

背带式双波长全固态激光清洗设备*

Back-Pack Dual-Wavelength All-Solid-State Laser Cleaner

长春理工大学光电工程学院 路磊 王菲 赵伊宁 王子强 张国玉 车英
长春理工大学理学院 王晓华

[摘要] 介绍了一种背带式 18W 全固态 1064nm/532nm 双波长激光清洗设备,其中,532nm 绿光功率为 6.4W, $M^2=2$, 不稳定性小于 1%。针对表面油漆涂层和铁锈进行了清洗试验,并给出了清洗工件的金相图,结果表明能够满足工业清洗的要求。

关键词: 激光清洗 双波长全固态激光器 背带式

[ABSTRACT] A 18W back-pack diode pumped 1064nm/532nm dual-wavelength laser cleaner is presented, including 6.4W 532nm laser, $M^2=2$, the power instability is less than 1%. The rust on the surface of iron plate and the paint on the surface of the aluminum are cleaned respectively, and the diagram used to metallographic analysis of workpiece cleaned is presented. Results show that the back-pack dual wavelength all-solid-state laser cleaner can meet the industrial demand for cleaner.

Keywords: Laser cleaning Dual-wavelength all-solid-state laser Back-pack

激光清洗是把激光束聚焦到工件的表面,使材料吸收的光能转化为热能,利用材料发生热膨胀产生的热应力克服污染物微粒与材料表面吸附力,从而达到清洗的目的。激光清洗具有无研磨、非接触和无污染等特点,是一种“绿色”清洗技术。随着激光清洗技术的发展,激光清洗已经广泛应用于军用维护、微电子工业、轮胎模具清洗、光学元件清洗、文物保护等领域^[1-3]。

近几年,国外对激光清洗技术参数和机理方面的研究逐渐完善,有关应用的研究占据了主导地位,并在实际应用中展示了该技术的优越性^[4-10]。国内报道的激光清洗装置大都采用定点多脉冲清洗方式,而且大都采用单波长激光输出方式^[11-12]。通常工件表面的污染物种类繁多,材料对波长的吸收也有选择性,因此,单一波长激光输出的适用范围相对较窄,制约了清洗效果。

本文介绍一种 1064nm/532nm 双波长激光同时输出的便携式激光清洗设备。其采用扫描振镜对激光束连

续扫描来实现激光面清洗,提高了清洗的效果和效率;在整机设计时采用光纤柔性传输,使清洗操作更加简单;同时,背带式设计,使激光清洗机携带更加方便。

1 系统总体设计

背带式双波长激光清洗设备主要包括双波长清洗激光光源、激光传输和高速扫描系统、制冷系统以及控制系统等单元(图 1)。将双波长激光器输出的激光束耦合到光纤中进行传输,光纤输出的激光束经准直系统准直后入射到扫描振镜的反射镜上,反射的激光束经 F-Theta 镜在焦平面上形成聚焦的光斑,控制器控制扫描振镜周期性转动固定的角度, F-Theta 镜将振镜转角变成线位移,从而实现光束的扫描,通过调整被清洗件表面与 F-Theta 镜间距离来实现工件表面涂层的清洗。

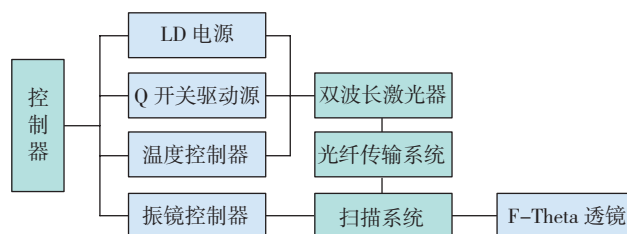


图1 双波长激光清洗机总体方案

Fig.1 Structure of dual-wavelength laser cleaner

2 系统单元设计

2.1 双波长清洗光源

采用 LD 双向端面泵浦折叠腔结构,腔内置入声光调 Q 开关以获得高重复频率高功率密度的基频光,从而获得高倍频转换效率,利用腔内倍频实现 1064nm/532nm 双波长输出,如图 2 所示。采用两台 808nm 光纤输出半导体激光器作为泵浦源,最大输出功率均为 30W,光纤芯径 400 μm ,数值孔径(NA)为 0.18。激光晶体采用低浓度的 Nd:YVO₄,倍频晶体选择 II 类临界相位匹配抗灰迹 KTP,声光 Q 开关采用风冷型声光 Q 调制器。激光晶体和 KTP 晶体均采用铝箔包裹并置于半导体精确制冷的紫铜热沉中。

