

车装钻机井架结构设计

朱小平

(西安石油学院)

摘要: 以结构有限元分析为基础,利用优化技术,以耗用结构型钢最少为目标,探讨车装钻机井架的合理结构形式。用 ZJ20 钻机井架为例进行计算,结果表明:井架结构布置方式对型钢耗用有较大的影响,采用合理的结构形式,可比现有井架节约型钢 40% 左右;井架前倾角的大小影响到井架的承载能力,为满足承载要求,前倾角小于 6° 为宜;井架所用型钢较合理的选择是:腿杆是冷弯矩形空心型钢,横斜杆用热轧等边角钢。

关键词: 井架; 车装钻机; 优化设计; 结构; 优化

中图分类号: TE 823 文献标识码: A 文章编号: 1006-768X(2003)02-046-04

车装钻机(自走式钻机)由于具有运移性好、结构紧凑、安装简便的特点,在小井眼钻井、浅层气和煤层气钻井中具有广阔的应用前景。车装钻机井架是车装钻机的主要结构件,直接安装在自走式车底盘上,随车一起运移。井架的重量对车装钻机的运移性和越野性及自走底盘的承载能力影响较大。本文以结构有限元分析为基础,利用优化技术,讨论车装钻机井架结构的合理设计问题,探寻在保证承载能力的条件下,使井架重量最轻的井架结构形式。

工作特性和安装运移性的限制,调整的余地不大,故不作为设计变量。

井架优化计算数学模型

1. 设计变量和目标函数

车装钻机井架一般为两节套装、可伸缩、前开口、矩形截面钢结构,主要组成构件可分为大腿构件(弦杆)、横拉和斜拉构件(腹杆)。为了便于分析,将构件间的连接点作为节点,两节点间的一段构件称为杆件,井架由腿杆、横杆、背斜杆和侧斜杆等杆件组成(图 1)。

本文把确定井架结构形式的参数作为设计变量,主要有: N_d , 井架下体大腿构件上的节点数; N_u , 井架上体大腿构件上的节点数; $H_{d(i)}$, 井架下体大腿构件上第 i 个节点到井架底面的距离, m; $H_{u(i)}$, 井架上体大腿构件上第 i 个节点到井架底面的距离, m; k_1 , 腿杆数目(不独立); k_2 , 横杆数目; k_3 , 背斜杆数目; k_4 , 侧斜杆数目; N_k , 第 k 类杆件所用型钢的型号。在选定型钢的型号后,可通过数据库迅速查出相应型钢的截面积、主惯性矩、抗弯截面模量等参数。井架总高、截面长宽、上下体长度等参数受井架

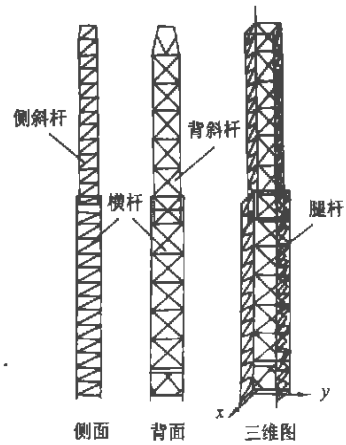


图 1 原井架结构示意图

将井架结构模型放在直角坐标系中(如图 1),可计算出井架各节点的空间坐标,任一杆件的长度利用空间两点距离公式算出。井架结构优化的目标函数为:

$$G = g_1 \sum_{n=1}^{k_1} L_{1n} + g_2 \sum_{r=1}^{k_2} L_{2r} + g_3 \sum_{s=1}^{k_3} L_{3s} + g_4 \sum_{t=1}^{k_4} L_{4t} \quad (1)$$

式中: g_i —第 i 类型钢的单位长度重量, kg/m ($i=1, 2, 3, 4$);

