

# 油田注水除氧技术与真空旋流水除氧装置

张学文 张永兴

(石油川口喷射技术研究所,河北廊坊 065077) (物资装备(集团)总公司,北京 100029)

李丹岩

**摘要** 注水中的溶解氧不仅腐蚀管道和注水设备,而且会对油田开发造成不利影响,为此原石油部专门制定了相关规范,对目前使用的各类除氧方式在油田注水中的适应性进行分析。针对油田注水除氧主要采用的脱氧塔所存在的体积大、效率低、能耗高等缺点,提出了应用真空旋流水除氧装置取代现有设备,详细论述该项新技术的主要工作原理,并分析了其在油田注水除氧工艺应用中的优势。

**主题词** 油气田 注水 脱氧 真空 旋流分离器

**作者简介** 张学文,1957年毕业于北京石油学院采油专业,中国流体工程学会喷射技术专业委员会委员,曾任华北油田采油四厂总工程师。张永兴1991年毕业于华北油田职工大学采油专业,现任副所长。李丹岩,1964年生。2001年毕业于西北大学,获硕士学位,现在通用金属材料部工作,工程师。

目前油田采用的注水水源相当一部分是地面水和地下水,地面水中溶解的氧为饱和状态时溶氧值高达14mg/L,地下水在采集输送、储存过程中,几经曝气,送到注水井时的含氧量一般为5mg/L。

水中溶解氧的存在加速了金属管道及设备的腐蚀,输送高含氧水的注水管道在使用10年后,往往就得更换。注水管网、设备及注水井套管由于长期腐蚀变形,大量的腐蚀产物——氧化物随注水进入油层,日积月累造成油层堵塞,使一些低渗透油田过早失去开采价值。

## 一、油田注水除氧的必要性

1. 溶解氧对注水管道、设备及套管的腐蚀 注水管道、井下套管腐蚀的主要原因是:水中溶解氧不仅直接造成管道腐蚀,而且如果钢铁表面有沉积物存在,就会形成氧浓度差电池腐蚀,其腐蚀速度相当快。根据室内试验及现场观测结果,油田污水溶氧量为0.12mg/L时,管道腐蚀率为0.41mm/a;当污水中溶氧达0.3mg/L时,水对管道的腐蚀率可达1.24mm/a左右。

2. 溶解氧进入油层的危害 根据美国对岩心进行室内试验证实,氧引起岩心渗透率的下降程度十分惊人,如图1所示。含氧水注入碳酸盐岩时,经过0.45 $\mu$ m膜滤器过滤,以除去悬浮固体颗粒,即使水受到氧的污染,也不发生渗透率降低的情况。但经过1.2 $\mu$ m膜滤器过滤时,受氧污染的水会引起堵塞,而不含氧的水,即使只经过3~5 $\mu$ m膜滤器过

滤,也不发生堵塞现象。

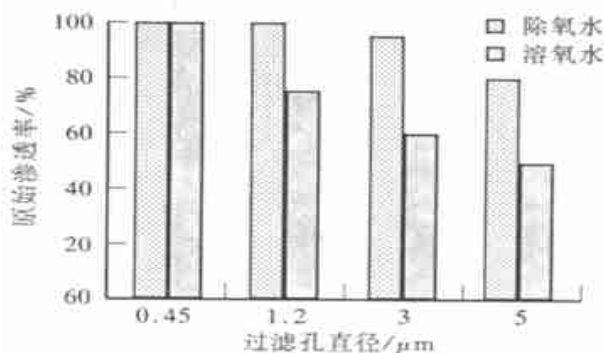


图1 氧对渗透率影响柱状图

水中溶解氧进入油层后,对水中溶解铁和原油中的胶体进行缓慢的氧化,形成很细的沉淀导致油层孔隙减小,降低原油的采收率。

3. 氧化物对油层的危害 从水源井到注水井,直至进入油层之前,水都和金属铁接触,而氧腐蚀所形成的氧化物进入地层后,不仅金属氧化物对地层会造成堵塞,而且水中铁含量的增加还会对渗透率产生很大的影响。

