

深水半潜式钻井平台总体布局规划研究

陈 军 岳吉祥 蔡耀光 肖文生 杨 磊

中国石油大学(华东), 东营, 257061

摘要:基于作业流程层次分解布局法,提出了布局理论、算法和布局流程。该方法以作业流程为基础,按材料输送系统输送模式划分子空间,子空间以模块为布局基本单位,对不同空间采用相应优化算法,并对立柱和下浮体的存储区进行规划,然后根据重心对平台布局进行调整,以提高稳定性,完成布局的详细设计。以在建某平台为实例,提出了布局方案,完成了布局设计。

关键词:半潜式钻井平台;总体布局;钻井作业流程;三维布局优化;成组技术

中图分类号: TE95;TE41 **文章编号:** 1004—132X(2009)19—2269—06

Study on General Layout of Semi-submersible Offshore Drilling Platforms

Chen Jun Yue Jixiang Qi Yaoguang Xiao Wensheng Yang Lei

China University of Petroleum (East China), Dongying, Shandong, 257061

Abstract: The paper firstly brought forward hierarchical division based on process flow, and constituted layout theory, arithmetic, and layout process. The method was based on operational flow, and different transportation modes were marked out according to the shape and quality to material modality. The sub-space were decomposed into basic layout units. We applied reasonable layout algorithm to mark out the different decks. The storage mode of column and pontoon was projected. Finally the center of gravity was taken into consideration and the general layout was adjusted according to result in an optimal center of gravity. According to the layout programming, we took a project in the scantling design as an example, the layout of rigs system was implemented in details.

Key words: semi-submersible drilling platform; general layout; drilling operation flow; optimization of three-dimensional layout; group technology

0 引言

深水半潜式钻井平台的布局对平台性能影响大,决定了平台的作业效率。国外各设计公司设计的第六代半潜式钻井平台布局各异,平台布局主要取决于多年形成的设计风格和价值取向,难以发现共同点^[1-2]。深水半潜式钻井平台是复杂的超大系统,其总体布置属带性能约束的超大系统三维布局问题,平台各系统关联性强、约束多^[3-4]。笔者为提高平台钻井作业效率,提出了基于生产流程的层次布局法。

1 半潜式钻井平台的总体布局规划

1.1 平台设计目标

目标半潜式平台按照第六代半潜式平台标准,采用双井架钻机系统进行设计,平台具体技术指标如下:①作业海域为南海深水海域,最大作业水深为 3km,最大钻井深度为 10km;②作业系统为双井架钻机;③甲板最大可变载荷为 88.2MN

(含立柱);④定位方式为锚泊定位、动力定位+锚泊定位(辅助)、动力定位;⑤具备钻井、修井、试油、作业和完井等功能。

1.2 布局规划原则

根据设计目标,制定如下总体布局规划原则:①以提高钻井作业效率为目标,合理布置钻井设备,确保钻井作业工作的便利;②按作业成本规划布局,优先布置输送成本高的装备,距离对作业效率无明显影响时,采用管汇适当远离布置输送成本低的装备;③上层平台尽可能预留大空间,大作业空间利于安全高效的作业,同时便于功能升级;④考虑人因工程学要求,注重操作空间和安全的设计^[1];⑤尽可能降低平台重心,提高平台稳定性。

1.3 总体布局算法

单一数学优化算法无法优化超大规模系统^[3],故采用混合算法,即采用基于生产流程的层次分解法进行布局规划,具体布局算法如下:①绘制平台总体作业流程图,以流程图为布局基础。②规划输送方式,按向平台钻井中心输送的钻井材料的物化状态规划输送方式。③按空间作业需要及输送方式划分平台层次,平台自上而下,分为

收稿日期:2008—11—04

基金项目:国家 863 高技术研究发展计划资助项目
(2006AA09A14)

3 个生产区(钻台区、主甲板区、下甲板区)、4 个存储区(主甲板区、下甲板区、立柱和下浮体)。^④在每一层次内划分作业功能模块,以功能模块为布局基本单位。在完成以功能模块为基本单位的布局规划后,在各功能模块内部进行二次布局设计。^⑤各层次按布局价值取向采用不同的布局算法。^⑥重心校核计算与布局调整。完成总体布局详细设计。

