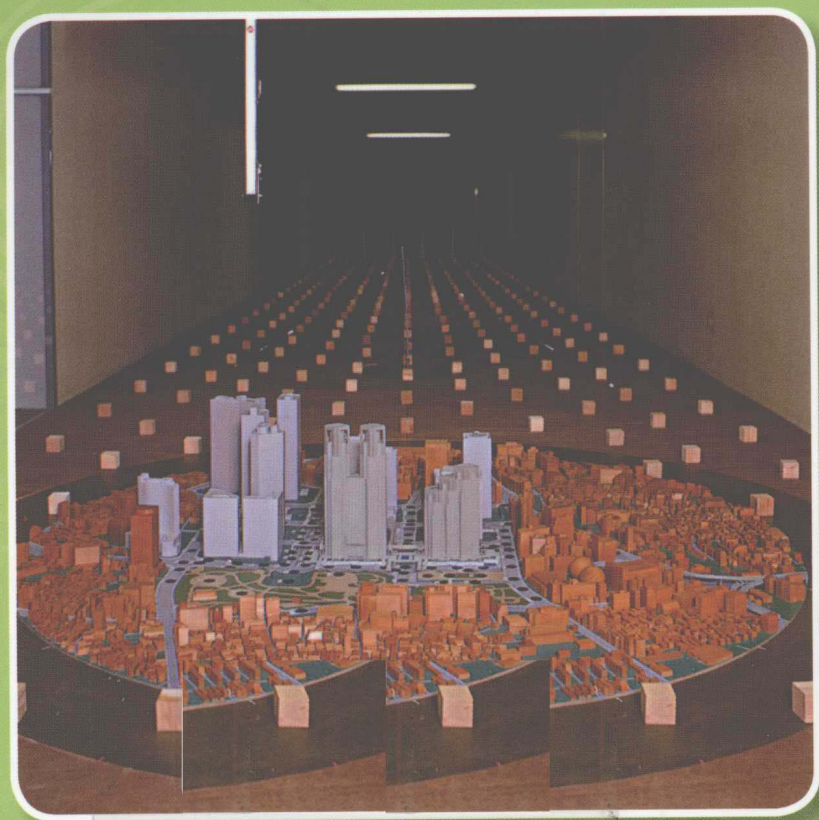


建筑风洞实验指南

[日] 风洞实验指南研究委员会 编

孙瑛 武岳 曹正罡 译



中国建筑工业出版社

建筑风洞实验指南

[日] 风洞实验指南研究委员会 编

孙瑛 武岳 曹正罡 译

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2009-3358 号

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑风洞实验指南 / (日) 风洞实验指南研究委员会编; 孙瑛等译. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 2

ISBN 978-7-112-12896-9

I. ①建… II. ①风…②孙… III. ①风洞试验-指南 IV. ①V211.74-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 016208 号

本书共分为 9 章, 介绍了建筑风洞实验的一些最新试验技术和方法, 主要内容包括风洞实验的意义 (第 2 章) 和理论基础 (第 3 章), 如何制定实验计划 (第 4 章), 测压实验 (第 5 章)、测力实验 (第 6 章)、气弹振动实验 (第 7 章) 及风环境实验 (第 8 章) 的方法与要点, 最后给出不同类型建筑风洞实验的工程应用实例 (第 9 章)。

本着“让更多人都了解风洞实验”的原则, 本书结合最新的理论成果对各项内容进行了详细的介绍, 可供设计者、相关科研和技术人员进行查阅, 也可作为高等院校土木工程专业高年级学生或研究生的教材。

* * *

「実務者のための建築物風洞実験ガイドブック 2008 年版 財団法人日本建築センター刊」

本书由财団法人日本建筑中心授权翻译出版

责任编辑: 刘瑞霞 刘文昕

责任设计: 陈旭

责任校对: 王金珠 陈晶晶

建筑风洞实验指南

[日] 风洞实验指南研究委员会 编

孙瑛 武岳 曹正罡 译

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市铁成印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 8½ 字数: 212 千字

2011 年 4 月第一版 2011 年 4 月第一次印刷

定价: 30.00 元

ISBN 978-7-112-12896-9

(20168)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

中文版前言

近年来随着经济建设的迅猛发展和国家整体实力的增强，中国要建造更多的大型建筑和桥梁以满足不断增长的基础设施需求，由于风洞试验是目前复杂建筑抗风设计中最普遍的研究手段，因此这种需求也带动了我国大气边界层风洞的建设高潮。

