湿度控制设计指南

——商业与公共建筑

（中文节略版）

Lewis G. Harriman III
ASHRAE，成员

G.W. Brundrett，博士，特许工程师
ASHRAE，会员

R. Kittler，博士
ASHRAE，会员

项目承包商-1047-RP

Lew Harriman，首席调查员
Mason-Grant Consulting
P.O. Box 6547
Portsmouth，NH 03802 USA
www.MasonGrant.com

项目监督委员会

主席：Craig Wray，Lawrence Berkeley Laboratory
Rodney Lewis
Lynn Werman
TC 3.5：Jaroslav Wurm
TC 8.7：Christopher Morton
赞助人：Douglas Kosar，GTI
Phillip Fairchild，DOE/ORNL

项目指导者与投资人：

- ASHRAE技术委员会
  TC 3.5干燥剂及吸附技术
  TC 7.5机械除湿机
  TC 8.7加湿设备
  TC 9.12高楼大厦
- 美国天然气工艺研究院
- 美国能源部，美国橡树岭国家实验室

ISBN 978-1-936504-14-5

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.
1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329
(404) 636-8400 www.ashrae.org

Copyright © 2001
by the American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.
All rights reserved.

DEDICATED TO THE ADVANCEMENT OF
THE PROFESSION AND ITS ALLIED INDUSTRIES
致力于该行业及相关行业的发展

No part of this book may be reproduced without permission in writing from ASHRAE or from the original holder of the copyright as indicated in the text, except by a reviewer who may quote brief passages or reproduce illustrations in a review with appropriate credit; nor may any part of this book be stored in a retrieval system, or transmitted in any form by any means—electronic, photocopying, recording or other—without permission in writing from ASHRAE or from the original copyright holder.
未获得ASHRAE或书中说明的原版权所有者书面批准前，不得对本书的任何部分进行复制。引用简短段落或授权可复制例证的评论者除外。未获得ASHRAE或书中说明的原版权所有者书面批准前，本书任何部分不得储存于检索系统或以任何形式通过任何方式传播，如电子版本、影印、录音等。

DISCLAIMER
免责声明

ASHRAE has compiled this publication with care, but ASHRAE has not investigated and ASHRAE expressly disclaims any duty to investigate, any product, service, process, procedure, design or the like which may be described herein. The appearance of any technical data or editorial material in this publication does not constitute endorsement, warrantee or guaranty by ASHRAE of any product, service, process, procedure, design or the like. ASHRAE does not warrant that the information in this publication is free of errors. The entire risk of the use of any information in this publication is assumed by the user.
ASHRAE在编撰本书时十分慎重，但ASHRAE未进行调查，且ASHRAE明确声明无责任调查任何产品、服务、工艺、程序和设计等书中可能涉及项目。本书中所含任何技术数据或编辑材料不构成ASHRAE对任何产品、服务、工艺、程序和设计等的支持、担保或保证。ASHRAE不保证书中所含信息均准确无误。使用书中任何信息可能产生的所有风险由用户自行承担。

This publication translated by permission from Humidity Control Design Guide for Commercial and Institutional Buildings © 2009 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Translated and distributed by Munters. ASHRAE assumes no responsibility for the accuracy of the translation. To purchase the English edition, contact ASHRAE, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta GA 303929-2305 USA www.ashrae.org.
本出版物为《湿度控制设计指南——商业与公共建筑》(Humidity Control Design Guide for Commercial and Institutional Buildings，©2009美国采暖、制冷与空调工程师学会版权所有）译文版。蒙特负责翻译与发布。ASHRAE对翻译的准确性不承担任何责任。若需购买英文版，请联系ASHRAE (1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305 USA, www.ashrae.org)

湿度控制设计指南 —— 商业与公共建筑
（中文节略版）
ISBN 978-1-936504-14-5

编者

Lew Harriman
Mason-Grant Consulting
P.O. Box 6547
Portsmouth, NH 03802 USA
LewHarriman@MasonGrant.com

Geoffrey W. Brundrett
Cooks Hill, Kingswood
Fordsham, WA6 6JT
United Kingdom
GeoffBrundrett@Waitrose.com

Reinhold Kittler
Dectron Internationale
2316 Mariner's Mark Way,# 304
Virginia Beach,VA 23451
rkittler@aol.com

各章节合著者

Larry Berglund
Tohoku University, Japan
larry@sabine.pln.archi.tohoku.ac.jp

Donald Gatley
D.P Gatley & Associates
Atlanta, Georgia
dpgatley@earthlink.net

Joseph Lstiburek
Building Science, Inc.
W estford, Massachusetts
joe@buildingscience.com

William Lull
Garrison-Lull
Princeton Junction, New Jersey
wplull@alum.mit.edu

Bernard Morton
Naples, Florida

Chris Morton
Morton Engineering
W aconia, Minnesota
mortonenginc@aol.com

Berlin Nelson
North Dakota State University
Fargo, North Dakota
berlin_nelson@ndsu.nodak.edu

