

国外低速大扭矩油马达

上海煤矿机械研究所编



煤炭工业出版社

国外低速大扭矩油马达

上海煤矿机械研究所编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书系统阐述国外低速大扭矩油马达的结构特点、性能和相关参数,设计计算方法,测试和研究试验方法,在矿山机械、工程和起重机械、船舶和海洋机械、钻探及其它机械等方面的使用实例。

本书供使用和设计液压机械的工程技术人员学习,机械专业技术人员 and 高等院校师生也可阅读、参考。

国外低速大扭矩油马达

上海煤矿机械研究所编

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $787 \times 1092^{1/8}$ 印张 $11^{5/8}$

字数260千字 印数1—9,900

1978年6月第1版 1978年6月第1次印刷

书号15035·2148 定价0.95元

前 言

油马达有高速小扭矩和低速大扭矩两类。

低速大扭矩油马达具有运转平稳、输出扭矩大、起动效率高和结构紧凑等优点，有时还可以直接驱动工作机构，省去减速装置，使传动装置大大简化。由于在技术和经济上都有可取之处，因此，近十几年来，低速大扭矩油马达得到较大的发展和应用，结构型式和产品数量逐年增加，使用性能进一步完善。

本文集主要参考国外液压专业期刊、杂志、图书和有关技术资料编译；遵照伟大领袖和导师毛主席关于“洋为中用”的教导，对国外各种低速大扭矩油马达的结构性能、设计计算、试验方法和应用系统，作了分析和比较。阅读时希读者结合我国具体情况，从中吸取有用的东西，为发展我国液压技术服务。

在编译过程中，我们得到许多兄弟单位和同志们的大力支持和帮助，谨表示衷心感谢！

本文集由徐惠炳、江谷新同志执笔。

由于我们的思想和业务水平所限，在分析过程中可能有错误，敬请读者批评、指正。

目 录

前 言

第一章 概述 1

第一节 低速大扭矩油马达的转速和扭矩范围 4

第二节 低速大扭矩油马达的性能参数 6

第二章 低速大扭矩油马达的结构和性能 14

第一节 分类 14

第二节 结构特点和性能参数 15

第三节 几点看法 98

第三章 低速大扭矩油马达的设计计算 123

第一节 连杆式油马达 123

第二节 无连杆式油马达 143

第三节 内曲线式油马达 173

第四章 低速大扭矩油马达的测试 235

第一节 概述 235

第二节 试验方法和试验系统 242

第三节 低速大扭矩油马达的研究性试验 272

第五章 低速大扭矩油马达的应用及其液压系统 280

第一节 矿山机械 280

第二节 工程机械 302

第三节 起重运输机械 325

第四节 船舶和海洋机械 336

第五节 钻探及其它机械 348

参考资料 367

第一章 概 述

液压传动是一种新型的传动方式，它具有运动平稳、调速性能好、过载保护简单、结构紧凑、布置灵活、减少防爆要求、操作方便、容易实现自动化等优点，因此越来越广泛地应用于机床、建筑、船舶、冶金、矿山、起重运输、钻探、农机、飞机、塑料机械等行业。

近十几年来，低速大扭矩油马达得到较大的发展和应用，因为它在技术和经济上都有可取之处。例如，在输出扭矩相同时，低速大扭矩油马达比齿轮减速器的重量要轻得多（图1-1）⁽¹⁾。又如，在图1-2所示的三种传动方式，设输出功率都是50马力，采用低速大扭矩油马达直接传动，要比前两种传动方式的重量轻，而且结构布置紧凑⁽²⁾。

此外，低速大扭矩油马达低速运转平稳，转动惯性小，并且有很高的起动效率。示波仪研究表明，直接采用低速大扭矩油马达的传动，与高速叶片式或轴向柱塞式油马达和齿轮减速器组合的传动方式相比，直接采用低速大扭矩油马达传动的加速和制动时间都可缩短一半⁽³⁾。这对于某些重要、精密的传动装置，将有特别重要的意义。

