

营城组三段及二段岩性岩相和储层物性的精细刻画 ——基于标准剖面营三 D1 井全取心钻孔资料

闵飞琼^{1,2}, 王璞珺¹, 于世泉³, 黄玉龙¹, 吴颜雄¹, 李 喆¹, 任利军¹

1. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061

2. 胜利油田 海洋采油厂, 山东 东营 257237

3. 大庆油田 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712

摘要: 于标准剖面新部署钻探营城组上部的全取心钻孔揭示, 营城组三段厚 205.70 m, 营城组二段厚 48.75 m(未钻穿)。主要岩石类型包括火山熔岩类、火山碎屑熔岩类、火山碎屑岩类、沉火山碎屑岩类和沉积岩。整个井段火山喷发划分为 3 个旋回 10 个期次。火山岩的有效储集空间包括 4 种 11 类, 储集空间组合关系有 4 种, 孔缝直接连通型是最好的储集空间类型。用岩心、薄片和物性测试划分出 4 种孔隙分布和 7 种孔隙结构类型, 单峰偏粗态型和双峰态型孔隙分布最好。低排驱压力—粗孔喉为最好的孔隙结构类型。

关键词: 松辽盆地; 营城组; 火山岩; 储层

中图分类号: P588.14; P618.13 文献标识码: A 文章编号: 1671-5888(2007)06-1203-14

Meticulous Depiction of Lithology, Lithofacies and Reservoir Porosity and Permeability in the Third & Second Member of Yingcheng Formation —Based on Whole Coring Ying—3 D1 Well Drilled in the Standard Section

MIN Fei-qiong^{1,2}, WANG Pu-jun¹, YU Shi-quan³,

HUANG Yu-long¹, WU Yan-xiong¹, LI Zhe¹, REN Li-jun¹

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

2. Offshore Petroleum Recovery Factory, Shengli Oilfield, Dongying, Shandong 257237, China

3. Daqing Exploration & Development Institute, Daqing, Heilongjiang 163712, China

Abstract: The whole coring Ying—3 D1 well was drilled in the standard section for investigating of the upper two members of Yingcheng Formation. The overall thickness of the third member is 205.70 m and the drilled thickness of the second member is 48.75 m (unpenetrated). There are mainly five types of volcanic rocks including lava, pyroclastic lava, pyroclastic rock, sedimentary pyroclastic rock and sedimentary rock. Volcano eruptions in this well have been divided into three cycles and ten periods. The reservoir spaces have been divided into four types and eleven subclasses. Further more, there are four combination patterns of reservoir spaces. The most favorable is pores directly connect to the fissures. Four types of pore distribution and seven types of pore structures have been recognized with core observation, microscope image analysis and mercury intrusion method. The single-bias with coarse-kurtosis and double kurtosis type have the best pore distribution. The best pore structure is of the low displace-

收稿日期: 2007-06-20

基金项目: 国家“973”项目(2006CB701403)

作者简介: 闵飞琼(1982—), 女, 湖北荆门人, 硕士, 主要从事石油与天然气地质勘查研究, E-mail: fqmin@163.com

通讯联系人: 王璞珺(1959—), 男, 黑龙江绥滨人, 教授, 博士生导师, 主要从事油气地质勘查、火山岩储层和沉积学研究, Tel: 0431-88502620 E-mail: wangpj@jlu.edu.cn.

ment pressure-coarse pore throat.

Key words: Songliao Basin; Yingcheng Formation; volcanic rock; reservoir

0 引言

营城组火山岩是松辽盆地深层天然气的主要勘探目标^[1,2]。早白垩世营城期火山岩分布广泛、厚度大,全区可对比^[3~5]。在Fs9、Zs10、Xs1、Chs1和Ys1等多个井区钻遇的高产工业气流层位主要是营城组一段流纹岩,其次是营三段玄武岩类^[6~8]。据目前勘探资料,营城组上部玄武岩主要发育在盆地北部的升平—安达地区,具有较好的储层物性。但现有的盆内钻井对这套基性岩序列揭示不完全,对其地质内涵、内部结构和储层特征及其变化规律的认识已经不能够满足勘探开发的需求。为此在标准剖面地区于2006年部署全取心探井——营三D1井,以期实现对营城组上部序列地质内涵和储层特征的精细刻画。

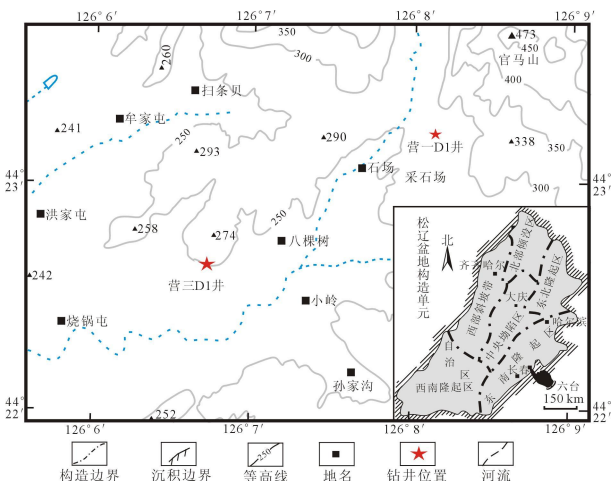


图 1 营三 D1 井位置

Fig. 1 The location of well Y3D1

营城组建组于吉林省九台市官马山—回回营(现称团结村)一带,营城组露头剖面称为营城组的标准模式剖面(次层型剖面)^[9,10]。选定该区城子街镇石场村二队北西西500m处部署营三D1井(图1)。全井取心254.45m,取心率98.2%,揭示地层包括下白垩统营城组三段及二段(未钻穿),其中营三段205.70m,营二段47.85m,二者为整合接触。

1 营城组三段及二段主要地质特征

1.1 地层序列特征

营三D1井揭示地层厚度为254.45m,共划分

89层。其中:89~28层为营城组三段,厚度为205.70m;27~1层为营城组二段(未钻穿),厚度为48.75m(图2)。二者界限为营三段气孔杏仁玄武岩与营二段深灰色凝灰质含煤砂岩整合接触。综合岩心录井、镜下薄片鉴定,结合本区岩性和岩相划分标志^[11,12]①,对254.45m岩心作写实性描述。

营三 D1 井	总厚度 254.45 m
营三段 0~205.70 m	钻厚 205.70 m
89. 灰白色流纹质隐爆角砾岩	2.40 m
88. 灰白色流纹岩,发育高角度裂缝	0.30 m
87. 灰白色流纹质隐爆角砾岩	0.80 m
86. 灰白色流纹岩;流纹构造发育,见高角度裂缝和低角度裂缝	1.00 m
85. 流纹质隐爆角砾岩	0.50 m
84. 灰白色流纹岩;流纹构造发育,见高角度裂缝	1.20 m
83. 灰白色流纹质角砾熔岩;流纹质熔浆胶结	1.80 m
82. 灰紫色玄武质角砾熔岩,角砾以棱角状为主,玄武质熔浆胶结,破碎严重	2.70 m
81. 灰黄色玄武质角砾熔岩;绿泥石、沸石充填,破碎严重	1.00 m
80. 紫红色玄武质岩屑凝灰熔岩;破碎严重	0.40 m
79. 棕色气孔杏仁玄武岩;气孔杏仁小,硅质和绿泥石充填	1.30 m
78. 杂色玄武质角砾熔岩;角砾为气孔杏仁玄武岩,绿泥石充填,破碎严重	1.70 m
77. 紫红色气孔杏仁玄武岩;杏仁充填绿泥石	1.20 m
76. 灰黑色安山玄武岩;发育两组相互垂直的高角度裂缝,硅质和绿泥石充填	0.90 m
75. 玄武质隐爆角砾岩;隐爆角砾结构,角砾间为硅质和绿泥石充填	0.10 m
74. 深灰色玄武岩;高角度裂缝发育	1.10 m
73. 灰黑色气孔杏仁玄武岩;气孔杏仁体发育,气孔多呈不规则状,硅质绿泥石充填;见高角度垂直裂缝,充填硅质、黑云母、少量钙质	8.10 m
72. 灰黑色玄武岩;岩性致密,偶见高角度裂缝	2.00 m
71. 深灰色玄武岩;发育高角度裂缝,裂缝中充填硅质、绿泥石、少量伊丁石,最大的裂缝宽4cm	9.55 m
70. 灰褐色玄武质晶屑岩屑凝灰熔岩;长石晶屑,玄武岩岩屑,岩屑间充填皂石、伊丁石	1.25 m
69. 灰绿色玄武质角砾熔岩;角砾成分主要为玄武岩,硅质角	

① 王璞珺,冯志强,郑常青,等.盆地火山岩:岩性·岩相·储层·气藏·勘探.北京:科学出版社,2008.待刊.

