

《建筑结构荷载规范》GB50009-2012 修订介绍

《建筑结构荷载规范》管理组

jinxinyang@cabrtech.com

010-64517525



主要内容

- 1、修订背景
- 2、主要修订内容
- 3、荷载组合
- 4、楼面活荷载
- 5、雪荷载
- 6、风荷载
- 7、温度作用
- 8、偶然荷载

1、修订背景

1.1 规范版本沿革

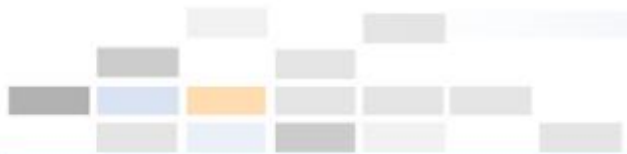
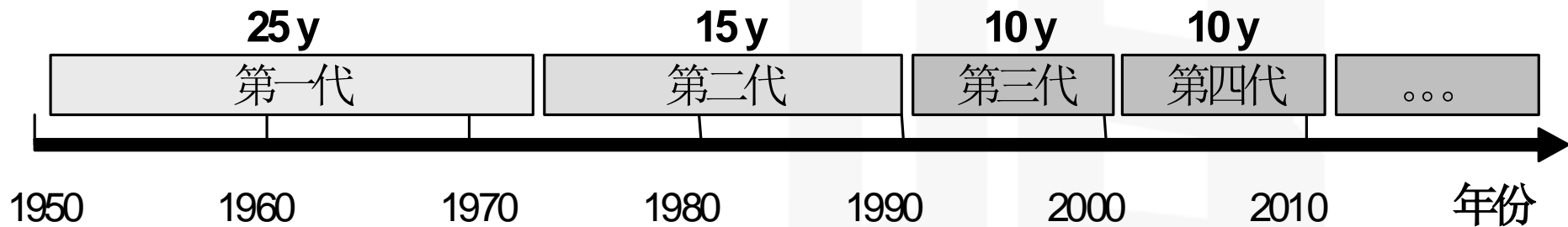
1.2 现状与面临的问题

1.3 修订原则与重点

1.4 修订过程及主要工作

1、修订背景

1.1 中国结构设计规范历史沿革



《建筑结构荷载规范》历史沿革

- n 《荷载暂行规定》（结规1-54）——建国初期，引进苏联标准为主
- n 《荷载暂行规定》（结规1-58）
- n 《工业与民用建筑结构荷载规范》（TJ9-74）——第一本我国自主的较为完整的荷载规范
- n 《建筑结构荷载规范》（GBJ-87）——大量调查研究工作为基础，以《建筑结构设计统一标准》为准则，新一代基于概率极限状态设计的先进标准
- n 《建筑结构荷载规范》（GB50009-2001）
- n 《建筑结构荷载规范》（GB50009-2001）（2006版）

1.2 现状与面临的问题

n 全球气候变化，极端天气与灾害频发——风灾



2005-美国卡特里娜飓风，
上百万人流离失所



n 全球反恐，恐怖活动升级



以美国911事件为标志，重大工程设计面临预防恐怖袭击问题

n 现代化设施及交通工具普及和猛增



1.3 修订原则与重点

- n 补充风、雪、温度基本气象数据，应对全球气候变化及自然灾害频发
- n 增加温度作用、偶然荷载，完善标准体系架构，满足特殊结构或特殊使用环境设计所需
- n 增加活荷载设计使用年限调整系数，调整和完善活荷载，适当提高安全度
- n 从风剖面、体形系数以及风振响应计算等方面，全方位统筹考虑风荷载修订，补充高层、大跨抗风研究新成果

1.4 修訂過程及主要工作

n 2009年12月12日在北京召開編制組成立暨第一次工作會議

n 編制組成員：
金新陽 陳凱 唐意 王國硯 顧明 范重
楊蔚彪 束偉農 楊振斌 范峰 貢金鑫 朱丹
王建 馮遠 李霆 韓紀升 林政



- n 2011年7月6-7日在北京召开《建筑结构荷载规范》（送审稿）审查会
- n 审查专家：程懋堃、汪大绥、徐永基、陈基发、薛桁、任庆英、姜宇、袁金西、左江、吴一红、莫庸、郑文忠、方小丹、章一萍、樊小卿



- n 2012年5月28日，住房和城乡建设部第1405号公告批准发布
- n 标准名及编号 《建筑结构荷载规范》
GB50009-2012
- n 自2012年10月1日起实施

2、主要修订内容

- n 修订后本规范共有10章、9个附录，新增3章3个附录。
- n 主要修订内容是：
 1. 增加可变荷载考虑设计使用年限的调整系数的规定；
 2. 增加偶然荷载组合表达式；
 3. 增加第4章永久荷载；
 4. 调整和补充部分民用建筑楼面、屋面均布活荷载标准值；
 5. 补充了部分屋面积雪不均匀分布的情况；
 6. 调整了风荷载高度变化系数和山峰地形修正系数；
 7. 补充完善了风荷载体型系数和局部体型系数，补充高层建筑群干扰效应系数取值范围；
 8. 修改顺风向风振系数的计算表达式和计算参数，增加大跨屋盖结构风振计算的原则规定；



9. 增加横风向和扭转风振等效风荷载计算的规定，增加顺风向、横风向及扭转风振等效风荷载组合工况的规定；
10. 修改了阵风系数计算公式与表格；
11. 增加第9章“温度作用”；
12. 增加第10章“偶然荷载”；
13. 增加附录B“消防车荷载考虑覆土厚度的折减系数”；
14. 根据新的观测资料，重新统计全国各气象台站的雪压和风压，调整了部分城市的雪压和风压值，绘制了新的全国基本雪压和基本风压图；
15. 根据历年月平均最高和最低气温资料，统计全国各气象台站的基本气温，绘制新的全国基本气温分布图；
16. 增加附录H“横风向及扭转风振的等效风荷载”；
17. 增加附录I“高层建筑顺风向及横风向风振加速度计算”。

3、荷载组合

3.1 关于荷载及荷载组合的几个基本概念

3.2 活荷载设计使用年限调整系数

3.3 荷载组合应用

3.4 非线性的组合问题

3.5 偶然荷载组合

3.1 关于荷载及荷载组合的几个基本概念

n 设计使用年限

- p 设计使用年限是指设计规定的结构或结构构件不需要进行大修即可按其预定目的使用的时期。
- p 主要体现在调整荷载设计值和耐久性两个方面。
- p 我国《工程结构可靠性设计统一标准》（GB 50153-2008）规定的建筑结构的设计使用年限如下

表:

类别	设计使用年限 (a)	示例
1	5	临时性建筑结构
2	25	易替换的结构构件
3	50	普通房屋和构筑物
4	100	标志性建筑和特别重要的建筑结构

3.2 活荷载设计使用年限调整系数

n应用于荷载基本组合中

由可变荷载控制的效应设计值:

$$S_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{Gj} S_{G_{jk}} + \gamma_{Q_1} g_{L_1} S_{Q_{1k}} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} g_{L_i} \psi_{ci} S_{Q_{ik}}$$

由永久荷载控制的效应设计值:

$$S_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{Gj} S_{G_{jk}} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} g_{L_i} \psi_{ci} S_{Q_{ik}}$$

γ_{L_i} ——第i个可变荷载考虑设计使用年限的调整系数

规范条文

- 3.2.5 可变荷载考虑设计使用年限的调整系数应按下列规定采用：
- 1 楼面和屋面活荷载考虑设计使用年限的调整系数应按表3.2.5采用；
 - 2 对雪荷载和风荷载，应取重现期为设计使用年限，按本规范第E.3.3条的规定确定基本雪压和基本风压，或按有关规范的规定采用。

表3.2.5 楼面和屋面活荷载考虑设计使用年限的调整系数

结构设计使用年限（年）	5	50	100
调整系数	0.9	1.0	1.1

- 注：1 当设计使用年限不为表中数值时，调整系数可按线性内插确定；
2 对于荷载标准值可控制的活荷载，设计使用年限调整系数取1.0。

E.3.3 重现期为R的最大雪压和最大风速可按下列式确定：

$$x_R = u - \frac{1}{a} \ln \left[\ln \left(\frac{R}{R-1} \right) \right] \quad (\text{E.3.3})$$

$$a = \frac{1.28255}{s}$$

$$u = m - \frac{0.57722}{a}$$

- u —— 分布的位置参数，即其分布的众值；
 a —— 分布的尺度参数；
 s —— 样本的标准差；
 m —— 样本的平均值。

3.2 荷载组合应用

n 以基本组合为例

可变荷载为主

$$S_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{Gj} S_{G,jk} + \gamma_{Q1} g_{L1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} g_{Li} \psi_{ci} S_{Qik}$$

恒载为主

$$S_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{Gj} S_{G,jk} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} g_{Li} \psi_{ci} S_{Qik}$$

p 工程中很难判断恒载或哪一种可变荷载为主

p 要轮次试算

3.4 荷载与效应为非线性的组合问题

- n 荷载与效应呈非线性关系——几何、材料
- n 不能直接按效应叠加
- n 特殊情况也不可用荷载叠加——效应反号
- n 规范不给统一组合公式，根据工程实际和经验确定

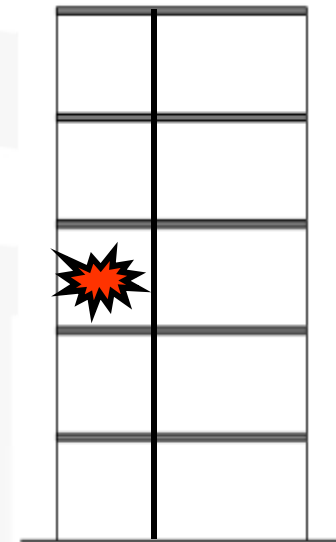
3.5 偶然荷载组合

3.2.6 荷载偶然组合的效应设计值 S_d 可按下列规定采用：

1 用于承载能力极限状态计算的效应设计值，应按下式进行计算：

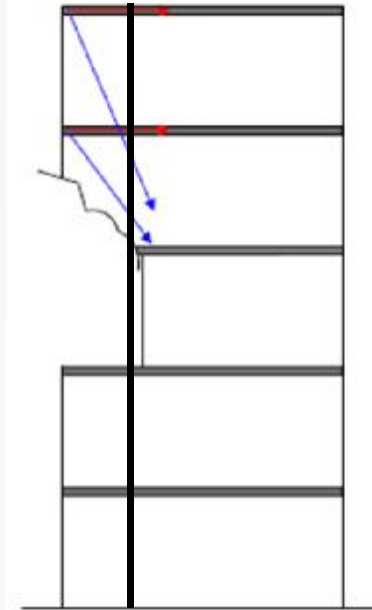
$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G_{j,k}} + S_{A_d} + y_{f1} S_{Q_{1,k}} + \sum_{i=2}^n y_{qi} S_{Q_{i,k}}$$

S_{A_d} ——按偶然荷载设计值 A_d 计算的荷载效应值；



2 用于偶然事件发生后受损结构整体稳固性验算的效应设计值，应按下式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G_{j,k}} + y_{f1} S_{Q_{1,k}} + \sum_{i=2}^n y_{qi} S_{Q_{i,k}}$$



