



第二卷

德国建筑气密性专业协会



■ 建筑物气密性

第二卷

气密性方案导则
 粘贴的基础知识---对施工者的提示
 在老旧建筑改造中实施气密性
 在老旧建筑改造中实施气密性
 测量实践
 建筑气密性的使用寿命
 气密性的工程合同法的纠纷

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 978-3-00-049313-3



9 783000 493133

版本说明

建筑物气密性 第二卷

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
黄卫红 翻译: 徐悦 校对

北京朝阳区麦子店街 37 号, 盛福大厦 860

电话: +86 10 85275589
传真: +86 10 85275591
E-Mail: sino-german-energy-dialogue@giz.de
Internet: www.giz.de/china

撰稿人
Torsten Bolender, Martin Giebeler,
Ulrich Höing, Ulf Köpcke, Johannes
Lötfering, Jürgen Luft, Søren Peper,
Stefanie Rolfsmeier, Oliver Solcher,
Patrick Stork, Christian Thomschke,
Michael Wehrli, Joachim Zeller

协调人
Wilfried Walther

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 1 次修订版, 2015 年 10 月

ISBN 978-3-00-049313-3

Wilfried Walther

前言	09
1 气密性方案导则	10
<i>Oliver Solcher</i>	
1.1 框架条件	10
1.2 《指南》结构	10
1.3 气密层的设计规则	10
1.3.1 气密层的走向和布局	10
1.3.2 相关细节	10
1.3.3 材料	10
1.3.4 施工	10
1.4 招标和授标	11
1.5 涉及不同施工工种的协调会	11
1.6 施工情况检查	11
1.7 气密性设计方案清单	11
1.8 气密性方案的细节处理数据库	11
1.8.1 建筑构件节点信息	11
1.8.2 细节册的构成	12

2 粘贴的基础知识---对施工者的提示	13
<i>Ulrich Höing</i>	
2.1 粘贴和设计的基础知识	13
2.2 一般性的准备工作	15
2.3 冬季土建中隔汽层施工的特殊性	16
2.4 展望和结论	18

3 在老旧建筑改造中实施气密性	21
<i>Martin Giebeler</i>	
3.1 老旧建筑改造中的气密性方案	21
3.1.1 对现状的要求	21
3.1.2 设计	22
3.1.2.1 屋顶	22
3.1.2.2 顶板或土层	23
3.1.2.3 地下室	23
3.1.2.4 窗/门	24
3.1.2.5 安装	24
3.1.3 施工	25
3.1.3.1 流程	25
3.1.3.2 边界条件	25
3.1.4 测量	26
3.1.5 展望	26

Michael Wehrli

3.2 坡屋顶的气密性方案---外侧气密性的历程和施工	29
3.2.1 好的现状调查和设计是值得的	29
3.2.2 新的构造应力争达到的目标	30

3.2.3	气密性设置时的各种方案 --- 出于高安全性考虑的高要求操作方案到简单但不同寻常的方案	30
3.2.3.1	传统式：隔汽层的盆式布置	30
3.2.3.2	安全的：改造时隔汽层的山峰式和山谷式布置	31
3.2.3.3	革新和安全的：气密带在既有椽子上的平面式布置	31
3.2.4	节点的细节---一个确定性的挑战	32
3.2.4.1	建筑工地的准备和清洗	32
3.2.4.2	檐口节点两种选择	32
3.2.4.3	其他的穿墙口	33
3.2.5	结论	33
4	通过裂隙和开口的换气	35
	<i>Joachim Zeller</i>	
4.1	计算方法	35
4.1.1	通风区域	35
4.1.2	渗漏和开口	35
4.1.3	建筑围护结构的压力比	36
4.1.4	体积流量和参考内压	37
4.1.5	排气设备的影响	37
4.2	建筑模型	37
4.3	渗入空气换气率与室外温度的相关性	38
4.3.1	概况	38
4.3.2	零压区的位置	39
4.3.3	夜间自由通风	39
4.4	与风的相关性	40
4.5	风与热气流共同作用	40
4.6	渗入空气换气率的年平均值	41
4.7	结论和展望	42
5	测量实践	45
	<i>Stefanie Rolfsmeier</i>	
5.1	大型建筑的气密性检测	45
5.1.1	基本原则	45
5.1.1.1	何为大型建筑	45
5.1.1.2	单区建筑	45
5.1.1.3	测量时间点	45
5.1.1.4	天气影响	45
5.1.2	测量规划	46
5.1.2.1	明确任务	47
5.1.2.2	检测范围	47
5.1.2.3	参照值（内部容积，建筑围护结构面积）计算	47
5.1.2.4	计算必要的测量设备	48
5.1.2.5	确定测量设备的安装地点	48
5.1.2.6	人力和时间开支	48
5.1.2.7	测量日程与施工过程的协调	49
5.1.3	测量当天的建筑准备	49
5.1.3.1	建筑准备的措施	50

5.1.3.2	测量设备的安装地点	50
5.1.3.3	渗漏处定位的辅助器材	50
5.1.4	测量的过程	50
5.1.4.1	搭建测量装置	50
5.1.4.2	检查建筑物准备工作	50
5.1.4.3	检查建筑物内的压力降	51
5.1.4.4	定位泄漏	51
5.1.4.5	记录测量序列结果	52
5.1.4.6	检测报告	52
5.1.5	总结和展望	52
5.1.6	检测单	53
	<i>Torsten Bolender</i>	
5.2	考虑防火的气密性检测	55
	-针对配有灭火设施房间进行的门-风扇测试	
5.2.1	门-风扇测试与风门测试的比较引言	55
5.2.2	测量而不是鼓风	55
5.2.3	门-风扇测试的过程	56
5.2.4	设计/气密性方案	58
5.2.5	结论	60
	<i>Patrick Stork, Johannes Lötfering, Christian Thomschke</i>	
5.3	气密性和通风对固体燃料炉灶运行的影响	63
	--- 4 Pa 测试---建筑物内压力关系的证明	
5.3.1	前言	63
5.3.1.1	炉灶燃烧气体的需求	63
5.3.1.2	准则和法规	63
5.3.1.3	物理上的关系---建筑物内的压力关系	65
5.3.1.4	确定压力关系---4 Pa 测试	66
5.3.1.5	对 4 Pa 测试的评估	67
5.3.1.6	4 Pa 测试的其他应用可能	68
5.3.1.7	总结	68
	<i>Jürgen Luft</i>	
5.4	采用机械通风时对通风系统的要求	71
5.4.1	（机械）通风的必要性	71
5.4.2	节约能源	71
5.4.3	风管渗漏	72
5.4.4	对于风管密封性的规范化要求	72
5.4.4.1	DIN EN 13779 对非居住建筑的要求	73
5.4.4.2	DIN 1946-6 对居住建筑的要求	73
5.4.4.3	泄漏“规划”	73
5.4.5	建筑构件标准	73
5.4.6	安装影响	73
5.4.6.1	失之毫厘，谬以千里	74
5.4.7	施工方的密封性测试	75
5.4.8	不仅是建筑围护结构必须是密封的	76
5.4.8.1	利用空调作为空气输送装置进行建筑物的空气渗透率测试	76
5.4.8.2	利用在门或窗处安装鼓风机的装置进行空气渗透率测试	76
5.4.8.3	非采暖区域的（排出）空气溢出	76

5.4.9	冷凝水渗出	77
5.4.10	总结	77
6	建筑气密性的使用寿命	79
	<i>Søren Peper</i>	
6.1	Hannover-Kronsberg 的被动房居住区示例	80
6.2	总的结果	81
7	气密性的工程合同法的纠纷	79
	<i>Ulf Köpcke</i>	
	-对于法庭外争论、独立的证明方法以及建筑流程的实践性提示	
7.1	在现在法律实践中气密性作为一般性缺陷	85
7.1.1	法律框架条件	85
7.1.2	对于气密性的争论，工程合同法的重要基本原则	86
7.1.3	出于专业法的判决时间	87
7.2	法律之外的争执调解	88
7.2.1	真相澄清的一般情况	89
7.2.2	“必要的”参与者（即：保险公司的角色）	89
7.2.3	追加执行期限和期限内不执行-法律后果	89
7.2.4	信任的重建作为不可放弃的改造目标	91
7.2.5	仲裁	92
7.2.6	费用	92
7.3	气密性的独立的证明方法	92
7.3.1	证明方法的主体、许可和含义	92
7.3.2	独立证明方法的流程	93
7.3.2.1	法律负责性的确认	93
7.3.2.2	动议书里方法许可性的证明	94
7.3.2.3	法律的证明决定、专家确定和费用预付	94
7.3.2.4	评估专家薪酬的框架条件和最低要求	95
7.3.2.5	独立证明方法的评估草案和结束	96
7.3.2.6	尤其是：证明问题的功能和行程	96
7.3.2.7	独立证明方法里的费用承担和结果使用	98
7.4	建筑工程中的气密性	98
7.4.1	诉讼目标的可靠确定	99
7.4.2	第一次开庭案例时综合性事实说明的要求	99
7.4.3	调解听证和过程比较	100
7.5	结论	100
	关键词索引	102



WILFRIED WALTHER 工学硕士

建筑气密性专业协会首任主席，Springer 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—第二版

在建筑业的诸多专业领域都建立了对“建筑物气密性”的要求。在这本建筑气密性专业协会的专业著作系列的第二版里，我们将基本信息和专业信息详细地并“来源于实践”地综合起来。作者们是建筑气密性专业协会的会员，他们将最近几年在研讨会和工作组中的问题总结并整合进他们的编写部分。因此，这本著作提供了解决实践问题的答案。

首先需要有一份气密性的方案。不但是对于这本第二版，而是适用于每一个建筑项目，无论是针对老旧建筑或新建建筑。我们阐述了什么是“气密性方案”，并在第三章“在老旧建筑改造中实施气密性”中进行了深化。

第一版中我们以“粘贴—材料和加工”一章开始“粘贴和密封”这一主题。第二版中补充了对施工人员的重要提示，从而粘贴化学的作用机理确实得到贯彻以及对持久性的要求得以实现。

本书第三章致力于解决老旧建筑改造对气密性的特别挑战。通过接近实践的描述和诸多建筑工程实践中积累的忠告和建议，该章展示了如何实现既有建筑改造的气密性。

通过裂隙或者固定开口的空气渗入和渗出有多大？这一点人们必须知道，以便能估算出建筑的不密封对通风热损失的影响，或者能作出评价，自由通风能否满足卫生和温度的要求。

在第五章中，第一次对大型建筑的通风性常规检测作出描述。其他的内容包括与火灾发生地和通风管（渠道）密封性测量相关的消防领域的测量，以及给出测量实践总结的经验。

建筑气密性的状况随着时间流逝将产生什么变化，目前只有很少的信息。一个现场检测的项目在第五章中展示了能抛砖引玉的结果。

第二版的最后着眼于一个重要的“非技术主题”：根据建筑技术要求“建筑围护结构气密性”而产生的建筑缺陷争论的过程。为了尽量减少“风险和副作用”，最后一章给出了在诉讼前分歧和独立取证框架内的有价值的建议。

建筑气密性专业协会在此衷心感谢第二版的所有作者和提供了精神支持和帮助的同仁。

Wilfried Walther

柏林，2015年10月
受建筑气密性专业协会委托

1. 气密性方案导则

Oliver Solcher

1.1 框架条件

德国 DIN 4108-7 标准[1]提出了建筑气密性方面的要求、规划和实施建议。这一标准早已存在，但是气密性建筑的原则并未在一般建筑实践中得以贯彻。

德国复兴信贷银行（KfW）在其节能建筑和节能改造资助项目[2]中要求专业人员必须提供建筑气密性规划设计（气密性设计方案）。然而业内人士对此项工作的理解却存在很大的分歧。

因此，德国建筑气密性专业协会（FLiB）组建了一个专家工作小组，致力于明确气密性设计方案在工程实践中的落实要求，使其更加容易得以落实。其第一步措施是为缺少专业施工监理的建设工程项目提供支持。要保证建筑围护结构长久的气密性，就必须在这方面也进行细致的规划、招标和授标工作，尤其是要协调好所有参与气密性建筑围护结构施工的作业工种。这些一般都是规模较小、“不太复杂的”建筑项目，由业主直接与施工方以及专业人员合作。

针对业主、专业人员和施工人员所撰写的《气密性设计方案指南》阐述了气密性建筑的基本流程。作为补充，一个互联网平台正在建设中，其中将存储诸如节点材料、施工建议和潜在损害等常用具体信息，以备专业人员下载，用于气密性设计方案。

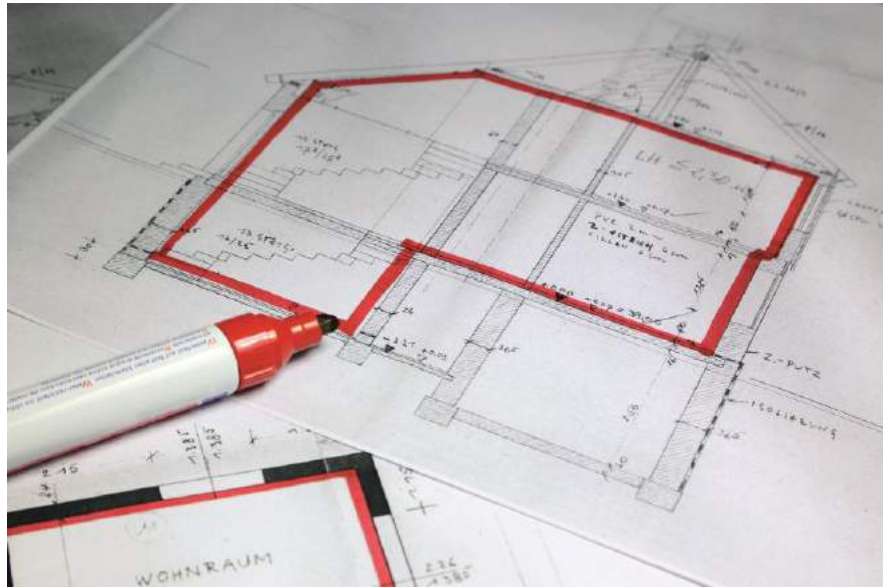


图1.1：气密层的走向

平台首先将提供用于单户或双户独栋房屋节能改造的必要细节信息，以后还将提供更加复杂详尽的具体细节，为建筑设计师的设计工作提供支持。

1.2 《指南》结构[3]

该指南分为多个章节，其依据是 DIN 4108-7 标准。

1.3 气密层的设计规划

1.3.1 气密层的走向和布局

本节介绍如何确定气密层的走向和布局以及需要注意的地方。设计过程要从这一步就开始，才能将穿透口、缝隙、接头等减少到必要的最小值。

1.3.2 相关细节

确定相关细节并列入清单，如可能，在施工图或原理图中标明。

1.3.3 材料

确定气密层的所有材料及其空间配置，包括缝隙和节点的技术要求。

此处也罗列了具有气密性表面、从而也是气密层的材料。

1.3.4 施工

细节的描述要让施工人员能够将其付诸实施。

气密性设计方案应当附上所有细节的解决方案。可以借助细节数据库中的细节解决方案样板。数据库所含细节包括：

- 不针对特定生产商的图纸；
- 对于必要的设计施工和相关材料的描述；
- 对不当设计施工可能造成的缺陷的提示。

1.4 招标和授标

本节描述了专业人员必须提供的服务，重点关注如何细致缜密地撰写招标文件。对此建议使用以下表述：“招标目的在于实现高质量的、具有持久气密性的建筑围护结构。要实现这一目标，应明确相连施工工种之间的衔接处理，相互协调各施工工种的作业，并且在气密层完工后进行施工过程中的气密性检验。权责归属由委托方决定。”

1.5 涉及不同施工工种的协调会

协调会的目的在于让参与建筑项目所有相关方重视“气密性”问题。针对涉及不同施工工种的细节，确定其施工技术要求、施工先后顺序和责任归属以及相应的负责人员。

协调会是气密性建筑能否实现的关键。许多业主希望避免或尽量减少自己分担的施工监理费用。因此，专业人员在施工现场的时间，达不到实现监理目标的要求。解决这一问题的办法即是召开这种现场会。除了相关施工人员，业主和专业人员也都要参加会议，一同商讨敏感问题——尤其是衔接问题，督促施工人员在工作中始终遵循让建筑物围护结构的传热面积能够长期保持空气不渗漏的目标。

1.6 施工情况检查

本节描述了施工检查的时间节点、责任方，以及可使用的辅助器材。

上文曾提到许多业主不愿分担费用，有鉴于此，《指南》也考虑了要如何让业主参与这个重要的工程环节。除了专业人员为气密性设计方案所罗列的细节之外，也可以利用《指南》中随附的“气密性检查清单”来进行检查。

