

防排烟系统漏风量及压力控制分析

嵇 馨

(中国建筑科学研究院, 北京 100013)

摘要: 针对工程中常出现的防、排烟系统末端风口风量不足以及防烟场所压力控制的相关问题, 通过对不同规模的防、排烟系统漏风量在风速变化的工况下进行计算, 分析了防、排烟系统常闭风口、风阀、风管漏风量对于防、排烟系统运行的显著影响, 探讨了漏风量与风管阻力的相互影响, 以及排烟系统负担排烟区域面积与系统漏风量的关系, 提出了高层建筑防、排烟系统风管设计的建议计算风速, 以及前室、防烟楼梯间压力控制的方法, 为工程实践中的相关问题提供了参考数据和有效的解决途径。

关键词: 防排烟系统; 漏风量; 计算风速; 风管阻力; 压力测点; 压力控制

中图分类号: X924.4; TU892

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)05-0722-07

Smoke control system leakage air volume and pressure control analysis

J I Xin

(China academy of building research, Beijing 100013, China)

Abstract: This article directs at some smoke control system problems usually in projects such as lower wind volume of duct system end diffuser, and unsuitable pressure control of smoke-proof place. Through leakage air volume calculations of various smoke control system with different duct wind speed, it analyzes how significantly the air leakage from normally closed diffuser or fire valve and duct influence on the smoke control system operation, and discusses the interaction effect between leakage air volume and duct resistance, and the relation between the smoke exhausted area and leakage air volume. It also suggests advises the duct wind speed of smoke control system calculation in high-rise buildings, and puts forward different pressure control methods of atria and smoke-proof staircase, so to provide some reference data and effective solutions for project related problems.

Key words: smoke control system; leakage air volume; wind speed calculation; duct resistance; pressure test point; pressure control

在暖通专业消防工程设计中, 防、排烟系统为主要的設計内容。设置防烟系统的主要目的是向疏散通道送入室外新风保证环境正压, 使烟气不能扩散入内, 保证人员的安全疏散, 设置防烟系统的主要场所为防烟楼梯间、前室及消防电梯前室、避难层等处^[1-4]; 设置排烟系统是为了在火灾时排除高温烟气, 保证人员疏散以及消防员救灾。

国内现行防火规范^[1-4]关于防、排烟系统, 以 20 层为界规定了不同楼层防烟正压系统送风量, 叙述了正压送风量的计算方法: 压差法及门洞风速法; 规定了排烟系统防烟分区排烟量、以及排烟风机风量的计算方法, 暖通专业相关的设计手册^[5]、技术措施^[6]提出附加 10%~20% 的风管系统漏风量。在工程设计中工程师们通常是根据规范直接选用风量参数, 并没有根据建筑的实际情况

去调整参数。另外排烟风机风量的计算方法, 旧版国标规范^[2,4]要求以最大防烟分区排烟量的两倍作为排烟风机风量参数, 虽然考虑了系统庞大复杂以及漏风量的问题, 但在工程设计中, 排烟风机的风量很难参与到排烟系统的风管阻力计算中^[8]。在编尚未出版的国标《建筑防烟排烟系统技术规范》(征求意见稿)^[9]关于排烟风机风量的确定方法, 与《上海市建筑防排烟技术规程》(DGJ 08-88-2006)^[3]相同: 对于 500 m² 以下的房间, 排烟风机风量为最大防烟分区排烟量(面积乘以 60 m³/h·m²)加风管漏风量以及其它防烟分区排烟口及风阀的漏风量之和, 这个计算方法区别不同系统规模较为合理, 但在工程设计中, 大部分工程师由于工作量较大, 仍直接附加 10%~20% 漏风量作为排烟风机选型参数。

收稿日期: 2017-02-27

修改稿日期: 2017-08-27

作者简介: 嵇馨(1972—), 女, 高级工程师, 硕士, 从事暖通空调施工图审查及工程设计工作。E-mail: jixin@cabr-design.com

由于在防、排烟工程施工调试过程中, 存在建筑下层防烟送风系统风量不够甚至无风, 前室或防烟楼梯间压力值不够, 部分排烟系统末端排烟口无风或者风量不够等诸多问题, 业内对于防排烟系统的风量计算也存在很多争议^[7], 究竟是系统风量计算方法有问题还是系统漏风量造成的影响? 以下先对系统漏风量的影响进行分析。