- 砾,凝灰质砂岩角砾;角砾以棱角状为主,部分为次棱角状,玄武质熔浆胶结,见垂直裂缝,其中充填有绿泥石
2.60 m
68. 深灰色气孔杏仁玄武岩;发育气孔杏仁构造,气孔杏仁小而密,形态不规则,具定向拉长,杏仁体中充填以绿泥石为主,部分硅质和粘土充填,见高角度裂缝中充填黑云母、绿泥石、硅质
4.20 m
67. 灰黑色玄武岩;少量杏仁体,粘土、硅质、绿泥石充填
2.00 m
66. 灰黑色玄武岩;裂隙极发育,全一半充填硅质,裂缝宽2 cm,裂缝中充填角砾和岩浆
19.60 m
65. 灰紫色气孔杏仁玄武岩;气孔杏仁小而密,充填绿泥石、硅质,高角度裂缝发育,充填硅质
8.10 m
64. 灰黑色玄武岩;见少量杏仁体,充填绿泥石、硅质,见高角度裂缝,硅质和沥青充填
4.60 m
63. 深灰色气孔杏仁玄武岩;气孔杏仁极发育,充填绿泥石、硅质
5.30 m
62. 深灰色气孔杏仁玄武岩;气孔杏仁发育,充填绿泥石、硅质,局部发育水平裂缝使气孔杏仁连通
5.80 m
61. 灰黑色玄武岩;高角度裂缝发育,裂缝充填玄武质角砾和熔浆,见少量气孔杏仁体,充填硅质
6.00 m
60. 灰黑色玄武岩;高角度裂缝发育
0.95 m
59. 玄武质角砾熔岩;玄武质熔浆胶结
0.30 m
58. 灰黑色玄武岩;发育两组高角度近垂直的节理,把岩石切割成角砾,缝中充填石英和绿泥石
7.90 m
57. 灰绿色玄武质隐爆角砾岩;角砾间充填绿泥石和石英
0.90 m
56. 灰绿色玄武质隐爆角砾岩;隐爆角砾结构、气孔杏仁体构造发育,角砾为气孔杏仁玄武岩,杏仁体主要充填石英和绿泥石,角砾间充填以绿泥石为主
1.90 m
55. 灰绿色气孔杏仁体玄武岩;杏仁体密集,充填绿泥石、沥青,局部具隐爆角砾结构
8.50 m
54. 灰绿色气孔杏仁玄武岩;气孔充填硅质、绿泥石、沥青,气孔最大直径2.5 cm,石英充填高角度裂隙,缝长33 cm,最宽2 cm,局部具隐爆角砾结构
1.00 m
53. 深灰绿色玄武质隐爆角砾岩;裂隙发育,充填玄武质岩浆、原地角砾、硅质;硅质边缘有黄铁矿
6.35 m
52. 灰绿色玄武质角砾熔岩;角砾间充填玄武质岩浆和硅质,硅质边缘有黄铁矿
1.40 m
51. 灰绿色气孔杏仁玄武岩;气孔杏仁构造发育,充填绿泥石、少量沸石、硅质,杏仁体普遍被拉长
8.50 m
50. 深灰绿色玄武质角砾熔岩;气孔杏仁玄武岩角砾,角砾间充填硅质、绿泥石,具原地堆积特征
3.00 m
49. 深灰绿色玄武岩;少量气孔杏仁体,充填为绿泥石、硅质,见高角度裂隙
3.00 m
48. 深灰色气孔杏仁玄武岩;气孔杏仁构造不发育,充填绿泥石
3.30 m
47. 深灰色气孔杏仁玄武岩;气孔杏仁构造极发育,内部充填硅质、绿泥石、沸石,气孔被拉长
1.20 m
46. 深灰色气孔杏仁玄武岩;气孔杏仁不发育,气孔被拉长,充填硅质、绿泥石
0.20 m
45. 深灰色气孔杏仁玄武岩;气孔杏仁构造发育,充填硅质、绿泥石、沸石,气孔被拉长,见黄铁矿,夹有20 cm厚的玄武质角砾熔岩,角砾为气孔杏仁玄武岩,气孔形态为不规则,多数被拉长
3.95 m
44. 深灰色玄武质隐爆角砾岩;角砾为气孔杏仁玄武岩,见黄铁矿
0.30 m
43. 深灰色气孔杏仁玄武岩;气孔杏仁构造发育,充填有绿泥石、硅质、沥青
2.30 m
42. 深灰色玄武质角砾熔岩;角砾有环带现象,砾间充填玄武质岩浆和硅质
2.60 m
41. 深灰色玄武质隐爆角砾岩;裂隙发育,裂隙中充填玄武质岩浆和原地角砾,见黄铁矿
1.80 m
40. 深灰色气孔玄武岩;气孔被拉长
0.75 m
39. 深灰色玄武质角砾熔岩;见黄铁矿,最大粒径3 cm
0.60 m
38. 灰白色凝灰质砂岩
0.25 m
37. 灰白色凝灰质砂砾岩
0.70 m
36. 深灰色凝灰岩;夹有10 cm灰黑色含炭屑含砾凝灰岩,流纹质砾石为主;10 cm黑色含泥砾凝灰岩
1.40 m
35. 深灰色气孔杏仁玄武岩;气孔杏仁极发育,多数未充填一半充填,充填绿泥石和沥青
0.50 m
34. 深灰色气孔杏仁玄武岩;杏仁体小而密,充填一半充填,充填绿泥石和沥青
0.60 m
33. 灰黑色气孔杏仁玄武岩;杏仁体发育,两种充填:一种充填石英,另一种为杏仁体外部是绿泥石,中间是沥青;杏仁体拉长且定向排列
6.90 m
32. 灰黑色玄武岩;发育两组高角度水平裂缝,两期充填,一期充填玄武质熔浆,二期为钙质充填;见少量硅质、黄铁矿充填杏仁体
4.40 m
31. 灰黑色玄武质隐爆角砾岩;角砾间有两次充填,一期充填玄武质熔浆,二期方解石或硅质充填
0.60 m
30. 灰黑色玄武岩;发育少量高角度裂隙;两期充填,一期充填玄武质熔浆,二期方解石
8.65 m
29. 深灰色玄武质隐爆角砾岩;角砾间两期充填,一期充填玄武质熔浆,二期硅质、方解石;局部黄铁矿
23.10 m
28. 深灰色气孔杏仁玄武岩;气孔杏仁构造,气孔沿流动方向具定向性
0.40 m

—— 整合 ——

营二段(未钻穿) 205.70~254.45 m 钻厚 48.75 m

27. 深灰色凝灰质砂岩;含炭屑和泥砾角砾 0.70 m

26. 凝灰岩夹煤沉积;煤线宽约8 mm 0.50 m

25. 深灰色流纹质含角砾凝灰岩;角砾为凝灰岩、流纹岩,局部夹黑色炭屑,煤线,煤线宽约5 mm 2.10 m

24. 杂色流纹质晶屑熔结凝灰角砾熔岩; 角砾为泥岩、凝灰岩; 见炭屑, 最大直径 1 cm 0.90 m
23. 深灰色沉凝灰岩; 见有高角度的裂隙 0.40 m
22. 深灰色流纹质岩屑晶屑凝灰熔岩; 岩屑为凝灰岩、泥砾, 岩屑最大直径 0.5 cm 1.00 m
21. 深灰色沉凝灰岩; 见有裂隙; 含炭屑, 最大直径 2 cm 1.90 m
20. 灰白色流纹质晶屑凝灰岩, 高角度裂隙发育 0.90 m
19. 灰白色流纹质晶屑玻屑凝灰熔岩, 高角度裂隙发育 1.20 m
18. 灰白色流纹质晶屑凝灰岩; 见多组高角度裂隙 2.35 m
17. 灰白色沉火山角砾岩; 角砾成分主要为泥砾、凝灰岩, 泥砾拉长并具有定向性, 最大砾径 2 cm 0.15 m
16. 灰白色流纹质沉凝灰岩; 见两组断层; 含泥砾, 直径 0.8 cm 0.10 m
15. 灰白色流纹质晶屑熔结凝灰角砾熔岩; 角砾为凝灰岩、泥砾, 泥砾定向成层分布, 夹有炭屑 3.30 m
14. 杂色流纹质沉火山角砾岩; 角砾为流纹岩、凝灰岩、珍珠岩、变质岩、泥砾等, 分选差; 为次棱角状—次圆状, 最大粒径 2.5 cm 10.00 m
13. 杂色流纹质晶屑凝灰岩与灰白色沉凝灰岩互层; 层理、裂隙发育, 见断层错动 1.65 m
12. 灰白色沉凝灰岩夹灰白色火山角砾岩, 角砾中见泥砾 0.60 m
11. 灰白色流纹质晶屑凝灰岩; 具粗细交替韵律层理; 层理受后期扰动或构造错动 2.25 m
10. 灰白色沉火山角砾岩; 角砾主要为泥砾, 凝灰质砾石最大约 5 cm 5.50 m
9. 灰白色流纹质沉凝灰岩, 水平层理发育, 高角度裂隙和水平裂隙发育 0.50 m
8. 灰白色沉火山角砾岩, 砾石成分为凝灰岩、泥岩, 棱角—次棱角状, 最大砾径 2 cm 0.90 m
7. 杂色流纹质沉凝灰岩; 水平层理发育 0.80 m
6. 灰白色沉火山角砾岩 0.30 m
5. 灰白色流纹质沉凝灰岩; 水平层理发育, 颜色深浅条带交替, 粒度呈交替变化, 见两期断层错动 6.05 m
4. 深灰色流纹质凝灰岩 0.86 m
3. 灰白色流纹质晶屑熔结角砾凝灰熔岩, 角砾成分为泥岩、凝灰质角砾, 流纹质角砾 0.84 m
2. 深灰色流纹质凝灰岩 0.20 m
1. 流纹质晶屑熔结角砾凝灰熔岩, 角砾成分为泥岩、凝灰质、流纹质角砾; 次圆—棱角状, 定向拉长, 角砾约 3 cm 2.80 m

