

鱼雷罐车车架结构优化设计

黄 慧, 冯国胜

(石家庄铁道大学 机械工程学院, 河北 石家庄 050043)

摘要: 论述了鱼雷罐车车架的优化原理及过程, 以车架前后工作台的8根短纵梁为优化对象, 通过对钢板厚度的参数提取, 采用 APDL 参数化优化设计方法进行优化, 在保证车架整体刚度和强度的前提下, 去除四根短纵梁, 降低了车架自重, 提高了经济效益。

关键词: 车架; 有限元; APDL; 优化

中图分类号: U270.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2013)03-0053-05

0 引言

某冶金厂 180 t 鱼雷罐车是一种大型铁水运输设备如图 1 所示。该车采用机车牵引, 满载载重 180 t, 倾翻速度为 0.15 r/min。它具有热损失小, 保温时间长, 节约能源等优点, 它还可以储存铁水, 以协调炼铁与炼钢临时出现的不平衡状态, 同时, 可替代炼钢的混铁炉和普通的铁水罐车, 也可在铁水运输过程中完成脱硫、脱磷等操作工序^[1-2]。鱼雷罐车主要由罐体、倾倒装置和承载车等三大部分构成。其中车架为型钢焊接组成, 其上设有支承座是车架的主要承载面, 用于供安放罐体。车架是整车的主要承载部分, 在设计中应该在满足强度和刚度的条件下尽可能减轻其质量。

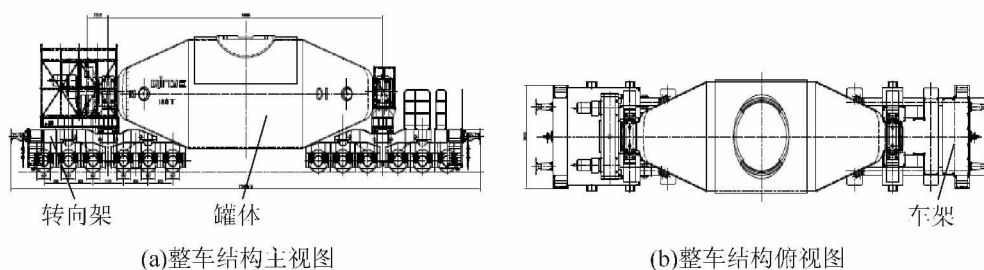


图1 180 t 鱼雷罐车整车结构图

在有限元分析的基础上, 找出车架材料富余较大的部分, 并采用参数化优化设计方法对其进行结构优化, 降低车架自重, 提高企业的经济效益^[3-4]。

1 车架有限元分析

车架有限元分析可分为前处理、求解、后处理三大部分^[5-6]。利用 Pro/E 建立三维模型, 然后导入 ANSYS 中进行离散化。经过多次试算比较后施加边界条件, 即前工作台全约束, 后工作台施加 X 和 Y 方向的约束。在 ANSYS 软件中, 计算机自动对节点和单元进行编号处理。划分网格后的车架有限元模型有单元 86 628 个, 节点 27 895 个, 如图 2。整车的重力施加在车架中间的主要承载面上, 大小根据实际载荷情况确定。鱼雷罐车载重 180 t, 车架以上部分自重 20 t, 分配到每个车架是 100 t, 施加在车架中间的工作台上, 工作台的面积是 0.64 m²。经计算, 施加在中间工作台上的压力为 1.231 MPa。求得应力分布如图 3。由图 3 可以看出, 车架所承受的最大应力约为 144 MPa, 前后工作台所受压力约为 600 Pa。车架材料

收稿日期: 2012-11-22

作者简介: 黄慧 女 1988 年出生 硕士研究生

基金项目: 国家自然科学基金项目(11272220)

采用 Q345 合金钢,屈服应力为 345 MPa,计算精确系数取 1.3,材料均匀系数取 1.2,零件重要性系数取 1.2,从而计算得出安全系数为 1.9^[1],许用应力约为 182 MPa。因此,可以对车架前后工作台进行优化设计,以减少车架自身的质量。

