

国家标准《再生钛锭》编制说明

(送审稿)

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,完成时间为 2025 年 9 月 24 日,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。

(二) 项目背景

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%、钛锭熔炼的成本约占总成本 20%、加工的成本约占总成本的 27%、添加合金元素的成本约占总成本的 6%、产品检验的成本约占总成本的 5%、热处理的成本约占总成本的 2%,具体成本构成见图 1。

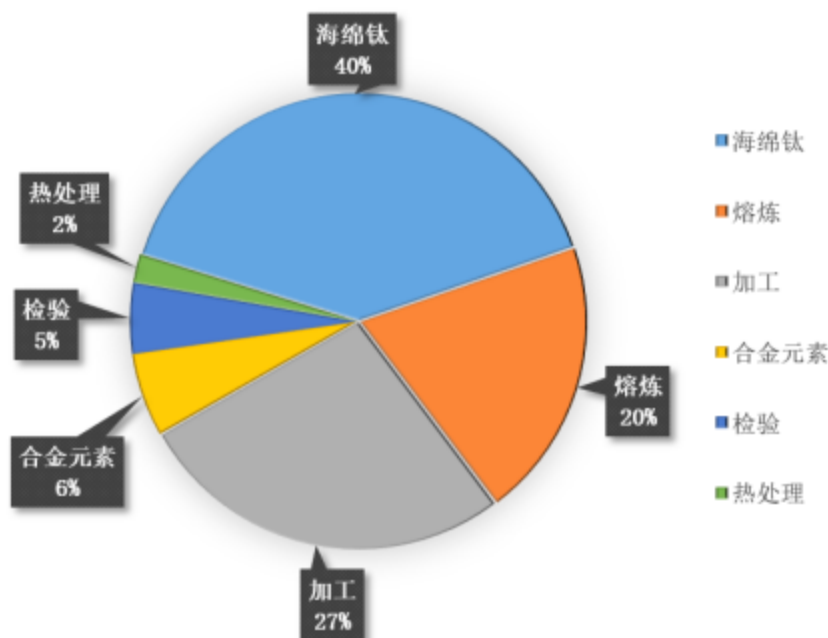


图 1 钛加工材成本构成

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。

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。目前，我国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量的出口，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。另外，我国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。自 2022 年，在“3C”领域，我国实现了利用 100%回收钛原料生产再生钛锭到加工材的首次应用，利用 TC4 再生钛锭生产“3C”领域用加工材已超 5000 吨，产值超 20 亿元。

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成熟的应用。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。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

的先决条件。

(三) 主要参加单位和工作成员及其所作的工作

3.1 主要参加单位情况

标准主编单位宝鸡钛业股份有限公司在标准的编制过程中，负责项目的总体实施和策划，积极主动收集国内外再生钛锭相关技术资料、组织开展国内再生钛锭实际生产情况、产品质量以及应用现状的调研工作。在本标准的制定过程中，能够带领编制组成员单位认真完成再生钛锭各项数据的收集整理，征求多家企业的修改意见。

有色金属技术经济研究院有限责任公司、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、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、攀钢集团沈阳钛金属新材料有限公司、宝鸡拓普达钛业有限公司、河南中源钛业有限公司、西安赛特思迈钛业有限公司、洛阳航辉新材料有限公司等单位积极参加标准调研工作，配合主编单位开展大量的现场调研、主要完成了再生钛锭各项数据的收集整理，为本标准技术要求部分提供有力保障。

宝钛集团有限公司最早于 1968 年开始研究利用回收钛原料生产再生钛锭的生产工艺路线，在 2000 年之前，生产回收钛原料接近 5000 吨。在 2000 年之后，利用回收钛原料生产再生钛锭的回收利用技术实现了快速发展，每年回收利用回收钛原料超过 1000 吨，并于 2007 年牵头制定了我国第一项有关回收钛原料的国家标准 GB/T 20927-2007《钛及钛合金废料》。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，为再生钛锭的质量水平提供了可靠的技术保障要求，有效推动了我国回收钛原料的再生利用进程。在 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。近几年，随着铸锭产量及后续钛加工材产量的增加，钛及钛合金废料的产生和处理量随之增加，宝钛在实现全牌号钛及钛合金可回收利用的基础上，建立了从钛及钛合金废料收集-回收钛原料甄别挑选-回收钛原料清洗-回收钛原料磁选-回收钛原料质量判定-回收钛原料电极制备-回收钛原料熔炼-再生铸锭-再生铸锭检验-再生铸锭加工-加工材的完整生产线，每年处理可回收使用的回收钛原料约 3000~5000 吨。自 2018 年，宝钛结合国家国防科技工业配套科研项目《高性能钛合金返回利用技术》，突破了利用回收钛原料生产高性能钛及钛合金关键技术，实现了利用超过 50%回收钛原料生产再生钛锭到加工材的实际应用，批量生产供应了低成本高性能的钛合金装甲板。自 2022 年，在“3C”领域，实现了利用 100%回收钛原料生产再生钛锭到加工材的首次应用，利用 TC4 再生钛锭生产“3C”领域用加工材接近 5000 吨，产值超 10 亿元。

西部超导材料科技股份有限公司从 2021 年开始，开展了基于钛合金、块料的 VAR 熔炼工艺路线以及 EB+VAR 熔炼工艺路线的攻关开发。针对返回料使用过程中的控制难点，先后进行了返回屑杂质元素处理技术、返回屑高密度夹杂控制技术、添加返回料自耗电电极制备技术、返回块料表面预处理技术、添加返回料 EB 及 VAR 熔炼过程稳定性控制技术、批次稳定性控制技术等研究，突破了采用返回料制备再生铸锭的控制难点，并实现了使用返回料制备 TC4、TC4ELI、TA15、TC18、TC21 等牌号再生铸锭的批量稳定生产。其中，采用添加返回屑、块的

720mm 规格 TC4 系列铸锭，化学成分极差同批产铸锭处于同一水平，产品应用于交通运输以及微电子领域，目前年产量达到 700t；采用添加返回屑、块的 1050mm 规格 TC4 系列铸锭，产品应用于航空航天、石油化工等领域，年产量约 1000t。采用添加返回屑、块的 720mm 规格 TA15 铸锭，化学成分极差同批产铸锭处于同一水平，产品初步应用于航空航天领域，年产量 200t；采用添加返回屑、块的 720mm 规格 TC18、TC21 铸锭，化学成分极差同批产铸锭处于同一水平，产品初步应用于航空航天领域，年产量 100t。

新疆湘润新材料科技有限公司具有钛矿-高钛渣-钠电解-四氯化钛-镁电解-海绵钛-钛合金加工材全产业链产业。包括高钛渣的熔炼，全流程海绵钛的生产，配套氯气生产，钛材的熔炼、锻造、轧制等全部在一个工业厂区内完成。主要研究开发新疆钛资源综合利用技术，发展绿色产能，在残料回收利用方面，新疆湘润进行了大量的前期市场调研、文献查阅以及自主研发，取得了较为优异的科研成果和市场正反馈，进一步在再生钛合金研究与应用方面投入有生力量。钛残废料的循环再生利用充分结合了新疆当地的钛产业资源优势，进行 TA2G、TA10 和 TC4 等再生钛及钛合金研究与工艺优化，已形成性能稳定、可批量产的成型工艺。再生钛合金优化成型中，采用不同的熔炼方式，使用海绵钛中添加不同比例的屑状残料，或使用纯块状残料，获得了性能优良的再生钛及钛合金。该再生钛及钛合金主要用于一般用途中厚薄板制作，其产品主要应用于化工、电子、冶金、机械设备、海洋工程、汽车、体育等领域。通过对 TA2G、TA10 和 TC4 再生钛及钛合金产量进行统计并结合现有的残料回收生产设备，TA2G 实际年产量为 3500 吨，预计年产量为 6000 吨，TA10 实际年产量为 800 吨，预计年产量为 1500 吨，TC4 实际年产量为 100 吨，预计年产量为 500 吨。

宝武特冶钛金科技有限公司再生钛锭的研制材料目前主要涉及 GR2(TA2G)，采用的再生料为屑料，比例在 30%~70%。再生铸锭采用 EB 炉熔炼，规格主要为 400×1200×4000mm。通过对不同再生料加入比例对化学成分的影响、EB 炉冶炼工艺关键参数、铸锭表面质量等方面进行了深入的研究，成功熔炼几十炉的再生铸锭。经过检测再生 EB 铸锭不同部位的化学成分合格，铸锭表面质量良好，可以批量生产不同比例再生料的 EB 铸锭。

西部钛业有限责任公司生产再生钛锭的牌号主要包括：TA1、TA2、TC4、TC11、TA8、TA9、TA10，原料使用包括 100%使用返回料、海绵钛添加返回料两种，熔炼方式主要包括 VAR、EB、EB+VAR，熔炼次数 2~4 次不等，锭型范围 Ø500~Ø920，主要用途包括：板材、管材、棒材、锻件、紧固件等。

陕西天成航空材料股份有限公司积极响应国家“碳中和、碳达峰”战略号召，2018 年开始启动再生钛锭研制，在再生钛原料污染物控制、再生钛锭高纯净度熔炼等方面取得了较好的成效，已实现 TA1G、TA2G、TA4G、TA15、TC4、TC4ELI、TC11 等多种再生钛锭的生产和批量交付，有效推动了行业持续绿色转型发展。天成航材 2018 年引进乌克兰 3150KW 电子束冷床炉并于 2020 年正式投产，基于再生钛及钛合金原料化学成分及残余元素赋存状态对组织性能的影响作用，2021 年自主设计建成了钛合金再生屑料自动化处理生产线，实现高密度夹杂等污染物的控制要求，可稳定、批量地生产出 C、O、N 杂质含量低、成分均匀性好、尺寸规格可控的成品再生屑料，满足 EB+VAR 熔炼要求。目前，天成航材已开展了 TA1G、TA2G、TA15、TC4、TC4-DT、TC11 等多牌号再生钛锭的研制工作，并顺利通过航空、航天、3C 等客户的相关评审

和验证，形成小批供货能力。天成航材目前以 EB+VAR 工艺为主、纯 VAR 工艺为辅开展再生钛锭研制，目前已生产添加不同类型及不同比例再生料铸锭 4000 余吨，主要包括 TA1G：添加约 10%再生料，生产 $\Phi 1020\text{mm}$ 钛锭约 10 炉批，共计 100 余吨；TA2G：添加约 10%-100%再生料，生产 $\Phi 735\text{mm}$ 、 $\Phi 1020\text{mm}$ 锭型约 20 炉批，共计 200 余吨；TC4：采用 EB+VAR 工艺，添加 20%-100%再生料，生产 $\Phi 820\text{mm}$ 锭型约 400 炉批，共计 3000 余吨；TC11：采用 EB+VAR 工艺，添加 96%再生料，生产 $\Phi 820\text{mm}$ 锭型 5 炉批，共计 30 余吨；TA15：采用 EB+VAR 工艺，添加 30%-96%再生料，生产 $\Phi 820\text{mm}$ 锭型 10 炉批，共计 80 余吨；TC4-DT：采用 EB+VAR 工艺，添加 30%再生料，生产 $\Phi 820\text{mm}$ 锭型 50 余炉批，共计 400 余吨。

宁夏中色金航钛业有限公司具备年产 3000 吨铸锭、2000 吨棒丝材及锻件的生产能力；新建 6300 吨快锻机项目预计年内投产，新增年产 3000 吨钛及钛合金铸锭项目预计 2025 年年底投产。公司自 2014 年以来开展钛及钛合金废料分级回收、再生利用工艺技术研究，2019 年承担省级项目“钛合金废料增值利用工艺技术研究”，2022 年公开发明专利《一种钛及钛合金块状废料回收的熔炼方法》，推动了公司钛及钛合金废料再生利用生产进程，建立低成本废料回收线，可实现全屑状废料、块状废料 VAR 熔炼回收利用，以及不同牌号钛合金间改制利用。公司生产工业纯钛、TC4、TA15、TC19、T601 等 10 余种牌号钛及钛合金再生铸锭，年生产再生纯钛铸锭约 200 吨、钛合金锭 100 吨，再生铸锭除用于 VAR 熔炼用辅助电极制备外，大部分工业纯钛、TC4 再生铸锭主要用于化工领域用管材和棒材生产。

攀钢集团沈阳钛金属新材料有限公司主要涉及 TA1G、TA2G、TA10G 三个合金牌号的再生钛锭的生产及加工工作。再生钛锭熔炼所采用的原料主要为本公司日常生产过程中产生的料头、边角及车削、铣削屑料等。其中块状料及板条料主要以捆扎电极形式制备电极，通过 VAR 熔炼成不同规格的圆铸锭。主要牌号为 TA1G、TA2G，年产 200 吨左右；TA10G 年产 100 吨左右。屑料多以 EB 炉熔炼的形式进行扁锭生产，主要牌号为 TA1G 与 TA2G，年产 400 吨左右。不同规格的再生圆锭经过锻造加工与扁锭一同进行轧制，最终以热轧板形式走入市场，产品主要应用在环保、化工领域、装备制造等方向。

宝鸡拓普达钛业有限公司可以生产包括 TC4、TC11、TA15 再生钛锭，锭型为 $\Phi 600\text{mm}$ 。其中 TC4 年产量 18 吨，TC11 年产量 15 吨，TA15 年产量 15 吨，再生锭用于生产管材、棒材、锻件、板材，应用于海洋装备、民用棒材、石油装备、基板。

西安赛特思迈钛业有限公司可生产再生钛锭包括 TA2G 再生钛锭规格为 $\Phi 620 \times 2000\text{mm}$ ，用于民品钛锭销售，年产量 10 吨；TC4 再生钛锭规格为 $\Phi 620 \times 2000\text{mm}$ ，用于民品钛锭销售，年产量 50 吨。

洛阳航辉新材料有限公司生产及使用到的再生钛锭材料牌号涉及 TC4、TA2，熔炼方式为 VAR，钛锭规格为 $\Phi 280\text{mm}$ 、 $\Phi 460\text{mm}$ ，主要用于民用领域钛合金产品的铸造，目前 TC4 每年产量约为 40 吨，TA2 每年的产量约 15 吨。

3.2 主要工作成员所负责的工作情况

本标准主要起草人及工作职责见表 1。

表 1 主要起草人及工作职责

序号	起草人	单位	工作职责
1	庆达嘎	宝鸡钛业股份有限公司	标准工作整体协调和推进、标准技术内容的审核、把关等。
2	马忠贤	宝钛集团有限公司	负责 TA1G、TA2G、TA3G、TA4G、TA8-1、TA9-1、TA10、TA15、TC4、TC11 再生钛锭数据统计
3	史小云	西部超导材料科技股份有限公司	负责 TC4、TC4ELI、TA15、TC18、TC21 再生钛锭数据统计
4	同晓乐	新疆湘润新材料科技有限公司	负责 TA2G、TA10、TC4 再生钛锭数据统计
5	闵新华	宝武特冶钛金科技有限公司	负责 TA1G、TA2G 再生钛锭数据统计
6	吴晓东	西部钛业有限责任公司	负责 TA1、TA2、TC4、TC11、TA8、TA9、TA10 再生钛锭数据统计
7	郝艳芬	陕西天成航空材料股份有限公司	负责 TA1G、TA2G、TA4G、TA15、TC4、TC4-DT、TC11 再生钛锭数据统计
8	迟颖	宁夏中色金航钛业有限公司	负责 TA1G、TA2G、TC4 再生钛锭数据统计
9	张野	攀钢集团沈阳钛金属新材料有限公司	负责 TA1G、TA2G、TA10 再生钛锭数据统计
10	李宝霞	宝鸡拓普达钛业有限公司	负责 TA1G、TC4、TC11、TA15 再生钛锭数据统计
11	黄永光	河南中源钛业有限公司	负责 TA1G、TA2G、TA4G 再生钛锭数据统计
12	罗斌莉	西安赛特思迈钛业有限公司	负责 TA2G、TC4 再生钛锭数据统计
13	韩焕焕	洛阳航辉新材料有限公司	负责 TA2、TC4 再生钛锭数据统计
14	白智辉	有色金属技术经济研究院有限责任公司	标准的工作指导、组织协调、主持标准条款编写、标准技术内容的审核、把关等。

(四) 工作过程

4.1 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、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、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。现场调研期间，在全面了解再生钛锭生产应用情况的基础上，通过与企业技术人员深入讨论了制定《再生钛锭》国家标准的必要性、可行性，以及制定标准的先进性、创新性、标准实施后预期产生的经济效益和社会效益。根据现场调研情况，项目编制组整理并编制形成了《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。

4.2 立项阶段

1) 2023 年 4 月，由宝鸡钛业股份有限公司牵头，将编制组形成的《再生钛锭》标准草案稿、标准项目建议书及立项论证报告提交至全体委员会，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 3 月 25 日，国家标准化管理委员会通过（国标委发〔2024〕16 号）《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》下达了制定计划，计划编号为 20240530-T-610，完成时间为 2025 年 9 月 24 日，技术归口单位为全国有色金属标准化技术委员会。

4.3 起草阶段

4.3.1 任务落实

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《再生钛锭》修订任务落实与协调会议，主编单位对本标准草案稿的主要技术要求以

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、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、XXX。

4.3.2 数据调研

2024年4月-5月,编制组依据任务落实与协调会对本标准主要技术要求的讨论结果,为了准确、全面调研再生钛锭生产、应用及质量控制等各方面实际情况,在国内钛行业生产企业、应用单位、科研院所以及贸易单位开展了全面广泛的调研活动。

在数据调研过程中,包括宝钛集团有限公司、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、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、攀钢集团沈阳钛金属新材料有限公司、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家相关单位提供了包括再生钛锭牌号、规格、添加回收钛原料比例、熔炼方式、用途、产量等全面的统计数据。

经对调研数据的整理分析,目前我国再生钛锭的产品牌号主要包括TA1、TA2、TA1G、TA2G、TA3G、TA4G、TA8、TA9、TA10、TA15、TC1、TC4、TC4ELI、TC11、TC18、TC21共16个牌号,熔炼方式主要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)3类,产品规格中直径(或宽度)范围为200mm~1600mm,长度为500mm~8000mm,各牌号再生铸锭的化学成分实际数据符合产品标准要求,具体化学成分分析结果见附件1。

经统计分析近三年的再生钛锭和钛锭的产量,2021年再生钛锭产量为7379.77吨、2022年再生钛锭产量为10716.48吨、2023年再生钛锭产量为20720.8吨。从统计分析结果看出,近年来国内钛锭的产量呈稳步上升态势,其中再生钛锭产量占比在两年内实现了翻倍,再生钛锭的发展进入了快速发展阶段,近三年再生钛锭产量统计结果见表2。

表2 再生钛锭产量

项目	2021年	2022年	2023年
统计再生钛锭产量,吨	7379.77	10716.48	20720.8
钛工业协会公布钛锭产量,吨	121303	136000	151000
再生钛锭占比,%	6	7.9	13.7

此次调研过程共收集到39份调研资料,合计56组788个再生钛锭试验数据,编制组对调研数据进行了科学合理的整理和分析,从调研数据的分析结果来看,目前TA1、TA2、TA1G、TA2G、TA3G、TA4G、TA8、TA9、TA10、TA15、TC1、TC4、TC4ELI、TC11、TC18、TC21共16个牌号的再生钛锭可以符合相应产品标准的规定要求。编制组依据调研分析结果,经对《再生钛锭》草案稿修改后,形成了《再生钛锭》讨论稿和讨论稿编制说明。

4.3.3 讨论会

2024年6月20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组织,在烟台市召开了本标准讨论会,来自全国28家单位43位代表参加了会议,与会代表对《再生钛锭》讨论稿进行了认真、仔细的讨论。

本标准编制组依据讨论会意见和建议对讨论稿进行整理修改后,于2023年6月形成了标

准征求意见稿。

4.4 征求意见阶段

本标准以召开专题会议、发送标准邮件、标委会网站上公开挂网等多种形式和办法进行了广泛的征求意见。

在征求意见阶段，共发函 22 家相关生产应用单位和科研院所，回函的单位共 22 家、回函并有建议或意见的单位共 19 家、没有回函的单位共 0 家，经编制组整理归纳，共梳理出 26 条修改意见。为准确落实各单位反馈的修改意见，编制组开展了再生钛锭征求意见阶段的补充数据调研工作。

4.4.1 征求意见阶段的补充数据调研

本标准在征求意见过程中，编制组根据征求意见反馈情况，考虑到本标准为首制定再生钛锭相关国家标准，在再生钛锭产品牌号选择、技术要求设计、检验规则制定等方面存在一定程度的不成熟性。在全行业范围内进行了补充数据调研，补充数据调研范围主要包括近三年各牌号再生钛锭的产量以及包括性能检测的实测数据和应用情况，其中各牌号再生钛锭的产量分析结果见图 2。

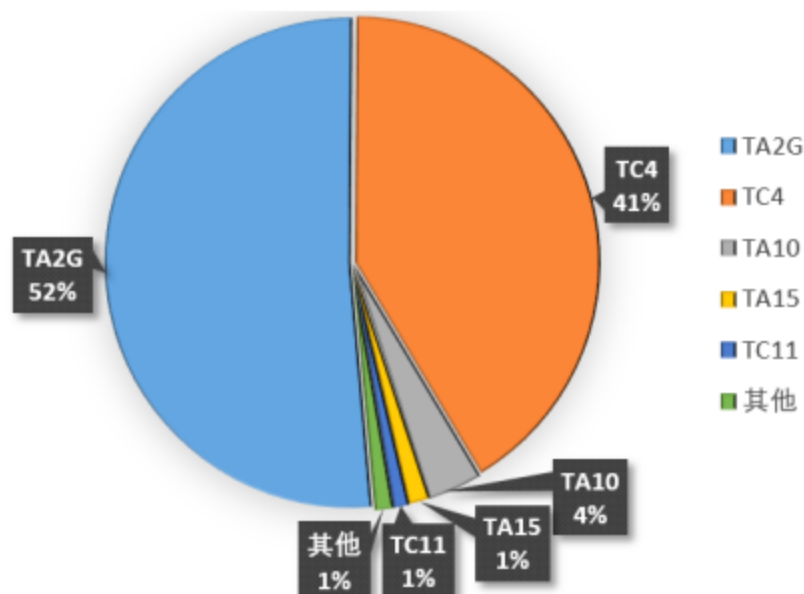


图 2 再生钛锭产量统计分析

从补充调研数据可以看出，在钛及钛合金再生钛锭的生产应用中，TA2G、TA10、TA15、TC4 和 TC11 再生钛锭占有所有再生钛锭产量的 99%，TA3G、TA4G、TA8、TA9、TC1、TC4ELI、TC18、TC21 等再生钛锭合计不足 1%，本标准编制组结合征求意见情况，为了保持《再生钛锭》国家标准的先进性、创新性以及标准实施后预期产生的经济效益和社会效益，删除了 TA3G、TA4G、TA8、TA9、TC1、TC4ELI、TC18、TC21 等再生钛锭技术要求，仅保留了 TA2G、TA10、TA15、TC4 和 TC11 共 5 个牌号的再生钛锭。

4.4.2 征求意见处理

编制组在征求意见阶段补充调研数据的基础上，对 26 条修改意见进行了认真仔细的讨论和详实落实，各反馈单位的修改意见科学、合理，本标准编制组采纳了所有修改意见（征求意见情况详见《标准征求意见稿意见汇总处理表》）。

本标准的征求意见范围广泛且具代表性，补充调研数据充分且具科学性，编制组根据征求

意见反馈和补充调研数据分析，对《再生钛锭》（征求意见稿）和编制说明进行了修改完善，于 2024 年 8 月形成了国家标准《再生钛锭》的送审稿及其编制说明。

二、标准编制原则

本标准制定过程中，主要结合各生产引用单位现场调研情况以及全面数据调研分析结果，完成了标准文本和编制说明的编制工作。同时，标准编制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) 本标准的制定应充分考虑我国再生钛锭行业水平，真实反应我国再生钛锭生产单位、应用单位以及科研院所的技术水平，为再生钛锭的质量保障提供科学合理的技术要求，实现稳定推动再生钛锭生产应用的发展目的。

c) 本标准是新制定《再生钛锭》国家标准，制定过程应开展全面调研和充分分析，在确定技术要求合理、检验规则科学的基础上，既要保持先进性和创新性，还要充分考虑标准实施后预期产生的经济效益和社会效益。

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

1.1 术语和定义

本标准在制定和实施过程中，有关再生钛锭的术语和定义可以按 GB/T 20927-2007《钛及钛合金废料》中的术语和定义执行，但本标准为新制定《再生钛锭》的国家标准，暂无“再生钛锭”的相关术语和定义。本标准为了准确界定“再生钛锭”的术语和定义，除按 GB/T 20927 界定的术语和定义执行外，还规定了“再生钛锭”的术语和定义：完全或部分采用回收钛原料，经净化处理并熔炼生产的钛及钛合金铸锭，简称再生钛锭。

1.2 牌号、状态、规格和生产方法

a) 牌号

根据各单位数据调研结果，目前我国再生钛锭的产品牌号主要包括 TA1、TA2、TA1G、TA2G、TA3G、TA4G、TA8、TA9、TA10、TA15、TC1、TC4、TC4ELI、TC11、TC18、TC21 共 16 个牌号，编制组经对 16 个牌号再生钛锭化学成分的实测数据分析，虽然所有牌号的再生钛锭化学成分可以满足产品标准的技术要求，但其中 TA3G、TA4G、TA8、TA9、TC1、TC4ELI、TC18、TC21 等再生钛锭合计产量不足再生钛锭产量的 1%，考虑到本标准为新制定国家标准，各牌号的样本数量不足以证明产品质量的稳定性和一致性。为降低再生钛锭的质量风险，编制组决定本标准仅纳入产量占比不小于 1% 以上的再生钛锭，其中 TA2G、TA10、TA15、TC4 和 TC11 再生钛锭的合计产量占有所有再生钛锭产量的 99%，各牌号也形成批量化生产应用验证。因此，本标准规定再生钛锭的牌号包括 TA2G、TA10、TA15、TC4 和 TC11 共 5 个牌号。

b) 状态

本标准规定的再生钛锭均为完全或部分采用回收钛原料，经净化处理并熔炼生产的钛及钛合金铸锭，其生产方式与海绵钛生产铸锭的方式一致，均以熔炼方式生产，其状态只有铸态一

种状态，本标准规定再生铸锭的状态为：铸态（Z）。

c) 规格

再生钛锭的规格由熔炼钛锭时采用铜坩埚的尺寸决定，目前熔炼钛锭的铜坩埚有方形和圆形两种不同的形式。本标准经对钛行业的全面调研和统计分析，综合考虑各生产企业的实际生产情况，规定再生钛锭的直径或宽度范围为 200mm~1600mm，长度范围为 500mm~8000mm。

d) 生产方法

虽然各生产单位因熔炼设备和熔炼工艺技术的不同，在再生钛锭熔炼生产过程中，会选择不同的熔炼设备和熔炼工艺，但随着我国钛行业长期稳定的发展，不同熔炼设备和熔炼工艺生产的再生钛锭已经批量化生产应用验证，不同的生产方式均有相应的应用。目前铸锭熔炼方法主要有电子束冷床炉熔炼（简称 EBCHM），不少于一次熔炼；真空自耗电弧炉熔炼（简称 VAR），不少于两次熔炼；电子束冷床炉+真空自耗电弧炉熔炼（简称 EBCHM+VAR），不少于两次熔炼。因此，本标准依据再生钛锭的实际生产方式，充分体现我国钛行业的发展技术水平，规定了以上 3 种不同的生产方式。

