

高层建筑楼梯井直灌式送风加压研究

公安部四川消防研究所 王渭云[☆]

摘要 对直接向楼梯井内送风加压取代《高规》中规定的通过专用送风井向楼梯井内送风加压的可行性,在北京、上海、太原、都江堰等地的实际高层建筑中进行了试验验证,并在实测数据基础上进行了理论计算和CFD模拟分析,并分析了其经济性。结果表明,采用直灌式送风加压不仅可以满足《高规》中对压力值的要求,而且使楼梯井内上下压力更加均匀;同时也增加了使用面积,降低了工程造价。

关键词 高层建筑 楼梯井 送风井 直灌式送风

Research on pressurization by direct blowing to stairwells for high-rise buildings

By Wang Weiyun[★]

Abstract For validating the feasibility that direct blowing pressurization substitutes that with special air supply well specified on *Code for Fire Protection Design of Tall Buildings*, conducts experiments in actual high-rise buildings in Beijing, Shanghai, Taiyuan and Dujiangyan. Based on the measured data, makes theoretical calculation and CFD simulation, and analyses the economic effects of this pressurization method. The results show that adopting this method can not only obtain the pressure required but also make stairwell pressure uniform, and moreover increase utilization area and reduce engineering costs.

Keywords high-rise building, stairwell, air supply well, direct blowing

★ Sichuan Fire Research Institute of Ministry of Public Security, Dujiangyan, Sichuan Province, China

①

0 引言

对于高层建筑,防烟楼梯间是火灾发生后人们逃生避难的主要通道和场所,楼梯井加压送风压力大小则是避免烟气进入楼梯间的关键。

我国目前相关的建筑设计防火规范中,传统的送风加压方式是风机房→送风井→楼梯井(间)。《高层民用建筑设计防火规范》(以下简称《高规》)中还要求“楼梯间宜每隔二至三层设一个加压送风口”,其初衷是使楼梯井(间)内上下的压力分布均匀。但是,几十年的实践证明,非但未尽如人意,反倒使距风机近的送风口与距风机远的送风口之间的风压差增大,也就是说,在楼梯井内所反映出的现象是距风机越近的水平面风压越大,反之则越小。并且,经过对多栋实际高层建筑的现场测试证明,按建筑要求设计的理论送风量远远不能满足楼梯井内实际所需的风量,致使大部分高层建

筑送风系统不符合《高规》要求,从而形成潜在的隐患。

造成上述隐患的根本原因是送风环节过多,不仅造成送风沿程摩擦阻力和局部摩擦阻力过大,而且也增加了人为干扰因素。

从理论上分析,将传统送风方式改为直灌式送风方式后,由直接向楼梯井内送风加压取代《高规》中规定的通过专用送风井向楼梯井内送风加压的方式,不仅同样可以保证额定压力要求,而且使井内上下压力更加均匀;同时也增加了使用面积,降低了工程造价。

①☆ 王渭云,男,1943年5月生,大学,副研究员
611830 四川都江堰市公安局四川消防研究所
(028) 87123799 (0) 13908195671
E-mail: wwy517@126.com
收稿日期:2006-02-28
修回日期:2006-04-04

1 试验研究

课题的研究宗旨是求实求真, 试验场地尽量选取实际高层建筑。在积累了大量实际楼房直灌式送风试验数据的基础上进一步进行数学模化理论分析。只有这样, 所得研究结论才具有说服力, 才有实际应用价值。

由笔者所在单位、北京市消防局、山西省建筑设计研究院、中国建筑科学研究院建筑防火研究所、北京当代复合材料有限公司、上海市消防局、山西省消防局等单位联合组成的专题研究组先后对北京、上海、太原、都江堰四地的实际楼房进行了测试, 在此基础上, 又进行了理论计算及模拟分析^①。

1.1 北京西苑饭店试验

1.1.1 建筑概况

该饭店是一家四星级宾馆, 建筑高度 93 m, 标准层高 3 m, 净高 2.7 m, 总建筑面积近 20 000 m², 于 1983 年建成。因报建送审时《高规》尚未颁布, 所以其防烟楼梯间并不符合现有的《高规》要求, 没有防烟楼梯间前室, 只与通道直接相连。

