

文章编号: 0258-7025(2009)02-0294-03

火药剂量与排布对烟火抽运激光器出光能量的影响

肖楠 姜宗福 袁圣付 华卫红

(国防科学技术大学光电科学与工程学院, 湖南长沙 410073)

摘要 烟火抽运激光器以烟火化学反应发出的强光作为光抽运源,火药剂量与排布方式直接影响激光器的出光性能。通过考察药剂量从 12~48 个之间变化时激光能量的变化,以及比较两种火药排布方式,得出参加反应的化学药剂量及药剂布局影响激光器出光能量的规律。当药柱量在 21~30 之间时激光能量较高;两种对称的布局方式中,药柱分布集中、使用电阻丝少的方式有明显优势,药柱分布分散、使用电阻丝多的方式得到的激光能量总体较低。将 24 个药柱平分作 3 串,均匀分布在石英管周围,得到 1.003 J 的激光能量,是早期工作中得到激光能量的 30 倍,药剂量仅为 1/4。

关键词 激光器;烟火药;激光能量;分布;抽运

中图分类号 TN248.5;TQ567 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/CJL20093602.0294

Influence of Powder Mass and Distribution on Output Energy of Pyrotechnically Pumped Laser

Xiao Nan Jiang Zongfu Yuan Shengfu Hua Weihong

(*College of Optoelectric Science and Engineering,
National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China*)

Abstract Pyrotechnically pumped laser uses the intense light of pyrotechnic chemical reaction as the pump light source. The mass and distribution of the powder influence the laser character directly. Variety of laser energy was observed when the unity of powder poles changed from 12 to 48. The two distributions of powders were compared. And then the rules of two elements' influence on laser energy, i. e. the weight of chemical powder in reactions and the distribution of the chemical powder poles are given. Higher laser energy is achieved when 21 to 30 powder poles are used. The two distribution manners of same total poles were compared. The manner that poles concentrate to few wires is better than those to many wires. 1.003 J laser energy is achieved by use of 24 poles divided averagely to 3 series. The energy is 30 times the result obtained in earlier study, and the weight of chemical powder poles is only one fourth.

Key words laser; pyrotechnic; laser energy; distribution; pump

1 引言

烟火抽运激光器是利用烟火化学反应发光进行抽运的一类激光器。从 20 世纪 60 年代至今,国际上一直有对这类激光器的研究报道。它具有便携和廉价的特点,适用于航空测量^[1]和激光雷达^[2],同时也是一种无磁场激光器,俄罗斯学者 A. A. Kaminskii 等^[3~5]认为这一特点可以使它被放置在磁场中进行电子感应跃迁的塞曼效应研究。2003 年,美国海军提出研制一次性模块式高能激光器,倾

向于采用烟火抽运的方式实现^[6]。

南京理工大学曾以 Nd:YAG 为激光介质进行过相关研究^[7,8]。我们在前期的工作中研制了发射光谱与钕玻璃的吸收光谱相匹配的烟火药剂,比较了以不同烟火药剂抽运的激光器的出光情况,得到了 29 mJ 的激光^[9]。改进药剂配方,降低药剂量并调整排布方式后,得到最高 372 mJ 的激光^[10]。

本文在前期研制出的烟火抽运激光器基础上,对烟火药柱在激光介质周围分布量和分布方式进行

收稿日期:2008-03-13;收到修改稿日期:2008-06-23

作者简介:肖楠(1979—),女,博士研究生,主要从事激光器的研究。E-mail:xiangxiang__99@163.com

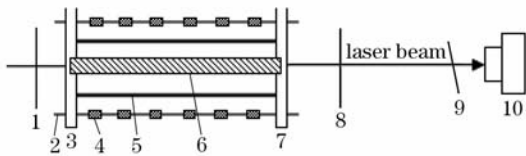
导师简介:姜宗福(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事高能激光技术及应用、气动光学研究。

E-mail:jiangzongfu@yahoo.com.cn

总体优化,研究这些因素与激光出光能量的规律,并分析与激光器结构的关系。

2 药剂量与激光能量的关系

实验装置如图 1 所示。这与前期实验所用的装置结构相同,其中增益介质 6 为 $\phi 8 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的钕玻璃棒,3,7 分别为对称的两侧支架,用来支撑钕玻璃棒和电阻丝 2。药剂压制成 $\phi 4 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 的空心药柱 4,其内径约为 1 mm,它被穿在串联的多根电阻丝上,电阻丝均匀对称地分布在石英管 5 外。



1: highly reflective mirror; 2: resistance wires;
3,7: lateral brackets; 4: chemical pump source poles;
5: quartz tube; 6: Nd glass rod; 8: partially transmissive mirror;
9: narrowband filter; 10: laser energy meter

