

建筑外保温材料燃烧性能与火灾蔓延关系研究

陆 路

阜新城投建筑设计(集团)有限公司 辽宁 阜新 123000

摘 要: 随着建筑节能标准的不断提高, 外墙外保温系统(External Thermal Insulation Composite System, ETICS)在现代建筑中得到广泛应用。然而, 近年来多起因外保温材料引发或加剧的高层建筑火灾事故, 暴露出其潜在的火灾风险。本文系统梳理了当前主流建筑外保温材料的种类及其燃烧性能分级标准, 深入分析了不同燃烧性能等级材料在火灾条件下的热释放、烟气生成、火焰传播等关键参数, 并结合典型火灾案例, 探讨了外保温材料燃烧性能对火灾蔓延路径、速度及危害程度的影响机制。在此基础上, 文章进一步评述了现行防火规范在材料选择、构造设计及施工监管方面的不足, 并提出了优化材料燃烧性能标准、强化系统整体防火设计、推广阻燃技术及完善全过程监管体系等综合防控策略。研究表明, 提升外保温材料的燃烧性能等级、构建“材料-构造-管理”三位一体的防火体系, 是有效遏制建筑外保温火灾蔓延、保障人民生命财产安全的关键路径。

关键词: 建筑外保温; 燃烧性能; 火灾蔓延; 外墙外保温系统; 防火设计; 阻燃技术

引言

在全球能源危机与“双碳”目标的双重驱动下, 建筑节能已成为各国可持续发展战略的核心议题。外墙外保温系统(ETICS)因其优异的保温隔热性能、良好的建筑外观适应性以及相对成熟的施工工艺, 已成为我国乃至全球新建及既有建筑节能改造的主流技术路线。然而, 技术的普及也伴随着风险的凸显。自2009年央视新址附属文化中心火灾、2010年上海“11·15”特大火灾, 到2017年伦敦格伦费尔塔火灾, 一系列惨痛的火灾事故均与建筑外保温材料的易燃性密切相关, 引发了全社会对建筑外保温系统火灾安全性的高度关注。建筑外保温系统通常由粘结层、保温层、抹面层和饰面层构成, 其中保温层是核心功能层, 其材料的燃烧性能直接决定了整个系统的火灾危险性。一旦外墙某处被引燃, 劣质或易燃的保温材料会迅速成为火势垂直和水平蔓延的“燃料通道”, 形成“烟囱效应”或“幕墙效应”, 导致火势在极短时间内从低层蔓延至高层, 严重威胁人员疏散与消防救援。因此, 深入研究建筑外保温材料的燃烧性能与其在真实火灾场景中火灾蔓延行为之间的内在关联, 对于科学评估火灾风险、优化防火设计、制定有效监管政策具有重大的理论价值与现实意义。本文旨在系统探讨建筑外保温材料燃烧性能与火灾蔓延的关系, 通过文献综述、案例分析与机理探讨, 为构建更安全、更可靠的建筑外墙保温体系提供科学依据。

1 建筑外保温材料的分类与燃烧性能

1.1 主流外保温材料类型

目前, 市场上主流的建筑外保温材料主要可分为有

机类、无机类及复合类三大类。①有机类保温材料: 主要包括模塑聚苯乙烯泡沫(EPS)、挤塑聚苯乙烯泡沫(XPS)、硬质聚氨酯泡沫(PUR/PIR)和酚醛树脂泡沫(PF)。这类材料导热系数低、保温性能优异、质轻且易于加工, 但其本质为高分子聚合物, 普遍存在可燃性高的缺点。②无机类保温材料: 主要包括岩棉、玻璃棉、发泡水泥、泡沫玻璃和膨胀珍珠岩等。这类材料以天然矿石或工业废料为原料, 经高温熔融或发泡制成, 具有不燃(A级)的特性, 防火性能卓越, 但通常存在导热系数较高、吸水率大、施工难度大或成本较高等问题^[1]。③复合类保温材料: 如真空绝热板(VIP)、石墨聚苯板(SEPS)等。这类材料试图在保温性能与防火性能之间寻求平衡。例如, SEPS通过在EPS颗粒中添加石墨, 利用其红外反射作用降低导热系数, 同时石墨在高温下形成的炭层能在一定程度上延缓燃烧。

1.2 燃烧性能分级标准

材料的燃烧性能是衡量其火灾危险性的核心指标。我国现行的《建筑材料及制品燃烧性能分级》(GB8624-2012)将建筑材料及制品的燃烧性能分为A(不燃)、B1(难燃)、B2(可燃)、B3(易燃)四个等级。其中, A级材料在火灾中几乎不参与燃烧, 是防火安全的首选; B1级材料具有较好的阻燃性, 火焰离开后能迅速自熄; B2级材料可被点燃并持续燃烧; B3级材料则极易燃烧, 火灾危险性极高。对于外墙外保温系统, 其防火安全不仅取决于单一保温材料的燃烧性能, 更取决于整个系统的防火构造。因此, 《建筑设计防火规范》(GB50016-2014, 2018年版)对不同高度建筑的外墙保温材料燃烧性

