

基于尿素电氧化技术的空间站 新型污水回用系统设计

王鹭^{1,2}, 张珂¹, 袁立杰¹, 郭嘉玉¹, 田彦妮¹

(1.长安大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710061; 2.香港科技大学 化学及生物工程学系, 香港 999077)

摘要:空间站中水资源的补充对实现宇航员长期在轨驻留至关重要。将航天员的尿液处理后循环回用是供水的必要途径之一,其占据了回收水量的绝大部分。然而,传统尿液处理方法存在设备庞大、流程复杂和原子利用率低等问题。因此设计了新型污水处理及回用系统:基于尿素电氧化技术处理尿液,引入甲烷燃料电池与 Sabatier 反应器和氢氧燃料电池联用,以进一步利用尿液处理产物,通过设计分级处理及动态调控系统,精准配置空间站内水资源。该设计系统有助于节省宝贵空间并降低处理能耗,有望提高水的回收率同时实现资源的优化配置,为空间站内水资源的循环利用提供新思路。

关键词:尿液处理;空间站;水回用;动态调控

中图分类号:V444.3

文献标志码:A

文章编号:1000-2758(2024)01-0173-07

随着载人航天技术的不断发展,实现长期在轨驻留已成为世界各航天大国的目标^[1]。对消耗性资源(包括水、食物、氧气等)的补充是实现这一目标的关键。空间站环境控制与生命保障系统(ECLSS)为航天员的基本生活条件和适宜工作环境提供了保障,被称为生命的“保护伞”。该系统由电解制氧、二氧化碳去除、尿液处理和污水处理等子系统组成^[2]。其中尿液处理子系统所承担的尿液处理和回用任务是实现空间站水资源循环的关键,能有效减少对地面供应和运输资源的依赖^[3]。除了发射货运飞船这一极其昂贵的途径外,长期驻留所需要的水主要从航天员排出的尿液、蒸发的水蒸气和呼出的二氧化碳中回收^[4]。值得一提的是,从尿液(95%以上是水)^[5]中提取的水量约占整个ECLSS回收量的80%^[6]。因此,尿液的处理与回用是空间站内水资源补充和利用的重要组成部分。

为了从尿液中获得水,已经开发了一系列的方法对空间站内的尿液处理并回用。目前,大多数尿液处理方法都依赖于相变技术,如热电集成膜蒸发、蒸汽压缩蒸馏和气相催化除氨法等。其中,由于蒸汽压缩蒸馏过程是一个热自发过程,易于控制且出水水质好,现有空间站大多数采用蒸汽压缩蒸馏法处理尿液^[3,7]。然而,这种尿液处理方法涉及蒸发和冷凝过程,需要相当高的能量来压缩蒸汽并补偿机械和热损失^[8]。此外,该方法还存在设备庞大、工艺复杂及残余废液等缺点^[9]。值得注意的是,尿液中除水外主要成分为尿素。因此,将尿素分解并充分利用其产物对于水的回收至关重要,有望提高资源的利用率。然而,传统含尿素废水的处理方法,如生物分解、化学氧化和热水解等,不仅耗能,而且技术昂贵效率较低。

近年来,运用电化学氧化技术,特别是尿素电解^[10]和直接尿素燃料电池^[11],可以有效分解尿素并产生可利用产物(如 H_2 、 CO_2 和 H_2O)。其阳极尿素氧化反应(UOR)可以充分利用尿素中的氢、碳和氧原子,同时产生水,有望实现更高的水回收率。另一方面,电解池和燃料电池具有简单结构、紧凑尺寸和低能耗等特点,为空间站内尿液处理及回用提供

收稿日期:2022-12-28

基金项目:国家自然科学基金(22008189)、陕西省自然科学基金基础研究计划(2019JQ-587)与长安大学中央高校基本科研业务专项资金(300102282101)资助

