

案例分析——烟囱火灾的处置经过

翻译：橙色救援微信公众号

1994年5月28日19点36分左右，纽约消防局接警前往Watts街62号处置一起烟囱火灾，到场时建筑烟囱正向外冒出滚滚浓烟。随后火势突然失去控制，造成3名消防员牺牲。

我们在这篇文章中探究这一特殊的回燃案例——回燃过程本身和案例记录非常详细。



图 1.1 起火建筑外景：相邻的左侧建筑完全一样，右侧建筑有些许不同

1. 建筑情况

起火的公寓楼可以追溯到 19 世纪，这类建筑在各大城市依然可见：一排四层楼房，每层一间公寓，一楼是半地下室（见图 1.2）。地下室有独立的通道，之上的三层公寓共用一个楼梯间。

起火建筑曾被翻新数次，最近的一次翻修将老旧的石膏包木天花板的换成了新的，导致天花板只有 2.5m 高。门和窗户也被换过，建筑整体加装了保温材料，且尝试提升了建筑的封闭性。

每间公寓大约有 80 m²，包含一个客厅、一个厨房、一个厕所和一个卧室（见图 3.1）。

实际上，我们在布鲁塞尔或安特卫普的很多翻新公寓都见过非常相似的建筑布局。所以毫无疑问地，这种事也会发生在我们身上。fe

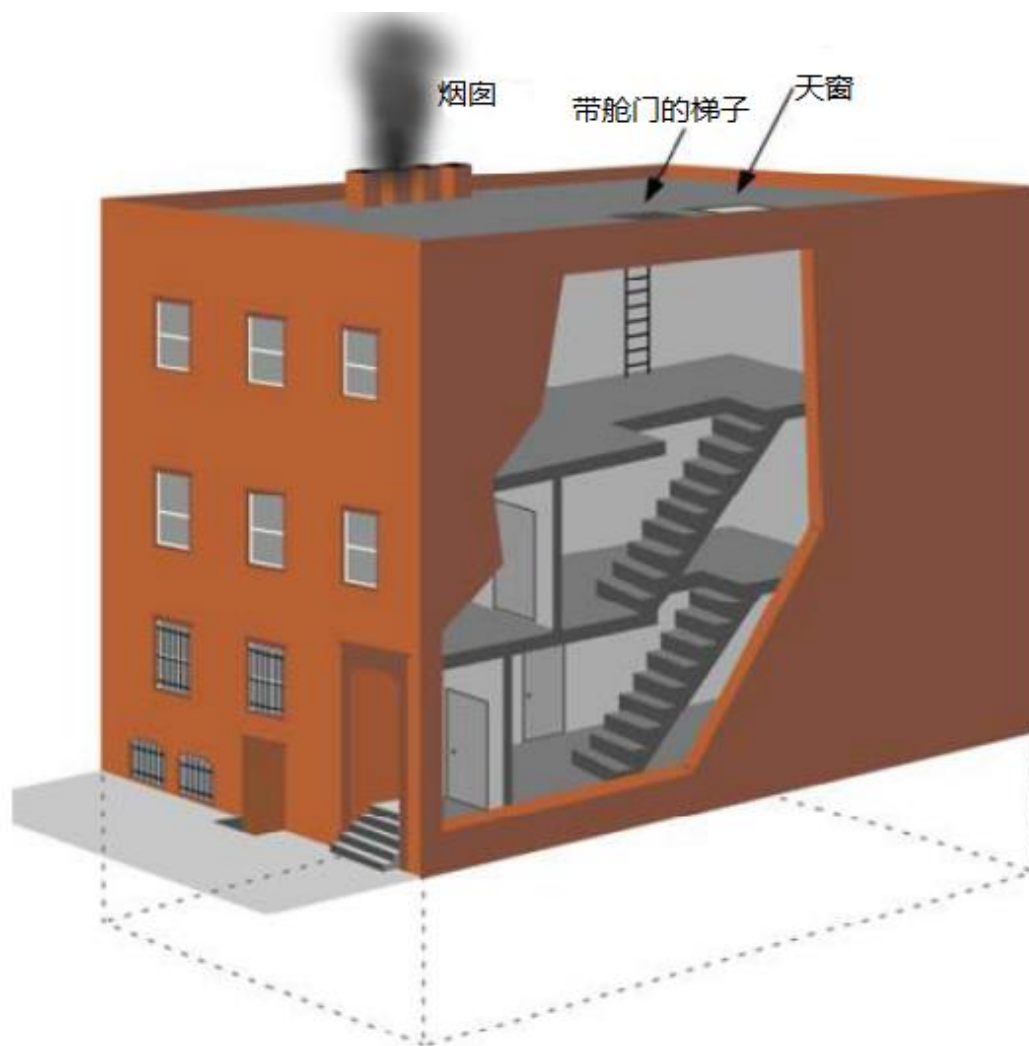


图 1.2 楼梯间剖面图（来自：Ed Martin 和 Richard Bubowski）

2. 火场情况

火灾始于一楼，经调查了解，一楼的户主在 18 点 25 分左右离开公寓时，将一装满垃圾的塑料袋遗落在厨房炉子旁。推断是气炉的飞火引燃了塑料袋和里面的垃圾。火势发展非常迅速，整个厨房都开始燃烧，房间内温度急剧上升。

