

241/102
19402

工业通风原理

〔苏联〕B·B·巴图林著

刘 永 年 译

中 国 工 业 出 版 社

工业通风原理

〔苏联〕B·B·巴图林著

刘 永 年 译

姜 书 林 校

中国工业出版社

本书引述处理空气的各种方法，組織換气的空气动力原理；叙述各种生产排出物的特性；闡明各种主要通风方法的理論。此外，并列各种通风设备結構上設計所必需的指示性資料。

本版“工业通风原理”的第一、三、五各篇曾进行了修訂和补充。在第一篇內对通风学的方法学进行了补充；在第三篇內补充了几段关于空气射流的运动和扩散及热射流；在第五篇內曾修改和补充有关自然通风、空气淋浴、空气幕和局部排气各章。

本书可供通风工程师及技术員、科学工作者和工会中央委员会的技术监督人員使用。

В.В. Батурин

ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

второе, дополненное издание

ИЗДАТЕЛЬСТВО ВЦСПС

ПРОФИЗДАТ Москва 1956

* * *

工业通风原理

刘永年 譯 姜书林 校

*

建筑工程部图书編輯部編輯(北京西郊百万庄)

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $23^{1/4}$ ·字数501,000

1965年7月北京第一版·1965年7月北京第一次印刷

印数0001—2,600·定价(科六)2.70元

*

統一书号: 15165·3686(建工-441)

目 录

第一篇 緒 論

第一章 通风的任务、与其他科学的联系及其方法学	1
第一节 室内空气的卫生要求	1
第二节 有害物的扩散	3
第三节 通风方法的分类	4
第四节 通风与其他科学的联系	5
第五节 通风科学的方法学	8
第六节 确定有害物数量和换气量的一般方法	22

第二篇 空气的处理

第二章 湿空气的物理性质和 $J-d$ 图	26
第七节 繪制 $J-d$ 图的前提条件	26
第八节 含湿量不变时的空气加热和冷却过程	31
第九节 混合过程	33
第十节 水和水蒸气与空气的混合	34
第十一节 空气含热量和含湿量变化的过程	37
第十二节 获得所需要空气参数的各种方法	40
第三章 加湿室	41
第十三节 加湿和干燥空气用的小室原理图及其結構部件	41
第十四节 空气干燥和加湿室喷雾部分的計算	46

第三篇 組織換气的空气动力原理

第四章 射流	55
第十五节 圓形自由射流	55
第十六节 扁平自由射流	62
第十七节 貼附射流	66
第十八节 射流的相互作用	73
第十九节 有限空間射流	75
第二十节 由重力引起的射流弯曲	79
第二十一节 扁平射流軸线的弯曲	82
第二十二节 外部气流內的射流扩散	83
第二十三节 热射流	86
第五章 送风口	93
第二十四节 送风口的概述和分类	93
第二十五节 装有横放在气流中的挡板送风口	97
第二十六节 装有三个扩散管的送风口	102

IV

第二十七节 半球体形送风口	104
第六章 吸流流譜	107
第二十八节 点流和线流	107
第二十九节 圓形及矩形孔口吸气速度的流譜	109
第三十节 繪制任何孔口吸气速度流譜的一般方法	122
第三十一节 射流和吸气間的相互作用	124
第七章 室內空气的循环	128
第三十二节 通风和热风采暖用的集中(无沟道)送风	134

第四篇 主要有害物

第八章 余热	143
第三十三节 热平衡	143
第三十四节 太阳輻射热	148
第九章 余湿	149
第三十五节 蒸发水量的計算	150
第三十六节 确定进入房間空气內湿量的实用数据	152
第三十七节 去雾裝置的計算	153
第十章 气体和蒸气	158
第三十八节 主要气体和蒸气的特性	159
第三十九节 气体爆炸的特性	162
第四十节 气体和蒸气在室內空气中的散布	163
第四十一节 排出气体和蒸气量的确定	165
第十一章 灰尘	169
第四十二节 灰尘和灰尘特性的概念	169
第四十三节 灰尘的产生、来源及其分类	169
第四十四节 靜止空气中微粒下降速度的确定	174
第十二章 空气的除尘	179
第四十五节 除尘方法的分类	179
第四十六节 沉灰室	181
第四十七节 旋风除尘器	184
第四十八节 惰性除尘器	190
第四十九节 布袋过滤器	194
第五十节 油过滤器	199
第五十一节 紙过滤器	202
第五十二节 淋水式过滤器	204
第五十三节 网式过滤器	205

