

· 试验研究 ·

## 奇数边中空钢钎杆几何参数及拉拔过程数值模拟

姜杰凤<sup>1</sup> 于恩林<sup>2</sup>

(1 杭州师范大学钱江学院, 杭州 310012; 2 燕山大学机械工程学院, 秦皇岛 066004)

**摘要** 为了提高凿岩钎杆用中空钢的使用寿命, 设计了奇数边截面形状的中空钢。比较了正六、正七、正八、正九边形中空钢的抗拉压和抗弯曲能力, 结果显示奇数边中空钢的抗断裂和抗弯曲能力更强。对正七边中空钢进行了滚动模拉拔成型过程的数值模拟, 结果表明, 成型外形符合标准技术要求, 应力和温度分布均匀, 该方法可用于制造奇数边中空钢钎杆。

**关键词** 钎钢 奇数边中空钢 拉拔 数值模拟

## Geometric Parameters and Numerical Simulation of Drawing Process for Odd Number Side Drill Hollow Steel Stem

Jiang Jiefeng<sup>1</sup> and Yu Enlin<sup>2</sup>

(1 Qianjiang School, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310012;  
2 School of Mechanical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

**Abstract** In order to enhance the service life of hollow steel for rock drill stem, the odd number side section shape hollow steel has been designed. Compared the tensile, compressive and bending resistance of ortho- six, seven, eight and nine side polygon hollow steels, it indicated that the odd number side hollow steels have better fracture and bending resistance than that of the even number hollow steels. The numerical simulation of drawing forming process of ortho-seven- side polygon hollow steel with rolling drawing has been carried out, the results showed that the forming shape met the requirement of technical standard, and the distribution of stress and temperature was uniform, it shall be available for manufacture of odd number side hollow steel stem.

**Material Index** Rock Drill Steel, Odd Number Side Hollow Steel, Drawing, Numerical Simulation

钎钢, 俗称钎子钢, 是指专门制造钎具用的钢材。钎钢中大多为中心有孔的中空钢, 现用的中空钢的横截面以正六边形和圆形为主。

近 20 年来, 我国每年消耗中空钢 2 万 t 左右。各种矿产资源的开采, 铁道、公路、水利、水电等能源交通建设, 以及地质、建筑等部门, 都离不开钻爆作业, 离不开使用钎钢。凿岩钎钢是工作条件最为恶劣且使用寿命最短的金属工具之一。在钻凿过程中, 钎钢除承受高频率和高强度的冲击之外, 还将承受弯曲、扭转、压缩等多种复合应力的作用; 并在高速回转、碰撞环境下经受岩石、岩粉和矿水等工作介质的腐蚀。据调查, 钎杆的使用寿命范围为 30 ~ 400 m、工作时间一般为 5 ~ 12 h, 可见在恶劣工作条件下钎子杆的寿命之短<sup>[1,2]</sup>。

本文从中空钢的几何参数出发, 研究奇数边中空钢的抗拉和抗弯曲能力, 然后通过 ABAQUS 软件对其成型过程进行数值模拟来探讨生产制造的可行性。

### 1 中空钢几何参数研究

正多边形钎钢的边数, 直接决定了它的横截面

积( $S$ )、惯性矩( $I_x$ )和抗弯模数( $W$ )的大小, 也就直接决定了它抗拉压疲劳断裂和抗弯曲的能力, 而这会直接影响钎杆的使用寿命。相同外接圆直径( $D$ )条件下, 边数越多, 其横截面积和惯性矩越大, 钎杆寿命更长<sup>[3]</sup>。但是, 正多边形钎钢的边数, 还要受工作条件和钎钢轧制工艺的制约, 不可能无限制地增加边数。以正七边形和正八边形钎钢为例, 带奇数边的正七边形钎钢, 每一个可能发生弯曲的平面法线力方向, 都正对着一个抵抗弯曲的三角形加强“筋”。正六边中空钢 B22 的外接圆直径为 25.4 mm, 现设计外接圆直径为 25.4 mm 的正六、正七、正八、正九边形中空钢的截面如图 1 所示, 其几何参数和抗拉压、抗弯曲性能比较如表 1 所示。

从表 1 可知, 新型正七、正八、正九边形钎钢的横截面积, 比原用的正六边形钎钢增大 5.4% ~ 11.2%, 惯性矩增大 9.6% ~ 19.0%, 抗弯模数相应增加 9.6% 以上, 这明显地有利于延长新型钎杆的使用寿命。从表 1 中还可以看出, 具有奇数边的正七、正九边形中空钢比正六、正八边形的惯性矩和抗弯模量大, 这更有利于提高抗拉压和抗弯曲能力。

