



移动扫码阅读

巩泽文,刘恺德,白 优,等. 彬长矿区煤层气排采设备优化研究[J]. 煤炭科学技术,2019,47(12):156-160.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.12.023

GONG Zewen, LIU Kaide, BAI You, et al. Study on optimization of coalbed methane drainage equipment in Binchang Mining Area[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(12): 156-160. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.12.023

彬长矿区煤层气排采设备优化研究

巩泽文^{1,2},刘恺德³,白 优²,董 夔¹

(1.煤炭科学研究总院,北京 100013;2.中煤科工集团西安研究院有限公司,陕西 西安 710077;3.西京学院,陕西 西安 710123)

摘 要:排采设备的选取对于煤层气井排采效果影响较大,彬长矿区煤层气资源丰富,属于国家“十二五”规划建设的特大型现代化矿井,为提高煤层气的抽采率,在分析排采设备的适应性及影响因素的基础上,结合彬长矿区的地质情况和排采数据等,利用参数量化综合评价法进行排采设备优选,结果表明:彬长矿区最佳的排采方式为有杆泵,抽油泵选取 $\phi 38$ mm 管式泵,同时考虑静载荷、冲程和转矩等影响,经过悬点载荷公式计算,计算结果表明:当井深 400~600 m 时,选择 CYJ4-1.5-9 型抽油机;当井深 600~1 000 m 时,选择 CYJ5-2.1-13 型抽油机,抽油杆选取 D 级 $\phi 19$ mm,在后续排采实践中应用效果较好,研究成果可为彬长矿区煤层气排采设备选取提供一定的技术支撑。

关键词:彬长矿区;煤层气;排采设备;抽采率

中图分类号:TD712

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2019)12-0156-05

Study on optimization of coalbed methane drainage equipment in Binchang Mining Area

GONG Zewen^{1,2}, LIU Kaide³, BAI You², DONG Kui¹

(1.China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 2.Xi'an Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group, Xi'an 710077, China; 3.Xijing University, Xi'an 710123, China)

Abstract: The selection of drainage equipment has great influence on the drainage effect of coalbed methane wells. Binchang Mining Area is rich in CBM resources and belongs to the ultra-large modern mine under the national “Twelfth Five-Year Plan”. In order to improve the extraction rate of coalbed methane (CBM), on the basis of analyzing the adaptability and influencing factors of the mining equipment and combining the geological conditions and drainage data of Binchang Mining Area, the parameter quantification comprehensive evaluation method is used to optimize the drainage equipment. The results show that the best drainage method in Binchang Mining Area is by rod pump, with the selection of $\phi 38$ mm tube pump. Considering the effects of static load, stroke and torque, the calculation of suspension load formula shows that well depth is 400~600 m, the CYJ4-1.5-9 pumping unit is selected; when the well depth ranges from 600 to 1 000 m, the CYJ5-2.1-13 pumping unit should be chosen, sucker rod should employ the D grade $\phi 19$ mm, and the application effect is pretty good in the practice of subsequent mining. The research results can provide certain technical support for the selection of coalbed methane drainage and mining equipment in Binchang Mining Area in the future.

Key words: Binchang Mining Area; coalbed methane; drainage equipment; drainage rate

0 引 言

彬长矿区处于黄陇侏罗纪煤田中部,位于彬县、长武县境内,规划面积 790 km²,现已探明煤炭地质储量 67.29×10⁸ t,瓦斯资源储量约 300×10⁸ m³,是国家“十二五”规划建设的大型、特大型现代化矿井群

的重点矿区,但是彬长矿区是高瓦斯矿区,近年来随着矿区各矿井的陆续投产和煤炭开采,瓦斯超限时时有发生,严重制约煤炭的正常、安全生产,瓦斯治理形式比较严峻,对地面煤层气抽采工艺及关键技术的研究及优化,将推动彬长矿区地面与井下瓦斯的综合抽采及利用,降低井下瓦斯治理难度,提高煤炭

收稿日期:2019-06-20;责任编辑:赵 瑞

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX05045002);中煤科工集团西安研究院有限公司科技创新基金资助项目(2018XAYMS20)

作者简介:巩泽文(1986—),男,陕西米脂人,助理研究员,博士。Tel:029-87877275, E-mail: gongzewen@ cctegxian.com

