

# 加气混凝土置换泥浆下管技术研究\*

夏红兵<sup>1</sup>, 张义俊<sup>1</sup>, 余大有<sup>2</sup>, 张雷<sup>1</sup>, 陈征征<sup>1</sup>

(1. 安徽理工大学土木建筑学院, 安徽 淮南 232001;

2. 安徽省煤田地质局第一勘探队, 安徽 淮南 232035)

**摘要:** 在深孔中采用双塞浮力法下瓦斯抽排管, 由于处于两塞之间带压空气的排出速度难以控制, 常造成泥浆管喷现象; 加之管内外压力差较大, 造成瘪管事故, 导致下管失败。基于此, 提出用加气混凝土块置换泥浆产生浮力的下管方法。当加气混凝土块密度为  $660 \text{ kg/m}^3$  时, 由压力罐油压实验, 测得其围压强度为 6 MPa, 对应在泥浆中下放深度为 500 m; 实验测得其体积收缩率为 1.68%, 在应用中可以不考虑其体积变化。该方法在现场应用表明, 加气混凝土置换泥浆产生的浮力, 减轻钻塔负载; 由于工作管内、外无压力差, 彻底避免瘪管事故; 与加塞浮力下管法相比, 管材壁厚减薄三分之一, 带来明显的经济效益。

**关键词:** 瓦斯抽排管; 浮力法下管技术; 加气混凝土; 置换泥浆; 压力罐油压实验

中图分类号: TU528 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579(2013)06-0059-05

## Study on Technology of the Sinking Pipe by the Method of Autoclaved Aerated Concrete Replacement Mud

XIA Hongbing<sup>1</sup>, ZHANG Yijun<sup>1</sup>, YU Dayou<sup>2</sup>, ZHANG Lei<sup>1</sup>, CHEN Zhengzheng<sup>1</sup>

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;

2. The First Exploration Team, Anhui Bureau of Coal Geological Exploration, Huainan 232035, China)

**Abstract:** In the deep hole of gas pumping, double plugs buoyancy method is used to install mine gas pipe. Because velocity of exhausting the pressure air in two plugs is difficulty controlled and there is large pressure difference between internal and external gas pipe, sometimes the pipe is collapsed and mud sprays out the pipe, at last the sinking pipe is failure. Based on the above reasons, the buoyancy method of sinking pipe is put forward filling of the autoclaved aerated concrete blocks used for floating pipes. In the experiment, the autoclaved aerated concrete blocks are put in the pressure tank, and then confining pressure strength of the AAC is 6 MPa which is associated with 500 m depth under the mud and the volume change rate of the AAC, which should not be considered in the application, is also measured to be 1.68% while the density of the AAC is  $660 \text{ kg/m}^3$ . Field application shows that the pipe filling of autoclaved aerated concrete blocks reduce the load of the rig. For the pressure between internal and external gas pipe is equal, what the collapse of the pipe is completely avoided and that pipe wall becomes thinner brings obvious economic benefit.

**Key words:** gas drainage pipe; technology of sinking pipe by buoyancy; autoclaved aerated concrete column; replacement of mud; oil pressure experiment in the pressure tank

\* 收稿日期: 2013-04-08

基金项目: 安徽省高校省级自然科学重点研究项目(KJ2011ZD085)

