

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.201506010

# 水下释放塞注水泥工艺关键技术

赵苏文, 黄小龙, 熊爱江, 孙子刚, 赵维青

(中海油能源发展股份有限公司工程技术深圳分公司, 广东深圳 518067)

**摘要:**浮式钻井装置水下井口系统注水泥工艺存在套管胶塞如何安放、安放位置如何选择、套管胶塞如何释放及如何适应水下井口系统等技术难点。针对该技术难点,通过分析水下井口系统的结构和工作原理,并对浮式钻井装置研究和实践,形成了浮式钻井装置技术套管和生产套管配套注水泥工艺,即水下释放塞注水泥工艺。分析了该工艺的原理、工具组成、施工中可能的风险点、工艺优化及发展趋势,介绍了现场应用中的技术准备、施工步骤及应用效果。研究表明,水下释放塞注水泥工艺可操作性强、连贯性好、稳定性高,满足浮式钻井装置钻井工艺需要,可解决水下井口系统注水泥工艺遇到的难题。

**关键词:**深水井;注水泥;套管;胶塞;水泥头

中图分类号:TE256<sup>+</sup>.5 文献标志码:A 文章编号:1001-0890(2015)06-0054-05

## Key Technologies of the Subsea Release Cementing Process

Zhao Suwen, Huang Xiaolong, Xiong Aijiang, Sun Zigang, Zhao Weiqing

(Shenzhen Branch Company, Engineering Technology Company of CNOOC Energy Technology & Services Limited, Shenzhen, Guangdong, 518067, China)

**Abstract:** The cement technology of the underwater wellhead system of the floating drilling rig is faced with the following technical problems: how to set the casing plugs, how to choose the setting locations, how to release the rubber plugs and how to adapt to underwater wellhead systems. In order to solve these problems, subsea release cementing technology was developed after underwater wellhead systems were analyzed in terms of structures and operational principles and floating drilling rigs were investigated and applied in field. They carried out cementing by using intermediate casing and the production casing of the floating drilling rig. In this paper, the principle of the process, the components of the tools, the possible risk points, the process optimization and the development trend are analyzed, and the technical preparation, operation steps and application effects of the field application were illustrated. It was demonstrated that the subsea release cementing technology was characterized by strong operability, good continuity and high stability, and it could meet the drilling requirements of floating drilling rigs and solve the problems encountered in the process of underwater wellhead cementing.

**Key words:** deep water well; cementing; casing; rubber plug; cement head

近年来,随着中国深水勘探开发的快速发展,作业水深越来越深,对深水钻井能力的要求不断提高<sup>[1-2]</sup>。目前,在深水钻井中下中间套管和生产套管后,采用类似于浅水浮式钻井装置的水下释放塞注水泥工艺,但由于作业装置和环境发生了较大改变,对该工艺提出了新的挑战。为此,研究了浮式钻井装置技术套管和生产套管配套注水泥工艺,即水下释放塞注水泥工艺,分析了该工艺在浅水钻井过程中常见的几类风险点,提出了针对性的处理方法和预防措施,以期对浅水及深水钻井中的类似问题有一定的借鉴和指导作用。

## 1 浮式钻井装置注水泥工艺难题

海洋石油浮式钻井装置钻井工艺的最大特点是采用水下井口系统,即井口系统位于海底泥面,而其

他固定式钻井装置或自升式钻井平台的井口系统在装置上且位于海面之上(称之为地面井口系统)。因此,地面井口系统配套的注水泥工艺无法满足水下井口系统注水泥要求,需要研究新的工艺。水下井口系统注水泥工艺主要有以下技术难点:

