

油田压裂井场自卸式储供砂箱的设计与应用

孟静宇

大庆油田装备制造集团 黑龙江大庆

【摘要】随着压裂技术的广泛应用和大型压裂现场的不断增加,对压裂设备的排量、压力和连续注液量的要求也不断提高。针对现有的压裂砂储运技术浪费和环境污染,连续性过低、成本过高的问题,通过对压裂现场进行深入研究,在保证大型压裂的供砂的连续性,在砂量、控制成本、可反复使用、无污染的前提下,设计了一种砂料储运和自动落料设备。其结构简单,方便操作,运行安全可靠,采用了独特的自卸式储供砂箱结构设计,自卸式储供砂箱适用于现场储存、转运、快速卸料,适用于连续、大排量的压裂作业,不仅解决了国内压裂作业常用的储运工作量大的问题,还解决了非连续性刺破砂包的方式低落料效率的弊端,为用户节约成本,安全环保,大大提高了压裂作业效率。

【关键词】压裂; 砂料储运; 自动落料

【收稿日期】2023 年 10 月 27 日 **【出刊日期】**2023 年 12 月 10 日 **【DOI】**10.12208/j.jer.20230032

Design and application of self dumping storage and supply sand box in oilfield fracturing well site

Jingyu Meng

Daqing Petroleum Equipment Manufacture Group, Daqing, Heilongjiang

【Abstract】 With the widespread application of fracturing technology and the continuous increase of large-scale fracturing sites, the requirements for the displacement, pressure, and continuous injection volume of fracturing equipment are also constantly increasing. In response to the problems of waste and environmental pollution in existing fracturing sand storage and transportation technology, low continuity, and high cost, through in-depth research on the fracturing site, a sand storage and transportation and automatic feeding equipment has been designed to ensure the continuity of sand supply for large-scale fracturing, under the premise of sand volume, cost control, reusability, and no pollution. It has a simple structure, is easy to operate, and operates safely and reliably. It adopts a unique self dumping sand storage and supply box structure design. The self dumping sand storage and supply box is suitable for on-site storage, transportation, and rapid unloading, and is suitable for continuous and large displacement fracturing operations. It not only solves the problem of large storage and transportation workload commonly used in domestic fracturing operations, but also solves the problem of low material discharge efficiency caused by discontinuous puncture of sand bags, saving costs for users, Safe and environmentally friendly, greatly improving the efficiency of fracturing operations.

【Keywords】 Fracturing; Sand storage and transportation; Automatic material unloading

引言

随着技术的发展,市面上也出现了一些连续加砂装置,例如立式储砂罐与连续供砂装置及控制系统装置配合使用,但这种装置尺寸较大,需要现场安装,并且受地面布局影响较大,并且储砂量有限,仓体压裂砂用完后,还得需要刺破砂包的方式进行

加砂作业,也存在应用成本高,工作效率低的问题。针对现有的压裂砂储运技术浪费和环境污染,连续性过低、成本过高的问题,通过对压裂现场进行深入研究,在保证大型压裂的供砂的连续性,在砂量、控制成本、可反复使用、无污染的前提下,设计了一种砂料储运和自动落料设备,其结构简单,方

作者简介:孟静宇,女,助理工程师,从事石油机械产品研发

便操作,运行安全可靠,采用了独特的自卸式储供砂箱结构设计,自卸式储供砂箱适用于现场储存、转运、快速卸料,适用于连续、大排量的压裂作业,不仅解决了国内压裂作业常用的储运工作量大的问题,还解决了非连续性刺破砂包的方式低落料效率的弊端,为用户节约成本,安全环保,大大提高了压裂作业效率。

1 自卸式储供砂箱结构设计

1.1 设计方案

装置整体方案如图 1 所示,设计思路主要从整体可靠性、储砂容积,卸砂方式入手。整体装置箱体外壳采用 Q235 t=2mm 钢板制成,外部连续焊接,无气泡、夹渣等现象,外侧壁上设有吊环,吊装行车通过钢绳与吊环连接对砂斗可以进行吊装,整体下方设有水平导向槽,可以满足现场叉车的加砂作业,整体美观;框架采用 Q235 方钢制成,保证支架整体强度牢固,外形美观;内部采用抗磨材料的钢板满焊制成,安装在金属箱体内,内部结构根据大量的经验设计及修正,保证整体功用良好。

