



■ 建筑物气密性

第一卷

建筑外围护结构气密性的原因
 要求的沿革 - 气密性的过去和现在
 建筑外围护结构透气性测量
 粘贴-材料和准备
 气密性(居住)建筑的通风
 公建法和自建建筑法中的建筑外围护结构气密性

第二次修订版

资助、负责中文版翻译及在中国推广:



德国建筑气密性专业协会

■ 建筑物气密性

ISBN 978-3-00-039398-3



9 783000 393983

建筑物气密性
第 1 卷

出版单位

德国建筑气密性专业协会
Kekuléstrasse 2-4
12489 Berlin

电话: +49 30 63 92 53 94
传真: +49 30 63 92 53 96
E-Mail: info@flib.de
Internet: www.flib.de

翻译单位

德国国际合作机构 (GIZ)
受德国联邦经济和能源部 (BMWi) 资助的中德能源对话项目委托
徐智勇 翻译; 张昭瑞 校对

北京朝阳区麦子店街 37 号, 盛福大厦 860

电话: +86 10 85275539
传真: +86 10 85275591
E-Mail: sino-german-energy-dialogue@giz.de
Internet: www.giz.de/china

撰稿人

Wolfgang Bischof, Torsten Bolender, Anne
Fingerling, Ehrenfried Heinz, Ulrich Höbig, Ulf
Köpcke, Matthias Laicig, Markus Renn, Klaus
Vogel, Armin Weissmüller, Johannes Werner,
Joachim Zeller

前言

Sandra Retzer (金彩尔)
Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser

协调人

第一版: Wilfried Walther
第二版: Oliver Solcher

文字和版面

Gerd Kleinert, Kassel

本书的编撰极为仔细和认真。尽管如此, 出版单位和作者对于本书内容的无错误、实时性和完整性不能承担责任。书中的文章代表了作者的意见, 不一定与出版单位的意见相一致。

相关文章的作者保留著作权和版权包括缩微胶卷。这一点同样适用于数据库和类似系统以及其他商业应用。任何一种方式的利用需要征得相关作者的许可。

第 2 次修订版, 2012 年 10 月

ISBN 978-3-00-039398-3

目录

金彩尔前言	6
奥利弗·苏尔希再版前言	7
盖特·豪泽第一版前言	8
关于建筑气密性专业协会的书—第一卷	10
1. 提高建筑物外围护结构气密性的原因	11
<i>托斯顿·勃兰德 (Torsten Bolender)、阿敏·维斯穆勒 (Armin Weissmueller)</i>	
1.1 气密性=保温	12
1.2 气密性=防潮	12
1.3 气密性=隔音	13
1.4 气密性=防火	13
1.5 有组织通风	14
1.6 气密性=舒适性	14
1.7 气密性=无有害物质	15
1.8 标准 / 法规	15
<i>奥尔夫冈·比晓夫 (Wolfgang Bischof)</i>	
1.9 空气质量和建筑物气密性	17
1.9.1 室内空气质量和室外空气	17
1.9.2 气密性建筑的防护作用	18
1.9.2.1 细粉尘	19
1.9.2.2 二氧化氮	19
1.9.2.3 臭氧	20
1.9.2.4 花粉和霉菌孢子	20
1.9.2.5 氡	20
1.9.3 对于气密性建筑内污染物排放性能的要求	22
1.9.3.1 空气湿度	22
1.9.3.2 生物气溶胶	23
1.9.4 总结和结论	23
2. 对于气密性要求的历史沿革—过去和现在	27
<i>安娜·芬格琳 Anne Fingerling</i>	
2.1 气密性的历史沿革	27
2.1.1 会呼吸的墙体?	27
2.1.2 对气密性的认识过程	28
2.1.3 协会纷纷成立	28

2.1.4 强烈的批评声和误解	29
2.1.5 开始形成标准	29
2.1.6 统一标准	30
2.1.7 从“风窗”到“风门”	30
2.1.8 测试	30
2.1.9 建筑法规定的气密性	32
2.1.10 遵循技术规则	32
<i>约阿希姆·策勒 (Joachim Zeller)</i>	
2.2 过去对气密性的要求	34
2.2.1 A 部分：以前规程的节选	34
2.2.1.1 建筑保温法规 (WSCHV)	34
2.2.1.2 DIN 4108 第 2 部分，1981 年 8 月版	34
2.2.1.3 DIN V 4108-7，1996 年 11 月版	35
2.2.1.4 联邦公告第 140 条，1998 年 7 月 31 日，第 10.885	35
2.2.2 B 部分 专业论证和说明	35
2.2.2.1 公认技术规则？	35
2.2.2.2 对于缝隙气密性的要求	35
2.2.2.3 对自由（自然）通风建筑物气密性的要求	36
2.2.2.4 对于风机辅助通风建筑的气密性要求	36
2.2.2.5 总结	37
<i>约阿希姆·策勒 (Joachim Zeller)</i>	
2.3 对于气密性的要求	38
2.3.1 建筑节能法规规定的极限值	38
2.3.2 测量气密性的义务	38
2.3.3 DIN 4108-7 的极限值	38
2.3.4 DIN 4108-7 推荐的最高值	39
2.3.5 特殊证书规定的极限值	39
2.3.6 定性要求	39
2.3.7 专门约定	40
<i>约翰内斯·韦尔纳 (Johannes Werner)，马迪耶斯·莱迪希 (Mattias Laidig)</i>	
2.4 关于气密性要求的建议	42
2.4.1 总结	42
2.4.2 气密性是按需送风的前提条件	42
2.4.2.1 气密性具有法定性质	42
2.4.2.2 保障通风是健康居住的前提条件	42
2.4.3 机械通风和渗风的联合作用	42
2.4.4 采用热回收平衡新风系统时通风散热损失	43
2.4.5 气密性对采用热回收新风系统时采暖负荷的影响	44
2.4.6 采用排风装置的建筑物	44
2.4.6.1 建筑物外围护结构的气密性	44
2.4.6.2 采用排风装置时外墙进风口的尺寸设计	44
2.4.7 没有机械通风的建筑物	45
2.4.8 总结和展望	45
3. 建筑物外围护结构透气性测试	48
<i>约阿希姆·策勒 (Joachim Zeller)</i>	
3.1 测量原理	48
3.2 测量方法	49
3.2.1 测量仪器	49
3.2.2 需要测试的建筑物部分	49