L_{kj} —第 k 类杆件第 j 号杆的长度, m ($k=1, 2, 3, 4$) ($j=n, r, s, t$)。

2 约束条件

2.1 几何约束

收稿日期: 2002-09-23

作者简介: 朱小平(1953-), 教授, 1984 年石油大学(北京)石油机械工程专业, 获工学硕士学位, 现从事机械工程及自动化的教学和科研工作。地址: (710065) 西安市电子二路东段 18 号西安石油学院 23 号楼 501 室, 电话: (029) 8383119。

几何约束主要是大腿构件上的节点高度约束,各节点高度应为递增关系且最大值不能大于规定长度。可表示为:

$$0 \leq H_{d(i)} < H_{d(i+1)} \leq H_{d0} \quad (i=1, 2, \dots, N_d-1) \quad (2)$$

$$H_{d0} - L_0 \leq H_{u(j)} < H_{u(j+1)} \leq H_0 \quad (j=1, 2, \dots, N_u-1) \quad (3)$$

其中: H_{d0} —井架下体长度, m; L_0 —井架处于工作位置上、下体重合长度, m; H_0 —井架处于工作位置时的总高度, m。

2.2 承载能力约束

2.2.1 对井架承载能力的要求

根据 SY 5077-85, 带绷绳的桅形井架一般应具备以下 3 种载荷工况的承载能力^[1]:

(1) 工作状态。包括井架恒载、最大钩载、工作绳作用力、绷绳载荷。

(2) 非工作状态。包括井架恒载、立根水平分力、风速为 30.9 m/s 的风载、绷绳载荷。

(3) 安装状态。包括井架恒载、起放时油缸对井架的作用力。

在以上载荷组合中, 根据有限元分析的特点, 将绷绳载荷作为边界条件处理, 用具有一定弹性模量的线性单元表示。在进行有限分析时, 井架所带的扶梯、栏杆、二层台等附件对承载能力的影响较小, 忽略不计。

2.2.2 强度刚度约束

用有限元计算出各节点的位移和各单元的应力后, 强度和刚度约束分别表示为:

$$|\delta|_{\max} \leq [\delta] \quad (4)$$

$$|\sigma|_{\max} \leq [\sigma] \quad (5)$$

式中: $|\delta|_{\max}$ —井架中节点最大位移的绝对值, mm; $[\delta]$ —井架允许位移值, mm; $|\sigma|_{\max}$ —井架中单元最大应力的绝对值, MPa; $[\sigma]$ —井架所用材料的许用应力, MPa。

2.2.3 稳定性约束

局部稳定性约束用 API Spec 4E 推荐的受压弯作用构件的稳定性计算公式进行计算^[2]:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{8.5f_{bx}}{(1-f_a/F_{Ex})F_{bx}} + \frac{8.5f_{by}}{(1-f_a/F_{Ey})F_{by}} \leq 1.0 \quad (6)$$

$$\frac{f_a}{0.6F_s} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (7)$$

式中: f_a —杆件在计算截面处的压应力, MPa;

F_a —只有轴向力作用时的允许轴向压应力, MPa;

F_s —材料的屈服应力, MPa;

f_{bx} 、 f_{by} —分别为杆件在计算截面处绕 x 轴和 y 轴的弯曲应力, MPa;

F_{bx} 、 F_{by} —分别为杆件只受弯矩时绕 x 轴和 y 轴的允许弯曲应力, MPa;

F_{Ex} 、 F_{Ey} —分别为考虑了安全系数的绕 x 轴和 y 轴的欧拉临界应力, MPa。

整体稳定性约束, 考虑到桅形井架通常倾斜一定角度, 且最大钩载对整体稳定性影响最大, 采用偏心压杆稳定性公式进行计算^[2]:

$$\frac{N}{\Psi C A [\sigma]} + \frac{a_x M_x}{W_x [\sigma]} + \frac{a_y M_y}{W_y [\sigma]} \leq 1.0 \quad (8)$$

式中: N —结构所受的轴向压力, N;

a_x 、 a_y —分别为绕 x 轴和 y 轴的弯矩系数;

M_x 、 M_y —分别为结构端部绕 x 轴和 y 轴的弯矩, N·mm;