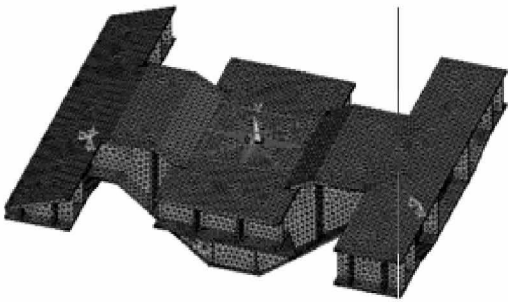


图 2 车架有限元模型

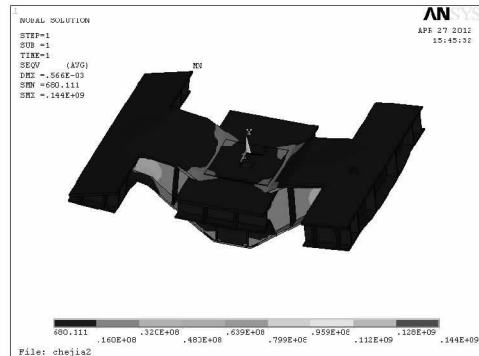


图 3 车架应力分布图

2 车架 APDL 优化设计

APDL(参数化设计语言)是 ANSYS Parametric Design Language 的缩写,是 ANSYS 的高级分析技术之一,可以很好地用于实现参数化的有限元分析^[2-3]。在 APDL 参数化优化设计中,只需简单地修改其中的参数便可达到反复循环分析计算不同尺寸、各种载荷大小的目的。

2.1 车架参数化优化数学模型

由于本车架是特种车车架,构成车架的各个横梁和纵梁是不规则的形状,提取车架两端的 8 根短纵梁进行分析计算。构成车架的钢板的厚度变化范围 1~20 mm。各设计变量如图 4 和图 5 所示。

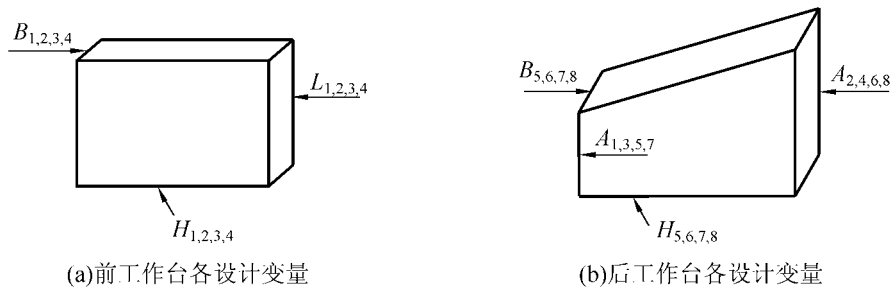


图 4 各设计变量

设计变量 $\min f(X)$, 用矢量表示为 $X = [X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8]^T = [B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7, B_8]^T$, $0 \leq B_i \leq 0.02 \text{ m}$, $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ 。

状态变量 $\max S$, 范围小于材料的许用应力 $0 \leq \max S \leq 182 \text{ MPa}$ 。

目标函数 V , 大小为各短纵梁的总体积和, $V_1 = B_1 L_1 H_1$, $V_2 = B_2 L_2 H_2$, $V_3 = B_3 L_3 H_3$, $V_4 = B_4 L_4 H_4$, $V_5 = (A_1 + A_2) B_5 H_5 / 2$, $V_6 = (A_3 + A_4) B_6 H_6 / 2$, $V_7 = (A_5 + A_6) B_7 H_7 / 2$, $V_8 = (A_7 + A_8) B_8 H_8 / 2$, $V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8$ 。

2.2 优化计算及结果

本文采用一阶法中的子问题法,设置步长为 0.001 m,指定循环次数 20 次。优化过程中多涉及的所有优化变量及其它参数在每次循环后被存储在优化数据文件中。最多可以存储 130 组这样的序列。本次设计循环次数 20 次,迭代至 13 次时得到最优解。13 个可执行优化结果如表 1 所示, B_i 表示各设计变量,目标函数 V 的优化结果为 $2.03 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ 。

整车的体积在优化前为 $5.65 \times 10^{-1} \text{ m}^3$,优化后为 $5.48 \times 10^{-1} \text{ m}^3$ 。

