

引用格式: 王晶晶, 陈雄飞, 郝雪龙, 等. 镁及镁合金产业标准体系研究及建设建议[J]. 中国材料进展, 2024, 43(12): 1092-1098.
WANG J J, CHEN X F, HAO X L, *et al.* Research and Construction Suggestions on Magnesium and Magnesium Alloy Industry Standard[J]. Materials China, 2024, 43(12): 1092-1098.

特约专栏

镁及镁合金产业标准体系研究及建设建议

王晶晶, 陈雄飞, 郝雪龙, 胡璇, 马通达

(国标(北京)检验认证有限公司, 北京 102600)

摘要: 概述了镁及镁合金产业现状、应用情况以及标准体系建设现状。中国作为全球镁资源的龙头, 近些年来在镁及镁合金研发和生产技术方面发展迅速, 然而仍面临着生产工艺粗放、产品质量稳定性差、高附加值产品种类缺乏、下游应用规模小等诸多问题。为此, 加强镁及镁合金产业标准体系建设变得尤为重要。结合当前产业标准体系建设的现状和不足, 通过构建简洁、清晰、完整且高度协同的标准体系, 推动镁及镁合金产业向更高层次发展, 进而提升产品质量和国际竞争力。

关键词: 镁及镁合金; 标准体系; 分析测试; 化学分析; 物理性能

中图分类号: TG146.22; F426.32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-3962(2024)12-1092-07

Research and Construction Suggestions on Magnesium and Magnesium Alloy Industry Standard

WANG Jingjing, CHEN Xiongfei, HAO Xuelong, HU Xuan, MA Tongda

(GB (Beijing) Testing and Certification Co., Ltd., Beijing 102600, China)

Abstract: This paper summarizes the current situation of magnesium and magnesium alloy industry, application and standard system construction. As the leader of global magnesium resources, China has developed rapidly in magnesium and magnesium alloy research, development and production technology in recent years. However, it still faces many problems, such as extensive production process, poor product quality stability, lack of high value-added product types, and small downstream application scale. Therefore, it is particularly important to strengthen the construction of magnesium and magnesium alloy industry standard system. Combined with the current situation and shortcomings of the construction of the industrial standard system, we should build a simple, clear, complete and highly collaborative standard system to promote the development of magnesium and magnesium alloy industry to a higher level, and then improve product quality and international competitiveness.

Key words: magnesium and magnesium alloys; standard system; analysis and test; chemical analysis; physical property

1 镁及镁合金产业现状及应用情况

1.1 镁及镁合金特点及应用

镁作为一种轻质金属, 在工业领域具有重要地位。通过硅热法或熔盐电解法可初步提炼粗镁产品, 经过进一步精炼后, 可得到高质量的镁锭, 再通过添加多种合金元素如铝、锌、锰等可获得镁合金材料。根据成型工

艺的不同, 镁合金材料可分为变形镁合金和铸造镁合金^[1]。

镁合金具有高比强度、高比刚度以及出色的电磁屏蔽、阻尼减振和导热等物理性能以及良好的生物相容性和可降解性^[2], 这些特性为它在航空航天、轨道交通、3C 电子以及生物医学等领域提供了广阔的应用前景^[3]。在航空航天领域, 镁合金的高强度和低密度使它成为制造喷气发动机和火箭发动机等关键部件的理想材料, 有助于提高飞行安全性及性能^[4, 5]。在轨道交通方面, 镁合金的轻质和耐用性让它成为高铁、动车和地铁等快速交通工具的优选材料, 不仅可降低车体质量, 提升能源效率和运行性能, 同时也为乘客带来更优质的乘坐体

