

基于可视化的真空镀膜装备 TBT 竞争技术分析

叶俊文^{1,4*} 黎子辉² 李晓刚³ 万雨龙⁴

(1. 中山市深中标准质量研究中心 中山 528402; 2. 华南理工大学 广州 510641;
3. 中山凯旋真空科技股份有限公司 中山 528478; 4. 广东省中山市质量技术监督标准与编码所 中山 528403)

Data Visual Analytics Towards TBT Competition Technology of Vacuum Coating Equipment

YE Junwen^{1,4*}, LI Zihui², LI Xiaogang³, WAN Yulong⁴

(1. Zhongshan S & Z Institute of Standards and Quality, Zhongshan 528402, China; 2. South China University of Technology, Guangzhou 510641, China; 3. Zhongshan Kaixuan Vacuum Science & Technology Co. Ltd., Zhongshan 528478, China; 4. Zhongshan Institute of Quality and Technical Supervision Standards and Coding in Guangdong Province, Zhongshan 528403, China)

Abstract Currently, the domestic market for vacuum coating equipment technology is experiencing continuous expansion, while international trade competition in this field is intensifying. Against this backdrop, conducting TBT research becomes increasingly important. To analyze the competitive technology of vacuum coating equipment through TBT analysis, data visualization technology is employed to explore the visualization process using both domestic and foreign TBT data (notifications and standards) as the basis. The focus lies on empirical image analysis of value results in this field, particularly emphasizing the relationship between the purpose of TBT notification & technical content, standard category & theme. The visualization results of the trinity of literature data, patents and TBT data are formed. This transformation aims to establish an industrial standard system and roadmap planning in Guangdong province by fully analyzing the competition status and development prospects of vacuum coating equipment while indicating technological directions within this domain.

Keywords Data visualization, Vacuum coating, Technical barriers to trade, Technical standard, Technical competition, Roadmap

摘要 当前国内真空镀膜装备技术市场规模持续扩大,而国际贸易竞争愈发激烈的背景下对TBT的研究更为重要,针对真空镀膜装备开展TBT竞争技术分析,采用数据可视化技术,以国内外TBT数据(通报和标准)为对象,探索可视化处理过程,通过实证图像解析领域内价值结果,尤其是聚焦TBT通报目的与技术内容、标准类别与主题的关联关系,形成文献数据、专利、以及TBT数据三位一体的可视化成果,从而转化为产业竞争技术,以广东为例构建产业标准体系与路线图规划,充分剖析真空镀膜装备的竞争现状和发展前景,指明该领域技术的前进方向。

关键词 数据可视化 真空镀膜 技术性贸易壁垒 技术标准 竞争技术 路线图

中图分类号: TB43

文献标识码: A

doi: 10.13922/j.cnki.cjvst.202404004

真空镀膜工艺技术的高性价比,以及对环境的近零污染,客观上促使其成为了薄膜材料制备技术的主流,各种镀膜工艺的装备不断增加,当前中国真空镀膜机行业市场规模已超过60亿元^[1]。中高端精密真空镀膜装备已成为中国半导体和光学行

业在产能扩充和技术迭代中的重要支撑。在当今世界激烈的技术竞争中,利用现有的技术信息辅助创新决策和标准研制显得愈发重要。标准等技术性贸易壁垒(Technical Barriers to Trade, TBT)作为科技创新的产出和成果形式之一,是企业获得竞争

能力和引领发展的重要条件,通过制定涵盖前沿技术的市场标准,对全产业链构建、碎片化需求和各类资源进行整合,为行业企业实现技术跨越提供技术支撑,这正是真空镀膜装备行业需要的,是解决眼下行业发展困顿的利器。在精密真空镀膜装备及其相关元器件研发过程中及时地获取技术信息,并在此基础上转化研制适配我国真空镀膜产业的先进技术标准,将有助推动我国真空镀膜设备产业抢占国际竞争优势。总而言之,当前需要对真空镀膜装备产业的高精度工艺技术进行突破,以实现高质量发展;需要加快构建真空镀膜装备产业标准体系,完善设备通用安全保障以提升设备高精度质量要求。

在真空镀膜技术与装备研发方面,传统的真空蒸发镀、真空溅射镀、真空离子镀、真空束流沉积、化学气相沉积等技术早已进入成熟应用阶段,新的真空镀膜技术也仍在探索开发,以此研发制备的真空镀膜装备不断优化改进,并作为重要技术,在新材料研发、新领域应用方面发挥作用。很多文献可以查阅到真空镀膜技术的发展与应用。比如,Parsons GN 整理了原子层沉积(ALD)的技术起源、发展历史、以及在 20 世纪 90 年代以来取得进展,凭借着优异的沉积均匀性和一致性,ALD 是开发早、技术成熟度高的真空镀膜技术之一,已在微纳电子和纳米材料等领域具有广泛的应用^[2]; Nguyen MT 介绍了利用溅射沉积技术实现金属/金属氧化物纳米颗粒(NP)的绿色合成,而金属氧化物纳米颗粒在能源材料与催化剂、导电与微电子器件、生物传感器、生物成像剂和治疗药物等尖端技术领域中都具有重要应用价值^[3]; Patil DR 探讨了真空颗粒喷涂(GSV)工艺和气溶胶沉积(AD)在室温下形成具有纳米级微晶结构的致密陶瓷厚膜的方法,这类压电厚膜对于超级电容器、超敏传感器、微致动器、压电能量采集器等而言是关键的^[4]; Benti HG 研究了真空镀膜技术、尤其是滤阴极真空电弧沉积(FCVAD)对于提高刀具性能与寿命的效果,该技术在机械加工行业、电子行业和医疗行业有广泛的应用^[5]; Feng J S 和 Gil-Escrig L 都是利用真空镀膜技术制备了均匀且高质量的钙钛矿薄膜太阳电池,作为第三代太阳能电池的钙钛矿型太阳电池被研究人员寄予厚望,因而真空镀膜技术在太阳能方面的应用受到了重点关注和持续跟进^[6-7]。上述文献从技术信息层面为本文研究提供了重要参考。

