《工业激光用光纤合束器》编制说明

（征求意见稿）

一、工作简况

1　任务来源

本项目根据《工业和信息化部办公厅关于印发2026年第四批行业标准制修订项目计划的通知》（工信厅科函〔2026〕298号）进行制定，计划项目编号：2026-0821T-JB，项目名称：《工业激光用光纤合束器》。本项目由中国机械工业联合会提出，全国光辐射安全和激光设备标准化技术委员会（SAC/TC284）归口，全国光辐射安全和激光设备标准化技术委员会大功率激光器应用分技术委员会（SAC/TC284/SC2）负责执行。主要起草单位：武汉锐科光纤激光技术股份有限公司、武汉华工激光工程有限责任公司、华中科技大学、深圳市荣者光电科技发展有限公司、浙江工业大学、中科先为激光科技（北京）有限公司。本项目周期12个月，为重点项目。

2　主要工作过程

2.1 起草阶段

《工业激光用光纤合束器》行业标准制定计划于2026年6月26日正式下达。2026年8月15日SAC/TC284/SC2发函《工业激光用光纤合束器》（SAC/TC284/SC2〔委〕4〔GW〕001），广泛征集工业激光用光纤合束器上下游企事业单位作为项目参与单位，筹备组建标准编制组。2026年8月31日SAC/TC284向标准牵头单位武汉锐科光纤激光技术股份有限公司发函《全国光辐射安全和激光设备标准化技术委员会关于下达2026 SAC/TC284标准制修订计划的通知》（SAC/TC284〔委〕4188），下达计划内容并要求牵头单位成立标准编制组。2026年9月16日，武汉锐科光纤激光技术股份有限公司通过SAC/TC284/SC2秘书处向SAC/TC284秘书处提交了“《工业激光用光纤合束器》标准编制组和标准编制时间计划”。

2026年9月11日，经SAC/TC284/SC2秘书处组织，在武汉锐科光纤激光技术股份有限公司研发楼1508会议室召开了《工业激光用光纤合束器》行业标准项目启动暨研讨会。会议由李婷秘书长主持，牵头单位朱超介绍项目背景及节点，并围绕标准草案框架、适用范围、术语定义、分类、技术要求、试验方法、检验规则等关键内容进行了深入研讨。会上专家重点提出，需进一步补充装配尺寸与孔位、维持时间与安全温度判定、消光比、光

束质量恶化率等方面的数据和意见。

2026 年 9 月 22 日，牵头单位根据启动暨研讨会意见对标准文本进行修改完善，形成《工业激光用光纤合束器》工作组讨论稿。2026 年 9 月 22 日至 9 月 30 日，各起草单位陆续反馈意见建议，包括武汉华工激光工程有限责任公司、湖南大科激光有限公司、深圳朗光科技有限公司、武汉市飞瓴光电科技有限公司、中科先为激光科技（北京）有限公司、江西省检验检测认证总院工业产品检验检测院等单位，提供了合束器封装参数调研总结、封装统计、消光比、安全温度、装配尺寸、单臂承受功率、光束质量恶化率等相关数据及其他意见。标准编制组根据上述意见建议，进一步完善标准内容，并于 10 月 7 日形成了《工业激光用光纤合束器》征求意见稿及编制说明，提交至 SAC/TC284/SC2 秘书处。

2.2 征求意见阶段

按照行业标准制定程序要求，2026 年 10 月 8 日 SAC/TC284/SC2 秘书处将《工业激光用光纤合束器》征求意见稿及编制说明（征求意见阶段）提交至 SAC/TC284 秘书处，并上传至工业和信息化标准信息服务平台，启动向社会广泛公开征求意见阶段工作，征求意见时间为 2026 年 10 月 8 日至 11 月 8 日共 30 天。

2.3 审查阶段

2.3.1 专家组审查

2.3.2 委员会技术审查

2.4 报批阶段

3 主要参加单位和工作组成员及其所做的工作

本标准由武汉锐科光纤激光技术股份有限公司牵头，武汉华工激光工程有限责任公司、湖南大科激光有限公司、深圳朗光科技有限公司、深圳市荣者光电科技发展有限公司、武汉市飞瓴光电科技有限公司、中科先为激光科技（北京）有限公司、深圳市大族光子激光技术有限公司、江西省检验检测认证总院工业产品检验检测院、湖南大学、华工法利莱切焊系统工程有限公司共同起草。主要起草人工作分工见表 1。

表 1 主要起草人工作分工表

序号	姓名	单位名称	职务/职称	组内职务	工作分工计划
1	闫大鹏	武汉锐科光纤激光技术股份有限公司	总工程师/教授	组长	总体负责标准制定，统筹确定标准框架，承担本标准的主要起草工作

