

建筑物就是你最大的对手

翻译:橙色救援微信公众号

1 引言

这篇文章的标题在美国消防是一句名言，传奇指挥官“弗兰克 布兰尼根”（“Frank Brannigan”）将毕生的工作，致力于确保消防员们意识到火灾中建筑结构所固有的危险，因为结构倒塌（全部倒塌或部分倒塌）在火灾现场很常见。

建筑是非常多样化的，美国的木质结构建筑比利比多。在火灾中，木质结构建筑（可理解为：可燃）的火灾特性与传统的砖砌建筑也是不同的。然而，在今天，我们看到越来越多人建造“木质结构”的房屋。

在修建被动式节能屋时（被动式房屋是一种节能建筑物，可以用非常小的能耗将室内调节到合适的温度，非常环保），建造者会广泛使用木质框架。房屋内部通常采用木质镶板装饰，装饰后的房屋会包含许多额外的火灾荷载。

用木质镶板作为内饰也意味着，火灾时会有非常大的接触面，可以用 CFBT 集装箱做实验进行比较。用一个总表面积为 10-12 m²的木板作为火灾荷载。在一个 4m×5m 的房间里，很容易找到 45 m²面积的墙体。如果这些墙体使用了易燃材料，由于易燃墙体有较大的接触面，使得其火灾的发展情形，会不同于用砖和石膏做成的房间。

新式木框架建筑与传统建筑之间的第二个重要区别是强度，现代建筑经常使用薄木板构件，这些建筑构件的耐火极限通常非常有限。

然而，即使在处置传统建筑火灾时，我们有时也会遇到一些难题，墙体倒塌会给消防队员造成很大的伤害。事故发生后，通常会说：“我们没有预见到即将发生的事情”。

因此，本文将重点放在建筑物上，更具体地说是在建造结构倒塌上。

1.1 案例

1.1.1 教堂火灾案例

2004 年 3 月 9 日，荷兰哈勒姆的科宁教堂（Koningkerk）发生了一场火灾，教堂巨大的木质屋顶结构很快就被火焰吞噬了。由于教堂的体积和屋面很大，内攻已经不可能了，于是决定外攻。

火势发展非常迅速，实际上，外攻并不是很有效，大量的水发挥作用不大。遗憾的是，并没有更好的选择。在屋顶结构坍塌或烧毁后，教堂巨大的墙体仍然耸立着，墙体内部熊熊大火仍在燃烧。

指挥员意识到，墙体如果不采取任何的防护措施将构成很大的危险。他下令封锁了紧邻教堂的一条道路，即使是消防队也禁止使用这条路，因为墙体向外倒塌的风险相当高。

然而，由于火场非常大，这意味着现场有大量消防员，并不是每名消防员都收到了禁止使用封锁道路的命令。消防队到达火场大约一个小时后，一面侧墙塌落。

正如预测的那样，墙体倒塌了——向外。三名消防队员，由于没有意识到发出的命令，被塌落的墙体砸中死亡。

1.1.2 天窗案例

2012年5月16日，比利时的Waregem消防队正在灭一场单元房大火。灭火过程中，天窗的一面侧墙完全出乎意料地倒塌了。碎片砸在一名佩戴自给式呼吸装置的消防员身上，尽管他的头盔和呼吸装置吸收了部分冲击，但该消防员受伤仍然很严重。

虽经过数月的康复治疗，他的腰部以下还是瘫痪了。因此，除了已知的倒塌风险（如前面荷兰火灾案例中描述的“火场发生了墙体倒塌”）外，还有一个很少有人知晓甚至是未知的倒塌风险（“天窗也会倒塌”）。

注意到任何潜在的倒塌风险，是每名指挥员的责任。通过对已发事件的讨论，可以增加对类似情况的认识，进而减少事故的发生。

1.2 建筑为什么会倒塌？

在美国，理查德·加斯韦（Richard Gasaway）博士正在开展一项名为“态势感知”的项目。他试图培训消防员，让他们明白感知周围的环境对消防员是很重要的。他的网站，www.samatters.com，提供了许多关于人们应该如何感知环境的有意思的文章。

