

导风器 在消烟除尘上的 应用

8

1973

铁路机务技术资料



人民交通出版社

铁路机务技术资料

导风器在排烟除尘上的应用

交通部科学研究院 机车车辆研究所
沈阳铁路局沈阳分局 首都钢铁公司运输部
首都钢铁公司建华铸钢厂 北京劳动保护研究所

8

1973

人民交通出版社

1973年·北京

内 容 提 要

为了解决固定锅炉和蒸汽机车的烟尘对大气的污染问题，交通部科学研究院会同沈阳、北京市等有关单位，利用导风器进行了实地安装试验和大量的科学研究工作。这里介绍了有关导风器的理论、在建设型机车上的应用和沈阳机务段、首都钢铁公司在固定锅炉上的试验初步成果，内容通俗易懂，可作解决烟筒消烟除尘工作上的参考。

铁路机务技术资料

导风器在消烟除尘上的应用

交通部科学研究院机车车辆所主编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：3 $\frac{1}{4}$ 字数：58千

1973年11月 第1版

1973年11月 第1版 第1次印刷

印数：0001—10,000册 定价(科一)：0.19元

前 言

世界上由于工业发展的结果，大气污染已成为许多国家急需解决的一个问题。随着我国社会主义建设事业的飞速发展，消烟除尘也逐渐成为一些工业城市目前一项迫不及待的工作。利用导风器消烟除尘，不但能减轻大气污染，而且也是一项节约燃料的有效措施。

我国目前城市的固定锅炉和铁路上的蒸汽机车大部份都用煤或油作燃料。由于煤、油不能在火箱内完全燃烧，造成黑烟滚滚，粉尘纷飞，不但大量浪费燃料，而且污染空气，严重影响人民身体健康。在固定锅炉和蒸汽机车上利用二次空气，使燃料得到更完全的燃烧，是消烟除尘的一个重要方法。交通部科学研究院机车车辆研究所在1961—1962年曾在建设型5706号蒸汽机车上安装导风器，利用蒸汽射流诱导二次空气，喷入火箱的火焰上，取得消烟除尘和节约煤炭的效果。1972年下半年，首都钢铁公司运输部及建华铸钢厂、沈阳铁路分局沈阳机务段等单位在固定锅炉上用导风器进行消烟除尘的试验，也取得很好效果。

导风器具有构造简单，不用特殊钢材，加工容易、造价低廉，而且用蒸汽诱导，不需要增添其他动力设备，凡是有蒸汽的地方都能使用的优点。为了对目前全国各大城市积极开展中的消烟除尘、节约燃料等工作有所帮助，我们编写了这本小册子。文内除介绍了导风器的原理、构造、作用等普通知识外，还摘要转载导风器在建设型机车上应用的试验研究，首都钢铁公司运输部、建华铸钢厂和沈阳铁路分局沈阳

机务段在机车固定锅炉和立式固定锅炉上的试验结果，供全国各地有关同志们的参考，以起到抛砖引玉的作用。

因为我们水平不高，加上时间仓促，错误之处一定不少，希望广大读者及时指正。

编 者

1973年 3 月

目 录

前言

第一部份 导风器简介	1
一、导风器的原理	1
二、国外应用导风器的情况	5
三、导风器的作用、构造及主要尺寸	6
四、导风器的安装位置	13
五、导风器的性能测试	16
六、导风器的安装工艺和安全措施	23
七、固定锅炉(自然通风)上安装导风器的问题	23
第二部份 导风器在建设型机车上应用的试验研究	
究	32
一、简介	32
二、试验经过	32
三、导风器的数量及其主要尺寸	33
四、导风器安装位置的确定	35
五、导风器的耗汽量	36
六、试验结果的分析	37
七、结论与建议	52
第三部份 沈阳铁路分局沈阳机务段DK ₁ 型31号 蒸汽机车代替固定锅炉安装导风器简易热工 试验结果	56
一、简介	56
二、导风器的构造、主要尺寸和安装位置	57

