

建筑防潮

[西德] 卡尔·塞弗特 著 周景德 杨善勤 译

中国建筑工业出版社

建 筑 防 潮

[西德] 卡尔·塞弗特 著

周景德 杨善勤 译

21028

本书主要讨论潮湿对一般民用建筑、高湿厂房和冷库建筑所造成的危害及预防措施。全书分为四部分。第一篇阐述建筑中水蒸汽扩散的基本原理和计算方法；第二篇分析建筑物墙体和屋顶受潮的原因、危害和防潮措施；第三篇通过建筑实例，介绍各类高湿车间（如纺织厂、造纸厂、啤酒厂等）、冷库、游泳馆、住宅、办公楼、会堂及仓库等的屋顶和墙体防潮设计的经验和教训；第四篇概要介绍建筑保温经济学及确定墙体保温层经济厚度的计算方法。全书共列举建筑实例80个。书末附有主要建筑材料和保温材料的水蒸汽扩散阻系数。本书可供建筑设计、施工、建筑热工、暖通空调科技人员及大专院校有关专业师生参考。

Karl Seiffert
DAMP DIFFUSION AND BUILDINGS
Elsevier Publishing Company Limited 1970

* * *

建筑防潮
周景德 杨善勤 译

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京市顺义县印刷厂印刷

*

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 7¹/₄ 字数: 195 千字

1982年6月第一版 1982年6月第一次印刷

印数: 1—13,600册 定价: 0.94元

统一书号: 15040·4207

译者说明

本书作者是西德格林兹华希和哈脱门公司采暖与制冷工程科学部及建筑物理方面的负责人，多年来从事建筑保温与防潮问题的试验研究、现场调查和设计工作，在总结经验的基础上写成本书。德文第一版于1968年出版。很快被译成英文，于1970年出版。1974年作者对原书增补了若干试验数据，又出了德文第二版。本书在欧美一些国家受到重视，看来是有一定原因的。在五十年代至六十年代，这些国家因战后发展经济的需要，开始大量兴建冷库、肉类加工、纺织、造纸、酿酒、牛奶加工等高湿车间，房屋建筑上也开始广泛采用新材料、新结构，但建筑保温与防潮方面的知识，并未在设计人员中得到普及。建筑设计中经常出现种种错误，导致保温失效、结构损坏，造成经济损失。在这种情况下，掌握这方面的知识，就成为提高设计质量、改善建筑功能、取得较好的技术经济效果的重要环节。联系到我国目前正在大力发展轻纺工业，推行工业化建筑体系，关于建筑保温与防潮方面的知识，特别是国外在这方面的经验和教训，对我们可能起到参考和借鉴作用，因此决定将本书译出。

我们初次见到的是本书1970年英文版，书名为《湿扩散与建筑——建筑设计中湿扩散危害的预防》，考虑到国内的习惯，将书名译为《建筑防潮》。本书译毕后，才见到德文第二版。新版内容基本未变，只是增加了138个试验数据和两个表格，现将它们分别纳入本书的第11章（表6b～表12b）和附录。

原书常以大段文字描述建筑构造，为便于读者理解，译者用

示意图的形式加了一些注释。原书中出现的个别错误，译者已予以改正。

本书前言至第19章由周景德翻译，第20章至附录由杨善勤翻译。因专业知识和外文水平所限，翻译不当和错误之处，请读者批评指正。

译 者

1980年7月

德文第二版序言

本书第一版六年后已销售一空，据我看来简直太快了。

新版本基本上没有什么新增内容，只作少量补充。主要是在表6b~表12b中收进了138个测量数据，并在附录中增添了温度从 $+30^{\circ}\text{C}$ ~ $+90^{\circ}\text{C}$ 的水蒸汽压力值表。

