

文章编号:1673-5005(2008)06-0113-05

半潜式钻井平台双联钻机钻台布局设计

岳吉祥, 蔡耀光, 肖文生, 杨轶普

(中国石油大学 机电工程学院, 山东 东营 257061)

摘要:为建造具有自主产权第六代深水半潜式钻井平台,对双联井架钻机钻台总体布局和钻台自动化处理装备的布置进行了设计分析。双联井架钻机钻台采用中心布局,分析了与钻台直接关联设备设施不同配置方案的优缺点,优选钻台在平台的布局方案;对主、辅钻井中心采用偏心布置,兼顾作业顺畅和平台动力性能;制定钻台自动化装备布局原则,按双联井架钻台作业工艺流程及设备设施作业衔接关系进行钻台布局,同时基于人因学原则,合理布置转盘、大小鼠洞、顶驱、铁钻工、排管机、多功能机械臂等钻台自动化装备;钻井控制室布局采用集中式布局,实现了基于工艺流程的控制方式,改变基于设备功能集成方式。在系统分析基础上,完成适合半潜式双联井架钻机钻台布局方案。结果表明,合理的钻台布局设计不但确保双联钻机钻台自动化作业流程,提高了作业功效和安全性,而且为整个平台布局规划提供了良好基础。

关键词:半潜式钻井平台; 钻台设计; 钻台布局; 自动化作业; 双联井架钻机

中图分类号:TE 922; TE 951

文献标识码:A

Drill floor layout of dual derrick rigs of semi-submersible drilling platforms

YUE Ji-xiang, QI Yao-guang, XIAO Wen-sheng, YANG Yi-pu

(College of Mechanical and Electronic Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, China)

Abstract: In order to construct the 6th generation semi-submersible drilling platforms with the independent intellectual property rights, the general layout of drill floor and the arrangement of the automated handling equipment were studied. Drill floor of semi-submersible drilling platform is the work center of drilling. The ultimate positioning scheme of drill floor was optimized through comparing different layouts of equipments and instruments directly affiliated with drill floor. The main and auxiliary drilling centers adopted off-center arrangement, which can take into account operation flow and dynamic behavior. The layout principle and program were made according to operation flow, linking up and manipulation relation. All automated equipments on drill floor were collocated based on human factors, which include rotary table, big and small mouse holes, top drive, roughneck, pipe handling machine, multi-manipulator arms and drill cabin. At last, the ultimate general layout was completed based on systematical analysis. The results show that legitimate layout of drill floor not only increases efficiency and safety, but also supplies sketch to whole platform layout design.

Key words: semi-submersible drilling platform; drill floor design; drill floor layout; automated operation; dual derrick rigs

2006 年,我国启动半潜式钻井平台设计建造研究,目标平台适合作业水深 3 km,钻井能力 10 km。目标平台重要特点之一是装备双联井架钻机以及自动化钻台处理装备,实现钻台自动化操作。目前,国外半潜平台发展到第六代,钻台自动化程度提高,基本实现无人化作业^[16],而国内适应深水作业海洋钻

机设计落后,尤其在钻台自动化方面与国外有较大差距。目标平台采用双联井架钻机,存在两个钻井中心,如何顺畅协调双钻井中心工作,实现钻台自动化作业,对钻台布局设计提出了更高的要求。笔者针对深水半潜式钻井平台双联井架钻机钻台进行分析,设计适合双联钻机钻台自动化作业布局方案。

收稿日期:2008-04-08

基金项目:国家“863”高技术研究发展计划项目(2006AA09A104)

作者简介:岳吉祥(1971-),男(汉族),山东垦利人,高级工程师,博士研究生,主要研究方向:石油机械、人因工程、超硬材料。

1 钻台总体布局设计

1.1 钻台在平台定位分析

目标平台钻机采用中心布局,钻台居于主甲板中心位置,是整个平台钻井工作中心,是各种钻井材料输送终点^[7-10]。与钻台直接关联的设备设施主要分为 5 部分:钻杆输送装置,含主、辅助动力猫道;隔水

