

国家标准

《光纤激光器能效限定值及能效等级》

编制说明

（征求意见稿）

标准起草组
2026 年 7 月

一、工作简况

（一）任务来源

2024年7月25日，国家标准化管理委员会下达《国家标准委关于下达《国家标准化管理委员会关于下达〈清水离心泵组能效限定值及能效等级〉等9项强制性国家标准制修订计划及相关标准外文版计划的通知》等21项强制性国家标准制修订计划和相关标准外文版计划的通知》（国标委发〔2024〕33号），国家标准《光纤激光器能效限定值及能效等级》（计划号：20242197-Q-469）正式立项。

该标准修订计划由国家标准化管理委员会提出并归口，标准修订工作委托全国能源基础与管理标准化技术委员会（SAC/TC 20）执行。

（二）制定背景

激光被誉为“最快的刀”“最准的尺”“最亮的光”，是先进制造的关键技术。激光技术作为“万能工具”和“制造基石”，不仅是提升传统产业效率的利器，更是孕育新技术、新产业、新业态的孵化器，是实现“中国制造2025”和“双碳”目标不可或缺的战略支撑。近年来，我国政府对于激光制造产业给予战略性、系统性且持续性的重视和支持。工业和信息化部联合相关部门印发的《“十四五”智能制造发展规划》（工信部联规〔2021〕207号）将激光加工装备列为智能制造装备的重点领域，提出大力发展的任务和要求。

工业和信息化部联合国家发展改革委、生态环境部印发的《工业领域碳达峰实施方案》（工信部联节〔2022〕88号）提出创新研发一批先进绿色制造技术，大幅降低生产能耗。并指出通过先进焊接与热处理等基础制造工艺与新技术融合发展，促进激光热处理等先进近净成形工艺技术实现产业化应用等具体措施，对汽车、船舶、航空等领域绿色低碳需求实施智能化、绿色化改造。科技部、工业和信息化部通过实施“增材制造与激光制造”重点专项等国家级科技研发计划，持续投入专项资金，攻克激光加工设备相关关键核心技术。

激光加工设备因其具有高能量密度、高柔性、高效率、高精度以及非接触式加工的显著技术优势，近年来技术发展与应用拓展极为迅速。在工业制造领域，它已从最初单一的切割、打标功能，全面渗透至新能源汽车、消费电子、航空航天、精密医疗器械以及增材制造（3D打印）等核心生产加工场合，成为推动现代制造业转型升级不可或缺的关键装备。在“双碳”目标与新质生产力政策的双重驱动下，激光加工设备在锂电、光伏等新能源领域的渗透率将持续攀升；而在高端制造领域，面向航空航天大型结构件、半导体精密制造及医用可降解材料等新兴需求，超快激光和光束可调技术将开辟更多增量空间。随着国产核心器件（如泵浦源、高功率光栅）及智能控制技术的持续突破，激光加工设备有望在提

升能效、降低成本的同时，进一步拓宽应用边界，成为支撑中国乃至全球智能制造与绿色制造的战略性基础工具。

根据《2026 中国激光产业发展报告》等多项调研数据，2025 年全球激光设备/加工设备市场规模大致在 228 亿至 288 亿美元之间，较 2024 年同比增长 14.2%。2025 年全球激光加工设备年产能约为 42.3 万台，从需求结构看，激光切割设备仍为最大细分市场，占比约 42%；激光焊接与激光标记设备增速显著加快。在激光器产品类别层面，光纤激光器出货量占全部激光器的 72%以上。

激光加工设备通常由激光器、光路和机械系统组成，其加工能力（如：能切多厚、焊多深、精度多高），从根本上由激光器的功率、光束质量等参数决定。激光加工设备中的激光器主要包括光纤激光器、CO₂激光器、固体激光器（如 Nd:YAG）、半导体（二极管）激光器和碟片激光器等。其中，光纤激光器凭借其出色的光束质量、电光转化效率和长时期稳定性，以及突出的成本优势，成为当前工业激光加工领域使用最广泛的激光器产品。有市场分析显示，中国激光器市场中光纤激光器占比超过 50%，全球激光器市场中占比约为 52%--53%。在具体的设备应用中，光纤激光器的主导地位更为明显。有市场分析指出，在激光加工设备中，光纤激光器占比超过 60%，在更细分的激光切割机市场，其份额可达 62%。

