

钢板式浮塞下管工艺在煤矿大口径工程井中的应用

白领国^{1,2}, 李源汇^{1,2}

(1. 河南省资源环境调查四院, 河南 郑州 450016; 2. 河南省大口径钻井工程技术研究中心, 河南 郑州 450016)

摘要:针对煤矿大口径工程井采用常规水泥浮塞下管技术存在的施工工序多、钻井液易污染、水泥块沉渣多和易残留等工艺缺陷,以霍州某煤矿大口径瓦斯抽采钻孔工程实践为例,开展钢板式浮塞下管技术研究。介绍了该技术的工艺原理,对瓦斯孔工作套管发生弹性失稳变形和材料屈服破坏的临界强度进行校核计算,开展了钢板浮塞的结构和装配方案设计,并对其强度进行验算。采用本工艺完成直径836 mm,重150 t瓦斯抽采管路的下放作业。经实践验证,该技术可减少下管固井期间起下钻工作量,缩短作业时间,成井后套管内无水泥块残留,且工艺制作过程简单、操作方便,可为今后类似工程施工提供经验和借鉴。

关键词:大口径工程井;钢板式浮塞;下套管;空管段长度

中图分类号:TD262 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)06-0095-07

Casing running process with the steel buoyancy plug for large diameter wells at coal mines

BAI Lingguo^{1,2}, LI Yuanhui^{1,2}

(1. The Fourth Institute of Resources and Environment Investigation of Henan Province,

Zhengzhou Henan 450016, China;

2. Henan Provincial Mine Large Diameter Drilling Engineering Technological Research Center,

Zhengzhou Henan 450016, China)

Abstract: In view of the defects with the conventional casing running process with the cement buoyancy plug for coal mine large diameter wells, such as multiple steps, drilling fluid pollution, high amount of concrete settlement and residuals, research was carried out on the casing running process with the steel buoyancy plug in the case of a large diameter gas extraction well at a coal mine in Huozhou. This paper introduces the process principle, calculation of critical casing strength at elastic buckling deformation and material yield failure, the structure and assembly design and strength calibration for the steel buoyancy plug. This process was used to run gas extraction casing of 150t at Ø836 mm diameter, and the field use has proven that this technique can reduce tripping of the drilling string during casing running operation, shorten the operation time, and eliminate concrete residue in casing; in addition, the process is feature of simple manufacture and convenient operation. It can provide experience and reference for future similar projects.

Key words: large diameter engineering well; steel buoyancy plug; casing; length of empty casing section

0 引言

大口径工程井广泛应用于煤矿井下瓦斯、积水等介质的流量抽排,为满足使用功能需要,下入的井管一般管壁较厚,直径与质量较大,重的工作

管达到300 t以上,远超钻井设备的提升能力^[1]。对此,一般采用在入井套管柱中间或底部安装浮力装置,利用漂浮下管技术完成大口径工程井井管下放,有效解决了井眼直径和井管总质量大的下管难

收稿日期:2020-12-28; 修回日期:2021-04-01 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.06.015

基金项目:河南省煤田地质局2019年度科研基金项目“矿山大直径工程井关键技术(集成)研究”

作者简介:白领国,男,汉族,1972年生,高级工程师,河南省资源环境调查四院党委书记,河南省大口径钻井工程技术研究中心主任,长期从事钻探技术及管理工作,河南省郑州市郑东新区商鼎路70号,blg7210@163.com。

引用格式:白领国,李源汇.钢板式浮塞下管工艺在煤矿大口径工程井中的应用[J].钻探工程,2021,48(6):95-101.

BAI Lingguo, LI Yuanhui. Casing running process with the steel buoyancy plug for large diameter wells at coal mines[J]. Drilling Engineering, 2021,48(6):95-101.