另外,有关 TBT 对我国贸易影响的研究方面,

Bao X H 较早前就指出了 TBT 既具有贸易促进作用,又具有贸易限制作用^[8];不久前, Ghodsi M 研究了 2002–2015 年中国 TBT 对制造业产品进口的异质性影响,指出了贸易政策措施中所包含的强制性标准和法规使中国经济能够更好地接触到来自更发达经济体的大型出口商^[9];刘主光和刘慧都是研究了国外 TBT 对中国出口贸易的影响,研究表明,发达经济体 TBT 更为严格,对中国出口贸易的抑制作用更强^[10-11]。系列研究表明,只有充分认识到 TBT 对中国进出口贸易正面的促进作用和负面的阻碍作用,研究相关对策措施,才能推进中国产业结构优化和经济高质量发展,并更好地在国际贸易中实现多边共赢。

尽管真空镀膜装备技术市场规模持续扩大,而且国际贸易竞争愈发激烈的背景下对 TBT 的研究也更为重要,但尚未见有学者针对真空镀膜装备开展 TBT 竞争技术分析,更未见通过 TBT 数据可视化处理与分析,实现产业标准体系的构建与路线图规划。这恰恰对于中国真空镀膜装备的发展而言相当重要。

作者此前已通过可视化手段完成基于文献数据和专利的真空镀膜装备竞争技术分析,引起了业界关注^[12-13]。在此基础上,本文以国内外 TBT 数据(通报和标准)为可视化研究对象,探索可视化处理过程,通过实证图像解析领域内价值结果,由此转化为竞争技术,形成文献数据、专利、以及 TBT 数据三位一体的可视化处理,充分剖析真空镀膜装备的竞争现状和发展前景,指明该领域技术的前进方向。

1 TBT 数据可视化处理

1.1 数据采集

1.1.1 TBT 通报

登陆 ePing 预警系统,以 HS 编码 848620、848630 为检索条件,限制通报类型为 TBT,导出表结构数据共计 177 条(历年数据),原始数据字段包括[通报会员][分发(通报)日期][编号][标题][描述][覆盖产品][HS 编码][ICS 编码][通报目的][关键词][可能受影响的特定地区或国家][评议截止日期][通报类型][通报文件][通报链接(英文)]等 15 项。

1.1.2 标准

通过全国标准信息公共服务平台、国外标准组

织官网和商业标准数据库,以关键词、标准编号检索等手段,全数采集所有相关技术标准信息,导出技术标准题录(表结构数据)。采集策略如下:

(1)检准:(a)向设备厂商、用户索取所使用技术标准题录(即“厂商题录”);(b)以“镀膜设备”为关键词锁定若干项产品标准作为核心标准,锁定国内外相关标准化技术委员会,国内主要为 SAC/TC18 全国真空技术标委会,国外主要为国际标准化组织 ISO/TC112 真空技术与德国标准化组织 NA 060-07 FB 真空技术。

(2)检全:迭代方式进行。(a)由厂商题录标准、设备核心技术标准的“规范性引用文件”“参考文献”作为相关标准;(b)由相关标准的技术归口单位整理出相关标准化机构(如表 1 所示),通过相关标准化机构所负责的标准制修订项目筛选更多相关标准;(c)由相关标准的名称迭代整理出检索关键词,如 PVD、离子源、溅射、磁控、腔体、靶材等,迭代检全相关标准。导出表结构数据共计 623 条。

(3)字段采集:通过技术标准题录,采集标准原始数据字段包括[标准级别][标准号][标准名称][ICS 分类号][CCS 分类号][国民经济分类/行业分类][标准类别][发布日期][实施日期][是否公开标准文本(团体标准)]等 10 项。

1.2 数据处理

1.2.1 TBT 通报

(1)数据翻译:嵌入翻译工具进行英译中自动翻译,对[通报成员][可能受影响的特定地区或国家][通报目的][通报类型]等 4 个规范数据字段进行人工校对与翻译后统一规整;(2)数据清洗:筛除我国对外通报数据,由[标题][摘要][覆盖产品][ICS 编码]字段内容,迭代筛除通报对象为“电动工具”“发动机”“消毒设备”“注塑机”“饮用水处理系统”“防火喷头”等不相关数据(脏数据),保留

84 条数据;(3)价值字段创建:由[ICS 编码]识别创建[ICS 分类]、由[通报日期][评议截止日期]计算创建[评议周期]、由[标题][描述]识别创建[技术内容],对缺失值通过人工溯源通报源文件予以补充。

1.2.2 标准

(1)数据清洗:人工识别标准名称存疑的标准,通过查阅标准范围筛除非真空镀膜标准,例如薄膜涂覆、电镀标准,清洗后保留 507 条数据。(2)价值字段创建:识别创建[标准类别](安全、产品、方法、管理、规程、基础等)、[是否包含专利信息(团体标准)],[是否公开标准文本(团体标准)],[采标情况(国家标准)],对缺失值通过人工溯源标准文本予以补充。

1.3 可视化

采用可嵌入编程语言的数据分析软件,绘制可视化图像,通过解析探究图像获得价值成果。

2 可视化分析结果

2.1 TBT 通报

2.1.1 通报成员

按通报成员分布的 TBT 通报量,能反映出口目的市场对装备进口的安全和技术关注度。为直观解读 TBT 通报热点成员情况,从通报数量、地域 2 个维度,绘制矩形图,矩形面积大小对应通报数量。通报成员矩形图(图 1 所示)显示,通报成员集中于发达国家的美国(17 件)、日本(13 件),其次是新兴市场的南非(5 件)、以色列(3 件)、泰国(3 件)、科威特(3 件)。通过数据探索,美国通报内容集中于工业设备能效计划、节能标准和试验程序,日本通报内容集中《合理使用能源法案》的修订,而新兴市场通报内容涉及电气安全法规和符合性认证、电子垃圾进入等。

