稀土永磁材料物理性能测试方法

第4部分：抗压强度的测定

编制说明(审定稿）

**《稀土永磁材料物理性能测试方法 第4部分：抗压强度的测定》**

**编制说明（审定稿）**

# 一、工作简况

1.任务来源

全国稀土标准化技术委员会于2024年1月16日至1月18日在广东省珠海市召开了“2024年第一次稀土标准工作会”，会议上落实了工信部下达的国家标准《稀土永磁材料物理性能测试方法 第4部分：抗压强度的测定》的制定计划，由福建省金龙稀土股份有限公司负责制定，计划号为20231411-T-469，项目周期18个月，完成年限为2025年。

1. 项目编制组简况

2.1 编制组成员单位

编制组由福建省金龙稀土股份有限公司、安徽大地熊新材料股份有限公司、杭州象限科技有限公司、杭州美磁科技有限公司、宁波韵升股份有限公司、包头市科锐微磁新材料有限责任公司、包头稀土研究院、北京中科三环高技术股份有限公司、有研稀土(荣成)有限公司、江西中石新材料有限公司、包头市英思特稀磁新材料股份有限公司、中国计量大学、有研稀土新材料股份有限公司、度东稀土集团股份有限公司、国家钨与稀土产品质量监督检验中心、国标(北京)检验认证有限公司、赣州富尔特电子股份有限公司、福建省长汀卓尔科技股份有限公司等18家单位组成。本项目组起草人员长期从事理化检验分析工作，多次参与国家、行业标准的制修订工作，能够保证本项目计划的顺利完成。

2.2 负责起草单位简介

**福建省金龙稀土股份有限公司：**(以下简称金龙稀土或A实验室) 福建省金龙稀土股份有限公司是厦门钨业的控股子公司，主要从事稀土冶炼分离、稀土金属及合金、稀土磁性材料及其他稀土功能材料的研发与生产。公司占地800亩，厂房建筑面积20万平方米，总投资40亿元，目前已建成5000吨稀土分离、3000吨稀土金属、2000吨高纯稀土氧化物、1300吨三基色荧光粉、12000吨钕铁硼磁性材料、5000吨钕铁硼表面处理生产线，拥有从稀土矿开采—稀土分离—稀土金属—精深加工（荧光粉、磁性材料）等较为完整的产业链。经多年不懈努力，金龙稀土得到了社会各界的肯定与重视，获评创建世界一流示范企业、国家级技术创新示范企业、高新技术企业、国家级绿色工厂、博士后工作站、福建省企业技术中心、福建省工程技术研究中心、福建省重点实验室、福建省知识产权优势企业、福建省科技型企业、福建省创新型企业、福建省战略性新兴产业骨干企业、福建省服务型制造示范企业、福建战略性新兴产业100强等荣誉。

金龙稀土检测中心主要从事稀土冶炼分离和稀土深加工材料的检测服务，涉及领域包括成分分析、物理性能分析、机械性能分析、磁性能分析、环境可靠性分析领域。现检测中心有90余人，工程师以上职称8人，拥有国内外先进的精密分析仪器共100多台/套，总价值超过3400万元，并于2015年通过了中国合格评定国家认可委员会（CNAS）认可，按照 ISO/IEC 17025 国际实验室管理体系要求开展检测活动。作为长期从事稀土材料开发与应用单位，金龙稀土近三年先后主导和参与了《铥镱镥富集物》、《铥镱镥富集物化学分析方法》《烧结钕铁硼绿色工厂评价要求》等60余项稀土国家/行业标准的制/修订工作，拥有多名经验丰富的标准制修订专家。

2.3 参与起草单位简介

**安徽大地熊新材料股份有限公司：**（以下简称安徽大地熊或B实验室）安徽大地熊新材料股份有限公司2003年成立于安徽省合肥市，是一家集稀土永磁材料研发、生产、销售为一体的国家高新技术企业、国家专精特新“小巨人”企业、安徽省优秀民营企业、安徽省民营企业制造业综合百强企业、安徽省绿色工厂。

公司已通过ISO9001、IATF16949、ISO14001、ISO45001、ISO50001、TISAX、知识产权等管理体系的认证，主要产品高性能烧结钕铁硼永磁材料具有高磁性能、高矫顽力、高服役特性等特点，主要应用于汽车、工业电机及高端消费类电子等节能环保和智能制造领域，出口欧美、亚太等二十多个国家和地区。公司累计牵头承担30多项国家和省部级研发和产业化项目；拥有有效专利204件，其中发明75件；主导制定了《再生烧结钕铁硼永磁材料》国家标准和《废旧烧结钕铁硼磁体再生利用技术规范》行业标准，参与制定国家标准15项、行业标准3项；荣获“安徽省科学技术奖一等奖”“教育部技术发明奖一等奖”等10多项省部级科技奖项，荣获“国家重点新产品”2项。“大地熊”被认定为中国驰名商标。

**杭州象限科技有限公司：**（以下简称象限科技或C实验室）象限科技为国家高新技术企业，注册资本 8000 万元，员工5000人+，自1992年成立起一直致力于提供第一流的磁性解决方案，为全球各大消费电子、汽车配套企业、家电安防、传感、医疗工业等提供从设计、研发、样品验证到量产供应，象限科技提供一站式磁学应用服务，包括多样化的磁性材料、组件产品、金属粉末注射成型（MIM）产品、功能性模组以及充磁测试系统等。

象限科技专注于建立一个成功、包容和创新的工作环境，我们提供最先进的解决方案和产品质量，最卓越的运营模式，及行业领先的研发、检测、智能制造能力，并与全球客户保持稳固的合作关系。汇聚战略分布在全球的生产、研发基地，为客户创造价值、推动创新。

**杭州美磁科技有限公司：**（以下简称杭州美磁或D实验室）杭州美磁科技有限公司成立于2014年5月(前身是成立于2000年的杭州萧山轩宇磁性材料有限公司)，公司占地面积约40亩，建筑面积约25000平方米，位于桐庐县青山工业区。公司主要从事永磁磁性材料的研发、生产和销售。主要为烧结钕铁硼永磁材料及永磁器件。产品广泛应用于消费电子、新能源汽车、电讯电声、国防军工、航空航天等高科技领域，为国内及国际高端客户配套磁体及磁性组件。

公司拥有完整的生产加工能力，从毛坯制造到电镀成品，各工序生产设备及检测设备配套齐全，大部分检测设备均为国外进口。公司通过了IIATF16949:2016质量管理体系认证、ISO13485:2016医疗器械质量管理体系认证、ISO 9001:1008质量体系、ISO14001:1008环境管理体系、OHSAS18001:1007职业健康安全体系、ISO27001:2013信息安全管理等体系的认证。公司秉承“以人为本，科学管理，和谐发展”的先进理念，创新管理体系，依托标准化规范管理，引领企业科学发展。公司现有员工450余人，十分重视人才的引进及相关研发投入，拥有博士、硕士及高级工程师等一批专业人才。公司拥有发明及实用新型专利30余项。获得国家高新技术企业、浙江省企业研发中心等荣誉称号。

**宁波韵升股份有限公司：**（以下简称宁波韵升或E实验室）宁波韵升股份有限公司自1995年以来专业从事稀土永磁材料的研发、制造和销售，是国家高新技术企业、国家技术创新示范企业和国家知识产权示范企业，2016年建立国家企业技术中心和省级重点企业研究院。公司在宁波、包头建有2个坯料生产基地，拥有达到国际一流水平的磁钢坯料生产、机械加工及表面处理生产线，具有年产坯料2.7万吨的生产能力，是全球最大的稀土永磁材料制造商之一。公司于2000年10月在上海证券交易所挂牌上市(股票代码“600366”) 。

公司持续加大技术创新力度，改进稀土永磁材料的工艺与装备，使主要产品的品质一致性达到国际先进水平，与北京科技大学、美国代顿大学、中科院宁波材料所等建有长期技术合作，承担和参与了国家科技部863课题和重点研发专项11项、国家火炬计划和重点新产品8项、工信部专项5 项，截至2023年底，公司依靠自主研发在稀土永磁材料领域获得有效发明专利97项、实用新型专利9项，公司的研发项目先后荣获国家科学技术进步奖二等奖2项、浙江省科学技术进步奖一等奖1项、宁波市科学技术奖一等奖5项；公司承担或参与制定国家标准16项；高性能稀土永磁材料产业化项目被评为国家重大科技成果转化项目，YUNSHENG牌钕铁硼稀土永磁材料被认定为浙江省名牌产品；2020年公司硬盘音圈电机磁体被国家工信部认定为国家单项冠军产品。

**包头市科锐微磁新材料有限责任公司：**（以下简称科锐微磁或F实验室）包头市科锐微磁新材料有限责任公司注册成立于2012年4月，位于包头市稀土高新区机电园区，占地面积30亩，是内蒙古自治区唯一从事各向同性稀土快淬磁粉和注塑钕铁硼颗粒料、注塑磁体研发、生产、销售的科技成长型企业，建有2000吨/年各向同性稀土快淬磁粉、500吨/年注塑颗粒、500吨/年注塑磁体生产线，可生产0917、1215、0716、1016等多个牌号高性能各向同性粘接磁粉、混胶磁粉和RY-Y1、RY-Z2等多个牌号无重稀土各向同性热压磁粉和PA12、PPS系列多个牌号各向同性钕铁硼注塑颗粒、注塑磁体。

公司现有员工112人，高级工程师2名，硕士研究生2名，大专以上学历21名，从事研发和相关技术创新活动的科技人员14人。通过与高校、科研院所产学研活动的开展，实现了企业与科研院所的交流、互动、合作，攻克了研发和生产中的技术难题，实现了资源共享，在新产品技术研发、科技成果转化方面具有丰富的实践经验和较高的专业技术水平。

**包头稀土研究院：**（以下简称包院或G实验室）包头稀土研究院于1963年经国务院批准挂牌成立，直属原冶金工业部。1992年并入包头钢铁稀土公司。作为全国最大的综合性稀土研发机构，稀土院始终以稀土资源的综合开发、利用为宗旨，以稀土冶金、环境保护、新型稀土功能材料及在高新技术领域的应用及稀土产品分析检测、稀土行业科技信息服务等为研究重点。建有国家科技部批复的“白云鄂博稀土资源研究与综合利用全国重点实验室”、“稀土材料国际科技合作基地”和“国家新材料测试评价平台——稀土行业中心”等国家级科研平台，建有稀土行业门户网站“中国稀土网”，负责《稀土》、《稀土信息》和 China Rare Earth Information 等期刊的出版发行。争做两个“稀土基地”建设科技主力军，以打造世界一流稀土科研院所为己任，为稀土产业高质量发展做出贡献！