2	李婷	武汉华工激光工程有限责任公司	部长/高级工程师	副组长	确定各阶段节点，完成工作组管理，协助完成各阶段标准文档编撰
3	郭少锋	湖南大科激光有限公司	董事长/正高工	组员	参与本标准文件编制，提供相关技术支持
4	杨新荣	深圳朗光科技有限公司	副总经理	组员	提供设备生产、使用及检测方面资料
5	陈展鹏	深圳市荣者光电科技发展有限公司	光学工程师	组员	提供设备生产、使用及检测方面资料
6	朱超	武汉锐科光纤激光技术股份有限公司	主任工程师/高级工程师	组员	负责各阶段文件审核，提供相关技术支持
7	周小庄	武汉华工激光工程有限责任公司	主管/工程师	组员	从标准化角度对标准草案和相关资料进行完善
8	童维军	武汉市飞瓴光电科技有限公司	董事长/正高工	组员	对标准的文本重点内容给出合理的意见建议
9	买一帆	武汉锐科光纤激光技术股份有限公司	研发工程师/中级工程师	组员	参与各阶段文件的编制，提供相关技术支持
10	王杏志	中科先为激光科技（北京）有限公司	光学工程师	组员	对标准的文本重点内容给出合理的意见建议
11	查从文	深圳市大族光子激光技术有限公司	副总经理	组员	从标准化角度对标准草案提供技术支持
12	郭开东	深圳朗光科技有限公司	副总经理	组员	从研发及产业化角度，完善标准重点内容
13	胡灿	武汉锐科光纤激光技术股份有限公司	部长/中级工程师	组员	从技术角度对标准的重点内容进行校核完善
14	何彤斌	江西省检验检测认证总院工业产品检验检测院	副院长/高级工程师	组员	收集、分析国内外相关技术文献和资料
15	孔令超	湖南大科激光有限公司	首席技术官	组员	参与本标准文件修改，提供相关技术支持
16	陈聪	湖南大学	副主任/副教授	组员	对标准的文本重点内容给出合理的意见建议
17	张津	武汉市飞瓴光电科技有限公司	技术总监/工程师	组员	从研发角度对标准重点内容进行校核完善
18	李立波	武汉锐科光纤激光技术股份有限公司	副总经理/正高级工程师	组员	参与会议讨论及本标准文件编制和修改
19	刘晓旭	武汉锐科光纤激光技术股份有限公司	副总经理/高级工程师	组员	对标准文稿重点内容进行校核完善
20	蒋威	华工法利莱切焊系统工程有限公司	CEO	组员	对标准文稿内容提出修改建议
21	李寒	武汉华工激光工程有限责任公司	工程师	组员	对标准的文本内容给出合理的意见，协助完成标准文档编撰

二、标准编制原则和主要内容

1 标准编制原则

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》和 GB/T 20001.5—2017《标准编写规则 第 5 部分：规范标准》给出的规则起草。标准编制坚持以下原则：

（1）协调性原则：与现行相关法律、法规、规章及强制性标准协调一致，与 GB/T 7247.1《激光产品的安全 第 1 部分：设备分类和要求》、GB/T 15313《激光术语》、JB/T 12632—2016《光纤激光器》等标准保持协调，保证标准的先进性和合理性。

（2）合理性原则：技术指标来源于光纤合束器生产、使用、检测等产业链单位的实际经验，兼顾不同功率段、不同封装形式、不同应用场景的需求，既满足用户使用要求，又为产业发展留出空间。

（3）可操作性原则：试验方法尽量采用通用测试仪器和成熟方法，操作方法清晰，便于生产企业和用户理解、使用。

（4）自主研制原则：目前国内外尚无针对工业激光用光纤合束器的专项标准，本标准立足国内产业实践自主制定，不采标。

2 标准主要内容及其确定论据

本文件规定了工业激光用光纤合束器的分类和技术要求，描述了相应的试验方法，规定了检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于工业激光用光纤合束器的制造。

1）关于第 1 章“范围”

概括了标准的技术内容，规定了标准的适用范围，适用于工业激光用光纤合束器的制造。

2）关于第 2 章“规范性引用文件”

本文件共引用 12 项标准，其中国家标准 11 项、行业标准 1 项，均在标准正文的技术内容中有所体现。

3）关于第 3 章“术语和定义”

除 GB/T 7247.1、GB/T 15175—2012、GB/T 15313—2008 和 JB/T 12632—2016 界定的术语和定义外，本文件对下列术语进行了定义：光纤合束器；反向泵浦信号隔离度；插入损耗；光束质量恶化率；单臂承受功率；总承受功率；泵浦耦合效率；偏振消光比。上述术语和定义结合光纤合束器的技术特点、行业使用习惯和试验方法确定，力求准确、简明、可操作。

4）关于第 4 章“分类和组成”

根据工业激光用光纤合束器的结构、功能和应用特点，本文件按以下方式分类：**按工作原理**：信号合束器、泵浦合束器、信号泵浦合束器；**按输入光纤数量**：N×1 或（N+1）×1 合束、M×N 合束；**按波长**：波长不敏感合束器、波长敏感合束器；**按偏振特性**：偏振保持合束器、非偏振保持合束器；**按输出模式**：单模合束器、多模合束器；**按封装形式**：模块化合束器、非模块化合束器。分类方式覆盖了工业激光用光纤合束器的主要产品形态，便于用户选型和标准引用。

5）关于第 5 章“技术要求”

本章规定了外观要求、性能参数要求、结构要求、使用条件要求、环境适应性、可靠性、安全与防护等。

外观要求规定了外表面、标志、光纤连接、螺纹连接、输入输出光纤涂层等要求。性能参数要求包括单臂承受功率、总承受功率、插入损耗、反向泵浦信号隔离度、光束质量恶化率（适用时）、泵浦耦合效率（适用时）、偏振消光比（适用时）。结构要求包括外形尺寸和安装尺寸、输入输出光纤类型尺寸和长度、质量（适用时）。使用条件要求包括环境条件、冷却条件（适用时）、输入输出光纤最小弯曲半径（或直径）。环境适应性包括高温工作、低温工作、高温存储、低温存储、恒定湿热、振动（正弦）、模拟运输振动、冲击、跌落等。可靠性要求平均无故障工作时间（MTBF）和失效判定标准在详细规范中规定。安全与防护要求符合 GB/T 7247.1 的规定。

上述技术要求的确定依据主要来自起草单位的生产实践、用户使用经验、检测机构数据以及启动会、工作组内部意见征集反馈。特别是针对装配尺寸与孔位、维持时间与安全温度判定、消光比、光束质量恶化率等重点问题，编制组收集了各起草单位的意见和数据，作为标准指标和试验方法确定的重要参考。

6）关于第 6 章“试验方法”