表 1 真空镀膜装备相关标准化机构

Tab. 1 Related standardization bodies in vacuum coating equipment

序号	范围	名称
1	国内 (SAC)	SAC/TC 18、SAC/TC 431、SAC/TC 203/SC 2、SAC/TC 38、SAC/TC 57、SAC/TC 57/SC 10、SAC/TC 57/SC 9
2	国际 (ISO)	ISO/TC 112、ISO/TC 107、ISO/TC 107/SC 9、ISO/TC 107/WG 5、ISO/TC 201、ISO/TC 201/SC 4、ISO/TC 118/SC 6
3	国际 (IEC)	IEC/TC 113、IEC/TC 82、IEC/TC 47
4	欧盟 (CLC、CEN)	CLC/SR 49、CLC/SR 47、CLC/SR 47F、CEN/TC 232
5	德国 (NA)	NA 060-07 FB、NA 060-07 FBR、NA 060-07-01 AA、NA 060-07-02 AA、NA 060-07-03 AA、NA 062-01-64 AA、NA 062-01-61 AA

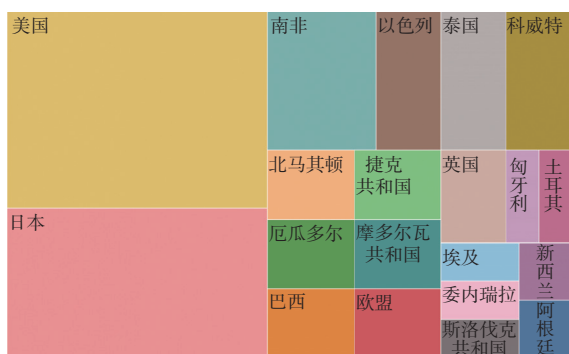


图1 TBT 通报成员通报量矩形图

Fig. 1 Rectangle diagram of notifications for TBT notifying members

2.1.2 评议期

采用花瓣玫瑰图的花瓣大小与色彩层次对通报成员与评议期数据组合分析,以花瓣面积表示评议期(均值)大小,由此加深观察者的数据印象。图2所示,按TBT通报热点成员的评议期绘制花瓣玫瑰图(个别成员评议期原始数据缺失),由图表及数据交互得知,评议期大部分为60天,符合WTO/TBT协定规定在法规批准60天前向WTO秘书处通报的要求;通报数排名首位的美国,平均评议期略低于法定评议期2.3天;值得关注通报排名第5的北马其顿和排名第7的英国,评议期分别仅有30天和24天,仅为法定评议期的一半或以下。

2.1.3 通报类型

通过凹凸图来连接每种通报类型在不同年份的排名状况,以此知道通报成员对于通报类型的变化。由图3及数据交互得知,近年来通报类型以常

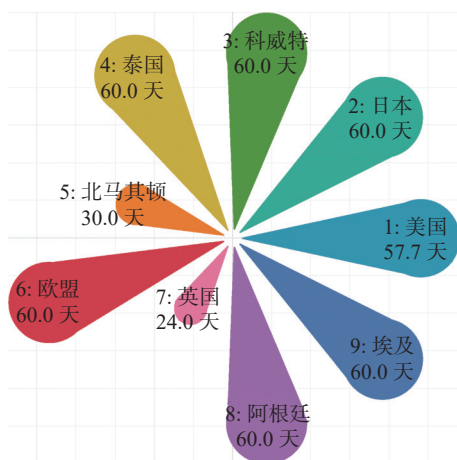


图2 TBT 通报成员评议期花瓣玫瑰图

Fig. 2 Petal rose diagram of comment period for TBT notifying members

规通报和补遗为主,排名不分上下;近三年通报类型集中在补遗,补遗内容涉及美国的工业设备能效计划与试验程序,日本的《合理使用能源法案》修订;2011年和2020年间隔近10年间,各发生1起勘误通报,通报内容涉及英国的《消费者物联网设备网络安全提案》名称校正,南非的电气安全法规内容修正。

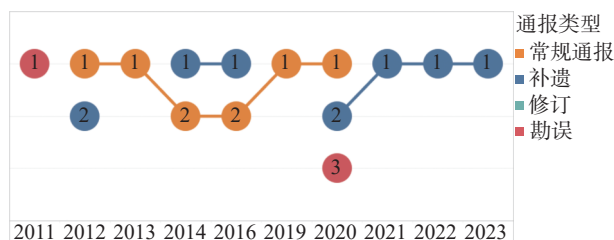


图3 TBT 通报类型凹凸图

Fig. 3 Bump chart of TBT notification type

2.1.4 通报主题

通报文件涉及的ICS分类较多,但其揭示着通报热门主题,使用山峰形柱状将使通报主题分布表现效果更佳。由图4及数据交互得知,真空镀膜装备近年通报内容集中于环境保护(13件),家用、商用和同业用加热器具(7件),热泵(5件),试验条件和规程综合(4件),主要涉及装备的热系统、抽空系统(泵真空系统)等传统基础性部件,以及节能能效、产品试验方法和程序的标准与技术法规。

2.1.5 通报目的与技术内容

通过分类桑基图起到通报目的与技术内容的分类指向,且透过堆叠条高低展现通报数量。图5及数据交互得知,通报目的集中于环境保护(28件)、防止欺诈行为和保护消费者(20件),以及保护人类健康或安全(16件);基于环境保护目的的通报主要涉及装备节能能效技术内容(占60.7%),而基于防止欺诈行为和保护消费者的通报主要涉及装备电

