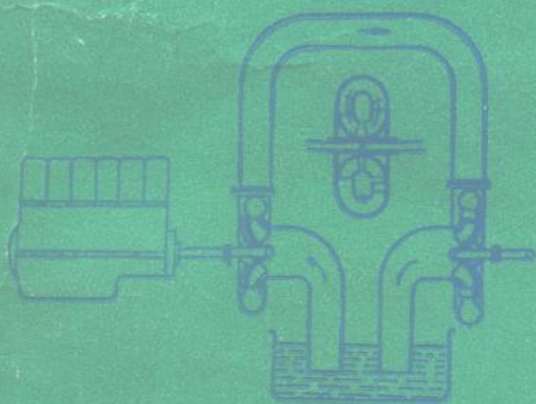


石油钻机用 液力变矩器

吴廷栋 马家骥 编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书是石油勘探开发规划院机械研究所组织编写的，由吴廷栋、马家骥同志执笔。书中主要介绍了石油钻机上使用的液力变矩器的工作原理、结构、性能以及它和柴油机共同工作时所具有的特性。全书共分八章，其中第三章介绍了液力变矩器基础理论知识，可作为参考。

本书文字较通俗，适于石油矿场的技术人员和操作工人阅读。

石油钻机用液力变矩器

吴廷栋、马家骥 编

*

石油工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $5^{1/16}$ 字数111千字印数1—4,570

1979年12月北京第1版1979年12月北京第1次印刷

书号15037·2070 定价0.42元

目 录

概述.....	1
第一章 液力变矩器的原理与特性.....	4
一、液力变矩器的结构与分类.....	4
二、液力变矩器的工作过程.....	7
三、液力变矩器的变矩原理.....	9
四、液力变矩器的特性.....	14
第二章 液力变矩器与内燃机共同工作.....	23
一、柴油机的主要指标与特性.....	23
二、液力变矩器的透穿性能.....	29
三、液力变矩器与内燃机共同工作性能.....	31
四、石油钻机的牵引特性.....	36
第三章 液力变矩器基础理论知识.....	43
一、水力学基础知识.....	43
二、液力变矩器的扭矩平衡.....	53
三、叶轮的转换及进出口速度三角形.....	56
四、液力变矩器的自动适应性.....	60
五、液力变矩器的计算方程式.....	64
第四章 液力变矩器的工作油和补偿系统.....	70
一、液力变矩器的工作油.....	70
二、液力变矩器的补偿系统.....	76
三、几种典型的补偿系统.....	85
第五章 液力变矩器在石油钻机上的应用.....	89
一、液力变矩器的作用.....	89
二、柴油机变矩器驱动的石油钻机在使用中的几个问题.....	96
第六章 WB型液力变矩器	104

一、技术性能	104
二、说明	104
三、变矩器的操作和使用	110
四、变矩器的润滑和维护保养	111
五、常见故障、原因与处理措施	112
六、变矩器的安装	114
七、检修注意事项	114
第七章 CHC型液力变矩器	116
一、主要技术参数	116
二、变矩器的结构说明	117
三、变矩器的补偿系统	122
四、变矩器的操作	129
五、维护保养	130
六、常见故障、原因和处理措施	131
七、变矩器的修理	133
第八章 BSYB-660型液力变矩器	147
一、技术性能参数	147
二、BSYB-660液力变矩器结构及各部件简介	148
三、变矩器体	152
四、油路系统	154
五、变矩器的操作	155
六、维护和保养	156
七、故障产生的原因与排除方法	157

概 述

液力变矩器在国外最早出现在一九〇七年，首先用在船舶上。到了二十年代，开始应用在大型轿车和小汽车上。从三十年代起，液力变矩器的应用才比较广泛，如汽车、拖拉机、军用车辆、工程机械（装载机、铲运机、推土机、挖掘机等）以及内燃机车等都陆续采用。一九三四年至一九三五年间，在石油钻机上也开始采用液力变矩器。

