

⑦

地下水、地层、除铁、气阻

2P-30

## 地下水地层除铁的气阻问题

北京银燕环保设备工程公司

范懋功

TU PPT 112

地下水在地层中除铁时,用水射器把水和空气的混合液注入井中,部分气体在井管中从混合液中分离出来,通过井口的排气阀排走,而留在混合液中的气体经水井滤水管进入地层。水气混合液的流态根据混合液中气体体积而定,有气塞流和气泡流二种。气水混合液呈气泡流状态时,影响滤水管周围地区气阻的主要因素是气泡的大小。气泡大小随气泡上浮速度及其流向确定。小气泡的上浮速度比水流速度小,水流把小气泡带到井管滤水管周围地区并引起气阻。大气泡在井管中上浮不会引起气阻。

当气泡上浮速度小于气水混合液在井管中的流动速度时,气泡向下移动并发生一系列变化。气泡下移,由于静水压力增大,气泡尺寸减小,上浮速度亦减小,相应地加快下移速度。但当水井很深时,在井管和扬水管之间的环形空隙中气水混合液的下向流动持续时间很长,小气泡结合成大气泡,结果加大了上浮速度,在一定条件下要比气水混合液的下向流速度大。这样,在向下流动历时长长的情况下形成气阻的机会减少。

如果忽略气泡在下移过程中改变尺寸的情况,气水混合液回灌到井管中的流动状态分为层流和紊流2种。在层流条件下,气泡在水流中产生浮力。

$$F \uparrow = \frac{4}{3} \pi R^3 (\rho - \rho_a) g$$

与水的粘滞性形成的阻力

$$F \downarrow = 6 \pi \eta R v \uparrow$$

相平衡,求得

$$v \uparrow = 2R^2 (\rho - \rho_a) g / 9\eta$$

式中: R—气泡半径,

$\rho$ —水的密度,

$\rho_a$ —空气的密度,

$\eta$ —水的粘滞度,

$v \uparrow$ —气泡上浮速度。

当气泡半径大于某一临界值时,气泡上浮的流动性质具有紊流的特点,此时浮力 $F \uparrow$ 的反作用力:

$$F_2 \downarrow = \zeta \pi R^2 \rho v \uparrow^2 / 2$$

式中:  $\zeta$ —阻力系数。

气泡均匀上升则 $F \uparrow = F_2 \downarrow$ ,求得

$$v \uparrow = \sqrt{(\rho - \rho_a) 8Rg / 3\zeta\rho}$$

根据气泡半径的临界值用上式计算求得气泡上升速度的临界值,即相当于气泡流态从层流转变为紊流的临界值。从下式求气泡的临界半径:

$$2R^2 (\rho - \rho_a) g / 9\eta = \sqrt{(\rho - \rho_a) 8Rg / 3\zeta\rho}$$

$$R_c = \sqrt[3]{54\eta^2 / \zeta\rho (\rho - \rho_a) g}$$

把 $\eta$ 、 $\rho$ 、 $\rho_a$ 、 $g$ 值代入上式,球形气泡的 $\zeta$ 值采用2,求得 $R_c = 0.00014m$ 。

利用气泡上浮速度和层流紊流的临界半径的关系,可以确定在气水混合液中不同直径气泡的数量对比关系。

水气混合液在井管中流速由回灌水量和井管与扬水管之间的环形空隙面积确定。形成水井气阻的空气量根据进入水射器的空气量、经排气阀排走的空气量和溶解到水中的氧量确定。

$$W_a = W_v + W_o + W_s$$

式中:  $W_a$ —水射器吸入的空气量,

$W_v$ —经排气阀排走的空气量,

$W_o$ —溶入水中的氧量;