本章针对第 5 章技术要求逐项给出试验方法，包括一般要求、外观检查、结构参数测试、性能参数测试、环境适应性测试、可靠性试验、安全试验。性能参数测试包括反向泵浦信号隔离度、插入损耗、单臂承受功率、总承受功率、光束质量恶化率、泵浦耦合效率、偏振消光比。试验方法尽量引用现行国家标准和行业标准，采用通用测试仪器，保证可操作性和可重复性。

7）关于第 7 章“检验规则”

本章规定了检验分类、检验项目与分类、鉴定检验、交付检验、例行检验。检验分为鉴定检验、交付检验和例行检验。检验项目、检验要求和试验方法以表格形式给出，明确了外观、性能参数、结构、环境适应性等项目的检验分类。

8）关于第 8 章“标志、包装、运输、贮存”

本章规定了合束器标志、包装、运输和贮存要求。标志包括商标、名称型号、制作日期、制造方名称及地址、序列号或制造编号、激光辐射安全标志等。包装要求包装箱内清洁、放置产品规格书和检验报告等文件、标志符合 GB/T 191 和 GB/T 6388。运输要求适合常规运输工具，并有防潮、防尘、防日照和防撞击措施。贮存要求温度-20℃～60℃、相对湿度不大于 80%、干燥通风、无腐蚀性气体，贮存期 2 年。

3 解决的主要问题

在现代制造业的快速发展中，特别是新能源汽车、航空航天、船舶制造、国防军工等领域，对高功率激光加工的效率、精度和可靠性要求日益提高。光纤合束器是高功率光纤激光器的核心器件，通过将多束低功率光纤激光合成为一束高功率激光，有效提升激光器输出功率和光束质量，在厚板切割、重型焊接、精密加工等场景中发挥着不可替代的作用。随着万瓦级光纤激光器在工业领域的规模化应用，光纤合束器的市场需求持续增长，但长期以来缺乏统一的产品标准，不同厂商的合束器在性能指标、测试方法、接口尺寸等方面各不相同，导致兼容性差、质量波动明显、下游企业选型困难，严重制约了高功率光纤激光技术的推广和产业的高质量发展。

本次通过制定《工业激光用光纤合束器》行业标准，可以解决以下几个主要问题：

1）明确分类、技术要求和试验方法，为政府监管、产品认证和市场准入提供技术依据，规范市场秩序，减少低价恶性竞争，推动产业从无序走向规范。

2）统一性能参数、结构要求和检验规则，提升产品一致性和可靠性，降低上下游协同成本，帮助光纤激光器整机企业快速选型，减少应用风险。

3）引导企业提升技术水平，淘汰落后产能，推动关键器件进口替代，促进产业链上下游协同创新，重塑高端制造产业生态。

4）满足新能源汽车、航空航天、船舶制造等领域对高功率、高光束质量光纤合束器的精密加工需求，规范新场景应用，帮助行业开辟新市场。

5）填补工业激光用光纤合束器产品级行业标准空白，接轨国际先进水平，突破技术壁垒，增强我国光纤激光器核心器件在全球市场中的竞争力。

三、主要试验(或验证)情况

1 主要指标确定的依据

本文件起草单位涵盖了工业激光用光纤合束器的制造、使用、检验检测等产业链上的

众多单位，结合起草单位的验证数据、资料和相关的国家/行业标准，完成本文件的编写。本文件指标的确定主要依据 GB/T 191—2025《包装储运图形符号标志》、GB/T 2828.1—2012《计数抽样检验程序 第 1 部分：按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划》、GB/T 2423.1—2008《电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 A：低温》、GB 2894-2025《安全色和安全标志》、GB 6388《运输包装收发货标志》、GB/T 7247.1《激光产品的安全 第 1 部分：设备分类和要求》、GB/T 10320《激光设备和设施的电气安全》、GB/T 14733.12《电信术语 光纤通信》、GB/T 15175-2012《固体激光器主要参数测试方法》、GB/T 15313-2008《激光术语》、JB/T 12632-2016《光纤激光器》等标准。

本文件技术要求按照 JB/T 12632-2016《光纤激光器》框架，规定了工业激光用光纤合束器的分类和技术要求，描述了相应的试验方法，规定了检验规则、标志、包装、运输和贮存。术语和定义明确了光纤合束器、反向泵浦信号隔离度、插入损耗、光束质量恶化率、单臂承受功率、总承受功率、泵浦耦合效率、偏振消光比。根据工作原理、输入光纤数量、工作波长、偏振特性、输出模式、封装形式对光纤合束器进行分类。技术要求部分对器件外观要求、性能参数要求、结构要求、使用条件要求、环境适应性、可靠性、安全与防护做相应规范。

“试验方法”作为本文件的重要组成部分，同时作为工业激光用光纤合束器的核心指标，编制组对工业激光用光纤合束器指标和测量方法进行了深入调研。

2 标准使用或试用情况的验证分析

本文件依据工业光纤激光器属性，对工业光纤激光器的核心部件光纤合束器进行了性能参数的检测，逐步确定了需要验证的主要技术指标和相应的测试方法。重点对工业光纤激光器用合束器关键指标反向隔离度、插入损耗、光束质量恶化率、单臂承受功率、总承受功率、泵浦耦合效率、偏振消光比等关键指标开展系统验证，确保指标设定与实际应用需求匹配。

本文件部分指标验证情况详见附录 1。通过验证，本文件整体结构合理，规定的功能性能指标体系与工业光纤激光器用光纤合束器应用需求高度适配，技术要素覆盖全面，测量方法依据 GB/T 15175—2012、GB/T 31359—2015 等标准规范，具有明确可操作性，能够有效指导工业激光用光纤合束器的设计、制造、检验及应用，达到预期标准制定目的。部分重点指标的测试方法如下表 3 所示。