三、试验准备工作	59
四、热工试验	60
五、结论	70
第四部份 首都钢铁公司运输部 PL_6 机车代替固	
定锅炉安装导风器的试验结果	71
一、简介	71
二、导风器特性的测试	71
三、锅炉热工性能测试数据	79
四、试验结果分析	81
第五部份 首都钢铁公司建华铸钢厂在立式三回	
程锅炉装用导风器的初步试验结果	83
一、锅炉设计参数	84
二、导风器规格和安装方式	84
三、消烟除尘效果	84
四、锅炉热效率	85
五、其他有关数据	85
六、分析意见	86

第一部份 导风器简介

一、导风器的原理

(一) 烟筒冒黑烟的原因

1. 燃烧

燃料的燃烧过程就是燃料中可燃物与空气中氧的化合过程。为了使燃料得到完全燃烧，就必须在燃烧过程中供给充足的氧，燃烧产物中不含有能再燃烧的物质，这样的燃烧称作完全燃烧。

燃料得到完全燃烧时，燃烧产物中含有二氧化碳(CO_2)，二氧化硫(SO_2)，氮(N_2)，水蒸汽(H_2O)，及氧(O_2)。

如果在燃烧过程中供给的氧不足，则燃烧产物中含有没有燃烧的可燃物质，这样的燃烧称作不完全燃烧。不完全燃烧时，烟筒冒黑烟(燃烧剩余物)，燃气中除含有在完全燃烧时的一些成份外，还含有可燃的成份，如一氧化碳(CO)，氢(H_2)，甲烷(CH_4)及 C_mH_n 等一些高级碳氢化合物。但 H_2 及 C_mH_n 等可燃气体的含量较小，一般可以忽略不计，在计算时只考虑 CO 一种。

一氧化碳(CO)是无色无味的，从色别上是看不到的。

2. 烟筒排出的燃烧产物

(1) 燃气

燃气是指：可燃气、二氧化碳、干空气、大气中的水蒸汽、附加水份的蒸汽(加煤机所用的蒸汽、燃料中的洒水

等)。

(2) 燃烧剩余物

燃烧剩余物包括灰碴、烟碴(有相当一部份落到灰箱、烟箱及烟道内。这里所指的是从烟筒排出的部份)。

(3) 煤烟

颗粒在一微米以下,用显微镜方能看到。

3. 黑烟的成份

黑烟主要是由烟碴、灰碴及煤烟造成的。烟碴是未完全燃烧的煤粒,含碳量较高,表面呈黑色。灰碴是燃料中可燃物燃尽后所残留的沙土、石灰等不能燃烧的固体物质。由于所含物质的不同,灰碴大体可区别为:由硅酸矾土所组成的灰份,表面呈白色;含有硫化铁的灰份,表面呈褐色;煤中含铁份,铁与硅酸化合生成硅酸铁,呈灰色、绿色或黑色。

从节煤的角度来说,灰碴不是节煤的对象,但从颜色方面鉴别,灰碴与烟碴的颜色是不能截然分开的,所以,把灰碴和烟碴列为造成冒黑烟的重要成分之一。

煤烟是指燃料挥发份中未完全燃烧的一种可燃物。未完全燃烧的碳浓缩为煤烟。这种煤烟在燃烧过程中大都漂浮在燃烧层的上面,极易被排除到烟筒外,是造成冒黑烟的主要因素,更是在消灭黑烟中的主要对象。

煤烟有易被排出的不利的一面,也有容易燃烧的有利一面,如能提高火箱的温度,并用二次空气和搅拌回旋的燃烧方式,这种煤烟是较为容易完全燃烧的。

煤烟不仅在机车燃气流速较高的情况下,容易飞逸,就在自然通风的固定锅炉燃气流速仅4~5米/秒的条件下,也能漂浮在燃气中,从高大的烟筒中排到大气中去。但固定锅炉与蒸汽机车相比较,在消烟除尘方面是比较容易的。

