

doi: 10.7690/bgzd.2016.01.016

基于 Ansys Workbench 的等壁厚螺杆钻具定子切削仿真分析

尹 健, 杨 眉, 陈昌金

(中国兵器工业第五八研究所智能制造技术研发中心, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对等壁厚螺杆钻具定子螺旋啮合线型在电解加工时存在的稳定性、电极制造和排污方面的问题, 提出一种利用仿真分析可指导设计的深孔拉削方法。文中对某切削状态时的拉力和转矩进行理论计算, 选用 Pro Engineer 软件实现建模, 再导入到 Ansys workbench 软件中进行虚拟仿真分析, 分别得到等壁厚螺杆钻具定子某切削状态时的拉力和转矩, 并与实际试验效果进行对比。结果表明: 该方法有效地提高了工程应用领域中数控深孔螺旋拉削成套设备的设计能力, 使成套设备的设计更合理、高效。

关键词: 螺杆钻具; 切削; 仿真

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Stator Cutting Simulation Analysis of Equal Wall Thickness Screw Drill Based on Ansys Workbench

Yin Jian, Yang Mei, Chen Changjin

(Research & Development Center of Intelligent Manufacturing Technology,
No. 58 Research Institute of China Ordnance Industry, Mianyang 621000, China)

Abstract: Aiming at problems of stability, electrode manufacturing and pollution discharge of the equal wall thickness screw drill stator spiral gearing line, put forward the deep hole boring method based on simulation analysis design. The paper carry out theoretical calculation for pulling force and torque in cutting state, select Pro Engineer software to establish model, then input it into Ansys workbench software for virtual simulation analysis, acquire pulling force and torque of equal wall thickness screw drill stator in cutting state, at last compare it with real test performance. The results show that: the method can effectively improve design ability of NC deep hole spiral boring complete sets of equipment, and make the equipment design more reasonable and higher efficiency.

Keywords: screw drill; cut; simulation

0 引言

自 20 世纪 80 年代引入我国以来, 螺杆钻具以其结构简单、性能可靠的优点成为理想的井下动力钻具。等壁厚螺杆钻采用预加工的定子螺旋啮合线型再浇铸内橡胶, 使其具有定子橡胶层等壁厚, 极大地改善了螺杆钻具的性能, 提高了使用寿命, 是螺杆钻具技术的革命性突破; 但是等壁厚螺杆钻具定子螺旋啮合线型的加工一直是我国此类钻具发展的难题, 目前国内主要以电解工艺为主, 在加工稳定性、电极制造和排污方面均存在较大困难。

五八所数控深孔螺旋拉削^[1]技术已完全垄断国内膛线加工行业, 已自主开发成套设备^[2], 实现了等壁厚螺杆钻具定子的加工和应用。鉴于膛线与等壁厚螺杆钻具定子螺旋啮合线型的相似性, 笔者对某切削状态时的拉力和转矩进行了理论计算、虚拟仿真分析, 并与实际试验效果进行了对比分析。

1 理论计算

在金属切削刀具设计手册^[3]中拉刀的拉削力计算公式为:

$$F_1 = F'_c \times \sum b \times z_i \quad (1)$$

其中: F_1 为拉削力; F'_c 为单位刀刃长度切削力, N/mm; $\sum b$ 为每个刀齿切削刃宽度, mm; z_i 为同时工作齿数。

根据等壁厚螺杆钻具定子的材料、拉削时的齿升量和拉削齿参数等, 可知 $F'_c=382.5$ N/mm、 $\sum b=35$ mm、 $z_i=1$; 因此, $F_1=13\ 387.5$ N。

上述计算适用于通常所说的拉刀, 指一种加工内外表面的多齿高效刀具, 可加工螺旋槽; 但等壁厚螺杆钻具定子不仅具有螺旋槽特征, 而且具有深孔特征, 这使得上述拉削力计算不再可靠。

