

分 类 号: P621+.6
研究生学号: 2014612009

单位代码: 10183
密 级: 公开



吉 林 大 学

硕士学位论文

松辽盆地国际大陆科学钻探松科 2 井营城组火山-沉积序列
与沉降史研究

The Study of volcanic-sedimentary succession description of
Yingcheng Formation and subsidence curve , based on the ICDP
scientific drilling borehole in the Songliao Basin (SK-2)

作者姓名: 高 翔

专 业: 矿物学、岩石学、矿床学

研究方向: 沉积学

指导教师: 胡大千 教授

副 导 师: 王璞珺 教授

培养单位: 地球科学学院

2017 年 6 月

松辽盆地国际大陆科学钻探松科 2 井营城组火山-沉积
序列与沉降史研究

The Study of volcanic-sedimentary succession description
of Yingcheng Formation and subsidence curve , based on
the ICDP scientific drilling borehole in the Songliao Basin
(SK-2)

作者姓名：高 翔

专业名称：矿物学、岩石学、矿床学

指导教师：胡大千 教授

副 导 师：王璞珺 教授

学位类别：理学硕士

答辩日期：2017 年 6 月 4 日

未经本论文作者的书面授权，依法收存和保管本论文书面版本、电子版本的任何单位和个人，均不得对本论文的全部或部分内容进行任何形式的复制、修改、发行、出租、改编等有碍作者著作权的商业性使用（但纯学术性使用不在此限）。否则，应承担侵权的法律责任。

吉林大学硕士学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交学位论文，是本人在指导教师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：高翔

日期：2017年6月4日

松辽盆地国际大陆科学钻探松科 2 井营城组火山-沉积 序列与沉降史研究

作者：高翔

专业：矿物学、岩石学、矿床学

导师：胡大千 教授

副导师：王璞珺 教授

中文摘要

松科 2 井是我国第一深的科学钻探井，也是国际大陆科学钻探组织（ICDP）支持的全球第一口钻穿白垩系陆相地层的大陆科学钻探井。松科 2 井钻遇完整的白垩系陆相地层，对下白垩统火石岭组、沙河子组与营城组地层进行全取心工作，当前井深 5922m，岩心收获率达 95.4%。

本文依托松科 2 井岩心、岩屑岩性鉴定结果，采用回剥反演法并对数据进行编程处理，与松辽盆地白垩系地层年代结合，绘制了松科 2 井沉降史曲线，并重点对营城组岩心进行研究，主要得到以下认识：

（1）松科 2 井营城组岩心长 365.32m，直径 214mm，收获率 98.47%，营城组主要包括沉积岩与火山岩两大岩类，主要包含 17 种岩石类型，其中沉积岩 9 种，包括砾岩、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，包括流纹岩、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）。

（2）营城组中沉积岩主要为扇三角洲相，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，分流河道微相、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。火山岩 II 阶段具有由下至上，爆发相厚度逐渐增加，喷溢相厚度逐渐减小的规律。

(3) 营城组沉积岩与火山岩交替出现，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。

(4) 松科 2 井沉降史曲线主要表现为火山期（具有火山喷发事件的地层的时期）相对平缓，沉积期相对陡峭特点，具体包括三个阶段：火石岭组平缓-沙河子组陡峭、营城组平缓-登娄库与泉头组陡峭、青山口组平缓-姚家与嫩江组陡峭，后两个阶段对应后裂谷期，其速度快于同裂谷期。这三个阶段之后为四方台组-明水组-现今阶段，此时曲线趋于平直，稍微具有抬升趋势。以上四个阶段表达了松辽盆地松科 2 井地区的沉降速度的变化，同时沉降运动又为沉积作用提供了条件。本文的厘米级岩心描述资料与精细绘制的松辽盆地沉降史曲线将为今后相关的深入研究提供精准的基本地质素材。

关键词：

松辽盆地，松科 2 井，沉降史曲线，营城组，火山-沉积序列

The Study of volcanic-sedimentary succession description of Yingcheng Formation and subsidence curve, based on the ICDP scientific drilling borehole in the Songliao Basin (SK-2)

ME. Candidate: Gao Xiang

Major: Mineralogy, petrology, ore deposit

Supervisor: Prof. Hu Daqian

Vice supervisor: Prof. Wang Pujun

Abstract

Well called SK2 is the deepest scientific well in China. And the well which drills the stratum of continental non-marine Cretaceous also be the first borehole supported by ICDP in the world. SK2 will drill complete Cretaceous stratum and collect lower Cretaceous stratum including Huoshiling formation, Shahezi formation and Yingcheng formation. Up to now, the depth of well is 5922m, and the recovery is 95.4%.

The article according to SK2 lithology of core and cutting , drawing subsidence curve of SK2 by stripping inversion method after handing data by programme. And study the core of Yingcheng formation. Main conclusions are as follows:

(1)SK2 project has collected 365.32m of the lower Cretaceous Yingcheng Formation which corresponds to Aptian-Albian. The borehole got a highly continuous core section with recovery of 98.47%。 . The diameter of core is 214mm which is among the largest diameter concerning coring engineering. Considering the sedimentary and volcanic rocks as a whole sequence, we mainly 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.

(2) 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.

(3) 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. We also find the thickness of explosive facies increase but effusive facies decrease from deep to shallow in volcanic II.

(4) The main characteristic of subsidence curve of SK2 is gently in volcanic period while steeply in sedimentary period. It includes three stage : Huoshiling formation gently – Shahezi formation steeply, Yingcheng formation gently – Dengloulou and Quantou formation steeply, Qingshankou formation gently – Yaojia and Nenjiang formation steeply. The latter two stages which have faster subsidence speed in post-rift while the first stage in syn-rift seems slowly. After the three stages is Sifangtai formation – Mingshui formation – now stage which more straightness even upward. The above four stages express the subsidence speed of Songliao basin and decide how thickness the sediment could be.

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:

Songliao basin, SK2, Subsidence curve, Yingcheng formation, Volcanic-sedimentary succession

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 选题的来源、目的及意义	1
1.1.1 选题来源	1
1.1.2 选题目的和意义	1
1.2 研究现状	2
1.3 研究内容与思路	3
1.3.1 研究内容	4
1.3.2 研究思路	4
1.4 实物工作量	5
1.5 论文的创新点	6
第 2 章 松科 2 井概况	7
2.1 松科 2 井区域地质概况	7
2.1.1 松科 2 井区域地质背景	7
2.1.2 松科 2 井地层概况	9
2.2 松科 2 井概况	9
2.2.1 松科 2 井项目背景	9
2.2.2 松科 2 井钻探目的及意义	10

2.2.3 松科 2 井取心情况与岩心描述原则	10
第 3 章 营城组岩心精细描述	13
3.1 营城组沉积岩岩性特征	14
3.2 营城组火山岩岩性特征	15
3.3 营城组地层序列	19
3.4 营城组地层序列	21
第 4 章 营城组沉积相、火山岩相特征与沉积古环境分析	28
4.1 营城组沉积相、火山岩相	28
4.1.1 营城组沉积相类型及特征	28
4.1.2 营城组火山岩相类型及特征	29
4.2 通过岩心基础资料对营城组沉积环境与气候的分析	31
第 5 章 松科 2 井沉降史曲线	34
5.1 基本概念	34
5.2 沉降史曲线绘制方法	36
5.3 松科 2 井沉降史曲线的意义	42
认识与结论	44
附录	46
参考文献	46

作者简介及在攻读硕士学位期间的科研成果	79
---------------------------	----

致 谢.....	80
----------	----

第 1 章 绪论

1.1 选题的来源、目的及意义

1.1.1 选题来源

本文依托国际大陆科学钻探计划（ICDP, International Continental Scientific Drilling Program）与“松科 2 井随钻地质跟踪管理与岩石记录”项目，参考松科 1 井岩心描述规范，借助松科 2 井工程获取的岩心开展研究工作。

1.1.2 选题目的和意义

位于中国东北的松辽盆地是世界上晚中生代规模最大，发育时间最长的陆相含油气湖盆，发育了完整的晚侏罗世-古近纪早期，以陆相沉积为主的地质记录，是恢复白垩纪陆相沉积记录的理想地区，为陆相白垩系研究提供了绝佳的地质基础。岩心是地学基础研究中最直观可信的第一手资料，虽然目前对松辽盆地上白垩统的取心较为普遍，但却一直缺少完整连续的下白垩统岩心，在一定程度上阻碍了松辽盆地深层油气勘探和相关研究的进展，而松科 2 井将系统获取连续的、高分辨率的、较少受到后期破坏或影响的晚侏罗世-早白垩世沉积记录。

松科 2 井工程对松辽盆地徐家围子地区嫩江组一段、二段、五段、登娄库组底、营城组、沙河子组与火石岭组进行连续取心，直至基底。本文对营城组岩心进行厘米级描述，研究岩性特征，包括结构、构造、含有物、裂缝发育程度、气孔发育程度等等，还将直接从岩心上观察沉积岩-火山岩界面特点，建立迄今为止最为精准的营城组岩性剖面，为未来进行的相关工作提供基础地质资料。本文还将使用松科 2 井准确的岩性资料，绘制相对精细的松辽盆地沉降史曲线，直观反映松辽盆地火山活动期与火山间歇期的沉降速度与特点以及各个时期的构造活动幅度。

1.2 研究现状

营城组源于森田义人(森田義人, 1942)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。1964年吉林省煤炭工业管理局煤田地质勘探公司物探测量大队普查队将分布在营城-上河湾一带,不整合于上侏罗统沙河子组煤系之上的一套火山岩系称为“营城子组”。1966年吉林省煤田地质勘探公司普查大队研究室(吉林煤田地质勘探公司普查大队研究室, 1966)首次将这套地层定义为营城组:下段发育安山质凝灰岩、安山玄武岩、角砾岩夹砂砾岩,中段发育流纹岩、珍珠岩、松脂岩、凝灰岩夹凝灰质砂砾岩、流纹质角砾岩、砂泥岩、煤层,上段发育安山岩、玄武岩、凝灰岩与凝灰角砾岩。

营城组最初采用三分方案(吉林省煤田地质勘探公司.吉林省煤炭资源图册说明书, 1975;吉林省煤田地质勘探公司二〇三队, 1975)并被广泛应用(郝诒纯, 苏德英, 余静贤, 等.1986;王淑英, 1989;安俊义, 1991)。至1999年,众多学者关于营城组序列的认识和划分都是对初始定义三分方案的局部论述或细化,主要包括两种:(1)高瑞祺等(1994)、孙礼文(1995)和吉林省地质矿产局(1997)划分的营城组序列主要包括下部中基性火山岩夹沉积岩与上部酸性火山岩夹沉积岩,局部含煤,分别对应于初始定义的下部和中部。(2)将初始定义的中部层位分为下部酸性火山岩段和上部碎屑岩含煤段,例如,周尚安(周尚安, 马文奇, 邹掌珠, 1985)认为营城组仅包括这两大部分,分别称为营城组和大羊草沟组;杨春志等(1986)、王淑英(1989)则认为有中基性火山岩发育于酸性火山岩段之下,即初始定义的下部;王璞珺等(王璞珺, 王树学, 曲永宝, 等, 1999)根据官马山-回回营次层型剖面,认为中性火山岩段发育于碎屑岩含煤段之上,对应于初始定义的上部。

随着对松辽盆地深层地层研究的日益深入(朱德丰, 任延广, 吴河勇, 2007;任延广, 朱德丰, 万传彪, 等, 2004;任延广, 朱德丰, 万传彪, 等, 2004),确定了目前普遍使用的营城组四分方案(贾军涛, 王璞珺, 邵锐, 等, 2007;王

璞珺, 刘万洙, 孙晓猛, 等, 2009): 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。

前人也对营城组的时代归属开展了大量工作, 贾军涛(贾军涛, 王璞珺, 万晓樵, 2008)、王璞珺(王璞珺, 陈树民, 李伍志, 等, 2010; PuJun Wang, WanZhu Liu, ShuXue Wang, et al. 2002)、万晓樵(2008)利用同位素年代学、营城组孢粉组合年代、古地磁研究、采样层位及地层序列特征, 将营城组年龄划定在 135-110Ma。章凤奇(章凤奇, 庞彦明, 杨树锋, 等, 2007)等通过测量锆石 SHRIM 学研究松辽盆地北部徐家围子断陷区营城组的中-酸性火山, 认为该研究区火山岩发育时间为 113-111Ma; 瞿雪姣(瞿雪姣, 王璞珺, 高有峰等, 2014)、黄清华(黄清华, 张文婧, 贾琼, 等, 2009)、蒙启安(蒙启安, 黄清华, 万晓樵, 等, 2013)等也就松辽盆地营城组与其他组段进行过年代研究, 综合来看, 营城组时代在 135~110Ma 之间, 对应于 Aptian-Albian, 属于早白垩世。

松辽盆地研究程度日益提高, 也不乏绘制沉降史软件, 但由于缺少连续完整的深井资料, 导致松辽盆地现有的沉降史曲线规模受限, 难以形成盆地演化范围内的跨阶段的对比, 如同裂谷期与后裂谷期沉降速度对比, 因此, 目前尚缺少完整的松辽盆地白垩系地层沉降史曲线。

1.3 研究内容与思路

本文主要通过描述松科 2 井岩心岩性, 确立精准的地层岩性序列, 并以 30m 为标准, 将松科 2 井地层划分为 208 个单元, 求取每个单元厚度与其上覆地层厚度的关系式, 再使用计算机编程功能, 对这 208 个单元的关系式进行整合, 与现有白垩系各组段顶底界年龄研究成果结合, 最终得到松辽盆地白垩系地层沉降史曲线。描述岩心标准与松科 1 井一致, 所描述组段包括登娄库组、营城组、沙河子组与火石岭组, 营城组火山岩比例最多, 火山岩与沉积岩多期叠加, 因此本文主要针对营城组岩心岩性及特征进行研究。

1.3.1 研究内容

①对营城组岩心进行厘米级描述并建立岩性剖面。描述内容包括岩心岩性、含有物、结构构造、裂缝与气孔的长度大小与充填程度、地层倾斜角度等等；

②划分营城组沉积岩与火山岩相。依据岩心岩性及其特征确定岩相，分析营城组岩相的变化特点与岩性变化特征；

③绘制松科 2 井全井段沉降史曲线。依据松科 2 井岩心岩性、岩屑岩性与模拟柱状图岩性，建立松科 2 井地层序列，将其分为 208 个单元，采用回剥反演法，对地层进行去压实处理，计算每一单元的厚度与上覆厚度变化，编程处理 208 组数据，与已有白垩系地层顶底界面年龄 (Wan X, Zhao, Scott R W, et al 2013; 瞿雪姣, 王璞珺, 高有峰, 等, 2014; 方石, 张志强, 刘招君, 等, 2007) 结合后得到松科 2 井沉降史曲线。

1.3.2 研究思路

本论文依托松科 2 井全取心资料，开展厘米级岩心描述工作，建立厘米级岩性序列。通过对营城组岩心的精细描述，结合岩心照片，介绍所描述岩心岩性及特征，例如结构、构造与含有物等等，并据此大致确定营城组火山岩相与沉积相。在准确的地层岩性序列基础上，划分单元，使用地层回剥反演法，使用编程处理所得数据，最终与现有组段顶底年代资料结合，绘制全井沉降史曲线。

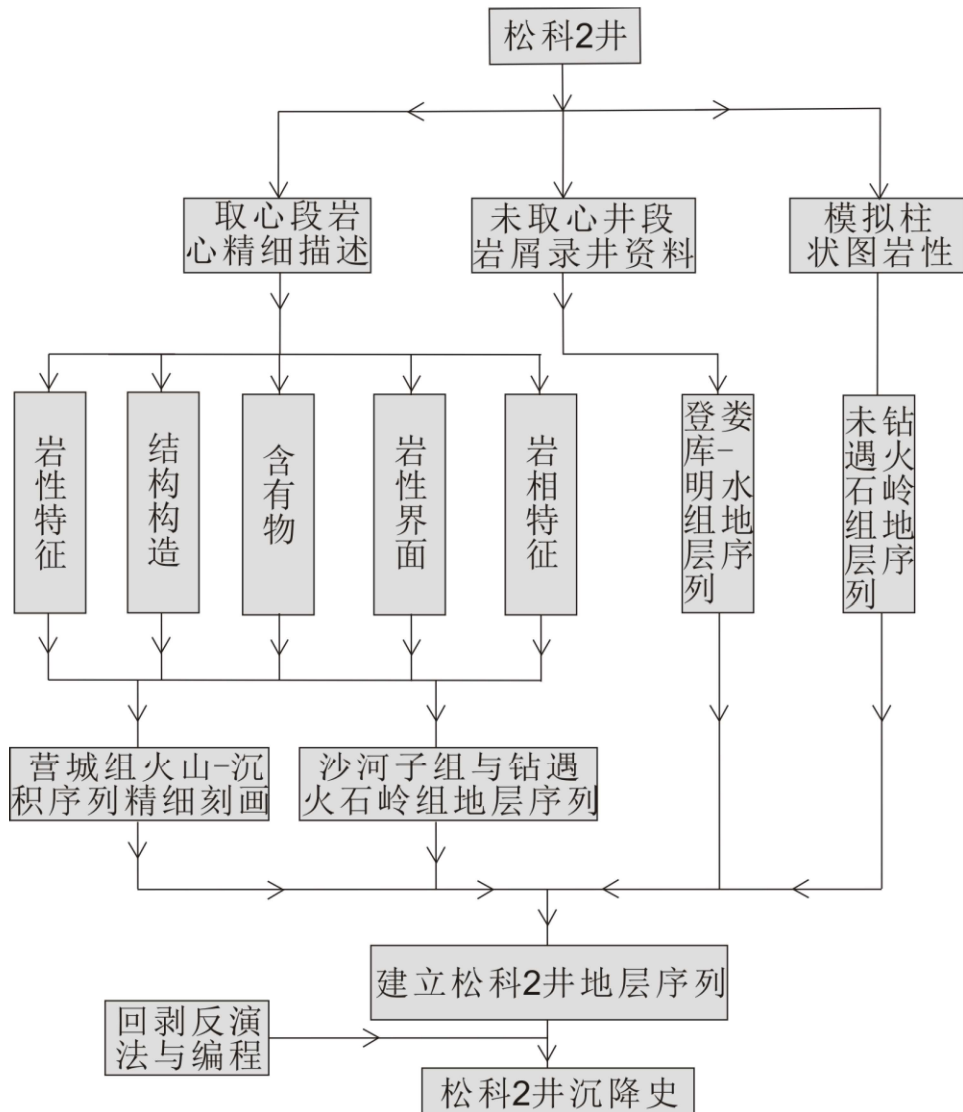


图 1.1 技术路线流程图

1.4 实物工作量

2015年3月底至今，主要在松科2井现场进行厘米级岩心描述工作，全年不间断，第一年冬季照常室外工作，岩心描述所必需的前期准备工作，如将每盒100kg左右的岩心挑出并摆放等工作均由该盒描述人员负责，项目组总计描述岩心约3127.9m，个人描述登娄库组岩心，营城组岩心，部分沙河子组与火石岭组岩心以及全部试取心部分岩心，约1400m，岩心岩性与特征照片采集超过10000张。在沉降史曲线绘制上，按照每30m一个单元层将松科2井大致分为208个层，每层建立厚度与上覆厚度关系曲线，约得出208个模型，采用编程方法，将这些模型组合，结合年代资料，绘制出沉降史曲线一条。另外，依据模拟柱状图，手

动绘制沉降史曲线一条(表 1.1)。

表 1.1 实物工作量

序号	完成内容	完成量	备注
1	松科2井岩心现场精细描述与驻井实时沟通工程情况	3127.9m	独立完成约 1/2 岩心描述, 现场描述岩心约 18 个月
2	现场采集岩心岩性与特征照片	约 20000 张	项目组共同完成
2	岩石矿片显微鉴定	磨制岩性薄片 320	独立完成 80 个
3	松科2井营城组厘米级描述柱状图	12 张	独立完成
4	松科2井营城组合层柱状图	1 张	独立完成
5	松科2井岩性压实率图表	1 份	独立完成
6	松科2井沉降史曲线(模拟柱状图手算版)	1 条	独立完成
7	松科2井沉降史曲线(岩心编程版)	1 条	与陈敬武共同完成

1.5 论文的创新点

1、依据科探井岩心描述规范, 对岩心进行厘米级精细描述, 并将 GSA 颜色代码作为颜色描述标准, 使其与国际可对比性加大。营城组岩心完整连续, 可以直接观察到营城组内部岩性不整合界面, 不仅为准确描述营城组岩性与岩相提供最好的客观资料, 也对营城组组内划分具有重要意义。

2、松科2井将提供完整的松辽盆地陆相白垩系地层岩性资料, 克服了因缺少地层岩性资料而无法绘制盆地规模沉降史曲线的困难。本文依托松科2井岩心、岩屑与模拟柱状图岩性, 将地层分为多个单元, 依据回剥反演法, 通过编程计算出每一个单元的厚度与上覆厚度关系式, 并将它们整合, 为了避免因算法错误导致曲线不准确, 将计算机编程得到的曲线与手动处理数据所得的沉降史曲线对比, 最终得松科2井沉降史曲线。

第2章 松科2井概况

2.1 松科2井区域地质概况

2.1.1 松科2井区域地质背景

松辽盆地位于中国东北部，在东经 $119^{\circ}40'$ – $128^{\circ}24'$ ，北纬 $42^{\circ}25'$ – $49^{\circ}23'$ 之间，长约750km，宽约330–370km，总面积约 $26\times 10^4\text{km}^2$ （程学儒，1982；杨万里等，1982；杨继良，1983；刘招君等，1992；大庆油田石油地质志编写组，1993；王东坡等，1994）。盆地主要受东、西两条控盆断裂控制：嫩江断裂（图2.1，F1）与佳木斯—伊通断裂（图2.1，F3）。嫩江断裂主要形成于中生代，控制盆地中西部断陷的形成、构造类型和分布特征，同时作为盆地与大兴安岭的界线（瞿雪姣，2014）。嫩江断裂具有左旋走滑拉张特征（吉林省地质矿产局，1989；内蒙古自治区地质矿产局，1991）。佳木斯—伊通断裂控制盆地中东部断陷的、构造样式、分布特征与伊通地堑、汤原地堑和方正地堑的形成（孙晓猛，2006）。该断裂自早白垩世至渐新世末期不段演化：早白垩世表现为左旋走滑，嫩江组末期变为挤压逆冲，古新世右旋断陷，渐新世转为末挤压反转。

松辽盆地剖面自下而上可分为基底构造层、断陷层和坳陷层，三层之间均为区域不整合接触（图2.2）。基底构造层泛指裂陷成盆以前的各种岩石与构造变形，主要包括石炭纪—二叠纪的浅变质岩和各个时期的花岗岩（葛荣峰，2010）。断陷层由晚侏罗世—早白垩世的火山岩与陆相碎屑岩组合构成，包括火石岭组（ J_{3h} ）、沙河子组（ K_{1sh} ）与营城组（ K_{1y} ）；坳陷层由泉头组（ K_{1q} ）、青山口组（ K_{2qn} ）、姚家组（ K_{2y} ）与嫩江组（ K_{2n} ）组成，地层以沉积岩为主。

