

水利经济系统运行评价指标的动力学模型

顾强生¹, 施 斌¹, 谢能刚²

(1. 南京大学地球科学系, 江苏 南京 210093; 2. 安徽工业大学机械工程学院, 安徽 马鞍山 243002)

摘要: 根据最优控制理论, 建立了相应于工程动力系统中能量指标的水利经济系统运行效益的动力学评价模型, 提出了水利经济系统的“弹性”、“质量”等模态特征量及“动能”、“势能”等系统特征量的表达形式, 并应用于江苏水利经济系统的实证分析, 计算结果反映了所建能量指标的合理性与可行性。

关键词: 水利经济系统; 运行效益; 能量指标; 动力学模型

中图分类号: F 407.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2002)05-578-05

1 工程动力系统的运行特征与评价指标^[1]

不考虑控制力, 工程动力系统运行的基本微分方程为

$$[M]\{\ddot{y}(t)\} + [C]\{\dot{y}(t)\} + [K]\{y(t)\} = B_0\{u(t)\} \quad (1)$$

式中 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ 分别为系统的质量矩阵、阻尼矩阵和刚度矩阵, 它们共同构成系统的模态特征量; $\{u(t)\}$ 为系统的输入列阵; $\{y(t)\}$ 为系统的输出列阵。

当系统的输入一定时, 工程动力系统的运行规律就由系统的模态特征量决定, 而运行特征的评价指标根据最优控制理论一般采用系统能量函数 $E(t)$ 。

$$E_{\text{系统}}(t) = E_{\text{动}}(t) + E_{\text{势}}(t) \quad (2)$$

式中 $E_{\text{动}}(t) = \frac{1}{2}\{\dot{y}(t)\}^T [M]\{\dot{y}(t)\}^2$; $E_{\text{势}}(t) = \frac{1}{2}\{y(t)\}^T [K]\{y(t)\}$ 分别为系统在 t 时刻的动能和势能。

因此, 评价工程动力系统的能量指标为

$$E_{\text{系统}}(t) = \frac{1}{2}\{\dot{y}(t)\}^T [M]\{\dot{y}(t)\}^2 + \frac{1}{2}\{y(t)\}^T [K]\{y(t)\} \quad (3)$$

评价指标中包括工程动力系统的状态量 $\{y(t)\}$ 、 $\{\dot{y}(t)\}$ 和模态特征量 $[M]$ 、 $[K]$, 可见评价指标是一个综合反应量。前者为动能, 反映系统现有的质量规模及运行速度, 代表运行与发展的潜力和后劲; 后者为势能, 反映系统所在的位置及弹性程度, 代表运行与发展的时期。

收稿日期: 2001-08-24; 修订日期: 2002-02-14

基金项目: 江苏省水利厅重点基金资助项目 (2001168)

作者简介: 顾强生(1962-), 男, 江苏盐城人, 高级工程师, 博士, 主要从事水利工程管理、建设和技术经济分析研究。

2 水利经济系统运行效益的能量评价指标

水利经济系统的动态运行规律与工程动力系统相似，也存在反映水利经济系统特征的“弹性”模态量与“质量”模态量，因此同样可以采取“能量”的概念，建立水利经济系统的“动能”与“势能”指标。

2.1 资本弹性与劳动弹性

水利经济系统运行的基本微分方程^[2]为

$$\begin{cases} \dot{L} = (n + m)L \\ \dot{K} = (1 + S) \left[1 + \frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} \right] Q - K + kM \\ \dot{r} = (1 + S)(1 + \dots) C - (\dots + n + m)r + km \end{cases} \quad (4)$$

式中 L 为劳动增量； K 为资本增量； r 、 \dot{r} 为人均资本和增长率； n 为劳动供给的速率； m 为净移民率； S 为水利部门的系统内投资率； Q 为水利部门的系统外投资； \dots 为固定资产折旧率； k 为移民带来的广义资本； M 为移民总数； \dots 为产出增长率； C 为人均外来投资资金； $Y(t)$ 为水利经济系统的产出函数，其一般表达式为

$$Y(t) = F(AK, BL) \quad (5)$$

对式(5)两边求导得

$$\dot{F}(AK, BL) = F_1(\dot{A}K + A\dot{K}) + F_2(\dot{B}L + B\dot{L}) \quad (6)$$

式中 $F_1 = \frac{\partial F}{\partial(AK)} = \lim_{AK \rightarrow 0} \frac{F(AK + AK) - F(AK)}{AK} = e$ ，称为资本的边际产出；

$F_2 = \frac{\partial F}{\partial(BL)} = \lim_{BL \rightarrow 0} \frac{F(BL + BL) - F(BL)}{BL} = g$ ，称为劳动的边际产出。

并满足下列两个条件^[3]：

条件 1：劳动和资本的边际产出大于 0，且递减

$$\begin{cases} F_1 > 0, \frac{\partial F_1}{\partial(AK)} < 0 \\ F_2 > 0, \frac{\partial F_2}{\partial(BL)} < 0 \end{cases} \quad (7)$$