虽然作者意识到1967年在专业技术界所规定的技术词汇已经固定下来，但最近在规范里却有一部分已使用了其他术语。对此，书中均以重要地位加以指明。这些新的术语首先是和德国工业标准52615——“建筑材料与保温材料蒸汽渗透性能的测定”相一致，这一标准是由德国工业标准材料试验专门委员会B7专业组制订的，作者多年来曾是该委员会的积极成员并和它保持通讯联系。

众所周知，如果某种方法、操作过程、材料或实验要成为标准，首先要能够实行并逐年在推广中使其统一。然后再经检验，在文字上尽可能寻求确切的表达方式。当然，作者未能完满地做到这点，不过，就目前情况来看，可能是受人欢迎的，因为实际工作者对一些迄今所流行的难懂的技术词汇已成为习惯，他们反而难于理解新的术语。

此外，本书读者绝大部分并非建筑物理工作者，仅在偶然和急需的情况下才会接触到水蒸汽扩散问题。

随着时间的推移，规范内一些老的技术词汇不可避免地需要修改，以符合国际上的统一要求。根据经验，新的术语要在实践中应用确是十分缓慢的。比如，五十五年前就由Oscar Knoblauch规定采用的导热系数“ λ ”，其后若干年也仍有称作导热性能或导热能力的，并且不再用千卡/米·时·度计量而用千瓦/米·

度量。可是只有纯粹的科学研究单位愿意采纳，其他部门无论在理论上还是在实际工作中采用此值仍然要彼此协商一致，因而使用新的概念和术语也应如此。

根据上述有力的理由，我断然确定，不改变书中的技术词汇，而只在本序言中列出将来采用的技术词汇和部分已经采用的术语，以资比较，相互对比如下：

将来使用的术语	现在使用的术语
1. (水蒸汽) 扩散流密度 g	水蒸汽通过量 (一小时内通过一平方米的水蒸汽量)
2. (水蒸汽) 扩散渗透系数	
$\Delta = \frac{g}{P_1 - P_2}$	$\frac{1}{s \cdot \mu \cdot N} \text{ (没有特殊术语)}$
2a. 扩散渗透阻 $\frac{1}{\Delta}$	蒸汽传导阻 $s \cdot \mu \cdot N = \rho$
3. 扩散传导系数 $\delta = \frac{g}{P_1 - P_2} \cdot s$	$\frac{1}{\mu \cdot N} \text{ (没有特殊术语)}$
4. 扩散系数 D	扩散数 D
5. 扩散阻数 μ	扩散阻系数 μ
6. 当量扩散空气层厚度 $S_D = \mu \cdot s$	扩散阻 $\mu \cdot s$
7. 扩散阻 $z = \frac{S_D}{D} = \frac{\mu \cdot s}{D}$	$\frac{\mu \cdot s}{D} \text{ (没有特殊术语)}$

还算侥幸，新术语扩散阻 $z = \frac{\mu \cdot s}{D}$ 中的 $\mu \cdot s$ 仍然可用，这个计量在将来则应改称为“当量扩散空气层厚度”。而我则简便易懂地称之为“等效空气层厚度”。

此外，我们至今从未使用过其他综合量 2、3、7，今后也决不需要。

然而，值得注意的是规范却根本没有提及重要而方便的一个量 $N = \frac{R_D \cdot T}{D}$ ，但在实际计算中已经把这些不方便量 R_D 、 T 、及 D 综合在一起了（ D 值仅用来修正地理位置高度的）。我们照旧使用 μ （扩散阻系数或扩散阻数）， $\mu \cdot s$ （扩散阻或等效空气层厚度）， $\rho = s \cdot \mu \cdot N$ （蒸汽传导阻或扩散渗透阻）而不用 P 和 g 。必须注意到 2a、5、6 不过是 3 的双重术语。采用美国蓝本的一种

新的测量方法要比改变术语更使人担心，技术词汇的改变与问题本身并无关系，但新的测量方法所用的湿度只有50%左右，而J.S.Cammerer和P.Görling氏“老的”严格方法所用的湿度达91%，水蒸汽压力降也只有此值的一半左右。