收稿日期: 2024-04-29 修回日期: 2024-06-04

第一作者: 王晶晶, 女, 1998 年生, 工程师

通讯作者: 马通达, 男, 1973 年生, 正高级工程师, 硕士生导师,

Email: matongda@gbtcgroup.com

DOI: 10.7502/j.issn.1674-3962.202404041

验^[6]。而在 3C 电子行业，镁合金的轻薄和优良散热性能受到了行业的青睐，镁合金不仅增强了电子产品的美观性和耐用性，还有效地解决了产品散热问题，延长了使用寿命^[7]。此外，在生物医学领域，镁合金因与人体体液的良好融合能力、无应力屏蔽效应及无毒性的特点，而广泛应用于生物医学植入物领域^[8,9]。值得一提的是，镁合金还是一种理想的储氢材料，其高储氢容量、低成本及资源丰富的特性，使它在能源领域具有广阔的发展前景^[10]。综上所述，镁合金凭借其多元优异特性和广泛的应用领域，正展现出巨大的发展潜力。

在当前我国积极推进“碳达峰、碳中和”目标的背景下，镁及镁合金材料的发展应用显得尤为重要。因此，开展镁及镁合金产业标准体系研究，不仅有助于提升材料的应用性能，还将为各行业的绿色发展提供有力支撑。

1.2 镁及镁合金产业现状

我国作为全球镁资源的龙头，不仅在镁储量上占据优势，而且在镁及镁合金基础原材料的生产技术和研究水平上也处于国际领先地位。进入 21 世纪后，国内的原镁生产呈现出稳健的增长态势，年均增长率维持在 7%~8%。历经数 10 年的发展，原镁的年产量已从起步阶段的 20 万吨大幅跃升至近百万吨。同时，生产的核心区域也逐渐向能源丰富的地区如陕西和山西等地转移，进一步提升了冶炼的产能集中度^[11]。

尽管镁及镁合金产业在中国的起步较晚，且目前仍处于发展的初级阶段，但在全球追求碳减排的大背景下，结合国内相关政策的扶持，该产业已逐渐展现出产品种类增多、企业规模细化的趋势。

同时，我国也是镁及镁合金产品的重要出口国。据

最新统计，2023 年全球原镁的产能达到 163 万吨，但实际产量却为 100 万吨，同比下降了 9.9%。这一产量的缩减主要来源于中国原镁产量的减少。同年，全球镁的消费量约为 105 万吨，同比下降 8.7%。2023 年中国的原镁产能维持在 136 万吨，产量则为 82.24 万吨，同比缩减 11.9%，其中镁合金和镁粉的产量分别呈现出 3.5% 的缩减和 15% 的增长。

自“十二五”规划以来，我国政府对镁产业给予了高度的关注和支持。2011 年颁布了《镁行业准入条件》。此后，国家发改委、工信部、科技部以及财政部等多个部门都相继发布了一系列与镁产业发展相关的指导文件，明确将镁列为重点发展和鼓励的新材料。

尽管国内的原镁产量持续增长，镁加工产业也取得了一定的进步，但整体上该产业仍然面临着产品种类不够丰富、质量稳定性有待提高、企业规模偏小以及抵御市场风险能力不强等诸多挑战^[12]。为了应对这些挑战，加强镁及镁合金产业标准体系建设显得尤为重要^[13]。这不仅是推动整个产业向更高层次发展的关键，也是确保产品质量、提升国际竞争力的必由之路^[14]。

2 镁及镁合金产业标准体系建设现状

2.1 有色金属行业标准体系建设情况

我国有色金属行业标准体系的建设围绕三个核心维度开展(图 1)^[15]：一是以产品为中心的传统原材料标准体系，二是贯穿全产业链的绿色低碳标准体系，三是覆盖生产全流程的智能制造标准体系^[15]。这三个维度相互关联、互为支撑，共同构成了有色金属行业标准体系的基本框架。