W_x 、 W_y —分别为结构对 x 轴和 y 轴的抗弯截面模量, mm³;

A —结构横截面所截各弦杆截面积之和, mm²;

Ψ —稳定性修正系数;

φ —压杆稳定系数, 可根据材料和折算长细比 λ_z 查表求出^[2]。

$$\lambda_z = \sqrt{\lambda^2 + 40A/A_d} \quad (9)$$

式中: λ —结构按单一实体杆考虑的长细比;

A_d —结构横截面所截垂直于弱轴各斜杆截面积之和, mm²。

井架结构优化问题归结为: 在式(2)~式(9)的约束下, 求式(1)的最小值问题。

算例及讨论

1. 计算实例

以某厂生产的 ZJ20 钻机井架为例进行计算。井架有效高度 31.5 m; 井架上、下体横截面尺寸分别为 1.8 m × 1.05 m、1.81 m × 1.06 m; 最大钩载 2 000 kN; 立根容量 2 000 m; 承受风速为 30.9 m/s 的风载; 6 根绷绳, 4 根从井架顶部到地面, 2 根从 18 m 处到地面; 井架前倾 3.5°。

经反复迭代计算, 得出图 2 所示的结构形式。其特点是, 前开口, 背面每隔 2.4 m 布置一根横杆和一根斜杆, 斜杆首尾相接与腿杆构成三角形稳定结构。侧面除顶、底部和上下体重合部分外, 不用横杆, 每隔 1.2 m 布置一根斜杆, 斜杆首尾相接, 减少了横杆引起的附加拉力, 简化结构。型钢全部采用结构用冷弯矩形空心型钢(GB6728-86)^[3]。腿杆 160

×80×6(长×宽×壁厚, mm); 横杆 90×50×6; 背斜杆 80×40×4; 侧斜杆 60×40×3。材料为 16Mn, 许用应力 $[\sigma] = 230 \text{ MPa}$; 结构允许位移 $[\delta] = 20 \text{ mm}$ 。

在载荷作用下, 计算得出井架最大应力 $|\sigma|_{\max} = 115.5 \text{ MPa}$; 最大位移 $|\delta|_{\max} = 11.35 \text{ mm}$; 局部稳定性和整体稳定性均满足要求。井架所用型钢总质量 4 017.87 kg, 比原井架所用型钢总重量减少 40%左右。

2. 井架前倾角对承载能力的影响

车装钻机桅形井架为保证足够的钻台工作面积, 一般工作时都前倾一定角度。前倾角越大, 钻台工作面积越大, 但过大的前倾角会大大降低井架的承载能力。本文以图 2 所示井架结构, 保持上述型钢和载荷条件不变, 改变前倾角进行对比计算, 结果

如表 1 所示。

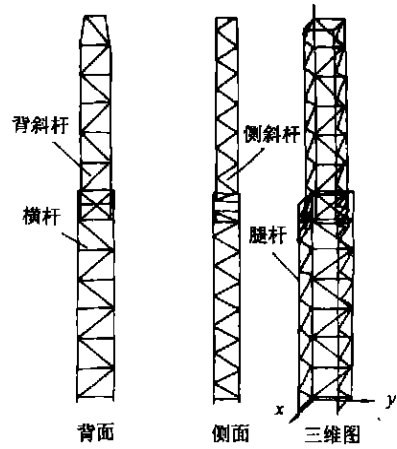


图 2 优化所得井架结构示意图

表 1 井架前倾角对承载能力的影响

前倾角/ $^{\circ}$	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7
最大位移/mm	10.24	11.35	12.45	13.9	14.6	16.8	18.9	22.12
最大应力/MPa	101.2	115.8	125.6	139.8	148.5	164.2	182.1	210.4
局部稳定性	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	不满足
整体稳定性	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足
绷绳拉力/kN	668.1	680.2	691.5	698.1	720.4	722.3	742.7	751.3

