**锂离子电池正极材料粉末电阻率测定**

**编**

**制**

**说**

**明**

（征求意见稿）

**2024年6月**

锂离子电池正极材料粉末电阻率测定

**（编制说明）**

**一、工作简况**

**1.1 任务来源**

根据国家标准化管理委员会《国家标准化管理委员会关于下达2022年第四批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发【2022】51号）的文件精神，国家标准《锂离子电池正极材料粉末电阻率测定》由全国有色金属标准化技术委员会负责归口，由全国有色金属标准化技术委员会粉末冶金分会执行，由厦门厦钨新能源材料股份有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司、D科技（厦门）有限公司牵头起草。项目计划编号为20221460-T-610，项目计划完成时间为2024年12月。

**1.2 主起草单位简介**

厦门厦钨新能源材料股份有限公司是世界钨行业领军企业-厦门钨业股份有限公司的全资子公司。公司于2016年12月20日将新能源材料业务从厦门钨业母公司分立，设立厦门厦钨新能源材料有限公司（以下简称“厦钨新能源”）。2020年4月，在深入贯彻落实中央精神、全面落实深化国有企业改革的时代背景下，公司完成股份制改制，整体变更为厦门厦钨新能源材料股份有限公司。2021年8月，厦钨新能源充分抓住科创板分拆上市的契机，正式在上海证券交易所科创板挂牌上市（股票代码：688778），成为一家上市企业，是国内第五家、福建省第一家A拆A成功上市的公司，也是福建省首单分拆上市成功案例。公司现拥有8家全资、控股子公司，1家参股子公司，1所研究院，并设有海沧、海璟、三明、宁德、四川雅安（在建）五大生产基地，要把厦钨新能源建成最具国际竞争力的新能源材料产业基地。公司产品涵盖钴酸锂、镍钴锰酸锂材料、前驱体、磷酸铁锂、高镍材料、NCA等全系列新能源材料产品，积极进行富锂锰基、5V高电压、磷酸盐材料、固态电池等下一代新能源材料产品开发，不断取得技术新突破。

宁德时代新能源科技股份有限公司成立于2011年，其专注于新能源汽车动力电池系统、储能系统的研发、生产和销售，致力于为全球新能源应用提供一流解决方案。核心技术为动力和储能电池领域，材料、电芯、电池系统、电池回收二次利用等全产业链的研发及制造能力,公司于2018年在深交所创业板上市。

元能科技是一家专业从事锂离子电池检测仪器研发和生产的高科技企业。公司侧重技术的研究和储备,保持大额度研发投入，创建了一支由博士、硕士和行业专家等组成的经验丰富、技术精湛的研发团队，在仪器检测与分析技术领域开展了卓有成效的研究开发工作，申请了多项发明专利和实用新型专利。元能科技和厦门大学、中国科学院、宁德时代新能源科技股份有限公司等多个单位或企业展开科技成果项目的技术合作与产业化。

**1.3 主要起草单位和工作组成员及其工作**

本本文件起草单位有：厦门厦钨新能源材料股份有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司、元能科技 （厦门）有限公司、等。

其中厦门厦钨新能源材料股份有限公司负责样品的收集和分发，分析方法的实验研究，样品测试结果的收集和处理，试验报告和编制说明的撰写。宁德时代新能源科技股份有限公司负责分析方法的实验研究与讨论以及一、二验工作。元能科技 （厦门）有限公司负责分析方法的实验研究与讨论，标准文件的撰写。浙江巴莫科技有限公司、深圳澳睿新能源科技有限公司，湖北万润新能源科技股份有限公司、广东邦普循环科技有限公司、巴斯夫杉杉电池材料有限公司、深圳市德方纳米科技股份有限公司、天津国安盟固利新能源有限公司、元能科技（厦门）有限公司、宁德新能源科技有限公司为一验单位，负责对试验报告中的试验过程参数进行填写、提供材料电阻率的测试数据，并对标准文本提出修改意见。门厦钨新能源材料股份有限公司、元能科技（厦门）有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司、深圳市德方纳米科技股份有限公司、浙江巴莫科技有限公司、深圳澳睿新能源科技有限公司、湖北万润新能源科技股份有限公司、广东邦普循环科技有限公司、巴斯夫杉杉电池材料有限公司、福安青美能源材料有限公司、格林美（无锡）能源材料有限公司、北京当升材料科技股份有限公司、天津国安盟固利新能源有限公司、紫金矿业集团股份有限公司为二验单位，负责对试验报告中的试验过程参数进行填写、提供材料粉末电阻率的测试数据。本文件样品收集过程中，厦门厦钨新能源材料股份有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司深圳市德方纳米科技股份有限公司、负责提供镍钴锰酸锂、钴酸锂、磷酸铁锂等材料样品。

本文件主要起草人有：XXX、XXX、XXX……。

各起草人在本文件编制过程中的工作职责见表1所示：

表1 各起草人及其工作职责

|  |  |
| --- | --- |
| 起草人姓名 | 工作职责 |
| （各单位提供起草人信息） | 负责样品收集、标准文本起草、标准编制说明撰写，意见汇总处理，参加标准讨论和审定会议 |
| （各单位提供起草人信息） | 负责对试验方案和试验条件进行验证，对标准技术内容进行审核，参加标准工作会议等 |
| （各单位提供起草人信息） | 提供测试数据；对标准文本提出修改意见 |

**1.4 主要工作过程**

厦门厦钨新能源材料股份有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司和元能科技 （厦门）有限公司在接到本文件制订任务后，立即组织骨干人员成立了标准编制组，制定了该标准的研究内容、技术路线、任务分工和进度安排。主要工作过程经历以下阶段：

**1.4.1立项阶段**

2021年10月，厦门厦钨新能源材料股份有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司、元能科技 （厦门）有限公司向全国有色金属标准化技术委员会粉末冶金分会(SAC/TC243/SC4)提交国家标准《锂离子电池正极材料粉末电阻率测定》项目建议书。

2022年12月30日，国家标准化管理委员会印发《国家标准化管理委员会关于下达2022年第四批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发【2022】51号），国家标准《锂离子电池正极材料粉末电阻率测定》立项成功。

**1.4.2 起草阶段**

2023年2月23日，全国有色金属标准化技术委员会在广东佛山召开工作会议，会上对《锂离子电池正极材料粉末电阻率测定》标准进行了任务落实。确定了厦门厦钨新能源材料股份有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司、元能科技 （厦门）有限公司等20多家单位协助起草。会上同时确定了样品提供单位、一验、二验参与单位以及工作计划、时间节点等事项，并形成了任务落实的会议纪要。

**1.4.3 征求意见阶段**

（1）征求意见稿的形成和讨论：

2023年2月至2022年5月，接到《锂离子电池正极材料粉末电阻率测定》起草编制工作任务后，成立了标准编制工作组，展开了标准讨论稿和编制说明的工作分配及实施工作计划等事项。本文件在起草过程中，工作组对国际和国外标准进行了查新、收集、分析，研究了相关技术资料，对该测定方法进行了多次验证实验，最终形成了标准讨论稿和编制说明。2022年5月29日，全国有色金属标准化技术委员会在云南大理召开工作会议。多家单位的代表对《锂离子电池正极材料粉末电阻率测定》的标准讨论稿和编制说明进行了仔细认真的讨论，并提出了修改意见和建议。

（2）实验验证与数据分析

2023年6月，标准编制组向各参编单位发送标准文本和试验条件调研表，对标准中涉及的技术参数和试验方法开展了调研，形成了试验方案并组织了第一次验证试验，对影响测试的几个参数，环境、压强、称样量、仪器等进行摸底验证。

（3）预审

……。

（4）终审

……。

**1.4.4 审查阶段**

……。

**1.4.5 报批阶段**

……。

**二、标准编制原则**

**2.1 符合性**

1、本文件按照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》的规定起草。

2、本文件的试验方法以满足国内锂离子电池正极材料的实际生产、使用需要为原则，提高标准的普适性。

**2.2 适用性和先进性**

锂离子电池相关标准集中在电芯、工艺层级，针对原材料测试表征层级的标准极少，当前仅有GB/T 30835锂离子电池用炭复合磷酸铁锂正极材料产品标准中涉及四探针法和电化学阻抗法的低阻值低压强范围的粉末电阻率分析和GB/T 40007—2021《纳米技术 纳米材料电阻率的接触式测量方法 通则》中介绍了四探针法与二探针法的测试方法。锂电行业内由于相关粉末电阻率标准缺少，导致相关上下游企业对粉末电阻率的测试手段与方法不统一，加大了相关企业来料品质监控难度。由于缺乏粉末电阻率统一标准，导致电池企业相关的来料检验缺失。假如若有部分粉末电阻率异常的正负极材料流入正常电池制作流程，极片层级与电芯层级对该指标无有效的监控手段，导致异常最终在成品电池甚至电池组层级方才显现，这会增加由于不良率上升而导致的企业运营成本。

相较于上述2个标准，本文件的测试方法针对相对全面的锂离子电池正极材料粉末，针对测试过程，影响因素，控制条件进行了相对应的设置，并针对不同材料特性进行了先对应的限制。相关粉末电阻率标准的建立，这会使得锂电行业对粉末电阻率的检测方式达到统一，规范了企业间测试的方法，极大的减少了由于企业间对标而产生的时间及金钱的浪费，减少了因数据偏差而导致的争端。另外对不同的正负极材料类型规定更加适合的测试条件，如压力、保压时间、电阻测试原理等，可以保证不同企业得到更加稳定、准确和可对标的电阻率数据。

