

2025中国太阳能热发电大会

考虑挡风墙的群体定日镜镜面风压分布研究

建筑安全与节能教育部重点实验室

湖南大学

汇报人： 李正农



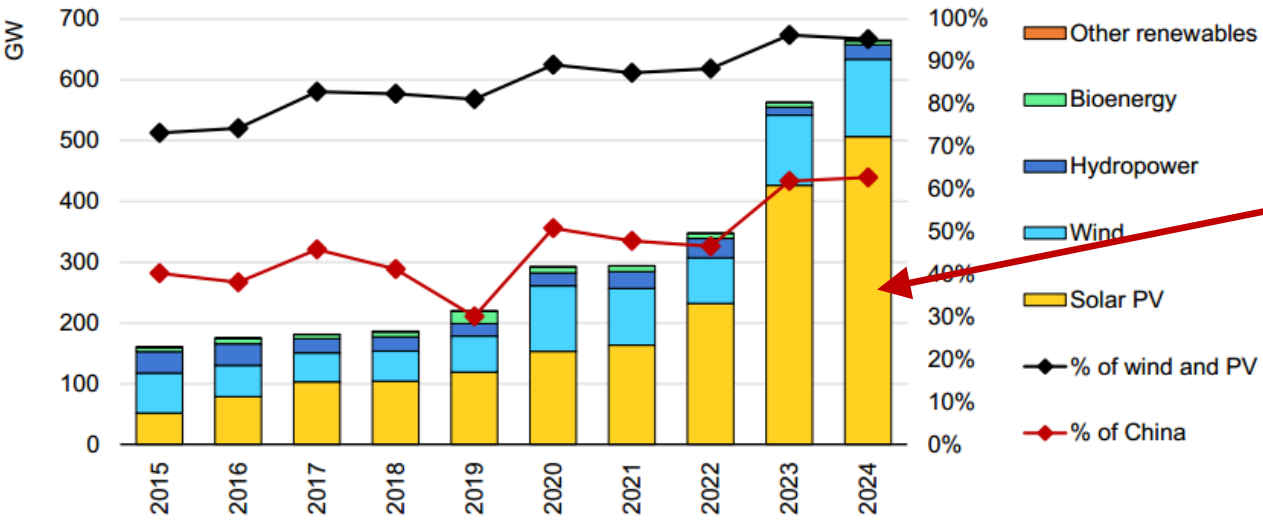
湖南大学土木工程学院

2025年8月，西安

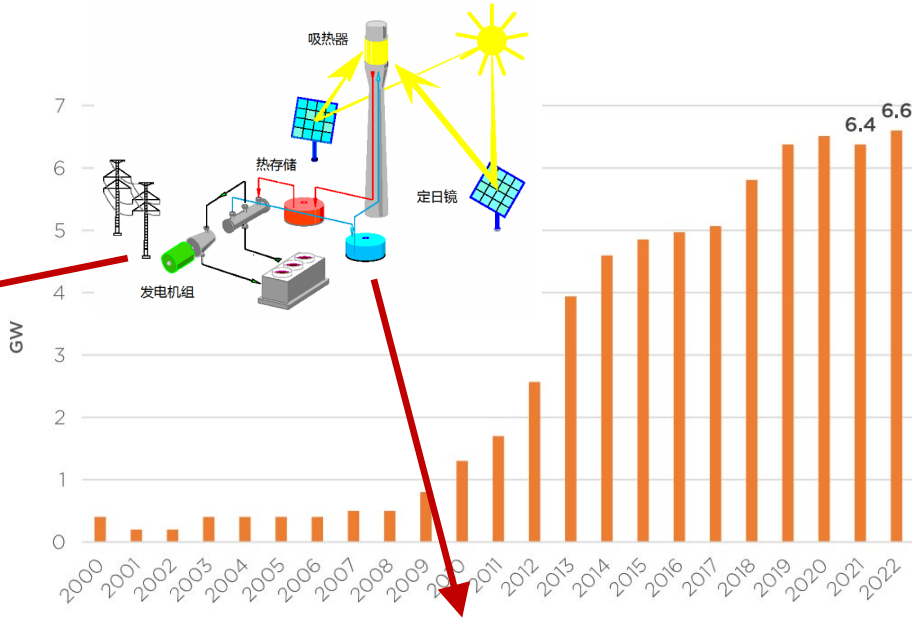
- 研究背景及意义
- 现有研究现状及发展趋势
- 群体定日镜风洞试验概况
- 群体定日镜的镜面净风压分布情况
- 群体定日镜的镜面整体净风压衰减情况
- 结论

研究背景及意义

太阳能无疑是一种具有巨大潜力的技术，可以彻底改变全球能源格局。因为太阳能系统利用太阳提供的丰富能源，将其转化为清洁电力和热能，对环境的影响最小。据估计，仅一个小时，地球就接收到足够的太阳能来满足全球一年的电力消耗。