烟筒排出的烟碴(一般称飞扬损失)多半是在燃气流速

较高的情况下出现。燃气流速越高，烟筒排出的烟碴量越多。烟碴的含碳量很高，碳的发热量一般在8060大卡左右，因此烟筒排出的烟碴越多，飞扬损失就越大。这是造成空气污染和费煤的主要原因。

综上所述，冒黑烟的原因，与通风强度，燃气流速、煤颗粒、火室温度、燃料挥发份、固体燃料产物的多寡、焚火方法等有关。根据不同情况，进行具体分析，充分发挥人的主观能动作用，采取相应措施，黑烟是能够消灭的，消烟除尘也是能够办到的。

（二）减少和消灭黑烟的方法

减少和消灭黑烟的方法很多，一般可从两方面予以减少和消灭。

一方面是在燃烧过程中进行减少和消灭。如改进通风装置，例如采用扁烟筒多喷口矩形通风装置，不仅能节煤5—20%，而且还能减少黑烟；改进焚火方法，利用薄火层加速空气流通；采用勤投少投的焚火方法，减少烟道的阻力等等。

另一方面是燃料在燃烧过程中，已经产生了黑烟，在从烟筒排出以前，予以减少和消灭的方法。如1.采用向火箱火焰中注入纯氧；2.向火层上面燃气注入高压空气；3.向火层上面燃气中注入蒸汽；4.用蒸汽向火室内诱导二次空气。

第一种方法，虽然能收到良好效果，但纯氧的成本很高，不经济。

第二种方法，从喷嘴向火箱注入空气时，若能作到严格控制风量、风速，适当扩大喷管出口直径，合理分配安装位置，并使注入的风量实现均匀分布，充分扩散，也可收到良好效果。但用空气压缩机压缩的空气向火箱注入时，空气压缩机本身要耗费蒸汽，在经济方面也是值得考虑的。

用鼓风机向火箱喷射二次空气时，要注意二次空气是否能在燃气中扩散，是否能把二次空气供给到空气不足的地方。当采用直交喷射供给方案时，更有效的方法，是强迫那些在燃烧室内流动着的燃气，促其进行充分混合，可采用使燃气强迫混合的办法，即采用性能较强的鼓风机把二次空气送进到火箱内。二次空气流的喷射初速很大（40—80米/秒），这样就能够按扩散的原理，让混合气流成稳流状态，扩大火焰的燃烧面使燃气进行充分燃烧。为此，喷咀的数量、位置、角度要合适，鼓风机喷管出口直径一般以40~50毫米为宜。在平行喷射供给方案中，与其说较强的鼓风机是二次空气的来源，不如说是一种气体动力方面的搅拌器。它能够使空气不足（ $\alpha < 1$ ）的流层和过剩的平行流层相混合。

以鼓风机把二次空气喷射到主烟气流里去的射程是很重要的，一般可以采用气体动力学试验中得到的半经验性公式（1—1）来进行粗略计算：

设 w_1 ， T_1 及 w_2 ， T_2 分别表示燃气流及二次空气流的流速和温度， d_s 表示所用鼓风机的喷咀当量直径，则射程为：

$$L_{op} = k_1 \frac{w_2}{w_1} \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \cdot d_s \dots \dots \dots (1-1)$$

式中： k_1 ——经验系数，平行喷射圆型喷咀时的 $k_1=1.5$ ；直交喷射时的 $k_1=1.8$ ；当气流中心线在水平方向倾斜 $30^\circ \sim 45^\circ$ 时，任何形状喷咀的 $k_1=1.85$ 。

所用鼓风机的喷射速度 w_2 ：

$$w_2 = \sqrt{\frac{2g\Delta p}{\zeta \gamma_a}} \quad (\text{米/秒}) \quad \dots \dots (1-2)$$

