

全液压轻型岩心钻机主塔结构设计分析

杨凯杰, 白祖卫, 党晓龙

(陕西西探地质装备有限公司, 陕西 西安 710089)

摘要:主塔作为钻机中重要的组成部分,为钻机在给进过程中提供支撑、给进导轨、定位等,必须具有足够的承载能力、强度、刚度、整体稳定性和必要的操作使用空间。介绍了 XDQ - 1200 型全液压轻型岩心钻机主塔采用铝合金结构的受力分析。

关键词:钻塔;有限元分析;全液压轻型岩心钻机

中图分类号: P634.3⁴ **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 - 7428(2015)09 - 0053 - 05

Analysis on Main Tower Structure Design of Light Full Hydraulic Core Drill/YANG Kai-jie, BAI Zu-wei, DANG Xi-ao-long (Shaanxi Xitan Geological Equipment Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710089, China)

Abstract: As an important part of drilling rig, the main tower provides support, feeding guide rail and positioning in the feeding process, it must has sufficient bearing capacity, stiffness, strength, integral stability and necessary operation space. This paper introduces the mechanics analysis on aluminum alloy structure used for the main tower of XDQ - 1200 light full hydraulic core drill.

Key words: drill tower; finite element analysis; light full hydraulic core drill

0 前言

矿产资源是人类重要的生产资料,是人类社会赖以生存和继续发展的基本保证和物质基础,一个国家自身的资源越丰富,对经济发展的保障越高。在 20 世纪末,我国依靠国内丰富的浅层矿产资源,成功的实现了第一个“GDP 翻两番”的经济目标。但随着经济不断的发展及人口的持续性增长,对煤、石油、天然气、铁、铜等矿产资源的急剧增加,使矿产资源与社会经济发展的矛盾日益突出。目前,国外固体矿产勘探开采深度已突破 2000 m,随着我国矿产开采的力度不断加强,地表、浅层、易识别的矿产越来越少,矿产的可采储量显著下降,难以满足现代化生产的需要,严重制约着经济的发展。目前我国的岩心钻探设备仍多以 20 世纪 70 年代立轴钻机和少部分全液压钻机为主,该钻机体积庞大,质量大,不宜搬迁,极不适合丘陵和山区地带。为此,我公司针对这一难题,设计出了 XDQ - 1200 型全液压轻型岩心钻机,并在陕西省紫阳县六合地区成功探得一钛磁铁矿。

XDQ - 1200 型全液压轻型岩心钻机专门针对山区丘陵地带固体矿藏地表取心作业而设计,它具有如下一些特点:(1)模块化设计,单个模块不大于 200 kg,便于搬迁;(2)研发了定压随钻控制系统,可

自动设定恒压钻进,提高钻进效率,保证成孔质量;(3)采用直动式负载反馈微调变量液压系统,功率随负载变化,高效率,低能耗(该系统已在我公司各种系列钻机上得到成功应用)。该钻机适用于金刚石绳索取心等多种钻探工艺,适用于地质、冶金、煤炭、石油、天然气、地下水等行业。钻机的整体情况见图 1,施工情况见图 2。本文主要就该钻机主塔的受力情况进行分析。

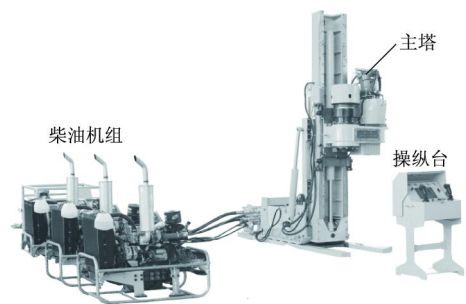


图 1 钻机整体

1 主塔设计

主塔作为钻机的主要部分之一,其在深孔施工中要有足够的承载力,不但要有足够的强度,还要有足够的刚度。同时,为了提高起下钻的效率,还要求钻塔有合理的高度,以减少辅助时间;钻塔结构要

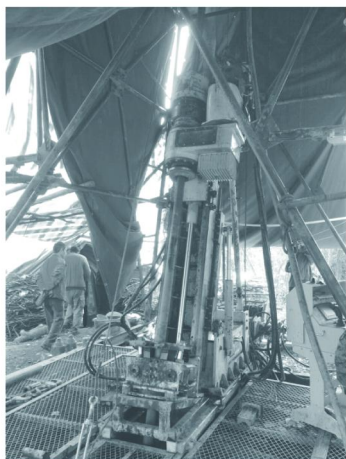


图2 在陕西省紫阳县六合钛磁铁矿施工中

轻便,便于山区搬迁。据此根据 1200 m 的钻进深度,确保提升力 11 kN,所以主塔体选择力学性能和焊接性能比较好的铝合金 5052 焊接而成。导轨选择 45 钢调制,用螺栓固定在主塔体上(参见图 3)。