图 1 抽运结构及能量测试光路

Fig. 1 Pumping structure and energy testing experimental setup

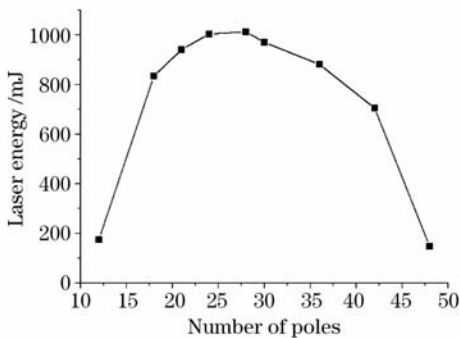


图 2 药柱量与激光能量的关系

Fig. 2 Relationship between number of poles and laser energy

取不同数量的药柱,按照各种布局方式组合进行多次试验,相同数量的药柱当布局方式不同时,得到激光能量值相差很大。图 2 中的激光能量值是该数量下,按照各种布局方式(包括图 3 中的两种布局方式)试验所得到的激光能量最大值。其中横轴为药柱总量,纵轴为该药量下的最高激光能量。当药柱个数从 12 增加到 21 时,激光能量迅速增加;药柱个数从 21~30 时,激光能量先增后减,增减的幅度都比较小;药柱个数从 30~48 时,激光能量迅速降低。药柱个数在 21~30 之间时,能量随药剂量的增减变化不显著,即在该范围内调节药柱量对激光能量的影响较小。

形成这样的规律有两个原因。首先,这说明当

石英管外的药柱分布达到一定密度时出现饱和,增加药柱量反而影响激光介质对抽运光的吸收,使激光器效率降低。这与直管氙灯抽运时,将多根 Xe 灯放置在紧包腔中,获得更高抽运光强的想法类似,但结果不同。多氙灯抽运时,光的叠加使光强增加;而火药抽运时不但是光的叠加,还是进行发光反应的化学物质的叠加,粒子碰撞、光吸收、氧浓度降低等因素将导致火药的发光效率降低。因此当药柱分布达到一定密度时,再增加药柱量,激光能量反而下降。另外,药柱量增加使燃烧产生的烟尘按正比例增加,这些烟尘严重阻碍了抽运光的传播,造成抽运光利用率低。

3 布局方式与激光能量的关系

药剂量与激光能量的关系是当药柱量在 21~30 之间时激光能量较高,下面讨论药柱量在该范围附近,采用不同布局方式的抽运情况。

火药可以以两种方式均匀分布在石英管周围,图 3 以药柱个数总量为 12 的情况为例表示。图 3 (a)中药柱集中分布在两根电阻丝上,将这两串药柱对称置于钕玻璃棒侧面,这种结构相当于 Xe 灯抽运时双灯的情况。图 3 (b)排布方式将药柱均匀分布在 4 根电阻丝上,每根电阻丝的长度与(a)布局中一样,都与钕玻璃棒相匹配,(b)方式相当于在介质棒外套 4 个环形灯。

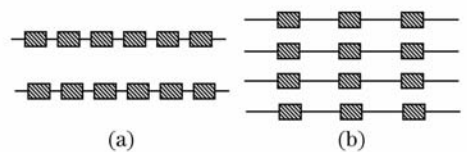


图 3 药柱的两种分布方式

Fig. 3 Two distributions of poles

实验结果表明,相同药柱总量时(a)法排布明显优于(b)法排布,前者对火药发光的利用率较高,后者不利于激光介质有效地吸收抽运辐射。同药柱量不同分布方式的出光情况如表 1 所示。

以 24 个药柱的实验结果为例讨论,8×3 的排布方式共用三根电阻丝,每根上有 8 个药柱,点火后各药柱的闪光连成一线,每串如同一根直管闪光灯,其形状正好与激光介质棒相匹配,能够均匀照射介质棒的整个侧面。4×6 的排布方式如同在介质棒外套 4 个圆环,每个圆环由 6 个药柱组成,介质棒上位于两环中间的位置受到光辐射较弱。这相当于将介质棒分成 9 个强弱辐射相间的区域,其中强辐射

区域反转粒子数较多,增益较高,其余部分抽运光太弱,很可能没有形成粒子数反转,即增益区在介质中间断分布,总增益长度大大缩短,虽然部分位置增益较高,然而整体的增益却比较低。 6×4 的分布方式好一些,抽运光强弱差距较小,相对均匀,因此得到较强的激光能量。

表 1 同药柱量不同分布方式下的激光能量

Table 1 Laser energy of same total poles and different distribution

Distribution (poles every string \times strings)	Total poles	Experimental results /mJ
6×5	30	970
5×6	30	348
8×3	24	1003
6×4	24	608
4×6	24	4

