

## 松辽盆地油田开发建设对地质环境的负面影响 ——以大庆油田为例

郭昂青

黑龙江省齐齐哈尔矿产勘查开发总院 黑龙江 齐齐哈尔 161006

**摘 要** 松辽盆地中的大庆油田是我国主要油气生产基地,不但油气资源丰富,地下水和地热资源也非常丰富。经过半个多世纪的持续高强度开发建设,油田已进入开发中后期,综合含水率已达 90%以上。大庆油田的地质环境受到了严重的负面影响,具体表现在:①含水层环境的破坏污染;②土壤环境的破坏污染;③对地层原始压力的影响;④地面隆起和沉降变形;⑤热储体系和地热资源的破坏。相关部门应予以足够的重视,及时开展调查评价监测和研究工作,采取有效防治措施。

**关键词** 松辽盆地;大庆油田;开发建设;地质环境;负面影响

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2016.02.015

## NEGATIVE EFFECT OF THE DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION IN THE OILFIELD IN SONGLIAO BASIN ON GEOLOGICAL ENVIRONMENT: A Case Study of Daqing Oilfield

GUO Ang-qing

Qiqihar Institute of Mineral Resources Exploration and Development, Qiqihar 161006, Heilongjiang Province, China

**Abstract** :The Daqing oilfield in Songliao Basin is one of the major oil and gas production bases of China, with abundant oil and gas resources as well as groundwater and geothermal resources. After more than half a century of sustained development and construction, Daqing oilfield has entered the middle and late stage of development. The comprehensive water content of the oilfield is up to 90% and more. Due to the development and construction of high strength, the geological environment of the oilfield is badly affected, specifically in the following aspects: 1) pollution of aquifer environment; 2) pollution of soil environment; 3) influence on the original pressure of strata; 4) ground uplift and subsidence; and 5) destruction of geothermal reservoir and geothermal resources. It should be paid great attention to immediately carry out investigation, evaluation, monitoring and research work and take countermeasures.

**Key words** :Songliao Basin; Daqing oilfield; development and construction; geological environment; negative effect

### 0 前言

大庆油田位于松辽盆地中央拗陷区北部,跨北纬 45°05'~47°00',东经 124°19'~125°12'。油田南北长 140 km,东西宽 70 km,总面积约 6000 km<sup>2</sup>,含油面积 2334.4 km<sup>2</sup>。大庆油田主体—大庆长垣为大型背斜构造带,包括喇嘛甸等 7 个背斜构造油田,含油面积 1433 km<sup>2</sup>,地质储量 42.4×10<sup>8</sup> t。长垣以外有杏西等 45

个油田,含油面积 901.3 km<sup>2</sup>,地质储量 2.75×10<sup>8</sup> t。大庆油田是上述一系列油田的总称。

大庆油田于 1960 年投入开发,是我国目前最大的油田,也是世界上为数不多的特大型砂岩油田之一。至 2007 年,累计探明石油地质储量 56.7×10<sup>8</sup> t,天然气储量 2400×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。截至 2014 年,累计生产原油 22.8×10<sup>8</sup> t,天然气 1266.16×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。经过半个多世纪的高强

收稿日期 2016-02-17;修回日期 2016-04-08。编辑 张哲。

作者简介 郭昂青(1960—)男,高级工程师,从事水文地质工程地质环境地质勘察研究工作。通信地址 黑龙江省齐齐哈尔市建华区中华西路 208 号, E-mail/gaq-sky@163.com

度开发建设, 大庆油田已进入开发中后期, 综合含水率已达 90% 以上。

经计算, 大庆油田地热异常区地热能资源总量为  $2.9048 \times 10^{21}$  J, 折合标准煤  $988 \times 10^8$  t. 地热水资源量为  $2.44 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>, 地热能可采资源量为  $8.9277 \times 10^{19}$  J, 折合标准煤  $30.4 \times 10^8$  t<sup>[1]</sup>. 深层地下水允许开采量为  $2.34 \times 10^8$  m<sup>3</sup>/a, 而开采量已超过  $5.0 \times 10^8$  m<sup>3</sup>/a, 处于严重超采状态。

## 1 地质概况

### 1.1 区域地质

松辽盆地位于我国东北地区, 面积  $26 \times 10^4$  km<sup>2</sup>, 属中、新生代形成的大型陆相湖成盆地. 盆地周边被丘陵和山脉环绕, 西邻大兴安岭, 北与小兴安岭为界, 东部为张广才岭, 南接康平—法库丘陵地带. 盆地大体以松花江为界分为南北两部分, 北部为大庆油田探区, 面积为  $11.6 \times 10^4$  km<sup>2</sup>; 南部为吉林油田探区, 面积为  $6.9 \times 10^4$  km<sup>2</sup>.