能提出了强制性要求。例如，对于建筑高度大于100m的住宅建筑，其保温材料应为A级；对于27m至100m的住宅建筑，保温材料不应低于B1级，并需设置防火隔离带。

2 外保温材料燃烧性能对火灾蔓延的影响机理

2.1 火灾蔓延的基本模式

建筑外墙火灾蔓延主要表现为两种模式：垂直蔓延和水平蔓延。垂直蔓延是外保温火灾最危险的特征，火势沿外墙面向上迅速发展，速度可达数米/秒。其驱动力主要来自两个方面：一是火焰直接舔舐上部可燃物；二是火灾产生的高温烟气在建筑外墙与保温层之间或幕墙空腔内形成强烈的“烟囱效应”，加速了热量的向上输送和新鲜空气的补充，为上部材料的预热和点燃创造了条件。

2.2 不同燃烧性能材料的火灾行为差异

2.2.1 A级不燃材料（如岩棉）

在火灾中，A级材料自身不燃烧、不释放热量，仅作为热量的传递介质。其主要作用是隔绝火源向建筑内部的传播，并能有效阻断火焰沿外墙的垂直蔓延路径。即使外部饰面层被引燃，由于保温层不提供额外燃料，火势通常被限制在局部区域，难以形成大规模蔓延。

2.2.2 B1级难燃材料（如优质SEPS、PF）

B1级材料在小火源下难以点燃，即使被点燃，其火焰传播速度慢，热释放速率（HRR）和总热释放量（THR）相对较低，且具有自熄性。在实际火灾中，B1级材料能为人员疏散和初期火灾扑救争取宝贵时间^[2]。然而，在强火源或长时间烘烤下，其仍可能被充分引燃，并参与火灾发展。

2.2.3 B2/B3级可燃/易燃材料（如普通EPS、XPS）

这是火灾风险最高的类别。这类材料一旦被引燃，会迅速进入充分燃烧阶段，释放出巨大的热量（高HRR和THR）和大量有毒烟气（如一氧化碳、氰化氢等）。熔融滴落的燃烧物会引燃下部可燃物，形成“二次引燃”；同时，其燃烧产生的火焰和高温气流会强力驱动“烟囱效应”，使火势在几分钟内从起火点蔓延至数十层楼高，形成灾难性后果。

2.3 关键火灾参数分析

评估材料火灾危险性的关键参数包括：①热释放速率（HRR）：反映材料燃烧时放热的快慢，是决定火势增长速度的核心参数。HRR峰值越高，火灾发展越迅猛。②总热释放量（THR）：反映材料燃烧时释放的总能量，决定了火灾的规模和持续时间。③烟生成速率（SPR）与总烟释放量（TSR）：直接影响火灾现场的能见度和人员逃生，是造成人员伤亡的主要因素之一。

④火焰蔓延指数（FSI）：综合反映材料表面火焰传播的难易程度。实验数据表明，B2级EPS的HRR峰值可达1000kW/m²以上，而A级岩棉的HRR几乎为零。这种数量级的差异直接决定了火灾后果的天壤之别。

3 典型火灾案例分析

3.1 上海“11·15”特大火灾（2010年）

该事故的直接原因是施工过程中违规使用了大量B3级的聚氨酯泡沫和B2级的聚苯板作为外墙保温材料。起火后，这些易燃材料迅速形成大面积立体燃烧，火势沿外墙垂直蔓延速度极快，整栋28层高的公寓楼在短时间内陷入火海，最终造成58人死亡、71人受伤的惨剧。此案例深刻揭示了使用劣质易燃保温材料的巨大风险。

3.2 伦敦格伦费尔塔火灾（2017年）

格伦费尔塔在翻新工程中使用了铝复合板（ACM）作为外墙覆层，其芯材为B2级的聚乙烯（PE）。火灾从四楼一户的冰箱起火开始，火焰很快引燃了外墙覆层。PE芯材的高热值和易燃性，加上幕墙与建筑主体之间的空腔形成的“烟囱效应”，导致火势在20分钟内就吞噬了整栋24层高的住宅楼，造成72人死亡。该案例凸显了外墙覆层系统（而非传统ETICS）中可燃芯材的致命危险，以及空腔结构对火灾蔓延的放大作用。

