

文章编号: 1673 - 9620 (2007) 03 - 0019 - 03

地下储气库设计方案优选方法研究^{*}

周 昊¹, 段善宁², 文 涛³

(1. 江苏工业学院 油气储运省重点实验室, 江苏 常州 213016; 2. 中石化西南分公司 川西采输处, 四川 德阳 618000; 3. 西南石油大学, 四川 成都 610213)

摘要: 地下储气库设计方案的优选是根据工程设计原则, 从所提供的预选方案中, 遴选出最佳设计方案。地下储气库的设计方案涉及因素较多, 属于多因素综合评价问题。采用层次分析方法来确定各种指标的权重, 结合密切值法对各个方案与理想方案逼近程度的计算, 实现方案优劣排序。实例计算结果表明, 在地下储气库设计方案优选指标体系及结构模型之中, AHP - MCZ方法能从多因素、定量与定性相结合的角度来确定出最优设计方案, 为设计者选择技术上可行、经济上合理的设计方案提供了一种新方法。

关键词: 地下储气库; 方案优选; 层次分析法; 密切值法

中图分类号: TE 722

文献标识码: A

Research of Optimum Method for Underground Gas Storage Projects

ZHOU Hao¹, DUAN Shan - ning², WEN Tao³

(1. Jiangsu Province Key Laboratory of Oil - Gas Storage and Transportation Technology, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China; 2. ChuanXi Natural Gas Production and Gathering Unit, Deyang 618000, China; 3. Southwest Petroleum University, Chengdu 610213, China)

Abstract: The optimum underground gas storage design project is selected among many preliminary design projects according to the laws of engineering design. The design projects of underground gas storages involve many factors, therefore its evaluation is integrative evaluation problem. The article uses the analytic hierarchy process to calculate the weighting of indexes, in combination with MCZ method which can calculate the approaching extent by comparing preliminary projects with optimal one, the prior order of multiple projects can be determined. The calculation result of the example indicates that the optimum project can be determined by using AHP - MCZ method among the index system and the structure model for optimizing the design projects of underground gas storage. The AHP - MCZ method is effective for designers to select a technically feasible and economically reasonable design project.

Key words: underground gas storage; project optimization; analytic hierarchy process; MCZ method

天然气地下储气库的设计和建造具有多目标性, 包括固定资产投资、钻井、修井、注采工艺完善、地面建设等, 需要上亿元的投资, 因而其方案的确定事关重大, 必须在建设前期进行充分的技

术和工程论证^[1]。

目前公开发表的各种地下储气库设计方案优选方法, 从不同的择优角度, 采用不同的评价体系, 均能选出与评价标准相一致的最优设计方案, 但因

^{*} 收稿日期: 2006 - 10 - 10

作者简介: 周昊 (1979 -), 男, 四川自贡人, 硕士。

各种优选方法本身的局限性, 选出来的设计方案是否准确、可靠, 与工程实际是否相符, 成为决策者最关心的问题^[2~4]。本文以某地下储气库为例, 借用层次分析法 (AHP) 来量化评价指标的权重系数, 并用密切值法 (MCZ) 来确定最优方案, 从而客观地评价各种预选方案。文中阐述了运用 AHP-MCZ 进行方案优选的一般过程和方法原理, 计算结果证明这一方法是切实有效的。

1 地下储气库方案评价因素集及权重

1.1 评价指标

在满足城市季节调峰的需求的基本设计原则条件下, 地下储气库设计中考考虑的指标有: 储气库年折合费用、投资、操作经营费用、单位储气价格、储气库的调峰量、垫底气量、井的产气速率、井数、套管尺寸、集输净化设备以及注气压缩机设施的处理规模等。在实际评价中可根据储气库的具体情况 & 评价的要求, 选择其中的某些指标构成方案评价因素集。

在进行方案评价时, 评价指标按其属性可分为 3 类, 即第 1 类为趋上优指标, 表示该类指标越大越好, 例如, 方案的利润、调峰气量、注采气压力区间等; 第 2 类为中心最优指标, 表示该类指标以某最佳数值为中心, 越接近该值越好, 例如, 垫底气量; 第 3 类为趋下优指标, 表示该类指标越小越好, 例如, 注采气的成本, 压缩机消耗功率等。

