

松辽盆地松科 2 井下白垩统营城组火山-沉积序列 精细刻画

高翔¹, 高有峰^{2,*}, 瞿雪姣³, 李宏浩¹, 陈桐¹, 王璞珺¹

1. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061
2. 吉林大学 古生物学与地层学研究中心, 吉林 长春 130026
3. 重庆科技学院, 重庆 401331

GAO Xiang¹, GAO Youfeng^{2,*}, QU Xuejiao³, LI Honghao¹, CHEN Tong¹, WANG Pujun¹

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China
2. Research Center of Palaeontology & Stratigraphy, Jilin University, Changchun 130026, China
3. Chongqing University of Science & Technology, Chongqing 401331, China

GAO Xiang, GAO Youfeng, QU Xuejiao, et al. Volcanic-sedimentary succession description of the Lower Cretaceous Yingcheng Formation based on the ICDP scientific drilling borehole in the Songliao Basin (SK-2). *Earth Science Frontiers*, 2017, 24(1): 265-275

Abstract: China Cretaceous Continental Scientific Drilling in the Songliao Basin, called SK2 project, has collected 365.32 m of the lower Cretaceous Yingcheng Formation which corresponds to Aptian-Albian. The borehole got a highly continuous core section with recovery of 98.47%, which is the most complete and precise geological records up to now for the stratum of continental non-marine Cretaceous in the world. The diameter of core is 214 mm which is among the largest diameter concerning coring engineering. We first described the volcanic-sedimentary succession in centimeter scale and studied the volcanic and sedimentary facies. Considering the sedimentary and volcanic rocks as a whole sequence, we recognized seventeen rock types from drilling core of the Yingcheng Formation. There are nine types of sedimentary rocks, which include conglomerate, coarse sandstone, medium sandstone, fine sandstone, siltstone, silty mudstone, mudstone, breccia tuffaceous sandstone, breccia-bearing tuffaceous sandstone. There are eight types of volcanic rocks including rhyolite, rhyolitic tuff/pyroclastics/agglomerate, rhyolitic welded tuff, crypto-explosive breccia, andesitic tuff, and tuffite. Sedimentary facies is fan delta dominant which includes five sedimentary microfacies of distributary channels, back swamp between delta, subaqueous distributary channels, subaqueous mouth bar and mudstone of still water. Volcanic facies are explosive facies and effusive facies dominant, which include four volcanic subfacies of air-fall, pyroclastic flow deposits, middle and upper flow subfacies of the effusive one. According to detail description of the Yingcheng sequence, we first recognized three periodic sedimentary and volcanic cycles in the Yingcheng Formation, which have been numbered sedimentary I-volcanic I, sedimentary II-volcanic II, and sedimentary III-volcanic III. This is a new discovery concerning the vertical features of the Yingcheng Formation. The centimeter scale description on the core sections from the SK2 may provide some other useful information for related researches in the future.

Key words: Yingcheng Formation; sedimentary facies; volcanic facies; volcanic-sedimentary succession and cycle; Aptian to Albian; International Scientific Continental Program (ICDP) of the Cretaceous Songliao Basin (SK-2); Songliao Basin

收稿日期: 2016-08-10; 修回日期: 2016-12-03

作者简介: 高翔(1991—), 男, 硕士, 主要从事盆地地层和沉积地质学研究。E-mail: 1397418062@qq.com

* 通讯作者简介: 高有峰(1982—), 男, 博士, 副教授, 主要从事沉积学与地层学研究。E-mail: gaoyoufeng@jlu.edu.cn

摘要: 中国白垩纪大陆科学钻探松科 2 井连续获取营城组岩心 365.32 m, 岩心直径为 214 mm, 岩心收获率达 98.47%, 是迄今直径最大, 收获率最高且保存最为完整的营城组岩心, 这些宝贵资料为营城组研究提供了前所未有的机遇。营城组时期与 Aptian-Albian 对应。通过对松科 2 井营城组岩心的精细描述, 揭示了营城组火山-沉积序列及其建造过程。营城组主要包括沉积岩与火山岩两大岩类, 共计 17 种岩石类型, 其中沉积岩 9 种(砾岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩, 含角砾凝灰质砂岩、凝灰质砂岩)、火山岩类 8 种(流纹岩、流纹质角砾集块岩、流纹质角砾集块熔岩、流纹质熔结凝灰熔岩、流纹质含角砾熔结凝灰熔岩、隐爆角砾岩、安山质集块熔岩与凝灰岩)。沉积相为扇三角洲相, 具体分为扇三角洲平原亚相、扇三角洲前缘亚相与前扇三角洲亚相, 分河道微相、扇间沼泽微相, 水下分流河道微相、河口砂坝微相与静水泥质沉积微相。火山岩相包括爆发相和喷溢相, 具体分为空落亚相、热碎屑流亚相、喷溢相中部亚相和上部亚相。沉积岩与火山岩交替出现于营城组中, 主要发育 3 期沉积岩与 3 期火山岩, 自下而上形成 3 个完整的沉积-火山旋回, 即沉积岩 I-火山岩 I, 沉积岩 II-火山岩 II 和沉积岩 III-火山岩 III。这一发现对于重新认识营城组时期构造-火山-盆地充填规律, 可能具有重要启示。文中精细的描述资料为今后相关的深入研究提供了迄今最精准的基本地质素材。

关键词: 营城组; 沉积相; 火山相; 火山-沉积序列; Aptian-Albian; 松科 2 井; 松辽盆地

中图分类号: 534.53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-2321(2017)01-0265-11

营城组源于森田义人在吉林省长春市(旧称“新京”)东缘定义的营城子火山岩群, 这套火山岩群北部分布在九台市以东、营城子以北的柳家沟—李家纸房—上河湾一带, 南部分布在石碑岭—小河台一带。1966 年吉林省煤田地质勘探公司普查大队研究室^[2]将这套地层创名为营城组, 时代为晚侏罗世或早白垩世。营城组在创立之初被三分^[3-4], 随着对松辽盆地深层地层研究的日益深入^[5-15], 确定了目前普遍使用的营城组四分方案^[16-17]: 一段以酸性火山岩及火山碎屑岩为主, 将底部发育的中基性火山岩夹碎屑岩作为本段的一个旋回; 二段以碎屑岩夹凝灰岩为主, 含煤; 三段以中基性火山岩及火山碎屑岩为主, 顶部为酸性与中性火山岩互层; 四段仅发育在徐家围子断陷, 以凝灰质砾岩夹泥岩为主。

前人对营城组的时代归属开展了大量工作, 综合来看, 营城组时代在 135~110 Ma 之间, 对应于 Aptian-Albian^[18-23], 属于早白垩世。

松辽盆地大陆科学钻探工程自 2014 年开始实施^[24]。迄今, 松科 2 井长井段连续取心获取了近乎完整(取心率 98.47%)的营城组岩心, 岩心直径达 214 mm, 与之前所取小直径岩心相比, 大直径岩心的地质特征更加宏观, 使得岩心结构、构造、含有物等更易于鉴别, 同时, 大直径岩心不易破碎, 避免了岩心在出筒与采收过程中的破损或缺失, 使岩心更加连续, 现象保存得更加完好。对营城组岩心的精细刻画与划分岩心的沉积相、火山相, 将为今后的相关研究, 如松辽盆地早白垩世气候-环境演化等, 提供准确的地质依据, 推动松辽盆地高精度地质研究的进程。

