

# 高压石油射孔枪结构优化设计策略

常 昕 张 虎 李 焱 莹

物华能源科技有限公司 陕西 西安 710000

**摘 要:** 高压石油射孔枪是当前石油钻探工作当中的重要工具之一。高压石油射孔枪的质量能够直接决定石油开发工作的安全性。根据我国石油工作当前发展情况来看, 高压石油射孔枪的应用存在诸多问题, 在实际应用过程中出现事故次数较多, 也给石油开采工作带来了较大的经济损失。所以需要高压石油射孔枪进行不断优化和完善, 应用APDL和ANSYS参数化需要对其深度、直径和枪体的壁厚进行优化, 目的是为了能够提高石油开采效率。因此, 本文针对高压石油射孔枪结构优化设计进行分析, 并提出相应策略, 供读者参考。

**关键词:** 高压石油; 射孔枪结构; 优化设计

高压石油射孔枪是石油开采射孔作业当中的重要工具之一, 能够直接影响到射孔的质量。高压石油射孔枪内部是一个密度较大的空间, 在实际应用过程中能够将雷管、射孔弹、导爆索与井液隔离开。在应用高压石油射孔枪进行作业时, 射孔弹会发生爆炸并产生巨大的冲击力, 在火药燃烧以后所产生的气体压力运用于高压石油射孔枪的两端。所以在对高压石油射孔枪进行设计时不仅需要考虑到枪身的承载能力, 同时也需要对枪头和枪尾连接处进行加固, 提高强度, 在选择材料时应该进行充分考虑, 选择更加合适的制作材料。高压石油射孔枪进行结构设计和优化时, 设计人员需要注重细节问题, 以此来对高压石油射孔枪中存在的问题不断的优化和改进, 提高高压石油射孔枪的性能。

## 1 国内外高压石油射孔枪研究现状

目前我国使用的大部分都是一次性射孔枪, 消耗量巨大。根据相关研究表明, 国内外每年所需要的射孔枪在100万平方米以上。由于当前射孔枪的质量无法得到有效保障, 所以事故频发, 给我国造成了较大的经济损失。因此, 需要生产高效能、高质量和高孔密的石油射孔枪。想要完成相关研究和分析, 就需要寻找射孔枪失败的原因, 并针对射孔枪存在的问题进行优化。我国内部石油开采当中所应用的射孔枪大部分孔密都在每米10至16孔之间<sup>[1]</sup>。而且我国针对射孔枪在瞬间荷载作用下的枪体结构影响、盲孔深度设计、盲孔直径以及盲孔密度等, 都由于缺乏严谨的科学依据和理论依据, 存在较大的盲目性。一些发达国家已经开始应用高孔密石油射孔, 其孔密可以达到每米30至40孔。从当前研究情况来看目前我国针对高压石油射孔枪的研究相对落后, 虽然我国针对这项技术开展可大量研究, 但仍然存在价格昂贵且使用笨重的情况, 还有些由于枪体的强度不足而出

现射孔事故, 大幅度增加了石油开采的成本。想要有效提高石油的开采质量和开采效率, 就需要保障高压石油射孔枪的质量, 降低射孔成本。

## 2 射孔弹

射孔弹是整个射孔工作的主要执行者。当前在国外很多石油射孔弹当中较为常用药罩形状包括半球形、喇叭形和锥形等。根据相关数据表明, 射孔枪的穿孔深度和射流能够形成正比。刚刚形成射流的长度与药型罩母线长度大致相似。所以在口径相同的情况下母线最长的是喇叭形罩, 而最短的是半球形。喇叭形罩头部可产生的射流速度能够达到8000m/s, 但是半球形只能后达到3500m/s。喇叭形药型罩的射流速度最大所以穿深也最深<sup>[2]</sup>。目前我国所应用的大部分都是聚能射孔弹, 具有较强的穿透能力, 而且喷射较小, 但是在应用过程中瞬间会产生巨大的冲击波, 所以对于射孔枪的质量有较高的要求。高压石油射孔枪在实际应用过程中不能够损坏水泥环和套管, 同时还需要保障射孔的发射率, 需要根据枪壁厚度来设计合理深度的盲孔, 保证在发射过程中有最小的壁厚, 和较高的强度, 能够提高射孔枪的发射率。在应用射孔枪射孔过程中, 套管内部充满泥浆, 而且泥浆液柱具有较大的压力。射穿第一个油层以后, 部分泥浆就会侵入到油层, 对油层孔的管道进行堵塞, 泥浆的浸泡时间越长堵塞就会越严重。因此, 整个过程的操作时间需要尽可能的减少, 所以对于射孔枪有较高的质量要求, 不能在射孔过程中出现炸枪的情况, 否则会对水泥环和套管搞成严重影响。

