

[环保·安全]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.06.022

印刷车间风速及温度分布规律研究

狄育慧¹, 郑治中¹, 周林园², 沈亚兰¹, 赵 阳¹

(1. 西安工程大学 环境与化学工程学院, 陕西 西安 710048;

2. 烟台荏原空调设备有限公司, 山东 烟台 265500)

摘 要:针对西安市某印刷车间生产运行时对风速的特殊要求,为确定较优送风速度,借助 FLUENT 前处理软件 Gambit 绘制模型,完成网格划分,设置初始边界条件,对不同风速工况时,即出风口速度分别为 5.0 和 5.5 m/s 时,印刷车间室内不同水平面及垂直面的温度场和速度场分布规律进行模拟分析,得出风速为 5 m/s 的工况下,风速分布均匀性指标较优,温度分布有利于车间内污染物的排出。研究结果可为印刷车间正常运行提供良好的室内空气环境。

关 键 词:印刷车间;送风速度;温度分布;FLUENT 模拟软件

中图分类号:TU831

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2015)06-0092-06

Research on Regularities of Wind Speed and Temperature Distribution in Printing Workshop

DI Yuhui¹, ZHENG Zhizhong¹, ZHOU Linyuan², SHEN Yalan¹, ZHAO Yang¹

(1. College of Environmental and Chemical Engineering, Xi'an University of Polytechnic, Xi'an 710048, China;

2. Yantai Ebara Air Conditioning Equipment Co., Ltd., Yantai, Shandong 265500, China)

Abstract: According to the special requirements on wind speed of the production and operation of a printing workshop in Xi'an, in order to determine the optimal supply air velocity, the paper took advantage of FLUENT to simulate the wind speed and temperature distribution of different horizontal and vertical surface in the printing workshop under different wind speed conditions, in particular, the outlet wind speeds were set by 5.0 and 5.5 m/s respectively. But rendered model and completed mesh and set the initial boundary conditions by the Gambit software before using Fluent. It shows that when the wind speed is 5.0 m/s, wind speed distribution uniformity index is better and the temperature distribution is conducive to the discharge of pollutants in the workshop. This study can provide a good indoor air environment for normal operation of printing workshop.

Key words: printing workshop; supply air speed; temperature distribution; FLUENT

随着国家“十二五”规划的加速实施推进及现代科技日新月异的发展,国家对企业节能减排和绿色生产要求的力度逐渐加强,企业对自身生产环境和运行效率也严格要求,印刷行业也不例外。印刷厂生产运行时,由于大量的电机散热及机车的高速运转产生的机械摩擦,温度过高会引起印刷机自动停机,温度过低又会使油墨凝结。而且,印刷生产散发的有机废气,不仅对印刷质量,操作工人的健康以及身体的热舒适度

产生不利影响,同时不利于节能与环保。位于西安市的某印刷车间,设备所在区域尺寸为 72 m×9 m,厂房下弦高度以 4.5 m 计,内部 9 台印刷机组呈“一”字型排列,主要从事以纸张为承印材料的印刷生产。相关研究表明在不影响印刷效率和质量的情况下,要求风速控制在 0.3 m/s 左右^[1],温度为(22±2)℃。由此可见,为保证印刷车间的正常运行,必须提供良好的室内空气环境。

收稿日期:2015-04-30;修回日期:2015-05-18

基金项目:陕西省科技攻关项目(2013K11-31);西安市城乡建设资助项目(SJW2014002)

作者简介:狄育慧(1964),女,陕西西安人,西安工程大学环境与化工学院教授,博士,主要研究方向为建筑环境与节能。通信作者:郑治中,E-mail:1078243326@qq.com

1 建模初步及网格划分

所研究车间印刷设备体积较大,建模时可将其尺寸简化为 $3.2\text{ m} \times 2.6\text{ m} \times 2.6\text{ m}$ 的长方体,表面为等热流壁面。所研究车间内区及设备的定形、定位尺寸如表 1 所示。

表 1 车间内区及印刷设备定形、定位尺寸

Table 1 Dimension of workshop interior area and shape, location of printing equipment

