

## 兵工民品行业计量技术规范项目建议书

建议项目名称	火工品用恒流脉冲电源校准规范		
制定或修订	<input checked="" type="checkbox"/> 制定 <input type="checkbox"/> 修订	被修订计量技术规范号	/
计量技术规范性质	<input type="checkbox"/> 检定规程 <input checked="" type="checkbox"/> 校准规范	计量技术规范类别	<input type="checkbox"/> 重点 <input checked="" type="checkbox"/> 基础
主要起草单位	陕西应用物理化学研究所		
联系人	薛园园	联系电话	18792989443
任务年限	2 年	申请经费	4 万元
参加单位	/		
目的、意义和必要性	<p><b>1、编制的目的、意义，解决产业的问题和编制必要性、迫切性</b></p> <p>电火工品是采用电为输入刺激能量的一类火工品，其产品种类很多，根据作用形式不同可分为电爆阀、电起爆器、电雷管、作动装置、反推（抛放）小火箭、分离火工系统等。恒流脉冲发火是电火工品最常用的点火方式，恒流脉冲电源可输出一定幅值的恒流电流，且通电时间可灵活设置，能够较好地模拟火工品在总体系统中的多种工作状况，性能稳定，在火工品各项性能测试和可靠性评估过程中得到了广泛的应用。目前没有统一建立相应的规范和技术要求，严重影响火工品性能评估，不利于火工品测试行业的健康发展，申报《火工品用恒流脉冲电源校准规范》目的、意义主要表现为：</p> <p><b>1.1 为电火工品的发展提供技术支撑</b></p> <p>建立火工品用恒流脉冲电源校准规范，可以规范火工品行业用恒流脉冲源质量残次不齐的杂乱现象，提升设备的标准化水平，使火工品用恒流脉冲电源设计制造有法可依，校准测试有矩可循，确保恒流脉冲电源为火工品测试提供可靠、稳定的电流输出，模拟火</p>		

	<p>工品在总体系统中的输入环境和经受的环境状况，考核火工品的安全性和输入输出可靠性，为产品的设计、科研生产和验收提供技术支撑。</p> <p>1.2 为电火工品的发展提供保障作用</p> <p>随着火工品技术的不断发展和应用领域的的不断拓展，恒流脉冲电源的技术水平和性能也在不断地提升，如更高的输出电流、更稳定的输出波形、更低的噪声等、这些技术的进步为火工品生产提供了更好的电源支持，有效地避免因电源故障而导致的产品质量问题，提高了生产效率和产品质量，是火工品生产中不可或缺的重要设备之一。</p> <p>1.3 《火工品恒流脉冲电源校准规范》的制定，系统地规范了恒流脉冲电源的校准方法和性能参数要求，保证该类仪器提供的输出脉冲结果统一、准确、可靠。解决了同类型仪器因缺乏专业校准规范导致输入能量的差异性对火工品性能测试结果准确性影响的问题。</p> <p><b>2、解决产业的问题</b></p> <p>各火工品生产和研发单位均按照自己的理解和需要，设计和使用恒流脉冲电源，不同的恒流脉冲电源质量、水平和工作原理大相径庭，严重影响火工品性能评估，不利于火工品行业内相互比对验证，更不利于火工品测试行业的健康发展。建立《火工品用恒流脉冲电源校准规范》，可对电火工品行业的发展提供技术支撑和保障作用，解决火工品行业目前恒流脉冲电源缺乏校准规范难以溯源的难题。</p> <p><b>3、编制必要性、迫切性</b></p> <p>3.1 市面上的电源不适用于考核电火工品性能，现有电源校准规范不适用于火工品用恒流脉冲电源的校准，现有电源校准规范里的技术指标也不适用于火工品发火性能测试需求。</p> <p>恒流脉冲电源是考核电火工品性能的必要设备。火工品为一次性作</p>
--	--