该布局方法实质是:以放弃对理论最优性的追求为代价,通过缩小设计空间,降低计算复杂度,从而在详细布局阶段获得较满意的求解效率。对最终布局方案“最优性”的保证,可通过恢复全部优化目标和约束,按某种规则/算法调整布局方案,在调整过程中保持原优化目标或尽可能少影响原优化目标来实现。

2 半潜式钻井平台具体布局设计

2.1 平台作业流程

从国外第五代、第六代平台看,平台是大量装

备、管线等聚集的复杂大系统。如果从生产物流角度看,平台是在半潜船体支撑下的浮动钻井生产中心。首先绘制平台钻井作业流程图(图 1),作业流程图反映平台钻井作业所需钻井材料从存储区输送至工作区——钻台区,直至钻井完成的过程。从流程图看,双钻井中心是钻井作业的中心,各钻井支持/服务系统向双钻井中心提供钻井所需的各种服务支持,管具处理系统向钻井中心钻台输送管具类钻材(由自动排管机和立根台完成双钻井中心管材的存储与交换);泥浆处理系统输送泥浆;动力支持系统提供电力、液压、气动及升沉补偿等服务;后勤系统提供除生活住所外的机械维修、电器维修、垃圾焚烧、空气干燥等服务支持;船体支持模块除提供作业场所外,还提供锚泊、动力定位、存储等服务支持。从流程图看,双井架钻井中心是平台钻井的生产中心,位于平台中心位置,平台总体布局方案确定为空间向心布局。

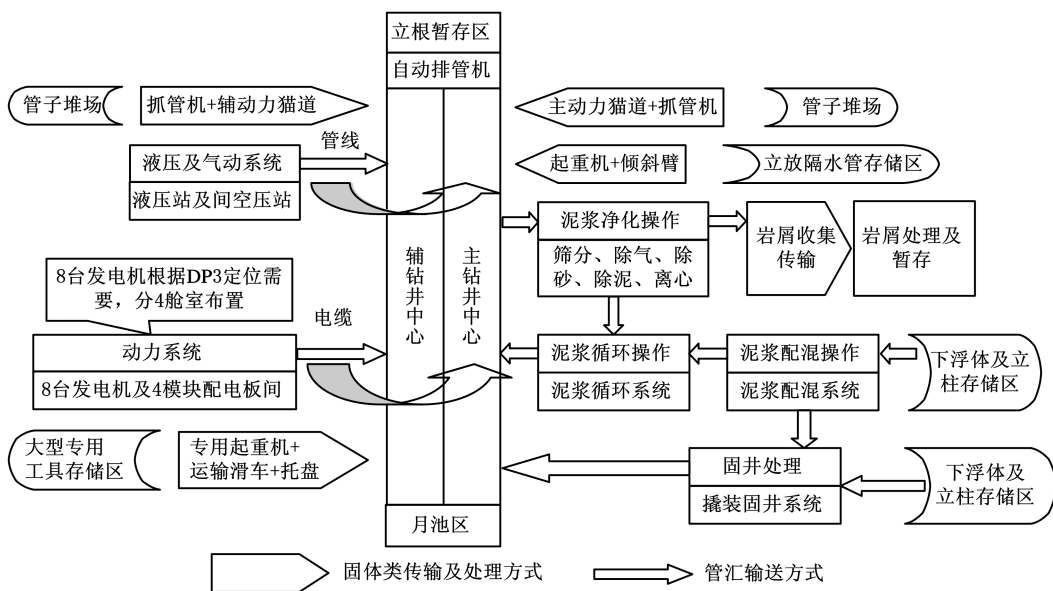


图 1 半潜式钻井平台作业流程图

2.2 输送方式规划

根据作业流程图,对不同材料规划 4 种输送方式:管材类材料由抓管机提升,经专用动力猫道输送;大型海底作业工具类材料由专用升降机提升,由专用输送滑车经轨道输送至月池,在月池下放海底;泥浆、动力(电、液压、气动等)类材料采用管线/管汇方式输送;隔水管情况特殊,有平放和立放两种方式,平放时,采用管材类材料输送方式,立放时,经隔水管起重机、隔水管倾斜臂输送至钻台。

