

# 加热电缆高压双闸板防喷装置的研制

## Development of Hydraulic Double Ram Spray Prevention Device for Heating Cable

刘启伟 罗志伟 高添星

Qiwei Liu Zhiwei Luo Tianxing Gao

中石化新疆新春石油开发有限责任公司 中国·新疆 塔城 834700

Sinopec Xinjiang Xinchun Petroleum Development Co., Ltd., Tacheng, Xinjiang, 834700, China

**摘要:** 永进油田生产过程中重质组分析出后井筒堵塞问题严重,采用矿物绝缘加热电缆可减少油中重质组分析出,但对能够配套该电缆使用的小口径高压防喷装置研究不足。首先,论文先研制出了与直径 25.4 mm 绝缘加热电缆配套使用的高压井口双闸板防喷装置,设计了本体上端的电缆填料密封总成结构和腔内的闸板密封总成结构,实现了该防喷装置强度密封压力达到 105 MPa,压力达到 156 MPa,满足了现场需求;其次,说明了该液压双闸板防喷装置实现高压井口密封的工作原理;最后,通过有限元分析了壳体在 156 MPa 强度压力下的应力分布,符合强度要求。

**Abstract:** During the production process of Yongjin Oilfield, the problem of wellbore blockage is severe due to the analysis of heavy components. The use of mineral insulated heating cables can reduce the analysis of heavy components in the oil, but there is insufficient research on small caliber high-pressure blowout prevention devices that can be used in conjunction with this cable. Firstly, this paper developed a high-pressure wellhead double gate anti spray device that is used in conjunction with an insulated heating cable with a diameter of 25.4mm, the cable filler sealing assembly structure at the upper end of the body and the gate sealing assembly structure inside the cavity were designed, achieving a strength sealing pressure of 105 MPa and a pressure of 156 MPa for the anti spray device, meeting on-site requirements; secondly, the working principle of the hydraulic double ram blowout prevention device for achieving high-pressure wellhead sealing was explained; finally, the stress distribution of the shell under a strength pressure of 156 MPa was analyzed using finite element method, which meets the strength requirements.

**关键词:** 加热电缆; 双闸板; 防喷装置; 结构设计

**Keywords:** heating cable; double gate; spray prevention device; structural design

**DOI:** 10.12346/etr.v6i3.9214

## 1 引言

永进油田永3区块主要为高蜡高沥青质异常高压稀油油藏,油藏埋深在 5500~6280m,硫含量 0.12%,蜡含量为 10.63%~17.41%,沥青含量为 16.96%~21.21%,压力系数在 1.61~1.86 之间。油井投产后 50MPa 自喷生产,但原油在井筒举升过程中不断损失热量,随着温度的降低,会产生析出物造成井筒堵塞,导致开采量下降<sup>[1]</sup>。现阶段,油田采用的直径 25.4mm 矿物绝缘加热电缆升高井流温度<sup>[2-3]</sup>,减少油中重质组分析出,但国内对能够配套该电缆使用的小口径高压防喷装置的设计技术较国外产品来说存在一定的落后。

防喷装置主要用于各种作业中密封井口,防止井喷事故的发生,通常分为环形防喷器、闸板防喷器以及旋转防喷器等<sup>[4]</sup>。

目前油田已采用双闸板防喷装置,密封压力可达到 70MPa,无法满足现场需求。为此,论文研制出能够与该加热电缆配套使用的密封压力 105MPa、垂直通径 30mm 的双闸板防喷装置,并采用有限元模拟分析 156MPa 强度压力下壳体的应力分布。

## 2 防喷装置总体结构设计

基于 GB/T 22513—2008《石油天然气工业 钻井和采

【作者简介】刘启伟(1984-),男,中国湖北钟祥人,硕士,高级工程师,从事石油工程研究。

油设备 井口装置和采油树》《钻井通道设备规范》(API Spec 16A)、《井口装置和采油树设备规范》(API Spec 6A)等防喷装置基本规范和标准,结合 105MPa 密封压力、156MPa 强度压力、温度等级  $-29^{\circ}\text{C} \sim 121^{\circ}\text{C}$ 、直径 30mm 等技术要求,设计出双闸板高压防喷装置,总体结构设计如图 1 所示。该防喷装置能够实现高压井口防喷的主要结构是本体上端的电缆填料密封总成和腔内的闸板密封总成。

