空气锤钻头本体与钻齿的过盈数值分析

川庆钻探工程公司油建分公司 （四川成都 610213） 曾其科 罗 山
西南石油大学机电工程学院 （四川成都 610500） 黄志强

空气钻井技术用于解决提高机械钻速和复杂硬质地层条件下的井漏等重大的钻井难题。但是，钻井过程中也暴露出许多技术难题，其中钻具损坏问题相当突出。空气锤钻头的失效方式主要以断齿、磨齿、掉齿、本体缩径和钻头断脱等为主，掉齿造成钻头过早地失效，严重降低了钻头破岩效率。钻头掉齿失效情况如图1所示。本文通过对钻头本体与钻齿的过盈量进行分析，确定合理的过盈量，以期为钻头本体与钻齿过盈量的设计提供理论依据，从而解决钻头掉齿问题，延长钻头使用寿命。



图1 空气锤钻头边齿脱落

1. 数值计算模型

（1）钻头实体模型及材料参数：利用SolidWorks建立钻头实体模型，如图2所示，钻头相关参数如下：钻头直径297 mm，钻头端面倾角10°，钻头端面有3个喷嘴，均匀地分布在钻头端面，喷嘴直径为35.5 mm，钻头端面分布着39个齿孔，齿孔直径均为19 mm。



图2 空气锤钻头三维实体模型

钻头材料选择采用合金20Ni4Mo，其材料模型可选择弹塑性模型，其弹性模量为 $E = 2.15 \times 10^2$ GPa，泊松比 $\upsilon = 0.27$，屈服应力为1 010 MPa。

（2）单元属性及网格划分：采用二次四面体Solid185单元对模型进行网格划分，重点是分析钻齿过盈量在钻头本体上产生的应力分布情况，因此，对钻头的齿孔周围应力分布变化较大的地方进行局部网格加密，其他区域网格划分相对稀疏。如图3所示的钻头网格模型。

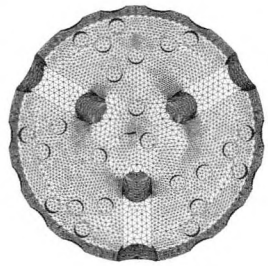


图3 空气锤钻头网格模型

（3）边界条件：将硬质合金钻齿视为不变形的刚性体，则过盈量全部均匀作用在齿孔孔壁上，使齿孔边界变形成为已知。分析模型的下部端面与钻头的本体相连，根据圣维南原理，在远离齿孔的地方，可以不考虑齿孔变形的影响，因此在远离齿孔的下端面全部为零位移边界条件。

2. 有限元计算结果及分析

建立过盈量为0.01 mm、0.02 mm、0.03 mm、

4. 结语

以上主要阐述的是法兰克数控系统下的3轴铣削加工中UG3维模型快速导入Vericut进行数控加工仿真的设置讲解，这些设置与四轴以上Vericut配置基本相同，只是“配置CNC机床”中的“机床文件”及“控制文件”需做相应调整，选用匹配的多轴机床和控制文件。**MW**

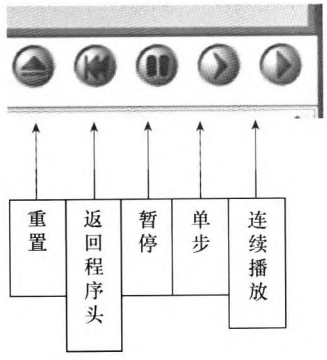


图9 运行工具条

（收稿日期：20140312）

0.04 mm、0.05 mm 和 0.06 mm 的装配应力模型，对其进行数值计算。图 4 是过盈量为 0.03 mm 的米塞斯应力云图，从图中可以看出钻头本体最大应力增加到 888 MPa，小于屈服应力 1 010 MPa。从整个钻头本体来看，钻头材料仍然处于弹性阶段，仍具有一定的强度盈余，钻齿的固紧力小，不利于钻齿的固定，钻头依然会存在掉齿的隐患。