储砂容积根据施工现场定制容量,设定外形尺寸为 2000×1000×1150mm,形状为长方体规则形状,方便叠放、转运,可配套自动供储砂设备快速供料,单次加砂量大,较现今的储砂可提高工作效率近三倍。卸砂方式滑动式落料仓门,装满砂时不会打开,并且不存在易漏砂、关闭时挤砂、开关不灵活和关不死等现象。

1.2 结构设计

自卸式储供砂箱由进砂口门、吊耳、砂箱侧板、砂箱框架、砂箱面板、砂箱底板、水平导向槽组成,砂箱底板留有落料口;砂箱内部滑动式落料结构见图 2,滑动落料结构由对称砂梯板、滑动轨道、滑动落料仓门组成。

滑动落料仓门由门封斜板 1、门封斜板 2、仓门框架组成,门封斜板 1、门封斜板 2 的倾斜角度都大于正定角在仓门框架底部,不落砂时,滑动落料仓门由于自身重力作用落在落料口上,形成密封关闭状态。滑动落料仓门的尺寸中心在自卸式储供砂箱的重心在一条水平线上。

滑动落料仓门始终处于关闭状态,在压裂加砂作业过程中,首先打开进砂口门,将砂填满整个砂箱,关闭进砂口门,用吊耳或水平导向槽进行转运,

在吊装到自动供储砂设备的落料平台上。

自动供储砂设备有自卸式储供砂装置限位,现场作业时,利用限位可直接将自卸式储供砂箱的滑动落料仓门的正中心对应到压裂现场自动供储砂设备的落料平台的正中心上,此时吊装整体往下移,由于落料平台的设计尺寸小于滑动落料仓门的尺寸,滑动落料仓门被顶开,由于对称砂梯板以及门封斜板的角度大于滑动角,箱内的所有砂都会由于重力作用从落料口卸到使用设备中,完成加砂。

1.3 基于 Solidworks Simulation 应力及变形分析

利用 Solidworks Simulation 模块对设计的储砂箱进行有限元分析,得到储砂箱最大应力值、最大位移量、安全系数等,为储砂箱的材料设计以及结构设计安全性验证提供了一定的理论依据。

(1) 设计条件

储砂箱结构尺寸: 2 m×1.15 m×1 m;

储砂箱容积: 2 m³;

储砂箱载荷: 重力压力;

箱体材质: Q235B 钢。

(2) solidworks 三维建模

本文采用的三维建模软件为 Solidworks,完成建模后,可以直接运行 Solidworks Simulation 模块进行弹性静应力分析。

(3) 有限元分析预处理

本次设计的储砂箱箱顶、箱壁、箱底的钢板拼接均采用对接焊接,有限元分析全做接合处理,在保证设计容积基础上,首先能承受箱内压裂砂压力,故设计不锈钢板厚度为 5mm;材质选用 Q235 不锈钢。

储砂箱四壁受到沿高度方向变化的压裂砂压力,随着深的改变而成线性的改变。Solidworks Simulation 模块外部载荷非均匀受力方程式为: $P = \rho_{砂}gh$, 式中 $\rho_{砂}$ 为砂的密度, h 为深度, g 为重力加速度。储砂箱夹具固定为底面,所以在分析上不考虑底板压力。有限元分析采用 FFEplus 算法以及 p-自适应方法调整进行求解。

1.4 储砂箱有限元分析结果

储砂箱有限元分析预处理完成后,求解得到米塞思位移云图,定义变形比例为放大 100 倍,储砂箱位移云图可以看到,储砂箱最大位移发生在储砂箱封头中心部位,但最大位移量也很小。储砂箱围

板在压裂砂重力下几乎不变形。

储砂箱应力图可以看到最大应力发生压裂砂重力最大的封头底部边缘,随着压裂砂重力的逐渐降低,应力也降低。有限元分析得到最大应力为 0.12MPa,远远小于 Q235 钢屈服极限值 235MPa,可以看到安全系数非常高,因此储砂箱的材质选用以及结构设计是可靠、安全的。

通过 Solidworks Simulation 模块对储砂箱进行有限元分析得到结构的位移变形量、应力、安全系数图等,由此得到储砂箱主要变形部位,结合安全系数图验证了储砂箱材质以及结构设计的安全性和可靠性。

