

鐵路小叢書

蒸汽機車通風裝置

毛海椿編
苏文印校

人民鐵道出版社



蒸汽機車通風裝置

毛海椿編

蘇文印校

人民鐵道出版社出版

(北京市霞公府17號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印

(北京市建國門外七聖廟)

書號1190 開本 $787 \times 1092 \frac{1}{2}$ 印張 $2\frac{1}{2}$ 字數53千

1958年11月第1版

1958年11月第1版第1次

印數0001—1,500冊

統一書號: 15043·808 定價(9) 0.2元

序

蒸汽機車通风裝置效率的高低，直接影响機車的用煤量和機車的牽引力，因此如何提高通风裝置的效率，就具有极其重要的經濟意义。

本書試圖以淺近易懂的道理，使讀者对通风裝置有比較明确的概念，从而注意对通风裝置的使用和調整。書末介紹的理論計算方法，也可作为改造通风裝置时的参考。

由于編者水平所限，因此書中很可能会有一些錯誤和缺点，希望讀者批評指正。

本書編写过程中，承鉄道科学研究院姜鏞、張錦崇两位同志提出了寶貴的意見，并承王柱卿、陆繼勇、庄亞君、王福元、張景嫻等同志协助，在此一併誌謝。

毛 海 椿

目 录

第一章 燃燒和通风	1
一、燃燒.....	1
二、通风.....	6
三、燃燒和通风的关系.....	7
第二章 通风裝置的構造	10
一、廢汽通风.....	10
二、烟箱.....	19
三、渦輪抽风机.....	25
第三章 廢汽噴口	26
一、廢汽噴口和通风的关系.....	26
二、廢汽噴口的形状.....	28
三、廢汽噴射裝置能量的来源.....	37
第四章 烟筒及廢汽噴口	39
一、烟筒.....	39
二、烟筒的尺寸及与廢汽噴口間的距离.....	40
三、廢汽噴口和烟筒的試驗.....	44
第五章 廢汽通风裝置的調整	46
一、廢汽通风裝置的效率試驗.....	46
二、通风裝置的調整.....	52
第六章 廢汽通风裝置的理論計算	62
一、外網截面当量.....	63
二、噴射系数.....	66
三、燃气比容与廢汽比容之比.....	67

第一章 燃燒和通风

一、燃 燒

任何一种可以燃燒的物质，放在空气或氧气中加热时，就起氧化作用，发生热量，温度愈来愈高，等到这个氧化的物质散发热量的速度和它傳給周圍物体或空气而失去热量的速度相等时，这一物质就开始“着火”，或者说已經达到了它的发火点。物质到达发火点后，光和热就同时发生。这种现象，便叫做燃燒。

各种物质的发火点都是一定的，下面就是常見的一些物质的发火点（第1表）。

第1表

物質名称	木 柴	褐 煤	烟 煤	無烟煤	焦 炭	磷	硫 黃	石 油
發火点, °C	280~300	300~400	400~500	700	700	35	240	580

燃燒的条件 上面談到，燃燒是可燃性物质达到发火点后和氧起激烈化合作用并发生热和光的現象。但可燃性物质晒在太阳下面，虽然也和空气接触，却并不能燃燒，必須还要达到一定的温度。因此我們說燃燒必須具备三个条件：

1. 可以燃燒的物质——燃料；
2. 氧气；
3. 发火点的温度。

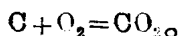
这三个条件是缺一不可的，通常就把它們叫做燃燒的三要素。

燃燒需要的空氣量 燃燒任何物質，都需要空氣，那麼燃燒 1 公斤煤究竟需要多少空氣呢？

我們知道，空氣是兩種主要的气体——氧和氮所組成。如果按重量計算，氧約占空氣的 23%，氮約占 76%；如果按體積來算，氧約占 21%，氮約占 78%（其餘 1% 為稀有气体及二氧化碳）。由此可知，若用 1 公斤氧氣，就需空氣 $\frac{100}{23} = 4.35$ 公斤。