1 问题的分析

1.1 防烟系统

在前室的防烟设计中, 目前有两种做法: 一是前室不送风, 仅对防烟楼梯间送风, 部分风量

由楼梯间流入前室来保证楼梯间、前室的压力值及相对压差; 二是对消防前室或前室单独送风^[1-4]。工程中常见的问题是底部风量不够甚至无风, 分析原因, 除了施工质量以及风口风阀的设备质量因素以外, 主要是风管漏风率方面以及管道阻力计算的问题。根据现行防火规范, 前室单独送风, 送风量计算方法并未仔细计算风管、常闭风口的漏风率, 防烟送风系统通常负担层数送风口较多, 特别是对于高层建筑及超高层建筑, 火警时仅开启着火层及其上下层的正压送风口, 其它风口均为常闭, 风管系统及常闭风口漏风的问题不容忽视。

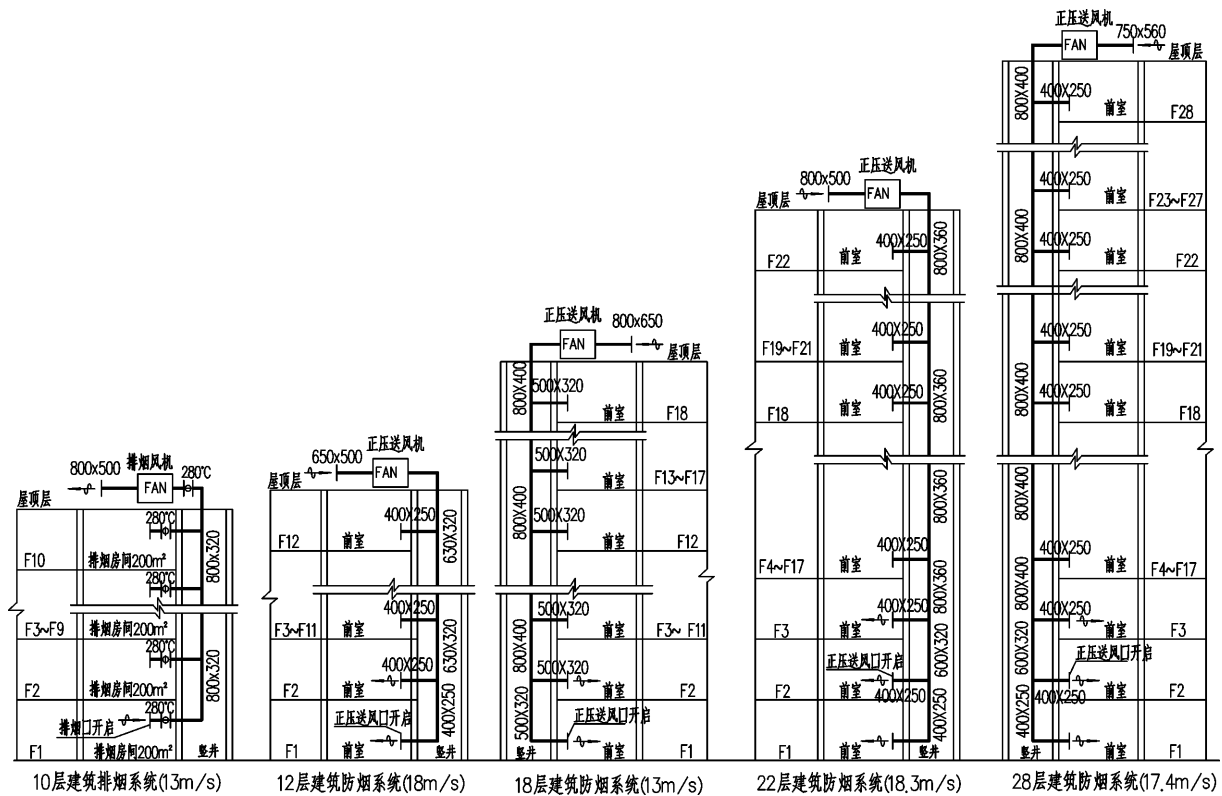


图1 防、排烟系统示意图

Fig. 1 Smoke control system diagram

在防烟系统设计中, 金属风管风速限值为 20 m/s, 送风口的风速限值为 7 m/s, 工程设计中为了减少管井面积, 增大风速压缩风管截面积, 风速越大压头越高^[10], 而漏风量由常闭送风口两侧的压差确定, 压差越大则漏风量越大^[5]。

为了对比高层或超高层建筑前室防烟送风系统风管的水力工况及漏风量, 以下分别进行了 12 层、18 层、22 层、28 层建筑前室的防烟正压送风系统的相关计算。各栋建筑的正压送风系统图参见图 1, 按照现行国标防火规范规定的送风量及标准工况^[2,4] (建筑层高 3.5 m, 双扇门 2.0 m×1.6 m,

