

# 室内空气品质，热舒适和光照

## ——欧洲八国住宅建筑法规一览

发布：欧洲建筑性能研究院（BPIE）

作者：Sara Kunkel（项目协调），Eleni Kontonasiou, Aleksandra Arcipowska, Francesco Mariottini, Bogdan Atanasiu

BPIE 校对和编辑团队：Oliver Rapf, Ralf Lottes, Marine Faber, Cosmina Marian, Maria Dumitru

图片设计：Mazout.nu

欧洲建筑性能研究院（BPIE）是欧洲一个非盈利性智库，致力于独立信息分析和传播，支持以实际数据为依据的建筑性能法规的制定。它定期公布政策分析、政策建议和实施。更多信息请访问：[www.bpie.eu](http://www.bpie.eu)。

### 1 综述

空气品质，无论是室内还是室外，都是欧洲主要环境健康问题之一。基于此，加之数据表明，人们在室内环境（家庭、办公室、学校等）中停留的时间占整个生命阶段的 60% ~ 90%，室内空气品质对于人类健康起着重要的作用，特别是婴儿、儿童和老人等弱势群体。根据世界卫生组织（WHO）的数据，2012 年，欧洲 99 000 个死亡案例和非欧洲、高收入国家 19 000 个死亡案例均与室内空气污染有关。

室内空气品质（IAQ）通常指建筑内的空气品质，它与人们的健康、舒适感和工作效率密切相关。为定义 IAQ，需要考虑空气流通率以及霉菌和化学品浓度等参数。室内空气污染物来自建筑物内部，也可以来自外部。例如，当打扫卫生或燃烧燃料进行烹饪和供暖时，释放了大量污染物。当然，家具和建筑材料，以及潮湿、缺乏或不正确的通风、被污染的室外空气等也是造成室内空气品质差的原因。

热舒适被解释为“对热环境满意的自我感觉”。它与空气温度和湿度等环境因素以及个体因素（服装保温程度和代谢热量）等密切相关。热舒适对于人类的健康和幸福感非常重要，当室内人员感觉太热，可能会导致疲倦的感觉；而觉得太冷，他们就会不安和心烦意乱。

充足的光照也是良好的室内环境不可或缺的一部分。很多研究都强调了光照的益处，以下总结了其中的内容：

- 1) 减少了用能和 CO<sub>2</sub> 排放，因此它具有经济的和生态的意义；
- 2) 在生理上，光照有效地刺激了人类的视觉和昼夜系统；
- 3) 幸福感，令室内人员履行两个非常基本的人类要求：可以专注地工作和很好地感知空间，以及感受到一些环境刺激。

基于上述的考虑，很显然，室内空气品质、合适的热舒适度和充足的光照在人们生活中扮演着重要的角色。建筑在设计过程中应确保满足这些条件。

减缓气候变化和减少能源进口的依赖是建筑在设计 and 运行过程中面临的又一挑战，这需要大幅降低能耗和减少与建筑有关的排放。欧洲建筑行业的能耗占比超过三分之一，与人类活动有关的 CO<sub>2</sub> 排放占比数据也基本相同。建筑行业政策也逐步更多涉及提高能效和减少 CO<sub>2</sub> 排放的内容。因此，建筑的保温和密闭性越来越好，以防止不受控制的空气流动造成热量损失。建筑密闭性的提高也降低了霉菌和污染的室外空气等对室内环境造成的负面影响。为确保建筑良好的室内环境和空气流通，需要一个通风控制系统，包括自然的和机械的通风方案。因此，对于能效标准，需要注意建筑中所有室内舒适参数。换句话说，在满足现有建筑能效要求的过程中，应规定最低要求，以确保室内人员享受一个好的室内空气品质。

建筑能效指令（EPBD）明确指出，最低能效要求“应考虑室内整体环境条件，以避免不充足的通风等而产生的负面影响。”由此，这就需要完善的计划和适合的建筑标准来正确地解