要获取正确的风洞试验结果，就必须对风洞试验的意义、基本相似理论、测量设备及测量方法、数据分析及结果评价等有正确的认识。进行风洞实验不仅是出于教学、科研的目的，更是为了满足实际工程设计需要，其涉及的对象包括研究人员、技术人员及工程设计人员等。要满足不同人群的需求，就要从能令所有人都理解的角度出发，对风洞实验的相关内容进行全面介绍，这是极为重要的。

1994年6月由日本建筑中心（Building Center of Japan, BCJ）出版发行了《建筑风洞实验指南》一书，该书出版14年来，在日本风洞实验技术人员及设计人员中广为流传，已成为必备的工具书。在2008年10月该书又出版了修订版，增补了一些最新的实验方法及分析方法。

本书是《建筑风洞试验指南》（修订版）的中译本，从风洞试验的基本原理到工程应用实例都结合最新的理论成果给予了详细介绍，可供学生，相关研究人员、技术人员及工程设计人员查阅。

希望本书能在中国得以广泛传阅，为风洞实验的有效利用提供参考。

最后，对在中文版翻译和出版工作中提供帮助的日本建筑研究中心、编委会委员长大熊武司等首版撰写人、完成翻译工作的哈尔滨工业大学孙璞老师等及中国建筑工业出版社表示衷心感谢。



田村幸雄

2009年12月

再 版 前 言

本指南第一版于1994年3月出版，在发行14年后决定对其中部分内容进行修订。修订内容主要是增加一些最新的试验技术及对[第9章 实例]进行重新编写。

初 版 前 言

近年来，越来越多的建筑物需要考虑风致振动下的居住性能，风荷载逐渐成为控制构件截面设计的主要因素，即所谓的风敏感建筑物在不断增加。与此同时，由于建筑抗风设计的数据大多来源于缩尺率为数百分之一的模型实验，越来越多的人（不仅是风工程相关的研究人员）开始关注风洞实验的可信度；特别是随着风洞实验的普及，这种担忧也变得越来越强烈。

在抗风设计中，风洞实验并不仅仅是提供高精度的数据就可以了，还应该“为抗风设计提供正确的、合理的信息”。因此，风洞实验的可信度要基于对实际现象的模拟，做到从一开始就要进行合理实验计划，合理模型设计，采用恰当的测量及分析方法及选择恰当的结果处理方法等。

日本建筑中心最初是以“让各方面相关人员都了解风洞实验”为目的，在1991年的自主研究项目中成立了下文的研究委员会，在一年内完成了风洞实验方法的指南。不过，后来认识到将内容限定在工程应用的实验方法并不是件好事，因为这样内容会过于有针对性，因此本书立足于“实验指南”（包括实验计划的制定、实验方法的选择及实验结果的处理等），并结合现阶段技术介绍了风洞实验的普遍方法。

此次以发表该研究报告书为契机，重新组织编写小组整理内容，并将书名定为《建筑风洞实验指南》，进行出版。

大熊武司

1994年3月

修订 2008年9月

风洞实验指南研究委员会

委员长 大熊武司
干 事 河井宏允
 藤井邦雄
委 员 浅见 丰
 上田 宏
 冈田 恒
 川端三朗
 神田 顺
 铃木雅靖
 田村幸雄
 林田英俊

编写组

大熊武司
河井宏允
田村幸雄
藤井邦雄

修订时参加委员

大竹和夫
奥田泰雄
川口彰久
中村 修
日比一喜
丸川比佐夫
孙 瑛

目 录

第 1 章 本书的背景及目的	1
1.1 背景	1
1.1.1 对风洞实验的高度关注	1
1.1.2 历史概况	2
1.2 目的	4
1.2.1 为了得到“可接受的风洞实验”	4
1.2.2 指南编写的基本方针	5
第 2 章 建筑设计与风洞实验	7
2.1 风洞实验的意义和用途	7
2.2 风洞实验的种类和目的	9
2.3 风洞实验的有效性	12
2.4 小结	14
第 3 章 风洞实验的理论基础	15
3.1 前言	15
3.2 缩尺模型实验与相似准则	15
3.2.1 相似准则及无量纲参数	15
3.2.2 Π 定理	16
3.3 风洞实验中的相似条件	17
3.3.1 自然风的模拟	17
3.3.2 相邻建筑物及地形的影响	20
3.3.3 雷诺数	20
3.3.4 气弹振动实验中的相似参数	21
3.3.5 相似参数一览	22
3.4 模型缩尺比的确定方法	22
3.4.1 确定模型缩尺比的一般原则	22
3.4.2 堵塞效应及壁面效应	22
3.5 实验风速的确定方法	23
3.6 时间缩尺比	24
3.7 大气边界层风场的模拟	25
3.8 流场的测量方法	27
3.9 小结	29

