

# 高含水气藏积液规律及排水采气工艺浅析

## Analysis of Liquid Accumulation Law and Drainage Gas Production Technology in High Water Content Gas Reservoirs

辛广涛<sup>1</sup> 王磊<sup>2</sup> 史秀邦<sup>1</sup> 李晓旭<sup>3</sup> 陈冬<sup>1</sup>

Guangtao Xin<sup>1</sup> Lei Wang<sup>2</sup> Xiubang Shi<sup>1</sup> Xiaoxu Li<sup>3</sup> Dong Chen<sup>1</sup>

1. 中国石油西部钻探工程技术研究院 中国·新疆 克拉玛依 834000
2. 中国石油西部钻探质量安全环保处 中国·新疆 乌鲁木齐 830000
3. 中国石油西部钻探苏里格气田分公司 中国·内蒙古 鄂尔多斯 017300

1. West Drilling Engineering Technology Research Institute, Karamay, Xinjiang, 834000, China
2. West Drilling Well Control and Management Center, Urumqi, Xinjiang, 830000, China
3. CNPC Western Drilling Sulige Gas Field Branch, Ordos, Inner Mongolia, 017300, China

**摘要:** 随气田开发进入中后期,天然气井生产过程中井底积液问题是困扰气井生产的常见问题。目前,中国大部分油气田气井水淹停产的现象或多或少都会存在。水淹严重影响了气井的生产。针对这种现象论文主要是结合现有气井所遇见的问题进行分析,判断气井的积液方法,并提出排水采气技术措施进行解决。

**Abstract:** With the development of gas fields entering the middle and late stage, the problem of bottom-hole accumulation in the production of natural gas wells is a common problem that troubles the production of natural gas wells. At present, most of China's oil and gas fields and gas wells are flooded and stopped production more or less. Flooding has seriously affected the production of gas wells. In view of this phenomenon, this paper mainly analyzes the problems encountered in the existing gas wells, judges the method of liquid accumulation in the gas wells, and puts forward the technical measures of drainage and gas production to solve it.

**关键词:** 排水采气; 井底积液; 水淹; 积液规律

**Keywords:** drainage gas production; bottom-hole fluid accumulation; water flooding; law of fluid accumulation

**DOI:** 10.12346/etr.v5i11.8768

## 1 引言

位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡的苏里格气田苏77、召51、苏19区块,其气体饱和度较低(51.2%),气水的分布模式相当复杂,其储层的物理特性较差,且具有较高的非均匀性。这就是一个典型的“孔隙率小、渗透率高、气体丰富程度低”的致密砂岩气藏。由于地质条件差,地层能量消耗速度加快,导致井筒内有可能形成积液,这会对气井的日常运作造成干扰。随着气藏的不断开发,苏里格气田井筒积液问题是影响气井采收率的重要因素。

## 2 中国和其他国家的研究现状

其他国家对于气井井筒积液的判断主要是应用特纳模

型,但是仅仅依靠特纳模型并不能准确地判断井筒积液的情况,目前通过一些资料显示,该模型所做到积液诊断往往会存在较大的偏差,那么如果要应用该模型就应该结合实际对模型进行修正,从而使得模型判断的准确性得以提升<sup>[1]</sup>。当完成井筒积液判断后制定相应的排水采取的措施,目前主要应用小油管排液、气举排液、超声排液等措施。这些技术的应用能够有效地解决井筒积液问题,进一步提升了排水采气的效果,延长了气井的生产周期。除以上技术外,其他国家在近些年开发出很多低成本的排水采气技术,如聚合物控水采气技术等。

目前中国应用的排水采气措施主要是泡沫排水采气、小油管排水采气、连续气举措施、电潜泵、柱塞气举等。

【作者简介】辛广涛(1997-),男,中国甘肃庆阳人,从事排水采气研究。

### 3 井底积液规律内涵

在研究井底积液之前我们应该确定井底积液的来源。气井在生产过程中产生的井底积液主要来源于地层水或者凝析水生产出的自由水。这些水的产生会对气井的生产造成一定的影响。即便是产生较少的积液，那也会进一步影响气井的生产效率。如果井底积液持续得不到控制那就会造成气井的水淹。从而将气井压死，气井将无法进行生产。因此针对积液进行研究是极其必要的，是具有一定的现实意义的。

在井筒中的液体一般主要是以两种形态存在：一种就是以小液滴的形式赋存在井底附近；另一种就是在管壁上以液膜的形式赋存。在气井实际生产中井筒内多以雾状流为准，这种形式是目前最佳流态，气体能够将液体进一步举升至地面。那么积液是如何形成的，随着地层压力下降，气体流速相对减小，那么气体将不具备足够的能量将液体举升至地面，此时液体会下降沉积，从而形成积液。