可再生能源发电容量增加（按技术划分）及中国所占份额

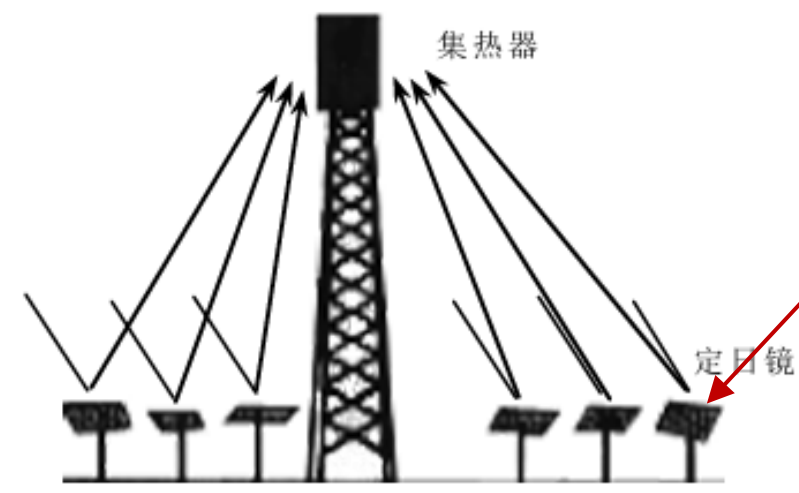


2000年至2022年累计CSP装机容量

太阳能发电技术中，**太阳能光热技术**（Concentrating Solar Thermal Power）发展非常迅速，其在电力行业脱碳方面发挥重要作用，主要是因为与太阳能光伏和风能相比，它们可以提供相对更可预测的电力输出。
2022年，CSP总装机容量从2021年的6.3 GW增加到2022年的**6.6 GW**。到**2050年**，CSP预计将从2022年安装的6.6 GW增加到**426（IEA）和1990 GW（UTS）之间**，而IRENA和斯坦福情景预测分别将达到864 GW和1151 GW。

研究背景及意义

太阳能塔式发电系统又被称作集中式发电系统，是在大范围场地内安装数量众多的定日镜，每台定日镜都安装了独立的跟踪装置，跟踪太阳，以确保太阳光能够准确地反射到固定在集热塔顶端的接收器上，接收器能够把吸收得到的光能转化为热能，产生高温，再通过工质蓄热，带动热动力机发电。



质量轻、柔度大、
风敏感性强的特点

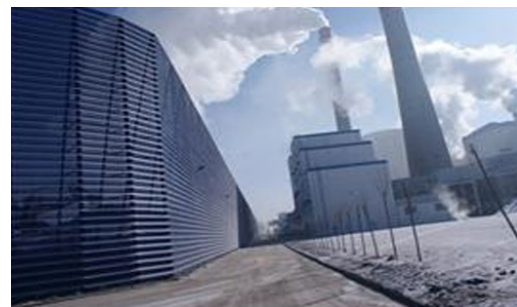


作为塔式太阳能热发电系统中承担聚光作用的**定日镜**，其在风作用下振动特性及安全性能对于塔式太阳能热发电系统的发电起到至关重要的作用，而开展定日镜结构的**抗风性能研究**，有利于保障塔式太阳能热发电系统的平稳运行。

研究背景及意义

挡风墙的思路来源于防风林，其主要原理是在防风林的正背面分别形成高低风速差异带，背面低风速气流带限制了风化，保护了防风林背风面的基础设施或土地。

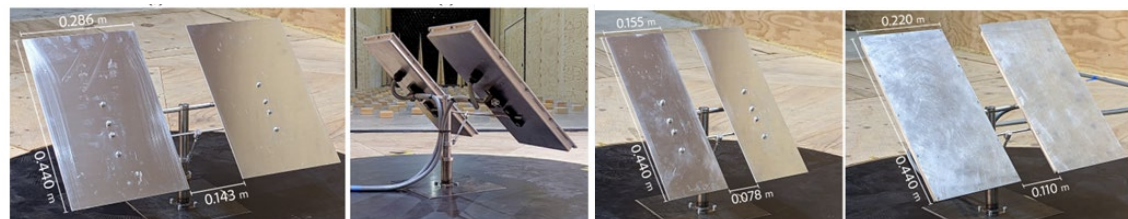
其孔洞构造，可以将来流处于湍流状态的风**分割**为多个不同角度的**气流**并使其相互干扰，**改变来流风湍流强度**并减弱大气湍流中的**漩涡结构**。



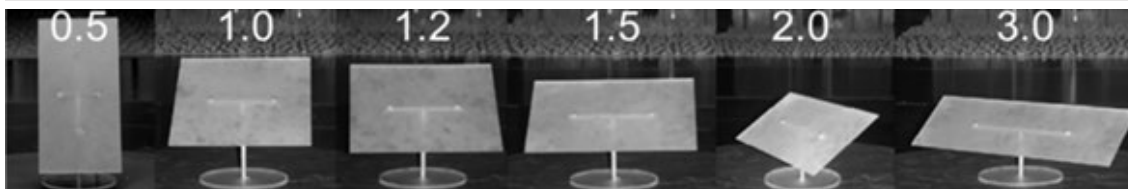
挡风墙的防风效果是由挡风墙的高度、孔隙率、孔隙分布以及方位来确定的。较低的孔隙率产生较大的减速效应，但却产生更大的湍流度，且会影响挡风墙后风速的恢复距离，并可能降低挡风墙的防护效果。因此，针对定日镜场引入挡风墙，**深入研究挡风墙对定日镜场的风效应影响机理及其起合理布置的研究仍是十分必要的。**

