我国稀土国家标准物质/标准样品体系现状及发展建议

张 昊,张秀艳,于晶雪,刘 威,任旭东*,李志强*

(包头稀土研究院,内蒙古 包头 014030)

摘 要:标准物质/标准样品是测试领域量值溯源和质量监控必不可缺的实物标准。为更好了解稀土标准物质/标准样品的发展现状,引导构建完善的稀土标准物质/标准样品体系,进而服务产业高质量发展,本文从种类、数量、研发领域及研发机构等方面,对我国稀土国家标准物质/标准样品的发展情况进行整理与分析。截至 2024 年 1 月,我国已研制稀土国家标准物质/标准样品合计 197 项,覆盖钢铁、有色金属等 9 个领域,参与研发机构 40 余家,其中稀土矿、矿产品与富集物类 28 项、稀土金属与化合物(分离与冶炼产品)类 29 项、稀土合金类 6 项、稀土功能材料类 17 项、稀土应用产品类 21 项、稀土可回收物料类 3 项及其他含稀土类 93 项。本文针对我国稀土国家标准物质/标准样品存在种类覆盖度低、系列化程度小和定值元素少的问题,提出未来发展建议:一是针对已有磁致伸缩材料、稀土高分子助剂、稀土镍合金、稀土锌合金等稀土功能材料进行国家标准物质/标准样品的补充研制,跟踪稀土新材料及应用材料研发进展,及时研制相应国家标准物质/标准样品以支撑稀土新材料及应用产品的快速发展;二是对按化学成分配比不同形成系列牌号的稀土产品,制备未覆盖牌号的国家标准物质/标准样品,实现产品质量溯源全覆盖;三是就现有稀土矿产品、稀土金属与化合物等原料型产品来研制含非稀土元素定值数据的国家标准物质/标准样品,旨在满足下游产品的差异化需求。

关键词:稀土;标准样品;标准物质;量值溯源;发展现状

中图分类号:F203; TG146.4^{+}5 **文献标识码**:A **文章编号**:1004-0277(2025)05-0135-24

在航空、航天等尖端技术领域的应用上,稀土不可或缺,在家电、照明及显示、机械及自动化、人工智能、发电及储能、催化裂化等行业领域中其应用广泛[1]。我国是全球重要的稀土资源地、生产地、应用地、贸易地、科研地,标准化是产业高质量发展的重要支撑。国家标准物质/标准样品是检测领域保障和验证测定结果准确性重要量值的溯源标准[2~5]。因此,标准物质/标准样品体系的建立和完善,是行业发展中质量保障的必然要求。本文基于国家标准物质资源共享平台[6]和全国标准信息

收稿日期:2024-12-06
基金项目:国家重点研发计划项目(2021YFC2903100)
作者简介:张 昊(1998-),女,山东潍坊人,硕士,主要从事冶金分析研究,E-mail: zhanghaonefuer@163.com
*通信作者:任旭东,高级工程师,E-mail: a25341537@163.com;李志强,高级工程师,E-mail: 13848627086@126.com
DOI:10.3724/S1004-0277.20250004

公共服务平台[7],整理分析了 2024 年 1 月前定值含稀土元素的国家标准物质/标准样品情况。通过分析已有国家稀土标准物质/标准样品的种类、数量、定值元素、研发领域及研发机构等情况,发现当前我国稀土国家标准物质/标准样品发展仍存在种类覆盖度低、系列化程度小和定值元素种类少等问题。本文建议积极研发如独居石矿、磷钇矿、褐钇铌矿等稀土矿产品或精矿国家标准物质/标准样品,离子型稀土矿混合稀土氧化物、高钇混合稀土氧化物等稀土富集物国家标准物质/标准样品,镨钕金属、氯化稀土、硫酸稀土等稀土金属与化合物国家标准物质/标准样品,磁致伸缩材料、稀土超导材料、稀土磁致冷材料等稀土功能材料国家标准物质/标准样品,稀土玻璃、稀土颜料等稀土应用产品国家标准物质/标准样品,稀土铁合金、稀土有色金属合金等稀土合金国家标准物质/标准样品,稀土农用产品及稀土助剂等含稀土成分国家标准物质/标准样品。建议依据现行产品标准指标表和标准物质/样品,从缺乏相关定值指标标准样品和标准样品梯度不足方面补充研制相关标准样品,为我国稀土国家标准物质/标准样品未来的发展提供参考。

1 稀土国家标准物质/标准样品的研制现状

1.1 稀土国家标准物质/标准样品发展趋势

1986 年,我国成为世界最大稀土原料生产国。1987 年,第一个稀土标准物质—稀土球墨铸铁成分分析标准物质被批准使用。自 1987 年至 2024 年 1 月,我国共研制稀土国家标准物质/标准样品 197 项,其中,稀土标准物质 138 项,稀土国家标准样品 59 项。我国稀土国家标准物质/标准样品研制数目的变化趋势如图 1 所示,图中 GBW、GSB 和 CRM 分别代表我国稀土国家标准物质数量、稀土国家标准样品数量和稀土国家标准物质/标准样品数量。由图 1 可知,我国稀土标准物质研制数量变化和国家标准样品研制数量变化相近,稀土国家标准物质/标准样品研制数目呈现两段式增长,拐点位于 2001—2005 年处,这是由于 2004 年是 20 项稀土国家标准样品首年获批,使稀土国家标准物质/标准样品数量急剧增加后迅速下落。2005 年后,每个五年规划内,稀土国家标准物质/标准样品数量呈类阶梯状增长。2001—2023 年,稀土固体国家标准样品研制数量平稳增加(平均每五年增加 2 种左右);近两个五年规划内,稀土固体标准物质研制数目最多,稀土固体国家标准样品研制数量次之,稀土液体国家标准样品研制数量最少。

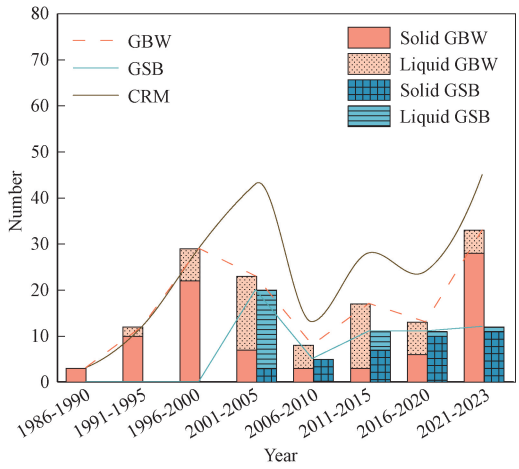


图 1 我国稀土国家标准物质/标准样品数量变化图

Fig. 1 Graph of the changes in the number of rare earth national certified reference materials in China

1.2 稀土国家标准物质/标准样品涉及领域

目前我国标准物质(GBW)和标准样品(GSB)按照不同的分类方法进行管理,标准物质分为 13 项,国家标准样品分为 16 项,如表 1 所示。在标准物质/标准样品编号中,数字部分的前两位代表应用领域,依据稀土国家标准物质/标准样品编码进行区分,得到稀土国家标准物质/标准样品涉及领域数量图,如图 2 所示。在标准物质的 13 个领域中,稀土标准物质涉及 8 个领域,其中 08 环境领域中的数目最多,具有 37 项;09 临床化学与医学领域内稀土标准物质最少,仅有 1 项。在 01、02、07 及 09 领域内,稀土标准物质均为固体;在 08 和 12 领域,稀土标准物质为液体,这是由于稀土应用领域限制了标准物质的存在状态。相较标准物质而言,

稀土国家标准样品涉及的行业仅有三类,04 有色金属、07 环境科学及 11 生物/植物/食品,其中,以 04 有色金属行业的发展最为充分,占据稀土国家标准样品总数的 96.61%。

表 1　我国标准物质/标准样品领域分类表[8]

Table 1　Classification of national certified reference materials in China[8]

Field code	GBW	GSB	Filed code	GBW	GSB
01	Steel	Geology/Minerals	09	Clinical chemistry and medicine	Nuclear material
02	Non-ferrous metals	Physical and physicochemical properties	10	Foods	Polymer materials
03	Building material	Steel	11	Energy	Biological/Plant/Food
04	Nuclear materials and radioactivity	Non-ferrous metals	12	Engineering	Clinical chemistry
05	Polymer material	Chemical products	13	Physics and physical chemistry	Medicines
06	Chemical products	Coal oil composition and physical properties	14	——	Engineering and technical characteristics
07	Geological	Environmental chemistry	15	——	Physical and metrological properties
08	Environments	Building products	16	——	Other

