

液态二氧化碳洗井效果及影响因素的分析

陕西省地质局第一水文队 黄主梁

陕西地区施工水文、水井钻孔绝大多数是在第四纪地层中成井并下入缠丝滤水管和围填砾料的,为了使液态二氧化碳井喷洗井法能适应这种条件,我们致力于使该洗井技术在基岩裸眼压酸的基础上,扩大使用条件和适应范围。经过两年来的实验使用,已在生产中发挥作用,达到增大钻井涌水量的目的。

(一) 液态二氧化碳洗井的应用范围和效果

我们共洗机井27眼,分别在井深120~300米、管径(指内径)159~305毫米之间进行的,共计洗井61组(次)。其应用范围分新、老井两大类。

第一类:新打的水井

当下管、投砾和洗孔等工艺完成后,抽水时发现水量明显偏小,分析原因有下面几点:

①钻进时采用自然造浆,洗孔不彻底;②在颗粒较细的含水层中,滤水管类型选择和砾料级配不当或包棕皮过厚,抽水时管内外易涌砂堵塞;③投砾中途遇阻,难以处理,上部又已投进粘土球止水,但抽水时砾石下沉,孔壁塌陷,造成部分透水体与止水物的

错位;④井管下入时,发生断管漏砾事故,虽经对接或补管处理,但不宜使用活塞在管中频繁拉动,故影响了洗井质量;⑤施工方法上的问题,如钻进漂、卵石层时,配合孔内爆破钻进和扩孔,还投入大量粘土以防坍塌,造成泥皮加厚、沉淀物过多,给洗孔工作带来困难。

第二类:完工已久水井由于多方面的原因造成洗井时间不足与质量下降。安泵试抽来水很小。待修的旧井由于井管、滤水管部位产生铁瘤、碳酸盐积垢之类的阻塞物,堵住进水通道,陷于干涸报废,使用常规办法洗井未能奏效。采用液态二氧化碳洗井后,单位涌水量增大系数分别达到0.75~4.7倍。挽救了一些曾被定为报废无用的机井。目前除常用于钢质、铸铁管外,在石棉水泥管和砾石混凝土井管中用二氧化碳洗井成功的已有三例。实践证明,它有见效快、成本低、施工周期短和操作简便等优点。

表1及表2为几个井的洗井情况及效果。

表2以老井C₆和C₁₀为例,分别说明在处理该井涌水量贫乏过程中所用的洗井方法,耗时间、金额与出水量增加(或倍数)之间的关系。

液态二氧化碳洗井实例表

表 1

机井分类	井孔号	井管深度(米)	孔径/井管内径(毫米)	洗井前静水位(米)	含水层		原抽水量(升/秒)	液态二氧化碳				CO ₂ 洗井后的出水量(升/秒)	水量增大系数(倍)
					累计深度(米)	主要岩性		洗井主要原因	洗井组次	用量(公斤)	井喷前压力表实测压强的最大值P(公斤/厘米 ²)		
新井	C ₄	259	480/203 变350/159	75 72	116	砂砾,卵石中粗砂,粉砂	0.6	断管事故,滤水管错位	一 二	210 200	36	1.51 2.91	1.5 3.85
	C ₅	250	450/203 变350/159	33	101.5	砂砾、卵石胶结层砂砾石含泥层	1.2	投砾遇阻,孔壁塌陷	一 二 三	130 110 110	26	6.89	4.7
老井	C ₇	120	500/203	26	62	细砂,粉细砂	原出水量1.3,后开泵2分钟就不连续	水眼堵塞,已隔二年半	一 二 三	130 110 90	28	4.88	2.9
	C ₈	165	500/254	56	46.5	中粗砂,中砂,细砂,粉细砂	开泵20秒断流	水眼堵塞,已隔三年	一 二 三 四	210 210 136 110	30	3.89	高倍
	C ₁₀	120	500/305 变480/203	51	42.47	以漂卵石半胶结为主,胶结物由钙质泥质组成	0.13	爆破钻进扩孔,泥皮过厚,已隔八个月	一 二 三	120 120 120	31	0.66 0.86	0.65 1

