

天然气开发规划产量构成优化模型及其应用^{*}

邓勇¹ 刘志斌¹ 陆燕妮²

(1.西南石油大学研究生院 2.中国石化西南分公司物资中心)

邓勇等.天然气开发规划产量构成优化模型及其应用.天然气工业,2006,26(1):149-152.

摘要 文章主要研究并解决天然气开发规划中气区各分项产量对气田总产量的最优构成问题。从研究天然气开发规划的产量构成入手,以产量、成本、措施工作量等历史数据为基础,运用自适应遗传算法优化神经网络的连接权值的方法,建立天然气产量等开发指标与其多影响因素之间的关联关系,再在这些关联关系及成本、投资、用户需求等约束条件下,分别建立了产量最大、成本最低、效益最好的单目标优化模型,并运用自适应遗传算法来研究优化模型的求解。应用实例结果符合生产实际。

关键词 气田开发 产量 成本 数学模型 最优化

合理开发天然气将成为国内各大油气田面临的首要问题。保持油气田稳产以满足国家经济发展对天然气产量的要求(政治因素),根据油气田自身动态变化规律确定开发方案(技术因素),以及以最低的成本获得最大的效益(经济因素),这3个方面是天然气开发规划所面临和需要解决的关键问题。国内各大油气田的一些研究机构和石油高等院校进行了大量的研究工作^[1-4]。笔者在此基础上,对天然气开发规划问题中天然气分项产量,包括自然产量、措施产量、老区新井产量以及新区新井产量对天然气总产量的最优构成问题进行了研究和描述。

一、问题解决的关键与思路

(1)从历史信息出发定性研究影响天然气各分项产量的各类因素。

(2)利用遗传算法^[5,6]优化神经网络连接权值的方法定量分析并得到天然气产量等指标与其多种影响因素之间的非线性关联关系。

(3)研究并建立天然气产量及其他开发指标带控制因素的神经网络预测模型,建立天然气总产量与各分项产量之间的输入输出的关联关系,并以此作为产量构成优化模型的约束条件。

(4)利用现代优化技术,以“产量最大”,“成本最

低”,“效益最好”为目标函数,研究并得到天然气总产量对各分项产量最优构成优化模型,利用改进的遗传算法(自适应遗传算法)求解模型,以解决天然气产量、工作量及其他开发指标的最优构成。

二、天然气产量构成分析及预测

1.天然气产量构成及其影响因素

天然气开发指标包含反映开发效果及开发投资效果的技术指标,以及经济指标等多个方面。因此天然气规划的基础是对指标进行分类处理,从技术、经济等方面对天然气开发指标进行分类处理,得到影响各类开发指标的相关因素,建立相应的关联模型,以便对选定指标进行预测,在预测的基础上进行天然气开发规划设计。

研究表明,天然气产量通常分为4大类:自然产量、措施产量、老区新井产量和新区新井产量。这些产量随其对应的成本、工作量及开发动态规律而变化,必须优化这些分项产量,即在满足开发规划的变化规律和技术条件的限制下,确定各分项产量以及成本与工作量的值,才能使全气区既能完成产量任务,又能做到成本尽可能低,效益尽可能好。实质就是要优化各分项产量对应的成本、工作量及其他影响因素。

^{*} 本文受到四川省自然科学基金“气井及气藏计算机仿真及优化配产软件系统”项目资助(编号:2004A150)。

作者简介 邓勇,1981年生,应用数学专业硕士研究生;现主要从事最优化与决策研究。地址:(610500)四川省成都市新都区。电话:13980532179。E-mail:lynswhp@163.com

根据气区开发现场工作人员与专家的经验得到的各分项产量及对应的主要影响因素如下:影响自然产量的有动用地质储量、采气井开井总数、生产成本等;影响措施产量的有动用地质储量、措施总井次、措施有效井次等;影响老区新井产量的有动用可采储量、老区新井投资、老区新井数等;影响新区新井产量的有新区地质储量、新区新井数、新区新井投资等。

2. 分项产量与其影响因素关联关系的建立

分项产量与其影响因素关联关系的建立大致有功能模拟方法和油藏工程方法。其应用上,由于较强的非线性映射能力,神经网络方法特别是BP网络的应用较为广泛,为克服BP算法收敛速度慢,且受到局部极小点的困扰,笔者引入自适应遗传算法优化BP网络的连接权值,建立分项产量与其影响因素之间更为精确的关联关系。