松科2井东孔（以下简称松科2井）位于松辽盆地徐家围子断陷兴城鼻状构造东南缓坡带。其所在位置地层发育相对完整的断陷层序与凹陷层序。断陷层序自下而上为火石岭组、沙河子组与营城组。凹陷层序上覆于断陷层序，由登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组、明水组及第三系构成。

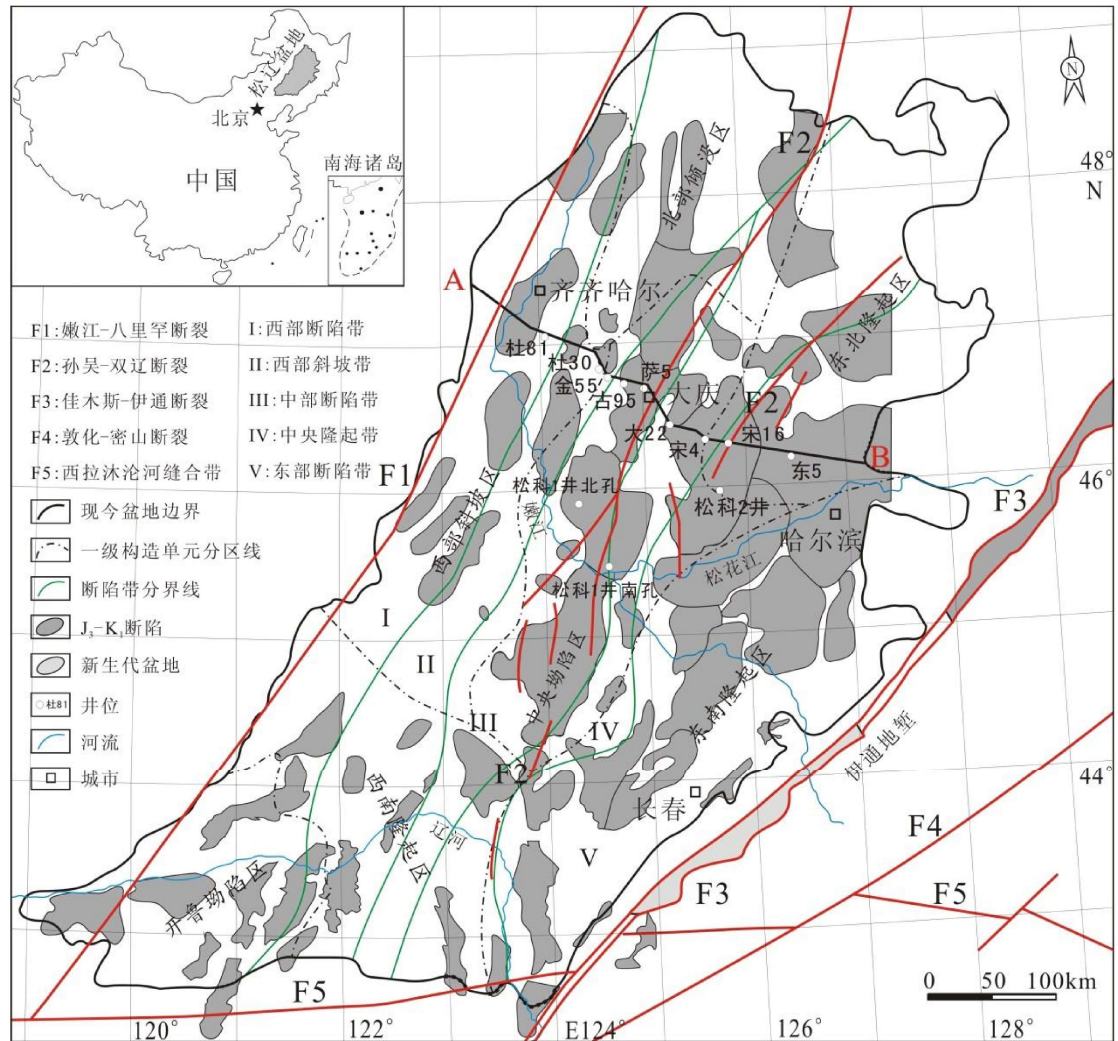


图 2.1 松辽盆地主要控盆断裂、晚侏罗世-早白垩世断陷分布图和断陷层断陷带、拗陷层一级构造单元区划图
(引自瞿雪姣, 2015, A-B 为图 2.2 中剖面线位置)

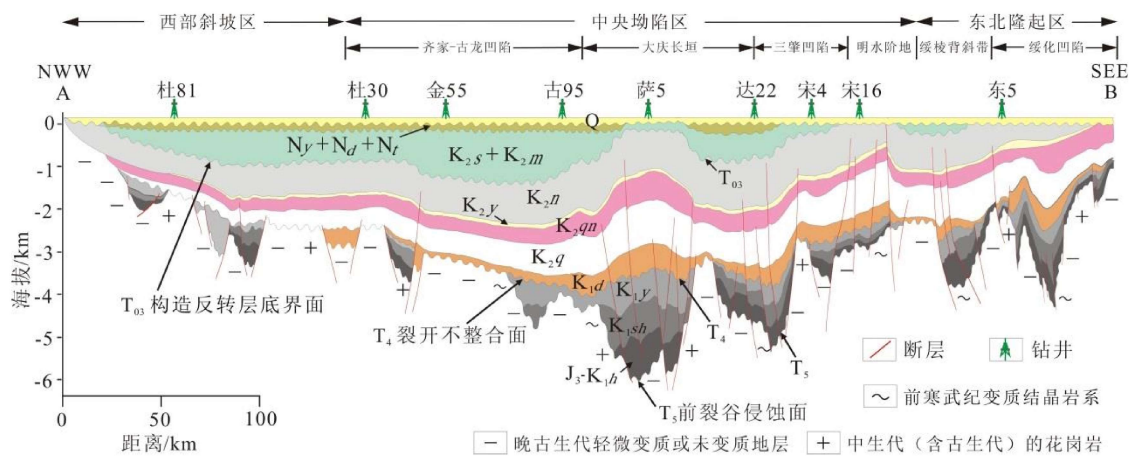


图 2.2 松辽盆地充填特征剖面图
(引自瞿雪姣, 2015; 剖面位置见图 1)

2.1.2 松科2井地层概况

松科2井主要针对松辽盆地深层取心，深层自上而下揭示的地层为泉头组二、一段，登娄库组四、三、二段，营城组，沙河子组，火石岭组和基底。各地层岩性情况如图2.3

地 层					深度/m	岩性特征
界	系	统	组	段		
中生界	白垩系	下白垩统	泉头组	二段	2090-2363	暗紫红、暗紫色泥岩与紫灰、灰色泥质粉砂岩、粉砂岩呈不等厚互层，中部夹不等厚粉砂岩
				一段	2363-2537	暗紫色泥岩、粉砂质泥岩夹紫灰色泥质粉砂岩、粉砂岩薄层。与下伏地层不整合接触
			登娄库组	四段	2537-2673	暗紫色泥岩与紫灰、灰色粉砂岩，灰白色粉细砂岩呈不等厚互层，该段顶部砂岩以薄层状为主。
				三段	2673-2782	暗紫色泥岩与灰白色粉砂岩、粉细砂岩、细砂岩呈不等厚互层
				二段	2782-2896	暗紫色泥岩与灰色粉砂岩、灰白色细砂岩呈不等厚互层
				一段	2896-2960	绿灰色粗砂岩、砾岩、砂砾岩，顶部和底部夹薄层按紫色泥岩，与下伏地层不整合接触
			营城组		2960-3327	上部为紫色、杂色凝灰岩夹薄层砾岩，厚层杂色、灰色砾岩夹薄层紫色泥岩；下部为流纹质凝灰岩，与下伏地层不整合接触
			沙河子组		3327-5675	黑色泥岩夹黑色煤线，夹薄层灰色细砂岩、深灰色粉砂岩、泥质粉砂岩；底部为灰色砂砾岩、粗砂岩、泥岩不等厚互层。与下伏地层不整合接触
			火石岭组		5675-6226	绿灰色英安岩、安山岩，黑色安山岩，灰色凝灰岩、泥岩。与下伏地层不整合接触
			基 底			灰色、灰紫色动力变质岩

图 2.3 松科2井深层地层岩性概况图
(依据松科2井地质设计地层描述，重新制图)

2.2 松科2井概况

2.2.1 松科2井项目背景

“温室效应”现象愈发明显，人们迫切的需要了解温室效应将如何改变气候及

影响日常生活。我们可以使用借古论今的方法，通过研究地质历史中温室气候时期曾经发生过的重大地质事件、古气候变化及其资源环境效应来明确现今的温室效应将如何影响人们生活。由于白垩纪是地质历史中极端温室气候的典型代表时期，被称为“白垩纪世界”(Skelton et al.,2003)，因此将白垩纪作为研究对象。

由于白垩纪处于全球高海平面时期(Kominz M A, 1984;Haq et al., 1987;Larson,1991)，导致陆相白垩纪地层发育不全，难以进行区域和全球对比(Parrish, 2001)因此对于白垩纪陆相气候变化的研究相对落后，但松辽盆地却发育完整的陆相白垩系地层，且经过几十年的研究与工作，取得了大批有影响的成果，尤其是大庆油田的发现。完整的陆相白垩纪地层与长年研究工作的丰硕成果，使重建白垩纪陆地气候变化成为可能(松科2井总体设计, 2013)。

为了获取连续完整的陆相白垩纪地层资料，开展松科2井工程。

2.2.2 松科2井钻探目的及意义

松科2井钻探目的为获取下白垩统连续完整的岩心与原位、连续的地球物理参数，填补陆相白垩纪空白，为建立白垩纪气候变化提供基础，为大庆油田进一步勘探开发同基础地质资料，也为松辽盆地及其相关类似的勘探提供科学“标尺”。

由于松辽盆地地温梯度高，松科2井取心深度大，预计最深将达到6400m，因此以松科2井位钻探为平台，将有利于提高我国深部科学钻探技术水平，例如泥浆工艺、钻井工艺等等，最终形成具有我国自主知识产权的科学钻探技术和方法体系，为我国万米超深井科学钻探提供技术储备，使我国深部大陆科学钻探技术研发水平达到国际先进水平，为我国重大地球科学新发现和矿产资源储量快速增加提供技术保障。

2.2.3 松科2井取心情况与岩心描述原则

2.2.3.1 松科2井取心情况

松科2井自2014.4.1开始钻进取心，截止至2016.12.1总计进尺3277.3m，

取心 3127.9m，收获率达 95.4%（包括试取心）。取心分为 4 个阶段，依次为二、三、四、五开。二开取心层位为嫩江组一段、二段、五段取心，对应试取心井段为 492.09-510.54m 与 556.27-572.62m（嫩五段），正式取心井段为 1074.00-1256.01m（嫩一段、嫩二段），总进尺 181.23m，总心长 155.26m，取心率 85.7%，正式取心率为 89.4%，正式取心岩心直径为 128mm，部分试取心直径 216mm，岩性主要为暗色泥岩与灰岩，少量灰色砂砾岩；三开取心层位为登娄库组底，营城组与部分沙河子组，试取井段为 2822.07-2860.01m（模拟柱状图的登娄库组），正式取心井段为 2863.23-4542.24m（营城组与部分沙河子组），总进尺 1715.8m，总心长 1687.6m，取心率 98.4%，岩心直径 216mm，约 30m 岩心直径为 96mm，岩性为砂砾岩、火山岩以及沉积岩与火山岩之间的过渡岩性，例如凝灰质砂岩等；四开取心层位为沙河子组剩余部分与火石岭组，井段为 4542.24-5922.58m，总进尺 1380.34m，总心长 1284.96m，取心率 93.1%，岩心直径 128mm，岩性主要为砂砾岩，含少量沉积岩与火山岩之间的过渡岩性。松科 2 井沙河子组约 2300m，识别暗色泥岩（包括暗色粉砂质泥岩）大于 1654 层，超过 1245.68m，单层厚度一般在 0.1m-5m，最厚达 16m。更详细取心情况见表 2.1。

表 2.1 松科 2 井各开次取心统计表

(依据松科 2 井实际取心统计，高翔制表)

开次	试取进尺/m	试取心长/m	试取心率	正取进尺/m	正取心长/m	正取心率	总进尺/m	总心长/m	总取心率
二开统计	34.8	24.39	70.1%	146.4	130.9	89.4%	181.2	155.3	85.7%
三开统计	36.75	29.42	80.1%	1679	1658.2	98.8%	1715.8	1687.6	98.4%
四开统计	无	无	无	1380.3	1285	93.1%	1380.3	1285	93.1%
总计	71.55	53.81	75.2%	3205.7	3074.1	95.9%	3277.3	3127.9	95.4%

2.2.3.2 松科 2 井岩心精细描述

松科 2 井岩心自取出后首先进行清洗工序，第二步由大庆录井负责清洗与划线贴签，随后由地质人员进行厘米级描述，所有描述均在钻井现场进行，目的是最大程度还原岩心的原始样貌，岩心描述方法和遵循的原则在原有的中国石油天然气股份有限公司企业标准 Q/SY 128 - 2005 上，结合科学钻探的目的和要求做了针对性的调整与改进。岩心精细描述的分层标准为 5cm；对特殊岩性层或事件层进行重点描述，不论薄厚，例如，在一段泥岩中，出现了 1 层 2cm 厚的火山灰，那么这层火山灰也将作为独立一层，即使只有 2cm。

沉积岩类岩性岩相描述主要参考松科 1 井已经建立的规范和标准，并针对深层建立或完善相关规范。火山岩类的岩性岩相描述参考近年来大庆油田勘探规范，但更加细致。颜色描述采用国际通用的 GSA 标准，对岩心的颜色描述方面具有较大改进。以往油田对探井岩心的颜色描述没有特定的颜色标准，主要是依靠技术人员的经验对岩心颜色的判断确定，本次岩心描述工作将使用 GSA (The Geological Society of America : Rock-Color Chart) 颜色标准，使岩石的颜色描述更加准确，也利于与国际对比。例如在以往综合录井图中常出现的深灰色，用 GSA 色标可再细分确定出深灰色、深中灰色、橄榄灰色等颜色。

松科 2 井具体岩心描述原则如下：

①一般岩性，厚度大于或等于 5cm，颜色、岩性、结构、构造、含有物等有变化的层，均分层描述；小于 5cm 层，作为条带或薄夹层描述，不再分层；特殊岩性不设最小分层厚度，见到均需分层；

②对岩心分层后进行岩性、颜色、结构、构造和含有物 5 项描述，在现场填写松科 2 井岩心描述表；

③颜色描述使用 GSA (The Geological Society of America : Rock-Color Chart) 颜色标准，从而建立统一的客观标准，利于与国际接轨也利于与后续研究对比；

④岩心照相要求：每层均采集岩性宏观照片，若有特殊现象如虫孔、断层、钙质条带或薄夹层则额外拍照，所有照相工作均在自然光背阴处进行，既保证照片颜色不受强光干扰，也避免光线不足造成照片模糊。

第3章 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，于2965m开始营城组取心，取心井段2965m-3335.99m，进尺370.99m，总心长365.32m，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，描述规范如上所述，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、颜色变化等等，由于已经松科1井已经取得较大成果，因此具体的沉积岩描述方法与松科1井规范一致，这也体现了科探井的规范性。

松科2井钻遇营城组四段和三段，营二段与营一段不发育。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30m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2965m，但依据松科2井实钻岩心岩性，在2969.21-2972.33m发育厚3.12m的蓝灰色凝灰岩，并在这段凝灰岩之下（2972.33-3102.37m）发育碎屑岩，因此暂时认为2969.21-2972.33m属于营四段，而2969.21m以上部分为登娄库组沉积，即将2969.21m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。营三段与营四段界线为3102.37m，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3268.11-3275.87m。火山岩 I 主要为中性火山岩：安山质集块熔岩，井段3275.87-3278.96m；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3102.37-3268.11m；火山岩 III 为凝灰岩，井段：2969.21-2973.33m，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。

3.1 营城组沉积岩岩性特征

沉积岩分布于营城组上部（2972.33-3102.37m，沉积岩 III）、中下部（3268.11-3275.87m，沉积岩 II）、底部（3278.96-3335.99m，沉积岩 I），共识别出 9 大类岩性（图 1），泥岩（图 3.1-A）、粉砂质泥岩（图 3.1-B）、粉砂岩（图 3.1-C）、细砂岩（图 3.1-D）、中砂岩（图 3.1-E）、粗砂岩（包括粗砂岩、含砾粗砂岩和细砾质粗粒砂岩（图 3.1-F、G、H）、砾岩（图 3.1-I）、含角砾凝灰质砂岩（图 3.1-J）、凝灰质砂岩（图 3.1-K、L），其中以粗砂岩出现的频次最高，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，中砾岩（砾石中火山成分>60%）；下部沉积岩粒度与上部沉积粒度相比变细，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 30m 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，在底部沉积岩 I 部分发育较细的砂岩，其中见爬升层理与波纹层理，可见短小的植物碎屑，沉积岩部分冲刷面十分发育，大多发育半定向-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（图 3.4）。

营城组沉积岩特征与上覆登娄库组最大区别在于登娄库组多发育虫孔与生物扰动构造，虫孔内部充填物以包括红色与灰色居多，且登娄库组砂岩粒度小，砾岩很少。

3.2 营城组火山岩岩性特征

营城组火山岩主要为酸性火山岩，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(2969.21-2972.33m，火山岩 III)、中部(3102.37-3268.11m，火山岩 II)、中下部(3275.87-3278.96m，火山岩 I)，共识别出 8 种岩性(图 3.2)：安山质集块熔岩(图 3.2-A、B)、流纹质含角砾熔结凝灰熔岩(图 3.2-C)、流纹质角砾集块岩(图 3.2-D)、流纹质凝灰岩(图 3.2-F、G)、流纹岩(图 3.2-E、H)、流纹质角砾集块熔岩(图 3.2-I)、流纹质熔结凝灰熔岩(图 3.2-J)、流纹质角砾岩(图 3.2-K)与隐爆角砾岩(图 3.2-L)

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 1mm-7mm，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。镜下薄片的流纹岩主要有 2 种类型，为普通流纹岩与蚀变较强的流纹岩(图 3.3-A、B)，另外也发育碎裂程度高的类型，裂缝被钙质与绢云母充填。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；隐爆角砾岩段长度约 0.55m，角砾成分为凝灰熔岩，隐爆裂缝缝宽 4-90mm，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(图 3.4)。

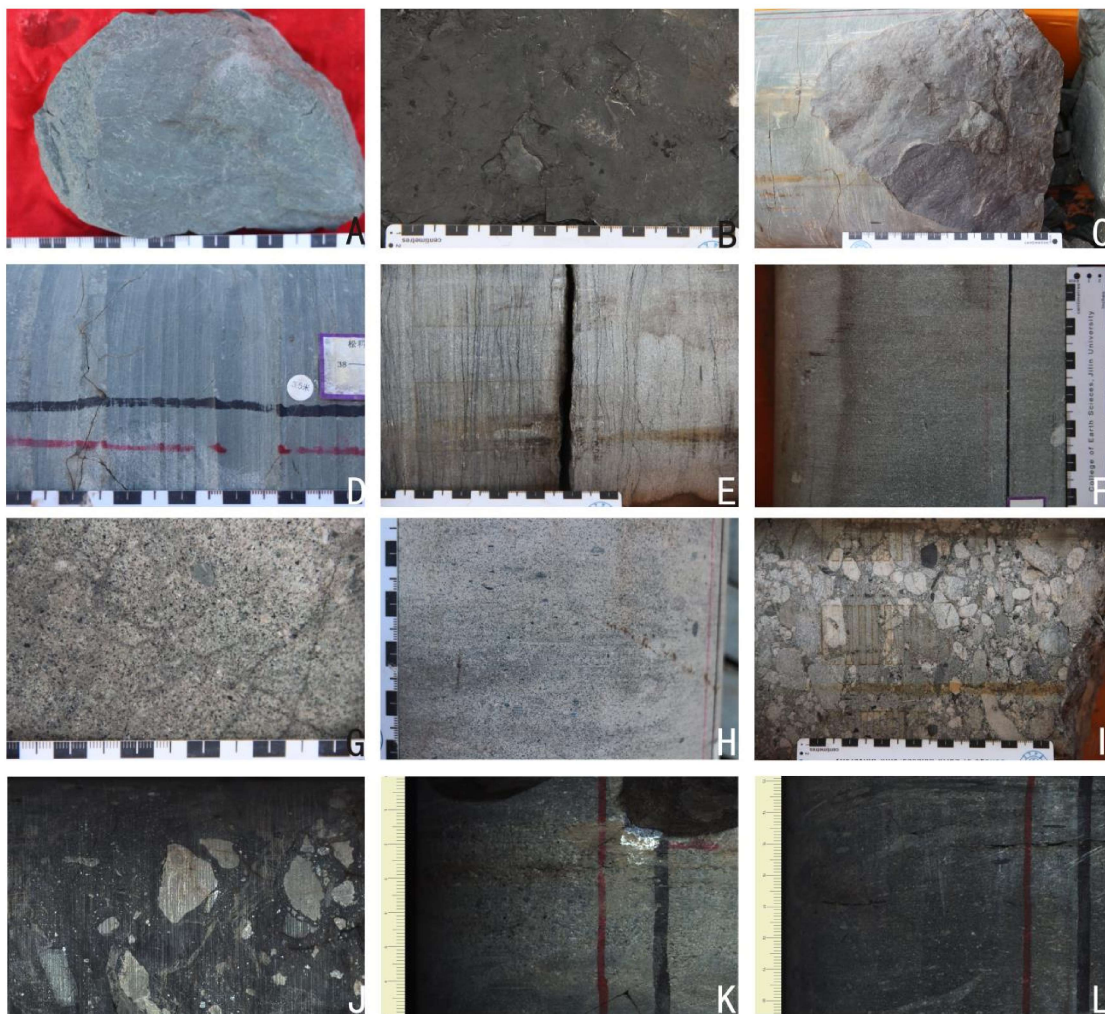


图 3.1 营城组沉积岩岩性图版

(依据松科 2 井实物岩心照相得到, 由论文撰写人高翔拍摄并制作, A: 泥岩;
B: 粉砂质泥岩; C: 粉砂岩; D: 细砂岩; E: 中砂岩; F: 粗砂岩; G: 含
砾粗砂岩; H: 细砾质粗砂岩; I: 复成分砾岩; J: 含角砾凝灰质粉砂岩;
K、L: 凝灰质砂岩)

