种热处理工艺要求的气氛。目前应用的可控气氛有: 吸热性气氛、放热性气氛、氮分解气氛、滴注式气氛、氨基气氛等。

(1) 吸热式气氛 是将原料气和一定量的空气混合, 在高温及催化剂的作用下, 经不完全燃烧反应而生成的气氛。

(2) 放热式气氛 是将原料气 (如液化石油气、天然气、城市煤气等) 与空气按一定比例混合 (空气过剩系数为 0.5~0.95) 后, 不完全燃烧制得的气氛。由于燃烧反应所释放的热量足以维持反应进行, 无需另外供热, 所以叫做放热式气氛。放



热式气氛根据不同的空气与原料气的混合比，又可分为淡型和浓型。

(3) 氨分解气氛 是将液态氨气化后，通过加热分解（吸热式）或燃烧制备（放热式）的方法而生成的气氛。

(4) 滴注式气氛 是将有机液体按一定量直接滴入热处理炉内所产生的裂化气氛。

(5) 氮基气氛 是一种以氮为基本成分的混合气体，可由淡型放热式气氛经净化制得，或由工业氮除去残存的氧而制得。

(6) 木炭发生气氛 是将木炭和一定量的空

气，在一定温度下经不完全燃烧反应而生成的气氛。

热处理常用的可控气氛的分类和用途列于表26-5-1。

可控气氛中各种气体成分对钢铁氧化和脱碳的影响见表26-5-2。

## 2. 原料的种类和性质

制备可控气氛的原料种类繁多，按其物理状态可分为气体原料、液体原料及固体原料3大类。常用这3类原料的成分、性质见表26-5-3~表26-5-

7。

表26-5-1 常用可控气氛的分类及用途

序号	名称	代号	典型成分(%)					露点 (°C)	制备方法及主要设备	主要用途
			CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>			
1	吸热式 气氛	QX	0.1~1	20~25	30~45	0.5~1	其余	+15~ -15	用丙、丁烷制备外 加热反应罐	钢件光亮淬火， 钎焊和烧结，渗碳 气氛（加富化气）
2	放热式 气氛 (浓型)	QF	5~7	9~12	8~15	0.5	其余	-40	液化石油气制备， 燃烧室，CO <sub>2</sub> 吸收 塔，冷冻装置，干燥 装置	低碳钢光亮退 火，钢及其合金的 钎焊和烧结，不 重要中碳钢件光亮 淬火（允许表面脱 碳）
	(淡型)		10~13	1~3	0~4	0	其余	+5	液化石油气制备， 燃烧室、冷冻装置	钢及铜合金、 铝、镁等的光亮退 火等
3	滴注式 气氛	QD	0.1~1	33	66	<1.5	0	+15~ -15	用甲醇、醋酸乙脂 为原料	钢件淬火
4	氨分解 气氛	QA	0	0	75	0	25	<-40	氨蒸发器外加反应 罐	钢件淬火，钎 焊，烧结
5	氮基气氛	QN	0	0	4~10	0	90~96	-40~ -60	工业氮加氢催化	中高碳钢淬火， 钎焊，低碳钢退火
6	氢气	QH	0	0	100	0	0	<-40	电解水制备	铜、不锈钢、硅 钢光亮退火
7	净化煤气	QM	4~8	20~28	45~54	8~16	~10		城市煤气脱水	中碳钢光亮或洁 净淬火
8	木炭发 生气	QT	0.5~1	31~33	1~2	0.2~0.5	其余		木炭鼓风燃烧	钢及铜合金光亮 退火，钢件淬火， 钎焊

表26-5-2 可控气氛中各种成分在炉内对钢铁氧化和脱碳的影响

气体	符号	要求不氧化时 炉中通常要的成分 (%)	反 应 情 况			要求不脱碳时 炉中通常要的成分 (%)	备 注
			与气体 反应物	生成物	反应性质		
氧气	O <sub>2</sub>	0	铁 碳化铁	氧化铁 铁	强烈氧化 强烈脱碳或氧化	0	必须避免氧
二氧化碳	CO <sub>2</sub>	≤5	铁 碳化铁	氧化铁 铁	强烈氧化 强烈脱碳或氧化	0	为防止脱碳, CO <sub>2</sub> 需限制在 1%以下
水蒸汽	H <sub>2</sub> O	3 (露点+24°C或更低)	铁 碳化铁	氧化铁 铁	氧 化 强烈脱碳或氧化	≤0.25 (露点-11°C)	少量的H <sub>2</sub> O可为CO, CH <sub>4</sub> 补 偿
氢气	H <sub>2</sub>	2~100	氧化铁 碳化铁	铁 铁	强烈还原 强烈脱碳	>2	低含量仅用于长周期处理, 短 周期处理一般用12%或更多
一氧化碳	CO	80~20	铁 氧化铁	碳化铁 铁	轻微渗碳 强烈脱碳		为防止脱碳及低温范围防止氧 化有利, 对CO <sub>2</sub> 有中和作用
甲烷	CH <sub>4</sub>	1.0	铁 氧化铁	碳化铁 铁	强烈渗碳 还 原	1.0	少量的CO <sub>2</sub> 及H <sub>2</sub> O可为CH <sub>4</sub> 所 补偿, 以消除前者的脱碳影响
氮气	N <sub>2</sub>	达 100			中 性	达 100	工业氮中一般都含有残留的 氧, 必须将其除掉, 才能作可控 气氛
硫化氢	H <sub>2</sub> S	0				0	由燃烧制造的可控气氛中存在 着H <sub>2</sub> S, 会和镍合金起非常有害 的反应

表26-5-3 各种液化石油气原料的成分

名 称	化 学 成 分 (%)										备 注
	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	i-C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>		
上海炼油厂 液化石油气	2.86	2.68	—	16.1	—	53.49	17.13	3.89	3.81		
上海高桥化工厂 液化石油气	—	0.57	7.47	81.05	5.74	5.17	—	—	—		
南京长江炼油厂 液化石油气	0~0.5	0.2~0.8	0.5~1.5	80~95	—	2~7	—	—	—		
锦西石油五厂 液化石油气	6.95	6.52	14.24~ 14.8	79.8~ 78.68	—	—	—	—	—		
兰州炼油厂 液化石油气	0.635	1.77	20.3	78.4	0.635	0.635	—	—	—		

表26-5-4 各种天然气原料的化学成分

名称	化 学 成 分 (%)												热值 (kJ/m <sup>3</sup> )	备注
	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> + C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	不饱 和烃	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	A	H <sub>2</sub> S (mg/m <sup>3</sup> )		
四川川沪输 气管天然气	94~96	0.5~ 1.0	0.2~ 0.3	0.1~ 0.21	0.05	0.02	~0.1	0.06	~2.4	~0.01	0.001	<10	34707	总有机 30~250 mg/m <sup>3</sup>
四川桐家庙 5°天然气	97.84	1.07	0.15	0.1	0.12	0.14	0.21	0.05	0.53	0.05	—	0.03	36108	
辽宁辽3°天 然气	92.18	4.54	1.2	0.1	0.19	—	0.30	—	1.68	—	—	0.30	—	

表26-5-5 各种城市煤气原料的化学成分

名称	化 学 成 分 (%)								热值 (kJ/m <sup>3</sup> )	备注
	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>n</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S (mg/m <sup>3</sup> )		
上海杨树浦煤 厂城市煤气	10.1~ 14.1	21.8~ 26.8	4.4~ 4.6	48.5~ 52.3	1.4	0.8	3.7~9.1	<9	15472~ 16308	
北京焦化厂城 市煤气	19.7	7	1.8	68.1	1.4	0.2	1.8	0.34	17437~ 18190	H <sub>2</sub> O=11.67g/m <sup>3</sup>
沈阳重油裂解 城市煤气	17.0	11.1	6.2	42.4	8.1	2.8	12.4	—	19332	
发生炉煤气	0.5~0.7	24~30	—	11~15	—	0.1~ 0.3	47~54	—	5018~ 5227	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> S = 3.7%

表26-5-6 常用有机液体化合物的理化性质

名称	甲醇	乙醇	异丙醇	丙 酮	醋酸乙脂	三乙醇胺	甲酰胺	煤 油
分子式	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOH	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CO <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	N(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> OH) <sub>3</sub>	HCONH <sub>2</sub>	
分子量	32.04	46.07	60.1	58.08	88.11	149.2	45.04	
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	791.3	789.2	785.1	791	901	1124	1133	810~840
沸点 (°C)	64.7	78.3	82.2	56.2	77.15	277~279	193	110~325
闪点 (°C)	11	12	12	-19	-5			28
熔点 (°C)	-97.1	-114.2	-89.5	-94.8	-83.6	21.2	2.5	<-10
蒸发潜热 (kJ/kg)	1100	845	669	523	368			
蒸发密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1.43	2.06	2.68		3.93			
比热容(20°C, kJ/(kg·K))	2.492	2.392	2.492	2.154	1.919			
溶解热(kJ/kg)	102.9	107.9	89.1		118.8			
临界压力 (kPa)	7972.8	6315.5	5383.9	4766	6962.7			
临界温度 (°C)	240	234.3	273.5	235	256.5			
动力粘度 (20°C, Pa·s)						0.6136		

(续)

名 称	甲 醇	乙 醇	异 丙 醇	丙 酮	酯 酸 乙 脂	三 乙 醇 胺	甲 硫 醇	煤 油
在水中溶解度 (20°C, %重量)	∞	∞	∞	∞	8.6	全溶		
爆炸极限下限 (%体积)	5.5	3.1	2	2.1	2.3			1.0
上 限 (%体积)	36.5	20	12	13	11.4			7.5
自燃点 (°C)	470	425	400	540				435
卫生允许浓度 (mg/L)	0.05	1.5	0.2	0.4	0.2			
发热量(kJ/mol)	714.6	1369.9	1985.4	1784.7	2245.1	3866.7	564.1	43070~45988 (kJ/kg)

表26-5-7 不同炭化温度的木炭化学成分

炭化温度 (°C)	化 学 成 分 (%)			高发热量 (kJ/kg)
	C	H	O	
280	58.14	6.02	35.84	24462
300	72.36	5.38	22.26	26720
350	73.9	5.11	20.99	31153
400	76.10	4.90	19.0	32700
450	82.25	4.15	13.6	33076

注: 1.木炭的耐压强度为11.3~26.5kg/cm<sup>2</sup>;2.木炭密度为120~180kg/m<sup>3</sup>。气孔率在77%~87%;

3.木炭的着火点: 红松木为336~393°C, 青红木为358~372°C, 柞木为400~468°C。

26-5-8。

## (二) 可控气氛发生装置的故障分析和调整

### 2. 木炭可控气氛发生装置的常见故障分析

木炭可控气氛发生装置的常见故障列于表26-5-8

#### 1. 吸热式可控气氛发生装置的常见故障分析 -9。

吸热式可控气氛发生装置的常见故障列于表

表26-5-8 吸热式可控气氛发生装置常见故障分析

序号	故障现象	产生原因	排除方法
1	发生器的产气质量差及产生碳黑	1.反应温度低于相应的催化温度 2.原料气偏多, 混合比过“富”, 产生大量碳黑 3.催化剂的活性差 4.空速太高, 使反应不完全 5.气体冷却后, 温度太高, 使露点增高, 析出碳黑 6.原料气的热裂反应, 原料气中烯类太多	1.提高反应温度, 不应低于950°C 2.调整混合比, 减少原料气量 3.催化剂装入反应器中, 使用时应预先还原和定期烧掉碳黑 4.降低空速使反应完全 5.水冷却器出口水温控制<37°C即可 6.含烷类容积百分比>95%, 烯类<5%, 含硫量>0.1243g/m <sup>3</sup>

(续)

序号	故障现象	产生原因	排除方法
2	管路系统结水 (从发生器、管路、感湿元件, 流量计到露点指示)	1. 混合比“过贫”, 空气量偏多 2. 湿度调节器吸水过多 3. 冷却器漏水 4. 冰箱温度定得过低	1. 重新调整混合比, 减少空气量 2. 检查湿度调节器的瓷环高度与进水量 3. 进行检修冷却器 4. 应使冰箱温度定在“工作范围”工作
3	发生器出口压力低	1. 产气量供不应求 2. 管路系统漏气 3. 压力表不准 4. 未冷调好 5. 管路有堵塞或反应罐积碳过多	1. 关小用气阀门 2. 进行检修 3. 检修或更换压力表 4. 应重新进行冷调整 5. 检修管路或烧尽碳黑
4	发生器出口压力高	1. 产气量供大于求 2. 未冷调好 3. 压力表有问题	1. 调小进气量 2. 重新进行冷调整 3. 检修或更换压力表
5	发生器出口压力不稳定	1. 产气量供不应求 2. 漏气 3. 压力表有问题 4. 管路有堵塞或反应罐积碳过多 5. 原料气压力不稳	1. 应使进气量与用气量相匹配 2. 进行检修 3. 检修或更换压力表 4. 检修管路或烧尽碳黑 5. 调整原料气进气压力
6	流量少或不稳定	1. 管路或反应罐堵塞 2. 漏气 3. 旁通调节器未调好	1. 检修 2. 检修 3. 重新调整
7	流量比例不对	1. 流量计未标定好 2. 流量计检修后未校对 3. 零压阀未调好 4. 原料气成分改变	1. 进行标定 2. 进行校对 3. 重新调整零压阀 4. 重新调整流量比
8	流量计指示不正常	1. 流量过大, 使浮子下不来 2. 卡死浮子 3. 浮杆浮子分离 4. 零压阀有问题	1. 更换浮子比重, 重新标定 2. 清除脏物 3. 检修流量计 4. 检修零压阀
9	管路系统出现碳黑	1. 原料气偏多, 混合比“过富” 2. 催化剂质量差, 变成粉末, 或催化剂失效 3. 原料气成分变化 4. 未汽化的原料液体进入反应罐 5. 反应温度过低 6. 冷却器断水	1. 调整混合比, 减少原料气量 2. 更换催化剂 3. 根据实际成分调节混合比 4. 关小进口阀门, 提高汽化器的温度 5. 将反应温度适当调高 6. 检查供水系统
10	回火(即火焰倒流)或爆炸	1. 原料气过少, 混合比“过贫” 2. 漏气 3. 反应温度低 4. 管路堵塞	1. 调节混合比 2. 检修 3. 反应罐温度没达到 950°C 时, 不准通入混合气 4. 检查出口管路
11	原料气管路出现液态原料气	1. 汽化不完全 2. 汽化器汽化能力降低 3. 汽化后又变为液态 4. 汽化器设计能力小	1. 关小阀门 2. 检修汽化器 3. 车间温度太低, 管路加保温措施 4. 修改设计

(续)

