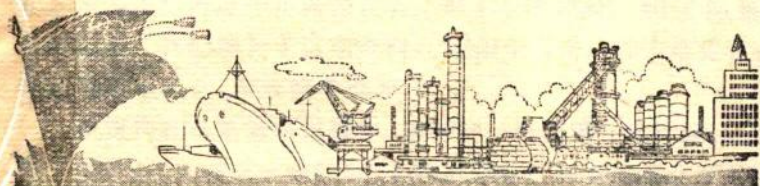


炼钢电弧炉炉内排烟装置

上海中华冶金厂
第一机械工业部第二设计院



工业技术资料

第142号

上海人民出版社

炼钢电弧炉炉内排烟装置

一、前 言

炼钢电弧炉在冶炼过程中产生大量烟尘，如果不采取积极措施，不但影响生产，而且严重地污染厂区环境卫生，危害到工人和周围群众的身体健康。

“无产阶级文化大革命是使我国社会生产力发展的一个强大的推动力。”经过无产阶级文化大革命的锻炼，我们厂、院广大革命职工和设计人员，在毛主席“备战、备荒、为人民”的伟大方针指引下，破除迷信、解放思想，于1967年底试制成功了一台炼钢电弧炉炉内排烟装置。初步解决了长期以来电弧炉炼钢中存在的烟、尘、热等难题，并为除公害，战“三废”闯出了一条新路。

当前，在抓革命，促生产，促工作，促战备的伟大战略方针指引下。除公害、战“三废”，变废为宝，大搞综合利用的群众运动正在全国范围内进一步蓬勃兴起。为了交流经验，相互促进，共同提高，我们编写了这本资料。但限于水平，其中难免存在错误和不足之处，希望读者批评、指正。

本资料在总结编写过程中，曾得到一机部第一设计院、北京钢铁设计院、上海冶金设计院、上海机修总厂和上海闸北区卫生防疫站等单位的大力协助。

二、电炉炼钢过程及烟气的生成

电炉在冶炼过程中产生大量烟气，随着炉料种类，冶炼条件和不同的冶炼阶段，所产生的烟气量和灰尘浓度也不一样。我

们采用氧化法炼钢，现将其不同冶炼阶段产生的烟气情况简述如下：

1. 熔化期：约占全部冶炼时间的一半。当炉料熔化时，由于炉料中的油脂类可燃性物质的燃烧和金属性物质在高温中气化而产生黑褐色浓烟。

2. 氧化期：约占全部冶炼时间的四分之一。当炉料熔化完毕后，为强化脱碳除气采用加矿石和吹氧等措施。吹进熔池氧气的压力为 $6 \sim 8$ 公斤/厘米²（冶炼高合金钢时约为 $8 \sim 12$ 公斤/厘米²），因氧气吹入钢水，使碳氧化而脱碳，致产生大量赤褐色浓烟。

3. 还原期：主要是去除钢液中的氧和硫，最终调整化学成分到规定数值，控制钢液温度，创造良好的脱氧、去除夹杂物和脱硫的条件，保证钢的质量。还原期大约 20 分钟左右。由于还原期投入炭粉等造渣材料，在高温下进行燃烧反应。因此，在投料时，产生白色和黑色浓烟。

从以上情况可以看出，电炉在整个冶炼过程中均产生烟气。氧化期吹氧时，烟气量最大，其次是熔化期，还原期烟气量最小。一般每熔炼 1 吨钢产生 $8 \sim 12$ 公斤灰尘。在吹氧时灰尘浓度可高达 18 克/标米³，烟尘粒度 90% 在 1μ 以下。

三、炉内排烟装置简介

1. 系统概况(图 1)

炉内排烟就是在电炉炉顶耐火砖处开一个适当大小的孔，水冷排烟弯管从炉盖上插入炉内，直接从炉腔内排除烟气。为了使炉盖调换方便，水冷弯管设计成 45° 斜面与系统排烟管相搭接。排烟管道固定在炉子平台托架上，利用对准炉子旋转中心的转动连接箱，使在炉子前后倾动时，排烟管道能够灵活自