4. 细菌产物对油层的危害 溶解氧进入油层还造成细菌的大量繁殖,在细菌作用下水中的悬浮物不断增加,而悬浮物的积累也会造成油层的堵塞,并且溶解氧直接为好氧菌服务,间接为厌氧菌服务。若除去溶解氧,这2种细菌的生存繁殖都会受到抑制。

5. 溶解氧对聚合物的破坏 近几年,部分油田

在开展注聚合物驱油提高采收率的试验。试验表明:水中溶解氧会氧化聚合物,使高分子的聚合物分子链变短,致使粘度变小,最终降低了驱油效果。

基于上述原因,对注入水除氧是十分必要的。为此中国石油天然气公司在SY/T5329-94《碎屑岩油藏注水水质推荐指标及分析方法》第4.3.2条中规定:油田注入清水溶氧量要 $\leq 0.5\text{mg/L}$ ,油层采出水溶氧量 $\leq 0.05\text{mg/L}$ 。

## 二、现有除氧形式简介

水中溶解氧的脱除方法很多,常用的有化学法、加热法、蒸汽负压法、解析法、真空法等。

1. 化学除氧法 化学法除氧主要有钢屑除氧和药剂除氧2种。钢屑除氧就是使水经过钢屑过滤器,钢屑被氧化,而将水中的溶解氧除去,一般钢屑除氧仅用于小型锅炉供水除氧;药剂除氧即向水中加入药剂使其与水中的溶解氧化合成无腐蚀性的物质,以达到除氧的目的。通常采用药剂为亚硫酸钠( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ),与水中溶氧反应生成硫酸钠。药剂除氧装置简单,操作方便,但药剂价格较高,并且除氧后水中含盐量要增加,易造成二次污染。

2. 热力除氧 为了使氧气从水中析出,除了将水加热到沸点外,还必须在设备上创造条件使气体能有效地从水中分离出来。热力除氧器运行中必须调节汽量及水量,保证压力在 $0.02\text{MPa}$ 、水温在 $104\sim 105^\circ\text{C}$ 之间,以保证将水恰好加热到沸腾。热力除氧能耗大、操作困难,无法满足注水除氧的要求,在中小型锅炉除氧中也逐渐被淘汰。

3. 解析除氧 就是将不含氧的气体与需除氧水强烈混合,由于不含氧气体中氧的分压为零,含氧水中的氧就大量地扩散到无氧气体中去,从而使注入水的含氧量降低,以达到除氧目的。通常使用木炭反应生成二氧化碳气体方式进行解析除氧,但是解析除氧效果的影响因素很多,稳定性较差,解析除氧后也会使水中 $\text{CO}_2$ 含量增加。故近年来只用于部分小型锅炉除氧。

4. 常规真空除氧 真空除氧是利用低温水在真空下达到沸腾,从而达到除氧目的。各种气体在水中的溶解度与其在空气中的各自分压相对应。根据亨利定律,降低气相总压力及各组分分压,可使水中的气体各组分同时逸出,所逸出量和水中剩余量决定于各组分的分压。通常利用这一机理设计真空除氧,在脱氧装置内一方面应尽量降低压力(提高真空度);另一方面设法扩大水体表面积,让水变成细小

的颗粒,在降低装置内压力的同时使溶解气有更多的机会逸出。真空除氧不造成水质的二次污染,是一项环保型的除氧技术。当除氧器内真空度保持在 $-0.089\text{MPa}$ 以上时,水在常温下的溶解氧含量低于 $0.05\text{mg/L}$ ,达到油田注水要求。真空除氧是在常温下除氧,能耗低;对水质无影响;在除去水中溶解氧的同时也可去除 $\text{CO}_2$ 等各种溶解气体。正是由于真空除氧具有常温除氧、能耗低、日常维护简单、对水质无影响、处理量大等优点,目前国内外油田注水除氧多采用这种形式,为此总公司制定了《油田注水真空脱氧设计规范》。经脱氧塔除氧后,水中一般还含有 $0.5\text{mg/L}$ 的剩余溶解氧,为使水的含氧量降到规定值,须再投加化学脱氧剂。同时为增大水气的接触面积以利于脱氧,一般需建净高在 $20\text{m}$ 以上的脱氧塔,耗钢量极大,造成一次性投资高。

