

文章编号: 1674-5566(2018)02-0311-09

DOI:10.12024/jso.20171002147

海洋仪器试验场测试装置立管结构与强度分析

胡庆松¹, 张宏成¹, 向 鹏¹, 田 华², 陈雷雷¹, 李 俊¹, 赵品军³

(1. 上海海洋大学 工程学院, 上海 201306; 2. 上海市水文总站, 上海 200232; 3. 上海绍谨船舶工程有限公司, 上海 201306)

摘 要: 根据海洋仪器试验场建设需要,对传感器等海洋仪器进行检测的装置立管及其附属结构进行设计与分析十分必要。检测装置由不同直径的 PE 立管相互嵌套为主体,可搭载 5 个直径 50 mm 的传感器,传感器挂载装置可自动适应海上潮位变化,螺旋桨旋转形成涡流以清除附着生物。CFD 圆柱绕流仿真计算以及对装备固定螺栓组和卡箍失效分析结果表明,消波管可引导装备立管绕流及尾流的汇流,控制尾流的流向,削弱流体流经立管时产生的涡流影响,并且装置在海上作业具有较高的抗风浪性和可靠性。在上海市浦东芦潮港水文检测站进行的测试表明,装置整体结构强度和形变符合设计要求,能够满足海洋仪器试验场测试装备的需要。

关键词: 海洋仪器设备; 海上试验场; 立管; 结构设计; 强度分析; 升降装置

中图分类号: S 951 **文献标志码:** A

海上试验场是海洋观测、监测、仪器设备研发及海洋科学研究的重要试验平台,国外海洋发达国家对海上试验场的建设都投入了大量的资金和精力。我国研发体制中相关经费主要支持瞄准国际先进水平的传感器等海洋仪器设备研发^[1-2],而在样机研发成功后产品化测试支撑相对不足。由于条件良好的现场试验条件还不具备,大量功能样机没有实现产品定型,建立海上仪器设备试验场是解决这一问题的必由之路。国外海洋发达国家海上试验场多为大型综合试验场,而国内由于对试验场的建设起步较晚,试验场功能单一,与海洋发达国家存在一定差距^[3-5]。为解决这一问题,基于上海近海现有测站基础设施,提出了以大戛山为中心,南槽东、芦潮港、唐脑山岛及绿华礁等 4 个分站点组成的传感器试验场建设方案,可以充分利用这些站点间盐度、浊度、营养盐变化大的特点,降低仪器设备测试周期。

测试传感器与利用传感器进行海洋环境检测不同,需要进行具有不同功能的装备结构开发,包括可用于观测传感器腐蚀和生物附着的升降装置,减缓附着形成的螺旋桨动力系统,降低

波浪影响的消波结构等。试验场中站点潮差大、流速高,海洋仪器测试装置需保证传感器工作的可靠性、稳定性及抗风浪性。不同于外露式检测,立管结构测试装置能够保证传感器在浪流中工作的可靠性和升降的稳定性。为增强系统设计的合理性,满足在测站安装后的强度要求,进行结构力学和流固耦合分析有助于满足海上长周期作业要求,提升系统可靠性。

1 海洋仪器测试装置立管结构设计

1.1 立管内部机构设计及工作原理

海洋仪器测试装置立管包含立管体、升降装置、被测仪器固定机构三部分,如图 1 所示。升降装置包括同轴且可旋转的上、下升降立管。上升降立管内设置升降涡轮蜗杆减速电机,下升降立管内壁设有带滚珠的套管装置,提高海洋仪器升降平稳性,减小升降过程中的摩擦阻力;上升降立管外部设有转动卡箍,便于海洋仪器的检查、更换。被测仪器安装于固定机构,采用卡箍对传感器进行锁紧和拆卸操作。海洋仪器固定装置底部的螺旋桨通过旋转涡流对被测对象外壁进行冲刷,减缓传感器生物附着的产生。下升

收稿日期: 2017-10-09 修回日期: 2017-12-19

基金项目: 上海市科技创新行动计划(15DZ1202500,16DZ1205100)

