



中华人民共和国国家标准

GB/T 31593.8—2015

消防安全工程 第 8 部分：开口气流的计算要求

Fire safety engineering—
Part 8: Requirements governing algebraic equations for vent flow

(ISO 16737:2006, Fire safety engineering—
Requirements governing algebraic equations—Vent flows, MOD)

2015-06-02 发布

2015-08-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 物理现象的描述	2
5 计算书	2
6 计算公式的局限性	3
7 计算公式的输入参数	3
8 计算公式的适用范围	3
附录 A (资料性附录) 本部分与 ISO 16737:2006 的章条编号对照情况	4
附录 B (资料性附录) 开口气流计算概述	5
附录 C (资料性附录) 满足附录 B 要求的开口气流计算公式	8
参考文献	20

前 言

GB/T 31593《消防安全工程》分为以下九个部分：

- 第 1 部分：计算方法的评估、验证和确认；
- 第 2 部分：所需数据类型与信息；
- 第 3 部分：火灾风险评估指南；
- 第 4 部分：设定火灾场景和设定火灾的选择；
- 第 5 部分：火羽流的计算要求；
- 第 6 部分：烟气层的计算要求；
- 第 7 部分：顶棚射流的计算要求；
- 第 8 部分：开口气流的计算要求；
- 第 9 部分：人员疏散评估指南。

本部分为 GB/T 31593 的第 8 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用重新起草法修改采用 ISO 16737:2006《消防安全工程 计算公式控制要求 开口气流》。

本部分与 ISO 16737:2006 相比在结构上有较多调整，附录 A 中列出了本部分与 ISO 16737:2006 的章条编号对照一览表。

本部分与 ISO 16737:2006 的技术性差异及其原因如下：

——关于规范性引用文件，本部分做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中，具体调整如下：

- 用 GB/T 5907(所有部分)代替了 ISO 13943(见第 3 章)；
- 用修改采用国际标准的 GB/T 31593.1 代替了 ISO/TR 13387-3(见 5.1、7.3)；

——将国际标准中的 1.1~1.4 改为列项(见第 1 章)；

——将国际标准的附录 A、附录 B 分别编排为本部分的附录 B、附录 C；

——将国际标准附录 A 中的术语和定义 A.1.1~A.1.13 调整到本部分的第 3 章，并删除了 A.1.3 (见 3.1~3.12)。

为了方便使用和符合我国相关标准编写要求，本部分还做了下列编辑性修改：

- 删除了国际标准的前言，重新起草了前言；
- 修改了国际标准的引言，将其作为本部分的引言；
- 将国际标准的“本国际标准”一词改为“本部分”；
- 将国际标准中某些标点符号修改为符合汉语习惯的标点符号；
- 将国际标准附录 A 中符号和缩略语的编排格式进行了调整；
- 将国际标准附录 B 中附图的顺序进行了调整；
- 增加了附录 A(资料性附录)，给出了本部分与国际标准的章条编号对照情况。

本部分由中华人民共和国公安部提出。

本部分由全国消防标准化技术委员会建筑消防安全工程分技术委员会(SAC/TC 113/SC 13)归口。

本部分起草单位：公安部天津消防研究所、公安部四川消防研究所、中国科学技术大学、中国建筑科学研究院。

本部分主要起草人：毕少颖、姚松经、韩伟平、智会强、阚强、张玉贤、陆守香、胡忠日、张向阳、邓松华、郑巍、郭歌。

引 言

本部分所讨论的计算公式适用于设定火灾场景的量化分析,专业人员无须进行繁杂的数值计算,就能够依据这些公式快速判断初步消防安全设计是否需要调整以及如何调整,以满足预期的性能指标要求。这些公式在以下方面已经得到应用:

- 测定火羽流传热,包括对流和辐射;
- 预测顶棚射流特性以调节探测器的响应时间;
- 计算通风口的排烟能力;
- 分析分隔空间内的蓄烟和轰燃等火灾危害。

针对不同类型的开口气流,本部分的附录 B 和附录 C 分别给出了符合要求的计算公式示例。附录 B 给出了开口气流的一般信息和守恒关系,附录 C 给出了计算开口气流特性的具体公式及其计算示例。

GB/T 31593.1 规定了运用数学公式进行火灾动力学计算的通用要求,本部分是这些通用要求的具体实践。如果采用数学模型计算火灾发展过程及其产生的后果,本部分所讨论的计算公式可用于对其结论进行校验。

本部分适合从事消防安全工程的专业人员使用,包括消防设计人员、消防救援人员、消防标准规范制定者、保险商、消防安全管理人员,标准使用者需要充分理解本部分给出的计算方法中相关参数的含义和应用条件。

消防安全工程

第8部分:开口气流的计算要求

1 范围

GB/T 31593 的本部分规定了开口气流特征值计算公式的应用方法要求,提供了与开口气流计算公式应用相关的下列通用要求:

- a) 物理现象的描述;
- b) 计算书;
- c) 计算公式的局限性;
- d) 计算公式的输入参数;
- e) 计算公式的适用范围。

本部分适用于建设工程消防性能化设计和评估中开口气流的计算。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 5907(所有部分) 消防词汇

GB/T 31593.1 消防安全工程 第1部分:计算方法的评估、验证和确认(GB/T 31593.1—2015, ISO 16730:2008,MOD)

GB/T 31593.6 消防安全工程 第6部分:烟气层的计算要求(GB/T 31593.6—2015, ISO 16735:2006,MOD)

3 术语和定义

GB/T 5907 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

边界面 boundary

确定室内空间范围的表面。

3.2

基准 datum

评估静态压力分布时用作参考高度的高度。

3.3

流量系数 flow coefficient

表示通过开口(3.11)的实际流量和理论流量之间差异的经验系数。

3.4

静态压 hydrostatic pressure

与高度相关的气压梯度。

3.5

界面位置 interface position

烟气层高度

烟气层(3.9)相对于参考高度的高度。

注：参考高度通常为室内空间的最低边界面(3.1)高度。

3.6

中性面高度 neutral plane height

室内空间内部与外部压力相等处的高度。

3.7

压差 pressure difference

室内空间内外特定高度处的压力差。

3.8

烟气 smoke

烟

物质高温分解或燃烧时产生的固体和液体微粒、气体,连同夹带和混入的部分空气形成的气流。

3.9

烟气层 smoke layer

热上层 hot upper layer

热气层 hot-gas layer

由火灾引发,在室内空间的最高边界面(3.1)下面形成或聚集,相对均匀的一定量的烟气(3.8)。

3.10

烟气层界面 smoke-layer interface

烟气层(3.9)与其下面无烟空气层之间的水平界面。

3.11

开口 vent

在室内空间边界面(3.1)上,供空气和烟气(3.8)通过自然或机械方式流通的孔洞。

3.12

开口气流 vent flow

通过室内空间边界面(3.1)上开口(3.11)的烟气(3.8)或空气流。

4 物理现象的描述

4.1 在有开口的封闭空间中,火源造成的浮力流从开口中穿过是一种复杂的热物理现象,它的状态可能高瞬变,也可能接近稳态。开口气流可能涉及有焰燃烧的区域及未发生燃烧的区域,除了受浮力影响外,还会受到自然通风或机械通风的影响。

