

用方案选择法改进抽油机支架结构*

张见明**

(沙市石油钢管厂)

摘要 以CYJ14-5-73HB型抽油机为例, 阐明了用方案选择法对游梁式抽油机支架结构进行改进的具体步骤: 首先分析抽油机支架受力状况, 并用有限元法进行强度和刚度计算; 然后用方案选择法进行结构优化, 从而可得到一个应力分布均匀、刚度增大、重量显著减轻的新结构支架。实践表明, 采用方案选择法对抽油机支架结构进行改进效果良好, 不仅可节省钢材达30%, 而且可减小支架顶部振幅, 同时也使焊接量减少, 节省焊接工时。

主题词 游梁式抽油机 受力分析 方案选择法 优化设计

改进抽油机支架结构, 主要采用结构优化方法。刚架的结构优化分三个方面: 一是优化结构各杆件的截面尺寸, 称尺寸优化; 二是优化结构杆件的几何位置, 称几何优化; 三是优化结构的杆件数量以及它们的联接关系, 称拓扑优化。前两方面优化理论和软件都比较成熟, 但用在抽油机支架上, 效果并不明显。而拓扑优化虽是飞跃性的优化, 能显著节省材料, 但这种优化在理论上还不够成熟, 更没有现成可用的软件。只有运用方案选择法对抽油机支架进行结构优化才是切实可行的, 具体步骤是: 首先分析计算支架的受力, 并用有限元法对某一具体抽油机的支架进行强度和刚度计算; 然后通过方案选择, 对该支架进行结构优化, 从而得到一个应力分布均匀、刚度增大、重量显著减轻的新结构支架。本文以CYJ14-5-73HB型常规抽油机支架的结构优化为例, 阐述这种方法的应用及优化效果。

支架受力分析与有限元计算

CYJ14-5-73HB型抽油机的平面几何尺寸及

主要受力如图1所示, 其支架结构形状如图2所示。由图1可以看出, 作用于支架顶部的力有两个, 其中垂直力 R_y 向下, 水平力 R_x 有时向右, 有时向左(这就是支架顶部摆动量较大的原因), 其数值之大小, 在曲柄旋转一周内呈周期性变化。按照常规抽油机受力计算方法计算可得到一个在曲柄旋转一周中 R_x 及 R_y 随曲柄角 θ 变化的载荷谱(见表1)。有了这个载荷谱就可以用有限元分析法对支架进行强度及刚度计算了。

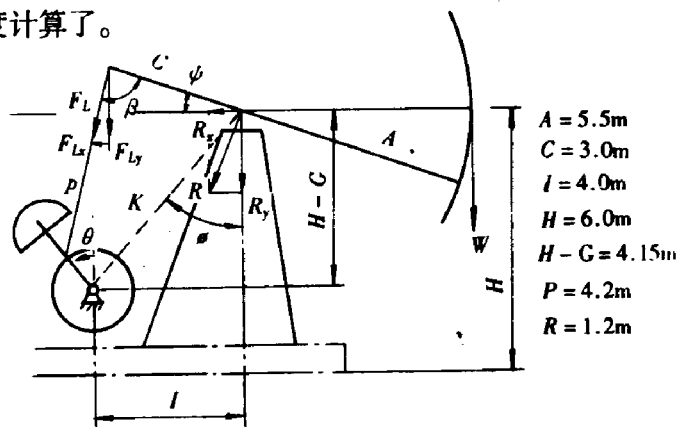


图1 CYJ14-5-73HB型抽油机的结构尺寸及受力图

* 在撰写本文过程中得到江汉石油学院孔昭瑞教授的悉心指导, 在此表示衷心感谢。

** 张见明, 工程师, 生于1965年, 1989年毕业于西安交通大学力学系工程力学专业, 现从事结构分析及新产品开发工作。地址: (434001) 湖北省荆州市。电话: (0716) 8302345-304 (办) 或 (0716) 8301937 (宅)。

(收稿日期: 1996-05-07; 修改稿收到日期: 1996-09-17)

