

文章编号: 1673-9469(2017)04-0078-06

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2017.04.018

## 福山花场地区流一段储层非均质性研究

周武<sup>1</sup>, 孟元林<sup>1</sup>, 刘思琪<sup>1</sup>, 胡越<sup>2</sup>, 余麒麟<sup>1</sup>

(1. 东北石油大学地球科学学院, 黑龙江大庆163318; 2. 大庆油田有限责任公司采油三厂, 黑龙江大庆163256)

**摘要:** 为解决北部湾盆地福山凹陷花场地区流一段剩余油滞留现象严重、注采效果差等问题, 结合该区实际情况, 利用岩心、测井、录井等资料, 对福山凹陷花场地区流沙港组一段储层的层内、层间和平面非均质性进行研究。结果表明, 研究区层内非均质性较强, 受沉积构造的影响, 储层层内渗透率变异系数、突进系数和极差整体较强, 均值系数普遍偏低, II、IV油组的夹层分布相对较多; 层间非均质性主要受层厚、砂厚以及隔层厚度的影响, 不同层位差异较大。平面非均质性受砂体及沉积微相展布影响, 不同地区表现出较强的非均质性。综合得出, 研究区内位于河道内的II、IV油组为剩余油分布的有利区域。

**关键词:** 非均质性; 沉积构造; 花场地区; 福山凹陷; 流沙港组一段

**中图分类号:** P618.13

**文献标识码:** A

## Research on reservoir heterogeneity of the first member of Liushagang formation of the Huachang field in the Fushan Sag

ZHOU Wu<sup>1</sup>, MENG Yuanlin<sup>1</sup>, LIU Siqu<sup>1</sup>, HU Yue<sup>2</sup>, YU Qilin<sup>1</sup>

(1. Geoscience College, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang, 163318, China;  
2. No.3 Oil Production Company, Daqing Oilfield Limited Company, Daqing, Heilongjiang, 163256, China)

**Abstract:** In order to solve the oil remaining serious, injection and extraction effect issues in Huachang field of Fushan sag, combined with the actual situation in the region, using the core data, logging data, layer, interlayer and plane heterogeneity of Huachang field flow for a period in Fushan oilfield were studied. The results show that the coefficient of variation of permeability, the coefficient of the breakthrough and the range of the reservoir in the first section of the flow field are stronger, and the mean coefficient is lower. From the interlayer distribution, the study area flow reservoir II and IV oil group is relatively strong; the study area is mainly affected by the strong reservoir heterogeneity, sedimentary structure, permeability heterogeneity, interlayer distribution and non control factors such as particle size rhythm; interlayer heterogeneity is mainly affected by the thickness, sandstone thickness and interlayer thickness. Large differences exist in different horizons. The plane heterogeneity is influenced by the distribution of sand bodies and sedimentary microfacies. It is concluded that the oil reservoirs in the study area are favorable for the remaining oil distribution.

**Key words:** Heterogeneity; Sedimentary structure; Huachang field; Fushan sag; the first member of Liushagang formation.

储层非均质性是衡量储层特征参数在三维空间上的不均质性, 具体是指储层的基本性质(岩性、物性、电性及含油气性等)在三维空间分布的不均一性<sup>[1]</sup>。储层的非均质性决定着剩余油的分布状况,

是油田注水开发和中后期油藏精细描述的重要研究内容<sup>[2]</sup>。目前, 国内外油田的勘探开发和开采普遍进入了中高含水期, 但仍有大量剩余油无法确切判断其储存位置, 这就给油田的开采带来很大的困扰。

收稿日期: 2017-09-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(U1262106, 41572135); “十三五”国家科技重大专项(2016ZX05046-001-006)

作者简介: 周武(1992-), 男, 陕西西安人, 硕士, 研究方向为沉积与储层。

因此，通过储层非均质性研究，提高采收率显得尤为重要<sup>[3]</sup>。随着注水开发的不断深入，当前北部湾盆地花场地区剩余油滞留现象严重，部分注采井组见效差异大，油水井的水驱效果差，治理困难。针对这一现状，为改善工区油藏开发效果，提高最终采收率，有必要开展对储层非均质性的研究。

### 1 区域地质概况

福山凹陷是南海大陆架北部湾盆地内一个中新世界的凹陷，处在南海大陆架的南部边缘，海南隆起区北部的斜坡上，北边进入琼州海峡，东边与云龙凸起相邻，西边毗连临高凸起。总面积 2 880 km<sup>2</sup>。福山凹陷的西北边是以临高断裂为边界的，临高凸起是其上升盘，东南面被长流断裂以及云龙凸起隔离开，南面是海南隆起<sup>[4-11]</sup>。花场地区位于福山凹陷中部构造带，为福山凹陷主要产油气区。

