

文章编号: 1671-6612 (2019) 03-269-05

# 工业厂房系统式局部送风的设计与计算要点探讨

史晓蕾 郑利生

(中机十院国际工程有限公司 北京 100083)

**【摘要】** 基于现代化工业加工厂房对于工作岗位职业安全卫生的要求,探讨了工业厂房系统式局部送风的适用条件、工作地点的气流宽度、送风方式、送风口的选用、送风参数的选定以及相关参数的计算要点。从系统式局部送风设计的角度出发,讨论了该系统的设计选型要点、主要影响参数以及实际应用中紊流非等温自由射流计算公式的修正。

**【关键词】** 工业厂房降温; 系统式局部送风; 工位空调; 岗位送风; 紊流非等温自由射流  
中图分类号 TU831 文献标识码 B

## Discussion on Key Points of Design and Calculation of Systematic Local Air Supply in Industrial Workshop

Shi Xiaolei Zheng Lisheng

(Sinomach TDI International Engineering Co.,Ltd, Beijing, 100083)

**【Abstract】** Based on the requirement of occupational safety and hygiene in modern industrial manufactory plant, the applicable conditions of systematic local air supply in manufactory plant, the air flow width in the workplace, the air supply mode, the selection of air supply outlet, the selection of air supply parameters and the calculation points of relevant parameters are discussed. From the point of view of systematic local air supply design, the key points of design and selection of the system, the main influencing parameters and the modification of the calculation formula of turbulent non-isothermal free jet-flow in practical application are discussed.

**【Keywords】** manufactory plant cooling; systematic local air supply; task air conditioning; personalized ventilation; turbulent non-isothermal free jet-flow

## 0 引言

当生产工艺、技术或原材料会产生高温时必然向车间内释放热量,人体在较长时间内受到照度较大的辐射热作用时,会造成皮肤蓄热,影响人体的正常生理机能。一般情况下,高温工作地点的辐射热和对流热是同时存在的,会对长期处于该环境下的生产人员产生高温职业危害。国家标准《工业企业设计卫生标准》GBZ1对工业厂房防暑的相关条文中明确要求应优先采用先进的生产工艺、技术和原材料,工艺流程的设计宜使操作人员远离热源,同时根据其具体条件采取必要的隔热、通风、降温

等措施,消除高温职业危害。

传统车间降温方式(如水雾风扇、工业壁扇等局部送风等)因受其自身特点限制,存在降温效果有限、吹风感强、局部湿热等弊端,人员满意度普遍偏低。设置全室空调系统降温不仅系统复杂、建设要求高且能源消耗极大,不能满足企业生产发展的需求。

系统式局部送风能改变局部范围内的空气参数,在工作地点或局部工作区造成一个小气候,提高人员生产环境质量。同时相较全室空调而言,系统式局部送风设置简单、调节灵活、能源消耗低,

可以很好地适应企业生产需求。

本文就工业厂房内系统式局部送风设计时需要考虑的送风参数、送风量、冷热负荷计算、风口设置及控制进行总结与探讨。

## 1 系统式局部送风的适用条件及相关研究

局部送风的方式分为两种,一种是单体式局部送风,另一种是系统式局部送风。单体式局部送风指借助于轴流风机或喷雾风扇,利用室内循环空气直接向工作地点送风;系统式局部送风是指用通风机将室外新鲜空气(经处理或未经处理的)通过风管送至工作地点送风<sup>[1]</sup>。

《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50019—2015 中要求较长时间操作的工作地点,当热环境达不到卫生要求时应设置局部送风。当工作地点单一或分散时优先考虑设置单体式局部送风;当工作地点较多且比较集中时优先考虑设置系统式局部送风。

《机械工业采暖通风与空调设计手册》中建议较长时间作业的操作区,当期温度达不到卫生要求或辐射热强度大于  $350\text{W}/\text{m}^2$  时,应考设置局部送风。当而工艺条件又不允许有水滴,或工作地点既散发有害气体或粉尘但又不允许采用再循环空气时,应采用系统式局部送风<sup>[2]</sup>。

系统式局部送风将处理过的新鲜空气经管路直接送至工作区,这不仅能有效地改善工作岗位的热舒适度,在设定的风速下,新风从送风口出来后,卷吸周围的空气,与周围环境空气进行掺混后均匀的分布在人体的周围,可以降低人员岗位区域污染物浓度,从而有效改善工作区域内的空气品质。随着劳动者对工作环境舒适性需求的增加,工业企业对劳动者职业卫生健康关注度的提高,系统式局部送风受到了越来越多的关注。如何以工位空调送风的方式对高温车间进行局部送风降温,营造工作区微环境,以提高作业人员热舒适性,也成为业内学者研究的课题之一。