## 三、真空旋流水除氧装置

真空旋流水除氧是一种全新的真空水除氧技术。同现有的真空脱氧塔技术相比,它具有效率高、能耗低、自控性强、一次性投资低、日常维护少等优点,可一次处理达到规定标准,是油田注水除氧技术的换代产品,其主要工艺流程如图2所示。

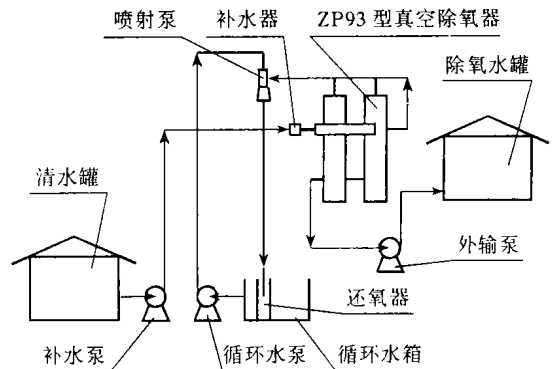


图2 真空旋流水除氧装置示意图

真空旋流水除氧技术同现有技术相比主要有以下几方面的特点。

1. 效率高 脱氧塔采用填料塔形式来增大水与气的接触面积,含氧水从塔顶喷淋进入脱氧塔,流经塔内填充材料扩大水体表面积,使溶解气有机会逸出。尽管脱氧塔体积庞大,但其增大的水体表面积受塔内填充材料表面积的限制,同时水体与固体填料直接接触,减少了气体分离的有效面积,阻碍气体逸出,这就制约了其除氧效率的提高,使脱氧塔的出水剩余溶氧量超过规定标准。而真空旋流水除氧技术抛弃了以往填料形式,采用带压水通过雾化喷嘴进入真空容器喷射雾化的方法来增大水体表面积。

以8mm喷嘴为例,  $1\text{m}^3$ 水仅形成直径8mm的液柱, 其表面积就可达 $500\text{m}^2$ , 在雾化后表面积可增至 $6 \times 10^4\text{m}^2$ (水珠直径可小于1mm); 若平铺开水膜厚度不足0.017mm, 并且其界面没有固体分隔, 气水分离条件远远优于填料形式。气体仅需通过不足0.5mm的水滴半径就可逸出水体, 这样提高了除氧效率, 使真空旋流水除氧装置能在水流通过的极短时间内完成一级真空除氧。真空旋流水除氧装置在极大地增加水体表面积、提高一级真空除氧效率的基础上, 又增加了二级旋流水除氧, 水体经雾化真空除氧后进入二级旋流除氧部分。流体旋流装置主要依靠所分离的2种介质间的密度差来完成, 一般的旋流装置, 如水除砂装置, 其水、砂密度比相差不到3倍, 而在真空状态下水体不可膨胀、密度基本不变, 气体急剧膨胀造成液、气密度比达5000倍。在如此大的密度差下, 水经旋流分离后水体中溶解的气体极少, 可达到规定要求直接注入地层。

2. 耗钢省 由于真空旋流水除氧装置是采用真空雾化来实现增加水体与气体接触面积的, 因此需要的雾化空间很小。同常规的真空脱氧塔相比, 真空旋流水除氧装置耗钢量不足其1/5, 这就大大减少了装置本身及基础处理等投资费用。

3. 真空度高 真空除氧装置的处理效果在很大程度上取决于工作真空度, 真空度越高则除氧速度愈快、效果愈好。高真空度不仅要求抽真空设备性能高, 而且要求整个除氧系统的密封性要好。真空旋流水除氧装置在2个方面都大大超越了现有的真空脱氧塔装置, 在抽真空方面: 真空旋流水除氧装置所使用的专业真空水喷射泵具有高真空、大抽气量的特点, 能够满足真空除氧的要求; 在密封性方面, 要取得较好的密封效果, 装置的体积不能过大, 否则很难实现良好的密封。常规的真空脱氧塔直径大于1m, 为满足填料高度的需要, 间吸式塔体高度一般为20m, 直吸式塔体一般高度为14m。如此庞大的体积会造成整套装置的漏气量增大, 其工作状态下真空度就很难得到提高, 这也是出水剩余溶解氧含量较高的主要原因之一。而真空旋流水除氧装置采用的是喷射雾化的处理方式, 它要求的空间量很小, 装置体积也相对很小, 这样实现整体的密封较容易。正是基于上述原因, 真空旋流水除氧装置的操作真空度较高(绝对压力小于11kPa), 优于一般除氧装置。在如此高的真空度下, 水体表面气相主要由水蒸汽构成, 其它各气相的分压都几乎为零, 所以在除