1 营城组岩心精细描述

松科 2 井钻探工程对营城组地层进行了全取心作业, 依据模拟柱状图^[25], 于 2 965 m 开始营城组取心, 取心井段 2 965~3 335.99 m, 进尺 370.99 m, 总心长 365.32 m, 岩心收获率 98.47%。与以往的营城组取心情况比较, 松科 2 井的营城组岩心在直径大小、长度与连续性方面均是前所未有的。同时, 依照科探井对岩心描述的特殊要求, 对营城组岩心的精细描述工作都在钻井现场随钻进行, 在描述营城组岩心过程中, 颜色色标(GSA 颜色标准)和地质描述等均采用国际上通用的科探井描述原则与方法, 使得原始资料的精准性和国际可比程度大大提高。对于一般岩性, 厚度大于或等于 5 cm, 颜色、岩性、结构、沉积构造、含有物等有变化的层, 均分层描述; 小于 5 cm 的层作条带或薄夹层描述, 不再分层; 特殊岩性(如白云岩、火山灰等)不设最小分层厚度, 只要发现均需参与分层描述。此外, 对岩心的精细描述还体现在对沉积微相内的细微环境变化的刻画, 如微相内的沉积物特征和结构变化、含有物变化、颜色变化等。

松科 2 井钻遇营城组四段和三段, 营二段与营一段不发育^[25]。营四段主要发育碎屑岩, 顶部为少量凝灰岩, 而营三段主要发育火山岩, 火山岩之下发育砂砾岩, 营三段底发育近 30 m 厚的砾岩。模拟柱状图依据松科 2 井邻井宋深 3 井, 将登娄库组与营城组界线定为 2 965 m^[25], 但依据松科 2 井实钻岩心岩性, 在 2 969.21~2 972.33 m 发育厚 3.12 m 的蓝灰色凝灰岩, 并在这段凝灰岩之下(2 972.33~

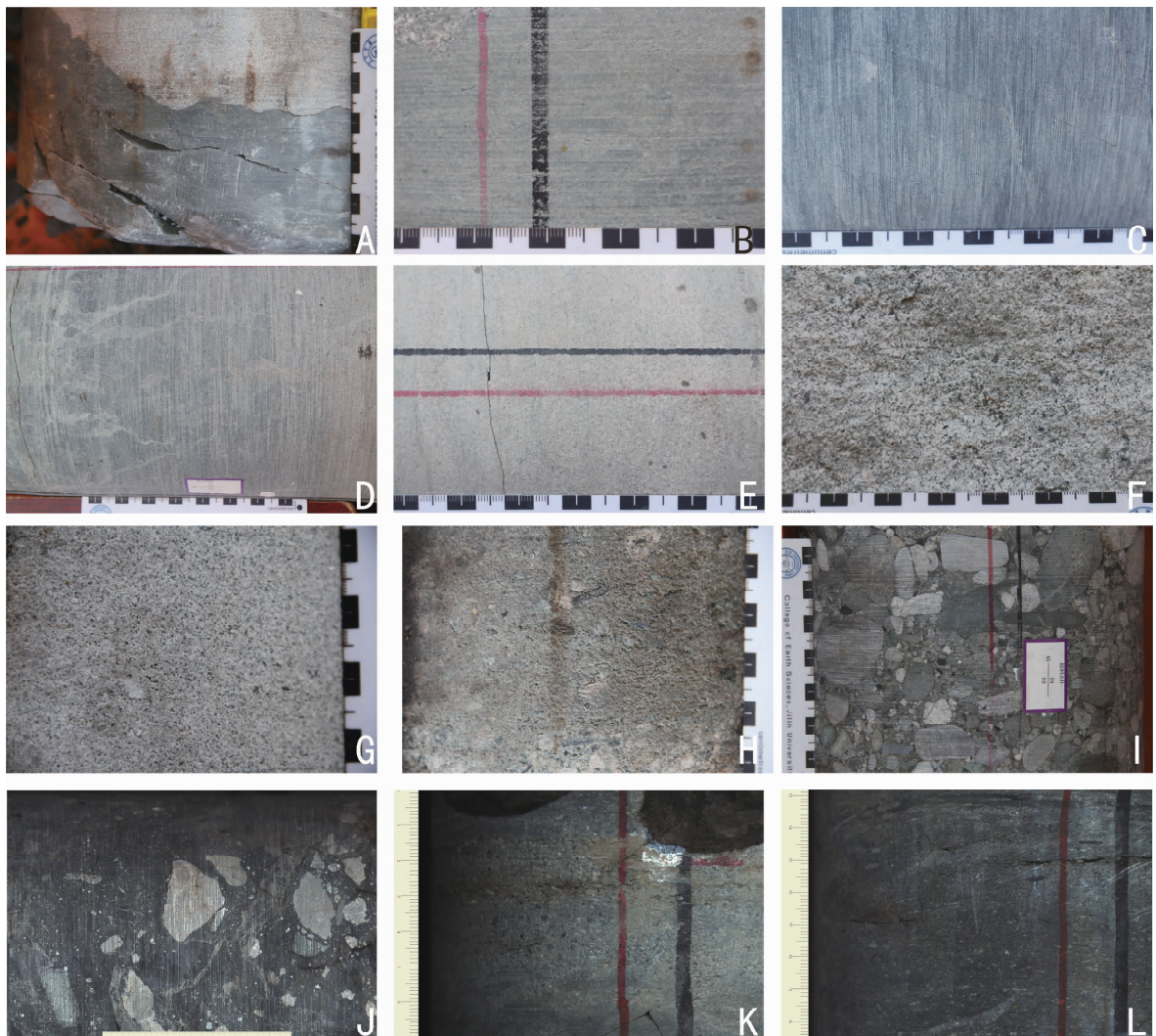
3 102.37 m) 发育碎屑岩, 因此暂时认为 2 969.21~2 972.33 m 属于营四段, 而 2 969.21 m 以上部分为登娄库组沉积, 即将 2 969.21 m 作为登娄库组与营城组界线。这也体现了连续岩心确定的界线精确程度比间断性岩屑更高。

营城组岩心岩性自下而上发育沉积岩 I—火山岩 I—沉积岩 II—火山岩 II—沉积岩 III—火山岩 III—沉积岩。营三段与营四段界线为 3 102.37 m, 以营三段大套火山岩过渡到营四段大套砾岩为标志。沉积岩 I 与沉积岩 III 为正常沉积岩, 区别在于沉积岩 III 岩石粒度较沉积岩 I 粗, 沉积岩 II 为两期火山之间的沉积岩, 多含有火山物质, 凝灰质砂岩发育, 井段为 3 268.11~3 275.87 m。火山岩 I 主要为中性火山岩: 安山质集块熔岩, 井段 3 275.87~

3 278.96 m; 火山岩 II 主要为酸性火山岩, 包括流纹岩, 流纹质角砾岩、集块岩, 流纹质角砾集块熔岩等, 井段 3 102.37~3 268.11 m; 火山岩 III 为凝灰岩, 井段 2 969.21~2 973.33 m, 火山岩 III 上覆有登娄库组沉积岩, 也即是凝灰岩上部的沉积岩。