———未见底———

1.2 营三 D1 井典型岩石类型刻画

据松辽盆地深层岩石类型划分方案^[11-13], 营三 D1 井揭示岩石类型主要有火山熔岩类、火山碎屑熔

岩类、火山碎屑岩类、沉火山碎屑岩类, 少量沉积岩。营三段主要为火山岩夹薄层火山沉积岩, 营二段主要为火山沉积岩及沉积岩类。

1.2.1 火山熔岩类

流纹岩 主要发育于营三 D1 井营三段顶部 0~6.2 m, 共见 3 层, 单层厚 0.3~1.2 m, 累计厚约 2.50 m。灰白色、浅灰紫色, 具流纹构造, 含角砾, 与隐爆角砾岩形成互层。

玄武岩 营三 D1 井上部营城组三段主体岩性, 共出现 33 层, 单层厚 0.4~9.6 m, 累计厚约 143 m。紫褐、灰紫、紫红色, 块状构造、气孔杏仁构造, 气孔形态有圆状、定向拉长状和不规则状, 杏仁体大小不一, 从 1~10 mm 不等, 内部常为栉状、放射状、球粒状等。多被充填或半充填, 充填物主要为黑云母、绿泥石、石英等(图版 A)。发育高角度裂缝, 宽度为 0.1~5 mm, 充填物主要为黑云母、绿泥石、石英、方解石及细小原地角砾。

1.2.2 火山碎屑熔岩类

隐爆角砾岩 仅发育于营三段, 共出现 10 层, 单层厚 0.1~23.1 m, 累计厚约 39 m。其中流纹质隐爆角砾岩仅见于钻井营三段顶部 0~6.2 m, 与流纹岩互层分布, 共出现 3 层, 层单厚为 0.5~2.40 m, 累计厚 3.70 m; 玄武质隐爆角砾岩共出现 7 层, 单层厚为 0.1~23.1 m, 累计厚约 35 m, 与玄武岩互层分布。深灰、灰黑、灰绿色, 隐爆角砾结构, 角砾为气孔杏仁玄武岩及沉积岩, 熔浆或凝灰胶结, 在角砾和胶结物中可见部分气孔, 充填有石英和绿泥石, 角砾间充填以绿泥石为主。裂缝发育, 宽度 1~5 mm, 充填黑云母、绿泥石、硅质及原地角砾, 硅质边缘有黄铁矿。镜下观察具隐爆角砾结构(图版 B), 角砾由具交织结构的玄武岩和玻璃质岩屑及沉积岩屑组成, 微裂隙呈网状, 有被溶蚀的边缘。

角砾熔岩 共出现 13 层, 累计厚 22 m。其中主要为玄武质角砾熔岩成薄层状分布于营三段下部, 共出现 11 层, 单层厚 0.3~3 m, 累计厚 17.7 m。深灰、灰黑色, 角砾直径 1~40 mm, 玄武质熔浆胶结, 角砾为玄武岩、珍珠岩、硅质等(图版 C), 裂缝很发育, 充填有绿泥石、硅质、方解石等。角砾间缝隙充填玄武质岩浆及硅质、绿泥石。少量流纹质角砾熔岩分布在营二段, 共出现 2 层, 单层厚为 1.8~3.3 m, 累计厚约 4.3 m。

凝灰熔岩 共出现 7 层, 累计厚约 7.5 m。少量玄武质凝灰熔岩分布于营三段, 共 2 层, 单层厚

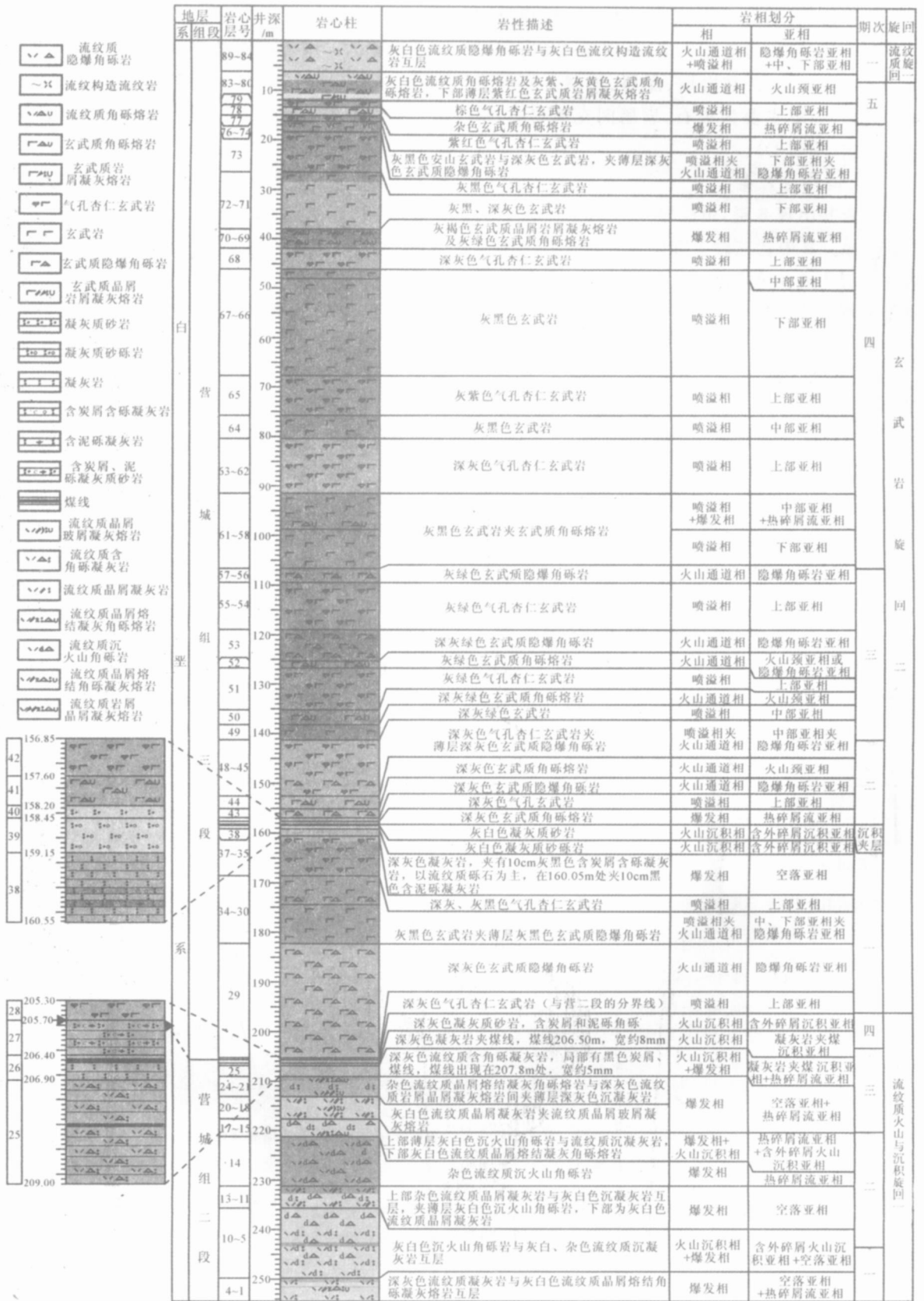


图 2 营三 D1 井综合柱状图

Fig. 2 Drilling synthetic column map of Y3D1 well

0.4~1.25 m, 累计厚 1.65 m。主要为流纹质凝灰熔岩分布于营二段, 共出现 4 层, 单层厚 0.84~2.8 m, 累计厚约 6 m。含有岩屑、晶屑、玻屑。岩屑主要为玄武岩, 晶屑主要为长石, 岩屑间充填皂石, 伊丁石化普遍(图版 D)。

1.2.3 火山碎屑岩类

凝灰岩共出现 8 层, 单层厚 0.2~2.35 m, 累计厚 12.59 m。其中营三段上部两套大段气孔玄武岩之间有一层 1.4 m 的凝灰岩, 其余 7 层流纹质凝灰岩分布于营二段。镜下观察岩石为凝灰结构, 以细粒火山物质为主, 大部分是火山玻璃, 部分斜长石晶屑, 含少量炭屑。出现少量微裂隙和气孔, 内部被沸石充填(图版 E)。

