

有限元法在垂直钻进系统设计中的应用

王队林¹, 张云田², 谭国平³

(1. 湖南省地勘局四一三队, 湖南 常德 415000; 2. 天津市勘察院, 天津 300191; 3. 湖南省地勘局探矿机械研制中心, 湖南 长沙 410100)

摘要:介绍了垂直钻进系统的工作原理及组成, 纠斜机构是由均布在同一圆周上的 3 个导向块组成, 导向块是自动垂钻系统中最主要的执行机构, 承受较大的压力。为保证系统设计的可靠性, 利用先进的有限元分析方法模拟导向块在工作状态下的受力情况, 通过创建有限元模型, 施加载荷并求解, 分析查看结果等步骤对零件进行仿真分析, 较真实地反映出零件在受力状态的应力和应变情况, 预测零件的结构强度并分析其设计合理性, 使对零部件关键参数的设计更合理, 有效解决设计中的可靠性分析和结构优化问题。

关键词:有限元法; 垂直钻进系统; 导向块

中图分类号: P634.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2007)05-0036-04

Application of Finite Element Method in Design for Vertical Drilling System/WANG Dui-lin¹, ZHANG Yun-tian², TAN Guo-ping³ (1. 413 Brigades, Hunan Geology and Resources Survey Bureau, Changde Hunan 415000, China; 2. Tianjin Institute of Geotechnical Investigation & Surveying, Tianjin 300191, China; 3. Changsha Prospecting Machine Manufacturer, Changsha Hunan 410100, China)

Abstract: Operational principle and composition of the vertical drilling system are detailed, such as deviation corrector that is composed by 3 directional pieces. Finite element model was established to obtain the reliability on system design; simulation analysis was made on work pieces to forecast the structural strength.

Key words: finite element method; vertical drilling system; directional piece

1 垂直钻进系统的工作原理及组成

自主研发的自动垂直钻进系统是较先进的主动闭环垂钻系统。钻进时, 由测斜系统在井下测出钻孔的顶角与方位角, 根据所测信息, 控制系统自动做出是否孔斜的判断, 并根据情况向纠斜系统发出指令, 使侧向支撑机构给出适当的横向力推动钻具朝要求的方向钻进, 以确保钻孔的垂直方向, 实现随钻、随测和随纠。其原理如图 1 所示。

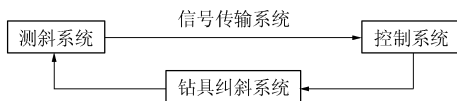


图 1 垂直钻进系统工作原理图

系统的测量系统和控制系统集成在一个密封的不旋转的导向套内, 导向套与旋转的钻杆之间通过轴承连接, 使导向套保持相对静止。3 个可独立伸缩导向块作为执行机构, 均布在导向套中, 位于导向套的下端靠近钻头处, 与井壁之间保持相对静止, 由液压控制系统控制导向块的伸缩动作以达到纠斜的

目的(如图 2 所示)。

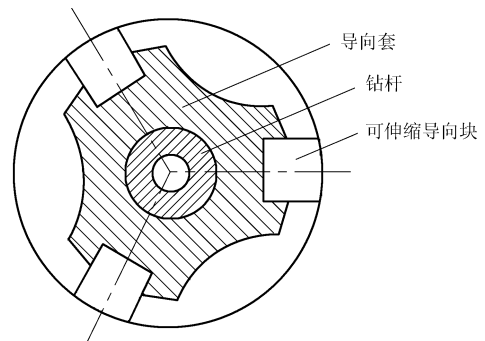


图 2 纠斜原理图

整个系统构成一个“闭环”系统, 可以在井下自动完成垂钻任务而不受井上操作人员控制。工作时, 当井眼发生偏斜, 井下微处理器经过分析判断, 向液压控制系统发出指令, 控制 3 个导向块的伸缩, 使合力方向指向井眼高边, 这相当于在井下钻具靠近钻头处受到一个合力矢量的作用, 这一合力矢量使钻头产生一定的降斜力, 使井眼回到垂直轨道上