* 吉林省科技发展计划(201101098)、长春市科技发展计划(2009CC01)资助。

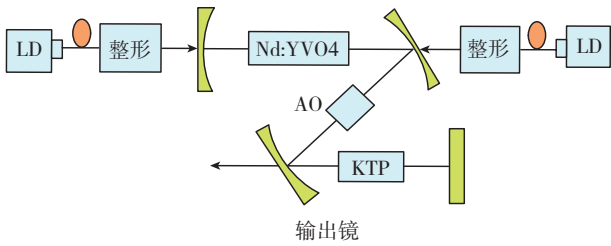


图2 双波长激光器光路图

Fig.2 Configuration of dual-wavelength laser

在泵浦总功率为 56W, 调 Q 重复频率为 4kHz 情况下, 试验获得双波长输出功率 17.8W, 其中 532nm 绿光功率为 6.4W, 双波长激光光束质量相近, $M^2 = 2$, 功率不稳定小于 1%。

2.2 激光传输扫描系统

激光输出后, 经过一个 2 倍扩束系统对输出激光光束的发散角进行压缩, 然后通过耦合透镜耦合到光纤中传输, 光纤输出的激光束经准直系统准直成平行光输出, 准直输出的激光束入射到扫描振镜的反射镜上, 最后通过 F-Theta 镜进行扫描清洗, 如图 3 所示。传输光纤长 3m, 数值孔径 (NA) 为 0.22, 芯径 400 μm , 振镜小步长响应时间小于 0.4ms, 从而保证了清洗速度; 将准直系统、扫描系统和 F-Theta 镜等装夹于手柄中, 使操作更为方便。

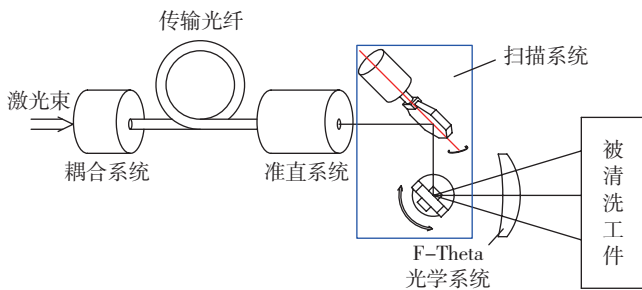


图3 激光传输扫描系统示意图

Fig.3 Configuration of laser transmission and scanning system

2.3 制冷系统

采用半导体制冷片和风扇相结合的制冷方式, 温度传感器实时地测量半导体制冷器冷端温度, 温度信号经过放大和 A/D 转换后发送给单片机, 将设定温度与测量温度的差值转换成偏差电压反馈信号, 根据电流的方向, PWM 和驱动电路控制风扇的运行, 实现对被冷件制冷或加热。

制冷系统主要对半导体激光器、声光调制器、激光晶体、倍频晶体等元部件进行制冷, 温度控制精度为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。制冷片冷端与铜热沉良好接触, 并在接触面涂一薄层导热硅脂, 热端采用风扇和散热片对热端散热。

2.4 控制系统

控制系统是整个清洗设备的神经中枢, 主要对 LD 电源、声光 Q 开关驱动源、制冷系统、振镜等部件进行控制, 如图 4 所示。通过调节控制器面板上重复频率调整按钮和输出功率按钮来获得不同输出参数的激光束。控制系统面板上还设置开启、待机、工作、急停等按钮和报警指示灯, 当清洗设备内部温度超过设定的极限温度时, 系统会发出警报信号, 并自动切断电源, 停止工作。