作者简介: 夏红兵(1966年生), 男; 研究方向: 地下结构工程; E-mail: hbxia@aust.edu.cn

近年来,随着煤炭行业实行先抽后采的瓦斯防治方法,越来越多的煤矿使用大口径钢管抽排瓦斯。随着开采深度的增加,瓦斯抽排管下放的深度也越来越深,下放的瓦斯抽排管重量大大超过了目前钻井机械的起吊能力<sup>[1-3]</sup>,人们提出了许多减轻钻塔吊重的方法,常用的有钢管内设置空气柱的浮力法下管技术,分单塞空气柱自平衡下管技术<sup>[4]</sup>与双塞空气柱下管技术<sup>[5]</sup>。随着下管深度的增大,单塞中空气柱内的空气受到的压力也随着增加,空气柱被压缩,浮力相应减小,减轻钻塔负载效果不明显<sup>[6]</sup>;双塞下管时,两塞间的空气柱体积不变,但下管结束后,上塞排出压缩空气的速度难以控制,造成泥浆井喷<sup>[7]</sup>现象;并且当钢管上段未充入泥浆的空管段高度达到一定值时,管内外压差较大,发生瘪管事故<sup>[8-9]</sup>。基于以上原因,急需寻找一种既安全又经济的下管方法,为此作者提出了一套以加气混凝土置换泥浆减轻钻塔载重的下管方法(已申请发明专利),现场应用证明该方法可行。

## 1 瘪管原因分析

淮南矿业集团某煤矿,采用双塞法下瓦斯抽排管,总下管深度 680 m,当下管深度达到 640 m 时,发生瘪管事故。所用管材规格为  $\varphi 628 \text{ mm} \times 14 \text{ mm}$ ,上部未注泥浆的空管高度为 140 m。

140 m 空管的浮力,方向向上:

$$F = \rho_{\text{泥浆}} g v_{\text{排}}, \quad v_{\text{排}} = \pi D^2 l / 4 \quad (1)$$

式中,  $D$  为钢管外径。代入计算参数可得:  $F = 520\,114 \text{ N}$ 。

140 m 空管的重量,方向向下:

$$G = \pi D t l \rho_{\text{钢}} \quad (2)$$

式中,  $t$  为钢管壁厚,代入计算参数可得:  $G = 301467 \text{ N}$ 。

此时钻机吊钩显示拉力为  $T$ ,方向向上,  $T = 600\,000 \text{ N}$ 。按力的平衡,得到:

$$F + T = L + G \quad (3)$$

代入计算参数,得到 140 m 截面处的拉力  $L = 818\,647 \text{ N}$ 。

对应截面拉应力为

$$\sigma_1 = L / \pi D t \quad (4)$$

代入计算参数,得 140 m 截面处  $\sigma_1 = 29\,653\,731 \text{ N/m}^2$ ,取  $\sigma_1$  为最大主应力。

取泥浆的密度为  $1\,200 \text{ kg/m}^3$ ,140 m 处管内外压差为

$$p = \rho_{\text{泥浆}} g h \quad (5)$$

计算得到 140 m 处的压差  $p = 1\,680\,000 \text{ N/m}^2$ ,对

应的环向压应力为

$$\sigma_3 = p D / 2t \quad (6)$$

得  $\sigma_3 = -75\,360\,000 \text{ N/m}^2$ , $\sigma_3$  取为最小主应力。

按第三强度理论

$$\sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma], [\sigma] = \sigma_s / n \quad (7)$$

式中,  $n$  为安全系数,对于长圆筒一般取 1.25,  $\sigma_s = 235 \text{ MPa}$ 。

可以得到:  $\sigma_1 - \sigma_3 = 105 \text{ MPa}$ ,  $[\sigma] = 188 \text{ MPa}$ 。因此,可见  $\sigma_1 - \sigma_3 < [\sigma]$ ,管材受到的应力小于屈服强度,此时管材未屈服,因此不属于压力作用下的屈服破坏<sup>[10]</sup>。