以下是利用自适应遗传算法优化神经网络连接权值的方法:①确定输入与输出样本集;②确定网络权值的编码形式(本文采用实数编码),个体的位串长度;③选定遗传算法操作,设置操作参数以及参数的调整算法;④设定种群规模为 N ,随机产生初始种群(初始网络连接权值);⑤译码种群中每一个体位串,求得 N 组网络权值,得到具有相同结构的 N 个网络;⑥由输入样本集经前向传播算法,求得 N 组网络权值对应的 N 个网络输出;⑦以每组网络输出与期望输出(实际值)之间的误差为网络的目标函数,将其转换为适应度,对 N 个网络进行评价;⑧依据适应度在遗传空间进行选择操作;⑨依据选定的交叉、变异及有关算法、参数,进行相应的操作,得到新一代种群;⑩利用参考文献[5]中提出的自适应方法调整选择、交叉和变异概率,返回步骤⑤,直到满足性能要求,得到一组优化的权值。

设 $X_1 \sim X_4$ 分别为自然产量、措施产量、老区新井产量及新区新井产量; $U_{11} \sim U_{16}$ 分别为自然产量6项影响因素(动用地质储量;采气井开井总数;自然产量成本;采出程度;气藏总产水量;累计剩余可采储量); $U_{21} \sim U_{25}$ 为措施产量5项影响因素(动用地质储量;措施总井次;措施成本;措施有效井次;可采储量采出程度); $U_{31} \sim U_{34}$ 为老区新井产量4项影响因素(动用可采储量;老区新井投资;老区新井成本;老区新井数); $U_{41} \sim U_{44}$ 为新区新井产量4项影响因素(新区地质储量;新区新井投资;新区新井成本;新

区开井数)。

根据天然气开发历史动态变化规律,通过利用自适应遗传算法优化的神经网络,可以建立起各分项产量与其影响因素之间的如下关联关系:

$$X_1 = X_1(U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}, U_{15}, U_{16})$$

$$X_2 = X_2(U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{25})$$

$$X_3 = X_3(U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34})$$

$$X_4 = X_4(U_{41}, U_{42}, U_{43}, U_{44})$$

三、优化模型的建立

建立优化模型的3要素为确定决策变量、目标和约束条件。将 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 作为直接的决策变量(本质上决策变量是其影响因素 U_{ij}),根据不同的目标函数和约束条件,可以建立以下3个常用的产量构成优化模型。

1. 定产量成本最低

$$\min(U_{13} + U_{23} + U_{33} + U_{43})$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \geq A$$

$$X_1 = X_1(U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}, U_{15}, U_{16})$$

$$X_2 = X_2(U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{25})$$

$$X_3 = X_3(U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34})$$

$$X_4 = X_4(U_{41}, U_{42}, U_{43}, U_{44})$$

$$A_i \leq X_i \leq B_i$$

$$a_{ij} \leq U_{ij} \leq b_{ij}$$

2. 定成本产量最大

$$\max(X_1 + X_2 + X_3 + X_4)$$

$$U_{13} + U_{23} + U_{33} + U_{43} \leq B$$

$$X_1 = X_1(U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}, U_{15}, U_{16})$$

$$X_2 = X_2(U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{25})$$

$$X_3 = X_3(U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34})$$

$$X_4 = X_4(U_{41}, U_{42}, U_{43}, U_{44})$$

$$A_i \leq X_i \leq B_i$$

$$a_{ij} \leq U_{ij} \leq b_{ij}$$

3. 定产量、定成本效益最好

$$\max[C(X_1 + X_2 + X_3 + X_4) - (U_{13} + U_{23} + U_{33} + U_{43}) - (U_{32} + U_{42})]$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \geq A$$

$$U_{13} + U_{23} + U_{33} + U_{43} \leq B$$

$$X_1 = X_1(U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}, U_{15}, U_{16})$$

$$X_2 = X_2(U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{25})$$

$$X_3 = X_3(U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34})$$

$$X_4 = X_4(U_{41}, U_{42}, U_{43}, U_{44})$$

$$A_i \leq X_i \leq B_i$$

$$a_{ij} \leq U_{ij} \leq b_{ij}$$

上述模型中, A 为全气区总产量任务或指标; B 为全气区总成本限制; C 为规划年天然气价格; A_i 为第 i 项产量的下界; B_i 为第 i 项产量的上界; a_{ij} 为第 i 项产量第 j 项影响因素的下界; b_{ij} 为第 i 项产量第 j 项影响因素的上界。

以上 3 个优化模型是带约束的非线性优化模型, 各分项产量与其对应影响因素关联关系的获得

是问题的关键。在利用基于自适应遗传算法优化的神经网络方法获得其关联关系, 并通过动态分析与预测来获得各分项产量及其对应影响因素的上、下界后, 可采用自适应遗传算法^[5]对模型进行求解。