表 2

项 目	洗 井 方 法	空气压缩机吹洗		活 塞 洗 井		压酸洗井	化学剂处理 (六偏磷酸钠)	液态二氧化碳洗井	
		C ₈	C ₁₀	C ₈	C ₁₀	C ₁₀	C ₁₀	C ₈	C ₁₀
纯洗井所耗时间(小时)		62	40	53	88.5	3	11.7	4.5	1.7
材料费用(元)		710	400	390	700	199	377.68	341	169
涌水量(升/秒)	开泵20秒 断流,没法 测定涌水量		0.43	开泵半分 钟断流,情 况同前	0.43	0.43	0.66	3.89	0.86
水量增大倍数		0	0	0	0	0	0.65	很大	1

(二) 洗井现场设备装置及应知数据

二氧化碳洗井前,应该掌握该井深度、井身结构、含水层主要岩性及埋深、静水位、送气管道埋入水中的深度、水温资料、原抽水时的单位涌水量等内容。洗井时,应测量和记录送入二氧化碳的数量、定时记录压力、流量表值、喷水的始、终时间、水柱高度、水色的变化和形状。井喷前、后还要在井口观察和倾听有否喷气现象和井内翻浪、注水的声响变化等情况。井喷景观见图1,洗井现场装置见图2。

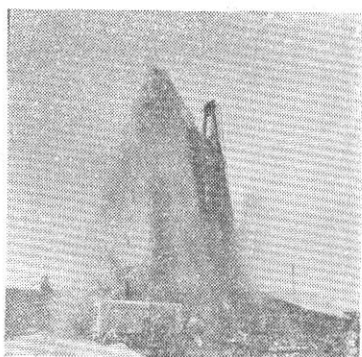


图 1 井喷情景

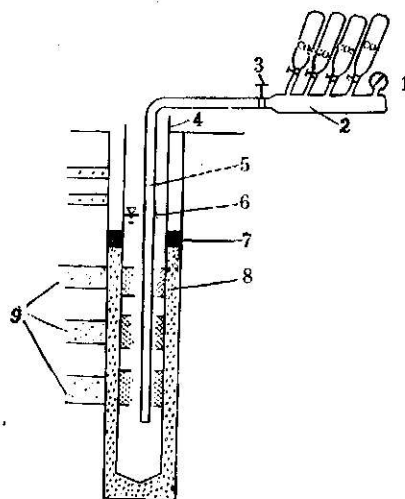


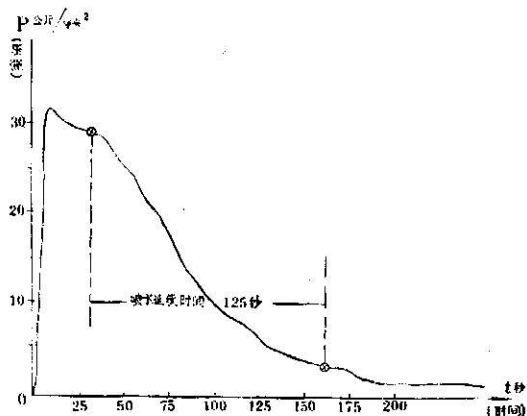
图 2 液态二氧化碳洗井现场装置示意图

1—压力表; 2—管汇; 3—高压阀门; 4—井管; 5—输送CO₂管道; 6—静水位; 7—止水物; 8—围填砾料; 9—含水层

(三) 液态二氧化碳洗井影响因素的分析

1. 洗井的普遍规律

根据现场记录数据,作出表压值 p 和时间 t 的关系曲线。从曲线的规律中,分析洗井的全过程及某些主要的影响因素。其普遍规律是:打开阀门, p 很快升至顶点,呈直线上升,直线与横轴线的夹角常为85°左右,随时间增加,压强稍有下降,然后井喷开始, p 逐渐下降至喷水终结时,管道内仍有余压,表

