

DOI:10.19479/j.2095-719x.2405372

唐代金银器对玉器设计的影响

赵瑞娟¹, 刘丽², 刘飞³, 侯志坤⁴

(1. 天津城建大学, 天津 300384; 2. 中国人民解放军陆军工程大学, 石家庄 050000;

3. 天津城建大学, 天津 300384; 4. 衡水学院, 河北 衡水 053000)

摘要: 唐代的社会安定, 国民经济繁荣, 金银器制造业发达, 金银器设计构思新颖、雕琢技艺精湛。受金银器的影响, 唐代玉器摆脱了以礼玉、丧葬玉为中心的传统, 步入了以实用、以装饰用玉为主流的发展阶段。金银器制造业虽晚于制玉业, 但唐朝崇尚奢华, 金银制作业的技艺令今人震惊, 金银制造受异域艺术的影响发生很多变化, 进一步影响和推动着玉器的创新。玉器工艺技术更加精湛、细致, 造型奢华精美, 纹样丰富、华贵细密。

关键词: 唐代; 金银器; 玉器; 造型; 纹样

中图分类号: J526.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-719X(2024)05-0372-06

Influence of Gold and Silver Ware on Jade Ware Design in Tang Dynasty

ZHAO Ruijuan¹, LIU Li², LIU Fei³, HOU Zhikun⁴

(1. Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China; 2. Campus of PLA Army Engineering University, Shijiazhuang 050000, China; 3. Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China; 4. Hengshui University, Hengshui 053000, China)

Abstract: In the Tang Dynasty, the society was stable, and the national economy was prosperous. The manufacturing industry of gold and silver was developed, and the design of gold and silver was novel and exquisite. Influenced by gold and silver ware, the jade ware in the Tang Dynasty was free from the tradition centered on ceremonial jade and funeral jade, and stepped into the development stage of practical jade and decorative jade. Although the development for the manufacturing industry of gold and silver was later than that of jade, the Tang Dynasty advocated luxury, and the techniques of gold and silver were astonishing. Influenced by exotic art, the making of gold and silver underwent many changes, which further influenced and promoted the innovation of jade. Jade craft technology was more exquisite, detailed, luxurious, and of exquisite shape. It was also rich in patterns, elegant and fine.

Key words: Tang Dynasty; gold and silver ware; jade ware; modeling; pattern design

1 开放繁荣的唐朝

开放繁荣的唐朝孕育出精美的金银器和玉器。唐代的社会安定, 金银器的冶炼技术空前发达, 黄金产量大, 号称中国的黄金时期, 达官贵族狂热追求金银器的装饰美, 以此炫耀豪富。唐代对外开放, 与周边国家交往频繁, 崇尚异域文化, 在对外交流中, 金银器的制作融合了波斯萨珊、古粟特、以及东罗马等国金银器的特点, 模仿学习这些异域的金银器的审美观念、成型方式和装饰纹样。唐代的金银器初期主要以模仿为主, 到了唐中期, 将外来金银器造型与本土艺术融

合, 造型上更丰润饱满, 以更加丰富的纹样做装饰, 在兼收并蓄中形成更加成熟精美、造型独特的工艺体系。

唐代是极度开放的一个历史时期, 与外界的交流更为频繁, 周边国家以及本国金银器极大地刺激了玉器工艺、造型样式、艺术风格上的创新发展。唐代的金银器制作技术的高超, 令今人震撼。金银器造型优美, 吸收西域文化, 借鉴波斯和古印度文化雍容典雅的特点, 来充实本民族文化, 在文化兼容并蓄中, 形成多元化的文化大融合。金银器受外界影响展现出异域的风貌, 玉器的设计和制作, 直接或间接的受异域金银器文化影响, 具有特定时期的风貌。在唐代的两京地区, 即西安和洛阳两地, 出土了一大批仿照金银器的玉

收稿日期: 2023-04-20; 修订日期: 2023-05-17

基金项目: 河北省社会科学基金项目(HB22YS018)

作者简介: 赵瑞娟(1979—), 女, 河北保定人, 天津城建大学副教授。

器,更说明唐代金银器带动了玉雕工艺的更新,给玉器的创新发展打开了一条新思路。唐代玉器摆脱了以礼玉、丧葬玉为中心的作用,玉器设计更加世俗化、生活化,步入了以实用玉器为中心,把玉器作为达官贵族的日常生活用品,实用类与装饰类的玉器增多。玉器的造型和纹饰也更加世俗化、多样化,玉器步入以装饰为主流的新时代,并形成玉器制作精巧细腻,造型新颖别致的特点。

