

文章编号: 2095-4980(2016)06-0991-04

预放系统 20 kJ 能源触发放电稳定性

栾永平, 唐海波, 郭良福, 陈德怀, 赖贵友, 齐 珍

(中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621999)

摘 要: 预放系统 20 kJ 能源是为激光预放大器棒状氙灯提供泵浦脉冲的能源系统, 是神光-III 主机高功率固体激光装置的重要组成部分。预放 20 kJ 系统能源触发放电的稳定性严重制约预放系统的调试效率和正式的激光打靶效率。针对预放能源系统在与 A1/A2/A3 光束组预放系统棒状放大器联合调试过程中发现存在提前放电、放电不同步和不放电等问题, 开展了预放 20 kJ 能源系统触发放电的稳定性研究, 提出了相应的解决措施并通过试验验证, 将 20 kJ 能源系统触发放电的稳定性大幅提高。

关键词: 高功率固体激光; 能源系统; 触发放电; 稳定性

中图分类号: TN783

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201606.0991

Stability of 20 kJ energy triggered discharge in pre-release system

LUAN Yongping, TANG Haibo, GUO Liangfu, CHEN Dehuai, LAI Guiyou, QI Zhen

(Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

Abstract: Pre-release 20 kJ energy system provides pump pulse for the rod xenon lamp of laser pre-amplifier, which is an important part of SG-III host high power solid laser device. The stability of pre-placed 20 kJ system energy trigger discharge seriously restricts the debugging efficiency of pre-placed system and the formal laser targeting efficiency. The situations of early discharge, non-synchronous discharge and not discharge are found during the joint debugging process of the pre-placed energy system and A1/A2/A3 beam group pre-placed system rod amplifier. The stability of pre-placed 20 kJ energy system trigger discharge is studied, and corresponding measures are put forward and tested, which can improve the trigger discharge stability of 20 kJ energy system significantly.

Keywords: high power solid laser; energy source system; trigger discharge; stability

神光-III 主机装置预放 20 kJ 能源系统, 能源系统安装在高功率固体激光装置南北两侧的能库中, 南北能库成镜像对称排布。每个能库排布了 54 套片放能源模块和 48 套预放 20 kJ 能源模块。图 1 为北能库中 48 套预放 20 kJ 能源模块的安装位置和排布。预放系统 20 kJ 能源是为预激光放大器棒状氙灯提供合适的能量泵浦脉冲, 它的输出稳定性将直接影响到激光能量输出的稳定性^[1]。影响预放系统 20 kJ 能源输出稳定性的主要因素有同步触发、开关放电以及模块的电磁兼容性。

1 能源系统存在问题及原因分析

在 A1/A2/A3 光束组预放系统联合调试过程中发现能源系统存在的问题, 需要进行原因分析^[2]。

1.1 触发器被干扰提前放电

通过对能源系统仔细研究和分析, 发现机柜中的接地线缆布局不科学^[3]。图 2 给出了机柜中各单元接地示意图, 打叉的地方表示触发器外壳原来的接地位置, 它直接接在了电容器负端。虽然电容器负端接高压地, 但在充电过程中, 充电回路中存在一定的电压, 导致触发器外壳带电。存在触发器里面的电路板有可能随机受到干扰而导致误触发问题^[4]。



