

文章编号:1674-2869(2016)05-0500-06

# 典型管网试验系统的随机负载仿真

高翔,张坤壮

武汉工程大学机电工程学院,湖北武汉430205

**摘要:**为了检验某类型船舶集中供水管网系统设计的合理性和验证数字仿真结果的准确性,设计了一套典型管网试验系统.典型管网试验系统以某型船舶集中供水系统的典型供水单元为蓝本,采用了差压式减压阀来模拟实际管网的纯水头差,采用节流阀来调节流动阻力损失,从而达到权衡考虑试验经济性与试验结果有效性的目标.设计了一套可编程控制器(PLC)控制系统,用于调节各支管的阻力特性与负载流量,检测与记录管网上各重要部位的压力与流量.通过PLC编程,利用线性同余发生器产生的随机数,实现管网对负载的随机控制,并对随机负载下的每层支管的压力与流量进行统计分析.试验结果表明,在随机负载的作用下各层支管末端的流量都充足,末端出现供水不足的估计概率很低,从而验证某类型船舶集中供水管网系统设计是合理的,在设计中进行的数字仿真结果是比较准确的.

**关键词:**典型管网;仿真;随机数

**中图分类号:**TH39 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2016.05.017

## Simulation of Random Load of Typical Pipe Network Test System

GAO Xiang, ZHANG Kunzhuang

School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China

**Abstract:** To verify the rationality of the design of the centralized water supply system on a certain type of ship and the accuracy of the numerical simulation results, we designed a typical pipe network test system, taking the typical water supply unit of a centralized water supply system on a certain type of ship as a model, using the differential pressure relief valve to simulate the actual water head, and using the throttle to adjust the flow resistance loss, so as to achieve the balance of economy and validity of the test. We designed a set of programmable logic controller (PLC) system for regulating the resistance characteristic and load of each branch, detecting and recording pressure and flow on the important positions of the pipe network. We realized the random controlling of load by PLC, using the random number generated by linear congruence generator, and statistically analyzing the pressure and flow of each branch under random load. The results show that the flow at the end of each branch is sufficient under random load, and the probability of water shortage at the end of each branch is very low, thus verifying that the design of water supply system on the ship is reasonable and the simulation results are accurate in the design.

**Keywords:** typical pipe network; simulation; random number

## 1 引言

船舶中存在许多复杂的管路系统,典型的有海水系统、中央冷却水系统、滑油、燃油、压载水等管路系统.船舶管网系统水力特性指管网流场中

压力和流量的关系.船舶管网系统水力特性是水力计算、系统调试、系统优化设计等工程应用的理论基础,研究船舶管网系统水力特性是解决船舶管网系统应用问题的前提.

船舶特别是大型船舶的日用淡水管网系统是

收稿日期:2016-07-12

作者简介:高翔,博士,教授. E-mail:gxians@mail.wit.edu.cn

比较复杂的,因此设计人员在进行方案设计时通常将复杂的管网系统按船舶分段区域划分成几个或十几个独立的管网子系统,分别配套独立的集中供水单元,也称为独立的供水站<sup>[1-2]</sup>.

船舶日用淡水系统方案设计中包括两个内容,一是管网系统的设计,二是集中供水单元的性能指标参数的确定.对于不同的管网系统,首先要进行流动阻力特性的计算与仿真,再根据计算仿真结果指导设计确定配置多大流量和多大扬程的供水单元才能满足使用要求,从而确定集中供水单元的性能指标要求<sup>[3-4]</sup>.

为此,选择大型船舶供水管网系统中的一个典型管网进行研究,建造一个典型管网试验平台,为设计人员在设计大型船舶管网系统提供可靠的实验数据.

## 2 船舶典型管网的确定

考虑到设计大型船舶的生活用水管网比较复杂,分成12个供水管网子系统,各配置一套供水单元;为此将其中的一个作为船舶典型管网进行研究.它包括一根立干管和8层横支管(从低层向高层分别编号为#0~#7甲板支管);将#0、#1、#2和#3甲板支管并联汇接至低区集管上;将#4、#5、#6和#7甲板支管并联汇接至高区集管上;设置低区集管和高区集管的目的是为了均衡各支管的流量和压力,以及减少压力波动与管路振动;高区集管与低区集管之间有连通管相通,立干管与低区集管和高区集管相通,管路中设置截止阀,用于转换控制供水方式(供水支管串联、并联、混联等),如图1所示.