1.1 营城组沉积岩岩性特征

沉积岩分布于营城组上部(2 972.33~3 102.37 m, 沉积岩 III)、中下部(3 268.11~3 275.87 m, 沉积岩 II)、底部(3 278.96~3 335.99 m, 沉积岩 I), 共识别出 9 种岩性(图 1): 泥岩(图 1A)、粉砂质泥岩(图 1B)、粉砂岩(图 1C)、细砂岩(图 1D)、中砂岩(图 1E)、粗砂岩(包括粗砂岩、含砾粗砂岩和细砾质粗砂岩(图 1F、G、H)、砾岩(图 1I)、含角砾凝灰质砂岩(图 1J)、凝灰质砂岩(图 1K、L), 其中以粗砂岩出



A—泥岩; B—粉砂质泥岩; C—粉砂岩; D—细砂岩, 植物根系; E—中砂岩; F—粗砂岩; G—含砾粗砂岩; H—细砾质粗砂岩; I—复成分中砾岩; J—含角砾凝灰质粉砂岩; K、L—凝灰质砂岩。

图 1 营城组沉积岩岩性图版

Fig. 1 Types of sedimentary rocks of Yingcheng Formation

现的频次最高, 砾岩厚度百分比最大, 其他岩性诸如粉砂质泥岩、细砂岩、中砂岩也占有一定出现频次与厚度, 泥岩所占比例最小。

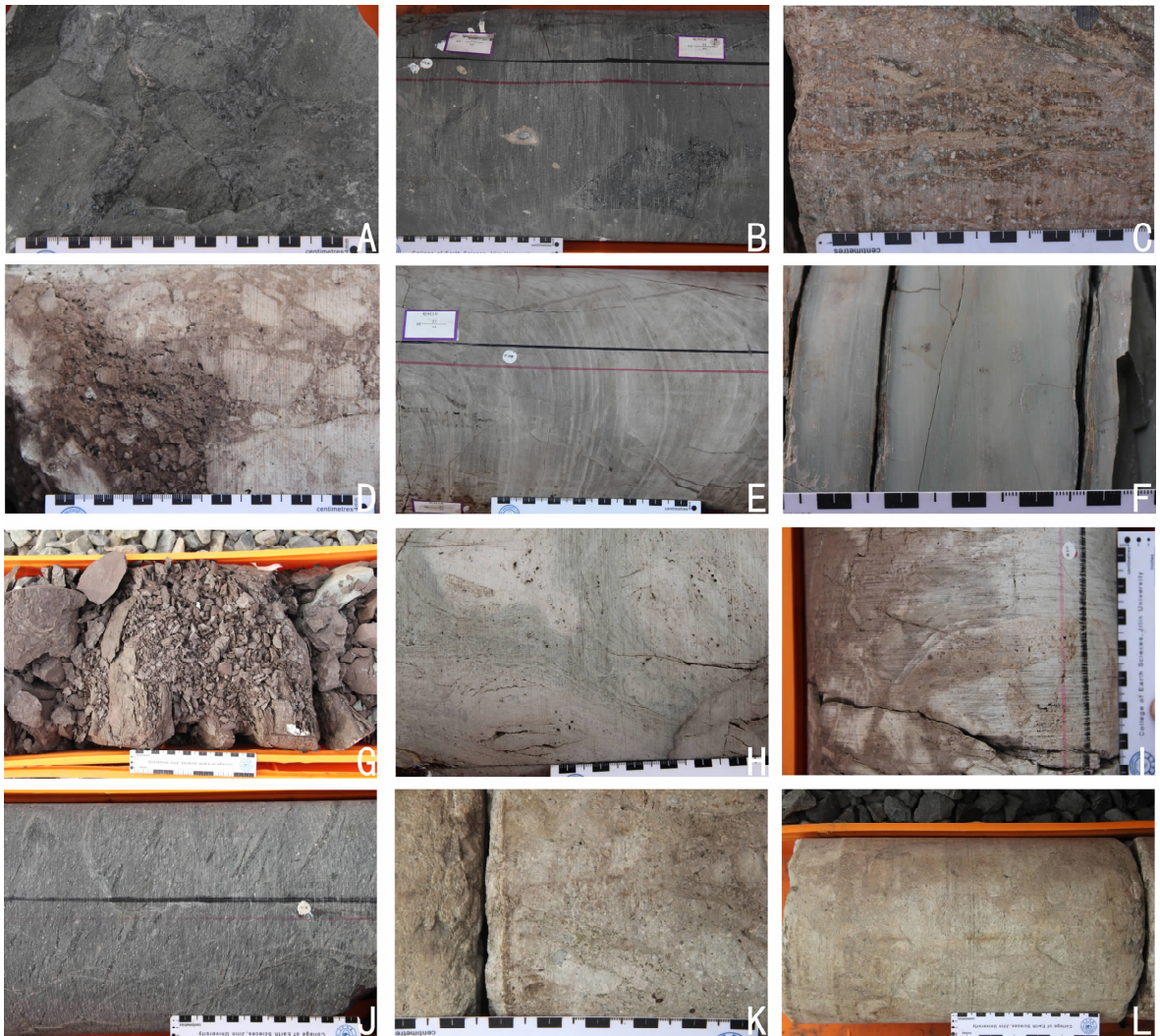
上部沉积岩以杂色复成分砾岩, 浅灰色、浅中灰色粗砂岩与深灰色、浅绿灰色粉砂质泥岩为主, 且由深至浅颗粒的粒度呈现增大趋势, 较深层位含有较多粉砂质泥岩、细砂岩, 向上变粗发育砾岩, 粗砂岩; 中下部沉积岩主要为火山岩之间的过渡岩性, 含有较多火山物质, 发育凝灰质砂岩^[26], 中砾岩(砾石中火山成分>60%); 下部沉积岩粒度与上部沉积岩相比变细, 与中下部沉积成分相比几乎没有火山物质, 主要发育细砂岩、粉砂质泥岩、泥岩, 只有底部发育厚度近 30 m 的砾岩, 这套砾岩作为与沙河子组的界线。

松科 2 井钻遇的营城组沉积岩主要发育槽状交

错层理、平行层理、变形层理, 冲刷面十分发育, 并且在冲刷面多发育定向砾石条带。在深色粉砂质泥岩、细砂岩内发育断层。植物碎屑含量较少, 黄铁矿与生物扰动构造仅在沉积岩 I 中可见且发育程度低。

1.2 营城组火山岩岩性特征

营城组火山岩^[26]主要为酸性火山岩, 含有少量中性火山岩, 无基性火山岩, 火山岩分布于营城组顶部(2 969. 21~2 972. 33 m, 火山岩Ⅲ)、中部(3 102. 37~3 268. 11 m, 火山岩Ⅱ)、中下部(3 275. 87~3 278. 96 m, 火山岩Ⅰ), 共识别出 8 种岩性(图 2): 安山质集块熔岩(图 2A、B)、流纹质含角砾熔岩(图 2C)、流纹质角砾集块岩(图 2D)、流纹质凝灰岩(图 2F、G)、流纹岩(图 2E、H)、流纹质角砾集块熔岩(图 2I)、流纹质熔结凝灰岩(图 2J)与隐爆角砾岩(图 2K、L)。



