

高层建筑外墙保温施工技术与节能效果分析

李怀春

甘肃省建设监理有限责任公司 甘肃 兰州 730000

摘 要：高层建筑外墙保温技术是建筑节能的重要组成部分，其施工质量直接影响到建筑物外围护结构的热工性能的好坏。从建筑节能的角度出发，总结了目前市场上常用的几种外墙保温方式，如 EPS 薄抹灰系统、XPS 板系统、PU 硬泡喷涂系统、无机保温砂浆系统以及保温结构一体化系统，对其各自的构造特点、使用范围和热工参数进行对比分析。然后根据基层处理、粘贴固定、增强网格布铺设、防火隔离带设置以及一些特殊部位等方面探讨影响外墙保温施工质量的主要问题。认为高层建筑外墙保温的节能效果不光是保温材料本身的导热率决定，还与其施工过程中的热桥处理、界面粘结情况、系统寿命以及气密性的保证有很大关系。今后要大力发展保温结构一体化的应用，加强对外墙保温施工全过程的质量管理并进行外墙保温节能效果的评价工作来弥补设计与实际情况之间的差异。

关键词：高层建筑；外墙保温；施工技术；节能效果

引言

外墙是建筑物与外界进行热量交换的重要部位，其保温能力好坏直接影响到建筑物冬季供暖、夏季空调所消耗的能量。而由于高层建筑体型系数较小，在相同保温条件下每平方米的供暖供冷能耗小于多层建筑，但是由于高层建筑风大、上下运输路程远、外墙面施工难度大的特点导致外墙保温施工出现偏差的可能性大大增加，从而影响到预期的节能效果。近年来，随着国家对建筑节能要求越来越高，外墙保温也由最初的单一种类发展到如今各种组合形式以及由现场施工到工厂整体加工成型。但是目前在工程上存在“设计符合要求，施工不符合要求，最终结果达不到要求”。而在所有问题当中，施工过程中产生的热桥附加、粘贴空鼓、固定失效以及防水透气层破坏是最主要的原因。这说明施工技术和节能效果之间有密切的关系，不考虑施工技术而言节能效果只能是一句空话。

1 高层建筑外墙保温的主要技术体系与适用性

1.1 有机保温材料及其应用体系

有机类保温材料由于质量较轻、导热系数小、易于加工等特点，在高层建筑外墙保温领域占主要市场份额。主要有模塑聚苯乙烯泡沫板（EPS）、挤塑聚苯乙烯泡沫板（XPS）、硬质聚氨酯泡沫（PUR/PIR）。EPS 板导热系数一般在 $0.039 \sim 0.041 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，密度较小而且价格便宜，是目前使用最多的一种薄抹灰外墙外保温系统的保温材料。XPS 板导热系数更小约 $0.030 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，抗压强度大，吸水率低，适合用作地下车库顶部或

者屋面以及需要良好防水的地方，但是尺寸稳定性差，在板缝处容易出现收缩裂纹。PU 硬泡导热系数可以达到 $0.024 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，保温效果最好，如果用现场喷涂的方法施工会形成没有缝隙的整体保温层，可以很好地避免板缝冷桥问题，但是对外界的施工条件有很高的要求并且成本也很高。有机保温材料共同缺点就是耐火等级大多数都是 B 级，必须要采取有效的防火措施才可以用来建造高层建筑。

1.2 无机保温材料体系

无机保温材料主要有岩棉（矿棉）板、玻璃棉制品、膨胀珍珠岩保温板以及泡沫玻璃等。由于岩棉板具有 A 级不燃的特点，在高层建筑对外墙保温防火有较高要求时使用广泛。优质的岩棉板导热系数约为 $0.040 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，与 EPS 相近，但是其重量较大 ($100\text{--}150 \text{ kg}/\text{m}^3$)，施工较困难，而且吸湿性强，对于防潮措施的要求较高。另外岩棉纤维呈规则方向排列导致其垂直板面方向上抗拉强度较低，所以锚固件的数量及长度是影响施工质量的重要因素^[1]。膨胀珍珠岩保温板和泡沫玻璃均为传统的无机材料，防火性能良好，但是导热系数较大 ($> 0.055 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)，不利于节能要求较高的建筑物。

1.3 复合与保温结构一体化技术

为了满足保温效果的同时保证防火安全及施工便捷，复合型系统以及一体化技术正在成为高层建筑保温发展方向。主要有以下几种类型：① EPS 或岩棉结合硅酸钙板或金属板保温装饰一体化板，在工厂完成保温层

