

附件 3

**《钢制乏燃料运输容器制造通用技术
要求（征求意见稿）》
编制说明**

《钢制乏燃料运输容器制造通用技术要求》标准编制组

二〇二一年一月

目 录

1. 项目背景.....	1
1.1 任务来源.....	2
1.2 工作过程.....	2
2. 标准制定的必要性分析.....	3
3. 国内外相关标准情况.....	4
4. 标准制定的基本原则和技术路线.....	6
5. 标准主要技术内容.....	6
5.1 范围.....	6
5.2 规范性引用文件.....	6
5.3 术语和符号.....	6
5.4 总则.....	7
5.5 材料.....	7
5.6 加工成形与组装要求.....	8
5.7 焊接.....	8
5.8 验收试验.....	9
5.9 容器出厂.....	9
6. 与国内外同类标准或技术法规的水平对比和分析.....	9
7. 实施本标准的管理措施、技术措施、实施方案建议.....	9

《钢制乏燃料运输容器制造通用技术要求（征求意见稿）》

编制说明

1. 项目背景

核电是清洁能源。目前中国大气污染严重，化石能源特别是煤炭的利用是大气污染的主要来源。在改善煤电燃料链环境影响的同时，加快发展核电是减少中国环境污染和温室气体排放的现实有效途径。据测算，一座百万千瓦的核电厂和燃煤电厂相比，每年可以减少二氧化碳排放 600 多万吨，发展核电是中国应对大气污染治理重压的必然选择，也是政府近年来大力支持的建设项目。虽然在 2011 年日本福岛事故给全世界的核电发展投下了不可磨灭的阴影，但人们不断反思总结，在能源、环境的制约以及电力需求压力下，在确保安全的前提下，核电发展依然是改善环境、提供能源的现实有效途径。

2012 年 10 月 24 日国务院常务会议讨论通过《能源发展“十二五”规划》，再次讨论并通过《核电安全规划（2011-2020 年）》和《核电中长期发展规划（2011-2020 年）》，稳妥恢复核电站正常建设。2013 年以来，中国政府已经多次表态，在安全的前提下，适时在东部沿海地区启动新的核电项目。2014 年 5 月 16 日，国家发改委、能源局和环境保护部联合发布《能源行业加强大气污染防治工作方案》指出，核电是国家能源结构调整的重要组成部分，要继续安全高效地推进核电建设。在 2014 年 6 月 13 日北京召开的中央财经领导小组第六次会议上，国家主席、中央财经领导小组组长习近平同志提出：在采取国际最高安全标准、确保安全的前提下，抓紧启动东部沿海地区新的核电项目建设。2016 年 6 月，李克强总理在中国核电工程有限公司视察，详细了解了我国具有自主知识产权的“华龙一号”等核电成果，并表示“你们为我撑腰，我去国际舞台为你们扬名。要用最高标准、最优质量、最好性价比，提升中国核电装备在国际市场的竞争力”，核电不光要在国内发展，还要“走出去”，与欧美发达国家合作开发第三方市场。我国具有自主知识产权的“华龙一号”机型研发成功，为中国核电走出国门提供了强有力的支撑，是我国政府对外政治经济合作的王牌之一。

2016 年 11 月国家发改委、国家能源局对外正式发布的《电力发展“十三五”规划（2016-2020 年）》，2015 年年底全国发电装机容量 15.3 亿千瓦，其中核电 0.27 亿千瓦，占比 1.76%，核电在中国能源结构中所占比例仍然很小，核电在我国还有很大的发展空间。

随着我国核电事业的不断发展,按照 2020 年建成核电站的装机容量 5800 万千瓦测算,2020 年我国核电站乏燃料累积存量将超过 7500 吨,核电站累积外运的乏燃料约为 2100 吨,2020 年当年累积外运量超过 200 吨。到 2025 年,我国核电站乏燃料累积存量将超过 14000 吨,核电站乏燃料累积外运量 5200 吨,当年外运量近 900 吨。到 2030 年,在不考虑再新建核电站情况下,我国核电站乏燃料累积存量将达到 23000 吨,核电站乏燃料累积外运量超过 10000 吨,当年外运量近 1300 吨。我国已制定了核燃料闭路循环的政策,乏燃料采取后处理回收铀和钚的技术路线。根据我国后处理工程建设初步设想,在 2030 年前后建成第一座大型乏燃料后处理厂。

