

制定《高纯工业品 红磷》化工行业标准编制说明 (征求意见稿)

1 任务来源及简要编制过程

1.1 任务来源

根据国家工业和信息化部文件“工信厅科〔2024〕18号《工业和信息化部办公厅关于印发2024年第一批行业标准制修订计划的通知》”的要求，于2025年前完成《高纯工业品 红磷》化工行业标准的制定工作，计划编号为：2024-0060T-HG，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（SAC/TC63/SC1）归口。

主要起草单位有：贵阳精一科技有限公司、贵州理工学院、云南江磷集团股份有限公司、中海油天津化工研究设计院有限公司。

1.2 简要编制过程

1.2.1 调研阶段

全国化学标准化技术委员会无机化工分技术委员会（SAC/TC63/SC1）接到国家工业和信息化部文件“工信厅科〔2024〕18号《工业和信息化部办公厅关于印发2024年第一批行业标准制修订计划的通知》”后，全国化学标准化技术委员会无机化工分技术委员会（SAC/TC63/SC1）即展开了《高纯工业品 红磷》化工行业标准制定的前期准备工作，成立标准起草小组，向各有关生产企业发制标调查函，广泛征求行业内企业、用户对标准制定的意见，查阅相关资料，整理归纳分析总结回函意见，组建成立标准起草小组，编制完成标准制定文献小结。

1.2.2 工作方案会阶段

2025年3月初在天津市召开标准制修订工作方案会，在会上标准起草小组对《高纯工业品 红磷》化工行业标准的制定进行了认真仔细的讨论，提出制定意见和建议。

(1) 分类

高纯工业品红磷分为三种型号：

- Ⅰ型（5N），纯度（基于阳离子）不小于99.999%，主要用作光伏掺杂源；
- Ⅱ型（6N），纯度（基于阳离子）不小于99.9999%，主要作磷化物半导体材料、IC掺杂磷源；
- Ⅲ型（6.5N），纯度（基于阳离子）不小于99.99995%，主要用作MBE源材料。

(2) 要求及试验方法

产品外观为暗紫红色颗粒或红色粉末，本次制定标准立足先进性、适用性和可操作性原则，项目及指标的设置上，主要根据目前行业主流工艺、原料组成，以及高纯工业品红磷企业标准质量指标等，充分考虑行业用户的使用要求，在不影响下游产品质量的前提下进行设置，具体技术要求及试验方法见表1。

表 1

项 目	指 标			试验方法
	I 型（5N）	II 型（6N）	III 型（6.5N）	
红磷（P）纯度（基于阳离子） $w/\%$ \geq	99.999	99.9999	99.99995	差减法
锂（Li） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$	项目、指标待定，经了解下游用户要求确定			待定
钠（Na） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
钾（K） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
镁（Mg） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
钙（Ca） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
铝（Al） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
钒（V） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
铬（Cr） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
锰（Mn） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
铁（Fe） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
钴（Co） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
镍（Ni） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
铜（Cu） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
锌（Zn） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
锆（Zr） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
钼（Mo） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
铅（Pb） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
银（Ag） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
锡（Sn） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
钨（W） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
钍（Th） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
铀（U） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
硅（Si） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
硼（B） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
氟（F） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
氯（Cl） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
溴（Br） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
碘（I） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
硫（S） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
砷（As） $w/(\mu\text{g/kg}) \leq$				
密度/ (g/cm^3) （颗粒） \geq	1.7	2.0		密度检测仪法

（3）标准属性

本标准为你推荐性化工行业标准。

（4）工作安排

2024 年 5 月底前，生产企业提供高纯工业品红磷企业标准及连续两年的质量月报数据，中海油天津化工研究设计院有限公司负责完成标准征求意见稿及编制说明，生产企业按照确定的试验方法进行累积试验，并提供 15 批实验数据。

1.2.3 上网征求意见阶段

2025 年 6 月底由中海油天津化工研究设计院有限公司负责将标准征求意见稿(草案)和编制说明(草案),寄给全国化学标准化技术委员会无机化工分技术委员会各位委员、生产厂及用户,并在 www.trici.com.cn 网上公开,广泛征求行业内意见,整理汇总回函意见。

1.2.4 预审会阶段

1.2.5 审查报批阶段

1.3 主要起草人及其所做的工作

本文件主要起草人弓创周等主要负责收集资料、市场调研、试验方法验证、分析整理检测数据、起草标准草案各阶段稿及其编制说明等工作。

2 目的意义

红磷(Red phosphorus)又名赤磷,为紫红色无定形粉末,有光泽,无毒。高压下热至 590 °C 开始熔化,若不加压则不熔化而升华,汽化后再冷凝则得白磷。红磷以 P_4 四面体的单键形成链或环的高聚合结构,具有较高的稳定性,不溶于水、二硫化碳,微溶于无水乙醇,溶于碱液。与硝酸作用生成磷酸,在氯气中加热生成氯化物。黄磷在真空中常压下,加热至 250 °C 数天,逐渐转化为红磷。

高纯工业品红磷用于半导体工业,用作扩散源,纯度一般在 6N~7N 级,即 $w(P)$ 99.9999 %~99.99999 %,是合成磷化物半导体的主要原料,可用于合成磷化铟(InP)、磷化镓(GaP)、磷砷化镓铝(AlGaAsP)、磷砷化镓铟(InGaAsP)、磷砷化镓(GaAsP)等半导体磷晶,也可用作 IC 掺杂的固态磷源,广泛应用于集成电路、太阳能电池、晶体硅、半导体、TFT-LCD、光纤预制棒和光化学等领域。

随着我国半导体产业的发展,高纯红磷的需求日益增加,年需求增长在 20 % 以上,目前年需求量在 20 吨左右。国内需求该产品的厂家主要有:北京通美晶体科技、广东先导半导体、珠海鼎泰鑫源、云南鑫耀半导体、陕西钢杰等磷化铟晶圆制造厂商。目前国内市场主要依靠进口,进口价格在 600000 美元/t(以 6N 计),国外供货商主要有:日本 RASA、日本化学等企业。贵阳精一科技有限公司与贵州理工学院通过联合攻关已突破该产品的制备技术,已建成 100 吨/年高纯红磷生产能力,已开始在国内销售,目前年销售 20 吨。

目前适用于半导体行业的核心原料高纯工业品红磷尚无国际、国家、行业及地方标准,国外也对我国进行技术封锁,未公开相关检测方法。为了统一技术要求,促进我国高纯红磷产品对进口产品的替代,制订一个适用于半导体行业的高纯工业品红磷的统一标准对整个行业形成统一的技术规范、淘汰低质原料、提升产品品质及稳定性有重大作用,同时制定该标准将意味中国在该产品的生产上实现国产替代。

高纯工业品红磷是合成磷化合物半导体材料的主要原料,用于合成磷化铟(InP)、磷化镓(GaP)、磷砷化镓铝磷砷化镓铟磷砷化镓(GaAsP)等化合物半导体材料,也可用作 IC 掺杂的固态磷源。项目属于 2022 年原材料工业标准工作要点中“2.新材料标准-化工新材料、新能源新材料”,符合《国家标准化发展纲要》中“引领新产品新业态新模式快速健康发展。实施新产业标准化领航工程,开展新兴产业、未来产业标准化研究,制定一批应用带动的新标准”以及工信部等六部门印发的《关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》中“(三)实施“三品”行动,提升化工产品供给质量”的有关要求。

本次制定化工行业标准《高纯工业品 红磷》,从产品生产和使用的实际情况出发,设置红磷(P)纯度(基于杂质元素)、杂质元素含量(Li、Na、Mg、Al、K、Ca、Ti、Cr、Mn、Fe、Ba、Co、Ni、Cu、Zn、Pb、Ag、Sn、Cd、Sb、Bi、Si、B、S、As、F、Cl、Br、I)和密度等项目,并给出指标要求,将有助于促进行业进步,达到统一和规范市场的目的。标准制定并发布实施,对国内高纯工业品红磷

