

放射性物品分类方法研究

詹乐昌¹ 包捷¹ 郝慧杰¹ 洪哲²

1(中机生产力促进中心有限公司 北京 100044)

2(中国宝原投资有限公司 北京 100143)

摘要 放射性物品种类繁多,不同放射性物品的特性和潜在环境风险不同,国内对放射性物品进行分类管理,并且制定了《放射性物品分类与名录(试行)》。为优化国内放射性物品分类,本文调研了国内外放射性物品分类现状以及分类的依据,总结了分类依据的主要差异,剖析了国内放射性物品分类及其依据中存在的问题,提出解决问题的思路和建议:一是删除放射性物品分类中放射源、放射性废物等列举事项;二是修订分类与目录,不同分类放射性物品对应的联合国编号唯一,与国际保持一致。本文为《放射性物品运输安全管理条例》及《放射性物品分类与名录(试行)》修订提供了参考。

关键词 放射性物品, 分类, 货包, 运输安全

中图分类号 TL932

DOI: 10.11889/j.0253-3219.2023.hjs.46.010006

Research on methodology of radioactive materials

ZHAN Lechang¹ BAO Jie¹ HAO Huijie¹ HONG Zhe²

1(China Productivity Center for Machinery Co., Ltd., Beijing 100044, China)

2(China Baoyuan Investment Co., Ltd., Beijing 100143, China)

Abstract As a wide variety of radioactive materials with different characteristics and potential environmental risks existed, the domestic classification of radioactive items management was made, and *The Classification and List of radioactive materials (Trial)* was formulated. In order to optimize the classification of radioactive materials in China, the current situation of the classification of radioactive materials and classification basis at home and abroad were investigated. The main differences of classification basis were summarized and followed by analysis of problems existing in the classification of radioactive materials in China. New ideas and suggestions to solving the problems was put forward. First, the enumeration items such as radioactive sources and radioactive wastes in the classification of radioactive materials needs to be deleted. Second, the Classification and List is suggested to be revised by adopting the United Nation (UN) Number corresponding to different classifications of radioactive material which is unique and consistent with the international. Finally, a reference for the revision of *The Regulations on the Safety Management of The Transportation of Radioactive Materials* and *The Classification and List of radioactive materials (Trial)* is provided.

Key words Radioactive materials, Classification, Packages, Transportation safety

国际原子能机构(International Atomic Energy Agency, IAEA)《放射性物质安全运输条例》(SSR-6)^[1]为从极低活度的铀钍矿石到高活度的核乏燃料和高放射性废物等放射性物品的运输提供了一个国

际通用的管理框架,并通过一系列技术和管理的安
全要求与控制措施涵盖安全运输的所有方面,包括
对托运人和承运人的要求。该文件根据内容物的危
险性,规定了涵盖标准商用包装(对低危险内容物)

第一作者:詹乐昌,男,1986年出生,2011年于大连理工大学获硕士学位,研究领域为放射性物品运输、核设备结构强度等

收稿日期:2022-09-15,修回日期:2022-12-22

First author: ZHAN Lechang, male, born in 1986, graduated from Dalian University of Technology with a master's degree in 2011, focusing on transportation of radioactive materials and structural strength of nuclear equipment

Received date: 2022-09-15, revised date: 2022-12-22

至有严格设计和性能要求的B型和C型货包的安全要求。

《放射性物品安全运输规程》(GB11806—2019)^[2]等效采用了IAEA SSR-6,将放射性物品定义为:在托运货物中任何含有放射性核素且活度浓度和放射性总活度都超过规定值的物品。

《放射性物品运输安全管理条例》(国务院令 562号,简称《条例》)^[3]规定了放射性物品运输的分类管理制度。主要原因是放射性物品种类繁多,不同放射性物品的特性和潜在环境风险不同,只有通过分类管理,才能实现科学、高效的监管。《条例》实施以来,有效规范了国内放射性物品运输活动,提高了放射性物品运输活动的整体安全水平。但是实践发现存在少量货包监管与国际不一致、放射性药品所属类别模糊、放射性废物分类与低比活度放射性物品不对应等问题。