本区古近系地层由老至新依次为长流组、流沙港组和涠洲组(图 1)，目的层流沙港组一段地层距今约 40 Ma 开始接受沉积，持续约 4 Ma，从而而上分为五个油层组分别为 V 油组、IV 油组、III 油组、II 油组和 I 油组(图 1)，主要发育辫状河三角洲相。

### 2 储层层内非均质性

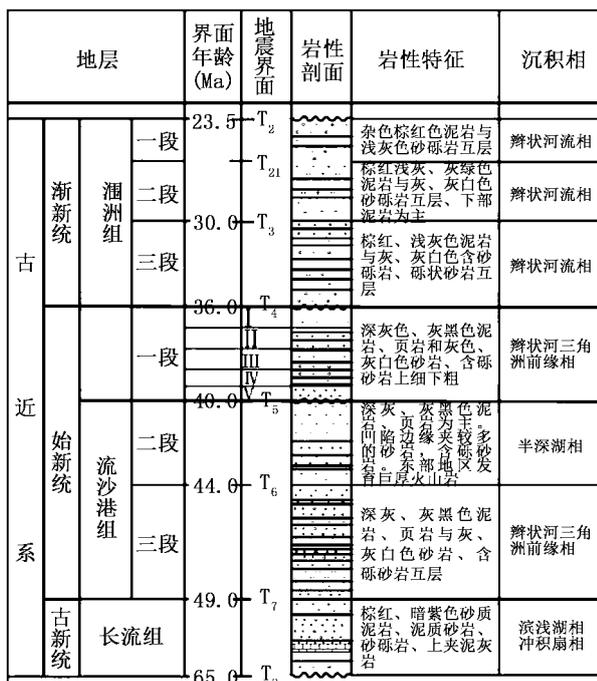


图 1 岩性综合柱状图(据石彦民 2007)  
Fig.1 Comprehensive lithology histogram(Shi, 2007)

### 2.1 沉积构造特征及其对非均质性的影响

层理的发育对渗透率的各向异性影响很大，斜层理和平行层理的渗透率导向性好，而交错层理则较差<sup>[2]</sup>。研究区物源大部分来源于南部，少量来源于北部次凸起，发育辫状河三角洲前缘亚相和前三三角洲亚相。可进一步分为水下分流河道、河口坝、分流间湾、席状砂等微相。常发育块状层理、交错层理、波状层理(图 2(a))和平行层理(图 2(b))，还发育一些层内变形构造(图 2(c))和粒序层理(图 2(d))，说明在研究区除了牵引流之外，还发育重力流沉积。渗透率的大小与层理的方向关系密切，顺层理方向渗透率最大，垂直层理和逆层理方向渗透率极小，导致不同方向的渗透率相差很大，也导致了流一段层内非均质程度的加强。

### 2.2 砂体韵律特征

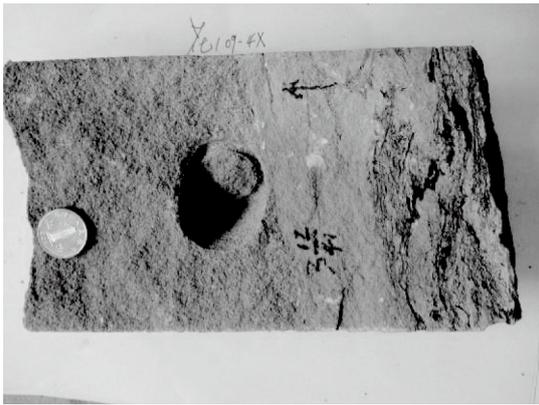
由图 3 可见，均质韵律特征为渗透率由下到上大小基本稳定(图 3(a))；渗透率均质律往往导致岩石物性整体较好，反映水动力作用稳定，本地区这类储层主要发育在水下分流河道微相中。本区渗透率均质韵律很少，这是由于沉积环境和沉积方式的复杂多变造成的，体现该地区非均质性较为明显。复合正韵律是多个正韵律组合而成(图 3(b))，主要发育在水下分流河道微相中。是多期河道下蚀作用，并垂向加积的结果，在本区所占比例较多。随着各砂体之间泥质夹层的增多，层内非均质性变强。