	<p>用元器件和装置，无法反复进行测试和调校，只能通过一定量的抽样进行抽检和测试，表征批次性产品的安全性和可靠性。火工品的安全性和可靠性是火工品的最关键的技术要求，直接决定着武器系统或者某次关键任务的成败，因此，必须确保每发火工品的输入输出性能满足设计要求。恒流脉冲电源通过模拟火工品在总体系统中的输入刺激量的重要方式，考核火工品的安全性和输入输出可靠性。恒流脉冲电源的精准性确定直接影响火工品测试结果的可靠性，进而影响火工品及系统的评判结果。</p> <p>相对于其他行业领域所用的恒流脉冲电源，火工品用恒流脉冲电源是针对火工品输入输出特性需求非标定制的电源，火工品换能元的类型、桥区的结构、作用方式等对电源的稳定性、准确性和响应特性都有特殊的需求。《火工品用恒流脉冲电源校准规范》不仅对电流幅值精度、脉冲宽度、前/后沿时间范围有更高的考核要求，同时电流过冲、脉冲顶部不平度、电源的稳定性、响应速度、通道时序控制范围及精度要求也是本电源的关键性能参数。</p> <p>火工品用恒流脉冲电源校准规范提出的校准项目及校准参数的必要行主要体现在以下几个方面。</p> <p>3.1.1 电流精度对火工品可靠性评估验证试验的影响</p> <p>在火工品研制阶段通过发火感度试验来评估火工品的发火可靠性，采用恒流脉冲电源对产品施加一定的刺激量，最小步长可达到 0.01A，通过三四十发试样的测试结果，评估火工品的设计裕度和可靠性水平。恒流脉冲电源输出电流准确性直接影响发火感度试验的测试结果，进而影响火工品设计进程或导致火工品与总体线路匹配性失效等严重问题。</p> <p>其他领域内的恒流脉冲电源的校准规范所提出的脉冲电流的脉冲幅值、脉冲宽度、脉冲前后沿时间计量项目的范围、精度不适用于火工品发火性能要求。根据火工品输入输出特性，测试评估的</p>
--	---

	<p>安全性及可靠性，提出了符合火工品用恒流脉冲电源的计量参数。</p> <p>3.1.2 电流稳定性对电火工品输出性能的影响</p> <p>a) 电流过冲对电火工品桥区材料及精密结构影响</p> <p>火工品桥区为精密合金丝、超薄的合金带或半导体材料，桥丝直径 <math>8\mu\text{m}\sim 80\mu\text{m}</math>，对电流极为敏感，要求输入电流极为精准，恒流脉冲电源输出过高的过冲时，极可能直接导致电火工品桥丝断裂，而短时间的电流输入的能量不足以点燃初始装药，从而会导致电火工品点火失败和失效，严重影响电火工品性能评估。曾有多例电源过冲过大造成火工品桥路提前断裂而未正常作用的事故，严重影响了火工品性能评估和武器系统正常工作。</p> <p>经过百万发火工品试验测试验证，电流过冲精度控制在 <math>0.5\%\sim 3\%</math> 范围内可以保证火工品发火的可靠性，现有的电源校准规范中，都未明确电流过冲为计量项目及其具体参数，且尚未建立相应的校准方法。</p> <p>b) 脉冲顶部不平度对电火工品输出性能的影响</p> <p>由于电火工品发火时桥路电阻波动较大，且不同类型换能元的电火工品的桥路电阻响应规律不尽相同，要求脉冲电源具备极高的稳定性、响应跟踪能力和信号反馈速度，为了保证恒流电源输出电流的稳定性提出脉冲顶部不平度计量项目。</p> <p>经过百万发火工品试验测试验证，脉冲顶部不平度精度控制在 <math>0.5\%\sim 3\%</math> 范围内可以保证火工品发火的可靠性，现有的电源校准规范中，都未明确脉冲顶部不平度为计量项目及其具体参数，且尚未建立相应的校准方法。</p> <p>c) 通道时序控制范围及精度对复杂火工装置输出性能的影响</p> <p>复杂火工系统和装置由多个火工品按照一定的时序点火工作，起爆对应的部件，从而完成系统装置的预定功能。试验前需要按照设计需求和各部位火工品的输入输出特性，预设恒流脉冲电源各路</p>
--	--