作者简介:王鹭(1990—),副教授

通信作者:王鹭(1990—) e-mail:wangluxjtu@163.com

了广阔前景。然而笔者了解,利用基于 UOR 技术处理并回用空间站尿液仍较少有报道。此外,ECLSS 中大气质量的管理也很重要,其主要任务包括去除航天员呼出的 CO_2 和提供 O_2 [12]。目前,国际空间站采用物理化学再生系统去除 CO_2 ,即 CO_2 被捕获、浓缩和甲烷化为 CH_4 和 H_2O ($\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) [13]。然而, CH_4 被视作废品直接排放到舱外,其中的氢原子未充分利用。因此,充分利用资源和提高水回收率是优化空间站污水回用系统的主要方向。

综合上述分析,本研究以尿素电氧化技术为基础,进一步引入甲烷燃料电池与 Sabatier 反应器和氢氧燃料电池耦合,设计了空间站新型污水回用系统。其中新型尿液处理模块可以将尿素电氧化,产生可利用气体和清洁能源的同时补充水,并且具有

体积可调、操作简单和所需能耗低等优势。此外,利用 Sabatier 反应器和甲烷燃料电池将尿素分解的产物转化为水。最后,针对现有处理方法将不同水质的多种废水全部转化为饮用水 [14],导致设备寿命缩短和处理效率降低等问题,本设计中的分级处理和动态调控系统有助于空间站中水的按需分配。

1 系统描述

为了在空间站中有效地回收水和最大限度地利用资源,本研究基于尿素电氧化技术设计了空间站新型污水回用系统,并引入分级处理和动态调控系统精准配置空间站资源。当饮用水水箱水位、舱室内氧气浓度和卫生用水水箱水位均处于预设范围内时,本设计新型污水回用系统按图 1 所示流程运行。

