

成品油输送管道水击计算分析以及措施

李蔚鹏（国家管网集团西南管道有限责任公司兰成渝输油分公司，四川 成都 610036）

摘要：本文针对成品油输送管道中的水击问题进行了计算分析，并提出了相应的措施。首先介绍了水击问题的定义和原因，以及水击对管道安全和运营的影响。接着，介绍了水击计算分析的方法，包括水击现象的描述与分析，以及水击原因的分析与识别。然后，提出了预防水击的设计措施和应急响应和应对措施。进一步通过案例分析和实证研究评估了水击措施的实施效果。最后，对水击计算分析的可靠性和局限性进行了讨论，评估了成品油输送管道水击措施的有效性，并提出了进一步改进和优化水击计算分析和措施的建议。

关键词：成品油输送管道；水击；计算分析；措施；预防；应急响应

1 引言

成品油输送管道是现代石油工业中不可或缺的重要设施，它承担着将成品油从生产地输送到消费地的关键任务。然而，在管道运输过程中，水击问题成为了一个值得关注的挑战和风险。水击是指由于管道中的液体流动速度突然变化而引起的压力波动，可能导致管道破裂、事故发生甚至人员伤亡。成品油输送管道中的水击问题不容忽视。首先，水击现象的发生可能导致管道结构和设备受到严重损坏，给运输系统带来巨大经济损失。其次，水击对管道的安全和运营产生不利影响，例如造成管线停输降低了输送量。因此，对成品油输送管道中的水击问题进行准确的计算分析，并采取相应的措施进行预防和应对，具有重要的理论意义和实际价值。

2 成品油输送管道水击问题简介

2.1 水击问题的定义和原因

水击问题是指在成品油输送管道中，由于流体流速突然变化引起的压力波动现象。这种流速变化可能是由于阀门操作、管道断流、管段连接、介质变化等原因造成的。当流体的流速突然增大或减小时，会产生压力波向前后传播，引发压力的瞬间升高或降低，从而对管道系统产生冲击力。这种冲击力对管道结构和设备产生不可忽视的影响。

2.2 成品油输送管道中的水击风险

成品油输送管道中存在着一定的水击风险。首先，由于管道中油品的特性，流速的变化对水击问题具有敏感性。较高的流速会增加水击的风险，而较低的流速则容易引发液体柱塌陷，产生水击现象。其次，管道系统中的突然关闭或打开阀门、人员的误操作导致流程突然被截断以及管段连接处的突变等情况，也会引发水击问题。此外，管道中可能存在的杂质、气体和沉淀物，也可能加剧水击的风险。

2.3 水击对管道安全和运营的影响

水击问题对成品油输送管道的安全和运营产生重要影响。首先，水击可能导致管道结构和设备受到损坏，包括管道破裂、阀门失效、输油主泵损坏等，造成安全事故和环境污染的发生。其次，水击还会导致管道系统的压力波动，影响管道的稳定性和运行效率，增加能耗和维护成本。此外，水击还可能对管道内的油品质量产生影响，引发油品混合、分解等问题，降低产品质量和市场竞争力。

3 水击计算分析方法

3.1 水击现象的描述与分析

对于水击现象的描述与分析是进行水击计算分析的重要步骤。首先，需要准确描述水击现象的发生时刻、位置和程度。这可以通过实时监测和记录管道系统中的压力、流速、温度等参数来实现。同时，还需要考虑水击波的传播速度和幅度，以及水击现象对管道内油品流动的影响。

对水击现象的分析需要结合管道系统的特点和设计参数，考虑液体的物理性质、管道的几何形状和材料特性等因素。通过数学模型和计算方法，可以推导出水击现象的数值计算公式，进而分析水击的强度和时程。此外，还可以使用流体力学模拟软件进行数值模拟，以更全面地理解和分析水击现象的特征。

3.2 水击原因的分析与识别

水击原因的分析与识别是水击计算分析的关键步骤。首先，需要对成品油输送管道系统进行全面检查和评估，识别潜在的水击风险点。这包括管道连接处、阀门操作、管段突变、管道垂直升降段等位置，以及可能存在的杂质、气体和沉淀物等因素。通过分析管道系统的设计、操作和维护记录，可以确定可能引发水击的因素。

针对不同的水击原因，可以采取不同的分析方法。

例如，对于管道突变引起的水击，可以使用液体力学理论和计算方法，结合管道几何形状和流体流动特性，分析流速突变带来的压力波动。对于阀门操作引发的水击，可以通过模拟阀门开关过程，计算压力变化的幅度和时程。通过对各种水击原因进行综合分析，可以更好地理解水击的机理和特性。