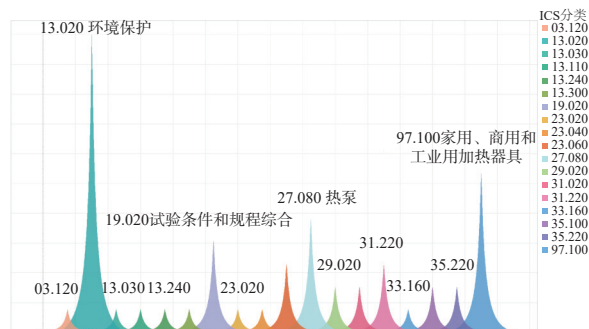


图4 按 ICS 分类的山峰柱形图

Fig. 4 Mountain shape column diagram by ICS

气安全和节能能效(均占 25%), 而基于保护人类健康或安全的通报主要涉及装备机械安全(占 37.5%); 关于标签内容的通报几乎涉及各种通报目的(除其他以外)但数量少, 关于节能能效技术内容的通报数量最多, 其次为电气安全内容。

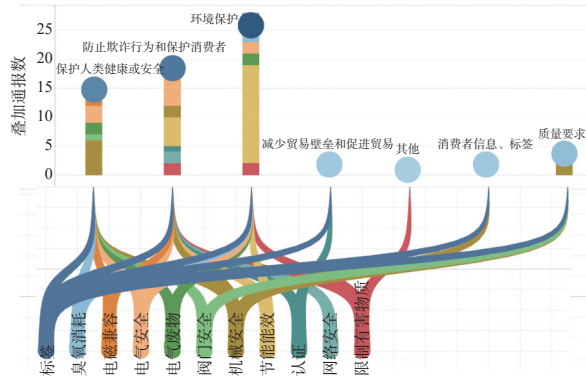


图5 通报目的与技术内容组合的分类桑基图

Fig. 5 Classification Sankey map for the combination of notifying purpose and technical content

2.2 标准

2.2.1 发布时间

为强调不同级别标准发布数量的变化程度, 以引起读者对标准制修订层级变化趋势的注意, 透过面积图予以直观展现。图 6 及数据交互得知, 2005 年以前零星发布有国际标准、国外标准、行业标准, 标准总体数量从 2005 年开始迅速增长; 国家标准在 2011 年发布数量最大(达 36 项), 其次是 2017 年(14 项)和 2018 年(13 项); 行业标准发布数量走势与国家标准相近, 从 2005 年开始迅速增长; 地方标准从 2014 年开始有所发布, 数量呈个位数; 团体标准从 2016 年开始有所发布, 并增长迅速, 在 2021 年单年发布数量达 16 项; 国际标准(ISO 和 IEC)在

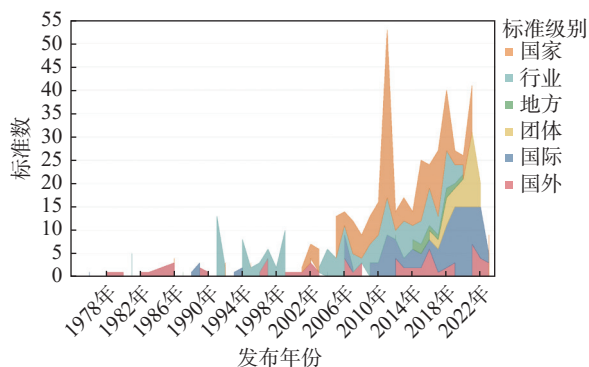


图6 不同级别标准发布年份面积图

Fig. 6 Area map of different level standards by publishing year

2018 年开始增长较多, 其中 2020 年达 15 项, 国内标准有待修订或新制定采用最新国际标准; 国外标准数量保持在稳定水平。

2.2.2 标准领域

(1) 按 ICS 分类

图 7 展示在 ICS 分类下不同级别标准的数量占比, 其中标准数量占比最大的 ICS 分类为 23.160(真空技术), 其次为 25.220(表面处理和涂覆), 分别代表着装备传统部件技术和膜层加工; 国家标准在 ICS 分类 37.020(光学设备)、01.120(标准化总则)、13.040(空气质量)和 31.200(集成电路、微电子学)等 4 个领域独占鳌头, 而团体标准仅涉及 ICS 分类 23.160(真空技术)和 81.040(玻璃)两个领域; 国际标准(ISO 和 IEC)在 ICS 分类 25.220(表面处理和涂覆)、31.080(半导体器件)和 71.040(分析化学)三个领域处于领先地位, 国外标准在 ICS 分类 01.040(词汇)领域独占鳌头, 为德国(4 项)和欧盟标准(1 项), 值得国内转化借鉴。

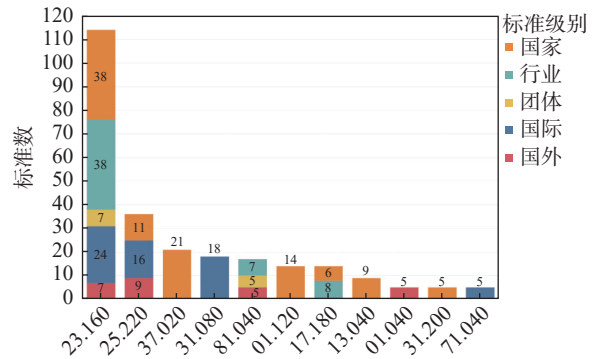


图7 按 ICS 分类的标准级别堆叠条

Fig. 7 Standard level stacking bars classified by ICS

(2) 按 CCS 分类

从国内标准 CCS 分类号(中国标准文献分类号)进行标准领域占比分析, 由图 8 可见: 首要领域, 国家标准、行业标准和团体标准为 J78(真空技术与设备), 地方标准为 Q53(特殊炭素材料, 具体为石墨烯薄膜的检测方法标准); 次要领域, 国家标准、行业标准为 N30(光学仪器综合), 团体标准为 Q34(工业技术玻璃, 为镀膜光伏玻璃产品标准)。