3.2.3 测量时间点	50
3.2.4 气候条件	51
3.2.5 建筑物的测量准备工作	52
3.2.6 安装风机和压力测量仪表	53
3.2.7 查漏	54
3.2.8 调零和测量自然压差	54
3.2.9 差压测量系列	54
3.3 数据分析	54
3.3.1 基础尺寸	54
3.3.2 泄漏流量计算和密度修正	55
3.3.3 推导值 / 特征值	59
3.3.4 检测报告	60
3.4 测量精度和误差计算	61
3.4.1 负压或正压时体积流量 V50 测量误差	61
3.4.2 平均值 V50 测量误差	62
3.4.3 推导值的误差	62
3.5 对于测量人员的提示	62
3.5.1 对于经常发生的误解的更正	62
3.5.2 对于测量服务人员的其他提示	63
<i>马库斯·莱恩 (Markus Renn)</i>	
3.6 对于使用热式风速仪查漏的说明概述	65
<i>克劳斯·福格尔 (Klaus Vogel), 马库斯·雷恩 (Markus Renn)</i>	
3.7 气密性检测	67
4 粘贴—材料和加工	73
<i>乌尔里希·何宁 (Ulrich Hoeing)</i>	
4.1 制作气密层的材料	73
4.2 粘结世界的简要入门	73
4.3 加工	75
4.4 粘结材料的检测	78
4.5 粘结连接的耐久性	79
4.6 气密层粘结剂的标准编制工作	82
5 气密性居住建筑内的通风	84
<i>艾恩弗雷德·海因茨 (Ehrenfried Heinz)</i>	
5.1 建筑物和房间通风的必要性	84
5.2 满足通风或送风要求的新风量	85
5.2.1 对通风量的要求	85
5.2.1.1 保护住户和建筑物免受房间高湿度的损害	85
5.2.1.2 保证室内空气清洁	86
5.2.1.3 保证向室内火炉送风	87
5.2.2 居室和其他类似用途单元对室外空气的需求	87

5.3 建筑物周边环境和建筑物外围护结构对通风的影响	91
5.3.1 建筑物周边环境	91
5.3.2 建筑物的通风技术特性	92
5.3.2.1 外围护结构不密封或透气（外墙和屋面构造）	92
5.3.2.2 内部不密封或透气（隔墙和楼板）	94
5.4 通风技术方案	95
5.4.1 自由通风	95
5.4.1.1 无组织通风（取决于用户行为）	95
5.4.1.2 有组织通风	96
5.4.2 机械辅助通风	98
5.4.2.1 排风系统	98
5.4.2.2 送 / 排风系统	99
5.4.2.3 送风系统	102
5.5 通风系统设计、施工、验收和维修说明	102
5.5.1 自由通风	102
5.5.1.1 设计和施工	102
5.5.1.2 验收和维修	104
5.5.2 机械辅助通风	105
5.5.2.1 设计和施工	105
5.5.2.2 验收和维修	106
5.6 结语	107

6. 建筑物外围护结构气密性在建筑公法和私法中的体现 111

伍尔福·科普克 (Ulf Koepcke)

6.1 公法中的建筑物外围护结构气密性	111
6.1.1 节能法 (EnEG) 是基础法律的渊源	111
6.1.1.1 与欧洲法律的关系	111
6.1.1.2 依据法律法规实现国家内部治理	112
6.1.1.3 节能法第 5 章的经济性考量设定了法律干预的界限	113
6.1.2 各个时期建筑节能法规对气密性的要求	113
6.1.2.1 建筑保温法规 (WschV) 中的气密性	113
6.1.2.2 2002/2004 版建筑节能法规中的气密性	114
6.1.2.3 DIN EN 13829 规定的气密性检测在建筑节能法规中的地位	114
6.1.2.4 2007 版建筑节能法规中的气密性	115
6.1.2.5 2009 版建筑节能法规中的气密性	115
6.1.3 “按照当时技术水平”和“按照公认技术规则”意义上的气密性	116
6.1.3.1 定义解释 (3 级模型)	116
6.1.3.2 在不确定的法律概念框架内的技术规则	117
6.1.3.3 建筑节能法规第 23 款和建筑产品法中的气密性	117
6.1.3.4 阶段结果	118
6.2 建筑物外围护结构气密性在民法中的地位	118
6.2.1 承揽人的担保责任	118
6.2.1.1 在私法建设法中的主观瑕疵概念	119
6.2.1.2 注意建筑法对担负使用性能的规定	120
6.2.2 承揽合同法中的技术规则和技术标准	121
6.2.2.1 建筑工程施工一般合同条件 VOB / B 第 13 款在法律裁判中 (有问题的) 的应用	121
6.2.2.2 技术规则作为 (替补的) 评价标准和举证责任倒置	123
6.2.2.3 特别注意: DIN 标准在民法中的错误应用	124
6.2.3 对于建筑物外围护结构的法律监督	124
6.2.3.1 将无漏风作为能够验收的构造性能	124
6.2.3.2 按标准检测不能证明无缺陷	124
6.2.3.3 气密层的耐久性是无法检测的使用性能	125
6.2.4 在多环节经销气密性建筑产品时对瑕疵的责任认定	125

6.3 在设计、施工、评价和销售气密性建筑物时的责任风险	126
6.3.1 设计错误应担负的（整体）责任	126
6.3.2 施工监督不到位应担负的（整体）责任	126
6.3.3 对提出的疑虑搁置不管时应担负的（整体）责任	127
6.3.4 对于恶意和组织过错应担负的（整体）责任	127
6.3.5 检测人员和专家的责任风险	128
6.4 总结与展望	128



金彩尔 (Sandra Retzer)
德国国际合作机构 GIZ 中国可持续城镇化、交通运输与能源领域主任

金彩尔前言

2006 年，中国国家发展和改革委员会 (NDRC) 与德国联邦经济和能源部 (BMWi) 在中德经济技术合作论坛框架下建立能源政策合作伙伴关系。2013 及 2014 年间，随着各项合作备忘录、合作纲要的签署双方合作进一步深化，特别是在节能、提高能效以及发展可再生能源等领域的合作不断加深。

建立安全、经济、环保的能源供应体系是中德两国共同的战略性目标。在能源政策和节能技术方面中国面临诸多挑战，德国在这条道路上所积累的经验教训值得借鉴。中德能源对话项目立足于政府层面，同时也整合了中德两国的企业，支持两国企业在建筑与工业节能、可再生能源利用和电网技术等领域的互惠合作。

为便于在组织和内容方面更好地服务于双边合作，德方特成立“中德能源对话项目”，由德国国际合作机构 (GIZ) 负责执行，与发改委指定的国家节能中心 (NECC) 一起在