第五篇 主要的通风方法

第十三章 自然通风	207
第五十四节 自然通风的概念及其应用范围	207

第五十五节	有热源的房屋内所发生的气流·····	208
第五十六节	风对建筑物的作用·····	214
第五十七节	組織自然换气·····	221
第五十八节	单跨車間自然通风的計算·····	233
第五十九节	多跨車間自然通风的計算·····	246
第六十节	多层車間自然通风的計算·····	250
第六十一节	用解空間課題的方法計算自然通风·····	251
第六十二节	排出空气溫度的确定·····	252
第十四章	空气淋浴·····	261
第六十三节	空气淋浴及其意义和应用范围·····	261
第六十四节	采用空气淋浴的各种情况分类·····	262
第六十五节	空气淋浴的必要条件·····	263
第六十六节	空气淋浴的結構形式·····	263
第六十七节	空气淋浴的計算·····	282
第十五章	空气幕·····	286
第六十八节	空气幕的用途·····	286
第六十九节	空气幕的計算·····	286
第七十节	空气幕的結構形式·····	298
第十六章	局部排气·····	300
第七十一节	局部排气的分类和局部排气的要求·····	300
第七十二节	排气柜·····	301
第七十三节	排气伞形罩·····	304
第七十四节	槽边排气和吹排气装置·····	312
第七十五节	粉碎、碾磨和运输顆粒物质时捕集灰尘的局部排气·····	332
第七十六节	噴漆时的局部排气罩·····	344
	鑄件、泥心落砂和鑄件清理时的局部排气罩·····	346
	噴砂清理时的局部排气罩·····	350
	电焊时的局部排气罩·····	352
第七十七节	異型的吸尘器——壳罩·····	354
第七十八节	局部通风用的均匀送风和均匀排气的通风管·····	358

第一篇 緒 論

第一章 通风的任务、与其他科学的联系及其方法学

第一节 室内空气的卫生要求

在生产过程中会产生有害的气体、蒸气、灰尘或热，因此室内的空气就会发生某些变化。这些变化在一般情况下牵涉到空气的成分和状态，并且有害地影响工人的健康和感觉；使工作条件恶化；对劳动生产率起不良的影响。

通风的任务就是使室内空气的成分及状态能满足卫生要求。除卫生条件外，还要满足：由于生产工艺的特点而产生的要求；由于储存和改进产品以及保护设备及建筑结构等条件而产生的要求。

使空气成为不符合卫生要求的那些热和杂质，它们统称为“有害物”。有害物包括：

1) 余热；2) 剩余的水蒸气——湿气；3) 有害气体和蒸气；4) 灰尘。

有害物的媒介，除辐射热外，就是空气。

过热空气是余热(对流的)的媒介；为水蒸气所饱和的有时带有悬浮水滴(雾)的空气是剩余的水蒸气(湿气)的媒介；有害气体、蒸气和灰尘的媒介则是为这些物质所污染的空气。

在生产情况下，经常遇到的上述各种有害物之间的组合是不同的。

通风的卫生要求就是使空气保持一定的气象条件并保持清洁。

气象条件(也即所谓气象因素)包括以下各组成部分：空气温度、周围物体及围挡物的温度、空气湿度和它的流动性。

气象条件应该保证能排走身体所发出的热量。该热量主要与肌肉劳动的强度(能力的消耗)有关。热量主要自皮肤表面及肺部，经辐射、对流及蒸发而排出。

身体所发出的热量大小与能力的消耗(主要是肌肉的劳动)有关，一般为85至375千卡/小时或更多。

当室温为18°C时，对于穿着衣服并处于静止状态的人，其热损耗的百分比为：

辐射	44
对流	31
蒸发(皮肤及肺部)	21
加热人体所需的空气及食物	$\frac{4}{100}$

当外部介质的温度变化时，在体力劳动时，以及有高温的加热面存在时，这些比例就

起根本变化。

由于上述各种热交换形式与身体和介质间的温度差、空气的流动性及湿度有关，所以气象条件的每一组成部分对人体与周围介质间的热交换起一定的作用。

只有当气象因素的各组成部分间有一定的配合时，才能使人有一定的劳动形式下有正常的暖和感觉（不热也不冷）。

所以当某些组成部分有出入或不符合时，则在一定范围内可由其余组成部分的变化而得到补偿。

例如，当房间内空气温度升高而使身体的对流散热减少时，则在一定范围内可用适当增加身体附近的空气流动性等办法而得到补偿。

如果周围表面的温度实际上与衣服的温度一样，则辐射热损耗实际已停止。此时身体所发出的相适应的热量，应额外地由对流排走。为此，必须降低空气温度或增加流动速度（或既降低空气温度，又增加流动速度）。以下经验是众所周知的：辐射采暖时，当辐射板的温度为24°C时，则对于静止及轻微劳动，空气温度约10°C为舒适条件。当墙及空气的温度实际上相同时，则轻微劳动的舒适温度为18°C。