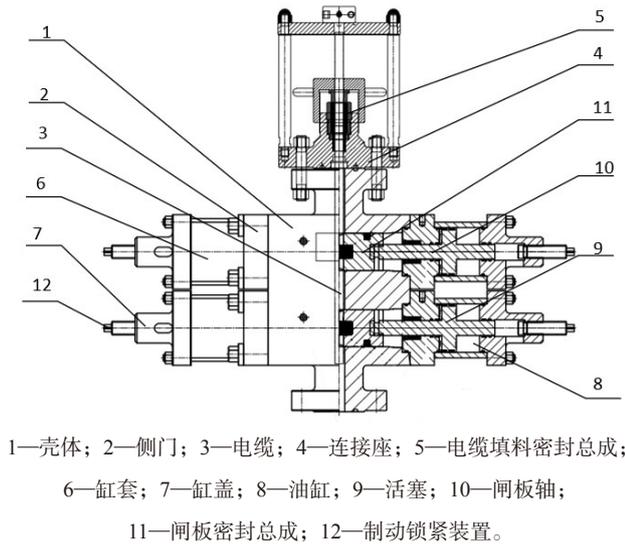


图 1 双闸板防喷装置结构示意图

## 2.1 电缆填料密封总成

防喷装置上端的电缆填料密封总成主要由密封盒主体、加热电缆、压阀、滑套、填料环、填料座和锁紧螺母组成,如图 2 所示。密封填料环由 7 个方形填料组成,填料环通常作为高压静密封使用,特别是端面高压密封效果理想。填料环选用氢化丁腈橡胶材料,具有良好的抗压缩永久变形、高强度、耐油、耐腐蚀性。

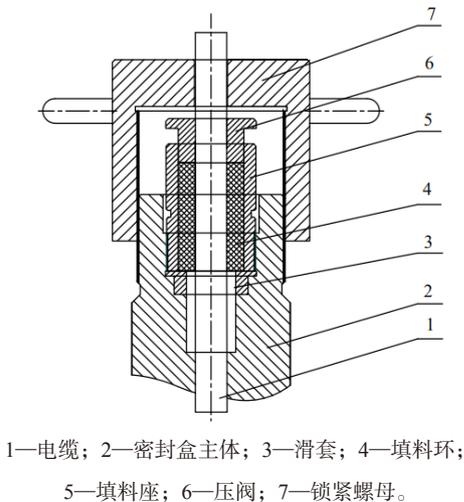


图 2 电缆填料密封总成结构示意图

## 2.2 闸板密封总成

高压防喷装置腔内的闸板密封结构设计如图 3 所示,闸板密封总成由闸板、前密封、顶密封组成,前密封和顶密封以实现对电缆的密封。前密封胶芯安装在如图 3(a)的前方位置,顶密封胶芯安装在如图 3(b)的上方位置。闸板上的前密封和顶密封是互相自锁的,拆卸时应先撬出顶密封,再撬出前密封,装配时应先装好前密封再装顶密封。

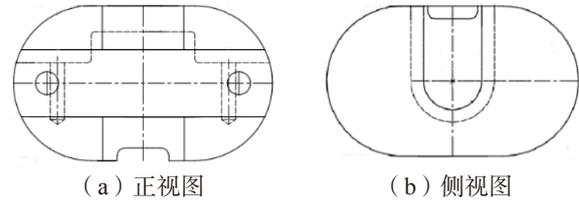


图 3 闸板密封结构示意图

## 3 工作原理

### 3.1 填料密封原理

电缆密封总成中的填料环作为实现密封主要部件,安装在电缆和填料座所构成的环空腔内,通过旋紧锁紧螺母压缩压阀,使得填料环被轴向压缩以产生径向膨胀,使填料环被轴向压缩以产生径向膨胀,在填料环与电缆、填料座内壁的接触面上产生接触应力,从而起到密封作用。

### 3.2 闸板开关原理

该液压双闸板防喷装置共有四处闸板密封总成才能有效密封高压井口,当液压油通过高压胶管进入壳体内藏式油道后,进入左右液缸活塞后腔,在闸板轴前端连接有闸板密封总成,进而推动左右闸板密封总成分别向井口中心移动,实现封井。当高压油进入左右液缸活塞前腔,推动活塞闸板轴及左右闸板密封总成向离开井口中心方向运动,打开井口。闸板开关由液控系统手动换向阀控制。一般 5~10s,即可完成,关闭动作。