现有研究现状及发展趋势

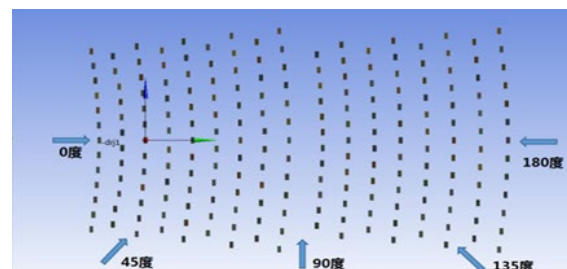
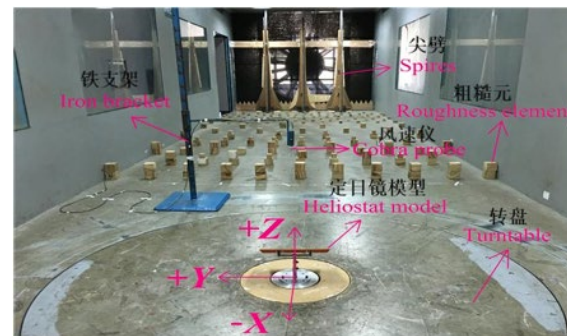
国外研究



多是定日镜单镜的研究，主要镜面外形尺寸、间隙的影响，亦有考虑两面定日镜串列的情形，但鲜有考虑挡风墙对于群镜影响的研究。



国内研究



开展考虑挡风墙及群镜干扰效应的定日镜风荷载的研究是十分有必要的。

- 研究背景及意义
- 现有研究现状及发展趋势
- 群体定日镜风洞试验概况
- 群体定日镜的镜面净风压分布情况
- 群体定日镜的镜面整体净风压衰减情况
- 结论

定日镜风洞试验概况

测量系统

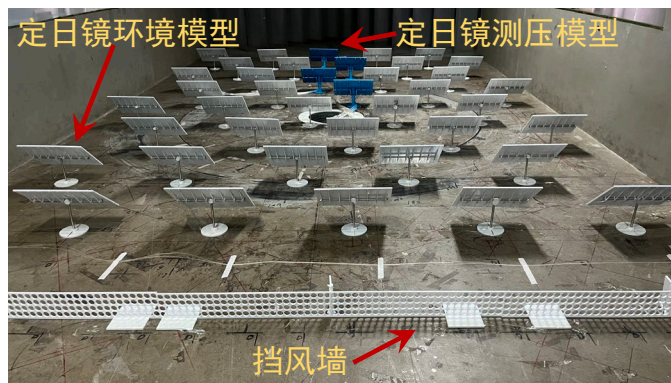
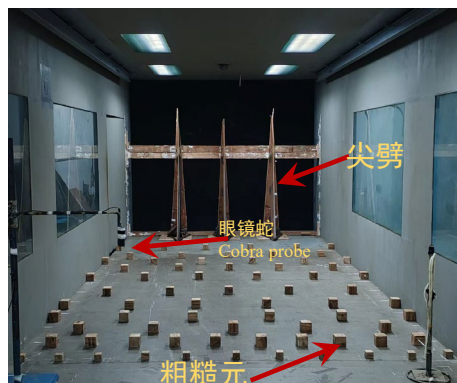
风速测量系统

大气边界层模拟风场的调试和测定是用美国**TSI公司**的眼镜蛇、A/D板、PC机和专用软件组成的系统来测量。

风压测量、记录及数据处理系统

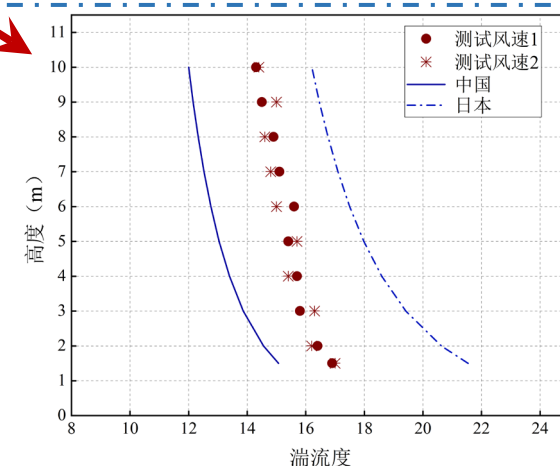
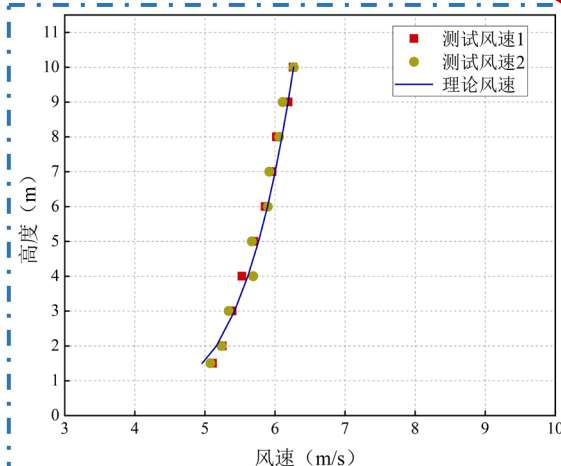
由美国**Scanivalve扫描阀公司**的DSM3400电子式压力扫描阀系统、PC机、以及自编的信号采集及数据处理软件组成风压测量、记录及数据处理系统。