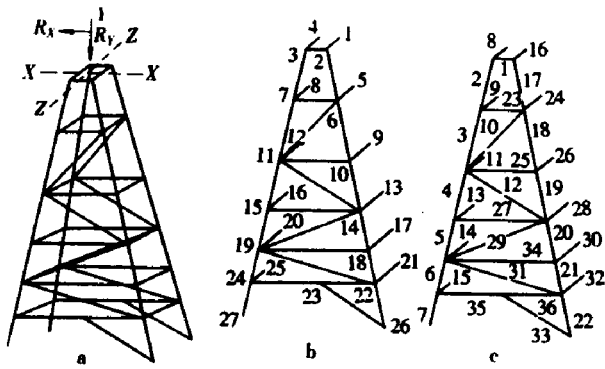


图2 CYJ14-5-73HB型抽油机支架结构及有限元节点单元
a. 支架结构; b. 节点图; c. 单元图

CYJ 14-5-73HB型常规抽油机支架的三维结构如图2a所示,它全部用角钢焊接而成,四个支腿材料为16号角钢,厚度为16mm;横、斜撑材料为12号角钢,厚度为12mm。对于常用的四条腿支架来说,因其结构及受力状况左右对称,故取支架的一半划分为27个节点(图2b)和36个梁单元(图2c)。将上述计算得到的作用于游梁支点的力 R_x 及 R_y 加到支架顶部相应的节点上,则完成了对支架的加载。支架位移约束分两类:第一类产生于对称中心面所截支架Z向横撑的中心点,根据对称性,这些点的Z方向位移和绕X、Y轴转角均等于零。第二类是支架与底座联接的两点,这两点在6个自由度方向上的位移都为零,这种约束就是刚性约束。由于地基和底座实际上是

表1 CYJ14-5-73HB型抽油机支架载荷谱

θ (°)	R_x (kN)	R_y (kN)	θ (°)	R_x (kN)	R_y (kN)	θ (°)	R_x (kN)	R_y (kN)
15	111.70	463.66	135	177.50	341.08	255	-9.12	367.65
30	124.64	441.10	150	147.88	371.38	270	-11.77	385.50
45	137.20	425.12	165	125.72	402.86	285	-7.74	417.27
60	151.22	416.78	180	91.75	405.11	300	4.44	457.77
75	167.20	414.92	195	58.99	392.56	315	25.09	494.35
90	183.48	414.63	210	32.57	377.95	330	50.71	512.89
105	191.62	403.35	225	12.84	366.77	345	75.64	508.87
120	179.17	367.46	240	-0.88	362.36	360	96.05	488.96

有弹性的,因而用刚性约束算得的支架振幅值比实际值要小。但用方案选择法可以只关心支架本身的刚度,且本文是采用对比法改进设计,故支架的实际振幅在此并不很重要,因此用刚性约束是简单可行的。据上所述,用有限元法计算的原支架质量为2280kg,振幅(即顶部节点位移)为4.4mm,最大应力为132MPa,最大应力发生在支架前支腿顶部(即17号单元上端),大部分横、斜撑应力小于7MPa。由计算结果可以看出,原支架不仅重量偏大,同时最大应力值也偏大,但横斜撑的应力却偏小。因此,该型机在满载荷运行时,支架顶部的振幅较难控制在允许范围之内,从而影响到整机运行的稳定性及可靠性。此外,杆件受力状况的分布也不够合理。故认为,该支架的结构有改进的必要。

