

文章编号: 1674-8190(2022)04-147-08

提升民用飞机水废水系统运营经济性技术研究

张雪苹

(中国商用飞机有限责任公司 上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘要: 结合现代民用飞机绿色环保设计理念和对其经济性的追求, 减重是飞机设计中重点考虑因素。如何平衡民用飞机载水量与供水量的关系, 对于降低民用飞机水废水系统运营载重, 提高航线运营经济性至关重要。基于对航线用水统计数据的研究, 给出航线运营所需水量计算技术; 根据我国航线飞行时长分布特点, 提出基于航线实际运营时间和载客人数为需求、为系统设定的分档加水设计技术, 并对分档加水设计技术进行水位功能验证。结果表明: 与同类机型数据对比, 本文给出的航线需求水量计算技术是有效的; 分档加水设计技术能够有效降低系统在航线运营过程中的运营重量, 提升民用飞机水废水系统的运营经济性。

关键词: 民用飞机; 水废水系统; 经济性; 分档加水

中图分类号: V244.1+4

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2022.04.17

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on Improvement of Operation Economy of Civil Aircraft Water and Waste System

ZHANG Xueping

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Commercial Aircraft Corporation of
China, Ltd., Shanghai 201210, China)

Abstract: Based on the green design concept of environmental protection and the pursuit of economy for civil aircraft, the weight loss is a key consideration factor in aircraft design. How to balance the relationship of water carrying capacity and water supplying capacity of civil aircraft is essential to reduce the operation carrying capacity of civil aircraft water and waste system, and improve the operation economy of flight route. On the basis of the research of route water consumption statistics, the calculation technology of water demand for route operation is given. According to the distribution characteristic of the flight hour in our country, the subsection water fill design technology based on the flight time and attendant number is proposed, and its water level function is verified. The results show that, in comparison with the data of other aircraft types, the water calculation technology for flight route requirement given in this paper is effective. The subsection water fill technology can reduce the operation weight of water and waste system in route operation effectively, and improve the operation economy of the civil aircraft water and waste system.

Key words: civil aircraft; water and waste system; economy; subsection water fill

收稿日期: 2021-06-30; 修回日期: 2021-11-10

通信作者: 张雪苹, zhangxueping@comac.cc

引用格式: 张雪苹. 提升民用飞机水废水系统运营经济性技术研究[J]. 航空工程进展, 2022, 13(4): 147-154, 167.

ZHANG Xueping. Study on improvement of operation economy of civil aircraft water and waste system[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2022, 13(4): 147-154, 167. (in Chinese)

0 引言

民用飞机水废水系统(WWS)通过机载水箱存储并提供运营过程中所需的饮用水,以满足乘客的用水需求^[1]。基于现代民用飞机绿色环保设计理念和对经济性的追求,减重是飞机设计中重点考虑因素^[2],在WWS的设计中,减重设计一方面要降低产品重量,另一方面要加强对航线运营中载水重量的控制。加水量过大,航线运营负重增加,导致运营成本增加、经济性降低;加水量过小,系统存水不足,无法满足机上乘员的用水需求^[3]。

对于民用飞机水废水系统,国内开展过水废水系统设计选型^[4]、系统控制建模方法^[5]及供水管路仿真计算技术^[6]等方面的研究,关于供水量的确定及系统减重、提升运营经济性设计,尚未对此展开详细研究。基于对公开文献的查阅结果,国内仅《飞机设计手册》中笼统地给出了各个机型的供水量信息,没有给出供水量的计算方法,而且各同类机型的供水量差别较大;同时,《飞机设计手册》中所提供的供水量数据均是基于较老型号的飞机,无法代表当今先进机型的供水量要求^[7]。随着航空WWS技术水平的发展,WWS部件(例如水龙头出水设计、马桶冲洗设计)的设计倾向于更加节水、节能;目前航线供水量计算研究未见报道,国际上鲜见相关研究的公开信息^[8-9]。

本文从飞机级需求“提供水”^[10]出发,基于航线运营实际需求,对加水水量确定进行研究,给出航线所需水量计算技术;同时,依据我国航线飞行时长分布特点,提出基于航线实际运营时间和载客人数为需求、为系统设定的分档加水设计技术,并进行功能验证。