A、B—安山质集块熔岩; C—流纹质含角砾熔岩; D—流纹质角砾集块岩; E、H—流纹岩; F、G—流纹质凝灰岩; I—流纹质角砾集块熔岩; J—流纹质熔结凝灰岩; K、L—隐爆角砾岩。

图 2 营城组火山岩岩性图版

Fig. 2 Types of volcanic rocks of Yingcheng Formation

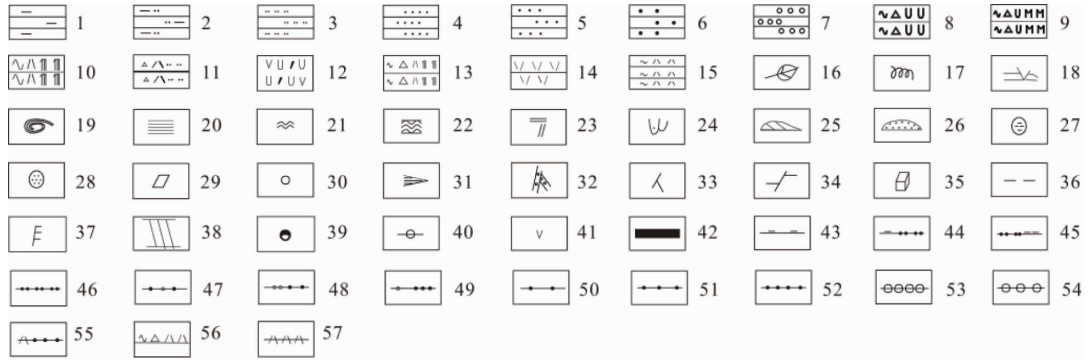
表1 营城组岩心精细描述(岩性综合柱状图见图3, 分层编号与图3对应)

Table 3 Fine description of Yingcheng Formation cores

分层编号	取心回次- 分层顺序号	井段深度/m	厚度/m	岩心描述
1	32-1~8, 33-1~16	2 964. 92~2 969. 21	4. 29	浅灰色粗砂岩, 夹细砾质粗砂岩, 粉砂质泥岩, 中砂质粗砂岩, 细砾岩, 发育平行层理, 含有白云母
2	33-17~36	2 969. 21~2 972. 33	3. 12	中蓝灰色流纹质凝灰岩
3	33-37~52	2 972. 33~2 975. 96	3. 63	深灰色粉砂质泥岩, 夹细砂岩, 中砂岩, 含有煤线与植物化石
4	34-1~29	2 975. 96~2 980. 43	4. 47	浅中灰色粗砂岩, 夹细砾岩, 含砾粗粒砂岩, 泥岩, 发育槽状交错层理与平行层理, 含有砂岩团块与石英砾
5	34-30~41	2 980. 43~2 982. 98	2. 55	绿灰色中砂岩, 夹泥砾条带, 泥岩, 粗砂岩, 发育平行层理与槽状交错层理, 含有断层与白云母
6	34-42~54, 35-1~32	2 982. 98~2 992. 27	9. 29	浅中灰色粗砂岩, 夹深灰色粉砂质泥岩, 浅灰绿色中砂岩, 深灰色细砂岩, 杂色中砾岩、杂色细砾岩
7	35-33~51, 36-1~4	2 992. 77~3 003. 51	10. 64	杂色中砾岩, 夹粗砂岩, 中砂岩, 发育槽状交错层理
8	36-5~9	3 003. 41~3 004. 31	0. 9	浅中灰色粗砂岩, 夹粉砂岩, 发育槽状交错层理与板状交错层理
9	36-10~21, 37-1~3	3 004. 31~3 014. 67	10. 36	杂色中砾岩, 发育断续砾石条带, 夹含砾粗砂岩, 中砂岩夹层, 发育平行层理、槽状交错层理与波纹层理
10	37-4~17	3 014. 67~3 017. 25	2. 58	浅中灰色中砂岩, 夹粉砂质泥岩, 泥岩, 细砂岩, 粉砂岩, 粗砂岩, 发育槽状交错层理与波纹层理, 含有植物碎屑与白云母
11	37-18~20	3 017. 25~3 018. 3	1. 05	浅中灰色粗砂岩, 夹粉砂质泥岩, 发育槽状交错层理
12	37-21~29, 38-1~7	3 018. 3~3 023. 45	5. 15	浅中灰色中砂岩, 发育断续泥砾, 夹泥质条带, 粗砂岩, 细砂岩, 发育平行层理、包卷层理与槽状交错层理, 含有植物碎屑、泥砾与白云母
13	38-8~11	3 023. 45~3 025. 89	2. 44	深中灰色细砂岩, 夹泥质条带, 中砂岩, 发育块状与槽状交错层理, 含有粗砂岩团块与断层
14	38-12~14, 39-1~5	3 026. 04~3 029. 28	3. 24	浅中灰色粗砂岩, 夹泥质条带、中砂岩, 发育槽状交错层理与平行层理, 含有泥砾与白云母
15	39-6, 39-7	3 029. 28~3 033. 78	4. 5	深灰色粉砂质泥岩, 夹粗砂岩, 含有逆断层与植物碎屑
16	39-8~10	3 033. 78~3 035. 98	2. 2	杂色中砾岩, 夹粗砂岩, 发育槽状交错层理
17	39-11~13	3 035. 98~3 038. 18	2. 2	浅中灰色粉砂质泥岩, 发育生物扰动构造, 含有植物碎屑
18	39-14~17	3 038. 18~3 040. 48	2. 3	浅中灰色粗砂岩, 夹粉砂质泥岩、中砾岩, 发育槽状交错层理与波纹层理
19	39-18~22	3 040. 48~3 043. 53	3. 05	中灰色泥岩, 夹含砾粗砂岩, 细砂岩
20	40-1~10	3 043. 53~3 047. 19	3. 66	浅中灰色细砂岩, 夹含砾粗粒砂岩, 凝灰岩, 中砂岩, 发育波纹层理, 含有粉砂质泥岩楔状体, 细砾岩透镜体, 植物碎屑
21	40-11~15	3 047. 19~3 050. 33	3. 14	浅中灰色粉砂质泥岩, 夹粗砂质中砂岩细砾岩, 发育波纹层理, 含有植物碎屑、断层与砾石
22	40-16, 40-17, 41-1~3, 42-1~7, 43-1~10	3 050. 33~3 102. 37	52. 04	杂色中砾岩, 夹粗砂岩, 流纹质角砾凝灰岩, 中砂岩, 发育槽状交错层理与板状交错层理, 含有粗砂岩团块
23	43-11~15	3 102. 37~3 103. 17	0. 8	灰绿色流纹质角砾熔结凝灰岩, 夹粗砂岩, 发育流动构造, 含有黄铁矿
24	43-16~21	3 103. 17~3 109. 01	5. 84	浅绿色流纹质含角砾凝灰熔岩, 变形构造, 发育裂缝与充填裂缝的方解石、硅质
25	44-1, 45-1	3 109. 11~3 133. 2	24. 09	浅灰色流纹质熔结凝灰岩, 充填裂缝的方解石、黄铁矿, 裂缝
26	47-1	3 133. 59~3 137. 24	3. 65	浅棕灰色流纹质熔结凝灰熔岩, 隐爆角砾结构, 发育裂缝与黄铁矿