**三、确定标准主要内容的依据**

**3.1**  标准主要内容的依据

GB/T 30835-2014《锂离子电池用炭复合磷酸铁锂正极材料》国家标准于2014年5月6日发布，2015年月1日实施，锂离子电池用炭复合磷酸铁锂正极材料产品标准中涉及四探针法和电化学阻抗法的低阻值低压强范围的粉末电阻率分析；GB/T 40007—2021《纳米技术 纳米材料电阻率的接触式测量方法 通则》国家标准于2021年5月21日发布，2021年12月1日实施，纳米技术 纳米材料电阻率的接触式测量方法 通则中介绍了四探针法与二探针法的测试方法。相较于上诉2个标准，本文件的测试方法针对相对全面的锂离子电池正极材料粉末，针对测试过程，影响因素，控制条件进行了相对应的设置，并针对不同材料特性进行了先对应的限制。

**3.2 标准主要内容说明**

本文件正文部分共分为 12 章，其中第 1、 2、 3 章为规范性一般要素，包括范围、规范性引用文件、术语和定义，第 4、 5、 6、 7、 8、 9 、10、11章为规范性技术要素。

第 1 章范围：本文件描述了锂离子电池正极材料粉末电阻率的测定方法。本文件适用于锂离子电池正极材料粉末电阻率的测定。

第2、3章分别为规范性引用文件、术语和定义，按照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》的规定起草，保留了相关章节。

第4章 方法原理，明确方法原理。

第5章 试剂和材料，规定了本文件第9章节需要用到的各种试剂和材料。

第6章 仪器设备，规定了本文件第9章测试步骤章节需要用到的关键设备和装置清单，所述设备和装置本文件中出现的先后顺序列出，便于前后对照。本章节只列出了涉及测试内容和步骤的关键设备，确保标准的适用性。

第7章 样品，对待测样品的状态进行了规定。

第8章 测试条件，对测试的条件进行了规定。

第9章 测试步骤，规定了本文件中粉末电阻率测定的方法以及关键测试参数的设置、测试流程及关键点，本章节是按照前期验证结果的普适性进行规定与明确，重点关注测试参数的合理性，数据的全面性。是本文件中核心章节，关注试验步骤的科学性、规范性、可操作性，对于可能引起重大分歧不宜给出特别具体的参数要求的步骤条款，本章节以给出范围和规定过程要求进行处理。

第10章 试验结果计算及数据处理，详细列出电阻率的计算公式、测试次数以及修约规则。

第11章 重复性，对测试的重复性进行了规定。

第12章 试验报告，规定了报告所包含的必备要求内容，包括样品名称、测试日期、测试人员、试验条件、分析结果与表示方法、在测定中观察到的异常现象及任何不包括在本文件中的操作或是自由选择的试验条件。

**3.3 主要试验验证情况**

**3.3.1 试样选取**

锂离子电池材料粉末产品种类有很多，包含镍钴锰酸锂、镍锰酸锂、磷酸铁锂、磷酸锰铁锂、钴酸锂、锰酸锂、富锂等，其中每一种又可以按照元素比例、粒度、比表面积、形貌、振实密度、容量、循环寿命等参数进行分类，不同特性参数的产品适用于不同的领域。本次实验针对各个参编单位重点关注的样品及测试的稳定及区分度的以下样品。样品主要分为磷酸铁锂、三元材料、钴酸锂，每种样品中丰碑选取了测试结果差异较大与测试结果接近的两种样品。

表2 一验材料的选择

|  |  |
| --- | --- |
| 样品信息 | |
| 样品编号 | 样品种类 |
| 样品1 | 磷酸铁锂1 |
| 样品2 | 磷酸铁锂2 |
| 样品3 | 磷酸铁锂3 |
| 样品4 | 三元材料1 |
| 样品5 | 三元材料2 |
| 样品6 | 三元材料3 |
| 样品7 | 钴酸锂1 |
| 样品8 | 钴酸锂2 |
| 样品9 | 钴酸锂3 |

表3 二验材料的选择

|  |  |
| --- | --- |
| 样品信息 | |
| 样品编号 | 样品种类 |
| 样品1 | 三元材料1 |
| 样品2 | 三元材料2 |
| 样品3 | 三元材料3 |
| 样品4 | 三元材料4 |
| 样品5 | 钴酸锂1 |
| 样品6 | 钴酸锂2 |
| 样品7 | 钴酸锂3 |
| 样品8 | 钴酸锂4 |
| 样品9 | 磷酸铁锂1 |
| 样品10 | 磷酸铁锂2 |
| 样品11 | 磷酸铁锂3 |

**3.3.2 关键参数**

**3.3.2.1 测试方法**

采用四探针法和两探针法

**3.3.2.2 加料量&模具尺寸**

表4 一验加料样选择

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 样品类型 | 条件一（g） | 条件二（g） | 条件三（g） |
| 三元&钴酸锂 | 0.85\*直径2/127.29 | 直径2/127.29 | 1.15\*直径2/127.29 |
| 磷酸铁锂 | 0.85\*0.6\*直径2/127.29 | 0.6\*直径2/127.29 | 1.15\*0.6\*直径2/127.29 |

表5 二验加料样选择

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 材料 | 模具直径/mm | | |
| 10/11.28/13 | 16 | 20 |
| LFP | 1.0g | 1.5g | 2.0g |
| NCM | 2.0g | 3.0g | 4.0g |
| LCO | 2.0g | 3.0g | 4.0g |

**3.3.2.3 压强设置**

表6 一验压强范围选择

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 压强选择(Mpa) |
| 1 | 8 |
| 2 | 20 |
| 3 | 50 |
| 4 | 100 |
| 5 | 150 |

表7 二验压强范围选择

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 区间 | 压强（Mpa） | | | |
| 压力段一 | 4 | 8 | 12 | 16 |
| 压力段二 | 8 | 12 | 16 | 35 |
| 压力段三 | 80 | 120 | 160 | 200 |

**3.3.2.4 测试环境**

表8 环境选择

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 条件 | 环境条件 | |
| 条件一 | RH≤6% | 高露点条件 |
| 条件二 | 30%≤RH≤60% | 常规工业除湿条件 |
| 条件三 | RH＞60% | 空调除湿条件 |

**3.3.3 试验方案**

按照以下实验步骤进行方法验证

1.按实验要求称取试料，精确至±0.0050g

2.试料测试前需开启设备，采用蘸有乙醇的无尘纸清洁磨具，包括内腔及上下垫片，以无尘纸无肉眼可见污渍为标准，将清洁后的模具放入粉末电阻率测试系统加压腔室内。

3.试料测定前需进行测试条件确认并完成零点复位

4.称取的试料置于已含下垫片的测试模具中，确保样品均摊于模具内腔，轻轻装入上垫片，将已加好试料的模具放入测试腔内。

5.结合参数设定施加压强及保压时间（保压时间本次实验设定为10s），自动或手动

垂直于测试面施加试验力

6.读取当前压强下材料的粉末电阻率

**3.3.3.1一验方案**

**实**验一：

分别使用四探针测试法或两探针测试法, 在环境条件一，按“加料量选择”的条件二进行称重并按实验步骤操作，测试“压强选择”序号1~5号对应压强下的正极材料粉末电阻率进行测量并记录。

实验二：

分别使用四探针测试法或两探针测试法, 在环境条件二，按“加料量选择”的条件二进行称重并按实验步骤操作，测试“压强选择”序号1~5号对应压强下的正极材料粉末电阻率进行测量并记录。

实验三：

分别使用四探针测试法或两探针测试法, 在环境条件三，按“加料量选择”的条件二进行称重并按实验步骤操作，测试“压强选择”序号1~5号对应压强下的正极材料粉末电阻率进行测量并记录。

实验四：

分别使用四探针测试法或两探针测试法, 在环境条**件**二，按“加料量选择”的条件一进行称重并按实验步骤操作，测试“压强选择”序号1~5号对应压强下的正极材料粉末电阻率进行测量并记录。

实验五：

分别使用四探针测试法或两探针测试法, 在环境条件二，按“加料量选择”的条件三进行称重并按实验步骤操作，测试“压强选择”序号1~5号对应压强下的正极材料粉末电阻率进行测量并记录。

**3.3.3.1二验方案**

分别使用四探针测试法或两探针测试法, 在当前实验室环境，根据不同测试材料，按“加料量”进行称重并按实验步骤操作，测试“目标压力段”对应压强下的正极材料粉末电阻率进行测量并记录。

