

# 一门新兴的边缘学科——风工程学

马淑芬 吕越华

风对人类的活动有明显的影响，对于风力的利用已有上千年的历史。但对风真正的了解，却经过漫长的岁月。因为引起风变化的原因十分复杂，它是由于各种不同尺度的流体系统之间，以及由多种原因产生的力之间的非线性作用的结果。

随着科学的发展，人们在流体力学、气象、航空、建筑中对风已有一定的认识和了解。但是以风为研究对象建立独立的学科——风工程学，则是本世纪五十年代末的事情。这是因为对风的影响研究需进行的处理大大增加的缘故，例如减轻风所引起的损失，控制大气污染，发展能源，考虑对人类安全和利益，导致对这些问题应用工程研究的强烈要求，风工程学应运而生，风工程学涉及流体力学、气象学、结构力学以及统计学等学科；在风这一前提下综合许多有关传统学科成为一个新的边缘学科。

## 一、风工程学研究的对象和目的

风对人类的影响有利、害两方面。风工程学的目的就是在了解风的基础上，减少风的不利作用，扩大其有益的一面。最早风工程学只把注意力集中在风怎样影响建筑物的问题上，现在已扩大到环境保护，风能转换以及提高农林业生产的研究等方面。

风工程学的任务，不仅是设计减少由于强风引起的生命和财产的损失，而且要利用风的有利一面，使各种设计在给定条件下产生最优的经济效果，使人类安全舒适达到最大限度。

大气是不均一的，其物理性质及基本物理过程可以分为行星边界层、对流层和平流层。人类和各种生命的维持与行星边界层（以下简称边界层）有着直接的关系。人的活动以及伴随活动而排放的污染物也主要在这一层。该层情况对人类的舒适和安全影响极大。

热量由地面传输到空气中，植物与动物之间的二氧化碳的交换，花粉及种子散布，地表、海洋、河流之间的水分循环等等许多有生命和无生命活动过程的参与者是风，特别是边界层中的风，因此风工程学只关心发生在这一层内的大气运动。

边界层的厚度由于下垫面不同而变化。例如大湖或者海洋上是300米，大城市区域则为600米。该层的运动具有明显的扰动性质——阵风和湍流，运动的方向和速度具有很大的随机性，扰动强度通常是接近地面最大并随高度减少，随下垫面粗糙度增加而增大。

边界层内的强风对建筑物产生的压力，引起的振动是风工程学研究的重要课题之一。风工程学最关心垂直涡度分量很大的天气系统，例如台风、龙卷常伴随着强风，能改变和破坏边界层的动力、热力结构。当它侵袭建筑物时由于很强的上举力，使建筑物内外形成很强的压力差，从而使建筑物崩溃。在有这类天气系统影响的地区，设计建筑物时，必须考虑其破坏作用，把设计的重点放在动力的影响上，而不是以传统的静荷载为主。

当然其它类型的强风，也要考虑，例如焚风、布拉风、低空急流等。根据观测，低空急流在750米上空，有时最大风速达30米/秒。对于高达百米以上的建筑会受到影响。

再者，边界层内的弱风也是风工程学所关心的。在弱风条件下，近地面的热力层结对平均风速和湍流有较大的影响，从而也影响大气的质量输送和扩散，例如，在有逆温存在时，会阻隔上、下层的混合，污染物的扩散，危及人们的安全。因此，在边界层，弱风和强风情报对风工程学都很重要。风工程学的专家希望建筑学家、城市规划者设计的建筑和建筑群建成后能达到可以使强风引起的财产和人类的损失和不适等减至最小，使大气对污染的净化能力增至最大，对人类的舒适、安全问题给以充分注意。

## 二、研究手段和效果

在边界层内，风的运动极其复杂，尤其在城市区域。高大楼房耸入空中，地面粗糙度和温度从一个地方到另一个地方变化很大，风的特征也大不相同。由于地形特征可以改变风的方向，并产生很强的阵风和大尺度的湍流。