有研究显示非等温情况下的工位空调送风系统,在工位空调送风量为  $40\text{L}/\text{s}$ ,送风距离位  $0.70\text{m}$  时,污染物浓度比背景浓度低 20%,即工位空调作用的工作区域内的空气品质高于周围环境<sup>[3]</sup>。

大连理工大学人工环境实验室对 60 名受试者进行人体热舒适性实验。在背景温度一定时分析了

不同送风温度及送风量对人体热舒适的影响作用;并研究了中性热环境条件下人体局部热舒适对整体热舒适的影响。研究发现:工位空调通过对局部热感觉的影响进一步影响人体整体热感觉,且对整体热感觉影响最大的是上半身、下半身影响作用最小<sup>[4]</sup>。

西安建筑科技大学对顶部工位空调系统进行了模拟研究,不考虑人员工作强度的前提下,对从工位空调送风速度、送风温度、风口尺寸等因素模拟分析了各送风设计参数对工位空调流场特性的影响。得出了顶部工位空调在送风温度为  $293\text{K}$ 、送风距离为  $1.1\text{m}$ 、送风口尺寸为  $0.3\text{m}$  时,送风速度最佳为  $0.8\text{m}/\text{s}$ ,人体周围温度场最为适宜且充分利用了能量,有较好的经济性<sup>[5]</sup>。

## 2 系统式局部送风设计参数的确定

### 2.1 送风方式的选择

据调查,以前有些地方采用的局部送风系统,气流大多是从背后倾斜吹到人体上部躯干的。在受辐射热影响的工作地点,工作人员反映“前烤后寒”,效果不好,这主要是因为受热面吹不到风的缘故。医学卫生界认为,头部直接受辐射热作用,会使辐射能作用于大脑皮质,产生过热;胸背部受辐射热作用,会使肺部的大量血液受热;颈部受辐射热作用,影响则较小。气流自上而下或由一边吹向人体时,人体前部和背部都能均匀地受到降温作用<sup>[1]</sup>。

相比于顶部送风系统,侧送风系统对于工作区的控制效果没有顶部送风系统好。并且在水平方向和竖直方向上,在人体上下部分以及身体两侧,会形成较大的温度、速度、浓度差异<sup>[5]</sup>。

因此认为系统式局部送风最好是从人体的前侧上方倾斜吹风到头、颈和胸部,也可从上向下垂直送风。

### 2.2 送风参数的确定

设置系统式局部送风时,工作地点的温度和平均风速应按《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50019—2015 中执行,符合表 1 中的规定。

轻劳动时,温度宜采用表中较高值,风速宜采用较低值;重劳动时,温度宜采用较低值,风速宜采用较高值;中劳动时,温度和风速可按插入法确定。

表 1 工作地点的温度和平均风速

Table 1 Temperature and average wind speed at duty station

热辐射照度 (W/m <sup>2</sup> )	冬季		夏季	
	温度 (°C)	风速 (m/s)	温度 (°C)	风速 (m/s)
350~700	20~25	1~2	26~31	1.5~3
701~1400	20~25	1~3	26~30	2~4
1401~2100	18~22	2~3	25~29	3~5
2101~2800	18~22	3~4	24~28	4~6

注: 表中的热辐射照度系指 1h 内的平均值。

夏季工作地点的温度, 对于夏热冬冷或夏热冬暖地区可提高 2°C; 对于累年最热月平均温度小于 25°C 的地区可降低 2°C。

系统式局部送风在空调季和供暖季或根据生产情况应对空气进行冷却或加热处理。其室外计算参数, 夏季应采用通风室外计算温度及相对湿度, 冬季应采用采暖室外计算温度。

局部送风应在操作人员岗位区域形成局部的微气候, 这就要求送风到人体上时保证一定的气流宽度, 使操作人员处于气流作用的范围内。在满足送风速度要求的情况下, 气流宽度越大对提高局部送风的效果越有利。但较大的送风气流需要更多的送风量, 增加系统容量, 造成能源浪费。一般情况下, 生产操作时, 人员活动范围以 1m 作为设计宽度是合适的。对于某些工作地点较固定的轻作业 (一般指室内散热量小于 23W/m<sup>3</sup>), 为减少送风量, 节约投资, 气流宽度可适当减少至 0.6m<sup>[1]</sup>。