名称	X/mm	Y/mm	Z/mm	备注
设备区总尺寸	9 000	72 000	4 500	该区左后下角坐标默认为原点
印刷设备尺寸	2 600	3 200	2 600	
印刷设备 1	3 200	2 000	0	左后下角坐标
印刷设备 2	3 200	10 000	0	
印刷设备 n	3 200	$Y_{n-1} + 8\,000$		

(n 取 3~9)

车间内区风口尺寸及布置:车间采取下送风方式^[2-4],即在车间下部距离地面 $0.2 \sim 0.3\text{ m}$ 采用 9 个孔板侧送风口,孔板尺寸 $3.20\text{ m} \times 0.56\text{ m}$,孔板沿 $X=0$ 立面墙正对印刷机布置,出风口温度 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$;在印刷机正上方开孔自然排风,排风孔尺寸 $0.8\text{ m} \times 0.8\text{ m}$ 。其物理模型及网格生成分别如图 1 和图 2。

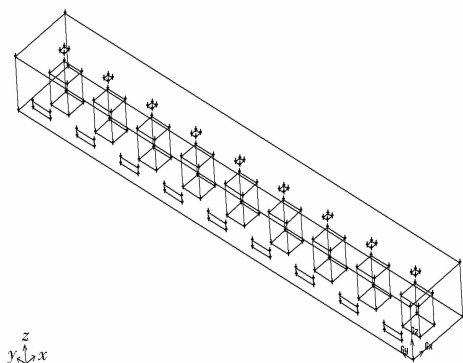


图 1 模拟区域三维建模模型

Figure 1 Modeling 3D model in simulation area

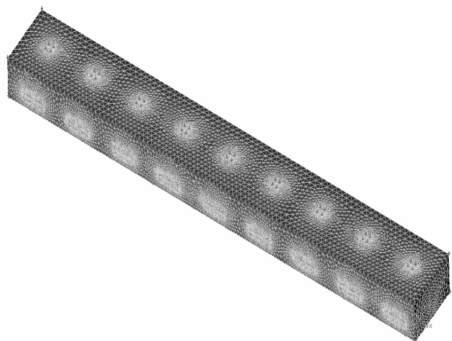


图 2 模型网格生成渲染效果图

Figure 2 Renderings of grid generation model

用 FLUENT 前处理软件 Gambit 绘制出以上基本模型及完成网格划分后,设置初始边界条件,本文控制的变量为出风口风速,其余条件都保持一致,不考虑围护结构的热传递,将热源简化为等热流表面热源:指标为 180.4 W/m^2 ,主要目的是模拟送风口处最佳送风速度参数。模拟工况的送风出风口风速分别为 5.0 和 5.5 m/s 。评价出风口风速是否合适的依据是印刷时纸张经过区域的风速限制以及选取测点的温度与速度不均匀性等^[5-7]。

2 模拟结果及分析

针对不同模拟工况,每种工况选取不同水平截面,在水平截面上选取若干控制点,从而评价这些控制点的温度和风速是否满足工艺性和人员舒适性要求。典型水平截面 Z 方向的坐标分别为 $0.1, 1.5, 1.6$ 和 1.8 m 。将出风口风速为 5.0 和 5.5 m/s 时的工况分别称为工况 1 和工况 2。

2.1 不同水平面速度场模拟结果

速度场模拟的重点范围是高度区域 $1.5 \sim 1.8\text{ m}$,因为该区域为承印材料主要分布区,对风速要求较为严格;温度场模拟除速度场严格控制的区域外,还包括 0.1 m 高度处的温度场分布,这是将操作工人的热舒适性考虑在内的缘故^[8-9]。

图 3 所示与为工况 1 条件下高度为 1.5 和 1.8 m 截面处车间内区速度分布云图。图 4 所示为工况 2 条件下高度为 1.5 和 1.8 m 截面处车间内区速度分布云图。

由图 3 和图 4 可知, $Z=1.5\text{ m}$ 截面在 $X=0$ 处,由于距离出风口较近,其速度接近风口出风平均速度,在吹向印刷机的过程中速度发生衰减,至印刷机迎风侧时其速度衰减至 1.0 m/s 左右,印刷机附近风速为 0.5 m/s 左右,而背风侧的风速为 $0.1 \sim 0.3\text{ m/s}$; $Z=1.8\text{ m}$ 截面处,新鲜空气遵循置换通风原理^[10]由下部蔓延至该高度,出风口正上方风速较 1.5 m 处显著降低,在吹往印刷机的过程中反而有所增大,特别是靠近印刷机迎风侧处风速明显增大,靠近印刷机处出现风速小于 0 的局部区域,这意味着这些区域产生涡流,不利于污染物的排出。