J. David Odom III
CH2M/Hill
Orlando, Florida
jodom@ch2m.com

赞助方的首语



Lars Engstrom
CEO, Munters

中国的工程师、建筑师和建筑业主不仅仅为中国的建筑和基础设施服务的繁荣做出贡献,他们也在帮助改变整个世界。蒙特与美国ASHRAE（采暖、制冷与空调工程师协会）合作，赞助、翻译出版这本《湿度控制设计指南 —— 商业与公共建筑》（中文节略版），并为促进和分享珍贵知识，帮助设计节能建筑而自豪。

当中国设计师们在追寻创造绿色节能建筑的方法时，这本指南提供了多种专业的设计思路。这本指南由蒙特赞助翻译成中文版，并且提供中国的气候参数和最佳设计范例。

蒙特恪守对中国市场的承诺，通过我们对中国工厂的持续投资，大量培养本地人才，赞助出版设计手册之类的支持项目，与中国的建筑设计行业的同仁一起分享我们的知识和技术。

Engineers, architects, and building owners in China are not just servicing the boom in China’s building and infrastructure, they are helping transform the world. Munters through its sponsorship and cooperation with ASHRAE produced this abridged ASHRAE Humidity Control Design Guide in Chinese. We are proud to promote and share this valuable know-how to help design sustainable buildings.

The Guidebook contains contributions from experts, representing various design disciplines to help Chinese designers create green buildings. This useful guidebook gives readers climate data and best practice in an abridged Chinese language edition.

Munters’ commitment to China is seen through our continuous investments in Chinese production facilities and our large skilled workforce supporting projects such as this guidebook to share knowledge with the Chinese building design community.

All of us at Munters wish all the professionals in the Chinese building industry the best of luck in this important transformation work for the future.

Munters
蒙特-空气处理技术

www.munters.cn/ashraechinesebook

本指南前言

本书为蒙特与ASHRAE共同合作的成果，旨在分享多年来在商用及公用楼宇湿度与室内空气处理领域积累的宝贵知识。

由于众多商用楼宇在防潮与湿度控制方面均存在问题，因此原版指南激发了业主、建筑师与 HVAC 工程师对湿度控制的浓厚兴趣。本指南的原始版本仅解决了防潮问题的一个方面——HVAC 系统，而本书则就湿度控制的设计问题提供了更为全面的信息，以作为对 ASHRAE 成员需求的回应。

所有编者持有的观点是一致的，即设计师所掌握信息越全面，就越能使全球范围内的楼宇提供更卓越的使用环境。更全面地了解湿度和控制湿度的方法可进一步提升人体舒适度和能源经济性，改进设备设计以及降低施工成本。

本着这一共同目标，本《指南》的浓缩版中文译本问世了。中国在建筑技术和新型基础设施建设方面的繁荣发展，使其得以放眼世界，力求实现该行业的可持续性发展，满足全球环保需求。蒙特与 ASHRAE 精诚合作，是《指南》浓缩版中文译本得以问世，以便于中国设计师、建筑师、业主和 HVAC 相关机构学习蒙特和业内经验，了解如何通过湿度条件控制来设计和建造集可持续性、高能效及安全性于一身的楼宇，为该行业在中国的发展提供支持。

章节的选择由蒙特和 ASHRAE 共同完成。为方便读者参考原《指南》，本书的章节号保持与原英文版本一致，只有页码根据顺序进行了适当变更。

原始设计条件涉及的城市列表限定为以中文为母语的国家。

我们非常荣幸能与ASHRAE一同编写本书，希望本书能帮助读者更进一步了解湿度控制问题和解决该问题的专业技术。

关于本指南浓缩版中文译本，若有任何建议或意见请联系蒙特公司：www.munters.cn/ashraechinesebook

《湿度控制设计指南 —— 商业与公共建筑》原英文版致谢

特别鸣谢美国能源部及其分布式能源及动力技术办公室，以及天然气工艺研究院对本项目的技术和财政支持。我们非常感激项目监督委员会专职人员三年来的辛苦工作，以及ASHRAE技术委员会对我们工作的指导。此外，编者们非常感谢作家辛西娅哈里曼不知疲倦地修改我们的大量文章，为我们寻找用法、语法和印刷错误。本书的明确、准确和完整之处全靠大方给予帮助者对我们的监督。