放射性物品运输是一项重要的国际性活动,本文在深入研究国内外放射性运输分类管理的基础上,提出了一套科学严谨的放射性物品分类方法的建议。

1 国内外放射性物品分类管理情况

1.1 放射性物品分类

IAEA没有对所有放射性物质进行系统性分类,放射性物质主要包括:低比活度物质、表面污染物体、特殊形式放射性物质、低弥散放射性物质、易裂变材料和六氟化铀等。对于其中部分放射性物质(例如低比活度物质)进一步划分为:I类、II类和III类低比活度物质。从放射性物品的定义来看,常见的放射性物品只有两类,分别按照总活度定义(例如 7.4×10^{14} Bq ^{60}Co 放射源)和活度浓度定义(例如低比活度放射性物品 ^{235}U 初始铀富集度不超过4.5%的新燃料)。

美国核管会(Nuclear Regulatory Commission, NRC) *Packaging and Transportation of Radioactive Material*^[4](10CFR PART 71)对放射性物品、包装和运输活动提出了监管要求,除了试验条件初始温度(-29~38 °C)、个别试验项目外,其主要内容与IAEA SSR-6基本相同^[5]。

欧洲国家关于放射性物品运输管理直接采用IAEA SSR-6,同时还遵循以下国际法规或协定:1)《国际公路运输危险品协定》(Autorisation Dangerous Road, ADR);2)《国际铁路运输危险品规程》(The Regulation concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail, RID);3)《国际

空运危险品技术规章》(Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air, TI);4)《国际海运危险货物规则》(International Maritime Dangerous Goods Code, IMDG CODE)等。主要通过国内法规、行政命令等方式进行规定并在具体指南中予以落实,例如英国核监管办公室(Office for Nuclear Regulation, ONR)《运输许可指南》(TRAPER-GD-014 Rev.3)、法国核安全局(Autorité de sûreté nucléaire, ASN)《运输许可和批准》(ASN GUIDE No.7)等。

《条例》根据放射性物品的特性和危害程度,可将其分为一类、二类、三类放射性物品。一类放射性物品,是指I类放射源、高水平放射性废物、乏燃料等释放到环境后对人体健康和环境产生重大辐射影响的放射性物品。二类放射性物品,是指II类和III类放射源、中等水平放射性废物等释放到环境后对人体健康和环境产生一般辐射影响的放射性物品。三类放射性物品,是指IV类和V类放射源、低水平放射性废物、放射性药品等释放到环境后对人体健康和环境产生较小辐射影响的放射性物品。

1.2 货包分类

为方便放射性物品运输,国际采用统一的货包分类,《放射性物品安全运输规程》(GB 11806—2019)根据放射性内容物的特性、活度水平、比活度等,将货包分为:例外货包、工业货包、A型货包、B型货包和C型货包,此外还有易裂变货包和六氟化铀货包。其中工业货包进一步分为1型工业货包(IP-1)、2型工业货包(IP-2)和型工业货包(IP-3);B型货包分为B(U)型货包和B(M)型货包。

国内对一类放射性物品运输容器设计、制造和进口使用进行审批管理;国际上对B型、C型货包、易裂变货包以及六氟化铀货包的设计进行审批管理。

1.3 运输活动监管

国际上对于放射性物品运输活动的监管主要基于危险品运输管理,对于每种专用货运名称都有其对应的联合国编号,表1将联合国编号进行梳理,分成了三种情况。国际上对于放射性运输活动的核与辐射安全监管主要以监督为主;其中特殊安排的运输需要审批,总装载活度大($3\ 000A_1$ 与 A_2 ,或者 $1\ 000\ \text{TBq}$ 以上)的运输需要提前通知,类似于备案。