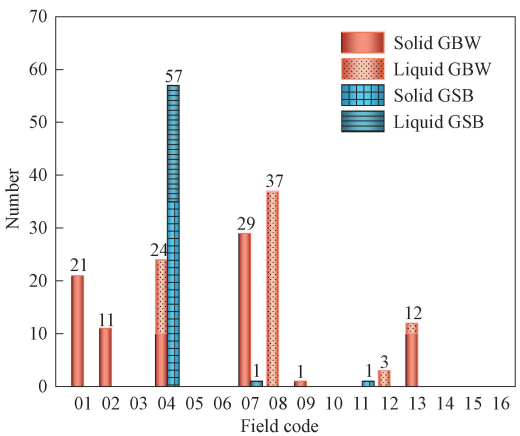


图 2　稀土国家标准物质/标准样品不同领域内数量分布图

Fig. 2　Distribution map of rare earth national certified reference materials in different fields

1.3　稀土国家标准物质/标准样品研发机构

稀土涉及元素种类较多,标准物质/标准样品应用领域较广,研制实验室繁多。目前我国参与研制稀土国家标准物质/标准样品的机构共 47 家,其中,参与稀土标准物质研制的机构有 36 家,稀土国家标准样品研制机构有 11 家。在参与研制稀土标准物质的实验室中,中国计量研究院、山东省冶金科学研究院、地质矿产部沈阳综合岩矿测试中心、长春地质学院测试中心钢铁研究总院及内蒙古包钢钢联股份有限责任公司参与研制的数量占总数量的 66.7%,其中,中国计量研究院参与研制的数量最多为 34 个,占总数的 24.6%。由此可见,稀土标准物质受到稀土资源分布、稀土特性和主管部门的影响,主要由计量、地质类研究院及稀土企业进行研制。参与研制稀土国家标准样品的单位中,包头稀土研究院及国家有色金属及电子材料分析测试中心,参与研制稀土国家标准样品 22 项,占总研究数量的 37.29%。各地域研究数量占比如图 3 所示,由此可见,我国稀土国家标准样品的研制工作受相关资质、研究方向及地理位置影响,呈现相对集中现象。

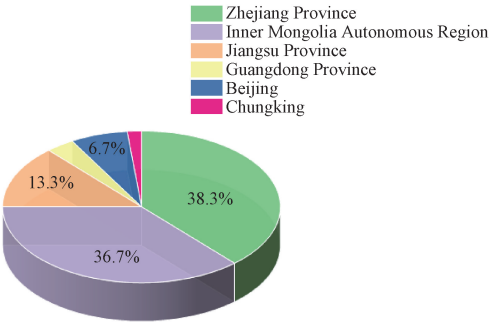


图 3 我国稀土国家标准样品研制数量地域分布图

Fig. 3 Geographical distribution map of the number of samples developed for Chinese rare earth national certified reference materials (GSB) in China

2 稀土国家标准物质/标准样品的分类

本文以 GB/T 15676-2015 稀土术语为依据,参考 ISO 22444-1-2020 及 ISO 22444-2-2020 对稀土国家标准物质/标准样品进行分类,将其分为稀土矿、矿产品与富集物类、稀土金属与化合物(分离与冶炼产品)类、稀土合金类、稀土功能材料类、稀土应用产品类、稀土可回收物料类及其他含稀土类等七大类。

2.1 稀土矿、矿产品与富集物类

我国稀土矿产储备呈现“北轻南重”的分布特点,北方以白云鄂博矿—轻稀土矿为主,主要为氟碳铈矿或氟碳铈与独居石混合矿;南方以离子型矿—重稀土矿为主[9]。富稀土深海沉积物是近年来发现的新型稀土矿产资源,中重稀土的储备量远超大陆稀土资源的储备量[10]。稀土矿产品与富集物类国家标准物质/标准样品是从稀土矿石开采、冶炼到分离过程中必不可少的质量监控物质。目前稀土矿及矿产品国家标准物质/标准样品共 24 项,如表 2,其中标准样品 5 项,标准物质 19 项;稀土矿产品国家标准样品主要来自白云鄂博矿,适用于四川、山东等地的氟碳铈矿或者氟碳铈与独居石混合矿,稀土含量范围为 4%~60%,稀土定值项目以轻中稀土为主。稀土矿标准物质以南方轻重稀土矿及富稀土深海沉积物为主,稀土定值项目对轻重稀土均有覆盖,稀土含量范围为 0.006%~5.000%。

表 2 稀土矿、矿产品国家标准物质/标准样品

Table 2 National certified reference materials of rare earth ore and ore products

Type	Code	Name	Number of certified value
Rare earth ore	GBW07158 GBW07159 GBW07160 GBW07161	Rare earth ore[11~14]	35
	GBW07183 GBW07184 GBW07185 GBW07186 GBW07187 GBW07188	Rare and rare earth ores[15~20]	33/38/39/35/35/35
	GBW07890 GBW07891 GBW07892 GBW07893	Rare earth ore (HB-ZS)[21] (HB-ZX)[22] (SC-MN)[23] (SC-MNP)[24]	33
	GBW07586 GBW07587 GBW07588 GBW07589 GBW07590	Deep-sea rare earth-enriched sediments (Indian Ocean-1)[25] (Indian Ocean-2)[26] (Indian Ocean-3)[27] (Pacific Ocean-1)[28] (Pacific Ocean-2)[29]	62
Rare earth ore products	GSB 04-3309-2016 GSB 04-3310-2016 GSB 04-3311-2016	Certified reference materials of Bayan Obo rare earth concentrates[30~32] (REO 30, 40, 50)	9
	GSB 04-3549-2019	Certified reference materials of tailings of Bayan Obo rare earth[33]	17
	GSB 04-3550-2019	Certified reference materials of tailings obtained after beneficiation of iron from Bayan Obo ore for rare earth production[34]	17

在稀土产业链中,稀土富集物为矿产分离产品,供后续深加工使用。我国稀土富集物国家标准物质/标准样品包括混合轻稀土氧化物、混合轻稀土少铕氧化物、钐铕钆富集物等共 4 项,见表 3,均为标准样品。定值项目主要为稀土配分和非稀土杂质,对混合轻稀土氧化物进行稀土配分和非稀土化学成分定值,混合轻稀土少铕氧化物和钐铕钆富集物进行配分定值。

表 3　稀土富集物国家标准物质/标准样品

Table 3　The national certified reference materials of rare earth enrichment materials

Code	Name	Number of certified value
GSB 04-3064-2013	Certified reference materials of mixed light rare earth oxides[35] (partion of Baotou ore)	8
GSB 04-3065-2013	Certified reference materials of mixed light rare earth oxides[36] (less europium)	4
GSB 04-3698-2020	CRMs of non-rare earth chemical compositions in mixed light rare earth oxides[37]	7
GSB 04-3139-2014	CRM of samarium-europium-gadolinium concentrates[38]	15

2.2　稀土金属与化合物(分离与冶炼产品)类

稀土分离与冶炼产品是指从稀土矿石中分离出来的单一或特定组分的稀土元素产品,常由稀土金属、稀土氧化物及稀土盐构成。而我国的稀土金属与化合物(分离与冶炼产品)国家标准物质/标准样品仅涉及稀土氧化物 29 项,如表 4 所示,其中单一稀土氧化物 14 项,混合稀土氧化物(Y-Eu、Pr-Nd)5 项,磷酸稀土 10 项;标准物质 17 项,国家标准样品 12 项。因我国稀土氧化物的现行产品标准中均对化学成分有技术要求[39~51],使得我国稀土氧化物国家标准物质/标准样品的研制以化学成分分析为主,主要有单一稀土氧化物钇、镧、铈、钕、钪等和混合稀土氧化物镨钕、钇铕等。其中,仅二氧化铈是以物理特性为主的标准物质。稀土盐中磷酸稀土的国家标准物质/标准样品主要为电子探针成分分析标准物质。

2.3　稀土合金类

稀土合金是由稀土元素与其他元素组成的具有金属特性的合金,以组成元素将稀土合金分为稀土铁合金、稀土有色金属合金、其他稀土合金三大类。稀土合金国家标准物质/标准样品仅有稀土有色金属合金国家标准物质/标准样品和其他稀土合金标准物质,共 6 项,如表 5,分别为稀土镁合金、稀土铝合金和稀土发火合金的成分分析国家标准物质/标准样品。

2.4　稀土功能材料类

稀土功能材料是以稀土元素为主要成分,利用稀土元素本身具有的理化特性,形成特殊性能的材料。其国家标准物质/标准样品涉及稀土永磁材料、稀土储氢材料、稀土发光材料、稀土抛光材料、稀土激光材料、稀土催化材料、稀土核能材料等七类,如表 6,共 17 项,标准物质 8 项,国家标准样品 9 项。