1.2.4 沉火山碎屑岩类

沉凝灰岩 发育于营二段, 共出现 8 层, 单层厚 0.1~6.05 m, 累计厚 11.07 m。主要为流纹质, 薄片下为沉凝灰结构, 含晶屑, 晶屑主要为长石、炭屑。层理发育(图版 F、G)。

沉火山角砾岩 发育于营二段, 共出现 6 层, 单层厚 0.15~10 m, 累计厚 16.85 m。主要为流纹质, 角砾成分复杂, 主要为流纹岩、凝灰岩、玄武岩、珍珠岩等, 分选差, 次棱角状一次圆状, 最大粒径

2.5 cm(图版 G)。

沉积岩 主要岩石类型为凝灰质砂岩、凝灰质砂砾岩、煤。共出现 4 层, 发育于营三段上部两套大段气孔玄武岩之间和营三段与营二段的分界处, 单层厚 0.01~0.25 m, 累计厚 1.65 m。

1.3 营三 D1 井典型岩相特征及喷发期次划分

营三 D1 井钻遇层序可划分为 3 个火山旋回(图 2, 表 1), 其中营三段划分为 2 个旋回、营二段 1 个旋回。旋回一划分为 1 个期次, 旋回二划分为 5 个期次, 旋回三划分为 4 个期次。营三 D1 井总体以喷溢相上部亚相、中部亚相与火山通道相隐爆角砾岩亚相为主, 其比例分别为 28.34%、17.59% 和 15.23%。且营三段顶部以火山通道相隐爆角砾岩亚相与喷溢相中部亚相互层, 厚约 8 m; 营三段中部以喷溢相上部亚相与喷溢相下部亚相互层、上部亚相与火山通道相隐爆角砾岩亚相互层为主, 厚约 32.70 m。钻井下部营城组二段以爆发相与火山沉积相互层为主要特征, 厚约 48.75 m。

2 火山岩储集空间特征

2.1 储集空间类型

火山岩储层空间分类方法有多种^[14, 15]。为使

表 1 营三 D1 井火山喷发旋回期次划分

Table 1 The volcanic cycle and period of well Y3D1

组段	旋回	期次	井段/m	层号	岩性及其组合特征	岩相
营城组三段	流纹质旋回一	1	0.00~8.00	89~83	流纹岩与流纹质隐爆角砾岩互层	火山通道相与喷溢相为主
	玄武岩旋回二	5	8.00~16.30	82~77	灰紫、灰黄色玄武质角砾熔岩与棕色、紫红色气孔杏仁玄武岩互层; 岩心的颜色变化很大, 颜色较鲜艳, 推测喷发环境有变化	爆发相与火山通道相、喷溢相
		4	16.30~106.65	76~58	灰黑、深灰色玄武岩与气孔杏仁玄武岩互层	喷溢相
		3	106.65~141.20	57~45	灰绿色玄武质隐爆角砾岩与灰绿色气孔杏仁玄武岩、灰绿色玄武质角砾熔岩互层; 岩心颜色变为灰绿色, 推测喷发环境有变化	火山通道相与喷溢相为主
		2	141.20~158.20	44~39	深灰色气孔玄武岩与深灰色玄武质角砾熔岩互层(36~38 小层(158.20~160.55 m)为沉积夹层)	火山通道相夹薄层喷溢相
		1	160.55~205.70	35~28	深灰色气孔杏仁玄武岩与深灰色玄武质隐爆角砾岩夹灰黑色玄武岩	火山通道相为主
	营城组二段	流纹质	4	205.70~206.90	27~26	深灰色凝灰质砂岩及凝灰岩夹煤沉积
火山与沉积旋回一		3	206.90~217.65	25~18	流纹质晶屑凝灰岩与流纹质凝灰岩为主	爆发相为主
		2	217.65~243.70	6~7	灰白色沉火山角砾岩与灰白色流纹质晶屑熔结凝灰角砾熔岩、流纹质晶屑凝灰岩互层	火山沉积相为主
		1	254.45~243.70	1~5	灰白色流纹质晶屑熔结角砾凝灰岩与灰白色流纹质凝灰岩、流纹质沉凝灰岩互层	爆发相为主

表 2 营三 D1 井火山岩储集空间类型划分
Table 2 The volcanic reservoir spaces types of well Y3D1

成因类型	孔隙类型	成因	基本特征	充填情况	重要性
原生孔隙	原生气孔	挥发分逃逸	圆、椭圆、线状及不规则形态, 大小不等。大部分为不连通独立孔	未充填	次要
	杏仁体内孔	原生气孔半充填	多边形或棱角状等不规则形状。连通性差(图版 A、D)	充填一半充填; 杏仁体内充填黑云母、硅质、沸石及绿泥石	次要
	粒间孔	成岩压实、重结晶	形态不规则, 通常沿碎屑边缘分布, 连通性较好(图版 B)	充填一半充填, 取决于孔缝连通性	重要
次生孔隙	晶内溶蚀孔	溶蚀	长石、辉石晶内孔, 连通性较好(图版 J)	部分充填; 充填钙质	重要
	基质内溶蚀孔	脱玻化、溶蚀	细小筛孔状, 主要为溶蚀孔, 连通性好(图版 K)	部分充填; 充填玉髓、绿纤石、绿泥石、黑云母等	重要
原生裂缝	基质收缩缝	成岩脱水	强熔结作用过程中脱水形成, 呈拉伸扭曲状, 连通性好(图版 L)	部分充填; 充填流纹质等	重要
	解理缝	斑晶解理	斑晶解理缝, 连通性好(图版 M)	部分充填; 充填钙质	重要
	原生收缩缝	冷凝收缩	节理裂缝和基质收缩缝, 连通性好	部分充填; 充填绿泥石等	重要
次生裂缝	构造裂缝	构造应力	放射状、网状, 连通性较好	部分—完全充填; 充填黑云母、绿泥石、硅质、方解石等	重要
	充填—溶蚀构造缝	溶蚀	分布广泛, 不规则, 连通性好	部分—完全充填; 充填黑云母、硅质等	重要
	充填残余构造缝	热液作用	分布广泛, 不规则, 连通性好(图版 N)	部分充填; 充填黄铁矿、硅质	重要

于考虑储集空间对油气的影响效果并突出与碎屑岩储层的差异, 通过岩心观察、薄片分析, 按存在方式将本区火山岩的储集空间划分为原生孔隙、次生孔隙、原生裂缝和次生裂缝 4 种类型。进一步可细分为 11 类(表 2)。

2.2 储集空间组合特征

营三 D1 井储集空间组合特征总体可分为孔隙型、孔缝直接连通型、孔缝间接连通型和裂缝型 4 类(表 3)。孔隙型原生孔隙很发育, 主要为孤立不连通的孔, 少量微裂隙发育, 但对渗流能力贡献不大^[16]; 因此孔隙度较高, 渗透率很低。孔缝直接连通型、孔缝间接连通型孔隙裂缝都很发育, 储集性能好, 渗流能力强, 是很好的储集空间组合类型, 相比较而言, 孔隙直接连通型由于孔喉的迂回程度低于孔隙间接连通型, 其储集性能和渗流能力更好, 孔隙度、渗透率较大, 储层性能好于孔隙间接连通型。裂缝型孔隙不发育, 裂缝十分发育, 尤其是网状裂缝很发育。因此裂缝型储层的储集性能较差而渗流能力强, 导致孔隙度较小而渗透率很大。裂缝也可作为储集空间, 但其储集性能远不如孔隙, 因此裂缝型其

储层性能较好。综上所述, 孔缝直接连通型是最好的储集模式, 其次为孔缝间接连通型和裂缝型, 孔隙型最差。

3 孔隙结构特征

储层孔隙结构是指储层所具有孔隙和喉道的几何形状、大小、分布及其相互连通关系。储层孔隙结构是影响油藏流体(油、气、水)储集能力和油气开采的主要因素^[17, 18]。常通过毛细管压力曲线形态及其孔隙结构特征参数定性定量研究储层孔隙结构, 评价储层储集性能^[17]。选取营三 D1 井 114 块样品进行孔隙度、渗透率和压汞分析, 其中营三段 94 块样品, 营二段 20 块样品。

3.1 孔隙分布特征

压汞分布统计表明, 营三 D1 井孔隙分布可划分为以下 4 种类型:

单峰偏粗态型 这类岩样孔喉分选好, 半径大, 渗透率峰值所出现的孔分区间为 0.016 ~ 1.00 μm , 以大孔为主, 小孔为次要组合。对渗透率作贡献的也是这些大孔喉(图 3A)。

表 3 营三 D1 储集空间组合特征
Table 3 The volcanic reservoir spaces assemblage characteristics of well Y3D1