	<p>的电流幅值、脉冲宽度和各通道间的时序间隔，试验时恒流脉冲电源按照预设的时序间隔依次输出多路脉冲电流，实现预定的功能。火工品用多路时序恒流脉冲电源不仅需要具备多路恒流脉冲输出功能，同时还具备不同通道间的时间间隔预设功能。针对复杂火工系统和装置用恒流脉冲电源，提出了通道时序控制范围及精度计量项目，范围在 0.1ms~5s，精度为±0.1ms。</p> <p>3.1.3 火工品用恒流脉冲电源校准方法缺失</p> <p>恒流脉冲电源是火工品性能测试中非常重要的测试设备，但没有统一建立相应规范和技术要求，各火工品生产和研发单位均按照自己的理解和需要设计或使用恒流脉冲电源，质量水平和工作原理大相径庭，严重影响火工品性能评估，不利于火工品行业内相互比对验证，更不利于火工品测试行业的健康发展。市场上虽然也有部分行业在使用恒流脉冲电源，但其使用环境 and 应用条件与火工品测试差异较大，设备的性能参数和精度差异较大，无法满足火工品的测试要求，其相应的校准标准也无法满足火工品用恒流脉冲电源的校准。</p> <p>《火工品恒流脉冲电源校准规范》的制定，系统地规范了火工品用恒流脉冲电源的校准方法和性能参数要求，保证该类仪器提供的输出脉冲结果统一、准确、可靠，指导和引领仪器厂商制造符合标准要求的火工品用恒流脉冲电源，通过校准规范设备的标准化水平，提高校准结果一致性，可追溯性，从而保障火工品性能测试的准确可靠性，提高火工品测试设备行业的标准化水平，保证重点国防工程的质量，为武器装备现代化做出贡献，具有显著的军事和民品效益。</p> <p>3.2 先进性和亮点、社会效益和推广应用前景</p> <p>3.2.1 先进性和亮点</p> <p>《火工品用恒流脉冲电源校准规范》不仅对电流幅值精度、脉</p>
--	--

	<p>冲宽度、前/后沿时间范围有更高的考核要求，同时提出了电流过冲、脉冲顶部不平度、通道时序控制范围及精度新的计量项目，体现了火工品用恒流脉冲电源更高的稳定性、更快的响应速度。</p> <p>3.2.2 社会效益和推广应用前景</p> <p>火工品是涉及国防、航空航天、船舶等多个行业的重要基础工业产品，其广泛应用于军事及民品行业。火工品的生产、测试、使用等都涉及到大量的电学参数和安全性能。</p> <p>在国防领域，火工品被广泛应用于各种常规武器和战略武器中，如各种弹药、引信、爆炸装置等，是国防建设不可或缺的重要支撑，是提升兵器作战效能和打击力的关键因素。在航空航天领域，火工品被广泛应用于火箭、卫星等航天器的控制、导航、姿态调整等，是实现航天器可靠运行和精确控制的关键部件。在船舶领域、火工品被广泛应用于各种水下武器和爆炸装置中，如鱼雷、深水炸弹、水雷等，是提高船舶作战能力和安全性能的关键因素。在民品领域，火工品被广泛应用于民用航天火箭、采矿、石油钻探、隧道挖掘、铁路穿孔、多点爆破等领域，是实现高效、安全作业的重要工具。</p> <p>随着科学技术不断地进步，武器装备、航空航天、船舶、民用等领域对火工品功能需求、种类需求的不断地提升，火工品类型逐渐丰富，对不同类型火工品的发火性能也提出了更高要求，如发火时间、发火强度精度的提升，火工品的高可靠性要求火工品在规定的时间内必须完成发火动作、确保安全。随着多型电火工品及装置系统行业科研、生产水平和总体单位的需求的提高，对电火工品恒流脉冲电源起爆性能要求越来越严格。</p> <p>《火工品用恒流脉冲电源校准规范》的制定规范了电源的性能参数要求和校准方法，提升了火工品行业非标专用测试仪器的标准化水平，具有显著的军事跟民品效益。</p>
--	--

#### 4、查新结果

目前现行有效的相关校准规范有《JJF(电子)0030-2019 脉冲电流源校准规范》和《JJF(电子)0048-2020 100kA 长脉冲电源校准规范》，与火工品用恒流脉冲电源相比较，区别在于：

《JJF(电子)0030-2019 脉冲电流源校准规范》适用于半导体电子行业，主要规范解决了激光电源和电镀电源的校准问题。与火工品用恒流脉冲电源校准规范相比较，该校准规范的电流幅值、脉冲前/后沿时间计量参数范围更大、精度更低。

《JJF(电子)0048-2020 100kA 长脉冲电源校准规范》主要适用于了长脉冲电流源，主要应用于电磁发射、核聚变、新兴强激光、高能电子与离子加速器、新武器研究等方面。其计量参数范围及精度远远低于火工品用恒流脉冲电源校准规范所提出的指标要求。

火工品部分个性化指标校准无法可依，不适用于火工品功能输出测试需求，不利于电火工品恒流脉冲电源行业的规范化和质量提升，无法保证电火工品恒流脉冲电源性能指标的可靠性水平。