向平台钻井中心输送的钻井材料在形状、质量、物化状态上有很大的不同,采用的物料输送方

式也是多样的,其运输成本和运输效率相差很大。很明显,管线类材料输送效率高、成本低,固体类材料输送成本高、效率低,且空间占用大。不同设备设施采用不同输送方式,材料输送成本和效率的差异决定设施采用不同的布局方式。

2.3 平台层次划分

按平台物理结构特点和材料输送层次性,将平台按空间作业需要及输送方式的不同分成钻台区、上甲板区和下甲板区(自上向下),如图 2 所示。钻台区接受钻杆、套管、隔水管等管具类材料;上甲板区既可存储管具,又可完成主要大型工

具的月池下放作业,同时还可完成固控系统的处理;下甲板区布置泥浆处理系统、动力支持系统和后勤服务系统,这类设施的处理对象可经管线/管汇输送至钻井中心,运输距离对作业成本影响不大。泥浆净化系统需对钻屑等固相进行处理回收,为做到零排放,应布局于主甲板。

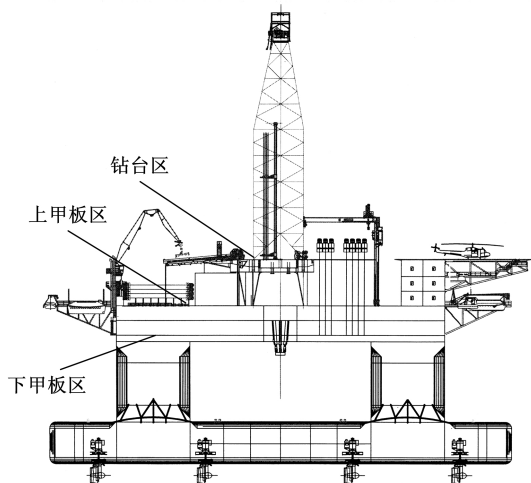


图2 半潜式平台层次划分

2.4 单元模块划分

半潜式钻井平台装备了大量复杂的设备设施,其中的某些设备设施共同完成某一特定任务,在空间上接近,可划分为一个功能模块。对这些设备设施采用模糊聚类方法划分模块,从功能、位置和物理相关性建立子相关矩阵,由各子相关矩阵生成部件/装备之间的相关矩阵,最后采用截矩阵完成模块划分,各子功能相互关联的装备属同一模块^[4]。泥浆净化模块含具有泥浆筛分、除泥、除气、除砂、离心、岩屑搜集及处理等多种功能的多台设备,它们共同完成固相处理,各设备位置应接近,划分为一个模块。

2.5 平台不同子空间的布局算法

在完成平台各层次和各模块的划分后,以模块为布局基本单元进行布局优化设计。各个层次的布局目标不同,主甲板和钻台区是生产区,追求高效率 and 低成本,具体设计可采用系统规划法(SLP)的改进算法——关系表法^[4],下甲板因待布置模块对输送成本和作业效率无明显影响,故采用最适合面积算法,优先布置大尺寸模块。采用自上而下的顺序布局,即按钻台区、主甲板区和下甲板区顺序布局,允许上层区域装备占用下层区域空间。在具体布置过程中,需考虑模块之间的关联性,遵循人因工程学原则。

2.6 存储规划

半潜式钻井平台的自持力是平台性能的重要指标,自持力通过可变载荷来实现。钻井材料存

储于4个区域,即上下甲板区、立柱区和下浮体区,按作业需要制定如下存储规划原则:为利于生产,优先布置钻井材料;按材料输送方式和输送成本进行布置,固体类材料布置于主甲板,液体类材料布置于下浮体和立柱内(立柱内可存储固体类材料和液体类材料);考虑存储材料对平台重心的影响,存储材料的布局应使平台重心与浮心重合,在不平衡时,优先调整存储材料的布局使平台重心与浮心重合。