現在根據化學反應來計算一下燃燒 1 公斤碳 (C)、氫 (H)、硫 (S) 時所需的空氣量。（它們的原子量為：C=12, H=1, S=32, O=16。）

在計算碳燃燒需要的空氣量時，先寫出化學反應方程式：



在這個化學方程式中，有一個碳原子，它的原子量是 12；一個氧分子，它的分子量是 $16 \times 2 = 32$ 。意思就是燃燒 12 份碳時需要 32 份氧。現在燃燒 1 公斤碳，需要多少公斤氧呢？可以用比例式來計算：

$$12 : 32 = 1 : x,$$

解這比例，得：

$$x = \frac{32 \times 1}{12} = 2.67 \text{ 公斤。}$$

從以上計算得知，使 1 公斤碳完全燃燒時需氧 2.67 公斤，也即需要空氣 $2.67 \times 4.35 = 11.6$ 公斤。

根據同一方法，可以求出 1 公斤氫完全燃燒時需要的空氣量為 34.8 公斤；1 公斤硫完全燃燒時需要的空氣量為 4.35 公斤。

把上述計算過程結合在一起，就可以根據煤的成份求出

1 公斤煤完全燃燒時所需的理論空氣量 (L_0)。其計算公式為：

$$L_0 = 11.6C + 34.8\left(H - \frac{O}{8}\right) + 4.35S \text{ 公斤空氣/公斤煤,} \quad \dots\dots (1)$$

式中 C 、 H 、 O 、 S 、——1 公斤煤所含碳、氫、氧、硫的百分比。

燃料燃燒時所需的空氣量也可用體積來表示。我們知道，在標準狀態（溫度 = 0°C ，壓力 = 1 大氣壓）時，1 公斤空氣所占的體積為 0.7734 立方公尺，故此時 L_0 公斤空氣的體積 (V_0) 為：

$$\begin{aligned} V_0 &= 0.7734 L_0 \\ &= 8.97C + 26.91\left(H - \frac{O}{8}\right) + 3.36S \\ &\quad \text{立方公尺空氣/公斤煤} \dots\dots (2) \end{aligned}$$

但如空氣溫度升高，則所需空氣量應按下式進行換算：

$$V_t = V_0 (1 + 0.00366t), \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中 t 為空氣溫度 ($^\circ\text{C}$)。

〔例題〕某種煤的元素分析為 碳 62.4%，氫 4.1%，氧 6.9%，氮 1.2%，硫 0.8%，水份 (W) 15.1%，灰份 (A) 9.7%，求燃燒 1 公斤煤所需的理論空氣量。若空氣預熱到 80°C ，其所需的空氣量又為若干？

〔解〕根據公式 (1)，得：

$$\begin{aligned} L_0 &= 11.6 \times 0.624 + 34.8 \left(0.041 - \frac{0.069}{8}\right) + 4.35 \times 0.008 \\ &= 8.39 \text{ 公斤;} \end{aligned}$$

① 因煤中原來含有一部分氧，如與氫化合，則 O 公斤氧可與 $\frac{O}{8}$ 公斤氫化合，因而需要大氣中的氧來燃燒的氫就是 $H - \frac{O}{8}$ 公斤。

根据公式(2)，得燃燒1公斤煤所需的标准状态理論空气量为

$$V_0 = 8.97 \times 0.624 + 26.91 \left(0.041 - \frac{0.061}{8} \right) + 3.36 \times 0.008 \\ = 6.49 \text{ 立方公尺。}$$

如空气温度为80°C，则可根据公式(3)求得空气量为：

$$V_t = 6.49 (1 + 0.00366 \times 80) = 8.39 \text{ 立方公尺。}$$

由于煤的成份不同，它燃燒时所需要的空气量也就不同。一般說来，燃燒1公斤煤所需要的空气量約为10公斤左右。这是根据計算求得的空气量，我們把它叫做理論空气量。

但是，如果只用理論上計算出来的空气量和燃料混合燃燒时，因为空气中的氧不可能全部和碳或揮发物接触，就使一部分碳或揮发物得不到完全燃燒而降低燃料的发热量。为了使燃料得到充分的燃燒，实际供給的空气量就不得不超过理論上所需要的空气量。超过的这一部分空气，叫做过剩空气量。实际空气量(包括过剩空气量)和理論空气量的比值，叫做过剩空气系数(用 α 表示)。