**3.3.5数据分析**

**加料量选择**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 二轮-样品3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.5g/加料量约60% | | | | | | | | | | | | | | | |
| 压强 | | 1 | | | 2 | | 3 | | | 均值 | | | COV | | |
| 8 | | 569.01 | | | 547.77 | | 686.45 | | | 601.08 | | | 12.43% | | |
| 12 | | 479.40 | | | 410.04 | | 446.09 | | | 445.18 | | | 7.79% | | |
| 16 | | 287.73 | | | 275.41 | | 289.49 | | | 284.21 | | | 2.70% | | |
| 35 | | 215.81 | | | 213.25 | | 222.41 | | | 217.16 | | | 2.18% | | |
| 2.5g/加料量约75% | | | | | | | | | | | | | | | |
| 压强 | | 1 | | | 2 | | 3 | | | 均值 | | | COV | | |
| 8 | | 701.37 | | | 604.95 | | 670.37 | | | 658.90 | | | 7.47% | | |
| 12 | | 481.24 | | | 478.24 | | 432.33 | | | 463.93 | | | 5.91% | | |
| 16 | | 295.26 | | | 278.32 | | 277.26 | | | 283.61 | | | 3.56% | | |
| 35 | | 227.37 | | | 216.22 | | 217.01 | | | 220.20 | | | 2.83% | | |
| 2.5g/加料量约90% | | | | | | | | | | | | | | | |
| 压强 | | 1 | | | 2 | | 3 | | | 均值 | | | COV | | |
| 8 | | 646.72 | | | 609.64 | | 611.39 | | | 622.58 | | | 3.36% | | |
| 12 | | 457.88 | | | 442.56 | | 416.12 | | | 438.85 | | | 4.81% | | |
| 16 | | 268.05 | | | 250.55 | | 247.99 | | | 255.53 | | | 4.27% | | |
| 35 | | 237.01 | | | 225.20 | | 222.15 | | | 228.12 | | | 3.44% | | |
| 加料过程中，出现漏料 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 二轮-样品6 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.5g/加料量约60% | | | | | | | | | | | | | | | |
| 压强 | 1 | | | 2 | | | | 3 | | | | 均值 | | | COV |
| 8 | 2442.38 | | | 2516.44 | | | | 2435.30 | | | | 2464.70 | | | 1.82% |
| 12 | 1658.20 | | | 1722.58 | | | | 1662.86 | | | | 1681.21 | | | 2.14% |
| 16 | 1316.79 | | | 1313.62 | | | | 1275.25 | | | | 1301.88 | | | 1.78% |
| 35 | 690.91 | | | 708.36 | | | | 691.77 | | | | 697.01 | | | 1.41% |
| 2.5g/加料量约75% | | | | | | | | | | | | | | | |
| 压强 | 1 | | | 2 | | | | 3 | | | | 均值 | | | COV |
| 8 | 2341.72 | | | 2257.29 | | | | 2291.36 | | | | 2296.79 | | | 1.85% |
| 12 | 1583.15 | | | 1511.40 | | | | 1600.33 | | | | 1564.96 | | | 3.01% |
| 16 | 1247.96 | | | 1203.15 | | | | 1191.04 | | | | 1214.05 | | | 2.47% |
| 35 | 674.96 | | | 659.32 | | | | 671.56 | | | | 668.61 | | | 1.23% |
| 2.5g/加料量约90% | | | | | | | | | | | | | | | |
| 压强 | 1 | | | 2 | | | | 3 | | | | 均值 | | | COV |
| 8 | 2124.54 | | | 2307.64 | | | | 2187.61 | | | | 2206.60 | | | 4.22% |
| 12 | 2181.41 | | | 1582.19 | | | | 1480.98 | | | | 1748.19 | | | 21.66% |
| 16 | 1150.23 | | | 1230.68 | | | | 1138.24 | | | | 1173.05 | | | 4.29% |
| 35 | 650.29 | | | 685.40 | | | | 647.84 | | | | 661.18 | | | 3.18% |
| 加料过程中，出现漏料 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 二轮-样品9 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.5g/加料量约60% | | | | | | | | | | | | | | | |
| 压强 | | | 1 | | | 2 | | | 3 | | 均值 | | | COV | |
| 8 | | | 17.75 | | | 18.59 | | | 18.56 | | 18.30 | | | 2.62% | |
| 12 | | | 17.01 | | | 16.61 | | | 16.54 | | 16.72 | | | 1.51% | |
| 16 | | | 15.44 | | | 15.63 | | | 15.81 | | 15.63 | | | 1.17% | |
| 35 | | | 13.23 | | | 13.63 | | | 13.58 | | 13.48 | | | 1.63% | |
| 2.5g/加料量约75% | | | | | | | | | | | | | | | |
| 压强 | | | 1 | | | 2 | | | 3 | | 均值 | | | COV | |
| 8 | | | / | | | 18.31 | | | 18.36 | | 18.33 | | | 0.19% | |
| 12 | | | / | | | 17.00 | | | 15.64 | | 16.32 | | | 5.90% | |
| 16 | | | / | | | 15.77 | | | 15.85 | | 15.81 | | | 0.37% | |
| 35 | | | / | | | 13.46 | | | 13.49 | | 13.48 | | | 0.16% | |
| 2.5g/加料量约90% | | | | | | | | | | | | | | | |
| 压强 | | | 1 | | | 2 | | | 3 | | 均值 | | | COV | |
| 8 | | | 18.22 | | | 18.36 | | | 18.28 | | 18.29 | | | 0.37% | |
| 12 | | | 16.56 | | | 17.33 | | | 16.30 | | 16.73 | | | 3.18% | |
| 16 | | | 15.72 | | | 15.76 | | | 15.72 | | 15.73 | | | 0.15% | |
| 35 | | | 13.42 | | | 13.48 | | | 13.49 | | 13.46 | | | 0.26% | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | |

编制组比较了多种材料在采用不同加样量的粉末电阻率数据，发现在一定加料范围内，加料量对结果影响较小，但是考虑测试稳定性（是否对测试操作产生影响）。编制组咨询相关设备企业后，综合各参编单位的实际测试情况，在保证测试稳定性的要求下，给出了一定的加样量范围。

环境影响

**压强设置选择**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| NCM-四探针-（1-4号样品）-组内COV | | | | | |
| 样品 | 4MPa | 8MPa | 12MPa | 16MPa | 35MPa |
| 1号样品 | 9.72% | 10.51% | 10.02% | 9.74% | 7.52% |
| 2号样品 | 10.63% | 9.77% | 11.58% | 6.97% | 3.51% |
| 3号样品 | 4.37% | 3.95% | 3.79% | 3.07% | 2.36% |
| 4号样品 | 4.21% | 1.80% | 1.89% | 1.89% | 2.36% |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| NCM-两探针-（1-4号样品）-组内COV | | | | |
| 样品 | 80MPa | 120MPa | 160MPa | 200MPa |
| 1号样品 | 4.73% | 4.06% | 4.80% | 4.20% |
| 2号样品 | 4.15% | 4.37% | 4.82% | 4.18% |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| LCO-四探针-（5-7号样品）-组内COV | | | | |
| 样品 | 8MPa | 12MPa | 16MPa | 35MPa |
| 5号样品 | 2.85% | 3.70% | 2.22% | 1.12% |
| 6号样品 | 3.33% | 1.92% | 0.84% | 0.43% |
| 7号样品 | 4.49% | 4.09% | 3.86% | 4.50% |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| NCM-两探针-（5-7号样品）-组内COV | | | | |
| 样品 | 80MPa | 120MPa | 160MPa | 200MPa |
| 5号样品 | 2.37% | 1.60% | 2.63% | 0.97% |
| 6号样品 | 1.05% | 1.84% | 1.69% | 2.58% |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| LFP-四探针-（9-11号样品）-组内COV | | | | |
| 样品 | 4MPa | 8MPa | 12MPa | 16MPa |
| 9号样品 | 1.26% | 1.54% | 1.32% | 0.72% |
| 10号样品 | 1.04% | 0.88% | 0.67% | 0.70% |
| 11号样品 | 1.31% | 0.85% | 0.80% | 0.70% |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| LFP-两探针-（9-11号样品）-组内COV | | | | |
| 样品 | 4MPa | 8MPa | 12MPa | 16MPa |
| 9号样品 | 1.45% | 1.08% | 0.54% | 0.31% |
| 10号样品 | 1.73% | 0.99% | 1.30% | 0.34% |

编制组比较了样品不同压力与测试模式对测试结果的影响。通过比较数据后发现，在一定压强范围内，测试稳定性随着压强的增加而提升。通过与相关企业及参编单位沟通，了解部分设备的测试能力及部分样品较为成熟的企业标准。为了确保该方法的普适性，只对不同材料的最小压强进行了限定。

**测试环境影响**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| LFP-样品9-不同湿度 | | | | | |
| 单位 | 湿度 | 4MPa | 8MPa | 12MPa | 16MPa |
| A | 17.30% | 22.47 | 18.37 | 16.47 | 15.17 |
| B | 6.50% | 24.38 | 19.28 | 17.10 | 15.77 |
| C | 45.00% | 23.33 | 18.33 | 16.33 | 15.00 |
| D | 62.90% | 21.93 | 17.63 | 15.70 | 14.57 |
| 元能 | 9.00% | 22.66 | 18.25 | 16.24 | 15.04 |
| CATL | 57.00% | 22.60 | 18.42 | 16.28 | 15.09 |
| COV | 76.04% | 3.74% | 2.87% | 2.76% | 2.58% |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| LFP-样品10-不同湿度 | | | | | |
| 单位 | 湿度 | 4MPa | 8MPa | 12MPa | 16MPa |
| A | 17.30% | 72.10 | 60.90 | 55.43 | 51.43 |
| B | 6.50% | 75.89 | 62.12 | 56.25 | 52.55 |
| C | 45.00% | 73.00 | 60.00 | 54.00 | 51.00 |
| D | 62.90% | 73.07 | 60.47 | 54.70 | 51.40 |
| E | 9.00% | 73.83 | 61.57 | 55.64 | 51.99 |
| F | 57.00% | 72.35 | 60.03 | 54.43 | 50.92 |
| COV | 76.04% | 1.87% | 1.41% | 1.53% | 1.21% |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| LFP-样品11-不同湿度 | | | | | |
| 单位 | 湿度 | 4MPa | 8MPa | 12MPa | 16MPa |
| A | 17.30% | 68.50 | 57.00 | 51.97 | 48.47 |
| B | 6.50% | 72.10 | 58.81 | 53.08 | 49.52 |
| C | 45.00% | 71.67 | 59.33 | 53.67 | 50.33 |
| D | 62.90% | 71.53 | 59.23 | 53.73 | 50.50 |
| E | 9.00% | 68.78 | 57.49 | 52.19 | 48.95 |
| F | 57.00% | 67.75 | 56.57 | 51.07 | 48.13 |
| COV | 76.04% | 2.73% | 2.07% | 2.01% | 1.97% |

