

# 供水系统扩建工程的有效成本分析

金 荻,俞国平

(同济大学 环境科学与工程学院,上海 200092)

**摘要:**供水系统需要大量投资。自来水公司经常面临基础设施的扩建任务,以满足用户需求。应用有效成本分析技术,在需求、成本和供水能力关系的基础上,建立了最优扩建模型来制定计划和确定最优的扩建周期。

**关键词:**供水系统;有效成本;分析

中图分类号: TU991.01, F272.5

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 7717(2005)04 - 0070 - 03

## Analyzes the Effective Cost for Water Supply System Extension Project

JIN Di, YU Guo-ping

(Science and Engineering Department, Tongji University, Shanghai 200092)

**Abstract:** Water supply systems require large amount of investment. Water companies often face a requirement of expanding infrastructure capacity to meet demands of new customers. This paper addresses a cost - effectiveness analysis technique. Based on demand - versus - capacity and cost - versus - capacity relationships, an optimal expansion model is developed so that a timetable for planning and optimal expansion period can be obtained for all system components.

**Key words:** water supply systems; cost - effectiveness; analysis

随着人口的增长和经济的急速发展,水厂需要大量投资对其原有设施进行扩建,其中供水系统扩建所需的花费通常要占去政府或水厂预算的很大一部分。在进行设计之前必须先考虑以下两个问题:(1) 供水系统中哪些设施需要扩建?什么时候扩建?(2) 如果扩建,其规模取多大?

供水系统一般包括:水源、处理厂、输水管、水库和配水管网。现假设有一供水系统,表1列出了系统内各设施的扩建需求关系。

表1 现有能力和预测需求

设施	现有能力 (万 t/d)	预测需求 (算术增长)	预测需求 (几何增长)
水源	35	$35 + 2t$	$35(1.04)^t$
处理厂	41	$35 + 2t$	$35(1.04)^t$
输水管	47	$35 + 2t$	$35(1.04)^t$
水库	7	$7 + 0.5t$	$7(1.04)^t$
配水管网	73	$52 + 3t$	$52(1.04)^t$

图1为供水系统预测需求曲线,(a)中的直线表示需求量每年以常量增长,(b)图中的指数型曲线表示需求量每年以恒定的百分数  $p\%$  增长。对于任何一种

增长情况图1都给出了假设的两种扩建方案:一种是扩建时以2年后的需求量为准,每2年扩建一次(实线表示);另一种方案是每5年扩建一次(虚线表示),扩建周期增长但扩建次数减少。我们的任务就是如何确定最理想的扩建周期。

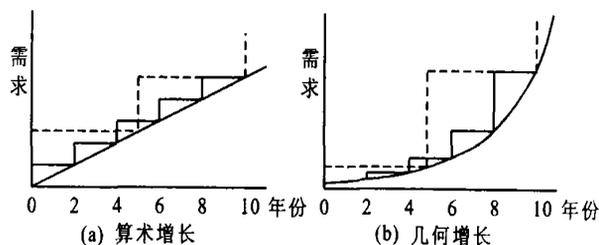


图1 预测需求曲线图

### 1 扩建时间的确定

在动态投资分析中考虑到货币的时间效应,采用按现值计算的现金流量分析方法,可以比较不同投资方案的经济性和有效性。一次支付现值计算公式如下:

$$P = \frac{F}{(1+r)^i} \quad (1)$$

其中

$P$ —现值;  $F_i$ —将来的值;  $i$ —计息期;  $r$ —基准贴现率。

对于基础设施建设投资来说,如果仅考虑成本支出的话,当然希望现值越少越好。由式(1)可知,减少现值的最好方法就是尽可能地推迟投资时间。

图2中水平直线代表算例中各设施的现有能力,斜线表示需求量的增长情况,现有能力与需求量增长线的交点反映了需要扩建的时间点。表2给出了各个设施开始扩建的时间,其中年份0表明水源和水库这两个设施需要马上扩建,而配水管网的现状输配水能力比较大,可以在7年或8.5年以后开始扩建。