4、楼面活荷载

4.1 提高部分楼面活荷载标准值

4.2 消防车荷载问题

4.3 施工与栏杆荷载

4.1 提高部分楼面活荷载标准值

n 教室：2.0 → 2.5；

浴室、卫生间 2.0 → 2.5

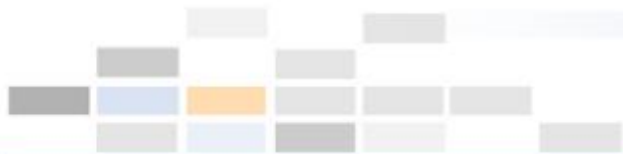
除多层住宅以外的楼梯活荷载均取3.5

n 屋面活荷载增加屋顶运动场活荷载4.0

4.2 消防车荷载

- n 表5.1.1第8项，消防车荷载扩充到双向板楼盖（板跨不小于 $3\text{m} \times 3\text{m}$ ）
- n 表5.1.1注：4 第8项消防车活荷载，当双向板楼盖板跨介于 $3\text{m} \times 3\text{m} \sim 6\text{m} \times 6\text{m}$ 之间时，应按跨度线性插值确定；
- n 5.1.3 设计墙、柱时，本规范表5.1.1中第8项的消防车活荷载可按实际情况考虑；设计基础时可不考虑消防车荷载。常用板跨的消防车活荷载按覆土厚度的折减系数可按附录B规定采用。

n 顶部有覆土时消防车活荷载按覆土厚度的折减



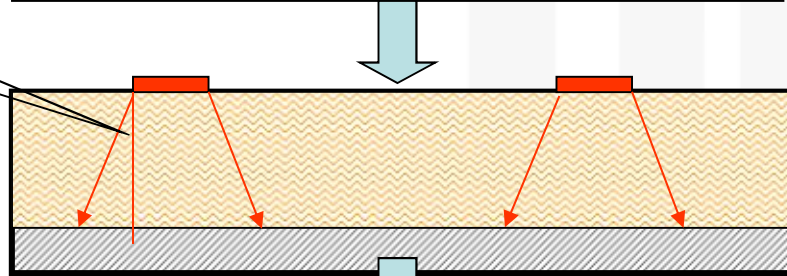
原作用图



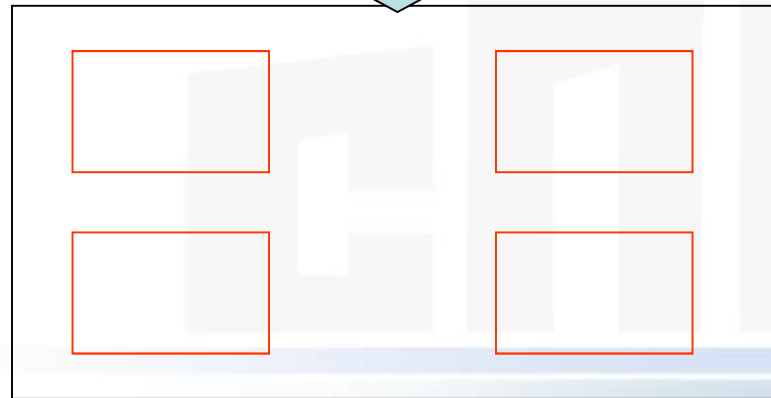
扩散角 (35度)

覆土厚度

板厚



扩散后作用图



楼盖板楼面消防车活荷载折减系数计算:

- 1) 消防车规格
- 2) 轮压不利布置
- 3) 有限元分析
- 4) 等效原则

附录B 消防车活荷载考虑覆土厚度影响的折减系数

B.0.1 当考虑覆土对楼面消防车活荷载的影响时，可对楼面消防车活荷载标准值进行折减，折减系数可按表B.0.1、B.0.2采用。

表B.0.1 单向板楼盖楼面消防车活荷载折减系数

折算覆土厚度 (m)	楼板跨度 (m)		
	2	3	4
0	1.00	1.00	1.00
0.5	0.94	0.94	0.94
1.0	0.88	0.88	0.88
1.5	0.82	0.80	0.81
2.0	0.70	0.70	0.71
2.5	0.56	0.60	0.62
3.0	0.46	0.51	0.54

4.3 楼梯栏杆荷载

栏杆破坏时有发生

如2010-11-29新疆学校踩踏事件



5.5.2 楼梯、看台、阳台和上人屋面等的栏杆活荷载标准值，不应小于下列规定：

1 住宅、宿舍、办公楼、旅馆、医院、托儿所、幼儿园，栏杆顶部的水平荷载应取**1.0**

kN / m；

2 学校、食堂、剧场、电影院、车站、礼堂、展览馆或体育场，栏杆顶部的水平荷载

应取**1.0 kN / m**，竖向荷载应取**1.2 kN/m**，水平荷载与竖向荷载应分别考虑。

- n** 栏杆顶部水平荷载从**0.5**提高至**1.0**；
- n** 人员可能集中时，增加栏杆竖向荷载**1.2**，
- n** 水平向荷载可分别考虑。

5、雪荷载

5.1 冰雪灾害及问题

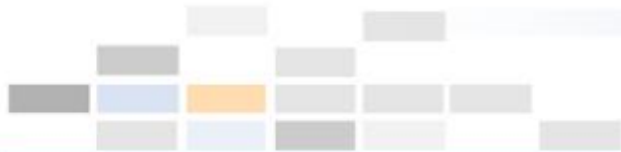
5.2 基本雪压

5.3 屋面积雪系数修订

5.1 冰雪灾害及问题



- 2008年2月2日，南昌市农产品中心批发市场（1死38伤）



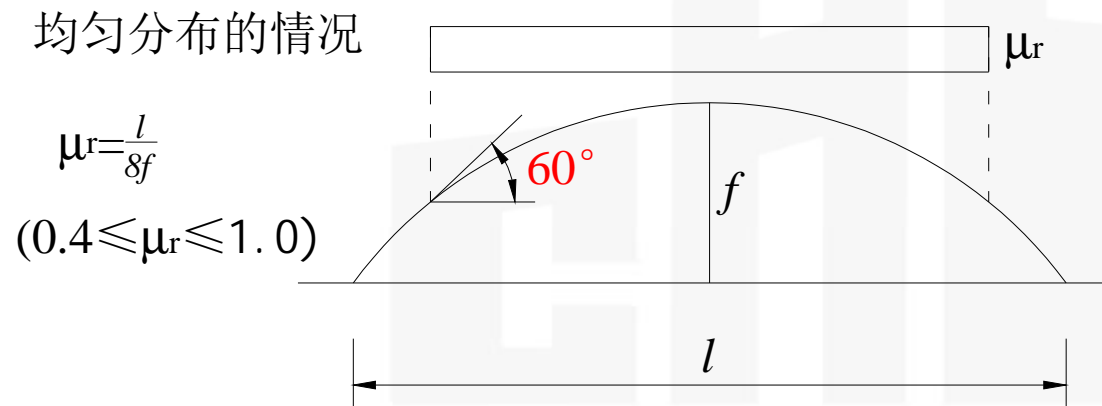
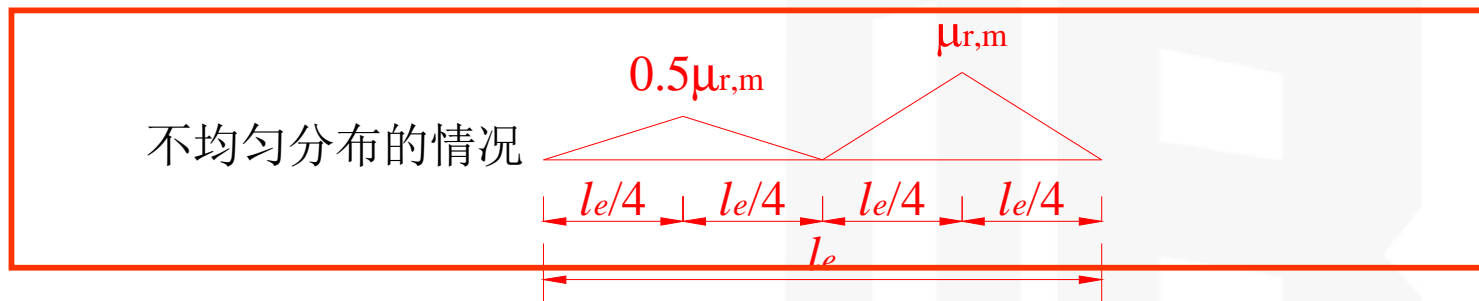
5.2 基本雪压

- n 收集补充自1995-2008年以来大雪气象数据，重新统计基本雪压
- n 新疆、东北、华北个别地方增加较多

省	市	旧	新
黑龙江	哈尔滨	0.45	0.45
	漠河	0.65	0.75
	黑河	0.60	0.75
	佳木斯	0.65	0.85
	虎林	0.70	1.40
新疆	乌鲁木齐	0.80	0.90
	阿勒泰	1.25	1.65
	伊宁	1.0	1.40
	富蕴	0.95	1.35
	塔城	1.35	1.55
	青河	0.80	1.30

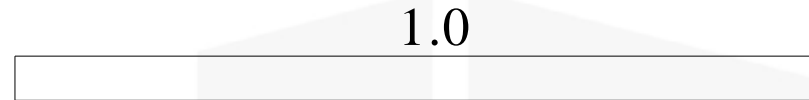
5.3 屋面积雪系数修订

3	拱形屋面	$m_{r,m}=0.2+10f/l$ ($m_{r,m}\leq 2.0$)
---	------	---

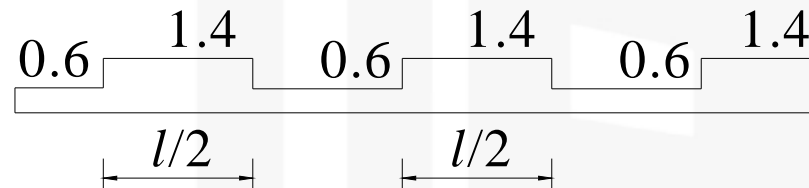


6	多跨单坡屋面（锯齿形屋面）	
---	---------------	--

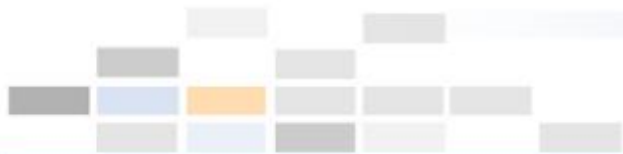
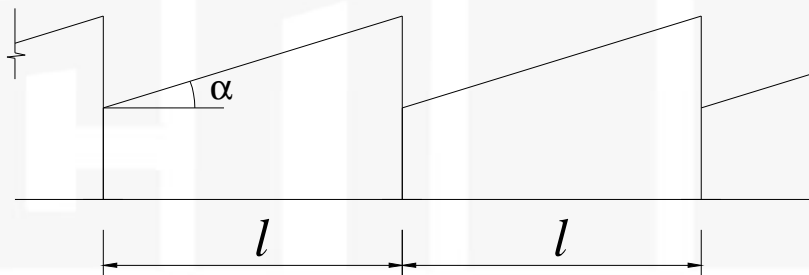
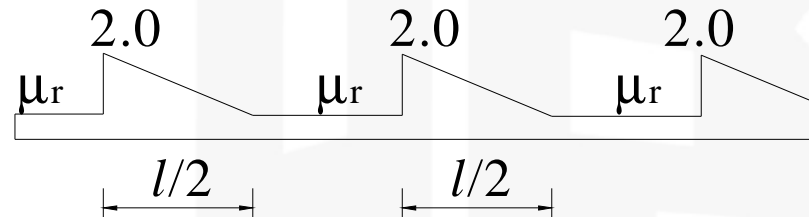
均匀分布的情况