1) 地面井口系统注水泥工艺中,套管胶塞安装在地面套管水泥头内,而水下井口系统中,套管胶塞安装位置如何选择及如何安放都不清楚。

2) 地面井口系统中,套管胶塞通过特殊设计的挡销固定在套管水泥头内,固井时通过解除挡销释放套管胶塞,但水下井口系统中采用什么方式、如何

收稿日期:2015-05-15;改回日期:2015-10-30。

作者简介:赵苏文(1982—),男,陕西永寿人,2005年毕业于中国石油大学(华东)石油工程专业,工程师,主要从事钻井监督和钻井技术研究工作。

联系方式:(0755)26023856,zhaosw@cnooc.com.cn。

释放套管胶塞需要进一步研究。

3) 注水泥是高风险作业,如何保证注水泥作业安全高效,对其工艺的可操作性、连贯性及稳定性提出了更高要求。

水下井口系统连接水下防喷器组及各层套管,该系统主要包括泥垫、低压井口头( $\phi 914.4\text{ mm}$ )、高压井口头( $\phi 476.2\text{ mm}$ )、井口防腐帽、水平仪和高压井口头内坐挂的各尺寸套管悬挂器( $\phi 339.7\text{ mm}$ 、 $\phi 244.5\text{ mm}$  和  $\phi 177.8\text{ mm}$ )、密封组件、防磨补心<sup>[3]</sup>,且该系统是浮式钻井装置注水泥工艺中的重要载体和不可或缺部分,因此需结合理论分析和现场实践研究浮式钻井装置中间套管和生产套管注水泥工艺,以满足浮式钻井装置钻井工艺需要,解决水下井口系统注水泥工艺遇到的难题。

## 2 水下释放塞注水泥工艺

### 2.1 工艺原理

水下释放塞注水泥工艺是一种用于海上浮式钻井装置的固井工艺。该工艺所用工具主要由钻台上的钻杆水泥头(其内安装有钻杆上、下塞)和水下井口头处的套管胶塞组(包括套管上、下塞)2部分组成。钻杆上、下塞的主要用途是解决水下井口处套管上、下塞的释放问题<sup>[4]</sup>,套管胶塞组通过特殊的结构安装在套管悬挂器下部。按照要求从钻台面释放相应的钻杆上、下塞,钻杆上、下塞随着泵注液一起到达水下井口头处套管悬挂器下部的相应套管上、下塞处,由于两者为特殊结构,憋压到一定值后可剪断套管上、下塞销钉,从而释放相应的套管上、下塞,完成注水泥作业<sup>[4]</sup>。

### 2.2 工具组成及其主要作用

浮式钻井装置水下释放塞注水泥工具主要由套管胶塞组、压力平衡阀、钻杆上塞(释放套管上塞)、钻杆下塞或释放球(释放套管下塞)、钻杆水泥头、套管悬挂器、送入钻杆(钻杆水泥头和水下井口之间部分)和高压井口头等组成<sup>[5]</sup>。

水下释放塞注水泥工艺所需要的套管胶塞组组装在套管悬挂器以下的套管内,随套管、套管悬挂器及其送入工具一起下入水下井口系统中。注水泥期间分别用钻杆上、下塞释放套管上、下塞,实现套管下塞清刮套管内壁、减小水泥浆污染,套管上塞清刮套管内壁、减小水泥浆污染、碰压等目的。

钻杆水泥头的主要作用是为固井过程中的各种

流体提供不同的流通通道。另外,它是钻杆上、下塞的安装载体,实现钻杆上、下塞的安装、固定和释放,进而完成对水下井口处套管上、下塞的释放。

压力平衡阀的主要作用为:与钻杆水泥头配套使用,是整个工艺不可或缺的组成部分,用以平衡水下释放系统管内外压差,避免套管胶塞的非正常释放<sup>[4]</sup>。由于剪切释放套管下塞时会产生一定高压,该压力会沿着套管壁窜入套管上塞上部,因此当该压力大于管内压力时,便推动水下平衡阀上的单向阀,打开连接平衡阀内外的通孔,释放该压力<sup>[4-5]</sup>。

### 2.3 可能的风险点

水下释放塞注水泥工艺施工环节较多、施工过程较特殊、工艺流程较复杂。为保证作业安全顺利,不仅要全面理解其工艺过程和原理,还要针对工艺的关键点及实施过程中可能的风险点制定具体的措施。

#### 2.3.1 投放钻杆塞时的风险点

水下释放塞注水泥工艺中,投放钻杆塞时可能的风险点为:钻杆上、下塞未投放成功或投放后未听到明显的下落声音。若钻杆塞未投放成功,会直接影响到水下井口头处套管胶塞的释放,可能导致作业失败;若未听到明显的下落声音,则严重影响现场作业人员的判断,进而影响作业进程。