(3) 按国民经济行业分类

图 9 展示在国民经济行业分类下团体标准文本公开情况的数量分布, 公开文本的团体标准涉及行业主要为 C344(泵、阀门、压缩机及类似机械制造)、M745(质检技术服务)、C304(玻璃制造)、

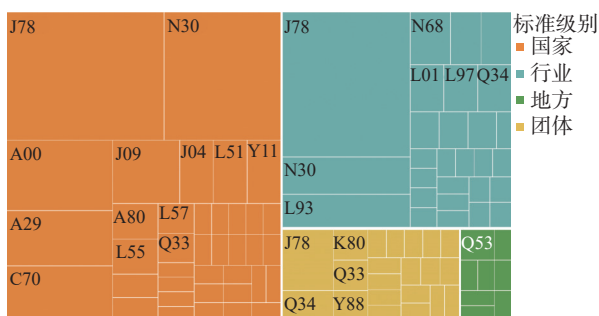


图8 按 CCS 分类的标准级别树状图

Fig. 8 Standard level tree diagram classified by CCS

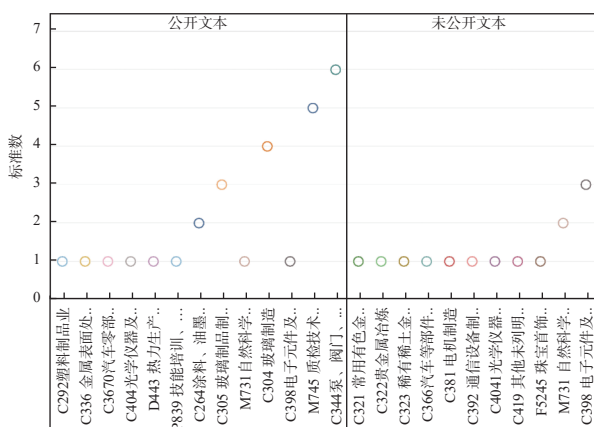


图9 按国民经济行业分类的团体标准公开情况并圆图

Fig. 9 Circular graph of the disclosure of group standards classified by national economic industry

C305(玻璃制品制造)、C264(涂料、油墨、颜料及类似产品制造), 涉及装备传统部件、传统镀膜产品及检测技术; 而不公开文本的团体标准涉及行业主要为 C398(通信设备制造)和 M731(自然科学研究和试验发展), 涉及镀膜前沿技术(半导体领域)和基础研究。

2.2.3 标准类别

透过国外标准和国内标准双饼图, 对比分析标准类别占比差异。由图 10 可见, 真空镀膜装备国外标准集中为方法标准(占比近 50%), 其次为基础标准和产品标准(均接近 20%); 国内标准占比首位为产品标准(占比 35%), 其次为方法标准(31%)和基础标准(22%), 另存在小比例的管理标准(1.8%)。国内外标准的类别相比而言, 国外在方法标准方面优于国内, 而国内在产品标准方面优于国外, 基础标准和规程标准方面国内外相当。国内有待吸收国外方法标准先进经验, 以提高对真空镀膜装备稳定性和膜层可靠性的验证。

进一步, 从国内真空镀膜装备领域的行业标准

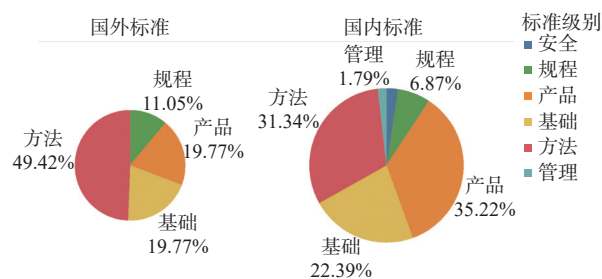


图10 国内外标准类别饼图

Fig. 10 Domestic and foreign standard category pie chart

类别来看, 由图 11 可见, 近一半(45.45%)集中在机械行业标准(JB), 随后排名为占比 22.31% 的电子行业标准(SJ)和占比 9.92% 的计量检定规程行业标准(JJF、JJG)。进一步深究数据, 机械行业标准(JB)主题聚焦于真空泵(36.36%)和光学薄膜(20%), 电子行业标准(SJ)聚焦于管道法兰(37.04%)和 PVD 工艺(14.81%), 计量检定规程行业标准(JJF、JJG)均为真空计的检定规程(75%)或校准规程(25%)。

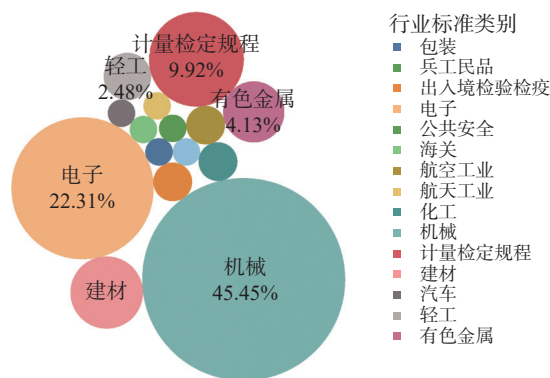


图11 行业标准类别填充气泡图

Fig. 11 Bubble diagram by industry standard category

2.2.4 标准主题

从标准名称挖掘标引的标准主题(二级主题)来分析国内外差异, 由图 12 可见, 国内标准主题前三位为真空系统(29.3%)、检测(20%)、产品(17.3%), 而国外标准前三位为检测(40.1%)、真空系统(26.7%)、产品(21.5%)。国内外差异在于: 国外标准近一半主题为检测技术, 国内标准涉及主题较多、分散且集中于真空系统这一传统部件。