表 1 与国内相关技术规范之间的关系

计量技术指标	JJF(电子)0030-2019 脉冲电流源校准规范	JJF(电子) 0048-2020 100kA 长脉冲电源校准规范	电火工品恒流脉冲电源校准规范	备注
电流幅值	0.01A~225A, ± (1%~15%)	1kA~100 kA, ±5%	0.01A~25A, ± (0.5~2%)	精度更高
脉冲宽度	1μs~999ms, (±1%)	±5%	0.1ms~100ms, ±5%	范围更小
脉冲前沿/ 后沿时间	50ns~1ms	±5%	5μs~0.03ms	精度更高
电流过冲	——	——	0.5%~3%	新计量项目要求
脉冲顶部不平度	——	——	0.5%~3%	新计量项目要求
通道时序控制范围及精度	——	——	0.1ms~5s, ±0.1ms	新计量项目要求
脉冲电流重复频率或周期	1Hz~50kHz, 1s~20μs ± (1×10 <sup>-6</sup> ~1×10 <sup>-3</sup> )	——	多路, 单脉冲	——

<p>产业链应用</p>	<p><b>1、重点产业链方向</b></p> <p>恒流脉冲电源属于军用与民用火工品可靠性验证的必用设备，其定置化要求较高，市场上没有制式产品，属于非标设备，火工品用恒流脉冲电源的校准规范的制定，可以指导和引领仪器厂商制造符合标准要求的火工品用恒流脉冲电源。</p> <p>火工品是涉及多个行业的重要基础工业产品，其广泛应用于船舶及民用飞机领域。在船舶海洋领域，火工品被广泛应用于各种水下武器和爆炸装置中，如鱼雷引信起爆系统、深水炸弹点火装置、海上救生烟火装置、救生充气装置等，恒流脉冲电源校准的可靠性可保障此类产品质量的可靠性，是提高船舶作战能力和人员安全性能的关键因素。在民用飞机领域，火工品常被用于舱门应急释放装置、安全充气系统、弹射救生中，为事故发生时，乘客和机组人员的安全提供有力保障，其产品可靠性的验证离不开恒流脉冲电源的可靠性。</p> <p>火工品涉及领域广泛，各领域对不同类型火工品的发火性能也提出了更高要求，如发火时间、发火强度精度的提升，火工品的高可靠性要求火工品在规定的时间内必须完成发火动作、确保安全可靠，这对电火工品恒流脉冲电源起爆性能要求越来越严格。</p> <p><b>2、对本行业重点产业链的支撑作用</b></p> <p>建立火工品用恒流脉冲电源校准规范，可以改善火工品行业用恒流脉冲源仪器设备质量残次不齐的杂乱现象，提升设备的标准化水平，使火工品用恒流脉冲电源设计制造有法可依，校准测试有据可循，确保恒流脉冲电源为火工品测试提供可靠、稳定的电流输出，其校准规范的制定在火工品行业具有以下支撑作用：</p> <p>（1）校准规范是确保火工品用恒流脉冲电源测量准确性和可靠性的基础。通过定期校准和检测，可以及时发现设备偏差，并采取相应的调整措施，确保测量结果的准确性和一致性。这对于火工</p>
--------------	---



	<p>品行业来说至关重要，因为产品质量直接关系到产品的安全性和可靠性。</p> <p>（2）校准规范的不断完善和更新，可以有力推动火工品用恒流脉冲电源甚至是其他检测技术的创新和发展。为了满足校准需求，产业链上下游企业会加大研发投入，引入新技术、新设备和新方法，提高校准的精度和效率。这有助于提升整个火工品行业的技术水平和竞争力，推动产业升级和转型。</p> <p>（3）校准规范为火工品行业内的企业提供了统一的校准标准和要求，有助于加强产业链上下游企业之间的协作与整合。企业可以更加明确各自的责任和角色，形成紧密的合作关系，共同推动产业链的健康发展。这种协作与整合有助于提升整个产业链的效率和竞争力，实现资源共享和优势互补。</p> <p>（4）通过实施严格的校准规范，可以确保火工品检测技术的测量结果准确可靠，提升火工品行业的形象和信誉。这有助于军方和民用客户对火工产品的信任度，促进市场需求的增长。同时，校准规范还有助于提高企业在国际市场上的竞争力，推动火工品行业的国际化发展，减小火工技术与国际先进水平的研发设计差距。</p> <p>在仪器仪表产业链中，横流脉冲电源校准规范是保证仪器仪表性能稳定和可靠的重要手段。通过对恒流脉冲电源的校准，可以确保其测量结果的准确性和一致性，为各个领域的研究和应用提供可靠的数据支持。</p> <p>在舰船产业链中，水下武器、救生装置等工作环境十分复杂和恶劣，对火工品的性能提出了更高的要求，校准规范能够确保火工品在极端环境下仍能保持稳定性能，避免因电源问题导致产品失效，从而提高水下武器核爆炸装置的安全性和可靠性，为水下武器和爆炸装置的研发与生产提供有力保障。</p> <p>在民用大飞机产业链中，民用飞机上舱门应急释放装置主要功</p>
--	--