风向和风速本身是很不稳定的，完全依靠直接在大自然中的观测分析风的效应，受到了许多限制，为此风工程师们致力于在实验室进行实验，建立物理的或数学的模式，并在自然环境通过测量作完整的分析处理和研究。

如果要把风工程学的实践建立在一个合理的客观基础上，必须模拟风，即通过“人造气流”才能更好地研究风的效应。

模拟的两种基本方法是物理模拟和数学模拟。

前面已经说过，在边界层中影响风的因素极为复杂，不容易用严谨的数学关系表示出来，特别是在贴

地面层里，空气密度梯度日变化大，这种变化以复杂的形式影响着气流的整个性质，这些问题都涉及到流体力学最难处理的方面。因而还不能用较好的数学模式来模拟边界层风场。

物理模拟的方法可以应用气象风洞、环境风洞、分离风洞及风水槽等来实现。但主要的是气象风洞和环境风洞。它们是航空风洞的一个发展。气象风洞有一个长的中心试验段，可以由加热或冷却洞内地板以及周围的气流来形成洞内热力层结不同的气流。表面粗糙度、压力梯度和湿度也可以改变。这样的风洞适合模拟大气边界层。也可以把高大建筑物或建筑群的模型放在风洞内，研究各种各样大气状况下风的效应。

当有强风时，剧烈的扰动和翻腾破坏了大气的温度层结，使边界层内各个高度温度差别减少；此时，有意义的是风力作用强度，为此，设计了一种比较简单的风洞——环境风洞。在这种风洞内不必模拟加热和冷却，在风洞中心的试验段放置有转盘，这就可以改变建筑物模型的位置，研究来自不同方向的风对建筑物的作用力。一般模型与实物的比大约是1比4000，如有必要可达1比500甚至更大，就可细致地研究气流的情况。此外，还可以应用这种风洞，研究广阔地区复杂地形和大城市上空的风的特征，以及风对建筑物可能发生的破坏。

利用气象风洞和环境风洞可以作基础的和应用的研究。在基础研究方面，如为了改进描述大气中流体运动的数学公式，我们可以按照要求做出各种模型在风洞中进行模拟，测定在不同情况下风的特征。大量的模拟测量结果的积累，将会为提出较好的数学模式提供依据，从而使模拟的风具有更广泛的意义。

在应用研究方面，是涉及所设计建筑物的特点及地形、街区等周围环境特征而提出的。这些研究包括：风的特征、风对建筑物的作用以及空气污染物的漂移、扩散、稀释等问题。此外还包括风能利用以及有关风在农业生产问题的研究。

美国科罗拉多州立大学流体力学实验室，从1956年起开始建立应用于各种不同目的的风洞。在风洞内对大气边界层或建筑物的各种模型进行实验，所得到的资料已用于建筑设计和对美国的一些主要建筑的再模拟。从简单的模拟烟囱排烟情况而决定烟囱应取的合适高度，到著名的建筑工程设计，都先在这些风洞内对设计模型作出模拟实验。如纽约的世界贸易中心大楼，芝加哥的标准石油建筑工程等。即使一些体育娱乐场地也不例外，例如美国旧金山的一个公园改建运动场也事先进行模拟实验。1971年旧金山的某建筑公司请求科罗拉多州立大学检验该公司设计的耶尔瓦-布埃纳(Yerba Buena)中心。该大学的风工程学专家们制作该中心的一组1比240(附加有周围的建筑结构)的模型，在风洞内测量不同风向、风力对该

该建筑群的影响，并在风洞内施放痕量气体观察通过建筑群的气流特征。测量了痕量气体的浓度在建筑物附近分布情况。结果在这组设计中的115米塔式建筑的周围发现有很大阵风，甚至可以比附近气象站观测到的风大四倍，这可能是由于这座大楼的高度大大超过了邻近建筑物的高度的缘故。还发现地下停车场的排气管的高度设计的不合适，由这里排出的废气正好沿气流方向进入中心大楼的一些通风口。在风洞的模拟实验中，反复改变设计各种建筑物的形状、相对配置、树木的栽种种类和位置以及地下停车场排气管高度，以达到减少强风和大气污染的危害为目的。实验结果给出了一个综合的环境影响说明。建筑设计师据此对他们的原设计进行修改，使成为更科学的设计。