进一步, 从国外标准二级主题标准分布中, 剔除“真空系统”这一传统部件标准, 深究关键标准的三级主题, 从而探索国外标准竞争技术。图 13 采用突出显示表, 以颜色深浅标识标准数量大小, 可见国外镀膜工艺标准 90% 集中于镀膜通用, 而国内 70% 专注于 PVD 工艺; 国内对装饰与防护薄膜、光

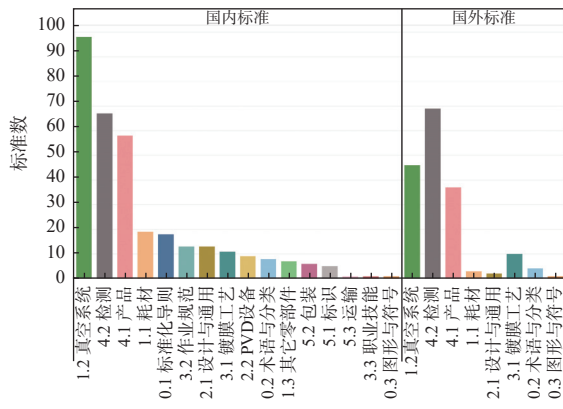


图12 国内外标准主题并排条

Fig. 12 Side-by-side bar chart of domestic and foreign standard theme

二级主题	三级主题	国外标准	国内标准
3.1 镀膜工艺	3.1.1 工艺通用	9	3
	3.1.2 PVD工艺	1	8
	4.1.4 装饰与防护薄膜	12	20
4.1 产品	4.1.1 光学薄膜	12	22
	4.1.5 通用及其它镀膜产品	11	9
	4.1.2 半导体薄膜	2	2
	4.1.3 光伏薄膜		5
	4.2.3 力学性能试验	18	6
4.2 检测	4.2.5 电学性能试验	16	7
	4.2.4 光学性能试验	10	11
	4.2.2 成分及纯度检测	9	3
	4.2.1 厚度检测	9	10
	4.2.7 通用及其它性能检测	4	7
	4.2.6 环境适应性试验	3	23

图13 国内外标准主题突出显示表

Fig. 13 Highlight table of domestic and foreign standard theme

学薄膜标准占比较大;薄膜检测标准方面,国外聚焦于力学和电学性能,而国内聚焦于环境适应性。

3 产业标准体系构建与路线图规划 (以广东为例)

3.1 设计原则

以真空镀膜装备产业集群优势显著的广东为例,真空镀膜装备产业是广东省装备制造业和电子信息业的优势和战略性领域,在产业链中占据核心位置,其发展水平决定产业链的整体竞争力,被列入广东省重点突破的战略性产业之一。为促进广东省真空镀膜装备制造产业优化升级,着眼于真空镀膜的精密领域,标准体系与规划路线图的设计首先全面整理国内外精密真空镀膜装备相关现行标准,然后编制精密真空镀膜装备产业标准体系框架,最后提出精密真空镀膜装备产业关键标准制修订建议和标准化规划路线图。旨在解决行业技术标准总体框架不清晰、关键标准缺失、自主标准推广不足、上下游协同度低、标准专利情报弱等制约广

东省精密真空镀膜装备产业高效、健康发展的问題。

3.2 标准体系构建

3.2.1 体系框架

基于国内外真空镀膜标准化现状和广东省真空镀膜产业标准需求、技术发展情况,将精密真空镀膜装备产业标准体系划分为六个子体系:通用基础、零部件、设备、作业、薄膜、标识包装运输贮存。这六个子体系覆盖精密真空镀膜装备产业的上、中、下游,保证体系结构合理、层次分明、科学适用。同时,紧密结合广东省在精密真空镀膜装备技术研发、智能制造、镀膜加工、应用推广的优势和经验,将标准体系第一层细化展开到第二层和第三层(体系框架见图14)。

3.2.2 体系明细表

根据标准体系框架各级目录,结合广东省精密真空镀膜装备产业发展的实际情况和精密真空镀膜装备的内在结构,将国家、行业、地方、团体、国际、国外等各级标准进行筛选分类,整理了涵盖精密真空镀膜装备国家标准156项、行业标准121项、地方标准5项、团体标准17项、国际标准100项、国外标准70项、标准计划项目20项、建议制定标准110项的标准体系明细表。

3.3 关键标准制修订建议

建议制定标准110项,按标准需求程度把待制定标准(即建议制定标准)划分为不同星级,星级越高表示需求程度越大。就目前标准体系情况而言,通用基础和薄膜方面的标准相对较完善,待制定标准多集中在缺失且需求程度较大的零部件、设备、作业、标识包装运输贮存方面。

3.4 标准化路线图规划

广东省精密真空镀膜装备产业标准化规划路线图围绕广东省精密真空镀膜装备产业标准化重点工作,按时间和工作内容2个维度划分,从标准化研究、平台建设、关键标准制修订、标准实施与宣传、示范推广、品牌打造与维护、政策保障、人才队伍建设等8个方面给出广东省精密真空镀膜装备产业的战略推进进程和目标。

