



中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/ T 6306—1997

易燃、可燃液体常压储罐的 内 外 灭 火

Fighting fires in and around flammable and
combustible liquid atmospheric storage tanks

1997-12-31 发布

1998-07-01 实施

中国石油天然气总公司 发 布

目 次

前言	IV
API 前言	V
1 范围	1
2 引用标准	1
3 定义	2
4 灭火剂	3
5 储罐内外灭火操作	7
6 储罐火灾控制与灭火	12
附录 A(提示的附录) 参考资料	18
附录 B(提示的附录) 应急计划	20
附录 C(提示的附录) 事故数据表	28
附录 D(提示的附录) 原油储罐的水沸溢、油沸溢和泡沫溢出	30
附录 E(提示的附录) 泡沫灭火剂的摩擦损失数据	31

前 言

石油储罐火灾的扑灭是一个非常重要的安全问题。由于石油储罐火灾次数比较少，所以很少有人对油罐灭火具有直接经验。本标准就是应此需要而编写的。

本标准的目的在于向消防队员介绍扑灭各种地面储罐和可燃易燃液体常压储罐火灾的方法，其中包括应急方案和互助措施，以便能制定一个完整的油罐灭火方案。

本标准在技术内容上与美国石油学会出版物 API Publ 2021《易燃、可燃液体常压储罐的内外灭火》（第3版，1991年1月）等效。

本标准删去了与标准技术内容无关的 API Publ 2021 的特别声明。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 均为提示的附录。

本标准由石油工业安全专业标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位：中国石油天然气管道局、胜利石油管理局安全技术处。

本标准主要起草人 沈积仁 张 勇 陈彦增 陈建设 李俊荣

API 前 言

API 出版物可供愿意执行的任何人使用。美国石油学会已作了不懈的努力以保证 API 出版物数据的准确性和可靠性。但是，学会对所出版的 API 出版物不代表、保证或担保，并特此明确表示，对于因使用本出版物而造成的损失或损坏，或者由于本出版物可能与任何联邦的、州的或市的法规有矛盾而导致使用者违犯这些法规，API 均不承担任何义务或责任。

各种修订建议是受欢迎的，并请寄往美国石油学会安全与消防部主任，地址：1220L Street N.W., Washington, D.C.20005。

易燃、可燃液体常压储罐的内外灭火

Fighting fires in and around flammable and combustible liquid atmospheric storage tanks

在所有石油生产中使用的数以千计的储罐中，石油储罐发生火灾次数极少。

鉴于只有少量储罐火灾的记录，且很少有人对储罐灭火具有直接经验，本标准就是应此需要而编写的。

应急计划必须考虑有关的法规和条例 [见第 2 章和附录 A(提示的附录)]¹⁾。适当的定期培训对于有效地扑灭储罐内部及其周围火灾是非常重要的。消防保护的形式随工厂性质、规模及其复杂程度而异。一个中等规模的工厂，消防队长可以由工厂工作人员兼任，而消防队员则可由在紧急情况下能够离开工作岗位并经过训练的人员来担任，工厂的其他人员可承担灭火的辅助工作。在可能情况下，小型工厂也可依此办理，但不得不更多地依靠厂际互助和公共消防部门。大型工厂则应该设置一名专职消防队长和一名或数名专职消防人员，由他们专门管理所指定的消防小组或消防队。消防人员除参加救火工作外，平时应该进行消防设备的检查与维护，组织与领导救火训练工作，还应该进行消防检查、气体漏泄的检查以及动火作业证的签发工作。

1 范围

本标准是向有关消防人员介绍各种地上常压储罐和扑灭易燃、可燃液体储罐火灾的方法，其中包括应急计划，以便能制定一个完整的储罐灭火方案。本标准包括低闪点的易燃和可燃液体（如汽油）及高闪点的易燃和可燃液体（如润滑油和沥青）。

本标准根据石油工业在下列几个方面的经验提供切实可行的储罐灭火指南：

- a) 卧式和立式常压储罐的灭火预案；
- b) 易燃和可燃液体常压储罐内部及其周围火灾灭火战略和战术的各种预防措施和指南；
- c) 用于扑灭储罐内外火灾的灭火剂。

本标准不包括如下内容：

- a) 个人防护装备；
- b) 带压气体火灾；
- c) 非金属罐火灾。

防火技术和各种灭火设备及维护资料不在本标准范围内，而是包括在诸如 NFPA 11、NFPA 30 及 API Publ 2005 中[见第 2 章和附录 A（提示的附录）]。

应当指出，本标准所提供都是基本的灭火指南，因此在火灾发生时，必须根据火情灵活运用。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

API Std 620—1996 大型焊接低压储罐的设计和建造

API Std 650—1993 焊接钢制石油储罐

采用说明：

1) 原标准为：应急计划必须考虑联邦、州和当地法规和条例[见第 2 章和附录 A(提示的附录)]。

API Publ 2005—1996 加油站安全

NFPA 11—1994 低膨胀型泡沫灭火系统¹⁾

NFPA 12A—1992 哈龙 1301 灭火系统

NFPA 17—1994 干粉灭火系统

NFPA 30—1993 易燃和可燃液体规范

注：关于石油设施防火方面更详细的资料来源见附录 A（提示的附录）。

3 定义

3.1 水成膜泡沫灭火剂 aqueous-film-forming foam (AFFF) concentrates

主要由氟化表面活性剂加泡沫稳定剂组成，通常根据灭火剂类型，按体积稀释成 3% 或 6% 的水溶液。所形成的泡沫起一种隔绝空气或氧气的隔离层作用，并在燃烧液体表面形成一层水成膜，因而能够抑制燃烧液体的蒸发。

3.2 火灾等级 class of a fire

取决于引起火灾的燃料。A 类火灾是指诸如木材、布、纸张和橡胶等普通可燃物的火灾。B 类火灾是指易燃或可燃液体和气体火灾。

3.3 （火灾）控制 control

就是将火强度降低大约 90% 左右。

3.4 成膜氟蛋白泡沫灭火剂 film-forming fluoroprotein (FFFP) concentrate

由蛋白和成膜表面活性剂组合而成。所形成的泡沫起一种隔绝空气或氧气的隔离层作用，并在燃烧表面形成一层水成膜，因而能够抑制燃烧液体的蒸发。根据泡沫浓缩液类型，按体积稀释成 3% 或 6% 的水溶液。

3.5 氟蛋白泡沫灭火剂 fluoroprotein (FP) foam concentrate

是一种蛋白中加入合成氟化表面活性剂的泡沫浓缩液，除可以在液体表面上形成隔绝空气的泡沫覆盖层以外，还可以在液体表面上沉淀出薄膜而防止液体进一步蒸发。浓缩液按照其类型用水稀释成体积比为 3% 或 6% 的溶液。

3.6 泡沫供给强度 foam application rate

是在单位时间内单位面积上所供给泡沫量的一个计量单位，以单位时间（分）内单位面积（平方米或平方英尺）上的泡沫量（升或加仑）进行计算，单位为： $L / (min \cdot m^2)$ 或 $gal / (min \cdot ft^2)$ 。

3.7 泡沫发泡倍数 foam expansion value

是指最终的泡沫体积与未加入空气前的原始泡沫溶液体积之比，也是泡沫比重的倒数。

3.8 泡沫质量 foam quality

是指泡沫物理特性的一个量度，这些特征包括 25% 的泡沫析液时间、发泡倍数和抗烧损性。

3.9 最低施放量 minimum application rate

是指足以扑灭火灾，并且有令人满意的稳定性和抗烧损性（见 NFPA 11）的灭火剂供给强度。

3.10 极性溶剂 polar solvent

是可部分或全部溶于水的易燃液体。醇、酮和醚是常见的有机极性溶剂。

3.11 蛋白泡沫灭火剂 protein foam concentrates

主要由蛋白水解物组成，并添加了稳定剂和阻蚀剂，用以降低凝固点，防止设备和容器遭到腐蚀，防止细菌对于泡沫的分解作用，并调节粘度，以保证在紧急情况下能够立即投入使用。该类浓缩液可根据其类型用水稀释成 3% 或 6% 的溶液。

3.12 液下喷射 subsurface injection

1) 《美国国家防火协会（NFPA）安全防火标准选编》（上、下册）已由山东泰山出版社于 1997 年 11 月出版。

是一种用于扑灭烃类储罐火灾的方法，是将泡沫从储罐内燃烧液面以下的某一点注入，使泡沫升至液面而覆盖燃烧物蒸气。

3.13 液面上施放 topside application

是指将泡沫施放在燃烧液面上的方法。

3.14 25%析液时间 twenty-five-percent drain time

是指排出泡沫中所含液体的25%所需要的时间。

3.15 I型排放口 Type I discharge outlet

是一种将泡沫输送到燃烧液面上而不使泡沫淹没或使液面搅动的装置，如泡沫槽。

3.16 II型排放口 Type II discharge outlet

是一种将泡沫输送到燃烧液面上，泡沫部分淹没并在有限的范围内使液面搅动的装置，如泡沫室。

3.17 III型排放口 Type III discharge outlet

是一种输送泡沫使其直接落到燃烧液面上，并使液面全面搅动的装置，如泡沫喷嘴。

4 灭火剂

4.1 概述

本章对用于储罐周围地面火灾、易燃可燃液体储罐内部火灾的灭火剂作了介绍。在扑救液体火灾时，应该使用专门的灭火剂和设备，并由合格的消防人员使用。

4.2 水

水作为灭火剂使用范围较广，它可起到冷却、闷熄、乳化、稀释和置换作用。水具有从任何物质吸收热量的能力。通常它是大量存在的。它能够冷却暴露于火焰中的设备、构筑物以及罐壁，以防止或减少设备因受热而损坏和容器中所储物质因过热而引起的过压。当水以喷雾状或射流形式使用时，它能起到有效的冷却作用。当燃烧表面冷却到其闪点（燃烧表面不再继续释出蒸气）以下就能起到闷熄作用。当水以适当的喷射形式施放时，水可以扑灭小规模闪点为38℃（100°F）液态烃的火灾。

如果将水轻轻地喷射到正在燃烧的闪点大于93℃（200°F）的粘性液体，能够在液体表面上产生一层泡沫，可起到泡沫灭火剂作用而将火闷熄。有过使用这种方法将小直径热沥青储罐火灾扑灭的实例。

在某些情况下，溶于水的易燃性液体可以通过稀释的办法予以扑灭。灭火所需要的稀释程度因燃烧液体而异，例如75%的水和25%的乙醇溶液就不能继续保持燃烧。在储罐火灾中，要达到足够的稀释程度可能是不切实际的。

水经常作为置换介质在漏油的烃类管道上使用，或用来把储罐中液态烃漂浮在漏孔以上位置，不让内储物再漏出孔外。为防止回流到灭火系统中，应该使用单向阀。在其打开之前，水的压力必须大于液体的压力。但是水不能用于置换漏油管道中的低温石油液化气或液化天然气，因为这些内储物温度低于0℃（32°F）。在这种低温下，水会冻结，并可能引起管子断裂，从而使事故更加严重。

水喷射特别适合于驱散漏出来的气体和蒸气。也能用于保护消防队员免遭辐射热或火焰接触。

水是产生泡沫灭火剂（在大型易燃和可燃液体火灾中使用最广）的主要成分。

水可以有效地控制但不能扑灭低闪点液体燃料火灾。

4.3 泡沫灭火剂

4.3.1 概述

消防所用泡沫灭火剂是指气泡的聚集体，它会漂浮在易燃液体表面。这种泡沫灭火剂通常用充有空气的水和少量的泡沫浓缩液制成。主要用于在燃烧液面上产生一层漂浮的粘聚性泡沫使液面冷却和使火闷熄，并避免在燃烧表面上形成蒸气和空气的可燃性混合物，以防止复燃。泡沫灭火剂特别适用于平面易燃性液体火灾，例如在漏油和储罐火灾中泡沫能够在其表面上形成隔离蒸气的密封层以达

到灭火目的。

要获得优质的泡沫覆盖层必须保证水的质量。水可以是硬水或软水，也可以是淡水或盐水，但必须保证其质量不会对泡沫的生成或稳定性产生不良影响。阻蚀剂、脱乳剂或其他任何添加剂必须在使用前征求泡沫灭火剂供应商的意见。撇油池或分离器中的循环水通常不能采用，因为其中微量的油分可能会影响泡沫覆盖层的质量。

对于有着火液体向外喷射和从上面往下落的火灾（例如已破坏的储罐或管线），泡沫灭火剂只对平面上的火灾有效。对于三维火灾，可先用泡沫封闭平面火灾，然后用干粉或哈龙 1211 扑灭从上面往下落的燃烧液体或切断燃烧液体的来源，以达到灭火目的。闪点在 60°C (140°F) 以上可燃液体的三维或有燃料从上面往下落的火灾，通常可在平面火灾扑灭后，用水或泡沫喷射予以扑灭。

为了彻底扑灭储罐火灾和液体火灾，连续施放泡沫是很关键的。在规定的最短时间内，除非不断以要求的供给强度施放泡沫，否则这一类火灾是不会扑灭的。泡沫层一旦形成，必须使之保持在液面上，直到形成一个密封的粘聚性泡沫层。为保证人员安全和灭火效果，泡沫层应保持完整。

当泡沫用消防水枪或消防水炮越过罐壁边缘施放时，由于风向和向上热气流的影响会带走一些泡沫，因此应当按 NFPA 11 所述，其实际供给强度必须大于规定的供给强度，以填补损失量。

泡沫灭火剂不适用于扑灭易燃气体火灾；也不适用于扑灭含有大量石油液化气的液体火灾，或任何其蒸气压大于大气压力[在海平面上为 101kPa ($14.7\text{lb}/\text{in}^2$)]的液体火灾。因为易燃气体会从液面蒸发并穿透泡沫覆盖层，使火在泡沫覆盖层的上部继续燃烧。

