

YC585 游动滑车的安全性能评定^{*}

杨西萍

(兰州兰石国民油井石油工程有限公司, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 游动滑车(以下简称游车)是石油钻机重要的提升部件之一,属钻机的游动系统。它与天车、大钩等配套使用。研发的 YC585 游车是针对 8000m 钻机配套使用。应用材料力学与有限元分析相结合的方法对游车的安全性能做出分析,进一步说明此游车在设计上满足 API 规范的要求。

关键词: 游车; 下提环; 材料力学; 有限元

中图分类号: TH12

文献标志码: A

文章编号: 1007-4414(2013)01-0041-03

Safety performance evaluation of YC585 traveling block

Yang Xi-ping

(Lanzhou LS-national oil well petroleum engineering Co., Ltd, Lanzhou Gansu 730050, China)

Abstract: Traveling block belongs to hoisting system of drilling rig, which is one of the important parts of oil rig. It is used with the crane and hook, etc.. Research and development of the YC585 traveling block can be used along with 8000 meters drilling rig. The safety performance of traveling block are summarized by using mechanics of materials with combination of finite element analysis, and further it is demonstrated that traveling block could meet API requirements in design.

Key words: traveling block; traveling block becket; mechanics of materials; finite element

1 产品概述及强度分析

YC585 游车按照 API SPEC 8C 规范设计制造。该游车主要由上横梁、侧板组、滑轮、侧护罩、滑轮轴、下提环、提环销等组成。上横梁与侧板组采用头孔螺栓连接,上横梁有一吊装孔,用于游车的整体起吊及倒大绳等作业。滑轮用双列圆锥滚子轴承支撑在滑轮轴上,每个轴承都有单独的润滑油道,通过安装在滑轮轴两端的油杯分别进行润滑。轴承两端的防尘圈起防尘作用,防尘圈在相配的滑轮轮毂上四处铆牢。滑轮绳槽尺寸符合 API 规范,表面进行淬火处理以增强轮槽的耐磨性。为使滑轮绳槽和轴承磨损均匀,推荐游车每年换一次方向。滑轮轴一端用螺栓压紧轴盖固定在侧板组上。侧护罩的装配通过上、下 2 个拉杆固定在侧板组上。下提环用两个提环销连接在左、右侧板组上。

设备的设计分析应针对过度的屈服、疲劳和断裂等可能的失效模式。强度分析通常以弹性理论为基础,但也可用极限强度(塑性)分析以及有限元筛选分析并结合解析法。所有有影响的力,设计都应计算进去。每一个横截面都应该考虑力的最不利的组合,位置和方向都要注意。

1.1 等效应力

强度分析是基于弹性理论。名义等效应力根据冯·米赛斯·亨基(Mises)理论,由设计载荷引起的

名义等效应力,该应力不得超过最大许用应力 $AS_{\max}$,按下式计算:

$$AS_{\max} = \frac{YS_{\min}}{SF_D}$$

式中: $YS_{\min}$ 是规定的最小屈服强度; SF_D 是设计安全系数。

1.2 极限强度(塑性)分析

极限强度(塑性)分析可以按接触部位或应力集中部位中任一情况进行。

应力集中部位,由零件几何形状引起,还有其它高应力梯度。在这截面的平均应力小于或等于最大许用应力,在此部位。对于低于平均应力的所有应力值应该由弹性分析决定。在塑性分析情况下,等效应力不应超过最大的许用应力,应该按下式计算。

$$AS_{\max} = \frac{TS_{\min}}{SF_D}$$

式中: $TS_{\min}$ 是规定的极限拉力强度; SF_D 是设计安全系数。

1.3 游车设计条件

游车的最大设计钩载为 585t,但实际工况下的负载应加上游车、大钩、水龙头的自重(自身工作的工况),即:

$$Q_{\text{总}} = Q_{\text{游车}} + Q_{\text{大钩}} + Q_{\text{水龙头}} + 585000$$

* 收稿日期:2012-12-27

作者简介:杨西萍(1963-),女,陕西澄城人,工程师,主要从事钻采机械设计研究方面的工作。

$$=605830\text{kg}=6058300\text{N}$$

在计算时,根据设计要求,对这些零件施加的载荷需要单独或者组合计算。

2 建立模型与强度计算

经过对整个游车的受力进行分析可知,主要的受力零件为滑轮轴、下提环、提环销、耳板和轴承。笔者将对上述几个零件进行分析计算以验证其安全性。

2.1 滑轮轴

滑轮轴的材料为 40CrNi2MoA, 屈服强度 $\sigma_s \geq 585\text{ MPa}$, 材料抗拉强度 $\sigma_b \geq 760\text{ MPa}$, 伸长率 $\delta_4 \geq 16\%$, 断面收缩率 $\psi \geq 45\%$ 。