**北京中科三环高技术股份有限公司：**（以下简称中科三环或H实验室）中科三环创始人、董事长王震西院士早年曾工作于法国国家磁学实验室，师从诺贝尔物理学奖获得者、世界著名科学家奈尔教授，回到物理所后一直致力于稀土磁性材料的研究，并在国内率先开展第三代稀土永磁材料钕铁硼的研究并实现产业化，从而开创了中国第三代稀土永磁产业。中科三环拥有一支高素质的研发队伍，针对未来稀土永磁行业重大科技问题及低碳经济产业重大需求，与下属子公司进行联合攻关，继续围绕新能源汽车、先进轨道交通装备、节能家电、高档数控机床和机器人等关键应用领域，不断研究具有核心自主知识产权的稀土永磁新材料、新工艺、新产品和新装备，开发适用于低碳经济、高新技术、国家安全等领域的高性能磁性材料。中科三环也是国家磁性材料工程中心承办单位。

**有研稀土(荣成)有限公司：**（以下简称有研荣成或J实验室）有研稀土（荣成）有限公司为中央企业-中国有研科技集团有限公司下属公司，位于山东省威海市荣成市，注册资本13000万元，公司主要从事烧结磁体的工程技术开发与产业化，形成钕铁硼高端磁性材料制备-后加工-表面处理的完整产线，产品面向智能电子器件、节能与新能源汽车、智能制造等高技术领域，高性能牌号磁体已达到国内先进水平，为国内磁钢核心供应商，与智能电子器件龙头企业形成长期战略合作，在上下游协同、材料与下游应用协同方面起到重要的纽带作用。公司设有磁性材料研究院，建有烧结磁体中试线及分析测试中心，围绕永磁材料重点应用领域，开发满足智能电子器件、新能源汽车、智能家居等高端领域发展亟需的关键材料，建成稀土磁性材料共性技术创新平台。

**江西中石新材料有限公司：**（以下简称江西中石或K实验室）江西中石新材料有限公司，成立于2020年，是由国家级高层次人才车声雷教授领衔的教授、博士团队创立的知识密集型企业，位于赣州经济技术开发区。获国家高新技术企业、江西省种子独角兽企业、江西省专精特新企业等荣誉。拥有30000㎡的新型稀土永磁材料生产、研发基地。主要开展新型稀土永磁钐铁氮及其复合材料、粘结钕铁硼、粘结铁氧体等磁性材料的生产、研发、销售业务，产品广泛应用于电机转子和传感器中。公司申报专利20余项，并参与《GB/T 42668-2023 钐铁氮粘结永磁粉》、《GB/T 43750-2024 各向同性稀土粘结永磁粉磁特性测量方法》等7项国家标准的制修订。

**包头市英思特稀磁新材料股份有限公司：**（以下简称包头英思特或L实验室）包头市英思特稀磁新材料股份有限公司，成立于2011年，是专业从事稀土永磁材料及应用器件研发、设计、生产和销售的高新技术企业，公司专注稀土磁性材料应用器件终端应用技术研发工作，竭诚为客户提供磁路设计、精密加工、表面处理、智能组装等综合性解决方案，根据终端客户对新产品在功能和设计方面的需求，同步参与新产品的磁性器件开发，为磁性器件的设计、试制、测试和优化提供完整的技术支持。

公司目前拥有授权专利近300件，其中发明专利23件，拥有国际发明专利1件；注册商标26件；软件著作权11件。公司自2021年起，致力于标准化工作研究，主持制订了2项《钕铁硼磁铁行业数字化车间通用技术要求》、《钕铁硼磁铁磁性测试方法》团体标准，参与了多项国家和行业标准的起草及验证工作，在标准的制修订方面，累积了丰富的经验。

**中国计量大学：**（以下简称计量大学或M实验室）中国计量大学是一所以计量、标准、质量、市场监管和检验检疫为办学特色的高等院校。学校现有全日制在校本科生1.8万余人，专任教师近1500人，其中具有高级职称教师近700人。有全国高校黄大年式教师团队1个、国家级教学团队1个、省部级教学团队6个。获全球首届唯一的“ISO标准化高等教育奖”。现有国家质检中心、国家市场监管总局重点实验室、科技部国际科技合作基地、国家地方联合工程实验室、教育部工程研究中心、教育部重点实验室、浙江省国际科技合作基地、浙江省重点实验室等省部级以上科研平台40余个。学校建有国家磁性材料及其制品质量监督检验中心（浙江）、浙江省磁学重点实验室、国家创新人才培养示范基地、ISO国际标准化培训基地（杭州）、国际标准化人才培训基地等高水平行业人才培养基地，面向行业机构开展计量、标准、质量专业人才培训，学员累计达4万人。

**有研稀土新材料股份有限公司：**（以下简称有研稀土或N实验室）有研稀土新材料股份有限公司隶属于中国有研科技集团，是首家在中关村科技园区西城园注册的高新技术企业、中关村国家自主创新示范区“十百千工程”重点培育企业。主要从事稀土资源绿色冶炼分离提纯与高纯稀土金属及化合物、特种合金、稀土磁性材料、发光材料等相关先进稀土功能材料的研究、开发与生产，共承担国家及省部委等科研项目300余项，获得省部以上科技奖励170项，其中国家技术发明奖、科技进步奖等国家奖励40项。申报发明专利784项，包括国外发明专利298项；获得专利授权433项，包括国外授权发明专利120项，向国内外转让先进技术70余项（160余次），多项专利技术成为稀土行业主流技术，经济效益和社会效益显著。

**虔东稀土集团股份有限公司：**（以下简称虔东稀土或P实验室）虔东稀土集团股份有限公司，是一家专业从事稀土各类产品生产经营的民营企业。经过30年的快速发展，虔东集团由最初的金属冶炼企业发展成为一家集稀土基础材料、稀土功能材料、稀土应用产品开发和稀土加工装备制造为一体的稀土开发综合性企业集团，旗下拥有赣州科力稀土新材料有限公司、东利高技术、科瑞精密磁材、力赛科等10多家子公司和控股公司。公司已初步建立了完整的科研、试验、生产、检测体系和具有国内先进水平的稀土分离、稀土金属、稀土磁性材料、稀土结构陶瓷、稀土资源回收、稀土加工设备制造等生产线。主要生产稀土化合物、稀土金属、稀土合金、磁性材料、钇锆结构陶瓷和稀土深加工设备等60余种产品。公司自1988年创办以来，紧紧依靠科技进步，先后组织实施了国家“863计划”项目、国家“星火计划”项目、国家“火炬计划”项目、国家“重点新产品”项目、国家“创新基金计划”项目等70多个国家、省、市级新产品的研制和开发。

虔东集团自2002年来一直致力于标准化工作研究，至今主持制修订了多项国、行标准：《钕铁硼废料》、《稀土复合钇锆粉》、《金属铈》、《镨钕氧化物》、《金属钐》、《钕铁硼废料化学分析方法》、《钕铁硼合金化学分析方法》、《稀土废渣废水化学分析方法》等等，参与了多项标准的起草及验证工作，在稀土标准的制修订方面，累积了丰富的经验。

**国家钨与稀土产品质量监督检验中心：**（以下简称江西国检或Q实验室）江西省钨与稀土产品质量监督检验中心（江西省钨与稀土研究院）为江西省市场监督管理局直属事业单位。现有人员80人，其中博士3人、硕士26人；高级以上职称9人，中级职称25人；并广泛与中科院金属研究所、中南大学、江西理工大学和赣南师范大学等科研院所深入合作，柔性引进博士以上专家20余人。在赣州经开区和赣州高新区拥有两个实验基地，实验室总面积1.3万平方米；主要仪器设备总值达到7000多万元。建有理化分析室、物理性能检测室、高纯产品检测室、超细纳米材料检测室、硬质合金材料检测室、稀土永磁材料磁性能检测室和环保检测实验室等7个检测实验室，检测能力覆盖了稀土、钨等有色金属领域从原矿到合金产品全产业链的检验检测需求，能力水平达到了国内一流。

**国标(北京)检验认证有限公司：**（以下简称国标检验R实验室）国标（北京）检验认证有限公司是我国有色金属及电子材料的权威第三方检测机构，也是我国有色金属行业分析测试标准的主要起草单位和标准物质研制骨干单位，管理和运行着国家有色金属质量检验检测中心和国家有色金属及电子材料分析测试中心，承担建设国家新材料测试评价平台有色金属材料行业中心。持有CNAS、CMA、CAL、NADCAP等多项资质，开展金属材料测试评价、环境监测、计量校准、产品认证等服务，研制并销售标准物质、标准样品和标准溶液，空心阴极灯等产品。国标检验一直遵循“质量第一、依法检测、科学公正、准确及时”的质量方针，为广大客户提供全面、优质、高效的分析测试服务。

**赣州富尔特电子股份有限公司：**（以下简称赣州富尔特或S实验室）赣州富尔特电子股份有限公司2011年创立于“稀土王国”江西赣州，是一家专业从事高性能烧结钕铁硼稀土永磁材料研发、生产和销售的高新技术企业。公司通过IATF 16949、ISO 9001、ISO 14001、ISO 45001等管理体系认证，是国家绿色工厂和江西省瞪羚企业，产品主要应用于新能源汽车、工业伺服、无人机、船舶以及新型轨道交通等领域，具备从坯材制造、机械加工、表面处理、晶界扩散到磁气组件设计生产的全产业链完整布局。公司拥有江西省企业技术中心、江西省稀土永磁材料及器件工程研究中心、博士后创新实践基地等12个省市级科研创新平台，主持和参与科研项目国家级4项以及省市级数十项，申请专利100余项，牵头组织或参与各类标准制定15项，是国家知识产权优势企业和江西省标准化领跑企业。

**福建省长汀卓尔科技股份有限公司：**（以下简称卓尔科技或T实验室）福建省长汀卓尔科技股份有限公司成立于 2017年12月8日，是厦钨旗下控股子公司,福建省唯一家专注于钐钴永磁材料及磁组件的研发，生产及销售的企业，产品广泛应用于航空航天、轨道交通、5G通信等国防及民生关键领域。截止公司先后获得国家高新技术企业，国家级专精特新“小巨人”企业、福建省产业领军团队等十余项殊荣，并于 2021年获得福建省首批次重点新材料生产应用奖励。