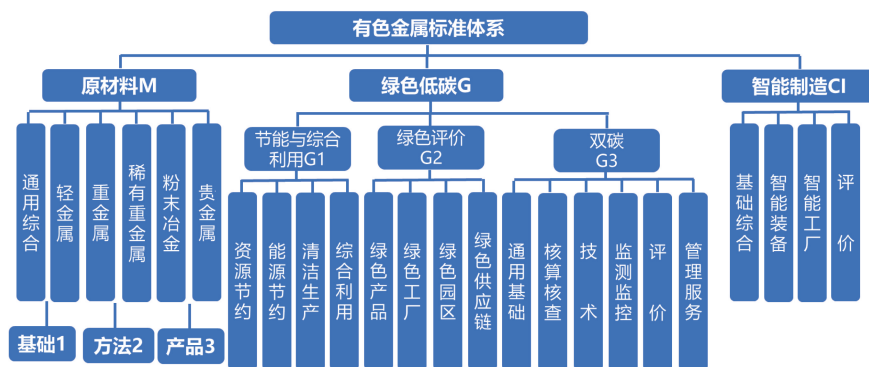


图 1 有色金属行业标准体系框架^[15]

Fig. 1 Non-ferrous metal industry standard system framework^[15]

原材料标准体系以产品为核心，系统构建了包括基础标准、产品规格、化学成分分析方法、性能检测指标、原辅材料要求、管理规范以及专用设备准则等在内的全方位标准体系。这些标准条理分明，相互配合，为产品

质量的稳定和提升提供了坚实的保障。同时，为了响应全球绿色、低碳的发展趋势，相关机构构建了绿色低碳标准体系，其中包括节能与综合利用准则、绿色评价标准以及“双碳”目标下的相关标准。此外，智能制造标准

体系涵盖了基础综合标准、智能装备规范、智能工厂建设指南、评价标准等多个方面。这一体系的建立,旨在通过智慧化手段推动有色金属工业的创新发展,实现产业链的智能化升级。

2.2 镁及镁合金产业标准体系建设现状

镁及镁合金产业标准体系,作为有色轻金属标准体系的关键构成,其构建思路紧密遵循轻金属标准体系的总体框架。至今,我国镁及镁合金产业已形成涵盖全产业链的标准体系,包括镁冶炼、镁合金熔铸、加工及产

品等环节,并辅以管理、基础标准等支撑(图 2)^[15]。截至 2023 年底,镁及镁合金产业基础标准已发布 3 项,在研 2 项;镁及镁合金产业方法标准已发布 41 项,在研 6 项;镁及镁合金产业产品标准已发布 34 项,在研 4 项。体系已初具规模,与铝及铝合金产业相比,镁及镁合金产业的基础和方法标准多借用铝及铝合金产业标准,缺乏针对性,导致体系运转效率不高,存在若干待完善之处,主要问题如下。

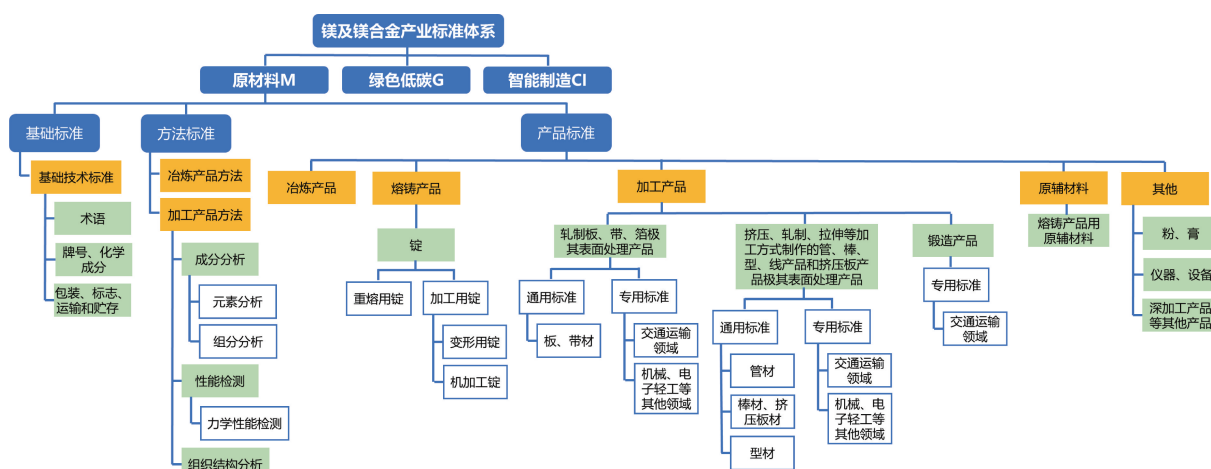


图 2 镁及镁合金产业标准体系^[15]