决这些问题。针对超低能耗建筑的最佳实践项目和自愿性标准已经证明建筑可以高效和可持续，同时有助于提升 IAQ、光照和热舒适性。但是，今天的建筑标准如何解决这些问题、最佳实践方法是什么以及法规何处需要改进？

EPBD 要求欧盟成员国 (MS) 最大限度提升他们的法规和政策框架以确保满足最低能效要求和达到近零能耗建筑的目标。另外，EPBD 指出，当考虑最低能效要求时，应考虑室内环境条件。但是，欧盟法规并没有明确要求如何达到。因此，重要的是，对国家法规中室内环境要求应具备正确的理解，以便将它们与欧洲技术标准相比较，并为未来的修订建立证据。

确保室内空气品质和室内环境其他方面与能效处于同等重要的层面，

这将共同推动能效创新和舒适度提升。

此次报告涉及的国家如图 1 所示。

## 2 主要发现

### 2.1 新建住宅建筑

此次调查的所有国家中，室内空气质量被认为是建筑标准中一个重要的方面。确保良好室内空气质量对于居民的幸福感和建筑和其结构的安全以及健康所带来的益处各国建筑法规中以不同形式体现。

在所有调查的成员國中，建筑法规中都包含了通风的内容。丹麦、法国、瑞典和布鲁塞尔首都大区 (BE) 规定了明确的最低标准要求，而德国、意大利、波兰和英国仅出台了最低通风率的推荐值。对于最低通风率

的指标，每个国家都不一样，同时，欧盟不同标准中的数值也不同 (如 EN13779 和 EN15251)。具体如表 1 (\*\*\*) 规定，\*\* 推荐，\* 欧盟标准)。

大多数使用的单位是 L/s 和  $m^3/h$ ，空气交换率同时以假设的人员数量为基准 (如波兰： $20 m^3/(h \cdot 人)$ )，或房屋的类型 (如英国：厨房  $13 \sim 60 L/s$ ，厕所  $6 L/s$ )，或室内面积 (如  $0.35 L/(s \cdot m^2)$ )。尽管使用同样的单位并不重要，但需要在欧盟范围内进行统一以便简洁而正确地进行成员国之间的比较，有利于将相关知识和实践在各个国家进行分享和推广。强制机械通风一般是两类建筑：多家庭住宅 (丹麦) 和高层建筑 (波兰)。而对于其他类型建筑，比利时的布鲁塞尔首都大区和德国出台了机械通风推荐标准，在意大利，特别是炎热地区，推荐自然通风。

值得注意的是，丹麦法规特别要求通风系统应易于维护，甚至由居住人员进行操作。这可能是一个好的范例，因为通风系统需要定期维护以确保其整个生命周期的运行安全。通风系统的维护应该是系统的、便捷的和价格低廉的过程。最后同样重要的是，多数被调查的国家需要进一步完善他们的计算工具来更好地解决多样和需求控制的通风系统，使用综合的计算方法来确保满足通风要求。

当安装新的机械通风系统时，瑞典、波兰和意大利等国家出台了针对热回收系统的最低能效要求。欧盟各国对于气密性的要求大相径庭。此报告中的 6 个国家已经出台了精确的要求。与通风类似，气密性要求的指标在欧盟各国也是不同的 (如  $m^3/h$ ，



图 1 欧洲八国地图

(欧洲八国指瑞典、丹麦、布鲁塞尔地区、英国 (主要是英格兰和威尔士地区)、德国、波兰、法国、意大利)

表1 住宅通风标准 (来源: 各国反馈)

