

基于概率模型的气井投资评价方法

赵 益¹ 任 科² 唐 刚¹

1. 中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院, 四川 成都 610041;
2. 中国石油西南油气田分公司储气库管理处, 重庆 400021

摘 要:气井投资评价对气田经济有效开发十分重要,传统的现金流法评价周期长、评价结果滞后,不利于气田开发部署的及时调整。通过对四川盆地天然气气井效益和现金流法优缺点分析,引入单位无阻流量投资新参数来表征气井效益。研究表明,单位无阻流量投资和气井效益之间存在正态分布关系,在此基础上建立了利用单位无阻流量投资进行气井效益评价的概率模型,求解该概率模型就可在气井完成试气测试获得气井无阻流量参数后进行效益评价,即可大幅度缩短气井投资评价周期,对气井投资决策有重要的现实意义。

关键词:概率函数;现金流法;气井效益;投资评价

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2019.01.020

Evaluation Method of Gas Well Investment Based on Probability Model

Zhao Yi¹, Ren Ke², Tang Gang¹

1. Exploration and Development Research Institute of PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Chengdu, Sichuan, 610041, China;
2. Gas Storage Administrative Division of Southwest Oil & Gas Field Company, Chongqing, 400021, China

Abstract: The cash flow method is widely used in gas well investment evaluation, which has the disadvantages of long evaluation cycle and lag of evaluation results, and is inconducive to timely deployment and adjustment. In order to overcome this problem, this paper focuses on the wells internal revenue rate and calculation method in Sichuan basin, and defines a new parameter: the unit investment of absolute open flow. It is proved that the parameter has normal distribution relationship with the wells efficiency. So then, the probability model is presented about gas wells efficiency through the unit investment of absolute open flow. Because of the model, gas well efficiency evaluation is completed immediately after the well testing. The model and method presented in this paper have a guiding significance for the gas well investment and the development of gas field.

Keywords: Probability function; Cash flow method; Gas well efficiency; Investment evaluation

收稿日期:2018-07-17

基金项目:中国石油天然气股份有限公司科研项目“四川盆地老区碳酸盐岩气藏低渗区提高储量动用及采收率关键技术研究”(KT 2018-16-07)

作者简介:赵 益(1988-),男,四川南充人,硕士,工程师,主要从事气田开发及动态分析研究。

0 前言

目前石油行业投资项目效益评价的普遍方法是采用现金流法^[1-3],即通过计算气井投产后一定时间内的内部收益率来确定气井是否有效益。内部收益率是一项投资可望达到的报酬率,是能使投资项目净现值等于零时的折现率,是在考虑了时间价值的情况下,使一项投资在未来产生的现金流量现值,刚好等于投资成本时的收益率^[4],当计算内部收益率大于预期收益率时,气井投资能够盈利,本文气井投资可行的预期收益率为 12%。

对于传统的气井投资评价方法,需要气井经过数年生产之后,计算其内部收益率判断其钻井投资是否有效益,这种方法虽然可以评价单井投资效益,但是对于气井投资决策的指导意义不大,气田决策者总想尽可能早地判断气井的投资是否能获得效益,而不是气井通过数年甚至更长时间的生产后才判断这口井的钻井和井场建设投资是否有效益^[5]。特别是对于开发中后期的气藏或区块,投产气井产能较低,需尽早判断气井效益状况^[6]。

对于气井投资的问题,近年来国内外学者开展了一系列研究工作,肖磊等人^[7]对低渗透储量最优经济评价模型开展了研究,指出天然气价格、气井产能以及钻井投资是影响气井内部收益率最敏感的因素;陈尘等人^[8]对气井开发操作成本经济界线模型进行了研究,建立了操作成本经济界线与气井产能等因素的数学模型,未涉及到气井投资情况的评价;Rahmawati S D 等人^[9]建立了油气田开发和连续资产管理评价综合模型,未对气井投资效益进行专门研究;Xu Qing 等人^[10]采用了现金流法,对松辽盆地火山气体储层进行了经济评价研究,未见气井投资效益评价。综上,目前还没有一项技术能够完全解决气井投资及时评价的问题,为了克服传统方法的不足,更好地为开发中后期气田生产部署提供支撑,本文提出了基于概率模型的气井投资评价方法。