4.2 应用图表描述分析过程中用到的常见气流边界条件和其他火灾场景元素。

4.3 应明确识别需要计算的开口气流特性参数及其应用范围,包括由相关计算量推导出来的特征参数。

4.4 应明确识别具体计算公式适用的火灾场景元素(如两层的环境、均匀混和物等)。

4.5 由于不同的计算公式描述不同的开口气流特征(见 4.3)或适用于不同的火灾场景(见 4.4),当有多种方法可用于计算同一个给定量的值时,应明示其结果与选用的计算方法无关。

5 计算书

5.1 计算书的一般要求见 GB/T 31593.1。

- 5.2 计算步骤应由一系列的计算公式表述。
- 5.3 每个计算公式应由独立的条款表述,其内容应包含公式输出的详细描述,以及该公式的解释性说明和限定条件。
- 5.4 应优先使用量关系式,应明确定义公式中的各变量及其适当的 SI 单位。
- 5.5 应酌情通过引用公认的手册、科技文献或通过推导等方法给出计算公式的科学依据。
- 5.6 应给出计算公式的应用实例,演示如何使用符合第 4 章要求的输入参数和具体计算过程。

6 计算公式的局限性

- 6.1 应给出直接应用计算公式计算输出参数的定量限制条件,并符合第 4 章所描述场景的要求。
- 6.2 应给出在更通用的计算方法中引用计算公式的注意事项,包括检查与计算方法中用到的其他关系式的一致性以及所采用的计算方案。例如,在由于某一烟气层流动而造成的开口气流区域内,区域模型计算中,使用开口气流计算公式得到的结果可能与使用烟气层计算公式得到的结果不一致,从而导致错误。

7 计算公式的输入参数

- 7.1 应明确识别计算公式中的输入参数,如热释放速率或几何尺寸。
- 7.2 应识别或明确提供输入参数的数据来源。
- 7.3 应按 GB/T 31593.1 的规定列出输入参数的有效范围。

8 计算公式的适用范围

- 8.1 应通过一组或多组测量数据确定公式的适用范围。这些数据应通过文件化的程序或标准(参见 GB/T 6379)进行评估并达到一定的质量水平(如重复性、再现性)。
- 8.2 应按照计算方法的评估、确认和验证原则,通过与 8.1 测量数据的比对确定计算公式的适用范围。若计算公式应用于第 4 章给出的具体场景,应明确识别其潜在误差来源(如假设室内空间有一个或多个均匀气层)。

附 录 A
(资料性附录)

本部分与 ISO 16737:2006 的章条编号对照情况

表 A.1 给出了本部分与 ISO 16737:2006 的章条编号对照情况。

表 A.1 本部分与 ISO 16737:2006 的章条编号对照情况

本部分章条编号	对应的 ISO 16737:2006 的章条编号
1	1.1~1.4
3.1~3.12	A.1.1、A.1.2、A.1.4~A.1.13
附录 A	—
附录 B	附录 A
附录 C	附录 B
注：表中的章条以外的本部分其他章条编号与 ISO 16737:2006 其他章条编号均相同且内容相对应。	

附录 B
(资料性附录)
开口气流计算概述

B.1 符号

本附录所用的符号见表 B.1。

表 B.1 本附录所用的符号

符号	说明	单位
A_{vent}	开口面积	m^2
B_{vent}	开口宽度	m
C_D	流量系数	
g	重力加速度	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
H_1	开口下沿超过参考高度的高度	m
H_u	开口上沿超过参考高度的高度	m
$\max(x_1, x_2)$	x_1 和 x_2 中取大值	
\dot{m}_{ij}	烟气或空气由相邻封闭空间 i 到 j 的质量流量	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
\dot{m}_{ji}	烟气或空气由相邻封闭空间 j 到 i 的质量流量	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
$p_i(z)$	封闭空间 i 在参考高度以上高度 z 处的压力	Pa
$p_j(z)$	封闭空间 j 在参考高度以上高度 z 处的压力	Pa
v	流速	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
ρ_i	封闭空间 i 内的烟气(或空气)密度	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
ρ_j	封闭空间 j 内的烟气(或空气)密度	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
$\Delta p_{ij}(z)$	封闭空间 i 和 j 在参考高度以上高度 z 处的压差, 即 $p_i(z) - p_j(z)$	Pa
z	高出参考高度的高度	m

B.2 公式组所描述的物理现象**B.2.1 计算方法概述**

由于封闭空间及其相邻区域存在温差, 导致两者之间出现压差, 从而造成有气流从封闭空间的开口通过, 本计算方法可以对这种气流进行计算。压差也可能是因为火灾气体的扩散、机械通风、自然通风或其他外力作用于封闭空间的边界面和开口造成的, 但本部分不包括这些情况。在给定开口两侧的压差、封闭空间及其相邻空间的温度时, 可应用孔板流量理论来计算质量流量。

封闭空间的烟气层界面高度、温度及其他特性都可以依照烟气层的能量守恒定律和质量守恒定律来计算。开口气流可以依照通过边界的气流的能量守恒和质量守恒来计算。烟气层的特性参数计算见 GB/T 31593.6。

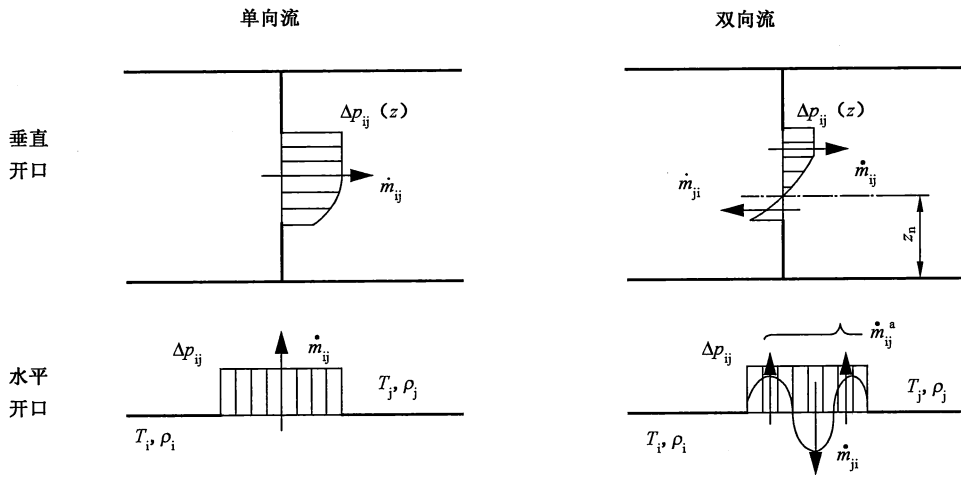
B.2.2 所需计算的开口气流特征值

由公式可计算质量流量、焓及化学产物的流量。

B.3 计算书

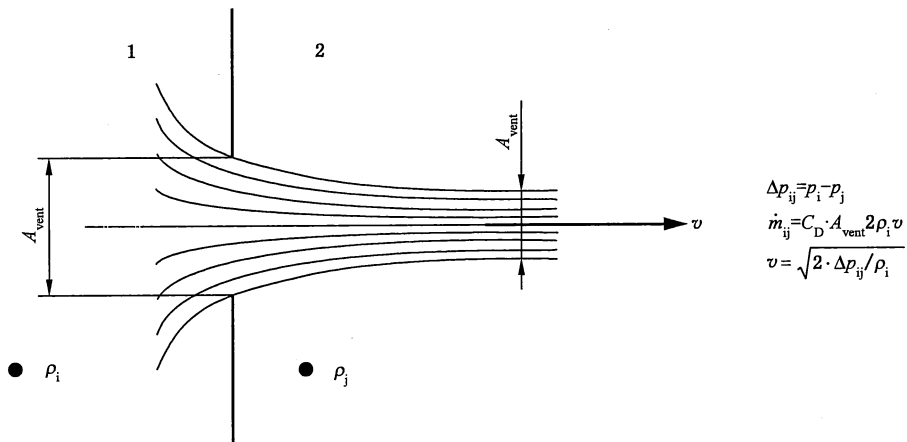
B.3.1 概述

在应用伯努利方程的基础上,可根据孔板流量理论计算通过开口的流量。开口气流的计算方法是在图 B.1 的条件下建立的。对垂直和水平的开口,气流都可以是单一方向或两个方向。对水平开口,只在压差很小的特殊情况下才会产生双向气流。本部分提供的公式适用于通过垂直开口的双向气流和通过水平开口的单向气流。



^a 流量不稳定,目前尚无适用的计算公式。

图 B.1 开口气流计算条件



说明:

- 1——封闭空间 i;
- 2——封闭空间 j.