前室压力值 25~30 Pa, 防烟楼梯间与前室同时送风, 疏散门均关闭) 进行计算, 计算结果参见表 1。

以 12 层建筑为例, 说明上述案例的计算方法: 12 层建筑前室正压送风系统, 火警时开启 1~2 层送风口, 按照防火规范确定送风量为 13 000 m³/h, 按照 18 m/s 的风速确定管径, 计算风管系统的总阻力为 956 Pa^[8], 主管道沿程比摩阻为 6.098 Pa, 除去风机进口到 12 层送风口的阻力损失 335 Pa, 12 层送风口处的静压约为 426 Pa, 由暖通手册表 13.4-9 查得单位面积漏风量为 1 305 m³/h^[5], 那么 12 层常闭风口漏风量约为 431 m³/h, 以下每层

风口漏风量约减少 11~12 m³/h, 以此类推, 当 1~2 层风口开启时, 3~12 层常闭风口漏风量约为 3 783 m³/h, 1~2 层设计送风量为 13 000 m³/h, 漏风量为设计风量的 29%, 再考虑风管漏风率^[12]约 5%, 则应附加约 34% 的风量, 才能保证 2 个正压送风口开启时风量符合防火规范要求, 而工程习惯风机选型风量只附加 10%~20%^[5].

根据计算表 1 结果可得, 一个防烟系统负担楼层越多, 风速越高, 风口面积越大, 漏风量越大. 现将各层正压送风口面积相同的 12、22、28 层建筑的正压送风系统漏风率, 随楼层、风速的变化进行比较, 当楼层增加时, 漏风率成线性增加, 参见图 2.

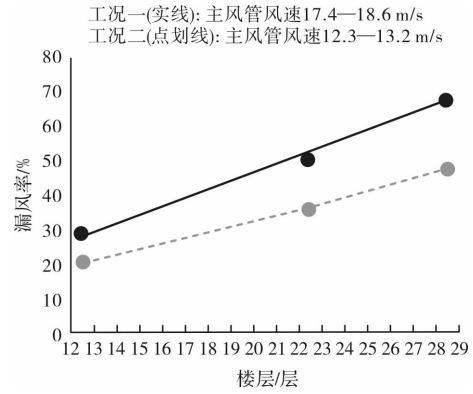


图 2 漏风率随楼层及风速的变化图

Fig. 2 Air leakage rate varies with floor number and air speed in duct

表 1 防烟送风系统风管及漏风量计算表^[11]

Tab. 1 Smoke prevention system duct and leakage air volume computation

计算内容	计算参数			
	12 层建筑	18 层建筑	22 层建筑	28 层建筑
前室送风口开启个数 / 个	2	2	3	3
防火规范规定送风量 / m ³ · h ⁻¹	13 000	15 000	19 000	20 000
工程习惯风机选型风量 / m ³ · h ⁻¹	14 300	16 500	20 900	22 000
每层前室送风量 / m ³ · h ⁻¹	6 500	7 500	6 333	6 667
每层前室送风口尺寸 / mm × mm	550 × 600	600 × 650	550 × 600	550 × 600
面积 / m ²	0.33	0.39	0.33	0.33
工况一(主风道管径设计风速约 17.4~18.6 m · s ⁻¹)				
主风管道径 / mm × mm	630 × 320	700 × 320	800 × 360	800 × 400
主风管比摩阻 / Pa · m ⁻¹	6.098	6.276	5.281	4.393
主风管风速 / m · s ⁻¹	18	18.6	18.3	17.4
最不利环路阻力 / Pa	956	1 142	1 319	1 354
工程习惯风机选型全压 / Pa	1 052	1 256	1 451	1 489
风机进口到顶层送风口的阻力损失 / Pa	336	361	348	308
顶层送风口处静压 / Pa	426	573	770	864
顶层送风口漏风量 / m ³ · h ⁻¹	431	591	578	612
每层沿程阻力降 / Pa	21	22	18	15
3(4)层~顶层常闭风口漏风量 / m ³ · h ⁻¹	3 783	7 896	9 732	13 654
风机应附加风量比 / %	29+5	53+5	51+5	68+5
工况二(主风道管径设计风速约 12.3~13.2 m · s ⁻¹)				
主风管道径 / mm × mm	800 × 360	800 × 400	800 × 500	900 × 500
主风管比摩阻 / Pa · m ⁻¹	2.631	2.590	2.240	1.883
主风管风速 / m · s ⁻¹	12.5	13	13.2	12.3
最不利环路阻力 / Pa	466	543	653	667
工程习惯风机选型全压 / Pa	514	597	718	734
风机进口到顶层送风口的阻力损失 / Pa	161	175	180	156
顶层送风口处静压 / Pa	211	266	368	420
顶层送风口漏风量 / m ³ · h ⁻¹	304	402	400	428
每层沿程阻力降 / Pa	9	9	8	7
3(4)层~顶层常闭风口漏风量 / m ³ · h ⁻¹	2 758	5 537	6 801	9 531
风机应附加风量比 / %	21+5	37+5	36+5	48+5