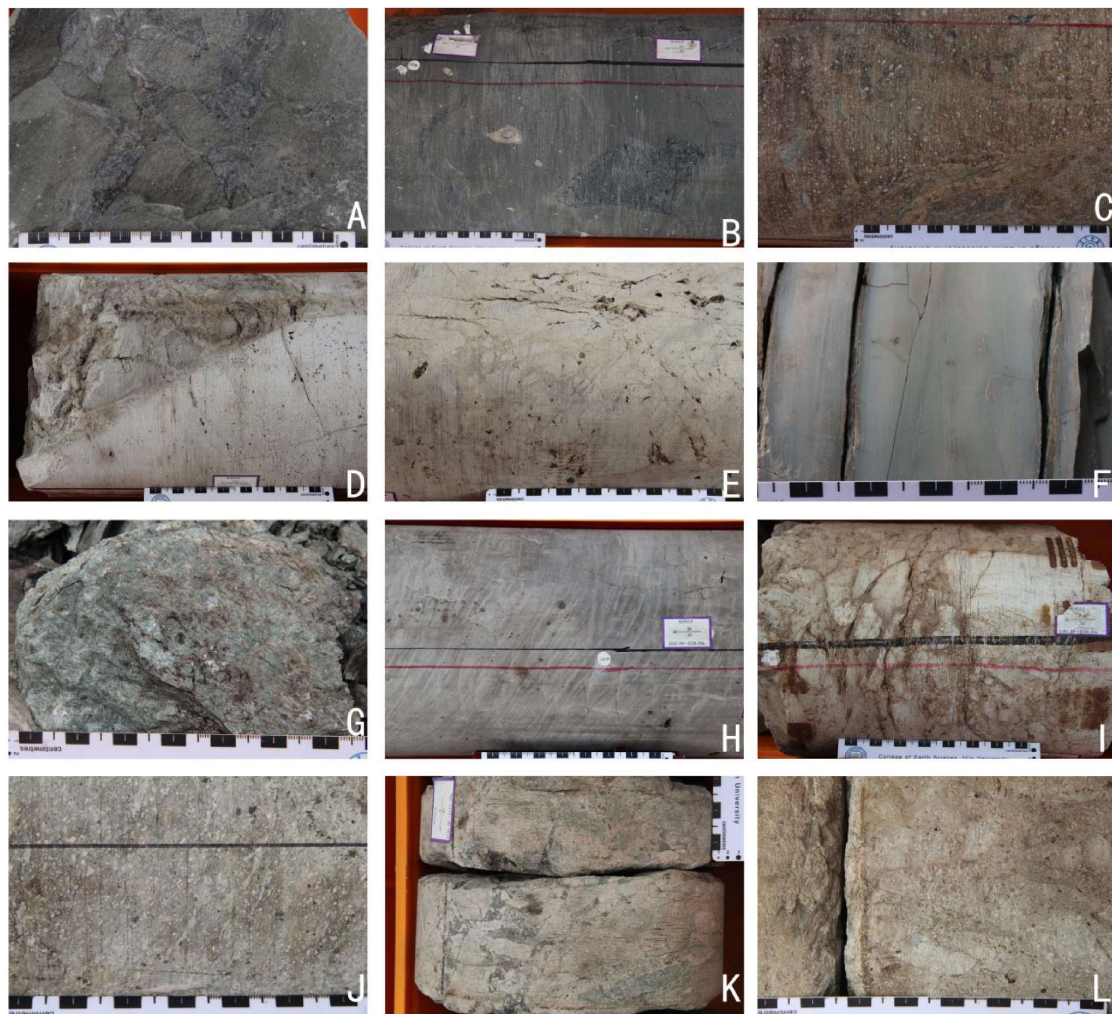


图 3.2 营城组火山岩岩性图版

(依据松科 2 井实物岩心照相得到, 主要由论文撰写人高翔拍摄并制作, 其中 C 与 F 为瞿雪姣博士拍摄, A、B: 安山质集块熔岩; C: 流纹质角砾凝灰熔岩; 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: 流纹质熔结凝灰熔岩; K: 流纹质角砾岩 L: 隐爆角砾岩)

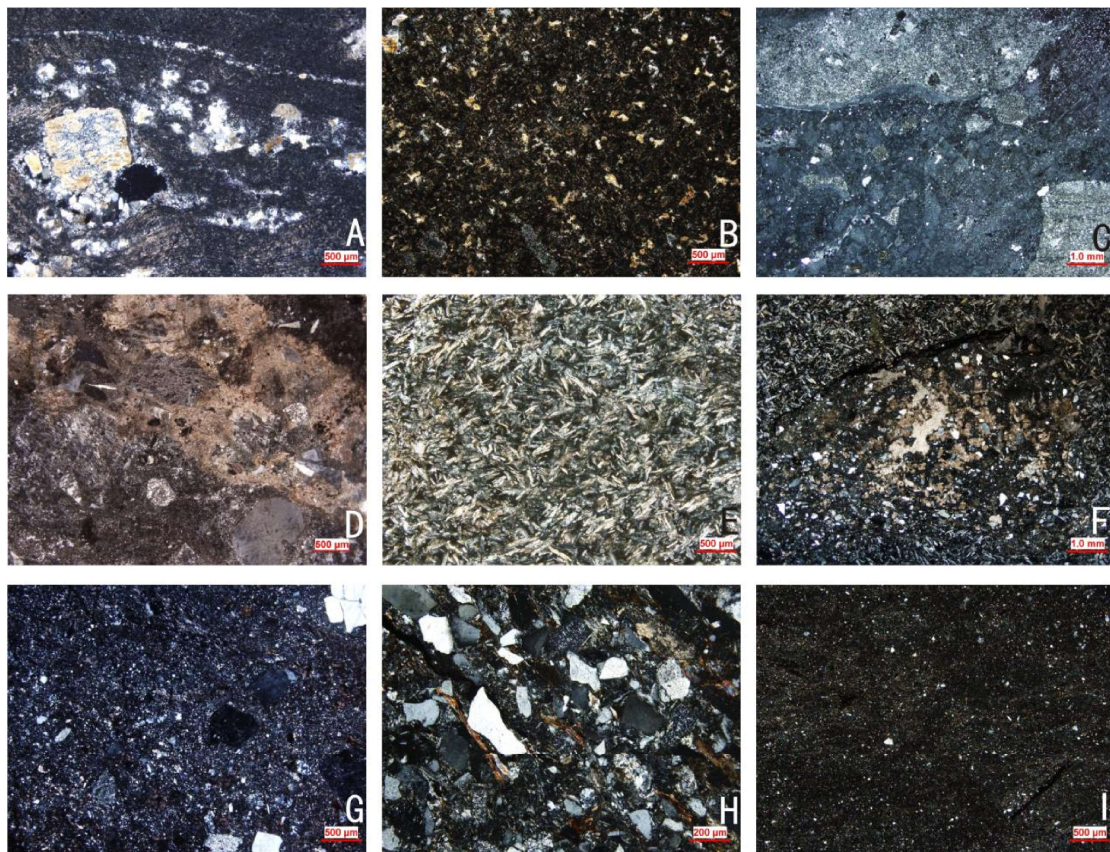


图 3.3 部分营城组火山岩镜下岩性图版

(依据松科 2 井实物岩心薄片, 由论文撰写人高翔拍摄并制作, A-流纹岩-3171.69m; B-流纹岩-3263.47m; C-角砾岩-3199.49m; D-流纹质熔结凝灰熔岩-3123.58m; E-安山岩-3277m; F-含角砾安山岩-3277m; G-流纹质凝灰岩-3165.56m; H-沉凝灰岩-3275.96m; I-凝灰质泥岩-3268.26m)

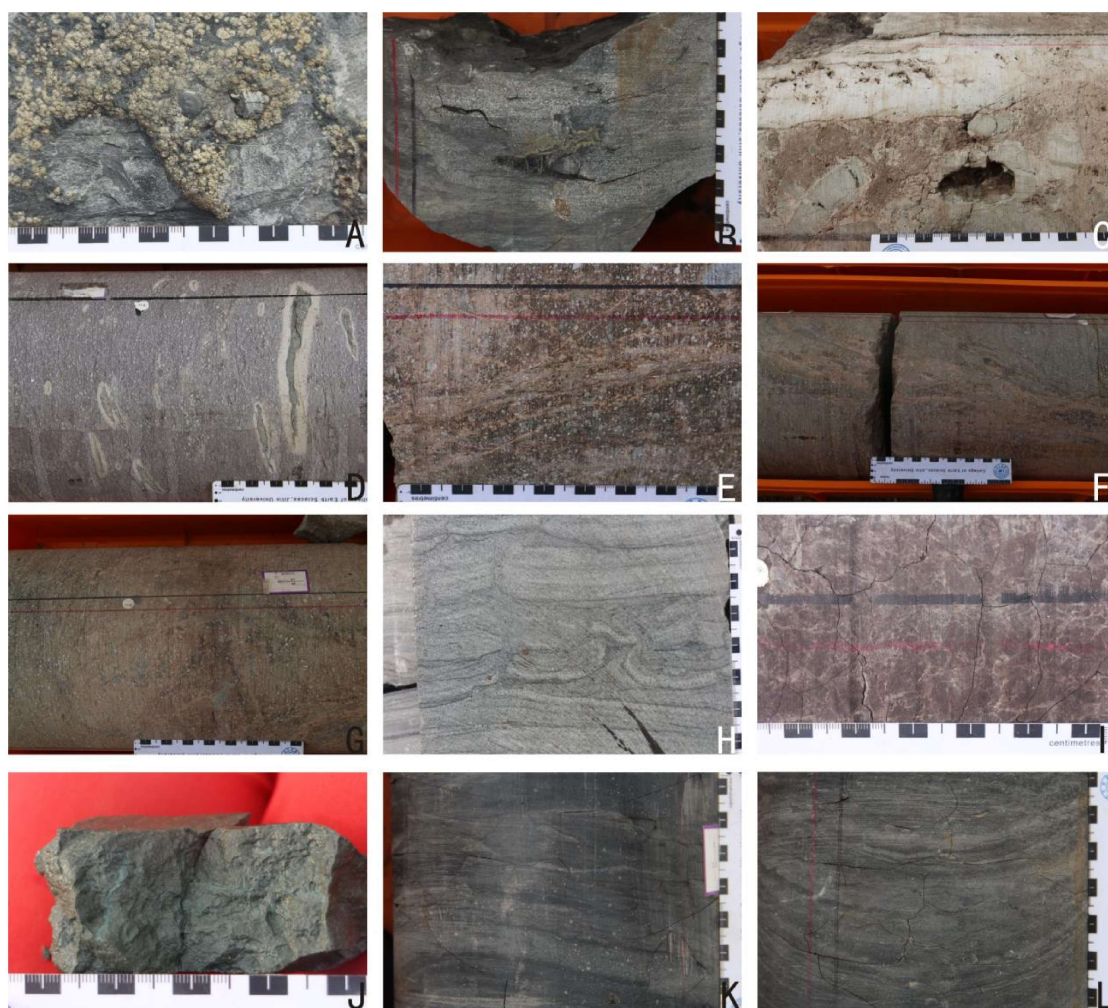


图 3.4 营城组岩心部分结构构造与含有物图版

(依据松科 2 井实物岩心照相得到, 由论文撰写人高翔拍摄并制作, 照片 E 为瞿雪姣博士拍摄, A-黄铁矿 39 筒 3029.28m; B-煤线与黄铁矿共生 67 筒 3336.74m; C-气孔与裂缝 50 筒 3168.56m; D-塑性浆屑与冷凝边 50 筒 3161.46m; E-隐爆角砾缝 43 筒 3104.37m; F-岩浆通道与蘑菇状喷发物 43 筒 3104.22m; G-蘑菇状喷出物 43 筒 3107.07m; H-泄水构造 35 筒 2988.09m; I-植物根系与生物扰动 39 筒 3037.18m; J-植物根系 40 筒 3048.93m; K-爬升层理 67 筒 3349.2m; L-波纹与爬升层理 67 筒 3346.8m)

3.3 营城组地层序列

取心总计共 16 大类岩性, 为砾岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩、过渡岩性、流纹岩、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、凝灰岩, 如表 3.2:

表 3.1 取心岩性统计表
(依据松科 2 井实物岩心统计, 高翔制表)

岩性	砾岩	粗砂岩	中砂岩	细砂岩	粉砂岩	粉砂质泥岩	泥岩	过渡岩性
厚度/m	98.32	38.67	16.16	11.71	4.22	17.19	2.99	7.47
岩性	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	凝灰岩
厚度/m	47.77	37.92	9.9	49.07	11.08	0.55	2.79	9.61

松科 2 井营城组沉积岩, 粗砂岩、中砂岩、细砂岩等均为大类, 被再详细分为: 细砾质粗砂岩、含砾粗砂岩、中粒质粗砂岩、含砾中粒质粗砂岩, 岩心颜色包括浅灰色、浅中灰色、浅绿灰色、暗黄棕色与黄灰色; 砾岩包括中砾质细砾岩、细砾岩、中砾岩、细砾质中砾岩、含细砾中砾岩、粗砂质细砾岩, 颜色包括杂色、绿灰色、浅中灰色、浅灰色; 中砂岩被细分为: 中砂岩、含砾中砂岩、含砾粗粒中砂岩、细粒质中砂岩, 颜色包括中灰色、浅中灰色、浅灰色; 细砂岩被细分为: 细砂岩、中粒质细砂岩、含粗粒中粒质细砂岩、含砾中粒质细砂岩, 颜色包括浅灰色、浅中灰色、中灰色、深中灰色、深灰色、浅绿灰色; 粉砂岩被细分为: 粉砂岩、细粒质粉砂岩、粗粒质粉砂岩, 颜色包括深灰色、浅中灰色、浅灰色、灰绿色、浅绿灰色, 以及火山岩向沉积岩过渡的岩性, 如凝灰质砂泥岩与含角砾凝灰质砂泥岩(图 3.5)。

营城组火山岩部分, 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、凝灰岩, 总计 168.69m, 颜色以灰色为主, 少量浅绿灰色与紫色(图 3.5)。

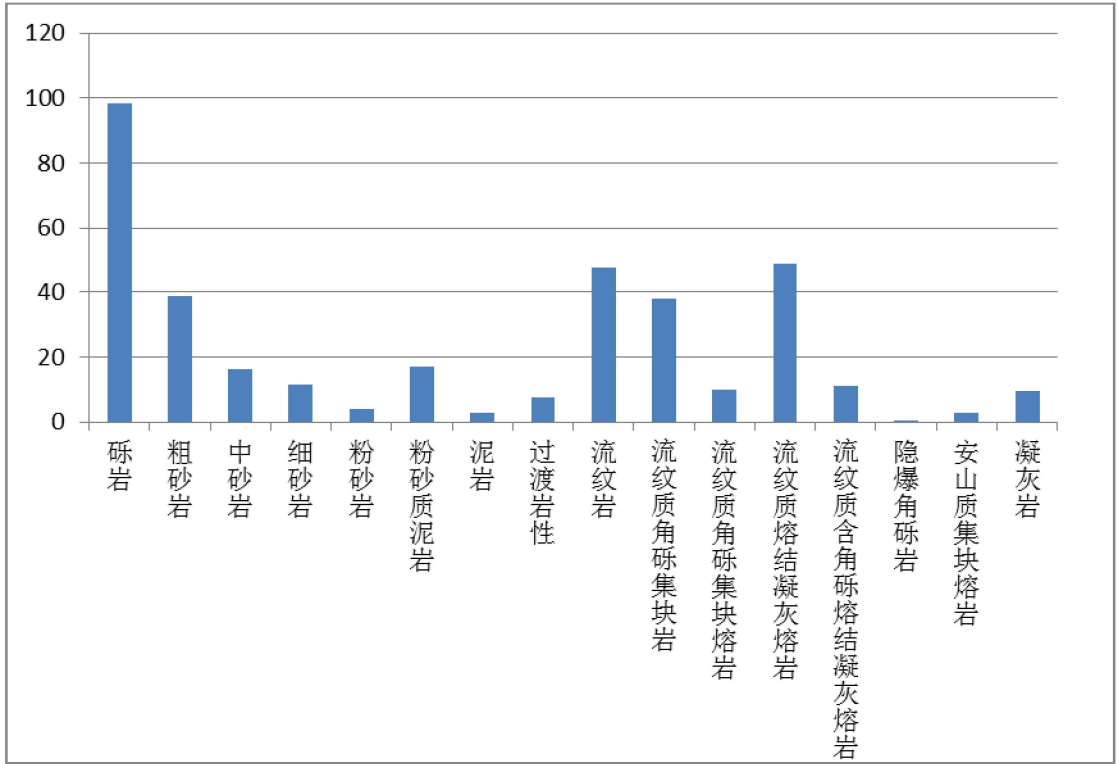


图 3.5 实际岩心岩性统计图(依据表 3.2，高翔制作)

3.4 营城组地层序列

营城组岩心精细描述如下(岩性综合柱状图见图 3.6，层编号与表 3.2 对应，详细柱状图见附图 1-12)

表 3.2 营城组岩心精细描述

(引自高翔，2017，依据松科 2 井现场岩心描述资料制作，主要由论文撰写人高翔描述，部分火山岩与高有峰副教授共同完成，筒次 32、33 与部分 43 筒岩心由瞿雪姣博士描述。岩心描述主要由高翔描述，火山岩部分由高有峰副教授指导，瞿雪姣博士描述 32、33 与部分 43 筒，表格制作由论文撰写人独立高翔完成)

层号	筒次与筒内分层	井段	厚度	描述
1	32-1~8， 33-1~16	2964.92-2969.21	4.29	浅灰色粗砂岩，夹细砾质粗砂岩，粉泥岩，中砂质粗砂岩，细砾岩，发育平行层理，含有白母
2	33-17~36	2969.21-2972.33	3.12	中蓝灰色流纹质凝灰岩
3	33-37~52	2972.33-2975.96	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	2975.96-2980.43	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	2980.43-2982.98	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	2982.98-2992.27	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	2992.77-3003.51	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,	3003.41-3004.31	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,	3004.31-014.67	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	3014.67-3017.25	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	3017.25-3018.3	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	3018.3-3023.45	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	3023.45-3025.89	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	3026.04-3029.28	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	39-6~7	3029.28-3033.78	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	3033.78-3035.98	2.2	杂色中砾岩, 夹粗砂岩, 发育槽状交错层理
17	39-11~13	3035.98-3038.18	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	3038.18-3040.48	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	3040.48-3043.53	3.05	中灰色泥岩, 夹含砾粗砂岩, 细砂岩
20	40-1~10	3043.53-3047.19	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	3047.19-3050.33	3.14	浅中灰色粉砂质泥岩, 夹粗砂质中砂岩 细砾岩, 发育波纹理, 含有植物碎屑、断 层与砾石
22	40-16~17, 41-1~3, 42-1~7, 43-1~10	3050.33-3102.37	2.04	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	3102.37-3103.17	0.8	灰绿色流纹质角砾熔结凝灰熔岩, 夹粗砂 岩, 发育流动构造, 含有黄铁矿
24	43-16~21	3103.17-3109.01	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	3109.11-3133.22	4.09	浅灰色流纹质熔结凝灰熔岩, 充填裂缝的 方解石、黄铁矿, 裂缝
26	47-1	3133.59-3137.24	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
27	48-1	3137.24-3147.9	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	3147.9-3156.55	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	3156.96-3159.56	2.6	浅灰色流纹质熔结凝灰熔岩, 发育裂缝
30	50-4	3159.56-3162.7	3.14	灰紫色流纹质熔结凝灰熔岩, 发育裂缝
31	50-5	3162.7-3165.36	2.66	灰绿色流纹质熔结凝灰熔岩, 发育裂缝
32	50-6~7	3165.36-3166.62	1.26	灰棕色流纹质凝灰岩
33	50-8	3166.62-3169.26	2.64	绿灰色流纹质熔结凝灰熔岩, 黄铁矿、 气孔、裂缝
34	50-9	3169.26-3172.76	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	3172.76-3194.59	2 1.83	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	3194.59-3198.99	4.4	浅灰色流纹质角砾集块熔岩，流纹构造，发育气孔、黄铁矿
37	53-1, 54-1~3, 55-1	3199.24-3212.05	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	3212.05-3225.65	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	3225.65-3228.45	2.8	浅灰色流纹质角砾集块熔岩，流纹构造，发育气孔、裂缝、充填气孔和裂缝的方解石
40	55-8~9, 56-1~3, 57-1	3228.45-3253	4.55	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	3253.00-3258.54	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	3258.54-3262.67	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	3262.67-3265.96	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	3265.96-3268.11	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	3268.11-3271.78	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	3271.78-3274.01	2.23	杂色中砾岩，夹凝灰质砂岩
47	63-6~11	3274.01-3275.87	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	63-12~13, 64-1	3275.87-3278.96	3.09	浅中灰色安山质集块熔岩，发育黄铁矿
49	64-2~10	3278.96-3282.75	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	64-11~12	3282.75-3286.69	3.94	深灰色泥岩，波状层理
51	64-13~16, 65-1~3	3286.69-3290.35	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	3290.35-3295.32	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	3295.32-3300.65	5.33	浅中灰色中砂岩，夹粉沙质泥岩，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	65-18~19	3300.65-3302.95	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	65-20~21	3302.95-3304.61	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	3304.61-3335.99	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

系	统	组	段	分层 编号	GSA颜 色代码	深度/ m	岩性 剖面	夹层	构造	含有物	沉积相/火山相			岩性段	岩性特征描述
											微相	亚相	相		
白垩系	下白垩统	营城组	营四段	1	N7									火山岩 I	中蓝灰色凝灰岩，夹浅灰色凝灰岩，灰岩，发育方解石充填的硅质角闪岩，可见蓝色凝灰岩界线呈波状。
				2	5B5/1										
				3	N3										
				4	N6										
				5	5GY6/1										
				6	N6										
				7	杂色										
				8	N6										
				9	杂色										
				10	N6										
				11	N6										
				12	N6										
				13	N4										
				14	N6										
				15	N3										
				16	杂色										
				17	N6										
				18	N6										
				19	N5										
				20	N6										
				21	N6										
			营三段	22	杂色									火山岩 II	以灰色为主，少量，与层状板状形发岩物孔大，底套复成中砾岩。
				23	5G3/2										
				24	5G7/2										
				25	N8										
				26	5YR6/1										
				27	N7										
				28	N7										
				29	N7										
				30	5P4/2										
				31	10G4/2										
				32	5YR3/2										
				33	5G6/1										
				34	N8										
				35	N8										
				36	N8										
				37	N7										
				38	N7										
				39	N7										
				40	N7										
				41	N8										
				42	5GY6/1										
				43	5GY6/1										
				44	N7										
				45	N2										
				46	杂色										
				47	N6										
				48	N6										
				49	N5										
				50	N3										
				51	N4										
				52	N6										
				53	N6										
				54	N4										
				55	N6										
				56	杂色										

