

大口径工程井井身结构和成孔方法探讨

邱彦军

(河南省资源环境调查三院,河南 郑州 450000)

摘要:近年来,国家对矿井安全、职工健康、环境保护等方面越来越高度重视,大口径工程井已广泛应用于矿山企业瓦斯抽排、注浆堵水、输氮灭火、送冰降温、排水通风、抢险救援等领域。大口径工程井直径一般在 $\text{O}500\sim 1500$ mm、深度1000 m以浅。科学选择和设计井身结构和成孔方法,能最大限度地降低施工成本,提高钻进效率和钻孔的安全程度。

关键词:大口径工程井;井型特征;井身结构;分级成孔

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)S1-0168-05

Borehole structure and drilling method for the large diameter borehole

QIU Yanjun

(Third Institute of Resources and Environment Survey, Henan Province, Zhengzhou Henan 450000, China)

Abstract: In recent years, with the national emphasis on mine safety, vocational health, environmental protection and other aspects, large diameter boreholes have been widely used for gas drainage, water cut-off grouting, supply of nitrogen gas for extinguishing, supply of ice for cooling, drainage and ventilation, emergency rescue, etc. in mines. The large diameter boreholes range from $\text{O}500$ mm to 1500 mm in diameter with depth less than 1000m. Proper selection and design of the borehole structure and the drilling method can minimize construction cost, and improve drilling efficiency and drilling safety.

Key words: large diameter borehole; borehole characteristics; borehole structure; multi-section drilling

0 引言

近年来,随着国家对矿井安全、职工健康、环境保护等方面的高度重视,大口径工程井已广泛应用于矿山企业瓦斯抽排、注浆堵水、输氮灭火、送冰降温、排水通风、抢险救援等领域。大口径工程井直径一般在 $\text{O}500\sim 1500$ mm、深度1000 m以浅。

1 大口径工程井井型特征

大口径工程井钻遇的地层多是沉积岩地层,但钻遇的地层情况比较复杂,不同地区变化比较大。如在河南的豫东地区和安徽淮南地区新近系地层较厚,一般300~500 m,厚的达800 m左右,主要由粘土类、砂类地层组成,其中有的高膨胀性粘土层

几十米厚,井眼缩径严重,钻进时要经常划眼,下管时要防止“抱管”;基岩风化带几十米,钻井时漏失,下管时遇阻;基岩层中砂岩、泥岩互层,地层软硬变化大,易造成井斜。在河北邢台地区,第四系冲积层含有多层卵砾石层,厚度几米到几十米不等,卵石粒度直径100~600 mm,以火成岩、硅质砂岩为主,硬度在6级以上,卵砾石间由流沙充填,回转钻进难度极大,且漏失严重。在山西柳林地区,新近系地层虽不厚,但上部的覆盖层有回填砾石,开孔时漏失严重;中部的二叠系石盒子组砂岩和长石石英砂岩岩石坚硬,可钻性级别达7级,扩孔钻进难度极大;下部的二叠系山西组含有多层煤,煤层较厚,煤层与顶底板岩石硬度差别大,易造成钻孔弯曲。

收稿日期:2021-05-31 **DOI:**10.12143/j.ztgc.2021.S1.027

作者简介:邱彦军,男,汉,1984年生,工程师,钻探工程专业,长期从事石油、煤层气等各类井型的现场钻井技术管理工作,河南省郑州市商鼎路70号,hnszhysyaqsck@163.com。

引用格式:邱彦军.大口径工程井井身结构和成孔方法探讨[J].钻探工程,2021,48(S1):168-172.

QIU Yanjun. Borehole structure and drilling method for the large diameter borehole[J]. Drilling Engineering, 2021,48(S1):168-172.