工作组很清楚，检查工作应当由一名专业人员来完成。但如果业主不想花钱聘请建筑师或专业人员，也就是说现场没有建筑师或专业人员，那么谁又应该来完成这项检查任务呢？业主希望自己投入的资金物尽其用，自己所支付的工程施工符合要求。如果业主拥有简易的评价工具，他至少可以自行初步评估施工是否符合要求，还是有必要向专业人员咨询。完成一道工序后，应该直接对其施工质量进行检查，同意继续施工后，再开始下一步工作，以防以后再评估时，后续工作可能会造成难以靠近所完成施工的部分。不论是否进行检验，各施工工种都应当按照专业要求进行施工，保证施工无误。

1.7 气密性设计方案清单

清单总结了气密性施工最常见的细节。简单的图表令人更容易掌握检查时需要注意的事项，言简意赅的关键词指出了容易出现的纰漏。

此外，评估是凭借简单的交通灯系统完成的：

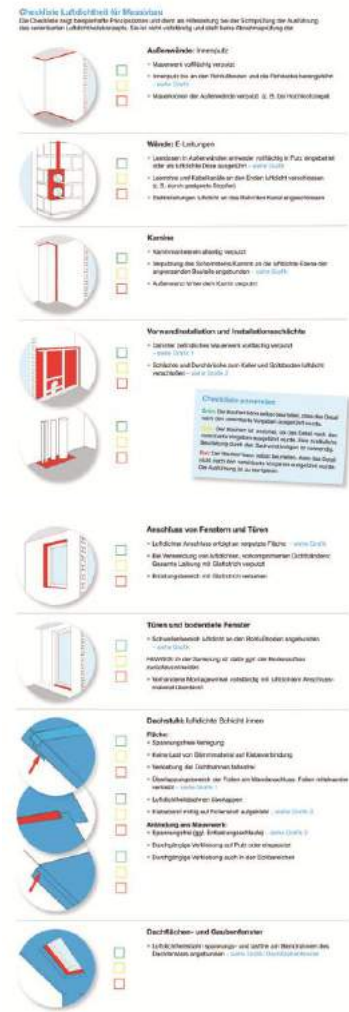


图 1.2: 《气密性设计方案指南》示例页

绿色：业主可自行判断该细节已按照规定完成。
 黄色：业主不确定该细节是否已按照规定完成。有必要让专业人员另行评估。
 红色：业主可自行判断该细节未按照规定完成。需要进行修正。

业主可借助此清单自行对施工情况进行初步评估。

1.8 气密性设计方案的细节数据库

1.8.1 建筑构件节点信息

要认真细致地完成气密层的设计施工，不仅有必要确定气密层的走向和布局，还应制作特殊细节的原理图。例如在翻新窗户时必须对以下事项做出规定：

- 安装窗户前应对窗侧区域进行找平，
- 如何在窗户连接区域实现气密层的无缝接续，
- 应使用哪些材料，
- 处理过程中的注意事项。

由于一个建筑构件的施工往往涉及多个工种，因此每一个相关工种都必须了解该细节的设计和施工方法。而原理图有助于各工种之间更好的协调和沟通。

为了方便编制气密性设计方案，工作组逐步制作完成了一些细节册页，可作为气密性设计方案的组成部分发送给各个参与方，明确施工方法和施工所用材料以及相关责任人。

1.8.2 细节册的构成

细节册的构成如下：

- 每个“问题点”均分别以细节图纸（图形、图像）及文字说明的形式用一页 A4 纸进行展示；
- 每一张细节册页仅限于展示一个“问题点”，比如只展示系梁位置上的屋顶

楼梯，或者只涉及管道（污水管）穿透气密层的问题；

- 仅限于对气密层的详细描述；
- 具有说服力的大图；
- 使用不同颜色标注的、本身就是气密层的材料和制造气密性的材料；
- 对必要材料的说明和在图中的标注；
- 对必要技术要求的规定；
- 与气密层施工无直接关系的附加说明；
- 对不当设计施工可能造成的损害的提示。

参考文献

[1] DIN 4108-7:2011-01 建筑物的保温和节能——第七部分：建筑物的气密性——要求、规划和施工建议及案例。

[2] 《节能建筑须知》附录（153），最低技术要求，2014年6月；《节能改造须知》附录：贷款（151/152）、投资补助（430），最低技术要求，2014年6月。

[3]对气密性设计方案的的要求，德国建筑气密性专业协会，www.luftdicht.info，2014年9月。

作者



Oliver Solcher
应用科技大学工程硕士

柏林热力工程工程师事务所所有人；德国建筑气密性专业协会总经理；

曾开发住宅通风系统的多种产品；任德国“采暖和室内通风技术及其安全性”标准化委员会（NHRS）和欧洲标准化委员会（CEN）各自下属的住宅通风标准化小组成员；从事讲座、培训和出版撰写

我们致力于一个建筑零能耗的世界。

SIGA¹⁹⁶⁶
+



张鹏
中国区首席代表

手机: +86 13720054096
电话: +86 10 56492318
邮箱: peng.zhang@sigaswiss



Stick with us.

sigaswiss

我们在中国这几年 获得了很好的口碑！

我认为有三方面的因素：

首先，无论中国还是德国用户，他们对高品质的产品都有共同的偏好；而德国的产品以质量及创造发明力著称。

其次，我们拥有一个德国和中国专家组成的精英团队。我们非常重视中国的用户期待，例如中国南北方的气候差异、采暖冬季的空气问题、建筑物的结构特点，都是研发的分析数据。另外，根据德国发展的经验，我们也一直在启发人们对家居功能的舒适性、绿色节能方面的重视。

Lothar Schneider

Dephina联合创始人产品总监



**MADE IN +
GERMANY**
德国原装

Dephina通过德国马尔堡和菲林根-施文宁根的生产基地，为全球用户提供各种高品质的新风系统产品。拥有50m³/h-2600m³/h新风量的强大产品线。从Deph.duo系列壁挂式新风机，到 Helios Spezial集中式新风系统，更有奢侈级的Deph.home极至空气品质系统。

dephina

德菲兰中国技术服务中心

www.dephina.cn
server@dephina.cn
Tel: 400 0078 268

4 通过裂隙和开口的换气

Joachim Zeller

了解建筑物渗漏或某些开口处的渗入与渗出体积流量大小，具有多方面的意义：比如评估建筑物渗漏对于通风系统热损失的影响，或是判断自由通风在多大程度上满足了卫生或温度方面的要求。

建筑围护结构的压力情况与天气相关，因而会不断变化。相应地，自由通风时的空气体积流量也会发生变化。因此，对于空气体积流量或换气率的数据，必须区分为特定瞬时天气状况下的数据和年平均值或采暖期平均值另外，由于体积流量和气候参数之间大多是非线性的关系，因此一定时间段内的体积流量平均值与根据天气参数平均值所计算出的体积流量通常并不相等。

ISO 13789 标准附录中给出了一个简单的方程式，用以估算采暖期的平均渗入空气换气率。据此，如果通风系统不产生低压或超压，根据建筑物与风的角度不同，平均换气率分别为 50 帕斯卡下换气率的 0.1 倍、0.07 倍或 0.04 倍。

事实上，换气率不仅取决于建筑不密封的程度和建筑与风的角度，而且还取决于以下因素：

- 使用单元的高度和开口位置，
- 所在地区的风速，
- 所在地区的风向，

- 内外温差。

DIN EN 15242 标准描述了一种计算方法，可以针对特定时间点、也就是针对风速和室外温度的具体数值估算出自由通风产生的空气体积流量，由此也可以确定空气流入和流出的位置。下文将介绍这一计算方法，并展示几个计算示例的结果。

为了落实欧洲建筑总体能效指令，对多项标准进行了修订，在此过程中，EN 15242 标准将被新标准 EN 16798 第七部分取代。新标准已于 2015 年 1 月公布了草案，但下文阐述所引用的仍是现行的 EN 15242 标准。

4.1 计算方法

4.1.1 通风区域

该计算方法可用来确定建筑物或建筑物部分区域（通风区域）与外界之间的空气体积流量。假定通风区域有一个统一的室内温度和统一的内压[1]。换句话说，假设空气可以在该区域内自由流动。因此，该模型适用于室内外之间的流动阻力显著大于通风区域内两个空间之间流动阻力的情况。

比如想要计算通过建筑渗透处的渗入和渗出空气体积流量，通常可以将单独一套住宅视为一个通风区域。与气密的建筑围护结构和气密的住宅门相比，关闭的室内门所形成的流动阻力根本不值一提。反之，若要估算打开窗户进行夜间自由通风的效果，则只能将那些通过敞开的室内门连成一个空气环

境的空间合并为一个通风区域。

在将一栋建筑划分为通风区域时，一个通风区域使用一台还是多台通风设备进行通风，一台通风设备是否也为其他通风区域进行通风，全都不重要。根据标准化的方法，一个区域与相邻通风区域之间的空气交换不会被考虑。

4.1.2 渗漏和开口

在建筑围护结构的透气部分会产生因内外压差而造成的空气体积流量：

$$\dot{V}_{comp} = f(\Delta p_{comp}) \quad (1)$$

其中：

\dot{V}_{comp} 通过建筑构件“comp”的体积流量。送风以正号表示，排风以负号表示

Δp_{comp} 内外压差 [2]

标准区分了渗漏和通风口两种情况。由于标准中针对无调节通风口的方程式也适用于其他开口情况，所以下文将使用“开口”和“渗漏”两个概念。

开口处会出现湍流。压力和体积流量之间的关系可以描述如下：

$$\dot{V}_{op} = C_{op} \cdot \text{sign}(\Delta p) \cdot |\Delta p_{comp}|^{0.5} \quad (2)$$

流量系数 C_{op} 可根据开口面积进行估算：

$$C_{op} = C_d \cdot A_{op} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \frac{3600s}{h} \quad (3)$$

其中：

C_{op} 开口“op”的流量系数

C_d 流量 (≤ 1)

A_{op} 开口“op”的开口面积

ρ 空气密度, 根据 EN 15242

得到的计算值: 1.22 kg/m^3

理想的流动情况下, 流量为 1, 对于一块薄板上的一个边缘锋利的开口, 流量大约为 0.6。

对于**建筑渗漏**处, 压力和体积流量之间的关系可以用类似的方程式来描述:

$$\dot{V}_{leak} = C_{leak} \cdot \text{sign}(\Delta p) \cdot |\Delta p|^n \quad (4)$$

其中:

C_{leak} 渗漏处“leak”的流动系数

n 流量指数,
标准值 0.667

因此, 开口和渗漏处流量计算方程式的区别在于流动指数 (方程式 2 和 4)。

通常虽然已知 50 帕时的换气率, 但却不清楚建筑围护结构中渗漏处的分布情况,

所以必须对此做出假设。例如: 可以将一栋建筑的围护结构面积分为多个压力情况相同的子区域, 然后再将总气体渗透量以与面积成正比的方式进行划分:

$$C_i = C_{build} \frac{A_i}{A_{build}} \quad (5)$$

其中:

C_i 子区域“i”渗漏的流动系数

C_{build} 建筑物的流动系数

A_i 子区域“i”的面积

A_{build} 建筑围护结构面积

另外, 渗漏平均分布时, 以下方程式成立:

$$C_i = A_i \cdot \frac{q_{50}}{50^n} \quad \text{和} \quad (6)$$

$$C_i = A_i \cdot \frac{V_{build}}{A_{build}} \cdot \frac{n_{50}}{50^n} \quad (7)$$

其中:

q_{50} 50 帕时的建筑围护结构空气渗透率

n_{50} 50 帕时的换气率

V_{build} 建筑内部容积

n 流动指数, 通过空气渗透率测量结果确定, 其中 $0.5 \leq n \leq 1$

除了将渗漏均匀分摊在围护结构面积上, 也可以根据空气渗透率测量时寻找渗透处的结果, 提高某些区域在空气渗透总量中的占比。

方程式 (2) 可以用于描述无调节外部通风口的情况。如果外部通风口的开口面积随着压力而变化, 针对这种情况, 可以加上压力和体积流量之间的另一种函数关系, 从而可以适当描述压力较大时体积流量下降的情况。

4.1.3 建筑围护结构的压力比

计算过程中采用的压力是与所考察通风区域下边缘高度上外部气压的差。简单起见, 此处省略了“差”的概念和方程式符号“ Δ ”。

建筑围护结构某个特定组件处的外部压力为:

$$p_{ext,i} = -h_i \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{T_{ref}}{T_{ext}} \quad (8)$$

$$+ C_{p,i} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

其中:

h_i 组件“i”的高度, 从该区域最底层地板起进行测量

g 地面加速度

T_{ref} 参考温度 283 K

T_{ext} 室外温度, 单位: K

$C_{p,i}$ 组件“i”的风压系数

v 风速

其中最难确定的是风压系数 $C_{p,i}$ 。该系数取决于瞬时风向: 正对风向的一面外墙 (Luv 迎风面) 上的风压系数为正, 建筑其他外表面的风压系数则为负 (Lee 背风面, 外部负压)。DIN EN 15242 标准附录 A 给出了适用于与外墙轴线成 $\pm 60^\circ$ 范围内风向的风压系数计算值。根据该标准第 7.2 节的规定, 能量计算不考虑风向, 也就是说, 不考虑因风向变化而造成的迎风面和背风面变化。

对于此处所介绍的计算方法, 不准确的风压系数也许是其最不准确的因素之一。

内压为:

$$p_{int,i} = -h_i \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{T_{ref}}{T_{int}} + p_{int,0}$$

(9)

其中:

T_{int} 室内温度

$p_{int,0}$ 参考内压, 也就是该区域最底层地面高度处的室内气压

内外压差可通过以下方程式计算得出:

$$\Delta p_i = p_{ext,i} - p_{int,i} \quad (10)$$

“参考内压” $p_{int,0}$ 的数值初始未知, 而是取决于天气和渗漏分布情况。无风和寒冷天气的情况下该数值为负数

——建筑物内的下部为负压。下文中使用模型计算的章节仅采用了渗入体积分量的概念。

4.1.4 体积分量和参考内压

同一区域流入和流出的气流遵循质量守恒定律。

$$\sum_i \dot{m}_i = 0 \quad (11)$$

其中：

\dot{m}_i 质量流量“i”

此处须将所有的空气气流相加，如燃烧空气、通风系统的送风和排风、通过建筑围护结构开口和渗漏处的空气等。质量守恒定律也适用于“标准体积分量”，即按照标准条件换算的体积分量。使用方程式(2)至方程式(4)以平均空气密度计算而得到的体积分量也近似适用守恒定律。

只要通风系统的送风和排风没有过量，而且未运行燃烧室内空气的炉灶，那么只需要将通过开口和渗漏处的空气气流相加即可。

以下方程式适用于标准体积分量：

$$\sum_i \dot{V}_i = 0 \quad (12)$$

其中：

\dot{V}_i 按照方程式(1)和(2)或(4)，通过组件“i”的(标准)体积分量

以迭代法确定参考内压时，应保证方程式(12)成立。将所有正值的空气体积分量相加，得到渗入体积分量，即流入的空气量。将所有负值的空气体积分量相加，得到渗出体积分量。这两种情况所得的数值必须相等，也就是说，渗入和渗出体积分量是相等的。

下文中使用模型计算的章节仅采用了渗入体积分量的概念。

4.1.5 排气设备的影响

针对配有排气设备的通风区域必须补充方程式(12)：

$$\sum_i \dot{V}_i + \sum_j \dot{V}_{exh,j} = 0 \quad (13)$$

其中：

$\dot{V}_{exh,j}$ 排气设备排气体积流量“j”(负数)

这里的参考内压低于未安装排气设备的参考内压。如果建筑物具有足够的气密性，外部空气通道尺寸合适，那么根据方程式(10)计算，建筑围护结构上的所有压差均应为负值，这样便会到处都有空气流入，但不流出。

4.2 建筑模型

针对下文章节中的计算示例，建立了一个两层楼、没有地下室的单户独栋屋建筑模型(图4.1)，其屋顶空间位于保温和气密性的建筑围护结构内。对此做出以下假设：

- 长 11 m
- 宽 9 m
- 檐高 5.5 m
- 屋面坡度 35°
- 得出：脊高 8.65 m
- 围护结构面积
- 不含地面 $A_{build} = 369 \text{ m}^2$
- 内部容积 $V_{build} = 560 \text{ m}^3$
- 50 Pa 时的换气率 $n_{50} = 3.0 \text{ h}^{-1}$
- 室内温度 $T_{int} = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$

假定渗透处均匀分布在除混凝土地面以外的建筑外表面上。

以外表面中假定透气的部分(即不含地面)计算，得到的空气渗透率为：

$$q_{50} = n_{50} \frac{V_{build}}{A_{build}} = 4,6 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{m}^2 \quad (14)$$

换算至 1 帕的结果是：

$$q_1 = q_{50} \cdot (50)^{-0,667} = 0,335 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{m}^2 \quad (15)$$