1 航线所需水量计算技术

1.1 航线统计数据

航线供水与飞机航程及载客数量密切相关,供水量不足,直接影响旅客舒适性;供水量过剩,将增加飞机的重量,进而降低经济性。对于民用飞机水废水系统,与其供水量直接相关的用水需求为:马桶冲洗用水、洗手用水、机上乘员饮用水。

围绕这三个用水需求,本文对载客约 170 人、

飞行时长约 5.3 h 的航线用水情况展开调研,经过对样本数据的筛选、拟合,运用分层法和直方图对各个用水需求进行整理。

(1) 分层法

“马桶冲洗次数”为一层;“洗手用水次数”为一层。

(2) 直方图

分析不同时间段的“马桶冲洗次数”,将 5.3 h 内不同时间段的冲洗次数进行累计,共计 239 次;分析不同时间段的“洗手次数”,将 5.3 h 内不同时间段的洗手次数进行累计,共计 279 次。

分层法统计的马桶冲洗次数和乘客洗手次数如图 1~图 2 所示。

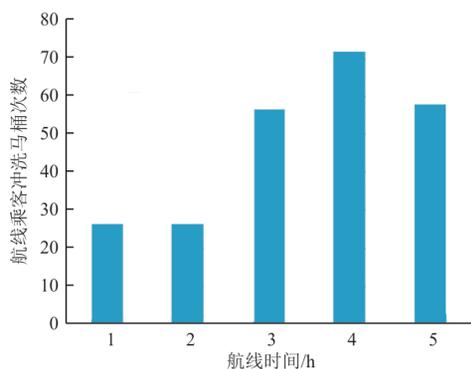


图 1 分层法统计马桶冲洗次数

Fig. 1 Delamination method to Count the numbers of toilet Flush

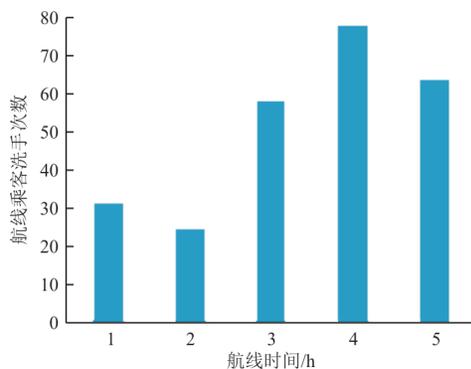


图 2 分层法统计乘客洗手次数

Fig. 2 Delamination method to count the numbers of hand wash for passenger

从图 1~图 2 可以看出:在 5.3 h 内,所有乘员均要使用一次马桶,40% 的乘员会第二次使用马桶;机上所有乘员均要洗一次手,65% 的乘员会第二次洗手。

航线机上乘组实际调研数据:13 h 航线;平均载客量 280 人;人员所需饮用的水量约为 170 L(包

括白开水、冲泡咖啡和茶),人均饮水量为0.607 L。

1.2 航线所需最大供水量

基于统计数据的调研和分析结果,对5.3 h飞行时长内的供水需求量计算方法总结如表1所示。

表1 供水需求量计算

Table 1 Volume calculation of the required potable water

供水类别	人员占比/%	5.3 h内人均用水量
第一次冲洗马桶	100	V_1
第二次冲洗马桶	40	$V_1 \times 40\%$
第一次洗手	100	V_2
第二次洗手	65	$V_2 \times 65\%$
饮用水	100	V_3

基于表1,可知机上总的供水需求量 V_a 。

$$V_a = [(1+40\%)V_1 + (1+65\%)V_2 + V_3] \times (m+n) \quad (1)$$

式中: V_1 为冲洗一次马桶用水量; V_2 为洗手一次用水量; V_3 为人均饮水量; n 为乘客人数; m 为机组人数。

以某中短程干线飞机为例:

(1) 高密度级最大机上人员数为乘客174人,机组人员7人;

(2) 最大持续飞行时长为5.3 h;

(3) 冲洗一次马桶用水量0.237 L;使用一次水龙头用水量0.190 L。

中短程干线机型全航程、机上满员时所需的供水量为

$$V_a = [(1+40\%) \times 0.237 + (1+65\%) \times 0.190 + 0.607/2] \times (174+7) = 173 \text{ L}$$