收稿日期: 2007-04-03; 改回日期: 2007-05-13

作者简介:王队林(1962-), 男(汉族), 湖南衡阳人, 机械制造专业, 湖南省地勘局四一三队设备管理部主任, 从事钻探工程施工及设备的技术管理工作, 湖南省常德市, 13317369232; 张云田(1970-), 男(汉族), 天津人, 勘探机械专业, 天津市勘察院设备部主任, 从事钻探工程施工及设备的技术管理工作, 天津市南开区红旗南路 428 号; 谭国平(1972-), 男(汉族), 湖南株洲人, 湖南省地勘局探矿机械研制中心设计开发部部长、工程师, 机械制造专业, 从事探矿机械产品的研发工作, 湖南省长沙市经济技术开发区盼盼路 5 号。

来。当井眼回到垂直轨道上后,井下微处理器控制近钻头处的横向力消失,钻头保持垂直钻进。这样在井下形成一种自动闭环控制,不仅提高了井眼垂直度的精度,还节约了调整钻具所用的时间,很大程度上提高了钻进效率。

由自动控向垂钻系统的工作原理可知,要构成一个完整的闭环自动控制系统,应包括以下几个组成部分:测斜系统、信号传输系统、控制系统、钻具纠斜系统等。

各部分的主要功能描述如下:

(1)测量系统用于测量井眼倾角、钻孔的顶角与方位角等参数。

(2)信号传输系统将测量到的参数信息传送到控制中心,并接收控制指令。

(3)控制系统对接收到的信息进行处理和比较,检测实际倾角与垂直度的偏差,然后发出控制指令驱动纠斜机构。

(4)钻具纠斜系统的 3 个可伸缩导向块按控制指令动作,给出一个适当的合力矢量指向钻具的高边,保持钻具的垂直方向钻进。

钻进工作时,钻杆通过中心轴来带动钻头的旋转,中心轴跟导向套采用轴承连接,使导向套保持相对静止。导向套的下端靠近钻头处是导向稳定器,它主要是由 3 个可独立伸缩的导向块所组成,导向块的伸缩由液压控制系统控制实现。

2 导向块的结构

根据整体结构和纠斜要求,涉及的导向块结构如图 3 所示。

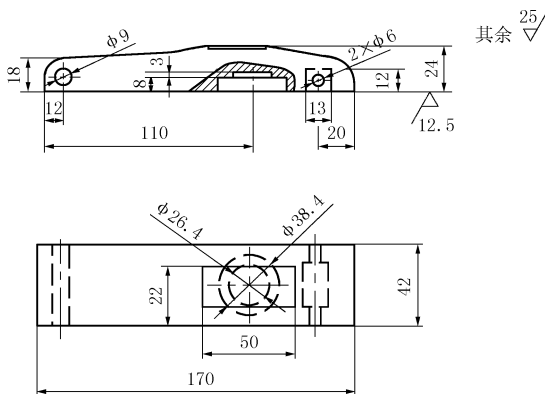


图 3 导向块零件图

3 导向块的有限元分析

垂直钻井技术是一项复杂的系统工程,涉及许多理论和技术难题,钻具在孔内受到各种力的作用,

产生变形从而影响测斜的准确性,以及振动、冲击等恶劣条件对系统的影响。因此最主要的关键因素就是系统设计本身的强度和可靠度。在系统设计时,许多零件的设计是依靠经验和相关公式计算得到的,零件的强度和工作可靠性是在缺乏实际工作数据的情况下的估算值,因此部分零件和整个设计的可靠性还需要实践检验。

有限元分析可以模拟系统在工作状态下的受力情况,较真实地反映出零件在受力状态的应力和应变情况,有助于分析零件结构设计的合理性和工作的安全性,以确保系统设计的科学性及在高压下工作的安全性、可靠性,还可以提高设计效率、缩短实验时间,降低成本。