式中： ζ ——喷咀和鼓风机阻力系数， $\zeta \approx 1.5$ ；

γ_a ——空气的重度，公斤/米³；

Δp ——气流压头（毫米水柱）。

第三种方法，即向火层上面喷射蒸汽的方法，如果喷咀

的安装位置恰当合适, 蒸汽流量流速理想, 并能给燃气以冲击, 使燃气回旋流动, 是能够收到消烟效果的。过去欧洲曾有些机车采用过这种方式※[6], 日本有些机车一度也用过。但是注入火室内的蒸汽虽然含有氢 (H_2) 和氧 (O_2) 的成分, 但氢 (H_2) 只能在高温条件下才能分解燃烧, 而且蒸汽含氧很少, 加上流速流量难以控制, 所以效果不太显著。

第四种方法, 是利用蒸汽诱导空气进入火箱辅助燃烧, 国外称为蒸汽空气喷射装置, 本文简称导风器。用导风器诱导空气是本文所要介绍的方法。

二、国外应用导风器的情况

利用蒸汽诱导空气在蒸汽机车上助燃在美国、日本等都会进行过一个时期的研究, 并取得了一定的成果。据报导※[2]: 美国约用三年的时间, 曾在多种类型机车, 包括大型机车马莱型机车及现代化的 2—4—2 型客运机车上进行过试验, 并在 25 条铁路的 700 台机车上安装了导风器。纽约中央铁路定置试验台曾对它减少黑烟浓度的效果进行过试验, 能够减少黑烟约 20—60%, 并能节煤。在日本也曾进行过一个长时期的试验研究, 据报导※[3], 通过七次机车定置试验和正线牵引列车试验, 综合其结果, 得出主要结论是:

(1) 导风器如果安装得适当合理, 其消烟效果是显著的, 消烟程度平均能减少黑烟三分之一;

(2) 能节煤 5~6%, 机车锅炉效率能提高 4~6%;

(3) 机车炉床上不发生炼结情况;

(4) 蒸汽喷咀直径在三毫米时, 喷咀蒸汽压力以 5~7 公斤/厘米²为宜;

※ [6] 见书后参考资料 6 项。

※ [2] 见书后参考资料 2 项。

※ [3] 见书后参考资料 3 项。

(5) 由导风器喷入的空气量约为理论空气量的3~4%，喷入的蒸汽量约为100~200公斤/小时(6~8个导风器)；

(6) 导风器装置的研究试验结果，被列为日本国铁标准，由铁道工厂制造。除机车外，其它锅炉装置也适用，据报导※[4]，该项研究结果，曾被列为1951年度日本铁道科学技术研究成果主要项目之一。

三、导风器的作用、构造及主要尺寸

(一) 导风器的作用

导风器的作用是借蒸汽的喷射诱导空气，以适当的速度喷射到火焰上，由于喷射气柱的流速大，给燃气以冲击，让燃气回旋流动，起搅拌作用，使燃气有机会与二次空气相混合进行充分燃烧。

(二) 应用导风器的目的是为了促进燃气与空气的混合，把混合气体搅拌均匀，补足缺氧，使可燃物得到充分燃烧，提高锅炉效率，节约燃料，消烟除尘。为此，应注意下列各点：

1. 借喷射的流速给燃气以冲击，让燃气回旋流动起搅拌作用，使空气与燃气进行充分混合。

2. 为了把二次空气，供给到空气不足的地方，必须做到均匀分布，充分扩散。为此，要合理地安排导风器的位置、高度和角度。

3. 二次空气量不可过多，也不能过少。过多时易使火箱温度降低，非但不能起到助燃的作用，反而会引起燃烧状态的恶化；过少时，因空气不足，可燃物得不到充分燃烧。实践证明，二次空气量一般以不超过燃烧总空气量的3~4%，大供汽率时，不超过7%为宜。

※ [4] 见书后参考资料4项。

4. 因燃气流速较快, 离开燃烧层的烟碴和漂浮在燃气中的煤烟等可燃物在火箱内燃烧的时间很短, 在较短的时间内让它充分燃烧, 第一要有充足的氧, 第二要有较高的火室温度。燃料的燃烧速度与碳的表面温度, 供给的空气量有关, 若碳的表面温度很高, 供给的空气量又很充分, 碳的燃烧速度就能加快, 就能得到充分燃烧。图 1—1 是表示碳表面温度与燃料燃烧速度的曲线。※[4]

