

水利经济系统运行与发展的数理分析模型

顾强生¹, 谢能刚², 施 斌¹

(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: 针对水利经济系统的运行发展规律, 综合考虑资金、劳动力、固定资产折旧、移民及技术创新的影响, 采用合理的假设, 建立了数理分析模型, 得到定量描述劳动增量、资本增量、人均资本增量等系统状态指标运行规律的微分方程组, 并对江苏省水利经济的运行状况进行了分析. 计算结果显示, 江苏省水利经济已从劳动密集型产业转变为资金密集型产业. 该结论与实际情况相符.

关键词: 水利经济系统, 数理分析, 运行规律

中图分类号: F416.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-198X(2003)01-0104-04

水利经济系统为国民经济基础产业功能的有机整体, 它是由一系列相互联系、相互作用的水利经济活动组成的. 水利经济系统在与外界社会经济系统交换物质、能量、信息的时候, 形成一个输入与输出系统, 外界社会经济系统向水利经济系统不断地输入物质、能量与信息, 同时水利经济系统也不断地向外界社会经济系统输出物质、能量与信息. 大量的物质、能量与信息经过反复流动、交换与加工处理, 推动了水利经济系统的经济活动有规律地运行和发展, 因此对其运行与发展方式建立一个定量的数理分析模型是必要的.

1 水利经济系统数理分析模型的假设^[1]

1.1 资金的投入

从水利经济系统资金投入的构成和来源看, 资金投入可分为系统外投资 $Q(t)$ (包括国家财政拨款、银行贷款、外资引入等) 和系统内投资 $S(t)$.

假设系统外投资 $Q(t)$ 和水利经济系统产出的社会作用有关, 当水利经济的社会作用越大, 水利部门的重要性越显著, 其外来投资就越多, 即外来投资与水利经济的社会产出 $Y(t)$ 成正比.

$$Q(t) \propto Y(t) \Rightarrow \frac{\dot{Q}(t)}{Q(t)} = \frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} \quad (1)$$

显然水利经济系统的发展和运行基本靠外来投资的推动, 但当一个水利项目上马时, 一般情况下系统内投资 $S(t)$ 也占一定的比例, 假定与外来投资 $Q(t)$ 成一比例, 该比例称为水利经济系统内投资率 s , 则

$$S(t) = sQ(t) \quad (2)$$

综上所述, 水利经济系统总的资金投入为

$$I(t) = Q(t) + S(t) = (1 + s)Q(t) \quad (3)$$

考虑由于水利社会作用增大而增加的外来投资, 式(3)可改写为

$$I(t) = (1 + s)(1 + \dot{Y}(t)/Y(t))Q(t) \quad (4)$$

1.2 劳动的投入

现在比较流行的做法是将投入的土石方量作为水利经济系统的劳动投入, 笔者认为这样做有失偏颇. 土石方只是水利劳动投入的组成部分, 而并非全部, 其他如水电、水利管理部门与经营部门劳动人员的付出等等也应归属劳动投入. 因此, 随着水利经济规模的扩大, 综合考虑劳动就业人员和投入的土石方量, 可假设水利经济系统中的劳动供给以不变的速度 n 增长,

$$\dot{L}(t)/L(t) = n \quad (5)$$

1.3 固定资产折旧比例

任一水利工程都有它的使用年限,假设水利资本以一固定的比例折旧,折旧率 $\delta > 0$ 为常数,如果资本为 K ,则固定资产折旧为 δK ,因此资本存量的增量为

$$\dot{K} = K(t) - \delta K = (1 + s)(1 + \dot{Y}(t)/Y(t))Q(t) - \delta K \quad (6)$$

1.4 移民的影响

在水利经济系统内部,移民是一个重要的影响因素,因此应在模型中加以考虑.假设 $M(t)$ 为移民,其值可正可负(分别表示移入和移出),并设 k 为每个移民各自所带来的广义资本数量,即不区分资本的不同形态,以一个包含有形资产和人力资本在内的广义资本概念来处理.

考虑移民的劳动力增长率为

$$\frac{\dot{L}}{L} = n + \frac{M}{L} = n + m \quad (7)$$

式中: m ——净移民率, $m = M/L$.

考虑移民的资本存量增量为

$$\dot{K} = (1 + s)(1 + \dot{Y}(t)/Y(t))Q(t) - \delta K + kM \quad (8)$$

1.5 考虑技术进步的生产函数

在技术进步的作用下,即使资本与劳动数量没有增加,产出也会增大,这里认为水利经济系统的技术进步与全社会经济系统中的技术进步有关,因为水利经济系统的活动与其他各行各业相联系,例如水利工程中施工机械的应用就与机械工业的技术进步有关.现假定考虑技术进步的生产函数为^[2]

$$Y(t) = F[A(t)K, B(t)L] \quad (9)$$

其中 $A(t)$ 和 $B(t)$ 分别代表技术进步对资本 K 、劳动 L 的影响,令 $A(t)$ 和 $B(t)$ 均以指数形式增长,分别为

$$A(t) = e^{\mu t} \quad B(t) = e^{\lambda t} \quad (10)$$

式中 μ 和 λ 与整个社会物质文明和精神文明的进步程度有关.