这样一說，好像过剩空气系数愈大，就愈能避免不完全燃燒，效果也就愈好了。其实不是这样。如果过剩空气过多，則有些过剩空气并不参加燃燒，而只是在机車鍋炉內流通一遍(由灰箱进入至烟筒排出)，白白带走热量，使鍋炉蒸发量降低。过剩空气系数的大小，要看煤质、火箱状态及燃燒的快慢而定。根据經驗，最經濟的燃燒时过剩空气量約为理論空气量的20%左右(也即 $\alpha = 1.2$)，但也有高至50%左右的。我国铁道科学研究院在試驗T51型2178号机車后要~~求~~在設計及乘务員的实际工作中尽量采用 $\alpha = 1.1 \sim 1.2$ ，因为在这种情况下，虽然化学不完全燃燒的热損失有所增加，但排烟热損失却在很大程度上減少了。为使1公斤煤燃燒得比較完全，实际所需要的空气量一般約为12~16公斤左右。

完全燃燒和不完全燃燒 如上所述，物質在燃燒时，假

如空气量供給恰当，各方面的条件合适，則燃料中可以燃燒的物质能够燒得一点不剩，如碳完全燃燒时就变成二氧化碳 (CO_2) 而发出大量的热。但是由于种种限制，燃燒往往是在不完全燃燒的状态下进行的。所謂不完全燃燒，是指物质在燃燒后，还存留一部分可以燃燒的物质。碳不完全燃燒时，生成一氧化碳 (CO)，热损失很大。1 公斤固定碳在完全燃燒时可以发生的热量为 8,100 千卡，而不完全燃燒时仅能发生 2,400 千卡。

为使燃料能够得到充分的燃燒，除了需要空气充足之外，还需要給燃料充分和氧化合的时间。这些却受着多种多样因素的影响。在蒸汽机車上，机車乘务員的焚火技术、机車热力技术状态，尤其是机車的通风情况，对煤的充分燃燒有直接的关系。

但必須指出，我們这里所說的完全燃燒和不完全燃燒是指燃料在燃燒时的化学损失如何。此外，也可以从机械损失的角度来理解煤燃燒时有完全燃燒（即煤在燃燒过程中无逸損和漏損）和不完全燃燒的区别。机車冒黑烟，就是表明有很多煤末或游离碳未經燃燒即被排出，同样称做不完全燃燒，热损失也很大。但这必須与化学上的完全燃燒和不完全燃燒严格地区别开来，因为即使烟筒不冒黑烟（或者說无煤的逸損时），在化学上还是会存在不完全燃燒的现象。这就是說，在要求乘务員把煤燃燒完全时，必須做到既无化学损失，又无机械损失。

火焰顏色 煤在火箱內的燃燒程度，一般都是依火箱温度和燃燒状态而定。揮发物中的碳氢化合物在未完全燃燒时，其温度低，发黑烟；当煤达到完全燃燒时，火箱內就呈白热状态，此时温度极高。火色是依着温度的高低而变化的，从火色就可知道火箱的温度，并推知煤的燃燒程度。

第2表是火焰顏色和火箱溫度的關係。

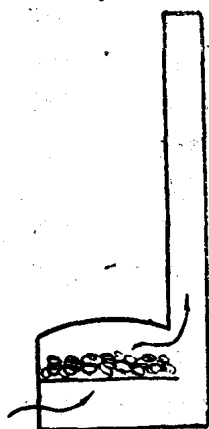
第2表①

火 焰 顏 色	溫 度, °C	火 焰 顏 色	溫 度, °C
黑紅.....	500	深橙.....	1,100
暗紅.....	700	淡橙.....	1,200
深紅.....	800	白.....	1,300
桃紅.....	900	亮白.....	1,400
淡紅.....	1,000	眩目白色.....	1,500

二、通 風

煤在火箱內燃燒時需要大量空氣，而燃燒產物（燃氣）又必須及時地排出，否則燃燒就不可能良好地繼續進行。這種使空氣進入火箱、燃氣經煙筒排出的現象，叫做通風。

通風的種類，一般是分作兩大類：1. 自然通風；2. 機械通風。



第1圖

自然通風 自然通風（第1圖）是最常見的一種通風方法。從圖中顯然可以看到，火箱及煙筒內部的溫度，由於燃燒，一定比爐外要高，因而火箱及煙筒內的气體的比重就必然比外界空氣的比重要小。經過燃燒的、比重小的氣體沿着煙筒上升，而冷的、比重大的空氣就由風門不斷補入，使燃燒繼續進行。

自然通風的通風壓力是隨著煙筒的高度和爐內外溫度之差而變化的。因此

① 參看機車乘務員教材“蒸汽機車焚火”，人民鐵道出版社，1957年版。

它的通风风压就不能随心所欲地来进行调节，限制了燃烧率的提高。除一般小型固定锅炉外，近代工业都很少单纯的采用这种通风方法。

自然通风的另一缺陷是需要有一个很高的烟筒，这对移动的车船就不能适用。

机械通风 机械通风也可以叫强迫通风，即利用机械或其他力量来把空气送入火箱内，并把燃气自烟筒排出，以达到通风的目的。这种通风可以随意调节供给空气的数量和速度，适用于大规模的动力厂和机车轮船等等。