将管材按外压作用下长管失稳来计算<sup>[11-12]</sup>:

$$p \leq [p] = p_{cr} / m \quad (8)$$

式中  $p$  环向外压,  $m$  为长圆筒稳定性安全系数,对于明管一般取 3;  $[p]$  为管材径向均布外载标准值;  $P_{cr}$  为临界压力。

$$p_{cr} = \frac{2E}{1 - \mu^2} \left( \frac{t}{D} \right)^3 \quad (9)$$

式中  $\mu = 0.3$ ,  $t$  为管材厚度,  $D$  为管材外径,  $E$  为弹模,将  $t$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $\mu$  代入上式,计算得到:

$$P_{cr} = 4.8 \text{ MPa}, \quad [p] = p_{cr} / m = 1.6 \text{ MPa}$$

对于 140 m 空管段的内外压差为 1.68 MPa,大于临界应力 1.6 MPa,从而发生瘪管事故。

## 2 加气混凝土单轴抗压强度实验

加气混凝土是以硅质材料和钙质材料为主要原料,掺加发气剂(铝粉),加工制成的轻质多孔硅酸盐制品。一般密度为  $500 \sim 700 \text{ kg/m}^3$ ;对于密度为  $500 \text{ kg/m}^3$  的优质砌块,单轴抗压强度达到 3.5 MPa。基于加气混凝土的质轻、高强、成型易、价廉特性,选其作为下管浮力材料。为此,实验了解加气混凝土的抗压性能以及压缩变形性能<sup>[13-14]</sup>。

取四块加气混凝土标准试块 ( $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ ),按《加气混凝土力学性能试验方法》,编号,进行单轴抗压试验,如图 1 所示。剔除抗压值离散较大者,得到各试块单轴抗压值如表 1 所示。



图 1 加气混凝土单轴抗压强度实验

Fig. 1 Uniaxial compressive strength tests of AAC

表 1 加气混凝土试块单轴抗压强度

Table 1 Uniaxial compressive strength of the AAC

试块编号	试块 1	试块 2	试块 3
抗压值/MPa	4.47	4.27	4.42

得到该组试块平均单轴抗压强度为 4.29 MPa。

### 3 加气混凝土围压强度实验

#### 3.1 试验设备

围压实验压力罐，内腔直径 300 mm、高 500 mm，手动加压油泵、压力表，如图 2 所示。



图 2 围压试验压力罐和手动油泵

Fig. 2 Manual pump and pressure tank of surrounding pressure test

#### 3.2 实验步骤

将规格 100 mm × 100 mm × 100 mm 试块加气混凝土试块外包塑料封皮，防止油压作用下，液压油渗漏到试块中。将包有封皮的试块放入压力罐中，盖上法兰盘，拧紧所有螺栓；安装压力表，把手动油泵的输油管连接到油泵与压力罐；使用手动油泵加压，记录压力表读数，过程见图 3。



图 3 加气混凝土围压实验

Fig. 3 Surrounding pressure test of the AAC

#### 3.3 实验数据及结果

3.3.1 实验数据 加压式，压力罐内试块处于静水压力状态，试块所受围压即是外加油压。油压逐渐升高，直至加气混凝土块被压缩、油压表压力不再上升为止。加气混凝土块围压下的抗压强度就是外加油压的最高值，如表 2。试验完毕后，卸载，拆除加气混凝土试块的防油层封皮，试块外观无明显变化，块体依然保持完整，如图 4。



图 4 加气混凝土试块实验结束后的形态

Fig. 4 State of AAC blocks after tests

表 2 加气混凝土块压力罐内抗压强度

Table 2 Compressive strength of AAC in the pressure tank

试块编号	试块 1	试块 2	试块 3
压力表最大读数/MPa	6.26	6.58	6.50

3.3.2 实验结果 得到该组试块围压下的抗压强度为 6.5 MPa。对比表 1 与表 2 可知，加气混凝土标准试块围压下的强度明显大于单轴抗压强度。

加气混凝土在 0 至 6 MPa 围压下的应力应变过程，可以划分为 2 个阶段，挤密阶段与弹性变形阶段。第 1 阶段在开始油压压力时，试块体积应变增加，体积缩小，试块被挤密，部分空隙闭合。第 2 阶段体应变继续增加，表现出明显的线弹性。在这 2 个阶段中，试块的体积应变一直增长，试块的弹性模量一直在增加，并且试块没有进入塑性变形阶段和破坏阶段，试块抗压强度得到提升。相对于单轴抗压试验而言，围压试验时，试块具有横向约束，这都有利于试块的压密、空隙变小和黏聚力增加，因此加气混凝土强度大于单轴抗压强度。