编制组比较了LFP样品在不同湿度下的测试结果。通过比较数据后发现，LFP样品收到环境影响较小，编制组咨询相关设备企业后，综合各参编单位的实际测试情况，未对LFP样品的测试环境湿度进行限制。

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| LCO-样品5-不同湿度 | | | | | |
| 单位 | 湿度 | 80MPa | 120MPa | 160MPa | 200MPa |
| G | 48.00% | 1082.27 | 841.30 | 702.77 | 612.00 |
| H | 35.90% | 1137.72 | 878.34 | 725.64 | 623.22 |
| I | 4.50% | 2163.63 | 1313.47 | 1063.81 | 889.41 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| LCO-样品6-不同湿度 | | | | | |
| 单位 | 湿度 | 80MPa | 120MPa | 160MPa | 200MPa |
| G | 48.00% | 282.43 | 214.97 | 176.53 | 151.87 |
| H | 35.90% | 308.27 | 244.15 | 185.11 | / |
| I | 4.50% | 881.54 | 515.36 | 405.90 | 339.90 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| LCO-样品7、8、9-不同湿度（两探针） | | | | | | | | |
| 单位 | 环境条件 | 方法 | 样品 | 压强（MPa） | | | | |
| 8.00 | 20.00 | 50.00 | 100.00 | 150.00 |
| J | 低露点 | 两探针 | 7 | 73803.56 | 16397.83 | 4086.10 | 1266.62 | 649.75 |
| J | 普通除湿 | 两探针 | 7 | 5025.93 | 2706.68 | 1417.65 | 786.39 | 528.71 |
| J | 低露点 | 两探针 | 8 | 39348.92 | 9246.40 | 2382.29 | 753.19 | 389.87 |
| J | 普通除湿 | 两探针 | 8 | 5394.97 | 2234.66 | 882.89 | 405.14 | 261.16 |
| J | 低露点 | 两探针 | 9 | 7284153.75 | 1486538.13 | 389825.57 | 185582.78 | 126614.34 |
| J | 普通除湿 | 两探针 | 9 | 299940.41 | 173174.91 | 128794.33 | 109800.90 | 84332.61 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| LCO-样品7、8、9-不同湿度（四探针） | | | | | |
| 单位 | 环境条件 | 方法 | 样品 | 压强 | |
| 8.00 | 20.00 |
| B | 普通除湿 | 四探针 | 7 | 1816.58 | 871.78 |
| B | 无除湿 | 四探针 | 7 | 1490.40 | 687.24 |
| B | 普通除湿 | 四探针 | 8 | 2517.10 | 918.10 |
| B | 无除湿 | 四探针 | 8 | 2177.20 | 785.30 |
| B | 普通除湿 | 四探针 | 9 | 192734.00 | 121998.00 |
| B | 无除湿 | 四探针 | 9 | 172418.00 | 110246.00 |

编制组比较了LCO样品在不同湿度下的测试结果。LCO样品的环境稳定性较高但是粉末电阻率偏大，不同环境湿度下的材微量水分发生变化。通过比较数据发现，随着测试环境湿度的上升，LCO样品的粉末电阻率会有明显的下降。

编制组比较了NCM样品在不同湿度下的测试结果。由于NCM样品的随着Ni含量的上升，样品的环境稳定性会有明显的下降。通过比较数据发现，不同环境对不同NCM样品的规律不一致。

**分析结论：**

a).测试过程中，加料量对结果的影响相对较小，但是不同加料量会对操作及测试稳定性产生影响，因此编制组建议将加料量控制在测试模具内腔1/2至2/3。

b).通过比较不同压强的比较，相对大压强条件下，粉末电阻率结果的测试稳定性相较低压强下，有明显上升，但是依据现有相关企业标准、设备能力及相关材料特性，推荐出不同材料的建议测试压强。

c).LFP材料由于本身电阻率较低及材料环境稳定性高的材料特性，测试环境变化对LFP材料的粉末电阻率测试结果影响较小，因此不对测试环境进行限制。

d).LCO材料由于本身电阻率高及材料环境稳定性高的材料特性，测试环境变化主要影响测试过程中材料表面的微量水含量变化，在物理层面上对材料的粉末电阻率产生影响，影响方式可预知，因此LCO材料测试只需保持测试环境的稳定即可。

e).NCM才来哦由于本身环境稳定性较低（谁本身主元素变化而变化），测试环境变化对测试结构影响的方式较复杂，因此NCM材料测试建议保持在环境较湿度较低的条件下进行。

**四、标准中涉及的专利情况**

本文件不涉及专利问题。

**五、标准预期达到的社会效益等情况**

**5.1 标准编写的目的和意义**

在节能减排的国家政策指导下，新能源行业得到了极大的发展，国家发改委办公厅印发关于《增强制造业核心竞争力三年行动计划（2018-2020 年）》中对高性能电池材料提出了明确的性能指标。在锂离子电池实际应用中，为了满足用户特别是新能源整车制造企业对快速充放电的要求，电池制造企业对电池的倍率性能有着极高的关注度。电池材料的电子传导特性是影响正负极材料倍率性能的重要因素，粉末电阻率是电子传导特性的常规表征手段，因此它可作为正极材料开发及来料品质监控的重要检测参数。

当前，锂离子电池相关标准集中在电芯、工艺层级，针对原材料测试表征层级的标准极少，当前仅有GB/T 30835锂离子电池用炭复合磷酸铁锂正极材料产品标准中涉及四探针法和电化学阻抗法的低阻值低压强范围的粉末电阻率分析，尚无其它相关测定方法标准。由于在低压强下粉末内部存在较多空隙，材料接触不充分，故测试波动较大，数据的可靠性较低。因此低阻值低压强范围的粉末电阻率分析并不完全适用于锂电正极材料的粉末电阻率测试。

锂电行业内由于相关粉末电阻率标准缺少，导致相关上下游企业对粉末电阻率的测试手段与方法不统一，加大了相关企业来料品质监控难度。由于缺乏粉末电阻率统一标准，导致电池企业相关的来料检验缺失。假如若有部分粉末电阻率异常的正负极材料流入正常电池制作流程，极片层级与电芯层级对该指标无有效的监控手段，导致异常最终在成品电池甚至电池组层级方才显现，这会增加由于不良率上升而导致的企业运营成本。相关粉末电阻率标准的建立，这会使得锂电行业对粉末电阻率的检测方式达到统一，规范了企业间测试的方法，极大的减少了由于企业间对标而产生的时间及金钱的浪费，减少了因数据偏差而导致的争端。另外对不同的正负极材料类型规定更加适合的测试条件，如压力、保压时间、电阻测试原理等，可以保证不同企业得到更加稳定、准确的电阻率数据。

综上所述，随着市场对锂离子电池需求的快速增长，势必需建立更多必须的标准，以促进行业的规范发展、健康壮大。锂离子电池材料的粉末电阻率测定方法的标准化是必须且紧迫的。

**5.2 标准预期的作用和效益**

本文件充分考虑了目前国内锂离子电池材料生产、研发、应用和检测的实际技术水平。本文件颁布执行后，将在国内形成对锂电材料的粉末电阻率的统一的分析测试标准，能够加强企业和各研究机构测试之间的可靠性和可比性，助力我国锂离子电池产业的发展，提高国内企业在国际市场发展力和竞争力。