此外在老矿区施工,会遇到采矿形成的裂隙带和采空区,这对大口径工程井钻井施工来说,是较难逾越的障碍。

综上所述,大口径工程井钻遇地层岩性多样,条件复杂。上部胶结程度差,易塌易漏,下部软硬互层多,难钻易斜,因而在施工过程中,必须根据地层特点和孔内情况,及时采取相应的技术措施,调整相应的钻进参数,才能保证孔内安全和较快的钻进速度。大口径工程井特点可以概括为“五大一严”,即井眼直径大、套管直径大、套管重量大、下管风险大、固井难度大、井斜要求严。

科学设计井身结构和选择成孔方法,能最大限度地降低施工成本,提高钻进效率和钻孔的安全程度。井身结构和成孔方法设计涉及面广,影响因素多,是一个相当复杂的系统工程。因此,需要我们紧密结合大直径工程井井型特征,进行系统、充分的分析研究,确定符合工程实际的井身结构和成孔方法。因此,井身结构和成孔方法就成为钻进施工中最关键技术。

2 井身结构

井身结构设计是钻井工程设计的基础,也是钻井工程设计的重要内容,其主要设计依据是施工区域的地层地质条件。大口径工程井井眼尺寸在 $\varnothing 500\sim 1500\text{ mm}$ 之间,井身结构设计的基本要素与其他钻探工程基本相同,主要包括井口护筒、护壁套管、工作套管(特殊情况考虑加一级技术套管)、钻井深度、井眼尺寸与套管尺寸配合等几个方面。

大口径工程井常见的井身结构可归为以下几种:两层管井身结构(井口管、工作管)(见图1),三层管井身结构(井口管、护壁管、工作管)(见图2)和四层管井身结构(井口管、护壁管、技术管、工作管)。前2种井身结构使用较多,第3种非特殊情况不建议使用。大口径工程井井身结构设计,首先按照甲方施工目的要求来确定成井直径,然后根据施工区域地质条件以及井身质量要求进行井眼设计。