2 基本数理模型

将式(9)代入式(8)得

$$\dot{K} = (1 + s) \left(1 + \frac{\dot{F}[A(t)K, B(t)L]}{F[A(t)K, B(t)L]} \right) Q(t) - \delta K + kM \quad (11)$$

将式(11)两边同除以 L 得

$$\frac{\dot{K}}{L} = (1 + s) \left(1 + \frac{\dot{F}[A(t)K, B(t)L]}{F[A(t)K, B(t)L]} \right) \frac{Q(t)}{L} - \frac{\delta K}{L} + \frac{kM}{L} \quad (12)$$

若取生产函数为 C-D 生产函数形式,即

$$F[A(t)K, B(t)L] = A_0 (A(t)K)^{\alpha} (B(t)L)^{1-\alpha} \quad (13)$$

式中 α 为资本产出弹性,具体计算见文献[3].此时存在

$$\frac{\dot{F}[A(t)K, B(t)L]}{F[A(t)K, B(t)L]} = \frac{\dot{F}\left[A(t)\frac{K}{L}, B(t)\right]}{F\left[A(t)\frac{K}{L}, B(t)\right]} \quad (14)$$

令 $r = \frac{K}{L}$, $F\left[A(t)\frac{K}{L}, B(t)\right] = f(A(t)r, B(t))$,代入式(12)得

$$\frac{\dot{K}}{L} = (1 + s) \left(1 + \frac{\dot{f}(Ar, B)}{f(Ar, B)} \right) c - \delta r + km \quad (15)$$

式中: c ——水利经济系统中人均外来投资资金, $c = Q(t)/L$; r ——水利经济系统中人均资本.

对 $r = K/L$ 两边求导可得

$$\dot{r} = \frac{d(K/L)}{dt} = \frac{\dot{K}}{L} - \frac{\dot{L}K}{L^2} = \frac{\dot{K}}{L} - \frac{\dot{L}}{L} \frac{K}{L} = \frac{\dot{K}}{L} - (n + m)r \quad (16)$$

结合式(15)、式(16)可得

$$\dot{r} = (1 + s) [1 + \gamma(r)]c - (\delta + n + m)r + km \tag{17}$$

式中 $\gamma(r) = \frac{\dot{f}(Ar, B)}{f(Ar, B)}$ 称为投资增长率, 也为产出增长率.

式(17)为本模型的基本微分方程, 继续对其进行处理, 由于生产函数为 C-D 形式, 因此

$$f(Ar, B) = (Ar)^a B^{1-a} \tag{18}$$

$$\dot{f}(Ar, B) = f_1 \left(Ar + r \frac{\partial A}{\partial t} \right) + f_2 \left(\frac{\partial B}{\partial t} \right) \tag{19}$$

其中 f_1, f_2 分别为 f 对括号中的第 1 项和第 2 项的求导,

$$f_1 = a(Ar)^{a-1} B^{1-a} \quad f_2 = (Ar)^a (1-a) B^{-a} \tag{20}$$

考虑技术进步的影响, 将式(10)代入式(19), 得

$$\dot{f}(Ar, B) = f_1(\dot{r} e^{\mu t} + r\mu e^{\mu t}) + f_2(\lambda e^{\lambda t}) = f_1 e^{\mu t}(\dot{r} + r\mu) + \lambda f_2 e^{\lambda t} \tag{21}$$

将式(21)代入式(17)得

$$\dot{r} = (1 + s) \left[1 + \frac{f_1 e^{\mu t}(\dot{r} + r\mu) + \lambda f_2 e^{\lambda t}}{f(Ar, B) e^{\lambda t}} \right] c - (\delta + n + m)r + km \tag{22}$$

再将式(20)代入式(22)得

$$\begin{aligned} \dot{r} &= (1 + s) \left[1 + \frac{a(e^{\mu t} r)^{a-1} (e^{\lambda t})^{1-a} e^{\mu t}(\dot{r} + r\mu) + \lambda (e^{\mu t} r)^a (1-a) (e^{\lambda t})^{-a} e^{\lambda t}}{(e^{\mu t} r)^a (e^{\lambda t})^{1-a}} \right] c - (\delta + n + m)r + km \Rightarrow \\ &\dot{r} = (1 + s) [1 + a(\dot{r}/r) + a\mu + \lambda(1-a)] c - (\delta + n + m)r + km \Rightarrow \\ &[r - (1 + s)a] \dot{r} = (1 + s) [1 + a\mu + \lambda(1-a)] cr - (\delta + n + m)r^2 + kmr \end{aligned} \tag{23}$$

从式(23)可看出, 水利系统中人均资本增量与社会国民经济部门对水利部门的人均外来投资 c 、水利经济部门本身的内投资率 s 、固定资产折旧率 δ 、劳动增长率 n 、净移民率及移民人均广义资本 k 有关, 还与表征技术进步的 μ 和 λ 有关, 上述常数均为外生参数.

