

面向物联网的泵站站内优化调度系统研究

盛 喆¹, 孙 悦²

(1. 中移(苏州)软件技术有限公司, 江苏 苏州 215153; 2. 苏州科技城医院, 江苏 苏州 215153)

摘要:针对泵站站内优化调度问题进行了研究,引入物联网技术建立了面向物联网的泵站站内优化调度系统。系统的感应层通过各种传感器和网络摄像头采集数据,网络层采用 Zigbee 技术和 5G 技术传输数据,应用层实现用户的交互、数据的存储、方案的制定与实施。系统从功能角度分为人机交互界面、监测子系统、决策支持子系统和调度执行子系统 4 个部分。其中,决策支持子系统采用改进编码方式的动态惩罚函数遗传算法对泵站站内优化调度模型求解,并以江都三站为例,得到了较好的优化结果。

关键词:泵站优化; 物联网; 传感器; Zigbee; 5G; 动态惩罚函数遗传算法

中图分类号:TV675 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2020)03-0051-06

Research on the optimization scheduling system of pump station based on Internet of Things

SHENG Zhe¹, SUN Yue²

(1. China Mobile(Suzhou) Software Technology Co., Ltd., Suzhou 215153, Jiangsu;

2. Suzhou Science & Technology Town Hospital, Suzhou 215153, Jiangsu)

Abstract: The optimization scheduling problem in the pump station was researched, and the Internet of Things technology was introduced to establish an optimization scheduling system in the pump station. The sensor layer of the system collected data through various sensors and webcams, the network layer used Zigbee technology and 5G technology to transmit data, and the application layer realized user interaction, data storage, plan formulation and implementation. From the perspective of function, the system is divided into four parts: human-machine interaction interface, monitoring subsystem, decision support subsystem and scheduling and execution subsystem. Among them, the decision support subsystem used an improved coding method of the dynamic penalty function genetic algorithm to solve the optimal scheduling model in the pumping station. Taking Jiangdu No. 3 Station as an example, a better optimization result was obtained.

Key words: pump operation; Internet of Things; sensors; Zigbee; 5G; dynamic penalty function GA

近年来南水北调工程取得了重大的进展,东线和中线工程相继通水,为我国北方缺水地区提供了大量的生产生活用水。随着调水工作的逐步展开,泵站系统的调水能力受到了严重的考验。早期泵站系统的运行与维护主要采用人工巡查的方式,有着成本高、工作量大、应急能力差等诸多的缺点^[1]。

目前许多的泵站实施了计算机自动化系统改造,大大提高了泵站系统的工作能力。但由于受建设时条件所限,仍然存在着监测信息不全、数据同步延迟、数据利用率低等不足^[2]。物联网技术的发展为解决这一问题提供了一个全新的思路^[3]。本文将物联网技术引入泵站站内优化调度研究,构建了一

收稿日期:2019-08-12

作者简介:盛喆(1990—),男,硕士,研究方向为泵站调用、智能优化算法。

个面向物联网的泵站站内优化调度系统。希望研究能为将来泵站系统的升级提供参考。

1 物联网

近年来,随着 5G 技术的飞速发展,万物互联逐渐成为可能。其实,早在 20 世纪 90 年代,物联网的概念便已提出。2005 年国际电信联盟(ITU)发布了“The Internet of Things”年度报告,从功能和技术的角度对物联网的概念进行了解释。功能上,ITU 认为世界上所有的物体都可以通过因特网主动进行信息交换,实现任何时刻、任何地点的互联;技术上,ITU 认为物联网涉及射频识别技术(RFID)、传感器技术、纳米技术和智能嵌入技术等^[4]。

物联网的技术架构分为 3 层:感知层、网络层和应用层^[5]。感知层由传感器、RFID 标签、视频监控设备等组成,主要功能是识别物体、采集信息;网络层是信息传递的通道,连接了感知层和应用层,目前网络层应用的技术有:5G、4G、Zigbee、WLAN、GPRS 等各种有线和无线网络;应用层是系统和外部的接口,实现系统的智能应用。应用物联网技术构建泵站站内优化调度系统能够很好的实现数据采集、状态监控、方案制定及实施和数据管理的功能,提高泵站系统的工作效率、降低泵站系统的运行成本。