Fig.1 20 kJ energy source system
图 1 20 kJ 能源系统

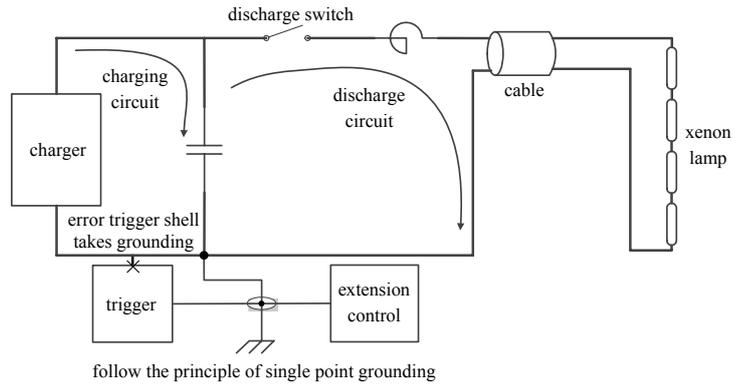


Fig.2 Grounding stretch map
图 2 接地示意图

1.2 布局不合理导致引燃管自闪

图 3 为引燃管与高压母排实物安装图，图 4 为其安装示意图。当触发放电时，电流由电容器正端经高压母排，通过引燃管到氙灯。虽然引燃管同轴安装对引燃管的放电是有好处的，但从图 3 可以看出，放电高压母排只安装在右边，并没有以引燃管为中心安装，放电时就不能把放电电弧稳定在中央^[5]。放电时，高压母排与引燃管都有近 7 kA 的大电流流过，由于高压母排与引燃管平行安装且距离很近，电流方向相反，根据安培定则，高压母排与引燃管之间会产生一个很大的相互排斥的力。放电时，引燃管里的汞蒸汽因受力不均导致部分汞离子被挤压到引燃管内壁。在力的多次作用下，引燃管内壁积累着越来越多的汞离子。当积累到一定程度后，在某次充电过程中，由于引燃管内壁存在导电汞离子，引燃管阳极与阴极耐压不够，而出现引燃管自闪现象，即预放 20 kJ 能源失效^[6]。

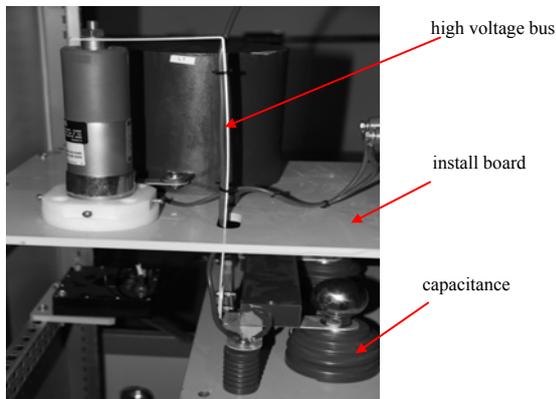


Fig.3 Ignitron and installation of high pressure physical bus
图 3 引燃管与母排安装图

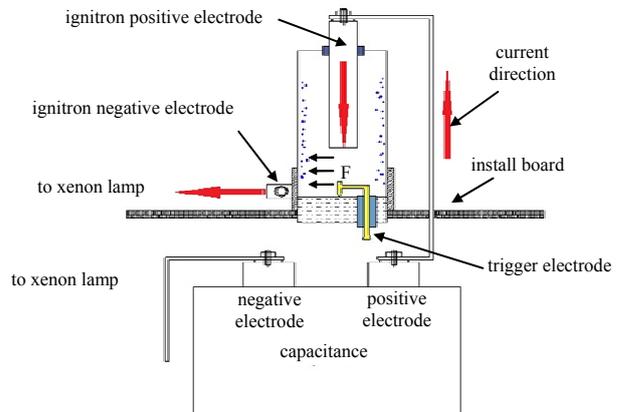


Fig.4 Ignitron and the high voltage bus bar installation diagram
图 4 引燃管与高压母排安装示意图

1.3 触发器设计不合理导致其固有延时差异及晃动

通过示波器检测每台触发器触发固有延时时间较长，达到 70 μs~100 μs，波形抖动范围也不同。

如图 5 和图 6 所示，同步机随意选取一路光纤触发时测到的固有延时为 79.20 μs，连续 50 次触发后，晃动范围达到 10.08 μs。对电路仔细分析发现，可能存在不合理因素为：第一是触发器电路原理设计不合理；第二是同步机每次输出经过多次转换传输后触发光信号不稳定^[7]。

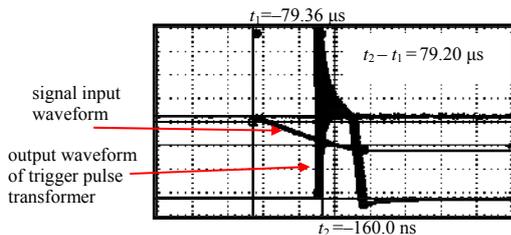


Fig.5 System inherent delay
图 5 系统固有延时

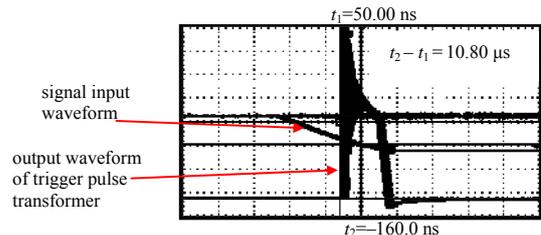


Fig.6 Trigger shaking range
图 6 触发晃动范围

1.4 连接件缺陷形成短路导致不放电

触发极连接件与引燃管触发极安装结构关系见图 7。触发器不触发几率较高是因为原设计的引燃管触发极连接件存在缺陷，容易导致触发器电极与引燃管阴极短路，造成触发信号短路而无法使引燃管导通。

