

ICS 91.140.30

E 4710

中国城市科学研究会标准

T/CSUS 02-2020

住宅通风设计标准

Standard for Ventilation Design of Residential Buildings

2020-04-03 发布

2020-05-01 实施

中国城市科学研究会 发布

前 言

根据《中国城市科学研究会标准管理办法》城科会字（2017）21 号文件的要求，标准编制组经过广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。推荐给工程建设设计、施工、建设、监理等使用单位及工程技术人员采用。

本标准主要技术内容是：1.总则；2.术语和分类；3.基本规定；4.自然通风设计；5.机械通风设计；6.空气净化措施；7.通风改造设计。

本标准由中国城市科学研究会归口管理，由深圳市建筑科学研究院股份有限公司负责解释(地址：深圳市福田区上梅林梅坳三路 29 号建科大楼)。在使用过程中如发现需要修改和补充之处，请将意见和资料邮寄解释单位。

本标准主编单位：深圳市建筑科学研究院股份有限公司

中国城市科学研究会

本标准参编单位：Purdue University

大连理工大学

中南建筑设计院股份有限公司

中国建筑西南设计研究院有限公司

上海市建筑科学研究院(集团)有限公司

云南省建筑工程设计院

上海理工大学

天津大学

华南理工大学

广东省建筑设计研究院

中国建筑科学研究院

北京工业大学

西安建筑科技大学

清华大学

重庆大学

沈阳建筑大学

同济大学

东北大学

南京大学

河北雄安绿研检验认证有限公司

河北奥润顺达窗业有限公司

山东华建铝业集团

无锡科希家室内环境科技有限公司

广州市住邦建材发展有限公司

江苏朗逸环保科技有限公司

国安瑞（北京）科技有限公司

重庆匠心通风技术有限公司

本标准主要起草人：任俊 陈清焰 高峒 张腾飞 杨允立 冯雅 李景广 孟庆林 吴青 王海东 付祥钊 江刚 邓高峰 赵彬 简毅文 郝斌 林忠平 刘俊杰 陈沈 樊越胜 尹海国 黄凯良 郜志 宋瑞 周鹏志 魏贺东 董彬 何森 杜小光 吴献策 陈喜明 宋波 朱黎 居发礼 张惠敏

本标准主要审查人：曹阳 党杰 张南宁 闫增峰 林常青 曹世杰 杭建

目 次

1 总则	1
2 术语和分类	2
2.1 术语	2
2.2 分类	2
3 基本规定	4
4 自然通风设计	5
4.1 一般规定	5
4.2 场地与总平面设计	5
4.3 建筑体型与平面设计	5
4.4 门窗洞口设计	6
5 机械通风设计	7
5.1 一般规定	7
5.2 新风量计算	7
5.3 新风系统选型	7
5.4 气流组织设计	7
5.5 风管与设备设计	8
5.6 监测与控制设计	9
6 空气净化措施	10
6.1 一般规定	10
6.2 自然通风下的空气净化器选型	10
6.3 机械通风下的空气净化设计	10
7 通风改造设计	12
附录 A 自然通风模拟方法	13
附录 B 主要城市室内通风模拟的气象参数	23
附录 C 室外 PM _{2.5} 设计浓度	24
本标准用词说明	25
引用标准名录	26
附：条文说明	27

Contents

1 General Provisions	1
2 Terms and Classification	2
2.1 Terms.....	2
2.2 Classification.....	2
3 Basic Requirements	4
4 Design of Natural Ventilation.....	5
4.1 General Requirements.....	5
4.2 Design of Building Site and General Layout Plan	5
4.3 Design of Architecture Shape and Building Layout Plan.....	5
4.4 Design of Windows and Doors.....	6
5 Design of Mechanical Ventilation	7
5.1 General Requirements.....	7
5.2 Calculation of Air Exchange Flow	7
5.3 Selection of Ventilation System	7
5.4 Design of Air Distribution.....	7
5.5 Design of Ventilation Ducts and Equipments.....	8
5.6 Design of Monitoring and Control.....	9
6 Measures of Air Purification	10
6.1 General Requirements.....	10
6.2 Selection of Air Purification with Natural Ventilation	10
6.3 Design of Air Purification with Mechanical Ventilation	10
7 Design of Ventilation Retrofit	12
Appendix A Simulation Methods for Natural Ventilation.....	13
Appendix B Meteorological Data for Building Ventilation Simulation in Major Cities	22
Appendix C Design Concentration of Outdoor PM _{2.5}	23
Explanation of Wording in Standard.....	24
List of Quoted Standards	25

qejc.cn, jcvba.cn, 微信qejc21

1 总则

1.0.1 为规范住宅通风设计，控制室内 $\text{PM}_{2.5}$ 和 CO_2 的浓度，改善室内热环境，保障居住者健康舒适，做到技术先进、经济合理、安全适用，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于不同气候区住宅新建、扩建、改建的通风设计。非住宅类居住建筑和住宅装饰装修工程可参照执行。

1.0.3 住宅通风设计除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和分类

2.1 术语

- 2.1.1 自然通风 natural ventilation**
不用通风机械，由热压、风压作用实现室内换气的通风方式。
- 2.1.2 机械通风 mechanical ventilation**
采用通风机械实现换气，以获得安全、健康等适宜的空气环境的技术。
- 2.1.3 空气净化装置 air purification device**
从空气中分离和去除一种或多种污染物的装置。
- 2.1.4 新风系统 primary air system**
将室外清洁空气或经过处理的空气送入室内的机械通风系统。
- 2.1.5 无管道新风系统 ductless primary air system**
不布设风管即可实现通风换气的新风系统。
- 2.1.6 单向流新风系统 uni-flow primary air system**
仅向室内送入新风或仅向室外排风的新风系统。
- 2.1.7 双向流新风系统 bi-directional flow primary air system**
既能向室内送入新风，也能同时向室外排风的新风系统。
- 2.1.8 热回收新风系统 primary air system with heat recovery**
使新风和排风之间产生热交换，对新风进行预热或预冷的新风系统。
- 2.1.9 最大连续展开面宽 the maximum width of continuous building**
同一建筑在某一方向上不间断的最大水平距离。
- 2.1.10 门窗用通风器 ventilator for windows and doors**
安装于建筑物外围护结构的门窗上，依靠室内外温差、压差或风机等实现室内外空气交换的通风装置，可分为无动力通风器和动力通风器。
- 2.1.11 新风净化装置 primary air purification device**
在机械通风系统中，净化被引入室内的室外空气的装置。
- 2.1.12 回风净化装置 circulated air purification device**
在机械通风系统中，净化室内循环空气的装置。
- 2.1.13 洁净空气量 clean air delivery rate; CADR**
空气净化器在额定状态和规定的试验条件下，针对目标污染物(颗粒物和气态污染物)净化能力的参数；表示空气净化器提供洁净空气的速率，在单位时间内输出的洁净空气总量，单位为 m³/h。
- 2.1.14 净化效率 purification efficiency**
空气净化装置在额定风量下，对目标污染物的一次通过去除能力。即空气净化装置入口、出口空气中目标污染物浓度之差与入口空气中目标污染物浓度之比。

2.2 分类

- 2.2.1** 按是否使用机械设备，住宅通风方式分为自然通风和机械通风。
- 2.2.2** 在使用空气净化装置的情况下，分为自然通风加空气净化器和带有空气净化装置的机械通风。

-
- 2.2.3** 按是否有管道，新风系统分为有管道新风系统和无管道新风系统。
- 2.2.4** 按气流控制方式，新风系统分为单向流新风系统和双向流新风系统。
- 2.2.5** 双向流新风系统分为带热回收的新风系统和不带热回收的新风系统，带热回收新风系统分为全热回收新风系统和显热回收新风系统。

qejc.cn, jcvba.cn, 微信qejc21

3 基本规定

3.0.1 住宅应进行自然通风设计。

3.0.2 当自然通风不能满足通风换气要求时，应采用机械通风。

3.0.3 室外环境噪声不满足现行国家标准《声环境质量标准》GB 3096 的 2 类要求时，住宅宜进行机械通风设计或选择具有隔声性能的无动力门窗通风器。

3.0.4 室外 PM_{2.5} 年平均浓度不满足国家标准《环境空气质量标准》GB 3095 的二级浓度限值，宜有住宅室内空气净化措施。空气净化设计时，住宅主要使用房间（卧室、起居室）的室内 PM_{2.5} 设计浓度不应高于 35 μg/m³。

3.0.5 自然通风设计时，在夏季、过渡季节典型工况下，住宅主要功能房间（卧室、起居室）的自然通风换气次数应符合下列规定：

- 1 夏热冬暖地区和温和地区不低于 10 次/h；
- 2 夏热冬冷地区不低于 7 次/h；
- 3 严寒地区和寒冷地区不低于 5 次/h。

3.0.6 机械通风设计时，住宅主要功能房间最小新风量设计的换气次数应满足表 3.0.6 的要求。

表 3.0.6 住宅新风系统最小新风量设计的换气次数

人均居住面积 F_p (m ²)	换气次数 n (次/h)
$F_p \leq 10$	0.70
$10 < F_p \leq 20$	0.60
$20 < F_p \leq 50$	0.50
$F_p > 50$	0.45

3.0.7 厨房应设置抽油烟机等局部排风设备，换气次数不应低于 30 次/h，并宜设置补风措施。

3.0.8 卫生间及其他需要局部排风的功能房间宜设置局部排风设备，换气次数不应低于 3 次/h。

3.0.9 住宅宜设置室内空气质量监测装置。

4 自然通风设计

4.1 一般规定

- 4.1.1 住宅自然通风设计应充分利用所在区域的气候、地理等条件。
- 4.1.2 在场地与总平面设计中，应考虑建筑布局和景观设计对住宅自然通风的影响。
- 4.1.3 住宅自然通风设计中，空间组织和门窗洞口的设置应有利于室内自然通风。
- 4.1.4 住宅自然通风设计应贯穿于建筑设计中的方案设计、初步设计及施工图设计阶段，并应满足下列要求：
- 1 方案设计阶段，应包括建筑的体形、立面造型、功能分区、平面布局、门窗洞口大致开口位置、平面风路和垂直风路等；
 - 2 初步设计阶段，应包括建筑主要部件、通风口位置设计；
 - 3 施工图设计阶段，建筑单体宜进行通风口及导风构件的尺寸设计。
- 4.1.5 住宅自然通风设计宜采用计算机模拟的方式进行优化和评价。模拟方法应符合本标准附录 A 的规定，并应满足下列要求：
- 1 在方案设计阶段，应采用计算机模拟对设计方案的自然通风效果进行优化；
 - 2 在初步设计阶段，应采用计算机模拟出具建筑自然通风设计计算书。

4.2 场地与总平面设计

- 4.2.1 场地与总平面设计应有利于住宅在夏季和过渡季节的自然通风，并宜阻挡冬季冷风。夏热冬暖、夏热冬冷和温和地区的大型住宅区宜进行通风廊道设计。
- 4.2.2 住宅建筑群体高度布置宜将高度小的建筑布置在所在区域夏季、过渡季节主导风向的上风向，高度大的建筑布置下风向。
- 4.2.3 场地处于或包含山地时，宜合理利用山地局部地形风，并符合下列规定：
- 1 位于迎风坡区的住宅建筑宜平行或斜交等高线布置；
 - 2 在背风坡区和涡风区可布置对通风要求不高的建筑；
 - 3 位于顺风坡区的住宅建筑宜斜交等高线布置。
- 4.2.4 夏季、过渡季节主导风向的上风位区域应避免采用垂直于主导风向的大面宽板式住宅建筑，且住宅建筑体型宜满足表 4.2.4 的要求。当不能满足要求时，宜采用底层架空或空中花园等措施提供通风道。

表 4.2.4 主导风向上风位区域的住宅建筑体型要求

建筑高度 H (m)	最大连续展开面宽 (m)
$H \leq 24$	≤ 80
$24 < H \leq 60$	≤ 70
$H > 60$	≤ 60

- 4.2.5 宜结合景观设施引导空间的空气流动。

4.3 建筑体型与平面设计

- 4.3.1 住宅建筑的朝向宜采用南北向或接近南北向。

4.3.2 对于利用穿堂风进行自然通风的住宅建筑，其迎风面与夏季主导风向的夹角宜在 $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之间，且不应小于 45° ，同时应考虑可利用的过渡季节主导风向，但应避开冬季主导风向。