松辽盆地是拗陷和断陷相叠置的大型复合式含油气水热盆地, 以板块构造观点, 属于克拉通内复合型盆地<sup>[2]</sup>. 盆地断陷阶段, 构造运动以断裂作用为主, 形成了一系列断陷盆地. 这些彼此分隔的断陷盆地中不同程度地发育火山岩、火山碎屑岩以及河流沼泽相为主的地层, 厚度较大, 自下而上分别为火石岭组、沙河子组、营城组、登楼库组. 盆地拗陷期, 构造运动以沉降为主, 沉降幅度与沉积范围均规模巨大, 先后沉积了以河湖沉积为主的泉头组、青山口组、姚家组与嫩江组. 盆地萎缩阶段, 构造运动趋于缓慢上升状态, 沉积范围明显缩小, 先后沉积了以河流相为主的四方台组、明水组

和新生界.

松辽盆地基底为前古生界、上古生界夹有花岗岩、火山岩的变质岩系, 上部沉积盖层从侏罗系始, 至新生界均有不同程度发育, 但以白垩系为主, 厚达 5000 m 以上, 为陆相沉积, 是主要含油气热层系. 盆地的构造特征是: 北部为倾没区, 东北部、东南部和西南部为隆起区, 西部是平缓斜坡区, 中间是大面积拗陷区.

大庆油田在地质构造上属于松辽盆地的一部分, 位于盆地中央拗陷区北部<sup>[3]</sup>, 沉积了厚达 6000 多米的沉积物. 勘探资料表明, 在大庆油田地区分布着侏罗系、白垩系、古近系、新近系和第四系. 这种陆相沉积地层为石油、天然气、地热和地下水资源的生成和赋存创造了条件.

### 1.2 含油气组合特征

油气藏的形成不但需要生油气层, 还需具备储油气层与盖层, 这 3 个要素合起来为含油气组合. 松辽盆地的含油气组合共 4 个, 即上部、中部、下部和深部含油气组合(见表 1).

### 1.3 热储体系特征

根据松辽盆地的演化史、地层发育特征, 并经勘探证实, 热储层主要为姚家组、青二三段、泉一三四段、登三四段, 且形成了上部、中部、下部、深部 4 套热储体系(见表 1).

### 1.4 含水层系统特征

大庆油田分布多个含水层系统, 主要开采层位有: 白土山组砂砾石承压含水层; 泰康组和大安组砂砾岩承压含水层; 明水组含砾砂岩承压含水层. 特别是泰康组和白土山组含水层, 都具有分布面积广、厚度大、水量丰富、补给源充足、易开采等特点, 水质基本达到油

表 1 大庆油田含油气组合与热储体系关系表

Table 1 Correlation between the oil-gas combinations and geothermal reservoirs in Daqing oilfield

上部含油气组合(黑帝庙油层)	盖层: 嫩四、五段	上部热储体系	盖层: 嫩四、五段
	储集层: 嫩三、四段		热储层: 嫩三段 (埋深 1000 m 以上, 地温 40 ℃ 以下)
	生油层: 嫩一、二段		盖层: 嫩一、二段
中部含油气组合 (萨尔图、葡萄花、高台子油层)	盖层: 嫩一段(上)、二段	中部热储体系	热储层: 青二、三段, 姚家组 (埋深 835.4~1947.0 m, 地温 42~82 ℃)
	储集层: 嫩一段、姚家组		
	生油层: 青二、三段, 姚二、三段		
下部含油气组合 (扶余、杨大城子油层)	盖层: 青一段	下部热储体系	盖层: 青一段
	储集层: 泉三、四段		热储层: 泉三、四段 (埋深 1479.0~2389.0 m, 地温 54~92 ℃)
	生油层: 青一段		
深部含油气组合(农安油层)	盖层: 泉二段	深部热储体系	盖层: 泉一、二段
	储集层: 泉一段, 登三、四段		热储层: 泉一段, 登三、四段 (埋深 3101~4700 m, 地温 170~210 ℃)
	生油层: 登一、二段, 侏罗系		

田注水、工农业及民用水质标准,目前已做为油田地下水开采的主要目的层。

## 2 对地下水地质环境的影响

### 2.1 地下水超采

大庆油田主要开发利用深层地下水资源,到目前为止共建成水源 46 座,钻各类生产井 793 口,日综合供水能力  $137.04 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。地下水年允许开采量  $2.34 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。目前,实际年开采量超过  $5.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,处于严重超采状态,其中大部分为油田注水用。最深供水井为 529.30 m,含水层为白垩系明水组。油田开发建设对含水层地质环境影响主要表现在如下几方面。