最后，本书所含信息为我们个人经验的成果和来自与其他专业人员的交谈、技术与专业报刊以及我们日常专业、商业活动的积累。



Lew Harriman
Portsmouth, New Hampshire

湿度控制设计指南 —— 商业与公共建筑

（中文节略版）

目录

基础

2. 湿度控制基本要点

设备设计

10. 设计程序
11. 估算除湿负荷

应用

19. 办公楼
20. 零售商店大楼
21. 酒店
23. 博物馆、图书馆与档案室
24. 医院
27. 游泳池
28. 滑冰场
29. 干燥空气储存

参考资料

31. 气象参数

第2章 —— 湿度控制基本要点 2

业主的职责——确定项目目标 3
对项目目标的正确定义 3
业主与用户的期望：调节与控制 4

建筑设计师——低渗漏建筑 6
空气渗漏与蒸汽扩散 7
隔汽层 8
避免冷桥 9

HVAC设计师 — 控制室外空气 11
预先处理新风 11
考虑使用专用除湿设备 12
减少负荷 13
确保管道紧密 13
将冷却经济器设置于控制露点 15
避免冷却设备过大 16
消除外墙吸湿问题 16
注意特殊湿度要求 18

承包商——低渗漏建筑物与管道 24
密封外墙 24
进行室内装饰前必须晾干所有材料 24
密封所有管道与连接处 24

大楼运营人员——维持空气平衡 27
修正缺陷 27
维护补风系统 28
提高温度以便节能时，进行连续除湿 29
调整冷却系统以达到除湿目的 29

参考文献 33

第10章 —— 设计程序 38

湿度控制设计 39

五步设计流程 39
第1步——确定项目目标 39
第2步——设置湿度控制等级与容差 40
第3步——计算高峰湿负荷 42
第4步——选择设备、估算设备规格并放置设备 43
第5步——选择并放置传感器与控制器 44

将湿度控制融入典型的商业HVAC系统中 46
中央空气处理系统 47

基于成套屋顶机组的系统 53
使用室内设备的系统 58
参考文献 61

第11章 —— 估算除湿负荷 62

除湿负荷 63
第1步——选择设计条件 63
第2步——确定建筑物与其容量 64
第3步——估算除湿负荷 65
人 66
新风 67
渗漏 69
门 71
潮湿的材料与货物 73
潮湿表面 74
蒸汽渗透 76
室内负荷 78
根据气候与应用比较湿负荷 79
参考文献 85

第19章 —— 办公楼 86

办公楼的湿度控制 87
湿度控制的典型目标I 87
控制等级与容差 87
主要负荷 90
对办公室建议与注意事项 91
参考文献 95
帮助预估办公设备热负荷的参考文献 95

第20章 —— 零售商店大楼 96

零售商店大楼 97
超市 97
超市湿度控制的目标 97
超市典型控制等级 98
超市的主要湿负荷 99
对超市建议与注意事项 100
超市参考文献 103
一般零售商店 105
零售店的湿度控制目标 105

零售业的典型的控制水平和容差 106
零售商店的主要湿负荷 106
对一般零售的建议及注意事项 108
简单地缓解湿度 108
要将湿度控制在确定范围内 111
参考文献 112

第21章 —— 酒店 114

酒店 115
湿度控制的目标 115
控制等级 116
避免外墙使用塑胶墙面 117
湿负荷 118
建议与注意事项 120
参考文献 123

第23章 —— 博物馆、图书馆与档案室 126

湿度控制的典型目标 127
湿度控制等级与容差 128
湿负荷 130
湿度对文物及文献资料的影响 134
环境对馆藏的损害过程 135
纸张 136
自然历史标本 137
干燥的植物标本馆藏 138
金属 138
胶片与照片 138
湿度控制的建议与注意事项 139
项目设计 139
关于系统功能和部件的建议与注意事项 141
针对系统类型的建议和注意事项 145
关于能源成本的建议和注意事项 147
关于湿度对工艺品和文件影响的参考文献 149
建议读物 150

第24章 —— 医院 152

湿度控制的目标 153
控制等级及容差 153
寒冷气候里的控制等级 154

管道及空气处理设备的控制等级 154
控制等级，保证工作人员和患者的舒适度 155
手术室 156
湿负荷 157
普通新风 157
手术室新风 158
人和门的活动 158
渗漏 158
渗透 159
加湿负荷 159
建议及注意事项 159
参考文件 162
第27章 —— 游泳池 164
湿度控制的目的 165
控制等级与容差 166
湿负荷 168
建议与注意事项 170
建筑细节 170
空气分配 173
参考文献 175
第28章 —— 滑冰场 176
湿度控制目标 177
控制等级与容差 178
湿负荷 179
建议与注意事项 181
建筑设计 181
空气分配 184
HVAC构成与控制 184
参考文献 188
第29章 —— 干燥空气储存 190
湿度控制目标 191
控制等级与容差 193