序号	故障现象	产生原因	排除方法
11	原料气管路出现液态原料气	5. 供液阀开得太大 6. 汽化器供热不足	5. 关小阀门 6. 加大供热能力
12	原料气管路系统出现压力低流量不足	1. 管路堵塞, 有水或漏气 2. 截止阀开得太小 3. 贮液罐的原料气快用完 4. 压力表不准	1. 检修 2. 开大截止阀 3. 换新罐 4. 检修
13	液化气管路的安全切断阀打不开	1. 未送上电 2. 气体压力不足 3. 机械故障	1. 送电 2. 增加气体压力 3. 检修
14	炉子入口处可控气氛流量小, 压力低, 压力不稳定, 而发生器流量压力正常	管路系统漏气	进行检修
15	氯化锂露点仪指示值偏低	1. 原料气偏多, 混合比“过富” 2. 氯化锂失效 3. 电极丝断路	1. 减少原料气量 2. 感湿元件进行再生 3. 更换感湿元件
16	露点仪指针摆动不稳	感湿元件湿度测量电路断路	检查插座的连接部分
17	露点仪不能控制	1. 感湿元件不良 2. 控制电动机和阀门连接松动 3. 控制阀停在全开或全闭位置 4. 发生器积聚碳黑	1. 更换感湿元件 2. 重新紧固连接部分 3. 控制阀调到控制位置, 并调整发生器的混合比 4. 烧除碳黑
18	仪表控制范围太宽	1. 时间继电器坏了 2. 定时器时间拨得太长	1. 进行修理 2. 缩短定时器的指令时间

表26-6-8 木炭可控气氛发生装置常见故障分析

序号	故障现象	产生原因	排除方法
1	产气质量差	1. 还原区温度低 2. 木炭块度过小或过大 3. 空气量太大 4. 崩料 5. 气体冷却后温度太高 6. 木炭料位太低	1. 提高外加热温度 2. 木炭块度要求20~60mm 3. 减少空气量 4. 木炭块度太长, 应定时捅炉 5. 控制冷却器出口水温 6. 提高反应罐内木炭的料位, 不应低于1m
2	发生装置出口压力低	1. 产气量供不应求 2. 管路系统漏气 3. 压力表不准 4. 管路有堵塞或反应罐中木炭装得太结实	1. 关小供气阀门 2. 进行检修 3. 检修或更换压力表 4. 检修或捅杆, 使其有透气性
3	发生装置出口压力高	1. 产气量供大于求 2. 压力表不准	1. 关小进气阀门 2. 检修或更换压力表

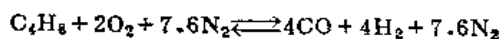
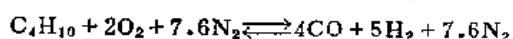
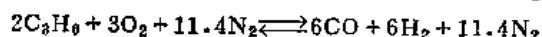
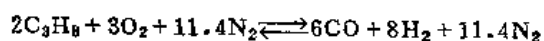
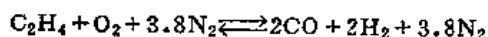
(续)

序号	故障现象	产生原因	排除方法
4	发生装置出口压力不稳定	1.产气量供不应求 2.漏气 3.压力表有问题 4.管路有堵塞	1.应使产气量与用气量相匹配 2.进行检修 3.检修或更换压力表 4.检修
5	流量少或不稳定	1.管路堵塞 2.过滤器堵塞 3.漏气 4.空气量太小	1.检修,木炭灰尘太多 2.定期清理沉积的灰尘 3.检修 4.适当加大空气量
6	空气压力低	1.空气阀开得太小 2.鼓风机叶轮磨损 3.管路积水堵塞	1.开大空气阀 2.叶轮间隙过大,进行检修 3.检修
7	反应罐烧穿	1.空气量过多 2.崩料,使罐内局部温度偏高 3.外加热源温度过高	1.关小空气阀 2.控制木炭块度,插针捅炉,消除崩料 3.控制外加热源温度
8	可控气氛成分不稳	1.木炭质量差,灰分大 2.木炭太潮 3.空气含水量大	1.筛选木炭 2.烘干木炭 3.空气入口需有去水措施

### (三) 可控气氛发生装置的调整实例

#### 1. 60m<sup>3</sup>/h吸热式可控气氛发生装置的调整

(1) 反应罐内的主要化学反应 用液化石油气制备吸热式气氛的过程是使液化石油气与空气按一定比例混合,然后通至装有触媒剂的高温反应罐,使其发生如下的化学反应:



从以上方程式中可知烷、烯类与空气量之比为:

$$C_2H_4:空气 = 1:4.8$$

$$C_3H_8:空气 = 1:7.2$$

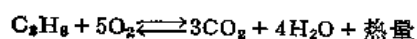
$$C_4H_{10}:空气 = 1:7.2$$

$$C_4H_{10}:空气 = 1:9.6$$

$$C_4H_8:空气 = 1:9.6$$

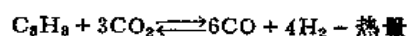
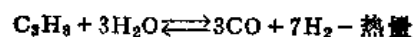
这仅是理论上的化学反应,实际上的化学反应要分为两个阶段,以C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>为例:

第1阶段为氧化反应:



第1阶段反应是放热的。第2阶段是吸热的,

即还原反应,剩余的碳氢化合物与H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>起反应。



由方程式可看出,还原反应是吸热的。然而吸热式气氛反应罐应有足够的温度,以保证混合气加热和满足反应过程中所需的热量。

后一个吸热反应实际上是不会完全的,因此生成的可控气氛中必定会有少量的碳氢化合物、水及二氧化碳。在高温时,碳氢化合物主要是以甲烷的形式存在。

#### (2) 设备情况

##### 1) 技术规格

① 轮廓尺寸(mm):3125(高)×1860(长)×1350(宽)。

② 产气量:60m<sup>3</sup>/h。

③ 反应罐,外径216mm,内径200mm,高1272mm,壁厚8mm,采用抗氧化性能好的高铬镍的耐热钢焊接制成。

④ 工作温度:950~1050℃。

⑤ 原料气:液化石油气,其成分(%):

空气:0.22;乙烷+乙烯:0.03;丙烷:91.5;丙烯:8.12;异丁烷:0.13。

⑥ 可控气氛成分(%):

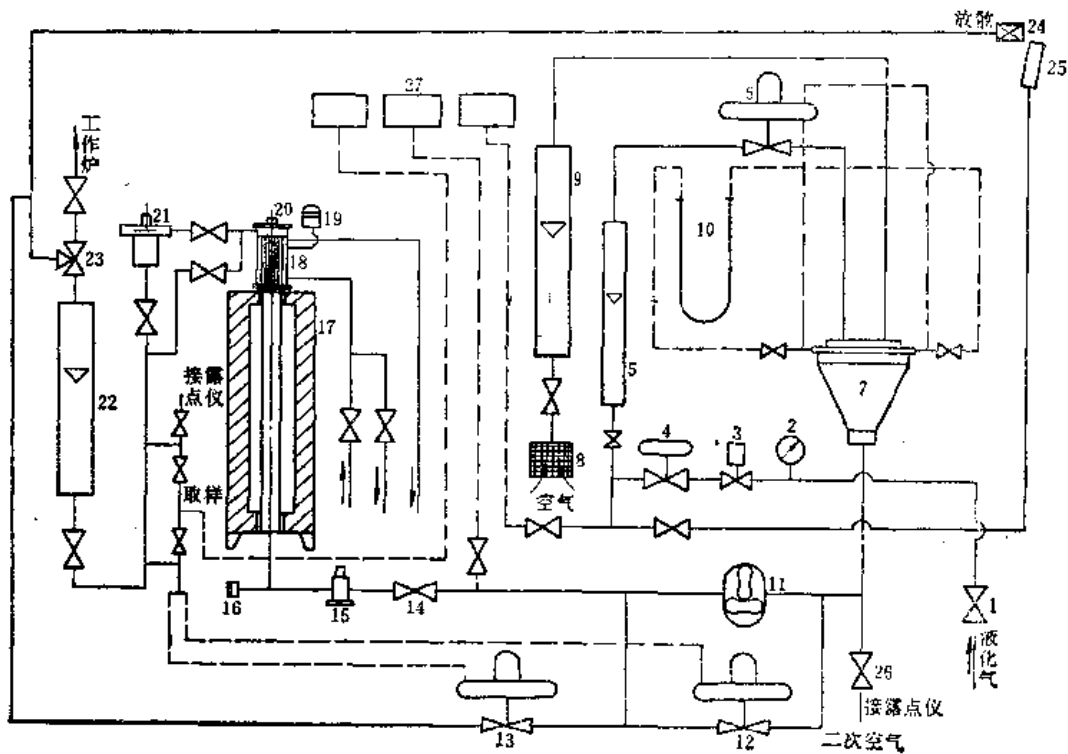


图26-5-1 吸热式可控气氛发生装置工艺流程

$\text{CO}_2$ : 0.33;  $\text{O}_2$ : 0.2;  $\text{CO}$ : 22.2;  $\text{H}_2$ : 35.72;  
 $\text{N}_2$ : 42.0;  $\text{CH}_4$ : 0。

2) 发生装置工艺流程及说明: 工艺流程见图26-5-1。

原料气(丙烷、丁烷等可燃性气体)由烷气罐经截止阀1、电接点压力表2(有条件的单位可自行设计增设蒸发器、气液分离器和过滤器后再到电接点压力表)、电磁阀3、减压阀4、流量计5、零压阀6进入气体混合器7。当采用丙烷为原料气时,从贮气罐送出的丙烷原料气压力为0.5~1MPa

(由电接点压力表可以示出),经YJ-10减压阀4减压到4~5kPa(压力可由丙烷压力表27表示出),流量计5用来指示原料气的消耗量,作为调节原料气与空气混合比时的参考依据。零压阀6用来保持空气和原料气两路的压力相等,从而保证了进入混合器7的两种气体混合比恒定,确保了产气组分和产气量的稳定。在零压阀上还并联了一个U型压差计10,用于指示原料气和空气的压力差。

空气经过空气过滤器8、流量计9进入混合器。混合器内在原料气和空气的出口处有一个可以移动的偏心圆盘,改变了原料气和空气入口的截面积,也就相应地改变了空气和原料气的流量和混合

比。混合后的气体进入罗茨鼓风机11。

罗茨鼓风机的作用是使混合后的气体进一步混合,并能定量定压地将混合好的气体经升降式止回阀14、火焰止回阀15送入反应罐。

以上气路中的电接点压力表2、电磁阀3、升降式止回阀14及火焰止回阀15均属吸热式可控气氛发生装置在使用过程中出现异常时的自动保险环节。电接点压力表除指示原料气总进口管道内的压力外,还可以当原料气压力小于一定值(如压力 $\leq 0.12\text{MPa}$ ),说明贮气罐中原料气量已不足,不应再继续使用,这时就可使电磁阀3动作,关闭管道停止原料气的供应,并且同时使罗茨鼓风机11停止工作。升降式止回阀14和火焰止回阀15的作用是当发生装置发生回火时,防止回火现象扩大,以致损坏罗茨鼓风机11及其他管路附件,而引起更大的爆炸火灾事故。火焰止回阀15除当发生回火时能将管道堵塞外,同时装在它顶部的限位开关切断线路,使罗茨鼓风机停止工作,电磁阀3关闭管道,从而停止了原料气的供应。

为了防止空气和原料气比例达到自爆范围(一般发生在通气开始或停止通气时)而发生危险,产生严重的爆炸事故,所以在反应罐17的下部与火焰



止回阀中间设有防爆膜16（厚度为0.1mm的铝箔或黄腊绸、塑料薄膜等），当爆炸回火压力骤增，防爆膜因受其压力作用而破裂，使气体排向空间以保证安全。

反应罐17内隔板之上装有镍触媒剂，混合好了的混合气体于950~1050℃在触媒剂的作用下生成吸热式可控气氛。

反应生成的吸热式气氛一出反应罐17应立即经冷却器18进行激冷至200℃以下，防止 $2CO \rightleftharpoons C + CO_2$ 的反应，析出碳黑，该反应在700~450℃之间容易发生，所以发生器所产生的气氛必须进行激冷，发生器生成的吸热式气氛离开冷却器18之后，由管路导向截止阀、碳黑过滤器21、流量计22入三通旋塞23被分为两路：一路是通向热处理炉供生产用的保护气氛；另一路多余气氛则通过放空管道引向放散管24使其在空间放散燃烧。另外在三通旋塞23前的管路上设有两个支管并带有煤气旋塞开关，其一是所产的气氛通向USL-21A型氯化锂露点控制仪，用于控制吸热式可控气氛发生装置的露点；其二是用于取样，作产气成分的分析 and 供露点杯测量露点，将其测得的参数作为校准露点仪控制的依据。

发生装置产气量的控制是通过接在罗茨鼓风机11出口处接的循环阀12和放散阀13来实现的，生产中用气量减少时，则出口压力上升（由出口压力表27示出），此压力反馈到循环阀的薄膜上则循环阀门打开，使混合气的循环量增大，通往反应罐的混合气体量减少，如果用气量还要减少，则出口压力将继续增大，混合气的循环量也就随之而增大，循环量最大时产气量只有额定产气量的1/3左右。若用气量比额定产气量的1/3还要小，此时发生器的出口压力还要高，则放散阀13开始工作，混合气体由放散阀13流至放散管道逸出燃烧。

### （3）调整前的准备工作

#### 1）对设备的检查

① 检查发生装置、温度仪表和露点控制仪等是否正常；

② 检查管路系统是否严密有无泄漏现象；

③ 将触媒剂装入反应罐内，其填充高度距冷却器底部280~300mm，并装好托板及孔砖；

④ 装好冷却水套，打开冷却水阀门，检查冷却水是否畅通；

⑤ 打开冷却水套顶部的螺塞；

⑥ 装好过滤器滤芯；

⑦ 检查原料气情况，原料气中烷类含量应在90%~95%，原料气压力应 $>0.12\text{MPa}$ ，并且稳定，认为合格后方可启动设备。

2）对触媒剂的采用：触媒剂可采用RKS-2型的催化剂。它主要含氧化镁——氧化铝尖晶石，是一种表面积稳定，热稳定性好的载体原料。其主要技术指标为：含NiO为9%；外形尺寸为19/9×19mm（环状）；破碎强度：轴向为200kg/cm<sup>2</sup>，径向为20kg/cm<sup>2</sup>；装填密度1.0kg/L；含硫量为20~50ppm。

也有采用西南8号镍触媒剂（CN-8型）。

触媒剂也可自制，其步骤和方法如下：

① 触媒剂的载体及规格：采用20mm×20mm×20mm的氧化铝砂轮块或抗渗碳砖切成的块均可。

② 溶液的配备：在1000mL的蒸馏水中加入2kg的Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>和0.1kg的Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>。

③ 制备方法：将载体浸没在配备好的溶液中3~5min后取出，立即进行烘干，烘干温度应 $<100^\circ\text{C}$ ，以避免Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>的结晶析出。烘干后在400~600℃炉中焙烧。在焙烧中注意载体颜色的变化，从绿色变成灰色，再由灰色变成暗黑色为最好（在焙烧中要焙烧透，使载体里外都变为暗黑色为止）。

（4）冷调 设备在升温前应先进行冷调，其目的是检验各个部件是否正常，考核零压阀、循环阀、放散阀以及混合器的协调工作能力，考核设备在额定产气量至2/3额定产气量下工作的稳定性。其具体步骤如下：