2 面向物联网的泵站站内优化调度系统

2.1 系统的体系结构

本文构建的面向物联网的泵站站内优化调度系统的体系结构图,见图 1。

从图中可知,感应层包括各种传感器和数字网络摄像头。根据现场情况划分监测点,在各监测点按照需求布置传感器,在各机组、主控室等监控点安装数字网络摄像头。网络层由 Zigbee 局域网和 5G 无线模块组成。泵站一般处在偏僻地段,监测点位置大多不方便布线,因此宜采用无线网络进行通讯。Zigbee 局域网有着成本低、功耗低、时延短、安全性高、网络容量大、自组织和自愈能力强等优点,非常适合近距离电子设备之间的无线通讯^[6]。Zigbee 局域网和各种传感器组成了无线传感器网络(WSN),WSN 能保证监测数据的安全快速传输^[7]。5G 技术是 4G、3G 标准的延伸,有着高速率、低延时、大容量、更节能等优点^[8],本系统中采用 5G 技术传输 WSN 监测到的数据和视频监控设备的实时

视频数据。应用层由中间件、数据库服务器、决策支持模块、调度执行模块以及人机交互界面组成。中间件读取 5G 模块传输过来的数据,对数据进行解析处理,丢弃冗余数据,将数据按照统一格式存入数据库服务器。数据库服务器存储监测数据和系统数据,用户可以通过人机交互界面对数据进行查看管理。当上级部门下达调水任务时,决策支持模块利用数据库服务器中的数据和优化算法计算调度方案,然后将方案递交给调度执行模块执行。

2.2 系统功能的划分

面向物联网的泵站站内优化调度系统从功能角度可分为 4 个功能模块,分别是:人机交互界面、监测子系统、决策支持子系统、调度执行子系统,各模块之间的关系如图 2 所示。

2.2.1 人机交互界面

人机交互界面是系统与外部交互的接口,主要功能包括:接受管理部门的提水任务、监测数据查询、系统数据管理、制作分析曲线、生成数据报表、打印等,功能结构如图 3 所示。

2.2.2 监测子系统

监测子系统是整个系统的“感觉器官”,见图 4。监测子系统包括:用于测量扬程的差压传感器、用于测量流量的电磁流量计、用于测量机组转速和扭矩的扭矩仪、用于测量真空度的真空压力变送器、用于测量大气压的空盒气压计、用于测量水温的智能测温仪表、用于测量机组电流电压的电压表电流表等,以及用于视频监控的数字网络摄像头。

2.2.3 决策支持子系统

在介绍决策支持子系统前需对一些概念进行说明。

日均扬程统计表,指的是某一泵站所处固定水域的全年日均扬程变化统计表。对于一个固定水域,它的扬程变化主要受丰枯水期和潮汐变化影响,根据历史资料统计分析可得该地全年日均扬程变化统计表。

分时电价表,指的是某一地区不同时段的电价表,从当地的物价部门可获取到。

流量—扬程、流量—装置效率性能方程,指的是泵站所处的固定水域,机组流量和扬程以及机组流量和装置效率的性能方程。通过对流量、扬程、装置效率数据进行曲线拟合可得^[9]。