原因分析:可能是钻杆水泥头内的钻杆塞挡销未完全退回,或者胶塞内筒和水泥头内腔有杂物。

钻杆下塞没有成功投放或未听到明显下落声音时,常规处理方法为:1)继续尝试退出下挡销,如果下挡销不能继续退出,则重新上回下挡销并记录挡销的圈数;如果下挡销明显不能上回原位置,且和正常圈数不相符,说明钻杆下塞已经投下,重新退出刚上回的圈数,然后按正常程序继续作业。2)如果下挡销能上回原位置,并且圈数和记录圈数一致,则说明钻杆下塞未投下,再全部退出下挡销,并用榔头等敲击震动水泥头,直至确认钻杆下塞正常下落。3)全部退出下挡销后,按正常程序继续作业;开始泵注压钻杆下塞液时,继续用榔头等敲击震动水泥头,同时注意观察指示销是否有动作;若未见指示销动作,可适当增加压胶塞液量,适当加大泵注排量压钻杆下塞。4)若以上步骤都不能确认钻杆下塞是否正常下落时,考虑拆下钻杆水泥头进行检查。

钻杆上塞没有成功投放或未听到明显下落声音时,其常规处理方法类似于钻杆下塞。

预防措施:固井前彻底检查、保养水泥头,记录

挡销旋转圈数,检查保养指示销状态。安装钻杆下塞之前,清理胶塞内筒和水泥头内腔的铁锈、水泥块等杂物。安装钻杆下塞时,在水泥头内腔、胶塞内筒涂抹适量的黄油等润滑剂。

### 2.3.2 释放套管胶塞时的风险点

套管胶塞的成功释放是水下释放塞注水泥工艺中的主要环节和关键点,很容易出问题。

**第1种情况:**释放套管上、下塞时,无剪切压力显示。

**原因分析:**可能是钻杆上、下塞未投下;钻杆上、下塞端面和水泥头内腔端面不密封,压塞液从胶塞筒和水泥头内腔之间的环空通过;套管胶塞组剪切销钉损坏或剪切压力不对;泵速过快;等等。

释放套管下塞时的常规处理方法:若释放钻杆下塞时指示销有显示,且听到了明显的钻杆下塞下落的声音,则按施工程序继续作业;若指示销无明显显示,则增加泵注排量和压胶塞液量,重新尝试剪切套管下塞;如仍无剪切压力显示,也按施工程序继续作业,在后续泵注过程中留意是否有压力异常。

释放套管上塞时的常规处理方法:若释放钻杆上塞时指示销有显示,且听到了明显的胶塞下落的声音,按施工程序继续作业;若指示销无明显显示,则增加泵注排量和压胶塞液量,重新尝试剪切套管上塞;若有剪切压力显示,按施工程序继续作业,总替浆量要减去增加的压胶塞液量,考虑不要求碰压;若无剪切压力显示,按“盲替”措施继续作业,泵注过程中留意是否有压力异常;总替浆量要减去增加的压胶塞液量,不要求碰压。

**预防措施:**保养并检查水泥头,以确保钻杆下塞顺利投放,施工过程中观察指示销、听胶塞下落声音;控制压胶塞时的排量,防止泵速过快压力过高;在运输、保管和安装时,注意做好保护措施,防止外力对套管胶塞造成损坏;准确计算销钉剪切压力,正确安装销钉等。

**第2种情况:**释放套管下塞时,剪切压力过高。

**原因分析:**可能是泵速过快。

**常规处理方法:**若释放套管下塞时剪切压力过高且接近套管上塞的剪切压力,套管上塞可能已经被一起释放了,如果不影响施工,可继续按设计施工,否则应该停止作业,检查判断套管上塞的剪切情况,以确定处理方法;注水泥浆结束后释放套管上塞时,若剪切压力正常,按施工程序继续施工;若无剪切压力显示,则按“盲替”措施继续施工。

**预防措施:**控制压胶塞时的排量,防止泵速过快、压力过高。

### 2.3.3 投放钻杆塞后的风险点

**出现的问题:**投放钻杆上、下塞后压力异常。

**原因分析:**可能是套管送入管串、送入工具未通径;所用通径规外径过小,不符合通径要求;钻杆下塞卡在套管送入钻具内。

**投放钻杆下塞后的处理方法:**根据已泵入的压胶塞液量推算钻杆下塞的位置;如果钻杆下塞刚好在套管胶塞组中,则憋压至套管下塞的剪切压力,尝试剪切套管胶塞;如钻杆下塞未到达套管胶塞组,则起出套管串和送入工具进行检查,重新通径后再下入套管内;不要尝试使用高压强行剪切套管下塞,因为钻杆上塞的外径要比钻杆下塞的外径更大。