为了将热气流也纳入计算，在计算时将外墙分为上下两个大小相等的子区域。对于山墙，则是将山墙三角形部分分别视为一个子区域，其余部分与外墙类似，分为两个相等的子区域(见图4.1)。这样一来，模型房屋总共有 12 个不气密的子区域。分别选取各个子区域表面上的重心位置作为方程式(8)和(9)运算所需要的子区域高度。

计算时可以将具有相同高度和相同风压系数的子区域汇总在一起：即本示例中的两个屋顶表面(风压系数-0.2，与风向无关)、两个下部的迎风面墙面、两个上部的迎风面墙面、相应的下部背风面墙面和上部背风面墙面(图中未显示)。

由此可得，在该模型中共有七处渗透，其参数见表4.1。一块不气密子区域表面的流动系数 Cleak(见方程式4)可通过方程式(6)计算得出。

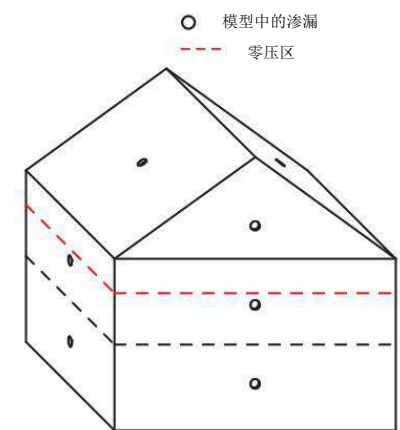


图4.1：所使用位于空旷地段的单户独栋屋模型的草图。假设两个可见的外墙受到正面风压。不可见的背风墙壁上有与可见墙壁相对称的另外五个渗透处。

4.3 渗入空气换气率与室外温度的相关性

4.3.1 概述

对于所描述的单户独栋屋模型，首先进行了无风情况下的计算。图 4.2 显示通过此法所得到的参考内压数值（略弯的曲线），反映了在无风情况下，不同室外温度所对应的内部和外部的压差。

可以看出，压差与室外温度和内外温差呈现出近似线性的关系。从理论上也可以证明这一点：

无风情况下，通过方程式（8）到（10）可以得出：

$$\Delta p_i = h_i \cdot \rho \cdot g \cdot \left(\frac{T_{ref}}{T_{int}} - \frac{T_{ref}}{T_{ext}} \right) - p_{int,0} \quad (16)$$

相较于 $T_{ref} = 283K$ 的绝对温度，内外温差数值很小，因此可得出以下近似结果：

$$\Delta p_i \approx h_i \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{(T_{ext} - T_{int})}{T_{ref}} - p_{int,0} \quad (17)$$

$$\Delta p_i \approx 0,04 \frac{Pa}{K \cdot m} \cdot h_i \cdot (T_{ext} - T_{int}) - p_{int,0} \quad (18)$$

图 4.2 同样画出了依据方程式（18）所得到的线性近似结果——符号相反。

渗入空气换气率与室外温度的相关性如图 4.3 所示。20°C 时，室外温度等于内部温度，由于没有动力而不产生空气交换。内外温差较小时，空气换气率迅速攀升；温差较大时，则只是缓慢上升。空气换气率随着温差上升近乎高达三分之二（方程式 4）。

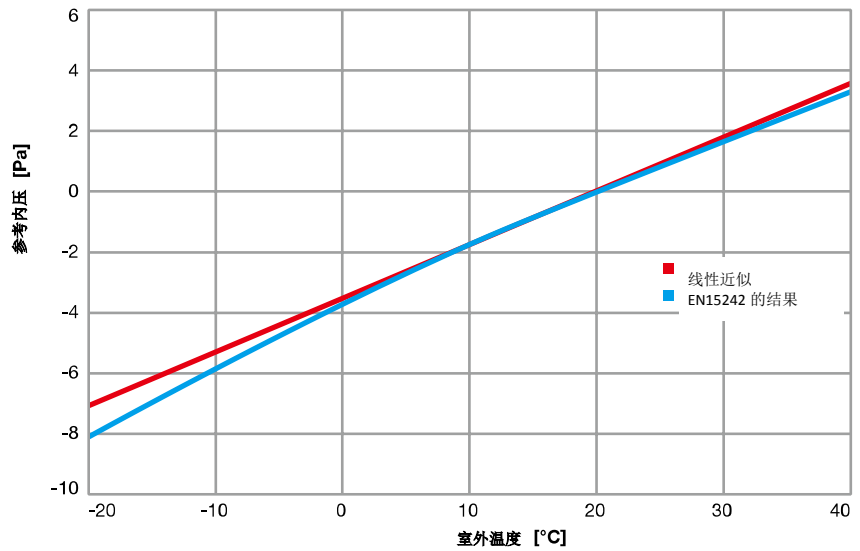


图 4.2: 墙基处内外压差与室外温度的相关性，按照 EN 15242 标准借助线性近似计算得出。

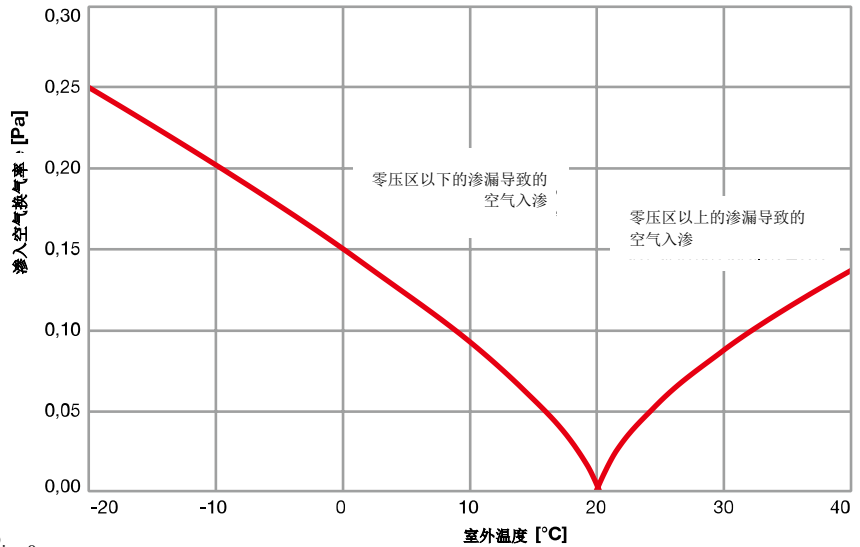


图 4.3: 渗入空气换气率与室外温度的相关性。

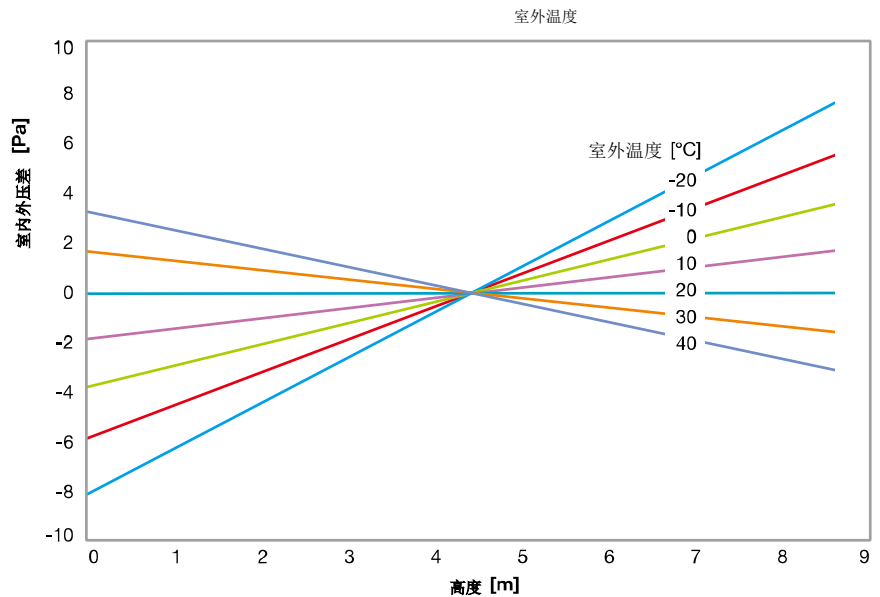


图 4.4: 不同室外温度下，建筑物内部压力减外部压力的压差与位置高度的相关性。

表 4.1: 建筑模型渗漏处位置参数

	面积	高度	风压系数
	A_i	h_i	$C_{p,i}$
	m^2	m	1
上风侧, 墙壁下部	55.0	1.38	0.5
上风侧, 墙壁上部	55.0	4.13	0.5
上风侧, 山墙	14.2	6.55	0.5
下风侧, 墙下部	55.0	1.38	-0.7
下风侧, 墙上部	55.0	4.13	-0.7
下风侧, 山墙	14.2	6.55	-0.7
屋顶	120.9	7.08	-0.2

4.3.2 零压区的位置

使用方程式 (16) 可以参考内压计算出任意高度的压差。结果如图 4.4 所示。

从中可以看出, 在一定高度, 即所谓的零压区, 不论室外温度如何, 压差数值均为零。通过将方程式 (16) 或 (18) 中的压差设置为零, 并根据 h_i 解析方程式, 可计算出零压区所在高度。在所选模型中, 该高度位于墙基上方 4.41 米处, 非常接近位于

4.13 米高度处的模型建筑墙面上半部渗漏处 (图 4.1)。

- 零压区的高度与温差无关。

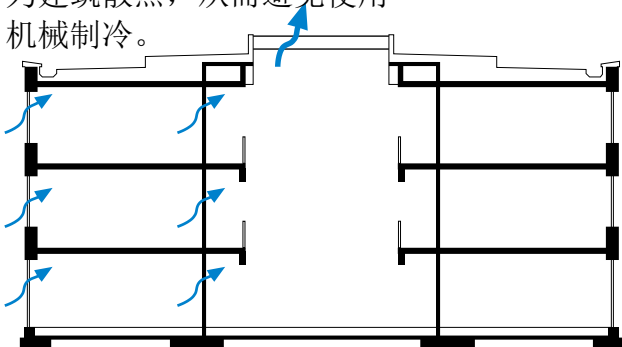
- 内外压差取决于温差和与零压区的高度差。气密建筑和不气密建筑中的内外压差一样大。

- 在只有一个开口的情况下, 零压区在开口高度之上; 如有多个开口, 则位于这些开口之间。

- 如果开口扩大, 零压区将向该开口处偏移。

4.3.3 夜间自由通风

夜间自由通风的目的在于夏季夜里通过打开窗户或其他大型通风口进行自由通风, 为建筑散热, 从而避免使用机械制冷。



其驱动力来源于室内温暖空气和室外凉爽空气之间的温差所产生的热气流。图 4.5 以一所大型学校为例, 展示了其中的原理。

然而, 只有当开口的布局和尺寸适当, 夜间自由通风才能发挥作用。图 4.6 的示例性质便是如此。其屋顶开口过小, 使得零压区位于中间楼层开口的高度处。在无风时, 无法仅凭借热气流让空气流经这些开口。

计算示例中, 假设每间教室均拥有一个面积为 $0.25 m^2$ 的通风口, 并且屋顶上为每间教室均设有一个面积为 $0.33 m^2$ 的开口。同时假设屋顶开口的位置比顶层教室的开口

高出 1.5 m。图 4.10 显示了内外温差为 6 K 时因热气流而产生的体积流量。

屋顶开口与三楼开口之间距离为 1.5 m, 而且屋顶开口面积较大, 这使得零压区确实与所希望的一样, 位于最上端送风口的上方——但是高出的距离过小, 表现为三楼教室体积流量很小。因此, 必须对开口做出进一步优化。单单将三楼的开口加大并不足以起到改善作用, 因为这样会让零压区下移, 故而必须同时缩小较低楼层上的开口, 并且/或者增大屋顶排风口的面积。开口的尺寸大小可通过反复尝试以迭代法进行确定, 而采用合适的方法直接计算出必要的开口大小

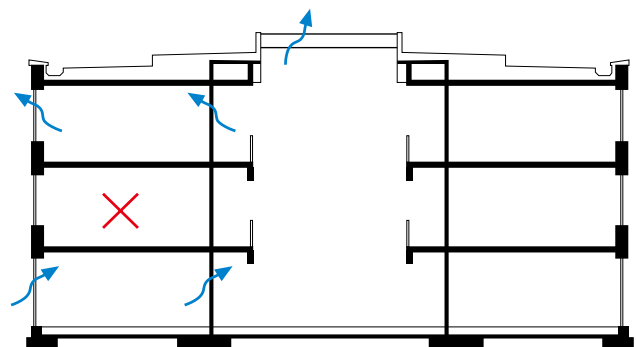


图 4.5: 通过夜间自由通风让建筑冷却时空气流动的理想情况草图。图 4.6: 夜间自由通风开口规划不当时可能出现的空气流动情况示例。

则更为简便。

原则上，规划设计时应力求实现夜间自由通风：

- 最上面的送风口和排风口之间的高度差要大，
- 排风口要大，
- 确定送风口的尺寸，以达到所需的换气率。

本示例以真实建设工程为依据，而在该工程中不允许加高屋顶结构。因此，图宾根 ebök 工程师事务所的专业规划师将顶层的送风口向下移：他们在窗户下方设计了电动百叶，而未采用窗户上方的百叶。

4.4 与风的相关性

图 4.7 所示为室外和室内温度相同时（此处为 20°C）时，章节 4.2 所述模型建筑的渗入空气换气率与风速的相关性。此处的通风完全经由建筑物渗透处（流动指数 $n = 0.667$ ）进行，在这种情况下，换气率随风速提高而增加过快，高达 1.33。如果（图中未显示）主要通过开口进行通风（ $n = 0.5$ ），则换气率与风速成正比

4.5 风与热气流共同作用

风和热气流同时作用时，开口或渗透处两种效应产生的压力发生叠加（参见方程式 8）。由于压力有正有负，各个开口处的压力数值可能增加，也可能减少。偶尔甚至会出现风和温度的影响在某个开口处正好互相抵消的现象。

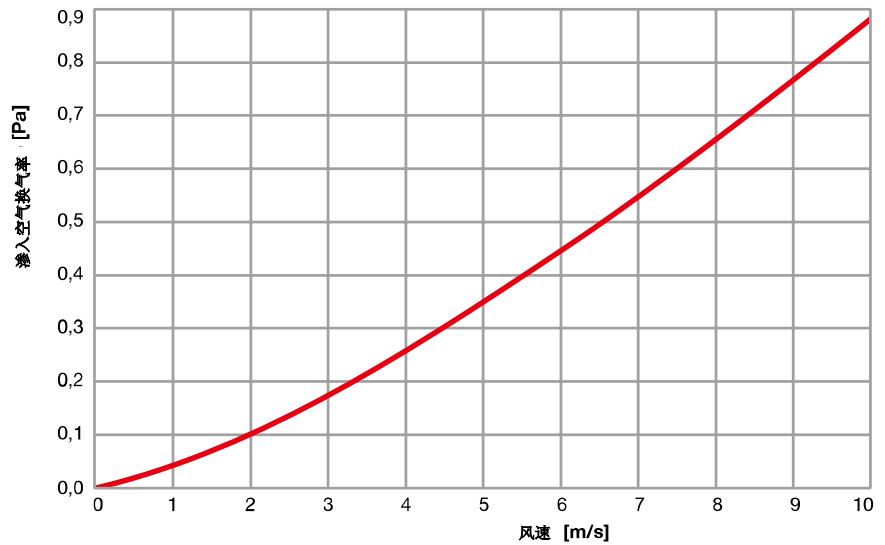


图 4.7: 无温差情况下，渗入空气换气率与风速的相关性。

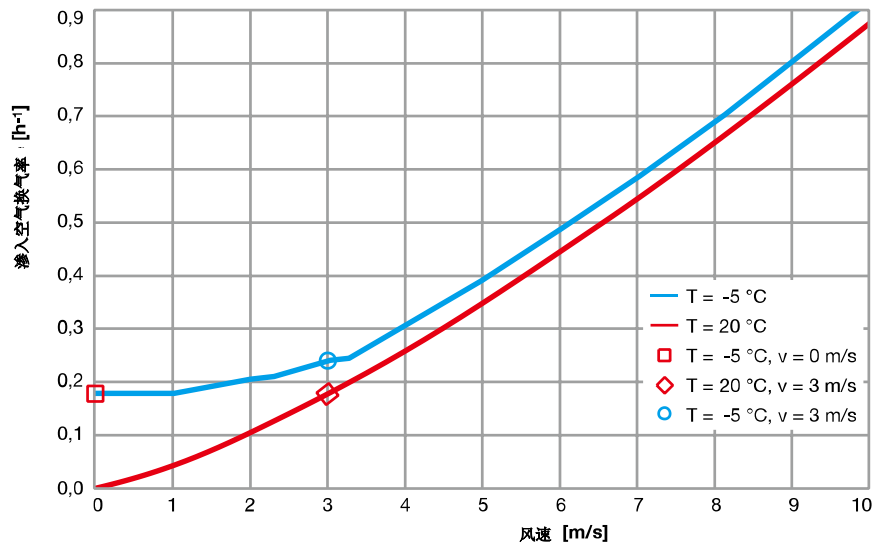


图 4.8: 室外温度为 5°C（上方曲线）和 20°C（下方曲线）时，渗入空气换气率与风速的相关性。

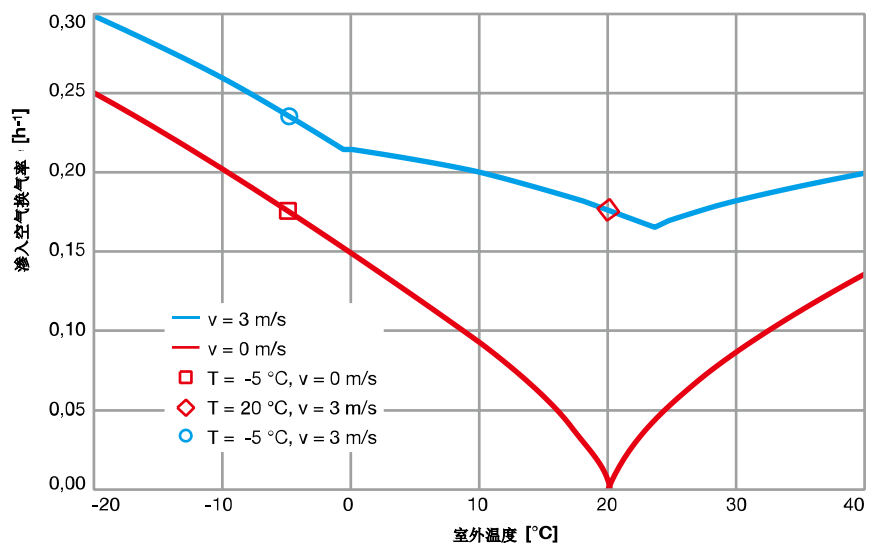


图 4.9: 风速为 3 m/s（上方曲线）和无风（下方曲线）时，渗入空气换气率与室外温度的相关性。图中对图 4.8 中出现过的两对参数进行了标记（0 及 3 m/s, -5 及 20°C）。