作者简介: 胡庆松(1979—),男,副教授,博士,研究方向为海洋工程装备。E-mail:qshu@shou.edu.cn

升降管内含有柱形浮力块,浮力块可以提供浮力,减轻钢缆的受力。上、下升降机构组成如图2所示。

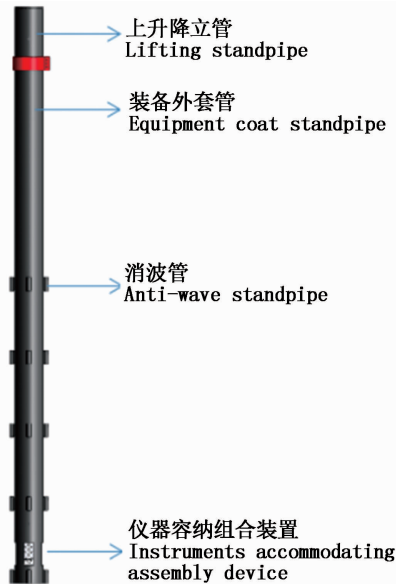


图1 海上仪器测试装置立管结构
Fig.1 Standpipe structure of marine instrument testing equipment

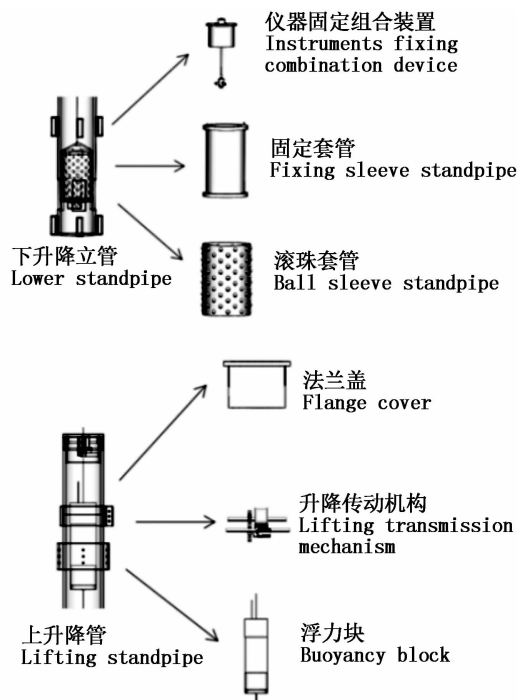


图2 上、下升降系统结构组成
Fig.2 Up-down lifting system structure composition

由于传感器升降幅度最大8 m,考虑到钢缆

及线缆的长度,为避免其缠绕,升降装置中设计有排线装置。排线装置中收线轮与排线螺纹杆的传动比为1:1,从而使升降减速电机带动收线轮和排线螺母同步旋转,线缆有序排在收线轮上。当电机收到控制信号后,通过齿轮啮合传动带动排线装置工作,使被测仪器顺着立管上升(下降),并且收线轮每转一圈,排线螺母相应移位,使钢缆线紧密排在收线轮上,不发生缠绕现象。

1.2 系统总体结构与功能实现

海洋仪器测试装备需要挂载不同型号的传感器等设备,以对传感器进行性能检测 and 对比^[6-11]。如图3所示,在海上测站平台预装支架,将立管固定用螺栓安装在支架上。立管内部的浮力块底部设有液位控制开关,当其接触海平面时,开关断开,升降减速电机停止。此时,传感器伸入海面下方设定的距离,并由浮力块牵拉。涨潮时,浮力块随潮位上升,并牵拉下部传感器上升;退潮时,并且超过原始液位,则液位开关开启,电机运作,直到传感器下降到海面以下指定的距离。立管装置采用大口径圆管互相嵌套的机理,自内向外依次设有内层PVC立管、中层PVC立管,中层PVC立管上布有硬质硅胶珠。

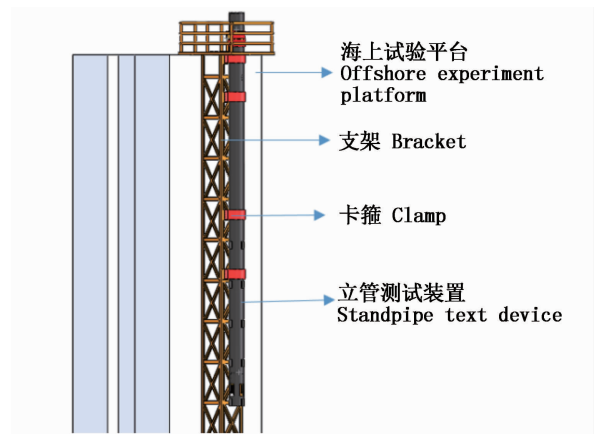


图3 海上仪器测试装置立管三维图
Fig.3 Standpipe 3D drawing of offshore instrument testing device

本装备能够实现海洋仪器稳定的升降,并能一定程度上减少海洋仪器生物附着,有效保证海洋仪器稳定运作,自动适应海上潮位变化,为海洋仪器样机测试、海洋环境检测提供高效的服务平台。

2 立管关键部件功能的分析

海洋仪器测试装备安装在海上测站,高潮位时,装备立管深入海中达数米,因此,需要考虑立管结构本身的受力变形、抗风浪性以及装备固定卡箍、螺栓组是否会产生失效问题,以保证测试装置立管结构的海上作业的可靠性。

2.1 立管消波设计与分析

当流体流经一个非流线型圆柱体的前缘时,流体形成的水流剪切层在柱体外部形成漩涡^[12-15],易引发涡激振动现象,对主管具有很大的破坏作用。利用 CFD 分析软件模拟研究附属管对立管绕流流场特性的影响,主立管外部添加的附属管为消波管。立管消波设计如图 4 所示。