中国开展合作项目。

中德在建筑能效领域的合作可追溯到本世纪初 GIZ 受德国政府委托与住建部、发改委等部门开展“中德既有建筑节能”项目、“中德公共建筑能效 (医院和学校)”项目、“低碳城市发展”项目等。通过这些项目的开展，德国的建筑节能技术、材料、管理理念、被动房和主动产能房的概念被引进到中国并得到推广。

中国建筑能耗约占社会总能耗的三分之一，随着生活水平的提高，建筑能耗有继续增长的趋势。与之相比，德国建筑能耗占比已达 40%。建筑领域节能是各个国家实现能效整体水平提高的重点，随着对建筑外围结构隔热性能要求的逐步提高，建筑气密性将逐步成为设计单位、施工方和居民关注的课题。德国建筑气密性专业协会出版的《建筑气密性》一书由多位业界专家联合编撰，集合了该领域德国最权威专家的知识 and 经验，涵盖有关建筑气密

性方方面面的问题，如：

为什么要重视建筑的气密性、气密性测试技术、实现气密性所需的材料和施工要求、气密性建筑的通风技术以及德国关于气密性的法律法规等。

目前中国已有针对门窗的鼓风门气密性测试和标准，但就整个建筑的气密性而言还有许多工作亟待解决，特别是随着 2015 年建筑供热改革的深化，建筑气密性及其测试标准已成为以热计量为基础的新一轮热改必须面对的问题。这也是“中德能源对话项目”将本书进行翻译和在中国发布的根本原因。我们殷切希望通过本书的引进可以促成中德在建筑气密性技术、施工、测试及标准研究等各个方面的深入合作。

金彩尔 (Sandra Retzer)
德国国际合作机构 GIZ 中国可持续城镇化、交通运输与能源领域主任



奥利弗·苏尔希工学硕士
柏林建筑气密性专业协会会长

奥利弗·苏尔希再版前言

12 年来，建筑气密性专业协会（FLIB）一直致力于建立明确的建筑物外围护结构气密性—从编制气密性方案开始，通过认真设计、编写标书和气密层施工，直到通过透气性检测进行专业监督。那种认为利用现有建筑技术和材料就能自动实现气密性的假设是不对的。

良好的建筑物气密性对提高能效有重要贡献，也是保持建筑物长期无损伤的必要前提。尽管如此，要使气密性建筑全面开花，仍有许多启蒙工作要做。

为此，建筑气密性专业协会在四年前出版了有关建筑气密性的第一本德语专著。这本专著对建筑物气密性做了深入浅出的介绍，涉及诸多专业领域，提供了大量相关信息。专著的出版受到专业界广泛好评，订购者络绎不绝。为此，协会决定在第二卷出版前对第一卷进行修订。

过去四年里，一些标准和规程都进行了修订，比如对气密性建筑非常重要的 DIN4108-7 和 DIN1946-6 “居住建筑通风”都出了修订版。同时也有了新的法院判例。所以，作者们利用再版的机会，对他们的文章进行了修订，其中气密性检测和居住建筑通风两篇文章有较大的改动。在本书修订过程中，建筑物气密性第二卷也进入

准备阶段。第二卷不仅会延续第一卷的内容，而且会扩大专题范围，充实理论分析特别是实践方面的内容。

许多新的课题产生于协会的日常工作。自从成立以来，协会已经成为建筑气密性外围护结构设计、施工以及质量监督方面的热门咨询窗口。协会参与其他专业委员会的工作，负责处理与建筑气密性相关的问题。协会还将相关知识应用于立法和标准制定过程，并以专题报告会、培训和发表专业文章的形式将知识传播给公众和专业人员。

希望本书能为广大读者奉献对日常工作有实用价值的新知识—无论你们是在职业学校或者大学，在现场工地或者在工程师办公室。

奥利弗·苏尔希

2012 年 9 月于柏林



盖特·豪泽大学教授，工学博士
慕尼黑工业大学正教授
弗伦豪夫建筑物理研究所所长

盖特·豪泽第一版前言

建筑物传热外围护结构气密性一对提高建筑物能效和防止建筑物损伤的重要贡献！

减少一次能源消耗

- 首先必须提高能效，特别是建筑物能效
- 然后应该增加利用可再生能源

先提高能效，然后再利用可再生能源

在公开讨论中，加强利用可再生能源处于重要位置，尽管提高能效的措施具有更高的现实意义。例如，2006年可再生能源在德国的发电量为70TWh，热能生产量为90TWh（79TWh来自于固态生物质燃料）。我们的居住建筑仅被动式利用太阳能一项每年就可收获83TWh。对于这种利用可再生能源的方式却无人问津。既有居住建筑节能改造按节能35%计算（这在技术上是完全可行的），就有640TWh的节能潜力。也就是说，提高能效措施拥有十倍于可再生能源的潜力，所以提高建筑物能效是解决我国能源问题的关键。

当然，这里不应被看成是对立的两件事，也不可以制造对立。而是应该明确提高能效是任何有效措施的基础和根本。可再生能源利用应该建立在这个基础之上，就可以实现产能房这样的现代节能建筑。

产能房是在一年中生产能量大于消耗能量的建筑。2020年以后建设的新建建筑估计能够达到这个标准。不仅如此，这种建筑还能给市

内电动交通工具充电。到了这一天，建筑物就成为一座微型发电厂。

提高能效的措施

提高能效有多种手段，比如：

- 减少传热损失
- 减少通风散热损失
- 提高得热量
- 提高热能发生器能效比
- 增加利用自然采光，提高灯具电能效率
- 避免空调制冷

这些措施大多已经在新建建筑和既有建筑现代化改造中得到广泛应用和实践考验。但是由于存在诸多障碍，如科研成果向建筑工地的知识转化，许多措施落实速度很慢，有些还缺少成本合理的系统解决方案。

气密性扮演重要角色

气密性不好的建筑的传热外围护结构会产生用户无法干预的室内外空气交换，导致不必要的热能损失。随着建筑保温标准的提高和细部节点处理技术的改进，传热损失不断减少，使得通风散热损失更加突显，所以就

必须采取措施予以控制。

认为无序的空气交换（也称为渗风）有利于排出潮气是错误的。只有通过开窗或利用通风装置才能有效排出潮气。

气密性还有更多贡献

气密性不仅有节能效果，而且对热舒适性有重要影响。靠近外墙的冷风嗖嗖是我们年轻时候常有的事，窗户透风产生了“穿堂风”的效应。在这种情况下提高室内空气温度无济于事。

建筑物气密性不好容易造成结构损伤，这种现象很难发现，因此隐蔽而危险。在大风或室内温度高于室外温度时，建筑物内处于正压状态，湿热空气就会透过不密封部位进入建筑结构内部，产生结露，久而久之就造成建筑物损伤。大部分木结构建筑的潮气损伤就是这样造成的。所以，必须在设计和施工阶段采取必要的措施。