1）冷调开始时首先用压缩空气代替丙烷气，将火焰止回阀顶部的提环提到最高位置，再顺时针回转90°，使限位开关处于通路状态。

2）将三通旋塞转向“放空”位置。

3）把混合器的手柄置于零位。将零压阀、循环阀、放散阀底部限位螺钉向下松开，顶部的拉力弹簧拉紧。

4）关闭U型压差计的两旋塞。

5）启动罗茨鼓风机，调节丙烷流量计和空气流量计前面的阀门，使流量符合额定产气量的数值，调节产气流量计前面的阀门，使出口压力为3.5kPa。

6）松开循环阀顶部的拉力弹簧，直至出口压力降至 $<3.5\text{kPa}$ 时，再稍稍拉紧调至出口压力为

3.5kPa。

7) 调节产气流量计前面的阀门, 使出口压力增加到4.3kPa。这时逐渐放松放散阀顶部的弹簧, 到出口压力下降时止, 再稍稍拉紧弹簧。

8) 将循环阀下面的限位螺钉向上拧紧, 直到出口压力刚要上升时为止。

9) 调节产气流量计前面的阀门使出口压力为4.9~5.0kPa, 并将放散阀底部限位螺钉向上拧紧, 直到出口压力刚要上升时为止。

10) 上述调整结束后, 可调节产气流量计前面的阀门, 复核上述各参数。

11) 接通原料气重新调整出口压力与产气量:

① 启动罗茨鼓风机, 在额定产气量下运转。

② 调整原料气减压后压力为4.5kPa。

③ 调整原料气与空气的混合比。

④ 打开U型压差计的两个旋塞(一定要两个旋塞同时开, 否则会把压差计中的水吸到零压阀和混合器中去), 压力差指示应小于30Pa。

⑤ 压差大于30Pa时应调整零压阀的拉力弹簧, 如果U型压差计原料气一侧水柱高, 则应使零压阀拉力弹簧拉力减少, 否则则应使零压阀拉力弹簧拉力增大。

⑥ 重新调节产气流量计前面的阀门, 检查各参数是否符合要求。

(5) 热调

1) 烘炉: 目的是为了赶出反应罐内触媒剂及加热炉的潮气, 缩短触媒剂活化的时间。烘炉前, 应将冷却器顶部的螺塞打开, 同时接通冷却水, 并使三通旋塞转于“放空”位置, 各煤气旋塞、仪表旋塞都要在全开状态时方能接通电源进行烘炉。烘炉工艺如下:

① 新炉或新砌炉衬时按图26-5-2进行。

② 旧炉衬若触媒未经烘干需在升温过程中烘干时, 按图26-5-3进行。

上述两种升温工艺在800℃以下阶段中每隔一小时鼓风一次, 每次10min, 风量10~15m<sup>3</sup>/h。当温度升到800℃以上即可盖上冷却器顶部的螺塞。

③ 旧炉衬旧触媒时(不打开冷却器顶部的螺塞)按图26-5-4进行。

④ 炉子最高工作温度为1000℃, 在使用西南4号(CN-4)、西南7号(CN-7)和RKS-2型触媒剂时, 工作温度为960~980℃。

2) 触媒剂的活化: 在烘炉工作完成以后, 首

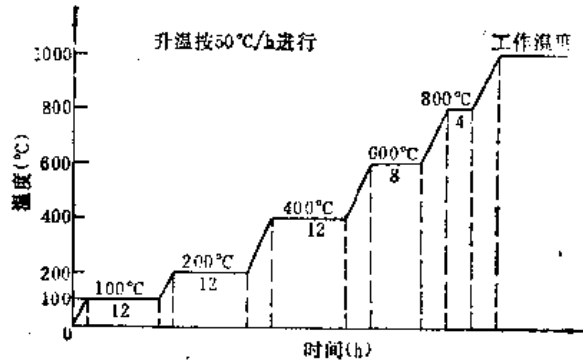


图26-5-2 新炉或新砌炉衬时烘炉升温曲线

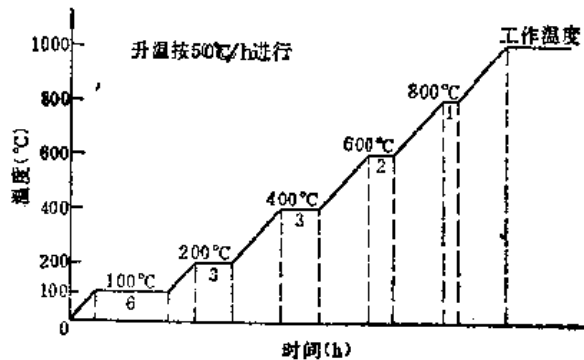


图26-5-3 旧炉衬触媒需经烘干时烘炉升温曲线

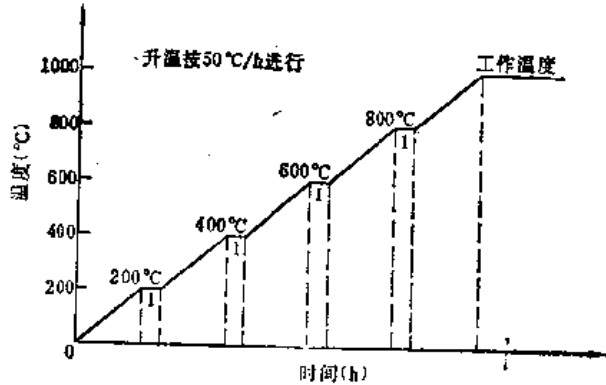
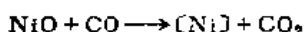


图26-5-4 旧炉衬旧触媒时升温曲线

先把冷却器顶部的螺塞拧紧, 将混合器在刻度盘上的手柄的指针定在冷调好了的最终位置上, 进一步检查, 三通旋塞应在“放空”位置, 各小旋塞(压力表各信号管上)是关闭的。发生器的温度在1000℃, 并保温2小时后即可通混合气进行触媒剂的活化。当检查上述各点均无误时即可启动罗茨鼓风机向发生器送混合气, 点着引火烧嘴, 引烧放空管放出的混合气体。

由于新的触媒活性极低, 当炉温升到1000℃并保温2小时后通入混合气体, 触媒剂靠反应罐中产生的还原性气体使氧化镍还原, 生成起催化作用的

活性镍，即



启动罗茨鼓风机后，打开各压力表的仪表旋塞和U型压差计的两个旋塞（要求同时打开），调节额定产气量下的产气出口压力，压差计值小于30Pa及空气与原料气的配比（希望原料气量先应大些）。调节完毕后，观察产气流量计内水的变化，开始水少，接着水多（可能积水很多），然后水减少，最后水全消失。等到水见减少就可以取样分析，用露点杯测量气样露点，在露点低于室温后接通USL-21A型氯化锂露点控制仪进行自动控制，在此期间用露点杯测量露点进行校对。

3) 向工作炉供应吸热式可控气氛，待露点稳定在控制值后，就可以向工作炉送气。

① 把通入工作炉的截止阀置适当开度；

② 转动三通旋塞至工作炉（送气）位置，即向工作炉送气，同时调节通向工作炉截止阀的开启度调节流量；

③ 正常运行时，二次空气量按露点仪指示进行调节，可调节到总空气量的6%~8%左右；

④ 调整出口压力为3.5kPa，原料气压力为4.5kPa，风机出口压力（即反应罐前压力）为8.0~9.0kPa。

4) 发生装置停止运行；

① 首先停止露点控制仪，并且同时将各小旋塞及压力表旋塞关闭，使压差计、各流量计停止使用。

② 将三通旋塞转至“放空”位置，关闭通往工作炉的截止阀。

③ 关闭原料气通往发生器的总阀门，待放散口无气体后，即可关闭鼓风机。同时，将各压力表

这将降低触媒剂的作用，附着的碳黑过多，将使触媒剂失去作用。从下述迹象可以看出是否积碳黑：

1) 当反应罐压差 $>1.5\text{kPa}$ 时（过滤器的影响除外）。

2) 当空气与原料气的混合比没有改变而残余 $\text{CH}_4 \geq 1\%$ 时。

3) 当空气与原料气的混合比改变时露点无变化。

4) 罗茨鼓风机的出口压力增加而产生的气氛的出口压力反而下降。

当上述现象出现时，则说明触媒剂表面碳黑过多，或已被碳黑“中毒”，为了恢复触媒剂的活性，应进行烧碳黑的工作。一般烧碳黑工序是在周末进行一次（每周末停炉时顺便进行），以便下周可顺利工作。

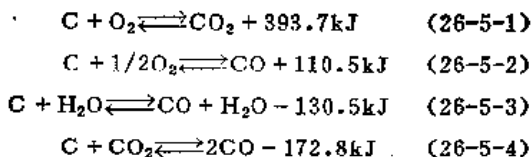
烧碳黑的方法是将炉温定在 $800\sim 850^\circ\text{C}$ ，保温一小时左右后，只通空气（切断原料气），其流量为额定产气量的1/3左右，以炉内温度不上升为原则

（因为氧和碳黑进行燃烧反应 $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \phi_{\text{热}}$ ，将放出大量的热量），因此在烧碳黑时必须经常注意炉温。烧碳黑时通入的空气量决定于烧碳黑的温度和触媒剂上的碳黑量。例如，触媒上有大量碳黑时，烧碳黑的温度就不能太高，空气量也不宜过大，以免烧坏触媒剂和反应罐。烧碳黑所需的时间，取决于反应罐出来的气体分析情况，即根据反应罐出来的气体中一氧化碳、二氧化碳的含量来确定。根据经验，烧碳黑初期生成的气体大部分是一氧化碳，以后二氧化碳增加，最后一氧化碳和二氧化碳量开始降低，直到一氧化碳几乎没有，二氧化碳低于1%为止。

如按上述工艺进行烧碳黑没有效果时，说明触媒剂已被完全烧坏，应更换触媒剂。

- 5) 还原区加热温度: 1000°C;
- 6) 反应罐氧化区冷却水消耗量: 660kg/h;
- 7) 木炭层高度: 1500mm;
- 8) 发生装置功率: 30kW。

(3) 木炭可控气氛在反应罐内的化学反应将木炭块加入炉内进行加热, 送入一定量的空气, 通过炽热的木炭层, 即可得到木炭可控气氛, 其反应如下:



木炭层可分为两个区, 下部靠近空气引入处为燃烧区, 上部则为还原区。在燃烧区进行(26-5-1)、(26-5-2)式两个反应。(26-5-1)式是完全燃烧, (26-5-2)式是不完全燃烧, 反应程度主要取决于燃烧时空气的供应量。在还原区进行(26-5-3)、(26-5-4)式反应, 反应程度主要取决于该区的温度。温度越高, 生成气体中CO<sub>2</sub>含量越低。(26-5-1)、(26-5-2)式是放热反应, (26-5-3)、(26-5-4)式是吸热反应。

(4) 木炭发生装置的调整方法

1) 对木炭的要求: 木炭质量按原木种类而异, 原木越硬, 年轮越细, 则木炭结实干燥, 质量就越好。木炭有吸湿性, 不宜存放在露天。使用时需经筛选块度, 不宜过大或过小。

2) 鼓风量: 燃烧时空气的供给量直接影响到气体成分, 对一定的发生装置鼓风量应保持在一定的范围内, 才能使气体成分保持稳定。在调整时主要采用部分分析仪分析CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、CO的含量。每公

斤木炭的鼓风量约为3m<sup>3</sup>/kg(木炭)左右。

3) 测定下列技术参数:

- ① 还原区, 外加热温度;
- ② 发生装置气体出口温度;
- ③ 冷却水进出口温度;
- ④ 反应罐冷却水套出口水温;
- ⑤ 冷却器后气体出口温度;
- ⑥ 空气进口压力;
- ⑦ 发生装置气体出口压力;
- ⑧ 过滤器后气体压力;
- ⑨ 冷却器后气体压力;
- ⑩ 可控气氛发生装置气体出口压力;
- ⑪ 使用可控气氛炉前气体进口压力;
- ⑫ 可控气氛成分: 在各种不同温度情况下分析气体CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、C<sub>n</sub>H<sub>n</sub>、CO、CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>的成分(%);
- ⑬ 产气量(可控气氛发生量);
- ⑭ 单位可控气冷却水消耗量;
- ⑮ 单位可控气木炭消耗量;
- ⑯ 单位可控气功率消耗量。

4) 要定期清除沉积在过滤器等内的灰尘, 以免堵塞输送管道。

5) 10m<sup>3</sup>/h木炭发生装置调整所得数据:

- ① 可控气氛成分见表26-5-10。
- ② 木炭成分见表26-5-11。
- ③ 综合技术指标见表26-5-12。

(5) 调整结论

1) 反应罐单位横截面可控气体产气率为350m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)时, 如果木炭层高度小于1m, 则气体成分不够正常; 若木炭层高度大于1m, 则气

表26-5-10 可控气氛成分

序号	还原区温度 (°C)	可控气氛成分 (体积%)						
		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>n</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
1	660	5.6	0.2	0.2	24.9	3.5	2.9	62.7
2	710	2.6	0.2	0	27.2	2.4	3.5	64.1
3	770	2.3	0.2	0	28	2.4	3.5	63.6
4	860	2.0	0.2	0	29	2.0	3.5	63.3
5	900	1.8	0.2	0	29.4	2.0	4.0	62.6
6	950	1.1	0.2	0	30.2	2.0	4.0	62.5
7	1000	0.9	0.2	0	31.3	1.4	4.0	61.6

表26-5-11 木炭成分

挥发分	固定碳	水分	灰分
23.8%	68.3%	4.6%	3.3%

表26-5-12 综合技术指标

序号	名称	单位	数值
1	还原区外加热温度	°C	1000
2	发生炉气体出口温度	°C	600
3	冷却水进口温度	°C	9
4	冷却水出口温度	°C	12
5	反应罐冷却水套出口水温	°C	45
6	冷却器后气体出口温度	°C	13
7	空气进口压力	kPa	39.2
8	发生炉气体出口压力	kPa	16.66
9	过滤器后气体压力	kPa	15.68
10	冷却器后气体压力	kPa	10.93
11	可控气氛发生装置气体出口压力	kPa	6.66
12	使用可控气氛炉前气体进口压力	kPa	5.07
13	产气量	m <sup>3</sup> /h	11
14	单位可控气冷却水消耗量	kg/m <sup>3</sup>	70
15	单位可控气木炭消耗量	kg/m <sup>3</sup>	0.4
16	单位可控气能耗	kWh/m <sup>3</sup>	2.3
17	反应罐单位横截面可控气体产气率	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h)	320~380
18	木炭实际气化率	m <sup>3</sup> /kg	2.5

体成分较为稳定。木炭层的高度以1~1.5m为宜。

2) 这种可控气氛用于光亮退火炉, 对碳素钢件可得到没有氧化皮和碳黑的光亮表面; 对铜件

(铜管、铜板) 退火后可获得没有氧化和碳黑的洁净表面。

3) 为了制备出质量好的可控气氛, 还原区外加热温度不应低于950°C。

4) 木炭应经过筛选后, 方能使用。

5) 每隔2小时需插一次炉(插钎), 使木炭层有一定的透气性, 保证气化正常。

6) 操作时, 需经常观察反应罐内木炭燃烧情况。观察方法可用镜子在炉栅下面照射, 在镜面上反射出红色, 表示炉内燃烧良好。

7) 木炭气化时, 产生少量焦油与炭粒粘在一起, 常易堵塞过滤器、管道等, 除需定期进行清理外, 尚需在发生装置出口处装设雨淋式冷却器, 将气体里的灰尘洗涤掉。

8) 发生装置与使用可控气氛的炉子之间管路不宜太长, 否则压力降要大, 影响使用。

9) 发生装置应有良好的通风设备, 才能保证操作正常。

## 第6节 常用测试仪表的使用

对炉子设备进行试验和调整时, 使用的测试仪表应比工业上常用的热工仪表的精度高, 且结构简单, 便于携带, 操作简便, 性能稳定, 最好能直接显示测定结果。

### (一) 温度测量仪表的使用

常用的温度测试仪表列于表26-6-1。

表26-6-1 常用的温度测试仪表

类别	测试仪表	精度	使用范围(°C)	主要用途
接触式测温	玻璃液体温度计	±0.5~0.05	-150~500	用于恒温装置及精密温度
	双金属温度计	±1%~2.5%	-80~600	宜于中低温现场检测用, 可直接测气体、液体、蒸汽的温度
	压力表式温度计	±1.5%~2.5%	-80~600	自动记录气体、液体、蒸汽的温度并发出电讯号
	热电偶温度计	±(0.5~1.0)% <sup>†</sup>	0~1800	与显示仪表配合, 可测量气体、液体、蒸汽的温度
	热电阻温度计	±[0.3+(5~6)×10 <sup>-3</sup>  t ]	-200~850	与显示仪表配合, 可测量气体、液体、蒸汽及固体表面的温度
非接触式测温	辐射高温计	±(16~20)°C	400~2000	大多用于熔炉、高温窑、盐浴炉等场合的连续测温