图 B.2 等温孔板气流的示意图和流量系数

B.3.2 孔板流量——开口部分压力均匀分布

如果压差是由于自然通风或机械通风引起的,则通过开口的流量 \dot{m}_{ij} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) 用式(B.1)计算:

$$\dot{m}_{ij} = C_D A_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_i \Delta p_{ij}} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

其中 $\Delta p_{ij} = p_i - p_j$, 假设通过开口的压差在整个开口区域内是均匀的,如图 B.2 所示。

B.3.3 静压差

封闭空间 i 内垂直温度曲线 $T_i(z)$ 如图 B.3 所示时,封闭空间最低边界以上的高度 z 处的密度 ρ_i ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) 用式(B.2)计算:

$$\rho_i(z) = \frac{\rho_0 T_0}{T_i(z)} \approx \frac{353}{T_i(z)} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

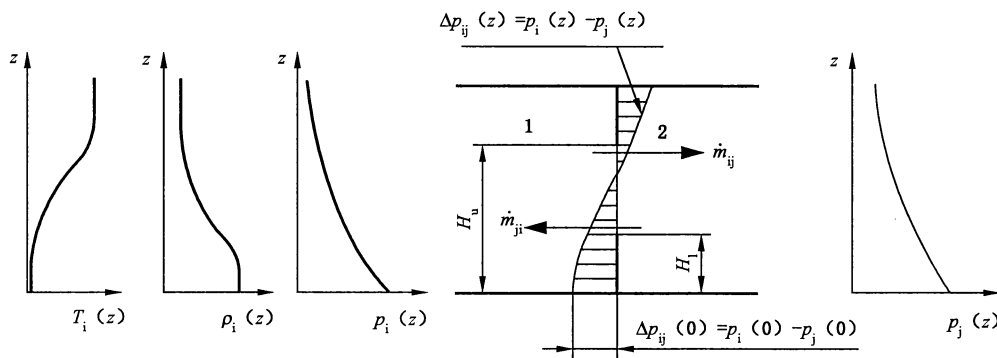
注: 推导式(B.2)时,假设烟气是与空气性质相同的理想气体。另外,在大多数应用情况下,压力的绝对值接近标准大气压。

封闭空间 i 内的静压 $p_i(z)$ (Pa) 可利用式(B.3)由高度上的密度积分求得:

$$p_i(z) = p_i(0) - \int_0^z \rho_i(\zeta) g d\zeta \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

封闭空间 i 和 j 之间的静压差 $\Delta p_{ij}(z)$ (Pa) 用式(B.4)计算:

$$\Delta p_{ij}(z) = p_i(z) - p_j(z) = [p_i(0) - p_j(0)] - \int_0^z [\rho_i(\zeta) - \rho_j(\zeta)] g d\zeta \quad \dots\dots\dots (B.4)$$



说明:
1——封闭空间 i;
2——封闭空间 j。

图 B.3 两个相邻封闭空间的静压差

B.3.4 一般流量公式——气流通过有压差的开口

通过开口的压差在开口区域内不均匀时,可运用孔板流量理论来计算开口各部分通过的气流,如图 B.3 所示。假设用式(B.4)计算静压差,则封闭空间之间的质量流量 \dot{m}_{ij} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) 和 \dot{m}_{ji} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) 分别用式(B.5)和(B.6)计算:

$$\dot{m}_{ij} = C_D B_{\text{vent}} \int_{H_1}^{H_u} \sqrt{2\rho_i(z) \max[\Delta p_{ij}(z), 0]} dz \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

$$\dot{m}_{ji} = C_D B_{\text{vent}} \int_{H_1}^{H_u} \sqrt{2\rho_j(z) \max[-\Delta p_{ij}(z), 0]} dz \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

附录 C

(资料性附录)

满足附录 B 要求的开口气流计算公式

C.1 符号

在本附录中,除了使用表 B.1 中的符号外,还要用到表 C.1 的符号。

表 C.1 本附录追加使用的符号

符号	说明	单位
$\text{abs}(x)$	x 的绝对值	
H_{vent}	开口上沿超过参考高度的高度,与 H_0 意义相同,但在方法上有所不同	m
$\min(x_1, x_2)$	x_1 和 x_2 中取小值	
T_i	封闭空间 i 的温度	K
T_j	封闭空间 j 的温度	K
$T_{a,i}$	封闭空间 i 的空气层温度	K
$T_{a,j}$	封闭空间 j 的空气层温度	K
$T_{s,i}$	封闭空间 i 的烟气层温度	K
$T_{s,j}$	封闭空间 j 的烟气层温度	K
z_n	中性面的高度	m
$\rho_{a,i}$	封闭空间 i 内的空气层的密度	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
$\rho_{a,j}$	封闭空间 j 内的空气层的密度	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
$\rho_{s,i}$	封闭空间 i 内的烟气层的密度	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
$\rho_{s,j}$	封闭空间 j 内的烟气层的密度	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

C.2 公式组所描述的物理现象

C.2.1 概述

这些计算方法可以计算通过开口的烟气的质量流量。其他计算方法如果得到证实并确认了应用的条件范围,也可以使用。

C.2.2 使用公式的火灾场景元素

这些公式适用于由火灾引起的浮力造成的开口气流,不考虑动态压力作用,如风的影响。计算开口

气流条件的方法可按照两种温度分布建立：一种是均匀温度曲线，一种是两层温度曲线。

C.2.3 要计算的开口的特性

公式给出了通过开口的烟气和空气的质量流量。

C.2.4 公式提供的开口气流条件

公式给出了在特定条件下通过垂直和水平开口的烟气的流量。

C.2.5 公式的自身一致性

公式具有自身一致性。

C.2.6 公式应用的标准及其他文件

无

C.3 计算书

C.3.1 通过两个温度相等的均衡封闭空间之间的开口的流量

如图 C.1 所示，由于火灾引起开口两侧产生压差 Δp_{ij} 时，流量 \dot{m}_{ij} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) 用式 (C.1) 和式 (C.2) 计算：

$$\dot{m}_{ij} = C_D A_{\text{vent}} \sqrt{2\rho \Delta p_{ij}} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

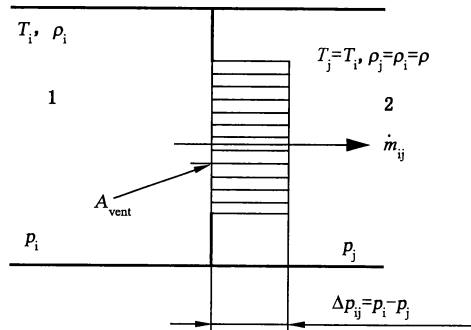
$$\Delta p_{ij} = p_i - p_j \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