群镜模型及风场布置



大气边界层特性按**A类**地貌风场模拟，即 $\alpha=0.12$ 进行流场模拟。

大气边界层模拟装置由挡板、尖塔、粗糙元组成，在风洞试验段内产生与现场情况相当的模拟大气边界层。至于定日镜附近的风场变化则由实际的地形及周边建筑物的影响来产生。



大气边界层风剖面及湍流度剖面

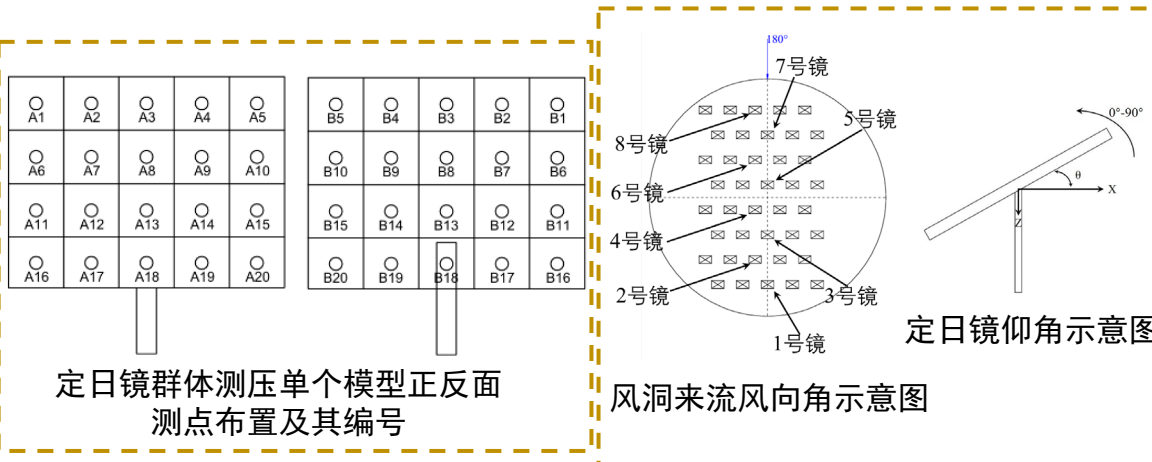
定日镜风洞试验概况

群镜风洞试验模型

本试验是在**湖南大学的建筑与环境风洞实验室**的大气边界层风洞中进行，依据实际情况选择了**1:25的缩尺比**，满足风洞堵塞度的要求：**不超过5%**。

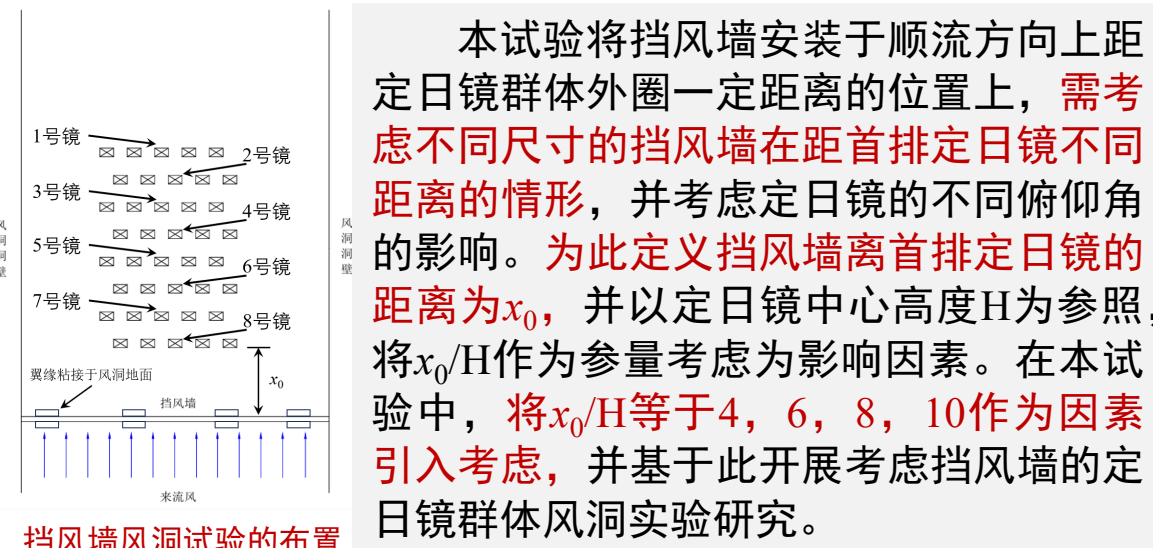
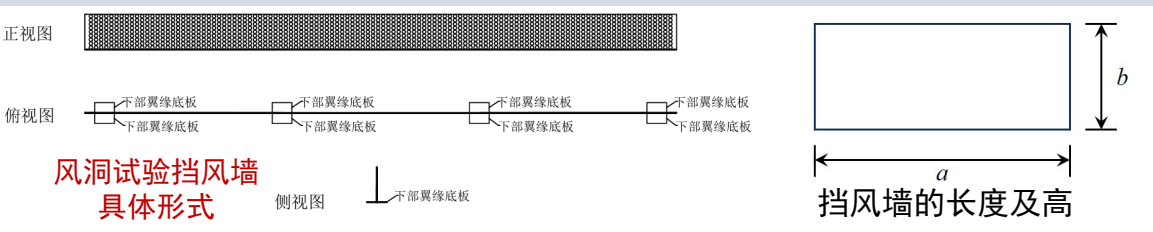
定日镜测压模型是由**ABS塑料制成**的刚体模型，具有足够的强度和刚度。风洞试验模型与实物在外形上保持**几何相似**。

