

·专题研究·

文章编号: 1001-3482(2004)04-0001-08

# 钻机的模块化设计 ——系列专题之三

陈如恒

(石油大学(北京),北京 昌平 102200)

**摘要:** 针对用户提出的多样化产品要求,很多行业开展了产品的模块化设计。文章介绍了模块的特征,模块化设计的方法和步骤。近年来,石油钻机用户也日益提出多样性、适应性的需求,对钻机这一流动性作业的大型机械系统如何“量体裁衣”?如何加速装卸运输过程?文章介绍了钻机的模块划分及绞车模块化方案,最后提出了钻机装卸运输的模块化技术措施。

**关键词:** 石油钻机;模块化设计;绞车模块;装卸运输

**中图分类号:** TE922      **文献标识码:** A

## The modular design of drilling rig——Special topic Sec III

CHEN Ru-heng

(Petroleum University (Beijing), Beijing Changping 102200, China)

**Abstract:** Aiming at the variety of requirements by clients, the modular design of the products is carried out in many fields. This paper presents the feature of modular, the method and step of modular design. The clients of drilling rigs advance the requirements of variety and suitability in recent years. Drilling rig is a complicated movable mechanical system. How can we do our design as “Tailor-made” does and quicken the courses of mount-dismount and transport? The modular divide-up of rig and modular of draw-works are proposed. The measure of modular technology for mount-dismount and transport of rig is also commenced.

**Key words:** oil drilling rig; modular design; mount-dismount; transport

模块化设计是一种以少量通用化部件组装成多种功能和用途的产品的现代设计方法。它早已普遍应用于机床、电子等行业。石油钻机制造商应积极开展模块化设计制造工作,以满足钻机用户日益增多的多样化产品的需要。

### 1 模块化概念<sup>[1~3]</sup>

#### 1.1 2种产品结构

a) 每个组件执行一个特定的功能,换言之,产品的多个功能必须由多个组件来实现。

b) 各组件之间的相互关系是明确的,这种相互关系是实现产品功能的基础。

c) 模块化结构在设计思想上力求组件的独立性,这种结构允许在不改动其他组件的情况下,只改变单个组件而不影响产品的功能。

与模块化结构相对应的是集成化结构,也具有其自身的特点。

a) 产品的每个功能都由多个组件来实现。

b) 每个组件参与多个功能的实现。

c) 组件之间的相互关系并不明确,即组件之间的界线很难划分,这种相互关系对产品的功能来说并不重要。

d) 集成化结构在设计思想上力求产品具备完美的性能,为了优化产品的性能,许多功能常被合并

收稿日期: 2004-02-20

作者简介: 陈如恒(1927),男,河北秦皇岛人,教授,博士生导师,本刊名誉编委,从事机械设计理论及技术、石油钻采机械及自动化、机械振动、机械设备故障诊断的教学及研究工作

成若干个功能实体,任何一个组件的修改都要求对产品重新设计。

为了对比,笔者论述了2种结构的特点,但实际上,很少有产品是完全模块化的,或完全集成化的。

### 1.2 模块特征

模块好似积木或拼装机械玩具,模块、组件、部件有何共性、有何特性?至今,模块还没有一个确切的定义,不过从上述2种结构特点可以概括出模块具有如下特征。

a) 模块是具有独立功能的基础件(组件或部件),它由不同层次的子模块组成。

b) 模块在结构上具有通用化、系列化的特点,它具有标准化的联接尺寸,可互换在不同用途、不同系列的产品上。

c) 机械模块具有物料流、能量(力)流或信息流的输入和输出,有刚性或柔性接口。

d) 对于流动作业的大型机械系统(如,钻机),模块是装卸运输的单元。

### 1.3 模块类型

a) 基本模块 实现特定功能的组件。

b) 输助模块 如,联接模块。

c) 附加模块 用户要求添加的功能模块。

d) 特种模块 为少数非系列产品单独设计的模块。

### 1.4 模块化产品举例

如,组合机床,组合夹具,液压组合阀,系列齿轮减速器,模块化居民建筑,模块化家具(组装柜厨、组装塑料架,组装档案柜……),模块化电子产品(计算机、家庭影院……),模块化工程机械(塔吊、挖掘机、装载机……),模块化软件等。

