

仓库应用自动喷水灭火系统的技术探讨

杨丙杰

摘要：自动喷水灭火系统是扑救仓库场所初期火灾最有效的灭火设施，本文结合国内外标准规范的规定，对比分析了仓库场所火灾危险等级的划分方式，比较了目前常用的 2 种设计方法的技术要点和适用范围，并以具体工程案例为基础，提出了系统设计过程中应注意的技术要点和建议。

关键词：仓库；自动喷水灭火系统；货架内喷头

仓库具有可燃物品数多，燃烧特性良好、火灾危险性高及火灾危害性大等特点，发生火灾后人员很难进入现场进行扑救。因此，仓库火灾应立足于自救原则，充分发挥自动灭火设施的作用。自动喷水灭火系统是仓库设置有效消防策略的主要依靠力量，合理的设置和正确的维护是确保系统能够发挥功效的有效保障。

1 火灾危险等级分类

火灾危险等级由设置场所的功能、内部容纳物品的性质、数量和分布，以及室内空间条件等因素确定。设置场所火灾危险等级的判断是设置系统的基础，仓库场所选取的系统类型及设计参数，应建立在火灾危险性分析的基础上。我国《自动喷水灭火系统设计规范》（GB50084-2001，2005 年版）（以下简称“水规范”）将仓库的火灾危险等级分为 3 级，而美国消防协会《自动喷水灭火系统安装标准》（NFPA 13）标准划分为 4 级，划分标准如表 1 所示。

除此之外，英国标准 BS EN12845 也将仓库场所的火灾危险等级划分为 4 级，但划分方式与美国不同，其火灾危险等级由储存物品自身的材料系数和储物特征 2 个因素决定，材料系数分为 4 个等级，储存方式分为 7 组，以此组合判定火灾危险等级，如表 2 所示。

表 1 国内外标准的规定

| 标准规范 危险等级 | NFPA 13 | GB50084 |
|--------------|--------------------------------------|----------------------|
| I 级 | 瓦楞箱中的不燃物品，有或无单层纸隔板，放置在托盘上 | 木箱、纸箱包装的不燃、难燃物品 |
| II 级 | 含有少量可燃包装材料（如多层纸板箱）或装饰件（如塑料旋钮）的 I 级物品 | 可燃物品； 塑料制品包装的不燃物品 |
| III 级 | 普通可燃物品（木材、纸、天然纤维布等）用纸箱包装，放置在托盘上 | 各种塑料、橡胶、沥青制品 |

| | | |
|-----|---|---|
| IV级 | I、II、III级物品中含有一定数量的A组塑料，塑料重量占5~15%，体积占5~25%，用瓦楞箱包装，放置在托盘上 | — |
|-----|---|---|

表2 仓库火灾危险等级

| 储物特性 | 材料系数 | | | |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----|
| | 1类 | 2类 | 3类 | 4类 |
| 不燃物品用裸露塑料容器储存 | I、II、III级 | I、II、III级 | I、II、III级 | IV级 |
| 储物带有不发泡裸露塑料 | III级 | III级 | III级 | IV级 |
| 储物带有发泡裸露塑料 | IV级 | IV级 | IV级 | IV级 |
| 敞开结构 | II级 | II级 | III级 | IV级 |
| 块状材料 | I级 | I级 | II级 | IV级 |
| 颗粒或粉状材料 | I级 | II级 | II级 | IV级 |
| 无明显特征材料 | I级 | II级 | III级 | IV级 |

除上述划分外，NFPA 13 还依据火灾危险性不同，将塑料、橡胶制品分为 A、B、C 三组，其中 A 组最高，C 组最低；A 组物品又依据包装形式划分为 4 级，由低到高依次为箱装不发泡塑料、无包装不发泡塑料、箱装发泡塑料和无包装发泡塑料。

NFPA 13 中的各项参数是假定物品放置在木托盘上，如果托盘为未增强型聚丙烯或高密度聚乙烯塑料托盘，则火灾危险等级应增加 1 级，如 III 级将增至 IV 级，IV 级将增至箱装不发泡塑料。如果托盘为增强型聚丙烯或高密度聚乙烯塑料托盘，除 IV 级物品增加 1 级外，其他火灾危险等级应增加 2 级，如 II 级将增至 IV 级，III 级和 IV 级将增至箱装不发泡塑料等级。