1.2 权重的确定

在构成地下储气库方案评价的因素集中, 各因素对方案的重要性是不一样的, 为了体现这种差异, 在方案的优选中引入了各因素的权重。

给评价指标赋权重的方法很多, 如: 专家打分法、二项系数法、主成分分析法、均方差法等。本文采用层次分析法来确定各因素的权重, 其基本步骤如文献 [4] 所示。

2 密切值法

2.1 原理

设某一多目标决策问题有 n 个目标 (指标、因素等), G_1, G_2, \dots, G_n , 并拟定了 m 个决策方案 A_1, A_2, \dots, A_m , 方案 A_i ($i=1, 2, \dots, m$) 在目标 G_j ($j=1, 2, \dots, n$) 下的取值为 a_{ij} 。目标是通过综合比较, 从 A_1, A_2, \dots, A_m

中选取“满意方案”。

2.2 密切值法的一般步骤^[5]

(1) 确定方案 A_1, A_2, \dots, A_m 关于目标 G_1, G_2, \dots, G_n 的指标矩阵为:

$$A = (a_{ij})_{m \times n} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

(2) 规范化指标矩阵, 令

$$b_{ij} = \begin{cases} a_{ij} & G_j \text{ 为趋上优指标} \\ -a_{ij} & G_j \text{ 为趋下优指标} \\ 2r^* - a_{ij} & G_j \text{ 为中心最优指标 } (r^* \text{ 为中值}) \end{cases} \quad (2)$$

再令:

$$r_{ij} = \frac{b_{ij}}{\left(\sum_{k=1}^m b_{kj}^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

则得规范化指标矩阵:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix} = (r_{ij})_{m \times n} \quad (4)$$

(3) 求关于方案集 (即决策点集) 的“最优点”和“最劣点”。令

$$\max_i \{ r_{ij} \} = r_j^+, \quad \min_i \{ r_{ij} \} = r_j^- \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

则“最优点”为 $A^+ = (r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+)$, “最劣点”为 $A^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-)$ 。

(4) 求各方案的“密切值”, 并据此选取“满意方案”

$$C_i = \frac{d_i^+}{d^+} - \frac{d_i^-}{d^-} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

式中:

$$d_i^+ = \left(\sum_{j=1}^n (w_j r_{ij} - w_j r_j^+)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$d_i^- = \left(\sum_{j=1}^n (w_j r_{ij} - w_j r_j^-)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$$d^+ = \min_i \{ d_i^+ \} \quad (9)$$

$$d^- = \max_i \{ d_i^- \} \quad (10)$$

其中 w_j ($j=1, 2, \dots, n$) 为目标 G_j 的权重值, 即采用前述层次分析法求得的权重值。

密切值反映了决策点 (方案) A_i 接近最优点 A^+ 和远离最劣点 A^- 的程度。对于非劣方案集, 当 $d^+ = d_i^+$, $d^- = d_i^-$ 时, $C_i = 0$, 这时 A_i 点最

接近最优点; 当 $C_i > 0$ 时, A_i 点偏离最优点, C_i 之值越大, A_i 点越偏离最优点。可见, 可根据 C_i 的大小对方案排序, 而最小的 C_i 对应的方案 A_i 即为所要选取的“满意方案”。

3 实例应用

为说明本文采用方法的可行性, 采用文献 [4] 中的建库方案的有关数据, 储气库各方案的主要经济指标列于表 1。

表 1 储气库设计方案及指标数据表

Table 1 Data table of underground gas storage design project s indexes

方案	综合费用/ (10 ⁴ 元/a)	垫底气量/ (10 ⁸ m ³)	最大地层 压力/MPa	工作井 数/口	压缩机功 率/MW	使用寿 命/a
1	15 756	1. 83	15. 49	11	5. 063	20
2	16 287	1. 29	17. 52	8	7. 172	15
3	16 836	2. 75	19. 47	6	10. 592	12
4	15 729	1. 83	17. 38	13	6. 446	20
5	16 259	2. 29	19. 26	10	9. 084	15
6	16 807	2. 75	21. 14	8	13. 416	12