2 唐代金银器与玉器的制作

首先,唐代玉器与金银器生产者都是朝廷设有的同一个专门的机构(比如“文思院”),按照严格的生产规范而制作的。第二,服务的人群相同,都是皇室贵族、或者是达官显贵,进而有理由推断两者的评价标准相似。第三,使用价值相同,玉器与金银器都是为了王公贵族观赏和实用器皿,或者作为帝王封赏、对外交流的珍宝。第四,唐代玉器与金银器制作步骤十分相似。第五,唐代两京地区出土了一批仿金银器的玉器。唐代玉器中体现金银器的很多特征。

2.1 同一个质量监管机构

作为最高权力和财富拥有者的王室贵族,对玉器与金银器制作与使用有严格的规章,对于金银器和玉器生产的管理,唐代专门设有“文思院”,在《宋史·职官志》中记录:“文思院,掌造金银犀玉工巧之物。”^[1]这样的话,金银器和玉器制作的管理被放在了一起,玉器与金银器的制造以及质量监管,同属于这样一个部门。那么,制玉工匠和金银器工匠在一个部门的管理下从事生产,很容易走到一块,互相交流、切磋技艺。这个管理部门对两种工艺的艺术把握、质量监督很容易雷同。唐代金银制造业的水平远超玉器加工业,金银器是当时最高科技的体现。有理由推断在玉器与金银器的行业交流中,两者相互影响,互相学习。从现存的文物来看,唐代玉器的创新发展在很大程度上,是模仿、融合了同时代金银器的设计工艺、制作方法,比如金银细工特有的某些表现手法,在玉器中得以体现^[2]。

2.2 相似的制作步骤

金银器的制作,代表了唐代制造业的最高科技水平,大致可以归纳为14种工艺,主要有切削、雕琢、镂空、抛光四个步骤,这些步骤与唐代玉器制作十分相似。唐代玉器与金银器在制作初期,采用同样的切削和抛光修整的工艺,这个工艺会使用漩床来操作,在出土的玉盒的底部发现漩床使用后留下的同心涡的

旋纹,这种旋纹也被保留在唐代金银器中。

唐代金银器制作主要运用篆刻工艺来雕刻纹饰。唐代玉器上的纹饰的制作,与金银器篆刻工艺使用同样的专业用语,都称作“级”“碾”“极镂”。唐代金银器中篆刻的线条与玉器的刻线效果十分相似。可以推测两种工艺在造型方式和制作技艺中相互借鉴,作品具有异曲同工之妙^[3]。唐代王公贵族喜欢佩戴镂空雕刻的金银香囊,唐代玉石镂空技术也十分发达,这种工艺在唐代出土的装饰用玉中最为常见。唐代玉器器型更加实用化和生活化,玉器实用器皿增多,装饰用品种类增多,借鉴金银首饰款式,玉器首饰的款式设计新颖、大方,同时还出现了大批制作精美的“金镶玉”首饰^[4]。

2.3 唐代出现仿金银器的玉器

仿金银器的玉器出土,更加体现了唐代金银器对玉器的影响。在对金银器的模仿制作中,有的玉器完全按照原形复制,或者保持传统玉器形制融入金银器的特点,进行创造性的改进。这些出土的仿金银器的玉器制作工艺精湛,在造型设计及纹饰装饰上较前代有了很大的创新。

唐代金银器和玉器,大多为皇室贵族和宦官人家才有权使用,金银器也会作为贡品、赏赐品、国家间互赠礼品、宗教用品、随葬品等被使用。仿金银器玉器的出土发掘主要集中于唐两京地区。两京是唐代皇室贵族、官僚富甲的聚居地。金银器作为一种财富的载体,承载了外来西方文明与中土大唐之间的联系,唐朝是一个兼容并蓄的开放国度,对外交流频繁,唐代初期的金银器主要以效仿外来文化为主,唐代的皇室贵族和宦官热衷推崇使用带有异域风采的金银器皿和玉器。于是如中亚细亚等周边国家的金银器,以其精良的做工、多样华丽的造型和图案纹饰,打动了唐人追求浮华奢靡的心理,受此影响,玉器设计一改呆板的样貌,呈现雍容华贵的异域风采^[5]。