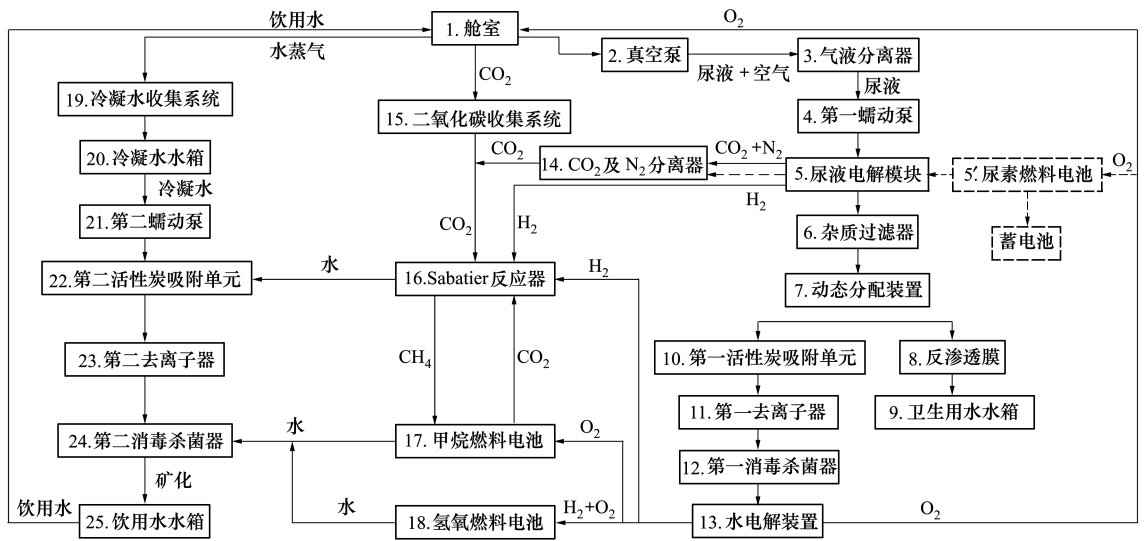


图 1 本设计空间站污水回用系统图

该系统主要包括冷凝水处理系统、二氧化碳处理系统、尿液收集、处理以及后处理系统、氧气生成系统和动态调控系统。其中冷凝水处理系统用于将舱室内蒸发的水蒸气转化为饮用水。水蒸气经收集、冷凝和蠕动泵加压后进入冷凝水后处理系统,冷凝水经过吸附、去离子化、消毒杀菌和矿化等物理化学过程后转化为饮用水进入饮用水水箱。二氧化碳处理系统用于去除舱室中的 CO_2 以保证大气质量,并作为动态调控系统中的一部分参与空间站资源配置。 CO_2 被收集系统捕捉后,进入 Sabatier 反应器与 H_2 (来源于尿素电解或水电解) 反应生成 H_2O 和 CH_4 ,产生的 H_2O 经冷凝水后处理系统进入饮用水

水箱,而 CH_4 经过甲烷燃料电池转化为 H_2O ,反应产生的水经消毒杀菌和矿化后也补充至饮用水水箱。

上述两者产水量不足以满足航天员饮用水需求,为此本设计将空间站中航天员产生的尿液经收集、处理以及后处理系统也转化为饮用水。尿液首先利用真空泵提供的吸力进入气液分离器,分离后的尿液经蠕动泵加压后进入尿液处理模块(尿液电解或尿素燃料电池模块),而气体经净化后排入舱室。当采用尿液电解模块时,尿液中的尿素在尿液电解模块中进行电解,产物为 CO_2 、 N_2 和 H_2 。其中 H_2 和经分离后的 CO_2 可作为 Sabatier 反应器的原

料,电解后的尿液经杂质过滤和动态分配后进入尿液后处理系统。一部分尿液经反渗透后转化为卫生用水,剩余部分经吸附、去离子化、消毒杀菌后进入水电解装置。电解水产生的 O_2 供航天员呼吸,产生的 H_2 根据各用水情况和系统所处的工况经动态调控系统合理调节并转化为饮用水、电解用水或卫生用水补充水。采用尿液燃料电池模块处理尿液时尿素被氧化成 CO_2 、 N_2 和 H_2O ,其产物和剩余尿液处理过程同上所述。

基于尿素电氧化技术处理尿液的新方法可采用尿素电解和直接尿素燃料电池 2 个模块进行,均具有结构简单、体积可调、能耗低及残留废物少等优点。尿素被有效分解同时产生水,进一步提高了尿液中水的回收率。与 Sabatier 反应器和甲烷燃料电池结合,电解产物得到充分利用且甲烷无需外排,实现高的原子利用率。此外,分级处理和动态调控系统的设计使得空间站水回收效率和利用率有望得到进一步提高。

2 尿液处理 and 水的回用

2.1 尿素电解模块

采用尿素电解模块处理空间站尿液的原理为:尿素在电解池阳极尿素电氧化催化剂的作用下被氧化成 CO_2 和 N_2 ,而阴极产生 H_2 ($CO(NH_2)_2 + H_2O \rightarrow N_2 + CO_2 + 3H_2$)^[10]。正常工况下利用尿素电解技术处理空间站尿液的流程见图 2。具体过程如下:

1) 尿液收集。当空间站舱室内有尿液产生时,利用真空泵产生的吸力将气、液混合状态的尿液输送到气液分离器使尿液与气体分离,分离后的尿液经蠕动泵提供动力后进入尿液处理系统,气体经空气净化装置处理后排入舱室。

2) 尿液处理。进入到尿液电解模块的尿液开始电解,尿液中的尿素被氧化成 CO_2 和 N_2 ,阴极上产生 H_2 。 H_2 和经 CO_2/N_2 分离器分离后的 CO_2 进入 Sabatier 反应器转化成 H_2O 和 CH_4 , CH_4 再经甲烷燃料电池也转化为 H_2O 。此外,在尿素电解过程中,尿液中含有的大量氯离子在阳极被氧化产生活性氯,这些物质可与尿液中的氨氮、有机物等发生反应,同时自身又被还原为氯离子,尿液电解体系中存在 $Cl^- \rightarrow Cl_2 \rightarrow ClO^- \rightarrow Cl^-$ 循环^[15]。