稀土永磁材料是一类含有稀土金属元素的磁性材料,通常由稀土金属与过渡金属组成的合金制成,包括钕铁硼合金及钐钴合金等。我国现行有效的稀土永磁产品标准共 13 种[87~99],仅不足半数技术要求包含化学成分。目前我国稀土永磁材料国家标准物质/标准样品共 4 项[100~103],均为化学成分分析,物理特性与物理化学特性和工程技术特性测量方面的国家标准物质/标准样品还存有很大空白。稀土储氢材料、稀土发光材料、稀土抛光材料、稀土激光材料的国家标准物质/标准样品各有 2 项,除稀土发光材料及稀土激光材料国家标准物质/标准样品定值项目为物理特性与物理化学特性[104~107],其余国家标准物质/标准样品均为化学成分分析[108~111]。稀土催化材料仅有 1 项国家标准样品,稀土核能材料国家标准物质/标准样品共有 4 项,分别为八氧化三铀[112,113]及二氧化铀—氧化钆芯块的化学成分分析标准物质[114,115]。

表 4 稀土金属与化合物国家标准物质/标准样品

Table 4 National certified reference materials of rare earth metals and compounds

Type	Code	Name	Number of certified value
Individual rare earth oxide	GBW02901	Yttrium oxide[52]	10
	GBW02902	Impurity constituents in europium oxide[54]	23
	GBW02903	Impurity constituents in cerium oxide[55]	10
	GBW12024 GBW12025 GBW12026	Cerium dioxide microspheres particle size[57~59]	1
	GSB 04-2602-2010 GSB 04-2603-2010 GSB 04-2604-2010	CRM of lanthanum oxide 1,2,3[63~65]	14
	GSB 04-2068-2007 GSB 04-2069-2007	CRM of yttrium oxide[67, 68] (rare earth impurity 2 μg/g, 20 μg/g)	14
	GSB 04-4114-2023	CRM of cerium oxide for chemical composition analysis[79]	38
	GSB 04-4115-2023	CRM of europium oxide for chemical composition analysis[80]	34
Individual rare earth oxide	GSB 04-4116-2023	CRM of terbium oxide for chemical composition analysis[53]	30
	GBW(E) 020254	Y-Eu oxide[56]	6
Mixed rare earth oxide	GSB 04-1709-2004 GSB 04-1710-2004 GSB 04-1711-2004	CRMs of Y-Eu oxide 1, 2, 3[60~62]	1
	GSB 04-2805-2011	Certified reference materials of praseodymium-neodymium oxides[66]	13
Rare earth phosphate	GBW07526	Electron microprobe (ScP_5O_{14})[69]	2
	GBW07527	(LaP_5O_{14})[70]	2
	GBW07528	(CeP_5O_{14})[71]	2
	GBW07529	(PrP_5O_{14})[72]	2
	GBW07530	(NdP_5O_{14})[73]	1
	GBW07531	(SmP_5O_{14})[74]	2
	GBW07532	(GdP_5O_{14})[75]	1
	GBW07533	(HoP_5O_{14})[76]	2
	GBW07534	(YbP_5O_{14})[77]	2
	GBW07535	(LuP_5O_{14})[78]	2

表 5 稀土合金国家标准物质/标准样品

Table 5 National certified reference materials of rare earth alloys

Type	Code	Name	Number of certified value
Rare earth non-ferrous metal alloys	GBW02351	Magnesium alloy[81]	6
	GSB 04-3466-2018	Certified reference materials of rare-earth magnesium alloy(WE43)[82]	3
	GSB 04-4107-2023	CRM of aluminum alloy 1561 containing erbium for chemical composition analysis(block)[83]	11
Other rare earth alloys	GBW02527 GBW02528 GBW02529	Rare earth pyrophoric alloy 1, 2, 3[84~86]	8

表 6　稀土功能材料国家标准物质/标准样品

Table 6　National certified reference materials of rare earth functional materials

Type	Code	Name	Type	Code	Name
Rare earth permanent magnetic materials	GSB 04-3425-2017	Certified reference material of neodymium-iron-boron alloy	Rare earth laser materials	GBW13401	Gadolinium gallium garnet reflectance
	GSB 04-4118-2023	Series CRMs of neodymium-iron-boron alloy for chemical composition analysis		GBW13402	Yttrium aluminium garnet reflectance
	GBW(E)020253	Sm_2Co_{17}	Rare earth catalytic materials	GSB 04-4117-2023	CRM of rare earth type selective catalytic reduction (SCR) denitration catalyst for chemical composition analysis[116]
	GSB 04-4119-2023	Series CRMs of oxygen element in samarium-cobalt alloy			
Rare earth hydrogen storage materials	GBW(E) 020252	$LaNi_5$ rare earth hydrogen storage alloy CRM for chemical composition	Rare earth nuclear energy materials	GBW04206	Rare-earth impurity elements (Sm, Eu, Gd, Dy) in U_3O_8
	GSB 04-3752-2020	CRM of chemical composition of rare earth hydrogen storage alloy		GBW04207	
				GBW04248	The content of Gd_2O_3
				GBW04249	U in UO_2-Gd_2O_3
Rare earth light-emitting material	GSB 04-2705-2011	Certified reference materials of relative brightness of rare earth three-band phosphors for fluorescent lamps	Rare earth polishing materials	GSB 04-3426-2017	Certified reference material of rare earth polishing powder
	GSB 04-3097-2013	CRMs of relative emission intensity of rare earth ultraviolet emission phosphors for fluorescent lamps		GSB 04-4121-2023	CRM of polishing powder composed with cerium-group mixed rare earth for chemical composition analysis

2.5　稀土应用产品类

如表 7 所示,稀土应用产品国家标准物质/标准样品包括稀土钢标准物质共有 7 项,主要是内蒙古包钢钢联股份有限公司研制的低合金钢;稀土铸铁标准物质 11 项,涉及稀土球墨铸铁、稀土镁铸铁、稀土镁球墨铸铁等;稀土陶瓷国家标准物质/标准样品 3 项,分别为铈锆氧化物和氧化钇稳定氧化锆成分国家标准样品。

2.6　稀土可回收物料类

我国稀土可回收物料国家标准物质/标准样品仅有 3 项钕铁硼氧化物成分分析标准物质,主要涉及稀土元素 Dy、Pr、Nd 等和非稀土元素 Al、B、Co、Cu 的定值[138~140]。

2.7　其他含稀土类

现有的稀土国家标准物质/标准样品中,仍存在部分国家标准物质/标准样品在 GB/T 15676-2015 稀土术语、ISO 22444-1-2020 及 ISO 22444-2-2020 中未进行分类。本文按照标准物质/标准样品的物质状态,将其余含稀土国家标准物质/标准样品分为含稀土液体国家标准物质/标准溶液和含稀土固体国家标准物质/标准样品。在含稀土液体国家标准物质/标准溶液中,按照主要应用领域的不同分为稀土分析用液体国家标准物质/标准溶液及其他用途含稀土液体国家标准物质/标准样品。

2.7.1　含稀土液体国家标准物质/标准溶液

含稀土液体国家标准物质/标准溶液共 77 项[6,7],如表 8,其中稀土分析用液体国家标准物质/标准溶液 57 项,其他用途含稀土液体国家标准物质/标准溶液 20 项。在稀土分析领域中,稀土国家标准溶液在稀土产业链质量监控、分析测试、科学研究和标准化工作中发挥着重要作用。稀土分析用液体国家标准物质/标准溶液中,国家标准溶液 22 项,标准物质 35 项;单元素国家标准物质/标准溶液 50 项,混合国家标准物质/标准溶液 7 项,以上国家标准物质/标准溶液均为稀土分析工作者测试提供良好的定量基础。

表 7 稀土应用产品国家标准物质/标准样品

Table 7 National certified reference materials of rare earth application products

Type	Code	Name	Number of certified value
Rare earth steel	GBW(E)010599 GBW(E)010600 GBW(E)010601 GBW(E)010602 GBW(E)010603 GBW(E)010604 GBW(E)010605	Series of lanthanum, cerium-containing low alloy steel spectral analysis[117~123]	21
Rare earth cast iron	GBW01119	Ductile iron[125]	14
	GBW01125 GBW01126 GBW01127 GBW01128 GBW01129 GBW01130	RE-Mg ductile iron (for use with optical emission spectroscopic methods)[126~131]	14
	GBW01145	RE-Mg cast iron[133]	21
	GBW(E)010188 GBW(E)010189 GBW(E)010190	Rare earth magnesium nodular cast iron[135~137]	10
	GBW(E) 020256	CRMs of cerium-zirconium complex composition for chemical composition analysis[124]	4
Rare earth ceramics	GSB 04-4120-2023	Series CRMs of cerium zirconium composite oxides for chemical composition analysis[132]	5
	GSB 04-3970-2022	CRM of yttria-stabilized zirconia for chemical analysis[134]	15

其他用途稀土液体国家标准物质/标准样品中标准物质 20 项,涉及环境、核材料与放射性及物理学与物理化学等领域;国家标准样品 2 项,涉及有色金属及环境化学等行业,一定程度上丰富了稀土国家标准物质/标准样品的应用领域。

