



中华人民共和国国家标准

GB/T 31593.7—2015

消防安全工程 第7部分：顶棚射流的计算要求

Fire safety engineering—
Part 7: Requirements governing algebraic equations for ceiling jet flows

(ISO 16736:2006, Fire safety engineering—
Requirements governing algebraic equations—Ceiling jet 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 发布
中国国家标准化管理委员会

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 7 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 16736:2006《消防安全工程 计算公式控制要求 顶棚射流》。

本部分与 ISO 16736:2006 相比在结构上有较多调整，附录 A 中列出了本部分与 ISO 16736:2006 的章条编号对照一览表。

本部分与 ISO 16736:2006 的技术性差异是对规范性引用文件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)。

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“GB/T 31593 的本部分”或“本部分”；
- 将国际标准的资料性附录 A 编排为本部分的资料性附录 B，将国际标准附录中的术语和定义调整到本部分正文的第 3 章中，删除了部分通用术语的定义，调整了符号的编排格式；
- 将国际标准的某些标点符号修改为符合汉语习惯的标点符号。

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：张玉贤、邓松华、郭歌、姚松经、韩伟平、毕少颖、智会强、阚强、陆守香、胡忠日、张向阳、郑巍。

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;
- 分析分隔空间内的烟气传递和轰燃等火灾危害。

对于顶棚射流,计算公式可用于估算火灾探测器和最先启动洒水喷头的响应时间,以及一些结构构件的破坏时间(如塑料屋顶或者天窗)。本部分的附录 B 给出了准稳态且轴对称顶棚射流计算公式的应用示例。

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7部分:顶棚射流的计算要求

1 范围

GB/T 31593 的本部分规定了顶棚射流特征值计算公式的应用方法要求,提供了与顶棚射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顶棚射流的计算。

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)

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

轴对称 axisymmetric

＜顶棚射流＞平均运动方式和平均动力学特征参量(例如平均温升)沿一条垂直中心线对称。

3.2

顶棚 ceiling

任何的建筑中密闭空间(例如大楼里的一个房间或者交通工具里的一个客舱)的最高边界。

3.3

顶棚射流 ceiling jet

在火羽流高温燃烧产物的推动下沿着顶棚下方表面的一层气体流动。

3.4

火羽流 fire plume

由燃烧所产生的浮力形成的向上湍流流动,通常包括下部的燃烧区。

3.5

火羽流转向区 fire plume turning region

火羽流向顶棚射流转变的区域,通过火羽流半径与有效顶棚高度的比率 $H-z_v$ 来定义, $H-z_v$ 数值

附 录 A
(资料性附录)

本部分章条编号与 ISO 16736:2006 的章条编号对照

表 A.1 给出了本部分章条编号与 ISO 16736:2006 的章条编号的对照一览表。

表 A.1 本部分章条编号与 ISO 16736:2006 的章条编号对照

本部分章条编号	对应的 ISO 16736:2006 的章条编号
3.1	A.1.1
3.2	A.1.3
3.3	A.1.4
3.4	A.1.11
3.5	A.1.12
3.6	A.1.14
3.7	A.1.17
3.8	A.1.22
—	A.1.2、A.1.5~A.1.10、A.1.13、A.1.15、A.1.16、A.1.18~A.1.21、A.1.23
附录 A	—
附录 B	附录 A
B.1	A.2
B.2	A.3
B.2.1~B.2.6	A.3.1~A.3.6
B.3	A.4
B.3.1~B.3.5	A.4.1~A.4.5
B.4	A.5
B.5	A.6
B.5.1~B.5.6	A.6.1~A.6.6
B.6	A.7
B.6.1~B.6.6	A.7.1~A.7.6
B.7	A.8
B.7.1~B.7.2	A.8.1~A.8.2
B.8	A.9
B.8.1~B.8.2	A.9.1~A.9.2
B.9	A.10
注：表中的章条以外的本部分其他章条编号与 ISO 16734:2006 其他章条编号一致。	

附录 B

(资料性附录)