题,同时改变了井管的受力状况,提高了入井套管的安全性^[2-3]。

当前,实现套管柱漂浮的应用装置以水泥浮力塞居多,在同时满足设备提升能力和空管长度要求的条件下,一般安装在套管柱中部,其具有制作方便、易钻穿等一系列优点^[4],但采用水泥浮塞下管工艺存在以下问题:

(1)大直径工作管固管作业前,需要先下入钻头钻穿水泥塞,以便下入固井钻具,导致破碎的水泥块混入钻孔泥浆中造成破坏,影响固井质量。

(2)工作管固管结束,钻扫水泥塞后脱落的水泥块全部堆积在工作管底口可达10余米,难以直接从套管内清除出地面,若预留较高的套管沉渣段易造成浪费,从井下巷道清运时又存在水泥块坠落伤人的风险。

(3)水泥塞钻扫不彻底,附着于套管内壁上形成残留,造成管道断面变窄,影响流体介质的排量。

除水泥浮塞外,部分单位将石油钻井领域的浮箍、浮鞋装置引入了大口径工程井下管作业,但非标准系列的浮箍、浮鞋均需要特殊定制,且加工成本较高。为此,开展了钢板式浮塞下管技术应用研究,并在多个大口径工程井进行了有益尝试,取得了较好的实践效果。

1 工程概况

霍州煤电某煤矿为提高瓦斯抽采能力,在2号风井工业广场内布置一个大口径瓦斯抽采钻孔,成孔孔径1050 mm,钻孔内敷设 $\Phi 836 \text{ mm} \times 18 \text{ mm}$ 瓦斯抽采管路,管路有效使用长度411 m。

瓦斯孔施工位置地面标高+776.113 m,钻遇地层自上而下依次为第四系(Q)、古近-新近系上新统(N_2)、二叠系上统石千峰组(P_{3sh})、二叠系上统上石盒子组(P_{3s})、二叠系下统下石盒子组(P_{1x})与二叠系下统山西组(P_{1s}),终孔孔深413.5 m。

质量技术要求:钻孔落底偏移距 $< 2 \text{ m}$;套管对接牢固,无刺漏,工程交付时工作管内无淋水;成井后井底套管内沉渣厚度 $\geq 0.5 \text{ m}$,井内水柱高度 $\geq 20 \text{ m}$ 。

2 成井工艺

2.1 成井设备与配套器具

钻井设备选用TSJ-3000型水源钻机,最大输

出扭矩 $30 \text{ kN} \cdot \text{m}$,配套JJ110-29A型钻塔,高2.1 m平台,最大提升能力900 kN;3NB-1000型泥浆泵;2台TBW850/5B型固井泵;SQDD120型电子多点测斜仪;YST-48R型MWD无线随钻测斜仪;配套旋流除砂器、振动筛、离心机等泥浆固控系统。

施工配套钻具为 $\Phi 159$ 、178、203 mm钻铤, $\Phi 165 \text{ mm}$ 无磁钻铤, $\Phi 172 \text{ mm}$ 螺杆, $\Phi 127 \text{ mm}$ 钻杆和 $\Phi 310 \text{ mm}$ 螺旋扶正器;配备 $\Phi 222 \text{ mm}$ PDC钻头, $\Phi 580$ 、850、1050 mm与 $\Phi 1300 \text{ mm}$ 组合牙轮扩孔钻头, $\Phi 550 \text{ mm}$ 与 $\Phi 850 \text{ mm}$ 复合片扩孔钻头。

2.2 成井技术

采用常规正循环回转钻进工艺,利用垂直定向钻井技术先钻超前导向孔,中靶的前提下,带超前导向扩孔钻头钻进成孔,扩孔钻进的级数依钻机能力和钻具强度而定^[5-6]。先导孔尺寸选用 $\Phi 222 \text{ mm}$,然后根据设计最大井眼尺寸,进行合理分级,按从小到大的顺序依次进行扩孔。