(续表 1)

分层编号	取心回次- 分层顺序号	井段深度/m	厚度/m	岩心描述
27	48-1	3 137.24~3 147.9	10.66	浅灰色流纹质熔结凝灰熔岩, 发育裂缝、充填裂缝的方解石、黄铁矿
28	49-1	3 147.9~3 156.55	8.65	浅灰色流纹质含角砾熔结凝灰熔岩, 氧化边构造, 发育裂缝, 充填裂缝的方解石、黄铁矿
29	50-1~3	3 156.96~3 159.56	2.6	浅灰色流纹质熔结凝灰熔岩, 发育裂缝
30	50-4	3 159.56~3 162.7	3.14	灰紫色流纹质熔结凝灰熔岩, 发育裂缝
31	50-5	3 162.7~3 165.36	2.66	灰绿色流纹质熔结凝灰熔岩, 发育裂缝
32	50-6, 50-7	3 165.36~3 166.62	1.26	灰棕色流纹质凝灰岩
33	50-8	3 166.62~3 169.26	2.64	绿灰色流纹质熔结凝灰熔岩, 黄铁矿、气孔、裂缝
34	50-9	3 169.26~3 172.76	3.5	浅灰色流纹岩, 流纹构造、气孔杏仁构造, 发育充填裂缝的方解石、黄铁矿
35	50-10, 51-1, 52-1	3 172.76~3 194.59	21.83	浅灰色流纹质角砾集块岩, 流纹构造, 发育裂缝气孔、方解石与黄铁矿
36	52-2	3 194.59~3 198.99	4.4	浅灰色流纹质角砾集块岩, 流纹构造, 发育气孔、黄铁矿
37	53-1, 54-1~3, 55-1	3 199.24~3 212.05	12.81	浅灰色流纹质角砾集块岩, 流纹构造, 气孔杏仁构造, 发育裂缝、气孔、黄铁矿、方解石
38	55-2~6	3 212.05~3 225.65	13.6	浅灰色流纹岩, 流动构造, 气孔杏仁构造, 发育裂缝, 充填裂缝的方解石
39	55-7	3 225.65~3 228.45	2.8	浅灰色流纹质角砾集块岩, 流纹构造, 发育气孔、裂缝、充填气孔和裂缝的方解石
40	55-8, 55-9, 56-1~3, 57-1	3 228.45~3 253	24.55	浅灰色流纹岩, 流动构造, 气孔杏仁构造, 发育气孔、裂缝、充填气孔和裂缝的方解石
41	58-1, 59-1	3 253.00~3 258.54	5.54	浅灰色流纹岩, 流纹构造、气孔杏仁构造, 发育气孔、裂缝, 充填气孔的沸石、充填裂缝的钙质与岩枝
42	60-1	3 258.54~3 262.67	4.13	浅绿灰色流纹岩, 流纹构造、气孔杏仁构造, 发育裂缝、气孔、黄铁矿、沸石、岩枝
43	61-1	3 262.67~3 265.96	3.29	浅绿灰色流纹质角砾集块岩, 流动构造, 发育气孔、钙质/方解石
44	62-1, 63-1	3 265.96~3 268.11	2.15	浅灰色流纹质熔结凝灰熔岩, 气孔杏仁构造, 发育气孔、裂缝
45	63-2~4	3 268.11~3 271.78	3.67	黑灰色含角砾凝灰质粉砂岩, 发育煤层, 方解石与黄铁矿
46	63-5	3 271.78~3 274.01	2.23	杂色中砾岩, 夹凝灰质砂岩
47	63-6~11	3 274.01~3 275.87	1.86	浅中灰色中粒质粗粒砂岩, 夹煤层、凝灰岩, 发育黄铁矿
48	63-12, 63-13, 64-1	3 275.87~3 278.96	3.09	浅中灰色安山质集块熔岩, 发育黄铁矿
49	64-2~10	3 278.96~3 282.75	3.79	中灰色细砂岩, 夹粉砂质泥岩, 粗砂岩, 发育水平层理与爬升层理
50	64-11, 64-12	3 282.75~3 286.69	3.94	深灰色泥岩, 波状层理
51	64-13~16, 65-1~3	3 286.69~3 290.35	3.66	深中灰色粉砂质泥岩, 夹煤层, 粉砂岩, 中砂岩, 发育波状层理、爬升层理, 波纹层理, 含有安山岩角砾与集块, 断层, 泥砾
52	65-4~13	3 290.35~3 295.32	4.97	浅中灰色粗砂岩, 夹黑灰色粉砂质泥岩, 断层, 细砂岩, 发育爬升层理、透镜层理、泄水构造, 断续波纹层理, 槽状交错层理
53	65-14~17	3 295.32~3 300.65	5.33	浅中灰色中砂岩, 夹粉砂质泥岩, 泥砾条带, 发育槽状交错层理, 波纹层理, 含有植物碎屑, 断层
54	65-18, 65-19	3 300.65~3 302.95	2.3	深中灰色粉砂质泥岩, 夹煤层、细砂岩, 发育波状交错层理, 透镜层理
55	65-20, 65-21	3 302.95~3 304.61	1.66	浅中灰色粗砂岩, 夹粉砂质泥岩, 发育槽状交错层理, 含有煤线、黄铁矿, 钙质条带
56	65-22~26, 66-1~6, 67-1	3 304.61~3 335.99	31.38	杂色中砾岩, 夹粉砂质泥岩, 细砾岩, 粗砂岩, 发育爬升层理、波纹层理, 含有黄铁矿、煤线



1—泥岩, 2—粉砂质泥岩, 3—粉砂岩, 4—细砂岩, 5—中砂岩, 6—粗砂岩, 7—中砾岩, 8—流纹质角砾集块岩, 9—流纹质角砾集块熔岩, 10—流纹质熔结凝灰熔岩, 11—含角砾凝灰质粉砂岩, 12—安山质集块熔岩, 13—流纹质含角砾熔结凝灰熔岩, 14—流纹岩, 15—流纹质凝灰岩, 16—植物化石, 17—生物扰动构造, 18—虫孔, 19—包卷层理, 20—水平层理, 21—波纹层理, 22—波状层理, 23—平行层理, 24—槽状交错层理, 25—透镜层理, 26—砂岩透镜体, 27—泥质团块, 28—砂纸团块, 29—方解石, 30—砾石, 31—泥质条带, 32—方解石条带, 33—裂缝, 34—断层, 35—黄铁矿, 36—云母, 37—爬升层理, 38—板状交错层理, 39—气孔, 40—泥砾, 41—安山岩集块, 42—煤层, 43—泥质夹层, 44—泥质粉砂岩夹层, 45—粉砂质泥岩夹层, 46—粉砂岩夹层, 47—含砾粗砂岩夹层, 48—细砾质粗砂岩夹层, 49—含砾中砂岩夹层, 50—粗砂岩夹层, 51—中砂岩夹层, 52—细砂岩夹层, 53—细砾岩夹层, 54—中砾岩夹层, 55—凝灰质砂岩夹层, 56—流纹质含角砾凝灰岩夹层, 57—凝灰岩夹层。DP—扇三角洲平原; DF—扇三角洲前缘; FD—前扇三角洲; AS—空落亚相; PFD—热碎屑流亚相; MS—中部亚相; US—上部亚相; DC—分流河道; SBD—扇间沼泽; SDC—水下分流河道; SMB—河口砂坝; MW—静水泥质沉积; VS—含外碎屑火山碎屑沉积岩。N8—极浅灰色; N7—浅灰色; N6—中浅灰色; N5—中灰色; N4—中深灰色; N2—黑灰色; 5GY 6/1—绿灰色; 5G6/1—绿灰色; 5YR6/1—浅棕灰色; 5P4/2—紫灰色; 5B5/1—中蓝灰色; 10G4/2—橄榄绿色。GSA(The Geology Society of America: Rock-Color Chart)颜色代码系指美国地质学会颜色代码, 是国际大洋钻探岩心颜色描述通用标准^①。