条件 2：当资本(或劳动)趋向于零时，资本(或劳动)边际产出趋向于无穷大；资本(或劳动)趋向于无穷大时，资本(或劳动)边际产出趋向于零。

$$\begin{cases} \lim_{(AK) \rightarrow 0} F_1 = \lim_{(BL) \rightarrow 0} F_2 = \dots \\ \lim_{(AK) \rightarrow \infty} F_1 = \lim_{(BL) \rightarrow \infty} F_2 = 0 \end{cases} \quad (8)$$

定义：设函数 $y = f(x)$ 在点 x_0 处可导，称函数的相对改变量 y/y_0 与自变量的相对改变量 x/x_0 之比，当 $x \rightarrow 0$ 时的极限

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{y/y_0}{x/x_0} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{y}{x} \cdot \frac{x_0}{y_0} = f'(x_0) \cdot \frac{x_0}{f(x_0)} \quad (9)$$

为 $f(x)$ 在点 x_0 处的相对变化率或弹性，记作 $\left. \frac{Ey}{Ex} \right|_{x=x_0}$ 或 $\frac{f'(x_0)}{f(x_0)}$ ；对一般的 x ，若 $f(x)$ 可导，则

有 $\frac{E_y}{E_x} = f(x) \frac{x}{f(x)}$ 。

根据上述定义, 资本的弹性为 $E = F_1 \frac{AK}{F(AK, BL)} = e \frac{AK}{F(AK, BL)}$ (10)

劳动的弹性为 $G = F_2 \frac{BL}{F(AK, BL)} = g \frac{BL}{F(AK, BL)}$ (11)

从式(10)、式(11)可看出, 资本与劳动的弹性不仅与水利经济系统的产出函数有关, 也与资本或劳动的投入量有关。资本与劳动的弹性构成水利经济系统的弹性特征量, 当水利经济系统与其它经济系统进行横向比较, 以及不同时期的水利经济进行纵向比较时, 主要体现在 E 、 G 不一样; 另外, 水利经济系统的“质量”特征量为水利经济系统的存量资本 K , 它是表征水利经济系统规模大小的本质特征量。

2.2 运行效益的评价指标

从水利经济系统的实际运行看, 其运行效益评价指标中应包含系统的资本规模、盈利创收的弹性能力和运行状态量。借鉴工程动力系统中能量指标的表达形式(式(3)), 建立水利经济系统运行效益的能量评价指标为

$$J(t) = \int_0^t \frac{1}{2} \dot{k}^T E \dot{k} dt + \int_0^t \frac{1}{2} \dot{L}^T G \dot{L} dt + \int_0^t \frac{1}{2} \dot{i}^T K \dot{i} dt \quad (12)$$

式中 资本弹性 E 和劳动弹性 G 构成水利经济系统的模态刚度; 存量资本 K 构成水利经济系统的模态质量; \dot{k} 、 \dot{L} 、 \dot{i} 构成水利经济系统的状态运行量。

因此式(12)右边的前两项分别称为资本“势能”和劳动“势能”, 它们之和相当于工程动力系统中的势能指标; 后一项相当于工程动力系统中的动能指标。

3 江苏省水利经济运行效益的实证分析

3.1 计算说明

表 1 为江苏省水利经济从 1986 - 1998 年的一些技术经济指标。在计算中, 为反映科技发

表 1 江苏省水利经济系统的指标

Table 1 Data of Jiangsu province water conservancy economic system indexes

| 年 份 | 产出/亿元 | | 水利行业本年完成投资 /亿元 | 本年投入土石方 /亿 m ³ |
|------|--------|------|-------------------|------------------------------|
| | 综合经营收入 | 水费收入 | | |
| 1986 | 2.6 | 0.2 | 2.17 | 6.14 |
| 1987 | 3.2 | 0.2 | 2.26 | 7.26 |
| 1988 | 11.1 | 0.3 | 2.58 | 7.73 |
| 1989 | 12.5 | 0.5 | 3.07 | 7.58 |
| 1990 | 12.7 | 1.02 | 6.20 | 8.85 |
| 1991 | 16.0 | 1.15 | 9.91 | 9.03 |
| 1992 | 29.3 | 1.35 | 10.31 | 9.40 |
| 1993 | 54.2 | 1.38 | 11.60 | 8.00 |
| 1994 | 70.7 | 1.55 | 16.73 | 7.71 |
| 1995 | 101.7 | 1.66 | 19.33 | 8.60 |
| 1996 | 125.1 | 2.62 | 22.32 | 9.19 |
| 1997 | 145.5 | 2.98 | 26.16 | 9.14 |
| 1998 | 153.8 | 2.72 | 44.50 | 10.74 |

* 资料来源:《江苏水利年鉴》(1990 - 1999)。

展和先进管理对水利经济系统能量评价指标的影响,令式(5)产出函数中 $A = e^{\mu t}$, $B = e^{-t}$, μ 、反映科学技术进步和先进管理方法对资本和劳动的影响。水利经济系统的产出函数取为柯布-道格拉斯函数^[4]。