风洞试验以测试的定日镜为中心，**考虑径向8排、周向5排的定日镜**，依据实际定日镜场的布置，将风洞模型置于风洞试验段转盘上，进行数据测量。



试验工况

风洞试验时，风向角 (β) 只研究180° 风向角下的工况。俯仰角(θ)考虑 θ 分别为0°、40°、60° 的3个工况。挡风墙则比较两种**孔隙率**，分别是**50%和70%**。其长度a考虑为风洞的宽度，即 $a=3\text{ m}$ ，对于高度b，则考虑 **$b=0.6H$ 、 $b=1H$ 和 $b=1.3H$** 三种情况(H 为定日镜的中心高度)。



本试验将挡风墙安装于顺流方向上距定日镜群体外圈一定距离的位置上，**需考虑不同尺寸的挡风墙在距首排定日镜不同距离的情形**，并考虑定日镜的不同俯仰角的影响。**为此定义挡风墙离首排定日镜的距离为 x_0** ，并以定日镜中心高度 H 为参照，将 x_0/H 作为参量考虑为影响因素。在本试验中，**将 x_0/H 等于4, 6, 8, 10作为因素引入考虑**，并基于此开展考虑挡风墙的定日镜群体风洞实验研究。

- 研究背景及意义
- 现有研究现状及发展趋势
- 群体定日镜风洞试验概况
- 群体定日镜的镜面净风压分布情况
- 群体定日镜的镜面整体净风压衰减情况
- 结论

群体定日镜的镜面净风压分布情况

模型试验中符号约定以压力向内（压）为正，向外（吸）为负。表面各点的风压系数由下列公式给出：

$$\Delta C_{pi}(t) = \frac{p_{i\text{正面}}(t) - p_{i\text{背面}}(t)}{p_0 - p_\infty}$$

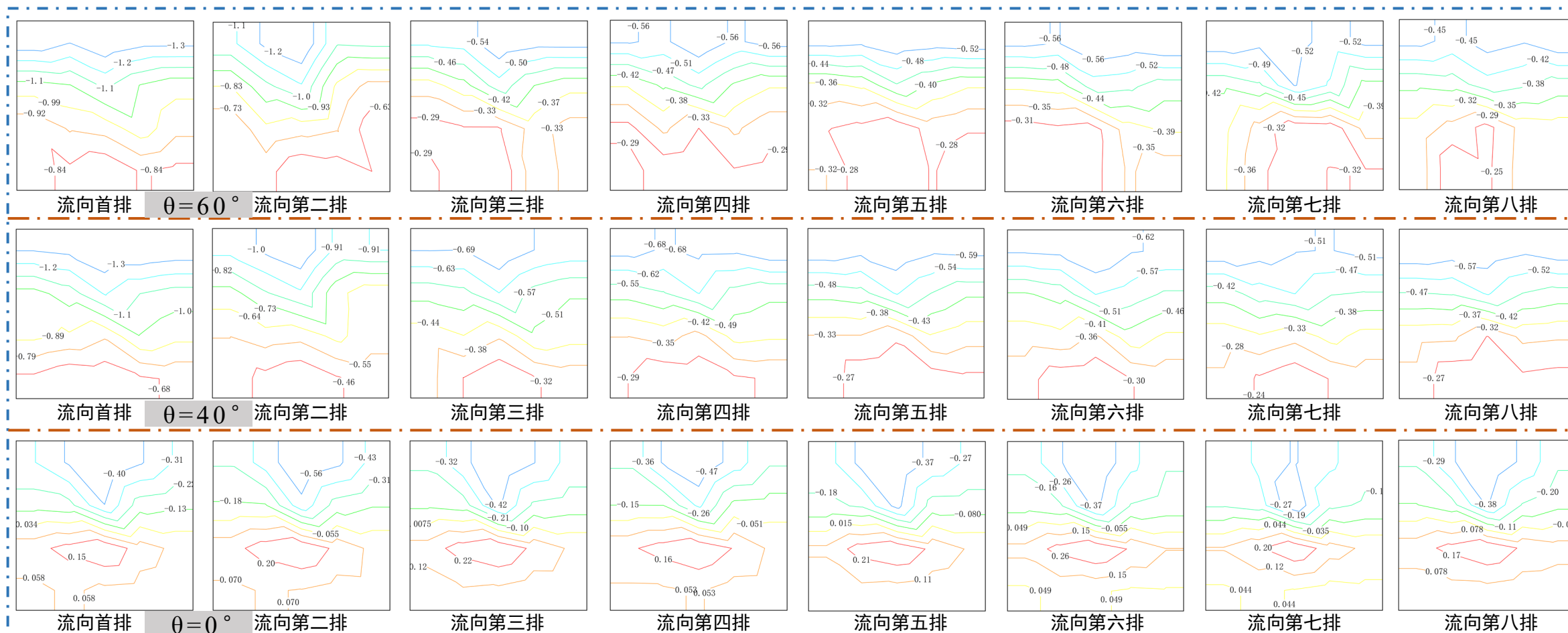
对每个测点，均记录了10000个 P_i 的数据。通过对 $\Delta C_{pi}(t)$ 的分析，可得到测点的平均风压系数 $\Delta \bar{C}_{pi}(t)$ 和脉动风压系数 $\Delta \hat{C}_{pi}(t)$ 。

$$\Delta \bar{C}_{pi}(t) = \frac{\sum_{j=1}^{10000} \Delta C_{pj}(t)}{10000}$$
$$\Delta \hat{C}_{pi}(t) = \frac{\text{std}(p_{i\text{正面}}(t) - p_{i\text{背面}}(t))}{p_0 - p_\infty}$$

