

建筑火灾案例： 发生在埃弗尔的隔热保温层火灾

作者：Karel Lambert

翻译：橙色救援微信公众号

1. 引言

2015年11月3日星期二，布鲁塞尔消防局接警前往埃弗尔州（Evere）西塞罗大道的火灾。布鲁塞尔消防局对火灾的标准调派是：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从苏哈比消防站（Schaarbeek）出动，其他车辆则来自布鲁塞尔消防局的主要消防站——Helihaven。

2. 起火建筑概况

着火建筑是一座新建的高层建筑，地上16层，有一个外墙全部为玻璃的裙房。主楼与裙房之间的二楼，有一小截平面屋顶。

消防队到场后，发现建筑外墙一部分被砖块覆盖，另一部分被抹灰层覆盖（如图1所示），当时并没有弄清楚墙体的组成材料。

假设着火建筑是传统的砖砌墙：最里面是砖块或者混凝土，然后是隔热保温层（案例中为聚氨酯材料），最外层是站在街道上能看到的砖块（见图2）。

负责的现场指挥员判断抹灰墙的内部存在保温层，从内到外依次是隔热层、混凝土板层、外抹灰层。这种保温结构多用于单元楼建筑。

这位大队长在进入消防队之前是一名工地项目工程师，他参与修建的大部分单元房建筑采用上述保温结构，这也是他做出相应判断的原因。

在裙房二楼的平面屋顶上方，主建筑的部分墙面采用了悬挑结构，与其他墙面相比，它们较为突出。。



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。

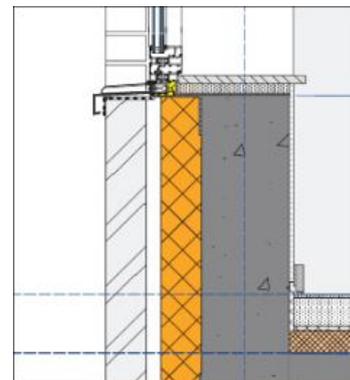


图2 砖砌墙的建筑细节。从左到右依次是：砖、空心腔、隔热层、混凝土墙。图片由 A2RC 绘制。

3. 到场情况



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。

苏哈比消防站的消防员到达现场后，与他们对接的是屋顶工人，工人描述起火前他们正在两栋建筑之间的平顶屋面上铺设盖板，使用的喷灯产生的火焰意外吹到砖墙上，引燃了砖和内墙之间的聚氨酯保温层。然而，外墙的砖层导致新鲜空气很难进入燃烧部位，因此火灾处于阴燃状态。

现场建筑工人发现火源后立即采取措施，喷完一个干粉灭火器后，火势得到了部分控制，但是并未将其完全扑灭。

消防队升起了一台云梯消防车并铺设了一条高压水带，将水喷射到外墙面和空腔内进行灭火。

4. 扑救过程

4.1 CAN 报告

Helihaven 消防队到达现场后，苏哈比 (Schaarbeek) 消防站站长向 Helihaven 的大队长简要汇报了现场情况，后者决定请求救援小组增援。

救援小组有一套穿刺水枪和一个重型 Hilti 电钻，电钻可以在外砖墙上开凿各种孔洞以便将穿刺水枪直接插入聚氨酯隔热层。

4.2 进一步评估现场

大队长和站长想近距离观察一下屋顶区域，二人询问了屋顶装饰工人和云梯车的副站长。火似乎已经完全扑灭了，然而当他们用热成像仪 (TIC) 仔细观察时，砖墙上仍然有热量反应。

并且，在墙体和悬挑结构连接处，仪器显示有热点。鉴于这里是烟气从空腔中逸出的位置，这一现象并非异常。

再者，由于悬挑部分是由混凝土制成的，指挥员们并未立即怀疑火势在此蔓延。持续用高压水冷却墙体后，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，热成像仪 (TIC) 观察到位于墙壁中心的一整块砖及与其接缝处再次高亮显示。砖块蓄热需要更长的时间 (在 4 到 9 分钟之间)，因此，指挥员们断定内部仍在阴燃，他们必须等穿刺水枪到位去扑灭保温层内的火焰。

现场指挥官 (IC) 返回地面，向警方简要叙述了现场情况。两名消防员以小组形式带着一氧化碳检测仪被派遣进入建筑内，他们的任务是排



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。接缝处和一些砖块呈高亮。照片由 Karel Lambert 提供。