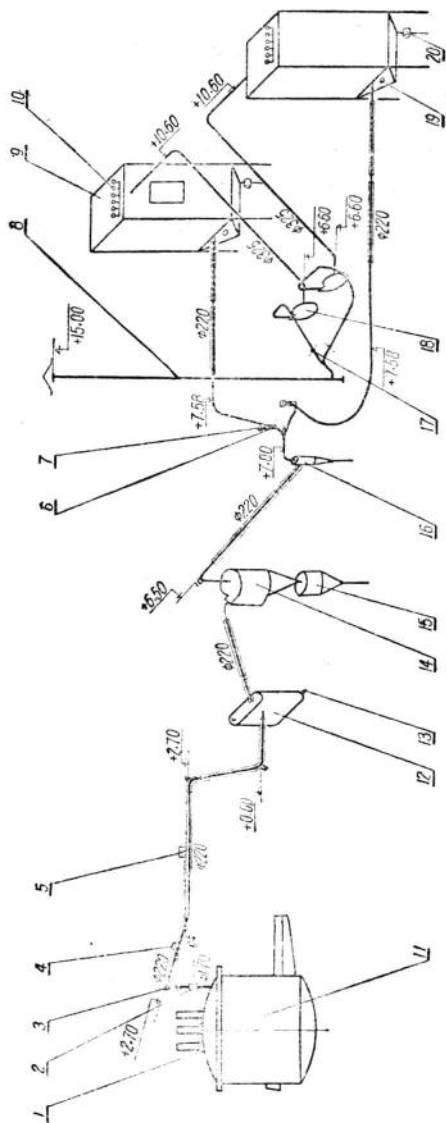


图 1 炉内排灰装置系统图

1—电极密封圈；2—旁通调节阀；3—防爆清灰门；4—排灰管斜面接口；5—SM2-120 电动执行机构；6—电动盘形阀 ($D_g=200$)；7—FS 30 型电动执行机构和；8—烟窗；9—42 米²脉冲式布袋除尘器；10—Q23XD 型电磁阀；11—电弧炉 (1 吨)；12—转动连接箱；13—清灰门；14—平旋器 ($\phi 500$)；15—中间存灰器；16—放灰器；17—排风机；18—蝶阀 ($D_g=300$)；19—防爆门；20—机械泄灰装置

如。为了防止烟气中的一氧化碳气体偶然爆炸和保持系统清灰方便,在排烟管道和设备中均适当考虑设置防爆门和清灰门。由于从炉内抽出的烟气温度很高,并受布袋除尘器使用温度限制,在布袋除尘器前的排烟管道、转动连接箱、平旋器均采用水冷夹层以降低烟气温度。为了调节不同冶炼阶段的排烟量和保持系统中烟气流速不变以免管道积灰,在水冷排烟弯管上装置旁通调节阀,采用 SM2-120 型电动执行机构进行遥控。烟气经平旋器、布袋除尘器净化处理后,由排风机排入大气。

说明:

1. 1 吨三相电弧炉系炉身开出,炉顶装料,可控硅自动配电。
2. 排烟管有 40 毫米水夹层,内套管为 $\phi 220 \times 4$ 氧气瓶报废坯料,外套管原要求 $\phi 300 \times 5$,后以 $\phi 325 \times 8$ 代用。
3. 采用两套脉冲式布袋除尘器和离心式通风机(其中一套备用);安装在室外 +6 米平台上。
4. 脉冲式布袋除尘器上部设有一吨单轨手拉葫芦,除尘器四周有金属结构走台供检修时使用。
5. 8-18-1 #5 离心式通风机风量 3000 米³/时;风压 540 毫米水柱;配用电动机 JO51-2, 10 瓩。
6. 脉冲式布袋除尘器,采用天津玻璃纤维厂生产的中碱玻璃纤维圆筒布, $\phi 120$, 工作温度 $t \leq 250^{\circ}\text{C}$, 本除尘器采用定时电动反吹装置控制压缩空气进行吹灰。
7. 电弧炉的电极孔周围加有密封圈,以减少电极周围的空隙,提高排烟效果。