去水中溶解氧的同时, 也除去了水中溶解的 $\text{CO}_2$ 等气体, 在降低氧腐蚀的同时也减少了 $\text{CO}_2$ 等气体的危害。

4. 能耗低 真空旋流水除氧装置全部动力均由1台除氧泵提供, 并且无除氧药剂、催化剂及其载体的消耗。除氧泵出口压力要求在0.5MPa左右, 若以除氧泵出口压力为0.5MPa计算, 则除去1t水中的溶解气体仅需耗电0.22kW·h。

5. 无污染 真空旋流水除氧装置是通过带压水经喷射雾化、旋流分离来实现水除氧的, 并依靠水力喷射泵来抽取高真空。整个除氧过程都是靠带压水的流动来实现的, 由于除氧效率高, 出水已能满足注水要求, 无需进行加药处理, 是完全的物理除氧过程, 因此, 不会对水质产生影响。

6. 日常维护少 由于真空旋流水除氧装置中除给水泵外, 没有其它任何运动部件, 所以其故障率接近于零; 仅存的喷嘴堵塞问题由于注水经过精细过滤, 其含固体颗粒杂质的可能性极小, 所以喷嘴堵塞也很难发生。日常维护只需保证装置供水正常即可。

#### 四、真空旋流水除氧装置在油田注水应用中效益分析

真空旋流水除氧装置不是在原有技术上的改进、提高, 而是一种新构思下的创新。它具有一次性投资省、效率高、能耗低、无污染、操作简便的特点, 如能在油田注水中得到推广应用, 可减轻注水泵、配水间、注水管网的腐蚀, 延长其使用寿命; 油田注水中溶解氧及其氧化物会造成地层堵塞, 使地层渗透率下降, 改注除氧水后可减少地层堵塞, 降低增注措施费用; 由于油田注水工作的改进, 必将对提高采油速度、缩短开发周期、提高油田最终采收率、充分挖掘油田潜力起到良好的作用。

真空旋流水除氧技术由于采用旋流强制除氧, 其效率大幅提高, 装置体积减小, 气体漏失量降低, 同时采用常规离心泵提供的高压水为动力实现高真空, 与水环式真空泵相比能耗降低近60%。以处理量为 $150\text{m}^3/\text{h}$ 为例, 若采用常规脱氧塔需配套90kW水环式真空泵2台(1台运行1台备用), 年耗电约 $65 \times 10^4\text{kW}\cdot\text{h}$ ; 采用真空旋流水除氧装置则仅需配套22kW清水离心泵2台(1台运行1台备用), 年耗电约 $15.8 \times 10^4\text{kW}\cdot\text{h}$ , 节约成本约25万元。同时真空旋流水除氧可达到一次除氧合格, 无需再次进行加药除氧, 节约了脱氧剂的成本, 与常规脱氧塔相比,

# 新型泵下磁性滤锈砂装置

魏彦华

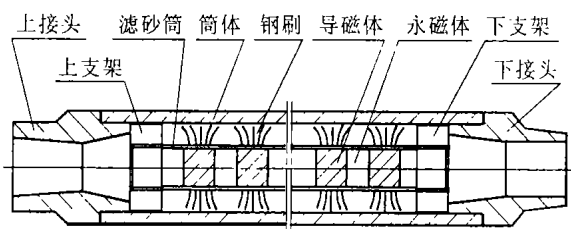
(华北石油管理局中等职业学校, 河北任丘 062552)

