铝合金联装架焊接残余应力和变形数值模拟

廖传清¹,高艳芳¹,杨 江²,吴 晟¹,王 沁¹,王 杰¹,朱亮亮¹,董红刚² (1.上海航天设备制造总厂有限公司,上海 200245;2.大连理工大学 材料科学与工程学院,辽宁 大连 116024)

摘 要:基于SYSWELD有限元分析软件,以某新型战术型号铝合金联装架为产品对象,选取支撑框配对组件、弹位组件和立方体组件为典型结构件进行焊接残余应力和变形数值模拟,以期表征铝合金联装架焊接过程的 残余应力分布和变形趋势。结果表明:焊缝及其附近热影响区的Von-Mises应力较高,甚至超过了5A06铝合金材 料的常温屈服强度;支撑框组件焊后最大变形出现于长矩形管中央,约为6.44 mm;弹位组件的焊接变形整体表现 为凹向三维结构内腔,焊接变形也多集中在长矩形管上,最大变形约为5.21 mm。另外,采用对称分散焊过程产生 的焊接变形量小于逐条焊缝焊接过程,但焊接残余应力趋势则相反。

关键词:铝合金;焊接变形;联装架;SYSWELD;焊接残余应力
 中图分类号:TG 422 文献标志码:A
 DOI: 10.19328/j.cnki.1006-1630.2020.03.020

Numerical Simulation of Welding Residual Stress and Deformation in Aluminum Alloy Connection Framework

LIAO Chuanqing¹, GAO Yanfang¹, YANG Jiang², WU Sheng¹, WANG Qin¹, WANG Jie¹, ZHU Liangliang¹, DONG Honggang²

(1.Shanghai Aerospace Equipments Manufacturer Co., Ltd., Shanghai 200245, China; 2.School of Materials Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning, China)

Abstract: Based on the SYSWELD finite element analysis software, the welding residual stress and deformation of the typical structural components in a new type of aluminum alloy connection framework, i.e., the supporting frame component, the missile position component, and the cube component, are numerically simulated. The results show that the Von-Mises stress in the weld and heat-affected zone is higher than the Von-Mises stress in the other region, and it is even exceeds the normal temperature yield strength of 5A06 aluminum alloy. The maximum deformation of the welded supporting frame component appears in the center of the long rectangular tube, and is about 6.44 mm. The overall welding deformation of the missile position component is shown as a concave 3D inner cavity, the welding deformation is mainly concentrated in the long rectangular tube, and the maximum deformation is about 5.21 mm. Besides, the welding deformation produced by the symmetrically dispersed welding process is lower than that produced by the process welding one by one, while the trend of the welding residual stress is opposite.

Key words: aluminum alloy; welding deformation; connection framework; SYSWELD; welding residual stress

0 引言

铝合金联装架由上架和底架通过快卸式连接 螺栓紧固而成为一个刚性封闭框架,被广泛应用于 航天领域的导弹(含筒或箱)装填和发射。上架和 底架主体框架均由铝合金管材和板材焊接而成,焊 接接头形式多为角焊缝或平焊缝,焊缝数量较多。 一般而言,铝合金联装架所允许的焊接变形量较 小,以保证架体构件导轨安装面和上架/底架接口 有足够的机加工余量,最终确保导弹(含筒或箱)在 架体构件内部的顺畅滑动和导弹发射车托架轴线

收稿日期:2020-01-01;修回日期:2020-03-22

基金项目:国防基础科研计划资助项目(JCKY2017203B066)

作者简介:廖传清(1987—),男,高级工程师,主要研究方向为特种焊接技术和复杂航天结构件的焊接工艺。

与架体轴线的同轴精度。如某新型战术型号联装架(外形尺寸为790 mm(高)×2 874 mm(宽)×3 389 mm(长))要求上架和底架焊接完成后所有导轨安装面的平面度均≪2 mm,上架/底架接口安装面的平面度均≪2 mm,焊接变形控制难度较大,因此,有必要对铝合金联装架的焊接变形进行模拟计算,预判焊接变形趋势。