2.7 重心校核及总体布局调整

平台总体布置完成后,需对重心进行计算,以检验布局的合理性。平台的空壳体形状规则,左右、前后对称,立柱及下浮体的布置原则上对称,对重心偏移影响不大,上下甲板装备布局对重心产生较大影响。重心计算参考《运输船总量分类及重心计算》的规定,建立坐标系,纵向(x 向)以船艏为基准,艏为正,尾为负;横向(y 向)以中线面为基准,右舷为正,左舷为负;垂向(z 向)以下浮体线为基准,上为正,下为负^[5]。

平台重心与平台中心如偏差较大,需要对布局进行调整,调整的一般原则是:优先调整对作业流程影响小的下层平台装备,这类装备的处理对象采用管线输送,对作业效率影响小;主甲板的调整顺序依次是袋装品存储区、大型海底工具存储区和钻杆套管存储区。

3 半潜式钻井平台总体布局规划的实施实例

以某半潜式钻井平台为例,按上述布局规划方法对平台进行总体布局规划。

3.1 半潜式平台结构形式

目标平台采用目前半潜式钻井平台的主流形式,具有双下浮体、四立柱、横撑连接、箱型上壳体,采用井字形结构强框,下浮体的甲板、舷侧外板、底部和纵中舱壁均采用纵骨架式,立柱内设置水密平台和水平强框,外板采用垂直扶强材^[3-4]。

3.2 目标平台输送方式的具体设计

目标平台输送系统的规划:主辅动力猫道各1个,分别服务于主辅钻井中心,主动力猫道主要进行大直径重型套管和平放隔水管的输送,辅动力猫道输送钻杆和套管;75%的隔水管立放,25%的隔水管平放,平放隔水管作为备用,作业水深超过2250m时应用。立放隔水管设专用存储区,由隔水管指梁和专用隔水管起重机提升,经隔水管倾斜臂等输送至钻台;泥浆、电力、气动、液压系统等采用管线/管汇输送。大型工具类由专用

起重机,经铺设导轨的专用滑车运送。从作业效率角度看,防喷器(blowout preventer, BOP)和井口盘、采油树等大型工具采用月池两侧下放模式的作业效率优于采用月池单侧下放模式的作业效率,本文按双侧下放模式设计^[5-7]。

3.3 目标平台模块的划分

目标平台具有的模块如下:

(1) 3 个双钻井中心模块。钻井中心模块含双井架钻机、钻台自动化作业装备、月池系统及压井节流管汇系统;钻井中心辅助动力模块含液压站、空压站以及隔水管升沉补偿系统;钻机电力控制模块为向钻机供电的交流一直流转化模块。

(2) 2 个管具处理模块,即钻井管具处理模块和隔水管立放处理模块。目标平台采用双侧下放模式,划分为 BOP 存储及输送模块和其他大型井下工具存储及输送模块^[6-7]。

(3) 2 个电力模块。目标平台配置 8 台主发电机,布置在 4 个机舱内,对等划分 2 个模块。根据动力定位(dynamic positioning, DP3)要求,全部机舱不应集中在一个区域,以符合动力定位等级对机舱布置的安全性要求。