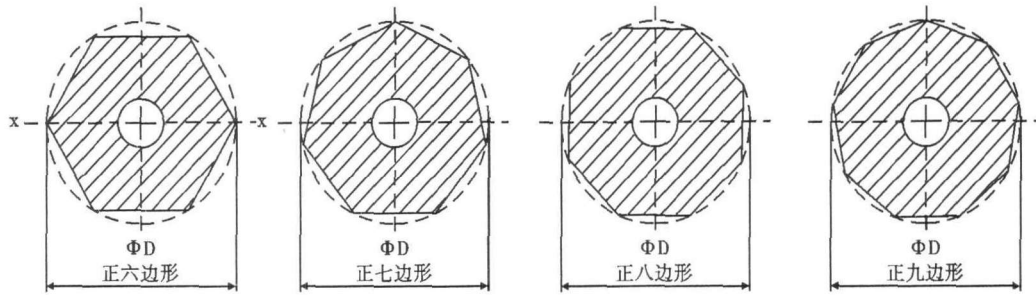


图 1 4 种正多边形中空钎钢的结构简图

Fig. 1 Structure schematic of 4 kinds of ortho-polygon rock drill hollow steel

表 1 外接圆直径相等的 4 种中空钢抗拉与抗弯性能比较

Table 1 Comparison of drawing and bending resistance between 4 kinds of rock drill hollow steels with equal diameter circumscribed circle

外形	代号	内切圆直径/ mm	内孔直径/ mm	外接圆直径 D/ mm	横截面积 S/ mm <sup>2</sup>	惯性矩 I <sub>x</sub> / mm <sup>4</sup>	抗弯模量 W/ mm <sup>3</sup>
正六边形	L22	22.00	6.10	25.403	396.931	14 020.343	1 258.471
正七边形	S22	22.98	6.10	25.403	422.733	15 750.038	1 354.512
正八边形	E22	23.56	6.10	25.403	437.694	16 803.060	1 409.870
正九边形	N22	23.96	6.10	25.403	448.120	17 561.139	1 448.892

2 奇数边中空钢滚动模拉拔成型过程数值模拟

本文以正七边形中空钢为例,借助 ABAQUS 非线性有限元分析软件,运用滚动模拉拔方法对其进行数值模拟。拉拔模型如图 2 所示,7 个辊子在一个圆周上均匀布置,假设滚动模刚性。坯料为厚壁管坯,头部较细可穿过 7 辊孔型,用于施加牵引力,其材质为钎杆用中空钢专用钢材 ZK35SiMnMoV (表 2)。

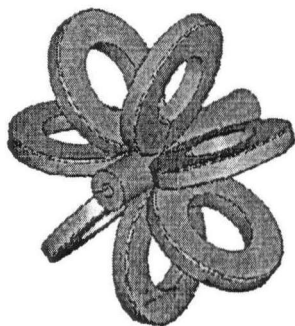


图 2 拉拔的模型图

Fig. 2 Schematic of drawing model

ing)方法。选用 C3D8RT 三维实体减缩积分单元对坯料进行网格划分,为了避免模拟成型过程中网格产生严重扭曲,应用了网格自动重划分 (adaptive meshing) 功能。因为使用了减缩单元,所以要进行沙漏控制,另外拉拔成型是一个热力耦合的过程,所以还要考虑热的生成、传导及温度的变化等<sup>[4]</sup>。

拉拔过程中滚动模出口处钎钢横截面的变形和应力分布情况如图 3 所示。

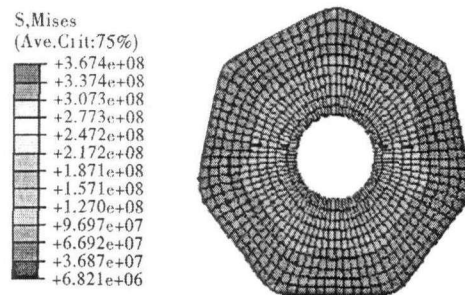


图 3 滚动模出口处正七边形中空钢的变形和应力分布

Fig. 3 Deformation and stress distribution of ortho-seven-side hollow steel at exit of rolling drawing die

表 2 ZK35SiMnMoV 钢的化学成分/%  
Table 2 Chemical composition of steel ZK35SiMnMoV /%

C	Si	Mn	Mo	V	Cu	S	P
0.32 ~ 0.42	0.60 ~ 0.90	1.30 ~ 1.60	0.40 ~ 0.60	0.07 ~ 0.15	≤ 0.25	≤ 0.030	≤ 0.030

拉拔成型匀速进行,可看作一个显式准静态过程,为了提高计算速度,应用了质量缩放 (mass scal-

拉拔模拟完成时中空钢典型截面的应力和变形如图 4(a) 所示,温度分布如图 4(b) 所示。从图 4(a) 中可见其外形是符合标准要求的,应力分布均匀,从内孔向外缘先逐渐变大又变小,不存在应力集中。图 4(b) 中温度值从内孔向外逐渐变小,分布均匀合理。