2. 系统的流程和操作步骤

(1) 流程: 炉内烟气→水冷弯管→炉盖上排烟管→转动连接箱→平旋器→布袋除尘器→排风机→烟囱→排出大气。

(2) 操作步骤: 熔化期,启动排风机,同时开启旁通调节阀掺入空气,调节排烟量到电极孔不冒烟为止。

吹氧助熔或氧化吹氧时,开足旁通调节阀,使炉内抽烟量达到最大(此时不掺空气)。

吹氧结束,还原期扒渣前,逐渐关闭旁通调节阀,使排烟量渐次减少,至还原期飘入炭粉后,再调节排烟量使至电极孔处稍冒烟为止。这时炉内压力处于微正压状态。

还原期结束出钢后,开足旁通调节阀,直至加料、通电,再恢复到熔化期位置。

每套风机前装有电动盘形阀,风机后装有蝶阀,作为系统启闭用。使用中的一套风机,上述阀门均开启,另一套备用风机,上述阀门均关闭。

布袋除尘器可根据压力计上阻力变化情况定期进行反吹出灰。

3. 特点

(1) 直接从炉内排除烟气,效果好,排烟量小,相应通风净化设备容量大大减小。特别是对大容量的电炉更是如此。

(2) 在整个冶炼过程中均可有效地排除烟气。对钢的质量没有影响。还原期只要适当调节系统排烟量,并和炉前操作配合,可以在抽风情况下,造好渣,炼好钢。

(3) 可以加快降碳速度,缩短氧化期,降低耗电量。使矿石和氧气消耗量减少,延长炉盖寿命。

(4) 采用炉内排烟后,电极孔上基本不冒烟,工人调换电极不感到烫。吹氧助熔和氧化吹氧时,炉门不喷火,炉内清晰,便于操作,提高了生产效率,改善了劳动环境。图2为熔化期炉内排烟装置运转时情况;图3为吹氧时和还原期有无使用炉内排烟装置的对比。

(5) 为实现电炉烟气综合利用创造条件。如炉气中的一氧化碳和灰尘中含有的大量氧化铁均可回收利用。

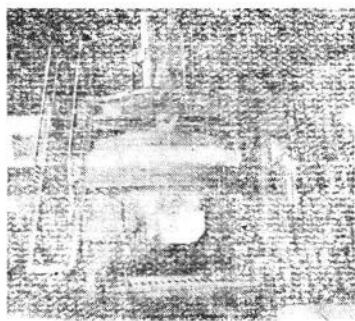


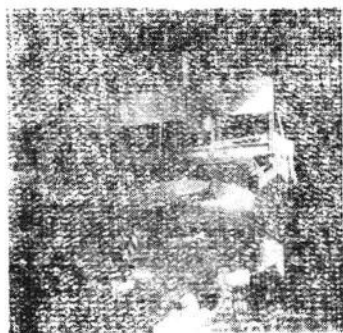
图2 熔化期炉内排烟装置运转时情况



吹氧时使用炉内排烟装置



吹氧时未使用炉内排烟装置



还原期使用炉内排烟装置



还原期未使用炉内排烟装置

图3 吹氧期和还原期有无使用炉内排烟装置对比

四、炉内排烟与冶炼关系

采用了炉内排烟以后,对冶炼过程有否影响,这是一个令人关心的问题。但自炉内排烟装置投产以来,经过炼钢工人和技术人员的共同努力,反复实践,不断地总结经验,改进操作方法之后,事实证明:不但排烟效果好,解决了长期以来电炉炼钢中烟、尘、热等难题,而且和所想象的恰恰相反,在保证钢质量的前提下,还可以加快炼钢速度,降低耗电量和耗氧量。下面就冶炼有关问题进行分析。

1. 有关冶炼作业指标

(1) 现将每冶炼1吨钢水的平均耗电量列于表1;需要时间列于表2。

表1 每冶炼1吨钢水的平均耗电量

时 期	排烟装置	耗 电 量 (度/吨)	备 注
1961年~1967年	未 安 装	792~1366	
1968年~1970年3月	采用炉内排烟	591~740	
1970年4月~1971年9月	采用炉内排烟 及煤气回收	476~565	从1970年4月3日起采用可控硅自动配电

表2 每冶炼1吨钢水所需要的时间

时 期	排烟装置	平均每吨钢水 耗时(分钟)	备 注
1967年	未 安 装	60~63	
1968年~1970年3月	采用炉内排烟	48~57	
1970年4月~1971年9月	采用炉内排烟 及煤气回收	41~43.5	从1970年4月3日起采用可控硅自动配电

