

国家标准《再生钛锭》编制说明

(征求意见稿)

一、工作简况

(一) 任务来源

根据 2024 年 3 月 25 日,《国家标准化管理委员会关于下达 2024 年第一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〔2024〕16 号)的要求,国家标准《再生钛锭》制定项目由全国有色金属标准化技术委员会归口,计划编号:20240530-T-610,项目周期为 18 个月,完成年限为 2025 年 9 月,标准起草单位为宝鸡钛业股份有限公司、宝钛集团有限公司、西部超导材料科技股份有限公司、新疆湘润新材料科技有限公司、宝武特冶钛金科技有限公司等。

我国钛及钛合金的生产起步于 20 世纪 50 年代,1958 年开始实现海绵钛的工业化生产,1964 年实现了钛加工材的工业化生产。随着钛及钛合金冶金技术的发展和加工技术的进步,钛及钛合金在航空航天、石油化工、海洋工程、舰船、汽车、建筑、医疗器械、体育用品中均有广阔的应用前景。但是由于钛及钛合金具有较高的化学活性、低的导热系数,导致钛的提取、熔炼、变形加工、热处理等生产工艺十分困难,致使钛及钛合金产品生产成本居高不下、其昂贵的价格严重限制了钛及钛合金产品的大规模推广应用。据统计,在钛及钛合金产品的制造加工成本中,原材料海绵钛和合金元素分别占 39.7%和 6.7%、加工变形占 26.6%、铸锭熔炼占 20%、产品检验占 5%、热处理占 2%,原材料海绵钛和合金元素是钛及钛合金产品成本居高不下的主要原因。由此可见,有效回收利用钛及钛合金,实现再生钛及钛合金原料的循环利用,是降低钛及钛合金产品制造成本的主要手段。

由于钛及钛合金独特的加工工艺特点,加工材的成品率较低,一般在 50%左右,其生产过程会产生大量的工艺余料。在回收钛原料的回收利用方面,国外从 20 世纪 60 年代初就开始了研究工作,到 70 年代初,相继达到了工业规模的回收水平。在美国回收钛原料的再利用平均占铸锭生产的 35~45%。其他西方国家的钛公司和生产厂也相继完善了各具特色的回收钛原料的回收工艺及装备。我国最早研究回收钛原料的回收利用工艺始于 1968 年,在 2000 年之前,生产回收钛原料接近 5000 吨。在 2000 年之后,我国回收钛原料的回收利用实现了快速发展,每年回收利用回收钛原料超过 1000 吨,并于 2007 年建立了 GB/T 20927-2007《钛及钛合金废料》的国家标准。GB/T 20927-2007 自发布实施以来,在回收钛原料的分类分级和处理验收过程中发挥了主要作用,稳步促进了我国回收钛原料的回收储备,有效推动了我国回收钛原料的再生利用进程。

近年来,随着钛及钛合金加工产品的快速发展和市场需求的扩展应用,各生产企业对再生钛锭的生产需求也越来越大,利用回收钛原料的再生钛锭生产的钛及钛合金产品,有效降低了制造成本,也在各工业领域得到了大量应用推广,但我国尚未建立再生钛锭的相

关标准，严重阻碍了回收钛原料回收利用的科学合理发展，现急需通过制定该国家标准，有效促进我国钛及钛合金再生资源的健康发展，在降低钛及钛合金产品制造成本的基础上，为其产品质量的稳步提升保驾护航。本标准的制定在实现回收钛原料循环利用的基础上，可有效推动我国回收钛原料的再利用水平，切实降低钛合金材料的制造成本，进一步推动钛金属加工行业的循环绿色发展。

(二) 工作过程

3.1 预研阶段

2022 年 10 月至 2023 年 4 月，由宝鸡钛业股份有限公司、宝钛集团有限公司、有色金属技术经济研究院有限责任公司对国内再生钛锭进行了现场调研，具体内容为：了解国内再生钛锭的实际情况，与企业技术人员深入讨论再生钛锭的具体要求，参观企业现场生产及检测情况，根据调研情况，由主编单位整理并编制形成了《再生钛锭》标准项目建议书、标准草案及标准立项说明等材料。

3.2 立项阶段

1) 2023 年 4 月，宝鸡钛业股份有限公司向全体委员会议提交了《再生钛锭》标准项目建议书、标准草案及标准立项说明等材料，全体委员会议论证结论为同意国家标准立项。由秘书处组织委员网上投票，投票通过后转报国标委，并挂网向社会公开征求意见。

2) 2024 年 5 月，国家标准化管理委员会下达了制定《再生钛锭》国家标准的任务，计划编号为 20240530-T-610，完成年限为 2024 年，技术归口单位为全国有色金属标准化技术委员会。

3.3 起草阶段

2024 年 4 月 26 日，由全国有色金属标准化技术委员会稀有金属分技术委员会在长沙市组织召开了《再生钛锭》修订任务落实与协调会议，主编单位对标准的主要技术要求以及编制进度进行了汇报，各相关单位对标准的技术指标进行了充分讨论，并确定了标准编制组：宝鸡钛业股份有限公司、宝钛集团有限公司、有色金属技术经济研究院有限责任公司、南京宝色股份公司、有研工程技术研究院有限公司、XXX。

3.4 补充调研阶段

为了准确、全面掌握再生钛锭生产、供货及质量控制等各方面实际情况和需求，编制组开展了全面广泛的 GB/T XXXX《再生钛锭》制定补充调研活动。调研覆盖面包括国内钛行业相关各生产单位、研究机构及相关管理机构，其中发函征集数据单位有宝鸡钛业股份有限公司、西部超导材料科技股份有限公司、新疆湘润新材料科技有限公司、西部钛业有限责任公司、陕西天成航空材料股份有限公司、宁夏中色金航钛业有限公司、宝武特冶钛金科技有限公司、中铝沈阳有色金属加工有限公司、宝鸡拓普达钛业有限公司、河南中源钛业有限公司、陕西钛普稀有金属材料有限公司、西安赛特思迈钛业有限公司、洛阳航辉新材料有限公司等共计 13 家钛加工生产单位，提供试验数据单位共计 13 家。调研内容主要包含基本信息（企业介绍、回收钛原料添加方式和添加比例，熔炼方式、生产牌号、相

应规格及供货用途）、再生钛锭化学成分实测数据及近三年产量情况等，共收集了 39 份调研资料，合计 56 组试验数据、788 个样品。经大量实物供应及数据验证统计和汇总，本标准对再生钛锭的技术要求进行了科学合理的制定。

依据所调研各单位介绍情况看，目前再生钛锭中回收钛原料添加方式有纯块状、纯屑状和块状+屑状混合等三种；回收钛原料的添加比例在 15%~100%范围；熔炼方式有电子束冷床炉熔炼（简称 EBCHM）、真空自耗电弧炉熔炼（简称 VAR）、电子束冷床炉+真空自耗电弧炉熔炼（简称 VAR+EBCHM）三类；规模化生产再生钛锭主要涉及 TA1、TA2、TA1G、TA2G、TA3G、TA4G、TA8、TA9、TA10、TA15、TC1、TC4、TC4ELI、TC11、TC18、TC21 牌号；生产规格中直径（或宽度）范围为 280mm~1600mm，长度为 500mm~8000mm；供货用途主要以用于航空机匣、飞机框梁、兵器领域、电子领域、石油化工领域、环保领域的板材、棒材、管材及锻件等产品为主。

根据各单位提供的产量情况看，近年来国内钛铸锭的产量呈稳步上升态势，其中再生钛锭产量占比处于供货和需求稳定发展阶段，2021 年再生钛锭产量为 7432.8 吨、2022 年再生钛锭产量为 11263.4 吨、2023 年再生钛锭产量为 19693.4 吨。近三年，再生钛锭的产量呈逐年增加趋势，以 2023 年中国有色金属工业协会发布的中国钛工业发展报告数据为例，2023 年我国共生产钛锭约 15.1 万吨，其中再生钛锭产量占 13%左右，近三年具体情况见表 4。

表 1 再生钛锭产量调研汇总

/	2021 年	2022 年	2023 年
再生钛锭产量，吨	7432.8	11263.4	19693.4
钛锭产量，吨	121303	136000	151000
再生钛锭占比，%	6.1	8.3	13.0

二、标准编制原则

本标准在修订时，主要结合各生产检验单位现场调研情况，完成了标准文本的制定。同时，项目组确定按以下主要原则进行标准的编制工作。

- a) 标准文本应严格按照 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》的规定格式进行编写。
- b) 标准规定内容全面覆盖我国再生钛锭的生产情况，确保技术要求的科学性和合理性。

三、标准主要内容的确定依据及主要试验和验证情况分析

(一) 确定标准主要内容的论据

1) 术语和定义

本文件为了准确界定再生钛锭的术语和定义，规定再生钛锭是指完全或部分采用回收钛原料，经熔炼生产的钛及钛合金铸锭，简称再生钛锭。

2) 牌号、状态、规格和生产方法。

本文件依据调研结果,规定了批量化利用回收钛原料熔炼生产的 TA1、TA2、TA1G、TA2G、TA3G、TA4G、TA8、TA9、TA10、TA15、TC1、TC4、TC4ELI、TC11、TC18、TC21 牌号再生钛锭。并依据相关国家标准《钛及钛合金产品状态代号》(GB/T 34647) 规定再生钛锭状态为铸态 (Z)。按不同的铸锭形状有扁方形和圆形,因此本文规定再生铸锭规格时,规定直径(或宽度)为 200mm ~1600mm , 长度为 500mm~8000mm。同时,考虑再生铸锭熔炼方法和熔次各有不同,规定生产方法为电子束冷床炉熔炼(简称 EBCHM), 不少于一次熔炼;真空自耗电弧炉熔炼(简称 VAR)、电子束冷床炉+真空自耗电弧炉熔炼(简称 VAR+EBCHM), 两者均不少于两次熔炼。

3) 类别

回收钛原料的类别和比例对于再生钛锭及后续加工材影响较大,有必要按添加回收钛原料的类别和比例对于再生钛锭进行分类,以便生产和使用的各方对于再生钛锭产品的质量风险、成本等进行准确控制和识别,依据 GB/T 20927 回收钛原料的类别有: I 类块状和 II 类屑状两类,而经调研发现,目前添加方式有纯块状、纯屑状和块状+屑状混合等三种方式;回收钛原料的添加比例通常按小于 30%、30%~70%、大于 70%进行分类。根据上述情况,本文件规定再生钛锭为 1~9 个类别,具体见表 2。

表 2 类别

类别	添加回收钛原料类别			回收钛原料添加比例 %		
	块状	屑状	块状+屑状	<30	30~70	>70
1	○			●		
2	○				●	
3	○					●
4		○		●		
5		○			●	
6		○				●
7			○	●		
8			○		●	
9			○			●
注 1:“○”表示产品类别对应的添加回收钛原料类别。						
注 2:“●”表示产品类别对应的回收钛原料添加比例。						

为了确保再生钛锭添加回收钛原料实际比例的追溯性,本文件规定当需方要求并在合同中注明时,再生钛锭应提供回收钛原料的添加比例。

4) 化学成分

本文件考虑到各生产企业实际回收钛原料情况,并结合目前使用方的实际需求,规定再生钛锭化学成分应符合 GB/T 3620.1 的规定,以便于目前国内成熟应用的钛及钛合金牌号均可按实际需要进行回收再生,资源有效利用,利于行业生态循环发展。

5) 外形尺寸及允许偏差

本文件依据调研结果及现有再生钛锭的外形尺寸及允许偏差,规定直径(或宽度)允

许偏差,具体见表 3。规定长度允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$,切斜度应不大于 30mm ,并规定再生钛锭头、尾两端棱角(扁锭侧棱)应进行倒角处理,直径(或宽度)小于 550mm 的再生钛锭倒角应为 $\geq 10\text{mm} \times 40^\circ \sim 50^\circ$,直径(或宽度)不小于 550mm 的再生钛锭倒角应为 $\geq 30\text{mm} \times 40^\circ \sim 50^\circ$ 。

表 3 直径(或宽度)允许偏差

直径(或宽度) mm	≤ 350	$>350 \sim 550$	$>550 \sim 720$	$>720 \sim 820$	$>820 \sim 1040$	$>1040 \sim 1600$
允许偏差 mm	+5 -30	+5 -40	+5 -60	+5 -70	+5 -80	+5 -100

6) β 转变温度

本文件考虑到 TA15、TC1、TC4、TC4ELI、TC11、TC18、TC21 再生钛锭在加工材的制造工艺过程中, β 转变温度是制定热加工和热处理工艺参数的主要参考数据,因此规定 TA15、TC1、TC4、TC4ELI、TC11、TC18、TC21 再生钛锭应进行 β 转变温度的测定,报实测值。

7) 超声检测

本文件为了防止再生钛锭因冒口去除不彻底,导致加工产品中产生疏松、缩孔等冶金缺点,规定再生钛锭应进行超声检测以确定缩孔距铸锭头部距离,并采用对铸锭表面无破坏的方式醒目、牢固的标识缩孔位置。

(二) 主要试验(或验证)情况分析

根据各单位调研提供材料,目前工艺成熟、规模化生产再生钛锭主要涉及 TA1、TA2、TA1G、TA2G、TA3G、TA4G、TA8、TA9、TA10、TA15、TC1、TC4、TC4ELI、TC11、TC18、TC21 等 16 个牌号,而国家标准 GB/T 3620.1-2016 所包含牌号共计 102 个,再生钛锭牌号占比 15.6%,牌号数量达到一定规模,已初步形成行业需求趋势。本标准对 16 个牌号再生钛锭的化学成分进行了全面验证,主要试验验证数据如下。

2.1 验证分析结论

2.1.1 TA1

TA1 牌号生产企业有企业 4 家、1 组数据,共 4 个样品。具体分析如下:

1) 铁元素实际控制范围:不大于 0.020%,移动极差不大于 0.009%;标准要求不大于 0.25%,符合标准要求且最大移动极差不大于 0.009%,控制良好,具体分析见图 1。

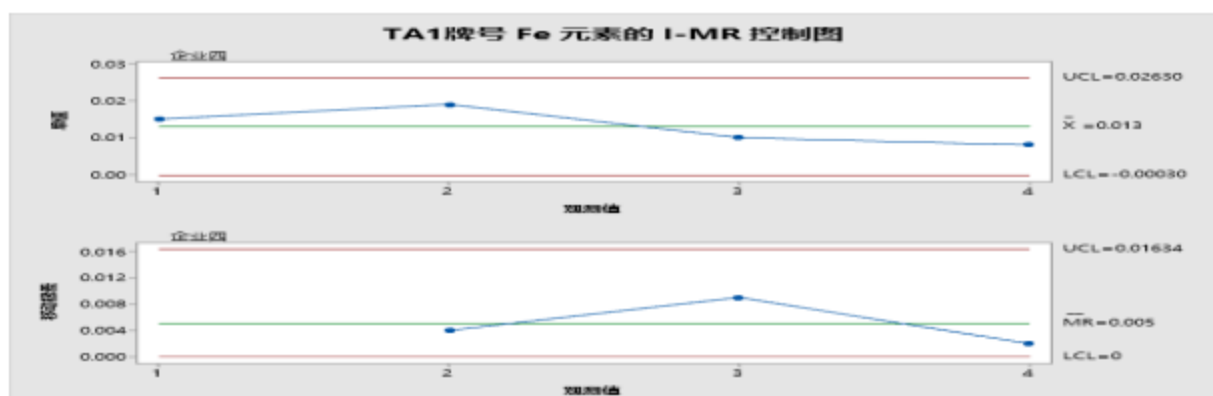


图 1TA1 牌号 Fe 元素控制情况分析

2)氧元素实际控制范围不大于 0.070%,移动极差不大于 0.036%;标准要求不大于 0.20%,符合标准要求且移动极差不大于 0.036%,控制良好,具体分析见图 2。

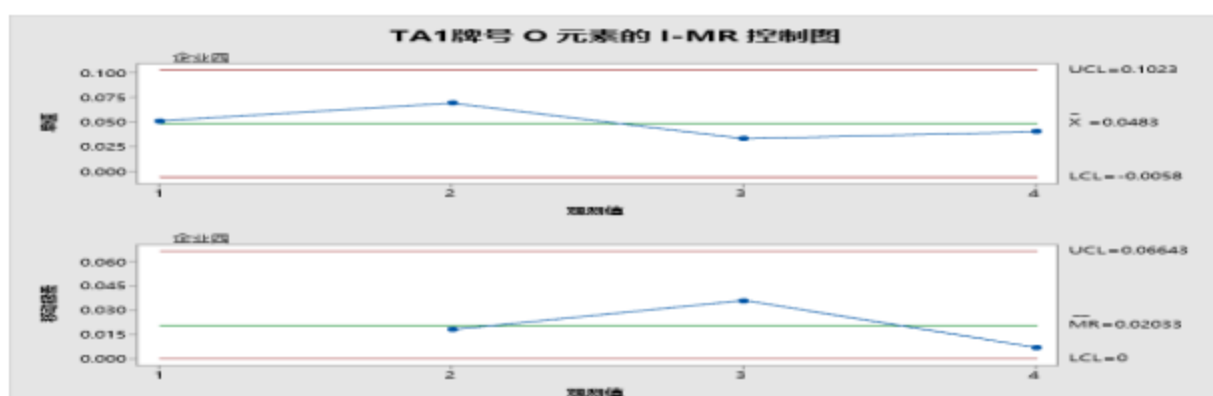


图 2TA1 牌号 O 元素控制情况分析

2.1.2 TA2

TA2 牌号生产企业共有 3 家、3 组数据,其中企业四 50 个、企业九 2 个、企业十三 15 个,合计 67 个样品。具体分析如下:

1) 铁元素实际控制范围:较低值企业四不大于 0.04%,移动极差不大于 0.020%;较高值企业九不大于 0.16%,移动极差不大于 0.005%;标准要求不大于 0.30%,均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.020%,其中企业四、企业十三控制较良好,具体分析见图 3。

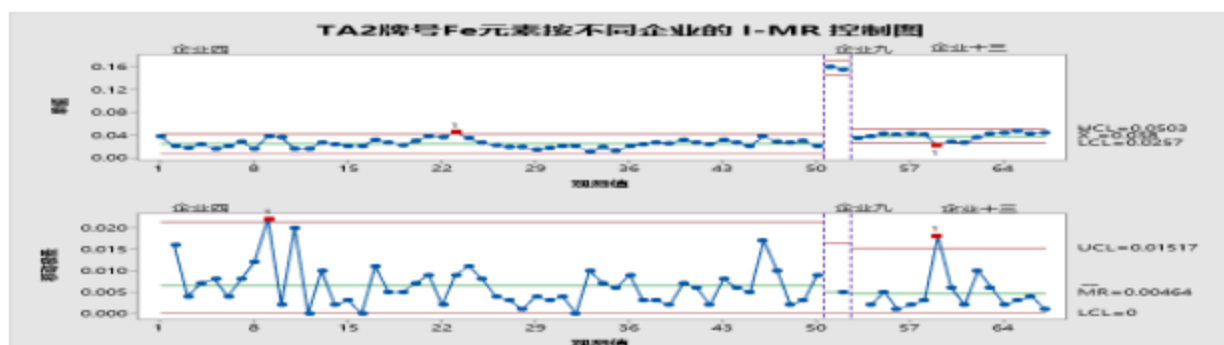


图 3TA2 牌号 Fe 元素控制情况分析

2) 氧元素实际控制范围:较低值企业九不大于 0.16%,移动极差不大于 0.007%;较高值企业十三不大于 0.21%,移动极差不大于 0.025%;标准要求不大于 0.25%,均符合标

准要求且最大移动极差不大于 0.05%，企业四相对控制较好，具体分析见图 4。

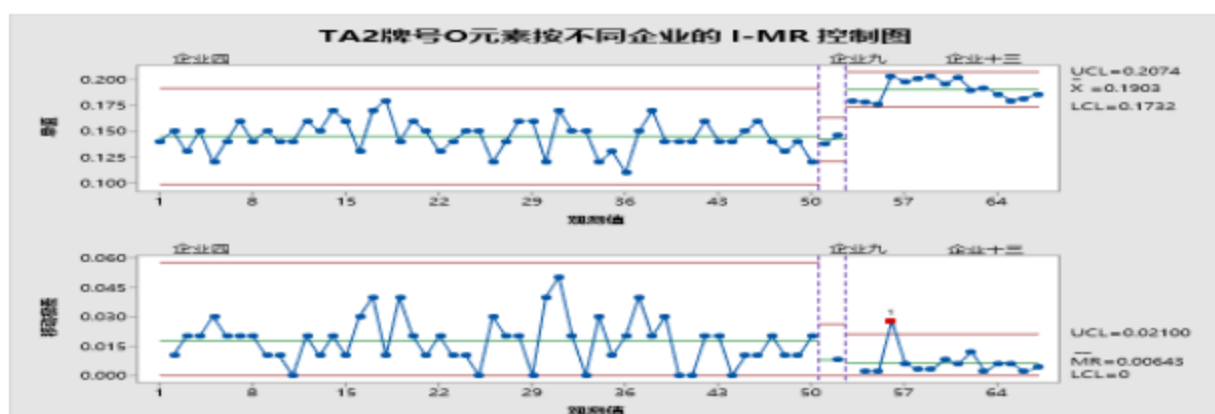


图 4TA2 牌号 0 元素控制情况分析

2.1.3 TA1G

TA1G 牌号生产企业共有 8 家、8 组数据，其中企业二 2 个、企业四 2 个、企业五 15 个，企业六 43 个，企业八 5 个，企业九 2 个，企业十 10 个，企业十一 5 个，合计 84 个样品。具体分析如下：

1) 铁元素实际控制范围：较低值企业五不大于 0.10%，移动极差不大于 0.064%；较高值企业二不大于 0.16%，移动极差不大于 0.020%；标准要求不大于 0.20%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.064%，其中企业六、企业十、企业十一控制良好，具体分析见图 5。

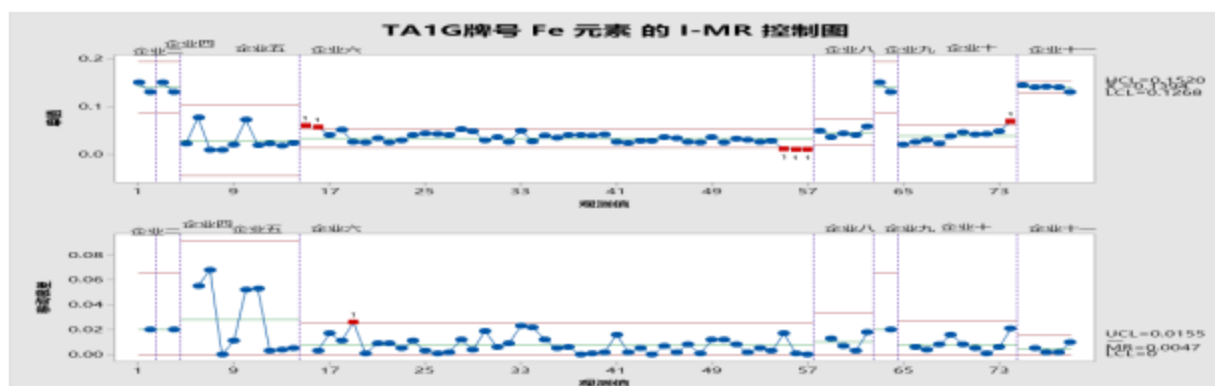


图 5TA1G 牌号 Fe 元素控制情况分析

2) 氧元素实际控制范围：较低值企业五不大于 0.061%，移动极差不大于 0.055%；较高值企业九不大于 0.13%，移动极差不大于 0.01%；标准要求不大于 0.20%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.099%，企业五、企业六和企业八控制较好，具体分析见图 6。

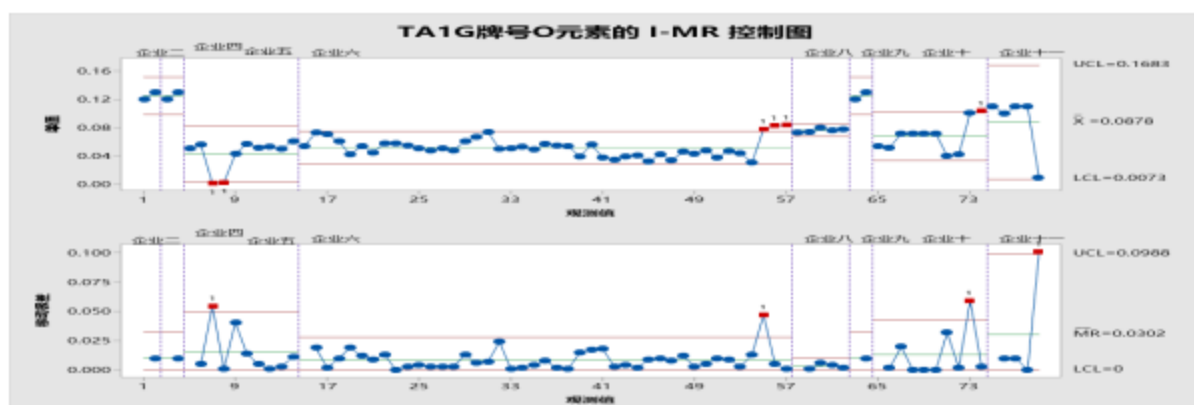


图 6TA1G 牌号 0 元素控制情况分析

2.1.4 TA2G

TA2G 牌号生产企业共有 9 家、9 组数据，其中企业一 7 个、企业三 19 个、企业五 24 个、企业六 27 个、企业七 10 个、企业八 5 个、企业十 42 个、企业十一 5 个、企业十二 3 个，合计 142 个样品。具体分析如下：

1) 铁元素实际控制范围：较高为企业十一不大于 0.18%，移动极差不大于 0.045%；较低为企业一不大于 0.05%，移动极差不大于 0.022%；标准要求不大于 0.30%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.09%，其中企业一、三、五、六控制较良好，具体分析见图 7。

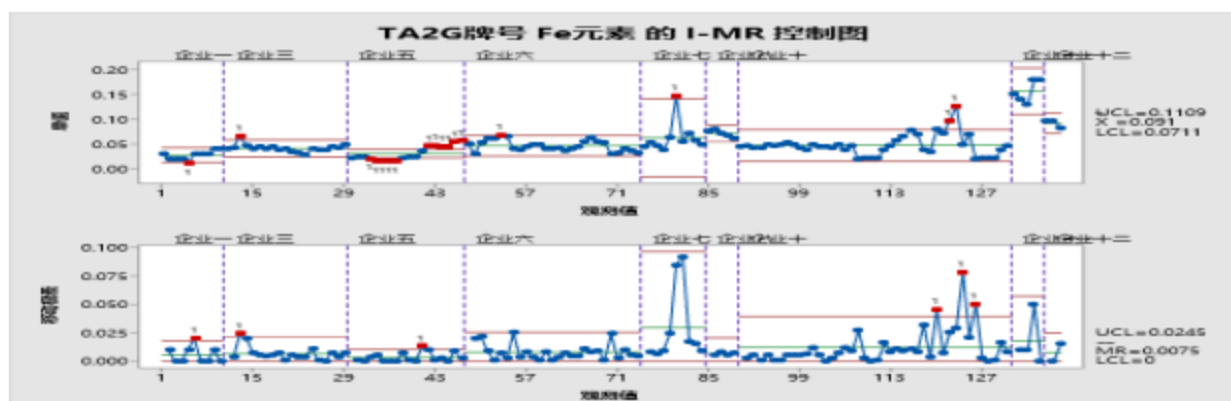


图 7TA2G 牌号 Fe 元素控制情况分析

2) 氧元素实际控制范围：较低值企业六不大于 0.12%，移动极差不大于 0.046%；较高值企业十不大于 0.17%，移动极差不大于 0.050%；标准要求不大于 0.25%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.050%，企业一和企业七控制较好，具体分析见图 8。

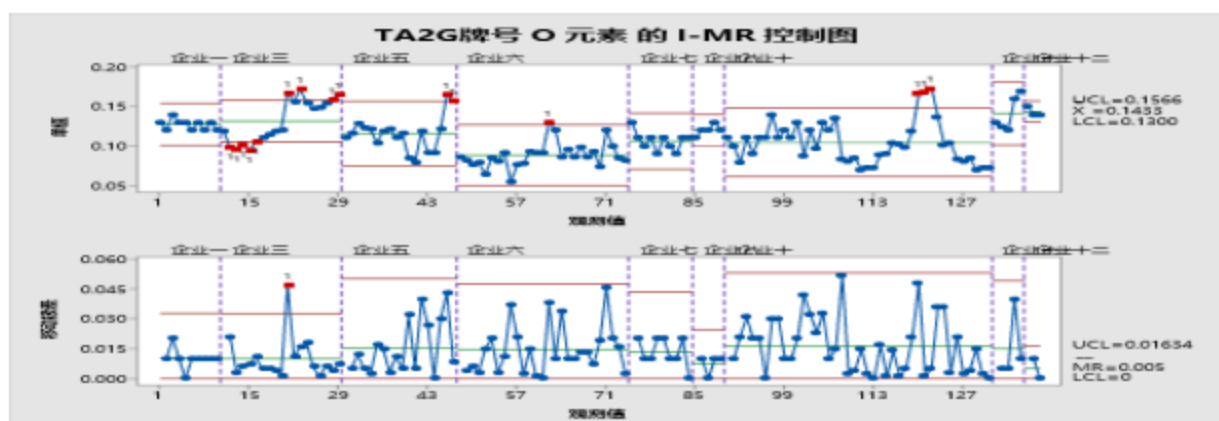


图 8TA2G 牌号 0 元素控制情况分析

2.1.5 TA3G

TA3G 牌号生产单位有企业一、1 组数据，共计 5 个样品。具体分析如下：

1) 铁元素实际控制范围：不大于 0.21%，移动极差不大于 0.022%；标准要求不大于 0.30%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.022%，控制良好，具体分析见图 9。

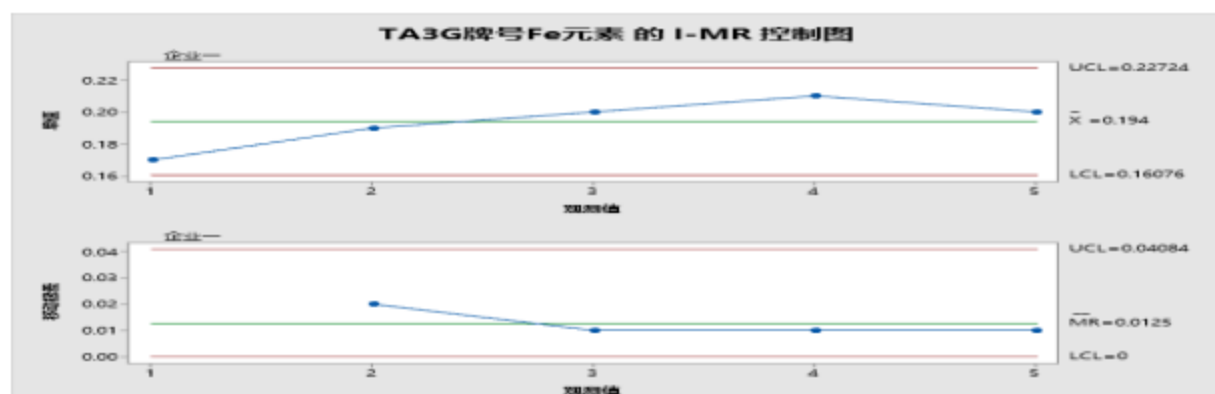


图 9TA3G 牌号 Fe 元素控制情况分析

2) 氧元素实际控制范围：不大于 0.22%，移动极差不大于 0.010%；标准要求不大于 0.35%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.010%，控制良好，具体分析见图 10。

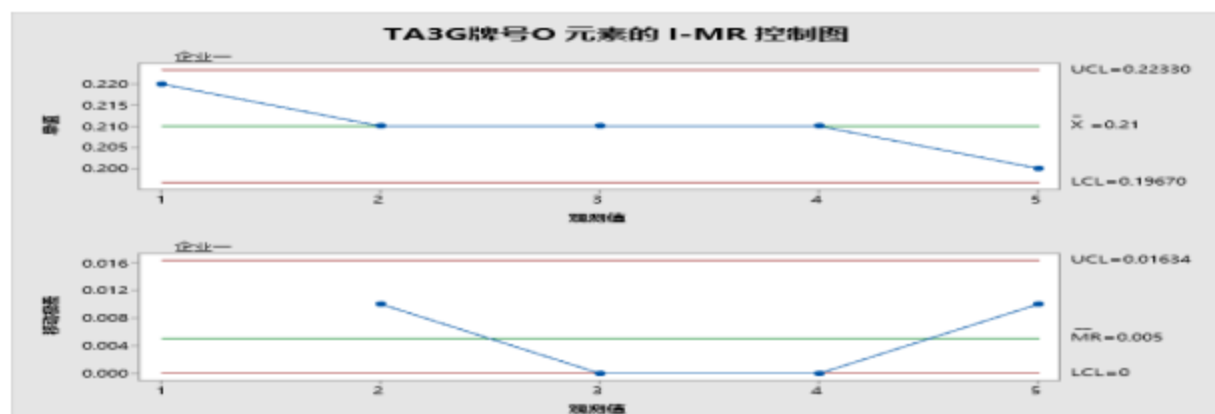


图 10 TA3G 牌号 0 元素控制情况分析

2.1.6 TA4G

TA4G 牌号生产单位有 2 家、2 组数据，其中企业五 6 个、企业十 6 个，合计 12 个样品。具体分析如下：

1) 铁元素实际控制范围：较高值企业五不大于 0.34%，移动极差不大于 0.018%；较低为企业十不大于 0.19%，移动极差不大于 0.043%；标准要求不大于 0.50%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.043%，其中企业五控制较良好，具体分析见图 11。

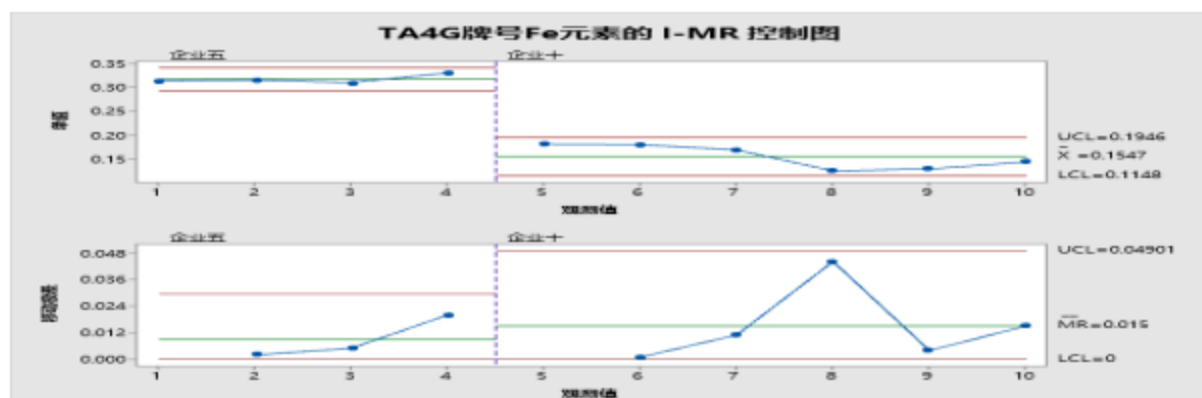


图 11 TA4G 牌号 Fe 元素控制情况分析

2) 氧元素实际控制范围：较低值企业十不大于 0.29%，移动极差不大于 0.061%；较高值企业五不大于 0.31%，移动极差不大于 0.022%；标准要求不大于 0.40%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.061%，企业五控制较好，具体分析见图 12。