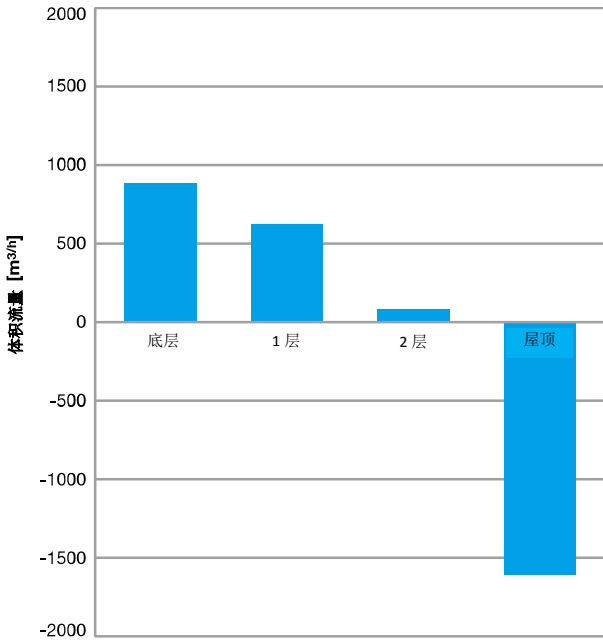


图 4.10: 每层开口面积相同时, 夜间自由通风的空气体积流量计算结果。二层的空气流通不足, 必须优化开口布局。

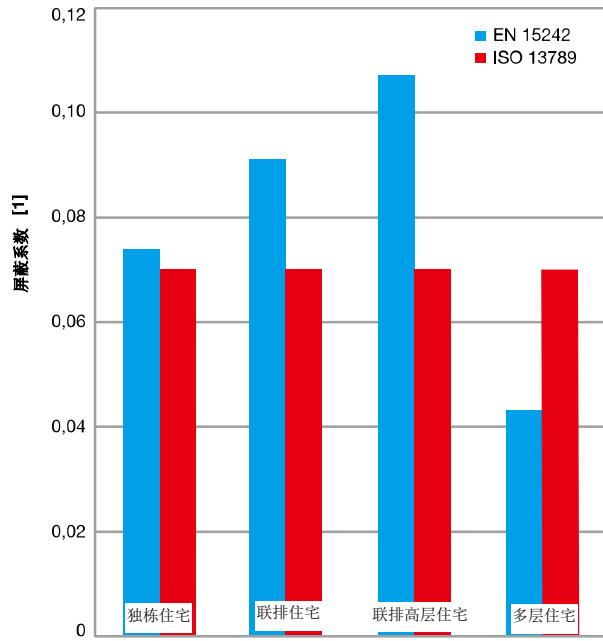


图 4.11: 按照 EN 15242 标准规定的迭代方法计算所得的屏蔽系数与 ISO 13789 标准规定的平均屏蔽数值比较。

图 4.8 中上面的曲线显示了温差为 25 K 时, 渗入空气换气率与风速的相关性; 图 4.9 中上面的曲线则显示了风速为 3 m/s 时, 渗入空气换气率与室外温度的相关性。之所以选择了上述参数, 是因为此时这两种效应各自对所选模型造成的换气率是相等的, 均为 0.18 h⁻¹。

图 4.8 中下面的曲线显示了在没有温差的情况下与风的相关性——即图 4.7 所示。比较两条曲线后可以发现: 风速低时 (此处: 不超过 1 m/s), 风基本没有影响, 热气流决定换气率。

风速高时 (此处: 大于 3.5 m/s), 渗透主要由风决定, 但热气流能使模型建筑的换气率每小时增加约 0.03 次。风速为 3 m/s 时, 换气率为 0.235 h⁻¹。该值比风或热气流单独作用所产生的换气率仅高三分之一。

为了进行对比, 图 4.9 中下面的曲线再现了图 4.3 的结果——

一无风情况下与室外温度的相关性。上面的曲线显示: 室外温度为 20 °C 时, 只有风起作用, 如上所述, 所产生的空气换气率为 0.18 h⁻¹。

随着室外温度降低, 换气率起初仅会逐渐缓慢上升。而当温度低于 -1 °C 时, 热气流才成为决定性的影响因素, 换气率相应增加更为显著。

令人惊讶的情况出现在室外温度高于 20 °C 时: 尽管存在热气流, 但换气率在开始时并没有增加, 反而减少。只有当温度达到 23.5 °C 以上时, 换气率才如同所预期的, 随着室内外的温差而有所提高。23.5 °C 时出现换气率最小值的原因在于屋顶外部由于风产生的负压和内部由热流产生的负压相互抵消了。

这使得模型中建筑围护结构的三分之一面积上没有压差, 所以也没有空气流动。因此, 该最小值只是人为的建模结果, 可以通过将屋顶分成几

个不同高度的子区域加以避免。

4.6 渗入空气换气率的年平均值

要计算建筑物的采暖需求, 采暖期间的平均渗入空气换气率十分重要。在缝隙平均分布的情况下, 实际天气条件下的换气率 n_{inf} 与在气密性检测中确定的 50 帕斯卡时的换气率成正比:

$$n_{inf} = e \cdot n_{50} \quad (19)$$

其中:

- e 屏蔽系数[1]
- n_{50} 50 帕时的换气率[h⁻¹]

对于原理研究, 屏蔽系数 e 比平均换气率 n_{inf} 更有意义。屏蔽系数是可以计算出来的。比如用 EN 15242 标准规定的迭代方法, 针对测试参考年份 (TRY) 每个小时的天气数据, 确定瞬时空气换气率, 再将计算所得的空气换气率按采暖时间求平均值, 除以 50 帕斯卡时的空气换气率, 即可获得屏蔽系数 e 。

Markus Baur 在斯图加特应用技术大学完成学士论文时，在图宾根 ebök 建筑师事务所的指导下，为此类计算开发了一个程序，并对四种模型建筑进行了研究。其研究以测试参考年份 TRY 07（卡塞尔）的数据为依据。针对多户住宅建筑，只研究了一套住宅。该模型基于以下假设：各套住宅之间没有值得考量的空气交换现象。

图 4.11 中标有“EN 15242”的柱形图展示了其研究结果。作为对比，图中也画出了 ISO 13789 标准规定的“中等屏蔽”标准值 0.7。

对于 Markus Baur 所选的单独独栋屋，两者惊人的一致。但是，针对较高的连排房屋和多户住宅建筑中的住宅使用迭代法计算出来的结果和标准值之间却存在着巨大差异。这是因为标准值虽然和建筑与风的角度相关，但没有考虑热气流方面的差异。

4.7 结论和展望

EN 15242 标准描述的迭代方法非常适合用于估算自由通风、例如渗入和渗出情况下的换气率，既可用于专业规划，也可以作为科学研究的基础。这种方法在物理学上正确地描述了风和热气流的相互影响以及两种效应的共同作用。然而风力影响存在较大的不确定性，因为风压系数

是未知的，必须根据文献资料进行测算。建筑围护结构表面上非气密的组成部分必须被归纳为一个个的点。这可能导致在模型中出现一些现实中不会发生的人为现象。

迭代方法可以顾及不同的气候情况，而更广为人知的 ISO 13789 规定的方法以标准屏蔽系数为基础，与之相比，前者优势明显。

该方法可用于以下应用：

- 在规划设计过程中检验夜间自由通风的作用。
- 检查排风系统的功能和外部空气通道的尺寸。
- 研究经由无调节或自动调节的外墙空气通道进行自由通风与天气的相关性。
- 可以以计算方式来描述根据差压法（鼓风机测试）进行的空气渗透率测量，这样可以更好地估算因风和热气流所导致的测量误差等。
- 在能源规划方面，Thomas Kirtschig 在《动态空间模型》项目总结报告中建议将该方法整合到热模拟程序中，若能实现，将颇有助益。如此便可以考察夜间自然通气时室内温度和体积流量的相互关系等。

脚注：

[1]实际上：同一区域内的压力差仅取决于与高度相关的流体静压力。

[2]不同于在符合 EN 13829 标准的气密性测量中常见的那样，根据 EN 15242 标准的规定，某一部件上的压力差以正号表示内部负压。

参考文献

Baur, Markus: 《根据不同标准计算和评估渗入空气换气率》，斯图加特应用技术大学学士学位论文，斯图加特，2010 年。

Christoffer, J., Deutschländer, T., Webs, M: 《德国平均和极端天气条件的测试参考年份 TRY》，德国气象局出版社，奥芬巴赫，2004 年。

《德国平均、极端和未天气条件的测试参考年份手册》，最新更新：奥芬巴赫，2014 年 9 月。
免费下载：<http://www.bbsr-energieeinsparung.de>

Kirtschig, Thomas: 《动态空间模型》。刊载于：Paepcke, Nicolai, Vogelsang, Grunewald: 《“动态空间模型”项目最终报告》，研究报告，德累斯顿，2014 年。

DIN EN 15242: 建筑物通风——测定建筑内空气体积流量及渗入的计算方法；EN 15242:2007 标准德文版，Beuth 出版社，柏林，2007 年 9 月。

DIN EN 16798-7 标准草案：建筑物的能源效率——第 7 部分：模块 M5-1、M 5-5、M 5-6、M 5-8——测定建筑内空气体积流量及渗入的计算方法；rEN 16798-7:2014 德文版，Beuth 出版社，柏林，2015 年 1 月。

DIN EN ISO 13789: 建筑物热工性能——传输及通风的比传热系数——计算方法（ISO 13789:2007）；EN ISO 13789:2007 标准德文版，Beuth 出版社，柏林，2008 年 4 月。



作者

Joachim Zeller
物理学硕士

自由职业工程师和鉴定专家
(Biberach)，专业领域：气密性、通风、保温、低能耗房屋和被动房屋

舒适
经济
可持续



全世界第一栋被动房建造于德国。
更多信息请详见：

www.passivehouse.com (英文官网)
www.phichina.com (中文网站)

专为被动房规划和设计开发的被动房规划设计软件包 (PHPP) 也已有中文版。



上图为在中国实现的第一批被动房中的一个实例。

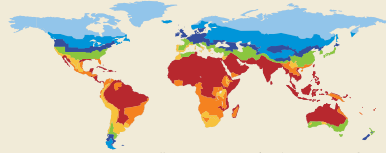
更多通过认证的中国被动房项目, 请查阅被动房数据库:

www.database.passivehouse.com



通过认证的被动房适用组件 - 质量保证!
更多请访问被动房组件数据库:

www.database.passivehouse.com/en/components



《在中国各气候区建被动房》
研究报告 (英文) 已出版发行

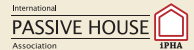


让我们相约于国际被动房大会:

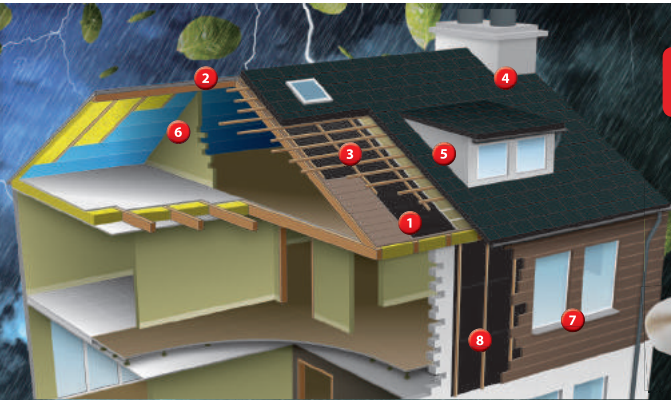
www.passivehouseconference.org

随时掌握关于被动房的实时资讯和信息, 加入我们! - 国际被动房协会:

www.passivehouse-international.org



气密、防风、防雨粘接



我们胶粘剂用于:

- 防水透汽膜粘接
- 防水隔汽膜粘接
- 衬底层粘接密封
- 联结交界处粘接和密封
- 门窗防水雨布粘接



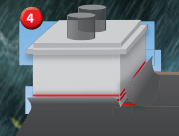
1 衬底搭接部位的粘接和密封



2 打底剂, 用于提高丙烯酸、丁基或是沥青密封胶带的粘接剂



3 用于密封固定挂瓦条或顺水条的处夹锚和钉孔区域



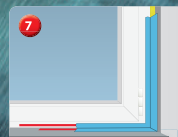
4 烟囱周边衬底的粘接和密封



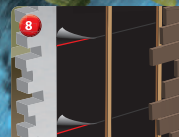
5 天窗连接区域衬底的粘接和密封



6 墙体防水雨布的粘接和密封



7 粘接门窗防水雨布 (一边粘接到窗框, 一边粘接到窗侧壁)



8 粘接幕墙防水雨布重叠和交界处



一个强有力的合作伙伴- 带给你品质与安心
www.cofinertree.com

Beijing Cofinertree Technology Co., Ltd.
Room 301, Tower 3, Zhong Hong International Business Garden,
Futian Business Center, Chao Yang North Road,
Chaoyang District, Beijing, P.R. China



made by weiss
www.weiss-chemie.com

Weiss Chemie + Technik GmbH & Co. KG
Hansastraße 2
33718 Halter
Germany

5 测试实践 Stefanie Rolfsmeier

5.1 大型建筑的空气渗透率测量

检查大型建筑气密性对于空气渗透率测量的规划和实施提出了特殊要求。与可以由一位测量服务商用一台测量设备进行测量的单户独栋屋相反，如学校、游泳池、养老院、行政楼、旅馆和大厅等大型建筑，往往必须使用多台测量鼓风机以及多名人员支持。

建筑物准备和渗透定位工作比小型建筑物要繁琐许多倍。良好的组织工作可以使测量更方便，也可以更好地计算时间人力耗费和费用。本文将介绍大型建筑空气渗透率测量的特点。

5.1.1 基本原则

5.1.1.1 何为大型建筑？

对于多大的建筑才能被称为“大型”，有着不同的见解。

DIN EN 13829 标准描述了测量的流程，其所指大型建筑是体积超过约 4000 m³。

2013/14 版节能条例和 DIN 4108-7 标准对于空气体积或内部容积超过 1500 m³ 以上的建筑还提出了建筑围护结构空气渗透率的要求 q₅₀。因为虽然建筑围护结构可能具有较大的个别缝隙，但是大型建筑很轻易便可以达到较低的换气次数 n₅₀。其原因在于其大体积与小围护面积的比率（体形系数 A/V 小）。