实际加工中的切削状态更类似于单刃切削方式, 为了让理论计算值对成套设备的设计具有更好的指导作用; 因此将式 (1) 的计算方式更换为在自由切削、无积屑瘤、不考虑温度影响并略去后面上作用力情况下的单刃切削力理论公式:

$$F_c = \tau_s b_D h_D \left(\frac{A_h^2 - 2A_h \sin \gamma_0 + 1}{A_h \cos \gamma_0} \right)^n \times \left(\frac{A_h - \sin \gamma_0}{\cos \gamma_0} + \tan \varphi \right) \quad (2)$$

其中: F_c 为切削力, N; τ_s 为当应变 $\epsilon=1$ 时材料的

收稿日期: 2015-08-12; 修回日期: 2015-09-18

作者简介: 尹 健(1981—), 男, 河北人, 本科, 高级工程师, 从事数控机床研究。

剪切屈服点, MPa; b_D 为切削层公称宽度, mm; h_D 为切削层公称厚度, mm; n 为材料的强化系数; φ 为总切削力与剪切面间的夹角, °; γ_0 为前角, °; A_h 切屑厚度压缩比。

令式 (2) 中

$$\left(\frac{A_h^2 - 2A_h \sin \gamma_0 + 1}{A_h \cos \gamma_0} \right)^n \times \left(\frac{A_h - \sin \gamma_0}{\cos \gamma_0} + \tan \varphi \right) = \Gamma,$$

则式 (2) 可变换为:

$$F_c = \tau_s b_D h_D \Gamma. \quad (3)$$

由于等壁厚螺杆钻具定子的常用材料为 42CrMo, 其 Γ 值可从简化曲线表上查得, 可取 $\tau_s = 0.6\sigma_b$ 。已知 42CrMo 的 $\sigma_b = 1\ 080$ MPa, 则 $F_c = 4\ 354$ N。同时通过对等壁厚螺杆钻具定子的切削状态和单刃切削状态的比较, 近似地可以将 F_c 看作为深孔螺旋拉削总切削力, 即拉削力和转矩的合力。

另外, 已知试验中的等壁厚螺杆钻具定子^[4]的导程 $P_k = 900$ mm、头数为 6、名义中径 $D_f = 0.125$ m、螺旋角 $\beta = 23.5^\circ$, 得出拉削力 $F_2 = F_c \times \cos \beta = 3\ 992$ N, 转矩 $N_2 = F_c \times \sin \beta \times D_f / 2 = 108.5$ N·m。

2 仿真分析

虽然 Ansys workbench 的 Design Modeler 软件模块也可进行三维建模, 但其易用性远不如专业的三维软件。在此, 选用 PTC 公司的 Pro Engineer 软件实现检测装置的建模, 再导入到 Ansys workbench 软件中^[5], 如图 1 所示。

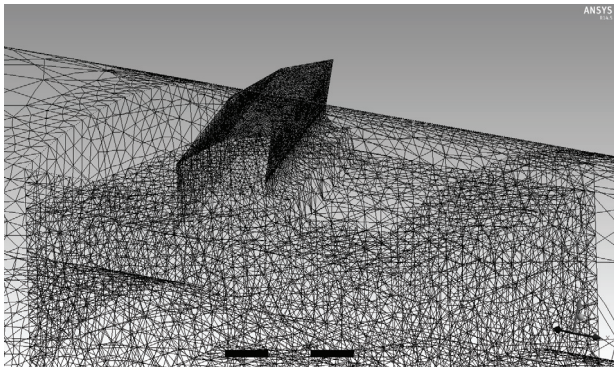


图 1 建模与网格划分

1) 在 Geometry 中设置模型材料。已知等壁厚螺杆钻具定子材料为合金钢, 在软件中统一简化设置为 Structural Steel。

2) 在 Connections 中设置接触对。根据切削情况将刀片与工件接触的前面、后面、副后面接触位置的 Type 设置为 Frictional; 根据钢-钢在油润滑状态时的动摩擦因数将 Friction Coefficient 设置为

0.1; 同时将 Pinball Region 设置为 Radius, 参数从 1~2 mm; 其余设置为 Program Controlled。

3) 在 Mesh 中设置网格划分。更改 Relevance Center 和 Span Angle Center 为 Medium; 同时增加 Contact Sizing, 选择 Connections 中的接触对, 将 Element Size 设置为 0.2 mm。