4.3.3 当住宅建筑平面的形式为“凹”形或“L”形时，宜使其凹口部分面向夏季主导风向，背向冬季主导风向。

4.3.4 住宅建筑群的裙房宜留有通风路径。

4.3.5 对于双侧通风，居住单元的进深不宜超过 12m 。对于单侧通风，居住单元的进深不宜超过 6m 。当不满足要求时，应采用计算机模拟的方式进行优化和评价。

4.3.6 住宅功能分区设计中，应将主要功能房间布置在风压差大、通风环境好的区域，将次要功能房间或对通风要求不高的房间布置在风压差小、通风环境较差的区域。功能布局宜具备组织穿堂通风的条件。

4.3.7 住宅功能分区的气流组织宜从主要功能房间进风，从次要功能房间或对通风要求不高的房间排风。

4.3.8 住宅室内通风路径的设计应遵循布置均匀、阻力小原则。

4.4 门窗洞口设计

4.4.1 建筑长边的门窗洞口宜朝向夏季、过渡季节的主导风向。

4.4.2 门窗洞口设计宜选取穿堂型的开窗位置。

4.4.3 当房间相对的两面墙上各开有一个通风口时，进风口朝向与主导风向宜偏斜 45° 左右；当房间相邻的两面墙各开有一个通风口时，进风口宜直接正对主导风向；相邻墙上的进出风口不宜过近。

4.4.4 当采用单侧通风时，通风窗口平面与主导风向间的夹角宜在 $40^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 之间。

4.4.5 每套住宅自然通风开口面积与房间地板面积的比例应符合表 4.4.5 的要求。自然通风室外风速应根据当地夏季、过渡季节的平均室外风速确定，取值应按附录 B。当自然通风开口面积与房间地板面积的比例不满足要求时，应采用计算机模拟的方式进行优化和评价。

表 4.4.5 室外风速每套住宅自然通风开口面积与房间地板面积之比要求

自然通风室外 风速 (m/s)	仅 1 个朝向有通风洞口			在 2 个或 2 个以上朝向有通风洞口		
	夏热冬暖与 温和地区	夏热冬冷 地区	其他 地区	夏热冬暖与 温和地区	夏热冬冷 地区	其他 地区
$0.5 < v \leq 1.0$	35%	24%	17%	13%	9%	6%
$1.0 < v \leq 1.5$	17%	10%	7%	10%	8%	5%
$v > 1.5$	10%	8%	5%	10%	8%	5%

4.4.6 采用自然通风的房间，其直接或间接自然通风开口面积应符合下列规定：

1 卧室、起居室（厅）、明卫生间的直接自然通风开口面积不应小于该房间地板面积的 $1/20$ ；当采用自然通风的房间外设置阳台时，阳台的自然通风开口面积不应小于采用自然通风的房间和阳台地板面积总和的 $1/20$ ；

2 厨房的直接自然通风开口面积不应小于该房间地板面积的 $1/10$ ，并不得小于 0.60m^2 ；当厨房外设阳台时，阳台的自然通风开口面积不应小于厨房和阳台地板面积总和的 $1/10$ ，并不得小于 0.60m^2 。

4.4.7 住宅建筑的公共空间开窗设计应考虑热压通风。

4.4.8 住宅主要功能房间的窗扇开启方向设计应有利于将室外风引入室内。

4.4.9 自然通风设计中所选用的无动力门窗用通风器应符合现行行业标准《建筑门窗用通风器》JG/T 233 的规定。

5 机械通风设计

5.1 一般规定

5.1.1 机械通风设计应包括新风量计算、新风系统选型、气流组织设计、风管与设备设计、监测与控制设计等。

5.1.2 住宅有供暖空调系统时，机械通风系统宜结合供暖空调系统一并设计。

5.1.3 机械通风系统所使用的设备、材料应满足经济性、防火性能、耐腐蚀性、环保性能、节能性能和施工性能等要求。

5.2 新风量计算

5.2.1 新风系统的最小设计新风量应采用换气次数法，并按下式计算：

$$Q_{\min} = F \times h \times n \quad (5.2.1)$$

式中， Q_{\min} ——最小设计新风量（ m^3/h ）；

F ——居住面积（ m^2 ）；

h ——房间净高（ m ）；

n ——换气次数（次/h）。

5.2.2 主要功能房间的换气次数应按本标准表 3.0.6 选取，并应符合下列规定：

- 1 卧室应按卧室设计人数和卧室面积确定换气次数；
- 2 起居室应按住宅设计总人数和起居室面积确定换气次数；
- 3 新风系统的最小设计新风量应按卧室与起居室计算的新风量之和。

5.2.3 新风系统的新风量应在最小新风量的基础上附加 5%-10%。

5.3 新风系统选型

5.3.1 新风系统可选择单向流新风系统；房间气密性能高，气流组织要求高时，宜选择双向流新风系统。

5.3.2 采用热回收的双向流新风系统，应综合考虑下列因素：

- 1 对净节能量做分析计算，选择适宜的热回收设备类型；
- 2 配置了热回收设备的新风系统，宜减小新风冷热回收所需冷热源设备容量；
- 3 在新风风道系统或新风热回收机组上宜配置自动或手动控制的新排风旁通装置；
- 4 新风热回收机组的热回收能效优于 GB/T 21089 规定的能效限定值。

5.3.3 当仅对单个房间进行新风系统设计时，宜选用无管道系统。

5.4 气流组织设计

5.4.1 室外新风口应设在室外空气较清洁区域。

5.4.2 室外新风口位置与室外潜在污染源的最短距离不应小于表 5.4.2 的规定。

表 5.4.2 新风口与污染源最短距离

污染源	最短距离 (m)
明显受污染的废气 ¹	2.5
车库入口 ²	5.0
固定垃圾桶、垃圾间等	10.0
冷却塔通风口或水池	5.0
冷却塔排气	7.5
空调室外机	2.0

注 1: 污染严重的废气或有较高的污染浓度、刺激性强的臭气, 如厨房、燃气热水器与卫生间的排气等;

注 2: 距离车辆排气最近的位置。

5.4.3 室外新风口、排风口的布置不应造成室外新风和排风短路, 并宜满足下列规定:

1 当新风口和排风口布置在同一高度时, 宜将风口对向不同朝向, 水平距离不宜小于 1.0m;

2 当新风口和排风口不在同一高度时, 新风口宜布置在排风口的下方, 新风口和排风口宜将风口对象不同朝向, 垂直方向的距离不宜小于 1.0m。

5.4.4 室内气流组织应进行优化设计, 住宅新风系统应将新风直接送至卧室、起居室等主要功能房间, 并应将室内污浊空气排至室外。

5.4.5 新风系统设计宜保证卧室、起居室等主要功能房间维持正压。

5.4.6 厨房、卫生间应采用局部排风系统减少污染气体扩散, 并宜设计自然补风。

5.4.7 当室内同时设置送风口和排风口时, 送排风口布置应使气流穿越人员主要活动区域, 不应造成室内送风和排风的短路。

5.5 风管与设备设计

5.5.1 风管设计应保证有效的新风输送和分配。

5.5.2 金属风管和非金属及复合风管的材料品种、规格、性能与厚度等应符合现行国家标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 的相关规定。

5.5.3 非金属及复合风管的污染物浓度限值应符合现行行业标准《非金属及复合风管》JG/T 258 标准的相关规定。

5.5.4 风管的截面尺寸的应根据新风量及风管内空气流速要求确定, 并应符合现行国家标准《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243 的相关规定。

5.5.5 新风系统各并联环路的压力损失应进行水力平衡设计, 并宜采用假定流速法。各并联环路压力损失的相对差额不宜超过 15%。当通过调节管径无法达到要求时, 应设置调节装置。

5.5.6 室内送风口的风速应根据送风方式、送风口类型、安装高度、室内允许风速和噪声标准等确定。消声要求较高时, 风速宜采用 2 m/s~3 m/s, 室内新风口应设置调节风量装置。

5.5.7 风管与通风机及空气处理机组等振动设备的连接处, 应装设柔性接头, 其长度宜为 150mm~300mm。

5.5.8 室外新风口宜选用防雨、防蚊虫、防倒灌的管罩, 管罩宜安装在容易清扫的位置。

5.5.9 在夏季空调和冬季供暖的室内设计热湿环境条件下, 室内风口应进行防结露验算。

5.5.10 新风机选型应满足现行国家标准《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736 的要求。

5.5.11 新风机、主要电气元件及电源线应符合现行国家标准《家用和类似用途电器的安全第

1 部分 通用要求》GB 4706.1 的要求。

5.5.12 新风机噪声水平应满足现行国家标准《民用建筑隔声设计规范》GB50118 中对房间允许噪声级的规定。

5.5.13 双向流带热回收的新风机应具有旁通和防冻功能，宜校核排风侧的霜冻点温度，并采取新风预热等措施。

5.6 监测与控制设计

5.6.1 住宅主要功能房间宜对温度、湿度、CO₂ 浓度、PM_{2.5} 浓度进行监测，并宜设置 CO₂、PM_{2.5} 超标报警功能。

5.6.2 新风系统宜根据 3.0.2 对 CO₂ 浓度的要求进行启停控制。

5.6.3 空气净化系统宜根据 PM_{2.5} 浓度进行启停控制。

5.6.4 室内空气质量监测系统应满足现行团体标准《室内空气质量监测仪》T/CSUS 02 的要求。

5.6.5 严寒地区的新风系统应设置电动阀，控制辅助加热设备的启停。

6 空气净化措施

6.1 一般规定

6.1.1 在室外 PM_{2.5} 年平均浓度不满足国家标准《环境空气质量标准》GB 3095 二级浓度限值的地区，住宅空气净化措施应符合下列要求：

1 自然通风的住宅应选配空气净化器；

2 机械通风的住宅应采用回风净化装置、空气净化器或新风净化装置。

6.1.2 空气净化器和机械通风的回风净化装置应按最小 PM_{2.5} 洁净空气量(CADR)进行选型。

6.1.3 机械通风的新风净化装置应按 PM_{2.5} 一次通过效率(η)进行选型。

6.1.4 净化装置的过滤器及其他耗材宜设置报警装置或其他方法提醒用户更换。

6.2 自然通风下的空气净化器选型

6.2.1 空气净化器应满足现行国家标准《空气净化器》GB/T 18801的要求。

6.2.2 自然通风下空气净化器的最小 PM_{2.5} 洁净空气量应根据下式计算。

$$Q = \frac{PK_V C_0 Sh}{c} + \frac{E}{c} - (K_0 + K_V)Sh \quad (6.2.2)$$

式中：Q——最小 PM_{2.5} 洁净空气量 (m³/h)；

E——室内 PM_{2.5} 污染源产生速率 (μg/h) (不考虑室内污染的情况下为 0)；

P——PM_{2.5} 门窗穿透系数，可取 0.8~0.9；

K_V——房间换气次数 (h⁻¹)，可取 0.3 h⁻¹；

K₀——室内 PM_{2.5} 沉降率 (h⁻¹)，可不考虑；

C——室内 PM_{2.5} 设计浓度 (μg/m³) (取浓度不大于 35 μg/m³)；

C₀——室外 PM_{2.5} 设计浓度 (μg/m³) (见附录 C)；

S——房间面积 (m²)；

h——房间净高 (m)。

6.3 机械通风下的空气净化设计

6.3.1 通风系统用空气净化设备性能应符合现行国家标准《通风系统用空气净化装置》GB/T 34012的规定。

6.3.2 当仅采用新风净化装置时，应按下列下式计算新风净化装置的一次通过效率η：

$$\eta = 1 - \frac{(K_m + E + K_0)C - K_V P C_0}{K_m C_0} \quad (6.3.2)$$

式中：η——新风净化一次通过效率；

K_V——房间渗透换气次数 (h⁻¹)，可取 0.1 h⁻¹；

K_m——房间机械通风换气次数 (h⁻¹)；

E——室内 PM_{2.5} 污染源产生速率 (μg/h) (可不考虑室内污染的情况下为 0)；

K₀——室内 PM_{2.5} 沉降率 (h⁻¹)，可不考虑；

P——PM_{2.5} 门窗穿透系数，可取 0.8~0.9；

C——室内 PM_{2.5} 设计浓度 (μg/m³) (取浓度不大于 35 μg/m³);

C₀——室外 PM_{2.5} 设计浓度 (ug/m³) (见附录 C)。

6.3.3 当同时采用回风净化装置/空气净化器和新风净化装置时, 新风净化装置宜先选择现行国家标准《通风系统用空气净化装置》GB/T 34012 规定的 PM_{2.5} 净化效率等级 C 以上, 并按下式计算回风净化装置/空气净化器的 CADR 值:

$$Q = \frac{K_m C_0 (1-\eta) Sh}{C} + \frac{E}{C} - (K_0 + K_m)Sh \quad (6.3.3)$$

式中: η——新风净化一次通过效率;