3.2 计算结果及分析

江苏省水利经济系统的各项评价指标列于表2。

表2 江苏省水利经济系统的评价指标计算结果

Table 2 Computational results of Jiangsu province water conservancy economic system evaluation indexes

| 年份 | 劳动弹性 | 资本弹性 | 劳动“势能” | 资本“势能” | 产出增长率 |
|------|-------|-------|---------|---------|-------|
| 1987 | 0.083 | 0.265 | 7.356 | 1.356 | 0.181 |
| 1988 | 1.035 | 3.101 | 61.840 | 20.640 | 0.702 |
| 1989 | 0.211 | 0.521 | 12.128 | 4.912 | 0.123 |
| 1990 | 0.081 | 0.116 | 6.372 | 4.464 | 0.053 |
| 1991 | 0.380 | 0.346 | 30.973 | 22.991 | 0.200 |
| 1992 | 1.436 | 1.309 | 126.900 | 139.185 | 0.440 |
| 1993 | 3.116 | 2.148 | 199.440 | 289.188 | 0.449 |
| 1994 | 2.162 | 0.996 | 128.526 | 278.890 | 0.232 |
| 1995 | 3.617 | 1.609 | 267.546 | 601.356 | 0.301 |
| 1996 | 2.651 | 1.091 | 223.868 | 543.715 | 0.191 |
| 1997 | 2.271 | 0.793 | 189.746 | 543.082 | 0.140 |
| 1998 | 0.750 | 0.181 | 86.350 | 357.780 | 0.051 |

从表2可看出,江苏省水利经济从1991年开始,有一个突飞猛进的发展,无论是发展规模,还是发展速度都存在着质的飞跃,到1995年,发展进入最高峰。从资本弹性与劳动弹性看,这个时期是良性发展时期,弹性较好。从产出增长率看,随着系统规模的越来越大,到1996年有减缓的趋势,一是因为经济进入调整期(主要跟随国民经济1996-1998)的调整;二是因为资金的投入一直是一种线性增长方式,由于水利经济系统过于依赖外来投入,因此如果投入不上一个台阶,产出的增长率也就无法保证,虽然1998年增大了资金的投入,由于滞后效应,效果将在后几年反应出来。总体来看,随着江苏水利经济系统的规模壮大,外来投资的增多,调整期会过去,将迎来一个新的发展高潮。

4 结 语

水利经济系统是动态运行系统,人们关心其运行效益的好坏,希望有准确、定量的评价体系与指标。本文根据最优控制理论,建立了相应于工程动力系统中能量指标的水利经济系统运行效益的评价指标,提出了评价水利经济系统运行效益的“能量”函数,并应用于江苏省水利经济系统的实证分析,得到了满意的结果。

参考文献:

- [1] 谢能刚,王德信,邱支振.动力系统最优化的能量模型[J].河海大学学报,2000,(3):30-33.
- [2] 顾强生.水利经济系统分析与实证研究[D].南京:河海大学,2000.137-142.
- [3] 唐.埃思李奇.应用经济学研究方法论[M].北京:经济科学出版社,1998.121-154.
- [4] 萨缪尔森.经济学[M].北京:中国金融出版社,1994.86-104.

A dynamics model for evaluating operation benefit of water economic system

GU Qiang-sheng¹, SHI Bin¹, XIE Neng-gang²

(1. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. Mechanical Engineering College of Anhui University of Technology, Maanshan 243002, China)

Abstract : A dynamics model for evaluating operation benefit of water conservancy economic system, which corresponds to energy-index in the engineering power system, is established according to the optimal control theory. The reasonableness and feasibility of the model are witnessed by computational results of Jiangsu water conservancy economic system.

Key words : water economic system; operation benefit; energy-index; dynamics model

欢迎订阅《长江流域资源与环境》

《长江流域资源与环境》由中国科学院资源环境科学与技术局和中国科学院武汉文献情报中心联合主办,科学出版社出版。它是全国唯一一份专门研究长江流域各种资源的开发利用保护与生态环境的综合性学术刊物,是中国科技论文统计源期刊,全国中文核心期刊,中国科学引文数据库(CSCD)源期刊,中国中文社会科学引文索引源期刊。它立足长江流域,面向国内外,围绕长江流域资源与生态环境重大问题,报道流域资源与生态环境科学研究成果、资源综合利用与生态环境保护工作经验,介绍国内外江河流域开发整治和环境保护的最新成就。主要栏目有:资源环境与社会可持续发展;自然资源;农业发展;生态环境;自然灾害;学术讨论;决策建议;动态信息。对从事资源与环境研究,以及广大农业、林业、气象、能源、水利、土地管理、旅游、经济、人口、生物、地理等学科部门的科技人员、决策与管理人员、高等院校师生都很有参考价值。

本刊国内统一刊号:CN42-1320/X,邮发代号:38-311。如有漏订者,可直接汇款到编辑部补订。银行汇款请寄:中国科学院武汉文献情报中心 85493892261014638 建行何办科代 854938。本刊为双月刊,每期 96 页,全年定价 60 元(含邮费)。编辑部地址:武汉市武昌小洪山西区 25 号,邮政编码:430071,电话:(027)87869181,电子邮箱:editoffi@public.wh.hb.cn

欢迎对本刊论文进行讨论,讨论稿请寄本刊编辑部。