机械通风又因其送入空气的方式不同而分成压送通风和诱导通风。压送通风一般是利用鼓风机或压气机使带有压力和速度的空气由炉床下部进入火箱。化铁炉、炼焦炉等都是采用这种通风方式。诱导通风则将通风机械安装在烟筒（烟箱）部分，利用吸出燃气的办法来使新鲜空气补入。蒸汽机车利用废汽喷射装置或利用涡轮抽风机通风，都是诱导通风。

三、燃烧和通风的关系

蒸汽机车是把煤因燃烧而发出热量，经过传递使锅炉内的水蒸发成汽并造成压力，而后进入汽缸，推动勾贝，使之作功的动力机器。因此，要使这台机器能够多拉快跑，就需要从锅炉里产生出足够的蒸汽。

根据试验，蒸汽机车锅炉所能保证的牵引力约和锅炉蒸发率，也即和锅炉每小时供给汽机的蒸汽量成正比。所以，增加蒸发率，也就是相应地增加牵引力，就可以提高列车的行驶速度及牵引重量。

然而决定锅炉蒸发率的因素很复杂，它不仅同机车质量（特别是锅炉质量）、乘务员的技术水平、煤的质量等有

关，而且因为热量的来源在于煤，因此它更与单位时间内的燃煤数量有密切关系。可以这样说，锅炉蒸发率的大小基本上依据燃烧率（单位时间内单位炉床面积上的燃煤量）的大小而定。燃烧率愈高，锅炉每小时能蒸发的蒸汽量就愈多。

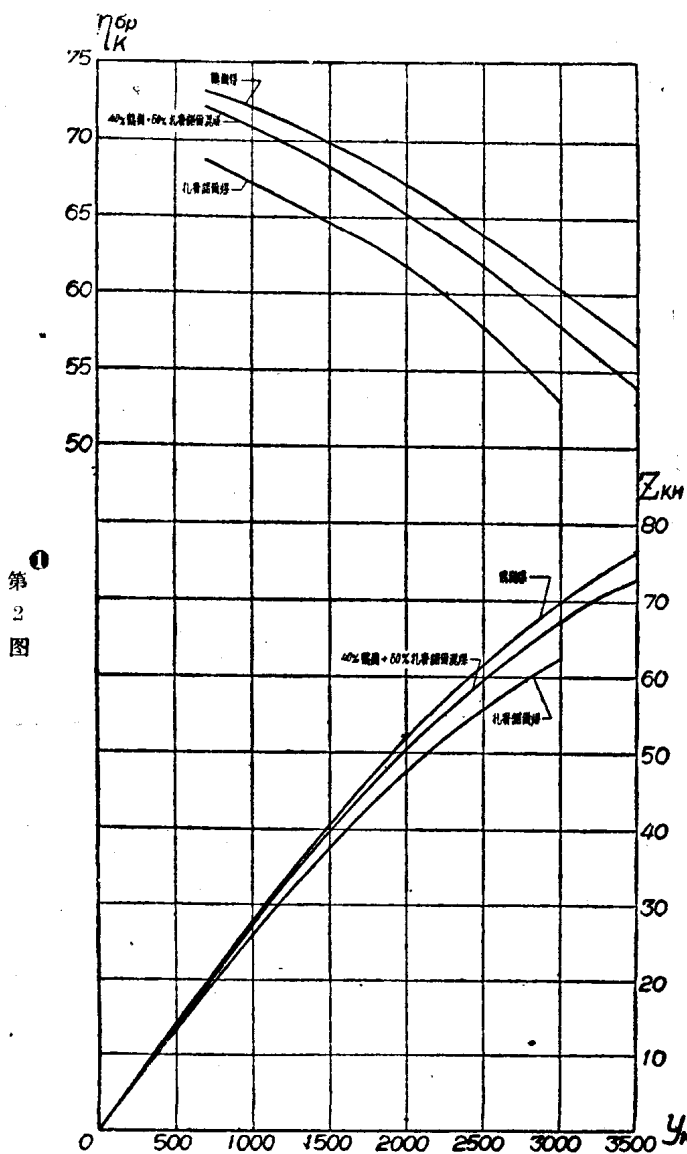
而燃烧率的大小，除了决定于司炉向火箱的投煤量外，还决定于通风力的强弱。只有通风力强的时候，燃烧率才能增加。