### 4 加气混凝土在围压作用下的体积收缩率实验

#### 4.1 实验步骤

1) 取一根透明塑料软管，量得其长度为 600 cm。先将软管灌液压油，并将管中油倒入量筒内，测出总容积；计算出每厘米长度软管的容积为 0.364 4 cm<sup>3</sup>/cm。

2) 将软管与手动油泵加油孔相连，将软管充满液压油。将软管立起，捆绑在带有标尺的直杆上，便于读取软管内液面高度值，如图 5 所示。

3) 测定压力罐在压力作用下体积膨胀值。将压力罐灌满液压油，不加入试块，加压，每 0.2 MPa 记录一次液面下降刻度，直至压力达到 6 MPa。

4) 将包有封皮的加气混凝土试块 (100 mm × 100 mm × 100 mm) 放入压力罐中，加压，重复 3) 所述步骤。



图 5 测量混凝土砌块体积改变

Fig. 5 Measuring volume change of AAC

## 4.2 实验数据及结果

记录加压后, 不同压力液面下降值, 如表 3。

表 3 不同压力下软管液面下降值

Table 3 Liquid level decrease of tube under different pressure cm

压力	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
罐内无试块	188.9	249.7	295.3	343.1	389.3	436.9
1 号试块	247.3	311.9	365.4	429.9	485.0	546.1
2 号试块	255.2	320.2	372.7	427.5	486.5	548.2
3 号试块	258.1	321.0	374.6	436.1	488.4	544.1

扣除压力罐的膨胀, 得到该试块受压时真实的液面下降值, 结果于表 4。

表 4 扣除压力罐膨胀后的液面下降值

Table 4 Liquid level decrease after the value of tank's expansion deducted cm

试块编号	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
1 号试块	58.4	62.2	70.1	86.8	96.0	110.1
2 号试块	66.3	70.5	77.4	84.4	97.2	111.3
3 号试块	69.2	71.3	79.3	93.0	99.1	107.2

将表 4 中的值, 乘以  $0.364 4 \text{ cm}^3 / \text{cm}$ , 得出各试块在不同压力下的体积收缩值, 如表 5。

表 5 不同压力下各试块的体积收缩量

Table 5 Volume shrinkage value of each block under different pressure  $\text{cm}^3$ 

试块编号	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
1 号试块	21.28	22.67	25.54	31.63	34.98	40.12
2 号试块	24.16	25.69	28.21	30.76	35.42	40.56
3 号试块	25.22	25.99	28.72	33.69	36.11	39.07

由表 5 可以看出, 围压从 0 MPa 加大到 1 MPa 时, 体积收缩量较大, 主要由于包裹材料内有空隙, 受压后空隙压实, 因此要扣除这部分空隙体积。围压从 1 MPa 加大到 2 MPa 时, 体积收缩量较小, 幅度在  $0.77 \sim 1.43 \text{ cm}^3$ ; 随着围压增大, 引起的体积收缩逐渐增大, 特别是围压从 5 MPa 加大到 6 MPa 时, 体积收缩量较大, 幅度在  $2.96 \sim 5.14 \text{ cm}^3$ ; 粗略认为, 围压从 0 MPa 加大到 1 MPa 时, 体积收缩量较小, 忽略不计。将表 5 中各试块收缩量减除包裹材料内空隙占有的体积, 结果如表 6。

表 6 扣除包裹空隙后各试块的体积收缩量

Table 6 Volume shrinkage value of each block after void volume deducted  $\text{cm}^3$ 