3) 尿液分配。电解后的尿液经过滤去除尿液中所含的部分胶体、悬浮物、细菌、病毒和尿液电

过程中产生的絮状沉淀物后进入动态分配装置。部分尿液被分配至卫生用水处理系统,剩余部分被分配至电解用水处理系统。

4) 尿液后处理。进入到卫生用水处理系统的尿液经反渗透膜处理成卫生用水进入卫生用水水箱。分配至电解用水处理系统的尿液先经过第一活性炭吸附单元,利用活性炭良好的吸附特性将尿液中剩余的有机物牢固地吸附在活性炭表面或孔隙中。再通过第一去离子器中多层复合过滤床和离子去除树脂床对尿液中的各种阴、阳离子进行置换,去除离子杂质。最后经过第一消毒杀菌器利用银离子的杀菌作用去除微生物后处理成电解用水进入水电解装置,通过控制银电极的工作电压和电流,可将待处理水中的银离子浓度维持在标准规定限值以下。

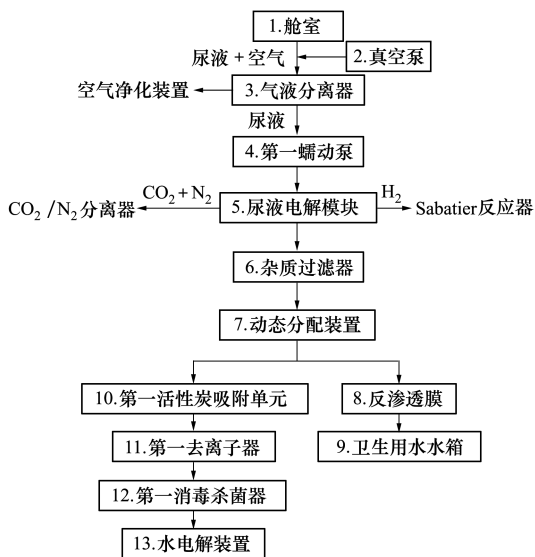


图 2 基于尿素电解模块处理空间站尿液的流程图

由此可见,当尿液产生后直接利用分离器使气液混合状态的尿液分离,可以将尿液实时处理,尿液无需进行预处理。传统空间站尿液处理方法中尿液需收集达到一定量后才可进行处理,因此需添加化学药剂以稳定尿液^[16]。电解时,尿液中的尿素被分解成 CO_2 和 N_2 ,同时产生 H_2 ,可见尿液电解可以将尿素分解并产生无害气体和清洁能源。为提高资源利用率,电解产生的 CO_2 和 H_2 进入 Sabatier 反应器转化成 H_2O 和 CH_4 ,区别于目前空间站将甲烷排出舱外,本设计进一步引入甲烷燃料电池将 CH_4 转化为 H_2O ($CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$)。基于尿素电解的尿液处理产物转化流程如图 3 所示。此外,尿液中含有的氯离子在阳极被氧化成活性氯,这些物质可

与尿液中的部分有机物反应,利于污染物去除,减少后处理负荷。长时间运行时,为确保出水水质符合饮用水和电解制氧标准,可通过定期检查或更换处理单元进行在轨维修。动态分配装置根据系统所处的不同工况合理分配处理成电解用水和卫生用水的水量,保证航天员用水稳定。

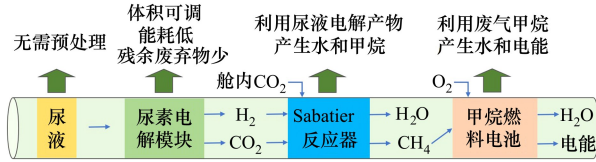


图 3 基于尿素电解的尿液处理产物转化流程图

2.2 直接尿素燃料电池模块

另外,基于尿素电氧化技术处理尿液还可用直接尿素燃料电池模块代替尿素电解模块,其原理为:尿素在燃料电池阳极电催化剂作用下被氧化成 CO₂、N₂ 和 H₂O,而阴极上发生氧气的还原反应 (2CO(NH₂)₂+3O₂→2N₂+2CO₂+4H₂O)^[11]。其尿液收集、分配和后处理过程与利用尿素电解技术处理空间站尿液过程一致,不同之处在于尿液处理过

