

# 排水采气工艺技术研究及应用现状及进展综述

贺 新 (陕西延长石油 (集团) 有限责任公司延长气田采气三厂, 陕西 延安 716000)

**摘 要:** 排水采气工艺是提高气田开采的重要措施, 特别对于我国低渗透气田尤为适用。本文从井底积液产生的机理着手, 分述了国内外排水采气工艺的现状与进展, 除了常规的排水采气工艺外, 还形成了一些新的技术。成熟技术 + 新技术的综合应用对于提高鄂尔多斯盆地低渗透气田的开发具有显著效果。

**关键词:** 排水采气; 低渗透气田; 井底积液; 研究进展; 鄂尔多斯

气田当前开发经验表明, 天然气生产初期, 地层能量供给充足, 产气量高, 开采成本较低, 即使井筒中产生少量的液体, 气体也能够将其携带至地面; 但随着气井的开发, 地层能量逐渐降低, 导致产气量降低, 气流的托举力不足以将井筒中的液体全部带出, 使其滞留在井中, 导致液体在井底逐渐积聚造成气井井底积液, 水淹停产。且储层中的地层水内含有大量具有腐蚀性的物质, 这些物质会造成井下设备及管道的腐蚀, 这些问题会影响油田生产, 降低油田效益。排水采气是气田开发中一项重要的工艺技术, 在气田气井稳产、增产中发挥着十分显著的作用。排水采气技术作为保障出水气田稳产和提高采收率的主体工艺, 在国内外数十年的气田开发实践中得到了验证。

## 1 井底积液形成机理

一般情况下, 井底积液的主要来源包括: ①地层中游离水或烃类凝析液渗入井筒, 影响气井流动特性; ②地层中含水的天然气流进入井筒, 因热损失温度沿井筒降低而出现凝析水。随着水侵加剧, 积液中含硫、氯离子、 $\text{CO}_2$  等腐蚀杂质易造成井下设备腐蚀、穿孔, 同时采气速率下降, 气井自喷能力减弱, 逐渐变为间歇井, 积液严重时造成气井停产。

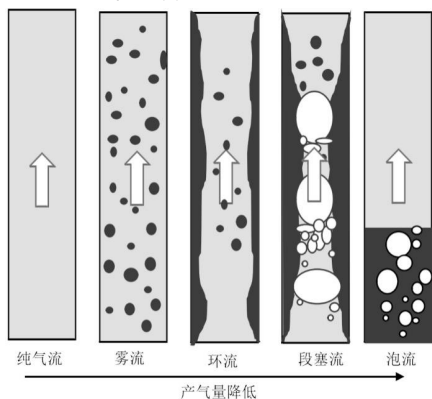


图 1 气井不同产量时期的井筒流动状态

当气体流速足够高时, 一部分液体被气体携带至地面, 随着气体流速的增大, 井液流态将发生变化, 形成雾流, 持液率低, 重力损失产生的压力损失将减少。当油管尺寸过大或井口压力过高时, 部分高产气井也将出现积液现象, 不同产量时期的井液流态不同 (图 1), 其形成井底积液的过程如下: 初期以雾状流为主; 中期主要为段塞流, 油管中间气流速度大于管壁气流导致液

相出现回落井底影响产; 晚期则表现为泡流, 井底压力不足以举出液体会导致气被液体埋盖, 产量接近于零。

## 2 国内外排水采气工艺研究现状

随着不断研究与完善, 国外单井排水采气已发展了气举、柱塞、机抽、电潜泵等多种成熟技术, 在气田现场使用取得了良好效果, 大大提高了气田的采收率。

**气举排水采气:** 气举优化设计软件和气举井下工具等方面发展迅速, 气举配套工具已基本形成系列, 产品主要有气举阀、偏心工作筒、封隔器、间歇气举装置、洗井装置等。

**电潜泵排水采气:** 近年来研制成功高效多级电潜泵、大功率电机等新设备; 同时, 在电压保护、电缆、气体处理器等方面也进展巨大, 使电潜泵的泵效和使用寿命大大提高。

**柱塞排水采气:** 针对不同井况形成了不同材质系列化的柱塞产品, 开发了分体式柱塞、刷式柱塞等新品种。分体式柱塞可有效减少气井关井时间, 增加气井产量; 刷式柱塞可用于出砂气井。在控制系统方面, BP 等公司开发了柱塞气举智能化控制系统, 可根据井筒的生产状态自动调整柱塞到达时间、后续流动时间等参数, 无需人工干预, 从而实现产气量的最大化与效益的最优化。