$W_c$ —形成水井气阻的空气量。

当回灌水量已知，即可用回灌水流经井管的流速和  $W_c/W_e$  的比值，确定水气混合液中的气泡量。气泡上浮速度低于水流速度时，利用  $V \uparrow = f(R)$  的关系式可以求得最小的气泡的尺寸。用回灌水量确定的值，其范围很宽，使能确定水气混合液中各种不同大小的气泡的含量。根据气泡含量能选择某一回灌水量值或水气混合液的流速，使在此条件下水井滤水管周围地区的气阻最小。但在大多数情况下回灌水量  $Q$  是根据取自含水层所需的水量确定的定值，而可以调节的变数是水射器吸入的空气量。忽略气泡在下沉过程中尺寸的变化，可用进入水井滤水管周围地区的水气混合液中气体含量百分比  $C$  作为形成气阻的指标。

$$C = \frac{W_e - W_v - W_o}{Q + W_e - W_v - W_o}$$

水气混合液中气体含量的体积比  $C$  等于含水层空隙气阻部分的容积比  $\alpha$ 。有人研究得出下列关系式

$$\frac{k}{k_0} = (1 - \alpha)^3$$

式中： $k$ —水井滤水管周围地区产生气阻后的渗透性，

$k_0$ —水井滤水管周围地区原始透水性。为了保证水井出水稳定，

$$\frac{k}{k_0} \geq \beta, \beta = 0.8 - 0.9.$$

$$(1 - \alpha)^3 \geq \beta$$

$$\frac{W_e - W_v - W_o}{Q + W_e - W_v - W_o} \leq 1 - \sqrt[3]{\beta}$$

设  $W_e = UQ$

式中： $U$ —射流系数。

将上式  $W_e$  的关系式代入不等式。并求解  $U$  得：

$$U \leq \frac{1}{\sqrt[3]{\beta}} - 1 + \frac{W_v - W_o}{Q}$$

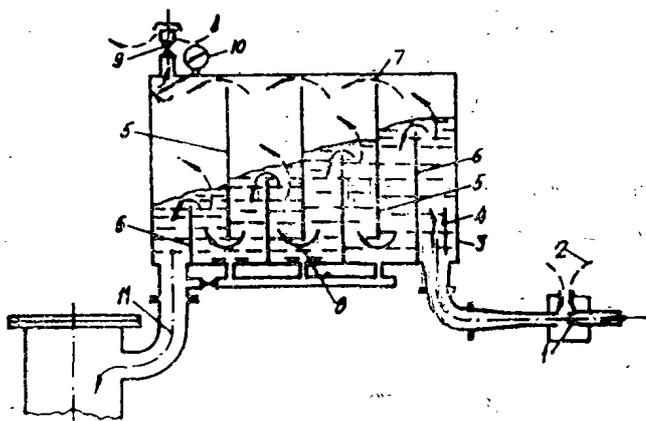
根据上述不等式求得的射流系数控制水射器吸入的空气量使水井滤水管周

围地区的气阻程度最低。

把各种不同尺寸气泡的上浮速度和不同回灌水量在不同直径水井中的水流速度比较结果列入下表。从表可见，不可避免地要产生气阻现象。独联体许多地层除铁装置的运行经验，也证实了这一点。

为了防止在水井滤水管周围产生气阻，地层除铁装置应在水射器和井口之间设脱气器。分段式脱气器的原理见下图。

井管 内径 (mm)	扬水管 外径 (mm)	不同回灌水量 $Q$ $m^3/h$ 时的水流速度 $Cm/s$			
		5	10	15	20
132	60	12.8	25.6	38.4	48
	73	14.6	29.2	43.8	54.8
	89	18.6	37.3	56	70
152	60	9.1	18.2	27.3	34
	73	10	19.0	30	37.5
	89	11.6	23.3	35	43.7
	114	17.5	35	52.5	65.6
203	60	4.7	9.4	14.1	18.8
	73	4.9	9.9	14.8	19.7
	89	5.3	10.6	15.9	21.2
	114	6.3	12.5	18.8	25.1
255	60	3.5	7	10.6	13.2
	73	3.2	6.3	9.4	11.8
	89	3.3	6.6	9.9	12.4
	114	3.6	7.2	10.9	13.6



1—射流器，2—空气，3—脱气器外壳，4—水气混合液，5—上隔板，6—下隔板，7—上部空隙，8—下部空隙，9—排气阀，10—压力表，11—回灌水管。