对比分析以上 2 种工况下的速度分布云图,选取同一平面上局部范围内 18 个控制点,其平面分布情况如图 5 所示,中间矩形为印刷设备。

图 6 和图 7 分别为 $Z=1.5$ 和 1.8 m 平面上,相应控制点在不同工况下的风速大小。

从图 6 和图 7 可看出 2 种工况下印刷机迎风侧 3 个点的风速都高于 1.0 m/s ,即印刷机迎风侧如不采

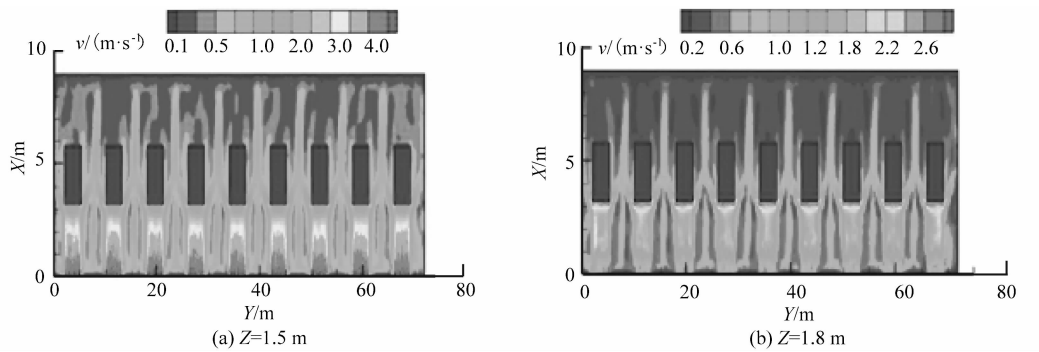


图3 车间内区速度分布云图(工况1)

Figure 3 Speed distribution of workshop interior area(condition 1)

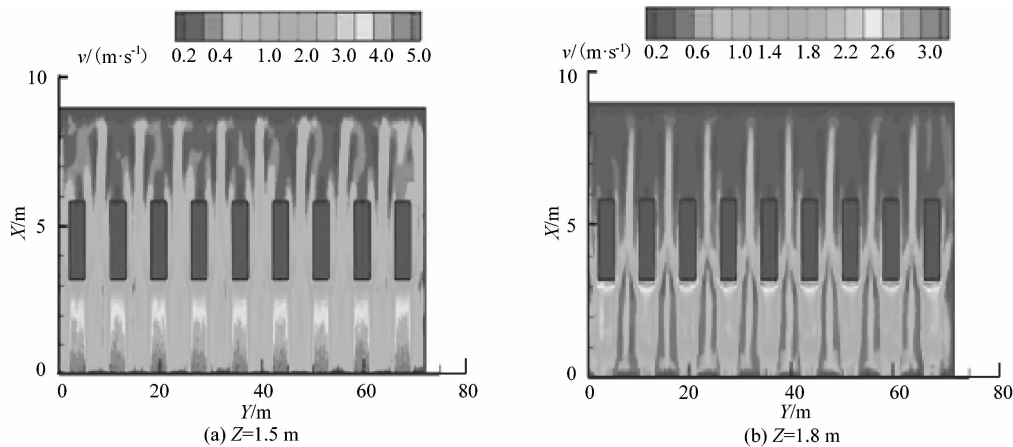


图4 车间内区速度分布云图(工况2)

Figure 4 Speed distribution of workshop interior area(condition 2)