表3 主要指标和测试方法

序号	测试指标		技术要求	试验方法	测试方法适用性
1	工业激光用光纤合束器指标	反向泵浦信号隔离度	适用于工业激光用光纤合束器	光纤合束器的平均功率按照 GB/T 15175—2012 中 5.2 规定的试验方法进行。	适用
2		插入损耗	适用于工业激光用光纤合束器	光纤合束器的平均功率按照 GB/T 15175—2012 中 5.2 规定的试验方法进行。	适用
3		光束质量恶化率	适用于工业激光用光纤合束器	光纤合束器的光束质量按照 GB_T27666-2011 中规定的试验方法进行。	适用
4		单臂承受功率	适用于工业激光用光纤合束器	光纤合束器的平均功率按照 GB/T 15175—2012 中 5.2 规定的试验方法进行。	适用
5		总承受功率	适用于工业激光用光纤合束器	光纤合束器的平均功率按照 GB/T 15175—2012 中 5.2 规定的试验方法进行。	适用
6		泵浦耦合效率	适用于工业激光用光纤合束器	光纤合束器的平均功率按照 GB/T 15175—2012 中 5.2 规定的试验方法进行。	适用
7		偏振消光比	适用于工业激光用光纤合束器	光纤合束器的偏振消光比按照 GB/T 18311.55-2026 中规定的试验方法进行。	适用

四、标准中涉及专利的情况

本文件项目不涉及有关专利等知识产权问题。标准的发布机构不承担识别专利的责任。

五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

光纤合束器作为高功率光纤激光器的核心器件，其技术水平直接关系到激光加工装备的性能和可靠性。随着新能源汽车、航空航天、船舶制造、国防军工等领域的快速发展，对高功率、高光束质量、高可靠性光纤合束器的需求日益迫切。本标准实施后，将在社会效益和产业发展方面产生积极而深远的影响。

本标准规定的多维分类体系，解决了行业术语不统一、产品分类混乱的问题，起到了统一技术语言、便于用户选型作用，有助于降低上下游沟通成本，提升产业链协同效率；

本标准规定的单臂承受功率、总承受功率、插入损耗、反向泵浦信号隔离度、光束质量恶化率、泵浦耦合效率、偏振消光比等性能参数要求和试验方法，解决了产品性能指标不统一、质量参差不齐、测试方法不统一、检测结果不可比的问题，有助于推动企业提升产品一致性和可靠性，增强国产光纤合束器在国际市场的竞争力；本标准规定的环境适应性要求，解决了产品在复杂工业环境下可靠性不足的问题，有助于拓展产品在极端工况下的应用范围，支撑高端装备制造；本标准规定的安全与防护要求，解决了高功率激光器件安全隐患的问题，有助于保障操作人员人身安全和设备运行稳定、提升行业整体安全水平。

本标准填补了工业激光用光纤合束器产品级行业标准的空白，为光纤合束器的设计、生产、使用、检测和应用等工作提供技术依据，引导制造企业重视标准、规范生产，提高产品技术性能水平和安全防护水平，有利于设备厂商提高光纤合束器设计制造质量，推进光纤合束器产业规范化、高端化发展，为下游高功率光纤激光器应用领域提供关键支撑，支撑《中国制造 2025》、工业母机专项和“增材制造与激光制造”重点专项等国家战略的实施。

六、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况

目前，国际上在光纤器件和激光器领域有 IEC 61753-1《Fibre optic interconnecting devices and passive components – Performance standard – Part 1: General and guidance》、ITU-T G.652《Characteristics of a single-mode optical fibre and cable》等通用标准，但未细分到工业激光用光纤合束器，未对其合束效率、功率稳定性、光束质量等关键指标作出专门规定。国内有 JB/T 12632—2016《光纤激光器》，但无光纤合束器专项标准。因此，本文件无对应的国际标准或国外先进标准，不采标。本文件为国内自主研制标准，总体达到国内先进水平。

七、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本文件属于 SAC/TC284 全国光辐射安全和激光设备标准化技术委员会标准体系中“0428401 光辐射安全和激光设备—03 激光器件和材料—05 光纤激光器”方向，体系编号为 0428401030005003。本文件与 JB/T 12632—2016《光纤激光器》配套，构成光纤激光器核心器件标准体系。

本文件按照 GB/T 1.1—2020 和 GB/T 20001.5—2017 起草，内容与现行相关法律、法规、规章及强制性国家标准 GB 44703—2024《光辐射安全通用要求》、GB/T 7247.1《激光产品的安全 第 1 部分：设备分类和要求》等协调一致。