2.7.2 固体标准物质/标准样品

含稀土固体国家标准物质/标准样品共 16 项,标准物质 15 项,主要涉及核材料与放射、物理学与物理化学及临床化学与医药等行业;1 项国家标准样品涉及生物/植物/食品行业。这些含稀土固体国家标准物质/标准样品极大地丰富了含稀土标准体系。

3 稀土国家标准物质/标准样品现存问题

稀土国家标准物质/标准样品经过三十余年的发展,标准体系已经具有雏形,在稀土产业链及稀土领域的生产、科研和标准化等方面发挥着重要作用。但随着稀土行业的蓬勃发展,现有体系仍存在种类覆盖不完全、系列化程度不足及定值元素缺失等问题。本文根据稀土生产、应用、检验、流通、科研和教学等领域,对常见样品、产品的国家标准与现有稀土国家标准物质/标准样品进行比较,分析稀土国家标准物质/标准样品现存问题。

3.1 稀土国家标准物质/标准样品种类覆盖不完全

图 4 为稀土矿产品与富集物类、稀土金属与化合物(分离与冶炼产品)类、稀土合金类、稀土功能材料类、稀土应用产品类、稀土可回收物料类的稀土国家标准物质/标准样品与相对应的生产、应用、检验、流通、科研和教学常见样品及产品标准种类对比图。由图可知,各类稀土国家标准物质/标准

样品未能完全覆盖常见检验样品种类;仅有稀土应用产品类国家标准物质/标准样品种类覆盖产品标准种类、稀土可回收物料类国家标准物质/标准样品与产品标准种类一致[141]。

表 8　稀土分析用液体标准物质/标准溶液

Table 8　Liquid rare earth national certified reference materials/solutions for rare earth analysis

Type	Elements	Code	Elements	Code	Elements	Code
Single	Sc	GBW08684 GSB 04-1750-2004	Sm	GBW08653 GBW(E)080566 GSB 04-1778-2004	Er	GBW08682 GBW(E)080572 GSB 04-1784-2004
	La	GBW08651 GBW(E)080563 GSB 04-1774-2004	Eu	GBW08654 GBW(E)080567 GSB 04-1779-2004	Tm	GBW08683 GBW(E)080573 GSB 04-1785-2004
	Ce	GBW08652 GBW(E)080562 GBW(E)081663 GBW(E)084225 GBW(E)084706 GSB 04-1775-2004	Gd	GBW(E)080568 GSB 04-1780-2004	Yb	GBW08655 GBW(E)080574 GSB 04-1786-2004
			Tb	GBW(E)080569 GSB 04-1781-2004	Lu	GBW08656 GBW(E)080575 GSB 04-1787-2004
	Pr	GBW08699 GBW(E)080564 GSB 04-1776-2004	Dy	GBW08680 GBW(E)080570 GSB 04-1782-2004	Y	GBW08657 GBW(E)080576 GBW(E)084705 GSB 04-1788-2004
	Nd	GBW08698 GBW(E)080565 GSB 04-1777-2004	Ho	GBW08681 GBW(E)080571 GSB 04-1783-2004		
Mixture	15 rare earth elements	GSB 04-1789-2004	16 rare earth elements	GBW(E)083899 GSB 04-3367-2016	17 rare earth elements	GBW(E)082428
	11 inorganic elements (Ce, Co, In, Rh and so on)	GSB 04-2829-2011	Bi, Ge, In, Lu, Rh, Sc, Tb, Y	GSB 04-2828-2011	Bi, Ge, In, Rh, Sc, Tb, Y	GSB 04-2826-2011
	Cs, In, Rh, Sc	GSB 04-2827-2011				

3.2　稀土国家标准物质/标准样品系列化程度不足

我国稀土国家标准物质/标准样品仅有部分物质相同定值项目进行梯度定值,使该物质国家标准物质/标准样品形成系列实物标准。本文以标准物质/标准样品同定值项目数 3 为界线,同定值项目数低于 3 为梯度化不足,检测项目数为 3 意味初步形成系列化,定值项目数大于 3 为形成系列化。如图 5 所示,我国稀土标准物质/标准样品梯度化不足占 70.91%。可见,我国稀土国家标准物质/标准样品整体系列化程度较低,除部分标准物质/标准样品成系列化外,其他国家标准物质/标准样品仅存有简单梯度。

3.3　稀土国家标准物质/标准样品定值元素缺失

在稀土相关的检测中,稀土样品中的成分检测项目可分为非稀土元素杂质、稀土元素杂质、稀土总量、稀土基体及非稀土元素基体等;对应稀土国

家标准物质/标准样品在进行定值项目选择时也以这些检测项目为主。在稀土矿产品及富集物国家标准物质/标准样品中,表 2 中稀土矿产品的标准样品定值项目数远小于标准物质的定值项目数,且定值项目只针对轻中稀土配分和稀土总量,故以白云鄂博矿为基体适用于氟碳铈矿等矿物的国家标准物质/标准样品针对非稀土元素的定值项存在很大空白,如白云鄂博矿中常见矿物铌[142]的测定值主要依靠于其他标准物质,无法满足标准物质/标准样品使用原则及稀土分析中快速、高效、节约的工作需求。

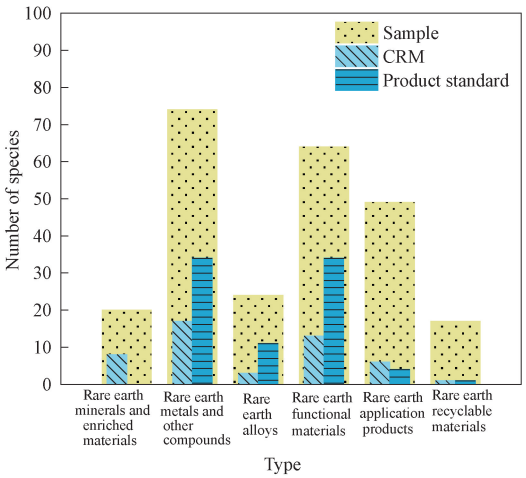


图 4 我国各类稀土国家标准物质/标准样品与常见样品、产品标准比较图

Fig. 4 Comparison diagram of Chinese various types of rare earth national certified reference materials with common samples and product standards

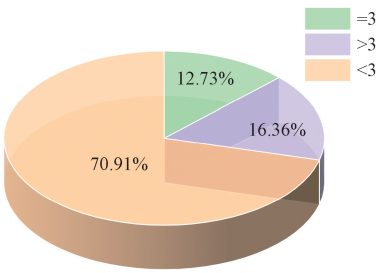


图 5 我国稀土标准物质/标准样品梯度化占比图

Fig. 5 Gradient proportion map of Chinese rare earth national certified reference materials

随着稀土行业的发展,稀土分离与冶炼产品的纯度逐渐增加,稀土金属与化合物的检测项目也随之增加,但现有国家标准物质/标准样品—氧化钇中非稀土杂质的定值还留有空白。其他类型的国家标准物质/标准样品也存在类似的问题。例如,表 5 中稀土合金国家标准物质/标准样品中稀土镁合金仅有三种定值元素,而在实际应用中,稀土镁合金的检测项目远大于稀土镁合金国家标准物质/标准样品定值数目;稀土功能材料国家标准物质/标准样品中的储氢合金及稀土应用产品国家标准物质/标准样品中的铈锆复合物等也不能满足现有的检测需求,稀土可回收料的定值元素也缺少稀土总量及配分的值。

显而易见,稀土国家标准物质/标准样品的定值元素难以满足现有检测需求。

4 稀土国家标准物质/标准样品发展建议

我国稀土标准国家标准物质/标准样品存在的问题已得到广泛关注。对在研项目进行查询时,得到我国现有稀土国家标准样品在研项目有 10 余项,涉及混合标准溶液、稀土激光材料、稀土氧化物、稀土氟化物等,补充了稀土氧化物的国家标准样品,填补了氟化稀土的空白,丰富了我国稀土国家标准物质/标准样品的应用领域,为稀土领域样品测试和相关实验室质量管理提供有利的支撑。

国际稀土行业的竞争逐渐激烈,我国稀土行业发展也面临挑战,稀土国家标准物质/标准样品体系的不健全,更难以满足现有产品的规范要求。我国政府正在推动稀土产业的高质量发展,完善稀土国家标准物质/标准样品对我国稀土产业的高质、快速发展起到了极其重要的保障作用。

针对稀土国家标准物质/标准样品现存问题提出以下发展建议:

1. 填补现有稀土行业标准物质/标准样品空白。稀土作为重要的战略金属,从原料层面至终端产品的发展日趋迅速。但部分成型产业如稀土金

属的国家标准物质/标准样品仍是空白。除此以外,一些新兴领域及未成型产业受关注度较低,对这些领域的国家标准物质/标准样品的研制也不应落后,仍需满足现有科研及中试材料的需要。

