

风荷载下内部压力的局部体型系数如何选

徐珂

不久前接到@姚小瑞 的微信留言：请问GB50009-2012中8.3.5是内部压力的局部体型系数。那有没有8.3.1那样的内部压力总体体型系数？”

姚同学是在国外工作的结构工程师，因为检查与之合作国内设计单位的设计成果，对此有疑问，我们在微信上交流半天没有结果，她主要关心开放类建筑的内压系数是多少。我则是对规范这条新扩展的条文没有琢磨过，看规范也有些糊涂。为了说明这个事情，先把相关的条文列在下面：

规范条文

8.3.1 房屋和构筑物的风荷载体型系数 μ_s ，可按下列规定采用：

- 1 房屋和构筑物与表8.3.1 中的体型类同时，可按表8.3.1 的规定采用；
- 2 房屋和构筑物与表8.3.1 中的体型不同时，可按有关资料采用，当无资料时，宜由风洞试验确定；
- 3 对于重要且体型复杂的房屋和构筑物，应由风洞试验确定。

8.3.3 计算围护构件及其连接的风荷载时，可按下列规定采用局部体型系数 μ_{s1} ：

- 1 封闭式矩形平面房屋的墙面及屋面可按表8.3.3 的规定采用；
- 2 檐口、雨篷、遮阳板、边棱处的装饰条等突出构件，取-2.0；
- 3 其他房屋和构筑物可按本规范第8.3.1 条规定体型系数的1.25 倍取值。

8.3.5 计算围护构件风荷载时，建筑物内部压力的局部体型系数可按下列规定采用：

- 1 封闭式建筑物，按其外表面风压的正负情况取-0.2或0.2；
- 2 仅一面墙有主导洞口的建筑物，按下列规定采用：
 - 1) 当开洞率大于0.02 且小于或等于0.10 时，取 $0.4\mu_{s1}$ ；
 - 2) 当开洞率大于0.10 且小于或等于0.30 时，取 $0.6\mu_{s1}$ ；
 - 3) 当开洞率大于0.30 时，取 $0.8\mu_{s1}$ 。
- 3 其他情况，应按开放式建筑物的 μ_{s1} 取值。

注：1 主导洞口的开洞率是指单个主导洞口面积与该墙面全部面积之比；

2 μ_{s1} 应取主导洞口对应位置的值。

26	单面开敞式双坡屋面		迎风坡面的 μ_{s1} 按第2项采用
----	-----------	--	-------------------------

条文说明：

8.3.5条

对封闭式建筑物，考虑到建筑物内实际存在的个别孔口和缝隙，以及机械通风等因素，室内可能存在正负不同的气压。参照国外规范，大多取正负（0.18~0.25）的压力系数，本次修订仍取正负0.2。

对于有主导洞口的建筑物，其内压分布要复杂得多，和洞口面积、洞口位置、建筑物内部格局以及其他墙面的背景透风率等因素都有关系。根据本条第2款进行计算时，应注意考虑不同风向向下内部压力的不同取值。

本条第3款所称的开放式建筑是指主导洞口面积过大或不止一面墙存在大洞口的建筑物(例如本规范表8.3.1的26项)。

关于内压问题,如果大家去蒙古包或者帐篷里应该感觉得到,外边风很大时,内部实际上能够感受到空气流动,因此维护结构除了承受外部风压,内部也存在内部风压,这是我们讨论的关注点。

以表8.3.1封闭房屋第2项为例来说明,其整体的风荷载体型系数 μ_s 为下图,根据条文说明介绍,风荷载体型系数是指风作用在建筑物表面一定面积范围内所引起的平均压力(或吸力)与来流风的速度压的比值,它主要与建筑物的体型和尺度有关,也与周围环境和地面粗糙度有关,按我的理解就是外压,这里主要观察外墙的系数:

2	封闭式 双坡屋面		<p>1 中间值按线性插值法计算;</p> <p>2 μ_s 的绝对值不小于 0.1</p>
---	-------------	--	---

根据表8.3.3的介绍,封闭房屋外墙面的局部体型系数 μ_{s1} 为下图,其中侧面的系数主要以 S_b 为主,这里再理解一下,8.3.3条文说明写到,局部风压体型系数是考虑建筑物表面风压分布不均匀而导致局部部位的风压超过全表面平均风压的实际情况作出的挑整,说明该值仍然是外表面风压系数。