在工程设计中，应如表 1 计算出风管、常闭风口或风阀的漏风量，在风机选型时考虑附加风量，但是，如果风量附加过多时，风管道径不变，上层主管道风速必然加大，阻力增加，风机压头也会不足，所以还应计入每层漏风量后，重新计算管道阻力。

以 18 层建筑为例，由表 1 工况二，设计计算主管风速 13m/s 的情况下，系统总阻力为 543 Pa，计算风管系统漏风量，应附加风量 37%，总风量为 20 537 m³/h，再按照每层常闭风口漏风量重新计算主管道总阻力，参见表 2，约为 817 Pa^[8]，大于风机选型全压 597 Pa 的 37%，附加风量后主管道风速不大于 18 m/s，所以 18 层建筑的正压送风系统的计算总风量与全压应为 20 537 m³/h、817 Pa，送风机选型风量参数还应考虑附加风管漏风率 5%，才有可能满足 1~2 层风口的设计送风量。再由表 1 工况一，当 18 层建筑主风道管径设计风速为 18.6 m/s 时，风量附加 58%后，主管道风速会超过 20 m/s 的限值，管道阻力也会增加过多^[10]。所以建议正压送风系统的管径设计计算风速不要过高，小于 15 m/s 较为合适，在考虑漏风量之后，才可能保证最大风速不超过 20 m/s，并且应根据漏风量附加重新核算风机全压。

另外，关于风机选型的问题，前室正压送风口的开启是随着火警信号开启的，各层送风量是一样的，但是近风机端与远风机端的风道阻力是有差异的，风机选型时是按照最不利工况(最远端风口参数)选型，而当近风机端送风口开启时，阻力减小，风量增大，电功率增加，若选用功率曲线为陡增型的风机，如前向叶型、径向型离心风机或者混流式、斜流式风机就有电机过载的风险，宜选择功率曲线为驼峰型或平滑型的风机，如轴流式风机或者后倾叶型、流线型离心式风机^[13]。在各层送风口设置定风量阀也是个行之有效的办法，限制阻力，保证各层风口的设计风量。

关于防烟楼梯间的正压送风系统，处于同一防火分区的防烟楼梯间是上下连通的，隔层设置常开送风口，不存在风口漏风量的问题，除了竖井内金属风管的少量漏风量，所有风量都会进入防烟楼梯间，只要楼梯间的压力值达到规范要求即可^[1-4]。防烟楼梯间压力值不达标的原因主要是水力计算不准确，风机压头不够，导致送风量达不到规范要求，或者压头过高导致风机运行出现问题。防烟楼梯间的下层即使送风量略小于设计要求，只要总送风量达到设计要求，整个楼梯间的压力值达到规范要求，即可起到防止烟气进入的作用。

表 2 计入 3~18 层风口漏风量的风管水力计算表^[11]

Tab. 2 Leakage air volume computation with F3~F18 diffusers count in

序号	风量/ m ³ · h ⁻¹	管宽/mm	管高/mm	管长/m	风速/ m · s ⁻¹	沿程比摩阻 /Pa · m ⁻¹	局部阻力 系数	动压 /Pa	全压/Pa
1	7 500	600	650	0	5.342	0	1.5	17.09	25.635
2	7 500	500	320	4	13.021	3.755	0.95	101.539	111.481
3	15 000	800	400	3.5	13.021	2.59	0.35	101.539	44.606
4	15 283	800	400	3.5	13.266	2.681	0.02	105.407	11.491
5	15 575	800	400	3.5	13.52	2.775	0.02	109.473	11.903
6	15 876	800	400	3.5	13.781	2.875	0.02	113.745	12.336
7	16 186	800	400	3.5	14.05	2.978	0.02	118.23	12.789
8	16 506	800	400	3.5	14.328	3.087	0.02	122.952	13.264
9	16 834	800	400	3.5	14.613	3.201	0.02	127.887	13.761
10	17 169	800	400	3.5	14.904	3.319	0.02	133.027	14.276
11	17 514	800	400	3.5	15.203	3.442	0.02	138.427	14.816
12	17 867	800	400	3.5	15.51	3.571	0.02	144.063	15.378
13	18 226	800	400	3.5	15.821	3.704	0.02	149.911	15.961
14	18 593	800	400	3.5	16.14	3.842	0.02	156.009	16.566
15	18 967	800	400	3.5	16.464	3.985	0.02	162.348	17.195
16	19 349	800	400	3.5	16.796	4.134	0.02	168.954	17.848
17	19 737	800	400	3.5	17.133	4.288	0.02	175.798	18.523
18	20 135	800	400	3.5	17.478	4.448	0.02	182.959	19.228
19	20 537	800	400	7	17.827	4.613	1.54	190.338	325.411
20	20 537	800	650	2	10.971	1.332	1.14	72.08	84.837
小计	20 537			69			5.78		817.305