试块编号	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
1 号试块	0	1.39	4.15	10.35	13.70	18.84
2 号试块	0	1.53	4.05	6.60	11.26	16.40
3 号试块	0	0.77	3.50	8.47	10.89	13.85

试块体积按  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$  计算, 由表 6, 得到各试块的收缩率, 如表 7。

表 7 各试块的体积收缩率

Table 7 Volume shrinkage rate of each block %

试块编号	1 MPa	2 MPa	3 MPa	4 MPa	5 MPa	6 MPa
1 号试块	0	0.139	0.415	1.035	1.370	1.884
2 号试块	0	0.153	0.405	0.660	1.126	1.640
3 号试块	0	0.077	0.350	0.847	1.089	1.385

由表 7, 得到各试块压力与收缩率关系曲线, 如图 6。

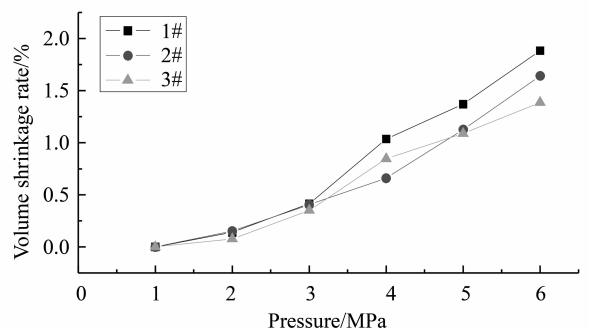


图 6 在不同压力下的试块收缩率

Fig. 6 Volume shrinkage rate of each block under different pressure

## 5 现场应用

山西某煤矿下瓦斯抽排管, 孔深为 708 m, 钻孔直径 1 180 mm, 泥浆护壁, 泥浆密度取  $1\ 200\ \text{kg}/\text{m}^3$ 。工作管外径 824 mm、壁厚 12 mm, 工作管重  $2\ 342\ \text{N}/\text{m}$ , 在泥浆中工作管浮重约为  $2\ 000\ \text{N}/\text{m}$ 。工作管总浮重为  $1\ 416\ \text{kN}$ , 但钻塔最大提重不超过  $800\ \text{kN}$ , 超出负荷  $616\ \text{kN}$ 。采用加气混凝土置换泥浆浮管技术下管。

考虑到下管过程中工作管与孔壁之间的摩阻力, 为安全起见, 将钻塔起吊最大负荷设定为  $500\ \text{kN}$ , 置换带来的  $916\ \text{kN}$  浮力。下管至 250 m 时, 钻塔总负载约为  $500\ \text{kN}$ , 余下 457 m 范围内, 放置加气混凝土砌块。

为确保加气混凝土砌块与泥浆隔离, 将加气混凝土砌块装入塑料袋内, 扎紧口; 为防止损伤塑料袋, 再外套一层塑料袋, 再扎口; 下放加气混凝土块, 为阻止加气混凝土块在工作管中上浮, 在钢管内设置三角形阻拦索, 如图 7 所示。

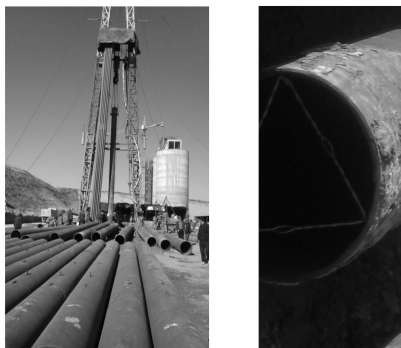


图 7 某煤矿瓦斯抽排井下管现场

Fig. 7 Sinking pipes of a coal mine's gas pumping well

加气混凝土块体总浮力为  $916\ \text{kN}$ , 按每立方米砌块提供  $5\ \text{kN}$  浮力计算, 共需块体  $183\ \text{m}^3$ 。对于外径 824 mm、壁厚 12 mm 的工作管, 每米长度的容积约为  $0.5\ \text{m}^3$ ,  $457\ \text{m}$  深钢管总容积  $229\ \text{m}^3$ , 其内充填  $183\ \text{m}^3$  加气混凝土块。现场所用加气混凝土块为直径 760 mm、高 200 mm 的圆柱体, 由工厂定制, 每块重  $600\ \text{N}$ , 便于人工搬运。