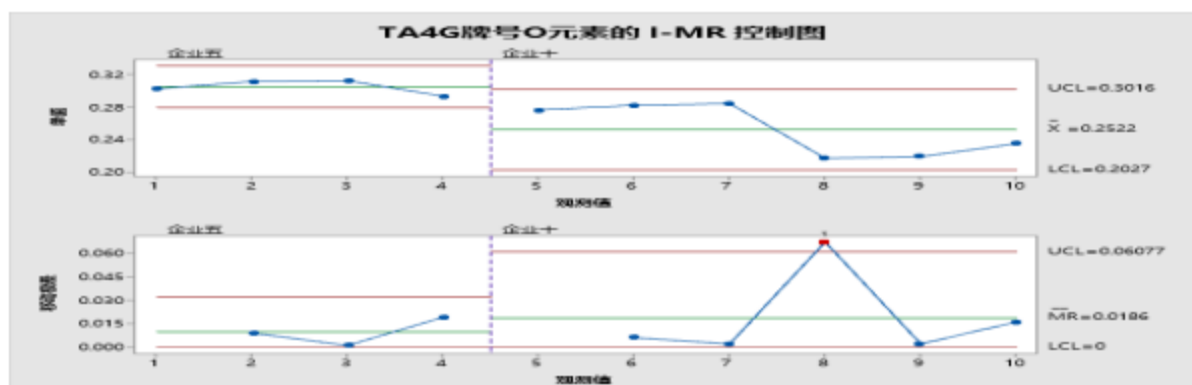


图 12 TA4G 牌号 O 元素控制情况分析

2.1.7 TA8

TA8 牌号生产单位有企业四 1 家、1 组数据，共计 12 个样品。具体分析如下：

1) 铁元素实际控制范围：不大于 0.043%，移动极差不大于 0.016%；标准要求不大于 0.30%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.016%，控制较良好，具体分析见图 13。

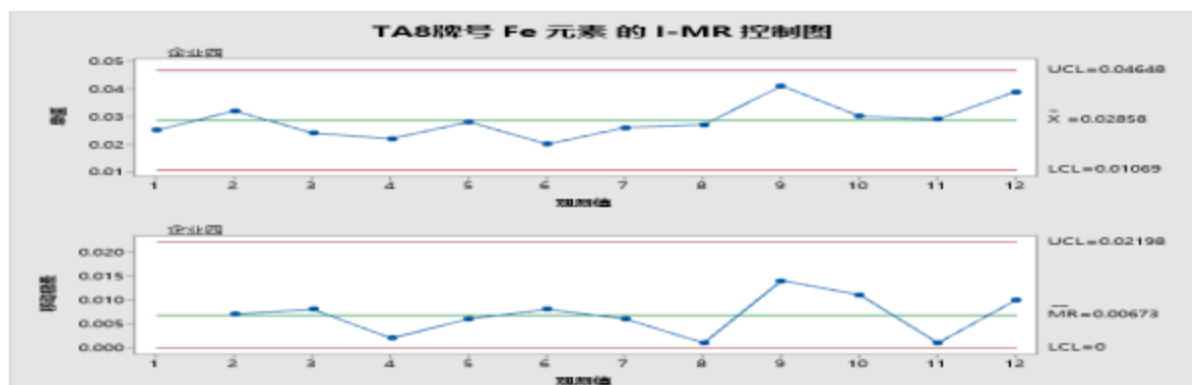


图 13 TA8 牌号 Fe 元素控制情况分析

2)氧元素实际控制范围:不大于0.17%,移动极差不大于0.03%;标准要求不大于0.25%,均符合标准要求且最大移动极差不大于0.03%,控制较好,具体分析见图14。

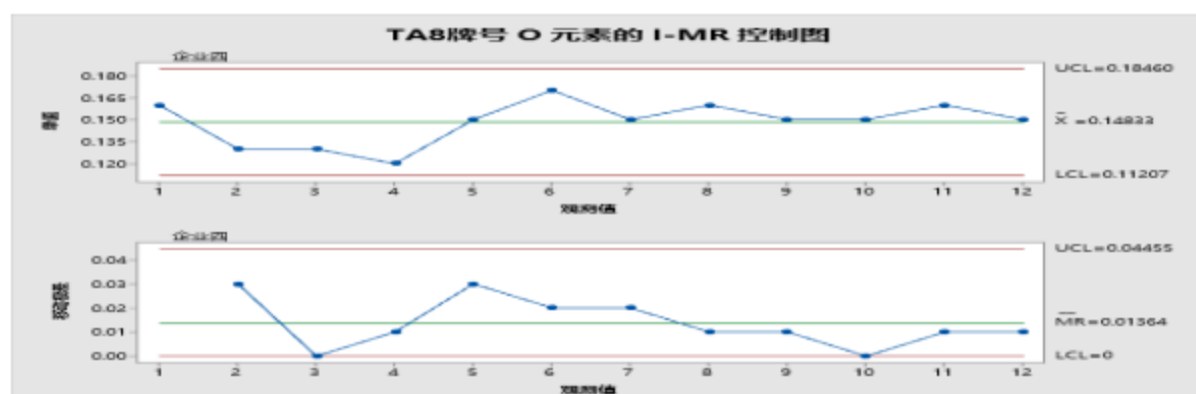


图14 TA8 牌号 O 元素控制情况分析

3) 钯元素实际控制范围:实际0.045%~0.065%,移动极差不大于0.013%;标准要求0.04%~0.08%,均符合标准要求且最大移动极差不大于0.013%,控制较好,具体分析见图15。

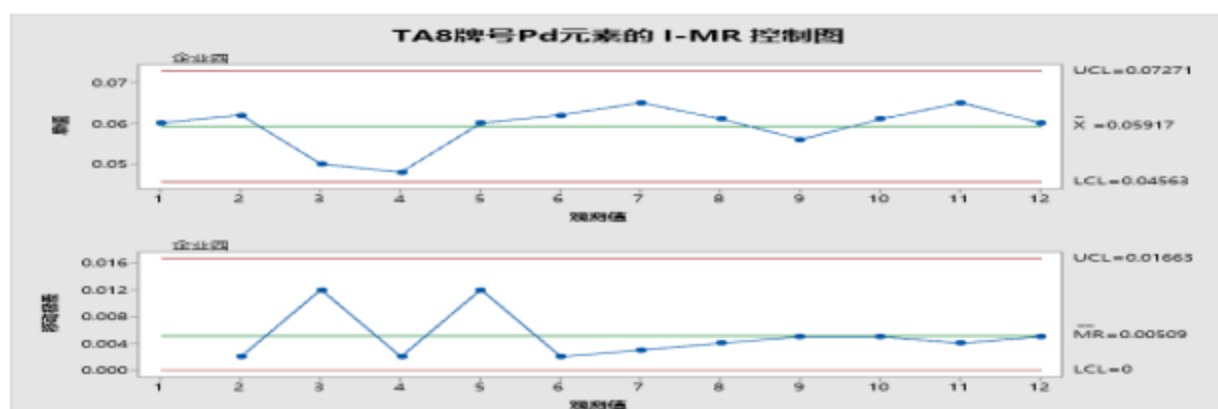


图15 TA8 牌号 Pd 元素控制情况分析

2.1.8 TA9

TA9 牌号生产单位有2家、2组数据,其中企业一3个、企业四26个,合计29个样品。具体分析如下:

1) 铁元素实际控制范围:较高值企业一不大于0.11%,移动极差不大于0.012%;较低为企业四不大于0.030%,移动极差不大于0.013%;标准要求不大于0.30%,均符合标准要求且最大移动极差不大于0.013%,均控制较好,具体分析见图16。

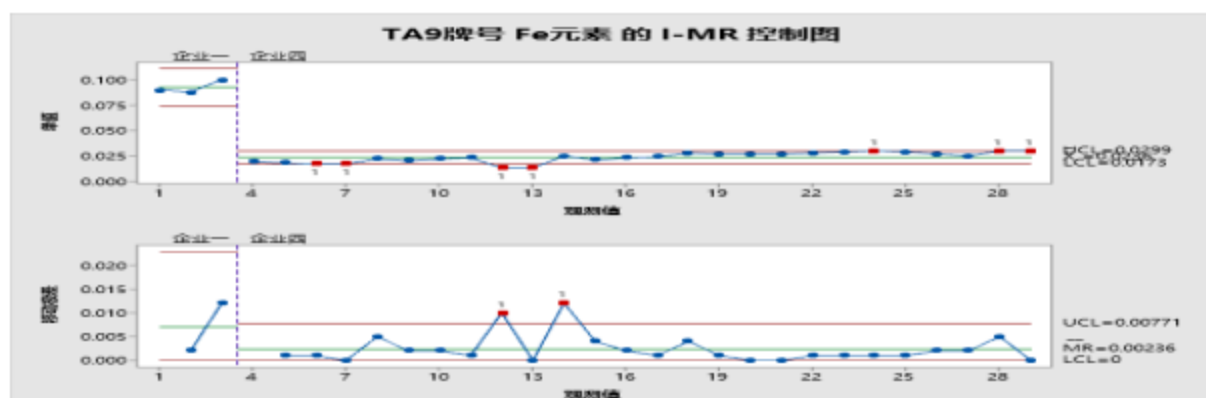


图 16 TA9 牌号 Fe 元素控制情况分析

2) 氧元素实际控制范围：较低值企业一不大于 0.14%，移动极差不大于 0.020%；较高值企业四不大于 0.17%，移动极差不大于 0.031%；标准要求不大于 0.25%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.031%，均控制较好，具体分析见图 17。

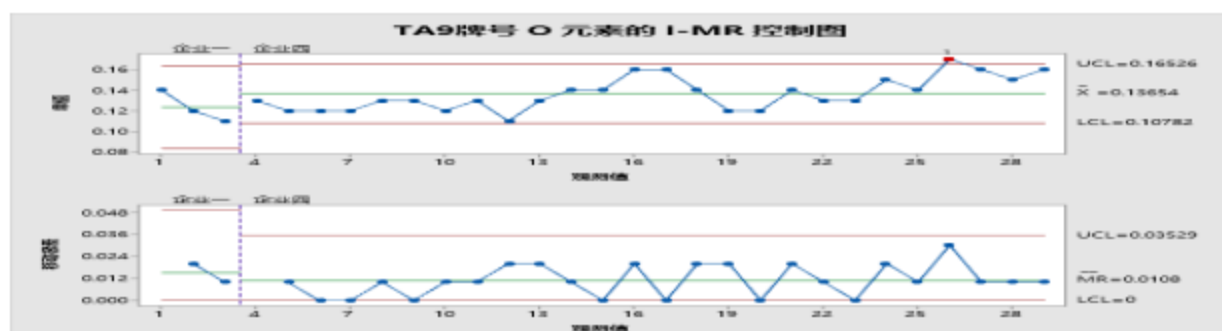


图 17 TA9 牌号 O 元素控制情况分析

3) 钯元素实际控制范围：较低值企业一实际 0.13%~0.14%，移动极差不大于 0.013%；较高值企业四实际 0.13%~0.162%，移动极差不大于 0.030%；标准要求 0.12%~0.25%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.030%，其中企业一控制较好，具体分析见图 18。

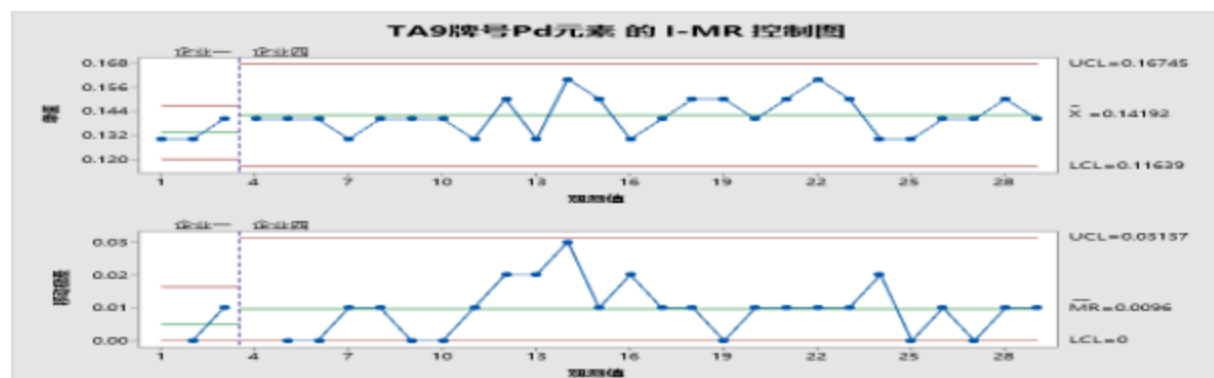


图 18 TA9 牌号 Pd 元素控制情况分析

2.1.9 TA10

TA10 牌号生产单位有 5 家、5 组数据，其中企业一 10 个、企业三 20 个、企业四 24 个、企业八 5 个、企业十一 6 个，合计 65 个样品。具体分析如下：

1) 铁元素实际控制范围：较高值企业十一不大于 0.12%，移动极差不大于 0.039%；较低值企业四不大于 0.035%，移动极差不大于 0.018%；标准要求不大于 0.30%，均符合标

标准要求且最大移动极差不大于 0.039%，其中企业一和企业四控制较好，具体分析见图 19。

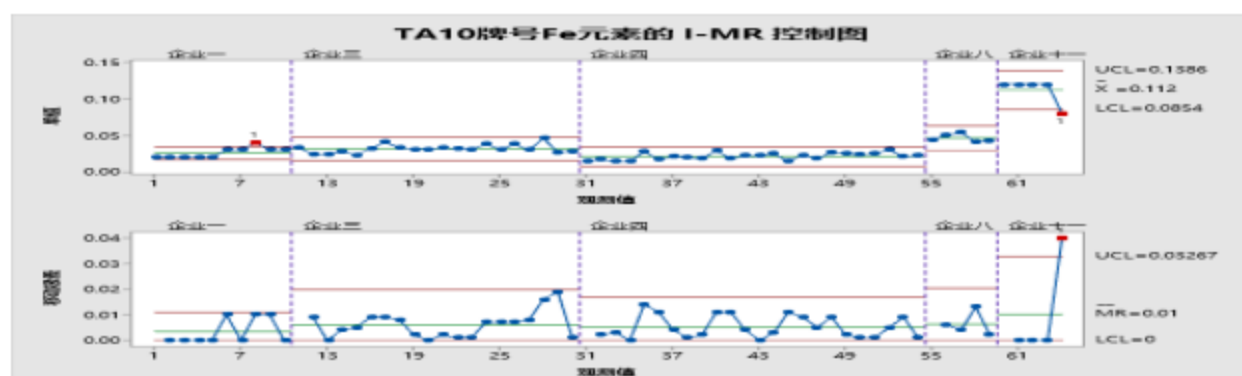


图 19 TA10 牌号 Fe 元素控制情况分析

2) 氧元素实际控制范围：较低值企业一不大于 0.14%，移动极差不大于 0.10%；较高值企业三不大于 0.17%，移动极差不大于 0.050%；标准要求不大于 0.25%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.10%，企业四和企业八均控制较好，具体分析见图 20。

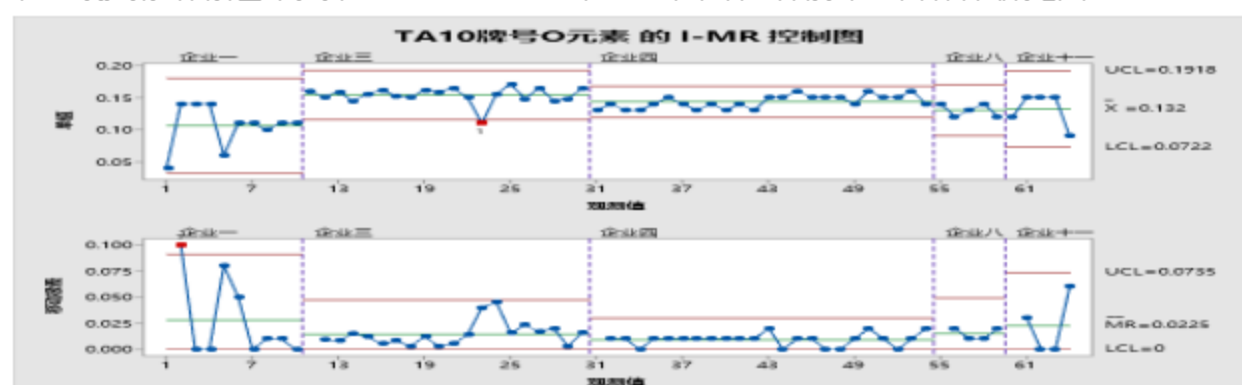


图 20 TA10 牌号 O 元素控制情况分析

3) 钼元素实际控制范围：较低值企业八实际 0.24%~0.25%，移动极差不大于 0.010%；较高值企业十一实际 0.31%~0.36%，移动极差不大于 0.042%；标准要求 0.2%~0.4%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.042%，其中企业一、企业三控制较好，具体分析见图 21。