图 3 CO₂洗井压强历时变化曲线—(A)型举C₁₀井第一组洗井时实例

针不能回复零位,井水继续翻浪,往往持续15分钟左右。经统计,这种曲线形式占二氧化碳洗井中的82%左右,为最常见的 $p-t$ 关系曲线,或称为“压强历时变化曲线”——(A)型。见图3。

洗井过程中,安装于管汇上的压力表表压值,随着送气管道埋入水中的深度增加而增高。喷水前,井内液柱重量不变,二氧化碳吸热气化膨胀,产生气泡,随气化的二氧化碳增加而气泡迅速膨胀,体积增大,则压力也增加,当气体压强大于水柱压强一定值时,水柱上升,形成井喷。

在释放定量的二氧化碳的过程中,喷水前如用的时间越短,压强急增所形成的 $p-t$ 曲线前段越陡,这说明流量大,扩散速度快,能量损失小,对洗井效果有利。此外,温度也是影响洗井效果的一个参变量。工作中发现喷水前的一段 $p-t$ 曲线,呈现夏季陡、冬季缓的现象,说明液态二氧化碳体积不变时,如外界温度上升,压强也随之增大,互成正比关系,实测结果,可见表3。

表 3

CO ₂ 充装系数为0.625*时		CO ₂ 充装系数为0.72时	
温度 (℃)	压 强 (公斤/厘米 ²)	温度 (℃)	压 强 (公斤/厘米 ²)
20	58	20	58
30	75	30	82
40	100	40	125
50	130	50	160

* 充装系数 0.625—表示钢瓶内每升充 0.625 公斤 液态CO₂ 的重量。

实践证明,在管汇及阀门部位加热,如用喷灯烘烤或沸水浇淋,可使压强增大,缩短气化膨胀做功的时间,加快导致井喷,提高洗井效果。

2. 产生压强历时变化曲线(B)型和(C)型的因素分析

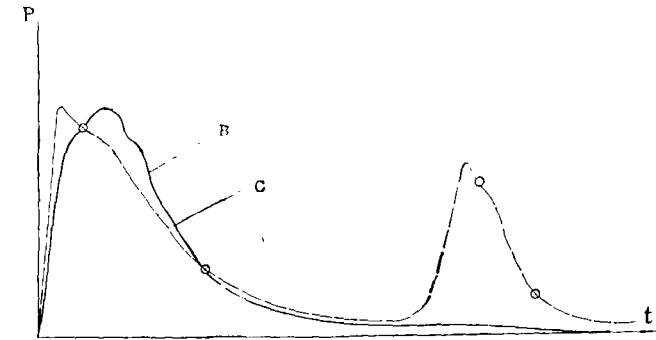


图 4 CO₂洗井压强历时变化曲线图 (B)、(C)型

洗井中还发现(B)型和(C)型两条曲线,增加了对影响洗井因素的认识。(图4)

概括说来,如在一个井中分几组洗井时, $p-t$ (A)型曲线在各组都可见到,而(B)、(C)型两种曲线均出现于第一组洗井之后。(B)型曲线与(A)型曲线不同之处,表现于喷水点不在曲线峰值以后而在峰值之前。即井喷开始后,曲线仍在上升, p 值仍在增大。与此同时,观察到液体的颜色非常混浊。表明前一组洗井已经不同程度地冲击破坏泥皮与裂隙堵塞物,造成井内沉淀相应增加,于其后各组洗井喷水时带到井外。显然液体所含泥砂量越多,水色特别混浊之时,即液体比重增大。所以在井喷出现后的喷水延续时间内, p 值仍有增大的趋向。说明洗井中液体由较清→较混→混浊(或特混)的过程及现象,已有效地消除了不良因素对疏通含水层的影响。