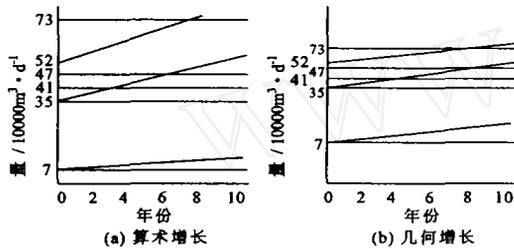


图2 扩建时间的确定

表2 扩建计划时间表

设施	年份(算术增长)	年份(几何增长)
水源	0	0
处理厂	3	4
输水管	6	7.5
水库	0	0
配水管网	7	8.5

## 2 确定理想扩建周期的模型

在工程建设中通常还存在一种现象称为“规模效应”。在制定供水工程建设计划的过程中,成本函数可以宏观地表示为:

$$C = aQ^b \quad (2)$$

其中: $C$ —建设投资,  $Q$ —设施的能力,  $a$ —常数,  $b$ —系数。

经适当变化得单位能力的投资:

$$C/Q = aQ^{b-1} \quad (3)$$

根据式(3),当系数  $b < 1$  时,单位能力的投资将随着  $Q$  的增大而减小,这就产生了规模效应,并且  $b$

越小,规模效应的效果越为明显。如果  $b = 1$ ,  $C$  与  $Q$  成线性关系,规模效应不存在。

从规模效应的角度分析,增大设施规模可以减小单位供水能力的造价。然而,过大的设施规模却意味着系统将在相当长的一段时间内超过实际需求量而运行,导致很大一部分设施被闲置,同时提前投入的资金也因得不到充分利用而得不到利润。相反,根据现金流量分析,在投资阶段过早投入过多的资金是不经济的,投资越晚相应节省的资金就越多。很明显,上述两种观点在确定建设规模的问题上是相互矛盾的,两者都各偏重了一个方面的因素,要合理地确定扩建规模就必须同时考虑这两种观点,使其达到统一。

具体分析如下:

目标函数:  $C = aQ^b$

需求量:  $Q(t) = Q_p + Dt$  (算术增长)

$Q(t) = Q_p(1+p)^t$  (几何增长)

其中:  $Q_p$ —现有需求,  $D$ —每年增加的需求,  $p$ —年增长率,  $t$ —时间(年)。

在推导理想扩建规模模型前,首先有几点假设:

(1) 公共建设工程服务年限比较长,因此在以现金流量现值表示建设成本支出时假设寿命期无限长。

(2) 各扩建周期是定值,即每隔  $x$  年扩建。

本文的一个任务就是计算  $x$ 。

在已知预测需求量的前提下,对理想扩建规模进行如下推导。

### 、算术增长情况

时间	规模	投资	现值系数	现值
0	$xD$	$a(xD)^b$	$\frac{1}{(1+r)^0}$	$\frac{a(xD)^b}{(1+r)^0}$
$x$	$xD$	$a(xD)^b$	$\frac{1}{(1+r)^x}$	$\frac{a(xD)^b}{(1+r)^x}$
$2x$	$xD$	$a(xD)^b$	$\frac{1}{(1+r)^{2x}}$	$\frac{a(xD)^b}{(1+r)^{2x}}$
$3x$	$xD$	$a(xD)^b$	$\frac{1}{(1+r)^{3x}}$	$\frac{a(xD)^b}{(1+r)^{3x}}$
...	...	...	...	...

求解现值目标函数:  $\min S(x) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{a(xD)^b}{(1+r)^{ix}}$  来

确定理想扩建周期  $x^*$ 。利用连续复利公式及等比数列公式推导可得:

$$x^* = \frac{b}{r} (e^{rx^*} - 1) \quad (4)$$

从公式(4)可以看出,在需求量算术增长的情况下,理想扩建周期仅与基准贴现率  $r$  以及规模效应系数  $b$  有关,而与增加的需求量  $D$  和现有能力  $Q_p$  无关。