#### (1) 区域地下水降落漏斗

深层地下水一直是大庆油田生产和生活的主要供水水源,特别是油田西部地区,自油田开发建设以来,地下水担负着油田的主要供水任务。由于长期超量开采地下水,已在大庆长垣两侧形成了两个区域性地下水降落漏斗<sup>[4]</sup>。长垣西部开采白土山组和泰康组含水层中地下水,2009 年开采量  $1.06 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,漏斗面积  $3600 \text{ km}^2$ ,漏斗中心水位埋深 35.15 m。长垣东部开采明水组含水层中地下水,2009 年开采量  $0.27 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,漏斗面积  $1340 \text{ km}^2$ ,漏斗中心水位埋深 45.5 m。

#### (2) 地面沉降变形

自 1972 年以来,大庆油田西部水源地地下水位大幅度下降,逐渐形成区域性地下水下降漏斗,至 2001 年漏斗中心水位埋深已达 41.7 m,这给土层内部应力累进性转变提供了条件。大庆油田地面沉降就是在这样的条件下形成的。地面沉降变形区与地下水下降漏斗中心部位完全吻合,这充分说明了地面沉降是由于地下水水位下降引起的。地面沉降变形的强度随着距离漏斗中心位置不同而变化。实测证明在漏斗中心部位沉降量最大,西部漏斗中心部位沉降量已达 99 mm,东部漏斗中心部位沉降量达 71 mm<sup>①</sup>。

#### (3) 水质变化

随着地下水开采量不断增加,地下水降落漏斗水位下降也相应增大。在许多水源地,如前进、齐家、让胡路、喇嘛甸、红卫星等水源地地下水化学成分发生了变化,地下水中  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、TDS、硬度、Fe 和 Mn 均有升高的趋势。当地下水开采量增至  $45 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  时,TDS 急剧增加,表明深层地下水处于超采状态<sup>②</sup>。地下水超量

开采改变了地下水的动力条件,加剧了不同含水层之间水量与物质组分之间的交换,增大了地下水环境污染的可能性。

## 2.2 油田勘探开采

### (1) 钻井

大庆油田截止到目前共施工油气水井约 100 000 余口,油气水井密度约 16.7 眼/ $\text{km}^2$ 。深度 300~6300 m,一般 1200~2100 m。油气层开采深度一般 1150~2000 m。

在油气水井施工中完全揭穿了上部各层含水层,一方面使各层含水层之间有了水力联系,另一方面也使油气层与含水层有了物质和能量交换,致使局部地下水水质发生了变化。受油田开采的影响,在主要水源地多井出现甲烷检出的现象。据水质监测资料,1993 年大庆石油管理局所辖的 12 个水源地中有 9 个水源地共计 18 眼井有甲烷检出。检出井数最多的是西水源(4 眼)和南水源(4 眼),甲烷浓度最高的是前进水源的 3-1 号井,浓度为  $4.80 \mu\text{g}/\text{L}$ <sup>③</sup>。齐家水源地硫化氢气体含量最高达  $150 \mu\text{g}/\text{L}$ ,游离  $\text{CO}_2$  达到  $118.8 \text{ mg}/\text{L}$ <sup>③</sup>。这些物质在深层地下水中的富集,已成为突出的环境水文地质问题。

### (2) 泥浆

泥浆在钻井过程中,能够悬浮和携带岩屑,清洗井底,有利于钻头直接接触井底岩石,提高钻井速度,还可以冷却、润滑钻头,防止井壁坍塌,但也可侵入含水层、油气层和热储层,使之受到污染和堵塞。

一般情况下,钻井泥浆的主要成分有水、油、黏土、加重材料、泥浆处理剂、堵漏材料等。主要成分取决于钻井泥浆类型以及加入的泥浆添加剂。随着石油工业的发展,钻井工艺对泥浆的要求越来越高,泥浆体系日益增多,配方越来越复杂。泥浆配方中都含有重金属、油类、碱和其他化合物。主要污染物包括烃类、盐类、各种有机聚合物、木质素磺酸盐、某些重金属(如汞、铬、铜、铅、砷)。各种泥浆的使用均能对含水层、热储层、油气层造成污染和堵塞。

大庆油田一般每钻一口井需配置  $70 \text{ m}^3$  泥浆,根据不同地层和不同井段,需配置不同性质的泥浆。现大庆油田已施工油气水井约 100 000 余口,泥浆的使用量应在  $700 \times 10^4 \text{ m}^3$  以上。当钻遇含水层时,泥浆就会侵入污染堵塞含水层。由此可见,泥浆对含水层的污染应该是较严重的,影响含水层结构及水质安全。

①倪长海. 大庆市地面变形规律及危害. 2005.