$p-t$ (C)型曲线表明在某些钻井内一次送入二氧化碳后,接连出现两次喷水的情况,其时水色由混浊到较浊。由于第一次洗井喷水疏通了含水层后,井管内外出现压差,承压水就涌进井管。如果疏通情况越好,水量补充越迅速;另一方面,由于发生一次井喷总不可能将二氧化碳耗尽(余压),即井下还有气泡的存在,当有足量的承压水不断补给时,在井口就能清楚地听到多股往井内连续注水的声响,这时,气泡周围又产生密闭区,液柱压缩气泡,压强又增大,当膨胀气体的压力达到一定值时,就可以连续洗井并造成第二次井喷,形成一条由二次喷水组成的连续曲线。凡出现这种情况,(如C₄、C₅、C₇等井),洗井的效果很好,水量增加倍数较大,是最佳的 $p-t$ 曲线。

举C₄号井第二组洗井时为例,第一次喷水(表压最高值:36公斤/厘米²,喷水水头高度:15米,喷水延续时间85秒,余压2.5公斤/厘米²),随后经二分半钟再出现第二次喷水,表压回升至10个大气压,喷水高度达13米,延续时间55秒。

由于这种现象的出现,使我们认识到在决定用二氧化碳洗井之前,应认真分析该地区、该井的含水层资料和以往抽水情况以及进水被堵等原因,采取积存余压的措施,使之充分利用,以合理的二氧化碳用量,在条件相当的井段中,争取出现一组之内能再次喷水。

3. 输送二氧化碳管子规格(内径)

曾在两井分别作过比较。前提是其它条件相同。在第一个钻孔中,用 $\phi 89$ 钢管(内径73毫米)、 $\phi 89$ 钻杆(内径69毫米)与 $\phi 50$ 钻杆(内径39毫米)作比较,结果是前两者

不喷水,后者喷水。于另一个井下入1"(25.4毫米)管子,还分别三次改变埋入水中的深度,输送了三组二氧化碳,都不喷水,在井口只能听到阵发性的“咚隆”排气响声。说明了虽然输送同样数量的二氧化碳,但管径过小时,必然送气的时间要长,能量损失大,不能使井下及时得到足够的气体量和突然产生气化膨胀做功的条件(即达不到单位时间内的爆发力),所以只能排水冒泡、但不能实现气举井喷。

实验说明,现在常用的水文钻探管材中,选内径39至50毫米(如 $\phi 50$ 、 $\phi 60$ 钻杆或1 $\frac{1}{2}$ "、2"风管等),其洗井喷水成功率最高。

4. 二氧化碳合理用量计算的探讨

输入井内并产生井喷的二氧化碳量,应在理论上探讨和建立计算其用量的依据,并与实际相验证采用一合理数值,减少盲目性,提高可靠程度。

主要物理量的选定,是根据二氧化碳已转变到气态并在气化膨胀做功形成井喷这一时间内进行的,此时基本符合气态方程计算的条件。

① 关于气体二氧化碳的压强(P)

从二十多个井洗井实例,得知表压 P 的最高值为输送(二氧化碳)管道埋入水中深度的液柱段所产生的压强的3倍左右。考虑到洗井的可靠性,取其最高值即3倍为宜(注:此为经验值)。

② 关于二氧化碳气体体积(V)

此时二氧化碳气体体积,即为排开液体之体积,包括:
 L ——输送二氧化碳管道埋入水中的深度
 l ——井口到静水位的深度
 H ——井喷高度
 h ——二氧化碳气化膨胀,必从管口向四面扩散,故考虑有气体向下冲击,即气泡所占长度(冲击深度,经计算,有5米左右)。(图5)