为提高设计质量和设计可靠性,我们在加工之前利用有限元分析软件 ANSYS 模拟零件在工作状态下的受力情况,反映出零件在受力状态下的应力和应变情况,以判断结构设计的合理性和工作的安全性。

导向块作为自动垂钻系统中最主要的执行机构,它的结构设计及工作可靠性直接关系到整个系统的设计成败,因此在设计时要保证其具有足够的强度和刚度。下面利用有限元分析软件 ANSYS 模拟该零件在工作状态下的受力及变化情况,判断其设计的合理性和可靠性。

ANSYS 分析过程一般包含 3 个主要的步骤:

(1)创建有限元模型;(2)施加载荷并求解;(3)分析查看结果。

3.1 导向块有限元模型建立

根据导向块零件图结构,采用实体建模方法建立了导向块的三维几何模型,并对实际的结构和受力情况进行等效简化处理。在建模时对油缸的一些局部复杂结构进行了适当简化处理,在结构上将曲面简化为平面处理;忽略弹簧连接处的小孔,将和油缸接触处的孔简化为平面,在建模时按最小尺寸计算;忽略导角结构等。

利用“自动网格划分”功能划分网格,并结合手动修改,对销孔、应力集中处适当加工来划分导向块的网格。首先用 solid 42 平面给定导向块的网格划分,根据外形尺寸,用 MeshTool 定义其重要结构的尺寸,并确定网格格数进行自由网格划分,然后将单元属性改为立体 solid 45,利用 Extrude 生成模型,再采用自动网格划分功能划分零件的单元网格,建立有限元模型,其网格划分如图 4 所示,虽然模型是不规则的变化的,但划分好的有限元模型与实体模型

基本吻合,网格的分布整齐合理。划分的单元图如图5所示。

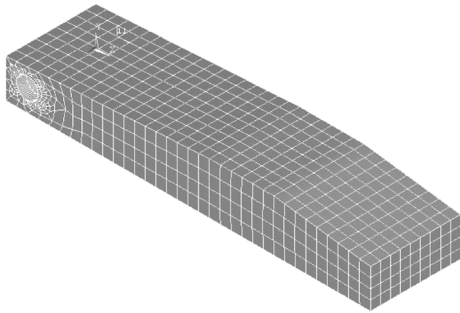


图4 导向块有限元网格划分图

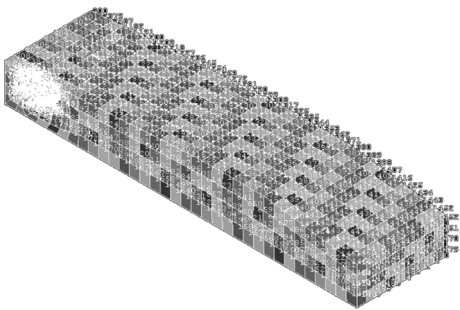


图5 导向块单元图

所选材料的力学性能如下:材料为45钢,弹性模量 $E = 2.06 \times 10^{11}$ Pa;泊松比 $\mu = 0.3$;密度为 7.8×10^{-9} t/mm³。

3.2 载荷及约束边界条件

导向块是最主要的纠斜零件,对它进行正确的力学分析是确定其结构的基础。在确定导向块有限元模型的约束及边界条件之前,有必要分析它所受到的主要载荷,以及实际的加载过程。导向块主要受到由液压系统的活塞传递的液压力实现位移变化,当导向块支撑在硬岩井壁上,它所产生的反力即是纠斜力。根据纠斜要求,导向块的压力应该在0~15 MPa之间无级可调,它所承受的最大压力为15 MPa。

有限元模型是对实际结构的反映,其分析的主要目的是检验结构或构件对一定载荷条件的响应,因此对有限元施加合适的载荷是非常重要的,这决定了有限元模型能否正确反映实际结构的受力特征。在进行受力分析前,必须对结构施加合适的约束。这是因为任何实际的结构都会受到一定的约束条件来保持其稳定性,给有限元模型施加合适的约束条件是进行有限元分析的一个重要步骤。

