

文章编号: 1000-0747(2014)01-0244-04 DOI: 10.11698/PED.2014.02.16

中东地区已发现大油田储量增长特征及潜力

边海光¹, 田作基¹, 吴义平¹, 潘校华¹, 童晓光², 张晓苏¹

(1. 中国石油勘探开发研究院; 2. 中国石油海外勘探开发公司)

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05028); 中国石油天然气股份有限公司重大专项(2013E-0501)

摘要: 以中东地区大油田为研究对象, 对不同时期估算的新增可采储量进行对比, 分析其储量增长特征; 通过统计油田的年储量增长系数, 采用最小二乘法建立年储量增长函数, 对中东地区已发现大油田的储量增长潜力进行了预测。新增可采储量由两部分组成: 新发现储量和已发现油气田的储量增长。研究发现, 中东地区过去几十年已发现大油田的储量增长有较大幅度的增加, 而新发现储量有所减少。已发现大油田的储量增长为新增可采储量的主要贡献者, 占新增可采储量的比例从1981—1990年的71%增加到2001—2010年的96%。根据建立的储量增长函数, 估算中东地区已发现大油田未来石油储量增长约为 4.366×10^8 t, 储量增长潜力巨大。图5参19

关键词: 可采储量; 储量增长; 大油气田; 储量评估; 最小二乘法; 中东地区

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Reserve growth characteristics and potential of the discovered giant oil fields in the Middle East

Bian Haiguang¹, Tian Zuoji¹, Wu Yiping¹, Pan Xiaohua¹, Tong Xiaoguang², Zhang Xiaosu¹

(1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China; 2. China National Oil and Gas Exploration and Development Corporation, Beijing 100034, China)

Abstract: Giant oilfields in the Middle East were taken to analyze the characteristics of reserve growth by comparing the estimated additions of recoverable reserves during different periods. The reserve growth potential of the discovered giant oil fields in the Middle East was predicted through statistics of annual reserve growth factors and building annual reserve-growth function by the least square method. The additions of recoverable reserves are comprised of reserves in newly discovered oilfields and incremental reserves of the giant oil fields discovered previously. The study shows that the incremental reserves in the giant oilfields discovered previously have increased sharply, but the reserves in newly discovered oilfields have decreased slightly over the past several decades. The incremental reserves in the giant oilfields discovered previously are the major contributor to the newly increased recoverable reserves, and their proportion increased from 71% in the 1980 s to 96% in the 2000 s. According to the established function of reserve growth, it is estimated that there will be about 4.366×10^8 tons of reserve growth in the giant oil fields discovered previously in the Middle East, suggesting great potential of reserve growth.

Key words: recoverable reserves; reserve growth; giant oil and gas field; reserve estimation; least square method; the Middle East

0 引言

已发现油气田储量增长是指在评价和生产过程中可采储量的增加量, 其在制定油田开发计划和国家能源政策方面具有重要作用。美国地质调查局(USGS)已建立了几个数学模型来预测美国和世界的油田储量增长^[1-5]。这些模型以美国油田历史储量数据为基础, 建立储量增长函数, 通过外推来预测未来的储量增长。国内学者采用翁旋回模型、高斯模型和龚帕兹模型建立了成熟油气区的储量增长模型^[6-12], 然而, 其是以地质储量为基础的, 与已发现油气田可采储量的增长趋势不同。美国油田、俄罗斯伏尔加—乌拉尔油田和西西伯利亚油田储量增长的研究表明, 由于地质特征、

影响运营成本的环境、国家能源政策以及生产目标的不同, 每个地区具有独特的储量增长趋势^[13]。为了更好地评估储量增长, 每个含油气区应当分别建立其储量增长函数。

1 储量增长定义

储量增长最早由美国学者阿灵顿(Arrington)研究美国油田储量历史记录后提出, 其发现美国油田最初的储量评估通常较保守, 尽管后期评估的油田规模(累计产量加上储量)有增有减, 但总的趋势是随着油田的开发生产, 油田规模增大^[14]。这里的储量是指, 在规定条件下, 从一个给定日期开始, 通过对已知油气田实施开发而预期可商业采出的油气量^[15]。Klett指