从表 1、表 2 可以看出使用这套装置以后,对冶炼时间和耗电量,不但没有增加反而相应减少。

(2) 电极消耗量没有增加,均保持在 5 公斤/吨左右。

(3) 耗氧气量减少。炉盖寿命延长,一般都在 300 炉以上。合金元素消耗量没有增加。

2. 冶炼中出现的问题及其解决办法

用不同的方法去解决不同的矛盾,这是马克思列宁主义者必须严格地遵守的一个原则。采用炉内排烟以后,客观条件变化了,冶炼操作方法也应随之改变;如果因循守旧,不采取积极的相应措施,则炉内排烟装置就不可能得到正确地使用和推广。为了摸索新的冶炼工艺和经验,我们组织了以炉前炼钢工人为主体的,有领导干部、技术人员参加的三结合试验小组。经过多次的反复试验,终于初步总结出一些新的炼钢工艺和操作方法。现简述如下:

(1) 氧化期吹氧时,以往炉前工人靠观察炉门口冒出的火焰形状,来判断钢水中的含碳量。采用炉内排烟后,吹氧时烟气大量被抽走,炉门口不再冒火焰。上述观察降碳的老经验就不能适用。而且钢水降碳速度在使用炉内排烟后约增快三分之一,如不及时掌握吹氧量,仍按老的经验操作,钢水中碳的成分就难以控制,容易引起“脱格”(即低碳)。这给操作上带来了新的问题。根据炼钢工人的实践,现采取下列措施:

① 配料时使含碳量适当增高 0.2~0.3%。

② 在吹氧过程中多取一次钢样,炉前观察火花,以便及时判断钢水中的含碳量。

(2) 还原期造渣问题:炉内排烟装置使用初期,曾因炉前操作没掌握它的规律性;同时排烟量没很好调节;在还原期往往不易造好白渣。经过一段时间摸索,终于突破了这个难关。其

办法是:

① 在排烟系统中装置电动旁通调节阀, 根据不同冶炼阶段调节排烟量。从扒氧化渣开始, 排烟量就适当调小, 待还原期渣形成后再逐渐调大。但为了保持炉内的还原气氛, 排烟量不能过大, 以保证炉子处于微正压状态。目前我们是凭经验观察, 通过电动执行机构, 远距离操纵旁通调节阀门。还原期必须调整排烟量到电极孔处有少量冒烟为限。调节阀形式如图 4 所示。如有条件, 可根据炉内压力变化, 装置压力自动控制系统来调节排烟量。

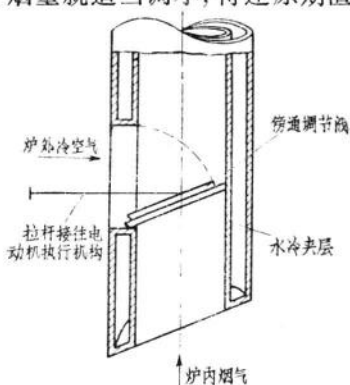


图 4 调节阀

② 必须提高炉子的密封性, 我们在电极孔处安装了电极密封圈。同时要求在还原期应将炉门封闭好, 炉门口钢渣要清除干净, 并在它与炉门底部接触处倒些干砂, 以减少缝隙, 防止漏风。

③ 一定要控制好氧化期末期钢水中的含碳量。一般取钢种下限为宜。如 25 号钢, 含碳量应控制在 0.2% 左右。

④ 扒氧化渣前, 炉内温度一定要控制好, 要求炉温不低于出钢温度, 氧化渣力求扒清, 为造好还原渣打好基础。

⑤ 还原时应适当多加一些炭粉。炭粉粒度适当加粗, 因小颗粒炭粉易被抽走, 第一次飘入炭粉比不抽风时多飘入三分之一, 然后根据渣的情况, 掌握勤飘、少飘, 多分几次加炭粉。一般低碳钢也可以造电石渣, 然后加大抽烟量, 使它氧化变成白渣。

(3) 采用炉内排烟后, 烟尘被抽掉, 炉内清晰, 电弧光辐射很强, 使工人眼睛受到强烈刺激。为防止电光性眼炎, 必须将炼钢镜的色度加深。

五、设计中几个主要问题

1. 炉内排烟量

排烟量的确定是电炉炉内排烟设计中最主要的数。合理的排烟量是指烟气经排走后，炉子在冶炼时不再有烟气向炉外排出，同时亦不会因过多的冷空气进入炉内而降低炉温。排烟量的计算，目前还没有比较统一和完整的方法。我们设计的排烟量是以吹氧量的倍数计算的。根据工艺提出的最大吹氧量为 9 标米³/分，排烟量按吹氧量的 3 倍计算，为

$$3 \times 9 \times 60 = 1620 \text{ 标米}^3/\text{时}$$

在炉内排烟设备安装运转以后，我们曾试图按实际测定取得排烟量数据，但因炉内排出的烟气温度很高，未能用仪器直接测得烟气量，所以只好通过测定推算方法取得。其结果见表 3。