卓尔创立至今都在不断加强研发投入，拥有市级企业技术中心研发平台，和中科院宁波材料所、厦门稀土所等科研院所建立起长期的合作关系，建立起关键技术工艺流程的技术壁垒。截止，公司已授权11项发明专利（其中包括1项欧洲发明专利），参与制定国家标准2项，高性能钐钴水平达到已国内领先，迈向国际先进。截止2024年，公司现有员工90人，其中大专以上学历者43人，占职工总数的47.7%；拥有科技人员共13人，占职工总数的14.4%；此外公司拥有福建省高层次人才C类人才1人，D类人才1人，F类人才3人。

* 1. 起草单位工作职责

本标准2.4起草单位工作职责情况见表1。

表1 起草单位工作职责

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 备注 | 单位名称 | 工作职责 |
| 牵头起草 | 福建省金龙稀土股份有限公司 | (1)牵头制定稀土永磁材料抗压强度标准，负责任务的落实、执行；(2)成立稀土永磁材料抗压强度编制项目组；(3)负责编制稀土永磁材料抗压强度标准征求意见稿、编制说明等文件;(4)组织项目成员的标准讨论会议。 |
| 参加单位 | 安徽大地熊新材料股份有限公司、杭州象限科技有限公司、杭州美磁科技有限公司、宁波韵升股份有限公司、包头市科锐微磁新材料有限责任公司、包头稀土研究院、北京中科三环高技术股份有限公司、有研稀土(荣成)有限公司、江西中石新材料有限公司、包头市英思特稀磁新材料股份有限公司、中国计量大学、有研稀土新材料股份有限公司、度东稀土集团股份有限公司、国家钨与稀土产品质量监督检验中心、国标(北京)检验认证有限公司、赣州富尔特电子股份有限公司、福建省长汀卓尔科技股份有限公司 | (1)各单位提供各实验室设各情况，稀土永磁材料生产企业提供对标试样；（2）各单位实验室参加完成对比试样测试及数据分析反馈；(3)参与征求意见稿的制定 |

1. 项目背景

3.1 项目的必要性简述

虽然目前在汽车、风电等的使用领域，抗压强度作为稀土永磁材料的质量控制项目要求广泛，然而目前行业内没有专门针对稀土永磁、符合产品特性、统一的抗压强度测试标准，如行业常用标准有导致各检测机构、稀土永磁材料的制造方、稀土永磁材料的使用方测试结果均会有所不同（不同检测机构测试偏差可超过50%），行业常用标准为《GB/T 7314-2017金属材料 室温压缩试验方法》、《GB/T 10424-2002 烧结金属摩擦材料抗压强度的测定》、《GB/T 6525 烧结金属材料室温压缩强度的测定》，但这些标准在尺寸、速率等的要求上并不适用于稀土永磁的测定，没有考虑到稀土永磁材料的硬度和脆性，均不适用。因此有必要增加针对稀土永磁的抗压强度测定标准。

3.2 项目的可行性简述

目前稀土永磁材料抗压强度测试的难点在于材料属于金属，但机械特性接近陶瓷，硬度大，脆性大，而由于其抗压强度大，因此需要规范对试验机的要求及测试时的速率要求，并针对设备压盘和样品的尺寸作特殊要求，通过系统的试验和多家实验室的对比测试，具有操作简单、快速、稳定的优势。有利于在各类检测机构推广应用，对于促进我国稀土永磁产品的生产和交易具有重要意义。

1. 主要工作过程

4.1 预研阶段

福建省金龙稀土股份有限公司在烧结钕铁硼产品的抗压强度测试过程总结经验，确认的测试过程的合适试验条件，形成试验方法。

2022 年11月，提交《稀土永磁材料物理性能测试方法 第4部分：抗压强度的测定》国家标准项目建议书。

4.2 立项阶段

2022年11月向全国稀标委秘书处提交了本项目的项目建议书、立项论证报告、草案稿，正式申请立项。全国稀土标委会对本项目立项进行了意见征集并组织了全体委员进行投票，最终通过了本项目的立项请求，并上报国标委获批立项。

2024年1月17日全国稀土标准化技术委员会召开“2024年第一次稀土标准制修订工作会”，会议完成了2023年下达的19项稀土国家、行业标准计划的任务落实。会议确定《稀土永磁材料物理性能测试方法 第4部分：抗压强度的测定》负责起草单位为福建省金龙稀土股份有限公司；参与起草单位：安徽大地熊新材料股份有限公司、杭州象限科技有限公司、杭州美磁科技有限公司、宁波韵升股份有限公司、包头市科锐微磁新材料有限责任公司、包头稀土研究院、北京中科三环高技术股份有限公司、有研稀土(荣成)有限公司、江西中石新材料有限公司、包头市英思特稀磁新材料股份有限公司、中国计量大学、有研稀土新材料股份有限公司、度东稀土集团股份有限公司、国家钨与稀土产品质量监督检验中心、国标(北京)检验认证有限公司、赣州富尔特电子股份有限公司等。会议确定了项目的时间进度安排等。

4.3 起草阶段

福建省金龙稀土股份有限公司接受任务后，立即成立了国家标准《稀土永磁材料物理性能测试方法 第4部分：抗压强度的测定》研发小组。

2024年2月，牵头起草单位发起对各参与单位所使用抗压强度测试设备、测试条件、实验室资质等的调查问卷，各参与单位完成填写并回复。

2024年4月，牵头起草单位完成对烧结钕铁硼材料的抗压强度测试设备、样品及测试条件要求的试验摸索，初步形成试验方法。

2024年5月，牵头起草单位准备好第一轮测试对标用烧结钕铁硼样品和测试试验条件，分发于各参与起草单位，作第一轮测试对比。各参与单位完成测试并返回结果及意见。

2024年7月，牵头起草单位根据第一轮测试对标结果，对实验数据进行整理，并更新测试条件，加强对压板的控制要求，并着手准备第二轮测试对标样品，由金龙稀土和安徽大地熊准备烧结钕铁硼样品，由卓尔科技准备烧结钐钴样品，由科锐微磁准备粘结钕铁硼样品，并将更新后的测试条件方法分发于各参与起草单位。各参与单位完成测试并返回结果及意见。

截止2024年8月27日，收集第一轮对标测试结果报告14份，第二轮对标测试结果报告13份。

4.4征求意见阶段

4.4.1 意见征集基本情况

2024年7月27日，征求意见稿、征求意见汇总处理表通过邮件、微信的形式，发送至17家参与起草单位，以及中国科学院宁波材料技术与工程研究所、宁波永久磁业有限公司、赣州有色冶金研究所有限公司、国合通用测试评价认证股份公司、太原科技大学、安泰科技股份有限公司、钢研纳克检测技术股份有限公司、宁波招宝磁业有限公司、赣州稀土友力科技开发有限公司、湖南稀土金属材料研究院、天津包钢稀土研究院有限责任公司、北京工业大学、江西理工大学、厦门稀土材料研究所等14单位进行意见征集。

截止到2024年8月27日，收到有意见回复的单位20个（其中起草单位意见17个，社会单位3个），其它单位均无修改意见，详见《征求稿意见汇总处理表》。

4.4.2预审阶段

2024年9月3日至9月5日， 2024年全国稀土标准化技术委员会第六次稀土标准工作会议于四川乐山召开，在全国稀土标委会主持下，由安徽大地熊黄秀莲专家主审，会上各专家对《稀土永磁材料物理性能测试方法 第4部分：抗压强度的测定》进行了认真、细致的讨论，提出了具体的修改意见，并形成如下会议纪要：

1. 增加塑料膜实验验证。（分别测试用不同粗糙度的试样垫塑料膜试验，确认塑料膜能有效改善样品的粗糙度对测试结果的影响；经过小范围垫塑料膜测试，实验室间重复性也得到较明显改善。因此后续实验室间对比也增加垫塑料膜对比。）

2、粘结的温度影响实验补充100℃，重新确认需控制的温度。（补充30℃、50℃和100℃实验，确认粘结稀土永磁受温度影响明显，对于粘结稀土永磁，测试温度控在（23±3）℃。）

3、文本3.2抗压强度的定义中“在被压缩至压溃过程中所承受的最大应力”改为：“在被压破坏前所能承受的最大压缩力”，参考GB/T 10623，区分烧结钕永磁材料和粘结永磁材料。增加资料性附录，补充各种不同状态下的图片。（标准文本中修改及增加。）

4、术语和定义补充压溃和压裂的定义。 （标准文本中补充，其中“压溃”改为“压碎”）

5、方法原理修改，需要体现横截面积。（标准文本中修改。）

6、全文“压力”统一改为“压缩力”。（标准文本中修改。）

7、5.2 “平行度优于1:0.0002mm/mm”修改为“平行度优于1:0.002 mm/mm”。（标准文本中修改。）

8、全文尺寸描述统一，如“φ5mm×H10mm”、“D5mm×H10mm”统一修改为“φ5mm×10mm”。（标准文本中修改。）

9、6.2对于粗糙度、形位公差等，对于烧结类稀土永磁和粘结类稀土永磁分别描述。（标准文本中修改。）

10、7.1增加主语是烧结类稀土永磁。粘结类稀土永磁无需打磨。（标准文本中修改。）

11、7.1试样端面处理，“磨光”改为“打磨”，补充处理后的试样应满足6.2和6.4中对试样的描述要求。（标准文本中修改。）

12、对于异常低的数据在报告中应体现。（标准文本中修改。）

13、8.3.1残余大颗粒定义为1/4重量。（标准文本中修改。）

14、8.3中对于没有异常现象，但数据异常低（需要给出定义，如低于平均值的百分比）应给出可能解释。（标准文本中修改。）

15、精密度增加钐钴。（标准文本中修改。）

16、10质量保证和控制部分是否删除确认？（已确认新版标准要求中不需要此条内容，标准文本中删除。）

17、“烧结稀土永磁”统一改为“烧结稀土永磁材料”。（标准文本中修改。）

18、7.6“位移-力曲线”改为“力-位移曲线”，增加可能存在的多种特殊情况。（标准文本中修改及增加。）

2024年9月，牵头起草单位根据会议纪要内容补充温度和样品粗糙度实验验证，并组织安徽大地熊、赣州富尔特、中科三环、杭州象限、宁波韵升和卓尔科技共同开展增加塑料膜的实验验证，根据验证结果更新实验条件和测试要求。