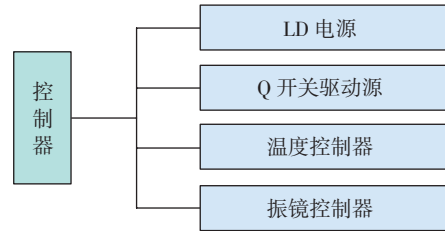


图4 控制系统结构示意图

Fig.4 Structure of controller

3 激光清洗工艺试验

在激光清洗的过程中, 采用吸盘吸走工作面清洗过程中产生的灰尘烟雾, 防止对扫描系统中光学元件造成污染以及对清洗工件的二次污染。清洗过程中, 激光输出功率、调 Q 重复频率、扫描振镜的扫描速度都会影响到清洗的效果。因此, 在实际的清洗操作中, 可以根据材料的特性以及清洗的要求来合理的选择参数, 既能保证良好的清洗效果又能保证效率。

采用本激光清洗设备进行钢板表面除锈以及铝板表面脱漆的试验研究, 除锈试验样品如图 5 所示, 脱漆试验样品如图 6 所示。可以看出, 清洗区铁锈和漆层明显脱落, 清洗效果明显。对清洗后基板材料进行金相分析测试发现, 激光清洗会造成 8~15 μm 左右金属熔层, 但对微结构没有影响, 金相分析结果如图 7 所示。

4 结论

采用 LD 双向端面泵浦的双波长激光器作为激光清洗的光源, 与光纤传输系统、扫描系统等相结合, 研制了背带式双波长激光清洗设备。该设备能够满足不同污物对波长的吸收系数不同的要求, 从而提高清洗的效果。采用光纤传输提高了设备的柔性传输和使用灵活性, 使用高速扫描振镜对清洗工件进行面扫描清洗很大程度上提高了清洗的效率。背带式设计, 使得激光清洗机携带更加方便。清洗试验表明, 该设备性能稳定, 操作方便, 便于携带, 能有效地提高清洗的效果和效率, 能够满足工业零部件、装甲装备、钢轨桥梁和航空飞行器表面清洗的要求。