1.3 化学成分

本标准是围绕我国钛资源循环产业建设、开展循环经济绿色标准化研究，推动再生循环利用标准研制与技术研发、产业应用同步开展，提升钛资源再生利用水平的目的制定。在规定化学成分时，既考虑了本标准与现行国家标准之间的一致性和协调性，又考虑了钛产业再生循环技术研发的不断进行。在规定再生钛锭化学成分应符合 GB/T 3620.1 规定的基础上，规定当对再生钛锭有特殊的化学成分要求时，供需双方可协商确定的要求，力求在为再生钛锭产品质量保驾护航的同时，促进钛产业再生循环的进一步发展，有效降低钛及钛合金产品的制造成本。

1.4 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实际情况，再生钛锭的直径（或宽度）由熔炼铜坩埚的尺寸决定。考虑本标准规定再生钛锭已机加表面供货，一般不存在正偏差的现象，本标准规定了再生钛锭直径（或宽度）的负偏差要求，具体允许偏差见表 3。另外，本标准为提高再生钛锭的应用要求，规定再生钛锭的切斜度应不大于 30mm，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 $\geq 30\text{ mm} \times 40^\circ \sim 50^\circ$ 的要求。

表 3 直径（或宽度）允许偏差

直径（或宽度） mm	≤350	>350~550	>550~720	>720~820	>820~1040	>1040~1600
允许偏差 mm	0 -30	0 -40	0 -60	0 -70	0 -80	0 -100

1.5 β转变温度

在由再生钛锭向钛及钛合金加工材的加工过程中，热加工和热处理是无可避免的加工工序和热处理工序，而β转变温度是制定热加工温度和热处理温度的主要参考数据，尤其是 TA15、TC4、TC11 钛合金的热加工窗口较窄，对于热加工温度的选择依赖度较高。本标准为便于再生钛锭的生产应用单位可以准确制定 TA15、TC4、TC11 热加工和热处理工艺参数，规定 TA15、

TC4、TC11 再生钛锭应进行 β 转变温度的测定，并报实测值。

1.6 缩孔检测

因钛及钛合金铸锭需在真空状态下采用自耗电极熔炼的特殊方式，在钛及钛合金铸锭熔炼过程中需对铸锭头部进行补缩熔炼，而在铸锭补缩熔炼过程中无可避免的会产生或大或小的补缩缩孔。为了防止再生钛锭因头部缩孔去除不彻底，导致加工材中产生疏松、缩孔等冶金缺陷，降低由再生钛锭生产加工材的质量风险，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。另外，本标准考虑到再生钛锭应用单位的便利性，规定当需方要求并在订货中注明时，应切除缩孔部分。

1.7 表面粗糙度

钛及钛合金铸锭虽然在真空状态下熔炼，但其原料中的氧元素为固有元素，在钛及钛合金铸锭熔炼过程中，会在铸锭表面形成一层氧化皮。因铸锭表面氧化皮的存在，在后续热加工过程中除了容易形成裂纹源导致开裂之外，还容易造成氧化皮的折叠压入形成压入性夹杂，通常情况下需对铸锭的表面氧化层进行扒皮处理。本标准为了便于再生钛锭的后续热加工，规定再生钛锭应以机加工表面交付，为了防止粗糙的机加工表面导致再生钛锭在后续热加工过程中产生表面裂纹源，规定再生钛锭表面粗糙度 (Ra) 应不大于 $12.5\mu\text{m}$ 。

1.8 外观质量

在钛及钛合金铸锭的生产过程中，因受原料挥发物、真空度、熔炼速度等多原因的影响，极易在铸锭表面形成冷隔、裂纹，皮下层产生夹层、疏松、气孔等缺陷。为了提高再生钛锭的表面质量，本标准虽然规定以机加表面交付，但为了防止对再生钛锭表面机加不彻底、机加工工艺粗糙等导致再生钛锭的外观质量水平降低。本标准规定再生钛锭表面不允许残留冷隔、夹层、疏松等缺陷，不允许有机加工台坎。

本标准考虑到再生钛锭在后续热加工过程中，需进行多次的表面扒皮处理，少量气孔不影响后续的热加工过程，本标准规定允许再生钛锭表面有少量的气孔存在，但气孔的深度和直径应不大于 5mm 。为了提高再生钛锭的利用率，有效降低再生钛锭的生产成本和提高再生钛锭的产品质量，本标准允许采用刨铣或打磨的方法清除局部污染、裂纹、气孔等缺陷，清理后应保证铸锭允许的最小尺寸，且清理部位应圆滑过渡，无台坎和棱角，清理部位的深宽比应不大于 $1:10$ ，清理深度应不大于 10mm ，且应保证铸锭允许的最小尺寸。

本标准除了规定对再生钛锭表面进行处理之外，为防止再生钛锭头、尾部缺陷影响后续热加工性能，规定再生钛锭头、尾部端面应平整，不允许有机加工台坎、火割、飞溅物、熔瘤等痕迹存在，不允许有开放性缩孔存在。

(二) 主要试验(或验证)情况分析

为了有效验证再生钛锭的质量水平，本标准将从直接影响再生钛锭质量的化学成分和由再生钛锭生产的加工材室温拉伸性能两个方面进行全面的综合验证分析。

2.1 化学成分

2.1.1 TA2G

1) Fe 元素：GB/T 3620.1-2016 中规定 TA2G 的 $\text{Fe} \leq 0.30\%$ ，实测最小值为 0.01% 、实测最大值为 0.078% 、平均值为 0.038% ，从实测结果可以看出 TA2G 再生钛锭的 Fe 元素完全满足 GB/T

3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 3。

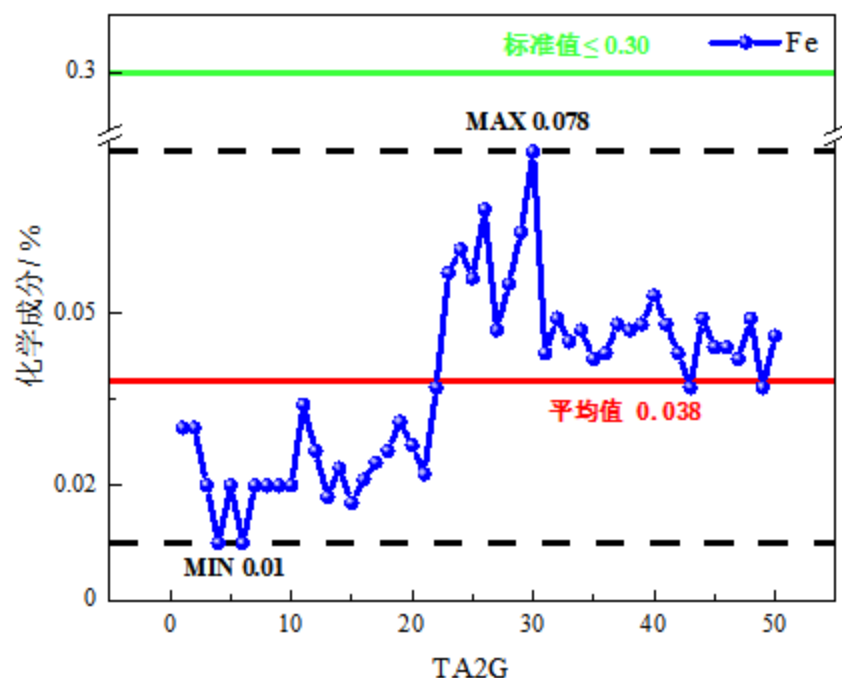


图 3 TA2G 牌号 Fe 元素验证结果

2) O 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TA2G 的 $O \leq 0.25\%$, 实测最小值为 0.079%、实测最大值为 0.16%、平均值为 0.12%, 从实测结果可以看出 TA2G 再生钛锭的 O 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 4。

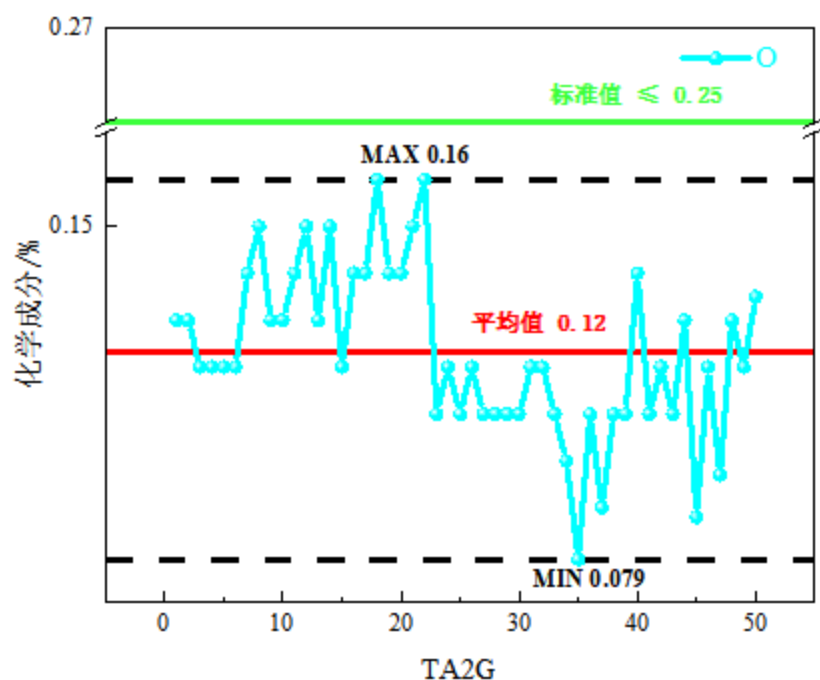


图 4 TA2G 牌号 O 元素验证结果

2.1. 2TA10

1) Mo 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TA10 的 Mo 含量为 0.2%~0.4%, 实测最小值为 0.24%、实测最大值为 0.34%、平均值为 0.29%, 从实测结果可以看出 TA10 再生钛锭的 Mo 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 5。

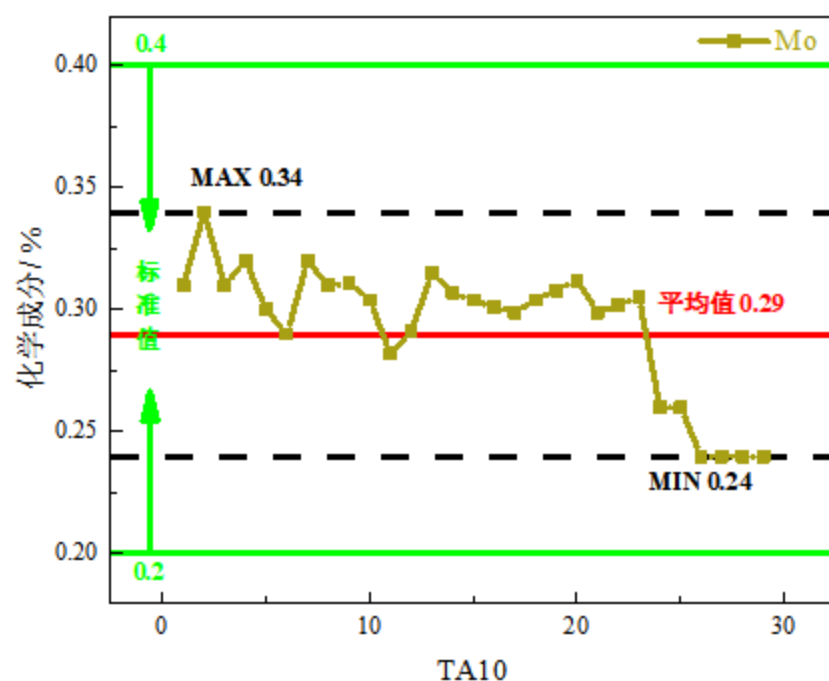


图 5 TA10 牌号 Mo 元素验证结果

2)Ni 元素:GB/T 3620.1-2016 中规定 TA10 的 Ni 含量为 0.6%~0.9%,实测最小值为 0.62%、实测最大值为 0.79%、平均值为 0.71%,从实测结果可以看出 TA10 再生钛锭的 Ni 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求,具体验证结果见图 6。

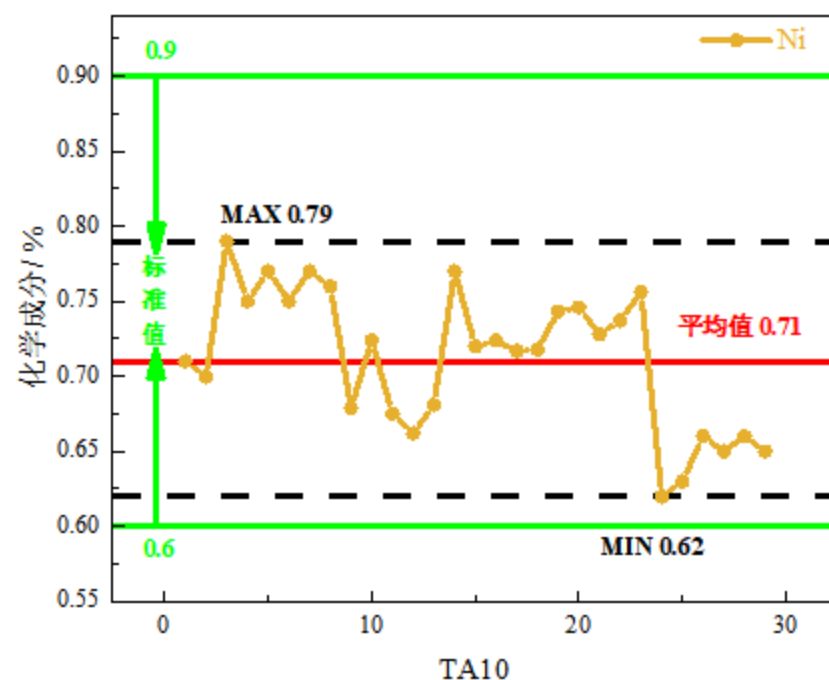


图 6 TA10 牌号 Ni 元素验证结果

3) Fe 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TA10 的 $Fe \leq 0.30\%$, 实测最小值为 0.14%、实测最大值为 0.085%、平均值为 0.03%,从实测结果可以看出 TA10 再生钛锭的 Fe 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求,具体验证结果见图 7。

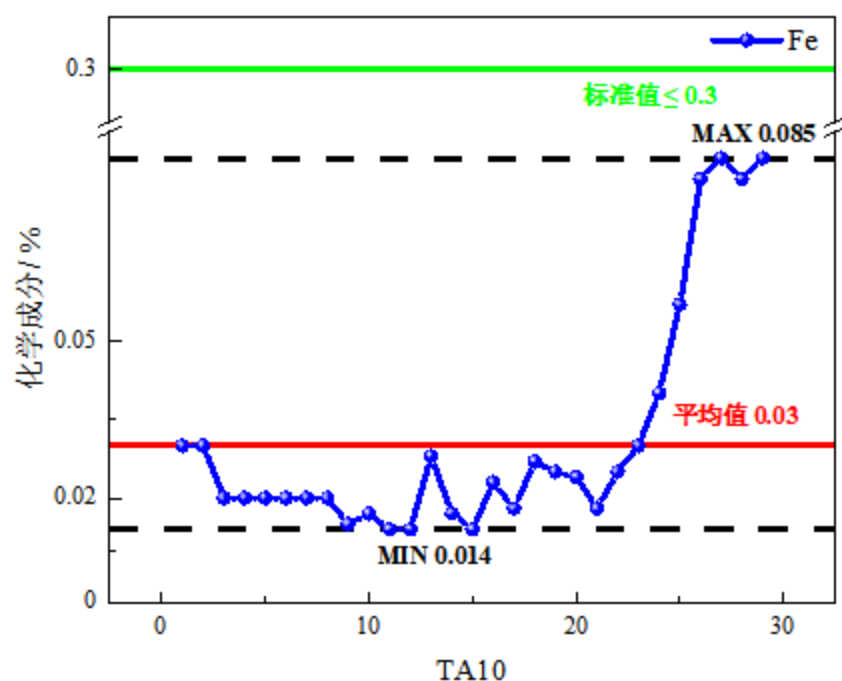


图7 TA10 牌号 Fe 元素验证结果

4) O 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TA10 的 $O \leq 0.25\%$, 实测最小值为 0.021%、实测最大值为 0.16%、平均值为 0.11%, 从实测结果可以看出 TA10 再生钛锭的 O 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 8。

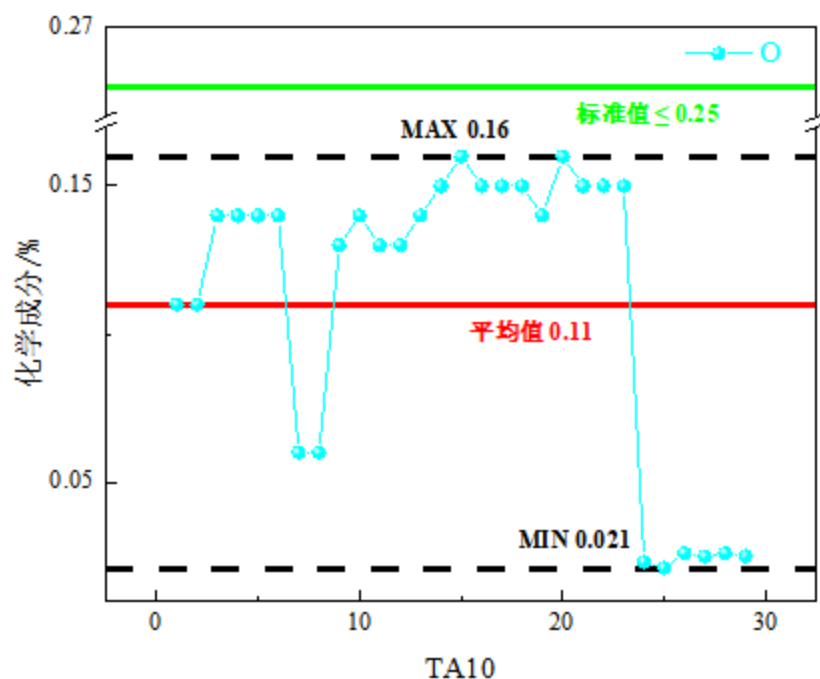


图8 TA10 牌号 O 元素验证结果

2.1.3TA15

1) Al 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TA15 的 Al 含量为 5.5%~7.1%, 实测最小值为 6.3%、实测最大值为 7.01%、平均值为 6.7%, 从实测结果可以看出 TA15 再生钛锭的 Al 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 9。

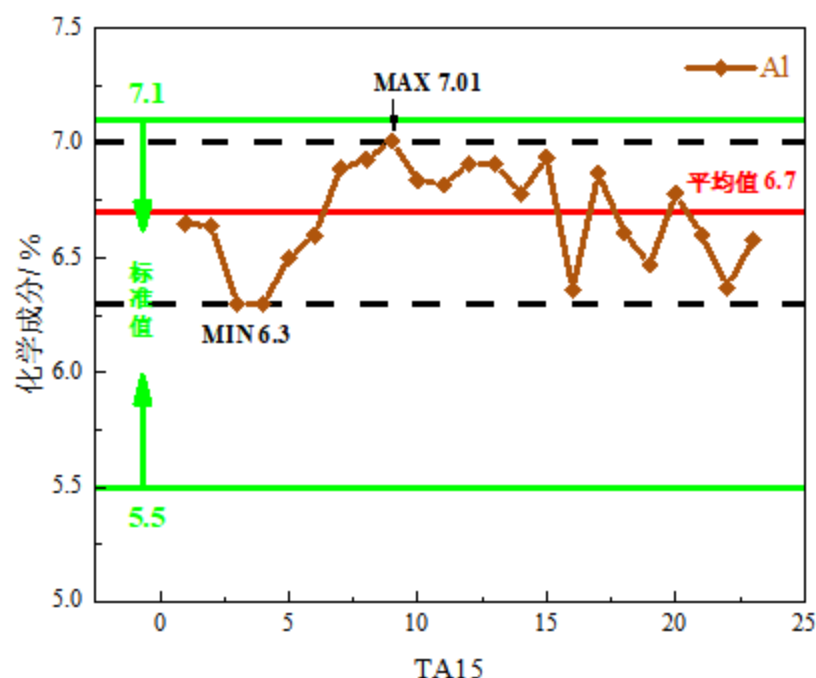


图9 TA15 牌号 Al 元素验证结果

2) Mo 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TA15 的 Mo 含量为 0.5%~2.0%, 实测最小值为 1.3%、实测最大值为 1.86%、平均值为 1.6%, 从实测结果可以看出 TA15 再生钛锭的 Mo 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 10。

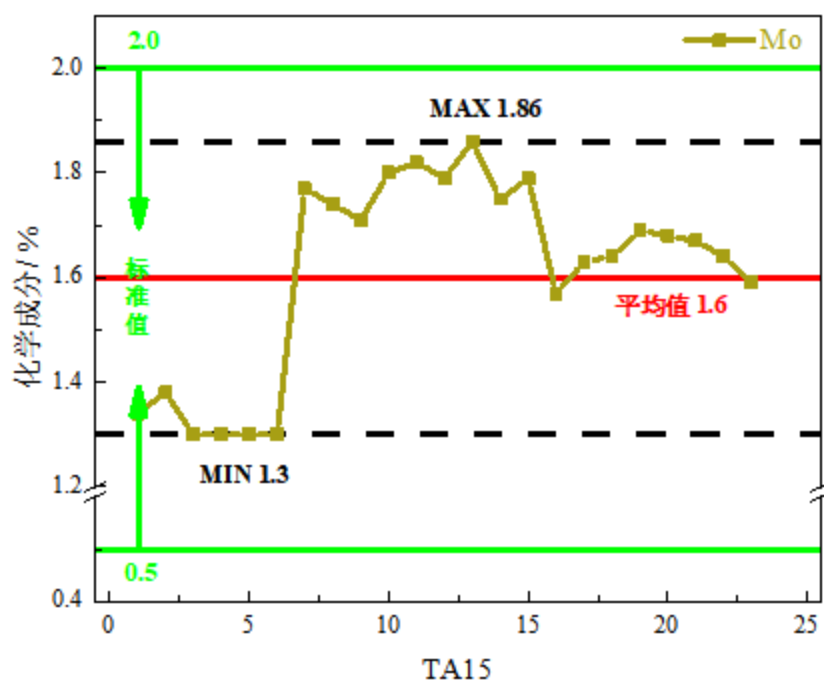


图10 TA15 牌号 Mo 元素验证结果

3) V 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TA15 的 V 含量为 0.8%~2.5%, 实测最小值为 1.36%、实测最大值为 2.31%、平均值为 2.0%, 从实测结果可以看出 TA15 再生钛锭的 V 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 11。

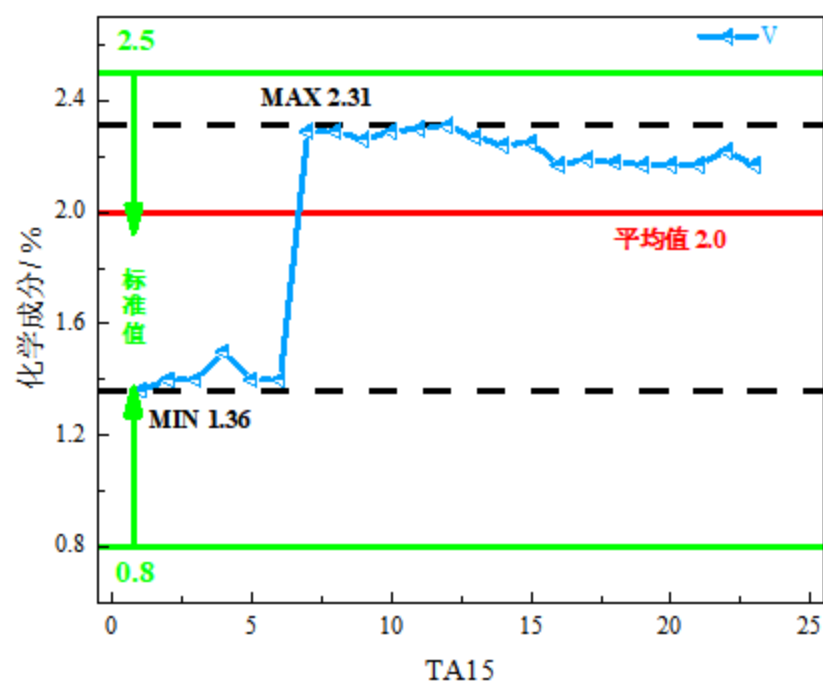


图 11 TA15 牌号 V 元素验证结果

4) Zr 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TA15 的 Zr 含量为 1.5%~2.5%, 实测最小值为 2.0%、实测最大值为 2.31%、平均值为 2.2%, 从实测结果可以看出 TA15 再生钛锭的 Zr 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 12。

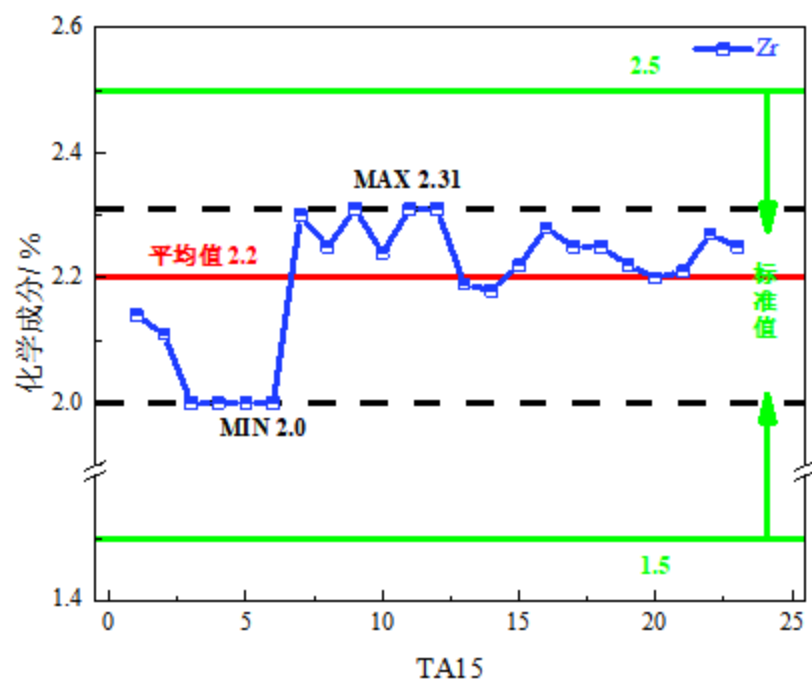


图 12 TA15 牌号 Zr 元素验证结果

5) Fe 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TA15 的 $Fe \leq 0.25\%$, 实测最小值为 0.026%、实测最大值为 0.068%、平均值为 0.04%, 从实测结果可以看出 TA15 再生钛锭的 Fe 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 13。