2. 完善现有稀土国家标准物质/标准样品梯度。我国是稀土原材料出口大国,稀土金属及其化合物的国家标准物质/标准样品在产品质检中具有十分重要的地位。实际样品中非稀土元素杂质、稀土元素杂质、稀土总量、稀土基体及非稀土基体的含量较为多变,对应实物标准定值数系列化更能得到较为准确可信的结果。在现有国家标准物质/标准样品的基础上,拓展含量梯度以构建更为完善的稀土国家标准物质/标准样品体系。

3. 增补稀土定值元素。稀土元素在现代工业和高科技领域中扮演着重要角色,因此对稀土元素准确测定和标准化十分必要。稀土行业中,稀土矿石中非稀土主体元素及伴生元素的含量对稀土生产及回收利用的流程控制至关重要。现存的稀土矿产品国家标准物质/标准样品大都关注稀土配分、稀土实物量,对于其他非稀土伴生元素,如:铌、Si、重金属等,还留有定值空白,稀土科研工作者可以扩展相关的定值项目数以补充相关检测。而在稀土分离及冶炼产品、稀土材料、稀土应用产品等方面,稀土科研工作者应关注产品/材料制备流程可能产生的杂质元素等,补充现有的国家标准物质/标准样品定值项目来满足日趋多样的检测需求。

稀土国家标准物质/标准样品应满足现有稀土行业发展变化,走在行业前列,满足发展需求。在实际检测中,某一样品分解手段可对应多种元素的测定,在标准物质/标准样品研制中亦可以考虑将多类型待测元素于同一标准物质/标准样品中同时定值,实现一份溶液中同时测定多个待测元素,以减少标准物质/标准样品的使用。考虑到样品本身均匀性、稳定性的限制或是定值方法的困难,部分稀土国家标准物质/标准样品难以建立。基于此,稀土科研工作者需满足科学性、实用性、时效性这三方面要求,完善稀土国家标准物质/标准样品的研制、拓展其应用范围及缩短标准物质/标准样品与产品的空档期,为稀土产业实现更加高端化、智能化、绿色化的发展目标保驾护航。

参考文献:

[1] 严纯华, 黄小卫. 2023 年中国稀土研究综合评述[J]. 中国稀土学报, 2024, 42(3): 381-418.
Yan C H, Huang X W. Review on research of rare earths field in China in 2023 [J]. Journal of the Chinese Society of Rare Earths, 2024, 42(3): 381-418.

[2] 赵艳, 李娜, 谢艳艳, 高燕. 标准物质及其在分析测试中的重要作用[J]. 中国标准化, 2019, (19): 185-190.
Zhao Y, Li N, Xie Y Y, Gao Y. Reference material and its important effect in chemical analysis [J]. China Standardization, 2019, (19): 185-190.

[3] 胡晓燕. 我国标准物质/标准样品发展综述[J]. 山东冶金, 2006, 28(4): 1-4.
Hu X Y. Summary of the development of CRMs in China [J]. Shandong Metallurgy, 2006, 28(4): 1-4.

[4] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 15000.1~15000.8-2023. 标准样品工作导则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 15000.1~15000.8-2023. Directives For The Work Of Reference Materials [S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.

[5] 卢晓华, 薄梦, 吴雪, 陆琳, 汪斌. 标准物质领域发展现状及趋势[J]. 化学试剂, 2022, 44(10): 1403-1410.
Lu X H, Bo M, Wu X, Lu L, Wang B. Current situation and trends on the development of reference materials [J]. Chemical Reagents, 2022, 44(10): 1403-1410.

[6] 国家市场监督管理总局, 中国计量科学研究院国家标准物质资源共享信息服务平台[OL]. http://www.ncrm.org.cn.
State Administration for Market Regulation, National In-

stitute of Metrology, China. National Standard Material Resources Sharing Information Service Platform [OL]. http://www. ncrm. org. cn.

[7] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 全国标准信息公共服务平台[OL]. https://std. samr. gov. cn.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. National Standard Information Public Service Platform [OL]. https://std. samr. gov. cn.

[8] 徐银, 佟庆龙, 黄海娟, 张磊. 国内外分析检测标准品市场现状与趋势[J]. 化学试剂, 2021, 43(12): 1657-1667.
Xu Y, Tong Q L, Huang H J, Zhang L. Status and trends of domestic and oversea markets of reference materials [J]. Chemical Reagents, 2021, 43(12): 1657-1667.

[9] 赵芝, 王登红, 王成辉, 王瑛, 邹新勇, 冯文杰, 周辉, 黄新鹏, 黄华谷. 离子吸附型稀土找矿及研究新进展[J]. 地质学报, 2019, 93(6): 1454-1465.
Zhao Z, Wang D H, Wang C H, Wang Z, Zou X Y, Feng W J, Zhou H, Huang X P, Huang H G. Progress in prospecting and research of ion-adsorption type REE deposits [J]. Acta Geologica Sinica, 2019, 93(6): 1454-1465.

[10] 樊文枭, 周军明, 张欢, 刘冬, 袁鹏. 富稀土深海沉积物中稀土元素载体矿物的研究进展与展望[J]. 矿物学报, 2023, 43(2): 145-156.
Fan W X, Zhou J M, Zhang H, Liu D, Yuan P. Research progresses and prospects on carrier minerals of rare earth elements (REY) in deep-sea REY-rich sediments [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2023, 43(2): 145-156.

[11] 国家市场监督管理总局. GBW07158. 稀土矿石成分分析标准物质[Z]. 北京:国家市场监督管理总局. 1999.
State Administration for Market Regulation. GBW07158. Rare Earth Ore[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1999.

[12] 国家市场监督管理总局. GBW07161. 稀土矿石成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1999.
State Administration for Market Regulation. GBW07161. Rare Earth Ore[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1999.

[13] 国家市场监督管理总局. GBW07160. 稀土矿石成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1999.
State Administration for Market Regulation. GBW07160. Rare Earth Ore[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1999.

[14] 国家市场监督管理总局. GBW07159. 稀土矿石成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1999.
State Administration for Market Regulation. GBW07159. Rare Earth Ore[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1999.

[15] 国家市场监督管理总局. GBW07188. 稀有稀土矿石成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2005.
State Administration for Market Regulation. GBW07188. Rare and Rare Earth Ores[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2005.

[16] 国家市场监督管理总局. GBW07187. 稀有稀土矿石成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2005.
State Administration for Market Regulation. GBW07187. Rare and Rare Earth Ores[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2005.

[17] 国家市场监督管理总局. GBW07186. 稀有稀土矿石成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2005.
State Administration for Market Regulation. GBW07186. Rare and Rare Earth Ores[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2005.

[18] 国家市场监督管理总局. GBW07185. 稀有稀土矿石成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2005.
State Administration for Market Regulation. GBW07185. Rare and Rare Earth Ores[Z]. Beijing:

State Administration for Market Regulation, 2005.

[19] 国家市场监督管理总局. GBW07184. 稀有稀土矿石成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2005.
State Administration for Market Regulation. GBW07184. Rare and Rare Earth Ores[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2005.

[20] 国家市场监督管理总局. GBW07183. 稀有稀土矿石成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2005.
State Administration for Market Regulation. GBW07183. Rare and Rare Earth Ores[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2005.

[21] 国家市场监督管理总局. GBW07890. 稀土矿石成分分析标准物质(HB-ZS)[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2021.
State Administration for Market Regulation. GBW07890. Rare Earth Ore(HB-ZS)[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2021.

[22] 国家市场监督管理总局. GBW07891. 稀土矿石成分分析标准物质(HB-ZX)[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2021.
State Administration for Market Regulation. GBW07891. Rare Earth Ore(HB-ZX)[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2021.

[23] 国家市场监督管理总局. GBW07892. 稀土矿石成分分析标准物质(SC-MN)[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2021.
State Administration for Market Regulation. GBW07892. Rare Earth Ore(SC-MN)[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2021.

[24] 国家市场监督管理总局. GBW07893. 稀土矿石成分分析标准物质(SC-MNP)[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2021.
State Administration for Market Regulation. GBW07893. Rare Earth Ore(SC-MNP)[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2021.

[25] 国家市场监督管理总局. GBW07586. 富稀土深海沉积物(印度洋-1)成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2021.
State Administration for Market Regulation. GBW07586. Deep-sea Rare Earth-enriched Sediments (Indian Ocean-1)[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2021.

[26] 国家市场监督管理总局. GBW07587. 富稀土深海沉积物(印度洋-2)成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2021.
State Administration for Market Regulation. GBW07587. Deep-sea Rare Earth-enriched Sediments (Indian Ocean-2)[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2021.

[27] 国家市场监督管理总局. GBW07588. 富稀土深海沉积物(印度洋-3)成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2021.
State Administration for Market Regulation. GBW07588. Deep-sea Rare Earth-enriched Sediments (Indian Ocean-3)[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2021.