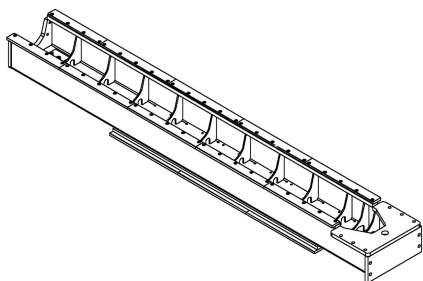


图3 主塔结构示意图

主塔体 XQ12-03-01-00 采用 8 mm 铝合金板折弯成一方开口的方形结构(1),开口面朝钻机前方,内部由 8 mm 的筋板(6,8,9)、上下各两个 25 mm 的导轨衬板(2,5)和端面 30 mm 的封板拼焊而成。该主塔总长 3000 mm,配备 1500 mm 钻杆。参见图 4、表 1。

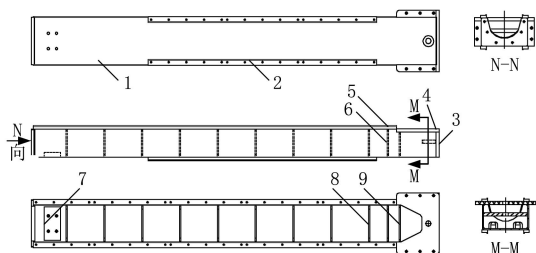


图4 主塔体结构(XQ12-03-01-00)

2 有限元分析

静力分析是工程结构设计人员使用最为频繁的分析手段,主要用来求解结构在与时间无关或时间

表1 主塔体 XQ12-03-01-00 明细

序号	代号	名称	材料	数量
1	XQ12-03-01-01	弯板	5052	1
2	XQ12-03-01-02	衬板 A	5052	2
3	XQ12-03-01-03	板 C	5052	1
4	XQ12-03-01-04	板 A	5052	1
5	XQ12-03-01-05	衬板 B	5052	2
6	XQ12-03-01-06	筋板 C	5052	1
7	XQ12-03-01-07	衬板 C	5052	1
8	XQ12-03-01-08	筋板 A	5052	9
9	XQ12-03-01-09	筋板 B	5052	1
10	XQ12-03-01-10	板 B	5052	1
11	XQ12-03-01-11	板 D	5052	1

作用效果可忽略的静力载荷(如集中载荷、分布载荷、温度载荷、强制位移、惯性载荷等)作用下的响应,得出所需的节点位移、节点力、约束反力、单元内力、单元应力、应变能等。该分析同时还提供结构的重力和重心数据。NX Nastran 支持全范围的材料模式,包括:均质各向同性材料,正交各向异性材料,随温度变化的材料等。

(1)具有惯性释放的静力分析:考虑结构的惯性作用,可计算无约束自由结构在静力载荷和加速度作用下产生的准静态响应。

(2)非线性静力分析:在静力分析中同时可以考虑结构的非线性特性。主要包括几何非线性(大变形、大应变、大转动),材料非线性(如塑性、蠕变),接触非线性等(非线性静力分析需非线性模块的支持)。

如图 5 所示,建立该主塔的三维实体模型,并对其进行结构静力分析。

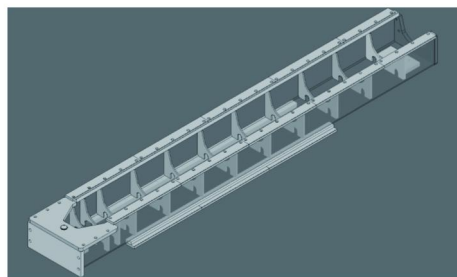


图5 主塔三维模型示意图(XQ12-03-00)

2.1 算例属性(静力分析)(见表 2)

表2 算例属性

算例名称	算例 1	算例名称	算例 1	算例名称	算例 1
分析类型	Static	平面内效果	关闭	热力效果	关闭
网格类型	实体网格	软弹簧	关闭	零应变温度	298.000000
解算器类型	FFEPlus	惯性卸除	关闭	单位	Kelvin

2.2 计算结果单位(见表 3)