2024年11月，牵头起草单位根据新的实验条件和测试要求组织开展第三轮对比测试工作，由金龙稀土准备烧结钕铁硼样品，由卓尔科技准备烧结钐钴样品，由科锐微磁准备粘结钕铁硼样品，将对标测试样品和更新后的测试条件方法分发于各参与起草单位。各参与单位完成测试并返回测试结果、测试报告，并对测试过程提出修改意见。

截止2024年12月31日，收集到第三轮对标测试结果报告15份。

4.5 审查阶段

4.5.1意见征集

2024年12月，征求意见稿、征求意见汇总处理表通过邮件、微信的形式，发送至17家参与起草单位，以及中国科学院宁波材料技术与工程研究所、宁波永久磁业有限公司、赣州有色冶金研究所有限公司、国合通用测试评价认证股份公司、太原科技大学、安泰科技股份有限公司、钢研纳克检测技术股份有限公司、宁波招宝磁业有限公司、赣州稀土友力科技开发有限公司、湖南稀土金属材料研究院、天津包钢稀土研究院有限责任公司、北京工业大学、江西理工大学、厦门稀土材料研究所等19单位进行意见征集。

截止到2024年1月2日，收到有意见回复的单位21个（其中参与起草单位13个，社会单位8个），其它单位均无修改意见，详见《征求稿意见汇总处理表-2》。

4.5.2审定阶段

2025年1月8日至9月10日，2025年全国稀土标准化技术委员会第一次稀土标准工作会议于北京召开，在全国稀土标委会主持下，会上各专家对《稀土永磁材料物理性能测试方法 第4部分：抗压强度的测定》进行了认真、细致的讨论，提出了具体的修改意见，并形成如下会议纪要：

4.6报批阶段

# 二、标准编制原则

本标准在起草过程中遵循以下原则：

## 1.规范性

本标准是根据GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》和GB/T 20001.4-2015《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》的要求进行编写的。

## 2.适用性

本标准根据稀土永磁机械性能特点，在确定标准规范要求时，结合实际样品加工能力、实验室测试条件、客户实际需求等方面综合考虑，具有操作简单、稳定的优势，能更好的满足客户及操作人员的要求。

三、标准主要技术内容、确定的依据及主要试验和验证情况

## 1.测试设备的要求

本文测试设备无特别要求，各类万能试验机和压力试验机均可使用。根据 GB/T 16825.1 ，试验机精确度满足I级或优于I级的均可，可控制因示值误差造成的测试偏差在1%以内。

## 2.压板硬度的要求

稀土永磁中，烧结钕铁硼和钐钴的维氏硬度约600HV，约55HRC，烧结钐钴的硬度同样能达到这个范围，测试压板必须大于被测样品，否则压板容易被压出坑点，导致后的样品无法放平，影响测试结果，建议压板硬度使用60HRC以上材质；

## 3.压板的种类的要求

常用压板有固定压板和活动压板，其中活动压板由于下压板可自由调整，对于上下面不平行的试样测试具有明显优势，不仅可以通过调整下压板角度来抵消试样制备时的不平行缺陷，而且在测试受力过程下压板还能进一步自动矫正，因此多数国家标准如GB/T 6525-2019烧结金属材料室温压缩强度的测定中推荐使用活动压板测试。

使用固定式压板测试试样均被压溃爆裂，而在使用活动压板测试过程中，部分试样未测到最大力值时出现了试样被压裂开的声音，其中最后一颗试样测试结束后仍未完全爆裂，样品测试后外观如下所示，试样还存在块状的样品残骸。

从测试情况推测，由于试样或压盘的不平行，测试时试样一边与压盘接触，而测试过程中下压盘也未能矫正，导致试样一边先被压溃，另一边未受到足够压力，从图中的测试曲线也能看出试样在测试过程中有存在多次裂开的情况。

活动压盘测试结果 固定压盘测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 试样直径 | 最大力 | 抗压强度 |  |  | 试样直径 | 最大力 | 抗压强度 |
| 序号 | mm | N | MPa |  | 单位 | mm | N | MPa |
| 1 | 9.99 | 71897 | 918 |  | 1 | 10 | 86341 | 1099 |
| 2 | 10 | 91204 | 1161 |  | 2 | 10 | 79378 | 1011 |
| 3 | 10 | 65702 | 836 |  | 3 | 10 | 83058 | 1058 |
| 4 | 10 | 66471 | 847 |  | 4 | 10.01 | 59473 | 756 |
| 5 | 10 | 21136 | 269 |  | 5 | 10.01 | 85053 | 1081 |
|  |  |  |  |  | 6 | 10 | 82717 | 1053 |
|  |  |  |  |  | 7 | 10.01 | 84475 | 1073 |
|  |  |  |  |  | 8 | 10 | 80621 | 1027 |
| 均值 | 10 | 63282 | 806 |  | 均值 | 10 | 80139.5 | 1020 |
| RSD |  |  | 40.6% |  | RSD |  |  | 10.8% |

从测试结果可以看出，使用固定压盘的测试结果数据一致性相对较好，而使用活动压盘测试结果的相对标准偏差明显偏大，即使剔除因试样未压溃出现的离群值，剩余结果的相对标准偏差为16.1%，依然大于使用固定压盘测试的相对标准偏差，说明活动压盘并不适用于烧结钕铁硼材料的抗压强度测试，因此标准选定固定压盘（P实验室在实验过程中也发现使用活动压盘测试的抗压强度存在不确定性，见试验报告。）

## 4.试样表面粗糙度

常见的试样取制方式中对于两端面的处理方式是平面磨床、内圆切割机等方式，所使用砂轮目数较低，约46目~60目范围，此时样品表面粗糙度值较大，压缩过程中存在接触面应力集中的可能，导致抗压测试值偏低，一致性变差，经验证，试样未经过端两打磨处理后抗压强度数值和一致性都有所改善，以下为使用400目砂纸打磨结果，可以看出其测试稳定性明显优于未经过打磨的样品。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 试样直径 | 最大力 | 抗压强度 |
| 单位 | mm | N | MPa |
| 试样1 | 9.862 | 95623 | 1252 |
| 试样2 | 9.918 | 94980 | 1229 |
| 试样3 | 9.926 | 94735 | 1224 |
| 试样4 | 9.865 | 94293 | 1234 |
| 试样5 | 9.913 | 96846 | 1255 |
| 试样6 | 9.988 | 82469 | 1053 |
| 试样7 | 9.841 | 99804 | 1312 |
| 试样8 | 9.927 | 96645 | 1249 |
| 试样9 | 9.842 | 87466 | 1150 |
| 试样10 | 9.924 | 92544 | 1196 |
| 均值 | 9.90 | 93541 | 1215.3 |
| RSD |  |  | 5.8% |

由于产品的粗糙度可能会影响到最终抗压强度的结果，因此经过预审会议讨论，增加端面粗糙度对抗压强度测试结果的影响，选取同一批次试样，分别将试样端面使用80目、300目、800目、2000目砂纸打磨出不同粗糙度，使用粗糙度仪测试试样的粗糙度，并测试抗压强度值如下：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 目数 | 80目 | | 300目 | | 800目 | | 2000目 | |
| 单位 | Ra （μm） | 抗压强度 （MPa） | Ra （μm） | 抗压强度 （MPa） | Ra （μm） | 抗压强度 （MPa） | Ra （μm） | 抗压强度 （MPa） |
| 测试值 | 2.361 | 1283 | 1.418 | 1459 | 0.332 | 1599 | 0.162 | 1552 |
| 1.963 | 1.185 | 0.337 | 0.139 |
| 1.908 | 1365 | 1.150 | 1481 | 0.320 | 1573 | 0.104 | 1571 |
| 2.202 | 1.027 | 0.371 | 0.124 |
| 2.390 | 1259 | 0.931 | 1469 | 0.303 | 1651 | 0.126 | 1663 |
| 2.115 | 0.871 | 0.391 | 0.128 |
| 2.228 | 1416 | 0.845 | 1404 | 0.285 | 1543 | 0.156 | 1635 |
| 1.741 | 0.839 | 0.305 | 0.110 |
| 2.166 | 1292 | 1.036 | 1516 | 0.328 | 1564 | 0.116 | 1597 |
| 2.225 | 0.881 | 0.333 | 0.153 |
| 平均值 | 2.130 | 1323 | 1.018 | 1466 | 0.331 | 1586 | 0.132 | 1604 |

从以上数据和附表中的可以看出，试样端面粗糙度越小，所测试抗压强度值越高，超过800目砂纸打磨后，表面粗糙度Ra在0.4μm以下时，抗压强度值基本趋于稳定。因此标准建议使用800目砂纸对试样打磨。（对于样品粗糙度的要求，由于样品加工造成的表面应力与砂纸打磨的表面应力不同，可能造成加工的粗糙度更好， 但是抗压强度值也更低，如下表因此不能单纯只对试样的表面粗糙度作管控。）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 目数 | 未打磨 | | 80目 | | 300目 | |
| 单位 | Ra （μm） | 抗压强度 （MPa） | Ra （μm） | 抗压强度 （MPa） | Ra （μm） | 抗压强度 （MPa） |
| 测试值 | 0.567 | 1302.9 | 2.361 | 1283 | 1.418 | 1459 |
| 0.519 | 1.963 | 1.185 |
| 0.588 | 1366.79 | 1.908 | 1365 | 1.150 | 1481 |
| 0.613 | 2.202 | 1.027 |
| 0.724 | 1377.94 | 2.390 | 1259 | 0.931 | 1469 |
| 0.511 | 2.115 | 0.871 |
| 0.512 | 1342.23 | 2.228 | 1416 | 0.845 | 1404 |
| 0.567 | 1.741 | 0.839 |
| 0.472 | 1349.85 | 2.166 | 1292 | 1.036 | 1516 |
| 0.567 | 2.225 | 0.881 |
| 平均值 | 0.564 | 1348 | 2.130 | 1323 | 1.018 | 1466 |

## 5.润滑剂/缓冲层选择

当钕铁硼料材料在竖直方向被压缩时，会在水平方向伸长，由于试样与压板的摩擦力太大导致两接触面无法自由伸长，导致抗压强度测试值失真。GB/T 6525-2019烧结金属材料室温压缩强度和GB/T 7314-2017 金属材料室温压缩试验方法中的建议，可通过在样品两端涂抹石墨粉或垫塑料薄片的方式减小摩擦，使用同批次加工的钕铁硼样品，按三组不同的垫材方式，每组随机选择5颗试样，分别测试抗压强度值，测试结果如下表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 垫材 | 无垫材 | 石墨灰 | 塑料薄片 |
| 抗压强度 | 1329.2 | 1378.26 | 1854.78 |
| 1279.88 | 1295.4 | 1852.9 |
| 1263.15 | 1377.7 | 1915.65 |
| 1308.59 | 1310.46 | 1759.39 |
| 1298.07 | 1359.36 | 1749.01 |
| 均值 | 1295.8 | 1344.2 | 1826.3 |
| RSD | 2.0% | 2.9% | 3.9% |