表 3 通过测定推算方法取得的排烟量数据

项 目	风 量 (标米 ³ /时)			排 烟 效 果
	熔 化 期 排 烟 量	吹 氧 期 排 烟 量	系统风量	
设备运转时实测	510	1400	2800	熔化期烟气全部抽掉，炉门及电极孔处看不到烟气，吹氧时炉门口不冒烟，电极孔处少量冒烟。还原期时，为了保证炉内还原气氛，调小排烟量，在电极处稍冒烟

注：(1) 表中排烟效果是在电极孔装置了密封圈以后观察到的效果。

(2) 还原期排烟量没有测定推算，因为这时排烟量最小，不是计算的依据。

如前所述，炉内排烟量在整个冶炼过程的各个阶段有所不同，吹氧期排烟量最大；熔化期次之；还原期最小。而吹氧时间甚短，一般吹氧一次最长只 5~10 分钟左右，因此正确确定吹氧

期排烟量作为设计风量具有重要的经济意义。同时必须指出,吹氧时炉门是敞开的,炉门与电极孔处形成热对流,如果单纯加大排烟量要使电极孔处不冒烟,是有一定困难的,而且也是不经济的。我们曾经做过试验,当排烟量相同,如果电极孔处不加密封圈,则在打开炉门时,电极孔处少量冒烟;吹氧时大量冒烟。而装了密封圈以后,正如表 3 中所示,吹氧时排烟效果就比较满意。因此,我们认为,要提高炉内排烟效果,减小通风净化设备容量,应首先从改善炉子的密封性着手。根据我们的炉子结构情况、冶炼条件,通过一段时间的测定与观察,我们认为如果电极孔处增加密封措施,按 3~4 倍最大吹氧量来计算排烟量是可以达到良好效果的。对于不吹氧的电炉,可按最大降碳速度时产生的烟气量,再加上烟气中一氧化碳完全燃烧后带入的氮气量作为炉内排烟量。

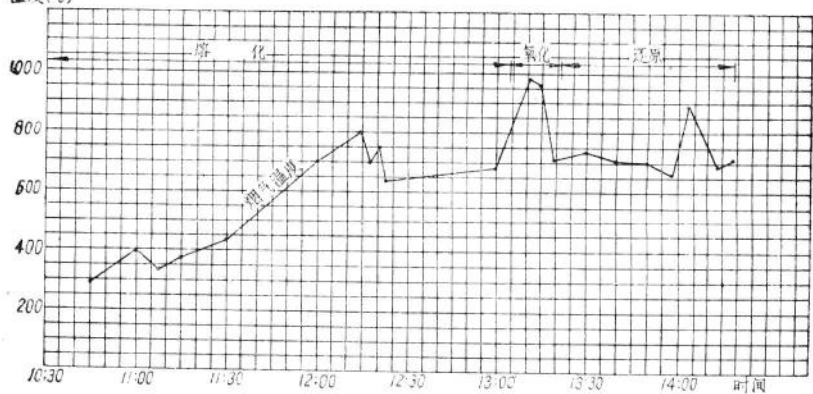
2. 烟气温度的测定

烟气温度是设计炉内排烟装置的一个重要数据。烟气温度的高低,会直接影响炉内排烟系统的冷却水量、散热面积和净化设备容量。因此烟气温度必须正确确定。我们对烟气温度曾进行了两次测定,其结果见表 4 和图 5 所示。