K_m——房间机械通风换气次数 (h⁻¹);

E——室内 PM_{2.5} 污染源产生速率 (μg/h) (可不考虑室内污染的情况下为 0);

K₀——室内 PM_{2.5} 沉降率 (h⁻¹), 可不考虑;

C——室内 PM_{2.5} 设计浓度 (μg/m³) (取浓度不大于 35 μg/m³);

C₀——室外 PM_{2.5} 设计浓度 (μg/m³) (见附录 C);

S——房间面积 (m²);

H——房间净高 (m)。

7 通风改造设计

7.0.1 住宅通风改造，应减少对建筑外立面的影响。若采用管道新风系统，不对结构安全造成的影响。

7.0.2 住宅通风改造宜选用无管道新风机、窗式通风器、空气净化器等方式。

7.0.3 无管道新风机和动力窗式通风器的新风量应符合本标准第 5.2 节的规定。

7.0.4 新风系统改造时，室外新风口位置选择应符合本标准第 5.4 节的规定。

7.0.5 空气净化器的选型应符合本标准第 6.2 节和第 6.3 节的规定。

7.0.6 无管道新风机的空气净化设计应符合本标准第 6.3 节的规定。

附录 A 自然通风模拟方法

A.1 基本规定

A.1.1 自然通风模拟过程可分为室外风环境模拟和室内通风模拟。

A.1.2 自然通风模拟气象参数应按现行行业标准《建筑节能气象参数标准》JGJ/T 346 的规定选取。当需模拟建筑所在地区未列入现行行业标准《建筑节能气象参数标准》JGJ/T 346 的数据库，可选择临近地区的气象参数。

A.1.3 当所模拟建筑周边无特别遮挡以及建筑周边风场与城市总体风场较为一致时，可直接采用本标准附录 B 的气象参数作为室内通风模拟的边界条件；若需模拟建筑的所在地区未列入本标准附录 B，可利用现行行业标准《建筑节能气象参数标准》JGJ/T 346 中的气象参数，按下列步骤计算所在地区的气象参数作为室内通风模拟的边界条件：

- 1 根据所在地区的气象参数，取一年中日平均温度稳定高于 10℃ 的时间段为计算时间段；
- 2 统计在计算时间段的最大频次风向为主导风向；
- 3 计算时间段主导风向上的风速平均值为平均风速；
- 4 计算时间段的气温平均值为平均气温。

A.1.4 当住宅建筑周边有遮挡以及建筑周边风场与城市总体风场不一致时，宜进行室外风环境模拟求得室内通风模拟的边界条件。

A.1.5 室外风环境模拟应采用计算流体力学（CFD）方法。

A.1.6 室内通风模拟应按下列情况选择合适的模拟方法：

- 1 当基于单个计算区域内空气均匀混合的前提下评估建筑各区域（房间）自然通风效果时，宜采用多区域网络模型法；
- 2 当需要详细描述单个区域（房间）内不同位置处的自然通风效果时，宜采用计算流体力学（CFD）方法。

A.1.7 自然通风模拟宜同时考虑风压通风和热压通风。

A.2 室外风环境模拟

A.2.1 室外风环境风环境模拟宜采用 CFD 方法，且应包括下列主要流程：

- 1 确定合理的计算空间域、建筑模型再现区域，并进行网格划分；
- 2 确定合理的边界条件，包括来流入口风速分布、出口、顶部、侧部、以及其它壁面边界等；
- 3 选择适宜的计算模型、差分格式、及迭代收敛标准；
- 4 输出模拟结果。

A.2.2 室外风环境模拟应根据目标建筑所覆盖的水平区域和主体高度确定合理的计算域、建筑模型的再现域，并应进行下列网格划分：

1 计算域

以目标建筑或目标区域为中心，计算域的到来入口和侧面到建筑边缘的距离应至少为建筑主体高度的 5 倍，计算域的气流出口到建筑边缘的距离应至少为建筑主体高度的 10 倍，计算域的垂直范围尺度应至少为建筑主体高度的 3 倍。

2 再现域

建筑模型的再现域应符合表 A.2.2 的要求。

表 A.2.2 建筑模型的再现域要求

建筑高度 H^1 (m)	再现域 ² (m)
$H \leq 15m$	目标域边界外扩不小于 50m
$15m < H \leq 54m$	目标域边界外扩不小于 75m
$54m < H \leq 100m$	目标域边界外扩不小于 100m
$H > 100m$	目标域边界外扩不小于 125m

注 1: H 为目标域内最高建筑物的高度; 目标域为用地红线内建筑覆盖区域。

注 2: 再现域为需要数学建模的控制区域。

3 网格划分

网格应满足所采用的壁面函数对第一层近壁面网格的要求以及网格独立解的需要。任何情况下, 应尽量使得第一层近壁面网格的 $y^+ < 5$ 或者 $30 < y^+ < 300$ 。

a) 应根据计算对象的模型尺寸大小选取相应的网格间距, 用地面积 5 万 m^2 及以上的小区, 目标域最大网格尺寸不应大于 3m。最小网格应设置在体现细节最大处, 靠近建筑边界网格应加密;

b) 重点观测区域应在地面上方 0~1.5m 处, 且网格数不应小于 3 个;

c) 应对计算对象采用均匀网格和不均匀网格相结合的划分方法。在温度、速度和污染物浓度等梯度大的地方, 应增加网格数, 在梯度小的地方, 可采用较少的网格数;

d) 数值模拟前应进行网格质量的判定, 网格偏斜率应小于 0.97;

e) 由一个网格单元到另一个网格单元的尺寸扩大比不应大于 1.3, 目标域中网格长、宽、高任意两边尺寸之比不应大于 5;

f) 其它域的网格尺寸之比可以放宽, 但不能影响模拟结果的准确性。

A.2.3 室外建筑通风模拟的来流入口风速应考虑高度方向上的风速轮廓线; 出口边界可设为零压力或自由出流边界条件; 顶部及侧面边界可设为自由滑移表面或对称边界或参考零压; 壁面边界可为无滑移光滑表面或者设置一定的粗糙度。

A.2.4 计算流体力学 (CFD) 数值模拟应选择适宜的计算模型、差分格式、及迭代收敛标准, 并应符合下列规定:

1 计算模型:

通常可使用稳态雷诺平均纳维尔-斯托克斯 (RANS) 模型, 有条件可使用非稳态 RANS 模型或大涡模拟。

2 差分格式:

当采用了非结构化网格时, 不宜采用一阶差分格式, 宜使用更高精度的差分格式。

3 迭代收敛标准:

指定观察点或区域的值不再随迭代步数变化且均方根相对残差应小于 $10E-4$ 。

4 模拟工具:

对于较为简单的单体和建筑群的风环境模拟, 可采用支持结构化网格的计算流体力学 (CFD) 软件; 对于建筑分布较复杂且弯曲面较多的风环境分析, 应采用支持非结构化网格的计算流体力学 (CFD) 软件。

A.2.5 室外建筑通风模拟应输出下列结果:

1 目标建筑及楼层处的风速分布图及风压分布图;

2 建筑立面上表面压强分布, 及目标建筑外部各开口处的压强。

A.3 室内自然通风计算流体力学（CFD）方法

A.3.1 自然通风计算流体力学（CFD）方法的模拟包括“耦合模拟”及“解耦模拟”。

A.3.2 室内自然通风模拟应在确定室外风环境的基础上解耦模拟，或者与室外风环境一起耦合模拟。

A.3.3 室内自然通风计算流体力学（CFD）方法应包括下列主要流程：

- 1 建立模型，根据模拟住宅的尺寸信息与门窗开口位置在建模软件中建立几何模型；
- 2 确定计算域和合理划分网格；
- 3 输入边界条件。若是解耦模拟，以室外风环境模拟获得的压力或风速以及温度参数作为模拟的边界条件；
- 4 进行模拟设置，确定计算流体力学（CFD）方法的控制方程包括湍流模型方程，选择离散方法以及数值计算方法；
- 5 进行迭代计算，检查数值计算残差以及计算结果的稳定性，确保迭代计算结果收敛；
- 6 输出模拟结果，包括速度场、温度场、压力场及其它参数。

A.3.4 CFD 模拟应合理划分网格，保证建筑最小格局的尺寸精度，满足所采用的壁面函数对第一层近壁面网格的要求以及网格独立解的需要。

A.3.5 室内自然通风计算流体力学（CFD）模拟考虑热压通风时，应按实际运行工况进行室外空气温度和室内热源的设置。

A.3.6 建筑自然通风计算流体力学（CFD）模拟计算应输出下列结果，有条件时可与实验值进行对比：

- 1 室内 1.5m 高处平面风速分布图和风速矢量图；
- 2 主要房间的换气次数或室内空气龄分布图；
- 3 室内温度或热舒适参数分布图。

A.4 室内通风多区域网络模型法

A.4.1 不考虑房间内部的空气流动形态和分布对自然通风效果的影响时，宜采用多区域网络模型法，且模拟软件应具有下列基本功能：

- 1 可根据建筑模型布局，设定各房间及其内外门窗的开口特性，包括：房间体积、户型布局朝向、门窗开口面积、阻力系数、门窗位置等；
- 2 室内自然通风流动模拟时，可输入典型工况下的室外气象参数以及室内热源情况，包括室外风速、风向、建筑前后压差、室内人员、灯具、电器发热功率等；
- 3 室内污染物浓度模拟时，可输入室外污染物浓度数据，并可对不同房间的室内源强度分别进行设置，如由厨房、吸烟产生的 $PM_{2.5}$ 源和人呼吸产生的 CO_2 源等；
- 4 可输出各房间的有效通风量、换气次数、室内污染物浓度等评估房间通风效果的结果；
- 5 当采用全年工况逐时模拟时，应具有时间表设置功能；可读取全年气象参数文件，与全年室外污染物浓度数据。

A.4.2 自然通风的多区网络通风模拟应包括下列主要流程：

- 1 建立模型，根据住宅户型的布局与门窗开口位置在软件或辅助建模软件中建立模型，一般以各独立功能房间为基础进行分区，输入房间和门窗尺寸并建立房间之间、房间与外部环境的流动连通关系；

2 输入参数，在模拟软件中输入与通风相关的边界条件、门窗特性、热源参数、气象数据等；

3 根据设置的模拟时间段，时间步长，运行模拟计算直至计算结果收敛；

4 输出模拟结果并进行后处理，检查数据合理性并进行必要的校核，最终完成模拟结果分析。

A.4.3 自然通风多区域网络模拟的建筑模型应包括建筑户型布局、朝向、门窗的可开启面积与相对位置、建筑或单个模拟户型高度等信息。

A.4.4 多区通风模拟的边界条件和参数应满足下列规定：

1 在典型气象条件下进行室内自然通风模拟时，应在完成建筑群室外自然风环境模拟分析的基础上进行，并将所得的建筑物相应开口上的风压或窗前风速（大小和方向）与风压系数作为室内自然通风模拟设计的边界条件；当窗前风速取值有困难时，可直接采用典型气象的主导风速和风向作为边界条件；设置内门外窗全开。典型气象参数可按本标准附录 B 选取；

2 当进行全年逐时自然通风和室内污染物浓度模拟时，应采用当地全年室外风速、风向和污染物浓度，作为室内自然通风模拟设计的边界条件，设置门窗开启条件或时间表、室内污染源强、室内空气净化性能参数等；

3 门窗开口流量系数等相关参数，应根据测试或经验数据合理选用。

A.4.5 典型气象条件下的室内自然通风模拟输出结果应包含典型气候的自然通风换气次数。

A.4.6 全年逐时自然通风模拟和室内污染物浓度模拟输出结果应包含室内 PM_{2.5} 和 CO₂ 逐时或逐日浓度及不满足率。

A.5 模拟案例

A.5.1 计算流体力学（CFD）方法模拟案例

当需要详细描述单个区域内的流场时，可采用计算流体力学（CFD）方法。以下介绍一个利用解耦模拟方法进行住宅自然通风的计算流体力学（CFD）模拟的案例，模拟操作人员可以采用计算流体力学（CFD）软件遵循类似的步骤，来完成室内自然通风的模拟。模拟的步骤如下所示：

1 建立住宅模型

根据模拟的住宅信息，利用 ICEM 或 SKETCHUP 等建模软件进行住宅模型的建立。本案例模拟的住宅为 $W \times D \times H = 2.5\text{m} \times 2.5\text{m} \times 2.5\text{m}$ 的房屋，住宅模型如图 A.5.1-1 所示，住宅迎风面中心位置有 $W \times D = 1.25\text{m} \times 0.84\text{m}$ 的门，为了简化计算，不考虑人员和住宅内其它物体的影响，只模拟空房间的自然通风情况。