出, 储量增长是一般观察到的由于储量增加而引起的储量评估值的调整, 与“油田增长”、“储量增值”、“已知增长”和“最终开采增值”同义^[2]。USGS 将储量增长定义为相继估算的已发现油气田原油、天然气和凝析油的增加量, 通过扩边、发现新油藏、提高采收率以及储量复核, 具有转变为储量的潜力^[16-19]。

一般对于含油气盆地或含油气区而言, 在间隔一段时间进行的两次油气可采储量的评估结果是有差异的, 其主要表现为: 在间隔时间内新发现了油气田使得可采储量增加, 以及已发现的油气田由于获得新资料造成了油气田规模调整。假定某一含油气区在 2000 年评估时已发现 4 个油气田, 其评估的油气田规模分别记为 $R_{A1}, R_{A2}, R_{A3}, R_{A4}$, 那么, 2000 年估算的该含油气区的可采储量就是这 4 个油气田规模之和, 即 $(R_{A1}+R_{A2}+R_{A3}+R_{A4})$ 。在 2010 年的评估中, 该含油气区新发现了两个油气田, 其评估的油气田规模分别为 R_{B1}, R_{B2} 。同时, 由于已发现油气田储量的增长, 4 个已发现油气田规模分别记为 $R_{A1}', R_{A2}', R_{A3}', R_{A4}'$, 故 2010 年估算的该含油气区的可采储量为 $(R_{A1}'+R_{A2}'+R_{A3}'+R_{A4}'+R_{B1}+R_{B2})$ 。

将这两次评估结果进行比较, 该含油气区可采储量的增量称为新增可采储量 ΔR , 把新发现油气田的储量称为新发现储量 R_B , 而已发现油气田规模的调整则称为已发现油气田储量增长 (或储量增长) ΔR_A , 用公式表达为: $\Delta R = (R_{A1}'+R_{A2}'+R_{A3}'+R_{A4}'+R_{B1}+R_{B2}) - (R_{A1}+R_{A2}+R_{A3}+R_{A4})$; $R_B = R_{B1}+R_{B2}$; $\Delta R_A = (R_{A1}'+R_{A2}'+R_{A3}'+R_{A4}') - (R_{A1}+R_{A2}+R_{A3}+R_{A4})$ 。

本文以中东地区大油田为研究对象, 通过对不同时期估算的新增可采储量进行对比, 分析其储量增长特征。通过统计油田的年储量增长系数, 采用最小二乘法建立年储量增长函数, 对中东地区已发现大油田的储量增长潜力进行了预测。

2 中东地区大油田储量增长分析

一般认为中东地区包括 16 个国家和地区, 面积 740 多万平方千米, 这些国家和地区包括沙特阿拉伯、伊朗、伊拉克、科威特、阿联酋、阿曼、卡塔尔、叙利亚、也门、巴林、约旦、黎巴嫩、土耳其、以色列/巴勒斯坦和塞浦路斯 (见图 1)。

截至 2010 年, 中东地区已发现可采储量超过 $6.821 \times 10^4 \text{ t}$ ($5 \times 10^8 \text{ bbl}$) 油当量的大油田达 167 个, 其中, 沙特阿拉伯 43 个, 伊朗 41 个, 伊拉克 36 个, 科威特 12 个, 阿联酋 15 个, 阿曼 9 个, 卡塔尔 5 个, 中立区 4 个, 叙利亚 1 个, 也门 1 个。将这些大油田