类型	亚类	特征	分布	孔隙度 / %	渗透率 / $10^{-3}\mu\text{m}^2$
孔隙型	无	孔隙主要为孤立孔, 或气孔被充填成杏仁体, 无裂缝与之连通, 气孔也互不连通(图版 A)	常出现于裂缝不发育的气孔杏仁玄武岩	22.85	0.115
孔缝直接连通型	气孔—杏仁体—裂缝型	富含气孔的火山岩成岩后, 受后期构造运动改造, 气孔被裂缝切割连通(图版 I)	主要出现于孔缝都特别发育气孔杏仁玄武岩	23.14	0.490
孔缝间接连通型	粒间孔—基质收缩缝—裂缝型	火山碎屑岩粒间孔隙、火山碎屑岩基质收缩缝、矿物解理缝被后期构造裂缝改造(图版 O)	常出现在裂缝与孔都不特别发育的岩心中。此组合类型在火山碎屑熔岩、玄武岩中较常见	21.783	0.180
基质溶蚀孔—斑晶溶蚀孔—裂缝型	基质溶蚀孔—斑晶溶蚀孔—裂缝型	热液活动而形成的基质溶蚀孔、斑晶溶蚀孔被后期或同期的构造裂缝所切割连通(图版 M)			
裂缝型	无	对致密、脆性的火山岩, 原生孔隙不发育, 在后期构造作用下, 岩石发生严重破碎, 产生大量裂缝, 裂缝彼此交织成网状, 连通性非常好	常发育于块状玄武岩。气孔不发育, 裂缝特别发育	11.3	1.317

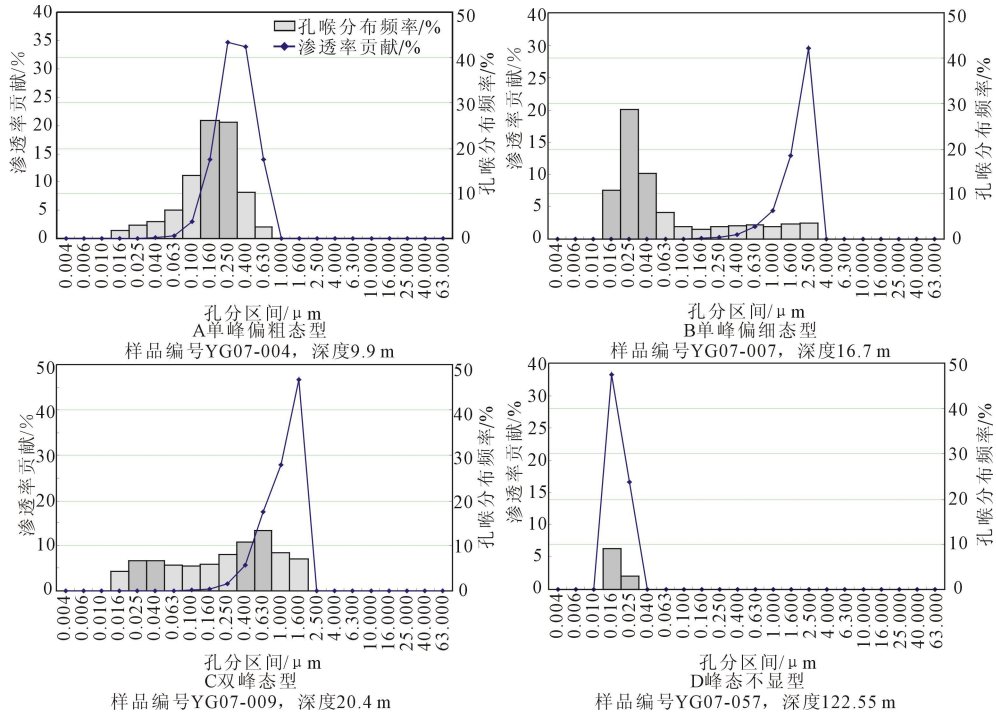


图 3 营三 D1 井孔隙分布类型

Fig. 3 The pore distribution types of well Y3D1

单峰偏细态型 渗透率峰值所出现的孔分区间为 $0.016 \sim 0.063 \mu\text{m}$, 孔喉半径细小。由图 3B 可看出:小孔喉虽占有相当大的比例,但对渗透率贡献却微乎其微。仅靠少量大孔喉对渗透率作贡献,要达到较大渗透率值是很困难的。当裂缝十分发育时,可消除孔隙小、渗滤差的不利因素。

双峰态型 渗透率峰值所出现的孔分区间为 $0.25 \sim 4 \mu\text{m}$ 和 $0.016 \sim 0.063 \mu\text{m}$, 大孔—小孔两峰近似相等的孔喉分布形态。而对渗透率作贡献的则是大孔喉(图 3C)。

峰态不显型 此类样品皆系非储层,孔渗条件极差,压汞曲线接近纵轴,基本呈一直线上升,孔隙不发育,孔喉分布呈现尖的单峰形态,仅有少量特别细小的孔隙(图 3D)。

营三 D1 井孔隙分布中对储层最有利的分布类型为单峰偏粗态型和双峰态型,当裂缝发育时,单峰偏细态型也为有利的分布类型,峰态不显型最差。

3.2 毛细管压力曲线定量特征

营三 D1 井毛管压力曲线大多位于图的中上位置,反映孔喉半径趋向中等偏细分布,但所有曲线平台不明显或平台位置过高,说明储集层孔喉分选性为中等偏差。综合测试数据及营三 D1 井的孔隙结构划分为 7 种类型(图 4)。

3.2.1 低排驱压力—粗孔喉型(I)

毛管压力曲线呈略向左下凹陡坡状(图 4A),毛管压力曲线多出现平台,孔隙分布大多为粗歪度单峰态,分选中等。此类储层排驱压力、中值压力均很低,以大孔喉为主,且对渗透率贡献最大的孔隙分布区间为大于 $1.6 \mu\text{m}$ 。排驱压力一般低于 0.7 MPa ;中值压力多为 $1.944 \sim 24.988 \text{ MPa}$ 。最大孔隙半径普遍大于 $1 \mu\text{m}$;孔隙半径中值一般大于 $0.03 \mu\text{m}$ 。最大汞饱和度多大于 70% 。此类储层具有较好的物性。

3.2.2 低排驱压力—较粗孔喉型(II)

毛管压力曲线呈略向左下凹的缓坡状(图 4B),毛管压力曲线几乎无平台,孔隙分布大多为粗歪度单峰态,分选较差。排驱压力为 $1.03 \sim 2.855 \text{ MPa}$;中值压力多为 $2.637 \sim 36.962 \text{ MPa}$ 。最大孔隙半径一般大于 $0.2 \mu\text{m}$;孔隙半径中值一般大于 $0.02 \mu\text{m}$ 。最大汞饱和度多大于 60% 。此类储层具有较好的物性。

3.2.3 中排驱压力—中等孔喉型(III)

毛管压力曲线有一几乎成 90° 大的转角端(图

4C)。此类储层排驱压力、中值压力中等,但孔隙较大。排驱压力一般为 $4.171 \sim 16.309 \text{ MPa}$;中值压力为 $11.611 \sim 35.036 \text{ MPa}$ 。最大孔隙半径一般大于 $0.04 \mu\text{m}$,以 $0.025 \sim 0.063 \mu\text{m}$ 居多;孔隙半径中值一般大于 $0.02 \mu\text{m}$;孔隙分布大多为粗歪度单峰态,分选差。最大汞饱和度多大于 60% 。此类储层具有良好的物性。

3.2.4 中排驱压力—偏细孔喉型(IV)

毛管压力曲线有一长平台,但平台位置较高(图 4D),孔隙分布大多为粗歪度单峰态,分选很差。此类储层排驱压力、中值压力中等,但孔隙较小。排驱压力一般为 $5.530 \sim 16.158 \text{ MPa}$;中值压力为 $16.826 \sim 36.673 \text{ MPa}$ 。最大孔隙半径一般大于 $0.2 \mu\text{m}$;孔隙半径中值一般大于 $0.04 \mu\text{m}$ 。最大汞饱和度多大于 50% 。孔隙度多大于 10% ,渗透率很小。此类储层物性一般,不是很好。

3.2.5 较高排驱压力—细孔喉型(V)

此类毛细管压力曲线十分陡峭(图 4E),孔隙分布为细歪度无峰态,分选很差。尽管排驱压力较小,孔隙较大,但孔隙不连通,最大汞饱和度小于 50% ,无孔隙半径中值,无中值压力,是较差的储层。排驱压力一般为 $1.033 \sim 8.675 \text{ MPa}$ 。最大孔隙半径一般大于 $0.08 \mu\text{m}$ 。孔隙度多小于 8% 。渗透率较大,平均为 $1.269 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。此类储层具有很差的物性。

3.2.6 高排驱压力—细孔喉型(VI)

此类毛细管压力曲线陡峭(图 4F),孔隙分布为细歪度无峰态,分选很差。排驱压力较大,且孔隙很小。无中值压力,无孔隙、半径中值。排驱压力一般为 $12.826 \sim 16.277 \text{ MPa}$,最大孔隙半径一般大于 $0.03 \mu\text{m}$,最大汞饱和度小于 50% 。此类储层具有很差的物性,孔隙度为 10% 左右。渗透率较小。

3.2.7 特高排驱压力—特细孔喉型(VII)