湿负荷 194
建议与注意事项 195
参考文献 199

第31章 —— 室外气象参数 200

第2章
湿度控制基本要点

作者： Lew Harriman

3 4 5

6 7 8 9 10

11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23

建筑设计师
低渗漏建筑
- 空气渗漏与扩散
- 避免双隔汽层

HVAC设计师
控制室外空气
- 新风预处理
- 减少负荷
- 明确确保管道紧密
- 避免冷却设备过大

业主的职责
确定项目目标

承包商
建造低泄漏建筑与紧固管道系统
- 密封外墙
- 密封所有管道与连接

24 25 26

27 28 29 30 31 32

参考文献

33 34 35 36

大楼运营人员
维持适当的内部气压
- 纠正设计与施工误差
- 经常更换补风过滤器
- 保证持续除湿
- 调整冷却系统，达到除湿要求



湿度控制

湿度控制的重要性取决于个人的视角。对疗养院病人而言，湿度控制意味着需要常年维持舒适环境。对博物馆馆长而言，则意味着需要将湿度维持在对艺术品和历史文物损害较低的程度。对专业维护人员而言，则希望这是一个可靠的系统，不会收到使用者的投诉。所以每个人的视角均不同。

本章旨在让参与湿度控制项目的所有主要参与团体在主要概念上取得共识。由于湿度会影响所涉项目的独特环境，因此，项目团队对基本要素有了基本了解后，便能够专注于湿度控制的目标，从而节省时间与金钱。

业主的职责——确定项目目标

与温度控制不同，商业建筑中不会自动将湿度控制纳入考虑范围内。许多业主都较能忍受不同时间不同季节较大的湿度变化。若业主无特别要求，设计师通常不会将湿度控制考虑在内。

若业主需要特定的湿度控制，那他们最重要的职责便是说明建筑物湿度控制的目的，以及湿度控制不足时可能产生的后果。如果对项目目标没有清晰的理解，那么建筑团队就必须猜测，但他们的猜测往往不能满足业主的期望。目标明确后，建筑团队才能进行有效、专业的调整，更加准确地预测技术方案的成本。

项目开始前确定项目目标对业主来说更加经济。对业主的期望了解不及时不仅会浪费时间与精力，而且会经常需要向法律人士寻求帮助。[1]



图2.1业主

业主如果能够明确说明控制湿度的原因，以及解释不控制湿度后的所造成的结果，可减少成本并能加速项目的进程。这些信息可指导团队的其他成员做出具有成本效益/获利的决策。

对项目目标的正确定义

为了使项目目标切实有用，项目目标的定义中应包含湿度控制的理由，以及实施控制可能产生的后果。愤怒的业主通常会给出以下不太有用的指示：“我不想花太多钱，但湿度控制一定要准确。我们其他大楼的用户一直在抱怨。”

业主有责任提供进一步地说明，因为建筑团队需要更多的指示信息。在以前的项目，大楼服务的目的是什么？为什么用户一直在抱怨？谁在抱怨？多长时间抱怨一次？是在一年中哪些时段抱怨？他们是觉得太干燥还是太潮湿？为了避免这个问题，多少钱算是“太多”？诸如此类的问题永无止尽。而有一个更好的关于项目目标的定义可以更快地解决这一系列问题。请看下面这些例子。

不好的定义：“采用酒店常用的湿度控制。”

较好的定义：“使酒店的温度与湿度控制在ASHRAE规定的夏季与冬季适应人体舒适度的范围内。”

全面的定义：“对酒店的温度与湿度控制应达到以下目的:

a. 建筑物内或建筑空间内冷凝与相对湿度不超过60%，建筑材料与装饰不得产生霉菌或其他湿气损害;
b. 使用时，客房、走廊、会议室、餐厅与办公室相对湿度应大于30%，小于60%;
c. 系统有足够的调整能力在全年98%的时间内实现控制。”

*不好的定义*至少可以引出更多的讨论。业主大致知道“酒店标准”的含义。而且因为该定义存在于业主的指示中，建筑团队至少知道这个项目的重要性。但是这个定义有很多的想象空间，难免会产生误解与问题。

*较好的定义*表达得更加明确，定义了业主的期望，透露了控制湿度的理由。很明显，业主关心的是舒适，而舒适也得到了有意义、并且量化的定义。但是在酒店中，当然存在厨房、游泳池等特殊用途区域。大概对这些区域与会议室和客房的要求也不同。而且，客房几乎全天都没有人居住，所以这些区域在未使用时不需要很严格的湿度控制。

*全面的定义*更近一步地明确了业主的目的。现在我们知道，除了舒适之外，业主还关心霉菌、发霉造成的损害。而且不仅是客房内，墙的背后也必须采取措施控制气压与气流。同样重要的是，业主还告知了建筑团队哪些缺陷是可以接受的——系统不需要设计为可用30年。一年的工作时间中有2%未达成目标是可接受的，只要不对业主造成过多问题即可。全面的定义告诉建筑团队***业主期望什么样的结果，若未达成目标将有什么样的后果，以及哪些缺陷是可以接受的***。

全面的定义的结果是采用更加昂贵的HVAC系统。另一方面，不好的定义将会因为由于理解错误而带来巨额风险以及受潮所引起的损害而产生更多费用。若想达到预期的效果，每位业主都必须确定湿度控制的价值，并将他的期望清楚地告知建筑团队。