生产企业的生产管理和销售市场有着十分重要的指导意义。

3 产品概况

3.1 产品名称：高纯工业品 红磷 英文名：High purity industrial product—Red phosphorus

3.2 分子式：P 相对分子质量：30.97（按 2022 年国际相对原子质量）

3.3 产品性质

红磷（Red phosphorus）又名赤磷，为紫红色无定形粉末，有光泽，无毒。高压下热至 590 °C 开始熔化，若不加压则不熔化而升华，汽化后再冷凝则得白磷。红磷以 P₄ 四面体的单键形成链或环的高聚合结构，具有较高的稳定性，不溶于水、二硫化碳，微溶于无水乙醇，溶于碱液。与硝酸作用生成磷酸，在氯气中加热生成氯化物。黄磷在真空中常压下，加热至 250 °C 数天，逐渐转化为红磷。

3.4 产品用途

高纯工业品红磷用于半导体工业，可用作扩散源，是合成磷化物半导体的主要原料，可用于合成磷化铟（InP）、磷化镓（GaP）、磷砷化镓铝（AlGaAsP）、磷砷化镓铟（InGaAsP）、磷砷化镓（GaAsP）等半导体磷晶，也可用作 IC 掺杂的固态磷源，广泛应用于集成电路、太阳能电池、晶体硅、半导体、TFT-LCD、光纤预制棒和光化学等领域。

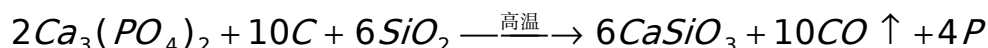
3.5 生产工艺

红磷的生产方法主要有以下几种：

（1）还原法

以磷酸钙为主要原料，与焦炭、石英砂在高温下发生反应。将磷酸钙、焦炭、石英砂按一定比例混合后，投入到电炉等高温设备中，加热至 1400 °C ~ 1500 °C 进行反应。生成的磷蒸汽经冷凝得到白磷，白磷在隔绝空气的条件下，加热到 260 °C 左右可转化为红磷。

化学反应方程式为：



（2）白磷转化法

白磷和红磷是磷的同素异形体，在一定条件下白磷可以转化为红磷，这是一个化学平衡过程。将白磷加热至 250 °C ~ 260 °C，在惰性气体（如氮气）保护下，白磷分子会逐渐发生结构转变，形成红磷。为了加快反应速度和提高转化率，有时会加入少量的催化剂，如碘等。反应完成后，将产物冷却、粉碎，即可得到红磷产品。

（3）液相法

在有机溶剂中，利用某些含磷化合物在特定条件下发生反应生成红磷。例如，以三氯化磷为原料，在有机溶剂中与金属钠等还原剂反应，生成红磷。先将三氯化磷溶解在合适的有机溶剂中，如甲苯、二甲苯等。然后在搅拌条件下，缓慢加入金属钠等还原剂，反应温度一般控制在 50 °C ~ 100 °C。反应结束后，经过过滤、洗涤、干燥等操作，得到红磷产品。

3.6 生产厂、产量

目前国内高纯工业品红磷生产的厂家主要有：

4 制标原则

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

5 国内外标准概况

目前适用于半导体行业的核心原料高纯工业品红磷尚无国内外相关标准，国外也对我国在高纯工业品红磷生产方面进行技术封锁，也未公开相关控制项目、指标及试验方法。近两年，国内才有企业生产出用于半导体行业的高纯工业品红磷，产品质量及应用结果得到市场认可，产量随着市场需求量的增加逐年上升。

制定《高纯工业品 红磷》行业标准，从产品生产和使用的实际情况出发，设置红磷（P₄）纯度（基于阳离子）、杂质元素含量（Li、Na、K、Mg、Ca、Al、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Zr、Mo、Pb、Ag、Sn、W、Th、U、Si、B、S、As、F、Cl、Br、I）和密度等项目，并给出指标要求及试验方法。标准制定并发布实施，将有助于促进行业进步，保证半导体行业的核心原料可靠性，并达到统一和规范市场的目的，其标准制定与相关标准协调一致，无冲突。

6 制标依据

- 6.1 生产企业实际生产情况、用户要求。

用户对高纯工业品红磷的技术要求见表 2。

表 2

项 目	指 标
红磷（P）纯度（基于杂质元素）w/%	≥ 99.999
锂（Li）w/（μg/kg）	≤ 200
钠（Na）w/（μg/kg）	≤ 200
镁（Mg）w/（μg/kg）	≤ 200
铝（Al）w/（μg/kg）	≤ 200
钾（K）w/（μg/kg）	≤ 200
钙（Ca）w/（μg/kg）	≤ 200
钛（Ti）w/（μg/kg）	≤ 200
铬（Cr）w/（μg/kg）	≤ 200
锰（Mn）w/（μg/kg）	≤ 200
铁（Fe）w/（μg/kg）	≤ 200
钡（Ba）w/（μg/kg）	≤ 200
钴（Co）w/（μg/kg）	≤ 200

镍 (Ni) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	200
铜 (Cu) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	200
锌 (Zn) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	200
铅 (Pb) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	200
银 (Ag) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	200
锡 (Sn) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	200
镉 (Cd) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	200
锑 (Sb) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	200
铋 (Bi) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	200
硅 (Si) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	500
硼 (B) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	200
硫 (S) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	500
砷 (As) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	500
氟 (F) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	200
氯 (Cl) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	200
溴 (Br) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	200
碘 (I) $w/(\mu\text{g/kg})$	\leq	200
密度 (g/cm^3)	\geq	1.7

- 6.2 生产厂家质量月报（见附表 1）。
- 6.3 生产厂家试验累积数据（见附表 2）。

7 标准内容说明

本次制标，未查阅到相关的国内外标准，标准制定根据国内高纯工业品红磷实际情况，参考行业内生产企业的企业标准、下游用户的使用要求、质量月报数据等进行，提出高纯工业品红磷技术要求，形成行业规范的标准文件，标准内容说明如下：

7.1 范围

本文件规定了高纯工业品红磷的要求、试验方法、检验规则、标志、标签和随行文件、包装、运输、贮存。

本文件适用于高纯工业品红磷。

注：该产品用作磷化物半导体材料、IC 掺杂磷源、MBE 源材料及光伏掺杂源等。

7.2 分类

高纯工业品红磷分为三种型号：

- I 型（5N），纯度（基于阳离子）不小于 99.999 %，主要用作光伏掺杂源；
- II 型（6N），纯度（基于阳离子）不小于 99.999 9 %，主要作磷化物半导体材料、IC 掺杂磷源；
- III 型（6.5N），纯度（基于阳离子）不小于 99.999 95 %，主要用作 MBE 源材料。

7.3 项目及指标的确定

本次制定标准立足先进性、适用性和可操作性原则，项目及指标的设置上根据目前行业中主要生产企业的主流工艺、原料组成，以及高纯工业品红磷企业标准质量指标等，充分考虑行业用户的使用要求，在不影响下游产品质量的前提下进行设置，经标准起草小组讨论，具体如下：

