

制定《工业碱式硝酸铜》化工行业标准编制说明

(征求意见稿)

一、工作简况

(一) 任务来源

1、基本信息

根据“工信厅科函〔2022〕94号”文《工业和信息化部2022年第一批行业标准制修订和外文版项目计划》，于2024年4月完成《工业碱式硝酸铜》化工行业标准的制定工作，计划编号为：2022-0362T-HG。本标准由三明科飞产气新材料股份有限公司、深圳市环保科技集团股份有限公司、浙江兆和化工有限公司、中海油天津化工研究设计院有限公司等单位共同起草。本标准由全国化学标准化技术委员会无机化工分技术委员会负责技术归口。

2、简要情况

1) 产品概况

产品名称：碱式硝酸铜

分子式： $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$

相对分子质量：480.23（按2022年国际相对原子质量）

产品性质：浅蓝色粉末，相对密度2.32，熔点114.5℃，不溶于水及醇，溶于稀酸和氨水。

产品用途：主要用于铜制品中间体、气囊填充物。还用于制造农药、媒染剂、铜催化剂和助燃剂。搪瓷工业用作着色剂、制漆工业用于制造无机颜料等。

2) 生产方法

以硝酸铜和氢氧化钠为原料，经合成、沉淀分离、离心、干燥等工艺过程制得工业碱式硝酸铜成品。

3) 目的意义

随着汽车使用量越来越高，产量逐年递增，作为汽车生产重要的零部件——安全气囊，其可靠使用性得到广泛重视。安全气囊通常由传感器、控制器、气体发生器和气囊等组成。其中气体发生器对于安全气囊来说最为重要，当汽车发生碰撞时，它能在短时间内迅速使气囊充气膨胀，保证人员安全。气体发生器里面的气体发生剂就是燃烧后产生气体的各种物质，是固体推进剂的一种，在汽车发生碰撞时会产生大量气体充满气囊。但与此同时它还存在很大的弊端，如遇重金属会发生反应造成燃烧爆炸。碱式硝酸铜作为催化剂，以一定的比例制作出最符合要求的气体发生剂。碱式硝酸铜作为催化剂加快了硝酸胍的燃烧速度，使得在汽车发生碰撞时，同样可快速充满气囊保证人员安全。安全气囊中碱式硝酸铜的量占重量比在20%~45%，其质量的好坏直接影响安全气囊的质量及安全性能。制定化工行业标可以规范行业生产行为，促进碱式硝酸铜应用技术的发展进步，使产品不断满足国内外市场需求，合理而有效地指导企业生产和销售。

(二) 主要工作过程

1、起草阶段（2022.7~2023.5）

1) 调查研究过程

天津院接到上级部门下达的制定标准计划，于 2022 年 7 月～2023 年 1 月进行了调研及资料准备工作。首先查阅了国内外标准及有关技术资料，并向生产、使用单位发函进行调查，广泛征求对标准制定工作的意见，在此基础上提出了文献小结。

2) 起草工作组

2023 年 4 月通过腾讯会议在线召开了标准工作方案会，参加会议的三明科飞产气新材料股份有限公司、深圳市环保科技集团股份有限公司、浙江兆和化工有限公司及中海油天津化工研究设计院有限公司参加了标准制定工作方案会，组成起草标准工作组。会上生产单位就各自的产能、生产工艺、产品质量和用户使用情况进行了介绍。与会代表就此标准的指标项目和指标参数、分析方法及检验规则、包装、贮存、运输等内容进行了深入、细致的讨论，提出了工作方案，并对各项工作任务及工作进度做了详细的安排。

3) 分工情况

天津院主要负责资料收集、编写文献小结、召开标准工作方案会、数据统计、编写标准各阶段草案、编制说明及相关附件等工作。其他单位主要负责试验方法验证及数据累积工作。

4) 验证过程

起草工作组成员针对天津院提出的试验验证方案，进行了试验验证。

对比验证数据分析及验证评价（或结论）见本编制说明第四章。

2、标准征求意见阶段（2023.6～2023.8）

1) 广泛征求意见

在起草阶段工作基础上，由负责起草单位对工作组讨论稿进行了进一步的讨论和修改，其后提出标准草案征求意见稿及编制说明。于 2022 年 6 月开始向无机化工分技术委员会的委员、生产、使用及检验机构等单位发送了电子文件征求意见稿及编制说明，并在天津院官网上（www.trici.com.cn）公开征求意见。