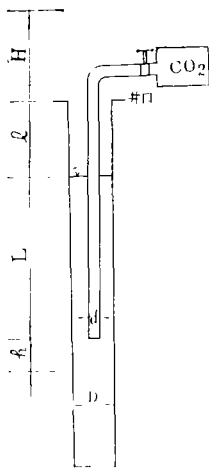


图 5

综合 L, l, H, h 诸因素,决定井喷时二氧化碳气体体积的高度有两种。

i) 取长度(L)之液柱重心到液面距离再加上 h 。(因考虑水为均质液体,实际即 $\frac{L}{2} + h$),这也推出把这段水柱送出井口所经过的距离,是从气体做功来考虑的,较为合理。

ii) 取 $l + H + h$ 三个高度之和。因二氧化碳气体体

积膨胀随即产生 h 外,最终使井筒液面喷出 $l + H$ 的高度,经多孔实测, H 为十余米(如不受重力影响可更高),可见实际气体体积的高度比 $H + l$ 还要大些。

此外, i) 或 ii) 都需加上输送二氧化碳管子从管汇阀门出口至静水位处长度内所占有的二氧化碳气体体积。

③ 关于气体二氧化碳的温度(T)

液态二氧化碳气化时须经降温降压过程(相对于钢瓶内液压而言),气化时间短暂,虽从周围吸收热量,但也不会很多,气体体积膨胀时又放热降温,所以可认为温度处于绝热平衡状态。

井喷时,气体的温度要比井下水的温度低,而又在 0°C 以上。在个别井中放入有铁壳保护和存水装置的温度计,待喷水终了立即提出读数,此时与井内环境相近,和估计的情况也相近似,视具体情况可适当调整几度。西安城区及各远郊或部份地县,曾进行过地热普查勘探,得知每隔100米的地热增温率资料(从地温梯度等值线图查得)。经查证,二氧化碳气体温度在某一深度内比该处水温约低 $6\sim 8^\circ\text{C}$ 。

由于井喷时二氧化碳气体状态的参数 P, V, T 既已得出,便可应用气态方程,求出井中二氧化碳的质量。

$$\therefore PV = \frac{M}{\mu} RT$$

式中:

P ——气体压强,大气压;
 V ——气体体积,米³或升;
 M ——气体的重量,克;
 μ ——摩尔(即一个 CO_2 的克分子量)克/摩尔
 对 CO_2 而言, $\mu = 44$ 克/摩尔;
 T —— CO_2 气化时的绝对温度 K° ;
 R ——常数
 与选用的单位有关,如 P 用“大气压”,
 V 用“升”时,常数 $R = 0.082$ 大气压·

升/摩尔· K

$$\therefore M = \frac{PV\mu}{TR}$$

今以表1的C₇号老井为例,计算 M 值如下:井深=120米;井管内径 $D = 0.2$ 米(半径 $R = 0.1$ 米);静水位 $l = 26$ 米;送气管子埋入水中深度 $L = 89$ 米。

设:管汇阀门出口至静水位处的送气管子长度为30米(因该段还占有 CO_2 气体体积的一部分) $d = 0.051$ 米($r = 0.026$ 米)

$h = 5$ 米

井喷时, CO_2 气体体积的高度可取 $\frac{89}{2} + 5 \approx$

50米

则 $V_1 = 50 \times 3.14 \times 0.1^2 = 1.57 \text{米}^3 = 1570 \text{升}$

$V_2 = 30 \times 3.14 \times 0.026^2 \times 10^3 = 63.68 \text{升}$

$V = V_1 + V_2 = 1633.68 \text{升}$

P : 取28大气压

T : 静水位处水温 10°C

管子出口处水温 12°C

则 $T = (12 - 8) + 273^\circ\text{K} = 277^\circ\text{K}$ 并经用温度计于输送管出口处附近实测估算, 与上选温度值同。

代入公式:

$$M = \frac{PV_1T}{TR} = \frac{28 \times 1633.68 \times 44}{277 \times 0.082} = 88665 \text{克}$$

