

ZDY12000LD型履带液压钻机机身立柱断裂分析

李 骏, 焉忠方, 路前海

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要: 钻机立柱是煤矿井下设备工作重要的承载部件,其性能直接影响整车工作的安全性和可靠性。通过建立立柱三维模型,对ZDY12000LD型定向钻机立柱的有限元分析,在最大起拔力下对立柱进行强度校核。将原立柱材料Q345钢改为Q550钢,显著提高了立柱的力学性能,立柱可承受的弯曲应力提高了43%,变形量减小4%,承载能力和安全可靠性能显著提高,增强了钻机运行的稳定性、安全性和可靠性。

关键词: 钻机立柱;有限元分析;断裂;起拔力

中图分类号: P634.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2021)S1-0339-04

Fracture analysis of fuselage column of ZDY12000LD crawler hydraulic drill

LI Jun, YAN Zhongfang, LU Qianhai

(China Coal Technology & Engineering Group Xi'an Research Institute, Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: The rig column is an important load-bearing part of downhole equipment. Its performance directly affects the safety and reliability of the whole vehicle. By establishing the three-dimensional model of the column, the mechanical analysis and finite element analysis of the column of ZDY12000LD directional drilling machine are carried out, and the strength of the column is checked under the maximum lifting force. The mechanical properties of the column are significantly improved by replacing the original column material Q345 steel with Q550 steel. The bending stress of the column is increased by 43%, the deformation is reduced by 4%, the bearing capacity and safety reliability are significantly improved, and the stability, safety and reliability of the rig operation are enhanced.

Key words: pillar; finite element; fracture; pulling force

0 引言

煤矿井下定向长钻孔是国内外瓦斯治理、水害防治和隐蔽致灾因素探查的最为直接有效的手段,是国内外瓦斯(煤层气)高效抽采主要技术途径,定向钻进技术装备为我国煤矿安全高效开采地质保障技术提供了重要的技术支撑^[1-2]。我公司自行研制的ZDY12000LD型煤矿用履带式全液压坑道钻机在淮南矿厂进行钻杆打捞时,立柱突然发生断裂(图1为现场立柱断裂图),严重影响钻机使用安全,因此对立柱设计参数进行有限元分析校核,并对原

材料进行分析优化具有重要意义。



图1 ZDY12000LD型钻机机身立柱断裂失效

收稿日期:2021-05-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.S1.056

作者简介:李骏,男,汉族,1991年生,助理研究员,工学硕士,主要从事钻探设备工艺的研究与开发工作,陕西省西安市锦业一路82号, hanslijun@163.com。

引用格式:李骏,焉忠方,路前海.ZDY12000LD型履带液压钻机机身立柱断裂分析[J].钻探工程,2021,48(S1):339-342.

LI Jun, YAN Zhongfang, LU Qianhai. Fracture analysis of fuselage column of ZDY12000LD crawler hydraulic drill[J]. Drilling Engineering, 2021,48(S1):339-342.

1 ZDY12000LD型煤矿用履带式全液压坑道钻机结构和功能

ZDY12000LD型煤矿用履带式全液压坑道钻机是集主机、泵站、操作台、防爆电脑、流量计、电磁起动柜、急停开关等于一体的中硬煤层大功率深孔定向钻机,ZDY12000LD型煤矿用履带式全液压坑道钻机主要适用于水平钻、大口径的坑道,利用液压力钻进,具有大扭矩、低转速的特点,是煤矿抽放瓦斯大口径通风孔以及巷道工程施工必不可少的技术工程装备^[3]。

钻机实物见图2,具体性能参数如表1所示。



图2 ZDY12000LD型大功率定向钻机装备

表1 钻机主要技术性能参数

参数	数值
额定转矩/Nm	12000/3000
额定转速/(r·min ⁻¹)	50/150
最大给进起拔力/kN	250
主轴通孔直径/mm	135
电动机功率/kW	132
主轴倾角/(°)	-10~20
外形尺寸/m	4.2×1.6×1.9

2 ZDY12000LD型钻机机身立柱断裂失效分析

在实际煤矿井下作业中,钻机在电机和大排量泥浆泵的液压驱动下实现给进起拔、回转器回转和夹持器的夹紧松开等动作。与此同时,钻机也承受着不同的反作用力,在这些力的影响下,机身结构和刚性也面临着巨大的挑战,在极端工况下如打捞被埋钻杆时,立柱受到较大的起拔力时会发生断裂,立柱被安装在车体平台上,并以抱瓦与给进装置机架相连接,立柱结构和实物如图3所示。当钻机开始进行工作后,立柱在整个机构中起着支撑和稳定机身的作用,承受着巨大的给进起拔力,可能会成为机