按照滑轮轴的设计图纸,在三维设计软件 NX7.5 平台上,建立滑轮轴的三维模型图,图 1 是利用该设计软件生成的滑轮轴三维模型渲染图。图 2 所示为该模型承受载荷示意图。滑轮轴左右两端圆周面上受到向上的拉力为 Q_1 Q_2 , 中间部位的圆周面上受到向下的拉力为 $Q_{\text{总}}$ 。

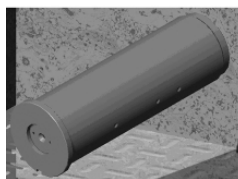


图 1 三维模型渲染图

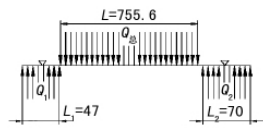


图 2 载荷示意图

由力的平衡方程可求得 2 个支反力:

$$Q_1 = 3071940(\text{N}), Q_2 = 2986360(\text{N})$$

对称截面最大弯矩为:

$$M = Q_1 \times \frac{L_1 + L}{2} - \frac{Q_{\text{总}}}{L} \times \frac{L}{2} \times \frac{L}{4} = 660563087(\text{N} \cdot \text{mm})$$

轴的抗弯模量: $W = 279999.9133$

得出滑轮轴所受拉应力和剪切应力分别为:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{M}{W} = 237.6(\text{MPa})$$

$$(\text{拉应力安全系数 } n_{\sigma} = \frac{585}{237.6} = 2.46)$$

$$\tau_{\text{max}} = \frac{4}{3} \times \frac{Q_{\text{总}}}{2\pi r^2} = 55.4(\text{MPa})$$

$$(\text{剪应力安全系数 } n_{\tau} = \frac{585 \times 0.58}{55.4} = 6.12)$$

2.2 下提环

下提环的材料为 40CrNi2MoA, 屈服强度 $\sigma_s \geq 585\text{ MPa}$, 材料抗拉强度 $\sigma_b \geq 760\text{ MPa}$, 伸长率 $\delta_4 \geq 16\%$, 断面收缩率 $\psi \geq 45\%$ 。

由于此提环在工况时配 450t 级大钩,因此其所受载荷为:

$$Q_{\text{总}} = Q_{\text{吊车}} + Q_{\text{大钩}} + Q_{\text{水龙头}} + 450000$$

$$=464922(\text{kg}) = 4649220(\text{N})$$

按照下提环的设计图纸,在有限元建模和分析软件 NX7.5 平台上,建立了下提环的三维模型图,图 3 是用该设计软件生成的下提环三维模型图。图 4 所示为该模型承受载荷示意图。下提环左右两侧孔的内表面上受到向上的拉力为 232t,中间部位的圆环面上受到向下的拉力为 465t。

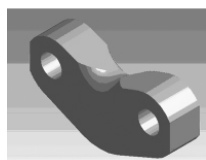


图 3 三维模型图

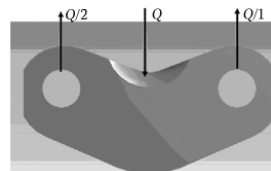


图 4 载荷示意图

由于下提环几何结构左右对称,施加的载荷也是对称的。所以以下的计算模型只选取右面的 1/2 对称模型。这样可方便施加内部载荷,也可清楚地看到内部的应力分布情况。

图 5 是 1/2 对称模型的网格布置。图 6 是在对称模型上、下提环右侧的孔的内表面上施加圆柱铰链轴承约束,在截开的中间对称面上施加位移对称条件 $UX=0$,使截开的对称面的法向位移(左右位移)为零。下提环的中间部位的圆环面上受到向下的拉力为 465t 的 1/2 的 2.32e6N。

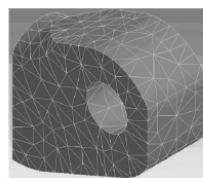


图 5 1/2 对称模型的网格布置

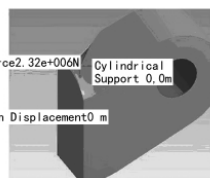


图 6 圆柱铰链轴承约束

经计算,图 7 所示为施加载荷后下提环的 Mises 应力分布图。最高应力 246MPa,出现在图中 Max 所指示的位置。该最大应力主要是由于这个部位的最大压应力引起的。在 465t 钩载作用下,最高 Mises 应力等于 246MPa。按照材料的屈服强度 585MPa,计算安全系数为:

$$n = \frac{585}{246} = 2.37$$

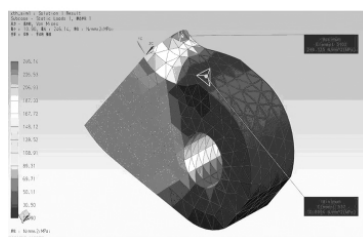


图 7 施加载荷后 Mises 应力分布图

2.3 提环销

提环销的材料为 40CrNi2MoA, 屈服强度 $\sigma_s \geq 585\text{MPa}$, 材料抗拉强度 $\sigma_b \geq 760\text{MPa}$, 伸长率 $\delta_4 \geq 16\%$, 断面收缩率 $\psi \geq 45\%$ 。