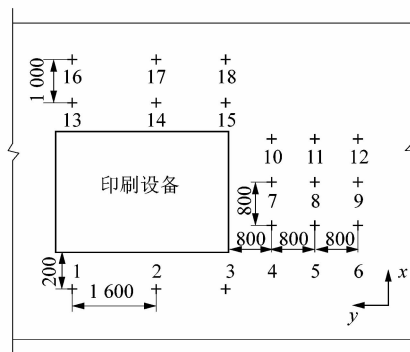
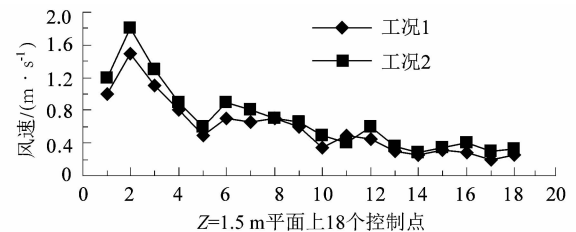
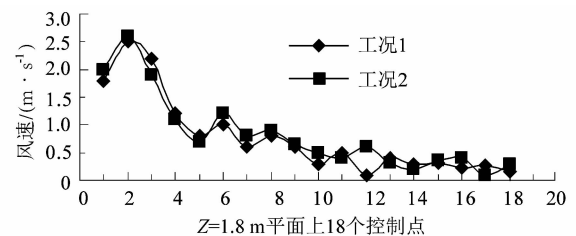


图5 同一平面上控制点分布

Figure 5 Control point distribution of same plane

取降低风速的措施,远远满足不了纸质印刷工艺性要求;侧面和背风侧的控制点的风速大体上能够满足或接近印刷工艺对风速的要求(0.3 m/s 左右)。在所选取的2个平面上,无论是风速分布均匀性指标还是满足工艺要求的测点占总测点数比例指标(与APDI类似),工况1都优于工况2,故从平面上风速分布而言,工况1的送风速度更接近设定值。

图6 不同工况下 $Z=1.5 \text{ m}$ 平面上18个控制点风速Figure 6 Wind speed of 18 control points on plane under different working conditions and $Z=1.5 \text{ m}$ 图7 不同工况下 $Z=1.8 \text{ m}$ 平面上18个控制点风速Figure 7 Wind speed of 18 control points on plane under different working conditions and $Z=1.8 \text{ m}$

2.2 不同水平面温度场模拟结果

图8和图9分别为工况1和工况2条件下相应截面的温度场分布状况。

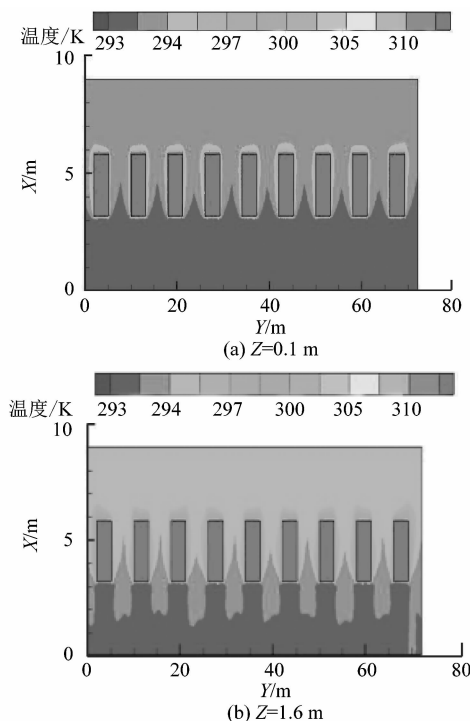


图8 车间内区温度分布云图(工况1)

Figure 8 Temperature distribution of workshop interior area (condition 1)

对比分析图8和图9可知,不同工况下2个截面上温度分布整体上都能满足 $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的室内温度范围要求,但局部范围温度高于上限值,特别是距离印刷机较近的范围内局部温度达到 28°C 左右。不同工况下同一水平面上温度分布存在差异,从图中可以直观地看出: $Z=0.1$ 和 1.6 m截面上,工况1条件下其温度分布均匀性较好,并且印刷机热源影响的范围也较小,特别是印刷机背风侧,温度值趋近恒定;而提高风速后,热源对空间同一平面上温度分布的影响显著^[11],局部温度值过高。

在 $Z=0.1$ 和 1.6 m 2个面上各取18个控制点,相应控制点在不同工况下的温度变化分别如图10和图11所示。

由图10和图11可知,在出风口温度已知的情况下,工况1条件下2个面上18个控制点的平均温度值最低,工况2风速条件下所有控制点的平均温度值要高于工况1,这是由于较高的风速促进了热源与周围空气之间的对流换热,使印刷机周围空气温度升高;两种工况下就所截取的2个面而言,对应控制点的垂直

