

《核工业用轻型电随动主从机械手》 “浙江制造”标准编制说明

1 项目背景

核电机组会产生大量具有放射性污染的乏燃料，而目前国内的处理能力不足，急需诸多核工业智能装备，特别是核工业机器人的协作来提升处理能力。核工业用轻型电随动主从机械手主要应用于核工业乏燃料后处理领域，作业环境为具有高放射性的屏蔽热室内。在高放射环境下，常规的机电系统机器人很容易失效。面向核工业流程操作、去污和检修/维修等多任务的长期维护与作业要求，机器人需具备耐高剂量辐照、耐酸雾、能长期作业的核心指标。申报产品通过满足国家重大项目中对机器人全齿轮耦合纯机械传动精确控制、耐高剂量辐射与酸雾环境等指标要求，对保障核工业领域的安全生产、提高生产效率具有重要意义，已批量应用于后处理相关的国家重大工程项目。

申报产品 DS202 型核工业用轻型电随动主从机械手，为国外先进技术替代产品，国内目前暂无与本产品直接相关的国家标准与行业标准，现有的国际标准 ISO 17874-3:2011《Remote handing devices for radioactive materials-part3:electical master-slave manipulators》中，规定的技术指标为更大范围的普遍性要求。由于 ISO17874-3:2011 标准涵盖范围较广，针对轻型电随动主从机械手的参数指标要求较低，且部分性能要求描述模糊，有些技术条款不适用于本产品。本申报产品标准针对现有 ISO 标准，做了较大优化，主要体现在产品操作性、可靠性、灵活性、耐久性等指标的提升，更符合行业实际技术发展现状需求。因此制定并发布一套《核工业用轻型电随动主从机械手》“浙江制造”团体标准，树立行业标杆，对浙江省内核工业用轻型电随动主从机械手产业技术进步和健康发展将有促进作用。

2 项目来源

由杭州景业智能科技股份有限公司向浙江省品牌建设联合会提出立项申请，经浙江省品牌建设联合会论证通过并印发了《关于发布 2021 年第一批“品字标”团体标准（“浙江制造”标准类）制定计划的通知》（浙品联[2021]5 号），项目名称：《高放射环境用主从机械手》，后经研讨

会充分讨论，各位专家一致同意将标准名称修改为《核工业用轻型电随动主从机械手》。

3 标准制定工作概况

3.1 标准制定相关单位及人员

3.1.1 本标准集中培育制定。

3.1.2 本标准主要起草单位：杭州景业智能科技股份有限公司。

3.1.3 本标准主要起草人为：来建良、蒋君侠、金杰峰、刘黎明、田清、金丁灿、徐梦茹。

3.2 主要工作过程

3.2.1 前期准备工作

◆ 企业现场调研

对主要起草单位进行现场调研，主要围绕“浙江制造”标准立项产品的设计研发、材料及零部件、工艺装备、检验检测、技术要求、质量承诺等方面进行调研，并开展先进性探讨。

◆ 成立标准工作组

根据省品牌联下达的“浙江制造”标准《核工业用轻型电随动主从机械手》制订计划，杭州景业智能科技股份有限公司为了更好地开展编制工作，召开了标准起草准备会，成立了标准工作组，明确了核工业用轻型电随动主从机械手标准研制的重点方向。

其中，工作组成员单位为：杭州景业智能科技股份有限公司、浙江蓝箭万帮标准技术有限公司、中核四〇四有限公司、浙江大学、方圆检测集团、相关行业公司等单位。

◆ 研制计划

- 1) 2021年3月：前期调研阶段：完成实地调研和相关标准的收集整理。
- 2) 2021年4月：起草阶段：编写标准（草案），及标准编制说明。
- 3) 2021年5月：召开标准启动会暨研讨会。

4) 2021年6月：启动会后形成标准（征求意见稿），并向利益相关方等发送电子版标准征求意见稿，征求意见，并根据征求意见，汇总成征求意见汇总表。

5) 2021年6月底：标准研制工作组探讨专家意见，并修改、完善征求意见稿、标准编制说明等材料，编制标准送审稿及其它送审材料并推荐评审专家，提交送审材料并等待评审会召开。

