

深部地质取心钻探钻柱失效行为分析

王志刚, 梁 健, 刘秀美

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:国家的“三深一土”规划确定全面开展深地探测,而在深地探测中钻柱是最重要的连接纽带,其长期在充满钻井液的井眼内工作,受力十分复杂,且受腐蚀、磨损、温度等影响,极易发生钻柱失效事故,造成重大经济损失。研究发现,振动是引起钻柱失效的主要原因,但是深部地质钻探中除了振动引起钻柱失效外,还包括钻柱质量因素、人为因素、钻井质量、套管下入因素、测斜因素以及钻井液因素引起的钻柱失效,本文针对这些影响因素提出了对应的预防措施。同时随着地质钻探井深的不断加深,地质钻探钻柱动力学研究会变得越来越重要,这就需要地质钻探人员在充分考虑地质钻探钻柱失效影响因素的前提下,加大对地质钻探钻柱动力学的研究,以更好地保证深部地质钻探的顺利进行。

关键词:地质钻探;钻柱动力学;振动;钻柱失效

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)12-0028-04

Analysis of Failure Behavior of Drill String in Deep Geological Core Drilling/WANG Zhi-gang, LIANG Jian, LIU Xiu-mei (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: The drill string is the most important connecting link in deep exploration, and it is prone to experience failure due to complicated loads with long time working in wellbores full of drilling fluid, corrosion, wear, temperature and so on, leading to great economic loss. Investigation has found that vibration is the main cause of drill string failures; however, besides vibration, drill string failures are also caused by other factors, such as drill string quality, human acts, wellbore quality, running in of casing, inclination measurement, drilling fluids in deep geological drilling. This paper proposes the corresponding preventive measures for these influencing factors. It is emphasized that with the increase of deep geological drilling depth, geological drilling string dynamics research will become more and more important, and should be strengthened to ensure the smooth progress of deep geological drilling with all round consideration of influencing factors for geological drilling string failures.

Key words: geological drilling; drill string dynamics; vibration; failure behavior of drill string

0 引言

习近平总书记在全国科技创新大会上指出:“向地球深部进军是我们必须解决的战略科技问题”。向地球深部进军不仅是解决地学重大基础理论问题的迫切需要,同时也是保证我国能源安全、扩展经济社会发展空间的重大需求。地球深部蕴藏了绝大部分的资源 and 能源,是维系万物生存的物质和能量基础。通过深地探测,开展战略性矿产勘查,搞清资源家底,建立完善国家能源和矿产资源战略储备体系,做到“手握储量、心里不慌”。而在深部地质取心钻探工作中,钻柱是必不可少的一部分,它是连接钻井设备和井底取心工具的重要纽带,是钻进工作能否顺利进行的关键所在。在深井取心钻进中,钻柱

具有超细长比的特征,在充满钻井液的狭长井眼里做旋转运动,受拉、压、弯、扭和内外钻井液压力等复杂载荷的作用,同时还受到腐蚀、磨损、温度等的影响,面对如此复杂的工程服役条件,极易发生钻柱失效事故,造成重大的经济损失^[1-2]。因此开展深部地质钻探钻柱失效原因和机理研究,对于提高钻柱寿命,解决和预防井下钻柱失效事故,节约钻井成本,提高钻探效益具有非常重要的意义。

1 钻柱失效的类型

钻柱失效的形式多种多样,归纳起来可以总结为 3 类^[3]。

1.1 过量变形

收稿日期:2018-01-19; **修回日期:**2018-07-23

基金项目:国家科技部战略性国际科技创新合作重点专项项目“多金属矿岩心钻探关键技术装备联合研发及示范”(编号:2016YFE0202200)