一开孔径1300 mm,孔深11.3 m,钻过表土层至基岩界面以下2 m后,孔内下设 $\Phi 1120 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 的表层套管,水泥固管。二开孔径1050 mm,孔深413.5 m,全孔下设安装 $\Phi 836 \text{ mm} \times 18 \text{ mm}$ 直缝工作管413.5 m(底部2.5 m为出浆孔尾管),水泥固管,钻孔结构如图1所示。

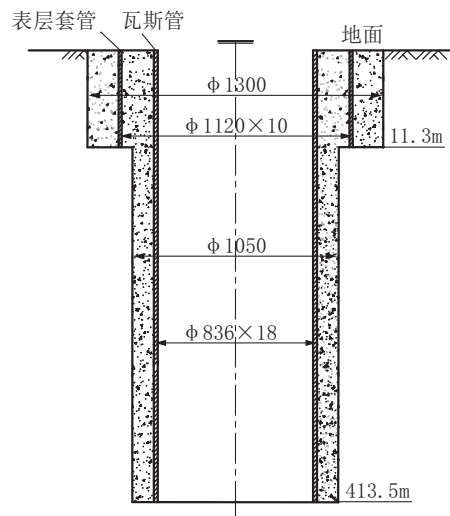


图1 钻孔结构

Fig.1 Borehole structure

3 下管工艺

3.1 漂浮下管工艺原理

在套管柱底部安装钢板,使用钻机提吊下套管

的同时,套管柱内部形成空管段,排开钻孔内泥浆产生的浮力抵消超出钻机提升力以外的套管自重,使钻机以不大的提升力下放套管^[7-8]。其工艺原理见图2。

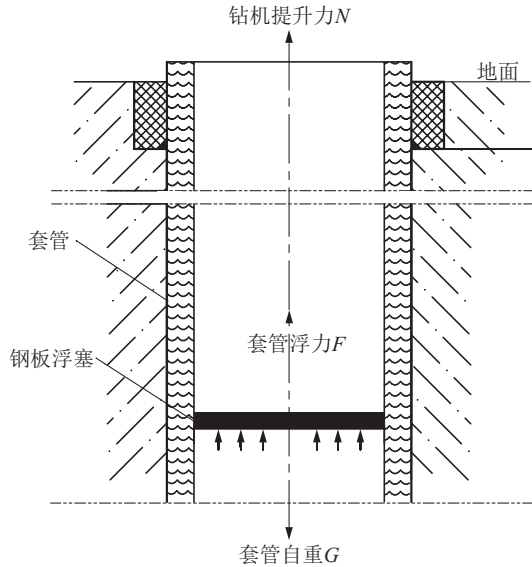


图2 漂浮下管工艺原理

Fig.2 Principle of the floating casing running process

由漂浮下管工艺原理可知,套管下放过程中,在垂直方向受到3个力的作用:上浮力 F ,自重 G 以及钻机提升力 N ,三者关系为:

$$N = G - F$$

$$G = \rho_1 \pi t (D - t) h g$$

$$F = 0.25 \rho_2 \pi D^2 h g$$

式中: ρ_1 ——钢材密度, kg/m^3 ; ρ_2 ——泥浆密度, kg/m^3 ; t ——套管壁厚, m ; D ——套管外径, m ; h ——套管长度, m 。

由以上公式可知,上浮力 F 和自重 G 均随着套管下入长度增加而加大。

为了套管安全顺利下入,需满足提升力 N 不能超出钻机的最大提升能力,即满足:

$$0 \leq N = G - F \leq N_{\max}$$

当 N 值为零,套管上浮力 F 与自重 G 相等时,满足:

$$\rho_1 \pi t (D - t) h g = 0.25 \rho_2 \pi D^2 h g$$

即 $(D/t)^2 \rho_2 - 4 \rho_1 (D/t - 1) = 0$, ρ_1 取 $7.85 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$, ρ_2 取 $1.2 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$,计算出:

$$D/t = 25.12 \text{ 或 } 1.04.$$

该计算结果表明,对于大直径套管,理论上当其

径厚比 $D/t > 25.12$ 时,套管受到的上浮力 F 大于其自重 G ,可选择漂浮下管工艺。本工程终孔下入 $\text{O}836 \text{ mm} \times 18 \text{ mm}$ 的工作管,其径厚比达到46.44,满足漂浮下管工艺要求。