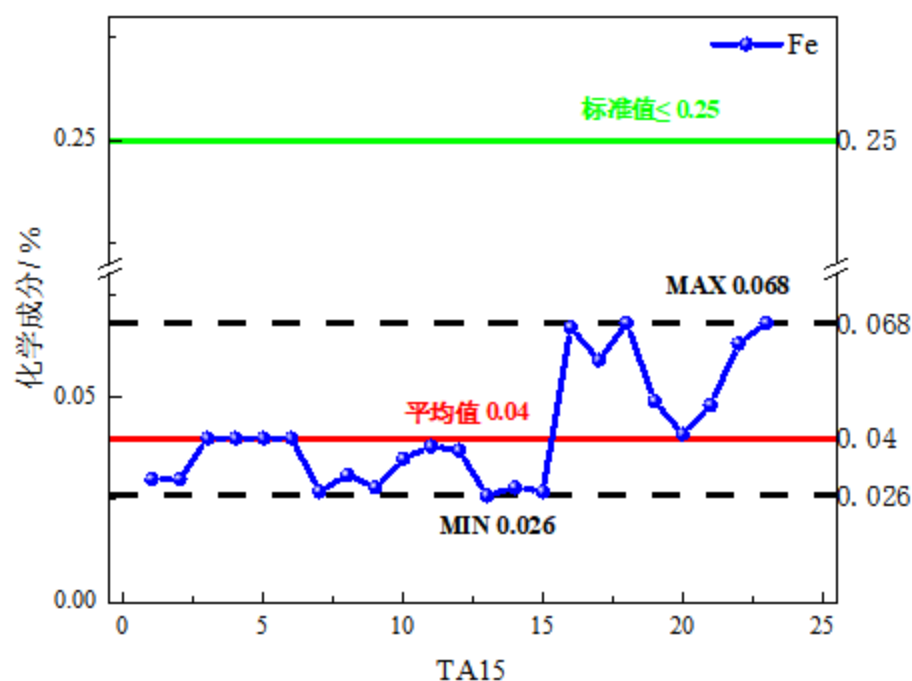


图 13 TA15 牌号 Fe 元素验证结果

6) O 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TA15 的 $O \leq 0.15\%$, 实测最小值为 0.08%、实测最大值为 0.142%、平均值为 0.11%, 从实测结果可以看出 TA15 再生钛锭的 O 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 14。

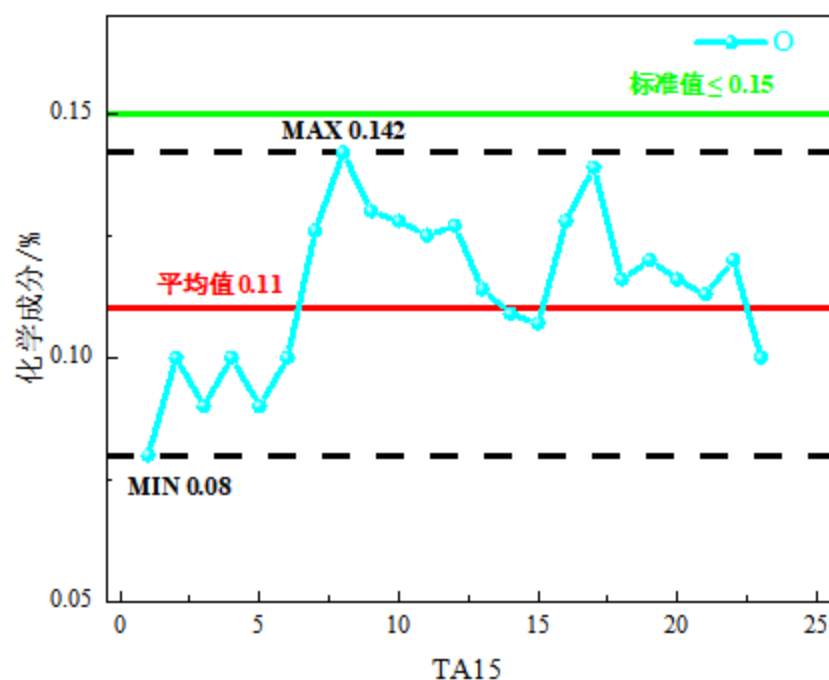


图 14 TA15 牌号 O 元素验证结果

2.1. 4TC4

1) Al 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TC4 的 Al 含量为 5.5%~6.75%, 实测最小值为 5.8%、实测最大值为 6.59%、平均值为 6.26%, 从实测结果可以看出 TC4 再生钛锭的 Al 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 15。

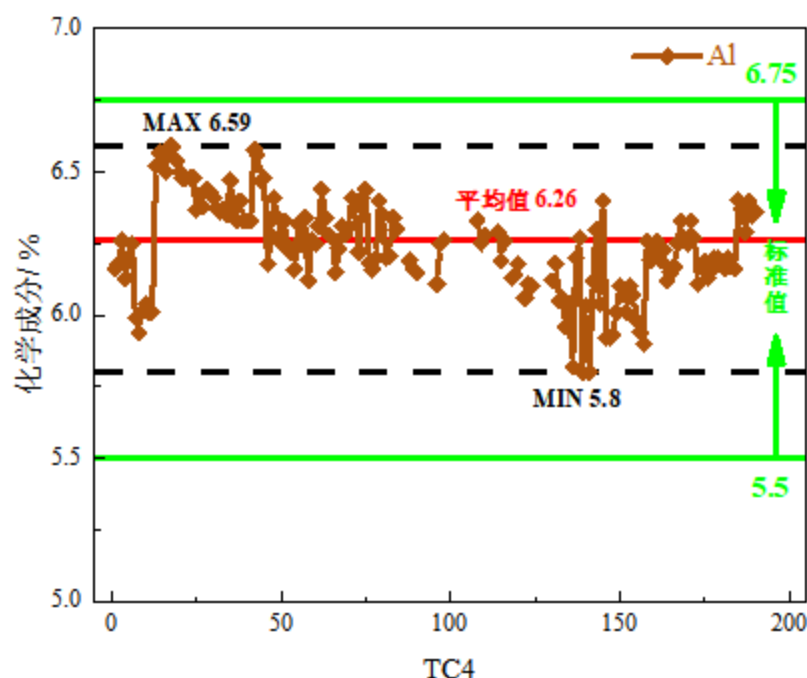


图 15 TC4 牌号 Al 元素验证结果

2) V 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TC4 的 V 含量为 3.5%~4.5%, 实测最小值为 3.8%、实测最大值为 4.41%、平均值为 4.16%, 从实测结果可以看出 TC4 再生钛锭的 V 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 16。

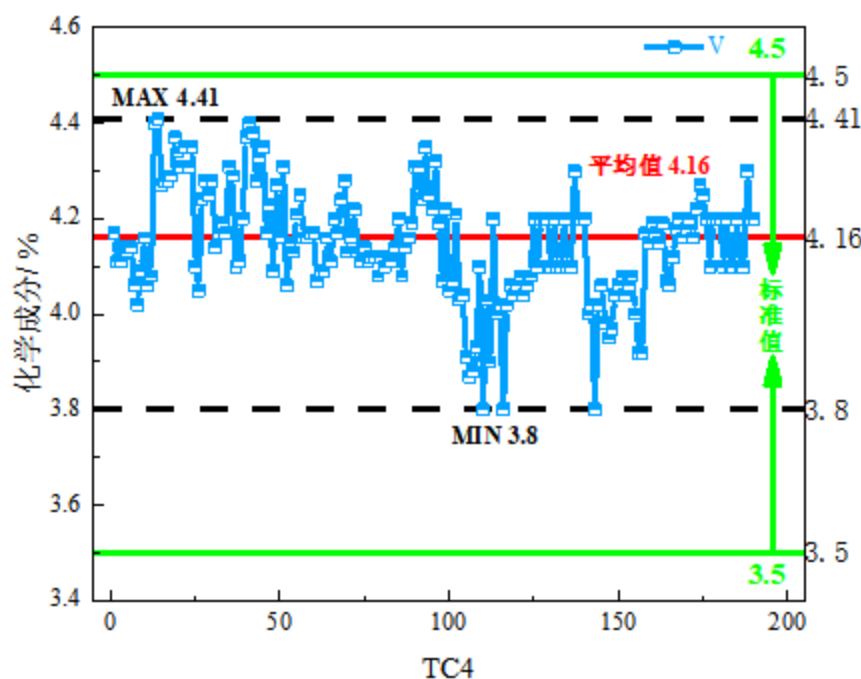


图 16 TC4 牌号 V 元素验证结果

3) Fe 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TC4 的 $Fe \leq 0.3\%$, 实测最小值为 0.01%、实测最大值为 0.23%、平均值为 0.14%, 从实测结果可以看出 TC4 再生钛锭的 Fe 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 17。

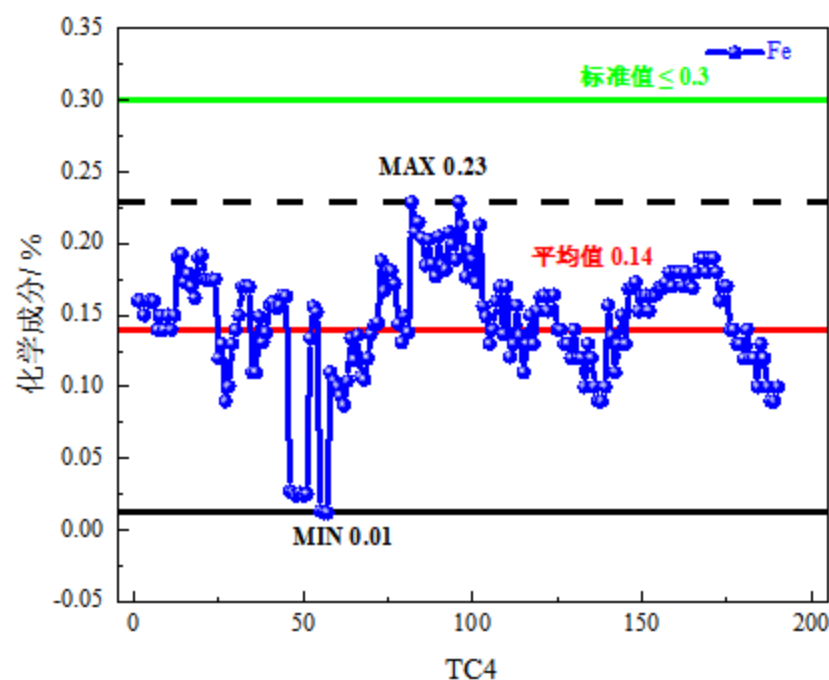


图 17 TC4 牌号 Fe 元素验证结果

4) O 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TC4 的 $O \leq 0.2\%$, 实测最小值为 0.099%、实测最大值为 0.191%、平均值为 0.15%, 从实测结果可以看出 TC4 再生钛锭的 O 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 18。

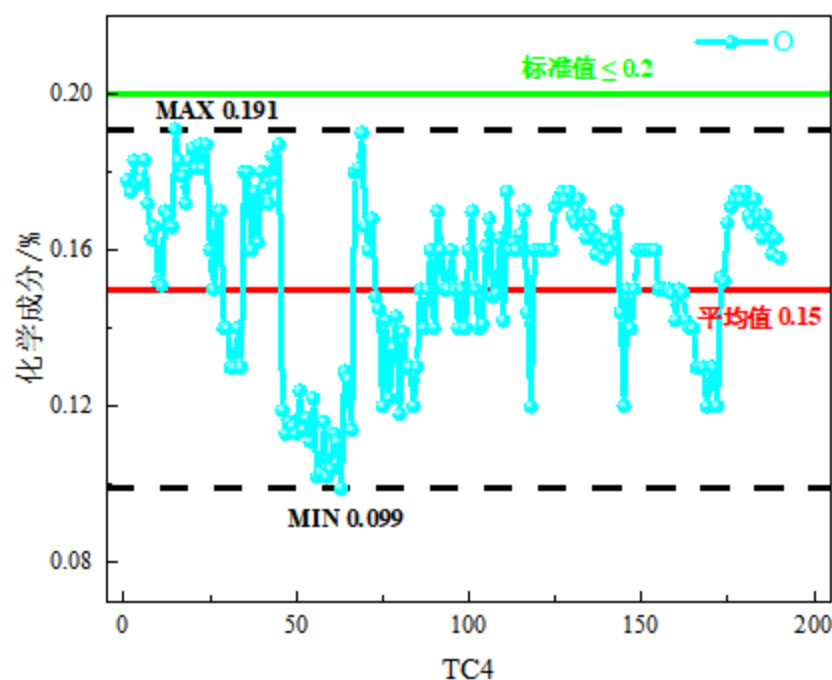


图 18 TC4 牌号 O 元素验证结果

2.1.5 TC11

1) Al 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TC11 的 Al 含量为 5.8%~7.0%, 实测最小值为 6.22%、实测最大值为 6.78%、平均值为 6.57%, 从实测结果可以看出 TC11 再生钛锭的 Al 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 19。

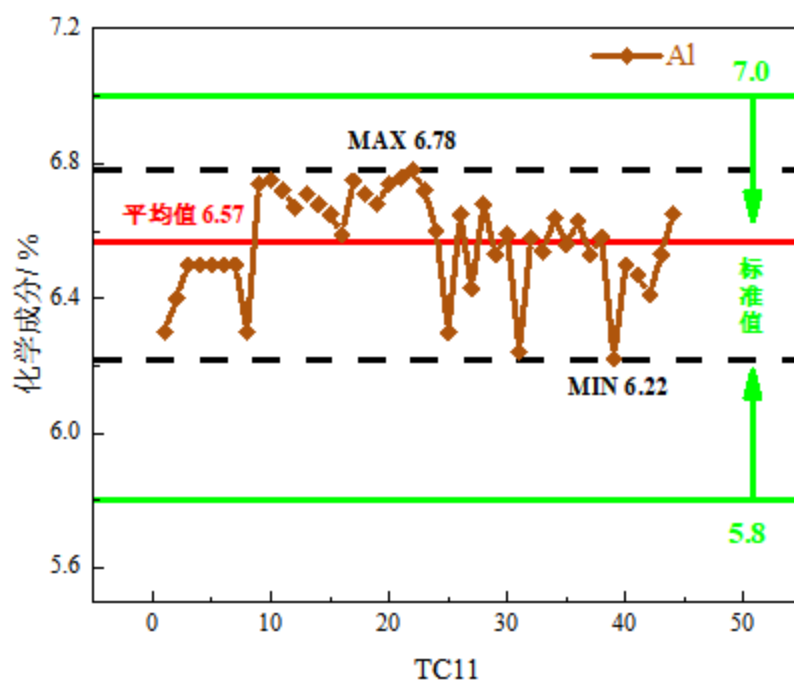


图 19 TC11 牌号 Al 元素验证结果

2)Mo 元素:GB/T 3620.1-2016 中规定 TC11 的 Mo 含量为 2.8%~3.8%,实测最小值为 3.17%、实测最大值为 3.5%、平均值为 3.46%,从实测结果可以看出 TC11 再生钛锭的 Mo 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求,具体验证结果见图 20。

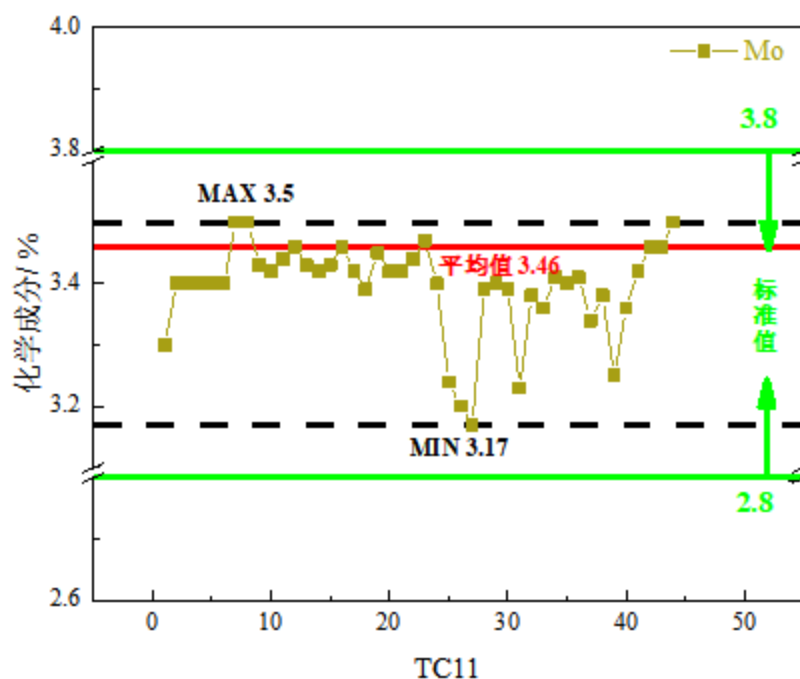


图 20 TC11 牌号 Mo 元素验证结果

3)Zr 元素:GB/T 3620.1-2016 中规定 TC11 的 Zr 含量为 0.8%~2.0%,实测最小值为 1.31%、实测最大值为 1.7%、平均值为 1.57%,从实测结果可以看出 TC11 再生钛锭的 Zr 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求,具体验证结果见图 21。

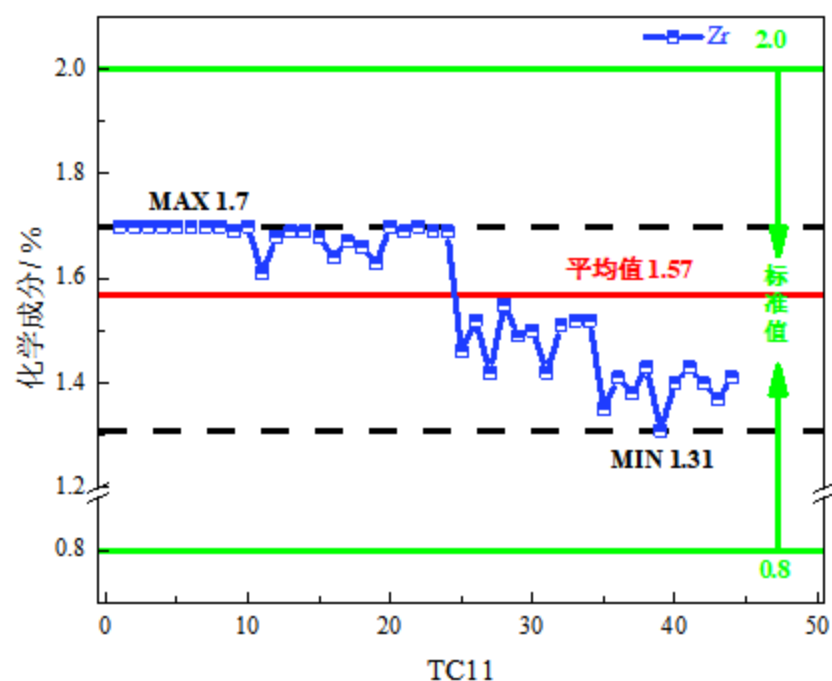


图 21 TC11 牌号 Zr 元素验证结果

4) Fe 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TC11 的 $Fe \leq 0.25\%$, 实测最小值为 0.03%、实测最大值为 0.2%、平均值为 0.15%, 从实测结果可以看出 TC11 再生钛锭的 Fe 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 22。

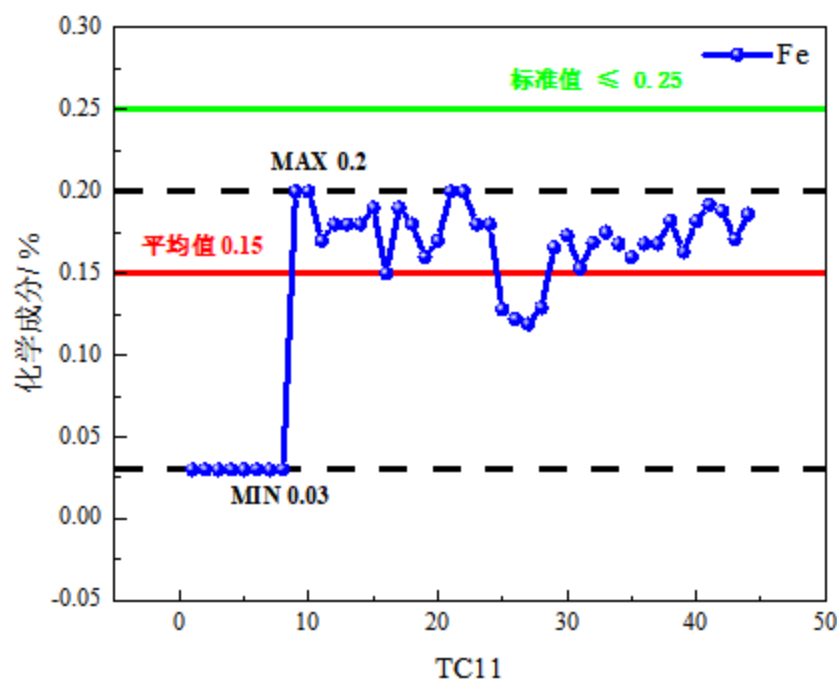


图 22 TC11 牌号 Fe 元素验证结果

5) O 元素: GB/T 3620.1-2016 中规定 TC11 的 $O \leq 0.15\%$, 实测最小值为 0.098%、实测最大值为 0.14%、平均值为 0.12%, 从实测结果可以看出 TC11 再生钛锭的 O 元素完全满足 GB/T 3620.1-2016 的要求, 具体验证结果见图 23。

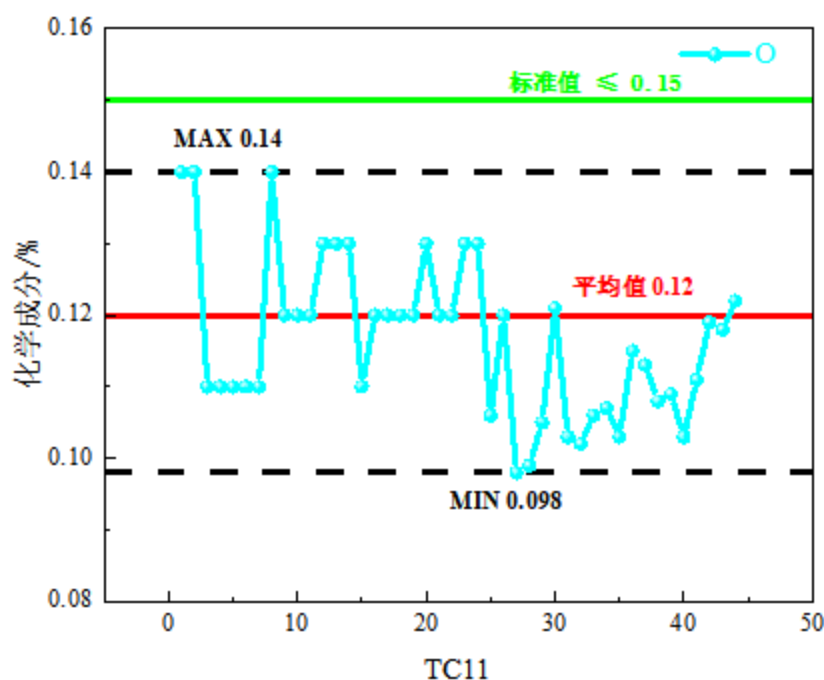


图 23 TC11 牌号 0 元素验证结果

2.2 加工材室温拉伸性能

2.2.1 TA2G

1) 抗拉强度 R_m : GB/T 3621-2022 规定 TA2G 的 $R_m \geq 400\text{MPa}$, 实测最小值为 403MPa、实测最大值为 530MPa、平均值为 447MPa, 从实测结果可以看出由 TA2G 再生钛锭生产的加工材抗拉强度完全满足产品标准的要求, 具体验证结果见图 24。

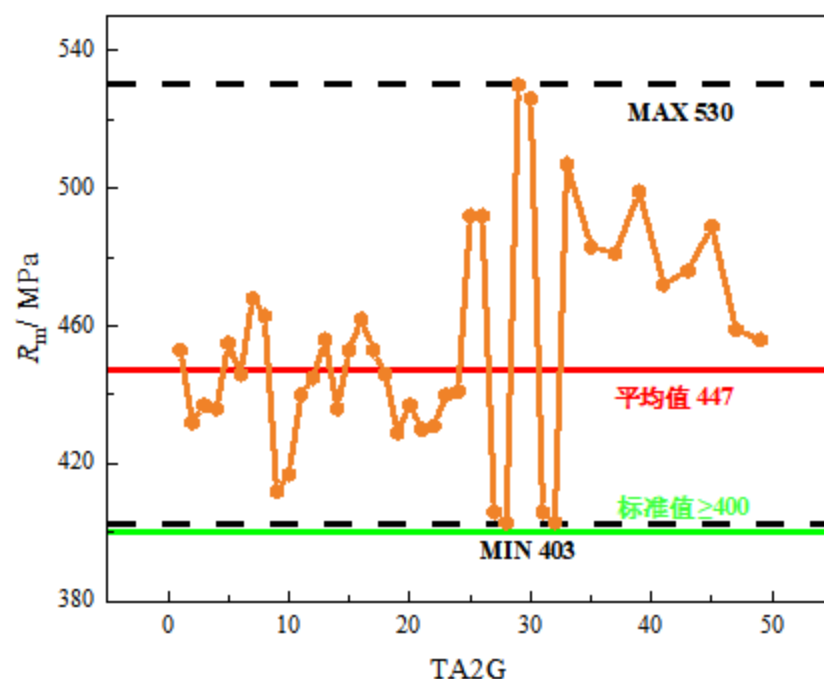


图 24 TA2G 抗拉强度验证结果

2) 规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$: GB/T 3621-2022 规定 TA2G 的 $R_{p0.2}$ 为 275MPa~450MPa, 实测最小值为 317MPa、实测最大值为 414MPa、平均值为 364MPa, 从实测结果可以看出由 TA2G 再生钛锭生产的加工材规定塑性延伸强度完全满足产品标准的要求, 具体验证结果见图 25。