从表中可以看出，当使用石墨粉作为钕铁硼抗压强度测试时的润滑剂时，所测抗压强度值有所增加，说明减小摩擦的方式确实能有效降低与压板的接触面处的试样端面水平方向不能自由伸长的影响，而当使用塑料膜垫于样品端面上时，所测抗压强度值整体明显提高，推测可能原因有：1、塑料膜不仅可以起到减小摩擦力的作用，还有可能因为试样嵌入塑料膜中导致测试过程中产生了指向圆心方向的支持力，保护试样被压溃，使最大力值偏高；2、塑料膜能消除试样端面与压板的不平行，使试样受力更均匀，使最大力值正准确；

考虑到烧结钕铁硼杨氏模量约为160GPa，泊松比约为0.25，对于D10mm×H10mm的样品，在整个压溃过程中，材料整体压缩量小于0.1mm，横截面积变化量小于0.1%，此变化对于抗压强度的计算可忽略，使用润滑剂减小摩擦力的方式对于钕铁硼几乎无影响。因此，在无法确认使用塑料膜等减小摩擦是否准确的前提下，应尽量与行业内测试方式保持一致。向本次标准参与单位实验室收集测试信息，所有单位反馈信息均未采用垫塑料膜的测试方式，而使用石墨粉的只有2家，其余13家均未使用润滑剂，因此，标准建议不采用润滑剂。

## 6.试样尺寸的选择

GB/T 4740-1999 陶瓷材料抗压强度试验方法中建议的样品尺寸D20mm×H20mm的最大压溃力会超过大多数万能电子试验机的传感器量程，而GB/T 7314-2017 金属材料室温压缩试验方法中对于样品具体尺寸没有作限定，只推荐了试样直径和高度的比值在1~2之间；使用同一批次的钕铁硼毛坯，加工出尺寸为D10mm×H10mm、D5mm×H5mm、D5mm×H10mm的试样，分别测试抗压强度值，统计结果如下表：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 直径 | 高度 | 最大力 | 抗压强度 |
| 单位 | mm | mm | N | MPa |
| 试样1 | 5.022 | 5.021 | 28779.84 | 1452.93 |
| 试样4 | 5.021 | 5.018 | 28789.72 | 1454.01 |
| 试样7 | 5.024 | 5.019 | 26548.6 | 1339.22 |
| 试样10 | 5.031 | 5.023 | 28711.22 | 1444.29 |
| 试样13 | 5.025 | 5.011 | 27070.16 | 1364.99 |
| 均值 |  |  |  | **1411.09** |
| RSD |  |  |  | **3.9%** |
| 试样2 | 5.024 | 10.022 | 28519.46 | 1438.64 |
| 试样5 | 5.026 | 10.025 | 28446.8 | 1433.83 |
| 试样8 | 5.025 | 10.025 | 28997.78 | 1462.19 |
| 试样11 | 5.027 | 10.021 | 27419.92 | 1381.52 |
| 试样14 | 5.027 | 10.019 | 27088.06 | 1364.8 |
| 均值 |  |  |  | **1416.2** |
| RSD |  |  |  | **2.9%** |
| 试样3 | 9.991 | 10.04 | 92484.5 | 1179.67 |
| 试样6 | 10.002 | 10.033 | 93963.06 | 1195.9 |
| 试样9 | 10.025 | 10.015 | 107011.7 | 1355.73 |
| 试样12 | 10.02 | 10.002 | 106947.6 | 1356.27 |
| 试样15 | 9.994 | 10.029 | 96495.1 | 1230.09 |
| 均值 |  |  |  | **1263.53** |
| RSD |  |  |  | **6.8%** |

从测试结果可以分析，当样品尺寸为D5mm×H10mm时，测试的抗压强度值较高，且相对标准偏差值较小，原因是在相同的测试条件下，试样的直径越小，试样在加工时的平行度越容易控制，试样的高度越大，试样在压缩过程中的达到最大压溃力时的形变量越大，平行度差异的影响越小。对于材料的机械特性，一般认为在没有其它外界干扰下同一水平上所测值越大越接近真实值，因此可以认为，测试样品的尺寸为D5mm×H10mm时更适合于产品的抗压强度管控，D5mm×H10mm也是目前各参与单位中使用较多的测试尺寸，因此标准建议采用此尺寸。

## 7.测试速率的影响

由于抗压强度测试过程中，试样在竖直方向上被挤压，若测试速度太快，可能都会因内部应力未充分传递，导致某些区域应力集中提前压溃，测试值偏低。使用同批次加工的钕铁硼试样，按0.1mm/min、0.2mm/min、0.5mm/min、1.0mm/min、2.0mm/min、5.0mm/min、10mm/min、20mm/min的测试速率分成8组测试，各组样品的抗压强度数据统计如下：

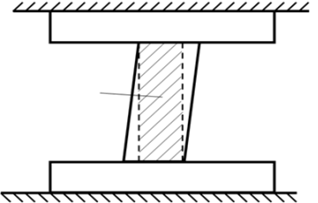
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测试速率/mm/min | 抗压强度平均值/MPa | RSD |
| 0.1 | 1402.6 | 2.0% |
| 0.2 | 1403.0 | 5.9% |
| 0.5 | 1416.2 | 2.9% |
| 1 | 1401.9 | 4.5% |
| 2 | 1386.6 | 4.6% |
| 5 | 1390.8 | 4.1% |
| 10 | 1372.5 | 4.0% |
| 20 | 1371.1 | 2.0% |

当测试速度过快时，抗压强度值明显有下降趋势，从测试曲线图（见研究报告）中也可看出，在测试结束时，0.5mm/min的测试速率为在最大力值垂直下降，而在20mm/min曲线则有明显外撇，说明速率过高时，力值变化过快，传感器采集频率跟不上，导致未采集到最大力值，使抗压强度计算值偏低，在保证测试效率的前提下，标准建议测试速率为0.5mm/min。

## 8.试样垂直度的要求

由于圆柱形样品的抗压强度测试是针对轴向压缩，当试样因加工过程造成垂直度不良时，有效承压横截面积（实际承压面积因挤压过程材料内部应力作用有所变化）会减小，导致抗压强度值偏低；通过制样手段加工出垂直度分别为<0.05mm、0.05mm~0.1mm、0.1mm~0.2mm、0.2mm~0.3mm的样品测试如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 垂直度 | 抗压强度平均值 | 相对标准偏差 |
| （mm） | （MPa） | (%) |
| <0.05 | 1410.8 | 4.3 |
| 0.05~0.1 | 1411.1 | 3.9 |
| 0.1~0.2 | 1363.3 | 4.3 |
| 0.2~0.3 | 1322.4 | 4.7 |



从表中可以看出当垂直度在0.1mm以下时，抗压强度测试平均值变化不大，当垂直度超过0.1mm时，抗压强度测试平均值开始偏低。因此，对于D5mm×H10mm的样品，垂直度要求小于0.1mm。

## 9.试样平行度和平面度要求

抗压强度测试时，材料表面的平行度和平面度影响施压初期压板与样品的接触面积和最初受力点的位置，若样品平行度或平面度过大，最初受力位置会先被压碎导致测试值偏低，根据烧结钕铁硼的杨氏模量计算，对于D5mm×H10mm的试样，在达到压溃力时，试样在受力方向仅压缩了约0.09mm，因此，平行度或平面度太大，试样单点受力会导致抗压强度值偏低。通过制样手段加工出平行度和平面度分别为<0.005mm、0.005mm~0.01mm、0.01mm~0.02mm的样品测试，统计测试结果如下:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 平行度 | 抗压强度平均值 | 相对标准偏差 |
| （mm） | （MPa） | (%) |
| <0.005 | 1410.8 | 4.3 |
| 0.005~0.01 | 1391.8 | 5.8 |
| 0.01~0.02 | 1252.9 | 8.2 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 平面度 | 抗压强度平均值 | 相对标准偏差 |
| （mm） | （MPa） | (%) |
| <0.005 | 1410.8 | 4.3 |
| 0.005~0.01 | 1386.6 | 4.6 |
| 0.01~0.02 | 1312.7 | 7.4 |

从表中可以看出当平行度在0.01mm以下时，抗压强度测试平均值略有下降，下降量<1%，当平行度达到0.02mm时，测试值明显低于正常值。为方便计算和加工控制，对于D5mm×H10mm的样品，平行度要求小于0.01mm。

## 10.测试温度的选择

由于材料的物理特性会受到温度影响，为确认抗压强度受温度的影响量，将产品在常温22度及200度环境下分别测试抗压强度，获得测试结果如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 22度抗压强度 | 200度抗压强度 |
| 单位 | Mpa | Mpa |
| A样 | 1435.0 | 1286.6 |
| 1397.0 | 1141.7 |
| 1431.1 | 1232.1 |
| 1426.7 | 1422.0 |
| 1371.9 | 1261.8 |
| B样 | 1515.2 | 1353.3 |
| 1383.9 | 1344.0 |
| 1450.8 | 1313.1 |
| 1458.5 | 1478.4 |
| 1517.4 | 1361.4 |
| C样 | 1362.4 | 1232.9 |
| 1292.7 | 1077.3 |
| 1345.5 | 1151.1 |
| 1378.0 | 1340.7 |
| 1448.6 | 1195.4 |
| D样 | 1352.8 | 1416.6 |
| 1464.4 | 1219.3 |
| 1474.2 | 1428.4 |
| 1605.4 | 1390.6 |
| 均值 | 1426.9 | 1297.2 |

从以上数据可以看出，当钕铁硼温度上升时，其抗压强度值下降，从22度到200度的温度跨度下，抗压强度值下降了9%。研究报告中测试了钐钴、粘结钕铁硼磁体的200度抗压强度，发现在22度到200度的温度区间，钐钴产品抗压强度值下降了13%，粘结钕铁硼抗压强度值下降了78%，说明烧结稀土永磁对温度的敏感性较低，而粘接稀土永磁由于粘接剂的原因，抗压强度值对温度较敏感。