(续)

类别	测试仪表	精度	使用范围(°C)	主要用途
非接触式测量	精密光学高温计	$\pm(3\sim 40)^\circ\text{C}$	900~3200	用于测量高温和无法安装热电偶的场合
	红外测温仪	$\pm 1\% \pm 1$ 位数	0~3000	宜于各种不同温度时的快速精确测温
	光电温度计	量程上限 $\pm 1\%$	150~2500	快速测量静止或运动物体的表面温度

### 1. 玻璃液体温度计

一般用于测量 $-150\sim 500^\circ\text{C}$ 内的温度, 仅作为就地监督仪表。玻璃液体温度计测量精度高, 操作方便, 价格低廉。只能就地读数, 且有易碎的缺点。使用时注意事项:

1) 在测量前应经过校验。

2) 温包所处地方的温度应有代表性, 不应放置在管道内有局部阻力的地方、气流的旋涡区和有冷空气吸入的地方。

3) 测定时应避免周围冷物体或热物体对温度计热辐射的影响, 不得已时应采用屏蔽罩加以隔离, 避免辐射作用。

4) 不要过快地插入高温或由高温中抽出, 在读数时应考虑到其热惰性, 须在温度计达到稳定后再读数。

5) 工业用的玻璃液体温度计插入被测工质的深度应符合浸没长度的要求, 实验室用的精密玻璃液体温度计应按全浸长度的要求, 否则需进行适当更正。

### 2. 热电偶温度计

(1) 热电偶的选用 根据被测温度的高低选用合适的热电偶, 常用热电偶和补偿导线的类型见表26-6-2和表26-6-3。

(2) 热电偶温度计使用时注意事项:

1) 热电偶两电极除工作端外, 须有可靠的绝缘, 使用温度在 $500^\circ\text{C}$ 以下可用无碱玻璃丝制品或石棉绳等绝缘,  $500^\circ\text{C}$ 以上至 $1300\sim 1500^\circ\text{C}$ 则常用单孔或多孔瓷管绝缘。

2) 测量对电极有害工质时, 须用保护管将热电偶与有害工质隔绝开来, 但需尽量减少其热惰性。

3) 将热电偶自由端引至温度稳定并便于检测的地点, 通常均使用补偿导线。接线时要注意热电偶、补偿导线、冷端温度补偿器及二次仪表的极性, 避免接错, 引起测量误差。

4) 热电偶安装时, 应与被测介质形成逆流, 即应迎着被测介质流向插入, 至少与被测介质成 $90^\circ$ 角。水平安装的热电偶, 在使用一段时间后要转

表26-6-2 常用热电偶的类型

热电偶名称	分度号	最高使用温度(°C)		与短时使用上限相应的热电势(mV)	与标准分度表相比较的允许误差		惰性时间 (min)	工作压力	材料成分及正、负极识别方法		适用介质
		长期	短期		温度范围(°C)	允许误差			正极	负极	
铂铑-铂铑	LL-2	1600	1800	13.582	$\leq 600$ $> 600$	$\pm 3^\circ\text{C}$ $\pm 0.5\% t$		常压	Pt70% Rh30% 较硬	Pt94% Rh6% 较软	氧化性 和中性
铂铑-铂	LB-3	1300	1600	16.688	$\leq 600$ $> 600$	$\pm 3^\circ\text{C}$ $\pm 0.5\% t$	4~8	常压	Pt90% Rh10% 较硬	Pt100% 较软	氧化性 和中性
镍铬-镍硅 (镍铬-镍铝)	EU-2	1000	1300	52.37	$\leq 400$ $> 400$	$\pm 4^\circ\text{C}$ $\pm 1\% t$	4 (8)	常压	Ni90% Cr10% 无磁性	Ni97% Si3% 稍有磁性	中性和 氧化性 还原性
铂铑-考铜	EA-2	600	800	66.36	$\leq 300$ $> 300$	$\pm 4^\circ\text{C}$ $\pm 1\% t$	8	接近常压	Ni90% Cr10% 色软暗	Ni44% Cu56% 银灰色	还原性 和中性

表26-6-3 补偿导线的材料及识别方法

热电偶种类	与热电偶相配的补偿导线	
	正 极	负 极
铂铑-铂铑	Cu100% 红	Cu100% 红色
铂铑-铂	Cu100% 红色	Cu99.4%, Ni0.6%, 绿色
镍铬-镍硅	Cu100% 红色	Ni40%, Cu60% 棕色
镍铬-考铜	Ni90%, Cr10% 紫色	Ni44%, Cu56% 黄色

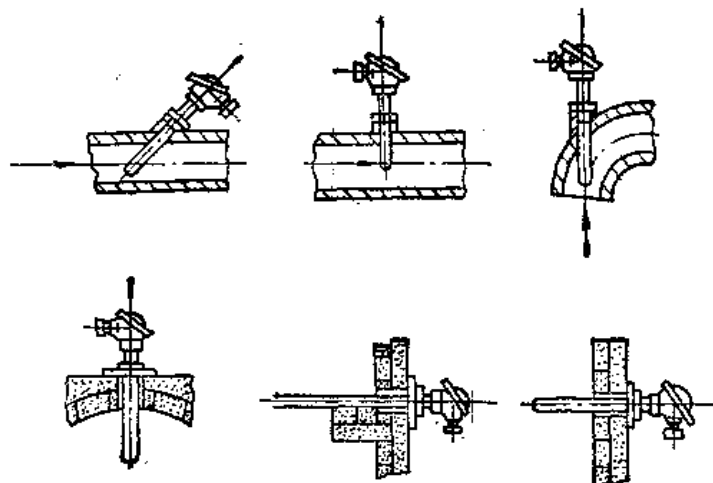


图26-6-1 热电偶在不同情况下的安装

180°，以免变形弯曲。因此在高温炉内应尽量不采用水平安装。热电偶在不同情况下的安装如图26-6-1。

5) 非金属质保护管的热电偶必须避免急冷急热，以防爆裂。在测定高于800°C时，常用带水冷套管的热电偶，以提高其强度和耐急冷急热性能。此时保护管可采用较小的尺寸，其伸出长度应大于水冷套直径的两倍，其结构见图26-6-2。



图26-6-2 带水冷套的热电偶

6) 为减少热电偶的热惰性，可将保护管头部直径减少，或将热电偶的热端压在保护管的底部，甚至将热端伸到保护管外面直接与测介质接触。但这时必须经常注意热端的状态，损坏时及时处理(图26-6-3)。

7) 测定时应避免受冷物体如(水冷机构)和

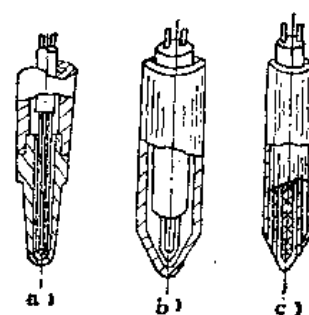


图26-6-3 减少热惰性的措施

热物体(如火焰)的热辐射影响，通常用屏蔽罩来隔离辐射的影响，其结构见图26-6-4。

8) 测量油炉和煤气炉温度时，热电偶不要安装在喷嘴和烧嘴附近，否则测温不准。

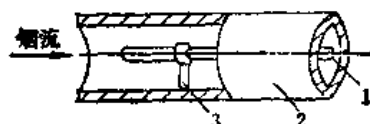


图26-6-4 减少辐射换热的遮热罩

1—热电偶 2—屏蔽罩 3—支撑架

9) 测量电炉温度时，必须注意电磁场的干扰，需采取屏蔽和接地措施。

10) 测量盐浴炉温度时，热电偶要长期插入炉内。为防止自由端温度过高，可采用角尺式热电偶。测完后要及时取出，以免熔盐凝固把保护管挤坏。

11) 测量烟道中(负压管道)烟气温度时，要使热电偶保护管的末端超过流束中心线5~10mm，安装热电偶处要严密。如果烟气中灰尘太多，可在保护管前安上保护屏，以免损坏热电偶。

12) 测量水和蒸汽温度时，要避免或尽量减少热量沿着热电偶电极及保护管的传导。因此，在测

量时热电偶必须有一定的插入深度。其热端的位置应有代表性，不要插在阀门前后，或有旋涡和漏气的地方。

13) 当使用便携式实验室电位差计作二次仪表时，一般无须测定仪表外部的线路电阻。当使用毫伏计作二次仪表时，则必须按仪表所要求的外接电阻值来调整热电偶的线路电阻，即利用锰铜电阻串入其回路内。

14) 由于热电偶的标准分度都是冷端保持在0°C的条件下制定的。而实际工作情况下，冷端都处在室温状态(0~40°C)，因此在测量过程中必须定期测取冷端温度，据以进行读数的更正。

15) 在测定时需要使用多支同类热电偶时，而

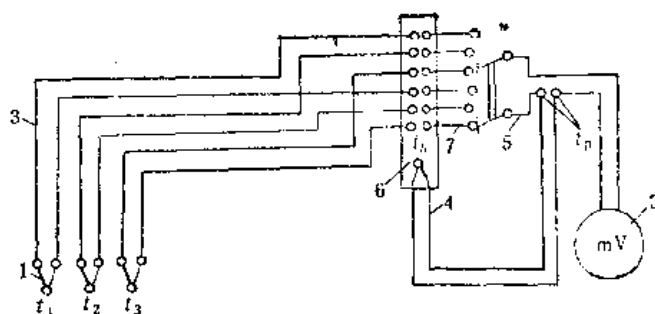


图26-6-5 利用补偿热电偶的测量线路图

1—热电偶元件 2—二次仪表 3—补偿导线 4—补偿热偶  
5—转换开关 6—接线盒 7—铜导线

测点又较集中，可利用如图26-6-5的接线。

(3) 热电偶常见故障分析 列于表26-6-4。

表26-6-4 热电偶常见故障分析

序号	故障现象	产生原因	消除方法
1	热电势比实际应有的小（测量仪表示值偏低）	1. 热电偶内部电极漏电 2. 热电偶内部潮湿 3. 热电偶接线盒内接线柱短路 4. 补偿导线因绝缘烧坏而短路或因潮湿短路 5. 热电偶的电极变质或热接点将要霉断 6. 补偿导线与热电偶的种类配置错误 7. 补偿导线与热电偶极的极性接反 8. 热电偶安装位置或受热长度不当 9. 热电偶冷接点温度过高 10. 热电偶的种类与仪表刻度不一致	1. 将热电偶的热电极取出，检查漏电原因。若是潮湿引起，应将热电极烘干；若是因瓷管绝缘不良引起，应更换瓷管 2. 将热电偶之热电极取出，把热电偶保护管和电极分别烘干，并检查保护管是否有漏气、漏水等现象，对不合格保护管应予更换 3. 打开接线盒，弄净接线极和端子上的灰尘，消除造成短路的原因。把接线盒严密拧紧 4. 将短路处重新绝缘或更换新的补偿导线 5. 参考下面热电偶变质处理方法 6. 换成与热电偶相同种类的补偿导线 7. 重新改接 8. 改变安装位置、方法及插入深度 9. 将接热电偶的导线换成补偿导线，使冷端温度稳定，并采用一定的冷端温度修正方法 10. 更换热电偶及补偿导线，使它与测量仪表的种类相同
2	热电势比实际应有的大（测量仪表示值偏高）	1. 热电偶种类用错，与测量仪表不符 2. 补偿导线与热电偶种类不符 3. 热电偶安装方法、位置或插入深度不当	1. 更换热电偶及补偿导线，使之与测量仪表相符 2. 换成与热电偶同种类的补偿导线 3. 改变热电偶安装方法、位置或插入深度
3	测量仪表示值不稳定，时有，时无，时高，时低（在测量仪表没有故障的情况下）	1. 热电偶接线柱和热电极接触不良 2. 热电偶有断续短路或断续接地现象 3. 热电极已断，或将断未断而有断续接地现象 4. 热电偶安装不牢固发生摆动 5. 补偿导线有接地，断续短路或断路现象	1. 清洁接线盒和热电极端部，重新连接好 2. 将热电偶之电极从保护管中取出，找出断续短路点，用瓷管绝缘，如接地，则应找出接地处消除之 3. 重新焊接断开之处，并检查其特性是否变质，变质者应予更换 4. 将热电偶牢固安装 5. 找出接地，断续处加以修理或更换新的补偿导线



(续)

序号	故障现象	产生原因	消除方法
4	热电偶电动势变化	1.热电极变质 2.热电偶的安装位置或方法不当 3.热电偶保护套管表面积垢过多	1.更换新电极 2.改变安装位置或方法 3.拆下热电偶,消除保护管外面积垢

注:当发生以上故障时,应将补偿导线和接线盒分开,然后分别检查热电偶与补偿导线,待确定故障所在之处,再进行处理。

#### (4) 热电偶读数的更正

1) 冷端温度的更正可采用下列两种方法:

① 热电势相加:即先按冷端温度在分度表上查出相应热电偶的热电势值 $E_0$ ,与热电偶实际产生的热电势(即仪表读数) $E'$ 相加,然后根据两热电势的和 $E = E' + E_0$ ,在分度表上查取测量的真实温度值。

② 调整仪表零位:对于毫伏计或自动电子电位计,由于毫伏刻度是均匀的,所以按上述热电势相加的原则,在这里可以用仪表的机械零位器先将其零位位移至相当于冷端温度或电势数值的刻度上,不论仪表的刻度是毫伏还是温度,都可以利用此法直接读取真实测值。但只有当自由端能保持基本恒温或装有温度补偿器时,才能利用此法。

2) 线路电阻的更正:用毫伏计测量热电势时,应测定并调整其外部线路电阻使其符合仪表的要求。

### 3. 光学高温计

当测量温度较高或无法安装热电偶时,通常可以采用光学高温计。它测温迅速,测量误差较大,在锻造、铸造车间用的较广。

#### (1) 光学高温计的使用方法

1) 按干电池极性接好电源,调整仪表机械零位,垂直放置光学高温计,使指针恰好位于刻度尺始端之零位。

2) 测定时首先调整目镜,使高温计内灯泡的灯丝轮廓清晰,然后对准被测物,调整物镜,使被测物体映象清晰,最后必须将红色滤光片加上,使测量准确。被测物与物镜间的最小距离不小于700mm,最好为1~2m。