典型的单通道飞机、高密度级构型下,乘客174名,机组人员7名,最大持续飞行时间5.3 h,所需的供水量要求为173 L。在飞机水废水系统设计中,航线所需最大供水量即为水箱设计时的可用容积,考虑到水箱增压供水时所需一定的增压空间及水箱内存水发生冻结时体积增加,一般水箱的实际容积会比可用容积约大出10%~15%。

将本节的研究结果分别应用于干线飞机和宽体飞机,并分别将其与主流机型数据进行比对,如表2~表3所示。

表2 干线飞机计算模型结果与主流机型对比

Table 2 Comparison of the calculation result between the trunk aircraft in this document and others

机型	座级	水箱容积/L	水箱数量	人均用水量/L
干线飞机	181	194	1	1.07
B737-600/700/800/900	132/149/189/215	151/189/227	1	1.10/0.98/0.97/1.02
A319/A320/A321	142/180/220	200	1	1.36/1.08/0.88

表3 宽体飞机计算模型结果与主流机型对比

Table 3 Comparison of the calculation result between the wide-body in this document and that of others

机型	座级	水箱容积/L	水箱数量	人均用水量/L
宽体飞机	450	1 086	2	2.41
B787	450	1 086	2	2.27
A350	450	1 086	2	2.36

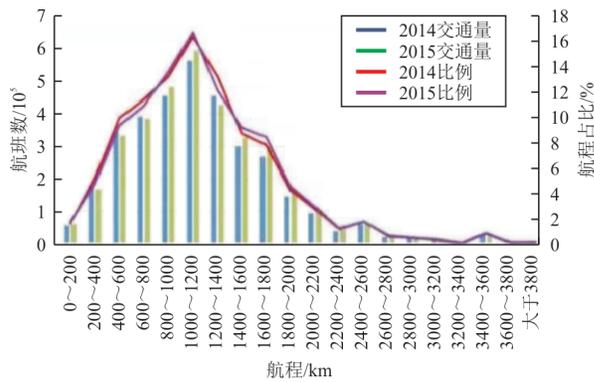
对于干线飞机,本文的计算结果相对于B737、A320,人均用水量最大偏差为17.75%(仅极个别机型),最小偏差为0.93%,但和大部分机型结果相当;对于远程宽体客机,本文计算结果与B787、

A350相比,人均用水量略有偏高,但最大偏差仅为5.8%。

通过对比结果表明,本文的航线统计数据及计算方法是有效的,可以用于工程计算、指导系统设计。

1.3 航线所需实际用水量

依据2014—2015年统计数据,我国国内航班飞行距离主要集中在400~1 800 km范围内,而航程超过3 800 km的航班所占比例较少,各个飞行航程所占航班比例如图3所示。

图3 2014—2015年度我国航班飞行距离分布^[11]Fig. 3 The distribution of China flight distance during 2014—2015^[11]

某干线飞机水废水系统运营载重占比情况如图4所示,可以看出:水废水系统运营载重包括系统部件及管路重100 kg(占比37%)、冲洗厕所/洗手/乘客饮用等所用水重171.6 kg(占比63%)。

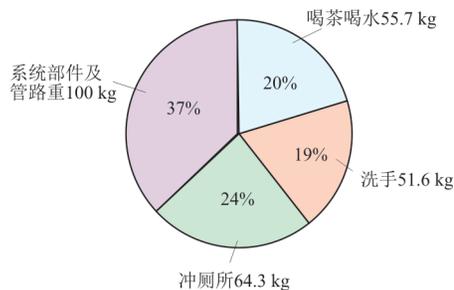


图4 某干线飞机水废水系统运营载重占比

Fig. 4 Proportion of operation weight of WWS for the trunk aircraft

综上所述,如果每次飞行前均按照系统水箱的设计容积进行加水,将会造成90%的航线运营背负额外载水量;如果能对63%的饮用水这部分运营载重占比进行精确化处理,将供水量与具体航程结合起来,实现最优的加水量,获得的运营经济效益将变得可观。