随着科学技术水平的不断提高，液力变矩器的结构型式也不断发展变化。总的发展趋势是要求性能好、效率高、结构简单、操作调节方便、制造成本低。

液力变矩器在我国的应用和发展开始于五十年代，当时是在大马力内燃机车和“红旗”牌小轿车上装配了液力变矩器。此后，液力传动技术（液力变矩器和液力偶合器）在我国获得了稳步的发展。目前，我国液力传动技术已经由仿制、试制向独立设计、产品系列化的方向发展。生产厂已由过去的少数几家发展到数十家，有些产品质量已经达到了较高的水平。

我国自六十年代初期，曾为 ZJ-75、ZJ-130、ZJ-150 石油钻机设计和制造了 WB 型单级综合式和非综合式液力变矩器。表 1 中列出了当前在我国油田上使用的带有液力变矩器的石油钻机（包括柴油机和变矩器）的型号。

为适应石油工业的迅速发展，我国于一九七七年研制了 BSYB-660 型液力变矩器，初次在改进的 4LD-150 型钻机上进行工业试验。

表 1

钻 机 型 号	可 钻 井 深 (米)	柴 油 机			变 矩 器 型 号
		型 号	数 量	总 功 率 (马 力)	
反修-130	3500	PZ12V-190	2	2000	WB-700
2DH-75A	2400	IDVPGa/1250	2	700	CHC-650-2
2DH-100A	2200	Mb-836-Bb	2	700	CHC-650-2
F200-2DH	3500	Mb-820-Bb	2	1780	CHC-750-2
3DH-200A	5000	M581-S	3	2100	CHC-750-1
3DH-250	5000	Mb-820-Bb	3	2670	CHC-750-2
F320-3DH	6000	Mb-820-Bb	3	2670	CHC-750-2
4DH-315	7000	M581-S	4	2800	CHC-750-1

液力变矩器在工业上得到日益广泛的应用，并不断发展，是由于它有下列优点：

1. 以内燃机为动力的机器设备采用变矩器时，可以得到无级变速的性能。速度和扭矩的无级变化，完全是根据外界载荷的大小而自动调节的。这种性能对于钻井绞车的工作是很有利的。起钻时，随着大钩上的重量不断减少，大钩的速度不断提高，当大钩上的载荷很大时（如钻柱遇阻）则大钩速度自动降低，这样液力变矩器可以充分利用驱动装置所配备的功率，提高生产效率。

2. 当内燃机与变矩器共同工作时，不论外界载荷如何变化，对内燃机的工作影响都不大，内燃机始终平稳地运转。甚至当载荷不断增大导致变矩器输出轴停止不转时，内燃机也不会灭火。比如在卡钻或蹩钻时，载荷突然升高，致使大钩不动或转盘不转，此时柴油机仍正常运转。可见，液力变矩器对内燃机有良好的保护作用，从而可延长其使用寿命。

3. 液力变矩器是靠液体在其中的运动来传递能量的，主动部分和被动部分没有刚性的机械联结，所以能够缓和来自内燃机的扭转震动和来自工作机的动载影响。因而使之启动平稳、加速均匀，大大延长了机械设备的使用寿命。例如，重型载重汽车在使用液力传动后，变速箱寿命能增加3~4倍。

4. 液力变矩器可以使机械传动结构简化，操作方便，并且易于实现自动化。使用液力变矩器的钻井绞车的排档，比机械传动的可以少1~2个档，操作时可以减少换档次数。

液力变矩器也存在下列缺点：

1. 液力变矩器的效率较低，随着涡轮输出轴转速的变化，其效率在很大范围内变动。最高效率一般是80%~90%。

2. 液力变矩器需要一定的附加设备，如补偿系统等。因而机构的复杂程度和制造成本一般比机械传动的要高。

但是，液力变矩器给工作机带来的一系列好处，已大大补偿了效率低的缺点。因而它同机械传动、电力传动一样得到较为普遍的重视和广泛的应用。

在我国石油钻机上引用液力传动较其他工业部门（交通运输、工程机械）晚，为了适应石油工业的迅速发展，研制性能好、效率高、结构简单、使用可靠的液力变矩器是当前的迫切任务之一。