支架结构的改进

根据支架结构和受力状况的对称性可知,支架刚度主要决定于其对称主侧面的结构,因而可将空间问题近似地转化为平面问题。为此,设计了6种支架主

侧面的平面结构(如图3所示)以作为优化选择的对

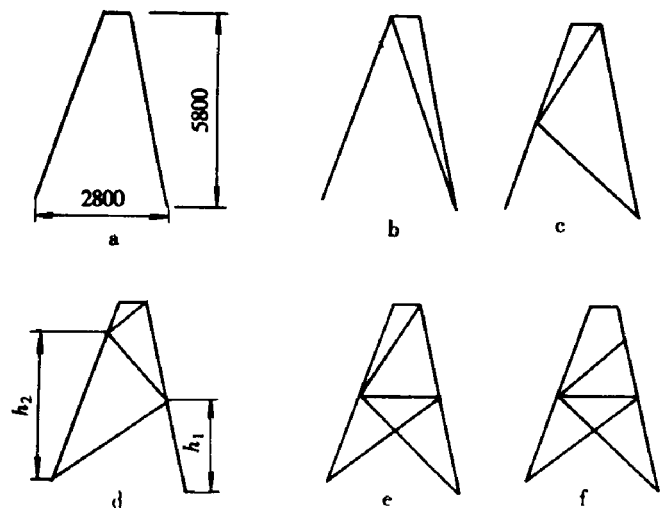


图3 6种支架主侧面的平面结构对比

- a. 第1种结构,单片质量498kg,顶部振幅19.3mm;
- b. 第2种结构,单片质量633kg,顶部振幅6.05mm;
- c. 第3种结构,单片质量647kg,顶部振幅3.64mm;
- d. 第4种结构,单片质量660kg,顶部振幅3.3mm;
- e. 第5种结构,单片质量774kg,顶部振幅3.5mm;
- f. 第6种结构,单片质量753kg,顶部振幅4.8mm

象。为了不改变抽油机其它部分的结构及尺寸,它们的外形尺寸和原支架相同,只是改变了横、斜撑的数量和布置。支腿材料仍用16号角钢,斜撑材料用12号角钢,横撑材料用10号角钢。这6种支架结构的形状、质量及振幅均注在图下。经比较可知第4种结构最好,其振幅最小,重量也较轻,可用其作为支架主侧面结构,由此设计出了新支架的三维结构(见图4a)。选定这种基本结构后,问题就转化为 h_1 、 h_2 取何值最好。这实际上是一个二维优化问题,计算表明,支架的重量和振幅在极值附近较大区域内是平稳的,故可以通过模糊理论,并综合考虑制造工艺、压杆局部稳定性和结构外形美观等因素加以确定。用计算原支架同样的方法,取此新支架的一半,划分为14个节点(图4b)和18个梁单元(图4c),计算出新支架质量为1421kg,振幅为3.1mm,最大应力为58MPa,最大应力发生在支架后支腿底部(即4号单元下端),侧面横、斜撑最小应力为11MPa。

架质量1421kg,比原支架节省钢材38%。由于计算时忽略了一些加强筋,实际制造出的新支架比原支架节省钢材30%。这样,一台抽油机仅此一项即可节省钢材约700kg。

3. 新支架刚度大,稳定性好。原支架计算振幅为4.4mm,在同样载荷条件下,新支架计算振幅仅为3.1mm。若比较图3中的6种不同结构的支架,还可以看出四边形结构比三角形结构承受外力的能力差得多,这是因为四边形结构会产生较大的弯矩内力。由于杆件能承受的轴向力比弯曲力大得多,同时弯曲变形又比轴向变形大得多,因而四边形结构不但刚性差,而且受力状况也不好。这就是原支架既费钢材,振幅又大的根本原因。

4. 新支架结构简单,外形美观。比较图2a及图4a不难看出,新支架没有原支架的材料堆积之感,同时焊接点少,省工省时。又因为焊接少,所以成品结构的残余应力小,因而进一步提高了支架的抗疲劳性能。

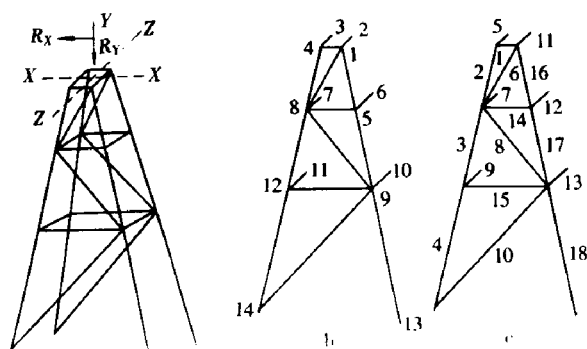


图4 新支架结构及有限元节点与单元图
a. 支架结构; b. 节点图; c. 单元图

新旧支架的比较

以图3中所示的第4种新支架结构与图2中所示的原支架结构对比,前者具有下述优点:

1. 新支架最大应力显著降低,而且应力分布较改进前均匀。原支架主侧面杆件最大应力为132MPa,最小应力不到1MPa;新支架主侧面杆件最大应力为58MPa,最小应力为11MPa,其最大应力比原支架降低50%以上,同时应力分布状况也较原支架合理,显然新支架优于原支架。