查火点旁的公寓内是否冒烟并检测一氧化碳浓度。同时，他们还负责通知居民，当发现家里出现烟气时立即报告。



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后，命令是使用 Hilti 电钻对砖墙中的着火部位进行钻孔，随后部署穿刺水枪。

4.2.1 额外信息

现场指挥员 (IC) 有点担心火势会蔓延过拐角，他决定用热成像仪 (TIC) 仔细检查一下拐角处的砖石结构。这项任务由第二辆云梯消防车进行，重点检查雨水管与混凝土悬挑相连的部位 (似乎有热量显示)。

得出的结果却大相径庭，指挥员对外墙结构的判断完全错误。

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，这些假设受消防员的知识和以往经验影响。因此，消防员可能会被自己的思路误导。

外墙真正的结构从外到里依次是：外抹灰层、EPS 保温层、混凝土。去除雨水管周围的抹灰之后，可以看到里面的保温层在阴燃。为了核查火焰在保温层内蔓延的情况，指挥员要求一名中尉负责清理雨水管周围的区域，这一任务需要使用救援链锯来切割隔热保温层。。

很快，消防员就报告火势已经在雨水管周围蔓延，此处离外墙转角约半米远。然而在清除了 50cm×50cm 后发现，火势已经蔓延出了这个区域。烟渍以及部分已经熔化和变色隔热保温层也证明了这一点 (见图 8)。

指挥员命令一个小组沿墙体向下移动五米，直至悬挑下方，再次对隔热层进行切割。同样地，他们需要核查火灾是否已经蔓延到此处 (见图 7)。操作完成后，该组消防员报

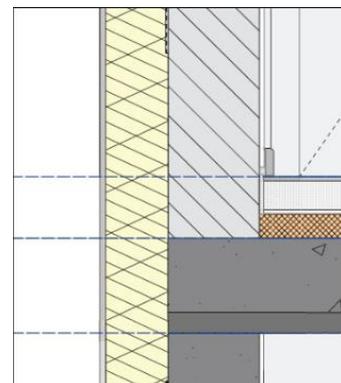


图 6 墙面抹灰部分的结构。从左到右依次是：外抹灰层，EPS 隔热保温层，混凝土层。图片由 A2RC 绘制。

告火势已经经过此点，这表明火灾已经在水平方向上蔓延超过 6m。

事后发现，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，进入建筑内部进行一氧化碳浓度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。并且在其木地板上发现了大量烟熏痕迹，火灾产生的烟气已经飘进了房间——给大家一种火势仍在蔓延的印象。

在三楼的阳台上，现场指挥员 (IC) 要求消防员进行水平切割清理抹灰层，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，火势已经蔓延到悬挑底部的保温层。

三楼的单元房内有大量的烟熏痕迹，火势可能已经垂直蔓延到三楼，并处于阴燃。

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。

4.2.2 分析

火势缓慢但稳定地发展，但尚未清楚蔓延的范围。起火点位于一堵垂直墙体内（如图 5 底部箭头所示），现在在悬挑底端沿水平方向蔓延。

此外，火可能已经越过砖墙内部拐角，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，这部分一共有九层，如果火势在悬挑的垂直方向蔓延，后果将不堪设想。

4.2.3 对事故的进一步处置

在请示了现场最高指挥员（副支队长）后，指挥部决定调派额外的穿刺水枪，同时要求 Vlaams-brabant West 消防局的 Zaventem 站携带穿刺水枪到场。

考虑到有效时间稍纵即逝，所以（现场又）调派了第三辆云梯消防车来加快灭火速度。坚决阻止火焰蔓延到悬挑水平和垂直部分的边界。

灭火战术是消除可燃物：在砖墙和抹灰层之间做好分割。

与扑救森林火灾一样，（消防员们）用锯在抹灰层切割，设置“防火隔离带”，火烧到此处就不会再蔓延了。



图 7 消防员在悬挑下方使用救援锯进行切割。
照片由 Pieter Maes 提供。



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。

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

这种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”。这个战术并不是首创，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过火，如果答案是否定的，那么消防员即可断定火灾的蔓延被阻断了。随后便是移除建筑上所有过火的隔热层。这是一项非常耗时的工作，需要在室外云梯消防车的登高平台上进行操作，因此不需佩戴空呼。由于在空气中漂浮有 EPS 颗粒（其中一些已经烧焦），消防员还是需要配戴防尘口罩。