与饰面层的组合,在施工现场只需进行干挂或粘结,大大减少了现场湿作业工作量,提高了施工过程中的可控性;②夹芯保温外墙系统,将保温层设置在内外两层混凝土墙之间,一次性浇筑而成,保温层与建筑物主体共同使用年限,同时克服了外墙外保温易出现空鼓、开裂等问题;③钢丝网架聚苯乙烯板现浇系统,利用保温板作为中间填充物,两边用钢丝网包裹,在现场搭设模板后浇筑混凝土形成整体墙。虽然初期投入较大,但是把保温工程施工从高处作业转移到工厂预制或者现浇的同时进行,基本上杜绝了由于人为因素导致保温工程质量问题发生,是解决高层建筑外保温通病的有效途径。

1.4 各系统在高层建筑中的适用性比较

选用哪种保温体系要根据建筑物的高度、所在气候分区、防火等级、造价以及施工现场等因素决定。一般情况下,对于100米以下的建筑,仍以EPS薄抹灰系统最为经济合理,但是需要符合相关防火规定要求设置防火隔离带;而对于超过100米高的建筑,则应采用岩棉外保温系统或者保温装饰一体化板系统较为安全可靠,因为它们均为A级防火并且其锚固承载能力较强。在夏热冬冷地区既要满足隔热又要达到保温效果,可以考虑使用XPS或PU系统以减少保温层厚度提高得房率,在寒冷和严寒地区应选择导热系数更低的PU或者高性能EPS,但是也必须进行严格的计算避免出现冬季结露现象。

2 高层建筑外墙保温施工关键技术环节与质量控制

2.1 基层墙体处理与界面粘结质量保障

基层墙体的表面强度、平整度及清洁度是保温系统牢固粘贴的前提条件。高层建筑混凝土剪力墙表面往往有脱模剂,蒸压加气块砌体表面灰尘较多,如果不清除干净,在其上施工保温系统就会产生一层隔离层,大大降低粘结砂浆的机械咬合力以及物理吸附力。基层处理应做到剔除凸出部分、填补凹槽、清除表面浮灰油污等,随后涂刷专用界面处理剂。粘结砂浆的满粘率是保证其具有足够的抗风压能力并且不会出现空鼓问题的重要参数,在高层建筑中不应低于50%(非高层为40%),而且在门窗洞口周围以及阴阳角等位置必须做到满粘^[2]。施工过程中要严格按照比例进行搅拌,控制好可操作时间,以免由于操作不当造成砂浆表干后失去粘结力。

2.2 保温板铺贴与锚固件设置

保温板铺设方向、错缝方式以及板缝处理对保温效果有重要影响。上下排保温板需错开1/2板长,拐角处

两块保温板需要相互搭接,相邻保温板高低差不能大于1.5mm,缝隙不能大于2mm,如果大于该数值需要用相同保温材料填充,不得使用水泥等填充,否则会产生明显的热桥。锚固件数量及其有效锚固长度是防止高层建筑外墙外保温系统脱落第二层保护措施,锚固深度根据风荷载确定,有效锚固长度不得少于25mm(混凝土基层)或者50mm(砌体基层),锚固件圆盘直径不应小于60mm,锚固件安装应在粘结砂浆初凝之后进行,以免破坏粘结层。

2.3 增强网铺设与抗裂砂浆防护层施工

耐碱玻纤网格布是薄抹灰系统中抵抗温度应力以及避免面层开裂的重要加强层,网格布应在抗裂砂浆中间层,距离保温层表面约2~3mm,相邻搭接宽度不少于100mm(标准网)及150mm(加强网)。转角处、门窗洞口四角需增加附加网格布加固,在洞口斜交方向还需增加一道45°斜向加强网,长度不得低于300mm,以便分散应力集中。抗裂砂浆要分两次施工,第一遍抹平并在初凝之前将网格布压入其中,第二遍刮平达到平整效果,总厚度建议为5~7mm,太厚或太薄都不利于抗裂。

2.4 防火隔离带与防火构造施工要点

依据《建筑设计防火规范》GB50016规定,使用B级保温材料的外墙外保温系统应有水平防火隔离带,该隔离带应用A级保温材料(例如岩棉带)且高度不应低于300mm并沿楼层层高设置,在防火隔离带与保温层同时施工时,隔离带与有机保温板交接部位应紧密连接避免出现贯通空隙,在每层楼板标高位置还应设置与基层牢固固定的防火封堵措施以阻止火势通过保温层与墙体间的空隙向上蔓延,在施工过程中防火隔离带常是薄弱环节由于其材质与整体保温材质不同,线膨胀率也不同,在反复受热冷却作用下会在两者接触面上开裂因此需要在其结合处加设网格布增强^[3]。