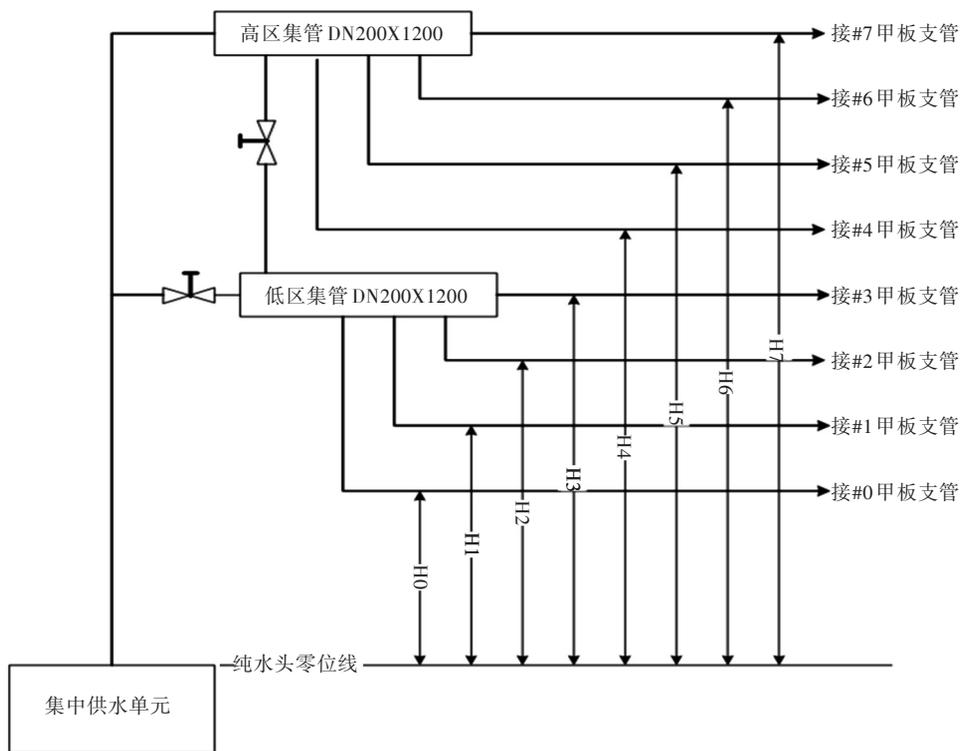


图1 船舶供水典型管网系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of marine water supply network system

选择作为船舶供水典型管网的阻力特性主要是由各层支管的纯水头和流动阻力损失决定的.其中,若以供水站出水口作为纯水头零水位线的话,船舶典型管网各层支管的纯水头如表1所示;而流动阻力损失则是由管径、管长、变径弯头与管路中阀门的流量系数、以及各支管上用水点的流量系数等决定的<sup>[5-7]</sup>.

## 3 典型管网试验系统方案

### 3.1 试验方案设计

船舶典型管网的实际结构庞大,垂直高度达23 m,搭建一个与实际结构同等大小的试验平台耗资巨大.因此在尽可能满足实际结构的前提下,减少管网支管布置的垂直高度,各层支管首部均

安装差压式减压阀以补偿降低垂直高度而减少的重力压差.若以供水站出水口作为纯水头零水位线的话,降低垂直高度后的典型管网试验系统的各层支管管路的纯水头如表1所示.

每层支管与集水管之间设置差压型减压阀,以模拟实际管网各支管的层高所形成的纯水头特性,从而降低试验系统的建造成本.各层支管上的差压型减压阀的设定值如表1所示.

表1 典型管网实际与试验系统各层支管管路的纯水头  
Tab. 1 Water head of each branch pipe in real and test typical network

layer	water head of typical network real system	water head of typical network test system	the setting water head of pressure relief valve in typical network test system
H0	5.5	2.5	13
H1	8	2	16
H2	10.5	2	18.5
H3	13	2.5	20.5
H4	15.5	4	11.5
H5	18	3.5	14.5
H6	20.5	3.5	17
H7	23	4	19

### 3.2 随机控制功能的实现

每层支管接11个电磁阀,用以模拟用户用水.考虑到实际用户用水的随机性,需随机控制每层电磁阀的开启和关闭.随机控制的核心部分即为随机数的产生.