业主与用户的期望：调节与控制

许多商业建筑对某种控制等级并没有特别的需求，至少没有值得投入更多成本的需求。另一方面，用户与业主都希望，有了HVAC系统后，他们能够一直感到“舒适”。期望变成了隐含的规范，这是许多建筑项目中都会出现的矛盾根源。

没有明确的湿度控制等级时，业主能够通过控制期望值来减少潜在的矛盾。简单地说，如果业主没有明确湿度控制的要求，那么他可能期望普通HVAC系统仅能“调节”湿度。调节意味着，湿度会随着时辰和季节的改变而改变，但可能不会高于70%相对湿度或低于10%相对湿度，严寒酷暑除外。关键词是“可能”。如果业主无法对建筑团队明示湿度控制的目标和结果，他就得谨慎地控制住户的期望，只能承诺大多数时候含湿量较适中，而不能保证一直处于*舒适*或*控制*状态。

业主核对清单 1 / 3

确定项目目标

1. 业主对湿度控制中的目标是什么?

2. 若湿度未得到控制可能产生什么结果?

确定湿度控制等级和容忍限度

3. 哪个参数对项目的成功与否影响最大? ❑相对湿度 ❑露点温度 ❑二者同时控制

4. 该项目可容许的极限范围? 夏季: 从 _____ 至 _____ 冬季: 从 _____ 至 _____

5. 确定设备尺寸时应该采用哪种极限条件? 夏季: ❑设计后35小时 ❑87 小时 ❑175 小时
冬季: ❑设计后35小时 ❑87 小时

建筑物的使用与居住

6. 建筑物通常的使用者有多少人?

平日

人数	时间	人数	时间
_____	0100	_____	1300
_____	0200	_____	1400
_____	0300	_____	1500
_____	0400	_____	1600
_____	0500	_____	1700
_____	0600	_____	1800
_____	0700	_____	1900
_____	0800	_____	2000
_____	0900	_____	2100
_____	1000	_____	2200
_____	1100	_____	2300
_____	1200	_____	2400

周六、周日

人数	时间	人数	时间
_____	0100	_____	1300
_____	0200	_____	1400
_____	0300	_____	1500
_____	0400	_____	1600
_____	0500	_____	1700
_____	0600	_____	1800
_____	0700	_____	1900
_____	0800	_____	2000
_____	0900	_____	2100
_____	1000	_____	2200
_____	1100	_____	2300
_____	1200	_____	2400

节假日

人数	时间	人数	时间
_____	0100	_____	1300
_____	0200	_____	1400
_____	0300	_____	1500
_____	0400	_____	1600
_____	0500	_____	1700
_____	0600	_____	1800
_____	0700	_____	1900
_____	0800	_____	2000
_____	0900	_____	2100
_____	1000	_____	2200
_____	1100	_____	2300
_____	1200	_____	2400

建筑设计师——低渗漏建筑

商业建筑通常会漏风。漏风量决定湿度控制的成本与冷凝引起损坏的风险程度。建筑师对成本和湿度控制效力都有着极大的影响，而湿度控制是通过建筑物外体设计和对施工的监督实现的。

进行了湿度控制的建筑物在某些方面与冰箱类似。若冰箱门上有洞，或者门缝处有渗漏，潮湿的空气将进入面板，水分会凝结，并长出霉菌。若冰箱门周围的空气密封条断裂或丢失，潮湿的空气将进入冰箱，在内部凝结，此时温度很难控制，无法再控制湿度。冬天又会产生不同的问题：干燥的空气将进入冰箱，使得里面的食物变得干硬。

商业建筑实际上更类似于渗漏十分严重的冰箱。即便是最严密的建筑，室外室内空气每三个小时就全部更换一次。大多数建筑物更加糟糕，室内室外空气每一到两个小时就会全部更换一次，甚至有的30分钟就完成一次[2]。与新风不同，渗入空气的温度与湿度很难控制，因此问题也很难避免。

夏季潮湿的空气从墙壁渗入。当其潮湿的空气接触到被冷却系统制冷的表面时，冷凝会产生在壁腔和冷却管。冬季渗入的冷空气使室内墙壁表面冷却，造成建筑内的潮湿空气在壁腔凝结成水。

若整个建筑物真的像冰箱一样，仅需额外提供经调节的流通空气便可轻易消除渗漏，这样的话，充满壁腔的会是调节后的空气，而非未处理的泄露空气。但是，建筑物比冰箱复杂得多，建筑物某一部分有正压空气并不意味着对外部来说建筑物所有部分都处于正气压下。[2]

所以，当业主要求湿度控制时，为了尽量降低空气渗漏，建筑师应更加注意建筑物外体设计。当然，说起来容易，但做起来相当难。没有建筑师愿意设计的建筑物漏气。但是，建筑学家们基于经常出现的问题，为设计新项目的建筑设计师提出了非常有用的建议。