Fig. 2 Magnesium and magnesium alloy industry standard system^[15]

(1) 基础标准不足:目前镁合金熔铸沿用铝合金的热处理状态,但镁与铝本质不同,其热处理状态也有差异。因此,亟需制定专门的镁及镁合金热处理状态代号标准。此外,镁及镁合金现有分析测试标准在针对镁合金的特殊性方面存在明显不足,缺乏专门针对镁及镁合金特性的测试方法和标准,这影响了对镁合金性能的准确评估和材料的有效应用。下文将详细探讨镁合金分析测试标准的发展现状及局限性。

(2) 深加工产品标准缺乏:镁合金作为轻质金属结构材料,在许多领域都有替代铝及铝合金的潜力。虽然大宗通用产品标准已基本覆盖,但深加工产品,尤其是细分领域的产品标准仍显不足。

(3) 表面处理标准亟需制定:镁合金的耐蚀性较弱,已成为其广泛推广和应用的瓶颈。为克服这一局限,业界常采取表面处理以增强其耐蚀性能^[16]。参考铝及铝合金在表面膜层方面的标准实践,镁及镁合金领域亦亟需结合其独有特性,研发出相应的表面膜层标准体系。这对于推动镁合金产品的市场拓展和结构优化至关重要。

(4) 智能制造、绿色评价标准缺乏:在当今世界,绿色发展已经成为全球化的重要趋势和需求。我国同样

积极响应此趋势,将绿色产业的发展视为促进经济结构优化的重要手段,持续强调绿色理念及其深刻内涵。绿色低碳标准将是未来标准化工作的核心和趋势。构建一个完善的绿色低碳标准体系,对于推动全行业绿色发展、优化产业结构、改善环境质量、提升治理水平以及促进节能环保技术的进步都具有至关重要的作用。需要加强标准化工作的推进,加快制定和完善相关绿色低碳标准。

3 镁及镁合金分析测试标准发展现状

在我国镁及镁合金产业标准体系的建设过程中,不仅需要从产业链的角度完善各类标准,同时也需要深入分析测试标准的发展现状,以确保标准体系的科学性和实用性。特别是在分析测试方面,包括化学分析方法、物理及力学性能测试、显微组织分析以及无损检测等环节的标准制定与实施,都直接关系到镁及镁合金材料的质量控制与市场竞争力。下文将详细探讨镁及镁合金分析测试标准的具体发展现状。

3.1 化学分析方法

化学成分是划分金属材料牌号和类型的关键指标,对材料的性能和微观组织结构有着重要影响。金属材料

的化学成分分析是金属材料的生产、加工和应用中的重要环节。我国镁及镁合金化学分析方法标准经过几十年的研究和发展已形成较为完善的标准体系(见表 1)。国家标准 GB/T 13748《镁及镁合金化学分析方法》系列是目前国内镁及镁合金在生产、应用和贸易过程中开展化学成分分析的主要依据。该系列标准是在转化吸收 ISO 标准的基础上,结合我国自身行业特点和技术水平而制定的,并随着我国镁产业的发展而不断修订完善。到目前,GB/T 13748 系列共包含 24 个部分,分析方法除光度法、滴定法、重量法等经典化学法外,还包含了电感耦合等离子体原子发射光谱法、火花直读原子发射光谱法、X 射线荧光光谱法、辉光放电直读光谱法等先进仪器分析方法,实现了镁及镁合金中从关键合金元素到有害杂质元素、从常量元素分析到痕量甚至超痕量元素分析的全覆盖。近年来,由国标(北京)检验认证有限公司牵头制定的有色金属团体标准《镁及镁合金化学分析方法 铍、