(4) 4 个泥浆系统模块,即泥浆配混模块、泥浆净化模块、泥浆循环模块和固井模块。

(5) 15 个平台支持模块,即 8 个动力推进模块、4 个锚泊定位模块、2 个塔吊模块(为平台作业提供支持)、1 个平台控制模块(中心控制室模块)。

(6) 6 个后勤服务模块,即生活模块、工具房、机械维修房、电器维修房、垃圾焚烧间、空气干燥房。

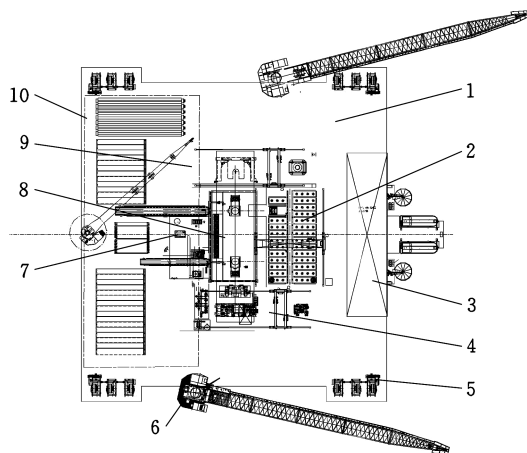
3.4 钻台布局规划

钻台是钻井作业的主要区域,高出主甲板 10m 左右,主要接收钻杆、套管和隔水管等管具类材料,钻台层次布置有钻井管具处理模块和隔水管立放处理模块。主辅动力猫道前部分别正对井架两个大门,后部为抓管机(钻杆起重机)和管具堆场。管具堆场应尽量靠近动力猫道和抓管机。按使用频率高低布置管具堆场,钻杆使用频率高于套管,应优先布置钻杆堆场。钻台后部为立放隔水管存储区,隔水管存储区穿过主甲板至下层甲板,以降低工作重心,钻井管具堆场位于主甲板层次^[6-8]。

3.5 主甲板布局规划

主甲板(上甲板)以钻井中心模块为中心,采用系统规划法的改进算法——关系表法进行主甲板的布局规划。如图 3 所示,上下布置 2 个大型井下工具处理模块,分别为 BOP 处理模块 10(完

成 BOP 下放作业)和其他大型工具处理模块 9,钻井中心前部为泥浆净化模块(位于主辅动力猫道下,完成泥浆固相处理,含一套泥浆钻屑搜集处理系统)。锚机布置于主甲板角部,左右两舷各布置塔吊一部。



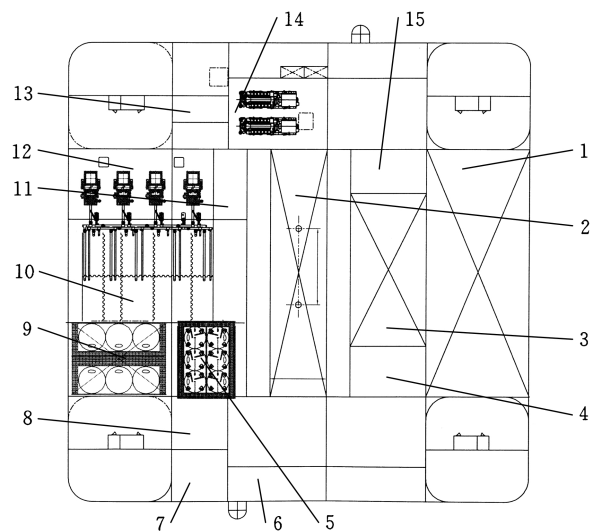
1. 备用区 2. 立放隔水管及处理系统 3. 生活区 4. 其他大型工具处理区 5. 锚机 6. 塔吊 7. 泥浆净化区 8. 钻台区 9. BOP 处理模块 10. 管具处理及排放模块

图 3 主甲板及钻台区布局规划

主甲板保留较大的作业空间可提高平台的作业效率和安全性,并预留升级空间。目标平台是完成钻井、试油、修井和作业等任务的综合性平台。平台完成建造后,下甲板难以安装大型装备,后期增加装备主要安装在上甲板。

3.6 下甲板布局规划

下层甲板空间有两个特点:一是空间不规则,平台结构采用井字形结构框架,月池开口和立放隔水管存储区将下层甲板空间分成不规则区域,且下层甲板需划分舱室;二是待布置模块多,各模块存在关联性。如泥浆循环、配混和固井这 3 个模块作业连续,应作为大模块区布置在相接近区域,且和上甲板泥浆净化模块接近;2 个电力模块空间上远离,以满足动力定位 DP3 要求。如图 4 所示,针对下层甲板空间布置的特点,采用最适合面积算法,优先布置大面积模块,小模块按实际剩余空间合理布局。大模块区有 3 个,即泥浆处理区和 2 个电力模块区,泥浆处理系统占空间最大,能够满足其空间要求的区域仅是月池前部区域,能够满足两个电力模块要求的空间只有月池左右舷。4 台泥浆泵布置于 2 个舱室,其中一台备用泥浆泵单独布置,剩余空间布置钻井中心辅助动力模块,含液压站、气动站和隔水管升沉补偿系统。钻井中心辅助动力模块和钻机电力变频及控制模块属双钻井中心系统,应靠近钻井中心,电力变频及控制模块在立放隔水管存储区左侧。