为直观地观察设计变量随迭代次数对目标函数的影响,还可以用曲线图显示指定的参数随优化设计

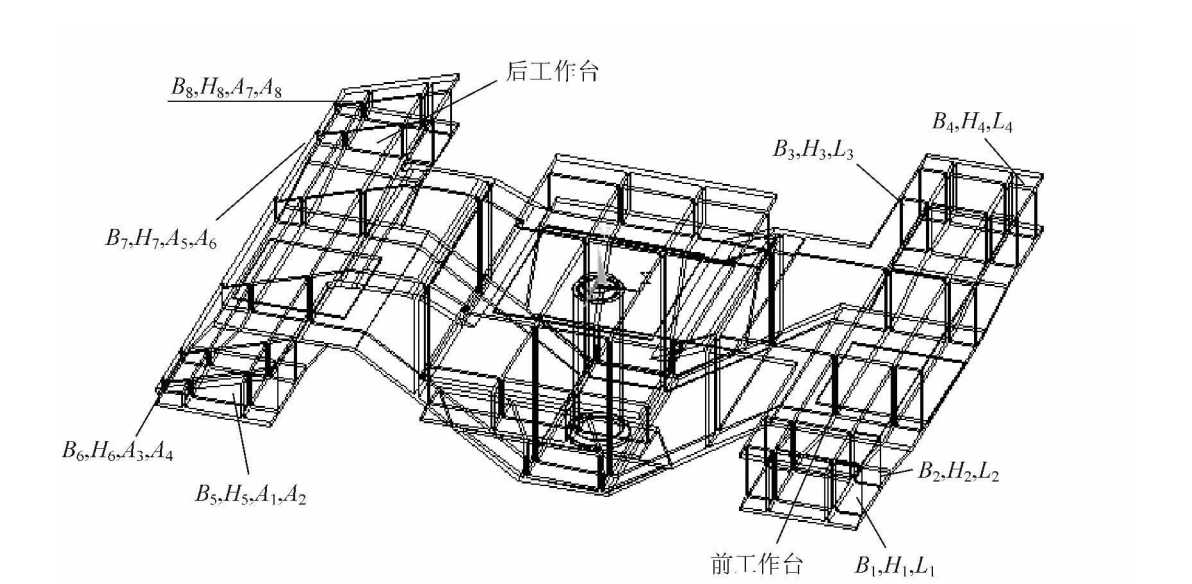


图 5 各设计变量分布位置

序列号的变化关系如图 6 所示。

从图 6 中可以得到,各设计变量在优化前后变化较大,钢板的厚度甚至不足 1 mm。在大型结构中,这种厚度的钢板是不能承载过高载荷的。因此对于厚度特别小的钢板可以直接省略,如图 7 所示。

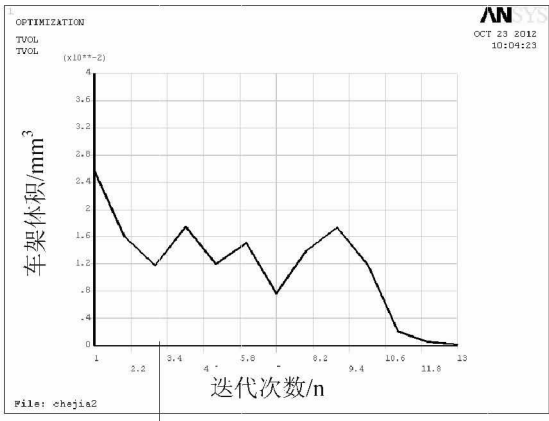


图 6 体积随迭代次数的变化

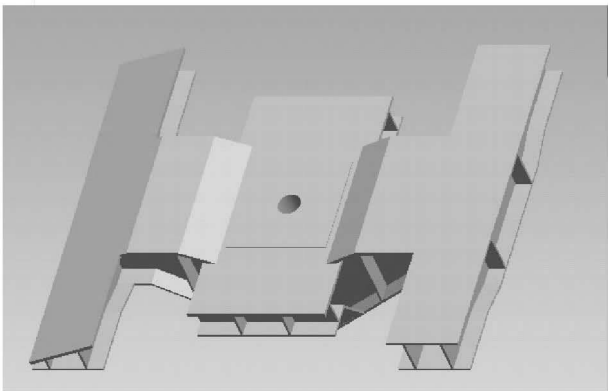


图 7 优化后的车架模型

表 1 初始值与优化值对比

设计变量	初始值/mm	优化结果/mm	变化率/%	设计变量	初始值/mm	优化结果/mm	变化率/%
B1	18	0.191 0	98.9	B5	18	0.245 17	98.6
B2	18	0.075 850	99.6	B6	18	0.070 145	99.6
B3	18	0.067 790	99.6	B7	18	0.076 871	99.6
B4	18	0.218 65	98.8	B8	18	0.212 55	98.8