1 单位无阻流量投资

现金流方法计算内部收益率公式如下:

$$\sum_{i=1}^n (CI - CO)_i (1 + IRR)^{-i} = 0 \quad (1)$$

式中:CI 为现金流入,主要指气井投产后每年销售油气产品营业收入,万元;CO 为现金流出,主要分为投资(包括钻完井及地面建设等资金)和生产成本(包括维持气井正常运营的成本费用),万元;IRR 为内部收益率,%;n 为计算周期,通常 n = 20 年;i 为计数参数。

根据式(1),内部收益率受投资和气井生产能力共同影响;根据文献^[7],气井产能和投资是影响内部收益率最敏感的因素。由此可知,内部收益率必定是气井投

资和生产能力的函数,且气井原始无阻流量是评价气井早期生产能力的常用参数^[11-12],与气井初始产能和测试产能相比,其具有唯一性。基于以上考虑,本文建立一种新的参数,即单位无阻流量投资,为气井钻完井和井场建设投资除以气井原始无阻流量。单位无阻流量投资的物理意义为气井每获得 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 原始无阻流量所需要的投资金额。

2 单位无阻流量投资与内部收益率关系

为了分析单位无阻流量投资与气井内部收益率的关系,首先求取了四川盆地某气藏 30 口气井的内部收益率,为了消除不同时间投产气井的计算参数差异,本文统一采用了 2016 年底四川天然气价格和该气藏 2016 年单位进尺钻井成本以及单位产气操作成本^[13-14]。对已经完成试气气井,能较容易地获取准确的单位无阻流量投资值^[15]。

假设 IRR 和 I 的满足关系曲线:

$$IRR = a \ln(I) + b \quad (2)$$

式中:I 为单位无阻流量投资,万元 / ($10^4 \text{ m}^3/\text{d}$); a 为回归系数;b 为回归常数。

根据 30 个样本气井 FIRR 与 I 值,结合最小二乘法^[16],计算回归系数:

$$a = \frac{\sum I_i IRR_i - \bar{I} \sum IRR_i}{\sum I_i^2 - \bar{I} \sum I_i} = -27.4 \quad (3)$$

$$b = \overline{IRR} - a \ln(\bar{I}) = 174.49 \quad (4)$$

得到回归方程: $IRR = -27.4 \ln(I) + 174.49$, 该回归方程对应的回归曲线见图 1。

且回归方程的相关系数 R 为:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (IRR_i - \overline{IRR})^2}{\sum (IRR_i - \overline{IRR})^2}} = 0.7368 \quad (5)$$

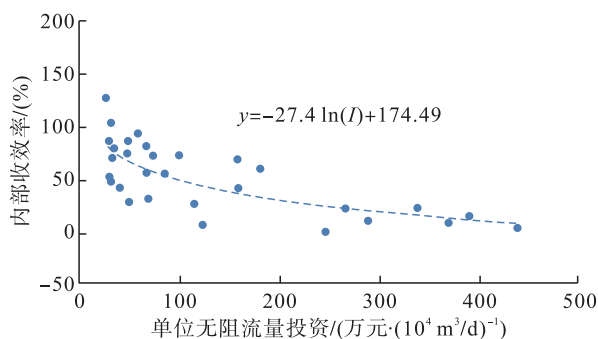


图 1 样本气井单位无阻流量投资与内部收益率关系曲线

对回归方程进行相关系数和回归系数的显著性检验,以证明所得方程的合理性。

相关系数检验^[17]:对相关系数 R 进行显著性检验,根据相关系数显著性检验表,自由度为 n - 2 和显著水平为 0.05 时,临界值为 0.361, R = 0.737 大于临界值。

回归系数的显著性 t 检验^[17];判定变量 I 和 IRR 之间的假设是否合理,将方程转化为线性方程:

令 $X = \ln(I)$, $Y = IRR$, 即原方程变为

$$Y = aX + b \quad (6)$$

$$\text{方程显著性系数 } t_a = a \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}} = 7.26,$$

根据显著性临界值查询表,式(6)的临界值 $t(a/2, n-2) = 2.048 < t_a$, 则证明变量 X 与 Y 之间的线性假设合理,即 IRR 与 I 之间的自然对数关系是合理的。