火灾初期，燃烧所需新鲜空气的唯一通道是经客厅壁炉的烟囱，由于通向厕所的卧室的门都是关上的，所以流向厨房的空气量非常有限。火灾造成的损失也仅限于客厅和厨房。

在某一时刻，烟层的下部已达到了客厅壁炉的上部，从此时起，烟囱也成了浓烟散发的

通道。（见这一系列的第二篇文章《空气不足的火灾》）。

由于绝佳的建筑封闭性，在氧气几乎被耗尽后，火灾转入阴燃。建筑整体的保温性能，使得起火房间内的温度一直保持在使可燃物发生热分解的程度——房间变成了一个充满可燃气体的空间。

初期并未引起注意，随后一个过路的人发现烟囱排出的烟气异常多，并且伴有火光，这个人给消防队报警称有一起烟囱火灾。

3. 扑救经过

消防队出动了三辆水罐车，两辆云梯车，由一名大队长协调指挥。当消防队到场时，现场几乎没有迹象表明建筑内部有任何异常的危险。

到场时，指挥员采取了纽约消防内部通用的标准处置程序。排烟是大多数北美消防机构

的一项重要任务。因此，现场直接安排了一辆云梯车打开楼梯间顶层的舱门来排烟。

大队指挥员对灭火行动进行了周密的部署，派遣了两个三人小队内攻，他们的任务是从一楼开始，在水枪的掩护下检查建筑的每个公寓内是否有被困人员。

两个组都是先铺好水带，当消防员打开一楼房门，热烟气（温度不是很高）翻滚而出，流向楼梯间，紧跟着有一股空气涌入公寓内部。

开门的消防员意识到这是回燃的前兆「国内消防员应该进行这方面学习」，尝试躲开。随即发生了回燃，整个楼梯间都陷入火海，猛烈的火焰甚至穿出了建筑顶层的舱门——在街上都可以看见。

