

原油外浮顶储罐火灾扑救技术研究

张永原（山东雁翔机电工程有限公司，山东 淄博 255400）

摘要：为遏制外浮顶储罐火灾事故蔓延，减少不必要的生命财产损失，本文从原油外储罐角度出发，结合油罐结构特点、火灾发生后的风险性质及注意事项，提出火灾扑救技术原则。研究表明，储罐火灾扑救应迅速、按照程序快速响应，并结合火情，采取针对性的扑救方案。研究提出原油外浮顶不同火灾扑救技术的应用方法和策略，旨在提升储罐火灾应急处置能力。

关键词：原油外浮顶储罐；火灾扑救；喷淋设施；扑救程序

0 引言

外浮顶储罐因结构问题，导致其容易产生火灾，且危害性较大，严重时，甚至会发生爆炸，造成难以弥补的生命财产损失。常见外浮顶储罐火灾发生的原因，包括雷击、硫化亚铁自燃两种。当火灾发生时，如果处置不当，则会使得火情恶化，无法控制。因此，技术人员应快速响应，避免火灾蔓延，造成严重的后果，并采取适宜的火灾扑救技术。

1 外浮顶储罐基本结构

原油外浮顶储罐是一种常用的储存原油和其他液体的设备。目前，该类储罐的结构大致分为两种，分别是双盘式结构和单盘式结构，内部容积可以达到上万立方米。其结构包括壳体、外浮顶、内浮盘、密封系统和排放装置等。外浮顶浮在储罐内液体表面上，用于防止液体与空气接触，密封系统则使用密封圈、密封垫等保护，防止原油挥发和泄漏，排放装置则用于压力控制，排放气体。在储罐应用过程中，原油属于易燃物质，储罐内存在甲烷、乙烯等挥发性气体，一旦接触火源，极容易发生火灾事故。尤其是该结构组成上存在一定的通风空间，泄漏问题产生后，会形成可燃气体云，容易发生火灾^[1]。

2 外浮顶储罐油品燃烧风险分析

原油是一种易燃液体，具有较低的闪点和燃烧点。一旦发生泄漏或泄溢，原油会迅速蒸发形成可燃气体，遇到火源时会引发火灾。原油的燃烧释放大量的热能和有毒烟气，火焰高度较高，火势较大。且在火灾发生后，油品的燃烧最高温度可以达到1200℃以上，储罐外壁的温度也可达到上千度。油管直径会影响到火灾发生后焰火的高度，无风状态下，火焰倾斜角仅为15°左右，火焰呈现出锥形，风力较大的情况下，火焰宽度增加，倾斜角在60°左右。同时，受气流因素影响，下风向温度较高，产生沸溢时，热辐射强度会

增加3倍左右。同时，原油在长时间的燃烧下，会形成热波层，导致温度下降，使用水扑救灭火时，原油会出现沸溢喷溅现象，体积会扩大1700倍以上，该现象通常在1h左右时间内产生。

火灾风险则包括油品挥发和泄漏、静电火花产生、闪击和雷击、不当操作等。储罐内的原油可能发生泄漏或泄溢，如管道破裂、阀门失效等，导致液体流出储罐，遇到火源容易引发火灾。在原油储罐周围的工作环境中，静电可能会积聚并产生火花，如果这些火花接触到可燃气体，就会引发火灾。在雷暴天气中，储罐可能会受到闪击或雷击，导致火灾的发生。不当操作和维护可能导致储罐发生事故，如错误操作、设备故障等，增加火灾的风险。在火灾发生之后，如果未及时处置，则介质外溢之后，会因流淌导致其出现火灾风险。且外浮顶油罐储存的原油多为重质油，沸点和黏度均比较大，在水沸腾气化下，会产生油泡沫，燃烧范围会扩大至上千平方米^[2]。

3 外浮顶储罐火灾扑救技术应用

3.1 基本原则

在进行储罐火灾扑救时，必须遵循相关的操作规程和安全标准，确保扑救工作的有效性和安全性。在进行火灾扑救时，首要原则是确保人员的安全。必须确保扑救人员穿戴适当的防护装备，如防火服、防毒面具等，并遵循逃生和自救的原则。一旦发现储罐火灾，发现人员应第一时间报警并通知相关人员，启动应急响应机制，调动专业救援力量进行扑救。在火灾扑救时，必须尽快隔离火源，以防止火势蔓延。技术人员应立即关闭相关设备、切断电源、关闭阀门，以减少火源对储罐的影响。在此期间，由于火灾需要氧气的存在才能持续燃烧，切断供氧源是扑灭火灾的关键。技术人员应通过关闭通风设备、封闭泄漏源等方式减少氧气供应。针对原油火灾，常用的灭火剂包括

干粉、泡沫和二氧化碳等。不同的灭火剂适用于不同类型的火灾，应根据具体情况选择合适的灭火剂进行扑救。在扑灭火灾的过程中，需要采取措施控制火势的蔓延，可利用水幕、防火墙等方式切断火势的传播路径，阻止火灾扩大。在扑灭火灾后，需要持续监测储罐温度和余热情况，并采取措施处理余热，以防止火灾再次发生。