3.2 套管强度校核

以上漂浮下管工艺原理表明,采用漂浮法下放过程中套管所受浮力均大于自重,必须向套管内部不断注浆(泥浆或清水),使套管与环空内浆液的总重力大于浮力,才能保证顺利下放。但向套管内注浆,需要严格控制注入量,注浆量过大,将额外增加钻机提升力;注浆量过少,造成套管空管段长度增加,套管柱受到的外挤压力增加,需要对套管的强度进行校核^[9-12]。

套管在下放过程中,受外压挤毁的形式主要有2种,一种是套管柱受径向外压作用,套管柱稳定性不足,发生弹性失稳变形;另一种是套管强度不够,套管发生材料屈服破坏。对于一般大直径套管而言,研究表明,受外压挤毁失效的形式都是失稳失效,此时外部载荷尚未达到材料的屈服极限,但对管柱的破坏力极强^[13-14]。

套管失稳的常用计算公式:

$$P_{te} = \frac{2E}{(1 - \mu^2)(D/t)(D/t - 1)^2}$$

式中: P_{te} ——套管失稳临界载荷, MPa ; E ——钢材材料的弹性模量, MPa ; μ ——泊松比; t ——套管壁厚, m ; D ——套管外径, m 。

套管屈服强度计算公式:

$$P_{yp} = 2.25 \delta \frac{D/t - 1}{(D/t)^2}$$

式中: P_{yp} ——套管屈服载荷, MPa ; δ ——钢管材料的屈服强度, MPa 。

按上述2个公式分别对套管进行失稳和屈服强度校核,并选取最小值。因套管失稳和屈服强度计算公式都是在假定套管的初始椭圆度为零,且材料均匀无缺陷的条件下推导出来的,而实际上套管在孔内的受力非常复杂,钻孔弯曲作用于套管的横弯折力使套管由圆形变为椭圆形,椭圆形套管在圆周截面上受力呈不均匀状态,致使套管的实际抗挤毁强度小于公式计算值,因此需对计算值进行系数修正,计算得出满足套管安全下入的最大空管段长度。

本工程 $\text{O}836 \text{ mm} \times 18 \text{ mm}$ 的工作管,径厚比

46.44, 弹性模量 200 GPa, 泊松比 0.3, 屈服强度 235 MPa, 分别得出:

$$P_{ic}=4.58 \text{ MPa}, P_{yp}=11.14 \text{ MPa}。$$

本次计算参照文献[15]中取值 0.7125, 此修正系数是根据实际 API 套管大量试验资料统计得到的^[15]。

修正后的套管抗挤毁强度为 3.26 MPa, 泥浆密度 $1.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 计算出最大空管段长度 $h_{\max}=276 \text{ m}$, 即在下管过程中需要通过注浆将空管段控制在 276 m 以内。

3.3 钢板浮塞设计

钢板浮塞是用圆形钢板焊接安装在套管柱底部, 考虑到下管后的固井施工, 将圆形钢板中心开一 $\phi 100 \text{ mm}$ 的圆孔, 作为固井注浆时的出浆口。在圆形钢板下端, 用一铁盘密封塞(带密封圈)反向密封出浆口, 套管下放时依靠液柱产生的压力向上压紧圆盘, 起到逆止作用。铁盘密封塞边缘处加工有 4 个固定螺丝, 通过螺丝连接与圆形钢板结合固定。浮力板以下 2.5 m 作为尾管, 尾管上割有若干个 $\phi 30 \text{ mm}$ 螺旋出浆孔, 下管结束后, 从套管内下入钻具撬开铁盘密封塞, 即可实现浆液的循环。

