基于模糊规划理论的水库移民安置问题探讨

雷　萍

(河海大学理学院,江苏 南京　210098)

摘要:应用模糊线性规划的相关理论,提出了一种基于模糊集理论的水库移民安置规划模型.与应用普通线性规划理论模型相比,该模型能更好地分析水库移民安置的实际操作中项目投资额、安置移民数等具有的不确定性.最后应用模糊规划模型对黄河中游某水库的移民安置问题进行了实证分析.

关键词:模糊规划;优选;伸缩因子;水库移民安置

中图分类号:C922　　文献标识码:A　　文章编号:1006-7647(2005)S1-0018-03

线性规划是辅助进行科学管理的一种数学方法,是在工农业生产、交通运输、财贸工作等组织安排中使用最少人力、物力实现最佳质量、最好效益的一门科学.对于普通线性规划问题,约束条件和目标函数都是清晰的,但在不少实际问题中,约束条件和目标本身往往带有不确定性,这就要用模糊集工具对这类问题进行数学处理,所建立的模型就是模糊规划模型.

1　理论回顾

对于线性规划问题,目前已研究地相当成熟.而对于模糊规划问题,基本思路是基于模糊集理论,将模糊规划问题转化为普通线性规划问题来解.对于模糊规划问题,根据其线性目标函数及线性约束条件是否模糊,可以分为以下 3 种[1]:①约束条件模糊而目标函数明确;②约束条件和目标函数都模糊;③约束条件明确而目标函数模糊.

本文主要就现实生活中应用相当广泛的第①类问题进行探讨.解决这类模糊规划问题通常有 3 个步骤[2],具体如下:第 1 步 求线性规划问题 $\max z = cx, Ax \leqslant b, x \geqslant 0$ 的最大值 z_0;第 2 步 求线性规划问题 $\max z = cx, Ax \leqslant b + d, x \geqslant 0$ 的最大值 $z_0 + d_0$,这里 $d = (b_1 + d_1, b_2 + d_2, \cdots, b_m + d_m)^{\mathrm{T}}$,$d_i$ 为伸缩因子($i = 1,2,\cdots,m$);第 3 步 将问题转化成为求普通线性规划问题 $\max\ z = \lambda, Ax + \mathrm{d}\lambda \leqslant b + d, cx - d_0\lambda \geqslant z_0, \lambda \leqslant 1, \lambda \geqslant 0, x \geqslant 0$ 的最优解 $x^* = (x_1^*, x_2^*, \cdots, x_n^*)$ 以及最优值 λ^*.

2　基于模糊集理论的水库移民安置规划模型

在多年的实践中,水库移民工作实现了由救济型、安置型向开发型的转变,移民安置的方式也越来越呈现多样化.其中,兴办企业(包括工业、商业、交通业、服务业等)安置移民已经成为主要内容之一.考虑到库区的劳动力资源、自然资源(土地资源、水资源等)以及当地社会需求,拟定出若干企业项目安置水库移民方案[3].

2.1　基于普通集理论的线性规划模型(Ⅰ)

任何项目的开发,都要考虑其投入产出.考虑总投资额、项目投资额、总安置人口数、总产值、水资源情况、土地占用情况等的约束,以投产项目所获得的净效益最大为目标,建立线性规划模型,优选出可行企业项目供移民安置所用.

为方便下文叙述,约定:n 为拟定企业项目的个数;b_i 为第 i 个项目单位投资利税率;x_i 为第 i 个项目单位投资决策变量,亿元;G 为总投资上限额,取决于国家和地方政府的投资能力及库区移民自筹资金数量,亿元;g_i 为第 i 个项目投资额,亿元;p_i 为第 i 个项目单位投资就业率,万人/亿元;P 为总就业人数下限值,根据库区需要安置移民而定,万人;L 为年总产值下限值,根据库区发展规划要求而定,亿元;l_i 为第 i 个项目单位投资产值率;w_i 为第 i 个项目单位产值耗水率,万 m^3/亿元;W 为年可用水量,由库区水资源评价资料确定,万 m^3;e_i 为第 i 个项目单位产值耗能量,亿元;E 为年可利用能源量,由库区能源生产发展规划确定,万 kW·h;a_i 为第 i 个项

作者简介:雷萍(1981—),女,山东滕州人,硕士研究生,从事金融数学研究.

目单位投资占地面积，km^2/亿元；A 为占地总面积上限，由库区当地有关部门确定，km^2.