3) 根据被测物的温度确定使用适当量程,温度低于1400°C时使用第1量程;温度高于1400°C时使用第2量程,在用第2量程时必须将吸收玻璃加上。

4) 缓慢调整灯丝的亮度,直至与被测物之亮

度完全相同时为止,直到既看不见灯丝的白色轮廓,也看不见灯丝的黑色轮廓,这时读得的数值,便是被测物的亮度温度(图26-6-6)。为加快测定速度,可将灯丝亮度调至预先估计的被测物温度,测定时稍加调整即可。为测定准确起见,可将灯丝由暗到隐灭,由亮到隐灭,反复几次取其平均值,就可得到较准确的结果。

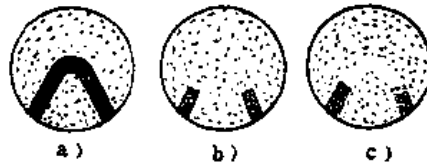


图26-6-6 光学高温计测量时灯丝隐灭的情况

a) 灯丝温度过低 b) 灯丝温度正确  
c) 灯丝温度太高

5) 必须根据被测物在该温度下的表面黑度对所测得的温度进行更正,求得实际温度 $T$ ,更正值可以由下述公式求得:

$$\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T} = \frac{\lambda}{C_2} \ln \frac{1}{\epsilon_1}$$

式中  $T_s$ ——被测物在光学高温计上测出之温度(K);

$T$ ——被测物的真实温度(K);

$\lambda$ ——高温计使用的单色波长(通常 $\lambda = 0.65 \times 10^{-6} \text{m}$ );

$C_2$ ——常数,  $C_2 = 1.44 \times 10^{-2} (\text{m} \cdot \text{K})$ ;

$\epsilon_1$ ——被测物在波长 $\lambda$ 时的单色辐射黑度系数。

物体的 $\epsilon_1$ 不仅与其成分和温度有关,而且与其表面性质及光的波长有关。兹将经常遇到的几种材料的 $\epsilon_1$ 列于表26-6-5。在不同辐射系数下,与光学高温计测出的亮度温度相当的真实温度见表26-6-6。

#### (2) 使用光学高温计的注意事项

1) 光学高温计应避免在反射光线很强的地方进行测量,以免受日光、灯光、火焰与辐射的影

表26-6-5 常用材料的单色辐射黑度系数 $\epsilon_\lambda$  (在 $\lambda = 0.65 \times 10^{-6}$ m时)

材料名称	温度(°C)	$\epsilon_\lambda$	材料名称	温度(°C)	$\epsilon_\lambda$
氧化铁皮	800	0.98	碳化硅		0.8
氧化铁皮	1000	0.95	粘土砖	600~1100	0.7~0.8
氧化铁皮	1200	0.92	耐火泥		0.7~0.8
特殊钢	800~1100	0.8	碳		0.85
无氧化的钢	850~1100	0.44	陶瓷		0.25~0.5
流动的钢铁	1300~1500	0.5	氧化铝		0.70
炉渣	1300~1500	0.9			

表26-6-6 在不同 $\epsilon_\lambda$ 下, 与光学高温计测的亮度温度相当的真实温度 ( $\lambda = 0.65\mu$ )

单色辐射 黑色系数	测 出 的 亮 度 温 度 $t_b$ (°C)										
	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000
$\epsilon_\lambda$	真 实 温 度 $t$ (°C)										
0.20	774	891	1010	1130	1253	1378	1504	1633	1897	2170	2453
0.25	763	878	993	1111	1230	1350	1473	1597	1850	2111	2379
0.30	755	867	980	1095	1211	1329	1448	1568	1814	2065	2322
0.35	747	858	969	1082	1196	1311	1427	1545	1783	2027	2276
0.40	741	850	960	1071	1183	1296	1410	1525	1758	1996	2237
0.45	736	843	952	1062	1172	1283	1395	1508	1736	1968	2204
0.50	731	837	945	1053	1162	1272	1382	1493	1717	1945	2175
0.55	726	832	939	1046	1153	1261	1370	1480	1700	1923	2149
0.60	722	827	933	1039	1145	1252	1360	1467	1685	1905	2126
0.65	719	823	927	1032	1138	1244	1350	1457	1671	1888	2106
0.70	716	819	923	1027	1131	1236	1341	1447	1659	1872	2087
0.75	712	815	917	1021	1125	1229	1333	1437	1647	1858	2069
0.80	710	812	914	1017	1119	1222	1325	1429	1636	1844	2054
0.85	707	809	910	1012	1114	1216	1318	1421	1626	1832	2039
0.90	704	805	907	1008	1109	1210	1312	1413	1617	1821	2025
0.95	702	803	903	1004	1104	1205	1306	1407	1608	1810	2012
1.00	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000

响, 因为反射率增加时, 吸收率就降低, 会使仪表示数产生很大的误差。

2) 当被测物与光学高温计之间有烟雾、灰尘、二氧化碳和水蒸汽等吸收介质的存在, 都会使温度的读数降低。可在被测物体和高温计之间采用窥测管(当烟气、灰尘等特别多时), 以减少误差。

#### 4. 快速红外测温仪

手持式快速红外测温仪是一种非接触式温度测量仪器。它可把被测物辐射出来的红外线辐射能量通过光学系统转变为电信号, 再经过微计算机处理, 由液晶显示器直接显示出来。它具有测温精确、快速、携带方便, 并能直接显示测量值的最大

值、最小值、平均值、温差和瞬时值等特点，广泛应用于冶金、锻造和热处理等方面。

(1) 主要技术参数列于表26-6-7。

表26-6-7 红外测温仪的主要技术参数

项 目	1RT-1200型	1RT-3000型
测温范围 (°C)	0~1200	400~3000
工作环境温度 (°C)	0~50	0~50
工作波段 (μm)	8~14	2.1~2.3
测量误差 (25°C时)	>100°C时, 读数的±1%±1位数 <100°C时, ±2°C	读数值的±1%±1位数
距离系数	40:1	100:1
功耗 (mW)	<300	<300
重量 (kg)	1	1.35

(2) 使用方法:

1) 安装电池, 可将一节6V层叠电池连接到其按钮接头上, 如果仪器要长时间连续工作, 则可使用所附带的外接电池盒。

2) 开机测温

① 将手柄右侧的滑动开关, 推向前部, 显示

面板闪动出的辐射率为1.00, 见图26-6-7所示。根据被测物体的辐射率按压“^”、“v”键修正其值。

② 置入反射环境 (根据需要而确定是否进行此项)。

③ 按压“SCALE SELECT”键 (温标选择), 使右侧箭头指向F或°C; 按压“FUNCTION SELECT”键 (功能选择), 使左侧箭头指向“TMP”(瞬时温度)、“AVG”(平均温度)、“MAX”(最大温度)、“MIN”(最小温度)、“DIF”(温差)之间循环。

④ 瞄准目标, 使仪器的缺口, 准星和目标三点处于一条直线上, 此处目标为被测物体的测量上方约40mm处, 如图26-6-8所示, 若仪器带有光学瞄准器, 则应使瞄准器中的十字线交点与目标中心重合。

⑤ 对准目标以后, 扣动按钮开关1~3秒即可。此时注意: 按下按钮的时间不能超过1分钟。除瞬时值以外的其他数值均可在松开按钮以后读出。

⑥ 当箭头指向“TMP”(瞬时温度)时, 显示的数字为松开按钮前的最后一个被测温度, 则为瞬时温度。

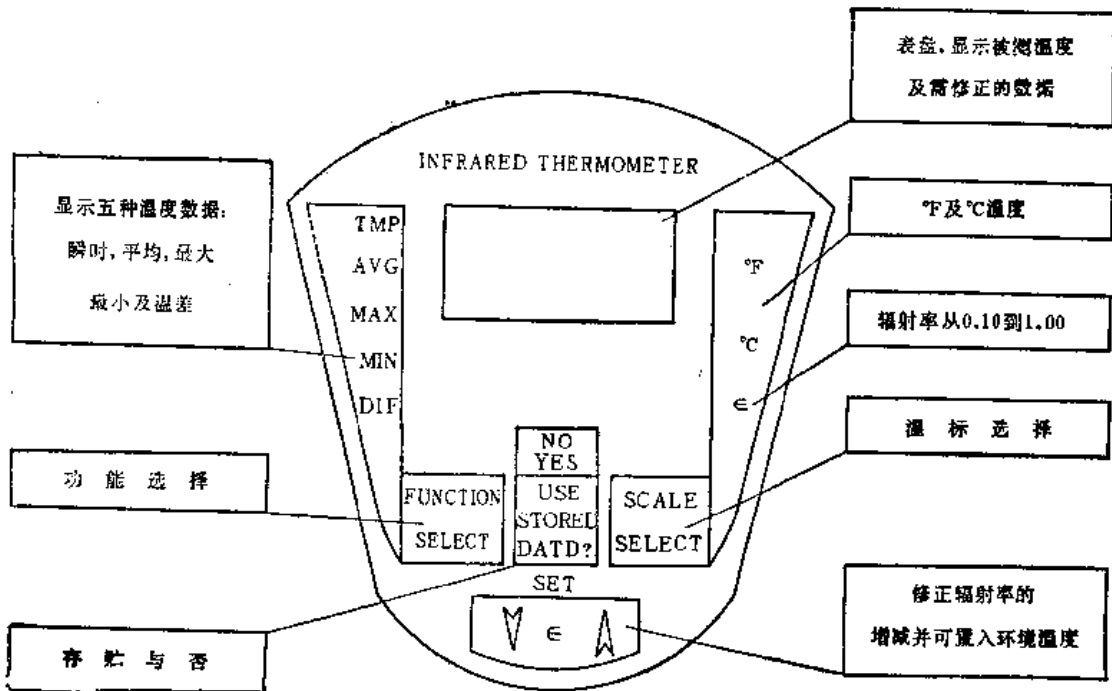


图26-6-7 红外测温仪面板显示图

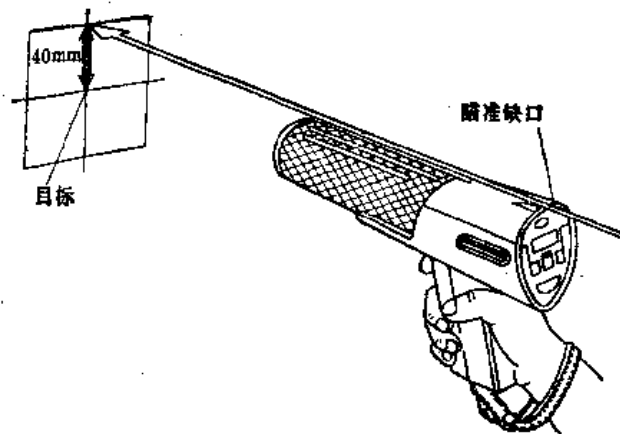


图26-6-8 红外测温仪测温示意图

当箭头指向“AVG”(平均温度)时,显示的数字为平均温度。即一次动作中(从按下到松开按钮之间)所有读数的总和被数的总次数来除。

当箭头指向“MAX”(最大温度)时,显示的数字为一次动作中被测温度的最大值,即最高温度。

当箭头指向“DIF”(温差)时,显示的数字为最高温度与最低温度的差值,即温差。

每动作一次后,以上各种数据的计算就已全部完成,其结果便存贮起来。通过反复按压“FUNCTION SELECT”(功能选择)键,可使它们依次在液晶显示板上显示出来。

⑦ 当符号“入”出现在显示面板的上方时,表示以上各种计算使用了置入的环境反射温度作为修正系数。

⑧ 按压“USE STORED DATA?”(存储与否)键,显示面板下方的箭头就在“NO”、“YES”标记之间移动。

若箭头指向“NO”,表示开始测量时就把上次动作中的测量数据从存储器中清除了。每次压下列按钮的头几秒钟,显示面板都显示“□□□□”,这表明存储器中的数据已被清除。

若箭头指向“YES”,表示上次动作中的测量数据和现行测量数据一起参加运算。这时每次按下按钮显示面板不显示“□□□□”,而是一个测量数据。

⑨ 测温精度:该仪器采用了优质的 $8\sim 14\mu\text{m}$ 和 $2.1\sim 2.3\mu\text{m}$ 滤光片,具有很高的抗干扰能力。又应用了微处理机对数据进行处理,所以仪器测温精确,工作稳定可靠并具有良好的重复性。但有一些因

素对精度要有所影响,如目标大小、目标辐射率、目标环境温度、水蒸汽、二氧化碳、尘埃和测量距离等。

(3) 使用红外测温仪的注意事项:

1) 当箭头指在“YES”位时,仪器必须对准被测物后再进行测量。

2) 当被测物的距离小于50cm时,仪器的测量读数比实际值要高一些。

3) 仪器不可过于接近高温物体,以免烤坏防护薄膜。

4) 当环境温度变化较大时,如相差 $15^{\circ}\text{C}$ ,必须使仪器热平衡后才使用。热平衡时间通常需5分钟左右。

5) 仪器若长期不使用,则应将电池取出,以免电池失效腐蚀其它零件。

6) 显示面板上出现“Lo”符号,或者工作失灵,显示微弱等,说明电池不足或接触不良,应更换电池或使其接触良好。

7) 显示“锁死”,即显示面板上出现错误数字或同时出现多种功能符号,这可能是由于电池电压低而造成的,应更换电池。

### 5. 特殊温度的测量方法

(1) 表面温度的测量方法:

1) 弓形表面温度计:为使热电偶与被测物体接触良好,避免由于热电偶本身导热和周围环境辐射对被测物体的影响,可将热电偶的热电极制成带状,用弹性弓形罩压在被测物体上,使接触良好和避免周围辐射的影响,其结构如图26-6-9所示。被测表面凸凹不平,可敷撒少量导热性能很好的金属粉末来增加接触面积,提高测量准确度。

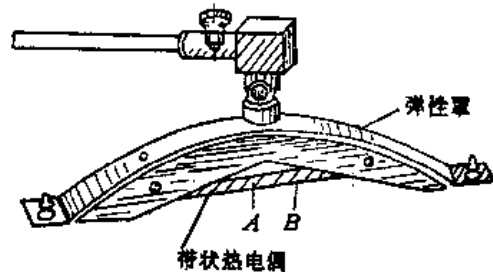


图26-6-9 弓形表面热电偶

2) 兰德表面温度计:可用于金属和非金属表面的温度测量。测温范围为 $0\sim 1300^{\circ}\text{C}$ ,它具有如下特点:

① 测量精确,其准确度为被测量值绝对温度的 $\pm 0.75\%$ ,并测量精度与表面状态无关。由于不依赖于良好的热接触,故可用于粗糙的、平滑的或者弯曲的表面。

② 使用方便,将温度计头置于或靠近热表面,真实温度在几秒钟内就显示在便携指示器上。

③ 它是一种辐射传感器,所测目标静止或运动均可,因此在大多数应用场合中优于接触式表面温度计。

(2) 火焰温度的测量方法 火焰的温度高,同时温度分布很不均匀,随时间的变化也很快,因此应提高温度计的热强度,尽量避免温度计本身的热惰性和导热的影响。可采用下述方法。

1) 对于不透明火焰,火焰的某一局部区域,可以认为是近似黑体,故可用红外测温仪或光学高温计(读数亦无需修正)进行测定,但用光学高温计测得的仅为该区域的平均温度。

2) 对于透明火焰,则可用水冷微型热电偶。即用热电偶丝直径为 $0.1\sim 0.3\text{mm}$ 的双铂铑热电偶,穿在直径为 $3\text{mm}$ ,长度为 $20\text{mm}$ 的双孔管中,其材料为高温陶瓷( $\text{BeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZrO}$ ),双孔管用直径为 $8\text{mm}$ 的水冷管支持,以此结构来减少热电偶的热惰性、本身的导热和提高耐高温性能。