钢板浮塞设计参数: 浮力板厚度 50 mm, 直径 836 mm; 铁盘密封塞总厚度 80 mm, 浮力板以下厚 30 mm, 直径 150 mm, 嵌入浮力板 10 mm 深位置直径 120 mm, 用于安装密封圈。固定螺丝长度大于 40 mm, 嵌入浮力板深度 $>10 \text{ mm}$ 。

钢板浮塞结构与实物装配图如图 3、图 4 所示。

3.4 钢板浮塞强度计算

钢板浮力塞为材质 Q235B 的热轧低碳钢, 常温抗拉强度 $\sigma_b=375 \text{ MPa}$, 屈服强度 $\sigma_s=225 \text{ MPa}$, 常温下许用应力 $[\sigma]=113 \text{ MPa}$, 剪切许用应力 $[\tau]=0.6 \sim 0.8[\sigma]$, 取值 67.8 MPa, 浮力板厚度 $L=0.05 \text{ m}$, 直径 $D_1=0.836 \text{ m}$, 套管内径 $D_2=0.8 \text{ m}$, 套管浮力板下深 $h=411 \text{ m}$, 泥浆密度 ρ 取 1.2 g/cm^3 。

3.4.1 浮力板强度计算

$$\text{浮力板底面积 } A_0=(1/4)\pi D_1^2=0.5486 \text{ m}^2;$$

$$\text{浮力板底部最大受压 } P_{\max}=\rho gh=4.83 \text{ MPa};$$

$$\text{浮力板与套管接触面积 } A_1=(1/4)\pi(D_1^2-D_2^2)=0.04623 \text{ m}^2;$$

$$\text{抗压承载力 } [F]_1=[\sigma]A_1=5.22 \times 10^6 \text{ N};$$

$$\text{浮力板受压力 } F_1=P_{\max}A_0=2.65 \times 10^6 \text{ N} < [F]_1,$$

抗压强度满足要求。

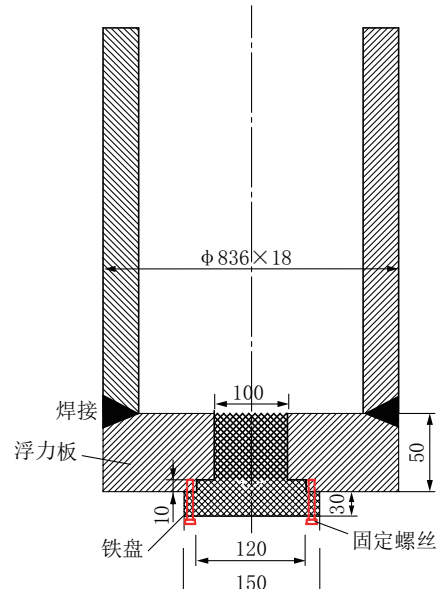


图 3 钢板浮塞结构示意图

Fig.3 Steel buoyancy plug structure



图 4 浮力板与铁盘密封塞实物装配

Fig.4 Assembly of the steel buoyancy plug

抗剪力 $[Q]_1=[\tau]A_1$, 其中 $A_1=\pi D_2 L$;

剪力 $Q_1=P_{\max}A_2$, 其中 $A_2=(1/4)\pi D_2^2=0.5024 \text{ m}^2$;

抗剪安全系数 $K_1=[Q]_1/Q_1=3.51 > 1$ 。

因此浮力板强度满足要求, 同时可以计算出其厚度 L 必须大于 14.25 mm。

3.4.2 铁盘密封塞强度计算

铁盘密封塞底面直径 $d_1=0.15 \text{ m}$, 内径 $d_2=0.12 \text{ m}$, 铁盘密封塞浮力板以下厚 $l_1=0.03 \text{ m}$;

铁盘底面积 $S_0=(1/4)\pi d_1^2=0.01766 \text{ m}^2$;