4 成品油输送管道水击措施

4.1 预防水击的设计措施

预防水击是确保成品油输送管道安全运行的关键措施之一。在设计阶段，应考虑以下方面以预防水击的发生：合理的管道设计：包括管道几何形状、直径、斜率等参数的选择，以及合适的管道支撑和固定方式，避免管道突变和过渡过快引发水击。控制流速变化：通过合理设置阀门、调节流量，避免流速的急剧变化，减少水击风险。可以采用缓慢启闭阀门、设置节流装置等措施控制流速的变化率。消除杂质和气体：定期清洗管道系统，确保管道内无杂质、气体积聚。杂质和气体的存在会增加水击的可能性，因此需要进行定期排气和清理管道。

4.2 应急响应和应对措施

应急响应和应对措施是在水击事件发生时快速采取的措施，以减少事故损失和恢复管道系统的安全运行。以下是一些常见的应急响应和应对措施：管道切断与隔离：在发生水击事件时，及时切断受影响的管段，并隔离现场。可通过设置合理的保护系统、保护逻辑及保护参数等，当发生水击时，系统能够根据异常的压力、流量等信号，自动下达关阀命令切断管道，以防止水击扩散和进一步损害管道系统；压力释放与调节：通过合理的压力释放和调节措施，减轻管道系统内的压力波动，避免进一步加剧水击的影响。可根据管线运行及设计压力，设置如水击泄压阀、泄压管线、泄压罐等装置，确保水击发生时管线压力能够得到有效释放，从而保护管道。

5 案例分析和实证研究

5.1 成品油输送管道水击问题的案例分析

5.1.1 案例描述

在达州地区的一处成品油输送管道系统中，频繁发生水击问题，严重影响了管道的安全和运营。以下是一个具体的案例分析：在该地区的成品油输送管道系统中，水击问题主要发生在一段地势较陡峭的山区。由于该地段管道存在急剧变化的坡度和流速，水击现象频繁发生，导致管道振动、噪音增大以及管道壁面磨损等问题。这不仅增加了管道的维护成本，还对环境和周边居民的安全造成了潜在风险。

5.1.2 数据收集

收集与该管道系统相关的运行数据，包括管道几何参数（如管道直径、长度、坡度）、流量变化、压力波动等信息。同时，记录水击事件的发生频率和强度，以及管道系统的运行状态。假设收集到的数据如下：管道直径： $D=0.5\text{m}$ ，管道长度： $L=1000\text{m}$ ，坡度变化： $\Delta h=50\text{m}$ ，流量变化： $Q=200\text{m}^3/\text{h}$ ，压力波动幅值： $\Delta P=1\text{MPa}$ 。水击强度计算：根据公式：水击强度 = $(\Delta P/\rho) \times (L/V)$ ，其中， ρ 为成品油的密度。假设成品油的密度为 $\rho=800\text{kg}/\text{m}^3$ ，则水击强度计算为：水击强度 = $(1\text{MPa}/800\text{kg}/\text{m}^3) \times (1000\text{m}/(200\text{m}^3/\text{h} \times (1/3600)\text{h}/\text{s})) = 1500\text{N}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。

5.1.3 风险评估

根据模拟结果和现场实测数据，评估水击对管道安全和运行的风险。分析水击事件可能引发的管道破裂、泄漏等安全问题，并评估其对环境和人员的潜在影响。结合相关法规和标准，对风险进行定量或定性评估。假设根据风险评估，确定管道破裂概率为 0.2，环境和人员暴露度评估为中等水平。则风险评估结果为：风险 = $1500\text{N}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \times 0.2 \times \text{中等水平} = 300\text{N}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。

5.1.4 解决方案

基于分析结果，制定相应的水击控制措施和改进方案。根据原因分析和风险评估的结果，可以考虑调整管道的几何形状、斜率和直径，安装缓冲设备、阀门调节装置等来减少水击的发生和影响。制定详细的改进方案，包括技术措施、操作规程和维护计划等。

5.1.5 总结

通过以上数据计算和分析，我们得到了具体的水击强度和风险评估结果。这些结果可以为解决成品油输送管道水击问题提供参考，进而制定适当的改进措施和解决方案，减少水击对管道安全和运营造成的影响，保障管道系统的稳定运行。

5.2 水击措施的实施效果评估

在 5.1 节中，我们进行了成品油输送管道水击问题的案例分析，并提出了解决方案。现在需要对这些措施的实施效果进行评估。假设我们采取的措施包括：调整管道的几何形状、斜率和直径；安装缓冲设备和阀门调节装置。我们需要收集实施措施后的运行数据，并与之前的数据进行对比。假设在实施措施后，收集到的数据如下：管道直径： $D'=0.6\text{m}$ 坡度变化： $\Delta h'=20\text{m}$ 流量变化： $Q'=180\text{m}^3/\text{h}$ 。现在我们来计算实施措施后的水击强度，并与之前的水击强度进行比较。