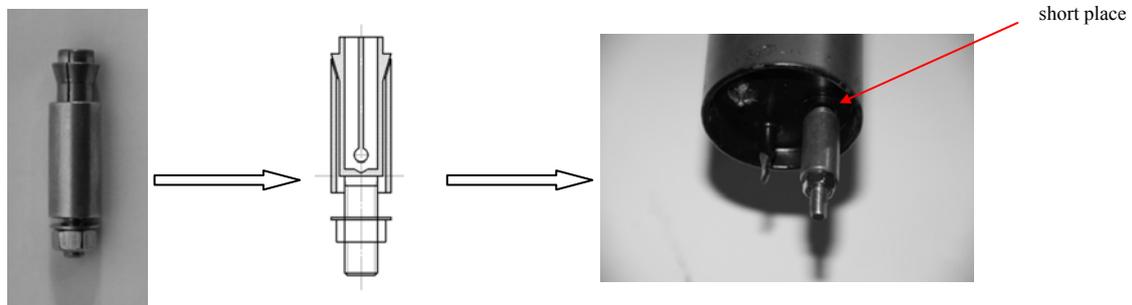


Fig.7 Structure mounting relationship between trigger electrode and the ignitron trigger electrode
图 7 触发极连接件与引燃管触发极安装结构关系

2 解决方案与验证

2.1 提前放电问题

遵循单点接地原则，重新规范机壳接地。如图 2 所示，把触发器的接地线接入单独引出的接地点(黑色圈中的点)，这样就保证了机壳表面完全接地，避免触发器受干扰误触发，解决了提前放电问题。

重新设计高压母排走向，从电容器负端用电缆线弧形连接方式到引燃管阳极，增加电缆线与引燃管之间的距离，解决布局不合理导致引燃管自闪问题^[8]。

2.2 触发器固有延时差异及晃动问题

了解得知，最初为解决提前放电问题，在没有找出提前放电的根本原因的情况下，对触发器的触发信号翻转处以加电容的方式进行滤波。虽然提前放电的问题得以解决，但导致了触发信号出现固有延时差异及晃动现象，从而导致激光器输出不稳定的后果。为证实这一点，搭建了一个触发信号源，对触发器进行离线实验，调节触发信号，检测触发器输出的固有延时及晃动情况。

通过实验验证，触发固有延时时间及晃动范围随着减小触发信号翻转处的滤波电容而减小。

通过对电路原理仔细分析发现，在信号的翻转处都加有一个接地电容，由于电容两端的电压不会突变，从而大大增加了信号的翻转时间，导致触发固有延时大。对触发器技术线路进行逐级优化改进，取消相关电容，效果非常明显。改进完成后所有触发器触发固有延时均为 1 μs 左右，触发抖动小于等于 1 μs，且即使同步触发光信号有所衰减，延时和抖动不会改变。图 8 为改进后触发输出波形，固有延时 1.328 μs，图 9 为连续触发 50 次后的波形，无明显抖动，实际运用中触发器也没有因减少电容而受到电磁干扰，证实在此电路中信号翻转处加滤波电容是起反作用的^[9]。

2.3 不放电问题

针对不放电原因，对触发连接件进行限位改进，同时在触发连接件与引燃管阴极之间增加一个绝缘硅胶垫片，保证触发连接件彻底无法与引燃管阴极短路，改进后的连接件结构见图 10^[10]。