因此,为了确保我国核电站安全运行,需要及时将核电站中的乏燃料运输至后处理厂。乏燃料运输容器作为运输乏燃料的重要设备,关乎着整个核工业的安全发展。根据对核电站乏燃料运输容器市场需求的分析,考虑运输过程中容器的调配使用,2025 年前,我国还需要新增乏燃料运输容器 23 台;2025 年后,随着大批核电站乏燃料组件的外运需求提出,还需新增乏燃料运输容器 49 台,乏燃料运输容器总的需求数量达到 79 台。与此同时,除了商用堆核电站外,研究堆和实验堆的乏燃料同样面临着外运和转运的问题,该类型乏燃料运输容器的设计和研发工作也同样十分重要。因此,我国乏燃料运输容器的市场潜力十分巨大,针对乏燃料运输容器制造技术的研究具有十分重要的意义。

1.1 任务来源

2020 年,中华人民共和国生态环境部办公厅以《关于印发核与辐射安全监管 2020 年项目计划的通知》(环办核设函〔2020〕236 号)下达了制定《压水堆核电厂乏燃料运输容器通用技术条件》的相关工作任务。

本草案由中国核电工程有限公司主编并起草。

1.2 工作过程

1) 2020 年 5 月,收到生态环境部“关于印发核与辐射安全监管 2020 年项目计划的通知”。在此之前,中国核电工程有限公司已提前组织相关专业人员提前开展调研工作,接到“通知”后成立课题组,课题负责人为姚琳同志。

2) 2020 年 5 月,国家核安全局辐射源安全监管司、中机生产力促进中心及核设备所召开线上项目启动会,对项目的预期成果提出了指导和期望。课题组就项目的准备情况进行了汇报。

3) 2020年4-10月,课题组消化吸收美国核管理委员会(NRC)发布的NUREG/CR 3854, NUREG/CR 3019, RG7.11和RG7.12,对上述导则进行了翻译工作,形成了翻译稿,针对国内外乏燃料运输容器的制造要求、材料要求及验收试验的应用情况、研究成果和发展趋势展开详细的调研,并在此基础上形成了调研报告。

4) 2020年10月,课题组组织召开了压水堆核电站乏燃料运输容器通用技术条件调研报告评审会,对所形成的翻译稿和调研报告进行了评审。

5) 2020年10-12月,课题组根据评审意见修改后形成的翻译稿和调研报告,编制了标准草案及相关编制说明,形成的研究成果如下:

《运输容器制造标准(NUREG/CR 3854)翻译稿》

《放射性物质运输容器制造焊接推荐准则(NUREG/CR 3019)翻译稿》

《壁厚不大于4 inches (0.1m)的铁素体钢制运输容器包容筒体基体材料的断裂韧性准则(RG 7.11)翻译稿》

《壁厚大于4 inches (0.1m)且小于等于12 inches (0.3m)的铁素体钢制运输容器包容筒体基体材料的断裂韧性准则(RG 7.12)翻译稿》

《压水堆核电站乏燃料运输容器通用技术条件调研报告》

《钢制乏燃料运输容器制造通用技术要求(草案)》

《钢制乏燃料运输容器制造通用技术要求(草案)编制说明》

2. 标准制定的必要性分析

乏燃料运输容器是运输乏燃料组件的专用设备,是保证乏燃料安全外运的关键设备。其主要功能是安全可靠的运输指定型号和参数的乏燃料组件,是核电站长期安全运行的基本保障。根据法规要求,乏燃料运输容器的设计应能使容器在正常运输条件下和运输事故条件下保持容器的包容完整性等相关安全要求。因此,在乏燃料运输容器的制造过程中,应能满足容器设计单位所规定的相关要求,保证容器的制造质量,并采取合理的试验对制造过程中及制造完成的容器进行安全功能验证。

经过对国内外多家乏燃料运输容器设计单位及其主要产品(如NAC的STC、Orano的TN系列、Holtec的HI-STAR系列、CNPE的CNSC系列)的调研,得知这些主流容器对于乏燃料运输容器制造技术条件,目前主要以美国核管会(NRC)NUREG/CR 3854《运输容器制造标准》为主,同时满足ASME第3卷相关材料及制造要求。除上述要求以外,还会综合考虑IAEA SSR-6“Regulations for the Safe Transport of Radioactive

Material”的相关要求。

为了逐步完善我国放射性物品运输及其相关领域的法律法规标准规范体系，为乏燃料运输容器的制造要求提供技术指导，为监管部门审查乏燃料运输容器的制造提供技术支持，制定《钢制乏燃料运输容器制造通用技术要求》是十分必要的。