下管结束, 用  $\Phi 780\ \text{mm}$  钻头将工作管内防砌块漂浮铁丝清除, 取出漂浮上来的加气混凝土块。

## 6 结论

1) 双塞下管, 管材按长管失稳计算, 安全系数取 3, 计算出的失稳载荷与现场瘪管载荷一致。

2) 加气混凝土试块压力罐加压实验, 当加气混凝土密度为  $660\ \text{kg}/\text{m}^3$ , 测得加气混凝土抗围压强度为  $6\ \text{MPa}$ , 对应泥浆中下放深度为  $500\ \text{m}$ ;  $6\ \text{MPa}$  围压时平均体积收缩率为  $1.68\%$ , 收缩率较小, 下管中可不考虑加气混凝土的体积收缩。

3) 加气混凝土块置换泥浆下管技术, 根除瘪管现象; 与原有加塞浮力下管技术相比, 直径  $836\ \text{mm}$  的钢管, 厚度由  $18\ \text{mm}$  减为  $12\ \text{mm}$ , 节约材料且下管安全。

4) 现场应用表明, 加气混凝土块置换泥浆下管技术, 减轻钻塔负载。

### 参考文献:

- [1] 朱广辉, 韩建光, 韩臻. 浅谈瓦斯防治与瓦斯抽放技术[J]. 煤, 2009, 18: 49-50.
- [2] 陈明旺, 祁广荣. 煤矿大口径高保直钻孔施工工艺[J]. 江苏煤炭, 1997, 3: 37-39.
- [3] 杨健, 孙家应, 余大有, 谢焰. 煤矿地面大口径瓦斯抽排钻孔施工关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2012(11): 60-62.
- [4] 吴松贵, 孙家应, 余大有, 等. 浮力阀及含该阀的瓦斯抽排孔工作套管的自平衡下管方法: 中国, CN102650203A [P]. 2012-08-29.
- [5] 程桦, 余大有, 孙家应, 等. 大口径瓦斯抽排孔工作套管的双塞下管方法: 中国, CN102720526A [P]. 2012-10-10.
- [6] 袁志坚. 提吊加浮力塞下管法在大口径瓦斯抽排孔的应用[J]. 探矿工程, 2008(1): 27-28.
- [7] 吉安民. 基于 SD 的钻井井喷事故成因机理及仿真预警研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2012.
- [8] 石继峰. 淮南某煤矿大口径瓦斯抽排井下管固管技术[J]. 西部探矿工程, 2008(4): 107-108.
- [9] 李宏伟, 李磊, 刘宪全. 淮南张集煤矿大口径瓦斯抽排井施工实践[J]. 探矿工程, 2002(2): 15-16.
- [10] 郭金基, 郭勉群, 袁树森. 在钢模内薄壁钢管弹塑性极限载荷的计算[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 1989(1): 24-30.
- [11] 陈江红, 孙家应. 大口径瓦斯抽排井注浆固管过程套管稳定性分析[J]. 中国煤炭地质, 2012(10): 57-59.
- [12] 吴松贵, 杨健, 尹德战, 等. 大口径瓦斯抽排钻孔套管稳定性分析[J]. 安徽理工大学学报: 自然科学版, 2011, 31(1): 41-44.
- [13] 陈胜利. 加气混凝土的生产及应用[J]. 砌块与墙板, 2007(7): 50-52.
- [14] 贾兴文, 钱觉时. 粉煤灰加气混凝土的耐久性研究[J]. 新型建筑材料, 2007(1): 20-23.