根据以上事实可见，为了保证正常的暖和感觉，各个气象组成部分应根据所进行劳动的性质（轻、中等的及繁重的）来确定，而同时又与周围物体及围挡物表面的温度有关。一种气象组合应适合于空气和墙的温度实际上相同时（民用及公用房屋和所谓的“冷车间”）的情况；另一种组合则应适合于当周围物体的温度较空气温度为高时（热车间、炉子旁或靠近烧红金属的工作地区）的情况。

在莫斯科劳动保护研究所的热试验室内，获得了当空气及墙的温度实际上相同时的气象条件。适合于轻微劳动和繁重劳动的条件列于表1。

表 1

轻 微 劳 动			繁 重 劳 动		
空气温度(°C)	相对湿度(%)	空气流动速度 (米/秒)	空气温度(°C)	相对湿度(%)	空气流动速度 (米/秒)
18	40~50	~0	13~14	40~50	~0
20	40~50	0.17~0.25	18~19	40~50	0.58~0.67
22	40~50	0.33~0.50	20	40~50	1.0 ~1.17
24	40~50	0.84~1.0	22	40~50	1.17~1.33
26	80	1.33~1.5	24	40~50	1.33~1.50
28	40~50	1.67	24~25	80~85	>1.5 ~1.92
28	70	1.75	26	40~50	2.0 ~2.16
30~32	40~50	>2.0	26	80	2.0 ~2.5
			28	40~50	2.17~2.34

注：表内的符号“>”说明所列的速度是不够的。

如果一些房间内物体及围挡物的温度与空气温度不同，那么由于这些房间内有辐射存在，要定出这些房间内的标准气象条件是有很困难的。

卫生学家曾经想找出辐射热与对流热之间的温感当量。H.И. 郎顿 (Лондон) 所做的实验（这些实验的结果仅能作为参考）表明：当人体（背或肋部）表面受到单侧连续辐

射，而輻射强度的变化系在0.3至1.5卡/平方厘米·分钟范围内时，則对于每0.1卡/平方厘米·分钟的輻射热，就需降低空气温度0.75°C。

当人体受到双侧輻射，而輻射强度为1~1.5卡/平方厘米·分钟时，則对于每0.1卡/平方厘米·分钟的輻射热就需降低空气温度1.6~1.8°C。

当人体全身四侧（譬如在加热体内工作）均受輻射热时，則对于每0.1卡/平方厘米·分钟的輻射热，必須降低空气温度約5°C。

这一系列的实验，系在空气温度自25至12°C、相对湿度 $\varphi=30\sim50\%$ 的变化范围内进行的。因此輻射值较大时就不能推广使用。

在“空气淋浴”的一章内，列出了当有輻射热时，用来大体确定适宜气象条件的某些数据。这些数据是在生产情况下获得的。

关于空气内所含的废气、蒸气及灰尘等有害物，卫生方面的要求就是使生产房內空气所含的这些有害物不超过所謂“极限容許浓度”。

当空气内所含的有害物达到某一个极限数量（此数量的大小与有害物的形状、毒性、劳动的輕重等有关）时，即使工人与此空气长期接触也不致因之而引起病症者，此数量即称为极限容許浓度。

第二节 有害物的扩散

生产房內的有害物借生产房內的射流和空气之流动而扩散（它們在生产房內永远是有的，只是多少而已）。

使空气成烟雾后，就很容易确信生产房內的空气并非处于静止的状态。

射流和空气的流动（由于本身的紊乱及无次序，也可用术语“流动性”来表示）是由于室内存在与空气温度不同的物体及表面而引起的。在温度较高的物体附近，与其相接触的空气被加热往上升。在冷的物体附近，空气被冷却并往下降。一部分新的空气由下部流到原来空气所占的位置，并被加热或冷却等，这样就产生热射流。

从生产槽子内沸腾及蒸发出来的水蒸气和从有压力的装置及管道内流出的有害蒸气及废气均以射流的形状而扩散。

在磨輪上加工零件时，产生灰尘射流。污染的空气，由于设备内部所产生的余压影响（或由于其他原因），自设备的縫隙以射流的形状流出。

引起空气流动是由于：机器及机械各运转部分的工作；貨物的移动，特别是经过外部围挡物的縫隙和不严密的地方以及定期开启的出入口及門而渗入的气流。

这样，生产房可以看作是特殊的空气区，区内上述各种来源使空气移动。在此空气区内，除明显表示的射流外，主要还有由于射流之間及射流与周围物体之間的相互作用而产生的好象是无形而又紊乱的空气流动。