生产效率,同时应对当前国家对非常规能源开发的需求,具有重大意义,而排采是地面煤层气开发的重要阶段,煤层气井的生产实际是排水降压采气的过程,排采设备是影响采气效果的关键环节,设备的合理选型是保障煤层气井连续稳定排采的重要因素,我国煤田地质条件的复杂性、地域性,对排采设备的技术条件和适应性提出了更高的要求,煤层气现场选用的排采设备普遍存在投资大、设备选用不配套现象,引起杆柱断裂、卡泵、埋泵、检泵周期缩短等问题^[1-3],严重影响煤层气的正常开采,成为煤层气规模化、商业化开发的瓶颈。目前国内外最常见的煤层气排水采气技术有:有杆泵、螺杆泵、电潜泵、射流

泵、气举工艺、泡排工艺等^[4-6]。不同方法适用性不同,结合彬长矿区的储层特征和生产数据,探索构建适合彬长矿区的煤层气排采设备优选模型,优化煤层气排采设备,指导煤层气排采设备进行系统而科学的选型,对保障矿区煤层气井连续稳定经济排采,提升煤层气勘探开发效率具有重要意义。

1 排采设备适应性分析

不同的排采设备具有其针对性^[5,7-10],所适应的生产参数、地层参数、开采条件、地面环境、井下状况、维修管理,以及其他条件的对比分析结果见表 1。

表 1 5 种主要煤层气排采方式的适应性

Table 1 Adaptability of five main coalbed methane drainage methods

项目	条件参数	有杆泵	螺杆泵	电潜泵	气举	水射流泵
生产参数	最大排量/(m ³ ·d ⁻¹)	600	300	640	790	1 000
	最小排量/(m ³ ·d ⁻¹)	1~20	2.4~15	<60	<30	<16
	最大井深/m	<2 700	<1 500	<2 950	<3 200	<2 800
地层参数	温度限制/℃	<120	≤90	<149	<180	≤120
	地层压力/MPa	不限	<10	不限	>10	<10
	最小流压/MPa	<1.0	<0.1	1.4	<1.0	<1.0
开采条件	含砂、煤粉含量/%	<0.1	<10	<0.02	<0.1	<3
	气水体积比/(m ³ ·m ⁻³)	<0.5	<5	<0.05	不限	不限
地面条件	地面环境	装置较大	装置小适宜	装置小高压源适宜	适宜	动力源宜远离井口
井下状况	小井眼	磨损严重	适宜	不适宜	适宜	适宜
	分层措施	适宜	不适宜	不适宜	适宜	适宜
	井斜限制	<5°	<2.5°	<60°	限制少	<24°/30 m
维修管理	检泵	较困难	较困难	困难	容易	容易
	平均免修期/a	2	1	1.5	3	0.5
	生产管理	较方便	方便	方便	方便	方便
其他条件	投资成本	管理费低;越深基建费越大	费用较低	功率大时费用高;管理费高	压缩机、燃料费高	动力费高,维护费低
	投资有效性	有效	有效	一般	有效	有效
	适用范围	适用范围广	适用范围广	地层压力低,产液量大	气液比、产量变化大;出砂、高腐蚀	气藏强排水

2 矿区排采设备优选

2.1 参数量化综合评价法

对于一口给定的煤层气井,究竟选用何种排采设备,需要进行不同排采设备技术经济指标论证。排采设备对煤层气井的开采条件有一定要求,不仅要考虑煤层气井动态参数的影响,同时,要考虑煤层气地质、地面环境、井下状况、开采条件、维修管理等因素^[11-15]。此外,还需要考虑排采设备可靠性、维

护难度等。进行最佳排采设备选择的关键,是综合对比分析最终的经济投入^[16-20]。因此,依据彬长矿区煤层气开发的实际情况,以下采用参数量化综合评价法进行排采设备优选研究。

2.1.1 参数量化综合评价法理论^[20]

作为排采设备的优选方法,参数量化综合评价法,其实质是用参数化、量化方法来综合评价各种排采设备的主要指标,在考虑地质、环境、煤层气井动态、技术、经济等诸多因素的基础上,优选出适合给定煤层气

井的排采设备。煤层气排采设备的参数可分为3组:

1)第1组用来评价某种排采设备的使用条件是否满足煤层气井动态参数,用 x 表示。采用两级评价系数,即 $x=1$ 表示为满足, $x=0$ 表示为不满足。评价某种排采设备使用条件的综合参数为

$$X = \prod_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

式中: x_i 为局部参数的评估值; n 为局部参数 x 的总数,根据煤田的具体情况确定。

2)第2组用来评价某种排采设备适应于该煤层气井的程度,用 y 表示。采用五级评价系数,即 $y=4$ 为很适宜, $y=3$ 为适宜, $y=2$ 为较好, $y=1$ 为一般, $y=0$ 为不适宜。其计算公式为

$$Y = n \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n y_i} \quad (2)$$

式中: Y 为评价某种排采设备适应程度的局部综合参数值; y_i 为局部参数的评估值; n 为自然数。

3)第3组用来评价某种排采设备的难易程度、经济性等因素,用 z 表示。采用三级评价系数,即 $z=3$ 为较好, $z=2$ 为一般, $z=1$ 为较差。其计算式为

$$Z = n \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n z_i} \quad (3)$$

式中: Z 为评价某种排采设备有效性的局部综合参数值; z_i 为局部参数的评估值。

4)终评。评价某种排采设备的适应性需综合各局部综合参数值,其计算式为

$$V = X \sqrt{YZ} \quad (4)$$

式中, V 为评价某种排采设备适应性的综合参数值。

2.1.2 参数综合评价法具体用法

1)按给定煤田的具体情况选定各个局部参数项,表2所列举的局部参数项并不全面,可根据具体情况增减。

2)依据煤层气井排采工艺和技术水平,来综合评价排采设备的主要技术经济指标。

3)对煤层气排采设备的主要技术经济指标量化,给出各局部参数的评估值。

4)依据式(1)一式(3)计算出各排采设备的使用条件、适应程度和可行性的局部综合参数值,然后代入式(4)计算出各排采设备适应性的综合参数值。

5)完成最佳排采设备的优选:选出综合参数值最高的排采设备,即首选的煤层气排采设备。

2.2 矿区煤层气排采现状

根据彬长矿区大佛寺井田地质资料,dfs-c01、dfs-c02、dfs-c03、dfs-c04、dfs-05和dfs-06煤层气井最大排水量 $q_{L,\max} = 300 \text{ m}^3/\text{d}$,最小排水量 $q_{L,\min} =$

$1 \text{ m}^3/\text{d}$,平均储层压力为 3.5 MPa ,储层温度 $23.8 \text{ }^\circ\text{C}$,煤层埋深 $H = 400 \sim 630 \text{ m}$,含砂、煤粉 0.02% ;气水比 0.2 ;井倾斜角度 $<2.5^\circ$ 。

2.3 矿区最佳排采设备优选

现依据该煤层气井的开采实际情况,选择最佳排采设备具体步骤如下:

1)依据彬长矿区大佛寺井田的具体情况,选定表2所示的各局部参数项。

2)综合评价煤层气排采设备的主要技术经济指标见表2。

表2 彬长矿区煤层气排采方式主要技术

经济指标综合评价

Table 2 Comprehensive evaluation of main technical and economic indicators of coalbed methane drainage mode in Binchang Mining Area

项目	条件参数	气举	有杆泵	电潜泵	射流泵	螺杆泵
生产参数	最大排量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	790	600	640	1 000	300
	最小排量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	<30	1~20	<60	<16	2.4~15
	最大井深/ m	<3 200	<2 700	<2 950	<2 800	<1 500
地层参数	温度限制/ $^\circ\text{C}$	<180	<120	<149	≤ 120	≤ 90
	地层压力/MPa	>10	不限	不限	<10	<10
	最小流压/MPa	<1.0	<1.0	1.4	<1.0	<0.1
开采条件	含砂、煤粉 含量/%	<0.1	<0.1	<0.02	<3	<10
	气水体积比/ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)	不限	<0.5	<0.05	不限	<5
地面环境	地面环境	适宜	适宜	较好	适宜	适宜
井下状况	小井眼	适宜	较好	不适宜	适宜	适宜
	分层措施	一般	一般	不适宜	一般	不适宜
	井斜限制	很适宜	一般	适宜	较好	一般
维修管理	检泵	适宜	较好	一般	适宜	较好
	免修期	很适宜	适宜	较好	一般	较好
	生产管理	适宜	较好	适宜	适宜	适宜
其他条件	投资成本	较高	较低	较高	一般	较低
	投资有效性	有效	有效	一般	有效	有效
	适用范围	一般	较广	较窄	较窄	较广