可持续性证书

对气密性建筑以后会颁发可持续建筑证书作为证明。联邦交通、建设和城市发展部（BMVBS）和德国可持续建筑协会（DGNB）正在加紧制定相应的德国认证体系。其目标为：

1. 保护资源
2. 保持自然环境
3. 保护和保持价值
4. 改善周边环境和保护公共财务

5. 保障建筑物使用者的健康和舒适性

可持续建筑认证准则包括：

6. 生态质量
7. 经济质量
8. 社会文化和功能质量

此外，认证体系还包括：

9. 技术施工质量

建筑外围护结构气密性的重要性也体现在“一次能源需求”、“热舒适性”和“建筑物外围护结构的热工质量和防潮技术质量”等相关评价准则中。

本书从多个角度介绍了建筑外围护结构的气密性，提出了具体解决方案，将为实现建筑物的可持续性做贡献。

盖特·豪泽 大学教授，工学博士



维尔弗雷德·瓦尔特 工学硕士

斯普林格出版社建筑气密性、湿热性能物理部专家

关于建筑气密性专业协会的书—第一卷

本书第一卷综合介绍了建筑物外围护结构气密性的一些基本知识。本书由建筑气密性专业协会发起，作者们愿意把他们的知识奉献给本书，并对他们的文章负责。本书也将协会以前发表的一些文章揉合在一起，为市场推出了第一本综合介绍这个课题的著作。

本书第一章阐述了实现建筑物外围护结构良好气密性的理由和基本要求。“建筑物内空气质量”的题目将视线引向了“居住建筑有害物质入侵”的问题，并做了综合介绍。对这个题目如此广泛和深入的研究尚属首次。

第二章“气密性历史”从回顾开始，展现了标准制定和各个阶段对气密性重要性认识程度的演变过程。对于建筑物外围护结构气密性的要求可以用不同方式来探寻：标准对此起什么作用？在有和没有通风装置的条件下，对建筑物通风有些什么要求？

对于从事气密性检测的人员，第三章肯定是最关键的。本章介绍了按照 DIN EN 13829 检测建筑物外围护结构气密性的方法，为保证检测质量提供了良好的指导。

第四章阐述了专业粘贴和密封的意义、粘贴的原理和方法，简单扼要地为我们提供了十分重要的基础知识。这种形式的文章尚属首次。无论设计人员、施工人员还是质检人员都可以从中找到有价值的信息。本书第五章从冷风渗透入手，揭示了自

然通风和机械通风的物理学关系以及它们对换气次数的影响。本章不仅深入介绍了各种通风系统及其设计基础，也对新修订的 DIN 1946-6 做了分析。

本书最后一章论述了建筑气密性的法律关系，为使用者、技术人员和设计人员介绍了公法基本知识，各个历史阶段法律法规的设计，剖析了“当时技术水平”和“公认技术规则”在民法中的关系。

在此，我们衷心感谢所有作者和为出版这本非常有意义的著作提供了精神支持和帮助的同仁。

维尔弗雷德·瓦尔特

卡塞尔，2008年5月
受建筑气密性专业协会委托

1. 提高建筑物外围护结构气密性的原因

托斯顿·勃兰德 (Torsten Bolender)、
阿敏·维斯穆勒 (Armin Weissmueller)

提高采暖和 / 或空调建筑的气密性有诸多理由, 相信住户对此也有切身体会。首先, 建筑物外围护结构的冷风渗透一直是我们先辈的心病。如图 1.1 所示, 他们也曾采取过许多措施以有效阻止冷风渗透。



图 1.1: 在原木结构建筑上用苔藓和泥土作为密封材料填塞接缝和裂缝
(照片: Eicke-Henning)

本章将扼要介绍实现建筑物外围护结构气密性的原因和背景, 也会综合引述本书相关章节的内容。

建筑物外围护结构气密性涉及建筑物理学的诸多领域。它不仅对建筑物保温、防潮、防火和隔音有影响, 也与居住舒适性、有害物质屏蔽密切相关, 而且可以保证通风系统的正常运行。法律法规和标准也关注这个课题, 对于可检测的气密性构造提出了具体要求 [1] (第二章 2.1 和 2.3 节)

为了实现建筑节能法规确立的目标 [2], 在建筑物设计阶段初期就应该着手处理气密性问题。首先需要明确建筑物气密层的走向和使用的材料。设计师应根据墙体构造和材料, 规定气密层的位置。

DIN4108-7 [3] 给出了可用于构造气密层的材料, 其中有各种抹灰、塑料型材、建筑用毡以及木质或石膏板材。根据相关标准, 这些材料都可用于制作气密层, 以阻止空气透过建筑构件从外向内或从内向外渗透。

良好的气密性既可以防止建筑构件潮湿损伤, 也能最大程度减少通风散热损失。在中欧气候区, 厨卫部分的气密层大多是作为隔汽层制作的。

即使如此也必须满足 DIN4108-3 [5] 的要求。

说明

这里需要强调说明, DIN4108-7 和本书的论述均针对一般位于外墙内侧的气密层, 而不是保温层外面的防风层。可惜业界经常混淆这两个概念, 造成参与建设各方的矛盾。

应该注意尽量避免穿墙口, 尽量减少节点数量。简单说, 如果外围护结构像抹了灰的墙一样密封, 这个建筑构件标准断面的气密性就会很好。

有关耐久性气密层的施工要求可以参阅 DIN 4108-7 [3] (第四章)。

图 1.2 展示了气密层的设计原理。

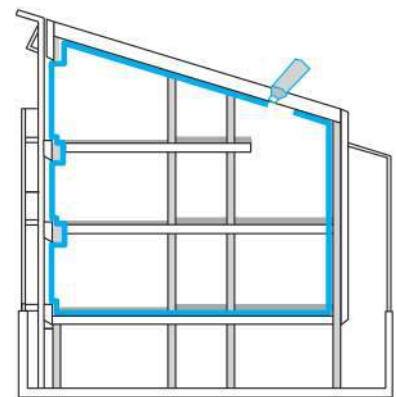


图 1.2: 气密层应该能用一支铅笔“走通”, 不能中断 (参见[4])