在房內，由于分压力（或浓度）的差而引起的扩散（分子交换），对于有害物的传布是不起任何主要作用的。由于空气的流动性而使房內有害物传布速度的增加要比扩散速度大好多倍。

由于房內各点射流間的相互作用，因而形成有害气体不同的浓度。

由于空气是透明的，而且空气移动的途径又是不可见的，所以在解决通风问题时会产生一定的困难。

第三节 通风方法的分类

通风的任务就是使房间内的空气保持拟定的气象条件及洁净度（也就是保持所要求的温度场、速度场及浓度场）。

这个任务最终是这样解决的：已用过的（污染的）空气由房间内排走（排风），而清洁的、通常都经过专门处理的空气送入房间内（送风）代替排走的空气。

为了换气而需要的空气移动，可由通风机的机械功（机械通风），或由于内部与外部空气柱的重量差和风的作用（自然通风）来进行。

通风可以是全面的及局部的。局部排气的作用就是在污染空气产生的地方将其排走，不允许有害物在房间内扩散、混合和沾污大量的空气。

局部排气尚应尽可能限制有害物扩散的区域。装设硬的围挡物或空气隔层就能保证这点。排走有害物可用局部排气罩：简单的——仅限于将污染的空气排走；带有吹风的——利用有方向的射流将有害物吹至一定的地点，然后用排气罩排走（吸走）。

从有害物产生的地方将其完全捕集不是任何时候都能办到的，而且有时候也不见得合理。此时，局部排气所未能捕集的一部分污染空气用送风将其冲淡至允许的浓度。

局部排气可分为：

- 1) 封闭式局部排气——污染空气的来源放在局部排气罩的内部，如化学排气柜等；
- 2) 半封闭式局部排气；
- 3) 开式局部排气——局部排气罩离有害物来源有一定距离。

用局部排气罩捕集有害蒸气、废气及灰尘是特别有效的。

当局部排气时，送风的作用就是补偿局部排气所排走的风量。此时，送风量应足以冲淡局部排气所未能捕集的这部分有害物，否则，送风量就应相应的增加。

在下列情况下安设全面通风：由于局部排气罩结构笨重，以致使用和观察工艺过程的运转有很大困难，因而无法或不宜采用局部排气罩时；由于局部排气罩不能大量减少换气量而在卫生方面又无优点时。

全面通风（通常称为全面换气通风）时，有害物能被气流扩散至整个房间。送风的目的就是将有害物冲淡（或稀释）至允许的浓度标准。

根据具体条件，可采用以下方式进行全面通风：带有分散或集中排气的分散送风；集中送风及集中排气（所谓集中送风或集中排气，就是将全部计算风量由一点或二点送入或排走）。

除局部排气外，有时还安设空气淋浴、空气净区等局部送风。

具有一定参数并直接向人吹的空气气流称为空气淋浴。用空气淋浴的办法可在射流范围内创造与房间内其它部分的空气不同之空气介质。

空气净区就是下部及侧部均用壁隔住，而上部为敞开的空间。凉爽的空气弥漫在过热的空气介质中。

局部送风的另一种形式就是所谓空气幕（安設于大門旁、炉子旁、各种槽子旁等）。它的目的就是产生空气隔层，或改变污染空气气流的方向，并将它送走，例如送至排气口等。

前已叙述，生产房間可以看作是“空气区”，在空气区内，由設備和生产过程所产生的气流是多样化的，而且通常都没有一定的形状。

通风射流和这些气流相互作用的结果，应该能得到拟定的空气参数：温度（ t ）；相对湿度（ φ ）；流动速度（ v ）及有害物浓度（ k ）。

这样，通风过程的实质就是：由工艺过程所引起的自然射流与通风的有組織射流間的相互作用。

假如将空气压入室内，则在室内产生一定的余压。在稳定状态下，此余压值将能保证全部进入室内的空气經由专门設置的孔洞或外部围挡物上偶有的縫隙而逸出。

从室内排气时也会有同样的现象。此时，室内的压力有一定的降低（负压）。由于负压，因此等于排气量的空气由室外及邻室經縫隙及孔洞吸入，并代替被排走的风量。

在一定情况下，这一部分吸入空气可能起不利的作用。例如，当室外的冷空气渗入有大量水蒸气发出的房間内时，冷空气与室内潮湿而又热的空气混合后，就产生雾。假如从室外或邻室进入的空气在质量上能满足卫生要求，这些空气可以利用，此时就用自然进风代替全面送风（机械的）。

