

# 建筑火灾：发生在埃弗尔的隔热保温层火灾

翻译：橙色救援微信公众平台

## 1 引言

2015年11月3日星期二，布鲁塞尔消防局接到了来自埃弗尔州西塞罗街道的报警。布鲁塞尔消防局对火灾的标准响应是：两辆水罐消防车、两辆云梯消防车、一辆救护车和一辆指挥车。

这些车辆上一共有19名消防员，其中一辆水罐消防车和一辆云梯消防车是从苏哈比消防站（Schaarbeek）调派的。其他车辆则来自布鲁塞尔消防局的主要消防站——Helihaven消防站。

## 2 起火建筑情况

着火建筑是一座新建的高层建筑，地上有16层。

与着火建筑毗邻的是外墙全部为玻璃的边楼，在着火建筑与边楼之间的二楼，有一小部分平屋顶。

消防队到场后，发现建筑外墙一部分是砖，一部分是抹灰层（如图1所示）。墙体的内部构造材料从一开始并不是完全清楚。

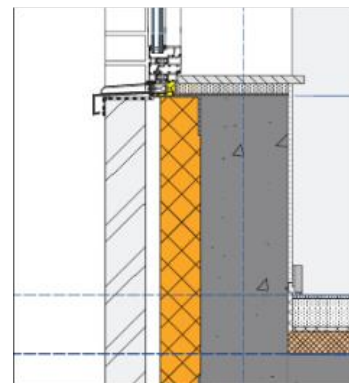
假设砖墙是传统的砖砌墙，这意味着内墙是砖块或者混凝土。依次，从里到外有一层隔热保温层，通常是聚氨酯材料。外墙是站在街道上能看到的砖块（如图2所示）

大队长是现场指挥员，假设抹灰墙的内部是隔热保温的。抹灰墙墙体通常由下列各层构成，从内到外依次是隔热保温层、混凝土板层、外抹灰层。

这种隔热保温结构多用于单元房式建筑，在进入消防队之前，这位大队长是一名建筑工程师，他参与修建的大部分单元房式建筑，都是采用前面描述的隔热保温形式。这一假设与他的观念相符。



图1 建筑插图。墙体上白色的窗格是外抹灰层，而较暗的部分是砖。在左前方，可以看到边楼。图片由A2RC绘制。



在二楼的平屋顶上方，部分建筑采用了悬臂结构。这也就意味着建筑墙体外突于建筑的支撑墙体。

### 3 第一到场的情况

苏哈比消防站的消防员到达现场后，看到了平顶屋面上的工人，工人描述，起火前他们忙着在两栋建筑之间的平顶屋面上铺设屋面盖板时，使用的喷灯产生的火焰意外地吹向砖墙，引燃了砖和内墙之间的聚氨酯隔热保温层。然而，外墙的砖使得新鲜空气很难进入燃烧部位，因此，导致了阴燃。

现场建筑工人最先发现火源时，已经采取了措施。他们把墙体空腔中的一个干粉灭火器用完了。这使得火灾得到部分控制，但是并没有被完全扑灭。

第一到场时，消防队部署了一辆云梯消防车和一条高压水带，将水喷射到墙体的空腔内进行灭火。

### 4 救援过程

#### 4.1 CAN 报告

Helihaven 消防队到达现场后，苏哈比（Schaarbeek）消防站的队长向 Helihaven 消防队的指挥员（即前面提到的大队长）简要汇报了现场情况，指挥员决定请求救援小组增援。

救援小组有一套穿刺水枪和一套重型 Hilti 电钻，电钻可以在外砖墙上开凿各种各样的孔洞。接下来，为了灭火，可以将穿刺水枪穿过空洞，直接插入聚氨酯隔热保温层。

#### 4.2 进一步侦察

两名指挥员向建筑工人和负责操作云梯车的分队长了解情况，指挥员和中队长一起，对平屋顶做进一步侦察。

火似乎已经完全熄灭了，然而，当用热成像仪（TIC）仔细观察时，显示砖墙上仍然积蓄有热量。

图 2 砖砌墙的建筑细节。从左到右依次是：砖、空心腔、隔热保温层、混凝土墙。图片由 A2RC 绘制。



图 3 Helihaven 消防站到达现场的情况。苏哈比消防站的消防员（Schaarbeek crews）正在用高压水带灭火。照片由 Pieter Maes 提供。