作者简介:王志刚,男,汉族,1987 年生,油气井工程专业,硕士,从事钻井工艺技术研究工作,河北省廊坊市金光道 77 号,1036821833@qq.com。

钻杆接头在受载的情况下螺纹部分伸长;钻杆本体超过极限的弯曲和扭转。

1.2 断裂

断裂事故是钻柱失效当中比较常见的一种事故,占比较大,产生的危害比较严重,主要包括以下几种断裂形式。

(1)过载断裂。在起下钻的过程中遇阻或遇卡时,由于操作不当,引起的断裂;或者是钻进过程中由于憋钻产生断裂。

(2)低应力脆性断裂。低应力脆断主要是因为钻柱在使用过程中疲劳损伤所导致,是主要的失效形式,例如钻杆焊接处的脆性断裂或者接头螺纹处的脆性断裂,具有不可预知性的特点,是最危险的断裂方式之一。

(3)应力腐蚀断裂。是钻柱失效的常见形式。例如钻柱在含有硫化氢的环境中工作时产生的硫化物应力腐蚀断裂;或者是接触到腐蚀性介质时产生应力腐蚀开裂。

(4)氢脆断裂。工作环境中存在过多的氢时,在拉应力作用下可使材料发生氢脆。实际上,硫化氢和盐酸引起的钻具应力腐蚀断裂也是由于氢的作用造成的。

(5)疲劳断裂。一般发生在钻杆接头和转换接头螺纹部位等截面变化区域或因表面损伤而造成的应力集中区,在钻井过程中钻柱承受着复杂的交变应力,很容易在螺纹根部和划伤等缺陷部位产生应力集中,使缺陷处产生了裂纹并快速扩展,直到断裂。

(6)腐蚀疲劳断裂。腐蚀疲劳断裂占钻柱失效的 80%,与普通断裂一样,腐蚀疲劳断裂裂纹产生在应力集中比较严重的部位或表面产生腐蚀坑,产生裂纹并扩展。

1.3 表面损伤

(1)腐蚀。包括均匀腐蚀(如钻具锈蚀)、小孔腐蚀(即点蚀,钻杆存放或使用过程中,内外表面的点蚀)和焊缝腐蚀(如钻杆表面皱折处的钻井液腐蚀,外螺纹接头处啮合部位的腐蚀等)。

(2)磨损。包括粘着磨损(如钻杆接头和转换接头螺纹部分的磨损)、磨料磨损(如钻井液和井壁对钻柱的磨损、螺纹脂中的杂质对螺纹的磨损)和冲蚀磨损(如钻杆的内外表面及连接螺纹受到钻井液的冲蚀磨损)。

(3)机械损伤。如表面碰伤、烧伤及其它工具的压痕等。

2 深部地质钻探钻柱失效原因分析

2.1 振动引起的钻柱失效

钻柱振动对于深部地质钻探极为不利。首先钻柱振动造成钻头所受钻压不均匀,容易损坏钻头,振动还会引起钻头激烈的跳动跳离井底,损伤钻杆接头螺纹,影响钻进进度。其次振动会产生噪音污染,对于施工人员的听力产生极大的影响。最后振动使得钻杆与孔壁的碰撞接触几率增加,缩短了钻杆的使用寿命,在破碎地层或者松散地层,振动还有可能造成卡钻或者埋钻事故。钻柱振动是钻柱失效的主要原因^[4-9]。

2.1.1 横向振动引起的钻柱失效

横向振动是导致钻柱不稳定和失效的主要因素之一。井深越深,钻柱横向振动越严重,这一点可以通过提钻检查钻具组合或者通过安装钻头记录仪来证明。横向振动主要发生于中和点以下的钻杆上,中和点以下的钻杆受压,非常容易发生静力失稳,产生二次屈曲。钻柱在转动的过程中由于旋转阻力的作用,会使钻柱由二次屈曲转变为空间螺旋屈曲,加上离心力的存在,钻柱中和点以下钻杆会产生剧烈的横向振动,造成中和点下部钻杆失效,损坏连接螺纹,缩短钻头使用周期。