一位过路的市民拍下了现场画面，根据他的视频，研究人员推断出这次回燃持续了6分钟。

一楼的消防员察觉到了回燃，所以只是在撤离时受了点小伤。但是，二楼

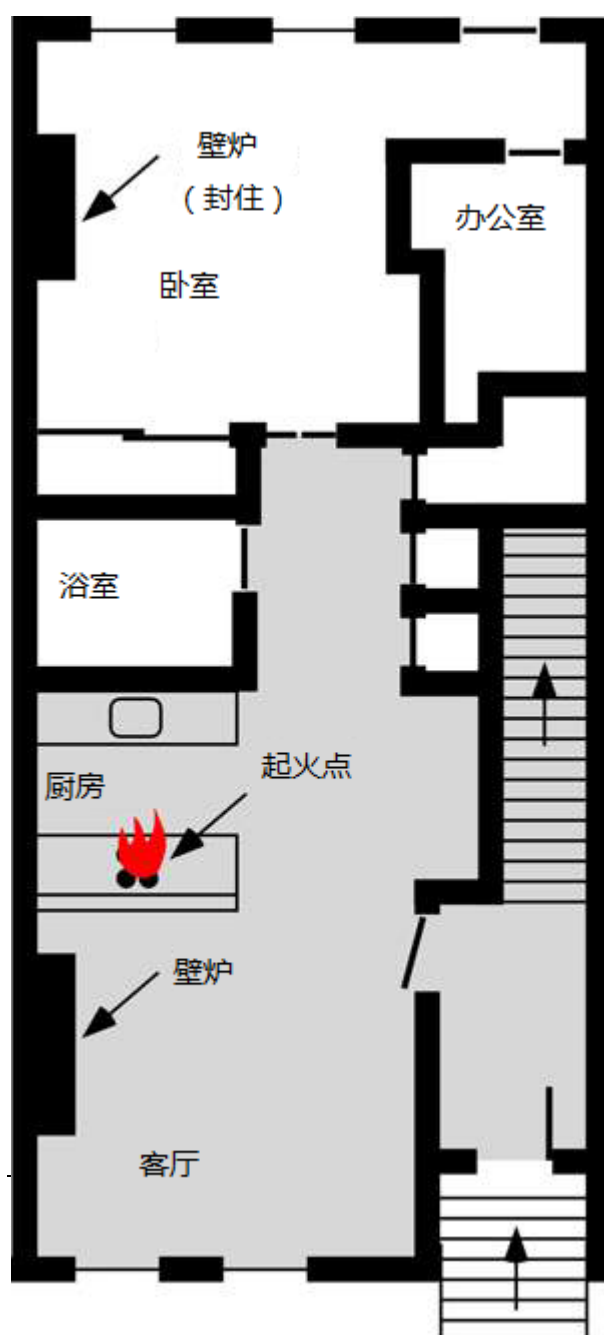


图 3.1 一楼平面图（来自：Ed Martin）

的消防员们却被困住且无路可逃，一名当场牺牲，另两名被送往医院的烧伤科，其中一人没挺过 24 小时，第二个只坚持了 40 天……

纽约消防局请求国家标准与技术研究院调查造成如此剧烈回燃的原因——火焰居然持续了 6 分钟之久！

4. 科学分析

4.1 回燃现象的实验

早在 19 世纪初，就有 3 名科学家对引起回燃的条件进行了研究。

研究人员用甲烷（天然气）代替火场中被热分解挥发的的气体。实验的封闭空间尺寸为 2.4m*1.2m*1.2m，内部装有传感器和一扇由电脑控制可随意打开的舱门（用于模拟空气的进入）。还有 70kW 和 200kW 的火炉各一个。

结论是空间内至少需要 10%的气态烃才能引发真正的回燃。浓度过低只会使混合气体燃烧，并不会引发爆燃。

上篇文章已经探讨过 Chitty 的研究，该研究表明由于缺乏足够的热量，初始火灾的阴燃并不能引发回燃——是二次点火引燃了可燃气体。在调查 Watts 街 62 号火灾期间，研究人员将这些结论纳入了考虑范围。

4.2 CFAST 的分析

CFAST 是一款可以模拟火灾的软件，科学家们在软件中调节火灾中的各个因素使其与 Watts 街事故现场无限接近。

假定塑料袋燃烧产生的热量为 25kW（跟现实情况下一样），研究人员在跟火灾现场尺寸、布局一样的房间内模拟，同时还考虑到了楼梯间与烟囱的影响。预期的峰值是 1MW，但由于缺少新鲜空气，并未达到这一数字。