第 4 章 实验计划	31
4.1 前言	31
4.2 制定风洞实验计划	31
4.3 围护结构测压实验的风洞实验计划要点	31
4.3.1 实验目的	31
4.3.2 拟建建筑物及周边状况	32
4.3.3 测量项目	32
4.3.4 实验中的注意事项	32
4.3.5 数据整理	33
4.3.6 制定实验计划时的要点检查表	34
4.4 测力实验的风洞实验计划要点	35
4.4.1 实验目的	35
4.4.2 拟建建筑物及周边状况	35
4.4.3 测量项目	36
4.4.4 实验中的注意事项	36
4.4.5 使用实验结果的注意事项	37
4.4.6 制定实验计划时的要点检查表	37
4.5 气弹振动实验的风洞实验计划要点	39
4.5.1 实验目的	39
4.5.2 拟建建筑物及周边状况	39
4.5.3 测量项目	39
4.5.4 实验方法及相似条件	39
4.5.5 实验方法的种类	40
4.5.6 使用实验结果的注意事项	40
4.5.7 制定实验计划时的要点检查表	40
4.6 风环境实验的风洞实验计划要点	41
4.6.1 实验目的	41
4.6.2 拟建建筑物及周边状况	42
4.6.3 研究内容	42
4.6.4 实验中的注意事项	43
4.6.5 整理实验结果时的注意事项	43
4.6.6 制定实验计划时的要点检查表	43
4.7 小结	45
第 5 章 测压实验	46
5.1 前言	46
5.2 测量系统	46
5.2.1 概述	46
5.2.2 测量装置	46

5.2.3	测压实验模型	47
5.3	测量条件	48
5.3.1	风洞来流	48
5.3.2	参考静压及参考速度压	48
5.3.3	实验风速	48
5.3.4	实验风向	48
5.3.5	测压管路的影响	48
5.3.6	数据采样	49
5.4	数据处理	50
第6章	测力实验	52
6.1	前言	52
6.2	风力天平的测量	52
6.2.1	概述	52
6.2.2	测量装置	52
6.2.3	测力实验模型	53
6.3	多点同步测压	54
6.3.1	概述	54
6.3.2	测量装置	54
6.3.3	模型	54
6.4	测量条件	54
6.4.1	风洞来流	54
6.4.2	实验风速	55
6.4.3	实验风向	56
6.4.4	数据采样	56
6.5	数据处理	56
6.5.1	对风力天平测得的弯矩进行修正	56
6.5.2	对风压进行积分得到风荷载	56
6.5.3	风力系数	57
6.5.4	频域分析	57
6.6	数据的使用方法	58
6.6.1	计算响应	58
6.6.2	计算荷载	61
6.6.3	其他计算方法	62
6.7	其他实验方法	62
第7章	气弹振动实验	64
7.1	前言	64
7.2	气弹振动实验的概述	64

7.3	主要实验对象	64
7.4	实验条件	65
7.4.1	相似条件	65
7.4.2	模型及风洞来流条件	65
7.4.3	实验风速	66
7.4.4	实验风向	66
7.5	锁定振动实验	66
7.5.1	实验模型及相似条件	66
7.5.2	实验装置	67
7.5.3	实验方法	67
7.5.4	实验结果分析	69
7.6	多质点振动实验	70
7.6.1	实验模型及其相似条件	70
7.6.2	实验装置	70
7.6.3	实验方法	70
7.6.4	实验结果分析	71
7.7	完全弹性模型实验	71
7.7.1	实验模型及相似条件	71
7.7.2	实验装置及实验方法	73
7.8	联合振动实验	73
第8章	风环境实验	75
8.1	前言	75
8.2	实验目的	75
8.3	实验简介及相关准备工作	76
8.3.1	目标城市街区、建筑物的模型化	76
8.3.2	风洞来流	80
8.3.3	实验风向	81
8.3.4	测量方法	81
8.3.5	数据采样方法	83
8.4	实验结果的整理	83
8.4.1	风速比	84
8.4.2	风速的超越概率及累积概率	84
8.4.3	其他	85
8.5	风环境评估示例	86
8.6	风噪声实验	86
8.6.1	实验目的	86
8.6.2	实验方法	87
8.6.3	测量方法	88