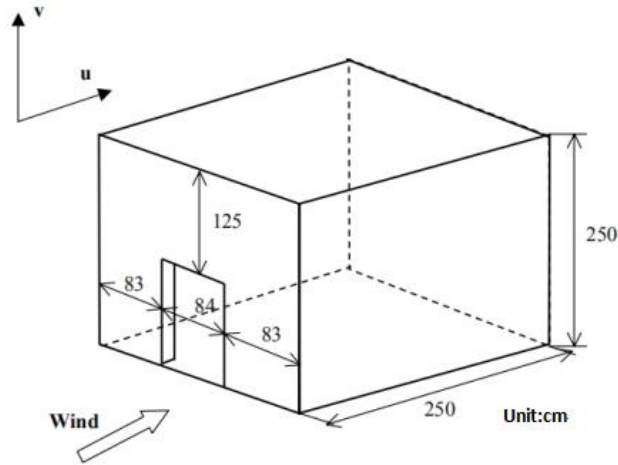


图 A.5.1-1 CFD 模拟住宅模型图

2 选择计算域和绘制网格

建立住宅模型后，首先进行计算域和网格的设置。计算域的尺寸参考最佳实践准则的相关要求。在本案例中，设置入口、侧面边界和建筑物的间距为住宅高度的 5 倍，出口边界和建筑物的间距为住宅高度的 10 倍，垂直边界和建筑物的间距为住宅高度的 3 倍。从而得到模型的计算域尺寸为 $W \times D \times H = 40\text{m} \times 27.5\text{m} \times 10\text{m}$ 。划分后的网格如图 A.5.1-2 所示。建筑模型紧邻网格的最大拉伸比为 1.2，本模型中室外风环境区域共有 1466675 个六面体网格，室内区域共有 110969 个六面体网格。

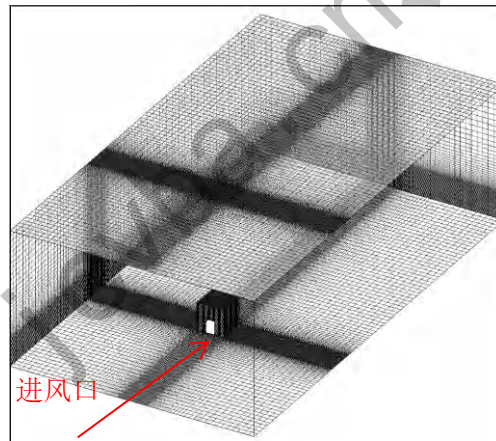


图 A.5.1-2 CFD 模拟计算网格

3 选择室外风环境边界条件

模拟要确定室外对应的边界条件，包括来流入口风速分布、出口、顶部、侧部、以及其它壁面边界等。其中，进口风速根据式 (A.5.1-1) 的幂函数模型确定，式中 u 为高度 z 处的风速； u_0 为参考高度 z_0 处的风速，参考高度 z_0 一般在高度为 10m 处。湍流动能 $k(z)$ 根据平均风速和实验测量的湍流强度利用式 (A.5.1-2) 计算得到，其中 I_u 是沿流动方向的湍流强度， a 是 0.5 至 1.5 之间的参数，这里采用推荐值 1。湍动能耗散率 ε 和比耗散率 w 分别由式 (A.5.1-3) 和式 (A.5.1-4) 给出，其中 C_μ 取 0.09 的经验常数。

$$u = u_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^a \quad (\text{A.5.1-1})$$

$$k(z) = a(I_u(z)U(z))^2 \quad (\text{A.5.1-2})$$

$$\varepsilon(z) = \left(\frac{u_{ABL}^{*3}}{k(z+z_0)} \right) \quad (\text{A.5.1-3})$$

$$w(z) = \frac{\varepsilon(z)}{C_\mu k(z)} \quad (\text{A.5.1-4})$$

对于地面的边界条件，使用标准墙函数式（A.5.1-5）来确定粗糙度参数，即当量粗糙高度 $k_s(\text{m})$ 和粗糙度常数 C_s 的值。在建筑物表面也使用标准壁面函数，但粗糙度为零，即 $k_s=0$ 。

$$k_s = \frac{9.793z_0}{C_s} \quad (\text{A.5.1-5})$$

为简化模拟，令出流面和其对称位置的静压为零，在计算域的顶部和侧面上法向梯度的所有变量也为零。

4 进行室外风环境模拟设置

采用 ANSYS-FLUENT 6.3.26 软件进行数值模拟。本案例中设置模拟使用 RANS 模型 (SST)求解三维定常方程，压力-速度耦合采用 SIMPLE 算法，压力插值采用二阶迎风格式，控制方程的对流项和粘度项均采用二阶离散格式。

5 输出室外风环境模拟结果

完成室外风环境相关设置后，即可进行模拟计算，具体输出结果根据用户需要输出，本案例室外风环境输出内容包括室外风速、风压和建筑外部压强。图 A.5.1-3 显示了室外行人主要活动区域 1.5m 高度处的风速分布图和风压分布图。图 A.5.1-4 为建筑立面表面压强分布图。

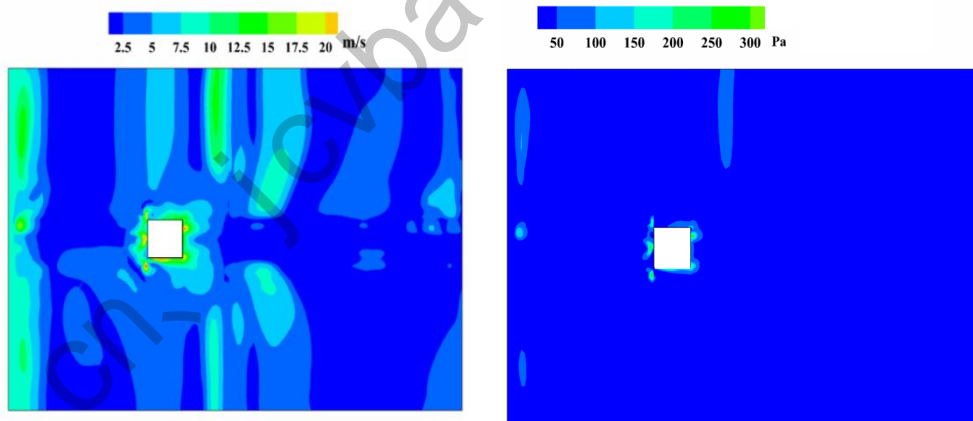


图 A.5.1-3 目标建筑及楼层处的风速分布图和风压分布图

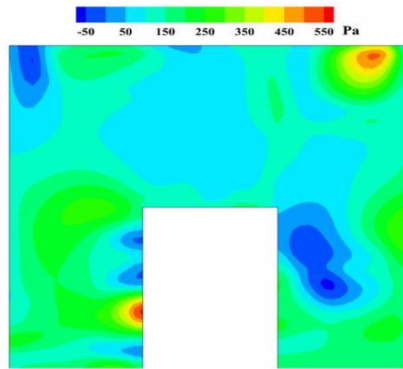


图 A.5.1-4 建筑立面表面压强分布图

6 输入室内边界条件并进行模拟设置

以室外风环境模拟获得的压力和风速参数作为模拟的边界条件，室内通风模拟同样使用 RANS 模型(SST)求解三维定常方程，压力-速度耦合采用 SIMPLE 算法，压力插值采用二阶迎风格式，控制方程的对流项和粘度项采用二阶离散格式。

7 输出室内风环境模拟结果

完成室内相关设置后，即可进行模拟计算，本案例为评价通风效果，输出内容包括室内风速、风向情况和换气次数。图 A.5.1-5 显示了计算流体力学(CFD)模拟得到的中心平面内 1.5m 处的风速分布图和风速矢量图，模拟再现了流动的主要特征。房间的换气次数为 1.7 次/h。

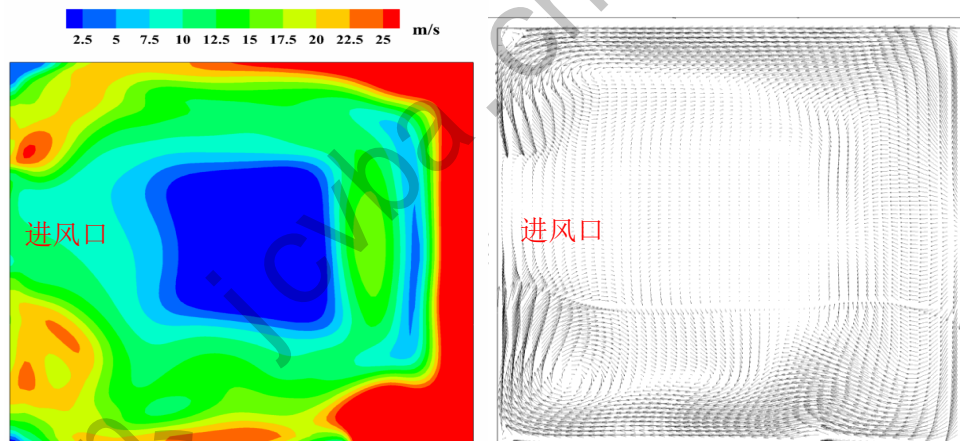


图 A.5.1-5 中心平面内 1.5m 处的风速分布图和风速矢量图

A.5.2 多区域网络模型法模拟案例

自然通风多区网络模型法现已经发展较为成熟，也有多款软件可供选择，虽然各软件可选择的输入条件不尽相同，但是最终都是将室外风速参数转换为室内外压差作为计算条件，本案例介绍采用 ENERGYPLUS 软件对深圳一典型住宅进行自然通风模拟。

1 典型住宅模型的建立

选取一户典型住宅为研究对象，图 A.5.2-1 是住宅的平面图和使用 8.6 版本的 ENERGYPLUS 软件建立的几何模型。住宅尺寸 $W \times D \times H = 8.5 \times 9.6 \times 2.9$ m，总面积 72m^2 。住宅包含起居室、主卧室、卧室 1、卧室 2、厨房、主卫和次卫，共计 7 个房间。

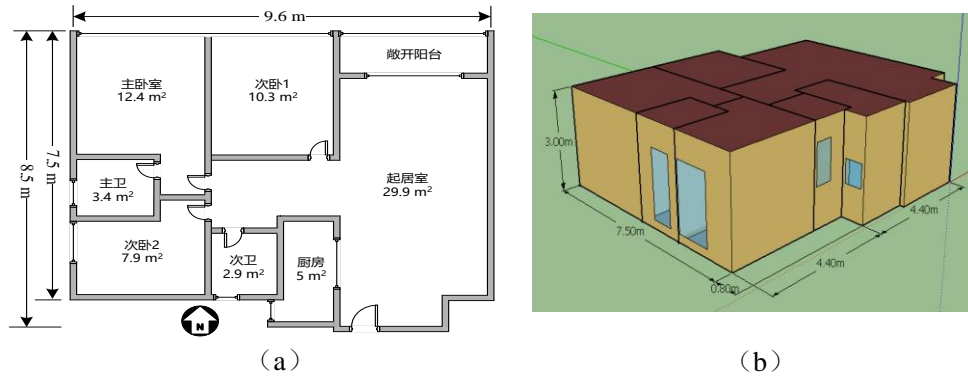


图 A.5.2-1 多区网络模拟某典型住宅：(a) 平面图；(b) ENERGYPLUS 模型

2 模拟条件设置

多区域网络模拟法的边界条件设置主要有两种方式：

a) 室内自然通风模拟是在室外风环境模拟的基础上进行的，根据附录 B 确定过渡季典型风速、风向，以过渡季节典型风速、风向作为室外建筑风环境模拟的边界条件，模拟得出住宅户型开口前后压力值，作为室内自然通风模拟的边界条件。此步骤一般应用于室内稳态自然通风模拟。以深圳地区的典型气候参数为例：典型风向为 SSE，平均风速 2.33m/s。内门、外窗可开启部分全部开启。卧室 2 人、客厅 4 人。

b) 多区域网络法也可采用窗前风速、风向与各个建筑立面在各风向下的风压系数作为模拟边界条件，得出通风换气量，其中若窗前风速、风向难以取得可采用气象数据代替。此步骤一般应用于室内全年动态自然通风模拟。模拟全年 8760 小时住宅室内通风量的动态值，室内 CO₂ 和 PM_{2.5} 的浓度，并可统计室内 CO₂ 和 PM_{2.5} 浓度不达标时间占比率。