1.1 气密性=保温

数十年来，标准和法规对建筑保温提出了要求。有一项要求就是针对不良的建筑物外围护结构气密性（在气候变化时）造成的无组织通风散热损失。

根据建筑物所处位置和使用功能，有不同的力会作用到建筑物外围护结构上，从而也会作用到气密层上。风和内外温差会在建筑物外围护结构表面产生压差，通过不密封部位（气密层缺陷处）向外或向内渗风。

建筑物所处位置（海边 / 内陆 / 山区或谷地）、本地主要平均风速和建筑物周边地貌（如城内、联排建筑、树木等）将决定风在建筑物上产生的压差和作用力。

蒲福（Beaufort）¹表（表 1.1）和建筑物外围护结构表面压力分布图（图 1.3）说明了风速和静压之间的关系。在估算风压时取平均风速 3m/s [6]。详细计算公式参见 DIN EN 13465 (B)。

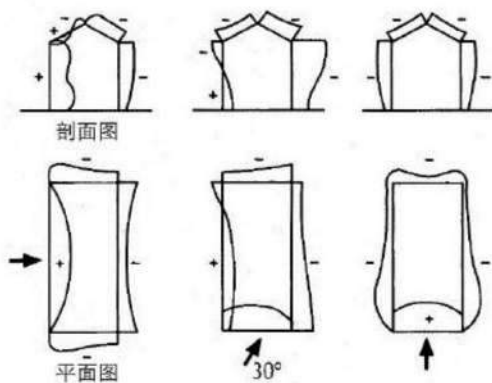


图 1.3: 建筑物外表面的风压分布与风向的关系 (21)。

除了用户无法控制的风载外，采暖 / 空调引起的温差和空气密度差会形成第二个作用力。密度差和有效压差取决于温差、有效高差和空气湿度以及渗漏点的分布（=气密层的缺陷位置）。根据空气密度差计算压差。

计算示例：

密度差—压差

公式：

$$\Delta p = g \cdot h \cdot (\rho_1 - \rho_2)$$

演算示例：

$$\Delta p = 9.81 \cdot 1 \cdot (1.29 - 1.21) = 0.8$$

ρ_1 室外温度 0℃时的空气密度，kg/m³

ρ_2 室外温度 20℃时的空气密度，kg/m³

g 重力加速度，m/s²

h 高度，m

Δp 压差，Pa

计算结果为，某个冬日每米渗漏点高差下的压差在 1 Pa 左右。

举一个简单例子：一扇户门的门槛部位有一个高度为 5-10mm 的门缝。从文献 [7] 可以得知门缝宽度（门

宽）为 1 m，门缝厚度（门板厚度）为 70 mm，通过这个门缝的体积流量可以达到 45-90 m³/h ($\Delta p = 6$ Pa)。在温差和压力作用下，这个门缝会造成不必要的热损失，并且由于冷风渗透而影响舒适性。建筑物外围护结构通风散热损失的定量计算方法参见 DIN EN 832 [8]（第二章 2.4 节）。

1.2 气密性=防潮

除了通风散热损失，还会有空气湿度传输透过建筑结构（对流传输）。良好的气密性对于有外保温的建筑结构是一种保护。空气流动的驱动力会在“保温”一节介绍，其作用原理同样适用于防潮。从建筑损伤图片（见图 1.4 [9]）和计算示例可以清楚看到气密性的影响。当温湿空气通过一个渗漏点时，在一定条件下会在建筑构件断面结露，损害建筑结构，危及建筑物的安全，它的潜在危险是微渗式传输机理的 100 倍。

图 1.5 [10] 进一步解释了这种关系。

表 1.1 风力、风速和静压的关系

按照蒲福 Beaufort 定义的风力	风速 m/s	静压 / 力 Pa
0	0.0 - 0.5	0.0 - 0.2
1	0.6 - 1.7	0.2 - 2.0
2	1.8 - 3.3	2.0 - 7.0
3	3.4 - 5.2	7.0 - 17.0
4	5.3 - 7.4	18.0 - 35.0
5	7.5 - 9.8	36.0 - 61.0
6	9.9 - 12.4	62.0 - 98.0
7	12.5 - 15.2	100.0 - 147.0
8	15.3 - 16.2	149.0 - 211.0

¹蒲福风级一种估计及报告风速的方法。十九世纪初期由英国海军上将蒲福(Beaufort)所发明。原系根据各种风速对于满帆战舰所产生的风帆推进效应测量而决定；其后曾作改进。现在国际气象学上应用方式为：(a) 蒲福风级数，(b) 风速，(c) 叙述词。— 译者注



图 1.4: 由于气密层不够密封而被潮湿破坏的木质腹板 [9]。

1.3 气密性=隔音

渗漏会使隔音效果变差。空气流过接缝和孔洞传播噪音。在多住户建筑上这个问题更加烦人。必须对每套公寓进行充分的气密性封堵才能保证隔声效果。

即使墙面质量很好，砌筑墙体上存在的缝隙和孔洞也会使隔音效果付诸一炬：例如用浮石空心砖砌筑的 240mm 墙体在未抹灰时理论降噪值为 $R_w = 16 \text{ dB}$ ；在两侧抹一层薄灰后降噪值可以提高到 $R_w = 49 \text{ dB}$ [11]。

在轻质结构建筑上，良好的气密性也可以从根本上改善隔音效果：

根据渗漏点的尺寸和位置，不密封会使轻钢结构墙体降噪效果最多损失 10 dB。

对边缘节点用填缝剂封堵可进一步提高隔音效果：对于有单层腹板的轻钢结构墙体（GKB 12.5 mm；80mm 岩棉保温材料），良好的气密性可以将理论降噪值 R_w 从 45dB 提高到 47 dB [12]。

1.4 气密性=防火

消防涵盖了防火、防止烟火扩散、火灾时的人畜救护，以及有效灭火的全部措施。房间分隔墙的气密性对此有重要作用。按照防火等级，这类构件的气密性必须达到一定要求。在发生火灾时，热量和有毒气体会通过不密封的墙体迅速扩散到相邻房间。所以，在按 DIN 4102 审查建筑构件的防火等级时，建筑结构气密性是一项重要考核指标；不密封的墙体导致温度快速传播，往往是房间分隔墙在审查测试时“提前”失效的元凶。当火或烟气通过建筑构件接缝扩散时，再好的防火构造也无济于事。

对于按防火等级分类的房间分隔墙，可以用“棉花球法”检测气密性。棉花球距离测试体 20mm，在间隙、接缝或缝隙处放置 30 秒。在火灾另一侧有热烟气出现或对房间分隔墙的作用有怀疑时应该做“棉花球试验”。当棉花球被点燃时，即引燃或冒烟时，说明房间分隔墙防火功能已经失效。