表 3 计算单位

单位系统	公制	单位系统	公制
长度/位移	mm	角速度	rad/s
温度	Kelvin	应力/压力	N/m ²

2.3 材料的选取

我国的立轴钻机和全液压钻机的主塔主要以 Q235 为主,部分结构采用 45 钢。下面我们对几种铝合金、Q235 和 45 钢的性能进行一下对比(见表 4)。

表 4 材料对比

材料名称	弹性模量/(N·m ⁻²)	泊松比	质量密度/(kg·m ⁻³)	抗剪模量/(N·m ⁻²)	张力强度/(N·m ⁻²)	屈服强度/(N·m ⁻²)
Q235-A	2.12E+11	0.288	7.86E+03	8.23E+10	3.90E+08	2.35E+08
Q235-B	2.10E+11	0.274	7.83E+03	8.24E+10	3.90E+08	2.35E+08
45	2.09E+11	0.269	7.89E+03	8.23E+10	6.00E+08	3.55E+08
6061-T4	6.90E+10	0.330	2.70E+03	2.60E+10	2.40E+08	2.28E+08
6061-T6	6.90E+10	0.330	2.70E+03	2.60E+10	3.10E+08	2.75E+08
6063-O	6.90E+10	0.330	2.70E+03	2.58E+10	9.00E+07	5.00E+07
5052-O	7.00E+10	0.330	2.68E+03	2.59E+10	1.95E+08	9.00E+07
5052-O	7.00E+10	0.330	2.68E+03	2.59E+10	1.95E+08	7.24E+07
5052-H32	7.00E+10	0.330	2.68E+03	2.59E+10	2.30E+08	1.95E+08
5052-H34	7.00E+10	0.330	2.68E+03	2.59E+10	2.60E+08	2.15E+08
5052-H36	7.00E+10	0.330	2.68E+03	2.59E+10	2.75E+08	2.40E+08
5052-H38	7.00E+10	0.330	2.68E+03	2.59E+10	2.90E+08	2.55E+08
3004-H34	6.89E+10	0.350	2.72E+03	2.50E+10	2.41E+08	2.00E+08
3004-O	6.89E+10	0.350	2.72E+03	2.50E+10	1.79E+08	6.90E+07

通过查询机械设计手册、国外材料手册和航空铝合金手册,最终我们选择了主塔体采用铝合金 5052 系列中的一种,其性能完全可以达到 Q235 性能,并且焊接性能良好。其性能如表 5 所示。

表 5 5052 材料属性

属性名称	数值	单位	数值类型
弹性模量	7E+010	N/m ²	恒定
泊松比	0.33	NA	恒定
抗剪模量	2.59E+010	N/m ²	恒定
质量密度	2680	kg/m ³	恒定
张力强度	2.9E+008	N/m ²	恒定
屈服强度	2.55E+008	N/m ²	恒定
热扩张系数	2.38E-005	/Kelvin	恒定
热导率	137	W/(m·K)	恒定
比热	880	J/(kg·K)	恒定

导轨采用常规材料 45 钢,调质后使用。其原始材料性能如表 6 所示。

表 7 为主塔各部件选取材料。

表 6 45 钢材料属性

属性名称	数值	单位	数值类型
弹性模量	2.09E+011	N/m ²	恒定
泊松比	0.269	NA	恒定
抗剪模量	8.23E+010	N/m ²	恒定
质量密度	7850	kg/m ³	恒定
张力强度	6.5E+009	N/m ²	恒定
屈服强度	3.6E+008	N/m ²	恒定
热扩张系数	1.7E-005	/Kelvin	恒定
热导率	44.5	W/(m·K)	恒定
比热	475	J/(kg·K)	恒定

