

产品·设计

栈桥橡胶气囊充气系统的设计

郭子豪,陈笑微*,严力,王金涛
(沈阳橡胶研究设计院有限公司,辽宁 沈阳 110021)

摘要:设计一种栈桥橡胶气囊(简称气囊)充气系统。以栈桥气囊的使用功能、充气速度、工作压力为依据,针对栈桥气囊充气系统的技术方案,进行设备参数的计算及管路系统的安装,并根据栈桥钢结构内部构造进行栈桥气囊的装配。水上充气试验表明,栈桥气囊充气至工作压力用时约7 min,满足栈桥气囊充气速度快、浮态稳定性好和充气速度一致的要求。

关键词:栈桥;橡胶气囊;充气系统;浮态稳定性

中图分类号:TQ336.4⁺2

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2024)01-0047-06

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2024.01.0047



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着海上运输对运力要求的不断提高,栈桥(海上浮桥)经常作为由船到岸的转运途径以承担人员、车辆和物资的运输^[1-3],然而其在实际使用中受制于海上环境的影响,其运力时常不足。针对于此,橡胶气囊(简称气囊)经常作为栈桥的水下助浮装置用于应急和救援^[4]。

沈阳橡胶研究设计院有限公司近期开发了一种新型栈桥气囊系统,实现了气囊与浮桥钢结构的成功匹配,提高了栈桥的运力。

栈桥气囊系统除气囊外,还包括液压式充气系统和电气控制系统。本文重点介绍栈桥气囊充气系统的设计方案。

1 栈桥气囊系统的工作原理及其充气系统技术指标

1.1 栈桥气囊系统的工作原理

气囊安装在桥栈边桥节边箱的外侧和底部的凹槽内,以提供浮力和支撑。充气系统和电气控制系

统安装在桥栈边桥节边箱的内部,用于自动控制气囊的充气与抽气。

1.2 充气系统技术指标

针对栈桥由船到岸的转运功能,需对气囊快速充气,使之能够快速响应以完成运输部署。因此,栈桥气囊的充气系统需满足充气速度快(整套装备的充气时间不长于8 min)、浮态稳定性好(在20 kPa的工作压力下保压时间不短于2 h,当压力降达到10%工作压力时须实现补气)、展开与回收功能匹配(充气装置可实现正反转,以实现气囊的充气展开与抽气回收)等要求。

2 栈桥气囊充气系统的设计与试验

2.1 充气原理

根据栈桥气囊系统的工作原理及充气系统技术指标,桥节只能供应24 V电压,无法对电动机、往复式空气压缩机等高电压设备进行供电。根据充气时间不长于8 min的要求,需要选用出风量较

作者简介:郭子豪(1994—),男,辽宁沈阳人,沈阳橡胶研究设计院有限公司工程师,硕士,主要从事橡胶模具以及工艺设备的设计和研究工作。

***通信联系人**(srispm@163.com):陈笑微(1980—),女,辽宁沈阳人,沈阳橡胶研究设计院有限公司高级工程师,学士,主要从事橡胶制品材料与工艺的研究工作。

引用本文:郭子豪,陈笑微,严力,等.栈桥橡胶气囊充气系统的设计[J].橡胶工业,2024,71(1):47-52.

Citation: GUO Zihao, CHEN Xiaowei, YAN Li, et al. Design of inflation system for rubber airbags of trestle bridge[J]. China Rubber Industry, 2024, 71(1): 47-52.