②慕山,等. 大庆市地下水资源开发利用规划报告. 2001.

③慕山,等. 大庆市水环境研究与管理. 1998.

### 3 对土壤地质环境的影响

石油开发过程中的废弃物有废弃泥浆、钻井岩屑及落地原油。其中,废弃泥浆和落地原油对土壤环境的影响较严重和普遍。

#### 3.1 废弃泥浆

油田钻井废弃泥浆是油气井开采过程中产生的固液体污染物。它是一种含有矿物油、酚类化合物及重金属的复杂多相体系,其浸出液有较高毒性。油气田钻井生产每天都要产生大量的废弃泥浆,废弃泥浆直接排放,经长期堆积和雨水淋滤渗入地下,会对周边的土壤、地表水和地下水造成严重污染,给人类生活带来潜在的危害。废弃泥浆产生量大,产生的地域广,污染面积大而且分散。

废弃泥浆组成复杂,一般呈碱性,pH值在8.5~12之间,有时可达13以上,外观呈黏稠流体状,颗粒细小、级配差不大、黏度大、含水率高且不易脱水,含油量高,部分废弃泥浆含油量达10%以上,固体含量高,主要为膨润土和有机高分子处理剂、加重材料、岩屑等。此外由于废弃泥浆中含有机和无机类添加剂,其中的重金属、COD、石油类有害物质浓度较高,个别污染指标超出国家排放标准百倍<sup>[5]</sup>。废弃泥浆中的重金属元素、有机物及理化性质皆明显高于土壤背景值,当它们进入土壤中,将会造成一定污染。废弃泥浆堆积在井场周围,占用大量耕地和草地,并成为新的污染源。大庆油田产生废弃泥浆约 $190 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,其中约有1/3直接排放到地表,对土壤环境造成严重的污染。

#### 3.2 落地原油

在石油开采过程中,试油、洗井、油井大修、堵水、松泵、下泵等井下作业和油气集输,均有原油抛落于地面,平均作业一口井残留在地面的落地原油约1.0 t。其中约60%回收利用,约40%在土油池内,很少一部分散落在土油池外<sup>①</sup>。截至目前大庆油田共施工油气井约70 000余口,落地原油产生量约70 000 t,其中残留在土油池中约28 000 t。

据顾廷富研究结果,井场产生的落地原油呈放射状分布,90%左右石油污染物集中在0~40 cm深度范围内,落地原油横向迁移范围确定在150 m以内,单口油井污染面积达0.071 km<sup>2</sup>;土柱淋滤模拟实验中,83.4%的落地原油残留在土壤0~10 cm深度,原油在

不同土壤类型中的纵向迁移差别不大,纵向迁移范围在70 cm以内<sup>②</sup>。大庆油田开发区和石油化工区,主要污染物为石油总烃、酚类、硫化物<sup>③</sup>。落地原油污染已成为油田土壤污染的主要原因之一。

### 4 对地层原始压力的影响

大庆油田是早期注水开发的大型陆相非均质、多油层砂岩油田。由于油层在纵向上和横向上均存在着严重的非均质性,从而在纵向上形成了正常压力层和异常压力层并存的情况,在平面上形成了正常压力区与异常压力区交错分布的复杂情况。

油田在原始状态下,各油层具有统一的压力系统,油层压力随着深度增加而呈线性增加。当油田注水开发以后,地层压力在纵向上的分布特征发生了极大的变化:当油层形成长期注大于采的情况时,地层压力有很大的提高,从而形成高压层,甚至是异常高压层;而当油层形成长期采大于注的情况,地层压力会有很大程度的降低,从而形成欠压层,甚至是异常欠压层;而对于注采平衡或接近平衡的油层,地层压力变化不大,则为正常压力层<sup>[6]</sup>。

大庆油田现有注水井29 724口,日注水量 $155.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,其中水驱注水井22 001口,分层注水井20 729口<sup>④</sup>。油田注水开发后,油层压力受注水开发的影响,油层压力比原始静压高10~15个大气压,最高可达25~30个大气压,形成高压区<sup>[2]</sup>。由于50多年注水开发,大庆油田地下地质环境发生了根本性的变化,部分区块地层压力出现了两极分化现象。