如果在测量时必须采用额外的测量设备，或者测量成本与单户独栋屋的测量有巨大差异，单个测量服务商就会将建筑物称为“大型”。

5.1.1.2 单区建筑

根据 DIN EN 13829 标准《建筑物空气渗透率测定》的规定，可以在所谓的“单区建筑”中进行空气渗透率测量：必须能够用测量装置在整栋建筑物中构建相同的压力。其中包括比如由一个大空间构成的大厅。

而对于具有很多单个空间的办公建筑或行政建筑，也可以打开全部内室门，如同“单区建筑”一样进行处理。对于嵌套交错的大型建筑物，如果各部分建筑之间没有足够大的空气流通途径（楼梯间、走廊、过道等）通向测量装置，可能会导致建筑某个部分形成压力下降。在这种情况下，测量设备应分布于建筑物中，在所有部分中产生相同的压力。

5.1.1.3 测量时间点

为了针对标准（如 DIN 4108-7 标准）或条例（节能条例）验证建筑气密性，在建筑围护结构完工后应进行空气渗透率测量[DIN EN 13829 标准]。这一最终测量有时也会被称为验收测量，应在将建筑物移交给业主之前不久进行。但是合理的是，在更早的建造过程中，安排另一次测量以保证气密层的质量，从而可以对气密层再进行一些修补工作。因此，对于楼层很多的大型建筑，也可以考虑对各个建筑部分或空间进行早期测量，以发现系统性缺

陷并在后续的建造过程中加以避免。

5.1.1.4 天气影响

风力影响与建筑内气温和室外温度之间的差异会造成建筑物内外之间的“自然压差”。建筑物的大小和高度越大，其影响妨碍测量的风险就越高。因此，最佳天气条件是无室内外温差以及无风或微风。

测量日期数日前，可以通过天气预报询问风力和室外温度，评价其影响如下：

温差对自然压差的影响

室外温度较低时，基于热气流，建筑内的热空气上升，通过建筑物上部的渗透处逸出，而在建筑物下部，室外冷空气通过渗漏处溢出。在这些条件下，建筑物上部区域形成超压，即正自然压差，下部区域则形成负压差的低压。

温差越大，建筑越高，自然压差也越大。假设渗透处平均分布在建筑各个高度上，在测量日期之前便可以用下列公式[Zeller]估算出底层高度（测量装置安放地点）的预期自然压差：

$$\Delta p_{Th} = 0,04 \text{ Pa}/(\text{K m}) \cdot h \cdot \Delta T$$

其中

Δp_{Th} 通过热气流形成的内外压差，单位：Pa

h 从无压差区域起的高度，单位：m

ΔT 内外温差，单位：K

例（图 5.1）：一栋 40 m 高的建筑物，底层室内温度 20 °C，室外温度 10 °C，大致可以用以下自然压差计算（前提：渗透处平均分布在建筑高度的各个高度上）：

$$\Delta p_{Th} = 0.04 \text{ Pa}/(\text{K m}) \cdot (20 - 10) \text{ m} = -0.4 \text{ Pa}$$

由此，DIN EN 13829 所要求的、最大允许自然压差大小可能会超过 5 Pa，测量则会无效。合理的做法是推迟测量日程。

风力对于自然压差的影响

在风力影响下，建筑物内迎风面将形成负压，即负自然压差；在背风面会形成正压，即正自然压差。影响大型建筑大面积外墙的风速越快，不同自然压差也就越大；阵风越大，摇摆幅度越大。此处也存在由于自然压差过高使得测量无效的风险。同时，

摇摆对测量准确性具有负面影响。因此，DIN EN 13829 标准建议，仅在风力不超过蒲福风级 3 级的条件下进行测量。如果天气预报预测，测量时间的风力更高或有暴风，改期同样是合理的。

5.1.2 测量规划

大型建筑空气渗透率测量需要认真规划，以便之后能够在所计算的时间和费用范围内顺利开展测量流程。明确是否必须检查整栋建筑或仅是个别区域。关于气密性要求及其参照值的说明构成必要测量设备数量的估算依据。此外，必须和委托方协调测量日程，必要时在测量之前视察建筑，将建筑准备好，预备在较高位置的建筑部分进行渗透处定位的辅助器材，组织人员支持。

5.1.2.1 明确任务

委托方要准备关于测量目的和必须遵守何种气密性要求的说明。这些说明来源于建筑物的规划和能源计算。必须确定是一次最终测量，旨在证明符合某标准或条例的气密性要求（例如节能条例、DIN 4108-7 标准、被动房屋指令等），还是一次建设期间的测量，目的是定位气密层的缝隙并进行修补。

需要和委托人明确所希望的泄漏定位范围。对于 DIN EN 13829 标准规定的检测报告，将较大的泄漏记录下来即可。然而如果要求做一次详细的泄漏定位，或许需要配有照片和热成像图片，可能会意味着巨大的、难以计算的、额外的时间和人力开支。在此类情况下，可以根据实际开支进行结算。

如果必须对建筑物进行繁琐

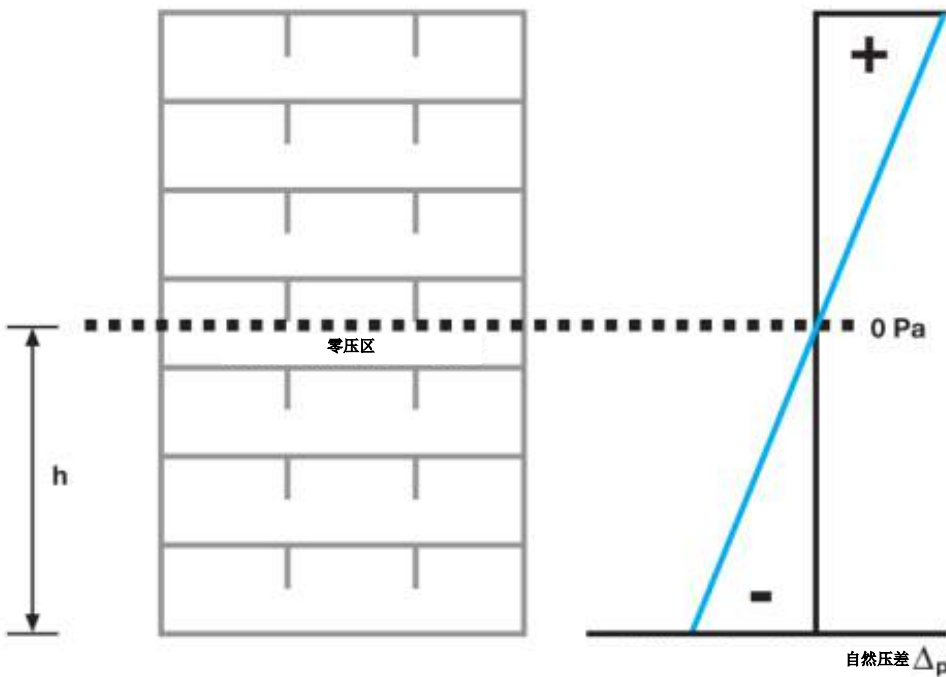


图 5.1：建筑物热气流作用下的自然压差分布（假设：渗透处平均分布在建筑高度上）。

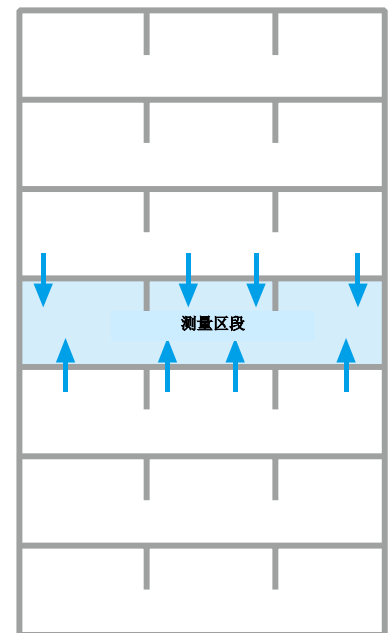


图 5.2：测量区内相邻楼层在测量期间的内部渗透气流。

的测量准备工作（临时密封电梯门、入口、窗户等），比如在建设状态中进行的早期测量，合理的做法是让委托方组织并实施建筑物的准备工作。委托方可以获得用于密封措施的必要材料以及可以在测量一两天之前执行这些措施的手工业者和技师。

测量服务商要对建筑物及其特点有个印象，他需要平面图、剖面图和立面图以及关于内部容积和建筑围护结构面积的数据。

5.1.2.2 检测范围

原则上，测量建筑物或建筑物部分包括全部计划采暖、制冷或者进行机械式通风的空间[DIN EN 13829 标准]。

对于由一个巨大空间构成的仓库或物流厂房，待检测建筑物的范围是固定的。不过如果要检查行政楼、酒店或学校，经常会出现是否可以不检测整栋建筑而是分区段实施测量的问题。乍看起来，后者的好处是较小的区段更加一目了然，测量服务商或许只需要用一台测量设备就可以应付了。对于多层建筑，可以以一层或数层作为一个分区。对于复杂建筑，可以用防火墙围出测量区段。

但这种做法却隐含着巨大风险，与相邻建筑部分区域之间有时会存在隐蔽的内部渗透处，其渗透气流会影响测量结果。因为在正常情况下，对于构成所希望的测量区段的墙壁和楼板，并未计划和安装气密层。防火墙因为并非为了符合“气密性”而设计，也经常含有许多渗透处 [Dorschky 等 2012]。

内部渗透处可以有伸入其他建筑部分的线缆开槽、管道预留孔洞、安装井、电梯井或通风设施管道等。

5.1.2.3 参照值（内部容积，建筑围护结构面积）计算

以可以理解的方式计算出参照值（内部容积、建筑围护结构面积）是检测报告的组成部分。计算可以以图纸为依据。根据建筑物的复杂性，计算的繁琐程度或高（复杂建筑）或低（大空间建筑）。要与委托方协商由谁完成计算工作。无论如何，测量服务商均须对此进行审核。

内部容积 V

计算换气次数 n_{50} 的参照值是测量对象的内部容积 V （图 5.3）。该数值由建成状态下所有空间的内部容积相加得出。楼板和内墙不属于计算的组成部分。

建筑围护结构面积 A_E

计算空气渗透率 q_{50} 的参照值是测量对象的建筑围护结构面积 A_E （图 5.4）。围护结构面积是围成测量对象内部容积的所有外墙、地面和楼板的总面积，包括位于内部的楼板和内墙的面积。

5.1.2.4 计算必要的测量设备

对于单户独栋屋，一台测量设备的输出功率通常已足以进行气密性检查；与之相对，对于大型建筑的测量，测量服务商必须估算出所需测量设备的台数。

建筑物的大小虽然是已知的，但是渗透处的数量是未知的。建筑物气密性越差，就需要越多测量设备，才能构建出

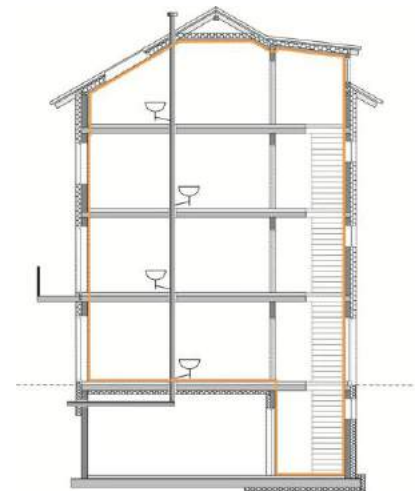


图 5.3：建筑物的内部容积 V 。[来源：德国建筑气密性专业协会]

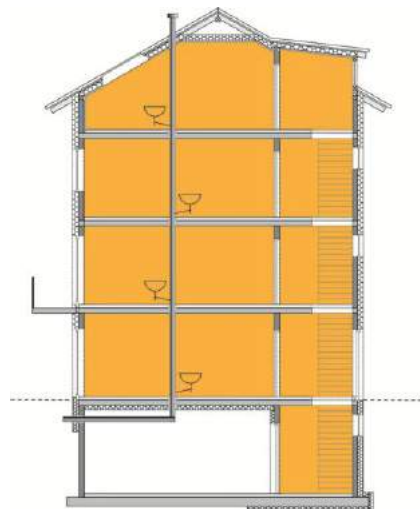


图 5.4：建筑物的建筑围护结构面积 A_E 。[来源：德国建筑气密性专业协会]

DIN EN 13829 标准所要求的压差。

利用对建筑物提出的气密性要求（空气渗透率 q_{50} 或换气次数 n_{50} ）和相关参照值（ q_{50} 值对应建筑围护结构面积， n_{50} 值对应内部容积），可以计算出 50 Pa 时的体积流量，即要验证极限值而至少必须输送的体积流量：

- 验证空气渗透率 q_{50} 的必要体积流量：

$$V_{50, 必要} = A_E \cdot q_{50}$$

或者

- 验证换气次数 n_{50} 的必要体积流量：

$$V_{50, 必要} = V \cdot n_{50}$$

然后利用 50 Pa 时所需的必要体积流量 V_{50} 和测量鼓风机

的最大输出功率，便可以估算出所需要的测量鼓风机的数量：

测量鼓风机数量 =

50 Pa 时的 $V_{50, \text{必要}}$ / 一台测量鼓风机的输出功率

经验表明，通过所要求的建筑围护结构空气渗透率 q_{50} 计算测量鼓风机的数量更加切合实际。图表（图 5.5 和 5.6）显示了大型建筑测量结果 q_{50} 和 n_{50} 数值（负压和正压测量的平均值）。

5.1.2.5 确定测量设备的安装地点

根据建筑图纸，找出适当的测量设备安装地点，应尽量位于建筑物一楼中央。另外必须保证存在足够的从所有建筑部分通往测量设备的空气流通路径，以便在整个测量对象中产生相等的压力。在行政楼、养老院和类似具有许多空间的多层建筑物类型中，往往适合作为安装地点的是主楼梯间（图 5.7）。对于带有附属办公室的仓库库房或者带有更衣室及淋浴室的体育馆，如果测量鼓风机被安装在大厅区域中，测量时的压力波动会较小（图 5.8）。

预定的安装开口（例如外门）必须对于所计划的测量设备足够大。或许有必要在建筑上建造一个合适的开口。另外应协商确定供电电源位于附近并且对于测量鼓风机的数量是足够的。

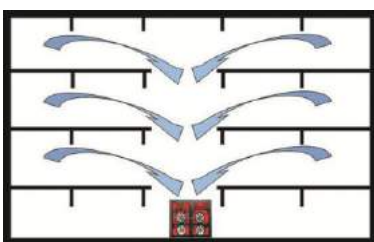


图 5.7: 测量装置在中央的安装位置及空气流通途径图示。[来源: 鼓风机有限公司]

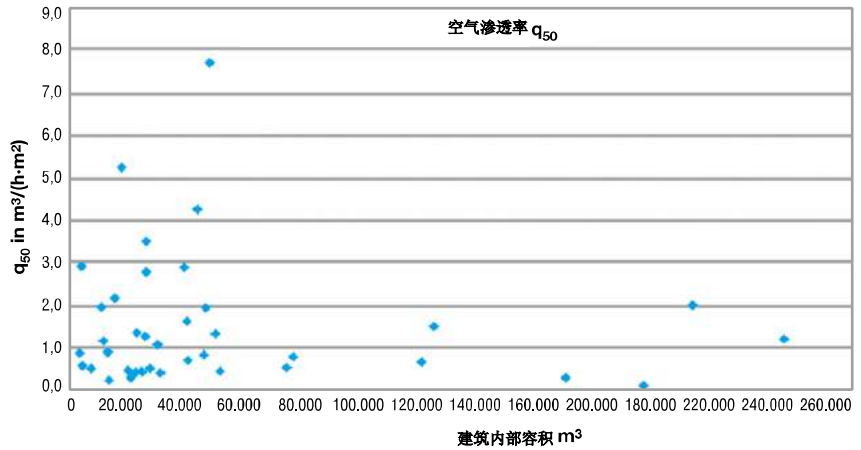


图 5.5: 大型建筑的空气渗透率 q_{50} 。[来源: 鼓风机有限公司]

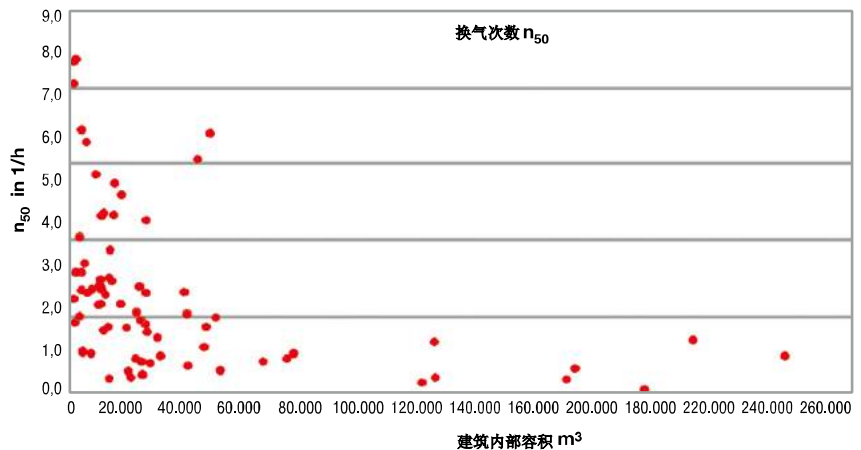


图 5.6: 大型建筑的换气次数 n_{50} 。[来源: 鼓风机有限公司]