理论上应该没有什么问题，但是事实上，用美国方法测得的 μ 值显著增大。主要是油毡和其他很密实的薄膜（箔）类材料，对于这些可以比较的材料用新法获得的测量值必须以2~2.5去除才能得出“老的”严格值。例如，某种油毡的新值 $\mu=50000$ ，而“老的”严格值 $\mu=20000$ 。但不应放弃此值，因为新的油毡的厚度测不正确，是仍按以前的厚度计算的。不过作者对此有所怀疑，我过去的同事也指出过，对比试验表明美国方法得到的结果“比较好”，即得到较高的 μ 值，因而也受到大家欢迎。但是，除了上面所提到的隔汽层材料外，目前德国研究所采用的 μ 值，只有个别数据高于老的“经典”值。

如上所述，如果不加分析地使用新值，比如，在进行屋顶隔汽层计算时采用有利的新值，也可能是危险的。

研究所通常采用的“干燥区域法”现在已经并且将来也可能会按德国工业标准52615进行测量，据此法控制的条件下，外侧的相对湿度只有47~53%，内侧的相对湿度仅0~3%。但实际上产生的相对湿度则可达80~90%。

例如，一侧的温度为+20°C，相对湿度为85%；另一侧的温度为-10°C，相对湿度为80%；分压差 $229-21=208$ 毫米水柱。按Cammerer-Görling法，分压力差 $222.3-4.8=217.5$ 毫米水柱。可见，新的测量方法比较接近实际情况。

但是，作者首先引用的是严格的测量值，因为扩散计算中采用的严格测量值经过实际检验得出了正确和好的结果。这样，最近作出了把理论知识应用于实践的决定。

这项试验工作还需要持续许多年，研究所已进行过上百次重复测定工作，这项工作先由J.S.Cammerer进行，从1957年开始则由作者做了服务性的测试。这里值得注意的是Cammerer和

作者的对比试验结果非常吻合。允许列入本书表格中的测量值还有一个优点是：持续不断地测量某种材料，这种材料或者来自商业市场，或者来自建筑工地，也可能是正在生产的产品。并不选用质量特别高的或者专门制造的材料。本书第一版第10章曾提到泡沫聚苯乙烯的测定值 $\mu = 100$ ，但实际的平均值 $\mu = 47$ 。

经过长达20年的时间，说明理论与实际是符合的，也是正确的。采用美国的测量方法并不会受到什么影响。

如果采用二种方法对相同的试件进行系统的试验，那当然多半会得到所希望的数值。

但不管怎样，作者在书内所列的测量值都看作是固定不变的，并确信其在理论上是正确的，实际工作中是实用的。

卡尔·塞弗特

英文版序言

定量地确定通过墙体、顶棚与屋顶的湿汽运动过程，直到九年后的一九五六年才出现了第一个广为流传的有效计算方法。在某种意义上说，和我早先的著作《热绝缘工程》相类似，无论在理论方面还是在实际知识方面，看来都已经到了可以澄清矛盾并为实践提供建议的时候了。事实上，目前所作的一些解释反而引起了各种技术问题。现代建筑构造的发展过程往往忽视物理规律，因而使得许多建筑物受到损害，特别是因湿汽所造成的损害。这引起了一些出版物突然充塞市场，其中甚至还包括书籍。很遗憾，这类书籍往往不是依据正确的物理假设，从而造成了比以错误概念所作的解释更大的混乱。

本人在格林兹华希和哈脱门公司度过了四十年，后二十三年作为采暖和制冷工程科学部与建筑物理负责人，有机会接触到许多有趣的实际例子，所遇到的损坏事故是相当严重的，而任何其他途径都很难发现这么多的损坏事故。

如同早先的报告与论文一样，我在这里的目的是确立基本关系，以利数学和物理知识不多的读者能被理解。如果耐心与留意的话，我在这里还试图用工作中的实例，并应用书中所给出的提示，阐明工程师可能需要经常进行的计算问题。