准稳态、轴对称顶棚射流计算公式

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_e	设计顶棚面积	m^2
A_s	火源平面区域面积	m^2
D	火源直径(火源的有效直径,如果是圆形火源,等于火源的实际直径;如果是非圆形火源,等于与火源的平面面积等圆的直径)	m
e	自然对数	
g	重力加速度	$m \cdot s^{-2}$
h	对流换热系数	$kW \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
ΔH_c	净燃烧热(单位质量物质完全燃烧并且生成的水完全气化条件下所产生的热量)	$kJ \cdot kg^{-1}$
L	火焰平均高度(火源基部以上的火焰在一定时间内的平均高度,该高度处出现火焰的概率为 50%)	m
l_T	顶棚射流温度曲线的特征深度(顶棚表面以下,在给定的半径 r 上,顶棚射流内相对于环境温度的平均温升是在此半径上的最高平均温升的 e^{-1} 倍,此深度为顶棚射流温度曲线的特征深度)	m
l_v	顶棚射流速度曲线的特征深度(顶棚表面以下,在给定的半径 r 上,顶棚射流内的平均气体速度是此半径上最高平均气体速度的 e^{-1} 倍,此深度为顶棚射流速度曲线的特征深度)	m
$\dot{m}_i$	燃料的质量燃烧速率(燃料蒸气的质量生成速率)	$kg \cdot s^{-1}$
p	绝对大气压力	kPa
$\dot{q}_c$	对流热通量(由气体运动传递到目标表面单位面积上的热传递率,如顶棚射流)	$kW \cdot m^{-2}$
$\dot{Q}$	实际测量或者给定的热释放速率(燃烧源实际释放热量的速率,如火源)	kW
$\dot{Q}_c$	对流热释放速率(热释放速率中被火羽流向上运动带走的部分;在火焰平均高度以上,认为此部分与高度的变化无关)	kW
Ra	火羽流瑞利系数	
r	距火羽流中心轴线的径向距离	m
T_a	环境温度	K
y	顶棚向下的垂直距离	m

表 B.1 (续)

符 号	说 明	单 位
z_H	火源基部到顶棚的高度	m
z_v	火源基部以上虚点源的高度	m
ΔT	平均温升	K
ΔT_c	给定半径处顶棚射流温升	K
ΔT_{max}	最大平均温升	K
V_{max}	最大平均气流速度	$m \cdot s^{-1}$
α	对流热释放速率份额数, $1 - \frac{\chi_R}{\chi_a}$	
χ_a	燃烧效率因子(在特定的火灾试验条件下测得的燃烧热与净燃烧热的比值)	
χ_R	辐射热释放因子(火焰辐射热与净燃烧热的比值)	
ν	动力黏度	$m^2 \cdot s^{-1}$
θ	顶棚表面的最大倾角	rad

B.2 物理现象的描述

B.2.1 顶棚射流的选定特性

计算了轴对称、准稳态顶棚射流的选定特性。

B.2.2 公式适用的场景因素

公式适用于火羽流对平坦且无阻挡顶棚的冲击所形成的射流,火羽流来自在平面区域上大体呈圆形或方形的准稳态火源。该火源应为一个水平且朝上的燃烧表面,或者是一个燃烧的三维体,其火焰平均高度大于燃烧体高度的 110% 且小于火源基部以上顶棚总高的 10%。

B.2.3 公式计算的顶棚射流特征参数

公式可计算距火羽流中心轴线(对称轴)某一半径位置处的最高气体温度和最大气流速度,也可计算顶棚射流特征深度和传递给顶棚的对流传热速率。

B.2.4 公式适用的顶棚射流区域

火羽流转向区末端及内部的气流与火羽流转向区外部的气流应区别对待,在火羽流转向区的内部和外部有不同的适用公式。

B.2.5 公式的协调一致性

本附录给出的公式已由 R.L.Alpert(见 B.4)推导和验证,确保了不同公式计算出来的结果保持协调一致(互相之间不矛盾)。

B.2.6 采用公式的标准和其他文献

《SFPE 消防工程手册》(参见参考文献[11])中讨论了此公式组。

B.3 计算书

B.3.1 半径 r 上的顶棚射流最高平均温升

B.3.1.1 在火羽流转向区内($\frac{r}{z_H - z_V} \leq 0.18$),顶棚射流的最高平均温升 $\Delta T_{\max}$ 由式(B.1)~式(B.4)给出(参见参考文献[7])。在这些表达式中,虚点源高度 z_V 来自参考文献[29]。

$$\Delta T_{\max} = \frac{16.9}{\alpha^{2/3}} \frac{\dot{Q}_c^{2/3}}{(z_H - z_V)^{5/3}} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

$$\dot{Q}_c = \alpha \dot{Q} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

$$z_V = -1.02D + 0.083\dot{Q}^{2/5} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_f \chi_a \Delta H_c \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