1. 生活区 2. 月池 3. 立放隔水管存储区 4. 中心控制室
5. 固井区 6. 电力模块 2 7. 空气干燥房 8. 垃圾焚烧间
9. 泥浆散料存储区 10. 泥浆配混区 11. 液压及气动工作区
12. 泥浆循环区 13. 后勤服务区——工具房、机修房、电器
维修房 14. 电力模块 1 15. 钻机电力转换控制区

图 4 下甲板布局规划 2

目标平台的动力定位等级为 DP3, 2 个电力模块对称布置于平台左右舷, 每个机舱旁设独立的配电板室, 每块配电板直接控制 2 台推进器, 模块相对独立分隔, 以增加安全性。

艏部布置生活区, 从人机工程学角度, 振动噪音大的模块应远离生活区, 因此电力模块应远离生活区。左右舷布置 2 个电力模块后, 剩余空间布置 5 个后勤服务模块, 工具房、机械维修房、电器维修房布置于左舷, 垃圾焚烧间、空气干燥房布置于右舷。立放隔水管存储区的左右区域分别布置电力变频及控制模块和中心控制室模块。

基于模块的布局规划, 只是完成大框架的总体布局规划, 仍需进一步进行模块的内布局设计。模块内仍按生产流程布局, 如泥浆净化模块含筛分—除气—除砂—除泥—离心 5 级固相控制, 配套设备多台振动筛、泥浆清洁器、除气器、中速离心机、高速离心机、砂泵等, 以及若干中间存储罐和大量管汇, 另外, 平台还配置有 1 套岩屑收集系统。泥浆净化模块仍按作业流程布局。

3.7 下浮体及立柱区域的存储规划

立柱和下浮体主要用于存储燃油、锚链、生活用水和泥浆系统的泥浆、土粉、重晶石、水泥、盐水、钻井水等。下浮体存储易于管线输送的液体类耗材, 立柱上部存储固体类耗材, 以利于输送为原则。

目标平台采用井字形结构框架, 立柱延伸至主甲板, 自下浮体向上, 分 4 个层次, 其中下浮体

顶部至平台下甲板底部为 3 个层次, 下甲板上部为 1 个层次。立柱中间为工作电梯和升起装置, 下部 2 个层次设 12 个锚链舱和泥浆舱, 上部 2 个层次设泥浆罐、土粉罐、重晶石罐、饮用水舱等, 平台艏部两立柱以布置泥浆处理用泥浆罐、土粉罐、重晶石罐等为主, 这些罐体应尽可能与下甲板泥浆处理系统接近以利于输送, 艏部以布置饮用水舱等为主。

下浮体内主要设水密液舱、泵舱和推进器舱, 左右两浮体原则上布置一致。液舱储存的物品包括钻井用液体消耗品(钻井水、盐水、基油)、燃油、饮用水、压载水。下浮体区域布置 8 个推进器舱、8 个泵舱、燃油舱、基油舱、盐水舱、备用泥浆舱、钻井水舱、压载水舱及管汇系统等。

3.8 重心校核及总体布局调整

按初步确定装备布置位置及总质量后计算重力矩, 计算结果基本符合预期: 垂向重心高 25.7m; 重心横向向船尾偏 1.9m; 重心纵向向艏部偏 0.1m。需要对布局进行调整, 将左右舷电力模块前移, 后勤支持模块调整到电力模块后部(图 4)。调整之后, 重心将前移, 缺点是电力模块与生活区接近, 不符合人因工程学原则。平台建造完成后, 增加试油、测井、完井等装备及生活工作的必备物资, 再重新计算重心, 横向和纵向的偏差均在 0.3m 以内。

4 结论

提出了超大型复杂系统的布局规划算法, 即基于作业流程的层次分解布局方法, 建立了布局原则和具体算法流程。该算法紧密结合工程实际, 综合考虑作业效率、安全性、稳定性和人因工程学多方面因素, 具有工程操作可行性和优化性, 在具有性能约束的超大系统三维布局设计上具有工程实用性。

以某钻井平台为实例进行了验证, 进行了布局设计。对立柱、下浮体的存储区进行了规划, 并对布局方案的重心进行了计算校核, 然后进行布局调整以增加平台稳定性。

参考文献:

- [1] 岳吉祥, 綦耀光, 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.
- [2] Chakrabarti S. Handbook of Offshore Engineering II [M]. New York: Elsevier, 2005.
- [3] 曾威. 卫星舱布局的双系统协同进化算法与 CAD 系统关键技术[D]. 大连: 大连理工大学, 2007.