可建立线性规划模型(Ⅰ)：

目标函数 $$\max z=\sum_{i=1}^{n}b_ix_i$$

总投资上限约束方程 $$\sum_{i=1}^{n}x_i\leqslant G$$

项目投资约束方程 $$x_i\leqslant g_i\quad(i=1,2,\cdots,n)$$

总安置人数下限约束方程 $$\sum_{i=1}^{n}p_ix_i\geqslant P$$

总产值下限约束方程 $$\sum_{i=1}^{n}l_ix_i\geqslant L$$

水资源约束方程 $$\sum_{i=1}^{n}l_ix_i/w_i\leqslant W$$

能源约束方程 $$\sum_{i=1}^{n}l_ix_i/e_i\leqslant E$$

占地面积约束方程 $$\sum_{i=1}^{n}a_ix_i\leqslant A$$

非负约束方程 $$x_i\geqslant 0\quad(i=1,2,\cdots,n)$$

在考虑上述各项约束之外，还应酌情考虑其他诸如交通条件、移民素质结构要求等的约束.

2.2 基于模糊集理论的模糊规划模型(Ⅱ)

在实际生活中，约束条件往往不象上面所述明确，总投资额、各项目投资额、需安置人口数、项目总产值等约束条件可能不是一个确定的量，而是在某个范围内浮动. 那么，上述线性规划模型(模型Ⅰ)将不再适用. 在此，基于模糊集的相关理论，引入伸缩因子 $d_i(i=1,2,\cdots,n+6)$，其中 d_i 为适当选取的伸缩指标，非负，从而由模糊规划的相关理论，可将此类问题分为 3 步[4]，就 3 个线性规划问题来求解.

a. 求解线性规划问题(记为Ⅱ-1)，求得最大值 z_0.

$$\max z=\sum_{i=1}^{n}b_ix_i$$

$$\begin{aligned}\text{s.t.}\quad &\sum_{i=1}^{n}x_i\leqslant G\\ &x_i\leqslant g_i\quad(i=1,2,\cdots,n)\\ &\sum_{i=1}^{n}p_ix_i\geqslant P\\ &\sum_{i=1}^{n}l_ix_i\geqslant L\\ &\sum_{i=1}^{n}l_ix_i/w_i\leqslant W\\ &\sum_{i=1}^{n}l_ix_i/e_i\leqslant E\\ &\sum_{i=1}^{n}a_ix_i\geqslant A\\ &x_i\geqslant 0\quad(i=1,2,\cdots,n)\end{aligned}$$

b. 求解线性规划问题(记为Ⅱ-2)，求得最大值 z_0+d_0.

$$\max z=\sum_{i=1}^{n}b_ix_i$$

$$\begin{aligned}\text{s.t.}\quad &\sum_{i=1}^{n}x_i\leqslant G+d_1\\ &x_i\leqslant g_i+d_{i+1}\quad(i=1,2,\cdots,n)\\ &\sum_{i=1}^{n}p_ix_i\geqslant P+d_{n+2}\\ &\sum_{i=1}^{n}l_ix_i\geqslant L+d_{n+3}\\ &\sum_{i=1}^{n}l_ix_i/w_i\leqslant W+d_{n+4}\\ &\sum_{i=1}^{n}l_ix_i/e_i\leqslant E+d_{n+5}\\ &\sum_{i=1}^{n}a_ix_i\leqslant A+d_{n+6}\\ &x_i\geqslant 0\quad(i=1,2,\cdots,n)\end{aligned}$$

c. 求解线性规划问题(记为Ⅱ-3). 设 $X=\{x|x\in R^n,x\geqslant 0\}$，对每个模糊约束条件，相应地有 X 中的一个模糊子集 $\underset{\sim}{A}_i(i=1,2,\cdots,m)$ 与之对应，令 $\underset{\sim}{A}=\bigcup_{i=1}^{n}A_i\subset F(X)$，则 $\underset{\sim}{A}$ 为模糊约束集；再构造模糊目标集 $\underset{\sim}{M}\in F(X)$ 求 $\underset{\sim}{A}$ 与 $\underset{\sim}{M}$ 的交集，得到条件模糊优越集 $\underset{\sim}{A}_M$ 选择 x^* 使其满足 $\mu_{\underset{\sim}{A}_M}(x^*)=\sup\limits_{x\in X}\{\mu_{\underset{\sim}{A}_M}(x)\}=\sup\{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)\wedge\mu_{\underset{\sim}{M}}(x)\}$，将 λ 看作变量，从而形成新的线性规划问题，求解该问题，得最优解 $x^*=(x_1^*,x_2^*,\cdots,x_n^*)$ 以及最优值 λ^*.