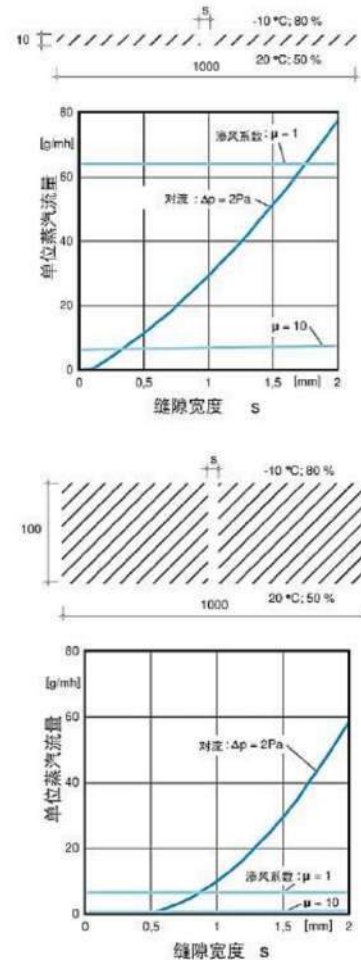


图 1.5: 两种湿迁移方式的对比：对流和扩散比较 [10]。

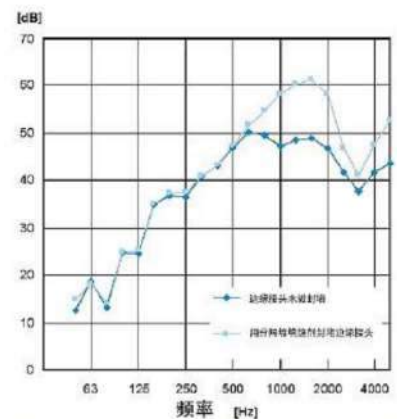


图 1.6: 用分隔墙填缝剂密封轻钢结构墙体可以在建筑声学重要区域改善隔音效果达 1kHz。单层腹板墙体的理论降噪值 R_w 可以改善 2dB。

透过渗漏部位扩散有毒烟气还会危及逃生和救援通道。按照标准建筑规章 (MBO), 有四户以上居住单元的多层建筑, 要求设置疏散通道, 并必须与楼梯间进行“烟气隔离”。必须安装符合 DIN18095 标准的专用“烟气隔离门”来满足屏蔽要求。有了这种气密性良好的隔离门, 不戴防毒面具也可以使用楼梯间作为逃生和救援通道。



图 1.7: 按照 DIN4102-2 用棉花球做着火试验, 检查房间分隔墙的消防气密性。

1.5 有组织通风

无论建筑物的气密性如何, 无论采用了何种通风方式 (开窗通风 / 风井通风或利用新风机组通风), 为了健康需要, 都必须按照佩滕科费尔 (Pettenkofer) 2 的极限值 (第五章) 保证建筑物的充分通风。至少从 1952 年颁布 DIN 4108 [13] 以来, “会呼吸的墙体”对健康通风没有贡献这一观点已被广为接受。

2 Max von Pettenkofer (佩滕科费尔, 1818-1901) 是慕尼黑马科斯佩滕科费尔研究所的奠基人, 他设立卫生学教室, 是环境卫生学之父。环境卫生学是预防医学的一个重要分支学科, 也已成为环境科学不可缺少的重要组成部分。译者注

文献 [2] 和 [3] 对建筑物透气性规定了最大限值。但是根据文献 [3] 第四节表 1, 采用热回收新风系统 (室内通风系统) 时可以低于上述极限值。根据达姆施塔特住房研究所 (IWU) 1995 年发表的文章 [14], 在气密性差的建筑上使用通风系统, 从节能角度是没有意义的。因为与利用通风系统实现必要的换气次数时产生的通风散热损失相比, 不密封的建筑物外围护结构造成的通风散热损失可能要高好几倍。如文献 [15] 所述, 在这种情况下使用通风系统是不经济的, 其运行维护费用可能超过节约的能源费用。

除了节能和运行经济性, “防潮”一节也指出了, 缝隙渗风, 即通过渗漏部位通风还会损伤建筑构件, 不是一种理想选择。又如保温一节所述, 以缝隙渗风作为建筑物通风方式, 其效果也会受制于气候影响。

如文献 [16] 的计算结果所示, 只有在换气次数高达 $n_{50} = 20 \text{ h}^{-1}$ 时, 才能透过缝隙达到充分通风的效果 (最小换气次数 0.4 h^{-1})。其结果是在冬天换气次数将明显超过 10 h^{-1} [15]。

1952 年版 DIN4108 [13] 的摘录

4.22 通过墙体呼吸更新室内空气是不成立的。相反, 从卫生和建筑技术角度考虑, 希望墙体内侧对水蒸气有一定的吸收能力; 常用的内墙抹灰, 以及毡布和类似材料可以满足这个愿望 (缓冲层)。为了防止在室内空气湿度很高时, 水蒸气透过缓冲层传输到建筑构件内部, 特别对于多层墙体结构, 应该在建筑构件表面设置能尽可能阻隔水蒸气的防护层 (隔汽层)。缓冲层吸收的水分应该在室内空气湿度低时释放给室内空气。房间通风 (开窗、安装通风井和类似系统) 可以促进这种过程。

充分认识气密性与通风和通风系统的关系, 是实现建筑物健康节能通风的必要条件。

1.6 气密性=舒适性

舒适性描述了一个人对他的周边环境的惬意感受程度。“舒适性”只是一种主观感觉, 没有统一标准。对舒适性的感觉主要取决于控制人体热量平衡的冷热感觉器官的反应。

感觉器官会对低于或高于温度阈值作出反应。对我们的研究而言, 感觉器官的位置很重要: 冷感觉器官位于皮肤表面, 而热感觉器官位于脑干前部。所以人体对于冷风渗透和冷的表面温度有明显方向感, 对高温的不舒适感一般不受人体方位影响。

人体对于建筑物冷风渗透反应特别敏感。“冷风渗透”一般理解为不受欢迎的空气流动对人体造成的局部冷却。高的气流速度对人体温度敏感性和热量平衡有明显影响。坐着的人对 $10\text{-}20 \text{ m/s}$ 低速气流也会感觉不舒服。而在 $18\text{-}24 \text{ }^\circ\text{C}$ 气温范围, 人体皮肤的散热量明显减少, 即使在最高 50m/s 风速下, 也不会有不舒适感 [17]。