3 唐代金银器对玉器的影响

3.1 唐代金银器与玉器工艺相互影响

一种材质的成型方法及造型样式,主要取决于这种材质自身的属性。唐代金银器的成型工艺主要是通过捶揲和旋削来造型,通过篆刻等工艺做装饰纹样,利用金银这种贵金属特有的延展性,把金银锤压打制成均匀的薄片,再通过捶揲和旋削、焊接等方式对薄片进行造型处理。唐代捶揲法分为模具捶揲法和自由捶揲法。模具捶揲法是为了便于批量生产,工匠把提

前设计好的浅浮雕的花纹和图案制作成模具,利用金银的延展性,用捶打、挤压的方式在银片印上凹凸的花纹。相比其他的材质,用金银制作器型有非常大的自由性,可充分发挥金银材料特有的可塑性、韧性和延展性。唐人心胸豁达开朗,善于接纳不同的文化,崇尚外来精美的物品,外来的金银器物作为异域文化交流的重要载体,给唐代金银器的发展创新提供参考。同时,本国及外来金银器又给玉器的发展提供了塑形模本。唐代通过篆刻等工艺做装饰纹样,所以唐代金银器装饰纹样中大量使用阴线刻工艺,与唐代玉器纹样也使用阴细线表现细部,两者有异曲同工的妙处^[6]。

3.2 唐代金银器对玉器器型的影响

唐代玉器,摆脱了以礼玉、丧葬玉为中心的传统,玉器步入了以实用、以装饰用玉为主流的发展阶段。神圣感和玉德观念淡化了,实用性的需求使器皿类、装饰类玉器制作发展迅速,逐渐成为主流。玉器大胆借鉴国内外金银器的制作工艺因而更加精湛,在造型样式和纹样的设计上更自由和洒脱,尽显装饰美感。

在金银器的影响下,生活实用器皿类和装饰用玉器不仅种类增多,唐代玉器工匠在造型样式、纹饰设计上不再保留以前的如玉圭、玉璧教和礼仪用器等呆板的形态。比如把玉杯、玉碗、玉盒做成五瓣、六瓣、八瓣或者更多瓣的花状。各种花型的实用器皿十分流行,这种对美丽造型的借鉴,突破了传统观念的束缚,给玉器带来一股新鲜空气。在选题、创意等方面,金银器为玉器的自由发展打开新途径。大量长杯、牛头杯、高足杯、单柄杯、带把杯、折楞碗、盅、钵、碗等造型的实用器物开始出现。在纹饰方面唐代玉器吸收了金银器的纹饰、纹样,出现了大量彰显生活气息的缠枝花卉、瓜果鸟兽等纹饰,在人物及动植物造型的刻画上,追求在浪漫情怀下尽显活泼、开放、繁华和美好的生活气息。这些均展现出唐代玉雕艺术亲切、自由、布局均匀、细而厚重的时代风格^[7]。

每种材料在制作工艺上都有自己的相对的优势,这种优势会对应一定造型方式和制作工艺,还有其相对应的器皿造型。由于金银器的延展性,唐代的金银器成型主要采用锤揲工艺,这种工艺手段的灵活运用,使金银器的造型别开生面。多样变化的曲线的造型使金银器皿的外轮廓,也不限于呆滞死板的平板样式,金银器的锤揲工艺使唐代高足器出现弧腹、敞口的特点,一改唐之前魏晋时期高足杯的清瘦造型,使之更加丰满、浑圆符合唐人的审美。这种圆润优美的高足器的风靡,带动相应玉器器型的产生。从出土发掘的唐代玉器中发现,一些玉器造型特点更加适合金

银材料独有特性的制作和成型方式。而对于玉器来说,制作费时费料,不能体现玉石材料的优势特征,相比金银器的精湛工艺来说,这些玉器还需要进一步提高制作工艺,革新技术,才能满足精工制作的要求。仿金银器的玉器特征明显更适用于金银器的制作,而且这些造型几乎没有实际用途^[8]。

(1)受唐代金银器的影响,出现多曲分瓣的玉容器。唐代出现很多精美的多曲分瓣形式的金银器皿,是借鉴中亚西亚等地的银器。金银器中运用这种样式,不仅仅为了装饰美观,更是为了弥补金银材料不足而采取的补救措施。这种多曲分瓣的花型器皿大受欢迎,使传统玉器的造型突破了以往圆口器皿的单一性模式,也增加了唐代玉器的器形,增加了玉器造型的新颖性,是金银器造型在玉器上使用的典型样式。在陕西西安南郊何家村,窖藏出土了一件典型模仿银器造型形式的多曲分瓣玉器(见图1),此杯的形制与同时代波斯萨珊银器几乎完全相同,而纹样是继承南北朝时期的忍冬纹,这件作品体现了唐代继承传统、又大胆借鉴和吸收国外艺术特点的兼容并蓄的开放风格。