大的鼓风设备对气囊充气,且鼓风设备的风压应略高于气囊的使用气压^[5],因此本设计鼓风设备选用大风量的轴流风扇。

针对海上特殊的运输环境,栈桥单元使用液压方式进行展开和回收,设备无法使用大功率电器,而液压马达在回转运动机构中使用广泛,其输出扭矩平稳,可靠性高^[6-7],因此本设计选用液压马达驱动风泵旋转。栈桥气囊分为底气囊和侧气囊2种,囊体均采用由常态气囊(外层气囊)和应急气囊组成的双层结构。为实现系统的快速充放气,外层气囊设置2个充气口,应急气囊设置1个充气

口,底气囊和侧气囊均有3个充气口。

针对上述工况,充气系统采用总-分的方式,即采用1条主管路和6条分管路系统对底气囊和侧气囊同时供气。每个充气口使用橡胶软管与管路相连,每个充气口支路上设置一个电磁球阀,充放气时开启,气密时闭合。管路根据桥节钢结构内部构造放置。

单桥节边箱气囊的充气原理如图1所示。

2.2 设备参数的计算

2.2.1 风泵参数

栈桥气囊的底气囊安装于桥节钢结构底部,

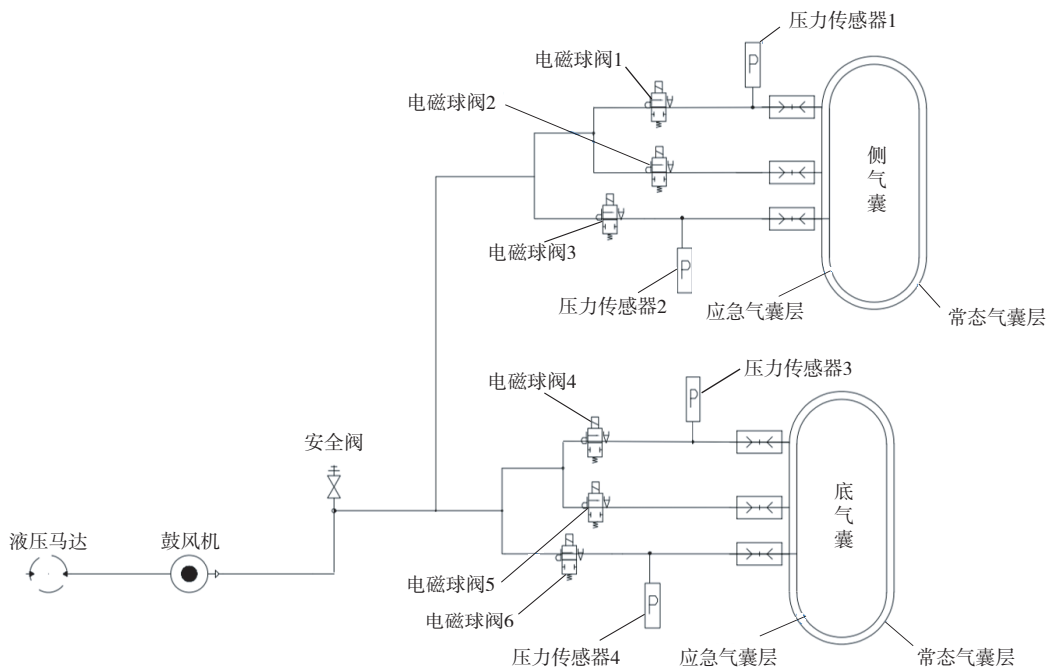


图1 单桥节边箱气囊的充气原理

Fig. 1 Inflation principle of single bridge side box airbag

侧气囊安装于桥节钢结构侧面。为实现栈桥结构在水面的稳定性,根据其承载力及浮态稳定性等的计算,本设计底气囊容积为4.06 m³,侧气囊容积为5.47 m³。在使用过程中,气囊内部气压需达到20 kPa。根据气压公式^[8-9]:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (1)$$