2.1 井眼结构设计原则

(1)详细了解施工区域地质条件,确定护壁套管层次,避免地层漏水、涌水、坍塌、掉块卡埋钻等复杂情况发生,为工程顺利施工创造条件,缩短施工周期。

(2)井眼结构的设计是在满足甲方要求的基础

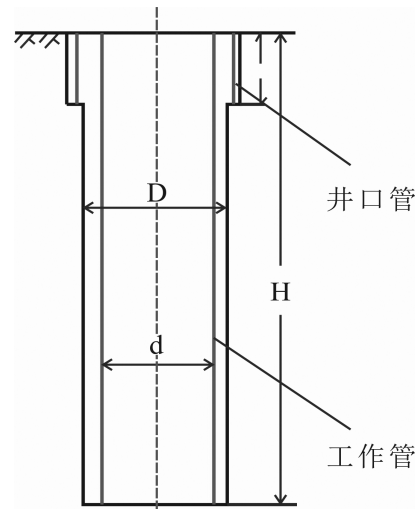


图1 两层管井身结构示意图

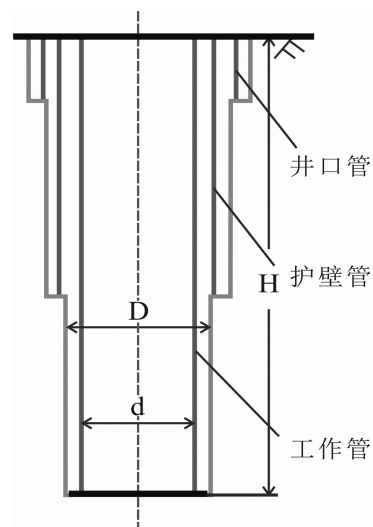


图2 三层管井身结构示意图

上,本着“安全、简单、经济”的原则,同时兼顾钻井机具的实际情况。

(3)科学合理设计井眼尺寸和套管尺寸,满足固井对环空尺寸的要求,提高固井后钢管、水泥环的抗挤强度,增加与地层的结合力。

(4)设计的井眼尺寸和套管尺寸之间的环空间隙必须满足下管作业需要。

(5)避免井口坍塌垮孔,预防冲洗液浸泡钻台基础。

(6)大口径工程井钻进尽量减少扩孔级数。

2.2 套管柱类型及作用

在大口径工程井设计时,根据地质条件和地层稳定情况,通常选择2~3层套管,即井口管、工作套

管或者井口管、表层护壁管、工作套管；地质条件复杂的地层在不稳定的施工区域需要增加一层技术套管。

(1)井口管的作用主要是预防井口松散的砂、粘土在冲洗液的冲刷浸泡下失稳坍塌,影响整个井身结构的安全,一般要求穿过填土层下入到原状土地层中。

(2)表层护壁套管下入深度一般要求进入完整基岩10 m,其主要作用是预防钻进基岩段时,第三、四系松散层发生坍塌、掉块,造成卡、埋钻事故。

(3)技术套管是根据地层情况,在极有可能钻遇到涌、漏、断层破碎带及其他异常地层,采取常规方法无法解决而设计的一层套管,大口径工程井一般情况下较少使用。

(4)工作套管是大口径工程井成井后最后下入井内的套管,工作套管的内径就是连接地面至井下的通道,工作套管与环空间的水泥环形成钢管水泥环井壁,隔离地层中的水进入通道,保护井壁。

2.3 套管尺寸与井眼尺寸设计及配合

井眼尺寸与套管尺寸设计及配合事关井身质量、钻探与套管尺寸的级配、下管作业、作业成本等。因此,一要必须考虑国内现有管材系列;二要详细了解施工区域地质复杂情况。如地层比较复杂,钻探技术方法能够解决如漏、涌水或破碎带护壁等施工难题,尽量不设计技术套管,简化井身结构。如通过钻探技术手段无法解决,确需设计技术套管时,可考虑留有一定余量满足增加技术套管的空间。具体设计方法:

(1)确定井身结构尺寸原则:根据工程目的和要求工作套管确定后,来确定工作套管所需井眼尺寸。如地层复杂需要设计技术套管,按照由内向外、

由下向上原则逐级确定技术套管尺寸和井眼尺寸,以此类推,最后确定表层护壁套管尺寸和相配合的井眼尺寸及井口管的尺寸。

(2)套管与井眼之间有一定的间隙,间隙过大不经济,过小则会导致下管作业困难以及固井注水泥后水泥过早脱水形成水泥桥,同时严重影响固井质量,降低钢管水泥环的强度。大直径工程井套管与井眼一般最小间隙 ≥ 100 mm。

2.4 井身结构设计所需基础数据

施工区地层岩性剖面图;各岩层段水文地质条件,如漏、涌水情况,水敏性地层位置,破碎程度等;工程井钻进进入目的靶区井下情况(矿体以及矿体、岩巷位置)。工程井扩孔级数,采用的扩孔钻头的大小、质量及牙轮掌的大小等数据。我国煤层气、石油钻井套管与井眼尺寸匹配关系见表1。

表1 煤层气井套管与井眼尺寸配合关系

钻头/mm (井眼直径)	套管直径/mm	井眼直径与套管 直径比
215.9	139.7/177.8	1.54/1.21
311.1	244.5	1.27
364.6	273	1.33
431.8	349.2	1.24
444.5	339.7	1.31
508.0	406.5	1.25
660.4	508	1.3