圆盘底部最大受压仍为 $P_{max}=4.83 \text{ MPa}$;

圆盘与浮力板接触面积 $S_1=(1/4)\pi(d_1^2-d_2^2)=0.006359 \text{ m}^2$;

抗压承载力 $[F]_2=[\sigma]S_1=7.22 \times 10^5 \text{ N}$;

圆盘受压力 $F_2=P_{max}S_0=8.5 \times 10^4 \text{ N} < [F]_2$, 抗压强度满足要求。

抗剪力 $[Q]_2=[\tau]S_2$, 其中 $S_2=\pi d_2 l_1$;

剪力 $Q_2=P_{max}S_2$, 其中 $S_2=(1/4)\pi d_2^2=0.0113 \text{ m}^2$;

安全系数 $K_2=[Q]_2/Q_2=14 > 1$ 。

因此铁盘密封塞强度同样满足要求,且其最小厚度必须大于 2.14 mm。

为进一步增加浮力板的抗压能力,在其上部用 20 mm 钢板焊接成“井”字形支撑结构,同时为了便于捣开铁盘密封塞,在中心孔位置加工成喇叭口形状,如图 5 所示。

3.5 下管作业

工作管下放采用常规割孔穿杠提吊下管法,套管接缝处逐根焊接,并补焊穿杠孔。

浮力板下入后,向套管内注入泥浆,保证工作管顺利入井的同时,控制空管段长度,设计注浆总量 149 m^3 ,工作管下管数据见表 1。最终全部套管入井



图 5 钢板浮力塞支撑结构

Fig.5 Support structure of the steel buoyancy plug

时,设计理论空管段长度 114.42 m,大钩理论载荷 572.61 kN,现场实测空管段长度为 98.4 m,实际注浆 157 m^3 ,大钩载荷 627.2 kN。导致理论空管长度与实测空管长度存在差别,主要源于向套管内回灌浆液时,单次注浆量控制不够精确,且浆液密度变化较大,下管期间累计注浆 16 次,注浆总量比设计值多出 8 m^3 。

下管作业结束,将套管柱固定在井口,向管内注满泥浆,并下入喇叭扶正器捣开浮力板中心的铁盘密封塞,见图 6,开泵建立泥浆循环,为大直径套管

表 1 工作管下管数据(部分)

Table 1 Casing running data (part)