2 分段加水水位设计技术

2.1 水位设计技术

基于上述研究结果及分析,本文提出水废水系统分段加水水位设计技术,使饮用水系统具备不同档位的加水功能,其宗旨是在航线运营中依据航线的实际需求,在航前为水箱选择合适的加水量。

结合1.2节研究结果,该型号飞机在高密度级满员、最大持续飞行时间5.3 h情况下,需173 L水,假设单位时间内人均用水量是相同的,可以获得单位时间人均用水量为0.18 L,则不同航线的实际用水量为

$$V=0.18(m+n)T \quad (2)$$

式中: V 为航线实际用水量; T 为实际飞行时长。

不同乘员人数、不同持续续航时间内所需的水位信息如图5所示。

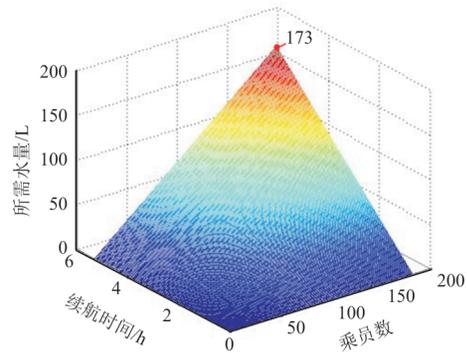


图5 某型号飞机不同时间段、不同乘员数时所需水位信息
Fig. 5 Information of the required water level if one trunk aircraft in different time, vary passenger numbers

根据系统控制设计复杂程度及实际需求,本文提出根据不同时间的飞行需求,将所需加水量分为四档:FILL FULL(加100%)、FILL 3/4(加75%)、FILL 1/2(加50%)、FILL 1/4(加25%)。航线负责人或地勤人员可根据航线实际需求选择合适的加水档位,实现在满足系统功能的前提下,最大化地提高系统载水的利用率,根据单位时间一般建议按照如下原则进行航前加水。

(1) 当航线所需实际用水量小于等于43 L时,选择25%档位,即: $0.18 \times (m+n) \times T \leq 43$ 。

(2) 当航线所需实际用水量大于43 L、小于等于86 L时,选择50%档位,即: $0.18 \times (m+n) \times T \leq 86$ 。

(3) 当航线所需实际用水量大于86 L、小于等于129 L时,选择75%档位,即: $0.18 \times (m+n) \times T \leq 129$ 。

(4) 当航线所需实际用水量大于129 L、小于等于171 L时,选择100%档位,即: $0.18 \times (m+n) \times T \leq 171$ 。

2.2 分段加水档位设计经济性

2.2.1 典型航线分段加水水位经济性

选取“上海—乌鲁木齐”“北京—广州”“上海—北京”“上海—合肥”四条航线为研究对象,对分段加水水位设计经济性展开研究。

通过查阅国内相关航空公司的运营时间表^[12]可知该四条典型航线所需的飞行时间;结合航线的分段加水档位信息,可以得到四条典型航线所需的加水档位信息及可节省的运营载重量,如表 4 所示。

表 4 典型航线运营信息
Table 4 The operation information of typical course

典型航线	飞行距离/km	飞行时长/h	所需水量/L	所处加水水位/%	分段加水水量/L	可节省运营载水量/L	可节省运营质量/kg	节约水量占总水量百分比/%
上海—合肥	400	约 1	32.58	25	43	130	130	76
上海—北京	1 200	约 2	65.16	50	86	87	87	51
北京—广州	2 300	约 3	97.74	75	129	44	44	24
上海—乌鲁木齐	3 800	约 5	162.90	100	173	0	0	0

从表 4 可以看出:对于“上海—合肥”“上海—北京”“北京—广州”典型航线满员的情况下,采用分段加水水位技术可以节省的航线运营质量分别为 130 kg、87 kg 和 44 kg,节水量占总水量百分比分别为 76%、51%、24%,载重的节省是非常可观的。

行时长 2.6 h 范围内(航程 800~1 200 km)占比为 41%;(典型航线 2)飞行时长 3.9 h 范围内(航程 1 400~3 000 km)占比为 26.2%(典型航线 3);飞行时长 5.3 h 范围内(航程 3 000~3 800 km)占比为 8.3%(典型航线 4)。近 86.5% 的航班都处于非最大设计航程范畴,因此为不同的航线配置不同的加水水位,在飞机的航线运营中具有十分重要的意义,如表 5 所示。