注:参考文献[7]中的原始公式是以热释放率而不是对流要素的形式表示的,而且不包含火羽流虚点源位置的修正。

B.3.1.2 在火羽流转向区内($\frac{r}{z_H - z_V} \leq 0.18$),适用于多数燃烧材料的条件下[式(B.1)中 $\alpha = 0.7$,见 B.6.2],顶棚射流的最高平均温升 $\Delta T_{\max}$ 由式(B.5)给出。

$$\Delta T_{\max} = 21.4 \frac{\dot{Q}_c^{2/3}}{(z_H - z_V)^{5/3}} \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

注:如果 $\alpha = 0.6$,那么式(B.5)中的系数 21.4 就变成 24,在产生顶棚射流的火羽流转向区内,不同于其他相同的求最高平均温升公式中的系数 25(参见参考文献[29])。相应的,在转向区热损失或热混合不计的情况下,转向区内最高平均火羽流温度和最高平均顶棚射流温度是相同的。

B.3.1.3 在火羽流转向区外($\frac{r}{z_H - z_V} > 0.18$),顶棚射流的最高平均温升 $\Delta T_{\max}$ 由式(B.6)给出(参见参考文献[7])。

$$\Delta T_{\max} = \frac{5.38}{\alpha^{2/3}} \frac{\dot{Q}_c^{2/3} / (z_H - z_V)^{5/3}}{[r / (z_H - z_V)]^{2/3}} \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

B.3.1.4 在火羽流转向区外($\frac{r}{z_H - z_V} > 0.18$),适用于多数燃烧材料的条件下[式(B.6)中 $\alpha = 0.7$,见 B.6.2],顶棚射流的最高平均温升 $\Delta T_{\max}$ 由式(B.7)给出。

$$\Delta T_{\max} = 6.82 \frac{\dot{Q}_c^{2/3} / (z_H - z_V)^{5/3}}{[r / (z_H - z_V)]^{2/3}} \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

B.3.2 在半径 r 上的顶棚射流最高平均速度

B.3.2.1 在火羽流转向区尾端($\frac{r}{z_H - z_V} = 0.15$),顶棚射流的最高平均速度 $V_{\max}$ 由式(B.8)给出(参见参考文献[4])。

$$V_{\max} = \frac{0.96}{\alpha^{1/3}} \left(\frac{\dot{Q}_c}{z_H - z_V} \right)^{1/3} \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

在转向区内(见 B.9),火焰产生的热气流速度方向由火羽流中的垂直向上转变为顶棚射流中的与顶棚平行。尽管发生了方向上的变化,流动速率应当是几乎不变的(参见参考文献[7])。

B.3.2.2 在火羽流转向区尾端($\frac{r}{z_H - z_V} = 0.15$),适用于多数燃烧材料的条件下[式(B.8)中 $\alpha = 0.7$,见B.6.2],顶棚射流的最高平均速度 $V_{\max}$ 由式(B.9)给出。

$$V_{\max} = 1.08 \left(\frac{\dot{Q}_c}{z_H - z_V} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (B.9)$$

B.3.2.3 在火羽流转向区外($\frac{r}{z_H - z_V} > 0.15$),顶棚射流的最高平均速度 $V_{\max}$ 由式(B.10)给出(参见参考文献[4])。

$$V_{\max} = \frac{0.195}{\alpha^{1/3}} \frac{[\dot{Q}_c / (z_H - z_V)]^{1/3}}{[r / (z_H - z_V)]^{5/6}} \dots\dots\dots (B.10)$$

B.3.2.4 在火羽流转向区外($\frac{r}{z_H - z_V} > 0.15$),适用于多数燃烧材料的条件下[式(B.10)中 $\alpha = 0.7$,见B.6.2],顶棚射流的最高平均速度 $V_{\max}$ 由式(B.11)给出。

$$V_{\max} = 0.22 \frac{[\dot{Q}_c / (z_H - z_V)]^{1/3}}{[r / (z_H - z_V)]^{5/6}} \dots\dots\dots (B.11)$$

B.3.3 火羽流转向区外的顶棚时间平均温度曲线

B.3.3.1 在火羽流转向区外的顶棚以下($0.26 \leq \frac{r}{z_H - z_V} \leq 2.0$),平均温升 ΔT 随垂直距离 y 变化的无量纲关系式由式(B.12)给出(参见参考文献[22])。

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_{\max}} = 4.24 \left(\frac{y}{l_T} + 0.094 \right)^{0.755} \exp \left(-2.57 \frac{y}{l_T} \right) \dots\dots\dots (B.12)$$