墙体和悬挑部分连接处，显示有亮点，看到烟正从墙体空腔中流出，这并不奇怪。

由于悬挑部分是由混凝土制成的，因此指挥员们不会立即担心悬挑处的火势蔓延，继续用高压水枪冷却墙体。直到热成像仪（TIC）屏幕上全部呈现灰色，没有热量积蓄的迹象。

大约 30 秒后，在热成像仪（TIC）上，位于墙中间的一整块砖及与砖相邻的接缝处再次高亮显示。然而，砖块蓄热需要更长的时间（在 4 到 9 分钟之间），因此，指挥员得出结论，火仍在阴燃。他们必须采用穿刺水枪去扑灭保温层中的火焰。

图 4 墙面看起来没问题。但是，热成像仪（TIC）清楚地显示有热量积蓄的迹象。抹灰接缝处和一些砖块呈高亮显示。照片由 Karel Lambert 提供。

现场指挥官（IC）随即向警方简要汇报了现场的情况，两名消防员带着一氧化碳检测仪进入建筑内，他们的任务是用一氧化碳检测仪对火场附近单元房内的烟雾进行检测，同时，他们还负责通知居民，当发现家里有烟雾时，要立即报告。

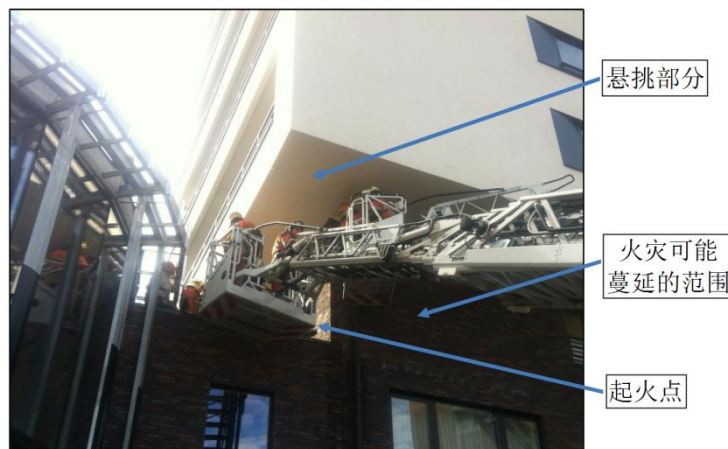


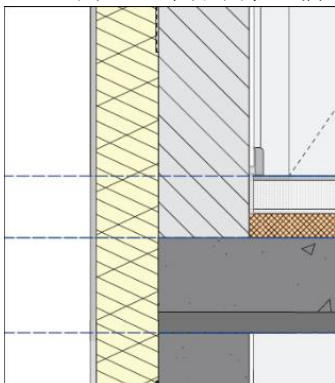
图 5 图片左侧，苏哈比（Schaarbeek）消防站的消防员正在云梯上开展工作。还有几名消防员在平屋顶上作业。火灾起火点位于屋顶和悬挑部分之间的砖墙上，底部蓝色箭头指示的墙体部分约 2 米宽。火灾有可能越过拐角向整个砖墙蔓延。照片由 Pieter Maes 提供。