$= 88.67 \text{公斤}$

平均每瓶 CO_2 净重为22公斤

则瓶数 $= \frac{88.67}{22} \approx 4 \text{瓶 (理论值)}$

上述的理论探讨和计算结果, 经与实际验证基本是相符的。在使用中, 还应当针对具体情况的不同, 认真总结其规律, 得出更好的经验数据或某些修正值, 使之逐步完善。

关于改善长距离小断面巷道通风效果的几点做法

陕西省地质局第六地质队 温孝勤 王咸阳

随着地质找矿工作的发展, 地质勘探巷道深度愈来愈大, 通风问题显得突出。近年来, 一些单位在长距离巷道通风的课题上做了许多工作, 并取得了一定成效, 但长距离小断面巷道的通风问题, 尚未得到完善的解决。

我队机掘队1978年在潼关东桐峪矿区施工 YD22 号平硐, 深度为600米, 断面为 2×1.8 平方米, 使用2号岩石炸药, 一次爆破装药量为20公斤左右, 采用直径0.3米塑料风筒。当掘进到594.5米深度时, 虽采用四台 JBT-51 型通风机串联通风, 但效果很差, 每次放炮后, 通风时间需1—2小时, 而且常发生炮烟中毒事故。

1980年施工 YD35 号平硐, 设计深度为1050米。为使施工能顺利地达到设计要求, 在省局综合研究队的配合下, 我们选用 JBT-51 型轴流通风机作间隔串联抽出式通风, 巷道断面增大到 2×2 平方米, 风筒直径增加到0.4米, 并对风筒和通风机的安设作了调整 (见图1), 加强了对风筒的管理。经过实践, 收到了良好的效果, 在巷道深度为600米时, 使用通风机容量为11千瓦, 风筒的风速、风量比过去大有改善, 平均百米漏风率为6.04%, 送风系数达到0.8。放炮后排烟时间减少到30分钟左右, 一氧化碳浓度一般保持在30ppm 以下。通过分析实测资料, 我们认为要解决长距离小断面巷道的通风, 下面几个问题值得探讨:

一、通风系统的布置

通风系统布置的是否合理, 直接影响通风效果和

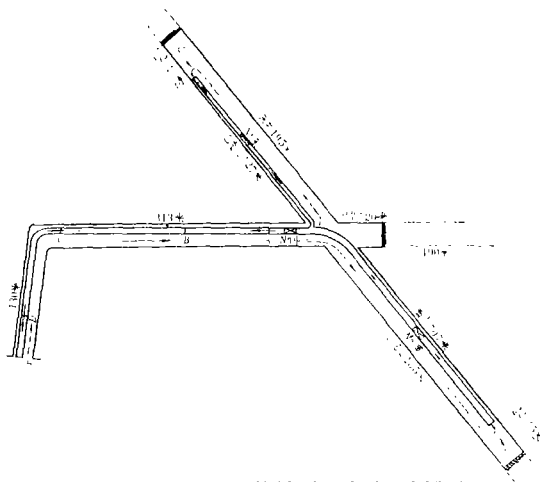


图1 YD-35设计平面及通风布置图

通风距离。因此应根据巷道的特点, 因地制宜地进行合理设计, 及时调整。

如YD-35号平硐是一个交叉巷道, 当施工到交叉点后, 原先是将三台5.5千瓦通风机分别安设在东、中、西三个巷道内。但当主巷暂停施工后, 没有将风机调整, 随着东、西主巷道的延伸, 通风效果越来越差, 通风时间长达1—1.5小时。经过分析, 我们认为主巷通风机的位置, 是妨碍坑道通风的关键, 因为当东或西主巷放炮后, 若同时开动主巷风机时, 由于风筒直径相同, 两股风流在交叉汇合处风阻势必明显增大; 若不开动主巷的风机, 将风筒堵塞, 当风流经分叉处时, 又会产生旋流损失, 都妨碍炮烟的