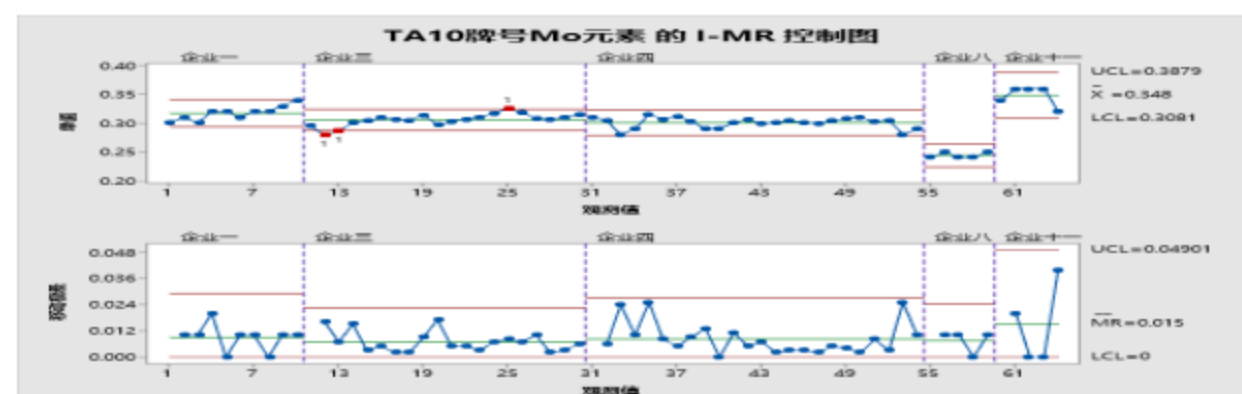


图 21 TA10 牌号 Mo 元素控制情况分析

4) 镍元素实际控制范围：较低值企业八实际 0.62%~0.70%，移动极差不大于 0.05%；较高值企业一实际 0.7%~0.8%，移动极差不大于 0.06%；标准要求 0.6%~0.9%，均符合标

准要求且最大移动极差不大于 0.06%，其中企业一、企业三控制较好，具体分析见图 22。

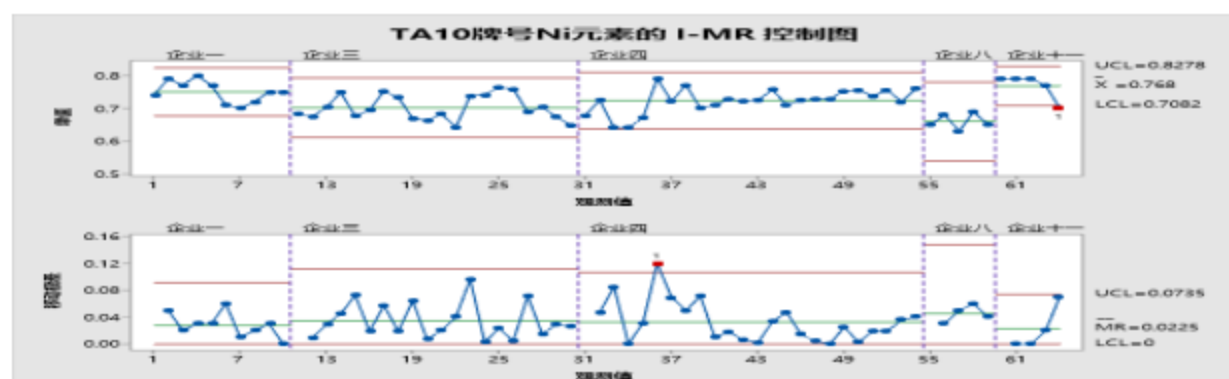


图 22 TA10 牌号 Ni 元素控制情况分析

2.1.10 TA15

TA15 牌号生产单位共有 5 家、5 组数据，其中企业一 11 个、企业二 10 个、企业五 18 个、企业九 10 个、企业十一 2 个，合计 51 个样品。具体分析如下：

1) 铁元素实际控制范围：较高值企业五不大于 0.070%，移动极差不大于 0.039%；较低值企业九不大于 0.030%，移动极差不大于 0.022%；标准要求不大于 0.25%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.039%，其中企业一和企业九控制较好，具体分析见图 23。

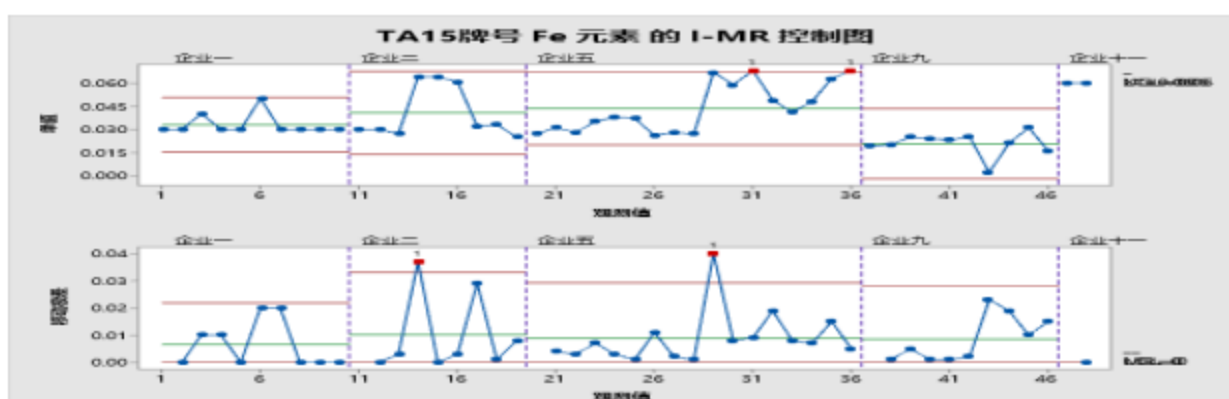


图 23 TA15 牌号 Fe 元素控制情况分析

2) 氧元素实际控制范围：较低值企业一不大于 0.135%，移动极差不大于 0.021%；较高值企业九不大于 0.145%，移动极差不大于 0.031%；标准要求不大于 0.15%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.031%，企业一和企业二均控制较好，具体分析见图 24。

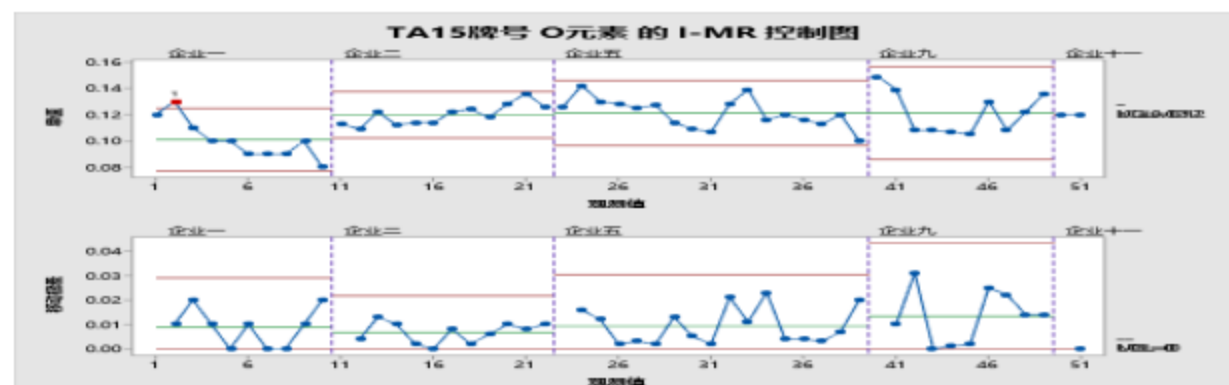


图 24 TA15 牌号 O 元素控制情况分析

3) 铝元素实际控制范围：较低值企业九实际 5.6%~6.7%，移动极差不大于 0.70%；较高值企业五实际 6.3%~7.0%，移动极差不大于 0.59%；标准要求 5.5%~7.1%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.70%，其中企业二控制较好，具体分析见图 25。

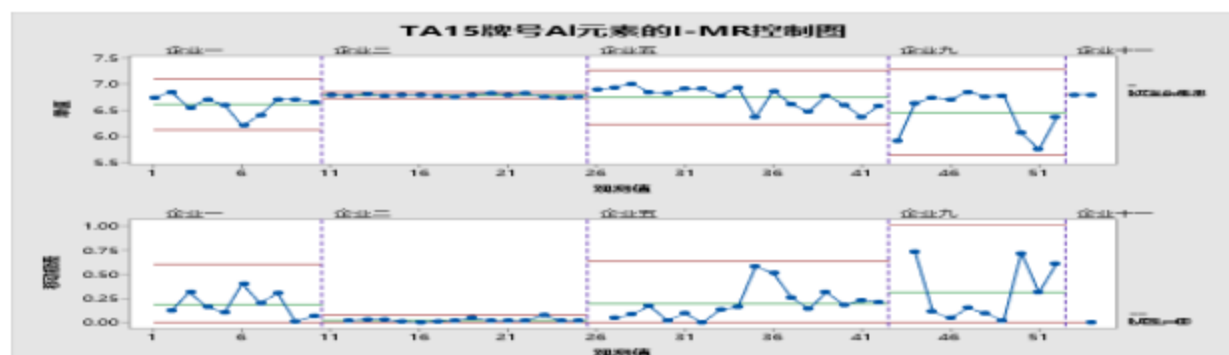


图 25 TA15 牌号 Al 元素控制情况分析

4) 钼元素实际控制范围：较低值企业一实际 1.3%~1.7%，移动极差不大于 0.25%；较高值企业五实际 1.5%~1.8%，移动极差不大于 0.26%；标准要求 0.5%~2.0%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.48%，其中企业一、企业二控制较好，具体分析见图 26。

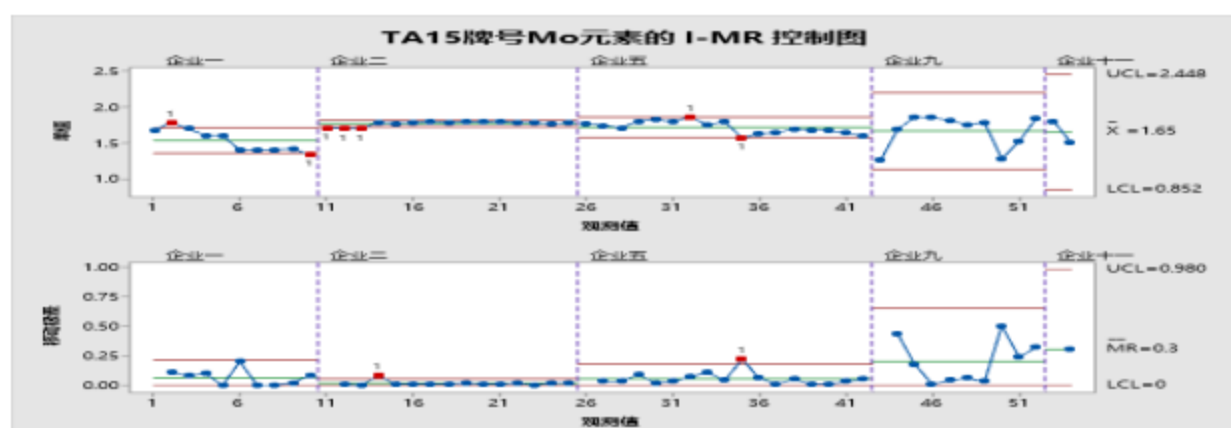


图 26 TA15 牌号 Mo 元素控制情况分析

5) 钒元素实际控制范围：较低值企业一实际 1.4%~2.5%，移动极差不大于 0.5%；较高值企业五实际 2.2%~2.3%，移动极差不大于 0.10%；标准要求 0.8%~2.5%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.5%，其中企业二、企业五控制较好，具体分析见图 27。

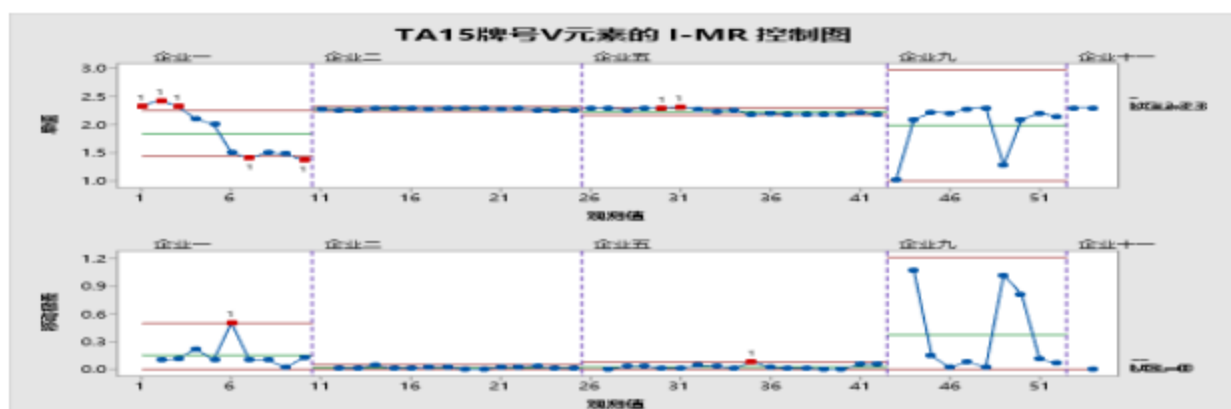


图 27 TA15 牌号 V 元素控制情况分析

6) 锆元素实际控制范围：较低值企业九实际 1.2%~2.4%，移动极差不大于 1.1%；较高值企业一实际 2.0%~2.3%，移动极差不大于 0.3%；标准要求 1.5%~2.5%，企业九一个样品不符合标准要求，其余均符合标准要求且最大移动极差不大于 1.1%，其中企业一、企业二、企业五控制较好，具体分析见图 28。

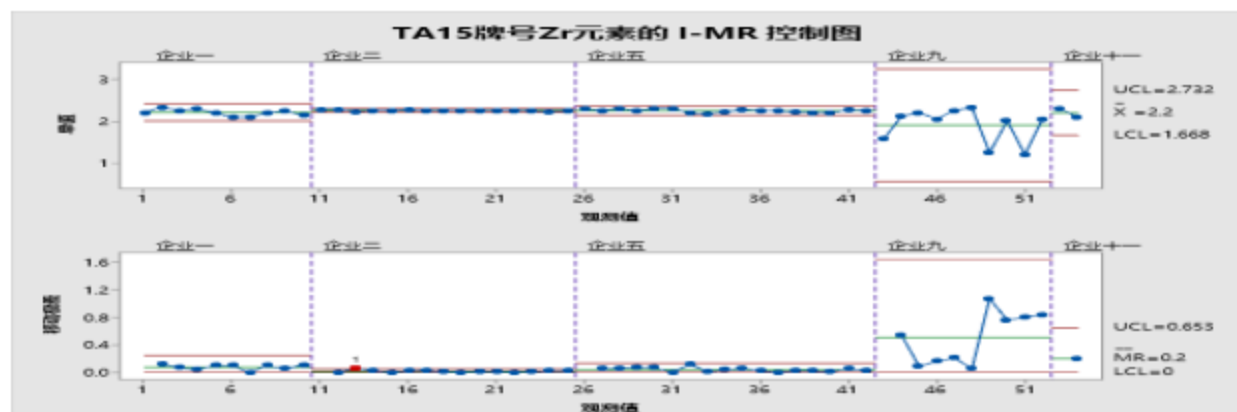


图 28 TA15 牌号 Zr 元素控制情况分析

2.1.11 TC1

TC1 牌号生产单位有企业十一 1 家、1 组数据，共 4 个样品。具体分析如下：

1) 铁元素实际控制范围：不大于 0.05%，移动极差不大于 0.02%；标准要求不大于 0.30%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.02%，控制良好，具体分析见图 29。

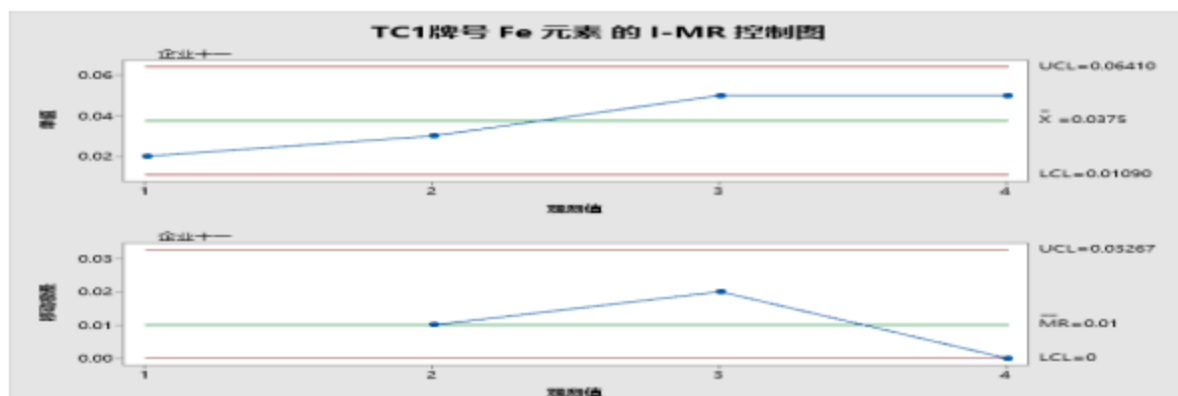


图 29 TC1 牌号 Fe 元素控制情况分析

2) 氧元素实际控制范围：不大于 0.15%，移动极差不大于 0.040%；标准要求不大于 0.15%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.040%，具体分析见图 30。