图1 多曲分瓣玉器

(2)受唐代金银器的影响,玉器内壁保留着“出脊”的凸棱。唐代的的多曲玉碗、玉盘、玉杯等这些器皿的内壁出现了“出脊”的棱,不难发现这是金银器制作过程中,利用金银器超强的延展性,采用捶揲造型方式时,由于金银的轻薄,器物内壁形成的特有的痕迹,不光是为了美化造型,也可以克服薄壁金银器易变形的不足之处,增加了金银器的造型的稳定性。唐代花型玉器中看到的这种“出脊”的凸棱,都是以容器底部的中心为原点,呈放射形状,这种设计恰恰是借鉴了金银器的造型。

(3)受唐代金银器的影响,玉器出现翘而卷曲的口沿。唐代玉鼎、玉长杯、玉碗、玉盘碟等器皿上出现翘并卷曲的口沿,外撇的圈足、器盖进行翻卷处理,金银器中存在这样的特点,是由于金银材料在制作中采用捶揲工艺形成的。翘而卷曲的口沿,最初是金银器在捶揲或者铸造工艺中产生的,这种装饰手法在金银

器制作中不仅为了美观,同时是为了克服金银器器皿壁薄、容易变形的缺点.但是对于玉石材料来说,既会耗费珍贵的材料又会耗费制作工时,唐代玉器制作工艺很难造出薄胎器皿,而且唐代主要采用白玉,薄胎工艺不能体现白玉材料的温润之美,所以这些卷曲的口沿对于玉器的设计没有实用价值.唐代具有这种翘而卷曲的口沿的代表作品为带环兽头三足玉鼎(见图2),其将唐代金银器的口沿设计融入其中,而且根据玉石自身的材料特点进行了革新.



图2 三足玉鼎

(4)受唐代金银器的影响,高足杯产生,高圈足玉器更圆润.关于高足杯是否于唐代产生,学术界还存在一定的争议.孙机在《中国圣火》中认为,高足杯是在保留东晋南朝饮食器瘦长造型的基础上发展而来的,属于本土器型.齐东方认为,高足杯本来不是中国传统器物的造型,可能是模仿拜占廷金银器物形制而出现的玉器的仿制品.夏鼐先生认为,唐代出现搭配国外输入的金银器高足杯,如李静训墓出土的金银高足杯.目前专家普遍认同齐东方的观点.虽然带有高足的器物在唐以前的饮食用造物群中也有出现,比如盛放菹醢等调料的“豆”,但唐代出现的高足器皿,并不是从中国传统器型继承和发展而来,从渊源上来看,两者之间并没有什么联系.唐代高足杯的流行是为了适应唐代饮酒的社会风尚^[9].

唐代玉长杯、玉碗中保留着高圈足金银器的特征.高足玉器皿传达着唐代金银器的艺术样貌,模仿金属器而形成的高足玉器的形制,被美国西园雅集收藏的六曲玉碗(见图3)就是一件代表性作品.

(5)金银器带把杯是唐代大受欢迎的器物,在金银器的影响下,作为实用器皿的玉器带把杯也非常盛行.带把杯始于8世纪前半叶,齐东方先生所著的《唐代金银器研究》认为,何家村出土的金银把杯是粟特银器的模仿品.唐代的“白玉单耳椭圆杯”,造型大方,工艺十分精美,如图4所示.这款带把杯的指垫也是粟特金银器的典型特征,这个指垫一方面增加了拿杯



图3 六曲玉碗

的舒适感,另一方面从力学的角度分析,当拇指按在指垫上且向下施力时,增加了拿杯子时的稳定性和舒适感.制作者在杯垫上饰以纹样,增加了其观赏性.