图3 松科2井营城组火山-沉积序列柱状图

Fig. 3 Volcanic-sedimentary lithological column of Yingcheng Formation (SK2)

顶部的火山岩(火山岩Ⅲ)为一套蓝灰色凝灰岩, 含有硅质角砾, 并可见裂缝, 裂缝内充填方解石; 中部(火山岩Ⅱ)发育浅灰色的流纹岩、流纹质集块岩、流纹质角砾集块岩、流纹质角砾集块熔岩、流纹质熔结凝灰熔岩、流纹质含角砾熔结凝灰熔岩、隐爆角砾岩与紫色凝灰岩。流纹岩与角砾、集块岩等大多发育气孔与裂缝, 也可见断层, 气孔多数沿流纹构造发育, 裂缝主要为高角度裂缝, 缝宽1~7 mm, 部分气孔与裂缝被方解石、沸石、硅质以及黄铁矿充填, 角砾与集块均为流纹岩, 内部可见流纹构造。熔结凝灰熔岩则发育高、低角度裂缝, 裂缝充填物含有紫红色岩汁和方解石, 表面可见草莓状黄铁矿, 浆屑定向, 部分浆屑发育冷凝边; 凝灰岩蚀变较强烈, 可见少量流纹岩岩屑与石英; 隐爆角砾岩段长度0.55 m, 角砾成分为凝灰熔岩, 隐爆裂缝缝宽4~90 mm, 裂缝被岩汁与黄铁矿充填。下部(火山岩Ⅰ)发育安山质集块熔岩, 表面见黄铁矿, 无裂缝、气孔等构造。

2 营城组沉积相、火山岩相

依据岩性组合特征, 可以将营城组火山-沉积

作用分为3期沉积岩与3期火山岩, 构成3个完整的沉积-火山旋回, 总计沉积岩Ⅰ、火山岩Ⅰ、沉积岩Ⅱ、火山岩Ⅱ、沉积岩Ⅲ、火山岩Ⅲ6个阶段。扇三角洲相为营城组时期背景沉积, 反映了松辽盆地营城组时期普遍发育的近物源快速沉积, 其中多期分流河道与河口砂坝以及出现少量的静水泥质沉积泥岩表明营城组时期发生过多期扇三角洲叠加现象; 而3期火山岩分别穿插于扇三角洲背景沉积之中, 其中最后一期事件沉积为营城组结束的标志。

2.1 营城组沉积相类型及特征

营城组沉积相主要为扇三角洲相, 分为扇三角洲平原亚相、扇三角洲前缘亚相与前扇三角洲亚相, 共识别出5种沉积微相, 分别为: 分流河道沉积(图1D)、扇间沼泽沉积(图1D)、水下分流河道沉积(图1F、G、H)、河口砂坝沉积(图1B、C、E)与静水泥质沉积(图1A)。除扇三角洲外, 还发育火山向沉积岩过渡类型的含外碎屑火山碎屑沉积岩相(图1J、K、L)。营城组发育多期扇三角洲, 一般从前扇三角洲深色泥岩、粉砂质泥岩过渡到扇三角洲前缘中灰色中、细砂岩, 最后为扇三角洲平原浅灰色粗砂岩、砾岩或含有植物碎屑的中灰色细砂岩, 偶见扇三角洲前缘向平原过渡。识别出3期事件沉积, 火山岩Ⅰ

① Guidelines and standards to terrain mapping in British Columbia. British Columbia: Resources Inventory Committee, 1996.

下伏浅中灰色含砾粗粒砂岩, 含砾粗粒砂岩向上逐渐变细, 直至变为细砂岩, 火山岩 I 上覆为一套中砾岩, 表明火山岩 I 发生时, 背景沉积为扇三角洲前缘的分流河口砂坝沉积, 而当火山岩 I 结束时, 对应扇三角洲平原的分流河道沉积。火山岩 I 与火山岩 II 之间发育杂色中砾岩与深灰色凝灰质粉砂岩, 由分流河道变为扇间沼泽沉积。火山岩 II 上覆也为一套杂色中砾岩, 火山岩 II 发生时, 背景沉积为扇三角洲平原的扇间沼泽, 火山岩 II 结束时, 对应扇三角洲平原的分流河道沉积。火山岩 III 下伏为深灰色粉砂质泥岩, 上覆为一套浅灰色粗砂岩, 表明火山岩 III 开始阶段对应扇三角洲平原的扇间沼泽, 结束阶段对应扇三角洲平原分流河道沉积。

2.2 营城组火山岩相

营城组火山岩相^[27-30]可识别出喷溢相与爆发相, 细分为 4 个亚相: 上部亚相(图 2H), 中部亚相(图 2E), 热碎屑流亚相(图 2C、J)和空落亚相(图 2A、B、D、F、G、I)。

营城组火山事件沉积按发生先后顺序为: 火山岩 I → 火山岩 II → 火山岩 III 3 期。火山岩 I 为中性爆发相热碎屑流亚相的安山质集块熔岩, 本期火山岩顶底均发育含外碎屑火山碎屑沉积岩, 但上覆层火山碎屑粒度较大, 主要为角砾与集块。火山岩 I 底部未见凝灰岩, 但发育含凝灰质的砂岩, 凝灰质砂岩直接与火山岩 I—安山质集块熔岩接触, 且火山岩 I 下伏岩性发育代表强水动力条件的含砾粗粒砂岩, 推测在火山喷发初期, 水动力强, 使先期喷发的空落相凝灰岩在较强的水动力条件下被快速剥蚀搬运, 从而导致凝灰岩无法保留, 残余的空落相火山物质参与沉积作用, 进而形成凝灰质砂岩。随着火山活动继续进行, 中性熔浆开始从火山口溢出, 也即是岩心上可见的安山质集块熔岩, 形成了现在的火山岩 I, 从安山质集块熔岩上覆岩心含有较多火山角砾甚至集块可看出, 火山活动在熔浆溢出后仍在持续, 同时正常的沉积作用——扇三角洲作用仍在快速进行, 新喷发出的火山物质受到河流搬运作用无法原地成岩, 难以形成火山岩(凝灰岩或角砾、集块岩), 只能与陆源碎屑物质共同成岩, 形成如岩心上所见的沉凝灰岩、含角砾凝灰质砂岩等沉火山碎屑岩和火山碎屑沉积岩。