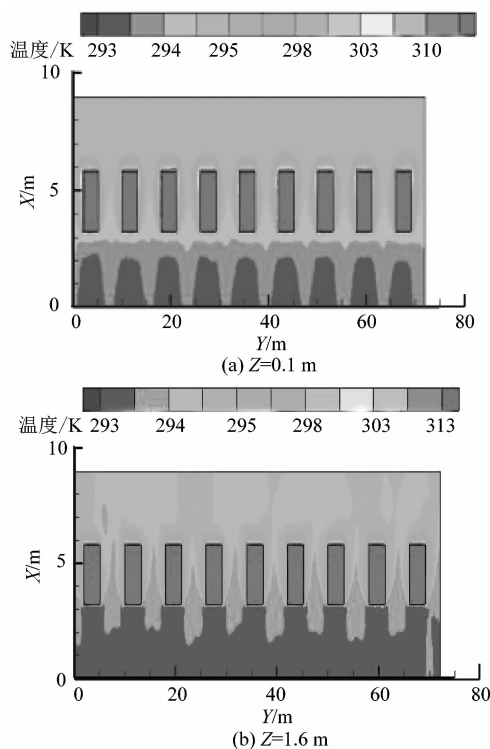


图9 车间内区温度分布云图(工况2)

Figure 9 Temperature distribution of workshop interior area (condition 2)

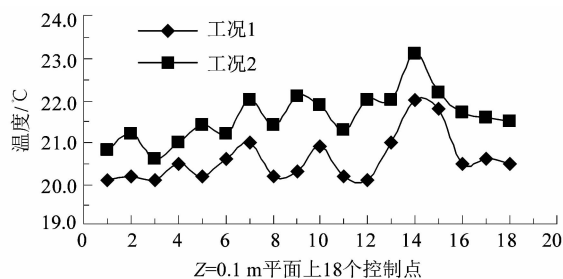


图10 不同工况下 $Z=0.1$ m平面上18个控制点的温度

Figure 10 Temperature of 18 control points on plane under different working conditions and $Z=0.1$ m

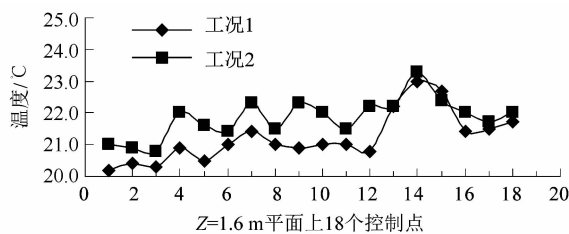


图11 不同工况下 $Z=1.6$ m平面上18个控制点的温度

Figure 11 Temperature of 18 control points on plane under different working conditions and $Z=1.6$ m

温差平均值都低于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 虽然按照置换通风原理车间上部的空气温度值要高于下部, 与普遍认为的头暖脚凉舒适规律不符, 但由于截取的 2 个平面上平均温度相差较小, 不会引起热不舒适; 图上温度出现峰值的点是靠近印刷设备所取点, 热源的影响使其温度值高于远离热源的控制点。

由于较高的环境温度会加剧有机废气无组织散发的扩散传质和对流传质过程, 在夏季相对较低的车间内部环境温度能给人以舒适感, 所以就温度场模拟的结果而言, 工况 1 的风速条件为 2 种工况的较优值。