程。当气液分离后的尿液进入燃料电池模块时,尿素燃料电池开始工作产生 CO₂、N₂ 和 H₂O,同时伴随着电能的产生。产生的 CO₂ 可进入 Sabatier 反应器与电解水产生的 H₂ 反应转化成 H₂O 和 CH₄,CH₄ 经甲烷燃料电池也转化为 H₂O,工作时产生的电能可以供给舱室用电或储存在储能装置中。基于直接尿素燃料电池的尿液处理产物转化流程如图 4 所示。由此可见,尿素燃料电池可以同时处理尿液并发电。

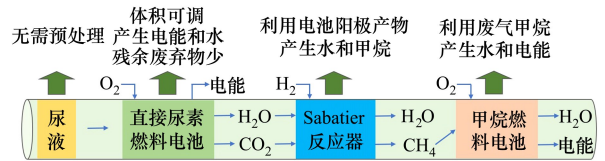


图 4 基于直接尿素燃料电池的尿液处理产物转化流程图

2.3 与其他尿液处理及回用工艺的比较

与其他尿液处理及回用工艺相比^[17-18],本设计中基于尿素电氧化法的尿液处理及回用系统有如下特点,见表 1。

表 1 空间站各种尿液处理与回用工艺特点比较

方法	工作条件	处理效果	能耗	体积质量	可靠性	操作	资源利用
TIME	高温真空	好	高	小轻	高	简单	水
VCD	常温真空	好	高	大轻	高	简单	水
VPCAR	高温真空需氧	好	高	大重	高	复杂	水
AES	高温常压	差	高	小轻	高	简单	水
SCWO	高温高压需氧	好	高	大重	差	复杂	水
BWRS	常温需氧	一般	低	大重	差	复杂	水
UBR	常温	一般	低	大重	差	复杂	水
LM	低温真空	好	低	大轻	高	简单	水
UOR[本设计]	低温常压	好	低	小轻	高	简单	水、尿素

注:TIME 为热电集成膜蒸发法;VCD 为蒸汽压缩蒸馏法;VPCAR 为气相催化除氨法;AES 为空气蒸发法;SCWO 为超临界水氧化法;BWRS 为生物再生水回收系统;UBR 为尿素酶生物反应器;LM 为冻干法;UOR 为尿素氧化反应

从表 1 中可以看出,采用物理或化学的方法处理空间站尿液普遍存在能耗高、水回收率受限等问题。除此之外,TIME 法热泵效率较低且中空纤维膜易堵塞;VCD 法运动部件较多可靠性受影响;VPCAR 法对氧气的需求较大;AES 法出水水质较差;SCWO 法可靠性较差且设备易腐蚀;LM 法处理效率较低。生物法(包括 BWRS 法和 UBR 法)虽所需能耗较低,但微生物的培养和尿素酶的活性易受环境因素影响,操作复杂且可靠性差。因此,从提高

水回收率和降低能耗的角度考虑,本系统中基于尿素氧化反应(UOR)的尿液处理方法具有条件温和、处理效果好、能耗低等优点,且电解池和燃料电池部件少、体积小、可靠性高。此外,通过分解尿素并利用产物实现了更高的资源利用率和提高水回收率。

本设计尿液处理系统具有以下优势:①对水质和水量的要求较低,有效容积可根据排尿量灵活设置,设备占地小,节约空间;②可实时处理尿液,省去储存及预处理流程,减少化学药剂输送量;③利用高