**六、采用国际标准和国外先进标准的情况**

经查询，本文件与国内外现行标准及制定中的标准无重复交叉情况。

**七、与现行法律、法规、强制性国家标准及相关标准协调配套情况**

本文件与有关的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

**八、重大分歧意见的处理经过和依据**

无。

**九、标准作为强制性或推荐性标准的建议**

建议本文件为推荐性国家标准，供相关组织参考采用。

**十、贯彻标准的要求和措施建议**

建议向锂电材料及电池研发、生产、销售、检测的相关企业和单位积极贯彻本文件的内容。

**十一、废止现行有关标准的建议**

无。

**十二、其他应予说明的事项**

无。

《锂离子电池正极材料粉末电阻率测定》标准编制组

2024年06月14日

**附录：**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | A | | | | | |
| 设备 | 2722 | | | | | |
| 湿度 | 17.30% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | / | / | / | / | / |
| 12 | / | / | / | / | / |
| 16 | / | / | / | / | / |
| 35 | / | / | / | / | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 2 | 4 | 36000.00 | 38600.00 | 31700.00 | 35433.33 | 9.83% |
| 8 | 10730.00 | 10260.00 | 10545.00 | 10511.67 | 2.25% |
| 12 | 6100.00 | 6025.00 | 5610.00 | 5911.67 | 4.46% |
| 16 | 3705.00 | 3690.00 | 3700.00 | 3698.33 | 0.21% |
| 35 | / | / | / | / | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 3 | 4 | 942.50 | 970.50 | 954.00 | 955.67 | 1.47% |
| 8 | 562.00 | 598.00 | 596.00 | 585.33 | 3.46% |
| 12 | 432.00 | 441.00 | 458.00 | 443.67 | 2.98% |
| 16 | 348.50 | 356.00 | 358.00 | 354.17 | 1.41% |
| 35 | / | / | / | / | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 4 | 4 | 950.50 | 852.00 | 1006.50 | 936.33 | 8.35% |
| 8 | 598.50 | 593.00 | 610.50 | 600.67 | 1.49% |
| 12 | 464.00 | 455.50 | 476.50 | 465.33 | 2.27% |
| 16 | 393.00 | 377.00 | 392.50 | 387.50 | 2.35% |
| 35 | / | / | / | / | / |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | K | | | | | |
| 设备 | 2722 | | | | | |
| 湿度 | 17.30% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | 30250.00 | 31550.00 | 35200.00 | 32333.33 | 7.94% |
| 8 | 9145.00 | 9225.00 | 9720.00 | 9363.33 | 3.33% |
| 12 | 5415.00 | 5775.00 | 6030.00 | 5740.00 | 5.38% |
| 16 | 3680.00 | 3870.00 | 4030.00 | 3860.00 | 4.54% |
| 35 | / | / | / | / | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 2 | 4 | 37050.00 | 31200.00 | 33600.00 | 33950.00 | 8.66% |
| 8 | 9695.00 | 9020.00 | 9310.00 | 9341.67 | 3.62% |
| 12 | 5470.00 | 5195.00 | 5180.00 | 5281.67 | 3.09% |
| 16 | 3290.00 | 3070.00 | 3065.00 | 3141.67 | 4.09% |
| 35 | / | / | / | / | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 3 | 4 | 446.50 | 432.50 | 468.50 | 449.17 | 4.04% |
| 8 | 309.50 | 281.00 | 296.50 | 295.67 | 4.83% |
| 12 | 235.00 | 221.50 | 228.00 | 228.17 | 2.96% |
| 16 | 201.60 | 188.10 | 194.20 | 194.63 | 3.47% |
| 35 | / | / | / | / | / |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | L | | | | | |
| 设备 | 2722 | | | | | |
| 湿度 | 62.00% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | 5.75 | 4.87 | 4.23 | 4.95 | 15.42% |
| 8 | 2.55 | 2.33 | 1.85 | 2.24 | 15.88% |
| 12 | 1.56 | 1.44 | 1.24 | 1.41 | 11.32% |
| 16 | 1.23 | 1.12 | 0.95 | 1.10 | 12.84% |
| 35 | / | / | / | / |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 2 | 4 | 9.14 | 9.49 | 8.54 | 9.06 | 5.30% |
| 8 | 3.53 | 3.66 | 3.59 | 3.59 | 1.81% |
| 12 | 2.12 | 2.13 | 2.13 | 2.13 | 0.27% |
| 16 | 1.40 | 1.46 | 1.44 | 1.44 | 2.24% |
| 35 | / | / | / | / |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 3 | 4 | 0.43 | 0.46 | 0.50 | 0.46 | 8.21% |
| 8 | 0.28 | 0.30 | 0.31 | 0.30 | 5.77% |
| 12 | 0.21 | 0.23 | 0.24 | 0.23 | 6.43% |
| 16 | 174.20 | 193.50 | 202.00 | 189.90 | 7.50% |
| 35 | / | / | / | / |  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | B | | | | | |
| 设备 | 2742 | | | | | |
| 湿度 | 6.50% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | 268260.00 | 268380.00 | 268040.00 | 268226.67 | 0.06% |
| 8 | 266720.00 | 265860.00 | 266300.00 | 266293.33 | 0.16% |
| 12 | 181880.00 | 206700.00 | 195550.00 | 194710.00 | 6.38% |
| 16 | 166120.00 | 193990.00 | 172630.00 | 177580.00 | 8.21% |
| 35 | / | / | / | / | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 2 | 4 | 184280.00 |  | 210710.00 | 197495.00 | 9.46% |
| 8 | 56964.00 |  | 70483.00 | 63723.50 | 15.00% |
| 12 | 26658.00 |  | 28683.00 | 27670.50 | 5.17% |
| 16 | 16531.00 |  | 17082.00 | 16806.50 | 2.32% |
| 35 | / | / | / | / | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 3 | 4 | 1038.40 | 979.14 | 1272.90 | 1096.81 | 14.16% |
| 8 | 606.84 | 583.13 | 734.54 | 641.50 | 12.70% |
| 12 | 457.86 | 430.86 | 543.54 | 477.42 | 12.32% |
| 16 | 373.60 | 352.77 | 440.49 | 388.95 | 11.78% |
| 35 | / | / | / | / | / |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | C | | | | | |
| 设备 | 2742 | | | | | |
| 湿度 | 45.00% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | 36932.00 | 35128.00 | 37119.00 | 36393.00 | 3.02% |
| 8 | 13627.00 | 12936.00 | 14388.00 | 13650.33 | 5.32% |
| 12 | 8042.00 | 7643.00 | 8289.00 | 7991.33 | 4.08% |
| 16 | 5565.00 | 5347.00 | 5688.00 | 5533.33 | 3.12% |
| 35 | / | / | / | / | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 2 | 4 | 89726.00 | 82865.00 | 72174.00 | 81588.33 | 10.84% |
| 8 | 27166.00 | 25298.00 | 23093.00 | 25185.67 | 8.10% |
| 12 | 12700.00 | 12087.00 | 10904.00 | 11897.00 | 7.67% |
| 16 | 7701.00 | 7318.00 | 6753.00 | 7257.33 | 6.57% |
| 35 | / | / | / | / | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 3 | 4 | 774.00 | 791.00 | 799.00 | 788.00 | 1.62% |
| 8 | 463.00 | 469.00 | 471.00 | 467.67 | 0.89% |
| 12 | 351.00 | 355.00 | 356.00 | 354.00 | 0.75% |
| 16 | 290.00 | 292.00 | 294.00 | 292.00 | 0.68% |
| 35 | / | / | / | / | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 4 | 4 | 1058.00 | 1013.00 | 1064.00 | 1045.00 | 2.67% |
| 8 | 639.00 | 622.00 | 650.00 | 637.00 | 2.21% |
| 12 | 488.00 | 477.00 | 495.00 | 486.67 | 1.86% |
| 16 | 406.00 | 399.00 | 412.00 | 405.67 | 1.60% |
| 35 | / | / | / | / | / |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | D | | | | | |
| 设备 | 2742 | | | | | |
| 湿度 | 62.90% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | 7759.80 | 9057.00 | 16858.00 | 11224.93 | 43.84% |
| 8 | 4300.40 | 4859.00 | 4464.50 | 4541.30 | 6.32% |
| 12 | 3156.20 | 3261.30 | 3030.00 | 3149.17 | 3.68% |
| 16 | 2227.20 | 2491.40 | 2307.60 | 2342.07 | 5.78% |
| 35 | / | / | / | / | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 2 | 4 | / | 5075.00 | 6210.60 | 5642.80 | 14.23% |
| 8 | / | 2310.70 | 2692.80 | 2501.75 | 10.80% |
| 12 | / | 1404.80 | 1646.90 | 1525.85 | 11.22% |
| 16 | / | 1303.20 | 1188.70 | 1245.95 | 6.50% |
| 35 | / | / | / | / | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 3 | 4 | 585.56 | 586.38 | 591.31 | 587.75 | 0.53% |
| 8 | 360.85 | 360.56 | 363.41 | 361.61 | 0.43% |
| 12 | 274.52 | 275.07 | 274.40 | 274.66 | 0.13% |
| 16 | 226.57 | 228.63 | 227.13 | 227.44 | 0.47% |
| 35 | / | / | / | / | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 4 | 4 | 927.49 | 899.33 | 920.58 | 915.80 | 1.60% |
| 8 | 566.37 | 563.37 | 569.21 | 566.32 | 0.52% |
| 12 | 435.35 | 436.21 | 440.07 | 437.21 | 0.57% |
| 16 | 363.13 | 365.72 | 369.67 | 366.17 | 0.90% |
| 35 | / | / | / | / | / |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | E | | | | | |
| 设备 | 3100 | | | | | |
| 湿度 | 9.00% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 199094.23 | / | 214949.30 | 207021.77 | 5.42% |
| 12 | 79540.49 | / | 100460.83 | 90000.66 | 16.44% |
| 16 | 42409.40 | / | 54882.19 | 48645.79 | 18.13% |
| 35 | 10004.66 | / | 11743.59 | 10874.12 | 11.31% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 2 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 58307.20 | 86248.37 | 61631.55 | 68729.04 | 22.21% |
| 12 | 26945.77 | 37216.56 | 28750.81 | 30971.05 | 17.71% |