试验防烟楼梯间为三跑楼梯, 从地下 3 层到地上 23 层, 中间有较大的直通空间。

1.1.2 送风加压系统

加压风机设置在楼梯间最顶层(23 层), 直接从外窗取风, 送至管道。井内敷设镀锌钢板加压送风立管, 尺寸为 630 mm×400 mm。每隔一层设百叶送风口一个, 尺寸为 300 mm×200 mm。送风机的额定送风量: 低速时 7 890 m³/h, 高速时 15 320 m³/h; 功率: 5.5 kW; 转速: 1 450 r/min。标准层送风加压系统平面图见图 1。

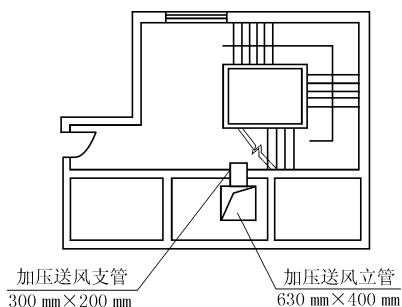


图 1 标准层送风加压系统平面图

送风立管前的风管上有一个检修门, 尺寸为 500 mm×800 mm(见图 2)。

1.1.3 试验步骤

1) 关闭各层楼梯间与走道之间的疏散门, 仅

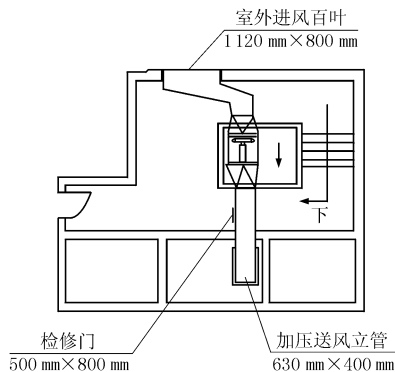


图 2 顶层加压楼梯井平面图

开启 1 层直通室外的疏散门, 启动加压风机, 在高速状态下运转, 稳定 5 min 后开始测量。

2) 测量楼梯间通过竖井加压送风时各个送风口的风速及楼梯间的压力, 计算楼梯间总送风量。

3) 关闭所有楼层的送风口, 打开送风井前的检修门, 模拟只有一个送风口送风时的状态, 直接向楼梯井内送风, 测量此风口的风速及楼梯间与走道的压差, 计算楼梯间总送风量。

1.1.4 说明及分析

1.1.4.1 两种状态下送风量比较

通过竖井送风加压时, 各层送风口的风速及风量见表 1。从表 1 可看出, 楼层越低, 其送风口的风量越小, 下面几层风口的送风量甚至可以忽略不计。这种现象普遍存在于实际工程中, 是楼梯间压力不均的主要原因之一。计算得知, 按设计状态即通过送风竖井送风时, 整个楼梯间的送风量为 13 672.4 m³/h, 小于风机的额定风量(15 320 m³/h)。

表 1 各层送风口风速及风量

楼层	送风口风速(每个风口测 4 个点)/(m/s)				平均风速/ (m/s)	风量/ (m ³ /h)
	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4		
22	17.65	13.68	12.51	14.95	14.70	3 175.2
20	16.50	13.50	13.20	14.50	14.43	3 115.8
18	14.39	13.80	12.31	11.30	12.95	2 797.2
16	11.70	10.95	11.15	10.92	11.18	2 414.9
14	4.75	2.30	9.25	7.80	6.03	1 301.4
12	0.30	0.95	1.85	1.20	1.33	286.2
10	1.40	0.78	1.97	0.68	1.21	260.8
8	0.43	0.67	0.50	1.32	0.73	157.7
6	0.62	0.56	0.80	0.75	0.68	146.9
4	0.64	0.67	0.63	0.66	0.65	140.4