效电催化剂直接将尿液中的尿素分解,能耗低且残余废液量少;④进一步将尿素分解产物通过 Sabatier 反应器和甲烷燃料电池转化为水,充分利用尿液中的氢原子,甲烷无需外排,原子利用率高;⑤稳定性较高,当单一电解池或燃料电池组件失效时,可通过构建电解池堆或更换膜电极组件实现设备在轨维修或更换,保证尿液处理模块正常运转。

3 分级处理和动态调控系统

根据是否将尿液和其他废水在同一过程中处理,空间站废水处理和回用有 2 种方法。一种是将尿液与其他废水混合,为航天员提供饮用水和卫生用水。另一种是用尿液处理器单独处理尿液生成循环水,可用于冲洗小便池、电解制氧或与其他废水一起进入水处理器进行二次处理。显然,将尿液单独处理成再生水可以节约后续处理过程所消耗的能量,提高废水处理效率,延长设备使用寿命。然而,

饮用水、卫生用水和电解制氧用水之间的分配和调度再次成为保障空间站系统稳定的“拦路虎”^[19]。因此,优化水的分配及协调各用水的供应对空间站的合理设计十分重要。

基于此,本设计通过分级分质及动态调控系统,将不同污水分类处理以实现“高质高用,低质低用”,这与目前空间站内普遍将各种污水混合,统一处理成饮用水级明显不同^[14]。本系统中水蒸气冷凝水、CO₂ 还原水和尿液分别通过不同工艺分级处理,达到不同标准的水质后分别供给航天员饮用、电解制氧和卫生用水,延长设备使用寿命和提高处理效率。此外,为保证空间站供水供氧平衡,通过 Sabatier 反应器、水电解装置和氢氧燃料电池,结合甲烷燃料电池和动态分配装置作为动态调控系统,并设置 4 种调节模式,“正常工况”长期运行模式如图 1 所示,根据不同情况设置 3 种应急调节模式见图 5。

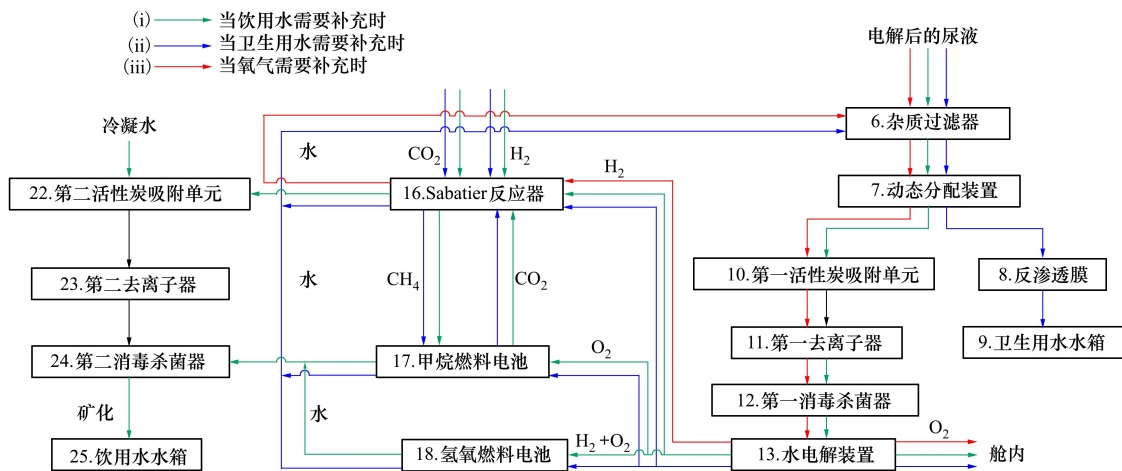


图 5 3 种应急调节模式下的产物转化示意图

①当饮用水需要补充时:处理后的尿液全部分配至水电解装置,同时增大电解电压以便在短时间内获得大量氢气和氧气。氢气经 Sabatier 反应器和氢氧燃料电池转化为水和甲烷,甲烷再经甲烷燃料电池生成水,所有产生的水再经过后续处理转化为饮用水,使饮用水得到快速补充;②当卫生用水需要补充时:处理后的尿液全部分配至卫生用水处理系统,同时水电解装置也辅助补充卫生用水;③当空间站内氧气需要补充时,处理后的尿液全部分配至水电解装置进行制氧,电解水产生的氢气全部进入 Sa-