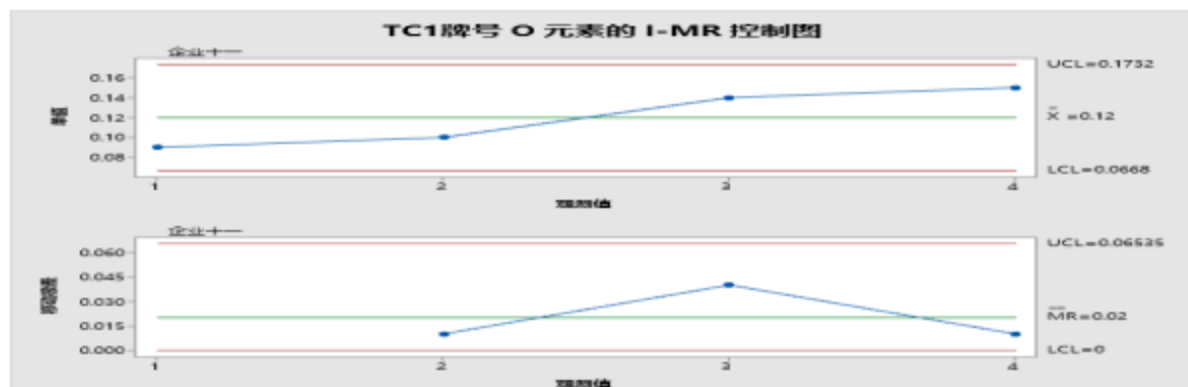


图 30 TC1 牌号 O 元素控制情况分析

3) 铝元素实际控制范围：实际 1.7%~1.9%，移动极差不大于 0.15%；标准要求 1.0%~2.5%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.15%，控制较好，具体分析见图 31。

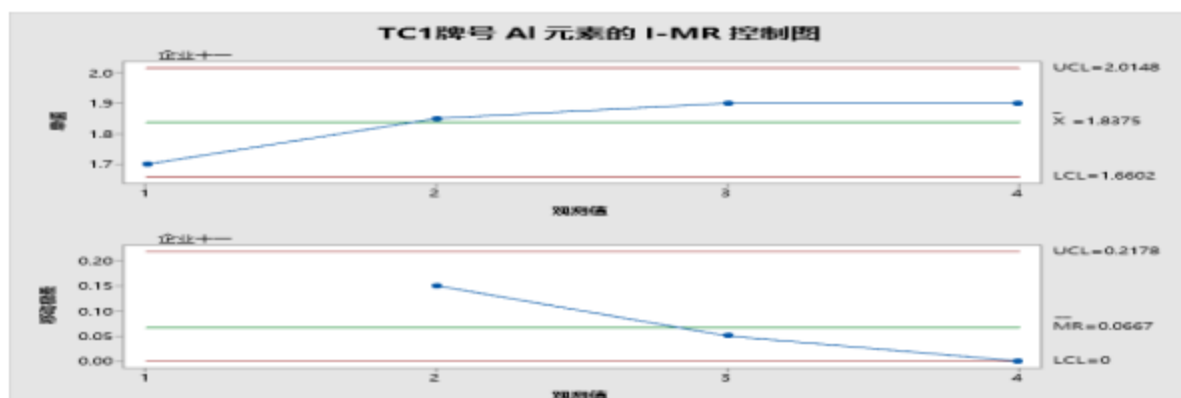


图 31 TC1 牌号 Al 元素控制情况分析

4) 锰元素实际控制范围：实际 1.5%~1.8%，移动极差不大于 0.15%；标准要求 0.7%~2.0%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.15%，控制较好，具体分析见图 32。

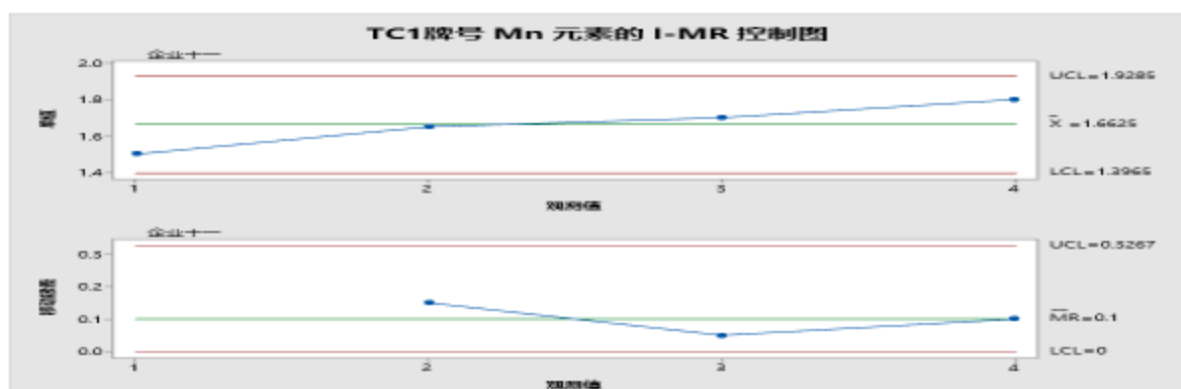


图 32 TC1 牌号 Mn 元素控制情况分析

2.1.12 TC4

TC4 牌号生产单位有 10 家、10 组数据，其中企业一 21 个、企业二 35 个、企业三 10 个、企业四 12 个、企业五 45 个、企业六 25 个、企业九 10 个，企业十一 5 个，企业十二 21 个、企业十三 15 个，共 199 个样品。具体分析如下：

1) 铁元素实际控制范围：较高值企业六不大于 0.25%，移动极差不大于 0.06%；较低值企业十三不大于 0.14%，移动极差不大于 0.03%；标准要求不大于 0.30%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.13%，其中企业十三控制良好，具体分析见图 33。

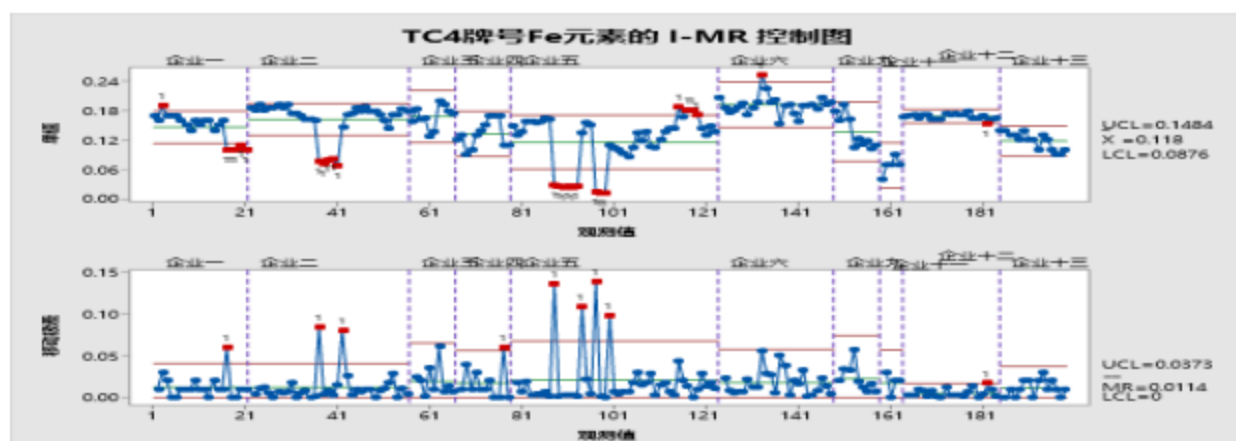


图 33 C4 牌号 Fe 元素控制情况分析

2) 氧元素实际控制范围：较高值企业二不大于 0.20%，移动极差不大于 0.02%；较低值企业六不大于 0.16%，移动极差不大于 0.09%；标准要求不大于 0.30%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.09%，其中企业二、企业十二、企业十三控制良好，具体分析见图 34。

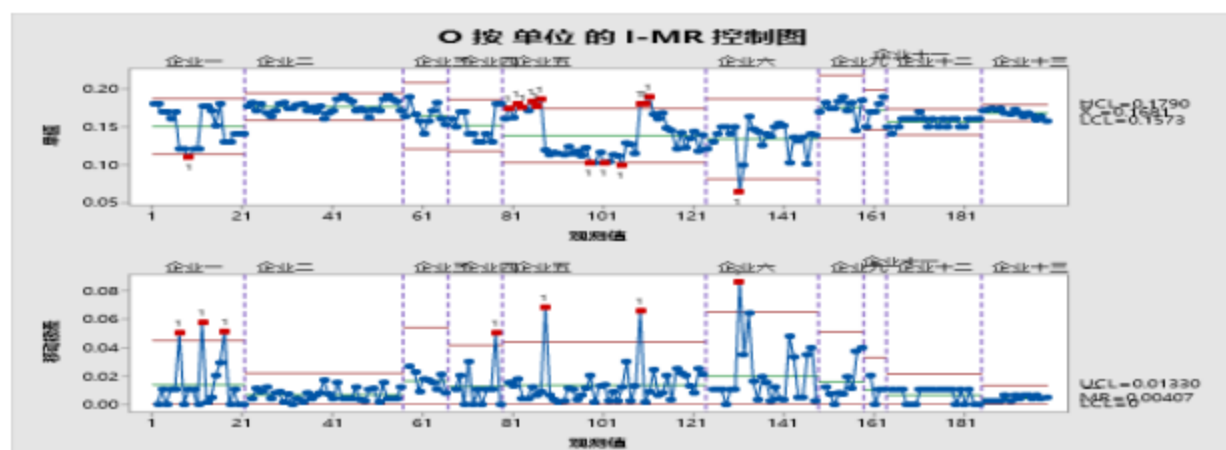


图 34 TC4 牌号 O 元素控制情况分析

3) 铝元素实际控制范围：较高值企业二实际范围 6.5%~6.75%，移动极差不大于 0.10%；较低值企业九实际范围 5.7%~6.4%，移动极差不大于 0.45%；标准要求 5.50%~6.75%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.45%，其中企业二、企业三、企业四、企业五控制良好，具体分析见图 35。

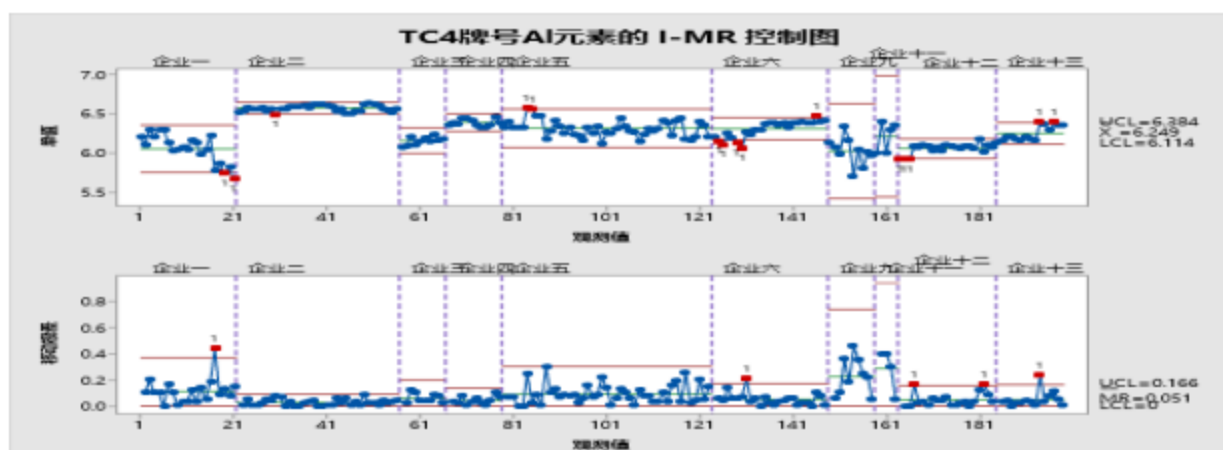


图 35 TC4 牌号 Al 元素控制情况分析

4) 钒元素实际控制范围：较高值企业二实际范围 4.2%~4.4%，移动极差不大于 0.10%；较低值企业九实际范围 3.6%~4.4%，移动极差不大于 0.50%；标准要求 5.50%~6.75%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.50%，其中企业一、企业二、企业四、企业五、企业六、企业十二、企业十三均控制良好，具体分析见图 36。

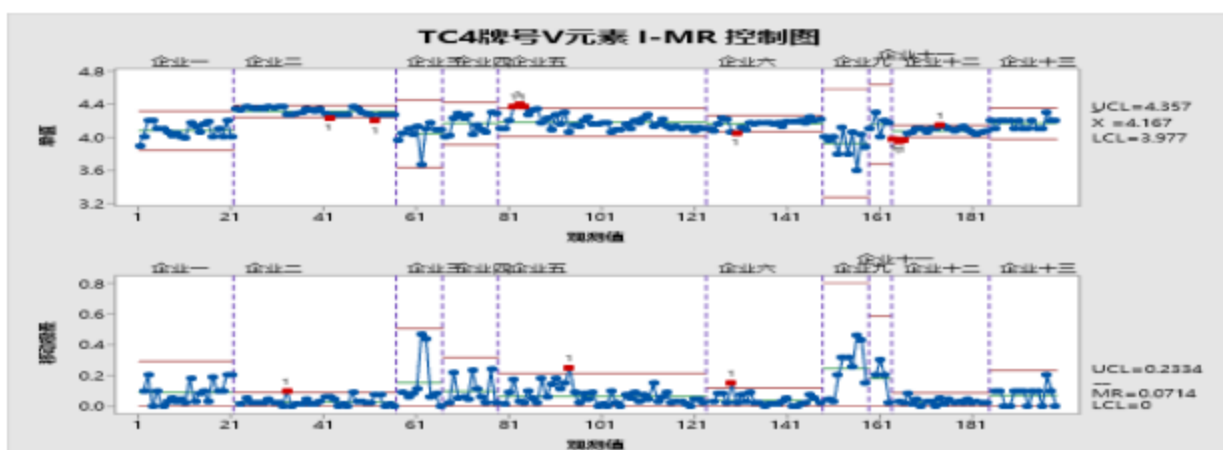


图 36 TC4 牌号 V 元素控制情况分析

2.1.13 TC4ELI

TC4ELI 牌号生产单位有 2 家、2 组数据，其中企业二 30 个、企业五 15 个，共 45 个样品。具体分析如下：

1) 铁元素实际控制范围：较高值企业五不大于 0.03%，移动极差不大于 0.012%；较低值企业二不大于 0.028%，移动极差不大于 0.017%；标准要求不大于 0.30%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.017%，均控制良好，具体分析见图 37。

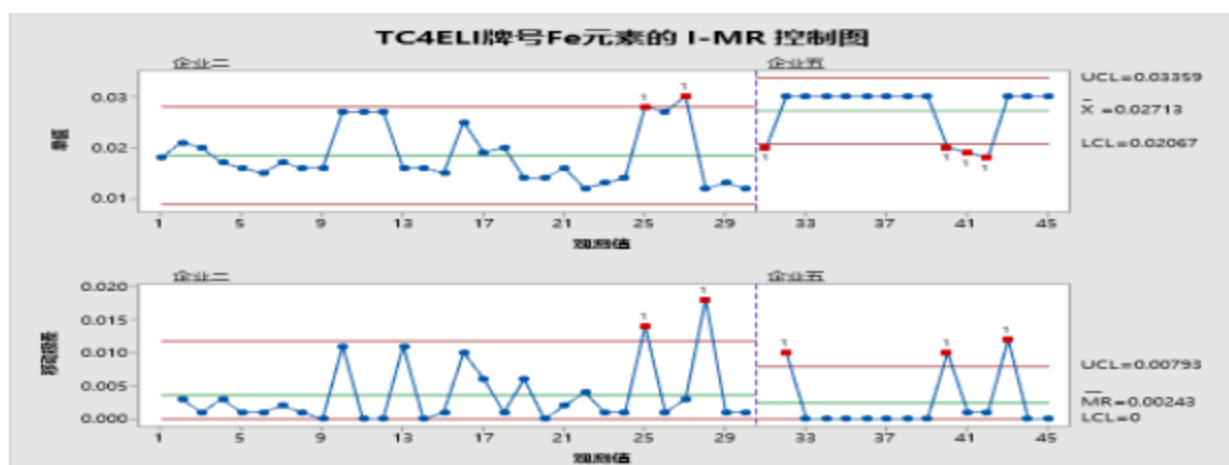


图 37 TC4ELI 牌号 Fe 元素控制情况分析

2) 氧元素实际控制范围: 较高值企业五不大于 0.121%, 移动极差不大于 0.009%; 较低值企业六不大于 0.11%, 移动极差不大于 0.013%; 标准要求不大于 0.13%, 均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.012%, 均控制良好, 具体分析见图 38。

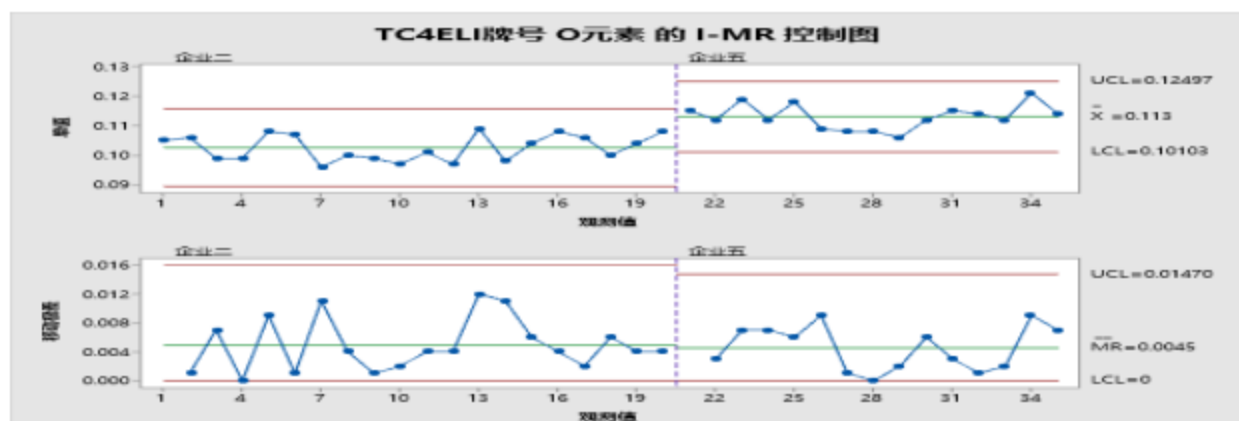


图 38 TC4ELI 牌号 O 元素控制情况分析

3) 铝元素实际控制范围: 较高值企业二实际范围 6.27%~6.42%, 移动极差不大于 0.15%; 较低值企业五实际范围 6.17%~6.32%, 移动极差不大于 0.098%; 标准要求 5.5%~6.5%, 均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.15%, 均控制良好, 具体分析见图 39。