铝、钙、钛、铬、锰、铁、镍、铜、锌、砷、镉、锡、汞、铅含量的测定 电感耦合等离子体质谱法》,将电感耦合等离子体质谱技术应用于镁及镁合金痕量元素的分析检测并进行了标准化,进一步完善了镁及镁合金化学分析方法的标准体系。

由此可见,我国现行的镁及镁合金化学分析方法标准体系在元素种类、测试范围、分析方法等方面,既能够满足镁及镁合金从常规合金元素到痕量/超痕量杂质元素的定量分析,也能够满足生产过程中的快速检测及贸易过程中的仲裁分析,有力配合了 GB/T 3499《原生镁锭》、GB/T 5153《变形镁及镁合金牌号》、GB/T 1177—2018《铸造镁合金》、GB/T 19078—2016《铸造镁合金锭》等系列镁及镁合金产品标准的实施应用,对于提升我国镁及镁合金材料及产品的质量,推动我国镁产业的高质量发展起到了至关重要的支撑作用。

表 1 我国镁及镁合金化学分析方法标准

Table 1 Standards for chemical analysis methods of magnesium and magnesium alloys in China

Serial number	Standard number	Standard name
1	GB/T 13748.1—2013	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Part 1: Determination of aluminum content
2	GB/T 13748.2—2005	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Determination of tin content-Orthocatechol violet spectrophotometric method
3	GB/T 13748.3—2005	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Determination of lithium content-Flame atomic absorption spectrometry
4	GB/T 13748.4—2013	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Part 4: Determination of manganese content-Periodate spectrophotometric method
5	GB/T 13748.5—2005	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Determination of yttrium content-Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry
6	GB/T 13748.6—2005	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Determination of silver content-Flame atomic absorption spectrometry
7	GB/T 13748.7—2013	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Part 7: Determination of zirconium content
8	GB/T 13748.8—2013	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Part 8: Determination of rare earth content-Gravimetric method
9	GB/T 13748.9—2013	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Part 9: Determination of iron content-Phenanthroline spectrophotometric method
10	GB/T 13748.10—2013	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Part 10: Determination of silicon content-Molybdenum blue spectrophotometric method
11	GB/T 13748.11—2005	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Determination of beryllium content-Yilai chromium cyanide blue R spectrophotometric method
12	GB/T 13748.12—2013	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Part 12: Determination of copper content
13	GB/T 13748.13—2005	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Determination of lead content-Flame atomic absorption spectrometry
14	GB/T 13748.14—2013	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Part 14: Determination of nickel content-Diketoxime spectrophotometric method
15	GB/T 13748.15—2013	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Part 15: Determination of zinc content

续表

Serial number	Standard number	Standard name
16	GB/T 13748. 16—2005	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Determination of calcium content-Flame atomic absorption spectrometry
17	GB/T 13748. 17—2005	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Determination of potassium and sodium content-Flame atomic absorption spectrometry
18	GB/T 13748. 18—2005	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Determination of chlorine content-Silver chloride turbidity method
19	GB/T 13748. 19—2005	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Determination of titanium content-Dianitypyrylmethane spectrophotometric method
20	GB/T 13748. 20—2009	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Part 20: Determination of element content by ICP-AES
21	GB/T 13748. 21—2009	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Part 21: Determination of element content by photoelectric direct reading atomic emission spectroscopy
22	GB/T 13748. 22—2013	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Part 22: Determination of thorium content
23	GB/T 13748. 23—202X	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Part 23: Determination of element content-Wavelength dispersive X-ray fluorescence spectroscopy (under approval)
24	GB/T 13748. 24—202X	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Part 24: Determination of trace impurity elements-Glow discharge mass spectrometry (under approval)
25	T/CNIA 00XX—202X	Chemical analysis methods for magnesium and magnesium alloys-Determination of beryllium, aluminum, calcium, titanium, chromium, manganese, iron, nickel, copper, zinc, arsenic, cadmium, tin, mercury, lead content-Inductively coupled plasma mass spectrometry method (under approval)