图2.2 建筑设计师

采用了湿度控制的建筑不得渗漏大量空气，选择的材料需要确保墙体内部结构不会吸收潮湿空气，这样热桥就不会形成冷凝表面。

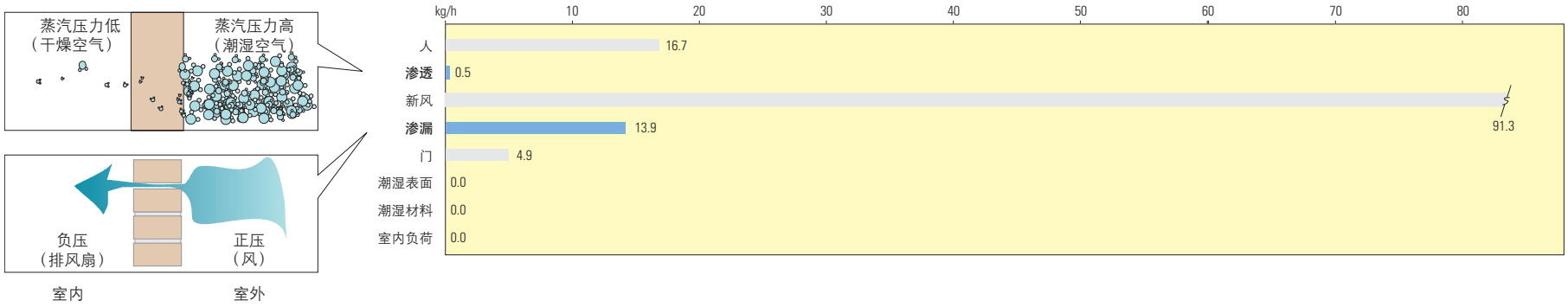


图2.3 采取措施尽量降低空气渗漏…… 水蒸气扩散几乎不是问题

通常商业建筑中，渗入的湿负荷要比渗透的湿负荷高10到200倍。因此，减少空气渗入量十分重要。

空气渗漏与蒸汽扩散

人们大多关注蒸汽扩散穿过建筑材料的问题。可以确定的是，水蒸气确实会通过建筑材料进行扩散，以保持建筑材料或墙壁两侧的水蒸气气压处于平衡状态。当水蒸气遇到冰冷表面时，因冰冷表面温度低于接触墙面空气的露点温度时，将导致水凝结。当然，建筑师负责设计墙壁、天花板和地板，防止水蒸气扩散造成凝结。为了避免此类潜在问题，已有许多实用的计算和电脑程序可供建筑师和HVAC设计师采用。[3]

然而，更重要的问题是，空气是通过建筑物外墙裂缝渗入的。水蒸气扩散产生的水蒸气渗漏量是空气渗透产生的10到200倍，如图2.3所示。不幸的是，现在还没有预测和量化这个重要问题的工程工具，因为这个问题取决于施工缝的数量与大小，以及每一面墙壁的相对空气压力。没有施工团队想要在墙壁上留有任何缝隙，而且风压每分钟都在变化。因此，由于计算渗漏的等式各项没有确定值，该等式也仅仅是个有根据的猜测而已。但这并不意味着建筑师与HVAC设计师无法将关键性问题的影响降到最低。他们给出的建议包括:

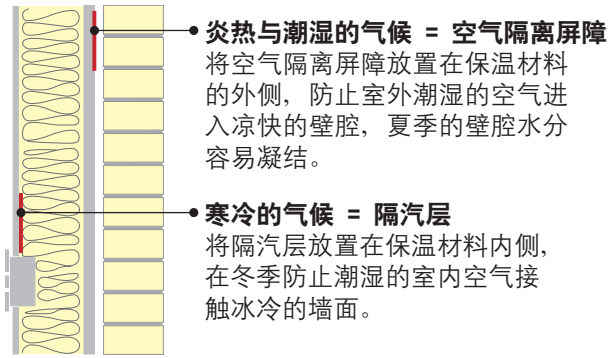


图2.4
放置空气隔离屏障与隔汽层

安装一个连续的空气隔离屏障

无论什么气候，空气渗透进墙内都会出现问题。在寒冷的气候中，潮湿的室内空气如果遇到冰冷的外墙则会产生冷凝水。在炎热潮湿的气候中，潮湿的室外空气渗漏进建筑物，遇到较凉的内部墙面也会产生冷凝水。安装空气隔离屏障可减少这些问题。

设置空气隔离屏障十分重要。在炎热和潮湿的气候中，空气隔离屏障应设置于保温材料面向室外的一侧。在非常寒冷的气候中，空气隔离屏障应设置于保温材料面向室内的一侧。在美国堪萨斯城、密苏里、韩国首尔等地，存在着极冷与极热的气候。在这样的气候中，空气隔离屏障应面向室外——冬季建筑物十分潮湿时除外，如游泳池围墙或博物馆。此时，相对于保温材料来说，空气隔离屏障应面向室内。其逻辑并非显而易见，但是并无矛盾：空气隔离屏障的最佳设置点为一年中大多数时间都能防止潮湿空气侵蚀墙面的地方。