B.3.3.2 基于式(B.12)给出的温度曲线,顶棚射流的最高温升应发生在由式(B.13)给出的顶棚以下垂直距离 y 处。

$$\frac{y}{l_T} = 0.20 \dots\dots\dots (B.13)$$

B.3.3.3 顶棚射流温度曲线的特征深度 l_T 由式(B.14)给出(参见参考文献[22])。

$$\frac{l_T}{z_H - z_V} = 0.112 \left[1 - \exp \left(-2.24 \frac{r}{z_H - z_V} \right) \right] \dots\dots\dots (B.14)$$

B.3.4 火羽流转向区外的顶棚射流时间平均速度曲线

B.3.4.1 在火羽流转向区外的顶棚以下($0.26 \leq \frac{r}{z_H - z_V} \leq 0.75$),顶棚射流平均速度 V 随垂直距离 y 变化的无量纲关系式由式(B.15)给出(参见参考文献[22])。

$$\frac{V}{V_{\max}} = 1.59 \left(\frac{y}{l_V} \right)^{0.14} \exp \left(-1.517 \frac{y}{l_V} \right) \dots\dots\dots (B.15)$$

B.3.4.2 基于式(B.15)给出的速度曲线,顶棚射流的最大速度可发生在由式(B.16)给出的顶棚以下垂直距离 y 处。

$$\frac{y}{l_V} = 0.092 \dots\dots\dots (B.16)$$

B.3.4.3 顶棚射流速度曲线的特征深度 l_V 由式(B.17)给出(参见参考文献[22])。

$$\frac{l_V}{z_H - z_V} = 0.205 \left[1 - \exp \left(-1.75 \frac{r}{z_H - z_V} \right) \right] \dots\dots\dots (B.17)$$

B.3.5 顶棚射流对顶棚的对流热通量

B.3.5.1 在相对于环境温度的温升 ΔT_e 下,顶棚射流的最高平均温升为 $\Delta T_{\max}$,对顶棚的对流热通量 $\dot{q}_c''$ 由式(B.18)给出。

$$\dot{q}_c'' = h(\Delta T_{\max} - \Delta T_e) \quad \text{.....(B.18)}$$

B.3.5.2 在火羽流转向区内($\frac{r}{z_H - z_v} \leq 0.2$),对流传热系数 h 由式(B.19)~式(B.21)给出(参见参考文献[15]),其中 $g = 9.806 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

$$h = 2.28 \alpha^{2/3} \left(\frac{\dot{Q}_c}{z_H - z_v} \right)^{1/3} \text{Ra}^{-1/6} \quad \text{.....(B.19)}$$

$$\text{Ra} = \frac{g \dot{Q}_c (z_H - z_v)^2}{3.5 \rho \nu^3} \quad \text{.....(B.20)}$$

$$\nu = 6.06 \times 10^{-10} (\Delta T_{\max} + \Delta T_a)^{1.78} \quad \text{.....(B.21)}$$

B.3.5.3 在火羽流转向区内($\frac{r}{z_H - z_v} \leq 0.2$),环境温度下,对顶棚的对流热通量 $\dot{q}_c''$ 由式(B.22)给出(参见参考文献[15])。

$$\dot{q}_c'' = 38.6 \frac{\dot{Q}_c}{(z_H - z_v)^2 \text{Ra}^{1/6}} \quad \text{.....(B.22)}$$

B.3.5.4 在火羽流转向区外 ($0.2 < \frac{r}{z_H - z_v} < 2.0$),对流传热系数 h 由式(B.23)给出(参见参考文献[6]、[12]、[15])。

$$h = 0.892 \alpha^{2/3} \left(\frac{\dot{Q}_c}{z_H - z_v} \right)^{1/3} \text{Ra}^{-1/6} \left(\frac{r}{z_H - z_v} \right)^{-0.633} \quad \text{.....(B.23)}$$

B.3.5.5 在火羽流转向区外 ($0.2 < \frac{r}{z_H - z_v} < 2.0$),环境温度下,对顶棚的对流热通量 $\dot{q}_c''$ 由式(B.24)给出(参见参考文献[6]、[12]、[15])。

$$\dot{q}_c'' = 4.8 \frac{\dot{Q}_c}{(z_H - z_v)^2 \text{Ra}^{1/6}} \left(\frac{r}{z_H - z_v} \right)^{-1.3} \quad \text{.....(B.24)}$$