泡沫灭火剂是将常压空气呈涡旋状地混合到泡沫溶液（水和泡沫浓缩液）中制成的，这种涡旋作用可通过引射作用将空气混合到泡沫溶液中而产生，如在泡沫发生器中一样。

大多数泡沫灭火剂可以调配成体积比为 3% 或 6% 的溶液出售，前者较后者常用，因为它使用效率高，便于储存和运输。调配泡沫的设备必须与所用泡沫浓缩液相适。

除非不同类型的或由不同厂家生产的泡沫灭火剂是完全相容的，否则不应该混合使用，有关其要求和局限性参见 NFPA 11。

4.3.2 蛋白泡沫灭火剂

这种泡沫灭火剂自 1935 年使用以来，广泛用于石油喷射火灾和储罐火灾。主要由水解蛋白组成，并添加了稳定剂和阻蚀剂，以降低凝固点，防止设备和容器遭到腐蚀，防止细菌对于泡沫的分解作用，并调节粘度，以保证在紧急情况下能够立即投入使用。

4.3.3 氟蛋白泡沫灭火剂 (FP)

氟蛋白泡沫灭火剂与蛋白泡沫灭火剂极其相似，只是加入合成氟化表面活性剂。它们能够在液体表面上形成隔绝空气的泡沫覆盖层，也能在液体表面上沉淀出薄膜而防止液体燃料进一步蒸发。氟蛋白泡沫灭火剂自 1965 年开始使用以来，提高了蛋白泡沫灭火剂的灭火能力。这种灭火剂通常与通用的干粉灭火剂是相容的，可以同时使用，但应当经过制造厂家予以证实或通过试验予以确认。与蛋白泡沫灭火剂比较，当这种泡沫灭火剂浸没于正在燃烧的液体中时不会夹带液体，因而对于施放方法要求不高，所以适合于从液下向装有非极性液态烃的储罐内注射，或使用泡沫炮和泡沫枪越过罐壁边缘向罐内喷射。对于石油燃料，蛋白泡沫灭火剂和氟蛋白泡沫灭火剂的稳定性和抗复燃性都比其他类型的泡沫灭火剂高，有关其要求和局限性见 NFPA 11。

4.3.4 水成膜泡沫灭火剂 (AFFFs)

水成膜泡沫灭火剂由合成氟化表面活性剂、烃表面活性剂、溶剂和水组成。其作用是能够在燃烧液面上形成一个隔绝空气的隔离层，并在液体表面上形成一层水成膜，因而能够抑制大多数石油液体燃料的蒸发。泡沫覆盖层应当施放到足够厚，以达到抑制蒸气散发扑灭火灾的作用。应当监视易燃混合物，如果未能做到继续补充泡沫使之形成看得见的泡沫覆盖层，则膜可能存在也可能不存在。因此，仅仅是膜并不能认为是已产生了坚固的蒸气密封层。水成膜泡沫灭火剂通常可以用适合于蛋白泡沫发生器的装置予以发泡，但是未经制造厂的同意和在未对全部设备（包括泡沫罐）彻底清洗前不得

随便把蛋白泡沫发生设备改装成水成膜泡沫发生设备。

由于用水成膜泡沫灭火剂浓缩液生成的泡沫灭火剂与干粉灭火剂是完全相容的，因而适于与干粉合用。而蛋白和氟蛋白泡沫灭火剂可能与水成膜泡沫灭火剂互不相容，因而不能按比例混合在一起使用。但是这些泡沫灭火剂浓缩液单独地产生的泡沫则是相容的，可以依次地或同时使用。有1%~6%浓度的水成膜泡沫灭火剂在市场上出售。

水成膜泡沫灭火剂的排放速度较其他泡沫快，而且流动性更强，因此能迅速闷熄并扑灭火灾。通过固定式、半固定式或移动式喷射装置在储罐顶侧施放这种泡沫是一种典型的战略。有些水成膜泡沫灭火剂也适合于在普通烃类储罐中采用液下喷射方式。有关要求及局限性参见 NFPA 11。

4.3.5 抗溶泡沫灭火剂

有的液体能溶于水或对蛋白泡沫灭火剂、氟蛋白泡沫灭火剂、水成膜泡沫灭火剂产生化学破坏，对这种液体火灾必须使用特种泡沫灭火剂，它能够在燃烧液体表面和泡沫层之间形成一个不溶解层，通常称为抗溶型或极性溶剂泡沫，其化学组成，比例分配方法，有效浓度范围和其他操作参数变化很大。对于极性溶剂，通常只有6%的泡沫浓缩液可供使用，但如经批准也可以在内储物上使用3%的泡沫浓缩液。其中有些泡沫浓缩液能在内储物上产生水成膜泡沫灭火剂。使用这种灭火剂的系统需要特殊设计，不同的抗溶泡沫灭火剂不应该混合使用，与其他类型的泡沫灭火剂也不能混合使用，除非事先已证明它们是相容的。这些灭火剂只能从顶部施放在能溶于水的液体，不适用于液下喷射。有关要求和局限性见 NFPA 11。

4.3.6 成膜氟蛋白泡沫灭火剂 (FFFP)

这种成膜氟蛋白泡沫灭火剂综合了水成膜泡沫灭火剂和氟蛋白泡沫灭火剂的特性，由蛋白和成膜表面活性剂组成，它的作用是在燃烧液面上形成一个能够隔绝空气的隔离层。并在液体表面上形成一个水成膜，因而能够抑制燃烧液体的蒸发。与一般的氟蛋白泡沫灭火剂相同，它浸没于正在燃烧的液体中不会夹带液体，因而对于施放方法要求不高，适合于从液下向罐内注射，或用泡沫炮越过罐的边缘向罐内注射。向溢油火灾施放时，其方法与水成膜泡沫灭火剂的施放方法相似。

成膜氟蛋白泡沫灭火剂泡沫浓缩液产生的泡沫与干粉相容。有体积比3%和6%的两种泡沫液可供使用。

成膜氟蛋白泡沫灭火剂泡沫浓缩液是作为普通烃类、水混性或极性液体的有效灭火剂而研制的。这种灭火剂中含有与极性溶剂进行化学反应的组分，能够形成塑料状薄膜。它可以用普通的泡沫装置进行发泡。但是应当指出，水溶性液体所需要的泡沫液浓度较高，所需要的供给强度也较高。

4.3.7 化学泡沫灭火剂

这种泡沫灭火剂由含碱性盐和酸性盐的两种粉未经化学反应而成，与其他泡沫灭火剂比较，由于在运输、储存、安装和设备维护等方面存在缺点较多等原因，使用较少

4.4 干粉

4.4.1 概述

对于易燃性液体火灾的扑救，干粉具有很好的效果。只要干粉覆盖了火灾表面，并不间断地施放，就可迅速地扑灭火灾。微细的干粉所起的作用是中断链锁反应而抑制火焰本身的氧化过程。如果燃烧液体再次暴露于着火源，用干粉不能保证其不复燃。其他有关资料参见 NFPA 17。

当浮顶罐密封处大面积着火时，可以用干粉或干粉与其他泡沫灭火剂混合使用来扑灭。干粉对于有燃料液体喷射或溅落的小规模漏油火灾也有效，如果有余烬或热表面有复燃危险时，应当熄灭着火源；或用水对这些着火源进行冷却，并用泡沫予以覆盖；或在扑救火灾前将燃料来源截断。

有几种含有添加剂的干粉使之具有自由流动性和憎水性。

4.4.2 普通碳酸氢钠

通常称作“普通”干粉。这种灭火剂与蛋白泡沫灭火剂不相容，因为其中硬脂酸金属添加剂是阻沫剂而使蛋白泡沫破坏，这种灭火剂不能与蛋白泡沫灭火剂同时使用，也不能在蛋白泡沫灭火剂使用之

前、之间或之后使用。

4.4.3 与泡沫相容的碳酸氢钠

经过用硅酮聚合物处理之后的碳酸氢钠则与泡沫灭火剂是相容的，适合与泡沫灭火剂同时使用。如果打算随后使用泡沫灭火剂时，只能使用与泡沫相容的干粉。

4.4.4 碳酸氢钾（紫钾盐）

通常市售碳酸氢钾与泡沫灭火剂相容。对于 B 类火灾，与碳酸氢钠比较，具有较高的灭火能力（见 4.4.2 和 4.4.3）。它可能与蛋白泡沫灭火剂相容，这取决于制造工艺。

4.4.5 氯化钾

氯化钾与泡沫灭火剂相容，其灭火能力与碳酸氢钾相当（见 4.4.4），它与所有类型泡沫灭火剂相容，但对于金属（例如钢和铝）具有腐蚀性，在美国很少使用。

4.4.6 磷酸一胺

磷酸一胺（或磷酸一胺与磷酸氢二胺的混合物）是一种多用途干粉，也是唯一对 A 类可燃物火灾以及 B 类易燃液体和气体火灾有效的干粉。对于 B 类火灾，较之碳酸氢钠更为有效，但与碳酸氢钾干粉比较，则效果较差。它可能与蛋白泡沫灭火剂相容，这取决于制造工艺。

4.4.7 氨基甲酸钾

由碳酸氢钾与尿素反应而生成，与泡沫灭火剂完全相容，对于易燃液体或气体火灾的扑救效果比碳酸氢钾要好。

4.4.8 硫酸钾

与泡沫灭火剂相容。对于易燃液体和气体火灾的扑救，其效果与碳酸氢钠大致相同。

4.5 水成膜泡沫灭火剂与干粉同时使用

现在已研制装备有双消防水带的卷筒和装备有双喷嘴的转动架，可由一名消防队员同时或交替施放水成膜泡沫灭火剂和干粉。通常主要由水成膜泡沫灭火剂和碳酸氢钾构成，但也使用多用途干粉和带润湿剂的水。水成膜泡沫灭火剂浓缩液通常用水预混合成溶液，象干粉那样储存在用氮气充压的容器内供随时使用。混合灭火剂容器尺寸不等，预混合水成膜溶液容器容量为 189~757L (50~200 gal)，干粉容器容量为 227~1361kg(500~3000 lb)。这种容器结构设计能有效地保证扑灭三维带压火灾或漏油喷溅火灾。当灭火队员使用干粉迅速地将火熄灭时，施放水成膜泡沫灭火剂能够防止火灾再次闪燃。

4.6 卤代烷

其商品名通常称为哈龙（Halon），是完全卤化了的甲烷或乙烷的衍生物，无色、无臭、不导电。其灭火原理与干粉相似，是通过化学抑制作用来完成的，使用它能够迅速扑灭 B 类火灾，因为它能够中断链锁反应而抑制火焰中的氧化过程。也能够迅速地扑灭 A 类可燃物的非深层火灾。这种灭火剂对扑灭易燃液体或气体火灾特别有效。对于要求使用洁净灭火剂的 C 类火灾也有效。

目前有三种卤代烷灭火剂：

- a) 哈龙 1301（一溴三氟甲烷）；
- b) 哈龙 1211（一溴一氯二氟甲烷）；
- c) 哈龙 2402（二溴四氟乙烷），由于其毒性较大，使用受到限制。

4.6.1 哈龙 1301

这种灭火剂的沸点为 -58°C (-72°F)，在排放期间靠近喷嘴处蒸发。它主要用于全淹没喷射系统，用氮气充压至 2482kPa (360lb/in²) 或 4137kPa(600lb/in²)。储存温度在 $-29\sim 54^{\circ}\text{C}$ ($-20\sim 130^{\circ}\text{F}$)。全淹没喷射系统可用于灭火，或在一个需保护的密闭区域内形成惰性气体空间（参见 NFPA 12A）。

4.6.2 哈龙 1211

这种灭火剂沸点为 -3.3°C (26°F)，它能迅速地覆盖燃烧表面。哈龙 1211 通常用于要求使用洁净

灭火剂的手持式灭火器中。有些公司为了扑灭浮顶储罐边缘火灾而安装的自动灭火系统所使用的就是哈龙 1211。但是这些系统可能会出现复燃（在实际火灾中已出现过复燃），而且要在要求的时间内保持要求的浓度也是困难的。

4.6.3 哈龙 2402

这种灭火剂的沸点为 47.2℃ (117° F)，在常温下以液体状态排出和散布。由于其沸点较高，排出设备在重新装填时不需要特殊的转输设备。除了用于特殊的防爆系统外，使用不多。由于毒性较大，不适合采用淹没方式在有人区域使用。

5 储罐内外灭火操作

5.1 概述

储罐火灾情况复杂，扑灭储罐火灾需要对灭火设备和材料进行计划并合理组织。储罐群火灾和大直径[大于 45m(150ft)]的储罐火灾要求做好后勤保障和协调工作。灭火指挥员必须指挥好自己的人员，并协调好厂际互助的消防人员、工厂装置的操作人员及其他人员的消防活动。

大规模火灾在灭火前需要几个小时的应急准备。

经验表明，安全而成功地扑灭储罐火灾需要有正确的应急计划[见附录 B（提示的附录）]。应制定出一个可行并安全的战略和实施战术，并监控灭火过程。如果应急计划没有达到预想结果，应随之改变。

5.2 战略

战略就是制定计划。总的战略性计划包括下列内容：

- a) 目的——需要实现的目标和预期的结果；
- b) 资源——实现预定目标所需要的项目；
- c) 组织——对实施该计划人员的分工；
- d) 战略和战术——编制行动计划，联系方案和结果；
- e) 反馈——对该计划的进度和任何需要改进地方的执行情况进行评估。