	<p>能是在紧急情况下迅速打开舱门，为乘客和机组人员提供逃生通道，确保人员能够尽快离开飞机，降低伤亡风险。流脉冲电源作为火工品性能测试关键组成部分，其性能稳定性直接决定了火工品能否在预定条件下准确、可靠地工作。因此，通过制定校准规范，可以确保恒流脉冲电源的输出参数符合设计要求，从而保证火工品的性能和质量，保障乘客及机组人员的生命安全。</p> <p>此外校准规范的建立还有助于提升火工品制造行业的整体水平。通过统一的校准方法和标准，促进行业内的技术交流与合作，推动火工品制造技术的不断创新和进步。</p>
范围和主要 计量特性	<p><b>1、适用范围</b></p> <p>本规范适用于火工品用恒流脉冲电源设备性能校准测试。</p> <p><b>2、计量特性的技术指标</b></p> <p>1) 典型仪器或试验设备</p> <p>(1) 示波器电流探头 TPP0201</p> <p>频带宽度:DC~200MHz;</p> <p>电流测量范围: 5 mA~200A;</p> <p>最大允许误差: <math>\pm(1\%\sim3\%)</math>;</p> <p>上升时间应小于被校准恒流脉冲电源上升时间的 1/3。</p> <p>(2) 数字示波器 MDO34-3-BW-200</p> <p>频带宽度:DC~200MHz;</p> <p>水平灵敏度: 2ns/div~50s/div;</p> <p>时基最大允许误差: <math>\pm5\times10^5</math>;</p> <p>垂直灵敏度: 1mV/div~10V/div;</p> <p>直流增益: <math>\pm2\%</math>满量程;</p> <p>上升时间应小于示波器电流探头上升时间的 1/3。</p> <p>(3) 计数器</p>

	<p>频率测量范围: 100mHz~100kHz;</p> <p>周期测量范围: 10s~10μs;</p> <p>最大允许误差: <math>\pm(1\times10^7\sim1\times10^4)</math>。</p> <p>(4) 时间间隔测试仪 SYN5635</p> <p>测量范围: 1ns~10000s;</p> <p>最大允许误差: <math>\pm(1\times10^7)</math>。</p> <p>(5) 标准电阻箱 ZX21</p> <p>测量范围: 0.1Ω~99999.9Ω;</p> <p>最大允许误差: <math>\pm(1\%\sim0.5\%)</math>。</p> <p>2) 主要计量特性</p> <p>电流幅值: 0.01A~25A, <math>\pm(0.5\sim2\%)</math>;</p> <p>脉冲宽度: 0.1ms~100ms, <math>\pm5\%</math>;</p> <p>脉冲前沿时间: 5μs~0.03ms;</p> <p>脉冲后沿时间: 5μs~0.03ms;</p> <p>电流过冲: 0.5%~3%;</p> <p>脉冲顶部不平度: 0.5%~3%;</p> <p>通道时序控制范围 (0.1ms~5s), 时序控制精度<math>\pm0.1</math>ms。</p> <p>3、主要测量标准的计量指标</p> <p>电流幅值、脉冲宽度、脉冲前沿时间、脉冲后沿时间、电流过冲、脉冲顶部不平度、通道间时序控制范围及精度。</p> <p>4、简要描述主要计量项目的技术原理</p> <p>火工品用恒流脉冲电源校准规范主要列举了数字示波器电流探头读电流法和数字示波器读电压法两种方法对主要计量项目的测试。</p> <p>1) 电流幅值</p> <p>如图 1 所示, 利用电流探头和示波器测量通过负载的电流幅值 I。</p> <p>脉冲电流幅度示值误差 (<math>\delta = \frac{I_1 - I_0}{I_0} \times 100\%</math>)</p>
--	--