### 2.3 送风口的选用

系统式局部送风气流保障范围仅在人员活动的一小块区域, 因而在送风口的选用上应考虑优先采用气流集中性好、导向性高、送风边界清晰的风口。应结合所服务的工作地点大小、人员活动范围、操作空间要求等特点选取与之相适应的风口。通常情况下, 可选用带有渐扩短管的圆形送风口、旋转送风口和球形喷口。

当工作地点固定时, 可采用带有渐扩短管的圆形送风口, 如图 1 所示。

当工作人员活动范围较大时, 可采用旋转送风口, 如图 2 所示。旋转送风口带有导流叶片, 且风口与风管间采用可转动的活动连接, 故可任意调节气流方向。

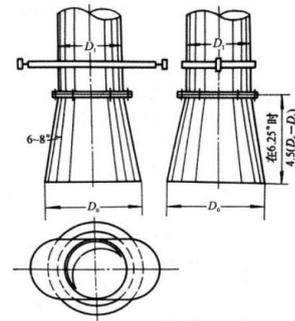


图 1 带有渐扩短管的圆形风口

Fig.1 Circular air outlet with a tapering tube

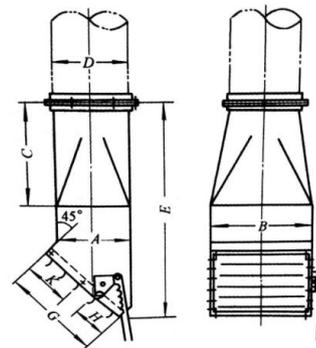


图 2 旋转送风口

Fig.2 Rotary vent

现代生产厂房中工作岗位的设置越来越灵活, 一名工人常常需要进行多点操作, 而且不同的操作人员对热环境舒适需求不同、体表吹风感的喜好不同等因素, 都要求设计时宜优先选用调节性能好的送风口。球形可调风口送风角度灵活, 风量调节方便, 控制操作灵活等性能, 通常可作为系统式局部送风的优选风口。球形可调风口是一种喷管式送风口, 如图 3 所示。高速气流通过喷口对指定方向和地点送风, 气流喷射方向可以方便地调节。球形可调风口的局部阻力系数  $\zeta=1.9$  (包括出口动压损失)。

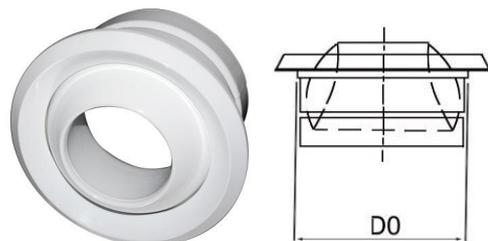


图 3 球型可调风口

Fig.3 Adjustable ball air outlet

### 3 系统式局部送风设计计算

系统式局部送风射流为紊流非等温自由射流，当射流进入房间后，射流边界与周围气体不断进行动量、质量交换，周围空气不断被卷入，射流流量不断增加，断面不断扩大。系统式局部送风设计所关注的工作地点气流宽度、送风口的出口风速、送风量、送风口温度等均可按照流体力学中紊流非等温自由射流相关公式进行修正后计算。

#### 3.1 工作地点的气流宽度

工作地点的气流宽度应按下列公式计算：

$$d_s = 6.8(\alpha s + 0.145d_0) \tag{1}$$

$$\text{或 } d_s = 6.8(\alpha s + 0.164\sqrt{AB}) \tag{2}$$

式中： $d_s$ 为送至工作地点的气流宽度，m； $\alpha$ 为送风口的紊流系数（见表4）； $s$ 为送风口至工作地点的距离，m； $d_0$ 为圆形送风口的直径，可采用送风口至工作地点距离的20%~30%，m； $A$ 、 $B$ 为矩形截面送风口的边长，m。

紊流系数 $\alpha$ 值的大小与射流出口截面上的速度分布情况有关，分布越不均匀， $\alpha$ 值越大。此外， $\alpha$ 值大小还与射流出口截面上的初始紊动强度有关。一些常用送风口的紊流系数 $\alpha$ 详见表2。

表2 紊流系数 $\alpha$ 值

Table 2 Turbulence coefficient

风口类型	$\alpha$	风口类型	$\alpha$
带平滑缩口的喷口	0.066~0.07	圆形风口	0.09
圆柱形风口	0.08	短方形风口	0.10
球形风口	0.08~0.09	旋转送风口	0.20