4) 在 Static Structural 中设置约束等。试验设备的额定拉力为 100 kN、额定转矩为 3 000 N·m, 同时本设备为全闭环控制, 可实时观察拉削时的拉力和转矩。在试验时, 拉力约为 4%, 即 4 000 N; 转矩约为 3.7%, 即 110 N·m。插入 Force 并设置为 4 000 N, 插入 Moment 并设置为 110 N·m, 同时插入 Displacement 并设置相应的 Component 参数。

5) 在 Solution 中插入 Total Deformation 和 Normal Stress。运行后得到如图 2、图 3 的结果。

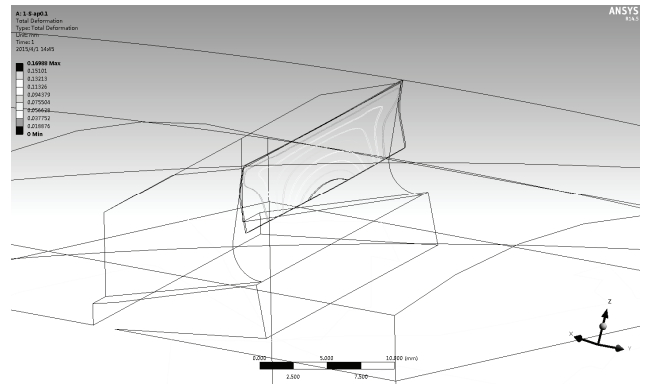


图 2 Total Deformation 结果

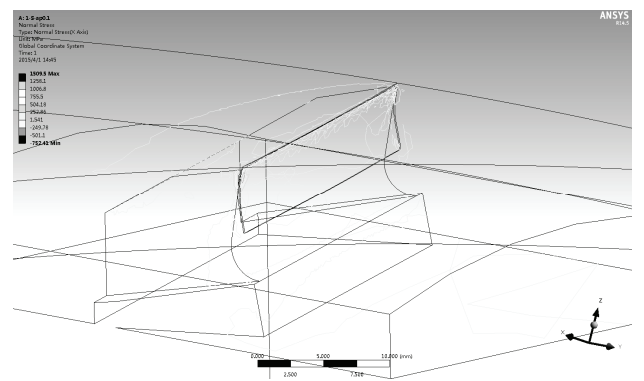


图 3 Normal Stress 结果

从图 2 中可以看到: Total Deformation 结果与理论的切屑滑移基本相符, 并且分离的线在主切削刃附近。从图 3 中可以看到: 在主切削刃附近的应力为 1 200~1 500 MPa, 并且由 42CrMo 材料可知, 其切屑形成时的切应力 τ 为 1 200~1 300 MPa, 这与仿真分析结果相符合。因此, 上述仿真分析进一步证明了实际试验过程中通过设备反馈得到的拉力 $F_3 = 4\ 000$ N 和转矩 $N_2 = 110$ N·m 是真实可靠的。

3 比较

经过前述理论分析和仿真分析，分别得到了等壁厚螺杆钻具定子某切削状态时的拉力和转矩。笔者以实际试验过程中通过设备反馈得到的拉力和转矩值为基准，分析如表1、表2。

表1 拉力分析 N

属性	理论计算		仿真分析
	式(1)	式(2)	
拉力	13 387.5	3 992	4 000
比例/%	335	99.8	100
误差/%	225	-0.2	—

表2 转矩分析 N·m

属性	理论计算		仿真分析
	式(1)	式(2)	
转矩	—	108.5	110
比例/%	—	98.6	100
误差/%	—	-1.4	—

可见，单刃切削方式下的理论计算值与实际试验过程中的反馈值吻合，能有效指导成套设备设计制造。

(上接第51页)

除了常规提高精度的设计方法外，影响该款传感器测试精度的主要因素在于磁芯固定部分。为此，笔者采用自主开模设计外壳方法，最终将产品的穿心线位置影响误差由原来的1%降低为0.5%以内，产品精度由原来的1.0提升为0.5。该产品结合智能编程的方法，消除了霍尔器件本身失调漂移带来的影响，使产品稳定性得到了保证。