6) 2021年7月初：评审阶段，召开标准评审会。专家对标准送审稿及其它送审材料进行评审，给出评定建议。

7) 2021年7月：根据评审会专家评定建议，根据专家意见对标准（送审稿）进行修改完善，形成标准（报批稿），同步完善其它报批材料，并提交等待标准发布。

3.2.2 标准草案研制

标准起草小组以搜集的国外相关标准和产品资料为基础，对比现有国际标准的差异点，对标国外先进企业产品的技术标准，分析各项目指标的合理性和可行性，按照“浙江制造”标准研制要求，增加了基本要求（设计研发、工艺装备、材料和零部件、检验检测等方面）、质量承诺方面的内容。经过标准起草小组共同努力，于2021年4月形成了标准草案。确定了本标准的先进性，充分考虑了“浙江制造”标准制订框架要求、编制理念和定位要求等，全面体现了标准的先进性。具体说明如下：

本标准的型式试验项目规定的全技术指标是在国际标准 ISO 17874-3:2011 的基础上，从产品的术语和定义、结构、型号及基本参数、基本要求、技术要求、试验方法、检验规则、使用说明、标志、包装、运输、贮存和质量承诺对该产品进行标准的编制，在响应时间、力反馈比例、机械手刚度、重力补偿、关节摆动角度、耐辐照剂量等核心技术要求上均优于国际标准要求。

从产品的操作性、可靠性、灵活性、耐久性、检维修性出发，体现了本产品的先进性，也符合“浙江制造”标准“对标国际”的研制理念和“国内一流，国际先进”的定位要求。

◆ 产品基本要求的研讨情况

为响应“浙江制造”标准作为产品综合性标准的理念，从产品全生命周期

角度出发，“核工业用轻型电随动主从机械手”浙江制造团体标准研制工作组围绕核工业用轻型电随动主从机械手的设计研发、工艺装备、材料和零部件、检验检测等方面，进行先进性提炼，涵盖了产品的整个生命周期。

(1) 在设计上，标准研制工作组从“自主创新、精心设计”的角度出发，对核工业用轻型电随动主从机械手的设计工具及设计能力方面进行提炼，体现了其产品设计的先进性。

(2) 在原材料方面，标准研制工作组从“精良选材”的角度出发，对原传动齿轮的机械性能、电机与线缆、密封件材料的耐辐照剂量提出了要求，从源头保障了产品的可靠性。

(3) 在生产制造方面，标准研制工作组从生产及装配工艺、精度、自动化等角度出发，凸显“浙江制造”标准“精工制造”的定位要求。

(4) 在检验检测方面，标准研制工作组从应具备对产品金属材料成分、关键零部件密封性、从手末端运动精度等指标的检测设备及能力角度来保障产品的可靠性。

◆ 质量承诺

为体现“浙江制造”标准的“精诚服务”这一理念，浙江制造标准研制工作组从对产品的质保承诺和响应时间出发，对产品质量的保证能力提出了要求，主要体现如下：

精诚服务：24 小时内响应，12 个月无偿提供更换或修复质保服务。

● 标准研讨会研讨情况

浙江蓝箭万帮标准技术有限公司介绍“浙江制造”标准制修订流程及要求。滨江区市场监管局对杭州景业智能科技股份有限公司主要起草的“浙江制造”团体标准表示诚挚的支持，参会人员就“国内一流，国际先进”的浙江制造标准定位、要求及制造理念达成共识。杭州景业智能科技股份有限公司代表介绍企业情况、产品基本情况、国内外行业现状和标准先进性情况，汇报了“浙江制造”《核工业用轻型电随动主从机械手》标准草案编制情况。各位专家讨论标准并形成研讨会结论，确定了标准制订计划进度。

3.2.3 征求意见（根据标准版次调整）。

3.2.4 专家评审（根据标准版次调整）。

3.2.5 标准报批（根据标准版次调整）。

4 标准编制原则、主要内容及确定依据

4.1 编制原则

标准研制工作组遵循浙江制造标准“合规性、经济性、先进性、必要性、可操作性”的“五性并举”编制原则，尽可能与国际通行标准接轨。此外，本标准严格按照《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》(GB/T 1.1-2020)的规范和要求撰写。