低速大扭矩油马达直接传动与电动机-变速器传动的对比结果见表1-1和表1-2⁽⁴⁾。

表中没有包括泵站（油泵、阀件、管件等）与电器设备之间的比较，如果考虑这些因素，上述二种传动方式经济指标相差不多。但从结构布置，技术性能方面考虑，液压传动

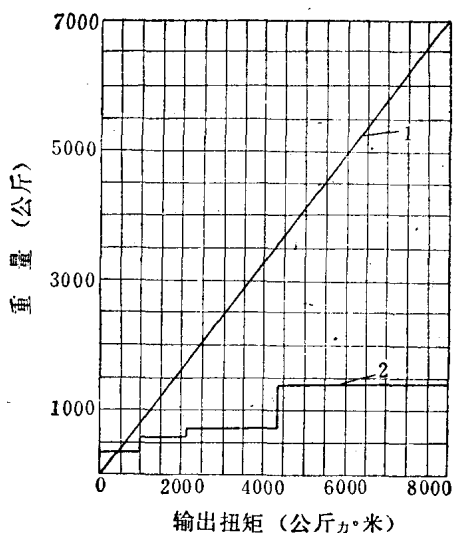


图 1-1 不同传动方式的输出扭矩-重量曲线

1—齿轮减速器；2—低速大扭矩油马达

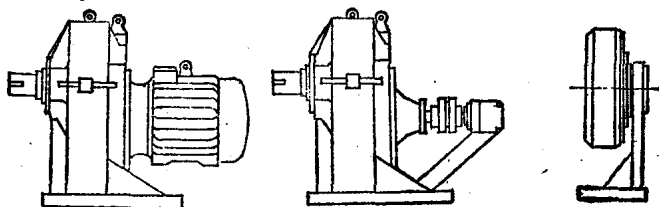


图 1-2 3 种传动方式的对比

a—电动机+减速器(功率50马力, 重量1000公斤); b—高速油马达+减速器(功率50马力, 重量725公斤); c—低速大扭矩油马达(功率50马力, 重量330公斤)

比机械传动优越。

目前, 国外液压传动设备仍以高速油马达为主, 这是

表 1-1 润滑剂搅拌机的传动方式对比

项 目		斯达法型油马达直接传动	电动机+减速器传动
油马达或电动机	功率(马力)	125	150
	转速(转/分)	100	1440
	价格(英镑)	380	720
	体积(米 ³)	0.12	0.18
	重量(公斤)	250	738
减 速 器	传动比(i)		59:4
	价格(英镑)		907
	体积(米 ³)		0.48
	重量(公斤)		1830
总 计	价格(英镑)	380	1627
	体积(米 ³)	0.12	0.66
	重量(公斤)	250	2568

表 1-2 塑料注射成型机的传动方式对比

项 目		斯达法型油马达直接传动	电动机+无级变速器传动
油马达或电动机	功率(马力)	50	50
	转速(转/分)	1~50	1440
	价格(英镑)	230	235
	体积(米 ³)	0.039	0.1
	重量(公斤)	120	480
无级变速器	传动比(i)		无级变速
	价格(英镑)		1950
	体积(米 ³)		0.72
	重量(公斤)		963
总 计	价格(英镑)	230	2185
	体积(米 ³)	0.039	0.82
	重量(公斤)	120	1443

由于高速油马达发展较早，结构比较成熟可靠，而且油泵和油马达多数为可逆元件，互换性和通用性好，成本低。

低速大扭矩制造精度和成本都较高，在低速时容积效率和制动性能不够理想，这是它的主要缺点。

近些年来，许多国家都重视低速大扭矩油马达的研究工作。在结构型式上有了发展，提高了性能和使用寿命，改进工艺，降低制造成本，数量逐年迅速增加。在各个领域的应用中显示了这种油马达的优越性。

第一节 低速大扭矩油马达的转速和扭矩范围

低速大扭矩油马达的转速和扭矩范围并没有统一的规定，各种资料介绍差别甚大。例如，瑞典赫格兰德油马达，转速0~300转/分，扭矩300~12600公斤力·米；丹麦奥比托油马达，转速5~750转/分，扭矩11~42公斤力·米；日本东芝HTM油马达，转速0~1200转/分，扭矩55~255公斤力·米。

资料〔5〕表明，凡 $\frac{\text{扭矩 } M}{\text{最大角速度 } \omega_{\max}}$ 值大于0.05

公斤力·米·秒/秒的，都应算作低速大扭矩油马达。如果按照这一方法区分，许多无铰轴向柱塞式油马达也应算是低速大扭矩油马达，如西德布吕宁浩斯740型油马达，扭矩 $M = 129$

公斤力·米，最高转速 $n_{\max} = 1200$ 转/分， $\frac{M}{\omega_{\max}} = 1.03$

公斤力·米·秒/秒；反之，通常认为是低速大扭矩油马达的法国萨姆内曲线式油马达就不能算是低速大扭矩油马达了，因为萨姆M107-5型油马达的扭矩 $M = 2.2$ 公斤力·米，最高转

速 $n_{\max} = 750$ 转/分， $\frac{M}{\omega_{\max}} = 0.028$ 公斤力·米·秒/秒。

资料〔6〕认为应根据运动学和结构特征来区分,所有多作用径向柱塞式油马达和带星形缸体的单作用偏心式油马达,都应是低速大扭矩油马达。这一区分方法没有考虑转速和扭矩两个数量因素。如前面所说的奥比托油马达属于内啮合齿轮式,东芝HTM油马达属于轴向柱塞式,最新发展的美国派克·汉尼芬油马达,是一种轴向柱塞式油马达与一齿差偏摆齿轮减速器组合的油马达;就它们的运动学和结构特征来说,如按资料〔6〕的区分方法都不属于低速大扭矩油马达,实际上它们都能达到低速大扭矩的传动要求。