在他的一篇文章中，他提出了一个假设，那就是假设每栋建筑都在倒塌中。人人都知道重力，重力试图让物体向下，重力也作用于每栋建筑。

在这些建筑中，有为了抵消重力而设计的“结构”构件。除了重力，建筑也会受到其他的力。如：风可以在外墙上施加巨大的力（剪切力）。这些不同的力通过所有的结构构件（如：地板、墙体、横梁、柱子……）被转移到了地基上。

只要结构构件按照设计的功能正常发挥作用，建筑就会保持直立。当结构构件承载力因火灾而减弱时，建筑就会（部分）倒塌。有时候，倒塌很难预测，但在其他一些案例（比如墙体倒塌）中，却能教早就预测出倒塌的风险。

1.3 建筑材料

下面是对建筑中几种常用的，而且易于倒塌的建筑材料的描述，这是一个非常简洁和概括的描述，目的是阐述一些倒塌机理。

1.3.1 砖

砖在建筑中被广泛应用，大多数时候它是用来建造墙体的。砖墙很适合传递垂直方向的力，它将地板的重量传给了地基。然而，当遇到侧向力的时候，砖墙就不能很好地保持直立。

工匠们很清楚，刚铺设的砖墙在遇到强风吹的时候会倒塌。因为强风在墙体表面施加了很大的压力。当这个压力很大时，墙体就会倒塌。

如果墙体上面有一层楼板，墙体倒塌的风险就会消失。楼板能吸收风引起的水平方向的力，并分配到支撑楼板的墙体上。同样的道理也适用于建筑的山墙，只有与椽子附着后，山墙才会变得结实。（山墙一般称为外横墙，是指沿建筑物两端的横向外墙一般称为山墙。古代建筑一般都有山墙，它的作用主要是与邻居的住宅隔开和防火。）

在火灾中，有两种不同的诱因可能会引发墙的倒塌。第一种是木质椽的燃烧，从开始燃烧到倒塌通常需要一些时间。首先，火灾需要发展到充分燃烧阶段，然后，火会逐渐地烧穿椽子，直到椽子倒塌烧尽。在某个时间点到来前，山墙仍将保持直立。一旦有强风吹来，没有任何构件支撑的山墙就会有倒塌的风险。

山墙会向内倒还是向外倒，取决于风的方向。在灭火过程中、在清理火场时甚至是在火灾被扑灭之后，都可能出现墙体倒塌。只要墙体失去支撑，就可能会倒塌。

第二种发生倒塌的诱因是墙体被加热。烧穿屋顶的火通常意味着温度非常高，没有支撑的墙体会被这样的高温辐射。

在墙体的内侧，温度可能超过 1000°C，墙体外侧的温度不会那么高。被加热的物体都有膨胀的趋势，墙体的内侧由于温度很高将会向外膨胀，而墙体的外侧却没有变化，结果是墙体会变形。

墙体的底部被固定在地基或地板上，所以底部不能移动。而墙体的顶部是未被固定，所以顶部会向外移动。墙体由于上下移动不同，将呈香蕉状。通过这样的形式，热的内墙膨胀，而温度较低的外墙则不会膨胀。

如果这一过程持续下去，这面墙最终将会倒塌。一面没有支撑的墙如果因火灾而倒塌，则总是向外倒（即远离火的方向）。

1.3.2 钢

钢在建筑中也被广泛使用，这种材料强度非常好，在断裂之前可以拉伸很长。

通常你会看到，钢结构倒塌前会先弯曲。钢也是一种导热效果非常好的材料。钢受热后，会像其他材料一样膨胀。

钢梁和钢桁架在膨胀时就会向与之相联的墙体施加巨大的水平推力，推力如果



图1 捆包的固定点已经部分被烧穿。当风猛烈时，山墙就有可能倒塌。烟囱可能附着在椽子上，在这种情况下可能会损坏。
(图片来源未知)