第一章 液力变矩器的原理与特性

一、液力变矩器的结构与分类

液力变矩器的类型很多，不同类型和不同结构的变矩器，其性能上的差别很大。普通最常见的是单级液力变矩器（图1），它主要由三个叶轮（也叫工作轮）组成：泵轮、涡轮和导轮。泵轮通过与它联结的泵轮罩装在主动轴（泵轮轴）上，涡轮装在被动轴（涡轮轴）上。

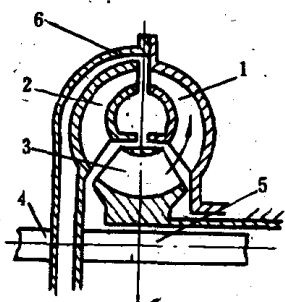


图1 单级液力变矩器示意图

1—泵轮；2—涡轮；3—导轮；4—主动轴；5—被动轴；6—泵轮罩

在正常工作时，泵轮和涡轮都是旋转的，导轮与壳体相连，固定不动；或者导轮装在单向离合器上，只能朝一个方向旋转，而反方向则会锁住不动。具有这种导轮的液力变矩器叫综合式液力变矩器。目前在我国钻机上使用的是导轮固定不动的非综合式液力变矩器。

无论是泵轮、涡轮或导轮，在叶轮圆周上都有许多形状相同、距离相等的叶片（图2）。

泵轮叶片没有涡轮叶片的弯曲度大。导轮的叶片较短。各工作轮叶片的形状、出口和入口的角度也不一样。

液力变矩器的分类方法主要有以下几种：

1. 单级和多级液力变矩器名称中的“级”，是指变矩器

中涡轮叶栅的列数。一列叶栅就是沿涡轮圆周规则地排列一圈的叶片，多级液力变矩器就是变矩器里有两列或三列涡轮叶栅，叫做二级或三级液力变矩器。每两列涡轮叶栅之间插入一导轮叶栅。各列涡轮叶栅之间以刚性联结，并和涡轮轴相连。各列导轮叶栅均与固定不动的壳体相连。如 WB 型和 BSYB-660 型液力变矩器只有一级涡轮和一级导轮，属于单级液力变矩器。而 CHC-型液力变矩器包括有三列涡轮叶栅和两列导轮叶栅，或者说三级涡轮、两级导轮，所以属于多级液力变矩器。

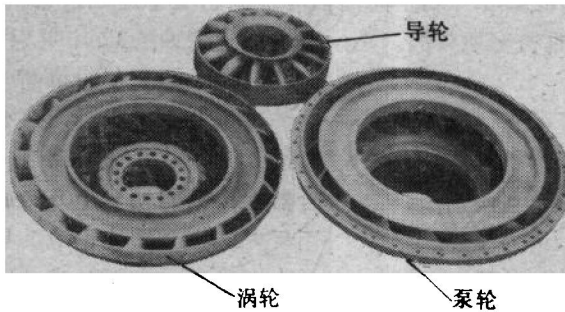


图 2 液力变矩器的泵轮、涡轮和导轮

采用多级液力变矩器，虽然可以提高涡轮扭矩，承受更大的载荷，但结构要复杂得多，所以在工业上它不如单级液力变矩器应用得普遍。

2. 离心涡轮式、向心涡轮式和轴流涡轮式液力变矩器的划分，是由于涡轮的位置不同，根据工作液流在涡轮中的流向而定的（图 3）。向心涡轮变矩器涡轮中的液流从周边流向中心；轴流涡轮变矩器在涡轮中液流轴向流动；离心涡轮变矩器在涡轮中液流从中心流向周边。