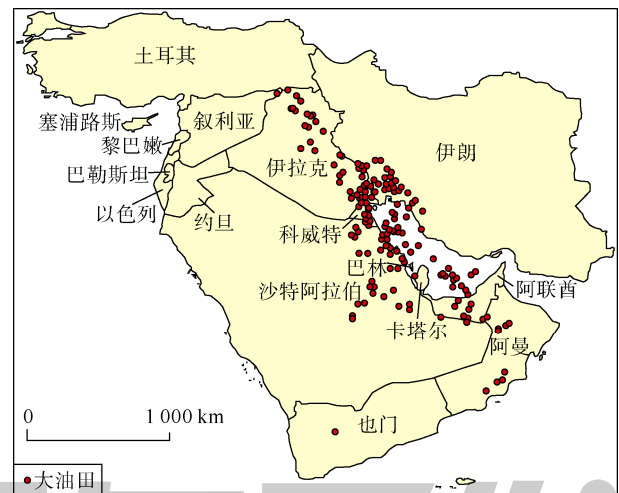


图 1 中东地区大油田分布

按照发现时间排序, 并统计了 IHS 数据库在 1980 年、1990 年、2000 年和 2010 年对这些大油田油田规模的评估数据, 对中东地区已发现大油田储量增长进行了研究, 具体分析如下。

2.1 新增可采储量

中东地区 1980 年的大油田石油可采储量为 1980 年以前发现的油田在 1980 年或 1980 年以前最后一次评估的油田规模之和。同理可以得到中东地区大油田在 1990 年、2000 年和 2010 年的石油可采储量 (见图 2)。

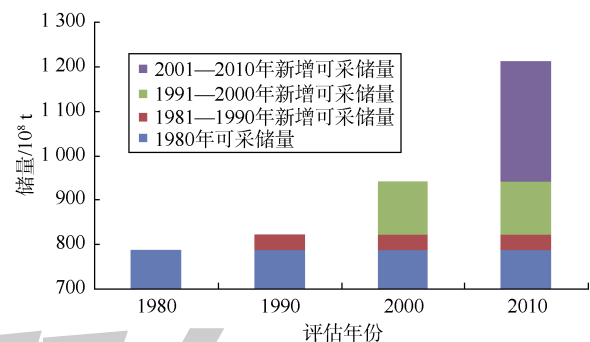


图 2 中东地区大油田不同时期评估的新增可采储量

通过以上计算, 得到了中东地区大油田在 1981—1990 年、1991—2000 年和 2001—2010 年的石油新增可采储量分别为 $34.4 \times 10^8 \text{ t}$ 、 $120.7 \times 10^8 \text{ t}$ 和 $266.6 \times 10^8 \text{ t}$ (见图 2)。可以看出, 中东地区已发现大油田新增可采储量具有随时间延续大幅度增加的趋势, 表现出较大的储量增长潜力。

2.2 新发现储量

中东地区在 2010 年评估中的 167 个大油田中, 发现于 1981—1990 年、1991—2000 年和 2001—2010 年的油田个数分别为 13 个、3 个和 7 个。相对于 1980 年的储量评估, 发现于 1981—1990 年的 13 个油田就应属于新发现油田, 这些油田 1981—1990 年的新发现储量为

10.02×10⁸ t。同理可以得到 1991—2000 年和 2001—2010 年的新发现储量，分别为 9.89×10⁸ t 和 9.83×10⁸ t。

从分析结果可以看出，在上述 3 个阶段中东地区都有大油田发现，发现油田数量最多的是在 1981—1990 年，并且在该阶段的新发现储量也最大。虽然 2001—2010 年新发现油田数量相对 1991—2000 年有所增加，但是新发现储量有所减少。总之，新发现储量随时间增长呈递减趋势。

2.3 储量增长

在 1981—1990 年储量增长评估中，1980 年以前（包括 1980 年）发现的大油田数量为 144 个，其中仅有 5 个发生了储量正增长。1991—2000 年，已发现大油田数量为 157 个，储量发生变化的有 20 个，其中有 2 个油田发生储量负增长，18 个油田发生储量正增长。2001—2010 年，已发现的 160 个大油田中，发生储量正增长的油田个数达到 91 个，19 个油田发生储量负增长（见图 3）。