## 2 模块化设计

### 2.1 模块化设计的基本概念

在对企业的各种成熟产品进行功能分析的基础上,将同一功能的单元设计为在不同用途的产品上可以互换选用的模块,即这些模块都有标准化的连接要素(或接口),便于以较少的基本模块组成更多用途的变型产品,以满足用户的多样化产品需求。现代机械产品正朝着小批量、多品种、高科技附加值、缩短研发周期、加速产品更新换代的方向发展,模块化设计正是对这种趋势的强力响应,它将设计师从传统的特定产品零件设计中解脱出来,他们只要熟悉选用适合用户要求的标准化模块和接口技术,就能完成产品设计任务。这不仅降低了设计工

作量和成本,缩短了产品研发周期,而且通过专业化加工的标准模块提高了产品质量,有利于推广CAD/CAM和GT技术,如,模块的成组加工和装配,铸模的模块化设计和编制模块拼装程序等。

### 2.2 模块化设计类型

a) 横向变型模块设计 在基型产品的基础上,通过增减或更换某些可互换的模块,纳入新设计的特殊模块而组成变型产品,如,跨企业优选部机,组装成同一个系列等级的钻机,如, National-Oilwell的Packer 201型1500 m钻机是由Emsco 2940 kW绞车、BJ1000 t大钩、Ldeco 1000 t水龙头、Wirth 1257.3 mm(1000 t)转盘、National-Oilwell 1617 kW钻井泵(51.7 MPa)总装而成;另一台15000 m钻机则是由Varco 4410 kW绞车、RST1536.7 mm转盘、及Emsco 2205 kW钻井泵(69 MPa)总装而成。

b) 纵向系列模块设计 在同一用途(品种)中,采用主参数不同的系列模块,设计出系列化产品,如,在小一级产品中采用大一级模块必然不够经济,这种做法只在单件产品或小批量产品中采用。

c) 跨品种变型模块设计 针对总体结构相差不大的产品进行变型设计,如,用同一龙门机架模块,选配不同的刀架模块,组装成龙门铣、龙门铣、龙门磨床。又如,用同一钻机主机模块,选配撬座模块或车载模块,可以组装成撬装轻便钻机或车载轻便钻机。

d) 纵横全系列模块设计 如,用3种滚筒模块设计出7种系列绞车,用3种钳夹和4种刹车盘设计出8种系列液压盘式刹车。

### 2.3 模块化结构的接口

接口是产品各模块之间流的输入、输出、变换和传递途径,分刚性接口和柔性接口2种。刚性接口包括机械联结和电路接头,在模块之间有直接的装配关系,要求它具有一定的精度、刚度和可靠度。柔性接口是指管线连接和电缆连接,依靠它们进行流的传递、变换和调整,模块之间没有直接的装配关系。