反韵律表现为渗透率上部高、下部低，往往导致储层物性由上到下依次变差(图 3(c))，在本区主要发育于三角洲前缘席状砂和河口坝中，反映水动力环境逐渐减弱所产生的沉积。

复合韵律为正韵律和反韵律叠合出现的特征(图 3(d))。花场地区常见复合反-正韵律，垂向上表现为上部为反韵律、下部为正韵律的组合，渗透率表现为上高、中低、下高的特征；此韵律特征在工区最为常见，主要为水下分流河道微相，由于河道水动力的强、弱交替变化作用导致。

### 2.3 层内非均质性定量评价

在油田注水开发中，渗透率的各向异性及空间位置组合情况决定采收率大小，所以常用渗透率分布特征定量评价储层非均质性。通常用渗透率的突进系数(Tk)、级差(Jk)、变异系数(Vk)以及均质系数(Tp)的数值来综合定量评价层内非均质性的强



(a) 灰色块状细砾岩, 发育波状层理  
(花 109-4X, 2 404.5 ~ 2 413.15 m)



(b) 块状细砂岩, 发育平行层理  
(花 114X, 2 567 ~ 2 577 m)

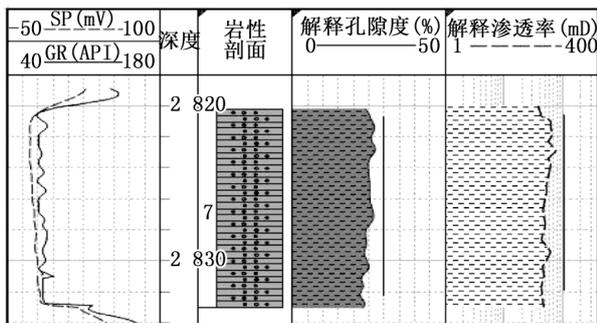


(c) 砂砾岩中发育揉皱构造, 含有泥砾和泥质条带  
(花 114X, 2 693.03 ~ 2 701.05 m)

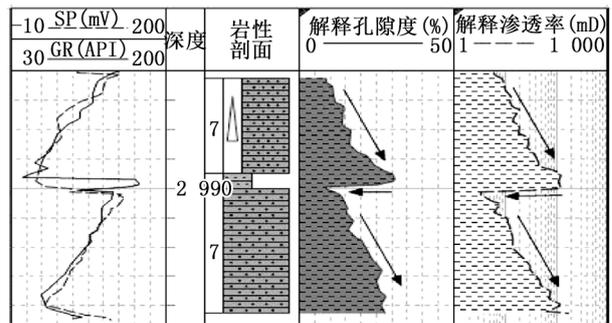


(d) 棕色含砾细砂岩, 反韵律  
(花 109-4X, 2 395.5 ~ 2 404.5 m)

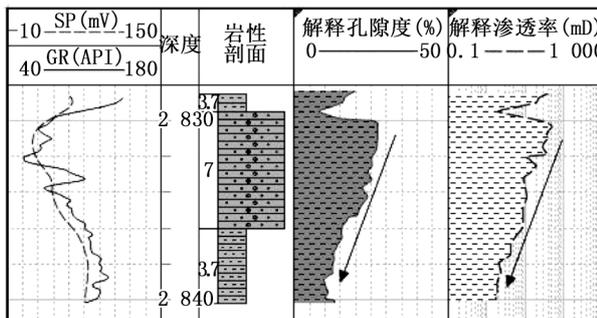
图 2 福山凹陷花场地区岩心照片  
Fig.2 Core photos of Fushan Sag



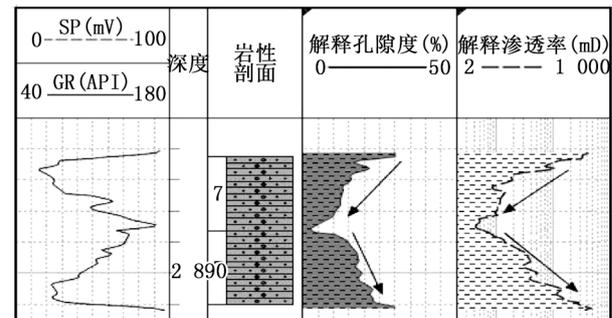
(a) 渗透率均质韵律特征 (花 107-5X 井, II 油组)



(b) 渗透率复合正韵律特征 (花 109-6X, I 油组)