对于某一泵站,其日均扬程统计表、分时电价表和扬程—流量、流量—装置效率性能方程均存储在数据库服务器中。考虑到短时间内扬程变化较

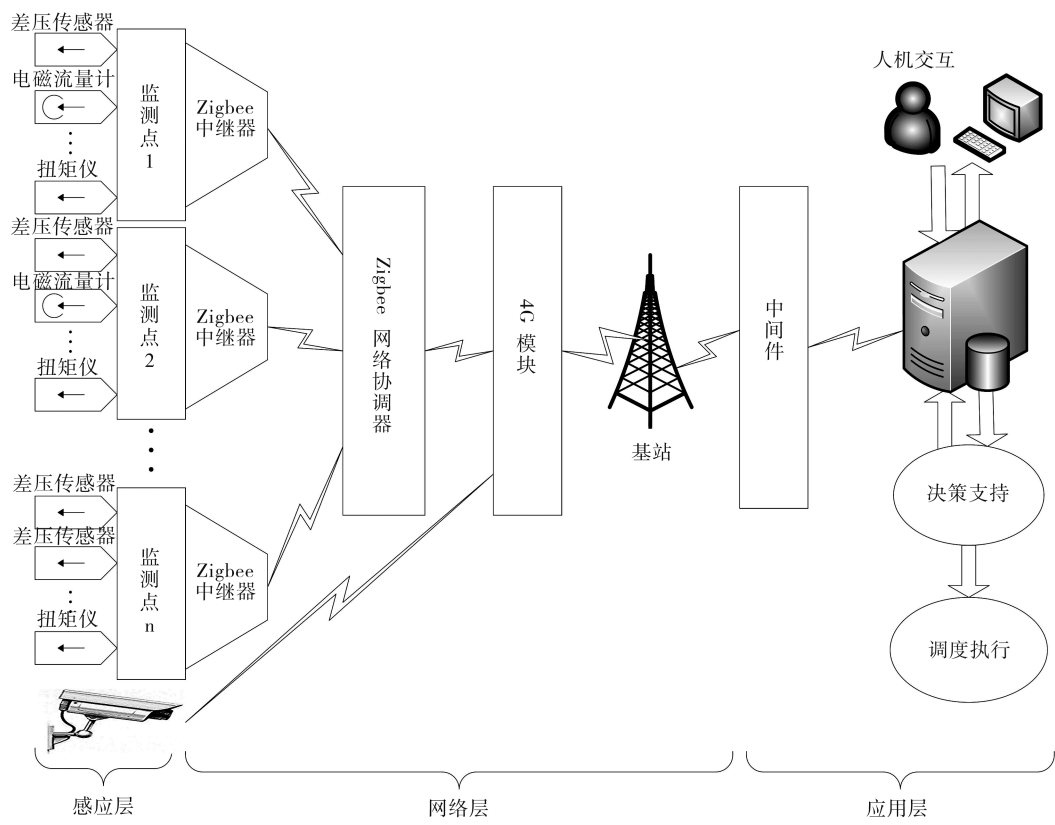


图 1 系统体系结构

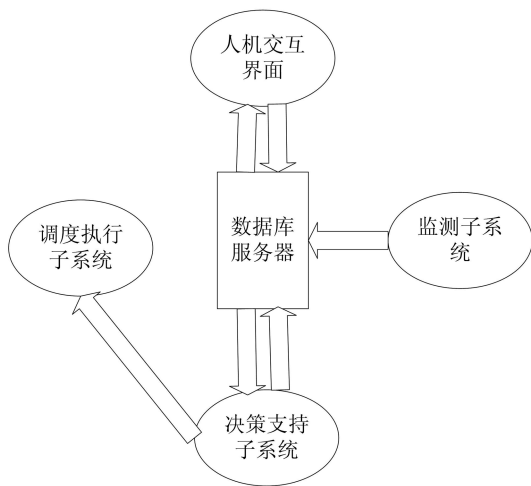


图 2 系统功能模块

小,可用执行提水任务前一天的日均扬程近似替代执行提水任务当天的日均扬程。当决策支持子系统接收到提水任务时,系统在数据库服务器中的历史优化方案表中匹配提水任务和日均扬程,如果匹配成功,则不需要计算,直接调用匹配到的历史优化方案;如果匹配失败,调用优化算法计算出优化方案,并将提水任务、日均扬程和优化方案存储到历史优化方案表中。决策支持子系统的结构如图 5 所示。