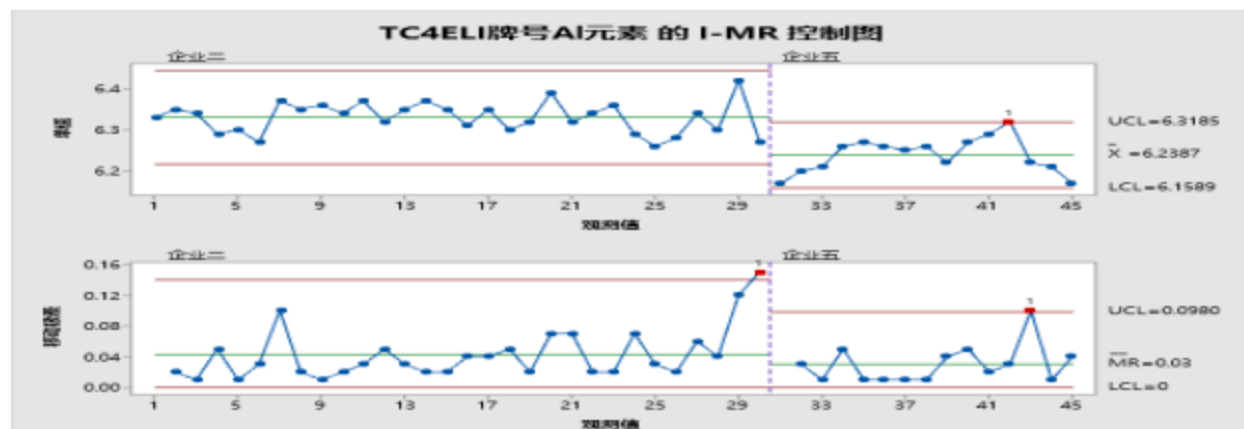


图 39 TC4ELI 牌号 Al 元素控制情况分析

4) 钒元素实际控制范围: 较高值企业二实际范围 4.15%~4.3%, 移动极差不大于 0.08%;

较低值企业九实际范围 4.10%~4.27%，移动极差不大于 0.11%；标准要求 3.5%~4.5%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.11%，其中企业二控制良好，具体分析见图 40。

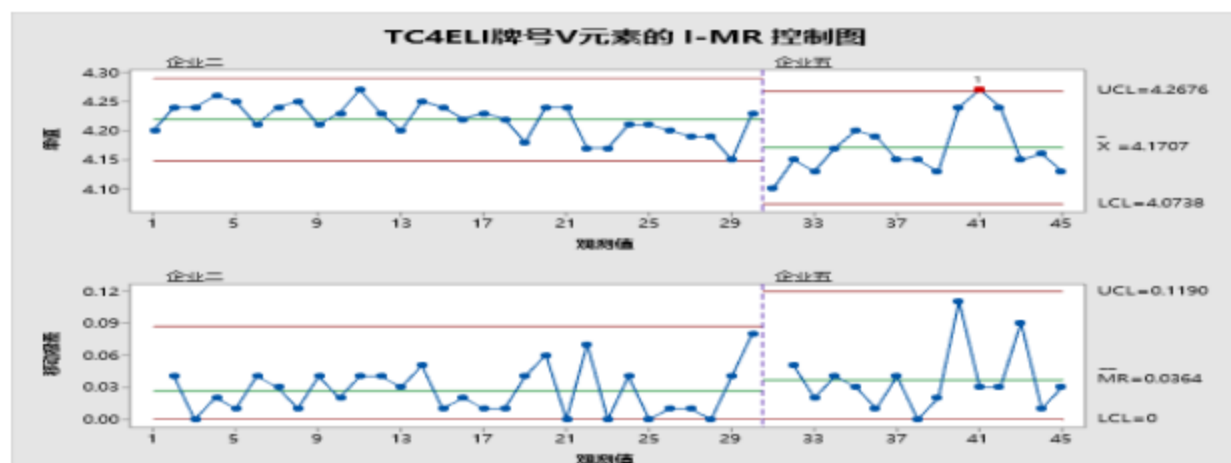


图 40 TC4ELI 牌号 V 元素控制情况分析

2.1.14 TC11

TC11 牌号生产单位共有 4 家、4 组数据，其中企业一 5 个、企业四 12 个、企业五 12 个、企业九 10 个，合计 39 个样品。具体分析如下：

1) 铁元素实际控制范围：较高值企业四不大于 0.20%，移动极差不大于 0.038%；较低值企业一不大于 0.05%，移动极差不大于 0.012%；标准要求不大于 0.25%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.038%，其中企业一控制较好，具体分析见图 41。

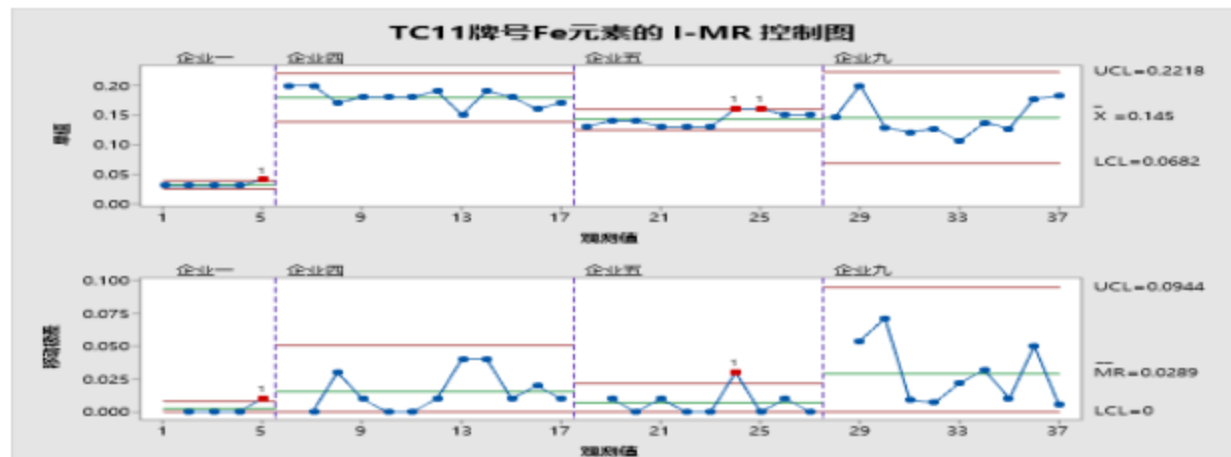


图 41 TC11 牌号 Fe 元素控制情况分析

2) 氧元素实际控制范围：较低值企业九不大于 0.135%，移动极差不大于 0.010%；较高值企业五不大于 0.14%，移动极差不大于 0.008%；标准要求不大于 0.15%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.018%，企业五和企业九均控制较好，具体分析见图 42。

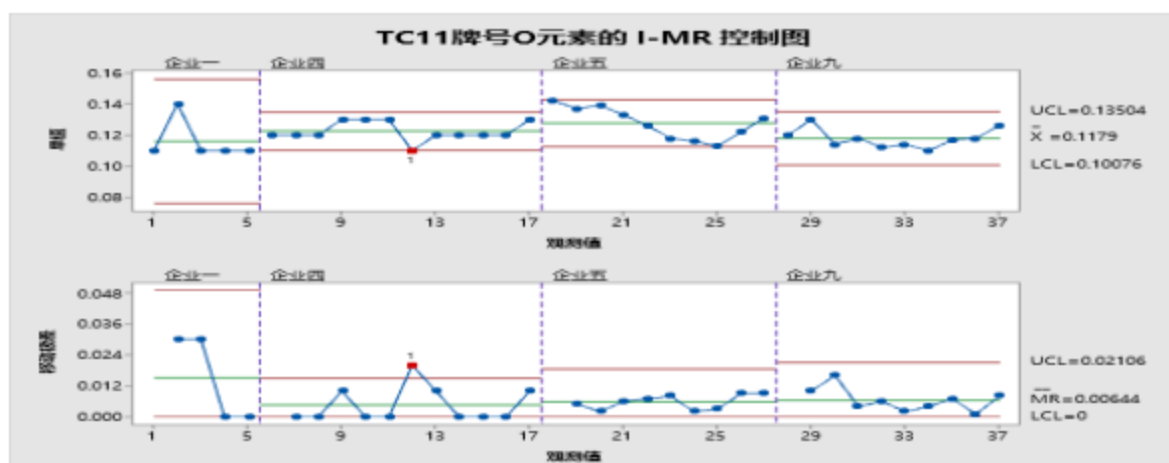


图 42 TC11 牌号 0 元素控制情况分析

3) 铝元素实际控制范围：较低值企业一实际 6.3%~6.5%，移动极差不大于 0.25%；较高值企业四实际 6.6%~6.8%，移动极差不大于 0.25%；标准要求 5.8%~7.0%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.25%，其中企业一、企业四控制较好，具体分析见图 43。

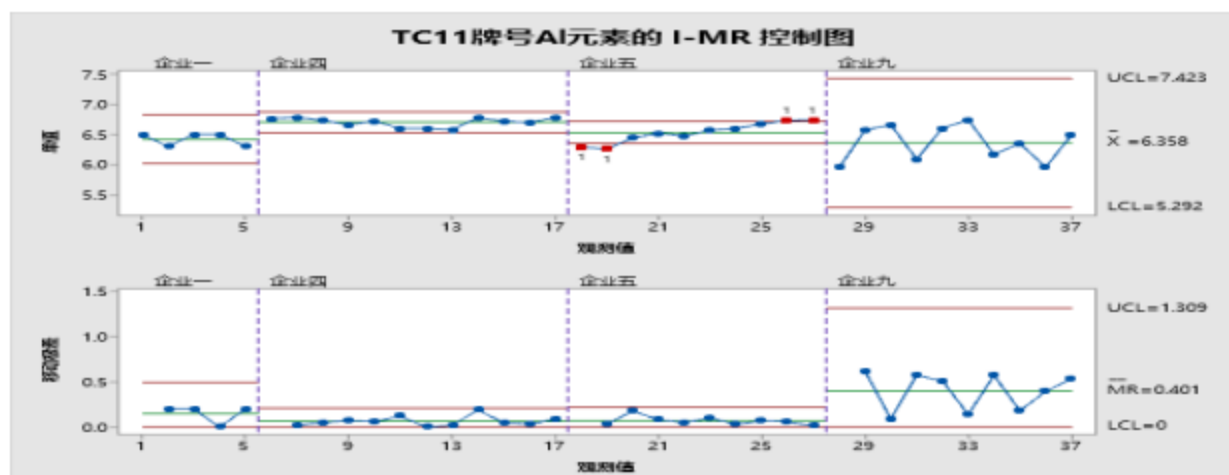


图 43 TC11 牌号 Al 元素控制情况分析

4) 钼元素实际控制范围：较低值企业九实际 3.0%~3.6%，移动极差不大于 0.31%；较高值企业五实际 3.4%~3.65%，移动极差不大于 0.13%；标准要求 2.8%~3.8%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.31%，其中企业四控制较好，具体分析见图 44。

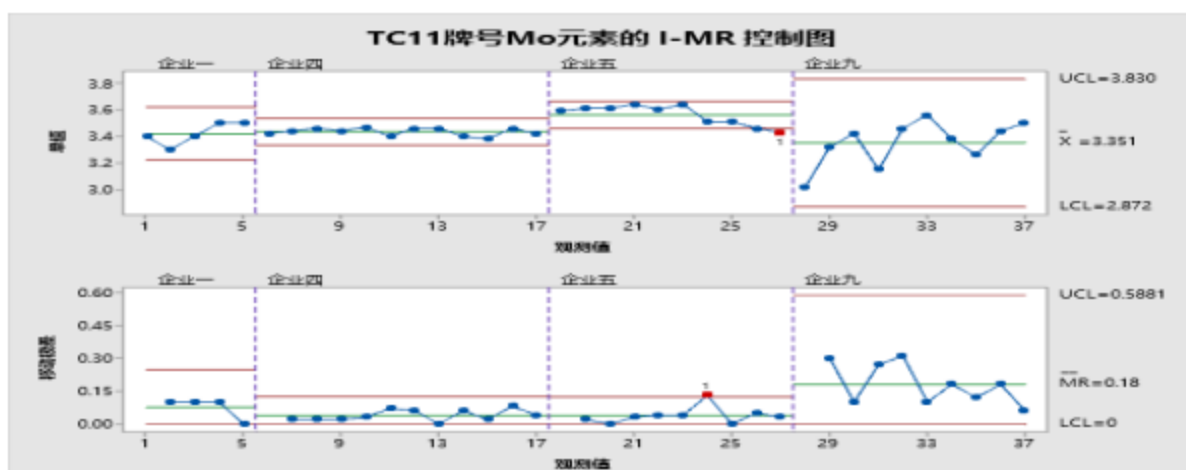


图 44 TC11 牌号 Mo 元素控制情况分析

5) 钼元素实际控制范围：较低值企业九实际 1.0%~1.6%，移动极差不大于 0.59%；较高值企业五实际 1.75%~1.9%，移动极差不大于 0.10%；标准要求 0.8%~2.0%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.58%，其中企业一、企业四、企业五控制较好，具体分析见图 45。

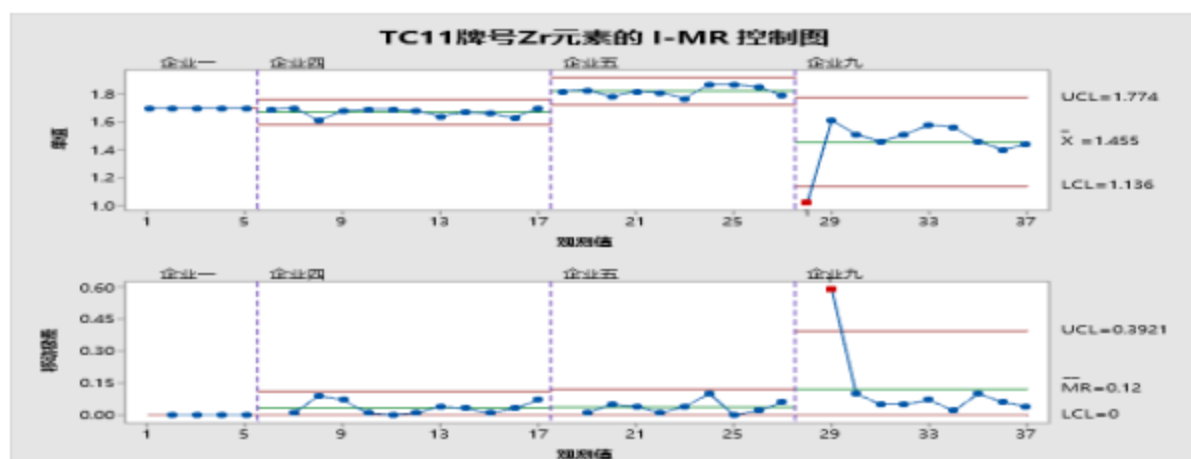


图 45 TC11 牌号 Zr 元素控制情况分析

6) 硅元素实际控制范围：较低值企业一实际 0.27%~0.29%，移动极差不大于 0.01%；较高值企业九实际 0.25%~0.33%，移动极差不大于 0.076%；标准要求 0.20%~0.35%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.076%，其中企业一控制较好，具体分析见图 46。

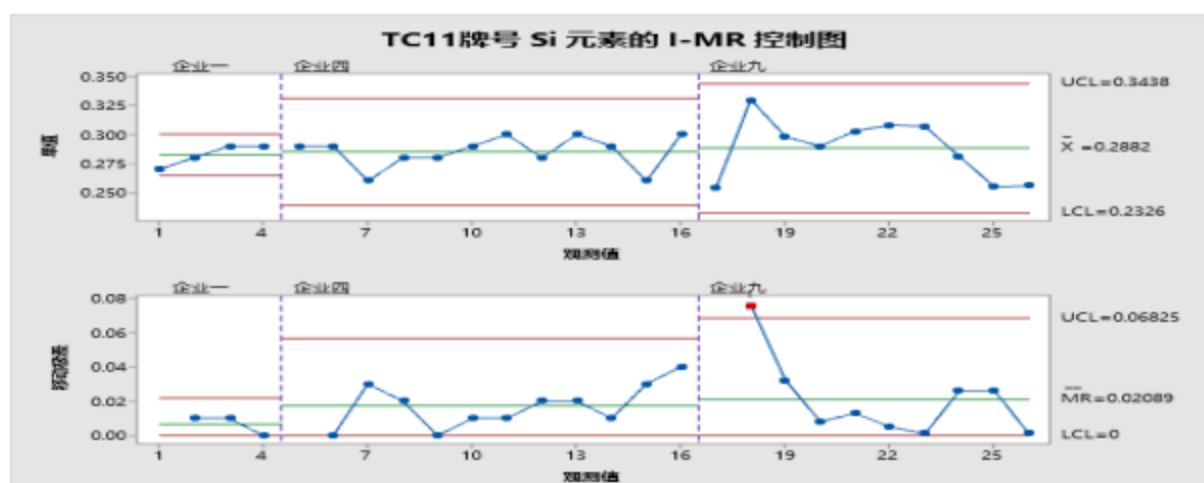


图 46 TC11 牌号 Si 元素控制情况分析

2.1.15 TC18

TC18 牌号生产单位有企业二 1 家、1 组数据，合计 15 个样品。具体分析如下：

1) 铁元素实际控制范围：实际范围 0.97~1.0%，移动极差不大于 0.03%；标准要求 0.5%~1.5%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.03%，控制较好，具体分析见图 47。