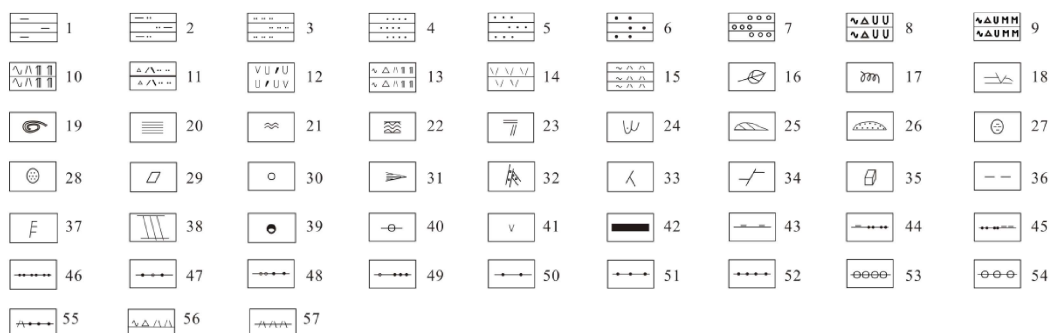


图 3.6 松科 2 井营城组火山-沉积序列柱状图

(引自高翔, 2017, 依据松科 2 井岩心岩性制作, 由于分层标准为厘米级, 为了能用一页 A4 纸表达岩性柱, 以达到更加清晰的反映出松科 2 井营城组整体岩性的目的, 采用 1: 2500 比例尺, 进行合层, 将部分厚度较小岩层划入夹层, 岩心描述主要由高翔描述, 火山岩部分由高有峰副教授指导, 瞿雪姣博士描述 32、33 与部分 43 筒, 表格制作由论文撰写人独立高翔完成, 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。*注: 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⁾)

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

第 4 章 营城组沉积相、火山岩相特征与沉积古环境分析

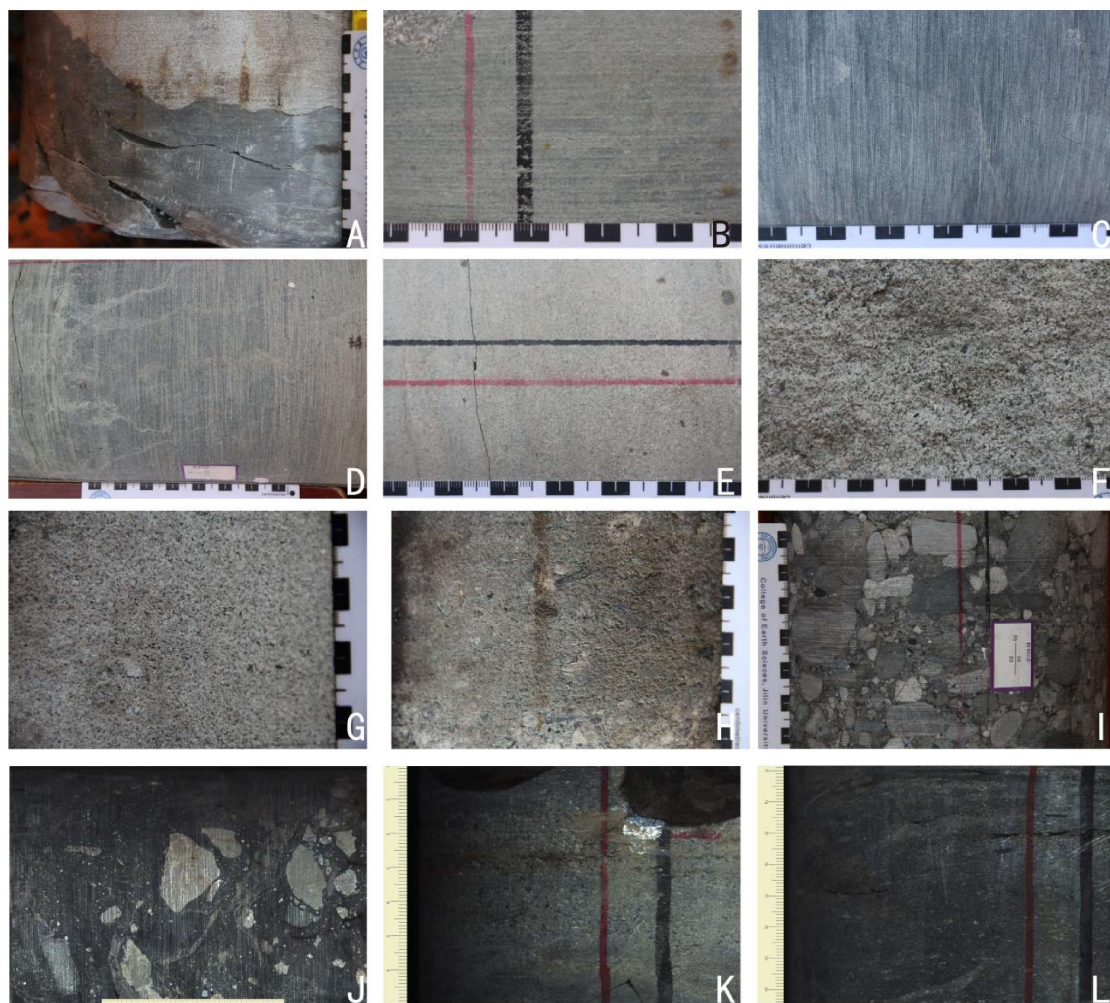
4.1 营城组沉积相、火山岩相

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 期完整的沉积-火山旋回，总计 6 个阶段：沉积岩 I、火山岩 I，沉积岩 II、火山岩 II，沉积岩 III、火山岩 III，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次扇三角洲叠加现象；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。

4.1.1 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 4.1-I）、扇间沼泽沉积（图 4.1-D）、水下分流河道沉积（图 4.1-F、G、H）、河口砂坝沉积（图 4.1-B、C、E）与静水泥质沉积（图 4.1-A），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 4.1-J、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。识别出三期事件沉积，火山岩 I 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。

图 4.1 营城组沉积岩岩相图版

(引自高翔, 2017, 依据松科 2 井岩心实物照片, 照片 C 为瞿雪姣博士拍摄, 由高翔制作, 分流河道沉积 (I)、扇间沼泽沉积 (D)、水下分流河道沉积 (F、G、H)、河口砂坝沉积 (B、C、E) 与静水泥质沉积 (A), 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 (J、K、L))

4.1.2 营城组火山岩相类型及特征

营城组火山岩相可识别出喷溢相与爆发相，细分为 4 个亚相：上部亚相（图 2-H），中部亚相（图 4.2-E），热碎屑流亚相（图 4.2-C、J）和空落亚相（图 4.2-A、

B、D、F、G、I)。由深至浅爆发相厚度逐渐增加，喷溢相厚度逐渐减小。

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一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熔岩以及棕灰色凝灰岩，爆发相中又夹杂三期喷溢相的浅灰色、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 3.12m，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 下伏岩性为代表了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。

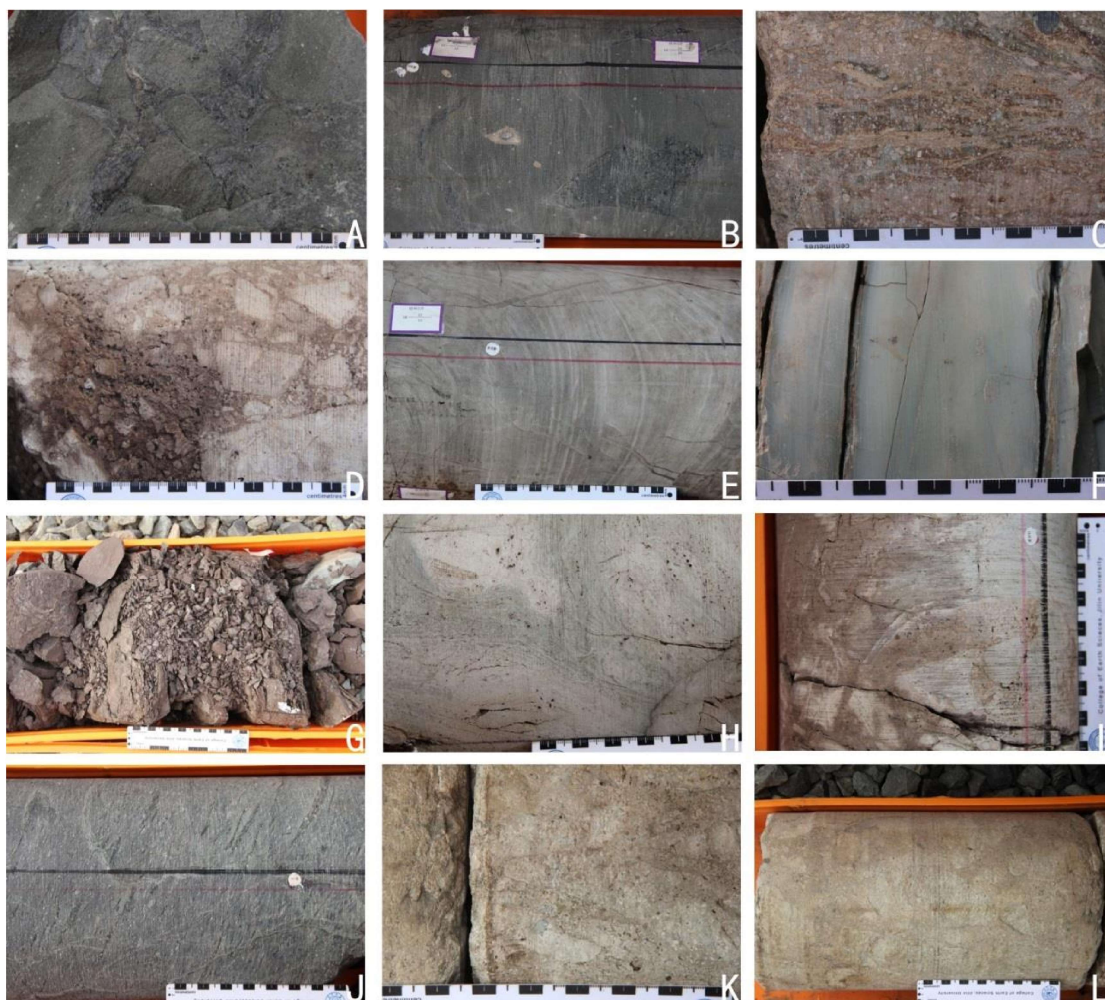


图 4.2 营城组火山岩岩相图版

(引自高翔, 2017, 由高翔拍摄并制作、照片 F 由瞿雪姣博士拍摄, 上部亚相 (H), 中部亚相 (E), 热碎屑流亚相 (C、J) 和空落亚相 (A、B、D、F、G、I))

4.2 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, 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 段, 井段为 3278.96–3335.99m, 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河道沉积过渡。

火山岩 I 段, 井段为 3275.87–3278.96m, 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 3268.11–3275.87m, 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 3102.37–3268.11m, 全部为酸性喷出岩, 主要发育爆发相的流纹质熔结凝灰熔岩、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熔岩。其上覆岩性为厚达 50m 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 2972.33-3102.37m，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 3.12m 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了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，夹杂了钙质条带，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，湿润多雨导致了水体持续上升，形成了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。

第 5 章 松科 2 井沉降史曲线

松科 2 井贯穿松辽盆地白垩系, 岩心与岩屑岩性连续可信, 为绘制松辽盆地沉降史曲线提供客观依据, 通过逾 2 年的现场工作, 将松科 2 井上白垩统嫩江组一段、二段岩心、下白垩统登娄库底至火石岭组顶岩心描述完成, 未取心部分使用岩屑岩性, 由于岩屑每米捞取, 所以能够可靠控制地层岩性。本章介绍有关沉降史的基本概念与绘制方法。

5.1 基本概念

盆地是地壳浅表层的负向构造单元, 是与对应山脉的产物。地壳的沉降作用直接引起盆地形成。因此, 盆地的沉降史对研究盆地的形成、构造演化以及充填特征具有重要意义(陆克政, 2003)。沉降史分析是通过盆地沉降历史时期沉降量的定量分析再现盆地的地质历史。人们用它来调查盆地沉降的构造驱动机制, 研究盆地的形成和演化, 以及用它来研究含油气盆(李思田, 2004)。

表示盆地的沉降有多种方法, 一般为选择盆地的某一构造面, 研究其相对于某一基准面的起伏大小, 研究参数为沉降量与沉降速度。一般用图示法表达观测点的沉降量和沉降速率。将横坐标定位地质时间, 纵坐标定为某研究地层对于某一标准面的距离, 得出反映某研究地层的沉降曲线。曲线纵坐标表达了沉降量, 曲线斜率代表沉降速率。而根据地层现今埋深深度, 依照地层的各时代岩性特征, 使用回剥法, 将得出所需地质时期的该地层埋深, 也即该层埋藏史曲线(陈发景, 2007; 陈发景, 2004), 松科 2 井直接打穿白垩系, 因为基底能够反映盆地自形成起演化至现今的变化, 所以将参考点为盆地基底, 又因为盆地基底的埋藏史曲线就是反映盆地沉降过程的沉降曲线, 所以, 松科 2 井的沉降史曲线与埋藏史曲线形态一致。

盆地基底沉降由多种因素决定。主要为两类: 一类为非构造沉降因素, 包括负载沉降与盆地地质时期的海平面及古水深; 另一类为盆地基底构造沉降。由于松辽盆地是陆相沉积盆地, 其古水深与海相盆地相比较浅, 深度大致在几米至数

十米,所以对沉降造成的影响很小,因而在陆相盆地构造沉降量计算中略去古水深变化这一因素。

为了更好的理解本文接下来的绘制过程,有以下几个名词需要特殊强调:

(1) 总沉降量:盆地总的下沉的量,包括构造沉降量与负荷沉降量。主要与构造作用、沉积物压实均衡作用、沉积物基准面变化或古水深等因素有关。各种构造作用可导致盆地基底沉降。表层沉积物具有较高孔隙度,随着埋深加大而压实,可产生不可忽视的沉降量。海平面或湖平面的变化使盆地相对沉积基准面发生变化,由于松辽盆地属于陆相盆地,水深浅,对沉降影响小,因此忽略古水深,所以松辽盆地总沉降量=构造沉降+沉积物负荷沉降量(陈发景. 2007; 陈发景. 2004; 陆克政, 2003)

(2) 构造沉降量:由构造原因引起的盆地沉降称为构造沉降,也就是地壳或岩石圈动力学演化过程中产生的盆地沉降过程,包括岩石圈板块伸展或加厚、板块间相互租用或板块内部热作用等等引起的沉降。由应力与热力作用,使盆地主动下沉的量,称为构造沉降量,用 D_T 表示(陈发景. 2007; 陈发景. 2004; 陆克政, 2003)。

(3) 负荷沉降量:根据艾利地壳均衡模型(Allen PA and Allen JR. 1990),盆地基底因某种动力作用沉降时,地壳表面新增空间会由水充填,由于沉积作用,这些水域会全部或部分被沉积物取代。因为密度的增加,地壳将产生一定的负荷沉降,从而达到地壳变形前后的均衡。负荷沉降量用 D_L 表示,由于松辽盆地属于陆相盆地,古水深不被考虑,因此负荷沉降量与非构造沉降量等同(陈发景. 2007; 陈发景. 2004; 陆克政, 2003)。

(4) 压实系数:地层因受压实所减薄的厚度与地层未被压实的原始厚度之比,用 c 表示(陈章明,万龙贵.1984),因此现今厚度对应比例为 $1-c$ 。

(5) 沉降作用与沉积作用:沉降作用是指地壳的一种垂直运动过程,含有时间意义。而沉积作用是指地壳的物质在外力地质营力的驱使下,通过改造而达到的一种新的建造过程,即充填、堆积的地质过程。这两种作用虽然不是同一概念,但之间有极度紧密的内在联系。沉降作用形成沉降区,为沉积作用提供空间,而充填在沉降区的沉积物的负荷作用也可能进一步引起沉降作用(陆克政,

2003)。

5.2 沉降史曲线绘制方法

主要采用回剥反演法,通过总结岩性厚度、岩性类型,利用砂砾岩压实率图版,计算每一个单元层由形成到被压实至极限的厚度变化,通过累加各个时代的各个单元层在不同上覆厚度下的原始厚度,将得出沉降史曲线,由于以基底作为参照,所以为以基底为参照的沉降史曲线。

岩性厚度与岩性类型依据松科 2 井岩心实物统计,对于非取心段,依据松科 2 井岩屑岩性得到。

为了还原松科 2 井各个组段单元层在任意时期的厚度,我们将松科 2 井岩性划分为沉积岩与火山岩:

① 对于沉积岩部分,每 30m 作为一个单元层,依据密度测井曲线,取各组段地层密度平均值作为该组段密度,再利用岩性压实图版(图 5.2),逐次将每个单元层的被压实量还原,最后得到该沉积岩部分单元层在不同上覆岩性厚度下的原始厚度,此原始厚度即为各组段沉积岩部分的总沉降量,将所有单元层依照一定顺序累加,便可得到松科 2 井的沉降史曲线;具体计算原理如下:如图 5.1, A 层沉积末期的原始厚度为 H_A^0 且,到 B 层沉积末期 A 层厚度被压缩了 h_A^B ,其层厚为 $H_A^B = H_A^0 - h_A^B$,到了 C 层沉积末期, A 层被压缩了 h_A^C ,其层厚变为 $H_A^C = H_A^0 - h_A^C$,同理, B 层厚度为 $H_B^C = H_B^0 - h_B^C$ 。设 H_A^0 压缩成 H_A^B 时,被压缩厚度为 $h_A^B = H_A^0 - H_A^B$,则此时压实率为 $K_A^B = h_A^B / H_A^0$,那么 $1 - K_A^B$ 则为该地层未被压缩的厚度(当时的真实厚度)与原始厚度比,因此,某一地层在任意时期的古地层厚度为:

$$H_i = H_0 (1 - K_i)$$

H_i : 计算层段在某一地质时期的古地层厚度(当时的真实厚度),单位 m; K_i : 计算层段在某一地质时期(与 H_i 为同一地质时期)的古压实率,单位%; H_0 : 计算层段的原始厚度,单位 m。

为了通过现今地层厚度还原任意时期地层厚度,我们设 H_n 为计算层现代厚度, m; K_n 为计算层现代压实率, %; 则该层原始厚度为 $H_0 = H_n / (1 - K_n)$,再获取

该层任一地质时期的压实率，可以得出该层任意地质时期古地层厚度为：

$$H_i = H_n (1 - K_i) / (1 - K_n).$$

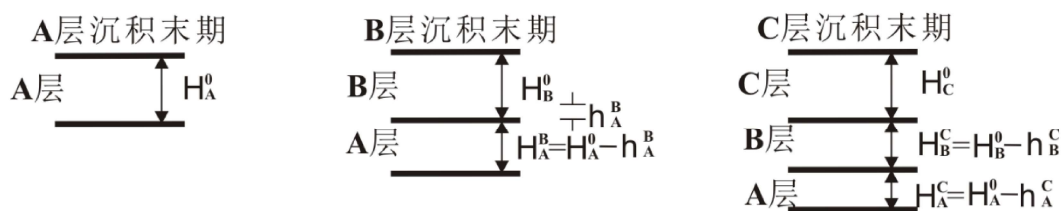


图 5.1 沉积过程地层厚度变化(引用陈章明, 万龙贵, 1984, 高翔重新清绘)

如上段所述, 不同组段在任意时期的压实率将是得出各个单元层原始厚度的关键。为了计算任意地质时期压实率, 引用压实率图版(图 5.2), 根据前人归纳, 压实率 $K = A * e^{-b/p}$, P 为上覆负载, kg/cm^3 , $P = \rho * V$, ρ : 密度, 依据各个组段密度测井曲线数值的平均数 g/cm^3 , V : 体积, 体积由地层厚度与岩心横截面积相乘得到, A 、 b 反映不同岩性的压实率特征参数, 均为定值(表 5.1)。

依据压实率公式曲线 $K = A * e^{-b/p}$, 当地层上覆压力增加, 岩石压实率趋于稳定, 此时 $K = A$ 。因此在岩性确定情况下, 压实率最根本是受上覆地层压力影响, 所以只要计算出上覆地层压力, 并带入压实率公式, 就可得到在不同压力下, 单元层各种岩性压实率数值, 而压力由密度与上覆地层厚度决定, 所以当密度不变情况下, 压实率直接与上覆地层厚度有关, 而又由于压实率最终会趋于平直(其数值等于 A , 表 5.1), 因此当上覆厚度达到某一数值之后, 即便继续增加, 也不会对压实率产生需要被列入计算的影响。

表 5.1 各类沉积物压实特征参数(引用陈章明, 万龙贵, 1984)

压实特征参数	粗砂	中砂	细砂	粉砂	粘土
A	15.2	17.3	21.2	31.1	72.7
B	5.4	5.8	7.4	10.1	11.3

例如: 截取泉头组 25m 单元层, 为了得到该单元层在任意上覆厚度下对应的厚度, 先统计岩性类型与对应厚度统计(见表 5.3), 然后依据现今压实率 A , 去压实得到其初沉积未被覆盖的原始厚度, 再依据公式: $P = \rho * V$, $\rho = 2.5 \text{g/cm}^3$,

$V = \text{上覆地层厚度} \times \text{岩心横截面积}$ ，依次取上覆地层厚度为 0.1m（相当于没有被压实情况，也即最原始厚度）、100m、200m、400m、600m、800m、1000m，岩心直径为定值，可以得到相应压力，带入压实率计算公式 $K = A \cdot e^{-b/p}$ ，得出不同岩性在各上覆地层厚度下的压实率（表 5.2），依据公式 $H_i = H_n(1 - K_i)/(1 - K_n)$ 得到单元层在不同上覆地层厚度下所对应的被压实后的厚度，然后依据得到的厚度，也即 7 组数据点进行曲线拟合（图 5.3），得到此单元层厚度与上覆岩层厚度公式（图 5.3），此公式为单元层原始厚度与任意上覆地层厚度的关系式。如本单元层上覆有 3 层 20m 厚单元层，则依次将横坐标（上覆岩层厚度） x 取:30m、60m、90m 带入公式， y 值一次为 45.8m、42.1m、40.0m，即当该单元层上覆厚度为 30m 时，厚度为 45.8m。这里需要特殊注意的是，引起厚度变化，即被压实的原因因为压力，而此处所说 30m 为现今 30m，并不指去压实还原之后的厚度，由于质量守恒，现今 30m 岩性产生的压力与将这 30m 去压实还原之后的厚度（93.5m）产生的压力是一致的。所以，当下一单元层 B（现今厚度为 30m）形成后，本层厚度被压实至 45.8m，而 A 刚形成时厚度为 93.5m。假设地层只有 A 与 B 两个单元层，则 B 形成后，此时地层厚度为 45.8+93.5=139.3m（A 被 B 压实之后的厚度与 B 的原始厚度累加）