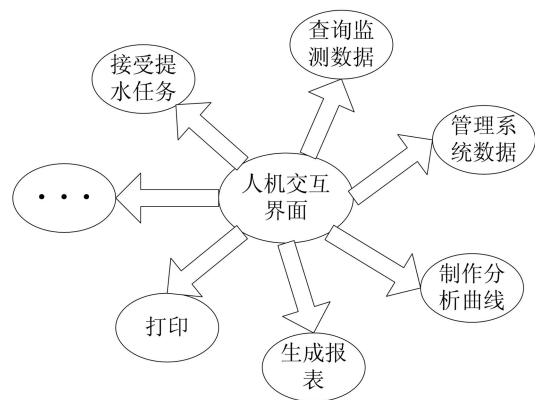


图 3 人机交互界面结构

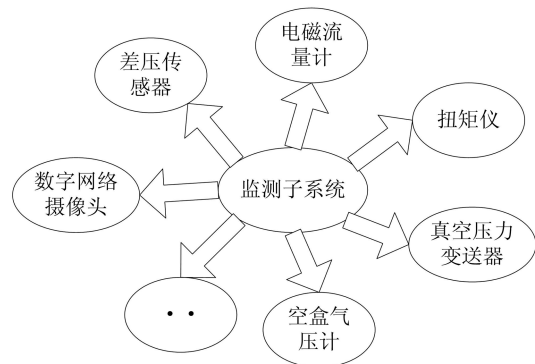


图 4 监测子系统结构

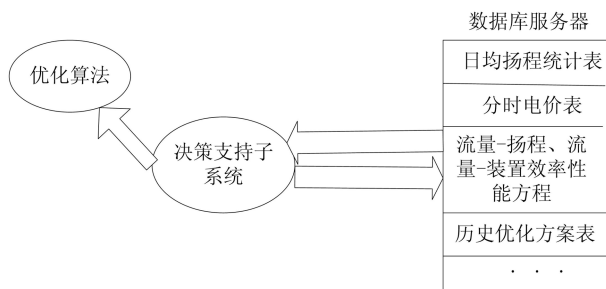


图5 决策支持子系统结构

2.2.4 调度执行子系统

调度执行子系统接受从决策支持子系统传来的优化方案,按照优化方案决定各机组开停机,对开机机组利用液压调节系统调节机组叶片角。决策支持子系统结构如图6所示。

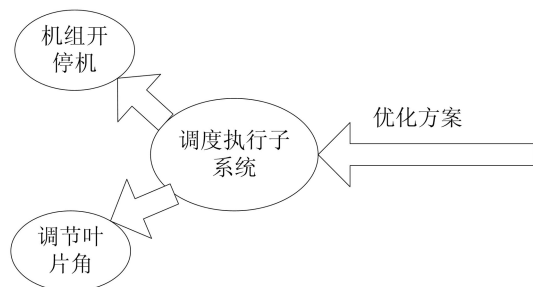


图6 调度执行子系统结构

2.3 决策支持系统中的优化算法

面向物联网的泵站站内优化调度系统的关键便是决策支持系统中的优化算法。当决策支持子系统调用优化算法时,系统在数据库服务器中读取日均扬程、分时电价和流量-扬程、流量-装置效率性能方程,然后根据优化算法计算出优化方案,最后将方案反馈出去。

2.3.1 数学模型

一座泵站一般有多台机组,各机组型号可能相同也可能不同,但即便是同种型号机组由于制造、安装及布置等的影响,各机组间的实际性能也会有所不同^[10]。因此,在数学模型中应考虑到机组之间的差异性。考虑分时电价和水位变化,将一天划分为SN段,对于一座有着JZ台机组的泵站,以泵站总耗电费用最低为目标函数、总体水量和机组额定功率为约束条件、各时段机组开停机和机组叶片角为决策变量,建立泵站站内优化调度数学模型。为方便模型描述,定义如下变量,见表1。

模型数学描述如下:

目标函数:

$$f = \min \sum_{i=1}^{SN} \sum_{j=1}^{JZ} \frac{\rho g Q_{i,j}(\theta_{i,j}) H_i}{\eta_{zi,j} \eta_{int} \eta_{mot}} \cdot \Delta T_i \cdot P_i \quad (1)$$

提水量约束:

$$\sum_{i=1}^{SN} \sum_{j=1}^{JZ} Q_{i,j}(\theta_{i,j}) \cdot \Delta T \geq W_e \quad (2)$$

功率约束:

$$\frac{\rho g Q_{i,j}(\theta_{i,j}) H_i}{\eta_{zi,j} \eta_{int} \eta_{mot}} \leq N_0 \quad (3)$$

2.3.2 模型求解

上述模型是较为复杂的带约束条件的单目标多约束模型,本文采用改进编码方式的动态惩罚函数遗传算法对模型进行求解。求解过程分为约束条件处理和遗传算法求解2个步骤。

第一步,约束条件的处理。首先是提水量约束,本文采用动态惩罚函数法处理提水量约束,惩罚函数设计如下^[11]:

$$P = \begin{cases} 0 & g(\theta) \geq 0 \\ -(Ct)^\alpha |g(\theta)|^\beta & g(\theta) \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中,

$$g(\theta) = \sum_{i=1}^{SN} \sum_{j=1}^{JZ} Q_{i,j}(\theta_{i,j}) \cdot \Delta T - W_e \quad (5)$$

式中: P 表示动态惩罚函数, $g(\theta)$ 表示实际提水量与提水任务的差值。 C 、 α 、 β 为调节惩罚大小的常数, t 为迭代次数。随着迭代次数的增加,即 t 增大,惩罚项也增大,对不可行解的惩罚加大。随着迭代进程的深入,不可行解抛弃的进程加快,使得整体算法有较快的收敛速度^[12]。

其次是功率约束,如式(3)所示机组电动机实际运行功率不大于机组电动机额定功率。本文在优化计算前提前处理功率约束,这样可降低优化计算的复杂程度^[13-14]。根据式(3)可计算出各个时段每台机组满足功率约束的叶片角。