3)对排采设备的主要指标进行量化,给出评估值,具体见表3。

4)依据式(1)一式(3),计算各局部综合参数值,然后代入式(4)计算得出各排采设备适应性的综合参数值(表4)。由表4可知,有杆泵的综合参数值最高。因此,依据彬长矿区实际情况,应首选有

杆泵排采设备来开采煤层气。

表 3 排采设备量化指标

Table 3 Quantitative index of drainage and mining equipment							
评估值	项目	条件	气举	有杆泵	电潜泵	射流泵	螺杆泵
局部参数 x 的评估值	生产参数	最大排量	1	1	1	1	0
		最小排量	1	1	0	1	1
		最大井深	1	1	1	1	1
	地层参数	温度限制	1	1	1	1	1
		地层压力	0	1	1	1	1
		最小流压	1	1	0	1	1
	开采条件	含砂、煤粉比	1	1	1	1	1
		气水比	1	1	0	1	1
	地面环境	地面环境	3	3	2	3	3
		小井眼	3	2	0	3	3
局部参数 y 的评估值	井下状况	分层措施	1	1	0	1	0
		井斜限制	4	1	3	2	1
		检泵	3	2	1	3	2
	维修管理	免修期	4	3	2	1	2
		生产管理	3	2	3	3	3
局部参数 z 的评估值	其他条件	投资成本	1	3	1	2	3
		投资有效性	3	3	2	3	3
		适用范围	2	3	1	1	3

表 4 各排采设备适应性的综合参数

Table 4 Comprehensive parameters for adaptability of each drainage and mining equipment					
参数评估值	气举	有杆泵	电潜泵	射流泵	螺杆泵
综合参数 X 评估值	0	1.000	0	1.000	0
综合参数 Y 评估值	2.672	1.842	0	2.068	0
综合参数 Z 评估值	1.817	3.000	1.259	1.817	3
综合参数 V 评估值	0	2.351	0	1.938	0

彬长矿区排采设备的优选结果为有杆泵,有杆泵的基本组成是抽油机、抽油杆、油管、抽油泵。按照抽油泵在油管上的固定方式可分为管式泵和杆式泵(表 5),根据二者的特点,结合彬长矿区地面煤层气井的井深、产量特点,抽油泵选择管式泵。

抽油机的选型:采用彬长矿区排采数据,设定冲程为 2.1 m、冲次为 7 次/min 时,采用 D 级 19 mm 抽油杆,根据悬点载荷计算公式计算,得到埋深在 500~1 000 m 的悬点最大载荷为 18.63~37.26 kN,最大扭矩为 4.96~9.92 kN·m,考虑载荷利用率 60%~80%的情况下,建议当煤层埋深 400~600 m 时,可考虑 CYJ4-1.5-9 型抽油机;600~1 000 m 时,

可考虑 CYJ5-2.1-13 型抽油机。

表 5 有杆泵特征

Table 5 Characteristic of rod pump			
有杆泵类型	优点	缺点	适应条件
管式泵	构简单、成本 低,排量大	检泵时必须起出油管,修井工作量大	适用于下泵深度不很大,产量较高的气井
	修井工作量小	结构复杂,制造成本高,排量小	适用于下泵深度大、产量较小的气井

抽油杆的选型:考虑到煤层埋深为 400~800 m,即使设定下泵深度为 1 000 m,冲程为 2.1 m、冲次为 7 次/min 时,如果采用 D 级 19 mm 抽油杆,根据悬点载荷公式和折算应力计算公式计算得到,其悬点最大载荷为 37.26 N,悬点最小载荷为 18.37 N,折算应力 66.19 N/mm²。抽油杆折算应力 66.19 N/mm²< D 级抽油杆的许用应力 110 N/mm²,因此选用 D 级 φ19 mm 抽油杆完全可以满足彬长区块要求。