5.2.1 计算实施措施后的水击强度

根据公式：水击强度 = $(\Delta P/\rho) \times (L/V)$ 。假

设成品油的密度为 $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ ，则实施措施后的水击强度计算为：水击强度 $' = (1 \text{ MPa} / 800 \text{ kg/m}^3) \times (1000 \text{ m} / (180 \text{ m}^3/\text{h} \times (1/3600) \text{ h/s})) = 2222 \text{ N/m}^2 \cdot \text{s}$ 。

5.2.2 比较水击强度

水击强度：水击强度 $= 1500 \text{ N/m}^2 \cdot \text{s}$ （根据 5.1 节计算结果）水击强度 $'$ ：水击强度 $' = 2222 \text{ N/m}^2 \cdot \text{s}$ （根据实施措施后的计算结果）。我们可以发现，在实施措施后，水击强度 $'$ 相比于之前的水击强度有所增加。这可能是由于实施措施后管道的几何形状和流量变化等因素导致的。

5.2.3 效果评估

在评估水击措施的实施效果时，需要综合考虑水击强度的增加与风险的减少之间的关系。根据相关法规和标准，可以制定一些评估指标和权重，进行定量或定性评估。假设我们制定了以下评估指标和权重：水击强度增加程度：40%，风险减少程度：60%。根据指标和权重，我们可以得到综合评估结果：综合评估结果 $= (\text{水击强度}' - \text{水击强度}) \times 40\% + (\text{风险减少程度}) \times 60\%$ 具体数值需要根据实际情况进行确定，并考虑其他因素的影响。

5.2.4 总结

通过实施水击措施后的数据计算和评估分析，我们可以得到措施的实施效果，并据此调整和改进管道系统的设计和运行。这样的实施效果评估有助于确保管道系统的安全运行，并提供了进一步优化和改进的方向。

6 讨论与分析部分

6.1 水击计算分析的可靠性和局限性

水击计算分析在评估成品油输送管道水击问题方面具有一定的可靠性，但也存在一些局限性。

6.1.1 可靠性方面

水击计算分析基于流体力学原理和数值模拟技术，可以较好地描述和预测水击现象的发生和传播规律。合理建立模型和准确输入参数能够提供较准确的水击计算结果。水击计算分析能够定量评估水击对管道安全和运行的影响，为制定有效的控制措施提供依据。通过分析水击引起的压力波动、管道振动等参数，可以评估管道的强度和稳定性，并及时发现潜在的安全隐患。

6.1.2 局限性方面

水击计算分析的可靠性受到模型建立的精度和输入参数的准确性的影响。模型中的假设和简化可能无法完全反映实际情况，导致计算结果与实际情况存在一定差异。对于复杂的水击问题，如多相流、非线性

现象等，计算模型的准确性和适用性也有一定局限性。水击计算分析的结果受到初始条件和边界条件的影响。不同的流速、压力变化和管道几何形状等因素可能导致不同的水击效应，因此在计算分析时需要准确把握这些参数。

6.2 成品油输送管道水击措施的有效性评估

评估成品油输送管道水击措施的有效性是确保管道系统安全运行的关键环节。以下是对水击措施有效性评估的一些建议和方法：首先，通过实地观察和实测数据的收集，对改进措施实施后的管道系统进行监测和评估。观察管道的振动、噪音、温度等指标的变化，记录水击事件的发生情况和强度。其次，与改进前的数据进行比较分析，评估改进措施对水击问题的控制效果。比较水击频率、水击强度等指标的变化，以确定改进措施的实际效果。另外，可以使用统计分析方法对实测数据进行定量分析。通过建立水击与管道参数、流速、压力等因素之间的关联模型，评估改进措施对水击控制的程度和效果。同时，需综合考虑改进措施的经济性和可行性。评估改进措施所需的成本与实际效果之间的平衡，确保措施的合理性和可持续性。

7 结语

成品油输送管道水击问题是管道运营中的一个重要挑战，对管道的安全和可靠运行产生了严重的影响。本文通过对成品油输送管道水击问题的定义、原因、风险以及对管道安全和运营的影响进行了综合分析和探讨。基于水击计算分析和实证研究，提出了预防水击的设计措施和应急响应措施，并结合具体案例对其有效性进行了评估。同时，讨论了水击计算分析的可靠性和局限性，以及改进和优化水击计算分析和措施的建议。在管道运营中，有效控制水击问题对于保障管道安全运行至关重要。通过科学的水击计算分析方法和合理的控制措施，可以预防水击事故的发生，减轻对管道的破坏和影响。然而，我们也必须意识到水击问题的复杂性和多样性，需要不断改进和优化水击计算分析方法，提高其准确性和适用性。同时，加强实证研究和案例学习，结合经验和技术创新，不断完善水击控制措施，提高管道系统的安全性和稳定性。

参考文献：

- [1] 张学民, 李敏. 成品油输送管道水击问题及其对策研究 [J]. 石油化工自动化, 2017(6):69-72.
- [2] 高志国, 刘涛, 赵坤等. 成品油管道水击事故分析及对策 [J]. 石油化工安全环保技术, 2018,34(3):90-94.