由表 1 数据可见, 前倾角在 7° 以上, 井架的刚度不满足要求(节点位移大于 20 mm), 且局部稳定性也不满足要求。若井架材料选用 Q235($[\sigma] = 170 \text{ MPa}$), 在前倾角大于 5.5° 后, 井架的强度条件不满足。所以在车装钻机井架中, 前倾角小于 6° 为宜。另外, 随着前倾角的增大, 井架顶部绷绳拉力增大, 绷绳的强度应引起足够的重视, 不要因绷绳的失效影响井架承载能力。

3. 井架型钢的选用

对于同样的空间杆件布置形式, 选用不同的型钢井架的承载能力不同。不同的型钢单位重量的价格不同, 对井架材料成本会有一定影响。为此, 用图 2 所示的井架结构形式和前述的载荷条件, 前倾角为 3.5° , 选用不同的型钢进行计算, 结果如表 2 所

示。表中, 型钢 A 全部采用冷弯矩形空心型钢, 各杆尺寸与前述相同; 型钢 B 全部采用热轧等边角钢 (GB9787-88)^[3], 腿杆 160×160×10, 横杆 80×80×6, 背斜杆 70×70×5, 侧斜杆 70×70×4; 型钢 C 腿杆用冷弯矩形空心型钢 160×80×6, 其余杆件用热轧等边角钢, 尺寸与型钢相同; 型钢 D 腿杆用热轧 H 型钢(GB11263-89)^[3], 型号为 HK120a, 其余杆件用热轧等边角钢, 尺寸与型钢 B 相同; 型钢 E 腿杆用冷拔无缝矩形钢管(GB3094-82)^[3], 型号为 160×65×8, 其余杆件用热轧等边角钢, 尺寸与型钢 B 相同; 型钢 F 全部采用热轧结构用无缝钢管(GB8162-87)^[3], 腿杆 102×8.5(外径×壁厚, mm), 横杆 70×4.6, 背斜杆 57×4, 侧斜杆 50×4。

表 2 型钢选用对比

型 钢	型钢 A	型钢 B	型钢 C	型钢 D	型钢 E	型钢 F
最大位移/mm	11.35	10.02	11.64	12.16	9.45	12.12
最大应力/MPa	115.8	90.22	102.18	112.14	98.7	110.7
局部稳定性	满足	满足	满足	满足	满足	满足
整体稳定性	满足	满足	满足	满足	满足	满足
型钢总质量/kg	4017.87	4120.44	3986.86	3872.05	4617.93	3847.2

可见,不同的型钢组合,在总质量相差不多的情况下,承载能力变化不大。型钢 F 全部采用热轧结构用无缝钢管,总质量最小,但圆管焊接成本高,且井架上体在下体中滑动时为线接触,不是理想的选择。型钢 D 腿杆用 H 型钢,其余杆件用热轧等边角钢,总质量较小,但 H 型钢也不太适合井架上下体的相对滑动。型钢 C 腿杆用冷弯矩形空心型钢,其余杆件用热轧等边角钢,总质量较小,热轧等边角钢单位重量的价格较低,可比采用型钢 A 的成本更低,同时井架下体在上体中滑动的接触面大,是较合理的选择。

结 论

(1) 车装钻机井架杆件的合理布置,能在满足承载能力要求的条件下,减轻结构型钢的质量。计算

表明,可使井架结构型钢总质量减轻 40% 左右。

(2) 车装钻机井架前倾角对承载能力有较大影响,在井架结构和型钢选用一定的情况下,随着前倾角的增大,井架承载能力下降。计算表明,前倾角应小于 6° 为好。

(3) 车装钻机井架所用型钢较合理的选择是,腿杆用冷弯矩形空心型钢,横斜杆用热轧等边角钢,可使成本较低,同时井架下体能在上体中滑动自如。

参考文献

- [1] ST5077-85 井架、底座设计规范
- [2] 韩成才,朱小平,陈朝达等. 石油钻采设备. 西安: 陕西科学技术出版社, 1999. 10: P61 ~ 87
- [3] 成大先主编. 机械设计手册(第三版)第 1 卷. 北京: 化学工业出版社, 1993. 1: P3 ~ 102, P3 ~ 149