通风力的强弱，又影响着锅炉的效率。当通风过强时，燃气的流通速度就高，因此带出的热量就比较多，煤的逸损率也比较高，可燃气体往往在还没有得完全燃烧时即被排出，这样就会白白地损失很多热量。如果通风力过弱，也即空气供给不足时，又会发生燃烧不完全的现象，使热量大量损失，浪费燃料。

由此可见，蒸发率、燃烧率、通风力以及锅炉效率之间存在着密切的关系。提高燃烧率，固然能增加蒸汽量，但锅炉效率却随着燃烧率的增加而逐渐降低。第2图就是T51型3178号机车用直径 $d_k = 79.8 \times 4$ 的废汽喷口分别燃烧100%鹤岗原煤(Γ)、100%扎賚諾尔褐煤(BP)及40% Γ +60% BP 混煤时的锅炉总效率 η_k^{6p} 及标准蒸汽蒸发率 Z_{KH} 与炉床放热率 Y_k 的关系曲线。这些关系曲线，说明了用提高燃烧率的办法来增加蒸汽量并不是经济的。

目前我国主型货运蒸汽机车在平道上运转时的燃烧率一般约为350公斤/平方公尺小时，上坡运转时的燃烧率约为450公斤/平方公尺小时，有时高达550公斤/平方公尺小时或者更多一些。

在蒸汽机车上，蒸发率（或燃烧率）和通风之间存在着一种非常可贵的调节关系。汽缸用汽量大，则废汽增多；废汽量增加就可以提高烟箱真空；也即蒸发率愈高（或燃烧率



① 参看“一五”型蒸汽機車2120号牽引性能試驗及 2178 号熱工性能試驗報告”第90頁，人民鐵道出版社1957年版。

愈高)，則通风愈强。通风强弱，反过来又影响蒸发率（或燃烧率）的高低。这种能够自动调节的供求关系，是蒸汽機車所特有的性質。第3表是以撫順煤（50%是25公厘以下的煤末，50%是25~50公厘的小块煤）試驗T-1型機車（廢汽噴口直徑=145公厘）在不同断汽下，機車速度和烟箱真空、燃烧率、蒸发量、汽机耗汽量以及汽缸背压之間的关系。

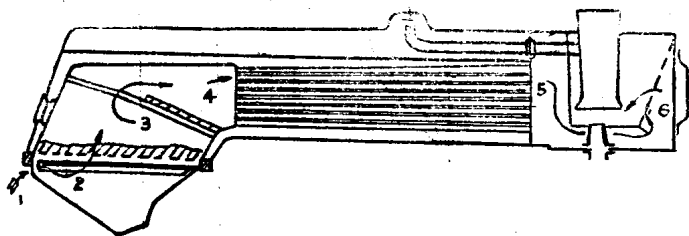
第二章 通风裝置的构造

蒸汽機車的通风采用誘导通风。形式有二种：（1）廢汽喷射裝置；（2）渦輪抽风机。目前最基本的通风裝置是廢汽喷射裝置。

一、廢汽通风

通风阻力 前面已經講过，为使燃烧能够繼續进行，必須要有良好的通风，而通风則需要通风压力。

第3图表示燃料在機車鍋炉內燃烧时空气和燃气在整个



第 3 图

流通过程中的阻力情况。这些阻力是：

1. 空气經灰箱风門进入灰箱时的阻力；
2. 空气經炉床、煤层进入火箱时的阻力；

第3表

动 力 分 数	机 車 速 度 (公里/小时)	10%						20%		
		烟箱容量 (公厘/水柱)	燃燒率 (公厘/平方公分/小时)	蒸發量 (公厘/小时)	汽 机 耗汽量 (公厘/小时)	汽缸背压 (公厘/平方公分)	烟箱容量 (公厘/水柱)	燃燒率 (公厘/平方公分/小时)	蒸發量 (公厘/小时)	汽缸背压 (公厘/平方公分)
		数								
50	12.8	30	95	3,000	2,820	0	37	130	4,300	
100	26	34	120	4,000	3,850	0	50	180	5,800	
150	38	37	140	4,600	4,400	0.02	61	215	6,800	
200	52	40	150	4,800	4,600	0.05	73	240	7,500	