国家和标准	建筑整体通风率	客厅	卧室	厨房	浴室+厕所	厕所
布鲁塞尔*** (NBN D50-001)	3.6 m <sup>3</sup> / (h·m <sup>2</sup> ) 室内面积	最低 75 m <sup>3</sup> /h, 最高 150 m <sup>3</sup> /h	最低 25 m <sup>3</sup> /h, 最高 72 m <sup>3</sup> /h	开放式厨房, 最低 75 m <sup>3</sup> /h (排风)	最低 50 m <sup>3</sup> /h, 最高 75 m <sup>3</sup> /h	最低 25 m <sup>3</sup> /h
丹麦*** (BR10)	最低 0.3 L / (s·m <sup>2</sup> ) (送风)	最低 0.3 L / (s·m <sup>2</sup> ) (送风)		20 L/s (排风)	15 L/s (排风)	10 L/s (排风)
法国*** (Arrete 24.03.82)	10 ~ 135 m <sup>3</sup> /h (根 据不同的房间数量 和通风系统)			持续: 20 ~ 45 m <sup>3</sup> /h		最低 15 m <sup>3</sup> /h
德国** (DIN1946-6)	15 ~ 285 m <sup>3</sup> /h			45 m <sup>3</sup> /h (正常排风流量)	45 m <sup>3</sup> /h (正常排风流量)	25 m <sup>3</sup> /h (正常排 风流量)
意大利** (法令 192/2005, UNI EN 15251)	自然通风: 0.3 ~ 0.6 vol/h	在 0.04 人 / m <sup>2</sup> 条件下, 0.011 m <sup>3</sup> / (s·人),			4 vol/h	
波兰** (Art 149 (1) -Journal of Laws 2002 No. 75, item 690, as amended and PN-B-03430:1983/ Az3: 2000)	20 m <sup>3</sup> / (h·人)	20 ~ 30 m <sup>3</sup> / (h·人) (公共建筑), 对于公寓, 则为所有房间数值之和		30 ~ 70 m <sup>3</sup> /h (无窗户)	50 m <sup>3</sup> /h	30 m <sup>3</sup> /h
瑞典*** (BFS2014: 13-BBR21)	送风: 最低 0.35 L / (s·m <sup>2</sup> ) 室内面积					
英国** (Approved Document F)	13 ~ 29 L/s (根据卧室数量)			13 ~ 60 L/s (排风)	8 ~ 15 L/s (排风)	6 L/s (排风)
EN 15251*	0.35 ~ 0.49 L / (s·m <sup>2</sup> )	0.6 ~ 1.4 L / (s·m <sup>2</sup> )		14 ~ 28 L/s	10 ~ 20 L/s	7 ~ 14 L/s

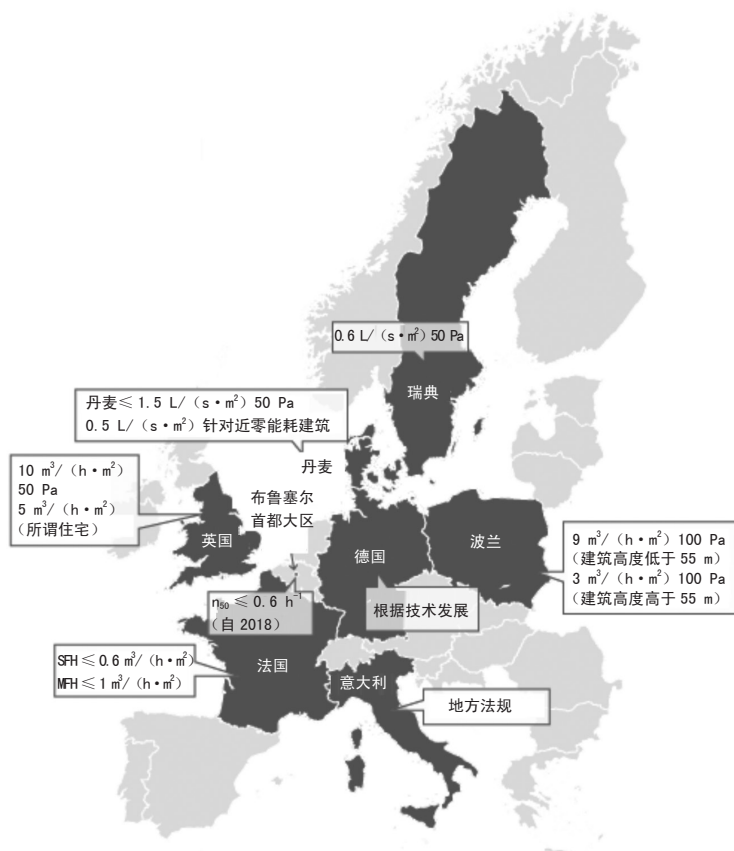


图2 欧洲气密性规定 (来源: BPIE)