(编辑: 刘英)

(上接第 41 页)

表 7 计算结果表明: (1) 随着表皮系数增大, 达到临界产量所需生产压差越来越大; (2) 当表皮系数较小时其对生产压差的影响程度大, 在表皮系数 9 之前, 生产压差增加幅度大, 之后幅度较小; (3) 四个模型都一致反映表皮系数对油井生产压差影响较大; (4) 在表皮系数 20 之前, 可以通过增大生产压差来获得油井所需的临界产能, 当表皮系数大于 20 后, 要想获得临界产能将非常困难(因为安丰 $K_2t_1^3$ 油层 1992 年测得静压为 24.53 MPa, 生产压差不可能大于此值)。

结 论

(1) 安丰平 1 水平井平均合理生产压差值 0.55 MPa。

(2) 在表皮系数较小时, 可以通过增大生产压差

来获得油井所需的临界产能, 当表皮系数较大时, 要想获得临界产能将非常困难。

(3) 在安丰平 1 井生产初期, 可以 32.74 t/d 的产量生产, 若油井见水较快, 则以 21.05 t/d 作为安丰平 1 井的临界产量较为合适。

参考文献

- [1] 张琪. 采油工程原理与设计. 山东东营: 石油大学出版社, 2000 年: P94
- [2] 冈秦麟. 特殊低渗透油气田开采技术. 北京: 石油工业出版社, 1999 年: P121
- [3] 陈德坦, 王成龙, 翁家乡. 水平井采油技术译文集. 石油大学出版社, 1992: P124 ~ 137
- [4] 李志明, 关志忠. 水平井完井和增产措施技术. 石油工业出版社, 1995 年: P65 ~ 74
- [5] 万仁溥, 等. 水平井开采技术. 石油工业出版社, 1995: P115 ~ 392

(编辑: 黄晓川)

(上接第 45 页) 环空保护液不会漏失。当需要起出管柱时, 直接上提则可解封封隔器, 结构见图 4。

该管柱可以在套管加环空保护液, 可以多次正或反洗井, 并长期(1 ~ 2 年)耐高压差(40 MPa 以上)。该管柱解决了深井中注水管柱的锚定、抗腐蚀问题, 同时又解决了深井注水排量大、压力高、多次正、反洗井的问题, 真正做到了人为控制洗井通道开关, 防止环空保护液漏失。该技术目前已成功应用于塔里木油田深井注水, 达到了预期目的。

参考文献

- [1] 李德福, 黄远其等编. 采油技术手册(二)注水技术. 石油工业出版社, 1992
- [2] 赵远纲, 王禄群, 侯高文编. 分层开采工艺管柱. 石油大学出版社, 1994
- [3] 王鸿勋, 张琪等编. 采油工艺原理. 高等教育出版社, 1989
- [4] WellDynamics 智能完井技术. 李利译自《HART' S E&P》, 2002. 5

(编辑: 黄晓川)

hot water flooding technology. Additionally, we have developed two kinds of well cleanoutable pipe string technologies which are reverse washing well injection pipe string technology and dump flooding pipe string technology in deep well and ultra deep well. Here, we mainly introduce present situation of zonal injection process and technology in Xinjiang oilfield.

Key words: zonal injection, quantitative injection, reverse washing well, paker

OPTIMIZING DESIGN OF THE DERRICK IN MOBILE DRILLING RIG

ZHU Xiaoping (Xi'an Petroleum Institute, Xi'an, Shanxi 710061, China), **DPT** 26(2), 2003; 46 ~ 49

Abstract: On the basis of FEM, using optimization technology, reasonable structure of the derrick in mobile drilling rig is studied with aim at the minimum consumption of shaped steel. Taking the derrick of ZJ20 drilling rig for example, calculations have been done with computer. The results show that 50% consumption of shaped steel can be cut down on reasonable structure of the derrick, and the inclination of the derrick should not be more than 6 degrees, and it is advisable to use rectangle steel pipes as derrick legs and angle steel as girders and braces of derrick.