3 算例分析

表 1 为 1987~1997 年江苏省水利经济的一些技术经济指标. 表 2 为通过上述模型求得的劳动增长率、资本增量、产出增长率和人均资本增量值.

表 1 江苏省 1987~1997 年水利经济系统指标*

Table 1 Indexes of Jiangsu water conservancy economic system for 1987~1997

年份	产 出		水利行业完成投资/亿元	投入土石方/亿 m ³
	综合经营收入/亿元	水费收入/亿元		
1987	3.2	0.20	2.26	7.26
1988	11.1	0.30	2.58	7.73
1989	12.5	0.50	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

表 2 江苏省水利经济系统运行指标

Table 2 Calculated operational indexes of Jiangsu water conservancy economic system

年份	劳动增长率	资本增量/(亿元·a ⁻¹)	产出增长率	人均资本增量/(元·m ⁻³ ·a ⁻¹)
1988	0.065	0.32	0.102	0.139
1989	-0.019	0.49	0.123	0.074
1990	0.168	3.13	0.053	0.373
1991	0.020	3.71	0.200	0.514
1992	0.041	0.40	0.440	0.476
1993	-0.149	1.29	0.449	0.292
1994	-0.036	5.13	0.232	0.865
1995	0.115	2.60	0.301	0.433
1996	0.069	2.99	0.191	0.402
1997	-0.005	3.84	0.140	0.488

* 由于资料所限, 此处仍将土石方作为劳动投入指标. 资料来源: 《江苏水利年鉴》(1990~1999).

从表 1、表 2 可看出,江苏省水利经济系统的运行状况良好,人均资本增长率均为正值,说明水利经济一直在向前发展;1987~1997 年,投入的土石方基本保持在一定规模,劳动力的增长有正有负,但水利的产出却有增无减,因此现代水利经济的发展与投劳的正相关性不强,而与资本投入有密切的关系.从表中也可看到,从 1990 年开始,江苏省水利投资有了巨大的增长,带动水利经济的运行状况有了一个质的飞跃,因此江苏省的水利经济已经从过去的劳动密集型产业转变为资金密集型产业.

4 小 结

将式(7)(8)(17)联立即为本文建立的描述水利经济系统运行的基本微分方程组:

$$\begin{cases} \dot{L} = (n + m)L \\ \dot{K} = (1 + s)(1 + \dot{Y}(t)/Y(t))Q(t) - \delta K + kM \\ \dot{r} = (1 + s)(1 + \dot{\gamma}(r))c - (\delta + n + m)r + km \end{cases} \quad (24)$$

从式(24)可看出,水利经济系统的状态变量为劳动增量 \dot{L} 、资本增量 \dot{K} 、人均资本增量 \dot{r} ;控制变量为人均外来投资 c 、水利经济部门内投资率 s 、固定资产折旧率 δ 、劳动增长率 n 、净移民率 m 及移民人均广义资本 k 等;输出量为社会产出增长率 $\dot{\gamma}(r)$.

参考文献:

- [1] 顾强生.水利经济系统分析与实证研究[D].南京:河海大学,2000.
 [2] 李宗文,郑友敬.技术进步与产业结构模型[M].北京:经济科学出版社,1989.88—96.
 [3] 顾强生,谢能刚.水利经济系统运行评价指标的动力学模型[J].水科学进展,2002,13(5):578—582.

Mathematical analysis model for operation and development of water conservancy economic system

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

(1. Dept. of Earth Sciences, Nanjing Univ., Nanjing 210093, China;

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

Abstract: In consideration of the influences of fund, manpower, fixed assets depreciation, resettlement, and technical innovation, a mathematical model was developed for analysis of the operation and development regularity of water conservancy economic systems based on some reasonable hypotheses. Different equations were obtained, which could quantitatively describe the operational regularity of some systemic state indexes, including labor increment, fund increment, and per capita fund increment. An analysis of the operational situation of Jiangsu water conservancy economy shows that the water conservancy economy of Jiangsu Province has been converted from a labor-intensive industry to a fund-intensive one, and the conclusion conforms to the reality.

Key words: water conservancy economic system; mathematical analysis; operational regularity