2.3 垂直方向温度及风速分布

为进一步印证上述结论, 截取该车间内区 $Y = 36\text{ m}$ 垂直截面, 该截面上的速度云图如图 12 所示。

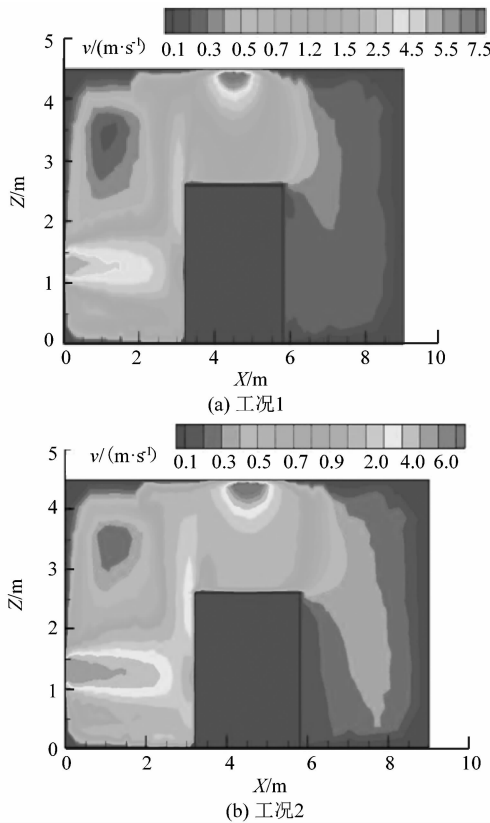


图 12 $Y = 36\text{ m}$ 截面上风速分布云图

Figure 12 Wind speed distribution on section with $Y = 36\text{ m}$

对比图 12(a) 和(b)可知, 无论是印刷机迎风侧还是背风侧, 工况 1 在 $Z = 2.0\text{ m}$ 截面以下的速度分布均匀性显然优于工况 2; 工况 1 迎风侧的平均风速比工况 2 的低, 更有利于印刷有机废气散发的控制; 印刷机背风侧的速度分布, 工况 1 条件下风速 v 分布在 $0.2 \sim 0.3\text{ m/s}$ 的区域面积远大于工况 2 的。以上几点印证了从风速分布的角度, 工况 1 要优于工况 2。

同样, $Y = 36\text{ m}$ 截面上, 沿 Z 轴即车间高度方向, 工况 1 与工况 2 对应的温度分布云图如图 13 所示。

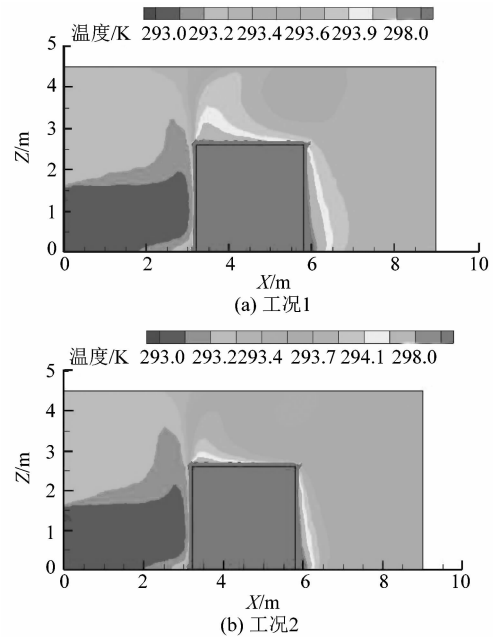


图 13 $Y = 36\text{ m}$ 截面上温度分布云图

Figure 13 Temperature distribution on section with $Y = 36\text{ m}$

对比图 13(a) 和(b)知, 工况 1 与工况 2 条件下, 印刷机迎风侧温度场分布差别不明显; 除靠近印刷机背风侧 0.3 m 范围内, $Z = 2.0\text{ m}$ 以下, 车间温度差不超过 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 种工况均能满足工艺性和人体舒适性要求; 与工况 2 相比, 工况 1 在印刷机上方形成的热羽流效应更为明显, 有利于有机废气从车间上部有效排出。

3 结论

对不同风速工况下印刷车间典型水平截面温度及风速分布规律的模拟分析, 以及垂直方向 $Y = 36\text{ m}$ 截面上的进一步求证, 得到出风口风速 5.0 m/s 为较优风速工况, 在该工况下所研究车间温度及风速分布呈现以下特点和规律:

1) 印刷设备迎风侧风速较高, 大于 1.0 m/s , 不满足印刷工艺要求, 不宜将承印纸张及挥发性溶剂集中在此侧而不采取任何挡风措施。印刷设备对车间气流的阻碍使背风侧和侧面风速较低, 大部分区域满足或接近印刷工艺要求范围;

2) 热源对车间水平方向温度场的影响在印刷机附近较为明显, 但对背风侧大部分区域无显著影响。在 $Z = 2.0\text{ m}$ 平面以下车间垂直方向温差小, 既能满足印刷工艺对温度波动的要求符合人体热舒适对温差的要求;

(下转第 101 页)