为分析群体定日镜净风压系数的衰减情况，将每个镜面上测点的净平均风压进行进一步的求平均，进而得到整体镜面的平均风压系数值。

需要说明的是，不加特别说明下，在 0° - 90° 风向角下，所述第一排定日镜则处于来流的首排位置，而在 90° - 180° 风向角下，所述第八排定日镜则处于来流的首排位置。

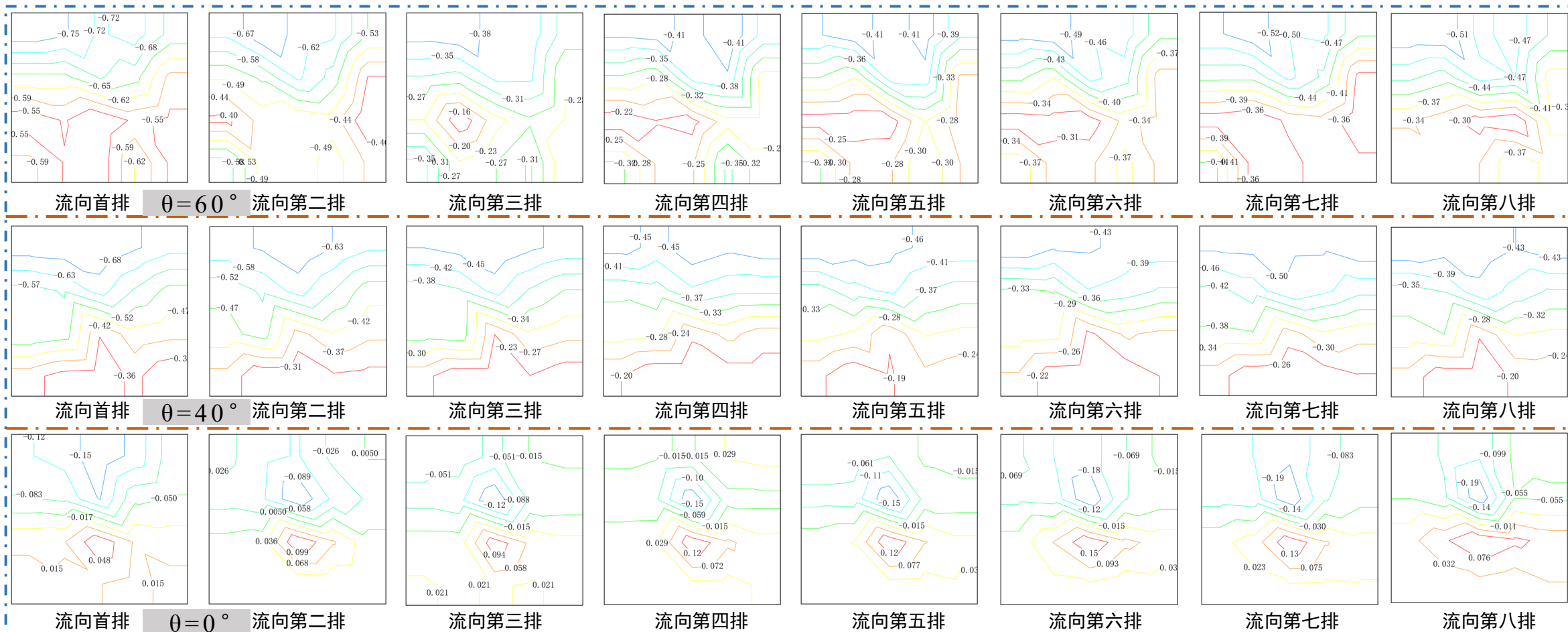
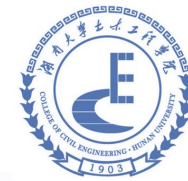
群体定日镜的镜面净风压分布情况-无挡风墙