高的气流速度除了会产生冷风渗透效应，也会改变空气温度和室内温度分布，影响热舒适性。

从不密封部位流入的冷空气会造成室内空气温度和表面温度分布不均：进入的室外冷空气形成下沉气流，降低建筑构件表面温度，在地板上面形成“冷空气海”。一个站立人体脚部和头部有 2°C 温差时，人体就会有不舒服反应。同样当建筑构件表面温度和室内温度相差超过 4°C 时，人也会感觉不舒服。

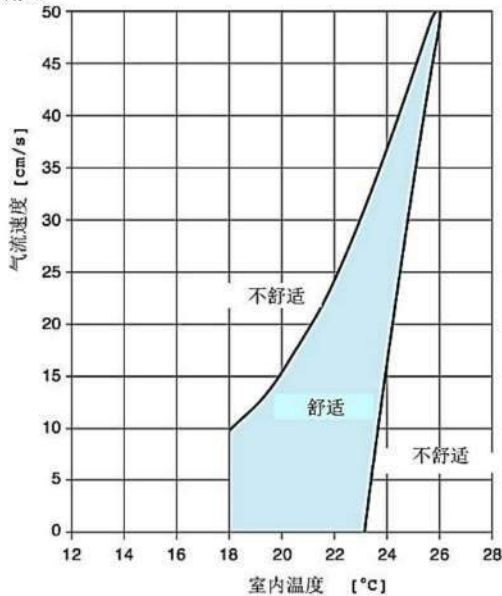


图 1.8: 里切尔 (Rietschel) / 赖斯 (Raiss) [17] 的图表: 适用范围: 房间间隔墙表面平均温度 $\theta_{im} = 19.5 - 23^{\circ}\text{C}$; 相对空气湿度 $\phi_i = 30 - 70\%$

物质难以或者可以阻止它们通过建筑构件进入房间。这种气密层对于隔离氡特别有效果。不同种类和物性的土壤存在浓度不同的氡。所以，联邦防辐射局(BFS)在 [18] 文件中要求与土壤接触的建筑构件部分(如地下室)必须严密。“氡会通过砌筑结构或楼板缝隙、建筑构件不密封的接缝、未做充分密封处理的电缆或管道穿墙口和建筑物中其他‘薄弱环节’进入建筑物”。对此联邦防辐射局有专题论述 [18]。

1.8 标准 / 法规

DIN 4108 — 高层建筑保温 [13] 在 50 多年前就提出了建筑构件透气性定义。1952 年颁布的这个标准系列依然存在。在节能概念尚未形成、DIN4108 仅把目光聚焦于“节煤”的那个年代，就已经对气密性给予了高度重视。它对透气性有以下陈述 [13]

40 多年后，建筑物外围护结构气密性才正式写进标准 [19]，立法者也正式采用了这个名词 [20]。关于气密

1952 年版 DIN4108 [13] 摘录

4 保温的基本要求

房间保温取决于围护结构(墙、楼板)的热阻和透气性(接缝, 间隙等), 特别是将房间与室外空气隔离的墙体的透气性, 以及热存储效果。

4.2 建筑构件, 特别是外围护结构(窗和门)的透气性

4.2.1 只要进行了抹灰, 墙和楼板的透气性一般是很小的, 热损失也相对较小。相反, 窗和门的不密封会造成大量热损失; 因此所有接缝都要良好密封, 应特别重视窗框和砌筑墙体的结构缝和大面积建筑构件(如壁板)拼缝的密封处理。在采用橡胶条密封特别严的窗户时, 利用通风挡板等措施实现轻微通风是有意义的。

1.7 气密性=无有害物质

气密性外围护结构可以有效阻止室外有害物质污染室内空气(见 1.9 节)。

房间一侧的气密层使有害

即使无法估计是否存在“损害”, 提高建筑物外围护结构气密性, 对于减少有害物质污染也应该是一种正确选择。

性外围护结构在各个阶段和法律意义上的地位可以查阅本书其他章节(第 2.1 节和第 6 节)。

参考文献

[1] DIN EN 13829 „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden, Differenzdruckverfahren“, Februar 2001.

[2] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 29. April 2009, Beschluss der Bundesregierung vom 18. März 2009.

[3] DIN 4108-7 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden“, Teil 7 „Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie Beispiele“, Januar 2011.

[4] Feist, W.: Grundlagen der Gestaltung von Passivhäusern, Verlag Das Beispiel, Darmstadt, Februar 1996.

[5] DIN 4108-3 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung“, Juli 2001.

[6] Pohl, W.-H.; Horschler, S.; Pohl R.: Luftdicht-Prima-Klima-Programm, Preussen Elektra AG, Hannover, 1. Ausgabe August 1997.

[7] Esdorn, H. und J. Rheinländer: Zur rechnerischen Ermittlung von Fugendurchlasskoeffizienten und Druckexponenten von Bauteilfugen, HLH 29, Nr. 3, 1978.

[8] DIN EN 832 : Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des

Heizenergiebedarfs, Wohngebäude. Beuth Verlag Berlin 2003.

[9] Ing.-Büro n50 für Gebäudesmesstechnik, Kassel.

[10] Hauser, G.; Maas, A.: Auswirkungen von Fugen und Fehlstellen in Dampfsperren und Wärmedämmschichten. Aachener Bausachverständigentage 1991. Bauverlag Wiesbaden 1991, S.88-95; DBZ 40 (1992), H. 1, S. 97-100.

[11] Lutz et al.: „Lehrbuch der Bauphysik“; 5. Auflage; Teubner-Verlag Stuttgart 2002.

[12] Knauf Schallschutz-Prüfberichte SW 99 050-1 und SW 99 050-4; Knauf Gips KG, Iphofen.

[13] DIN 4108 „Wärmeschutz im Hochbau“, Juli 1952.

[14] IWU, ebök, Werner, J.; u.a.: Meßtechnische Überprüfung und Dokumentation von Wohnungslüftungsanlagen in hessischen Niedrigenergiehäusern, Hrsg.: Institut Wohnen und Umwelt GmbH und Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, Darmstadt 1995.

[15] Werner, J; Laidig, M.: „Gute Luft will geplant sein“, IMPULS Programm Hessen, Darmstadt, 3. Auflage September 2002.

[16] Feist, W.: Passivhäuser in Mittel-europa. Dissertation an der Gesamt-hochschule Kassel 1993, Bezugsquelle: IWU Darmstadt 1993.

[17] Rietschel/Raiß: „Heiz- und Lüftungstechnik“, 13. Auflage, Springer-Verlag 1958.