2.2.2 全航程内分段加水水位经济性

结合图 3 的占比结果,飞行时长 1.3 h 范围内(航程 0~800 km)占比为 24.5%(典型航线 1);飞

表 5 典型航线所需水量信息
Table 5 The information of required water level of typical course

典型航线	飞行距离/km	航线百分比/%	飞行时长/h	所需水量/L	加水水量/L	所处加水水位/%	可节省运营质量/kg	航线当量节省运营质量/kg
1	0~600	14.5	约 1.3	32.58	43	25	130	31.85
2	700~1 200	38	约 2.6	65.16	86	50	87	35.67
3	1 300~2 300	34	约 3.6	97.74	129	75	44	11.50
4	2 400~3 800	13.5	约 5.3	162.90	171	100	0	0

将分段加水水位分为四档:FILL 1/4(加 25%,43 L)、FILL 1/2(加 50%,86 L)、FILL 3/4(加 75%,129 L)、FILL FULL(加 100%,171 L)。通过分段加水水位功能的设置,至少在航线上约 86.5% 的航线均可实现运营质量的节约,累计航线当量节省运营质量为 79 kg。

DOC 如表 6 所示。

表 6 节省运营重量带来的 DOC 影响
Table 6 The affected DOC contributed by the reduced operation weight

项目	增加/减少	数值
质量变化/kg	减少	79.00
上限值对应 DOC 增量/(元·航段 ⁻¹)	减少	110.38
下限值对应 DOC 增量/(元·航段 ⁻¹)	减少	55.19
DOC 增量/(元·航段 ⁻¹)	减少	87.20

依据常用干线飞机运营直接运营成本(Direct Operation Cost,简称 DOC)与运营质量之间的关系,累计航线当量节省运营质量 79 kg 所带来的

从表 6 可以看出:当运营质量减少 79 kg 时,航段 DOC 可以减少 87.2 元。

3 分段加水水位功能设计

3.1 分段加水水位功能实现方式

地面加水勤务是飞机在航线运营期间进行较为频繁的任务之一。飞机在过站或者航线飞行开始前需由地勤人员通过水服务板上的加水接头连接地面加水车,对水箱进行加水操作。依据航线运营情况选择合适的加水水位可以节省系统的地面勤务时间,地勤人员可根据 2.1 节中加水档位建议信息,选择加水水位,整个加水过程中的操作步骤分解如图 6 所示。

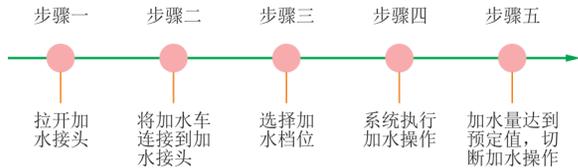


图 6 某型飞机初步分段加水操作步骤
Fig. 6 The operation step of pre-selection

从图 6 可以看出:通过步骤三进行加水水位选择,可以为飞机配置适应航线运营需求的最小载水量,有效提高运营经济性。

3.2 分段加水水位功能控制逻辑

从实现分段加水水位功能操作方式、所需的信号输入、信号内部处理、内部判断输出等方面出发,对分段加水水位控制逻辑进行研究。

为提高系统传输过程中的准确性,加水档位信息采用“双通道”和“双参数”的信号传输方式,即选择任一加水档位后,每档加水水位均设置 2 个信号传输通道,当且仅当 2 个信号输入通道均有效且数值相同时,才认为系统的分段加水水位的输入有效;每个传输通道的信号包括 2 个参数:“档位值”,即“Signal”;“档位值的有效性”,即“Valid”。当且仅当“Signal”值为“25%”“50%”“75%”或“100%”中的一个且“Valid”值为真时,系统才会认为该通道输入有效;当且仅当两个通道的输入均有效,且“Signal”值相同时,认为分段加水水位信息有效,系统执行对应档位加水操作。