(c) 渗透率反韵律特征 (花 121-11X 井, IV 油组)



(d) 渗透率复合韵律特征 (花 114-9X, III 油组)

图 3 福山凹陷花场地区流一段储层渗透率韵律分布特征

Fig.3 Distribution characteristics of reservoir permeability in the first section of the Huachang field in Fushan Sag

度。研究表明，研究区流一段储层平均孔隙度为14.1%，平均渗透率为66.53 mD，总体上物性较好，但各油层组的渗透率级差和突进系数都很高（表1），变异系数普遍大于0.89，均质系数基本小于0.32，表明层内非均质性很强。

## 2.4 夹层分布特征

研究区夹层为泥岩、粉砂质泥岩以及少量钙质砂岩，厚度从几厘米到几米不等。夹层的存在对层内非均质性有着巨大的影响<sup>[3]</sup>。通常用单位厚度的储层内非渗透性泥质夹层的个数（夹层分布频率）和单位厚度的储层内非渗透性泥质夹层的总厚度（夹层分布密度）来表征夹层对非均质性的影响<sup>[9]</sup>。流一段储层各油层组泥质夹层统计结果表明（表2），区内IV油组夹层频率最大，达0.33层/m；II油组的夹层频率为0.269层/m；III油组和V油组相差不大，分别为0.193层/m和0.196层/m；I油组夹层频率最小，为0.153层/m。单井夹层密度IV油组最高，达0.301；II油组次之，为0.284；I、II、V油组较低，分别为0.153、0.171、0.191。由此可见，

从储层非均质性受夹层各参数的影响程度来看，II、IV油组较强，I、III、V油组较弱。

## 3 层间非均质性

层间非均质性是指相邻储层或砂体垂向上岩性、结构、物性等方面的差异。通常用砂/地比、隔层厚度来表征储层的层间非均质性。花场地区流一段各油层组砂/地比、隔层厚度统计结果表明（表3—表4），I油组的砂地比、单砂层平均厚度均最大，V油组的砂地比和单砂层平均厚度最小。

隔层是位于单砂层之间的非渗透或特低渗岩层，本区隔层厚度大多大于5 m，岩性致密，以泥页岩和粉砂质泥岩为主，还包括少量钙质泥岩<sup>[11]</sup>。隔层厚度大、分布广，相邻砂层相互独立，储层内的油、气、水无法窜流<sup>[3]</sup>。

流一段隔层发育特征统计结果表明（表4），IV油组的单井平均隔层厚度为66.54 m，单井平均隔层3.03个，在五个油组中最大，在一定程度上表明IV油组的隔层在全区稳定发育分布较广；II油组最小

表1 福山凹陷花场地区流一段储层渗透率非均质参数统计表

Tab.1 The Statistics of heterogeneity of reservoir permeability in the first section of the Huachang field in Fushan Sag

非均质性参数	I	II	III	VI	V
级差	522	379.6	331.9	248.6	388.16
突进系数	3.76	3.48	3.44	3.16	3.82
变异系数	0.99	0.93	0.96	0.89	1.04
均质系数	0.274	0.286	0.29	0.315	0.264
非均质性程度	强	强	强	强	强

表2 花场地区储层夹层统计表

Tab.2 The Statistics of reservoir interlayer in Huachang field

层位	单井平均砂岩厚度/m	单井夹层平均厚度/m	单井平均夹层数/个	单夹层平均厚度/m	夹层频率/(层·m <sup>-1</sup> )	夹层密度
I	46.59	7.15	7.14	1.06	0.153	0.153
II	38.49	10.96	9.96	1.17	0.269	0.284
III	24.96	4.27	4.82	0.896	0.193	0.171
IV	28.83	8.67	9.52	1.05	0.33	0.301
V	21.43	4.106	4.21	0.947	0.196	0.191

表3 福山凹陷花场地区流一段储层砂地比统计表

Tab.3 The statistics of sandstone percent of the Huachang field in Fushan Sag

层位	地层平均厚度/m	砂岩平均厚度/m	单井平均砂岩层数	单砂层平均厚度/m	砂地比
I	111.37	49.75	10.94	4.33	0.447
II	94.13	40.65	13.06	3.08	0.432
III	84.09	27.34	8.65	2.57	0.325
IV	109.68	31.45	13.26	2.37	0.287
V	103.24	25.02	8.35	2.87	0.242

表4 花场地区流一段储层隔层统计表  
Tab.4 The statistics of the first section of the reservoir in the Huachang field