不均匀分布的情况1

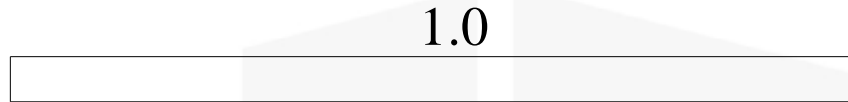


不均匀分布的情况2

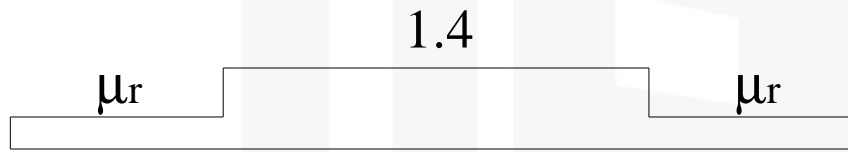


7	双跨双坡或拱形屋面	
---	-----------	--

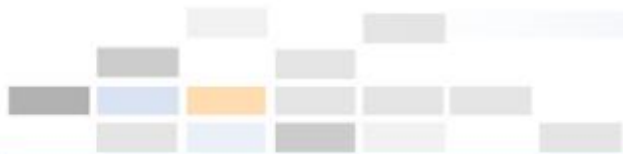
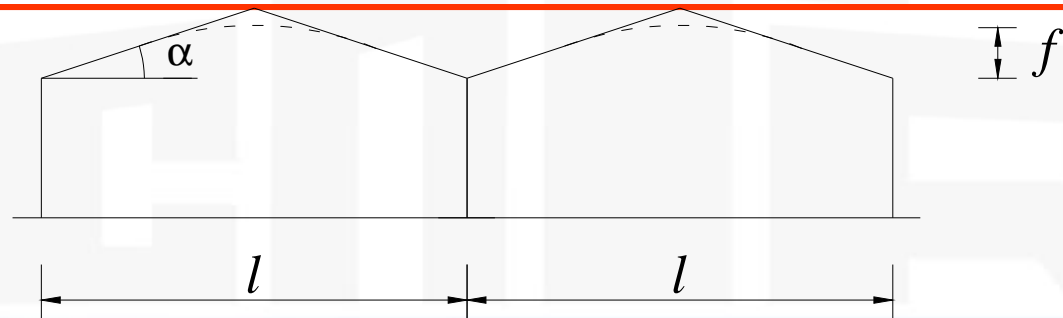
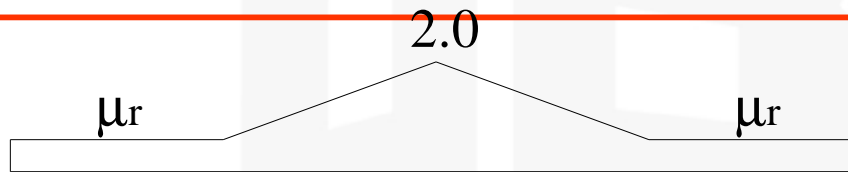
均匀分布的情况



不均匀分布的情况1

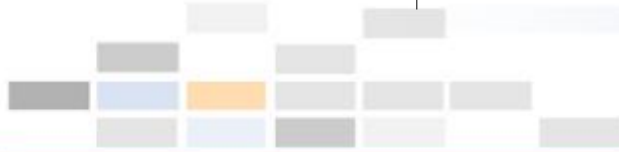
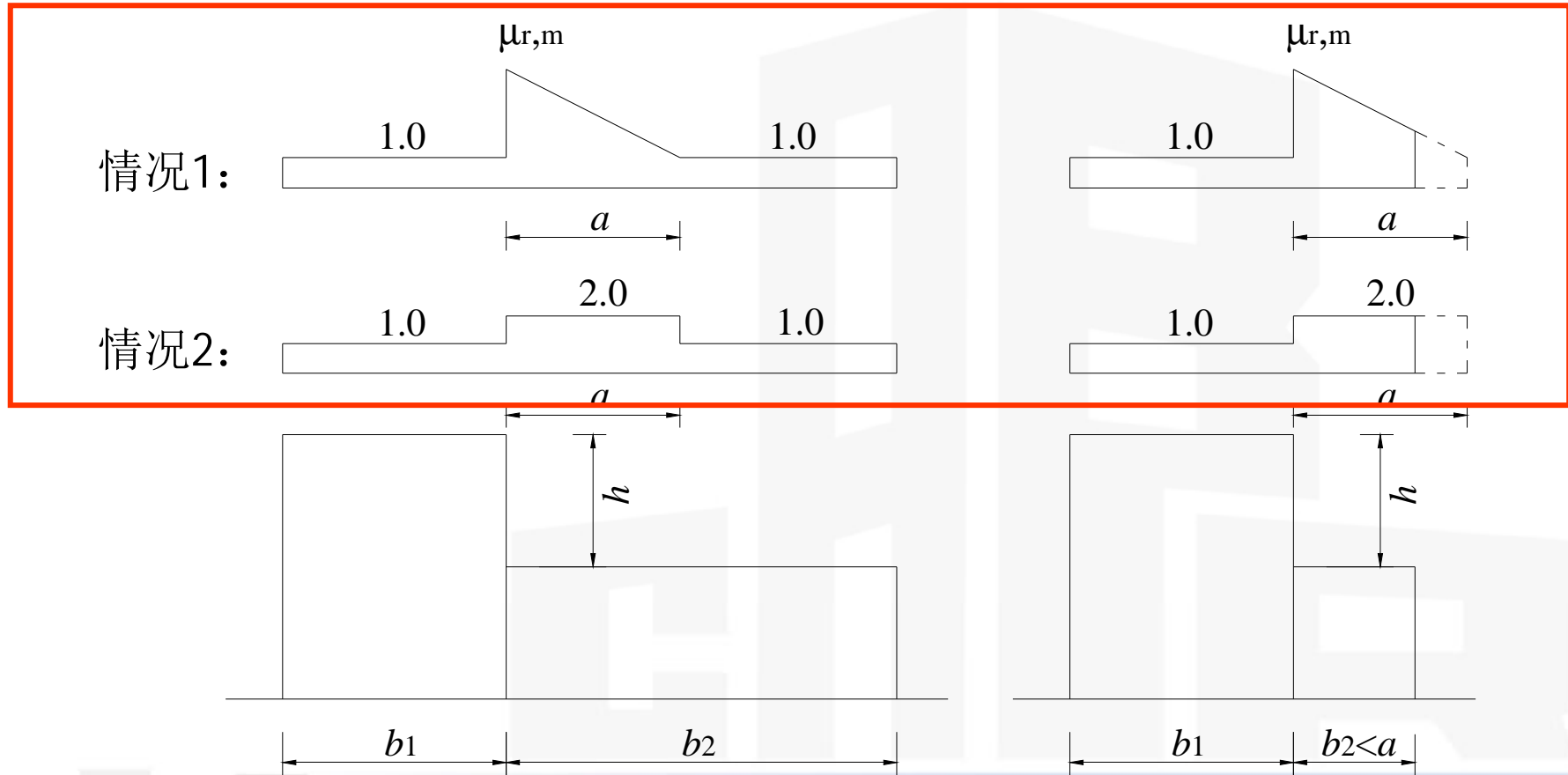


不均匀分布的情况2

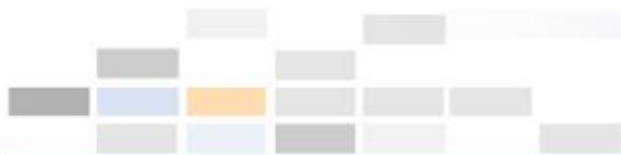
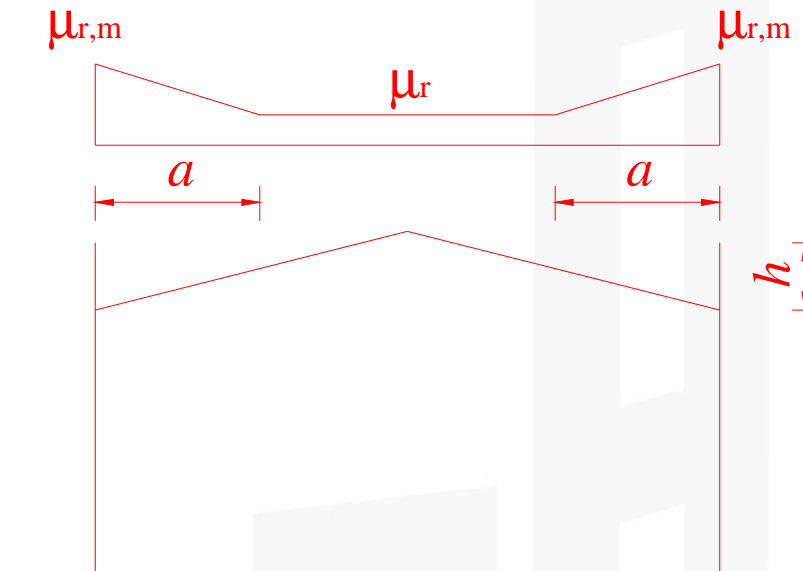




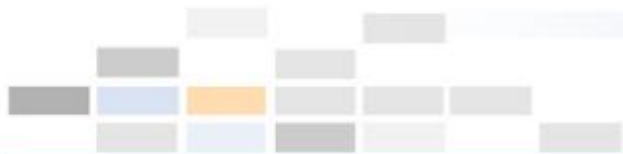
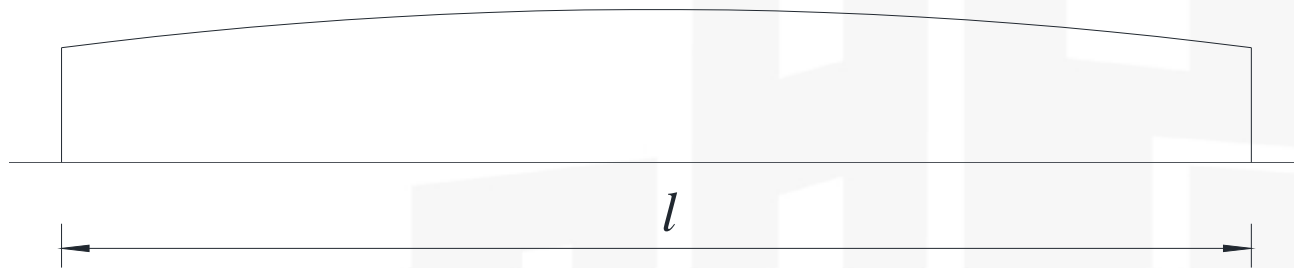
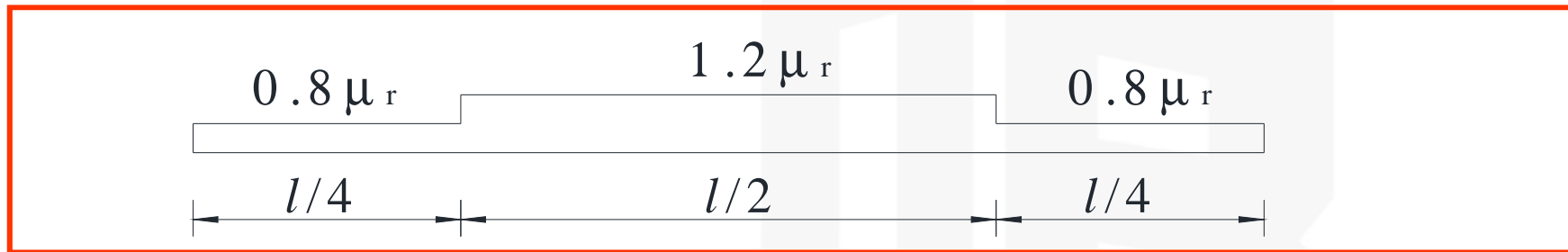
8	高低屋面	$a=2h, (4m < a < 8m)$ $m_{r,m}=(b_1+b_2)/2h, (2.0 \leq m_{r,m} \leq 4.0)$
---	------	--



9	有女儿墙及其它突起物的屋面	$a = 2h$ $m_{r,m} = 1.5h/s_0$ ($1.0 \leq m_{r,m} \leq 2.0$)
---	---------------	--



10	大跨屋面 ($l > 100m$)	同时考虑第2项、第3项的积雪分布
----	------------------------	------------------



6、风荷载

- 6.1 风荷载规范现状
- 6.2 风气候与基本风压
- 6.3 平均风剖面 and 脉动风剖面
- 6.4 体形系数与局部体形系数
- 6.5 风振响应与等效风荷载计算
- 6.6 高层建筑风振加速度计算
- 6.7 高层建筑群体干扰效应