二、制定标准的原则和依据

1 制标原则

- 1) 积极采用国际标准和国外先进标准的原则；
- 2) 有利于促进技术进步，提高产品质量的原则；
- 3) 有利于合理利用资源，提高经济效益的原则；
- 4) 符合用户要求，保护消费者利益、促进对外贸易的原则；
- 5) 遵循科学性、先进性、统一性的原则。

2 制标依据

- 1) 国内标准（见附表 1）；
- 2) 国内标准试验方法（见附表 2）；
- 3) 生产厂家质量月报（见附表 3）；
- 4) 生产厂家试验验证数据（见附表 4）。

三、国内外标准概况

目前未收集到工业碱式硝酸铜相关的国内外标准，只收集到国内 2 家企业的产品质量规格。收集到标准资料的对比见附表 1。对比分析如下：

1) 据了解三明科飞产气新材料股份有限公司的碱式硝酸铜下游客户是汽车安全气囊行业，其产品质量规格针对的是汽车安全气囊行业，只规定了一个等级，设置了铜含量、硝酸盐、加热减量、钠、pH、激光粒度（D₅₀ 和 D₉₀）和比表面积共 7 项指标。

2) 西亚试剂的碱式硝酸铜产品规格针对的是化学试剂用途的产品，其指标设置了铜含量、硝酸盐、加热减量、钠、pH、激光粒度（D₅₀）共 6 项指标。因为是针对化学试剂产品的，所以指标要求设置的较高。

对比以上收集的产品质量规格，所对应的产品应用领域之间并无交叉的情况，均根据自身涵盖的产品及产品下游行业的需求设置了相关的指标要求。本标准对应的标准化主体为工业碱式硝酸铜，因此下游行业应包括汽车安全气囊和其他工业用途。据了解目前碱式硝酸铜产品最主要的用途集中在汽车安全气囊行业，其指标要求与其他用途存在一些不同，因此本标准根据该产品的实际情况按用途进行分类。汽车安全气囊用途产品的指标主要参考三明科飞产气新材料股份有限公司的产品质量规格，其他用途的技术要求则根据客户需求进行设置。

四、标准制定主要技术内容及确定依据

1 警告

对碱式硝酸铜的氧化性做了试验，结果显示该产品属于氧化性物质，本次制定在标准正文之前提示警示语如下：

警告：按 GB 12268—2012 第 6 章的规定，本产品属于第 5.1 项氧化性物质。操作时应小心谨慎！如溅到皮肤或眼睛上应立即用水冲洗，严重者应立即就医。使用本文件的人员应有正规实验室工作的实践经验。本文件并未指出所有可能的安全问题。使用者有责任采取适当的安全和健康措施，并保证符合国家有关法规规定的条件。

2 范围

本标准规定了工业碱式硝酸铜的要求、试验方法、检验规则、标志和随行文件、包装、运输及贮存。

本标准适用于工业碱式硝酸铜。

产品用途以注的形式给出：该产品主要用于汽车安全气囊产气剂、铜制品中间体的原料，还用于制备其它铜盐、媒染剂、着色剂及无机颜料等。

3 产品分类

根据下游行业的要求，本着合理利用资源的原则，本标准按用途对产品质量进行了分类。

工业碱式硝酸铜按用途分为两类：

- a) I 类用于汽车安全气囊产气剂的原料；
- b) II 类用于其他工业用途。

4 产品指标要求的确定

4.1 外观

根据产品形状，本标准产品外观确定为：浅蓝色粉末。

4.2 指标项目的确定

在指标项目设置时主要从以下几个方面考虑：1) 产品主体纯度；2) 由原料带入的影响纯度的杂质；3) 对下游行业产生影响的指标项目；4) 生产过程中使用的设备、器具等带来的杂质。

产品主体纯度通过铜含量、硝酸盐含量、加热减量和 pH 指标进行控制。由原料带入的杂质主要为钠 (Na)。对汽车安全气囊下游客户产生影响的指标为激光粒度和比表面积 2 项指标。