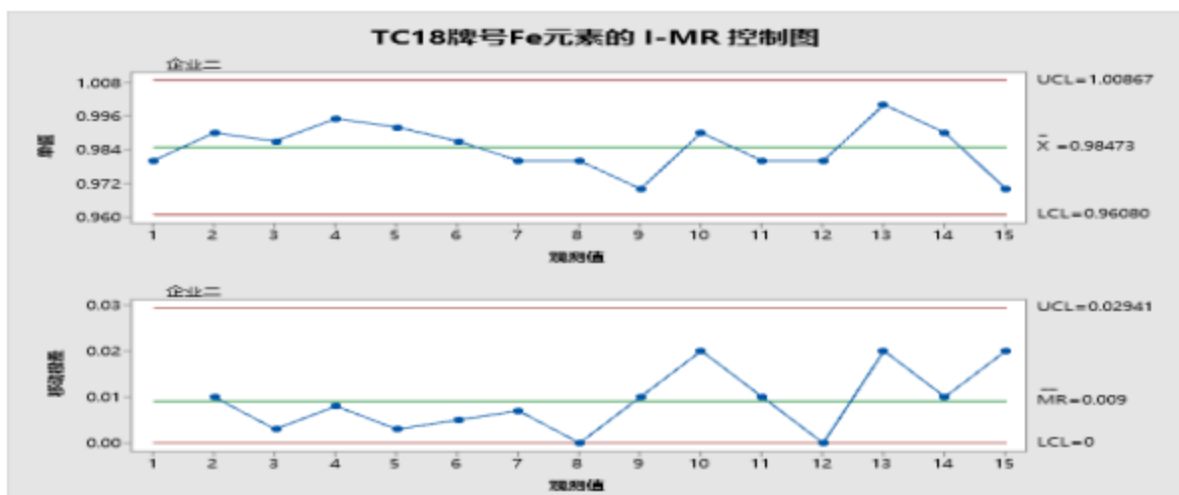


图 47 TC18 牌号 Fe 元素控制情况分析

2) 氧元素实际控制范围：不大于 0.121%，移动极差不大于 0.010%；标准要求不大于 0.18%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.010%，控制较好，具体分析见图 48。

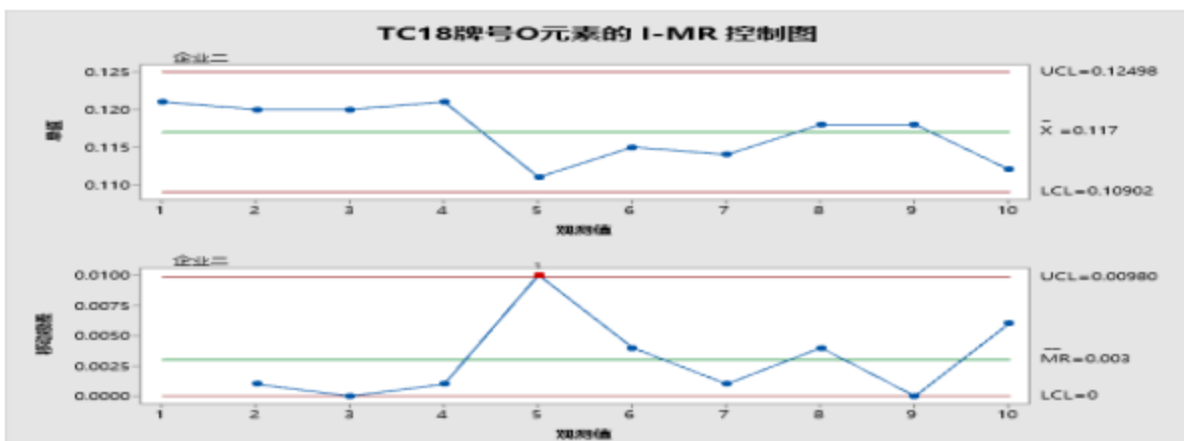


图 48 TC18 牌号 O 元素控制情况分析

3) 铝元素实际控制范围：实际范围 5.25%~5.37%，移动极差不大于 0.07%；标准要求 4.4%~5.7%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.07%，控制较好，具体分析见图 49。

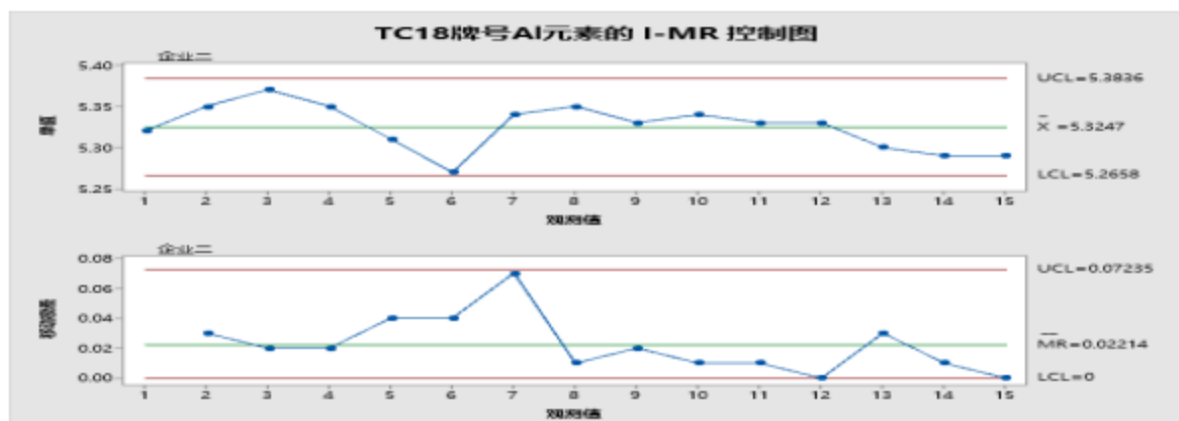


图 49 TC18 牌号 Al 元素控制情况分析

4) 钼元素实际控制范围：实际 4.91%~4.99%，移动极差不大于 0.04%；标准要求 4.0%~

5.5%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.04%，控制较好，具体分析见图 50。

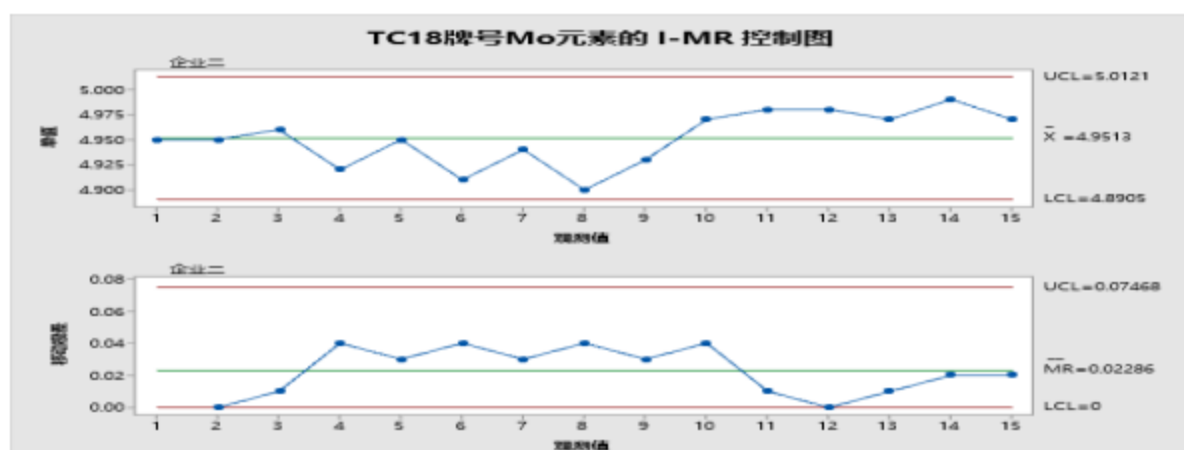


图 50 TC18 牌号 Mo 元素控制情况分析

5) 钒元素实际控制范围：实际 4.99%~5.09%，移动极差不大于 0.07%；标准要求 4.0%~5.5%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.07%，控制较好，具体分析见图 51。

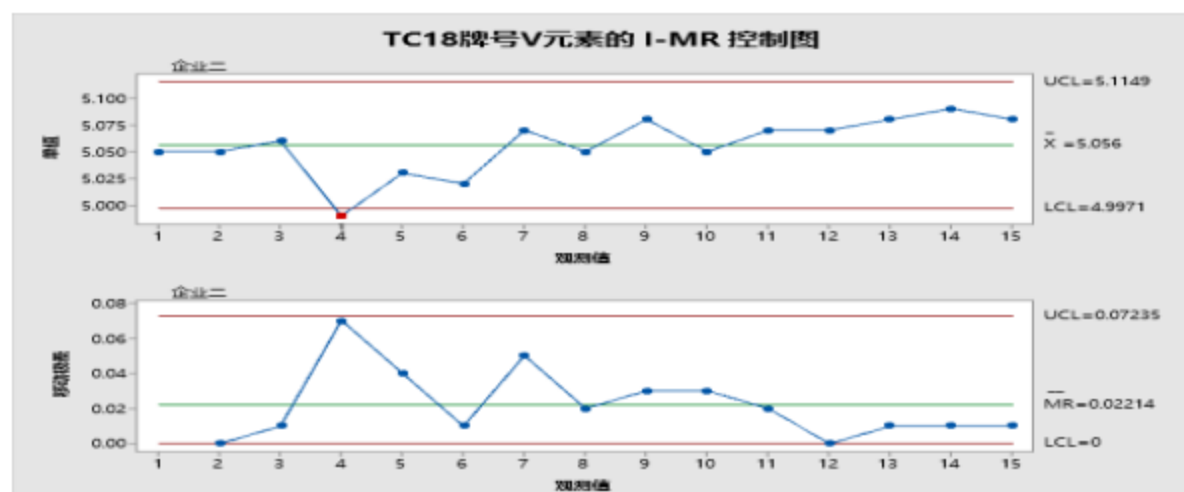


图 51 TC18 牌号 Zr 元素控制情况分析

6) 铬元素实际控制范围：实际 1.05%~1.1%，移动极差不大于 0.04%；标准要求 0.5%~1.5%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.04%，控制较好，具体分析见图 52。

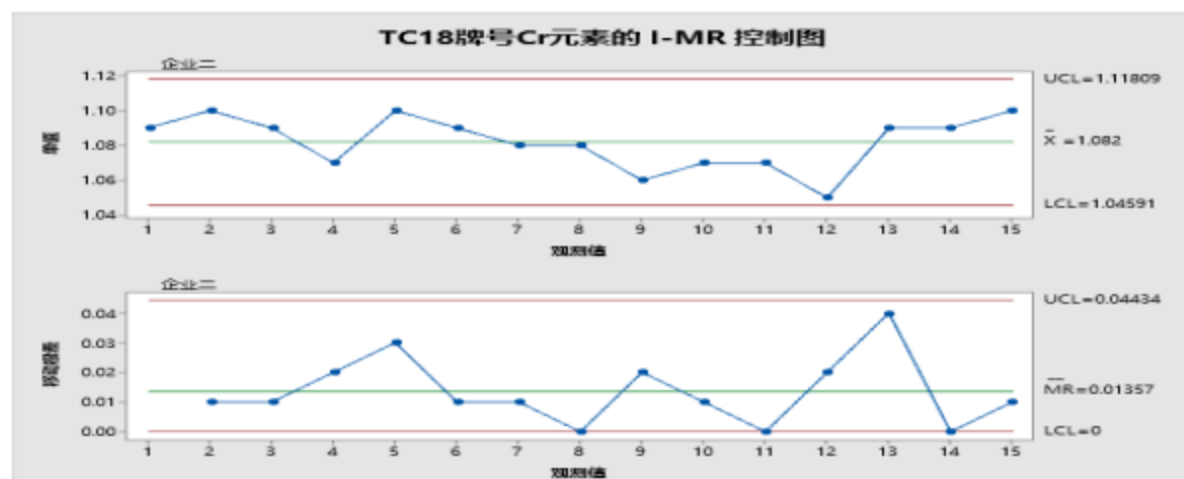


图 52 TC18 牌号 Cr 元素控制情况分析

2.1.16 TC21

TC21 牌号生产单位有企业二 1 家、1 组数据，合计 15 个样品。具体分析如下：

1) 氧元素实际控制范围：不大于 0.114%，移动极差不大于 0.011%；标准要求不大于 0.15%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.011%，控制较好，具体分析见图 53。

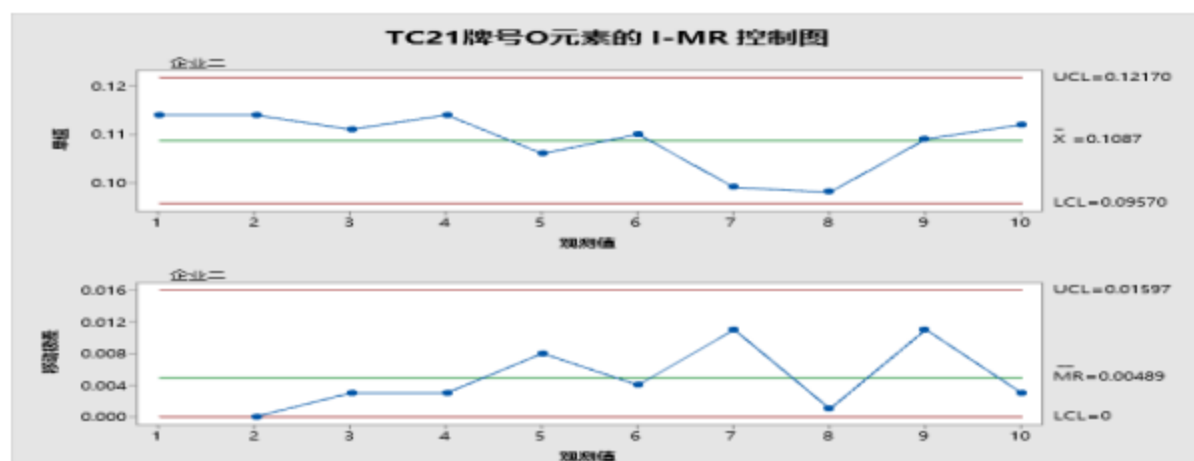


图 53 TC21 牌号 O 元素控制情况分析

3) 铝元素实际控制范围：实际范围 6.26%~6.35%，移动极差不大于 0.09%；标准要求 5.2%~6.8%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.07%，控制较好，具体分析见图 54。

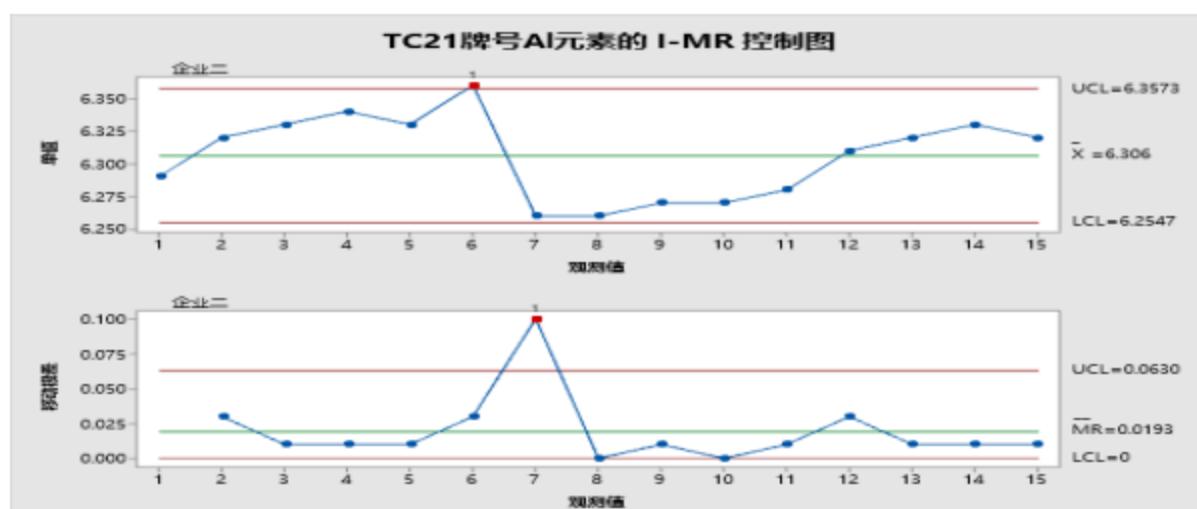


图 54 TC21 牌号 Al 元素控制情况分析

4) 钼元素实际控制范围：实际 2.87%~2.91%，移动极差不大于 0.03%；标准要求 2.2%~3.3%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.03%，控制较好，具体分析见图 55。