180° 风向角下各排定日镜风压分布

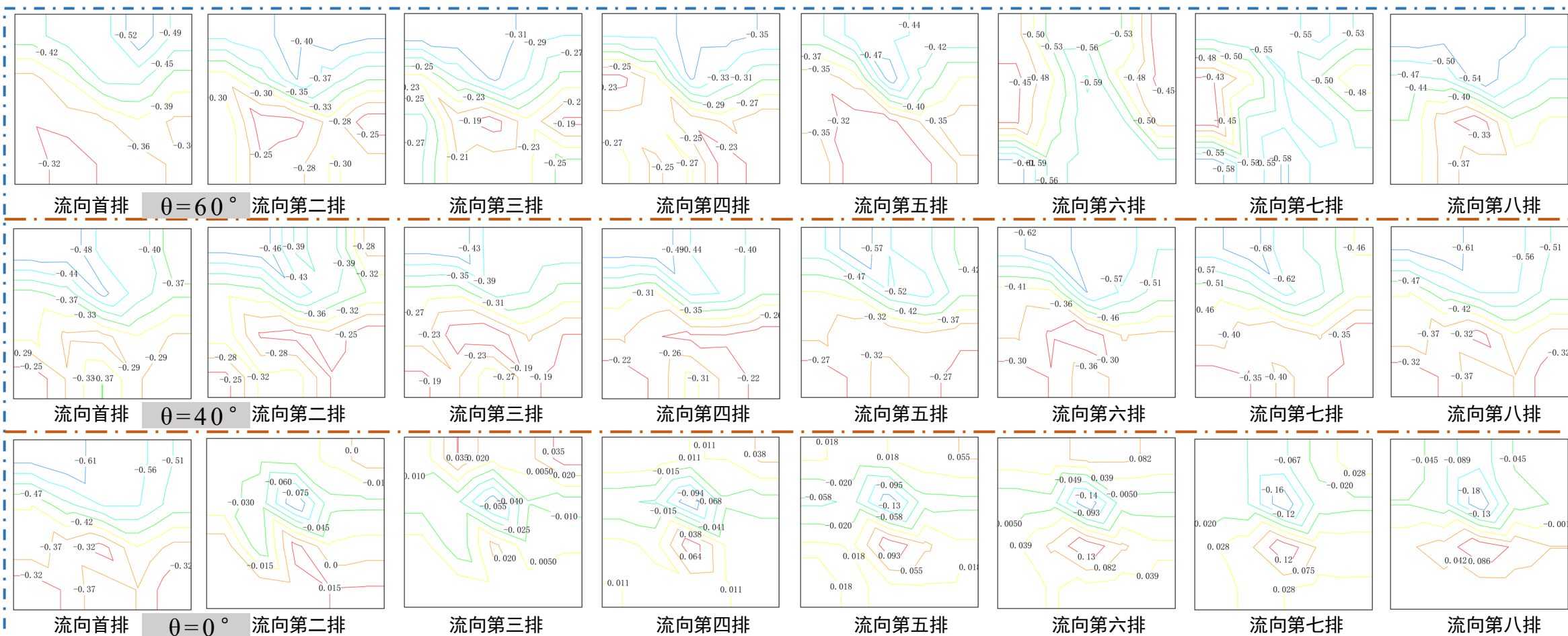
60° 俯仰角下，流向首排镜面的净平均风压系数呈对称分布，**后排则无对称的情形**，而60° 及0° 俯仰角下的则保持近似对称。总体上，镜面处于来流的前缘即镜面上半部分的净平均风压系数相较其余区域的大，且60° 及40° 俯仰角下**沿流向各排镜面上净平均风压系数先衰减而后有小幅波动或增加**。

群体定日镜的镜面净风压分布情况-有挡风墙（70%孔隙率）



180° 风向角下各排定日镜风压分布（ $b=1.3H$, $x_0/H=4$ ）挡风墙的引入，会降低定日镜镜面的净平均风压系数，但同时也导致后排镜面的净平均风压系数相较无挡风墙下更不具对称性。总体上，仍保持镜面处于来流的前缘即镜面上半部分的净平均风压系数相较其余区域的大，且流向后排上的定日镜镜面净平均风压系数整体上仍保持小幅波动。

群体定日镜的镜面净风压分布情况-有挡风墙（50%孔隙率）

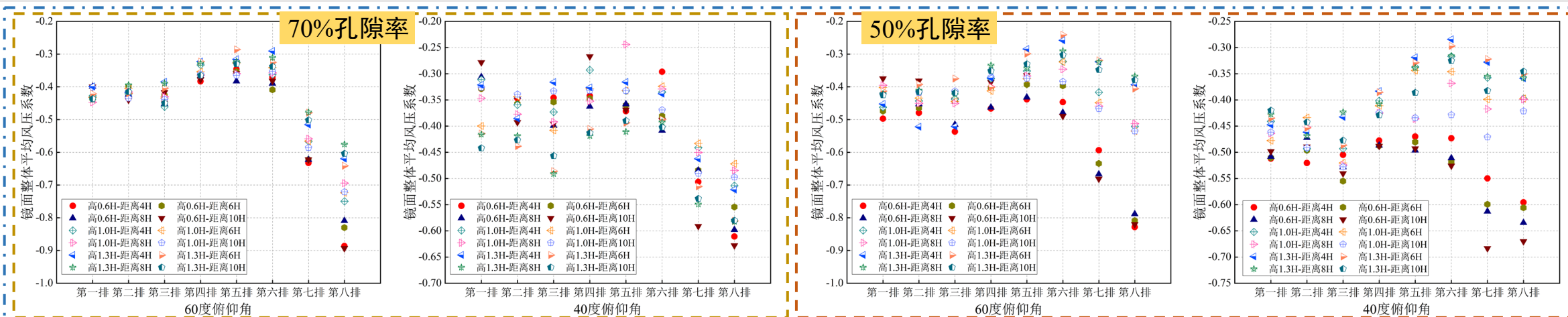


180° 风向角下各排定日镜风压分布 ($b=1.3H$, $x_0/H=4$) 孔隙率的增加, 会更大的降低60° 及40° 俯仰角下沿流向前四排定日镜镜面的净平均风压系数, 但同时也使得后四排的镜面净平均风压系数增大。此外, 亦导致后排镜面风压分布更复杂, 但仍保持镜面处于来流的前缘即镜面上半部分的净平均风压系数相较其余区域的大。

- 研究背景及意义
- 现有研究现状及发展趋势
- 群体定日镜风洞试验概况
- 群体定日镜的镜面净风压分布情况
- 群体定日镜的镜面整体净风压衰减情况
- 结论

群体定日镜的镜面整体净风压衰减情况

对于 40° 俯仰角，设置70%孔隙率的挡风墙，则使得镜面整体净平均风压系数从来流向首排开始衰减直至来流向第三排后，镜面整体净平均风压系数保持小幅波动，其值介于 $(-0.24)-(-0.49)$ ，而在来流前两排其值介于 $(-0.43)-(-0.63)$ 。设置50%孔隙率的挡风墙，当挡风墙高度为 $0.6H$ 时，其规律也近似镜面整体净平均风压系数从来流向首排开始衰减直至来流向第三排后，镜面整体净平均风压系数保持小幅波动，其值介于 $(-0.47)-(-0.56)$ ，而在来流前两排其值介于 $(-0.55)-(-0.67)$ ，其中当距离首排 $10H$ 时会导致来流向的镜面整体净平均风压系数大于首排的。