1.2 排烟系统

在编尚未出版的国标防排烟规范(征求意见

稿)^[8]关于排烟风机风量的确定方法，与《上海市建筑防排烟技术规程》(DGJ 08-88-2006)^[3]相同：对

于 500 m² 以下的房间, 排烟风机风量为最大防烟分区排烟量(面积乘以 60 m³/h · m²)加风管漏风量以及其它防烟分区排烟口及风阀的漏风量之和. 以图 1 中 10 层建筑排烟系统为例, 每层最大排烟房间面积为 200 m², 排烟量为 12 000 m³/h, 以仅开启首层排烟口的工况计算排烟系统总阻力, 主风管风速分别为 9.3 m/s、13 m/s、17 m/s, 排烟口风速小于 10 m/s, 排烟口面积 0.36 m², 并根据系

统阻力计算 2~10 层常闭排烟口的漏风量^[5], 再附加排烟风管漏风量^[12]约 5%, 计算结果参见表 3. 1~5 层排烟系统负担排烟房间面积 1 000 m², 首层排烟口开启时, 在三种不同的主风道风速下, 2~5 层常闭排烟口、风管漏风量约达到总风量的 14%~19%, 1~10 层排烟系统负担排烟房间面积 2 000 m², 首层排烟口开启时, 2~10 层常闭排烟口、风管漏风量约达到总风量的 26%~38%.

表 3 排烟系统风管及漏风量计算表^[11]

Tab. 3 Smoke exhaust system duct leakage air volume computation

主风管 管径/ mm × mm	主风管 比摩阻/ Pa · m ⁻¹	主风管 风速/ m · s ⁻¹	最不利环 路阻力/ Pa	风机进 口到顶 层排烟 口的阻 力损失 /Pa	顶层排 烟口处 静压/Pa	顶层排 烟口漏 风量/ m ³ · h ⁻¹	每层沿 程阻力 降/Pa	2~5 层 常闭排 烟口漏 风量/ m ³ · h ⁻¹	应附加 风量比 /%	2~10 层 常闭排烟 口漏风量 /m ³ · h ⁻¹	风机应附 加风量比 /%
800 × 450	1.27	9.3	330	115	164	292	4	1 070	14	2 492	26
800 × 320	3.11	13	558	172	284	384	11	1 326	16	3 167	31
700 × 280	5.95	17	892	263	456	486	21	1 625	19	3 939	38

实际工程中水平同层布置的排烟系统, 大部分排烟系统的排烟口个数有限, 而且排烟量各异. 根据防火规范, 民用建筑每层地上单个防火分区的面积^[1]不超过 2 000 m², 除了汽车库, 整个防火分区均需要排烟且设置为一个排烟系统的情况并不多见, 所以当排烟系统负担面积不超过 1 000 m²时, 总排烟量按照工程习惯附加 10%~20%基本能够弥补漏风量; 当面积超过 1 000 m²时, 建议验算常闭排烟口及风管漏风量风管风速越大, 压头则越高, 漏风量就越大, 所以当同一排烟系统负担防烟分区较多, 排烟区域面积较大时, 建议管道设计风速不大于 15 m/s. 高层建筑中竖向设置的排烟系统是工程常见情况, 负担楼层数较多, 一个排烟系统负担的排烟区域面积常常超过一个防火分区面积, 建议根据管道压头计算常闭排烟口或者排烟阀以及风管的漏风量, 并验算排烟风机的选型参数.