(1) 根据表 1 的数据可得到 6 个方案 6 个因素组成的评价指标矩阵:

$$A = (a_{ij})^{6 \times 6} \quad (i = 1, 2, \dots, 6; j = 1, 2, \dots, 6)$$

评价指标矩阵中的取值 a_{ij} 即为每个方案各个经济技术指标的值。

(2) 归一化处理。其中指标最大地层压力、工作井数、使用寿命取趋上优指标, 垫底气量取中心最优指标, 综合费用、压缩机功率取趋下优指标, 按公式 (2) ~ (4) 所示步骤将指标矩阵归一化处理结果见表 2。

表 2 规范化指标矩阵数据

Table 2 Data of normalized index matrix

方案	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6
A_1	- 0. 394 99	0. 450 86	0. 342 46	0. 467 35	- 0. 227 95	0. 509 98
A_2	- 0. 408 30	0. 551 60	0. 387 34	0. 339 89	- 0. 322 91	0. 382 48
A_3	- 0. 422 06	0. 279 22	0. 430 45	0. 254 92	- 0. 476 88	0. 305 99
A_4	- 0. 394 31	0. 450 86	0. 384 25	0. 552 32	- 0. 290 22	0. 509 98
A_5	- 0. 407 60	0. 365 04	0. 425 81	0. 424 86	- 0. 408 99	0. 382 48
A_6	- 0. 421 34	0. 279 22	0. 467 37	0. 339 89	- 0. 604 03	0. 305 99

(3) 求各方案的密切值。按式 (5) 可求得“最优点”和“最劣点”, 再按式 (6) ~ (10) 可求得各方案的密切值并从小到大排列如表 3 所示, 计算过程中采用文献 [4] 中得到的各指标因素的权重。

计算结果表明, 密切值最小的方案为 4 号方案, 因此最优设计方案为方案 4, 次优方案为 1 号

方案。上述计算过程采用计算软件 MATLAB 编程计算。

表 3 各方案密切值计算结果

Table 3 Calculated results of design project s MCZ

方案	4	1	2	5	3	6
密切值排序	0	0. 324 43	2. 584 10	2. 629 20	5. 253 10	5. 874 30

4 结果分析

将本文的评价结果同文献 [4] 灰色关联分析法和文献 [6] 模糊变权法的评价结果对比, 见表 4。

表 4 地下储气库设计方案优劣排序

Table 4 Order of priority for underground gas storage design projects

方案	本文研究方法	灰色关联分析法	模糊变权法
1	2	1	1
2	3	3	4
3	5	6	6
4	1	2	2
5	4	4	3
6	6	5	5

对结果进行分析可得到以下结论: 尽管采用了不同的优选方法, 方案 1 和 4 均被 3 种方法确定为最优设计方案。从表 4 的排序结果可知, 不同的优选法使用了不同择优准则, 产生了不同优劣方案的排序, 因而不同的决策者可以获得不同的最佳设计方案。AHP - MCZ 法是多因素、以定量和定性相结合的方式确定最优方案, 全面反映了方案的优劣, 符合工程实际。AHP - MCZ 优选法同灰色关联分析法和模糊变权法相比较, 计算过程简单, 计算量小, 评价效果也较好, 因此能有效应用于方案的评价和可行性研究, 对储气库设计、生产管理具有重要指导意义。

参考文献:

[1] 赵树栋, 王皆明. 天然气地下储气库注采技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.

[2] 苏欣, 赵宏涛, 袁宗明, 等. 基于模糊综合评价法的地下储气库方案优选 [J]. 石油学报, 2006, 27 (2): 125 - 128.

[3] 陈家新, 谭羽非. 应用灰色物元分析法确定地下储气库设计方案 [J]. 油气储运, 2002, 21 (4): 18 - 21.

[4] 梁光川, 蒲宏斌, 郑云萍, 等. 地下储气库优化设计的灰色关联分析法 [J]. 天然气工业, 2004, 24 (9): 142 - 144.

[5] 刘武, 唐劲松, 谷雪琴. 天然气长输管线设计方案优选方法研究 [J]. 天然气与石油, 2004, 22 (3): 21 - 23.

[6] 苏欣, 袁宗明, 范小霞. 模糊变权法在地下储气库方案优选中的应用 [J]. 油气储运, 2006, 25 (3): 23 - 28.