随着大功率、超大功率激光加工设备的广泛应用，其产生的能源消耗量和碳排放量日益显著。以激光切割设备为例，根据相关统计数据，2025年我国在用激光切割设备100万台，平均每台输入电功率3000W，电光转换效率以35%计算，每台设备年运行时间2000小时，激光器输入电功率为 $3\text{kW} \div 35\% \approx 8.6\text{kW}$ 。激光器耗电量占整机耗电量（包括水冷机、控制系统、辅助气体等）以18%计，整机输入功率约为 $8.6\text{kW} \div 18\% \approx 47.8\text{kW}$ 。因此单台激光切割设备年耗电量为 $47.8\text{kW} \times 2,000\text{小时} \approx 95,600\text{kWh/年}$ ，100万台激光切割设备全年耗电量高达956亿kWh。可见，仅激光切割设备的全年耗电量就相当于全社会用电量的0.98%。激光切割设备占工业激光设备的占比以39%计算，我国激光加工设备年耗电量约为2390亿kWh，相当于二氧化碳排放量1381万吨。以输出功率10000W的激光器计，光电转换效率提高1%，激光切割设备年耗电量减少9.6亿kWh，我国激光加工设备年耗电量减少约24亿kWh。

在这样的背景下，研究制定光纤激光器能效限定值及能效等级国家标准，对于促进激光加工设备节能低碳技术研发应用，推广高效节能产品，引领行业技术创新、提升国际竞争力具有重要意义，同时也是落实国家节能降碳决策部署、推动制造业绿色高质量发展的必然要求。

（三）起草过程

为提高标准的科学性与适用性，充分体现多方参与的理念，保证标准制定工作的公开性，整合相关方的技术、资源和信息优势，中国标准化研究院作为牵头单位组织开展标准起草工作：

2024年8月—10月：中国标准化研究院启动光纤激光器能效限定值与能效等级标准修订前期准备工作，开展资料收集，对国内外相关政策文件、国际标准、国家标准、行业标准、技术文献资料等进行梳理，对国内外光纤激光器行业发展、产品能效现状及标准要求情况进行了调研分析。面向各有关单位广泛征集标准起草参与单位，积极筹建标准起草组。

2024年11月—12月：中国标准化研究院筹备，并在北京组织召开标准启动会。会上，中国标准化研究院资源环境所丁晴副研究员介绍了我国节能政策标准标识体系建设进展，以及用能产品能效标准制定原则等内容。中国计量科学研究院孙青研究员介绍了激光技术发展和应用现状，标准研制背景、标准实施带来的节能降碳潜力分析等内容。与会代表对标准修订原则、内容框架、时间进度安排等在起草组内部进行讨论并达成初步共识。其中，对于产品覆盖范围，起草组初步达成一致，认为应限定在工业应用领域，并对光纤激光器产品分类方式进行了深入讨论。

2025 年 1 月—3 月，起草组对国际国内激光加工设备相关政策、标准规范、技术发展等展开进一步调研。讨论识别确定光纤激光器产品能效关键影响因素，设计光纤激光器产品能效数据调查表。考虑到光纤激光器实际使用过程中，可能存在的负荷变化等情况，调查表分别对输出额定光功率的 10%、50%、100%情况下的输入电功率、输出光功率等数据进行收集，并对光纤芯径、冷却方式等对产品光束质量、能源消耗量有影响的参数进行收集。

2025 年 4 月—5 月，中国标准化研究院通过院官网、微信公众号、朋友圈等方式发放光纤激光器产品能效数据调查表，向起草组内外相关生产企业、检测认证机构、高校和研究机构等单位征集相关数据。根据标准起草要求，起草组中生产企业、检测机构开展光纤激光器能效测试工作。

2025 年 6 月—9 月，起草组对收集到的光纤激光器能效相关数据进行汇总分析。结合实测数据，进一步识别对光纤激光器能效影响较大的核心因素，对光纤激光器产品分类进一步划分。

2025 年 10 月—11 月，起草组委托国防科技大学王小林副教授调研收集市场主流光纤激光器产品性能和能效数据，并对数据进行核验，按照本标准建立的光纤激光器能效数据调查表参数项归集整理，进一步补充数据样本。

2025 年 12 月，在全国激光设备标准委的协助下，在 XXX 年会期间，中国标准化研究院在武汉组织召开标准技术交流会。会上，起草组结合激光器出光原理和技术特点、应用场景、冷却方式等因素，对光纤激光器产品分类进行深入讨论，一致认为应纳入光纤输出直接耦合半导体激光器、环形光斑光纤激光器等特殊产品，并对是否包含绿光激光器、产品能效评价边界是否包含电源、自冷却和外冷却激光器产品定义等问题进行充分交流。