3. 国内外相关标准情况

《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）规定了常规运输条件、正常运输条件和运输事故条件下放射性物品运输安全要求，根据该规程，乏燃料运输容器的设计应能使容器在正常运输条件下和运输事故条件下保持容器的完整性等相关安全要求。因此，乏燃料运输容器的制造应能够完全符合设计要求，并能采取有效的验证试验证明制造完成的容器满足安全及设计要求。

对于乏燃料运输容器制造技术条件的应用，目前主要以 NRC 导则 NUREG/CR 3854 《运输容器制造标准》为主，该导则将放射性物品运输容器分为三类，并为每一类的容器的不同安全部件的验收给出了对应于 ASME 相关分卷的准则，对乏燃料运输容器的制造具有重要意义。

截至目前，关于乏燃料运输容器的安全功能在 IAEA 特定安全要求 SSR-6 《放射性物质安全运输条例》（2018）中和 NRC 管理导则 NUREG/CR 3854 中有明确描述。然而，国际上对于乏燃料运输容器制造的研究和应用主要依据则 NUREG/CR 3854 中的相关条款要求，IAEA 《放射性物质安全运输条例》（SSR-6）中仅对容器的安全性能给出了要求，并未对容器的制造给出相关要求。

目前，国外主要乏燃料运输容器（如 NAC-STC 乏燃料运输容器、HI-STAR 系列乏燃料运输容器等）的制造要求都遵循美国核管理委员会（NRC）发布的 NUREG/CR 3854 《运输容器制造标准》（以下简称导则），该导则发布于 1984 年。该导则用于指导放射性物品运输容器金属部件（除铸铁）的制造。导则相关内容来源于 ASME 规范，且基于所运输的放射性物品等级和容器部件的核安全功能。用于指导与原材料控制、成形、热处理、检测、验收试验相关的制造工艺。该导则的实施，旨在确保与所运输放射性物品等级相对应的运输容器结构的完整性。该导则适用于放射性物品运输容器金属部件的制造，由劳伦斯利弗莫尔国家实验室（LLNL）起草，由核管理委员会工程技术分部的机械/结构工程部门资助。该导则的制定是在给予设计单位在材料、制造技术和验收试验方法的选取上以最大限度的空间，同时对容器制造进行有效控制，允许设计单位灵活

选用材料、制造技术、验收试验等。该导则根据所运输的放射性物品的类型和数量的安全级别划分为三类。根据部件所执行的安全功能，该导则将每一类别又细分成三类。

该导则旨在审查和选用适用于放射性物品运输容器的制造准则。审查和选用过程的范围如下：

- (1) 确定为会影响运输容器结构完整性和安全功能的制造工艺。
- (2) 适用于现有类型运输容器金属部件，其中包括整体容器以及采用不锈钢、铁素体钢做为包容容器，铅或贫铀做为屏蔽材料的容器。关于球墨铸铁容器的相关标准在其他程序中另行讨论。
- (3) 针对显著影响运输容器结构完整性和安全功能的制造工艺的相关准则，均从现有工业标准及准则中选取。

该导则选用 ASME 作为运输容器部件的制造准则，是由于其已经被证明是控制反应堆部件制造工艺的安全基准。ASME 规范为不同安全等级的部件给出了相关安全准则。尽管 ASME 中并没有专门适用于运输容器的章节，但在过去 40 年，运输容器制造业已广泛应用 ASME 规范来控制容器的制造安全。

该导则列出了运输容器制造过程中重要的步骤和相对应的标准来源。尽管 ASME 主要用于钢制压力容器的制造，但其标准中针对材料、成型、热处理、检测和力学试验的控制均可运用到运输容器的制造过程。该导则中部分制造工艺是由私有行业惯例所控制，而不是由标准来管理的。该导则也对现有行业法规标准中尚未完全涵盖的重要制造工艺来制定相关准则要求。

该导则用于放射性物品运输容器的金属部件的制造准则是基于 ASME 规范形成的。要求持有相应 ASME 章节有效钢印的制造厂执行运输容器制造任务，是确保容器满足准则要求的有效手段。运输容器无需打钢印。制造商拥有第 III 卷 NB、ND 或 NF 分卷授权证书，等同于被授权了第 VIII 卷的制造部分，不再要求其持有第 VIII 卷的授权证书。