凝析水积液的产生则是由于凝析主要出现在井筒的中上部，然而天然气达到露点则是在井筒下部，因此如果没有较高的气体流速，那么就会导致凝析水泡沫破灭，从而在井底沉积，形成积液。积液的形成会导致气井产量逐步下降，当积液相对比较多的时候就会造成气井水淹，气井则会失去生产能力。另外如果不能及时处理积液会对地层造成一定的影响，如降低渗透率等，这进一步降低了气井的生产能力。因此要对气井的积液情况及规律进行研究，以避免对气井产量造成影响，从而提升气井的生产规律。

苏里格气田苏 77、召 51 区块地质条件差，低渗透致密砂岩储层。气水关系复杂，气井产水普遍，水气比达  $2.1\text{m}^3/10^4\text{m}^3$ ，产水量大，严重影响区块上产与稳产。气井生产初期，气体流速较高，能把井底液体携带出井筒；随着开采时间增长，地层能量逐渐降低，气井自身携液能力逐渐变差，部分液体开始回落，产生积液。当液体聚集到一定量时，液体侵入近井带的储层。积液侵入储层后，造成井底液体卸载，井筒气体再次流动，且气体能将井筒中所有液体带至地面。苏 19 区块开发后期表现为气井产量低，携液困难，井筒积液，需要采用泡排等排水采气技术进行维护生产<sup>[1]</sup>。

### 4 气井积液判断方法

#### 4.1 直观定性判断法

日产气量和套管压力波动是气井积液的重要标志，通过观察这种波动可以判断积液是否上升。油套压差增大（大于 3MPa）说明油管中流动损失很大，携液能力不足，举升不正常，积液较多，液体不能全部被带出来；地面发生液体间喷，产液量或气液比曲线较之前的平稳生产出现较大波动；产气量下降，套压上升或不变判断为积液。

#### 4.2 回声液面探测法

安装在井口上的发声装置发出一束超声波，声波沿油套管环形空间向井底传播，遇到音标、油管接箍和液面等会发

生反射。

声速法计算液面，即测出声波反射时间，再根据声速来计算液面位置，可得：

$$D=TV/2$$

式中：D—井口到液面的距离；

T—声波从发射到接收的时间；

V—声速。

#### 4.3 压力梯度测试法

根据不同介质中压力梯度不同，同深度的压力值，计算压力梯度，根据压力梯度值的变化确定气液界面。

分析大量气井探液面数据，原始地层压力数据，总结得出井筒内压力梯度在  $0\sim 0.17\text{MPa}/100\text{m}$ ，一般判为气体；压力梯度大于  $0.7\text{MPa}/100\text{m}$ ，一般判为液体；压力梯度在  $0.17\sim 0.7\text{MPa}/100\text{m}$ ，一般判为含水气柱。

#### 4.4 气液两相计量法

苏里格气田东区采用井间串接工艺，产液量无法计量。气液分离计量撬能够准确掌握单井气、液产量，摸清气井的出水规律，优化排水采气措施，提高气井采收率。

### 5 主流排水采气措施分析

#### 5.1 泡沫排水采气

泡沫排水采气技术是应用比较广泛的，其主要是通过往气井内加入泡排剂，从而进一步改变流体的密度，粘度等参数。我们在气井内加入一定的活性剂又或者加入一些高分子聚合物，通过这些物质与井筒内液体的融合反应。随后形成相对比较稳定的含水泡沫，泡沫在井筒体内垂直运动过程中进一步减小了举升所需的能量及摩擦力，同时也进一步降低了滑脱损失，通过分散液体达到将井底积液排出的目的。然而在凝析气井中，应用泡排剂所提升的排液效果就没那么明显了。因此我们在选择进行泡沫排水采气措施时也应该根据气井的实际情况进行。例如，加入泡排剂时要注意确定泡排是否能够流入井底；另外就是泡排措施对于水淹停井的排水效果并不是很好，需要配合气举等相关措施进行排水采气<sup>[2]</sup>。

##### 5.1.1 泡排剂的技术特点

- ①泡排剂起泡能力强，泡沫具有较高的携液能力。
- ②泡排剂、消泡剂与高矿化度地层水配伍性优良。
- ③泡排剂、消泡剂与气田其他溶剂的配伍性能优良。
- ④泡排剂的注入量要适量。
- ⑤对带有泡沫的地层水要进行彻底的消泡处理。

##### 5.1.2 适用条件

- ①油管：油管无腐蚀穿孔。
- ②压力：生产套压出现上涨现象或开井套压无明显下降。
- ③套压大于 1.5MPa。
- ④产量： $\geq 1000\text{m}^3/\text{d}$ ；产量波动  $> 20\%$ 。
- ⑤水气比： $\leq 8\text{m}^3/104\text{m}^3$ 。

