

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.08.011

泳池升降平台钢架结构的优化设计^{*}

尧 晶,王存堂^{*}

(江苏大学 机械工程学院,江苏 镇江 212013)

摘要:针对传统泳池占地面积大、功能单一的问题,将升降平台技术应用到泳池设计中,提出了一种高度可调,满足不同人群诸如跳水、健康恢复、比赛等功能需求的新型泳池。开展了升降平台钢架结构最大应力、变形量和总质量的变化趋势分析,建立了钢架结构矩形管截面尺寸和上述参数的关系。提出了 CAD/CAE 协同设计的方法,使用 SolidWorks 软件建立了升降平台钢架结构三维模型,并以 Parasolid 格式导入到 ANSYS Workbench 中。在 ANSYS Workbench 软件平台上,对矩形管截面尺寸的参数敏感度及输入参数响应进行了评价。使用目标优化法(GDO)进行了升降平台钢架结构的结构优化。结果表明,矩形管截面尺寸为 30 mm × 30 mm × 4.5 mm 时钢架结构最优。

关键词:泳池;钢架;优化设计

中图分类号:TH122

文献标志码:B

文章编号:1001-4551(2017)08-0870-05

Optimization for moveable platform of swimming pool

YAO Jing, WANG Cun-tang

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Aiming at solving the problems of large land occupation and single function of the traditional swimming pool, the technology of the moveable platform was applied to the design of the swimming pool. A new type of swimming pool the height of which is adjustable was raised. The swimming pool has many functions, such as diving, health recovery, competition and so on. After the analysis of the maximum equivalent stress, total deformation and total mass of the steel structure, the relationship between the section size of the rectangular tube and parameters above was established. The method of CAD/CAE collaborative design was presented to the design of the steel structure. The three-dimensional model of the steel structure for the moveable platform was built by the software SolidWorks and the model was imported to the software ANSYS Workbench by the format of Parasolid. The parameter sensitivity and input parameter response were evaluated on the software platform of ANSYS Workbench. The method of goal driven optimization(GDO) was applied to the optimal design of the steel structure. The results indicate that when the section size of the rectangular tube is 30 mm × 30 mm × 4.5 mm the steel structure is the best.

Key words: moveable swimming pool; steel structure; optimal design

0 引 言

钢架结构由于具有自重较轻、施工方便等优势,被越来越多地应用于大型厂房、体育场馆、高层建筑等领域^[1]。赵云等人^[2]以 Solid Works Simulation 软

件为平台,通过分析钢架结构在载荷作用下的整体强度和变形情况,进行了立体车库钢架结构的优化设计。钱解煌等人^[3]通过对合肥交通银行多功能厅工程结构方案的比较、建模分析以及支座节点的有限元分析,研究了该工程钢架结构的刚度及稳定性。

收稿日期:2016-12-07

基金项目:中国博士后科学基金特别资助项目(2013T60502);镇江市科技支撑计划资助项目(SYF320150130267)

作者简介:尧晶(1992-),女,湖北咸宁人,硕士研究生,主要从事机械结构优化设计方面的研究. E-mail:yaoj199207@126.com

通信联系人:王存堂,男,教授,博士生导师. E-mail:ctwang@ujs.edu.cn

张连飞等人^[4]通过分析广州新白云国际机场 T2 航站楼钢结构在不同载荷及温度下的受力情况,研究了该结构的受力可靠性。徐赫骏等人^[5]通过有限元方法进行了地震作用下钢架结构中心支撑受力分析,发现中心支撑具有良好的抗震性能,其受力情况与受弯构件类似。

随着社会的发展,人们生活水平的显著提高,游泳池作为日常生活中的健身设施之一,越来越受到普通大众的欢迎^[6]。由于具有占地面积小、多功能等特点,可升降泳池正在得到越来越多的应用。钢架结构作为升降泳池主要的承重结构,对其进行刚度和强度方面性能分析非常重要,而目前国内外的相关研究极少。