表 5.2 泉头组各岩性压实率与上覆地层厚度关系表

（依据松科 2 井岩性资料与压实率图版，独立完成）

各岩性压实率	上覆 100	上覆 200	上覆 400	上覆 600	上覆 800	上覆 1000
泥岩、煤、漏失	0.5734	0.42	0.3507	0.3258	0.3129	0.3051
粉砂质泥岩	0.6266	0.5341	0.4795	0.46	0.45	0.4438
粉砂岩	0.7924	0.7459	0.7189	0.7093	0.7043	0.7013

表 5.3 截取泉头组单元的岩性段古厚度计算表

（依据松科 2 井岩性资料与压实率图版，独立完成）

统计岩性	统计厚度	原始 l-c	原始厚度	上覆 100	上覆 200	上覆 400	上覆 600	上覆 800	上覆 1000
泥岩	13.6	0.273	49.81684982	28.56498	20.92308	17.47077	16.23033	15.58769	15.19912
粉砂质泥岩	9.2	0.4186	21.97802198	13.77143	11.73846	10.53846	10.10989	9.89011	9.753846
粉砂岩	2.2	0.689	3.193033382	2.53016	2.381684	2.295472	2.264819	2.248853	2.239274

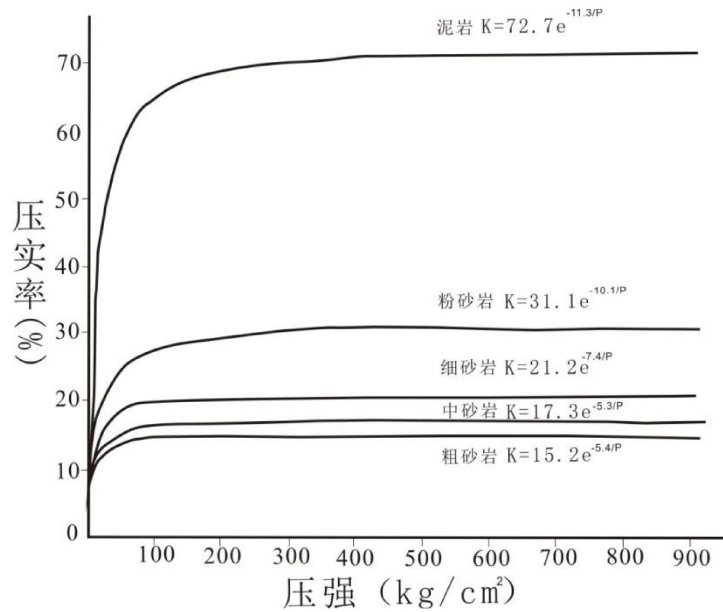


图 5.2 各岩性压实率图版(引用陈章明, 万龙贵, 1984, 高翔重新清绘)

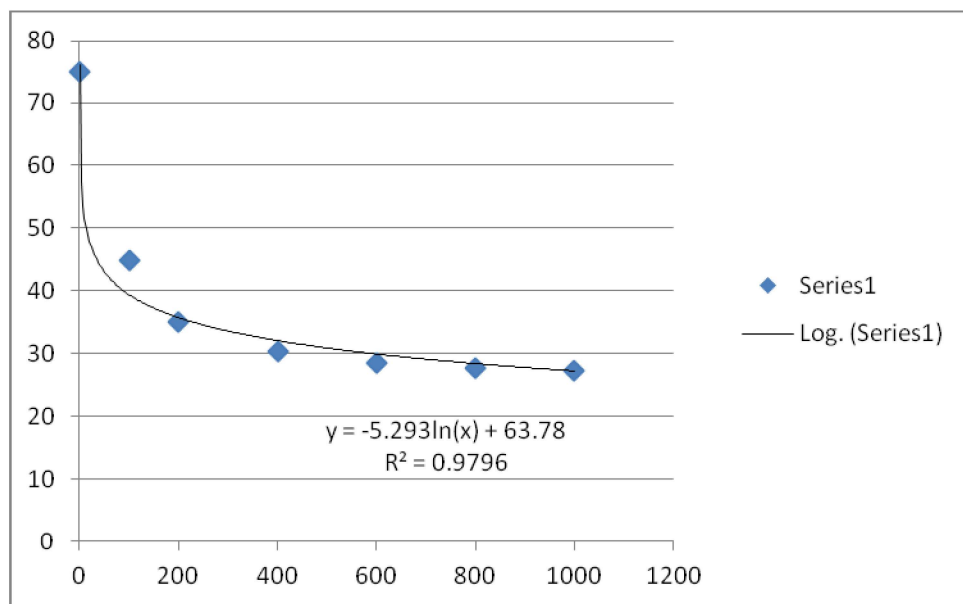


图 5.3 截取泉头组单元层古厚度与上覆地层厚度关系曲线

(纵坐标为本层厚度/m, 横坐标为上覆地层厚度/m, 本图依据松科2井岩性数据与压实率图版, 独立完成)

②对于火山岩部分, 火山岩地层是由火山喷发事件造成的, 虽然每次喷发会持续一定时间, 但一定比沉积岩沉积速率快, 相比于沉积岩的以“m/Ma”为单位的沉积速度, 火山岩近似于瞬时沉积, 而且火山岩本身难以被压实, 所以现在遇到的火山岩岩心厚度约等于火山岩原始厚度。火山岩测年数据繁多, 即使是一套火山岩层, 也会有不同的数值, 由于未对松科2井火山岩进行测年分析, 所以无

法真正准确的确定火山岩年龄，又因为松科 2 井营城组火山岩厚度较大，不仅包括熔岩还夹杂了空落相的凝灰岩，并且依据测井曲线，可以发现 2 处呈风化壳特征，说明火山喷发之间存在间隔，也无法确定喷发间断期的时间，因此，若对火山岩部分采用瞬时累加处理，由于时间不确定，反而容易给读者造成误导：营城组火山不间断喷发至结束，有可能违背事实，所以本文将火山岩部分按照沉积岩方式处理，只是压实率不同，最后与沉积岩一起计入总厚度，横坐标取营城组起始与结束时间。需要特别注意的是，由于用平均速度表达了盆地沉降速度，因此按照一定区间将火石岭组、沙河子组、营城组、登娄库组与泉头组地层的时间等分，这并不意味着真实沉降速度一样平均例如，某组在第一个百万年沉降速度达到 100m/Ma，第二个百万年速度降至 10m/Ma，尽管两个百万年沉降的平均速度为 55m/Ma，却不代表这两个百万年各自沉降速度均为 55m/Ma，若想得到更为精确的沉降史曲线，就需要更加精确地年代资料。

压实率对恢复沉降史工作起到至关重要的作用，如图 5.2，压实率曲线随压力增大逐渐趋于平缓，最终等于压实率常数 A，本文将横坐标 250 作为节点，当地层上覆压力大于 250，对应深度约为 1140m 时，认为压实率趋于常数 A，反之则小于 A。对于火石岭组-嫩一段，由于现今埋深大，故上覆压力大，各岩性压实率曲线趋于平直，近似等于压实率常数 A，而对于嫩二段及其上的 7 个组段，依据压实率曲线，横坐标小于 250 时，曲线变化较大，因此它们的现今压实率小于常数 A，无法像其他相对深度大的组段一样直接使用各岩性现今厚度除以(1-现今压实率常数 A)得到最初厚度，因此，这 7 组段的现今压实率需要重新计算。依据地层密度与地层埋深度的差异，总计得出 12 个压实率计算数值模板（见附表 2）。地层密度由测井曲线得到。对于含砾砂岩、细砾质砂岩与砂质砾岩等岩性，其压实率计算统一为砂质砾岩行列；凝灰岩由于粒度小于 2mm，与粗砂岩最大粒径一致，因此压实率与沉凝灰岩、凝灰质砂岩一起按照粗砂岩计算；凝灰质泥岩使用粉砂岩压实率；火山岩则仅指一切熔岩与角砾集块岩。

构造沉降量依据艾利均衡模型得出，艾利均衡模认为地壳的密度均匀,但较地球深部物质低,地形高的地方地壳较厚,低处地壳较薄,也即高山地区有深的山根作为补偿,称为艾里的地壳均衡说。

因为某种动力作用产生沉降时，地壳表面新增空间会由水来代替，由于沉积作用，这些水将全部或部分由沉积物取代，从而地壳上覆重量增加，继而出现负荷沉降，地壳变形，但地壳变形前后，其所能承受的重量是不变的，又因为松辽盆地是陆相盆地，所以古水深不考虑（按沉积物完全填满新增空间中的水）。

艾利均衡模型计算构造沉降量如图 5.4 所示：

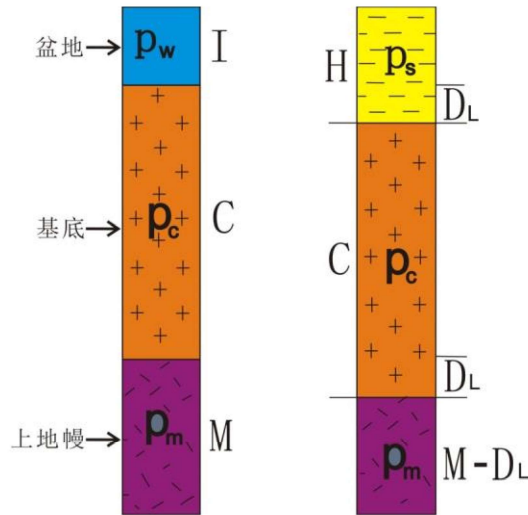


图 5.4 艾利地壳均衡模型图

(引用 Allen. 1990. 高翔重新清绘)

如图，因为地壳所承受的重量是一定的，所以有：

$$I * \rho_w + C * \rho_c + M * \rho_m = H * \rho_s + C * \rho_c + (M - D_L) * \rho_m$$

$$\rightarrow D_L = (\rho_s - \rho_w) / (\rho_m - \rho_w) * H$$

由于 $H = D_L + D_T \rightarrow D_T = (\rho_m - \rho_s) / (\rho_m - \rho_w) * H$ 即 $D_T = 0.7/2.3 * H$

ρ_w ：水的密度， ρ_m ：地幔密度 $= 3.3 * 10^3 \text{ kg/m}^3$ ， ρ_s ：沉积物平均密度 $= 2.6 * 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，

H 总沉降量（地层原始厚度）， D_L 负荷沉降量， D_T 构造沉降量；

依据上述方法，通过整合约 208 个模型，最终得到松科 2 井沉降史曲线（图 5.5，编程 VBA 见附表 3）

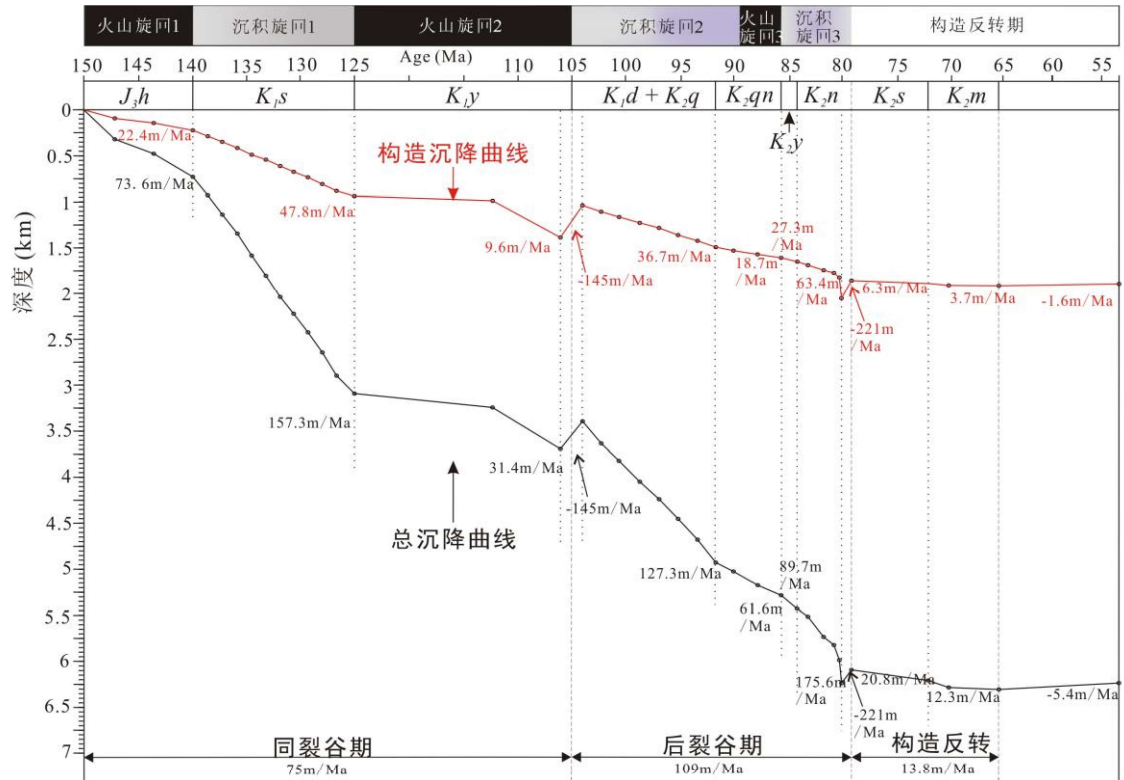


图 5.5 松科 2 井沉降史曲线图

(依据松科 2 井资料与压实率图版, 高翔绘制)

5.3 松科 2 井沉降史曲线的意义

(1) 本文依托松科 2 井连续完整的地层岩性资料, 沉降史图件时间跨度长、规模大, 各组 and 各个阶段都有年代时间点, 地层也有实际柱状图支撑, 并且对地层进行分层, 分层单元厚度是 30m, 每单元都建立本层厚度与上覆厚度关系式, 据此得到各个单元层在不同上覆厚度下的古厚度, 采取编程大数据处理这些关系式结果, 再与组段起始与结束时间结合, 将沉降史曲线准确的画出。该曲线可以较为清晰的表达盆地演化阶段各个时期的特点; 之前也有过关于松辽盆地的沉降史曲线, 但大多缺少各组的时间年代点, 并且图上体现不出地层节点, 也受客观地层岩性限制, 导致由于时间跨度小, 规模小, 往往只能代表 1-2 个组段, 因此对盆地演化的表达不足。松科 2 井沉降史曲线是真正第一条贯穿松辽盆地白垩系地层的沉降史曲线, 对研究松辽盆地自形成至现今的发展演化特征具有重要意义。

(2) 松科 2 井沉降史曲线大致分为同裂谷期、后裂谷期与构造反转期, 并可以细化为 3 个火山-沉积序列循环: 火石岭组-沙河子组, 营城组-泉头组, 青山口组

-嫩江组，每次火山期（火石岭组、营城组、青山口组）之后，都跟随有沉积速度增加的沉积阶段（沙河子组、登娄库组与泉头组、姚家组与嫩江组），并且后裂谷期沉降速度更快，沉积物沉积速度也更快，当到了构造反转期，松辽盆地几乎不再有沉降，并且稍有抬升。

认识与结论

(1) 松科 2 井营城组岩性主要特征

营城组地层由沉积岩与火山岩组成，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 3m 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熔岩，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。

(2) 松科 2 井营城组岩相主要特征

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。

(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。

(4) 松科 2 井沉降史曲线可被划分为同裂谷期、后裂谷期与构造反转期，并可以细化为 3 个火山-沉积序列阶段，火山期沉降速度稍慢，火山期后的沉积阶段沉降速度增加，虽然后裂谷期持续时间短，但其沉积与沉降速度快，沉积量与同裂谷期相当，构造反转期开始之后，松辽盆地几乎不再有沉降，并且稍有抬升。本曲是松辽盆地的第一条陆相白垩系全地层沉降史曲线，所采用的编程方法，也对未来量化类似研究提供便利，有利于推动松辽盆地更加深入的研究。

参考文献

- [1] Allen, Philip A. Basin analysis : principles and applications[M]. Blackwell Scientific, 1990.
- [2] Gao F H, Wenliang X U, Yang D B, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating from granitoids in southern basement of Songliao basin: Constraints on ages of the basin basement[J]. Science China Earth Sciences, 2007, 50(7):995-1004.
- [3] Parrish JT . Interpreting pre-Quaternary climate from the geologic record[M]. Irvington, NY, USA: Columbia University Press, 2001.
- [4] Skelton P W. The Cretaceous World[J]. 2003(6):360.
- [5] Wang P J, Mattern F, Didenko N A, et al. Tectonics and cycle system of the Cretaceous Songliao Basin: An inverted active continental margin basin[J]. Earth-Science Reviews, 2016, 159:82-102.
- [6] Wang P J, Xie X, Frank M, et al. The Cretaceous Songliao Basin: Volcanogenic Succession, Sedimentary Sequence and Tectonic Evolution, NE China[J]. 地质学报(英文版), 2007, 81(6):1002-1011.
- [7] 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, 91(2):331-340.
- [8] Wang. P J, Du X, Wang J, et al. Chronostratigraphy and Stratigraphic Classification of the Cretaceous of the Songliao Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 9(2):207-218.
- [9] Wang P J, Ren Y, Shan X, et al. The Cretaceous volcanic succession around the Songliao Basin, NE China: relationship between volcanism and sedimentation[J]. Geological Journal, 2002, 37(2):97-115.
- [10] Wang PJ, Chen SM. Volcanic reservoirs and their exploration of the Songliao Basin, Cretaceous, NE China: AAPG Bulletin, 2015, 99 (3):

- [11] Wan X, Zhao, Scott R W, et al. Late Cretaceous stratigraphy, Songliao Basin, NE China: SK1 cores[J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2013, 385(3):31-43.
- [12] Zhang C C, Zhang S, Wei W, et al. Sedimentary filling and sequence structure dominated by T-R cycles of the Nenjiang Formation in the Songliao Basin[J]. *Science China Earth Sciences*, 2014, 57(2):278-296.
- [13] Zhao J, Wan X Q, Dangpeng X I, et al. Late Cretaceous palynology and paleoclimate change:Evidence from the SK1(South) core, Songliao Basin, NE China[J]. *Science China Earth Sciences*, 2014, 57(12):2985-2997.
- [14] 安俊义. 东北及内蒙东部下白垩统划分与对比[J]. *东北煤炭技术*, 1991.
- [15] 王国栋, 程日辉, 王璞珺,等. 松辽盆地松科 1 井上白垩统四方台组沉积序列厘米级精细刻画:岩性·岩相·旋回[J]. *地学前缘*, 2011, 18(6):285-328.
- [16] 程日辉, 王国栋, 王璞珺,等. 松科 1 井南孔白垩系姚家组沉积序列精细描述:岩石地层、沉积相与旋回地层[J]. *地学前缘*, 2009(2):272-287.
- [17] 陈章明, 万龙贵. 古地层厚度计算方法的探讨[J]. *石油与天然气地质*, 1984, 5(1):47-54.
- [18] 陈发景. 前陆盆地分析[M]. 地质出版社, 2007.
- [19] 陈发景, 汪新文, 杨杰. 伸展断陷盆地分析[M]. 地质出版社, 2004.
- [20] 方石, 张志强, 刘招君,等. 松辽盆地新生代热演化及地层定年[J]. *吉林大学学报(地)*, 2007, 37(5):923-928.
- [21] 高有峰, 瞿雪姣, 蒋丽君,等. 松辽盆地白垩系大陆科学钻探松科 2 井钻遇地层界面及岩性剖面预测[J]. *地学前缘*, 2017(1):242-256.
- [22] 高有峰. 松辽盆地上白垩统事件沉积与高分辨率层序地层[D]. 吉林大学, 2010.
- [23] 高有峰. 松辽盆地陆相白垩系科学钻探—“松科 1 井”南孔岩石学特征研究[D]. 吉林大学, 2007.
- [24] 高翔, 高有峰, 瞿雪姣,等. 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[J]. *地学前缘*, 2017(1):265-275.

- [25] 高有峰, 王璞珺, 程日辉,等. 松科 1 井南孔白垩系青山口组一段沉积序列精细描述:岩石地层、沉积相与旋回地层[J]. 地学前缘, 2009(2):288-313.
- [26] 高有峰, 王璞珺, 程日辉,等. 松辽盆地松科 1 井上白垩统嫩江组一、二段沉积序列厘米级精细刻画:岩性·岩相·旋回[J]. 地学前缘, 2011, 18(6):195-217.
- [27] 高有峰, 王璞珺, 王成善,等. 松科 1 井南孔选址、岩心剖面特征与特殊岩性层的分布[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(5):669-675.
- [28] 高有峰, 王成善, 王璞珺,等. 松科 1 井北孔选址、岩心剖面特征与特殊岩性层的分布[J]. 地学前缘, 2009, 16(6):104-112.
- [29] 郝治纯. 中国地层.12,中国的白垩系[M]. 地质出版社, 1986.
- [30] 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.
- [31] 黄玉龙, 单俊峰, 边伟华,等. 辽河拗陷中基性火成岩相分类及储集意义[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(6):671-680.
- [32] 黄玉龙, 王璞珺, 舒萍,等. 松辽盆地营城组中基性火山岩储层特征及成储机理[J]. 岩石学报, 2010, 26(1):82-92.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] 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.

- [40]李兆鼎,王碧香,王富宝,等. 火山岩(熔岩)的分类和命名[C]// 中国地质科学院文集. 1989.
- [41]陆克政. 含油气盆地分析[M]. 石油大学出版社, 2001.
- [42]李思田. 沉积盆地分析基础与应用[M]. 高等教育出版社, 2004.
- [43]蒙启安,黄清华,万晓樵,等. 松辽盆地松科 1 井嫩江组磁极性带及其地质时代[J]. 地层学杂志, 2013, 37(2):139-143.
- [44]瞿雪姣,杨立伟,薛璇,等. 松辽盆地白垩系大陆科学钻探松科 2 井:井底温度、地层压力预测[J]. 地学前缘, 2017(1):257-264.
- [45]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].吉林大学 2015.1-112
- [46]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.
- [47]森田義人.新京附近に於ける地質的諸問題[J]. 滿洲地質協會誌第 3 號別刷,1942:1-8.
- [48]王淑英. 吉林省营城组孢粉组合[J]. 地层学杂志, 1989(1):34-39.
- [49]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.
- [50]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(1):216-228.
- [51]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, 26(1):33-46.
- [52]高有峰,王璞珺,程日辉,等. 松辽盆地松科 1 井上白垩统嫩江组一、二段沉积序列厘米级精细刻画:岩性·岩相·旋回[J]. 地学前缘, 2011, 18(6):195-217.
- [53]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, 26(4):17-22.
- [54]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), 2003, 33(4):449-456.
- [55]张静. 白垩纪大陆科学钻探中黑红转变的分子微生物学研究[D]. 中国地质

大学(北京), 2008.