近些年,随着计算理论基础和计算机技术的不 断发展,利用数值模拟技术进行焊接过程中的残余 应力应变进行预测已成为一种简单高效的研究方 法^[1],可省去样件焊接试验过程中所花费的生产成 本。目前,结合有限元方法出现了许多大型的商业 计算软件,如ANSYS、NASTRAN、ABAQUS、 ADINA、MSC. MARC、SYSWELD 等。 特别是 SYSWELD软件完全实现了对焊接过程温度场、金 属相变和应力场的耦合计算,被国内外研究人员广 泛应用于焊接残余应力应变计算研究。Li等^[2]基于 SYSWELD软件对 P92 钢多层多道焊的残余应力 形成机理进行了研究,结果表明,由于焊接时熔合 线附近发生相变(奥氏体→马氏体),使得整个接头 在熔合线的纵向残余应力和显微硬度分别达到 670 MPa和460 HV。徐济进等^[34]基于 SYSWELD 热源拟合工具开发了两个偏置的双椭球热源模型, 以研究夹持约束和不同硬化模型对焊接残余应力 的影响,结果表明,夹持约束对焊接残余应力的影 响较小,采用混合各向同性运动硬化模型时模拟获 得的焊接残余应力与实测结果最吻合。HEMMESI 等^[5]采用SYSWELD软件研究了S355J2H管道接 头的残余应力,获得了在径向、环向以及表面的残 余应力分布。

本文针对某新型战术型号铝合金联装架的结构特点和焊接流程,采用SYSWELD软件对焊接残余应力和变形趋势进行模拟计算,以期为铝合金联装架焊接残余应力风险识别和焊接变形控制措施的制定提供理论指导。

1 典型结构件的选取

某新型战术型号联装架主体结构由 5A06 铝合 金管材和板材拼焊而成,以3个上架支撑框/底架支 撑框配对焊接组件为基本骨架搭建整架的其余各 零组件,如图1所示。本文以焊接流程为主线,分别 选取支撑框配对焊接组件中间区域和侧边弹位的 前半部分作为典型结构件(如图1所示支撑框配对 组件和弹位组件)进行焊接模拟,以分别表征支撑 框配对焊接和整架焊接过程中的焊接残余应力分 布和变形趋势。



另外,铝合金联装架涉及的焊缝数量众多,焊 接顺序也是影响焊接变形的重要因素之一。本文 以800 mm见方的立方体结构为典型结构件(立方 体组件)进行焊接变形模拟,以表征不同焊接顺序 对焊接变形的影响趋势。

2 模型的建立及网格划分

本文基于 SYSWELD 系统,在 Visual-Mesh 中 进行建模、网格划分、分组和命名,焊接材料选用软 件材料库自带的5系 AlMgMn铝合金。焊接模拟的 热分析过程中,焊接温度场的计算属于非线性瞬态 热传导分析问题,其典型的控制方程^[6]为

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q$$
(1)

式中: ρ 为材料的密度;c为比热容; λ 为热导率;T为 温度;Q为内热源强度。

根据牛顿定律和斯蒂芬-玻尔兹曼定律,考虑焊 接时的对流和辐射热损失,本文将散热面选取为整 个工件的外表面,热损失为

$$q = -h_{\rm c}(T - T_{\rm 0}) \tag{2}$$

式中:h。为材料热传导系数;T。为环境温度。

热源模型方面,本文选取Goldak提出的双椭球 热源模型以模拟TIG(Tungsten inert gas)焊时的热 量分布情况^[7-8]。另外,本文选用的网格类型为六面 体网格。焊接时,由于工件受到一个不均匀的局部 瞬时热源,靠近焊缝区域存在较大的温度梯度,网 格划分时焊缝及其附近区域的网格应尽可能细密, 以确保计算的准确性;远离焊缝的母材相应划分稀 疏,以兼顾模拟过程的计算速度和计算机容量。

2.1 支撑框配对组件

支撑框配对组件的模型和网格划分示意图如 图 2 所示。支撑框配对组件等效为 8 根(2 根长矩形 管 L=1 500 mm,2 根中长矩形管 L=600 mm,4 根 短矩形管 L=300 mm)5A06 铝合金矩形管以及 1 个 5A06 铝合金安装板焊接而成,矩形管尺寸为 100 mm×70 mm×5 mm,安装板尺寸为 100 mm× 60 mm×20 mm。网格划分时,焊缝及其附近区域 的网格较细密,远离焊缝的区域较稀疏,节点总数 和单元总数分别为 482 872 和 642 944。焊接过程为 两人同时对称施焊,施焊顺序按图 2 数字顺序执行, 焊接工艺参数见表 1。焊接时,在二维框架的 Z 轴 方向施加刚性约束;在焊接冷却过程中,整个支撑 框采用自有约束。