管存储及处理系统;海底装备处理系统,防喷器(BOP)、采油树及井口盘等存储及输送系统;钻井固相处理系统,即泥浆净化系统;月池系统。这些设备设施与钻台在空间位置上有多种配置关系,对钻台布局设计和作业操作有不同影响。表 1 中给出了各种传统布置方案的优缺点对比及优选的布局方案。

表 1 与钻台直接关联设备设施配置对比方案

Table 1 Contrast layout project on equipment and establishment directly affiliated with drill floor

与钻台直接关联设备	可能配置方案	配置优缺点	最终方案
动力猫道	主辅双动力猫道,配置于钻台并架大门前方	管场集中布置,利于材料输送	双动力猫道,配置于钻台并架大门前方,分别服务于主、辅钻井中心
	主辅双动力猫道,配置于钻台前后两侧	利于平台重心配置,要求操作空间大,对操作不利,在隔水管立放情况下不能采用	
隔水管存储及处理区	立放,由隔水管起重机、隔水管倾斜臂等组成,布置于钻台后部	作业效率高,设专门存放区域,空间利用率高	目前,隔水管立放为第六代平台主流设计,本目标平台采用立放+平放组合方式
	平放,经动力猫道输送,不与钻台直接关联	利于钻台布置,空间利用率低,处理效率低	
	立放+平放	兼顾了作业效率和区域利用率	
BOP、采油树等处理系统	BOP 和采油树处理系统分别布置于钻台两侧	独立操作,相互影响小,扩展能力强	BOP、采油树处理系统布置于钻台一侧
	BOP、采油树处理系统布置于钻台一侧	可共用提升、输送等装备,提高设备利用率,空间利用率高;缺点是另一侧月池空间闲置	
	BOP 和采油树处理系统分别布置于下层平台	受结构尺寸影响,只有双液压并架和特殊结构平台采用	
泥浆净化系统	布置于下层甲板	不利于净化处理和岩屑收集	泥浆净化系统布置于平台右侧
	布置于主甲板,泥浆净化系统布置受其他系统布置影响较大,在其他设施配置完成后可根据平台实际空间灵活配置	泥浆净化系统布置对平台下层甲板布局影响较大	
	位于钻台下部,是海底装备下放作业区域,月池尺寸是关键参数,大尺寸月池便于作业	月池尺寸参数受梁构限制,其长度不应破坏梁构	

由表 1 分析看出,与钻台直接关联设备布局有多种方案,各有优缺点,需综合考虑作业工艺过程、作业功效和平台空间,以及人员操作安全性进行优选。最终钻台及直接关联设备布局方案为:钻台上部是双联并架系统,下部为月池系统,前部(从并架大门方向,即船艏向)为双动力猫道,后部为立放隔水管存储及处理区,左侧为 BOP 及采油树等重装备处理区,右侧为泥浆净化系统(图 1)。

1.2 钻台结构形式

并架为半潜式平台设计的海洋动态并架,双塔式结构。整个并架体由 6 根立柱和若干横斜腹杆经高强度螺栓联接成一体。并架承载能力大,整体稳定性好,适用于海上复杂工况下工作。钻台高 10 m,采用矩形结构,与并架 6 个立柱相配合,钻台设 6 个支脚,固定于月池两侧主梁上,主辅井口中心底部采用加强筋强化。为布置压井、节流管汇需要,钻台

右侧增加一矩形区域布置压井、节流管汇以及主辅绞车系统,主辅绞车系统采用错位布置。

1.3 主辅钻井中心设计

目标平台设计双联并架,采用电驱方式,顶驱钻井,存在两个操作中心,即主钻井中心和辅钻井中心。从国外平台设计看,辅钻井中心多位于主操作中心右侧(从船首看)。主辅操作中心布置有 3 种可选方案:

(1)主井口在平台中心,辅井口位于平台左舷,中心点运动性能最佳,有利于钻井作业,但辅钻井中心运动性能不佳。

(2)主辅井口距平台中心偏心配置,有利于大钩载荷相应的重力平衡,同时并不影响钻井作业,综合性能佳。

(3)主辅井口对称布置于左右舷,对实现双钻井的平台而言,主辅井均可获得较好的运动性能。

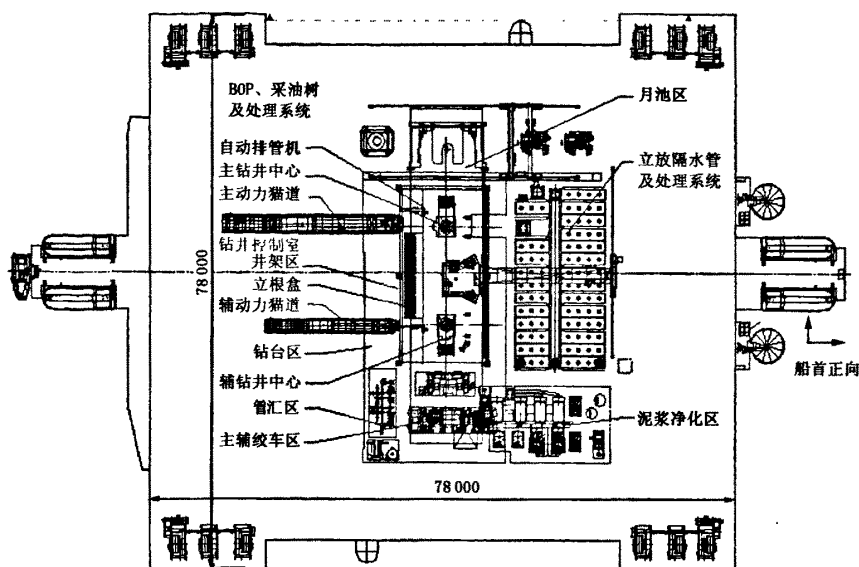


图1 与钻台直接关联设备设施配置图

Fig. 1 General layout of equipment with direct relevancy

目标平台设计选取第二方案,主辅井口距平台中心偏心配置,主辅钻井顶驱中心勾载分别为 907 t 和 454 t,比例2:1,相应主辅钻井中心距平台中心距离按1:2选取。目前,平台设计过程中实际情况是:国内初次设计双联井架系统,且以钻井深度 10 km 为标准,负载重,井架庞大,按前面方案布局时月池开口不足以下放 BOP,增大月池尺寸将破坏平台主梁结构。现实情况需要对钻台位置进行调整,将主辅钻井中心对调,对调后,钻台将整体右移,将 BOP 及采油树等大型装备布置于钻台左侧,月池空间满足 BOP 下放。将钻台主钻井中心井架大门前布置压井节流管汇及主辅绞车移至钻台右侧,主辅绞车采用错位布置。主辅绞车布置于钻台左侧,以平衡右侧 BOP 及采油树等大型装备的重量。

2 钻台自动化设备布置

钻台不但是各种钻材输送终点,而且是钻井、作业维修等操作主功能作业区。钻台设备合理布局对保障钻台作业合理顺畅、提高作业效率有重要意义,以钻杆处理为例,据统计,接单根时间占钻井全部时间 12% ~ 20%,钻机如能有效减少接单根时间,将提高作业效率 12% ~ 20%。钻台是事故高发场所,钻台合理布局和提高自动化操作是减少事故的有效手段^[23,5]。

目标平台采用自动化装备,基本实现无人化操作。目标平台采用双联井架钻机,存在两个钻井中

心,即主钻井中心和辅钻井中心,相应配置主、辅井口转盘、顶驱、绞车,其中主钻井中心配备主动补偿绞车,主动补偿绞车可显著提高钻井功效。钻台配置的设备设施除双钻井工作中心,还配备管子自动处理、排列系统,隔水管处理系统,钻井控制室以及其他辅助设施。钻台井架两个大门配置动力猫道,主钻井中心后侧设有容纳隔水管倾斜臂槽。