构中的薄弱环节,因此,立柱断裂失效分析对提高钻机运行的可靠性、安全性和稳定性有着重要意义。

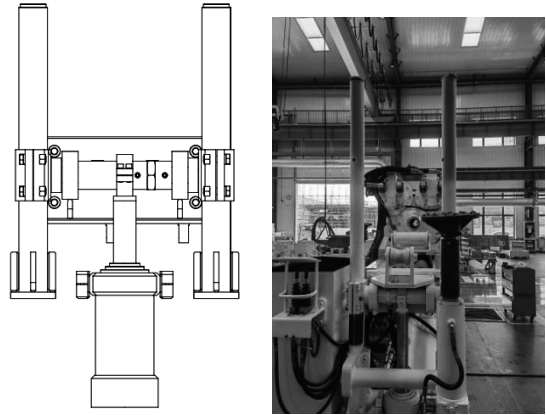


图3 立柱结构和实物

钻机立柱材料经不断地改进,最终采用低合金结构钢进行制造。传统的碳素结构钢和低合金结构钢相比,新的钢材生产工艺技术能使高强钢化学成分具有更高的洁净度,使高强钢具有细化的晶粒组织、良好的塑性和较高的机械强度。目前,国内外学者对高温下和过火后普通钢材力学性能的研究已经较为成熟,且提出了合理的本构模型与力学性能参数计算方法^[4-10]。

2.1 立柱力学分析

在实际工作中经常会遇到埋钻、卡钻等情况,在这种情况下,钻机起拔力的反作用力通过抱瓦作用在立柱成为主要作用力 F_s ,这是造成立柱断裂的主要原因。

立柱受到的起拔力如图4所示,对立柱进行力学强度理论分析:

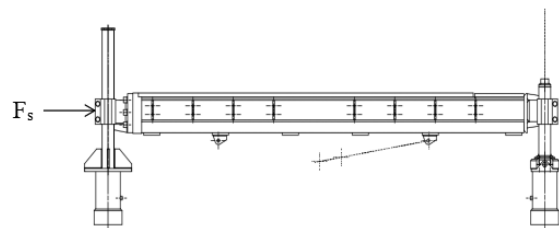


图4 立柱受力情况

立柱在最大弯曲正应力条件下的弯曲条件为:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma] \quad (1)$$

已知立柱的外径 D 和内径 d ,抱瓦中心距底面的距离 l ,将(1)式进行变换可得:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{F_s \cdot l}{\frac{\pi D^3}{32} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right]} \quad (2)$$

将具体数值代入式(2)可得:

$$\sigma_{\max} = 310 \text{ MPa}$$

式中: F_s ——钻机最大起拔力反作用力; W ——抗弯截面系数, mm^3 ; D ——立柱外径, mm ; d ——立柱内径, mm ; $[\sigma]$ ——许用应力, MPa 。其中: $F_s = 62500 \text{ N}$; $D = 88 \text{ mm}$; $d = 49 \text{ mm}$,

2.2 立柱有限元分析

通过对立柱进行有限元分析在设计最大起拔力下立柱的最大弯曲应力和应力变形,找出立柱在钻机工作中的薄弱点,通过改变立柱材料来提高立柱的力学性能。

ZDY12000LD立柱材料为Q345钢,安全系数 n 取1.5,则Q345钢的许用应力 $[\sigma] \approx 210 \text{ MPa}$ 。

2.2.1 立柱有限元分析步骤

立柱有限元分析步骤为:

- (1)创建立柱三维模型并导入;
- (2)创建20号钢模型材料并赋予;
- (3)设置立柱杆体、底座和筋板的连接方式;

(4)对立柱模型进行网格划分,杆体部分采用四面体,其余部分采用三角形,分辨率为5,跨角度中心为中等,选取平滑过渡;

(5)设置立柱模型静态结构参数,包含模型支撑面的选取;

(6)在抱瓦处施加沿水平 x 轴的径向起拔力 $F_s = 62500 \text{ N}$ (单根立柱);

(7)进行求解,结果云图见图5。

2.2.2 立柱有限元结果分析

(1)立柱在起拔力 F_s 的作用下的最大变形发生在立柱 z 轴最高点处,变形量沿 z 轴数值减小而降低,最大总变形为7.51 mm;

(2)立柱在起拔力 F_s 的作用下的最大弯曲应力发生在立柱与筋板焊接处,最大应力为 $\sigma = 251 \text{ MPa}$ 。

2.2.3 分析与改进

通过模拟立柱在最大起拔力下的最大应力,得到最大应力为 $\sigma_1 = 251 \text{ MPa} > [\sigma] = 210 \text{ MPa}$,考虑