Fig.2 Model and meshing of the supporting frame component

表1 支撑框配对组件焊接工艺参数

Tab.1 Welding parameters of the supporting frame component

接头位置	焊接方法	焊接电流/A	焊接电压/V	焊接速度/ (mm•min ⁻¹)
管-管焊接	TIG	270	23	500
管-板焊接	TIG	320	25	300

2.2 弹位组件

弹位组件的模型和网格划分如图3所示。弹位

组件等效为2个法兰框+11根矩形管(4根长矩形 管L=1500 mm,1根中长矩形管L=800 mm,6根 短矩形管L=350 mm)+1个安装板焊接而成,其中 法兰框事先焊接好,无需焊接模拟,矩形管尺寸为 100 mm×70 mm×5 mm,安装板尺寸为 50 mm× 50 mm×30 mm。焊接过程为两人同时对称施焊, 施焊顺序按图 3 数字顺序执行,焊接工艺参数见 表 2。弹位组件的网格划分、施加的约束与支撑框 配对组件相类似,但弹位组件焊接过程中的刚性约 束为底面二维框架的Z轴方向,节点总数和单元总 数分别为427 061和567 590。



图 3 弹位组件模型和网格划分示意图

Fig.3 Model and meshing of the missile position component

表2 弹位组件焊接工艺参数

Tab.2 Welding parameters of the missile position component

接头位置	焊接方法	焊接电流/A	焊接电压/V	焊接速度/ (mm•min ⁻¹)
管-管焊接	TIG	270	23	500
管-板焊接	TIG	320	25	300

2.3 立方体组件

立方体组件的模型及网格划分如图4所示。立 方体组件等效为12根L=800 mm的矩形管焊接而 成,矩形管尺寸为100 mm×70 mm×5 mm。焊接 工艺参数见表3,焊接过程包含以下两种情况:1)两 人焊接,沿同一方向,逐条焊缝焊接,施焊顺序按 图4(a)数字顺序执行;2)两人焊接,分散焊,对称 焊,施焊顺序按图4(b)数字顺序执行。立方体组件 的网格划分、施加的约束与弹位组件相类似,节点 总数和单元总数分别为323 816和432 019。





表 3 立方体组件焊接工艺参数 Tab.3 Welding parameters of the cube component

接头位置	焊接方法	焊接电流/A	焊接电压/V	焊接速度/ (mm•min ⁻¹)
管-管焊接	TIG	270	23	500

3 计算结果分析

3.1 支撑框配对组件

工程应用中多以Von-Mises等效应力来判断材 料在外力作用下的破坏行为,当某一点应力应变状态 的等效应力应变达到某一与应力应变状态有关的定 值时,材料就发生屈服。支撑框配对组件焊接完成后 冷却至室温时的Von-Mises应力场云图如图5所示。 图中可见,整个工件室温下的Von-Mises应力基本呈 轴对称分布,焊缝及其附近的热影响区Von-Mises应 力较远离焊缝部位明显更高,大约为120~130 MPa, 接近材料的常温屈服强度(130 MPa)。焊接过程中, 焊缝及热影响区附近材料经受的热循环温度高于 远离焊缝的区域,从焊缝到远离焊缝的位置温度呈 梯度减小分布,所以Von-Mises应力也是呈梯度减

支撑框配对组件焊接完成后冷却至室温时的 变形云图如图6所示。从模拟结果来看,支撑框的 最大变形量为6.44 mm,位于安装板对面的长矩形 管中央,且整体上有安装板的长矩形管变形较没有 安装板的长矩形管变形要小。







图 6 支撑框配对组件焊后整体变形云图(XY视图,变形放 大5倍)

Fig.6 Overall deformation contours of the welded supporting frame component (XY view, the deformation is magnified by 5 times) 此外,支撑框配对组件焊接后的变形主要表现 为两根长矩形管向内凹。这是因为长矩形管内壁 平均应力多为拉伸残余应力,而外壁则以压应力为 主,如图7所示,且拉应力和压应力均朝向支撑框配 对组件内侧。