batier 反应器补充电解水制氧,同时加大电解水的电压,快速补充舱内氧气。

一方面,动态调控系统根据不同活动用水需求合理分配和调整卫生用水、电解用水及饮用水水量,保证航天员生活和工作用水稳定;另一方面,动态调控系统实现水和氧气灵活转化,让空间站资源分配更加合理,同时减少了氧气储存在高压密封罐所占的体积,节约空间。通过与人工智能相结合优化动态调控系统各模块之间的协调和配合,可以进一步精准实现空间站内各资源的优化配置。

4 结 论

本设计提出了一种基于尿素电氧化技术的空间站新型污水回用系统,该系统具有实时电解、设备占地小、残余废弃物少、资源利用率高等优势。通过充分利用废液和甲烷中的氢原子,实现空间站内废弃物的资源化利用,有望打破目前空间站尿液处理瓶颈,从根本上提高水的回收率。此外,分级处理和动态调控系统的设计为实现空间站污水处理低能耗、高水回收率和资源化利用提供新策略。

本设计方案包括多个催化反应和子系统的耦

合,为保证系统稳定运行,可在以下方面加以完善:①良好的系统运行效果对催化剂活性优化、稳定性验证和反应机理研究等提出要求,高效稳定催化材料的设计开发对强化尿素电氧化反应具有重要意义;②组成该系统的多个子系统相互关联,耦合度较高,系统间的匹配设计存在挑战。微重力条件下,如何降低各系统间的耦合和保证液相流、气相流和能量流在各系统间的输运需要进一步探索;③系统可靠性与设备运行参数相关,通过流程模拟、理论计算和实验测试等优化各工作参数对系统的可靠性提升具有积极作用。

参考文献:

- [1] CHEN M, GOYAL R, MAJJI M, et al. Design and analysis of a growable artificial gravity space habitat[J]. *Aerospace Science and Technology*, 2020, 106: 106147
- [2] SHARMA G, RAI R N. Reliability modeling and analysis of environmental control and life support systems of space stations: a literature survey[J]. *Acta Astronautica*, 2019, 155: 238-246
- [3] LINDEBOOM R E F, DE PAEPE J, VANOPPEN M, et al. A five-stage treatment train for water recovery from urine and shower water for long-term human Space missions[J]. *Desalination*, 2020, 495: 114634
- [4] BERNARDO P, IULIANELLI A, MACEDONIO F, et al. Membrane technologies for space engineering[J]. *Journal of Membrane Science*, 2021, 626: 119177
- [5] JAGTAP N S, BOYER T H. Urine collection in a multi-story building and opportunities for onsite recovery of nutrients and non-potable water[J]. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020, 8(4): 103964
- [6] NICOLAU E, FONSECA J J, RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ J A, et al. Evaluation of a urea bioelectrochemical system for wastewater treatment processes[J]. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2014, 2(4): 749-754
- [7] 刘向阳, 高峰, 邓一兵, 等. 中国空间站再生生保系统的设计与实现[J]. *中国科学: 技术科学*, 2022, 52(9): 1375-1392
LIU Xiangyang, GAO Feng, DENG Yibing, et al. Design and implementation of regenerative life support system in the China space station[J]. *Scientia Sinica Technologica*, 2022, 52(9): 1375-1392 (in Chinese)
- [8] AL-KARAGHOULI A, RENNE D, KAZMERSKI L L. Solar and wind opportunities for water desalination in the Arab regions [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13(9): 2397-2407
- [9] WILLIAMSON J P, CARTER L, HILL J, et al. Upgrades to the international space station urine processor assembly[C]//50th International Conference on Environmental Systems, 2021
- [10] BOGGS B K, KING R L, BOTTE G G. Urea electrolysis: direct hydrogen production from urine[J]. *Chemical Communications*, 2009(32): 4859-4861
- [11] LAN R, TAO S, IRVINE J T S. A direct urea fuel cell-power from fertiliser and waste[J]. *Energy & Environmental Science*, 2010, 3(4): 438-441
- [12] BELZ S, GANZER B, MESSERSCHMID E, et al. Hybrid life support systems with integrated fuel cells and photobioreactors for a lunar base[J]. *Aerospace Science and Technology*, 2013, 24(1): 169-176
- [13] VOGT C, MONAI M, KRAMER G J, et al. The renaissance of the sabatier reaction and its applications on earth and in space [J]. *Nature Catalysis*, 2019, 2(3): 188-197
- [14] CARTER L, BROWN C, OROZCO N. Status of ISS water management and recovery[C]//43rd International Conference on Environmental Systems, 2013
- [15] 王飞, 刘峻峰, 张杰, 等. 电化学氧化对尿液处理过程中消毒副产物的生成控制和去除[J]. *环境工程学报*, 2021, 15