总的说来，作为储罐区应急计划的一部分，储罐防火战略应预先制定。

5.3 对火灾的评估

火情估计是收集和紧急情况有关的资料的动态过程。

当收到火警之后灭火指挥人员开始灭火活动的第一步就是评估火灾的规模，迅速确定灭火作战计划和灭火战术。一些需要考虑的问题和考虑的次序如下所述：

- a) 救护——伤员的紧急救护。
- b) 曝火——火势蔓延的可能性，包括下列内容：
 - 1) 储罐和防火堤阀门的状态；
 - 2) 地面排液。
- c) 生命危险——撤离工作人员和附近居民的潜在需要。
- d) 火情——所涉及的储罐类型及其特点，包括：
 - 1) 设施平面布置的有关数据；
 - 2) 储罐的类型：开口式浮顶、内浮顶或锥顶；
 - 3) 罐顶是否有弱焊缝；
 - 4) 储罐的尺寸和直径；
 - 5) 罐顶排水阀的位置和状态；
 - 6) 罐顶密封的数量和类型。
- e) 火灾的类型，包括：
 - 1) 密封处火灾；

- 2) 全方位火灾;
 - 3) 溢油(喷溅)火灾;
 - 4) 混合(储罐和防火堤内)火灾;
 - 5) 多罐群火灾;
 - 6) 呼吸阀火灾;
 - 7) 裂缝火灾;
 - 8) 管子连接处火灾。
- f) 储罐内储物的特性, 包括:
- 1) 内储物名称;
 - 2) 有无水沸溢的可能性;
 - 3) 罐内内储物的体积;
 - 4) 罐底垫水层的深度;
 - 5) 罐内内储物的沸点;
 - 6) 罐内内储物的毒性。
- g) 罐顶、罐壁、管路和固定灭火系统的状况。
- h) 如果灭火较困难, 用泵输出常压罐内储物的可能性。
- i) 用于冷却暴露于火焰中的金属部分冷却水的需要量。
- j) 灭火人员所采取的紧急措施, 包括下列内容:
- 1) 切断燃料;
 - 2) 开始转移内储物;
 - 3) 由于内储物搅拌器对泡沫覆盖层的形成有影响, 应将其关闭;
 - 4) 停止用泵向罐内输入内储物。
- k) 消防能力, 包括下列内容:
- 1) 经过专门培训的工作人员的数量;
 - 2) 可供使用的泡沫量;
 - 3) 可供使用的水(包括水量和压力);
 - 4) 比例混合设备;
 - 5) 车辆进出通道。
- l) 天气条件。

5.4 对所有储罐火灾均适用的战略和战术

5.4.1 概述

战略就是制定计划, 战术是实现目标的实际行动。基本上有三种战略用于储罐灭火。每一战略采用不同的战术和不同的行动及不同的次序, 以便安全地扑灭火灾而不导致人员伤亡。理想情况是, 储罐和内储物的损害最小, 或这两方面的损失可以经济地予以减少。当火灾扑灭之后, 消防人员应将灭火结果与战略计划相比较。用于该目的的一个有用工具为事故数据表, 将在附录 C (提示的附录) 中讨论。

用于储罐灭火的战术应完全地实施战略计划。例如, 正确使用人力和设备、关闭泵、与其他部门(操作人员、厂际灭火互助人员、政府管制部门和其他团体)的协调, 以及控制火势的行动计划都属于战术的范围。

通过战术计划实现战略的火灾指挥员, 应对火灾特性、火灾的控制和灭火技术、危险性分析和防止火灾损失等有全面的了解。

保守战略 当扑灭火灾的可能性很小, 并由于水沸溢或其他原因而需人员撤离时, 应采用保守战略。

防御战略 当扑灭火灾的可能性很小，但是该区域无需撤离时，需采用防御战略。消防人员应留在现场，并采取一定措施使火灾仅限制在罐内，并尽量减小火灾影响范围。但如果能得到更多的人员和设备，也可能转变为进攻战略。

进攻战略 当有充足的泡沫、设备和人力，有较大的可能性扑灭火灾时，应采用进攻战略。

5.4.2 保守战术

如果灭火时可能危及人员的安全时，应考虑保守战术。下面是一些使用保守战术的情况：

- a) 没有足够人员和材料（泡沫和水）以全面、安全地扑灭火灾；
- b) 不能满足所要求的供给强度和供给时间；
- c) 有即将发生水沸溢、罐体开裂、或其他危及生命的危险，人员需立即从该区域撤离。

5.4.3 防御战术

当灭火行动不能对火灾结果产生迅速和可靠作用时，应考虑采用防御战术。当使用这些战术时应考虑的因素如下：

- a) 所有防火堤和罐顶排液阀的状态。这些阀门应为关闭状态，以便将火情控制在局部。
- b) 火焰迫近和热量传到储罐附近。在这种情况下应立即采取行动以防火灾蔓延至其他储罐，应考虑使用保护性冷却水流，使用泡沫灭火剂，并将内储物转输到安全的储罐。
- c) 内储物特性、内储物液位和垫水层的液面高度。这些数据应立即取到。应对储罐破裂或其他不利情况，如水沸溢或裂开等的时间作出估计。按照应急计划，应考虑将人员撤到安全地带若大型储罐发生火灾，人员需疏散到离事故地点 600m(2000ft)以外地带。
- d) 内储物转输阀或隔离阀的状况。
- e) 厂际互助，应考虑多方互助，并应通知适当的机构（市政工程管理和政府管制部门）。
- f) 是否可用现有的人力、物力对火灾进行控制而不危及生命和财产。可采取一些措施使火势受到控制，同时使损失减至最小（例如，可采取一些如曝火保护等的临时措施，同时等候外来援助。当救援人员及设备到达时，即开始实施积极的进攻战术）。
- g) 事故的范围不能说明主动战术是否会带来危险。在获得其他援助之前，防火行为应集中在防止进一步的损失和抢救财产方面。
- h) 采取基本损失控制方针，并判断任其有控制地燃烧（在这种情况下，暴露物受保护并且损失被减小）是否可行。

防御性战术的例子包括以下内容：

- a) 保护固定防火系统的完整性。固定防火系统包括：泡沫管线和泡沫发生器，喷淋设备和消防截止阀。在采取灭火措施或控制火灾之前先进行冷却。
- b) 按下列次序立即冷却受火焰冲击的储罐：
 - 1) 暴露的压力罐。对暴露在火焰和辐射热的液面区域进行冷却，以保持结构的完整性并降低储罐的内压。对于火焰冲击部位应当尽可能地进行冷却，以防液体蒸发、蒸气爆炸而导致储罐破裂。有文件记录沸液蒸气爆炸会在 10min 内发生。对有火灾直接冲击下的容器（可能产生火焰的）泄压装置进行冷却。
 - 2) 暴露的常压储罐，用冷却罐顶和液面以上的罐壁的方法进行保护。尽量保持储罐的完整性以防止内储物的损失。火势的大小直接与内储物的表面积成正比。另一方法是首先冷却液面以上的火焰迫近区域（液体能吸热）。应急计划应该包括计算所需的水量。
 - 3) 暴露的内储物管道阀门和法兰。带螺栓的法兰和维修夹套上的螺栓暴露于迫近火焰或高热负荷时会变长。暴露于高温下的垫圈经常破裂，这可导致额外的燃料泄漏。冷却这些区域需要与灭火行动协调。由于内储物管道阀门可能需要在灭火过程中操作（开或关），所以从开始即应对其进行保护。这在打算用内储物管道泵输出内储物或进行液下喷射灭火剂时显得尤其重要。

4) 暴露的内储物管路。如果内储物管道被堵塞, 当其暴露于迫近的火焰或高热负荷时可能发生破裂。如果可能, 保持管路通畅以带走热量并减小破裂的危险。

c) 采用适当的战术处理辐射热。无直接火焰冲击的暴露物受辐射热并不像消防部门过去想象的那样危急。一条经验是如果冷却水流接触罐壁后不产生蒸汽, 则可停止冷却在热幅射中的暴露物。应定期进行上述试验以确定上述储罐或结构的热负荷量。由于水墙和水幕浪费水并且其效果不可靠, 所以不宜使用。为了减少辐射热, 必须将水直接施放到需要保护的表面。通常辐射热保护不是最优先要考虑的。主要用一或两个水枪前后摆动就足以起到保护作用。

5.4.4 进攻战术

在下列情况下应考虑采用进攻战略和战术:

- a) 当有生命危险时——如果冒险抢救而有可能成功时, 则应采取救援行动。
- b) 有足够的人力和物力立即投入使用, 又能够安全彻底地灭火时, 可采取进攻战术。

如果现场能及时提供足够的人力和物力, 一般采取进攻战术, 包括扑灭火焰、切断燃料源以及其他旨在彻底扑灭火灾的活动。消防人员必须熟悉所用的设备、灭火剂及使用方法。为了扑灭火灾, 必须由经过培训的人员在规定的时间内以认可的供给强度进行有效施放。

对储罐火灾计划采用进攻战术时, 应考虑以下因素:

a) 有足够的泡沫灭火剂和设备, 以便以适当的供给强度施放泡沫。所施放的泡沫灭火剂绝不应低于所推荐的供给强度, 因为这样起不到灭火作用, 只能浪费泡沫灭火剂。

b) 天气条件必须有利于灭火(风和雨会破坏泡沫覆盖层并限制消防水流)。

c) 应采用扫射的方式将冷却水最大限度地施放在整个暴露区域上。

d) 当将泡沫灭火剂施放到高热燃烧液体(如原油火灾)上时要想到油会沸溢, 并应有所准备。见附录 D(提示的附录)。

e) 当防火堤内和储罐都着火时, 通常在设法扑灭储罐火之前先扑灭防火堤内的火。

f) 当多个罐着火时, 应先扑灭最易扑灭的火(如最小的)或对生命财产造成最大危害的火(如可能的沸液蒸气爆炸或水沸溢)。

g) 在施放灭火剂期间, 应对该灭火操作的有效性进行判断, 如果需要应进行改变。

h) 在施放灭火剂以后经历一段时间, 要进行检查, 以确认火势是否有明显的减弱或烟雾颜色是否改变; 如果未有变化, 有必要重新考虑该战术。如果采用 NFPA 11 中规定的供给强度和时间, 改变应在 20~30min 内发生。

i) 如果目标是灭火, 应当考虑如何扑灭已遭到破坏的充满挥发性液体的储罐。通常在储罐被抢救成功之前, 必须定时补充泡沫层。热金属会使泡沫层迅速破坏, 挥发出来的油蒸气形成潜在的火源。火场指挥员应意识到由于消防射流能产生静电而导致蒸气重新被点燃的可能性。抢救工作可持续许多天, 应考虑是否能够得到所需的泡沫数量, 火情是否得到监督和控制以防储罐内内储物重新点燃?

j) 当扑灭储罐密封处的火灾时, 应格外注意不要在罐顶上施放过多的泡沫灭火剂和水, 以免罐顶发生下沉。对于这类火灾, 手提式泡沫枪是最好的施放泡沫的方法。对此应避免滥用消防水炮。表面积小的火灾比表面积大的火灾更易扑灭。

警告: 消防人员在进入有溢出燃料的区域时, 必须对燃烧危险性特别注意。如果泡沫覆盖层已毁坏, 复燃可能伤及溢出区域内的人员。消防人员不应走入被泡沫层覆盖的燃料区。

对于大多数的储罐灭火, 经证明编制流程图并不成功。对于大多数事故, 有几种战术都能进行安全有效的灭火。如果只采用一种战术, 由于错误和疏忽可使灭火操作复杂化, 并增加生命财产损失的危险。

5.5 保护邻近储罐

根据罐间距和风向情况，除非火焰与临近储罐接触或辐射热把临近储罐的油漆烤焦，否则直接冷却邻近的储罐是不必要的。

如果对于尚未处于火焰直接作用下的储罐罐壁的温度和吸收热量情况不清楚时，应频繁地从远处施放水流进行检查，以确认是否产生蒸汽。如果产生蒸汽，则应施放冷却水，直到不再产生蒸汽。如果储罐需要用水冷却，最好是将水流以扇形展开形式施放到储罐侧面和罐顶（但浮顶储罐罐顶不能施放水）。

尽管辐射热并未严重损坏液面以下罐壁部分，但有两点需要提防，它可能需要对着火罐邻近的储罐进行冷却：

a) 内装可燃液体的储罐罐壁吸收热量后可使储罐气相空间处在易燃范围之内。

b) 罐壁的热可使内装低闪点储物产生易燃蒸气使储罐气相空间压力上升，导致储罐着火或破裂。按 API Std 650 设计的罐顶—罐壁的弱焊缝结构能够在紧急时向外排气。同样，浮顶储罐的蒸气会在密封处向外漏出。

在储罐灭火活动中有一个常见的错误做法是对暴露物使用水过多，这样做不但浪费了水量和水的压力，而且使罐区排水系统负担过重，导致灭火困难。也会使空储罐和储油较少的储罐被水浮起。关于这些，在应急计划中应予以充分考虑，以免用水过多。在同时施放冷却水和泡沫灭火剂时必须谨慎以确保冷却水不损坏泡沫覆盖层。有许多由于用水不当而毁坏或冲走泡沫覆盖层并阻碍灭火作业的例子。这不仅延长了救火时间，而且浪费了泡沫灭火剂。