3 优化结果校核

根据优化结果,将前后工作台共 8 根短纵梁全部省略,并进行应力和位移分析,结果如图 8 和图 9 所示。

从图 8 和图 9 可以看出,去除 8 根短纵梁后,车架所承受的最大应力为 181 MPa,虽仍在许用应力内,但是十分接近许用应力的极限。为保证车架运行的稳定性和安全性,根据优化设计结果,去除 B_2 、 B_3 、 B_6 、 B_7 4 根短纵梁。应力校核结果如图 10 和图 11。车架所承受的最大应力为 149 MPa。

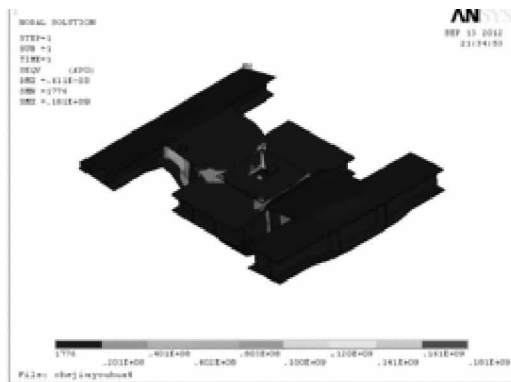


图 8 初步优化后的应力分布

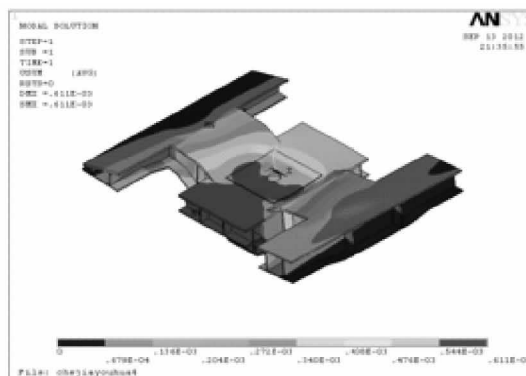


图 9 初步优化后的位移分布

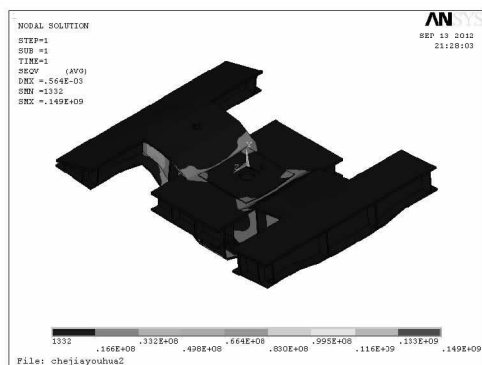


图 10 优化后车架应力分布

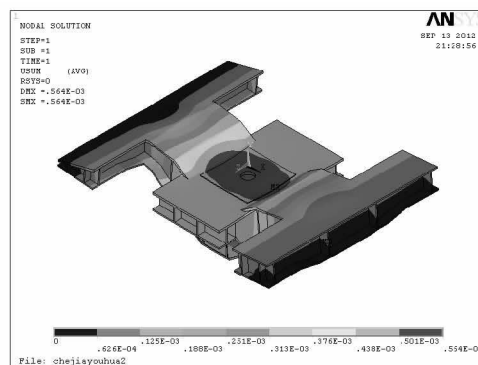


图 11 优化后车架位移分布

4 结语

建立了车架的有限元模型,进行了车架的应力分析,由结果可知车架所受应力远小于材料的许用应力,材料冗余较大。根据应力分析结果,以车架前后工作台的 8 根短纵梁为优化对象,通过对钢板厚度的参数提取,采用 APDL 参数化优化设计方法进行优化,使得车架主要承重部分减重 3%。并对优化后的车架进行校核,结果表明减少车架 4 根短纵梁后,仍可满足强度要求。