式中, P_1 和 V_1 分别为气囊充满气体时的气压和体积, P_2 和 V_2 分别为气囊达到工作压力的气压和还需充入气体的体积。

因此,单桥节边箱气囊充气8 min所需的气量为11.436 m³,即选用风泵的排气量至少为1.43

m³·min⁻¹,且风泵鼓风气压需大于气囊工作气压(20 kPa)。

经计算,本设计选用风泵的正常额定转速(简称风泵转速)为3 000 r·min⁻¹,功率为3 kW,流量为230 m³·h⁻¹。

2.2.2 液压马达参数

根据供应充气系统的液压源参数,单个液压马达流量(Q_1)为^[10]

$$Q_1 = \frac{Q}{n} \quad (2)$$

式中, Q 为液压马达总排量, n 为液压马达个数。

由式(2)可以得到 Q_1 为 $17.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

液压马达转速(N)为^[11]

$$N = \frac{Q_1}{V} \times 1000 \quad (3)$$

式中, V 为液压马达排量。

由于液压马达转速高于风泵转速时风泵才能驱动,选用液压马达排量应小于 $5.83 \text{ mL} \cdot \text{r}^{-1}$,本设计选用排量为 $5 \text{ mL} \cdot \text{r}^{-1}$ 的液压马达为驱动装置,可得其转速为 $3500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

2.2.3 扭矩参数

选择风泵及液压马达型号后,还需验证液压马达输出扭矩(简称液压马达扭矩)是否足够驱动风泵达到工作转速。

大风量多动力式风泵扭矩(简称风泵扭矩, T)计算如下^[12]:

$$T = \frac{P}{n_1} \times 9500 \quad (4)$$

式中, P 为风泵功率, n_1 为风泵额定转速。

计算可得风泵扭矩为 $10 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

液压马达扭矩(L)计算如下^[13]:

$$L = V \times \frac{\Delta P}{20\pi} \times 0.9 \quad (5)$$

式中, ΔP 为进出口压力差。

计算可得液压马达扭矩为 $18 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

综上所述,本设计充气系统的液压马达转速>风泵转速、液压马达扭矩>风泵扭矩,去掉少量损耗,能够满足气囊在8 min内达到20 kPa的充气条件。

2.3 液压平衡阀(简称平衡阀)选型

平衡阀多用于起重液压系统中,通过改变阀芯与阀座间隙改变阀门处的流动阻力,使液压马达转速不受载荷的影响而保持平稳,从而达到调节流量的目的^[14-15]。

在充气系统的液压管路中,由于液压马达要根据气囊充放气进行正反方向转动,平衡阀选用双向的类型。根据供应的液压源压力及流量、液压马达所需压力及流量,平衡阀选用的最大压力为35 MPa,最大流量为 $40 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

2.4 管路系统安装方式

管路系统分为动力部分和管路部分。

2.4.1 动力部分

管路系统的动力部分用于驱动风泵。动力装置包括平衡阀、平衡阀支架、硬油管、液压马达、液压马达支架、联轴器和风泵。平衡阀上装有变径对丝,其与平衡阀之间使用锥口密封方式,与硬管之间使用橡胶O形圈密封。液压马达两侧各装有一个平口对丝,平口对丝内部通过O形圈、外部通过组合垫片实现密封。联轴器两端通过键连接方式安装在液压马达和风泵的轴端上。

使用螺栓及螺母将平衡阀安装在平衡阀支架上,根据平衡阀与硬管连接所需要的高度调节好支架的高度(见图2)。将硬油管直线端的螺母连接至安全阀前端的对丝上并进行密封,硬油管U形端的螺母连接至液压马达的对丝上(见图3)。为适应水上使用工况,硬油管和支架等零件均采用不锈钢。