5.6 储罐呼吸阀的火灾

5.6.1 带有黑烟的桔黄色火焰

储罐呼吸阀的火焰如果是桔黄色并冒黑烟，则表明燃料蒸气或空气混合物超出其燃烧极限或爆炸极限之外。这种类型火灾很容易用干粉予以扑灭。

5.6.2 猛烈的蓝红色无烟的火焰

如果储罐呼吸阀火灾是猛烈的蓝红色且几乎无烟的火焰，则表明蒸气、空气混合物是燃烧性或爆炸性的。只要储罐继续向外排气，火焰就不会从低压侧通过压力真空阀进入高压侧。但是如果用干粉灭火，则必须快速进行，以免压力真空阀受热遭到破坏后向罐内回火。如果其他方法证明无效，则这类火灾应采取下列方法之一进行处理：

a) 当压力真空阀是关闭的，储罐中压力降低会使火灾熄灭。因此如果储罐暴露在火焰之中，可以在罐顶和罐壁上施放冷却水，以达到降低压力的目的。如果往储罐中输送会产生过压，则可通过往外输出或倒罐以降低压力。

b) 罐内的燃料蒸气可使之保持正压。如果这时从火焰的颜色看出蒸气浓度很大（参见 5.6.1），则可用干粉予以扑灭。

5.7 储罐周围地面火灾的灭火

储罐周围发生地面火灾时，应迅速地向暴露在火焰中的储罐施放冷却水，然后再考虑用隔离其燃烧液体来源的办法予以扑灭。隔离的方法有：

a) 关闭有关阀门，必要时需要用水流保护关闭阀门的消防队员。

b) 用水置换足够量的内储物，使漏泄出来的是水而不再是内储物。如果采用这个方法，水的压力应大于管道或储罐中的压力，并注意不要在储罐中充入过量的水。

防火堤上的排液阀、罐顶排放阀和垫水层排放阀是隔离燃料的重要方法。所以应最先控制这类阀门。

如果储存高闪点的储罐暴露在地面火灾中，消防人员必须注意在罐内产生的易燃混合物有可能被受热的罐壁点燃。

尽管因燃料气或液化石油气的泄漏而发生的火灾有可能扑灭，也只是在其燃烧气体的来源被切断的情况下才有可能。漏气虽有可能被风吹散，但这种可能性极小。如果发生漏气的火灾已扑灭，但未

能及时切断漏气来源，则漏气仍然很危险。

如果液体内储物的小型地面火灾没有重新点燃的可能性，消防队员不必走入积有溢油的地面，可用干粉灭火器予以扑灭。在有些情况下可以用水把内储物冲到易于扑灭或控制的地带。如果火源没有被消除则有可能复燃。

警告：在液体溢出区域，如果蒸气点燃后，救火人员可能被困在中间，所以消防人员千万不要进入液体溢出区。

扑灭大型地面火灾的常规战略是使用泡沫灭火剂。

闪点高于 38℃ (100° F) 或特别是其温度高于当地水温的液体火灾，可以用水喷雾予以扑灭。这是因为火焰的辐射热会加热液体表面使水蒸发，水雾的蒸发会吸收来自火焰的热量，减小火焰的规模，而进一步施放水就会使热表面冷却到其闪点以下。液体蒸发一旦停止，火灾就熄灭。

除非有充足的泡沫或水可控制火灾和冷却金属，以防止重新点燃法兰泄漏和搅拌器火灾等三维火灾，通常必须用干粉或哈龙 1211 灭火剂予以扑灭。大型地面火灾或危及使用干粉灭火器的消防人员的地面火灾必须使用泡沫灭火剂扑灭。在整个防火堤内着火的情况下，应考虑到使用消防水炮和消防水枪的最合适的灭火战术。设备的需要量、规格和射程都应当能满足扑灭火灾的要求。防火堤内的灭火程序应当是先扑灭其中一个区域的火灾，巩固后移至防火堤内相邻的另一区域灭火。应持续进行该工作，直到在防火堤内的火被完全扑灭。在未达到泡沫灭火剂需要的供给强度以前，不必考虑施放泡沫灭火剂同时覆盖防火堤内的所有区域。应在试图扑灭储罐火灾之前，先控制或扑灭储罐周围的地面火灾。

6 储罐火灾控制与灭火

6.1 概述

本章适用于石油工业中最常用的各种类型储罐，在采用本章时，还应参考采用第 5 章中的适用数据。这些指南并不排除良好的灭火决策或其他证明行之有效的方法。由于每一非常时刻所出现的情况千变万化，必须在火灾现场进行可靠的判断，从而选择正确的灭火方案。

6.2 冷却水

消防队员面对一场储罐火灾时的首先反应就是立即用水冷却所有邻近储罐。这种做法通常是无用的，相反会影响灭火。然而在有风的情况下这种作法也许有用。

如果想知道未直接受到火焰影响的罐壁上的辐射热量，可通过向罐壁喷射水来检查。如产生蒸汽，应喷水冷却，直至蒸汽不再产生。冷却水流应以扇形展开方式直接射向罐的火焰侧和罐顶上（对于浮顶罐只能向储罐侧面喷水）。如果有火焰直接冲击暴露的罐体，则应对该罐立即冷却。

6.3 灭火

下列战术适用于扑灭各类储罐的火灾，应考虑采用：

- a) 对着火罐灭火之前，应扑灭着火罐附近的防火堤内地面火灾，否则有可能会再次点燃储罐。
- b) 冷却水应直接喷向着火罐液位上方的暴露罐壁上，这样将有助于保持罐壁直立，防止罐向内弯，而阻止泡沫或干粉到达内储物表面，而且有助于泡沫紧密地封闭罐壁，但是必须维持冷却水不得过度稀释泡沫液。
- c) 当几个常压罐同时着火时，应只对推荐的泡沫量和推荐的时间里能扑灭的储罐施放泡沫灭火，这样可避免由于泡沫供给强度不足或泡沫供给量用完而未能扑灭任何一个着火罐。
- d) 如着火罐上装有固定式泡沫装置，应用冷却水进行保护，直到开始喷出泡沫。
- e) 在准备泡沫灭火的同时，利用泵将罐内液体抽出，这样可抢救出一些内储物，但这可能对罐壁造成损失。如果灭火条件良好，则可能不需要用泵抽出罐内储物。

f) 在有些情况下, 由于水源、泡沫、消防队员或发泡器不足, 不可能扑灭一个罐的火灾。在这类情况下, 最好的办法是任其燃烧并保护邻近的储罐。这时推荐用泵抽取着火储罐的内储物。

6.4 储罐

6.4.1 概述

灭火所需的方法和泡沫灭火剂取决于所储存的内储物(烃或极性溶剂)和罐顶的结构形式。有关对不同罐顶结构形式和内储物类型所采取的灭火方法, 包括在 6.4.2~6.4.9 中。

6.4.2 锥顶罐

锥顶罐(见图 1)大多用于储存易挥发性可燃液体[例如闪点高于 38°C (100°F) 的液体]。然而并不总是如此, 有时在这类储罐中也储存低闪点的液体, 包括原油、极性溶剂和可燃污油。这种罐在液体表面和罐顶内侧之间有一层气相空间。如果气相空间在爆炸极限内, 在引入火源时就会发生爆炸。如果储罐是按 API Std 650 建造的, 罐顶可能会与罐壁在接缝处分离。罐顶有可能整体分离或炸成几块飞出相当远的距离。有时罐顶会提起, 再落回到罐中。在有的情况下, 被炸裂的罐顶只有几块能完好地保留在罐的顶部。所引起的火灾通常涉及整个罐表面。如果罐的内储物是烃类, 则有两种灭火途径: 从罐顶上方或液下喷射泡沫。从罐顶上方灭火施放的泡沫灭火剂只限于使用蛋白泡沫、成膜氟蛋白(FFFP)泡沫、氟蛋白(FP)泡沫以及专门说明能如此使用的抗溶泡沫或水成膜泡沫(AFFFs)。液下喷射泡沫为氟蛋白(FP)泡沫、成膜氟蛋白(FFFP)泡沫、水成膜泡沫(AFFFs)以及专门说明能如此使用的抗溶水成膜泡沫(AFFFs)。如火灾涉及到极性溶剂, 则只能采取从罐顶上方注入抗溶泡沫的灭火方法。

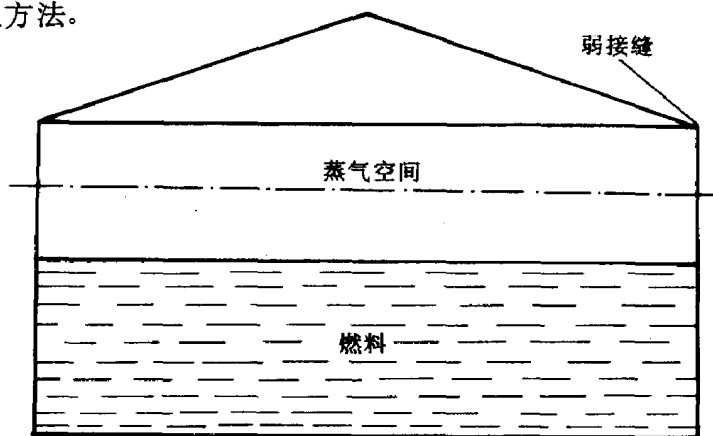


图 1 锥顶罐

在从罐顶上方对烃类实施灭火措施时, 有几种方法可考虑使用, 包括固定式系统、泡沫塔、高功率泡沫炮喷嘴以及配备有泡沫炮喷嘴的升降平台。

对烃类储罐从液下喷射泡沫灭火, 已经在许多场合得到了成功的验证。必须在罐内垫水层的液位以上喷射泡沫。在液下喷射期间可能产生一层垫水层, 因此, 在液下喷射泡沫以前和期间, 可能需要特殊的抽水程序。在液下喷射时需要专门的高背压产生器, 并且需要进行水力计算。根据其结构, 发泡器背压一般是入口压力的 20%~40%以排放泡沫。入口压力一般是罐内的压头和泡沫发生器与喷射点之间管路中泡沫流动的摩擦损失之和(见 NFPA 11)。有时升降平台可观察到罐内情况, 以便更好地评估灭火进展情况。液下喷射通常首先扑灭储罐中心的火, 最后扑灭边缘处的火。从地面上观察可以看到大量火焰, 这是罐壁区的火焰。

进罐管路的泡沫流速同样至关重要。对易燃液体, 泡沫流速不应超过 3m/s (10ft/s), 这是根据发泡倍数而确定的。对可燃液体, 其泡沫速率可达 6m/s (20ft/s)。在附录 E (提示的附录) 中给出了各种管径的摩擦损失特性曲线和入口速度的图表。

根据所涉及的内储物和储罐的直径, 液下喷射可能需要多个喷射点。NFPA 11 提供了有关的资料。在最后决定使用液下喷射法之前, 应检查并计算所有这些因素。在制定应急计划时, 最好能得到

这些资料。

对极性溶剂的锥顶罐实施Ⅱ型顶部灭火时，只有采用为此目的证明或试验过的抗溶泡沫才有效。它们包括认可的抗溶水成膜泡沫(AFFFs)或成膜氟蛋白(FFFP)泡沫灭火剂。老式的蛋白质基及抗溶泡沫剂需要用专门的设备，以非常柔和的方式投放到极性溶剂表面(NFPA I型排放口)。在极性溶剂上的供给强度因溶剂和所用泡沫类型而异。应该就极性溶剂的推荐供给强度向泡沫生产商咨询，因为它们的供给强度通常要比烃类内储物所需的供给强度大得多。由于泡沫溶解的缘故，已经证明液下喷射法对极性溶剂无效。

在向一座储罐施放泡沫之前，在现场应当准备 NFPA 11 所推荐的最低的泡沫量。

6.4.3 储存有原油和其他具有水沸溢危险的内储物锥顶罐

在扑灭储存原油和其他能够产生水沸溢内储物的储罐火灾时，需要采取特殊的战术。火场指挥员必须了解这种特殊性，并对在其他燃料火灾中的水沸溢危险保持警惕。

发生水沸溢现象须具备如下条件：

a) 涉及全部或大部分液体表面的大火灾。在浮顶罐密封处发生的火灾，只要浮顶保持完好，就不会造成水沸溢后果。

b) 原油组分中的沸点范围较广。随着原油燃烧，挥发性轻质馏分被蒸发后立即被烧掉，而未成为蒸气的重组分[149℃ (300°F) 以上]，由于其密度比其下面的冷原油大，所以开始从液面往下沉。随着大火继续燃烧，在重组分层和下面的冷原油的轻质组分继续蒸发。燃烧着的蒸气继续提供热量使蒸发继续进行。随着重组分层厚度增加，界面以快于油表面燃烧速度两倍至三倍的速度向下移动。这种重组分层被称为“热波层”，界面叫“热波锋面”。一般来讲，原油的热波层下沉速度大约为 0.3~1.2m/h(1~4ft/h)。

c) 储罐内必须有垫水层或水包油乳化液，而这对原储罐来说是很普通的。灭火操作中无意间也会将水引入罐内，或者内储物里会有湿乳化层。当热波峰面到达罐底水或水的乳化液层时，水迅速变成蒸汽。温度达到 204℃ (400°F) 时，水转化成泡沫蒸汽混合物的体积膨胀率大约为 1700[见附录 D (提示的附录)]。

d) 原油中含有较多的重组分，能产生高粘稠的油沫和水蒸气混合物。超轻质原油，其重组分含量较少不足以形成热波层。某些重油、沥青和重质燃料油则由于其轻质馏分太少而不足以产生强烈的热波层。然而，含有轻质馏分的重燃料油也发生过水沸溢。比重中等的普通原油最易产生严重的水沸溢现象，而其他原油所产生沸溢的严重程度会差一些。

储存原油的锥顶罐需要特殊的灭火战术。如果是在起火后 30min 内开始灭火，喷射泡沫的效果最好。可以从液下或从顶部喷射适宜的泡沫灭火剂。

如果由于某种原因无法扑灭一座锥顶储罐的火灾，必须改变消防战略。应将所有不必要的人员和设备撤离现场。应频繁进行检查热波锋面在罐内的下沉情况。为了估计发生水沸溢的时间，应该用水喷射罐壁并根据在热波锋面上方产生的蒸汽确定界面的位置。