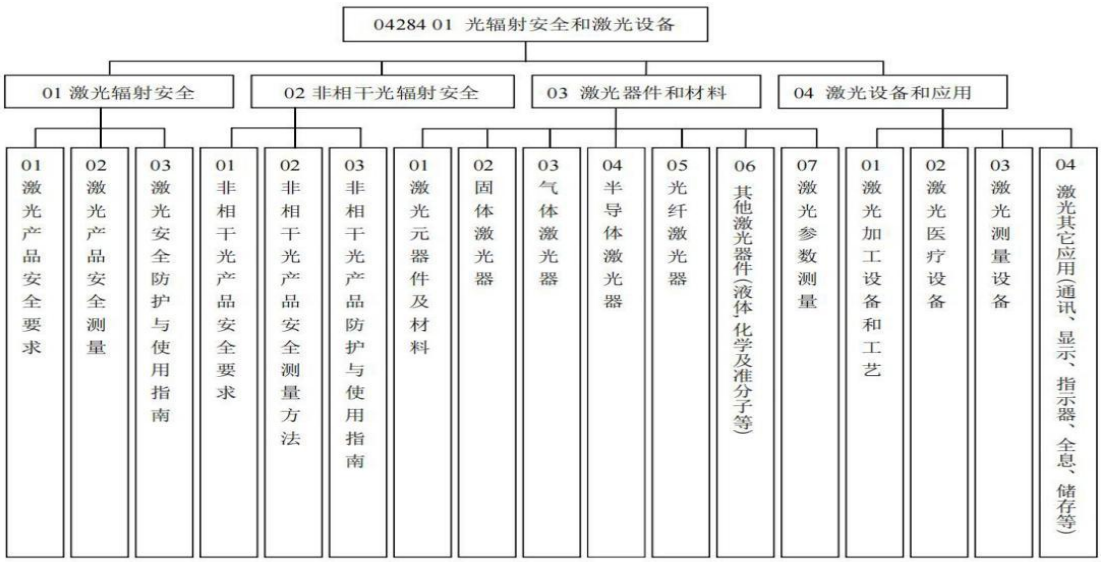


图 1　光辐射安全和激光设备标准体系框架

八、重大分歧意见的处理和依据

无。

九、标准性质的建议说明

建议批准为推荐性行业标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

建议于文件发布 6 个月后实施。实施后，全国光辐射安全和激光设备标准化技术委员会通过会议进行宣贯，利用标委会网站和微信公众号等方式发宣贯通知。

十一、废止现行相关标准的建议

无。

十二、其他应予说明的事项

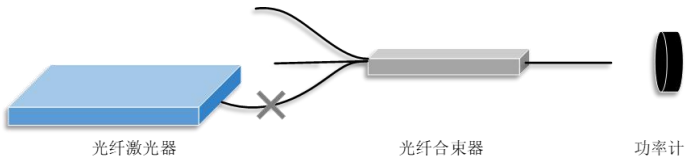
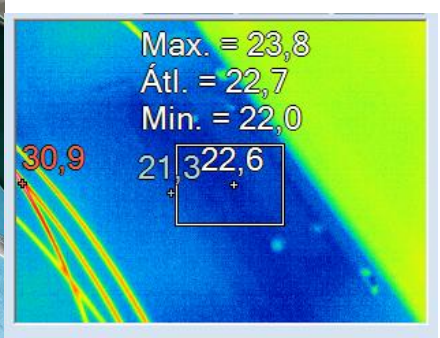
无。

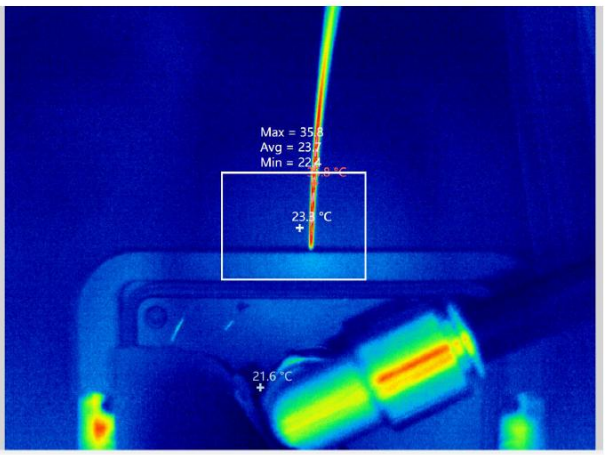
行业标准《工业激光用光纤合束器》编制组

2026 年10 月7 日

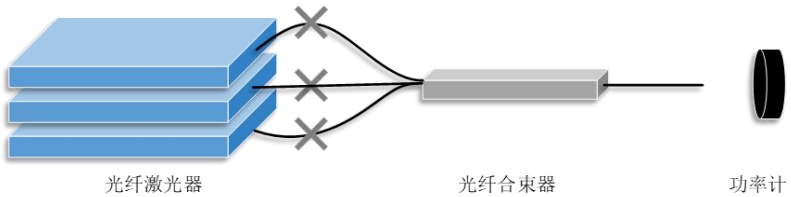
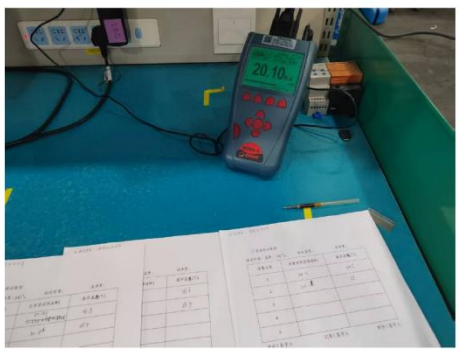
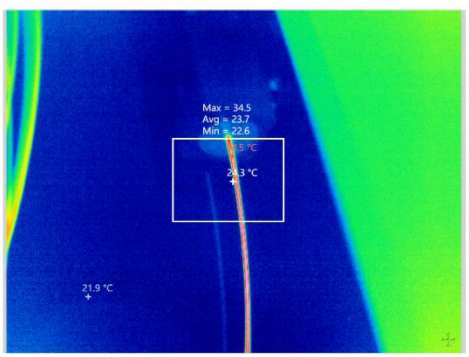
附录1：