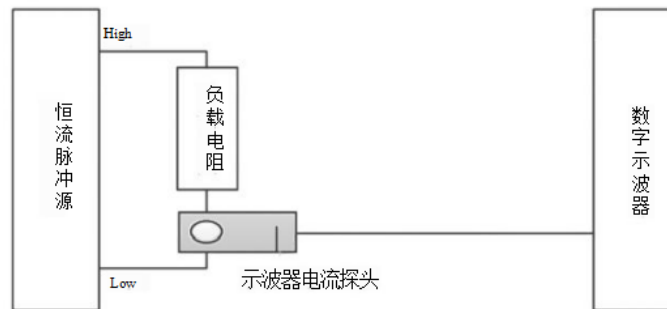


图 1 数字示波器电流探头读电流法

根据负载电阻和设置的输出电流值，用示波器测量采集输出电流脉冲的电压值，计算电流幅值（ $I=U/R$ ）。

脉冲电流幅度示值误差（ $\delta = \frac{I_1 - I_0}{I_0} \times 100\%$ ）

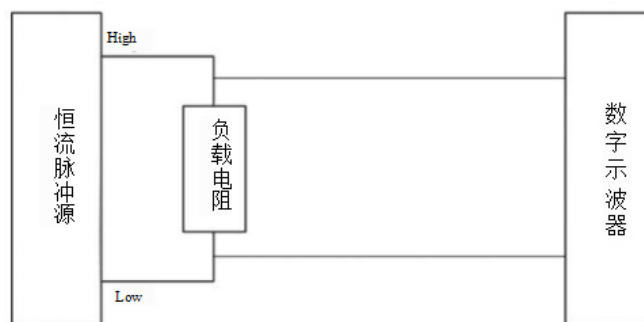


图 2 数字示波器读电压法

## 2) 脉冲宽度

测量输出脉冲波形的宽度值，脉冲电流宽度示值误差（ $\delta = \frac{T_{W1} - T_{W0}}{T_{W0}} \times 100\%$ ）。

## 3) 脉冲前沿/后沿时间

测量测量脉冲波形上升沿从峰值 10%到峰值 90%的时间，记为脉冲前沿时间；测量脉冲波形下降沿从峰值 90%到峰值 10%的时间，记为脉冲后沿时间。

## 4) 电流过冲

测量输出脉冲波形的顶部最高电压幅值  $U_H$  和脉冲幅值  $U$ ，计算电流过冲比例， $\text{电流过冲} = \frac{U_H - U}{U} \times 100\%$ 。

## 5) 脉冲顶部不平度

测量输出脉冲波形顶部电压最高值  $U_H$  和电压最低值  $U_L$ ，

	<div>不平度= <math>\frac{2(U_H-U_L)}{U} \times 100\%</math>。</div> <div>6) 通道时序控制范围及精度</div> <div>采用示波器、时间间隔测试仪或计数器测量多路时序脉冲电源各通道脉冲输出的时间间隔。</div>				
水平	<div><input type="checkbox"/>国际先进</div> <div><input type="checkbox"/>国内先进</div>				
国内外情况 简要说明	<div>1、目前，国内无与电火工品恒流脉冲电源直接相关技术校准规范，现行有效《JJF(电子)0030-2019 脉冲电流源校准规范》适用于半导体电子行业，《JJF(电子)0048-2020 100kA 长脉冲电源校准规范》，在电磁发射、核聚变、新兴强激光、高能电子与离子加速器、新武器研究等方面的应用广泛，其指标参数的范围及精度都不适用于火工品输出测试需求，火工品部分个性化指标校准无法可依，不利于电火工品恒流脉冲电源行业的规范化和质量提升，无法保证电火工品用恒流脉冲电源部分关键性能指标的可靠性水平。脉冲电流电流幅值、脉冲宽度、脉冲前/后沿测量，可部分参照《JJF(电子)0030-2019 脉冲电流源校准规范》和 JJF(电子)0048-2020 100kA 长脉冲电源校准规范》执行。</div> <div>2、不涉及知识产权问题。</div>				
推荐意见	<div>恒流脉冲电源能够较好地模拟火工品在总体系统中的多种工作状况且性能稳定，广泛应用于火工品各项性能测试和可靠性评估，校准规范的编制能够保证该类仪器提供的输出脉冲结果统一、准确、可靠，为产品的设计、科研生产和验收提供技术支撑。</div> <div>建议上报《火工品用恒流脉冲电源校准规范》。</div>				
主要 起草 单位	<div>(签字、盖公章)</div> <div>月 日</div>	技术 委员 会	<div>(盖公章)</div> <div>月 日</div>	部委托 支撑 单位	<div>(盖公章)</div> <div>月 日</div>

