

供氧不足的火灾

翻译：橙色救援微信公众号

以往，我们关注燃烧三角型和通风情况良好的火灾发展过程，空气充足情况下的火灾发展过程。

实际上，目前我们的房屋建造方式已经与 50 年前大不相同。现代建筑广泛使用双层玻璃、屋顶楼板以及房间隔墙，它们的平均厚度是从前的两倍多。这种建造方式减少了室内/室外空间的热量交换，达到冬暖夏凉的效果。

但是这种建筑结构在火灾发生时，热量容易聚集在房间内，无法散发，反而会促进火势发展；尤为突出的是双层玻璃建筑，它的耐火完整性比单层玻璃强很多，发生火灾时，双层玻璃限制外部空气进入室内，这一特点，使现代火灾区别于以往任何时期的火灾。

1 通风控制型火灾的发展

1.1 升温受限

通风受限的火灾是指：未发生轰燃情况下，受通风程度控制影响的火灾。

从图 4.1 上，我们可以发现，燃料控制与通风控制交界点的出现在发生轰燃之前，并且图中红色虚线表示，火灾在初期及部分发展阶段的温度变化。

当燃料控制/通风控制交界点出现在火灾的发展阶段，缺少通风供氧将会阻碍火灾的正常发展。火灾的正常发展温度变化趋势在图中用红色虚线标出，通风控制型火灾的温度发展趋势用灰色实线标出。紧接着，热释放速率降低。