表 4 烟气温度的测定结果

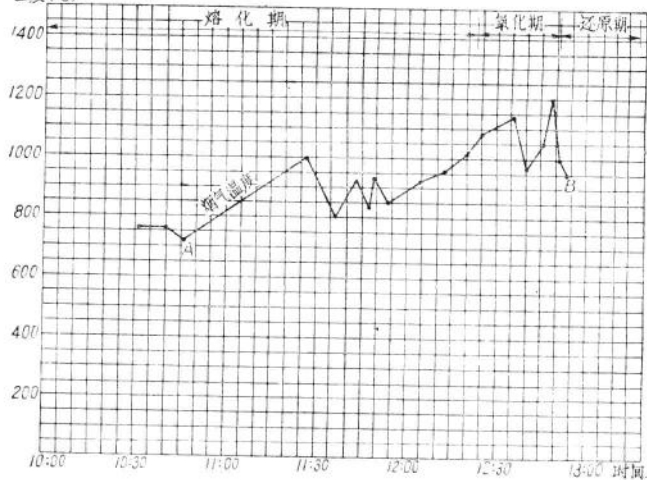
测定次数	密炼钢种	密炼周期	排 烟 量 (标米 ³ /小时)	烟气温度范围 (°C)	平均温度 (°C)
第 一 次	不 锈 钢	熔 化	1100	280~800	530
		氧 化	1100	700~970	850
		还 原	1100	650~900	750
第 二 次	25 号 钢	熔 化	550	720~1030	870
		氧 化	950	960~1200	1070
		还 原			

温度(°C)



第一次测定

温度(°C)



第二次测定

(A 点为换电极时数据; B 点为热电偶烧坏时数据)

图 5 烟气温度测定

从图表中可以看出,氧化期烟气温度的最高在 $700 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 范围,平均温度约 1100°C 。因为氧化期排烟量最大,所以它的对应温度是我们设计所需要的数据。

3. 烟气冷却

由表 4 可见,从炉内抽出的烟气温度很高。因此,系统烟气冷却是一个很重要的问题,尤其当采用干式布袋除尘时,因受布袋材料的使用温度所限,进入布袋除尘器前烟气温度必须 $\leq 230^{\circ}\text{C}$ 。所以烟气必须冷却。

烟气冷却一般可采用水冷夹层间接冷却、直接喷雾冷却和混入冷空气(野风)等方法。为了冷却烟气温度和保护管道,我们对布袋除尘器前的排烟管道、转动连接箱和平旋器,均采用水冷夹层。对于水冷烟管的实际换热系数,我们曾进行过几次测定,从测定的情况看,由于烟气温度很高,因此,换热系数的改变主要是由辐射所造成,烟气温度越高,则换热系数越大。测定数据见表 5~7 和图 6。

表 5 进出各管段的水温及烟气温度

熔 化 周 期	管段编号	烟 气 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)		冷 却 水 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)		烟气与冷 却水平均 温度差 ($^{\circ}\text{C}$)
		进 入	出 口	进 入	出 口	
助熔期	第 1、2 段	1000	906	44	52	905
	第 3、4 段	645	586	43	51	569
	第 5、6 段	498	450	43	50	427
氧化期	第 1、2 段	1080	968	43.5	55	975
	第 3、4 段	710	652	44	52	633
	第 5、6 段	560	520	44	50	493
熔化期	第 1、2 段	860	760	44	50	763
	第 3、4 段	455	410	44	48	387
	第 5、6 段	220	205	44	46	168

表 6 冷却水带走热量

管 段 编 号	冷 却 水 带 走 热 量 (千卡/时)		
	助 熔 期	氧 化 期	熔 化 期
第 1、2 段	28600	38600	18100
第 3、4 段	25100	26800	13400
第 5、6 段	24000	25300	8200

表 7 各管段的计算换热系数 K
(千卡/米²·时·°C)

管段编号	助 熔 期		氧 化 期		熔 化 期	
	计 算 式	K	计 算 式	K	计 算 式	K
第 1、2 段	$\frac{28600}{0.343 \times 905}$	92	$\frac{38600}{0.343 \times 975}$	116	$\frac{18100}{0.343 \times 763}$	69
第 3、4 段	$\frac{25100}{0.85 \times 569}$	52	$\frac{26800}{0.85 \times 633}$	50	$\frac{43400}{0.85 \times 337}$	40.5
第 5、6 段	$\frac{24000}{1.22 \times 427}$	46	$\frac{25300}{1.22 \times 493}$	42	$\frac{8200}{1.22 \times 168}$	40