由于油缸始终处于静止位置,在确定有限元模型的边界约束条件时,采用虚拟样机的概念,即有限

元模型的边界约束条件与实际支承作用相吻合,我们选择常用的材料45钢,以杆系零件的模型对导向块的约束分析如下:一端为铰链联接,可使滑块在二维平面内旋转,达到伸缩目的。在确定有限元模型的边界约束条件时,连接处所有节点的X位移均为零,零件可在YZ平面内自由转动。部分约束情况见图6。

NODE	LABEL	REAL	IMAG
77	UX	0.00000000	0.00000000
78	UX	0.00000000	0.00000000
79	UX	0.00000000	0.00000000
80	UX	0.00000000	0.00000000
81	UX	0.00000000	0.00000000
82	UX	0.00000000	0.00000000
83	UX	0.00000000	0.00000000
84	UX	0.00000000	0.00000000
85	UX	0.00000000	0.00000000
86	UX	0.00000000	0.00000000
87	UX	0.00000000	0.00000000
88	UX	0.00000000	0.00000000

图6 导向块约束图

元模型在井下工作时所受力的情况同样非常复杂,用有限元分析计算时必须做一些简化处理,略去弹簧复位拉力、重力、摩擦力、弯矩、摩擦阻力矩等的影响,只考虑孔壁对它的反作用力合力 R 和油缸的推力 F 的影响。

在计算前作以下基本假设:(1)不考虑导向块的变形影响;(2)不考虑钻井液对导向块的压力;(3)不考虑摩擦力的影响;(4)忽略系统的振动、岩性、温度等因素的影响。

3.3 计算结果及分析

建立有限元模型并完成边界条件和载荷条件的施加以后,对有限元模型进行求解。

由ANSYS通用后处理器中的应变图、应力图及其随时间的变化图,得出油缸的应变情况、变化趋势和内部各单元的应力分布情况。结果显示:从导向块的应变图(图7)可看出,最大应变发生在零件和井壁的接触处,活塞和导向块的接触处应变也较大,根据图中的数据可知,最大应变为 $0.383E-04$;从导向块的应力变化图(图8)看出,最大应力值为58.867 MPa,按材料屈服极限值685 MPa计算,最大应力值均低于材料屈服极限(685 MPa),其安全系数为11.6,强度达到设计要求。