Fig.7 Mean stress contours of the welded supporting frame component

3.2 弹位组件

弹位组件焊接完成后冷却至室温时的Von-Mises应力场云图如图8所示。图中可见,弹位组件 焊后的Von-Mises应力从Z方向上看基本是关于 XY平面对称的,Von-Mises应力在焊缝及其附近区 域较远离焊缝区域高。此外,在远离焊缝部位,工 件上的Von-Mises应力值约为30~50 MPa;而在焊 缝及其附近的热影响区,Von-Mises应力值可达 130 MPa以上,最大值为196 MPa,超过了5A06铝 合金材料的常温屈服强度。5A06铝合金材料在焊 接时所经历的热循环温度高于其相变温度,导致发 生组织转变^[9],进而引起材料屈服强度的增加,这样 Von-Mises应力仍在工件屈服强度以内。





Fig.8 Von-Mises stress contours of the welded missile position component

弹位组件焊接完成后冷却至室温时的变形云 图如图9所示。图中可见,弹位组件焊接完成后的 最大变形在上部两根长矩形管中央,最大变形量约 为5.21 mm。弹位组件整体变形趋势主要表现为向 弹位组件内凹,结合弹位组件的焊接过程可知,焊 接变形主要集中在后焊接的两根长矩形管上。



图 9 弹位组件焊后变形云图(XZ视图,变形放大10倍)



3.3 立方体组件

立方体组件在不同焊接顺序焊接后冷却至室 温时的 Von-Mises 应力场对比示意图如图 10 所示。 由图 10(a)和(b)可知,在立方体结构 8个顶角位置 的 Von-Mises 应力远高于其余部位,在焊缝及其附 近热影响区的 Von-Mises 应力值可达到 70 MPa,尤 其是在两条焊缝相交的位置,应力值超过了 100 MPa;组成立方体的矩形管中部 Von-Mises 应 力较小,应力值在 10 MPa以下。对比两种焊接顺 序下的 Von-Mises 应力分布,采用第 2种焊接顺序 时整个立方体组件的 Von-Mises 应力明显高于采用 第 1 种焊接顺序得到的 Von-Mises 应力,在焊缝位 置表现得更为明显。这是因为采用第 2种焊接顺序 时在矩形管上形成的拘束更大,进而造成其焊后残 余应力更高。

采用不同焊接顺序时立方体组件的焊接变形 云图如图11所示。在采用第一种焊接顺序时,即两 人焊接,沿同一方向,逐条焊缝焊接,立方体结构的 整体变形集中在第3道和第4道焊缝,如图11(a)中 右下角所示,最大变形量约为3.5 mm;而采用第 2种焊接顺序时,即两人焊接,分散焊,对称焊,立方 体组件焊接变形主要集中在左上方和右下方的两





根矩形管上,如图 11(b)所示,最大变形量约为 1.95 mm。另外,根据图 11 可知,采用第1种焊接顺 序时立方体结构的焊接变形并不规则,多数矩形管 向内变形,少数几根矩形管向外变形;而在采用第2 种焊接顺序时,矩形管均是向内变形,且整个立方体结构的变形是呈对称分布的。总体来说,采用第 1种焊接顺序的焊接变形要高于采用第2种焊接顺 序时的焊接变形。



图 11 不同焊接顺序时立方体组件焊接变形云图(变形放大 30倍)

Fig.11 Deformation contours of the cube components welded in different welding sequences (the deformation is magnified by 30 times)

4 结束语

基于 SYSWLED 有限元分析软件,分别对某新 型战术型号铝合金联装架典型结构件(支撑框配对 组件、弹位组件和立方体组件)的焊接残余应力及 变形进行了数值模拟研究。主要结论如下:

1)支撑框配对组件焊后 Von-Mises 应力呈轴对称分布,最大 Von-Mises 应力值为 120~130 MPa;支撑框配对组件焊后最大变形位于长矩形管中央,约

为 6.44 mm。

2) 弹位组件焊后最大 Von-Mises 应力值超过 了 5A06 的常温材料屈服强度,焊接变形整体趋势 为凹向三维结构的内腔,焊接变形也多集中在长矩 形管上,最大变形出现在后焊接的两根长矩形管中 央,约为 5.21 mm。