- 1) 产品外观：紫红色粉末；
- 2) 技术要求见表 3。

表 3

项 目	指 标		
	I 型（5N）	II 型（6N）	III 型（6.5N）
红磷（P）纯度（基于杂质元素），w/%	≥ 99.999	99.9999	99.99995
锂（Li），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
钠（Na），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
镁（Mg），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
铝（Al），w/（μg/kg）	≤ 200	20	20
钾（K），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
钙（Ca），w/（μg/kg）	≤ 200	20	20
钛（Ti），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
铬（Cr），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
锰（Mn），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
铁（Fe），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
钡（Ba），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
钴（Co），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
镍（Ni），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
铜（Cu），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
锌（Zn），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
铅（Pb），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
银（Ag），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
锡（Sn），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
镉（Cd），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
铋（Sb），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
铊（Bi），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
硅（Si），w/（μg/kg）	≤ 500	200	200
硼（B），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
硫（S），w/（μg/kg）	≤ 500	100	50
砷（As），w/（μg/kg）	≤ 500	100	40
氟（F），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
氯（Cl），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
溴（Br），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
碘（I），w/（μg/kg）	≤ 200	20	10
密度（g/cm ³ ）	≥ 1.7	2.0	2.0

7.4 试验方法的确定

7.4.1 外观检验

在自然光下，于白色衬底的表面皿或白瓷板上用目视法判定外观。

7.4.2 红磷纯度的测定

基于阳离子，采用差减法，用100 %减去杂质元素含量之和。目前国内生产企业和相关单位普遍采用，结果科学、准确、可靠，被行业广泛认可，本次制标采用此方法。

7.4.3 锂、钠、镁、铝、钾、钙、钛、铬、锰、铁、钡、钴、镍、铜、锌、铅、银、锡、镉、锑、铋、硅、硼、硫、砷含量的测定

称取约5.0 g试样，精确至0.000 2g，加入少量水润湿，加入10 mL硝酸进行反应后，全部转移至100 mL容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。按照《无机化工产品 杂质元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法（ICP-MS）》GB/T 30903—2014中“7.4.3.1”规定的方法测定。

试验数据见表 4。

表 4

样号		1#		2#		3#		4#		5#	
称样量/g		5.0011	5.0015	5.0009	4.9998	5.0012	5.0008	5.0005	5.0009	5.0016	5.0010
锂	$w/(\mu\text{g/kg})$	82	91	110	120	73	61	79	99	84	76
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	9		10		12		20		8	
	平均值/%	86.5		115		67		89		80	
	绝对差值/平均值	10.4%		8.7%		17.9%		22.5%		10%	
钠	$w/(\mu\text{g/kg})$	72	85	101	85	105	98	101	88	135	121
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	13		16		7		13		14	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	78.5		93.0		101.5		94.5		128	
	绝对差值/平均值	16.6%		17.2		6.9%		13.8%		10.9%	
镁	$w/(\mu\text{g/kg})$	101	120	90	80	122	110	59	72	115	105
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	9		10		12		13		10	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	110.5		85		116		65.5		110	
	绝对差值/平均值	8.1%		11.8%		10.3%		19.8%		9.1%	
铝	$w/(\mu\text{g/kg})$	178	170	140	147	94	84	64	50	115	122
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	8		7		10		14		7	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	174		143.5		89		57		118.5	
	绝对差值/平均值	4.6%		4.9%		11.2%		24.6%		5.9%	
钾	$w/(\mu\text{g/kg})$	63	72	143	128	117	105	40	50	74	85
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	9		15		12		10		9	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	67.5		135.5		111		45		79.5	

	g/kg)										
	绝对差值/平均值	13.3%		11.1%		10.8%		22.2%		11.3%	
钙	w/ (μ g/kg)	80	92	55	43	78	65	102	111	79	88
	绝对差值/ (μ g/kg)	12		12		13		9		11	
	平均值/ (μ g/kg)	86		49		71.5		106.5		83.5	
	绝对差值/平均值	14.0%		24.5%		18.2%		8.4%		13.2%	
钛	w/ (μ g/kg)	134	142	75	66	85	72	101	108	89	105
	绝对差值/ (μ g/kg)	8		9		13		7		16	
	平均值/ (μ g/kg)	138		70.5		78.5		104.5		97	
	绝对差值/平均值	5.8%		12.8%		16.5%		6.7%		16.5%	
铬	w/ (μ g/kg)	90	100	62	54	75	65	88	101	73	86
	绝对差值/ (μ g/kg)	10		8		10		13		13	
	平均值/ (μ g/kg)	95		58		70		94.5		79.5	
	绝对差值/平均值	10.5%		13.8%		14.3%		13.8%		16.4%	
锰	w/ (μ g/kg)	114	122	85	75	96	83	106	118	93	108
	绝对差值/ (μ g/kg)	8		10		13		12		15	
	平均值/ (μ g/kg)	118		80		89.5		112		100.5	
	绝对差值/平均值	6.8%		12.5%		14.5%		10.7%		14.9%	
铁	w/ (μ g/kg)	123	104	152	131	84	73	93	112	131	136
	绝对差值/ (μ g/kg)	19		21		11		19		5	
	平均值/ (μ g/kg)	113.5		141.5		78.5		102.5		133.5	
	绝对差值/平均值	16.7%		14.8%		14.0%		18.5%		3.7%	
钡	w/ (μ g/kg)	159	130	59	44	55	67	94	105	113	123
	绝对差值/ (μ g/kg)	29		15		12		11		10	
	平均值/ (μ g/kg)	144.5		51.5		61		99.5		118	
	绝对差值/平均值	20.1%		29.1%		19.7%		11.1%		8.5%	
钴	w/ (μ g/kg)	68	55	48	39	47	57	86	104	30	36
	绝对差值/ (μ g/kg)	13		9		10		18		6	
	平均值/ (μ g/kg)	61.5		43.5		52		98		33	

	绝对差值/平均值	21.1%		20.7%		19.2%		18.4%		18.2%	
镍	$w/(\mu\text{g/kg})$	79	70	102	88	77	84	55	65	77	88
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	9		14		7		10		11	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	74.5		95		80.5		60		82.5	
	绝对差值/平均值	12.1%		14.7%		8.7%		16.7%		13.3%	
铜	$w/(\mu\text{g/kg})$	118	126	55	51	60	74	50	56	78	91
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	8		4		14		6		13	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	122		53		67		53		84.5	
	绝对差值/平均值	6.6%		7.5%		20.9%		11.3%		15.4%	
锌	$w/(\mu\text{g/kg})$	101	113	58	67	125	140	113	125	35	40
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	12		9		15		12		5	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	107		62.5		132.5		119		37.5	
	绝对差值/平均值	11.2%		14.4		11.3%		10.1%		13.3%	
铅	$w/(\mu\text{g/kg})$	74	82	91	110	67	73	89	104	85	99
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	8		19		7		15		14	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	78		100.5		70		96.5		92	
	绝对差值/平均值	10.2%		18.9%		10%		15.5%		15.2%	
银	$w/(\mu\text{g/kg})$	58	63	77	60	112	132	129	145	78	101
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	5		17		20		16		23	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	60.5		68.5		122		137		89.5	
	绝对差值/平均值	8.3%		24.8%		16.4%		11.7%		25.7%	
锡	$w/(\mu\text{g/kg})$	58	67	57	69	143	138	75	89	124	138
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	9		12		5		14		14	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	62.5		63		140.5		82		131	
	绝对差值/平均值	14.4%		19.0%		3.6%		17.1%		10.7%	
镉	$w/(\mu\text{g/kg})$	102	121	147	132	102	107	58	67	89	102
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	19		15		5		9		13	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	111.5		139.5		104.5		62.5		95.5	
	绝对差值/平均值	17.0%		10.8%		4.8%		14.4%		13.6%	