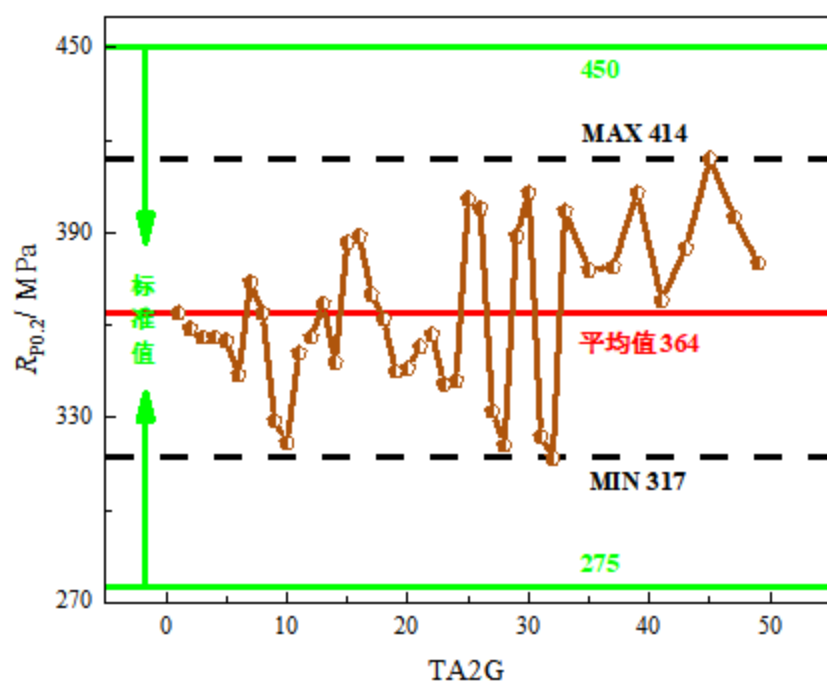


图 25 TA2G 规定塑性延伸强度验证结果

3) 断后伸长率 A : GB/T 3621-2022 规定 TA2G 的 $A \geq 25\%$, 实测最小值为 26%、实测最大值为 35%、平均值为 31.5%, 从实测结果可以看出由 TA2G 再生钛锭生产的加工材断后伸长率完全满足产品标准的要求, 具体验证结果见图 26。

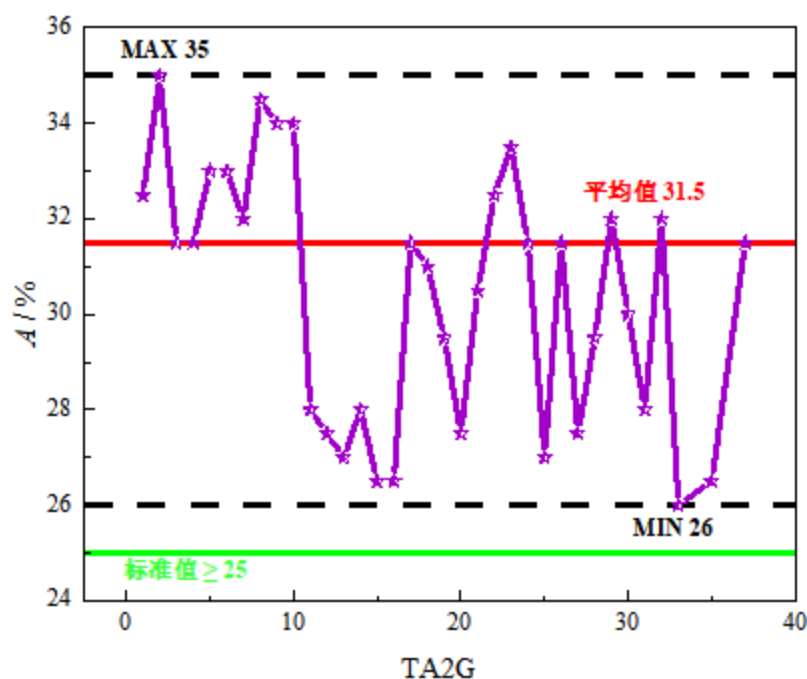


图 26 TA2G 断后伸长率验证结果

2.2. 2TA10

1) 抗拉强度 R_m : GB/T 3621-2022 规定 TA10 的 $R_m \geq 485\text{MPa}$, 实测最小值为 489MPa、实测最大值为 631MPa、平均值为 537MPa, 从实测结果可以看出由 TA10 再生钛锭生产的加工材抗拉强度完全满足产品标准的要求, 具体验证结果见图 27。

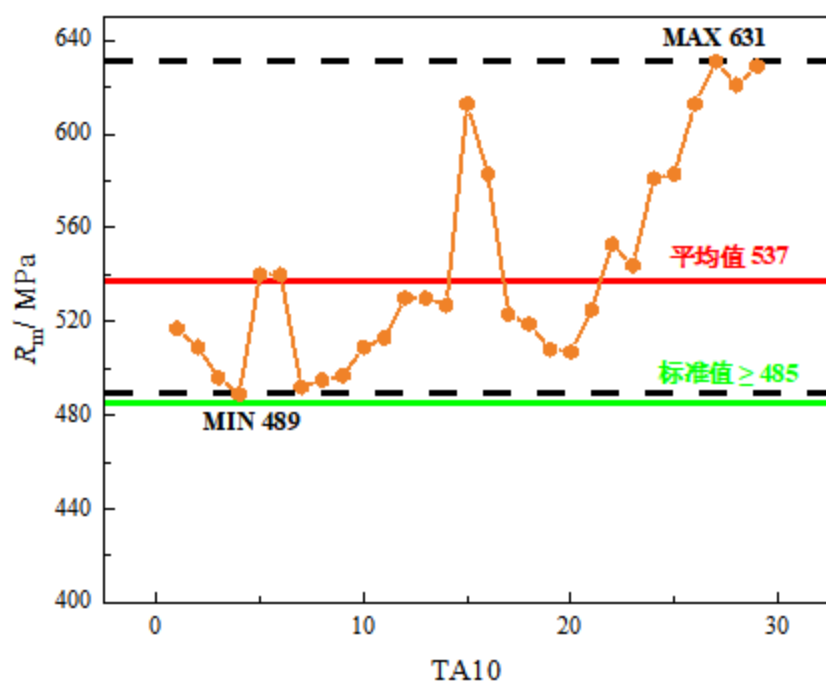


图 27 TA10 抗拉强度验证结果

2)规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$: GB/T 3621-2022规定 TA10的 $R_{p0.2} \geq 345$ MPa, 实测最小值为 378MPa、实测最大值为 596MPa、平均值为 450MPa, 从实测结果可以看出由 TA10 再生钛锭生产的加工材规定塑性延伸强度完全满足产品标准的要求, 具体验证结果见图 28。

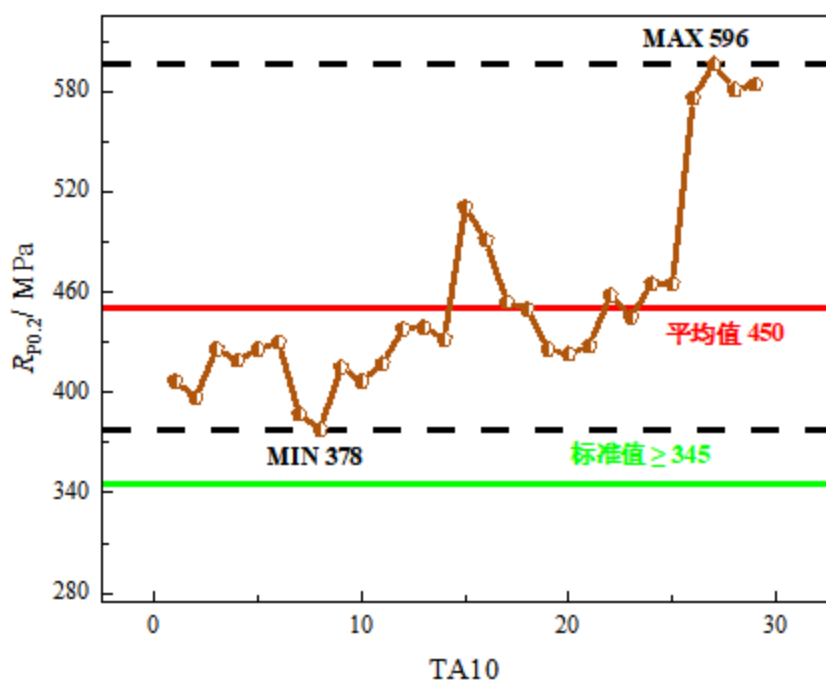


图 28 TA10 规定塑性延伸强度验证结果

3) 断后伸长率 A : GB/T 3621-2022 规定 TA10 的 $A \geq 18\%$, 实测最小值为 18.5%、实测最大值为 36%、平均值为 27%, 从实测结果可以看出由 TA10 再生钛锭生产的加工材断后伸长率完全满足产品标准的要求, 具体验证结果见图 29。

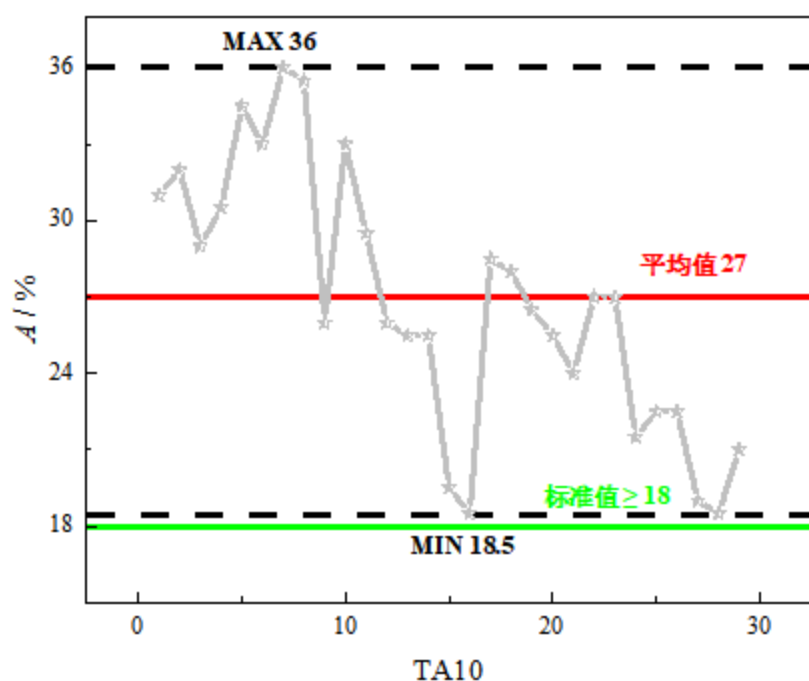


图 29 TA10 断后伸长率验证结果

2.2.3TA15

1)抗拉强度 R_m :GB/T 3621-2022 规定 TA15 的 R_m 为 930MPa~1130MPa,实测最小值为 966MPa、实测最大值为 1090MPa、平均值为 1002MPa,从实测结果可以看出由 TA15 再生钛锭生产的加工材抗拉强度完全满足产品标准的要求,具体验证结果见图 30。

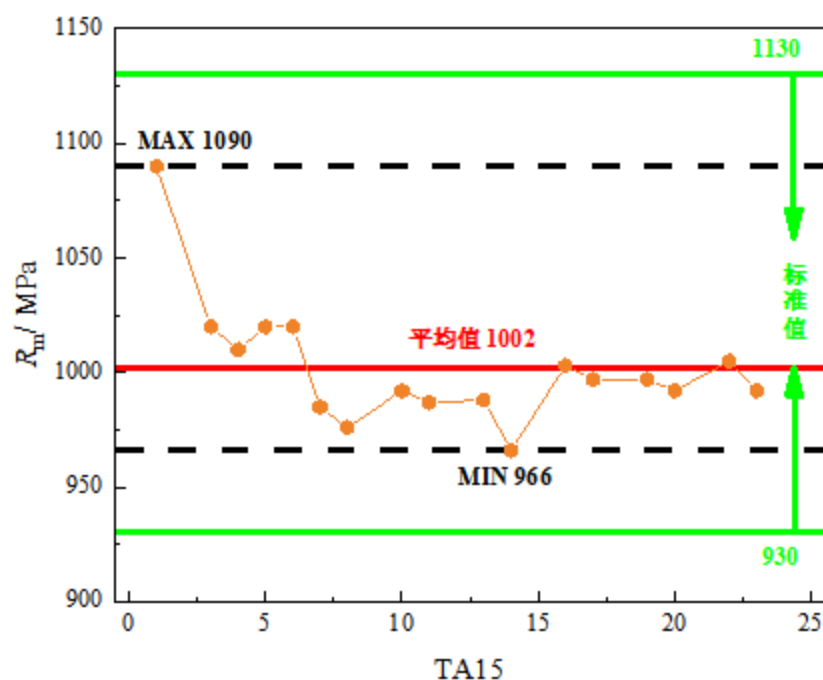


图 30 TA15 抗拉强度验证结果

2)规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$:GB/T 3621-2022 规定 TA15 的 $R_{p0.2} \geq 855$ MPa,实测最小值为 885MPa、实测最大值为 1070MPa、平均值为 932MPa,从实测结果可以看出由 TA15 再生钛锭生产的加工材规定塑性延伸强度完全满足产品标准的要求,具体验证结果见图 31。

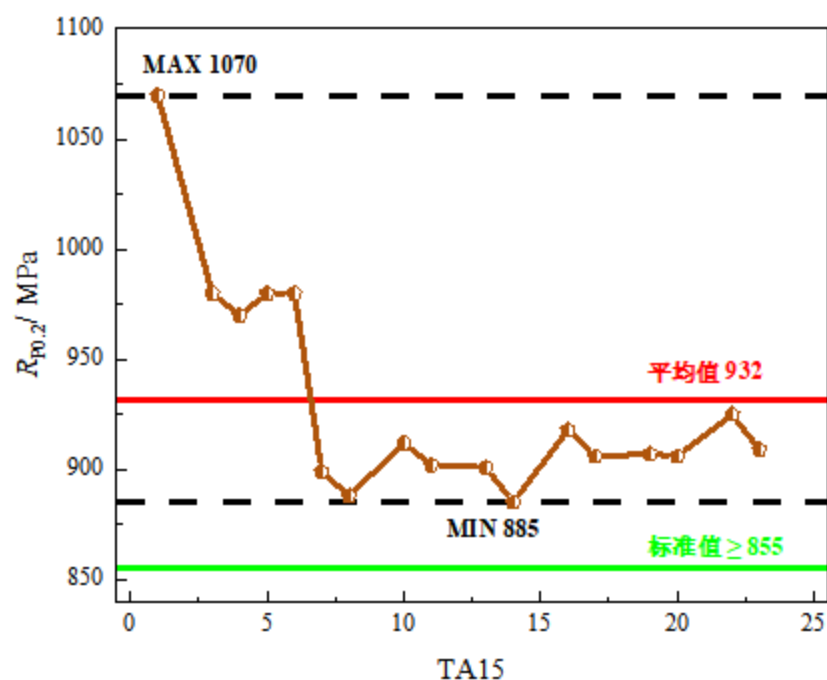


图 31 TA15 规定塑性延伸强度验证结果

3) 断后伸长率 A : GB/T 3621-2022 规定 TA15 的 $A \geq 10\%$, 实测最小值为 13%、实测最大值为 17%、平均值为 14.8%, 从实测结果可以看出由 TA15 再生钛锭生产的加工材断后伸长率完全满足产品标准的要求, 具体验证结果见图 32。

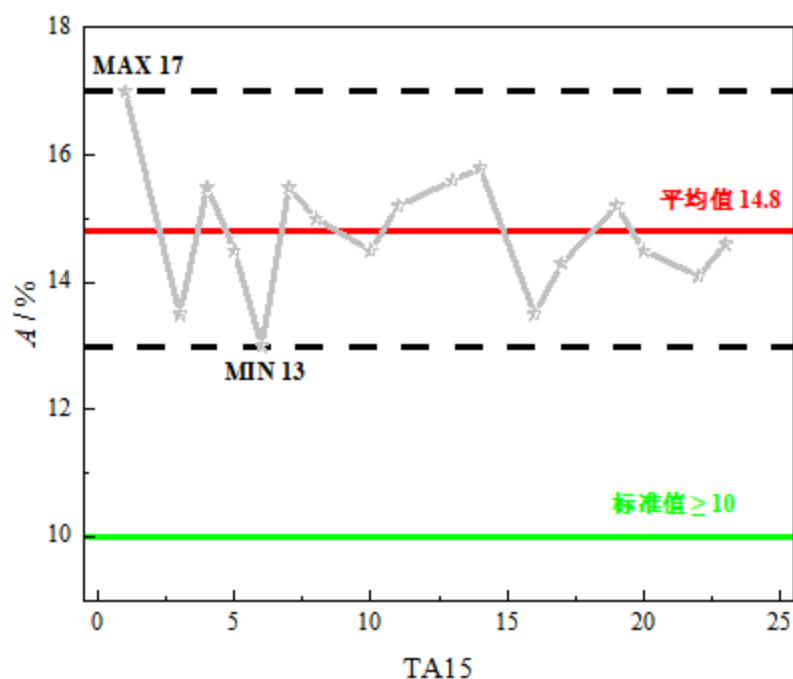


图 32 TA15 断后伸长率验证结果

2.2. 4TC4

1) 抗拉强度 R_b : GB/T 3621-2022 规定 TC4 的 R_b 为 895MPa~1150MPa, 实测最小值为 926MPa、实测最大值为 1055MPa、平均值为 976MPa, 从实测结果可以看出由 TC4 再生钛锭生产的加工材抗拉强度完全满足产品标准的要求, 具体验证结果见图 33。

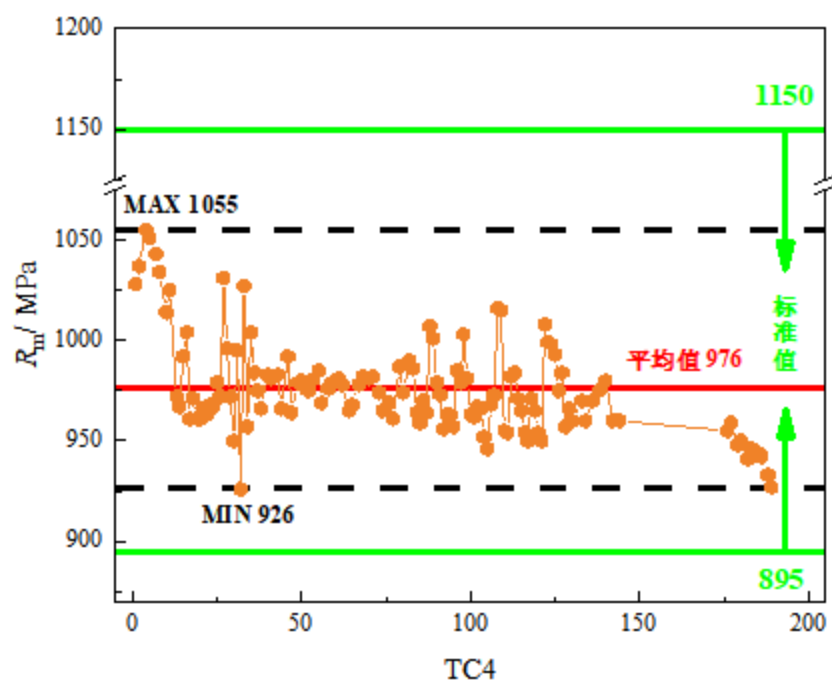


图 33 TC4 抗拉强度验证结果

2) 规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$: GB/T 3621-2022 规定 TC4 的 $R_{p0.2} \geq 825$ MPa, 实测最小值为 828 MPa、实测最大值为 983 MPa、平均值为 890 MPa, 从实测结果可以看出由 TC4 再生钛锭生产的加工材规定塑性延伸强度完全满足产品标准的要求, 具体验证结果见图 34。

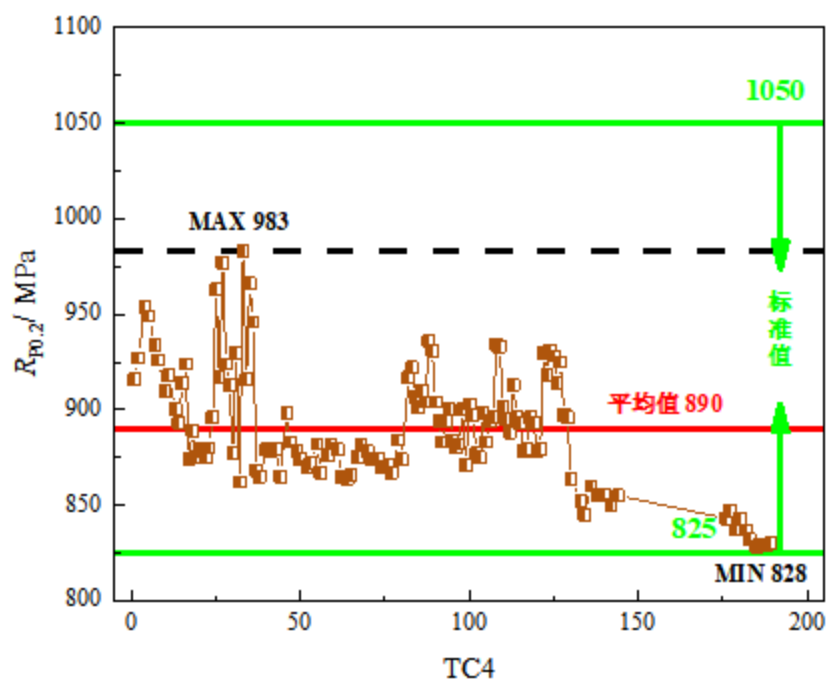


图 34 TC4 规定塑性延伸强度验证结果

3) 断后伸长率 A : GB/T 3621-2022 规定 TC4 的 $A \geq 10\%$, 实测最小值为 12%、实测最大值为 22.5%、平均值为 16.2%, 从实测结果可以看出由 TC4 再生钛锭生产的加工材断后伸长率完全满足产品标准的要求, 具体验证结果见图 35。

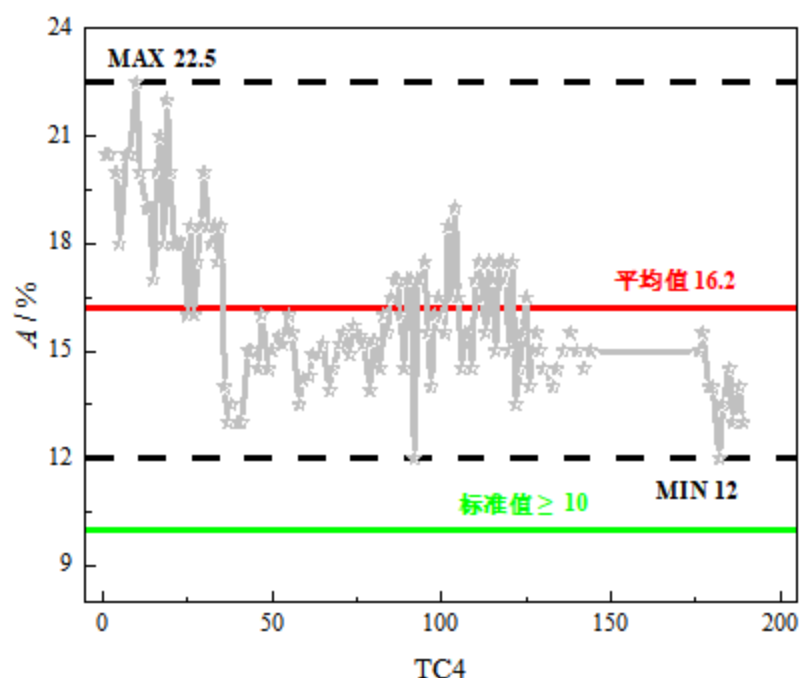


图 35 TC4 断后伸长率验证结果

2.2.5 TC11

1) 抗拉强度 R_m : GB/T 2965-2023 规定 TC11 的 $R_m \geq 1030\text{MPa}$, 实测最小值为 1044MPa、实测最大值为 1163MPa、平均值为 1099MPa, 从实测结果可以看出由 TC11 再生钛锭生产的加工材抗拉强度完全满足产品标准的要求, 具体验证结果见图 36。

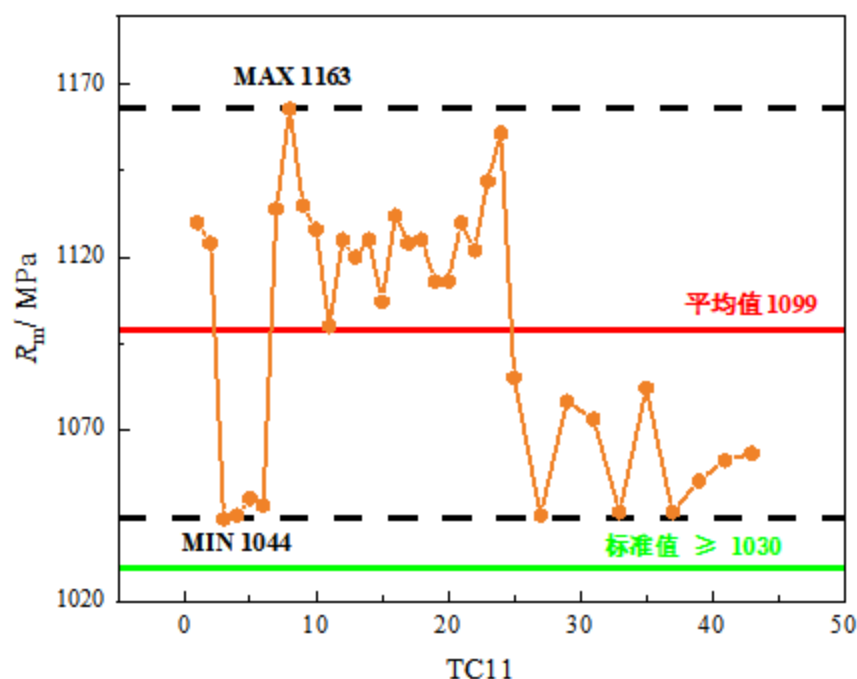


图 36 TC11 抗拉强度验证结果

2) 规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$: GB/T 2965-2023 规定 TC11 的 $R_{p0.2} \geq 900\text{MPa}$, 实测最小值为 903MPa、实测最大值为 1022MPa、平均值为 972MPa, 从实测结果可以看出由 TC11 再生钛锭生产的加工材规定塑性延伸强度完全满足产品标准的要求, 具体验证结果见图 37。

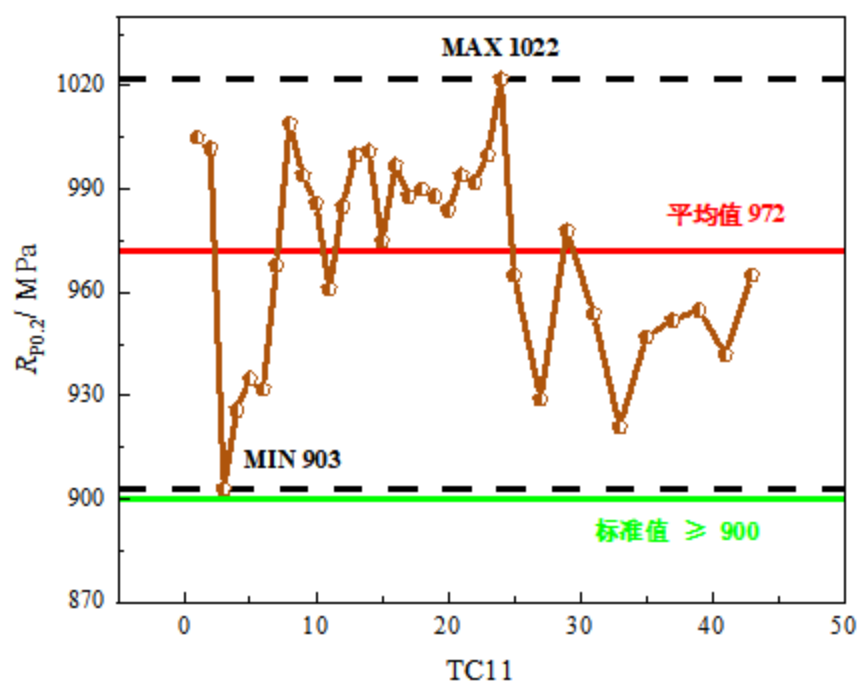


图 37 TC11 规定塑性延伸强度验证结果

3) 断后伸长率 A : GB/T 2965-2023 规定 TC11 的 $A \geq 10\%$, 实测最小值为 11.5%、实测最大值为 18%、平均值为 15.1%, 从实测结果可以看出由 TC11 再生钛锭生产的加工材断后伸长率完全满足产品标准的要求, 具体验证结果见图 38。