B.4 计算公式的依据

轴对称的顶棚射流理论要追溯到 Pickard(参见参考文献[4])、Thomas(参见参考文献[5])的早期工作和 Alpert(参见参考文献[6]、[7]、[10])、Heskestad(参见参考文献[8]、[9]、[10])对公式模型的开发。Alpert(参见参考文献[11])对所有这些工作做了总结。基于 Alpert(参见参考文献[6])早期的工作,Motevally 和 Marks(参见参考文献[22])用特定的 1 m 高绝缘顶棚和较弱火源(0.75 kW~2.0 kW)进行了实验,开发了 B.3.3 和 B.3.4 中顶棚射流的温度公式和速度曲线。Veldman 等人(参见参考文献[12])、You(Yu)和 Faeth(参见参考文献[15])、Cooper(参见参考文献[16])和 You(Yu)(参见参考文献[17])对由于火羽流冲击顶棚引起的对流换热进行了研究。B.3.5.2 中对顶棚的对流热通量公式由 You(Yu)和 Faeth(参见参考文献[15])创建,又被 Alpert(参见参考文献[20])和 Kokkala(参见参考文献[23])确认。Veldman 等人(参见参考文献[12])、You(Yu)和 Faeth(参见参考文献[15])及 Alpert(参见参考文献[6])得出的试验数据被用于 B.3.5.4 和 B.3.5.5 中热通量公式的推导。对一个平坦、无阻碍顶棚的全部热通量的附加信息由 Hasemi(参见参考文献[26])等人得到。

B.5 计算公式的局限性

B.5.1 火源

计算公式不适用于下列火源：

- 瞬时火源或受灭火剂影响的火源；
- 火源的长宽比大于或等于 2 的矩形火源；
- 空气流动受限的三维火源或火焰平均高度小于火源本身高度的 110% 的三维火源；
- 由喷射火焰构成的火源（如由管道或加压燃料储液罐小孔泄漏造成的火源）；
- 火焰散布程度较大导致火源区域出现多火羽流的火源。

B.5.2 火焰尺寸

在室内无障碍空间内的火源，当火焰尺寸达到下面任一条件时，计算公式不适用：

- 火焰的平均高度 L 高于顶棚高度 z_H 的 50%；
- 火源的有效直径 D 大于室内空间平面最小尺寸的 10%。

B.5.3 气动干扰

当顶棚射流是由受到下列因素引起气动干扰影响的火羽流产生时，计算公式不适用：

- 火羽流流场有障碍物阻碍；
- 受到机械通风或来自于室内开口自然通风的作用。

B.5.4 顶棚障碍物和倾斜度

当顶棚的结构或材料出现以下任一情况时，计算公式不适用：

- 顶棚含有梁、挡烟垂壁或其他分界面，导致顶棚射流出现非轴对称情况或热气层向下朝着火源方向递减流动；
- 顶棚为易燃材料；
- 顶棚平面不够水平，即顶棚具有一定的倾斜度（见 B.7 有关倾斜度的定量限制要求）。

B.5.5 边界面

在封闭空间内，当出现下列任一情况时，计算公式不适用：

- 火源本身或其火焰被边界面限制在尺寸为火源直径 D 的范围内；
- 火羽流的中轴线高度被边界面限制在 2 倍顶棚高度 ($2z_H$) 之内。

B.5.6 输出参数数据

当输出参数数据出现下面任一情况时，计算公式不适用：

- 计算得到的火羽流转向区内的最大平均温升远小于火源点燃前的环境温度随高度增加而引起的最大温升值（见 B.7）；
- 计算得到的火羽流转向区内的最大平均温升大于特征火焰顶部的温度。

B.6 计算公式的输入参数

B.6.1 火灾热释放速率

参数 Q 是在特定环境条件下火灾的实际热释放速率。该参数通常在设定火灾场景中通过量热计

测量得到或者以其他方法给出。关于火灾热释放速率的其他信息可参见 Tewarson 的研究成果(参见参考文献[27])和 Babrauskas 的研究成果(参见参考文献[28])。

B.6.2 对流热释放速率份数

对于暴露的固体表面或者在液体池中燃烧的液体燃料,无量纲参数 α (对流热释放速率份数)的取值范围通常在 0.6~0.7 之间;但是对于氧化性液体燃料或者低分子量的气体燃料,此参数可取值 0.8 或更大。对于三维火源,此参数在火灾产生初始阶段远小于前述范围值,随着火势的增大至火灾蔓延发展阶段,此参数将增大至 0.6~0.7。此参数通常从设定火灾场景中获得,其他相关信息可参见 Tewarson 的研究成果(参见参考文献[27])。