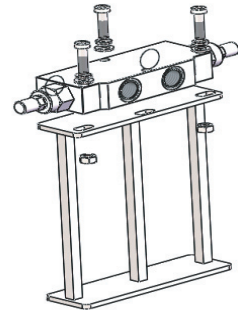


图2 平衡阀支架安装示意

Fig. 2 Installation diagram of balance valve bracket

2.4.2 管路部分

为实现安装便捷,将管路部分分为5个分结构,各分结构之间使用螺纹活接头进行连接。

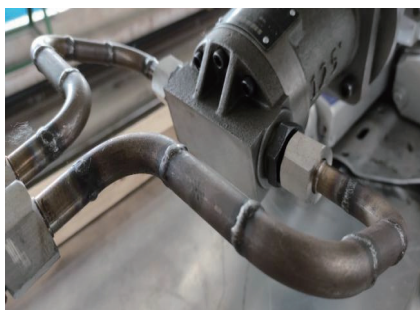
1号结构主要包括出风口和限压阀。1号结构的A端(非活接头一侧)使用螺钉与风泵的出风口相连,B端(活接头一侧)利用螺纹外套与2号结构进行连接,如图4所示。在桥节箱体底部焊接风机安装板,通过螺栓螺母将风机固定在箱体底部。

2号结构为穿箱管连接端,其与1号及3号结构通过螺纹活接头相连,如图5所示。由于箱体内2号结构所在位置的上方存在桥节的翻转液压杆,所以2号结构长度需大于液压杆占用的长度,并在2号结构管体下方设置管路支架。

3号结构用于与底气囊和侧气囊的主囊充气



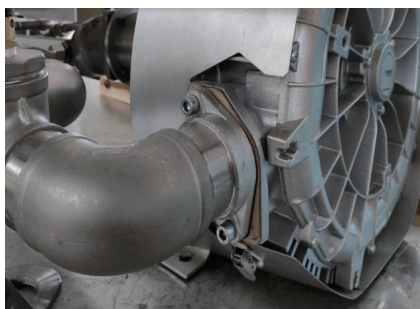
(a) 油管与平衡阀连接



(b) 油管与液压马达连接

图3 硬油管安装示意

Fig. 3 Installation diagram of hard oil pipe



(a) A端



(b) B端

图4 1号结构安装方式

Fig. 4 Installation method of structure 1

口1进行连接。其四通前后各安装有螺纹活接头,分别与2号及4号结构相连,三通顶端用于安装气

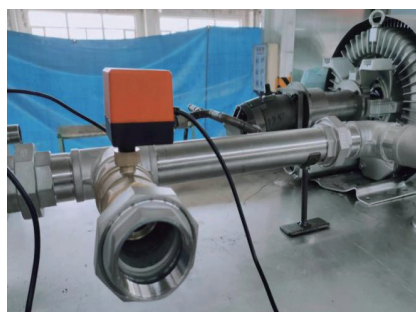


图5 2号结构安装方式

Fig. 5 Installation method of structure 2

囊压力传感器,如图6所示。

4号结构用于与底气囊和侧气囊的主囊充气口2进行连接,在其一侧的充气口安装压力传感器,如图7所示。



图6 3号结构安装方式

Fig. 6 Installation method of structure 3



图7 4号结构安装方式

Fig. 7 Installation method of structure 4

5号结构用于与底气囊、侧气囊的应急气囊充气口进行连接,其硬管出口方向指向箱体侧壁方向,如图8所示。

2.5 水上充气试验

将栈桥气囊各零部件运抵安装现场后,配合实际栈桥箱体进行系统安装和调试。全部桥节边箱的气囊、充气系统和电气控制系统安装调试完毕后,通过总控进行动力输出。



图8 5号结构安装方式

Fig. 8 Installation method of structure 5

充气试验过程如下:首先在岸滩将各桥节之间的电气线缆进行连接、展开桥节;然后由操作人员总控进行各桥节的充气操作;试验中各底气囊与侧气囊同时充入空气,缓慢进行排水。试验结果表明,从气囊开始充气至达到工作压力后停止充气,用时约7 min,满足气囊充气速度快、浮态稳定性好和充气速度一致的要求。

3 结语

本设计运用液压技术,将液压驱动设备与鼓风设备进行有效配合,利用大流量充气管路实现了栈桥气囊的自动充放功能。水上充气试验结果表明,将栈桥气囊充至使用压力用时约7 min,满足栈桥气囊系统充气速度快、浮态稳定性好和充气速度一致性的使用要求,使栈桥气囊系统彻底摆脱了无法使用大功率电器的困境。