第二步,遗传算法求解。本文改进了经典遗传算法的编码方式,用2条染色体表示1个个体,1条染色体表示机组在各个时段的开停机情况,1条染色体表示机组在各时段的叶片角。两条染色体各自独立的进行遗传操作,这样可提高种群的多样性。本文中的模型是最小值问题,为方便选择操作需转化成最大值问题。考虑到适应度非负的要求,可选择一个相对较大的常数 C_{max} ,用 C_{max} 减去目标函数,再加上惩罚函数 P ,可得适应度函数如下:

$$F = C_{max} - \min \sum_{i=1}^{SN} \sum_{j=1}^{JZ} \frac{\rho g Q_{i,j}(\theta_{i,j}) H_i}{\eta_{zi,j} \eta_{int} \eta_{mot}} \cdot \Delta T_i \cdot P_i + P \quad (6)$$

表1 变量说明

变量简称	变量含义	变量简称	变量含义
f	目标函数,泵站一日耗电总费用,元	ΔT	单个时段长度, ΔT_i 指时段 <i>i</i> 的时长,h
i	时段编号, $i=1, \dots, SN$	P	分时电价, P_i 指时段 <i>i</i> 的电价,元/(kW·h)
j	机组编号, $j=1, \dots, JZ$	W_e	管理部门下达的日提水任务,m ³
ρ	水的密度, $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$	η_z	装置效率, $\eta_{z,i,j}$ 指时段 <i>i</i> 机组 <i>j</i> 的装置效率
g	地球的重力加速度, $g=9.8 \text{ m/s}^2$	η_{int}	传动效率,直连机组的 η_{int} 为1
Q	机组流量,机组单位时间输送出的液体的体积, $Q_{i,j}$ 指时段 <i>i</i> 时机组 <i>j</i> 的流量,m ³ /s	η_{mot}	电动机效率,在负荷大于60%时,可以认为 η_{mot} 基本不变,为94%
θ	叶片角,叶片角决定了水泵的提水能力, $\theta_{i,j}$ 指时段 <i>i</i> 时机组 <i>j</i> 的叶片角,°	N_0	机组电动机的额定功率,W
H	扬程,水泵能够扬水的高度, H_i 指时段 <i>i</i> 的扬程, m		

算法的具体描述,见表2。

表2 算法过程

算法1:改进编码方式的动态惩罚函数遗传算法

定义:pop_size //种群个体数目;run_num//迭代次数;JZ//机组总台数

angle[pop_size]//记录机组叶片偏转角的种群数组;bootstop[pop_size]//记录机组开停机情况的种群数组

fitvalue[pop_size]//记录每个个体适应度的数组;maxfitvalue< $\theta, N, \text{totalcost}$ > //最大适应度

输入: W_e //提水任务

输出:totalcost //总费用;

$\theta = \langle \theta_{1,1}, \dots, \theta_{i,j}, \dots, \theta_{SN,JZ} \rangle, i=1, \dots, SN, j=1, \dots, JZ$ //各时段各机组叶片偏转角;

$N = \langle n_{1,1}, \dots, n_{i,j}, \dots, n_{SN,JZ} \rangle, i=1, \dots, SN, j=1, \dots, JZ$ //各时段各机组停机情况

1 GenerateInitialPopulation <pop_size> //生成初始种群

2 while i < run_numdo

3 fitvalue ← CalculateFitnessValue <angle, bootstop> //根据式(6)计算适应度

4 population ← SelectionOperator <angle, bootstop> //轮盘赌算法进行选择操作

5 population ← CrossoverOperator <angle, bootstop> //单点交叉进行交叉操作

6 population ← MutationOperator <angle, bootstop> //基本位变异进行变异操作

7 end

8 for all j ∈ pop_size

9 if maxfitvalue< $\theta, N, \text{totalcost}$ > <fitvalue[j]> then //比较出最大适应度

10 maxfitvalue< $\theta, N, \text{totalcost}$ > ← fitvalue[j]

11 end

12 end

13 return θ, N and totalcost //返回 maxfitvalue< $\theta, N, \text{totalcost}$ >对应的个体和该个体对应的费用

2.3.3 江都三站实例求解

江都三站由 10 台 2000ZLQ13.7—7.8 型泵组成,机组额定功率 1600kW,叶片角调整范围为 $[-6^{\circ}, +4^{\circ}]^{[15]}$ 。在日均扬程 3.8m,日提水任务 $9.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ (60% 负荷) 情况下采用 2.3.2 节方法对江都三站站内优化调度模型求解。求解结果如表 3 所示。