国内放射性物品运输涉及交通、公安、核与辐射安全等多个监管部门。对放射性物品运输活动的分类管理主要体现在核与辐射安全的监管上,一类放射性物品运输的核与辐射安全分析报告书需要取得

国家核安全局批准。此外，公安对于不同放射性物品运输活动的批准部门也有不同，根据《核安全法》，运输乏燃料或者高水平放射性废物的，应当报国务

院公安部门批准；通过道路运输其他放射性物品的，托运人应当报启运地县级以上人民政府公安机关批准。

表1 联合国编号分配情况
Table 1 The allocation of United Nations Numbers

类型 Type	名称 Name	联合国编码 UN Number
放射性物品 Radioactive material	低比活度放射性物品 Low specific activity material	UN2912、UN3321、UN3322、UN3323、UN3325
	表面污染物体 Surface contaminated object	UN2913、UN3326
	六氟化铀 Uranium hexafluoride	UN2977、UN2978
货包 Package	例外货包 Excepted package	UN2908、UN2909、UN2910、UN2911、UN3507
	A型货包 Type A package	UN2915、UN3327、UN3332、UN3333
	B型货包 Type B package	UN2916、UN3328、UN2917、UN3329
	C型货包 Type C package	UN3323、UN3330
运输 Transportation	特殊安排 Special arrangement	UN2919、UN3331

2 实施过程中存在的主要问题

2.1 分类原则差异

2.1.1 货包分类原则

国际原子能机构对于A型货包分类主要基于 A_1 与 A_2 值，将其作为放射性核素的基本值，IAEA技术文件 *Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material*^[6] (SSG-26)附录I“计算和应用 A_1 与 A_2 值的Q体系”说明了确定该值的基础，即考虑5种照射途径造成的剂量值(Q值)，每种途径均可能导致在发生严重运输事故时使A型货包附近的人员受到内外照射。而 A_1 与 A_2 值是相关照射途径的最小值。在确定Q值时考虑了以下假设条件基准：

1)在货包附近因事故受照人员的有效剂量或待积有效剂量不应超过50 mSv的参考剂量。

2)事故所涉人员的单个器官(包括皮肤)所受的剂量或待积当量剂量不应超过0.5 Sv；对于眼睛晶状体这种特殊情况下，不应超过0.15 Sv。

3)人员在距离受损货包1 m处停留时间超过30 min的概率非常低。

2.1.2 放射源和放射性废物分类原则

《条例》放射性物品分类中明确了I、II、III、IV和V类放射源以及高、中、低放射性废物的归属，但是放射源和放射性废物分类基准却与上述A值的确定大不相同。

根据《放射源分类办法》^[7]，该分类主要考虑在没有防护情况下，接触后的死亡时间、永久性损伤时间或临时性损伤等，例如：I类放射源为极高危险源，没有防护情况下，接触这类源几分钟到1 h就可致人死亡。A值考虑的50 mSv为年度工作人员剂量限

制，而不是死亡的概念。

《放射性废物分类》^[8]规定其分类体系的基本原则，是以实现放射性废物的最终安全处置为目标，根据各类废物的潜在危害以及处置时所需的包容和隔离程度进行分类，并使废物的类别与处置方式相关联，确保废物处置的长期安全。

2.2 实施过程中存在的主要问题

2.2.1 部分放射源货包的管理与国际不一致

假设某特殊形式放射源的活度为其核素对应的 A_1 值，将该值与《放射源分类办法》中的59种核素进行放射源分类限值对比发现，其中：有一种属于I类放射源，33种属于II类放射源，6种属于III类放射源，19种属于IV类放射源。表2给出了上述情况的几种核素示例，根据GB11806的规定，对于特殊形式放射性物品，A型货包装载放射性活度不超过其 A_1 值，从表2中可以看出：