毛管压力曲线分布于左上方,略向右上方凸的斜坡状(图 4G),孔隙分布为极细歪度,无峰态。排驱压力特别高,大于 24 MPa 。最大孔喉半径一般为 $0.02 \mu\text{m}$ 左右。分选极差,最大汞饱和度小于 50% 。无孔隙半径中值,无中值压力。此类储层物性很差,孔隙度多为 9% 左右,渗透率低,变化范围大,为 $(0.01 \sim 1.44) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.171 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

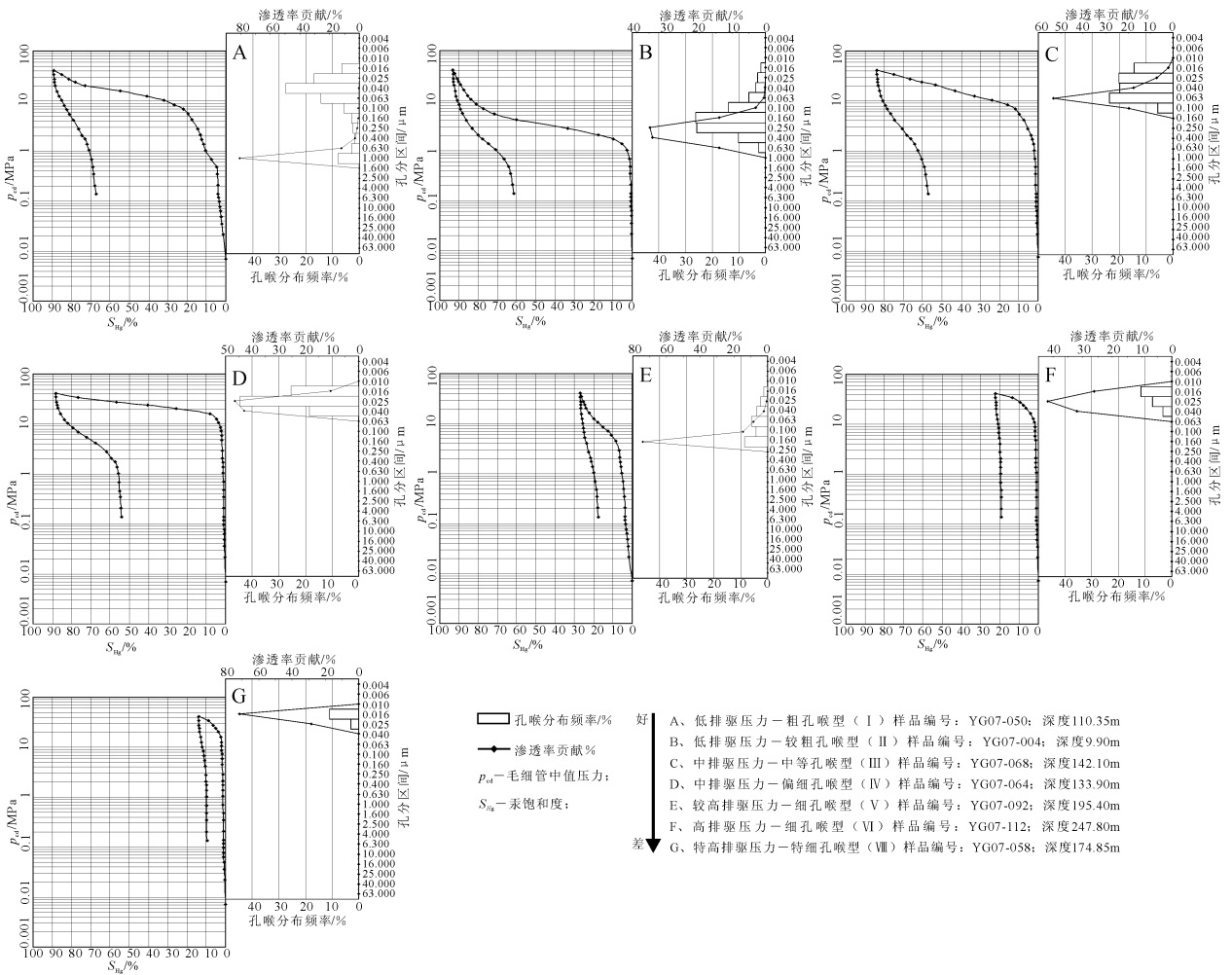


图 4 营三 D1 井毛细管压力曲线分类图

Fig. 4 The well Y3D1 classification of capillary pressure curve

4 物性特征及有利储层分布和预测

4.1 孔渗特征

根据营三 D1 井压汞测试分析, 营三 D1 井渗透率区间为 $(0.01 \sim 16.10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均值为 $0.635 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 主要分布在 $(0.1 \sim 0.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 孔隙度区间为 $0.60\% \sim 34.8\%$, 平均值为 16.368% , 主要分布在 $15\% \sim 25\%$ (图 5)。综合营三 D1 井资料及吴颜雄^[19] 测试资料研究结果, 将孔渗分为 4 个等级 (表 4)。将营三 D1 井 114 个样品的孔渗值进行拟合 (图 5), 拟合公式为: $\lg K = 0.0419\varphi - 1.4772$, $R^2 = 0.5247$, 对相关显著性进行检验, 其中当置信度为 95% 时, 在显著水平 $\alpha = 0.05$ 时, $R_{0.05} = 0.254$, $|R| > R_{0.05}$ 。这表明营三 D1 井孔渗相关关系很好, 预测约有 95% 的点落在

这两条线带形区域内。其置信区间为 $(0.0208\varphi -$

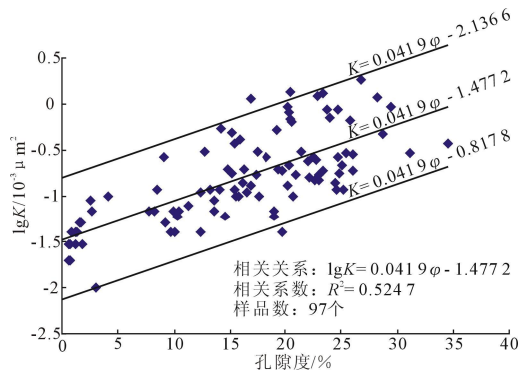


图 5 营三 D1 井孔渗相关关系

Fig. 5 Relation between porosity and permeability of well Y3D1

表 4 营三 D1 井孔渗分级

Table 4 The porosity and permeability classification of well Y3D1

孔隙度级别	孔隙度 / %	渗透率级别	渗透率 / $10^{-3}\mu\text{m}^2$
低	0~5	低	0~0.04
中	5~15	中	0.04~0.1
高	15~25	高	0.1~1
特高	>25	特高	>1

4.2 有效储层类型分布和有利储层预测

火山岩储层物性和储集空间类型、特征和变化受到火山岩岩性与岩相影响^[11, 12, 21]。从统计分析结果来看(表 5, 6), 营三 D1 井火山岩物性总体上以高孔、中高渗为主, 气孔杏仁玄武岩、角砾熔岩、沉火山岩角砾岩等岩性的孔隙度较大, 而角砾熔岩、沉火山岩角砾岩、沉凝灰岩等岩性的渗透率较大。火山熔岩类和沉火山碎屑岩类是有利的储层岩石类型。物性最好的相带是火山沉积相含外碎屑亚相—高孔特高渗、火山通道相火山颈亚相—高孔高渗、爆发相热碎屑流亚相—高孔高渗、爆发相空落亚相—高孔高渗、喷溢相上部亚相—高孔高渗。

表 5 营三 D1 井岩性与孔渗关系

Table 5 Statistics analysis between lithology and porosity & permeability of well Y3D1

岩性	孔隙度 ^① / %	渗透率 ^① / $10^{-3}\mu\text{m}^2$	样品数
玄武质隐爆角砾岩	$\frac{1.20 \sim 24.60}{8.85}$	$\frac{0.04 \sim 2.43}{0.39}$	12
气孔杏仁玄武岩	$\frac{8.30 \sim 34.80}{22.50}$	$\frac{0.04 \sim 3.34}{0.35}$	39
块状玄武岩	$\frac{0.60 \sim 26.80}{7.21}$	$\frac{0.02 \sim 4.94}{0.76}$	33
玄武质角砾熔岩	$\frac{11.30 \sim 24.50}{18.95}$	$\frac{0.08 \sim 16.10}{0.26}$	6
流纹质凝灰/角砾熔岩	$\frac{18.30 \sim 26.70}{21.43}$	$\frac{0.27 \sim 2.15}{1.15}$	4
流纹质沉火山角砾岩	$\frac{16.90 \sim 24.00}{21.09}$	$\frac{0.64 \sim 1.29}{1.02}$	7
流纹质晶屑凝灰岩	$\frac{13.60 \sim 19.00}{16.23}$	$\frac{0.07 \sim 0.14}{0.09}$	3
流纹质沉凝灰岩	$\frac{12.40 \sim 23.50}{18.68}$	$\frac{0.04 \sim 3.93}{0.89}$	5

①数值为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值}}$

表 6 营三 D1 井火山岩亚相与孔渗关系统计

Table 6 The statistics analysis between subfacies and porosity & permeability of well Y3D1