油田开发后期, 由于井液含水量增加及套管老化, 使套管的锈蚀日趋加剧。其锈蚀物与来自地层的细砂混凝在一起, 形成一种在井液中不易沉降的黑色油砂, 油砂进入抽油泵后会造泵的严重磨损, 甚至卡泵。为解决这一问题, 经现场考查, 取油砂的试样分析, 结果表明: 油砂的主要成分是铁的氧化物和硫化物, 是较强的磁性物质。根据这一特点, 采用磁场分离技术, 研制出泵下磁性滤锈砂装置, 经3年多的现场试验, 达到了预期的效果, 该装置已获得国家专利(专利号: ZL 99 2 08178.5)。

## 一、基本结构

泵下磁性滤锈砂装置主要由壳体、滤砂筒和磁芯体组成, 见结构示意图。

滤锈砂装置壳体由上接头、下接头和筒体用螺纹连接构成。在无磁不锈钢筒的外表面分段焊接上导磁钢刷构成滤砂筒, 用上、下支架将其固定在筒体内。由多个圆柱形永磁体和多个圆柱形导磁体间隔排列, 用胶粘剂封固在无磁不锈钢管内, 构成磁芯体, 并将其固定在滤砂筒内。



磁性滤锈砂装置结构示意图

## 二、工作原理及主要技术指标

1. 工作原理 该装置连接在抽油泵和尾管之间, 由于磁芯体在筒体与滤砂筒之间形成高强度、高梯度的磁场, 当井液通过该环空时, 悬浮在其中的油砂将被吸附在滤砂筒上, 从而达到防止油砂进入抽油泵的目的。当滤砂器工作一定时间需要对吸附的油砂进行清除时抽出磁芯体, 滤砂筒就失去了磁性, 吸附在其上的油砂很容易清洗干净。清洗后重新装配好, 可继续使用。

2. 永磁材料及磁路设计 为能在过液环空中形成较高的磁场强度和磁场梯度, 以提高对油砂的吸附率和吸附强度, 并考虑在油井高温条件下长期工

预计年节约成本总计30万元。该项技术常温除氧高效、低耗、无污染, 正适用于油田注水需要, 不仅适用于新建注水项目, 而且可以对现有脱氧塔进行改造。

## 五、结论

1. 水中溶解氧不仅会对管道和设备造成腐蚀, 影响其使用寿命, 更重要的是水中溶氧及腐蚀产物和细菌产物还会降低油层渗透率和原油采收率。因此, 对注水溶氧危害的认识不应简单地停留在管道腐蚀上, 无论从延缓管道腐蚀、改善地层渗透率还是提高原油采收率上考虑, 油田注入水都必须除氧。

2. 常规除氧方法中的化学法、加热法、蒸汽负压法、解析法等, 都不能满足油田注水处理量大、指标高的要求, 目前油田较多选用的真空脱氧塔方法有着耗钢量大、能耗高、需二次加药等缺点, 而真空旋

流水除氧装置具有体积小、效率高、能耗低、无需二次加药的特点, 必将成为脱氧塔的换代产品。

3. 目前该技术已在天津、青岛、安徽、兰州等地化工、供热等领域得到推广应用, 并普遍得到用户的认可。

## 参 考 文 献

- 1 金静芷编著. 注入水的水质控制及检验. 石油工业部科学技术情报研究所, 1988
- 2 石油天然气行业标准 SY/T 5329-94《碎屑岩油藏注水水质推荐指标及分析方法》
- 3 石油天然气行业标准 SYJ46-91《油田注水真空脱氧设计规范》

(收稿日期 2001-05-18)

(修改稿收到日期 2001-08-19)

[编辑 郑秀娟]

field. The spend acid should be disposed before it is discharged. The compound acid is developed after experiment of selecting the type and concentration of acid, selecting additives and analyzing spend acid. Field testing at offshore Oilfield SZ36-1 are successful.