2026 年 1 月—5 月，起草组查阅光纤激光器相关教科书、标准规范等文献资料，结合收集的产品能效相关数据对产品分类、能效约定条件、输入输出功率测试方法等进行研究讨论，并实地走访中国计量科学研究院等研究和检测机构实验室，进一步明确光纤激光器产品分类能效测试要求。在此基础上，对标准草稿进行修改完善，形成工作组讨论稿。

2026 年 6 月，中国标准化研究院组织召开《光纤激光器能效限定值及能效等级》国家标准技术交流会，对标准框架，术语定义、能效指标等关键技术内容进行讨论。考虑到内置冷却方式、外置冷却方式的激光器能效测试边界不同，且不同冷却方式对激光器能效表现具有显著影响，起草组就标准覆盖光纤激光器按照外冷却、自冷却方式分类，即对于外冷却、自冷却方式下连续、准连续、脉冲等激光器分别给出能

效等级，达成一致。为此，起草组重新设计能效数据调查表，并向起草组内外机构发放，补充调研相关数据。

2026年7月：标准起草组根据讨论会明确的总体思路，分工合作，完成标准征求意见稿。

二、编制原则、强制性国家标准主要技术要求的依据(包括验证报告、统计数据等)及理由

(一) 编制原则

本标准的编写符合《强制性国家标准管理办法》的规定。

本标准与国家节能低碳相关政策法规保持一致，既考虑了当前光纤激光器主流企业的产品能效情况，又考虑了未来光纤激光器行业发展过程中需要进行规范的功能指标。贯彻执行我国标准化工作精神，在验证试验的基础上，尽可能与相关国际上标准接轨，参照相关国际标准、国家标准、行业标准、团体标准，确定技术指标及试验方法，保持标准的科学性、指导性、先进性和合理性，促进技术进步、提高产品质量、促进经济发展。本标准充分考虑我国光纤激光器产品的实际情况和发展水平，使本标准具有很高的科学性、先进性和可操作性，促进我国高效光纤激光器的发展，增强我国光纤激光器在国内、国际市场上的竞争力。

本标准从光纤激光器能效等级及限定值方面进行规定，并详细规定了光纤激光器能耗指标，且对其试验方法进行了详细的讨论和科学的分析，最终形成标准定稿。《光纤激光

器能效限定值及能效等级》国家标准的制订，能够淘汰高能耗产品，对提高产品的能效，减少能源消耗、节约能源起到良好的推动作用。

（二）标准主要内容

1. 范围

当前工业加工领域应用的光纤激光器种类繁多，根据工作模式与输出特性的不同，主要可划分为连续光纤激光器、准连续光纤激光器、脉冲光纤激光器、光纤耦合输出直接半导体激光器以及环形光斑光纤激光器五大类。它们各自凭借独特的技术特点，服务于差异化的加工场景，并在能耗表现上各有侧重。

（1）连续光纤激光器

连续光纤激光器以稳态、连续的方式输出激光，具有光束质量高、功率稳定（波动可 $<3\%$ ）、纯光纤结构免维护等特点。连续光纤激光器是工业加工中应用最广泛的类型，适用于金属材料的高速切割、深熔焊接、表面清洗等。

其电光转换效率较高（通常 $30\%-40\%$ ），但因持续满功率输出，绝对能耗较大。近年出现的风冷连续激光器，整机功耗相比传统水冷机型可节省约 50% 。

（2）准连续光纤激光器

准连续光纤激光器可在连续（CW）和高峰值功率脉冲两种模式间灵活切换，脉冲峰值功率可达平均功率的 10 倍，

适用于点焊、缝焊、精密钻孔及高反射材料（如铜、铝）的加工。

准连续光纤激光器整机功耗较低。以杰普特 QCW-300/3000-L-A 为例，150W 平均功率的机型，主机功耗可低至 < 600W。其低占空比工作模式-也减轻了散热系统的负担。

（3）脉冲光纤激光器

脉冲光纤激光器通过调 Q、锁模等技术，将能量压缩在极短时间（纳秒、皮秒甚至飞秒）内释放，产生极高的峰值功率。适用于高精度打标、深雕、薄板切割、清洗、钻孔及需要极小热影响区的精密微加工。

脉冲光纤激光器平均功率通常不高，绝对功耗较低。例如，早期 25W 脉冲光纤激光器能耗仅为同功率传统激光器的 1/5。但为支持高峰值功率，其瞬时功耗极大。

（4）光纤耦合输出直接半导体激光器

光纤耦合输出直接半导体激光器将半导体激光芯片发出的光直接耦合进光纤输出。它是电光转换效率最高的激光器类型，商业产品可达 50% 以上。因其光斑能量分布均匀，适用于激光熔覆、表面热处理、钎焊、3D 打印等对光斑均匀性要求高的热传导加工。