岩相	孔隙度 ^① / %	渗透率 ^① / $10^{-3}\mu\text{m}^2$	样品数
火山通道相隐爆角砾岩亚相	$\frac{1.20 \sim 24.60}{9.74}$	$\frac{0.04 \sim 2.43}{0.42}$	13
火山通道相火山颈亚相	$\frac{11.30 \sim 24.50}{18.44}$	$\frac{0.08 \sim 16.10}{0.24}$	7
爆发相热碎屑流亚相	$\frac{18.30 \sim 26.70}{21.02}$	$\frac{0.20 \sim 2.15}{0.96}$	5
爆发相空落亚相	$\frac{3.00 \sim 26.30}{17.14}$	$\frac{0.01 \sim 3.93}{0.49}$	10
喷溢相上部亚相	$\frac{8.30 \sim 34.80}{22.50}$	$\frac{0.04 \sim 3.34}{0.35}$	39
喷溢相中部亚相	$\frac{1.20 \sim 26.80}{12.65}$	$\frac{0.03 \sim 1.83}{0.26}$	13
喷溢相下部亚相	$\frac{0.60 \sim 23.40}{7.21}$	$\frac{0.02 \sim 4.94}{0.76}$	20
火山沉积相含外碎屑亚相	$\frac{16.90 \sim 24.00}{21.09}$	$\frac{0.64 \sim 1.29}{1.02}$	7

①数值为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值}}$

根据孔渗特征, 结合孔隙结构特征, 火山岩储层分为以下 5 种类型。其中一类、二类都是好储层, 三类、四类可以作为储层, 五类为非储层。

一类储层: 特高孔特高渗, 特高孔高渗, 高孔特高渗, 低排驱压力—粗孔喉型(I)。

二类储层: 高孔高渗, 高孔中渗, 中孔高渗, 低排驱压力—较粗孔喉型(II)、中排驱压力—中等孔喉型(III)。

三类储层: 中孔中渗, 特高孔中渗, 中孔特高渗, 中排驱压力—偏细孔喉型(IV)。

四类储层: 低孔高渗, 特高孔低渗, 低孔特高渗, 较高排驱压力—细孔喉型(V)、高排驱压力—细孔喉型(VD)。

五类储层: 高孔低渗, 低孔中渗, 中孔低渗, 低孔低渗, 特高排驱压力—特细孔喉型(VII)。

5 结 论

(1)全取心钻孔——营三 D1 井揭示, 营三 D1 井总厚度为 254.45 m, 共 89 个小层, 其中: 89~28

层为营三段,厚度为 205.7 m; 27~1 层为营二段(未钻穿),厚度为 48.75 m。二者界限为营三段气孔杏仁玄武岩与营二段深灰色凝灰质砂岩整合接触。营三 D1 井上部营三段主要为火山岩夹薄层火山沉积岩,下部营二段主要为火山沉积岩。营三 D1 井钻遇层序可划分为 3 个火山旋回,营三段 2 个旋回、营二段 1 个旋回。且营三段顶部以隐爆角砾岩亚相与中部亚相互层,厚约 8 m; 营三段中部以上部亚相与下部亚相、上部亚相与隐爆角砾岩亚相互层为主,厚约 32.70 m。钻井下部营二段以爆发相与火山沉积相互层为主,厚约 48.75 m。

(2) 营三 D1 井火山岩储集空间包括 4 种 11 类,其中原生孔隙中的粒间孔、次生孔隙和裂缝是本区重要储集空间。储集空间组合可划分为 4 种类型,其中孔缝直接连通型是最好的储集空间组合特征。孔隙分布划分为 4 种类型,对储层最有利的分布类型为单峰偏粗态型和双峰态型。孔隙结构可划分为 7 种类型,以低排驱压力—粗孔喉型(I)为最有利孔隙结构。

(3) 营三 D1 井孔渗有良好的相关关系,且物性以高孔、中高渗为主。

(4) 火山熔岩类和沉火山碎屑岩类是有利储层岩石类型。有利的相带是火山沉积相含外碎屑亚相、火山通道相火山颈亚相、爆发相热碎屑流亚相、爆发相空落亚相、喷溢相上部亚相。综合研究结果表明,营三 D1 井火山岩储层类型分为 5 种,其中一类、二类都是好储层,三类、四类可以作为储层,五类为非储层。

参考文献(References):

[1] 刘万洙,王璞珺,门广田,等. 松辽盆地北部深层火山岩储层特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 28—31.
LIU Wan-zhu, WANG Pu-jun, MEN Guang-tian, et al. Characteristics of deep volcanic reservoirs in northern Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 28—31.

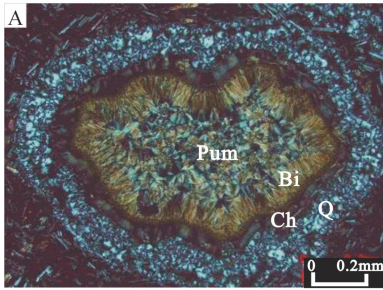
[2] 任延广,朱德丰,万传彪,等. 松辽盆地北部深层地质特征与天然气勘探方向[J]. 中国石油勘探, 2004(4): 12—22.
REN Yan-guang, ZHU De-feng, WAN Chuan-biao, et al. Geological characteristics of deep layers in northern part of Songliao Basin and orientation for natural gas exploration[J]. China Petroleum Exploration, 2004

(4): 12—22.

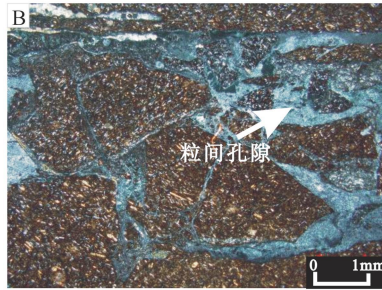
- [3] 迟元林,云金表,庞庆山. 徐家围子断陷 CO₂ 气藏形成地质机制研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2000, 19(3): 1—3.
CHI Yuan-lin, YUN Jin-biao, PANG Qing-shan. Geological mechanism of the formation of CO₂ reservoir of Xujiaweizi rift[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2000, 19(3): 1—3.
- [4] 刘为付,刘双龙,孙立新. 松辽盆地莺山断陷火山岩地震反射特征及分布规律[J]. 石油实验地质, 2000, 22(3): 256—259.
LIU Wei-fu, LIU Shuang-long, SUN Li-xin. Seismic reflection features and distribution law of volcanic rocks in the Yingshan fault depression of the Songliao Basin[J]. Experimental Petroleum Geology, 2000, 22(3): 256—259.
- [5] 贾军涛,王璞珺,邵锐,等. 松辽盆地东南缘营城组地层序列的划分及区域对比[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(6): 1110—1123.
JIA Jun-tao, WANG Pu-jun, SHAO Rui, et al. Stratigraphical sequence and regional correlation of Yingcheng Formation in the southeast of Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2007, 37(6): 1110—1123.
- [6] 付广,杜春国,孟庆芬,等. 芳深 9 井 CO₂ 气藏 CO₂ 气扩散特征及损失量[J]. 大庆石油学院学报, 2003, 27(4): 1—4.
FU Guang, DU Chun-guo, MENG Qing-fen, et al. Diffusion characteristics and loss amount of carbon dioxide gas in FS9 well[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2003, 27(4): 1—4.
- [7] 王成,邵红梅,洪淑新. 徐深 1 井火山岩、砾岩储层特征研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2003, 22(5): 1—4.
WANG Cheng, SHAO Hong-mei, HONG Shu-xin. Study of the volcanic rocks Xushen1 conglomerate reservoir of well[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2003, 22(5): 1—4.
- [8] 任延广,朱德丰,万传彪,等. 松辽盆地徐家围子断陷天然气聚集规律与下步勘探方向[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(5): 26—29.
REN Yan-guang, ZHU De-feng, WAN Chuan-biao, et al. Natural gas accumulation rule of Xujiaweizi depression in Songliao Basin and future exploration target[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2004, 23(5): 26—29.
- [9] 吉林省地质矿产局. 吉林省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1988. 224—230.