由表1可以看出,井眼直径与套管直径之比多在1.20~1.35之间,这一比例关系被石油井、煤层气井长期的钻井实践证明是安全、科学、合理的。

我单位已完成的部分大口径工程井套管和井眼尺寸配合关系统计情况见表2。

表2 已完成大口径工程井套管与井眼尺寸配合

井名	工作套管			表层护壁管			井口管			备注
	套管直径/mm	井眼直径/mm	井眼直径与套管直径比	套管直径/mm	井眼直径/mm	井眼直径与套管直径比	套管直径/mm	井眼直径/mm	井眼直径与套管直径比	
淮南丁集	630	780	1.24	830	1010	1.22	1200	1400	1.17	三层管
瓦斯抽排	830	1010	1.22	1200	1300	1.09	1350	1450	1.08	三层管
平煤十矿瓦斯抽排	720	910	1.26	1000	1250	1.25				两层管
潘三煤矿瓦斯抽排	630	820	1.30	880	1080	1.23	1200	1400	1.17	三层管
五阳煤矿瓦斯抽放	1060	1310	1.24	1360	1500	1.10				两层管

由表2给出的 $\text{O}760\sim 1450\text{ mm}$ 之间大口径工程井的井眼(钻头)直径与套管直径配合关系可见,对于表层护壁套管和工作套管,该比率控制在1.20~1.35之间较为合适。井深是指护壁套管下入深度,在巨厚覆盖层地区,当地层中含有遇水膨胀缩径的粘土层,井深、井径均较大时,护壁套管与井眼直径的比率选值也可能突破上限值。井深因素主要是指护壁套管以下的井段长度,如果这一长度值仅相当于浅井深度,工作套管与井眼直径的比率选择时,则可选取较小值,反之可选取较大值。选值时应注意,井口套管虽直径较大,但下入深度有限,不必完全按此比值掌握,一般井眼直径与套管直径之差 $\geq 100\text{ mm}$ 即可。2006年以来,河南省煤田地质局已完成的40余口大直径工程井、送风井、降温井工程实践证明,井眼(钻头)直径与套管直径的比率控制在1.20~1.35之间较为合适。

3 成孔方法的选择

大口径工程井垂直度要求高,完井后入井套管尾部必须进入设计靶区,所以,成孔方法的选择必须首先考虑要有利于中靶,选择防斜保直的钻井方法。从钻井工艺基本理论和国内外现有的成熟钻井技术来看,有利于防斜保直实现中靶的成孔方法有2种:

(1)选用与所钻口径相匹配的大扭矩、大提升力重型钻机、重型钻具及一次成孔钻头,采用先进的气举反循环钻进工艺、合理的钻进参数一次成孔;

(2)采用石油钻井工艺中成熟的定向钻井技术先钻超前导向孔(简称先导孔),中靶的前提下带导向用气举反循环钻进扩孔成孔,扩孔钻进的级数依钻机能力和钻具强度而定。目前国内的机具和工艺研发程度,尚不能满足大口径工程井施工时井深和井径的需要,本次主要研究超前先导孔钻进分级扩孔成井法的施工工艺。

3.1 超前先导孔钻进分级扩孔成井法

所谓先导孔超前钻进分级扩孔成井法就是采用气举反循环钻进方法,超前钻一个小井眼的钻孔(井眼尺寸一般选用 $\text{O}445\text{ mm}$ 或 $\text{O}311.2\text{ mm}$),然后根据设计最大井眼尺寸,进行合理分级,依次进行扩孔,形成一个满足设计要求的井眼,该成井方法有以下优点:

(1)防斜、纠斜效果好,中靶率高。先导孔钻进

的钻具组合相对简单,在防斜方面可以使用“满眼组合钻具”,在纠斜方面可以利用井下动力螺杆钻具等技术,这样通过先导孔的施工,在钻井过程中能够控制井眼轨迹并能按设计要求进入预计靶区,保证井身质量。

(2)提前了解地层情况,制定相关技术措施。先导孔施工利用成熟技术保证井眼垂直,而且通过超前钻遇地层获取地层的详细资料,为下部分级扩孔制定相应的、更加具体、有针对性的钻进技术措施提供依据。

(3)减少单次碎岩面积,弥补设备能力不足,提高钻进效率。大口径工程井采用先导孔钻进然后分级扩孔的办法,可以有效减少单次碎岩面积,从而较好地弥补了设备能力的不足,此外采用分级扩孔阶梯型破碎井底,增加了井底岩石自由面,从而降低了破碎单位体积岩石所需的破碎功,使在同等机械破碎功的条件下,机械钻速获得较大的提高。