一般来讲，火焰高度增大和亮度增强，表明马上会发生水沸溢。有时伴随火势有声音的变化，例如一种明显的“油炸”声。大团的燃烧着的油沫有可能被抛出几英尺高，在远处都可以看见。

在灭火之后同样应监视温度。在内储物燃烧中产生的热波有可能继续下沉，当到达垫水层时仍有足够的能量造成水沸溢。此时发生的水沸溢仍然会对人员造成危险，如果存在点火源，可能会诱发火灾。如果预计有可能发生水沸溢，则应将人员疏散到安全区域。对于大直径储罐可能需要撤离 600m(2000ft)以外。(对于其他燃料的要求，参见 NFPA 30)。可以在防火堤外设置一条附加的土堤。

6.4.4 开口式浮顶罐

开口式浮顶罐(见图 2)的火灾一般局限在浮顶和罐壁间的环形密封区域。如果在密封区域没有放置固定式泡沫灭火系统(NFPA 11 中规定的泡沫隔板和泡沫发生器)，则需要利用移动式 and 手提

式设备灭火。

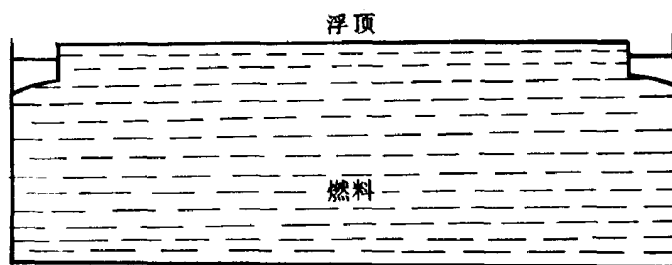


图2 开口式浮顶罐

可从抗风圈或顶部将泡沫经消防水带引入密封区域。在火灾涉及到大面积的密封区域时，最好是从抗风圈周围相对的两个方向至少引入两根泡沫消防水带施放泡沫灭火剂。消防人员必须意识到会从抗风圈掉下来的危险，必须防止这种危险。如果是利用抗风圈扑灭密封区的火灾，则应设置护栏保护灭火人员。

如果是盘梯平台下部密封区着火，妨碍消防队员进入，则可使用移动式泡沫塔、泡沫炮或从升降台上的消防水带进行喷射。在向密封区域喷射泡沫的同时，可采用水枪散热，以便消防人员能够进入平台。然而必须特别谨慎以防过多的泡沫流向罐顶使罐顶下沉。最好是有人在高处观察泡沫喷射情况。如果密封处的火已着了一段时间，则应喷水冷却罐壁外侧。冷却水需要与否可通过罐壁油漆是否起泡或变色予以判断。

应防止以较大的直流泡沫或水流喷入已损坏的罐顶密封处的易燃内储物中。因为这样做会把油溅到罐顶之上而使火势加剧。而且不管使用什么类型的泡沫灭火剂，都应采取良好的吸入空气式泡沫发生器。水喷嘴通常效果不好[即使使用水成膜泡沫(AFFFs)灭火剂也如此]。

大型储罐通常采用浮顶。如只限于密封区着火，水沸溢不会出现。但是如果罐顶下沉，就有可能出现水沸溢。

6.4.5 内浮顶罐

内浮顶罐（见图3）均为锥形罐，有一个内浮顶盘，在罐顶和罐壁之间有弱焊缝。借助于设置在罐壁周围（通常仅是在罐顶接缝下面）的呼吸阀，很容易从外部认出它们。这些罐中的气相空间除了在最初往罐里泵入内储物期间以及之后根据内储物的挥发性持续18~25h外没有易燃的混合气。这些罐具有一流的防火记录。然而，这类储罐也有几次火灾实例，而且这些火灾极难扑灭，除非按NFPA 11要求给罐配备一套固定的系统。在内浮顶罐的密封或边缘处的火灾用便携式设备是根本无法扑灭的。侧面的呼吸阀太小，从地面引入的泡沫流无法通过。有时锥顶被部分吹开或吹走，这样当浮顶盘下沉时就会使整个液面起火。

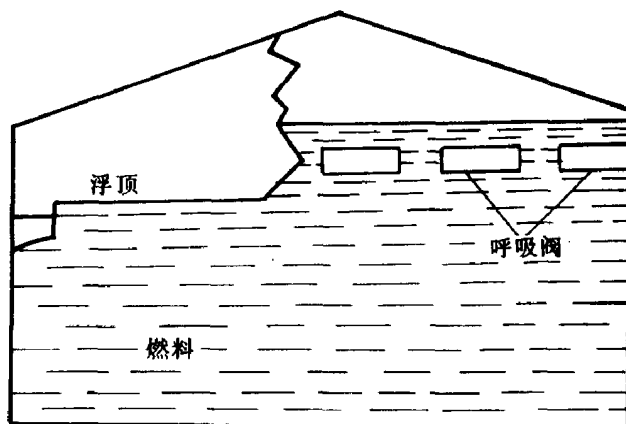


图3 有顶的（内）浮顶罐

在上述情况下, 灭火方法应该按照锥顶储罐对待, 通过消防炮喷嘴或其他顶部施放进行灭火。应该注意罐顶沉没后可能阻止液下喷射的泡沫升到液面。然而, 如果其他措施均失效, 可以尝试液下喷射泡沫, 这种成功的例子也有几个。一些公司在按照 NFPA 11 的规定建造储罐时, 因为这种储罐更容易发生罐顶下沉, 所以在上面设置了固定泡沫保护系统覆盖罐体的整个表面。

6.4.6 大型储罐

随着储罐日益大型化, 灭火的难度也随之增大。在大型储罐火灾灭火成功的记录中储罐最大直径为 45m(150ft)。通常人们认为 30m(100ft)是泡沫能扑灭液面上流动火的最大距离, 超过该距离, 泡沫的水分失去太多, 会失去其灭火能力。因此, 要用壁装式泡沫箱保护的最大型锥顶储罐的直径应为 60m(200ft)左右。不过, 对于直径超过 60m(200ft)的罐壁, 采用壁装式泡沫箱, 再用中央区域液下注射泡沫或者单独采用液下注射式灭火系统也可能达到灭火目的。需要指出的是, 发泡倍数和入口速度是液下操作的关键, 以防止有过多的内储物随着泡沫的上升而带出。所有液下喷射系统均应严格按照 NFPA11 进行设计。

近来对成功的储罐灭火研究表明, 在开始灭火操作时使用多个大功率泡沫炮以多条泡沫射流集中在较小区域是有效的。采用这种方法可使泡沫在小范围内控制火焰, 从而降低温度和热上升气流, 并使泡沫层得以在液面上形成。

6.4.7 易碎罐顶或弱焊缝罐顶

一般情况下, 建议在锥顶罐或带有内浮顶罐的固定顶上设置弱焊缝或易碎罐顶。罐内一旦出现爆炸或其他的过压情况, 罐顶与罐壁的焊缝会破裂而罐壁与罐底的焊缝保护完好。如罐底结合处发生破裂, 罐内所有内储物漏出会使火源大面积扩散。这种情况以前发生过。有关易碎罐顶的设计参见 API Std 650。应特别注意对于直径小于 15m(50ft)的小型储罐要保证罐顶具有易碎性, 因为小型储罐, 其罐壁的重量不足以抵消储罐过压引起的提升力。这一问题还没有被普遍认识, 要防止罐壁与罐底接缝发生破裂, 需要进行特殊设计。

6.4.8 立式低压固定顶储罐

6.4.8.1 不带弱焊缝的储罐

不带弱焊缝这一类储罐是按照 API Std 620 进行设计和施工的, 在操作时金属温度不超过 93℃ (或 200°F), 操作压力不超过 103.42kPa (15 lb/in²)。

这种储罐火灾通常起因于漏油或有其他火源蔓延而发生。如果发生内部爆炸 (很少发生), 储罐将在最弱处破裂。如果破裂发生在罐壁与罐底焊缝, 漏油会很快流散在储罐周围, 并很快闪蒸起来, 随后就是地面大火。应急计划中应考虑这种情况, 以提示消防人员注意防止伤亡。

6.4.8.2 不带有弱焊缝的罐顶或无应急呼吸阀的储罐

不带弱焊缝的罐顶或无应急呼吸阀的储罐应在应急计划中以及现场罐体上标示出。灭火的原理和方法应根据火灾的类型参见本标准的相关章节。

6.4.9 螺栓固定接缝和铆钉固定接缝储罐

螺栓固定连接和铆钉固定连接储罐具有发生三维火灾潜在的危险性。从焊缝渗漏的原油可能燃烧, 并沿罐壁而下。这些火焰必须用灭火剂扑灭。

6.5 含铅发动机燃油混合罐和储罐

抗爆化合物储罐周围发生火灾时, 应该施放冷却水, 以防止储罐蒸气空间中的金属表面温度上升到铅化合物分解的温度并将储罐中铅液温度保持在其平均临界温度以下。一旦铅化合物分解, 储罐即将出现剧烈的破裂。

每一紧急情况有不同特殊现象, 应当作出正确判断采取行动。下面推荐在这种火灾发生时应该采用的方法和预防措施:

- a) 停止进料和混合作业。

b) 穿戴合适的人身防护装备。

c) 立即向储罐施放冷却水。启用手动的或固定式水喷雾系统, 在设置自动水喷雾系统时应检查其工作情况。

d) 如果火灾危及混合装置, 则应当遵循工厂的正规防火措施和规范。应该立即通知最近的抗爆剂供应部门。

e) 熄灭该区域的烃类火焰。

f) 使用干粉扑灭呼吸阀或流动的烃类火灾。

g) 为防止该地区火灾持续时间过长, 需要使用移动式消防炮向储罐施加额外的水流。

一般地讲, 在混合车间内灭火人员的安全取决于抗爆化合物是否能够保持低于其平均临界温度。如果抗爆化合物储罐破裂, 则必须避免接触到储罐内的物质和吸入任何烟雾。

水对于扑灭抗爆化合物的燃烧是有效的。这种火灾与石油或汽油火灾不同, 水能够聚集在密度很大的抗爆物质上面, 使蒸气和空气有效地分隔开, 因而能够防止燃烧。为了保证水的最大效果, 在往储罐中增加水量时应尽量不使水产生紊流。应当避免吸进燃烧后的产物。

当火灾发生在抗爆化合物储罐区域时, 对灭火人员或其他人员构成危险前的可供利用时间取决于储罐内化合物的数量和施加冷却水是否得当。

下面的时间是根据经验得来的, 可用于估算在火灾温度的作用下化合物温度达到其平均温度前可供利用的灭火时间。

a) 储罐中有抗爆化合物 4500kg(10000 lb) (不管储罐容积多大), 坑内有汽油在燃烧, 储罐排气阀是关闭的, 而且冷却水系统失灵, 则可供安装移动式水炮的安全时间为 15min。如果失败, 立即从该区域撤离人员。

b) 储罐内有抗爆化合物 11000kg(24250 lb) (不管储罐容积多大), 坑内有汽油在燃烧, 储罐排气阀是关闭的, 而且冷却水系统失灵, 则可供安装移动式水炮的安全时间为 25min。如果失败, 立即从该区域撤离人员。

c) 储罐内有抗爆化合物 45000kg(100 000 lb) (不管储罐容积多大), 在坑内有汽油在燃烧, 排气阀是关闭的, 而且冷却水系统失灵, 则可供安装移动式水炮的安全时间为 60min。如果失败, 立即从该区域撤离人员。

注意: 上面估算的时间应将报警前的火灾经过时间和其他因素(如灭火设备的使用年限和状态, 以及火灾的规模)考虑进去。

6.6 其他添加剂

过去汽油是通过添加四乙铅来增高辛烷值, 而美国及其他国家出于对环境的考虑, 已经逐步地采用其他添加物替代四乙铅作为辛烷值增进剂和体积增充剂。这类燃料油作为无铅汽油销售。

炼制造商试图增加机动车燃料油的供应来源, 已开始利用农业原料。乙醇已作为汽油增充剂的一种添加物用于机动车燃料油, 甲醇正在研究之中。叔丁醇和甲基叔丁基醚也将用作辛烷值增充剂。

由于极性溶剂, 特别是低级醇会破坏泡沫。

简言之, 当按较低的泡沫供给强度进行模拟消防枪施放时, 添加剂会使灭火工作更加困难。然而经研究证实, 对于试验过的所有汽油, 都能按 NFPA 11 规定的供给强度扑灭。

6.7 检查

灭火的最后阶段为检查, 应当检查储罐内火灾是否完全熄灭, 该区域是否已相当安全, 不会出现复燃。检查过程包括处理残余内储物并防止出现二次点燃。处理过程中必须特别小心, 避免灭火罐附近可能出现的任何火源。挥发性内储物可能仍滞留在罐内, 一旦泡沫覆盖层消逝, 蒸气会释放出来, 泡沫覆盖层必须保留到残余内储物安全转移为止。灭火任务完全结束前必须有专业灭火队员警戒并保留一定的灭火设备。

附 录 A
(提示的附录)
参 考 资 料

注: 有许多资料涉及石油设备的防火。尽管以下目录包括了大量的实用出版物, 但并未包括全部的防火资料。

A1 标准、规范和规则

API

- Spec 12B Specification For Bolted Tanks For Storage of
Production Liquids
- Rp 2001 Fire Protection in Refineries
- Publ 2015 Cleaning Petroleum Storage Tanks

IFSTA¹⁾

- 210 Private Fire Protection

NFPA

- 11A Medium And High Expansion Foam Systems
- 11C Mobile Foam Apparatus
- 12 Carbon Dioxide Extinguishing Systems
- 325M Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases and Volatile Solids
- Fire Protection Handbook; Section 4, Chapter 4; Section 10, Chapter 5; and Section 18, Chapter 4
- Fire Protection Guide on Hazardous Materials
- Flammable And Combustible Liquids Code Handbook, Chapter 2

OSHA²⁾

- 29 Code of Federal Regulations Subpart L, "Fire Protection" and 1910. 120

A2 一般参考文献

Bryan, J, L(Ed.). Fire Suppression And Detection Systems (2nd ed.), Chapters 3—4. Macmillan, New York, 1982.