6.1 规范现状与修订原则

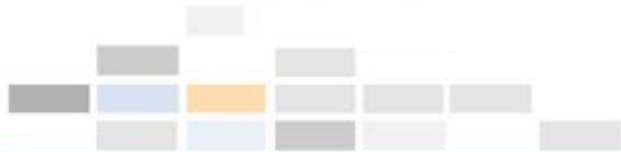
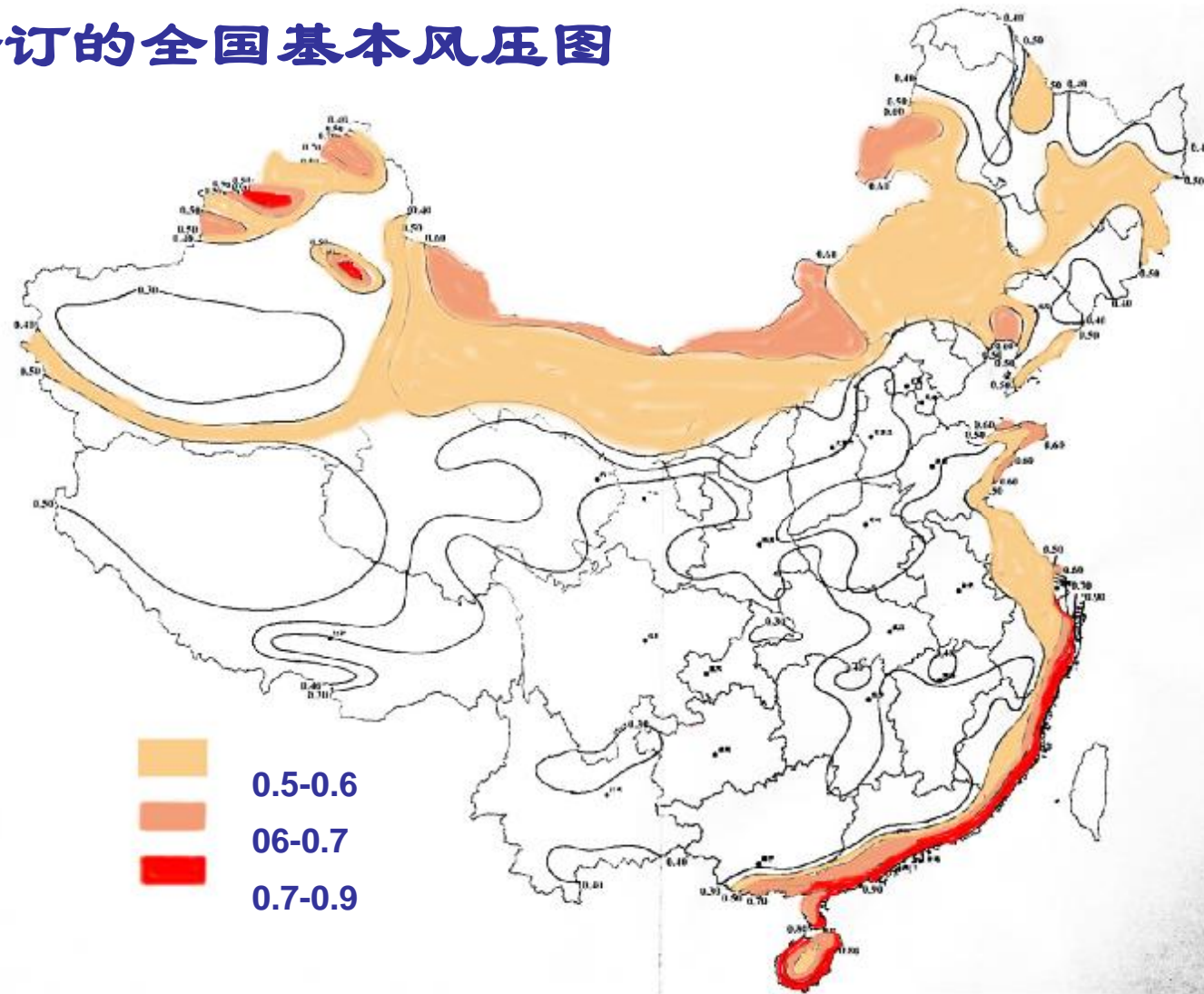
- n 风荷载取值水平总体情况
 - p 低矮建筑基本接近
 - p 高层建筑偏小，主要原因在脉动风压和风振响应
 - p 根据工程建设情况，对400以上超高层建筑，规范计算风荷载并不小，有国外咨询公司提供的风荷载值小于规范的现象
- n 规范实施以来，国内围护结构破坏时有出现，但未见高层建筑主结构因风破坏的案例
- n 修订原则
 - p 风剖面、体型系数、风振多因素统筹考虑，综合调整
 - p 整体风荷载小幅提高
 - p 超高层建筑略有减小

6.2 基本风压

- n 补充600多基本台站1995-2008年极值风速数据，重新统计基本风速，绘制新的基本风压图
- n 少量城市有增加，大部分保持不变，统计结果普遍减小



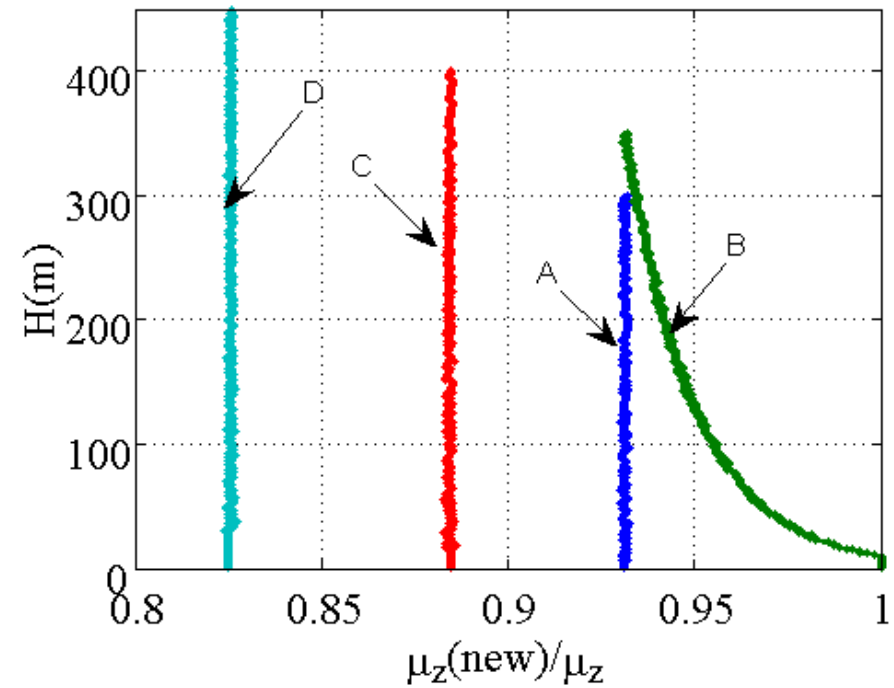
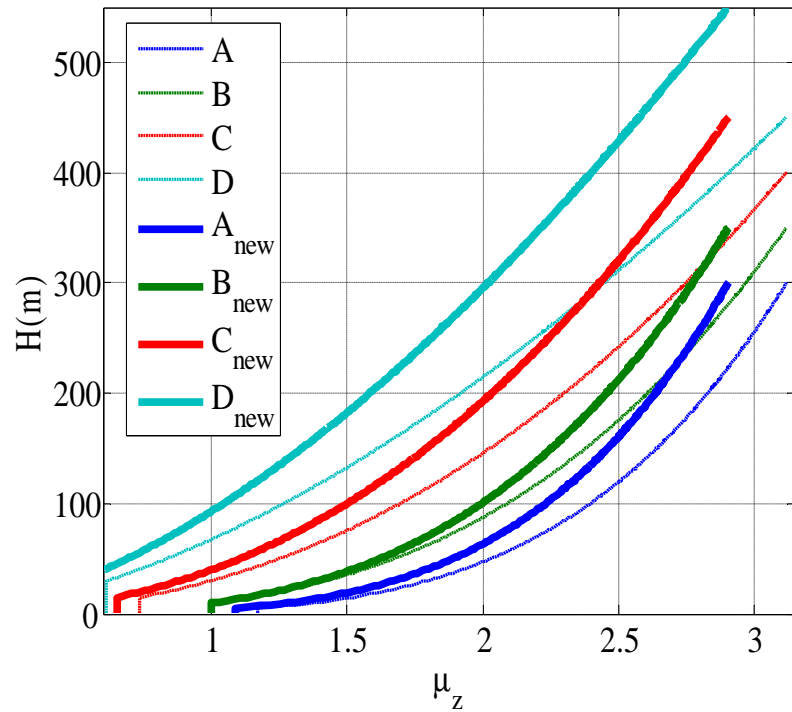
新修訂的全國基本風壓圖



6.3 平均风剖面 and 脉动风剖面

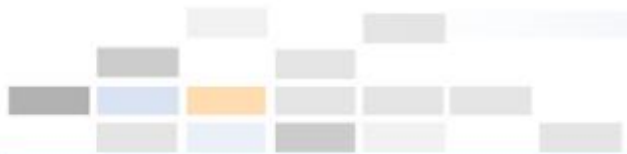
n 风速剖面（风压高度变化系数）的调整

地面粗糙度类别		I	II	III	IV
旧规范	z_G (m)	300	350	400	450
	指数 α	0.12	0.16	0.22	0.30
新规范	z_G (m)	300	350	450	550
	指数 α	0.12	0.15	0.22	0.30



调整后:

梯度风高度的高度变化系数由3.12降低为2.91，下降幅度约7%；
 C类和D类由于梯度风高度提高，下降幅度更大



n 脉动风速廓线修改方案

p 我国规范与日本、欧洲规范比较脉动风速偏小

原规范计算公式:

$$m_f = 0.5 \times 35^{1.8(a-0.16)} \left(\frac{z}{10} \right)^{-a}$$

修改后公式:

$$I(z) = I_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^{-a}$$

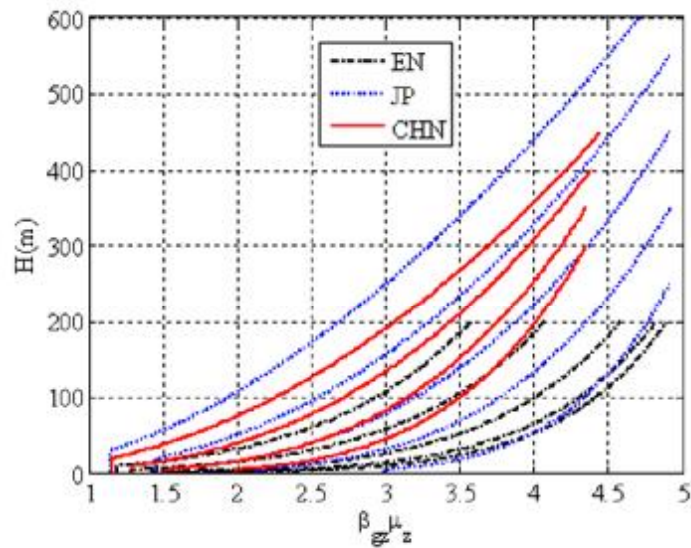


图3 原规范极值风压剖面与日、欧规范比较

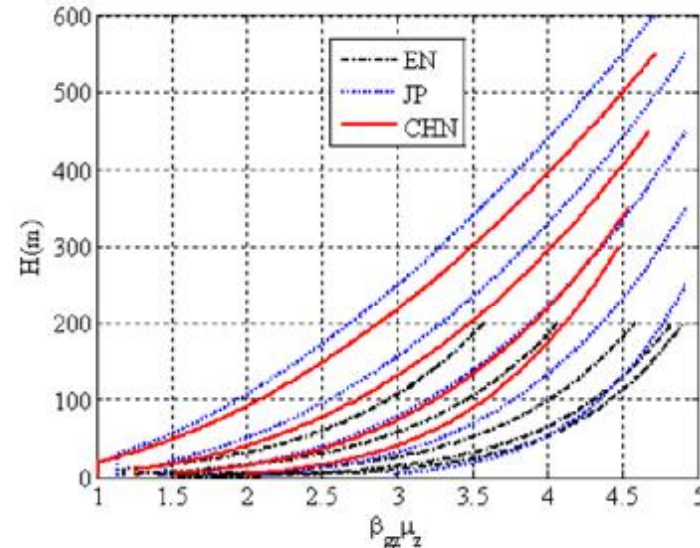


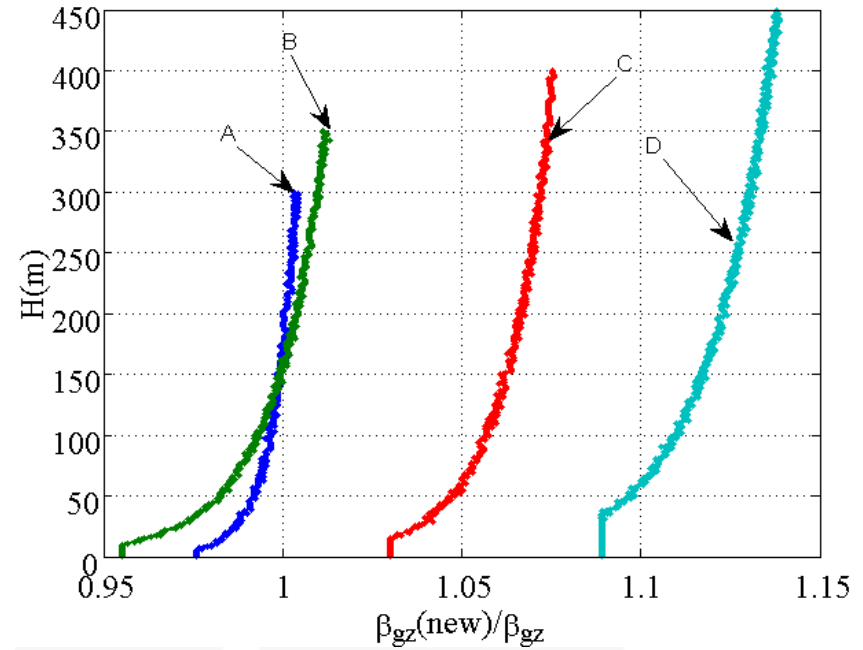
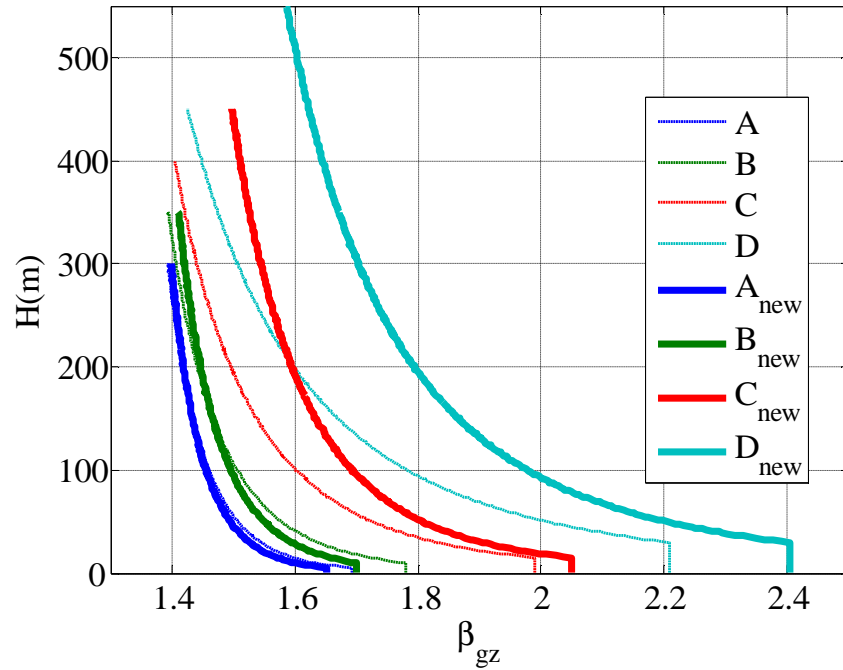
图4 新规范极值风压剖面与日、欧规范比较

n阵风系数的调整

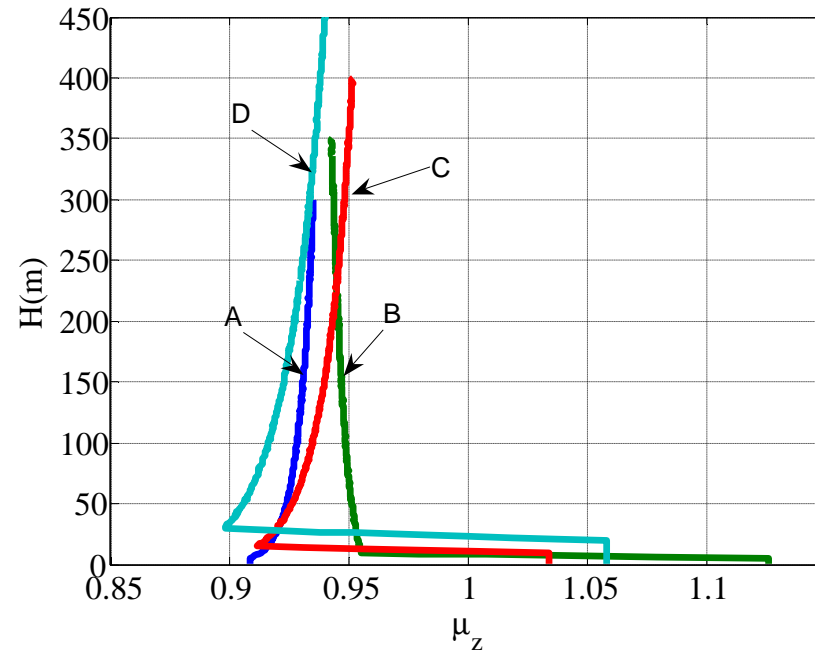
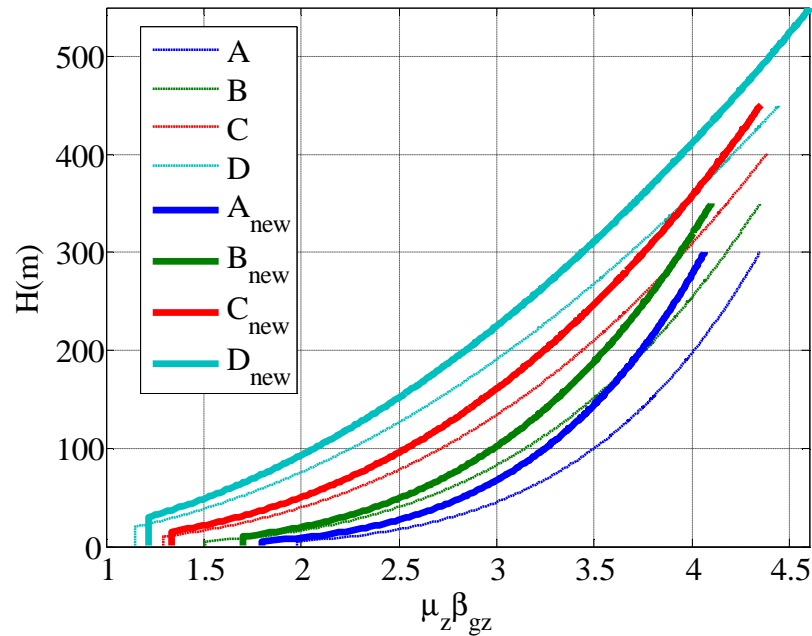
阵风系数和风振系数计算均采用统一的湍流度剖面

$$I(z) = I_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^{-a}$$

粗糙度类别	A	B	C	D
原规范 I_{10}	0.088	0.114	0.167	0.278
新规范 I_{10}	0.12	0.14	0.23	0.39



- 阵风系数：
 - A类与B类与原规范大致相当
 - C类和D类有不同程度的提高



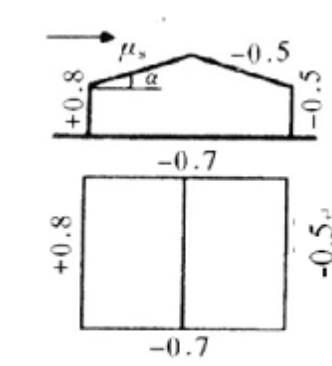
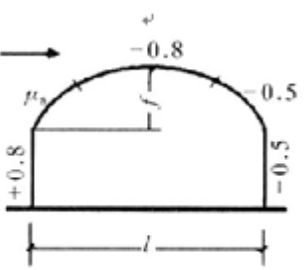
- 极值风速压:

- 与原规范相比约降低了5%到10%

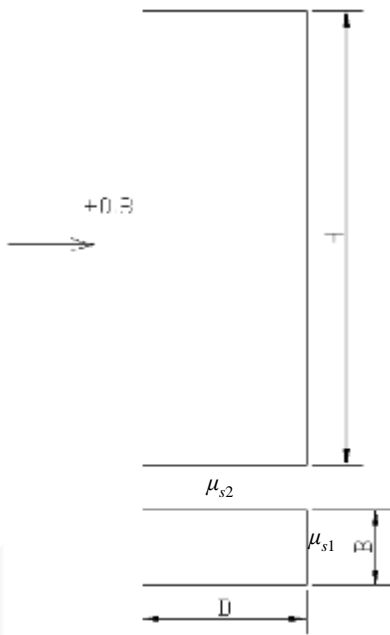
- 幕墙以外的围护结构考虑阵风系数后，风荷载值有所提高

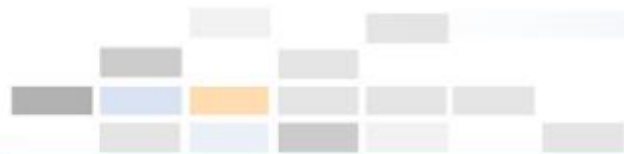
6.4 体形系数与局部体形系数

n 屋面体形系数增加绝对值不小于0.1的注，保证有一定下压风压

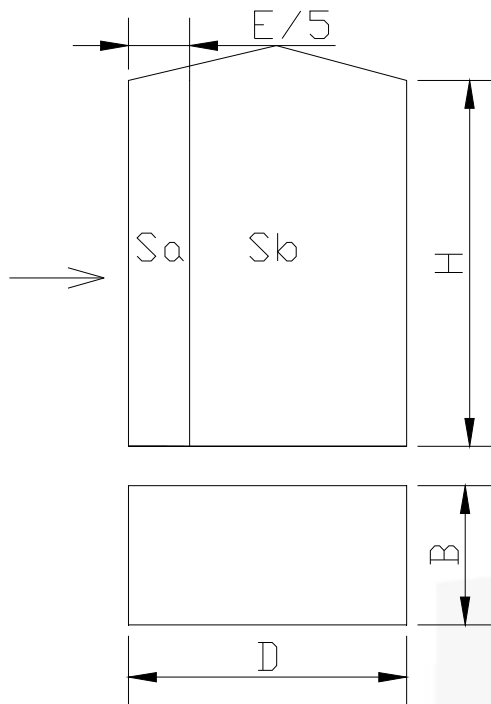
2	封闭式 双坡屋面		<table border="1" data-bbox="1220 534 1556 774"> <thead> <tr> <th>α°</th> <th>μ_s°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\leq 15^\circ$</td> <td>-0.6</td> </tr> <tr> <td>30°</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>$\geq 60^\circ$</td> <td>+0.8</td> </tr> </tbody> </table> <p>注：1 中间值按线性插值法计算； 2 μ_s的绝对值不小于0.1。</p>	α°	μ_s°	$\leq 15^\circ$	-0.6	30°	0	$\geq 60^\circ$	+0.8
α°	μ_s°										
$\leq 15^\circ$	-0.6										
30°	0										
$\geq 60^\circ$	+0.8										
4	封闭式 拱形屋面		<table border="1" data-bbox="1220 981 1556 1189"> <thead> <tr> <th>f/l</th> <th>μ_s°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.1</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>+0.6</td> </tr> </tbody> </table> <p>注：1 中间值按线性插值法计算； 2 μ_s的绝对值不小于0.1。</p>	f/l	μ_s°	0.1	-0.8	0.2	0	0.5	+0.6
f/l	μ_s°										
0.1	-0.8										
0.2	0										
0.5	+0.6										

n $D/B \leq 1$ 时 高层建筑风力系数由1.3 增加到 1.4

31	高度超过45米的矩形截面高层建筑		<table border="1"> <thead> <tr> <th>D/B</th> <th>≤ 1</th> <th>1.2</th> <th>2</th> <th>≥ 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>μ_{s1}</td> <td>-0.6</td> <td>-0.5</td> <td>-0.4</td> <td>-0.3</td> </tr> <tr> <td>μ_{s2}</td> <td colspan="4">-0.7</td> </tr> </tbody> </table>	D/B	≤ 1	1.2	2	≥ 4	μ_{s1}	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	μ_{s2}	-0.7			
D/B	≤ 1	1.2	2	≥ 4														
μ_{s1}	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3														
μ_{s2}	-0.7																	