由于进风及排气的地点和空气的参数都是不固定的，所以在很多情况下，无組織的进风及排气是不够理想的。有些情况下，当进风及排气都是有組織时，就称为送排风的通风。

第四节 通风与其他科学的联系

通风——实质上就是組織房間内换气的科学。

解决通风的任务时，产生以下問題：1）单位時間內送入室内的空气量需要多少？从室内排走的空气量需要多少以及如何从室内排出？2）送风应具有哪些参数？空气是否需要預先进行某种处理（加热、冷却、干燥、加湿、除尘等）？3）新鮮空气由何处送入？废气由何处排出？4）如何送风？如何排出废气（均匀的还是集中的）？組織换气的所有构件必須具有何种結構形式？

要解决全面通风的各种問題，必須知道单位時間內进入房間内空气的有害物之数量。了解这些有害物如何在房間内扩散以及通风气流对有害物的分布起什么影响也是很重要的。

从有害物浓度較大的地区抽风能大大地减少风量。例如在鑄鉄車間上部区域内，一氧化碳（CO）的浓度可能是0.04克/立方米，而在工作区域内，其浓度就不应超过允許的标准——0.02克/立方米。当新鮮空气由下部靠近地板处送入，而废气又由上部天花板下抽走时，就能維持这样的不同浓度层。假如新鮮空气由上部送入，则工作区域之浓度将为0.03克/立方米。結果要达到0.02克/立方米的浓度，就必须使通风量增加約一倍。因此，关于計算通风量的問題是直接 with 换气組織有关的。