利用一定的算法由计算机产生一组随机数,与现实真随机数不同的是,该算法产生的随机数一旦算法固定,初值给定,产生的一组随机数序列就唯一确定,固称该随机数为伪随机数.计算机广泛采用线性同余法产生随机数,主要在于其算法简单,产生随机数速度快,占用内存少<sup>[8-10]</sup>.

线性同余法的数学公式为

$$X(n+1) = (a \cdot X(n) + c) \% m$$

式中,各系数为:模 $m$ ,  $m > 0$ ;系数 $a$ ,  $0 < a < m$ ;增量 $c$ ,  $0 \leq c < m$ ;原始值(种子)  $0 \leq X(0) < m$ .

参数 $c, m, a$ 的取值比较重要,直接影响伪随机数产生的质量.一般而言,线性同余法的 $m$ 是2的指数次幂(一般为232或者264),因为这样取模操作选取最右的32或64位即可.多数编译器的库中使用了该理论实现其伪随机数发生器.三菱PLC可以采用该算法产生一组随机数,每次所给的初值不同就会得到不同的随机数组,继而满足随机功能的实现.三菱FX3U系列PLC中已集成随机数指令,用户不用编辑算法,可直接调用.

三菱FX3U中随机数指令为:

FNC 184 RND/RNDP

这个指令产生0~32767的伪随机数,将其数值作为随机数保存到目标元件D中.

在伪随机数系列中,每次计算出随机数的原始值,然后使用该随机数的原始值计算出伪随机数.

### 3.3 PLC控制程序设计

PLC程序的编写采用GX Works2,该软件是三菱电机推出的三菱综合PLC编程软件,是专用于PLC设计、调试、维护的编程工具.与传统的GX Developer软件相比,提高了功能及操作性能,变得更加容易使用.

三菱PLC采用梯形图编程,梯形图语言沿袭了继电器控制电路的形式,梯形图是在常用的继电器与接触器逻辑控制基础上简化了符号演变而来的,具有形象、直观、实用等特点,电气技术人员容易接受,是目前运用上最多的一种PLC的编程语言<sup>[11-14]</sup>.

利用PLC控制每层11个电磁阀中的一个或多个电磁阀的随机开启或关闭,并通过压力传感器和流量传感器记录每层支管的压力与流量,将记录结果保存到Excel文件中,程序流程图如图2所示.

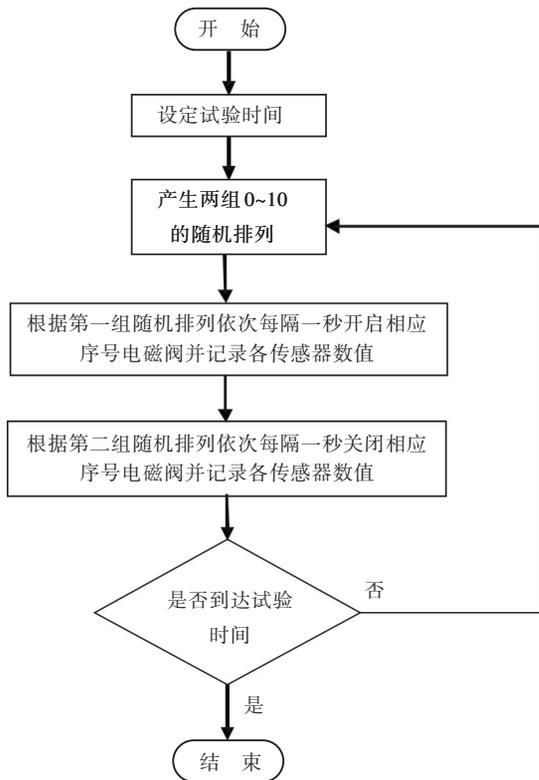


图2 PLC程序流程图

Fig. 2 Flowchart of PLC program

### 4 试验结果

典型管网每层支管所接的11个电磁阀模拟每层11个房间的用户用水. 随机开启或关闭各层支管所接的11个电磁阀, 试验记录了100 s内每层支管的首部和末端的压力和流量, 并统计出每层支管末端流量分布, 根据流量分布直方图拟合出其正态分布曲线, 计算出该层支管出现供水不足(流量小于5 L/min)的概率, 每层支管都用该方法进行模拟计算以得出整个典型管网试验系统的性能参数. 现以其中一层支管为例进行结果分析, 如#0甲层支管压力与流量曲线以及#0甲层支管末端流量分布直方图如图3、图4所示.