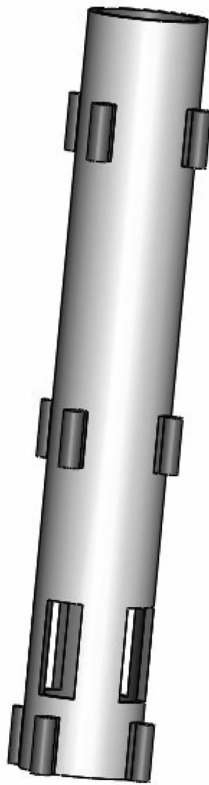


图 4 消波立管

Fig. 4 Anti - wave standpipe

为研究消波管对主立管圆柱绕流流场特性的影响,需建立数学模型,利用 CFD 软件进行流固耦合分析,软件模型为标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型。根据 Launder 等的推荐值,各模型常数取值为: $C_{\varepsilon 1} = 1.44, C_{\varepsilon 2} = 1.92, C_U = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$, 其中 $C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}, C_U$ 为经验常数, $\sigma_k, \sigma_\varepsilon$ 为与湍动能

和耗散率对应的 Prandtl 数,湍动能耗散率方程:

$$\frac{\partial u_i \varepsilon}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_i}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\sigma_\varepsilon}{\partial x_i} \right] = \frac{C_{\varepsilon 1} \cdot \varepsilon \cdot P_r - C_{\varepsilon 2} \cdot \varepsilon^2}{k} \quad (1)$$

式中: $u_i (i = 1, 2, 3)$ —沿方向的速度分量; f_i —沿方向质量的力; P —压力; ρ —流体密度; ν —流体的运动线性系数; P_r —湍动能生成率,其表达式为:

$$P_r = \nu_i \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (2)$$

式中: ν_i —涡黏性系数,可采用下式计算: $\nu_i = C_U \frac{k^2}{\varepsilon}$ 。

计算所使用的软件为 ANSYS Workbench 中的 fluent,压力-速度耦合采用 SIMPLE 算法,差分格式采用二阶迎风格式,流场的计算采用多重参考系法。

利用进行单向流固耦合分析,试验参数设置如表 1 所示,流体域和立管网格划分如图 5 所示。设置流体域尺寸为 $2\,000\text{ mm} \times 2\,000\text{ mm} \times 1\,000\text{ mm}$, velocity specification method 选择 magnitude normal to boundary,入口流速为 4 m/s ,湍流强度和水利直径设置为 1.6% 和 4.8 m 。

表 1 流固耦合计算参数设置(比例:1:1)

Tab. 1 Parameter setting of fluid solid coupling computation (ratio: 1:1)

名称	参数值
立管尺寸	$D = 317\text{ mm}, d = 269\text{ mm}, h = 2\,000\text{ mm}$
消波管尺寸	$D = 58.2\text{ mm}, d = 30\text{ mm}, h = 151\text{ mm}$
流体流速	4.0 m/s

图 6 与图 7 为立管在流体分界面受力云图。图 8 与图 9 为立管周围流场流速云图。分别对比上图可以看出,无消波设计的立管背压区流场压力更大,周围流场流速大,流场形成的涡流脱落影响范围广。引入消波设计后,可以发现由于立管周围“消波管”的存在,流场结构被破坏,减小了水流对立管的冲击,使立管前端面水流冲击力降低,周围流场流速小,两侧压力区和背压力区压力大幅度减小。因此,消波管的存在,抑制了流体与圆柱体表面的分离,进而抑制了漩涡生成。

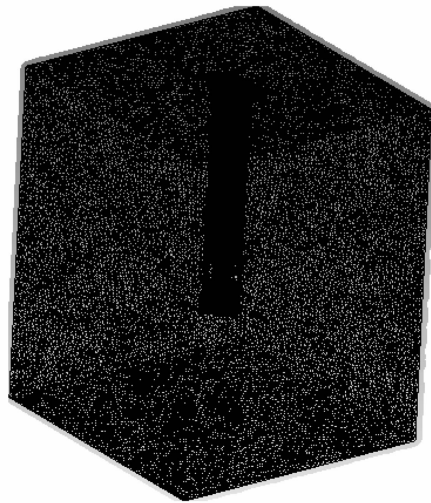


图5 流固耦合网格生成
Fig. 5 Fluid solid coupling mesh generation

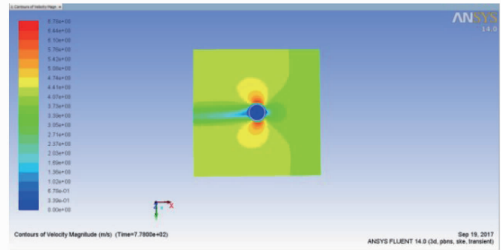


图8 立管流场流速云图(无消波结构)
Fig. 8 Flow velocity cloud diagram of standpipe flow field (without wave elimination structure)