在計算及設置空气淋浴局部送风时，必須了解射流的特性、速度、溫度及浓度变化的規律和射流扩散范围内的射流几何尺寸。

要在工作地区获得合乎卫生的拟定射流参数，必須了解射流的几何、运动及热方面的起始参数，并找出能滿足要求之形成射流的送风口形状。

对于空气淨区，必須了解在仅用側壁（高約2米）围住而上部又敞开的空間內用凉爽的空气充满在过热空气介质中的条件。

为了正确地解决一般通风問題，尤其是选择局部排气罩时，必須对空气的污染来源所产生的气流特性至少要有一般性的概念。下面各个簡图（图1）可以給我們一些有关气流的概念。

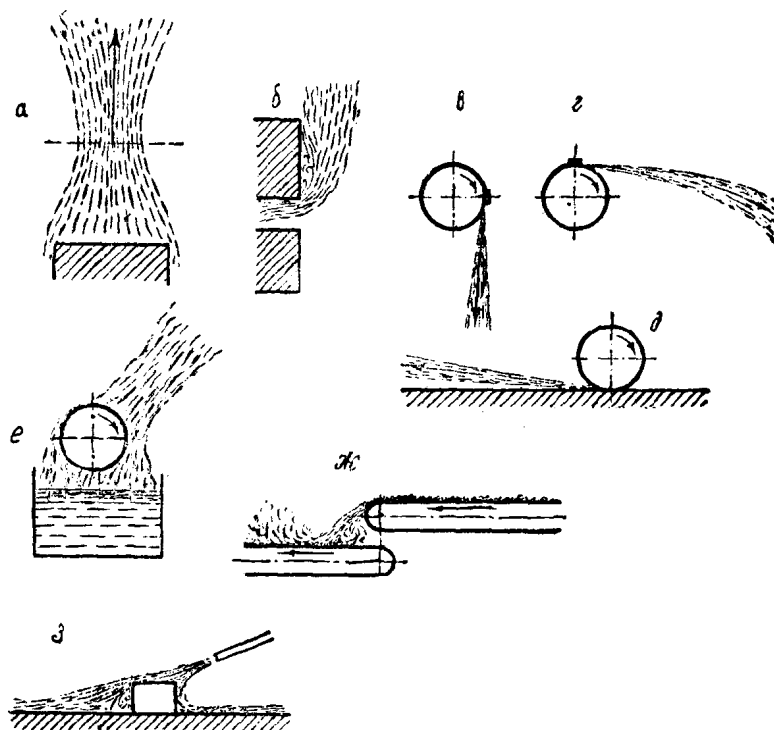


图 1 由污染地所产生的气流特性示意图

簡图 *a* 表示各种发热体（浇注熔化金屬的砂箱或模型，有热水或水溶液的工业用槽子等）旁产生的热空气上升气流。除了热以外，这类气流还能带来有害气体、蒸气或灰尘。

簡图 *b* 表示由工业炉子（炉子在一定的余压下工作）的装料口逸出的熾热气流。气流中可能带有废气、火花、黑烟。

簡图 *c*、*d*、*e* 均表示磨輪及其它切削輪（金屬、皮革等工作物的粗加工、打磨、磨光及抛光）工作时所产生的灰尘气流。

簡图 *e* 表示在滾筒（織物等染色及干燥时使用）上部所产生的气流。此时，滾筒被加热或者被由下面上升之气流所冲过。由于滾筒的旋轉，所以气流偏离垂直軸。

簡图 *ж* 表示传送各种磨碎材料时所产生的含尘空气气流。当材料落下时，被材料所带走的空气就逸出。逸出的空气带走最細小的灰尘顆粒，它在罩子內产生一定的余压。当磨

碎材料由一条传送带轉送至另一条传送带及倒入料斗內时都有这种現象产生。

簡图 3 表示当工作物噴砂清理或噴漆时产生的气流。在这种情况下，带有砂子或油漆溶液的射流从余压为2~4表压的噴嘴內噴出。

要正确地組織換气，必須考虑下列确定空气运动的因素：

- 1) 房間的几何形状；
- 2) 改变空气成分及状态的来源（特别是热源、废气源及冷源）的分布及其能力；
- 3) 这些来源所产生的气流；
- 4) 进风及由房間內排气的分布情况及其参数。

卫生学解决房間工作区域内^①必須保持的空气参数問題。这些参数是事先拟定的。进风及排出气体的参数应按照这些参数进行計算。

关于送入新鮮空气的数量、方法和地点；如何排出废气；如何以最簡單、最可靠和最經濟的方法解决一般換气組織的諸問題，都是組成通风或者以普通空气动力学为基础的通风空气动力学的主要內容。

众所周知，空气动力学解决內部及外部的課題，并包括自由射流的知識。內部課題是研究空气沿管子及沟道內的流动；外部課題則研究气流对物体的环流以及一般的气流与物体間的相互作用。最后，在远离硬板处而扩展的气流是研究自由射流学說的課題。

以上这些問題就是通风空气动力学的要点。

事实上，进风及排气一般均需用管子及沟道輸送空气。內部課題的內容包括通风管网的計算（通风管网应保証空气在各点間正确分配）。

通风的外部課題主要包括：房屋及风帽由于风而引起的环流問題；确定此时所产生的对自然通风有用的余压及負压。

自由射流在通风上有特別重大的意义。向房間內送风是靠射流进行的。空气淋浴、空气幕及吹风也都靠射流进行。

有害物（变化空气成分及状态的根源）通常均成射流状扩散。由于射流間的相互作用和循环，結果在房間內形成溫度場、废气浓度場及速度場。

研究吸流流譜的空气动力学，在通风上具有重要的意义。吸流速度随吸流孔的形状、与吸流孔的距离、初速及室內空气的流动性而变化的規律性，是研究空气动力学所必需了解的。

吸流流譜主要作为設計排气設備及在有害物产生地点排出有害物的依据。解决換气組織的問題时，吸流流譜也是必需的。

热工学，特别是热力学，能解决在預先处理空气的过程中以及当房間內发出的热和湿与空气作用时有关空气状态变化的諸問題。

空气的处理过程，例如加热或冷却、加湿或干燥，一句話，与含热量及含湿量变化有关的全部过程，都能在湿空气图上明显地表示出。

通风与采暖之間也有联系。因为在冷季里，通常都是同时使用通风和采暖以維持空气

① 工作区域就是由地板面至人的呼吸綫之間的空間(离地板約为1.5至2.0米)。

和周围物体的温度在适宜的水平上。有些采暖形式，例如热风采暖，按其本质来说，与通风的关系要比采暖更要多些。

在组织换气时，有时必须考虑由于散热器而产生的对流，特别是在当对流的速度与通风气流速度成比例的情况下，更须考虑。

传热学使我们有可能从数量上比较各种热交换过程：固定的热交换过程和由于可变的温度条件及设备与外部围挡物的蓄热而引起热交换过程。

通风和其他科学的联系还不限于以上所述。在方法学和普遍定律（上述的这些科学均以它们为基础）方面，这种联系要深刻得多了。

生产工艺的知识，使我们能将生产过程的特殊条件与全面解决通风问题很完善地结合起来。

第五节 通风科学的方法学

房间内的空气是处于受自然对流和强制对流的射流及其循环而引起的流动状态下的。蒸气、废气、热及最细的灰尘均按上述途径而移动与扩散。

速度场及浓度场是相互影响的，因此应将它们看作是一套不同类的、但是相互影响的过程。

空气的运动和热及废气的扩散均遵守物质不灭、能量守恒及能量转换等普遍定律。

以下各著名微分方程式是解决这些问题的原始资料：1）连续方程式；2）运动方程式；3）传热方程式（物质转移方程式）；4）固体及流体边界上的热交换方程式。

上面指出的这些微分方程式，对很多现象，例如空气在大气中的运动及水在河中的流动等，都能应用。

为了限制问题和单值地确定所研究的过程，必须对稳定的现象提出单值条件或极限条件，也就是说，必须提出事先已经算出并足以选定微分方程式唯一解法的未知函数值。

在大多数情况下，只有当需用公式表示问题时，才用数学分析来解决复杂的技术问题。所谓用公式表示问题，就是列出微分方程式并确定其极限的条件，因为在大部分情况下要解出方程式目前还不能实现。