3 概率模型

由图1可知,实际样本数据点离散在回归方程两侧,这种现象是因为同一气藏不同气井受到储层物性差异、产地层水、生产制度调节等影响因素的综合反映,而回归方程代表了该层系气井效益的平均水平。本文将各因素影响综合考虑为偏差 σ^2 , 回归曲线为期望 μ 。

定义了期望和偏差之后,考察离散点到回归方程垂直距离的分布形态。经过 Kolmogorov-Smirnov 检验^[16], 数据点到回归方程距离渐进显著性为 0.2, 大于基准值 0.05, 符合正态分布特征^[18], 可用正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ 来表述离散点分布特征,见表1和图2。

表1 Kolmogorov-Smirnov 检验结果

参数	取值
样本点数	30
常态参数	
平均数	17.347
标准偏差	12.592
最极端差异	
绝对	0.265
正	0.265
负	-0.172
测试统计资料	0.265
渐进显著性(双尾)	0.200

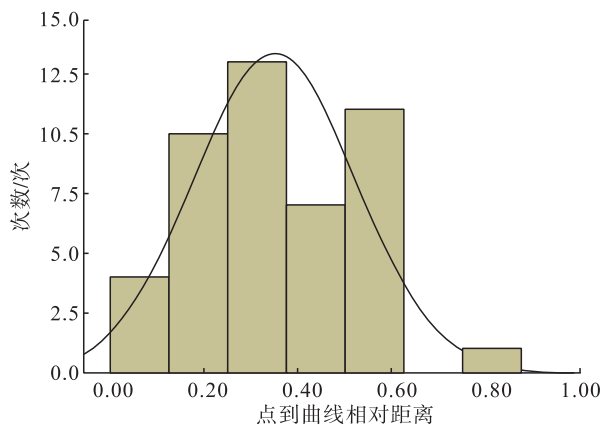


图2 离散点到回归曲线距离分布特征

正态分布概率函数可表征满足气井有效益条件下的分布方程如下:

$$P(IRR \geq 0.12) = 1 - \int_{\mu-3\sigma}^I \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(0.12-\mu)^2} dI \quad (7)$$

式中: P 为气井内部收益率大于 12% 的概率; μ 为正态分布期望, 为回归方程 $IRR = -27.4 \ln(I) + 174.49$; σ 为正态部分标准方差, 为离散点到回归方程最大距离的三分之一, 取值 5.8。

将以上取值代入式(7):

$$P(IRR \geq 12\%) = 1 - \int_{-27.4 \ln(I) + 174.49 + 3\sigma}^x \frac{1}{5.8 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(0.12 + 27.4 \ln(I) - 174.49)^2}{2 \times 5.8^2}} dI \quad (8)$$

求解式(8), 当单位无阻流量投资 $I \leq 411.4$ 万元 / ($10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) 时, 可使气井内部收益率大于 12% 的概率大于 95%, 统计学称为大概率事件, 这时气井必定有效益; 满足 $I \geq 825.8$ 万元 / ($10^4 \text{ m}^3/\text{d}$), 可使气井内部收益率大于 12% 的概率小于 5%, 即为小概率事件, 气井必定没有效益。满足 IRR 大于 12% 的累计概率分布曲线见图3。

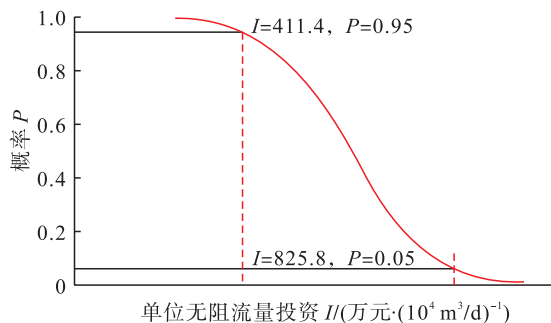


图3 满足 IRR 大于 12% 的累计概率分布曲线

4 气井投资评价流程

根据前文采用 2016 年底四川天然气价格、四川某气藏 2016 年单位进尺钻井成本以及单位产气操作成本的基础, 获得了单位无阻流量投资参数下限; 当气价、钻井成本等发生较大变化时, 或期望内部收益率变化时, 参数下限值会发生变化, 为了解决这个问题, 本文设计了已完成试气后气井投资评价流程步骤。