表 A.5.2-1 是深圳典型户型在不同风向下的不同建筑立面的风压系数。

表 A.5.2-1 不同风向下的不同建筑立面的风压系数

风向	北向立面 风压系数	东向立面 风压系数	南向立面 风压系数	西向立面 风压系数
0	0.6	-0.56	-0.37	-0.56
30	0.48	0.04	-0.42	-0.56
60	0.04	0.48	-0.56	-0.42
90	-0.56	0.6	-0.56	-0.37
120	-0.56	0.48	0.04	-0.42
150	-0.42	0.04	0.48	-0.56
180	-0.37	-0.56	0.6	-0.56
210	-0.42	-0.56	0.48	0.04
240	-0.56	-0.42	0.04	0.48
270	-0.56	-0.37	-0.56	0.6
300	0.04	-0.42	-0.56	0.48
330	0.48	-0.56	-0.42	0.04

住宅室内 PM_{2.5} 与 CO₂ 浓度的模拟需要明确室内源强，以室内源强为模拟中的源项，住宅室内 PM_{2.5} 浓度的模拟需要明确室内烹饪、抽烟等室内源与室外 PM_{2.5} 浓度，本案例中源强度如表 A.4.4 所示，住宅室内 CO₂ 浓度主要为人员散发与室内外本底浓度，本底浓度可取

400ppm，单位人员 CO₂ 散发量则需要根据年龄，性别，活动量等取值。

一般住宅在自然通风下室内外空气温度差异不大，ENERGYPLUS 软件中需要输入室内热源计算室内空气温度，CONTAM 软件可以直接输入室内空气温度，以下为 ENERGYPLUS 软件中输入的室内热源。

模拟四口之家（父母，子女）的住宅，冬季时间段为 11 月至次年 3 月，夏季时间段为 7~8 月，其余时间为过渡季。表 A.5.2-2 是住宅内各个房间的人员时间表。

表 A.5.2-2 室内人员时间表

房间	人员数量 (人)	工作日	周末
起居室	变化，最大为 4	18:00~22:00	11:00~22:00
主卧室	2	22:00~07:00	
次卧室	1	22:00~07:00	
厨房	1	18:00~19:00	11:00~12:00, 18:00~19:00
卫生间	1	7:00~7:20; 20:00~21:00	

根据深圳地区的气候特点，卧室、客厅窗户按满足开窗条件： $12^{\circ}\text{C} \leq \text{室外温度} \leq 28^{\circ}\text{C}$ ，且室外 $\text{PM}_{2.5} \leq 75\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时开启窗户，并增加两个固定开窗时间段，早上 07:00-08:00 及夜间 22:00-23:00。

3 模拟结果

a) 通风换气次数模拟

典型气象条件下的室内通风换气次数模拟结果如表 A.5.2-3 所示。当门窗都开启时，卧室和客厅均能形成穿堂风，通风换气次数均在 15 次/h 以上，满足夏热冬暖地区 10 次/h 的自然通风换气次数要求。

表 A.5.2-3 通风换气次数模拟结果

条件	房间	典型气象条件下的通风换气次数 h ⁻¹
开窗开门	卧室	16.7
	客厅	18.5

b) 污染物不达标时间占比率模拟

室内 CO₂ 和 PM_{2.5} 不达标时间占比率模拟结果见表 A.5.2-4。PM_{2.5} 年平均浓度均小于 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，CO₂ 和 PM_{2.5} 均统计日均浓度的不满足率，包括全天的和以人在的时间段（有人在的时段：客厅 8:00-22:00；卧室 22:00-8:00）均为 0（PM_{2.5}>75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 CO₂>1000ppm 为不满足）。全年室内 CO₂ 和 PM_{2.5} 浓度满足要求。

表 A.5.2-4 CO₂ 和 PM_{2.5} 不达标时间占比率模拟结果

房间	PM _{2.5} 年平均浓度 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	日均浓度不满足率 %			
		PM _{2.5}		CO ₂	
		全天	人在时	全天	人在时
客厅	19.7	0	0	0	0
卧室	19.9	0	0	0	0

qejc.cn, jcvba.cn, 微信qejc21

附录 B 主要城市室内通风模拟的气象参数

B.0.1 各主要城市室内通风模拟的气象参数按表 B.0.1 选取。

表 B.0.1 各主要城市计算时间段的气象参数

城市	主导风向	平均风速 m/s	平均气温 °C
北京	S	1.82	20.7
成都	N	1.32	20.6
福州	NNW	2.55	20.6
广州	SSE	2.33	22.9
贵阳	NEE	2.19	17.6
哈尔滨	S	1.94	18.8
海口	SEE	1.50	25.3
杭州	NNW	1.73	20.9
合肥	E	2.68	21.9
呼和浩特	NEE	1.44	18.1
济南	SEE	2.96	21.5
昆明	SW	1.15	17.3
拉萨	E	1.47	14.7
兰州	E	1.11	18.3
南昌	NNE	1.86	20.9
南京	SSE	1.83	20.7
南宁	NEE	0.98	22.8
上海	SE	3.00	22.2
沈阳	S	2.11	19.0
石家庄	S	1.2	21.1
太原	E	2.08	19.4
天津	SSE	1.55	21.8
乌鲁木齐	NNW	2.16	19.6
武汉	NNE	1.24	21.0
西安	W	1.62	21.4
西宁	SEE	1.29	15.0
银川	N	2.06	19.0
长春	S	2.42	18.3
长沙	W	1.86	20.5
郑州	S	1.50	20.5
重庆	NNW	1.52	20.9

附录 C 室外 PM_{2.5} 设计浓度

C.0.1 各主要城市 PM_{2.5} 室外设计浓度按表 C.0.1 选取。

表 C.0.1 PM_{2.5} 室外设计浓度

省份	城市	PM _{2.5} (μg/m ³)
—	北京	267
—	上海	192
—	天津	273
—	重庆	173
江苏	苏州	214
	南京	256
江西	南昌	175
辽宁	大连	168
	沈阳	239
内蒙古	呼和浩特	159
宁夏	银川	154
青海	西宁	235
山东	青岛	212
	济南	322
山西	太原	221
陕西	西安	418
四川	成都	253
西藏	拉萨	45
新疆	乌鲁木齐	280
云南	昆明	87
浙江	杭州	230
	宁波	218
广东	深圳	110
	广州	128
安徽	合肥	286
福建	厦门	78
	福州	100
甘肃	兰州	230
广西	南宁	152
贵州	贵阳	128
海南	海口	93
河北	石家庄	488
河南	郑州	302
黑龙江	哈尔滨	327
湖北	武汉	290
湖南	长沙	225
吉林	长春	282

本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关规程执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《环境空气质量标准》 GB 3095
《声环境质量标准》 GB 3096
《家用和类似用途电器的安全第 1 部分 通用要求》 GB 4706.1
《空气净化器》 GB/T 18801
《室内空气质量标准》 GB/T 18883
《通风系统用空气净化装置》 GB/T 34012
《民用建筑隔声设计规范》 GB 50118
《通风与空调工程施工质量验收规范》 GB 50243
《民用建筑设计通则》 GB50352
《绿色建筑评价标准》 GB/T 50378
《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》 GB 50736
《建筑门窗用通风器》 JG/T 233
《非金属及复合风管》 JG/T 258
《建筑节能气象参数标准》 JGJ/T 346
《住宅建筑室内装修污染控制技术标准》 JGJ/T 436
《住宅新风系统技术标准》 JGJ/T 440
《公共建筑室内空气质量控制设计标准》 JGJ/T 461
《健康建筑评价标准》 TASC02
《室内空气质量监测仪》 T/CSUS 02
《上海市城市规划管理技术规定》

中国城市科学研究会标准

住宅通风设计标准

T/CSUS N-Y

条文说明

编制说明

《住宅通风设计标准》(T/CSUS N-Y)，经中国城市科学研究会 201X 年 X 月 X 日以第 XXX 号公告批准发布。

本标准制定过程中，编制组进行了大量的调查研究，总结了近年来国内住宅通风设计的实践经验，同时参考了国外先进技术标准，并进行了多项试验，为标准的制定提供了重要依据。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《住宅通风设计标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与本标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

1 总 则

1.0.2 非住宅类居住建筑包括别墅、宿舍、公寓。通过通风来解决装修污染问题，不是本标准的主要目的。装修污染控制参考现行行业标准《住宅建筑室内装修污染控制技术标准》JGJ/T 436。

qejc.cn, jcvba.cn, 微信qejc21

3 基本规定

3.0.1 超高层住宅开窗有一定安全问题，在满足安全要求的前提下，鼓励进行自然通风设计。

3.0.2 国家标准《民用建筑设计通则》GB50352-2005 中的要求。

3.0.3 如果在场地噪声不能满足 2 类要求时，自然通风不能满足室内的声环境要求。无动力门窗通风器是安装在门窗上，具有隔声性能的自然通风器。在外界噪声大、不能开启门窗通风的情况下，开启无动力门窗通风器可在隔声降噪的同时，保持房间自然通风。门窗通风器按现行行业标准《建筑门窗用通风器》JG/T 233 的规定，有隔声功能的通风器，在开启、关闭状态下，通风器小构件的计权规范化声压级差不应小于 33 dB。

3.0.4 国家标准《环境空气质量标准》GB 3095 的二级浓度限值是室外空气质量的最低要求，工程项目所在地前一年室外 PM_{2.5} 年平均浓度大于 35 μg/m³，需要采用室内空气净化措施，才能保证住宅的室内空气质量。本标准空气净化主要解决的问题是室外进入室内的 PM_{2.5} 问题。PM_{2.5} 的设计浓度来源于《健康建筑评价标准》TASC 02-2016 中室内 PM_{2.5} 年平均浓度不应高于 35 μg/m³。《绿色建筑评价标准》GB/T 50378-2019 中室内 PM_{2.5} 年平均浓度不高于 25 μg/m³，得 6 分。厨房、卫生间、储藏间的室内空气质量不适用该要求。

3.0.5 本标准设定的自然通风换气次数是考虑改善热舒适性的目的。利用自然通风改善热舒适性，就是利用室外空气流入、流出室内，带走室内热量（如人体、照明、设备的发热和通过外窗进入室内的太阳辐射热），使室内的温湿度保持在舒适范围内。因此，对于采用自然通风模拟分析来验证改善热舒适性效果，室内距地 1.5m 高度的平均温度与室外温度的差值，就是一个能够直接反映热舒适性改善效果的指标。例如，当室外温度为 25℃ 时，通过自然通风使室内距地 1.5m 高度的平均温度不超过 27℃，即室内距地 1.5m 高度的平均温度与室外温度的差值不超过 2℃，在北方相对干燥的地区是舒适的。考虑到不同的热工分区，在适合自然通风的季节的室外空气湿度有区别。为了保证各热工分区利用自然通风获得的热舒适性尽量一致，不同的热工分区所采用的热舒适性改善效果的温差指标有所不同，如表 1：

表 1 改善热舒适性的换气次数评价指标取值

热工分区	温差指标 (K)	自然通风换气次数 (次/时)
夏热冬暖、温和	1.0	10
夏热冬冷	1.5	7
其他	2.0	5

3.0.6 住宅机械通风系统设计要满足卫生的要求，参照现行国家标准《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736 中规定了住宅最小新风换气次数。

3.0.7 市场上抽油烟机普遍为 800-1500m³/h 左右，一般厨房面积约为 4-10m²，相当于在油烟机使用时换气次数能超过 30 次/h。研究表明厨房油烟对人体健康影响很大，在烹饪时室内 PM_{2.5} 浓度很高，需设置抽油烟机等局部排风设备，并增加局部补风，如开窗、设置窗式通风器、送风设备、吊顶补风、灶台补风等。

3.0.8 国家标准《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012 规定卫生间全面通风换气次数不宜小于 3 次/h。

3.0.9 住宅宜设置简易的室内空气质量监测仪，关注室内空气质量实时动态变化，指导通风使用。

4 自然通风设计

4.1 一般规定

4.1.1 考虑北方冬季寒冷，采取措施防止冷风进入房间对热舒适和能耗的影响。

4.1.2 场地与总平面设计在住宅小区布局的时候，要考虑利于室外空气流动，留出通风廊道。

4.1.5 在方案设计时，对建筑方案进行通风模拟计算，研究立面造型、功能分区、平面布局等对自然通风的影响，分析建筑的整体通风状况，得到方案的自然通风效果，结合建筑功能、造型以便优选方案；在初步设计时，对房间的换气次数进行模拟计算，出具自然通风模拟计算书，通过计算结果分析主要部件位置、开口位置对通风效果的影响，提出建筑设计的改进方案，以优化各主要部件的位置、通风口位置、通风口及导风构件的尺寸。