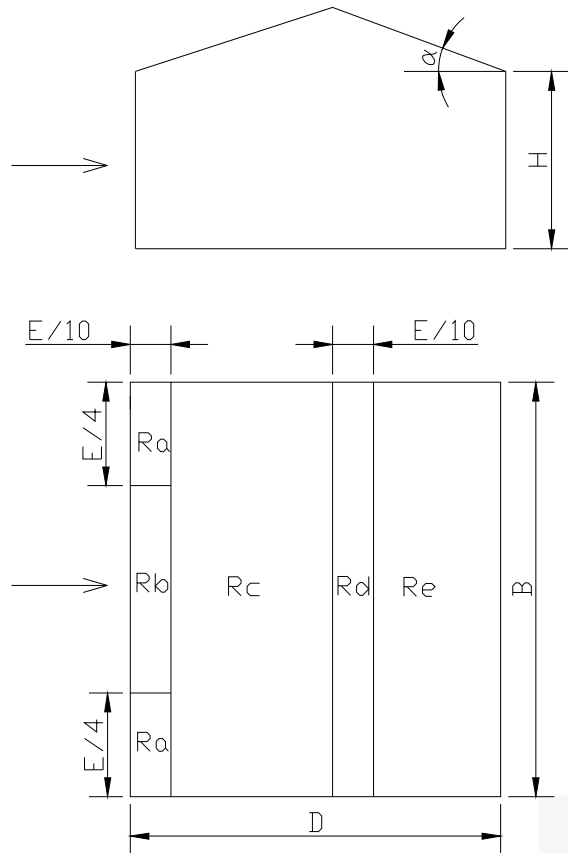


n 局部体型系数修改，体现建筑尺度、区域差异



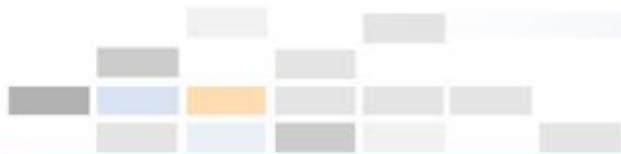
迎风面		1.0
侧面	S_a	-1.4
	S_b	-1.0
背风面		-0.6

墙面局部体型系数



α		≤ 5	15	30	≥ 45
Ra	$H/D \leq 0.5$	-1.8 +0	-1.4 +0.2	-1.5 +0.7	-0 +0.7
	$H/D \geq 1.0$	-2.5 +0	-2.0 +0.2		
Rb		-1.8 +0	-1.5 +0.2	-1.5 +0.7	-0 +0.7
Rc		-1.2 +0	-0.6 +0.2	-0.3 +0.4	-0 +0.6
Rd		-0.6 +0.2	-1.5 +0	-0.5 +0	-0.3 +0
Re		-0.6 +0	-0.4 +0	-0.4 +0	-0.2 +0

屋面局部体型系数



n局部体形系数折减

非直接承受风荷载的围护构件风荷载时，局部体型系数按构件的从属面积按下列规定折减：

- 1 当从属面积不大于 1m^2 时，折减系数取**1.0**；
- 2 当从属面积大于或等于 25m^2 时，对墙面折减系数取**0.8**，对局部体型系数绝对值大于**1.0**的屋面区域折减系数取**0.6**，

n内部压力系数

- 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
 - 当开洞率大于**0.02**且小于或等于**0.10**时，取 **$0.4\mu_{sl}$** ；
 - 当开洞率大于**0.10**且小于或等于**0.30**时，取 **$0.6\mu_{sl}$** ；
 - 当开洞率大于**0.30**时，取 **$0.8\mu_{sl}$** 。
- 3 其他情况，应按开放式建筑物的 **μ_{sl}** 取值。

n 围护结构风荷载修订效果

直接承受脉动风荷载的围护结构（屋面、幕墙）
风荷载有所提高，尤其屋面提高明显

非直接承受脉动风荷载的围护结构（檩条、幕墙
骨架），风荷载基本保持不变

6.5 风振响应与等效风荷载计算

n 风振系数表达方式

∅ 脉动增大系数方式（我国原规范、原苏联东欧）

$$b_z = 1 + x_1 u_1 g_1$$

∅ 新规范表达式方案：

$$b_z(z) = 1 + 2gI_{10}B_z\sqrt{1+R^2}$$

n 主要修改及比较

∅ 参数修改:

峰值因子 g 由2.2修改为2.5

适当提高基本湍流度 I_{10}

粗糙度类别	A	B	C	D
原规范 I_{10}	0.088	0.114	0.167	0.278
新规范 I_{10}	0.12	0.14	0.23	0.39

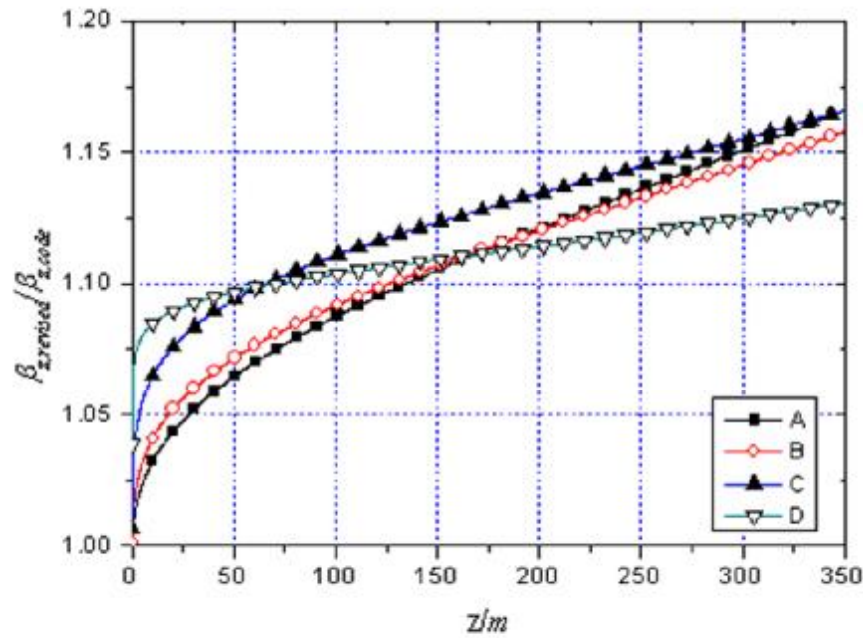


图 5 新旧规范风振系数之比沿高度变化

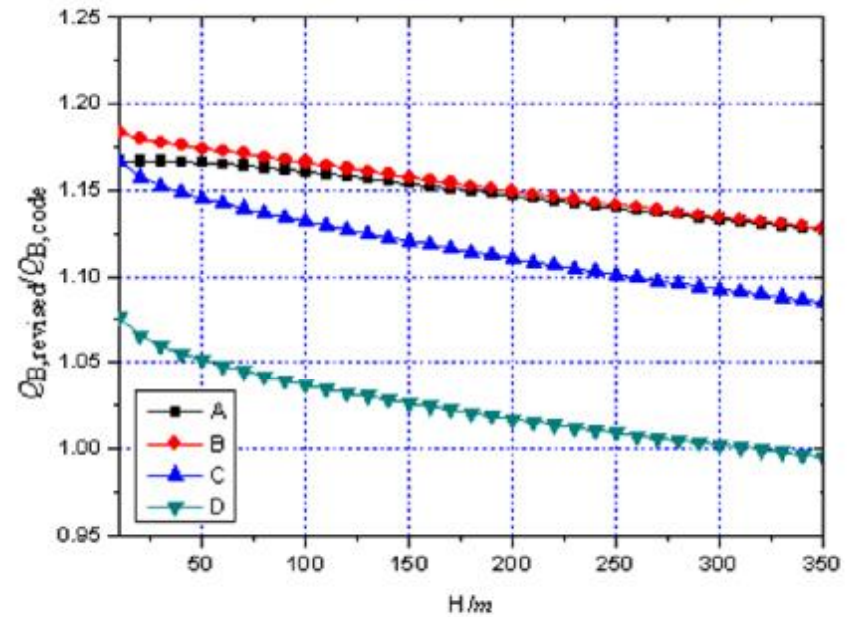
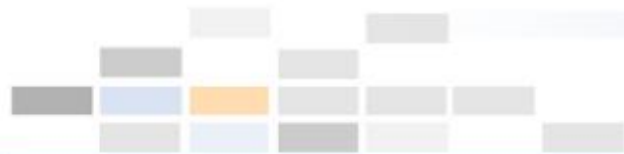


图 6 新旧规范总体风荷载基底剪力之比随建筑总高度的变化



n 横风向及扭转风振与等效风荷载

- p 高层建筑横风向风振，主要由风的横风向脉动、漩涡脱落和结构的气动反馈引起
- p 其效应对超高层建筑和高耸结构不可忽略，某些超高层建筑甚至起控制作用。

n 矩形截面横风向等效风荷载计算

p 基于随机振动方法和大量的风洞试验数据。

p 计算表达式：

$$w_{Lk} = gw_0 m_z C'_L \sqrt{1 + R_L^2}$$

C'_L ——横风向风力系数
 $\sqrt{1 + R_L^2}$ ——横风向共振系数

p 横风向单位高度风力标准值(kN/m)

$$F_{Lk} = w_{Lk} B$$

B ——结构迎风宽度

p 横风向风力系数

$$C'_L = (2 + 2a)C_M g_{CM}$$

C_M ——形状修正系数

g_{CM} ——横风向基底弯矩系数，根据试验给出经验公式

$$g_{CM} = C_R - 0.019 \left(\frac{D}{B} \right)^{-2.54}$$

C_R ——地面粗糙度系数

p 横风共振系数

$$R_L = K_L \sqrt{\frac{\rho S_F(f_1) / g_{CM}^2}{4(z_{s1} + z_{a1})}}$$

$S_F(f_1)$ ——横风向脉动风力谱，根据风洞试验给出经验公式

ζ_{s1} , ζ_{a1} ——横风向风振结构阻尼比及气动阻尼比

$$z_{a1} = \frac{0.0025[1 - (\frac{v_H T_{L1}}{9.8B})^2] \frac{v_H T_{L1}}{9.8B} + 0.000125(\frac{v_H T_{L1}}{9.8B})^2}{[1 - (\frac{v_H T_{L1}}{9.8B})^2]^2 + 0.0291(\frac{v_H T_{L1}}{9.8B})^2}$$

n 扭转风振等效风荷载

p 对质量和刚度都比较均匀的矩形截面高层建筑，扭转等效风荷载的计算公式与横风向类似：

$$w_{Tk} = 1.8 g w_0 m_H C'_T \left(\frac{z}{H} \right)^{0.9} \sqrt{1 + R_T^2}$$

C'_T —— 扭矩系数；

R_T —— 扭转共振因子；

p 单位高度风致扭矩标准值（kNm/m）

$$T_{Tk} = w_{Tk} B^2$$

B —— 结构迎风面宽度和面积

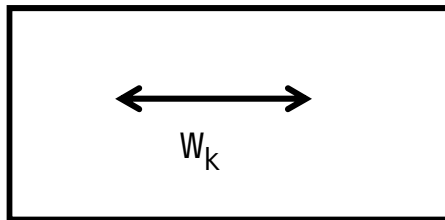
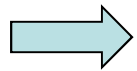
n 顺风向、横风向扭转风荷载组合工况