(3) 铁水温度的测量方法 铁水温度用光学高温计测量误差较大,一般常用快速微型热电偶直接接触测定。采用铂铑-铂热电偶或铂铑-铂热电偶,测温上限可达 $1800^\circ\text{C}$ ,测温准确,反应时间快。采用双铂铑热电偶时测温误差为 $\pm 0.5\%$ ;采用铂铑-铂热电偶时,测温误差为 $\pm 0.4\%$ ,反应时间不超过 $5\text{s}$ 。其结构由快速微型热电偶、测温枪和二次指示仪表组成。

(4) 热流密度的测量方法 热流计是可直接测量热流密度的仪表。在现场用于测量工业炉窑外壁面、热网管道保温层等的热流量,而不需通常先测得外壁面温度再查阅有关手册来求得其散热量。适用于工业炉的能量平衡。其主要技术参数为:

1) 基本误差:测头标定误差 $\pm 5\%$ ;配套综合误差 $\pm 5\%$ 。

2) 量程: $0\sim 2.3\times 10^5\text{W}/\text{m}^2$ 。

3) 温度范围:WYP型测头 $0\sim 100^\circ\text{C}$ ;WYR型测头 $0\sim 160^\circ\text{C}$ 。

## (二) 压力测量仪表的使用

常用的压力测试仪表 列于表26-6-8。

表26-6-8 常用的压力测试仪表

类别	测试仪表	精度	使用范围
重力平衡压力计	U型压力计	$\pm 1\%\sim 1.5\%$	$> -15\text{kPa}$ $< +15\text{kPa}$
	倾斜式压力计	$\pm 1\%$	$> -2\text{kPa}$ $< +2\text{kPa}$
	补偿式压力计	$0.2\text{Pa}$	$> -2.5\text{kPa}$ $< +2\text{kPa}$
	浮子式差压计	$\pm 1.5\%$	$< 63\text{kPa}$
弹性变形力平衡压力计	弹簧管式压力计	$\pm 1\%\sim 1.5\%$	$> -0.1\text{MPa}$ $< 1\times 10^3\text{MPa}$
	膜盒式压力计	$\pm 2.5\%$	$> -40\text{kPa}$ $< +40\text{kPa}$

### 1. 压力计的选用

通常根据被测压力的大小选择相应的压力计,使其测量值处在压力计量程的 $1/2\sim 3/4$ 范围内。

1) 被测压力 $< 2\text{kPa}$ 时,常采用倾斜式压力计或补偿式压力计;

2) 被测压力 $< 0.1\text{MPa}$ 时,常采用U型压力计或膜盒式压力计;

3) 被测压力 $> 0.1\text{MPa}$ 时,常采用弹簧压力计。

### 2. U型压力计

1) U型压力计在读数时,应同时读两个液柱高度,相减后得到测定的液柱高度。对充水或酒精的压力计,读数时应以液体的下凹面为基准;对充水银的压力计,读数时应以液体的上凸面为基准。

2) 如果液柱上面填充有被测介质时,应考虑其对示值的影响,可用下式计算:

$$P = B(\gamma_0 - \gamma_j) \quad (\text{Pa})$$

式中  $B$ ——测得的液柱高度(m);

$\gamma_0$ ——压力计在使用时所充液体的重度( $\text{N}/\text{m}^3$ );

$\gamma_j$ ——被测介质的重度( $\text{N}/\text{m}^3$ )。

3) 压力计应垂直(或水平)放置,同时必须有很好的气密性,否则会造成测量误差。

### 3. 倾斜式压力计

这种压力计宜于精密测定几十至几百Pa的低压力。

1) 测量前调整仪表水平, 注入密度为 $0.81\text{g}/\text{cm}^3$ 的酒精, 排尽存留气泡, 调整液面零点。

2) 测量时把阀柄拨在“调压”处, 如被测压力高于大气压力时, 将被测管接在阀门的“+”处; 如被测压力低于大气压力时, 将被测管接在阀门的“-”处; 如测量压力差时, 则将被测的高压管接在阀门的“+”处, 被测的低压管接在阀门的“-”处。

3) 在测量中, 如欲校对液面零位是否符合, 可将阀拨在“校准”处进行校对。

4) 读数时, 如液面波动则应取其平均值, 并乘以倾斜之常数因子。

5) 测量完毕, 应将阀柄拨回“校准”处, 然后拆除被测管子, 以免酒精被吹溢。

#### 4. 使用压力计测量的注意事项

1) 测量时取压点须具有代表性, 不得在气流紊乱或有漏出、吸入的地方取压。

2) 取压时最好用取压管, 以避免动压力对被测压力的影响。如果利用在管壁钻孔来取压时, 则应注意钻孔必须垂直于管壁, 管的内壁不得有毛刺, 而且接管内径与孔径应一致。

3) 传递压力的导管不应太细, 其内径以 $8\sim$

$10\text{mm}$ 为宜, 导管应保证不漏和不堵。测量液体压力时, 导管内不得有气体存在, 在最高点应有排气阀; 测量气体压力时, 导管内不得有液体存在, 在最低点应有放水阀。导管在敷设时应有一定的倾斜度。

4) 测量气体的压力时, 取压点应在管道的上半周; 测量液体压力时, 取压点应在管道的下半周。

5) 测量烟气压力时, 温度高于 $300^\circ\text{C}$ 时应采用水冷取压管, 并考虑冷凝水的排出问题。

6) 在测量波动较大的压力时, 为了读数方便起见, 可采用在导管上装一段内径很小的管子起阻尼作用, 或者装一个容积较大的容器起缓冲作用。

7) 在测量具有腐蚀性或粘性较大的介质的压力时, 应采用隔离容器和隔离液。

8) 在测量压差时, 应在两个引压管之间安置平衡阀, 在接入压差前打开平衡阀, 使两个引压管相通。接入压差后再关闭平衡阀, 以免将所充液体冲至导管中, 影响测量结果, 或者将弹性元件损坏。

### (三) 流量测量仪表的使用

常用的流量测试仪表列于表26-6-9。

表26-6-9 常用的流量测试仪表

类别	测试仪表	精 度	使用范围
容积式流量计	湿式气体流量计	$\pm 1.0\%$	$0\sim 3\text{m}^3/\text{h}$ (气)
	椭圆齿轮流量计	$\pm 0.5\%\sim 1\%$	$0.5\sim 120\text{m}^3/\text{h}$ (液)
定压降式流量计	转子流量计	$\pm 1\%\sim 2.5\%$	$1.0\sim 50000\text{L}/\text{h}$ (液) $16\sim 10^6\text{L}/\text{h}$ (气)
	冲塞式流量计	$\pm 3\%$	$0\sim 60\text{m}^3/\text{h}$ (液)
变压降式流量计	标准孔板	与加工精度有关	管径 $\geq 50\text{mm}$ (气、液)
	标准喷嘴	与加工精度有关	管径 $\geq 50\text{mm}$ (气、液)
	双重孔板	与加工精度有关	管径 $\geq 50\text{mm}$ (气、液)
速度式流量计	水表	$\pm 2\%$	$10\sim 3000\text{m}^3/\text{h}$ (液)
	涡轮流量计	$\pm 0.5\%\sim 1.0\%$	$0.028\sim 166.6\text{m}^3/\text{h}$ (液)
	靶式流量计	$\pm 0.5\%$	$2\sim 100\text{t}/\text{h}$ (液)
涡轮式流速计	叶轮式风速计	$\pm 2\%\sim 3\%$	$0\sim 35\text{m}/\text{s}$
	杯式风速计	$\pm 2\%\sim 3\%$	$1\sim 30\text{m}/\text{s}$
动压头式流速计	标准毕托管	按校对而定	$>4\sim 5\text{m}/\text{s}$
	直型毕托管	按校对而定	$>4\sim 5\text{m}/\text{s}$

(续)

类 别	测试仪表	精 度	使用范围
动压头式流速计	S型毕托管	按校对而定	$>4\sim 5\text{m/s}$
	尖劈型毕托管	按校对而定	$>4\sim 5\text{m/s}$
	简易型毕托管	按校对而定	$>4\sim 5\text{m/s}$
其他流速计	热球式电风速计	$<$ 被测值的 $\pm 5\%$	$0\sim 30\text{m/s}$

### 1. 节流装置

#### (1) 节流装置的选用

1) 要求节流装置产生的压力损失较小时, 可采用文丘利喷嘴或文丘利管。孔板和喷嘴的压力损失大致上差不多。但文丘利喷嘴和文丘利管要比孔板和喷嘴的压力损失要小得多, 前者约为后者的 $1/5$ 。

2) 测量某些容易使节流装置弄脏、磨损和变形的脏污及侵蚀性介质时, 喷嘴较孔板要优越得多。

3) 在同一流量和压差时, 喷嘴比孔板的 $m$ 小。喷嘴有较高的测量精度, 而且需要的直管长度也短。

4) 在加工和安装方面, 孔板为最简单, 喷嘴次之, 文丘利喷嘴和文丘利管最复杂。其成本也是如此, 管径愈大这种差别就愈显著。

#### (2) 测量时注意事项

1) 节流装置的制造和安装, 必须保证与管道的内径相同, 中心线一致, 节流装置的方向不得装反, 孔口不能有任何损坏。

2) 在节流装置前后长度为 $2D$ 的一段管道内壁上, 不应有任何突出部分(如突出的垫片、铆接头、粗糙的焊缝、温度计套管等)。

3) 节流装置必须安装在足够长的直管段上, 其长度随节流装置前后的局部阻力性质和节流装置流通面积与管道流通面积之比而定, 可按表26-6-

10确定。一般情况下, 节流装置后面的最小直管段长度 $\geq 5D$ 。如果安装时直管段长度缩短为表内数值的 $1/2$ 时, 将产生 $\pm 0.5\%$ 的均方根误差, 缩短为 $1/3$ 时, 均方根误差增加到 $\pm 1\%$ , 缩短为 $1/4\sim 1/5$ 时, 均方根误差增加到 $\pm 2\%$ 。

4) 在水平管道上, 节流装置的传压孔位置应为: 当测量液体时——在下半圆周, 但不希望在最低部位; 气体——在上半圆周; 蒸汽——在管道横截面的水平直径处, 也可以移到 $45^\circ$ 范围内。

5) 测量液体流量时, 差压计最好装在节流装置的下方, 否则在传压管的最高点必须装设带排气阀的集气器(图26-6-10)。被测介质有沉淀物析出时, 在差压计前必须装设沉降器。测量热的液体( $t > 70^\circ\text{C}$ )流量时, 传压管上应装设平衡器。测量侵蚀性和粘性介质时, 应装设隔离器。

6) 测量蒸汽流量时, 差压计应装设在节流装置下方, 否则应在传压管的最高点装设带排气阀的集气器。为保持测量条件的恒定, 应在两传压管中具有相同的冷凝水位, 为此在传压管靠近节流装置的地点装设有足够容积的平衡器(图26-6-10)。

7) 测量气体流量时, 差压计应高于节流装置, 否则在传压管的最低处要装设沉降器, 以排出冷凝液。测量高温气体流量时, 必须保证两传压管处在相同温度下。

8) 传压管应选取适当的内径, 通常以 $8\sim$

表26-6-10 环室取压时节流装置前最小直管段长度与管径之比 $l/D$ 值

$(d/D)^2 = m$		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
位于不能形成流束漩涡运动的局部阻力件的后面	孔板	5	9	15.5	22.5	30	38
	喷嘴	4	6	10	17	28	39.5
位于能形成流束漩涡运动的局部阻力件的后面	孔板	35	35	36	38	40	43
	喷嘴	35	35	36	38	40	43
位于不完全开启的阀门之后(开度 $0.3\sim 0.8$ )	孔板	10	10	12	12	15	15
	喷嘴	10	10	10	10	10	10

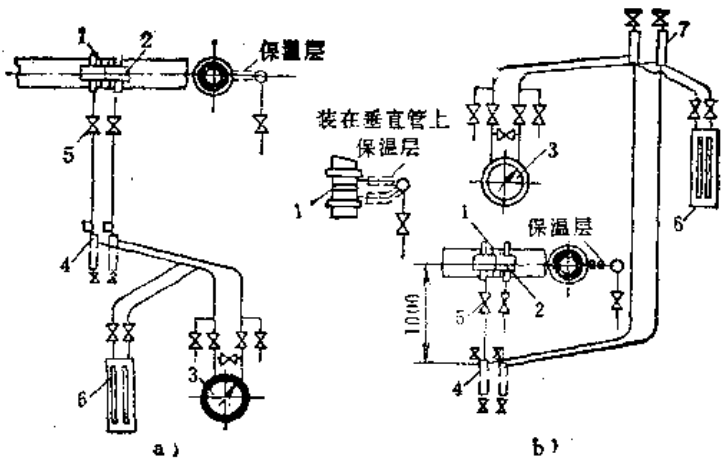


图26-6-10 测量蒸汽流量用的传压管系统连接图

1—节流装置 2—平衡器 3—差压流量计或变送器 4—沉降器  
5—阀门 6—双管差压计 7—集气器

10mm为宜。传压管的敷设应保持垂直或水平面成不小于1:10的倾斜度，同时应匀滑地弯曲。传压管的总长度不应超过50m，但不少于3m。

2. 动压法

在工业炉调整试验时的流量测量，较少采用固定安装的标准节流装置，主要由于直管段长度不够，且节流装置有一定阻力损失，因而，通常采用便携式动压法测定。动压法仪表由毕托管，倾斜式微压计和连接橡皮管组成。倾斜式微压计的使用详见“压力测量仪表”有关部分。