$$\max z=\lambda$$

$$\begin{aligned}\text{s.t.}\quad &\sum_{i=1}^{n}x_i+d_1\lambda\leqslant G+d_1\\ &x_i+d_{i+1}\lambda\leqslant g_i+d_{i+1}\quad(i=1,2,\cdots,n)\\ &\sum_{i=1}^{n}p_ix_i+d_{n+2}\lambda\geqslant P+d_{n+2}\\ &\sum_{i=1}^{n}l_ix_i+d_{n+3}\lambda\geqslant L+d_{n+3}\\ &\sum_{i=1}^{n}l_ix_i/w_i+d_{n+4}\lambda\leqslant W+d_{n+4}\\ &\sum_{i=1}^{n}l_ix_i/e_i+d_{n+5}\lambda\leqslant E+d_{n+5}\\ &\sum_{i=1}^{n}a_ix_i+d_{n+6}\lambda\leqslant A+d_{n+6}\\ &\sum_{i=1}^{n}b_ix_i-d_0\lambda\geqslant z_0\\ &x_i\geqslant 0\quad(i=1,2,\cdots,n)\\ &\lambda\leqslant 1,\lambda\geqslant 0\end{aligned}$$

3 实证分析

为更方便地说明模糊规划理论在水库移民安置中的应用,本文以黄河中游某大型水库为例,采用其相关资料,利用模糊规划模型(Ⅱ)进行实证分析.

3.1 基本资料

根据库区相关部门初步规划论证,结合库区经济发展规划,拟定出12个能充分满足效益最大化原则的企业供移民安置选择.基本经济指标见表1(表中数据来源于河南省工业规划院资料及当地统计年鉴).

表1 拟定企业项目的各项经济指标

项目名称	项目序号 i	单位投资利税率 b_i	单位投资就业率 p_i(万人/亿元)	单位投资产值率 l_i	项目投资额 g_i/亿元
氧化铝厂	1	0.0351	0.0643	0.5466	0.7776
铝盐化工厂	2	0.4590	0.4181	1.1831	0.2392
水泥厂(扩建)	3	0.8040	0.2513	1.6583	0.0995
针织厂(扩建)	4	0.4439	0.1061	1.0082	0.3769
陶瓷厂(扩建)	5	0.3793	0.1448	0.9383	1.4570
电厂(扩建)	6	0.1500	0.1511	0.4000	1.0000
化肥厂(扩建)	7	0.1500	0.5092	0.6250	0.4000
铝土厂	8	0.1000	5.7580	0.8000	0.0250
硫酸厂	9	0.4000	1.2027	0.9333	0.1500
磷肥厂	10	0.2263	0.5092	0.9174	0.0327
煤 矿	11	0.1000	1.1020	0.5000	0.1500
冷 库	12	0.1286	1.4659	0.4286	0.0300

注 各项目平均的单位投资利税率、单位投资就业率、单位投资产值率、项目投资额分别为0.2543,0.2810万人/亿元,0.7514和4.7379亿元.

由此,b_i,l_i,g_i 和 p_i 均采用表1中数据;n 取值12;P 取值0.9万人;G 及 L 选取不同的值组成不同的计算方案,这里选择两种方案:① G 为2亿元,L 为1.5亿元;② G 为4亿元,L 为2.5亿元.在约束条件中,当水资源和能源供应条件受到约束时,首先必须满足企业项目的要求,因而认为其不构成约束条件.至于占地面积,由实际资料,认为本例能够满足要求.

3.2 由表1对拟定的12个可行企业项目进行优选

3.2.1 采用线性规划模型(Ⅰ)进行优选

投资上限为2亿元时,安置总人数9000人,总利税0.7514亿元;总投资为4亿元时,安置总人数为12838人,总利税1.2099亿元.计算结果见表2.

3.2.2 采用模糊规划模型(Ⅱ)进行优选

在本例中,可取 d 为原约束的1%,2%,3%,…多种情况进行讨论.因其思路与大致步骤相同,这里只选取收缩因子 d_i($i=1,2,\cdots,15$)为原约束的1%及2%进行讨论.

3.2.2.1 d 取原约束的1%

第1步 求线性规划问题(Ⅱ-1),结果如表2所示.这两种方案分别有 $z_0=0.7514$ 和 $z_0=1.2099$.