由于抗压强度一般为常温测试，而常温到200度条件下，抗压强度随温度不一定是线性变化，根据预审会讨论，补充了稀土永磁体在50度、100度的抗压强度测试，发现从室温到100度的区间，稀土永磁随温度升高，抗压强度值下降，下降规律基本呈线性关系。对于烧结稀土永磁钐钴，室温控制在（23±10）℃即可保证测试结果因温度偏差小于1%，对于粘结品，室温需控制在±3度以内。为便于管控，建议对于烧结磁钢测试温度要求为（23±10）℃，粘接磁钢测试温度要求为（23±3）℃。

## 11.关于取向与非取方向的偏差

由于烧结稀土永磁存在各向异性的情况，取向方向和非取向方向的物理特性均会存在差异，使用毛坯（尺寸为52.8\*26.4\*40.0，40.0为取向方向）按三个方向分别加工样品，测试抗压强度，确认取向与非向取测试值如下：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 取向52.8\*26.4抗压强度 | 非取向52.8\*40.0抗压强度 | 非取向40.0\*26.4抗压强度 |
| 单位 | Mpa | Mpa | Mpa |
|  | 1478.81 | 1400.32 | 1488.81 |
| 1554.89 | 1428.39 | 1412.18 |
| 1386.2 | 1424.91 | 1331.63 |
| 1507.45 | 1348.19 | 1380.52 |
| 1444.56 | 1319.18 | 1409.16 |
| 1442.6 | 1281.8 | 1309.98 |
| 1470.24 | 1331.73 | 1303.87 |
| 1470.17 | 1408.13 | 1383.93 |
| 1481.97 | 1361.97 | 1277.58 |
| 1375.62 | 1374.52 | 1359.71 |
| 均值 | 1461.251 | 1367.914 | 1365.737 |

测试数据发现，对于烧结钕铁硼产品，取向方向的抗压强度值高于非取向方向，此块毛坯非取向方向较取向方向低6%左右；

研究所报中补充了烧结钐钴取向与非取向的测试数据，对于烧结钐钴2：17型，非取向方向则比取向方向高了约40%，对于1：5型的取向与非取向则无明显差异；

说明烧结稀土永磁的取向方向和非取向方向抗压强度会存在不一致的情况，如需要测试样品的抗压强度，需明确是测试取向方向还是非取向方向。

## 12.关于压板的平面度、平行度、粗糙度要求

实验中发现烧结稀土永磁对于样品的端面的平面度、平行度、粗糙度要求非常高，这是由于当这些指标较差，样品端面与压板接触时，容易产生单点受力，应力集中会导致样品提前压碎，此问题也同样会存在于压板表面不良的情况：

平面度和平行度对于样品的要求是5mm直径的面积下高度极差小于0.01mm，对于测量系统即压板的平行度要求，至少应满足样品的要求管控，即5mm直径的面积下高度极差小于0.01mm，即压板平行度要求为1：0.002mm/mm；

压板在样品的测试区域内的平面度也为1：0.002mm/mm；

压板测试时则与样品相同，每次测试前均使用800目砂纸对压板作打磨控制粗糙度；

另外对于万能电子试验机存在多套工装切换时，需标记安装方向，避免移动后平行度变化。

## 13.补充对于烧结稀土永磁测试无效的说明

针对烧结稀土永磁，当测试过程中样品和压板之间存在微小颗粒、样品或压板平面度等不良、样品存在缺陷等情况时，在样品受压时可能会出现以下三种情况：

a、试验过程中途力-位移曲线出现异常弯折、突变，同时伴有明显的试样的碎裂声；

b、下压盘上还有不完全压碎的残余大块颗粒，且残余大块颗粒质量超过试样质量的四分之一；

c、试样在压缩过程中试验仪器设备发生故障；

这几种情况都会造成抗压强度的数值异常，不能代表产品的抗压强度值，如供需双方无特殊说明，应予以技术剔除。

## 14.聚四氟乙烯膜验证

由于试验中发现垫聚四氟乙烯膜测试时，抗压强度值有明显提升，经预审会议讨论后补充对垫聚四氟乙烯膜条件下的抗压强度测试。

为确认聚四氟乙烯膜是否能消除试样端面与压板的不平行和不光滑，而改善因粗糙度造成的抗压强度测试值偏低的情况，将同批次样品使用不同目数的砂纸打磨试样两端面，垫上0.05mm厚的聚四氟乙烯膜测试样品的抗压强度，汇总如下：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 平均值 | Ra （μm） | 不垫强度 （MPa） | 垫-强度 （MPa） |
| 80目 | 2.1 | 1323 | 1614 |
| 300目 | 1.0 | 1466 | 1783 |
| 800目 | 0.3 | 1586 | 1768 |
| 2000目 | 0.1 | 1604 | 1841 |

从以上数据可以看出，使用聚四氟乙烯膜作为缓冲层时，样品端面不同粗糙度的影响被缩小，说明聚四氟乙烯膜对于改善样品表面粗糙度有效果。

为确认垫聚四氟乙烯膜后抗压强度高是否由于对试样产生了保护的支持力，使用不同覆盖端面面积的聚四氟乙烯膜作抗压强度的测试，汇总如下：

|  |  |
| --- | --- |
| 覆盖百分比 | 抗压强度（MPa） |
| 满覆盖 | 1852 |
| 约95%覆盖 | 1994 |
| 约90%覆盖 | 1976 |
| 约70%覆盖 | 1801 |
| 约50%覆盖 | 1488 |

可以看到，当聚四氟乙烯膜覆盖样品端面面积约95%时，抗压强度达到最大值，说明抗压强度在有垫膜时高的原因并非边缘对样品起到支持力的原因。

## 15.测试条件确认

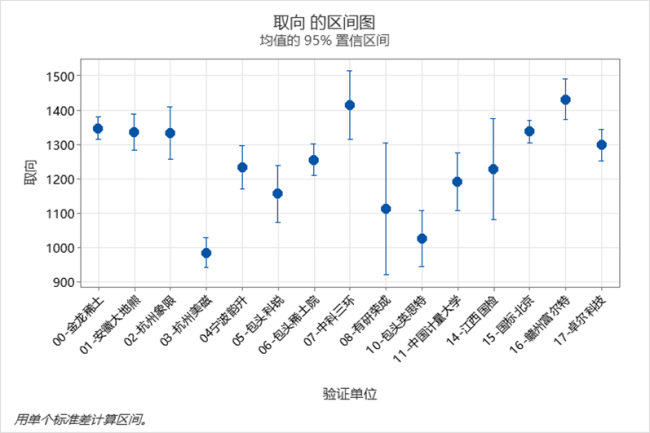
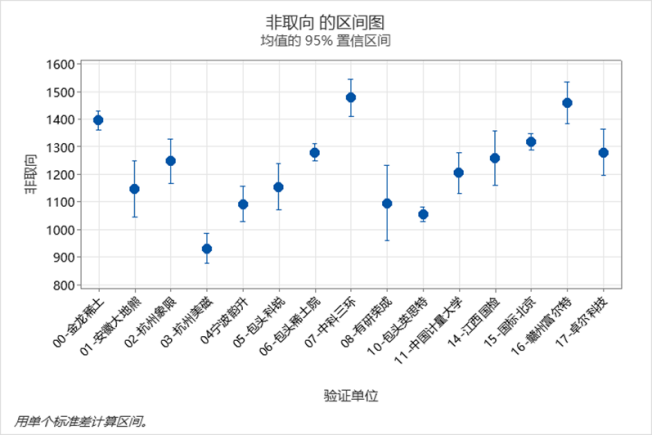
经过以上的实验验证，已识别出对烧结钕铁硼材料抗压强度测试影响较显著的要素，并重新确定了对这些要素的具体要求。

1. 按最终五组样品平均值作为最终抗压强度
2. 烧结类样品尺寸建议为（D5\*H10）mm，垂直度小于0.1mm，平面度小于0.01mm，平行度小于0.01mm，样品处理前建议粗糙度Ra小于1.25µm，测试前还需经过800目砂纸打磨至小于0.4µm。粘结类样品尺寸建议为（D10\*H10）mm，垂直度小于0.1mm，平面度平行度无特殊要求，按0.1mm控。
3. 使用固定式压盘，经会议讨论，平行度优于1:0.002,平面度优于1:0.002，因试样要求为打磨后小于0.4µm，压盘工作面表面粗糙度（Ra）值也不大于0.4µm，硬度不小于60HRC。
4. 测试速率建议为0.5mm/min。
5. 对于烧结稀土永磁，测试温度控在（23±10）℃范围，对于粘结磁体，测试温度控在（23±2）℃。
6. 测试应明确取向方向。
7. 如有垫塑料薄膜需要报告中注明。