- [56]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(2):3-13.
- [57]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]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(9):1248-1258.
- [58]中国地质学会岩石专业委员会火山岩分类命名小组.火山岩的分类和命名(熔岩部分)(国内推荐方案) [J].岩石矿物及测试,1984,3(4):289-300.
- [59]中国地质学会岩石专业委员会火山岩分类命名小组. 火山岩的分类和命名(熔岩部分)(国内推荐方案)[J]. 岩矿测试, 1984(4):3-14.
- [60]中国地质学会岩石专业委员会火山岩分类命名小组. 火山碎屑岩的分类和命名(国内推荐方案)[J]. 岩矿测试, 1984(4):15-23.

附录

附表 1 松科 2 井（1—压实率）表

20-130m 压实率模板（明水组二段）										
上覆 地层 厚度	砾岩 1-c (%)	砂质 砾岩 1-c (%)	粗砂 岩 1-c (%)	中砂 岩 1-c (%)	细砂 岩 1-c (%)	粉砂 岩 1-c (%)	泥质 粉砂 岩 1-c (%)	粉砂 质泥 岩 1-c (%)	泥岩/ 煤 1-c (%)	火山 岩 1-c (%)
0.1	92.87	89.78	89.38	87.83	87.02	80.9	75.46	70.8	65.36	95
100	92.21	89.42	88.34	86.66	85.25	81.04	73.06	66.21	58.22	95
200	91.18	88.84	86.68	84.81	82.32	75.72	64.93	55.68	44.89	95
400	90.61	88.52	85.77	83.79	80.64	72.52	59.98	49.24	36.7	95
600	90.41	88.41	85.46	83.43	80.04	71.36	58.19	46.89	33.71	95
800	90.31	88.35	85.29	83.25	79.74	70.77	57.26	45.67	32.16	95
1000	90.25	88.32	85.2	83.14	79.56	70.4	56.69	44.93	31.22	95
1200	90.21	88.3	85.13	83.07	79.43	70.16	56.3	44.43	30.58	95
130-245m 压实率模板（明水组一段）										
上覆 地层 厚度	砾岩 1-c (%)	砂质 砾岩 1-c (%)	粗砂 岩 1-c (%)	中砂 岩 1-c (%)	细砂 岩 1-c (%)	粉砂 岩 1-c (%)	泥质 粉砂 岩 1-c (%)	粉砂 质泥 岩 1-c (%)	泥岩/ 煤 1-c (%)	火山 岩 1-c (%)
0.1	91.27	88.89	86.83	84.97	82.58	74.36	64.33	55.72	45.69	95
100	92.21	89.42	88.34	86.66	85.25	81.04	73.06	66.21	58.22	95
200	91.18	88.84	86.68	84.81	82.32	75.72	64.93	55.68	44.89	95
400	90.61	88.52	85.77	83.79	80.64	72.52	59.98	49.24	36.7	95
600	90.41	88.41	85.46	83.43	80.04	71.36	58.19	46.89	33.71	95
800	90.31	88.35	85.29	83.25	79.74	70.77	57.26	45.67	32.16	95
1000	90.25	88.32	85.2	83.14	79.56	70.4	56.69	44.93	31.22	95
1200	90.21	88.3	85.13	83.07	79.43	70.16	56.3	44.43	30.58	95
245-435m 压实率模板（四方台组）										
上覆 地层 厚度	砾岩 1-c (%)	砂质 砾岩 1-c (%)	粗砂 岩 1-c (%)	中砂 岩 1-c (%)	细砂 岩 1-c (%)	粉砂 岩 1-c (%)	泥质 粉砂 岩 1-c (%)	粉砂 质泥 岩 1-c (%)	泥岩/ 煤 1-c (%)	火山 岩 1-c (%)
0.1	90.72	88.58	85.95	83.99	80.98	72	60.06	49.82	37.87	95
100	92.21	89.42	88.34	86.66	85.25	81.04	73.06	66.21	58.22	95
200	91.18	88.84	86.68	84.81	82.32	75.72	64.93	55.68	44.89	95
400	90.61	88.52	85.77	83.79	80.64	72.52	59.98	49.24	36.7	95

600	90.41	88.41	85.46	83.43	80.04	71.36	58.19	46.89	33.71	95
800	90.31	88.35	85.29	83.25	79.74	70.77	57.26	45.67	32.16	95
1000	90.25	88.32	85.2	83.14	79.56	70.4	56.69	44.93	31.22	95
1200	90.21	88.3	85.13	83.07	79.43	70.16	56.3	44.43	30.58	95
435-615m 压实率模板（嫩五段）										
上覆 地层 厚度	砾岩 1-c (%)	砂质 砾岩 1-c (%)	粗砂 岩 1-c (%)	中砂 岩 1-c (%)	细砂 岩 1-c (%)	粉砂 岩 1-c (%)	泥质 粉砂 岩 1-c (%)	粉砂 质泥 岩 1-c (%)	泥岩/ 煤 1-c (%)	火山 岩 1-c (%)
0.1	90.45	88.43	85.52	83.5	80.16	70.81	57.85	46.74	33.78	95
100	92.12	89.37	88.19	86.5	85	80.6	72.38	65.34	57.12	95
200	91.12	88.81	86.6	84.71	82.17	75.44	64.49	55.11	44.17	95
400	90.58	88.51	85.73	83.74	80.56	72.36	59.74	48.92	36.29	95
600	90.39	88.4	85.43	83.4	79.99	71.25	58.01	46.66	33.42	95
800	90.29	88.35	85.27	83.23	79.7	70.68	57.12	45.5	31.94	95
1000	90.24	88.31	85.18	83.12	79.52	70.33	56.58	44.79	31.04	95
615-805m 压实率模板（嫩四段）										
上覆 地层 厚度	砾岩 1-c (%)	砂质 砾岩 1-c (%)	粗砂 岩 1-c (%)	中砂 岩 1-c (%)	细砂 岩 1-c (%)	粉砂 岩 1-c (%)	泥质 粉砂 岩 1-c (%)	粉砂 质泥 岩 1-c (%)	泥岩/ 煤 1-c (%)	火山 岩 1-c (%)
0.1	90.33	88.36	85.32	83.28	79.79	70.26	56.83	45.32	31.88	95
100	92.12	89.37	88.19	86.5	85	80.6	72.38	65.34	57.12	95
200	91.12	88.81	86.6	84.71	82.17	75.44	64.49	55.11	44.17	95
400	90.58	88.51	85.73	83.74	80.56	72.36	59.74	48.92	36.29	95
600	90.39	88.4	85.43	83.4	79.99	71.25	58.01	46.66	33.42	95
800	90.29	88.35	85.27	83.23	79.7	70.68	57.12	45.5	31.94	95
1000	90.24	88.31	85.18	83.12	79.52	70.33	56.58	44.79	31.04	95
805-950m 压实率模板（嫩三段）										
上覆 地层 厚度	砾岩 1-c (%)	砂质 砾岩 1-c (%)	粗砂 岩 1-c (%)	中砂 岩 1-c (%)	细砂 岩 1-c (%)	粉砂 岩 1-c (%)	泥质 粉砂 岩 1-c (%)	粉砂 质泥 岩 1-c (%)	泥岩/ 煤 1-c (%)	火山 岩 1-c (%)
0.1	90.27	88.33	85.23	83.18	79.62	70.01	56.35	44.64	30.98	95
100	92.12	89.37	88.19	86.5	85	80.6	72.38	65.34	57.12	95
200	91.12	88.81	86.6	84.71	82.17	75.44	64.49	55.11	44.17	95
400	90.58	88.51	85.73	83.74	80.56	72.36	59.74	48.92	36.29	95
600	90.39	88.4	85.43	83.4	79.99	71.25	58.01	46.66	33.42	95
800	90.29	88.35	85.27	83.23	79.7	70.68	57.12	45.5	31.94	95
1000	90.24	88.31	85.18	83.12	79.52	70.33	56.58	44.79	31.04	95
950-1140m 模板（嫩二段）										

上覆 地层 厚度	砾岩 1-c (%)	砂质 砾岩 1-c (%)	粗砂 岩 1-c (%)	中砂 岩 1-c (%)	细砂 岩 1-c (%)	粉砂 岩 1-c (%)	泥质 粉砂 岩 1-c (%)	粉砂 质泥 岩 1-c (%)	泥岩/ 煤 1-c (%)	火山 岩 1-c (%)
0.1	90.23	88.31	85.16	83.11	79.49	69.82	55.99	44.14	30.31	95
100	92.12	89.37	88.19	86.5	85	80.6	72.38	65.34	57.12	95
200	91.12	88.81	86.6	84.71	82.17	75.44	64.49	55.11	44.17	95
400	90.58	88.51	85.73	83.74	80.56	72.36	59.74	48.92	36.29	95
600	90.39	88.4	85.43	83.4	79.99	71.25	58.01	46.66	33.42	95
800	90.29	88.35	85.27	83.23	79.7	70.68	57.12	45.5	31.94	95
1000	90.24	88.31	85.18	83.12	79.52	70.33	56.58	44.79	31.04	95
1140-1245m 压实率模板（嫩一段）										
上覆 地层 厚度	砾岩 1-c (%)	砂质 砾岩 1-c (%)	粗砂 岩 1-c (%)	中砂 岩 1-c (%)	细砂 岩 1-c (%)	粉砂 岩 1-c (%)	泥质 粉砂 岩 1-c (%)	粉砂 质泥 岩 1-c (%)	泥岩/ 煤 1-c (%)	火山 岩 1-c (%)
0.1	90	88.18	84.8	82.7	78.8	68.9	54.34	41.86	27.3	95
100	92.12	89.37	88.19	86.5	85	80.6	72.38	65.34	57.12	95
200	91.12	88.81	86.6	84.71	82.17	75.44	64.49	55.11	44.17	95
400	90.58	88.51	85.73	83.74	80.56	72.36	59.74	48.92	36.29	95
600	90.39	88.4	85.43	83.4	79.99	71.25	58.01	46.66	33.42	95
800	90.29	88.35	85.27	83.23	79.7	70.68	57.12	45.5	31.94	95
1000	90.24	88.31	85.18	83.12	79.52	70.33	56.58	44.79	31.04	95
1245-1765m 模板（姚家组）										
上覆 地层 厚度	砾岩 1-c (%)	砂质 砾岩 1-c (%)	粗砂 岩 1-c (%)	中砂 岩 1-c (%)	细砂 岩 1-c (%)	粉砂 岩 1-c (%)	泥质 粉砂 岩 1-c (%)	粉砂 质泥 岩 1-c (%)	泥岩/ 煤 1-c (%)	火山 岩 1-c (%)
0.1	90	88.18	84.8	82.7	78.8	68.9	54.34	41.86	27.3	95
100	92.21	89.42	88.34	86.66	85.25	81.04	73.06	66.21	58.22	95
200	91.18	88.84	86.68	84.81	82.32	75.72	64.93	55.68	44.89	95
400	90.61	88.52	85.77	83.79	80.64	72.52	59.98	49.24	36.7	95
600	90.41	88.41	85.46	83.43	80.04	71.36	58.19	46.89	33.71	95
800	90.31	88.35	85.29	83.25	79.74	70.77	57.26	45.67	32.16	95
1000	90.25	88.32	85.2	83.14	79.56	70.4	56.69	44.93	31.22	95
1200	90.21	88.3	85.13	83.07	79.43	70.16	56.3	44.43	30.58	95
1765-2965m 模板（青山口组、登娄库组与泉头组）										
上覆 地层 厚度	砾岩 1-c (%)	砂质 砾岩 1-c (%)	粗砂 岩 1-c (%)	中砂 岩 1-c (%)	细砂 岩 1-c (%)	粉砂 岩 1-c (%)	泥质 粉砂 岩 1-c (%)	粉砂 质泥 岩 1-c (%)	泥岩/ 煤 1-c (%)	火山 岩 1-c (%)

0.1	90	88.18	84.8	82.7	78.8	68.9	54.34	41.86	27.3	95
100	92.12	89.37	88.19	86.5	85	80.6	72.38	65.34	57.12	95
200	91.12	88.81	86.6	84.71	82.17	75.44	64.49	55.11	44.17	95
400	90.58	88.51	85.73	83.74	80.56	72.36	59.74	48.92	36.29	95
600	90.39	88.4	85.43	83.4	79.99	71.25	58.01	46.66	33.42	95
800	90.29	88.35	85.27	83.23	79.7	70.68	57.12	45.5	31.94	95
1000	90.24	88.31	85.18	83.12	79.52	70.33	56.58	44.79	31.04	95
2965-3336m 模板 (营城组)										
上覆 地层 厚度	砾岩 1-c (%)	砂质 砾岩 1-c (%)	粗砂 岩 1-c (%)	中砂 岩 1-c (%)	细砂 岩 1-c (%)	粉砂 岩 1-c (%)	泥质 粉砂 岩 1-c (%)	粉砂 质泥 岩 1-c (%)	泥岩/ 煤 1-c (%)	火山 岩 1-c (%)
0.1	90	88.18	84.8	82.7	78.8	68.9	54.34	41.86	27.3	95
100	92.05	89.33	88.08	86.37	84.81	80.27	71.88	64.69	56.3	95
200	91.09	88.79	86.54	84.65	82.05	75.23	64.17	54.69	43.64	95
400	90.56	88.49	85.7	83.7	80.5	72.24	59.55	48.68	35.99	95
600	90.38	88.39	85.4	83.37	79.95	71.17	57.89	46.5	33.21	95
800	90.28	88.34	85.26	83.21	79.67	70.62	57.03	45.37	31.78	95
1000	90.23	88.31	85.17	83.11	79.5	70.28	56.5	44.69	30.91	95
3336-6240m 模板 (沙河子组与火石岭组)										
上覆 地层 厚度	砾岩 1-c (%)	砂质 砾岩 1-c (%)	粗砂 岩 1-c (%)	中砂 岩 1-c (%)	细砂 岩 1-c (%)	粉砂 岩 1-c (%)	泥质 粉砂 岩 1-c (%)	粉砂 质泥 岩 1-c (%)	泥岩/ 煤 1-c (%)	火山 岩 1-c (%)
0.1	90	88.18	84.8	82.7	78.8	68.9	54.34	41.86	27.3	95
100	91.79	89.18	87.67	85.91	84.09	78.97	69.91	62.15	53.08	95
200	90.94	88.71	86.31	84.39	81.63	74.43	62.94	53.09	41.6	95
400	90.48	88.45	85.57	83.57	80.27	71.8	58.86	47.78	34.84	95
600	90.32	88.36	85.32	83.28	79.79	70.86	57.41	45.87	32.42	95
800	90.24	88.32	85.19	83.14	79.55	70.39	56.66	44.9	31.17	95
1000	90.2	88.29	85.11	83.05	79.4	70.09	56.21	44.3	30.42	95

附表 2 松科 2 井沉降史编程 VBA 程序表

Public Function average(x() As Single, length As Long) As Single

Dim i As Long

Dim sum As Single

sum = 0

For i = 0 To length

```

sum = sum + x(i)

Next i

average = sum / (length + 1)

End Function

Public Function sum(x() As Single, length As Long) As Single

Dim i As Long

sum = 0

For i = 0 To length

sum = sum + x(i)

Next i

End Function

Sub 提取数据()

Dim RowMax, i, j, k, row, BottomRow, TopRow As Integer

Dim BolderThickness, SandyBolderThickness, LargerSandThickness,
MidSandThickness, FineSandThickness, SiltThickness, MuddySiltThickness,
SiltyMudthickness, MudThickness, Other As Single

Dim Petro(1 To 10) As Single

Dim IntervalThickness(0 To 6) As Single

Dim temp As Single

Dim Interval, Depth, TotalThickness As Single

Dim IntervalNumber As Integer

Dim p As String

Dim xDepth(0 To 6) As Single

'定义模板工作表

Dim GroupNumber, Formation As Integer

Dim GroupDepth(1 To 12) As Single

Dim TemplateWB As Workbook

Dim Templatesheet As Worksheet

```

Dim Directory As String

'定义直线的泄露和截距

Dim w, b As Double

Dim l1, l2 As Double

Dim DepthMin, DepthMax As Single

'定义循环次数

Dim n, nMax As Integer

Worksheets("sheet1").Activate

'赋值一些变量的初值

xDepth(0) = Log(0.1)

xDepth(1) = Log(100)

xDepth(2) = Log(200)

xDepth(3) = Log(400)

xDepth(4) = Log(600)

xDepth(5) = Log(800)

xDepth(6) = Log(1000)

'生成间隔数据

p = "请输入间距， " & Chr(13) & "然后单击“确定”或“取消”按钮。 "

Interval = Val(InputBox(p, "提取间距数据"))

If Interval Then

Interval = Interval

Else

Interval = 30

End If

'开始一些参数的赋初值

IntervalNumber = 1

TotalThickness = 0

Range("B4").End(xlDown).Select

```
RowMax = Range("B4").End(xlDown).row
row = RowMax
'BottomRow = RowMax
'DepthMin = Cells(2, 1).Value
'DepthMax = Cells(RowMax, 2).Value
'nMax = Int((DepthMax - DepthMin) / Interval) + 1
'加载模板文件
Application.ScreenUpdating = False
Directory = ThisWorkbook.Path
Set TemplateWB = GetObject(Directory & "\" & "编程用模板.xlsx")
'组名赋初值
GroupNumber = 1
Formation = 1
GroupDepth(1) = Worksheets("sheet2").Cells(2, 2).Value
GroupDepth(2) = Worksheets("sheet2").Cells(4, 2).Value
GroupDepth(3) = Worksheets("sheet2").Cells(7, 2).Value
GroupDepth(4) = Worksheets("sheet2").Cells(11, 2).Value
GroupDepth(5) = Worksheets("sheet2").Cells(16, 2).Value
GroupDepth(6) = Worksheets("sheet2").Cells(17, 2).Value
GroupDepth(7) = Worksheets("sheet2").Cells(18, 2).Value
GroupDepth(8) = Worksheets("sheet2").Cells(19, 2).Value
GroupDepth(9) = Worksheets("sheet2").Cells(20, 2).Value
GroupDepth(10) = Worksheets("sheet2").Cells(21, 2).Value
GroupDepth(11) = Worksheets("sheet2").Cells(22, 2).Value
GroupDepth(12) = Worksheets("sheet2").Cells(23, 2).Value
'打印抬头
Debug.Print "w", "b", "row", "Formation", "GroupNumber" & Chr(13)
```


'开始循环

While row <> 1

'厚度赋初值

BolderThickness = 0

SandyBolderThickness = 0

LargerSandThickness = 0

MidSandThickness = 0

FineSandThickness = 0

SiltThickness = 0

MuddySiltThickness = 0

SiltyMudthickness = 0

MudThickness = 0

Other = 0

'设置模板工作表

Set Templatesheet = TemplateWB.Sheets(GroupNumber)

'每个间距的最后一行

BottomRow = row

'获取间隔的顶底行

Depth = Cells(row, 2).Value - Interval

If Depth <= Worksheets("sheet2").Cells(Formation + 1, 3).Value Then

Depth = Worksheets("sheet2").Cells(Formation + 1, 3).Value

If GroupNumber <> 12 Then

If GroupDepth(GroupNumber+1)= Worksheets("sheet2").Cells(Formation + 1,

3).Value Then

GroupNumber = GroupNumber + 1

End If

End If

Formation = Formation + 1

Else

Depth = Depth

End If

While Depth < Cells(row, 1)

row = row - 1

Wend

'Cells(i, 4).Value = i

If Abs(Cells(row, 1) - Depth) < 0.05 Then

row = row

Else

Rows(row + 1).Insert

Cells(row + 1, 2).Value = Cells(row, 2).Value

Cells(row + 1, 3).Value = Cells(row, 3).Value

Cells(row + 1, 1).Value = Depth

Cells(row, 2).Value = Depth

row = row + 1

BottomRow = BottomRow + 1

End If

TopRow = row

TotalThickness = TotalThickness + (Cells(BottomRow, 2).Value - Cells(TopRow, 1).Value)

```

Cells(i, 4).Value = i
Debug.Print TopRow, BottomRow

'开始计算各种岩性厚度
For i = BottomRow To TopRow Step -1
    If Right(Cells(i, 3).Value, 2) = "砾岩" And Right(Cells(i, 3).Value, 4) <> "砂质砾岩" And Right(Cells(i, 3).Value, 3) <> "砂砾岩" Then
        BolderThickness = BolderThickness + Round((Cells(i, 2).Value - Cells(i, 1)), 2)

    ElseIf Right(Cells(i, 3).Value, 4) = "砂质砾岩" Or Right(Cells(i, 3).Value, 4) = "含砾砂岩" Or Right(Cells(i, 3).Value, 5) = "细砾质砂岩" Or Right(Cells(i, 3).Value, 3) = "砂砾岩" Then
        SandyBolderThickness = SandyBolderThickness + Round((Cells(i, 2).Value - Cells(i, 1)), 2)

    ElseIf Right(Cells(i, 3).Value, 3) = "粗砂岩" Or Right(Cells(i, 3).Value, 3) = "凝灰岩" Or Right(Cells(i, 3).Value, 5) = "凝灰质砂岩" Or Right(Cells(i, 3).Value, 3) = "火山灰" Then
        LargerSandThickness = LargerSandThickness + Round((Cells(i, 2).Value - Cells(i, 1)), 2)

    ElseIf Right(Cells(i, 3).Value, 3) = "中砂岩" Then
        MidSandThickness = MidSandThickness + Round((Cells(i, 2).Value - Cells(i, 1)), 2)

```

ElseIf Right(Cells(i, 3).Value, 3) = "细砂岩" Or Right(Cells(i, 3).Value, 2) = "混杂" Or Right(Cells(i, 3).Value, 2) = "薄层" Then

FineSandThickness = FineSandThickness + Round((Cells(i, 2).Value - Cells(i, 1)), 2)

ElseIf Right(Cells(i, 3).Value, 3) = "粉砂岩" And Right(Cells(i, 3).Value, 5) <> "泥质粉砂岩" Then

SiltThickness = SiltThickness + Round((Cells(i, 2).Value - Cells(i, 1)), 2)

ElseIf Right(Cells(i, 3).Value, 5) = "泥质粉砂岩" Or Right(Cells(i, 3).Value, 5) = "凝灰质泥岩" Then

MuddySiltThickness = MuddySiltThickness + Round((Cells(i, 2).Value - Cells(i, 1)), 2)

ElseIf Right(Cells(i, 3).Value, 5) = "粉砂质泥岩" Then

SiltyMudthickness = SiltyMudthickness + Round((Cells(i, 2).Value - Cells(i, 1)), 2)

ElseIf Right(Cells(i, 3).Value, 2) = "泥岩" Or Right(Cells(i, 3).Value, 1) = "煤" Or Right(Cells(i, 3).Value, 2) = "互层" And Right(Cells(i, 3).Value, 5) <> "粉砂质泥岩" Then

MudThickness = MudThickness + Round((Cells(i, 2).Value - Cells(i, 1)), 2)