8.6.4	测量结果的整理	88
8.6.5	风噪声的评估	88
第9章	实例	90
9.1	前言	90
9.2	估算高层建筑围护结构风荷载的风洞实验	90
9.2.1	工程概况	90
9.2.2	实验目的	90
9.2.3	实验内容、测量内容及风洞介绍	90
9.2.4	实验方法	91
9.2.5	实验结果	93
9.2.6	围护结构设计风荷载	93
9.3	估算高层建筑主体结构风荷载的风洞实验	96
9.3.1	工程概况	96
9.3.2	实验目的	96
9.3.3	实验内容、测量内容及风洞介绍	96
9.3.4	实验方法	97
9.3.5	实验结果	99
9.3.6	主体结构风荷载(参照6.5节)	103
9.4	采用锁定弹性模型估算结构风荷载的风洞实验	107
9.4.1	工程概况	107
9.4.2	实验目的	107
9.4.3	实验内容、测量内容及风洞介绍	107
9.4.4	实验方法	108
9.4.5	实验结果	111
9.4.6	主体结构风荷载(参照7.5节)	113
9.5	采用多质点弹性模型估算结构风荷载的风洞实验	114
9.5.1	工程概况	114
9.5.2	实验目的	114
9.5.3	实验内容、测量内容及风洞介绍	114
9.5.4	实验方法	114
9.5.5	实验结果	119
9.5.6	主体结构设计风荷载	121
9.6	高层建筑风环境评价的风洞实验	122
9.6.1	工程概况	122
9.6.2	实验目的	122
9.6.3	实验内容、测量内容及风洞介绍	122
9.6.4	实验方法	122
9.6.5	实验结果	125

第 1 章 本书的背景及目的

1.1 背景

1.1.1 对风洞实验的高度关注

1993 年，日本首个 300m 级的高层建筑物“横滨塔”在横滨市的临海区竣工。虽然该建筑的实际高度不到 300m（确切地说是 296m），并且建造在世界闻名的强震国日本，但是其主体结构的设计基本上是由风荷载控制的，标志着日本迎来了建筑物设计的新时代。

日本是频繁受强台风袭击的国家，但是由于抗震设计的存在导致建筑物的抗风设计往往被忽视，除少部分建筑物外，设计者几乎不关注抗风设计问题。对于超高层住宅、大型飞机场塔台、观光塔等建筑物或构筑物，结构设计的首要任务是要确保安全性；在此基础上，越来越多的建筑物还需要考虑舒适性及耐久性问题，这种变化使结构工程师开始重视风洞实验，不仅如此，建筑师为了验证建筑选型的合理性，也开始关心风洞实验。

对于那些风敏感建筑物，如果按以往只进行顺风向风荷载作用下的强度验算，则可能在风速小于设计风速时出现意想不到的风振现象，其发生频率一年一次或几年一次。与地震不同，风致振动一旦发生将持续较长时间，因此不但会使居住者和使用者感觉不适，而且也会给工作和行动带来不便。实际上，这种现象在现实生活中越来越多，因此建筑物的风致振动或减振问题也渐渐受到人们的瞩目。此外，当建筑物达到如前所述的 300m 高度时，不仅需要考虑舒适性、耐久性等问题，最基本的安全性问题在抗风设计中也是至关重要的。

抗风设计与抗震设计有很大的不同。例如，在抗风设计中即使有标准风速数值信号，也不足以作为确定风荷载的依据，这是因为建筑物所受的风荷载与其外形密切相关。事实上，脉动风速会产生脉动风荷载，建筑尾流区的漩涡（图 1.1）也会产生脉动风荷载，而这两种脉动风荷载的特性几乎没有内在联系。

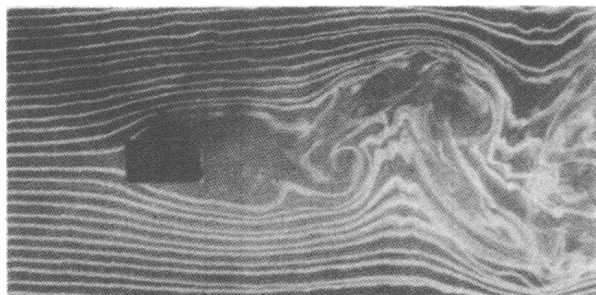


图 1.1 在建筑尾流区产生的漩涡

那么，将广泛用于飞机设计的计算流体力学方法用于获取建筑表面风荷载又如何呢？遗憾的是，由于建筑物的形状及其周边环境太过复杂，到目前为止该方法结果的可信性还值得商榷。因此，“依靠风洞实验来获取风荷载，并据此计算结构响应，最终指导结构设计”是现阶段最实用的抗风设计方法。实际上，对风洞实验及新型风洞实验装置的需求也的确在急剧增长。