注: 4 层以下各风口的风速太小, 忽略不计。

① 王渭云, 赵克伟, 牟秀泉, 等. 高层建筑楼梯井直灌式送风加压研究报告. 2005

通过检修门送风来模拟单点直灌式送风加压,当楼梯间所有送风口均关闭时,测得通过检修门的平均送风速度为 17.0 m/s(共测量了 8 个点,风速分别为 17.9, 20.6, 19.0, 18.9, 16.5, 17.6, 7.2, 18.3 m/s), 检修门面积 0.4 m², 计算送风量为 24 480 m³/h。

通过检修门单点送风时,由于风道特性参数发生变化,阻力变小,致使风机的送风量变大,大于风机高速运转时的额定送风量。

1.1.4.2 两种状态下楼梯间与走道压差的比较

从表 2 可知,两种试验条件下,各层楼梯间与走道的压差基本相同,说明在本试验中,直灌式送风加压与传统竖井送风加压的加压效果基本一致。

表 2 楼梯间与走道压差比较

楼层	送风井所有风口开启时楼梯间与走道的压差/Pa	仅开启检修门送风时楼梯间与走道的压差/Pa
23	12	18~35
22	14	13
19	14	13
15	10	9
11	7	8
7	7	6
3	3	2
2	1	1
1	0	5
-1	-2	-2
-2	0	-2
-3	-1	-2

1.2 上海香梅花园 9 号楼剪刀楼梯间直灌式送风加压试验

1.2.1 建筑概况

该楼系公寓式住宅楼,共计 37 层,高 105 m。设有一个剪刀防烟楼梯间正压送风系统。为满足试验要求,该系统未采用竖井进行分层加压,而是采用了加压送风机在楼梯间直接送风的加压方式。

1.2.2 试验条件

1.2.2.1 风速测试:开启模拟火灾层及其上、下一层通向前室的防火门及各层前室外窗。

1.2.2.2 压差测试:关闭楼梯间与前室之间所有的门,打开前室外窗。

1.2.2.3 测试仪器:DP1000-III B 型数字微压计(最小测量值 1 Pa),QDF-3 型热球式风速仪(最小测量值 0.05 m/s)。

1.2.2.4 加压风机:楼内共设 4 台风机,其中 2

台设在屋顶,另 2 台设在地下 1 层,风机参数均为:风量 47 726 m³/h,全压 704 Pa,功率 15 kW,转速 960 r/min。

1.2.3 试验概况

1.2.3.1 上送风加压试验

开启屋顶的风机向楼梯井内送风,现场测试结果见表 3。

表 3 剪刀防烟楼梯间上送风系统性能测试结果

楼层	位置	门开启处风速/(m/s)						楼梯间与前室的	
		测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5	测点 6	平均	压差/Pa
2	北	1.2	0.9	0.9	0.9	0.9	1.2	1.0	
	南	1.6	1.5	0.7	1.1	1.1	1.0	1.2	
3	北	0.9	0.6	0.7	0.7	1.0	0.6	0.8	120
	南	0.7	1.2	1.2	1.0	0.8	1.4	1.0	120
4	北	1.1	1.2	1.0	0.8	1.5	1.2	1.1	
	南	1.5	0.6	0.7	1.0	0.7	0.7	0.9	
18	北								150
	南								155
35	北	0.6	0.9	0.7	0.9	0.6	0.7	0.7	
	南	0.6	0.7	0.7	0.8	0.5	0.8	0.7	
36	北	1.1	0.9	1.0	0.7	0.6	0.8	0.8	200
	南	1.0	2.0	2.0	1.9	1.5	0.9	1.4	190
37	北	1.9	2.0	2.5	2.1	2.0	2.0	2.1	
	南	1.0	1.3	2.0	2.0	1.2	1.5	1.5	