1)存在I类放射源却使用A型货包的极端情况，例如 4×10^{13} Bq的²⁴²Cm，属于I类放射源。

2)存在属于II类、III类和IV类放射源的，但是却大于 A_1 值的情况，例如特殊形式密封源活度为 8×10^{11} Bq的⁶⁰Co、 1×10^{12} Bq的⁹⁹Mo和 5×10^{13} Bq的⁵⁵Fe。这就导致放射性物品对应货包的管理上与国际不一致。

美国NRC 10CFR71和IAEA SSR-6规定对于大于A值的放射性物品应采用B型包装，同时B型货包应该进行审批管理；但是条例规定二类放射性物品运输容器设计进行备案管理，三类放射性物品设计存档备查。

国内对于上述情况的放射性物品运输容器的监管不严格。

表2 几种核素放射源分类限值及 A_1 值对比
Table 2 Comparison of classification limits and A_1 values of several radionuclide radioactive sources

核素 Radionuclide	I类源 Type I radioactive source / Bq	II类源 Type II radioactive source / Bq	III类源 Type III radioactive source / Bq	IV类源 Type IV radioactive source / Bq	V类源 Type V radioactive source / Bq	A_1 / Bq
^{242}Cm	$\geq 4 \times 10^{13}$	$\geq 4 \times 10^{11}$	$\geq 4 \times 10^{10}$	$\geq 4 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^5$	4×10^{13}
^{60}Co	$\geq 3 \times 10^{13}$	$\geq 3 \times 10^{11}$	$\geq 3 \times 10^{10}$	$\geq 3 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^5$	4×10^{11}
^{99}Mo	$\geq 3 \times 10^{14}$	$\geq 3 \times 10^{12}$	$\geq 3 \times 10^{11}$	$\geq 3 \times 10^9$	$\geq 1 \times 10^6$	1×10^{12}
^{55}Fe	$\geq 8 \times 10^{17}$	$\geq 8 \times 10^{15}$	$\geq 8 \times 10^{14}$	$\geq 8 \times 10^{12}$	$\geq 1 \times 10^6$	4×10^{13}

2.2.2 部分放射性物品所属类别较为模糊

以放射性药品为例,根据《中华人民共和国药典》^[9]目前我国放射性药品有30种,主要有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射液、碘-131口服液、碘-125密封籽源、碘-125放免药盒、氟-18注射液、氯化锝注射液、碳-14呼吸药盒、磷-32注射液等。涉及的核素为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl 、 ^{18}F 、 ^{133}Xe 、 ^{51}Cr 、 ^{125}I 、 ^{14}C 、 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 和 ^{32}P ,共12种核素,除 ^{14}C 外,其余核素的半衰期均小于60 d。运输放射性药品的货包为UN2910的例外货包或UN2915的A型货包。

根据《放射性物品运输安全管理条例》第三条,放射性药品属于第三类放射性物品;但是在《放射性物品分类与名录(试行)》^[10]表1的三类放射性物品中,没有与放射性药品对应的名录,其中对应的A型货包与例外货包是VI类和V类放射源,而放射性药品不属于放射源。

2.2.3 部分放射性物品不能对应

《放射性废物分类》规定中水平放射性废物的活度浓度下限值为低水平放射性废物活度浓度上限值,中水平放射性废物的活度浓度上限值为 $4 \times 10^{11} \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$,且释热率小于或等于 $2 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-3}$ 。放射性废物运输分类方法研究^[11]进行了具体说明。

《放射性物品分类与名录(试行)》并未对中水平放射性废物进行举例,根据表中二类放射性物品类别,其对应为非易裂变或例外易裂变的III类低比活度放射性物品(非独家使用)或者非易裂变或例外易裂变的II类低比活度放射性物品(液体非独家使用),根据GB11806,这两种的限值分别为 $2 \times 10^{-3} \text{ g}^{-1}$ 、 $1 \times 10^{-5} \text{ g}^{-1}$ 与其核素对应 A_2 值的乘积,这两个值随核素而不同,与上述规定的 $4 \times 10^{11} \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ 显然不对应。