1.1.2 历史概况

(1) 抗风研究的起源

日本的抗风研究可追溯至 1891 年, 即从曾祢达藏在日本建筑学会出版的《建筑杂志》中介绍埃菲尔铁塔的抗风设计开始。埃菲尔铁塔高 300m, 作为巴黎万国博览会的象征于 1889 年 3 月竣工。设计风荷载假定为以下两种情况: ①从底部到顶部取固定值 $300\text{kgf}/\text{m}^2$; ②风荷载随高度增加, 底部为 $200\text{kgf}/\text{m}^2$, 顶部为 $400\text{kgf}/\text{m}^2$ 。设计风荷载的大小是基于当时普遍使用的牛顿空气运动理论, 通过求解风力方程来确定的, 约为采用现在方法计算结果的 2 倍。这个结果也通过埃菲尔自己对埃菲尔铁塔的风观测得以证实¹⁾。

关于用牛顿空气运动理论来预测风荷载, 1901 年日本佐野利器在《建筑杂志》中进行了相关论述²⁾。牛顿空气运动理论是假设“空气粒子在与物体表面发生碰撞前作直线运动, 而碰撞后沿物体表面运动”, 这样由碰撞过程中的动量变化即可得到物体表面的抗力。基于该理论佐野推导得到各种截面形状的风荷载计算式。

牛顿的理论是基于对流体运动的特殊假定, 以今天的流体力学观点来看未必合理。实际上, 从 1890 年世界上开始建造风洞以后, 现今以“流体力学”为基础的空气运动学研究方法才逐渐形成。而把这种研究方法应用于建筑物还是 1930 年前后的事。

与此同时, 日本的抗风研究也逐渐活跃起来, 特别是 1918 年 9 月日本全国规模的台风灾害, 更把学会组织的抗风研究活动推向了高潮。1928 年 11 月日本警视厅颁布了第 27 条令, 这是最早与抗风构造相关的规定³⁾。但在其中还没有“速度压”及“风力系数”的规定方法。

(2) 风洞实验方法的引入

1934 年 9 月 21 日黎明, 从日本室户岬登陆的台风创造了历史最低的台风登陆气压纪录— 684mmHg (911hPa)。该台风正午抵达新泻, 使其周围以京—阪—神为中心的地带遭受了空前的灾害。该台风被命名为“室户台风”, 是日本近代抗风研究的起点。图 1.2 为用 4 杯型风速计记录的室户台风在大阪机场的平均风速变化曲线⁴⁾。台风登陆后移动速度非常快, 因此最大风速的持续时间不太长。

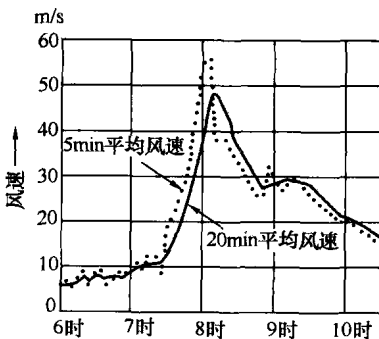


图 1.2 室户台风时大阪
飞机场的风速记录⁴⁾

许多研究人员和政府人员对此次台风灾害进行了深入的调查和分析。《建筑杂志》⁵⁾在 1935 年 2 月发表了以武藤为中心的委员会活动报告, 对欧美建筑风洞实验研究进行了介绍。在序言中有下列一段话, “欧洲大战后飞机的相关研究得到蓬勃发展, 与此同时风洞实验设备也迅速发展, 使得近年来该研究领域得到了拓展。通过研究表明, 以前确定风压力的方法还不完善, 必须采用新方法去修正风对结构的作用。欧洲各国曾计划修改有关风压力的规范, 并且有些已经实现。”