### 3.3 井压密封原理

闸板的密封过程分为两步:一是在液压油作用下闸板轴推动闸板向中心移动,两前密封互相挤压变形密封前部,顶密封胶芯与壳体间靠胶芯过盈压缩密封顶部,从而形成初始密封;二是在井内有压力时,井压从闸板后部推动两闸板往中心挤压,使前密封进一步受到挤压变形,同时井压从下部推动闸板上浮贴紧壳体上密封面,使顶密封更加密封可靠,即为井压助封原理,实现高压密封。

### 3.4 制动锁紧装置

制动锁紧是通过人力旋转手轮关闭或锁紧闸板。透过锁紧杆观察窗,查看闸板轴的位置,方便直观判定防喷器开关状态。使用时应注意锁紧装置只用于关闭闸板,不能打开闸板。使用后欲打开闸板首先必须使手动锁紧装置复位解锁,再用液压打开闸板。

## 4 壳体强度校核

为满足该防喷装置 156MPa 强度压力的设计要求，采用有限元方法分析内部受力状态下应力分布规律，确定防喷器应力破坏的危险点，以检验其强度，为此进行了如下的简化和假设：

①由于防喷器具有对称性，为了简化模型，假设防喷器结构具有上下左右对称的结构，依据模型简化理论，取对称的最小部分进行分析。

②突出主要设计部分，并可减少有限元分析时划分的网格数目。

③去掉防喷器三维实体模型的外部结构，提高工作效率。

④不安装内部工作部件只对壳体密封试压。

⑤连接螺栓预应力相对较小，对壳体影响不大，不予以考虑。

该防喷装置壳体材料的弹性模量 210MPa、泊松比 0.3、抗拉强度 930MPa、屈服强度 785MPa。利用有限元软件建立了防喷装置三维有限元模型（如图 4 所示），在壳体下法兰施加固定约束，闸板上下两腔及中间垂直通孔施加 156MPa 的压力载荷，仿真结果如图 5 所示。

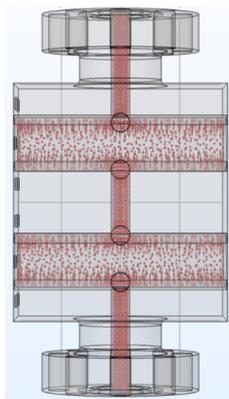


图 4 防喷装置壳体三维有限元模型

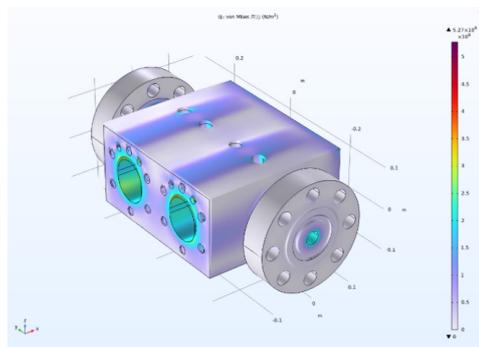


图 5 壳体应力云图

由图 5 可知，156MPa 压力下壳体的最大等效应力为 527MPa，小于材料的屈服强度 785MPa。而壳体最危险部位位于垂直通孔与上下两闸板腔相贯线处，存在应力集中现象。

## 5 结论

论文设计出了与 25.4mm 绝缘加热电缆配套使用的高压井口双闸板防喷装置，强度压力达到 156MPa，密封压力达到 105MPa，满足现场需求。重点介绍了实现高压防喷目的的主要结构，包括本体上端的电缆填料密封总成和腔内的闸板密封总成，并说明了该双闸板防喷装置实现井口密封的工作原理。通过有限元分析了壳体在 156MPa 强度压力下的应力分布，符合强度要求。

## 参考文献

- [1] 梁志艳,邱振军,夏新跃,等.矿物绝缘加热电缆在塔河超稠油开采中的应用[J].新疆石油天然气,2018,14(2):64-67+4.
- [2] 张万鹏,张锦刚,宋红兵,等.井下大功率电加热器制造工艺与应用[J].焊管,2023,46(9):33-40+48.
- [3] 任维娜,邹信波,杨光,等.稠油水平井油层段电加热工艺技术研究[J].石油矿场机械,2021,50(5):79-84.
- [4] 吴奇兵,张士超,葛伟凤,等.水下防喷器疲劳寿命分析及判废研究[J].石油矿场机械,2017,46(6):1-5.