参考文献:

- [1] 黄坚. 钢栈桥兼做钢梁运输通道的应用研究[J]. 价值工程, 2022, 41(9): 126-129.
HUANG J. Application research on steel trestle as steel beam transportation channel[J]. Value Engineering, 2022, 41(9): 126-129.
- [2] 程斌, 向升. 深水浮式桥梁研究应用进展[J]. 土木工程学报, 2021, 54(2): 107-126.
CHENG B, XIANG S. Advances in research and application of deep-water floating bridges[J]. China Civil Engineering Journal, 2021, 54(2): 107-126.
- [3] 宋志国, 王通通. 一种三自由度海工装备用栈桥的结构设计与运动学分析[J]. 工程与试验, 2022, 62(1): 47-50.
SONG Z G, WANG T T. Structural design and kinematic analysis of a 3-DOF offshore trestle[J]. Engineering & Test, 2022, 62(1): 47-50.
- [4] 孙建红, 周涛, 李名琦, 等. 直升机应急气囊充气及冲击着水过程数值分析[J]. 南京航空航天大学学报, 2012, 44(5): 713-717.
SUN J H, ZHOU T, LI M Q, et al. Numerical analysis of emergent airbag deployment and ditching crashworthiness process[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2012, 44(5): 713-717.
- [5] 张鹏飞, 卫剑征, 陈雪岩, 等. 大载重气囊缓冲性能分析及多目标优化[J]. 振动与冲击, 2020, 39(24): 91-98, 142.
ZHANG P F, WEI J Z, CHEN X Y, et al. Analysis and multi-objective optimization for buffer performance of heavy landing airbags[J]. Journal of Vibration and Shock, 2020, 39(24): 91-98, 142.
- [6] 彭余, 黄志坚. 盾构机液压马达磨损监测研究[J]. 液压气动与密封, 2017, 37(5): 64-65.
PENG Y, HUANG Z J. Research on monitoring of hydraulic motor wear for shield machine[J]. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2017, 37(5): 64-65.
- [7] 黄方平, 罗从宗, 黄菲, 等. 低速大扭矩多作用内曲线径向柱塞式液压马达的发展与应用[J]. 机床与液压, 2015, 43(4): 181-183.
HUANG F P, LUO C Z, HUANG F, et al. Development and application of incurve multi-stroke radial-piston low-speed and high-torque hydraulic motor[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2015, 43(4): 181-183.
- [8] 王喜军. 气囊展开及其与环境相互作用计算技术研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2015: 11-15.
WANG X J. Research on airbag deployment and computing technology for its interaction with environment[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2015: 11-15.
- [9] 张华, 孟光, 刘汉武, 等. 行星软着陆气囊缓冲系统动力学仿真研究[J]. 振动与冲击, 2016, 35(20): 125-129, 208.
ZHANG H, MENG G, LIU H W, et al. Dynamics simulation on a planetary airbag buffering and landing system[J]. Journal of Vibration and Shock, 2016, 35(20): 125-129, 208.
- [10] 全国液压气动标准化技术委员会. 低速大扭矩液压马达: JB/T 8728—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 1-14.
- [11] 邱韶峰, 张延杰, 吴爱兵, 等. 移动式液压加载型拖拉机动力输出轴试验装置设计[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(10): 132-138, 179.
QIU S F, ZHANG Y J, WU A B, et al. Design of movable hydraulic loading tractor power take-off test device[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(10): 132-138, 179.
- [12] 张礼亮. 变频风机轴系扭振故障原因分析与减振技术研究[D]. 南京: 东南大学, 2015: 11-15.
ZHANG L L. Fault analysis of shaft torsional vibration of variable-frequency fan and research on vibration reduction technology[D]. Nanjing: Southeast University, 2015: 11-15.
- [13] 陈沛民, 杨林洪, 吴思浩, 等. 液压马达扭矩及转速推算选型[J]. 农业装备技术, 2020, 46(5): 19-22.
CHEN P M, YANG L H, WU S H, et al. Hydraulic motor torque

and speed calculation selection[J]. Agricultural Equipment & Technology, 2020, 46(5): 19-22.