1.2.3.2 下送风加压试验

开启地下 1 层的风机,向楼梯井内送风,现场测试结果见表 4。

表 4 剪刀防烟楼梯间下送风系统性能测试结果

楼层	位置	门开启处风速/(m/s)						楼梯间与前室的	
		测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5	测点 6	平均	压差/Pa
2	北	0.7	0.8	0.9	1.1	1.0	0.9	0.9	
	南	0.8	0.7	0.9	1.0	0.9	1.0	0.9	
3	北	0.9	0.9	1.1	1.0	0.8	0.7	0.9	43
	南	0.8	0.8	1.0	0.6	0.5	0.5	0.7	62
4	北	0.9	1.2	0.8	1.1	0.9	0.7	0.9	
	南	1.1	0.7	0.9	1.0	1.0	0.8	0.9	
18	北								47
	南								60
35	北	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	0.9	
	南	0.9	0.9	1.0	1.1	0.8	1.0	1.0	
36	北	1.0	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.0	27
	南	1.0	0.9	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	34
37	北	0.8	0.9	1.1	1.2	0.7	0.8	0.9	
	南	1.0	0.9	1.1	0.7	0.8	1.2	1.0	

1.2.3.3 上下双送风加压试验

同时开启地下 1 层和屋顶的风机,测得 18 层的北梯和南梯的压力分别为 246 Pa 和 250 Pa。

1.2.4 试验分析

1.2.4.1 通过上送风试验测得的数据发现,被测

层(3,18,36层)的压力值都很大;顶层楼梯门口风速较其他被测层大,37层北侧楼梯门口平均风速达到 2.1 m/s。

1.2.4.2 通过下送风试验测得的数据发现,被测层的压力值比较适中;被测层楼梯门口的风速值相差无几。

1.2.4.3 在上下双送风加压试验中,只测了中部楼层的压力值,这个压力在三种送风方式试验结果中最大。

1.2.5 试验结论

本次试验证明,不通过楼梯井的直灌式加压送风形式能够满足《高规》要求的压力值。

1.3 太原天隆仓商务大厦办公区楼梯间直灌式送风加压试验

1.3.1 建筑概况

该大厦办公区共 20 层,为满足试验要求,未采用竖井进行分层加压,而是采用了向楼梯井内直灌送风的加压方式。

1.3.2 试验条件

1.3.2.1 保持首层楼梯间门开启,使其余各层门和前室门处于关闭状态。

1.3.2.2 加压风机:顶层设 1 台轴流式送风机(额定送风量 51 821 m³/h,全压 800 Pa),直灌式加压送风,送风口尺寸为 625 mm×1 250 mm;在 3,6,9,12 层各设 1 台补充送风机(额定送风量 7 500 m³/h,全压 450 Pa),其送风口为圆形,直径为 450 mm。

1.3.2.3 测试仪器:数字差压计(型号 DP103-10),风速仪(型号 QDF-6)。

1.3.3 试验概况

1.3.3.1 选取 19,13,12,11,3,1 层作为典型楼层分别测试楼梯间及前室的压力值和开门风速。

1.3.3.2 压力测试:启动加压送风系统,利用数字差压计分别测试楼梯间、前室的压力。

1.3.3.3 风速测试:开启当前层前室和楼梯间门,利用风速仪测试楼梯间通向前室的开门风速。

1.3.3.4 开启所有风机,分别测试顶层送风机和补充送风机风速,并测算送风量(12 层因风机故障,未能启动)。测试结果见表 5。

1.3.4 试验结果分析

经测试,办公区楼梯井采用的直灌式送风加压系统可保证楼梯间大部分区域的压力值和开门风

表 5 天隆仓商务大厦楼梯井直灌式送风系统测试结果

楼层	测试位置	压力值/Pa	风速/(m/s)
20	风机送风口		10
9	风机送风口		13
19	楼梯间	65	
	前室	5	
13	楼梯间	55	0.7
	前室	5	
12	楼梯间	47	0.7
	前室	4	
11	楼梯间	55	1.0
	前室	4	
3	楼梯间	25	0.6
	前室	4	
1	楼梯间	7	