在服务面板上选择加水档位,系统接收到水位选择指令,对加水水位输入的“Signal”值进行判

断,将输入值与上次执行加水操作的值进行对比(是否为新的水位信息),如果是新的水位信息,则按照判断原则对输入的加水信号进行逻辑判断,具体的控制逻辑判断如表 7 所示。如果两组 A429 水位信号值均是有效且相等,则认为系统的输入是有效的,此时便将系统的加水水位指令设置为预先选择的档位值;如果系统输入两组 A429 水位信号值经表 7 的逻辑判断后是无效的,则认为输入的加水水位信息是无效的,此时预选水位值为默认值(系统上次加水水位值)。只有当水废水系统控制软件(WWSCP)判断输入的加水水位信息是有效的,系统才会按照新的分段加水水位驱动加水/排放阀进行加水操作^[13]。详细的功能实现控制流程如图 7 所示。

表 7 WWSCP 内部控制判断
Table 7 The internal control decision of WWSCP

(IOC-A)通道 A		(IOC-B)通道 B		WWSCP 判断	WWSCP 逻辑
Valid	Signal	Valid	Signal		
Yes	25%	Yes	25%	25%	A429 信号有效且两通道信号值一致
Yes	25%	Yes	50%	Default Fill Level	A429 信号有效但两通道信号值不一致
Yes	X	No	X	Default Fill Level	任一通道或两通道的信号均无效
No	X	No	X	Default Fill Level	任一通道或两通道的信号均无效
-	-	-	-	Default Fill Level	任一通道或两通道无信号输入

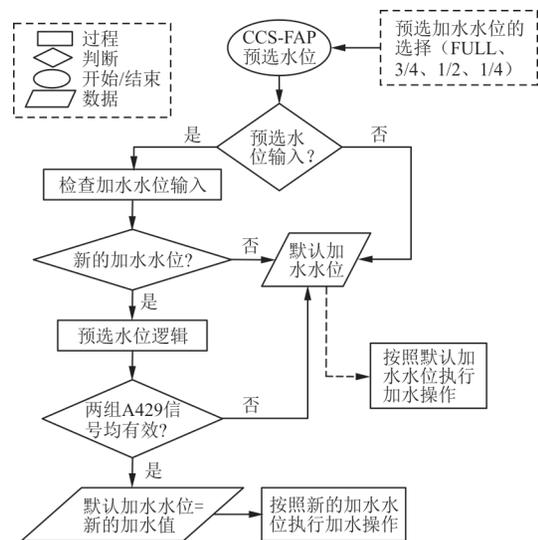


图 7 实现分段加水水位控制逻辑流程图

Fig. 7 The control logical flow chart of pre-selection

3.3 分段加水水位功能验证

为验证分段加水水位验证技术,以某型号飞机 WWS 为研究对象,通过搭建实验室 1:1 试验台架^[14],对该技术进行试验室验证。试验主体包括:水废水系统控制软件(WWSCP)模块、水箱组件、加水阀、模拟勤务面板、相关的管路和接头等^[15],详细的试验台架架构如图 8 所示。

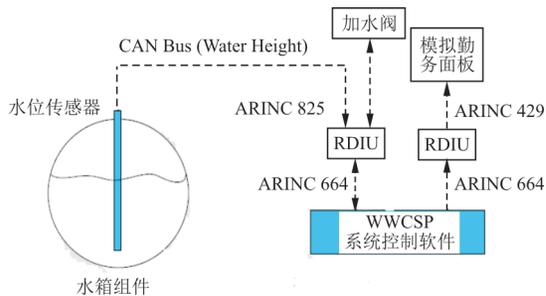


图 8 分段加水水位功能验证试验台架

Fig. 8 The full-scale test rig of pre-selection

各主体对应的功能如下:

(1) 水废水系统控制软件(WWSCP)模块:实现分段加水水位控制软件的加载,是实现系统功能的载体^[16]。

(2) 水箱组件:透明水箱,用于分段加水量的存储;内置水位传感器,具备水位监测功能,并实时向系统控制软件反馈加水量信息,当水量达到预设值时,系统控制软件便会切断加水阀的加水操作^[17]。