本研究以泳池升降平台钢架结构为研究对象,通过 CAD/CAE 协同设计,以满足钢架结构强度和刚度的条件下使钢架结构质量最轻为准则,对钢架结构进行优化设计。

1 钢架结构有限元分析

1.1 单元属性

材质选为 SUS304 不锈钢^[7]。材料各项性能参数如表 1 所示。

表 1 材料力学性能

材料	弹性模量/ GPa	泊松比	屈服强度/ MPa	密度/ (kg·m ⁻³)
sus304 不锈钢	193	0.31	207	7 750

按照剪叉式升降台安全规程^[8],取安全系数 $n=3$,则材料对应可以承受的许用应力为 $[\sigma]=69\text{ MPa}$ 。

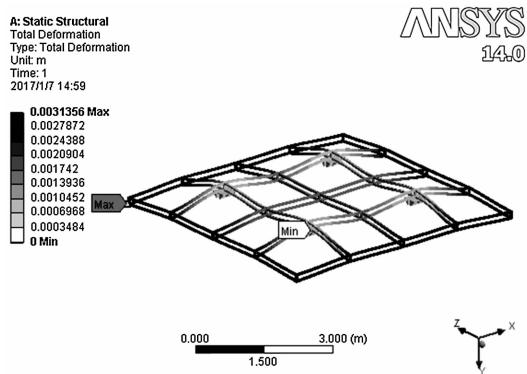
1.2 建立钢架结构力学模型

钢架的空间结构有多种形式,本研究采用双层空间钢架结构。泳池升降平台钢架结构的力学模型用 SolidWorks 建立,以 Parasolid 格式导入 ANSYS Workbench 中^[9]。对钢架结构上的 4 个铰接支座进行全自由度约束,并对钢架结构施加 $P=4\ 000\text{ Pa}$ 的均布载荷。

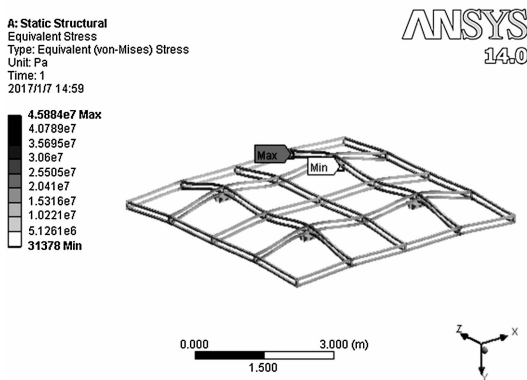
1.3 优化前结果分析

本研究通过有限元求解分析,优化前钢架结构等效应力云图如图 1(a)所示,最大应力为 45.88 MPa,小于许用应力 69 MPa,强度满足要求;钢架结构总位移云图如图 1(b)所示,最大位移为 3.14 mm,小于 15 mm^[10],刚度满足要求。刚度和强度两项都满足要求,但钢架结构的整体质量达到 823.87 kg。为实现钢

架结构强度和刚度的条件下使钢架结构质量最轻,本研究对钢架结构展开进一步研究。



(a) 钢架结构等效应力分布云图



(b) 钢架结构总位移分布云图

图 1 优化前钢架结构静态分析结果

2 钢架结构矩形管截面尺寸优化

2.1 参数化有限元模型的建立

钢架结构矩形管截面形式如图 2 所示。

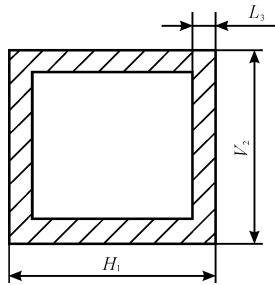


图 2 矩形管截面

本研究选取截面宽度 H_1 , 截面高度 V_2 , 截面厚度 L_3 作为设计变量。

本研究以图 2 所示钢架结构矩形截面的尺寸作为设计变量,强度和刚度作为约束条件,截面体质量最小作为目标函数进行优化设计。输入参数共设有 3 个优化参数, $P=[P_1, P_2, P_3]$, 其中: P_1 — 截面宽度 H_1 , P_2 — 截面高度 V_2 , P_3 — 截面厚度; 输出参数共设有 3

个目标参数, $P = [P_4, P_4, P_6]$, 其中: P_4 —截面体质量(取截面厚度为 1 mm), P_5 —最大总变形, P_6 —最大等效应力。