铈	$w/(\mu\text{g/kg})$	82	65	89	101	80	108	161	148	60	54
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	17		12		28		13		6	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	73.5		95		94.5		154.5		57	
	绝对差值/平均值										
铈	$w/(\mu\text{g/kg})$	108	120	117	127	140	158	66	55	126	100
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	12		10		18		11		26	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	114		127		149		60.5		113	
	绝对差值/平均值	10.5%		7.9%		12.1%		18.2%		23.0%	
硅	$w/(\mu\text{g/kg})$	371	398	125	138	131	159	88	108	330	345
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	27		13		28		20		15	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	384.5		131.5		145		98		337.5	
	绝对差值/平均值	7.0%		9.9%		19.3%		20.4%		4.4%	
硼	$w/(\mu\text{g/kg})$	137	130	65	49	159	133	149	133	168	190
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	7		16		26		16		22	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	133.5		57		146		141		179	
	绝对差值/平均值	5.2%		28.1%		17.8%		11.3%		12.3%	
硫	$w/(\mu\text{g/kg})$	319	298	437	377	411	402	299	339	326	378
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	21		60		9		40		52	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	308.5		407		406.5		319		352	
	绝对差值/平均值	6.8%		14.7%		2.2%		12.5%		14.8%	
砷	$w/(\mu\text{g/kg})$	257	306	252	288	67	76	263	207	208	189
	绝对差值/ $(\mu\text{g/kg})$	49		36		9		56		19	
	平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	281.5		270		71.5		235		198.5	
	绝对差值/平均值	17.4%		13.3%		12.6%		23.8%		9.6%	

从待测元素测定的平行数据看，两次平行测定结果的绝对差值均不大于算术平均值的30%，符合标准规定的误差要求。本次制标采用此方法。

7.4.4 氟、氯、溴、碘含量的测定

样品中氟离子、氯离子、溴离子、碘离子经色谱柱分离，用电导检测器进行检测，以峰面积外标法计算出氟离子、氯离子、溴离子、碘离子含量。即称取约 5.0 g 试样（精确至 0.000 2 g），加入少量水润湿，加入 10 mL30%过氧化氢进行反应后，全部转移至 100 mL 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀后，

用 0.22 μm 滤膜过滤后，在离子色谱仪上，按离子色谱仪操作参考条件测定试验溶液中各待测元素的峰面积，根据各待测元素的峰面积，分别从标准曲线上查得各待测元素的质量浓度（μg/mL）。测定氟、氯、溴、碘含量。试验数据见表 5。

表 5

样号		1#		2#		3#		4#		5#	
称样量/g		5.0011	5.0015	5.0009	4.9998	5.0012	5.0008	5.0005	5.0009	5.0016	5.0010
氟	w/（ μ g/kg ）	79	69	138	123	104	116	110	123	118	102
	绝对差值/（ μ g/kg ）	10		15		12		13		16	
	平均值/（ μ g/kg ）	74		130.5		110		116.5		110	
	绝对差值/平均值	13.5%		11.5%		10.9%		11.2%		14.5%	
氯	w/（ μ g/kg ）	135	123	116	110	123	134	52	49	129	118
	绝对差值/（ μ g/kg ）	12		6		11		3		11	
	平均值/（ μ g/kg ）	129		113		128.5		50.5		123.5	
	绝对差值/平均值	9.3%		5.3%		8.6%		5.9%		8.9%	
溴	w/（ μ g/kg ）	138	118	123	116	110	133	134	152	149	129
	绝对差值/（ μ g/kg ）	20		7		23		18		20	
	平均值/（ μ g/kg ）	128		119.5		121.5		143		139	
	绝对差值/平均值	15.6%		5.9%		18.9%		12.6%		14.4%	
碘	w/（ μ g/kg ）	87	96	46	52	71	65	89	102	162	151
	绝对差值/（ μ g/kg ）	9		6		6		13		11	
	平均值/（ μ g/kg ）	91.5		49		68		95.5		156.5	
	绝对差值/平均值	9.8%		12.2%		8.8%		13.6%		7.0%	

从测定的平行数据看，两次平行测定结果的绝对差值均不大于算术平均值的30%，符合标准规定的误差要求。本次制标采用此方法。

7.4.5 密度的测定

称取约 20.0 试样，精确至 0.01 g，按照《化工产品密度、相对密度的测定》GB/T 4472—2011 中 4.2.3 规定的方法进行测定。该方法为化工行业通用方法，应用多年，方法简便、快捷，结果科学、准确。对该产品测定的试验数据见表 6。

表 6

样号	1#		2#		3#		4#		5#	
称样量/g	5.0111	5.0215	5.0108	5.0110	5.0018	5.0009	5.0012	5.0002	5.0008	5.0016
ρ/（ g/cm ³ ）	2.13	2.18	2.11	2.13	2.14	2.08	2.15	2.21	2.04	1.99
绝对差值/	0.05		0.02		0.06		0.06		0.05	

(g/cm ³)					
----------------------	--	--	--	--	--

从测定的平行数据看，两次平行测定结果的绝对差值均不大于0.1 g/cm³，符合标准规定的误差要求。
本次制标采用此方法。

7.5 标准属性

本标准为您推荐性化工行业标准。

8 标准水平分析

本标准的制定，根据国内高纯工业品红磷的生产和使用的实际情况，从规范行业行为、促进行业发展角度出发，充分考虑高纯工业品红磷在行业中的应用需求，项目、指标设置合理，试验方法经典、科学、先进，可操作性强，结果稳定、准确、可靠。

综合分析，本标准达到国内先进水平。

附表 1 生产厂家质量月报

1、企业-5N 产品

项 目 \ 日 期	202201	202202	202203	202204	202205	202206	202207	202208	202209	202210	202211	202212
红磷（P）纯度（基于杂质元素）， <i>w</i> /%	> 99.999											
锂（Li）， <i>w</i> /（μg/kg）	30	139	40	55	34	76	41	68	149	未检出	53	148
钠（Na）， <i>w</i> /（μg/kg）	45	85	72	15	未检出	54	157	未检出	53	75	161	142
镁（Mg）， <i>w</i> /（μg/kg）	55	32	56	96	161	109	36	133	154	43	162	87
铝（Al）， <i>w</i> /（μg/kg）	17	22	67	85	5	48	81	74	145	19	98	99
钾（K）， <i>w</i> /（μg/kg）	73	4	136	99	101	79	169	98	29	146	未检出	未检出
钙（Ca）， <i>w</i> /（μg/kg）	95	未检出	31	20	79	164	103	132	37	58	142	15
钛（Ti）， <i>w</i> /（μg/kg）	96	117	130	168	59	175	86	162	80	158	124	113
铬（Cr）， <i>w</i> /（μg/kg）	95	151	179	149	195	172	118	27	114	100	179	115
锰（Mn）， <i>w</i> /（μg/kg）	141	54	未检出	119	52	96	147	49	88	142	153	104
铁（Fe）， <i>w</i> /（μg/kg）	13	115	12	67	45	160	36	64	105	56	111	92
钡（Ba）， <i>w</i> /（μg/kg）	171	26	161	23	48	159	134	33	131	167	156	129
钴（Co）， <i>w</i> /（μg/kg）	165	未检出	35	69	55	140	100	156	122	24	69	156
镍（Ni）， <i>w</i> /（μg/kg）	83	47	137	99	149	153	108	48	125	166	27	117
铜（Cu）， <i>w</i> /（μg/kg）	113	39	149	136	25	102	153	115	54	87	35	92
锌（Zn）， <i>w</i> /（μg/kg）	109	53	20	101	168	151	102	120	151	38	36	107
铅（Pb）， <i>w</i> /（μg/kg）	17	22	67	85	5	48	159	74	150	19	98	101
银（Ag）， <i>w</i> /（μg/kg）	83	25	18	105	47	143	136	11	78	114	48	93
锡（Sn）， <i>w</i> /（μg/kg）	137	6	175	69	14	37	30	105	81	172	118	98
镉（Cd）， <i>w</i> /（μg/kg）	48	85	45	187	62	10	140	158	58	134	198	116
锑（Sb）， <i>w</i> /（μg/kg）	92	60	137	17	136	79	5	11	66	83	87	50
铋（Bi）， <i>w</i> /（μg/kg）	65	24	95	118	139	86	22	100	87	101	137	153
硅（Si）， <i>w</i> /（μg/kg）	114	58	309	400	449	247	159	40	72	207	459	127
硼（B）， <i>w</i> /（μg/kg）	64	30	37	33	88	98	135	123	135	未检出	未检出	88
硫（S）， <i>w</i> /（μg/kg）	406	205	276	329	461	91	93	196	341	311	76	113