4.2 场地与总平面设计

4.2.1 夏季或过渡季节上风向位置宜开阔，容易引风。而在冬季冷风上风向位置或临街位置上布置绿化或其他阻挡的建筑物。在南方，通风廊道设计能让风顺利通过住宅区，使整体布局更合理。

4.2.2 引入优质风，建筑排布沿风向从低到高，反之非优质风，则需阻挡。

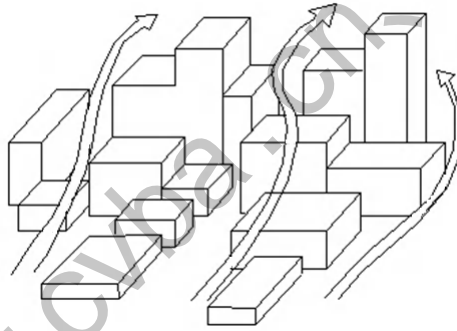


图1 街区建筑群布置示意图

4.2.4 根据《上海市城市规划管理技术规定》，大面宽板式建筑容易阻挡通风，应留出一定的通风道。对于建筑挡风作用来看，吹过建筑物的风会在建筑物背后的活动场地上形成一个弱风区域，称为紊流区，也形象称为风影区。研究表明，通常弱风区长度（风影长度）是单位建筑宽度的2倍，例如对于多层的条式建筑，当建筑长度从20m增大到80m时，其背后的弱风区长度（风影长）相应从40m增大到75m，大大超过了建筑前后排的日照间距，建筑间距特别是住宅建筑的建筑间距往往小于这个风影长度间距，低层住户的通风条件会受到前排建筑风影的影响。考虑到建筑长度超过80m时也必须设置人行通道，故取80m作为是否架空的判断条件。一栋建筑的架空率等于本楼中可以穿越式通风的架空层建筑面积占建筑基底面积的比率。其中，可穿越式通风的架空层除了底层外，也包括18m高度以下各层中可穿越式通风的架空楼层的建筑面积。空中花园是指建筑中间层部位架空留出花园位置，有别于屋顶花园。

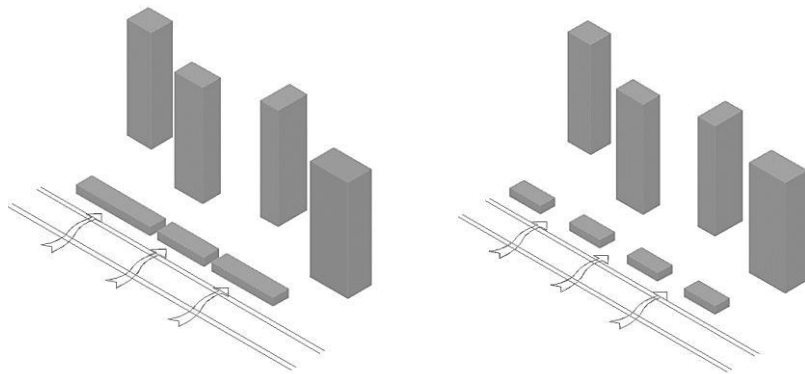


图2 大面宽板式建筑设计修改示意图

4.2.5 导风设施应防止人行活动区风速过高。

4.3 建筑体型与平面设计

4.3.3 “凹”形建筑通风效果如图3。

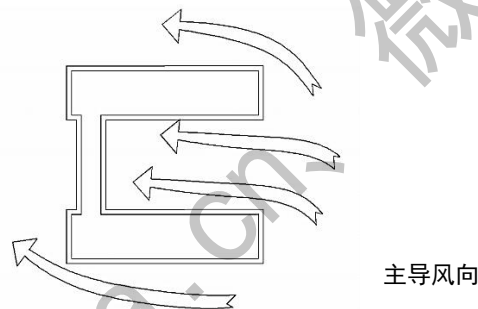


图3 “凹”形建筑通风效果

4.3.4 裙房通风路径设计如图4。

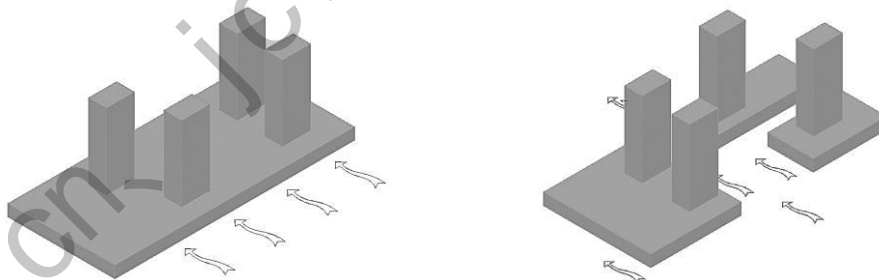


图4 裙房分割示意图

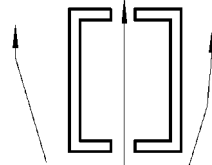
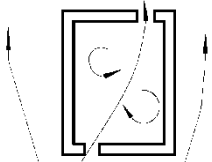
4.3.5 双侧通风指住宅户型有两个朝向上有窗，而单侧通风指住宅户型仅有一个朝向上有窗。

4.3.8 室内开敞空间、走道、房间的门窗均可作为室内通风路径。在室内空间设计时应组织好上述空间，应尽量减少户内平面的空间分割，使室内通风路径布置均匀，避免出现通风死角。平面风路设计中，应减少房间之间的隔阻，减少通风阻抗；主要房间应位于穿堂风经过的“风道”上，门窗洞口的设置宜能对位，避免妨碍气流的穿行，纵向间隔墙在适当的部位应开设通风口或者设置可以调节的通风构造；平面风路中不应出现小于直角的转折，在平面转折处，宜采取圆角处理、放大空间或设导流构件等措施。风道转角放大，有利于通风气流组织。

4.4 门窗洞口设计

4.4.2 穿堂型开窗位置对室内流场的影响如表 2 所示包括穿堂型和错位穿堂型。

表 2 穿堂型开窗位置和室内流场

型式	图示	通风特点
穿堂型		1) 有较广的通风覆盖面 2) 通风直接、流畅 3) 室内涡流较小
错位穿堂型		1) 有较广的通风覆盖面 2) 室内涡流较小，阻力较小 3) 通风覆盖面较小

4.4.3 相对和相邻通风口与主导风向角度对气流场有不同影响，如图 5:

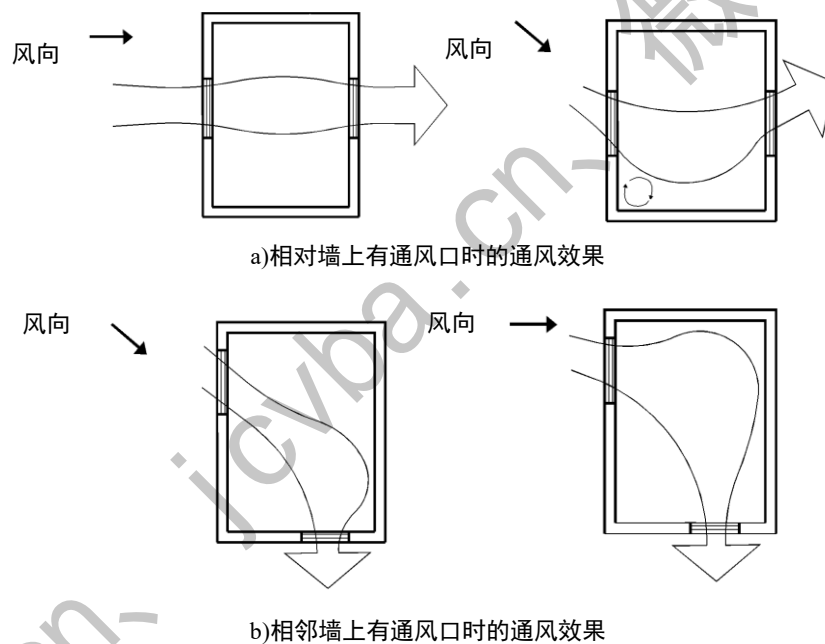


图 5 双侧通风的进风角度与通风效果

尽可能避免进出风口特别临近的情况。相邻的墙上开窗，易形成“交角风”，对通风不利（如图 6）。

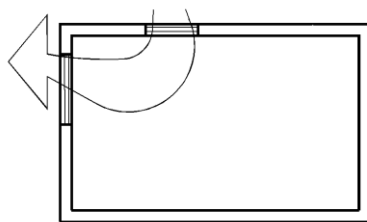


图 6 相邻墙进出风口太近造成“通风短路”

4.4.4 单侧通风窗口平面与主导风向的夹角如图 7 所示。

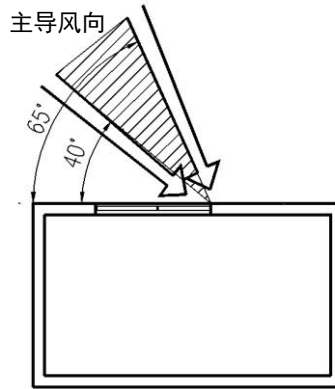


图 7 单侧通风窗口平面与主导风向的夹角

4.4.5 通风应满足卫生要求和热舒适要求。考虑自然通风室外风速、通风洞口朝向、通风洞口个数等因素，对自然通风满足卫生要求和热舒适要求分别进行模拟计算，得出所需的每套住宅自然通风开口面积与房间地板面积之比。每套住宅自然通风开口面积与房间地板面积之比应与现行国家及地方节能标准相协调。

1 卫生要求通风计算每套住宅自然通风开口面积与房间地板面积之比

室内 CO₂ 浓度满足卫生标准要求的换气次数指标不小于 2 次/时，以 2 次/时为标准采用 CONTAM 软件计算得出每套住宅自然通风开口面积与房间地板面积之比如表 3：

表 3 每套住宅自然通风开口面积与房间地板面积之比满足卫生要求的规定

自然通风室外计算风速 v (m/s)	仅在 1 个朝向有通风洞口	在 2 个或 2 个以上朝向有通风洞口
$0.5 < v \leq 1$	5%	2%
$1.0 < v \leq 1.5$	2%	1%
$1.5 < v \leq 2.0$	1%	0.7%
$2.0 < v \leq 2.5$	0.6%	0.5%
$2.5 < v \leq 3.0$	0.5%	0.4%
$3.0 < v \leq 3.5$	0.4%	0.4%
$3.5 < v \leq 4.0$	0.3%	0.3%

2 热舒适性通风计算每套住宅自然通风开口面积与房间地板面积之比

按本标准 3.0.5 规定，满足热舒适性自然通风要求，夏热冬暖地区和温和地区不低于 10 次/h；夏热冬冷地区不低于 7 次/h；严寒地区和寒冷地区不低于 5 次/h。采用 CONTAM 软件计算得出每套住宅自然通风开口面积与房间地板面积之比要求，如表 4。

表 4 每套住宅自然通风开口面积与房间地板面积之比满足热舒适要求的规定

自然通风室外设计风速 (m/s)	仅 1 个朝向有自然通风开口			在 2 个或 2 个以上朝向有自然通风开口		
	夏热冬暖与温和地区	夏热冬冷地区	其他地区	夏热冬暖与温和地区	夏热冬冷地区	其他地区
$0.5 < v \leq 1.0$	35%	24%	17%	13%	9%	6%
$1.0 < v \leq 1.5$	17%	10%	7%	6%	4%	3%
$1.5 < v \leq 2.0$	10%	7%	4%	4%	3%	2%
$2.0 < v \leq 2.5$	7%	5%	3%	3%	2%	1%
$2.5 < v \leq 3.0$	5%	3%	2%	2%	2%	1%
$3.0 < v \leq 3.5$	4%	2%	1%	2%	1%	1%
$3.5 < v \leq 4.0$	3%	2%	1%	2%	1%	0.8%