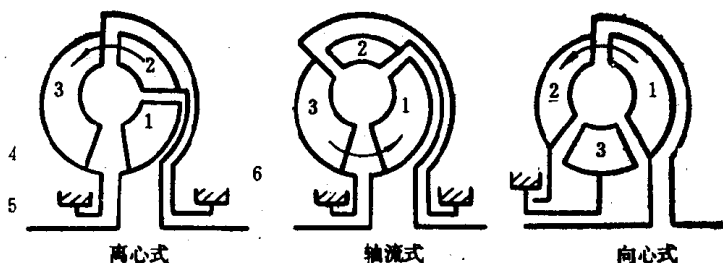


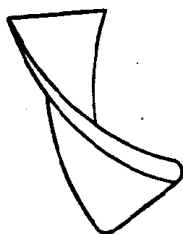
图 3 液力变矩器型式

1—泵轮；2—涡轮；3—导轮；4—壳体；5—主动轴；6—被动轴

3. 柱面叶片和空间曲面叶片液力变矩器是根据叶片表面的弯曲状况划分的。在一个方向上弯曲的叶片叫柱面叶片、又叫单曲叶片；



a



b

图 4 叶片形状

a—柱面叶片；b—空间曲面叶片

在两个方向上弯曲的叶片叫空间曲面叶片，又叫双曲叶片（图4）。

柱面叶片可以用机械加工方法铣制，再铆制或钎焊成叶轮，材料是铜或钢。空间曲面叶片由于形状

复杂，需与叶轮一起铸成，如WB-700和BSYB-660型液力变矩器的叶轮，材料是合金铸铝。

此外，根据导轮结构特点也可划分，如导轮能朝一个方向旋转的叫综合式液力变矩器，叶片能够转动的叫可调式液力变矩器，带有闭锁离合器的叫闭锁式液力变矩器（图5）。闭锁式液力变矩器必要时可以通过摩擦离合器将泵轮轴和涡