B.6.3 火源直径

参数 D 是圆形火源的直径。此参数通常通过设计的火灾场景得到。对于矩形的火源,取具有同等面积 A_s (单位为 m^2) 的圆形火源的直径作为其等效直径 D ,通过式(B.25)计算得到。

$$D = \sqrt{\frac{4A_s}{\pi}} \quad \dots\dots\dots (B.25)$$

B.6.4 顶棚高度

参数 z_H 通常通过设定火灾场景获得。

B.6.5 顶棚射流的径向距离

参数 r 的单位为 m ,通常通过设定火灾场景得到。此参数有效范围的最小值由 B.3 中的公式确定,最大值为 $2z_H$ 。

B.6.6 输入参数的有效范围

参数 z_H 有效取值范围的最小值与 B.5 中的火焰高度极限有关,最大值与符合 B.7 要求的火羽流转向区内的平均温升值有关。

B.7 计算公式的适用范围

B.7.1 本附录使用公式的适用范围可通过 B.4 中给出的计算依据文献确定。

B.7.2 为了保持 B.7.1 规定的适用范围,应满足以下规定条件:

——热气流层应限定在顶棚以下 $z_H/4$ 的距离之内, z_H 与准稳态火灾开始之后最大时间间隔 $\Delta t_{\max}$ (单位为 s) 之间的关系,应满足式(B.26)(参见参考文献[29]):

$$\Delta t_{\max} = 25 \left[\left(\frac{z_H}{4} - z_v \right)^{-2/3} - (z_H - z_v)^{-2/3} \right] \frac{A_c}{\dot{Q}_c^{1/3}} \quad \dots\dots\dots (B.26)$$

——顶棚表面与水平面之间的夹角应限定在角度 θ (单位为弧度)之内。按照此限定,顶棚射流在径向距离大约为 z_H 上的最大速度 $\frac{V_{\max}^{\theta}}{V_{\max}^{\theta=0}}$ 的比率由式(B.27)给出(参见参考文献[11]),其中

$V_{\max}^{\theta}$ 为火羽流冲击点向上与顶棚最大倾角时的速度, $V_{\max}^{\theta=0}$ 为顶棚倾角为零弧度时相应速度。

$$\frac{V_{\max}^{\theta}}{V_{\max}^{\theta=0}} = \exp(3\sin\theta) \quad \dots\dots\dots (B.27)$$

例如,为了保持此速度比率在一个小于或等于 1.05 的范围内(即顶棚倾角导致速度最多增大 5%),需要顶棚倾斜角度不大于 0.016 弧度,或者 1° 左右。

——依据顶棚附近环境温度 $(T_a)_{z_H}$ 与火源附近环境温度 $(T_a)_{z=0}$ 之间的差异, 计算得到的环境温度梯度 $(T_a)_{z_H} - (T_a)_{z=0}$ 的值应限制在小于 $7\Delta T_0$ 的范围内。

B.8 计算示例

B.8.1 顶棚射流最高平均温升

假设在房间里有一个直径为 1.8 m 的圆形油盘着火, 燃烧时的热释放率为 $2\,500\text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$, 液体表面的正上方有一个 12 m 长的顶棚。热释放率的对流系数为 0.7, 火羽流转向区内的顶棚射流的温升 $\Delta T_{\max}$ (单位为 K), 可以通过式(B.5)计算得到:

$$\Delta T_{\max} = 21.4 \times \frac{(0.7 \times 2\,500 \times \pi \times 1.8^2/4)^{2/3}}{[12 + 1.02 \times 1.8 - 0.083 \times (2\,500 \times \pi \times 1.8^2/4)^{2/5}]^{5/3}} = 105$$

火羽流转向区外, 距火羽流中轴线的径向距离为 5 m 的顶棚射流的温升 $\Delta T_{\max}$ (单位为 K), 可以通过式(B.7)计算得到:

$$\Delta T_{\max} = 6.82 \times \frac{(0.7 \times 2\,500 \times \pi \times 1.8^2/4)^{2/3}}{\left(\frac{5}{[12 + 1.02 \times 1.8 - 0.083 \times (2\,500 \times \pi \times 1.8^2/4)^{2/5}]^{2/3}} \right)^{2/3}} = 57$$