| 16 | 15478.87 | 19504.63 | 15980.96 | 16988.15 | 12.91% |
| 35 | 3503.30 | 3803.97 | 3752.48 | 3686.58 | 4.36% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 3 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 533.94 | 531.84 | 551.70 | 539.16 | 2.02% |
| 12 | 403.98 | 403.59 | 417.78 | 408.45 | 1.98% |
| 16 | 332.13 | 331.87 | 345.08 | 336.36 | 2.24% |
| 35 | 204.82 | 207.58 | 213.37 | 208.59 | 2.09% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 4 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 491.75 | 475.39 | 480.56 | 482.57 | 1.73% |
| 12 | 387.17 | 377.03 | 379.92 | 381.37 | 1.37% |
| 16 | 330.62 | 320.27 | 324.06 | 324.98 | 1.61% |
| 35 | 206.93 | 202.37 | 204.50 | 204.60 | 1.12% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | F | | | | | |
| 设备 | 3100 | | | | | |
| 湿度 | 2.50% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 261175.70 | 217319.50 | 358400.06 | 278965.09 | 25.88% |
| 12 | 102551.98 | 91499.77 | 133089.53 | 109047.10 | 19.75% |
| 16 | 51343.61 | 47298.12 | 65253.39 | 54631.70 | 17.24% |
| 35 | 7039.70 | 6557.20 | 7885.50 | 7160.80 | 9.39% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 2 | 4 |  | / | / | / | / |
| 8 |  | 81225.10 | 94482.63 | 87853.86 | 10.67% |
| 12 |  | 33985.74 | 37850.84 | 35918.29 | 7.61% |
| 16 |  | 19645.67 | 17868.29 | 18756.98 | 6.70% |
| 35 |  | 3022.13 | 2915.32 | 2968.73 | 2.54% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 3 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 457.88 | 436.85 | 470.56 | 455.10 | 3.74% |
| 12 | 348.78 | 327.64 | 356.16 | 344.19 | 4.30% |
| 16 | 289.21 | 269.63 | 294.22 | 284.36 | 4.57% |
| 35 | 203.08 | 188.86 | 203.49 | 198.47 | 4.20% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 4 | 4 | / | / | / | / |  |
| 8 | 408.41 | 370.57 | 392.23 | 390.41 | 4.86% |
| 12 | 319.95 | 293.65 | 308.87 | 307.49 | 4.29% |
| 16 | 271.99 | 250.90 | 263.54 | 262.14 | 4.05% |
| 35 | 195.51 | 207.68 | 193.98 | 199.06 | 3.77% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | N | | | | | |
| 设备 | PD51 | | | | | |
| 湿度 | 未知 | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 4407.00 | 5759.00 | 6128.00 | 5431.33 | 16.68% |
| 12 | 2747.00 | 3245.00 | 3428.00 | 3140.00 | 11.22% |
| 16 | 2030.00 | 2318.00 | 2418.00 | 2255.33 | 8.93% |
| 35 | 1092.00 | 1264.00 | 1300.00 | 1218.67 | 9.12% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 2 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 5523.00 | 5110.00 | 4986.00 | 5206.33 | 5.40% |
| 12 | 2772.00 | 3090.00 | 3023.00 | 2961.67 | 5.66% |
| 16 | 1681.00 | 1868.00 | 1744.00 | 1764.33 | 5.39% |
| 35 | 672.10 | 713.80 | 690.00 | 691.97 | 3.02% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 3 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 339.40 | 365.50 | 338.00 | 347.63 | 4.46% |
| 12 | 263.00 | 276.60 | 256.80 | 265.47 | 3.82% |
| 16 | 219.60 | 227.80 | 213.30 | 220.23 | 3.30% |
| 35 | 139.00 | 145.90 | 134.10 | 139.67 | 4.24% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 4 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 507.70 | 524.80 | 513.80 | 515.43 | 1.68% |
| 12 | 382.70 | 396.40 | 372.70 | 383.93 | 3.10% |
| 16 | 299.20 | 309.50 | 305.80 | 304.83 | 1.71% |
| 35 | 192.90 | 205.00 | 195.70 | 197.87 | 3.20% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | M | | | | | |
| 设备 | 2722 | | | | | |
| 湿度 | 41.00% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | / | / | / | / | / |
| 12 | / | / | / | / | / |
| 16 | / | / | / | / | / |
| 35 | / | / | / | / | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 2 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 5010.00 | 5460.00 | 4860.00 | 5110.00 | 6.11% |
| 12 | 2880.00 | 3100.00 | 2640.00 | 2873.33 | 8.01% |
| 16 | 2000.00 | 2169.00 | 1833.50 | 2000.83 | 8.38% |
| 35 | / | / | / | / |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 3 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 306.50 | 302.00 | 301.50 | 303.33 | 0.91% |
| 12 | 239.00 | 240.00 | 231.00 | 236.67 | 2.08% |
| 16 | 197.80 | 200.10 | 198.70 | 198.87 | 0.58% |
| 35 | / | / | / | / | #DIV/0! |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 4 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 614.50 | 599.00 | 615.50 | 609.67 | 1.52% |
| 12 | 475.00 | 464.00 | 467.00 | 468.67 | 1.21% |
| 16 | 405.00 | 399.50 | 406.50 | 403.67 | 0.91% |
| 35 | / | / | / | / | #DIV/0! |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | O | | | | | |
| 设备 | 3100 | | | | | |
| 湿度 | 45.85% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 9981.93 | 13178.32 | 12145.14 | 11768.46 | 13.86% |
| 12 | 5886.51 | 4626.09 | 4849.96 | 5120.85 | 13.13% |
| 16 | 4217.83 | 3391.78 | 3523.90 | 3711.17 | 11.96% |
| 35 | 2070.27 | 2061.21 | 2061.68 | 2064.39 | 0.25% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 2 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 19247.86 | 16761.09 | 19345.79 | 18451.58 | 7.94% |
| 12 | 3709.51 | 4721.34 | 5310.97 | 4580.61 | 17.68% |
| 16 | 2456.16 | 3052.69 | 3437.28 | 2982.04 | 16.58% |
| 35 | 1990.95 | 2030.44 | 2020.47 | 2013.95 | 1.02% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 3 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 359.78 | 318.32 | 339.77 | 339.29 | 6.11% |
| 12 | 263.63 | 244.17 | 258.93 | 255.58 | 3.97% |
| 16 | 217.67 | 218.45 | 209.92 | 215.35 | 2.19% |
| 35 | 210.98 | 211.17 | 211.39 | 211.18 | 0.10% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 4 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 219.07 | 219.22 | 217.56 | 218.62 | 0.42% |
| 12 | 213.72 | 213.85 | 212.14 | 213.24 | 0.45% |
| 16 | 212.68 | 205.67 | 205.31 | 207.89 | 2.00% |
| 35 | 186.05 | 181.58 | 181.88 | 183.17 | 1.36% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | G | | | | | |
| 设备 | 1100 | | | | | |
| 湿度 | 48.00% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 80 | 709.30 | 740.60 | 706.10 | 718.67 | 2.65% |
| 120 | 466.00 | 479.20 | 457.80 | 467.67 | 2.31% |
| 160 | 354.90 | 370.10 | 352.10 | 359.03 | 2.70% |
| 200 | 267.00 | 282.20 | 268.10 | 272.43 | 3.11% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 2 | 80 | 325.50 | 361.00 | 360.80 | 349.10 | 5.85% |
| 120 | 219.60 | 241.40 | 241.60 | 234.20 | 5.40% |
| 160 | 165.40 | 180.00 | 180.10 | 175.17 | 4.83% |
| 200 | 131.40 | 138.70 | 139.30 | 136.47 | 3.22% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | C | | | | | |
| 设备 | 1100 | | | | | |
| 湿度 | -40.50% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 80 | 2331.00 | 2482.00 | 2712.00 | 2508.33 | 7.65% |
| 120 | 1123.00 | 1199.00 | 1301.00 | 1207.67 | 7.40% |
| 160 | 690.00 | 739.00 | 798.00 | 742.33 | 7.28% |
| 200 | 469.00 | 503.00 | 542.00 | 504.67 | 7.24% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 2 | 80 | 1157.00 | 1177.00 | 1242.00 | 1192.00 | 3.73% |
| 120 | 556.00 | 571.00 | 601.00 | 576.00 | 3.98% |
| 160 | 354.00 | 358.00 | 376.00 | 362.67 | 3.23% |
| 200 | 259.00 | 250.00 | 262.00 | 257.00 | 2.43% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 3 | 80 | 134.00 | 144.00 | 156.00 | 144.67 | 7.61% |
| 120 | 97.00 | 104.00 | 111.00 | 104.00 | 6.73% |
| 160 | 76.00 | 82.00 | 87.00 | 81.67 | 6.74% |
| 200 | 64.00 | 68.00 | 72.00 | 68.00 | 5.88% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 4 | 80 | 171.00 | 161.00 | 162.00 | 164.67 | 3.34% |
| 120 | 137.00 | 128.00 | 129.00 | 131.33 | 3.76% |
| 160 | 117.00 | 109.00 | 109.00 | 111.67 | 4.14% |