[28] 国家市场监督管理总局. GBW07589. 富稀土深海沉积物(太平洋-1)成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2021.
State Administration for Market Regulation. GBW07589. Deep-sea Rare Earth-enriched Sediments (Pacific Ocean-1)[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2021.

[29] 国家市场监督管理总局. GBW07590. 富稀土深海沉积物(太平洋-2)成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2021.
State Administration for Market Regulation. GBW07590. Deep-sea Rare Earth-enriched Sediments (Pacific Ocean-2)[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2021.

[30] 国家标准化管理委员会. GSB 04-3309-2016. 白云鄂博稀土精矿标准样品(REO 30)[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2017.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-3309-2016. Certified Reference Materials of Bayan Obo Rare Earth Concentrates(REO 30)[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2017.

[31] 国家标准化管理委员会. GSB 04-3310-2016. 白云鄂博稀土精矿标准样品(REO 40)[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2017.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-3310-2016. Certified Reference Materials of Bayan Obo Rare Earth Concentrates(REO 40)[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2017.

[32] 国家标准化管理委员会. GSB 04-3311-2016. 白云鄂博稀土精矿标准样品(REO 50)[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2017.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-3311-2016. Certified Reference Materials of Bayan Obo Rare Earth Concentrates(REO 50)[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2017.

[33] 国家标准化管理委员会. GSB 04-3549-2019. 白云鄂博稀土尾矿标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2020.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-3549-2019. Certified Reference Materials of Tailings of Bayan Obo Rare Earth[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2020.

[34] 国家标准化管理委员会. GSB 04-3550-2019. 生产稀土用白云鄂博选铁尾矿标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2020.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-3550-2019. Certified Reference Materials of Tailings Obtained after Beneficiation of Iron from Bayan Obo Ore for Rare Earth Production[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2020.

[35] 国家标准化管理委员会. GSB 04-3064-2013. 混合轻稀土氧化物稀土配分标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2014.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-3064-2013. Certified Reference Materials of Mixed Light Rare Earth Oxides(partion of baotou ore)[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2014.

[36] 国家标准化管理委员会. GSB 04-3065-2013. 混合轻稀土少铕氧化物稀土配分标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2014.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-3065-2013. Certified Reference Materials of Mixed Light Rare Earth Oxides(less europium)[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2014.

[37] 国家标准化管理委员会. GSB 04-3698-2020. 混合轻稀土氧化物中非稀土化学成分标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2021.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-3698-2020. CRMs of Non-rare earth Chemical Compositions in Mixed Light Rare Earth Oxides[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2021.

[38] 国家标准化管理委员会. GSB 04-3139-2014. 钐铕钆富集物成分标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2015.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-3139-2014. CRM of Samarium-Europium-Gadolinium Concentrates[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2015.

[39] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 13219-2018. 氧化钪[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 13219-2018. Scandium Oxide[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.

[40] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 13558-2019. 氧化镝[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 13558-2019. Dysprosium Oxide[S]. Beijing: Standards Press of China, 2019.

[41] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 2969-2020. 氧化钐[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
State Administration for Market Regulation, Standardiza-

tion Administration of the People's Republic of China. GB/T 2969-2020. Samarium Oxide [S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.

[42] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 2526-2020. 氧化钆[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 2526-2020. Gadolinium Oxide [S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.

[43] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 12144-2009. 氧化铽[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12144-2009. Terbium Oxide[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.

[44] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 15678-2010. 氧化铒[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 15678-2010. Erbium Oxide[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.

[45] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 4155-2012. 氧化铈[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 4155-2012. Cerium Oxide[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.

[46] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 4154-2015. 氧化镧[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 4154-2015. Lanthanum Oxide[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.

[47] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 氧化镨[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 5239-2015. Praseodymium Oxide[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.

[48] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 5240-2015. 氧化钕[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 5240-2015. Neodymium Oxide[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.

[49] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 31965-2015. 镨钕氧化物[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 31965-2015. Praseodymium-neodymium Oxides [S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.

[50] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 3504-2015. 氧化铕[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 3504-2015. Europium Oxide[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.

[51] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 3503-2015. 氧化钇[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic

of China. GB/T 3503-2015. Yttrium Oxide [S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.

[52] 国家市场监督管理总局. GBW02901. 氧化钇成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1992.
State Administration for Market Regulation. GBW02901. Yttrium Oxide[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1992.

[53] 国家标准化管理委员会. GSB 04-4116-2023. 氧化铽成分标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2024.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-4116-2023. CRM of Terbium Oxide for Chemical Composition Analysis[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2024.

[54] 国家市场监督管理总局. GBW02902. 氧化铕成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1993.
State Administration for Market Regulation. GBW02902. Impurity Constituents in Europium Oxide [Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1993.

[55] 国家市场监督管理总局. GBW02903. 氧化铈成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1997.
State Administration for Market Regulation. GBW02903. Impurity Constituents in Cerium Oxide [Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1997.

[56] 国家市场监督管理总局. GBW(E) 020254. 氧化钇铕成分分析用标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2022.
State Administration for Market Regulation. GBW(E) 020254. Y-Eu Oxide[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2022.

[57] 国家市场监督管理总局. GBW12026. 二氧化铈微球粒度标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2010.
State Administration for Market Regulation. GBW12026. Cerium Dioxide Microspheres Particle Size [Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2010.

[58] 国家市场监督管理总局. GBW12025. 二氧化铈微球粒度标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2010.
State Administration for Market Regulation. GBW12025. Cerium Dioxide Microspheres Particle Size [Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2010.

[59] 国家市场监督管理总局. GBW12024. 二氧化铈微球粒度标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2010.
State Administration for Market Regulation. GBW12024. Cerium Dioxide Microspheres Particle Size [Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2010.

[60] 国家标准化管理委员会. GSB 04-1709-2004. 氧化钇铕标准样品 1[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2005.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-1709-2004. CRMs of Y-Eu Oxide 1 [Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2005.

[61] 国家标准化管理委员会. GSB 04-1710-2004. 氧化钇铕标准样品 2[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2005.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-1710-2004. CRMs of Y-Eu Oxide 2 [Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2005.

[62] 国家标准化管理委员会. GSB 04-1711-2004. 氧化钇铕标准样品 3[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2005.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-1711-2004. CRMs of Y-Eu Oxide 3 [Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2005.

[63] 国家标准化管理委员会. GSB 04-2602-2010. 氧化镧标准样品 1[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2011.

Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-2602-2010. CRM of Lanthanum Oxide 1[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2011.

[64] 国家标准化管理委员会. GSB 04-2603-2010. 氧化镧标准样品 2[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2011.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-2603-2010. CRM of Lanthanum Oxide 2[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2011.

[65] 国家标准化管理委员会. GSB 04-2604-2010. 氧化镧标准样品 3[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2011.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-2604-2010. CRM of Lanthanum Oxide 3[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2011.

[66] 国家标准化管理委员会. GSB 04-2805-2011. 镨钕氧化物成分标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2012.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-2805-2011. Certified Reference Materials of Praseodymium-Neodymium Oxides[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2012.

[67] 国家标准化管理委员会. GSB 04-2068-2007. 氧化钇成分标准样品(稀土杂质 2 μg/g)[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2008.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-2068-2007. CRM of Yttrium Oxide (Rare Earth Impurity 2 μg/g)[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2008.

[68] 国家标准化管理委员会. GSB 04-2069-2007. 氧化钇成分标准样品(稀土杂质 20 μg/g)[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2008.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-2069-2007. CRM of Yttrium Oxide (Rare Earth Impurity 20 μg/g)[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2008.

[69] 国家市场监督管理总局. GBW07526. 电子探针成分分析标准物质(五磷酸钪)[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1997.
State Administration for Market Regulation. GBW07526. Electron Microprobe(ScP_5O_{14})[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1997.

[70] 国家市场监督管理总局. GBW07527. 电子探针成分分析标准物质(五磷酸镧)[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1997.
State Administration for Market Regulation. GBW07527. Electron Microprobe(LaP_5O_{14})[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1997.

[71] 国家市场监督管理总局. GBW07528. 电子探针成分分析标准物质(五磷酸铈)[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1997.
State Administration for Market Regulation. GBW07528. Electron Microprobe(CeP_5O_{14})[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1997.

[72] 国家市场监督管理总局. GBW07529. 电子探针成分分析标准物质(五磷酸镨)[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1997.
State Administration for Market Regulation. GBW07529. Electron Microprobe(PrP_5O_{14})[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1997.

[73] 国家市场监督管理总局. GBW07530. 电子探针成分分析标准物质(五磷酸钕)[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1997.
State Administration for Market Regulation. GBW07530. Electron Microprobe(NdP_5O_{14})[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1997.

[74] 国家市场监督管理总局. GBW07531. 电子探针成分分析标准物质(五磷酸钐)[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1997.
State Administration for Market Regulation. GBW07531. Electron Microprobe(SmP_5O_{14})[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1997.