砷（As）， <i>w/</i> （μg/kg）	70	461	306	279	136	107	431	290	122	60	214	411
氟（F）， <i>w/</i> （μg/kg）	11	80	114	131	32	102	139	85	78	82	21	108
氯（Cl）， <i>w/</i> （μg/kg）	104	138	18	116	133	134	129	5	14	94	144	41
溴（Br）， <i>w/</i> （μg/kg）	171	26	161	23	48	159	32	33	104	167	156	121
碘（I）， <i>w/</i> （μg/kg）	33	96	122	87	162	34	99	102	95	67	153	180
密度（g/cm ³ ）	2.03	2.14	1.92	1.93	2.03	2.05	2.03	2.11	2.14	2.08	1.85	1.99
<div>日 期 项 目</div>	202301	202302	202303	202304	202305	202306	202307	202308	202309	202310	202311	202312
红磷（P）纯度（基于杂质元素）， <i>w/</i> %	> 99.999											
锂（Li）， <i>w/</i> （μg/kg）	50	138	120	125	142	82	16	87	88	72	未检出	107
钠（Na）， <i>w/</i> （μg/kg）	104	99	81	115	77	57	91	117	56	77	54	171
镁（Mg）， <i>w/</i> （μg/kg）	123	57	84	64	50	80	65	90	80	11	110	119
铝（Al）， <i>w/</i> （μg/kg）	178	140	101	109	49	146	105	117	40	74	145	140
钾（K）， <i>w/</i> （μg/kg）	138	49	未检出	117	82	63	44	115	42	162	97	28
钙（Ca）， <i>w/</i> （μg/kg）	126	41	88	29	21	84	55	119	72	102	未检出	79
钛（Ti）， <i>w/</i> （μg/kg）	134	未检出	85	65	未检出	128	5	106	8	131	130	96
铬（Cr）， <i>w/</i> （μg/kg）	118	29	100	153	165	119	17	33	129	68	100	106
锰（Mn）， <i>w/</i> （μg/kg）	139	72	117	84	73	144	84	40	41	87	116	98
铁（Fe）， <i>w/</i> （μg/kg）	67	81	123	50	104	112	93	136	134	56	143	42
钡（Ba）， <i>w/</i> （μg/kg）	159	59	67	未检出	94	93	未检出	122	未检出	未检出	147	115
钴（Co）， <i>w/</i> （μg/kg）	68	148	137	104	36	129	92	97	164	37	68	未检出
镍（Ni）， <i>w/</i> （μg/kg）	79	102	84	未检出	187	73	120	164	55	48	61	66
铜（Cu）， <i>w/</i> （μg/kg）	128	155	140	56	23	134	93	88	101	132	99	128
锌（Zn）， <i>w/</i> （μg/kg）	12	155	102	145	149	153	107	135	68	41	114	43
铅（Pb）， <i>w/</i> （μg/kg）	154	91	73	104	99	151	95	83	152	84	184	121
银（Ag）， <i>w/</i> （μg/kg）	58	87	132	145	78	60	127	未检出	未检出	10	112	109
锡（Sn）， <i>w/</i> （μg/kg）	未检出	167	143	75	154	110	164	25	158	61	151	120
镉（Cd）， <i>w/</i> （μg/kg）	147	75	107	67	102	154	123	100	15	88	未检出	112
铟（Sb）， <i>w/</i> （μg/kg）	82	34	108	148	44	87	35	93	86	95	86	18
铋（Bi）， <i>w/</i> （μg/kg）	108	117	158	126	100	129	48	92	54	53	130	138
硅（Si）， <i>w/</i> （μg/kg）	138	未检出	159	108	345	404	239	未检出	未检出	122	204	70

硼（B）， <i>w</i> /（μg/kg）	137	5	133	113	90	52	128	137	36	9	122	124
硫（S）， <i>w</i> /（μg/kg）	319	437	402	339	378	368	132	297	39	371	282	339
砷（As）， <i>w</i> /（μg/kg）	407	402	76	207	309	87	410	未检出	415	265	331	222
氟（F）， <i>w</i> /（μg/kg）	23	87	130	28	31	134	79	未检出	119	96	143	140
氯（Cl）， <i>w</i> /（μg/kg）	117	138	未检出	146	58	97	137	未检出	69	70	83	113
溴（Br）， <i>w</i> /（μg/kg）	167	70	104	未检出	64	133	69	未检出	18	未检出	未检出	未检出
碘（I）， <i>w</i> /（μg/kg）	108	104	53	35	76	75	158	16	28	91	102	187
密度（g/cm ³ ）	2.08	2.23	2.14	2.01	1.97	2.05	1.83	1.78	2.00	1.79	1.83	1.84

2、企业-6N 产品

项 目 \ 日 期	202201	202202	202203	202204	202205	202206	202207	202208	202209	202210	202211	202212
红磷（P）纯度（基于杂质元素）， <i>w</i> %	> 99.9999											
锂（Li）， <i>w</i> /（μg/kg）	未检出	未检出	5	10	未检出	7	5	4	未检出	12	7	12
钠（Na）， <i>w</i> /（μg/kg）	8	8	12	16	10	15	16	14	8	16	11	5
镁（Mg）， <i>w</i> /（μg/kg）	5	8	16	10	12	6	11	5	15	未检出	5	14
铝（Al）， <i>w</i> /（μg/kg）	8	6	4	5	12	15	14	12	7	14	8	13
钾（K）， <i>w</i> /（μg/kg）	8	12	1	未检出	1	9	5	11	2	10	5	9
钙（Ca）， <i>w</i> /（μg/kg）	12	未检出	15	6	未检出	5	10	16	5	9	未检出	18
钛（Ti）， <i>w</i> /（μg/kg）	5	13	9	14	8	13	11	11	13	4	11	2
铬（Cr）， <i>w</i> /（μg/kg）	8	7	8	11	11	11	12	4	未检出	4	7	14
锰（Mn）， <i>w</i> /（μg/kg）	6	5	11	11	17	7	2	10	9	7	16	11
铁（Fe）， <i>w</i> /（μg/kg）	2	8	14	7	11	13	16	5	13	9	12	12
钡（Ba）， <i>w</i> /（μg/kg）	9	未检出	3	2	2	2	5	11	5	10	5	13
钴（Co）， <i>w</i> /（μg/kg）	7	8	11	未检出	5	3	12	2	4	6	8	8
镍（Ni）， <i>w</i> /（μg/kg）	3	未检出	14	17	11	5	未检出	17	14	未检出	5	5
铜（Cu）， <i>w</i> /（μg/kg）	4	15	5	未检出	10	15	未检出	未检出	3	12	2	未检出
锌（Zn）， <i>w</i> /（μg/kg）	13	2	4	14	10	7	7	15	5	3	17	11
铅（Pb）， <i>w</i> /（μg/kg）	12	1	14	10	15	未检出	8	5	9	16	1	16
银（Ag）， <i>w</i> /（μg/kg）	14	14	12	15	8	15	8	4	6	14	15	3
锡（Sn）， <i>w</i> /（μg/kg）	6	7	14	5	5	14	16	3	4	2	10	7