四、应用实例分析

某开发气区(中后期)1992~2001 年各分项产量及其对应的影响因素历史数据见表 1。笔者认为这些历史数据一定程度上反映了其开发动态变化规律。

表 1 某气区开发数据表

参 数	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年
自然产量(10^8 m^3)	100.06	96.02	92.50	92.76	93.00	93.40	93.59	94.61	92.64	89.87
措施产量(10^8 m^3)	11.23	10.32	11.45	12.11	11.70	10.32	10.65	10.28	11.33	12.54
老区新井产量(10^8 m^3)	5.21	6.33	6.14	5.18	5.97	7.32	6.15	6.28	5.89	5.12
新区新井产量(10^8 m^3)	3.12	3.35	2.91	2.98	3.45	3.76	4.00	2.99	3.54	3.12
动用地质储量(10^8 m^3)	2200.45	2328.47	2451.81	2575.49	2699.49	2824.02	2948.81	3074.95	3198.47	3318.30
气井开井总数(口)	300	308	374	364	379	417	449	492	516	535
自然产量成本(万元)	73469	74069	75269	79244	89843	92185	94649	98056	94444	104341
可采储量采出程度(%)	49.99	50.23	50.06	50.17	49.90	50.23	50.85	51.26	51.88	52.41
气藏总产水量(10^4 m^3)	197.33	205.29	207.87	208.22	208.96	212.06	220.76	226.75	232.59	233.66
剩余可采储量(10^8 m^3)	2274.51	2178.49	2085.99	1993.23	1900.23	1806.83	1713.24	1618.63	1525.99	1436.12
措施总井次(口)	97	119	111	121	111	147	152	129	113	103
措施有效井次(口)	78	97	83	95	91	122	127	108	98	96
措施成本(万元)	2123	2456	2412	2531	2541	2734	2993	2685	2530	2498
老区新井投资(万元)	3006	3056	3045	3028	3021	3098	3100	3047	3012	2965
老区新井数(口)	31	28	32	37	29	27	32	33	26	29
老区新井成本(万元)	2345	2210	2365	2400	2413	2425	2457	2419	2213	2306
新区地质储量(10^8 m^3)	700.23	731.12	742.06	775.23	823.12	810.36	754.32	712.53	711.04	712.63
新区新井数(口)	15	16	19	20	22	28	24	21	18	17
新区新井投资(万元)	3006	3056	3045	3028	3021	3098	3100	3047	3012	2965
新区新井成本(万元)	1500	1569	1654	1825	1895	1996	1921	1876	1854	1824

首先,建立各分项产量与其影响因素之间的关联关系,再利用动态分析或预测方法得到各影响因素的上下界,各分项产量的产量限制、总产量限制以及总成本限制。然后,选定成本、定产量、效益最好的产量构成优化模型,利用自适应遗传算法求解。求解结果:自然产量为 $93.60 \times 10^8 \text{ m}^3$, 对应成本为 129054.01 万元;措施产量为 $14.78 \times 10^8 \text{ m}^3$, 对应成本为 2513.12 万元;老区新井产量为 $5.01 \times 10^8 \text{ m}^3$, 对应成本为 2215.20 万元;新区新井产量为 $3.30 \times 10^8 \text{ m}^3$, 对应成本为 1876.17 万元。利用上述优化结果就能对 2002 年各分项产量的构成及其对应的成

本构成进行合理的配置。

五、结 论

(1)在课题组原有研究的基础上,对天然气开发动态变化规律进行了研究,建立了 3 种不同目标的天然气开发规划产量构成优化模型:定成本、产量最大模型;定产量、成本最低模型;定产量、定成本效益最好模型。

(2)利用自适应遗传算法求解模型,很好地解决了气区天然气总产量的最优构成问题。

(3)在建立产量构成优化模型过程中,对各分项

产量与其影响因素之间的关联关系的建立是模型建立的核心环节,也是今后研究的重点。笔者在原有基础上,提出利用自适应遗传算法优化神经网络的连接权值,将自适应遗传算法的全局寻优能力强的特性和BP算法局部寻优能力强的特性结合,提高精度,建立更为精确的关联关系。

参 考 文 献

- [1] 刘志斌,丁辉.油田开发规划产量构成优化模型及其应用[J].石油学报,2004,25(1):62-65.
- [2] 李允,刘志斌,等.现代优化技术在油田开发中的应用[M].北京:石油工业出版社,2001.
- [3] 肖伟,刘志斌,等.基于神经网络的油田注水动态预测[J].交通与计算机,1997,25(2):57-60.
- [4] 刘志斌.注水开发油田的微分模拟预测[J].西南石油学院学报,1993,15(1):69-74.
- [5] 杨振强,王常虹,庄显义.自适应复制、交叉和突变遗传算法[J].电子科学学刊,2000,22(1):112-117.
- [6] 陈民锋,郎兆新.基于自适应遗传算法的油田产量灰色预测模型[J].系统工程学报,2003,18(6):541-546.

(修改回稿日期 2005-11-07 编辑 赵 勤)