综合上述分析，本标准是服务于《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）配套的技术准则，其制定是基于 GB 11806-2019 对放射性物品运输容器的要求，同时参考了美国核管会（NRC）管理导则 NUREG/CR 3854《运输容器制造标准》。经调研，目前国际主流乏燃料运输容器均采用 NUREG/CR 3854 作为乏燃料运输容器制造要求的指导准则。我国 GB 11806-2019 中对容器的相关要求与 IAEA SSR-6 基本保持一致，且国际上主要核国家对放射性物品运输的技术要求均与 SSR-6 要求一致。所以基于 GB

11806-2019 的要求，并在 NUREG/CR 3854 的基础上制定满足我国及国际广泛可接纳的相关标准是可行的。

4. 标准制定的基本原则和技术路线

本次制定时遵循如下原则及技术路线：

(1) 本标准的制定遵循原国家质量技术监督局发布的《采用国际标准管理办法》(2001 年 12 月国家质量技术监督局令第 10 号)、《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写规则》(GB/T 1.1-2009)、《标准化工作指南 第 2 部分：采用国际标准》(GB/T 20000.2-2009) 及其它标准的相关要求。

(2) 根据《采用国际标准管理办法》(2001 年 12 月国家质量技术监督局令第 10 号)和、《标准化工作指南 第 2 部分：采用国际标准》(GB/T 20000.2-2009) 的规定，标准制定采用美国核管会 (NRC) NUREG/CR 3854 《运输容器制造标准》，即技术上与其基本一致，但结构及内容上有调整。

(3) 本标准制定相关条款与现已生效的其他相关标准之间保持一致。

(4) 具有普遍性和可操作性，易于推广使用。

5. 标准主要技术内容

5.1 范围

本标准适用于钢制乏燃料运输容器。针对主体为碳钢材料的乏燃料运输容器，其制造准则原则上可以采用本标准中的相关要求，但同时应考虑低温断裂韧性等附加要求。此外，对于总活度超过 $3000A_1/A_2$ 或 $30000Ci$ 的放射性物品货包，其制造准则原则上可参照本标准相关内容。

5.2 规范性引用文件

GB11806-2019《放射性物品安全运输规程》，该标准于 2019 年 2 月 15 日发布，2019 年 4 月 1 日实施，同时老版本废止。为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《中华人民共和国核安全法》和《放射性物品运输安全管理条例》，防治放射性污染，改善环境质量，规范放射性物品运输管理工作，制定该标准。

5.3 术语和符号

标准制定中的术语和符号说明如下：

(1) “包容边界”，GB 11806-2019 中的 3.22 包容系统定义“由设计单位确定的用于运输期间包容放射性物品的包装部件的组合物”。本标准通过融合 GB 11806 及 The

Radioactive Materials Packing Handbook 中的定义，“在运输过程中，用于包容放射性物品的包装部件的组合体，是防止放射性物品漏失或弥散的物理屏障。例如乏燃料运输容器的包容边界一般包括：内筒体、一次密封盖、贯穿件密封盖和连接螺栓等。”对包容边界进行定义。

(2) “临界安全相关部件”定义 NUREG/CR 3854 中的分类，将包容边界以外的结构分为临界安全相关部件及其它安全相关部件。为了对容器的结构分析及其准则提供更细化的依据，临界安全相关部件指的是在运输过程中，对容器临界安全可产生影响的除包容边界以外的部件，例如乏燃料运输容器的临界安全相关部件一般包括吊篮等，以使得本标准中所定义的准则更为细化。

(3) “其他安全相关部件”定义源于 NUREG/CR 3854 中的分类，除包容边界和临界安全相关部件以外，实现运输容器其他安全相关功能的所有部件，例如 γ 和中子屏蔽部件、二次密封结构及其螺栓、减震器及其螺栓、提升装置（提升耳轴）、栓系结构等。

5.4 总则

根据乏燃料运输容器的监管方式，提出对制造厂的资质要求。

应对容器采取严格的质保管理措施，制定质保大纲并有效实施，对容器的质量活动进行有效控制，容器应按国务院 562 号令相关要求对容器进行编码以便对容器的全生命周期进行有效管理。

5.5 材料

(1) 5.1 规定了材料的通用要求。

(2) 5.2.1 材料应按相应标准的规定以性能热处理状态交货。

(3) 5.2.2 对于奥氏体不锈钢材料，应在固溶处理后应进行酸洗、钝化处理。在制造过程中，除焊接操作外，材料不得加热至 427°C 以上。对于碳钢和合金钢部件，如果在后续加工制造过程中经受消除应力热处理，还应考核模拟消除应力热处理后的性能。