3.2 物理及力学性能测试方法

在镁及镁合金力学性能测试领域，目前多数试验标准仍沿用了常用金属材料的相关标准。室温拉伸力学性能被视为评估镁及镁合金加工产品作为结构材料应用时强度指标的关键项目^[17]，目前各测试机构广泛采用 GB/T 228. 1—2021《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》标准，并未针对镁及镁合金加工产品的取样位置、加工及加载等关键环节进行具体规定，导致结果稳定性与一致性较差，从而在实际应用中表现出一定的局限性。在有色金属行业，尽管制定了 GB/T 16865—2023《变形铝、镁及其合金加工制品拉伸试验用试样及方法》标准，该标准覆盖了镁及镁合金加工产品的相关内容，但在试验速率的选择上，标准建议应根据材料的特性来确定。然而，在实际操作中，镁及镁合金加工产品往往直接沿用铝加工产品的试验速率，这导致所得的试验数据并不能真实反映镁材料的固有特性，从而影响了材料性能的准确评估。

随着镁及镁合金在航空航天、汽车、电子等领域的广泛应用，其耐腐蚀性能的评价显得尤为重要，其性能分析测试方法主要有盐雾试验、电化学测试、浸泡腐蚀试验及环境模拟试验等。然而，针对镁及镁合金的耐腐蚀性能测试尚未形成统一的标准。对于加速腐蚀试验，大多借鉴钢铁、铝合金等材料的试验方法。由于镁合金

与其他金属材料的腐蚀机理存在显著差异，这些借鉴的方法并不完全适用于镁合金。例如，镁合金在水溶液中容易发生电化学腐蚀，且其腐蚀速率受多种因素影响，如杂质元素、合金成分、显微组织以及腐蚀介质等。因此，直接套用其他材料的腐蚀试验方法可能会导致试验结果失真，无法准确反映镁合金的实际腐蚀性能。此外，现有的腐蚀分级标准主要是针对其他金属材料制定的，并未充分考虑镁合金的特性。综上所述，镁及镁合金耐腐蚀性能测试方法在发展过程中仍面临诸多挑战。未来研究应致力于建立统一的标准体系、缩短试验周期、提高试验条件与实际环境的相似性，并探索更全面的综合评价指标，以推动镁及镁合金在各个领域的广泛应用。

3.3 显微组织分析方法

目前 GB/T 4296—2022《变形镁合金显微组织检验方法》是唯一针对变形镁合金显微组织进行检验的方法标准，适用于变形镁合金材料、制品显微组织的检验，标准规定了变形镁合金铸锭、棒材、板材、型材等显微组织检验用的试验溶液及试样制备、浸蚀、组织检验和晶粒度测定方法等，对变形镁合金新产品的研发和成熟产品的市场交易有着重要意义，为变形镁合金的开发研制及产业化提供有力保障。

3.4 无损检测方法

镁及镁合金在加工和使用过程中容易产生缺陷，如

裂纹、气孔、夹杂等，这些缺陷会严重影响其力学性能和耐腐蚀性能。因此，开展镁及镁合金的无损检测研究具有重要意义。目前，针对镁及镁合金的无损检测方法主要包括超声检测、射线检测、涡流检测、磁粉检测以及红外热成像检测等^[18, 19]。虽然针对镁及镁合金的无损检测方法众多，但每种方法都有其特定的适用范围和局限性。例如，目前使用的缺陷当量和标块主要是钢的，这对于镁合金来说适用性较差。由于镁合金的晶粒通常比铝合金更细，导致按照铝合金的要求进行超声波检测可能过于宽松。因此，开发一种通用性强、适用于各种镁合金材料和构件的无损检测方法仍是一个亟待解决的问题。

3.5 现有镁及镁合金分析测试标准的局限

(1) 物理及力学性能测试方法不完善：镁合金的物理及力学性能测试方法目前仍主要依赖通用金属材料标准，缺乏对镁合金特殊性质的专门考量。这导致在进行拉伸试验等测试时，无法准确捕捉镁合金的独特力学行为，进而影响对材料性能的精准评估。