图6 WB 开启式霍尔电流传感器

4 结束语

笔者从霍尔传感器闭环及开环原理入手，论述了影响霍尔传感器测试精度的多种可能因素，并从实际的高精度开启式霍尔传感器设计着手，介绍了提高其精度的几种主要方法。最终将该系列设计方法应用到实际的产品开发过程中，使产品精度得到显著提高。另外，笔者建议：对于复杂的军工环境，除了满足基本功能设计外，必要的军品型式实验是提高其稳定性的另一方面，如高低温存储、高低温冲击、振动和寿命等试验。实际的产品设计需结合产品的应用环境综合考虑，以开发出满足用户需求的具有高精度及高稳定性的产品。

4 结束语

通过理论分析，Pro Engineer 和 Ansys workbench 的组合应用，有效地提高了工程应用领域中数控深孔螺旋拉削成套设备的设计能力，并经过三者的对比，证明该仿真分析可代替实物试验，误差不超过1.5%，具备实用性、可靠性和推广性。

参考文献：

- [1] 王先逵. 拉削、刨削、插削加工[M]. 北京：机械工业出版社，2008：79-86.
- [2] 陈昌金，尹健，王体洋. 深孔沟槽拉削工艺及装备[J]. 兵工自动化，2014，33(9)：31-32.
- [3] 袁哲俊，刘华明. 金属切削刀具设计手册[M]. 北京：机械工业出版社，2008：6.
- [4] 邱亚玲，杨德胜，韩传军，等. 等壁厚螺杆钻具定子螺旋槽拉刀设计[J]. 石油矿场机械，2008，37(5)：56-58.
- [5] 陈昌金，尹健. 虚拟样机技术在数控深孔螺旋拉床整机设计中的应用[J]. 兵工自动化，2008，27(2)：65-67.

参考文献：

- [1] 郁有文，常健，程继红. 传感器原理及工程应用[M]. 2版. 西安：西安电子科技大学出版社，2003：119-124.
- [2] 卢文科，朱长纯，方建安. 霍尔元件与电子检测应用电路[M]. 北京：中国电力出版社，2005：23-30.
- [3] 阳桂蓉，罗志强，王进. 直测式霍尔传感器稳定因素探讨[J]. 兵工自动化，2014，33(5)：84-87.
- [4] 王锋，刘美全，范江玮. 提高霍尔传感器测量精度的方法研究[J]. 电子设计工程，2015，23(2)：60-62.
- [5] 王旭，付亚平. 霍尔传感器测量精度影响因素的研究[J]. 煤矿机械，2008，29(2)：202-204.
- [6] 高茜. 提高霍尔传感器精确度的研究[J]. 沈阳电力高等专科学校学报，2002，4(1)：42-44.
- [7] 劳力云. 四端霍尔元件的等效电路模型及其参数推导[J]. 中国计量学院学报，1994，7(1)：111-115.
- [8] 孙仁涛，于成民，孔海霞. 高性能 InSb 霍尔元件的设计[J]. 仪表技术与传感器，1995，7(6)：26-28.
- [9] 罗志强，阳桂蓉，王进. 霍尔传感器温度补偿电路设计[J]. 兵工自动化，2014，33(10)：87-88.
- [10] 冯明，夏冠群，胡少坚. GaAs 霍尔元件不等位电势的调制消除[J]. 功能材料与器件学报，2004，10(4)：455-458.
- [11] 万丽. 航天用高精度霍尔传感器开发技术研究[D]. 西安：西安电子科技大学，2011：21-30.
- [12] 李富安. 闭环霍尔电流传感器的设计与测试[D]. 武汉：华中科技大学，2013：10-15.
- [13] Asahi Kasei Microsystems Co Ltd. InSb Hall Element-HW-105A[EB/OL]. Alldatasheet. com: 2011-2015. <http://www.alldatasheet.com/datasheet.pdf/pdf/89641/etc/HW105A.html>.
- [14] 王军. 辐射对半导体磁敏器件性能影响的研究[D]. 青岛：中国石油大学，2007：50-84.