当增援的救援小组到达现场，指挥官命令救援小组人员利用 Hilti 电钻对砖墙中的着火部位进行钻孔。然后，用穿刺水枪灭火。

#### 4.2.1 附加信息

火灾现场指挥员（IC）有点担心火势会突破拐角，他决定用热成像仪（TIC）仔细检查一下拐角处的砖石结构。

为此，部署了第二辆云梯消防车。检查固定在混凝土悬挑上的落水管部分，看起来好像



是个热点。经过仔细检查发现，原来认为是混凝土的部位完全是别的材料。最初关于抹灰层中各层结构构成的假设，完全是错误的。

这再次强调了观念的重要性，消防员会有意识或无意识地在火场上做出某些假设，但这些假设会受消防员的知识和他之前的经历影响，因此，消防员可能会被误导。

抹灰墙真正的结构从外到里依次是：外抹灰层、EPS 隔热保温层、混凝土层。去除雨水管周围的抹灰之后，可以看到里面的隔热保温层在阴燃。

为了核查火焰在隔热保温层内蔓延的情况，指挥员要求一名中尉负责清理落水管周围的区域。

可以使用救援链锯来清理，救援链锯可以切割隔热保温层。很快，有消防员报告，火势已经在落水管周围扩散，落水管距离边角约半米远。

图 6 抹灰部分的结构构成。从左到右依次是：外抹灰层，EPS 隔热保温层，混凝土层。图片由 A2RC 绘制。

清理，救援链锯可以切割隔热保温层。很快，有消防员报告，火势已经在落水管周围扩散，落水管距离边角约半米远。

清除了 50cm×50cm 的区域后发现，火势已经超出了这个区域。烟渍以及部分隔热保温层已经熔化和变色也证明了这一点（如图 8 所示）。

指挥员命令消防员继续沿着悬挑下面的墙体移动五米远，并在隔热保温层上再切割一次，他们需要再次核查火灾蔓延的范围（如图 7 所示），这需要花一些时间才能完成。

消防员再次报告，火势也已经蔓延过了这一点。这表面火灾已经在水平方向上蔓延超过 6m。后来证明，火势主要是沿着垂直砖墙和悬挑之间的连接处进行蔓延。

随后，进入建筑内部进行 CO 检测，并负责提醒居民的消防员报告，位于火灾正上方的单元房内有强烈的烧焦气味。并且在木地板上发现了大量烟灰，火场的烟向上蔓延，已经进入了房间，大家都觉得火势仍在蔓延。



图 7 消防员沿墙体移动了 5 米，用救援链锯再次进行切割。照片由 Pieter Maes 提供。

在露台（三楼）上，现场指挥员 (IC) 要求消防员清理抹灰层，要求他们进行水平切割，以核查火势是否蔓延到了这儿。

当时的情况如下：

垂直方向上，二楼平屋顶旁的垂直砖墙过火了；水平方向上，火势已经蔓延到挑部分底部的隔热保温层。

三楼的单元房内有大量的烟灰，有可能火势已经垂直蔓延到三楼，并在三楼阴燃。

悬挑部位的火焰已经越过建筑物的拐角，正在沿水平方向蔓延。然而，还不知道蔓延范围和蔓延速度。



图 8 EPS 隔热保温材料部分烧焦的照片。上半部分一直在阴燃，并且已经变黑了。剩余部分保持了原来的灰色。照片由 Pieter Maes 提供。

#### 4.2.2 分析

火势发展缓慢但稳定，还不清楚火势蔓延的范围。起火点位于一堵垂直墙体内（如图 5 底部箭头所示），现在在悬挑底端的水平方向蔓延。

此外，火可能已经越过砖墙的拐角，因此，在图 5 中间箭头指示的“火灾可能的蔓延范围”处还有阴燃。

垂直方向和水平方向的阴燃火，有很明显的区别。毕竟，火势向上蔓延的速度要比在悬挑内水平方向蔓延快得多。

消防员担心火势会突破悬挑的边缘，并再次向上开始蔓延。悬挑部分一共有九层，如果火火势在悬挑的垂直方向蔓延，后果将不堪设想。

#### 4.2.3 对事故的进一步处理



图9 三辆云梯车正在清理外抹灰层和 EPS 隔热保温层。照片由 Robert Dekock 提供。

在请示了负责重大事故的高级指挥员（副主任）后，现场决定请求增加穿刺水枪。要求 Vlaams-brabant West 消防局的 Zaventem 站携带他们的穿刺水枪到现场。

因为考虑到时间有限，所以调派第三辆云梯消防车来加速灭火。坚决不能让火焰蔓延到水平和垂直部分的边界。

灭火战术是移除可燃物并灭火，或移除正在燃烧的部分。

需要区分砖和抹灰部分，与森林灭火一样，用锯切割的方式，在抹灰部分设置“防火隔离带”。当火被隔离并控制在一定范围内，就不会再蔓延了。

布鲁塞尔消防局的救援链锯是重要的工具，在切开第一道切口之后，第二道切口应与第一道切口保持平行，间距约为 15cm。然后移除两个切口之间的隔热保温层。

通过开凿两个平行切口并在切口之间移除可燃物以形成“防火隔离带”的战术，被称为挖沟槽。

尽管这个战术并不是首创，在这之前，已被成功地用于处理含夹层板的墙体火灾。未来，当遇到易燃隔热保温层或外墙涂层发生阴燃火灾时，还会证明这种灭火战术是有效的。

消防员会检查切口的边缘是否燃烧，如果是未燃的，那么消防员即可断定火灾已被扑灭。然后，移除建筑中所有过火的隔热保温层。

这是一项非常耗时的工作，需要在室外云梯消防车的平台上进行操作，不需佩戴呼吸设备。由于在空气中漂浮有 EPS 颗粒，其中包含有一些已经烧焦的颗粒，因此，消防员需要配戴防尘面罩。