（5）环形光斑光纤激光器

环形光斑光纤激光器通过一根特种光纤输出中心及环形两束独立可控的同轴激光，中心光束形成熔深，环形光束稳定熔池。广泛应用于动力电池的极耳、顶盖、Busbar 等关键工序焊接，能够有效解决高反材料（铜、铝）焊接飞溅问题。环形光斑光纤激光器其通过优化能量分布抑制飞溅、提升良率，间接降低了单位产品的能耗成本。

本标准适用范围如下：

本文件规定了工业生产加工用光纤激光器的能效等级、能效限定值、能效计算方法和试验方法。

本文件适用于额定输出光功率大于等于 500W 的连续光纤激光器、准连续光纤激光器、脉冲光纤激光器、光纤耦合输出直接半导体光纤激光器和环形光斑光纤激光器。

本文件不适用于通信光纤激光器，掺铥、掺钕的光纤激光器。

2. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 15175 固体激光器主要参数测试方法

GB/T 15313 激光术语

GB/T 31359 半导体激光器测试方法

JB/T 12632 光纤激光器

ISO 11145:2018 光学与光子学 激光器与激光相关设备
术语和符号 (Optics and photonics — Lasers and
laser-related equipment — Vocabulary and symbols)

IEEE Std 2065:2020 工业光纤激光器测试方法和参数
要求指南 (IEEE Guide for Parameter Requirements and
Test Method for Industrial Fiber Laser)

3. 术语和定义

本标准除了引用 GB/T 15175-2012、GB/T 15313、IEEE Std 2065:2020 界定的术语和定义之外，还对光纤激光器、连续光纤激光器、准连续光纤激光器、脉冲光纤激光器、光纤耦合直接半导体激光器、环形光斑光纤激光器、电光转换效率、光纤激光器能效限定值等术语给出了定义。

4. 能效等级

(1) 能效影响因素

a) 光纤激光器各组成部分效率对激光器能效的贡献

光纤激光器的结构可抽象为三大核心部分：泵浦源、增益介质（掺杂光纤）和谐振腔，如图 1 所示。泵浦源由一个或多个大功率激光二极管阵列构成，其发出的泵浦光经特殊的泵浦结构耦合入作为增益介质的掺杂光纤，泵浦波长上的光子被掺稀土离子的光纤介质吸收，形成粒子数反转，受激发射的光波经谐振腔镜的反馈和振荡形成激光输出。

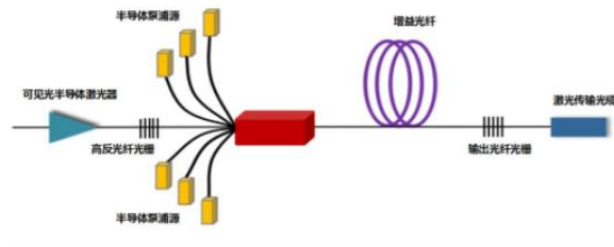


图 1 光纤激光器结构示意图

泵浦源 (Pump Source) 是光纤激光器的“心脏”，通常由半导体激光器 (LD) 构成，负责将电能转化为泵浦光（通常为 915nm 或 976nm）。此环节的效率称为电-光效率，电-光效率取决于半导体材料的内量子效率（电子-光子转换）、光提取效率、驱动电压与带隙电压的匹配度。LD 芯片在额定电流附近工作效率最高。一个设计用于 10kW 激光器的 100W 泵浦源，比设计用于 500W 激光器的 10W 泵浦源，其内部的 LD 芯片往往更大、更优化，效率可以高出 10 个百分点。当前工业级泵浦源的效率普遍超过 50%，部分高性能产品可达 60% 以上。

泵浦合束器 (Pump Combiner) 将泵浦源发出的多路泵浦光，高效率地耦合进增益光纤的内包层中。该环节的效率为耦合效率。其值取决于工艺和结构，例如：级联侧面泵浦耦合器的单点泵浦效率可达 96%；采用非球面透镜组的耦合方式，效率可达 66% 以上；采用 V 型槽、斜角光纤等侧面泵浦技术，效率在 76% 至 90% 之间。

增益介质 (Gain Medium) 即掺有稀土离子（如 Yb^{3+} 、 Er^{3+} ）

的双包层特种光纤。它吸收泵浦光能量，实现“光—光”转换，输出激光。此环节的效率称为光—光转换效率或斜率效率。实验室研究中，光—光转换效率普遍在 70% 左右，甚至有达到 77% 的报道。需要指出的是，量子亏损是限制其上限的根本因素（例如，将 976nm 泵浦光转换为 1064nm 激光时，理论效率上限约 91.7%）。