(4) 5.2.3 材料的化学成分要求应符合相应标准的规定。对于包容边界和临界安全相关部件材料，每熔炼炉进行熔炼分析，每批进行成品分析。

(5) 5.2.4 对于包容边界和临界安全相关部件材料，规定了材料的力学性能应按批进行检查和验收。对于包容边界和临界安全相关部件材料，当订货合同有要求时，材料按规定温度进行高温拉伸试验。对需进行冲击试验的材料，冲击试验的试验温度和验收要

求，按订货合同的规定执行。

(6) 5.2.5 材料重新热处理后，应重新进行除化学成分和非金属夹杂物检验外的所有检验和试验，重新热处理仅进行一次。

(7) 5.2.6 金相检验，因设备所涉及的材料较多，在本标准中没有规定具体的检验要求，具体需按订货合同的规定执行。

(8) 5.2.7 规定了表面质量检查的通用要求。

(9) 5.2.8 对材料的无损检测，采用按 ASME 相应标准转化的 NB/T 20328 系列标准或其他等效标准的要求进行。

(10) 5.3.1 规定了选用中子吸收材料的原则性要求。

(11) 5.3.2 规定了选用中子屏蔽材料的原则性要求。

(12) 5.3.4 规定了选用 O 型密封圈的原则性要求。

(13) 5.3.5 规定了选用减震材料的原则性要求。

(14) 5.4 材料的复验应满足设计文件的要求。

5.6 成形与组装

本节中的相关要求是结合 GB 150 中对压力容器制造的相关要求，以及 NUREG/CR 3854 中 3.3 节的相关要求提出，用以协助制造厂在制造过程中避免出现相关加工问题。

屏蔽层制造要求部分的相关要求是结合 NUREG/CR 3854 的 3.1.1 中相关要求，以及以往实际容器产品中的经验一并提出。

5.7 焊接与无损检验

焊接整体上遵守自 ASME 转化的压水堆核电厂焊接另一规范 NB/T 20450。

其中对于焊接材料，增加了批次要求，提高了焊接材料的质量可靠性。另外，对于高温要求、断裂要求、耐腐蚀要求对制造单位做出了提示说明。

对于焊接和无损检测人员，要求持有 HAF 资质，即考虑一般情况下，制造运输容器的单位应具备制造核承压容器资质。

对于焊接工艺评定，提出了有硬度要求时，工艺评定覆盖范围应按评定试件线能量控制下限，并对不同运输容器的母材可能的设计性能要求在工艺评定中的试验项目进行强调说明。另外，对定位焊进行了特殊质量控制。

产品焊接执行 A 类接头相应的焊接要求，并对奥氏体不锈钢的背面氧化、腐蚀、返修进行了补充规定。

对于运输容器的无损检测，补充了详细的目视检验要求，同时对于奥氏体不锈钢焊接接头的超声检验提出了对比试块制作的明确要求。

对于运输容器，为了验证力学性能满足设计要求，制定了产品见证件要求。

5.8 验收试验

验收试验主要是为了验证容器的相关安全性能是否达到设计要求。各相关试验都是结合国内外相关容器的试验要求提出。本部分所提出的试验要求对容器验收来说是不可或缺的，必须严格按照要求执行相关试验。

5.9 容器出厂要求

容器的出厂资料对其全生命周期的管理具有重要影响，需严格按本标准中的要求执行。产品铭牌是依据容器自有特点，及相关制造经验进行制定，实际执行中原则上不应少于本标准的要求。

6. 与国内外同类标准或技术法规的水平对比和分析

本标准是与《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）配套的技术准则，其制定是基于 GB 11806-2019 对放射性物品运输容器的结构要求，同时参考了美国核管会（NRC）管理导则 NUREG/CR 3854《运输容器制造标准》，其技术内容涵盖范围较所采用的国际标准更为广泛。

7. 实施本标准的管理措施、技术措施、实施方案建议

本标准的制定，是为了填补我国乏燃料运输容器制造相关要求准则的空白。本标准可以为乏燃料运输容器的设计方、评审方、制造方以及使用方提供相应的指导依据，为所设计及制造的乏燃料运输容器能更好的满足我国相关法规及标准要求提供技术支持。

乏燃料运输容器制造技术的相关标准，应当征求国家安全局及其主要审评支持单位、核工业行业主管部门、相关业主、设计及制造单位的意见。