2 防烟系统的压力控制

对于防烟楼梯间送风, 前室不送风的情况, 现行防火规范根据不同楼层范围给出了送风量, 风量的确定综合考虑了楼梯间、前室疏散门的漏风量影响^[5]. 工程设计中通常会在楼梯间设置压力传感器联控正压送风机旁通风管, 来控制楼梯间的压力值^[14], 带来的问题是, 超压排风是通过室

外送风机旁通到室外了, 在未开启楼梯间通往前室的疏散门的情况下, 由楼梯间依靠正压渗入前室的风量有限, 不足以维持前室的压力值 25~30 Pa^[2-4], 那么前室在不送风的情况下压力值如何控制^[5,15], 才能防止烟气渗入? 在这种工况下, 压力传感器应分别设置在楼梯间及前室, 在前室与楼梯间隔墙上设置安装有防火阀及电动风阀的连通风管, 前室的压力传感器(25~30 Pa)就地联控连通风管的电动风阀, 根据压力传感器信号调节由楼梯间流入前室的风量, 设置于楼梯间的压力传感器(40~50 Pa)控制正压送风机的旁通风管电动风阀的启闭, 调节送入楼梯间的总风量, 具体作法参见图 3.

对于前室单独送风的情况下, 现在工程中常见的做法是在前室每层安装压力传感器, 信号全部传到正压送风机的旁通电控风阀处, 超压即排风. 火警时前室通常开启着火层及其上下层的 2~3 个送风口, 采用这种压力控制方法, 当着火层的上层前室先行超压排风, 着火层前室压力值尚未达标时, 那么着火层前室的防烟效果就会受到影响, 多个压力测点控制一个执行机构较难满足所有控制要求, 这种情况下, 在各层前室设置余压阀、压差连通管比设置连锁风机的压力传感器更为可靠, 参见图 3.

由于前室、防烟楼梯间均为单独的防火分区,

隔墙均为防火墙^[1], 设置连通风管应考虑防火分隔的功能, 为了简化控制, 电动风阀应为具有防火功能的电控开关阀, 平时常闭, 达到防火墙的隔断功能, 当前室压力测点超过限定值时联控电动

风阀开启, 低于压力限定值时电动风阀关闭, 电动风阀相当于一个电动防火阀, 但是仅与前室压力传感器就地联锁, 连通风管上的防火阀为常开, 70℃关闭, 输出电信号至消防控制室。

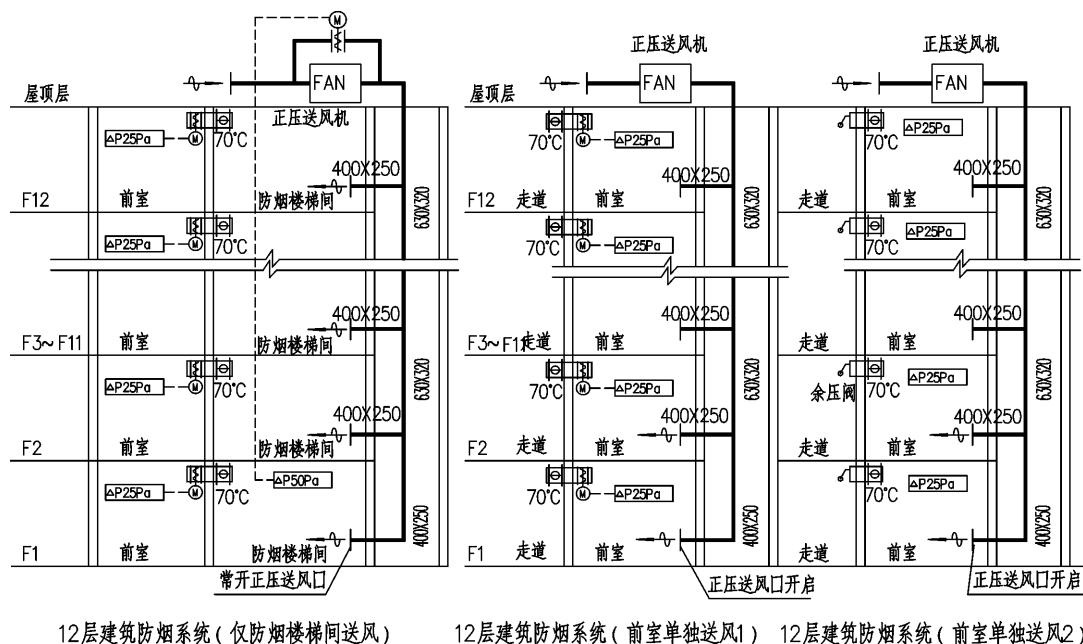


图3 防烟系统的压力控制图

Fig. 3 Smoke prevention system pressure control diagram

3 结论

(1) 防烟正压送风系统管道的设计均应经过详细计算, 确定管径、送风口尺寸、管道系统总阻力, 充分考虑风管、常闭送风口的漏风量等因素, 才能准确确定送风机的选型参数。建议前室防烟系统的风管管径设计计算风速不大于 15 m/s, 以减少过大压差导致漏风量增加对于管道系统的影响; 正压送风机宜选择功率曲线为驼峰型或平滑型的风机, 如轴流式风机或者后倾叶型、流线型离心式风机。