2.1 钻台设计原则

钻台设计在满足强度、刚度等基本设计要求外,重点考虑钻台设备设施布置对钻井作业效率和人员作业的影响。设计基本原则^[8-10]如下:

- (1) 满足作业流程要求,确保各设备设施作业顺畅,提高作业功效;
- (2) 利于钻井控制室控制;
- (3) 满足人因学要求,注重操作空间和安全设计。

2.2 钻台作业工艺流程

钻台布局由钻井作业工艺过程和设备选择决定,钻台布置首先应满足工艺流程需要。双联钻机作业主要是钻井作业,可以归结为对钻杆、套管和隔水管作业操作。钻杆的操作流程为:动力猫道将钻杆输送到辅钻井中心,顶驱下降,吊环外伸夹持钻杆,提起下放至小鼠洞,顶驱再次下降,吊环外伸夹持第二根钻杆,提起下放与第一根钻杆对齐,铁钻工移动到位置紧扣。第三、第四根钻杆在辅井口转盘进行,操作同上,铁钻工移动到位置紧扣,吊环夹起辅井

口钻杆提升移至小鼠洞与钻杆对接,铁钻工移动到位置紧扣,形成完整立根;顶驱吊环提起立根,外伸后转位,排管机移位,排管机上、下多功能机械臂配合夹紧立根移至立根盒排列;第二台管子排放机将立根取出,送至主钻机顶驱,铁钻工协助完成立根上扣。小直径套管(本目标平台设计中套管直径小于340 mm)作业工艺与钻杆类似,且主辅钻井中心均可独立进行套管作业,套管经动力猫道输送至钻台,顶驱提升放入转盘,铁钻工紧扣对接后,直接下放;大直径套管作业需多功能机械臂扶持,在主辅钻井中心均可进行。隔水管处理部分完全由主钻井中心完成,按隔水管立放和平放两种情况,采用不同工艺进行。平放隔水管由起重机提升至动力猫道,送至主钻井中心,顶驱将隔水管吊起,多功能机械臂扶正隔水管,由主钻井中心密封检查后下放;立放隔水管经隔水管起重机吊至隔水管倾斜臂,隔水管倾斜臂将隔水管倾斜送至钻台,顶驱将隔水管吊起,这时通过多功能机械臂扶正隔水管,然后通过转盘下放。本目标平台主要以立放为主。

2.3 自动管子处理与排管系统布置

钻台自动化装备主要由转盘、大小鼠洞、顶驱、铁钻工、排管机、多功能机械臂等组成,其布置以满足主钻井中心和辅钻井中心高效、安全作业为目标,同时受选择设备类型影响。具体布置应按钻井工艺流程合理布置各设备设施之间衔接关系。具体设计须保证钻杆和套管(小直径)、重型套管和隔水管3个作业流程顺畅。第一流程——钻杆和套管作业流程:动力猫道导轨伸入钻台,将管具输送至顶驱吊环作用范围,大小鼠洞在顶驱及铁钻工可伸及工作范围,排管机上、下多功能机械臂可及作业区和顶驱可及作业区重叠,与顶驱完成立根交接,将立根排列于立根台,同时,排管机实现主辅钻井中心材料传送。第二作业流程——隔水管下放作业:隔水管倾斜臂将隔水管送至钻台,多功能倾斜臂扶正,顶驱夹持起升和下放,多功能机械臂作业区域覆盖转盘和隔水管到达区域,对隔水管及重型套管扶正(图2,3)。第三流程——重型套管作业流程:动力猫道将套管送至吊环作用范围,顶驱在多功能机械臂配合下完成重型套管下放。

具体配置如下:辅钻井中心配置大小鼠洞各一个,小鼠洞用于处理立根和套管,大鼠洞处理大型套管和管具组合等。主钻井中心由于不需接立根作业,仅配置大鼠洞,用于处理套管、钻具组合,置于转盘前部(图2)。