3 结 语

本文通过物联网技术的引入构建了面向物联网的泵站站内优化调度系统,实现了智能监测、方案制定、调度实施和数据管理等功能的整合。提高了泵站站内优化调度工作的效率和整个系统的信息化水平。随着通讯技术和传感器技术的飞速发

表 3 江都三站站内优化求解结果

时段		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	提水量/万 m ³	费用/万元
I	开停机	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	56.73	1.03
	叶片角/°		-6		-2				-2	2	-4		
II	开停机	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	27.54	0.47
	叶片角/°		4			2							
III	开停机	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	97.28	1.00
	叶片角/°	4	4	-4	-6	-2		0		0	-6		
IV	开停机	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	139.31	0.70
	叶片角/°			0	-6		-4	0	-4		2		
V	开停机	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	194.79	1.00
	叶片角/°	2	0			0	2	-2	0	-4	2		
VI	开停机	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	84.78	1.45
	叶片角/°		0	4		-2	-2		-2	0	-6		
VII	开停机	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	98.17	1.67
	叶片角/°	-6		0	0	-4	4	0	4		-6		
VIII	开停机	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	128.99	1.36
	叶片角/°		0		4	-6	-6		-2	2	4		
IX	开停机	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	142.12	1.55
	叶片角/°	-4	4	0	-2	-4	-2		2		-2		
合计												969.70	10.24

注:1 表示开机,0 表示不开机,不开机时表格中叶片角空出。

从表 3 可知,总提水量为 $9.697 \times 10^6 \text{ m}^3$,满足提水量约束,此时总费用为 10.24 万元。因此,本文采用的改进编码方式的动态惩罚函数遗传算法能很好的求解泵站站内优化调度数学模型。

展,通过物联网改造传统泵站管理技术,实现泵站调度管理的智能化是未来发展的必然趋势。

(下转第 61 页)

(上接第 56 页)

参考文献:

- [1] 陈坚, 李琪, 许建中, 等. 中国泵站工程现状及“十一五”期间泵站更新改造任务[J]. 水利水电科技进步, 2008, 28(2):84-88.
- [2] 高学臣, 李万平. 泵站自动化系统安全现状及防护策略[J]. 水电站机电技术, 2019, (7):44-46,51.
- [3] 丁劲锋, 刘成穆, 绍帅. 基于窄带物联网技术的电泵监控系统设计[J]. 自动化与仪表, 2019, 34(7):65-68,79.
- [4] 陈海明, 崔莉, 谢开斌. 物联网体系结构与实现方法的比较研究[J]. 计算机学报, 2013, 36(1):168-188.
- [5] 孙其博, 刘杰, 黎彝, 等. 物联网:概念、架构与关键技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(3):1-9.
- [6] 尤肖虎, 潘志文, 高西奇, 等. 5G 移动通信发展趋势与若干关键技术[J]. 中国科学:信息科学, 2014, 44(5):551-563.
- [7] 钱志鸿, 王义君. 面向物联网的无线传感器网络综述[J]. 电子与信息学报, 2013, 35(1):215-227.
- [8] 张平陶, 运铮, 张治. 5G 若干关键技术评述[J]. 通信学报, 2016, 37(7):15-29.
- [9] 桑运洪, 李少清, 马速超, 等. 最小二乘法在水泵试验曲线拟合中的应用[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(5):281-282,311.
- [10] 龚懿, 程吉林, 张仁田, 等. 泵站多机组叶片全调节优化运行分解-动态规划聚合方法[J]. 农业机械学报, 2010, 41(9):27-31.
- [11] 吴华伟, 陈特放, 黄伟明, 等. 一种新的约束优化遗传算法及其工程应用[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(2):367-370.
- [12] 张晶, 翟鹏程, 张本源. 惩罚函数法在遗传算法处理约束问题中的应用[J]. 武汉理工大学学报, 2002, 24(2):56-59.
- [13] 张礼华, 程吉林, 张仁田, 等. 基于试验-整数规划方法的泵站多机变速优化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5):156-159.
- [14] 袁尧, 刘超. 基于蚁群算法的泵站运行优化及投影寻踪选优策略[J]. 农业机械学报, 2013, 44(3):38-44.
- [15] 周灿华. 江苏江都三站更新改造技术探讨[J]. 人民长江, 2013, 44(3):85-88.