**机抽排水采气:** 发展了多种变形产品, 如胶带传动游梁式、旋转驴头式等抽油机; 开发了可调速驱动电机等配套设备与部件。在抽油杆方面, 研制了铝合金、不锈钢等多种高强度、耐腐蚀、耐磨损和连续性结构的抽油杆。

国内排水采气发展从 1978 年开始, 目前已形成了优选管柱、泡沫排水、气举等 8 项排水采气技术系列, 有效解决了气井出水导致产量急剧递减的技术问题。其中, 泡沫排水采气、气举、速度管柱、柱塞等工艺技术应用广泛。

**泡沫排水采气**是从井口油套环空处往井底注入泡排剂, 泡排剂与井下积液混合, 通过气流搅拌起泡, 随气流流出到地面的技术; 具有设备简单、见效快、不影响日常生产等优点, 是我国气田长期应用最广泛, 也是增产天然气最多的排水采气工艺。柱塞排水采气技术是利用柱塞做气液物理界面, 大幅减少井筒内的滑脱损失, 利用气井自身能量推动柱塞将井筒中的液体举升到地面

的一种排水采气方式；具有工艺简单、设备自动化程度高、成本低等特点，特别适用于低产小水量气井的排水采气。速度管柱排水采气是将小管径的连续油管作为生产管柱，增大气体流速，提高气井携液能力的工艺技术；具有不压井作业、施工周期短、不污染产层、后期无需维护等特点；气举排水采气是将高压气体注入井内，借助气举阀实现注入气与地层产出流体混合，降低注气点以上的流动压力梯度，减少举升过程中的滑脱损失，排出井底积液，恢复或提高气井生产能力的一种人工举升工艺；具有产液量适应范围广、操作简单，适用于斜井、定向井、液体中有腐蚀介质井等特点。

### 3 排水采气工艺在鄂尔多斯盆地的典型应用

#### 3.1 柱塞气举排水采气工艺在苏A井的应用

柱塞气举技术明显提高低产气井的生产效率。但针对气田的复杂地质特征，使常规的柱塞气举技术无法满足实际生产需求。因此，结合地质状况和出水特点等因素，应对传统的柱塞气举技术加以改进与排水采气系统智能化研究，以适应气田数字化建设与高效开发。基于此，叶安臣设计了适合苏里格井况的分体式柱塞结构及配套设备，并采用激光熔覆、硬质合金表面硬化等复合工艺加工，其中卡定器采用了高强度合金钢材料且表面镀铬，其卡爪镶嵌硬质合金且表面喷涂碳化钨，防喷管采用了基管整体锻造、机械和化学复合的防松丝扣连接的设计；采用时间循环和压力控制模式，设计了柱塞气举排水采气自动控制系统，远程控制气井生产，并对异常情况及时报警处理。苏A井于2013年5月下节流器，采用手动间开投产方式，2018年1月打捞节流器后上柱塞设备，确定生产制度：1/2次×30min。目前生产稳定，生产油套压恢复明显（图2）。柱塞运行前后，平均日产气量增加了 $0.32 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，日产水量增加了 $0.25 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，排水采气效果明显；且实施前后井口压差分别为5.1MPa和0.3MPa，生产稳定，恢复明显。