5.1.2.6 人力和时间开支

对于大型建筑，测量装置的安装和拆卸、建筑物的准备和渗透处的定位比对于单户独栋屋要显著繁琐得多。这些工作可能是一位测量技师根本无法独自完成的。通过安排人员支持，可以将所面临的任务进行分工，从而减少整个测量用时以及对正常建筑工地运行的妨碍。例如可以有一个测量团队搭建测量设备，同时另一个团队巡视建筑并检查准备工作。对于泄漏定位，已证明合适的做法是让一名员工监视测量

装置，以便在发生问题时迅速做出反应。两名或更多名员工进行泄漏定位。建筑物越大越复杂，就应该安排越多专业人士，以便在一天内完成测量。

5.1.2.7 测量日程与施工过程的协调

只有所有外门和窗户在泄漏定位和记录测量序列结果时均保持关闭，才能进行空气渗透率测量。每一次打开一扇门或窗均会导致压力降，也将会中断测量，直到原因被排除。对于大型复杂建筑物，测量团队很少能够甚或完全无法控制是否有人进出建筑或者打开一扇窗子吸烟等。如果在测量期间发生类似事件，必须调查出是发生在哪个建筑部分。为了避免此类延误，合理的做法是在

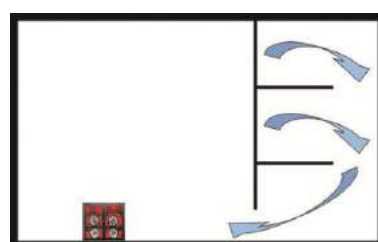


图 5.8: 测量装置在带副翼的厅堂中的安装位置及溢流途径图示。[来源: 鼓风机有限公司]

施工过程中固定安排测量并在此期间中断施工运行。

5.1.3 测量当天的建筑物准备

大型建筑的测量准备工作可能会比单户独栋屋要繁琐许多倍。根据测量委托，按照最终测量程序 A（检测使用状态下的建筑）或程序 B（检测建筑围护结构）或者针对检查气密层的早期测量，做好建筑物准备工作。

为了在测量日程不会出现非必要的延误（因为气密层的工作尚未结束，缺少外门、窗户或临时密封），已证明合适的做法是与施工负责人共同在测量的一定时间（例如 2 周）之前进行建筑巡视，向施工负责人说明测量流程以及对施工运行的限制，因为在测量持续期间，外门必须保持关闭。此外，还要协商下文描述的措施，施工方面应在测量日程前不久（1 或 2 天）采取这些措施，以使得建筑物在测量之日处于一种可以测量的状态。

5.1.3.1 建筑物准备措施

下面将主要介绍耗时较长的建筑物准备措施。

完成气密层的工作

对气密层的施工必须在测量日期前完成。窗户和外门必须安装完毕并且可以关闭及锁住。外墙墙体表面需要完全进行内抹灰（包括吊顶的上方），各个建筑构件之间的密封也必须完成。

关闭所有的外窗和外门并且打开全部内门

如果在一栋多层的办公楼里，光是打开全部内门、关闭所有的外窗和外门（图 5.9）便

可能需要花数个小时，因此，合理的做法是由施工方在测量前一天完成这些措施。根据经验，从室外对窗户进行目视检查并不足够。因为这样可能会忽略掉仅仅被掩住的窗户，而一旦开启测量设备，形成负压，这些窗户可能就会自己打开。

有时或许必须将外门锁住，以避免有人擅自进出建筑物。有些建筑物拥有大量可以自动关闭的内门（例如监狱），那么需要用木楔块确保这些门不会自动关上。



图 5.9：谁检查是否所有窗户全部都已关闭并上锁？

密封大型开口

对于建筑围护结构或测量区段围护结构上的大型开口，如果以后在建筑物的运营中会闭合（例如安装井、线缆开槽、管道留洞，但也包括缺少的外门或窗户），必须加以临时密封或最终闭合。这些工作需要耗费很多时间，因此应在测量日期前完成（图 5.10）。

通过以下公式可以估算出大型泄漏可能会造成何种影响：

$$V_{50} (m^3/h) \approx \text{渗漏面积} (cm^2) \cdot 2$$

开口的泄漏面积乘以系数 2。其结果是 50 Pa 时通过渗透处的体流量的粗略近似值。



图 5.10：在工地视察时在建筑围护结构中发现的敞开的安装井。[来源：鼓风机有限公司]

在 50 Pa 的压差下，通过图 5.10 中 150 cm x 30 cm 大小开口的气流约有：

$$V_{50} (m^3/h) \approx 150 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} \cdot 2 \approx 9000 \text{ m}^3/h$$

如果开口在测量时是敞开的，则测量结果会差 9000 m³/h。单单由于这一开口，测量服务商就需要另外再加一台测量鼓风机。最坏的情况是现场没有这台测量设备，无法产生必要的内外压差，必须中断测量。

通常，快速地用薄膜把一个大开口粘贴起来是不够的。根据经验，粘贴的薄膜会在测量过程中松脱。至少还必须另外用支撑条加固，但是更牢靠的办法是加装板材（图 5.11）。



图 5.11：大型门洞用板材进行临时密封。[来源：鼓风机有限公司]

关闭并密封室内通风技术设施

大型建筑中的室内通风技术设施大多十分复杂，外人，比如说测量服务商，很少能够在适当的时间里找到该设施或其进出口，并对其通常截面积较大的开口进行临时密封（图 5.12）。这经常只能求助于通风设施技术员才能做到。因此，应与施工领导协商，由通风设施技术员在相应位置关闭并密封通风设施，出席测量活动，以防需要查漏补缺。

此外，在分区段测量建筑物时，必须注意，或许会有通风管道经过测量区段伸入其他建筑部分，需要在隔墙或隔板处进行密封。



图 5.12: 室内通风技术设施的繁琐准备工作。[来源: 鼓风机有限公司]

密封敞开的下水口

在拥有许多浴室的建筑物中，比如养老院或医院，对于厕所、淋浴、浴缸和地漏的下水口，应在测量时充水或密封。

5.1.3.2 测量设备的安装地点

检查可以安装测量设备的地方。如果现有的开口不合适（例如因为附近没有电源或者开口尺寸对于测量装置而言过大或过小），可以与施工负责人共同寻找备用方案，

或者商定建造辅助结构来安装设备。

5.1.3.3 渗透处定位的辅助器材

或许会需要梯子、移动脚手架或搬运车，以便检查位于高处的建筑构件，例如屋顶边缘或厅堂的屋顶天窗等。



图 5.13: 用移动脚手架和梯子定位渗透处。

5.1.4 测量流程

建筑空气渗透率测量是依照 DIN EN 13829 标准进行的，该标准规定了测量的流程。简化后的测量流程如下：

- 搭建测量装置
- 准备建筑物
- 检查建筑物内的压力降
- 定位泄漏
- 记录负压和正压时的测量序列结果
- 拆除测量装置
- 分析评估并编写检测报告

5.1.4.1 搭建测量装置

测量装置应安装在建筑物一楼中央（参见 5.1.2.5）。

如果要在一个门洞中安装多台测量鼓风机，必须保证它们不会掉出来，比如利用木质辅助结构或额外的斜撑条固定（图 5.14）。也可以将设备分散在多个门洞里（图 5.15）。

对所有测量设备的集中控制应通过笔记本电脑及相应软件进行。



图 5.14: 在学校的入口大门安装多台测量设备。[来源: 鼓风机有限公司]

正常情况下，会在待检查楼层最低一层的高度上——通常是底层——安放一个室外压力测量点，用于测量建筑物内外压差。对于非常大型并且受到风力影响的建筑物，合理的做法可以是设置四个测量点，即建筑物的每一侧各一个。带有三通管接头的软管应置于靠近外墙处。然后便可以在四个压差平均值的基础上，完成测量序列。这些措施可以降低风力波动的影响。

另外，对于高层建筑，还应在最高层的高度上测量压差。这个数值有助于评判热气流影响。



图 5.15: 在多个门洞中安装测量设备。[来源: 鼓风机有限公司]

5.1.4.2 检查建筑物准备工作

如尚未完成的话（章节 5.1.3），还需要针对最终测量程序 A 或程序 B 或者针对保证气密层质量的测量，完成建筑物准备工作。所有窗

户、外门、大门和室内通风技术设施均需关闭或密封，



图 5.16: 屋顶上竖井的临时密封。[来源: 鼓风机测试有限公司]

内门均要打开，其他开口均根据测量委托采取相应措施。如果这些工作在测量日期一日或两日之前由施工方面已经完成了，以便尽可能顺利地进行空气渗透率测量，测量团队可以只在建筑中进行一趟巡视检查，以检查并记录密封情况。



图 5.17: 安装井的临时密封。[来源: 鼓风机有限公司]

5.1.4.3 检查建筑物内的压力降

在大型嵌套式建筑物中，必须确保测量装置在各个建筑部分中均建立相同压力。根据 DIN EN 13829 标准，建筑内部的压力降，如果不超过最高预定压差的 10%，即是许可的。如果利用测量装置产生了 50 Pa 的内外压差，在最远的建筑部分（例如办公楼的最高层）或被评估为关

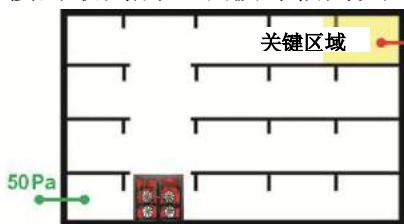


图 5.18: 检查建筑围护结构的压力降。[来源: 鼓风机有限公司]

键的区域（例如有许多明显渗透处的区域），压差不得小于 45 Pa。

检查建筑内部压力降有两条途径：

检查内外压差

测量装置在建筑中产生 50 Pa 的压力。借助另外一台压力测量设备，检查最远的建筑部分或被评估为关键的区域是否形成了最低 45 Pa 的内外压差（图 5.18）。

比如可以从窗扇和窗框之间向外引出一根小毛细管，记录室外压力。

如果由于热气流或风力，存在着天然的内外压差，必须在检查所产生的压力时加以考虑。

检查建筑内部的压力降

在此种情况下，可利用一根长软管测量测量设备和建筑内部“关键区域”之间的压差。如果在鼓风机的安装地点产生了 50 Pa 的建筑内外压差，则该压差不得超过 5 Pa（图 5.19）。

如果在某部分建筑中存在较大的个别泄漏，没有足够大的通往测量装置的溢流途径，那么尤其可能会形成超过 10% 的压力降。为了在相关建筑部分中形成相等的压力，在这一建筑区域中安放一或两台测量鼓风机。

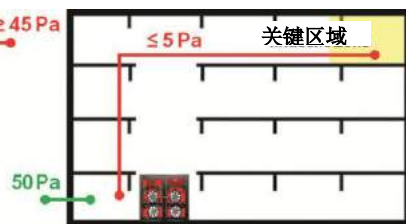


图 5.19: 检查建筑内部的压力降。[来源: 鼓风机有限公司]

5.1.4.4 定位泄漏

单单由于建筑围护结构表面上有大量建筑部分连接缝，加起来长达数百米，在大型建筑中定位渗透处就需要大量时间。通常是在负压 -50 Pa 下进行的。



图 5.20: 厅堂中装卸桥和地面之间敞开的接缝。[来源: 鼓风机有限公司]

有时通过跟踪强气流便可以发现大型泄漏。如果通往各个建筑区域或空间的门都被非常仔细地关上，只有很小的缝隙，也很有利。如果该区域中存在大型的泄漏，明显可以感受到通过缝隙的气流，从而可以进一步定位。此外，在带有吊顶的建筑（销售市场、行政楼等）中，必须考虑到在吊顶上方会有隐蔽的、难以察觉到泄漏。

在厅堂中往往在以下区域存在渗透处：

- 吊顶上方缺乏内抹灰之处
- 属于气密层部分的装卸桥
- 卷帘门
- 屋面檐口连接
- 墙壁和屋顶区域的支撑和屋顶桁架的结合处

- 各类穿透处
- 墙体元件与其他建筑构件（窗户、门、地面连接）之间的连接接缝

行政楼和类似建筑中的典型渗透处有：

- 敞开的安装井
- 上部敞开（排烟口）或下部敞开（地下车库）的电梯井
- 入口处的旋转门
- 电缆束和管道留洞（图 5.21）



图 5.21：穿过一面分隔墙的线缆束。

对于检查位置较高的建筑部分，如果存在内外温差，热成像摄像机十分有用。通过比较负压形成之前和形成期间的记录，可以发现可能的泄漏，接着进行更加详细的检查。

5.1.4.5 记录测量序列结果

根据 DIN EN 13829 标准的规定记录测量序列结果。对于每个测量序列，至少要记录最大和最小压差之间的 5 个测量点以及测量前后的天然压差。借助专门的程序，用测量鼓风机的所有个别体积流量总和算出总体积流量。

原则上，内外最大压差必须至少达到 50 Pa。若是在容积大于 4000 m³ 的建筑中未达到 50 Pa，而现场没有其他测量设备以提高体积流量，那么只要压差至少达到 25 Pa，即允许进行测量。在检测报告中，须明确强调这一与 DIN EN 13829 标准不符之处并说明理由。50 Pa (V50) 时的体积流量是外插到 50 Pa 推算出来的，存在较大不确定性。

建筑物规模越大（尤其是建筑高度），风力和内外温差对测量和测量结果的影响就越大，为了降低这些影响，合理的做法是进行负压或正压测量[Rolfsmeier 等]。另外，如有暴风，增加每个压力等级的测量点数量和测量时间，可以使测量更为准确。

尤其对于存在热气流的非常高的建筑物，在选择负压测量序列的全部测量点时，可以考虑要使整个建筑物中一一而非仅在测量装置的高度上，均产生负压差，同时在正压测量时，均产生正压差。

5.1.4.6 检测报告

除了负压和正压测量序列，符合 DIN EN 13829 标准的检测报告也包含换气次数 n₅₀，如果有要求，则另外还有建筑围护结构的空气渗透率 q₅₀。除了以可理解的方式计算出来的内部容积和净基面面积，也应列明建筑围护结构面积 AE。另外，检测报告还包括大型泄漏的记录，如果未满足 DIN EN 13829 标准的个别要求（例如在记录测量序列时未达到所要求的建筑物压差 50 Pa），则还应包含相关说明。

5.1.5 总结和展望

不仅可以测量小型建筑的气密性，还可以测量大型建筑的气密性。其中，测量大型建筑在组织、时间和人力方面的耗费以及所需测量设备的数量均高于测量单户独栋屋的数倍。为了能够在所预计的时间内顺利开展空气渗透率测量工作，已证明合适的做法是将时间投入到测量规划中，并在测量日期前组织一次建筑现场巡查，借此对委托方阐明测量开支，建筑物越大越复杂，开支越高。由于在测量过程中全部外门和窗户均要保持关闭，而测量时间可能会长达一天，所以在测量期间要中断正常的建筑工地运行。

建筑物准备工作十分繁琐，应在测量日期前不久由施工方面完成。在测量之日，须有专业施工人员在现场，以防出现工作了较大的密封工作。同样还需要一名技术员关闭或密封室内通风技术设施。对于有许多楼层和单个空间的建筑物，必须安排足够的时间检查建筑围护结构的泄漏。为了实施符合 DIN EN 13829 标准的测量，建筑内部的压力降不得大于最高预定压差的 10%。要减少风力和热气流对测量结果造成的单方面影响，应采用负压和正压测量，然后使用 50 Pa 时的渗透气流平均值，以确定参数 n₅₀ 和 q₅₀。

通过在施工中落实细致周详的气密性方案，可以显著降低测量开支，减少测量设备的数量，更好地使建筑准备和泄漏定位工作更有针对性。比如对于气密性必须特别好

的被动房进行空气渗透率测量的经验即表明了这一点。

5.1.6 检查单

以下的列表给出了所需措施，这对于在大型建筑物中进行气密性测量的设计和实施是有帮助的：

气密性测量的必要信息和资料：

- 气密性要求（换气次数 n_{50} /空气渗透率 q_{50} ）
- 参照值（内部容积 V /建筑围护结构面积 AE ）
- 平面图、剖面图和立面图
- 关于建筑物特点的说明，主要有：
 - 建筑各区域之间是否有足够的开口和连接（楼梯间、走廊等），以建立通往测量装置的足够空气流通途径？
 - 是否可以估计到建筑围护结构中会有较大的个别泄漏，例如为数众多的不密封的卷帘门，位于气密层的装卸桥，敞开的竖井和管道及线缆预留洞，或者终端在气密层之外的电梯井？