步骤 1: 选取适合于待评价气井的天然气价格、单位进尺钻井成本、单位产气操作成本, 设定待评价气井的目标内部收益率。

步骤 2: 根据待评价气井的实际投资和实际原始无阻流量得到待评价气井的单位无阻流量投资。

步骤 3: 筛选多个该气井同一地质条件下的已投产气井, 根据选定的天然气价格、单位进尺钻井成本、单位产气操作成本计算这些气井的内部收益率和单位无阻流量投资。

步骤 4: 建立这些已投产气井的概率模型, 计算出符合目标内部收益率条件下单位无阻流量投资的累计概率分布曲线, 确定目标内部收益率对应概率大于 95% 的单位无阻流量投资上限值。

步骤 5: 比较待评价气井的单位无阻流量投资是否小于上限值, 从而判断待评价气井是否有效益。

实例: 根据某气田 DT 26 气井实际数据, 在 2016 年底四川天然气价格、单位进尺钻井成本以及单位产气操作成本的基础上, 该井满足的概率模型为 $N \sim (IRR = -27.4 \ln(I) + 174.49, 5.8^2)$, 单位无阻流量投资下限值为 411 万元 / ($10^4 \text{ m}^3 / \text{d}$), 本文设定其气价、投资以及成本分别变化为原来的 0.9 倍、0.88 倍以及 1.3 倍。

当气价变为 0.9 倍时, 根据步骤 1, DT 26 气井的目标内部收益率设定为 12%; 根据步骤 2, DT 26 气井的单位无阻流量投资不变; 根据步骤 3, 同步变化所有样本点的天然气价, 计算样本点的内部收益率和单位无阻流量投资; 根据步骤 4, 重新构建概率模型为 $N \sim (IRR = -25.47 \ln(I) + 160.77, 5.8^2)$; 根据步骤 5, 计算单位无阻流量投资下限值为 388.41 万元 / ($10^4 \text{ m}^3 / \text{d}$), 判断 DT 26 气井有效性。

当投资变为 0.88 倍时, 同理重新构建概率模型为 $N \sim (IRR = -31.27 \ln(I) + 190.15, 5.8^2)$, 单位无阻流量投资下限值为 399 万元 / ($10^4 \text{ m}^3 / \text{d}$), 判断 DT 26 气井有效性。

当成本变为 1.3 倍时, 同理重新构建概率模型为 $N \sim (IRR = -24.63 \ln(I) + 149.63, 5.8^2)$, 单位无阻流量投资下限值为 343 万元 / ($10^4 \text{ m}^3 / \text{d}$), 判断 DT 26 气井有效性。

参数变化正态分布期望变化见图 4, 气井有效性结果见表 2。

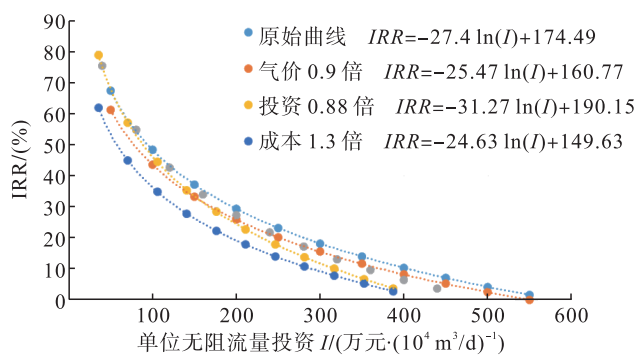


图 4 不同参数条件下正态分布期望曲线

表 2 不同参数条件下气井有效性判断

参数变化情况	单位无阻流量投资 / (万元 $(10^4 \text{ m}^3 / \text{d})^{-1}$)	有效概率为 95% 对应单位无阻流量投资 / (万元 $(10^4 \text{ m}^3 / \text{d})^{-1}$)	是否有效
原始条件	457.66	411.00	无效
气价 0.9 倍	457.66	388.41	无效
投资 0.88 倍	322.19	382.56	有效
成本 1.3 倍	322.19	343.26	有效