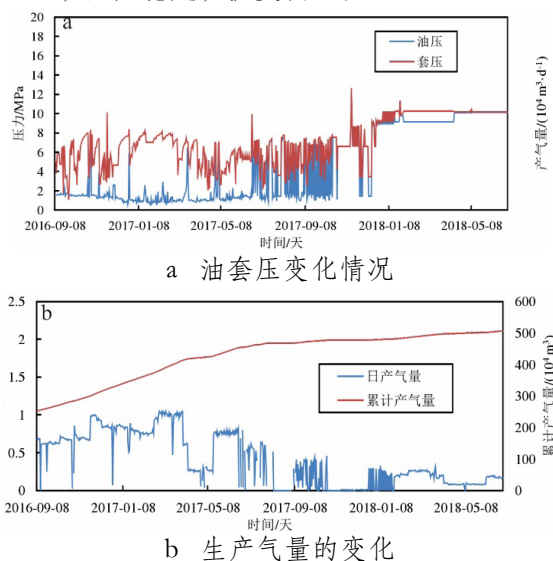


图2 柱塞气举排水采气在苏A井的应用

#### 3.2 延安气田水淹井复产排水采气工艺

气举排水采气是把高压气体从气井油管注入将井筒

内的积液从油套环空处排出（正举）或从气井油套环空注入将井筒内的积液从油管排出（反举），从而降低井筒内液柱的高度、减小气体回压，使气井恢复正常生产。根据气体类型，可将其分为高压氮气气举和高压天然气气举两大类。根据氮气来源可将其分为现场制氮气举和液氮气举两种。与液氮气举相比，现场制氮气举的成本较低、排出压力不高，适用于压力等级偏低的气井。根据天然气来源可将其分为压缩机气举和井间互联气举两种。压缩机气举排水采气是将来自油管的天然气经过分离器分离处理后由压缩机增压从气井油套环空注入井中，反复循环带出井筒积液。井间互联气举排水采气是利用井场上的高压气井作为气源，将其生产的天然气注入到低压弱喷气井的油套环空，将积液从油管排出。井间互联气举排水采气工艺实施的先决条件是同一井场要有高压气源井。

连续油管排水采气是以气井临界携液流速理论为基础，通过在井筒内下入较小直径的连续油管，构造小管径生产管柱，减小流通面积，增大流动速度，提高携液能力，从而使气井恢复正常生产。该工艺适用于地层压力小、产水量多的气井，具有施工快、见效早、长期有效、对地层伤害小的优点。

### 4 结论

①排水采气工艺是提高低渗透气田有效开发的重要举措。系统研究了井筒积液机理，指出了不同生产条件下积液气井为有效选择排水采气工艺方法提供依据；

②近年来，国外排水采气技术在成熟工艺的配套完善取得重要发展，如气举排水采气、电潜泵排水采气、柱塞排水采气、机抽排水采气等。国内进展主要体现在泡沫排水采气、气举、速度管柱以及柱塞4种主体排水采气技术的配套完善与规模推广应用；

③排水采气工艺在我国鄂尔多斯盆地低渗透气田取得了良好的应用效果，这些成功经验和技术值得进一步推广应用。

### 参考文献：

- [1] 曹光强, 姜晓华, 李楠, 等. 产水气田排水采气技术的国内外研究现状及发展方向 [J]. 石油钻采工艺, 2019, 41(5): 614-623.
- [2] 王海宇. 低压低产气井排水采气工艺技术 [J]. 化学工程与装备, 2021(3): 138-139.
- [3] 程旭明, 顿昊龙. 气举排水采气技术在苏里格南区块水淹井的应用及效果评价 [J]. 石油工业技术监督, 2021, 37(2): 7-11.
- [4] 孙颖婷. 靖边气田不同气井泡沫排水采气工艺优化技术研究 [D]. 西安: 西安石油大学, 2017.
- [5] 叶安臣. 柱塞气举排水采气系统研究与应用 [D]. 北京: 中国石油大学(华东), 2019.
- [6] 张成斌, 米伟伟, 井文超, 等. 延安气田排水采气工艺实践 [J]. 天然气勘探与开发, 2019, 42(4): 121-126.