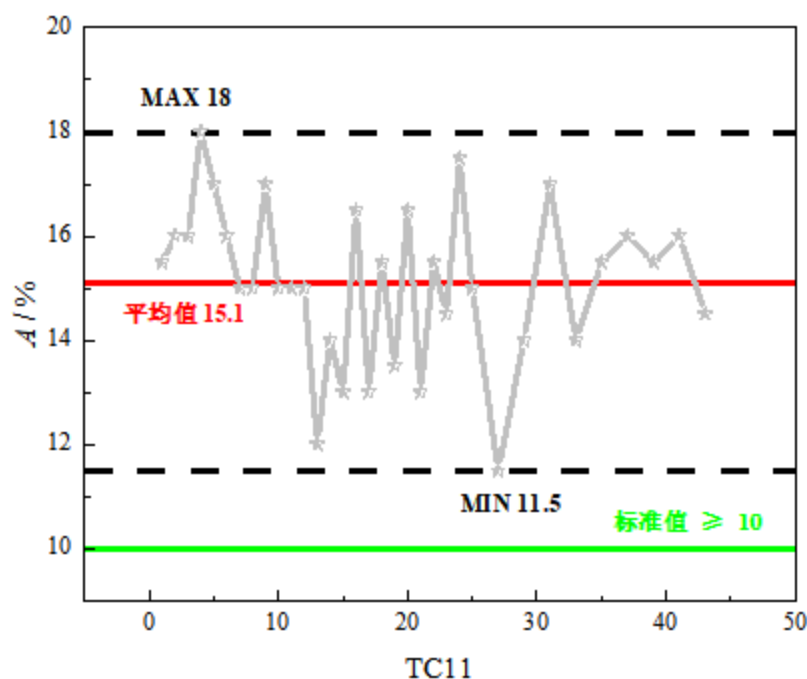


图 38 TC11 断后伸长率验证结果

本标准分别对 TA2G、TA10、TA15、TC4、TC11 再生钛锭化学成分中的主要元素 Al、V、Mo、Zr、Ni 以及主要杂质元素 Fe、O 含量进行了全面的验证分析。验证结果表明, 本标准规定的 TA2G、TA10、TA15、TC4、TC11 再生钛锭化学成分检验结果稳定, 且符合 GB/T 3620.1-2016《钛及钛合金牌号和化学成分》现行国家标准的规定要求。

本标准规定的再生钛锭主要用于生产相应钛及钛合金加工材, 为了准确预判本标准规定钛及钛合金再生钛锭对所生产加工材的质量影响, 本标准还对由再生钛锭后续生产加工材的室温

拉伸性能进行了实质性验证。在验证过程中，主要就钛及钛合金板材和棒材两大主要产品品种进行了验证，板材的产品标准为 GB/T 3621-2022《钛及钛合金板材》棒材的产品标准为 GB/T 2965-2023《钛及钛合金棒材》验证结果表明，由 TA2G、TA10、TA15、TC4、TC11 再生钛锭生产的相应加工材符合产品标准的技术要求。

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

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，导致钛的提取困难，熔炼、变形加工、热处理等生产工艺十分复杂，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。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。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。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。

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。

本标准是在我国已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的基础上制定，可有力推动我国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生产成本，为添加回收钛原料的高性能钛合金在国防工业领域、特别是航空领域获得更广泛大量的应用奠定基础。本标准在发布实施后，将对我国再生钛锭及回收钛原料的技术进步产生积极的推动作用，其经济效益和社会效益显著。

六、采用国际标准和国外先进标准的情况

经查询，尚未查询到相应国际标准和国外相关标准。

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

经本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，建议再生钛锭相关生产单位、应用单位、科研院所以及贸易单位及时获取本标准文本，并组织本单位相关人员进行新标准实施的贯标工作。

《再生钛锭》标准编制组

2024 年 8 月

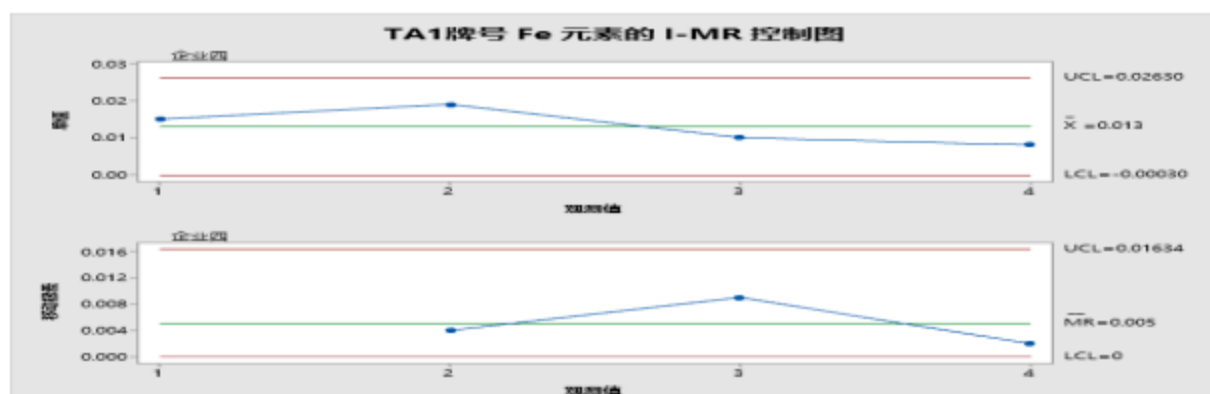
附件 1: 调研数据分析

本附件包括首次数据调研中 TA1、TA2、TA1G、TA2G、TA3G、TA4G、TA8、TA9、TA10、TA15、TC1、TC4、TC4ELI、TC11、TC18、TC21 共 16 个牌号再生铸锭的化学成分实际数据分析结果, 详见附图 1-附图 59。

1. 1TA1

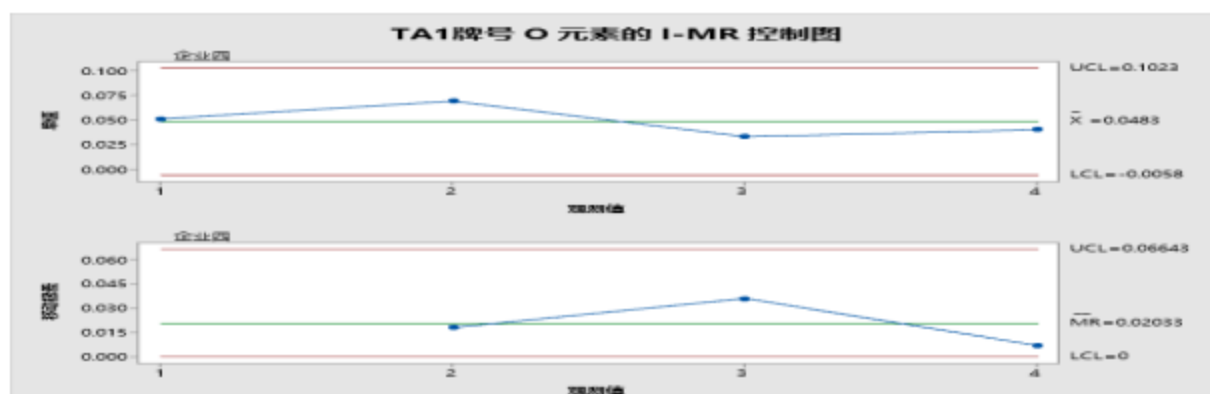
TA1 牌号生产企业有企业四 1 家、1 组数据, 共 4 个样品。具体分析如下:

1) 铁元素实际控制范围: 不大于 0.020%, 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, 具体分析见附图 1。



附图 1 TA1 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, 具体分析见附图 2。

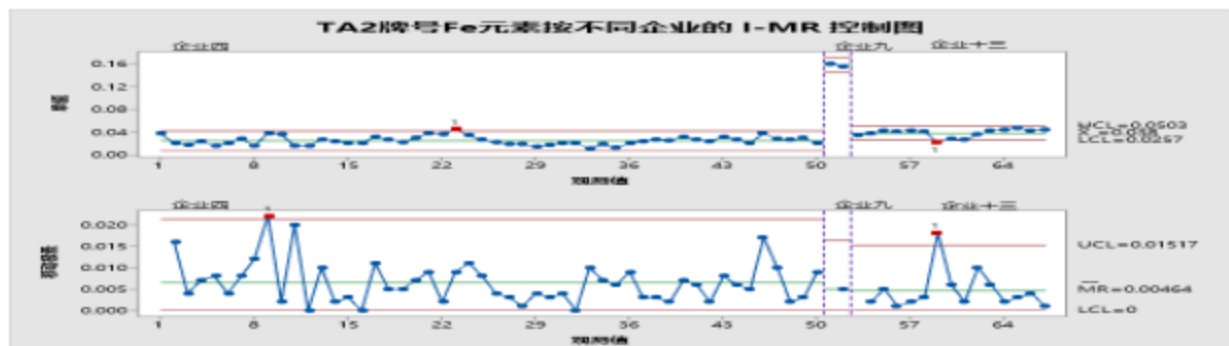


附图 2 TA1 牌号 O 元素控制情况分析

1. 2TA2

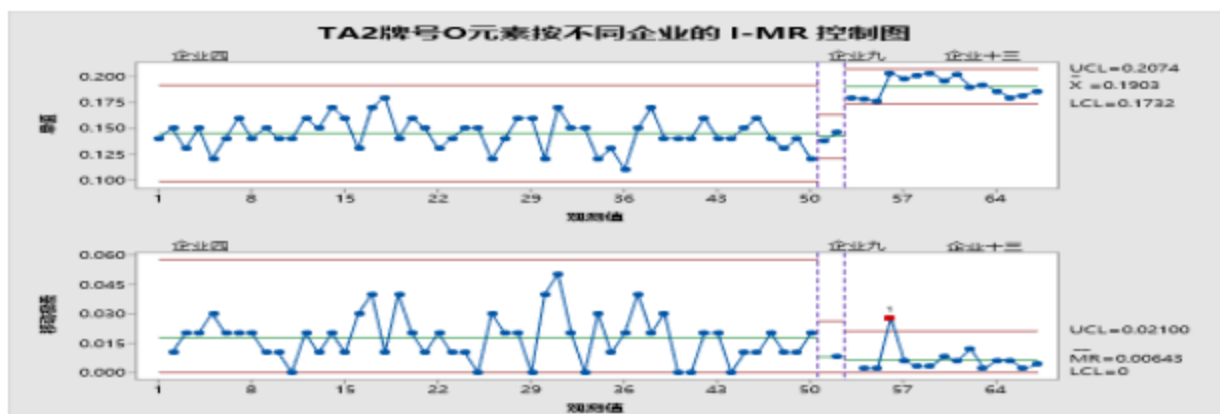
TA2 牌号生产企业共有 3 家、3 组数据, 其中企业四 50 个、企业九 2 个、企业十三 15 个, 合计 67 个样品。具体分析如下:

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, 具体分析见附图 3。



附图 3 TA2 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%，企业十三相对控制较好，具体分析见附图 4。

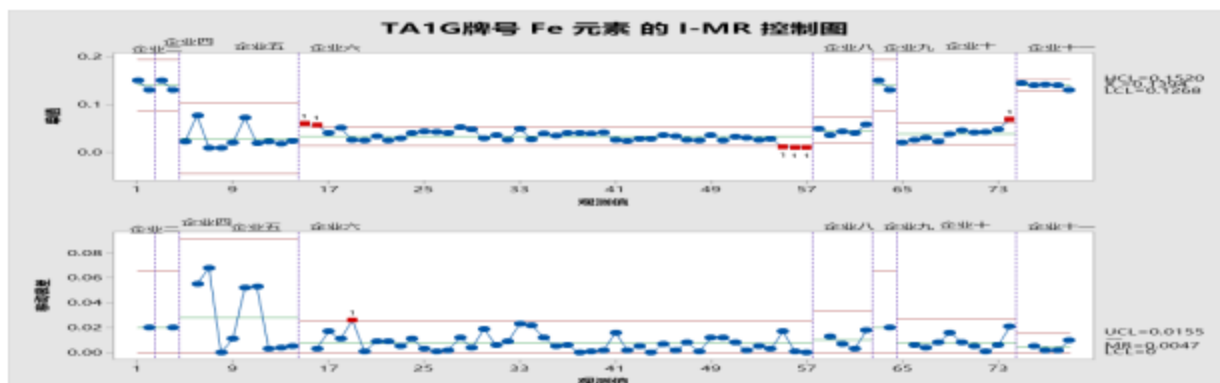


附图 4 TA2 牌号 O 元素控制情况分析

1. 3TA1G

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：

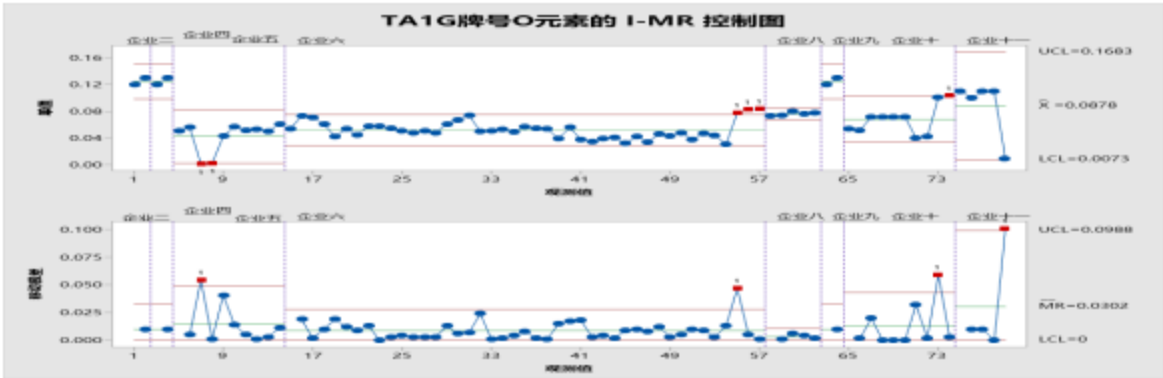
1) 铁元素实际控制范围：较低值企业五不大于 0.10%，移动极差不大于 0.064%；较高值企业二不大于 0.16%，移动极差不大于 0.020%；标准要求不大于 0.20%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.064%，其中企业六、企业十、企业十一控制良好，具体分析见附图 5。



附图 5 TA1G 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，具体分析见附图 6。

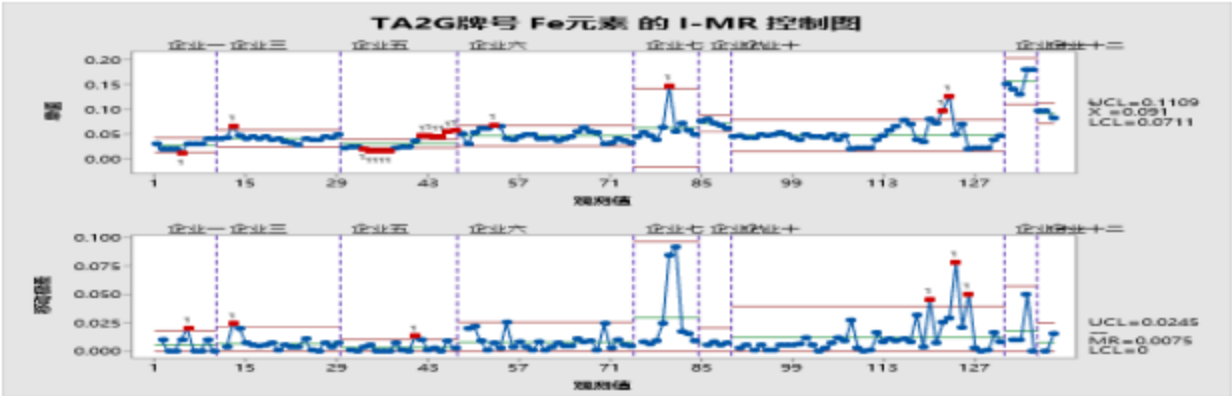


附图 6 TA1G 牌号 0 元素控制情况分析

1. 4TA2G

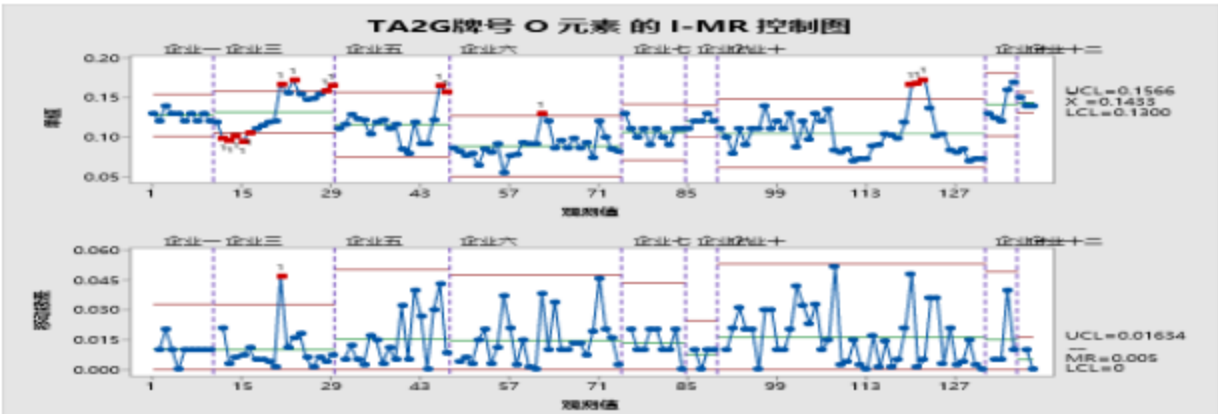
TA2G 牌号生产企业共有 9 家、9 组数据，其中企业一 7 个、企业三 19 个、企业五 24 个，企业六 27 个，企业七 10 个，企业八 5 个，企业十 42 个，企业十一 5 个，企业十二 3 个，合计 142 个样品。具体分析如下：

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%，其中企业五、企业六、企业八控制较良好，具体分析见附图 7。



附图 7 TA2G 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%；较高值企业十一不大于 0.17%，移动极差不大于 0.040%；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，具体分析见附图 8。

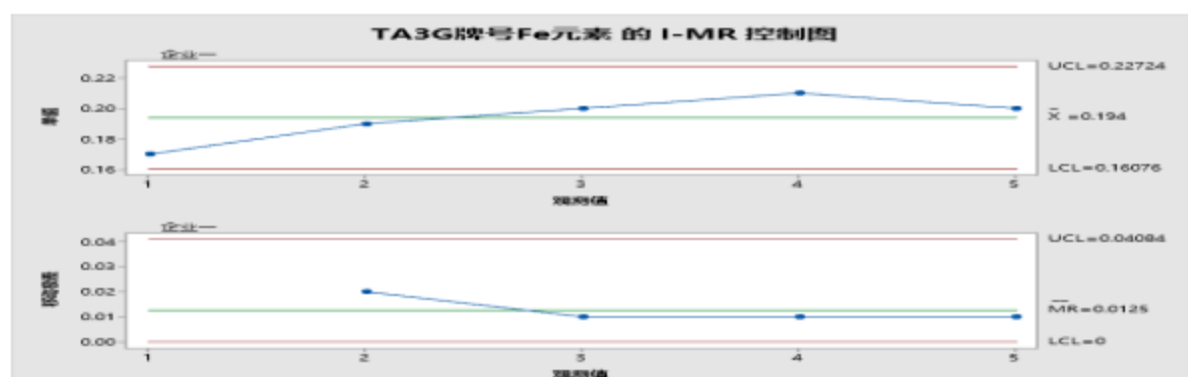


附图 8 TA2G 牌号 0 元素控制情况分析

1.5 TA3G

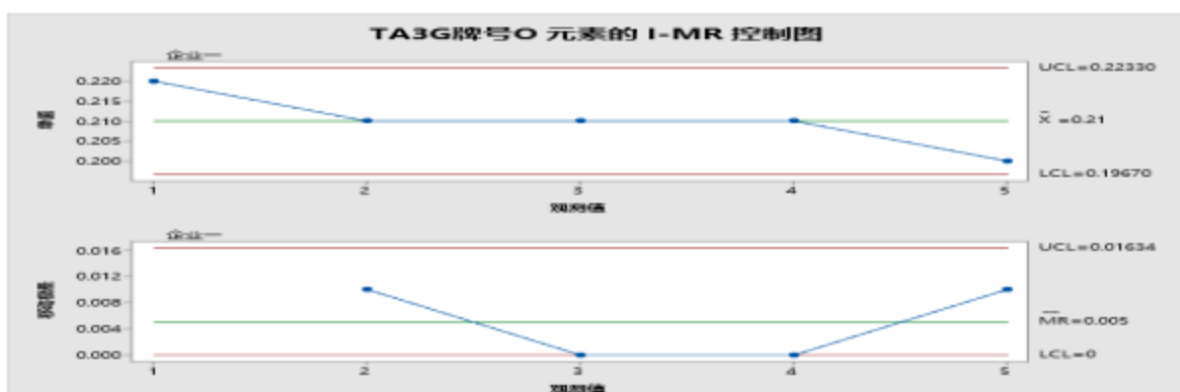
TA3G 牌号生产单位有企业一、1 组数据，共计 5 个样品。具体分析如下：

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，具体分析见附图 9。



附图 9 TA3G 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，具体分析见附图 10。

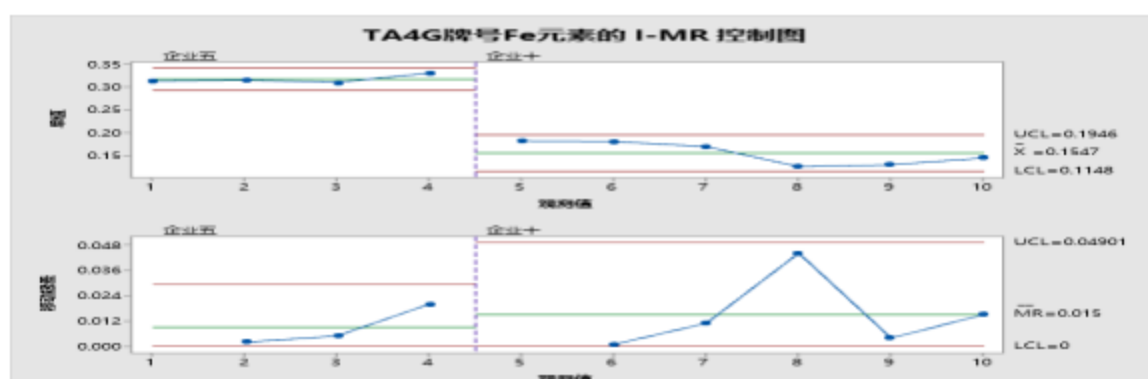


附图 10 TA3G 牌号 O 元素控制情况分析

1.6 TA4G

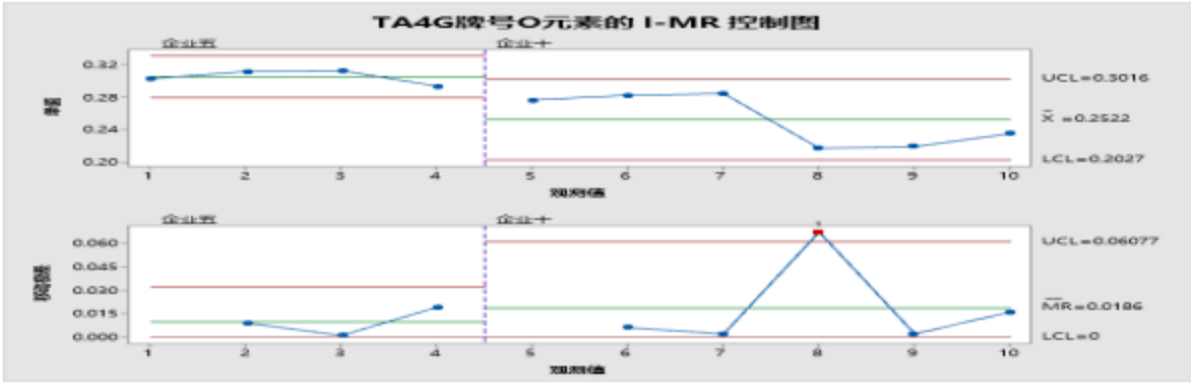
TA4G 牌号生产单位有 2 家、2 组数据，其中企业五 6 个、企业十 6 个，合计 12 个样品。具体分析如下：

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，具体分析见附图 11。



附图 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，具体分析见附图 12。

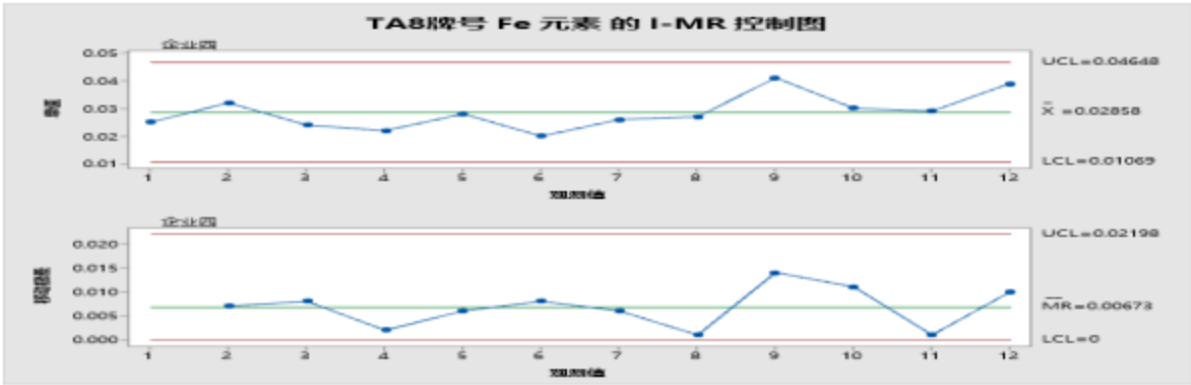


附图 12 TA4G 牌号 O 元素控制情况分析

1. 7TA8

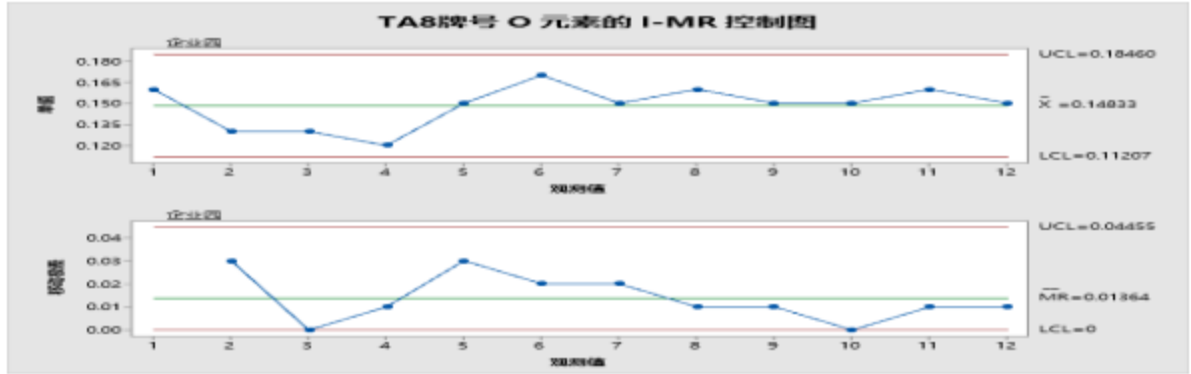
TA8 牌号生产单位有企业四 1 家、1 组数据，共计 12 个样品。具体分析如下：