2.1.2 纵向振动引起的钻柱失效

纵向振动在深部地质钻探中十分常见,特别是在坚硬地层更容易发现。在钻进的过程中,钻头在动载荷的作用下,频繁的跳离井底或者猛烈的撞击井底,且转速开的越快,现象越明显。发生纵向振动时,钻柱跳动现象明显,噪音加大。纵向振动不仅使钻头使用寿命降低,还会对井架及其他地面设备产生影响,如果不采取措施进行干预,危害将十分严重。

2.1.3 扭转振动引起的钻柱失效

扭转振动也叫扭簧振动,就像钟表内的扭簧带动摆轮,左右扭动一样,如图 1 所示。在深部地质钻探中十分常见。钻柱产生扭转振动后,井底对钻头的阻力不断变化,钻头时而停转,时而加速,严重时还会出现憋钻。钻机开的转速越高,现象越明显,如果不采取措施进行干预,会产生钻柱扭断、接头螺纹损坏,钻头连接部扭断等井下事故。

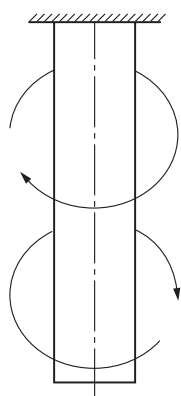


图1 扭转振动

2.1.4 涡动引起的钻柱失效

钻柱涡动是所有振动中危害性最大的,是目前钻柱力学研究领域的一个重点。钻柱在绕着自身轴线进行自转的同时,还会绕着井眼轴线进行公转,这时就产生了涡动,如图2所示。涡动也可以称为行星运动,有正向和反向两种涡动形式。钻柱涡动造成钻杆偏心距加大,与井壁碰撞、摩擦几率加大,加快了钻杆磨损的速度,容易引发钻杆弯曲疲劳损害,提高了钻进功率,使得钻柱横向振动频率加大,孔内事故发生概率增加。

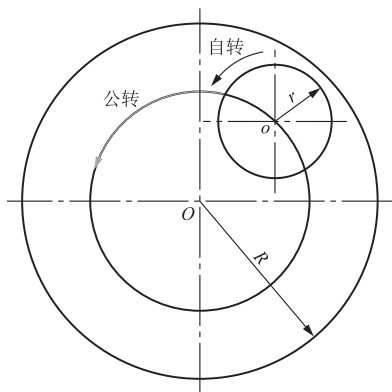


图2 涡动

2.2 其他因素引起的钻柱失效

在深部地质钻探中,振动是钻柱失效的主要原因,除此之外还有一些其他原因也可导致钻柱失效,主要包括钻柱质量因素、人为因素、钻井质量因素、套管下入因素、测斜因素以及钻井液因素,这些因素如果不加以重视,也可诱发钻柱失效,发生井内事故。

2.2.1 钻柱质量因素引起的钻柱失效

材料成分不恰当,本身存在杂质,易引起脆性断裂。在加工过程中,冶炼、调质和加工工艺不当,出

现应力集中或裂纹,造成钻柱失效。

2.2.2 人为因素引起的钻柱失效

目前地质钻探现场工作人员来自于全国各地的地质队,其中除机长以外绝大多数人员为临时招聘,文化程度不高,再加上缺少相应的其他福利待遇和激励措施,造成这些临时工作人员消极怠工情绪严重,机台人员流动较大,许多现场工作人员没有经过严格的上岗培训就开始工作,不懂得如何进行钻柱搭配,下钻前没有及时的对钻杆进行严格检查,使用已经出现弯曲的钻杆进行钻进;为了拿到进尺费,盲目追求钻进效率,转速过快;提钻后不对钻柱进行检查处理,钻柱已经被腐蚀仍然下井使用;人工拧卸钻杆时,操作不当,在钻杆表面产生划伤。这些人为因素都会引起钻柱失效,发生井内事故。