表 1 中 8×3 与 6×4 两种排布方式得到激光能量的差距表明,6 个药柱组成的串中各药柱的闪光还未能连成一线,不能达到直管闪光灯的抽运效果。当药柱个数增加为 8 的时候,激光能量显著增加,说明此时对激光介质的抽运非常均匀。图 1 所示的激光器结构中,药柱中心到石英管表面的距离为 6.5 mm。当药柱燃烧形成半径为 6.5 mm 的火球时,燃烧固体残渣开始覆盖石英管表面,石英管的透光率迅速下降,介质内的反转粒子数迅速减少,激光脉冲结束。因此,理论上药柱间隔需要小于 13 mm 闪光才能连成一线,才有较高的抽运效率。而 6 个药柱彼此间隔为 16 mm,8 个为 12.5 mm,按照 13 mm 的标准,一串 8 个药柱时抽运比较均匀,激光能量较高,这与表 1 的实验结果一致。

以图 3(b)方式排布的实验结果列于表 2。第二行中,虽然药柱总量为 27 根,但没有得到激光;而第三行中总药柱量为 24 却得到了激光,说明各串中药柱数量不同的排布方法更不利于抽运。第一、三、四行数据都采用六串药柱,且每串药柱量相同,得到的激光能量随每串的药柱量减少而迅速减弱,直到不出光。总的来看,(b)排布得到的激光能量都比较低。

表 2 图 3(b)方式分布的实验结果

Table 2 Experimental results of distribution Fig. 3(b)

Distribution (poles every string \times strings)	Total poles	Experimental results /mJ
5×6	30	348
$4 \times 3 + 5 \times 3$	27	No laser
4×6	24	4
3×6	18	No laser

4 分析与结论

药剂量和药柱布局方式与激光器出光能量的关系表明,当 24 个药柱以 8×3 (3 串且每串 8 个药柱)的方式均匀分布时,激光器出光能量达到 1.003 J。这个结果比初期^[9]的 29 mJ 和后来的 372 mJ^[10]都提高了很多。初期的研究中,药剂质量相当于现在的 4 倍,得到的激光能量却只有 29 mJ;后来的研究药剂配方有所改变,药剂量为现在的 2 倍,出光能量却只有 372 mJ。试验证明大量药柱紧密排布的方法并不利于抽运光的吸收。

以前的研究由于药柱排布紧密,反射光穿越密集的火药粒子时被强烈地散射、反射和吸收,反射效果不好,因此没有考虑利用反射光。目前国际上最新研究成果采取圆柱型漫反射腔^[11]。本文的研究大大减少了抽运腔中的药柱量,在这种情况下引入反射腔壁,对抽运光的利用将更加充分。

研究结果适用于各种不同结构和尺寸的烟火抽运激光器。

参 考 文 献

- P. Pencikowski, P. Csik. A long-range synthetic vision system combining a pyrotechnic-pumped laser and range-gated camera [C]. IEEE Proceedings of 1996 Aerospace Applications Conference, Pico Rivera, CA, USA: Northrop Grumman corporation, 1996. 97~102
- M. Acharekar, R. LeBeau. Miniature laser direct-detection radar [C]. SPIE, 1992, **1633**:94~111
- A. A. Kaminskii. Laser Crystal [M]. Beijing: Science Press, 1981. 60
- A. A. 卡明斯基. 激光晶体[M]. 北京: 科学出版社, 1981. 60
- A. A. Kaminskii, A. I. Bodretsova, S. I. Levikov. Pyrotechnically excited quasi-cw laser [J]. Soviet Physics-Technical Physics, 1969, **14**(3):396~402
- A. A. Kaminskii, A. I. Bodretsova, A. G. Petrosyan et al.. New quasi-CW pyrotechnically pumped crystal lasers [J]. Soviet J. Quantum Electron., 1983, **13**(7):975~976
- Koch Andrew. US Navy reveals laser concepts [J]. Jane's Defense Weekly, 2003, **39**(26):8
- Zhu Changxing. Study of high-octane material as laser pumping source [D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2005
- 朱长星. 用于激光泵浦源的高能含能材料研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2005
- Xiang Xun. Study on chemical flashlamps as pump source of solid state laser [D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2006
- 项 汛. 用于固体激光器泵浦源的化学闪光灯研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2006
- Xiao Nan, Jiang Zongfu, Yuan Shengfu et al.. Output experiment of pyrotechnically pumped Nd glass laser [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2008, **20**(1):17~20
- 肖楠, 姜宗福, 袁圣付等. 烟火泵浦玻璃激光器出光实验研究[J]. 强激光与粒子束, 2008, **20**(1):17~20
- Nan Xiao, Zongfu Jiang, Weihong Hua et al.. 372-mJ long pulse pyrotechnically pumped laser [J]. Chin. Opt. Lett., 2008, **6**(8):578~579
- A. A. Kaminskii, S. N. Bagayev, K. Ueda et al.. 5.5 J pyrotechnically pumped Nd³⁺:Y₃Al₅O₁₂ ceramic laser [J]. Laser Phys. Lett., 2006, **3**(3):124~128