(3) 加水阀:用于向系统提供加水接口和加水操作。

(4) 模拟勤务面板:通过模拟界面实现分段加

水水位的选择,同时对水箱组件中的水位传感器反馈过来的水量信息进行实时显示,详细的操作界面如图 9 所示。

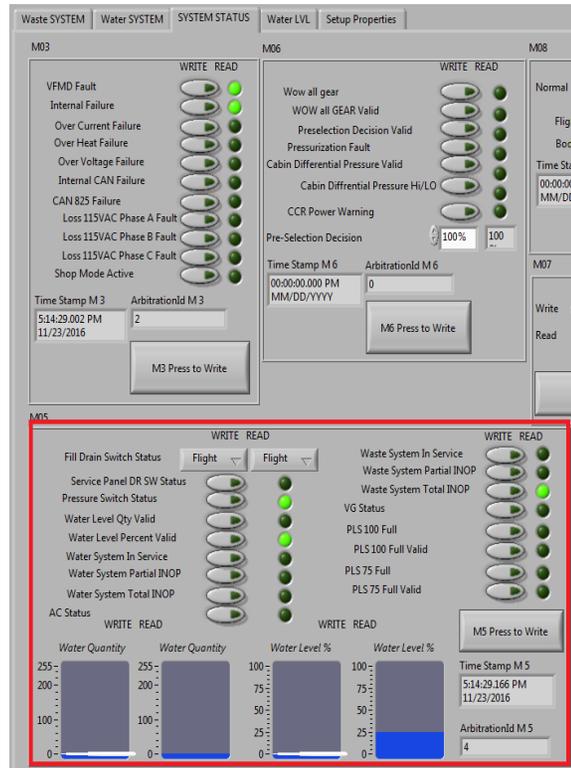


图 9 模拟勤务面板操作界面

Fig. 9 The simulated operation interface of service panel

(5) 管路和接头:由加水阀连接至水箱组件,支持加水操作。

本验证技术通过在模拟勤务面板上选择不同的加水档位“25%”“50%”“75%”“100%”,观察系统能否在水箱的水量达到对应档位时自动切断系统加水^[18],试验结果如表 8 所示。

表 8 分段加水水位台架试验结果

Table 8 The test result of pre-selection on test rig

分段加水档位/%	试验操作(试验前排空水箱)	试验过程	试验结果
25	在图 9 模拟操作界面上选择 25% 档位	水阀打开执行加水操作,透明水箱内有水注入	图 9 模拟操作界面上,水量实时增加至 25% 时,停止加水。
50	在图 9 模拟操作界面上选择 50% 档位	水阀打开执行加水操作,透明水箱内有水注入	图 9 模拟操作界面上,水量实时增加至 50% 时,停止加水。
75	在图 9 模拟操作界面上选择 75% 档位	水阀打开执行加水操作,透明水箱内有水注入	图 9 模拟操作界面上,水量实时增加至 75% 时,停止加水。
100	在图 9 模拟操作界面上选择 100% 档位	水阀打开执行加水操作,透明水箱内有水注入	图 9 模拟操作界面上,水量实时增加至 100% 时,停止加水。

从表 8 可以看出:当选择不同的分段加水档位时,系统能够按照设定的逻辑进行加水操作,并可以通过显示界面正确地显示水箱水量。试验结果表明本文的分段加水水位控制逻辑是可行的,可以用于型号研制。