[75] 国家市场监督管理总局. GBW07532. 电子探针成分分析标准物质(五磷酸钆)[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1997.

State Administration for Market Regulation. GBW07532. Electron Microprobe(GdP_5O_{14})[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1997.

[76] 国家市场监督管理总局. GBW07533. 电子探针成分分析标准物质(五磷酸钬)[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1997.
State Administration for Market Regulation. GBW07533. Electron Microprobe(HoP_5O_{14})[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1997.

[77] 国家市场监督管理总局. GBW07534. 电子探针成分分析标准物质(五磷酸镱)[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1997.
State Administration for Market Regulation. GBW07534. Electron Microprobe(YbP_5O_{14})[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1997.

[78] 国家市场监督管理总局. GBW07535. 电子探针成分分析标准物质(五磷酸镥)[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1997.
State Administration for Market Regulation. GBW07535. Electron Microprobe(LuP_5O_{14})[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1997.

[79] 国家标准化管理委员会. GSB 04-4114-2023. 氧化铈成分标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2024.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-4114-2023. CRM of Cerium Oxide for Chemical Composition Analysis[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2024.

[80] 国家标准化管理委员会. GSB 04-4115-2023. 氧化铕成分标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2024.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-4115-2023. CRM of Europium Oxide for Chemical Composition Analysis[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2024.

[81] 国家市场监督管理总局. GBW02351. 稀土镁合金成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1994.
State Administration for Market Regulation. GBW02351. Magnesium Alloy[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1994.

[82] 国家标准化管理委员会. GSB 04-3466-2018. 稀土镁合金(WE43)标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2019.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-3466-2018. Certified Reference Materials of Rare-earth Magnesium Alloy (WE43)[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2019.

[83] 国家标准化管理委员会. GSB 04-4107-2023. 含铒铝合金 1561 成分标准样品(块状)[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2024.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-4107-2023. CRM of Aluminum Alloy 1561 Containing Erbium for Chemical Composition Analysis(Block)[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2024.

[84] 国家市场监督管理总局. GBW02529. 稀土发火合金成分分析标准物质 3[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2021.
State Administration for Market Regulation. GBW02529. Rare Earth Pyrophoric Alloy 3[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2021.

[85] 国家市场监督管理总局. GBW02528. 稀土发火合金成分分析标准物质 2[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2021.
State Administration for Market Regulation. GBW02528. Rare Earth Pyrophoric Alloy 2[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2021.

[86] 国家市场监督管理总局. GBW02527. 稀土发火合金成分分析标准物质 1[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2021.
State Administration for Market Regulation. GBW02527. Rare Earth Pyrophoric Alloy 1[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2021.

[87] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 40790-2021. 烧结铈及富铈永磁材料[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 40790-2021. Sintered Cerium-based and Cerium-

rich Permanent Magnet Materials[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.

[88] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 41967-2022. 各向异性钕铁硼永磁粉[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 41967-2022. Anisotropic Neodymium Iron Boron Permanent Magnetic Powder[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.

[89] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 42160-2022. 晶界扩散钕铁硼永磁材料[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 42160-2022. Grain Boundary Diffusion Neodymium Iron Boron Permanent Magnet Materials[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.

[90] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 42668-2023. 钐铁氮粘结永磁粉[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 42668-2023. Samarium-Iron-Nitrogen Permanent Magnetic Powder for Bonded Magnet[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.

[91] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 18880-2012. 粘结钕铁硼永磁材料[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 18880-2012. Materials for Bonded Neodymium Iron Boron Permanent Magnets[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.

[92] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 19396-2012. 铽镝铁大磁致伸缩材料[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 19396-2012. Terbium-Dysprosium-Iron giant Magnetostrictive Materials[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.

[93] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 4180-2012. 稀土钴永磁材料[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 4180-2012. Permanent Magnetic Material of Rare Earth Cobalt[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.

[94] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 29655-2013. 钕铁硼速凝薄片合金[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 29655-2013. Neodymium Iron Boron Strip Casting[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.

[95] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 34494-2017. 氢碎钕铁硼永磁粉[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 34494-2017. Hydrogen Decrepitation Neodymium Iron Boron Permanent Magnetic Powder[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

[96] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 34495-2017. 热压钕铁硼永磁材料[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 34495-2017. Hot Pressed Neodymium Iron Boron Permanent Magnetic Materials[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

[97] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 13560-2017. 烧结钕铁硼永磁材料[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 13560-2017. Sintered Neodymium Iron Boron Permanent Magnets [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

[98] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 34490-2017. 再生烧结钕铁硼永磁材料[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 34490-2017. Sintered Neodymium Iron Boron Permanent Magnets [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

[99] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 20168-2017. 快淬钕铁硼永磁粉[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 20168-2017. Rapidly-quenched Neodymium Iron Boron Permanent Magnetic Powder[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

[100] 国家标准化管理委员会. GSB 04-3425-2017. 钕铁硼合金成分标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2018.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-3425-2017. Certified Reference Material of Neodymium-Iron-Boron Alloy [Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2018.

[101] 国家标准化管理委员会. GSB 04-4118-2023. 钕铁硼合金成分系列标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2024.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-4118-2023. Series CRMs of Neodymium-Iron-Boron Alloy for Chemical Composition Analysis [Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2024.

[102] 国家市场监督管理总局. GBW(E)020253. 2:17 型钐钴合金成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2022.
State Administration for Market Regulation. GBW(E)020253. Sm_2Co_{17}[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2022.

[103] 国家标准化管理委员会. GSB 04-4119-2023. 钴合金中氧元素系列标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2024.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-4119-2023. Series CRMs of Oxygen Element in Samarium-Cobalt Alloy[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2024.

[104] 国家标准化管理委员会. GSB 04-2705-2011. 灯用稀土三基色荧光粉相对亮度标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2012.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-2705-2011. Certified Reference Materials of Relative Brightness of Rare Earth Three-band Phosphors for Fluorescent Lamps[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2012.

[105] 国家标准化管理委员会. GSB 04-3097-2013. 灯用稀土紫外发射荧光粉相对发射强度标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2014.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-3097-2013. CRMs of Relative Emission Intensity of Rare Earth Ultraviolet Emission Phosphors for Fluorescent Lamps[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2014.

[106] 国家市场监督管理总局. GBW13402. 钇铝石榴石反射率标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1989.
State Administration for Market Regulation. GBW13402. Yttrium Aluminium Garnet Reflectance [Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1989.

[107] 国家市场监督管理总局. GBW13401. 钆镓石榴石反射率标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局,

1989.

State Administration for Market Regulation. GBW13401. Gadolinium Gallium Garnet Reflectance[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1989.

[108] 国家标准化管理委员会. GSB 04-3426-2017. 稀土抛光粉标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2018.

Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-3426-2017. Certified Reference Material of Rare Earth Polishing Powder[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2018.

[109] 国家标准化管理委员会. GSB 04-3752-2020. 稀土系贮氢合金化学成分标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2021.

Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-3752-2020. CRM of Chemical Composition of Rare Earth Hydrogen Storage Alloy[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2021.

[110] 国家标准化管理委员会. GSB 04-4121-2023. 铈组混合稀土抛光粉成分标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2024.

Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-4121-2023. CRM of Polishing Powder Composed with Cerium-group Mixed Rare Earth for Chemical Composition Analysis[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2024.

[111] 国家市场监督管理总局. GBW(E)020252. $LaNi_5$ 型稀土储氢合金成分分析用标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2022.

State Administration for Market Regulation. GBW(E)020252. $LaNi_5$ Rare Earth Hydrogen Storage Alloy CRM for Chemical Composition[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2022.

[112] 国家市场监督管理总局. GBW04207. 八氧化三铀中钐、铕、钆、镝成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1992.

State Administration for Market Regulation. GBW04207. Rare-earth Impurity Elements (Sm, Eu, Gd, Dy) in U_3O_8[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1992.

[113] 国家市场监督管理总局. GBW04206. 八氧化三铀中钐、铕、钆、镝成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1992.

State Administration for Market Regulation. GBW04206. Rare-earth Impurity Elements (Sm, Eu, Gd, Dy) in U_3O_8[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1992.

[114] 国家市场监督管理总局. GBW04249. 二氧化铀—氧化钆芯块中氧化钆和铀含量标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2012.

State Administration for Market Regulation. GBW04249. The Content of Gd_2O_3, U in UO_2-Gd_2O_3[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2012.

[115] 国家市场监督管理总局. GBW04248. 二氧化铀—氧化钆芯块中氧化钆和铀含量标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2012.

State Administration for Market Regulation. GBW04248. The Content of Gd_2O_3, U in UO_2-Gd_2O_3[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2012.

[116] 国家标准化管理委员会. GSB 04-4117-2023. 稀土型选择性催化还原(SCR)脱硝催化剂成分标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2024.

Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-4117-2023. CRM of Rare Earth Type Selective Catalytic Reduction (SCR) Denitration Catalyst for Chemical Composition Analysis[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2024.