层位	地层平均厚度/m	单隔层平均厚度/m	单井平均隔层厚度/m	单井平均隔层数
I	111.37	18.15	50.76	2.49
II	94.13	19.11	40.32	2.06
III	84.09	21.47	47.68	2.21
IV	109.68	22.58	66.54	3.03
V	103.24	20.43	53.49	2.44

单井平均隔层厚度为 40.32 m，单井平均隔层 2.06 个。

### 4 平面非均质性

储层平面非均质性研究，主要包括储集层砂体的连续性、规模、几何形态，以及砂体内孔隙度、渗透率的平面变化规律。平面非均质性对油田生产、剩余油分布的影响，直接决定着注入剂的平面波及频率<sup>[12-13]</sup>。由流一段 II 油组和 IV 油组的孔隙度、渗透率等值线的分布图(图 4、图 5)可见，同一层段不同地区、不同层段同一地区的孔、渗变化很大，说明储集层砂体的平面非均质性非常强。流一段 II 油组和 IV 油组的水下分流河道、前缘席状及砂河口坝的孔隙度和渗透率较高，为中孔、中渗带，同时也是剩余油分布富集的有利区。

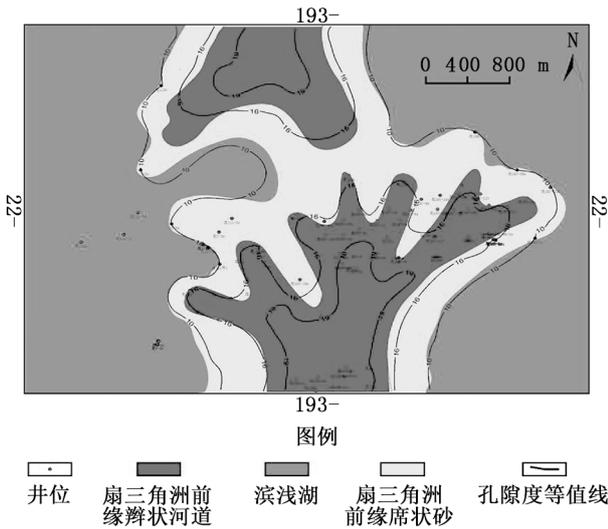


图 4 福山凹陷花场地区流一段储层沉积相展布及孔隙度分布特征

Fig.4 Sedimentary facies state and porosity distribution characteristics of the first member of Liushagang formation the reservoir of the Huachang field in Fushan Sag

### 5 结论

1) 福山凹陷花场地区内非均质性主要受沉积构造、粒度韵律、渗透率非均质性以及隔、夹层分布等因素的控制。

2) 流一段五个油层组层内非均质性都很强；IV 油组的变异系数非均质性较其他四层来说相对较弱，均值系数较好。总体来看，V 油组的非均质性最强，IV 油组的均质性在所有层中最好。

3) 研究区流一段储层层间非均质性总体较强，各小层发育不均一，隔层的发育主要受物源供给和沉积相展布的影响。区内隔层较为发育，隔层厚度较厚，以 IV 油组最为发育。

4) 沉积相的平面展布影响和控制着储层砂体的平面非均质性，花场地区沉积砂体呈南-北向分布，孔、渗的平面分布与沉积砂体的展布基本吻合。

### 参考文献:

[1] 李美俊, 王铁冠. 油藏地球化学在勘探中的研究进展

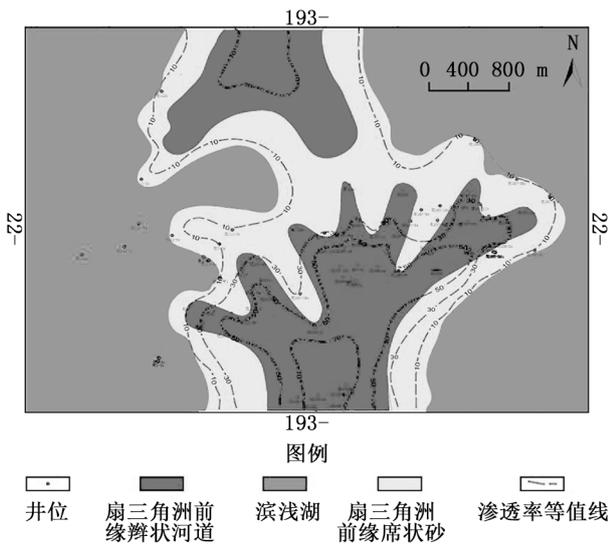


图 5 福山凹陷花场地区流一段储层沉积相展布及渗透率分布特征

Fig.5 Sedimentary facies state and permeability distribution characteristics of the first member of Liushagang formation the reservoir of the Huachang field in Fushan Sag