表 7 主塔各部件材料选取

号数	实体名称	材料	质量/kg	体积/m ³
1	弯板	5052	45.150500	0.016722400
2	板 A	5052	6.080690	0.002252110
3	板 B	5052	2.098800	0.000777334
4	板 C	5052	5.277290	0.001954550
5	板 D	5052	2.587570	0.000958360
6	筋板 B	5052	0.574038	0.000212607
7	筋板 C	5052	0.605209	0.000224151
8	筋板	5052	0.666769	0.000246951
9	筋板	5052	0.666769	0.000246951
10	筋板	5052	0.666769	0.000246951
11	筋板	5052	0.666769	0.000246951
12	筋板	5052	0.666769	0.000246951
13	筋板	5052	0.666769	0.000246951
14	筋板	5052	0.666769	0.000246951
15	筋板	5052	0.666769	0.000246951
16	筋板	5052	0.666769	0.000246951
17	衬板 A	5052	3.846660	0.001424690
18	衬板 A	5052	3.846660	0.001424690
19	衬板 B	5052	6.112620	0.002263930
20	衬板 B	5052	6.112620	0.002263930
21	导轨	45 钢	4.301710	0.000547988
22	导轨	45 钢	4.301710	0.000547988
23	导轨	45 钢	4.301710	0.000547988
24	导轨	45 钢	4.301710	0.000547988
25	导轨	45 钢	4.301710	0.000547988
26	导轨	45 钢	4.301710	0.000547988
27	导轨	45 钢	4.301710	0.000547988
28	导轨	45 钢	4.301710	0.000547988
29	导轨	45 钢	4.301710	0.000547988
30	导轨	45 钢	4.301710	0.000547988
31	导轨	45 钢	4.301710	0.000547988
32	导轨	45 钢	4.301710	0.000547988
33	导轨	45 钢	4.301710	0.000547988
34	导轨	45 钢	4.301710	0.000547988
35	小导轨	45 钢	3.300790	0.000420483
36	小导轨	45 钢	3.300790	0.000420483

2.4 载荷和约束

2.4.1 夹具

根据钻机在工作状态中的实际情况选取其约束如表8、图6所示。

表8 主塔的约束

约束名称	选择组	约束名称	选择组
主塔体-1	固定	导轨-5	固定
板 C_1-1	固定	导轨-1	固定
导轨-7	固定	导轨-2	固定

2.4.2 施加外载荷

额定载荷的施加根据钻机的工作状况,在动力头在钻塔的最高点提升力为110 kN时主塔受力最大,通过计算受力大小如表9、图7所示。

表9 主塔施加的载荷

载荷名称	选择组	装载类型
力-1(小导轨-2, 小导轨-1)	应用法力 7.3206E+005 N	按序装载
力-2(导轨-12, 导轨-9)	应用法力 7.3206E+005 N	按序装载

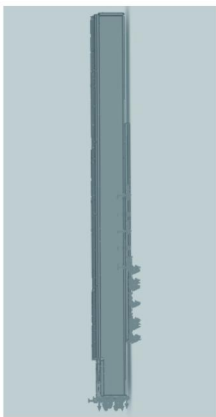


图6 主塔的约束

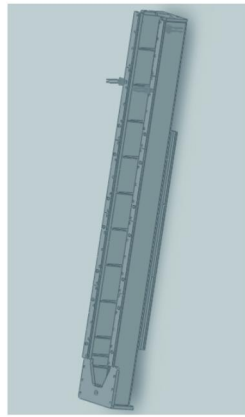


图7 主塔施加的载荷

2.4.3 作用力

在施加载荷后主塔所受的作用力如表10和螺栓的受力如表11。

表10 作用力

选择组	反作用力/N	自由实体力/N	自由体力矩/(N·m)
总和 X	-0.1445310	0.6392520	0
总和 Y	-0.0214844	-0.0270386	0
总和 Z	0.0156250	0.7016600	0
合力	0.1469520	0.9495790	1E-033

表11 螺栓力

类型	抗剪力/N	轴心力/N	折弯动量/(N·m)
X-分量	408.4000	2.7755	-0.373280
Y-分量	45.9740	-3.3755	5.031000
Z-分量	2.6355	-371.2300	-0.048566
合力	410.9900	371.2600	5.045100

2.5 网格划分

分网格是建立有限元模型的一个重要环节,它要求考虑的问题较多,需要的工作量较大,所划分的网格形式对计算精度和计算规模将产生直接影响。

在静力分析时,如果仅仅是计算结构的变形,网格数量可以少一些。如果需要计算应力,则在精度要求相同的情况下应取相对较多的网格。同样在响应计算中,计算应力响应所取的网格数应比计算位移响应多。参见表12和图8。

表12 网格信息

项目	参数	项目	参数
网格类型	实体网格	单元大小	34.595 mm
所用网格器	标准网格	公差	1.7298 mm
自动过渡	关闭	品质	高
光滑表面	打开	单元数	62452
雅可比检查	4 Points	节数	113150

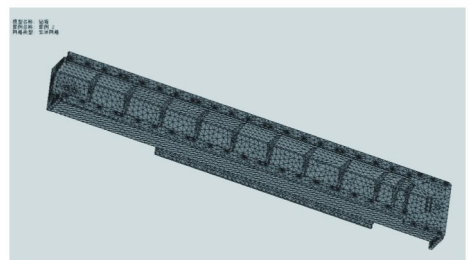


图8 主塔体划分网格示意图(XQ12-03-01-00)

