

文章编号: 1001-3806(2014)04-0441-04

## 纳秒钬激光碎石系统设计

陈瑞涛<sup>1,2</sup>, 顾华东<sup>1,2</sup>, 郑陈琪<sup>1,2</sup>, 杨杰<sup>1,2</sup>, 吴先友<sup>3</sup>

(1. 中国科学院苏州生物医学工程技术研究所, 苏州 215163; 2. 江苏省医用光学重点实验室, 苏州 215163; 3. 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

**摘要:** 为了提高结石碎石率和粉碎程度、减小碎石过程中副作用, 采用电光调  $Q$  技术, 设计了高峰值功率输出的纳秒钬激光碎石系统。从冷却温度、透过率、腔长等方面进行了理论分析, 在冷却温度  $22^{\circ}\text{C}$ 、重复频率  $3\text{Hz}$ 、抽运能量  $200\text{J}$  的条件下进行了实验验证, 获得了腔内最大单脉冲能量  $443\text{mJ}$ 、脉宽  $90\text{ns}$  激光输出的数据。结果表明, 该系统可输出高峰值功率的纳秒钬激光, 碎石时间短, 可粉碎任何成分的结石, 一次碎石率高, 粉碎程度高。这为下一步产业化打下了基础。

**关键词:** 激光技术; 纳秒钬激光; 电光调  $Q$ ; 碎石; 高峰值功率**中图分类号:** TN249 **文献标志码:** A **doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2014.04.002

### Design of lithotripsy system of nanosecond Cr, Tm, Ho:YAG laser

CHEN Ruitao<sup>1,2</sup>, GU Huadong<sup>1,2</sup>, ZHENG Chenqi<sup>1,2</sup>, YANG Jie<sup>1,2</sup>, WU Xianyou<sup>3</sup>

(1. Suzhou Institute of Biomedical Engineering and Technology, China Academy of Sciences, Suzhou 215163, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Medical Optics, Suzhou 215163, China; 3. Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, China Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

**Abstract:** In order to improve the lithotripsy rate and degree and reduce the side effects during the process of lithotripsy, nanosecond holmium laser lithotripsy system with high peak power output was designed on the base of electro-optical  $Q$ -switched technology. Theoretical analysis was made from the aspects of cooling temperature, transmittance and cavity length. Under the conditions of cooling temperature  $22^{\circ}\text{C}$ , repetition rate  $3\text{Hz}$  and pump energy  $200\text{J}$ , experimental verification was made. The maximum single pulse energy of  $443\text{mJ}$  and pulse width of  $90\text{ns}$  were obtained. The lithotripsy system can supply high peak power output of nanosecond holmium laser and can crush the lithosis of any component within short lithotripsy time at high lithotripsy rate and degree. The results demonstrate that the system has high performance and lays the foundation for the next step of industry.

**Key words:** laser technique; nanosecond Cr, Tm, Ho:YAG laser; electro-optic  $Q$ -switched; lithotripsy; high-peak power

## 引言

泌尿系统结石是一种常见病和多发病, 全世界的发病率约为  $5\% \sim 15\%$  [1]。随着医疗技术的不断进步, 其治疗手段逐渐由开放性手术向微创治疗方向发展。现在的治疗技术主要有体外冲击波碎石术和输尿管镜碎石术。

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向性基金资助项目(KGCXZ-YW-910-2)

作者简介: 陈瑞涛(1983-), 男, 硕士, 主要研究方向为嵌入式系统、电气控制。

E-mail: chenrt@sibet.ac.cn

收稿日期: 2013-08-27; 收到修改稿日期: 2013-10-28

结石大小、位置、化学成分和解剖异常等因素影响体外冲击波碎石术的治疗效果 [2]。输尿管镜碎石术主要包括气压弹道碎石术和钬激光碎石术。气压弹道碎石容易导致结石移位, 治疗过程中会出现创伤、出血等并发症 [3]。气压弹道联合超声碎石, 低硬度结石用超声碎石, 高硬度结石用气压弹道碎石, 但是对于结构复杂病灶、很难定位的结石碎石效果就差, 结石残留率高。

长脉冲(大于  $100\mu\text{s}$ )钬激光碎石的机理是光热效应 [4-7]。钬激光在结石表面瞬间产生巨大能量, 使其温度迅速上升并产生热分解作用, 使结石粉碎。本系统采用的短脉冲(小于  $10\mu\text{s}$ )钬激光的碎石机理主要是光机械效应(光声效应) [5-7]。短脉冲钬激