#### 几何增长情况

时间	规模	投资	现值系数	现值
0	$Q(0) = Q_p l (1+p)^x - 1$	$aQ(0)^b$	$\frac{1}{(1+r)^0}$	$\frac{aQ(0)^b}{(1+r)^0}$
$x$	$Q(x) = Q_p l (1+p)^{2x} - (1+p)^x$	$aQ(x)^b$	$\frac{1}{(1+r)^x}$	$\frac{aQ(x)^b}{(1+r)^x}$
$2x$	$Q(2x) = Q_p l (1+p)^{3x} - (1+p)^{2x}$	$aQ(2x)^b$	$\frac{1}{(1+r)^{2x}}$	$\frac{aQ(2x)^b}{(1+r)^{2x}}$
$3x$	$Q(3x) = Q_p l (1+p)^{4x} - (1+p)^{3x}$	$aQ(3x)^b$	$\frac{1}{(1+r)^{3x}}$	$\frac{aQ(3x)^b}{(1+r)^{3x}}$
...	...	...	...	...

同样求解现值目标函数  $\min S(x) = \sum_{i=0}^{i=x} \frac{aQ(ix)^b}{(1+r)^{ix}}$ , 来求解最佳扩建周期  $x^*$ 。通过公式推导可得:

$$e^{px^*} = \frac{r - pb}{r - pbe^{(r-pb)x^*}} \quad (5)$$

从上式可以看出,在需求量呈几何增长的情况下,最佳扩建周期  $x^*$  除与基准贴现率  $r$  以及规模效应系数  $b$  有关外,还和用水量年增长率  $p$  有关。

表3中,假设各设施的投资公式,并由此算出各相应的理想扩建周期(假设  $r = 10\%$ )。

表3 投资公式和理想扩建周期

设施	投资公式(百万元)	$x^*$ (算术)	$x^*$ (几何)
水源	$15Q^{0.3}$	20	18
处理厂	$2Q^{0.7}$	7	6
输水管	$2Q^{0.5}$	12	11
水库	$4Q^{0.4}$	16	14
配水管网	$30Q^{0.5}$	12	11

以算术增长为例,表4拟定了总体扩建计划。

表4说明水源和水库需要立即扩建,处理厂、输水管和配水管网可以分别在3年、6年和7年后开始扩建。如果所有设施同时立即扩建,则工程的总投资为257.1(百万元),如果按照表4的结果分期扩建供水设施,则投资的现值总和为161.9(百万元)。两者之差为95.2(百万元),说明按照各设施最佳扩建规模和扩

建时间实施工程建设,可以节省9500万元,节约工程投资的百分比高达36%。

表4 总扩建计划

设施	扩建规模 (万 t/d)	最终能力 (万 t/d)	投资 (百万元)	投资时间 (年)	现值 (百万元)
水源	40	75	45.4	0	45.4
处理厂	14	55	12.7	3	9.5
输水管	24	71	9.8	6	5.5
水库	8	15	9.2	0	9.2
配水管网	36	109	180.0	7	92.3
总计			257.1		161.9

### 3 结论

本文应用有效成本分析,基于一定的假设和简化,构造了理想的扩建工程模型。同时应用了现金流量分析和规模效应的原理,分别得出了用水量算术增长和几何增长两种情况下的扩建计划时间表,以及各设施的理想扩建周期和规模。模型优化的结果表明,在算术增长的情况下,最佳扩建周期仅与基准贴现率和规模效应系数有关;在几何增长的情况下,该周期还与预测的需求增长率有关。各个供水设施的分期扩建比同时扩建可节约较大的工程投资。

#### [参考文献]

- [1] Elliso T F, Walski T M. Infrastructure - weathering a boom - and - bust development cycle[J]. ASCE, Journal of Water Resources Planning and Management, 1990, 116(5):652~664.
- [2] Billings R B. Demand - based benefit - cost model of participation in water project[J]. ASCE, Journal of Water Resources Planning and Management, 1990, 116(5):593~609.
- [3] Billings R B, Day W M. Demand management factors in residential water use: the southern arizona experience[J]. Amer Water Works Assoc J, 1989, 81(3):58~64.
- [4] Hunke S H, Davis R K. Potential for marginal cost pricing in water resource management[J]. Water Resources Research, 1973, 9(4):808~824.
- [5] G-men T. Engineering economy for engineering managers [M]. New York: John Wiley & Sons, 1990.