4.1.1 合规性

标准的编制符合国家相关法律法规、标准、文件的要求。

4.1.2 必要性

目前国内尚未有相关的国家标准、行业标准，国际标准发布的时间较早，部分指标未提出具体的可量化的要求，已不适应于产品当前技术水平。“浙江制造”标准指标的提高和新增符合客户对产品的需求，有利于推动产品质量的提升和产业的发展。

4.1.3 经济性

标准中技术指标检验成本合理可承担，新增的指标项目检测成本也在当前先进企业的可承担范围内。

4.1.4 先进性

技术指标主要依据国际标准 ISO 17874-3:2011 的要求，结合国内外先进企业的技术要求编制而成。

4.1.5 可操作性

所有的技术要求均有相应的检测依据。

4.2 主要内容及确定依据

标准主要内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、结构、型号及基本参数、基本要求、技术要求、试验方法、检验规则、使用说明、标志、包装、运输、贮存和质量承诺十个方面对标准进行编制。其中**基本要求**涵盖了产品设计研发、材料和零部件、工艺装备、检验检测四方面；**技术要求**包括装配质量、外观质量、安全、整机性能和功能等指标要求，其基本要求、技术要求、试验方法、检验规则、使用说明、标志、包装、运输、贮存、质量承诺的确定依据如下：

➤ 基本要求

基本要求基于浙江制造团体标准的研制要求及标准研制工作组根据杭州景业智能科技股份有限公司等行业先进企业对于核工业用轻型电随动主从机械手生产全生命周期的先进性调研结果制定。

➤ 技术要求

技术要求基于浙江制造标准“国内一流，国际先进”的研制定位，标准研制工作组参考了国际标准 ISO 17874-3:2011、国外先进企业法国法定的技术要求、国内标准 EJ/T 20226.2，结合了本公司等行业先进企业对于核工业用轻型电随动主从机械手产品的实际生产水平，充分论证后确定技术项目和指标值。

➤ 试验方法

本标准提出的技术要求均有相关试验方法可验证。

➤ 检验规则

标准的检验规则标准规定了检验分类和检验项目、出厂检验、型式检验。

➤ 使用说明、标志、包装、运输、贮存

标准规定了使用说明、标志、包装和储存的要求，使用说明书的编写和提供应符合 GB/T 9969 的规定，说明书中应注明相应执行标准号。

➤ 质量承诺

主要以标准起草工作组调研结果为基础，按照“浙江制造”标准制订框架要求，增加了质量承诺的内容。

主要参考标准和技术规范：

ISO 17874-3:2011 Remote handing devices for radioactive materials-part3:electrical master-slave manipulators

同时：

- ◆ 考虑了：企业的检测能力和实验的可重复性。
- ◆ 结合了：浙江制造的定位理念及研制要求。

5 标准先进性体现

5.1 型式试验内规定的所有指标对比分析情况

以杭州景业智能科技股份有限公司为主要起草单位研制的《核工业用轻型电随动主从机械手》标准对比了国际标准 ISO 17874-3:2011 对产品的要

求，符合“浙江制造”标准“对标国际”的研制理念和“国内一流，国际先进”的定位要求。

由表 1 分析可见，标准的先进性主要体现在为：

➤ 明确响应时间要求

理由说明：国际标准中规定操作人员使用主手操作时，实施的动作、力和扭矩应实时传导至从手，操作人员应察觉不到延迟现象。该指标标准为人的主观感受，并未规定具体可衡量参数，表述模糊。考虑到机械手操作安全，操纵主手时，从手应及时作出响应，避免因延迟造成热室内部设备或机械手的损坏，故本标准结合实际研制情况，明确响应指标为：响应时间 $\leq 0.1s$ 。