注:表中数据均为 5 个测试数据的平均值。测试时间为 2004 年 8 月 10 日。

速满足规范要求,但由于该楼的前室未送风,所以前室压力尚不能满足规范要求。

1.3.5 试验结论

试验证明,采用直灌式送风加压方式是可行的,可代替竖井送风加压方式。

1.4 火灾实验塔楼梯井直灌式送风加压试验

1.4.1 试验目的

在压力值恒定在 40 Pa 的条件下,比较通过送风井向楼梯井送风加压与直接向楼梯井送风加压所需送风量的区别,为直灌式送风加压的可行性提供科学试验依据。

1.4.2 建筑概况

火灾实验塔(见图 3)是我国自行研制建造的

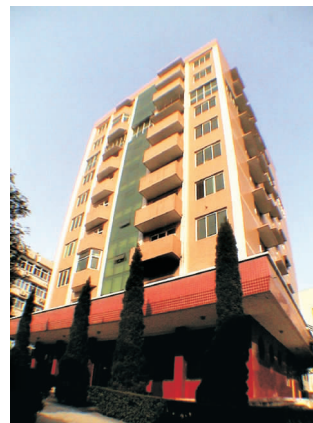


图 3 高层建筑火灾实验塔外貌

的火灾实验研究基地,是目前世界上惟一一座集高层、地下一体,以机械防排烟系统为核心,以开展

全方位实际火灾实验研究为主要目的的实比火灾实验塔,地上主体10层,局部12层,地下1层。地上高39.6 m。总建筑面积为7 250 m²。

1.4.3 送风加压系统

该塔具有多种防排烟试验研究功能,以下仅介绍本次直灌式送风加压试验所需设备。

为适应各种加压试验要求,塔内所有风机均为变频调速风机。为送风井道送风加压的风机1台,设于1层风机房。送风机的额定送风量为16 900 m³/h(低速)和25 800 m³/h(高速);功率为15 kW;转速为1 460 r/min。为楼梯井直灌式送风的风机有2台,分设于地下1层和屋顶。额定送风量为19 515 m³/h(低速)和31 471 m³/h(高速);功率为7.5 kW;转速为1 450 r/min。

1.4.4 测试仪器

实验塔内设有固定的压力/风速测试网络及声像录制、通讯联络系统,并由火灾实验塔中央控制室的电脑系统统一控制。

1.4.5 试验概况

1.4.5.1 传统通过送风井向楼梯井送风加压试验

1) 试验先决条件

① 打开2,4,6,8,10层送风井向楼梯间送风的阀门;

② 开启首层风机房的送风机,向送风井道内送风加压,使楼梯井内升压并恒定在40 Pa;

③ 仅开启1层楼梯间门,其余门窗关闭。

2) 测试项目

① 1~10层楼梯间内的静压;

② 风机进风口的风速;

③ 1~10层送风井道出风口的风速;

④ 计算送风量(送风井道每个送风口尺寸为

0.98 m×0.5 m)。

3) 测试及计算结果(见表6,7)

表6 送风井加压送风风量

楼层	送风井道各层出风口风速/(m/s)							风量/ (m ³ /h)
	测点1	测点2	测点3	测点4	测点5	测点6	平均	
2	0.30	0.34	0.25	0.28	0.25	0.26	0.28	494
4	1.90	0.20	1.68	0.22	2.15	0.09	1.04	1 835
6	2.60	0.20	2.35	0.25	1.92	0.12	1.24	2 187
8	2.38	1.49	2.42	0.23	2.45	0.85	1.64	2 887
10	2.50	0.65	2.30	2.26	2.33	2.19	2.04	3 596

注:楼梯间压力为40 Pa;楼梯间内总进风量为10 999 m³/h。

表7 风机进风口风速及风量

1层风机房门 洞尺寸/mm	风速/(m/s)							总进风量/ (m ³ /h)
	测点1	测点2	测点3	测点4	测点5	测点6	平均	
2 000×600	3.0	2.9	2.7	3.0	3.0	2.8	2.9	12 528

1.4.5.2 直灌式送风加压试验

1) 试验先决条件

① 关闭送风井向楼梯间送风的所有阀门;

② 仅开启首层楼梯间门,其余门窗关闭;