1. 单臂承受功率

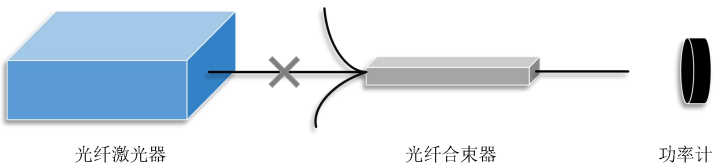
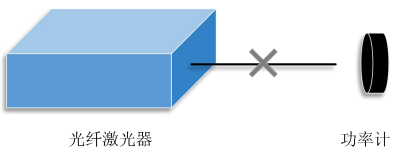
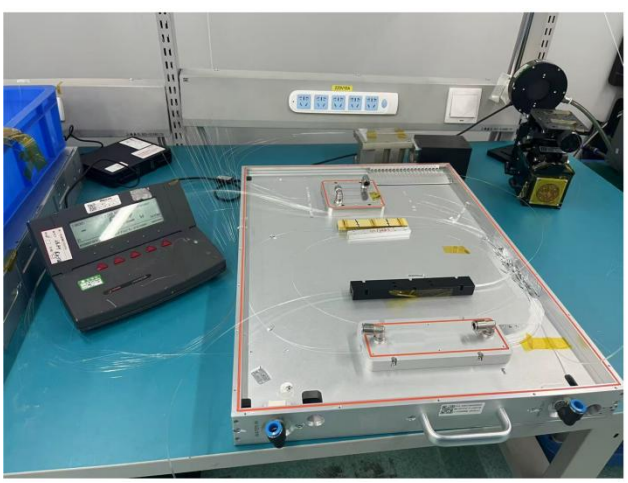
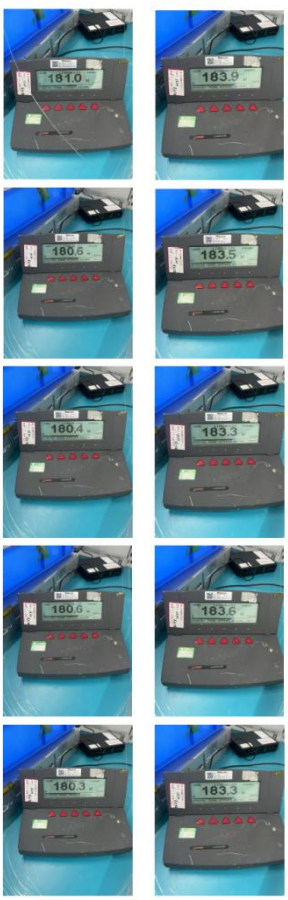
测试对象	单臂承受功率
测试仪器	功率计、光纤激光器
测试方法	参照GB/T 15175-2012，采用功率计测试光纤合束器的单臂承受功率。具体测试原理如下图所示。  光纤合束器单臂承受功率测试原理图 合束器的单臂承受功率测试方法：按照图所示，将光纤激光器的输出纤与合束器的其中一条输入臂连接，利用功率计及激光器直接探测光纤合束器的最大输出功率，并维持 5 分钟，观察被测合束器无异常，以此功率作为单臂承受功率。
测试结果	  

	 
测试结论	测试一：单臂承受功率标称 3kW，实际功率 3.029kW 满足指标要求 测试二：单臂承受功率标称 1kW，实际功率 1.329kW 满足指标要求。

2. 总承受功率

测试对象	总承受功率
测试仪器	功率计、光纤激光器
测试方法	参照GB/T 15175-2012，采用功率计测试光纤合束器的单臂承受功率。具体测试原理如下图所示。  光纤合束器总承受功率测试原理图 光纤合束器的单臂承受功率测试方法：将光纤激光器各个输出纤与光纤合束器的输入臂连接。利用功率计及激光器直接探测光纤合束器的最大输出功率，并维持 5 分钟观察光纤合束器壳体、根部温度无异常，以此功率作为总承受功率。
测试结果	 
测试结论	总承受功率标称20kW，实际功率20.1kW满足指标要求。

3. 插入损耗

测试对象	插入损耗
测试仪器	光纤激光器、功率计
测试方法	参照GB/T 15175-2012，采用功率计测试光纤合束器的插入损耗。具体测试原理如下图所示。  合束器的插入损耗测试光路原理图  合束器的插入损耗测试光源原理图 光纤合束器的插入损耗测试方法：按照图所示，将光纤激光器与光纤合束器的输入信号臂连接，利用功率计及激光器探测光纤合束器的输出功率P_{out}。再按照图所示，保留熔接点，在熔接点后 5cm 使用光纤切割刀将光纤切断，将输出纤对准功率计，测量保留熔接点下的光源功率P_{in}，重复上述步骤 n=5 次，按照公式$IL = \frac{\sum_{i=1}^{n}[10\times log_{10}(P_{in}/P_{out}]}{n}$计算插入损耗$IL$，单位为 dB
测试结果	  现场测试

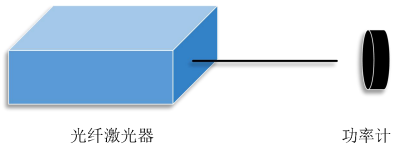
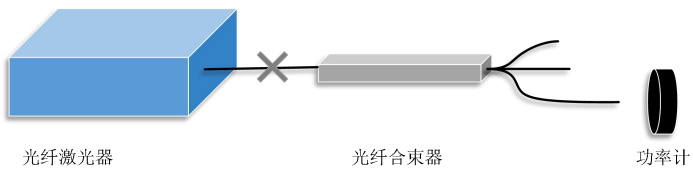
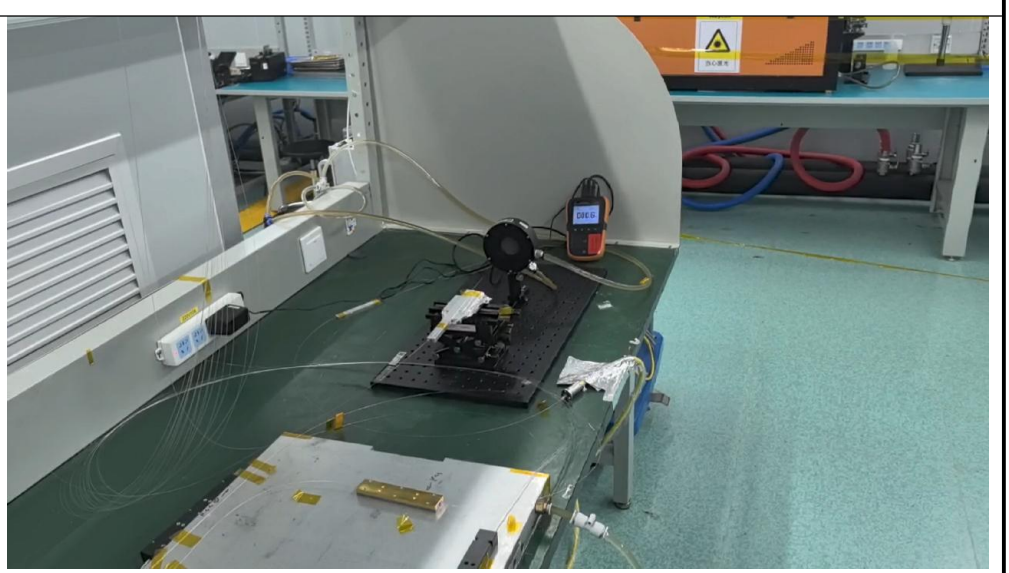
测试环境：温度：21.2°C　　相对湿度：49%RH　　洁净度：千级