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Jilin Province. Regional geology of Jilin Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 224—230.
- [10] 吉林省地质矿产开发局. 吉林省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 210—220.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Jilin Province. Stratigraphy of Jilin Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997: 210—220.
- [11] 王璞琨, 迟元林, 刘万洙, 等. 松辽盆地火山岩相: 类型、特征和储层意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2003, 33(4): 449—456.
- WANG Pu-jun, CHI Yuan-lin, LIU Wan-zhu, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: classification, characteristics and reservoir significance[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2003, 33(4): 449—456.
- [12] 王璞琨, 郑常青, 舒萍, 等. 松辽盆地深层火山岩岩性分类方案[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(4): 17—22.
- WANG Pu-jun, ZHENG Chang-qing, SHU Ping, et al. Classification of deep volcanic rocks in Songliao Basin[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2007, 26(4): 17—22.
- [13] 郑常青, 王璞琨, 刘杰, 等. 松辽盆地白垩系火山岩类型与鉴别特征[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(4): 9—16.
- ZHENG Chang-qing, WANG Pu-jun, LIU Jie, et al. Types and distinguishing characteristics of Cretaceous volcanic rocks in Songliao Basin[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2007, 26(4): 9—16.
- [14] 赵澄林, 刘孟慧, 胡爱梅, 等. 特殊油气储层[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- ZHAO Cheng-lin, LIU Meng-hui, HU Ai-mei, et al. Special oil and gas reservoir[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.
- [15] 刘为付, 朱筱敏. 松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩储集空间演化[J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 44—49.
- LIU Wei-fu, ZHU Xiao-min. Reservoir spaces evolution of volcanic rocks in the Yingcheng Formation of the Xujiaweizi fault depression, the Songliao Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2005, 27(1): 44—49.
- [16] 董冬. 火山岩储层中的一种重要储集空间——气孔[J]. 石油勘探与开发, 1991(1): 89—92.
- DONG Dong. An important reservoir space in igneous oil reservoir oil rocks—gas pores[J]. Petroleum Exploration and Development, 1991(1): 89—92.
- [17] 罗蛰谭, 王允诚. 油气储集层的孔隙结构[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- LUO Zhe-tan, WANG Yun-cheng. Pore space structure of oil—gas reservoir[M]. Beijing: Science Press, 1986.
- [18] 严衡文, 吕辉明, 徐安新. 马岭低渗油藏孔隙结构对水驱油效率的影响[J]. 石油学报, 1986, 7(2): 45—53.
- YAN Heng-wen, LÜ Hui-ming, XU An-xin. The effect of pore structure on water drive efficiency in the Maling oil field[J]. Acta Petrolei Sinica, 1986, 7(2): 45—53.
- [19] 吴颜雄, 王璞琨, 曲立才, 等. 营城组一段及下段岩性岩相和储层物性的精细刻画——基于标准剖面营—D1井全取心钻孔资料[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(6): 1192—1202.
- WU Yan-xiong, WANG Pu-jun, QU Li-cai, et al. Detailed description of lithology, lithofacies and porosity and permeability of the first and the lower member of Yingcheng Formation: based on the latest data of Ying—D1 well cores in standard section[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(6): 1192—1202.
- [20] 王璞琨, 吴河勇, 庞颜明, 等. 松辽盆地火山岩相: 相序、相模式与储层物性的定量关系[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(5): 805—812.
- WANG Pu-jun, WU He-yong, PANG Yan-ming, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: sequence model and the quantitative relationship with porosity & permeability of the volcanic reservoir[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2006, 36(5): 805—812.

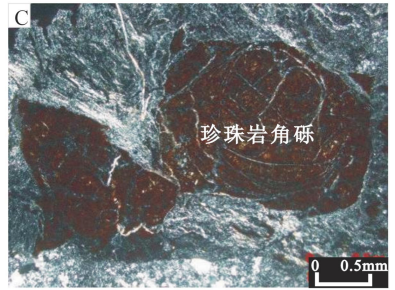
图版



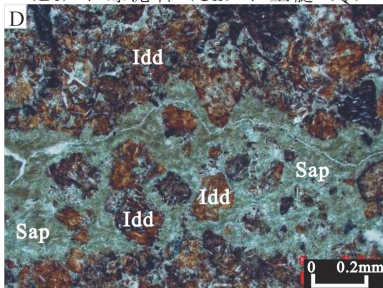
气孔杏仁玄武岩(Y3D1-146.5m); 从内到外充填绿帘石 (Pum)、黑云母 (Bi)、绿泥石 (Ch)、玉髓 (Q)



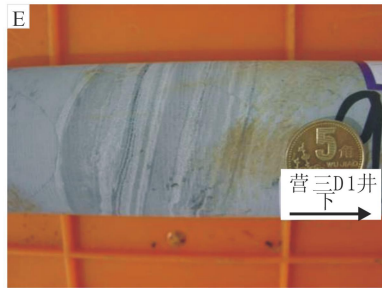
玄武质隐爆角砾岩 (Y3D1-108.95m); 原岩为玄武岩, 典型隐爆角砾结构



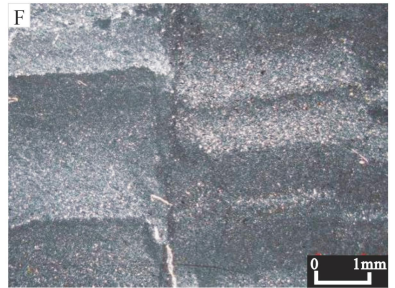
玄武质角砾熔岩 (Y3D1-103.75m) 基质为玄武质; 珍珠岩角砾



玄武质岩屑凝灰熔岩 (Y3D1-38.2m), 岩屑为玄武岩; 充填皂石 (Sap), 伊丁石 (Idd)



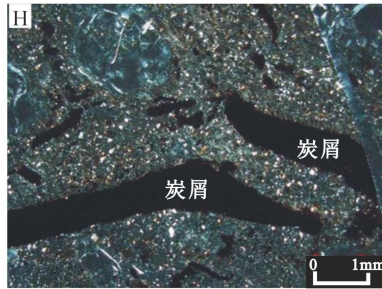
流纹质沉凝灰岩 (Y3D1-246.7m) 水平、粒序层理发育, 见断层错动



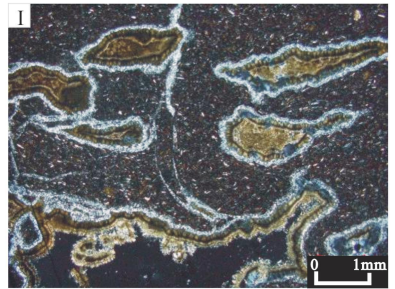
沉凝灰岩 (Y3D1-247.25m) 平行层理和韵律层理, 构造错动



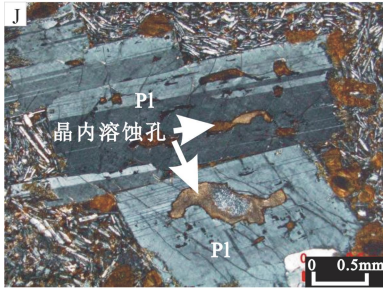
流纹质沉火山角砾岩 (Y3D1-242.2m) 角砾见流纹岩、砂岩、变质岩、珍珠岩 含大量炭屑; 晶屑主要为石英、长石



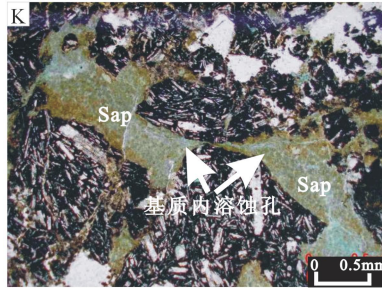
流纹质晶屑凝灰岩 (Y3D1-206.2m) 含大量炭屑; 晶屑主要为石英、长石



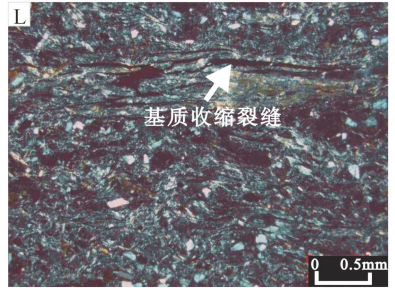
气孔杏仁玄武岩 (Y3D1-141.25m), 气孔-杏仁体-裂缝型



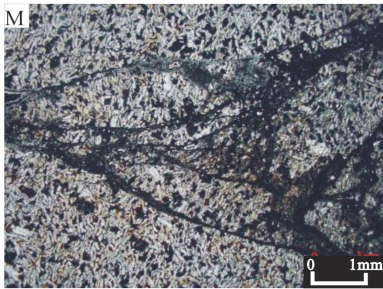
玄武岩 (Y3D1-77.5m); 斜长石斑晶 (Pl); 晶内溶蚀孔



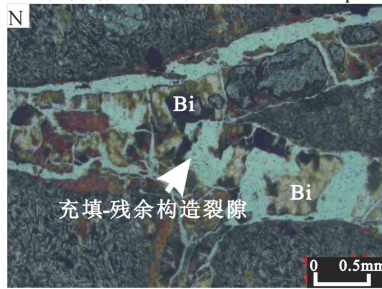
玄武岩 (Y3D1-73.00m); 连通的基质内溶蚀孔, 充填有皂石 (Sap)



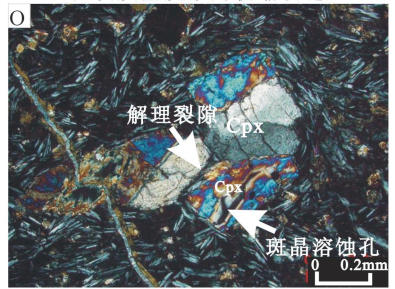
流纹质晶屑熔结凝灰熔岩(Y3D1-241.10m) 流纹质基质中的收缩裂缝



玄武岩(Y3D1-52.7m); 粒间孔隙-基质收缩缝-裂缝型



玄武岩 (Y3D1-194.40m) 充填-残余构造裂隙, 充填黑云母(Bi)



玄武岩(Y3D1-191.90m):单斜辉石斑晶 (Cpx)基质溶蚀孔-斑晶溶蚀孔-裂缝型