通过对比发现，我国规范规定的仓库危险级 I 级与美国标准中的仓库危险级 I、II 级一致，仓库危险级 II 级与美国标准中 III、IV 级一致，而仓库危险级 III 级则相当于美国标准中的 A、B、C 组塑料橡胶。英国标准从材料系数和储物特征 2 方面判定火灾危险等级，如当物质本身所含的不发泡塑料成分质量比不超过 5% 且为实体块状材料时，其为仓库危险级 I 级。

比较而言，我国规范与美国标准的划分方法基本一致，均明确、直观，但我国规范不如美国标准细致，而英国标准在划分方式上缺乏与中、美国家标准的直观对比和联系，分级方法非常详细，因此在采用前需设计人员熟悉掌握储物的本身特性和储物整体属性。

2 系统设置要求

“水规范”规定，仓库自动喷水灭火系统采用普通喷头时，系统最大安装高度为 9m；采用 ESFR 喷头时，系统最大安装高度为 13.5m。当货架储物仓库的最大净空高度或最大储物高度超过规范规定时，应设置货架内喷头。当设置货架内喷头时，仓库最大净空高度或最大储物高度可不受限制，但美国 NFPA 13 和 FMGlobal 数据册不推荐采用顶板下布置 ESFR 喷头+货架内喷头的设置方式，原因是 ESFR 喷头属灭火型喷头，在其允许最大安装高度内，可不设置货架内喷头。若采用此方式，则 ESFR 喷头应视为控火型喷头。

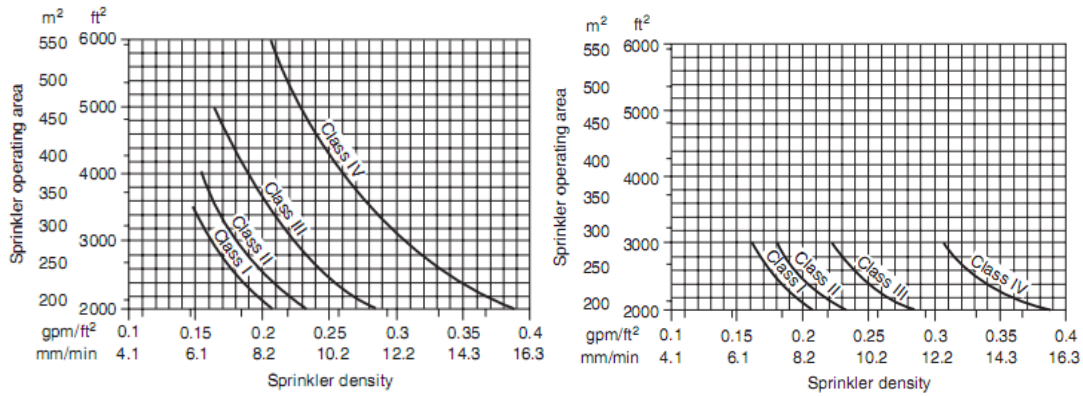
在设计方法上，“水规范”规定了 2 种设计方法，强度/面积法和喷头动作个数法，2 种设计方法的特点如下。

2.2.1 强度/面积法

强度/面积法最初用于民用建筑，之后扩展到工业场所，应用时间最长。强度/面积法通过预湿初始着火区域周围的可燃物和屋顶/天花板高度进行冷却，将火势限制在一个相对较小的区域内。强度/面积法的一个关键指标是由喷水强度决定作用面积，由喷头的保护面积决定最小工作压力。这些喷头在保护储物方面的性能由第一个动作的喷头的控灭火情况来表征，标准喷头、扩大覆盖面积喷头均可采用此方法。

试验显示，较大流量系数的喷头具有明显的性能优势，并且只需较小的压力即可满足规定的喷水强度。因此，适用于仓库场所喷头的流量系数 K 不应低于 115，甚或是 161 或更大。

但是，对于高架仓库来说，衡量喷头灭火效能的是其口径和工作压力，而不是喷水强度和作用面积。因为如果火势不能被初期动作的少数喷头控制的话，则将很难被控制住，用增加作用面积来对付高架仓库并不是解决问题的有效办法，这从 NFPA 13 新旧版本（2010 年版和 2007 年版）的对比可窥见一斑。在 2010 年版中，对所有仓库采用自动喷水灭火系统的强度/面积曲线，均删除了作用面积大于 3000ft² 的部分（如图 1），即删除了喷水强度小而作用面积大的部分，这意味着即使增大作用面积，如果采用较小的喷水强度并不能有效控火。