(4)泥浆钻进能保证井眼安全。利用泥浆作为冲洗液钻进,在钻进作业时起到冷却、润滑钻头,携带岩粉的作用外,还能保持地层稳定,实现平衡钻进的目的。大口径工程井由于井眼尺寸大,井壁裸露表面积比常规井眼大几倍,保护井眼井壁稳定也是施工中的关键,因此在钻进过程中,通过调整泥浆的性能,可以平衡地层压力,抑制水敏性地层,这样就能有效地预防井内坍塌、掉块,避免卡、埋钻事故的发生。

3.2 扩孔分级优化

合理地确定扩孔分级对保证钻井安全、提高扩孔质量和成孔效率具有重要意义,也关系着扩孔钻头的加工制造和钻井生产成本,是大口径工程井施工中一项重要的技术工作。在进行成孔程序安排时,应注意以下事项:

(1)由于下入护壁套管的地层主要是新近系松散层和风化基岩层,当护壁套管下入深度较浅时($\leq 150\text{ m}$),上部护壁孔段直接采用大口径一次成孔有利于提高工效。

(2)先导孔口径一般选用 $\text{O}311.2\text{ mm}$ 或 $\text{O}445\text{ mm}$,建议首选 $\text{O}311.2\text{ mm}$ 开孔。先导孔中靶后,再用分级扩孔。当钻机能力和钻具强度许可时,应采取一扩成孔,否则可采取分级扩孔。

(3)扩孔分级方式可分为等径差法和等面积法。等径差法扩孔:原井眼自由面对钻进时体积破

碎的作用近似相等,扩孔钻压随井眼增大而增大。等面积法扩孔:每一级扩孔的钻压近似相等,原井眼自由面对钻进时体积破碎的作用随井眼增大而增大。推荐采用等面积扩孔法成孔。

(4)如井眼直径1100~1500 mm扩孔分级设计三级为宜;井眼直径910~1100 mm扩孔分级设计二级为宜;井眼直径790 mm以下设计一级较合理。

4 结论

分级扩孔技术应用在大口径工程井领域,有效地解决了大口径工程井施工相关技术难题,提高钻进(扩孔)效率,减小钻头磨损,降低泥浆材料等施工成本,保证钻孔井身质量。在分析借鉴其他大口径工程井钻井工艺方法基础上,针对大口径工程井钻遇地层特点,研究了大口径工程井的井身结构设计、成孔方法、扩孔分级优化及套管与井眼尺寸配合关系。

参考文献:

- [1] 林柏泉,张建国. 矿井瓦斯抽放理论与技术[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1996.
- [2] 孙明光,等. 钻井、完井工程基础知识手册[M]. 北京:中国石化出版社,2002.
- [3] 中国石油勘探与生产分公司. 钻井监督[M]. 北京:石油工业出版社,2003.
- [4] 苏义脑. 油气直井防斜快打技术[M]. 北京:石油工业出版社,2003.
- [5] 张永成. 钻井施工手册[M]. 北京:煤炭工业出版社,2010.
- [6] 杨宗仁. 超大直径工程井钻井垂直度控制工艺技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(8),44-46.
- [7] 洪伯潜. 煤矿井筒大直径钻井法凿井技术[C]//苏义脑. 2006年钻井基础理论研究与前言技术开发新进展研讨会论文集. 北京:石油工业出版社,2007.
- [8] DZ/T 0155—95. 钻孔灌注桩施工规程[S].
- [9] 徐培远,等. 煤矿大口径瓦斯抽排井施工技术研究报告[R]. 河南省煤田地质局,2013.
- [10] 耿建国,等. 大口径气举反循环钻具研制及应用研究报告[R]. 河南省煤田地质局,2013.