L / (s · m<sup>2</sup>))。对于气密性随机测试, 丹麦和法国有严格规定, 而报告中的其他国家则是自愿的, 通常是在申请财政补贴或高级别能效认证的情况下才需要进行。热回收和气密性法规的推出主要是基于能效的原因, 应通过不同的通风要求来完善, 以确保良好的室内居住环境。具体见图 2, 3。

对于已经全部入住的建筑 CO<sub>2</sub> 浓度来说, 居住者是其主要污染源, 欧洲标准 EN15251 中描述了其与室外浓度的关系。法国出台了住宅建筑限制 CO<sub>2</sub> 水平的规定, 而英国只是推荐标准。丹麦等国还出台了有关氮氧化物的限制标准。欧洲有关建筑材料法规在各成员国的实施和各国其他一些标准解决了对人体健康有害的化学挥发的问题。

与低温或通风有关的热舒适性通常通过建筑能效提升的一些措施来达

- 对于住宅没有强制性要求
  - 热回收对于某些住宅是强制性的
  - 如果安装机械通风, 热回收是强制性的
- % = 系统效率

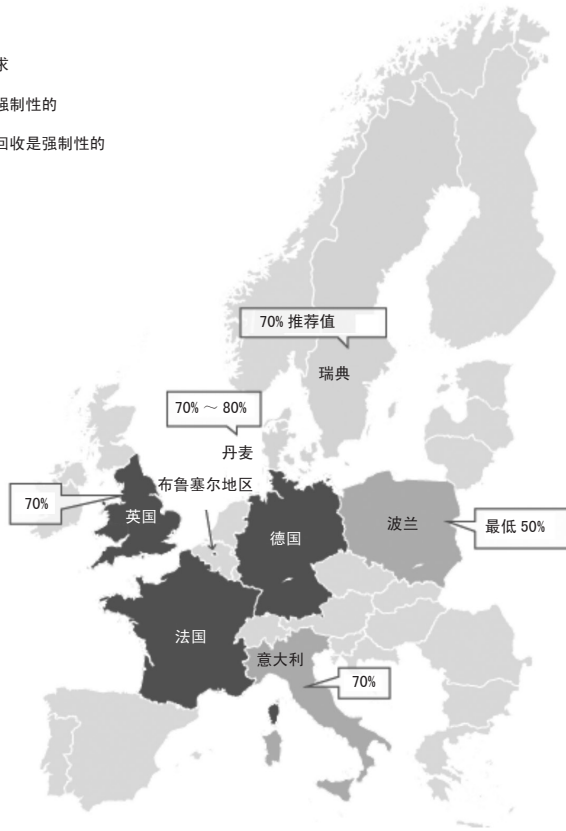


图3 欧洲热回收 (HR) 规定 (来源: BPIE)

成。如今, 5 000 万 ~ 1.25 亿欧洲人经受着冬季的严寒 (bipe.eu/fuel\_poverty.html)。当然, 也应解决不断增加的温度过高的风险。热舒适性应得到建筑法规的认可, 应使用简便和高效的措施, 鼓励如遮阳板、阳光玻璃防护和通风散热的使用。在本报告涉及的国家中, 一些国家出台了与建筑外部材料热传导有关的法规, 但只有少数国家提出了热舒适性的叠加益处。

在报告调查的国家中, 室内空气温度是热舒适的一个指标, 分别提出了夏季和冬季相应的最高和最低的规定值和推荐值。如法国和英国等少数国家, 也利用运行温度评估热舒适性。报告涉及的 8 个国家中, 法国、德国、波兰、瑞典和英国等 5 个国家规定了冬季住宅的最低温度。只有意大利规定了夏季的最低温度限制 (空调最高