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，具体分析见附图 13。



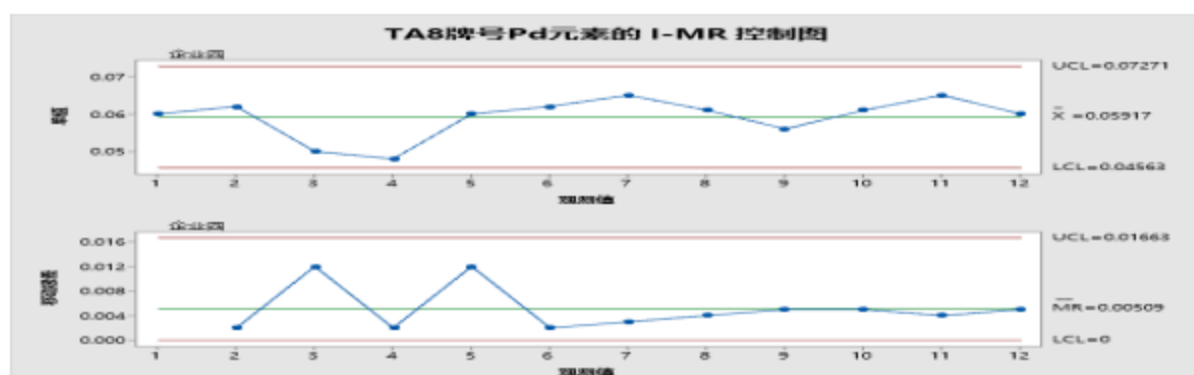
附图 13 TA8 牌号 Fe 元素控制情况分析

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，具体分析见附图 14。



附图 14 TA8 牌号 O 元素控制情况分析

3) 钼元素实际控制范围：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，具体分析见附图 15。

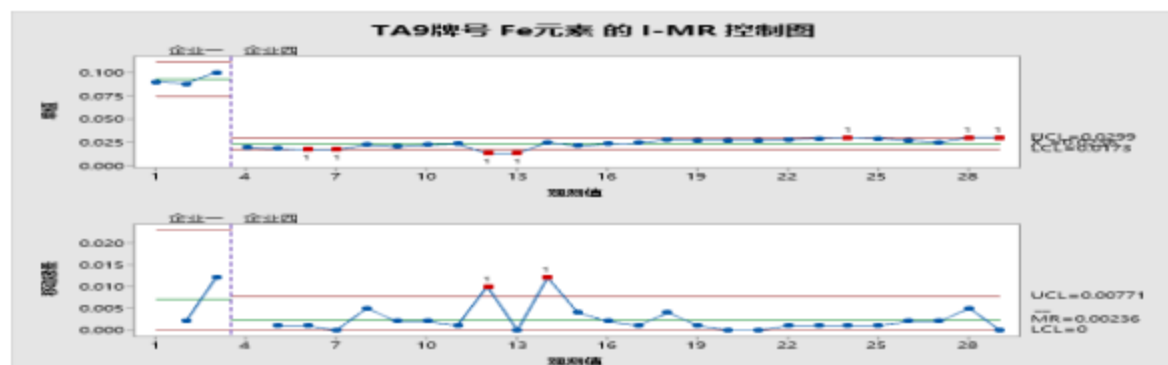


附图 15 TA8 牌号 Pd 元素控制情况分析

1.8TA9

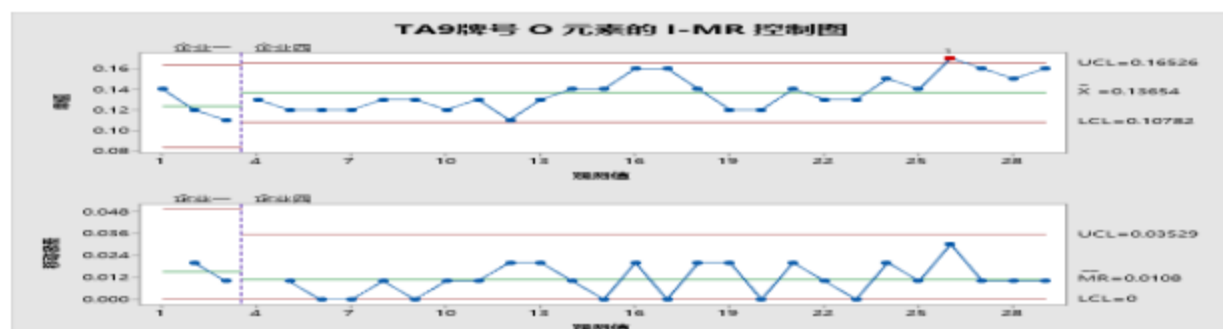
TA9 牌号生产单位有 2 家、2 组数据，其中企业一 3 个、企业四 26 个，合计 29 个样品。具体分析如下：

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，具体分析见附图 16。



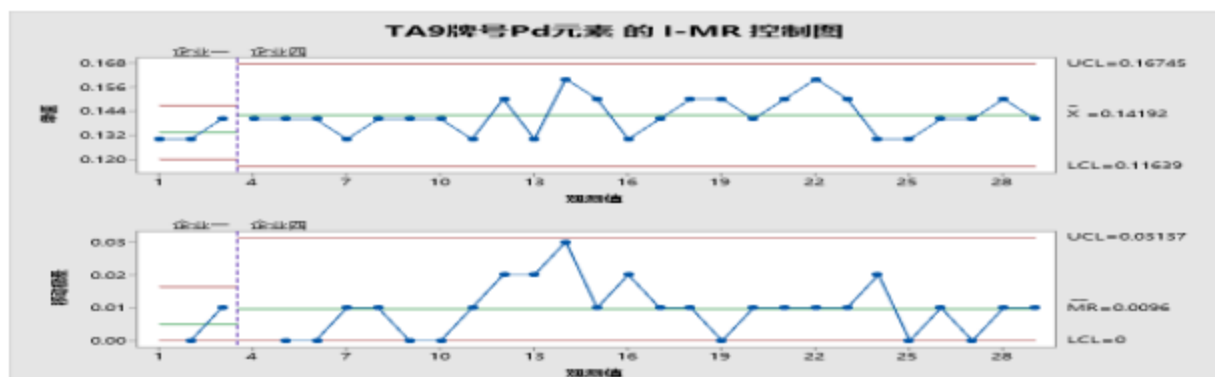
附图 16 TA9 牌号 Fe 元素控制情况分析

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，具体分析见附图 17。



附图 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，具体分析见附图 18。

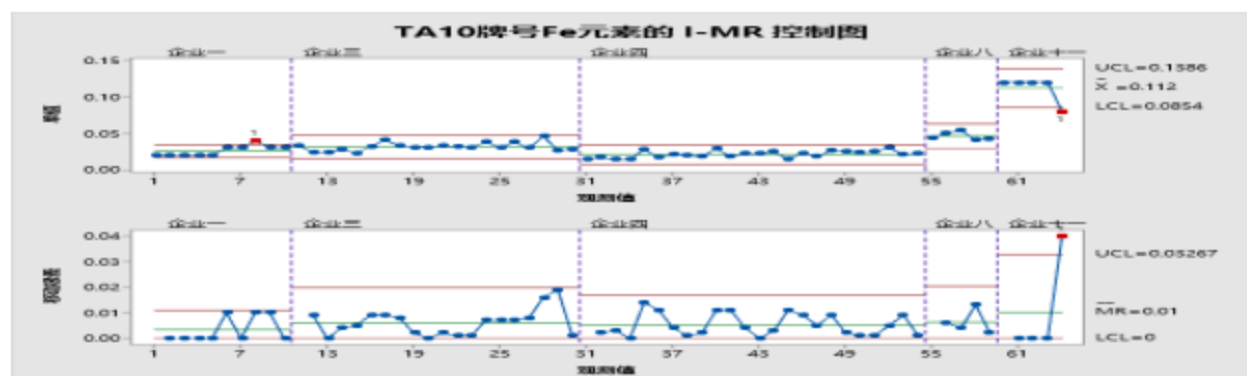


附图 18 TA9 牌号 Pd 元素控制情况分析

1.9TA10

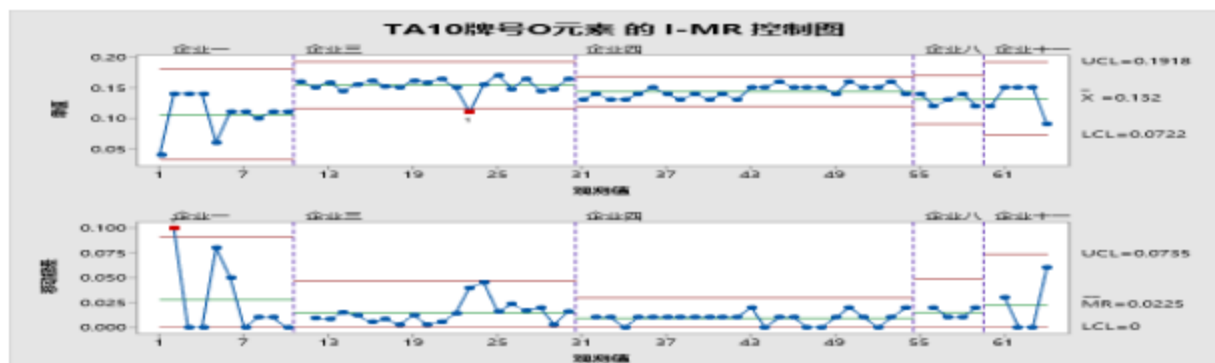
TA10 牌号生产单位有 5 五家、5 组数据，其中企业一 10 个、企业三 20 个、企业四 24 个、企业八 5 个、企业十一 6 个，合计 65 个样品。具体分析如下：

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，具体分析见附图 19。



附图 19 TA10 牌号 Fe 元素控制情况分析

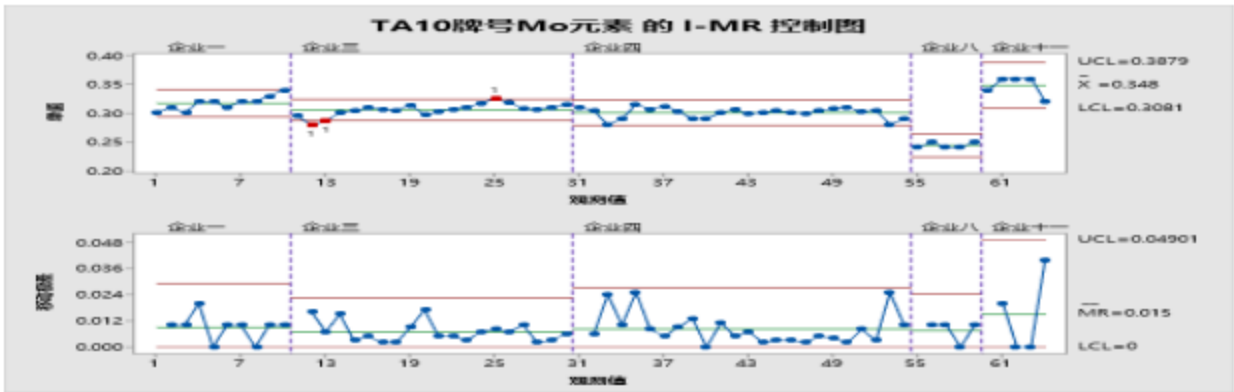
2) 氧元素实际控制范围：较低值企业一不大于 0.14%，移动极差不大于 0.10%；较高值企业三不大于 0.17%，移动极差不大于 0.050%；标准要求不大于 0.25%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.10%，企业四和企业八均控制较好，具体分析见附图 20。



附图 20 TA10 牌号 O 元素控制情况分析

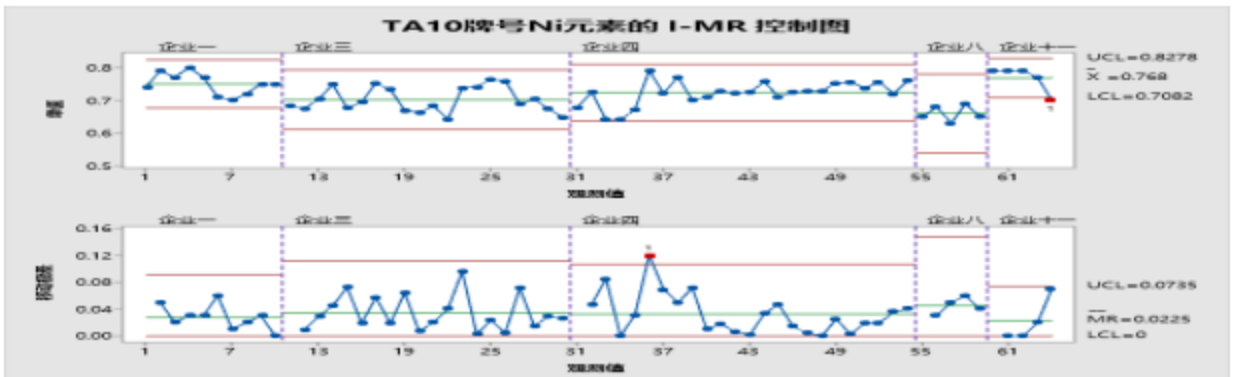
3) 钼元素实际控制范围：较低值企业八实际 0.24%~0.25%，移动极差不大于 0.010%；较高值企业十一实际 0.31%~0.36%，移动极差不大于 0.042%；标准要求 0.2%~0.4%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.042%，其中企业一、企业三、企业八控制较好，具体分析见

附图 21。



附图 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、企业八控制较好，具体分析见附图 22。

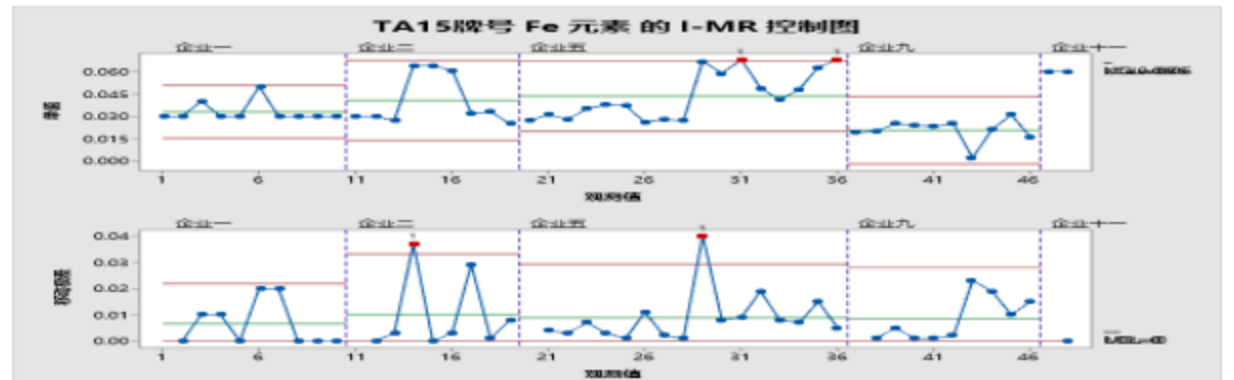


附图 22 TA10 牌号 Ni 元素控制情况分析

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：

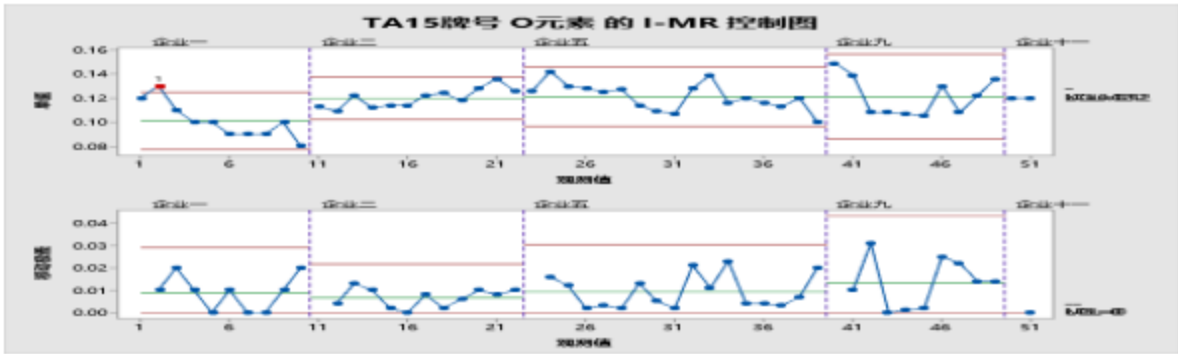
1) 铁元素实际控制范围：较高值企业五不大于 0.070%，移动极差不大于 0.039%；较低值企业九不大于 0.030%，移动极差不大于 0.022%；标准要求不大于 0.25%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.039%，其中企业一和企业九控制较好，具体分析见附图 23。



附图 23 TA15 牌号 Fe 元素控制情况分析

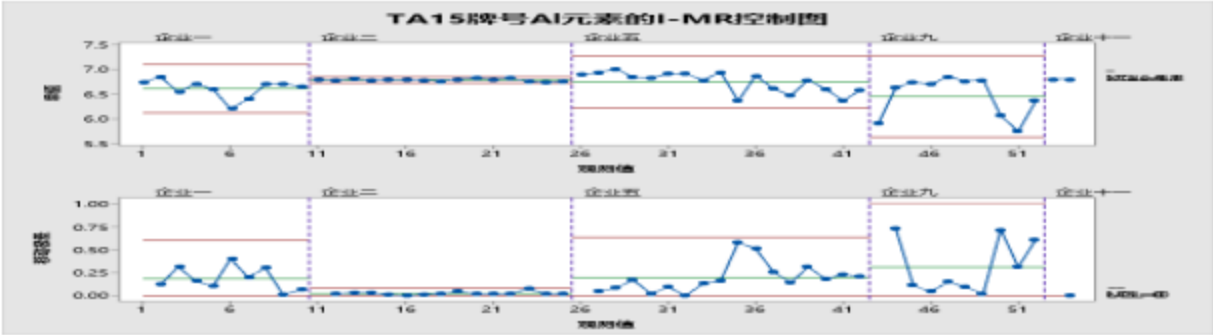
2) 氧元素实际控制范围：较低值企业一不大于 0.135%，移动极差不大于 0.021%；较高值

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，具体分析见附图 24。



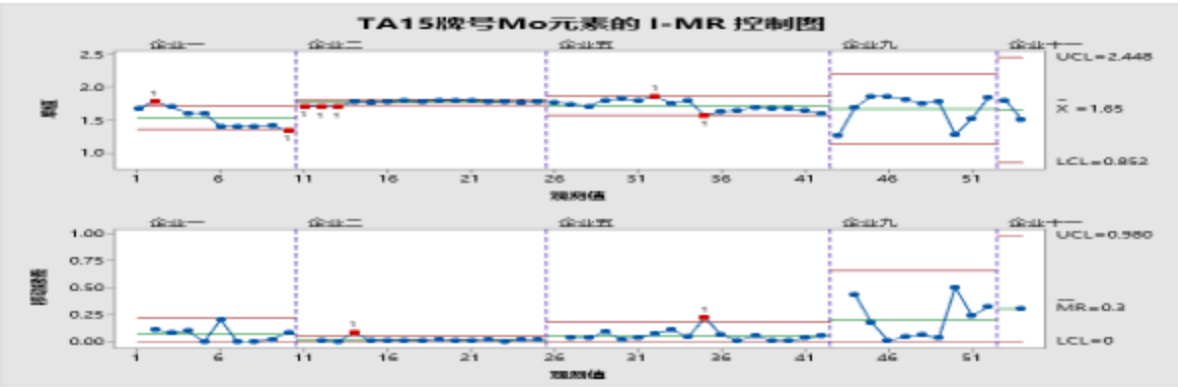
附图 24 TA15 牌号 O 元素控制情况分析

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，具体分析见附图 25。



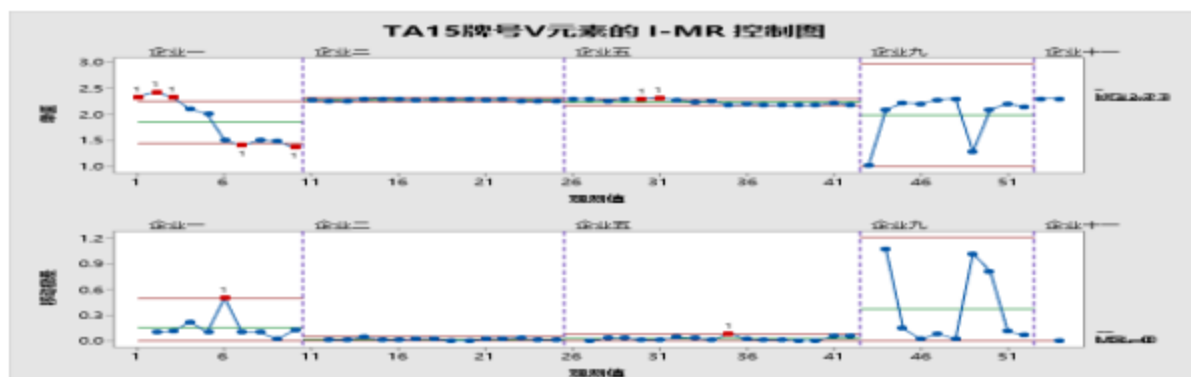
附图 25 TA15 牌号 Al 元素控制情况分析

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、企业五控制较好，具体分析见附图 26。



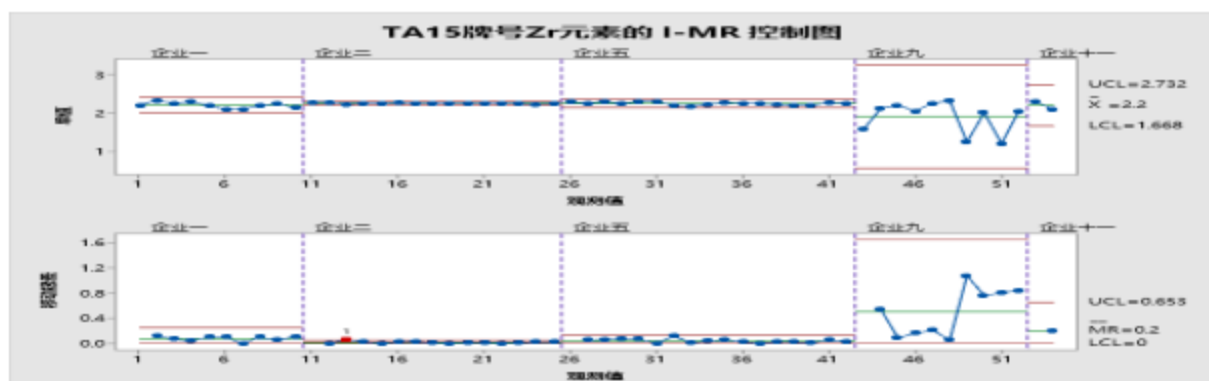
附图 26 TA15 牌号 Mo 元素控制情况分析

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，具体分析见附图 27。



附图 27 TA15 牌号 V 元素控制情况分析

6) 钒元素实际控制范围：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，具体分析见附图 28。

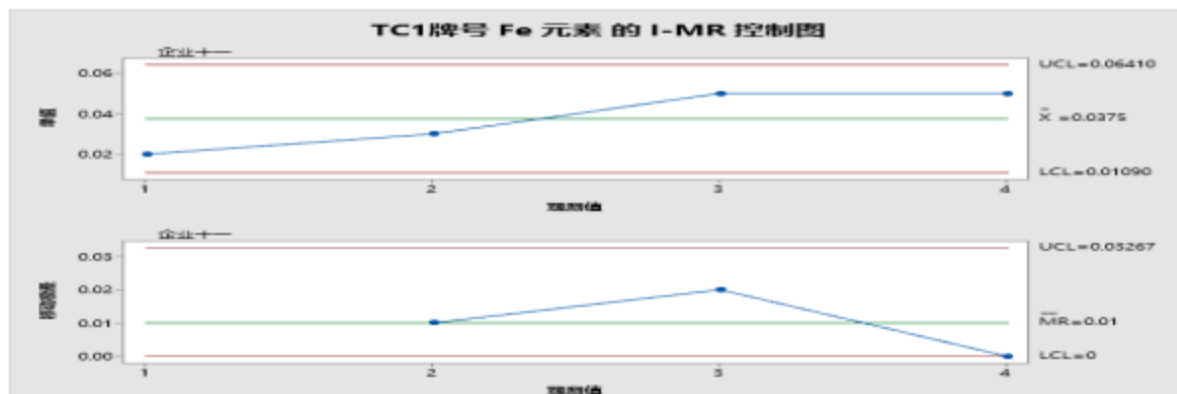


附图 28 TA15 牌号 Zr 元素控制情况分析

1.11 TC1

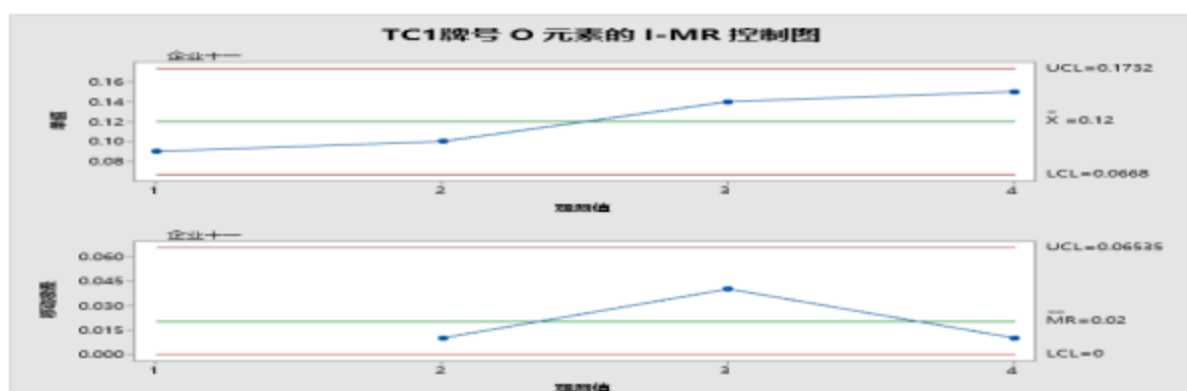
TC1 牌号生产单位有企业十一 1 家、1 组数据，共 4 个样品。具体分析如下：