最后，我将发表几十年来从观察和经验中所获得的失败的例子及其补救办法。

希望本书有助于进一步避免建筑物理方面的错误，以及减少不必要的造价、能量消耗和忧虑。

卡尔·塞弗特
一九七〇年

前 言

建筑物墙体、屋顶和顶棚的水蒸汽迁移过程，就其性质而言是早已知道的。但是关于这点，只被少数人所正确理解。所以直到本世纪初，汉堡冷库的隔汽层仍是设置在软木绝缘层和外侧砖墙体之间的3~5毫米厚的粘性涂料。当作者于1928年进入采暖与制冷工业界时，发现为了寻求所谓节约措施，甚至不设隔汽层。冷库的通常做法是：以贫水泥砂浆把膨胀软木板贴在砖墙或混凝土屋面板上，并以同样的材料在内表面上打底。这种做法在作者所著《热绝缘工程》上曾予介绍，就目前的知识来看，这样的做法是满足要求的，只要冷库温度保持在 0°C 左右且冷库冷侧内表面不加以人工的密封。随着卫生要求的提高，内表面铺砖装修的要求也增长了。这样，可能会发现面砖下的砂浆中积聚水分并深入保温层若干厘米。但就标准保温材料——膨胀软木吸水量小这一事实来看，那是可以放心的。有时却发现含水量过高，这是令人费解的。在德国，只有少数人懂得设计这类建筑的墙体问题，甚至还知道墙内的水分是如何干燥的，但是大多数技术人员根本不懂得这点。

直到1956年，虽然“普遍方程式”(Community equation)已经解出，但是还没有实用的水蒸汽迁移和凝结的定量计算方法。J.S.Cammerer, O.Krischer, K.Egner, H.Reiher, P.Görling, W.Caemmerer, W.Dürhammer, K.Seiffert等人合作进行了这项工作。直到这时，作者才抱有这样的设想：把这些基本原理应用于实践中可能遇到的各种建筑构造上，并建立可靠的、不太复杂的计算方法。H.Glaser另外所作的理论研究是这方面有价值的贡献，这项研究工作到1959年达到顶点，提出了

描述水蒸汽阻力相对值的 P - ρ 图。但是不应忘记，远在 1956~1959 年前，最重要的基本理论已经发展起来，彼此独立地、平行地从建造冷库和绝缘工程中获得了实际经验。自从 1938 年以来，在这项工作中特别应该指出的有 O. Krischer 及其同事们 (Kröll, Schauss, Essdorn, Mahler, Buch 和其他工作人员)。

同年，R. Schirmer 也发表了有关扩散系数的一些基本著作。

当然，1855 年 A. Fick (关于扩散问题) 及 1871、1874 年 J. Stefan 题为“气体扩散的运动和平衡以及蒸发试验”的文章是这个问题的最早著作。还应指出：1910 年 M. Knudsen 发表了描述热分子运动及其他现象的文章。1956 年以来出现的许多文章，大部分是关于建筑构造和建筑物受到损坏的问题。在此并不打算把所有的人都一一列举出来，但必须指出 W. Schaupp, H. Schäcke, A. W. Rick, L. Sautter, F. Eichler 等人的姓名。当然，这个时期作者发表的文章也已收进本书。

最近，F. Haferland 对理论原则作了精辟的概括，特别是有关 Glaser 发展起来的理论。为了节省篇幅起见，作者不得不缩减这方面内容的详尽讨论，而编入为了完全理解这一问题所必需的材料。此外，书末还列出综合性的图书参考文献。