温度) 和冬季的最高限制 (供暖最高温度), 如图 4 所示。

比利时布鲁塞尔首都大区、丹麦、法国、德国和英国等 5 个国家设有强制性或推荐的过热限制, 过热指标有温度和时间限制的不同。布鲁塞尔首都大区和英国的数值较高, 分别是 > 25°C 为 5%/a 和 > 28°C 为 1%/a, 其余国家均为推荐值。在南部地区, 通常采用被动系统避免过热发生, 最低要求限制主要涉及遮阳板, 而通风

散热、自然通风和夜间通风等其他因素极少考虑。在瑞典, 建筑标准明确要求考虑一些被动的解决方案, 在布鲁塞尔首都大区, 对于新建建筑, 推荐被动系统的比例达到 50%。

相对空气流速最高限值在欧洲各国也是不同的, 夏季范围 0.15 ~ 0.40 m/s, 冬季范围 0.15 ~ 0.25 m/s。设定空气速率的最大值是为避免产生气流的感觉而引起不舒适, 瑞典对此有严格要求, 而丹麦、意大利、波兰、英国和布鲁塞尔则是推荐值。

利用光照是建筑达到一个良好室内环境的重要因素, 它对人体健康产生重要影响。另外, 在建筑中最大限度地利用光照可以减少电灯的使用, 同时也可以节能。对于建筑中使用光照的认识, 欧洲 8 国都在他们的建筑标准中有基本说明。欧盟成员国中对于光照的规定或推荐值主要是针对单位室内面积的最低窗户 / 玻璃面积的占比, 这表示了最低光照水平或简单规定了建筑中的光照需求以及看到窗外的景观。作为一个好的范例, 丹麦建筑标准是唯一规定了冬季光照最低值的, 而瑞典法规推荐了针对固定安装灯具的光照管理使用。另外, 自 2012 年, 通过设定生物气候学指标 (Bbio), 法国将光照作为建筑标准的

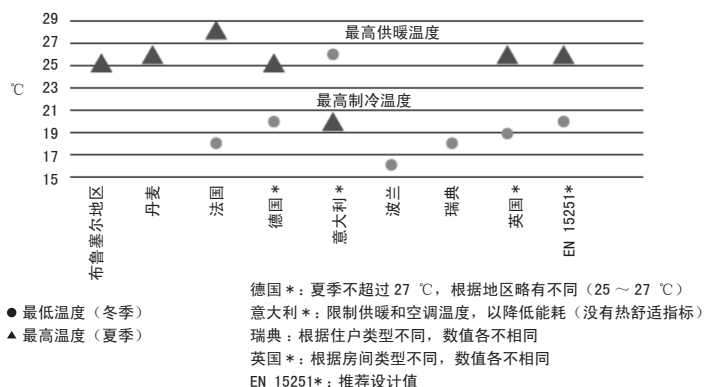


图4 欧洲各国对温度的要求 (来源: BPIE)

一部分 (RT2012)。只有布鲁塞尔首都大区、丹麦和德国等少数国家建筑标准强调看到室外景观的重要性,将其作为视觉舒适性的一部分。

所谓合规流程,在新建建筑设计和施工过程中,主要集中在结构性分析和能效方面,如 $U$ 值、供暖设备的正确安装、气密性和EPCs等。授权控制机构很少去检测是否符合室内空气品质或热舒适性标准,即便需要这样做,主要还是在设计阶段,而不是现场性能检测。

## 2.2 既有住宅建筑

对于既有建筑,很难在建筑标准中看到与室内空气品质相关的规定,如最低通风率、气密性或污染物限制。大多数建筑标准中只有IAQ方面的推荐值。能效的提升往往没有对建筑物理性或室内空气品质影响的强制性考虑。基于对正确IAQ要求的缺乏,以及热舒适和能效,这需要将内容进一步完善作为优先。在报告涉及的8个国家中,瑞典建筑标准是目前唯一一个提出了既有建筑能效和良好室内空气品质之间可能存在冲突,并明确规定在冲突的情况下优先考虑后者。总的来说,提高建筑气密性的改造措施并没有要求进行强制性的通风需求评估。由此,在这种情况下,导致换气率低于要求值。这是建筑标准中的严重失误,应通过将改造措施立法来进行解决。这样有可能在未来欧盟相关法规修订中进行考虑,如EPBD。