## 3 高压石油射孔枪有限元分析

### 3.1 创建有限元模型

在实际工程施工过程中通常应用创建有限元模型的方法来对井下油田情况和参数进行分析。主要包括定义

结构材料特点、建立数学几何模型、施加荷载、根据荷载数据求解、设计功能单元、划分边界条件以及处理运算结果检测系统运行状态等。在创建有限元模型过程中需要根据相关内容制定标题<sup>[3]</sup>。由于ANSYS软件无法进行系统的单位制,所以需要由工作人员来根据相关参数设定单位制,同时确保在同一个模型当中单位制统一。在ANSYS软件当中存在诸多不同种类的单元数据,而且有特定的编制符号。在单元类型选择以后需要加入与其相符合的单元实常数,然后根据实际环境设置材料的物理性能和相关参数,包括材料密度、膨胀系数和弹性模量数等。根据结构创建几何模型,并根据相关功能对模型进行分析。

### 3.2 对加载荷进行有限次求解

在有限元模型创建以后可以应用相关处理器来对模型进行分析操作选项和规定结构类型,并应用数据库当中数据来对模型增加相应的动态数据,根据数据载荷参数可以对有限元模型进行有限次求解,对所获得的数据进行储存方便调用。

### 4 高压石油射孔枪结构常见的损坏方式

根据当前高压石油射孔枪使用情况来看,可以将结构损坏方式分为以下几种方式:第一,过量塑性变形损坏方式。在高压石油射孔枪进行施工过程中,如果枪身所承受的荷载量大于枪身材料极限数值,那么就会使射孔枪发生一定的形变,如果形变累积到一定程度就会直接影响到射孔枪的使用,而卡枪就是形变后较为常见的故障,射孔枪被卡在套管的内壁上,无法正常使用<sup>[4]</sup>。第二,枪体断裂损坏形式。枪体断裂损坏形式与过量塑性形变损坏形式相比损坏程度更高。射孔枪在应用过程中受到爆炸冲击,对枪体造成较大的影响,枪体材料如果无法承受冲击力,那么就会出现断裂的情况。枪体断裂以后所产生的冲击力和碎片都会对外部的水泥管热套管造成直接影响,从而影响施工的进度。

### 5 高压石油射孔枪结构优化思路

为了能够确保石油工程正常施工,需要对高压石油射孔枪的枪体结构进行设计和优化,主要从以下几方面入手:第一,应该对高压石油射孔枪的工艺质量和强度进行优化,在实际施工过程中尽可能的避免出现炸枪的情况,所以需要选择合适的材料来制作高压石油射孔枪,所选择的材料必须要有较高的强度,能够承受射孔弹爆炸以后所产生的巨大冲击。第二,应该及时检测高压石油射孔枪的塑性变形情况。在应用高压石油射孔枪进行施工以后,一定会对枪体造成一定的影响和损伤,枪体会发生塑性变形,通过不断的累积塑性变形可能会

在应用过程中出现卡枪的情况,从而影响石油工程的施工。因此,为了能够有效避免这一情况的出现,不仅需要对枪体的材料进行优化,还需要定期对枪体的变形情况进行检查,对枪体结构及时进行校核<sup>[5]</sup>。第三,在对高压石油射孔枪进行设计时,还应该充分考虑到使用效率和便捷性问题,应该在充分满足这些条件的情况下,尽可能的降低高压石油射孔枪的厚度。第四,优化高压石油射孔枪枪体盲孔设计,盲孔设计是整个枪体结构设计当中的一项重要内容,在设计过程中需要对盲孔的深度、直径以及枪体的壁厚进行详细计算,确保高压石油射孔枪的各项参数都能够达到最优水平。

## 6 高压石油射孔枪结构优化设计策略

### 6.1 优化设计方法

对高压石油射孔枪的设计方法进行优化,主要包括以下几方面内容:第一,无约束优化设计法。这一方法指的是没有对函数进行约束的设计方案,无约束方法可以分为两种,第一种是运用目标函数和导数信息的无约束优化方法,包括牛顿法、变尺度法以及最速下降法等。另一种是应用目标函数值的无约束优化法,包括单行替换法和坐标轮换法等,这些方法的计算效率都较高,而且具有坚强的稳定性。第二,约束优化设计法。这一方法大部分都是约束的优化问题,可以将其分为直接法和间接法。其中直接法当中较为常见的包括网格法、复合形法和约束坐标轮换法。主要是为了构建一个不断迭代的过程,直到获得最优解。虽然这些方法都存在一定的局限性,但是近些年我国智能化算法发展迅速,包括退火算法、粒子群算法和遗传算法等。

### 6.2 高压石油射孔枪盲孔优化设计

高压石油射孔枪如果处于不同的钻井深度时,所应用的型号和材料都会随之发生变化,而且高压石油射孔枪壁厚也会有所不同<sup>[6]</sup>。在这样的情况下,应用高压石油射孔枪进行施工时,盲孔周围区域的应力分布会发生变化,为了能够有效提高盲孔设计效果,是的人员需要根据当前时间的功能需求和作业需求,来对相关数值进行准确计算。在计算过程中,主要需要通过有限元分析来建立相应的有限元模型,然后应用计算机软件进行求解运算,最终确定结果得到最优化设计,从而实现对高压石油射孔枪盲孔的优化。通常情况下,在对高压石油射孔枪盲孔进行设计时需要考虑到盲孔的深度和相应参数,盲孔直径数值一般大于射孔的直径数值,这样能够尽可能的减小对枪体强度的影响。