光脉冲持续时间短,与结石作用过程中,产生冲击波、等离子体和空化作用等,通过机械能粉碎结石。与其它腔内碎石方法相比,钬激光可以粉碎各种成分和密度的结石,一次碎石率高<sup>[8]</sup>。碎石过程中结石不易移动,碎屑直径小<sup>[9-10]</sup>。配合内镜技术应用,可以治疗难定位、结构复杂部位的结石,在碎石的同时还能处理软组织病变,而且钬激光的热辐射还具有抗菌作用<sup>[11]</sup>。

### 1 纳秒钬激光碎石系统的特点

纳秒钬激光碎石系统采用性能优良的 Cr, Tm, Ho:YAG 晶体,激光器整体密封,抽真空后注入氮气,保证低温正常工作,运用中红外电光调 Q 开关技术,200nm ~ 4500nm 内有很高的透过率,提高了纳秒钬激光器的峰值功率,缩短了其输出的最窄脉冲宽度。纳秒钬激光输出波长 2091nm,处在水的较强吸收带,峰值功率高,脉冲宽度纳秒级,采用低 OH 浓度的石英光纤传输,结合内镜系统,能够粉碎各种成分的结石,有效治疗其它碎石方法不易治疗的难定位、结构复杂部位的结石等,热效应小,使用更安全、可靠。

### 2 系统设计

图 1 为系统的总体设计框图,包括钬激光器、激光电源、冷却系统、触摸屏控制系统和光学耦合与传输系统等组成部分。

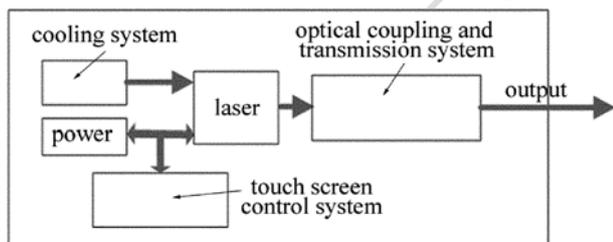


Fig. 1 Structure diagram of Cr, Tm, Ho:YAG laser lithotripsy system

#### 2.1 钬激光器设计

图 2 为纳秒钬激光器的结构示意图。激光晶体是激光器的关键器件,其质量影响着激光器的输出性能。激光棒是性能优良的 Cr, Tm, Ho:YAG 晶体,尺寸为  $\varnothing 5\text{mm} \times 93\text{mm}$ ,适当控制  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Tm}^{3+}$ ,  $\text{Ho}^{3+}$  3 种离子的掺杂浓度,晶体两端镀 2080nm 的增透膜,反射率低于 0.015%;抽运源选择高压氙灯,尺寸为  $\varnothing 6\text{mm} \times 100\text{mm}$ ,抽运能量大于 200J,脉冲宽度 300 $\mu\text{s}$ 。激光棒的热透镜效应改变了谐振腔的光学性质,是谐振腔的模式结构发生畸变的主要原因<sup>[12]</sup>。

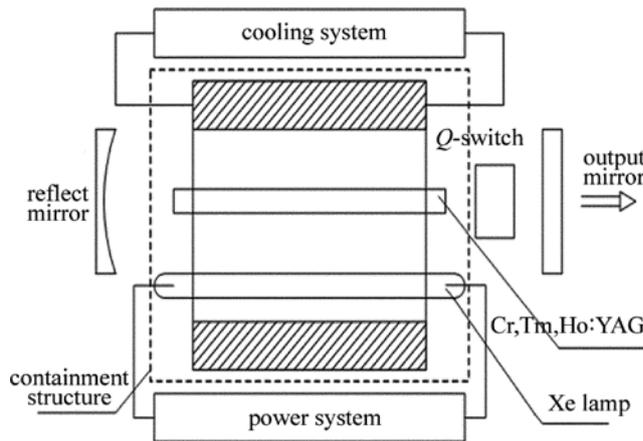


Fig. 2 Structure of Cr, Tm, Ho:YAG laser

抽运、冷却双重过程作用于激光棒,使其沿径向形成温度梯度,引起热透镜效应<sup>[13-14]</sup>。随着抽运能量的提高,热透镜等效焦距  $f$  减小。为了减小热透镜效应对输出激光特性的影响,尽量选择小的腔长<sup>[15]</sup>。为此,作者设计的谐振腔的长度为 260mm,平凹腔,全反镜的曲率半径为 1m,镀有对 2080nm 全反的介质膜,平面镜作为输出镜,透过率为 20%。