除了抹灰墙部位的火灾之外，消防员在砖墙部位，也采用在几个地方钻孔，并使用穿刺水枪来冷却砖块的战术（如图 10 所示）。



为了实现战术目标，三名消防员同时作业。消防队很快成功地移除了过火的隔热保温层，从而明确了火灾的范围。

图 10 使用穿刺水枪。首先，使用 Hilti 电钻在砖墙上钻孔洞。然后，使用穿刺水枪向内喷水，水会流到隔热保温层上或渗透进去。图片显示，水正从排水孔流出。照片由 Robert Dekock 提供。

## 5 火灾损失

### 5.1 砖石墙

在经过有效的干预控制后，火势被控制在一定范围内。为方便使用穿刺水枪，在 30 平方米的面积上，钻了十几个孔，砖墙上有十几处被穿破了。

在没有穿刺水枪的时代，这类火灾只能通过推倒部分砖墙来灭火，这可能是深入到阴燃隔热保温层的唯一方法。

这种方法有很大的弊端，就是一旦砖被移除，空气就会涌入，火势就会蔓延。如果选择这种操作方法，消防队员通常会远离火灾一两步。

因此，在过去，必须拆除大部分砖墙才能灭火，当砖块被完全移除时，隔热保温层的火也就扑灭了。

### 5.2 抹灰层

事实上，抹灰层损失更大一些。悬挑底部几乎需要完全更换。火灾主要沿着垂直砖墙和水平 EPS 隔热保温层的连接处蔓延。

因此距离起火点最远的区域内只需要清除 20-25 厘米的区域（如图 11 所示）。

图片未显示的其余悬挑抹灰层损失更为严重。大部分的外墙表面抹灰已经被移除。图 9 显示了一大片悬垂的抹灰层。在抹灰层移除之后，通常可以看到干净且未燃烧的 EPS。

然而，这并不意味着材料内部或隔热保温层与混凝土之间没有阴燃。图 11 用不同颜色标注了几个部分。最右边是未燃烧的抹灰层，这部分由于采用挖沟槽战术才保留下来的。

紧挨着的部分，也有未燃烧的 EPS，未燃烧的 EPS 是深灰色。在拐角处的区域，可以看到浅灰色部分，这里的 EPS 隔热保温层已经被移除。裸露的混凝土是浅灰色。



图 11 裸露悬挑部位的损伤。拐角处的黑点表示此处燃烧最猛烈。红色箭头表示火势蔓延至距边缘 20-30 厘米处。蓝色箭头表示消防员移除建筑材料的区域。照片由 Pieter Maes 提供。

一个很重要的细节是：悬挑底部的所有切口距离悬挑的边缘有几厘米。这样做是为了保持垂直墙体完好无损。这也将有便于以后修复。



图 12 救援现场的正面图。照片由 Robert Dekock 提供。

图 11 还显示了隔热保温中阴燃的范围，大火在混凝土上留下了烟渍。红色的箭头表示火势蔓延的边界。消防队成功地将火堵截在距离悬挑边缘约 20–30cm 处。

图 12 是建筑立面图。图片清楚地显示了如果火灾蔓延至悬挑边缘，后果将不堪设想。

火势一旦突破悬挑边缘，将会出现两个变化。首先，火焰在垂直方向蔓延速度比在水平方向蔓延快得多。

其次，一旦火焰突破垂直表面中的抹灰层时，新鲜空气将更容易进入火场。

有大量从可燃墙体涂层或可燃墙体隔热保温层开始燃烧的火灾视频，这些火灾经常演变为大火。英国格伦菲尔大火，就是一个案例。

此次火灾中，正是由于屋顶工作人员采取了有效行动（首先试图灭火，随即报警），另外，消防队的充分干预，以及火灾并未垂直向上蔓延，才避免了一场灾难。

## 6 感谢语

这场火灾的确很难准确分析。首先，处理此类火灾的经验很少，建筑施工火灾是一个相对较新的现象。

因此，很难预估事态的发展。屋顶工人的最初火灾扑救效果有多大？对消防员后期处置火灾又有多大帮助呢？下面这句名言比较适用：

*这个世界的问题在于，傻子和疯子总是过于自信，聪明人却对自己充满怀疑。*

*——伯特兰罗素*

在撰写本文时，为了更好地理解和描述火场情况，我得到了以下同事的帮助，他们是：Midwest 消防局的 Christian Gryspeert 少校，布鲁塞尔消防局的 Peter Roseleth 上尉（FD）和 zone1 消防局的 Nathalie Van Moorter 上尉。