由图3可知, 在随机负载作用下, #0甲支管首末端压力和流量以及主管压力变化趋势基本一致, 都同时增大或减小, #0甲支管首末端流量基本都在10 L/min以上.

由图4可知, #0甲支管流量分布近似正态分布, 流量平均值为12.372 3 L/min, 出现供水不足(流量小于5 L/min)的概率为 $3.508 7 \times 10^{-8}$ , 该概率极低, 即可认为基本不会出现供水不足.

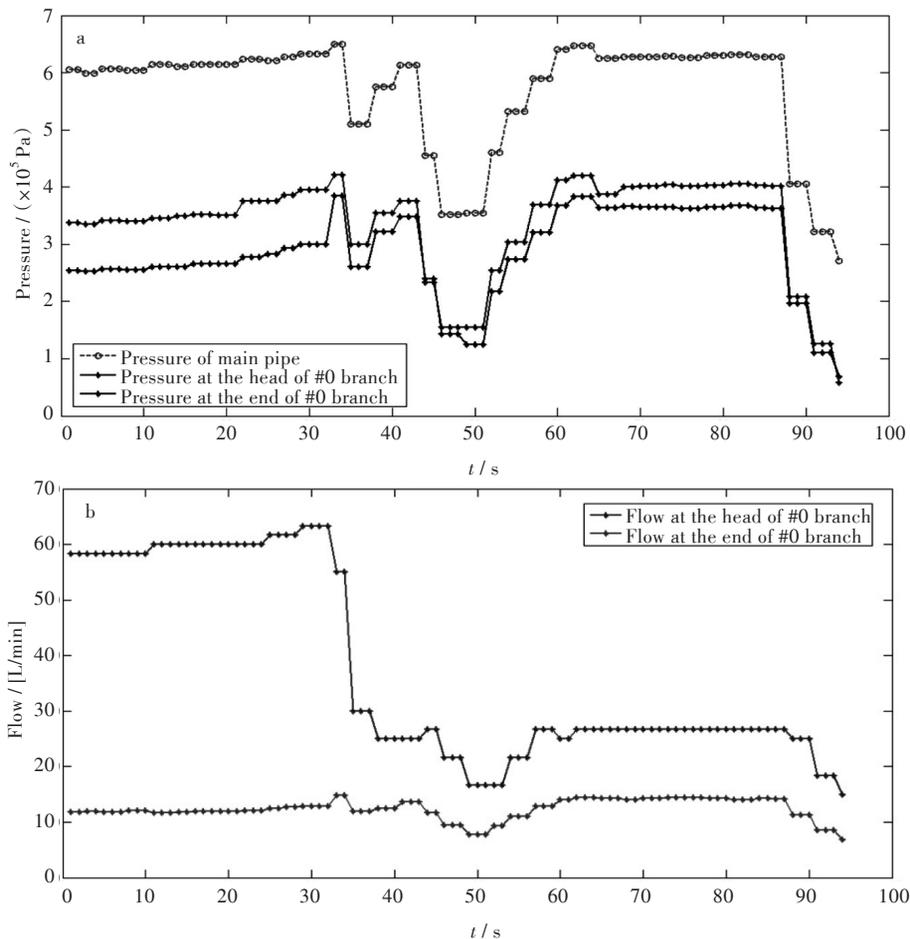


图3 #0甲支管压力与流量曲线

Fig. 3 Curves of pressure and flow of #0 branch

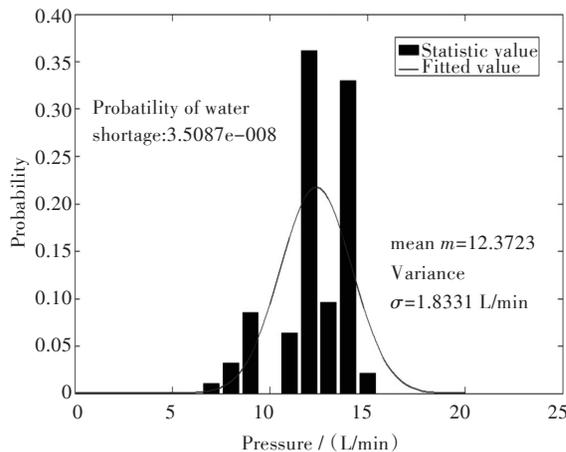


图4 #0甲支管末端流量分布直方图

Fig. 4 Flow distribution histogram at the end of #0 branch

## 5 结 语

为大型船舶典型管网设计了一套试验系统,典型管网试验系统每层支管与集水管之间设置差压型减压阀,以模拟实际管网各支管的层高所形成的纯水头特性,降低了试验系统的垂直高度从而降低试验系统的建造成本.利用PLC随机数功能模拟实际用户随机开启和关闭电磁阀,从而测试每层支管压力和流量随时间的变化,分析统计出每层支管末端流量的分布直方图并拟合其正态分布曲线,计算出每层出现供水不足的概率,检测所试验的典型管网系统是否满足用户的正常用水.利用GX Works2的模拟调试大大缩短设计周期,更容易检验程序中的错误,保证程序的有效性和可靠性.

### 参考文献:

- [1] 李鸿奎.集中热水供应系统设计探讨[J].中国给水排水,2004,20(11):74-76.  
LI H K. Discussion on the design of central hot water supply system [J]. China water & wastewater, 2004, 20(11):74-76.
- [2] 陈伟智,张维竞,张小卿,等.船舶中央冷却系统串级控制的建模与仿真研究[J].中国造船,2013(1):197-205.  
CHEN W, ZHANG W, ZHANG X Q, et al. Modeling and simulation of marine central cooling system based on cascade control principle [J]. Shipbuilding of China, 2013(1):197-205.
- [3] 林坤,张世伟,苗英俊,等.变频恒压供水系统理论分析及方案设计[J].舰船防化,2010(6):13-18.  
LIN K, ZHANG S W, MIAO Y J, et al. Theoretical analysis and scheme design on variable frequency constant pressure water supply system [J]. Chemical defence on ships, 2010(6):13-18.
- [4] 姬钰,刘希沪.一种小型船舶自动节能供水系统的研究[J].船舶,2008,19(4):16-17.  
JI Y, LIU X H. An automatic energy-saving water supply system for small ships [J]. Ship & boat, 2008, 19(4):16-17.
- [5] 周志杰,沈正帆,种道彤.船舶管路阀门阻力系数试验研究[J].中国科技论文,2015(10):1197-1202.  