不同类型窗的自然通风开口面积计算不同。平开窗的通风开口面积即为可开启窗扇的面积。推拉窗的通风开口面积为可开启窗扇面积的 50%。悬窗（包括上悬窗、中悬窗、下悬窗）的通风开口面积，当开启角度大于 70 度时，即为可开启窗扇的面积；当开启角度小于等于 70 度时，则按公式 1 计算。

$$A = W \times \sin \theta \quad (1)$$

式中：A——自然通风开口面积（m²）；

W——可开启窗扇面积（m²）；

θ——开启角度（°）；

4.4.7 公共空间包括电梯间、楼梯间等位置，可尽量利用热压通风，如图 8。

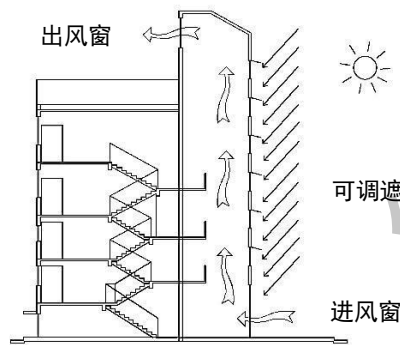
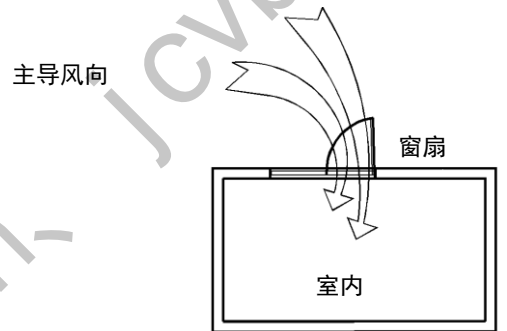
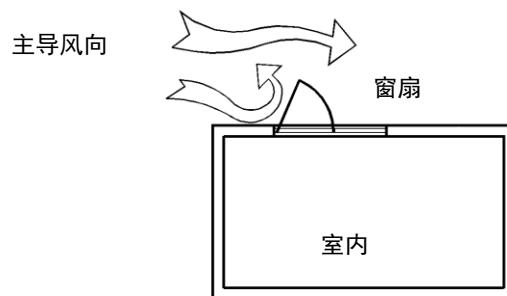


图 8 楼梯间热压通风示意图

4.4.8 窗扇开启方向应有利于引风（如图 9）。窗户宜采用综合开启型式，增加自然通风的适用场景和通风效果。如内开加内倒式，有方便灵活的开关调节装置，有利于适应不同季节和不同天气状况的自然通风。不同开启方式的窗户可以将进入室内的气流方向加以引导而改变气流在室内的路线和影响范围，可加强通风效果。次要功能房间不应引风，如厨房、卫生间。



a)窗扇开启有利于引风入室内



b)窗扇开启不利于引风入室内

图 9 窗扇开启方向与引风

4.4.9 在窗框附近开有小的通风口，可开关，且采取阻隔或声音吸收措施让通风通道具有消声作用，既实现了自然通风，又有一定的隔声效果。

qejc.cn, jcvba.cn, 微信qejc21

5 机械通风设计

5.1 一般规定

5.1.2 机械通风设计会影响供暖空调的冷热负荷计算，并且对于风管设计应一并考虑。

5.1.3 机械通风系统涉及建筑能耗的增加，因此节能是必须的要求，应根据当地或国家行业相关节能标准。

5.2 新风量计算

5.2.3 新风系统应考虑使用过程中过滤器阻力增加时的风压余量和系统漏风的影响。

5.3 新风系统选型

5.3.1 单向流新风系统结构简单，室内能形成正压，很好地避免雾霾渗入；房间气密性高时，单向流新风系统的排风不容易从门窗缝隙中排走，造成换气效率较低，因此宜选用双向流系统，也可以采用带窗式平衡风口的单向流新风系统，窗式平衡风口可以代替门窗缝隙排风。

5.3.2 严寒地区冬季室内外温差大，采用热回收新风系统有一定节能效果，但目前初投资比较大，考虑系统能量回收效率等因素，投资回收期较长。

5.3.3 在一套住宅中，仅对其中一间或少数房间进行新风系统设计时，考虑无管道壁挂式新风机。

5.4 气流组织设计

5.4.2 参考 ASHRAE 62.1 中的室外新风口离各类污染源的距离，并根据国内住宅情况进行了改进。

5.4.3 不仅每个住户自己的新风口、排风口不应相互影响；相邻住户的室外新风口、排风口也不应相互影响。采用双向流新风机组时，新风口与排风口应尽量隔开距离。与现行行业标准《住宅新风系统技术标准》JGJ/T 440 中要求的距离一致。

5.4.6 局部排风系统风量较大，气流组织容易混乱，当房间气密性高时，从其他房间来的补风不足，可能造成排风效率较低，应考虑设置外窗、开孔等就地自然补风。

5.4.7 室内排风口不应设在送风射流区内。

5.5 风管与设备设计

5.5.1 通风效率是评价排出污染的能力，换气效率评价换气能力。综合考虑两种效率即决定了合理的送风口和排风口位置，也就可以产生合理的气流组织，实现良好的通风换气效果。目前机械通风的输送和分配不够合理，造成整体机械通风效率降低，推荐使用变频恒风量风机和分风箱体系，以提高输送和分配效率。

5.5.3 考虑到 PVC 材料的风管会释放一定量的 TVOC，对新风造成污染，因此风管宜选用金属材料。

5.5.8 室外新风管罩带防虫网，容易被蚊虫、杨柳絮等堵塞，严重影响通风系统风量，阻力的增加也会引起风机噪音大、风量小，甚至损坏的情况，一般建议每半年清扫一次，设置位

置需要便于清扫、更换。

5.5.13 关于防霜冻措施，可以在新风入口侧设置空气预热器，或者在住宅新风系统运行控制上设置防冻措施，如温度过低时停止引新风或降低新风量、或者采用内循环模式。

5.6 监测与控制设计

5.6.1 室内空气质量监测仪应安装在能反映被测房间空气状态的位置。CO₂ 浓度、PM_{2.5} 浓度报警值可参考现行国家标准《室内空气质量标准》GB 18883 和《环境空气质量标准》GB 3095。

5.6.2 CO₂ 浓度控制值可参考现行国家标准《室内空气质量标准》GB 18883。

5.6.3 PM_{2.5} 浓度控制值可参考现行国家标准《环境空气质量标准》GB 3095。

5.6.4 空气质量监测数据要用来进行环境评价和控制，因此需要具有足够的精度、可靠性和稳定性，以满足数据处理和智能控制要求。

5.6.5 在严寒地区，冬季室外温度非常低，为保证新风系统正常运行，避免设备结露，需要设置辅助加热设备控制。

6 空气净化措施

6.1 一般规定

6.1.1 机械通风系统内的空气净化系统分为新风净化和回风净化装置/室内空气净化器对 PM_{2.5} 进行处理。新风净化属于一次净化，回风净化装置/室内空气净化器可以循环净化。根据室内源、室外源的强度不同以及控制浓度目标不同采用合适的方式。

6.1.4 进入室内的空气应该进行处理，去除存在的污染物。鉴于过滤器等有使用寿命，一旦不及时更换会成为污染源，同时该类装置安装位置限制，需要一些方法提醒用户更换。

6.2 自然通风下的空气净化器选型

6.2.2 公式 6.2.2 从现行国家标准《空气净化器》GB/T 18801-2015 的公式 F.1 演变而来。本标准净化设计可不考虑吸烟、厨房产生的 PM_{2.5} 源。住宅室内应禁烟，厨房产生的源应通过油烟机的合适设计实现完全处理。当 E 取 0、P 取 0.9、K_v 取 0.3、K₀ 取 0 时，最小 PM_{2.5} 洁净空气量的计算公式如式 2：

$$Q = (0.27 \frac{C_0}{C} - 0.3) Sh \quad (2)$$

式中：Q——最小 PM_{2.5} 洁净空气量 (m³/h)；

C₀——室外 PM_{2.5} 设计浓度 (μg/m³) (见附录 C)；

C——室内 PM_{2.5} 设计浓度 (μg/m³) (取浓度不大于 35 μg/m³)；

S——房间面积 (m²)；

h——房间净高 (m)。

6.3 机械通风下的空气净化设计

6.3.2 公式 6.3.2 从现行行业标准《公共建筑室内空气质量控制设计标准》JGJ/T 461 的公式 3.7.1 演变而来。当 E 取 0、P 取 0.9、K_v 取 0.1、K₀ 取 0 时，计算新风净化的一次通过效率 η 的计算公式如式 3：

$$\eta = 1 - \frac{K_m C - 0.09 C_0}{K_m C_0} \quad (3)$$

式中：η——新风净化一次通过效率；

K_m——房间机械通风换气次数 (h⁻¹)；

C——室内 PM_{2.5} 设计浓度 (μg/m³) (取浓度不大于 35 μg/m³)；

C₀——室外 PM_{2.5} 设计浓度 (μg/m³)，(见附录 C)。

当计算的 η 大于 1 时，公式计算无效，建议在新风净化装置的基础上，加装回风净化装置/空气净化器。

6.3.3 公式 6.3.3 从现行国家标准《空气净化器》GB/T 18801-2015 的公式 F.1 演变而来。当 E 取 0、K₀ 取 0 时，计算回风净化装置/室内空气净化器的计算公式是由式 4 衍生出来的：

$$Q = \left(\frac{C_0 (1-\eta)}{C} - 1 \right) K_m Sh \quad (4)$$

式中：Q——最小 PM_{2.5} 洁净空气量 (m³/h)；

η——新风净化一次通过效率；

K_m ——房间机械通风换气次数 (h^{-1});

C ——室内 $\text{PM}_{2.5}$ 设计浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (取浓度不大于 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$);

C_0 ——室外 $\text{PM}_{2.5}$ 设计浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), (见附录 C);

S ——房间面积 (m^2);

h ——房间净高 (m)。

qejc.cn, jcvba.cn, 微信qejc21

附录 A 自然通风模拟方法

A.1 基本规定

A.1.3 日平均温度稳定高于 10°C 的时间段是指连续 5 日平均温度高于 10°C 开始至连续 5 日平均温度低于 10°C 截止的时间段。

A.1.6 室内通风模拟方法可分为多区域网络模型法和计算流体力学 (CFD) 方法。采用多区域网络模型法模拟室内自然通风, 常用工具有 CONTAM, COMIS, ENERGYPLUS, DEST 等软件。常用的计算流体力学 (CFD) 软件包括 ANSYS-FLUENT、PHOENICS、CFX 等。

A.1.7 自然通风是一种利用室内外温度差所造成的热压和风力作用所造成的风压共同作用下的通风方式。

A.2 室外风环境模拟

A.2.2 结合参考国内外对计算域的划定, 如表 7。

表 7 国内外计算域设定规则建议

参照标准	建模区域建议	计算域设定建议	
		水平方向	竖直方向
日本建筑师协会 Working Group of the Architectural Institute of Japan (AIJ)	理想模型周边 $1\sim 2H_{\max}$ 范围内应当 建模, 真实街区模型 应当在目标区域各 方向延伸一个街区	入流和侧面方向应距 离计算域边界 $5H_{\max}$, 出流应距边界 $10H_{\max}$	上边界距离目标域内 的建筑顶部至少为 $5H_{\max}$, 面积阻塞率小 于 $BR_A < 3\%$
欧洲科技研究合 作组织 (COST)	对建模区域没有明 确的建议	入流和侧面方向应距 离计算域边界 $5H_{\max}$, 出流应距边界 $15H_{\max}$; 同时水平方向的长度 阻塞率 $BR_L < 17\%$	上边界距离目标域内 的建筑顶部至少为 $5H_{\max}$, 面积阻塞率小 于 $BR_A < 3\%$, 竖直方 向的高度阻塞率 BR_H $< 17\%$
香港空气流通评 估方法可行性研 究	建模半径为 $2H_{\max}$ (以最高建筑 物为中心)。以 H_{\max} 为半径的范围则作 为“评估范围”	该研究采用风洞实验, 对计算域无明确要求。	
《上海市建筑环 境数值模拟技术 规程》DB31/T 922	目标建筑(群)东南西 各 $1H$ 范围建模, 但 模拟对象为住宅小 区或公共建筑群时, H 取区域长度、区域 宽度、建筑最大高度 的最大值:	水平方向的长宽不宜 小于 $7H_{\max}$ (含建筑本 身), 建筑物阻挡率不 宜面积阻塞率小于 $BR_A \leq 5\%$	垂直方向高度不宜小 于 $3H_{\max}$

再现域内建筑均应得到反映 (含规划建筑); 几何模型在再现域范围内应以最大的细节要求再现。目标建筑模型的屋面女儿墙、挡风墙、架空层、外挑构件等应以最大细节要求再现; 其中屋面女儿墙、架空层及架空层立柱部分应按设计图纸如实反映; 再现域范围内建筑几何模型、周边山体、水域、绿化和道路等宜参照卫星图、规划图再现。

A.2.3 利用计算流体力学（CFD）进行室外风环境模拟时，应确定合理的边界条件。

1 来流入口风速分布：

在来流入口边界条件设置过程中，可按式(A-1)的幂函数模型以及式(A-2)、(A-3)、(A-4)的对数函数模型计算剖面风速轮廓线：

$$u = u_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^\alpha \quad (\text{A-1})$$

式中 u ——高度 z 处的风速；

u_0 ——参考高度 z_0 处的风速，参考高度 z_0 一般在高度为 10m 处；

α ——地面粗糙度指数， α 为与建筑所处地形有关，符合表 8。

表 8 风速梯度分布幂指数 (α)