运用中红外电光调 Q 开关技术,一方面可以压缩输出激光的脉冲宽度,另一方面可以提高输出激光的峰值功率,实现纳秒钬激光的高峰值功率输出,调 Q 晶体采用一种掺镁铌酸锂 ( $\text{LiNbO}_3$ , LN) 晶体,其抗损伤阈值达 200MW/cm<sup>2</sup>,镀增透膜后的透射率高于 98%<sup>[16-17]</sup>。

#### 2.2 激光电源

激光电源向抽运源高压氙灯提供电能。激光电源采用开关型脉冲激光电源,放电电容 350 $\mu\text{F}$ ,额定输出功率 2kW,脉冲重复频率 1Hz ~ 10Hz 可调,输出电压 0V ~ 1200V 可调。

#### 2.3 冷却系统

Cr, Tm, Ho:YAG 晶体和抽运氙灯需要冷却系统对其进行冷却。冷却水温影响着激光器的阈值,温度升高时,激光器的阈值也随之升高;另一方面温度越低,激光器的输出效率就越高<sup>[12,18]</sup>,但是低温产生的水汽容易导致激光晶体损伤。因此为了使激光器稳定、高效工作,必须提供尽可能低的、稳定的温度环境;同时将激光器整体密封,抽真空后再充入氮气,保证激光器在低温时正常工作。

冷却系统采用压缩机制冷和恒温控制的去离子水循环冷却系统。水温控制在  $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。水泵采用磁力驱动离心泵,扬程 4m,流速 1.2m<sup>3</sup>/h。在适当的范围内,提高扬程和流速,可以减小热效应的影

响,提高输出效率。

### 2.4 触摸屏控制系统

用户通过触摸屏与系统进行人机交互,操作直观、方便。触摸屏通过串口与控制器通讯,传送控制指令和参量,同时接收控制器反馈回来的系统状态和参量,在界面上直接显示。界面上显示治疗参量和倒计时时间,发生异常情况,界面给出提示,系统发出报警音。

### 3 实验结果

利用图 3 所示的样机进行试验,在冷却温度 22℃,重复频率 3Hz,抽运能量 200J 的条件下,分别采用 OPHIR 公司的 NOVA II 型能量计、Vigo 公司的 PVM 常温 HgCdTeZn 光电探测器和 Ocean Optics NIRQUEST512-2.2 型光谱仪测量激光输出能量、输出波形和波长,实验结果如图 4 和图 5 所示。测得腔内最大单脉冲能量 443mJ,脉宽 90ns(见图 4),波长 2091nm(见图 5)。



Fig. 3 Prototype of Cr,Tm,Ho:YAG laser lithotripsy system

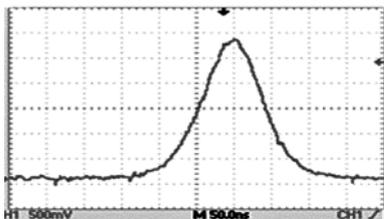


Fig. 4 Electron-optic Q-switched waveform (repetition rate of 3Hz and pump energy of 200J)

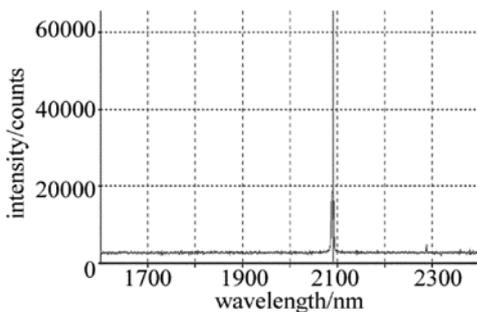


Fig. 5 Wavelength of output laser

### 4 结论

在冷却温度 22℃、重复频率 3Hz、抽运能量 200J 的条件下,获得了腔内最大单脉冲能量 443mJ、脉宽 90ns 的 2091nm 钬激光输出。今后将根据激光器在医学方面的应用标准,进一步完善纳秒钬激光碎石系统,获得该产品的市场准入,实现纳秒钬激光碎石系统的产业化。