1) 国际消防培训协会, 地址: International Fire Service Training Association, Okishoma State University, Stillwaster, Oklahoma 74078.

2) 美国劳动部, 职业安全与健康管理局, 该联邦法规可从美国政府出版局获得, 地址: U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402.

Thermal Characteristics of Motor Fuel Antiknock Compounds Containing Tetraethyl Lead, Methylethyl Lead, Tetramethyl Lead, Ethyl Corporation and E.I. du Pont de Nemours And Company.

Hazardous Materials For First Responders, Fire Protection Publications (Division Of IFSTA), Stillwater, Okla, 1988

Herzog, G.R., Management Of Flammable Liquid Storage Tank Fires, Ansul Fire Protection , Dallas, Texas.

Langenkamp, R.D. (Ed.), Illustrated Petroleum Reference Dictionary, (3rd ed.). Penn Well, Tulsa, Okla, 1985.

Meidl, J.L., Flammable Hazardous Materials (2nd ed,) Chapters 2-4, Macmillan, New York, 1978.

Meyer, E., Chemistry Of Hazardous Materials, Chapters2, 4, And 10, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1977.

注：除上述所列参考资料外，还包括泡沫灭火剂和相关设备制造商出版的有关其内储物的资料。消防部门使用某种泡沫或设备时应及时搜集有关资料（例如，泡沫灭火剂的性质，限制和使用方法），并列入其定期的培训教程。

附录 B

(提示的附录)

应急计划

B1 概述

对于石油储罐设备, 应急计划的重要性怎么强调都不过分。火场指挥部门应有简明而全面的资料。

B2 有关储罐的考虑事项

灾前应急计划应当符合储罐结构(就像典型的灭火计划应当符合建筑物的结构和特点一样)。相关的重要项目包括以下内容:

- a) 结构类型;
- b) 尺寸(直径, 液面面积, 高度);
- c) 容积, 桶或加仑[1 桶等于 91L(24gal)];
- d) 内储物的类型和特性;
- e) 管道及附属设备, 包括应急设施;
- f) 暴露物(类型、距离及其他内储物);
- g) 用泵输出内储物的时间(可抢救内储物);
- h) 排液(防火堤内, 开口式浮顶罐上);
- i) 表面积(用于计算泡沫需要, 包括防火堤区);
- j) 附属(或固定)的防火设施。

B3 有关防火的考虑事项

B3.1 调查

事故发生前, 要有全面的防火考虑。考虑因素见 B3.2~B3.4。

B3.2 水供应和分配系统

应考虑以下项目(见表 B2):

- a) 容量及类型;
- b) 可供应的总流量, L/min;
- c) 敷设消防水带长度;
- d) 供配水系统与消防管道接口的匹配;
- e) 备用水源;
- f) 泵, (如需要)及其他动力源(是否有备用泵);
- g) 系统水压。

因为水是灭火泡沫的主要成分, 如果水源出现问题, 则泡沫的适当应用将变为不可能。

B3.3 泡沫的供给及分配系统

如上所述, 泡沫灭火剂是扑灭易燃和可燃液体火灾的主要灭火剂。只有在推荐的时间内以正确的供给强度予以施放, 才能用泡沫灭火剂扑灭火灾。因此预先评价泡沫的供给和施放系统及其设备是非常重要的。

表 B1 固定式泡沫室或消防水炮的使用方法

内储物	时间 min	
	Ⅱ 型施放	水枪
不溶于水的:		
闪点高于 93℃ (200° F)(润滑油)	25	35
闪点在 38~93℃ (100~200° F)之间(煤油)	30	50
闪点低于 38℃ (100° F)(汽油)	55	65
原油	55	65
溶于水的:		
极性溶剂	55 ¹⁾	65 ¹⁾
1) 只有在制造商对泡沫的Ⅱ 型施放进行了规定,方可按规定的时间应用,但决不能少于 30min		

表 B2 储罐的规格、最短施放时间和消防水带的最低数目

罐体尺寸		输送消防射流水带的 最低数目	每个消防水带射流的最短施放时间 min
m	ft		
< 10.7	< 35	1	10
10.7~19.8	35~65	1	20
19.8~28.9	65~95	2	20
28.9~36.6	95~120	2	30
> 36.6	> 120	3	30

在灾害发生前, 应获取以下资料并予以记录存档 (见表 B1):

- 可立即使用的泡沫量及类型;
- 从仓库将泡沫输送至火灾发生地的方法;
- 半固定系统 (如果有) 中可使用的消防水流量;
- 其他泡沫源的地点及可利用性 (其他工厂、其他消防部门和泡沫制造商的应急储备);

e) 固定的和便携式的消防设施的数量及类型；只有在火场指挥部人员了解储罐周围的设备和使用方法后才能制定出明智有效的战略和战术；

f) 其他灭火剂的适用性（例如用于浮顶密封处火灾的干粉）。

B3.4 排水和清除积水

应当考虑从火灾发生区域排水和清除地面积水。水的流量和方向是重要的考虑因素。

事故发生前，应获得以下资料并予以记录存档。

- a) 是否有将水流从火灾地点向外导出、运走污泥及其他物资的设备；
- b) 了解天然排水的情况，包括水流方向和蓄水地点；
- c) 火场排水计划，包括蓄水坑及其处理方法；
- d) 负责管理喷溅物及其清理工作的管理机构。

B4 指挥中心及通信中心

在重大火灾事故现场建立指挥中心及通信中心是绝对需要的。该中心除了完成火场灭火任务外，由火场指挥人员、其他主要的消防人员及厂方代表在这里共同制订灭火战略和战术，并调配所有外援物资。

指挥中心应能与火场上所有部门及时取得通信联系。应配备无线电通信设备，最好是频率相同的设备。如果没有这种设备，应采用其他的通信手段与各部门联系（如足够数量的通信员）。另外在指挥中心设立电话联系可以帮助解决问题，也可避免延误与外援的联系。

火场指挥员应随手备有工厂及储罐的所有资料（应急计划地图、标准操作规程等等）。

事故指挥与控制图表作为火场指挥人员的标准方法已应用多年。它们不仅仅是“注意事项”的核实表，而且也是一种方便而有条理的重要数据的记录表，在石油设备火灾事故期间，该图表及其他一些操作体系易于制作和使用。

依据上述计划所要求的去做，就可以收集到储罐区大量的相关资料。发生火灾时只要分辨出火灾地点，就可以估算出消防能力。

B5 有关灭火操作及后勤的考虑

下面几个因素与灭火中所遇到的严重问题相比似乎不甚重要，但是如对这几个因素未给予足够的注意，会影响顺利的灭火操作。

a) 无论白天或黑夜，第一批指定的灭火人员和警戒人员均应能够进入场地。在大型的罐区，对于该地区不熟悉的人员需要经引导进入指定地点。

b) 在编制计划时应当确定出能够清楚辨认的中间补给地区。正常的灭火计划中应当指定中间补给地区和一名对指挥中心负责的中间补给地区负责人。

c) 对于大规模灭火作业，向火场输送泡沫浓缩液是一个重要问题，如果在计划阶段未能很好地解决这一问题，也会导致灭火失败。

d) 水泵经长期运行后，消防车须重新加油，因此应制定加油计划。

e) 如灭火中需要自备式的呼吸器，则应制定一个可提供呼吸空气（如备用瓶、储气系统或充气设备）的计划。

f) 在大规模灭火操作中，工作人员会有伤亡。需要有足够的人员换班休息（在恶劣天气条件下尤其重要），应划定适当区域供消防人员休息和用餐。

B6 外援

在火灾期间除消防队外，许多部门和公司能够提供有效的帮助。这些部门应当在计划阶段进行接触。这些部门包括：

- a) 相邻的工厂。可补充大量的泡沫灭火剂、灭火设备和技术专家（应有一个互相援助计划）。
- b) 泡沫灭火剂制造厂。一些公司提供 24h 紧急电话服务，可从分布在各地的仓库中获取更多的泡沫灭火剂。
- c) 执法机构。由于重大事故会招引众多的围观者，警方的协作是必不可少的，特别是运送特殊设备和补充泡沫灭火剂时需要疏散人群和管理交通。在护送不熟悉火场的外援单位和指挥人们撤离现场时都需要警察予以指挥或提供直升机对火场进行空中观察。
- d) 新闻媒介。在有些情况下，新闻媒介可随时向当地居民通报火灾情况或在需要居民撤离时，传达撤离命令。
- e) 飞机场及军队消防部门。这些部门可提供特殊设备，协助扑灭易燃液体火灾。

B7 应急计划资料及培训

计划一旦编制完成，便应将资料存入便于使用的档案系统。在火灾过程中如果不能迅速地获得参考数据，则再好再完整的计划也将毫无用途。

最新的工厂地图应同其他资料一起保存以确保事故发生时可以得到。根据工厂地图的复杂性和比例尺的情况，建议根据该地图绘制灭火专用地图并标出道路、灭火设备、地形等，然后将两种地图都提供给指挥中心，以确保能获得完整而准确的资料。

这些资料应编制一个完整的最终计划数据（一本书或其他形式，地图等）并在正式培训计划中使用。消防人员应进行定期的步行巡视，以保证熟悉装备并与当地消防队及管理机构保持良好的关系。

B8 确定泡沫浓缩液的数量

B8.1 概述

石油储存设备的灭火操作需使用数以千计加仑的水和泡沫浓缩液，尤其是涉及到多个常压储罐时。

以下公式可以帮助消防部门确定扑灭储罐火灾所需泡沫及水的用量。根据 NFPA 11，储罐防火包括：

- a) 使用固定设备的基本防火；
- b) 通常是用便携式施放设备的辅助防火。

B8.2 基本防火要求

泡沫浓缩液用量通过以下公式确定：

$$C_1 = RSTF$$

式中： C_1 ——基本防火需要的泡沫灭火剂用量，L；

R ——供给强度，L / (min · m²)；

扑灭烃类内储物时， $R = 4\text{L} / (\text{min} \cdot \text{m}^2)$ ；

使用移动式消防设施时， $R = 6.5 \sim 8.1\text{L} / (\text{min} \cdot \text{m}^2)$ ；

S ——液面面积，m²；

T ——供给时间，min(见 NFPA 11)；

F ——泡沫浓缩液与水混合时的体积百分数，%。

B8.3 辅助防火要求

上述所列防火要求以外的辅助防火要求用下式计算：

$$C_2 = NLTF$$

式中： C_2 ——辅助防火需要的泡沫灭火剂用量，L；

N ——喷嘴供给强度，L / min；

L ——管子数量，每根管子流量为 189L / min(50gal / min)[见 NFPA 11]。

B9 实例**B9.1 例 1****B9.1.1 问题**

一个 14.6m(48ft)高, 直径为 18.3m(60ft)的锥顶储罐, 内装闪点为 49℃ (120° F) 的煤油。该罐在罐壁上装有固定的泡沫室。根据 NFPA 11, 供给强度为 $4\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ [$0.01\text{gal}/(\text{min} \cdot \text{ft}^2)$], 且连续供给时间为 30min。

B9.1.2 基本防火

基本防火要求计算如下:

泡沫混合液用量

$$=SR=263\text{m}^2 \times 4\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)=1052\text{L}/\text{min}$$

泡沫浓缩液流量

$$=SRF=1052\text{L}/\text{min} \times 0.03=31.6\text{L}/\text{min}$$

泡沫浓缩液供给量

$$=SRFT=31.6\text{L}/\text{min} \times 30\text{min}=948\text{L}$$

B9.1.3 辅助防火

辅助防火要求计算如下: 在 30min 内, 一个消防水带以 $189\text{L}/\text{min}$ ($50\text{gal}/\text{min}$) 的流速供液。

泡沫浓缩液流量

$$=NLF=189\text{L}/\text{min} \times 0.03=5.7\text{L}/\text{min}$$

泡沫浓缩液供给量

$$=NLFT=5.7\text{L}/\text{min} \times 30\text{min}=171\text{L}$$

B9.1.4 整个系统供给量

整个系统供给量

$$=948\text{L}+171\text{L}=1119\text{L}$$

B9.2 例 2**B9.2.1 问题**

一个 14.6m(48ft)高, 直径为 18.3m(60ft)的锥顶罐, 内储闪点为 49℃ (120° F) 的煤油, 配备一个消防炮喷嘴, 根据 NFPA 11, 供给强度为 $6.5\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ [$0.16\text{gal}/(\text{min} \cdot \text{ft}^2)$], 且连续供给时间为 50min。

B9.2.2 基本防火

基本防火要求计算如下:

泡沫混合液用量

$$=SR=263\text{m}^2 \times 6.5\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)=1710\text{L}/\text{min}$$