足够大，就会将墙体推倒。在这种情况下，墙体会因此向外倒塌。

有关工业建设的新建筑法规（比利时的“bijlage 6”）要求，建筑结构设计应确保建筑倒塌时向内塌陷。对于现代工业建筑来说，这意味着风险被提前消除了。

1.3.3 木材

木梁也经常用于建筑，历史上的横梁尺寸巨大。尽管木材是易燃材料，但这些木梁具有良好的耐火性。一根支撑地板的横梁，自其三个不同表面，将会受到火的“攻击”，木梁的底部和两侧会燃烧，这将降低横梁的承载能力，直到大火被扑灭或横梁坍塌。对于巨大的老木木梁来说，在火灾中需要经过一段时间才能充分地削弱它们的承载能力。

现代建筑中，越来越多地使用了轻质木结构。这些类型的结构早已被用于屋顶结构，大多数情况下，使用的是“通用椽子”。这些木板的尺寸大约是 $3.5\text{cm} \times 18\text{cm}$ 。

毕竟宽度只有 3.5cm ，在猛烈燃烧的大火中，这些椽子很快就燃烧起来了。近年来，这样的木板也会被用来铺地板。毫无疑问，当下面的楼层发生火灾时，这些楼板很快就会坍塌。

在北美，轻质木结构的使用更进一步。在这里，使用了木桁架（见图 2）。构件的强度部分取决于桁架的上部和下部之间的斜线节点。



图 2 木桁架（图片:来自 NIST）

所有人都清楚，这些斜线节点会在火灾中很快燃尽。加拿大的研究表明，这种建筑的耐火极限还不到 10 分钟。

1.3.4 预制混凝土

在工业建筑中，预制混凝土经常被使用（见图 4）。混凝土墙体连接在钢框架上，火灾中，墙体与钢框架之间的连接节点会受力严重，有可能由于节点变形导致墙体倒塌。

尤其是在垂直方向使用大尺寸构件的时候，墙体倒塌产生的碎片会掉落到与原来的墙体相距很远的地方。

1.4 避免事故发生

火灾中，避免倒塌是不可能的，毕竟火灾会削弱结构的荷载承载能力。

然而，对指挥官来说，能够意识并考虑到风险是非常重要的。最不应该发生的事情是，消防员在本该预见的倒塌中丧生。

1.4.1 倒塌区

每个消防员都应该知道“倒塌区”这个术语的含义。倒塌区域是指墙体倒塌或建筑倒

塌时碎片散落的区域。经验法则通常认为倒塌区的长度是墙体高度的 1.5 倍。

墙体倒塌之后，消防队员经常穿过废墟向火场推进。墙体倒塌了，风险解除了，向前推进并不是一个大问题。

然而，在墙体倒塌前，消防员进入倒塌区是极其危险的。一旦发生倒塌，就会被掉落的碎片砸中。

1.4.2 部署人员

警惕在灭火过程中可能发生的倒塌，是现场指挥员的责任。在火场最初忙乱的几分钟里，指挥员有更多的工作要做，没有时间来评估倒塌的可能性。

而且，大部分的倒塌不会发生在火场处置的初始阶段。不过，在建筑中应用越来越多的轻质木结构除外。



在处置时间长的火场行动中，在某一时刻需要部署消防员。现场指挥官和指挥员都应该扪心自问：“会发生倒塌吗？”“有什么东西可能倒塌？”“掉落的碎片会落到哪里？”

如果这些问题中任一问题的答案，可能引起现场消防员、其他紧急救助人员或群众受伤，则必须采取预防措施。

图 3 火灾后保持直立的墙体。用人群隔离栅和警戒带圈定倒塌区。(图片:来自 Herman De Wit)

正确的部署人员（参见图 4）可以防止许多问题，如果发生倒塌，处在倒塌区外的消防员可能不会受到伤害。当消防员被部署在离建筑物一定距离的地方时，告诉他们为什么他们必须站在“这么远”的地方是很重要的。