在解决通风问题时，由于各种现象很复杂，而且又不可能用分析法解决问题，所以必须采用实验的方法。

有时，当有现成而合适的对象时，就有可能在自然的实地条件下进行必要的实验。在其它情况下，就只能在模型上研究各种现象。

当在模型上研究通风问题时，必须产生空气动力、热、气体或通常是综合的各种现象，以便确定在实物内保证通风效果的各种参数（如空气速度、温度、及气体浓度）。

实验室内的模型法要比在实物内研究各种现象的方法具有以下一系列的优点：有可能研究在实物上尚未完成的各种装置；有可能系统地研究限制现象全部的所有因素综合之某种因素的影响；有可能研究在实物上无法观察到的进行很快的现象。此外，实验室内的研究费用要低于在实物上研究的费用。

在实物或模型上进行实验时，研究其具体现象，并总结研究的结果，以便获得计算其

它同类现象的各种依据。

只有对相互間相似的现象，才能有规律地推广个别实验的结果。相似原理^①告诉我们：如何将实物上进行的个别实验的研究结果应用到同类（相似）的情况上；如何在模型上进行研究及以后如何将所获得的数据应用到实物上。相似条件分为：几何相似、力学相似及热相似。

众所周知，只有当各种几何形状内各角相等及各相似边成比例时才是几何相似。

所谓力学相似就是各种现象的运动或动力的相似。运动相似假定两种气流的速度及加速度是成比例的；而动力相似则假定由于相似运动而引起的力是相似的。

当热相似时，热流及温度的相似保持不变。

相似原理告诉我们：

- 1) 相似之现象有相同的相似准数；
- 2) 任何现象所特有的各个可变数值间的任何关系均能用相似准数间的关系来表示；
- 3) 如某些现象的单值条件相似且根据单值条件而编制出的准数在数字上相同，则这些现象也相似。

相似原理指出：在做实验时，必须测定包括在相似准数内的全部数值。实验结果根据相似准数进行计算，而其相互間关系则用准数方程式表示。

个别实验的数据可推广到相似的现象上，也就是说，能应用在单值条件相似而且特定的准数（由单值条件内所包括的各种数值组成）之数值又相同的现象上。

需在模型上创造的单值条件为：

- 1) 几何形状；
- 2) 空气入口处的条件：
 - (1) 进风孔及通到进风孔之风道的布置及形状；
 - (2) 空气的速度、温度或浓度。
- 3) 排气出口处的条件；
- 4) 空气的物理参数（密度、粘性、导热性、比热）；
- 5) 热、湿、蒸气及废气来源的：
 - (1) 布置及形状；
 - (2) 温度（浓度）；
 - (3) 大小。
- 6) 冷却的来源〔同5〕。

根据相似原理内所叙述的定则，可由粘性流体的运动方程式中引出以下几个基本的相似准数：

$$Re = \frac{vl}{\nu} \text{——雷諾（Рейнольдс）准数，表示慣性力及粘性力之間的关系；}$$

① 有关相似原理的詳細叙述見以下各书：

М.В.基尔彼切夫(Кирпичев)及М.А.米海耶夫(Михеев)“热裝置的模化”，М.А.米海耶夫“传热学原理”，国家动力出版社，1949年；Е.В.庫德利雅夫采夫(Кудряцев)“通风系統的模化”，国家建筑书籍出版社，1950年。

$Fr = \frac{gl}{v^2}$ ——佛魯德 (Фру́д) 准数, 表示重力及慣性力之間的关系;

$Ar = Fr \frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{gl}{v^2} \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{gl\Delta t\beta}{v^2} = \frac{gl\Delta t}{v^2 T}$ ——阿基米德 (Архимед) 准数, 表

示慣性力及挤应力之間的关系。

式中 β ——体膨胀系数;