(1) 毕托管的选用 根据被测流体的状态选用结构不同的毕托管：

1) 测定清洁无灰的流体时，可采用标准毕托管（如图26-6-11）。

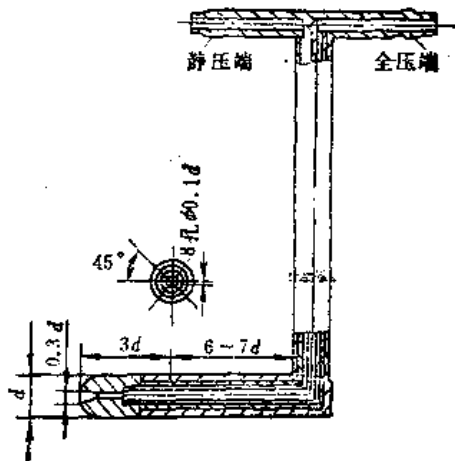


图26-6-11 标准型毕托管

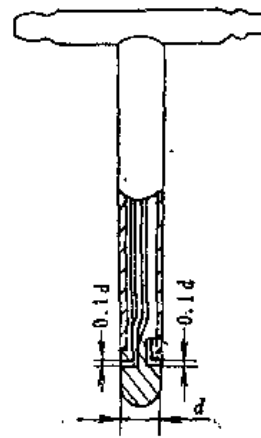


图26-6-12 直型毕托管

2) 测定热气流时采用直型毕托管（如图26-6-12）。

3) 测定多灰的气流时采用S型毕托管和尖劈型毕托管（如图26-6-13和图26-6-14）。

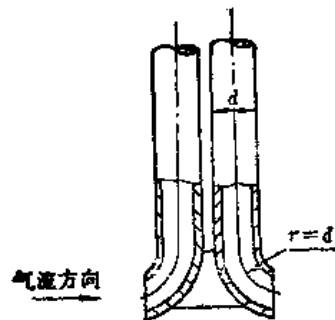


图26-6-13 S型毕托管

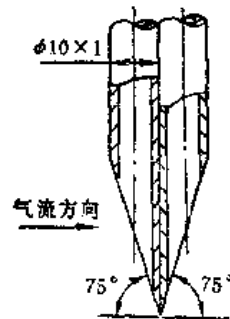


图26-6-14 尖劈型毕托管

4) 测定多灰和热气流时采用简易毕托管（如图26-6-15和图26-6-16）。

(2) 测量截面上测点的选择 使用动压法测



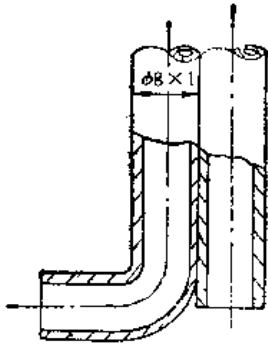


图26-6-15 简易型毕托管之一

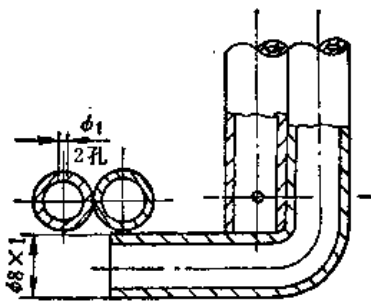


图26-6-16 简易型毕托管之二

量管道内流量时，测量截面的直管段长度应有  $(4 \sim 7)D$ ，测量截面后应有  $(1 \sim 2)D$ （对于矩形通道，测量截面后应有  $(2 \sim 3)D$ 。式中  $D = \frac{2AB}{A+B}$ ，而  $A$  及  $B$  为边长）。

1) 圆形截面的管道，将圆形截面分成几个等面积的圆环，测点的选取是把每个圆环再分成两个面积相等的部分，测点就放在这两部分的界线上（如图26-6-17）。各环测点与管道中心的距离由下式求得：

$$r_1 = R \sqrt{\frac{1}{2n}}$$

$$r_2 = R \sqrt{\frac{3}{2n}}$$

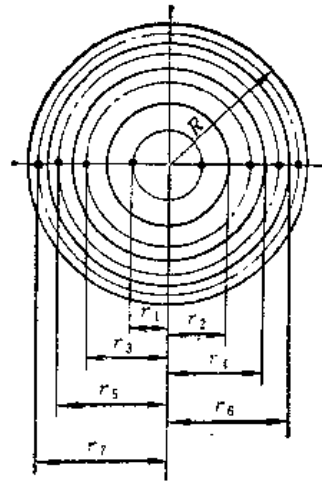
$$r_3 = R \sqrt{\frac{5}{2n}}$$

$$r_{2n-1} = R \sqrt{\frac{2n-1}{2n}}$$

2) 矩形截面的管道，其测点见图26-6-18。

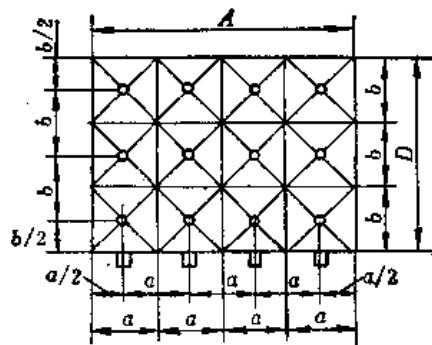
(3) 动压法的使用方法

1) 先按规定正确选定测孔的位置和数量，清除毕托管内部的积灰，对微压计进行严密性检查，



管道直径 $D$ (mm)	300	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
等面积 圆环数 $n$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
测量直 径数	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
测点总 数	6	8	20	24	28	32	36	40	44	48

图26-6-17 圆形截面测点分布示意图



矩形管道截 面的边长(mm)	$\leq 500$	$>500$ $\sim 1000$	$>1000$ $\sim 1500$	$>1500$ $\sim 2000$	$>2000$ $\sim 2500$	$>2500$
测点排数	3	4	5	6	7	8

图26-6-18 矩形截面测点分布示意图

消除造成泄漏的一切根源。

2) 使用时，应将微压计的正压端与毕托管的全压端相连，微压计的负压端与毕托管的静压端相连，并再次进行整个系统连接后的严密性检查。当将毕托管插入或抽出测孔时，微压计的阀门柄应处在“校准”的位置。

3) 确定  $K$  值，视其动压差的大小来确定适当

的  $K$  值。然后调整玻璃管液到零位。测量时，必须注意将毕托管放正，使其轴线与管道中心线平行，并使全压端对正气流前进方向。

4) 应按规定的测点顺次逐点进行测量，为可靠起见，每次测量应分别在毕托管“插入”和“抽出”时两次读数，即逐点重复测定两次，然后取其平均值。若两次读数相差较大，则应对该点再次读数进行校对。

5) 在气流不太稳定的管道内测量时，微压计的读数应取水柱波动的平均值。若发现微压计中的读数变化较大或读数反常时，应检查系统有否泄漏及毕托管有否堵塞现象。

6) 测量时应同时测定当时当地的大气压及管道内气流的静压、温度。如果测量烟气，为计算烟气的密度，尚需在测量期间分析烟气成分中的  $RO_2$  及  $O_2$  值。

**例题** 用标准型毕托管测量管道内空气的流量。已知：管道面积为  $0.229m^2$ ，标准毕托管校正系数  $K = 0.98$ ，空气容重  $\gamma_0 = 12.68N/m^3$ ，大气压力  $P_0 = 98658.28Pa$ ，所测管道内气体压力  $\Delta P = 20264.944Pa$ ，空气温度  $t = 40^\circ C$ ，测得压差（即动压）为：706、716、785、814、863、883、942、1109、1275Pa，倾斜式微压计系数  $K = 0.4$ 。

**解** 测得压差的平均值：

$$h_m = \left[ \frac{1}{10} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} + \sqrt{h_3} + \sqrt{h_4} + \sqrt{h_5} + \sqrt{h_6} + \sqrt{h_7} + \sqrt{h_8} + \sqrt{h_9} + \sqrt{h_{10}}) \sqrt{K} \right]^2$$

$$= \left[ \frac{1}{10} (\sqrt{706} + \sqrt{716} + \sqrt{736} + \sqrt{785} + \sqrt{814} + \sqrt{863} + \sqrt{883} + \sqrt{942} + \sqrt{1109} + \sqrt{1275}) \cdot \sqrt{0.4} \right]^2$$

$$= 349.989 \quad (Pa)$$

空气的实际容重：

$$\gamma_t = \gamma_0 \cdot \frac{P_0 + \Delta P}{101325} \cdot \frac{273}{273 + t}$$

$$= 12.68 \cdot \frac{98658.28 + 20264.944}{101325} \times \frac{273}{273 + 40}$$

$$= 12.984 \quad (N/m^3)$$

管道内空气的实际平均流速：

$$v_t = K \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma_t} \cdot h_m}$$

$$= 0.98 \sqrt{\frac{2 \times 9.81}{12.984} \cdot 349.989}$$

$$= 22.537 \quad (m/s)$$

实际情况下的空气体积流量：

$$q_{vt} = v_t \cdot F \cdot 3600 = 22.537 \times 0.229 \times 3600$$

$$= 18579.5 \quad (m^3/h)$$

标准状态下的空气体积流量：

$$q_{v0} = q_{vt} \cdot \frac{P_0 + \Delta P}{101325} \cdot \frac{273}{273 + 40}$$

$$= 18579.5 \times \frac{98658.28 + 20264.944}{101325}$$

$$\times \frac{273}{273 + 40}$$

$$= 19019.6 \quad (m^3/h)$$

### 3. 转子流量计

(1) 使用时注意事项

1) 转子流量计必须安装在垂直位置上（流量计中心线与铅垂线的夹角不超过  $5^\circ$ ），并有正确的支承。为便于在使用过程中更换零件，安装时应留有足够的空间。

2) 流量计上游应安装阀门，在下游  $5 \sim 10$  倍公称直径处安装调节流量的节流阀。为防止管路中的回流或有水锤作用损坏流量计，可在其下游阀门之后安装单向逆止阀。

3) 当被测流体中含有较大颗粒或较脏，应根据需要在流量计上游安装过滤器。

4) 当被测流体是脉动流，造成浮子波动不能正确测量时，流量计上游的阀门应全开，并设置适当尺寸的缓冲器或定值器。

5) 使用时应避免被测流体温度的急骤变化。浮子的工作直径（读数边）如有损伤，应重新标定。流量计的读数按图 26-6-19 所示的读数位置读取示值。

6) 使用时如发现渗漏，应均匀地紧固压盖螺栓。通过上述方法仍有渗漏，则通常是密封填料失效，应更换锥管密封填料。

7) 被测流体的状态（密度、温度、压力、粘度等）与流量计分度状态不同时，必须对示值进行修正。

(2) 读数的更正 一般转子流量计在测量液体时用水标定，测量气体时用空气标定。示值按标准状态（水  $20^\circ C$ ，空气  $20^\circ C$ ，压力为  $101325Pa$ ）的容积流量分度。因此更正时应以标准状态分度为准。

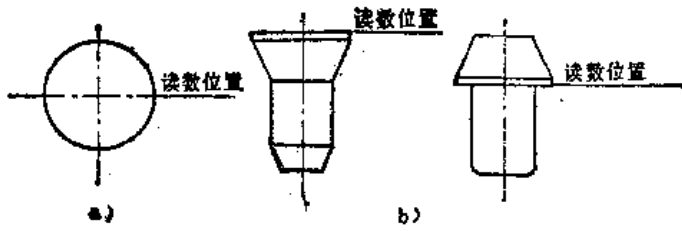


图26-6-19 转子流量计示值的读数位置  
a) 球形浮子 b) 带锐边圆柱形浮子

### 1) 测量液体时的更正;

求使用状态下流过流量计的流量:

$$Q_s = Q_N \sqrt{\frac{(\rho_f - \rho_s) \rho_N}{(\rho_f - \rho_N) \rho_s}}$$

式中  $Q_s$ ——实际流量值 ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$Q_N$ ——流量计的读数示值 ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$\rho_f$ ——浮子密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$\rho_N$ ——标定介质在标准状态下的密度 (在此即为水在20°C时的密度) ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$\rho_s$ ——被测液体的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

### 2) 测量气体时的更正;

① 被测气体为干气体时求使用状态下流过流量计的流量:

$$Q_s = Q_N \sqrt{\frac{\rho_N \cdot P_N \cdot T_s \cdot Z_s}{\rho_{sN} \cdot P_s \cdot T_N \cdot Z_{sN}}}$$

式中  $P_N$ ——标定介质 (即空气) 在标准状态下的绝对压力 (101325 Pa) ( $\text{Pa}$ );

$T_N$ ——标定介质 (即空气) 在标准状态下的绝对温度 ((273.15 + 20) K) (K);

$\rho_N$ ——标定介质 (即空气) 在标准状态下的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$P_s$ ——被测气体在测量时的绝对压力 ( $\text{Pa}$ );

$T_s$ ——被测气体在测量时的绝对温度 (K);

$\rho_{sN}$ ——被测气体在标准状态下的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$Z_{sN}$ ——被测气体在标准状态下的压缩系数;

$Z_s$ ——被测气体在  $P_s$ 、 $T_s$  时的压缩系数;

② 被测气体为湿气体时求使用时流过流量计的流量:

$$Q_s = Q_N \sqrt{\frac{\rho_N}{\rho_{sN} \cdot \frac{(P_s - \varphi_s \cdot P_{D_s}) \cdot T_N \cdot Z_{sN}}{P_N \cdot T_s \cdot Z_{\varphi_s}} + \varphi_s \cdot \rho_{D_s}}}}$$

式中  $\varphi_s$ ——被测气体的相对湿度;

$P_{D_s}$ ——被测气体在  $T_s$  时的水蒸汽饱和和压力 ( $\text{Pa}$ );

$\rho_{D_s}$ ——被测气体在  $T_s$  时的蒸汽密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$Z_{sN}$ ——被测气体在  $P_N$ 、 $T_N$  时的压缩系数;

$Z_{\varphi_s}$ ——被测气体在  $P_s$ 、 $T_s$  时的压缩系数。

3) 示值更正示例: 设被测流体为干空气时, 在转子流量计上读得示值为  $50 \text{m}^3/\text{h}$ , 浮子材料为  $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ , 在流量计入口处测得温度为  $10^\circ\text{C}$ , 绝对压力  $P_s = 0.5 \text{MPa}$ , 试求流过流量计的流量。

解 由有关手册查得干空气在标准状态时密度  $\rho_N = \rho_{sN} = 1.2046 \text{kg}/\text{m}^3$ , 压缩系数  $Z_N = 0.999$ , 在  $10^\circ\text{C}$  时的压缩系数  $Z_s = 0.9992$ 。

按上述被测气体为干气体时的更正公式求使用状态下通过流量计的实际容积流量:

$$\begin{aligned} Q_s &= Q_N \sqrt{\frac{\rho_N \cdot P_N \cdot T_s \cdot Z_s}{\rho_{sN} \cdot P_s \cdot T_N \cdot Z_{sN}}} \\ &= 50 \sqrt{\frac{1.2046 \times 0.101325 \times}{1.2046 \times 0.5 \times} \\ &\quad \times \frac{(273.15 + 10) \times 0.9992}{(273.15 + 20) \times 0.999}} \\ &= 22.12 \text{ (m}^3/\text{h)} \end{aligned}$$

### 4. 热球式电风速计

热球式电风速计是一种测量低风速的仪器。适用于采暖、通风、空气调节等方面, 它具有使用简便、测速快、能直接显示读数和携带方便等特点。

#### (1) 主要技术性能

1) 测量范围  $0.05 \sim 30 \text{m}/\text{s}$ ;

2) 测量误差:

① 当风速在  $0.05 \sim 2 \text{m}/\text{s}$  时, 误差不大于被测量值的  $\pm 10\%$ ;

② 当风速在  $2 \sim 30 \text{m}/\text{s}$  时, 误差不大于被测量值的  $\pm 5\%$ ;

3) 附加误差:

① 当电源电压由额定值降到额定值的  $80\%$  时, 其测量误差不大于被测量值的  $\pm 2\%$ ;

② 测头方向偏差在  $\pm 15^\circ$  时, 其指示误差不大于被测量值的  $\pm 5\%$ ;

4) 测头的反应时间不大于  $1 \sim 3 \text{s}$ 。

### (2) 热球式电风速计的使用方法

1) 使用前观察仪表指针是否指于零位, 如有偏移可调整仪表机械调零螺栓, 使其回到零位。

2) 仪表电源由内接或外接两种, 当“电源选择”开关置于“通”的位置即用内接电源。如用外接电源, 可将“电源选择”开关拨至“外接”位置, 将两组直流电源(一组1.5V, 一组4.5V)分别接在“外接电源”接线柱上, 极性勿接错。

3) 将测杆插在插座上, 测杆垂直向上放置, 螺塞压紧, 使探头密闭。“校正开关”置于“满度”的位置, 慢慢调整“满度粗调”和“满度细调”两个旋钮, 使表针置于满刻度的位置。