这些触目惊心的案例共同指向一个核心问题：外墙系统中任何可燃组分的存在，都可能成为火灾失控的“导火索”和“加速器”。

4 现行防火规范与实践中的挑战

尽管我国已出台了一系列针对建筑外保温的防火规范，但在实际应用中仍面临诸多挑战：①材料性能与标识不符：市场上存在大量以次充好、虚标燃烧性能等级的现象。一些B2级材料通过添加少量阻燃剂冒充B1级，但其在真实火灾中的阻燃效果远不及实验室小尺度测试结果。②系统整体性考虑不足：规范主要关注保温材料本身，但对外墙系统中其他组分（如粘结砂浆、抹面胶浆、饰面涂料、锚栓、门窗洞口收口等）的防火性能及系统整体的防火构造（如防火隔离带的有效性、空腔的封堵）关注不够^[3]。③施工质量难以保证：防火隔离带的设置不连续、厚度不足，保温板粘贴不牢形成空腔，门窗洞口等薄弱部位处理不当等问题，在施工中屡见不鲜，严重削弱了设计的防火效能。④既有建筑改造风险高：大量既有建筑在节能改造中加装外保温，但原有建筑的消防设施、疏散条件并未同步升级，一旦发生火灾，风险叠加，后果更为严重。

5 综合防控策略与建议

为有效防范建筑外保温火灾，必须采取系统性、全

链条的综合防控策略。

5.1 优化材料燃烧性能标准与测试方法

①提高准入门槛：对于高层、超高层及人员密集场所建筑，应强制要求使用A级不燃保温材料。②推广真实火灾场景测试：在现有小尺度测试（如锥形量热仪）基础上，大力推广和应用能模拟真实外墙火灾场景的大尺度试验方法，如英国的BS8414、德国的DIBt方法或我国正在完善的类似标准。这些测试能更真实地反映整个外墙系统在火源攻击下的火焰蔓延、热量反馈和系统稳定性。

5.2 强化系统整体防火设计

①杜绝空腔：设计时应尽量避免在保温层与基层墙体之间或保温层与饰面层之间形成连续的、未封堵的空腔。必须设置空腔时，应采用A级材料进行水平和竖向的有效分隔。②确保防火隔离带有效性：防火隔离带应采用A级材料，宽度不应小于300mm，并应沿楼板位置连续设置，与基层墙体全面积粘贴，确保其能有效阻断火焰的垂直传播。③关注细部构造：门窗洞口、女儿墙、勒脚、变形缝等部位是防火的薄弱环节，应采用A级材料进行防火封堵和保护。

5.3 推广先进阻燃与防火技术

①发展本质安全型材料：加大对高性能无机保温材料（如改性岩棉、真空绝热板）的研发与应用推广，从源头上消除火灾隐患^[4]。②提升有机材料阻燃水平：研发高效、环保、持久的新型阻燃剂，提高B1级有机保温材料在真实火灾中的耐火极限和抗火焰传播能力。

5.4 完善全过程监管体系

①严格市场准入与抽检：加强对保温材料生产、销售环节的监管，建立材料燃烧性能的追溯体系，严厉打击假冒伪劣产品。②强化施工过程监管：将外墙外保

温系统的防火构造作为施工监理和验收的重点，确保设计意图得到不折不扣的执行。③加强既有建筑排查与改造：对已使用B2/B3级保温材料的既有建筑进行全面排查，评估其火灾风险，并制定科学的整改或拆除计划。

6 结语

建筑外保温材料的燃烧性能是决定外墙火灾能否发生及蔓延速度与规模的关键因素。A级不燃材料能从根本上阻断火灾蔓延路径，而B2/B3级可燃/易燃材料则会成为火灾的“助燃剂”和“高速公路”，极易酿成灾难性后果。上海“11·15”和伦敦格伦费尔塔等火灾案例，以血的教训警示我们，绝不能在建筑外墙防火安全上妥协。未来，建筑外墙保温的防火安全必须从单一的材料性能管控，转向涵盖材料研发、系统设计、施工建造、运营维护的全生命周期管理。通过强制使用高等级防火材料、采用科学的大尺度火灾测试方法、优化系统整体防火构造、并辅以严格的全过程监管，才能真正构建起一道坚固的“防火墙”，在实现建筑节能目标的同时，切实保障人民群众的生命财产安全，推动建筑行业的高质量、可持续发展。

参考文献

- [1]魏庆贺.典型建筑保温材料的燃烧特性及火灾危险性评价[D].辽宁工程技术大学,2024.
- [2]王春雨,王连盛,马旭冉,等.建筑外墙外保温材料燃烧特性及阻燃的进展[J].塑料,2025,54(04):175-181.
- [3]张曼曼.非连续建筑保温材料EPS滴落燃烧和流淌火蔓延研究[D].中国科学技术大学,2024.
- [4]丁超,朱难,兰清源,等.典型建筑外墙保温材料的燃烧及火蔓延行为研究[J].北京建筑大学学报,2022,38(01):99-105.