极端情况下，可以设置岗哨，告知所有消防员某个区域禁止通行。比如，对消防员开放了很长一段时间的通道，现在不能使用了，就可以设置岗哨负责通知消防员。

执行这项任务的消防员可能不乐意干这件事情。但是如果不这样做，可能会导致消防员严重受伤或死亡，设置岗哨实际上是一种有效且容易实施的措施。

1.4.3 防止墙体和山墙倒塌

大火被扑灭后，倒塌的风险会变得清晰可见，必须采取必要的措施。最好的选择是彻底移除危险。消防队可能会选择，在清理火场前将墙体推倒或者调用重型起重机将墙体部分拆除。

尽管强行推倒山墙并不是业主们想看到的事情，但是与倒塌造成的伤亡成本相比，两害相权取其轻，重建的成本是很小的。

有时，在火场清理阶段，人们会选择让墙体处于不稳定的状态。之所以这样做，是因为该建筑具有建筑价值。在这种情况下，需要圈定一个禁止消防员进入的区域（如果在灭

火过程中没有圈定的话)。

国外的一些消防队，会使用不同颜色组合的隔离带（如黄/绿色）进行圈定。这些消防队使用隔离带的规则是，经典的红/白色隔离带用于隔离群众，消防员往往不使用经典的红/白色隔离带，而用另外的颜色组合来隔离紧急危险的区域，这时任何人不可进入隔离区。



图 4 由预制墙板组成的工业建筑发生火灾。因为有倒塌风险，消防员与墙体保持一定的距离。

火被扑灭后，移除任何松动的墙板以消除倒塌的风险。（图片来自 Peter Vangierdegom）

1.4.4 做支撑

给墙体做支撑是消除墙体倒塌危险最后的也最重要的方法，尤其是墙体处于不稳定状态时，需要对这些墙体进行支撑加固，有时候必须等到灭火行动结束后，才能对墙体进行支撑加固，这时可以交由专业的公司来做。

特别是在灭火结束后，如果由消防队做墙体支撑加固，实在是不明智的冒险行动，而专业人士往往受过良好的训练，拥有专业的墙体和建筑支撑设备。

1.5 最后的想法——“我有一个梦想”

我想以马丁·路德·金的一句话“我有一个梦想”来结束这篇文章，本文的第一个案例，科宁教堂（Koningkerk）火灾发生后，相关部门对事件进行了彻底的调查。由公共安全检查部（检查公共秩序和安全）出具的最终报告长达 220 页。

调查试图对造成伤亡的场景进行再现，对当时在场的许多人都进行了采访。分析了事件发生的原因，研究了未来如何能做的更好的对策，建议并研发了相关教学课程。

2008 年 5 月 9 日，在荷兰 De Punt 餐厅发生了一起火灾。这场火灾导致三名消防员牺牲，由消防官员、教授和职业安全专家组成了一个调查小组。

2008 年 6 月 18 日（仅 1 个月之后），调查小组根据最原始也是最重要的线索撰写了初步报告。2009 年 4 月 15 日，调查小组提交了 256 页的最终分析。

调查小组的重点是“下次如何能做得更好？”而不是“谁该被追责？”给荷兰消防部

门工作的每名消防员发放了教学视频，让他们有机会从这一不幸事件中吸取教训。荷兰消防部门正试图从事件中吸取教训，改编了消防员课程内容，开发了新的操作指南。

我想说的是，我们可以在比利时开始做同样的事情吗？我有一个梦想：希望像韦特伦（比利时东佛兰德省的一个城市）火车相撞这样的大规模事故与导致消防员死亡或严重受伤的小规模事故都能进行调查，然后从中吸取教训。

2 参考文献

[1] *Every building is in the process of falling down*, www.samatters.com, Richard Gasaway, februari 2012

[2] *Brand in de koninkkerk te Haarlem – onderzoek naar het brandweeroptreden*, Inspectie openbare orde en veiligheid (IOOV), maart 2004

[3] *IFIW 2010, visit to the Canadian National Research Council*, May 2010

[4] *Talks with Benito Mahieu and Piet De Vos of the fire service of Waregem*