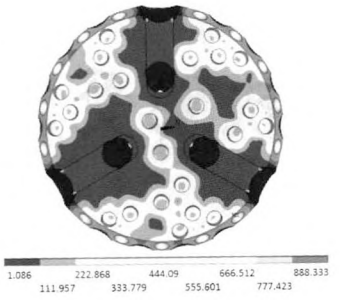


图 4　空气锤本体钻齿过盈量为 0.03 mm 时米塞斯应力云图

图 5 为空气锤钻头本体和钻齿过盈量与最大米塞斯应力关系。从图 5 中可以看出，随着过盈量的增大，钻头齿孔的米塞斯应力逐渐增加。

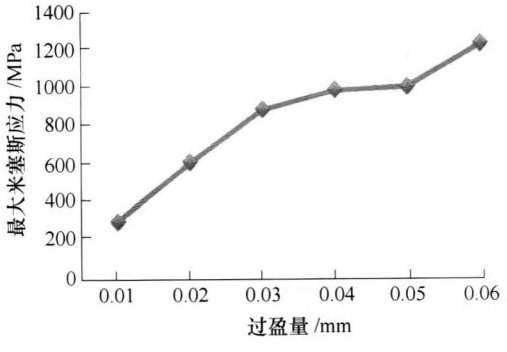


图 5　空气锤本体钻齿过盈量与最大米塞斯应力关系

当齿孔过盈量为 0.05 mm 时，其最大应力进一步增加到 1 008 MPa，与屈服应力 1 010 MPa 相比已经非常接近，既存在弹性变形，又存在微小的塑性变形。此时，钻齿与本体有着较好的过盈配合，安装难度和本体对钻齿的固紧力达到最佳，如果齿孔过盈量进一步增大，则齿孔间将出现大量的塑性变形区域（见图 6）。

而当过盈量为 0.06 mm 时，最大米塞斯应力已经超过了钻头材料的强度极限，出现了塑性变形（见图 7）。图 7 可发现在 2 圈齿孔与 3 圈齿孔之间出现塑性变形区连通的情况。相邻齿孔因过盈配合产生的装配应力场是否出现塑性区迭加的情况，这对钻齿是非常重要的。如果出现塑性区迭加的情况，会造成钻头本体出现压溃情况，钻头本体会形成微裂纹，将会严重降低钻齿的固紧效果，同时，过盈量为 0.06 mm 时，钻齿安装难度也较大。而钻头本体上的其他齿孔，塑性变形区域较小，还有进一步加固的可能。远离齿孔的钻头本体区域仍然处于弹性变形阶段。同时，图 1 和图 7 对比可以发现，塑性变形较大的区域正是现场钻头失效严重的部位，说明本文数值模拟的正确性。

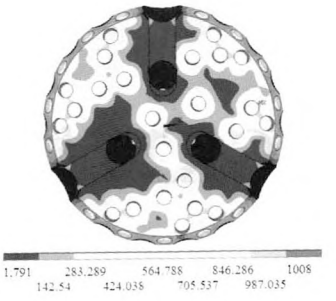


图 6　空气锤本体钻齿过盈量为 0.05 mm 时米塞斯应力云图

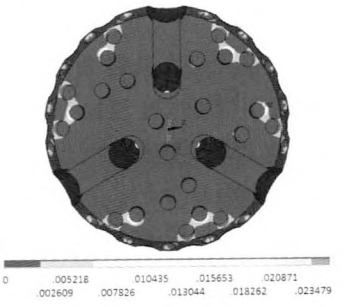


图 7　过盈量为 0.06 mm 时塑性应变云图

通过图 4 和图 6 可以分析出，在 3 喷嘴钻头的喷嘴附近存在大面积的低应力区域，主要原因是：钻头布齿不合理，钻头端面的布齿空间没有得到充分利用。同时，在 2 圈齿孔与 3 圈齿孔之间的区域，始终是钻头端面应力最大的区域，该区域应力大的主要原因是这两圈齿孔之间距离过小，导致在固齿的过程中，产生应力叠加。因此可以考虑适当增大 2 圈齿孔与 3 圈齿孔之间距离，减小该区域应力大的问题，提高钻头对钻齿的固紧力。

3. 结语

利用 SolidWorks 建立空气锤钻头实体三维有限元模型，采用有限元分析的方法探讨了钻头与钻齿等效应力的分布情况，确定合理的本体与钻齿的过盈量，以减少钻头掉齿失效情况，延长钻头的使用寿命。

通过以上分析得出以下结论：①随着过盈量的增大，齿孔的应力也逐渐增大。②当过盈量为 0.06 mm时，原型钻头 2 圈齿孔与 3 圈齿孔之间出现较大的塑性变形，不利于钻齿的固定，空气锤钻头本体与钻齿过盈量应以 0.05 mm 为宜。③通过对钻头的有限元分析，3 喷嘴钻头端面布齿不合理，2 圈齿孔与 3 圈齿孔间距过小，出现塑性迭加，降低钻头对钻齿的固紧效果。**MW**　（收稿日期：20140314）