Key words: derrick, mobile drilling rig, optimizing design, structure optimum

THE DESIGN OF 105 MPa SULFATE RESISTANT CASING HEAD

ZHENG Chongtao (Drilling & Production Technology Research Institute, SPA, Guanghan, Sichuan 618300, China), **DPT** 26(2), 2003; 50 ~ 51

Abstract: In order to drill high pressure well & deep well, 105MPa BOP, choke and kill device and gas production wellhead have been developed and used. Drilling & Production Technology Research Institute of Sichuan Petroleum Administration has designed and studied 105MPa casing head which can fit in with wellhead pressure device. The paper briefly introduces the characters of 105MPa casing head, main pressure-bearing part intensity design & test methods.

Key words: sulfate resistant, high pressure, casing head, design, test methods

THE FINITE ELEMENT NUMERICAL ANALYSIS METHOD ON EXTERNAL PRESSURE OF THE CASING IN THE CREEP STRATUM

JIANG Xiaoying, IOU Yishan and **ZHU Jiang** (Jiangnan Petroleum Institute, Jingzhou, Hubei 434102, China), **DPT** 26(2), 2003; 52 ~ 53

Abstract: In-situ stress have been closed associated with wellbore stabilization, wellbore pressure control system, wellbore deflection and wellbore orientation control and wellbore structure confirmation as well. So in-situ stress field is also one of base works about drilling engineering design. Now, there are lots of importance attached

to external pressure of case under the in-situ stress all over the world. Many colleges and fields have gradually developed indoor simulation tests and relative theories research. This paper mainly studies the influence of in-situ stress on external pressure of the case in the creep stratum with finite element numerical method.

Key words: casing, mechanical model, finite element, rock, ansys

THE APPLICATION OF MMT IN CHUAN-YU AREA

HU Chao, **WANG Ping** (Directional Well Co., East Sichuan Drilling Co., Chongqing 400021, China), **DPT** 26(2), 2003; 54 ~ 54

Abstract: The RSS Miniature Multishot Tool (MMT) is a advanced digitized inclinometer. It can automatically survey open-hole inclination and azimuth in the course of pulling out. It has many advantages, such as high reliability; easy operation; low cost; saving log time etc. So, it is the best survey instrument in the drilling project. Through the analysis of the technical feasibility and economic feasibility, the application of MMT in the Chuan-yu area is not only aggrandize the new way of drilling open-hole trajectory supervise, but also shorten the drilling periods and reduce the drilling costs, and gets better economic benefits.

Key words: Miniature Multishot Tool (MMT), technique, economic, popularization

THE MECHANISM AND PREVENTION OF CASING DAMAGE IN ULTRA THICK OIL WELL OF SHUGUANG OILFIELD

LI Weizhong (Shuguang Oil Production Plant of Liaohe Oilfield Branch Co., CNPC, Panjin, Liaoning 124109; China), **DPT** 26(2), 2003; 55 ~ 56

Abstract: The special oil reservoir characteristic of ultra thick oil determines to be short in production cycle, serious in gas injection frequent, sanding, gas tongue, overlap etc.. So, casing damage is very serious. The law and mechanism of ultra thick oil well casing damage is studied in this paper. And from the respects of perfection of drilling and completion process, choice of casing steel grade and perforation process, determination of productivity parameter, improving on heat insulation effect of gas injection pipe string, and sanding prevention etc., the preventing measure and countmeasure of casing damage are presented. And the scheme of reusing of casing damage well is drawn up also.

Key words: ultra thick oil, casing damage, mechanism research, prevention and cure, Shuguang oilfield

DEVELOPMENT OF PRODUCTION EQUIPMENTS AND TECHNOLOGY IN DIRECTIONAL WELL

WEI Yunan (Jidong Oilfield Development Technique Co., Tanghai, Hebei, China), **DPT** 26(2), 2003; 57 ~ 60

Abstract: Directional well has been one of the devel-