除了抹灰墙部位的火灾之外，消防员还在砖墙处钻了几个孔，并使用穿刺水枪来冷却砖块（见图 10）。

为了实现战术目标，三组消防员同时开展作业。消防队很快成功地移除了过火的隔热保温层，从而隔离了火灾的蔓延。



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。

5. 火灾损失

5.1 砖石墙

处置完成后，火灾损失相对有限。为部署穿刺水枪，在砖墙上钻了十几个孔，面积超 30 m²。

在装备穿刺水枪之前，要扑救这类火灾只能靠拆除部分砖墙——深入到阴燃隔热层。

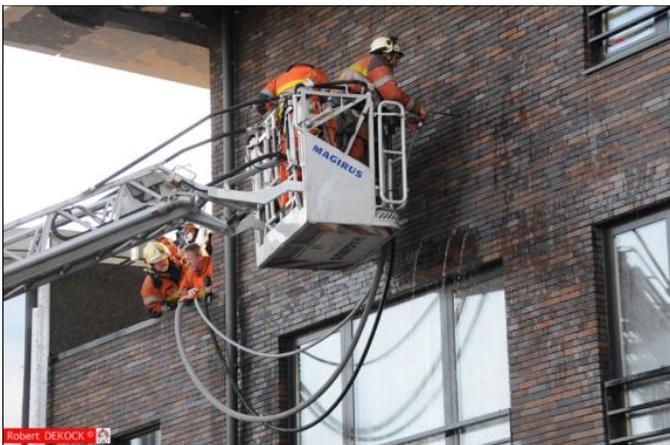


图 10 穿刺水枪的使用。首先，使用 Hilti 电钻在砖墙上钻洞。然后，使用穿刺水枪向内射水，水会流到隔热保温层上或渗透进去。图片显示，水正从排水孔流出。照片由 Robert Dekock 提供。

这种做法有很大的弊端就是一旦拆掉砖，空气便会涌入，造成火势蔓延。通常在选择这种战术时，火势的发展会脱离消防员的掌控。

所以在过去，必须拆除大部分砖墙才能阻止火势蔓延。当然从另一方面看，当砖块被完全移除时，基本上就能确认隔热层的火是否被全部扑灭。

5.2 抹灰层

抹灰层损失要相对更多一些：悬挑底部几乎需要全部更换。火灾主要沿着垂直砖墙和水平 EPS 隔热层的连接处蔓延，因此最远只需要清除距离起火点 20-25 厘米的区域（见图 11）。

悬挑的其余部分损失更为严重，大部分的外墙表面抹灰被移除。从图 9 可看到一大片悬垂的抹灰层，在移除抹灰层过程中，通常可以看到干净且未燃烧的 EPS。但这并不意味着材料内部或保温层与混凝土之间没有阴燃。图 11 展示了几个部分的不同颜色：右边最远端是未过火的抹灰层，这部分是“挖沟”时保留下来的。紧挨着的是未燃烧的深灰色 EPS，在拐角处，EPS 隔热层已经被移除，浅灰色部分是裸露的混凝土。

一个很重要的细节是：悬挑底部的所有切口距离边缘只有几厘米。这样做是为了保持垂直墙体完好无损，也有便于事后修复。

图 11 还显示了保温层阴燃的范围，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，消防队成功将火堵截在距离悬挑边缘约 20-30cm 处。

图 12 是建筑正视图，图片清楚地显示了如果火灾蔓延过悬挑边缘将会发生什么。



图 11 暴露出的悬挑部位的火灾损失。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。



图 12 救援现场的正面图。照片由 Robert Dekock 提供。

在该场火灾中，有两个因素尤为重要。首先，火焰在垂直方向蔓延速度比在水平方向快得多。

其次，一旦火焰烧穿垂直表面中的抹灰层，新鲜空气将更容易进入火场。

Youtube 上有大量从可燃涂层或隔热层开始燃烧的火灾视频，这些火灾通常演变为大火。此次火灾中，正是由于屋顶工人的正确行为（首先试图灭火，随即报警）；消防队的有效处置；以及所幸火灾并未垂直向上蔓延，三者缺一不可才避免了一场灾难。

6 感谢语

这场火灾的确很难准确分析。首先，处置此类火灾的案例很少，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 上尉和 1 区消防局的 Nathalie Van Moorter 上尉。