**投放钻杆上塞后的处理方法:**根据已泵入的压胶塞液量推算钻杆上塞的位置;如钻杆上塞刚好在套管胶塞组中,则隔离工作区域,憋压至固井水泥头和管线的最大工作压力,尝试强行剪切套管上塞;如钻杆上塞未到达套管胶塞组,尝试强行把钻杆上塞顶替至套管胶塞组的位置,以达到剪切套管上塞的目的;若憋压值已达到了施工设备的最高值,则泄压、倒开送入工具并起出,采取补救措施。

**预防措施:**严格按操作要求对所有套管、送入钻具进行通径。

## 2.4 工艺优化及发展趋势

随着我国海洋石油钻井不断向深水发展,对钻井工艺和技术提出了更高的要求。如何将水下释放塞注水泥工艺在浅水浮式钻井装置中的使用经验更好地应用到深水钻井中,对深水钻井至关重要,也是深水注水泥工艺安全高效的重要保证。另外,由于深水作业环境的特殊性,以及对钻井工艺安全高效的要求,也对该工艺的优化改进提出了新要求。

1) 由于水深增大,水下井口头处的套管胶塞组与钻台面之间的距离增大,送入钻杆变长,对送入钻杆的强度要求提高,深水井中一般使用  $\phi 139.7\text{ mm}$  以上的高强度钻杆作为送入钻具。这一方面是为了保证送入套管串的抗拉强度,另一方面是通过提高钻杆本身的机械性能减小超长送入钻杆对钻杆上、下塞的影响<sup>[6]</sup>。

2) 随着水深增大,水下释放塞注水泥工艺中套管、套管悬挂器及送入钻杆的长度也更长,在泵送高速流体时,钻杆上、下塞和送入钻杆内壁之间的磨损

将大大增加,磨损后的钻杆上、下塞和井口头处的套管上、下塞之间的配合可能会出现问题,进而影响对其正常释放,因此在深水钻井中,对钻杆上、下塞的材质和质量提出了更高要求。

3) 深水井特殊的作业装置和环境,对作业安全性方面的要求更高,因此如何保证水下释放塞注水泥工艺的安全高效成了重要问题。其中,水下井口处套管胶塞的成功释放和防止其提前释放是整个环节的关键点,为此在以往的水下释放平衡阀基础上研究开发了新型一体式水下释放平衡阀(见图1),可以更好地平衡水下释放系统管内外压差,减少或避免套管胶塞非正常释放。另外,对套管胶塞进行了套管上、下塞释放阀的互锁设计,以防止意外操作和提前释放。

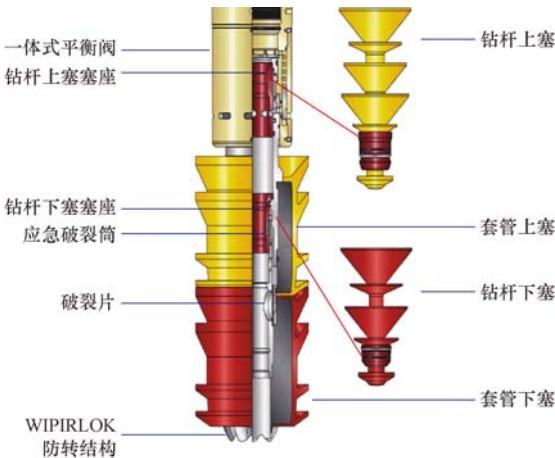


图1 新型一体式水下释放平衡阀

Fig. 1 New integrated subsea release balance valve

4) 钻杆水泥头是水下释放塞注水泥工具的重要组成部分,它不仅提供了不同流体的通道,而且还需要通过其内装置的钻杆上、下塞实现对水下井口头处套管胶塞的释放。为了提高深水作业中钻杆上、下塞投放的准确性和操作的安全性、时效性,研究了新型远程控制钻杆水泥头(见图2),其最大特点是在钻台上通过远程控制台来操作球和钻杆上、下塞的释放。