而且，要使每个空气隔离屏障都有很好的效果，必须使它们成为连续的一体。所有接缝和连接处都必须用胶带密封，而不仅仅是重叠。这包括空气阻挡膜的连接处与所有门窗框，以及墙体与天花板、地基连接处的总长度。

因此也需要好的HVAC设计和安装，但是设计师和业主应该意识到，湿度控制的基础是密闭式的建筑。无论HVAC系统设计得有多好，如果没有此基础，湿度控制将很难实现且非常昂贵。

避免外墙吸收空气

商用建筑漏气严重的原因之一是HVAC系统经常意外在外墙附近吸入空气。室外的空气源源不断地向里面渗透。虽然HVAC设计师和承包商负责避免这个问题，但建筑设计师也可以帮助避免这个问题。

HVAC设备没有回风管道时，天花板上的强制通风系统一直处于负压状态，导致非常高的室外空气渗透率[2]。 图2.14指出了该情况，并说明了团队每位成员可以采取什么措施将问题的影响降到最低。

HVAC设计师可通过指定一个回风管道系统来减少一些问题，回风管道使用硬性材质连接至屋顶上的HVAC设备上。建筑设计师也可以通过明确规定内墙板必须一直连续至屋顶，并且必须在与屋顶平台下方交界处进行密封来减少一些潜在问题。

明确规定整座建筑物的漏风测试

建筑施工完成后，业主、建筑师、工程师以及维护人员确保建筑物符合规范，不会漏风。在博物馆、游泳池或冰场等湿度非常高或非常低的地方，施工完成后需量化漏风情况。此时可进行整座建筑物的漏风测试。

室内空气质量咨询师与能效审核师通常采用两个方法进行漏风测试。小型建筑物可使用风机门进行测试，成本较低。此方法中，使用带风机的可移动隔板代替普通门。气体“充入”建筑物，风机调整风量，直至建筑物内部气压比外部气压高4 Pa或50 Pa。空气以此气压差进入建筑物便可定义为漏风。[5]

大型建筑物通常通过测量示踪气体的稀薄度进行测试。HVAC系统关闭时，将无害示踪气体（常用的是六氟化硫）放入静止、密闭的建筑内。定期测量气体的浓度，与原浓度相比较。随时间变化的示踪气体浓度可用于计算空气渗透率。[5]

量化了漏气量后，可与新风系统的供气量相对比。在炎热和潮湿的气候中，HVAC设计师与承包商可调整通风量，以保持内部气压处于正压状态，确保将干燥空气排出——而非让潮湿空气渗漏进建筑物。天气寒冷时，需调整新风与排风风量（达到标准规定的最低量），使内部气压处于中性或稍微负压的状态，防止内部潮湿空气向外渗漏至冰冷的壁腔。

隔汽层

大多数商用建筑中，空气隔离屏障层比隔汽层有用。渗漏进冰冷墙面的潮湿空气带来的具破坏力的水分比能穿过固体材料的蒸汽多得多。而且，漏风或漏水还会为许多墙面带来多余的水分。在墙面上设置一层隔汽层对墙的危害更大，因为这样会堵住水分。但是，隔汽层可以防止季节性干燥，从而避免一个主要问题。另一方面，对于室内湿度非常高的建筑物来说，如博物馆和游泳池围墙，隔汽层在冷天非常重要。设置隔汽层与设置空气隔离屏障的理由是一样的：避免墙面受潮。以下准则可能有用：