2.2 相关参数敏感度

本研究运用 ANSYS Workbench 中 Response Surface 易于实现在产品设计和使用前确定输入参数对产品零部件的影响, 找到灵敏度较大的尺寸参数^[11-12]。然后将其作为输入参数进行优化。

经分析得出相关参数的灵敏度结果如图 3 所示。

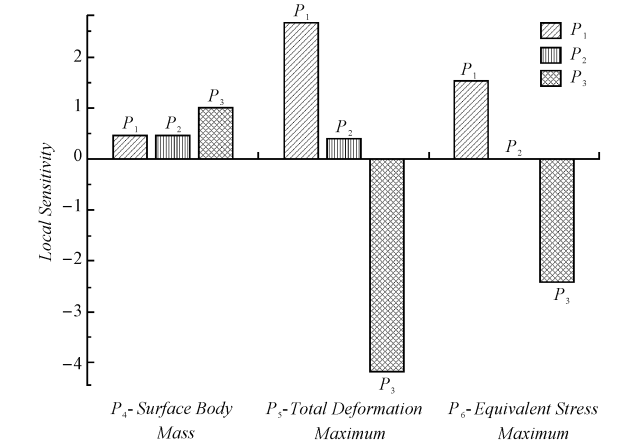


图 3 相关参数灵敏度

由图 3 可知, 3 个输入参数对输出参数影响程度不同, 故将 3 个参数作为优化目标。

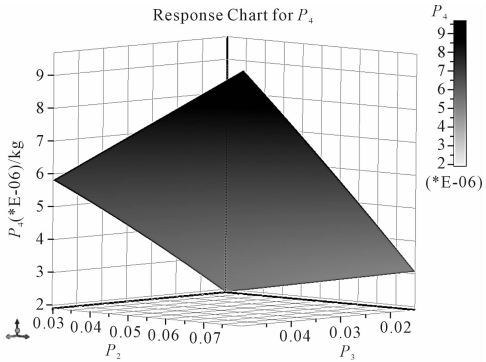
2.3 输入参数响应

优化参数取值范围如表 2 所示。

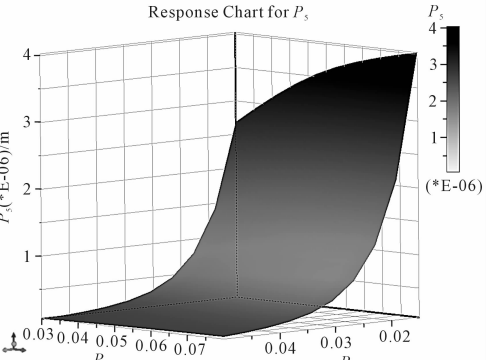
表 2 优化参数		
优化参数	初始值 /m	取值范围 /m
P_1	0.05	0.03 ~ 0.08
P_2	0.05	0.03 ~ 0.08
P_3	0.004	0.001 5 ~ 0.005

笔者采用 CCD 试验设计法, 设定的样本点数为 25。通过响应曲面图可以直观地显示输入参数与输出参数之间的关系。保持 3 个设计参数中的一个参数不变, 分别查看其他 2 个参数对质量、强度和刚度的响应, 有以下 3 种响应情况: (1) P_1 不变, P_2 和 P_3 对质量、强度和刚度的响应; (2) P_2 不变, P_1 和 P_3 对质量、强度和刚度的响应; (3) P_3 不变, P_1 和 P_2 对质量、强度和刚度的响应。

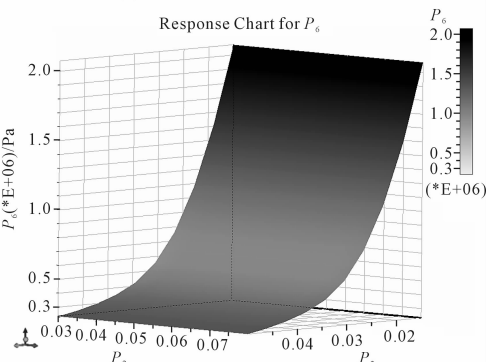
保持 P_1 不变, P_2 和 P_3 对质量、强度和刚度的响应图如图 4 所示。由图 4(a) 可知, 质量随着 P_2 和 P_3 的增加而增加, 由图中斜率可知, P_3 对质量的影响较 P_2 大, 与上面敏感度分析一致; 由图 4(b) 可知, 刚度随着 P_2