项次	顺风向风荷载	横风向风振等效风荷载	扭转风振等效风荷载
1	F_{Dk}	-	-
2	$0.6F_{Dk}$	F_{Lk}	-
3	-	-	T_{Tk}

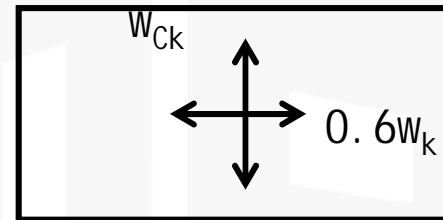
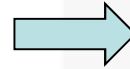
p 風向與工況

風向1

順風向為主

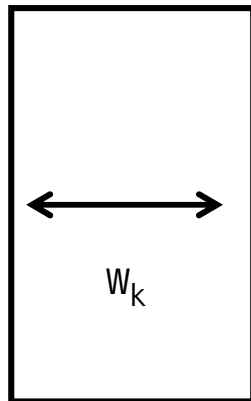
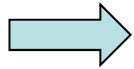


橫風向為主

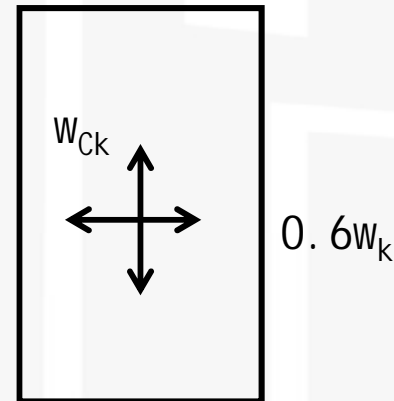
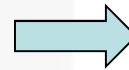


風向2

順風向為主



橫風向為主



n 大跨屋盖结构的风振问题

- p 结构动力特性与高层建筑不同，振型分布密集，主导振型多
- p 脉动风输特性与高层建筑和高耸结构不同，以分离与涡脱为主，不能用来流风的功率谱。
- p 风振系数通常为动力响应放大系数，以某个结构效应等效

n 高层建筑风振加速度计算

p 顺风向风振加速度计算理论同风振系数，计算公式：

$$a_{D,z} = \frac{2gI_{10}w_R m_s m_z B_z h_a B}{m}$$

p 顺风向加速度的脉动增大系数以表格形式给出

x_1	$V_1 = 0.01$	$V_1 = 0.02$	$V_1 = 0.03$	$V_1 = 0.04$	$V_1 = 0.05$
100	1.56	1.11	0.91	0.79	0.71
120	1.47	1.05	0.86	0.74	0.67
140	1.4	0.99	0.81	0.71	0.63
160	1.34	0.95	0.78	0.68	0.61
180	1.29	0.91	0.75	0.65	0.58
200	1.24	0.88	0.72	0.63	0.56
220	1.20	0.85	0.70	0.61	0.55
240	1.17	0.83	0.68	0.59	0.53
260	1.14	0.81	0.66	0.58	0.52
280	1.11	0.79	0.65	0.56	0.50
300	1.09	0.77	0.63	0.55	0.49

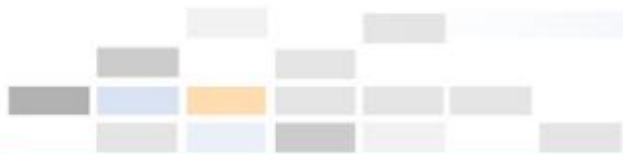


n 高层建筑横风向风振加速度计算

p 横风向风振加速度计算公式:

$$a_{L,z} = \frac{2.8g w_R m_H B}{m} f_1(z) \sqrt{\frac{p S_{FL} C_{sm}}{4(z_1 + z_{a1})}}$$

w_R ——10m高度处对应 **R** 年重现期的风压(kPa)，一般采用**10**年重现期

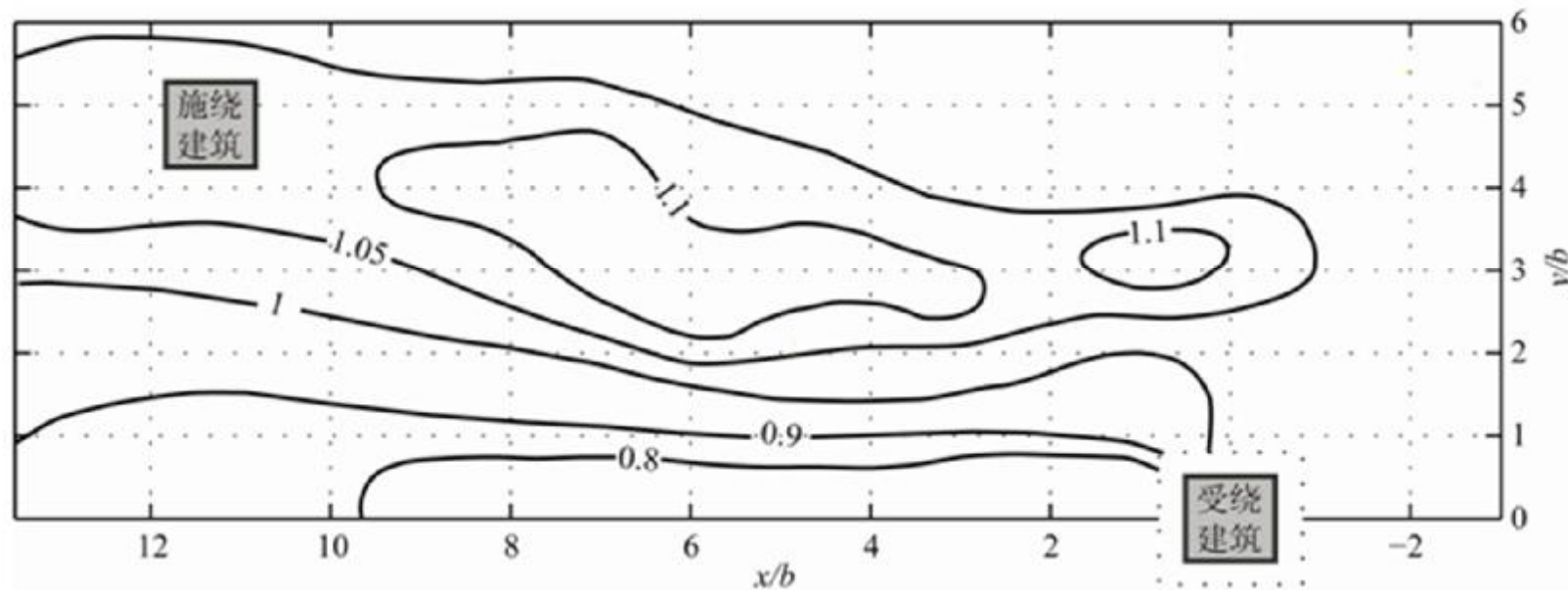


6.7 高层建筑群干扰效应

∅ 干扰效应系数

$$h = \frac{\text{有干扰时的基底弯矩响应峰值} \hat{M}}{\text{无干扰时的基底弯矩响应峰值} \hat{M}}$$

∅ 单个施扰建筑，顺风向干扰效应放大系数1.0~1.1，横风向1.0~1.2



7、温度作用

7.1 温度作用定义范围

7.2 基本温度

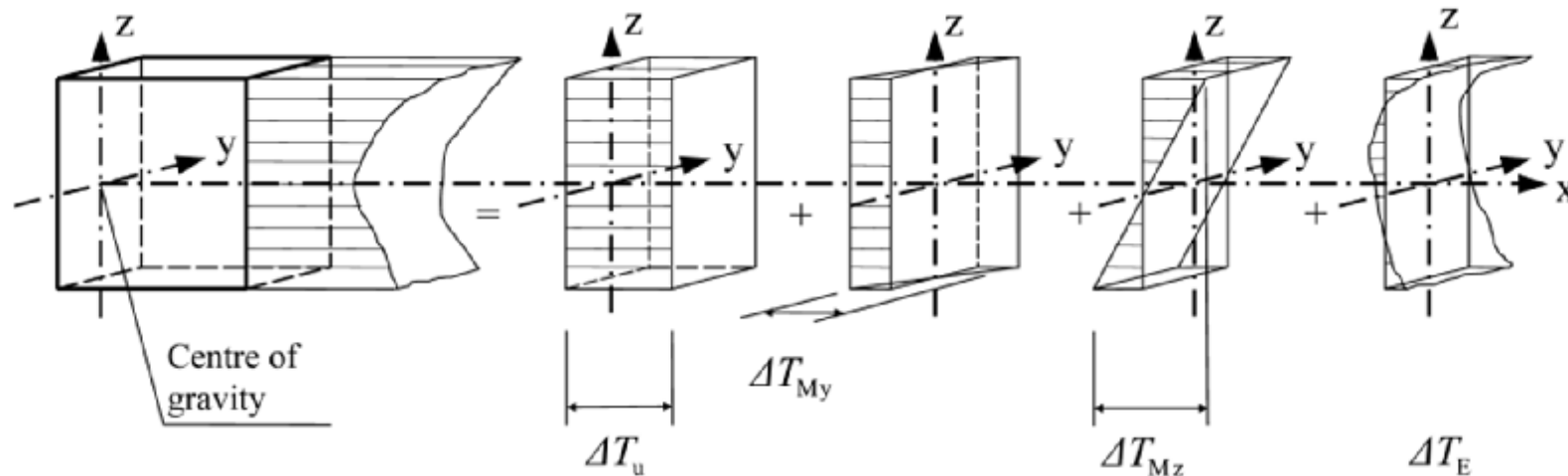
7.3 温度作用标准值

7.4 结构温度

7.5 结构初始温度

7.1 温度作用定义

- n 温度作用主要由气温变化、太阳辐射、使用热源等因素引起。
- n 温度作用是指结构或构件内温度的变化。
- n 本规范仅对结构均匀温度变化作规定。



结构构件任意截面上的温度分布

规范条文

9.1 一般规定

9.1.1 温度作用应考虑气温变化、太阳辐射及使用热源等因素，作用在结构或构件上的温度作用应采用其温度的变化来表示。

9.1.2 计算结构或构件的温度作用效应时，应采用材料的线膨胀系数。常用材料的线膨胀系数可按表9.1.2采用。

9.1.3 温度作用的组合值系数、频遇值系数和准永久值系数可分别取0.6、0.5和0.4。

表9.1.2 常用材料的线膨胀系数

材料	线膨胀系数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) a_T
轻骨料混凝土	7
普通混凝土	10
砌体	6-10
钢, 锻铁, 铸铁	12
不锈钢	16
铝, 铝合金	24