[117] 国家市场监督管理总局. GBW(E)010605. 含镧、铈中低合金钢光谱分析用系列标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2022.

State Administration for Market Regulation. GBW(E)010605. Series of Lanthanum, Cerium-containing Low Alloy Steel Spectral Analysis[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2022.

[118] 国家市场监督管理总局. GBW(E)010604. 含镧、铈中低合金钢光谱分析用系列标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2022.

State Administration for Market Regulation. GBW(E)

010604. Series of Lanthanum, Cerium-containing Low Alloy Steel Spectral Analysis[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2022.

[119] 国家市场监督管理总局. GBW(E)010603. 含镧、铈中低合金钢光谱分析用系列标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2022.
State Administration for Market Regulation. GBW(E)010603. Series of Lanthanum, Cerium-containing Low Alloy Steel Spectral Analysis[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2022.

[120] 国家市场监督管理总局. GBW(E)010602. 含镧、铈中低合金钢光谱分析用系列标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2022.
State Administration for Market Regulation. GBW(E)010602. Series of Lanthanum, Cerium-containing Low Alloy Steel Spectral Analysis[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2022.

[121] 国家市场监督管理总局. GBW(E)010601. 含镧、铈中低合金钢光谱分析用系列标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2022.
State Administration for Market Regulation. GBW(E)010601. Series of Lanthanum, Cerium-containing Low Alloy Steel Spectral Analysis[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2022.

[122] 国家市场监督管理总局. GBW(E)010600. 含镧、铈中低合金钢光谱分析用系列标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2022.
State Administration for Market Regulation. GBW(E)010600. Series of Lanthanum, Cerium-containing Low Alloy Steel Spectral Analysis[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2022.

[123] 国家市场监督管理总局. GBW(E)010599. 含镧、铈中低合金钢光谱分析用系列标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2022.
State Administration for Market Regulation. GBW(E)010599. Series of Lanthanum, Cerium-containing Low Alloy Steel Spectral Analysis[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2022.

[124] 国家市场监督管理总局. GBW(E)020256. 铈锆复合物成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2022.
State Administration for Market Regulation. GBW(E)020256. CRMs of Cerium-Zirconium Complex Composition for Chemical Composition Analysis[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2022.

[125] 国家市场监督管理总局. GBW01119. 稀土球墨铸铁成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1987.
State Administration for Market Regulation. GBW01119. Ductile Iron[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1987.

[126] 国家市场监督管理总局. GBW01130. 稀土镁铸铁光谱分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1999.
State Administration for Market Regulation. GBW01130. RE-Mg Ductile Iron (for Use with Optical Emission Spectroscopic Methods)[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1999.

[127] 国家市场监督管理总局. GBW01129. 稀土镁铸铁光谱分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1999.
State Administration for Market Regulation. GBW01129. RE-Mg Ductile Iron (for Use with Optical Emission Spectroscopic Methods)[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1999.

[128] 国家市场监督管理总局. GBW01128. 稀土镁铸铁光谱分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1999.
State Administration for Market Regulation. GBW01128. RE-Mg Ductile Iron (for Use with Optical Emission Spectroscopic Methods)[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1999.

[129] 国家市场监督管理总局. GBW01127. 稀土镁铸铁光谱分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1999.
State Administration for Market Regulation. GBW01127. RE-Mg Ductile Iron (for Use with Optical Emission Spectroscopic Methods)[Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1999.

[130] 国家市场监督管理总局. GBW01126. 稀土镁铸铁光

谱分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1999.

State Administration for Market Regulation. GBW01126. RE-Mg Ductile Iron (for Use with Optical Emission Spectroscopic Methods) [Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1999.

[131] 国家市场监督管理总局. GBW01125. 稀土镁铸铁光谱分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 1999.

State Administration for Market Regulation. GBW01125. RE-Mg Ductile Iron (for Use with Optical Emission Spectroscopic Methods) [Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 1999.

[132] 国家标准化管理委员会. GSB 04-4120-2023. 铈锆复合氧化物成分系列标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2024.

Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-4120-2023. Series CRMs of Cerium Zirconium Composite Oxides for Chemical Composition Analysis[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2024.

[133] 国家市场监督管理总局. GBW01145. 稀土镁铸铁成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2004.

State Administration for Market Regulation. GBW01145. RE-Mg Cast Iron [Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2004.

[134] 国家标准化管理委员会. GSB 04-3970-2022. 氧化钇稳定氧化锆成分标准样品[Z]. 北京: 全国标准样品技术委员会, 2023.

Standardization Administration of the People's Republic of China. GSB 04-3970-2022. CRM of Yttria-stabilized Zirconia for Chemical Analysis[Z]. Beijing: China Association for Standardization, 2023.

[135] 国家市场监督管理总局. GBW(E)010190. 稀土镁球墨铸铁成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2007.

State Administration for Market Regulation. GBW(E)010190. Rare Earth Magnesium Nodular Cast Iron [Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2007.

[136] 国家市场监督管理总局. GBW(E)010189. 稀土镁球墨铸铁成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2007.

State Administration for Market Regulation. GBW(E)010189. Rare Earth Magnesium Nodular Cast Iron [Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2007.

[137] 国家市场监督管理总局. GBW(E)010188. 稀土镁球墨铸铁成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2007.

State Administration for Market Regulation. GBW(E)010188. Rare Earth Magnesium Nodular Cast Iron [Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2007.

[138] 国家市场监督管理总局. GBW(E)010533. 钕铁硼氧化物成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2019.

State Administration for Market Regulation. GBW(E)010533. Neodymium Iron Boron Oxide [Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2019.

[139] 国家市场监督管理总局. GBW(E)010532. 钕铁硼氧化物成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2019.

State Administration for Market Regulation. GBW(E)010532. Neodymium Iron Boron Oxide [Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2019.

[140] 国家市场监督管理总局. GBW(E)010531. 钕铁硼氧化物成分分析标准物质[Z]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2019.

State Administration for Market Regulation. GBW(E)010531. Neodymium Iron Boron Oxide [Z]. Beijing: State Administration for Market Regulation, 2019.

[141] 全国稀土标准化技术委员会, 中国标准出版社. 中国稀土标准汇编[M]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

National Technical Committee on Rare Earth of Standardization Administration of China. Standards Press of China. Compendium of Chinese Rare Earth Standards [M]. Beijing: Standards Press of China, 2016.

[142] 陈昌,韩文生,冉孟杰,任国兴,陈雯. 白云鄂博矿铌

物相转化与成核生长研究[J]. 有色金属工程,2024,14(8):111-120.
Chen C, Han W S, Ran M J, Ren G X, Chen W. Study on phase transformation and nucleation growth of Bayan Obo niobium ore[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2024, 14(8): 111-120.

Current Status and Development Recommendations of Chinese Rare Earths National Certified Reference Materials

ZHANG Hao, ZHANG Xiu-yan, YU Jing-xue, LIU Wei, REN Xu-dong, LI Zhi-qiang**

(*Baotou Research Institute of Rare Earths, Baotou* 014030, *China*)

Abstract: Certified reference materials (CRMs) are essential physical standards for measurement and quality control in the testing field. To gain a better understanding of the development status of national certified reference materials for rare earths and to guide the construction of a comprehensive system of national certified reference materials for rare earths to support the high-quality development of the industry. This paper systematically reviewed and analyzed Chinese rare earth national CRMs in terms of types, quantities, research fields and research establishments. As of January 2024, over 197 rare earth national CRMs have been prepared across nine fields, including steel and non-ferrous metals. More than 40 research establishments. Specifically, the categories of CRMs include 28 for rare earth ore and ore products and enriched materials, 29 items of rare earth metals and other compounds (including rare earth separation and smelting products), 6 items of rare earth alloys, 17 items of rare earth functional materials, 21 items of rare earth application products, 3 items of rare earth recyclable materials, and 93 items of other rare-earth-containing materials. This paper identifies the existing problems concerning limited category coverage, and a low number of certified elements in value in the development of Chinese rare earth national CRMs. And propose targeted recommendations for future development: Firstly, it is crucial to supplement the development of national CRMs for existing magnetostrictive materials, rare earth polymer additives, rare earth nickel alloys, rare earth zinc alloys, and other rare earth functional and applied materials, it is essential to develop corresponding national certified reference materials. This will ensure that the development of rare earth new materials and application materials is closely tracked, thereby facilitating the timely creation of relevant national certified reference materials to support the rapid advancement of rare earth new materials and their applications. The second objective is to develop a series of rare earth products based on varying chemical composition ratios, formulate national CRMs that fill the gaps in existing grades, and ensure comprehensive coverage of product quality. The third objective is to create national CRMs containing non-rare earth element reference data for raw material products such as rare earth minerals, metals, and compounds, with the aim of meeting the differentiated requirements of downstream products.

Key words: rare earth; certified reference material (CRM); standard reference material; traceability; development status