➤ 机械手刚度要求提升 50%

理由说明：从手在负载情况下，其局部组件与空载的主手的相应局部组件相比有一定的挠度，国际标准中设定当轻型机械手达到 10kg 满载时机械手的最大变形量为 10° ，即相应指标为 $\leq 10^\circ / 10kg$ 。该指标要求较低，实际使用中刚度决定了主从操作的位置精确度与力反馈精确度，对于操作的可靠性与操作手感具有重要意义。因此本标准基于国际标准的刚度参数进行了机械手的刚度优化设计，明确机械手的刚度指标为： $\leq 5^\circ / 10kg$ 。

➤ 自由度重力补偿全覆盖

理由说明：重力补偿有利于提高机械手操作灵活性，缓解人员工作疲劳，国际标准中要求从手与主手局部组件的自重应相互抵消，至少包括 3 自由度：肩关节倾斜、上臂旋转以及肘关节倾斜运动。为适应热室内部复杂多变的工作环境，本标准要求对机械手的 6 个自由度均进行重力补偿。

➤ 增加了负载锁定形式

理由说明：制动装置应当可以锁定从手和主手的定位与定向动作，国际标准中要求当从手夹爪进行抓取工作时，应当能通过主手上的一个开关锁定抓取动作，以便操作人员不必保持抓力。基于实际操作需求，本标准除机械锁定外，还增加了控制系统实时锁定设计，使从手能够在任何位置和方向保持锁定，提高了机械手的操作可靠性。

➤ 极限负载锁定时间增加 1 倍

理由说明：国际标准中规定所有类型的电随动主从机械臂在不使用任何制动装置的情况下，从手应能够在其极限负载状态下保持至少 30min 静止不动。针对轻型电随动机械手，结合实际结构和使用需求，本标准对该参数进行了优化，要求高放射性环境用主从机械手在从手抓取 10kg 负载时可在任意位置和方向保持静止至少 60min。

➤ 各关节运动范围指标参数平均提升 37%

理由说明：机械手受其结构影响，各关节转动与摆动角度受限，无法达到全

周运动。随着后处理热室中机械设备自动化程度的提高，国际标准中设定的各关节运动范围已不能满足复杂的操作需求，因此本标准对该指标进行了优化，具体优化参数见下表。

		国际标准	本标准	指标优化程度
肩关节	摆动角度	$\pm 90^\circ$	$\pm 110^\circ$	18%
	转动角度	$\pm 45^\circ$	$\pm 360^\circ$	75%
肘关节	摆动角度	$+160^\circ \sim -50^\circ$	$\pm 110^\circ$	9%
	转动角度	$\pm 180^\circ$	$\pm 360^\circ$	50%
腕关节	摆动角度	$+45^\circ \sim -120^\circ$	$\pm 110^\circ$	25%
	转动角度	$\pm 180^\circ$	$\pm 360^\circ$	50%

➤ 优化动力布置形式，提升使用寿命

理由说明：国际标准中主手和从手的4个驱动装置都安装在上臂的后面，有助于保持上臂平衡。考虑到热室内充满辐射，且驱动装置极易受电离辐射影响失效甚至损坏，本标准中将机械手的安装形式设计为顶部吊装，驱动组件设置在检修区，通过动力贯穿技术将动力传递至热室内，不仅可以减少辐射对驱动系统的影响，延长其使用寿命，而且检维护操作方便，检修风险小。

➤ 明确耐辐照剂量参数

理由说明：主从机械手主要应用于具有强辐射环境的热室内，故国际标准规定其必须满足可在电离辐射环境下工作的要求，指标内容主观性强，不具备具体的设计指导意义。参考法国洁定RX系列机械手耐辐照剂量不小于 10^4Gy ，并综合耐辐射资料调研及试验，本标准要求核工业用轻型电随动主从机械手各部件材料以及元器件均可承受 $\geq 10^6\text{Gy}$ 的辐照剂量。

➤ 明确耐酸浓度

理由说明：当主从机械手部件进行检维护更换时，需采用酸性溶液冲洗其表面辐射污染物，因此国际标准中规定电随动主从机械手必须能适应在具有腐蚀性气体的环境下工作，但并未明确耐腐蚀要求。结合实际使用需求，本标准规定机械手使用的材料尤其是表面材料可耐浓度 $\geq 3\text{mol/L}$ 的硝酸冲洗。