2.2.3 钻井质量因素引起的钻柱失效

深部地质钻探主要以全井取心为主,在钻探过程中很少使用钻铤、扶正器、减震器等工具,因此振动严重很容易发生井斜,经过纠斜以后在井下形成“大肚子”,造成井内钻柱在“大肚子”位置发生卡钻、弯曲应力集中和疲劳损坏,最后导致井壁坍塌或者钻杆断裂。卡钻事故发生后,计算和测量卡点位置是关键,如果处理得当可以有效避免井壁坍塌和钻柱失效事故的发生^[10]。由于钻井质量引发的钻杆断裂事故在深部地质钻探中十分常见,必须加以重视,尽量避免井下产生“大肚子”。

2.2.4 套管下入因素引起的钻柱失效

深部地质钻探多为地质调查井,不作为生产井使用。一般采用三开钻进方式,一开下入地质薄壁套管进行护壁,采用水泥固井。二开也下入地质套管护壁,但是为了节省经费,通常情况下二开套管在钻井完毕后会进行起拔回收,因此二开套管不采用水泥固井,而是直接“坐在”基岩上,并在井口采用夹板固定。深部地质钻探套管下入时不在套管上安装扶正器,因此很难保持套管垂直,在三开钻进时如不对二开套管进行矫正,很容易发生井斜,引起钻杆断裂事故。

2.2.5 测斜因素引起的钻柱失效

深部地质钻探现场使用的测斜仪器多为单点测斜仪,在下入井内后只能测定一个位置的井斜,通常的钻探要求是在整百米、下入套管、进入和穿出目的层时要进行测斜。由于采用单点测斜仪间隔百米进行测斜时,井内可能已经产生键槽和“大肚子”。再

加上为了防止测斜仪掉入井内,钻井工作人员通常情况下会在钻杆内进行测斜,造成所得的井斜数据失真。测斜不及时或者不准确很容易影响钻井质量,进而引起钻柱失效事故。

2.2.6 钻井液因素引起的钻柱失效

地质钻探的目的是进行地质调查,而不是进行工业生产,因此地质钻探对于储层保护研究比较少,现场没有配备专门的钻井液工程师,井队在配浆时主要以经验为主,不同的地质钻探队伍所配的钻井液并不相同。这就造成有些队伍所配的钻井液性能腐蚀性较强,在井下时钻井液对钻杆进行腐蚀和冲蚀,如不能及时进行提钻检查,容易引起钻柱失效事故。

3 预防钻柱失效的措施

根据深部地质钻探钻柱失效的类型、原因,从优化钻柱内部组织性能和外部使用方法出发提出以下几条预防钻柱失效的措施。

3.1 建立钻柱弯曲点的计算模型

根据钻柱在井内的受力和运动情况,建立钻柱弯曲点的计算模型,针对现场施工条件计算出钻柱弯曲点,每次起钻以后,上下倒换钻杆进行使用,避免同一钻杆在同一位置多次出现弯曲和应力集中,造成钻柱失效。

3.2 加强钻柱质量的检验和探伤

钻柱应严格按照质量要求进行加工生产,存在质量问题的钻柱一律不能出厂。同时还要做好现场钻柱的探伤工作,特别是在下钻时,要对所使用的钻柱进行严格检查。

3.3 严控钻井质量

钻井质量的优劣对于井内钻柱的安全影响巨大,因此在钻井过程中要严控钻井质量,避免因过分追求钻井速度而忽略钻井质量的状况出现,并且要加强对钻井工作人员的培训,使司钻能够根据地质条件的不同及时的调整钻压和钻速,控制井斜,同时应将原有的测斜密度增加到每 30 m 测斜一次,出现井斜以后及时进行纠斜,杜绝井内出现严重的“狗腿”度超标状况。在深井测斜时,必须按照测斜要求进行测斜,但是要重视测斜仪的防掉和防埋保护。