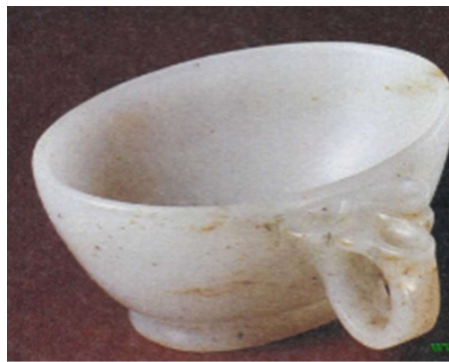


图4 白玉单耳椭圆杯

3.3 唐代金银器对玉器纹饰的影响

唐代金银器制作图案的技法,以锤揲和篆刻为主.唐代前期主要采用锤揲法制作纹样,唐后期纹样制作以篆刻为主.篆刻是阴线刻图案和纹样,线条比较细腻流畅.唐代早期金银器纹样呈现出人们生活的写实风格的乐伎纹、动物纹、折纸花鸟纹、狩猎纹、忍冬纹等.唐后期胡人图案变为中国古代经典的人物.唐代玉器受金银器的影响,创造出很多属于唐代的以花草植物纹样为主的独特的纹饰图案.纹饰具有强烈的写实性,刻画景物惟妙惟肖.唐代玉器装饰性和实用性强,造型精美、做工细腻,以其独特的风格,宏伟的气魄,展现出唐代人蓬勃向上的时代风貌.

唐代玉佩饰彰显出大气之感,善于把一件优秀的玉器材料雕刻得复杂化,也就是说在一块有限的玉料上,极尽所能的去雕刻更多的纹饰来彰显这个玉雕件的整体价值.而宋代不同的是其玉佩饰更能以发挥玉料本身的特点之美来进行雕琢,同时也更加注重纹饰的意境表现.唐代玉器的纹样借鉴金银器大胆的创新与革新,一改程式化、抽象化的陋习,从大自然及植物

中吸取创作元素,如天空的云朵、娇艳开放的花儿、生机勃勃的草木、缠枝花纹、牡丹、菊花、梅花等,玉器中大胆展现出唐人活泼、自由、奔放、勇于创新的生活气息.唐代玉器纹饰上,还出现了以翼兽纹、龙、摩羯纹、立鸟纹、凤、鱼等动物为题材的纹饰.

4 金银器与玉器的结合

唐代玉首饰出土和保存下来的并不多,但大多是唐代玉器中最精彩的代表.唐代贵族崇金尚玉,于是金、玉结合的工艺必然大受推崇.金、玉结合自两汉就已出现,但那时却是各自独立的两个部分,而从唐代开始的金镶玉,把金、玉镶嵌成一个整体.比如唐代的镶金白玉手镯,工艺制作复杂精美,玉镯在黄金的辉映下,展现出绚丽多彩的风貌.这种金镶玉的制作工艺非常难,镶嵌的过程中白玉硬度低,很容易破损,所以成品率非常低,这种贵重的艺术品只有少数贵族才能享用.唐代的金镶玉工艺,还用在器皿上,做工精细,风格写实,以金饰玉,精巧细腻,典雅高贵,只能用鬼斧神工来形容,充分反映出唐人追求豪华热烈的审美情趣.

唐代还出现了在玉石上做金银平脱工艺,虽然金银平脱的玉器实物还未出土,但文献《安禄山事迹》中记载,玄宗曾经赏赐给安禄山一件“金平脱大玛瑙盘”;在《酉阳杂俎》中记载,杨贵妃也曾经赏赐给安禄山一件“金平脱装具玉合”.

4.1 精美的“金镶玉”首饰

唐以前对于玉石的礼仪、神性崇拜一直使玉器拥有高于其他器物的地位属性,至唐,开放的社会局面使玉器在除用作礼器之外拥有更多鉴赏性、文玩性与佩戴性.唐代首饰中,金镶玉首饰最有代表性,在金银材料的搭配下更显玉石的温润之美.“唐铰接式钿金白玉镯”在西安南郊何家村被发掘,这款玉镯的玉石被平均切分成三块,三块玉石由纯金兽首包镶,手镯既写实又浪漫,如图5所示.这种黄金包裹的绞链开合的设计,不但便于手镯的佩戴,还解决了玉手镯内径固定不便于携带的局限,这种巧妙非凡的工艺,令世人瞩目.



图5 铰接式钿金白玉镯

这件镶金玉镯,显示了唐代治玉工艺与金银器制作工艺巧妙结合的高超水平,而且反映出唐朝与中亚、西亚地区在金银器制作工艺之间不断借鉴、创新的独特风格.