➤ 新增力反馈比例要求

理由说明：实际工程应用时，从手操作对象多样、质量不一，主手所需操作力不同。国际标准中对机械手力反馈比例并无确定要求，若无法调节力反馈比，工作人员需自我适应，尤其是操纵重物时，极易产生疲劳。考虑到机械手操作手感与安全可靠性，力反馈比例应可随实际情况进行调节。参考法国洁定公司研制的MT200TA0机械手，力反馈比例6段可调，本标准在此基础上进行了优化，要求核工业用轻型电随动主从机械手力反馈比例可无级调整。

➤ 新增最大力反馈要求

理由说明：国际标准中未对最大反馈力进行约束，由于人能够感知的力的大小变化范围大约是 2N~50N，若反馈力过大，工作人员操作主手时容易产生负担，因此本标准要求最大反馈力应 $\leq 50\text{N}$ 。

表 1 核心指标对比表

序号	质量特性	项目	国际标准	国内标准	国外企业指标 (法国洁定)	国内企业指标 (杭州景业)	拟提高/完善/增加指标
1	操作性	响应时间	无明显迟滞	/	/	$\leq 0.1s$	$\leq 0.1s$
2		力反馈比例	/	/	6 段可调	/	无级调整
3		最大反馈力	/	达到人工操作所需力的最大量级	$\leq 4kgf$	/	$\leq 5kgf$
4	可靠性	机械手刚度	$\leq 10^\circ / 10kg$	根据客户要求制定	/	/	$\leq 5^\circ / 10kg$
5		重力补偿	3 个自由度	/	6 个自由度	6 个自由度	6 个自由度
6		负载锁定	机械锁定	机械锁定	机械锁定	实时/机械锁定	实时/机械锁定
7		极限承载时间	$\geq 30min$	/	/	$\geq 60min$	$\geq 60min$
8	灵活性	肩关节摆动角度	$\pm 90^\circ$	$+70^\circ \sim -25^\circ$	$+87^\circ \sim -22^\circ$	$\pm 110^\circ$	$\pm 110^\circ$
9		肩关节旋转角度	$\pm 45^\circ$	$\pm 45^\circ$	$\pm 255^\circ$	$\pm 360^\circ$	$\pm 360^\circ$
10		肘关节摆动角度	$+160^\circ \sim -50^\circ$	/	/	$\pm 110^\circ$	$\pm 110^\circ$
11		肘关节旋转角度	$\pm 180^\circ$	$\pm 174^\circ$	$\pm 170^\circ$	$\pm 360^\circ$	$\pm 360^\circ$
12		腕关节摆动角度	$+45^\circ \sim -120^\circ$	$\pm 82^\circ$	$+38^\circ \sim -114^\circ$	$\pm 110^\circ$	$\pm 110^\circ$
13		腕关节旋转角度	$\pm 180^\circ$	$\pm 174^\circ$	$\pm 360^\circ$	$\pm 360^\circ$	$\pm 360^\circ$
14	耐久性	动力布置形式	动力部分内置	/	动力外置	动力外置	动力外置
15		耐辐照剂量	耐辐照性能好	耐辐照	$\geq 10^4 Gy$	/	$\geq 10^6 Gy$
16		耐酸性	耐腐蚀性气体	耐腐蚀性流体	/	/	$\geq 3mol/L$ 硝酸冲洗

17	检维 修性	动力布置区域	内置不易检修	/	外置于操作区	外置于检修区	外置于检修区（检修风险小，检修方便）
----	----------	--------	--------	---	--------	--------	--------------------

5.2 基本要求(型式试验规定技术指标外的产品设计、原材料、关键技术、工艺、设备等方面)、质量承诺等体现“浙江制造”标准“四精”特征的相关先进性的对比情况。

◆ 设计研发

1. 根据通用性设计理念,采用计算机辅助软件优化设计驱动器、传动链、动力贯穿、夹钳等模块,并对主从机械手进行小型轻量化设计。
2. 应开展主从机械手结构强度和末端刚度理论建模和校核分析。
3. 应开展主从机械手全齿轮耦合运动学特性和工作姿态分析。
4. 应开展无力传感器的双向力反馈遥操作控制和全齿轮传动耦合下的重力补偿控制算法设计。