**Subject heading** offshore field acidizing acidizing fluid plug removing environmental protection

### **RESEARCH OF SALT-RESISTING COLLOIDAL DISPERSION GELS**

by Wu Jiazhong, Wang Zhengliang (Jiangnan Petroleum Institute), Wang Zhiyong, Shi Bozhong

**Abstract** A new system of salt-resisting colloidal dispersion gels (CD gels) is researched and prepared. It contains nonionic polyacrylamide whose appropriate degree is from 800 mg/L to 1500 mg/L, acetic chromium whose appropriate degree is from 80 mg/L to 160 mg/L and formaldehyde whose degree is from 200 mg/L to 400 mg/L, etc. The CD gels have good salt-resisting and good water shutoff properties. Sixteen wells is efficacious within the eighteen field testing wells. Good effectiveness is achieved after field test.

**Subject heading** depth profile control colloidal dispersion gels salt tolerant property research field testing

### **TECHNOLOGY OF PREVENTION OIL STOLEN AND GAS CONTROL SYNERGY IN OIL PUMPING**

by Huang Xuebin (No. 1 Production Plant, Zhongyuan Oilfield Co.), Chen Xuezhong, Tan Qingxian, Pan Weiguo, Dong Lixia, Jia Zonghua

**Abstract** In Wenliu Oilfield, the normal production of oil well was affected by oil stolen from casing, since the ratio of gas and oil is higher, the production fluid level is higher and the energy of oil well is more abundance. According to this problem, casing oil stolen prevention sealing valve was developed, matching with down-hole oil-gas separator and gas lift valve lift technology. After the gas-fluid has been separated by the downhole separator, the gas got into annular space of casing and tube. With the oil stolen prevention sealing valve, annular space was sealed, then the gas could get into tube when its pressure is high enough to open the gas lift valve, this made the pressure of tube-casing annular space balanced. Since field test effect is obvious, a new route was afforded to likely oilfield.

**Subject heading** oil pumping prevention air lock oil stolen gas lift valve application

### **APPLICATION OF SAND CONTROL TECHNOLOGY FILLED ONLY ONE TIME WITH PACK AND HIGH PRESSURE**

by Wang Song, Chen Laiping, Chen Guang (Hekou Oil Production Plant, Shengli Oilfield Co.), Wang Heliang

**Abstract** To be filled in or out of the tube is the develop tendency of the sand control technology with gravel filled, so filled only one time with pack and high pressure dose. The principles, tool structure, and construction procedure were introduced, and the design method of the main parameters, such as discharge capacity, pressure were expounded. It was introduced that the technology has been used in old well with single or more beds, new wells, inclined wells and wells with siltstone. It has more advantages such as shorter construction period, longer sand control efficiency period, stranger applicability, and higher fluid production intensity. The higher integrate benefit of it has been obtained.

**Subject heading** pack high pressure sand control in or out of tube filling application

### **TECHNOLOGY OF PLUG REMOVAL INJECTION INCREASE WITH ECCENTRICITY SEPARATE LAYER WATER INJECTION HYDRAULIC SOUND WAVE**

by Wu Hexiang, Song Bingzhong, Li Jiaming (Petroleum Engineering Academe, Henan Oilfield Co.), Wang Kai

**Abstract** The research of technology of plug removal injection increase with eccentricity separate layer water injection hydraulic sound wave was developed according to the state and the problem of old Oilfield development. The technology principle and characteristic, the main technique parameters, and the field test were introduced. The structure and working law of the main matching tool PXS-115-25/120 was narrated. Field application showed that this technology had some advantages such as simpleness technique, little investment, longer efficiency period.

**Subject heading** water injection well separate layer water injection sound wave plug removal injection increase research application

### **DEOXIDATION OF OILFIELD INJECTION WATER AND VACUUM SEPARATOR WITH CYCLONE WATER DEOXIDATION**

by Zhang Xuewen, Zhang Yongxing (Chuankou Technique Research Institute of Petroleum), Li Danyan

**Abstract** The dissolution oxygen in injection water not only erode pipeline and water injection equipment, but also affect oilfield development effect, so a correlation criterion was made by CNPC. Every kind of deoxidize fashion in field water flooding were analyzed. The disadvantages of each fashion were pointed out. It was put forward to use vacuum separator with cyclone water deoxidation instead of existence equipment. The main work principium of this new technology was discussed in detail, and the advantages of it using in field water injection were analyzed.

**Subject heading** oil and gas fields water flooding deoxidation vacuum separator