### 3 现场应用

#### 3.1 技术准备

1) 对钻杆水泥头进行检查、保养,在其上准确安装钻杆上、下塞,记录水泥头上固定钻杆塞挡销的圈数(作为投放钻杆塞时退出挡销圈数的参照),且固定好挡销,以防止其松开。把安装有钻杆上、下塞的钻杆水泥头和合适长度的送入钻杆提前连接好

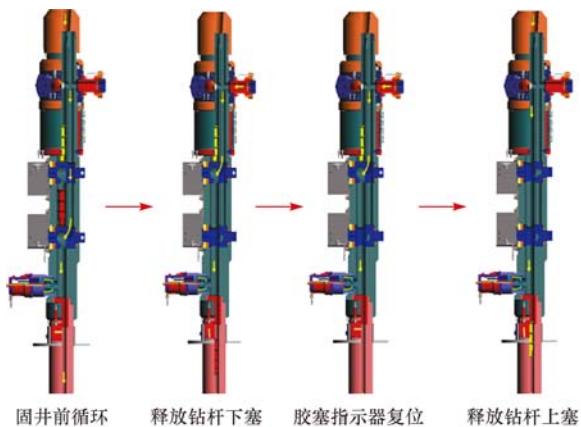


图2 新型远程控制钻杆水泥头

Fig. 2 New remote-control drill pipe cement head

(考虑浮式钻井装置的升沉,控制钻杆水泥头的方余为5 m左右,不同季节及海况条件需要区别对待),并放在合适的位置,防止碰撞损坏<sup>[5]</sup>。

2) 参照产品型号、套管数据信息(尺寸及线重等)以及作业井的温度等情况选择钻杆上、下塞和套管胶塞组。钻杆上、下塞的选择主要取决于送入钻杆的尺寸及类型,且必须与套管胶塞配套。

3) 按照专业软件计算结果确定套管上、下塞的销钉剪切压力及需要安装的销钉数量。

4) 套管在入井前必须进行严格的通径,使入井套管的内径满足要求,保证套管胶塞能顺利通过。

5) 在满足条件的情况下使用同一尺寸、类型的钻杆,其通径也必须满足钻杆上、下塞的尺寸要求,特别是对于使用投球憋压剪切套管下塞的工艺,送入钻具的内径必须满足投球的尺寸要求,保证投球可以顺利到达套管胶塞组。如果送入钻具需要使用变扣接头,要充分考虑接头公扣端的锥角及母扣端的台阶对钻杆上、下塞通过的影响,以免钻杆胶塞不能顺利通过这些位置,进而不能到达套管胶塞组,套管胶塞不能释放,造成注水泥失败。

#### 3.2 施工步骤

1) 将套管胶塞组与压力平衡阀连接好,安装在套管悬挂器下部的送入钻杆上,下至套管悬挂器以下套管内合适的位置(对于使用复合套管的情况,套管胶塞组必须要下至下部小直径套管内,而不能下到不同套管间的变径位置),连接好套管悬挂器及其送入工具。该工作需要在平台上提前完成,并置于甲板或立于井架,防止碰撞,方便到时下入。

2) 按照设计下完套管,连接提前预接好的套管悬挂器及其送入工具(其内已经安装有套管胶塞组

及水下释放平衡阀),用送入钻杆送套管串组,套管悬挂器坐到Φ476.3 mm 高压井口头内,做好注水泥准备,按照注水泥设计及施工程序作业。

3) 注水泥前,投球或释放钻杆下塞,使其通过送入钻杆到达套管胶塞组,憋压剪切套管下塞销钉,套管下塞剪切脱离套管胶塞组下行。需要注意的是,工具型号不同、井的情况不同,套管下塞的剪切压力有所不同,一定要清楚其套管下塞的剪切压力。例如,目前在中国南海Φ339.7 mm 套管上使用 Weatherford 公司的套管下塞,其剪切压力为 5.5~8.3 MPa。另外,当泵注水泥浆或顶替水泥浆到一定量(套管浮箍至井口的量)时,套管下塞到达浮箍位置,泵压上升,击穿循环孔。由于击穿压力(6.20~7.58 MPa)较低,一般情况下地面观察不到击穿压力显示。套管下塞的另一个特殊设计就是其上的防转结构,其独特的设计和浮箍上的相应设计可以实现较好的啮合,从而更好地形成整体,这种设计使其在后续钻除套管下塞时可以防止跟随钻具一起转动,有利于套管下塞的高效钻除和井下安全。