2.6 求解(参见表13,图9~11)

表13 计算结果

名称	类型	最小	最大
应力	应力	3226.32 N/m ²	2.08237E+009 N/m ²
位移	位移	0 mm	42.4067 mm
应变1	对等应变	1.66329E-008	0.0155421

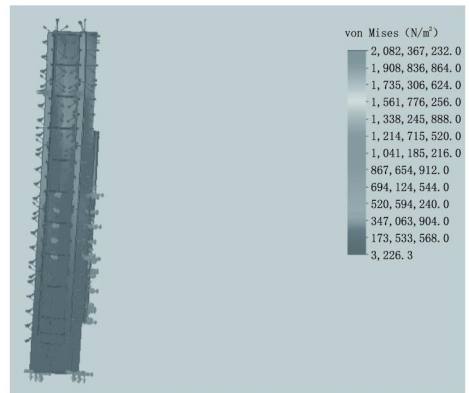


图9 主塔应力图

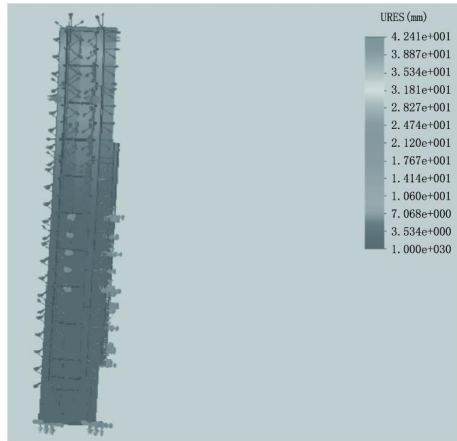


图 10 主塔位移变形图

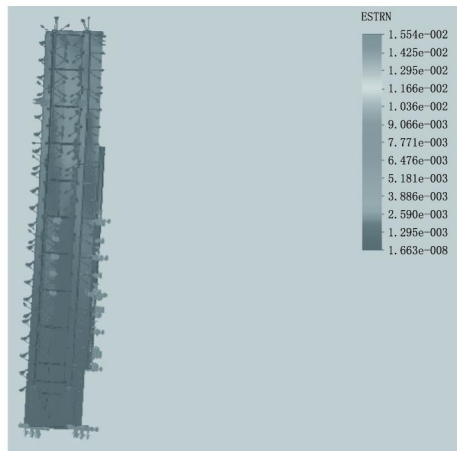


图 11 主塔应变图

3 结论

根据以上的有限元分析、理论分析以及工程实例验证,在 110 kN 起拔力的载荷下主塔强度刚度均满足安全使用要求,关键部位焊缝强度储备充足。

主塔结构设计合理性、安全性得到了验证。此外,从本文图 9 可看出,主塔的刚度和质量分布均匀,受力平衡,没有明显的薄弱部位和过剩部位。我厂的 XDQ-1200 轻型钻机已生产并投入了使用,客户从 2014 年 6 月购机,并在陕西省安康市紫阳钛磁铁矿钻探使用,单孔最大钻深 536.1 m,其间反馈使用正常,经过实际使用验证,钻机主塔布局合理,性能优良,可靠性高,钻探工艺适应性强,因此选用铝合金 5052 作为主塔体的材料是合理可行的。这使得主塔的质量减轻了 2/3,大大降低了主塔的质量,解决了我国丘陵和山区地带矿藏的勘探设备体积大,质量重,搬迁困难的难题,极大地降低了搬迁成本。给我们开发丘陵山区地带矿藏又增添了一把利器。

参考文献:

- [1] 冯德强. 钻机设计[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,1992.
- [2] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,1993.
- [3] 闻帮椿. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,1993.
- [4] 安继儒. 中外常用金属材料手册[M]. 陕西西安:西安交通大学出版社,1992.
- [5] 江苏省冶金研究所. 铜铝材国内外标准汇编[M]. 江苏南京:1987.
- [6] 刘玉娟,丁家庆,等. SMJ5540TZJ15/800Y 煤层汽车载钻机井架结构有限元分析[J]. 煤矿机械,2010,31(1):97-99.
- [7] 郑峰. 铝与铝合金速查手册[M]. 北京:化学工业出版社,2008.
- [8] 张士林,任颂赞. 简明铝合金手册[M]. 上海:上海科学技术文献出版社,2006.
- [9] 李斌,崔鹤田,马红月,等. K45 米钻机井架额载工况下的受力与模态分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):51-55,70.