4 结 论

(1) 民用飞机水废水系统航线需用水量与最大持续飞行时间、乘员数相关,依据航线统计数据形成的航线用水量计算技术能够用于指导航线加水。

(2) 分段加水水位设计技术能够实现依据航线实际需求进行航前加水,减少系统多余的运营负重,提高系统运营经济性。

(3) 本文所提出的分段加水水位设计技术可以实现从设计方案到控制方式,再到功能实现的转化,能够用于民用飞机水废水系统的研制及优化设计。

参 考 文 献

- [1] 中国民用航空局. 运输类飞机适航标准: CCAR-25-R4 [S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.
Civil Aviation Administration of China. Airworthiness standards for transport aircraft: CCAR-25-R4 [S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2011. (in Chinese)
- [2] 张建福. 浅谈某型飞机减重[C]// 中国航空学会飞机总体专业分会重量工程专业委员会第十三次学术交流会. 南昌: 中国航空学会, 2010: 44-47.
ZHANG Jianfu. Study on aircraft weight reduce [C]// The 13th Academic Exchange Meeting of Weight Engineering Professional Committee of Aircraft General Professional Branch of CSAA. Nanchang: CSAA, 2010: 44-47. (in Chinese)
- [3] MULVHILL M E, DRACUP J A. Optimal timing and sizing of a conjunctive urban water supply and waste water system with nonlinear programming[J]. *Water Resources Research*, 1974, 10(2): 170-175.
- [4] 雷美玲. 新型民用客机水系统选型研究[J]. *航空工程进展*, 2012, 3(2): 229-234.
LEI Meiling. Research on types of water system for new civil aircraft[J]. *Advances in Aeronautical Science and Engineering*, 2012, 3(2): 229-234. (in Chinese)
- [5] 肖佳, 杨波, 王云路. 飞机机电综合管理框架下的水系统建模与仿真[J]. *计算机工程与设计*, 2012, 33(5): 1943-1947.
XIAO Jia, YANG Bo, WANG Yunlu. The modeling and simulation of water system for aircraft based on IEMF management[J]. *Computer Engineering and Design*, 2012, 33(5): 1943-1947. (in Chinese)
- [6] 朱翀, 雷美玲, 张雪苹. 民用飞机水系统管路流动的数值模拟[J]. *航空工程进展*, 2014, 5(4): 515-520.
ZHU Chong, LEI Meiling, ZHANG Xueping. Numerical simulation of water system pipe flow in civil aircraft[J]. *Advances in Aeronautical Science and Engineering*, 2014, 5(4): 515-520. (in Chinese)
- [7] 飞机设计手册总编委会. 飞机设计手册: 第 11 册——民用飞机内部设施[M]. 北京: 航空工业出版社, 2002.
General Editorial Board of *Aircraft Design Manual*. Aircraft design manual: vol. 11—Civil aircraft internal facility [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2002. (in Chinese)
- [8] Airbus. Aircraft maintenance manual of A320[R]. France: Airbus, 2014.
- [9] Boeing. Aircraft maintenance manual of B737 [R]. US: Boeing, 2014.
- [10] 季建琴. 民用飞机需求管理技术研究与应用[J]. *科技视界*, 2012(3): 1-3.
JI Jianqin. The research on requirement management and application for civil aircraft[J]. *The Field of Vision for Science and Technology*, 2012(3): 1-3. (in Chinese)
- [11] 党亚茹, 丁飞雅, 宋素珍. 我国航班时刻资源的分布研究[J]. *交通运输工程与信息学报*, 2013(3): 14-23.
DANG Yaru, DING Feiya, SONG Suzhen. The distribution characteristic of the flight hour in our country[J]. *Transactions of Traffic Transportation Engineering and Information*, 2013(3): 14-23. (in Chinese)
- [12] 东方航空公司. 典型航线飞行时刻表[EB/OL]. [2021-06-30]. <http://www.ceair.com/aoc/#/flightNo>.
China East Airline. The flight timetable of typical flight corse [EB/OL]. [2021-06-30]. <http://www.ceair.com/aoc/#/flightNo>. (in Chinese)
- [13] 贾临生, 孙强, 王俊彦, 等. 机载管理系统的发展趋势[J]. *价值工程*, 2010(35): 125-126.
JIA Linsheng, SUN Qiang, WANG Junyan, et al. Research on trend of airborne management system[J]. *Value Engineering*, 2010(35): 125-126. (in Chinese)
- [14] 刘斌, 张建东, 李杜娟, 等. 大客飞机机电综合控制局域网通信系统设计[J]. *计算机测量与控制*, 2010, 18(8): 1792-1794.
LIU Bin, ZHANG Jiandong, LI Dujuan, et al. Design of large passenger aircraft mechanical and electrical control local area network communication system[J]. *Computer Measurement & Control*, 2010, 18(8): 1792-1794. (in Chinese)
- [15] SAE. Hose assembly, heated, 125 psig, line silicone, potable water: AS 5420E[S]. US: SAE, 2009.
- [16] 邵云滨, 祁晓野. 机管理系统分布式仿真平台[J]. *机床与液压*, 2008(4): 1-4.