风工程学专家也可以把他们的技能用于农业生产上。在花粉受精问题上，风是最好的天然运载者，农作物产量的高低与花粉的受精是否充分，作物间二氧化碳分布是否均匀有密切关系。为了利用一个地区风的特征，选择最好的种植制度，该地区基本风模拟研究可以帮助解决这个问题。

近年来由于空气污染和能源危机，风能利用的研究空前活跃起来。风能这一古老的能源又引起人们的重视，因为它是清洁、没有公害、不需花钱购买的能源。在风能的利用问题上，风工程学大有用武之地。对于给定地区，可以根据气象部门提供的风资料，并考虑地形状况进行风洞试验，从而给出安装风力发动机的最好地点。

### 三、风工程学与气象学

风工程学对于我们气象工作来说，应该是不陌生的。气象风洞实验在一定程度上可以说是流体力学和气象知识结合的产物，它所需要的气象资料要靠气象部门供给，气象学的许多有关研究成果也被风工程学引进。例如气象学家郭晓岚关于对流天气涡旋的动力学研究，富尔茨(Fultz)的大气运动的实验模拟，劳斯(Rouse)气象研究中的模拟技术，莫宁(Monin)关于大气边界层的湍流理论也都被风工程学采用。

自然，我们也应该从风工程学中得到有意义的启示，它研究的许多课题也是气象学所关心的。例如大气污染问题、风压、风能的利用，与风情报有关的作物栽种制度等。

国外一些气象学家已开始注意这一点，例如一些学者在气象风洞内进行模拟实验来探讨龙卷风动力学的特征。在研究气候学有关问题时，有人重视风工程学中提出的一些问题，以提高都市气候学，建筑气候学的水平，还有人借助风力槽来研究湖面蒸发和海气之间的相互作用。

粗看起来，一些似乎与风工程学关系较远的问题，例如数值预报也应该从中得到有益的启示。在数值预

报模式的方程组的求解过程中需要一定的初、边条件。对于垂直方向而言，大气的下界面就是地表面，它受到地形的影响。此外还应满足近地面层的运动学、物理学特征。因为该层情况复杂，难以处理，往往为使问题简化提出和数学形式与物理内容相脱离的边界条件，这样不恰当的边界条件自然会影响到预报效果。从边界层模拟看来可以得到一些有益的启示，有可能在边界层模式设计中将边界层的特征充分表现出来。

近地面的情况不仅和数值预报有关，而且和气象学的其它课题也有密切关系。在气象学的发展史里，着重注意研究大型的天气气候情况，对近地面层的情况注意不够，近年来，由于各种实际的需要，这方面的研究发展较快。为了更深入地开展边界层的气象研究，应当熟悉与之关系密切的风工程学。气象工作者应研究气候对建筑的影响，为建筑业提供所需的气象资料，但又要注意到建筑物本身对局地小气候的影响，例如

前面所说的 115 米高的大楼附近可以观测到比附近气象站测得的阵风风速大四倍之多！又如大城市上空的热岛效应等也是很重要的。同时，风工程学的发展也会对气象学提出更高的要求，如首先得到更详细的边界层风情报，连续、实时、精细地获取近地面层大气探测资料，进行全天候的测量，积累大量的资料，才能使我们从复杂多变的气象条件中找出普遍的规律。这既为提高气象学科本身的水平也为风工程学、环境保护等提供依据。

从风工程学的研究中，我们可以看到风工程学专家们十分重视模拟研究，特别是物理模拟。对于能以准确的数学表达式描述的学科，自然可以数值模拟为主，但对于气象学科来说，许多问题还处在描述性科学阶段，为更快揭示其间的规律性，应该与风工程学一样充分发挥物理模拟的威力，这有助于气象科学本身的现代化。