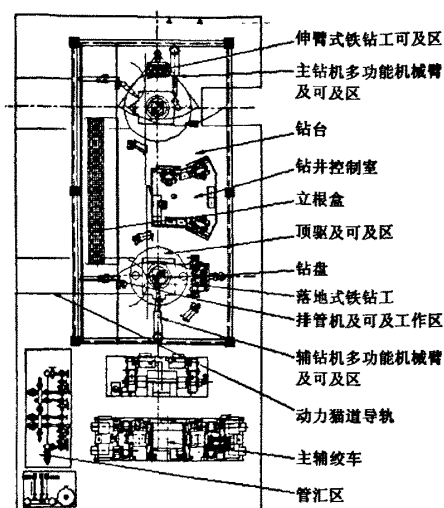


图2 钻台各设备衔接关系

Fig.2 Linking up of all equipments on the drill floor

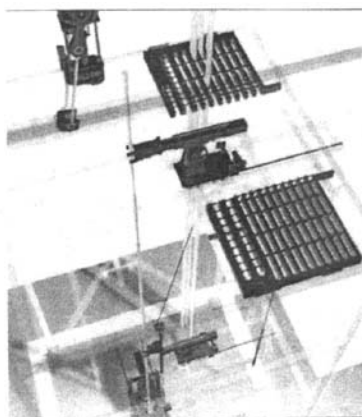


图3 顶驱、排管机和铁钻工空间关系

Fig.3 Interspace connection with top drive, pipe handling machine and roughneck

铁钻工有手臂式和落地式两种类型。如选择落地式须铺设导轨,大小鼠洞和转盘必须直线排列,且和动力猫道在同一直线方向,铁钻工兼顾大小鼠洞和转盘作业,这样,动力猫道输送材料后,顶驱提起钻杆后无须转动,提高工效。大小鼠洞和转盘直线布置方式与陆地钻机设计不同,陆地钻机打鼠洞一般布置于转盘右后侧(从井架大门方向看)^[3]。鼠洞与转盘距离在顶驱吊环前倾、后倾可达范围内。如选用手臂式铁钻工,不需铺设导轨,铁钻工位置布置灵活。由于主钻井中心转盘前为动力猫道,后为立放隔水管处理用倾斜臂槽,不适合采用落地式铁钻工,宜采用手臂式铁钻工。实际设计时主钻井中心采用手臂式铁钻工,辅钻井中心采用落地式铁钻

工。

主辅钻井中心各配备多功能机械臂一部,用于扶持隔水管和重型套管。主钻井中心的多功能机械臂兼顾隔水管作业和重型套管作业,与手臂式铁钻工位置有一定冲突,配置于手臂式铁钻工后部。辅钻井中心的功能机械臂配置于转盘左侧。

立根盒有双侧和单侧排列两种形式,目标平台采用双立根盒单侧排列,选用的自动排管机为双排管机,单侧布置。

平台上采用大量自动化装备,基本达到准无人化作业,但少量工作仍需人工参与,平台布局应充分留出人员安全作业空间。另外,钻台除以上主要装备外,还须配置气动绞车、安全检测、消防设施等装备,应根据需要和空间灵活布置。

2.4 钻井控制室布置

钻机的工作核心是钻台,而控制室是保障钻台上的人和机器之间高效和安全的交互操作的关键部位。钻井控制室在钻台上布局有两种方式:集中式和分布式。集中式布置是指主、辅钻井中心操控人员集中于一个控制室内;分布式布置是指主、辅操作中心人员位于不同控制室内。集中式在控制方式、通信等方面有优势,为优先选择方案。控制室应满足4人同时作业要求,综合考虑操控方便、显示视野、人员安全。主钻机司钻、副司钻位于左侧,斜对主钻机,副司钻位于司钻左侧,相对铁钻工视线良好,利于操作(图4)。辅钻机司钻位于右侧后部,主要操控以管子自动化处理为主,应和相应设备有良好视觉角度。钻具排放员正对立根盒,便于进行管子处理及调度和危险区域监测控制。钻井控制室设计要求视野开阔,便于观察钻井设备的工作状况。