截止到测量时间点，应完成对建筑围护结构的以下工作：

- 所有窗户和外门均已安装（或许临时密封），可以关闭和上锁。
- 建筑物的气密层在测量时间点已完工（砖混结构

的外墙整个表面均有内抹灰，完成各个建筑部分之间的密封等）。

- 管道、线缆管道、安装井等的穿透处以气密的方式封闭。

如有必要进行临时密封，应在测量服务商和施工负责人之间协商。

施工领导方面应出席的人员：

- 测量期间，应有施工方的一名负责人在建筑工地并可以联系。
- 一名了解并可操作或密封室内通风技术设施的技术员须在现场。
- 现场须有一名或多名专业施工人员，可以修补临时密封。

测量所必要的：

- 安装测量装置的开口/门必须有足够的数量和大小。
- 测量装置可达到的范围内必须存在足够的电源。
- 要定位位于建筑较高部分（例如在厅堂中）的泄漏必须有移动脚手架、搬运车或梯子。
- 建筑物外门和窗户必须在测量过程中保持关闭。可以与参与方约定偶尔打开一会儿。

参考文献

Dorschky S., Rolfsmeier S., Simons P. (2010): 《建筑物气密性——大型建筑的鼓风机测试》。刊载于：《建筑物理年历》，柏林，2010，第 315-338 页。

Dorschky S., Rolfsmeier S., Simons P. (2012): 《气密性的规划、施工和测量》。刊载于：《建筑物理年历》，柏林，2012，第 419-442 页。

Rolfsmeier S., Simons P. (2014): 《高层建筑不同风况下的气密性测试》。刊载于：《建筑物通风和空气渗透测量方法质量》，布鲁塞尔，2014，第 127-134 页。

Zeller J. (2012): 《建筑围护结构的空气渗透率测量》。刊载于：德国建筑气密性专业协会（编），建筑物气密性，第 1 卷，第二更新版，柏林，2012，第 51-68 页。

DIN EN 13829 (2011): 建筑物热工性能——建筑物空气渗透率的测定——压差法（ISO 9972:1996，修正版）；EN 13829:2000 标准德文版，柏林，2001。

DIN 4108-7 (2011): 建筑的保温和节能——第七部分：建筑物的气密性——要求、规划和施工建议及案例，柏林，2011。

节能条例 (2013/14): 关于建筑物节能保温和节能装备技术的条例（节能条例——EnEV）。

作者



Stefanie Rolfsmeier
工程硕士

土木工程师，自 1998 年以来在建筑+能源+环境工程师联合有限公司任职
工作重点：气密性测量，该领域的咨询和讲习班

Air-tightness Tests in energy-efficient Buildings

www.haus-doktor.com

Lüneburg - Germany
 info@haus-doktor.com
 +49 4131 407997
 +49 177 7212967



联系请使用英文!

气密性检测系统
 检测及仪器技术协调
 建筑密封主题培训及车间

建筑密封协会创始人
 该协会及检验委员会成员
 在欧洲及中国已完成超过3000次检测



称心如意的施工保障



检测



测量技术



培训

屋大夫 Dipl.-Ing. Michael Meyer-Olbersleben
 环境技术工学硕士 CEO

Ingenieurbüro Meyer-Olbersleben
 An der Schule 41
 D-21335 Lüneburg
 Germany

Tel.: +49 (0) 41 31 / 40 79 97
 mobil: +49 (0) 177 / 7 21 29 67


www.haus-doktor.com
info@haus-doktor.com

建筑密封 咨询 检测 培训



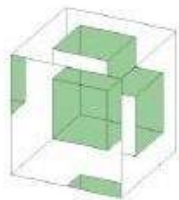
More Than 20 Years of International Experience

- Blower Door Tests ■
- Air Permeability Tests ■
- Thermography ■
- Door Fan Tests ■
- Leakage Detection ■
- Smoke Tests ■

Ingenieurbüro 
consulting engineering firm

Helleböhnweg 48 ■ 34134 Kassel ■ Germany
Phone +49(0)561/32583 ■ info@n50.de ■ www.n50.de

Architekturbüro J. Pier
Im Broich 1
D-50189 Elsdorf
www.pier-scholl.de
Phone: +49 2274 905373



Expert for thermal and sound insulation in buildings

Our services:

- Passive Houses in brick-/stonework and wood frame construction
自建房屋使用房屋砖、石雕和木结构建筑
- Determination of airtightness of buildings as quality feature/mark
确定建筑物的密闭性与外形质量
- Fan pressurization method
- Thermal insulation and energy economy in buildings
- Airtightness and recommendations for planning and performance

We have also released projects in Russia, Mongolia and Malaysia



气密性检测系统 一切变得简便

Wöhler BC 600 **NEW**

全自动智能鼓风气密性测量：
测量范围更广，工作更高效

- 全自动序列式测量遵循最新ISO 9972 / EN 13829 国际标准
- 通过应用程序直观控制操作，包括现场评价、报告生成、客户管理
- 安装省时省力
- 宽流量测量范围：15 m³/h~6000 m³/h，无需额外孔口
- 多设备共用模式：通过应用程序可同时控制四台BC600设备



Made in
Germany

WÖHLER

www.woehler.com.cn

Jürgen Luft

5.4 采用机械通风时对通风系统的要求

5.4.1 (机械) 通风的必要性

对于“以节能建筑方式建造的空间和楼宇”，通风的必要性早已在德国建筑气密性专业协会书籍《建筑物气密性》第一卷中即进行了详细介绍并配有多种不同设计方法（参见该书第5章：气密（住宅）建筑的通风）。原则上，只要能够保证防潮并提供足够有利于健康的室内空气质量，通风的方式是可以自由决定的（亦可参见《劳动场所条例》）。实际上，过去的欧洲标准在极大程度上局限于（依托通风机的）机械通风，尤其局限于中央装备技术。在 EN 13779 标准《非住宅建筑的通风...》的最新修订版（以 EN 16798-3 及-4 标准出版）中，也提到了属于自然通风的所谓“窗户通风”。由于我们这个地区的建筑物出于节能原因而建造得越来越密集，尤其也由于既有建筑的情况，欧洲标准现在也必须从计算上对自由通风（自然通风 natural ventilation）的可能性加以考虑（如同 DIN 1946-6 标准之前已经做到的那样），因为这种通风大多证实是不够的。如今，只要建筑设计的结构适宜（例如空间深度小），并且具有相应的使用特征，即便在非住宅建筑领域中，也确立了分散式解决方案。要结合工程项目来仔细考量不同系统解决方案的优缺点，而在大多数情况下，得以实施的都是久经考验的中央通风系统。其中，这种系统的

任何一个变种都是将一台具有吸入室外空气并排出空气功能的中央设备布置在建筑合适的进回风位置，因而全都必须使用风管，于是在密封性方面，需要多加注意的就不只是对建筑围护结构的穿透了。这个原因足以让我们在此致力于探讨风管这个课题，但同时我们却并非一定要探讨其原本的通风技术功能本身。

5.4.2 节约能源

在欧盟境内，全部能源消耗中约有 40% 属于建筑物，德国也不外如是。因此，根据 EPBD (Energy Performance of Buildings Directive——建筑能效指令)，运行室内通风技术设施的目标也是减少二氧化碳排放量。其中，空气运输所需要的能源占比最大。各种减少所输送空气量的措施可以有助于降低对于所用通风机的功率需求。

实际上，可以利用风管对两个因素施加影响。请观察下列关于通风机功率的方程式：

$$P_{el} = \frac{V \cdot \Delta p_t}{1000 \cdot \eta}$$

= 额定体积流量 + 渗漏量 压力损耗

图 5.29：通风机驱动功率公式

但空气量不仅需要输送，而且还需要根据设备功能进行各种处理（亦即：过滤、加热、冷却，以及或许还有加湿或除湿）。于是，对于空气清洁并非必要的空气量，比如由渗漏引起的空气量增加，会造成更高成本，而且通常在设备的整个使用寿命期间都是如此。不必进行处

理和输送的空气是节能潜力最大之所在。在非住宅建筑中，（不密封的）风道会运行 20 年乃至更长时间，而因为大多不易靠近，所以也无法进行修补。其他部件可以进行更换或修补——风管大多不行。通风机驱动功率的公式也表明了可以利用风管施加影响的因素。原则上，要先计算出所需要的额定体积流量。在此方面存在着不同的方法，这在即将完成的 DIN EN 15251 标准（以 EN 16798-1 及-2 标准出版）修订版中将会更加明确。今后的各种室内通风技术设施将全部或多或少地能够按照需求进行空气体积流量运行——这也正是《建筑节能条例》(EnEV) 中所要求的。

《建筑节能条例》中与之相关的说法是在湿度、热负荷和物质负荷方面按照时间自动进行调节，同时始终必须确保“为了健康目的……所必要的最小通风量”。随着今后所配置的体积流量变得更小，诸如德国工程师协会规范 VDI 6022 第 3 部分等规定的对室内空气质量的监测肯定还将具有更加重要的意义。



图 5.30：组合测量设备，配有数据记录器，可记录 VDI 6022-3 准则评判级别 1 中列举的室内空气质量参数：湿度、温度、二氧化碳。[来源：Wöhler 公司]

正如前文针对通风机驱动功率公式已经说明的那样，还要考虑到所有部件，包括在

风管上均有可能出现的泄漏情况。

通风机公式给人一种线性依赖关系的假象，但实际上，（泄漏）体积流量是以三次方计算，因为在公式解开之后，体积流量在计算压力损耗 Δpt 时已经是二次方计算的了：

$$P_2 = P_1 \times \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} \right)^3$$

高出 15% 的空气量
= 高出 52% 的通风做功
= 高出 52% 的理论能耗

图 5.31：体积流量变化公式。
比如由于泄漏而增加 15% 的体积流量，要求通风机功率提高 52%，从而带来高出 52% 的理论能源费用。

通风机驱动功率公式中的其他因素：

- η ：近年来，通风机/电机单元的效率有了显著提高，估计对于老旧设备将会更换为经过优化的通风机。
- Δpt ：另外，系统的压力损耗是一个关键因素，尤其也是可以通过风管部件施加影响的因素。对于如何通过风管采取建造措施（减少转向，足够空间的横截面等）为节能做出贡献，可以在如规范 VDI 2087 之中找到一些提示。该规范列举了相应的测量基础知识，目前正在进行修订并将作为规范 VDI 3803 第 6.1 部分重新出版。
对于住宅通风，DIN 1946-6 标

准推荐在风道管网中采用某些特定的风速，以避免在输送空气体积流量时产生不必要的能源需求。

5.4.3 风管渗漏

所设计的风管系统如今实际上还可能有多少渗漏，在诸多不同刊物中均有所描述（例如参见：《支路送风》，《开发商简讯》，《cci 报》01/2014；《风道管网密封性要求》，刊载于《IKZ 专业规划师》，2014 年 6 月，含案例）。

之前举例的 15% 泄漏完全并非罕见。但在个别情况下，甚至曾经有过密封性测试的结果相差了三个密封性等级——也就是比计划泄漏高出 900%。

这种现象是由不同原因导致的。此处仅列举其中几个原因：

- 有些情况下，单纯是使用了过时的招标，
- 或者表面上的成本原因，
- 如果生产商依然收到密封性等级 A 级的带棱角风管订单——虽然可以确定 2014 年的数量约为 2012 年的一半，但 2014 年仍然有大约 60% 的订单为密封性等级 A 级！（A 级已经不被允许，对此风管生产商负有一定的阐明义务。）

• 当然，安装设备无法靠近的影响如今比以前更大。

那么对于风管有哪些要求呢？

5.4.4 对于风管密封性的规范化要求

风管的密封性等级已经定义了数十年，起初是在 EUROVENT（欧洲制冷空调、空气处理设备制造商协会标准）和 DIN 24194 标准中，之后被纳入了 DIN EN 13779 标准。密封性等级的定义是每 m^2 风管表面积的漏风量（由于表面积较小，圆形风管原则上渗漏量较小）：

l/s 每 m^2 [升/秒每 m^2]
或者按照标准： m^3/s 每 m^2
所以密封性等级分别相差 3 倍（参见表 5.3）。

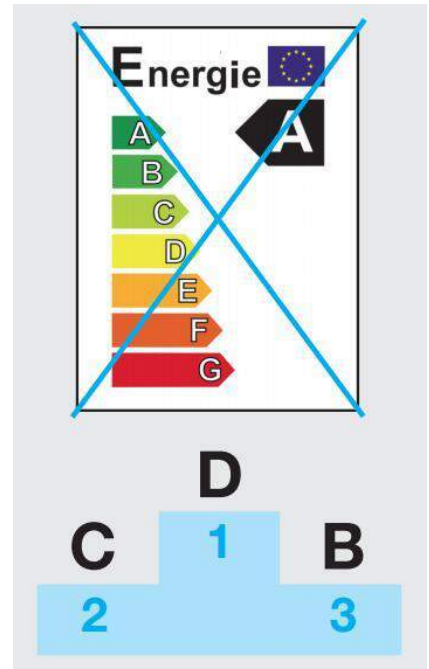


图 5.32：D 是最高的密封性等级。

图 5.3：pt——检测压力，待检风管中的压力和周围空气压力之间的静止压差 (Pa)

DIN EN 13779 标准规定的气密性等级	EUROVENT 2/2 标准规定的气密性等级	DIN 24194 标准第 2 部分规定的气密性等级	漏风率极限值 (f_{max}) $m^3 \times s^{-1} \times m^{-2}$
A	A	II	$0.027 \times p_t^{0.65} \times 10^{-3}$
B	B	III	$0.009 \times p_t^{0.65} \times 10^{-3}$
C	C	IV	$0.003 \times p_t^{0.65} \times 10^{-3}$
D			$0.001 \times p_t^{0.65} \times 10^{-3}$

在此应指出一个混淆问题：数十年前，EUROVENT 的密封性等级就是以可以扩展的方式设计的，为技术改进留出了余地。因此，与如今的能效标识不一致的是，此处的 D 级是（迄今）最好的密封性等级。

5.4.4.1 DIN EN 13779 标准对非住宅建筑的要求

根据 DIN EN 13779 标准（首先适用于非住宅建筑），一方面所实施的风管系统要达到一般性最低要求，即密封性等级 B 级；另一方面描述了根本目标，即将风管系统渗漏保持在室内通风技术设施总体积流量的 2% 以下。

其中，密封性等级仅可作为要实现这个 2% 目标的一一须在安装时进行审核的一一辅助参数去理解。但是在德国，还有《建筑节能条例》也在通风机功率消耗方面做出了间接规定。根据 2014 版《节能条例》附件 2 表 1 “参考建筑的技术要求”，5.2 和 5.3 “室内通风技术一一送排风设备”，可按照需求进行空气体积流量调节的通风机应设计如下：

比功率消耗（SFP——specific fan power 通风机比功率）

- 送风通风机 PSFP = 1.5 kW/(m³/s)
- 排风通风机 PSFP = 1.0 kW/(m³/s)

对于高效微粒空气过滤器（HEPA）、气体过滤器或者热回收等级 H2 或 H1 级等情形，可以加上附加值。

对于许多设备而言，DIN EN 13779 标准中的通风机比功率分级是一种挑战。其中的一个“问题”是，比功率消耗（这种形式是一个设备特性值）是以总空气体积流量计算的，也就是包括了渗漏：

$$P_{SFP} = \frac{\text{风机电力消耗}}{\text{流通空气总量}}$$

表 5.4：风管表（摘自 prEN 15242 标准，有删减，2005 年 4 月版，因为现行版本有错误）。

	损耗/空气体积流量	C 室内渗漏
标准值 = 2.5 · A 级	0.150	1.15
A 级	0.060	1.06
B 级	0.020	1.02
C 级及以上	0.00	1.0

因此，“着眼于未来的”设备均会遵照 DIN EN 13779 标准的建议，执行密封性等级 C 级，或者在要求特别高时，甚至符合密封性等级 D 级。

5.4.4.2 DIN 1946-6 标准对住宅建筑的要求

对于住宅建筑，应参照 DIN 1946-6 标准，引用了同样的 DIN EN 13779 标准定义的密封性等级。此处也适用通风机比功率数值，在生态设计指令的框架下，自 2016 年起住宅通风设备甚至必须配有能效标识。（2007 年 9 月版 DIN EN 13779 标准的通风机比功率数值将在所计划的新版中做出进一步的细化。）

根据 DIN 1946-6 标准，目前却只有密封性等级 A 级被视为风管最低要求。只有提高要求时才必须至少达到密封性等级 B 级。在这方面明显存在着在新版 DIN 1946-6 标准的框架下进行调整以适应 DIN EN 13779 标准建议的迫切需求。