3.4 及时矫正套管

根据地质钻探套管下入的特点,应及时对二开套管进行矫正。可在不影响套管起拔的前提下下入

扶正环扶正,同时在三开钻进之前使用钻杆轻敲套管,保证套管在井内处于垂直的状态。

3.5 优化钻柱使用

使用过的钻杆不再进行修扣使用,可以切掉原有旧扣从新进行车扣,消除疲劳源;限定钻杆的使用时间,使用时间达到后应及时进行报废;缩短对钻杆的探伤时间,及时发现问题及时进行更换,减少钻柱断裂的几率;建立钻柱疲劳破坏寿命的档案,在每次使用前查阅其剩余寿命,决定是否可以下井和采取那些必要措施。

4 深部地质钻探钻柱力学研究存在的主要问题

4.1 研究人员不足

目前,对于钻柱力学的研究主要集中于石油领域,在地质钻探领域主要集中于研究钻柱静力学问题,很少有人研究钻柱动力学问题^[1]。实际上深部地质钻探无论是在钻探设备,钻柱、钻头还是钻进工艺上都与石油钻探存在很大的区别,石油钻柱动力学研究成果不能够完全适应于深部地质钻探,因此必须加强深部地质钻探钻柱动力学研究。

4.2 研究方向单一

与钻柱静力学研究相比,地质钻探钻柱动力学研究研究方向比较单一,研究最多的是钻柱横向振动、扭转振动和纵向振动单一振动形式,没有深入地地质钻探钻柱涡动行为进行研究,更别提非线性耦合振动问题的研究,在研究方式上多套用石油钻探钻柱力学数学模型,且没有形成体系研究。

4.3 缺少定量分析和现场应用

现有的地质钻探钻柱动力学研究主要为理论研究,很少进行定量分析,也很少进行现场应用研究,整体仍然处于起步阶段。

5 结论

(1)钻柱的失效类型有过量变形、断裂和表面损伤三类,其中断裂是最主要的失效类型。

(2)振动分为横向振动、纵向振动、扭转振动和涡动,在石油钻井中振动是引起钻柱失效的主要原因,深部地质钻探在钻井过程中同样会产生振动问题,因此振动引起的钻柱失效问题同样不能忽视,但是深部地质钻探与石油钻探有一定的区别,除了振动引起钻柱失效外,还有包括钻柱质量因素、人为因素、

(下转第 46 页)

期涌水量突然增大,导致洞壁坍塌,因此,选择注浆的基础上进行了钢拱架的施工。从图14中可以看出,对该出水点进行注入本文研制的浆液后,短时间达到停泵条件,对出水点进行成功封堵,浆液结石体与围岩形成共同的承重结构,阻止了围岩进一步变形。封堵效果表面该浆液能够满足该工程需要,具有一定的工程应用价值。

参考文献:

- [1] 杜士斌. 开敞式 TBM 的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011: 20—40.
- [2] 魏文杰. 开敞式 TBM 隧道施工应用技术[M]. 四川成都: 西南交通大学出版社, 2015: 10—30.
- [3] 李建华. TBM(盾构)技术应用及几个关键技术关键的讨论[J]. 隧道建设, 2012, 32(S1): 1—5.
- [4] 孙千. 开敞式全断面硬岩掘进机在长大隧洞施工中的应用[Z]. 2014.
- [5] 张照煌. 开敞式全断面岩石掘进机连续掘进原理的研究[J]. 工程机械, 2007, 38(4): 28—32.
- [6] Hongsu Ma, Ju Wang. Study on the influence of confining stress on TBM performance in granite rock by linear cutting test[J]. Tunneling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research, 2016, 14: 32—36.
- [7] 申选龙. 浅析影响 TBM 掘进效率的相关因素及对策[J]. 中国高新技术企业, 2015, (6): 86—87.
- [8] 殷术奎. 引松农安支线供水工程方案优选研究[D]. 吉林长春: 吉林大学, 2011.
- [9] 王永安, 陈元元. 敞开式 TBM 在软弱围岩掘进中的地质灾害问题[J]. 西部探矿工程, 2002, (5): 167—16.
- [10] 张学军, 胡必飞. 软弱千枚岩地段 TBM 掘进施工技术[J]. 隧道建设, 2011, 31(6): 706—711.
- [11] 尹俊涛, 尚彦军, 傅冰骏, 等. TBM 掘进技术发展及有关工程地质问题分析和对策[J]. 工程地质学报, 2005, 13(3): 389—397.
- [12] 郑玉辉. 裂隙岩体注浆浆液与注浆控制方法的研究[D]. 吉林长春: 吉林大学, 2005.
- [13] 冉景太. 黏土水泥浆液性能研究[D]. 云南昆明: 昆明理工大学, 2010.
- [14] 张付涛. 裂隙岩体注浆材料研究及应用[D]. 山东青岛: 山东科技大学, 2011.
- [15] 翟梁皓. TBM 在吉林中部城市引松供水施工中的应用[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2016, 17(1): 71—74.
- [16] 翟梁皓. TBM 在某引水隧道施工中应用研究[D]. 吉林长春: 长春工程学院, 2016.

(上接第 31 页)

钻井质量因素、套管下入因素、测斜因素以及钻井液因素引起的钻柱失效问题。

(3) 依据深部地质钻探钻柱失效的原因提出了建立钻柱弯曲点的计算模型、加强钻柱质量的检验和探伤、严控钻井质量、及时矫正套管和优化钻柱使用 5 条预防钻柱失效的措施, 可以有效地减少钻柱失效事故的发生。

(4) 深部地质钻探在钻柱力学方面的研究较少。出现这样问题的原因主要是由于在前期阶段, 地质钻探主要以浅井取样为主, 钻柱力学研究不能体现出研究价值, 因此很少有人进行研究, 且研究方向也比较单一。但随着深部地质钻探工程的开展, 地质钻探钻柱动力学研究开始受到重视。

参考文献:

- [1] 王志刚. 钻柱自转旋转和径向运动诱发牛顿流体流动的流场分析[D]. 河北秦皇岛: 燕山大学, 2015.
- [2] 李子丰, 梁尔国. 钻柱力学研究现状及进展[J]. 石油钻采工艺, 2008, 30(2): 1—9.
- [3] 毕雪亮, 王长江, 阎铁, 等. 深井钻具失效分析与预防[J]. 钻采工艺, 2005, 28(6): 27—30.
- [4] 狄勤丰, 王文昌, 胡以宝, 等. 钻柱动力学研究及应用进展[J]. 天然气工业, 2006, 26(4): 57—59.
- [5] 祝效华, 童华, 刘清友. 钻柱动力学研究回顾及新思路的提出[J]. 海洋石油, 2007, 27(1): 84—86.
- [6] 高宝奎, 高德利. 深井钻柱的横向振动浅论[J]. 石油钻采工艺, 1996, 18(4): 8—13.
- [7] 王文龙, 胡群爱, 刘化伟, 等. 钻柱纵向振动分析与应用[J]. 振动与冲击, 2011, 30(6): 229—233.
- [8] 李子丰, 张永贵, 侯绪天, 等. 钻柱纵向和扭转振动分析[J]. 工程力学, 2004, 21(6): 203—209.
- [9] 戴荣东, 潘敏, 王朝平, 等. 钻柱涡动情况下疲劳损伤浅析[J]. 石油钻采工艺, 2010, 32(6): 19—22.
- [10] 王志刚, 吴纪修, 孙建华, 等. 地质钻探孔内被卡钻柱的卡点测量与计算方法分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(8): 29—32.
- [11] 张明明. 岩心钻探中钻杆扭转振动特性分析及其应用[D]. 四川成都: 成都理工大学, 2014.