谐振腔 (Resonator) 由一对光纤光栅 (FBG) 构成。高反光栅和低反光栅分别作为前后腔镜，对波长进行选择，使激光在腔内振荡放大。谐振腔的损耗主要来自光纤光栅的插入损耗和光纤熔接点的损耗。在全光纤结构中，通过熔接将各部件连为一体，可将插入损耗降至最低。

综上，光纤激光器整体电光效率 = 泵源电—光效率 × 耦合效率 × 增益介质光—光效率 × 谐振腔传输效率

b) 冷却方式对激光器能效的影响

光纤激光器在工作时，大部分电能会转化为热量。如果不能有效散热，会导致泵浦源波长漂移、效率降低，甚至损坏器件。散热系统不仅是保障激光器稳定运行的基础，其自身的能耗也构成了系统总能耗的关键部分，例如，一个 6kW 的水冷系统，其外部冷水机就会额外消耗 2—4kW 的电力。可见，冷却方式对光纤激光器的能效有着决定性影响，高效的冷却系统是维持激光器高电光转换效率的前提。目前，光纤激光器主流的冷却方案已从传统的风冷和水冷，发展到更

高效的压缩机冷却和相变直冷等新技术。起草组对于冷却系统的技术特点和适配激光器类别进行调研梳理如下：

强制风冷通常适用于低功率（ $<2\text{kW}$ ）光纤激光器。它无需外接水冷机，实现了“上电即用”的极致便捷。大族激光的“族风F系列”和杰普特的500W风冷MOPA激光器都是典型代表，非常适合手持焊接、现场维修等场景。

压缩机冷却对于中功率（ $2\text{kW}—12\text{kW}$ ）的光纤激光器是极具竞争力的方案。它在提供强大主动制冷能力的同时，规避了水冷系统的高昂基础设施和运维成本。光惠激光（GW）是该技术的先行者，其产品已覆盖 1.5kW 至 12kW 。

水冷对于高功率（ $>12\text{kW}$ ）、长时间满负荷生产的光纤激光器，仍是无法替代的标准配置。其强大的散热能力是保证超高功率激光器稳定运行的基石，广泛应用于需要长时间、不间断切割的工业场景。

对于追求极致效率与轻量化的场合，相变直冷等技术代表着未来方向。它能在保证高功率输出的同时，大幅降低系统重量和能耗，特别适合对便携性有苛刻要求的特种应用。

综上，考虑到冷却系统对于光纤激光器能效的重要影响，本标准在对各类激光器产品进行能效等级划分时，按照内置、外置冷却系统进行区分，分别给出能效等级和能效限定值，以确保同类产品横向可比。

c) 输入电功率对激光器能效的影响

本标准研究初期，起草组设计提出光纤激光器能效相关数据调查表（第一版），布置起草组成员分别对 10%、50% 和 100% 额定输入电功率下的电光转化效率进行测试并反馈数据。起草组对收集到的数百条不同额定输入电功率下的电光转换效率进行分析，结果表明光纤激光器的电光转化效率与输入电功率之间不存在简单的线性关系，更不是“功率越大、效率越高”。

究其原因，激光器电光转换效率是由多个环节的非稳态物理过程决定的，而非单一变量：

一方面，泵浦源（LD）的“效率-电流”曲线是单峰（钟形）的。每个半导体激光器（泵源）都存在一个最佳工作电流点。在这个点附近，电能转换为光能的效率最高（通常在额定电流的 60%-80% 处）。输入功率太小（低于阈值），则泵源无法激射，效率为 0。输入功率太大（过载），则电流增加导致芯片发热加剧，波长漂移，内量子效率下降，电光效率反而不升反降。这意味着，即使是在同一台激光器上，把功率从 80% 提升到 100% 时，最后 20% 输入功率的边际效率往往低于前 80%。

另一方面，电光效率的损失（约 60%-70% 的电能）最终都变成了热量。输入电功率越大，产热越多。热量累积会导致增益光纤中的量子效率下降和泵浦波长失配（比如 976nm 泵浦波长随温度升高而漂移，偏离 Yb^{3+} 的最佳吸收峰），从