目 录

译者说明

德文第二版序言

英文版序言

前言

第一篇 基本原理..... 1

第1章 大气中的水蒸汽与日常生活的关系..... 1

第2章 水蒸汽、雾的凝结现象, 表面凝结和潮湿..... 2

第3章 建筑设计中的水蒸汽..... 4

第4章 形成表面凝结的基本原理及预防措施..... 6

第5章 通过墙体的水蒸汽扩散及其定量计算方法..... 8

第6章 水蒸汽运动的基本方程式..... 10

第7章 墙体计算实例..... 18

第8章 屋顶计算实例..... 24

第9章 关于水蒸汽扩散计算的进一步分析..... 29

第10章 扩散阻系数的测定..... 31

第11章 1960~1969年期间试验所得的扩散阻
系数表..... 41

第二篇 实际应用..... 54

第12章 建筑物墙体受潮的可能性..... 54

第13章 实践中遇到的扩散阻值梗概..... 84

第14章 受潮引起危害的可能性..... 86

第15章 预制构件和工业化装配式建筑中出现
的问题..... 87

第16章 冷库墙体的水蒸汽扩散过程..... 93

第17章	屋顶的一般问题	107
第18章	单层屋顶受潮的可能性	109
第19章	双层屋顶受潮的可能性	115
第20章	屋顶和墙体的通风	120
第21章	单层屋顶中的排汽层	121
第22章	冷库屋顶和墙体中的潮湿问题	124
第23章	建筑潮湿与气候变化	129
第24章	特潮工艺房间设计中出现的错误和潮湿问题	131
第三篇	墙体、地板和屋顶潮湿问题的经验与实例	140
第25章	纺织厂与造纸厂	140
第26章	啤酒厂	150
第27章	牛奶厂与屠宰场	160
第28章	空调或制冷房间	170
第29章	游泳馆	174
第30章	湿度正常的居住、办公、会堂及仓库建筑	181
第四篇	建筑保温经济学概述	195
第31章	由烧煤或烧油锅炉供热的一般热水集中采暖建筑的充分保温	195
第32章	煤气或电采暖房间或空调房间的经济保温	202
附录		206
参考文献		214

第一篇 基 本 原 理

第 1 章 大气中的水蒸汽与

日常生活的关系

在自然界，空气中以水蒸汽形式存在的水分始终包围着我们，虽然为数极微。很遗憾，我们并不具备任何敏感的器官能觉察其数量的变化。只有当空气温度超过 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ 时，空气中存在大量水蒸汽所形成的气候状况，才会使我们感到“闷热”。

需要清除冰箱蒸发器上凝结的冰霜，这就清楚地表明空气中存在着水蒸汽，这是被绝大多数家庭主妇所了解的现象。几乎都是因为每次开冰箱门而引入了空气中的水蒸汽，从而很快就发生结霜现象。如果离家渡假三星期，并且在此期间不打开冰箱的门，那就不必担心蒸发器会结霜。

第二个重要事实是：空气中的水蒸汽含量①随温度而变化。 0°C 时1立方米空气所含的水蒸汽只有4.84克， 20°C 时达17.3克，约为前者的四倍，而在 100°C 时达到最大含量597.7克。这意味着绝对含水量是个固定值，而相对湿度则随温度的升高而迅速下降，所以凉空气或冷空气几乎呈饱和状态，而暖空气则十分干燥。但是感兴趣的不是这种情况。观测的统计结果表明：相对湿度几乎保持不变，绝对湿度是变化的。

气象记录表明：在一般情况下，即使夏季温度高达 35°C ，冬季温度低达 -20°C ，室外空气的相对湿度也在 $75\sim 80\%$ 之间。应当指出：这种规律往往并不适用于温度很高的夏季和温度很低的

① 此处的水蒸汽含量是指饱和含量。——编者注

冬季，至少对于中欧地区是这样。对于这二种情况，相对湿度值要低于平均值。

这种关系的作用大致如下：夏季，住户以开窗的办法使室内空气和室外新鲜空气充分混合，室内空气的相对湿度大致能保持在平均水准，即70%的最佳状况或稍稍高一些。空气循环较差时有可能低于55%或60%。从健康观点着眼，相对湿度不宜过高，但若可能也不应低于40%。