刚性接口有3种类型<sup>[3]</sup>,如图1。

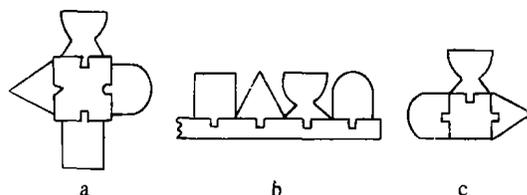


图1 刚性接口的类型

a) 联接模块型 如图1a,各基本模块通过辅

助的联接模块组合在一起, 模块之间每个接口类型都不同, 因此, 各模块位置不能互换。

b) 总线串接型 如图 1b, 所有模块通过同样的接口连接到一个辅助的总线模块上, 各个模块的位置可以互换, 例如, 个人计算机的扩展卡便是这种接口类型。

c) 直接组装型 如图 1c, 不通过辅助的联接模块, 各基本模块以同类接口连结在一起, 如, 组装计算机、组装家具都属于这种接口类型。

### 2.4 对接组合的模数制<sup>[3]</sup>

标准化的零件采用优先数系  $\sqrt[10]{10}$  来决定其尺寸, 而  $n$  个优先数元和不再是优先数, 所以由若干零件组合起来的组件、部件等的组合尺寸不再适合用优先数系, 为了提高模块的通用性, 可用模数制来协调模块与产品组合尺寸之间的配合关系。模数制用交替倍增数列来满足对接组合的各方面尺寸要求, 组合模数  $m$  为 2、5、5、10、20、40、80、160、320 mm, 产品尺寸为 2.5~6 400 mm; 二者之商为 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 32, 40, 48。

$m$  是尺寸的最小基数,  $m$  值的选用取决于模块(组件)的最小尺寸, 产品尺寸应是  $m$  的整数倍。

### 2.5 模块化设计的步骤(如图 2)

### 2.6 计算机辅助模块化设计 CAMD 概要<sup>[3]</sup>

首先, 按 GT 及力流 5 位结构描述法对各级模块进行编码, 存入模块库中(数据库, 图形库)。设计时, 按编码在库中搜索, 看是否有符合用户要求功能的模块, 如有, 则将其调出, 在计算机上进行必要的修改、存贮备用。如, 找不到类似模块, 则用人机对话方式绘制新模块, 利用 Auto CAD 三维实体造型软件, 调出已有的和新设计的各个模块在计算机上直接拼装, 进行适当缩放、平移、旋转, 及时发现干扰碰撞现象, 及时修改, 最后消隐和重新着色, 用绘图机输出产品的三维实体图、三视图及各类模块清单。

## 3 钻机的模块化设计<sup>[4]</sup>

### 3.1 钻机系统的模块划分(如表 1)

### 3.2 绞车方案模块型谱

以钻机绞车方案的模块化设计为例, 摆出各级模块型谱, 以说明设计的方法步骤。表 2 给出了绞车方案的三级模块型谱。

上述各三级模块是由四级模块组合成的, 如, 由轴、滚筒、猫头与摩擦猫头、气胎摩擦离合器、链传动箱、箱体轴承架及底座等组成。

中各图未画出主刹车及链传动箱体。

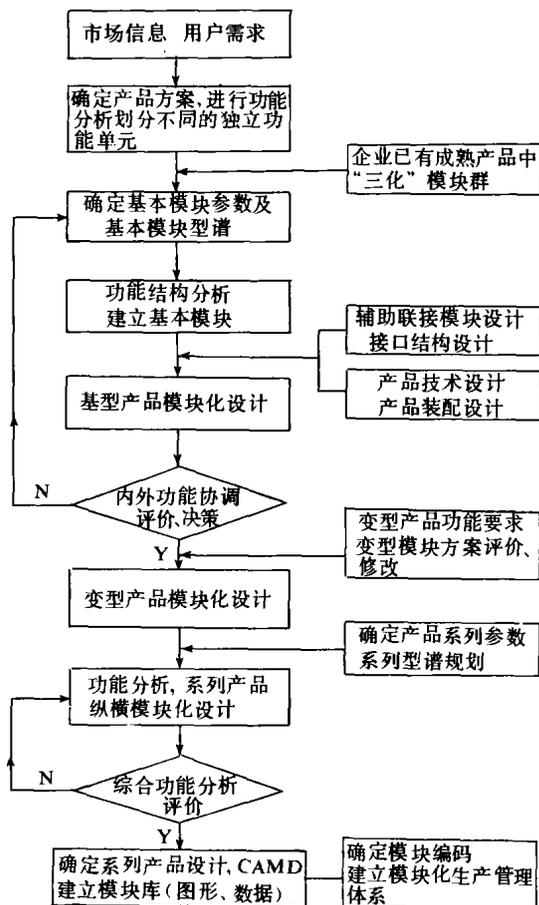


图 2 系列产品模块化设计步骤

上述三级和二级模块还需绘成三面外观视图及三维透视图, 带外廓尺寸及结合部分尺寸以便拼装, 图 3 给出 C4 电动四轴绞车的一级模块, 它是在二级模块的基础上与下列二级模块组成的, 2 台主电机、辅助刹车(电磁刹车或 EATON 刹车)、转盘传动箱、机气控制系统及司钻控制台等组成。