(a) P_1 不变, P_2 和 P_3 对质量的响应



(b) P_1 不变, P_2 和 P_3 对刚度的响应



(c) P_1 不变, P_2 和 P_3 对强度的响应

图 4 P_1 不变, P_2 和 P_3 对质量、强度和刚度的响应

的增加而增加, 随着 P_3 的增加而减小, 其中, P_3 对刚度影响较 P_2 大, 与上面敏感度分析一致; 由图 4(c) 可知, 强度随着 P_2 的增加而增加, 随着 P_3 的增加而减小, 其中, P_3 对刚度影响较 P_2 大, 与上面敏感度分析一致, 验证了分析方法的正确性。

保持 P_2 不变, P_1 和 P_3 对质量、强度和刚度的响应如图 5 所示。由图 5(a) 可知, 质量随着 P_1 和 P_3 的增加而增加, 由图中斜率可知, P_3 对质量的影响较 P_1 大, 与上面敏感度分析一致; 由图 5(b) 可知, 刚度随着 P_1 的增加而增加, 随着 P_3 的增加而减小, 其中, P_3 对刚度影响较 P_1 大, 与上面敏感度分析一致; 由图 5(c) 可知, 强度随着 P_1 的增加而增加, 随着 P_3 的增加而减小, 其中, P_3 对刚度影响较 P_1 大, 与上面敏感度分析一致, 验证了分析方法的正确性。

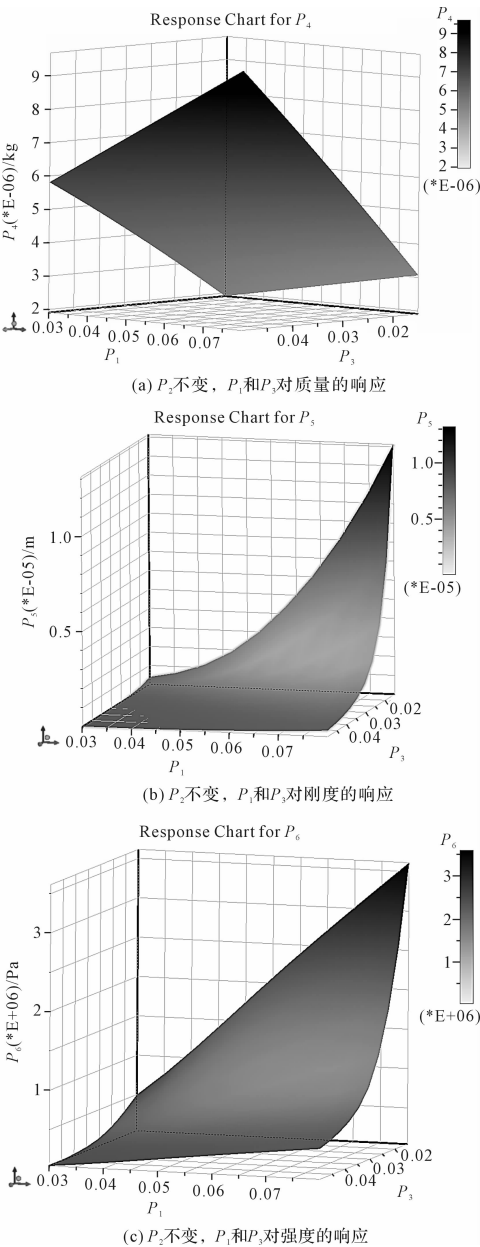


图5 P_2 不变, P_1 和 P_3 对质量、强度和刚度的响应

保持 P_3 不变, P_1 和 P_2 对质量、强度和刚度的响应如图6所示。由图6(a)可知,质量随着 P_1 和 P_2 的增加而增加,由图中斜率可知, P_1 和 P_2 对质量的响应相持平,与上面敏感度分析一致;由图6(b)可知,刚度随着 P_1 和 P_2 的增加而增加,由图中斜率可知, P_1 对刚度影响较 P_2 大,与上面敏感度分析一致;由图6(c)可知,强度随着 P_1 和 P_2 的增加而增加,由图中斜率可知, P_1 对刚度影响 P_2 大,与上面敏感度分析一致,验证了分析方法的正确性。