### 6.3 高压石油射孔枪壁厚优化设计

在对高压石油射孔枪结构进行优化过程中,壁厚优

化也是一项极其重要的内容。高压石油射孔枪壁厚不仅能够对工作效率造成影响,同时还会造成材料的浪费。但是如果高压石油射孔枪的壁厚较薄,就会大幅度降低高压石油射孔枪的强度,增加断裂风险。所以在高压石油射孔枪壁厚优化设计中,需要加强对壁厚优化的重视。在实际优化热合机当中壁厚设计与盲孔优化设计存在诸多相似之处<sup>[7]</sup>。高压石油射孔枪的壁厚优化主要受到以下几方面因素的影响:高压石油射孔枪在应用过程中,射孔弹喷射爆炸时会产生较高的气压和温度,如果高压石油射孔枪没有较高的强度,那么就会在巨大的冲击和高温环境的影响下发生塑性变形和断裂。但是如果高压石油射孔枪的强度过高那么会大量增加施工成本,造成资源浪费。所以为了能够提高高压石油射孔枪的质量和工作效率,就需要对其进行科学合理的计算,应用ANSYS软件对设计模型进行优化,同时根据相关参数进行不断调整,从而尽可能的在保证强度的情况下降低成本。

#### 6.4 实际优化设计分析

在对高压石油射孔枪优化设计过程中,以102型高压石油射孔枪为例,对射孔枪的壁厚优化设计和盲孔优化设计进行深入分析。102型高压石油射孔枪所采用的最大壁厚为12mm,而无缝钢管的壁厚最小为3.5mm,所以将102型高压石油射孔枪的壁厚设置在3.5mm至12mm范围之内,将高压石油射孔枪的盲孔直径设置为 $d$ 。如果102型高压石油射孔枪的直径为11mm,那么盲孔的数值应该大于11mm,但是如果盲孔的直径过大那么就无法在枪体上进行圆形开孔,所以直径通常在20mm以内,取11mm至20mm之间。在建立相应的数学模型时,需要设置目标函数,通过对枪体壁厚和盲孔直径的数值进行不断优化,可以使高压石油射孔枪达到相应的使用要求,同时能够尽可能的减少群使用的材料,提高工作人员的工作效率和工作质量。建立相应的目标函数,通过计算机软件进行求解,应用零阶子问题近似法对数值进行计算,并构

建曲线模型,将各个变量之间的关系清晰的呈现出来,并从中找到最优解。通过这样的方法进行计算,虽然精确度不高,但是求解速度较快,而且却得到的结果能够满足施工需求。

#### 结束语

总体而言,石油行业是我国社会经济发展过程中的一项重要内容。高压石油射孔枪是石油开采过程中的一项重要设备,但是在实际应用过程中存在诸多问题,包括枪体发生塑性变形和断裂。高压石油射孔枪在应用如果出现问题,那么促进会影响石油开采的效率,也会增加投入成本。因此,本文针对高压石油射孔枪应用过程中的问题进行分析,并提出了一些高压石油射孔枪结构优化设计策略,包括优化设计方法、高压石油射孔枪盲孔优化设计、高压石油射孔枪壁厚优化设计和实际优化设计分析,希望通过这些策略能够有效提高高压石油射孔枪的质量和工作效率,促进我国石油行业的发展。

#### 参考文献:

- [1]张浩浩,秦德友,党刘根,等. 高压深井射孔枪打捞工艺技术研究[J]. 钻采工艺,2020,43(5):110-112.
- [2]王鹏,和鹏飞. 114.3mm尾管射孔技术在渤海高温高压井的应用[J]. 石油化工应用,2018,37(2):55-57,78.
- [3]翟恒立. 泵送桥塞—射孔联作压裂施工异常情况分析[J]. 内蒙古石油化工,2020,46(2):62-64.
- [4]汪强,周新义. 超高压射孔枪不同盲孔深度下抗外压性能分析[J]. 石油机械,2021,49(7):59-65.
- [5]贾洪革,孙杰文,何昊楠,等. 异常高压储层水力喷砂射孔多层压裂投产技术[J]. 油气井测试,2020,29(4):40-44.
- [6]刘贤玉,何连,黄静,等. 南海W油田32CrMo钢射孔枪腐蚀行为实验研究[J]. 钻采工艺,2021,44(6):78-82.
- [7]余勇,宋志同,李献宾,等. 青海油田高温高压低渗储层动态负压射孔-酸化-测试联作技术研究及应用[J]. 钻采工艺,2020,43(2):129-131.