[18] <http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/brosch>

ueren/ionisierende_strahlung/radon/stth_radon.pdf

[19] DIN V 4108-7 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden“, Teil 7 „Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie Beispiele“, November 1996.

[20] Bekanntmachung des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau vom 8. Juli 1996, „Hinweis auf allgemein anerkannte Regeln der Technik zur Wärmeschutzverordnung, Bundesanzeiger Nr. 140 – 31. Juli 1998.

[21] Sage, K.: Handbuch Heizung und Klimatechnik: Lufttechnische Anlagen, Bd. 2, Berlin 1971.

其他参考文献

[A] Kempkes, Chr.: ZUB Jahresbericht 2004 – Winddruckschwankungen bei der Durchströmung von Leckagen, Kassel 2004.

[B] DIN EN 13465 Lüftung von Gebäuden – „Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Luftvolumenströmen in Wohnungen“; Deutsche Fassung EN 13465:2004.

[C] Bundesamt für Strahlenschutz (BFS): Radon Bauhandbuch, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven.

[D] Gertis, K.: Radon in Gebäuden – Eine kritische Auswertung vorhandener Literatur, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2008.

[E] http://www.bfs.de/de/ion/radon/radon_in_haeusern.html



作者

托斯顿·勃兰德

工学硕士

1995 年开始卡瑟尔 n50 工程师办公室所有人。2001 年到 2010 年建筑气密性专业协会会长。

DIN “气密性”专委会 NA005-56-93AA 主任



作者

阿敏·维斯穆勒

工学硕士，建筑师

克璐夫保温公司技术中心主任
黑森建筑师行会会员

奥尔夫冈·比晓夫 (Wolfgang Bischof)

1.9 空气质量和建筑物气密性

1.9.1 室内空气质量和室外空气

马科斯·冯·佩滕科费尔 (Max von Pettenkofer) 1858 年在慕尼黑讲课时指出：“绝对不允许让我们的房子成为将我们与室外空气隔离的一种装置，它应该比我们衣服的隔离作用还要小。”弗里德贝格 (Friedberger) 以相当生动的方式描述了我们今天无法想象的住人房间的情形。早上起床的时候，房间里测出的 CO_2 浓度为 0.23% (0.12 ~ 0.55%)，还有很强的气味。在狭小房间里，呼吸、出汗、烹饪和洗涤产生的湿气形成结露，造成潮湿损伤并产生霉味，使衣物出现霉斑。壁纸往往因墙面太湿而脱落，木板腐烂。对采暖季 147 个房间测出的相对湿度平均值为 78% (61~94%)。高的空气湿度为螨虫提供了理想生长条件，有时还有衣虫和地鳖虫。凡·瓦格宁根 (Van Wageningen) 等专家 (1987) 发现，人在潮湿房间发生呼吸困难的几率比干燥房间要高。肛门炎症发病率也提高。

以往的研究侧重于呼吸对室内空气的污染。从人体排泄物 (粪便、尿液、皮屑、屁等) 对环境污染程度来看，无论从不可避免性还是污染量角度，嘴鼻呼出的污染物都是最严重的。拉夫斯 (Lavoisier) 1777 年就认识到，房间通风不良会使人体吸入更多的 CO_2 危害身体健康 (维特豪尔 (Witthauer) 等, 1993)。布朗-西瓦德 (Brown-Sequard) 和安·阿

嵩瓦尔 (a' Arsonval) 甚至猜测，呼出的气体有毒性，并在 1888 年将其称为 Anthropotoxine (人体毒性)。尽管布朗-西瓦德和安·阿嵩瓦尔 (1888) 是这个问题的第一批研究者，岚苏穆 (Ransome) 在 1870 年已经假设，人类主要会通过呼吸向环境释放有毒气体。在德国，西根 (Seegen) 和诺瓦克 (Nowack) (1879) 认为，人体必须呼出氢氧化钾 (Ätzkali) 无法吸收的有机物，这些物质在重新被吸入时是有毒的。卫生专家吴福满 (Uffelmann) 在 1888 年就已经指出，三个人在一个狭小密闭房间里呆上 10 个小时， CO_2 浓度会增加 2.5 倍，有机物含量 (用高锰酸钾 KMnO_4 溶液测试) 几乎以同样数量级增加。

从历史的角度看，佩滕科费尔对居住空间自由通风的要求是完全可以理解的。然而，恰好也是他 (1858) 对室内空间提出了合理限制有害物质污染的要求：“如果在我房间里有一堆粪便，我会首先将其清除出去，而不是增加房间通风。最合理的做法是，人们从一开始就设法防止对室内空气的污染，而不是在事后设法借助通风来消除其影响。”在今天，保证室内空气质量意味着，尽可能使室内主要污染物仅来自人类新陈代谢和起居活动。房间通风也就主要针对这类污染，所以在无人时应该把通风量降到最小。从节能角度考虑这是毫无争议的。而且，即使从室内空气质量考虑，限制无组织自由通风也是有好处的，因为室外空气会影响室内空气质量。佩滕

科费尔认为，“任何一种空气，只要我们感觉到它和室外空气不一样，这种空气就是不干净的”。但现如今，他的这种说法可能只有在特定地点和时间才有效。另一方面，室内空气污染物浓度会随着空气卫生条件和气象条件、空气污染物物理化学特性、建筑物通风性能和室外进风量的变化而改变。

详细研究这种多因素联合作用的过程，有助于我们掌握通风对室内空气质量的实际影响。几十年来，科学研究常用的成熟手段是室内外空气污染物浓度比 I/A 或 I/O (Indoor/outdoor)。当 $I/A < 1$ 时，污染物主要来自室外，提高建筑物气密性有防护作用。当 $I/A > 1$ 时，污染源主要来自室内，提高换气次数有助于减少污染物浓度。为了可靠采集 I/A 系数，应该在建筑物附近或者在机械通风装置新风入口处测量室外空气质量，同时也要检测室内空气污染物来源，特别是它们的浓度变化。卡内考 (Kaneko) 等人的测量结果表明，房间内 NO_2 的 I/A 值波动非常大，在 0.3 和 33.1 之间。这么大的波动幅度表明，单点测量可能导致重大误判。原因在于，室内污染物会随时间变化，而室外空气的污染物浓度也会随风向变化。

过去也有人建议把 I/A 的倒数作为保护系数 (阿尔桑纳 (Alzona) 等)。I/A 值越小，建筑物外围护结构、建筑物本身和室内通风装置越能保护我们免受室外空气有害物质的侵扰。