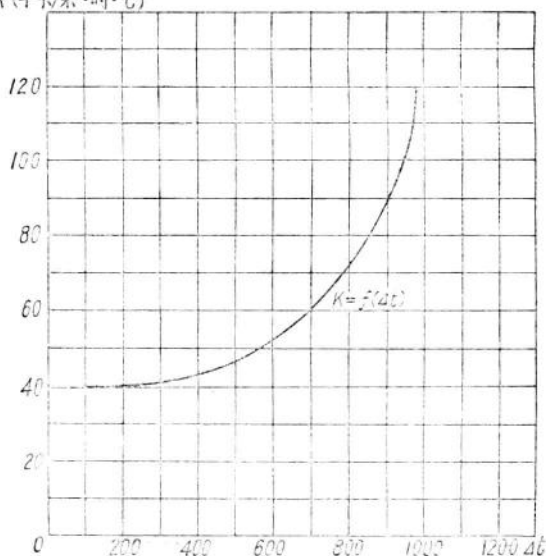
 K (千卡/米²·时·°C)

图 6 水冷烟管烟气与冷却水平均温差(°C)

4. 烟气含尘量与净化

烟气的含尘量与烟尘的分散度是设计净化装置的主要指标和依据。因为按国家卫生标准规定：烟气排放入大气的浓度不应超过 150 毫克/米³。为此，必须根据烟气中的含尘量与烟尘的分散度来选用相应有效的净化设备。

(1) 含尘量的确定：可以按冶炼 1 吨钢产生多少烟尘来表示，也可以按排出每 1 米³烟气中的含尘量来表示。由于排烟量计算还没有一定标准，因此我们认为还是以每冶炼 1 吨钢水产生多少烟尘来表示比较合适。

据有关资料介绍，通常每冶炼 1 吨钢约产生烟尘 2.5~8.0 公斤，灰尘浓度约在 4.5~8.5 克/标米³，吹氧时可高达 10~20 克/标米³，我们测定的数据为 8~12 公斤灰尘/1 吨钢，或 1~18 克/标米³。

(2) 烟尘颗粒度：烟尘颗粒度根据冶炼操作条件而变化（见表 8）。

表 8 烟尘粒度分布（重量 %）

粒子直径 (μ)		<0.1	0.1~0.5	0.5~1	1~5	5~10	10~20	>20
熔化期	1			25	45	7	9	14
	2		2	27	48	7	5	11
吹氧期	1	50	25	15	10			
	2	48	28	10	6	~8		

(3) 烟尘成分：我们曾经对烟尘成分作过测定分析，发现其中含氧化铁成分较高。据此我们曾将布袋除尘器收集下来的灰尘当作氧化剂加以利用。实践证明，用电炉灰尘代替矿石脱磷、脱硫，有一定效果。特别是对脱磷，反应快，效果显著，深受欢迎。如能加工成块状，更便于使用。

有关烟尘成分见表 9。

表 9 烟尘成分

成 分	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	C	S	P ₂ O ₅
%	7.35	27.65	16.90	3.80	2.23	22.13	8.44	10.90	0.16	0.53

(4) 净化设备的选定：由于电炉烟尘的粒度很小，烟气单位体积的原始含尘量很高，因此，净化设备必须根据地区的具体条件和烟尘特点加以选定。一般采用湿法与干法两种。湿法除尘占地面积少，高温烟气冷却问题容易解决；但烟气遇到水呈酸性，对设备腐蚀性大，同时泥浆处理比较困难。如用除尘效率较高的文氏管除尘器，则用水量和压力损失均较大。干法除尘目前在电炉除尘方面用得较多的有布袋除尘器，它效率高，设备不受腐蚀影响，灰尘处理和回收方便；但因受滤布材料使用温度所限，高温烟气冷却比较困难，设备占地面积较大。我们开始安装第一台炉内排烟净化设备时，曾采用泡沫除尘器，经一段时间使用，发现存在以下问题。

① 泡沫除尘器筛板和壳体在短时间内就被腐蚀。

② 由于泡沫除尘器效率不高，脱水性能差，运行不到一周，泥浆就逐渐粘堵在挡水板和排风机叶片上，使风机叶轮失去动平衡而抖动，抽风量逐渐减少，如不及时维护清理，则该系统将无法继续正常使用。

鉴于以上两个主要弊病，以后改用脉冲式布袋除尘器，在布袋除尘器前面加一台平旋器，起到第一级除尘和降温作用。为了检修和调换布袋方便，在布袋除尘器上部设有1吨单轨手拉葫芦，除尘器四周有金属结构走台，在设计中考虑到维护工人调换布袋和出灰方便，我们又将布袋除尘器上部盖板设计成可装卸的，下部出灰斗采用机械泄灰装置。投产以后除尘效果良好。经初步测定，初含尘量为9500~15000毫克/米³·时，除尘效率可