火山岩 II 是营城组最厚的火山岩, 主要发育爆发相的浅灰色、浅绿灰色、中灰色角砾集块岩与熔结凝灰岩以及棕灰色凝灰岩, 爆发相中又夹杂 3 期喷溢

相的浅灰色、浅绿灰色流纹岩, 同时, 在本期火山岩内无沉积岩, 反映本期火山喷发属于短期间歇性喷发。

火山岩 III 是一套爆发相的蓝灰色流纹质凝灰岩, 这套凝灰岩厚 3.12 m, 火山物质在由火山气射作用下, 在空中作自由落体运动降落到地表, 本期次无熔岩与集块岩, 表明火山活动后续能量不足, 因此并没有形成完整的火山旋回。火山岩 III 下伏岩性为代表扇间沼泽相的深灰色粉砂质泥岩, 表明在火山喷发开始前的沉积环境相对稳定, 而空落的凝灰岩能在原地成岩, 表明该时期搬运作用很弱, 即便是从空中落下的凝灰岩, 也可以原地压实固结成岩。

3 通过岩心基础资料对营城组沉积环境与气候的分析

碎屑岩颜色受沉积环境影响^[31-34], 主要与水深和温度有关, 深灰色、黑色代表还原沉积环境, 水体普遍较深; 而浅灰色、黄色与红色代表氧化沉积环境, 水体普遍较浅。碎屑岩的构造^[31-34]同样能反映出沉积环境与水动力强弱, 如槽状交错层理与冲刷面多代表浅水强水动力条件。营城组碎屑岩颜色以浅灰色(N7)、浅中灰色(N6)与中灰色(N5)为主, 夹层部分为浅绿灰色, 仅含少量深灰色(N3)与黑灰色(N2), 无红色。岩性主要发育粗砂岩与砾岩, 多发育槽状交错层理, 煤线与生物扰动构造少量发育, 表明营城组整体水动力强且水体较浅。

松科 2 井获取了营城组连续、完整的岩心, 这些连续的岩心具有直观、准确的地质界线, 包括: 登娄库组、营城组、沙河子组界线; 营城组三段与四段界线; 营城组内沉积岩与火山岩界线。这些准确的界线, 为准确对比各组段特点具有重要意义, 比如, 依据营城组内部沉积岩与火山岩界线, 对一套火山岩上下的沉积岩取样, 通过孢粉分析等方法, 对火山活动前后气候进行对比研究。

依据对营城组岩心的精细描述成果, 结合岩心颜色、岩性、岩相, 按照上述 6 个岩性段对营城组进行沉积环境与气候分析。

沉积岩 I, 井段为 3 278.96~3 335.99 m, 底部发育杂色中砾岩, 下部主要发育浅中灰色粗砂岩, 粗砂岩内夹粉砂质泥岩, 粉砂质泥岩内又发育钙质条带与煤线, 向上发育虫孔、颜色逐渐变深, 岩性粒度变细直至变为深灰色泥岩, 表明水体逐渐加深, 从扇三角洲平原过渡到前缘再过渡到新一期的前扇三角

洲,表明此时期气候主要从相对干旱气候向湿润气候过渡。顶部发育的中灰色细砂岩与浅灰色粗砂岩表明水动力变强,由前扇三角洲静水泥质沉积逐渐向扇三角洲前缘水下分流通道沉积过渡。

火山岩 I,井段为 3 275.87~3 278.96 m,发育中性的中灰色安山质集块熔岩,其上覆与下伏岩性为火山-沉积岩的过渡类型,含有一定火山碎屑,并且可见角砾与集块。

沉积岩 II,井段为 3 268.11~3 275.87 m,直接上覆于火山岩 I,自下而上发育浅中灰色凝灰质砂岩,杂色中砾岩,黑灰色含角砾集块凝灰质粉砂岩,颜色逐渐加深,粒度逐渐减小,最初发育凝灰质砂岩,而非凝灰岩,表明搬运作用初始较强,而凝灰质砂岩上覆中砾岩表明水动力在进一步增强,导致火山角砾与集块被冲走,无法原地形成角砾集块岩,最后由于水体继续上涨,形成了黑灰色含角砾集块凝灰质粉砂岩。沉积岩 II 时期水体发育,向湿润气候过渡。

火山岩 II,井段为 3 102.37~3 268.11 m,全部为酸性喷出岩,主要发育爆发相的流纹质熔结凝灰岩、流纹质角砾集块岩与喷溢相的流纹岩,岩心颜色主要为浅灰色、浅绿灰色。上部含有棕灰色流纹质凝灰岩与紫灰色流纹质熔结凝灰岩。其上覆岩性为厚达 50 m 中砾岩,下伏岩性为含角砾集块凝灰质砂岩,这两种岩性都代表了强水动力环境,表明雨水充沛,因此火山岩 II 时期仍向湿润气候过渡。

沉积岩 III,井段为 2 972.33~3 102.37 m,主要发育浅灰色中、粗砂岩与杂色中砾岩,整体水动力比较强,水体浅,普遍发育扇三角洲平原的河道与少量扇间沼泽。顶部发育的深灰色粉砂质泥岩,内部见生物扰动构造,为扇间沼泽微相,水动力变弱。进入了相对前几期少雨的干旱的环境,开始向干旱气候转变。

火山岩 III 为一套蓝灰色流纹质凝灰岩,本套 3.12 m 的凝灰岩能够很好的固结成岩,且本期火山岩下伏岩性为代表扇间沼泽沉积环境的深灰色粉砂质泥岩,表明火山岩 III 活动起始阶段对应的背景沉积环境稳定。火山岩 III 上覆岩性为浅灰色粗砂岩,并发育槽状交错层理,表明水体浅,且水动力强,而事实是凝灰岩很好的固结成岩,且与上覆粗砂岩界线比较整齐,表明凝灰岩固结成岩之前没有经历剧烈剥蚀、搬运作用,所以火山岩 III 自开始至结束,没有经历强水动力环境,表明火山岩 III 阶段少雨,向少雨的干旱气候过渡。火山岩 III 沉积结束后,水动力逐渐加强,水体加深,即向多雨的湿润气候过渡。

综上 6 个阶段,松科 2 井钻遇的营城组时期,营城组气候主要向湿润气候过渡,沉积初期,发育了浅色砂岩,夹杂钙质条带,并且发育虫孔,水体浅且水动力弱。随后水动力逐渐增强,火山活动开始后,在强水动力条件下,粒度较大的角砾与集块等火山物质一起被搬运,并在水流速度减缓处被卸载,湿润多雨导致水体持续上升,形成以粉砂岩为背景的沉积,最终被卸载的火山物质与粉砂岩共同成岩,即深灰色含角砾凝灰质粉砂岩。这套凝灰质粉砂岩直接与火山岩 II 底接触,并且,火山岩 II 上覆岩性为大套中砾岩,表明火山岩 II 开始与结束对应的背景沉积均为强水动力环境,证明在此时期,雨水充沛,气候依然在向湿润气候过渡。沉积岩 III 岩石色浅,并见生物扰动构造,发育扇间沼泽微相,气候开始向少雨干旱转变,水流搬运作用弱,直至火山岩 III 时期,空落的凝灰岩完好的压实固结成岩。火山岩 III 结束之后,气候再次向湿润气候过渡。