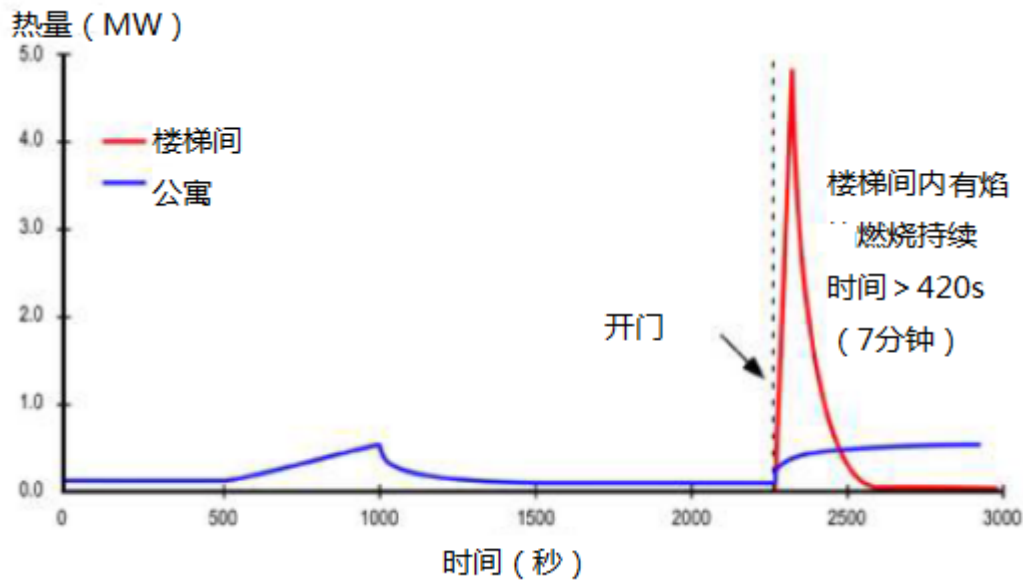


图 4.1 能量累积曲线。蓝线代表公寓内的热释放速率，红线代表楼梯间内的热释放速率（制表：Ed Martin 和 Richard Bubowski）

在打开门的瞬间，电脑模拟显示可燃气体从公寓内部涌出，同时空气流入公寓。电脑模拟确认了当时在一楼消防员的所见。

图 4.1 表示的是热释放速率随时间发生的变化，注意公寓内的热释放速率从未超过 500kW，而楼梯间内的却达到了 5MW。

公寓内的温度一直保持在较低的水平，模拟中，带焰燃烧发生（火势的发展阶段）发生在 500 秒之后，此时温度达到了 300°C，之后直到房间门打开前温度逐渐降低。

这意味着房间内的温度足以产生热分解气体，并保持了相当长一段时间。这些热分解气体和一氧化碳支持火焰燃烧了 7 分钟。

开门前，公寓内的温度在 100°C 以下，开门后，楼梯间的温度上升至 1200°C，很显然在那种环境下生存是不可能的。

5. 事故教训

5.1 翻新建筑

建筑翻新是大趋势，政府鼓励有财力的群众把房子的使用率变高。事故中的公寓建于 19 世纪晚期，之后不断被改造使其变化巨大。

鉴于此，我们对建筑的第一印象并不能预计其火灾条件下的情况。过去，如果我们到场时看到的是一个明显老旧的建筑，那火势的发展一般可以猜个八九不离十。

因为一旦温度升高，窗户就会破裂，火灾会发展为全面燃烧的态势。竖井等其他烟气可

能聚集成隐患的空隙也更少。所以，现在就算是处理老旧建筑火灾时，也必须派一名安全员随时注意通风不畅的燃烧和竖井、空隙、吊顶内集聚的可燃气体。

5.2 入门程序

比利时全国的新晋消防员，其中一项初级训练就是标准化的入门程序。这一程序，强制性要求使用射流冷却「水雾点放，可查看公众号文章」从建筑内冒出的烟气。

并且小组的消防员要保持对门的控制——在事情急转直下时，可以关闭房门。

第一个行动至少可以延缓热烟气的燃烧，第二项行动确保小组其他成员在房内冒出大量浓烟或有强烈内向气流时，有足够的反应时间关门。

5.3 垂直排烟

直到最近，大家才开始接受垂直排烟可以解决回燃问题。跟其他任何需要排烟的情况相同，可燃烟气流动的路径至关重要。

如果大量的可燃烟气在排除时被点燃，那基本上会造成第二处火灾。任何处在这个烟火蔓延路径内的群众甚至消防员都会遭受严重的伤害。

在比利时，排烟技巧这一领域还相当空白，但可以确定的是，“回燃=垂直排烟”行不通。

5.4 烟气冷却

烟气冷却是当今世界范围公认的降低可燃烟气危险性的技术，但需要说明的是，这种技术的适用空间应小于 40 m³ 和较低的高度。

这个案例，教会我们存在烟气温度很低的通风控制型火灾，这种情况下，冷却基本上没什么用，开门前公寓的温度低于 100°C。

这意味着水不会蒸发，没有水蒸气意味着烟气的温度也不会降低。冷却烟气这一技术很有效，但并不是万能的。

5.5 烟囱火灾

消防部门最初是根据烟囱火灾进行力量调派。与欧洲相比，北美会调集更多但更小型的单位到场。幸亏有这个制度，回燃发生时，事故现场有足够的人手和资源，避免了事态的恶化。

比利时消防部门有时调派 4 名消防员，一到两辆水罐车处置烟囱火。如果有一到两名消防员在回燃中受伤倒地怎么办？

2007 年 2 月 7 日，比利时罗什福尔消防局的 Eric Pero 因某种极端火灾现象牺牲。他们出的警正是烟囱火灾。