3) 对称分散焊时立方体组件的焊接应力较逐 条焊缝焊接时高,但焊接变形趋势则相反。

参考文献

- [1] 赵宇宏,欧阳自鹏,胡佩佩,等.激光-TIG复合焊接温 度场和应力场有限元分析[J].上海航天,2012,29 (6):68-72.
- [2] LI S, REN S D, ZHANG Y B, et al. Numerical investigation of formation mechanism of welding residual stress in P92 steel multi-pass joints [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2017, 244: 240-252.
- [3] 徐济进.材料硬化模型对316L奥氏体不锈钢焊接残余 应力的影响[C]//ESI中国用户峰会.2012:300-303.
- [4] XU J J, GILLES P, DUAN Y G, et al. Temperature and residual stress simulations of the NeT single-bead-

(上接第125页)

成本模型时进行了量化处理,获得装配成本和公差的精确数学表达模型需要进一步加以研究。

参考文献

- [1] MUTHU P, DHANALAKSHMI V, SANKARANA-RAYANASAMY K. Optimal tolerance design of assembly for minimum quality loss and manufacturing cost using metaheuristic algorithms [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009, 44(11/12): 1154-1164.
- [2] 熊珍琦,宁汝新,刘检华.产品装配精度优化模型研究[J].系统仿真学报,2009,21(15):4616-4624.
- [3] 张岩,莫蓉.基于灰色粒子群算法的飞机装配公差多目 标优化设计[J].计算机集成制造系统,2014,20(8): 1870-1878.
- [4] 邱晞,牟伟强,魏生民.基于层次分析法与粒子群算法
 的飞机装配公差多目标优化[J].航空制造技术,2010
 (16):66-72.
- [5] 付颖斌,江平宇,刘道玉.多工序尺寸及公差优化[J].

on-plate specimen using SYSWELD [J]. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2012, 99/100: 51-60.

- [5] HEMMESI K, FARAJIAN M J, BOIN M K. Numerical studies of welding residual stresses in tubular joints and experimental validations by means of X-ray and neutron diffraction analysis [J]. Materials &-Design, 2017, 126: 339-350.
- [6] 李亚娟,李午申.X80管线钢环焊缝接头残余应力的数 值模拟[J].焊接学报,2010,31(6):97-100.
- [7] GOLDAK J, CHAKRAVARTI A, BIBBY M. A new finite element model for welding heat sources [J]. Metallurgical Transactions B: Process Metallurgy, 1984, 15(2): 299-305.
- [8] 黄本生,陈权,杨江,等.Q345/316L 异种钢焊接残余应 力与变形数值模拟[J].焊接学报,2019,40(2): 138-144.
- [9] DENG D, HIDEKAZU M. Numerical simulation of temperature field and residual stress in multi-pass welds in stainless steel pipe and comparison with experimental measurements [J]. Computational Materials Science, 2006, 37(3): 269-277.

计算机集成制造系统,2009,15(1):142-146.

- [6] 匡兵,黄美发,钟艳如.尺寸公差与形位公差混合优化分配[J]. 计算机集成制造系统,2008,14(2): 398-402.
- [7]刘海博,刘检华,何永熹,等.基于小生境粒子群算法的 公差多目标优化设计[J].计算机集成制造系统,2015, 21(3):585-592.
- [8] 邢彦锋,王岩松,赵晓昱.基于NSGA-II算法的车身薄 板零件公差优化[J].机械设计与制造,2012(8): 61-63.
- [9] 袁军.飞机制造公差稳健性设计与多交点装配离散公 差优化技术[D].南京:南京航空航天大学,2012.
- [10] TAGUCHI G, WU Y. Introduction to off-line quality control [M]. Nagoya, Japan: Central Japan Quality Control Association, 1979.
- [11] DEB K, AGRAWAL S, PRATAP A, et al. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II
 [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(2): 182-197.