4 结论

4.1 营城组岩性总体特征

营城组地层由沉积岩与火山岩组成(图 3),营三段主要发育火山岩,营四段以沉积岩为主,仅在顶部发育一期约 3 m 厚凝灰岩。沉积岩以浅灰色粗粒砂岩与杂色砾岩为主,中间夹少量绿灰色、深灰色砂泥岩夹层,分选一般或较差,大多发育槽状交错层理,植物碎屑、虫孔与生物扰动构造于较少发育的粉砂质泥岩与泥岩中可见,在两期火山岩之间发育有含角砾与集块的凝灰质砂岩。火山岩由酸性岩与中性岩组成,以浅灰色酸性岩为主,仅发育少量棕灰色凝灰岩与紫灰色熔结凝灰岩,酸性岩气孔与裂缝发育,常被钙质、沸石、石英等充填,气孔一般沿流纹构造发育。中性岩仅发育一段中灰色安山质集块熔岩,气孔裂缝不发育。

4.2 营城组岩相总体特征

营城组沉积相主要为扇三角洲相,分为扇三角洲平原亚相,扇三角洲前缘亚相与前扇三角洲亚相,共识别出 5 种沉积微相,分别为:分流河道沉积、扇间沼泽沉积、水下分流河道沉积、河口砂坝沉积与静水泥质沉积;除扇三角洲外,还发育火山向沉积岩过渡类型的含外碎屑火山碎屑沉积岩相。火山岩相为喷溢相与爆发相交互出现,并且随着喷发进行,爆发相厚度逐渐增加,喷溢相厚度逐渐减小。

4.3 营城组沉积环境与气候

结合营城组岩心颜色、岩性、地层接触关系与沉积相, 得到松科2井钻遇的营城组气候先向多雨的湿润气候过渡(沉积岩I—沉积岩III开始)。直到沉积岩III阶段开始, 雨量减少, 至火山岩III沉积结束, 气候向少雨的干旱气候过渡(沉积岩III—火山岩III结束)。火山岩III结束后, 又继续向多雨的湿润气候过渡。通过岩心基础资料得到的气候环境结论, 可为通过微体古生物、地化与粒度分析等其他研究方法确定的沉积环境与气候结论提供借鉴, 互相验证进而分析气候环境会对岩石外观的影响, 对利用岩石基本特征判断环境气候的依据起到验证与补充作用, 为野外一线工作者提供通过岩性、颜色、构造、岩相等特征初判沉积环境与气候的依据。

参考文献

- [1] 森田義人. 新京附近に於ける地質の諸問題[J]. 滿洲地質協會誌第3號別刷, 1942: 1-8.
- [2] 吉林煤田地质勘探公司普查大队研究室. 四平—其塔木煤田普查地质报告[R]. 长春: 吉林省地质资料馆, 1966.
- [3] 吉林省煤田地质勘探公司. 吉林省煤炭资源图册说明书[R]. 长春: 吉林省地质资料馆, 1975.
- [4] 吉林省煤田地质勘探公司二〇三队. 吉林省九台县营城煤田九台精查地质报告[R]. 长春: 吉林省地质资料馆, 1975.
- [5] 吉林省区域地层表编写组. 东北地区区域地层表 吉林省分册[M]. 北京: 地质出版社, 1978.
- [6] 吉林省地质局区域地质调查大队. 1: 20万舒兰县幅(L-52-XXXI)区域地质测量报告(地质部分)[R]. 长春: 吉林省地质资料馆, 1980.
- [7] 周尚安, 马文奇, 邹掌珠. 羊草沟煤盆地含煤地层及赋煤特征[J]. 吉林地质, 1985, 4(2): 1-11.
- [8] 郝治纯, 苏德英, 余静贤, 等. 中国的白垩系[M]. 北京: 地质出版社, 1986: 1-301.
- [9] 王淑英. 吉林省营城组孢粉组合[J]. 地层学杂志, 1989, 13(1): 34-39.
- [10] 安俊义. 东北及内蒙古东部下白垩统划分与对比[J]. 东北煤炭技术, 1991(2): 39-45.
- [11] 吉林省地质矿产局. 吉林省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.
- [12] 王璞珺, 王树学, 曲永宝, 等. 松辽盆地火山事件研究: 营城组火山岩特征[J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(增刊): 50-54.
- [13] 朱德丰, 任延广, 吴河勇, 等. 松辽盆地北部隐伏二叠系和侏罗系的初步研究[J]. 地质科学, 2007, 42(4): 690-708.
- [14] 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.
- [15] 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): 12-18, 22-23.
- [16] 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与区域对比[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37(6): 1110-1123.
- [17] 王璞珺, 刘万洙, 孙晓猛, 等. 长岭断陷火山岩储层地质综合研究[R]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [18] 瞿雪姣, 王璞珺, 高有峰, 等. 松辽盆地断陷期火石岭组时代归属探讨[J]. 地学前缘, 2014, 21(2): 234-250.
- [19] WANG P J, LIU W Z, WANG S X, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and K/Ar dating on the volcanic rocks in the Songliao basin, NE China: constraints on stratigraphy and basin dynamics[J]. International Journal of Earth Sciences, 2002(2): 331-340.
- [20] 王璞珺, 陈树民, 李伍志, 等. 松辽盆地白垩纪火山期后热液活动的岩石地球化学和年代学及其地质意义[J]. 岩石学报, 2010(1): 33-46.
- [21] 贾军涛, 王璞珺, 万晓樵. 松辽盆地断陷期白垩纪营城组的时代归属[J]. 地质论评, 2008, 54(4): 439-448.
- [22] 黄清华, 张文婧, 贾琼, 等. 松辽盆地上、下白垩统界线划分[J]. 地学前缘, 2009, 16(6): 77-84.
- [23] 章凤奇, 庞彦明, 杨树锋, 等. 松辽盆地北部断陷区营城组火山岩锆石 SHRIMP 年代学、地球化学及其意义[J]. 地质学报, 2007(9): 1248-1258.
- [24] 王璞珺, 刘海波, 任延广, 等. 松辽盆地白垩系大陆科学钻探“松科2井”选址[J]. 地学前缘, 2017, 24(1): 216-228.
- [25] 瞿雪姣. 松辽盆地白垩系大陆科学钻探松科2井关键地质问题研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015: 1-112.
- [26] 王璞珺, 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(4): 17-22.
- [27] 王璞珺, 吴河勇, 庞彦明, 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(5): 805-812.
- [28] 王璞珺, 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(4): 449-456.
- [29] 黄玉龙, 王璞珺, 门广田, 等. 松辽盆地营城组火山岩旋回和期次划分: 以盆缘剖面和盆内钻井为例[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37(6): 1183-1191.
- [30] 王璞珺, 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(4): 449-546.
- [31] 陈全红, 李文厚, 高永祥, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组深湖沉积与油气聚集意义[J]. 中国科学: D辑 地球科学, 2007(增刊1): 39-48.
- [32] 张世奇, 任延广. 松辽盆地中生代沉积基准面变化研究[J]. 地球科学与环境学报, 2003(2): 1-5.
- [33] 纪友亮, 张世奇. 陆相断陷湖盆层序地层学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [34] 刘宝珺, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法[M]. 北京: 地质出版社, 1985.