5 结论

1) 现金流法是评价气井投资效益的基础方法, 概率模型法是在对其研究的基础上发展延伸而来的。

2) 代表气井效益的内部收益率主要受气井投资和气井生产能力的影响。

3) 气井单位无阻流量投资与气井内部收益率存在函数关系, 并且满足正态分布规律。

4) 现金流法计算内部收益率周期较长, 而概率函数方法可以在气井试气完成后进行气井投资评价, 可以极大地缩短气井投资评价周期。

参考文献:

- [1] 王源昌. 资本资产定价模型扩展与中国资本市场证据 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 50-51.
Wang Yuanchang. Expansion of Capital Asset Pricing Model and Evidence from China's Capital Market [M]. Beijing: Science Press, 2007: 50-51.
- [2] 王 军. 传统盈亏平衡分析的动态多因素改进 [J]. 石油化工技术经济, 2003, 19(5): 59-62.
Wang Jun. Improvement of Dynamic Multi-Factors of Traditionnal Breakeven Analysis [J]. Techno-Economics in Petrochemicals, 2003, 19(5): 59-62.
- [3] 王雅春, 卢双舫, 庞雄奇. 油气资源经济评价指标体系 [J]. 油气田地面工程, 2005, 24(5): 1-2.
Wang Yachun, Lu Shuangfang, Pang Xiongqi. Economic Evaluation Index System of Oil and Gas Resources [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2005, 24(5): 1-2.
- [4] Blank L, Tarquin A. 工程经济学 [M]. 第 5 版. 北京: 清华大学出版社, 2003: 89-92.
Blank L, Tarquin A. Engineering Economics [M]. 5th ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2003: 89-92.
- [5] 黄渝祥, 邢爱芳. 工程经济学 [M]. 第二版. 上海: 同济大学出版社, 1995: 35-36.
Huang Yuxiang, Xing Aifang. Engineering Economics [M]. 2nd ed. Shanghai: Tongji University Press, 1995: 35-36.
- [6] 陈 武, 曲晓强, 陈 尘, 等. 油田产能建设钻井成本最优经济界限研究 [J]. 钻采工艺, 2011, 34(6): 29-31.
Chen Wu, Qu Xiaoqiang, Chen Chen, et al. Research on the Optimal Economic Limit of Drilling Cost [J]. Drilling & Production Technology, 2011, 34(6): 29-31.
- [7] 肖 磊, 刘老群, 唐昌华, 等. 低渗透气藏储量最优经济评价模型与应用研究 [J]. 中外能源, 2010, 15(5): 60-63.
Xiao Lei, Liu Laoqun, Tang Changhua, et al. Research of Optimizing Economic Evaluation Model of Low Permeability Gas Reserves and Its Application [J]. Sino-Global Energy,