泡沫浓缩液流量

$$=SRF=1710\text{L}/\text{min} \times 0.03=51.3\text{L}/\text{min}$$

泡沫浓缩液供给量

$$=SRFT=51.3\text{L}/\text{min} \times 50\text{min}=2565\text{L}$$

B9.2.3 辅助防火

因为使用了消防炮, 因此不需要辅助防火。

B9.2.4 整个系统供给量

整个系统供给量

$$=2565\text{L}$$

B9.3 例 3

B9.3.1 问题

一个 17m(56ft)高, 直径为 45m(150ft)的浮顶罐, 内装燃点为 -7°C (-45°F) 的汽油, 罐体设有安装固定防火设备。根据 NFPA11, 供给强度为 $6.5\text{L}/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$ [$0.16\text{gal}/(\text{min}\cdot\text{ft}^2)$], 且连续配注时间为 65min。

B9.3.2 基本防火

基本防火要求计算如下:

泡沫混合液用量

$$=SR=1642\text{m}^2\times 6.5\text{L}/(\text{min}\cdot\text{m}^2)=10673\text{L}/\text{min}$$

泡沫浓缩液流量

$$=SRF=10673\text{L}/\text{min}\times 0.03=320\text{L}/\text{min}$$

泡沫浓缩液供给量

$$=SRFT=320\text{L}/\text{min}\times 65\text{min}=20800\text{L}$$

B9.3.3 辅助防火

因使用消防炮, 所以无需辅助防火。

B9.3.4 整个系统供给量

整个系统供给量

$$=20800\text{L}$$

B10 火场指挥及应急计划数据表

火灾指挥及应急计划数据表是在灭火初期及从灭火计划中获得的数据进行整理的最简单的方法。同时也是对火场上某一具体单位的工作进行跟踪的简便方法, 使用的指挥数据表有许多类型和特点, 并进行很多改进以满足需要。本标准所附样品图表 (见表 B3) 划分了信息种类, 在事故发生时, 火场指挥员可备在手边。

表上信息可按任意顺序排列或放大到任意尺寸, 以达到使用要求。(样品图表已按比例缩小, 仅占一页)。

注: 这里给出的数据表, 并未由现在某一个部门使用过。

数据表有以下几项:

- a) 事故: 表上的空格可填写火灾地点, 时间, 日期和其他有关信息。
- b) 暴露物: 列出暴露物 (类型、产品等) 与着火储罐和储罐群之间的距离。
- c) 中间补给地区: 列出中间补给地区位置和设备及有关数据。
- d) 消防队(如需要): 内容包括以下项目, 如: 设备、人员要求、无线电频率和负责官员姓名。
- e) 储罐罐体本身特征: 有关泵内储物时间(可用于确定灭火, 回收内储物和采取任其烧完战术)。
- f) 内储物: 有关易燃或可燃液体的数据。
- g) 系统: 记录有关供给设施的水及泡沫分配系统数据。
- h) 储罐上灭火设施: 记录有关储罐上安装防火设施的情况, 设备的状态 (例如, 在火焰冲击下所需冷却水流量)。
- i) 其他灭火设施: 记录有关便携式消防设备的型号及数量。
- j) 泡沫浓缩液: 记录有关泡沫浓缩液的详细情况, 来源及可供给量 (这些资料中的大部分应记录在应急计划中)。
- k) 任务分派: 记录向各小队发布命令的时间及委派任务内容。
- l) 辅助资料: 备忘事项, 特种设备及其他资料 (因地制宜)。
- m) 剩余的空白处: 可用于记录另外委派的小队的任务、注意事项或事故现场图。

表 B3 石油储罐设施的火灾指挥及应急计划数据表(格式)

事故 1.地点 _____ 2.日期和时间 _____ 3.其他资料 _____ 4.暴露物:1) _____ 2) _____ 3) _____ 4) _____
中间补给区域 5.中间补给区域的设备 _____ 6.位置 _____
消防队 7.设备 _____ 8.人员要求 _____ 9.无线电频率 _____ 10.负责官员 _____
储罐 11.类型 _____ 12.直径 _____ 13.液面面积 _____ 14.附属设备 _____ 15.排水系统 _____ 16.泵内储物所需时间 _____
内储物 17.名称 _____ 18.闪点 _____ 19.比重 _____ 20.蒸气密度 _____ 21.罐内液位,m _____ 22.储存温度 _____
防火 23.系统 _____ 24.储罐上的设备 _____ 25.其他设备 _____

表 B3(完)

泡沫浓缩液

26.来源 _____

27.供给量 _____

28.公用消防设施 _____

29.专用消防车 _____

其他资料

30.小队任务分配 _____

31.特种设备 _____

32.警察 _____

33.其他 _____

34.注意事项及现场示意图: _____

附录 C

(提示的附录)

事故数据表

C1 介绍

事故数据表是储罐及罐周围地区在发生火灾之前、发生过程中及发生之后应收集的数据。在具体火场需增加的辅助数据亦应填入此表。

在许多情况下,在火灾前、火灾过程中及火灾后收集数据都是非常重要的。如果需要通过法律程序来判断火灾原因,这些数据是非常有用的。这些数据还可指示出更有效的扑灭火灾的方法,同时亦可用在火灾之后分析火灾发生原因及避免同类事故再次发生。

C2 储罐灭火记录

多数储罐火灾现场都是很混乱的,因此在出事地点记录数据往往被人们所忽视。由于下面两个原因这样做是必须的:

a) 火灾后的鉴定需要可靠的数据,这对紧急动员的效率及所采用的战略与战术的准确性是必不可少的;

b) 使用泡沫灭火剂灭火时,火灾开始之初,需用必要的数据来计算所需泡沫供给强度及所需泡沫浓缩液总量。

如涉及锥顶储罐则需要特殊数据。下面给出事故数据表(见表 C1)可供参考,该表的复印件(或相似的数据表)在编制应急计划和储罐消防演习时是有用的。这些数据表应事先准备好以备紧急情况发生时使用。

表 C1 事故数据表(格式)

出事日期 _____ 地点 1.公司名称 _____ 2.街名 _____ 3.市 _____ 县 _____ 邮编 _____ 时间 4.火灾出现时间 _____ 5.火灾报告时间 _____ 6.开始扑救时间 _____ 7.控制住火情的时间 _____ 8.火灾扑灭时间 _____ 天气 9.气温 _____ 10.湿度 _____	11.风力及风向 _____ 12.天空情况 _____ 13.降雨量 _____ 回收内储物 14.开始泵出时间 _____ 15.停泵时间 _____ 16.泵出速度 _____ 17.泵出燃料总量 _____ 罐 18.内储物 _____ 19.型号 _____ 20.直径 _____ 21.顶的类型: ☐ 锥顶 ☐ 开口式浮顶 ☐ 内浮顶
---	--

表 C1(完)

22. 防火堤 _____ 23. 密封类型 _____ 固定灭火设施 24. 罐体上泡沫室 _____ 25. 液下喷射系统 _____ 26. 悬挂系统 _____ 27. 固定式泡沫系统 _____ 28. 便携式泡沫系统 _____ 29. 泡沫 _____ 类型: ☐ 氟蛋白 ☐ AFFF ☐ 极性溶剂 ☐ 其他 供给: ☐ 金属容器 ☐ 桶装的 ☐ 散装的 ☐ 其他 30. 自动探测 _____ 31. 自动启动 _____ 燃料 32. 燃料类型 _____ 33. 雷德蒸气压力 _____ 34. 初始温度 _____ 35. 沸点范围 _____ 36. 闪点 _____ 37. 火灾初期罐内液位 _____ 38. 火灾扑灭后罐内液位 _____ 39. 热波传播速度 _____ 40. 初次水沸溢时间 _____ 41. 水沸溢持续时间和波及范围 _____ 42. 首次沫子溢出时间 _____ 43. 沫子溢出持续时间和范围 _____ 灭火阶段	44. 是否使用冷却水 _____ 45. 估算冷却水流量 _____ 46. 被冷却物 _____ 47. 冷却水总量 _____ 48. 冷却水是否防止了危险发生 _____ 火情 49. 浮顶是否在位 _____ 50. 浮顶是否下沉 _____ 51. 防火堤内是否有火 _____ 52. 管道是否漏油 _____ 53. 罐内是否着火 _____ 54. 火源 _____ 泡沫 55. 使用水类型 _____ 56. 使用的泡沫量 _____ 57. 使用泡沫类型 _____ 58. 泡沫供给方法 _____ 59. 如何配比泡沫 _____ 60. 开始施放泡沫时间 _____ 61. 停用泡沫时间 _____ 62. 泡沫供给强度 _____ 63. 泡沫浓缩液总量 _____ 其他资料 64. 火情描述: ☐ 密封 _____ ☐ 呼吸阀 ☐ 全部表面 ☐ 防火堤 ☐ 管道 ☐ 其他 65. 经验教训 _____ _____ 66. 火灾区域示意图 _____
--	---

附录 D

(提示的附录)

原油储罐的水沸溢、油沸溢和泡沫溢出

D1 水沸溢 (Boilover)

所谓水沸溢是指储存某些内储物的敞口储罐经过长时间安静的燃烧后, 火灾强度突然增大, 伴随有燃油从罐中喷出。其发生机理是表面油燃烧后形成渣油, 其密度大于下层未燃烧的内储物并下沉到液面下而形成热层, 其下沉速度远大于液面下降速度, 这种热层被称作热波, 当热波接触到储罐底部或下沉的浮顶上的自由水或油水乳化液时, 水会很快被加热沸腾并像爆炸一样地溢出罐体。会产生水沸溢的内储物的沸点范围很宽, 包括轻质内储物和重渣油。大多数原油都会发生水沸溢, 也可产生在合成物质中。

水沸溢与油沸溢或泡沫溢出完全不同。油沸溢是当水喷在燃油热表面时, 形成小油沫溢出。泡沫溢出时不伴随内储物燃烧, 它是水注入到装有粘滞性热油的罐中时才会发生, 油水混合后由于水突然变为蒸汽, 导致罐中部分内储物溢出。

水沸溢的发生必须具备以下三种条件:

a) 储罐底部有自由水或油水乳化液, 一般情况下, 它们分布在储罐底部或下沉的浮顶上。这种情况在一般的原油储罐中是很普遍的, 在用轻馏分稀释罐中的重质燃油以降低其粘度时亦会发生水沸溢。

b) 原油必须含有沸点较宽的组分, 其较轻组分烧着时蒸发并在原油表面上继续燃烧, 未能燃烧的重组分[温度在 149°C (300°F) 以上]比重远较其下面的油要大, 这些重组分从表面沉下来而形成一个层热波, 并逐渐以 $0.3\sim 1.2\text{m/h}$ ($1\sim 4\text{ft/h}$) 的速度向下沉降且其厚度逐渐增加。热波不是由燃烧表面向下的热传导, 而是来自液面热油的一部分下沉的结果。

c) 水沸溢是非常危险的。储罐可持续地安静燃烧数小时, 然后在毫无提防的情况下突然喷溢出大量燃烧着的内储物。燃烧着的油流会以 32km/h 的速度在地面上推进。(见 6.4.2)。

D2 油沸溢 (Slopover)

所谓油沸溢是向正在燃烧着的热油表面施放水流而引起的沸溢现象。其发生条件必须是油的粘度较大, 其温度超过水的沸点。由于这种现象只涉及表面油, 因而, 这种现象相对来说不那么严重。

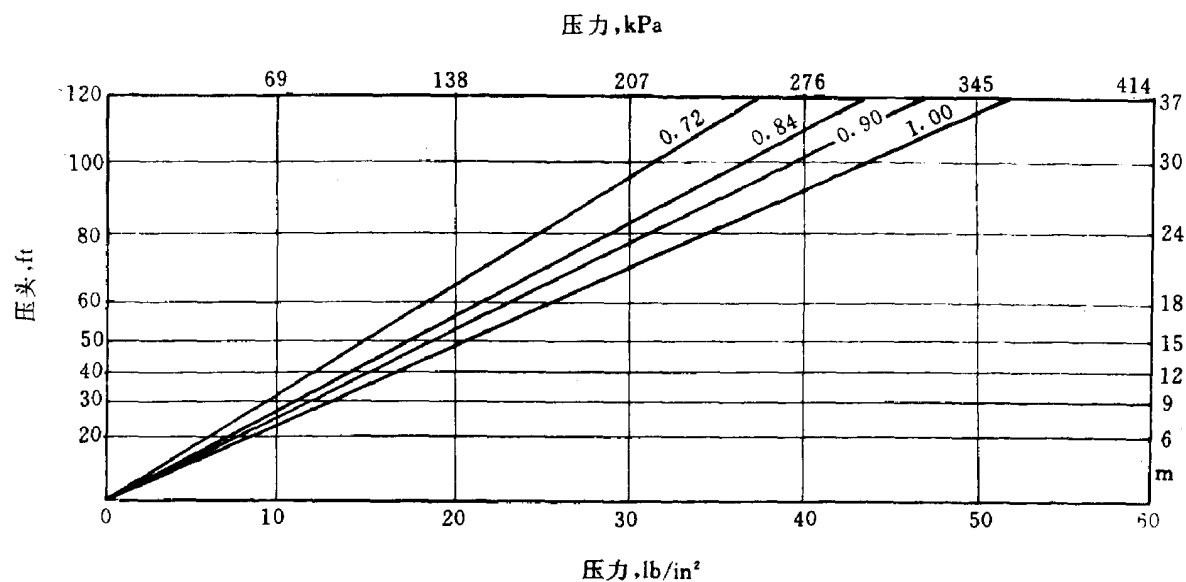
D3 泡沫溢出 (Frothover)

泡沫溢出是未着火储罐的溢出, 是指粘滞性热油下面的水或挥发性烃沸腾时发生的现象。最典型的例子是, 往含有水的罐车内灌装热沥青时发生的。

装罐初期, 沥青被罐车冷却而温度不高, 继而热沥青开始使水升温, 最后水开始沸腾而沥青就会从罐车溢出。

类似现象可能发生在储存温度在 93°C (200°F) 的重质油的底部有水包乳化液的储罐, 在往储罐灌装加热温度超过 100°C (212°F) 的渣油时, 经过一段时间热油作用到水的表面以后才会产生持续的水沸腾现象, 这时会冲开罐顶, 而泡沫会散布到罐外相当大面积的地面上。