(2) 水平同层布置的排烟系统负担排烟区域面积不超过 1 000 m² 时, 总排烟量按照工程习惯附加 10%~20% 基本能够弥补漏风量; 当面积超过 1 000 m² 时, 建议风管管径设计计算风速不大于 15 m/s, 以减少常闭排烟口及排烟阀的漏风量, 并进行漏风量的验算; 高层建筑中竖向布置的排烟系统, 建议风管管径设计计算风速不大于 15 m/s, 并进行漏风量的验算。

(3) 维持防烟楼梯间、前室的压力值是防烟正压送风系统设计的主要目的, 压力控制方式是否有效可靠是工程师们应充分考虑的问题。对于防烟楼梯间送风前室不送风的情况, 建议将与送风机

联控的压力测点及传感器设置在楼梯间, 在楼梯间与前室隔墙处设置带电动风阀及防火阀的连通风管, 并在各层前室设置与电动风阀就地联锁的压力测点及传感器; 对于前室单独送风的情况下, 建议在前室与走道的隔墙上设置压力控制连通风管、余压阀来控制前室压力值。

参考文献 References

- [1] 中华人民共和国公安部. 建筑设计防火规范: GB50016-2014[S]. 北京: 中国计划出版社. 2015.
R. China Public Security Ministry. Code of design on building fire protection and prevention; GB50016-2014[S]. Beijing: China planning press. 2015.
- [2] 中华人民共和国公安部. 高层建筑防火设计规范: GB50045-95[S]. 北京: 中国计划出版社. 2005.
China Public Security Ministry. Code of design on high building fire protection and prevention; GB50045-95 [S]. Beijing: China planning press. 2005.
- [3] 公安部上海市消防研究所、上海市消防局. 建筑防排烟技术规程: DGJ08-88-2006 [S]. 上海: 上海出版. 2006.
The Ministry of Public Security fire research institute of Shanghai, the Shanghai Fire Department. Technical specification for building smoke; DGJ08-88-2006[S]. Shanghai: Shanghai Press. 2006.

(下转第 739 页)

- ation of regional cultural-creative index in china and its influence on economic growth[J]. *Economic Geography*, 2012, 32(4):96-102.
- [2] 吴党社,石凤,李聪颖. 扶风旅游文化产业新区步行网络系统研究[J]. *西安建筑科技大学学报(自然科学版)*, 2014(6): 876-881.
WU Dangshe, SHI Feng, LI Congying. Study on the pedestrian network system in Fufeng tourism and cultural industries zone[J]. *J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.* (Natural Science Edition), 2014(6): 876-881.
- [3] 陈稳亮. 基于特性分析的大遗址保护规划策略研究[J]. *城市问题*, 2012(6):41-46.
CHEN Wenliang. The study of great sites protective planning based on the characteristic analysis[J]. *Urban Problem*, 2012(6): 41-46.
- [4] KRISTIAN F, MARCO Z, KEOMAA, Heritage buildings and energy performance: Mapping with GIS tools [J]. *Energy & Buildings*, 2012(48): 137-145.
- [5] JANG, MUN Hyun. Three-dimensional visualization of an emotional map with geographical information systems; a case study of historical and cultural heritage in the Yeongsan River Basin, Korea[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2012 26(8):1393-1413.
- [6] 朴松爱,樊友猛. 文化空间理论与大遗址旅游资源保护开发-以曲阜片区大遗址为例[J]. *旅游学刊*, 2012(4):39-47.
PIAO Songai, FAN Youmeng. Theory of cultural space and preservation and development of great historical site tourism resources-A case of Qufu area historical site[J]. *Tourism Tribune*, 2012(4):39-47.
- [7] 马冬雪,江芸,朱明勇. 基于GIS的中国体育非物质文化遗产空间分布研究[J]. *体育科学*, 2015(6):19-24.
MA Dongxue, JIANG Yun, ZHU Mingyong. Study on the distribution of sports intangible cultural heritage in China based on GIS[J]. *China Sport Science*, 2015(6):19-24.
- [8] 吴承忠,李雪飞. 文化创意产业集聚区发展中的问题及其解决措施[J]. *城市问题*, 2013(10):46-50,67.
WU Chengzhong, LI Xuefei. Problems & suggestions of developing culture creative industry cluster [J]. *Urban Problem*, 2013(10): 46-50,67.
- [9] RICH R C. Neglected issues in the study of urban service distribution: a research agenda [J]. *Urban Studies*, 1979(16): 143-156.
- [10] KUNZMANN K R. Planning for spatial equity in europe [J]. *International Planning Studies*, 1998(1): 101-121.
- [11] 李山,王铮,钟章奇. 旅游空间相互作用的引力模型及其应用[J]. *地理学报*, 2012(4):526-544.
LI Shan, WANG Zheng, ZHONG Zhangqi. Gravity model for tourism spatial interaction: basic form, parameter estimation, and applications [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012(4):526-544.
- [12] 李涛,陶卓民,李在军. 基于GIS技术的江苏省乡村旅游景点类型与时空特征研究[J]. *经济地理*, 2014(11): 179-184.
LI Tao, TAO Zhuomin, LI Zaijun. The research on types and time-spatial structure of rural tourism attractions in jiangsu province based on GIS [J]. *Economic Geography*, 2014(11):170-184.