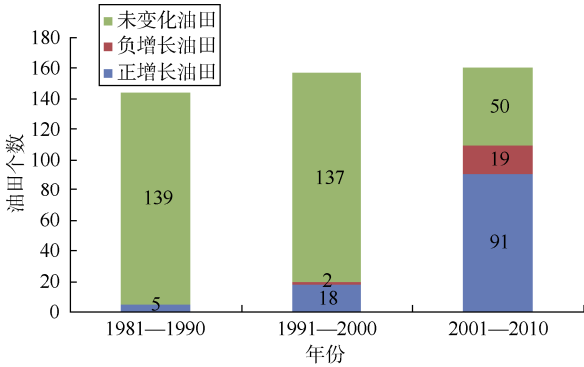


图 3 中东地区大油田不同阶段储量变化情况

通过对同一油田不同评估期的石油可采储量进行比较，用后一评估期的评估值减去前一评估期的评估值，即可得到该油田的储量增长。中东地区 1981—1990 年、1991—2000 年和 2001—2010 年的大油田储量增长分别为 24.4×10⁸ t、110.77×10⁸ t 和 258.77×10⁸ t，在新增可采储量中所占比例分别为 71%，92% 和 96%（见图 4）。

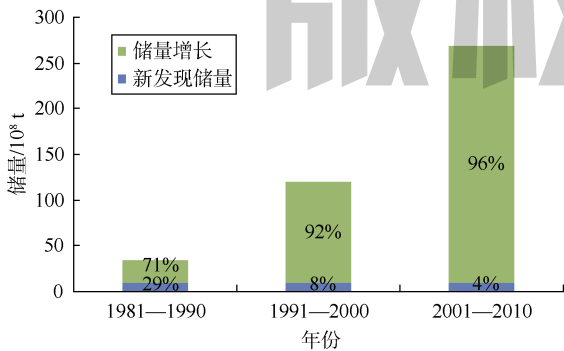


图 4 中东地区大油田不同阶段储量增长和新发现储量增长

对上述结果分析发现，对于单个油田而言，其储量增长并不总是正值，有时会发生负调整造成储量增

长为负值；另外，并不是每个已发现油田都发生了储量增长。从储量增长的变化特征来看，中东地区已发现大油田的储量增长呈逐渐增加的趋势，且其对中东地区大油田新增可采储量的贡献越来越大。

3 储量增长潜力预测

储量增长预测基于油田储量评估历史记录进行外推，需要连续的油田石油储量年度评估数据。连续两年评估的油田可采储量之比即为年储量增长系数。设 $R(d, e)$ 为 d 年发现的油田的可采储量，其中 e 为储量评估年份，则油田发现年龄为 $n=e-d+1$ ，年储量增长系数可由下式得出：

$$k(n)=R(d, d+n)/R(d, d+n-1) \quad (1)$$

中东地区大油田储量数据并不连续，而是间隔几年，间隔期储量增长由期间各年累计增长形成，间隔期储量总增长系数等于间隔期间各年年增长系数乘积。因此，平均年储量增长系数可由下式得出：

$$k = \sqrt[n]{\frac{R(d, e+n)}{R(d, e)}} \quad (2)$$

根据统计学特征以及经验判断，该平均年储量增长系数记为间隔期中间年的年储量增长系数较为合理。通过对数据进行处理，可以得出中东地区大油田年储量增长系数与油田发现年龄的统计关系，并通过最小二乘法对统计数据拟合，从而建立年储量增长系数与油田发现年龄的函数关系（见图 5），其表达式如下：