附录 E
(提示的附录)
泡沫灭火剂的摩擦损失数据



注: 线上数字为相对密度

图 E1 静压头计算

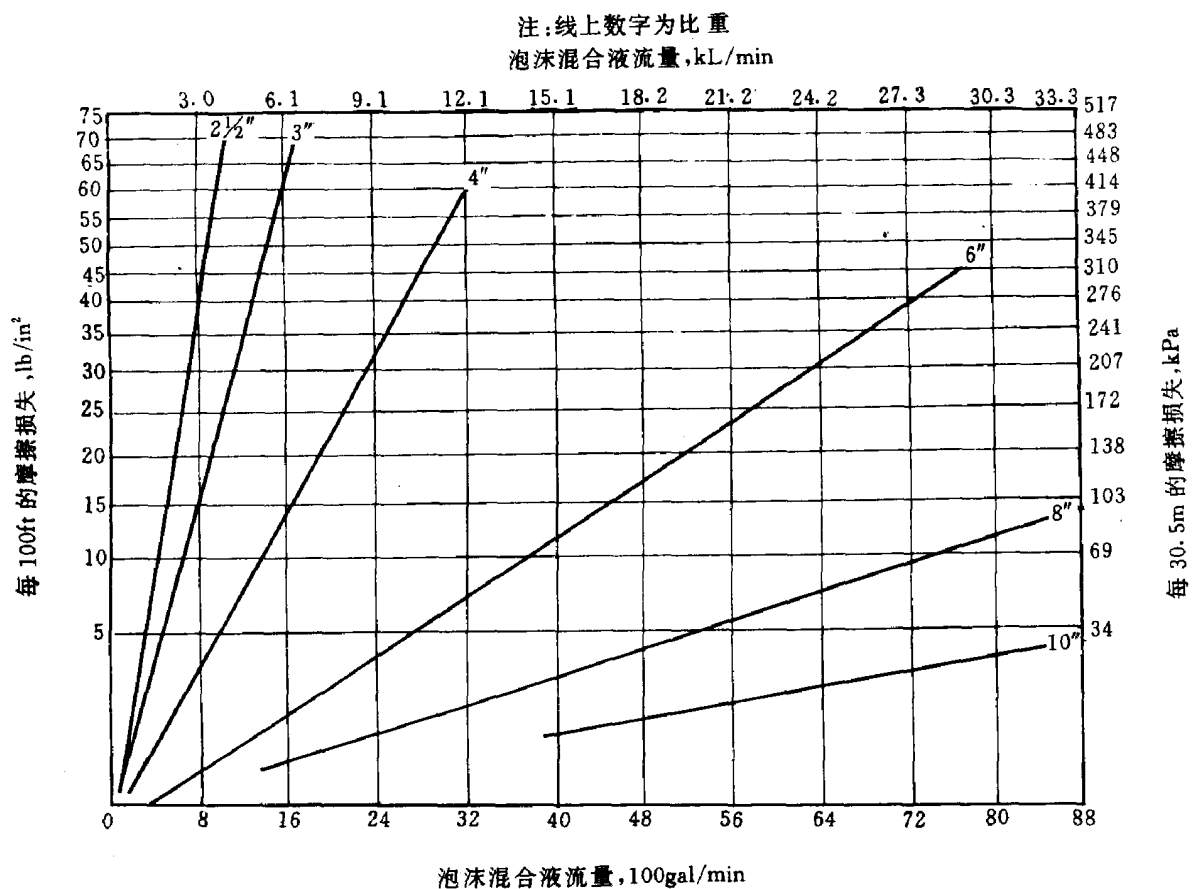


图 E2 摩擦损失(2 1/2, 3, 4, 6, 8, 10 in 管道)

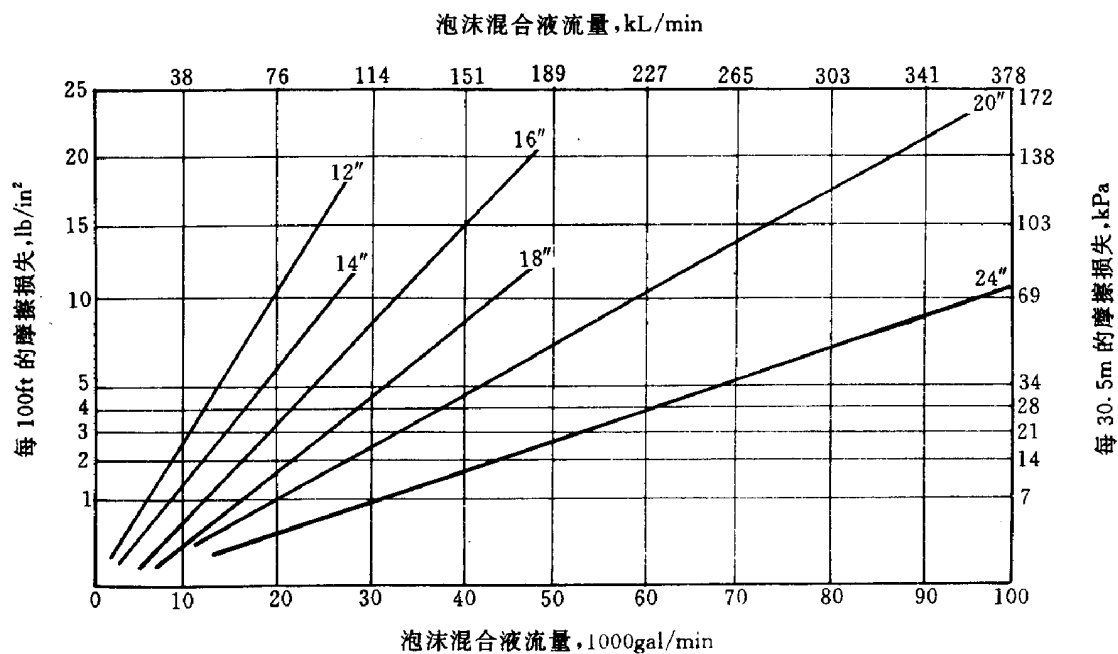


图 E3 摩擦损失(12, 14, 16, 18, 20, 24 in 管道)

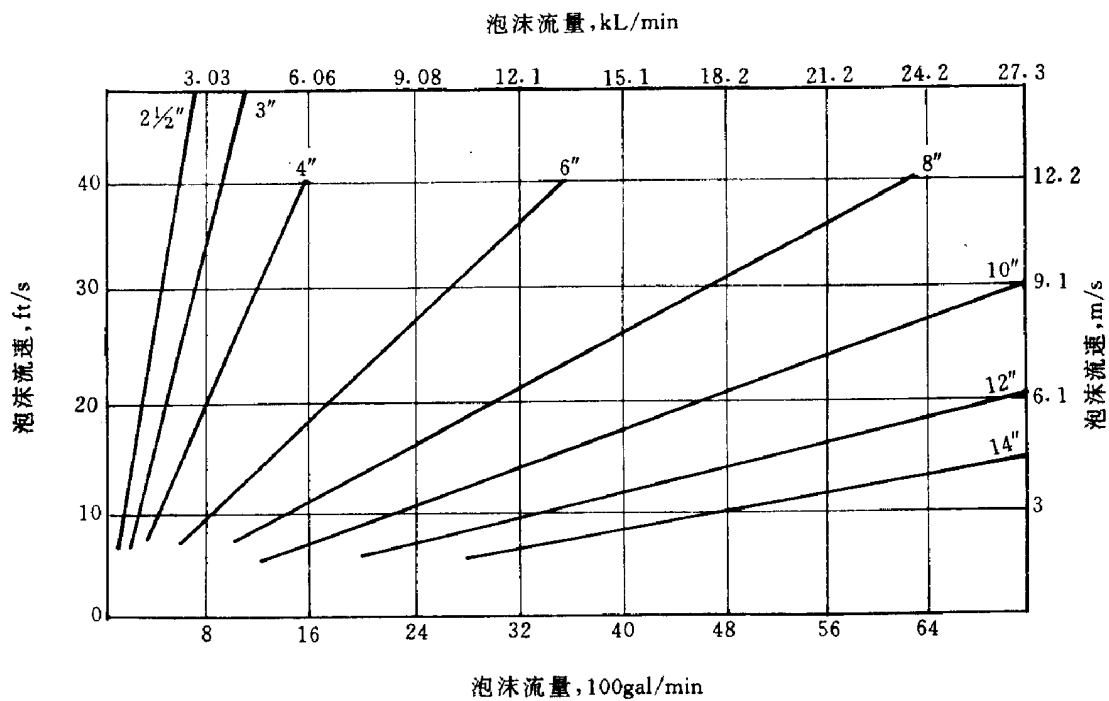


图 E4 泡沫流速与泡沫流量的关系(2 1/2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14 in 管道)

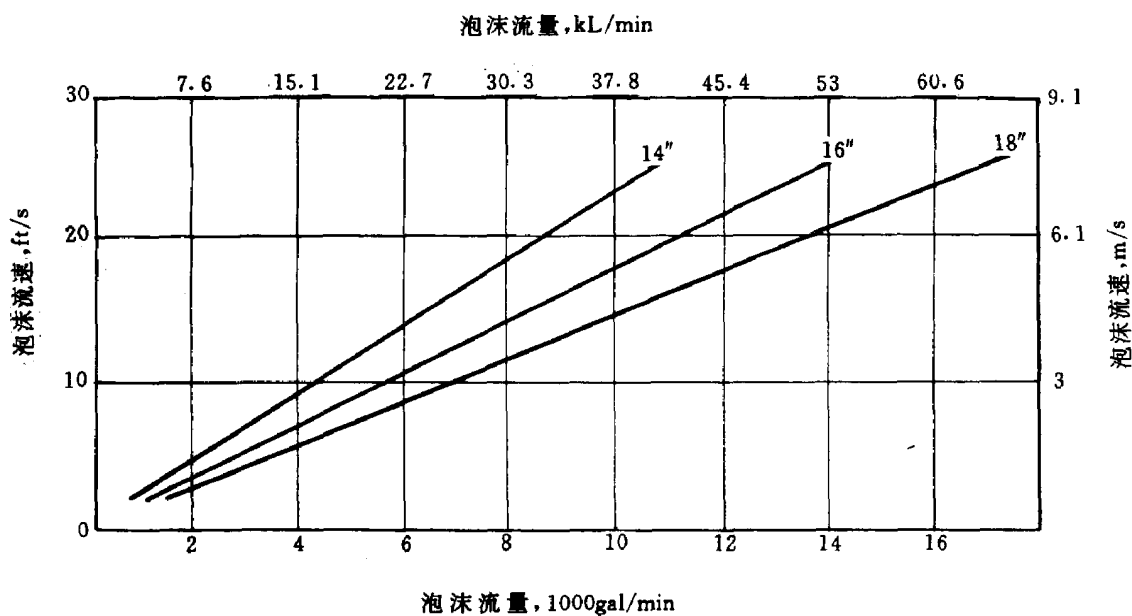


图 E5 泡沫流速与泡沫流量之间的关系(14, 16, 18 in 管道)

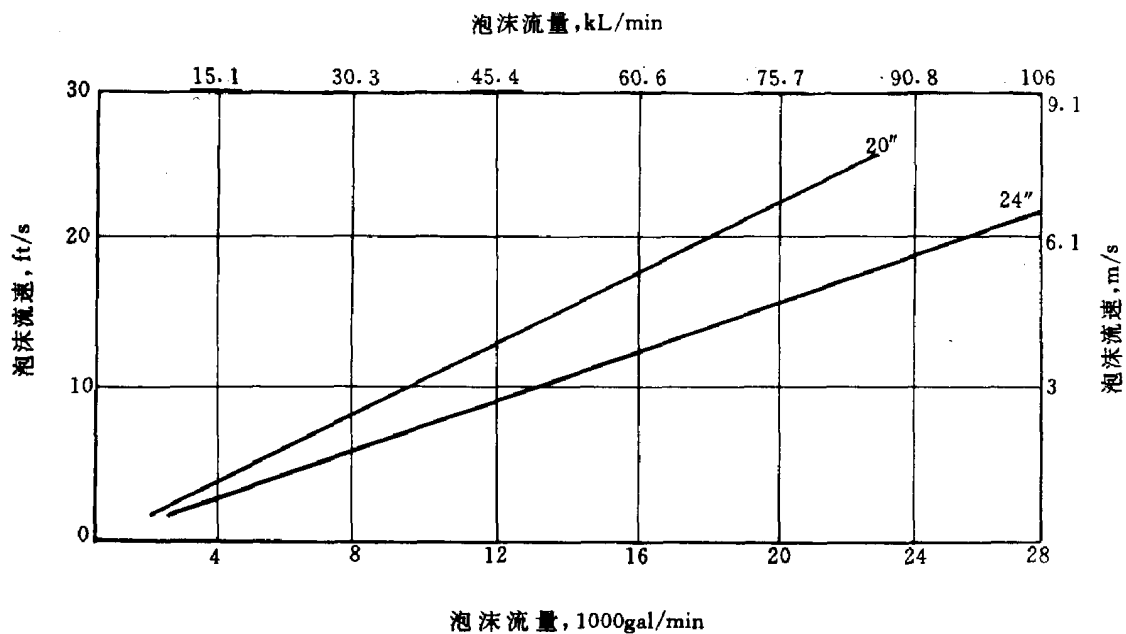


图 E6 泡沫流速与泡沫流量之间的关系(20, 24 in 管道)