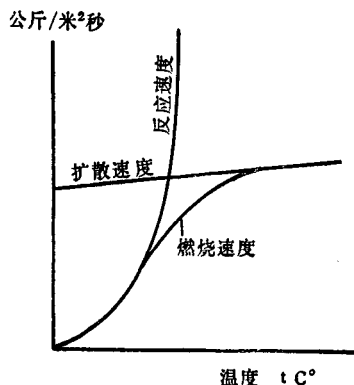


图 1—1 燃料燃烧速度与碳表面温度关系曲线

5. 二次空气的流速 (汽气混合体流速) 不能过大或过小。在给燃气以冲击, 使燃气回旋流动的基础上, 尽量地把混合气体的流速控制在有利的程度。

(三) 导风器的种类及使用方法

从结构形式区分, 大体有 A、B、C 三种类型, 如图 1—2 所示。

导风器是由蒸汽止阀 1, 喷嘴 2, 混合室

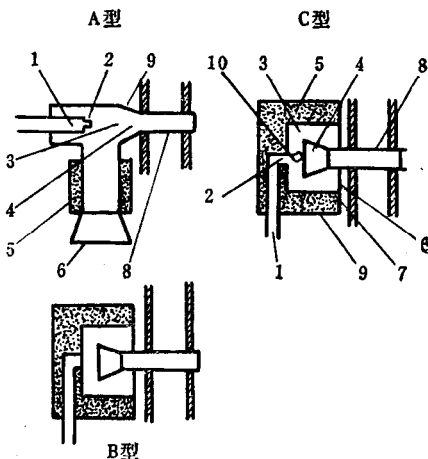


图 1—2 导风器示意图

※ [4] 见书后参考资料 4 项。

3, 裙管 4, 消音装置 5, 空气入口 6, 压盖 7, 导管 8 及外壳 9 等九个部分所组成。

使用导风器的时候, 首先开蒸汽止阀 1 蒸汽经混合室 3 进入裙管 4 诱导空气经导管 8 把二次空气喷射到火室内。空气的通路是经过进风口 6, 消音器 5 进入混合室 3。消音器可用铁丝网里面加石棉制作。为研究喷嘴喷射的性能在 C 型喷嘴前面加一障碍物 10, 经试验证明效果不好, 故不予采用。

(四) 导风器的数量及主要尺寸:

1. 每公斤燃料燃烧时, 所需理论空气量 (按重量) 可按下式计算:

$$L_o = \frac{32}{23.09} \left(\frac{C^p}{12.01} + \frac{H^p}{4.032} + \frac{S_a^p}{32.06} - \frac{O^p}{32} \right) \text{ 公斤/公斤} \dots\dots\dots (1-3)$$

式中: L_o ——理论空气量, 公斤/公斤;

C^p ——每公斤燃料中工作体含碳量, %;

S_a^p ——每公斤燃料中工作体含可燃硫量, %;

H^p ——每公斤燃料中工作体含氢量, %;

O^p ——每公斤燃料中工作体含氧量, %。

2. 过剩空气系数按下式计算

$$\alpha = \frac{1}{O_2 - \frac{1}{2} CO} \dots\dots\dots (1-4)$$

$$1 - 3.76 \frac{N_2}{N_2}$$

式中: α ——过剩空气系数, 蒸汽机车可取 $\alpha=1.1\sim1.2$, 取暖锅炉可取 $\alpha=1.5\sim2.0$ 。

3. 所需导风器个数 N

$$N = \frac{\alpha L_o B_h \times \Delta \alpha}{\Delta L_a} \dots\dots\dots (1-5)$$

式中: N ——所需导风器个数;

B_h ——每小时燃煤量, 公斤;

ΔL_a ——每个导风器每小时诱导空气量, (公斤/个),

$\Delta L_a \approx 110 \sim 130$ 公斤/个;