当采取重要改造时,参与报告调查的8个国家最普遍的规定都涉及建筑材料的热传导率( $U$ 值),正如EPBD所要求的。在这些国家中,只有法国和意大利2个南部国家在既有

建筑改造中提出了遮阳板的要求。

丹麦和英国建筑法规中提出了能源平衡要求,它包含评估窗户能效的光照问题。考虑到光照以及窗户的热损失,从而形成了一个更完善的能效性能评估。

提高热舒适性通常被认为是推动业主和住户共同投资改造的主要动力。但是,提高能效而产生的热舒适性并没有得到国家层面和(或)欧洲层面法规的认同。

提出在既有建筑中利用光照要求面临更多的挑战,原因在于提高光照可能受到结构和美观的限制。

丹麦法规规定在更换窗户时,冬季应达到最小光照值。在进行建筑改造时,所调查的建筑标准中并没有规定任何最低光照的要求,只有英国出台了有关光照权利的法规。该法规规定,邻近建筑的改造不能降低既有建筑的光照。

在新建建筑的情况下,合规检查仅涉及结构性分析和能效方面,并没有室内空气品质或热舒适性验证过程。

在完善建筑和建筑材料的性能要求时,室内空气品质和其他热舒适性方面的内容应作为重点考虑。如今,报告中的8个国家都没有对室内空气品质和热舒适性出台明确和严格的规定。强调热舒适性的要求可以建立安全的室内居住和工作条件。

## 3 建议

根据报告的发现,我们提出了一些建议:

1) 在欧洲建筑标准中,应大幅增加室内健康和舒适性的内容。当进行新近零能建筑(nZEBs)建设或改

造时,应包括营造一个健康而愉悦的室内环境的要求。目前,EPBD已经涉及了室内环境的内容,未来修订时,应提升室内空气品质、热舒适性和光照的重要性。这些要求也应反映在根据能效指令第4和5款发展的各成员国改革战略中。

2) 在欧盟和成员国法规中,应以适当规定和推荐的形式完善更严格的能效要求,以确保良好的室内空气品质、光照和热舒适性。举例而言,通过设定适当的室内空气交换和通风的最低要求,完善更严格的保温和气密性要求。目前,有很多方法可以达到显著节约建筑能耗,同时还需要改善室内环境,两者冲突情况下的明确法规条款将使得项目实施者和建筑师有规可循。同时,法规应在技术实施方面保持中立。

4) 欧洲和国家层面的法规应进一步扩大未使用的节能措施潜能,让建筑形成一个体系。这也意味着以系统的方式分析和优化建筑的外围护结构和保温、光照的利用、需求控制通风、机械通风系统的热回收以及通风散热和太阳遮光板的安装以避免过热等,达到最大可能的节能。

5) 能效性能认证应将室内空气品质、热舒适性和光照指标整合一体,作为建筑中实际环境的相关信息。

6) 欧洲成本评估方法应考虑开发一套正确的成本指标和计算公式以评估健康室内环境带来的益处,并进一步整合,以便在宏观水平上计算出成本最优化方案。

7) 当评估能效改造方案的宏观经济影响时,应考虑一个健康室内环境的叠加益处(如降低了医疗服务成本)。

8) 窗户是建筑围护结构的组成, 并在建筑整体能效性能中扮演着重要角色。因此, 无论是新建建筑, 还是既有建筑的能效改造, 都应在建筑整体能效性能中考虑热传导、光照利用和太阳能收益。同样, 对于通风和减

少过热的要求也应考虑在内。

9) 在南部地区, 避免过热的被动式系统普遍使用, 但最低要求也仅限于遮阳板。其他措施, 如建筑围护结构的玻璃面积管理、外部动态遮阳、太阳能收益、自然的和夜晚通风策略

等应更多地包含在各成员国和欧盟的法规中。

10) 根据国家 EPBD 法规的要求, 评估能效性能的强制性合规工具应扩大奖励内容, 便于高效通风方案和措施的使用, 以避免过热。