轮轴刚性地锁在一起，直接传递功率。以上这些类型的液力变矩器目前在石油钻机上用的不多，故这里不详细介绍。

下面介绍的是常用的单级向心涡轮、固定导轮液力变矩器的工作原理及特性。

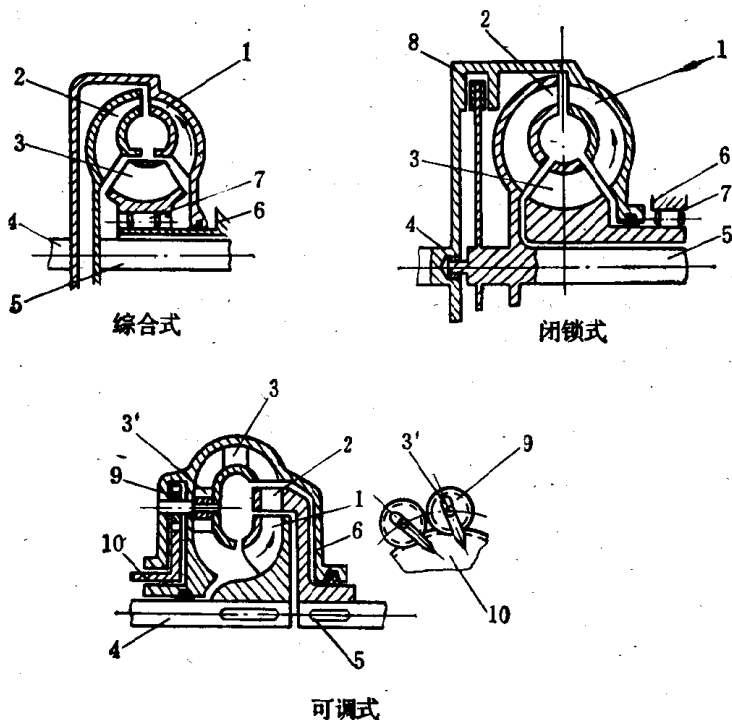


图 5 几种导轮结构不同的液力变矩器

1—泵轮，2—涡轮，3—导轮，3'—叶片可转动的导轮，4—主动轴，
5—被动轴，6—壳体，7—单向轮，8—摩擦离合器，9—小齿轮，10—
叶片转动机构的大齿轮

二、液力变矩器的工作过程

变矩器工作时，内部充满工作油（工作液体）。当发动机通过万向轴（也可以是其它方式联结）带动泵轮旋转时，

在泵轮叶片间的工作油受叶片的驱动，也一起随泵轮高速旋转，在离心力的作用下，工作油一边旋转，一边由中心沿叶片向四周甩开，从泵轮中心部分的叶片入口冲向泵轮边缘部分的叶片出口，这时，发动机的机械能传给工作油，使工作油增加了速度和压力，进而推动涡轮旋转。在此过程中，工作油将其本身能量通过涡轮又转换成机械能，经过涡轮轴及一系列传动件（链条、齿轮、皮带等）传给工作机构（如绞车、转盘和钻井泵），以提升钻具、旋转钻具和循环泥浆。工作油自涡轮流出进入导轮，然后沿着导轮叶片导引的方向流出，重新被高速旋转的泵轮吸入，再次驱动涡轮旋转（液流在泵轮、涡轮、导轮中的运动情况见图6）。工作油沿着泵轮→涡轮→导轮→泵轮的方向不断循环，这个循环空间称为变矩器的循环圆。循环圆不包括内环包围的空间（内腔），因其间液体不参加工作轮中的循环运动。

循环圆表示各工作轮的相互位置、循环通道的几何形状

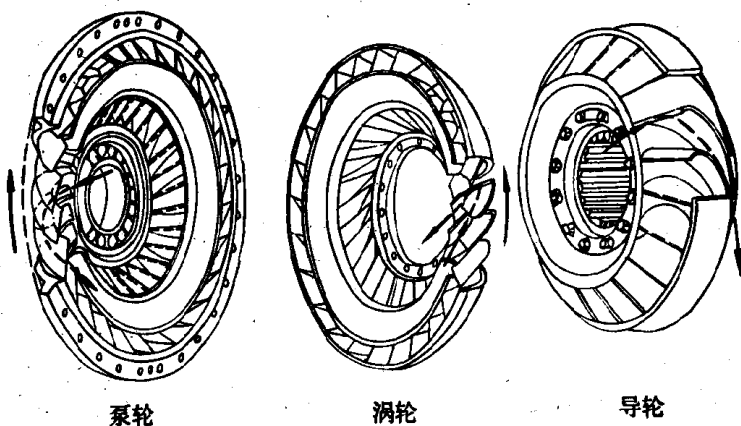


图6 液流在泵轮、涡轮、导轮内运动情况

以及各工作轮的进出口半径，它概括了变矩器的主要特征，因此某种型号的变矩器就常用其循环圆表示。图 7 和图 8 所示为循环圆的示意图，循环圆的最大直径称为循环圆的有效直径，它是一个变矩器的代表尺寸。变矩器型号中的数字（如 600、700、750）就是用毫米表示的有效直径。

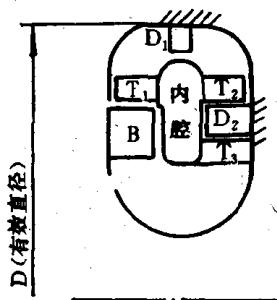


图 7 三级液力变矩器循环圆

B—泵轮， T_1 、 T_2 、 T_3 —为一、二、三级涡轮； D_1 、 D_2 —为一、二级导轮

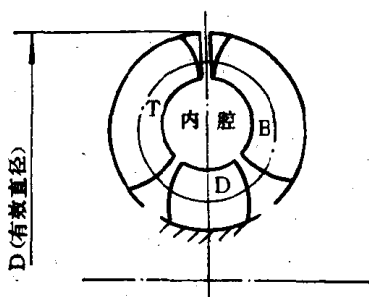


图 8 单级液力变矩器循环圆

B—泵轮，T—涡轮，D—导轮

三、液力变矩器的变矩原理

在变矩器中，载荷的表现形式是力和扭矩。比如，钻机大钩上的钻具重量，就用多少吨力或多少公斤力表示。这个重力连同游动滑车及大钩的重量，通过游动滑车及天车减少若干倍（由游动系统的传动比而定）后，传到滚筒快绳上，成为快绳拉力。大钩和快绳都是作直线运动的（图 9）。

对于旋转运动件的作用载荷一般用扭矩表示。扭矩等于外力乘上外力作用点到旋转中心的距离，即力乘力臂。如大钩上的载荷（钻具重量）传到滚筒轴上产生的扭矩 M_f ，等于快绳拉力 P 乘上滚筒半径 $D_s/2$ ，即 $M_f = P \cdot D_s/2$ 。扭矩的