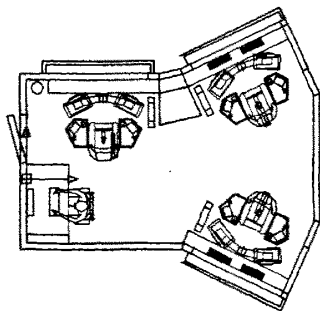


图4 钻井控制室布局

Fig.4 Driller cabin layout design

由于平台主要操作自动化,达到准无人化设计,

对控制提出更高要求。采用PLC程序控制,运用人因工程学原理,采用三级控制显示模式,即以LCD显示为主,用触摸屏控制模式和控制椅传统操控手柄方式达到高效操控,实现基于工艺流程控制方式,改变过去控制室设计基于设备功能集成方式^[9]。

3 结束语

对钻台在平台布局进行了分析,采用中心布局方式,钻台居于平台主甲板中心位置,分析与钻台直接关联设备设施不同配置方案的优缺点,综合考虑作业工艺过程、作业功效和平台空间,以及人员操作安全性进行优选;主、辅钻井中心采用偏心布置,从而兼顾作业顺畅和平台动力性能。钻井控制室布局采用集中式控制方式,实现基于工艺流程控制方式,改变基于设备功能集成方式。

参考文献:

- [1] TOMMY WARREN, RONGER JOHNS, DEAN ZIPSE. Improved casing running process [R]. SPE/IADC 92579, 2005.
 - [2] 王来忠. 油田生产安全技术[M]. 2版. 北京: 中国石化出版社, 2007.
 - [3] 侯依甫. 钻井和修井井架、底座设计指南[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.
 - [4] HOWARD Day, MIKE Williams. JU2000-efficiency by design [R]. IADC/SPE 59105, 2000.
 - [5] MARK D Hasen, EGILL Abrahamsen. Improving safety performance through rig mechanization [R]. SPE/IADC 67705, 2001.
 - [6] LARS MUNCH-SOEGAARD. Offshore drilling experience with dual derrick operations [R]. SPE/IADC 67706, 2001.
 - [7] HAAVIE T, HITEC FRAMNAS AS, STAKKELAND H. Design of a deepwater/deephole dynamically positioned semi-submersible drilling unit with a purpose-designed column configuration [R]. SPE 56911, 1999.
 - [8] 史玉才, 管志川, 陈秋炎, 等. 钻井平台位置优选方法研究[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2007, 31(5): 44-47.
- SHI Yu-cai, GUAN Zhi-chuan, CHEN Qiu-yan, et al. Location optimization method for drilling platform [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2007, 31(5): 44-47.

(下转第124页)

- [3] SUNKL Kokal. Crude oil emulsions; a state-of-art review [R]. SPE 77497, 2002.
- [4] JAWORSKI Artur J, DYAKOWSKI Tomasz. Measurements of oil-water separation dynamics in primary separation systems using distributed capacitance sensors[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2005, 16: 113-127.
- [5] WILKINSON D, WALDIE B. CFD and experimental studies of fluid and particle flow in horizontal primary separators[J]. Trans I Chem E, 1994, 72(Part A): 189-196.
- [6] BHARDWAJ A, HARTLAND S. Dynamics of emulsification and demulsification of water in crude oil emulsions[J]. Fuel and Energy, 1995, 36(1): 11-19.
- [7] 张鸿仁. 油田原油脱水[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990.
- [8] BAKER G, CLARK W W, AZZOPARDI B J, et al. Transient effects in gas-liquid phase separation at a pair of T-junctions [J]. Chemical Engineering Science, 2007, 63: 968-976.
- [9] GALVIN K P, CALLEN A, ZHOU J, et al. Performance of the reflux classifier for gravity separation at full scale [J]. Minerals Engineering, 2005, 18: 19-24.
- [10] 陶文铨. 数值传热学[M]. 2版. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.
- [11] 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