$Eu = \frac{\Delta p}{\rho v^2}$ ——尤拉 (Эйлер) 准数, 表示压力及动力之間的关系。

对空气的自然流动进行模化时, 应使 Ar 准数內的速度不以明显的方式表示出来。以 Ar 乘 Re^2 就能做到这一点。两者相乘以后就得格拉斯霍夫 (Грасгоф) 准数:

$$Gr = \frac{gl^3 \Delta T}{\nu^2 T} = \frac{gl^3 \beta \Delta t}{\nu^2}$$

此准数用来衡量重力与内部摩擦力之間的关系。

几何及力学相似的系統, 仅在一定的条件下才能使两者在热关系方面也互相相似。从热扩散的方程式及边界热交换的方程式可得以下准数:

$Pr = \frac{\nu}{a}$, 空气的 Pr 数 ≈ 0.73 。 Pr 为普拉特耳 (Прандтль) 准数。它表示流体的物理性质;

$Pe = \frac{vl}{a} = Re \cdot Pr$ ——彼克列 (Пекле) 热准数, 与 Re 准数相同。

$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$ ——奴薩尔脫 (Нуссельт) 准数, 表示物体与流体間边界上之热交换过程的相似条件。

为了組成包含能說明各种过程的数值之准数, 可以采用其任何組合。

上列公式中各符号的意义:

v ——速度 (米/秒);

l ——特有的长度尺寸 (米);

ν ——运动粘度 (平方米/秒);

$\rho = \frac{\gamma}{g}$ ——质量密度 (公斤/秒²/米³);

$\Delta t = t_2 - t_1$ ——两点間的溫度差 (°C);

$T_1 = 273 + t_1$ ——两点中一点的絕對溫度 (絕對度数);

$\beta = \frac{1}{T}$ ——体膨胀系数 ($\frac{1}{\text{絕對溫度数}}$);

Δp ——两点間的壓力差 (公斤/平方米);

$a = \frac{\lambda}{c_p \gamma}$ ——溫度传导系数;

λ ——介质导热系数 ($\frac{\text{千卡}}{\text{米} \cdot \text{小时} \cdot \text{°C}}$);

c_p ——定压比热 $\left(\frac{\text{千卡}}{\text{公斤}\cdot^{\circ}\text{C}}\right)$;

α ——放热系数 $\left(\frac{\text{千卡}}{\text{平方米}\cdot\text{小时}\cdot^{\circ}\text{C}}\right)$ 。

模化的全部条件只有在极少数情况下才能正确地实现。自动模化区（在有些现象区域的范围内，实际上可以不必遵守个别的相似准数，这些区域即称自动模化区）的存在，在这里能帮助解决这个问题。例如，实验证明：自由紊流对 Re 准数来讲是自动模化的。也就是说，用抽象数表示的自由紊流之规律性与初速及直线尺寸无关。在研究当 $GrPr$ 值大于 2×10^4 ，由于密度差而引起的流体自由流动时，过程的规律与直线尺寸及来源的温度无关。这个情况使我们能在模型上研究空气动力过程及热过程。

上面已说过，通风的任务就是组织能保证工作区域内产生事先拟定的温度场、速度场及浓度场的换气。上述的温度场等是在有限的空间内（室内）由于通风射流与其它来源（热源等）的射流相互作用及循环的结果而产生的。因此，要再产生相似的现象，必须在几何相似的装置内产生相似的射流。

在很多情况下（机械及自然通风），进风射流的意义要比其它射流的意义重要得多，所以在做模型试验时（在与实物全部相似的模型内），若产生的进风射流与实物内的相似，则所得到的未知数值就很接近实际。

通常，通风射流的初温与室内的温度不同。为了在几何相似的模型内产生这样的射流，必须使组织射流的形状也要几何相似（这样就保证射流的紊流性相同），并使在模型内及实物内的 Ar 准数相等。

当 Ar 准数的数值相同时，具有同样紊动系数的射流之弯曲也将是相似的。在这些情况下，由射流所引起的循环也将相似：

$$Ar = \frac{gl\Delta T}{v^2 T},$$

式中 v ——已知的进风速度；

ΔT ——室内及室外空气的温度差。

紊流射流对于雷诺准数是自动模化的。

根据等式 $Ar_n = Ar_m$ （下标 n 系指实物；下标 m 系指模型），确定在模型内由机械通风送出的空气速度及温度。

使 $Ar_n = Ar_m$ ，经整理后就能得到由模型改为实物的换算公式。应指出，实物及模型的直线尺寸之比 $\frac{l_n}{l_m} = m$ ；面积之比 $\frac{f_n}{f_m} = m^2$ ；体积之比 $\frac{V_n}{V_m} = m^3$ 。

速度

$$v_n = v_m m^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{\Delta T_n}{\Delta T_m} \right)^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{T_m}{T_n} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

流量

$$L_n = L_m m^{\frac{5}{2}} \left(\frac{\Delta T_n}{\Delta T_m} \right)^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{T_m}{T_n} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

余热