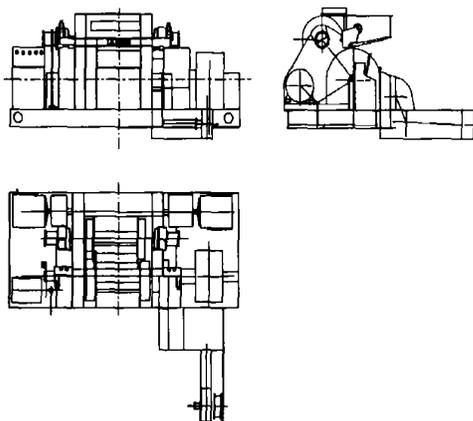


图 3 电动四轴绞车一级模块

表 3 给出了系列绞车方案的二级模块型谱, 表

表 1 钻机系统模块划分

一级模块	二级模块	三级模块	四级模块
钻 机 系 统 主 机	机	柴油机组	柴油机本体、换热器、风扇、水泵、涡轮增压器、启动马达、座架、仪表
	动	液马达、气马达	
	电	柴油机发电机组	柴油机、交流发电机、通风机
	动	直流电动机	
		交流电动机	
		交流变频电动机	
	机	皮带传动副	
	械	链并车箱、链传动箱	链条张紧装置
	传	齿轮变速箱、齿轮减速箱、角传动箱、万向轴、气胎摩擦离合器、轴向推盘离合器、联轴器	
	动		
系			
统	电力	交流、直流动力电缆, 电缆桥	
	传动		
	流	液力偶合器	换热器
	体	液力变矩器	换热器
	传	液压传动系统	液压泵、管线、液缸、液马达
	动		
		绞车主体轴系、变速传动机构	
		制动系统(主、辅刹车)	
		带刹车	刹带、杠杆、平衡梁
	绞车	液压盘式刹车	刹车盘、钳夹(液缸、钳臂、刹车块组件) 液压控制系统
	起	气动推盘式刹车	
	升	水刹车、电磁刹车	水冷却装置
	系	绞车电机能耗制动	
	统	自动送钻装置	传感器、控制器、送钻马达、减速器、控制器
		绞车控制台、绞车座架	防撞装置
执			
行			
系			
统			
	游	天车、游车、大钩	
	动	钢丝绳	死绳固定器、稳绳器
	系		
	统		
	旋	转盘	转盘变速箱、惯性刹车
	转	方钻杆、方补芯	
	系	顶部驱动系统	电动机及盘刹、水龙头减速箱、管子处理系统、电、液控制系统、单导轨
	统		
	循		
	环	钻井泵、高压管汇	灌注泵、喷淋泵、维修吊车、阀、立管、水龙带
	系	水龙头、两用水龙头	
	统		

续表

一级模块	二级模块	三级模块	四级模块
钻机系统(主机)	机械控制系统		
	液控系统: 液压源、管路、阀组		
	气控系统: 气源、净化装置	螺杆压气机、贮气罐、除湿装置	
	电控系统: SCR、VFD、司钻房、控制台、仪表	MCC、变压器、PLC、各种柜、制动单元、总线、气阀、电机控、主辅刹车控、仪表盘、触摸屏、监视屏。	
支承系统	井架	K型井架节、二层台、人字架、起升装置、伸缩井架	
	底座	钻台底座、后台底座、平行四边形底座、叠箱底座。	
辅助系统	载车、拖车		
	固控系统	泥浆罐、泥浆筛、三除、离心机、搅拌机、剪切泵、配料装置、运屑装置	
	井控系统	井口装置、分流节流管汇 防喷器组	旋转、球形、单双闸板、剪切闸板、防喷器、防喷器吊装装置
		防喷器液控装置	
钻机系统(辅机)	钻台、场地操作机械化装置	铁钻工(钻杆钳、套管钳、液压猫头)立根排放、单根上钻台装置(电动、液气动小绞车)	
	油水供应装置	柴油罐、润滑油罐、水罐、泵装置	
	井电系统	防爆照明装置、空调、小电机及启动主电机加热装置	
	物流供应系统	管材工具材料	钻杆、套管、钻头、井下工具、泥浆药料
	生产营房	值班房、材料房、机修房、采井房	