调研中发现其他工业用途与汽车安全气囊用途在指标项目上存在差别，主要集中在 2 方面：1) 对产品纯度只要求碱式硝酸铜含量；2) 不要求激光粒度和比表面积 2 项指标。

综合分析本标准确定的指标项目按用途分别进行设置：1) 汽车安全气囊用途产品设置了铜 (Cu) 含量、硝酸盐 (以 NO_3 计) 含量、加热减量、钠 (Na)、pH、激光粒度 (D_{50} 和 D_{90}) 及比表面积共 7 项指标；2) 其他工业用产品设置了碱式硝酸铜 $[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2]$ 、加热减量、钠 (Na) 和 pH 共 4 项指标。

4.3 指标要求的确定

本标准指标要求方面主要参考三明科飞产气新材料股份有限公司的产品质量规格，各指标设置的理由和依据如下：

1) 铜 (Cu) 含量

铜含量为 I 类产品规定的指标项目，企业产品质量规格的铜含量设置为 51.8%~52.8%，折算为碱式硝酸铜含量为 97.9%~99.8%。调研时发现汽车安全气囊用的产气剂有多种配方，不同配方对原料碱式硝酸铜的铜含量提出了不同的要求。为了适应下游行业的较为宽泛要求，本标准 I 类产品铜含量指标设置为 51.8%~54.0%，折算为碱式硝酸铜含量为 97.85%~102.01%。

2) 碱式硝酸铜 $[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2]$ 含量

碱式硝酸铜 $[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2]$ 含量为 II 类产品规定的指标项目，根据 II 类产品下游客户的普遍要求，本标准该项指标设置为不小于 98.0%。

3) 硝酸盐 (以 NO_3 计) 含量

硝酸盐 (以 NO_3 计) 含量为 I 类产品规定的指标项目，企业产品质量规格的硝酸盐 (以 NO_3 计) 含量设置为 24.0%~25.8%，折算为碱式硝酸铜含量为 92.9%~99.9%。调研时发现汽车安全气囊用的产气剂有多种配方，不同配方对原料碱式硝酸铜的硝酸盐 (以 NO_3 计) 含量提出了不同的要求。为了适应下游行业较为宽泛的要求，本标准 I 类产品硝酸盐 (以 NO_3 计) 含量指标设置为 23.5%~26.5%，折算为碱式硝酸铜含量为 91.0%~102.6%。

4) 加热减量

加热减量影响产品主体纯度，I 类和 II 类产品均设置了加热减量指标。企业产品质量规格的加热减量设置为不大于 0.5%，产品实际情况和客户要求基本一致，均以 0.5%作为衡量标准，因此本标准 2 类产品的加热减量指标均设置为不大于 0.5%。

5) 钠含量

产品主要原料之一为氢氧化钠，因此 I 类和 II 类产品均设置了钠含量指标来衡量产品质量。企业产品质量规格的钠含量设置为不大于 0.5%，产品实际情况和客户要求基本一致，均以 0.5%作为衡量标准，因此本标准 2 类产品的钠含量指标均设置为不大于 0.5%。

6) 激光粒度

激光粒度指标考量的是产品细度，作为汽车用安全气囊的原料，产品的粒径指标之间影响产气的效果和速度。企业产品质量规格的激光粒度 D_{50} 设置为不大于 $6.0\mu\text{m}$ ，激光粒度 D_{90} 设置为不大于 $10.0\mu\text{m}$ 。实际调研中发现用户对产品的要求存在差别，本标准激光粒度 D_{50} 设置为不大于 $7.5\mu\text{m}$ ，激光粒度 D_{90} 设置为不大于 $22.5\mu\text{m}$ ，基本可以满足所有客户的使用要求。

7) 比表面积

比表面积指标是从另一个侧面反映产品的粒径情况，企业产品质量规格的比表面积指标设置为 $3.0\text{ m}^2/\text{g}\sim 7.0\text{ m}^2/\text{g}$ 。本标准为了适应各类客户的需要将该指标设置为 $2.5\text{ m}^2/\text{g}\sim 10.0\text{ m}^2/\text{g}$ 。