| 入井顺序 | 累计长度/m | 累计自身重力/kN | 泥浆密度/($\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$) | 累计浮力/kN | 注浆前空管长度/m | 每次注浆量/ m^3 | 累计注浆量/ m^3 | 累计注浆重力/kN | 累计注浆高度/m | 注浆后空管长度/m | 大钩重力/kN |
|------|--------|-----------|---|---------|-----------|---------------------|---------------------|-----------|----------|-----------|---------|
| 尾管 | 2.50 | 11.07 | 1.2 | 1.37 | 0.00 | | | | | | |
| 1 | 8.50 | 32.44 | 1.2 | 40.08 | 6.00 | 3 | 3 | 35.28 | 5.97 | 0.03 | 27.64 |
| 2 | 20.54 | 75.26 | 1.2 | 117.80 | 18.04 | 4 | 7 | 82.32 | 13.93 | 4.11 | 39.79 |
| 3 | 32.57 | 118.09 | 1.2 | 195.40 | 30.07 | 6 | 13 | 152.88 | 25.88 | 4.19 | 75.56 |
| 4 | 44.59 | 160.82 | 1.2 | 272.93 | 42.09 | 6 | 19 | 223.44 | 37.82 | 4.27 | 111.33 |
| 6 | 68.65 | 246.47 | 1.2 | 428.60 | 66.15 | 10 | 29 | 341.04 | 57.72 | 8.43 | 159.35 |
| 8 | 92.71 | 332.02 | 1.2 | 583.39 | 90.21 | 10 | 39 | 458.64 | 77.63 | 12.58 | 207.27 |
| 10 | 116.80 | 417.68 | 1.2 | 738.72 | 114.28 | 10 | 49 | 576.24 | 97.53 | 16.75 | 255.29 |
| 13 | 152.90 | 546.25 | 1.2 | 971.77 | 150.40 | 15 | 64 | 752.64 | 127.39 | 23.01 | 327.12 |
| 15 | 177.00 | 631.80 | 1.2 | 1126.90 | 174.45 | 10 | 74 | 870.24 | 147.29 | 27.16 | 375.14 |
| 18 | 213.00 | 760.18 | 1.2 | 1359.65 | 210.53 | 10 | 84 | 987.84 | 167.20 | 43.33 | 388.37 |
| 21 | 249.10 | 888.57 | 1.2 | 1592.50 | 246.62 | 10 | 94 | 1105.44 | 187.10 | 59.52 | 401.51 |
| 24 | 285.20 | 1017.04 | 1.2 | 1825.35 | 282.71 | 10 | 104 | 1223.04 | 207.01 | 75.70 | 414.64 |
| 27 | 321.30 | 1145.42 | 1.2 | 2058.20 | 318.80 | 15 | 119 | 1399.44 | 236.86 | 81.94 | 486.67 |
| 31 | 369.40 | 1316.73 | 1.2 | 2368.76 | 366.93 | 10 | 129 | 1517.04 | 256.77 | 110.16 | 465.01 |
| 33 | 393.50 | 1402.38 | 1.2 | 2524.09 | 391.01 | 10 | 139 | 1634.64 | 276.67 | 114.34 | 512.93 |
| 35 | 413.50 | 1473.53 | 1.2 | 2653.06 | 411.00 | 10 | 149 | 1752.24 | 296.58 | 114.42 | 572.61 |

井口密封内插管法固井作业做准备,固井施工井口密封装置见图7。



图6 喇叭扶正器

Fig.6 Bell type centralizer

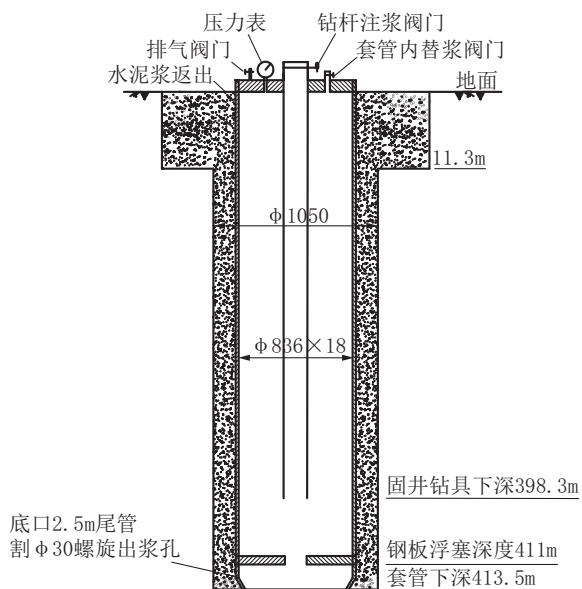


图7 固井示意

Fig.7 Cementing

4 结论

(1)采用钢板式浮塞顺利完成了煤矿大口径工程井套管的下放作业,实践验证了此工艺的可行性。开展此工艺的应用,必须对入井套管进行强度校核,确定最大空管段长度。进行浮板与铁盘密封塞的结构设计时,需对其强度进行验算,避免下管时浮力装置失效。

(2)钢板浮塞下管结束后,浮力板将留在孔内,不再进行钻扫。为此,根据成孔的工艺需要,结合矿方给定的管路有效使用长度,钻孔施工深度应综合考虑底部浮力板的位置与尾管的长度。

(3)钢板式浮塞下管工艺可以有效减少下管固井期间起下钻的工作量,缩短作业时间,套管内无水泥块残留,不会污染固井前的泥浆,且浮力钢板加工制作过程简单,工艺操作方便,具有一定的推广价值。