③ 开启屋顶送风机,直接向楼梯井内送风加压,并使楼梯井内压力恒定在40 Pa左右。

2) 测试项目

① 1~10层楼梯间内的静压;

② 送风机进风口的风速;

③ 送风机出风口的风速;

④ 计算送风量(屋顶送风机进风口(即吸风口)直径为0.8 m,出风口尺寸为0.76 m×0.77 m,扣除30%的百叶有效面积,为0.76 m×0.77 m×70%)。

3) 测试及计算结果(见表8,9)

表8 楼梯间的压力测试结果

楼层	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
楼梯间压力/Pa	42	40	41	40	40	39	40	41	41	42

表9 直灌式送风风量

测点位置	风速/(m/s)												风量/(m ³ /h)	
	测点1	测点2	测点3	测点4	测点5	测点6	测点7	测点8	测点9	测点10	测点11	测点12		平均
送风机吸风口	6.97	6.60	7.01	6.68	7.75	7.09	7.38	7.26	7.34	7.13	7.54	7.01	7.15	12 932
送风机出风口	8.80	9.34	8.14	7.38	7.80	6.72							8.03	11 852

1.4.6 试验结果分析

在实验塔内,总计做了15次不同开口条件、不同压力的多种类型试验。在楼梯井内等压(40 Pa)先决条件下送风量的比较结果见表10。

1.4.7 试验结论

试验证明,采用直灌式送风加压方式是可行的,可代替竖井送风加压方式。

表10 送风量比较

加压方式	风机送风量/ (m ³ /h)	楼梯井内进风量/ (m ³ /h)
通过送风井	12 528	11 000
直灌式送风	12 932	11 852

2 楼梯间直灌式送风加压系统送风量计算与分析

为充分验证直灌式送风加压的可行性,对太原

天隆仓商务大厦办公区楼梯间正压直灌式送风系统的送风量进行了理论计算。

2.1 压差法

当疏散通道门关闭时,加压部位保持一定的正压值所需送风量按下式计算:

$$L_1 = 0.827A\Delta p^{\frac{1}{n}} \times 1.25N_1 \quad (1)$$

式中 L_1 为保持加压部位一定的正压值所需的送风量, m^3/s ; 0.827 为电梯门及疏散门的不严密附加系数; A 为每个电梯门及疏散门的总有效漏风面积, m^2 ; Δp 为压差, Pa , 楼梯间取 40~50 Pa, 前室取 25~30 Pa; n 为指数, 一般取 2; 1.25 为其他不严密处附加系数; N_1 为漏风门的数量。

该建筑每层均设有门窗, 假定门的缝隙保守考虑为 0.004 m, 并考虑四边及中间均有缝隙, 门高 2.2 m, 宽 1.5 m, 则每个疏散门的漏风面积为: $3 \times 2.2 \text{ m} \times 0.004 \text{ m} + 2 \times 1.5 \text{ m} \times 0.004 \text{ m} = 0.0384 \text{ m}^2$ 。假定窗的漏风面积是门漏风面积的 70%, 则每个门窗的总有效漏风面积为: $1.7 \times 0.0384 \text{ m}^2 = 0.065 \text{ m}^2$ 。

楼梯间设定压差为 50 Pa, 门总数为 20, 则计算得到所需送风量为 $34344 \text{ m}^3/\text{h}$ ($9.54 \text{ m}^3/\text{s}$)。

2.2 风速法

当开启着火层疏散门时需要相对保持门洞处一定风速, 则所需送风量可按下式计算:

$$L_2 = FvN_2 \quad (2)$$

式中 L_2 为开启着火层疏散门时为保持门洞处风速所需的送风量, m^3/s ; F 为每层开启门的断面积, m^2 , 为 3.3 m^2 ; v 为门洞断面风速, m/s , 为 $0.7 \sim 1.2 \text{ m/s}$, 取 1.2 m/s ; N_2 为每层同时开启门的数量, 一般 20 层以下时取 2, 20 层以上时取 3, 该建筑楼梯共 20 层, N_2 取 2。