综上所述，各项指标要求设置见表 1。

表 1 本次制定标准确定各项指标要求

项 目		指 标	
		I 类	II 类
铜 (Cu) 含量 w/%		51.8~54.0	—
碱式硝酸铜 $[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2\cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2]$ 含量 w/%		—	98.0
硝酸盐 (以 NO_3 计) w/%		23.5~26.5	23.5~26.5
加热减量 w/%		0.5	0.5
钠 (Na) w/%		0.5	0.5
pH (10 %悬浮液)		4.5~7.5	4.5~7.5
激光粒度	$D_{50}/\mu\text{m}$	7.5	—
	$D_{90}/\mu\text{m}$	22.5	—
比表面积/ (m^2/g)		2.5~10.0	—

5 试验方法的确定

本次制定标准各项目确定的试验方法见附表 2。

5.1 铜含量及碱式硝酸铜含量的测定

铜含量测定较为常用的方法为氧化还原滴定法，方法原理为在微酸性条件下，试样中加入的适量碘化钾与二价铜作用，析出等当量的碘。用硫代硫酸钠标准滴定溶液滴定析出的碘，以淀粉为指示剂，由颜色的变化来判断终点，从消耗硫代硫酸钠标准滴定溶液的体积计算出铜含量。II 类产品规定的碱式硝酸铜含量是以铜含量换算得到的。本标准方法八平行试验数据见表 2。

表 2 铜含量八平行试验数据 (%)

测定次数	1	2	3	4	5	6	7	8	平均值	标准偏差
单位一	51.85	51.86	51.85	51.86	51.81	51.76	51.83	51.77	51.82	0.04
单位二	52.33	52.42	52.37	52.35	52.34	52.40	52.33	52.35	52.36	0.033

八平行数据为不同企业使用不同样品进行检测的结果，铜含量测定结果标准偏差为 $0.033\sim 0.04$ ，按取 3 倍标准偏差计算方法的允许差，本标准确定两次平行测定结果的绝对差值为不大于 0.2%。

5.2 硝酸盐含量的测定

硝酸盐含量测定通常使用的方法为定氮法，方法原理为在碱性介质中用定氮合金将硝酸盐还原，直接蒸馏出氨。将氨吸收在硼酸溶液中，以甲基红-溴甲酚绿混合指示剂指示终点，用盐酸标准滴定溶液进行滴定。本标准规定方法八平行测定结果见表 3。

表3 硝酸盐含量八平行试验数据 (%)

测定次数	1	2	3	4	5	6	7	8	平均值	标准偏差
单位一	25.5	25.6	25.5	25.6	25.4	25.6	25.4	25.4	25.5	0.093

八平行数据硝酸盐含量测定结果标准偏差为 0.093, 按 3 倍标准偏差计算方法的允许差, 本标准确定两次平行测定结果的绝对差值为不大于 0.3%。

5.3 干燥减量的测定

本标准采用重量法测定加热减量, 干燥温度为 105 °C±2 °C。该方法八平行测定结果见表 4。

表4 干燥减量八平行试验数据 (%)

测定次数	1	2	3	4	5	6	7	8	平均值	标准偏差
单位一	0.29	0.29	0.31	0.3	0.31	0.32	0.32	0.32	0.31	0.013
单位二	0.27	0.27	0.30	0.28	0.29	0.27	0.28	0.28	0.28	0.011

八平行数据为不同企业使用不同样品进行检测的结果, 干燥减量测定结果标准偏差为 0.011~0.013, 按 3 倍标准偏差计算方法的允许差, 本标准确定两次平行测定结果的绝对差值为不大于 0.04%。

5.4 钠含量的测定

本标准钠含量的测定采用的是原子吸收分光光度法(标准曲线法)(简称 AAS 法)。该方法八平行测定结果见表 5。

表5 钠含量八平行试验数据 (%)

测定次数	1	2	3	4	5	6	7	8	平均值	标准偏差
AAS 法	0.125	0.126	0.127	0.118	0.124	0.124	0.121	0.118	0.123	0.0035
ICP-OES 法	0.122	0.120	0.123	0.126	0.124	0.123	0.117	0.121	0.122	0.0027