说明:拥有专业的智能制造研发团队与仿真分析软件,在设计传动结构时,对配置的大量非标模数齿轮,利用 MATLAB 软件编制锥齿轮强度计算程序。考虑机械手从手实际操作过程中直接抓取重物,结构强度要求高,采用 ANSYS 软件进行失效分析与校核优化,在设计初期规避可控安全风险。

鉴于全齿轮传动结构的限制,机械手在其球形运动范围内并不是任意位置可达,需要通过 MATLAB 中机器人工具箱模块,使用 D-H 参数对该机械手进行运动学建模仿真,利用蒙特卡洛法可以近似得出该机器人的工作空间,以确保机械手操作空间与操作姿态可满足使用需求。

机械手工作环境为充满辐射的热室,设置有重生物屏蔽层,一般通过内置摄像头或屏蔽窗观察热室内情况,无法全方位监测机械手实时工况。采用 Unity 软件进行虚拟建模,结合数字孪生技术实现基于机械手数据的运行状态三维监控与高危作业预演等功能。

◆ 原材料及零部件

1. 传动齿轮采用机械性能不低于 GB/T 3077-2015 中 20CrMnTi 的马氏体不锈钢;结构件采用机械性能不低于 GB/T 3077-2015 中 12Cr2Ni4 的不锈钢;成分应符合 GB/T 20878 的要求。

说明:实际工程中从手设置在热室内部,因此关重件的金属材料应采用耐辐射、酸蚀的不锈钢,元器件优先选用耐辐照性能好的产品,以避免在正常维护周期内频繁检修。金属材料成分采用光谱仪进行元素成分含量测量,所有原材料应能提供产品材质单、牌号证明。元器件产品应能提供合格证书,同一批次的元器

件，其耐辐照性能应提供可靠的测试数据或证明材料。

2. 采用耐辐照电机与线缆，耐辐照剂量指标应不低于 10^6Gy 。
3. 密封件材料耐辐照剂量指标不低于 10^5Gy 。

说明：热室内放射性射线包含有 α 、 β 、 γ 等多种粒子，其中 β 、 γ 等粒子穿透性较强且会损伤相关器件，需采用抗辐射材料或对易受损材料进行局部屏蔽或安装。其中 α 气溶胶会沿缝隙扩散至机械手内，因此机械手的动力贯穿同心管件处需设置有密封圈结构，密封圈需采用耐辐射材料。

◆ 工艺及装备

1. 锥齿轮加工过程应配备数控铣床与专用工装，加工精度不低于 7 级。
2. 应对生产过程的零部件及装配过程设置可追溯系统。

说明：本产品采用纯齿轮传动的结构形式，因此为降低齿轮啮合空程，需提高传动精度，采用慢走丝或插齿加工，严格控制齿轮侧隙精度、齿厚，同时采用专用工装提高加工精度。对产品研制、生产过程设置可追溯系统，有关标识的记录纳入质量记录的控制程序。

◆ 检验检测

1. 主从机械手关键零部件的检测应在恒温 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 环境下进行。
2. 应具备金属材料成分、关键零部件密封性、从手末端运动精度等指标的检测能力。
3. 应配备光谱仪、氦质谱检漏仪、粗糙度仪、激光跟踪仪等关键检测设备。

说明：产品生产完成后均需经过检测后方可出厂，其中本公司具备与拟采购的检测设备与试验台架如下表所示，可完成机械手的材料成分、关键零部件密封性、从手末端运动精度等关键参数测试。

表 2 检测设备一览表

序号	设备名称	型号	供应商	数量 (台)	用途
1	氦质谱检漏仪	ASM 340	普发	1	检测相关设备的密封性
2	厚度检测仪	X 射线测厚仪	Optisense	1	检测产品表面放射性料液粘附薄膜厚度
3	激光跟踪仪	Vantage	Faro	1	机器人测试与标定
4	模拟热室	模拟热室框架	定制	1	1: 1 真实环境结构搭建进行冷试
5	专用特性测试台	专项特性对应台架	定制	3	专项特性测试