项次	类别	体型及局部体型系数	备注								
1	封闭式 矩形平 面房屋 的墙面	<table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">迎风面</td> <td style="text-align: center;">1.0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">侧面</td> <td style="text-align: center;">S_a -1.4</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">S_b -1.0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">背风面</td> <td style="text-align: center;">-0.6</td> </tr> </table>	迎风面	1.0	侧面	S_a -1.4		S_b -1.0	背风面	-0.6	<p>E 应取 $2H$ 和迎风宽度 B 中较小者</p>
迎风面	1.0										
侧面	S_a -1.4										
	S_b -1.0										
背风面	-0.6										

结合8.3.5.1条要求,内部压力的局部体型系数按其外表面风压的正负情况取-0.2或0.2,下面计算一下内压与外压的和值:

迎风面 = $1.0 - (-0.2) = 1.2$

背风面 = $0.2 - (-0.6) = 0.8$

侧面 = $-1.0 - 0.2 = -1.2$

这是计算维护结构的计算系数,听起来有点绕,主要是GB 50009-2012将这两项按两个条文来描述,中间还夹着8.3.4条,似乎讲不相关的事情,原来的规范没这么复杂,看一下2001版内容:

7.3.3条

验算围护构件及其连接的强度时,可按下列规定采用局部风压体型系数:

一、外表面

1 正压区按表7.3.1采用;

2 负压区

一对墙面，取-1.0；

一对墙角边，取-1.8；

一对屋面局部部位(周边和屋面坡度大于 10° 的屋脊部位)，取-2.2；

一对檐口、雨篷、遮阳板等突出构件，取-2.0。

注:对墙角边和屋面局部部位的作用宽度为房屋宽度的0.1或房屋平均高度的0.4，取其小者，但不小于1.5m。

二、内表面

对封闭式建筑物，按外表面风压的正负情况取-0.2或0.2。

对比2012版和2001版，从字面理解计算维护结构时，正压区是提高的，负压区是降低的。下面接着讨论2012版中8.3.5.3条怎么计算，即内压按“其他情况，应按开放式建筑物的 μ_{s1} 取值。”这里的 μ_{s1} 还是局部体型系数，8.3.3.3条规定外压按“其他房屋和构筑物可按本规范第8.3.1条规定体型系数的1.25倍取值。”看上面封闭建筑正面风压系数关系 $1.0/0.8=1.25$ ，但其它部位并不符合这个关系，背面是 $0.6/0.5=1.2$ 倍，侧面大约是 $1.0/0.7=1.42$ 倍。

按字面理解计算围护构件及其连接的风荷载时的系数就是 $2*1.25*\mu_s$ ，以表8.3.1的26项为例， μ_s 值为1.3，则上式计算结果等于 $2*1.25*1.3=3.25$ ，该值是 μ_s 的2.5倍。

关于这个问题，我把它写在微博上，有以下的看法：

@段小廿：我认为8.3.3.3的系数1.25只该放大外部风压而不应放大内部压力。故我会如此计算： $1.3+1.25*0.5=1.925$ 。香港2004年版风载规范就写得一点不含糊，直接给出总风压。对开放式建筑，取2.0。（注：公式如何来的不明确。）

@王-立军 @靳卫填海：我的理解是不需要乘以2，表8.3.1条26项次中的-1.3应该就是内部正压引起的，不需要重复考虑。

@推土机002：比较8.3.1第2项和第26项，可知开敞式体型系数实际是封闭式体型系数分别与0.8和-0.5叠加的结果，即26项的体型系数已包含内压，也就是说对于开敞式建筑来说，计算主体结构体型系数必须考虑内压，既然26项的体型系数已包含内压，计算维护结构就应该是 $1.25*1.3=1.625$ 。

关于这个问题，大家的意见不太相同，以26项的案例也很怪异，这个案例中迎风面墙体中部跟下面独立墙是否有区别？

项次	类别	体型及体型系数 μ_s	备注
34	独立墙体及围墙	→ $\frac{+1.3}{-}$	—

独立墙体其实很明确，它不存在内压和外压，整体就承担1.3的风压系数，计算维护结构就是放大1.25倍就可以。

还有一点，计算维护结构还需要计算阵风系数，体型系数过大，风荷载标准值计算下来岂不是太大？以北京地区为例，风荷载基本风压值是 0.45kN/m^2 ，按B类地面粗糙度的阵风系数1.7，地面附近的风荷载标准值等于 $1.7*3.25*0.45=2.49\text{kN/m}^2$ ，相当于每平方米承担250公斤。