$$k(n)=1.1286n^{-0.023} \quad (3)$$

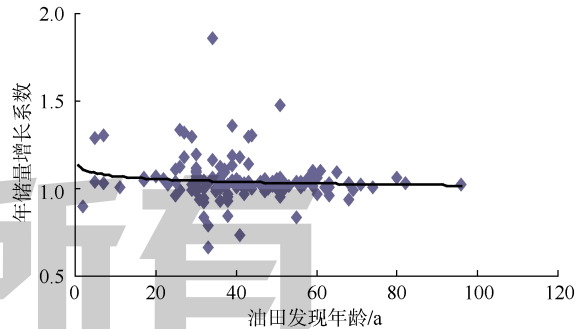


图 5 中东地区大油田年储量增长趋势拟合

根据（3）式可计算已发现大油田未来某年的累计储量增长系数。统计发现，油田发现 100 a 后储量基本不再增长，因此（3）式的适用条件为 $n<100$ 。

假设油田发现年龄为 n 年，最近储量评估年份为 e 年，则油田最大可采储量可由下式得出：

$$R(d, d+100)=R(d, e)k(n)k(n+1)...k(99) \quad (4)$$

统计中东地区所有大油田的累计增长系数，得到所有油田最大的累计增长系数，用以调节已发现大油田的储量增长潜力评估结果。根据以上所得的年储量

增长函数与最大累计增长系数综合估算，得出中东地区已发现大油田石油最终可采储量，然后减去目前的可采储量，得出中东地区已发现大油田石油储量增长潜力约为 $4\ 366 \times 10^8$ t。

4 结论

在含油气盆地或含油气区内，相继两次评估的可采储量的差值为新增可采储量。新增可采储量由两部分组成：新发现储量和已发现油气田的储量增长。

根据中东地区1980年、1990年、2000年和2010年大油田储量评估结果，随着时间延续，新增可采储量大幅增加，新发现储量有所减少，已发现油田储量增长大幅度增加。已发现油田储量增长对新增可采储量的贡献越来越大，比例从71%增加到96%，为新增可采储量的主要贡献者。

中东地区发生储量增长的大油田数量大幅度增加，不仅发生正增长的大油田数量增加，发生负增长的大油田数量也在增加，但是发生正增长的大油田占大多数。因此，中东地区有必要加强对已发现油气田的储量增长研究。

根据年储量增长函数与统计的最大累计增长系数综合预测中东地区已发现大油田石油储量增长潜力约为 $4\ 366 \times 10^8$ t，因此，中东地区已发现大油田的储量增长潜力还很巨大。

符号注释：

$R_{A1}, R_{A2}, R_{A3}, R_{A4}$ ——2000年时各油气田储量， 10^8 t；
 $R_{A1'}, R_{A2'}, R_{A3'}, R_{A4'}$ ——2010年时各油气田储量， 10^8 t；
 R_{B1}, R_{B2} ——2000—2010年新发现储量， 10^8 t； R ——可采储量， 10^8 t； d, e ——油田发现年份及可采储量评估年份；
 $k(n)$ ——第 n 年储量增长系数，无量纲； k ——平均年储量增长系数，无量纲； n ——油田发现年龄， a ； $R(d, d+100)$ ——油田最大可采储量， 10^8 t。

参考文献：

- [1] Verma M K, Ulmishek G F. Reserve growth in oil fields of West Siberian Basin, Russia[J]. *Natural Resources Research*, 2003, 12(2): 105-119.
- [2] Klett T R, Gautier D L. Reserve growth in oil fields of the North Sea[J]. *Petroleum Geoscience*, 2005, 11: 179-190.
- [3] Klett T R, Gautier D L, Ahlbrandt T S. An evaluation of the U.S. geological survey world petroleum assessment 2000[J]. *AAPG Bulletin*, 2005, 89(8): 1033-1042.
- [4] Atchley S C, West L W, Sluggett J R. Reserves growth in a mature oil field: The Devonian Leduc Formation at Innisfail field, South-Central Alberta, Canada[J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(8): 1153-1169.
- [5] Verma M K. A new reserve growth model for United States oil and gas fields[J]. *Natural Resources Research*, 2005, 14(2): 77-89.
- [6] 童晓光, 黎丙建. 老油田石油储量增长趋势预测及应用[J]. *石油勘探与开发*, 1991, 18(6): 25-31, 39.