◆ 质量承诺

- 在遵守储运、贮存和使用规则的条件下，自售出之日起十二个月，若不能正常工作，按国家有关部门及制造商规定为用户更换、维修。
- 产品质量有异议的，应在 24 小时内做出响应，及时为用户提供合理范围内的服务和解决方案。
- 产品应具有可追溯的唯一性的编号。

5.3 标准中能体现“智能制造”、“绿色制造”先进性的内容说明。（若无相关先进性也应说明）。

智能制造：

- 机械手各参数性能的优化：满足了热室内复杂、多样性的操作需求，提高了空间利用率，实现乏燃料后处理工艺流程自动化控制，包括物料的自动转移搬运、设备操作以及远距离检维修。
- 具备动作复制功能：在完成动作记录后，可采用自动操作模式，自主完成热室内部工艺流程操作，缓解人员工作疲劳。
- 研发工具：针对非标模数齿轮，利用计算工具 MATLAB 软件编制了齿轮接触强度计算程序。设计完成后，通过 ANSYS 有限元分析软件进行机械手静力学分析与强度校核。最终采用 Unity 软件进行虚拟建模，结合数字孪生技术，实现对机械手的实时监测。

绿色制造：

- 关重件的金属材料采用耐辐射、酸蚀的不锈钢，元器件选用辐照性能好的产品，以避免在正常的维护周期内频繁检修，一方面可延长机械手的使用寿命，另一方面可减少辐射污染物的处理。
- 机械手采用吊装形式，将动力布置在检修区，不仅可以减少辐射的影响，延长其使用寿命，而且检维护操作方便，检修风险小。
- 核工业用轻型电随动主从机械手主要应用于乏燃料后处理领域，旨在提高乏燃料后处理工作效率以满足日益增长的处理需求，有助于核燃料的再利用与废弃物的无害处置。

6 与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调性

6.1 目前国内主要执行的标准有：

暂无。

6.2 本标准与相关法律、法规、规章、强制性标准相冲突情况。

本标准与相关法律、法规、规章、强制性标准无冲突。

6.3 本标准引用了以下文件：

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 3077—2015 合金结构钢

GB/T 5226.1—2019 机械电气安全机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 9969 工业产品使用说明书总则

GB 11291.1—2011 工业环境用机器人 安全要求 第1部分：机器人

GB/T 12642—2013 工业机器人 性能规范及其试验方法

GB/T 12643—2013 机器人与机器人装备 词汇

GB/T 13306—2011 标牌

GB/T 14253—2008 轻工机械通用技术条件

GB/T 20868—2007 工业机器人 性能试验实施规范

GB/T 20878 不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分

GB/T 36239—2018 特种机器人 术语

EJ/T 1096—1999 密封箱室密封性分级及其检验方法

JB/T 8430—2014 工业机器人 型号编制方法

JB/T 8896—1999 工业机器人 验收规则

EJ/T 20149.1—2018 热室设备设计导则 第1部分：通用设计导则

EJ/T 20226.1—2018 放射性物质远程操作装置 第1部分：通用要求

7 社会效益

本标准的制定与实施将规范核工业用轻型电随动主从机械手产品的设计、制造，提升产品的市场竞争力，有利于引领行业的高质量发展。本标准中的大部分指标优于现有标准的要求，对于提升产品品质，拉动国内下游产业经济具有重要的意义。

8 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

9 废止现行相关标准的建议

无。

10 提出标准强制实施或推荐实施的建议和理由

本标准为浙江省品牌建设联合会团体标准。

11 贯彻标准的要求和措施建议

已批准发布的“浙江制造”标准，文本由浙江省品牌建设联合会在官方网站（<http://www.zhejiangmade.org.cn/>）上全文公布，供社会免费查阅。

杭州景业智能科技股份有限公司将在企业标准信息公共服务平台（<http://www.cpbz.gov.cn/>）上自我声明采用本标准，其他采用本标准的单位也应在信息平台上进行自我声明。

12 其他应予说明的事项

无。

《核工业用轻型电随动主从机械手》标准研制工作组
2021年5月31日