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，具体分析见附图 29。



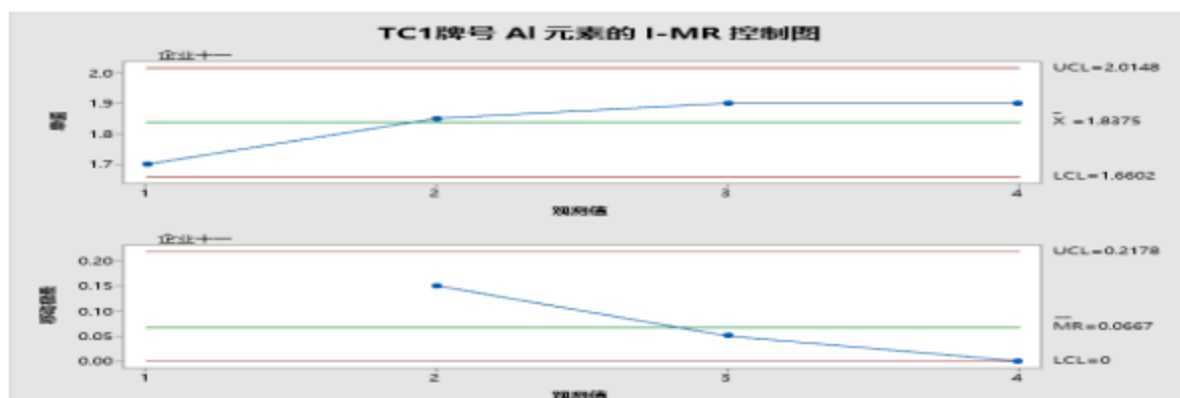
附图 29 TC1 牌号 Fe 元素控制情况分析

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%，具体分析见附图 30。



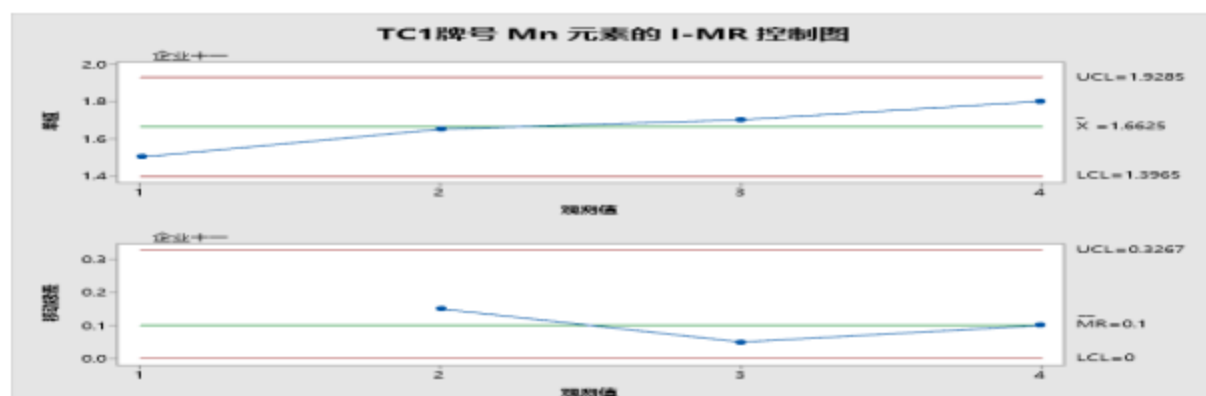
附图 30 TC1 牌号 O 元素控制情况分析

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，具体分析见附图 31。



附图 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，具体分析见附图 32。

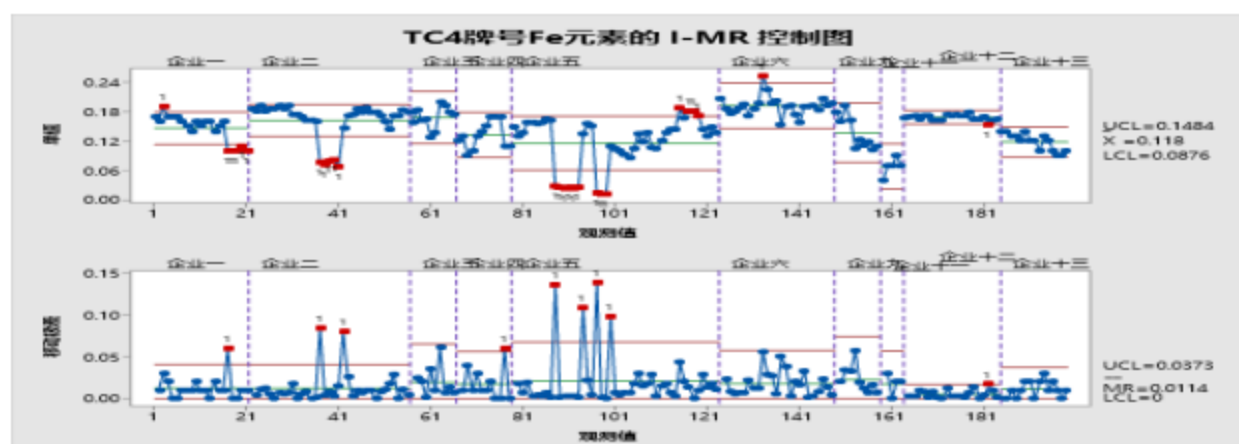


附图 32 TC1 牌号 Mn 元素控制情况分析

1.12 TC4

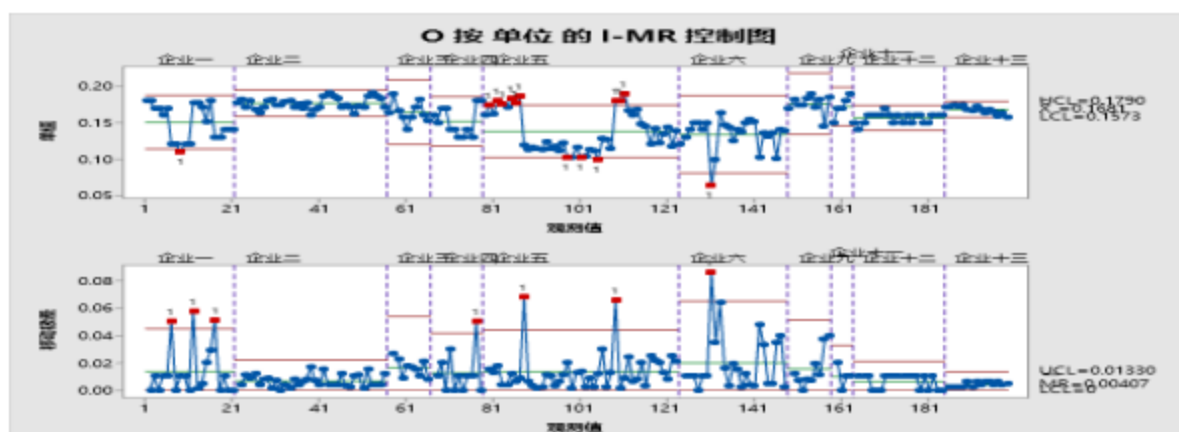
TC4 牌号生产单位有 10 家、10 组数据，其中企业一 21 个、企业二 35 个、企业三 10 个、企业四 12 个、企业五 45 个、企业六 25 个、企业九 10 个，企业十一 5 个，企业十二 21 个、企业十三 15 个，共 199 个样品。具体分析如下：

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%，其中企业十二、企业十三控制良好，具体分析见附图 33。



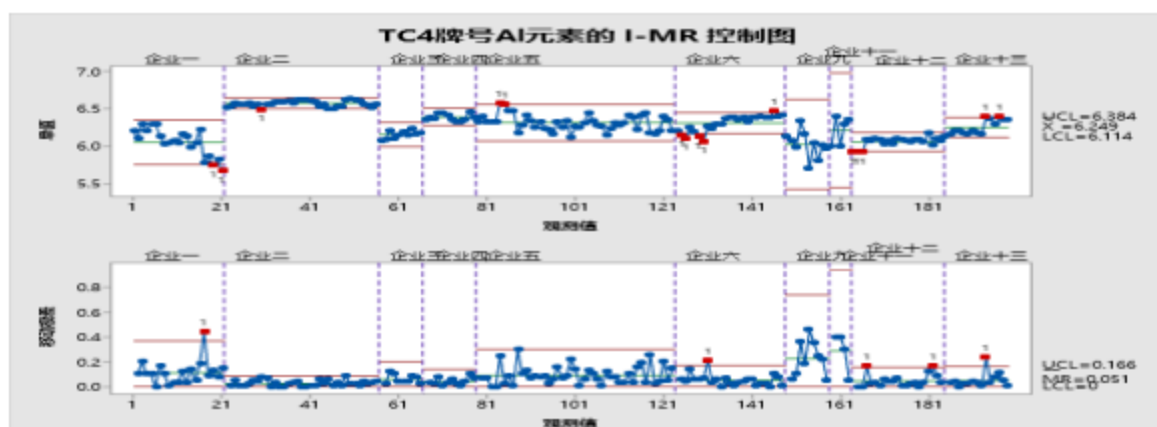
附图 33 TC4 牌号 Fe 元素控制情况分析

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，具体分析见附图 34。



附图 34 TC4 牌号 O 元素控制情况分析

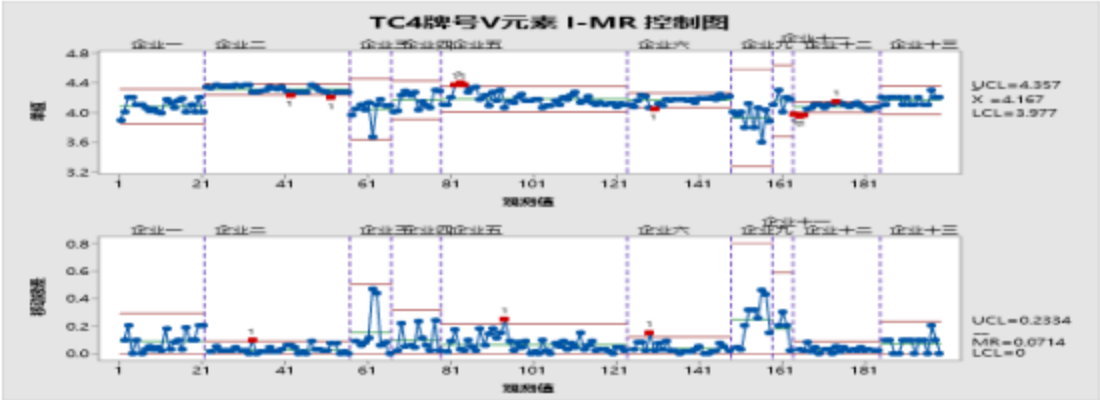
3) 铝元素实际控制范围：较高值企业二实际范围 6.5%~6.75%，移动极差不大于 0.10%；较低值企业九实际范围 5.7%~6.4%，移动极差不大于 0.45%；标准要求 5.50%~6.75%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.45%，其中企业二、企业三、企业四、企业五控制良好，具体分析见附图 35。



附图 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，具体分析见附图 36。

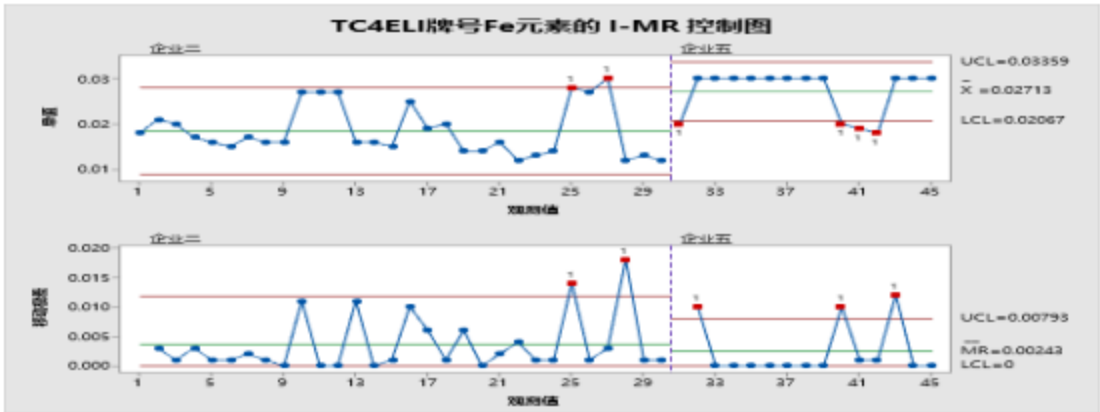


附图 36 TC4 牌号 V 元素控制情况分析

1.13 TC4ELI

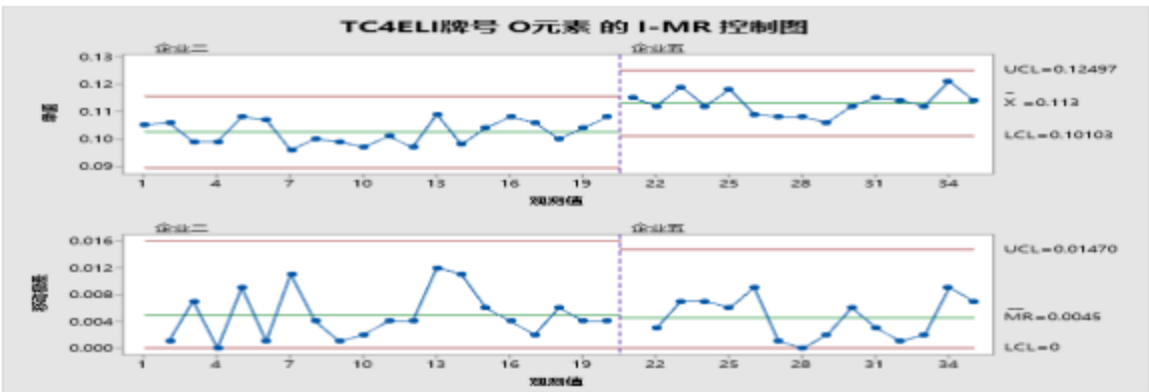
TC4ELI 牌号生产单位有 2 家、2 组数据，其中企业二 30 个、企业五 15 个，共 45 个样品。具体分析如下：

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，具体分析见附图 37。



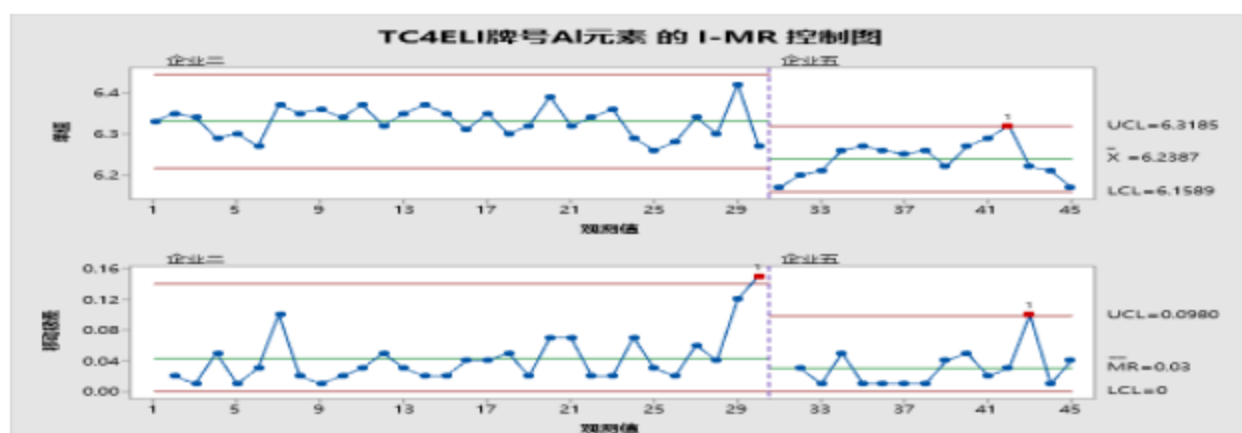
附图 37 TC4ELI 牌号 Fe 元素控制情况分析

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%；较低值企业二不大于 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 0.013%，均控制良好，具体分析见附图 38。



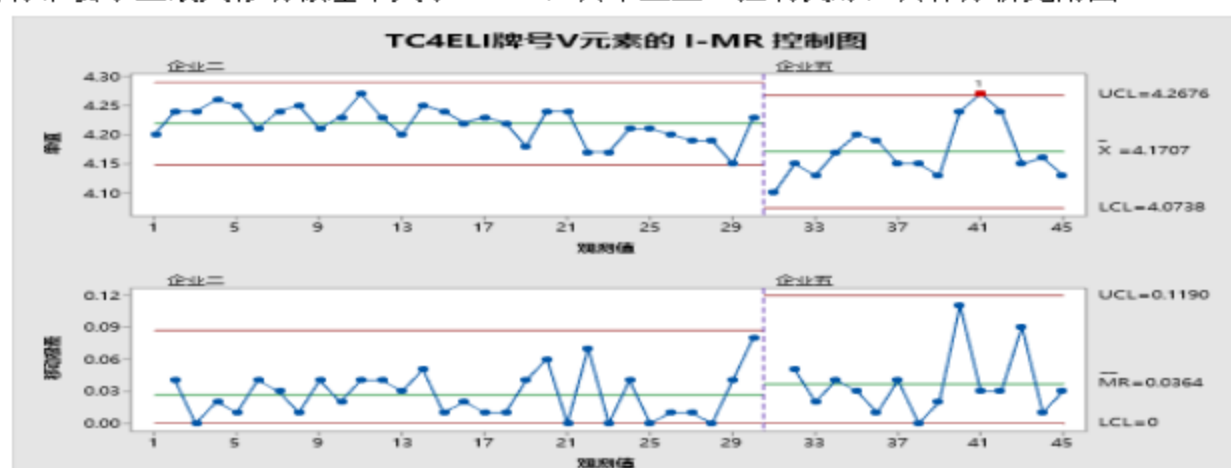
附图 38 TC4ELI 牌号 O 元素控制情况分析

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，具体分析见附图 39。



附图 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%~4.27%，移动极差不大于 0.08%；较低值企业五实际范围 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，具体分析见附图 40。

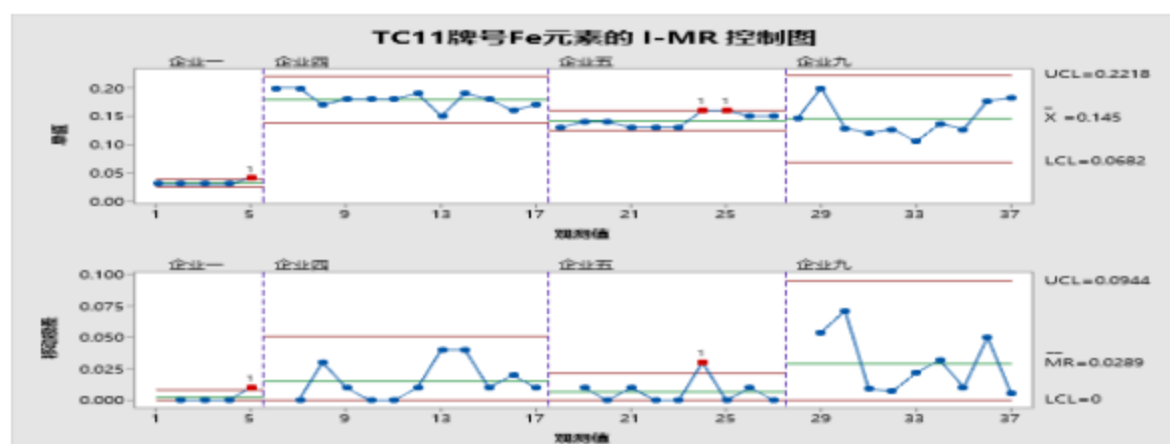


附图 40 TC4ELI 牌号 V 元素控制情况分析

1.14 TC11

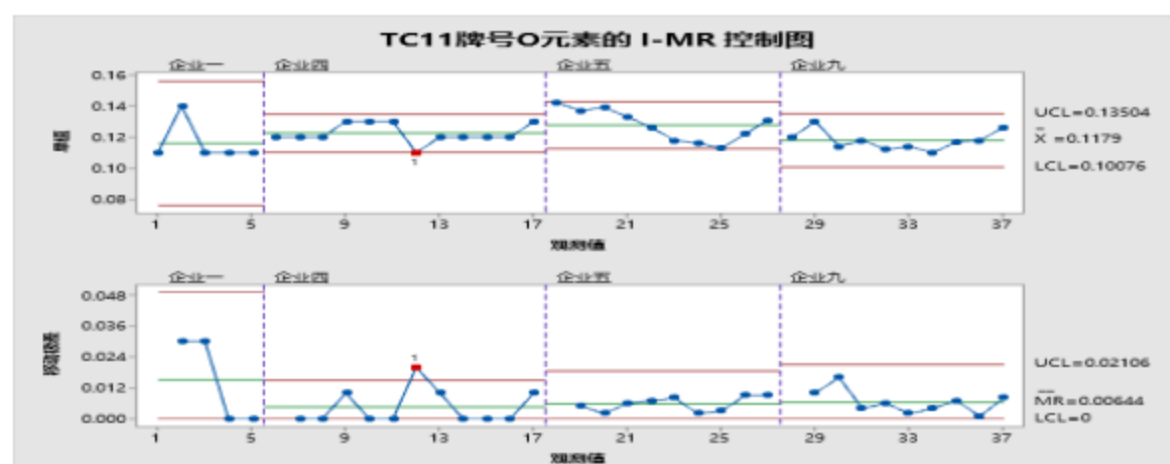
TC11 牌号生产单位共有 4 家、4 组数据，其中企业一 5 个、企业四 12 个、企业五 12 个、企业九 10 个，合计 39 个样品。具体分析如下：

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 0.070%，其中企业一控制较好，具体分析见附图 41。



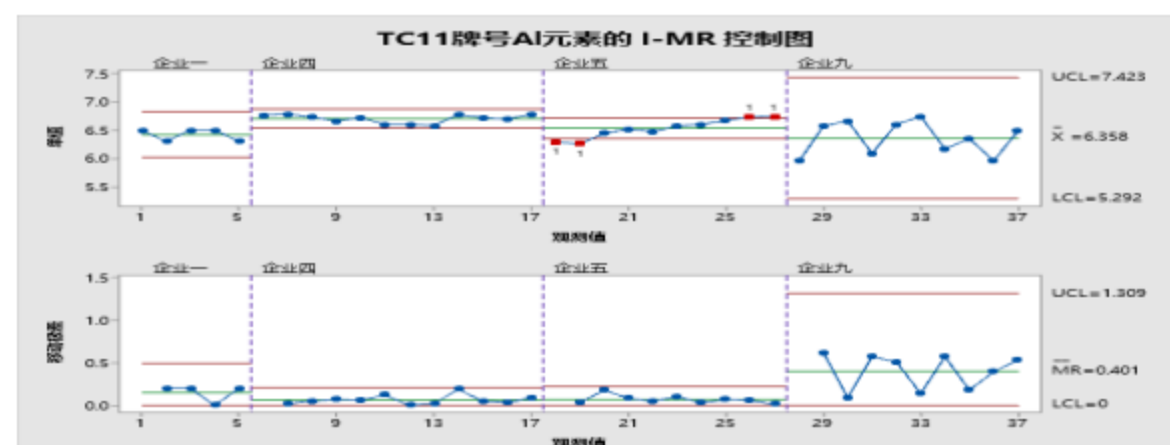
附图 41 TC11 牌号 Fe 元素控制情况分析

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，具体分析见附图 42。



附图 42 TC11 牌号 O 元素控制情况分析

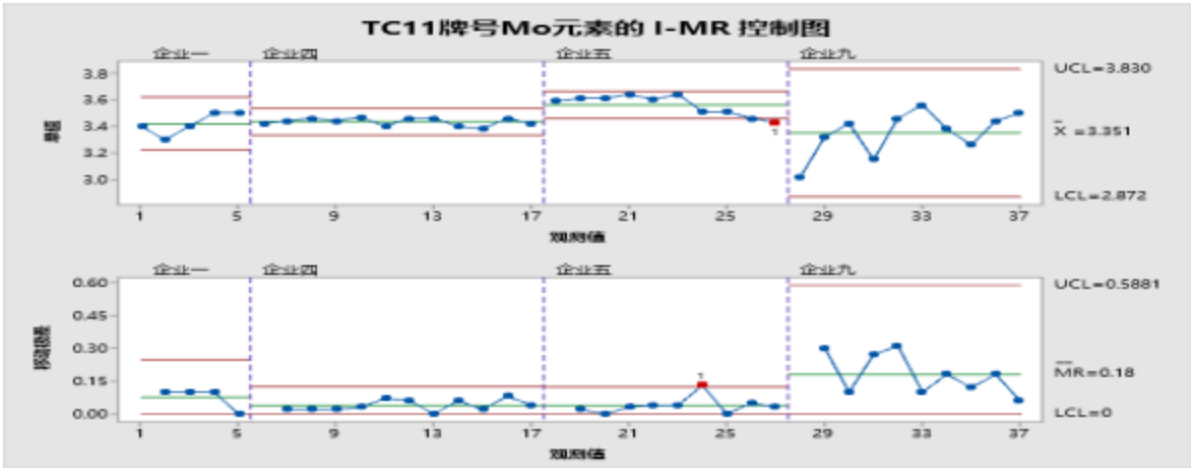
3) 铝元素实际控制范围：较低值企业一实际 6.3%~6.5%，移动极差不大于 0.25%；较高值企业四实际 6.6%~6.8%，移动极差不大于 0.25%；标准要求 5.8%~7.0%，均符合标准要求且最大移动极差不大于 0.25%，其中企业一、企业四、企业五控制较好，具体分析见附图 43。



附图 43 TC11 牌号 Al 元素控制情况分析

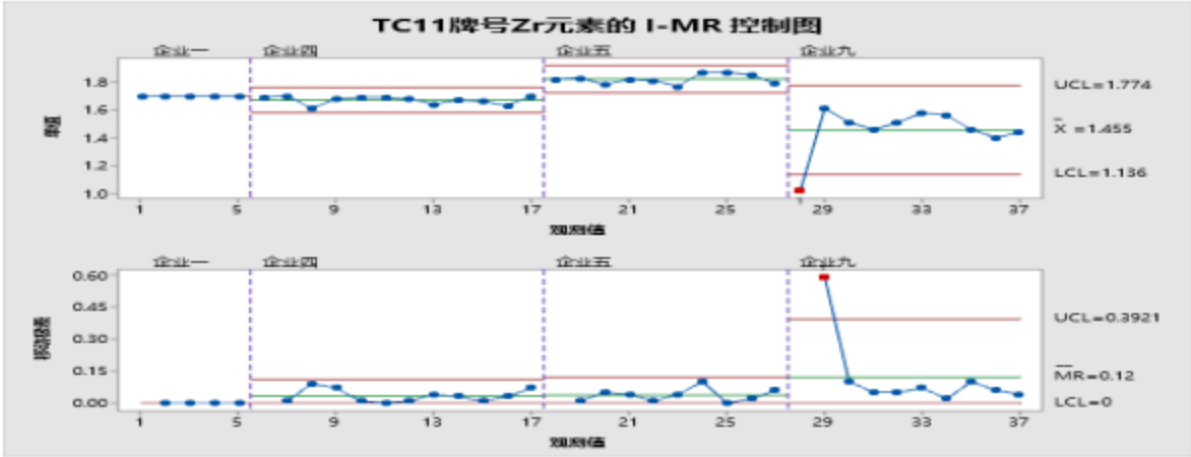
4) 钼元素实际控制范围：较低值企业九实际 3.0%~3.6%，移动极差不大于 0.31%；较高值企业五实际 3.4%~3.65%，移动极差不大于 0.13%；标准要求 2.8%~3.8%，均符合标准要求