#### 3.2 送风口的出口风速及出口温度

系统式局部送风要求气流能在工作地点形成保证有效的风速和送风温度，而自由射流的边界处，气流速度等于零，温度接近室内空气温度，可见自由射流边界处已不能起到局部送风的作用。设计时应保证实际工作岗位边界处有一定风速，因而工作地点的宽度（ $d_g$ ）不能采用自由射流在该断面处的全部宽度即送至工作地点的气流宽度（ $d_s$ ），而应根据生产需要采用气流的中间区域（或称为有效部分）。表1中要求达到的工作地点平均温度和平均风速应该按照有效部分的温度和风速进行计算，因此，应随着工作地点的宽度在该断面处全部

宽度的占比  $\frac{d_g}{d_s}$  不同，对紊流非等温自由射流的流

体力学公式进行修正。

送风口出口风速计算公式：

$$v_0 = \frac{v_g}{b} \left( \frac{\alpha s}{d_0} + 0.145 \right) \tag{3}$$

式中： $v_0$ 为送风口的出口风速，m/s； $v_g$ 为工作地点的平均风速，m/s，见表1； $b$ 为修正系数，如图4所示。

送风量计算公式：

$$L = 3600 F_0 v_0 \tag{4}$$

式中： $L$ 为送风量， $m^3/h$ ； $F_0$ 为送风口的有效截面积， $m^2$ 。

送风口的出口温度计算公式：

$$t_0 = t_n - \frac{t_n - t_g}{c} \left( \frac{\alpha s}{d_0} + 0.145 \right) \tag{5}$$

式中： $t_0$ 为送风口的出口温度， $^{\circ}C$ ； $t_n$ 为工作地点周围的室内温度， $^{\circ}C$ ； $t_g$ 为工作地点温度， $^{\circ}C$ ，见表1； $c$ 为修正系数，如图4所示。

当送冷风时，计算的送风口出口温度较低时，可选用较大尺寸的送风口重新确定相关参数。

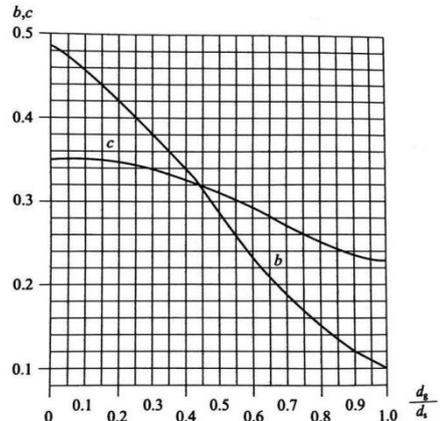


图4 系数 b 和 c

Fig.4 Factors b and c

### 4 结语

(1) 系统式局部送风在空调季和供暖季或根据生产情况应对空气进行冷却或加热处理。其室外计算参数，夏季应采用通风室外计算温度及相对湿度，冬季应采用采暖室外计算温度。

(2) 一般情况下，生产操作时，工作地点的宽度以1m作为设计宽度是合适的。对于某些工作

地点较固定的轻作业(一般指室内散热量小于 $23\text{W/m}^3$ ),为减少送风量,节约投资,气流宽度可适当减少至 $0.6\text{m}$ 。

(3) 现代生产厂房中工作岗位的设置越来越灵活,建议优先选用球型可调风口。当工作地点固定时,可采用带有渐扩短管的圆形送风口。当工作人员活动范围较大时,可采用旋转送风口。

(4) 工作地点的宽度( $d_g$ )不能采用自由射流在该断面处的全部宽度而应采用气流的中间区域(或称为有效部分)。因此,计算送风参数时应随着工作地点的宽度在该断面处全部宽度的占比

$\frac{d_g}{d_s}$ ,对紊流非等温自由射流的流体力学公式进行

修正。

#### 参考文献:

- [1] GB50019—2015,工业建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国计划出版社,2016.
- [2] 许居鹤.机械工业采暖通风与空调设计手册(第1版)[M].上海:同济大学出版社,2007:274-278.
- [3] Faulkner D, Majer M.Task/ambient conditioning system:engineering and application guidelines[J].Energy and Buildings,2002,34:497-509.
- [4] 端木琳.桌面工位空调系统室内热环境与热舒适性研究[D].大连:大连理工大学,2007.
- [5] 方楠.高温工业厂房中工位空调作用下的工位区流场特性研究[D].西安:西安建筑科技大学,2015.

(上接第261页)

业主的需求,合理配置系统,才能做出优质工程。

#### 参考文献:

- [1] GB50189—2005,公共建筑节能设计标准[S].北京:建筑工业出版社,2005.
- [2] 陆耀庆.实用供热空调设计手册(第2版)[M].北京:

中国建筑工业出版社,2008.

- [3] 马最良,姚杨,杨自强等.水环热泵空调系统(第2版)[M].北京:化学工业出版社,2005
- [4] GB50736—2012,民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.