此时, 日本正在开始考虑采用“速度压”和“风力系数”来确定风压力, 室户台风灾害恰好推进了这种新方法的应用, 针对建筑物的风洞实验也随之“热”了起来。昭和 16 年 12 月 (1941 年 12 月), 日本建筑学会公布了室户台风前后的一系列研究成果, 并在日本《钢结构计算规程(草案)》第 306 条中给出了“风压力”的相关规定⁶⁾, 虽然与现行的日本建筑规范(当时

为第一版，后于 2000 年修订）规定在数值上稍有不同，但内容与第 87 条“风压力”的规定大体上是相同的。

风洞实验方法变得可行之后，风压力也成为基于空气动力学的合理表示方法。与飞行器的实验方法相同，建筑风洞实验的主导思想也是采用均匀风速，即将均匀流作用于建筑物模型上以获得风压力。可实际上，由于地表摩擦作用，风速和风向都会发生变化，尤其是风速沿着高度变化很大。因此，当将实测结果与实验结果进行对比时，会有很大的差异。例如 1933 年，对纽约帝国大厦（高度 381m）进行了风洞实验，与 1938 年的实地测量进行比较发现有较大差异¹⁾。直到 1958 年，这种实验结果与实测结果的差异才得到合理解释⁷⁾。

(3) 大气边界层风洞时代

1940 年 11 月 7 日，当时位于世界第 3 位的美国西雅图郊外塔科马海峡上的悬索桥——Tacoma Narrows 桥，在风速约为 19m/s 的风中经历了 1 个多小时的剧烈扭曲振动后，整座桥垮塌了，此时距该桥通车仅 4 个月。此次事故让人们认识到不仅要考虑风的静力作用，还要考虑风致振动影响。

1961 年 Davenport 提出抖振理论（buffeting）后，关于建筑物风振响应分析的研究越来越多。Davenport 将该理论在设计中应用并发展，于 1967 年提出可将风荷载定义为平均风荷载与脉动风荷载之和，并以平均风荷载引起的结构变形与脉动风荷载引起的变形基本一致为前提，提出了阵风荷载因子（Gust loading factor）的概念⁸⁾。

此后，为正确计算由来流湍流引起的建筑物振动响应，对平均风剖面及脉动风时空特性的研究开始盛行。此外，在风洞实验方法方面，为了正确再现真实的空气动力学现象，1958 年，Jensen（丹麦）提出了“风洞中气流的平均风剖面必须与实际风的平均风剖面相似”这一相似准则⁷⁾，使得之前以均匀气流为对象的实验方法也发生了巨大的改变，如图 1.3 所示，需要在风洞地板上摆放粗糙元等装置，通过调整以再现当地的实际风场。

这样一来，如果风洞实验以自然风为对象，就必须在测量位置再现缩尺的大气边界层湍流。然而，通常我们只是大体知道实验对象所处地点的自然风特性，对其具体性质却不能明确。也就是说，还不清楚测量位置处的气流与实际现象接近到何种程度。尽可能减小这种不确定性的最佳方法就是用与真实现象类似的机理生成气流。为了实现这个目标，就出现了如图 1.3 所示的“边界层风洞”。这种风洞是将实验对象周边及其顺风向上一定范围的地形、地貌模型化，通过打乱吹入的均匀流，而得到所需的边界层湍流。大气边界层风洞在 20 世纪 60 年代中期出现，加拿大西安大略大学（West Ontario）的 Davenport 教授⁹⁾和美国科罗拉多（Colorado）州立大学的 Cermak 教授¹⁰⁾是该方面的领军人物。迄今为止，绝大部分建筑物的风洞实验都是在边界层风洞中进行的。