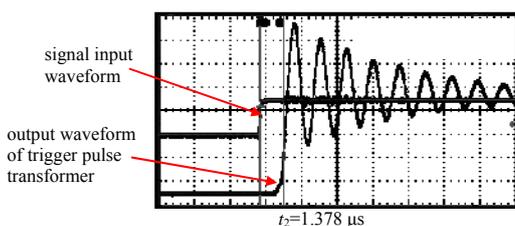


Fig.8 Inherent delay of improved system
图 8 改进后的系统固有延时

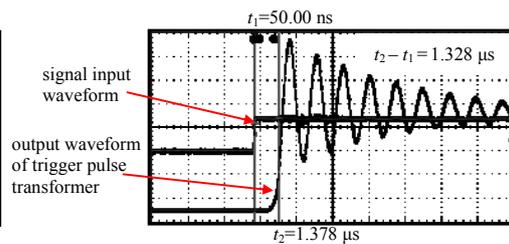


Fig.9 Trigger shaking range after improvement
图 9 改进后的晃动

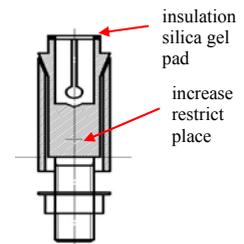


Fig.10 Improved trigger connector
图 10 改进后触发连接件

3 结论

预放系统 20 kJ 能源是为激光预放大器棒状氙灯提供泵浦脉冲的能源系统,是神光-III 主机高功率固体激光装置的重要组成部分。预放 20 kJ 系统能源触发放电的稳定性严重制约预放系统的调试效率和正式的激光打靶效率,针对预放能源系统在与 A1/A2/A3 光束组预放系统棒状放大器联合调试过程中发现存在的引燃管自闪、提前放电、触发器固有延时差异及晃动和连接件缺陷形成短路导致不放电等问题,开展了对北能库预放 20 kJ 能源系统触发放电的稳定性研究,提出了相应的解决措施,通过在 A2 束组上技术验证,将 20 kJ 能源系统触发放电的稳定性大幅提高,满足神光-III 主机巨型激光装置对能源的要求。

参考文献:

- [1] 周丕璋,郭良福,陈德怀. 激光聚变主放大器能源系统述评[J]. 强激光与粒子束, 2003,15(4):175-182. (ZHOU Peizhang, GUO Liangfu, CHEN Dehuai. A review of the energy system of the main amplifier in laser fusion[J]. Intense Laser and Particle Beam, 2003,15(4):175-182.)
- [2] 童金禄,陈德怀,齐珍. 强激光能源系统故障保护对策与电磁干扰抑制方法[J]. 中国电机工程学报, 2012(28):156-175. (TONG Jinglu, CHEN Dehuai, QI Zhen. Fault protection strategy and electromagnetic interference suppression method for high power laser energy system[J]. Chinese Journal of Electrical Engineering, 2012(28):156-175.)
- [3] 边瑾. 电容器在模拟电路中的应用[J]. 经济师, 2013(11):75-85. (BIAN Jin. Application of capacitor in analog circuit[J]. China Economist, 2013(11):75-85.)
- [4] 赖贵友,陈德怀. 引燃管在高功率固体激光器中的应用研究[J]. 脉冲功率技术与应用, 2009:120-150. (LAI Guiyou, CHEN Dehuai. Ignitron application in high power solid-state laser[J]. Pulsed Power Technology and Application, 2009:120-150.)
- [5] 力一峥,郭良福,蒋学军,等. 同轴安装避免引燃管自闪[J]. 强激光与粒子束, 2004,16(5):12-19. (LI Yizheng, GUO Liangfu, JIANG Xuejun, et al. Ignitron coaxial installation to avoid self flashing[J]. Intense Laser and Particle Beam, 2004,16(5):12-19.)
- [6] 汤光荣,宋涛. 电子技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2005:56-71. (TANG Guangrong, SONG Tao. Electronic Technique[J]. Beijing:Chemical Industry Press, 2005:56-71.)
- [7] 蒋伟丽. 浅谈电子电路的抗干扰技术[J]. 丽水学院学报, 2007(2):2-6. (JIANG Weili. An interference technology of electronic circuit[J]. Journal of Lishui University, 2007(2):2-6.)
- [8] 薛锡刚,彭翰生,周丕璋,等. 强激光能源系统新型放电回路研究[J]. 强激光与粒子束, 2002,14(3):3-6. (XUE Xigang, PENG Hansheng, ZHOU Peizhang, et al. Research on a new type of discharge circuit of high power laser energy system[J]. Intense Laser and Particle Beam, 2002,14(3):3-6.)
- [9] DAVID L S. FANTM: first article NIF test module[J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2000,28(5):1316-1323.
- [10] 曹俊锋. 雷达系统中的接地设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2008,6(1):29-33. (CAO Junfeng. Grounding design in radar system[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2008,6(1):29-33.)

作者简介:



栾永平(1959-),男,四川省绵阳市人,技师,主要研究方向为高功率固体激光驱动器能源系统的维护维修及相关技术.email:tanghaibo@caep.cn.

唐海波(1990-),男,四川省乐山市人,初级工,主要研究方向为高功率固体激光驱动器能源系统的维护维修及相关技术.

郭良福(1966-),男,四川省绵阳市人,硕士,研究员,主要研究方向为高功率固体激光装置的能源系统.

赖贵友(1971-),男,四川省绵阳市人,博士,副研究员,主要研究方向为高功率固体激光装置的能源系统放电回路及大功率放电开关.

陈德怀(1968-),男,四川省绵阳市人,硕士,副研究员,主要研究方向为激光装置能源系统充电控制.

齐珍(1988-),女,四川省绵阳市人,硕士,助理研究员,主要研究方向为激光装置能源系统放电回路参数配置.