而拉低整体效率。这是一种天然的负反馈机制，打破了“输入—输出”的线性关系。

由此可见，激光器类别（即物理构造）和冷却方式是影响激光器能效的核心因素。因而，本标准对各类激光器进行能效等级划分时，以冷却方式和激光器类别作为划分依据。

（2） 能效等级划分

此次标准制定，共收集到来自生产企业和检测机构实测，以及来自产品手册的光纤激光器能效测试有效数据 816 组，作为确定标准技术指标的数据基础。

《国家发展改革委 市场监管总局关于进一步加强节能标准更新升级和应用实施的通知》（发改环资规〔2023〕269号）明确指出，重点用能产品设备强制性能效标准分为 3 级（部分为 5 级）。其中 1 级水平应对标国内或国际同类用能产品设备能效领先水平，原则上其取值应代表同类用能产品设备前 5%左右的能效水平；2 级水平作为节能产品认证依据及新建和改扩建项目设备采购依据，原则上其取值应代表同类用能产品设备前 20%左右的能效水平；3 级（或 5 级）水平是用能产品设备进入市场的最低能效水平门槛，根据各类用能产品设备的技术特点及能效现状，原则上应淘汰 20%左右的落后用能产品设备。

本标准结合收集到的光纤激光器能效测试有效数据，按照主管部门要求的能效等级和能效限定值划分原则，综合考

考虑当前在用设备数量和能效水平、未来几年设备产销量、节能技术研发应用趋势等因素，确定光纤激光器产品的能效等级和能效限定值。能效等级要求如下：

4.1能效等级

- 4.1.1 光纤激光器能效等级分为3级，其中1级能效最高。
- 4.1.2 各等级光纤激光器的电光转化效率不应低于表1的规定。

表1 普通类型自冷却光纤激光器能效等级

光纤激光器类型	电光转化效率 %		
	1 级	2 级	3 级
连续光纤激光器 ¹	35.0	30.0	25.0
准连续光纤激光器	20.0	16.0	14.0
脉冲光纤激光器	33.0	30.0	25.0

表2 特殊类型自冷却光纤激光器能效等级

光纤激光器类型	电光转化效率 %		
	1 级	2 级	3 级
光纤耦合输出直接光纤激光器	45.0	40.0	35.0
环形光斑光纤激光器	38.0	35.0	30.0

表3 普通类型外冷却光纤激光器能效等级

光纤激光器类型	电光转化效率 %		
	1 级	2 级	3 级
连续光纤激光器	42.0	37.0	33.0
准连续光纤激光器	23.0	20.0	15.0
脉冲光纤激光器	35.0	30.0	20.0
注 1：采用倍频方式产生绿光的光纤激光器，各等级能效指标为相应光纤激光器能效指标的 50%。			

表4 特殊类型外冷却光纤激光器能效等级

光纤激光器类型	电光转化效率 %		
	1 级	2 级	3 级

光纤耦合输出直接光纤激光器	45.0	40.0	35.0
环形光斑光纤激光器	40.0	37.0	32.0

5. 能效限定值

光纤激光器的能效限定值分别为表 1—表 4 中的 3 级。

6. 待机功耗限定值

对于额定输入功率大于 10000W、配套水冷机的激光器，待机状态下功率应小于或等于额定输入功率的 5%。

7. 计算方法

按式（1）计算光纤激光器的电光转化效率：

$$\eta = \frac{P_{\text{光}}}{P_{\text{电}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

η ——激光器的电光转化率，单位为%；

$P_{\text{光}}$ ——激光器的输出光功率，单位为千瓦（kW）；

$P_{\text{电}}$ ——激光器的输入电功率，单位为千瓦（kW）。

8. 试验方法

附件 A 给出了光纤激光器能效试验方法，包括试验条件、测试仪器等要求。

A.1 试验条件

A.1.1 环境条件

在下列范围的温度、湿度和气压等条件下进行测试：

a) 环境温度：23℃ ± 5℃，测试期间温度变化不超过 ± 3℃。

b) 相对湿度：45%RH—80%RH。

- c) 大气压力：86kPa—106kPa。
- d) 其他要求：测试区域内无影响测量的振动、气流和背景辐射。

A. 1. 2 电源

电源应符合以下要求：

- a) 电源电压：交流 $220 \times (1 \pm 1\%) \text{ V}$ 或 $380 \times (1 \pm 1\%) \text{ V}$ 。
- b) 电源频率： $50 \times (1 \pm 1\%) \text{ Hz}$ 。
- c) 总谐波失真： $\leq 2\%$ 。

A. 2 测试仪器

A. 2. 1 激光功率计

激光功率计应符合以下要求：

- a) 功率测量范围： $500 \text{ W} \sim 200 \text{ kW}$ 。
- b) 波长测量范围： $0.5 \text{ } \mu\text{m} \sim 1.2 \text{ } \mu\text{m}$ 。
- c) 功率计校准不确定度： $U_{\text{rel}} \leq 3\%$ ($k=2$)。