对于抽油泵的选择要尽量满足排液时最大产液量的要求,泵径不能选择过大,越大则悬点载荷越大,对抽油杆及整个排采系统要求更高。根据排采系统能力选取原则,即排采系统理论排液能力为理论产水量的 2 倍左右。当 φ38 mm 泵、2.1 m 冲程、7 次/min 冲次时,理论排量为 24 m³/d,当泵校为 50% 时,排量为 12 m³/d,可以较好地满足排量一般小于 10 m³/d 施工的要求。

综上所述,对于采用管式泵的有杆泵排采方式,抽油机的选择应根据煤层埋深来确定,当煤层埋深 400~600 m 时,可考虑 CYJ4-1.5-9 型抽油机;600~1 000 m 时,可考虑 CYJ5-2.1-13 型抽油机;管式泵可以考虑采用 φ38 mm 管式泵;抽油杆选择 D 级 φ19 mm 抽油杆。

2.4 排采效果

Dfs-c01 井生产曲线如图 1 所示。Dfs-c01 井根据参数量化综合评价法进行设备选型,选用

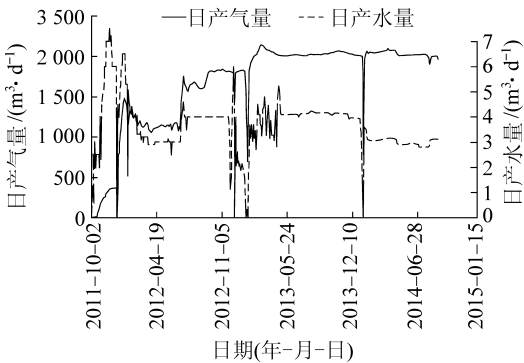


图 1 Dfs-c01 井生产曲线

Fig.1 Production curves of well Dfs-c01

CYJ5-2.1-13型抽油机,管式泵采用 $\phi 38$ mm管式泵,D级 $\phi 19$ mm抽油杆,稳产阶段日产水量 $3\sim 5\text{ m}^3/\text{d}$,日产气量达 $1\,500\sim 2\,000\text{ m}^3/\text{d}$,排采效果较好。

3 结 论

1)在考虑彬长矿区地质、环境、煤层气井动态、技术、经济等诸多因素的基础上,结合彬长矿区的排采经验,利用参数量化综合评价法进行排采设备选型,当井深 ≤ 600 m时,选择CYJ4型,可选择CYJ4-1.5-9型抽油机,当井深在 $600\sim 1\,000$ m时,选择CYJ5型,可选择CYJ5-2.1-13型抽油机。

2)在满足产液量的条件下,尽量选择小泵径进行生产,既满足排采需求,又节约成本,结合彬长矿区实际产水量,选择 $\phi 38$ mm管式泵和D级 $\phi 19$ mm抽油杆进行排采。

参考文献(References):