镉 (Cd) , w/ (μg/kg)	7	9	7	9	未检出	10	13	9	9	14	2	11
铋 (Sb) , w/ (μg/kg)	9	14	16	13	15	17	11	10	15	5	14	13
铋 (Bi) , w/ (μg/kg)	15	14	8	13	未检出	未检出	5	8	2	5	11	10
硅 (Si) , w/ (μg/kg)	170	79	158	181	158	149	97	140	183	168	94	6
硼 (B) , w/ (μg/kg)	10	18	14	13	17	13	未检出	4	6	12	10	8
硫 (S) , w/ (μg/kg)	23	40	63	11	85	58	43	22	45	42	未检出	9
砷 (As) , w/ (μg/kg)	62	79	59	70	41	50	78	48	62	32	51	12
氟 (F) , w/ (μg/kg)	7	13	6	7	未检出	4	未检出	11	4	7	6	未检出
氯 (Cl) , w/ (μg/kg)	16	10	13	8	8	3	6	9	7	6	7	未检出
溴 (Br) , w/ (μg/kg)	16	10	3	未检出	15	9	16	未检出	8	未检出	8	11
碘 (I) , w/ (μg/kg)	2	6	6	1	6	1	未检出	1	未检出	1	6	10
密度 (g/cm³)	2.11	2.04	2.08	2.03	2.03	2.22	2.23	2.07	2.03	2.04	2.11	1.81
项 目 \ 日 期	202301	202302	202303	202304	202305	202306	202307	202308	202309	202310	202311	202312
红磷 (P) 纯度 (基于杂质元素) , w/%	> 99.9999											
锂 (Li) , w/ (μg/kg)	16	10	8	17	9	8	6	11	12	6	11	16
钠 (Na) , w/ (μg/kg)	15	4	6	5	10	9	14	未检出	13	8	8	8
镁 (Mg) , w/ (μg/kg)	9	9	5	9	未检出	5	11	9	9	未检出	未检出	14
铝 (Al) , w/ (μg/kg)	5	9	6	13	17	12	13	7	9	8	9	5
钾 (K) , w/ (μg/kg)	14	13	8	15	5	10	7	9	17	15	未检出	10
钙 (Ca) , w/ (μg/kg)	6	4	10	3	7	7	7	未检出	未检出	3	3	未检出
钛 (Ti) , w/ (μg/kg)	3	4	未检出	9	14	14	16	11	未检出	4	10	未检出
铬 (Cr) , w/ (μg/kg)	6	11	15	7	3	8	3	8	13	5	5	9
锰 (Mn) , w/ (μg/kg)	16	11	未检出	6	6	6	1	7	4	2	6	7
铁 (Fe) , w/ (μg/kg)	8	未检出	4	10	9	未检出	11	11	13	5	4	8
钡 (Ba) , w/ (μg/kg)	8	7	4	11	4	6	8	15	5	12	11	3
钴 (Co) , w/ (μg/kg)	未检出	6	12	3	15	9	11	9	10	4	3	4
镍 (Ni) , w/ (μg/kg)	5	5	5	5	17	11	12	4	8	未检出	未检出	13
铜 (Cu) , w/ (μg/kg)	14	13	4	5	未检出	13	13	6	6	未检出	14	12
锌 (Zn) , w/ (μg/kg)	6	7	13	5	14	未检出	14	12	15	12	5	8
铅 (Pb) , w/ (μg/kg)	10	8	5	5	4	5	15	7	16	未检出	13	14

银（Ag）， <i>w</i> /（μg/kg）	3	13	10	11	11	7	14	15	8	15	13	6
锡（Sn）， <i>w</i> /（μg/kg）	12	1	11	11	5	11	5	10	6	11	11	3
镉（Cd）， <i>w</i> /（μg/kg）	未检出	未检出	4	1	12	12	12	9	12	2	4	6
铟（Sb）， <i>w</i> /（μg/kg）	12	11	5	6	11	8	3	7	未检出	8	7	17
铋（Bi）， <i>w</i> /（μg/kg）	16	12	8	13	8	5	14	11	14	14	未检出	未检出
硅（Si）， <i>w</i> /（μg/kg）	176	116	8	116	119	141	85	14	7	126	79	90
硼（B）， <i>w</i> /（μg/kg）	6	4	17	未检出	18	7	7	2	10	6	18	13
硫（S）， <i>w</i> /（μg/kg）	69	72	44	45	22	29	74	56	19	77	48	63
砷（As）， <i>w</i> /（μg/kg）	71	59	67	51	73	61	73	57	66	62	32	65
氟（F）， <i>w</i> /（μg/kg）	7	8	9	7	6	5	6	未检出	未检出	6	14	13
氯（Cl）， <i>w</i> /（μg/kg）	7	未检出	4	14	11	14	10	10	16	11	13	9
溴（Br）， <i>w</i> /（μg/kg）	10	11	15	10	6	10	14	16	13	13	13	13
碘（I）， <i>w</i> /（μg/kg）	6	9	未检出	2	未检出	6	5	10	11	11	10	未检出
密度（g/cm ³ ）	2.04	2.03	2.08	2.11	2.04	2.04	2.11	2.03	2.17	2.04	2.02	2.02

3、企业-6.5N 产品

项 目 \ 日 期	202201	202202	202203	202204	202205	202206	202207	202208	202209	202210	202211	202212
红磷（P）纯度（基于杂质元素）， <i>w</i> /%	> 99.99995											
锂（Li）， <i>w</i> /（μg/kg）	6	4	8	2	1	1	5	未检出	8	5	3	7
钠（Na）， <i>w</i> /（μg/kg）	1	2	7	5	15	5	4	3	8	2	3	5
镁（Mg）， <i>w</i> /（μg/kg）	2	8	8	8	未检出	2	4	未检出	1	7	3	3
铝（Al）， <i>w</i> /（μg/kg）	3	19	1	2	3	8	13	16	8	6	17	4
钾（K）， <i>w</i> /（μg/kg）	2	2	5	6	4	3	8	5	2	6	未检出	4
钙（Ca）， <i>w</i> /（μg/kg）	3	17	3	15	7	5	7	9	11	11	14	7
钛（Ti）， <i>w</i> /（μg/kg）	5	未检出	6	2	未检出	4	未检出	8	5	3	4	4
铬（Cr）， <i>w</i> /（μg/kg）	4	未检出	3	4	3	4	2	8	6	7	7	3
锰（Mn）， <i>w</i> /（μg/kg）	7	8	5	3	5	6	7	4	未检出	未检出	5	8
铁（Fe）， <i>w</i> /（μg/kg）	3	6	3	1	2	2	5	7	6	8	7	1
钡（Ba）， <i>w</i> /（μg/kg）	6	6	7	未检出	1	未检出	8	5	4	6	1	6
钴（Co）， <i>w</i> /（μg/kg）	1	8	8	5	5	1	4	3	4	3	1	7

镍（Ni）， <i>w</i> /（μg/kg）	1	8	8	2	8	5	1	5	3	7	8	7
铜（Cu）， <i>w</i> /（μg/kg）	未检出	3	未检出	3	5	3	未检出	2	8	3	4	8
锌（Zn）， <i>w</i> /（μg/kg）	6	1	1	6	2	2	3	5	2	5	4	1
铅（Pb）， <i>w</i> /（μg/kg）	7	1	3	未检出	6	3	7	6	4	1	5	7
银（Ag）， <i>w</i> /（μg/kg）	未检出	1	5	2	2	5	4	4	5	6	1	3
锡（Sn）， <i>w</i> /（μg/kg）	6	4	141	5	53	6	2	1	6	5	8	4
镉（Cd）， <i>w</i> /（μg/kg）	1	8	4	6	3	5	1	5	4	6	2	5
锑（Sb）， <i>w</i> /（μg/kg）	4	未检出	4	3	2	2	5	4	3	8	8	4
铋（Bi）， <i>w</i> /（μg/kg）	1	5	5	3	5	3	2	未检出	8	1	6	2
硅（Si）， <i>w</i> /（μg/kg）	116	186	未检出	126	8	65	15	128	148	178	146	122
硼（B）， <i>w</i> /（μg/kg）	2	5	未检出	4	5	2	7	2	1	6	未检出	3
硫（S）， <i>w</i> /（μg/kg）	23	4	39	32	6	12	10	45	44	8	34	29
砷（As）， <i>w</i> /（μg/kg）	34	38	20	28	11	10	15	32	29	38	14	7
氟（F）， <i>w</i> /（μg/kg）	6	9	39	2	6	未检出	2	1	5	未检出	3	7
氯（Cl）， <i>w</i> /（μg/kg）	1	2	20	5	11	2	7	7	6	5	1	2
溴（Br）， <i>w</i> /（μg/kg）	未检出	1	2.04	1	2.16	5	未检出	1	5	8	6	2
碘（I）， <i>w</i> /（μg/kg）	1	4	未检出	8	5	6	3	7	5	5	3	未检出
密度（g/cm ³ ）	2.05	2.06	2.04	2.07	2.16	2.05	2.16	2.09	2.01	2.12	2.07	2.19