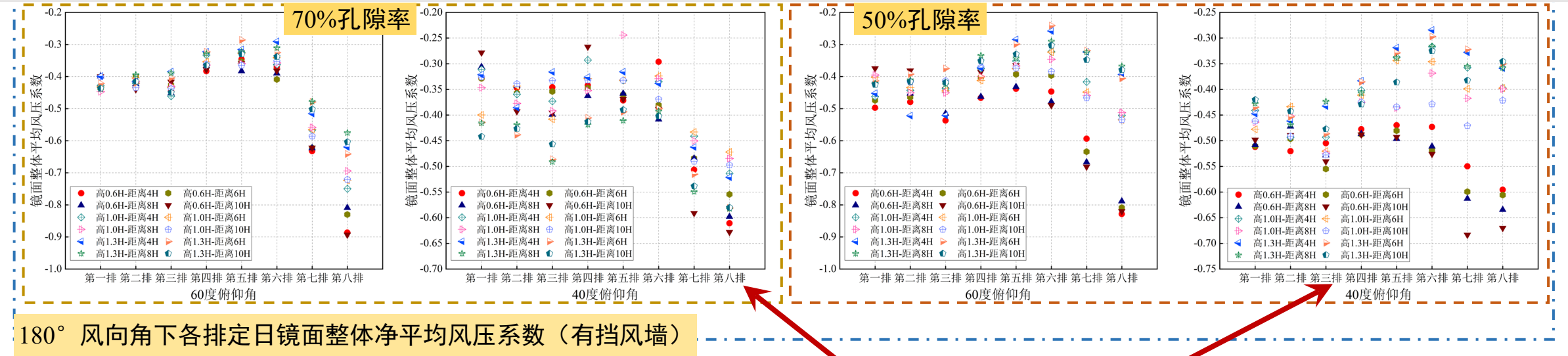


180° 风向角下各排定日镜面整体净平均风压系数（有挡风墙）

50%孔隙率的挡风墙，当其高度为 $1.0H$ 或 $1.3H$ 时，镜面整体净平均风压系数也是从来流向首排开始衰减直至来流向第三排后，开始增大保持小幅波动，其值介于 $(-0.32)-(-0.52)$ ，而在来流前两排其值介于 $(-0.32)-(-0.47)$ 。

群体定日镜的镜面整体净风压衰减情况

对于60° 俯仰角，设置70%孔隙率的挡风墙，同样使得镜面整体净平均风压系数从来流向首排开始衰减直至来流向第三排后，开始增大直至来流向第六排后开始保持小幅波动，其值介于(-0.38)-(-0.46)，而在来流前两排其值介于(-0.48)-(-0.89)。设置50%孔隙率的挡风墙，镜面整体净平均风压系数从来流向首排开始衰减直至来流向第三排后，开始增大直至来流向第六排后开始保持小幅波动。当挡风墙高度为0.6H时，保持小幅波动的镜面整体净平均风压系数值介于(-0.37)-(-0.54)，而在来流前两排其值介于(-0.59)-(-0.83)。当挡风墙高度为1.0H及1.3H时，保持小幅波动的镜面整体净平均风压系数值介于(-0.37)-(-0.52)，而在来流前两排其值介于(-0.32)-(-0.54)。



1.0H及1.3H的挡风墙对于来流向前两排的镜面整体净平均风压系数的衰减比设置0.6H高度的挡风墙要大。对于60° 俯仰角， 50%孔隙率的挡风墙效果比70%孔隙率的好，但40 ° 俯仰角下则是70%孔隙率的挡风墙更有利。

- 研究背景及意义
- 现有研究现状及发展趋势
- 群体定日镜风洞试验概况
- 群体定日镜的镜面净风压分布情况
- 群体定日镜的镜面整体净风压衰减情况
- 主要结论

主要结论



- 挡风墙使得流向前两排的镜面整体平均风压系数均小于无挡风墙下的工况，且镜面整体平均风压系数基本从流向首排衰减至流向第三排到第五排后开始逐渐增大，与无挡风墙下的沿流向各排规律类似。
- 60° 俯仰角下，70%孔隙率挡风墙最大可使得流向前两排的镜面整体平均风压系数降低38%–45%，50%孔隙率的挡风墙最大可降低59%–65%。 40° 俯仰角下，70%孔隙率挡风墙最大可使得流向首排的镜面整体平均风压系数降低49%–53%，而最大可降低流向第二排的29%–37%；50%孔隙率挡风墙最大可使得流向首排的镜面整体平均风压系数降低64%–65%，而最大可降低流向第二排的49%–53%。
- 设置50%孔隙率的挡风墙会使得流向前两排的镜面净平均风压系数最大值相较设置70%孔隙率的挡风墙下的要小，但会使得流向后六排的相较70%孔隙率的挡风墙下的要大。
- 挡风墙距离首排的距离对于流向前两排的平均风压系数影响较小，但是对于流向末排的平均风压系数影响较大，而挡风墙高度对于流向前两排的平均风压系数影响很大。

欢迎大家同我们合作！



微信

电 话：0731-88822121，13974918206

Email: zhn88@263.net