3.4.1 标准化研究

(1)以数据可视化等手段分析精密真空镀膜装备产业国内外专利、技术性贸易措施等信息,开展产业标准化研究,形成产业发展竞争策略;(2)支持

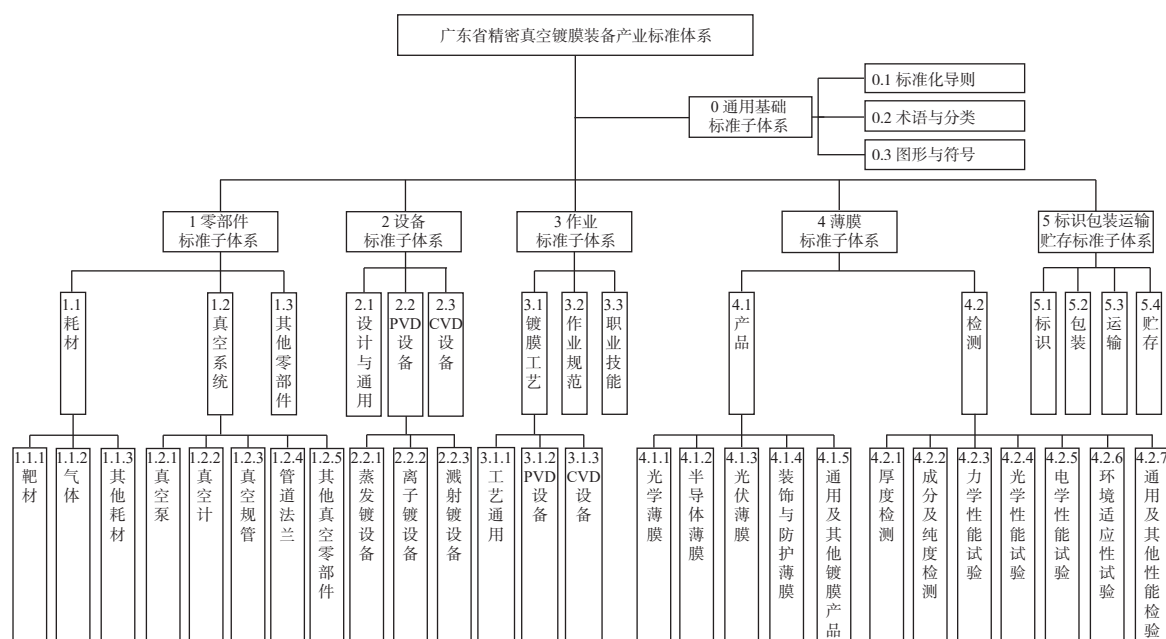


图14 广东省精密真空镀膜装备产业标准体系框架

Fig. 14 Industry standard system framework of precision vacuum coating equipment in Guangdong province

精密真空镀膜装备领域标准制定和标准化研究成果申报省真空科技创新奖、科技进步奖等社会力量设立科技奖项,推荐申报省科学技术奖等各级政府奖励。

3.4.2 平台建设

(1)持续完善广东省真空领域标准化技术委员会的机制建设;(2)依托广东省乃至粤港澳大湾区真空镀膜产业技术联盟,为广东省精密真空镀膜装备产业标准化活动提供重要平台;(3)积极发挥广东省科协团体标准联合体成员作用,以精密真空镀膜装备产业标准化工作为切入点,加强与联合体成员单位间交流、沟通与合作,共同推动全省团体标准健康有序发展。

3.4.3 关键标准制修订

(1)以需求为导向,针对新技术、新产品、新业态或市场细分领域、职业技能评定领域等,制定一批优质团体标准,促进广东省高端装备产品和高质量服务供给;(2)使“政府指引、市场主导、社会参与”的标准研制机制日趋成熟,标准供给增加,标准体系全面成套、科学先进,指导产业发展效果显著;(3)持续规范、改进创新团体标准化工作。

3.4.4 标准实施与宣传

(1)定期举办标准宣贯培训,逐渐达到精密真空镀膜装备标准全体系与省内全产业链覆盖,提升从业人员标准化意识和水平;(2)将新标准宣贯、标

准化知识和技能融入真空技术、镀膜技术培训课程内容;(3)利用产业高峰论坛、发展论坛、学术年会、讲座沙龙等持续开展团体标准宣传推广工作。

3.4.5 示范推广

(1)鼓励省内优秀企事业单位申报国家或省级高端装备制造业、智能制造标准应用、消费品、服务业等标准化试点;(2)形成若干有影响力的精密真空镀膜装备制造标准化示范企业。

3.4.6 品牌打造与维护

以标准化、知识产权促进与保护为手段强化品牌建设,提高广东省精密真空镀膜装备品牌的公信力、影响力和竞争力。

3.4.7 政策保障

加强粤港澳大湾区交流合作、推动广东省精密真空镀膜产业国际化,制定标准化专项发展政策。

3.4.8 人才队伍建设

(1)组织开发光学真空镀膜职业技能岗位培训标准、试题库、考试大纲、培训教材,逐步将精密真空镀膜标准化理念和内容融入职业院校课程培训内容,通过培训、实操等手段,培养一批既懂技术又熟标准的储备人才,加快广东省精密真空镀膜标准化人才队伍发展壮大;(2)将标准化专业技能、从业经历、主要业绩和成果纳入真空领域工程师专业技术资格评审要素,推动提升企业及相关组织从业人员标准化能力;(3)积极发动和吸纳研发制造企业技

术人员、科研机构研究人员、行业协会管理人员、标准化院所专业人员, 参与精密真空镀膜装备产业化相关活动; (4) 整合精密真空镀膜行业专家和标准化专家, 组建广东省真空镀膜标准化专家库, 推荐有能力的专家成为国内相关 TC 委员、国际标准注册专家。