5.4.4.3 泄漏“规划”

对于泄漏率甚至必须进行“规划”，以达到通风机比功率数值。对此，DIN EN 15242 标准《空气体积流量测定计算方法》给出了泄漏因

素（参见表 5.4）。

具体是指：如果所实施风管系统证明具有密封性等级 A 级，则估计会有 6% 的渗漏率。

对于不明密封性等级，应按 15% 的渗漏率估计。因此，DIN EN 13779 标准的最低要求是密封性等级 B 级。然而，实践表明，尤其是非住宅建筑，往往会显著超过这些渗漏量。原因和结果都是多种多样的，一一而后者大多十分昂贵（对此参见之前曾经提过的专业文章，刊载于《IKZ 专业规划师》，2014 年 6 月）。

除了风量调节不当之外，首先是安装影响，但有时建筑构件的缺陷会导致验收时往往无法证明非住宅建筑各个空间达到了所设计的风量。对于住宅建筑，还有下文尚要提及的后果，会让泄漏更明显。

5.4.5 建筑构件标准

对于风管系统，在基础标准 DIN EN 13779 之外还有一些建筑构件标准中定义了密封性等级和强度要求。以下列出了可视为与此相关的现行标准；不包含消防和排烟以及实验室应用等方面的标准。原则上应根据以下这些标准，对风管系统进行招标：

- **DIN EN 1507:2006-07**——建筑物通风——金属板材制成的矩形风管——强度和密封性要求

- **DIN EN 12237:2003-07**——建筑物通风——风管——对金属板材制成的圆形截面风管的强度和密封性要求

- **DIN EN 13180:2002-03**——建筑物通风——风管——对柔性风管的尺寸和机械要求

- **DIN EN 1751:2014-06**——建筑物通风——空气分配系统设备——对节气门和阻隔元件的空气动力学检测

- **DIN EN 15727:2010-10**——建筑物通风——风管和风管构件，根据气密性分类和检测

- **DIN EN 13403:2003-08**——建筑物通风——非金属风管——保温板制成的风管
- 正在进行的标准化项目：“非金属管”（其中包含住宅通风中常用的（半）柔性复合塑料管）



图 5.33: 柔性复合塑料管。[来源: Lindab 有限公司]

筑构件本身，但也在一定程度上包含了连接件。不过，这些厂方/实验室方面或者检测机构方面开展的密封性测试结果大多与在建筑工地对已完成施工的设备进行测试的结果相差甚远。除了系统之外的部件，其原因大多在于各种安装影响，本文在此就不一一列举了。

5.4.6 安装影响

众所周知，在非住宅建筑领域，安装对于带棱角的风管

具有很大影响，因此通常建议在向建筑构件生产商订购



图 5.34: 最高密封性等级 D 级的螺旋风管系统自锁式插接安装。[来源: Lindab 有限公司]

风管组件时，要订购比所实施设备最终应需具备的密封性等级高一级的产品。

原因在于：带棱角的（管道）连接要由施工方进行密封。而圆形风管则大多是由厂方配备唇形密封圈，从一开始就将安装风险降到了最低。

型式检验等甚或是生产商自己的批量产品监控数据虽然是重要的前提条件，但是如果最终是要对已安装状态下的密封性进行评判，那么上述那些的适用性都有限。

早在 DIN 24194 标准中就曾提出，“管道系统的总体允许渗漏量分别有 50%取决于生产制造，50%取决于安装”。如今生产出来的风管明显具有更好的密封性，所以安装影响所占百分比甚至还要更高。实践表明，安装公司如果“一如既往地”进行安装，那么在现场的密封性测试中往往得到与规定不符的结果。因此，生产商数据无法取代

在建筑工地进行的密封性测试。对于非住宅建筑中的室内通风技术设施（其压力和空气量显著更高），密封性测试如今几乎已是例行事务——即便如此，依然时常会取得令人惊诧的结果。

5.4.6.1 失之毫厘，谬以千里建议也要注意风管生产商对于所交付的相关批次货物的说明以及最后所订购的货物。大量发表的数据文章都已证明，为密封性更好的（带棱角的）风管所付出的相对不多的额外花费在两年内就可以得到摊销。对于采用螺旋风管和成型件及厂方提供的唇形密封圈的圆管系统，往往没有这种额外成本。

实践中的常见事例：

安装工绝望地打来电话，因为他发现密封性检测设备无法形成压力。提问：要检测什么？经常需要证明是否达到了密封性等级 B 级或 C 级，而基本上在出现问题的所有案例中，100%都是带棱角的风管（管道）。如果安装工看一眼不干胶标签，而在上面只找到 DK II DIN 24194（= 欧洲标准的 A 级），那么问题很快就得以解答。在这种情况下，如果无法达到密封性等级 B 级或 C 级，安装工作对此是无能为力的。

即使是经验丰富的施工负责人，也无法一眼就看出有些

Typ	7	9	11	14	20
Dim	63-180	200-280	300-500	560-900	1000-1250

图 5.35: 分级唇形密封系统示例。[来源: Lindab 有限公司]



图5.36: “螺孔效应”和LT 600。[来源: Lindab 有限公司]

安装工作完成得是多么不合格——发现时往往就已经太迟了。因此，务必要遵守生产商的安装说明并进行安装指导，尤其要对可能任用的分包企业进行指导。

如果认识到关键点并加以清楚明白地阐释，达到要求其实相当简单。事实表明，一个简单的试验最具说服力，可以让人意识到看似微小的不足之处会造成多大的影响：取一个简单的小部件，用一台测量装置对其施加压力，然后就能旋出一颗自攻螺丝（参见图 5.36）。

当然，这个例子是针对非住宅建筑的应用情况，其位置就在测量设备后面。然而，与所输送的空气量相比，即使是在住宅通风的压力下，这些渗漏也并非无关紧要。了解建筑工地的人都知道，工地上大多都能找到不在少数的这种大小的螺孔或缝隙。

5.4.7 施工方的密封性测试

如今，在非住宅建筑领域中的每一项工程中，进行施工方的密封性测试都是理所当然的，但必须由规划设计师方面写入招标文件。

原则上，DIN EN 12599 标准《室内空气技术设施交付时的检验程序和测量方法》中对密封性测试进行了描述，并且自 2013 年 1 月的版本开

始，也不再将住宅建筑排除在外了。

其中的主要陈述是在设备安装过程中，应在还可以接近相关部位并且存在于必要时进行修补的可能性时，对渗漏气流进行测量。在做出相应安排后，完全可以在 15 分钟内完成一次气密性测试。为此，已安装的风管系统部分必须足够大，其开口必须封闭。通过测量装置将一台鼓风机或风扇与已密封的风管系统相连，产生检测压力——可以是正压或负压。标准建议，检测压力的数值应尽可能处于待检风管段平均运行压力的中间段：对于送风管，可以是正压 200 Pa、400 Pa 或 1000 Pa；对于排风管，可以是负压 200 Pa、400 Pa 或 750 Pa。

至于其他检测流程，尤其是结果评估，可惜目前只能参考 DIN EN 12237 和 DIN EN 1507 标准，这些还需在未来加以修正。

从 DIN EN 12599 标准建议的压力可以看出，显然当时并未太多考虑到住宅通风设施

的测量。实际上，如果在个别情况下，在可控制的居住空间通风领域内存在测量需求，专业人员也确实会提出问题：究竟应该如何进行检测？毋庸置疑，如果 DIN EN 12599 标准想要符合也可以被运用于住宅的要求，就需要进行修订。

在此方面，法国的 FDE 51-767 标准提供了一种相当实用的解决办法。根据建筑物类型，建议如下：

- 对于单户或双户独栋屋，以 ± 80 Pa 进行检测；
- 对于多层住宅，以 ± 160 Pa 进行检测。

其特殊之处在于：如果仅仅检测没有分流箱的一段风管支线，则应将测量值增加 30%，然后再划分其密封性等级。这一项措施可以促使大家测量尽可能完整的系统。这种做法是否也能在全欧洲范围内得到认可，还有待观察。



图5.37: 建筑工地上的密封性测试。[来源: Lindab 有限公司]

5.4.8 不仅是建筑围护结构必须是密封的

在此应指出密封性要求可能会带来与 DIN EN 13829 标准规定的空气渗透率测试相关的问题，或者也会在未满足要求时导致出现建筑物理的问题。

为了吸入室外空气和排出空气，风管有必要穿透建筑围护结构。在对建筑围护结构上的风管穿透处进行密封时，必须谨慎细致，对此不必再多加赘述。只是还要指出一点：在较大的居住单元中，也有可能由于在安装层/安装井中铺设（不仅是）风管而使得建筑/居住单元之间存在空气流通的可能性。

5.4.8.1 利用空调作为空气输送装置进行建筑物的空气渗透率测试

DIN EN 13829 标准描述的利用空调设备作为空气输送装置进行空气渗透率测量，实际上似乎只对非住宅建筑有用。鉴于被动房屋标准及零能源建筑方式现在也已在非住宅建筑领域得到了一定程度的实现，这个问题可能会被越来越多地向室内通风技术装备制造制造商提出来。DIN EN 13829 标准本身便将此类测量形容为经常难以实施，故而确定实际进入待检建筑区域部分的空气量或许会十分不可靠。另外，渗漏不仅来自风管，而那些来自风管之外的渗漏量往往相当高，也是使得该方法并无实际应用的一个额外原因。

5.4.8.2 利用在门或窗处安装鼓风机的装置进行空气渗透率测试同样要指出，根据 DIN EN 13829 采用一个装置在门或窗处安装鼓风机进行的空气渗透率测试要常用得多，风管



图 5.38: 未封闭的螺丝或铆钉孔。[来源: Lindab 有限公司]

系统密封性不足通常会对此种测试造成负面影响。

下面以单户独栋屋为例对此加以说明：

假设净容积为 400 m³，根据达姆施塔特被动房屋研究所的标准，应将 n₅₀ 的值 0.6 [h⁻¹]，即 240 m³/h 作为建筑围护结构渗漏的极限值。

相应通风设施的风管表面积总共为约 25 m²（送排风）。

根据密封性等级公式，对于该风管系统可计算出 50 Pa（！）时允许的渗漏量，结果如下（参见表 5.5）。

根据 DIN 1946-6 标准，其最低要求所允许的密封性等级是 A 级。如使用这一等级的风管，在最不利的情况下一一也就是所有管道均铺设在待检建筑区域部分，仅关闭了室内侧的出风口，允许的

建筑漏风量中可能会有约 13% 是通过风管渗透处形成的。相同的设施如果安装在 250m³ 的房屋中，其比例甚至达到 20%。

表格中还列举了其他气密性等级，清楚表明通过选用合适的风管并以符合专业要求的方式安装（以及进行适宜的密封性测试），完全可以将这一影响因素降至最低。

5.4.8.3 非采暖区域的（排出）空气溢出

由专业人员提出的大量询问可知，住宅建筑，尤其是在阁楼区域，可能会在较冷的屋顶下部结构处形成冷凝水，其后果是发霉。这可以归因于从施工不当的插头连接处所溢出的排出空气。如果采用的是密封性等级 B 级及以上的风管系统，那么要对此负责的首先是安装错误。风管的问题较小，而问题较大的是连接处，有时还有管道

表 5.5: 参见单户独栋屋示例: 50 Pa 时风管系统密封性等级的确定。

密封性等级	最大允许漏风量	与 n ₅₀ 渗漏量的比
A	31 m ³ /h	12.9%
B	10 m ³ /h	4.3%
C	3 m ³ /h	1.4%
D	1 m ³ /h	0.5%

箱/分流箱等处，会有温暖湿润的空气溢出。

5.4.9 冷凝水渗出

同样众所周知的是，在住宅建筑中，如果排气管在较长距离上水平穿过无采暖的附属空间、阁楼或地下室，就可能会有冷凝水渗出。可以确定，根据室内通风技术方面的标准，“气密”不代表防水。首先必须提供足够的隔离，以避免冷凝作用。如有疑虑，可以铺设出坡度并设置冷凝水排出口。另外，一个常犯的错误是屋顶罩下方的阁楼区域缺少冷凝水收集装置，常常导致设备“被淹”。

5.4.10 总结

密封性足够好的风管系统和许多事物一样，正处于发展过程中——包括安装方面。密封性不足的原因不能再完全归于生产商，因为他们中的大部分都完成了自己的任务，供应比较高的密封性等级 C 级和 D 级的风管组件。密封性等级 B 级应该成为所有室内通风技术设施的最低标准。但在可预见的未来，甚至 B 级也将不足以满足通风机比功率数值较低的要求。只有培训安装人员并在安装时进行同期测量（如 DIN EN 12599 标准等所建议的，应尽量不要仅限于非住宅建筑领域）可以有助于及时识别并消除缺陷。从中得到的经验可以在后续工程中从一开始便避免一些简单的错误。

正如针对建筑围护结构质量的空气渗透率测试，对风管进行密封性测量，有助于建立符合计划状态的室内通风技术设施，并在预定使用寿

命期间以节能方式运行该设施。

参考文献

渗漏检测仪 LT 600 操作说明书：Lindab 公司，由 Wöhler 生产。

《cci 报开发商简讯》：《支路送风——通风系统和热回收系统中的渗漏》，《cci 报》01/2014。

DIN EN 12599:2013-01：建筑物通风——室内空气技术设施交付时的检验程序和测量方法，Beuth 出版社，柏林，2013 年 1 月；EN 12599:2012 标准德文版。

DIN EN 13779:2007-09：非住宅建筑通风——通风及空调设备和房间冷却系统的一般基础和要求，Beuth 出版社，柏林，2007 年 9 月；EN 13779:2007 标准德文版。

DIN EN 13829:2001-02：建筑物热工性能——建筑物空气渗透率的测定——差压法，Beuth 出版社，柏林，2001 年 2 月（ISO 9972:1996，修正版）；EN 13829:2000 标准德文版。

DIN EN 15242:2007-09：建筑物通风——测定建筑内空气体积流量及渗入的计算方法，Beuth 出版社，柏林，2007 年 9 月；EN 15242:2007 标准德文版。

DIN EN 15251:2012-12：建筑能效解释评估用室内环境输入参数——室内空气质量、温度、照明和声学，Beuth 出版社，柏林，2012 年 12 月；EN 15251:2007 标准德文版。

DIN 1946-6:2009-05：室内通风技术——第六部分：住宅通风——一般要求，测量、实施和标识、交付/接管（验收）和维护要求，Beuth 出版社，柏林，2009 年 5 月。

DIN 24194:1984-02：撤销——通风技术设施用管道构件：金属薄板管道及金属薄板管道成型件密封性检测，Beuth 出版社，柏林，2002 年 2 月。

FD E 51-767:2013-06：建筑物通风——风道气密性测量（Ventilation des bâtiments - Mesures d'étanchéité à l'air des réseaux）。

德国建筑气密性专业协会（编）：《建筑物气密性》，第 1 卷，第二更新版，柏林，2012 年 10 月。

Luft, Jürgen：《风管网络的密封性要求》。刊载于：IKZ 专业规划师，2014 年 6 月（<http://www.ikz.de/uploads/media/020-025.pdf>）。

工作场所条例（Arbeitsstättenverordnung - ArbStättV），2004 年 8 月 12 日版（联邦法律公报，第一部分，第 44 号第 2179 页）。

作者



Jürgen Luft
应用科技大学工程硕士

生于 1958 年，1983 年起从事空调/通风行业，曾任不同风管系统和隔音及防震产品组件生产商的技术经理及销售经理

就风管系统的节能、密封和卫生发表了大量文章

目前任多个德国工业标准（DIN）工作组和德国工程师协会（VDI）准则委员会成员

单层屋面系统专家 美国卡莱建材

卡莱是一家在美国纽约上市的多元化、全球性的制造业公司，提供高品质和高附加值的产品。卡莱一直致力于通过结合分散化，创业精神，积极并购的独特管理风格和资本部署的平衡方式，来实现可观的股东收益，这些都是卡莱操作系统中体现出来的持续改进的文化。2016年，卡莱的全球员工团队创下了37亿美元的净销售额。

CARLISLE
CONSTRUCTION MATERIALS



关注美国卡莱建材

项目：北京CCTV
产品：卡莱 EPDM/CCW 525

美国卡莱建材产品

- TPO 热塑性聚烯烃
- EPDM 三元乙丙
- 绿色种植屋面系统
- 聚氨酯防水涂料
- 保温产品
- 相关及配件

国内知名案例

- 中国CCTV
- 哈尔滨机场
- 上海迪士尼乐园
- 常州英田新能源汽车
- 百威啤酒厂
- 华晨宝马工厂
- 上海联邦物流
- IKEA 宜家，无锡

联系我们

美国卡莱建材亚太办公室

上海市浦东新区向城路288号
307-308室

0086-021-61005222

www.carlisle-china.com