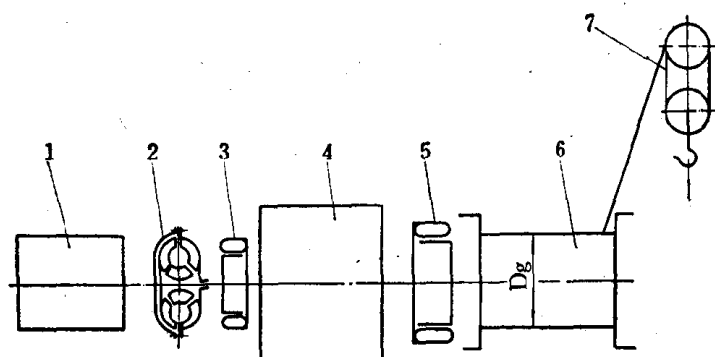


图 9 钻机提升系统传动示意图

1—柴油机；2—液力变矩器；3、5—气囊离合器；4—中间传动机构；
6—绞车滚筒；7—游动系统

单位是吨·米或公斤·米。比如用扳手拧螺钉，就是对螺钉施加扭矩，它的计算方法是扳手上的作用力 F 乘扳手的长度

l ，即 $M = F \cdot l$ (图10)。

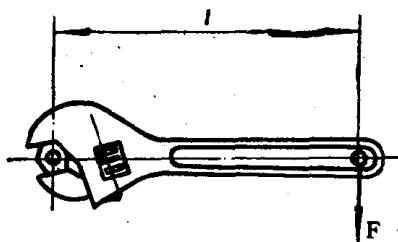


图 10 作用在扳手上的扭矩

在涡轮变矩器中，当泵轮扭矩一定时，涡轮扭矩随着外载荷的变化而变化。它可以比泵轮扭矩大 2~3 倍 (或减小)，甚至更多。这种特性主要是由于变矩器里的导轮所决定的。

为了进一步理解这个问题，需要对工作液体在循环圆内的流动情况进行分析。

首先，我们观察一股液流冲击到固定平板上时，会对平板产生一作用力 (图11)。如果平板换成小车 (图12)，在液流的冲击下小车会向前运动。若液流从小车的液箱孔中射出时，则小车在反作用力作用下而向后移动 (图13)。如果一

股液流作用在固定弯板上、由一端射入、由另一端射出（图 14），射入液流对弯板产生作用力，射出液流对弯板产生反作用力，结果液流对弯板产生一顺时针方向的扭矩。如果弯板可绕一支点转动，则弯板会在液流的扭矩作用下旋转。

当变矩器运转时，工作油在各工作轮叶片间通道（循环圆）内循环流动，泵轮旋转时，泵轮叶片驱动工作油运动，将泵轮扭矩 M_p 传给液体。工作油从泵轮进入涡轮，驱使涡轮

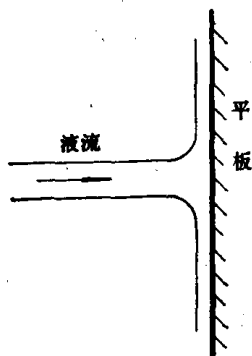


图 11 液流对平板的冲击

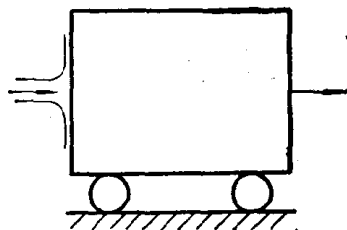


图 12 小车受力后运动示意图

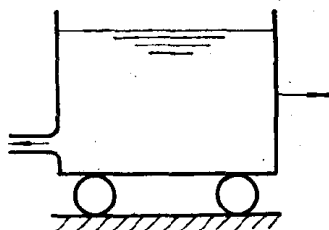


图 13 小车在反作用力作用下后退

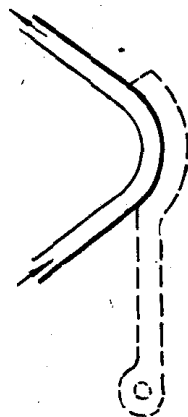


图 14 液流对弯板的作用

旋转，又将扭矩 M_B 传给涡轮。工作油自涡轮出来进入导轮时，与导轮叶片作用产生导轮扭矩 M_D 。由于导轮固定不动，并不象涡轮那样吸收这个扭矩，而是对循环的液体产生大小相等、方向相反的反扭矩。这个反扭矩与泵轮扭矩一起作用到涡轮上，因此，涡轮扭矩等于泵轮扭矩与导轮扭矩之和。