3.2 扑救程序

火灾扑救期间，按照技术应用流程，应明确具体的扑救程序，具体程序如下：

第一步，上风位置确认。确定火灾的风向，确保救援人员和设备在上风位置，避免烟雾和有毒气体对其造成危害；第二步，下风位置撤离。将储罐周围的人员撤离到下风位置，远离火源和烟雾，确保人员的安全；第三步，外围安全措施。设置外围安全区域，限制人员和车辆进入，防止火势蔓延并确保救援工作的顺利进行；第四步，防爆装置操作。检查和操作储罐的防爆装置，确保其正常工作，减少爆炸的风险；第五步，地面喷淋系统启动。启动储罐周围的地面喷淋系统，通过喷淋水雾来降低火势和温度，减少火灾蔓延；第六步，油罐冷却。使用水雾或水幕进行油罐冷却，以降低油罐温度，减少火势和防止爆炸；第七步，灭火剂喷射。根据火灾情况选择合适的灭火剂，如干粉、泡沫或二氧化碳，喷射到火源上进行灭火。按照火灾扑救的具体程序，能够确保火灾扑救效率的同时，避免火灾扑救过程中无必要的生命财产损失。

3.3 扑救技术应用

3.3.1 火情侦查

火情侦查是火灾扑救的前提条件，在火灾扑救之前，应确定具体的侦查内容。其中包括设施的结构和现场的布设情况，油罐的破坏情况，储存油品的种类和液位高度。油品参数等。在火情侦查中，扑救人员需要确定火灾发生时储罐的破坏情况，检查是否有泄漏、破裂或变形等情况，评估火势的严重程度和可能的扩散风险。如果储罐破裂或泄漏，需要采取相应的措施来控制燃料泄漏，以减少火势蔓延的风险。不同种类的油品具有不同的燃烧特性和危险性。同时，液位高度也会影响火灾的扑救策略和措施。根据油品种类和液位高度，可以选择合适的灭火剂和灭火方式，以最大程度地控制火势。了解重质油品的参数，如闪点、燃点、燃烧温度等，有助于评估火势的危险程度和选择合适的灭火剂。在火情侦查中，结合现场的实

际情况，可判断是否可登罐、设置防火堤等。

3.3.2 固定喷淋技术

火灾发生后，第一时间启动固定灭火及喷淋设施可帮助控制火势、降低温度，并减少火灾蔓延的风险。固定灭火系统是一种自动化的灭火设施，通过安装在储罐周围的喷头和管道系统，能够快速、有效地喷洒灭火剂。喷淋系统是一种通过喷头和管道系统将水或其他灭火剂均匀地喷洒在储罐表面的设施。喷淋系统可以用于冷却储罐表面，降低储罐温度，并防止火势蔓延。2022年4月29日，某雷击问题引发开裂事故，密封烧毁长度达到10.3m，存在18.5m开裂，着火面积14.8m²，4min后，消防人员赶到现场，在8min内灭火成功。火灾快速扑救的原因是在火灾发生后的1min16s内，现场人员固定灭火装置，裂口处火势基本扑灭，为后续的扑救提供了条件。

3.3.3 冷却降温技术

冷却降温技术是通过将冷却剂（通常是水）喷洒在火灾区域或储罐表面，从而降低火焰温度，减少燃烧反应速率，控制火势蔓延。在燃烧储罐存在保温层或者存在喷淋设施的情况下，冷却降温技术应用并不需要完全考虑，但在灭火力量不充足的情况，则可采用冷却降温的方案，以预防爆炸为目的实施扑救。冷却降温技术中，水炮是一种高压喷射水的设备，通常用于大型火灾扑救。水炮可以通过喷射高压水流，将火焰直接冲击并冷却。它可以迅速降低火焰温度，控制火势蔓延，并为其他灭火手段提供支持。水雾系统是一种通过喷射微小的水滴形成的雾状喷射，用于灭火和冷却。水雾能够迅速蒸发吸热，形成湿度高、温度低的环境，从而降低火焰温度，抑制燃烧反应。例如，某外浮顶储罐发生火灾后，采用冷却降温技术，供水强度为0.7L(s·m)，水枪参数为19mm，充实水柱参数为16m^[3]。

3.3.4 登罐扑救技术

根据火情侦查结果，火灾扑救人员可以使用登罐扑救技术，救援人员进入储罐内部进行灭火和救援操作。在登罐扑救中，选择合适的灭火剂非常重要。根据储罐内存储的油品种类和火势的严重程度，可以选择泡沫剂、干粉剂或水等灭火剂，不同的灭火剂具有灭火效果和适用范围。登罐扑救需要穿戴适当的个人防护装备，以确保救援人员的安全。这包括防火服、防毒面具、安全帽、防滑鞋等。这些装备可以提供保护，减少受伤和火灾风险。除了采用灭火剂之外，也