计算得到所需送风量为 $28512 \text{ m}^3/\text{h}$ ($7.92 \text{ m}^3/\text{s}$)。

2.3 结果分析

从上述结果可以看出, 按压差法计算得到的加压送风量较大, 为 $34344 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

本项目共设有 5 台风机, 设计送风量合计为 $51821 \text{ m}^3/\text{h} + 4 \times 7500 \text{ m}^3/\text{h} = 81821 \text{ m}^3/\text{h}$, 可满足上述要求。

从实测结果看, 顶层送风机出风口断面 ($0.625 \text{ m} \times 1.250 \text{ m}$) 平均风速为 10 m/s , 则实测该风机送风量约为 $28125 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

在 3, 6, 9, 12 层分别设置的补充送风机实测断面 (直径为 0.45 m) 平均风速为 15 m/s , 则实测风机送风量约为 $8584 \text{ m}^3/\text{h}$, 按此计算得实测总送风量约为 $62461 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

实测时有一台补充送风机未能启动, 则实际送风量为 $53877 \text{ m}^3/\text{h}$ 。实测该风机送风量小于设计送风量, 但高于保持楼梯间压力和开门风速所需的送风量。

从理论上说, 楼梯间直灌式加压送风系统只要送风量足够, 即可满足楼梯间的防烟要求。但采用此方法难以分析楼梯间直灌式加压送风系统的压力分布和实际效果, 采用 CFD 模拟可较好地解决此问题。在模拟分析中采用实测的各风机送风量值。

3 楼梯间直灌式加压送风系统 CFD 模拟分析研究

3.1 CFD 模拟分析理论依据

FDS 是基于 LES 方法的一种计算流体力学软件, 由美国国家标准技术研究所 (NIST) 开发, 能用数值计算的方法解适用于低速、热驱动气流的 N-S 方程。因而笔者采用该软件分析论证楼梯间直灌式送风加压的可行性是较为合适的 (分析论证的详细过程见《楼梯间正压直灌送风系统计算机模拟分析研究报告》^①)。

3.2 CFD 模拟分析结论

3.2.1 从分析结果可以看出, 在所有疏散门均关闭的条件下, 楼梯间各层压力为 40~65 Pa, 上下压差最大约为 25 Pa。

3.2.2 在首层及第 8 层疏散门开启, 其他门窗洞口保持关闭情况下, 除风机所在位置外, 楼梯间疏散门所在断面气流速度为 $1.0 \sim 2.5 \text{ m/s}$, 其中首层疏散门处风速约为 1.0 m/s , 第 8 层疏散门处风速为 2.5 m/s 。

3.2.3 上述分析结果与理论计算结果基本吻合, 与实测计算结果大体吻合 (实测较低楼层处压力和风速均较低, 因实测时有一台风机发生故障), 现有设计基本合理。

3.2.4 通过 CFD 模拟分析, 并和理论计算及实测结果对比可知, 楼梯间采用直灌式加压送风系统进行防烟控制是可行的。

① 刘文利, 孙旋, 吕振纲, 等. 楼梯间正压直灌送风系统计算机模拟分析研究报告. 2004

4 经济性分析

4.1 降低工程造价

因取消了原来送风系统的送风井道,从而节约了这部分的工料及工时费用。

以防烟楼梯间加压送风(前室不送风)为例,加压送风量为 25 000~30 000 m³/h,假定层数为 19 层,裙房 3 层。裙房层高均为 4.5 m,4~19 层层高均为 3.5 m。风道竖井断面净面积为 0.7 m²。取黏土实心砖墙和轻质隔墙两种风道材料进行比较,结果见表 11。

表 11 送风井道造价

	每层风道断面净面积/m ²	每层风道建筑面积/m ²	19 层风道总建筑面积/m ²	单位表面积直接费用/(元/m ²)	风道总表面积/m ²	直接费用/元
材料 1	0.70	1.105	21.00	30	176	5 280
材料 2	0.70	0.932	17.71	60.1	172	10 337