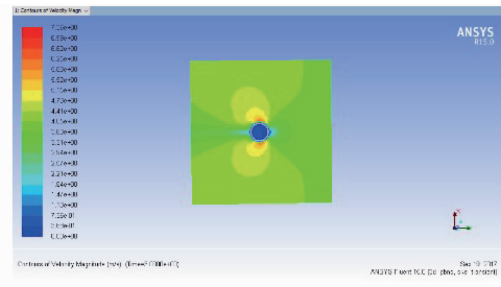


图9 立管流场流速云图(消波结构)
Fig. 9 Flow velocity cloud diagram of standpipe flow field (with wave elimination structure)

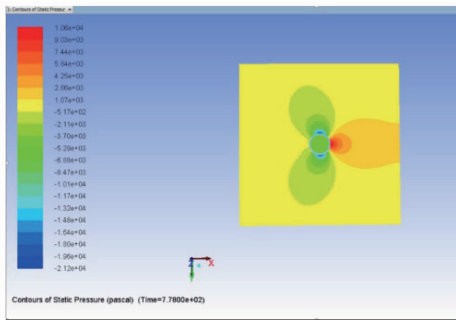


图6 立管受力云图(无消波结构)
Fig. 6 Stress cloud diagram of standpipe (without wave elimination structure)

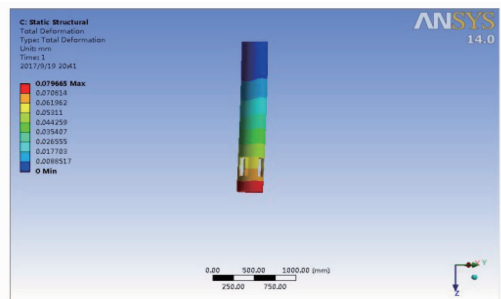


图10 立管变形对比(无消波结构)
Fig. 10 Comparison of standpipe deformation (without wave elimination structure)

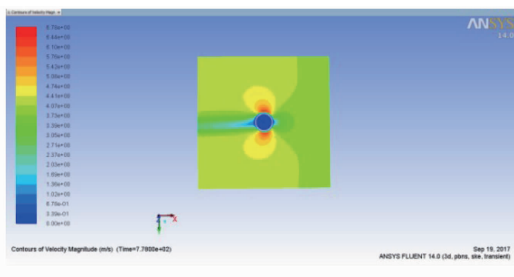


图7 立管受力云图(消波结构)
Fig. 7 Stress cloud diagram of standpipe (with wave elimination structure)

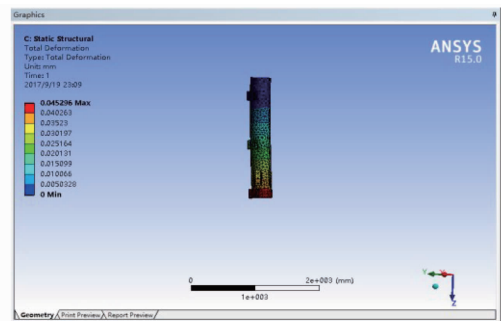


图11 立管变形对比(消波结构)
Fig. 11 Comparison of standpipe deformation (with wave elimination structure)

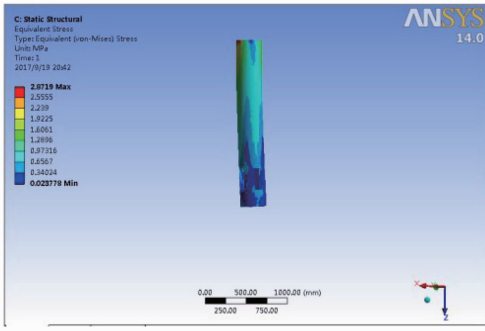


图 12 立管受力对比(无消波结构)
Fig. 12 Force comparison of standpipe (without wave elimination structure)

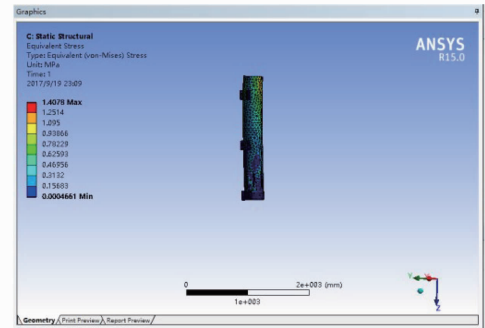


图 13 立管受力对比(消波结构)
Fig. 13 Force comparison of standpipe (with wave elimination structure)

消波设计能够抑制流场涡旋带来的尾流影响,使立管在流场冲击力下物理变形大幅度减小。对比立管变形及应力图(10~13)可判断出无消波设计的立管在流速 4 m/s 水流场作用下,本体受力大,变形较大,最大变形量为 0.079 7 mm;而在添加消波管后,外套管无明显物理变形,受力基本未涉及外套管本体,管最大变形量为 0.045 3 mm,减少了 43%。