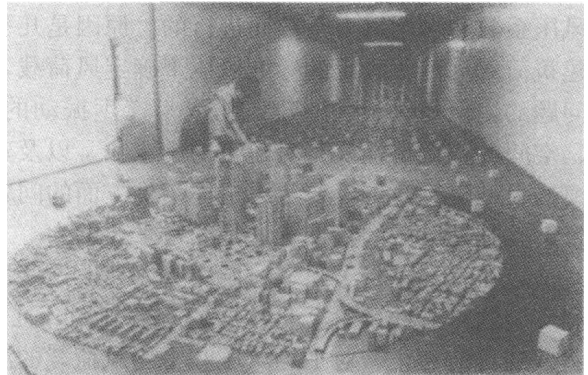


图 1.3 风洞实验照片

工程中风洞实验的普及使有关风洞实验方法指南的出版成为必然，特别是在抗风设计较为先进的地区，如加拿大与美国。1987年美国土木工程学会（ASCE, the American Society of Civil Engineers）出版了《Wind Tunnel Model Studies of Buildings and Structures》¹¹⁾。日本在20世纪70年代也加强了对建筑抗风问题的关注。1981年，日本建筑学会环境工程委员会通风分会公布了《风灾研究的风洞模型实验方法相关协议》¹²⁾。1984年，日本建筑研究中心出版了《有关建筑物绕流的风洞实验方法研究报告书》¹³⁾。另一方面，关于结构抗风问题，1980年本州四国连通桥公团出版了《本州四国连通桥风洞实验要点及解说（1980）》¹⁴⁾；1991年日本道路协会出版了《道桥抗风设计须知》¹⁵⁾，给出一些实验的指南。关于建筑物，1988年日本建筑综合试验所出版了《建筑风洞实验入门指南》¹⁶⁾。但是，正如前言中所提及的，这是以“追求正确的风洞实验”为宗旨而进行的文献整理，所以仅适用于从事风洞实验的相关技术人员。

1.2 目的

1.2.1 为了得到“可接受的风洞实验”

用于建筑物抗风设计的风洞实验大致可划分为4种：

- ①建筑物及特殊地形周边的风特性；
- ②作用于建筑物外表面及内表面上的风荷载；
- ③建筑物整体或其中一部分所受的风荷载；
- ④建筑物的风致振动。

就日本的情况而言，关于①中的建筑物周边风特性问题，相关风洞实验已经做了很多，但设计者对风洞实验技术本身并不那么关心。相反，由于最近很多建筑建造在山间、山顶或丘陵中，针对地形影响的研究正备受关注。

②和③所述的风洞实验是抗风设计的典型实验，可以说这两类风洞实验只是为获得平均风压系数和平均风力系数而进行的。原因是几乎所有的工程实例都是用平均风力系数乘以建筑荷载规范所确定的标准风压来确定风荷载，这对于大部分建筑的主体结构设计是没有问题的。但是对于大型建筑物或易产生振动的建筑物，必须正确把握脉动风荷载随时间、空间的变化特性及其对建筑物的影响，以及建筑物的动力特性等。此外，对达到一定规模的大型建筑，不仅要考虑主体结构方面的问题，对于像窗户玻璃这样的围护结构，也要了解其脉动风压的特性，这是非常重要的。

最近在日本进行了很多风洞实验以获取这些详细的数据信息。与此同时，为确保建筑风洞实验的可靠性及对实验数据的有效利用，社会上对实验方法指南的呼声也越来越高。当然，到目前为止，对平均风压和平均风荷载的测定方法并非完全没有问题。可以说即使是现在，也经常会出现由于测定方法的错误得到和实验计划大相径庭的结果。在测量脉动风压和脉动风荷载时，实验中应该明确、注意的问题又增加了。例如，

- i) 实验目的
- ii) 实验项目及测量方法
- iii) 实验模型
- iv) 数据采集方法
- v) 数据处理方法

vi) 结果的表达

等等。这些问题对于④的振动实验也同样适用。

i) ~ iii) 的问题是风洞实验的设计问题,明确这些问题是设计者与实验者双方达成共识并进行风洞实验的关键。为了实验顺利进行,双方更要结合各自专长,必要时还要聘请相关方面的专家进行讨论。这样不但可以提高数据的可信度,还可以增强抗风设计整体的可靠性。

iv) ~ v) 的问题是在满足设计目的的条件下避免使脉动数据有过大偏差,主要是针对实验者的。但是如果从确认数据的有效性来看,也是设计者需要理解的。

vi) 的问题是为了推进设计工作或为保障设计的合理性确定需要提供什么样的信息,因此是关系到实验计划中内在理论与外部表现的问题。

如上所述,进行“以合理抗风设计为目的的风洞实验”,除了实验中的技术问题,大多是需要设计者和实验者协力解决的。可是现实中,两者的协作关系并非充分,其主要原因是缺乏一本合适的书作为了解风洞实验方法的平台。

1.2.2 指南编写的基本方针

1991年8月,在加拿大西安大略大学举办的第8届国际风工程会议中,为了修改前述的ASCE风洞实验方法指南,成立了专门的委员会。日本研究会的几位成员也出席了此次会议。在会议中,有结构工程师提出“虽然有了类似指南的资料,但由我们来写就会过于专业,使人难于理解”。我们一开始便认为,如果写出来的是一本设计者很难读懂的指南,那么就偏离了写本书的目的,故而应读者的需求,我们提出了自己的方向——“我们的目标是写出一本指南,但在内容和叙述手法方面,将致力于使设计者能够轻松领会”。