B.8.2 顶棚射流温度曲线的特征深度

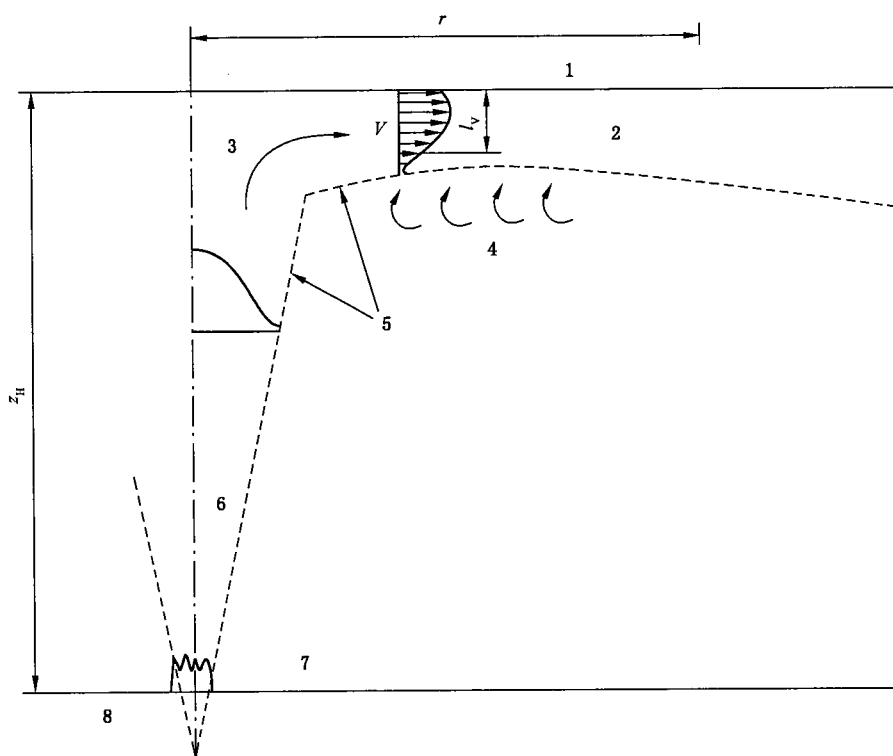
假设火源为 B.8.1 所述的圆形油盘火, 距火羽流中轴线的径向距离为 5 m 处, 顶棚射流温度曲线的特征深度 l_T (m), 可以通过式(B.14)计算得到:

$$l_T = [12 + 1.02 \times 1.8 - 0.083 \times (2\,500 \times \pi \times 1.8^2/4)^{2/5}] \times 0.112 \left[1 - \exp\left(-2.24 \times \frac{5}{5 - 0.921}\right) \right] = 0.79$$

其中 $z_v = 0.921\text{ m}$, 即火羽流虚点源距离火源基部(例如可燃液体表面)之上的高度值。

B.9 示意图

准稳态、轴对称顶棚射流图解见图 B.1。



说明：

- 1——顶棚；
- 2——顶棚射流；
- 3——火羽流转向区；
- 4——局部空气环境；
- 5——火羽流和顶棚射流的特征半径和特征深度；
- 6——火羽流；
- 7——火源基部；
- 8——火源。