(2) 耐腐蚀性测试缺乏统一标准：镁合金的耐腐蚀性测试尚未建立起一套统一且专门针对镁合金特性的标准方法。现阶段多采用其他金属材料的测试标准，这忽视了镁合金独特的腐蚀机制和影响因素，从而可能得出误导性的结论，不利于镁合金的耐腐蚀性研究和应用推广。

(3) 显微组织分析方法单一：当前，针对镁合金的显微组织分析方法相对单一，主要集中在变形镁合金上，缺乏对其他类型镁合金如铸造镁合金等的专用分析方法。这种局限性限制了我们对镁合金显微组织的深入理解，制约了镁合金材料研究的全面发展。

(4) 无损检测方法缺乏针对性和精确性：现有的镁合金无损检测方法虽然种类繁多，但普遍缺乏针对镁合金材料特性的定制化检测方案。由于直接采用基于其他材料设计的检测标块和参数，这些方法的精确性和可靠性在镁合金检测中大打折扣，无法满足对镁合金缺陷精准识别的需求。

4 未来标准体系研究方向

通过上文对我国镁及镁合金产业及标准体系现状的梳理和分析，基于产业未来发展趋势，对我国镁及镁合金测试评价标准体系的建设和完善提出如下建议。

(1) 制定适合于镁及镁合金材料的物理及力学性能测试标准。围绕镁合金的耐腐蚀性测试需求，研发更为精细的加速腐蚀试验方法。深入研究镁合金的腐蚀机理，并基于此设计新的加速腐蚀试验，以更贴近实际应用场

景的方式评估其耐腐蚀性能。此外，针对镁合金的强度、延展性、疲劳寿命等关键力学性能指标，亟需制定相应的试验方法标准及在实际服役条件下的测试评价标准，为材料的设计、生产和应用提供更为准确可靠的依据。

(2) 逐步制定下游细分领域产品特殊性能指标的测试评价标准。围绕高性能镁及镁合金在汽车、新能源、3C、生物医疗等领域的应用需求，重点研究专用镁及镁合金原材料及部件特殊性能指标的测试评价方法。基于目前镁及镁合金下游细分领域产品的产业规模普遍较小的特点，建议开展相应的团体标准的制定，构建一套既涵盖依据国家和行业标准的通用理化指标，又融合团体标准中特殊性能指标的，更为合理且全面的测试评价标准体系。

(3) 完善镁及镁合金分析测试用标准物质/标准样品体系。围绕镁及镁合金分析检测的需求，加快研制重点牌号的镁及镁合金分析测试用标准物质/标准样品，重点研制高纯度原镁 GD-MS 分析用和稀土镁合金化学分析用系列标准物质/标准样品，以及镁合金关键力学性能测试用标准物质/标准样品。

5 结 论

通过对镁及镁合金产业现状及应用情况的深入分析可知，镁及镁合金材料在多个领域具有广泛的应用前景，尤其在绿色低碳发展的背景下，其重要性日益凸显。然而，镁加工产业仍然面临着一些挑战，如产品种类不够丰富、质量稳定性有待提高等。为解决这些问题，加强镁及镁合金的标准体系建设和标样研制工作具有至关重要的作用。通过构建完善的标准体系，可以提升镁及镁合金产品的质量稳定性，推动产业技术创新和产业升级，进而提升我国在全球镁及镁合金市场的竞争力和在国际镁及镁合金领域的话语权和影响力。

综上所述，镁及镁合金产业标准体系建设是推动镁及镁合金产业发展的重要手段，对于提升我国镁及镁合金产业的国际竞争力和可持续发展能力具有重要意义。未来，应持续加强标准体系的建设，推动镁及镁合金产业向更高层次发展。

参考文献 References

- [1] 王世栋, 李明珍, 叶秀深, 等. 盐湖研究[J], 2014, 22(4): 61-66.
WANG S D, LI M Z, YE X S, *et al.* Journal of Salt Lake Research [J], 2014, 22(4): 61-66.
- [2] 高质涵, 高铭泽, 孙艺, 等. 中国材料进展[J], 2022, 41(11): 959-964.
GAO Z H, GAO M Z, SUN Y, *et al.* Materials China[J], 2022, 41(11): 959-964.