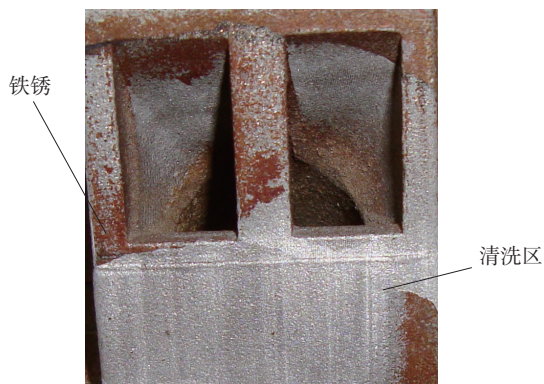


图5 激光除锈试验
Fig.5 Laser cleaning of rust

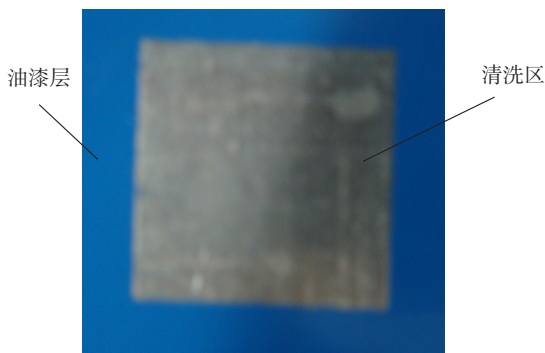


图6 激光脱漆试验
Fig.6 Laser cleaning of paint

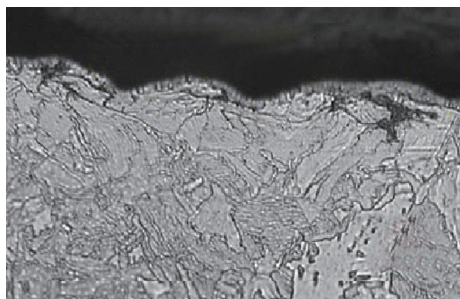


图7 金相分析试验结果
Fig.7 Result of metallurgical evaluation

参考文献

- [1] 吴东江,许媛,王续跃,等. 激光清洗硅片表面 Al_2O_3 颗粒的试验和理论分析. 光学精密工程, 2006, 14(5): 764-770.
- [2] 王泽敏,曾晓雁,黄维玲. 激光清洗轮胎模具表面橡胶层的机理与工艺研究. 中国激光, 2000, 27(11): 1050-1054.
- [3] 史兴宽,徐传义,任敬心,等. 光学基片表面软物质抛光胶体粒子的激光清洗. 航空精密制造技术, 2000, 36(3): 12-15.
- [4] Kholodova S I, Goryachkin D A, Koval' chuk L V. The cleaning of works of art made from stone with laser radiation at wavelengths of 10.6 and 1.06 μ m. Journal of Optical Technology, 2010, 77(5): 309-315.
- [5] Ranner H, Tewari P K, Kofler H, et al. Laser cleaning of optical windows in internal combustion engines. Optical Engineering, 2007, 46(10): 1043011-1043018.
- [6] Margarida P, Joao F, Teresa F, et al. Laser cleaning of silver

surfaces. Proceedings of SPIE, 2007, 6346(1F): 1-6.

[7] Marczak J, Ostrowski R, Rycyk A, et al. Set of advanced laser cleaning heads and systems. Proceedings of SPIE, 2009, 7391(OT): 1-11.

[8] Daurelio, Andriani S E, Catalano I M, et al. Laser re-cleaning of a bronze age pre-historic dolmen. Proceedings of SPIE, 2007, 6346: 634-635.

[9] Sinao S, Grazzi F, Parfrnov V A. Laser cleaning of gilded bronze surfaces. Journal of Optical Technology, 2008, 75(7): 419-427.

[10] Kim D, Kim H, Ryu J, et al. Laser cleaning technology of the contact hole for semiconductor manufacturing. Proceedings of SPIE, 2003, 5063: 53-56.

[11] 郭琳,黄元庆. 一种由 Nd:YAG 构成的激光除垢实验设备. 仪器仪表学报, 2002, 23(5): 206-207.

[12] 谭东晖,陆冬生. 准分子激光直接清洗硅片上油脂的实验研究. 激光技术, 1995, 19(5): 319-320.

(责编 深蓝)

(上接第 82 页)

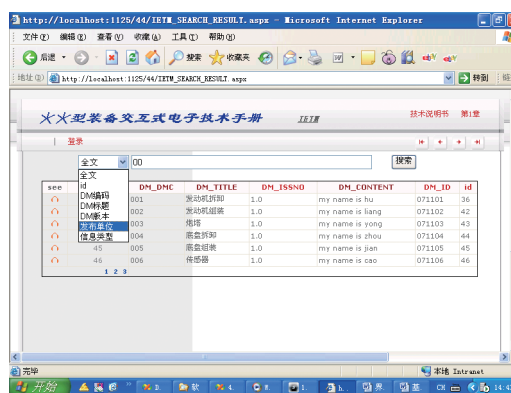


图4 IETM浏览系统的数据查询搜索界面
Fig.4 Data query search interface of IETM browsing system

3 结论

IETM 是装备保障综合信息支持系统,兼容文本、多媒体等信息对象。IETM 这种有效地组织装备技术信息的模式克服了传统纸质技术手册文档带来的诸多问题,并建立在对最新信息技术的应用之上,适应了信息化战争对装备保障提出的迫切需求。由于我军 IETM 建设步伐迟缓,必须借鉴国外 IETM 发展成熟经验,结合我军实际和装备保障现状,积极发展 IETM 技术,尽快开发出具有自主知识产权的装备通用维修信息支持系统,深入开展装备维修信息支持系统集成化研究,以此推动我军装甲装备保障转型建设。

参考文献

- [1] 徐宗昌. 保障性工程. 北京: 兵器工业出版社, 2002.
- [2] 欧洲航空和国防工业协会(ASD), 美国航空工业协会(AIA). S1000D V2.2. 2005.
- [3] 李宗亮. 基于 S1000D 规范的 IETM 系统技术研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2006.

(责编 夏宛)