(a) 2007 年版

(b) 2010 年版

图 1 仓库喷水强度/作用面积曲线

2.2.2 喷头动作个数法

与强度/面积法不同，采用该方法设计时喷头的最小工作压力不受其保护面积决定。采用该方法的喷头需经过实体灭火试验的考核，该设计参数是通过各种实体灭火试验确定，即根据能够成功灭火的试验中喷头开放数确定系统设计参数，并辅以一定的保守系数，适用于该法的喷头以 ESFR 喷头和大水滴喷头为主。

以 ESFR 喷头为例，其设计为动作 12 个，是以可能出现不规则型式灭火的火场为对象，没有出现使用 12 个以上 ESFR 喷头灭火成功的例子。FM Global 在进行 ESFR 喷头的灭火试验时，将安装高度从 9m 提升至 12m，在 12m 高处试验时，仍采用 9m 时的参数，即喷头压力 0.35MPa，结果一点也体现不出灭火效果，火很快蔓延到整个面积，开放了 27 个喷头仍不见效。直至把压力提高到 0.50MPa，才出现把 12m 高的房间内熄灭火的效果，而且开放的喷头数远远少于 12 个。

我国规范中第 5.0.5 条和第 5.0.6 条分别属于采用强度/面积法和喷头动作个数法时的设计基本参数。强度/面积法适用范围较广，可适用于所有场所，且适用于该方法的喷头类型较多，而喷头动作个数法确定的设计参数是依据实体灭火试验而得，目前仅限于采用 ESFR 喷头的仓库，即使用该方法的仓库最大净空高度不应超过 13.5m。因此，对于最大净空高度或最大储物高度超过规范规定的高架仓库，当采用顶板下布置 ESFR 喷头+货架内喷头的设置方式时，应仅限于采用强度/面积法。

3 货架内喷头的设置

货架结构本身会阻碍火灾产生的热量和燃烧产物，同时也会阻碍顶板喷头的

喷水。货架内喷头能在较小的局部区域控制火势，并且会预湿火点周围的区域，从而减少了火焰的水平和垂直蔓延。其优点是能使系统尽快动作，尽量将火势限制到最小，并且不致使顶板下喷头动作，从而更有效地使用供水。但其缺点也同样明显，货架内喷头的设置带来了不少麻烦，诸如管道敷设、货物摆放、叉车工作等。尽管如此，在仓库高度日趋增高的情况下，货架内喷头仍是系统设计的不二选择。

是否需要使用货架内喷头取决于多种因素，包括顶板喷头的状况和类型、储物类型和储存高度等。NFPA 13 规定，货架储物高度超过 7.6 m 时，无论哪种危险等级，均应设置货架内喷头；货架储物高度超过不 7.6 m 时，是否需要使用货架内喷头视情况而定。“水规范”规定，货架储物仓库的最大净空高度或最大储物高度超过规范规定时，应设置货架内喷头，并规定了采用不同类型喷头的工作压力。

在货架内喷头的层高上，“水规范”规定宜在自地面起每 4m 高度处设置一层货架内置喷头。货架由于储存的物品不同，如果严格按照 4m 布置一层的要求，会给外部操作及储物摆放带来一定的麻烦。FM global 通过货架内喷头安装的不同组合试验，已证实是有效的，因此可采用多种设计方案。举个例子，如图 2 所示，图中每个正方形代表一个高度为 1.2~1.5m 的储物，当 A 或 B 代表储物顶部时，可在 1 处布置一层喷头；当 C 或 D 代表储物顶部时，可在 1 和 2 处各布置一层喷头。当 E 或 F 代表储物顶部时，可在 1 和 3 处各设置一层喷头；当储存物品高度超过 E 或 F 代表的高度时，应重复上述布置要求。