如果按不乘以2的方式计算，风荷载标准值是 1.25kN/m^2 ，参看玻璃幕墙规程有一条规定，就是计算用风荷载标准值不小于 1.0kN/m^2 ，主要是针对低风压区和近地幕墙设计，所以我个人认为不乘以2，附注是中国建筑科学研究院金新阳的看法，他提到大开口封闭建筑内部压力系数可以达到0.6，说明极端情况下风压力会很大，仍是需注意的，但是开敞式建筑不太同于封闭式建筑，@段小廿认为计算取2.0系数，我认为还是有必要的，只是如何定义公式有待明确。

附注

中国建筑科学研究院金新阳对体型系数的看法

3. 局部体型系数及阵风系数

3.1 局部体型系数随面积的变化

用于维护结构设计的局部体型系数，不同于主体结构设计的体型系数。前者主要考虑两点，一是受荷面积较小，风压系数是在小范围内的平均值，二是要考虑风的脉动性。我国规范给出的局部体型系数一般来说是最不利的情况，受荷面积约 1m^2 。为了让设计人员可以考虑计算构件的实际受荷面积，在这次荷载规范的修订中规定，当受荷面积大于 1m^2 时允许将局部体型系数按面积进行折减。当围护构件的从属面积大于或等于 10m^2 时，局部风压体型系数 μ_{sl} 可乘以折减系数 0.8，当构件的面积小于 10m^2 而大于 1m^2 时，局部风压体型系数 μ_{sl} 可按面积的对数插值，即

$$\mu_{sl,A} = \mu_{sl,1} + (\mu_{sl,10} - \mu_{sl,1}) \log A \quad (1)$$

式中 $\mu_{sl,A}, \mu_{sl,1}, \mu_{sl,10}$ ——分别是面积为 A 、1 和 10m^2 的局部体型系数；
 A ——受荷面积。

3.2 非直接承受风压构件的局部体型系数

规范规定的体型系数用于主体结构设计，如框架、排架等，局部体型系数用于直接承受风压作用的维护结构设计，如屋面板、幕墙玻璃及其连接件等。可是在实际工程中往往还有一些处于这两者之间的非直接承受风压的维护结构，比如幕墙中的支撑构架、屋面檩条等。这类结构承受的风荷载的大小实际上也是处于主体结构和直接承受风压的维护结构两者之间，具体取值要视结构的具体情况而定。在实际应用中，可以参照专业设计规范的规定，如轻钢设计规范、幕墙设计规范等，也可采用荷载规范规定的考虑面积折减后的局部体型系数。

3.3 内部压力系数

内部压力系数是指封闭建筑在风作用下其内部压力相对于大气压的压力差与来流参考动风压之比。我国规范是在 2001 版修订时才增加该系数¹⁾，由于缺乏自己的试验数据，主要是参考国外规范，内部压力系数为 ± 0.2 。规范提供的这一系数是指各墙面的透风率都小于 1% 的全封闭建筑的一般情况，没有考虑各墙面透风率不同或者风作用下门窗的可能开启等情况。事实上内部压力与建筑各墙面的透风率、各墙面的开洞情况关系十分密切，系数的变化范围也很大⁴⁾。当各面墙的透风率不同时，内部压力系数会适当增加。当某一面墙上有开洞率较大的主导洞口时，尤其是当主导洞口出现在迎风面或背风面时，往往会出现最不利的内部压力情况。当主导洞口与全部洞口的比率达到 3 倍以上时，最大的内部压力系数可达到 ± 0.6 。许多低矮房屋的风灾破坏实例也证明了这一点，例如 2004 年云娜台风中，温州地区一些工业厂房就是由于强风中迎风面门窗出现破坏，导致内部压力突然增加，将整个轻质屋盖掀掉。

因此，在维护结构设计中，尤其是大跨、轻质房屋建筑的设计中，必须充分考虑到建筑的实际开洞情况和建筑物洞口在强风中可能出现的破坏情况，选用适当的内部压力系数。此外，内压系数必须与体型系数组合应用，根据体型系数的正负号按最不利情况选用内部压力系数的正负号。

3.4 阵风系数

阵风系数主要考虑两个因素，设计风速的平均时间和风的脉动特性。包括我国规范在内的许多国家的基本风速是采用 10 分钟平均风速，但在幕墙等维护结构设计中，根据经验一般要采用平均时间更短一些的瞬时风速。此外，由于维护结构直接承受风压作用，风的脉动影响更为明显，设计时也应予以考虑。

我国新修订的荷载规范规定，对幕墙结构设计除要采用局部体型系数外还应考虑阵风系数，该系数随地面粗糙度的增加而增大，随离地面高度的增加而减小。对其它维护结构则不需要考虑阵风系数。与局部体型系数相似，对非直接承受风压的维护结构的阵风系数允许适当减小。