4) 按照设计泵注水泥浆至一定量后,释放钻杆上塞,驱除钻杆内水泥,当其到达套管胶塞组后泵压达到套管上塞的销钉剪切压力,套管上塞剪切下行,顶替水泥浆直至碰压。Weatherford 公司Φ339.7 mm 套管上塞的剪切压力为 13.8~17.2 MPa。需要注意的是,套管上塞的剪切压力远大于套管下塞的剪切压力,主要是为了防止憋压剪切释放套管下塞的同时把套管上塞提前释放,造成工艺失败。

5) 碰压结束,稳压检查回流正常后,从钻台面拆甩下钻杆水泥头,按照套管悬挂器送入工具的操作要求,倒开送入工具,起出送入钻杆、套管悬挂器送入工具及水下释放平衡阀,完成施工。

### 3.3 应用效果

水下释放塞注水泥工艺在我国南海二号、南海五号、南海六号及勘探三号等浅水浮式钻井装置和南海七号、南海八号、南海九号、兴旺号及海洋石油 981 等深水浮式钻井装置钻井中都有应用或正在使用。应用结果表明,该工艺满足浅水浮式钻井装置技术套管和生产套管的注水泥需要,是海洋石油钻井工艺的重要组成部分。丰富的浅水浮式钻井装置使用经验,加上对工艺和技术的深刻理解和针对性研究,以及对工艺过程和工艺主要组成部分的优化设计,为其在深水浮式钻井装置钻井中的安全高效使用奠定了基础,满足了我国南海深水勘探开发的需要。

## 4 结 论

1) 水下释放塞注水泥工艺较为复杂,只有正确、顺利地投放钻杆上、下塞,确保套管上、下塞的顺利释放,才可保证该工艺的成功实施。

2) 水下释放塞注水泥工艺受很多因素影响,因此实施前要保证钻杆上、下塞的质量并与送入钻杆配套,保证套管胶塞组的质量及其与套管的配套,做好施工前的安装、检查、配长以及注水泥方案等准备工作;施工过程中要全程监控,观察钻杆上、下塞是否正常投放,套管上、下塞剪切压力的变化情况及是否正常释放等细节。

3) 在进行水下释放塞注水泥设计时,要考虑每个关键环节和可能的风险点,做出有针对性的原因分析并制定相关应急预案和措施。

4) 套管上、下塞的剪切压力需根据其尺寸和井眼情况进行分析计算,以确保套管上塞的剪切压力大于套管下塞,且要合理确定两者之间的差值。

## 参 考 文 献

### References

- [1] 王友华,王文海,蒋兴迅.南海深水钻井作业面临的挑战和对策[J].石油钻探技术,2011,39(2):50~55.  
Wang Youhua, Wang Wenhai, Jiang Xingxun. South China Sea deepwater drilling challenges and solutions [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(2): 50~55.
- [2] 孙宝江,张振楠.南海深水钻井完井主要挑战与对策[J].石油钻探技术,2015,43(4):1~7.  
Sun Baojiang, Zhang Zhennan. Challenges and countermeasures for the drilling and completion of deepwater wells in the South China Sea [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43 (4): 1~7.
- [3] 陈建兵.深水探井钻井工程设计方法[M].北京:石油工业出版社,2014:130~134.  
Chen Jianbing. The design method of deepwater exploration wells [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2014: 130~134.
- [4] 杨进,曹式敬.深水石油钻井技术现状及发展趋势[J].石油钻采工艺,2008,30(2):10~13.  
Yang Jin, Cao Shijing. Present situation and development trend of deepwater oil drilling technology [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2008, 30(2): 10~13.
- [5] 姜伟.深水钻井规程与指南[M].北京:石油工业出版社,2011:38~40.  
Jiang Wei. Deepwater drilling procedures and guidelines [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011: 38~40.
- [6] Q/H S 14007—2011 深水探井钻井工程设计指南[S].  
Q/H S 14007—2011 Deep water drilling engineering design guide [S].

[编辑 令文学]