Else

Other = Other + Round((Cells(i, 2).Value - Cells(i, 1)), 2)

End If

Next i

'将各岩性厚度装入岩性数组 Petro 中

Petro(1) = BolderThickness

Petro(2) = SandyBolderThickness

Petro(3) = LargerSandThickness

Petro(4) = MidSandThickness

Petro(5) = FineSandThickness

Petro(6) = SiltThickness

Petro(7) = MuddySiltThickness

Petro(8) = SiltyMudthickness

Petro(9) = MudThickness

Petro(10) = Other

'Debug.Print BolderThickness, SandyBolderThickness, LargerSandThickness,
MidSandThickness, FineSandThickness, SiltThickness, MuddySiltThickness,
SiltyMudthickness, MudThickness, Other

temp = 0

For k = 1 To 10

Petro(k) = Petro(k) / (Templatesheet.Cells(2, k + 1).Value / 100)

temp = temp + Petro(k)

Next k

IntervalThickness(0) = temp

For j = 1 To 6

temp = 0

For k = 1 To 10

temp = temp + Petro(k) * (Templatesheet.Cells(j + 2, k + 1).Value / 100)

Next k

```

IntervalThickness(j) = temp
Next j
'For j = 0 To 6
'Debug.Print IntervalThickness(j)
'Next j
'开始求取直线的斜率和截距
l1 = 0
l2 = 0
For j = 0 To 6
    l1 = l1 + (xDepth(j) - average(xDepth, UBound(xDepth))) * (IntervalThickness(j)
- average(IntervalThickness, UBound(IntervalThickness)))
    l2 = l2 + (xDepth(j) - average(xDepth, UBound(xDepth))) * (xDepth(j) -
average(xDepth, UBound(xDepth)))
Next j
w = Round(l1 / l2, 3)
b = Round((average(IntervalThickness, UBound(IntervalThickness)) -
average(xDepth, UBound(xDepth)) * w), 3)

Debug.Print w, b, row, Formation, GroupNumber, Worksheets("sheet2").
Cells(Formation + 1, 3).Value, GroupDepth(GroupNumber + 1)

'生成最终数据

'原始数据
'Worksheets("sheet3").Cells(1, 1).Value = 0.1
'Worksheets("sheet3").Cells(2, 1).Value = w * xDepth(0) + b
Worksheets("sheet3").Cells(1, 1).Value = 0
Worksheets("sheet3").Cells(1, IntervalNumber+1).Value=TotalThickness

```

```

Worksheets("sheet4").Cells(IntervalNumber+1,1).Value=TotalThickness
Worksheets("sheet4").Cells(IntervalNumber + 1, 2).Value = w
Worksheets("sheet4").Cells(IntervalNumber + 1, 3).Value = b
'开始下一个循环
IntervalNumber = IntervalNumber + 1
row = row - 1

'结束最大的循环
Wend

Call 最终生成数据
End Sub
Sub 最终生成数据()
Dim MySheetWB, Mysheet As Worksheet
Dim IntervalNumber, i, k As Integer
Set MySheetWB = Worksheets("sheet4")
Set Mysheet = Worksheets("sheet3")
IntervalNumber = MySheetWB.Range("B4").End(xlDown).row - 1
For i = 1 To IntervalNumber
    Mysheet.Cells(2, i).Value = MySheetWB.Cells(i + 1, 2).Value * Log(0.1) +
MySheetWB.Cells(i + 1, 3).Value
Next i
For i = 1 To IntervalNumber
    For k = 1 To IntervalNumber + 1 - i
        If (MySheetWB.Cells(i + 1, 2).Value * Log(Mysheet.Cells(1, i + k).Value -
Mysheet.Cells(1, i).Value) + MySheetWB.Cells(i + 1, 3).Value) > (Mysheet.Cells(1, i
+ 1).Value - Mysheet.Cells(1, i).Value) Then
            Mysheet.Cells(k + 2, i + k).Value = MySheetWB.Cells(i + 1, 2).Value *

```

```
Log(Mysheet.Cells(1, i + k).Value - Mysheet.Cells(1, i).Value) + MySheetWB.Cells(i  
+ 1, 3).Value
```

```
Else
```

```
Mysheet.Cells(k + 2, i + k).Value = Mysheet.Cells(1, i + 1).Value -  
Mysheet.Cells(1, i).Value
```

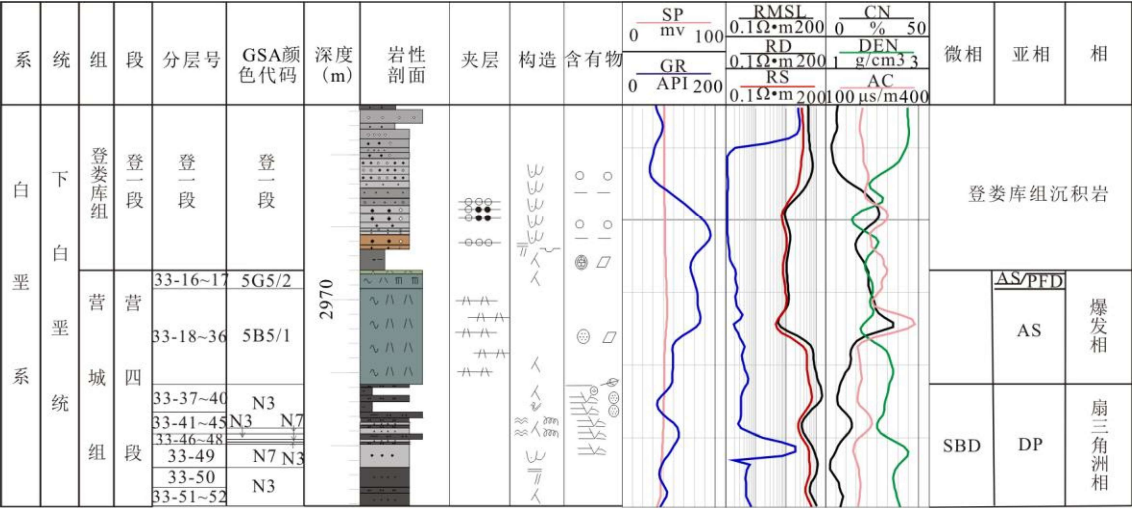
```
End If
```

```
Next k
```

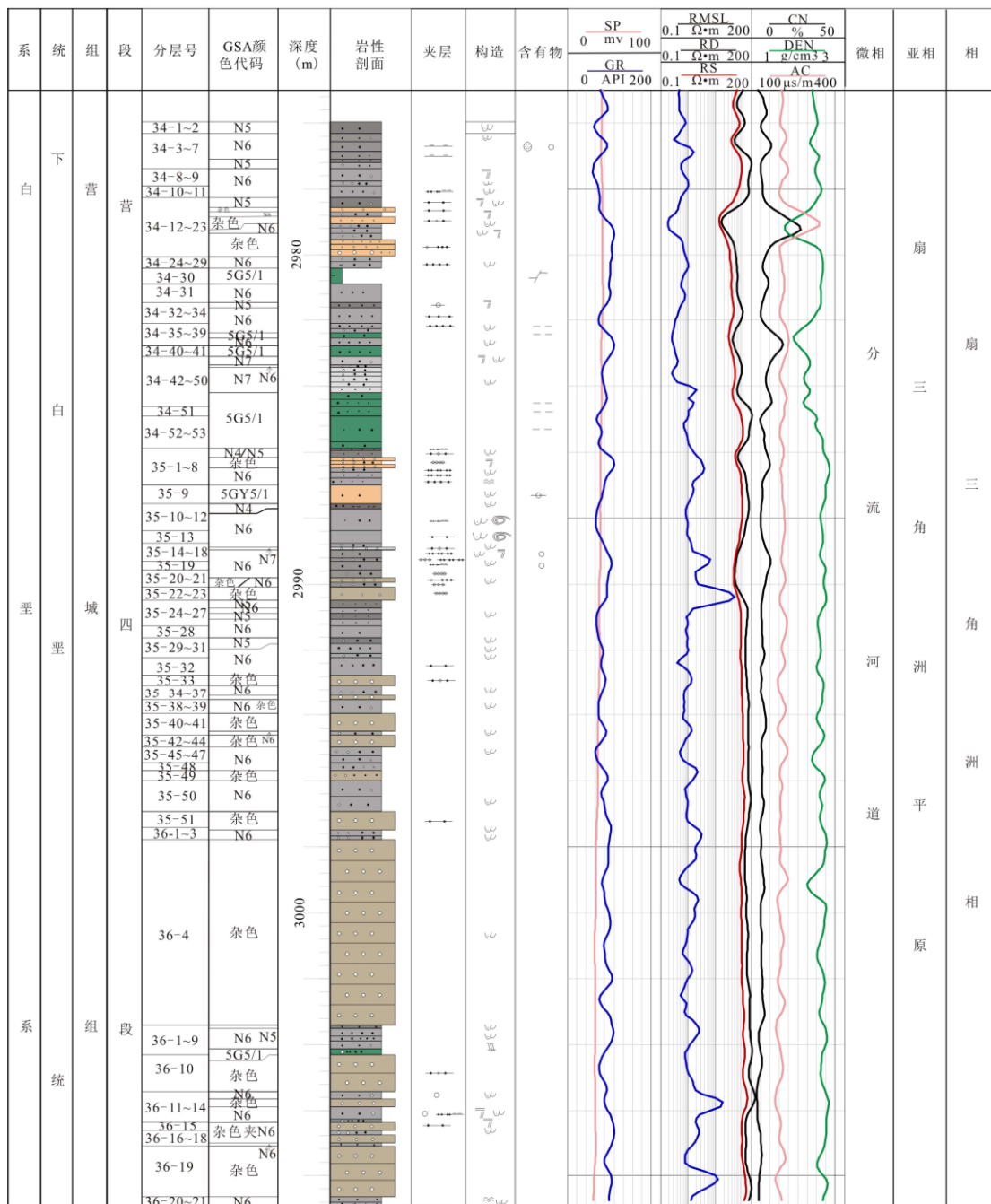
```
Next i
```

```
End Sub
```

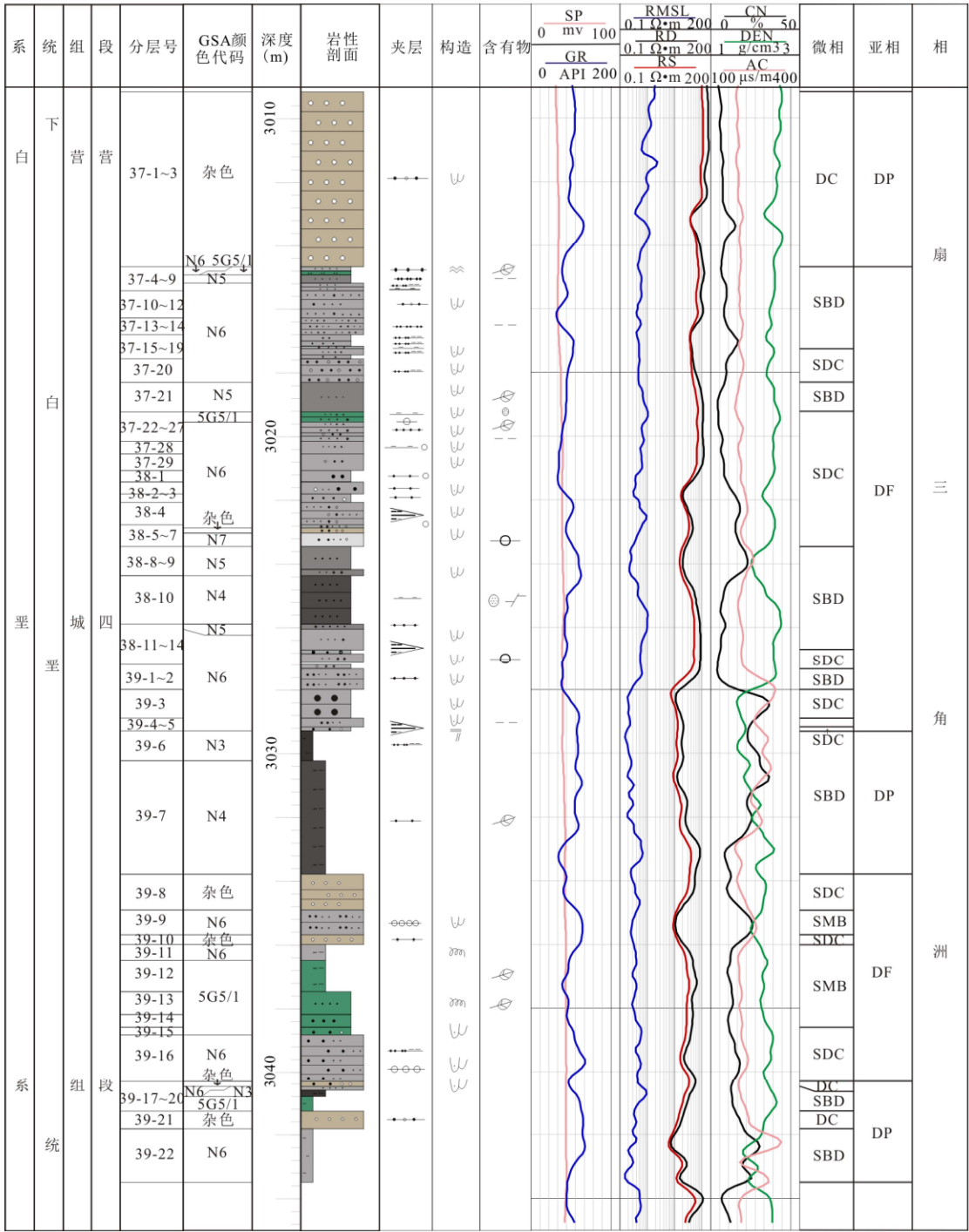
以下为松科 2 井营城组精细描述柱状图，总计 12 张。



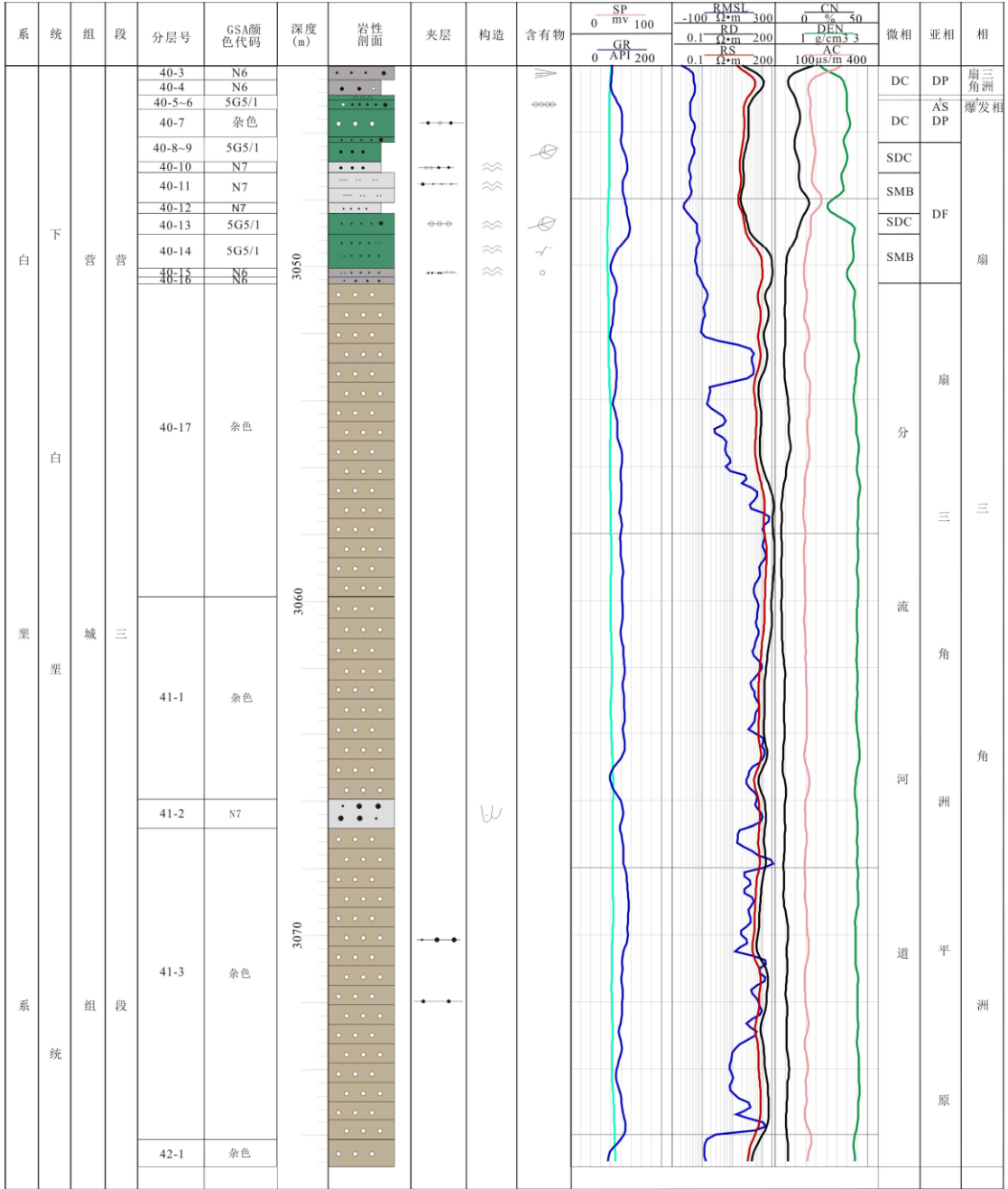
附图 1 松科 2 井营城组精细描述柱状图（1）



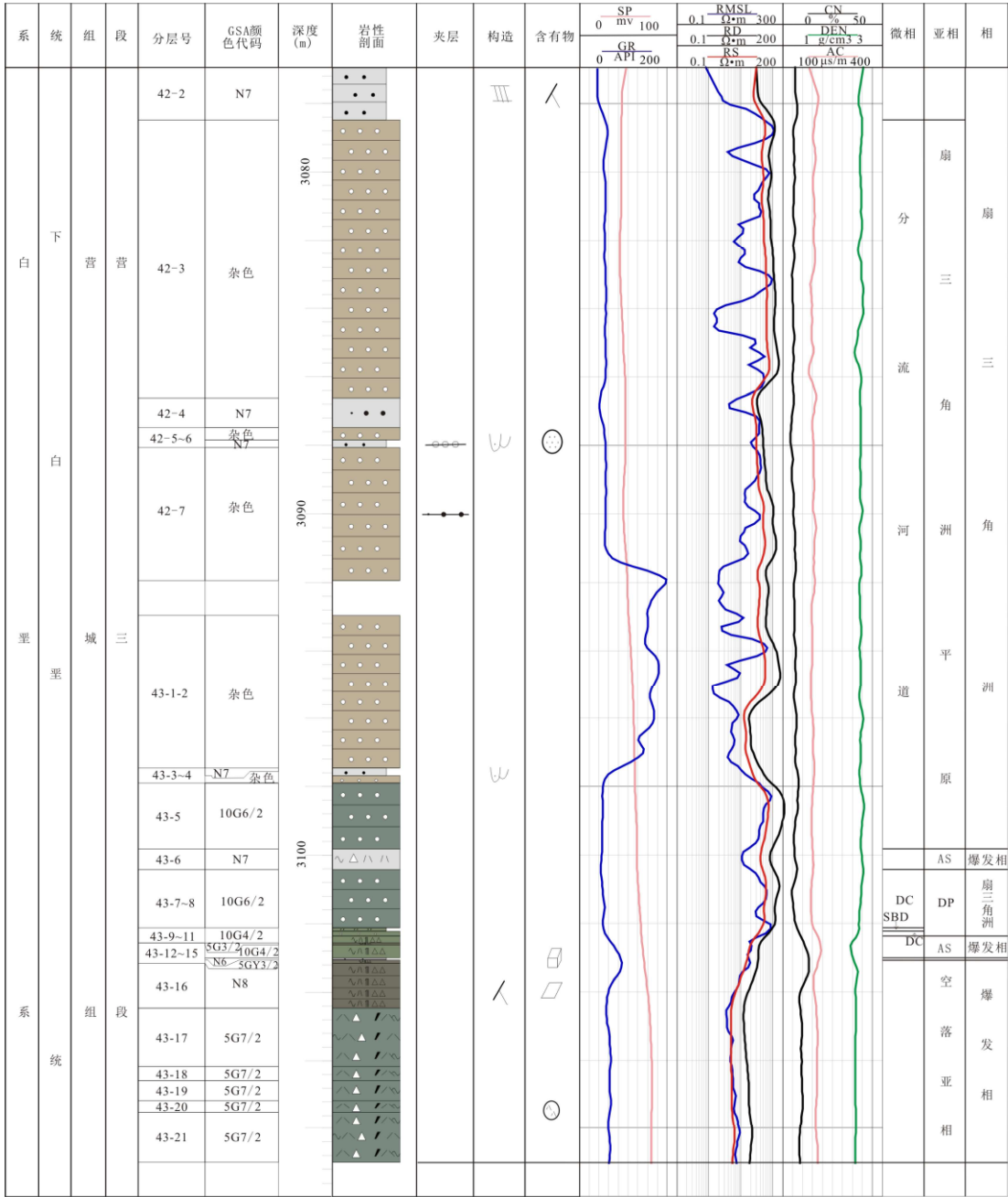
附图 2 松科 2 井营城组精细描述 (2)



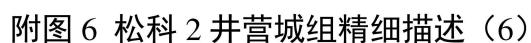
附图 3 松科 2 井营城组精细描述 (3)