2 自卸式储供砂箱关键技术的设计

经过压裂井场的实地考察,确定自卸式储供砂箱储砂量约为 2m³。在储砂量为 2m³的情况下,以结构力学和提升料斗的进料口尺寸为依据确定自卸式储供砂箱的外框尺寸和滑动落料仓门尺寸;结合制作成本确定材料选择普通方管和普通钢管。自卸式储供砂箱关键技术为砂料的储砂压板的安全与砂料的自卸。砂料的储砂压板为重力压门,经过有限元的分析计算,结构可靠性高,设计安全。砂料的自卸为滑动落料仓门的设计为当在压裂现场将砂箱吊至进砂料斗上的顶柱时,在重力的作用下就可以将滑动落料仓门打开。打开后压裂砂在重力作用下进行释放,最终全部流入到供砂装置中。

对称砂梯板以及门封斜板的角设计大于滑动角。滑动角(也称静安息角),是自然堆放在光滑平板上的物料,随平板做倾斜运动时,物料开始发生滑动时的平板倾斜角度,一般为 40°-55°。压裂砂在干燥情况下,在钢板上的摩擦系数较高,通常在 0.4 到 0.6 之间。

$$G \sin \alpha - G \mu \cos \alpha > 0 \quad (1-7)$$

G —压裂砂重力;

α —倾斜角度,°;

μ —压裂砂在钢板上的摩擦系数,取 0.6;

得:

$$\alpha > 31^\circ$$

取根据对砂料的现场试验将对称砂梯板以及门封斜板的角定位 40°。

3 自卸式储供砂箱现场应用优势

自卸式储供砂箱可以在小型和大型压裂井场通

用,目前已完成两种类型压裂井场的现场试验。现场应用优势有:

(1) 自卸式储供砂箱制作成本低,结构简单,方便操作,运行安全可靠,适用于现场储存、转运、快速卸料,不仅解决了国内压裂作业常用的储运工作量大的问题,还解决了非连续性刺破砂包的方式低落料效率的弊端,为用户节约成本,安全环保,大大提高了压裂作业效率。

(2) 自卸式储供砂箱机械结构质量安全可靠,可以反复使用,寿命长,加砂过程绿色环保很好的解决了传统方式不可重复使用的砂包的浪费及污染环境等问题。

(3) 自卸式储供砂箱机械结构密闭性好,外涂层做防水防锈处理,可在雨雪天气进行储存、转运、快速卸料,提高压裂井场全气候工作效率,减少井场空置成本。

(4) 自卸式储供砂箱摒弃破砂包的加砂方式,避免了压裂现场提升装置滚轴的缠绕问题,不会影响压裂井场其他设备的作业和安全。

4 自卸式储供砂箱经济效益

在小型压裂井场使用自卸式储供砂箱相较大型运砂车减少购置成本百分之二十,减少人工成本百分之五。自卸式储供砂箱中的砂料可基本百分之百落入提升料斗中,不会造成砂料浪费。

在大型压裂井场使用自卸式储供砂箱相较于一次性的砂包减少购置成本,每 100 吨压裂砂,减少 2000 元成本,并且不会生成废弃物更为环保,减少人工成本 8%。自卸式储供砂箱不仅具有较好的实际应用价值,而且无论从方案的整体设计到现场的作业使用过程中都得到了用户认可,可推广与各油气田压裂井场使用。

5 结语

自卸式储供砂箱可以减少压裂井场的购置和使用成本,更为绿色环保可靠,目前在油田已得到初步认可,预计在未来将完成全油田压裂井场的供应换代。

自卸式储供砂箱可以解决大型运砂车和砂包储运产生的问题,设计简单,结构安全可靠,成本低廉,可以反复使用。适用于所有类型压裂井场。现已有成品,试验成果显著,推荐在各大油气田压裂井场推广使用。

参考文献

- [1] 张树立,张日奎,李心成,王锋.致密油气大型压裂输砂系统研制[J].设备管理与维修,2023(9):54-58.
- [2] 邓世彪,邱杰,张宏,牛忠杰,崔岩龙,寥绪明.大型压裂施工装备优化配套[J].石油机械,2011,39(9):89-91.
- [3] 肖晖,郭建春,卢聪,周玉龙.F142 区块大型压裂技术研究与应用[J].石油钻探技术,2012,40(6):90-95.
- [4] 张光生,王维波,杨冬玉,廖晶,张红丽,王雷波,王华军.国内大型压裂技术的应用与发展[J].辽宁化工,2012,41(1):46-50.
- [5] 陈志稳,韩永强,承宁.低渗透储层大型压裂改造技术新突破[J].油气井测试,2006,15(1):45-45+48.

版权声明: ©2023 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