焓和化学物质流量用式 (C.3) 和式 (C.4) 通过质量流量计算：

$$\dot{E}_{ij} = c_p (T_i - T_0) \dot{m}_{ij} \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

$$\dot{C}_{ij} = Y_i \dot{m}_{ij} \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

注：焓和化学物质流量在后面的条款中不再重复，但式 (C.3) 和式 (C.4) 适用于本附录所有情况。



说明：

- 1——封闭空间 i；
- 2——封闭空间 j。

图 C.1 通过垂直开口的压差和相应的流向 ($\rho = \rho_i = \rho_j$)

C.3.2 通过两个温度不同的均衡封闭空间之间的垂直开口的流量———般情况

C.3.2.1 概述

如图 C.2 所示,将流动方式按照与中性面的位置关系进行分类。当中性面低于开口下沿时,气流为从封闭空间 i 到 j 的单向流。当中性面位于开口高度范围内时,气流为双向流。当中性面高于开口上沿时,气流为从封闭空间 j 到 i 的单向流(见参考文献[2]、[3])。中性面高度 z_n 用式(C.5)计算。流量 \dot{m}_{ij} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) 和 \dot{m}_{ji} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) 用式(C.8)和式(C.9)计算。计算结果在图 C.3 中以无量纲形式给出。

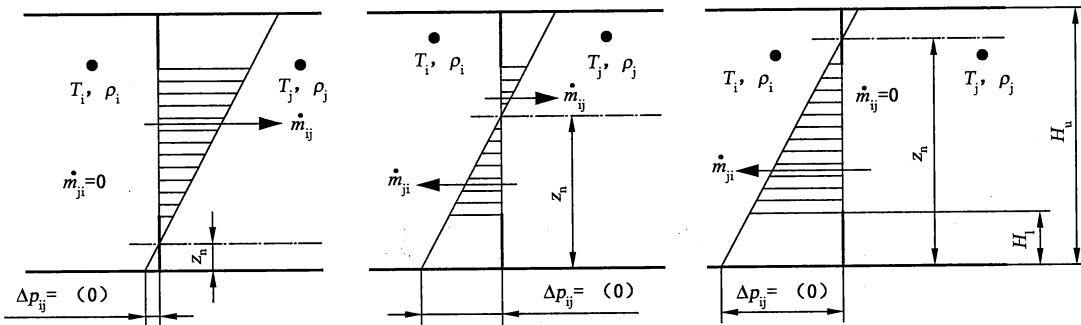
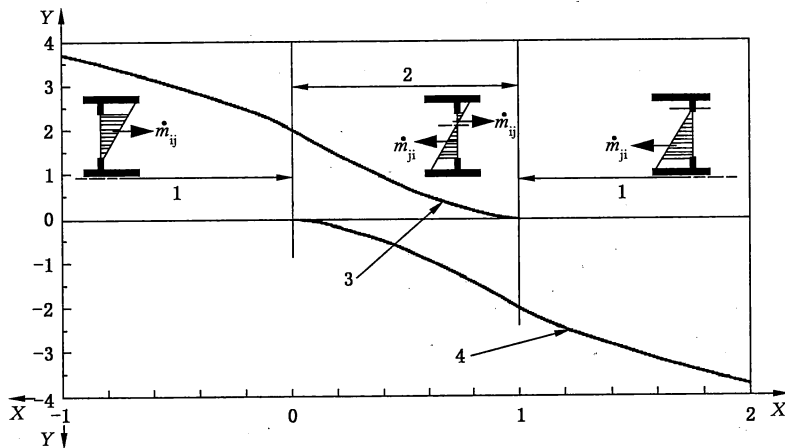


图 C.2 通过垂直开口的压差和相应的流向 ($\rho_i < \rho_j$)



说明:

X —— 无量纲中性面高度 $(z_n - H_l) / (H_u - H_l)$;

Y —— 无量纲质量流量 $\dot{m} / [\rho(\rho_j - \rho_i)]^{1/2} B_{\text{vent}} (H_u - H_l)^{3/2}$;

1 —— 单向流;

2 —— 双向流;

3 —— $\dot{m}_{ij} / [\rho_i(\rho_j - \rho_i)]^{1/2} \cdot B_{\text{vent}} \cdot (H_u - H_l)^{3/2}$;

4 —— $-\dot{m}_{ji} / [\rho_i(\rho_j - \rho_i)]^{1/2} \cdot B_{\text{vent}} \cdot (H_u - H_l)^{3/2}$ 。

注 1: 负值对应应由封闭空间 j 到 i 的气流;

注 2: 无下标的符号 ρ 表示上游封闭空间的密度 (ρ_i 或 ρ_j)。

图 C.3 $T_i > T_j$ 时通过垂直开口的质量流量图

C.3.2.2 中性面的位置

中性面的位置 z_n (m) 用式(C.5)、式(C.6)、式(C.7)计算:

$$z_n = \frac{\Delta p_{ij}(0)}{(\rho_i - \rho_j)g} \dots\dots\dots (C.5)$$

$$\rho_i = \frac{353}{T_i} \dots\dots\dots (C.6)$$

$$\rho_j = \frac{353}{T_j} \dots\dots\dots (C.7)$$

C.3.2.3 质量流量

$T_i > T_j (\rho_i < \rho_j)$ 时用式(C.8)和式(C.9)计算质量流量 $\dot{m}_{ij}(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$ 和 $\dot{m}_{ji}(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$:

$$\dot{m}_{ij} = \begin{cases} \frac{2}{3} C_D B_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_i(\rho_j - \rho_i)g} [(H_u - z_n)^{3/2} - (H_l - z_n)^{3/2}] & (z_n < H_l) \\ \frac{2}{3} C_D B_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_i(\rho_j - \rho_i)g} (H_u - z_n)^{3/2} & (H_l \leq z_n < H_u) \dots\dots\dots (C.8) \\ 0 & (H_u \leq z_n) \end{cases}$$

$$\dot{m}_{ji} = \begin{cases} 0 & (z_n < H_l) \\ \frac{2}{3} C_D B_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_j(\rho_i - \rho_j)g} (z_n - H_l)^{3/2} & (H_l \leq z_n < H_u) \dots\dots\dots (C.9) \\ \frac{2}{3} C_D B_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_j(\rho_i - \rho_j)g} [(z_n - H_l)^{3/2} - (z_n - H_u)^{3/2}] & (H_u \leq z_n) \end{cases}$$

$T_i < T_j (\rho_i > \rho_j)$ 时用式(C.10)和式(C.11)计算质量流量 $\dot{m}_{ij}(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$ 和 $\dot{m}_{ji}(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$:

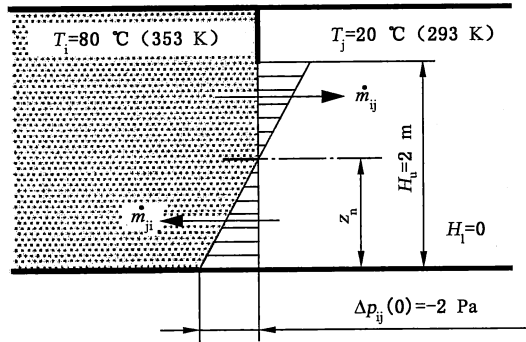
$$\dot{m}_{ij} = \begin{cases} 0 & (z_n < H_l) \\ \frac{2}{3} C_D B_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_i(\rho_i - \rho_j)g} (z_n - H_l)^{3/2} & (H_l \leq z_n < H_u) \dots\dots\dots (C.10) \\ \frac{2}{3} C_D B_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_i(\rho_i - \rho_j)g} [(z_n - H_l)^{3/2} - (z_n - H_u)^{3/2}] & (H_u \leq z_n) \end{cases}$$

$$\dot{m}_{ji} = \begin{cases} \frac{2}{3} C_D B_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_j(\rho_i - \rho_j)g} [(H_u - z_n)^{3/2} - (H_l - z_n)^{3/2}] & (z_n < H_l) \\ \frac{2}{3} C_D B_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_j(\rho_i - \rho_j)g} (H_u - z_n)^{3/2} & (H_l \leq z_n < H_u) \dots\dots\dots (C.11) \\ 0 & (H_u \leq z_n) \end{cases}$$

C.3.2.4 计算示例

C.3.2.4.1 计算条件

计算通过 0.9 m 宽、2.0 m 高的门的流量。假定 T_i 为 80 °C (353 K)、 T_j 为 20 °C (293 K), 在较低的边界面上, 封闭空间 j 内的压力比封闭空间 i 内的压力高 2 Pa [$\Delta p_{ij}(0) = -2 \text{ Pa}$], 如图 C.4 所示。



条件: $T_i=80\text{ °C}$ (353 K), $T_j=20\text{ °C}$ (293 K), $B_{\text{vent}}=0.9\text{ m}$, $H_u=2.0\text{ m}$, $H_i=0.0\text{ m}$, $\Delta p_{ij}(0)=-2.0\text{ Pa}$

图 C.4 给定条件下的质量流量

C.3.2.4.2 两封闭空间的烟气密度

用式(C.6)和式(C.7)计算两封闭空间的烟气密度 ρ_i ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) 和 ρ_j ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), 见式(C.12)、式(C.13):

$$\rho_i = \frac{353}{T_i} = \frac{353}{353} = 1.0 \quad \dots\dots\dots(\text{C.12})$$

$$\rho_j = \frac{353}{T_j} = \frac{353}{293} = 1.205 \quad \dots\dots\dots(\text{C.13})$$

C.3.2.4.3 中性面高度

用式(C.5)计算中性面高度 z_n (m), 见式(C.14):

$$z_n = \frac{\Delta p_{ij}(0)}{(\rho_i - \rho_j)g} = \frac{-2}{(1.0 - 1.205) \times 9.8} = 1.00 \quad \dots\dots\dots(\text{C.14})$$

C.3.2.4.4 质量流量

因为中性面高度 z_n 比门的高度 H_u 低, 故为双向流。用式(C.8)和式(C.9)计算流入和流出封闭空间 j 的质量流量 \dot{m}_{ij} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) 和 \dot{m}_{ji} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$), 见式(C.15)、式(C.16):

$$\begin{aligned} \dot{m}_{ij} &= \frac{2}{3} C_D B_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_i(\rho_j - \rho_i)} (H_u - z_n)^{3/2} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.9 \sqrt{2 \times 1.0 \times (1.205 - 1.0) \times 9.8} \times (2.0 - 1.00)^{3/2} \\ &= 0.841 \quad \dots\dots\dots(\text{C.15}) \end{aligned}$$

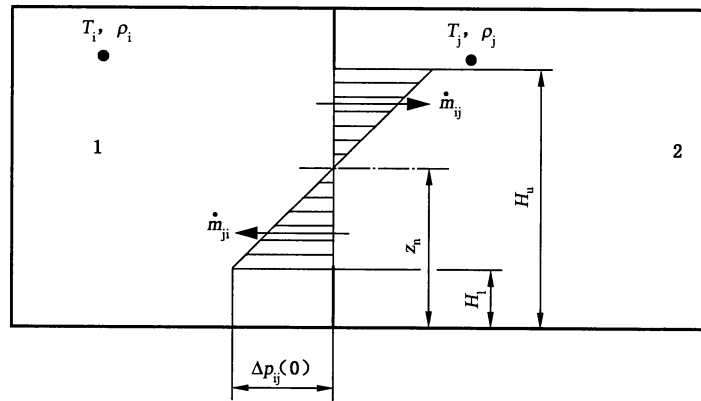
$$\begin{aligned} \dot{m}_{ji} &= \frac{2}{3} C_D B_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_j(\rho_j - \rho_i)g} (z_n - H_i)^{3/2} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.9 \sqrt{2 \times 1.205 \times (1.205 - 1.00) \times 9.8} \times (1.00 - 0.0)^{3/2} \\ &= 0.924 \quad \dots\dots\dots(\text{C.16}) \end{aligned}$$

在一般情况下, 可由图 C.3 给出图解。

C.3.3 通过两个温度不同的均衡封闭空间之间的垂直开口的流量——一个封闭空间有单一开口的特殊情况

C.3.3.1 概述

如果封闭空间只有一个开口,如图 C.5 所示,流出封闭空间的质量流量 \dot{m}_{ij} 等于流入的质量流量 \dot{m}_{ji} 。作为 C.3.2 的特殊情况,中性面高度 z_n 可以满足封闭空间 i 的质量平衡。



说明:

- 1——封闭空间 i;
- 2——封闭空间 j。

图 C.5 $T_1 > T_2$ ($\rho_1 < \rho_2$) 时通过单个垂直开口的压差和相应的流量

C.3.3.2 中性面的位置

中性面的高度 z_n (m) 用式(C.17)计算:

$$z_n = \frac{H_u - H_1}{1 + \left(\frac{\rho_j}{\rho_i}\right)^{1/3}} + H_1 \quad \dots\dots\dots (C.17)$$

C.3.3.3 质量流量

质量流量 \dot{m}_{ij} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) 和 \dot{m}_{ji} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) 用式(C.18)和式(C.19)计算:

$$\dot{m}_{ij} = \frac{2}{3} C_D \sqrt{2\rho_i(\rho_j - \rho_i)g} \left[\frac{(\rho_j/\rho_i)^{1/3}}{1 + (\rho_j/\rho_i)^{1/3}} \right]^{3/2} B_{\text{vent}} (H_u - H_1)^{3/2} \quad \dots\dots\dots (C.18)$$

$$\dot{m}_{ji} = \frac{2}{3} C_D \sqrt{2\rho_i(\rho_j - \rho_i)g} \left[\frac{1}{1 + (\rho_j/\rho_i)^{1/3}} \right]^{3/2} B_{\text{vent}} (H_u - H_1)^{3/2} \quad \dots\dots\dots (C.19)$$