<div>日 期</div> <div>项 目</div>	202301	202302	202303	202304	202305	202306	202307	202308	202309	202310	202311	202312
红磷（P）纯度（基于杂质元素）， <i>w</i> /%	> 99.99995											
锂（Li）， <i>w</i> /（μg/kg）	3	7	7	1	4	6	1	8	5	8	未检出	8
钠（Na）， <i>w</i> /（μg/kg）	5	7	8	8	8	7	5	未检出	4	7	5	未检出
镁（Mg）， <i>w</i> /（μg/kg）	4	6	6	8	2	未检出	6	4	8	7	1	6
铝（Al）， <i>w</i> /（μg/kg）	10	9	16	未检出	10	7	13	13	4	17	5	2
钾（K）， <i>w</i> /（μg/kg）	7	4	3	5	5	5	7	8	7	5	2	8
钙（Ca）， <i>w</i> /（μg/kg）	10	15	17	1	未检出	3	17	9	5	11	2	14
钛（Ti）， <i>w</i> /（μg/kg）	8	1	2	7	6	3	5	8	2	7	7	8
铬（Cr）， <i>w</i> /（μg/kg）	5	7	2	未检出	4	7	3	4	8	2	4	3
锰（Mn）， <i>w</i> /（μg/kg）	4	7	5	8	1	2	4	8	1	1	1	3

铁 (Fe) , $w/(\mu\text{g/kg})$	6	2	未检出	3	1	8	5	1	1	5	3	未检出
钡 (Ba) , $w/(\mu\text{g/kg})$	3	2	7	1	8	7	5	2	4	1	未检出	6
钴 (Co) , $w/(\mu\text{g/kg})$	6	1	6	8	未检出	2	8	7	7	6	3	2
镍 (Ni) , $w/(\mu\text{g/kg})$	6	未检出	5	8	8	未检出	9	7	7	6	1	7
铜 (Cu) , $w/(\mu\text{g/kg})$	6	4	3	2	7	4	4	4	未检出	1	3	4
锌 (Zn) , $w/(\mu\text{g/kg})$	未检出	8	7	未检出	6	3	1	3	6	4	8	4
铅 (Pb) , $w/(\mu\text{g/kg})$	2	2	5	3	1	未检出	1	6	8	1	5	2
银 (Ag) , $w/(\mu\text{g/kg})$	6	5	8	2	7	8	5	6	6	8	8	3
锡 (Sn) , $w/(\mu\text{g/kg})$	5	8	6	7	2	5	7	4	7	1	2	8
镉 (Cd) , $w/(\mu\text{g/kg})$	4	4	4	1	7	2	8	2	4	2	8	3
锑 (Sb) , $w/(\mu\text{g/kg})$	5	7	5	2	8	2	5	13	8	7	5	2
铋 (Bi) , $w/(\mu\text{g/kg})$	5	8	5	4	6	未检出	未检出	6	未检出	未检出	3	4
硅 (Si) , $w/(\mu\text{g/kg})$	86	5	110	181	8	141	163	147	132	91	152	165
硼 (B) , $w/(\mu\text{g/kg})$	4	未检出	5	8	7	6	9	2	4	4	6	6
硫 (S) , $w/(\mu\text{g/kg})$	20	1	35	16	23	29	39	18	37	44	23	10
砷 (As) , $w/(\mu\text{g/kg})$	10	38	4	36	35	27	7	21	26	19	22	16
氟 (F) , $w/(\mu\text{g/kg})$	3	7	1	5	未检出	7	3	未检出	7	1	5	8
氯 (Cl) , $w/(\mu\text{g/kg})$	8	未检出	6	3	2	8	1	7	4	3	未检出	6
溴 (Br) , $w/(\mu\text{g/kg})$	5	8	6	1	2	2	4	3	5	2	7	6
碘 (I) , $w/(\mu\text{g/kg})$	未检出	7	3	8	5	8	3	1	未检出	未检出	8	1
密度 (g/cm^3)	2.21	2.11	2.19	2.24	2.05	2.03	2.09	2.22	2.21	2.24	2.04	2.09

附表 2 高纯工业品红磷累积试验数据

1) 5N 产品

项 目 \ 序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
红磷 (P) 纯度 (基于杂质元素), w/%	> 99.999									
锂 (Li), w/ (μg/kg)	50	96	138	198	143	120	87	125	未检出	142
钠 (Na), w/ (μg/kg)	104	110	99	178	43	81	96	115	108	77
镁 (Mg), w/ (μg/kg)	123	145	57	94	94	84	56	64	13	50
铝 (Al), w/ (μg/kg)	178	171	140	29	147	101	139	109	54	49
钾 (K), w/ (μg/kg)	138	157	49	46	57	未检出	138	117	30	82
钙 (Ca), w/ (μg/kg)	126	165	41	118	62	88	114	29	67	21
钛 (Ti), w/ (μg/kg)	134	142	未检出	156	125	85	145	65	54	未检出
铬 (Cr), w/ (μg/kg)	118	113	29	113	123	100	90	153	29	165
锰 (Mn), w/ (μg/kg)	139	未检出	72	97	117	117	147	84	108	73
铁 (Fe), w/ (μg/kg)	67	108	81	28	123	123	69	50	152	104
钡 (Ba), w/ (μg/kg)	159	160	59	44	55	67	94	未检出	123	94
钴 (Co), w/ (μg/kg)	68	171	148	49	47	137	86	104	24	36
镍 (Ni), w/ (μg/kg)	79	133	102	未检出	132	84	未检出	未检出	未检出	187
铜 (Cu), w/ (μg/kg)	128	126	155	51	60	140	113	56	78	23
锌 (Zn), w/ (μg/kg)	12	107	155	40	146	102	111	145	91	149
铅 (Pb), w/ (μg/kg)	154	82	91	110	147	73	52	104	131	99
银 (Ag), w/ (μg/kg)	58	149	87	60	63	132	112	145	101	78
锡 (Sn), w/ (μg/kg)	未检出	158	167	57	169	143	38	75	158	154
镉 (Cd), w/ (μg/kg)	147	121	75	132	182	107	28	67	89	102
锑 (Sb), w/ (μg/kg)	82	81	34	111	80	108	61	148	60	44
铋 (Bi), w/ (μg/kg)	108	150	117	27	150	158	66	126	26	100
硅 (Si), w/ (μg/kg)	138	398	未检出	371	131	159	88	108	130	345
硼 (B), w/ (μg/kg)	137	130	5	49	159	133	149	113	118	90
硫 (S), w/ (μg/kg)	319	98	437	377	411	402	199	339	126	378