(编辑 沈玉英)

(上接第112页)

- [2] HOEKSTRA A J, DERKSEN J J, VAN DEN AKKER H E A. An experimental and numerical study of turbulent swirling flow in gas cyclones [J]. Chemical Engineering Science, 1999, 54: 2055-2065.
- [3] GONG A L, WANG Lian-ze. Numerical study of gas phase flow in cyclones with the Repds [J]. Aerosol Science and Technology, 2004, 38: 506-512.
- [4] 胡砾元, 时铭显, 周力行, 等. 旋风分离器三维强旋湍流流动的数值模拟[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2004, 44(11): 1501-1504.
- HU Li-yuan, SHI Ming-xian, ZHOU Li-xing, et al. Numerical simulation of 3-D strongly swirling turbulent flow in a cyclone separator [J]. Journal of Tsinghua University (Sci & Tech), 2004, 44(11): 1501-1504.
- [5] 张雅, 刘淑艳, 王保国. 雷诺应力模型在三维湍流场计算中的应用[J]. 航空动力学报, 2005, 20(4): 572-576.
- ZHANG Ya, LIU Shu-yan, WANG Bao-guo. Application of the Reynolds stress model to the calculation of three-dimensional turbulent flow-field [J]. Journal of Aerospace Power, 2005, 20(4): 572-576.
- [6] DERKSEN J J, VAN DEN AKKER H E A. Simulation of vortex core precession in a reverse-flow cyclone [J]. AICHE Journal, 2000, 46(7): 1117-1331.
- [7] 刘成文. 旋风分离器的能耗与减阻杆减阻机理研究[D]. 北京: 清华大学航天航空学院, 2006.
- [8] 王建军, 王连泽, 刘成文. 旋风分离器排气管内流动分析及减阻机理[J]. 过程工程学报, 2005, 15(3): 251-254.
- WANG Jian-jun, WANG Lian-ze, LIU Cheng-wen. Research on the flow field in the exit tube and the mechanism of pressure drop reduction in a cyclone separator [J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2005, 15(3): 251-254.
- [9] 王建军, 王连泽, 刘成文. 带有减阻杆的旋风分离器内气体流动分析[J]. 化工学报, 2005, 56(6): 989-994.
- WANG Jian-jun, WANG Lian-ze, LIU Cheng-wen. Gas flow analysis in cyclone separator with a stick [J]. Journal of Chemical Industry and Engineering (China), 2005, 56(6): 989-994.
- [10] 钱付平, 章名耀. 不同排尘结构旋风分离器的分离特性[J]. 燃烧科学与技术, 2006, 12(2): 169-174.
- QIAN Fu-ping, ZHANG Ming-yao. Separation characteristics of cyclone separators with different dust outlet geometries [J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2006, 12(2): 169-174.

(编辑 沈玉英)

(上接第117页)

- [9] 岳吉祥, 蔡耀光, 肖文生, 等. 深水半潜式平台钻井材料输送系统配置与布局研究[J]. 船海工程, 2008, 37(4): 31-36.
- YUE Ji-xiang, QI Yao-guang, XIAO Wen-sheng, et al. Study on configuration and layout about drilling material transportation system of semi-submersible drilling platforms [J]. Ship & Ocean Engineering, 2008, 37(4): 31-36.
- [10] 岳吉祥, 蔡耀光, 任旭虎. 基于人机工程学的海洋平台总体布局设计研究[J]. 中国海洋平台, 2008, 23(2): 7-12.
- YUE Ji-xiang, QI Yao-guang, REN Xu-hu. Study on the driller cabin of semi-submersible offshore drilling platforms based on human factors engineering [J]. China Offshore Platform, 2008, 23(2): 7-12.

(编辑 沈玉英)