- [3] 闫志飞, 田光元, 苏辉, 等. 铸造技术[J], 2023, 44(2): 101-113.
YAN Z F, TIAN G Y, SU H, *et al.* Foundry Technology[J], 2023, 44(2): 101-113.
- [4] 何阳, 袁秋红, 罗岚, 等. 航空材料学报[J], 2018, 38(4): 26-36.
HE Y, YUAN Q H, LUO L, *et al.* Journal of Aeronautical Materials [J], 2018, 38(4): 26-36.
- [5] 谭军, 王芳磊, 蒋斌, 等. 自然杂志[J], 2023, 45(2): 93-105.
TAN J, WANG F L, JIANG B, *et al.* Chinese Journal of Nature[J], 2023, 45(2): 93-105.
- [6] 刘世杰, 唐伟能. 金属制品[J], 2023, 49(3): 67-72.
LIU S J, TANG W N. Metal Products[J], 2023, 49(3): 67-72.
- [7] 程子洲, 赵莉萍, 王小青, 等. 稀土信息[J], 2022(5): 30-35.
CHENG Z Z, ZHAO L P, WANG X Q, *et al.* Rare Earth Information [J], 2022(5): 30-35.
- [8] 关绍康, 朱世杰, 郑玉峰, 等. 中国工程科学[J], 2023, 25(1): 104-112.
GUAN S K, ZHU S J, ZHENG Y F, *et al.* Strategic Study of CAE [J], 2023, 25(1): 104-112.
- [9] 皇甫强, 袁思波, 韩建业, 等. 中国材料进展[J], 2015, 34(5): 396-400.
HUANGFU Q, YUAN S B, HAN J Y, *et al.* Materials China[J], 2015, 34(5): 396-400.
- [10] 梁宸曦, 王振斌, 张明锦, 等. 储能科学与技术[J], 2024, 13(3): 788-824.
LINAG C X, WANG Z B, ZHANG M J, *et al.* Energy Storage Science and Technology[J], 2024, 13(3): 788-824.
- [11] 席欢, 曹明玥. 中国有色金属[J], 2020(21): 27-33.
XI H, CAO M Y. China Nonferrous Metals[J], 2020(21): 27-33.
- [12] 席欢. 中国有色金属[J], 2011(24): 34-35.
XI H. China Nonferrous Metals[J], 2011(24): 34-35.
- [13] 钱雨桐, 张素银, 郭培培. 质量探索[J], 2018, 15(4): 31-37.
QIAN Y T, ZHANG S Y, GUO P P. Quality Exploration[J], 2018, 15(4): 31-37.
- [14] 李芳, 管仁国, 铁镛, 等. 中国工程科学[J], 2020, 22(5): 76-83.
LI F, GUAN R G, TIE D, *et al.* Strategic Study of CAE[J], 2020, 22(5): 76-83.
- [15] 周阿蒙. 中国有色金属[J], 2023(23): 38-41.
ZHOU A M. China Nonferrous Metals[J], 2023(23): 38-41.
- [16] 王悦存, 周凡, 葛延峰, 等. 中国材料进展[J], 2020, 39(2): 100-111.
WANG Y C, ZHOU F, GE Y F, *et al.* Materials China[J], 2020, 39(2): 100-111.
- [17] 涂腾, 陈先华. 中国材料进展[J], 2018, 37(7): 526-531.
TU T, CHEN X H. Materials China[J], 2018, 37(7): 526-531.
- [18] 倪培君, 王猛, 乔日东, 等. 兵器装备工程学报[J], 2020, 41(7): 158-163.
NI P J, WANG M, QIAO R D, *et al.* Journal of Ordnance Equipment Engineering[J], 2020, 41(7): 158-163.
- [19] 李磊, 王敬雨, 席晓琦, 等. 河南科学[J], 2019, 37(1): 21-25.
LI L, WANG J Y, XI X Q, *et al.* Henan Sciences[J], 2019, 37(1): 21-25.

(编辑 费蒙飞)