2.5 细部节点热桥处理与防水密封

高层建筑外墙细部节点(窗洞口、外墙挑檐、雨蓬、穿墙管道、女儿墙、勒脚、变形缝等)是热桥主要发生部位也是防水渗漏薄弱环节。窗口侧壁保温板应在窗框安装前进行铺设,而且保温板需超出窗框外沿10~15mm,在外侧用密封胶嵌缝处理。突出构件(如空调板、装饰线条)尽可能使用断桥方式,禁止混凝土构件穿过保温层造成连续热桥。勒脚下应设一道高密度聚氨酯防潮层,同时保温层底部距离室外地面不应小于300mm,以防雨水冲刷以及毛细水上升。每个细部节点保温、防水、密封措施都应有详图并在施工现场张贴工

艺流程卡,以免工人凭经验施工造成偏差。

3 外墙保温施工因素对节能效果的影响机理

3.1 保温层热工性能的施工偏差与热桥附加

保温系统实际传热系数与理论计算值差异主要是由于以下三个方面原因造成:第一是保温材料导热系数在工程上进行调整,在现场施工时温度、湿度等环境因素以及板材存放时间不够充分引起板材收缩、密度不一致都会使实际导热系数大于实验室标称值;第二是由于板缝、锚固件、网格布连接处形成的额外热传导路径即所谓的热桥附加效应;第三是保温层厚度不均,在高层建筑外墙施工中由于外脚手架影响不易做到保温板平整铺设,导致部分位置厚度波动较大,最大可达 $\pm 5\text{mm}$,而在这些薄弱部位热流量远大于其他地方。

3.2 风压作用下的系统变形与气密性损失

高层建筑外表面风压随高度增大,而且迎风面为正压、背风面为负压,因而保温层受到周期性的压力差反复作用。如果粘结面积不足或者锚固深度不够,则由于风的作用而产生的振动会使保温板与基层之间出现轻微分离形成空隙,在空隙内发生对流换热时保温层热阻会大幅度降低^[4]。另一个不易察觉的影响是,风压变化会导致保护层开裂,一旦开裂就会大幅提高建筑物外墙空气渗透率,由于气密性降低造成的对流热量损失甚至可以大于传热热量损失。而在高层建筑上这个问题要比多层建筑严重得多,但是长期以来却很少有人关注这个问题。

3.3 施工缺陷的时效演化与节能效果衰减

保温系统的节能效果不是一成不变,在一定时期内由于施工缺陷随着时间推移逐渐衰减。粘结空鼓部位受温度变化影响越来越大,锚固件锈蚀导致其承载能力降低,网格布被碱性物质腐蚀造成其强度降低,当这种隐形退化发展到一定程度时就会出现保温层开裂或者脱落现象,在这之前就已经存在很长时间的熱工性能下降问题。一般情况下保温系统使用3年后其节能效果会大幅

衰减,随后缓慢下降,但如果最初施工质量较好,则保温系统后期保温性能远远优于低质量工程。

4 结语

高层建筑外墙保温施工技术与节能效果之间存在着紧密的因果关系。本文通过系统梳理主要保温技术体系的特征与适用性,剖析了从基层处理到细部节点的施工关键环节质量要求,揭示了粘结空鼓、板缝处理、热桥附加、风压变形和气密性损失等施工因素对实际节能效果的弱化机理。研究表明,保温材料的实验室性能仅是节能效果的起点,施工质量才是决定最终成效的关键变量。弥合这一差距,需要从施工标准精细化、过程控制严格化、技术路径工业化和评价体系全面化四个维度协同发力。尤其应当重视保温结构一体化技术对施工模式变革的深远意义,将高层建筑保温工程从高风险、强依赖的高空手工作业,逐步转向工厂预制、现场装配的工业化模式。未来,随着近零能耗建筑标准全面推行和建筑领域碳达峰目标日益迫近,外墙保温施工质量与节能效果之间关系的量化研究将更加深入,基于大数据和人工智能的施工质量智能诊断与能效预测技术也将为这一领域提供新的工具和思路。

参考文献

- [1] 杨柳,刘艳峰,闫增峰.不同气候区建筑外墙保温体系适用性分析与节能潜力评估.暖通空调,2024,54(1):45-52.
- [2] 赵立华,高岩,张吉礼.装配式建筑外墙保温结构一体化技术研究进展与工程实践.建筑技术,2025,56(3):278-286.
- [3] 孟庆林,张磊,赵立华.建筑外墙外保温系统耐久性及长期热工性能衰减规律研究.建筑材料学报,2023,26(5):532-540.
- [4] 陈滨,朱能,田喆.建筑围护结构气密性对采暖能耗影响的实测与模拟研究.天津大学学报(自然科学与工程技术版),2024,57(4):398-405.