《上海航天(中英文)》征稿简则

《上海航天(中英文)》已列入中国知网、万方、维普、超星等数据库,并被收录为"中国科技核心期刊"和"中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊"(扩展版),是宣传航天技术发展、展示航天科研成果的重要窗口,也是各上级机关、高等院校、兄弟单位进行学术交流与互通信息的纽带。

一、征稿范围

稿件内容以研究论文与报告、技术交流、专题综述等形式为 主,主要刊登有关卫星、火箭、载人飞船、深空探测、导弹等系统 及其分系统的预先研究、研制、试验及工程实践等方面的科技论 文,反映航天重点专业的新概念、新方法、新技术。栏目包括专 家特稿、专业纵论、工程实践、创新与探索、学术争鸣、战略发展 与情报研究、产学研园地等。

二、投稿要求

1.本刊目前仅接收在线投稿,不接收纸质投稿或邮箱投稿。 请登陆 http://shht.ijournal.cn,进入"作者投稿查稿"注册后 投稿。

 2. 作者在投稿前须对文章作脱密处理,并在投稿时按要求 上传保密审查证明的扫描件。

 3. 凡国家、省部级科技进步奖课题论文,自然科学基金项目 论文,重点攻关项目论文,请提供项目编号,可提前安排发表。

4. 作者须遵守学术规范与准则,杜绝一稿多投及抄袭、剽窃
 等学术不端行为。

5. 本刊已被《中国学术期刊网络出版总库》及CNKI系列数 据库、万方数据库、维普数据库、超星数据库等收录,作者著作权 使用费与本刊稿费一次性给付,作者若不同意文章被收录,请 在来稿中予以说明,本刊将做适当处理。

三、写作要求

 来稿应突出航天理论研究与技术的创新性,兼顾工程应用,应给出相应的理论依据、参数确定原则,论文应注重理论性、 新颖性、逻辑性,避免写成技术报告。

 2. 来稿内容充实,论点明确,论据充分,层次分明,文字简 练,字数一般以5000~6000字为宜(情况特殊可超出)。

3. 来稿应包括题目、作者姓名、单位、摘要、关键词、作者简介、正文、参考文献著录。题目一般不超过20个汉字。摘要(200~300字)说明研究目的、方法、结果或结论等,突出创新点及工程应用价值。关键词5~8个。参考文献尽量在10篇以上,并在正文中标出引用处。请提供题目、作者、单位、摘要、关键词、图题、表题、参考文献的英译文。

 4. 作者简介包括姓名、出生年、学历与职称、主要研究方向、 电子邮箱。

5. 正文包括引言、主体、结论或结束语部分。引言说明研究 历史、现状、存在问题、选题意义与创新性。主体要求语言简洁、 准确无歧义、逻辑完整、结构严谨。结论或结束语对研究内容进 行总结,提出展望。

6.量与单位符合国家标准。每个量符号第一次出现时应给出物理意义说明,同一符号只能表示一个物理量,必要时可用下标区分。一般变量为斜体,矢量、矩阵、张量、向量为斜黑体。单位一般为正体。

7. 公式用公式编辑器输入。仅重要或文中引用的公式才需 编号。

8. 正文中给出图表的引文。图数量一般不超过12幅,尺寸 尽量小于8cm。图中文字、数字、符号清楚,横纵坐标的变量名、 单位、刻度值准确完整,不同线型或图符有说明。图可在Word 或Visio中修改。表格栏头简化,避免斜线,不能空白;项目栏中 文字简练;栏内尽量不要出现公式;单元格内内容相同时不能用 "同左"、"同右"、"同上"等表述,无内容时要用一字线补齐。图 表中的量与单位采用"量/单位"方法标注。

9. 文中外文缩写第一次出现时给出中文全称。

10.参考文献遵循"最新、关键、必要"的原则,在正文中顺 序引述,未公开发表资料不引用。文献著录格式参考

国家标准《文后参考文献著录规则》。主要如下:

专著姓名.书名[M].版本(第1版不写).出版地:出版者,出版年:XX-XX(页).

期刊姓名.题名[J].刊名,出版年,卷(期):XX-XX(页).

报告姓名.题名[R].报告名称,编号,出版时间.

会议录姓名.题名[C]//会议名称.会议地点(城市):出版 者,出版年:起止页码.

标准标准起草者.标准名称[S].标准发布者,标准号, 出版年.

四、联系方式

编辑部地址:上海市闵行区元江路3888号技术基础所南楼 邮政编码:201109 联系电话:(021)24181441;(021)24181541 投稿网站:http://shht.ijournal.cn 电子邮箱:sht8075b@vip.163.com

《上海航天(中英文)》杂志编辑部