- 及应用:以北部湾盆地福山凹陷为例[J].地学前缘, 2015, 22(1): 215-222.
- [2] 刘文超. 码头庄油田储层非均质性及其与剩余油分布的关系[J]. 岩性油气藏, 2012(2): 111-116.
- [3] 裘亦楠, 薛叔浩. 油气储层评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 290-324.
- [4] 马庆林, 赵淑娥, 廖远涛, 等. 北部湾盆地福山凹陷古近系流沙港组层序地层样式及其研究意义[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2012(4): 667-678.
- [5] 孙鸣, 王华, 廖远涛, 等. 福山凹陷白莲地区流沙港组一段扇三角洲沉积体系与油气成藏条件分析[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2013(10): 4150-4160.
- [6] 刘恩涛, 王华, 李媛, 等. 北部湾盆地福山凹陷构造转换带对层序及沉积体系的控制[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2013(3): 17-22.
- [7] 石彦民, 刘菊, 张梅珠, 等. 海南福山凹陷油气勘探实践与认识[J]. 华南地震, 2007(3): 57-68.
- [8] 张庆, 朱玉双, 郭兵等. 杏北区长6储层非均质性对含油性分布的影响[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2009(2): 277-282.
- [9] 田景春, 刘伟伟, 王峰, 等. 鄂尔多斯盆地高桥地区上古生界致密砂岩储层非均质性特征[J]. 石油与天然气地质, 2014(2): 183-189.
- [10] 李凯强, 张景军, 李静伟, 等. 鄂尔多斯盆地西南部长6储层岩石学特征[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2016, 33(4): 93-97.
- [11] 马淑英. 鄂尔多斯盆地白马南地区长81储层非均质性研究[D]. 西安: 西北大学, 2006.
- [12] 李金燕. 乔庄油田沙三中储层特征研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007.
- [13] 谢青, 王建民, 时圣彪. 鄂尔多斯盆地太阳湾油区长2储层非均质性研究[J]. 岩性油气藏, 2015, 27(4): 61-67.

(上接第73页)解决了抽样所带来的误差,同时水质权重也是评价中的关键因子,但在水质指标权重的确定方面没有确定的标准,对黄壁庄水库水质评价结果仍有待进一步探讨。

#### 参考文献:

- [1] 联合国环境规划署. 全球环境展望 2000[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001.
- [2] 石宝红. 黄壁庄水库生态环境现状及修复措施探讨[C]//2015 第七届全国河湖治理与水生态文明发展论坛论文集, 2015: 323-325.
- [3] 曾永, 樊引琴. 水质模糊综合评价法与单因子指数评价法比较[J]. 人民黄河, 2007, 29(2): 64-65.
- [4] 汪尚朋, 李江云, 郑旭荣, 等. 水质模糊评价的探讨[J]. 中国农村水利水电, 2005(1): 49-51.
- [5] 章新, 贺石磊, 张雍照, 等. 水质评价的灰色关联分析方法研究[J]. 水资源与水工程学报, 2010(5): 117-119.
- [6] 王晓萍, 孙继洋, 金鑫. 基于BP神经网络的钱塘江水质指标的预测[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2007, 41(2): 361-364.
- [7] 王海峰, 王慧勇, 李春燕, 等. 邯郸市地下水水化学类型分布及污染物成因分析[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2017, 34(1): 53-56.
- [8] 孙鹏程, 陈吉宁. 基于贝叶斯网络的河流突发性水质污染事故风险评估[J]. 环境科学, 2009, 30(1): 47-51.
- [9] 侯佑泽, 秦天玲, 严登华, 等. 基于贝叶斯理论的武烈河水质综合评价[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(1): 94-97.
- [10] 万咸涛. 水资源质量评价综述[J]. 水资源研究, 2005, 26(4): 32-37.
- [11] 廖杰, 王文对, 丁晶. 贝叶斯公式在河流水质综合评价中的应用[J]. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2007, 30(4): 519-522.
- [12] 扈震, 杨之江, 齐培培. 基于贝叶斯方法的饮用水水质预测及可视化研究[J]. 中国给水排水, 2012, 28(5): 53-56.
- [13] 何镇邦, 李桂荣. 概率论与数理统计[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1988.