3 GDO 优化及结果分析

3.1 GDO 优化

GDO 优化即目标驱动优化,该方法是一种多目标

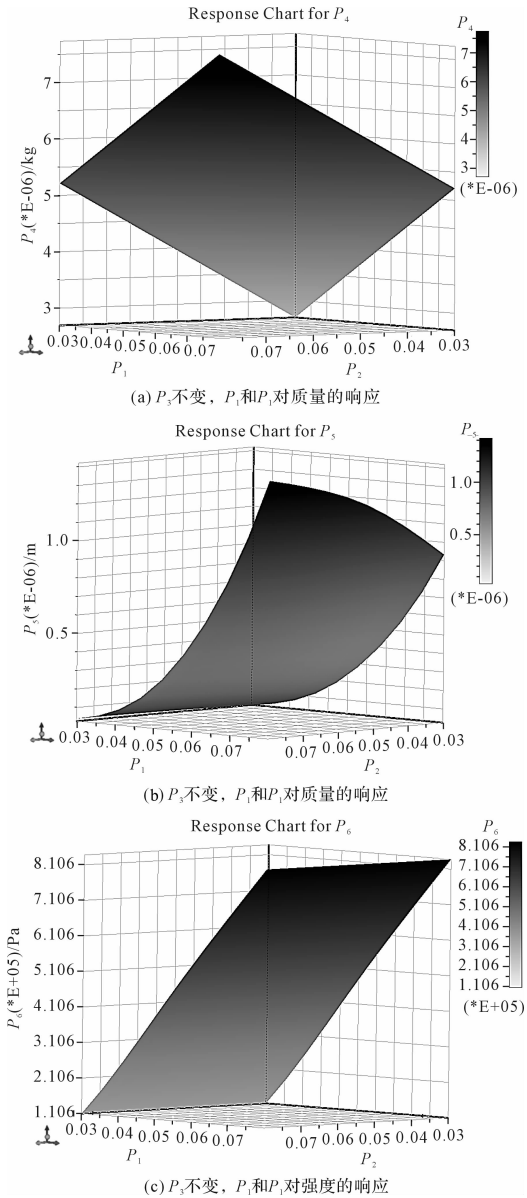


图6 P_3 不变, P_1 和 P_2 对质量、强度和刚度的响应

优化技术,即从给出的一组样本(即一定量的设计点)中得出“最佳”的设计点^[13]。按照优化设定目标,得出了A,B,C共3组优化设计点,如表3所示。

表3 候选优化设计点的参数值

组号	H_1/mm	V_2/mm	L_3/mm
A	30.4	33.2	4.6
B	31.3	47.2	4.9
C	30.9	56.6	4.7

3组设计点最优排序为:A>B>C,故选A组设计点为最优设计点。A组规格的矩形管在工程上不存在,为了能让尺寸优化后结果应用于工程上,需结合目前市场上常见的矩形管规格。由敏感度分析结果可知, P_2 _ V_2 对刚度和强度影响较小。因此,最优尺寸组合选择规格为30 mm×30 mm×4.5 mm的方钢管。

3.2 优化结果分析

优化前后钢架结构性能参数对比如表 4 所示。

表 4 优化前后钢架结构性能参数对比

目标参数	优化前	优化后
截面宽度 P_1 /mm	50	30
截面高度 P_2 /mm	50	30
截面厚度 P_3 /mm	4	4.5
最大等效应力/MPa	45.88	58.79
最大总位移/mm	3.14	7.33
总质量/kg	823.87	571