图 B.1 顶棚射流图解

参 考 文 献

- [1] GB/T 6379(所有部分) 测量方法与结果的准确度
- [2] ISO/TR 13387-3:1999 Fire safety engineering—Part 3: Assessment and verification of mathematical fire models
- [3] ISO 13943:2008 Fire safety—Vocabulary
- [4] Pickard, R. W., Hird, D. and Nash, P., "The Thermal Testing of Heat-Sensitive Fire Detectors," F.R. Note 247, Building Research Establishment, Borehamwood, Herts, UK (1957).
- [5] Thomas, P. H., "The Distribution of Temperature and Velocity Due to Fires beneath Ceilings," F.R. Note 141, Building Research Establishment, Borehamwood, Herts, UK (1955).
- [6] Alpert, R. L., "Fire Induced Turbulent Ceiling-Jet," Technical Report Serial No. 19722-2, Factory Mutual Research Corporation, p.35 (1971).
- [7] Alpert, R. L., "Calculation of Response Time of Ceiling-Mounted Fire Detectors," Fire Tech., 8, 181 (1972).
- [8] Heskestad, G., "Similarity Relations for the Initial Convective Flow Generated by Fire," ASME Paper No. 72-WA/HT-17, The American Society of Mechanical Engineers (1972).
- [9] Heskestad, G., "Physical Modeling of Fire," J. Fire & Flammability, 6, 253 (1975).
- [10] Alpert, R. L., "Turbulent Ceiling-Jet Induced by Large-Scale Fires," Comb. Sci. and Tech., 11, 197 (1975).
- [11] Alpert, R. L., "Ceiling Jet Flows," The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, P. J. DiNenno, Editor, National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA, pp. 2-18 to 2-31, (2002).
- [12] Veldman, C. C., Kubota, T., and Zukoski, E. E., "An Experimental Investigation of the Heat Transfer from a Buoyant Gas Plume to a Horizontal Ceiling—Part 1: Unobstructed Ceiling," NBS-GCR-77-97, U.S. National Bureau of Standards, Gaithersburg (1977).
- [13] Heskestad, G., and Delichatsios, M. A., "Environments of Fire Detectors," NBS-GCR-77-86 and NBS-GCR-77-95, National Bureau of Standards, Gaithersburg (1977).
- [14] Heskestad, G. and Delichatsios, M. A., The Initial Convective Flow in Fire, 17th International Symposium on Combustion. Combustion Institute, Pittsburgh (1978).
- [15] You (Yu), H. Z. and Faeth, G. M., "Ceiling Heat Transfer during Fire Plume and Fire Impingement," Fire and Materials., 3, 140 (1979).
- [16] Cooper, L. Y., "Heat Transfer from a Buoyant Plume to an Unconfined Ceiling," J. of Heat Trans., 104, 446 (1982).
- [17] You (Yu), H. Z., "An Investigation of Fire-plume Impingement on a Horizontal Ceiling: 2—Impingement and Ceiling-jet Regions," Fire and Materials, 9, 46 (1985).
- [18] Cooper, L. Y. and Woodhouse, A., "The Buoyant Plume-Driven Adiabatic Ceiling Temperature Revisited," J. of Heat Trans., 108, 822 (1986).
- [19] Evans, D. D. and Stroup, D. W., "Methods to Calculate the Response Time of Heat and Smoke Detectors Installed below Large Unobstructed Ceilings," Fire Tech., 22, 54 (1986).
- [20] Alpert, R. L., "Convective Heat Transfer in the Impingement Region of a Buoyant Plume," ASME J. of Heat Transfer, Vol. 109, p. 120, (1987).
- [21] Heskestad, G. and Delichatsios, M. A., "Update: The Initial Convective Flow in Fire," Short

Communication, Fire Safety J1, Vol 15, p.471, (1989).

[22] Motevalli, V. and Marks, C. H., "Characterizing the Unconfined Ceiling Jet under Steady-State Conditions: A Reassessment" Fire Safety Science, Proceedings of the 3rd International Symposium, G. Cox and B. Langford, eds., Elsevier Applied Science, New York, 301 (1991).

[23] Kokkala, M. A., "Experimental Study of Heat Transfer to Ceiling from an Impinging Diffusion Flame," Fire Safety Science-Proceedings of the Third International Symposium, G. Cox and B. Langford, eds., Elsevier Applied Science, New York, 261, (1991).

[24] Atkinson, G. T. and Drysdale, D. D., "Convective Heat Transfer from Fire Gases," Fire Safety J1, Vol.19, p.217, (1992).

[25] Heskestad, G. and Hamada, T., "Ceiling Jets of Strong Fire Plumes," F. Safety J., 21, 69, (1993).

[26] Hasemi, Y., Yokobayashi, S., Wakamatsu, T. and Ptchelintsev, A. V., "Fire Safety of Building Components Exposed to a Localised Fire-Scope and Experiments on Ceiling/Beam System Exposed to a Localised Fire," ASIAFLAM'95, First International Conference, Interscience Communications Ltd., London, pp.351-361, (1995).

[27] Tewarson, A., "Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires," *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 3rd Edition, P. J. DiNenno, Editor, National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA, pp.3-82 to 3-161, (2002).

[28] Babrauskas, V., "Heat Release Rates", *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 3rd Edition, P. J. DiNenno, Editor, National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA, pp.3-1 to 3-37, (2002).

[29] Heskestad, G., "Fire Plumes, Flame Height and Air Entrainment," *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 3rd Edition, P. J. DiNenno, Editor, National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA, pp.2-1 to 2-17, (2002).

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
消防安全工程
第 7 部分:顶棚射流的计算要求
GB/T 31593.7—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 1.25 字数 34 千字
2015 年 7 月第一版 2015 年 7 月第一次印刷

*

书号: 155066·1-51290 定价 21.00 元



GB/T 31593.7-2015

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