第2步 求线性规划问题(Ⅱ-2),结果见表3.经收缩因子调整后,两方案的总投资分别为2.02亿元和4.04亿元.总投资为2.02亿元时,安置总人数9087人,总利税0.7826亿元;总投资为4.04亿元时,安置总人数12961人,总利税1.2220亿元.因而对于这两种方案,分别有 $z_0+d_0=0.7826$ 及 $z_0+d_0=1.2220$,从而可计算得这两种方案下,d_0 分别为0.0312及0.0121.

第3步 求解线性规划问题(Ⅱ-3),结果见表4.总投资为2.02亿元时,安置总人数9094人,总利税

表2 模型(Ⅰ)优选结果

项目序号	总投资2亿元			总投资4亿元		
	x_i/亿元	安置人数/人	利税/亿元	x_i/亿元	安置人数/人	利税/亿元
1	0.0000	0	0.0000	0.0397	26	0.0014
2	0.2392	1000	0.1098	0.2392	1000	0.1098
3	0.0995	250	0.0800	0.0995	250	0.0800
4	0.3769	400	0.1673	0.3769	400	0.1673
5	0.7461	1080	0.2830	1.4570	2110	0.5526
6	0.0000	0	0.0000	1.0000	1511	0.1500
7	0.1506	766	0.0226	0.4000	2037	0.0600
8	0.0250	1440	0.0025	0.0250	1440	0.0025
9	0.1500	1804	0.0600	0.1500	1804	0.0600
10	0.0327	167	0.0074	0.0327	167	0.0074
11	0.1500	1653	0.0150	0.1500	1653	0.0150
12	0.0300	440	0.0039	0.0300	440	0.0039

表3 模型(Ⅱ-2)优选结果

项目序号	总投资2.02亿元			总投资4.04亿元		
	x_i/亿元	安置人数/人	利税/亿元	x_i/亿元	安置人数/人	利税/亿元
1	0.0000	0	0.0000	0.0401	26	0.0014
2	0.2416	1010	0.1109	0.2416	1010	0.1109
3	0.1005	253	0.0808	0.1005	253	0.0808
4	0.3807	404	0.1690	0.3807	404	0.1690
5	0.8567	1118	0.3249	1.4716	2131	0.5582
6	0.0000	0	0.0000	1.0100	1526	0.1515
7	0.0490	747	0.0074	0.4040	2057	0.0606
8	0.0252	1454	0.0025	0.0252	1451	0.0025
9	0.1515	1822	0.0206	0.1515	1822	0.0606
10	0.0330	168	0.0075	0.0330	168	0.0075
11	0.1515	1670	0.0152	0.1515	1670	0.0152
12	0.0303	444	0.0039	0.0303	444	0.0039

表4 模型(Ⅱ-3)优选结果

项目序号	总投资2.02亿元			总投资4.04亿元		
	x_i/亿元	安置人数/人	利税/亿元	x_i/亿元	安置人数/人	利税/亿元
1	0.0000	0	0.0000	0.0418	27	0.0015
2	0.2404	1005	0.1103	0.2403	1005	0.1103
3	0.0900	226	0.0724	0.1256	317	0.1010
4	0.3751	398	0.1665	0.3756	399	0.1667
5	0.8006	1159	0.3131	1.4695	2128	0.5574
6	0.0000	0	0.0000	1.0019	1514	0.1503
7	0.1095	558	0.0164	0.3984	2029	0.0598
8	0.0295	1699	0.0030	0.0270	1555	0.0027
9	0.1514	1821	0.0606	0.1514	1821	0.0606
10	0.0373	190	0.0084	0.0322	164	0.0073
11	0.1514	1668	0.0151	0.1513	1667	0.0151
12	0.0305	447	0.0039	0.0295	432	0.0038

(下转第92页)

令 $\alpha_2 = 1$，代入能量方程得 $\frac{p_2}{\gamma} = 7.60\ \text{m}$，说明管顶断面的真空度为 7.60 m，在允许范围内，故安装高度为 $115.3 - 109.2 = 6.1\ \text{m}$ 是可行的.