参 考 文 献

- [1] 况作尧. 大型冶金企业铁水运输方式的现状分析与发展 [J]. 铁道车辆, 2008; 46(11): 29-30.
- [2] 伍利群. 大型鱼雷式铁水罐车桥架有限元分析及优化设计 [D]. 长沙: 中南大学湖南工学院, 2008.
- [3] 冯国胜. 汽车车架结构参数的优化设计 [J]. 汽车技术, 1994(3): 6-11.
- [4] 冯国胜, 刘玉杰, 刘鹏. 冶金专用车车架结构的优化设计 [J]. 系统仿真学报, 2008, 35(2): 537-539.
- [5] 刘鹏, 冯国胜. 某重型钢水罐车车架结构的有限元分析及优化 [J]. 石家庄铁道学院学报, 2006, 19(2): 68-71.
- [6] 姚大雪, 孔德顺, 申永军. CRTS II 型轨道板翻转机主梁结构的有限元分析 [J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2012, 25(1): 46-49.
- [7] 王富耻, 张朝晖. ANSYS10.0 有限元分析理论与工程应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [8] 王新荣, 陈永波. 有限元法基础及 ANSYS 应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [9] Saeed Moaveni. Finite element analysis: theory and application with ANSYS [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [10] 王勖成. 有限单元法 [M]. 北京: 清华大学出版, 2008.
- [11] 闻邦椿. 机械设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [12] 桂树国. 基于 ANSYS 参数化设计语言 APDL 的产品结构优化设计 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2010(7): 91-96.
- [13] 博奔创作室. APDL 参数化有限元分析技术及其应用实例 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005. (下转第 102 页)

还是后期均低于其他三组。这表明掺有石灰石粉和粉煤灰的混凝土耐磨性得到了改善。一方面石灰石粉的掺入弥补了单纯掺入粉煤灰后混凝土早期耐磨性差的缺点,另一方面也弥补了单纯掺入石灰石粉后混凝土后期耐磨性差的不足。双掺的综合作用大大提高了道路混凝土耐磨性能,不论是在早期还是后期,道路混凝土的单位面积磨耗量均小于 3.6 kg/m^2 ,符合国家相关标准(JTGE—2005)。

3 结论

(1) 石灰石粉掺量对混凝土工作性能和强度的影响存在着一个最佳值。当石灰石粉掺量在 0% ~ 10% 范围之内时,随着其掺量的增加道路混凝土的工作性能、早期抗压强度和 28 d 抗折强度会逐渐改善提高。

(2) 石灰石粉的掺入还可有效提高混凝土的早期耐磨性能;当石灰石粉和粉煤灰双掺使用时可有效提高混凝土早期和后期耐磨性能。

参 考 文 献

- [1] 杨柳,宋少民. 石灰石粉与矿物掺合料复掺对混凝土工作性及强度的影响 [J]. 北京建筑工程学院学报,2010,26(2): 49-52.
- [2] 刘数华,冷发光. 混凝土辅助胶凝材料 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2010: 2-4.
- [3] 曾阳春,郑克仁,李益进. 矿物掺合料对道路混凝土耐磨性的影响及机理 [J]. 铁道科学与工程学报,2007,4(2): 59-62.
- [4] 熊远柱,万慧文. 石灰石粉对混凝土性能的影响 [J]. 混凝土,2010(9): 89-91.
- [5] 李俊,尹健. 道路高性能混凝土耐久性研究与应用 [J]. 混凝土,2007(9): 98-101.
- [6] 何智海,刘云华. 双掺粉煤灰和石灰石粉对混凝土抗冻融性能的影响研究 [J]. 新型建筑材料,2010(2): 1-4.

Influence of limestone Powder on Abrasion Resistance of Road Concrete

Liu Jie

(Highway Engineering Department of Transport, Baoding 071000, China)

Abstract: The effect of limestone powder on road concrete is studied through the aspects of workability, compressive strength, flexural strength and abrasion resistance and so on. Meanwhile, the mechanism of action is analyzed and discussed. The results show that the road concrete added 10% by mass of limestone powder has good workability and higher later strength. The abrasion resistance of road concrete at early stage can be improved by limestone powder. In addition, the abrasion resistance of road concrete at early and later stage can be improved by mixing limestone powder and fly ash in concrete.

Key words: limestone powder; fly ash; road concrete; abrasion resistance (责任编辑 刘宪福)

~~~~~  
(上接第 56 页)

## Structure Optimal Design for Frame of Torpedo Car

Huang Hui, Feng Guosheng

( School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

**Abstract:** This paper introduces the principle and process of optimization for the torpedo tanker frame. The 8 short stringer around the workbench of the frame are optimized as object, the parameters of the thickness of the steel plate ware are extracted, APDL parametric optimization design method is used to optimize. Under the premise of ensuring overall stiffness and strength of the frame, four short-stringers are removed, frame weight is reduced and economic efficiency improved.

**Key words:** frame; finite element; APDL; optimization (责任编辑 刘宪福)