如果交界点出现在火灾发展阶段更早期，火场温度会受到更大限制。

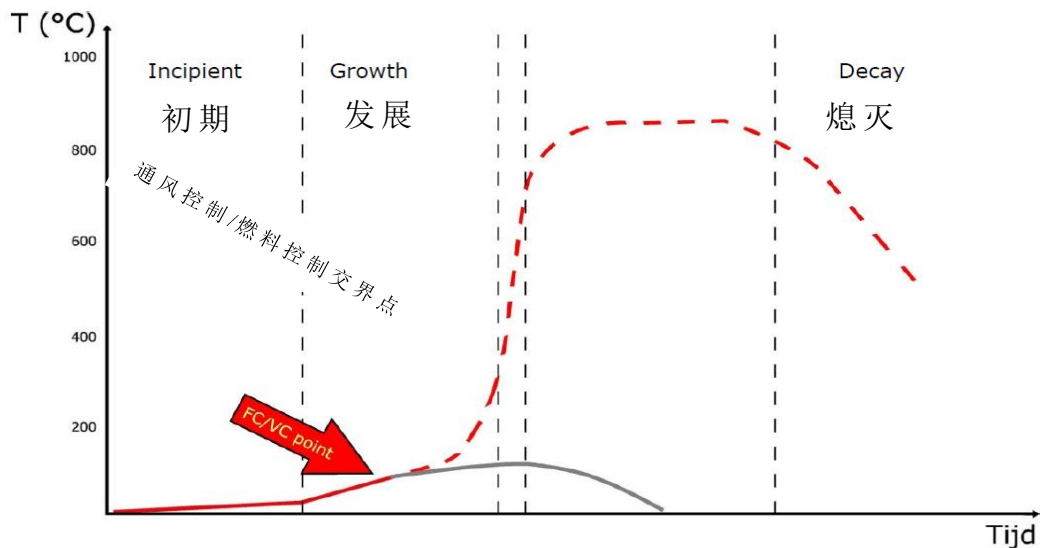


图 4.1 火灾在早期转变为通风控制，火场温度会受到很大限制（坐标横轴表示时间，纵轴表示温度）

1.2 临界温度的形成

如果交界点出现在，火灾的发展阶段与全面燃烧阶段之间。那么，由于发展阶段已经有一段很重要的能量和热量的释放过程，接下来火场温度的变化趋势主要由着火房间的结构决定。

图 4.2 中，通风控制型火灾的发展情况用灰色实线表示。

如果房间相对密闭，热释放速率会持续降低，但是由于房间隔绝性能较强，内部高温会比正常情况下持续更长一段时间，但最终温度会下降。

如果火灾的通风情况没有改变，最终火灾会自动熄灭。

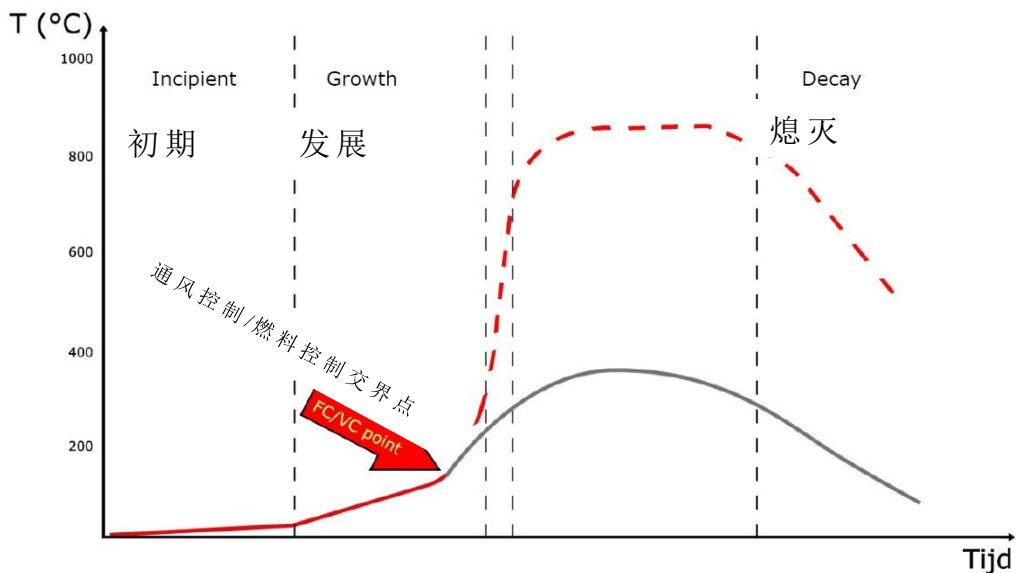


图 4.2 通风受限火灾的发展

在有充足热量残余的通风控制型火灾房间里，通风情况的改变有可能对内部作业人员带来灾难性的后果。

1.3 有脉冲燃烧现象的火灾

脉冲燃烧现象一般出现在通风口有限的局限空间，火灾会较快的转变为通风控制型火灾。

火灾发展阶段，会产生大量的烟，这些烟部分从通风口排出。由于烟气不断的产生、增多，开口用于排烟部分的面积不断增大，烟气中性面降低，从通风口进入的新鲜空气不断减少，热释放速率降低。

一段时间后，室内温度随之下降。火场烟气将减少，室内正压消失，烟气不再外排，随之会形成短暂的负压并将空气再次吸入室内。

一旦新鲜空气或氧气到达燃烧区域，火势又会发展起来，热释放速率又将上升，烟气量增多并再次占据通风口。

同样的，新鲜空气供给减少甚至停止，由于缺氧，火灾会再次进入熄灭阶段，热释放速率和火灾温度下降，烟气减少使得室内再次形成短暂负压，然后空气再次被吸入室内，如此形成一个循环。

这个循环过程如图 4.3 所示，这种现象称为脉冲燃烧现象。

荷兰人德平特的船舱火灾就是典型代表。更多关于这类火灾的资料你可以查阅下方链接：[荷兰德平特船舱火灾](#)

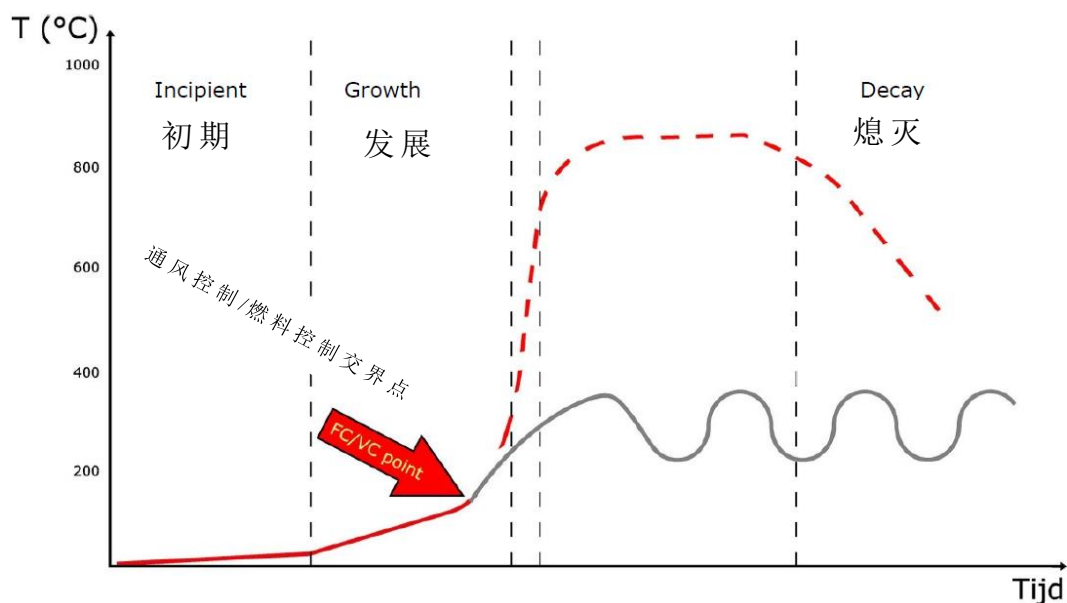


图 4.3 脉动型火灾

2 沙发商场火灾（美国，查尔斯顿）

通风控制型火灾的危险性很高，一旦通风情况发生改变，火灾会接触到更多空气，火灾的热释放速率也将会上升。

有时，这个过程发生的较为缓慢，能够留给消防员有一段思考反应的时间。但也有可能发生的特别迅猛，并伴随着回燃现象，或者甚至因为通风造成轰燃发生。

谈到通风控制型火灾，美国查尔斯顿的沙发商场大火是经典案例。

2.1 商场基本情况

商场位于查尔斯顿，卡罗来纳州南部，建筑分为几个部分。一部分是最开始建的 1625 m²的营业厅，之后左右各延伸了 650 m²的空间。营业厅后面是一个 1500 m²的仓储建筑，一个棚位于中间连接着仓储建筑与营业厅，这个棚用于运输车辆装卸停泊。