注：激光功率计可由一系列激光功率计组成，单个激光功率计仅覆盖部分波长范围和功率范围。

A. 2. 2 电能分析仪

电能分析仪应符合以下要求：

- a) 电压范围： $100 \text{ V} \sim 1000 \text{ V}$ 。
- b) 电流范围： $1 \text{ A} \sim 6000 \text{ A}$ 。
- c) 功率范围： $1 \text{ kW} \sim 6000 \text{ kW}$ 。
- d) 电能分析仪功率校准不确定度： $U_{\text{rel}} \leq 2\%$ ($k=2$)。

A. 2. 3 温控水冷机

用于光纤激光器与水冷型激光功率计的温控,流量与制冷量需满足光纤激光器及激光功率计技术要求。

A.3 测试方法

激光器电光转化效率的测试步骤如下。



图 A.1 光纤激光器能效测试示意图

a) 按照图 A.1 所示连接光纤激光器、电源及水冷机,进入待机状态。同时连接电能分析仪,确认待机功率是否符合要求并予以记录。

b) 借助光纤激光器指示光将激光器输出对准激光功率计探测面中心,且光束传输方向与激光功率计探测面保持垂直。以光强降至峰值强度 $1/e^2$ 位置的直径作为光束直径。光束直径应符合以下要求:

- 最大输出功率 1 kW 的激光器光束直径应不小于 10 mm;
- 最大输出功率 3 kW 的激光器光束直径应不小于 20 mm;
- 最大输出功率 10 kW 的激光器光束直径应不小于 25mm;
- 最大输出功率 30 kW 的激光器光束直径应不小于 35 mm。

c) 将激光功率计与水冷机连接,并将水流量设置为合适的大小,水流量应不小于激光功率计规格要求的额定值。冷

却水 1 min 内温度波动应不超过 2℃，并应避免在水冷机启动制冷时进行出光测试。

d) 设置激光功率计的量程范围与测量波长，设置电能分析仪的量程范围。确认激光输出光路无遮挡，并在输出光路设置了人员安全措施，确认人员处于安全区域。设置激光器输出功率为额定功率，使激光器出光，待出光时间大于 90s 后，用激光功率计测量激光器的输出功率并记录稳定值，同时用电能分析仪测量激光器耗电功率并记录稳定值。重复测量 3 次，取激光功率计测量结果的平均值作为激光功率 $P_{\text{光}}$ ，取电能分析仪测量结果的平均值作为电功率 $P_{\text{电}}$ 。

e) 按式（1）计算光纤激光器的电光转化效率。

三、与有关法律、行政法规和其他强制性标准的关系， 配套推荐性标准的制定情况

本标准是终端用能产品能效系列标准之一，是《节约能源法》配套标准，是我国能效标识制度、节能产品认证制度、节能产品政府采购等政策实施的技术依据，与现行有关法律、法规和相关标准保持协调一致，无交叉、矛盾和冲突。

本标准是节能标准体系中终端用能产品能效标准的重要组成部分，与现行有关法律、法规和强制性国家标准保持协调一致，无交叉、矛盾和冲突。

本标准主要规定光纤激光器能效限定值、能效等级要求及相应的能效计算与测试方法，可为激光加工设备行业加强能效管理、实施能效标识/认证制度，促进节能技术和产品研

发应用、淘汰落后产品和产能等提供技术依据。

本标准与光纤激光器相关术语、产品等标准进行了很好的衔接和协调。

四、与国际标准化组织、其他国家或者地区有关法律法规和标准的比对分析

ISO、IEC 尚未制定发布光纤激光器能效相关标准。

IEEE 于 2021 年制定发布《工业光纤激光器参数要求与测试方法指南》（IEEE 2065-2020 Guide for Parameter Requirements and Test Method for Industrial Fiber Laser），规定了工业光纤激光器的性能参数和测试方法。虽然没有直接提出能效技术要求，标准内容为统一测量功率、光束质量等与能效计算密切相关的参数奠定了基础。

日本机床制造商协会（JFMA）开展的“MF Eco machine 认证”，对光纤激光切割机等产品设置了节能率强制性要求。如 MF Eco machine 认证要求激光切割机产品相比 2000 年或之后生产的基准机型，能耗降低 25%及以上。2024 年新实施的 MF Eco machine 2.0 认证要求则更为严格，要求激光切割机产品相比 2013 年或之后生产的基准机型，能耗降低 40%及以上。