(编辑 沈波)

(上接第727页)

- [4] 中华人民共和国公安部. 建筑设计防火规范: GB50016-2006[S]. 北京:中国计划出版社. 2006.
China Public Security Ministry. Code of design on building fire protection and prevention: GB50016-2006 [S]. Beijing: China Planning Press. 2006.
- [5] 陆耀庆. 实用供暖通风空调设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社. 2008.
LU Yaoqing. Heating ventilation and air conditioning design of practical handbook[M]. Beijing: China Architecture and Building Press. 2008.
- [6] 住房和城乡建设部工程质量安全监管司,中国建筑标准设计研究院. 全国民用建筑工程设计技术措施-暖通空调?动力[M]. 北京:中国计划出版社. 2009.
Department of Housing and Urban-Rural Construction Engineering Quality and Safety Supervision, China Academy of Building standard design. National technical measures of civil engineering-heating, ventilating and air conditioning and power [M]. Beijing: China Planning Press. 2009.
- [7] 刘朝贤. 高层建筑防火排烟研究 1:压差法与流速法不宜用于高层建筑加压送风量计算[J]. *暖通空调*, 2015,45(9):16-20
LIU Chaoxian. Study on high-rise building fire smoke 1: differential-pressure method and calculation of pressurization supply air velocity method should not be used in high-rise buildings [J]. *Heating, Ventilating and Air Conditioning*, 2015,45(9):16-20.
- [8] 嵇馨. 暖通专业相关消防问题探讨[J]. *消防科学与技术*. 2014,33(7):785-788
JI Xin. The discussion of fire protection problems concerning HVAC project[J]. *Fire Science and Technology*, 2014,33(7):785-788.
- [9] 中华人民共和国公安部,建筑防烟排烟系统技术规范编制组. 建筑防排烟系统技术规范:(征求意见稿)[S]. 北京:2015.
People's Republic of China Ministry of Public Security, The preparation Section of building smoke proof and exhaust system technical specifications. Building smoke control system technical specifications (Draft for Soliciting Opinions)[S]. Beijing: 2015.
- [10] 贺绮华. 高层超高层建筑防排烟系统设计[J]. *消防技术与产品信息*, 2011;(2). 17-22.
HE Qihua. high-rise and super high-rise buildings smoke Control System Design [J]. *Fire Technique and Product information*, 2011;(2). 17-22.
- [11] 北京鸿业同行科技有限公司. 鸿业暖通专业设计计算软件(试用版)[Z]. 2016.
Beijing Hongye peer Technology Co., Ltd. Hongye hvac Design Calculation software (trial version) [Z]. 2016.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 通风与空调工程施工规范:GB50738-2011[S]. 北京:中国建筑工业出版社. 2012.
People's Republic of China Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Code for ventilation and air conditioning engineering construction: GB50738-2011 [S]. Beijing: China Architecture and Building Press. 2012.
- [13] 山东南定热电厂. 离心式与轴流式通风机[M]. 北京:电力工业出版社. 1980.
Nanding Thermal Power Plant in Shandong. Centrifugal and axial flow fans [M]. Beijing: China Electric Power Industry Press. 1980.
- [14] 高甫生,王砚玲,邱旭东. 高层建筑加压送风系统试验研究[J]. *暖通空调*, 2003,33(4):31-35.
GAO Fusheng, WANG Yanling, QIU Xudong. Experimental study on the pressurization system in tall buildings [J]. *Heating, Ventilating and Air Conditioning*, 2003,33(4): 31-35.
- [15] 杨志增,靳红雨. 合用前室机械防烟系统的防烟效果研究[J]. *消防科学与技术*. 2015;41(3). 322-324.
YANG Zhizeng, JIN Hongyu. Smoke control effect of mechanical smoke prevention system in shared atria [J]. *Fire Science and Technology*, 2015, 41(3): 322-324.

(编辑 沈波)