$\Delta \alpha$ ——二次空气量 (比值) 可按一次空气量的 $0.03 \sim 0.04$ 计算。

4. 导风器的主要尺寸

有关导风器主要尺寸的计算是比较复杂的, 就已有的国内外资料来看, 尚无一套完整的计算方法, 大多数是通过多次实验后选择决定的。美国和日本在这方面做了大量试验, 并取得了许多主要数据。据报导^{※[2]}, 导风器的设计关键, 在于导管的直径和长度, 喷咀的直径和位置, 以及空气进入消音罩通过面积的数量。长期的试验证明, 导管的长度最好是内径的七倍, 最少不少于内径的五倍。蒸汽喷咀的位置, 安在裙管后 $13 \sim 25$ 毫米之间。消音罩进风口面积的风速不超过每秒钟 10.17 米为宜。在火箱侧板上安装导风器, 由于机车限界的关系, 导管的长度被限制在 380 毫米左右, 因此它的内径以 $51 \sim 76$ 毫米为最适当。一般机车选用内径 51 毫米的管子, 大型机车选用内径 76 毫米的管子最为适宜。这种规格的管子是铁路常用的材料, 供应也方便。蒸汽喷咀孔径愈大, 蒸汽的流量愈多, 进风量虽也增加, 但喷射系数 (进风量与耗汽量的比值) 显著降低, 因此, 使用内径 51 毫米导管时, 喷咀孔径以不超过 5 毫米为宜。关于导风器的安装数量方面, 如导管内径 51 毫米的导风器, 大约每 $0.74 \sim 0.79$ 平方米炉床面积安装一个导风器。导风器安装在火箱左右两侧板上, 并相互交错排列, 左侧的第一个, 安装在距后板约 406 毫米的螺撑孔, 高度在炉门框上一排螺撑, 右侧的第一个,

※ [2] 见书后参考资料 2 项。

安装在距后板约 710 毫米的螺撑孔，高度与左侧同，各导风器的中心距为 610 毫米，高出炉床 406~508 毫米。

现将一般所采用的导风器的主要尺寸，用图 1—3 表示如下：（B 型的尺寸请参照图 2—1）

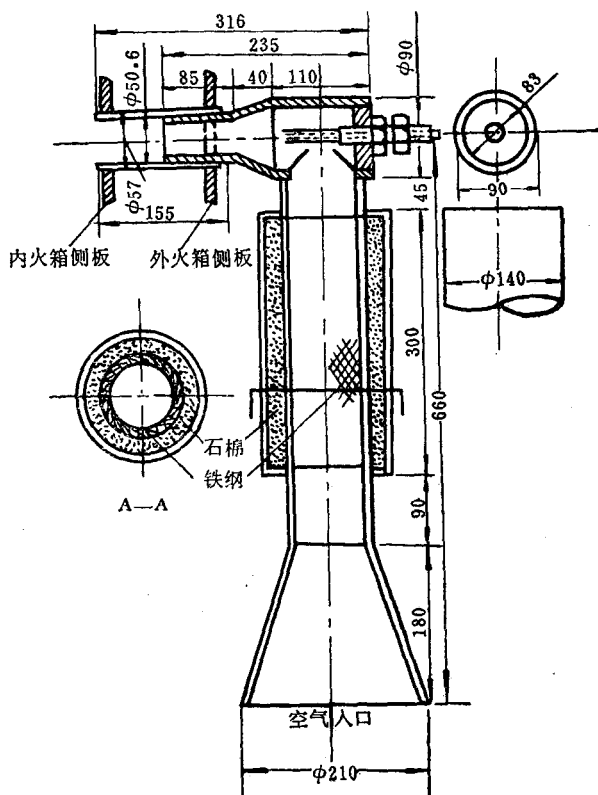


图 1—3 A型导风器主要尺寸示意图

5. 在设计和选择导风器结构尺寸时，要注意以下各点：

（1）导风器的导管起扩压混合作用，气流在导管中，