2.2 固定装置螺栓组及卡箍的力学分析与校核

本系统是利用卡箍将立管装备与支架进行连接固定的,卡箍的设计与装置螺栓组校核非常重要,尤其要保证卡箍受到外力形成的倾覆力矩时不会脱落失效。由于海水潮位存在变化,退潮时系统没入海水中部分减少,装备外套管竖直方向受力增大。为验证系统可靠性,以退潮时状态对装备卡箍相应螺栓组受力进行分析与校核。

如图 14 所示,卡箍与螺栓组受到水流横向载荷、轴向载荷(含浮力与自重)及倾覆力矩共同作用且有可能出现如下三种失效形式:在轴向载荷作用下,立管产生下滑;在倾覆力矩和横向载荷作用下,卡箍与支架接合面发生分离或压溃;受力最大的螺栓被拉断或塑形变形^[16-18]。为防止分离和下滑的发生,应保证螺栓组及卡箍有足够的预紧力,而为避免接合面被压溃,则需考虑到将预紧力控制在一定范围内。

卡箍及螺栓组实际受力情况如图 15 所示,由于螺栓组连接所受的横向载荷和倾覆力矩所产生的轴向工作载荷方向相同,矢量叠加后数值最大,对卡箍上部两个螺栓进行螺栓强度校核。

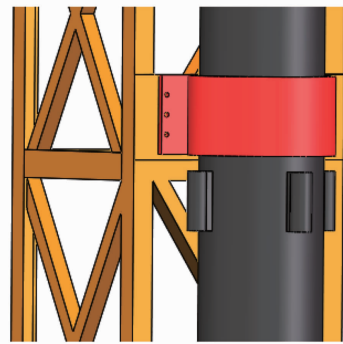


图 14 固定联接卡箍
Fig. 14 Fixing connection clamps

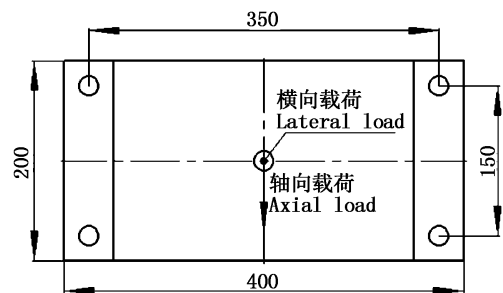


图 15 螺栓及卡箍连接
Fig. 15 Bolt and clamp connection

装备立管与螺栓组及卡箍连接固定于平台钢立柱支架上,卡箍材料及钢立柱材料分别为 HT150 及 Q235,查阅机械手册可知,HT105 卡箍许用挤压应力为 $[\sigma]_p = 60 \text{ MPa}$,螺栓材料强度级别 6.6 级,许用安全系数 $[S] = 3$,接合面摩擦因数

$f = 0.15$, 可靠性因数 $K_a = 1.2$, 螺栓相对刚度 $\frac{C_b}{C_b + C_m} = 0.2$, 经测算, 该螺栓组受到最大横向载荷 $F_X = 2\ 310\ \text{N}$, 最大轴向载荷 $F_Y = 6\ 820\ \text{N}$, 卡箍厚度为 $10\ \text{mm}$, 卡箍所在圆内径为 $330\ \text{mm}$ 。

螺栓所受倾覆力矩 M :

$$M = F_X \times 100 + F_Y \times 175 = 2\ 310 \times 100 + 6\ 820 \times 175 = 1\ 424\ 500\ \text{N} \cdot \text{mm} \quad (3)$$

上部螺栓轴向工作载荷 F 为:

$$F = F_f + F_M = \frac{F_X}{4} + \frac{ML_{\text{MAX}}}{\sum_{i=1}^4 L_i^2} = 577.5 + 1\ 780.625 = 2\ 358.1\ \text{N} = 577.5 + 1\ 780.625 = 2\ 358.1\ \text{N} \quad (4)$$

式中: F_M 为倾覆力矩作用下, 每个螺栓受到的轴向工作载荷; F_f 为轴向载荷作用下, 每个螺栓受到的轴向工作载荷。

该螺栓组连接预紧后, 受轴向载荷作用时, 其接合面间压紧力为剩余预紧力 F_S , 而受倾覆力矩 M 作用时, 其接合面上部压紧力减小, 下部压紧力增大, 故 M 对接合面压紧力的影响可忽略不计。在立管不下滑条件下预紧力 F_P 及接合面不分离条件预紧力 F_{PP} 为:

$$F_S = F_P - \left[\left(1 - \frac{C_b}{C_b + C_m} \right) F_f \right] \quad (5)$$

$$F_P = \frac{1.2 \times 6\ 820}{4 \times 0.15} + (1 - 0.2) \times 577.5 = 14\ 102\ \text{N} \quad (6)$$

$$\sigma_{P_{\text{min}}} = \frac{zF_{PP}}{A} - \left[\left(1 - \frac{C_b}{C_b + C_m} \right) \frac{F_X}{A} \right] = - \left[\left(1 - \frac{C_b}{C_b + C_m} \right) \frac{M}{W} \right] \geq 0 \quad (7)$$