由此可见，此次制定的《光纤激光器能效限定值及能效等级》国家标准，是全球范围内国家层面首次针对“光纤激光器”这一具体产品的能效设立强制性或准强制性门槛，对

于中国的工业节能标准体系的丰富和完善具有开创性意义。

五、重大分歧意见的处理过程、处理意见及其依据

本标准遵循各方参与原则，修订过程中充分吸收了有关领域专家的意见，无重大分歧意见。

六、对强制性国家标准自发布日期至实施日期之间的过渡期(以下简称过渡期)的建议及理由,包括实施强制性国家标准所需要的技术改造、成本投入、老旧产品退出市场时间等

本标准自发布日期至实施日期之间的过渡期建议设置为 12 个月。

七、与实施强制性国家标准有关的政策措施,包括实施监督管理部门以及对违反强制性国家标准的行为进行处理的有关法律、行政法规、部门规章依据等;

本标准建议作为强制性国家标准发布，积极开展标准宣贯，针对生产企业、检测认证机构等相关方组织专题培训，促进标准理解与应用，保障标准实施效果。

本标准建议作为强制性国家标准发布，积极开展标准宣贯，针对生产企业、检测认证机构、大宗用户等相关方组织专题培训，促进标准理解与应用，保障标准实施效果。按照《中华人民共和国节约能源法》规定，国务院和县级以上地方各级人民政府应当加强对节能工作的领导，部署、协调、监督、检查、推动节能工作。县级以上人民政府管理节能

工作的部门和有关部门应当在各自的职责范围内，加强对节能法律、法规和节能标准执行情况的监督检查，依法查处违法用能行为。涉及标准实施要求的相关法律法规条款如下：

（1）《中华人民共和国节约能源法》

第十三条 国务院标准化主管部门会同国务院管理节能工作的部门和国务院有关部门制定强制性的用能产品、设备能源效率标准和生产过程中耗能高的产品的单位产品能耗限额标准。

第十五条 国家实行固定资产投资项目节能评估和审查制度。不符合强制性节能标准的项目，依法负责项目审批或者核准的机关不得批准或者核准建设；建设单位不得开工建设；已经建成的，不得投入生产、使用。

第十六条 国家对落后的耗能过高的用能产品、设备和生产工艺实行淘汰制度。

第十七条 禁止生产、进口、销售国家明令淘汰或者不符合强制性能源效率标准的用能产品、设备，禁止使用国家明令淘汰的用能设备、生产工艺。

第七十条 生产、进口、销售不符合强制性能源效率标准的用能产品、设备的，由产品质量监督部门责令停止生产、进口、销售，没收违法生产、进口、销售的用能产品、设备和违法所得，并处违法所得一倍以上五倍以下的罚款；情节严重的，由工商行政管理部门吊销营业执照。

(2) 《节能监察办法》(国家发展改革委〔2016〕第 33 号令)

第六条 节能监察机构应当开展下列工作：监督检查被监察单位执行节能法律、法规、规章和强制性节能标准的情况，督促被监察单位依法用能、合理用能，依法处理违法违规行为；

第十一条 节能监察机构依照授权或者委托，具体实施节能监察工作。节能监察应当包括下列内容：

(四) 执行强制性节能标准的情况；

第十八条 被监察单位有违反节能法律、法规、规章和强制性节能标准行为的，节能监察机构应当下达限期整改通知书。

第二十四条 被监察单位在整改期限届满后，整改未达到要求的，由节能监察机构将相关情况向社会公布，并纳入社会信用体系记录。被监察单位仍有违反节能法律、法规、规章和强制性节能标准的用能行为的，由节能监察机构将有关线索转交有处罚权的机关进行处理。

(3) 《重点用能单位节能管理办法》(国家发改委令〔2018〕15 号)

第十七条 重点用能单位应当执行单位产品能耗限额强制性国家标准和能源效率强制性国家标准。鼓励重点用能单位制定严于国家标准、行业标准、地方标准的企业节能标准。

八、是否需要对外通报的建议及理由

本标准属于节约能源、能源绿色转型、保护环境等方面的标准，由于涉及国际贸易，需要对外通报。

九、废止现行有关标准的建议；

本文件为首次制定，不涉及废止有关标准。

十、涉及专利的有关说明；

本标准不涉及有关专利。

十一、强制性国家标准所涉及的产品、过程或者服务目录；

本文件适用于工业加工用连续光纤激光器、准连续光纤激光器、脉冲光纤激光器、光纤耦合直接半导体光纤激光器、环形光斑、绿光光纤激光器。

十二、公平竞争审查结论

本文件不包含影响公平性竞争的有关内容。

十三、其他应当予以说明的事项。

无。