实际上,对于设计者,特别是日本的设计者,由于找不到与建筑风洞实验方法有关的书籍,所以在遇到这类设计问题时,总会感觉棘手。我们也常常听到这样的问题:“通过风洞实验,我们可以从哪些实验现象得到什么信息”,“用那么小的模型进行实验是否可信”,“用刚性模型进行风洞实验有什么意义”,“这样能否再现台风时的风”……甚至有些设计者还会说:“风洞内的风和实际的风毫不相干”。而且,有疑惑的并不限于设计者一方,实验者也存在很多困惑。例如实验者认为进行振动实验时,振动模型在可靠性、振动特性的识别方面都存在问题。当然,改进风洞装置也是解决上述疑问的一种途径。

鉴于上述情况,大家都深切感受到风洞实验方法指南的必要性,“前言”中的研究机构,1991年4月开始编制风洞实验指南的工作。基于以上的一些考虑及现有状况分析,制定了如下四点基本方针:

- ① 不以面面俱到的手册为目标;
- ② 内容和叙述方式不仅要风工程专家能够读懂,结构工程师和建筑师也能够理解;
- ③ 介绍以实用化为目标的一般风洞实验方法的同时,尽量避免会对技术发展构成障碍的相关叙述方式;
- ④ 汇总标准的实验实例及对实验结果的处理。

基于这四点基本方针,编写本指南,其内容包括:

1. 研究的背景及目的
2. 建筑设计和风洞实验概论

3. 风洞实验的理论基础
4. 实验计划
5. 测压实验
6. 测力实验
7. 气弹振动实验
8. 风环境实验
9. 实例

各方面的汇总工作已经开始。

所幸的是，上述研究报告得到了风工程界的一致好评，于1994年得以出版。

此外，本书初版刊行至今已经14年了，此次的修订主要是增加一些最新实验技术及《第9章 实例》的重新编写。

[参考文献]

- 1) Davenport, A. G. : Perspectives on the Full-scale measurement on Wind effects, Jour. of Industrial Aerodynamics, Vol. 1(1975), pp. 23~54
- 2) 佐野利器:「風力に就て」, 建築雑誌, 第236号, pp. 53~60, 日本建築学会, 1901.8
- 3) 警視庁: 警視庁東京府公報, 1928.11
- 4) 大谷東平: 室戸台風に就いて, 建築雑誌, 第592号, pp. 1368~1372, 日本建築学会, 1934.12
- 5) 武藤 清, 中井新一郎, 坪井善勝, 仲 威雄: 構造物に及ぼす風的作用に関する各国の実験的研究, 建築雑誌, 第595号, pp. 144~231, 日本建築学会, 1935.2
- 6) 日本建築学会: 鉄骨構造計算規準(案), 建築雑誌, 第681号, pp. 941~963, 1941.12
- 7) Jensen, M. : The Model-Law for Phenomena in Natural Wind, Ingeniøren, Int'l. Edition, Vol. 2, No. 4, 1958
- 8) Davenport, A. G. : Gust Loading Factors, Jour. of the Structural Division, Proc. of the ASCE, June, 1967, pp. 11~35
- 9) Davenport, A. G., Isyumov, N. : The Application of The Boundary layer wind tunnel to The Prediction of Wind loading Proc. of Intl. Research Seminar on Wind Effects on Building and Structures, Vol. 1, pp. 201~230, Ottawa, Canada, Sep., 1967
- 10) Cermak, J. E., Sadeh, W. Z. : Pressure Fluctuations on Buildings, Proc. of Wind Effects on Buildings and Structures, pp. 189~198, Tokyo, 1971
- 11) ASCE: Wind tunnel model studies of Buildings and Structures, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 67, 1987
- 12) 日本建築学会環境工学委員会換気分科会: 風害に関するケーススタディを対象とする風洞模型実験の方法に関する申し合わせ, 建築雑誌 Vol. 96, No. 1181, 1981.7
- 13) 日本建築センター: 建築物周辺気流の風洞実験法に関する研究報告書, 1984.3
- 14) 本州四国連絡橋公団: 本州四国連絡橋風洞試験要領(1980)・同解説, 1980.6
- 15) 日本道路協会: 道路橋耐風設計便覧, 丸善, 1991.7
- 16) 日本建築総合試験所: 建築物風洞実験の手引き—風洞実験委員会報告書, 1988.1