### 5.1.3 应用情况

XZ-PP 泡排剂已在苏里格区域成功应用 500 余口井，日增产气 110 万 m<sup>3</sup>，提升了气井排液的效率，减少了气井积液，工艺有效率超 86%，累计增产气 8.5 亿 m<sup>3</sup>，创造经济效益 6.8 亿元。应用效果显著，在气井生产领域具有广阔的应用前景。

### 5.2 柱塞气举排水采气

柱塞气举是利用柱塞代替液柱与举升气体之间的界面，并通过气相中的能量将液体举升至地面。在进行柱塞气举过程中，柱塞可以起到密闭作用，其目的是进一步减少滑脱损失，防止窜气现象的发生。气井积液最终会导致气井水淹，停喷。利用柱塞气举能够进一步恢复套管压力，从而举升柱塞，将井底积液举升至地面。柱塞气举是恢复气井生产比较有效的方法之一。进行柱塞排水采气应该制定相应的关井开井工作制度，利用关井恢复生产压力，开井恢复生产。通常应用柱塞气举过程中我们要计算很多参数，如举升柱塞所需最小套压、最大套压、平均套压、工作周期数、周期需气量<sup>[3]</sup>。

柱塞气举配合自动化间开设备，实现短开井的正常生产。自动化间开设备具有以下优势：

①设备性能稳定，地面设备由整体锻造式耐高压防喷管、自研控制器、气动薄膜阀等组成，井下设备由迷宫式耐磨损双弹块柱塞、耐腐蚀卡定器、抗冲击缓冲器组成。

②智能化程度高，具有气井远程控制、远程实时数据查询、异常自动报警等功能。

③适用条件范围广，可实现时间控制、压差控制、压力控制、自由控制四种模式。

④施工作业简单，安装、维护费用低。无需起出油管，可实现井下柱塞体、卡定器的下入与检查。同时柱塞体在油管中的往复运动，可实现油管内壁清洁。

### 5.3 速度管柱排水采气

在气田开发方面来说，速度管柱即是对井下流体起节流增速作用的小直径管柱，由地面悬挂器或井筒悬挂装置悬挂于井筒（或生产管柱内部）充当完井生产管柱。当地层流体在天然能量的驱动下进入速度管时，由于过流面积比常规生产油管小，基于变径管流体力学原理，使得较小过流截面上的流体速度有所增加。简单来说，就是通过连续油管设备，将直径 1.0~2.0 英寸的连续油管，按照设计长度下入原生产管柱中，用专用设备悬挂在井口或井筒中，形成新的生产管柱，根据生产情况可选择连续油管采气或连续油管与生产油管环空采气两种方式生产。对于低压低产气井，由于其产气

量小，携液能力有限，因此油管内气体的流速是影响气井排液的重要因素。流经井底油管截面的气体流速越高，则提供的携液能量就越大，为防止液体回落和减少井底积液，必须保证一定的气体流速。而下入小直径的管柱，可有效减少横截面积，增大气体流速，实现排水采气目的。其中，表 1 为排水采气技术实用性。

表 1 排水采气技术实用性

工艺	技术适应性	适用范围		
		气量 (万方/天)	套压 (MPa)	水量 (方/天)
泡沫排水	0.5 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d 以上积液气井，产量越高，效果越明显	> 0.5	> 5	< 10
	0.3 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d 以下积液气井，需配合其他措施			
速度管柱	低产阶段稳产能力强的 I 类气井，增产效果明显	> 0.3	> 5	< 15
	II、III 类气井，增产效果略差			
柱塞气举	0.5 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d 以上连续积液气井，平均增幅 36%	> 0.1	> 集输压力 +1.5	< 20
	0.3~0.5 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d 低产积液气井，平均增幅 104%			
	0.3 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d 以下低产积液气井，平均增幅 137%			

## 6 结论

通过对气井井筒积液的规律进行简要分析，并提出了判断井筒积液的基本方法。为制定排水采气工作制度打好了基础，针对不同的井况制定不同的排水采气措施。对目前常用的排水采气工艺措施进行详细论述，为今后排水采气工艺技术发展提供了一定的理论依据。

## 参考文献

- [1] 杨亚聪,穆谦益.柱塞气举排水采气技术优化研究[J].石油化工应用.2013,32(10):11-13+17.
- [2] 何云,张文洪,郑峰,等.柱塞气举排水采气工艺在大牛地气田的应用[J].石油天然气学报,2006,25(5):26-30.
- [3] 刘琦.预测气井井筒积液新方法[J].国外油田工程,2016,22(4):25-27.