| 200 | 104.00 | 96.00 | 97.00 | 99.00 | 4.40% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | H | | | | | |
| 设备 | 1100 | | | | | |
| 湿度 | 52.06% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 80 | 255.65 | 245.24 | 263.44 | 254.77 | 3.58% |
| 120 | 172.52 | 168.83 | 181.29 | 174.21 | 3.67% |
| 160 | 129.24 | 126.54 | 136.51 | 130.76 | 3.94% |
| 200 | 101.55 | 99.37 | 100.64 | 100.52 | 1.09% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 2 | 80 | 302.43 | 291.70 | / | 297.06 | 2.56% |
| 120 | 206.59 | 193.43 | / | 200.01 | 4.65% |
| 160 | 154.21 | 142.74 | / | 148.47 | 5.46% |
| 200 | 119.67 | 106.10 | / | 112.88 | 8.50% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | I | | | | | |
| 设备 | 1100 | | | | | |
| 湿度 | -30.45% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 80 | 1831.00 | 1734.50 | 1919.00 | 1828.17 | 5.05% |
| 120 | 952.12 | 929.70 | 899.00 | 926.94 | 2.88% |
| 160 | 604.23 | 633.51 | 671.10 | 636.28 | 5.27% |
| 200 | 457.00 | 439.44 | 411.70 | 425.57 | 5.37% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 2 | 80 | 920.00 | 910.40 | 987.14 | 939.18 | 4.45% |
| 120 | 478.40 | 499.71 | 466.85 | 481.65 | 3.46% |
| 160 | 303.60 | 279.87 | 313.50 | 298.99 | 5.78% |
| 200 | 220.80 | 217.89 | 210.11 | 216.27 | 2.56% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | N | | | | | |
| 设备 | PD51 | | | | | |
| 湿度 |  | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 5 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 4437.00 | 4654.00 | 4813.00 | 4634.67 | 4.07% |
| 12 | 3089.00 | 3214.00 | 3399.00 | 3234.00 | 4.82% |
| 16 | 2487.00 | 2555.00 | 2642.00 | 2561.33 | 3.03% |
| 35 | 1468.00 | 1482.00 | 1501.00 | 1483.67 | 1.12% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 6 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 2014.00 | 1964.00 | 2140.00 | 2039.33 | 4.45% |
| 12 | 1327.00 | 1295.00 | 1325.00 | 1315.67 | 1.36% |
| 16 | 1016.00 | 1002.00 | 1006.00 | 1008.00 | 0.72% |
| 35 | 499.00 | 497.10 | 501.40 | 499.17 | 0.43% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 7 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 1424.00 | 1331.00 | 1237.00 | 1330.67 | 7.03% |
| 12 | 823.00 | 776.00 | 760.00 | 786.33 | 4.16% |
| 16 | 608.90 | 562.00 | 549.20 | 573.37 | 5.48% |
| 35 | 273.40 | 253.70 | 252.60 | 259.90 | 4.50% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | M | | | | |
| 设备 |  | 2722 | | | | |
| 湿度 |  | 41.00% | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 5 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 6295.00 | 6490.00 | 6455.00 | 6413.33 | 1.62% |
| 12 | 4510.00 | 4745.00 | 4670.00 | 4641.67 | 2.59% |
| 16 | 3665.00 | 3770.00 | 3725.00 | 3720.00 | 1.42% |
| 35 |  |  |  |  | #DIV/0! |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 6 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 2630.00 | 2550.00 | 2520.00 | 2566.67 | 2.22% |
| 12 | 1773.50 | 1688.00 | 1730.00 | 1730.50 | 2.47% |
| 16 | 1337.50 | 1363.50 | 1353.00 | 1351.33 | 0.97% |
| 35 | / | / | / | / | #DIV/0! |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 7 | 4 | / | / | / | / | / |
| 8 | 3350.00 | 3470.00 | 3360.00 | 3393.33 | 1.96% |
| 12 | 1883.00 | 2014.00 | 1877.50 | 1924.83 | 4.01% |
| 16 | 1353.00 | 1413.50 | 1394.00 | 1386.83 | 2.23% |
| 35 | / | / | / | / | #DIV/0! |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | G | | | | | |
| 设备 | 1100 | | | | | |
| 湿度 | 48.00% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 5 | 80 | 1102.70 | 1065.50 | 1078.60 | 1082.27 | 1.74% |
| 120 | 859.80 | 824.70 | 839.40 | 841.30 | 2.10% |
| 160 | 719.00 | 688.20 | 701.10 | 702.77 | 2.20% |
| 200 | 624.90 | 600.00 | 611.10 | 612.00 | 2.04% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 6 | 80 | 281.60 | 281.80 | 283.90 | 282.43 | 0.45% |
| 120 | 215.40 | 214.60 | 214.90 | 214.97 | 0.19% |
| 160 | 176.80 | 176.20 | 176.60 | 176.53 | 0.17% |
| 200 | 151.90 | 151.80 | 151.90 | 151.87 | 0.04% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | H | | | | | |
| 设备 | 1100 | | | | | |
| 湿度 | 35.90% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 5 | 80 | 1159.40 | 1123.52 | 1137.72 | 1140.21 | 1.58% |
| 120 | 895.57 | 865.81 | 878.34 | 879.90 | 1.70% |
| 160 | 734.14 | 715.40 | 725.64 | 725.06 | 1.29% |
| 200 | 622.33 | 614.53 | 623.22 | 620.03 | 0.77% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 6 | 80 | 421.87 | 408.76 | 413.82 | 414.82 | 1.59% |
| 120 | 308.87 | 296.88 | 319.07 | 308.27 | 3.60% |
| 160 | 245.72 | 234.95 | 251.79 | 244.15 | 3.49% |
| 200 | 199.20 | 184.24 | 171.90 | 185.11 | 7.39% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | I | | | | | |
| 设备 | 1100 | | | | | |
| 湿度 | 4.50% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 5 | 80 | 2145.00 | 2074.80 | 2271.10 | 2163.63 | 4.60% |
| 120 | 1329.90 | 1320.80 | 1289.70 | 1313.47 | 1.60% |
| 160 | 1072.50 | 1131.23 | 987.70 | 1063.81 | 6.78% |
| 200 | 900.90 | 887.70 | 891.11 | 889.41 | 0.77% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 6 | 80 | 871.00 | 891.40 | 882.21 | 881.54 | 1.16% |
| 120 | 522.60 | 500.12 | 523.35 | 515.36 | 2.56% |
| 160 | 418.08 | 400.85 | 398.78 | 405.90 | 2.61% |
| 200 | 339.69 | 331.17 | 348.85 | 339.90 | 2.60% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | O | | | | | |
| 设备 | 3100 | | | | | |
| 湿度 | 45.80% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 5 | 80 | 1950.13 | 1926.64 | 1890.37 | 1922.38 | 1.57% |
| 120 | 918.85 | 903.02 | 909.18 | 910.35 | 0.88% |
| 160 | 751.34 | 745.08 | 750.84 | 749.09 | 0.46% |
| 200 | 652.74 | 648.30 | 651.72 | 650.92 | 0.36% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 6 | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 80 | 336.18 | 335.50 | 341.68 | 337.79 | 1.00% |
| 120 | 241.90 | 240.48 | 245.26 | 242.55 | 1.01% |
| 160 | 218.76 | 217.84 | 217.78 | 218.13 | 0.25% |
| 200 | 214.75 | 213.78 | 213.65 | 214.06 | 0.28% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | A | | | | | |
|  | 2722 | | | | | |
|  | 17.30% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | 22.20 | 22.60 | 22.60 | 22.47 | 1.03% |
| 8 | 18.40 | 18.30 | 18.40 | 18.37 | 0.31% |
| 12 | 16.60 | 16.30 | 16.50 | 16.47 | 0.93% |
| 16 | 15.20 | 15.20 | 15.10 | 15.17 | 0.38% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 2 | 4 | 73.80 | 72.20 | 70.30 | 72.10 | 2.43% |
| 8 | 61.00 | 60.70 | 61.00 | 60.90 | 0.28% |
| 12 | 55.70 | 55.30 | 55.30 | 55.43 | 0.42% |
| 16 | 51.60 | 51.30 | 51.40 | 51.43 | 0.30% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 3 | 4 | 68.20 | 69.60 | 67.70 | 68.50 | 1.44% |
| 8 | 56.90 | 57.30 | 56.80 | 57.00 | 0.46% |
| 12 | 51.90 | 52.20 | 51.80 | 51.97 | 0.40% |
| 16 | 48.40 | 48.70 | 48.30 | 48.47 | 0.43% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | K | | | | | |
|  | 2722 | | | | | |
|  | 17.30% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | 18.70 | 18.00 | 18.50 | 18.40 | 1.96% |
| 8 | 15.70 | 15.80 | 15.60 | 15.70 | 0.64% |
| 12 | 13.70 | 13.40 | 13.60 | 13.57 | 1.13% |
| 16 | 13.10 | 12.80 | 12.70 | 12.87 | 1.62% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 2 | 4 | 62.20 | 62.90 | 63.70 | 62.93 | 1.19% |
| 8 | 52.90 | 53.30 | 53.20 | 53.13 | 0.39% |
| 12 | 46.70 | 46.80 | 47.50 | 47.00 | 0.93% |
| 16 | 44.90 | 44.90 | 44.50 | 44.77 | 0.52% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 3 | 4 | 56.50 | 60.90 | 60.00 | 59.13 | 3.93% |
| 8 | 49.50 | 51.30 | 51.70 | 50.83 | 2.31% |