### 5 地面隆起变形

在石油开发过程中,注水和采油都将导致储层孔隙压力的变化,从而使储层骨架承受的有限压力发生变化,进而导致储层发生变化,这种变化传递到地表就会导致地面发生垂向变形。大庆油田从1976年开始进行高压注水开采,高压注水时如果油层物性差,连通性不好,就会在高压注水过程中形成高压区块,或者在井间、层间产生异常高压带。区块内压力上升,砂岩颗粒骨架膨胀,吸水层厚度增加,造成地层抬升隆起。大庆油田地面隆起变形主要沿大庆长垣构造即油田主采区

①李长兴,等.大庆油田开发建设对环境影响研究.1995.

②顾廷富.大庆油田落地原油对土壤及地表植物影响的研究.2006.

③孔德涛.大庆油田注水井管理的主要做法.2010.

的界限范围分布. 核心部位隆起大于 120 mm, 局部地段达 500 mm, 最大可达 2000 mm<sup>①</sup>.

## 6 对热储体系的影响

由表 1 可以看出, 大庆油田含油气组合与热储体系基本上一一对应, 含油气组合与热储体系是不可分割的统一地质体, 即含油气组合中有热储体系, 热储体系中也有含油气组合.

大庆油田开采所施工的油气井和注水井均穿透了上部和中部热储体系的盖层, 部分穿透了下部和深部热储体系盖层, 对热储的封闭性产生了不利影响, 形成了烟囱效应, 并且消耗了大量的地热能资源. 具体表现在油田采出水所消耗的地热能.

油田采出水是指在原油开采过程中所携带出来的地下水, 这些热水经过处理降温后又被重新注入地下进行驱油, 也就是水驱. 目前, 大庆油田原油开发已经进入高含水后期, 特别是第一至第六主力采油厂, 原油生产中伴随原油的采出水量也呈逐年上升趋势[7]. 资料表明, 萨尔图、喇嘛甸、杏树岗油田是产出水的主要产区, 占全油田产出水的 96.4%. 据统计大庆油田采油一厂到六厂, 1978 年产出水量为  $1.75 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 2006 年为  $3.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 2010 年为  $4.33 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 2012 年为  $4.85 \times 10^8 \text{ m}^3$ .

原油储集层一般都处在地壳增温层中, 埋深较大, 大地热流作用导致地层温度较高, 油田采出水在地下伴随着原油在地层中吸收了储集层中大量的热量, 和原油一起被采出地面时的温度一般在 40℃左右, 蕴含着丰富的热能<sup>[1]</sup>. 若按提取 10℃温差热能计, 目前大庆油田每年消耗水热能相当于  $69.4 \times 10^4 \text{ t}$  标准煤, 地

热能资源损失很大. 由此可见, 大庆油气田的高强度开采, 对热储体系和地热资源的原始地质环境有一定的破坏作用, 产生了一定的负面影响.

## 7 结语

大庆油田经过半个多世纪的高强度开采, 已进入开发中后期, 含水率已达 90%以上. 在取得巨大经济效益和社会效益的同时, 也对地质环境产生了严重的负面影响, 引起了含水层结构的破坏和地下水质量变差、土壤环境破坏污染、地层原始压力变异、地面沉降和隆起变形、热储体系的封闭性破坏和地热资源的损失浪费等一系列地质环境问题. 应立即引起政府相关部门的足够重视, 及时开展调查评价监测和研究工作, 采取有效的防治措施.

## 参考文献:

- [1] 王社教, 朱焕来, 闫家泓, 等. 大庆油田地热开发利用研究新进展[J]. 地热能, 2014(2): 6—8.
- [2] 董平恩, 王廷怀, 余海洋, 等. 黑龙江省志·石油工业志[M]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 1988: 89.
- [3] 时永发, 刘海生, 汪宗浩, 等. 大庆市志[M]. 南京: 南京出版社, 1988: 54.
- [4] 田辉, 郭晓东, 刘强, 等. 大庆市地下水开采现状及环境地质问题探讨[J]. 地质与资源, 2012, 21(1): 139—142.
- [5] 林仲, 李雪凝. 油田废弃钻井泥浆处理技术研究进展[J]. 广州化工, 2010, 38(5): 47—48.
- [6] 高志华, 翟香云, 王建东, 等. 大庆油田注水开发后异常地层压力分布规律研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(1): 51—53.
- [7] 钟鑫. 大庆油田地热资源综合利用节能前景分析[J]. 石油石化节能, 2014(2): 38—40.

①倪长海. 大庆市地面变形规律及危害. 2005.