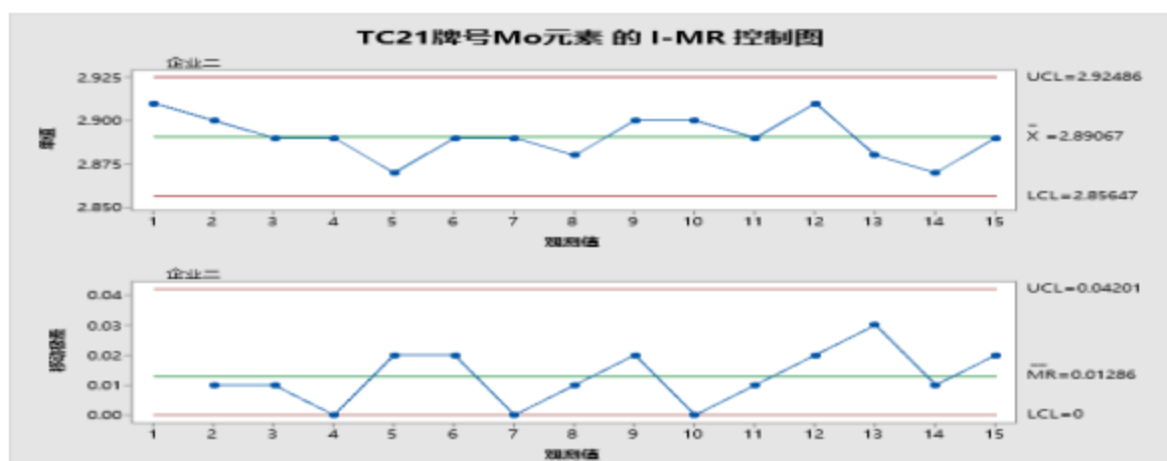


图 55 TC21 牌号 Mo 元素控制情况分析

5) 钼元素实际控制范围：实际 1.98%~2.02%，移动极差不大于 0.02%；标准要求 1.7%~2.3%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.02%，控制较好，具体分析见图 56。

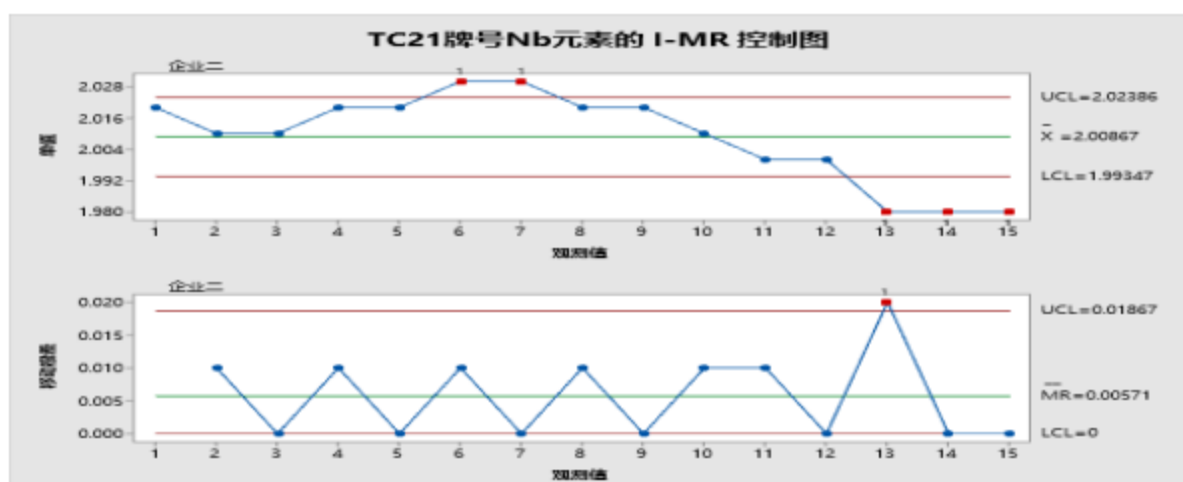


图 56 TC21 牌号 Nb 元素控制情况分析

6) 锡元素实际控制范围：实际 2.07%~2.13%，移动极差不大于 0.05%；标准要求 1.6%~2.5%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.05%，控制较好，具体分析见图 57。

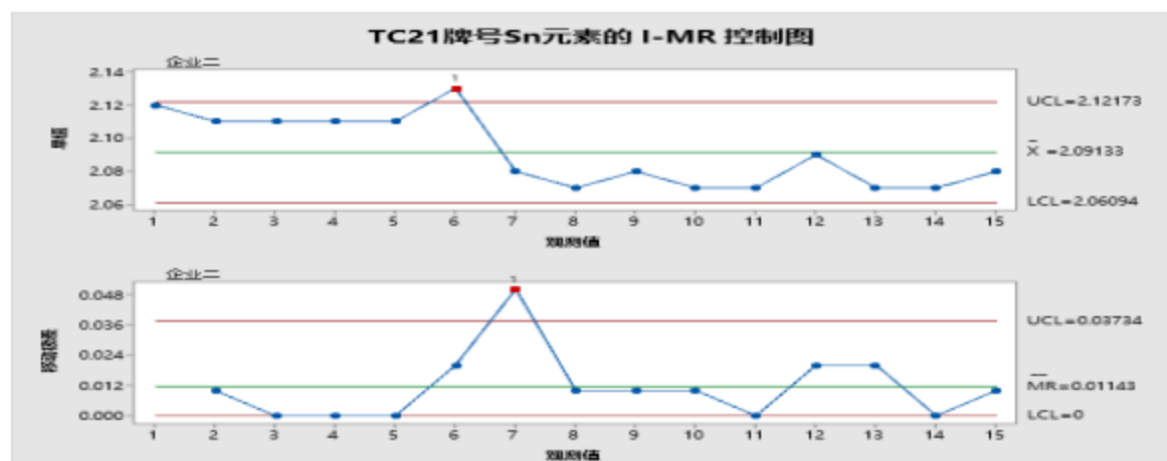


图 57 TC21 牌号 Sn 元素控制情况分析

7) 锆元素实际控制范围：实际 2.07%~2.15%，移动极差不大于 0.06%；标准要求 1.6%~

2.5%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.06%，控制较好，具体分析见图 58。

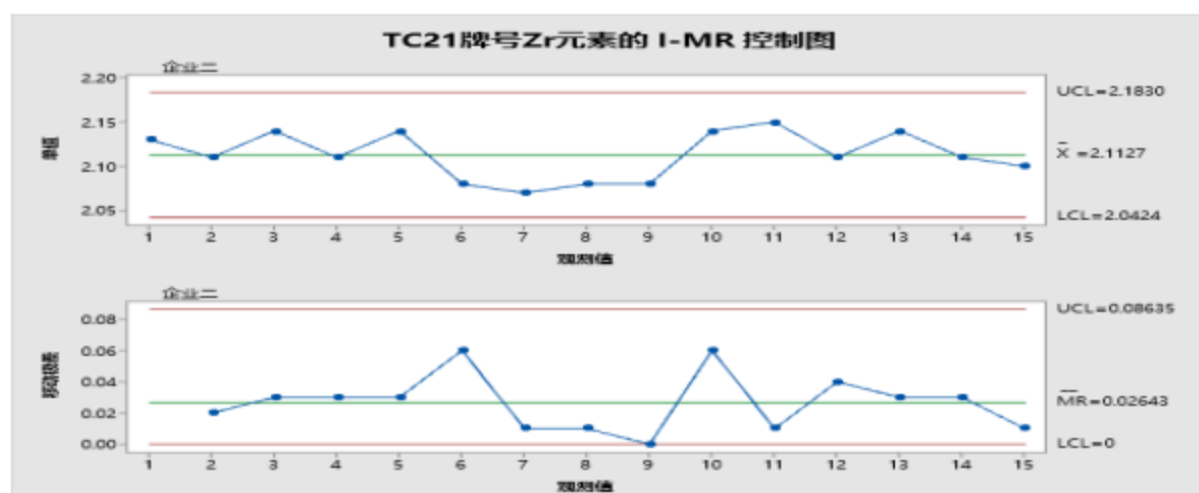


图 58 TC21 牌号 Zr 元素控制情况分析

8) 铬元素实际控制范围：实际 1.51%~1.59%，移动极差不大于 0.07%；标准要求 0.9%~2.0%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.07%，控制较好，具体分析见图 59。

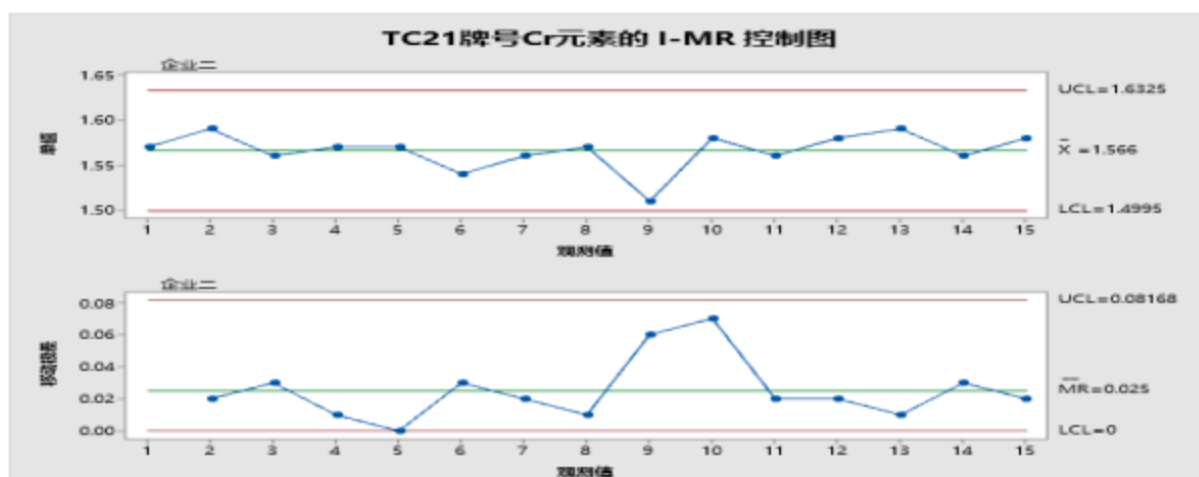


图 59 TC21 牌号 Cr 元素控制情况分析

四、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题

五、预期达到的社会效益等情况

(一) 项目的必要性简述

钛合金材料的成本高一直是限制其获得更广泛大量应用的瓶颈问题。美国波音公司从大量统计结果得出：钛合金板材或棒材产品的成本构成中，海绵钛的成本约占总成本的 40%，材料熔炼、加工的成本约占总成本的 47%，添加合金元素的成本在总成本中占比不足 7%。多年来，各国为了降低成本，进行了钛提取新工艺的尝试，但都未获得实际的工业应用，基本仍处于实验室研究阶段。目前来看，海绵钛制备的 Kroll 工艺还将是以后很长时间内工业提取钛的主导工艺，其生产成本在短期内不可能大幅下降。上世纪八十年代中后期出

现的钛合金冷床炉熔炼工艺技术可以大量使用回收钛原料生产再生钛锭，有效的降低了钛合金材料的原料成本，是目前降低钛合金材料成本并且实现钛资源循环利用的最有效技术手段。另外，与传统的真空自耗熔炼相比，冷床炉熔炼还可有效的去除铸锭中的高、低密度夹杂，铸锭的冶金质量优良。目前，国外航空等重要用途钛合金材料中，回收钛原料添加比例已超过了 60%，材料成本至少降低了 20%。包括民机及发动机转动件等性能及稳定性要求很高的部件中也获得广泛应用，应用非常成熟。国外飞机结构主承力构件以及发动机转动件的钛合金材料规范中也明确规定可以使用添加回收钛原料的钛合金材料制造，但我国至今尚未建立再生钛锭的相关国家标准。

（二）项目的可行性简介

美国早于上世纪八十年代先后开展了大量利用回收钛原料生产再生钛锭的研究工作，依附专业的钛加工企业建立了众多回收钛原料专业处理公司，这些专业公司建有专用的回收钛原料处理成套设备、工艺技术水平高，规模大、产品质量稳定，已形成了相应的工艺体系、管理程序和回收钛原料回收标准及测试手段，并且都通过了宇航认证，实现了利用回收钛原料生产再生钛锭的工业化进程。如美国 Timet 公司、Morgan 分部、RMI、科洛尼公司、环球合金公司以及 TMA 下属的 SOS 公司等，年处理回收钛原料总量达 5000 吨以上，目前在美国航空领域中，新生产的钛合金加工材，60%以上都添加了回收钛原料。俄罗斯及乌克兰原来主要是采用真空自耗电弧炉和凝壳炉回收利用回收钛原料。近年来引进了冷床炉熔炼设备后，亦开始对回收钛原料进行大量的回收利用。俄罗斯 VSMPO 公司生产的大尺寸航空锻件，在进行粗加工后再交付客户，机加工产生的屑状回收钛原料可以做到 100% 回收利用，从而使得锻件的价格更具有竞争力。目前，国外的钛材生产商几乎在所有的钛及钛合金铸锭熔炼中都要添加回收钛原料生产成本更低的再生钛锭。

我国主要的钛加工企业，在“六五”期间就承担了国家科技攻关“残钛回收工艺研究”的任务，当时由于没有冷床炉熔炼设备，主要采用真空自耗炉回收利用回收钛原料，添加回收钛原料的比例可以达到 30%。601 所对真空自耗熔炼添加回收钛原料的材料进行了性能评估，评估结论为材料的基础性能与不添加回收钛原料的材料没有显著差异。十余年前，国外逐步对我国放开了钛合金冷床炉熔炼设备的出口限制，我国的钛合金材料加工企业逐步引进了冷床炉熔炼设备，亦同步开展了添加回收钛原料的钛及钛合金冷床炉熔炼工艺技术探索。2008 年，宝钛和北京有色金属研究总院共同承担了科技部支撑计划“钛冶炼与钛合金加工关键技术开发”中的“回收钛原料回收利用技术开发”课题。通过此课题，宝钛率先在国内建立了专用的回收钛原料回收生产线，实现了利用回收钛原料生产再生钛锭的批量工业化。目前，国内民用的纯钛中添加回收钛原料的比例已可超过 50%，甚至接近 100%。国内的相关企业也开展了添加回收钛原料的电子束冷床炉熔炼 Ti-6Al-4V 合金的工艺研究。宝钛生产的添加回收钛原料的纯钛及 Ti-6Al-4V 合金的部分加工材也实现了一定的出口，例如向空客供货的 Ti-6Al-4V 合金板材就添加了 15% 的回收钛原料，采用 VAR 熔炼。北京有色金属研究总院和宝钛针对低成本钛合金复合装甲的需求，按照国外钛合金装甲板的生

产工艺流程添加 70%回收钛原料,采用一次电子束冷床炉熔炼的 Ti-6Al-4V 合金扁锭,未经锻造直接轧制了 8~22mm 厚的装甲板材。

通过多年添加回收钛原料生产再生钛锭的研制、生产、应用、验证,完全具备建立再生钛锭国家标准条件。

(三) 标准的先进性、创新性、标准实施后预期产生的经济效益和社会效益。

近年来,我国相继引进了多台套的钛合金冷床炉熔炼设备,亦同步开展了添加回收钛原料的钛及钛合金冷床炉熔炼工艺技术探索。现在民用的纯钛及 Ti-6Al-4V 合金中添加回收钛原料的比例已可超过 50%。国内开展高性能回收钛原料利用的硬件条件已经具备。国内钛材生产商在民用钛材市场激烈竞争的外部环境下,针对民用钛材降成本的需求已经开展了回收钛原料的回收利用技术研究,而且每年的产量增幅明显。本标准的制定过程将对我国开展添加回收钛原料的熔炼工艺技术研究及多炉批次加工棒材和板材的组织、性能的统计评估,设计不同载荷形式的构件,开展添加不同比例回收钛原料所制备材料与不同载荷构件的应用匹配性研究。最终建立高性能钛合金回收钛原料来源及分类处理的严格质量管理体系及专用生产线。可有力推动国内添加回收钛原料的高性能钛合金材料制备工艺技术的进步,切实降低钛合金材料的成本,为添加回收钛原料的高性能钛合金在国防军事领域、特别是航空领域获得更广泛大量的应用奠定基础。

六、采用国际标准和国外先进标准的情况

经查询,尚未查询到相关标准。

七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准,特别是强制性国家标准的协调配套情况

本标准从技术上保证了再生钛锭的一致性、安全性和可靠性,条文精炼表述清楚,具体要求全面、准确、科学、合理;标准的格式和表达方式等方面完全执行了现行的国家标准和有关法规,符合 GB/T 1.1-2020 的有关要求。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧意见。

九、标准性质的建议说明

鉴于本标准规定的再生钛锭,不涉及人身及设备安全的内容,其属基础标准,不属于安全性标准。依据标准化法和有关规定,建议本标准的性质为推荐性国家标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

1、首先应在实施前保证标准文本的充足供应,使每个制造厂、设计单位以及检测机构等都能及时获取本标准文本,这是保证新标准贯彻实施的基础。

2、本次制定的《再生钛锭》,不仅与生产企业有关,而且与应用单位直接相关。对于标准使用过程中容易出现的疑问,起草单位有义务进行必要的解释。

3、可以针对标准使用的不同对象,如制造厂、应用单位、质量监管等相关部门,有

侧重点地进行标准的培训和宣贯，以保证标准的贯彻实施。

4、建议本标准批准发布 6 个月后实施。

十一、废止现行有关标准的建议

本标准是新制定国家标准，无废止相关标准。

十二、其他应予说明的事项

经标准编制组对再生钛锭的全面调研和充分讨论，制定的再生钛锭技术要求全面、科学、适用。本标准发布实施后，将使我国再生钛锭更具一致性和科学性。

《再生钛锭》标准编制组