- [7] tendency for a matured petroleum province and its application[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1991, 18(6): 25-31, 39.
- [7] 陈礼平, 蒋伟雄. 四川盆地天然气储量增长趋势预测[J]. *天然气工业*, 2001, 21(5): 44-46.
- [8] Chen Liping, Jiang Weixiong. Forecasting on natural gas reserves increasement trend[J]. *Natural Gas Industry*, 2001, 21(5): 44-46.
- [8] 赵乐强, 宋国奇, 高磊, 等. 济阳坳陷未来10年石油探明储量增长趋势分析[J]. *中国石油勘探*, 2005(3): 30-34.
- [9] Zhao Leqiang, Song Guoqi, Gao Lei, et al. Incremental tendency analysis of proven oil reserves in Jiyang Depression in the coming decade[J]. *China Petroleum Exploration*, 2005(3): 30-34.
- [9] 朱杰, 车长波, 刘成林, 等. 储量增长预测模型的对比分析[J]. *西安石油大学学报: 自然科学版*, 2008, 23(5): 21-23.
- [10] Zhu Jie, Che Changbo, Liu Chenglin, et al. Contrastive analysis of reserves increasing prediction models[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2008, 23(5): 21-23.
- [10] 郑德文, 张君峰, 苏建杰. 新增探明储量增长趋势预测研究[J]. *中国石油勘探*, 2004(2): 44-48.
- [11] Zheng Dewen, Zhang Junfeng, Su Jianjie. Prediction method for newly additional proven reserves growth trend[J]. *China Petroleum Exploration*, 2004(2): 44-48.
- [11] 任宏斌, 孔志平, 李东旭. 应用翁氏旋回理论预测中国天然气探明储量的增长趋势[J]. *石油与天然气地质*, 1996, 17(3): 213-216.
- [12] Ren Hongbin, Kong Zhiping, Li Dongxu. Predicting the increase of China's proved gas reserves by using "Weng's Cycle"[J]. *Oil & Gas Geology*, 1996, 17(3): 213-216.
- [12] 高磊, 郭元岭, 宗国洪, 等. 探明储量增长“帚状”预测模型: 以济阳坳陷为例[J]. *石油勘探与开发*, 2002, 29(6): 45-47.
- [13] Gao Lei, Guo Yuanling, Zong Guohong, et al. A broom-type model for predicting incremental proved reserves[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2002, 29(6): 45-47.
- [13] Verma M K, Cook T A. Reserve growth in oil pools of Alberta: Model and forecast[J]. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 2010, 58(3): 283-293.
- [14] Arrington J R. Predicting the size of crude reserves is key to evaluating exploration programs[J]. *Oil & Gas Journal*, 1960, 58(9): 130-134.
- [15] Society of Petroleum Engineers, World Petroleum Council, American Association of Petroleum Geologists, Society of Petroleum Evaluation Engineers. Petroleum resources management system[EB/OL]. [2013-11-10]. http://www.spe.org/industry/docs/Petroleum_Resources_Management_System_2007.pdf.
- [16] Klett T R, Attanasi E D, Charpentier R R, et al. Scientific investigations report 2011-5163: New U.S. Geological Survey method for the assessment of reserve growth[R]. Washington D C: U.S. Geological Survey, 2011: 1-9.
- [17] Klett T R, Gautier D L. Open-file report 2010-1145: Reserve growth during financial volatility in a technologically challenging world[R]. Washington D C: U.S. Geological Survey, 2010: 1-33.
- [18] Schmoker J W, Klett T R. U.S. Geological Survey digital data series DDS-69-D: U.S. Geological Survey assessment concepts for conventional petroleum accumulations[R]. Washington D C: U.S. Geological Survey, 2005.
- [19] Fishman N S, Turner C E, Dyman T S, et al. U.S. Geological Survey bulletin 2172-I: Geologic controls on the growth of petroleum reserves[R]. Washington D C: U.S. Geological Survey, 2008: 1-53.

第一作者简介：边海光（1984-），男，河北保定人，现为中国石油勘探开发研究院博士研究生，主要从事海外油气资源评价和油气勘探研究。地址：北京市海淀区学院路20号，中国石油勘探开发研究院海外综合业务部，邮政编码：100083。E-mail: bianhaiguang@petrochina.com.cn

收稿日期：2013-09-03 修回日期：2014-03-03

（编辑 黄昌武 绘图 刘方方）