| 12 | 44.40 | 45.50 | 46.60 | 45.50 | 2.42% |
| 16 | 43.00 | 43.90 | 42.80 | 43.23 | 1.36% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | L | | | | | |
|  | 2722 | | | | | |
|  | 62.00% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | 19.80 | 19.52 | 19.59 | 19.64 | 0.74% |
| 8 | 15.64 | 14.41 | 15.86 | 15.30 | 5.11% |
| 12 | 13.89 | 13.46 | 14.18 | 13.84 | 2.62% |
| 16 | 12.86 | 12.71 | 12.44 | 12.67 | 1.68% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 2 | 4 | 58.20 | 58.60 | 57.40 | 58.07 | 1.05% |
| 8 | 49.30 | 52.70 | 48.90 | 50.30 | 4.15% |
| 12 | 45.90 | 48.30 | 46.70 | 46.97 | 2.60% |
| 16 | 44.20 | 45.40 | 44.50 | 44.70 | 1.40% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 3 | 4 | 57.20 | 56.90 | 58.80 | 57.63 | 1.77% |
| 8 | 50.60 | 50.50 | 51.10 | 50.73 | 0.63% |
| 12 | 45.90 | 45.90 | 46.40 | 46.07 | 0.63% |
| 16 | 43.20 | 43.00 | 43.70 | 43.30 | 0.83% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | B | | | | | |
|  | 2742 | | | | | |
|  | 6.50% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | 24.02 | 24.52 | 24.61 | 24.38 | 1.30% |
| 8 | 19.04 | 19.41 | 19.40 | 19.28 | 1.10% |
| 12 | 16.86 | 17.21 | 17.24 | 17.10 | 1.24% |
| 16 | 15.60 | 15.86 | 15.86 | 15.77 | 0.96% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 2 | 4 | 74.16 | 76.95 | 76.56 | 75.89 | 1.99% |
| 8 | 61.14 | 62.80 | 62.43 | 62.12 | 1.40% |
| 12 | 55.75 | 56.64 | 56.35 | 56.25 | 0.80% |
| 16 | 52.33 | 52.84 | 52.49 | 52.55 | 0.50% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 3 | 4 | 71.50 | 72.60 | 72.19 | 72.10 | 0.77% |
| 8 | 58.43 | 59.15 | 58.84 | 58.81 | 0.61% |
| 12 | 52.75 | 53.35 | 53.14 | 53.08 | 0.57% |
| 16 | 49.27 | 49.74 | 49.55 | 49.52 | 0.47% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | C | | | | | |
|  | 2742 | | | | | |
|  | 45.00% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | 23.00 | 23.00 | 24.00 | 23.33 | 2.47% |
| 8 | 18.00 | 18.00 | 19.00 | 18.33 | 3.15% |
| 12 | 16.00 | 16.00 | 17.00 | 16.33 | 3.53% |
| 16 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 0.00% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 2 | 4 | 73.00 | 73.00 | 73.00 | 73.00 | 0.00% |
| 8 | 60.00 | 60.00 | 60.00 | 60.00 | 0.00% |
| 12 | 54.00 | 54.00 | 54.00 | 54.00 | 0.00% |
| 16 | 51.00 | 51.00 | 51.00 | 51.00 | 0.00% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 3 | 4 | 71.00 | 72.00 | 72.00 | 71.67 | 0.81% |
| 8 | 59.00 | 59.00 | 60.00 | 59.33 | 0.97% |
| 12 | 53.00 | 54.00 | 54.00 | 53.67 | 1.08% |
| 16 | 50.00 | 50.00 | 51.00 | 50.33 | 1.15% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | D | | | | | |
|  | 2742 | | | | | |
|  | 62.90% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | 21.80 | 21.90 | 22.10 | 21.93 | 0.70% |
| 8 | 17.60 | 17.60 | 17.70 | 17.63 | 0.33% |
| 12 | 15.70 | 15.60 | 15.80 | 15.70 | 0.64% |
| 16 | 14.50 | 14.50 | 14.70 | 14.57 | 0.79% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 2 | 4 | 73.30 | 72.90 | 73.00 | 73.07 | 0.28% |
| 8 | 60.60 | 60.30 | 60.50 | 60.47 | 0.25% |
| 12 | 54.70 | 54.70 | 54.70 | 54.70 | 0.00% |
| 16 | 51.60 | 51.20 | 51.40 | 51.40 | 0.39% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 3 | 4 | 71.50 | 72.10 | 71.00 | 71.53 | 0.77% |
| 8 | 59.10 | 59.70 | 58.90 | 59.23 | 0.70% |
| 12 | 53.60 | 54.20 | 53.40 | 53.73 | 0.77% |
| 16 | 50.30 | 50.80 | 50.40 | 50.50 | 0.52% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | E | | | | | |
|  | 3100 | | | | | |
|  | 9.00% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | 22.64 | 22.59 | 22.76 | 22.66 | 0.38% |
| 8 | 18.25 | 18.19 | 18.32 | 18.25 | 0.35% |
| 12 | 16.24 | 16.22 | 16.25 | 16.24 | 0.10% |
| 16 | 15.01 | 15.03 | 15.06 | 15.04 | 0.15% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 2 | 4 | 73.39 | 74.11 | 73.99 | 73.83 | 0.53% |
| 8 | 61.22 | 61.80 | 61.69 | 61.57 | 0.50% |
| 12 | 55.28 | 55.76 | 55.89 | 55.64 | 0.57% |
| 16 | 51.72 | 52.17 | 52.08 | 51.99 | 0.46% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 3 | 4 | 68.38 | 68.97 | 68.98 | 68.78 | 0.50% |
| 8 | 57.15 | 57.63 | 57.69 | 57.49 | 0.51% |
| 12 | 51.96 | 52.17 | 52.43 | 52.19 | 0.45% |
| 16 | 48.74 | 48.94 | 49.16 | 48.95 | 0.44% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | F | | | | | |
|  | 2722 | | | | | |
|  | 57.00% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 1 | 4 | 23.00 | 22.40 | 22.40 | 22.60 | 1.53% |
| 8 | 18.60 | 18.51 | 18.14 | 18.42 | 1.32% |
| 12 | 16.22 | 16.34 | 16.29 | 16.28 | 0.37% |
| 16 | 15.08 | 15.12 | 15.07 | 15.09 | 0.18% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 2 | 4 | 71.65 | 72.70 | 72.70 | 72.35 | 0.84% |
| 8 | 60.00 | 60.00 | 60.10 | 60.03 | 0.10% |
| 12 | 54.45 | 54.40 | 54.45 | 54.43 | 0.05% |
| 16 | 50.90 | 50.90 | 50.95 | 50.92 | 0.06% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 |  |
| 3 | 4 | 67.40 | 67.75 | 68.10 | 67.75 | 0.52% |
| 8 | 56.20 | 56.60 | 56.90 | 56.57 | 0.62% |
| 12 | 51.00 | 51.10 | 51.10 | 51.07 | 0.11% |
| 16 | 48.30 | 47.95 | 48.15 | 48.13 | 0.36% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | G | | | | | |
|  | 1100 | | | | | |
|  | 48.00% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 9 | 80 | 11.30 | 11.30 | 11.30 | 11.30 | 0.00% |
| 120 | 10.30 | 10.30 | 10.40 | 10.33 | 0.56% |
| 160 | 9.70 | 9.70 | 9.70 | 9.70 | 0.00% |
| 200 | 9.30 | 9.30 | 9.30 | 9.30 | 0.00% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 10 | 80 | 39.00 | 39.10 | 39.20 | 39.10 | 0.26% |
| 120 | 36.10 | 36.10 | 36.20 | 36.13 | 0.16% |
| 160 | 34.20 | 34.20 | 34.30 | 34.23 | 0.17% |
| 200 | 32.70 | 32.80 | 32.80 | 32.77 | 0.18% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | C | | | | | |
|  | 1100 | | | | | |
|  | -40.50% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 9 | 80 | 12.00 | 12.00 | 12.00 | 12.00 | 0.00% |
| 120 | 11.00 | 11.00 | 11.00 | 11.00 | 0.00% |
| 160 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 0.00% |
| 200 | 9.00 | 9.00 | 9.00 | 9.00 | 0.00% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 10 | 80 | 37.00 | 38.00 | 37.00 | 37.33 | 1.55% |
| 120 | 34.00 | 35.00 | 34.00 | 34.33 | 1.68% |
| 160 | 32.00 | 33.00 | 32.00 | 32.33 | 1.79% |
| 200 | 31.00 | 31.00 | 31.00 | 31.00 | 0.00% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | H | | | | | |
|  | 1100 | | | | | |
|  | 52.06% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 9 | 80 | 205.15 | 168.74 | 106.99 | 160.29 | 30.95% |
| 120 | 148.92 | 128.17 | 73.47 | 116.85 | 33.35% |
| 160 | 113.70 | 80.48 | 51.34 | 81.84 | 38.13% |
| 200 | 71.11 | 47.36 | 37.68 | 52.05 | 33.05% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 10 | 80 | 108.14 | 161.63 | 130.10 | 133.29 | 20.17% |
| 120 | 75.37 | 125.03 | 99.87 | 100.09 | 24.80% |
| 160 | 57.76 | 96.37 | 78.05 | 77.39 | 24.96% |
| 200 | 48.74 | 70.08 | 61.99 | 60.27 | 17.87% |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| C | I | | | | | |
|  | 1100 | | | | | |
|  | -30.45% | | | | | |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 9 | 80 | 12.10 | 11.17 | 12.01 | 11.76 | 4.36% |
| 120 | 10.35 | 10.47 | 10.89 | 10.57 | 2.68% |
| 160 | 9.80 | 10.01 | 10.12 | 9.98 | 1.63% |
| 200 | 9.11 | 9.17 | 9.28 | 9.23 | 0.93% |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | 压强 | 1 | 2 | 3 | 均值 | COV |
| 10 | 80 | 38.70 | 38.71 | 36.48 | 37.96 | 3.38% |
| 120 | 35.51 | 35.90 | 36.31 | 35.91 | 1.11% |
| 160 | 32.51 | 33.71 | 33.54 | 33.25 | 1.95% |
| 200 | 30.94 | 30.85 | 31.34 | 31.04 | 0.84% |