测量次数	输出功率(W)	光源功率(W)	插入损耗(dB)
1	181	183.9	0.07
2	180.6	183.5	0.07
3	180.4	183.3	0.07
4	180.6	183.6	0.07
5	180.3	183.3	0.07

现场测试数据

测试结论	器件标称插入损耗≤0.1dB，实测插入损耗 0.07dB 满足指标要求。

4. 反向泵浦信号隔离度

测试对象	反向泵浦信号隔离度
测试仪器	偏心仪、聚焦元件
测试方法	参照GB/T 15175-2012，采用功率计测试信号泵浦合束器的反向隔离度。具体测试原理如下图所示。  合束器的反向隔离度测试光源原理图  合束器的反向隔离度测试原理图 信号泵浦合束器的反向隔离度测试方法：按照图1所示，将光纤激光器的输出纤对准功率计，测量光源功率P_{in}。再按照图所示，将光纤激光器与信号泵浦合束器的输出纤连接，利用功率计及激光器探测信号泵浦合束器泵浦光纤的输出功率P_b，重复上述步骤n=5次，按照公式$BPI = \frac{\sum_{i=1}^{n}[10\times log_{10}(P_{in}/P_b)]}{n}$计算反向隔离度$BPI$，单位为dB。
测试结果	 现场测试图片

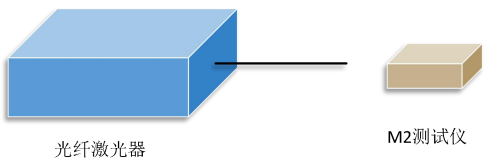
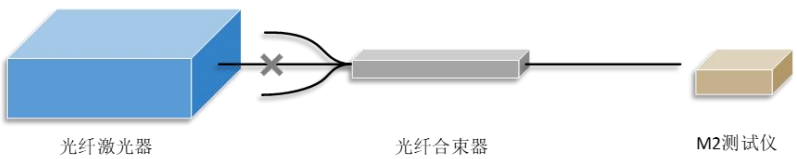
测试环境：温度： 21.2℃ 相对湿度： 49%RH 洁净度：千级

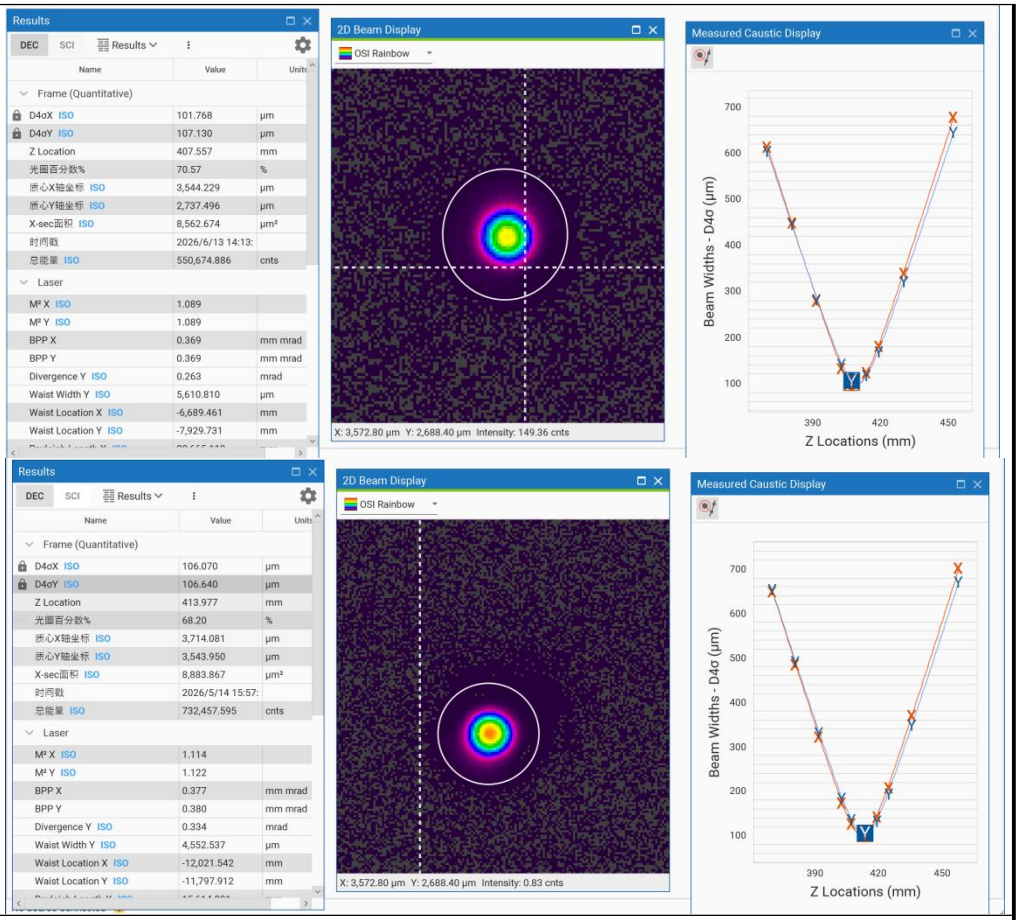
测量次数	输出功率(W)	光源功率(W)	反向隔离度(dB)
1	0.6	75.7	21.01
2	0.6	75.8	21.02
3	0.6	75.7	21.01
4	0.6	75.6	21.00
5	0.6	75.9	21.02