注:材料 1 为 120 mm 厚黏土实心砖墙(包括 1.5 cm 厚双面抹灰);材料 2 为 90 mm 厚 GRC 轻质隔墙。

从表 11 可以看出,取消材料 1 风道后,可降低造价 10 560 元(按两部疏散楼梯计算),取消材料 2 风道后可降低造价 20 674 元。

每个加压送风口的造价为 260 元,按两部疏散楼梯、每部楼梯间有 7 个风口计算,风口总造价为 3 640 元。

若按材料 2 风道算,该楼的总造价节约了 24 314 元。这只是我国一幢建筑中的行政办公楼,按此推算,全国节约的总费用可想而知。

4.2 增加建筑物的使用面积及投资方销售利润

在上例中,取消由材料 1 制作的风道,建筑物每层的建筑面积可增加 1.105 m²,按两部防烟楼

梯计算,每层可增加 2.21 m²。假定高层建筑平均市场价格为 4 000 元/m²,如总毛利为 25%,那么投资方销售利润及社会税利可增加 4.20 万元(按 19 层计)。取消由材料 2 制作的风道后,每层可增加建筑面积 1.864 m²,投资方销售利润及社会税利可增加 3.54 万元。

采用新的送风加压方式,不仅可节省投资,而且还会增加投资效益。这只是对一幢 19 层高层建筑按设有两部防烟楼梯间计算的结果,如果把全国各地高层建筑物加在一起,将是多么可观的数字。

总之,采用直灌式送风加压方式,消除了长期以来存在的各种隐患,明显提高了高层建筑的送风效率,确保了楼梯间疏散的可靠性和人员生命安全,降低了建筑工程成本,减少了能源消耗,有着显著的经济效益和社会效益,也有利于送风设备的技术更新改造,因而是值得推广的。

5 结论

5.1 多次试验证明,直灌式送风加压方式能够满足《高规》要求的压力值,这种方式是可行的,可代替传统的竖井送风加压方式。

5.2 专用送风井道的取消,节约了用地,降低了工程造价,所以社会效益、经济效益十分突出。

参考文献

- [1] 中华人民共和国公安部. GB 50045—95 高层民用建筑设计防火规范[S]. 北京:中国计划出版社,2005
- [2] 中华人民共和国公安部. GBJ 16—87 建筑设计防火规范[S]. 北京:中国计划出版社,2001
- [3] 杨冠雄. 建筑物防火之烟控设计分析[M]. 高雄:高雄覆文图书出版社,1996

(上接第 25 页)

是可信的。条件允许的情况下,最好使用三维 PIV 系统进行直接测量。

参考文献

- [1] 任鸿泽,赵彬,李先庭,等. 实际连接条件下送风口出流特性对室内空气分布的影响[C]//全国暖通空调制冷 2002 年学术年会论文集,2002:300-304
- [2] 赵彬,李先庭,彦启森. 室内空气流动数值模拟的风口模型综述[J]. 暖通空调,2000,30(5):33-38
- [3] Nielsen P V. Description of supply openings in numerical models for room air distribution [G]//ASHRAE Trans, 1992,98(1):963-971
- [4] 杜国付,端木琳,舒海文. 工位空调送风气流数值模拟风口模型比较[J]. 热科学与技术,2003,2(2):162-

167

- [5] 谢东,王汉青. 粒子图像速度场仪在室内空气流场测试中的应用[J]. 建筑热能通风空调,2004,23(1):104-106
- [6] 周静瑜,王德忠. 暖通流场测试技术的发展与展望[J]. 暖通空调,2005,35(5):41-45
- [7] Adrian R J. Particle imaging techniques for experimental fluid mechanics [J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 1991,23:261-304
- [8] 张鸿雁,王丽,王元. 二维温室绕流流场的 PIV 实验研究[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版,2005,37(2):160-163
- [9] 顾蕴松,明晓. 应用 PIV 技术研究“零质量”射流的非定常流场特性[J]. 实验流体力学,2005,19(1):83-86