参考文献(References):

- [1] 白领国,袁志坚.大直径工程井成井下管方法探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):33-36.
BAI Lingguo, YUAN Zhijian. Discussion on casing running for large diameter engineering well [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(2): 33-36.
- [2] 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(岩土钻掘工程),2008,35(1):27-29.
YUAN Zhijian. Application of pipe installation by suspending and buoyant valve in large diameter gas discharging hole [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008, 35(1): 27-29.
- [3] 白领国,袁志坚.超千米大直径煤矿降温井钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):37-39,62.
BAI Lingguo, YUAN Zhijian. Drilling technology for coalmine cooling well with diameter over 1000m [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(1): 37-39, 62.
- [4] 袁志坚.大口径特殊工程钻孔套管事故原因及对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(3):46-48.
YUAN Zhijian. Cause of casing failure in special engineering borehole with large diameter and the countermeasures [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(3): 46-48.
- [5] 袁志坚,熊亮.大口径瓦斯抽排井施工扩孔分级设计优选探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(11):17-19.
YUAN Zhijian, XIONG Liang. Discussion on optimization of reaming grading design of large diameter gas drainage well construction [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(11): 17-19.
- [6] 杨富春.超大口径钻孔施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):25-30.
YANG Fuchun. Super large diameter drilling technology [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(4): 25-30.
- [7] 缙延民.煤矿大口径输冰井施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(8):69-71,84.
GOU Yanmin. Construction technology of large diameter ice transmission well in coalmine [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(8): 69-71, 84.
- [8] 彭桂湘.大口径工程井套管事故及预防技术措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(8):47-50,53.

- PENG Guixiang. Casing failure in large diameter project well and the prevention technique[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(8):47-50,53.
- [9] 杨健,孙家应,余大有,等.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,2010,38(11):60-62.
- YANG Jian, SUN Jiaying, YU Dayou, et al. Key technology of large diameter gas drainage borehole drilling at surface ground of mine[J]. Coal Science and Technology, 2010,38(11):60-62.
- [10] 周兢.煤矿大口径工程井钻井技术研究[J].中国煤炭地质,2016,28(1):58-62.
- ZHOU Jing. Study on coalmine large diameter engineering well drilling[J]. Coal Geology of China, 2016,28(1):58-62.
- [11] 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):41-44,50.
- WU Songgui, YANG Jian, YIN Dezhan, et al. Analysis of stability of casing pipe of large diameter borehole for gas extraction from coal seams[J]. Journal of Anhui University of Science and Technology (Natural Science), 2011,31(1):41-44,50.
- [12] 耿建国,彭桂湘,袁志坚,等.煤矿瓦斯抽排井套管强度校核计算方法探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(10):78-81.
- GENG Jianguo, PENG Guixiang, YUAN Zhijian, et al. Discussion on checking calculation method for casing strength of mine gas pumping-exhaust well [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(10):78-81.
- [13] 韩志勇.关于套管柱三轴抗挤强度设计问题的讨论[J].石油大学学报(自然科学版),2004,28(5):43-48.
- HAN Zhiyong. Discussion on the new design standard for tri-axial stress anti-collapse strength of casing string[J]. Journal of the University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2004,28(5):43-48.
- [14] 韩志勇.对双向应力椭圆理论的质疑[J].石油大学学报(自然科学版),2000,24(2):21-29.
- HAN Zhiyong. Questions to the ellipse of plasticity[J]. Journal of the University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2000,24(2):21-29.
- [15] 刘永彬.大口径瓦斯排放井套管抗挤强度计算分析[J].中国煤炭地质,2009,21(S1):37-39.
- LIU Yongbin. Analysis of large diameter gas drainage well casing collapsing strength computation [J]. Coal Geology of China, 2009,21(S1):37-39.

(编辑 周红军)