### 3.3 钻机模块化设计概要

a) 钻机属于大型流动作业机械系统, 它需要经常拆卸、运移和安装, 这部分非生产时间占很大比例(约占每口井全周期的 1/5 ~ 1/10), 所以如有条件, 主机(除泥浆泵组)尽量不拆卸、整体拖运, 或按运输车的能力拆成尽量大的运输模块, 将各部件、部机集装在一个大橇座上运移, 以降低拆卸安装的工作量, 缩短搬家时间, 降低钻井成本。

① 大尺寸部件、井架尽量整拖, 游动系统和井

架一起运移; 电控房、泥浆罐、营房等各自成为运输模块。

② 爬坡链传动箱、万向轴及角传动箱、联动压气机或液压源等集装在一个橇座上。

③ 尽量采用套装设计, 如, 钻台值班房装在水箱中一起运输。

④ 散件装在有一定位置的集装箱中运输。

b) 为了提高钻机的维修性, 尽量将易损件、易先期失效件设计成独立的子模块、置于易检查、易发

现故障、易拆换的结构位置上。

c) 钻台和后台底座如何划分拆装运输模块？有 2 种结构类型。

① 纵向分块结构 如图 4a, 如, 机动 40 和 50 型三柴油机统一驱动钻机, 按纵向将底座划分为 6 大块(不计柔性联接的泵组独立安装底座)。

表 2 绞车三级模块型谱

	A	B	C
1			
2			
3			
4			

注: A<sub>1</sub>—单速主滚筒轴部件; A<sub>2</sub>—双速主滚筒轴部件; A<sub>3</sub>—捞砂滚筒轴部件; A<sub>4</sub>—猫头轴部件; B<sub>1</sub>—两档变速箱; B<sub>2</sub>—2+R 变速箱; B<sub>3</sub>—三档变速箱; B<sub>4</sub>—3+R 变速箱; C<sub>1</sub>—电动机与滚筒轴之间的两级齿轮减速箱; C<sub>2</sub>—电动机与滚筒轴之间的正齿内齿减速器。

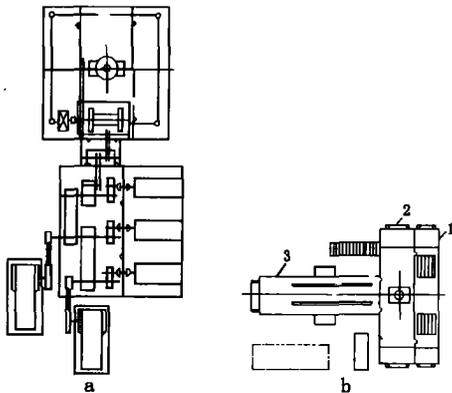


图 4 钻机底座分块结构方案

② 横向分块结构 如图 4b, 如, 20 和 30 型撬装钻机, 钻台横向分 2 大块, 分别安装钻杆盒及转盘, 后台合成一大块, 安装动力传动及绞车。

### 3.4 钻机的装卸及运输

a) 研究各部机、部件的拆卸分界面, 尽量不要

在难于保证安装质量的部位拆卸, 接口尺寸精度高、互换性要强、卸装省力, 采用易拆装的联接件, 如, 锥销、万向轴、快速接头、充气橡胶密封伸缩由任等, 采用专用拆装工具。

b) 井架、底座、绞车、转盘等低位安装, 伸缩井架最好低位水平拉出和固定, 井架和平行四边行底座不倒大绳一次旋升。

c) 设计拆装运输的作业流程图, 并行作业和顺序作业, 分工与工作量、作业人数, 轻型钻机搬家 8 h, 重型钻机搬家 24~48 h。

d) 40 型以下钻机主机尽量采用车装或拖车装整体运输, 40 级以上钻机主机尽量采用钻机和底座井架整体拖装结构, 如图 5。近距离井架底座直立拖运, 远距离井架底座放倒拖运, 或采用液压穿大梁式拖车整体拖运, 如图 6。