式中: A —接合面面积; W —接合面抗弯截面系数; Z —螺栓数目;

$$F_{PP} \geq \frac{1}{Z} \left(1 - \frac{C_b}{C_b + C_m} \right) \left(F_X + \frac{M}{W} A \right) = \frac{1}{4} (1 - 0.2) \left[2\ 310 + \left(\frac{1\ 424\ 500}{3.33 \times 10^6} \right) 20\ 000 \right] \quad (8)$$

根据接合面下部不被压溃条件计算预紧力 F_{PPP} :

$$\sigma_{P_{\text{max}}} = \frac{zF_{PPP}}{A} \left[\left(1 - \frac{C_b}{C_b + C_m} \right) \frac{F_X}{A} \right] + \left[\left(1 - \frac{C_b}{C_b + C_m} \right) \frac{M}{W} \right] \leq [\sigma]_P \quad (9)$$

式中: $[\sigma]_P$ 为卡箍材料的许用挤压应力, $[\sigma]_P =$

$60\ \text{MPa}$ 。

$$F_{PPP} \leq \frac{1}{Z} [\sigma]_P A + \left(1 - \frac{C_b}{C_b + C_m} \right) \left(F_X - \frac{M}{W} A \right) = \frac{1}{4} \times 60 \times 20\ 000 + (1 - 0.2) \left[2\ 310 - \left(\frac{1\ 424\ 500}{3.33 \times 10^6} \right) \times 20\ 000 \right] = 295\ 003.6\ \text{N} \quad (10)$$

综上所述, 即在满足以上三个条件式后, 预紧力 F 预取值为 $14\ 200\ \text{N}$, 螺栓总拉力为:

$$F_0 = F_P + \frac{C_b}{C_b + C_m} F = 14\ 200 + 0.2 \times 2\ 358.1 = 16\ 558.1\ \text{N} \quad (11)$$

拟选取 M18 螺栓, 并进行校核。若 M18 尺寸不合适, 再进行更换。M18 螺栓小径 $d_1 = 15.79\ \text{mm}$, 由螺栓强度级别为 6.6 级, 得 $\sigma_s = 360\ \text{MPa}$, $[S] = 3$, 螺栓许用拉伸应力为:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{[S]} = \frac{360}{3} = 120\ \text{MPa} \quad (12)$$

该螺栓可提供预紧力 F_L 为:

$$F_L = \frac{\pi d_1^2 [\sigma]}{4 \times 1.3} = \frac{3.14 \times 10.06^2 \times 120}{4 \times 1.3} = 22\ 420.2\ \text{N} \geq 14\ 476.6\ \text{N} \quad (13)$$

卡箍所用的材料为 HT150, 无限寿命区的对称循环的疲劳极限 $\sigma_{-1} = 260\ \text{MPa}$, 循环基数 $N_0 = 5 \times 10^5$, 指数 $m = 9$, 设循环次数为 $30\ 000$ 次, 由下式计算卡箍与螺栓组的有限寿命疲劳极限 Q_{xy} [17]:

$$Q_{xy} = \sigma_{-1(30\ 000)} \times S = \sigma_{-1} \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} \times S \quad (14)$$

式中: S —卡箍接合面面积; σ_{-1} —零件有限寿命疲劳极限。

在疲劳寿命范围内, 材料仍不发生断裂的最大应力 Q_{xy} 大于卡箍本身的受力, 即 Q_{xy} 大于螺栓组受到最大横向载荷 $F_X = 2\ 310\ \text{N}$, 最大轴向载荷 $F_Y = 6\ 820\ \text{N}$ 。

因此, M18 直径尺寸能够提供为螺栓组连接提供足够的强度, 此外, 卡箍与螺栓组的有限疲劳寿命极限能够确保立管在浪流环境下的工作模式的安全性, 满足装备挂载要求, 不会产生失效问题。

3 现场测试与应用

上海市浦东芦潮港水质水文检测站包含内

外水文测亭各一座、测站管理楼以及工作场地等。港口受潮流和径流的双重作用,潮汐类型为非正规半日浅海潮,每天两涨两落,落潮流流速大于涨潮流流速。泥沙含量高,水生物品种多样,光、热、水资源丰富。为对所设计的立管结构进行实际校核,利用其初始运行过程进行了测试。立管及钢架通过吊车安装在水文站管理楼内侧,两者距离约为 3 m,海洋仪器测试装置与管理楼内的水质水文数据采集设备通过线缆连接,并进行数据采集、传送。根据计算所获得的受力分布特点进行了卡箍和螺栓组的安装和预紧,经过 30 d 的连续观察,立管能够很稳定地处于预紧紧固状态,未出现压溃、脱离等问题,初步表明系统强度设计符合实际要求,如图 16 所示。