AAS 法测定钠含量八平行数据为不同企业使用不同样品进行检测的结果, 钠含量标准偏差为 0.0035, 相对标准偏差为 2.83%, 按 3 倍相对标准偏差计算方法的允许差, 本标准确定两次平行测定结果的绝对差值为不大于 0.05%。

对同一个样品使用 ICP-OES 法测定钠含量, 与 AAS 法对比数据见表 5。使用 t 检验法对两种方法的测定结果进行比较, 得到的结果为:

- 1) $\bar{d} = 0.00087$, $S_d = 0.00455$, $t = 0.54$
- 2) 由 t 表查得 $t_{0.05(14)} = 2.15$
- 3) $t < t_{0.05(14)}$, 即两种方法测定结果之间无显著性差异

从对比试验结论看, AAS 法与 ICP-OES 法不存在显著性差异, 因此本标准将 2 种方法进行并列, 以 AAS 法为仲裁法。

5.5 pH 的测定

采用 pH 计法进行测定, 碱式硝酸铜不溶于水, 使用上清液进行测定。本方法八平行测定结果见表 6。

表6 pH 八平行试验数据 (%)

测定次数	1	2	3	4	5	6	7	8	平均值	标准偏差
单位一	5.95	5.91	5.94	5.92	5.93	5.91	5.92	5.92	5.92	0.014
单位二	6.34	6.37	6.42	6.29	6.33	6.31	6.37	6.33	6.34	0.041

八平行数据为不同企业使用不同样品进行检测的结果, pH 测定结果的标准偏差为 0.014~0.041, 按 3 倍标准偏差计算方法的允许差, 本标准确定两次平行测定结果的绝对差值为不大于 0.1。

5.6 激光粒度的测定

采用激光粒度分析仪进行测定，脱气条件为 120 °C 下 2 h，按 GB/T 19587 的规定进行测定，结果按 BET 方程计算，被吸附气体量的测定方法使用静态容量法。使用该方法对不同样品的八平行测定结果见表 7。

表 7 激光粒度八平行试验数据

测定次数	1	2	3	4	5	6	7	8	平均值	标准偏差
D ₅₀ /μm	1.24	1.28	1.25	1.25	1.22	1.23	1.26	1.23	1.245	0.019
D ₉₀ /μm	3.48	3.69	3.53	3.60	3.42	3.45	3.58	3.49	3.53	0.089
仪器品牌和型号	成都精新 JL1155									
D ₅₀ /μm	4.826	4.826	4.529	4.737	4.692	4.787	4.818	4.687	4.738	0.102
D ₉₀ /μm	7.131	7.209	7.027	7.182	7.171	7.232	7.236	7.181	7.171	0.068
仪器品牌和型号	岛津激光衍射式粒度分析测定仪 SALD-301V									

从激光粒度八平行测定结果计算的标准偏差看，D₅₀ 和 D₉₀ 测定结果的平行性较好，满足检验的需要。

5.7 比表面积的测定

比表面积测定按 GB/T 19587 《气体吸附 BET 法测定固态物质比表面积》规定的方法进行测定。脱气条件为 120 °C 下 2 h。

6 检验规则

本标准规定的所有检验项目为出厂检验项目，应逐批检验。

7 标志及随行文件

根据产品性质，包装上应标识 GB 190 中规定的“氧化性物质”标签。

8 包装、运输、贮存

工业碱式硝酸铜采用双层包装，内包装采用聚乙烯塑料袋，外包装采用塑料桶或纸板桶，每袋净含量 25 kg、30 kg 或 40 kg。

工业碱式硝酸铜在运输过程中应有遮盖物，防止雨淋、受潮，不应与可燃物混运。装卸要小心轻放，防止包装破损。

工业碱式硝酸铜应贮存于阴凉、干燥处，防止雨淋、受潮、日晒、受热，不应与还原性物质混贮。远离火源或热源。

五、水平分析

本标准参考国内相关产品标准，结合下游用户的要求，设置了指标要求和分析方法。指标要求进行了合理分等分级，指标项目设置齐全，指标要求满足下游行业的使用要求。试验方法均采用常规、经典方法，经验证测定结果准确可靠，适合工厂分析要求。

综上所述，本标准达到国内先进水平。

附表 1:

国内标准指标对比表

项 目	三明科飞 企业标准	西亚试剂 产品质量规格	本次制定标准	
			I 类	II 类
铜 (Cu) 含量 w/%	51.8~52.8	52.2~53.6	51.8~54.0	—
碱式硝酸铜 [Cu(NO ₃) ₂ ·3Cu(OH) ₂]w/% ≥	—	—	—	98.0
硝酸盐 (以 NO ₃ 计) w/%	24.0~25.8	25.3~26.3	23.5~26.5	23.5~26.5
加热减量 w/% ≤	0.3	0.3	0.5	0.5
钠 (Na) w/% ≤	0.5	0.5	0.5	0.5
pH (10 %悬浮液)	5.5~7.5	5.5~7.5	4.5~7.5	4.5~7.5
激光 粒度	D ₅₀ /μm	6.0	1.5	7.5
	D ₉₀ /μm	10.0	—	22.5
比表面积/ (m ² /g)	3.0~7.0	—	2.5~10.0	—

附表 2:

国内标准试验方法对比表

项 目	三明科飞企业标准	本次制定标准
铜 (Cu) 含量的测定	碘量法	碘量法
碱式硝酸铜的测定	由铜含量计算而得	由铜含量计算而得
硝酸盐 (以 NO ₃ 计) 的测定	凯氏定氮仪法	凯氏定氮仪法
加热减量的测定	重量法	重量法
钠 (Na) 的测定	AAS 法	AAS 法 (仲裁法) 并列 ICP-OES 法
pH (10 %溶液) 的测定	pH 计法	pH 计法
激光粒度的测定	激光粒度分布仪法	激光粒度分布仪法
比表面积的测定	BET 仪法	BET 仪法

附表 3：质量月报

三明科飞产气新材料股份有限公司工业碱式硝酸铜 2021 年质量月报

项 目	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
铜（Cu）含量 w/%	52.61	52.57	52.49	52.40	52.44	52.49	52.53	52.35	52.34	52.42	52.57	52.41
硝酸盐（以 NO ₃ 计） w/%	24.34	24.24	24.79	24.66	24.77	24.32	24.44	24.30	24.71	24.52	24.14	25.29
加热减量 w/%	0.15	0.16	0.15	0.18	0.19	0.21	0.14	0.13	0.13	0.12	0.13	0.15
钠（Na） w/%	0.06	0.07	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07
pH（10 %溶液）	6.24	6.07	6.15	6.17	6.22	6.35	6.21	6.22	6.23	6.28	6.24	6.22
激光粒度	D ₅₀ /μm	1.23	1.24	1.21	1.23	1.21	1.35	1.20	1.20	1.19	1.18	1.21
	D ₉₀ /μm	3.54	3.58	3.58	4.10	3.64	3.77	4.15	3.89	3.71	3.54	3.99
比表面积/（m ² /g）	4.05	3.89	4.67	4.58	3.74	4.60	3.37	4.69	5.07	4.88	3.97	3.68

三明科飞产气新材料股份有限公司工业碱式硝酸铜 2022 年质量月报

项 目	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
铜（Cu）含量 w/%	52.42	52.51	52.57	52.38	52.35	52.53	52.49	52.41	52.54	52.61	52.54	52.40
硝酸盐（以 NO ₃ 计） w/%	25.63	24.97	24.55	24.18	24.53	24.37	24.58	24.79	24.63	24.51		
加热减量 w/%	0.13	0.14	0.17	0.19	0.22	0.13	0.14	0.14	0.13	0.15	0.14	0.12
钠（Na） w/%	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.07
pH（10 %溶液）	6.20	6.25	6.24	6.22	6.34	6.31	6.27	6.32	6.29	6.27	6.30	6.33
激光粒度	D ₅₀ /μm	1.16	1.21	1.19	1.17	1.20	1.18	1.20	1.18	1.19	1.21	1.20
	D ₉₀ /μm	3.29	3.54	3.83	3.67	3.94	3.78	3.85	3.70	3.64	3.94	4.11
比表面积/（m ² /g）	3.77	4.67	5.26	5.39	3.74	3.85	3.98	4.67	4.82	3.90	4.26	4.33