#### 参 考 文 献

- [1] MOE O W. Kidney stones: pathophysiology and medical management[J]. Lancet, 2006, 367(9507):333-344.
- [2] LI X, HE Z H, ZENG G H, et al. The current therapy of upper urinary tract calculi: report of 5178 patients[J]. Journal of Clinical Urology, 2004, 19(6):325-327 (in Chinese).
- [3] MA K, HUANG X B, YE H Y, et al. Establishing percutaneous renal access for percutaneous nephrostolithotomy with balloon dilation guide by ultrasonography: clinical analysis of 12 cases[J]. Chinese General Practice, 2011, 14(1):203 (in Chinese).
- [4] CHAN K F, VASSAR G J, PFEFER T J, et al. Holmium:YAG laser lithotripsy: a dominant photothermal ablative mechanism with chemical decomposition of urinary calculi[J]. Lasers in Surgery and Medicine, 1999, 25(1):22-37.
- [5] CHAN K F, PFEFER T J, TEICHMAN J M, et al. A perspective on laser lithotripsy: the fragmentation processes[J]. Journal of Endourology, 2001, 15(3):257-273.
- [6] WELCH A J, KANG H W, LEE H, et al. Calculus fragmentation in laser lithotripsy[J]. Minerva Urol Nefrol, 2004, 56(1):49-63.
- [7] BATHSHEHE S A. The features of the gallstones and kidney stones fragmentation by IR pulsed YAG:Nd laser radiation[J]. Proceedings of the SPIE, 1995, 2395:94-97.
- [8] TEICHMAN J M, VASSAR G J, BISHOFF J T, et al. Holmium:YAG lithotripsy yields smaller fragments than lithoclast, pulsed dye laser or electrohydraulic lithotripsy[J]. Journal of Urology, 1998, 159(1):18-27.
- [9] WANG Sh Sh, XIANG S T, CHEN Zh Q, et al. Curative effect of kidney calculi: comparison between high-power holmium laser lithotripsy and pneumatic lithotripsy[J]. Journal of Clinical Urology, 2005, 20(9):534-536 (in Chinese).
- [10] SHEN M S, LIU J. Treatment of ureteral calculi based on ureteroscope and Ho:YAG laser[J]. Laser Technology, 2003, 27(2):160 (in Chinese).
- [11] SUN Y H, GAO X F, WANG L H. High-power holmium laser with percutaneous nephrolithotripsy for kidney calculi[J]. Chinese Journal of Surgery, 2005, 43(18):1209-1211 (in Chinese).
- [12] LIU L, CHEN H M, LI J Z. Optimization design of high power Cr,Tm,Ho:YAG laser[J]. Optical Technique, 2004, 30(4):505-507 (in Chinese).
- [13] PENG Y F, WU D Y, ZHANG Y, et al. Simulation and structure design of a high power laser mirror with self-compensation of thermal distortion[J]. Laser Technology, 2012, 36(1):120-123 (in Chinese).
- [14] CAO Y J, LIU Y, CHEN G L, et al. Study on vibrational stabilization of cylindrical cavities[J]. Laser Technology, 2012, 36

- (2):265-267 (in Chinese).
- [15] YAO Y Ch, LI Zh J, HUANG Ch Y, *et al.* Theoretical simulation of Cr, Tm, Ho:YAG laser[J]. Acta Photonica Sinica, 2007, 36(7):1352-1354 (in Chinese).
- [16] LI Z, WANG L, YANG J W, *et al.* 480mJ, 2 $\mu$ m high pulse energy electro-optically Q-switched Cr, Tm, Ho:YAG laser operation at room temperature [J]. Chinese Journal of Lasers, 2011, 38 (6): 0603007 (in Chinese).
- [17] WANG L, CAI X W, YANG J W, *et al.* 520mJ langasite electro-optically Q-switched Cr, Tm, Ho:YAG laser[J]. Optics Letters, 2012, 37(11):1986-1988.
- [18] HUANG Ch Y, YAO Y Ch, LI Zh J. Experimental research and design of medical holmium laser [J]. Laser Journal, 2006, 27 (1):9-10 (in Chinese).

版权所有 © 《激光技术》编辑部