- [1] 乔 康.低煤阶煤储层敏感性分析及对煤层气排采的影响[J].煤矿安全,2018,49(5):14-16.
QIAO Kang.Sensitivity analysis of low rank coal reservoir and its influence on coalbed methane drainage[J].Safety in Coal Mines, 2018,49(5):14-16.
- [2] 李 瑞,王生维,吕帅锋,等.煤层气排采过程中储层压降动态变化影响因素[J].煤炭科学技术,2017,45(7):93-99.
LI Rui,WANG Shengwei,LYU Shuaifeng,et al.Dynamic varied influence factors of pressure drop in coal reservoir during coalbed methane drainage process[J].Coal Science and Technology, 2017,45(7):93-99.
- [3] 孟召平,侯泉林.煤储层应力敏感性及其影响因素的试验分析[J].煤炭学报,2012,37(3):430-437.
MENG Zhaoping,HOU Quanlin.Experimental research on stress sensitivity of coal reservoir and its influencing factors[J].Journal of China Coal Society,2012,37(3):430-437.
- [4] 李登华,高 媛,刘卓亚,等.中美煤层气资源分布特征和开发现状对比及启示[J].煤炭科学技术,2018,46(1):252-261.
LI Denghua,GAO Xuan,LIU Zhuoya,et al.Comparison and revelation of coalbed methane resources distribution characteristics and development status between China and America[J].Coal Science and Technology, 2018,46(1):252-261.
- [5] 范 耀.彬长矿区大佛寺井田煤层气直井排采制度优化[J].煤炭技术,2015,34(11):176-178.
FAN Yao.Production systems optimization of CBM vertical well in Binchang Dafosi Coal Field[J].Coal Science and Technology, 2015,34(11):176-178.
- [6] 林柏泉,李庆钊,原德胜,等.彬长矿区低煤阶煤层气井的排采特征与井型优化[J].煤炭学报,2015,40(1):135-141.
LIN Baiquan,LI Qingzhao,YUAN Desheng,et al.CBM production character and surface well selection in Binchang low rank coal field[J].Journal of China Coal Society,2015,40(1):135-141.
- [7] 张晓阳,吴财芳,刘 强.基于排采速率的煤层气井排采制度研究[J].煤炭科学技术,2015,43(5):131-135.
- [8] ZHANG Xiaoyang,WU Caifang,LIU Qiang.Study on drainage system of coalbed methane well based on drainage rate[J].Coal Science and Technology,2015,43(5):131-135.
- [9] 徐春成.煤层气井排采设备选型与优化设计[D].青岛:中国石油大学,2013:10-36.
- [10] 万小进,任兵兵,王朋久,等.排水采气工艺技术现状分析及应用[J].重庆科技学院学报:自然科学版,2013,15(S1):81-83.
WAN Xiaojin,REN Bingbing,WANG Pengjiu,et al.Analysis and application of current status of drainage and gas production technology[J].Journal of Chongqing University of Science and Technology:Natural & Science Edition,2013,15(S1):81-83.
- [11] 郭大立,贡玉军,李曙光,等.煤层气排采工艺技术和展望[J].西南石油大学学报:自然科学版,2012,34(2):91-98.
GUO Dali,GONG Yujun,LI Shuguang,et al.Research and prospect about the CBM drainage technology[J].Journal of Southwest Petroleum University:Science & Technology Edition,2012,34(2):91-98.
- [12] 春 兰,魏文兴.国内外排水采气工艺现状[J].吐哈油气,2004,9(3):255-261.
CHUN Lan,WEI Wenxing.Current status of domestic and foreign drainage and gas production processes[J].Tuha Oil and Gas, 2004,9(3):255-261.
- [13] 张宏录,刘海蓉.中国页岩气排采工艺的技术现状及效果分析[J].天然气工业,2012,32(12):49-51.
ZHANG Honglu,LIU Hairong.Technical status and effect analysis of China's shale gas drainage technology[J].Natural Gas Industry,2012,32(12):49-51.
- [14] 刘 东.超深井排水采气工艺方法研究[D].青岛:中国石油大学,2009:2-10.
- [15] 苏 伟.煤层气直井排采防煤粉有杆泵的设计研究[D].青岛:青岛理工大学,2012:5-26.
- [16] 刘新福,綦耀光,李延祥,等.煤层气井有杆泵排采设备设计计算方法[J].煤炭学报,2010,35(10):1685-1691.
LIU Xinfu,QI Yaoguang,LI Yanxiang,et al.Design calculation of sucker rod pumps in coalbed methane wells[J].Journal of China Coal Society,2010,35(10):1685-1691.
- [17] 程百利.煤层气井排采工艺研究[J].石油天然气学报,2010,32(6):480-482,545.
CHENG Baili.Discussion on discharge and producing techniques for coalbed methane wells[J].Journal of Oil and Gas Technology, 2010,32(6):480-482,545.
- [18] 周 帅,崔金榜,石慧宁,等.煤层气井专用电潜泵研究与应用[J].中国煤层气,2010,7(6):35-38.
ZHOU Shuai,CUI Jinbang,SHI Huining,et al.Research and application of special-purpose submerged electric centrifugal pump for CBM well[J].China Coalbed Methane,2010,7(6):35-38.
- [19] 李 芳.煤层气井电潜泵排采技术研究与设计[D].青岛:中国石油大学,2011:12-27.
- [20] 刘新福.煤层气排水采气设备的选型研究[D].青岛:中国石油大学,2009:3-20.
- [21] 陈宪侃,叶利平,谷玉洪.抽油机采油技术[M].北京:石油工业出版社,2004:53-54.