且最大移动极差不大于 0.31%，其中企业四控制较好，具体分析见附图 44。



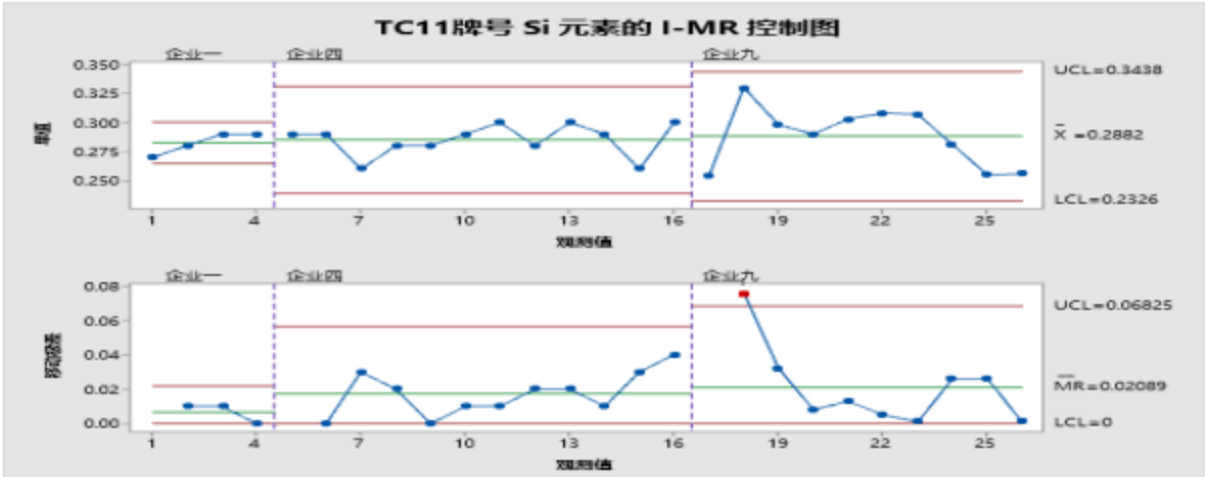
附图 44 TC11 牌号 Mo 元素控制情况分析

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 0.59%，其中企业一、企业四、企业五控制较好，具体分析见附图 45。



附图 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，具体分析见附图 46。

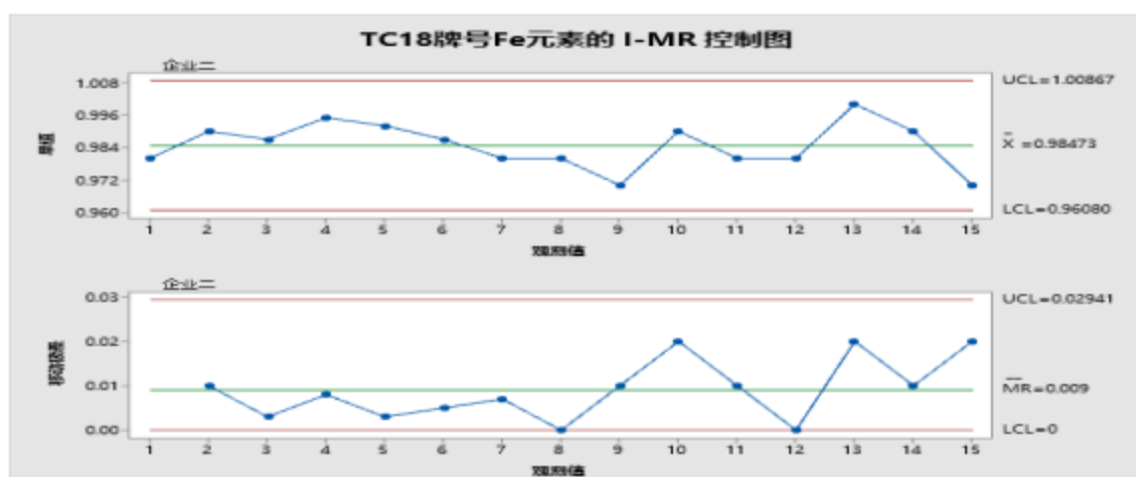


附图 46 TC11 牌号 Si 元素控制情况分析

1.15 TC18

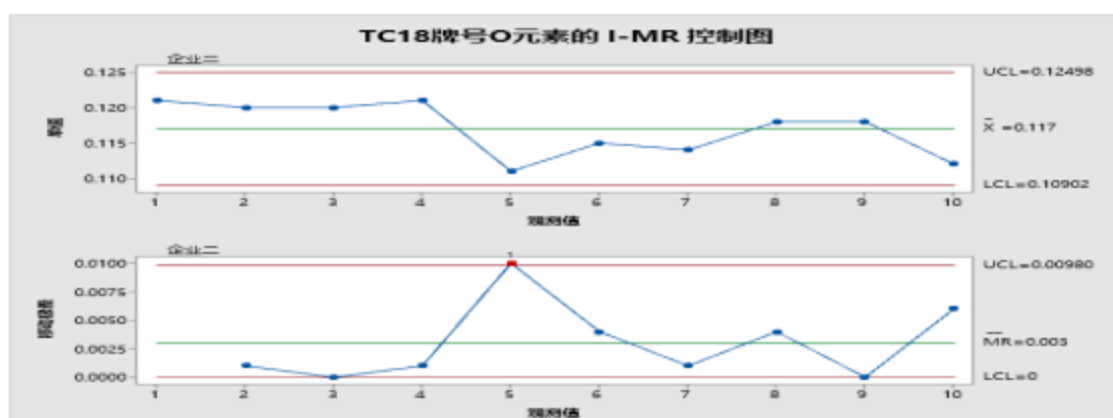
TC18 牌号生产单位有企业二 1 家、1 组数据，合计 15 个样品。具体分析如下：

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%；标准要求不 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，具体分析见附图 47。



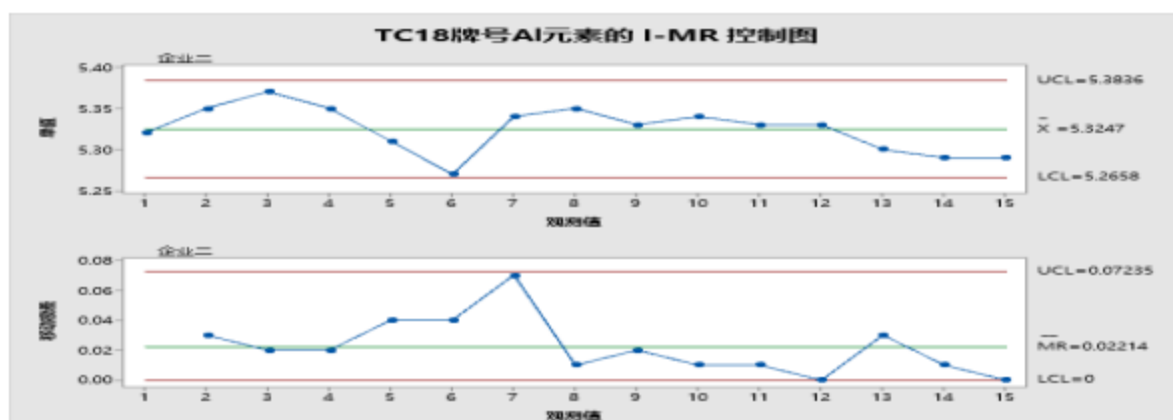
附图 47 TC18 牌号 Fe 元素控制情况分析

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，具体分析见附图 48。



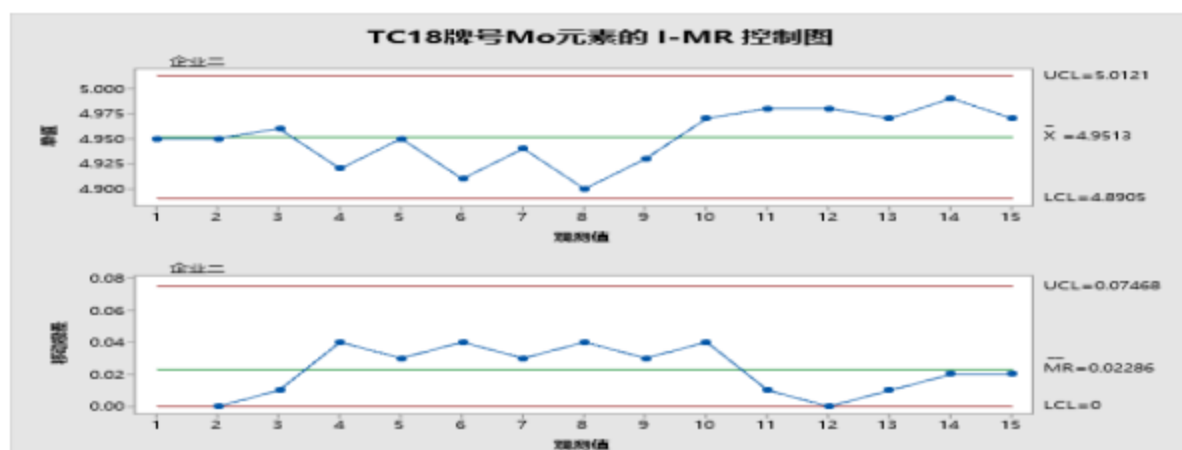
附图 48 TC18 牌号 O 元素控制情况分析

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，具体分析见附图 49。



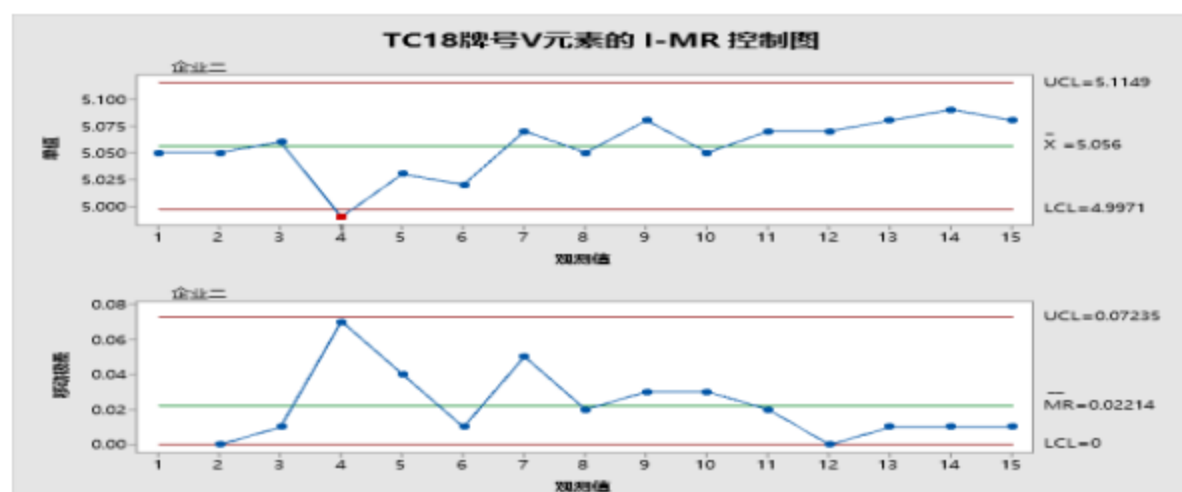
附图 49 TC18 牌号 Al 元素控制情况分析

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，具体分析见附图 50。



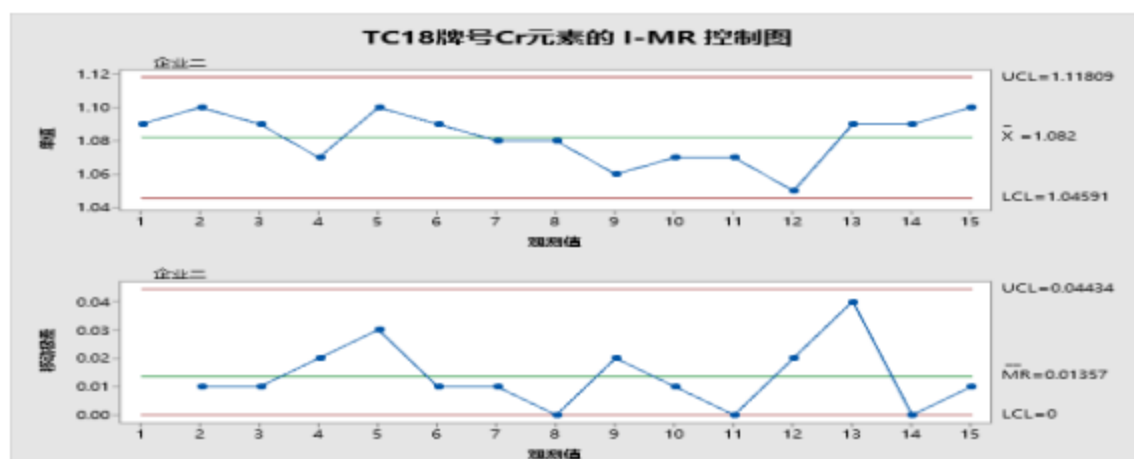
附图 50 TC18 牌号 Mo 元素控制情况分析

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，具体分析见附图 51。



附图 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，具体分析见附图 52。

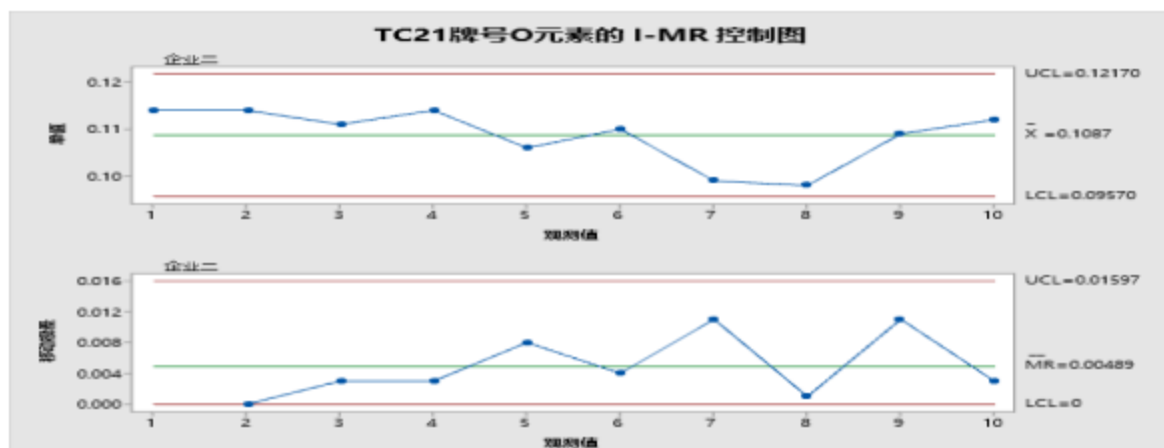


附图 52 TC18 牌号 Cr 元素控制情况分析

1.16 TC21

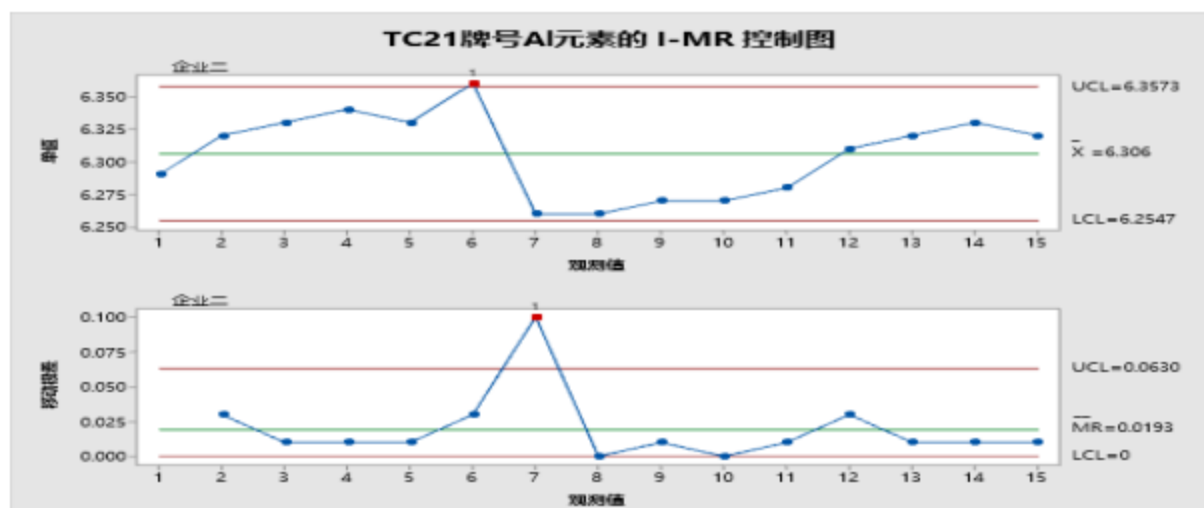
TC21 牌号生产单位有企业二 1 家、1 组数据，合计 15 个样品。具体分析如下：

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，具体分析见附图 53。



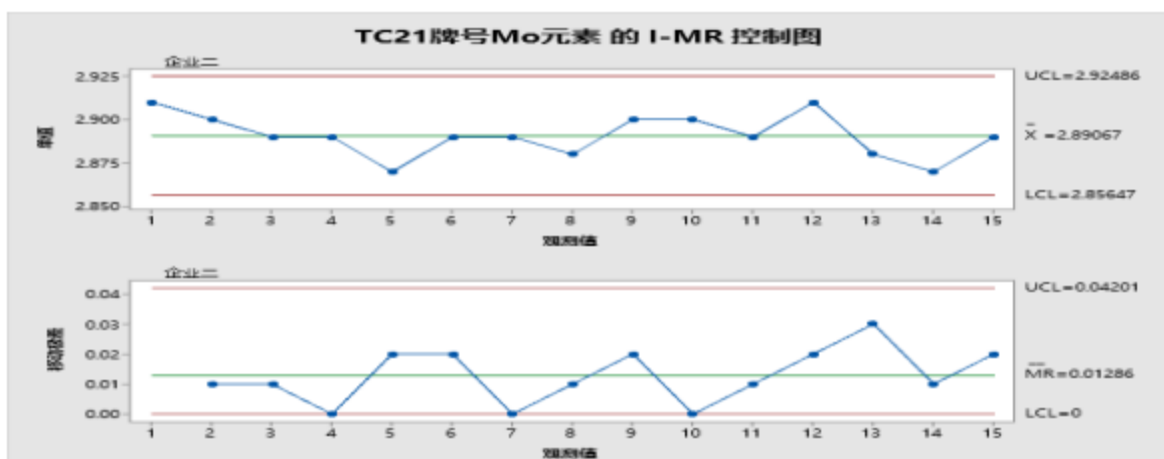
附图 53 TC21 牌号 O 元素控制情况分析

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 0.10%，控制较好，具体分析见附图 54。



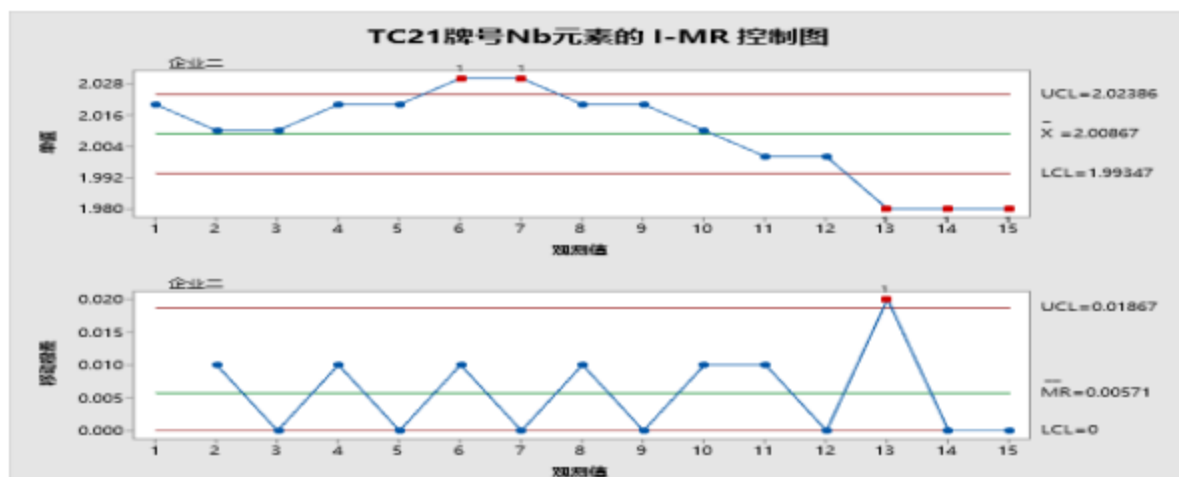
附图 54 TC21 牌号 Al 元素控制情况分析

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，具体分析见附图 55。



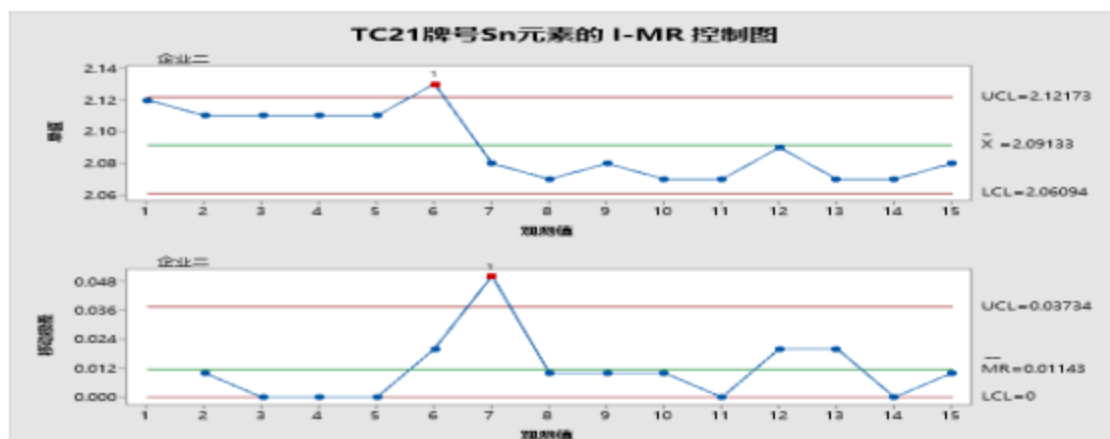
附图 55 TC21 牌号 Nb 元素控制情况分析

5) 铌元素实际控制范围：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，具体分析见附图 56。



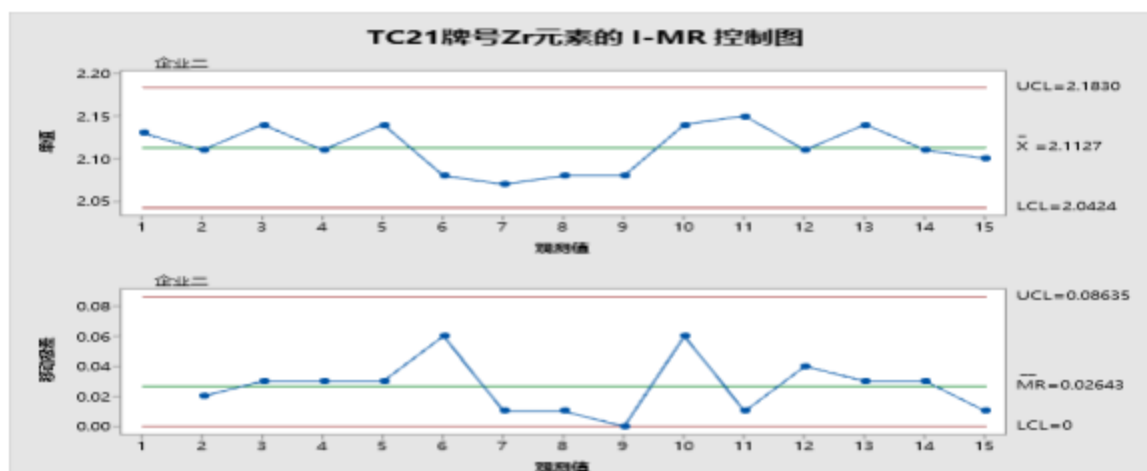
附图 56 TC21 牌号 Nb 元素控制情况分析

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，具体分析见附图 57。



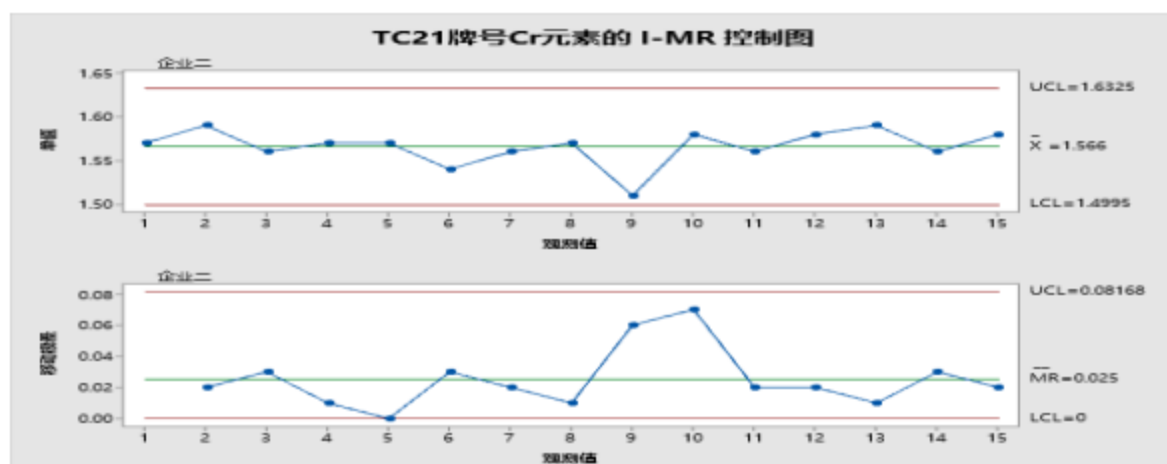
附图 57 TC21 牌号 Sn 元素控制情况分析

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，具体分析见附图 58。



附图 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，具体分析见附图 59。



附图 59 TC21 牌号 Cr 元素控制情况分析