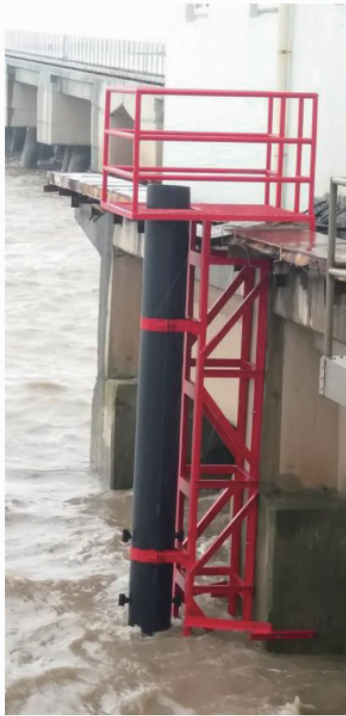


图 16 上海浦东芦潮港水文检测站现场测试
Fig. 16 Practical test in Luchaogang hydrology station in Pudong New District, Shanghai

2017 年 9 月 20 日,利用便携式流速仪 (LS300-A) 测量海水流速,获得数据为 1.8 m/s。经过实际测试,在 1.8 m/s 水流下,立管末端最大形变为 1.5 mm。该数据远小于立管塑性变形临界值,系统的可靠性具有较大安全余量,一定程度上表明所设计结构在消波和减缓水流冲击方面有较好的效果。另外,立管内浮式上、下升降

装置运行稳定、平滑,阻力小,可自动适应海上潮差变化。

4 结语

本文所设计立管及其附属结构应用于海洋仪器的测试平台,可搭载多种不同型号的海洋仪器,为仪器间的比测和可靠性测试等服务。通过 CFD 流固耦合仿真分析及实际测试,立管测试装置能够实现被测仪器在立管内稳定升降;消波设计能够有效控制水流经过立管的尾流方向,减小立管应力形变;螺旋桨的旋转能够起到一定的清污,减缓生物附着的作用。作为一种现场自动检测、分析水质变化的设备,该装置也适用于海洋环境污染检测、港湾工程、赤潮预报及海洋研究。

目前,海洋仪器的检测主要通过人工定期查看海洋仪器生物附着情况,尚未实现完全自动化。后续研究中通过增加云台相机对海洋仪器生物附着情况进行远程查看,便于海洋仪器间的性能参数对比,为海洋水文、水质、气象环境监测、仪器设备研发测试及试验场建设提供支撑。

参考文献:

- [1] 吴宇, 杨江, 张龙. 基于 Cortex-A8 的移动在线水质监测平台的研究[J]. 电子技术应用, 2012, 38(10): 34-36, 40.
WU Y, YANG J, ZHANG L. Research of mobile water quality monitoring platform based on Cortex-A8 [J]. Application of Electronic Technique, 2012, 38(10): 34-36, 40.
- [2] 花俊, 胡庆松, 李俊, 等. 海洋牧场远程水质监测系统设计和实验[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(4): 588-593.
HUA J, HU Q S, LI J, et al. Design and test of marine ranching remote water quality monitoring system[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(4): 588-593.
- [3] 刘方, 丁页, 李俊龙, 等. 近岸海域水质自动监测规范化研究[J]. 中国环境监测, 2016, 32(2): 121-126.
LIU F, DING Y, LI J L, et al. Research for standardized and normalization coastal waters automatic monitoring [J]. Chinese Environmental Monitoring, 2016, 32(2): 121-126.
- [4] MOHAMADNIA V, SALAHSHOOR K, SALEHI S. A new cost-optimal and fault-tolerant instrumentation sensor network design methodology for chemical plants [J]. IFAC Proceedings Volumes, 2010, 43(5): 171-176.
- [5] BRANDO V E, DEKKER A G. Satellite hyperspectral remote sensing for estimating estuarine and coastal water quality[J].

- IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(6): 1378-1387.
- [6] 刘文勇, 汤民强, 郑西来. GPRS 数据传输系统在近海监测的应用研究[J]. 中国科技信息, 2005(20): 11-12.
LIU W Y, TANG M Q, ZHENG X L. Application of GPRS data transmission system in offshore monitoring[J]. China Science and Technology Information, 2005(20): 11-12.
- [7] 毛丞弘, 杨建民, 彭涛, 等. 海洋深水试验池造流系统整流装置数值计算与分析[J]. 水动力学研究与进展, 2007, 22(4): 483-490.
MAO C H, YANG J M, PENG T, et al. The numerical simulation and analysis of water commutating equipment in current generation system of deepwater offshore basin[J]. Journal of Hydrodynamics, 2007, 22(4): 483-490.
- [8] 钱洪宝, 徐文, 向长生. 海洋仪器装备研发中的质量控制管理——“863”计划海洋技术领域创新研发管理的做法[J]. 海洋开发与管理, 2014, 31(9): 58-61.
QIAN H B, XU W, XIANG C S. Quality control management in research and development of marine instrument and equipment—"863" plan, marine technology innovation, R & D management practices [J]. Ocean Development and Management, 2014, 31(9): 58-61.
- [9] 姜晓轶, 石绥祥, 胡恩和, 等. 我国数字海洋建设中几个问题的思考[J]. 海洋开发与管理, 2013, 30(3): 14-17.
JIANG X, SHI S, HU E, et al. Reflections on several problems of digital marine construction in China[J]. Ocean Development and Management, 2013, 30(3): 14-17.
- [10] 马小雪, 李军, 商栩, 等. 连续纵向水质监测方法在温瑞塘河的应用[J]. 中国环境监测, 2013, 29(2): 131-136.
MA X X, LI J, SHANG X, et al. Application of continuous and longitudinal water quality monitoring in Wenrui Tang River [J]. Environmental Monitoring in China, 2013, 29(2): 131-136.
- [11] 陆洲, 李江华. 农用灌溉水水质监测系统设计——基于无线传感设备网络[J]. 农机化研究, 2017, 39(7): 235-239.
LU Z, LI J H. Design of water quality monitoring system for agricultural irrigation based on wireless sensor network [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 39(7): 235-239.
- [12] CHAPMAN D V, BRADLEY C, GETTEL G M, et al. Developments in water quality monitoring and management in large river catchments using the Danube River as an example [J]. Environmental Science & Policy, 2016, 64: 141-154.
- [13] 俞宏波. 以电导率测量为核心的多参数水质检测系统的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
YU H B. Research on multi-parameter system based on measuring electrical conductivity of solution [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006.
- [14] 刘方, 庄马展, 林树权, 等. 建设近岸海域水质自动监测系统应考虑的几个问题[J]. 中国环境监测, 2013, 29(2): 159-161.
LIU F, ZHUANG M Z, LIN S Q, et al. The problems need to consideration for building of offshore automatic monitoring system [J]. Environmental Monitoring in China, 2013, 29(2): 159-161.
- [15] 任松. 测量不确定度在近海水质污染监测中的应用探讨[J]. 海洋环境科学, 2004, 23(2): 61-65.
RENG S. Application of uncertainty of measurement to pollution monitoring in offshore water quality [J]. Marine Environmental Science, 2004, 23(2): 61-65.
- [16] 宋婴端. 我国的水质检测研究[J]. 中国科技信息, 2015(19): 29-30.
Song Y D. Study on water quality detection in China [J]. China Science and Technology Information, 2015(19): 29-30.
- [17] 濮良贵, 纪名刚. 机械设计[M]. 7版. 北京: 高等教育出版社, 2001.
PUL, JI M G. Mechanical design [M]. 7th ed. Beijing: Higher Education Press, 2001.
- [18] 周小峰, 温志渝, 谢瓌珂, 等. 多参数水质监测仪流路系统的优化设计[J]. 化工自动化及仪表, 2014, 41(1): 22-26.
ZHOU X F, WEN Z Y, XIE Y K, et al. Optimal flow path design for multi-parameter water quality monitoring system [J]. Control and Instruments in Chemical Industry, 2014, 41(1): 22-26.

Structure design and strength analysis of measuring device standpipe in marine instrument testing field

HU Qingsong¹, ZHANG Hongcheng¹, XIANG Peng¹, TIAN Hua², CHEN Leilei¹, LI Jun¹, ZHAO Pinjun³
(1. *College of Engineering Science&Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 2. *Shanghai Hydrology General Station, Shanghai 200232, China*; 3. *Shanghai Shaojin Ship Engineering Ltd., Shanghai 201306, China*)

Abstract: According to the requirements of the marine instrument testing field construction, it is necessary to design and analyze the standpipe and its subsidiary structure which is applied for the marine instruments measurement like sensors. The equipment is composed of different diameter PE pipes, which is nested as the main body and can be used to test 5 sensors within diameter 50 mm. Sensor holding device can automatically adapt to the sea tide variation, and the propeller rotation can form a vortex to brush the biofouling organisms to slow down the adhesion. Through CFD simulation analysis of the flow around the cylinder and the failure analysis of the fixed clamp and bolt set, the results show the wave guiding tube can guide the flow around the cylinder. It can control the flow direction of the tail flow and weaken the influence of the vortex when the fluid flows through the standpipe, and the equipment has the better effect of wave resistance and reliability on the sea. Practical test operated at the Hydrometric Station of water testing station in Luchaogang of Pudong New District, Shanghai, shows that the overall structure, strength and deformation of the device meet the design standards and can satisfy the requirements of the measuring equipment in the marine instrument testing field.

Key words: ocean instrument; marine testing field; standpipe; structure design; strength analysis; lifting equipment