基于智能化配置的产品方案设计方法

李玉梅 万立 熊体凡

华中科技大学国家企业信息化支撑软件 engineering 研究中心, 武汉, 430074

摘要:提出了多领域设计知识模型的特征参数表示方法;通过对智能化配置技术的分析,研究了智能化配置在产品方案生成过程中的应用,构建了面向产品方案设计的智能化配置框架,建立了特征参数配置知识库,并给出了多领域特征参数求解推理过程。给出了产品方案设计平台的总体框架,并以此为基础开发了一个原型系统。

关键词:方案设计;智能化配置;多领域知识;特征参数

中图分类号:TP391.72;TH122 **文章编号:**1004—132X(2009)19—2274—06

An Approach to Product Conceptual Design Based on Intelligent Configuration

Li Yumei Wan Li Xiong Tifan

National CAD Support Software Engineering Research Center,
Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430074

Abstract: On the basis of analyzing design knowledge in the multi-fields, an approach to product conceptual design based on intelligent configuration was put forward. Firstly the parametric knowledge models were described. Secondly an intelligent conceptual design configuration framework was constructed. A configuration knowledge base was discussed, then the reasoning process of the parameters in the multi-fields were presented. Finally the conceptual design process of a controllable reducer was used as an example to show the feasibility of the configuration platform.

Key words: conceptual design; intelligent configuration; knowledge in the multi-fields; characteristic parameter

0 引言

产品方案设计是产品开发周期中最重要的环节,它决定着产品的质量、成本、性能、可靠性、安全性、环境友好性等各个方面^[1]。研究表明,产品的研发成本大部分用于产品方案设计阶段^[2],因此,如何快速进行产品方案设计,同时降低产品开发成本是当前迫切需要解决的问题。随着计算机

技术的发展,计算机辅助产品方案设计技术得到了快速的发展。Zhang等^[3]建立了面向功能方法的产品方案专家系统;舒启林等^[4]提出了基于遗传算法的机械方案计算机辅助设计系统模型;张建明等^[5]从能量转换的角度提出了基于知识的产品概念设计启发式求解;Mao等^[6]提出了基于实例原型的产品方案开发系统;方峻等^[7]提出了基于知识的产品方案支持系统。上述方法虽然借用了人工智能和数据库技术,但是在表达和利用产品方案设计知识方面还存在不足。

收稿日期:2008—12—05

基金项目:国家863高技术研究发展计划资助项目(2007AA040603)

[4] 岳吉祥.深水半潜式钻井平台钻机系统选型与布局优化研究[D].东营:中国石油大学,2009.

[5] CB—Z319—1982.运输船重量分类及重心计算—中华人民共和国国家标准—船舶标准(2008)网络版标准[S/CD].北京:中国标准出版社,2008.

[6] 岳吉祥,綦耀光,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.

[7] 刘海霞.深水半潜式钻井平台的总布置[J].中国海洋平台,2007,22(3):7-12.

[8] 岳吉祥,綦耀光,肖文生,等.半潜式钻井平台双联

钻机钻台布局设计研究[J].中国石油大学学报(自然科学版),2008,32(6):113-117.

(编辑 张洋)

作者简介: 陈平,男,1972年生。中国石油大学(华东)机电工程学院博士研究生。主要研究方向为油田开发管理、石油机械、钻井工艺。发表论文9篇。岳吉祥,男,1971年生。中国石油大学(华东)机电工程学院博士研究生。綦耀光,男,1957年生。中国石油大学(华东)机电工程学院教授、博士研究生导师。肖文生,男,1966年生。中国石油大学(华东)机电工程学院教授、博士研究生导师。杨磊,男,1982年生。中国石油大学(华东)机电工程学院博士研究生。