砷 (As) , $w/(\mu\text{g/kg})$	407	306	402	388	417	76	463	207	未检出	309
氟 (F) , $w/(\mu\text{g/kg})$	23	124	87	79	70	130	142	28	48	31
氯 (Cl) , $w/(\mu\text{g/kg})$	117	133	138	53	63	未检出	63	146	44	58
溴 (Br) , $w/(\mu\text{g/kg})$	167	182	70	78	103	104	未检出	未检出	117	64
碘 (I) , $w/(\mu\text{g/kg})$	108	126	104	76	30	53	188	35	153	76
密度 (g/cm ³)	2.08	2.10	2.23	2.08	1.98	2.14	2.07	2.01	1.76	1.97

2) 6N 产品

项 目 \ 序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
红磷 (P) 纯度 (基于杂质元素) , $w/\%$	> 99.9999									
锂 (Li) , $w/(\mu\text{g/kg})$	16	9	10	未检出	10	17	8	11	9	17
钠 (Na) , $w/(\mu\text{g/kg})$	15	11	12	6	4	10	6	12	12	5
镁 (Mg) , $w/(\mu\text{g/kg})$	9	8	4	10	9	12	5	9	4	9
铝 (Al) , $w/(\mu\text{g/kg})$	5	7	15	14	9	15	6	13	7	13
钾 (K) , $w/(\mu\text{g/kg})$	14	16	8	5	13	16	8	10	8	15
钙 (Ca) , $w/(\mu\text{g/kg})$	6	2	未检出	未检出	4	未检出	10	未检出	5	3
钛 (Ti) , $w/(\mu\text{g/kg})$	3	未检出	未检出	14	4	15	未检出	4	14	9
铬 (Cr) , $w/(\mu\text{g/kg})$	6	未检出	未检出	9	11	6	15	3	7	7
锰 (Mn) , $w/(\mu\text{g/kg})$	16	10	3	1	11	2	未检出	11	6	6
铁 (Fe) , $w/(\mu\text{g/kg})$	8	11	8	未检出	未检出	5	4	5	11	10
钡 (Ba) , $w/(\mu\text{g/kg})$	8	8	10	未检出	7	未检出	4	4	15	11
钴 (Co) , $w/(\mu\text{g/kg})$	未检出	11	5	10	6	未检出	12	5	5	3
镍 (Ni) , $w/(\mu\text{g/kg})$	5	16	13	12	5	5	5	4	8	5
铜 (Cu) , $w/(\mu\text{g/kg})$	14	12	7	4	13	13	4	未检出	8	5
锌 (Zn) , $w/(\mu\text{g/kg})$	6	3	9	12	7	12	13	9	14	5
铅 (Pb) , $w/(\mu\text{g/kg})$	10	14	未检出	15	8	9	5	13	11	5
银 (Ag) , $w/(\mu\text{g/kg})$	3	未检出	10	15	13	11	10	12	14	11
锡 (Sn) , $w/(\mu\text{g/kg})$	12	未检出	未检出	2	1	5	11	9	12	11
镉 (Cd) , $w/(\mu\text{g/kg})$	未检出	2	5	14	未检出	8	4	6	9	1
锑 (Sb) , $w/(\mu\text{g/kg})$	12	14	14	4	11	8	5	11	4	6

铋（Bi）， <i>w</i> /（μg/kg）	16	未检出	未检出	6	12	未检出	8	6	13	13
硅（Si）， <i>w</i> /（μg/kg）	176	60	114	76	116	88	8	120	147	116
硼（B）， <i>w</i> /（μg/kg）	6	7	8	6	4	9	17	未检出	16	未检出
硫（S）， <i>w</i> /（μg/kg）	69	42	35	83	72	71	44	76	50	45
砷（As）， <i>w</i> /（μg/kg）	71	67	79	51	59	53	67	70	56	51
氟（F）， <i>w</i> /（μg/kg）	7	未检出	8	14	8	6	9	8	11	7
氯（Cl）， <i>w</i> /（μg/kg）	7	6	11	未检出	未检出	8	4	12	8	14
溴（Br）， <i>w</i> /（μg/kg）	10	7	11	4	11	12	15	12	13	10
碘（I）， <i>w</i> /（μg/kg）	6	未检出	5	10	9	10	未检出	未检出	8	2
密度（g/cm ³ ）	2.04	2.07	2.01	2.20	2.03	2.27	2.08	2.01	2.08	2.11

3) 6.5N 产品

序 号 项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
红磷（P）纯度（基于杂质元素）， <i>w</i> %	> 99.99995									
锂（Li）， <i>w</i> /（μg/kg）	1	6	4	5	2	8	1	2	5	4
钠（Na）， <i>w</i> /（μg/kg）	8	1	2	3	7	4	6	5	4	8
镁（Mg）， <i>w</i> /（μg/kg）	3	2	8	1	4	8	1	8	未检出	8
铝（Al）， <i>w</i> /（μg/kg）	6	3	19	10	1	13	12	2	14	14
钾（K）， <i>w</i> /（μg/kg）	6	2	2	4	1	8	5	6	1	7
钙（Ca）， <i>w</i> /（μg/kg）	13	3	17	5	14	7	4	15	15	3
钛（Ti）， <i>w</i> /（μg/kg）	6	5	未检出	2	5	8	未检出	2	未检出	8
铬（Cr）， <i>w</i> /（μg/kg）	8	4	未检出	5	5	1	6	4	3	1
锰（Mn）， <i>w</i> /（μg/kg）	2	7	8	5	7	5	5	3	4	3
铁（Fe）， <i>w</i> /（μg/kg）	9	3	6	2	4	3	未检出	1	7	4
钡（Ba）， <i>w</i> /（μg/kg）	3	6	6	2	3	6	7	未检出	未检出	4
钴（Co）， <i>w</i> /（μg/kg）	8	1	8	1	8	3	2	5	3	7
镍（Ni）， <i>w</i> /（μg/kg）	5	1	8	6	2	5	8	2	5	6
铜（Cu）， <i>w</i> /（μg/kg）	5	未检出	3	2	7	3	8	3	2	1
锌（Zn）， <i>w</i> /（μg/kg）	2	6	1	5	6	7	6	6	1	未检出
铅（Pb）， <i>w</i> /（μg/kg）	未检出	7	1	3	5	8	5	未检出	5	7

银 (Ag) , $w/(\mu\text{g/kg})$	4	未检出	1	未检出	未检出	8	7	2	8	2
锡 (Sn) , $w/(\mu\text{g/kg})$	1	6	4	2	2	未检出	7	5	5	6
镉 (Cd) , $w/(\mu\text{g/kg})$	2	1	8	1	4	1	7	6	2	3
锑 (Sb) , $w/(\mu\text{g/kg})$	7	4	未检出	2	8	3	4	3	6	7
铋 (Bi) , $w/(\mu\text{g/kg})$	9	1	5	6	7	5	未检出	3	2	7
硅 (Si) , $w/(\mu\text{g/kg})$	21	116	186	10	152	141	3	126	53	165
硼 (B) , $w/(\mu\text{g/kg})$	7	2	5	3	3	4	8	4	3	4
硫 (S) , $w/(\mu\text{g/kg})$	41	23	4	22	17	39	18	32	6	27
砷 (As) , $w/(\mu\text{g/kg})$	4	34	38	15	29	20	5	28	11	24
氟 (F) , $w/(\mu\text{g/kg})$	未检出	6	9	5	未检出	4	7	2	2	8
氯 (Cl) , $w/(\mu\text{g/kg})$	9	1	2	4	1	5	7	5	5	未检出
溴 (Br) , $w/(\mu\text{g/kg})$	7	未检出	1	5	8	未检出	8	1	8	2
碘 (I) , $w/(\mu\text{g/kg})$	5	1	4	未检出	2	未检出	5	8	5	6
密度 (g/cm^3)	2.15	2.05	2.06	2.21	2.20	2.04	2.05	2.07	2.16	2.03