$$-M_T = M_B + M_D \text{ 或写成 } M_B + M_T + M_D = 0$$

涡轮扭矩 M_T 是液体作用于工作轮的扭矩，所以计算时前面用“-”号；泵轮扭矩 M_B 和导轮扭矩 M_D 是工作轮作用于液体的扭矩，所以计算时前面用“+”号。

这个关系式说明液力变矩器里的扭矩是平衡的，还可以看出，涡轮扭矩 M_T 比泵轮扭矩 M_B 大，它们之间的差值为导轮扭矩 M_D 。

如果没有导轮存在时（即 $M_D = 0$ ）， $-M_T = M_B$ ，即涡轮的扭矩值等于泵轮的扭矩值，也就是不能变矩。这种只有泵轮和涡轮的结构叫液力偶合器。如罗马尼亚4LD-150型钻机上，在柴油机输出端的传动箱内就装有 TA-500D₁ 型液力偶合器（图15）。偶合器的泵轮和涡轮的叶片一般都做成平直的。

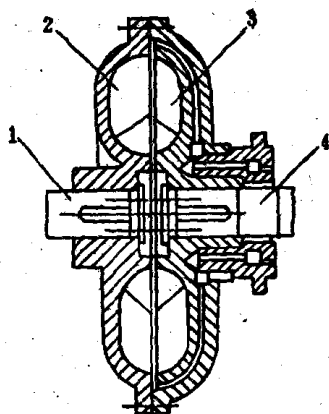


图 15 TA-500D₁ 型液力偶合器

上，在柴油机输出端的传动箱内就装有 TA-500D₁ 型液力偶合器（图15）。偶合器的泵轮和涡轮的叶片一般都做成平直的。

由此可见，变矩器由于有固定的导轮才能够变矩。这象我们用撬杠靠在固定的支点上，可以撬动比通常的人力大许多倍的重物一样。变矩器由柴油机输入扭矩给泵轮轴，在涡轮轴上可以得到大一倍至几

倍的扭矩，因而可以带动更大的载荷。这里，导轮在变矩器里的作用，就象支点对撬杠的作用一样。例如，一部钻机未装变矩器前，当柴油机开足马力时，大钩最大能提100吨重量。当装上变矩器以后，可以提150吨、200吨，甚至更大的重量。这部钻机在不装变矩器时，遇到这么大载荷不仅提不动，而且很容易把柴油机憋熄火。当钻机有了变矩器以后，负荷大时，输出轴的转速降低（大钩速度也随之降低），不仅能够提得起，且可以使柴油机运转正常，不会出现憋劲或熄火现象。因此，钻机有变矩器和没有变矩器，在性能上大不相同。

然而变矩器增大扭矩的作用，不能认为是发动机的功率增大了。柴油机与变矩器配合使用时，它输出的功率是恒定的（消耗于液体摩擦发热损失的功率除外）。变矩器的输出功率 N 等于它输出扭矩与输出轴转速的乘积：

$$N = \frac{M \cdot n}{716.2} (\text{马力})$$

式中 M ——扭矩，公斤·米；

n ——转速，转/分。

由上式可见，在功率 N 不变的情况下，涡轮轴扭矩增大时，转速就要降低。扭矩越大，转速越低；反之，扭矩越小，则转速越高。 M 和 n 的这种平缓的、无级的变化在数学上叫双曲线关系。这种特性正是钻机工作所需要的。大钩上的重量大，希望提升速度低；反之，大钩上的重量轻，则希望提升速度高。转盘转速的降低，是为了发出更大的扭矩以克服钻头在井底遇到的阻力；当阻力减小时，则转盘转速相应增高。钻井泵的压力增大，则泵的冲数相应减少，这种变化对近期发展起来的高压喷射钻井比较适宜。这种随着外载的增减，