由表 4 可知,优化后钢架结构总质量减小了 30.69%,钢架结构强度和刚度靠近许用强度和许用刚度,材料性能在原来基础上得以更好发挥。

优化后钢架结构云图如图 7 所示。

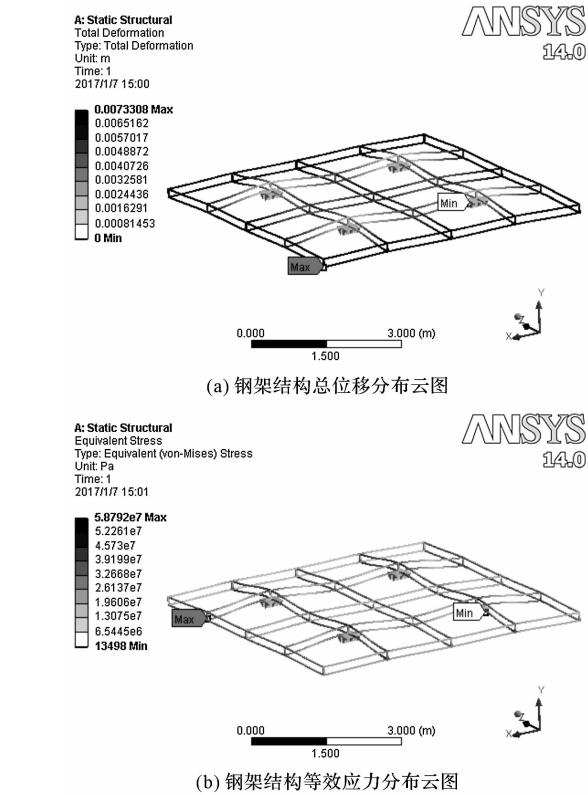


图 7 优化后钢架结构静态分析结果

4 结束语

(1)本研究基于 ANSYS Workbench 中 Design Modeler 模块对钢架结构中矩形管截面进行参数化建模,对参数化的矩形管截面进行尺寸优化,根据需要设定

目标函数,得到输入参数对输出参数的敏感度。

(2)本研究采用 GDO 优化方法得到最优设计点,矩形管截面尺寸分别为 $H_1 = 30.4\text{ mm}$, $V_2 = 33.2\text{ mm}$, $L_3 = 4.6\text{ mm}$,由敏感度分析结果可知, P_2 对刚度和强度影响较小。因此,方形管的最优尺寸组合为 $30\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 4.5\text{ mm}$ 。

(3)优化后钢架结构总质量减小了 30.69%,钢架结构强度和刚度小于许用强度和许用刚度,材料性能在原来基础上得以更好发挥。对泳池升降平台钢架结构在工程应用方面具有一定参考意义。

参考文献 (References):

[1] 张 鹏,李燕燕,王俊红. 钢结构复合板焊接接头的组织与性能研究[J]. 铸造技术,2016,37(11):2445-2448.

[2] 赵 云,杨海栗,繆德祥,等. 垂直升降式立体车库钢架结构分析及优化设计[J]. 科技创新与应用,2016(9):16-17.

[3] 钱解煌,宋 勇,方 鑫. 合肥交通银行多功能厅钢结构设计[J]. 建筑结构,2016,46(22):36-41.

[4] 张连飞,区 彤,谭 坚,等. 广州新白云国际机场 T2 航站楼钢屋盖结构设计[J]. 建筑结构,2016,46(21):64-69.

[5] 徐赫骏,郑婉婷,张琳琳,等. 地震作用下基于有限元方法的钢结构中心支撑受力分析[J]. 施工技术,2016,45(7):379-380.

[6] 陈征宇,王存堂,毛澍洲,等. 基于剪叉机构的游泳池水深调节装置[P]. 中国:104032985 A,2014-06-26.

[7] 贾凤翔,候若明,贾晓滨. 不锈钢性能及选用[M]. 北京:化学工业出版社,2013.

[8] JB/T 5320-2000. 剪叉式升降台安全规程[S]. 北京:中国标准出版社,2000.

[9] 杨 鹏. 升降平台动力学仿真与强度分析[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学机电工程学院,2007.

[10] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,2008.

[11] 宋元岭,卫良保,候明凯. 基于 ANSYS Workbench 的桥式起重主梁优化设计[J]. 起重运输机械,2015(9):32-35.

[12] 王玉梅,周 静,梁玲坤. 新型平缝机摆校驱动机构的优化设计[J]. 轻工机械,2016,34(5):70-29.

[13] 浦广益. ANSYS Workbench 基础教程与实例详解[M]. 北京:中国水利水电出版社,2013.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

尧 晶,王存堂. 泳池升降平台钢架结构的优化设计[J]. 机电工程,2017,34(8):870-874.