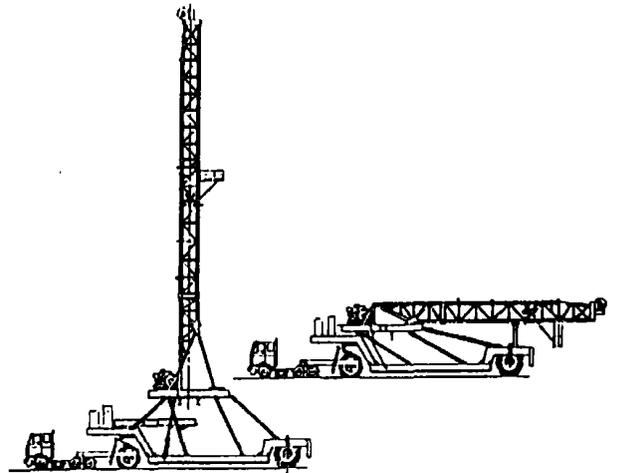


图 5 钻机整体拖装结构

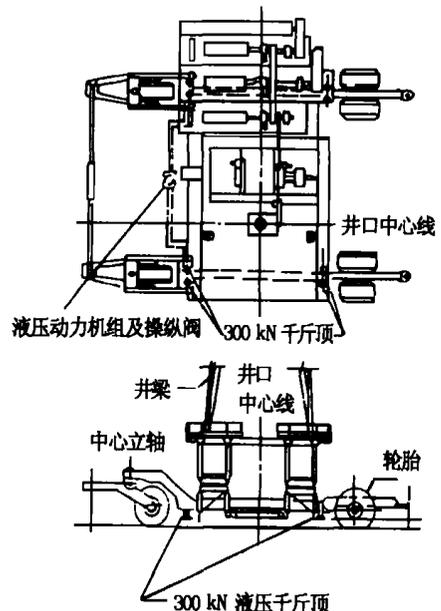


图 6 钻机液压穿大梁式整体拖运

表 3 绞车二级模块型谱

型号	20 400 kW	30 550 kW	40 735 kW	50 1 100 kW	60 D 1 100 kW	70 D 1 470 kW	
单轴	A1.1	A1.2					
双轴	A2		B2				
三轴	A3		B3		C3		
四轴			B4		C4		
六轴			B6				
型号	60 1 100 kW	90 2 210 kW	120 2 940 kW	70 1 470 kW	90 2 210 kW	120 2 940 kW	150 4 410 kW
单轴	D1			E1		F1	

注: A1.1—机动单轴绞车, 外变速, 传动转盘; A1.2—机动单轴绞车, 外变速, 带猫头; A2—机动双轴绞车, 外变速, 传动转盘, 带猫头; B2—机动双轴绞车, 外变速, 传动转盘, 带捞砂滚筒及猫头; A3—机动三轴绞车, 自变速  $2 \times 2 + R$ , 传动转盘; B3—同 A3; C3—电动三轴绞车, 电动机连续无级调速, 自变速  $2 \times 2$ , 传动转盘; B4—机动四轴绞车, 自变速  $3 \times 2 + R$ , 传动转盘, 带捞砂滚筒及猫头; C4—电动四轴绞车, 电机变速加自变速  $2 \times 2$ , 传动转盘, 带捞砂滚筒及转盘; B6—机动六轴绞车, 自变速  $2 \times 2 + R$ , 用 4 个气胎离合器变换出 4 个档, 传动转盘, 带捞砂滚筒及猫头; 如不带捞砂滚筒则形成五轴绞车; D1—电动单轴绞车, 电机变速, 1 台或 2 台电机通过二级齿轮减速箱驱动滚筒; E1—电动单轴绞车, 电机变速, 2 台或 3 台电机通过正、内齿减速装置驱动滚筒; F1—电动单轴绞车, 电机变速, 4 台 735 kW 或 1 100 kW 的电机串联和 2 套并行链传动箱驱动滚筒。