注 1: 因为质量流量是一样的,只计算式(C.18) 和式(C.19)中任一个即可。

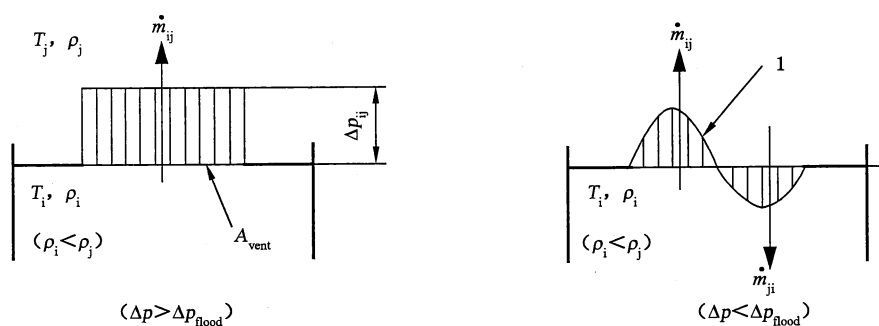
注 2: 如果封闭空间的温度 T_i 超过 300 °C,则系数相当稳定,可推导出式(C.20)(见参考文献[4])。

$$\dot{m}_{ij} = \dot{m}_{ji} \approx 0.52 B_{\text{vent}} (H_u - H_1)^{3/2} \quad \dots\dots\dots (C.20)$$

C.3.4 通过两个温度不同的均衡封闭空间之间的水平开口的流量——一个封闭空间有一个开口的特殊情况

如图 C.6 所示,若 $\Delta p_{ij} \geq \Delta p_{\text{flood}}$,则通过水平开口的流量 \dot{m}_{ij} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) 可以用式(C.21)来计算,该方法与计算通过相同温度封闭空间的垂直开口的流量的方法类似。

$$\dot{m}_{ij} = C_D A_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_i \Delta p_{ij}} \quad \dots\dots\dots (C.21)$$



说明：

1——速率图形。

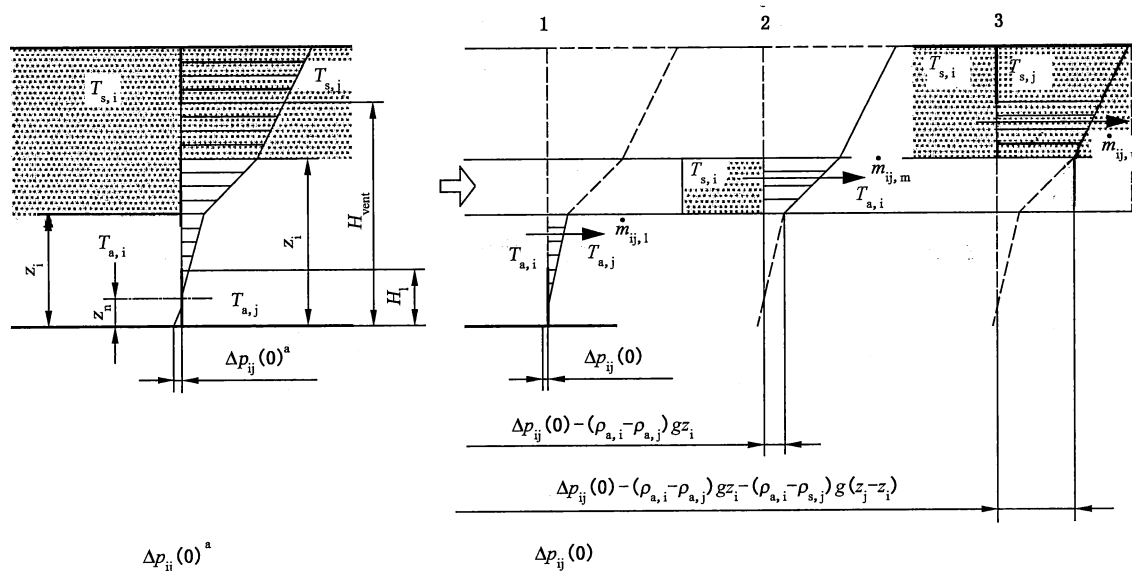
图 C.6 通过水平开口的压差和相应流向 ($\rho_i < \rho_j$)

应该注意,因为流体中存在微小的压差,如果该压差太小,就会产生双向流。出现双向流的临界条件 Δp_{flood} 尚在研究阶段。Yamada (见参考文献[5])和 Cooper(见参考文献[6])提供了示例公式。目前尚未建立双向流情况下的流量公式。

C.3.5 两层环境——通过两个封闭空间之间的垂直开口的流量

C.3.5.1 概述

在一个两层环境中,通过开口的流量非常复杂。如图 C.7 所示,通过开口的流量分三部分进行计算。下部两侧均与空气层相连。中部两侧分别与烟气层和空气层相连。上部两侧与烟气层相连。应用 C.3.1 和 C.3.2 中的概念计算各部分的质量流量。



说明：

- 1——下部；
- 2——中部；
- 3——上部。

^a 给定。

图 C.7 两层环境下的压差和质量流量图

C.3.5.2 下部的质量流量

参见图 C.7,连接两个温度不同的均衡封闭空间的垂直开口下部[$0 < z < \min(z_i, z_j)$]的流量用 C.3.2 中的公式计算。对式(C.5)~式(C.11)的计算,应按式(C.22)~式(C.24)内容进行替换后计算。

$$T_i = T_{a,i} \quad \dots\dots\dots (C.22)$$

$$T_j = T_{a,j} \quad \dots\dots\dots (C.23)$$

$$H_u = \min(z_i, z_j) \quad \dots\dots\dots (C.24)$$

C.3.5.3 中部的质量流量

与下部相似,中部的流量也可对式(C.5)~式(C.11)按照式(C.25)~式(C.28)内容替换后计算。

$$T_i = \begin{cases} T_{s,i} & (z_i < z_j) \\ T_{a,i} & (z_i \geq z_j) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (C.25)$$

$$T_j = \begin{cases} T_{a,j} & (z_i < z_j) \\ T_{s,j} & (z_i \geq z_j) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (C.26)$$

$$H_u = \text{abs}(z_i - z_j) \quad \dots\dots\dots (C.27)$$

$$H_l = 0 \quad \dots\dots\dots (C.28)$$

用式(C.29)的内容替换 $\Delta p_{ij}(0)$:

$$\Delta p_{ij}(0) = \left(\frac{353}{T_{a,i}} - \frac{353}{T_{a,j}} \right) g \times \min(z_i, z_j) \quad \dots\dots\dots (C.29)$$

C.3.5.4 上部的质量流量

与前两部分相似,上部的流量也可对式(C.5)~式(C.11)按照式(C.30)、式(C.31)进行替换后,再行计算。

$$T_i = T_{s,i} \quad \dots\dots\dots (C.30)$$

$$T_j = T_{s,j} \quad \dots\dots\dots (C.31)$$

用式(C.32)、式(C.33)替换 H_u :

$$H_{\text{vent}} = \max(z_i, z_j) \quad \dots\dots\dots (C.32)$$

$$H_l = 0 \quad \dots\dots\dots (C.33)$$

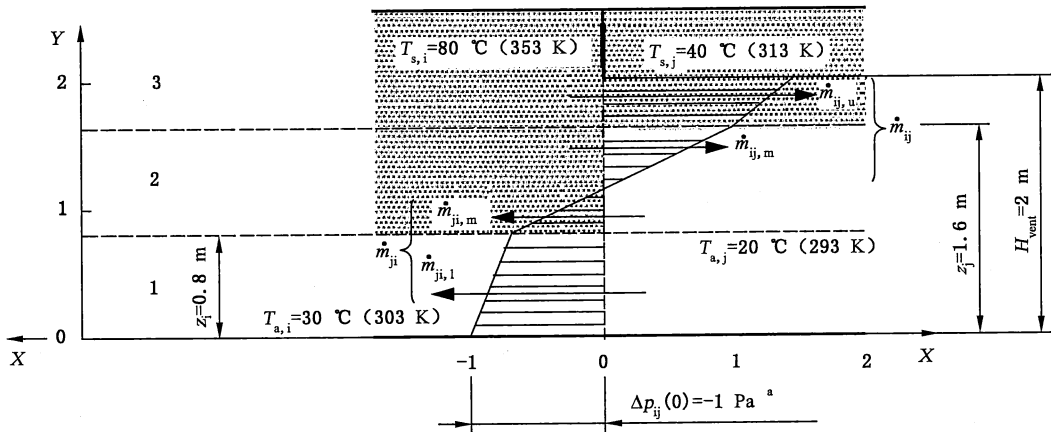
用式(C.34)代替 $\Delta p_{ij}(0)$:

$$\Delta p_{ij}(0) = \left(\frac{353}{T_{a,i}} - \frac{353}{T_{a,j}} \right) g \times \min(z_i, z_j) = \begin{cases} \left(\frac{353}{T_{s,i}} - \frac{353}{T_{a,j}} \right) g \times \text{abs}(z_i - z_j), & (z_i < z_j) \\ \left(\frac{353}{T_{a,i}} - \frac{353}{T_{s,j}} \right) g \times \text{abs}(z_i - z_j), & (z_i \geq z_j) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (C.34)$$

C.3.5.5 计算示例

C.3.5.5.1 计算条件

如图 C.8 所示,在两个封闭空间的上部形成了烟气层。在封闭空间 i 和 j 内的界面高度分别为 0.8 m 和 1.6 m,烟气层温度分别为 80 °C (353 K) 和 40 °C (313 K),空气层温度分别为 30 °C (303 K) 和 20 °C (293 K)。假定封闭空间 j 的压力比封闭空间 i 的压力大 1 Pa ($\Delta p_{ij} = -1$ Pa)。计算各个部分的质量流量。



说明：
 X—— Δp_{ij} , (Pa)；
 Y——高出地面的高度；
 1——下部；
 2——中部；
 3——上部；
^a 给定。

图 C.8 两层环境时的质量流量计算示例

C.3.5.5.2 下部的质量流量

这种情况时下部的范围为 $0 < z < z_i$ ($z_i = 0.8 \text{ m}$)。由式(C.5)得到的这部分的中性面高度 z_n (m) 用式(C.35)计算：

$$z_n = \frac{\Delta p_{ij}(0)}{(\rho_i - \rho_j)g} = \frac{-1}{(1.165 - 1.205) \times 9.8} = 2.55 \quad \dots\dots\dots (C.35)$$

在这种情况下，中性面高度 z_n 大于这部分的高度 z_i 。这样流体为从封闭空间 j 到 i 的单向流。由式(C.9)的最后一个公式推导出计算 \dot{m}_{ij} ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$) 的式(C.36)：

$$\begin{aligned} \dot{m}_{ij} &= \frac{2}{3} C_D B_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_j(\rho_j - \rho_i)g} [(z_n - H_u)^{3/2} - (z_n - H_l)^{3/2}] \\ &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.9 \sqrt{2 \times 1.205 \times (1.205 - 1.165) \times 9.8} [(2.57 - 0)^{3/2} - (2.57 - 0.8)^{3/2}] \\ &= 0.717 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (C.36)$$

C.3.5.5.3 中部的质量流量

这种情况时中部的范围为 $z_i < z < z_j$ ，其中 z_i 和 z_j 分别为 0.8 m 和 1.6 m。参考平面移至中部的底部，参考高度表示为高出底面的距离，用式(C.27)和式(C.28)计算参考高度 H_u (m)，见式(C.37)、式(C.38)：

$$H_u = \text{abs}(z_i - z_j) = \text{abs}(0.8 - 1.6) = 0.8 \quad \dots\dots\dots (C.37)$$

$$H_l = 0 \quad \dots\dots\dots (C.38)$$

用式(C.29)计算中部底部的压差 Δp_{ij} (Pa)，见式(C.39)：

$$\begin{aligned}\Delta p_{ij} &= \Delta p_{ij}(0) - \left(\frac{353}{T_{a,i}} - \frac{353}{T_{a,j}}\right) g \times \min(z_i, z_j) \\ &= -1 - (1.165 - 1.205) \times 9.8 \times 0.8 \quad \dots\dots\dots (C.39) \\ &= -0.686\end{aligned}$$

用式 (C.5) 计算中部底部以上的中性面高度 z_n (m), 见式 (C.40):

$$z_n = \frac{\Delta p_{ij}}{(\rho_i - \rho_j) g} = \frac{-0.686}{(1.00 - 1.205) \times 9.8} = 0.342 \quad \dots\dots\dots (C.40)$$

因为 $0 < z_n < \text{abs}(z_i - z_j)$, 所以为双向流。用式 (C.8) 和式 (C.9) 中的第二个公式计算流量 $\dot{m}_{ij,m}$ ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) 和 $\dot{m}_{ji,m}$ ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$), 见式 (C.41)、式 (C.42):

$$\begin{aligned}\dot{m}_{ij,m} &= \frac{2}{3} C_D B_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_i(\rho_j - \rho_i)g} (H_u - z_n)^{3/2} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.9 \times \sqrt{2 \times 1.0 \times (1.205 - 1.0) \times 9.8} \times (0.8 - 0.342)^{3/2} \quad \dots\dots\dots (C.41) \\ &= 0.261\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_{ji,m} &= \frac{2}{3} C_D B_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_j(\rho_j - \rho_i)g} (z_n - H_1)^{3/2} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.9 \times \sqrt{2 \times 1.205 \times (1.205 - 1.0) \times 9.8} \times (0.342 - 0)^{3/2} \quad \dots\dots\dots (C.42) \\ &= 0.185\end{aligned}$$

C.3.5.5.4 上部的质量流量

这种情况时上部的范围是 $z_j < z < H_{\text{vent}}$, 其中 z_j 和 H_{vent} 分别为 1.6 m 和 2.0 m。参考高度 H_u (m) 移至上部的底部, 用式 (C.32) 和式 (C.33) 计算, 结果见式 (C.43)、式 (C.44):

$$H_u = H_{\text{vent}} - \max(z_i, z_j) = 2.0 - 1.6 = 0.4 \quad \dots\dots\dots (C.43)$$

$$H_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (C.44)$$

用式 (C.34) 计算上部的底部压差 Δp_{ij} (Pa), 结果见式 (C.45):

$$\begin{aligned}\Delta p_{ij} &= \Delta p_{ij}(0) - \left(\frac{353}{T_{a,i}} - \frac{353}{T_{a,j}}\right) g \times \min(z_i, z_j) - \left(\frac{353}{T_{a,i}} - \frac{353}{T_{a,j}}\right) g \times \text{abs}(z_i - z_j) \\ &= -0.686 - \left(\frac{353}{353} - \frac{353}{293}\right) \times 9.8 \times 0.8 \quad \dots\dots\dots (C.45) \\ &= 0.919\end{aligned}$$

注: 式 (C.45) 中的前两项已经由式 (C.39) 计算得到。

用式 (C.5) 计算高出下部底部的中性面高度 z_n (m), 结果见式 (C.46):

$$z_n = \frac{\Delta p_{ij}}{(\rho_i - \rho_j) g} = \frac{0.919}{(1.00 - 1.128) \times 9.8} = -0.731 \quad \dots\dots\dots (C.46)$$