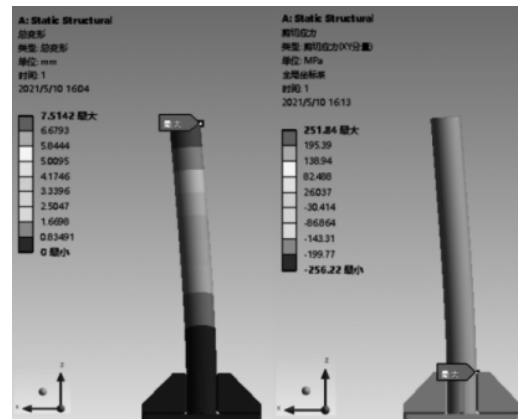


图5 Q345立柱总变形和应力云图

到立柱在加工当中筋板与立柱杆体采用焊接的方式,Q345钢的性能无法达到安全系数要求的力学性能参数值。为了提高钻机在给进起拔的承载能力和安全性,将立柱材料改为Q550钢,安全系数 n 取1.5,则Q550钢的许用应力 $[\sigma] \approx 370 \text{ MPa}$ 。对Q550钢立柱进行有限元分析,从得到的云图6可知:(1)立柱在起拔力 F_s 的作用下的最大变形发生在立柱 z 轴最高点处,变形量沿 z 轴数值减小而降低,最大总变形为7.23 mm;(2)立柱在起拔力 F_s 的作用下的最大弯曲应力发生在立柱与筋板焊接处,最大应力为 $\sigma_2 = 249.05 \text{ MPa}$ 。

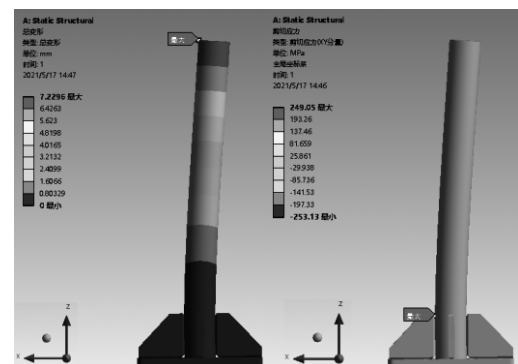


图6 Q550立柱总变形和应力云图

Q550钢最大应力为 $\sigma_1 = 249.05 \text{ MPa} < [\sigma] = 370 \text{ MPa}$,在立柱材料改为Q550钢后,立柱可承受的弯曲应力提高了43%,变形量减小4%,满足ZDY12000LD型钻机立柱安全系数要求,提高了立柱承载能力和安全可靠。

3 结语

ZDY12000LD型钻机立柱作为钻探设备工作时的受力承载件,在井下钻进作业时起着十分重要的作用。通过对立柱的力学分析、有限元分析,原本使用的立柱材料Q345钢的力学性能一般,在极端条件下有可能发生立柱断裂,危害工作安全,将材料更换为Q550钢,显著提高了立柱的力学性能,立柱可承受的弯曲应力提高了43%,变形量减小4%,承载能力和安全可靠显著提高,在更换材料后,再没有发生钻机立柱断裂等问题。

参考文献:

- [1] 石智军,胡少韵,姚宁平,等.煤矿井下瓦斯抽采(放)钻孔施工新技术[M].北京:煤炭工业出版社,2008:1-7.
- [2] 石智军,董书宁,姚宁平,等.煤矿井下近水平随钻测量定向钻进技术与装备[J].煤炭科学技术,2013,41(3):1-6.
- [3] 石智军,李泉新,姚克.煤矿井下智能化定向钻探发展路径与关键技术分析[J].煤炭学报,2020,45(6):2217-2224.
- [4] 丁发兴,余志武,温海林.高温后Q235钢材力学性能试验研究[J].建筑材料学报,2006,9(2):245-249.
- [5] 张有桔,朱跃,赵升,等.高温后不同冷却条件下钢材力学性能试验研究[J].结构工程师,2009,25(5):108-113.
- [6] 陈建锋,曹平周.高温后结构钢力学性能试验[J].解放军理工大学:自然科学版,2010,11(3):328-333.
- [7] 李国强,陈凯,蒋首超,等.高温下Q345钢的材料性能试验研究[J].建筑结构2001,31(1):53-55.
- [8] 屈立军,李焕群.Q420钢材高温强度试验研究[J].消防科学与技术,2004,23(3):223-225.
- [9] Outinen J, Maekelaenen P. Mechanical properties of structural steel at elevated temperatures[C]// Proceedings of the 3rd International Conference on Advances in Steel Structures. Hong Kong, China, 2002:1103-1110.
- [10] Outinen J, Mäkeläinen P. Mechanical properties of structural steel at elevated temperatures and after cooling down[J]. Fire & Materials, 2004, 28(2/3/4):237-251.