四、试验验证的分析及预期的经济效果

1.数据汇总处理分析

1.1第一轮对标情况：

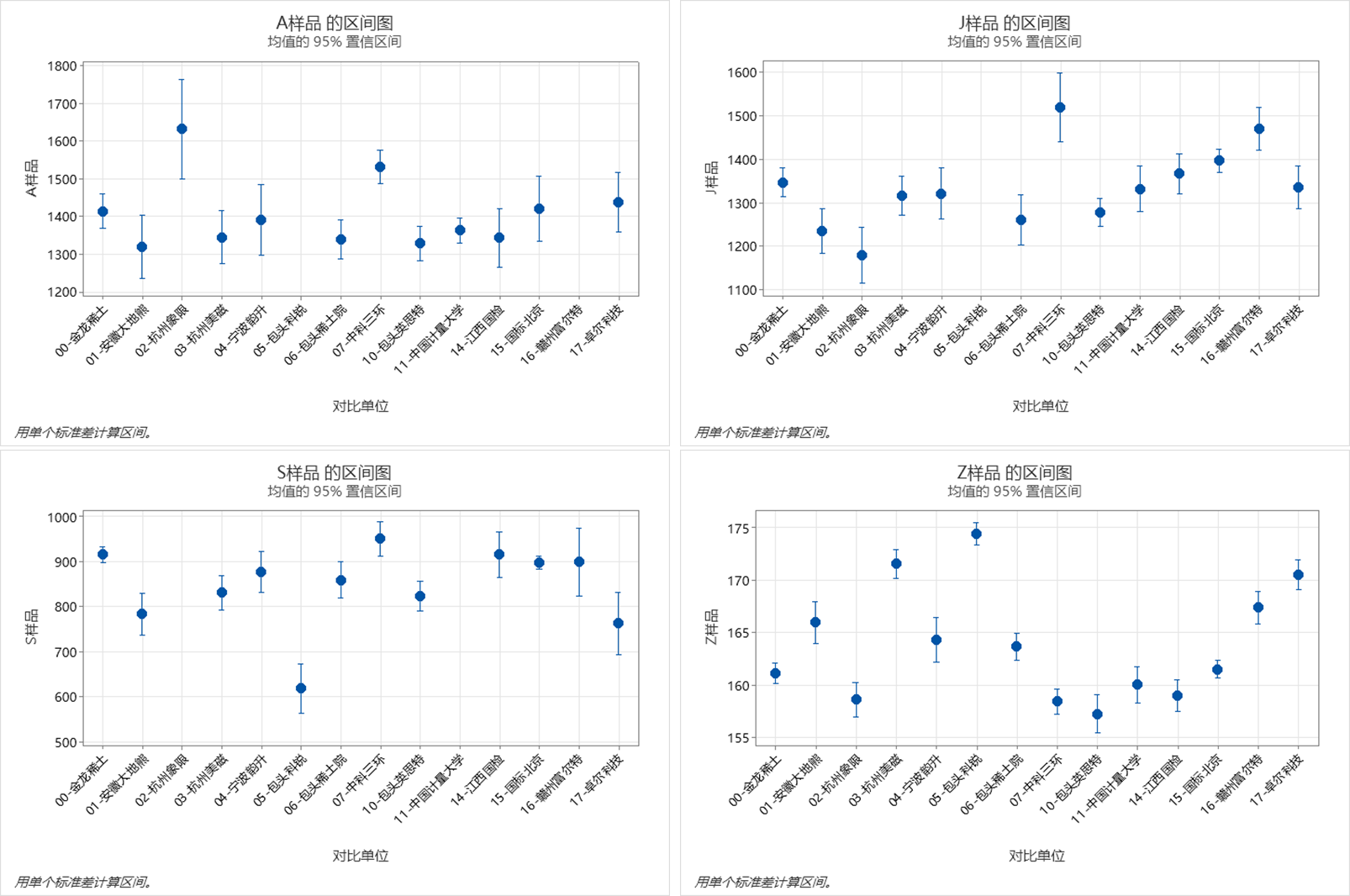
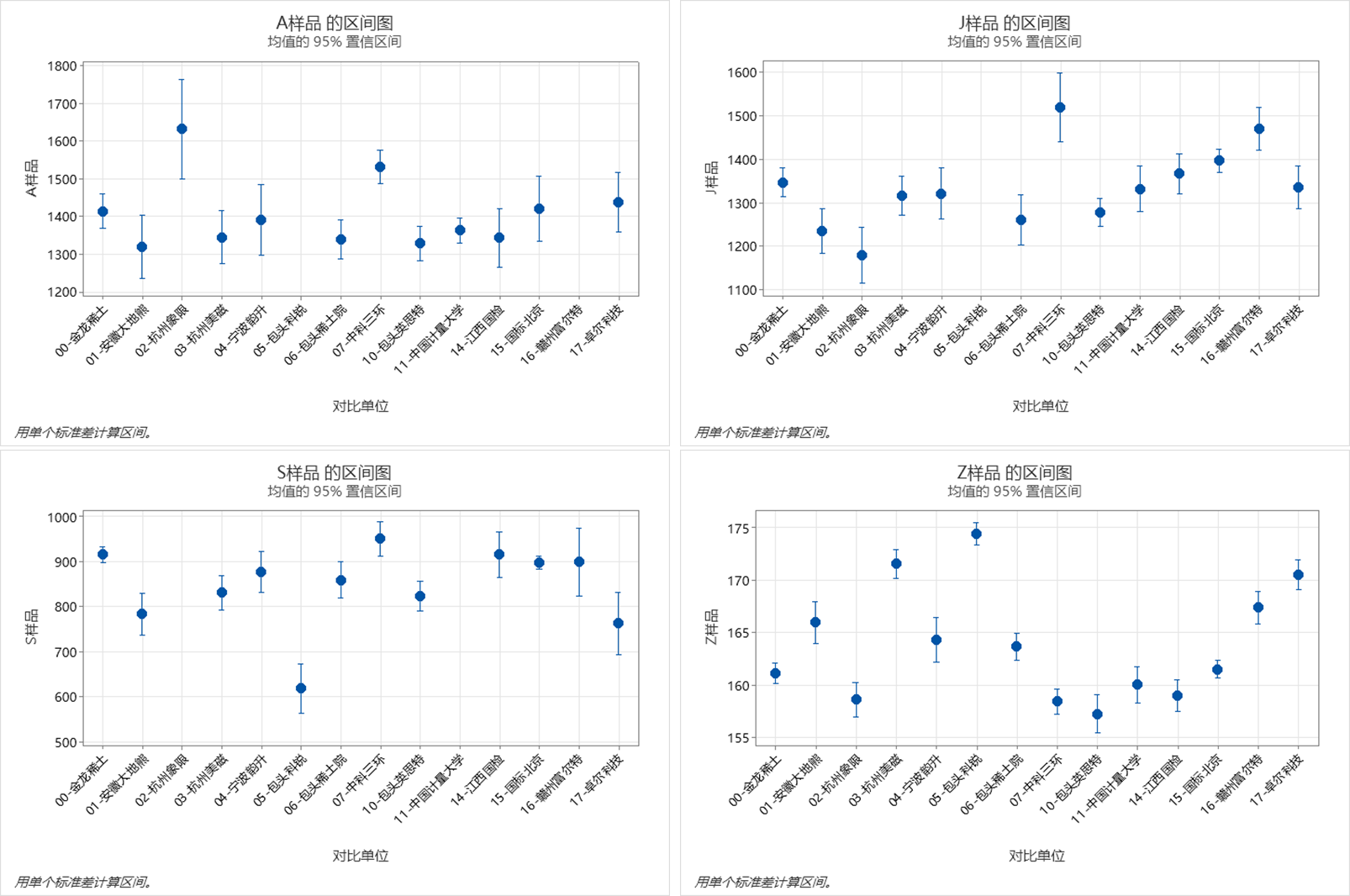
 

在第一轮测试对标中，经过沟通，主要问题在于针对压板材质、压板打磨、压板平行度的控制要求未达成统一意见，最终各家单位测试值偏差较大，因此组织第二次对标。

1.2第二轮对标情况：

对测试数据作剔除，剔除原则为测试过程中听到听到微裂声、测试曲线上存在异常弯折点，烧结稀土永磁在测试完后压盘上有大于1/4的颗粒残留（使用的检测设备、压板、测试方法等未完全满足标准要求的数据由于不能现场确认无法剔除，暂且保留）。

整理剔除异常数据后的测试结果，对各试验室内数据进行了均值、标准偏差和相对标准偏差的统计，并就各试验室内数据和试验室间均值进行了格拉布斯检验以及实验室间数据等精度检验（柯克伦检验）。试验数据统计和检验结果参照GB/T 6379.2-2004测量方法与结果的准确度（正确度与精密度）第2部分：确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法，先进行格拉布斯检验，对于检验为岐离的数据进行保留，对于离群的数据进行剔除。当最大或最小的平均值经检验为离群值，则将其剔除，对剩下的平均值重复进行检验；再进行柯克伦检验，对于检验为岐离的数据进行保留，对于离群的数据进行剔除。当最大标准差经检验判断为离群值后，将其进行剔除，对剩下的数据再次进行柯克伦检验。离散值剔除后区间图如下：测试数据汇总如下（详细数据见第二轮对标报告）



注：由于部分实验室测试结果的均值和重复性差异较大，部分实验室原测试能力还不满足标准要求，待各实验室能力满足后，还需再组织标准内容确认和重新对标。

1.3经过补充对使用聚四氟乙稀膜的要求，以及更新对样品粗糙度、压盘平行度及平面度的要求、结果输出的要求后，开展第三轮对标测试，并确定方法的精密度。

第三轮测试对标共收到15份测试报告，其中部分实验室在自查后发现测试设备不满足测试要求，如：测试使用的工装不是抗压专用工装，测试时压盘会移动或轴线不对中；压盘硬度低于标准要求，压盘在测试时会压出凹坑；下压盘为活动压盘，调试时会滑动，不易调平等影响测试结果的情况。