4) 将“校正开关”置于“低速”的位置, 慢慢调整“零位粗调”和“零位细调”两个旋钮, 使表针置于零位。

5) 经以上步骤后, 轻轻拉动螺塞, 使测杆探头露出(长短可根据需要选择), 即可进行0.05~10m/s风速的测定。测量时, 探头上的红点面对风向, 从表上可读出风速的大小, 根据读数查阅校正曲线即可得出被测风速。

6) 如果要测量5~30m/s的风速, 在完成以上3)、4)步骤后只要将“校正开关”置于“高速”位置, 不需要进行任何调整, 即可对风速进行测定。根据表上的读数, 查阅高速校正曲线即可得出被测风速。

7) 如果用于电池作电源, 则在测量若干分钟后(一般10分钟), 必须重复以上3)、4)步骤一次, 以保证测量值的准确性。

8) 测量完毕, 将“校正开关”置于“断”的位置。

### (3) 使用时注意事项

1) 在风速测定时, 无论测杆如何放置(垂直向上、倒置或水平位置), 探头上的红点一边必须面对风向。在进行“满度”、“零位”调整时, 测杆必须垂直向上放置。

2) 仪器内装有两组电池, 一组是3节串联的, 一组是单节的。在调整“满度调节”旋钮时, 如果指针不能达到满刻度, 则说明单节电池已枯竭。在调整“零位调节”旋钮时, 如果指针不能回到零位, 则说明3节电池已枯竭, 应予以更换。

3) 仪器在使用时, 如被测风速比较稳定而表针突然变化较大或测量误差过大, 应用万用表 $\Omega \times 10K$ 档测量一下探头上的敏感元件——热球中的加

热丝与热电偶之间的绝缘电阻, 应不小于500k $\Omega$ 。如果电阻减少, 说明敏感元件已损坏, 应进行修理。测量加热丝与热电偶之间的绝缘电阻按图26-6-20所示, 对插头1、4或2、3点间进行测量即可。

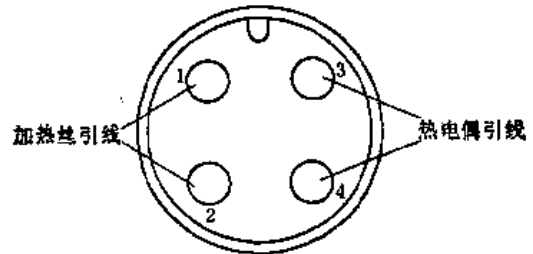


图26-6-20 测杆插头

4) 测杆引线不能随意加长或缩短, 如果引线有变动, 仪器须重新校对方可使用, 否则增大测量误差。

5) 仪器内可调电位器不得轻易调整, 变动后要重新校对。

6) 在测量10m/s以上风速时, 切记在调完“满度”和在“低速”档进行调零后, 然后把“校正开关”拨至“高速”档即可进行高速测量。而不需要在“高速”档进行任何调整。

7) 如果敏感部件——热球上有粉尘, 可将探头在无水乙醇中轻轻摆动除掉粉尘, 切不可用毛刷清洗, 以免损坏热球及使热球位置改变, 影响测量的准确性。

## (四) 气体成分分析

### 1. 取样方法

1) 当烟温 $<300^{\circ}\text{C}$ 时取样管采用紫铜管; 当烟温 $<500^{\circ}\text{C}$ 时可采用无缝钢管; 当烟温 $>500^{\circ}\text{C}$ 时可采用水冷取样管。连接取样管和取样器(即二连球)的橡皮管应尽量缩短。贮样器最好用玻璃容器, 可保存较长时间。如用橡皮球胆或塑料球, 则必须马上进行分析, 以免气样与橡皮或塑料发生变化。其连接如图26-6-21所示。

2) 取样地点应具有代表性, 能反映真实情况, 因此不能在有旋涡、死角、有空气吸入等地方取样。烟气取样一般不在烟道阀门前后取样。为使取样准确, 可在不同时间、不同部位、不同地点处采样。

3) 当气体压力大于大气压力时, 可用橡皮球胆直接取样, 当气体压力小于大气压力时, 可用上述二连球法取样。

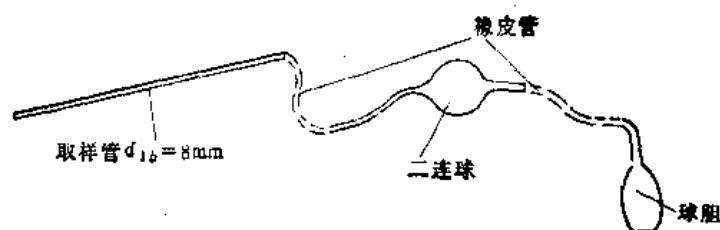


图26-6-21 二连球法取样连接示意图

4) 取样管与取样孔之间必须注意密封, 取样管与二连球、贮样器之间的连接必须做到不泄不漏, 严加密封以免吸入或逸出气样, 给分析造成误差。

5) 取样管必须不漏不堵和尽可能地短, 取样时应用气样冲洗, 排除管道内的空气, 直至取样系统内完全被新鲜气样置换时为止。贮样器应将取到的气样释放大气中不少于3次。

6) 如果气体中含有机械杂质, 在取样管与二连球之间应安装过滤器。如气体温度较高, 则应将二连球前的橡皮管预以水冷, 以确保取样设备不易损坏和取样的准确度。

7) 在较大流通截面(如烟道)内取样时, 应在不同的插入深度上平均取样。

## 2. 吸收剂的配制

吸收剂的配制列于表26-6-11。

## 3. 气体分析器

奥氏全分析器示意图见图26-6-22。

(1) 分析前应先检查仪器的严密性 可将吸收瓶的液位提升到旋塞下的标线处, 关闭吸收瓶旋塞, 打开三通旋塞, 使量管中液位处于最低零毫升

处或附近, 关闭旋塞, 将平衡瓶放至最高位置, 并保持一定时间(对全分析器应保持1小时, 对部分分析器应保持1/2小时), 量管中液位不应发生变化。相反, 将量管中液位处于最高100mL处或附近, 把平衡瓶放至最低位置, 保持一定时间后, 量管中液位也应不发生变化。如发现漏气, 可分段进行检查, 直至完全不漏气为止。

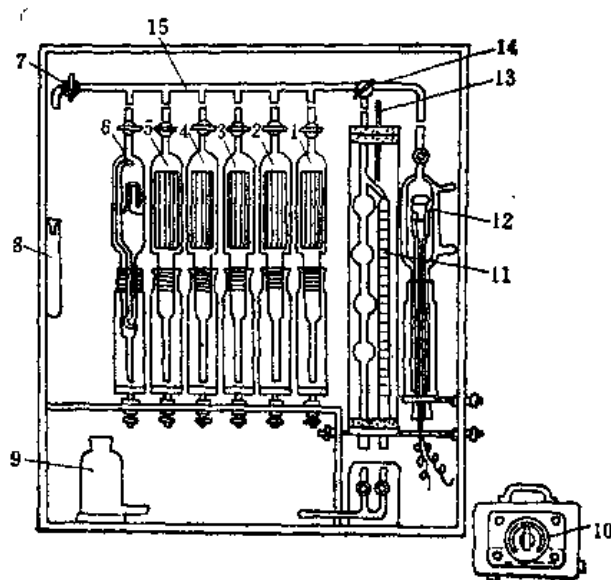


图26-6-22 奥氏全分析器示意图

1~6—吸收瓶 7—旋塞 8—干燥过滤管 9—平衡瓶 10—变压器(0~5V) 11—量管  
12—燃烧器 13—温度计 14—三通阀  
15—梳形分配管

表26-6-11 吸收剂的配制

气体成分	吸收剂	吸收剂的配制(重量百分比)	说明
CO <sub>2</sub>	氢氧化钾的水溶液	氢氧化钾33%, 蒸馏水67%	
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	饱和溴的水溶液	饱和溴的水溶液加入20%溴化钾	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 吸收后, 溴的蒸汽需用苛性钾的水溶液吸去
O <sub>2</sub>	焦性没食子酸的碱性水溶液	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> (OH) <sub>3</sub> 13% KOH 29% 蒸馏水 58%	试剂的配制要快速进行。并在缓冲瓶中注入3~5毫米厚的一层液体石蜡作隔离层
CO	酸性氯化亚铜溶液 碱性氯化亚铜溶液	氯化亚铜5克, 20%的盐酸200mL, 蒸馏水120mL, 铜屑65g 氯化亚铜16.7%; 氯化氨20.8%; 蒸馏水62.5%; 再加1/3密度为0.91kg/m <sup>3</sup> 的氢氧化氨	在吸收瓶的缓冲瓶中注入3~5mm厚的一层液体石蜡作隔离层
吸收瓶	硫酸水溶液	5%~10%的硫酸, 其余为蒸馏水	并加甲基橙指示剂

(2) 吸入气样前应先冲洗管路:

1) 检查所有吸收瓶的液位达到标线位置。

2) 打开旋塞7, 使量管与大气相通, 上下移动平衡瓶, 重复吹洗梳形管和量管数次, 使量管和梳形管内均为空气所置换。

3) 缓慢提高或放低平衡瓶, 使其液位和量管中的“0”记号重合时, 关闭旋塞7, 这样在量管中就留下容积为100mL的空气。

4) 打开O<sub>2</sub>吸收瓶上的旋塞, 上下移动平衡瓶5~6次, 为检查吸收进行得是否完全, 应使通过吸收瓶抽送两次并重新读数, 至体积不再减少为止。

5) 此时量管和梳形管内均为N<sub>2</sub>, 打开旋塞, 缓慢提高平衡瓶, 将N<sub>2</sub>排至大气, 使量管内液位达到标线位置, 关闭旋塞。

至此即可准备取样分析。

(3) 取样步骤

1) 将装有气样的贮样器与旋塞7前的玻璃管相接, 打开旋塞7, 平衡瓶缓慢下降, 直至其液位凹面的下缘对准量管中“0”刻度线。

2) 卡住连接量管与平衡瓶的橡皮管, 关闭旋塞7, 松开橡皮管, 即可保证量管中取得的试样容积在大气压力下为100mL。

此时应当注意试样的温度应与环境温度接近或相等。

(4) 分析程序

1) 用吸收法测定气样中CO<sub>2</sub>、C<sub>n</sub>H<sub>n</sub>、O<sub>2</sub>、CO的含量:

① 将气样通入吸收瓶1中往复移动5~6次, 直到气样的容积不再减少为止, 并测定所减少的容积即为CO<sub>2</sub>的含量。

② 在吸收瓶2中吸收C<sub>n</sub>H<sub>n</sub>, 并在测定气体容积减少之前要重新在吸收瓶1中移动数次, 以消除溴蒸汽即得出C<sub>n</sub>H<sub>n</sub>的含量。

③ 将气体引入吸收瓶3中以得出O<sub>2</sub>的含量。

④ 在吸收瓶4中吸收CO, 当容积的减少达到0.2~0.3mL时, 就移动气样到吸收瓶5中, 一直到容积不变为止, 至此再将气体在吸收瓶6中移动数次, 以中和氢蒸汽, 最后进行气体容积的测定, 求得CO的含量。并将气样存入吸收瓶6中, 关住它和梳形管的通路。

以上就完成了吸收CO<sub>2</sub>、C<sub>n</sub>H<sub>n</sub>、O<sub>2</sub>、CO的分析。

2) 用燃烧法测定气样中H<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>的含量:

① 首先应大约知道气样中H<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>的含量范围, 并取一定量剩余气样, 加入一定量的空气(或氧气), 使其中所含O<sub>2</sub>量足供可燃气体完全燃烧之用, 一般可取剩余气样10mL。

② 将量管与大气相通, 慢慢降低平衡瓶引入空气, 使量管内总体积为100mL。

③ 关闭旋塞7, 打开三通阀使量筒和燃烧器相通并打开燃烧器旋塞移动平衡瓶, 使气体混合均匀, 然后给铂金丝通电, 缓慢上下移动平衡瓶。刚开始时电压为1~2V, 燃烧一段时间后, 可将电压调至3~4V, 继续移动平衡瓶直至燃烧时产生的烟气完全消失为止。

④ 关闭电源, 待冷却后抽回至量管中。冷却后测得气体容积为B。

⑤ 再将气体压入吸收瓶1中, 除去CO<sub>2</sub>后, 再量气体容积为C。

至此, 气体试样的分析才算完成。

(5) 气体分析器的使用注意事项

1) 每吸收一种气体, 必须进行几次读数, 直至读数不变时为止。尤其是吸收CO时, 由于反应慢, 最后应用高浓度的吸收剂吸收, 读数仍应不变。

2) 在最后一次吸收后, 将试样抽回量管时, 其速度应缓慢, 并须静置几秒钟, 待管壁上附着的溶液流下后, 方可读数, 以免造成测量误差。

3) 读数时必须将平衡瓶的水位与量管中的水位对齐(处在同一水平位置), 即内外压力相当于大气压力时读数方为正确。

4) 在分析过程中, 严禁将吸收剂冲入旋塞和连接毛细管内。由于不小心冲入后, 必须拆下洗净后才能应用。

5) 每种吸收剂的吸收气体量都有一定限度, 因此应根据使用情况, 定期更换吸收剂。

6) 氢气燃烧点为270~300°C, 甲烷气燃烧点为850~900°C, 因此, 燃烧温度过高或过低都会对结果有影响。

7) 燃烧时封气液不可与焰热的铂金丝接触, 以避免损坏铂金丝及燃烧管, 并须断电后, 稍凉约30秒钟再抽回量管。

4. 各成分含量的计算

(1) CO<sub>2</sub>、C<sub>n</sub>H<sub>n</sub>、O<sub>2</sub>、CO百分含量的计算:

$$\text{CO}_2 = 100 - a (\%), \quad \text{C}_m\text{H}_n = a - b (\%),$$

$$\text{O}_2 = b - c (\%), \quad \text{CO} = c - d (\%).$$

式中  $a$  ——  $\text{CO}_2$  吸收后的气样容积 (mL);  
 $b$  ——  $\text{C}_m\text{H}_n$  吸收后的气样容积 (mL);  
 $c$  ——  $\text{O}_2$  吸收后的气样容积 (mL);  
 $d$  ——  $\text{CO}$  吸收后的气样容积 (mL)。

(2)  $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2$  百分含量的计算:

$$\text{CH}_4 = y \cdot \frac{C_m}{C'_m} (\%)$$

$$\text{H}_2 = \frac{2}{3} (x - 2y) \cdot \frac{C_m}{C'_m} (\%)$$

式中  $C_m$  —— 气样中除  $\text{CO}_2$ 、 $\text{C}_m\text{H}_n$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}$  外,

所余混合气的容积 (mL);

$C'_m$  —— 从所余混合气容积  $C_m$  中所取之一部分混合气容积, 一般取  $C'_m = 10\text{mL}$ ;

$x$  —— 经燃烧后的体积减量,  $x = 100 - B$ ;

$y$  —— 经  $\text{KOH}$  吸收  $\text{CO}_2$  后的体积减量,  $y =$

$$B - C;$$

$B$  —— 经燃烧后的气体容积数 (mL);

$C$  —— 经  $\text{KOH}$  吸收  $\text{CO}_2$  后的气体容积数 (mL);

(3)  $\text{N}_2$  百分含量的计算:

$$\text{N}_2 = 100 - \text{各成分含量之和} (\%)$$