(9): 2973-2984

WANG Fei, LIU Junfeng, ZHANG Jie, et al. Control and removal of disinfection by-products (DBPs) during electrochemical oxidation of urine[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(9): 2973-2984 (in Chinese)

[16] VOLPIN F, BADETI U, WANG C, et al. Urine treatment on the international space station: current practice and novel approaches[J]. Membranes, 2020, 10(11): 327

[17] 于涛, 李永峰, 马军, 等. 空间站尿液废水处理回用技术及其应用进展[J]. 上海工程技术大学学报, 2009, 23(2): 124-130

YU Tao, LI Yongfeng, MA Jun, et al. Study on urine waste treatment and water reclamation techniques in space station[J]. Journal of Shanghai University of Engineering Science, 2009, 23(2): 124-130 (in Chinese)

[18] 杨祺, 张文瑞, 于锟. 空间站尿液处理技术研究及进展[J]. 真空与低温, 2014, 20(6): 315-318

YANG Qi, ZHANG Wenrui, YU Kunkun. Research and development of techniques of urine processing in space station[J]. Vacuum & Cryogenics, 2014, 20(6): 315-318 (in Chinese)

[19] RZEVSKI G, SOLOVIEV V, SKOBELEV P, et al. Complex adaptive logistics for the international space station[J]. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, 2016, 11(3): 459-472

Design of a novel wastewater reuse system for space station based on urea electrooxidation technology

WANG Lu^{1,2}, ZHANG Ke¹, YUAN Lijie¹, GUO Jiayu¹, TIAN Yanni¹

(1.School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, China;

2.Department of Chemical and Biological Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong 999077, China)

Abstract: The replenishment of water resources in a space station is essential for achieving an astronaut's long-term and on-orbit residence. Recycling his or her urine is one of important and major ways of wastewater recovery. However, traditional urine treatment methods have the disadvantages of equipment that takes large space, complex procedures and low atomic utilization. Therefore, this paper designs a novel wastewater reuse system that treats urine based on urea electrooxidation technology, introduces methane fuel cell coupled with the Sabatier reactor and hydrogen-oxygen fuel cell to further utilize urine treatment products and to allocate water resources precisely in the space station through designing grading treatment and dynamic control systems. The wastewater reuse system designed in the paper contributes to saving valuable space and reducing energy consumption during urine treatment, thus improving water recovery rate and optimizing resource allocation.

Keywords: urine treatment; space station; water recycling; dynamic control

引用格式: 王鹭, 张珂, 袁立杰, 等. 基于尿素电氧化技术的空间站新型污水回用系统设计[J]. 西北工业大学学报, 2024, 42(1): 173-179

WANG Lu, ZHANG Ke, YUAN Lijie, et al. Design of a novel wastewater reuse system for space station based on urea electrooxidation technology[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2024, 42(1): 173-179 (in Chinese)