为避免影响最终精密度计算，最终使用12家实验室的测试数据计算精密度。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试条件 | | | 序号 | A实验室 | B实验室 | D实验室 | E实验室 | F实验室 | G实验室 | H实验室 | J实验室 | L实验室 | M实验室 | Q实验室 | R实验室 | S实验室 |
| 钕铁硼 | day1 | 无膜 | 1 | 1483 | 1251 | 1510 | 1310 | 1397 | 1496 | 1531 | 1396 | 1407 | 1272 | 1334 | 1444 | 1620 |
| 2 | 1533 | 1111 | 1463 | 1280 | 1244 | 1345 | 1434 | 1375 | 1365 | 1336 | 1278 | 1437 | 1535 |
| 3 | 1578 | 1137 | 1309 | 1270 | 1328 | 1441 | 1625 | 1574 | 1374 | 1333 | 1377 | 1380 | 1492 |
| 4 | 1506 | 1208 | 1360 | 1470 | 1381 | 1402 | 1402 | 882 | 1330 | 1377 | 1287 | 1466 | 1606 |
| 5 | 1473 | 1000 | 1347 | 1400 | 1474 | 1386 | 1666 | 1583 | 1436 | 1451 | 1377 | 1474 | 1768 |
| day2 | 无膜 | 1 | 1475 | 1117 | 1388 | 1420 | 1580 | 1534 | 1640 | 1418 | 1391 | 1463 | 1382 | 1407 | 1442 |
| 2 | 1368 | 903 | 1392 | 1220 | 1404 | 1361 | 1449 | 1383 | 1383 | 1540 | 1401 | 1329 | 1610 |
| 3 | 1596 | 1096 | 1250 | 1520 | 1294 | 1435 | 1050 | 977 | 1261 | 1400 | 1422 | 1372 | 1414 |
| 4 | 1483 | 1031 | 1355 | 1550 | 1398 | 1290 | 1483 | 1240 | 1337 | 1336 | 1347 | 1494 | 1490 |
| 5 | 1410 | 1094 | 1302 | 1470 | / | 1201 | 1594 | 1093 | 1304 | 1350 | 1294 | 1473 | 1667 |
| day1 | 有膜 | 1 | 1954 | 1636 | 1989 | 1890 | 2019 | 1821 | 1666 | 1070 | 1686 | 2014 | 1381 | 1870 | 1811 |
| 2 | 1897 | 1914 | 1776 | 1560 | 1867 | 1644 | 1824 | 1345 | 1853 | 1920 | 1741 | 1946 | 1761 |
| 3 | 1782 | 2015 | 1488 | 1930 | 1960 | 1428 | 1626 | 1384 | 1815 | 1986 | 1874 | 1476 | 1793 |
| 4 | 1733 | 1672 | 1687 | 1860 | 1896 | 1605 | 2015 | 1650 | 1935 | 2000 | 1812 | 1769 | 1563 |
| 5 | 1836 | 1951 | 1725 | 1840 | 1985 | 1861 | 1958 | 1604 | 1889 | 1672 | 1591 | 1810 | 1402 |
| day2 | 有膜 | 1 | 1970 | 1678 | 1995 | 1930 | 1945 | 1558 | 1786 | 1545 | 1991 | 2016 | 1914 | 2038 | 1870 |
| 2 | 1832 | 1561 | 1655 | 2040 | 2057 | 1554 | 2005 | 870 | 1776 | 1934 | 1530 | 1850 | 1890 |
| 3 | 1801 | 1734 | 1807 | 2030 | 2045 | 1740 | 1966 | 1723 | 1836 | 1890 | 1103 | 1691 | 1720 |
| 4 | 1748 | 1943 | 1766 | 1610 | 1958 | 1786 | 1961 | 1727 | 1557 | 1808 | 1867 | 1841 | 1797 |
| 5 | 1909 | 1786 | 1834 | 1950 | 1649 | 1446 | 1305 |  | 1769 | 1868 | 1556 | 1860 | 1837 |
| 钐钴 | day1 | 无膜 | 1 | 966 | 598 | 972 | 780 | 839 | 933 | 1103 | 943 | 854 | 864 | 896 | 871 | 1033 |
| 2 | 1002 | 498 | 904 | 900 | 896 | 938 | 1073 | 948 | 921 | 862 | 878 | 938 | 1002 |
| 3 | 935 | 708 | 959 | 840 | 873 | 843 | 1102 | 765 | 907 | 911 | 902 | 927 | 960 |
| 4 | 990 | 542 | 915 | 780 | 905 | 765 | 1120 | 963 | 913 | 860 | 857 | 905 | 1036 |
| 5 | 955 | 454 | 824 | 875 | 778 | 901 | 697 |  | 920 | 863 | 904 | 923 | 1013 |
| day2 | 无膜 | 1 | 937 | 434 |  | 750 | 875 | 727 | 1017 | 954 | 954 | 879 | 760 | 992 | 949 |
| 2 | 964 | 481 | 663 | 810 | 814 | 878 | 1081 | 934 | 925 | 951 | 479 | 820 | 1028 |
| 3 | 946 | 506 | 712 | 920 | 835 | 817 | 1077 | 952 | 880 | 824 | 801 | 881 | 985 |
| 4 | 954 | 532 | 681 | 760 | 716 | 879 | 902 | 866 | 925 | 835 | 873 | 982 | 1052 |
| 5 | 940 | 686 | 714 | 900 | 868 | 818 | 986 |  | 886 | 871 | 889 | 956 | 976 |
| day1 | 有膜 | 1 | 928 | 685 | 593 | 650 | 890 | 922 | 770 | 868 | 899 | 833 | 927 | 946 | 715 |
| 2 | 903 | 663 | 702 | 755 | 931 | 818 | 775 | 880 | 921 | 870 | 752 | 983 | 737 |
| 3 | 1054 | 841 | 680 | 785 | 880 | 807 | 790 | 876 | 854 | 856 | 962 | 740 | 830 |
| 4 | 937 | 724 | 637 | 655 | 843 | 847 | 868 | 689 | 912 | 800 | 902 | 740 | 681 |
| 5 | 912 | 708 | 614 | 560 | 808 | 746 | 830 | 884 | 946 | 847 | 872 | 849 | 805 |
| day2 | 有膜 | 1 | 878 | 686 | 858 | 670 | 640 | 883 | 795 | 810 | 847 | 852 | 962 | 753 | 907 |
| 2 | 1028 | 754 | 699 | 595 | 901 | 781 | 795 | 804 | 938 | 826 | 699 | 934 | 775 |
| 3 | 985 | 704 | 714 | 725 | 857 | 650 | 697 | 866 | 984 | 864 | 846 | 783 | 842 |
| 4 | 880 | 609 | 272 | 775 | 812 | 823 | 736 | 941 | 931 | 884 | 840 | 816 | 808 |
| 5 | 1006 | 621 | 620 | 830 | 915 | 881 | 777 |  | 933 | 891 | 1005 | 847 | 803 |
| 粘结 | day1 | 无膜 | 1 | 204 | 199 | 209 | 210 | 211 | 215 | 214 | 210 | 206 | 206 | 212 | 216 | 201 |
| 2 | 210 | 198 | 203 | 200 | 209 | 208 | 215 | 211 | 204 | 209 | 209 | 221 | 199 |
| 3 | 209 | 197 | 207 | 205 | 211 | 215 | 212 | 209 | 206 | 206 | 212 | 217 | 199 |
| 4 | 213 | 203 | 208 | 205 | 209 | 214 | 216 | 210 | 204 | 214 | 209 | 220 | 200 |
| 5 | 206 | 199 | 208 | 210 | 206 | 214 | 207 | 210 | 207 | 204 | 208 | 217 | 197 |
| day2 | 无膜 | 1 | 215 | 195 | 203 | 205 | 208 | 211 | 208 | 208 | 210 | 213 | 208 | 216 | 200 |
| 2 | 210 | 192 | 196 | 199 | 209 | 212 | 213 | 215 | 207 | 213 | 205 | 221 | 190 |
| 3 | 213 | 202 | 207 | 199 | 208 | 210 | 208 | 210 | 212 | 213 | 205 | 218 | 194 |
| 4 | 206 | 200 | 209 | 199 | 211 | 205 | 207 | 210 | 209 | 219 | 210 | 222 | 188 |
| 5 | 212 | 184 | 204 | 200 | 205 | 211 | 213 |  | 211 | 213 | 206 | 214 | 199 |
| day1 | 有膜 | 1 | 202 | 193 | 193 | 199 | 209 | 204 | 205 | 199 | 198 | 200 | 207 | 212 | 189 |
| 2 | 205 | 194 | 190 | 194 | 204 | / | 204 | 201 | 196 | 196 | 206 | 213 | 193 |
| 3 | 210 | 193 | 196 | 199 | 208 | 204 | 202 | 201 | 199 | 197 | 201 | 211 | 192 |
| 4 | 201 | 198 | 191 | 193 | 205 | 200 | 201 | 201 | 198 | 195 | 200 | 213 | 192 |
| 5 | 196 | 192 | 196 | 184 | 208 | 203 | 198 | 204 | 192 | 201 | 200 | 213 | 191 |
| day2 | 有膜 | 1 | 196 | 180 | 195 | 195 | 196 | 203 | 204 | 186 | 200 | 204 | 201 | 220 | 192 |
| 2 | 201 | 172 | 194 | 195 | 198 | 197 | 202 | 202 | 201 | 202 | 205 | 219 | 194 |
| 3 | 209 | 199 | 193 | 194 | 197 | 199 | 204 | 201 | 202 | 200 | 201 | 213 | 190 |
| 4 | 209 | 194 | 199 | 196 | 199 | 200 | 203 | 204 | 205 | 202 | 195 | 216 | 192 |
| 5 | 203 | 186 | 198 | 186 | 203 | 201 | 196 |  | 202 | 198 | 200 | 210 | 192 |

精密度计算方法为对各试验室内数据进行均值、标准偏差和相对标准偏差的统计，并就各试验室内数据和试验室间均值进行了格拉布斯检验以及实验室间数据等精度检验（柯克伦检验）。试验数据统计和检验结果参照GB/T 6379.2-2004测量方法与结果的准确度（正确度与精密度）第2部分：确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法，先进行格拉布斯检验，对于检验为岐离的数据进行保留，对于离群的数据进行剔除。当最大或最小的平均值经检验为离群值，则将其剔除，对剩下的平均值重复进行检验；再进行柯克伦检验，对于检验为岐离的数据进行保留，对于离群的数据进行剔除。当最大标准差经检验判断为离群值后，将其进行剔除，对剩下的数据再次进行柯克伦检验。计算过程见附件《5、精度密计算.xlsx》，发现使用聚四氟乙烯膜时，烧结钕铁硼的抗压强度值均有所提升，但对于烧结钐钴和粘结钕铁硼，垫聚四氟乙烯膜时抗压强度值有下降趋垫，且对于烧结钐钴，实验室间再现性下降明显，因此最终按照不垫聚四氟乙烯膜的方式，统计计算精密度数据如下：

重复性限

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 产品类型 | 抗压强度/MPa | 重复性限（r）/MPa |
| 烧结钕铁硼 | 1429 | 106.3 |
| 烧结钐钴 | 899 | 56.7 |
| 粘结类稀土永磁 | 208 | 6.9 |
| 注：重复性限（r）为2.8×Sr，Sr为重复性标准差 | | |

再现性限

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 产品类型 | 抗压强度/MPa | 再现性限（R）/ MPa |
| 烧结钕铁硼 | 1429 | 240.9 |
| 烧结钐钴 | 899 | 176.3 |
| 粘结类稀土永磁 | 208 | 17.4 |
| 注：再现性限（R）为2.8×SR，SR为重复性标准差 | | |

注：为避免引入更多不确定性因素，测试过程不推荐垫聚四氟乙烯膜，或如有使用，应在报告中注明。

2.预期的经济效果

1. **与国际、国外同类标准技术内容的对比**

。

1. **采标情况，以及是否合规引用或采用国际国外标准**

经查，国外无相同类型的标准。本标准未采用（包括等同采用、修改采用及非等效采用）国际标准或国外先进标准。

1. **与有关法律、法规的关系**

本标准与现行法律、法规和相关标准相协调、无冲突。

1. **重大分歧意见的处理和依据**

无。

1. **涉及专利的有关说明**

本标准不涉及专利问题。

1. **贯彻国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议**

本标准实施后建议分离企业有以及检测单位积极组织本标准的学习与宣贯，可向企业、公司和科研院校（所）推荐本标准。

1. **其他应当说明的事项**

无

**《稀土永磁材料物理性能测试方法 第4部分：抗压强度的测定》标准项目组**

**2025年1月5日**