因为 $z_n < 0$, 所以为单向流。用式 (C.8) 的第一个公式计算流量 $\dot{m}_{ij,u}$ ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$), 结果见式 (C.47):

$$\begin{aligned}\dot{m}_{ij,u} &= \frac{2}{3} C_D B_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_i(\rho_j - \rho_i)g} \{ (H_u - z_n)^{3/2} - (H_1 - z_n)^{3/2} \} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.9 \times \sqrt{2 \times 1.0 \times (1.128 - 1.0) \times 9.8} \{ [0.4 - (-0.731)]^{3/2} - [0 - (-0.731)]^{3/2} \} \quad \dots\dots\dots (C.47) \\ &= 0.384\end{aligned}$$

C.3.5.5.5 封闭空间之间的总质量流量

通过开口的总质量流量 \dot{m}_{ij} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) 和 \dot{m}_{ji} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) 由三个部分的流量相加得到, 计算结果见

式(C.48)、式(C.49)：

$$\dot{m}_{ij} = \dot{m}_{ij,m} + \dot{m}_{ij,u} = 0.261 + 0.384 = 0.645 \quad \dots\dots\dots (C.48)$$

$$\dot{m}_{ji} = \dot{m}_{ji,l} + \dot{m}_{ji,m} = 0.720 + 0.185 = 0.905 \quad \dots\dots\dots (C.49)$$

注：如果忽略空气和烟气界面上的混合情况，中部的质量流量 \dot{m}_{ij} 等于进入封闭空间 j 烟气层的流量。与此相似， \dot{m}_{ji} 等于进入封闭空间 i 中的空气层的流量。

C.4 计算公式的依据

人们已经对涉及防火分区火灾定量预测的开口气流进行了分析研究。早期的研究包括 Kawagoe (见参考文献[4])在 Sekine 建议基础上所做的火灾温度的完全展开流预测。Prahl 等人(见参考文献[7])和 Rockett(见参考文献[8])对两层环境进行了进一步的研究。对于这些早期研究，流量公式是从基础的流体理论推导而来的。在 20 世纪 80 年代,Steckler 等人(见参考文献[9]、[10])、Quintiere 等人(见参考文献[11])和 Nakaya 等人(见参考文献[12])进行了直接的实体测量。这些测量确定了流量系数在 0.68~0.73 的范围之内，一般取 0.7。Beyler 对前期研究进行了归纳(见参考文献[13])。

C.5 计算公式的局限性

C.5.1 烟气层的一致性

公式假设与开口相邻的封闭空间的温度是均匀的或是两层形式的，如果不能满足这个假设条件，就应使用附录 B 中的一般流量公式。

C.5.2 动态压力

计算时不考虑由自然通风或机械通风引起的动态压力作用。如需考虑，应仔细分析动态压力的分布情况。

C.6 计算公式的输出参数

公式计算结果为通过开口的质量流量(kg·s⁻¹)。存在双向流时，也可以求得中性面的位置。

C.7 计算公式的输入参数

C.7.1 通过开口的压差

参数 Δp_{ij} 定义为参考高度上的压差，参考高度通常取最低的边界高度。

C.7.2 开口附近的封闭空间的温度分布情况

开口附近的温度分布应该是均匀的或两层的。在均匀的情况下，应说明每个封闭空间的温度。在两层的条件下，应说明界面位置、烟气层温度和空气层温度。

C.8 计算公式的适用范围

公式的适用范围可以通过 Steckler 等人(见参考文献[9])、Nakaya 等人(见参考文献[12])以及其他研究人员的研究成果来确定。Steckler 在一个 2.8 m 见方、2.13 m 高的房间内进行试验。开口宽度

为 0.74 m,高度在 0.46 m~1.38 m 之间。火灾的热释放速率在 31.6 kW~158 kW 之间。封闭空间的最高温度不超过 250 ℃。Nakaya 的试验对应的是更大一些的房间,长 3.55m,宽 3.45m,高 2.12 m。开口高度为 1.6 m 或 1.7m。开口宽度在 0.29 m~0.89 m 之间。封闭空间的温度范围可以从双层情况下的 50 ℃到充分混合情况下最高可达 1 000 ℃。

参 考 文 献

- [1] GB/T 6379(所有部分) 测量方法与结果的准确度
- [2] TANAKA, T., A Model on Fire Spread in Small Scale Buildings, BRI Research Papers, Nos. 79 and 84, Building Research Institute, 1978, 1980.
- [3] PEACOCK, R., JONES, W. W., FORNEY, G. P., RENEKE, P. A., BUKOWSKI, R. W. and KLOTE, J. H., An Updated Guide for HAZARD I version 1.2, NISTIR 5410, Building and Fire Research Laboratory, US National Institute of Standards and Technology, 1994.
- [4] KAWAGOE K., Fire Behavior in Rooms, BRI Report No.27, Building Research Institute, Tokyo, Japan, 1958.
- [5] YAMADA, T., Experimental Study of the Exchange Flow through a Horizontal Ceiling Vent in Atrium Fires: Criteria of Supply Air and Pressure Necessary for Unidirectional Flow, NISTIR 6030: Thirteenth Meeting of the UJNR Panel on Fire Research and Safety, 13-20 March 1996, Building and Fire Research Laboratory, US National Institute of Standards and Technology, 1997.
- [6] COOPER, L. Y., Combined Buoyancy- and Pressure-Driven Flow Through a Shallow, Horizontal Circular Vent, Journal of Heat Transfer, Vol.117, pp.659-667, August 1995.
- [7] PRAHL, J. and EMMONS, H. W., Fire Induced Flow through an Opening, Combustion and Flame, Vol.25, pp.369-385, 1975.
- [8] ROCKETT A. J., Fire Induced Gas Flow in an Enclosure, Combustion Science and Technology, Vol.12, pp.165-175, 1976.
- [9] STECKLER, K. D., QUINTIERE, J. G. and RINKINEN, W. J., Flow Induced by Fire in a Compartment, 19th Symposium (International) on Combustion, pp. 913-920, The Combustion Institute, 1982.
- [10] STECKLER, K. D., BAUM, H. R. and QUINTIERE, J. G., Fire Induced Flow through Room Openings-Flow Coefficients, 20th Symposium (International) on Combustion, pp.1591-1600, The Combustion Institute, 1984.
- [11] QUINTIERE, J. G., STECKLER, K. and CORLEY, D., An Assessment of Fire Induced Flows in Compartments, Fire Science and Technology, Vol. 4 (1), pp. 1-14, Science University of Tokyo, 1984.
- [12] NAKAYA, I., TANAKA, T., YOSHIDA, M. and STECKLER K., Doorway Flow Induced by a Propane Fire, Fire Safety Journal, Vol.10, pp.185-195, 1986.
- [13] BELYER C., SFPE Classic Paper Review: Fire-Induced flow through an Opening by Joseph Prahl and Howard Emmons, Journal of Fire Protection Engineering, Vol.14, No.2, pp.95-100, 2004.
-

中华人民共和国
国家标准
消防安全工程
第8部分:开口气流的计算要求
GB/T 31593.8—2015

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

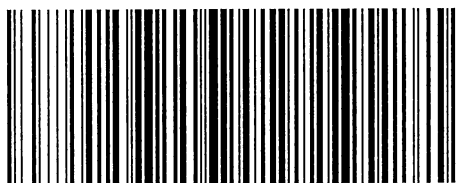
*

开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 43 千字
2015年7月第一版 2015年7月第一次印刷

*

书号: 155066·1-51291 定价 27.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 31593.8-2015