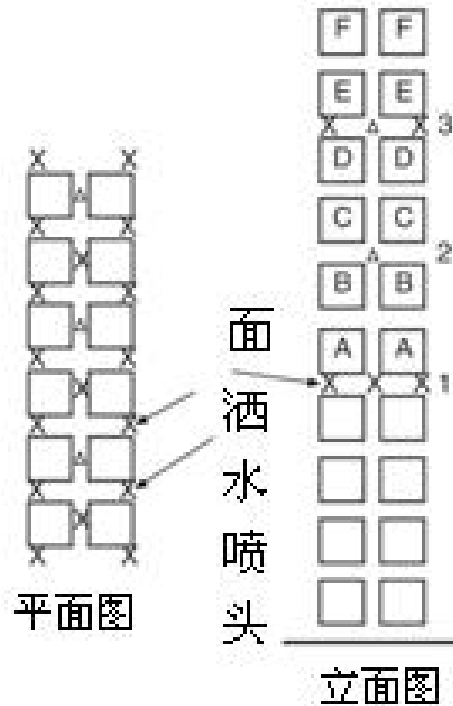


图 2 货架内喷头布置示意图

从灭火效果的角度看，货架内喷头的最佳位置布置在纵向与横向缝隙的交叉处，喷头洒水所能覆盖的燃烧面最多，但由于绝大多数货物或铲板的尺寸为 1.5 m，因此实际上很难采用这样的最佳布置。另外，从喷头动作的角度看，货架内喷头开启模式不同于顶板下喷头。不会出现喷头跳跃开放现象，因此，规范规定的喷头最小间距 2m 的要求似乎太严格，可酌情放宽，但应确保喷水强度不低于规范值。

4 工程实例

某自动化立体库，占地面积 1134m²，高 23m，储存汽车配件及零部件，纸箱或木箱包装，库内设有 8 个单、双排货架，货架高度 20m，层高 1.2m。

根据规范规定，本工程属仓库危险级 I 级，由于最大净空高度和最大储物高度均超过规范规定，因此采用顶板下喷头+货架内喷头的设置方式。

在喷头类型选择时，规范规定顶板下喷头可采用流量系数 K-200 和 K-360 的 ESFR 喷头，由于 K-360 喷头较 K-200 喷头系统末端所需压力低，且喷头动作后水滴冲量大，穿透力强，因此本项目选用了 K-360 的 ESFR 喷头，喷头间距需结合货架间距布置，支管间距为 2.8m~3.2m 不等，同一根支管上的喷头间距为 3m。货架内喷头采用 K-115 的喷头，按照每 3 层设置 1 层货架内喷头，共设置 5 层，单排货架时喷头布置在货架背面，双排货架时布置在货架中间，喷头间距

3m，每层喷头交错布置。

顶板下喷头作用面积内开放数为 12 只，按系统最不利 3 根配水支管，每根配水支管各开放 4 只计算；货架内喷头开放数为 14 只，按最顶端 2 层，每层各开放 7 只计算；最不利点处喷头的工作压力均为 0.10MPa，用水量分别为 86L/s 和 32L/s，系统用水量为 118L/s，系统所需压力为 0.85MPa。

5 建议

通过以上分析及对国内外标准的比较，在仓库应用自动喷水灭火系统时，作者建议如下：

1) 在总体水量基本保持不变的情况下，仓库场所应适当增大初期投入喷水的用水量，以利于控火，并有利于缩小喷水作用面积。

2) 喷头的安装高度受其自身特性决定，当顶板最大高度不超过 9m 时，可采用标准喷头和 ESFR 喷头；当顶板最大高度 9~13.5m 时，应采用 ESFR 喷头；当顶板最大高度超过 13.5m 时，应采用顶板下喷头加货架内喷头的布置方式。

3) 货架内喷头的层间高度应以火灾危险等级不同分别对待，建议 I、II 级储物应在自地面起每 3~4m 设置一层货架内置喷头，III 级储物应在自地面起每不超过 3m 设置一层货架内置喷头，最高层货架内置喷头与储物顶部的距离不应超过 3m。

参考文献：

[1] GB50084-2001(2005 年版).自动喷水灭火系统设计规范[S].

[2] NFPA 13-2007.Standard for the Installation of Sprinkler Systems[S].

[3] NFPA 13-2010.Standard for the Installation of Sprinkler Systems[S].

[4] BS EN12845: 2004.Fixed firefighting systems -Automatic sprinkler systems-Design, installation and maintenance[S].

[5]宋波、杨丙杰.仓库设置自动喷水灭火系统的应用探讨《消防科学与技术》[J].2008,27(7): 526-529.

——本文发表于《给水排水》(2012 年第 3 期)