按照提环销的设计图纸, 在三维设计软件 NX7.5 平台上, 建立提环销的三维模型图, 图 8 是利用该设计软件生成的提环销三维模型渲染图。为看清内部结构, 图中略去尺寸标注。

图 9 所示为该模型承受载荷示意图。提环销左右两端圆周面上受到向上的拉力为 151.5t, 中间部位的圆周面上受到向下的拉力为 303t。

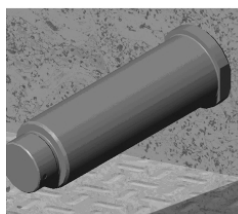


图 8 模型渲染图

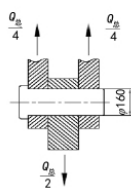


图 9 载荷示意图

由剪切应力公式可得:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times 160^2}{4} = 20096 (\text{mm}^2)$$

$$\tau = \frac{Q_{\text{总}}}{2 \times 2A} \times \frac{4}{3} = \frac{4 \times 6058300}{12 \times 20096} = 100.5 (\text{MPa})$$

$$n = \frac{0.58 \times 585}{100.5} = 3.38$$

2.4 耳板

耳板的材料为 MS-7408, 屈服强度 $\sigma_s \geq 350\text{MPa}$, 材料抗拉强度 $\sigma_b \geq 490\text{MPa}$, 伸长率 $\delta_4 \geq 18\%$ 。

按照耳板设计图纸, 在三维设计软件 NX7.5 平台上, 建立了耳板的三维模型图, 图 10 是利用该设计软件生成的耳板三维模型渲染图。图 11 是笔者进行

分析的 3 个危险截面。

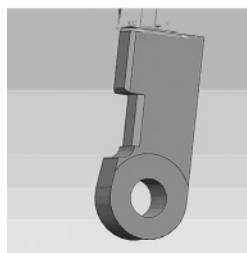


图 10 模型渲染图

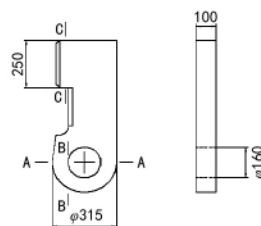


图 11 3 个危险截面

经力学分析得出 3 个危险截面的应力值分别为:

A-A 断面: $\sigma = 146\text{MPa}$, $n = 2.39$

B-B 断面: $\sigma = 55.7\text{MPa}$, $n = 3.64$

C-C 断面: $\sigma = 60.6\text{MPa}$, $n = 3.35$

3 结果分析

经过材料力学计算与有限元分析可知, YC585 游车主要承载零件的安全系数都达到了 2.25 以上, 完全符合 API Spec 8C 规范 [3] 的要求, 其在安装方面有较传统 450t 级的游车也有很大的改进, 提高了工人的工作效率。

4 结 语

随着钻井技术不断的进步, 大钩、水龙头逐渐可被顶驱取代, 而游车作为游动系统的灵魂将始终扮演着重要的角色, 但因深井钻机的不断出现, 游车的负载越来越大, 这给游车的设计带来了很大困难, 设计人员就需从新材料、新结构等方面入手, 寻求更好的解决方案。

参考文献:

- [1] 杜庆华. 材料力学 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1961.
- [2] 机械设计手册编委会. 机械设计手册 [M]. 北京: 化工出版社, 1981.
- [3] API SPEC 8C 钻井和采油提升设备规范 (PSL1 和 PSL2) [S].

(上接第 40 页)

参考文献:

- [1] 刘伟军, 孙玉文. 逆向工程原理·方法及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [2] 何叶松, 杨华哲, 单晶心, 等. 逆向工程在重构腕关节骨 CAD 模型中的应用 [J]. 中国医学物理学杂志, 2011(1): 2378-2381.
- [3] 黄桂平. 数字近景工业摄影测量关键技术研究与应用 [D]. 天津: 天津大学, 2005.
- [4] 梁 晋, 肖振中, 臧顺来, 等. 外差式多频相移技术的三维光学点云测量研究 [J]. 锻压技术, 2008, 33(1): 143-147.

- [5] 李志新, 黄曼慧, 成思源. 逆向工程技术及其应用 [J]. 现代制造工程, 2007(2): 58-60.
- [6] 张德海, 梁 晋, 唐正宗, 等. 大型复杂曲面产品近景工业摄影测量系统开发 [J]. 光电工程, 2009(5): 122-128.
- [7] 梁 晋, 肖振中, 刘建伟, 等. 大型飞机三维光学快速测量建模关键技术研究 [J]. 中国机械工程, 2009(6): 648-651.
- [8] 丁恩伟, 蔡 勇, 梁 晋, 等. 基于 Geomagic 和 UG 的快速参数化逆向建模方法 [J]. 机械研究与应用, 2012(3): 173-175.
- [9] 刘 鹏. 雕塑语言在角色建模中的探索与应用 [D]. 北京: 北京林业大学, 2011.