可辅助应用覆盖物等,从上方位位置接近火点,采用窒息灭火的方案。登罐扑救技术对个人的素质要求比较高,应抓住时机,且做好现场救援设施的配置工作。

3.3.5 泡沫冷却技术

在原油外浮顶储罐火灾扑救技术中,泡沫冷却技术是一种常用的应用方法。其中,远程车载炮是泡沫冷却技术的一种重要工具。远程车载炮是一种特殊设计的喷射设备,通常安装在消防车辆上。它可通过高压水流和泡沫剂喷射,远距离地冷却和控制火灾。远程车载炮具有强大的喷射能力,可将水和泡沫剂喷射到较远的距离。这使得它能够一定的安全距离外进行灭火操作,减少救援人员的风险。应用期间,远程车载炮通过喷射水和泡沫剂,可以迅速冷却火焰。水和泡沫剂具有很高的吸热能力,能够有效地降低火焰温度,并减缓燃烧反应。对于敞开式的油罐燃烧火灾,则在上风位置布置主攻力量,将泡沫喷射在燃油的表面位置。

3.4 外浮顶储罐火灾扑救措施

3.4.1 扑救技术组合应用

在外浮顶原油储罐的火灾扑救过程中,单一的扑救技术,难以确保最终的扑救效果。技术人员通常会采用多种扑救技术的组合应用,以增加灭火效果和控制火势蔓延的能力。例如,冷却降温技术通过喷洒水或其他冷却剂降低火焰温度,而泡沫灭火技术则通过喷射泡沫剂形成覆盖层来抑制火势。这两种技术的组合应用可同时冷却火焰和抑制火势蔓延,提高灭火效果。固定灭火系统可自动喷洒灭火剂,而登罐扑救技术则是救援人员进入储罐内部进行灭火和救援操作。将固定灭火系统与登罐扑救技术结合使用,可实现自动化的灭火和人工灭火的双重手段,提高灭火效率。灭火泡沫系统可通过喷洒泡沫剂形成覆盖层,防火墙则可以隔离火势的传播路径。将灭火泡沫系统与防火墙结合使用,可同时抑制火势蔓延和形成隔离层,提高灭火效果和安全性^[4]。

3.4.2 注重残火控制消灭

在火灾扑救工作完成之后,相关技术人员也不能放松警惕,由于火灾发生后温度改变,在储罐内存在原油的情况下,很有可能出现二次燃烧的问题。因此,应继续在罐内喷洒一定数量的泡沫,将死角内的残火、暗火等清除,避免复燃问题产生。在喷射泡沫的同时,技术人员也要采用冷却技术,观察罐内的温度变化,直至温度达到油品的自燃点之下,方可停止相关操作,

减少潜在的火灾安全隐患。

3.4.3 明确火灾扑救要点

在整个火灾扑救流程之中,确保人员的安全是最重要的。在火灾扑灭过程中,要遵循适当的安全规程和操作规程,戴好防护装备,并避免进入危险区域。在火灾发生时,技术人员要迅速评估火势的大小和蔓延情况。根据火势的大小和威胁程度,采取适当的灭火措施,如使用泡沫灭火剂、干粉灭火剂或二氧化碳灭火剂等。火灾的燃烧需要氧气,因此要及时切断供氧源,如关闭进气阀门或关闭泄漏管道,以减少火势的蔓延。火灾会导致储罐内温度升高,进一步加剧火势。在扑灭火灾的同时,要采取措施降低储罐温度,如使用水冷却系统或喷淋系统。火灾扑灭后,要进行残火控制。彻底清除残余的燃料,防止残火复燃。对于储罐内的残余油污,可使用泡沫灭火剂或水进行冷却。在火灾扑灭后,要进行持续的监测和巡逻,确保没有残火或其他潜在的火灾风险。技术人员应使用气体检测仪等设备进行检测,确保场地安全。同时,在火灾扑灭后,要进行事后调查和总结,分析火灾原因和扑灭过程中的问题,以便改进和提升火灾应急响应能力。

4 结论

综上所述,原油外浮顶储罐火灾扑救应坚持“救小、救早”的基本原则,采取针对性的措施,做好综合消防设施配置工作。初期的火灾扑救比较容易,一旦错过黄金时间,则会导致火灾无法控制。本文将火情侦查、固定灭火喷淋、冷却降温、登罐强攻、泡沫等技术作为研究对象,以提高火灾的扑救效率为目标,具有广泛推广的应用价值。

参考文献:

- [1] 张日鹏.大型储罐全表面火灾试验与模拟研究及危害分析[J].消防科学与技术,2023,42(05):603-608.
- [2] 孙桓.固定式消防系统在大型外浮顶原油储罐中的应用[J].化工安全与环境,2022,35(40):14-17.
- [3] 王明章.大型外浮顶储罐密封本质安全技术提升研究[J].安全、健康和环境,2022,22(07):29-33.
- [4] 韩增,李新松,臧泉龙.LPG储罐泄漏起火事故情景构建研究[J].劳动保护,2021(03):99-102.

作者简介:

张永原,男,山东淄博人,专科,工程师,研究方向:机械、设备维修。