汽 机 耗汽量 (公厘/小时)	汽缸背压 (公厘/平方公分)	30%						50%			
		烟箱容量 (公厘/水柱)	燃燒率 (公厘/平方公分/小时)	蒸發量 (公厘/小时)	汽 机 耗汽量 (公厘/小时)	汽缸背压 (公厘/平方公分)	烟箱容量 (公厘/水柱)	燃燒率 (公厘/平方公分/小时)	蒸發量 (公厘/小时)	汽 机 耗汽量 (公厘/小时)	汽缸背压 (公厘/平方公分)
		数									
4,030	0	50	170	5,400	5,100	0.02	100	270	8,000	7,800	0.16
5,600	0	75	250	7,800	7,500	0.08	182	480	12,050	11,700	0.40
6,600	0.06	110	320	9,300	9,000	0.15	230	630	15,700	15,350	0.70
7,300	0.08	120	360	9,700	9,400	0.25					

注。此表參看“蒸汽機車工程”一書。

3. 火箱阻力（包括拱磚管及拱磚所給予的阻力）；
4. 燃气通过烟管时的阻力；
5. 反射板的阻力；
6. 火星網的阻力。

为了要克服在流通过程中所遇到的各种阻力，使燃气能够排出烟箱，烟箱内的压力就一定要低于灰箱风門处的压力。

換句話說，在灰箱风門和烟箱間必須有一定的压力降。由于灰箱外的压力为大气压力（即1.0336 公斤/平方公分），烟箱内的压力就一定要低于大气压力，也就是，只有在烟箱内保持一定真空度的时候，才能得到通风压力，才能得到良好的通风，而使燃燒繼續进行。

廢汽通风原理 廢汽通风就是利用廢汽噴出时的速度在烟箱内造成真空。这种噴射效应即为廢汽通风的基本原理。

在沒有研究廢汽噴射效应以前，我們先来研究一下“能”的問題。

“能”就是作功的本領。

“能”有很多种，在这里我們着重講动能。

动能是因物体运动而得来的。例如踢球，球就会从靜止状态而达到一定的速度，这样球就具有了动能（由于外界有阻力存在，因此球的速度渐渐消失直至停止）。

动能的大小同物体本身的质量（重量被重力加速度除）和速度有关系：

$$\text{动能} = \frac{1}{2} m V^2, \quad \dots\dots (4)$$

式中 m ——物体的质量；

V ——物体的速度。

这个公式告訴我們，速度相同的两种物体，質（重）量大的动能就大；反过来，如果两种物体的質（重）量相等。

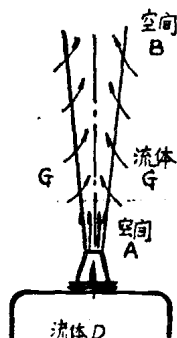
則速度愈大，动能就愈大（成平方比）。

一个皮球能往前滾，就是因为它具有动能（这种动能的获得可以是被人用脚踢或用棍撞击而得来）。如果一个滾动的皮球和另一个靜止的皮球相撞时，靜止的皮球也就会向前滾，这是因为靜止的皮球得到了滾动的皮球所給与的动能的緣故。

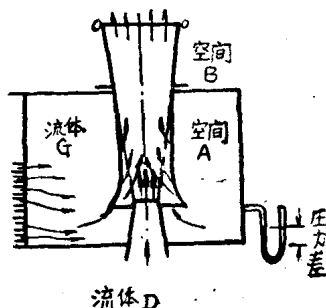
廢汽通风的情况，和滾动的皮球带动靜止的皮球一起往前滾动有某些类似之处。

当一种流体 D 以高速度（200~400公尺/秒）从噴口噴入充滿另一种流体 G 的空間 A 时（第4图），流体 D 就会将它的一部分动能給与周圍的流体 G ，而把这些流体从空間 A 帶到空間 B 。

如果将上述 A 、 B 两个空間隔开，如第5图所示，那么流体 D 从噴口以高速度噴出后，就会使空間 A 內发生真空，而将另一种流体 G 吸入到空間 A ，由于流体 D 的速度很高，因此它能克服 $O-O$ 处較大的反压力（相当于1个大气压）而将流体 G 从空間 A 排入空間 B 。在机車上，从噴口噴出的流体 D 就是廢汽，被吸入空間 A 并排出的流体 G 就是燃气。



第 4 圖



第 5 圖