地面类型	适用区域	指数 α
A	近海地区，湖岸，沙漠地区	0.12
B	田野，丘陵及中小城市，大城市郊区	0.16
C	有密集建筑的大城市区	0.22
D	有密集建筑群且房屋较高的城市市区	0.30

$$U(z) = \frac{u_{ABL}^*}{\kappa} \ln\left(\frac{z+z_0}{z_0}\right) \quad (\text{A-2})$$

$$k(z) = a(I_u(z)U(z))^2 \quad (\text{A-3})$$

$$\varepsilon(z) = \left(\frac{u_{ABL}^{*3}}{k(z+z_0)}\right) \quad (\text{A-4})$$

式中 u_{ABL}^* ——大气边界层的摩擦速度；

κ ——冯卡门常数 (0.42)；

z_0 ——空气动力学粗糙度长度，不同地区的 Z_0 取值和地表类型见表 9；

k ——湍动能；

I_u ——是沿流动方向的湍流强度；

a ——是 0.5 至 1.5 之间的参数，这里采用推荐值 1；

ε ——湍动能的耗散率。

表 9 空气动力学粗糙度长度 Z_0 取值

Z_0 (m)	地表景观描述
0.0002	公海或湖泊（不论波浪大小），潮汐平坦，冰雪覆盖的平原，无特色的沙漠，柏油碎石和混凝土。
0.005	没有任何明显障碍物且植被稀少的平坦地表；例如海滩，冰块，沼泽，冰雪覆盖的或耕地。
0.03	较少植被覆盖的区域或至少距离 50 倍障碍物高度的独立障碍物，例如牧场、苔原和机场。

Z_0 (m)	地表景观描述
0.10	较低高度谷物覆盖的耕地或至少距离 20 倍障碍物高度的区域，例如单排树木、牧场、低矮的篱笆。
0.25	最近开发的高度不同高度农作物耕地，以及在约 15 个障碍物高度的相对距离处分散的障碍物（例如密集防护林，葡萄园）。
0.5	人造景观与许多相当大的障碍群（大农场，丛林）以及相隔约 10 个障碍高度的开放空间。还有低矮的大片植被，如灌木林地，果园，茂密的人造林。
1.0	景观完全覆盖的大型障碍物和城市，开放空间与障碍物高度相当；例如成熟的常规森林，同质的城市或村庄。
≥ 2.0	具有多层、高层建筑混合的城市中心和大片茂密的森林。

2 出口边界：

假定出流面上的流动已充分发展，流动已恢复为无建筑物阻碍时的正常流动，可将出口压力设为参考零压或自由出流边界条件。

3 顶部及侧面边界：

顶部和两侧面的空气流动几乎不受建筑物的影响，可设为自由滑移表面或对称边界，或者参考零压边界。

4 壁面边界：

对于建筑壁面，可采用无滑移光滑壁面条件；对于存在地面建筑、植被等未进行详细建模的区域，可采用不同空气动力学粗糙度表示的粗糙单元，而近似其对气流的影响，在 ANSYS-FLUENT 中可用壁面函数对空气动力学粗糙度进行定义，但需要将空气动力学粗糙度转化为壁面粗糙度。

A.2.4 CFD 数值模拟常用计算模型如下：

1 雷诺平均纳维尔-斯托克斯（RANS）模型

雷诺平均纳维尔-斯托克斯方程是流场平均变量的控制方程，其相关的模拟理论被称为湍流模式理论。湍流模式理论假定湍流中的流场变量由一个时均量和一个脉动量组成，以此观点处理纳维尔-斯托克斯方程可以得出雷诺平均纳维尔-斯托克斯方程(简称 RANS 方程)。正是由于将控制方程进行了统计平均，使得其无需计算各尺度的湍流脉动，只需计算出平均运动，从而降低了空间与时间分辨率，减少计算工作量。根据计算中使用的变量数目和方程数目的不同，湍流模式理论中所包含的湍流模型又被分为二方程模型、一方程模型和零方程模型（代数模型）等大类。ANSYS-FLUENT 中使用的三种 $k-\epsilon$ 模型、Spalart-Allmaras 模型、 $k-\omega$ 模型及雷诺应力模型（RSM）等都属于湍流模式理论。雷诺平均模型的主要缺点是它只能提供湍流的平均信息，这对于近代自然环境的预报和工程设计是远远不够的。

2 大涡模型

大涡模型的主要思想为将尺寸比计算网格尺寸大的涡流直接求解纳维尔-斯托克斯方程组，而对于尺寸小于计算网格尺寸但又会对整体的湍流流动有较大影响的涡流流动，通过建立相应的模型来求解。大涡模拟方法对计算机的要求仍然较高，但是相比较于直接数值模拟法（DNS），其对计算机的要求降低很多，在一些内存比较大、计算速度比较高的计算机上已经可以开展部分计算模拟，但工程应用仍然很少。

A.3 室内自然通风计算流体力学（CFD）方法

A.3.1 耦合模拟指室内外同时建模计算，解耦模拟的过程为先模拟室外风环境，再读取室内外交界面上的模拟结果作为模拟室内通风的边界条件。耦合模拟可以同时考虑室内外流动传热过程，但需对室内区域的网格进行局部加密，计算量较大；解耦模拟网格设置更加简便，但室外风环境对室内的影响需通过交界面上的边界条件考虑，存在一定的误差。用户可根据计算资源和精度要求等选择上述模拟方法。

A.3.2 当校核自然通风的最小通风量时，应选择风压差最不利的房间进行自然通风效果模拟，模拟时应设置房间外窗和内门全部开启。若是解耦模拟，来流方向侧的外窗设为速度入口，其它方向的外窗设为充分发展的自由出口边界。若是耦合模拟，则无需设置门窗的温度和流动边界条件。外窗与内门的通风设置应为有效开启部分，宜适当考虑门窗类型，如平开窗、上悬窗、下悬窗等。

A.3.3 一般几何建模与计算网格划分软件有 ICEM、GAMBIT 等。室内 CFD 模拟一般选择稳态 RANS 模型，有条件可使用非稳态 RANS 模型或大涡模拟。

A.3.5 若热压作为自然通风的驱动力不可忽略时，除风压外还应将热压作用考虑在内，计算风压和热压共同作用下的通风量。模拟热压的作用时应开启温度场计算，按设计工况设置室外空气温度和室内热源。室内热源一般应考虑室内人员、灯具以及电器设备的散热，按其在室内的实际位置布置热源，并考虑其几何形状。若使用了设备的总发热热流密度，或人员除蒸发散热之外的总热密度作为热边界条件，应在模拟中开启辐射计算模型。

A.4 室内通风多区域网络模型法

A.4.1 多区网络模型假定每个房间内部各个参数均匀分布，设定为一个节点，根据房间的体积及门窗开口特性，建立相邻房间之间及房间和室外的质量和压力平衡方程，从而得到空气流量和污染物浓度的变化特征。

外门窗与室外环境间的关联可通过两种途径实现：1.室外风环境模拟时，假定外门窗关闭情况下，可获得这些门窗所在位置的压强，在模型中设置或读入压强数据，软件根据房间之间的压强和质量平衡方程求解出流量等参数；2.输入或读取所需工况下的风速风向，根据房间朝向和风向间的相对关系，利用风压系数法求得外门窗的压强进行上述模拟。

多区网络模型法一般同时考虑热压和风压的共同作用，按实际运行工况和时间表输入室内人员、灯具和电器设备的发热功率，但不考虑内热源在房间的具体位置。

在通风量模拟的基础上，可设置或读取室内房间的源散发强度数据及室外污染物背景浓度数据，并设置门窗对于污染物浓度的改变效果（如对颗粒物的过滤作用），从而模拟获得不同房间的污染物浓度。

典型工况模拟是一种稳态工况模拟，一般在分析当地典型气象数据的基础上，得到对应典型气象数据下的换气次数和污染物浓度等，来评估该工况下的自然通风效果。全年工况逐时模拟是多区网络模型法的一大优势。多区网络模型法较 CFD 模拟节约大量的计算资源和运算时间，使得全年 8760 小时逐时模拟在一般工程应用中成为可能。进行非稳态的逐时模拟，一般要求软件可读入逐时气象参数，设定建筑运行时间表和开关门窗时间表，来评估逐时通风量和污染物浓度等参数，用来分析全年运行时，可获得自然通风换气次数和室内污染物浓度达标/不达标的比例。

A.4.2 多区域网络模型法进行模拟的基本流程主要包括前处理（对应流程 1、2）、求解计算

(对应流程 3) 和后处理 (对应流程 4) 三个步骤。由于多区网络模型把整个建筑作为一个系统, 其中每个房间为一个节点, 各个节点之间通过各种空气流通过程相连, 通过建模过程主要是确立各房间的尺寸及联通关系, 用户需要输入的参数主要包括: 门窗的特性 (开口面积, 流量系数, 流量指数); 热源参数 (人员、灯具、电器发热功率); 室外空气温度; 室外压力或风速、风向、建筑立面压力系数等, 输入参数同时对模拟时间段、时间步长、输出格式等根据用户需求进行设置, 软件根据这些设置运行模拟。多区模型获得的结果是每个房间节点/开口上的流量、污染物浓度数据。用户可根据这些数据, 利用软件或外部工具进行必要的后处理, 获得必要的设计参数, 或对建筑的自然通风效果进行评估。

A.4.3 多区域网络模型法本质上是建立和求解房间节点之间和室外环境的压力和质量平衡方程, 因此不论是建筑模型还是室内外模拟参数与边界条件都应该贴近于实际, 提高输入模型参数和边界条件的准确性, 是确保模拟结果准确性的基础。

A.4.4 中国近年空气污染的主要污染物是 PM_{2.5}, 各主要城市的逐时 PM_{2.5} 浓度数据可作为多区网络模拟的重要输入数据; 同时, 住宅建筑室内人员活动, 主要是中式烹调带来的室内颗粒物也不容忽视, 门窗对室外颗粒物浓度通常具有一定的过滤作用, 因此可通过设置室内源及建立室内外联系, 通过模拟计算获得各房间的 PM_{2.5} 浓度。住宅建筑中 CO₂ 主要由人员呼吸产生, 其在通风中一般不认为是污染物, 但作为通风换气量的指标, 也具有一定的指标价值, 因此可根据室内人员数量及居住时间设置时间表, 来模拟获得各房间的 CO₂ 浓度。典型居住建筑的厨房 PM_{2.5} 源强可参考表 10。PM_{2.5} 室内沉降率可取为 0.09/h, 室外 PM_{2.5} 进入室内的浓度穿透系数可取为 0.8, 或者根据实际情况取值。

表 10 厨房 PM_{2.5} 源强度

源项	时长 (min)	源强 (mg/min)	频率
炒	4.67	5.47	2 次/餐
煮	24.33	0.12	1 次/餐

CO₂ 源强可参考以下数据进行设置: 人员的 CO₂ 源强度取决于人员活动量 (W), 成人 CO₂ 源强度产生速率为 $3.82 \times 10^{-8} \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{W})$, 在获得逐时换气次数和污染物浓度的基础上, 可根据建筑运行时间表, 统计各时段的不满足率 (统计数据时间均为人员处于室内时间), 评价住宅自然通风的效果。

门窗开口流量系数是多区网络模型模拟通风量的关键参数, 随门窗孔口特性和开启程度不同而不同, 一般为介于 0~1 之间的值, 式 A-5 和 A-6 给出推拉窗和平开窗的开口流量系数的计算方法, 供参考:

$$\text{推拉窗: } C_D = 0.710\lambda - 0.002 \quad (\text{A-5})$$

$$\text{平开窗: } C_D = 0.005\theta + 0.255 \quad (\text{A-6})$$

式中 λ ——推拉窗开度;

θ ——平开窗开度。

A.4.5 通过模拟计算典型气象条件下的通风换气次数及污染物浓度, 可以用来评价住宅自然通风设计, 判定在过渡季节及主导风向风速条件下, 各房间能否满足通风换气的标准要求。

A.4.6 读入逐时气象参数, 执行全年逐时模拟是多区网络模型方法的一大优势。全年逐时模拟可以获得更加确切的自然通风评价结果, 因此在条件允许的情况下, 建议采用。

附录 B 计算时间段的气象参数

B.0.1 附录 B 数据根据附录 A.1.3 计算得到。

qejc.cn, jcvba.cn, 微信qejc21

附录 C 室外 PM2.5 设计浓度

C.0.1 附录 C 数据来自现行行业标准《公共建筑室内空气质量控制设计标准》JGJ/T 461。

qejc.cn, jcvba.cn, 微信qejc21