图9显示,最大应变发生在导向块的端部,其值为 0.003128 m(虚线为导向块的初始位置和尺寸)。因此导向块结构强度足够,具有一定的强度储备,可

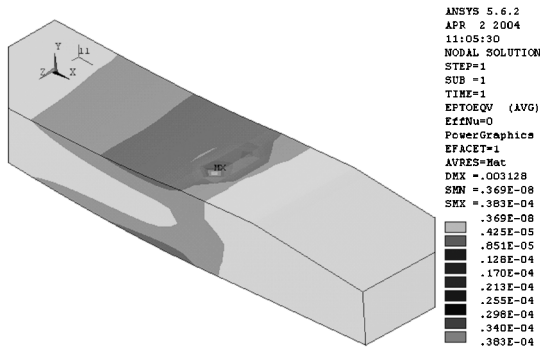


图 7 导向块应变图

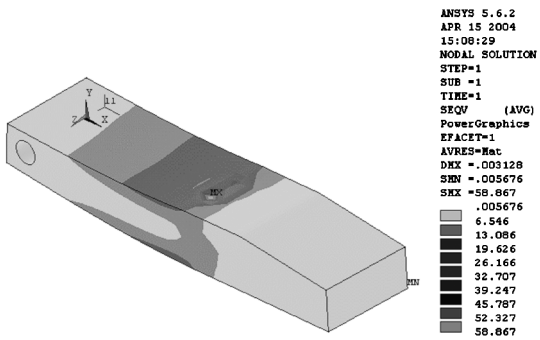


图 8 导向块应力图

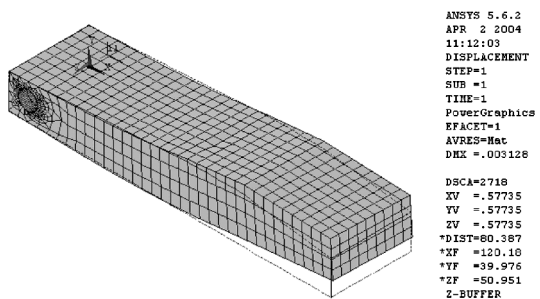


图 9 导向块节点位移图

对其结构进一步优化。

4 结论

在完成小口径垂钻系统的机械结构设计的基础上,采用先进的有限元分析方法对主要零件进行仿真分析,模拟零件的实际结构和实际工况,分析预测

零件的结构强度和设计合理性,使人们对零部件关键参数的理解和设计更趋合理。

通过对导向块的有限元分析,可以得出以下结论:

(1) 根据有限元计算的结果,在各种载荷组合作用工况下,导向块的最大应力为 58.876 MPa 时,小于许用应力,满足强度要求,并且有一定的强度储备。

(2) 导向块的薄弱环节集中在和井壁的接触部位,因此在此局部位置加强其硬度和强度。

(3) 导向块工作时产生的应力远小于屈服应力,有必要对本体进行优化,应尽可能充分利用材料和空间,减轻质量。

用有限元法对导向块结构进行强度、刚度分析,其结果比常规的解析法更准确、可靠,且可以获得解析法难以分析的局部区域应力分布,如孔壁与滑块接触处、滑块铰接处,而这些区域往往又是危险部位。根据有限元的计算结果对导向块的结构进行设计,可提高应力集中部分结构的可靠性和合理性,有效避免了为提高安全系数而采取的加大结构尺寸的设计,使整体结构更为科学紧凑。

将有限元分析和优化技术相结合,可以有效解决设计中的可靠性分析和结构优化问题,有效提高设计效率和设计质量。

参考文献:

- [1] 郑炜,等. 钢缆索节的有限元分析[J]. 工程机械,2003,(1):5-6.
- [2] 纪爱敏,等. 重型汽车起重机伸缩吊臂的有限元分析[J]. 工程机械,2003,(1):9-12.
- [3] 王国彪,等. ZL30F 装载机摇臂强度有限元计算[J]. 建筑机械化,2003,(1):21-23.
- [4] (德)Claus Chur. KTB 主孔垂直钻进系统与钻探工艺[J]. 探矿工程译丛,1996,(3):1-8.
- [5] 樊腊生,等. 钻孔测斜、防斜和纠斜系统[J]. 探矿工程,1999,(4):49-51.
- [6] 李松林编译. 苏义脑校. 自动垂直钻井系统 VDS 的形成与发展[J]. 国外石油机械,1999,10(5).

广西将投入近百亿元建设北部湾港口

新华网南宁 5 月 14 日电 随着双边贸易总额不断扩大,具有低成本、运量大特点的海运方式越来越受到中国与东盟企业的青睐,北部湾港口群建设正驶入“快车道”。从广西壮族自治区交通厅获悉,2007 年广西将投入约 99 亿元在钦州、北海、防城港等北部湾港口开工建设码头项目 15 项,泊位 37 个,设计吞吐能力超过 1 亿 t。

根据《广西沿海港口布局规划》,广西北部湾经济区港口的年货物吞吐量 2010 年将达到 1 亿 t,2020 年要达到 3 亿 t。广西自治

区副主席陈武说,最近,自治区政府已经把以国资为主体的防城港、北海、钦州三港合一,成立广西北部湾国际港务集团有限公司。这标志着广西利用国资调整布局,整合资源,统筹北部湾发展取得实质性突破,为建设亿吨级现代组合港打下坚实基础。

按照《全国沿海港口布局规划》,防城港被列为西南沿海地区的三个全国主要港口之一,全国沿海 24 个主要港口之一;北海港、钦州港进入全国 25 个地区性重要港口之列。