ZHOU Z J, SHEN Z F, CHONG D T. Experimental research on resistance coefficient of marine pipeline valves [J]. China sciencepaper, 2015(10):1197-1202.
- [6] 张俊,张晓婷.流体传输中流体阻力和水头损失的计算[J].流体传动与控制,2011(4):24-27.  
ZHANG J, ZHANG X T. The analysis of the fluid resistance and the pressure loss in fluid transmission system [J]. Fluid power transmission & control, 2011(4):24-27.
- [7] 马宪亭,张福来.液压系统中压力损失的分析与计算[J].煤矿机械,2009,30(9):26-28.  
MA X T, ZHANG F L. Analysis and calculation of pressure loss in hydraulic pressure system [J]. Coal mine machinery, 2009, 30(9):26-28.
- [8] 杨自强,魏公毅.产生伪随机数的若干新方法[J].数值计算与计算机应用,2001,22(3):201-216.  
YANG Z Q, WEI G Y. A review on some new methods to generate random numbers [J]. Journal on numerical methods and computer applications, 2001, 22(3):201-216.
- [9] 杨振海,张国志.随机数生成[J].数理统计与管理,2006,25(2):244-252.  
YANG Z H, ZHANG G Z. Generating random variables [J]. Journal of applied of statistics and management, 2006, 25(2):244-252.
- [10] 郭波,邹丽梅.PLC随机数发生器程序研究与设计[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2013(6):899-901.  
GUO B, ZOU L M. Design and research of PLC random number generator [J]. Journal of Jiamusi university (Natural science edition), 2013(6):899-901.
- [11] 徐红明.基于PLC的船舶供水系统设计[J].装备制造技术,2015(2):93-94.  
XU H M. The fresh water supply system of ship based on PLC [J]. Equipment manufacturing technology, 2015(2):93-94.
- [12] 杨帆,王磊,龚君,等.基于PLC的供水系统设计[J].机械工程与自动化,2016(1):188-190.  
YANG F, WANG L, GONG J, et al. Design of a PLC-based water supply system [J]. Mechanical engineering & automation, 2016(1):188-190.
- [13] 张万忠,刘明芹.电气控制与PLC应用技术[M].北京:化学工业出版社,2012.
- [14] 李长军,关开芹.图解PLC技术一点通[M].北京:机械工业出版社,2013.