4 展望与挑战

当前对真空镀膜设备产业的高精度工艺技术突破和高质量发展, 由上述数据可视化分析结果, 亟待解决以下两个突出问题: (1) 亟需填补高精度磁控溅射镀膜设备标准空白。随着人们对薄膜功能需求的不断加深, 薄膜制备逐渐走向精细化, 例如: 某些光学薄膜为了达到特定的需求, 其镀膜层数达到了几十, 甚至数百层, 每次膜的厚度要求都是精确到了纳米(nm)级别。同时, 真空镀膜技术在半导体、量子科技和激光等领域不断取得新的应用, 促使磁控溅射镀膜机不断提高生产产品的精度水平和工艺稳定性。高精度沉积膜层的能力代表了磁控溅射镀膜机未来的发展方向, 也是整个行业加大开发力度, 奋力取得技术突破和实现产业引领目的的方向。那么, 作为对以往技术成果积累、总结、系统化归纳、可加快技术规范推广使用的技术标准就显得不可或缺, 制定业内企业可以应用的高精度磁控溅射镀膜设备通用技术标准, 填补国内该领域标准空白就是本项目的任务之一; (2) 有待制定执行全国性和细分领域标准体系与规划路线图。为深化真空镀膜领域供给侧结构性改革, 促进精密真空镀膜装备制造产业优化升级, 充分发挥标准化对我国精密真空镀膜装备产业提升的基础性、引领性、战略性作用, 有待结合精密真空镀膜装备发展实际, 制定全国性标准体系构建指南, 指导专业技术机构研制各细分领域的标准体系与规划路线图, 通过认真贯彻落实, 让各相关主体积极参与精密真空镀膜装备产业标准的研究、制定、实施、品牌打造与人才队伍建设, 不断建立健全中国精密真空镀膜装备产业标准体系, 以先进标准引领产业发展。珠三角地区作为我国重要的真空镀膜设备制造基地, 拥有国内最大的真空镀膜技术应用市场, 相关企业已经获得的技术突破和创新成果也需要利用技术标准这一制度性文件来把实践经验和科学成果加以总结和提炼, 及时巩固和推广应用, 通过标准的贯彻

实施、普及, 带动本区域、本行业企业的技术整体进步, 从而更好地支撑中国 PVD 技术向更高层次发展, 具有深刻、积极意义。

参 考 文 献

- [1] Grind deep industry research institute. 2022-2028 China vacuum coating machine industry market research and foresight analysis[EB/OL] (2022-07-11) [2024-03-18]. https://www.sohu.com/a/566124118_120815556. (智研瞻产业研究院. 2022-2028 年中国真空镀膜机行业市场研究及前瞻分析报告 [EB/OL]. (2022-07-11) [2024-03-18]. https://www.sohu.com/a/566124118_120815556. (in Chinese))
- [2] Parsons G N, Elam J W, George S M, et al. History of atomic layer deposition and its relationship with the American vacuum society[J]. *Journal of Vacuum Science & Technology A Vacuum Surfaces and Films*, 2013, 31(5): 050818
- [3] Nguyen M T, Deng L L, Yonezawa T. Control of nanoparticles synthesized via vacuum sputter deposition onto liquids: a review[J]. *Soft Matter*, 2021, 18(1): 19-47
- [4] Patil D R, Annappureddy V, Kaarthik J, et al. Piezoelectric thick film deposition via powder/granule spray in vacuum: A Review[J]. *Actuators*, 2020, 9(3): 59
- [5] Benti H G, Woldeyohannes A D, Yigezu B S. Improving the efficiency of cutting tools through application of filtered cathodic vacuum arc deposition coating techniques: A Review[J]. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022, 2022: 1450805
- [6] Feng J S, Jiao Y X, Wang H, et al. High-throughput large-area vacuum deposition for high-performance formamidine-based perovskite solar cells[J]. *Energy & Environmental Science*, 2021, 14(5): 3035-3043
- [7] Gil-Escrig L, Dreessen C, Palazon F, et al. Efficient wide-bandgap mixed-cation and mixed-halide perovskite solar cells by vacuum deposition[J]. *ACS Energy Letters*, 2021, 6(2): 827-836
- [8] Bao X H, Qiu L D. Do Technical barriers to trade promote or restrict trade? Evidence from China[J]. *Asia Pacific Journal of Accounting & Economics*, 2010, 17(3): 253-278
- [9] Ghodsi M. The impact of Chinese technical barriers to trade on its manufacturing imports when exporters are heterogeneous[J]. *Empirical Economics*, 2020, 59(4): 1667-1698
- [10] Liu Z G, Huang S X. Research on the impact of technical

- trade barriers of RCEP partner countries on China's export trade[J]. *Prices Monthly*, 2023(7): 70-77 (刘主光, 黄仕贤. RCEP 伙伴国技术性贸易壁垒对中国出口贸易的影响研究 [J]. *价格月刊*, 2023(7): 70-77 (in Chinese))
- [11] Liu H. The impact of technical barriers to trade in countries along the "Belt and Road" on China's export trade[J]. *China Journal of Commerce*, 2022(18): 5-7 (刘慧. "一带一路"沿线国家的技术性贸易壁垒对我国出口贸易的影响 [J]. *中国商论*, 2022(18): 5-7 (in Chinese))
- [12] Ye J W, Li Z H, Gao F, et al. Data visual analytics towards patent competition technology of vacuum coating equipment[J]. *Chinese Journal of Vacuum Science and Technology*, 2022, 42(6): 422-429 (叶俊文, 黎子辉, 高峰, 等. 基于可视化的真空镀膜装备专利竞争技术分析 [J]. *真空科学与技术学报*, 2022, 42(6): 422-429 (in Chinese))
- [13] Li X G, Li Z H, Ye J W. Research and application analysis of vacuum coating technology based on literature data visualization[J]. *Chinese Journal of Vacuum Science and Technology*, 2022, 42(11): 863-875 (李晓刚, 黎子辉, 叶俊文. 基于文献数据可视化的真空镀膜技术研究与应用分析 [J]. *真空科学与技术学报*, 2022, 42(11): 863-875 (in Chinese))