2.2.4 部分重要放射性物品未列举全

条例规定一类放射性物品,是指I类放射源、高水平放射性废物、乏燃料等释放到环境后对人体健康和环境产生重大辐射影响的放射性物品。但是实际上易裂变材料制成的相关物品例如核电厂反应堆新燃料、燃料芯块等放射性物品属于一类放射性物

品,但是在条例的表述中并未举例列出;同时这类物品的放射性活度较低,与I类放射源、高水平放射性废物、乏燃料相比,不会对人体健康和环境产生重大辐射影响,是从核临界安全的角度考虑。

2.2.5 空货包运输管理有待加强

GB11806规定盛装过放射性物品的空货包可归类为例外货包,同时提出了附加要求,如例外货包外表面任一点的辐射水平不得超过 $5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 等。对于盛装过密封源、核电厂新燃料组件等密封封装放射性物品的货包,这类空货包的运输基本能够满足标准要求;对于盛装过六氟化铀、中高放射性废液以及乏燃料运输的货包,内容物卸载后能否被定义为空货包,则要进行测量论证,包括要求:残留的六氟化铀质量小于0.1 kg,内部非固定污染水平未超过以下表面污染限值:1)对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体为 $400 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$;2)对所有其他 α 发射体为 $40 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

《放射性物品运输安全监督管理办法》要求启运地的省、自治区、直辖市生态环境主管部门对三类放射性物品的运输,可以根据实际情况实施抽查,原则上检查频次每年不少于一次。对于盛装过六氟化铀、中高放射性废液以及乏燃料运输的空货包,启运地监管部门可以进一步加强监督监测,确保空货包满足标准的要求,而被划分为三类放射性物品进行运输。否则的话应进一步进行清洗或者按照其他类型货包进行运输。

3 分类管理建议

1)建议在条例修订时删除放射性物品分类中放射性物品的举例。

造成上述问题的主要原因,是条例在对放射性物品分类定义时,对部分放射性物品进行了举例,而列举放射性物品的分类原则与国际放射性物品货包分类原则不一致,建议删除放射源、放射性废物等描述。

将条例第三条第二、三和四款修订为:一类放射性物品,是指有易裂变特性或释放到环境后对人体

健康和环境产生重大辐射影响的放射性物品；二类放射性物品，是指等释放到环境后对人体健康和环境产生一般辐射影响的放射性物品。三类放射性物品，是指释放到环境后对人体健康和环境产生较小辐射影响的放射性物品。

2) 建议修订《放射性物品分类与名录》，确保货

包的监管尽可能与国际保持一致。

表3给出了新放射性物品分类与名录框架建议，主要优点如下：a) 货包的设计审批与国际一致，都是对B型以上及易裂变货包进行审批；b) 联合国编号唯一，没有以前的分类与名录出现的交叉情况；c) 所有的放射性物品类别清晰明确，不存在歧义。