在冬季是难于保持上述范围的，因为如果打开窗户引入冷空气，则热空气上升而成了干燥剂，却不象通常认为的那样，开窗能使室内空气湿润。作者曾有机会多次测定了公寓内的相对湿度，发现一般都在35%范围以内。如果室外温度在5°C以上，当气候潮湿时，利用通风的办法几乎不可能使室内空气湿润。除非室外雾气很浓时才有可能，在浓雾气候，相对湿度实际上已达到100%。所以，必须采用蒸发的办法或使用喷雾器来提高空气的相对湿度，即便使用这种方法，最多也只能增加5%左右。

第2章 水蒸汽、雾的凝结现象， 表面凝结和潮湿

通常假定，水蒸汽与液态水具有相同的性能，虽然物理性质有差异。只要水蒸汽以气态的形式存在于空气中就不会招致麻烦，只有当其凝结或析出时才会引起不愉快的作用。呈气态时，其特性与干燥气体相似，不可能使其他物质受潮或浸湿，在这种条件下，可认为与一般蒸汽工艺中的过热蒸汽相类似。

雾可认为是水蒸汽凝结的第一种形态，它表明了饱和极限状况，即相对湿度已达100%。空气中的含水量到达这种程度时就会影响日常生活，比如迷雾能阻碍交通。但由表1可见，这时空气中水蒸汽的绝对含量是很低的，例如：

30°C时每1立方米空气只含30.35克

20°C时每1立方米空气只含17.3克

10°C时每1立方米空气只含9.4克

为了排除洗衣店、染房以及类似场所的雾气，需要加热空气使含水量低于饱和极限或者把雾抽出代之以干燥空气。在建筑中要达到这点所支出的费用应控制在现实可能的范围内，但在户外

空气的最大含水量 f (克/米³) 与温度 t (°C) 的关系 表 1

t	f	t	f	t	f	t	f
-20	0.90	10	9.4	40	51.15	70	198.1
-19	0.99	11	10.0	41	53.8	71	206.3
-18	1.08	12	10.65	42	56.7	72	214.8
-17	1.18	13	11.35	43	59.6	73	223.6
-16	1.29	14	12.1	44	62.5	74	232.6
-15	1.405	15	12.85	45	65.4	75	241.8
-14	1.53	16	13.65	46	68.5	76	251.5
-13	1.67	17	14.5	47	71.8	77	261.5
-12	1.82	18	15.4	48	75.3	78	271.8
-11	1.98	19	16.3	49	79.0	79	282.4
-10	2.15	20	17.3	50	83.0	80	293.3
-9	2.34	21	18.35	51	87.0	81	304.4
-8	2.55	22	19.4	52	91.0	82	315.8
-7	2.77	23	20.55	53	95.2	83	327.9
-6	3.005	24	21.8	54	99.6	84	340.4
-5	3.26	25	23.05	55	104.3	85	353.4
-4	3.53	26	24.35	56	109.3	86	366.8
-3	3.82	27	25.75	57	114.4	87	380.5
-2	4.14	28	27.2	58	119.6	88	394.5
-1	4.475	29	28.7	59	124.9	89	408.8
0	4.84	30	30.35	60	130.2	90	423.5
1	5.205	31	32.05	61	135.9	91	438.8
2	5.59	32	33.85	62	141.9	92	454.6
3	5.985	33	35.7	63	148.1	93	470.8
4	6.395	34	37.65	64	154.5	94	487.4
5	6.825	35	39.6	65	161.1	95	504.5
6	7.28	36	41.7	66	167.9	96	522.1
7	7.76	37	43.9	67	175.0	97	540.2
8	8.27	38	46.2	68	182.4	98	558.8
9	8.82	39	48.6	69	190.1	99	578.0
						100	597.7

本表取自作者所著《热绝缘工程》^[35]。