[14] 刘银水, 许福玲. 液压与气压传动[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.

[15] 段惠玲, 常庆玉. 平衡阀在液压启闭机液压系统中的设计研究[J].

液压气动与密封, 2021, 41(5): 57-60.

DUAN H L, CHANG Q Y. Design and research of balance valve for hydraulic hoist hydraulic system[J]. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2021, 41(5): 57-60.

收稿日期: 2023-10-20

Design of Inflation System for Rubber Airbags of Trestle Bridge

GUO Zihao, CHEN Xiaowei, YAN Li, WANG Jintao

(Shenyang Rubber Research and Design Institute Co., Ltd, Shenyang 110021, China)

Abstract: An inflation system for the rubber airbag (referred to as airbag) of the trestle bridge was designed. According to the usage function, inflation speed and working pressure of the trestle bridge airbag, the calculations of the equipment parameters and the installation of the pipeline systems for the technical scheme of the inflation system of the trestle bridge airbag were carried out, and the trestle bridge airbag was assembled according to the internal structure of the steel structure of the trestle bridge. The water inflation test showed that it took about 7 minutes to inflate the trestle bridge airbag to the working pressure, which met the requirements of fast inflation speed, good floating stability and consistent inflation speed for the trestle bridge airbag.

Key words: trestle bridge; rubber airbag; inflation system; floating stability

专利2则

由山东玲珑橡胶科技有限公司和中国科学院青岛生物能源与过程研究所申请的专利(公布号 CN 116901311A, 公布日期 2023-10-20)“一种废旧轮胎的橡胶回收装置”, 公开了一种废旧轮胎的橡胶回收装置。该装置包括放置箱和导向杆, 放置箱内壁的底部安装有回转支撑机构, 并驱动安装有固定环, 固定环的外表面设有多个等角度分布的锯齿凸起; 放置箱的顶部安装有液压杆, 液压杆的伸缩端安装有顶板, 顶板底部的前后两侧分别固定安装有切割机构和抽取机构。该装置通过顶板底部的直线电动机带动抽取机构整体前移, 而抽取机构由较细长的插柱一插入轮胎侧面并位于钢丝层下方的位置, 由于插柱一的尺寸设计, 只要插柱一没有脱离轮胎截面而进入轮胎的内侧面, 便可在向上运动的过程中穿过橡胶层, 能够极大地提高装置抽取钢丝的准确性, 提升了装置的工作效率。

由肇庆骏鸿实业有限公司申请的专利(公布号 CN 116554559A, 公布日期 2023-08-08)“一种低成本低生热高硬度三角胶及其制备方法和应用”, 公开了一种低成本低生热高硬度三角胶及其制备方法和应用, 用于解决现有技术三角胶的硬度和抗硫化返原性能有待进一步提高和生热有待进一步降低的问题。这种低成本低生热高硬度三角胶配方的部分组分(用量/份)为: 天然橡胶 50~70, 丁苯橡胶SBR1502 15~25, 顺丁橡胶 15~25, 氧化锌 2~3, 硬脂酸 1.5~3, 分散剂 1.5~2, 防老剂 1~5, 防护蜡 1~2, 增粘树脂 5~8, 热稳定剂 4~6。本发明通过炭黑和裂解炭黑改性, 不仅有效地提高了三角胶的硬度和整体强度, 还降低了三角胶的生热, 延长了三角胶的抗硫化返原时间, 降低了轮胎加强层端点位置裂开损坏的风险。

(信息来源于国家知识产权局)