表3 放射性物品分类框架
Table 3 Classification framework of radioactive material

分类 Classification	货包 Package	放射性物品 Radioactive material	联合国编号 UN Number
一类 Type I	B型货包 Type B package	大于 A_1 与 A_2 的放射性物品 Radioactive material greater than A_1 and A_2	UN2916、UN2917
	C型货包 Type C package	大于 $3\ 000A_1$ 或 10^5A_2 (特殊形式)、 A_2 (非特殊形式) Greater than $3\ 000A_1$ or 10^5A_2 for special form radioactive material; greater than $3\ 000A_1$ for nonspecial form radioactive material	UN3323
	易裂变货包 (AF、IF、B(U)F、B(M)F、CF) Fissile package (AF, IF, B(U) F, B (M) F, CF)	易裂变放射性物品、易裂变II/III类低比活度放射性物品、特殊安排运输的易裂变放射性物品、易裂变六氟化铀 Fissile radioactive material, fissile group II/III low specific activity radioactive material, fissile radioactive material transported under special arrangements, fissile uranium hexafluoride	UN2977、UN3324、UN3325、UN3326、UN3327、UN3328、UN3329、UN3330、UN3331、UN3333
	六氟化铀 Uranium hexafluoride	大于或等于0.1 kg的六氟化铀 Uranium hexafluoride greater than or equal to 0.1 kg	UN2978
	特殊安排 Special arrangement	需要特殊安排装运的放射性物品 Radioactive materials requiring special arrangements for shipment	UN2919
	二类 Type II	A型货包 Type A package	小于或等于 A_1 与 A_2 值的放射性物品 Radioactive material less than or equal to A_1 and A_2
2型工业货包、3型工业货包 Industrial package Type 2; industrial package Type 3		II类低比活度放射性物品 Group II of low specific activity radioactive material	UN3321
2型工业货包、3型工业货包 Industrial package Type 2; industrial package Type 3		III类低比活度放射性物品 Group III low specific activity radioactive material	UN3322
三类 Type III		有限量的放射性物品、小于0.1 kg的六氟化铀、天然铀或贫化铀或天然钍的制品、含有放射性物质的仪器或制品等 Radioactive material in limited quantities, less than 0.1 kg of uranium hexafluoride, natural uranium, depleted uranium or natural thorium, radioactive material which is enclosed in or is included as a component part of an instrument or other manufactured article	UN2908、UN2909、UN2910、UN2911、UN3507
三类 Type III	例外货包 Type III		
	1型工业货包、2型工业货包 Industrial package Type 1; industrial package Type 2	I类低比活度放射性物品 Group I low specific activity radioactive material	UN2912
	1型工业货包、2型工业货包 Industrial package Type 1; industrial package Type 2	I、II类放射性表面污染 Group I and II of the surface contaminated object	UN2913

3) 建议结合中国放射性物品运输实际，考虑简政放权或部分豁免。

《条例》规定的分类管理，实际上主要由核与辐

射安全监管机构实施，尤其是对放射性物品运输容器的审批及备案制度，其中一类放射性物品运输容器制造许可制度与美国、欧洲等国家监管不同。

目前国内一类放射性物品运输容器制造许可证除了对制造厂核质保体系、厂房、设备等能力有要求外,还对焊接和无损检验人员有资格要求,用于运输工业探伤源的探伤机属于B型货包,国内探伤机制造单位在人员资质方面尚有差距,值得注意的是探伤机的制造工艺主要是成型和机加工等,主要依靠栓接,焊接很少,屏蔽材料主要是贫化铀,不需要灌铅,只是按照图纸要求进行采购。按照本文提出的新分类与名录后,探伤机设计将与国际保持一致进行审批管理,但是制造在人员资质方面可能无法完全满足要求。建议对于探伤机的制造,要求按照《核电厂质量保证安全规定》(HAF003)^[12]建立核质保体系即可,基于探伤机几十年的使用经验和质量,不要要求核级焊工和无损检验人员资质。

对于放射性药品,分类与名录修订后,一部分属于二类,一部分属于三类,但是没有降低运输容器的技术要求,只是在核与辐射安全监管上有一定差异,总体来说影响不大。对于放射性药品制约的主要在公安与交通部门的监管上,建议上述监管部门结合放射性药品衰变期短、事关国家民生,配送受到危险品运输限行等特点,对二类、三类的运输实施分类管理,豁免放射性药品的运输相关审批,而以监督为主。

4 结语

本文对国内外放射性物品及货包的分类进行了研究,梳理了国内放射性物品运输安全分类管理情况,对比了国际放射性货包分类基准限值的确定原则与放射源和放射性废物分类的区别,总结了目前放射性物品分类管理存在的主要问题,并给出了放射性物品运输安全管理条例及放射性物品分类与名录修订建议。主要结论如下:

1)《放射性物品运输安全管理条例》放射性物品分类中列举了如放射源、放射性废物等,导致部分放射性物品货包的监管与国际不一致,不利于放射性物品运输活动国际化。建议在条例修订时予以删除,并考虑对易裂变材料进行了适应性描述。

2)针对原分类导致的不同类放射性物品出现联合国编号交叉、部分放射性物品类别清晰模糊等问题,给出了新的放射性物品分类与名录框架,与国际保持了一致性,解决了上述问题。

3)针对工业探伤源、放射性药品等运输安全监管,给出了管理见解和建议。

作者贡献声明 詹乐昌:负责放射性物品分类方法的总体研究、设计、提出解决问题的思路和建议,以及文章的起草和最终版本的修订;包捷:负责国内外

放射性物品分类相关法规文献调研;郝慧杰:负责梳理放射性物品运输存在的主要问题;洪哲:负责提出解决放射性物品分类问题的合理化建议。

参考文献

- IAEA. Regulations for the safe transport of radioactive material: SSR-6[S]. 2018.
- 中国环境出版社. 放射性物品安全运输规程: GB11806—2019[S]. 2019.
Chinese Environmental Publisher. Regulations for the safe transport of radioactive material: GB11806—2019 [S]. 2019.
- 中华人民共和国国务院令 第562号. 放射性物品运输安全管理条例[S]. 2010.
The State Council Decree No. 562. Regulations on supervision and control of safe transport of radioactive material[S]. 2010.
- The U.S. Nuclear Regulatory Commission. Packaging and transportation of radioactive material: 10CFR PART 71 [S]. 2004.
- 李海龙, 孙造占, 孙树海, 等. 放射性物质运输容器的跌落冲击分析方法[J]. 核技术, 2013, 36(4): 040665. DOI: 10.11889/j.0253-3219.2013.hjs.36.040665.
LI Hailong, SUN Zaozhan, SUN Shuhai, *et al.* Drop impact analysis method of radioactive material container [J]. Nuclear Techniques, 2013, 36(4): 040665. DOI: 10.11889/j.0253-3219.2013.hjs.36.040665.
- IAEA. Advisory material for the IAEA regulations for the safe transport of radioactive material: SSG-26[S]. 2012.
- 国家环保总局公告 2005 年第 62 号. 关于发布放射源分类办法的公告[S]. 2005.12.28.
Announcement No.62 of 2005 of the State Environmental Protection Administration. Announcement on publication of classification of radioactive sources[S]. 2005.12.28.
- 环境保护部, 工业和信息化部, 国家国防科技工业局公告. 关于发布《放射性废物分类》的公告: 2017 年 第 65 号[S]. 2017.11.13.
Ministry of Environmental Protection, Ministry of Industry and Information Technology, Administration of Science, Technology and Industry for National Defence. Announcement on the publication of the Classification of Radioactive Waste: No.65 of 2017[S]. 2017.11.13.
- 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China[M]. Beijing: China

- Medical Science and Technology Publisher, 2015.
- 10 环境保护部公告2010年第31号. 关于发布《放射性物品分类和名录》(试行)的公告[S]. 2010.3.4.
Announcement No. 31 of 2010 of Ministry of Environmental Protection. Announcement on the publication of the classification and list of radioactive materials (Trial)[S]. 2010.3.4.
- 11 李晓范, 翟健, 王安. 放射性废物运输分类方法研究[J]. 中国核电, 2020, **13**(5): 705-713.
- LI Xiaofan, ZHAI Jian, WANG An. Study on classification method of radioactive waste transportation [J]. China Nuclear Power, 2020, **13**(5): 705-713.
- 12 国家核安全局令第1号. 核电厂质量保证安全规定[S]. 1991.
The Decree No. 1 of National Nuclear Safety Administration. Safety regulations for quality assurance of nuclear power plants[S]. 1991.