- 2010, 15 (5): 60 - 63.
- [8] 陈 尘, 杨 军, 程岚岚, 等. 气藏开发操作成本经济界限模型与应用[J]. 天然气与石油, 2012, 30(3): 63 - 66.
Chen Chen, Yang Jun, Cheng Lanlan, et al. Model of Economic Limit of Operation Costs in Gas Reservoir Development and Its Application [J]. Natural Gas and Oil, 2012, 30 (3): 63 - 66.
- [9] Rahmawati S D, Whiltson C H, Foss B, et al. Integrated Field Operation and Optimization [J]. Journal of Petroleum Science & Engineering, 2012, 81: 161 - 170.
- [10] Xu Qing, Yang Zhisheng, Chen Fuli, et al. Economic Evaluation of Volcanic Gas Production Project in Songliao Basin [C] // Paper SPE - 166674 - MS was Presented at the SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, 22 - 24 October, 2013, Jakarta, Indonesia. New York: SPE, 2013.
- [11] 刘宝和. 中国石油勘探开发百科全书[M]. 开发卷. 北京: 石油工业出版社, 2008: 263 - 264.
Liu Baohe. Encyclopedia of Petroleum Exploration and Development in China [M]. Development Volume. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 263 - 264.
- [12] 陈 武, 邓川南. 油气田开发单井经济产能界限模型研究[J]. 钻采工艺, 2007, 30(4): 62 - 63.
Chen Wu, Deng Chuannan. Research on Single Well Economic Pro-Ductivity Boundary Model in Oil and Gas Field Development [J]. Drilling & Production Technology, 2007, 30 (4): 62 - 63.
- [13] 国家发展与改革委员会. 建设项目经济评价方法与参数[M]. 北京: 中国计划出版社, 2006: 114 - 116.
National Development and Reform Commission. Economic Evaluation Method and Parameters of Construction Projects [M]. Beijing: China Planning Press, 2006: 114 - 116.
- [14] 陈 武, 钟水清. 油气开采经济控制成本界限的确定及计算方法研究[J]. 天然气勘探与开发, 2004, 27(2): 74 - 76.
Chen Wu, Zhong Shuiqing. Research on Determination and Calculation of Economically Controlling the Cost Limit in Oil and Gas Production [J]. Natural Gas Exploration & Development, 2004, 27 (2): 74 - 76.
- [15] 韩来聚, 李洪乾, 果传良, 等. 利用统计数据预测定向井钻井成本[J]. 石油钻探技术, 1995, 23(12): 27 - 31.
Han Laiju, Li Hongqian, Guo Chuanliang, et al. Prediction of Directional Drilling Cost with Statistical Data [J]. Petroleum Drilling Techniques, 1995, 23 (12): 27 - 31.
- [16] 陈爱江, 张文良. 概率论与数理统计[M]. 北京: 中国质检出版社, 2014: 12 - 15.
Chen Aijiang, Zhang Wenliang. Probability Theory and Mathematical Statistics [M]. Beijing: China Zhijian Publishing House, 2014: 12 - 15.
- [17] 注册咨询工程师(投资)考试教材编写委员会. 现代咨询方法与实务[M]. 北京: 中国计划出版社, 2003: 300 - 301.
Editorial Board of Registered Consulting Engineer (Investment) Examination Textbook. Modern Consulting Method and Practice [M]. Beijing: China Planning Press, 2003: 300 - 301.
- [18] 余建英, 何旭宏. 数据统计分析与 SPSS 应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010: 78 - 80.
Yu Jianying, He Xuhong. Data Statistical Analysis and SPSS Application [M]. Beijing: Post & Telecom Press, 2010: 78 - 80.

(上接第 86 页)

- Yu Delin. Accuracy Control in Device Installation for Steel and Iron Structure with Modular Construction [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2014, 40 (6): 39 - 40.
- [16] 曾宏强, 周 新. 船舶机舱通风系统设计方法对比分析研究[J]. 中国造船, 2016, 57(2): 201 - 205.
Zeng Hongqiang, Zhou Xin. A Comparison of Design Methods for Ship's Engine Room Ventilation System [J]. Ship Building of China, 2016, 57 (2): 201 - 205.
- [17] 姚正刚, 倪崇本, 姚 雯. 结构风管通风分析与优化研究[J]. 造船技术, 2016, (5): 82 - 88.
Yao Zhenggang, Ni Chongben, Yao Wen. Research on Air Distribution and Optimization of Structural Air Duct [J]. Marine Technology, 2016, (5): 82 - 88.
- [18] 吴 彬, 赵 阳, 李 旭, 等. 大型 LNG 模块结构一体化建造的施工应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, 38(3): 115 - 117.
Wu Bin, Zhao Yang, Li Xu, et al. Application of Large-scale LNG Modular Structure Integration Works [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2018, 38 (3): 115 - 117.
- [19] 魏雄标, 李小军. 陆地大型工厂模块化建造技术浅析 [C] // 中国钢结构协会. 全国钢结构学术年会论文集. 北京: 中国钢结构协会, 2010: 554 - 557.
Wei Xiongbiao, Li Xiaojun. Brief Discussion on the Land Modular Construction Technology of Large-scale Plant [C] // China Steel Construction Society. Proceedings of the Annual National Steel Construction Conference. Beijing: China Steel Construction Society, 2010: 554 - 557.
- [20] 马陈勇. 赢得值原理在 LNG 模块建造项目中的应用[J]. 油气田地面工程, 2017, 36(5): 68 - 71.
Ma Chenyong. Application of Earned Value Principle in the LNG Module Construction Project [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2017, 36 (5): 68 - 71.