隔汽层仅设置在墙面较暖的一侧

气候寒冷时在潮湿的建筑中，隔汽层应设置于保温材料内侧。蒸汽将被保持在此占用空间中，不会进入更冷的壁腔产生水分凝结。

避免双隔汽层

若意外产生双隔汽层，则会密封外墙两面，形成密闭的“高压锅”，引发一些范围最广、代价较大的

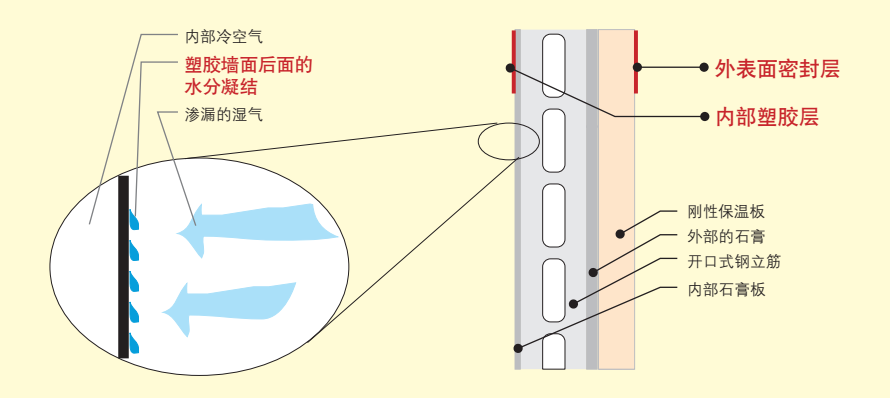


图2.5
避免墙内侧锁住水分
除了游泳池等地，采用内表面隔汽层，如塑胶墙面涂料等是非常错误的决定。这样会将水分留在墙面内侧，会产生霉菌、霉点。因此，要避免在外墙内表面采用塑胶墙面涂料。

建筑事故。进入墙面的水分不会蒸发，从而产生一些重大损害。典型的例子是，气候潮湿时，建筑设计师和业主决定外墙采用墙面密封的外玻璃纤维保温墙体（英文简称，EIFS），同时，室内设计师又在酒店房间内墙上覆盖一层防渗漏塑胶墙。每年，北美洲的酒店和公寓等由于这一错误决定损失数千万美元。[6] 迟早潮湿的空气或雨水都会进入墙体，水分在塑胶墙后凝结。水分凝结和高湿度环境会产生霉菌和霉点，从而毁坏墙面涂料与墙板，腐蚀钢立筋，发出大多数受潮建筑物都有的发霉气味。

为了预防此类问题，外墙内侧应该能够风干。（但是博物馆、游泳池等内部极其潮湿的地方除外）因此，具有高渗透性装修能够减少潜在的损害。

避免冷桥

天气寒冷时，建筑物内部湿度增加将增大水分在冰冷表面凝结的危险。典型的问题包括单层玻璃、门窗的金属外框和屋顶紧固件等处的水分凝结。建筑物外面的冷空气和里面的潮湿空气之间是否形成“冷桥”是决定以上位置会否产生水分凝结，造成严重问题的关键。

若屋面钉穿透了屋顶防水层、屋顶平台和保温材料，屋面钉内端将会是冰冷的。水分将在钉子顶端凝结，从建筑物内部滴下。屋顶保温材料被浸透也是因为内部水分凝结，而非漏雨。而且，钢制或铝制门窗外框会将屋内热量带出，使外框内侧非常冰冷，这也会造成内部水分凝结和积水。

为了避免这些问题，建筑设计师应该注意外墙设计细节，所有金属部件处均应采用“隔热层”。隔热层即在金属部件之间使用隔热材料，通常是工程塑料。这样，热气就无法穿过外墙。在比较温和的季节里，隔热也许不那么需要，但在寒冷的冬季，能源消耗费用和建筑设计规范会是设计师意识到隔热的重要性，与此同时，如果建筑物还有加湿的需求，那么隔热层便会显得更加关键。

维修的挑战或许更大。受潮前没有水分凝结的建筑物，当其用途转变，突然增加湿度时，可能会引起非常严重的问题。例如，大学里古老的行政大楼可能会转变为博物馆或图书馆。在寒冷的月份中，湿度增加，可能造成严重的后果，因为大楼原本没有隔热层。在这种情况下，建筑设计师可能会采用替换建筑物部件、在外墙内侧附近增加隔汽层的办法，以避免冬季高湿度情况下的水分凝结。

建筑设计师的核查单 1 / 1

空气隔离屏障、隔汽层和冷桥

1. 夏天建筑物是否进行了除湿?

❑ **是**。从保温材料开始在外面设置连续空气隔离屏障。
❑ **否**。空气隔离屏障很有用，但并非不可缺少。

2. 冬天建筑物是否潮湿，或室内是否有游泳池或浴池，或冬天的设计温度是否低于-26.2°C?

❑ **是**。从保温材料开始在内部设置隔汽层。并保证门窗和外部部件均有冷桥。
❑ **否**。检查当地标准，确定是否需要冷桥。

通过建筑物围护结构为空气渗漏定量

3. 湿度控制很重要，但并非关键任务。

❑ 建筑完成后无需定量渗漏空气量。HVAC设计师应计算空气渗漏量，**假设围护结构的渗漏速率小于等于:**

- ❑ 密闭性建筑 ····· 0.0044 l/s•m^2
- ❑ 普通商用建筑 ····· 0.013 l/s•m^2
- ❑ 不严密的建筑 ····· 0.026 l/s•m^2
- ❑ 其他渗漏速率 ····· ____ l/s•m^2

4. 建筑物的内部功能将受到影响，除非湿度按照业主确定的范围进行控制。

❑ **大型**建筑物 – 进行示踪气体测试，确保空气泄漏低于 _____ l/s•m^2 @ 4 Pa
❑ **小型**建筑物 – 进行风扇增压测试，确保空气泄漏低于 _____ l/ s•m^2 @ 4 Pa