7.2 基本气温

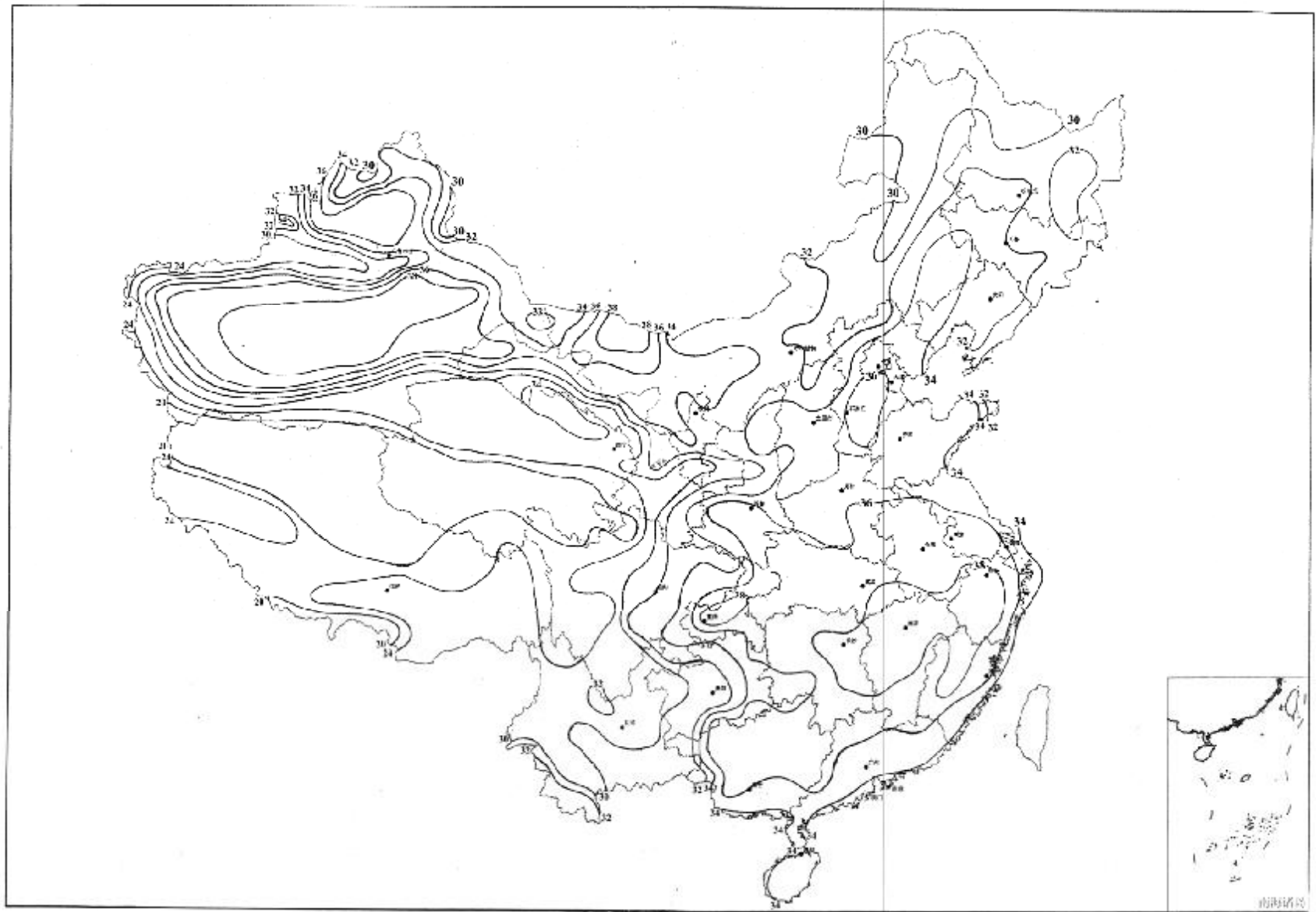
- n 各国规范、国内各行业规范对基本气温定义各异
- n 新荷载规范的基本气温 T_{max} 和 T_{min} 可分别取当地最高月平均气温和最低月平均气温。
- n 对暴露于室外且对气温变化敏感的结构，基本温度宜考虑昼夜极值气温变化的影响，基本温度 T_{max} 和 T_{min} 宜根据当地极值气温的变化范围适当增加或降低。
- n 600多城市的基本温度值由附表D给出

规范条文

9.2 基本气温

9.2.1 基本气温可采用按本规范附录E规定的方法确定的50年重现期的月平均最高气温 T_{\max} 和月平均最低气温 T_{\min} 。全国各城市的基本气温值可按本规范附录E中表E.5采用。当城市或建设地点的基本气温值在本规范附录E中没有给出时，基本气温值可根据当地气象台站记录的气温资料，按附录E规定的方法通过统计分析确定。当地没有气温资料时，可根据附近地区规定的基本气温，通过气象和地形条件的对比分析确定；也可比照本规范附录E中图E.6.4和图E.6.5近似确定。

9.2.2 对金属结构等对气温变化较敏感的结构，宜考虑极端气温变化的影响，基本气温 T_{\max} 和 T_{\min} 可根据当地气候条件适当增加或降低。



全国月平均最高气温分布图



全国月平均最低气温分布图

7.3 均匀温度作用标准值

规范条文

9.3 均匀温度作用

9.3.1 均匀温度作用的标准值应按下列规定确定：

1 对结构最大温升的工况，均匀温度作用标准值按下式计算：

$$\Delta T_k = T_{s,\max} - T_{0,\min} \quad (9.3.1-1)$$

式中： ΔT_k ——均匀温度作用标准值（℃）

$T_{s,\max}$ ——结构最高平均温度（℃）；

$T_{0,\min}$ ——结构最低初始平均温度（℃）。

2 对结构最大温降的工况，均匀温度作用标准值按下式计算：

$$\Delta T_k = T_{s,\min} - T_{0,\max} \quad (9.3.1-2)$$

式中： $T_{s,\min}$ ——结构最低平均温度（℃）；

$T_{0,\max}$ ——结构最高初始平均温度（℃）。

7.4 结构温度

规范条文

9.3.2 结构最高平均温度 $T_{s,max}$ 和最低平均温度 $T_{s,min}$ 宜分别根据基本气温 T_{max} 和 T_{min} 按热工学的原理确定。对于有围护的室内结构，结构平均温度应考虑室内外温差的影响；对于暴露于室外的结构或施工期间的结构，宜依据结构的朝向和表面吸热性质考虑太阳辐射的影响。

n 环境温度与结构温度

n 结构最高温度和最低温度分别由基本温度 T_{max} 和 T_{min} 确定，对于有围护的室内结构，尚应考虑室内外温差的影响。

n 结构最高平均温度和最低平均温度一般可依据室内和室外的环境温度按热工学的原理确定，当仅考虑单层结构材料且室内外环境温度类似时，结构平均温度可近似地取室内外环境温度的平均值。结构的梯度温度可近似假定为线性分布。

7.5 结构初始温度

规范条文

9.3.3 结构的最高初始平均温度 $T_{0,max}$ 和最低初始平均温度 $T_{0,min}$ 应根据结构的合拢或形成约束的时间确定，或根据施工时结构可能出现的温度按不利情况确定。

- n 结构的最高初始温度 $T_{0,max}$ 和最低初始温度 $T_{0,min}$ ，可根据结构的合拢温度和施工期间可能出现的最低或最高温度按不利情况确定。
 - p 混凝土结构的合拢温度一般可取后浇带封闭时的月平均气温。
 - p 钢结构的合拢温度一般可取合拢时的日平均温度，但当合拢时有日照时，应考虑日照的影响。
 - p 结构设计时，往往不能准确确定施工工期，因此，结构合拢温度通常是一个区间值。这个区间值应包括施工可能出现的合拢温度，即应考虑施工的可行性。

7.6 温度作用组合

- n 温度作用按可变作用考虑，其荷载分项系数可取1.4。
- n 混凝土结构分析时，考虑温度作用的结构刚度折减以及混凝土材料的徐变和收缩作用等，可参考有关资料考虑

8、偶然荷载

8.1 爆炸荷载

8.2 撞击荷载

8.3 偶然荷载组合

8.1 爆炸荷载

n 由炸药、燃气、粉尘等引起



营口居民楼煤气爆炸



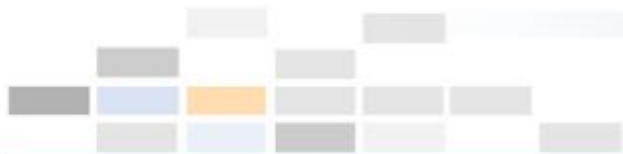
国外某居民楼煤气爆炸

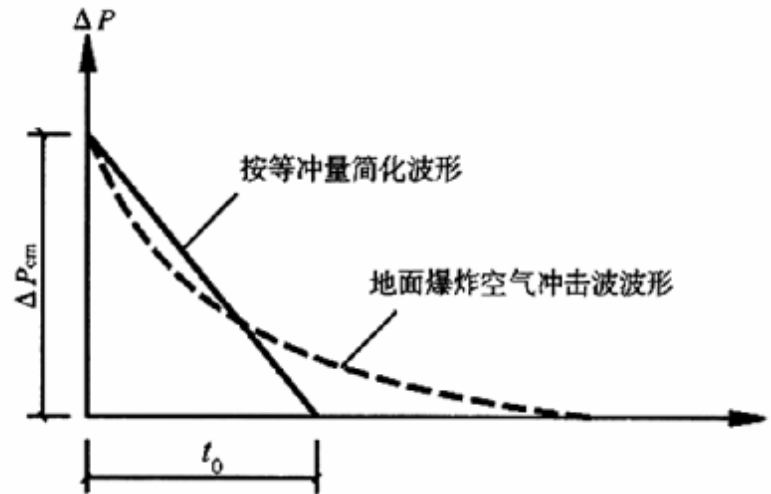
- n 爆炸荷载按等效静力荷载采用
- n 在炸药爆炸动荷载作用下，结构构件的等效均布静力荷载标准值，可按下式计算：

$$q_{ce} = K_{dc} p_c$$

p_c ——作用在结构构件上的均布动荷载最大压力

K_{dc} ——动力系数，根据构件在均布动荷载作用下的动力分析结果，按最大内力等效的原则确定





p_c ——作用在结构构件上的均布动荷载最大压力
 常规武器地面爆炸冲击波最大超压(N/mm²)可按下式计算：

$$\Delta P_{cm} = 1.316 \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R} \right)^3 + 0.369 \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R} \right)^{1.5}$$

地面爆炸空气冲击波按等冲量简化的等效作用时间可按下式计算：

$$t_0 = 4.0 \times 10^{-4} \Delta P_{cm}^{-0.5} \sqrt[3]{C}$$

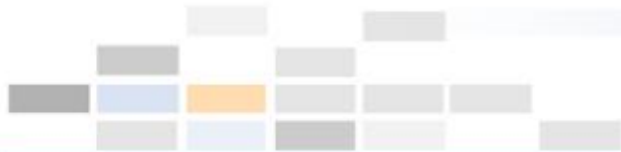
确定等效均布静力荷载的基本步骤为：

- 1) 确定爆炸冲击波波形参数，即等效动荷载；
- 2) 按单自由度体系强迫振动方法分析得到构件的内力；
- 3) 根据构件最大内力（弯矩、剪力或轴力）等效的原则确定等效均布静力荷载。



8.2 撞击荷载

n 汽车撞击



n 顺行方向的汽车撞击力标准值可按下式计算：

$$P = \frac{mv}{T}$$

- p 汽车质量可取15t，车速可取22.2m/s，撞击时间可取1.0s，作用点位置路面以上0.5m和1.5m处
- p 垂直行车方向的撞击力标准值可取顺行方向撞击力标准值的0.5倍，二者不考虑同时作用。

- n 电梯的竖向撞击荷载标准值可取电梯总重力荷载的4.0~6.0倍

撞击力与电梯总重力荷载比值计算结果

电梯类型		品牌1	品牌2	品牌3
无机房	低速客梯	3.7~4.4	4.1~5.0	3.7~4.7
有机房	低速客梯	3.8~3.7	4.1~4.3	4.0~4.8
	低速观光梯	3.7	4.9~5.6	4.9~5.4
	低速医梯	4.2~4.7	5.2	4.0~4.5
	低速货梯	3.5~4.1	3.9~7.4	3.6~5.2
	高速客梯	4.7~5.4	5.9~7.0	6.5~7.1

n 直升飞机非正常着陆

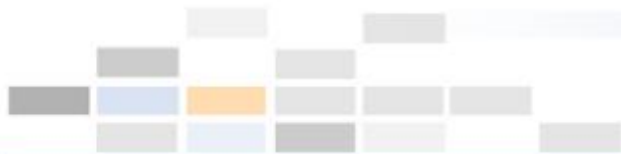
p 竖向等效静力撞击力可按下式计算：

$$F_k = C\sqrt{m}$$

C——系数取3.0； m——总质量

p 竖向撞击力的作用范围宜包括停机坪内任何区域以及停机坪边缘线7m之内的屋顶结构。

p 3 竖向撞击力的作用区域为2m×2m



n 偶然荷载处理原则

- p 偶然荷载的确定主要依据主观判断和工程经验，不是基于统计分析，因而设计表达式中不再考虑荷载分项系数，一般直接采用标准值为设计值
- p 偶然事件属于小概率事件，两种不相关的偶然事件同时发生的概率更小，所以不必同时考虑两种偶然荷载
- p 按规定的偶然荷载所设计的结构仍然存在破坏的可能性，但应保证偶然事件发生后受损的结构能够承担相应的永久荷载和活荷载，不至于发生由于局部破坏导致的结构整体倒塌。所以，组合表达式分别给出了偶然事件发生时承载能力计算和发生后整体稳定性验算两种不同的情况。



谢谢!

谢谢!