另外还可以得到拉拔力的历史曲线如图 5 所

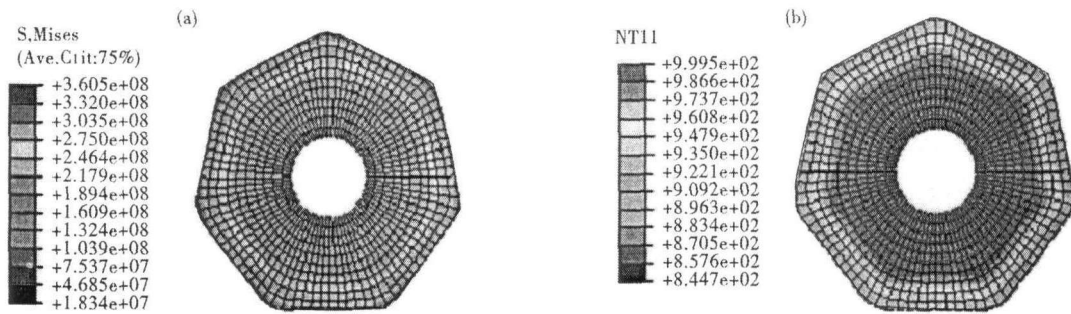


图 4 正七边形中空钢的应力 (a) 和温度 (b) 分布图

Fig. 4 Distribution of stress (a) and temperature (b) of ortho-seven-side hollow steel

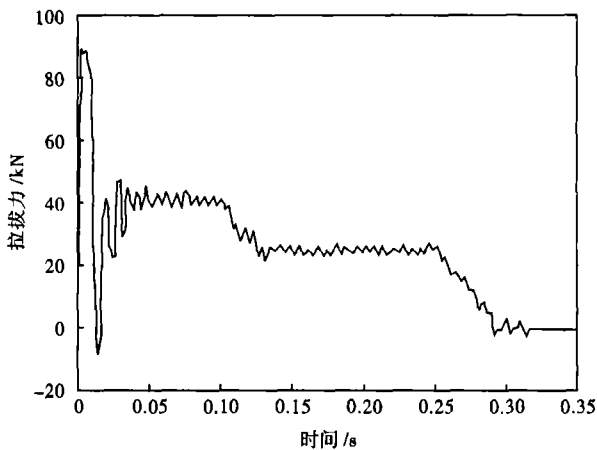


图 5 正七边形中空钢拉拔力曲线

Fig. 5 Curves of drawing force of ortho-seven-side hollow steel

示。拉拔开始拉拔力变化很大,这时钎钢的前端有略微的颈缩现象,这主要是拉拔开始滚动模和拉拔件刚刚接触存在冲击;进入稳定拉拔之前(0.03 ~ 0.10 s)拉拔力为 40 kN 左右,在这段时间里,滚动模与拉拔件已经完全接触,但是由于坯料存在由较细的头部到变粗的过渡,还没有进入稳定拉拔;0.10 s 后是真正的稳定拉拔阶段,其拉拔力在 30 kN 左右;最后拉拔结束阶段拉拔力逐渐降为 0。

从拉拔的数值模拟结果来看,成型外形符合标准和技术要求,应力和温度分布均匀合理。拉拔力合理,完全可以实现。所以以正七边形为代表的奇数边中空钢用拉拔方法是完全可以生产制造的。

### 3 结论

(1) 具有奇数边的正七边形和正九边形中空钎钢,相比较正六边形和正八边形具有更好的抗断裂和抗弯曲能力,有利于提高钎钢寿命。

(2) 通过数值模拟计算所得结果是合理的、符合标准和使用要求的,故使用滚动模拉拔的方法生产钎钢是完全可以实现的。另外用轧制等其他方法生产奇数边钎钢还有待于进一步研究。

奇数边中空钢在抗断裂提高钎钢寿命方面是有效的,而且生产制造可行,应该尽快纳入开发研究并投入实际生产。

### 参考文献

- 1 Tezcan Sekercioglu. Failure Study of Pneumatic Rock Drill Piston. Engineering Failure Analysis, 2006, 13(10): 1108
- 2 Beste U, Coronel E, Jacobson S. Wear Induced Material Modifications of Cemented Carbide Rock Drill Buttons. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2006, 24(1): 168
- 3 张国祥, 康红梅, 李川, 等. 试论我国中空钎钢的几何结构参数. 凿岩机械气动工具, 2003(2): 6
- 4 谢水生, 王祖唐. 金属塑性成形工步的有限元数值模拟. 北京: 冶金工业出版社, 1997

姜杰凤(1981-), 男, 硕士, 助教, 2007 年燕山大学毕业, 管材成型过程数值模拟的研究。

于恩林(1957-), 男, 教授, 博士生导师, 管材设备的设计开发及生产自动化等研究。

收稿日期: 2007-08-08

## 下 期 要 目

Nb 微合金化低碳贝氏体钢的再结晶和应变诱导析出 .....	易 敏等
化学成分对低牌号冷轧无取向电工钢铁损的影响 .....	李 晶等
高碱度高 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 炉渣下合金钢液中非金属夹杂物的行为 .....	陈 斌等
常化和退火对模拟 CSP 工艺生产无取向电工钢磁性能的影响 .....	孙 颖等
Nb 和热处理对 C-Mn-Si 系冷轧双相钢组织和性能的影响 .....	张增良等
50W600 冷轧无取向电工钢退火过程组织和织构取向的演变 .....	张红杰等