现场测试数据

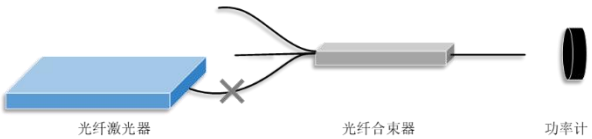
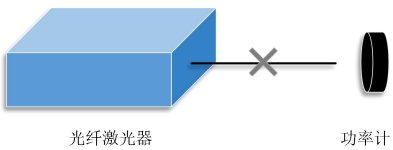
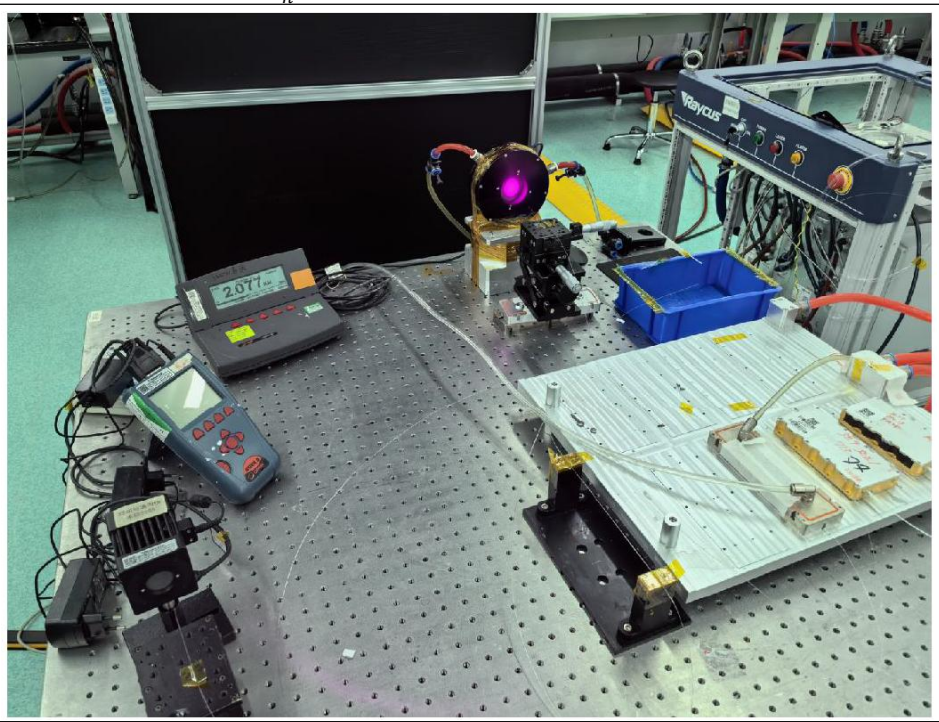
测试结论	器件标称反向泵浦信号隔离度≥20dB，实测反向隔离度 20dB 满足指标要求

5. 光束质量恶化率

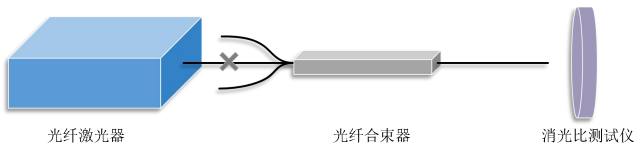
测试对象	光束质量恶化率
测试仪器	光束质量测试仪，光纤激光器
测试方法	参照GB/T 27666-2011，采用光束质量测试仪测试光纤合束器的输出光束质量。 光纤合束器的输出光束质量测试方法：将光源输出纤与光纤合束器的输入信号纤连接。利用光束质量测试仪探测光纤合束器的输出光束质量M^2经过器件前后的恶化系数。  合束器的光束质量恶化测试光源原理图  合束器光束质量测试恶化测试原理图
测试结果	

<table>
<tr>
<td></td>
<td>
</td>
</tr>
<tr>
<td>测试结论</td>
<td>器件标称光束质量恶化率≤10%，实测光束质量恶化率 2.7%满足指标要求。</td>
</tr>
</table>

6. 泵浦耦合效率

测试对象	泵浦耦合效率
测试仪器	光纤激光器，功率计
测试方法	参照GB/T 15175-2012，采用功率计测试光纤合束器的泵浦耦合效率。具体测试原理如下图所示。  合束器的泵浦耦合效率测试原理图  合束器的泵浦耦合效率测试光源原理图 光纤合束器的泵浦耦合效率测试方法：按照图所示，将光纤激光器与光纤泵浦合束器的输入信号臂连接，利用功率计及激光器探测光纤合束器的输出功率P_{out}。再按照图所示，保留熔接点，在熔接点后5cm使用光纤切割刀将光纤切断，将输出纤对准功率计，测量保留熔接点下的光源功率P_{in}，重复上述步骤n=5次，按照公式$\eta = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_{in}/P_{out})}{n}100\%$计算泵浦耦合效率，单位为%。
测试结果	
测试结论	器件标称泵浦耦合效率≥97%，实测泵浦耦合效率 98%满足指标要求。

7. 偏振消光比

测试对象	偏振消光比
测试仪器	消光比测试仪
测试方法	参照GB/T 18311.55-2026，采用消光比测试仪测试光纤合束器的输出光束偏振消光比。 光纤合束器的输出光束质量测试方法：将光源输出纤与光纤合束器的输入信号纤连接。利用消光比测试仪探测光纤合束器的输出消光比。  合束器的消光比测试原理图
测试结果	
测试结论	器件标称偏振消光比≥18dB，实测偏振消光比 19dB 满足指标要求。