4.2 镶金兽首玛瑙杯

“来通”又名兽首杯,属于异域造型的样式,杯体设计成兽身,尖端多作兽首状,因之得名.金、银、玉器等酒具代表权力和富贵.唐代的克里夫兰金银器中有来通造型,图6和图7是克里夫兰银来通的样式,镶金兽首玛瑙杯受此影响而产生.唐代王公贵族也喜欢这种异域风格的用品,出土于长安城的镶金兽首玛瑙杯,因材施艺、俏色设计,采用缠丝玛瑙原料制作而成.兽首玛瑙杯(见图8)巧妙地利用玛瑙的自然纹理,羚羊的眼睛雕刻细致而炯炯有神,嘴用黄金包裹镶嵌的工艺,起到画龙点睛的作用,与玛瑙黄色部分的纹理



图6 克里夫兰羊头银来通



图7 克里夫兰狮头银来通



图8 兽首玛瑙杯

呼应,包住了玉石材料在此处色泽暗淡的弱点.这件兽首杯以中亚高鼻羚羊为造型,作品模仿克里夫兰金银器中有银来通造型,体现了玉石天然之美,展现出异域艺术色彩.这件金镶玉作品体现了唐代金银工艺在玉器设计中的影响.

5 结 语

唐代是我国封建社会的鼎盛时期,也是金银器与玉器工艺发展的高峰期,金银器工艺作为唐代最高科技水平的代表,在对异域金银器文化借鉴和吸收的过程中进一步发展创新,在异域金银器及唐代本土金银器的影响下,玉器艺术得到新的发展契机.在交流中,玉器工匠得到很多启发,形成了唐代玉器的饱满奔放的艺术新风,作为两种工艺技术的结合者,金镶玉艺术更加璀璨夺目.玉器模仿金银器开辟了新的途径,

不但丰富了加工工艺和玉器种类,创造出了前代不曾出现的器型、纹样,做工精巧的金镶玉艺术在继承传统的基础上使手工制造工艺发扬光大,开创了唐代玉器的艺术新风.

参考文献:

- [1] 董健丽.中国古代鱼纹陶瓷器[J].收藏家,2003(1):57-58.
 - [2] 杨伯达.中国玉器全集[M].河北:河北美术出版社,1993.
 - [3] 韩建武,邱子渝,王建荣.陕西出土的唐代玉石器及相关问题[J].上海文博论丛,2007(8):55-56.
 - [4] 赵青.浅议唐代以石代玉现象[J].文博,2008(4):17-18.
 - [5] 祝燕琴.中国古代玉器造型的演变[J].艺术·生活,2016(6):155-157.
 - [6] 殷志强.中国古代玉器[M].上海:上海文化出版社,2000.
 - [7] 袁伟.我国古代水晶制品一瞥[J].收藏家,2003(1):121-123.
 - [8] 费孝通.玉魂·国魄[M].北京:北京燕山出版社,2001.
 - [9] 孙机.中国圣火[M].沈阳:辽宁教育出版社,1996.
-
- (上接第364页)
- [7] 朱佳琪,陈芳清,黄永文,等.活性炭对秸秆和猪粪混合厌氧发酵产生物甲烷的影响[J].湖北农业科学,2022,61(11):44-49.
 - [8] JENNIFER R, TIM J D. Laboratory-scale bioaugmentation relieves acetate accumulation and stimulates methane production in stalled anaerobic digesters[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2016,100(2):1009-1017.
 - [9] MASEBINU S, AKINLABI E, MUZENDA E, et al. Experimental and feasibility assessment of biogas production by anaerobic digestion of fruit and vegetable waste from Joburg Market [J]. Waste Management, 2018, 75: 236-250.
 - [10] 苑宏英,李琦,张嘉艺,等.添加蛋白质类餐厨垃圾促进污泥厌氧发酵产酸[J].中国给水排水,2022,38(17):100-103.
 - [11] 谭业琴.餐厨废水和固渣厌氧发酵试验研究[J].中国资源综合利用,2022,40(11):1-4.
 - [12] YILMAZ M T, YILDIZ Ö, YURT B, et al. A mixture design study to determine interaction effects of wheat, buckwheat and rice flours in an aqueous model system [J]. Lwt Food Science & Technology, 2015, 61(2):583-589.
 - [13] PAUL K, BYRAN J. Model-robust design of mixture experiments, 2020, 32(4): 663-675.
 - [14] 张尊华,曾璇,梁俊杰,等.天然气成分波动对其预混火焰传播特性的影响[J].化工学报,2018,69(12):5209-5219.