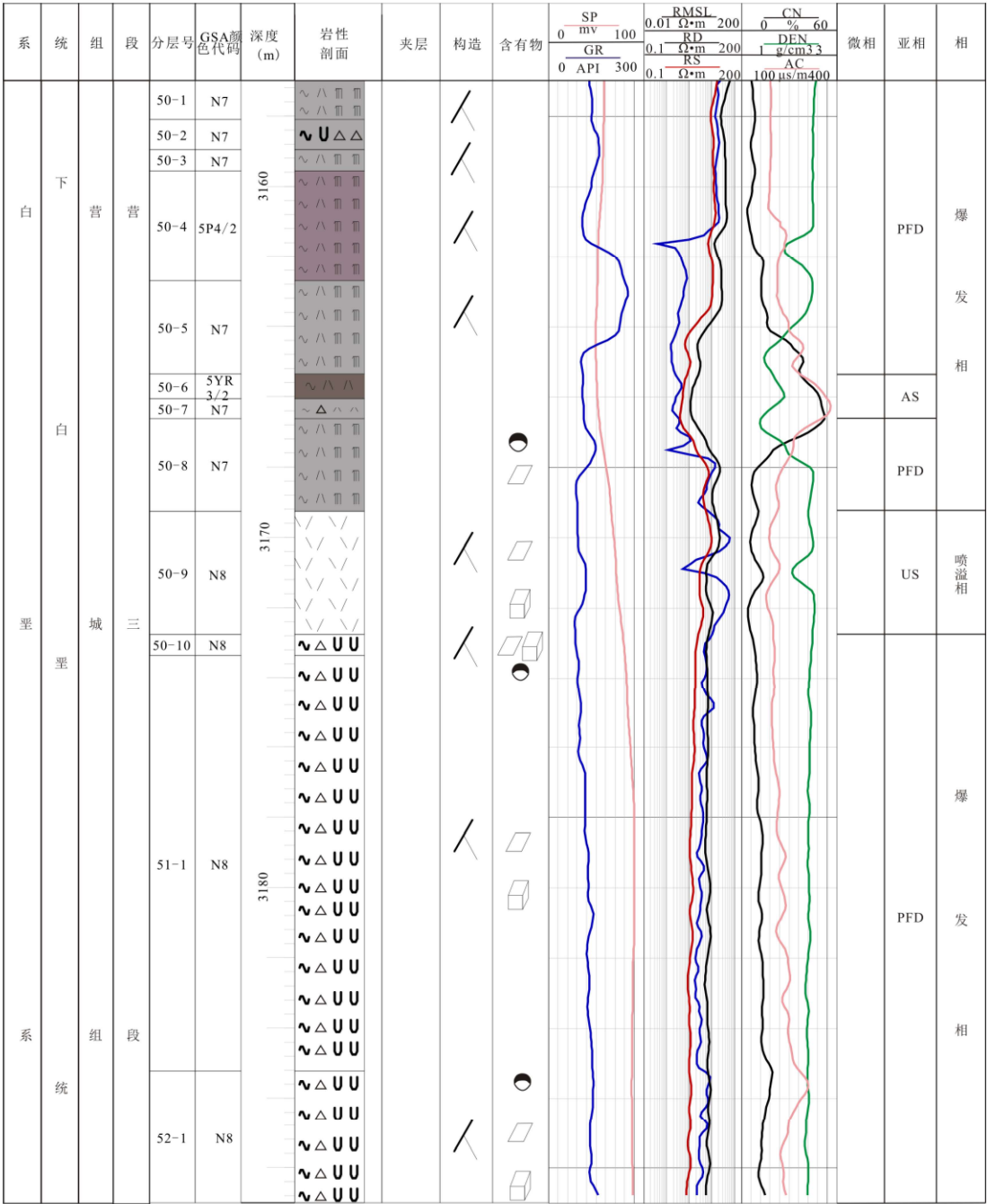


附图 4 松科 2 井营城组精细描述（4）

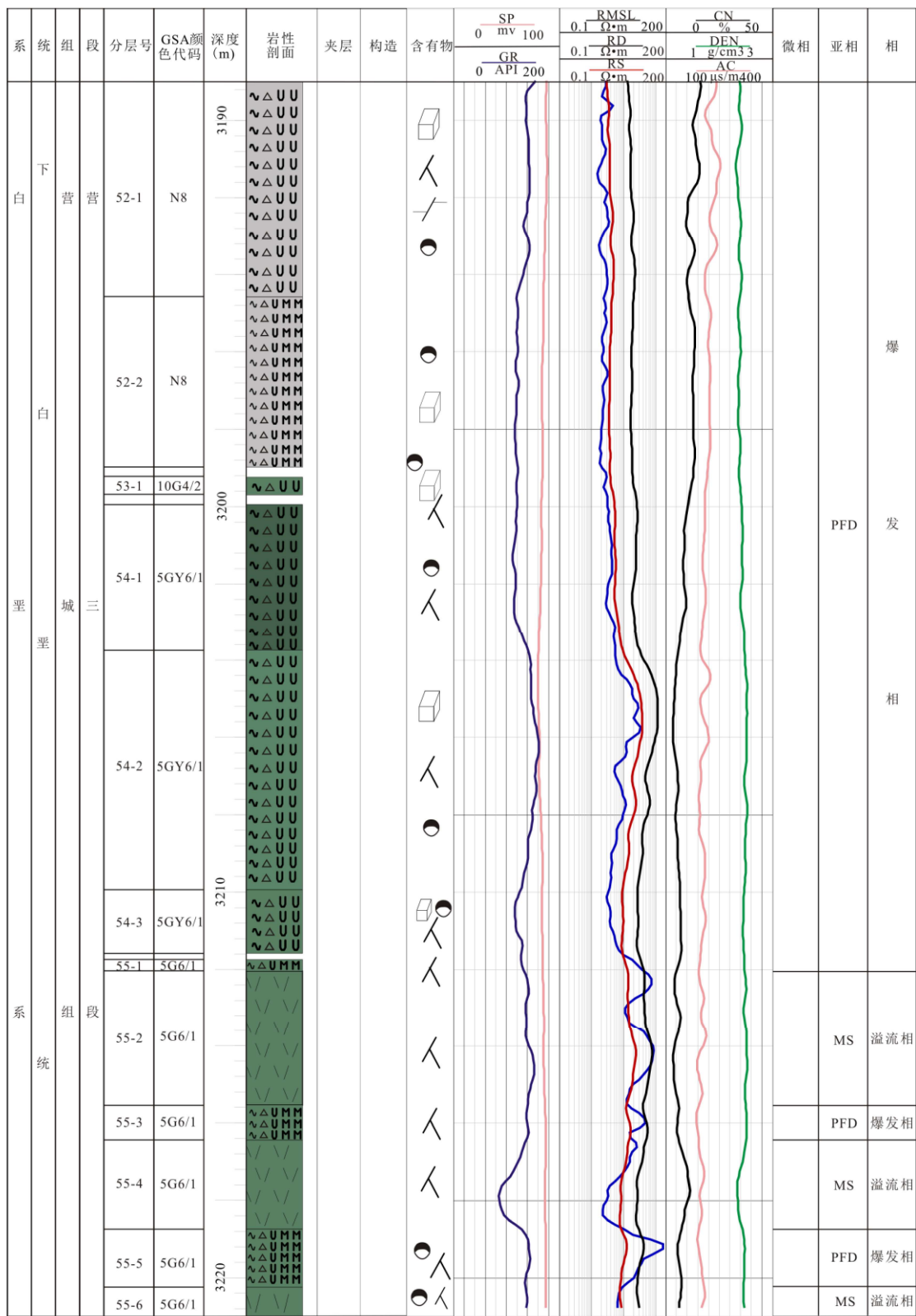


附图 5 松科 2 井营城组精细描述（5）



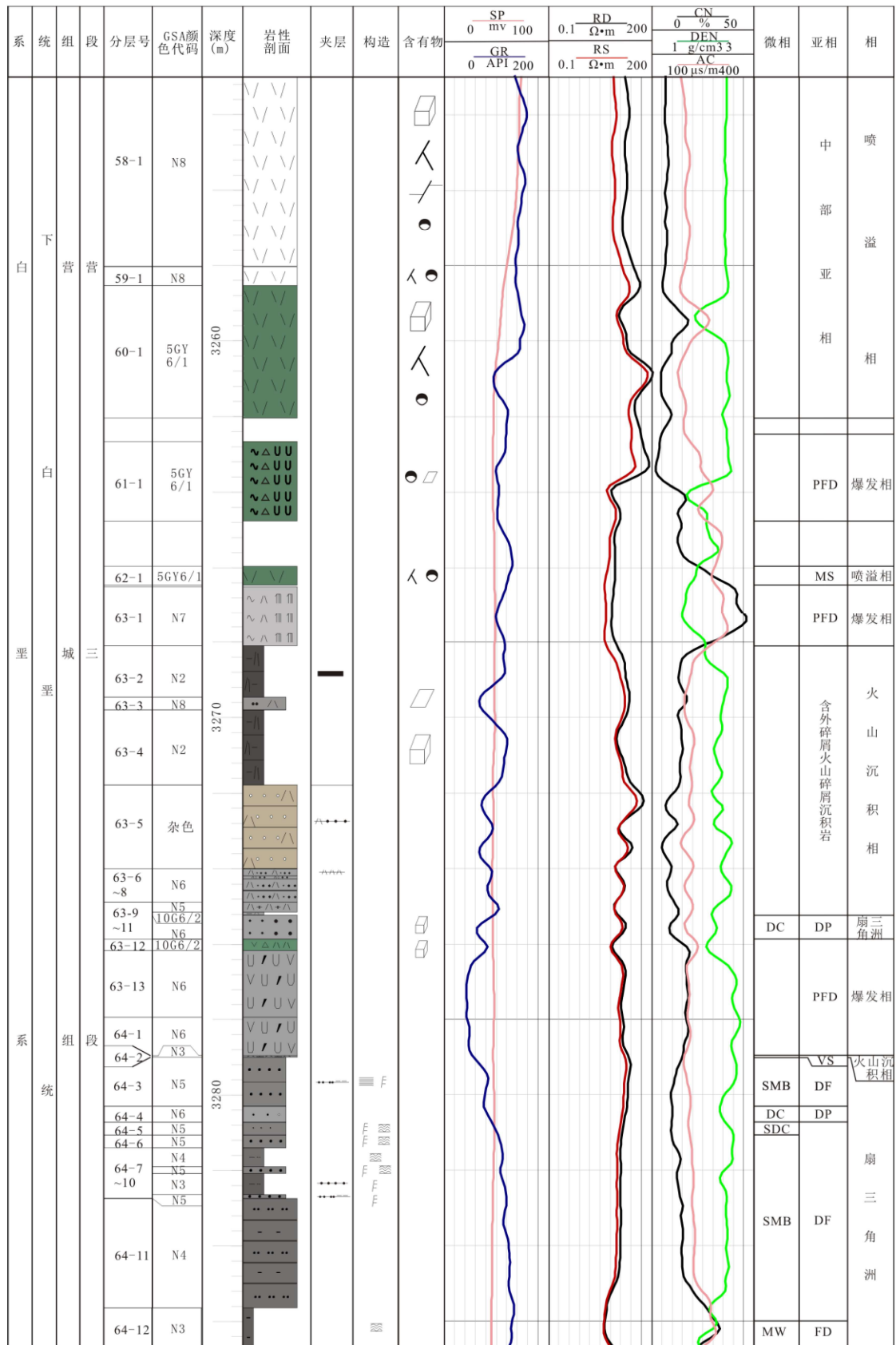


附图 7 松科 2 井营城组精细描述（7）

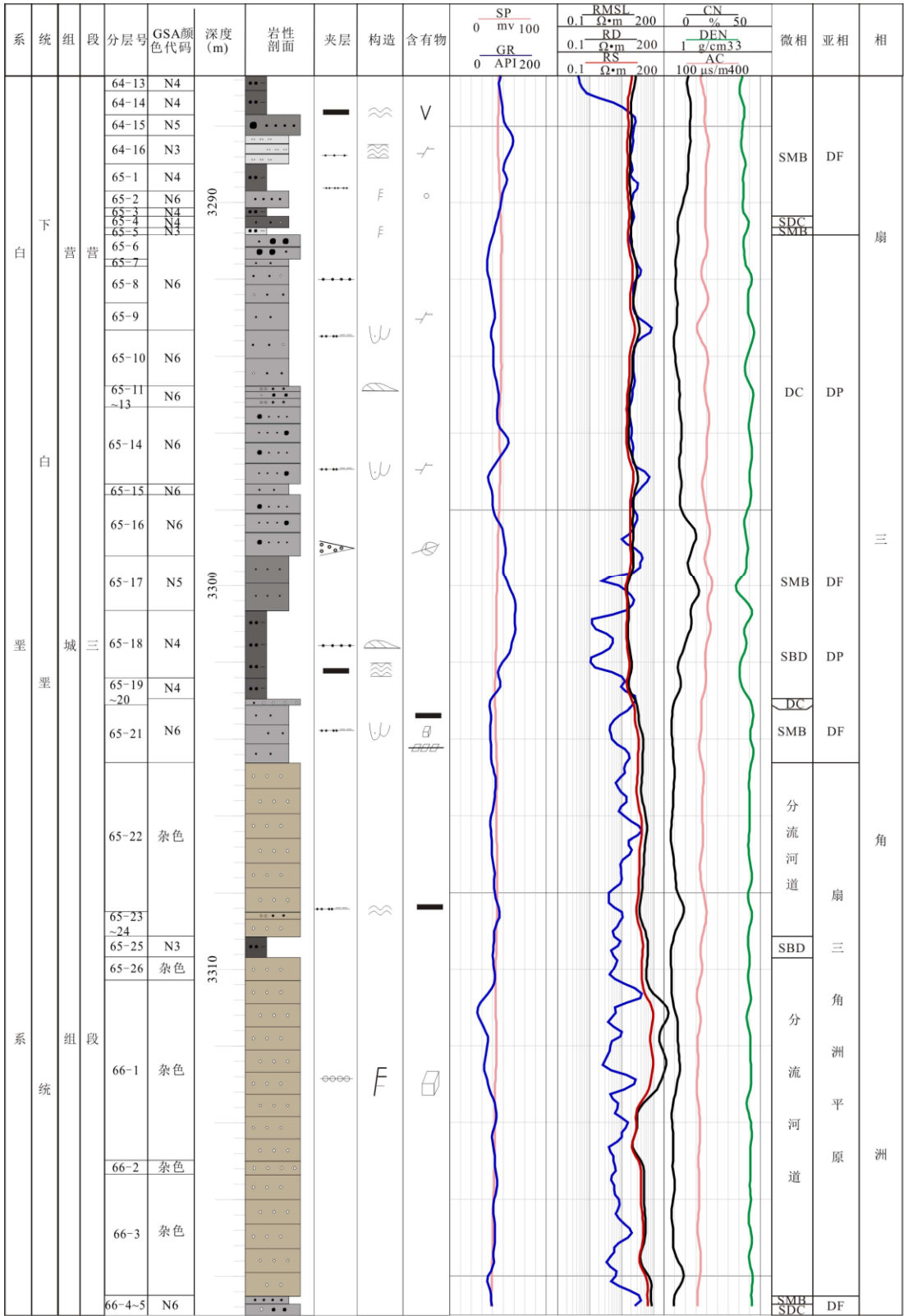


附图 8 松科 2 井营城组精细描述 (8)

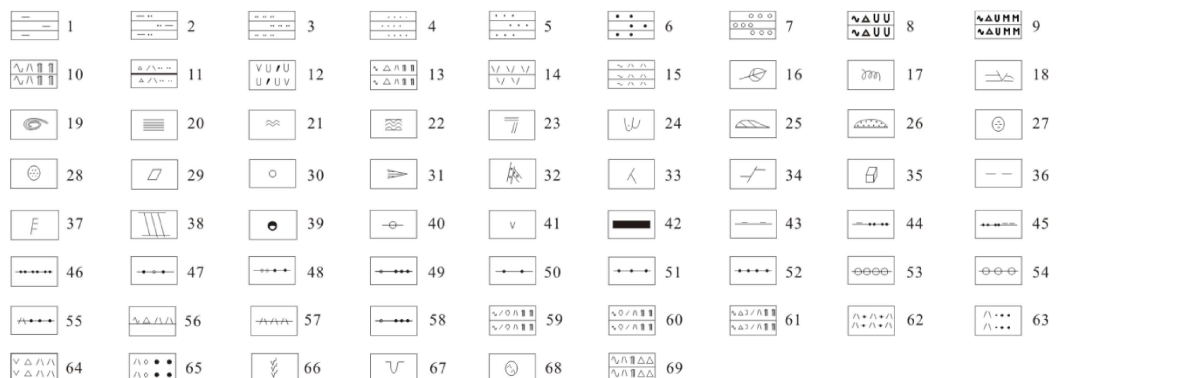
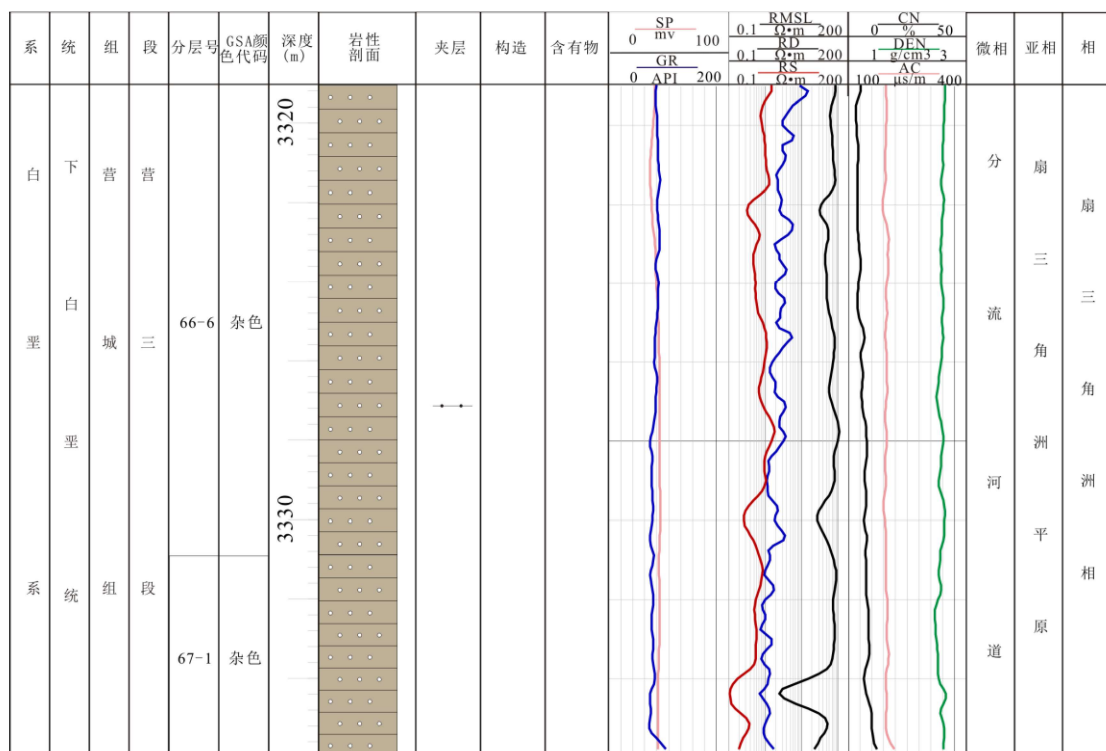
74



附图 10 松科 2 井营城组精细描述 (10)



附图 11 松科 2 井营城组精细描述 (11)



附图 12 松科 2 井营城组精细描述 (12)

- 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 58-含砾中砂岩夹层 59-流纹质晶屑岩
 屑凝灰熔岩 60-流纹质岩屑晶屑凝灰熔岩 61-流纹质含角砾浆屑晶屑凝灰熔
 岩 62-沉凝灰岩 63-凝灰质中粒质粗砂岩 64-安山质含角砾凝灰岩 65-凝灰
 质含砾粗粒砂岩 66-碳屑 67-重荷构造 68-凝灰岩团块 69-流纹质熔结凝灰角
 砾岩； 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。

作者简介及在攻读硕士学位期间的科研成果

高翔：男，1991年9月25日，汉族，吉林省长春市，硕士，在读期间发表第一作者EI文章一篇：高翔，高有峰，瞿雪姣，李宏浩，陈桐，王璞珺等. 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[J]. 地学前缘, 2017, 24(1):265-275.。

研究生经历：

(1) 2014.05-至今:主要负责“松科2井随钻地质跟踪管理与岩石记录”项目：自本科大四下半年起至今，超过2年时间，担任属于国家973课题子项目的“松科2井随钻地质跟踪管理与岩石记录”项目驻井现场一线工作负责人，从事岩心精细描述与协调各单位现场配合等工作，工作现场位于黑龙江省安达市下的偏僻野外，岩心精细描述常年在室外进行，每日纯室外工作时间平均6小时，不论冬季-30℃或夏季+30℃，从不间断。已经完全独立描述岩心超过1000m，并独立完成照相，个人描述岩心长度占总岩心描述长度（深度2826-5384m）>60%，2015.3.31-2016.2.3 全年驻井，每月可回学校休息一周，

(2) 2016.4.1 至今，项目组实施倒班制度，约上井120天，并在回校期间参与“东北地区侏罗系石油地质条件研究”项目。于2016.10.17-10.23赴德国参加ICDP成立20周年庆典并圆满完成培训。

(3) 2016.05-至今参与“东北地区侏罗系石油地质条件研究”项目

(4) 2014.08-2015.03 参与“徐家围子断陷火山岩精细划分与填充模式研究”项目

(5) 2014.07-2014.08 在蛟河等多地进行野外勘察，并编写蛟河野外指导书2章

致 谢

时光匆匆，转眼间，研究生的学习生活即将画上句号，这三年里的一幕幕场景，就仿佛发生在昨日，仍旧历历在目。从大四下学期刚刚进入办公室时小心翼翼的师弟，到了现在说一不二的毕业师哥；从项目组的小跟班逐渐变成分配任务的小领导；从对项目工作的一无所知逐渐到对工作内容与流程的无所不知。

这一切都离不开老师、同学的无私帮助与家人默默无闻的支持与付出！

首先要感谢王老师。王老师教学态度严谨，对学生负责，是少数不需要课件就能够教授学生知识的老师之一，他使用全英文教学，考试亦如此，即便是现在，我的专业英语底子也是王老师打下的，这对我阅读国外文献有莫大裨益，也令我的专业英语水平遥遥领先于同龄人。英语学习只是一个方面，王老师对我学习知识上的最大帮助并不仅仅是英语，而是做所有事情的实事求是，认真较真的态度：不能自己骗自己，没事问问自己到底学到了什么了，问问自己干了这么久到底干了什么，不能稀里糊涂。这几句话朴实但却受用终生。松科 2 井项目是世界范围内的知名项目，王老师将我自大四下学期起分配至这个项目，全面参与至今，其意义不仅在于有了响亮的项目名号，更是给我提供了理论与实际结合的绝好机会，也让我积累了与他人工作交往的经验。不论是为人处世还是学习态度上，亦或是在松科 2 井的经历，这些都使我拥有了大多数其他应届毕业生不可能具有的优势。

这三年来，高老师给予我很大的帮助，带着刚入学的我去蛟河出野外，带着我干大庆项目，还有在井场暴晒下教我如何描述岩心，在日常学习生活、写小论文与毕业论文过程中都对我悉心指导，使我尽可能做到更好。

瞿雪姣师兄同样给予我很大帮助，有这样的好师兄、好兄长，我觉得很自豪。

也要特别感谢一下陈敬武，与我共同完成了编程工作。

这三年里，办公室的胡老师、边老师、唐老师、黄老师、张老师，以及李思伟、孙昂、杨凯凯、刘海波、李宏浩、陈桐、魏翔宇、陈宪、王林涛、王文华、赵欣颖、所有的师弟师妹们以及一起走过本硕七年的同学们都给予我很大的帮

助，谢谢你们三年来的陪伴！

最后，感谢家人对我的默默奉献与支持！