图 5.1 起火商场的照片

商场经营的是家具用品，这就意味着平时里面的火灾荷载特别大。由于巨大的表面积（同样体积也很巨大），燃烧时，里面空气供给量与对应可燃物量的比例就相对很小，虽然存在一些可以通风的开口，但远远不足以供给火灾发展至充分燃烧阶段。

这种建筑中，火灾能够迅速发展为通风控制型，火势发展缓慢甚至有熄灭趋势，着火的范围因通风受限，被限制在起火点附近。但是烟气却充满了整个内部空间，并且当烟气蔓延一段距离的空间后，由于温度降低，会沉降到地面附近，进一步降低火场能见度，阻碍消防员进攻。

2.2 火灾发展过程

火灾发生在 2007 年 6 月 18 日，起火点位于商场与后面仓库连接的装卸棚上，消防局接到报警后第一时间调集 2 部消防车赶赴现场。

一组负责从外部控制火势，一组负责展开内部侦查。在第一次内部侦查过程中，商场内部只有一点烟，火势在装卸码头的棚子上发展，并往前部的商场蔓延。

前来灭火的消防力量不断增多，距最开始报警 20 分钟，7 台消防车和 4 名总指挥员到达了现场。

救援力量从前后方向尝试控制火势，同时加大力量保护前部商场。在商场内部，五组消防员利用多支水枪尝试阻挡火势蔓延。

灭火过程中，商场内部的烟气开始逐渐聚集，虽然一些内攻消防员进来时视线良好，但此时烟

气已经很大，想要找到撤离出口，困难重重；消防员被困在商场内，危险的处境迫使他们向外界发出第一个求助信号。

现场事故指挥官想利用通风排烟来提高商场内部能见度，下令击破商场前部所有的玻璃（如图 5.2），他想通过这种方式改善内攻队员被烟气困住的处境，让他们有机会逃生。

这一战术存在很多争议，从外窗积累的可见水气层「典型的通风控制型火灾特征」可以看出，当时，商场里面燃烧条件受通风控制的，而前部外窗也是关乎火灾通风关键的建筑外表面。

破开所有前窗后，大量空气进入火场燃烧，火灾迅速发展。火焰迅速蔓延，温度显著上升。商场内部的环境变得如同地狱一般，九名消防员未能成功撤离火场而丧生。



图 5.2 一名消防员正在破拆商场前侧窗户



图 5.3 烟气开始从破开的外窗排出，同时大量新鲜空气进入火场



图 5.4 充足空气参与燃烧，火灾迅速发展至充分燃烧阶段

2.3 一些思考

查尔斯顿大火是一场悲剧，九名消防员在这场大火中失去生命。但决不仅仅是因为破拆通风决

策导致惨剧发生，通风排烟的主要原因是几名消防员被困于浓烟之中，这一决策只是让原本已经恶劣的局势更加恶化。

导致悲剧发生的一个关键要素是水源不足，消防员必须从消火栓和消防车上铺设相当长距离的水带才能到达起火点。因为火势太大，所以扩大作战规模，加大参战人数。但是，大多数的增援力量被安排去控制火势而没有确保供水。

实际情况是，有些消防局有专门的远距离供水操作程序、操作人员及相关装备配备。但是，万一，某些消防队没有相关资源呢？它有没有充分训练，如何利用最传统方式实现 500m 远距离供水呢？能不能通过此次火灾扑救过程中，资源分配暴露出来的问题来总结提高呢？

查尔斯顿大火处置中，另外重要的一项是事故的指挥体系。当火势扩大，会有大量的指挥员到达现场。如果事故涉及面积大，在对事故发展全局掌握的基础上，安排多个队伍之间的协调配合，就变得非常困难。为了防止这种情况发生，首先也是最重要的方法就是提前演练。

比利时指挥员对于大型火场指挥，平均训练时长是多少呢？这里我讲的并不是指预案制作，而是指，在相对真实的情景下，指挥员怎样现场指挥他的队员的训练。

消防员安全问责体系的缺失，导致了当消防员遇到威胁自身安全，发出紧急求救信号时，外界救助机构很难做出相应的应对决策。

在比利时，有些消防局有相应的安全问责体系，但又有多少真正配备紧急救援队伍呢？有多少消防局，针对消防员遇到紧急情况，开展救助训练呢？我们又如何实现自救呢？

在纽约消防局，他们研究发展了一套应对消防员求救的反应体系，并且已经投入运行。新上任的指挥员必须经过为期一周训练，目的是掌握如何对紧急情况下消防员实施救助。

仔细研究这项内容，你会发现它非常有意思，我们会在另一篇文章中进行阐述。