2. 新支架重量轻。原支架质量2280kg,新支

优化方法评述

采用方案选择法能充分发挥有限元法在机械工程结构设计和分析中的潜力及作用。纯粹的优化方法,不仅繁琐,而且得到的结果大多不太实用。比如满应力法,对于绝大多数机械结构来说实际上是根本不能设计成其各部分应力分布均匀的结构,再加上制造工艺、结构美观以及材料供应等原因,致使纯理论优化法在实际应用过程中较难于使用。方案选择法则有较强的适应性,可以不受上述因素的限制。方案选择法还有较大的灵活性,其实质是对比计算,在支架的结构分析中就可以不考虑地基的影响,而只需考虑支架本身的刚度。若用纯理论优化方法,则地基的弹性系数必须精确地给定。但地基的弹性系数是很难确定的,或者根本是分散的,而且还是非线性的,这样用纯理论优化方法就很困难。即使解决了这些困难,效果也不会很好。虽然方案选择法的理论水平不高,但只要运用得当,则一般均可在实际应用中取得实效。因此,笔者认为,这种方法是值得推荐的。

(本文编辑 江先雄)

Subject Concept Terms viscous oil recovery steam injection pipeline corrosion
failure analysis

Liu Huaguo(*Downhole Technology Research Institute of Shengli Petroleum Administration, Dongying City, Shandong Province*), Che Dengxian, Yang Yusheng, et al. **Cement squeeze technology with cement retainer and application.** *CPM*, 1997, 25(6): 26 ~ 29

In the light of the problems with the conventional cement squeeze technology, the technology for cement squeeze with cement retainer is designed. The procedure of the technology is as follows: firstly, setting the cement retainer in the casing above the formation to be squeezed by using a wireline setting tool, then, running a snap latch stinger sub and a centralizer together by the tubing and making it land in the set cement retainer, finally, carrying out cementing by the cementing truck to plug the leakage in the formation or the hole in the casing. By means of this technology, instant back well washing can be achieved and the slurry can be kept from flowing back to the wellbore. The structure, parameters and application of the system for the technology are introduced.

Subject Concept Terms wireline bridge plug cement squeeze well servicing

Zhang Jianming(*Shashi Steel Pipe Works, Jingzhou City, Hubei Province*). **Improving sampson post of pumping unit by plan selection method.** *CPM*, 1997, 25(6): 30 ~ 32

By taking Model CYJ14 - 5 - 73HB pumping unit as an example, the procedures for modifying the sampson post of a beam pumping unit by using the plan selection method are expounded, i. e. analyzing the force on the post and calculating the strength and stiffness of the post and then optimizing the structure of the post by the plan selection method, thereby a new post with uniform-distributed stress, increased stiffness and light weight can be obtained. Practice shows that by means of the modification, 30 percent of steel for the post can be saved, the vibration on the top of the post can be damped, and less welding is demanded.

Subject Concept Terms beam pumping unit force analysis plan selection method
optimization

Guo Dengming(*Jiangnan Petroleum Institute, Jingzhou City, Hubei Province*), Ai Wei, Shi Xiaoming, et al. **Test of performance of pumping unit with rotary horsehead.** *CPM*, 1997, 25(6): 33 ~ 35

The basis, scheme and procedures for increasing the stroke of a conventional pumping unit are presented. Model CYJZ10 - 4.2 - 53HF pumping unit with rotary horsehead is developed based on Model CYJ10 - 3 - 53HB pumping unit according to the above-mentioned procedures. Some of the key performances of the main component parts of the new unit are tested strictly. The test and the service of the unit show that the pumping unit with rotary horsehead had high load bearing capacity and reliability, and by using it, the well fluid production per day can be increased by more than 12 percent and the cost of a ton of produced fluid can be reduced by over 8 percent.

Subject Concept Terms conventional pumping unit beam pumping unit technical reform
pumping unit with rotary horsehead test

Xu Fudong(*Jiangnan Petroleum Institute, Jingzhou City, Hubei Province*), Fu Daliang. **Transient pattern of dynamic performance of turbodrill with decelerator and simulation.** *CPM*, 1997, 25(6): 36 ~ 39

In the view of dynamics, this article discusses the transient pattern of the dynamic performance of the turbodrill with a decelerator under the condition of increasing or decreasing load. Example simulative calculation shows that this transient pattern of the dynamic performance can reflect the dynamic quality of the turbodrill. Under the condition of decreasing