文章编号: 1001-3482(2004)03-0008-05

# 钻机绞车矢量变换变频调速机械特性和工作原理

赵淑兰<sup>1</sup>, 朱其先<sup>2</sup>

(1. 中国石油技术开发公司 产品管理部, 北京 100009; 2. 天水电气传动研究所 甘肃 兰州 740081)

**摘要:** 文章从机电一体化角度, 分析了钻机绞车在矢量变换变频调速下的机械特性, 绞车三相异步电机矢量变换控制的工作原理, 并对绞车电机在电动运行和再生发电运行状态下的能量传递过程进行了阐述, 以便石油机械工作者更好地了解近年迅速发展起来的交流变频钻机绞车的工作特点和方法。

**关键词:** 钻机绞车; 控制; 交流变频; 再生发电制动

**中图分类号:** TE923.01      **文献标识码:** A

## Mechanical performances of rig drawworks driven by variable frequency motors and principles of vectors control

ZHAO Shu-lan<sup>1</sup>, ZHU Qi-xian<sup>2</sup>

(1. Department of Product Administrative, China Petroleum Technology and Development Corporation, Beijing 100009, China;

2. Tianshui Electrice Transfer Research Institute, Tianshui 740081, China)

**Abstract:** Drill rigs driven by variable frequency motors and vectors control are developed rapidly in recent years. The paper analyses the mechanical performances of drill rig draw works driven by variable frequency motors, and principles of vectors control. Moreover, describes the power transfer process of asynchronous motor in electromotor state and regenerator state. The purpose is to help people to understand the drawworks's work characteristic and operation means.

**Key words:** drill rig drawworks; control; variable frequency; electric generating braking

传统的机械钻机绞车或直流电动钻机绞车, 由于调速的需要都设有机械变速档, 使绞车结构复杂, 质量大、安装维护保养工作量大。随着交流变频控制技术的发展和电气元件可靠性的提高, 使该控制技术在钻机绞车上得到了成功应用。由于电气功能

增加, 简化成为绞车结构, 并使其操作性能和安全保护性能得到大大的改善和提高。目前, 钻机绞车变频调速控制系统采用了矢量控制和直接转矩控制 2 种方式。笔者在此对单轴绞车矢量变换变频调速工作特点进行分析和介绍。

e) 确定各种装运车型, 如, 30~60 t 载重车、爬杆牵引装卸车, 对轻型钻机搬家控制在 8 车次以内, 对重型钻机控制在 40 车次以内。

f) 铁路运输尺寸限制宽 < 3.0 m, (三级超限 3.3 m), 高 < 3.7 m, (车辆轮之间底板面距铁轨面 300 mm, 装货总高限 4 m), 长度不限 (< 20 m), 公路运输穿过桥洞, 涵洞也受同样的限制, 质量还要受通过桥梁的限制。

### 参考文献:

- [1] [美] 卡尔丁 优里奇. 产品设计与开发[M]. 沈阳: 东北财经大学出版社, 2001.
- [2] 徐 灏. 机械设计手册(第 3 卷)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991, 18-11~18-21.
- [3] 施进发. 机械模块学[M]. 重庆: 重庆出版社, 1997, 75-136.
- [4] 陈如恒. 钻井机械的设计计算[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995, 52-64.

收稿日期: 2004-04-16

作者简介: 赵淑兰(1957-), 女, 四川富顺人, 高级工程师, 博士, 主要从事石油钻采设备研究、出口钻机成套和技术支持。