3.3 虹吸放水管施工与操作

a. 施工安装. 放水管管材选用 A3 钢，管内径 0.3 m，壁厚 6 mm，内外涂沥青防腐. 钢管沿坝坡铺设，每隔 6～8 m 设置支墩，管底离坝坡 15～20 cm 横管两端设置镇墩. 进水口设置拦污栅，进水管口设置底阀(有滤网). 出水口设置闸阀，调节控制流量. 横管段焊接排气管与注水管，排气管内径为 25 mm，注水管内径为 40 mm，管材为镀锌管. 管轴线附近可按需要建 1 座 2 m×2 m 的泵房，配 10.162 cm 离心泵，以作临时注水之用.

b. 放水操作步骤. 当水库下游需用水时，可按下列操作步骤放水：①关闭出水口闸阀；②用离心泵抽取水库水，通过管顶注水管向虹吸管充水或人工充水；③虹吸管充满水后即可开启出水口闸阀，进行放水.

c. 原涵管封堵. 为彻底解除原坝下涵管给水库安全运行带来的隐患，须将原坝下涵管作堵封处理. 堵封可用 C20 混凝土回填或水泥砂浆回填灌浆. 为加强封堵效果，原涵管穿越心墙部位可用冲钻在坝顶造孔，回填黏土.

4 结 语

a. 浦江县现有小型水库 58 座，其中有病险水库 28 座，这些病险水库中有 10 座由于放水涵管问题而被认定为病害水库. 这类水库占病害水库总库容数的 35.7%，这些水库 80% 建于 20 世纪五六十年代，限于当时财力、物力以及技术条件，坝下涵管大多采用炼瓦管外包混凝土、砌石方涵等，经过多年运行，工程老化，致使许多涵管断裂、渗漏水，带走涵管周围坝土，严重影响工程的安全运行，对这些水库急需进行除险处理. 用虹吸放水管更替原坝内涵管不失为一种投资省、施工期短、操作简便的有效方法.

b. 设置虹吸管时，安装高度 h_0 不能太高，一般限制真空最大值不超过 7～8 m[1]，即允许真空度 $h_{v允} = 7 \sim 8\ \text{m}$，因此，它一般适应于坝高较低的土石坝.

参考文献：

[1] 吴持恭. 水力学[M]. 北京：高等教育出版社，1998：217-219.

(收稿日期：2005-08-25 编辑：高建群)

(上接第 20 页)0.767 0 亿元；总投资为 4.04 亿元时，安置总人数13 058 人，总利税 1.236 3 亿元.

由表 4 可知，当总投资由 2 亿元增至 4 亿元时，可行企业项目由 10 个增至 12 个. 其中，这 10 个项目(第 2，3，4，5，7，8，9，10，11，12 个项目)在两种方案下均能完成预定目标. 经计算可发现，在总投资为 4 亿元的情况下，这 10 个项目共投资 3.000 8 亿元，安置人口 11 517 人，完成利税 1.084 6 亿元，指标较好，因而可以把它们优选为备选项目.

3.2.2.2 d 取原约束的 2%

采取与上述相同的步骤计算，结果表明，当总投资由 2 亿元增至 4 亿元时，仍有 10 个项目(第 2，3，4，5，7，8，9，10，11，12 个项目)在两种方案下均能完成预定目标. 同时，在总投资为 4 亿元的情况下，这 10 个项目共投资 2.590 3 亿元，安置人口 11 526 人，完成利税 1.092 7 亿元，与 d 取原约束 1% 的情况相比，可减少投资 0.141 5 亿元，多安置 9 人，多完成利税 0.008 1 亿元，以更少的投资实现了更多的安置人口及利税.

4 结 语

本文考虑到现实生活中常常遇到约束条件不明确，带有一定模糊性的情况，把模糊数学中模糊规划的相关理论应用到水库移民安置中，通过对收缩因子的选择及调整，使水库移民安置问题得到了更好的解决. 文中以黄河中游某大型水库为例，当总投资为 4 亿元时，采用普通线性规划模型计算，第 2，3，4，5，7，8，9，10，11，12 个项目共投资 2.960 3 亿元，安置人口 11 301 人，完成利税 1.058 5 亿元. 而采用基于模糊集理论的模糊规划模型，选取收缩因子为 2% 时，这 10 个项目可节省投资 0.37 亿元，增加安置人口 225 人，增加利税 0.034 2 亿元. 基于模糊集的模糊规划理论为水库移民安置问题的解决提供了一种更为理想的思想.

参考文献：

[1] 彭祖赠，孙韫玉. 模糊数学及其应用[M]. 武汉：武汉大学出版社，1998：328-330.
[2] 刘普寅，吴孟达. 模糊理论及其应用[M]. 长沙：国防科技大学出版社，1998：145-147.
[3] 赵敏，胡维松. 企业项目安置水库移民优选模型[J]. 水利水运科学研究，1994(1，2)：159-164.
[4] 黄健元. 模糊集及其应用[M]. 宁夏：宁夏人民教育出版社，1999：236-239.

(收稿日期：2004-12-25 编辑：骆超)