据统计,目前国外各种低速大扭矩油马达的最低转速都小于15转/分,最高转速却根据结构的不同而在较大的范围内变化。如果用转速比(n_{max}/n_{min})来表示,一般叶片式和内啮合齿轮式低速油马达为50~200,而径向或轴向柱塞式低速油马达为1000~2000,甚至可达10000〔7〕,与同类型的高速油马达相比,这些马达具有较大的转速比。低速油马达的扭矩范围也很宽,小到5~10公斤力·米,大到10000~24000公斤力·米。扭矩的下限值与一般的高速油马达接近。

对于各种不同的机械,转速和扭矩的含义是不一致的。例如,普通的金属切削机床用的油马达为200转/分和100公斤力·米,应该算是低速大扭矩了,可是对于大型的采掘机械,无论是行走机构,或是工作机构,200转/分的转速就显得很高,然而100公斤力·米的扭矩是微不足道的。

日本对建筑机械使用的油马达作如下的规定〔8〕:

1. 高速油马达 800转/分以上(配1:10~1:30减速器);
2. 中速油马达 100~800转/分(配1:2~1:5减速器);
3. 低速油马达 100转/分以下(直接传动)。

以上3种传动方式的最后输出转速都在100转/分左右。

这种划分方法基本上符合于工程、矿山、起重等机械的使用范围。但是，对扭矩的范围也没有作具体的规定。

通过以上初步分析，得出下列两点看法：

1. 低速油马达和高速油马达的主要区别是转速和转速范围（或转速比），扭矩的大小没有明确的界限。
2. 凡能在100转/分以下平稳运转的油马达，无论其运动学和结构特征如何，都可算作低速油马达。转速为100～800转/分时，叫做低速油马达中速范围运转；在800转/分以上时，叫做低速油马达高速范围运转。

第二节 低速大扭矩油马达的性能参数

国外液压技术总的趋势，是朝着提高液压元件的可靠性和效率，减少振动和噪音，提高油泵的转速和压力，提高油马达的低速稳定性和转速范围，增大元件的容量，延长元件的使用寿命，降低制造成本，扩大使用范围，发展小型化、组合化以组成紧凑的液压集成系统等方面发展⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。

低速大扭矩油马达是一种主要液压元件，它的发展和应用，与其它液压元件（如油泵、阀门、管件、密封、滤油器等）的水平和液压油的发展有很大的关系。下面综合介绍目前国外低速大扭矩油马达的性能参数指标。

一、压 力

近几年来，齿轮泵的最高工作压力已达210公斤力/厘米²，少数为280公斤力/厘米²；内啮合齿轮泵的最高工作压力已达300公斤力/厘米²；叶片泵的最高工作压力已达175～300公斤力/厘米²，少数为400公斤力/厘米²；柱塞泵的最高工作压力已达210～350公斤力/厘米²，少数为500～700公斤力/厘米²。

低速大扭矩油马达的最高工作压力，如内啮合齿轮式已达 $140\sim 175$ 公斤力/厘米²，少数为 $210\sim 315$ 公斤力/厘米²；叶片式已达 $140\sim 210$ 公斤力/厘米²，少数为 280 公斤力/厘米²；柱塞式已达 $210\sim 350$ 公斤力/厘米²，少数为 $400\sim 450$ 公斤力/厘米²。预计10年后，柱塞式油马达工作压力可达 500 公斤力/厘米²，最高工作压力可达 700 公斤力/厘米²〔12〕。

液压元件的压力趋向高压化，这与各种机械要求大功率和小型化有关，但是，提高压力将使元件的寿命显著下降，重量也有所增加。因此，从寿命和重量等方面考虑，实用的最高压力大致为 350 公斤力/厘米²，实用的压力极限不会超过 500 公斤力/厘米²，除非出现划时代材料。而目前作为经济压力应是 $140\sim 175$ 公斤力/厘米²〔13〕。因此，应致力于在经济压力下提高液压元件的性能和寿命，降低制造成本，以满足各种机械的使用要求。

为保证液压系统的可靠性和使用寿命，液压系统设计时所选用的压力，往往比各元件性能所规定的额定（或最高）压力低一些。从国外报道的技术资料和引进的机械设备中都可以看到这种倾向。

二、转 速

低速大扭矩油马达的转速指标是最低稳定转速和转速范围。由于各种油马达的结构不同，以上两个指标也各有不同，统计数据列于表1-3。

三、扭 矩

由于低速大扭矩油马达的应用范围日益扩大，一些大型设备往往需要采用低速大扭矩油马达直接传动，以省去笨重

表 1-3 低速大扭矩油马达的转速范围

油 马 达 类 型		转 速 (转/分)	
		最 低	最 高
单作用	径向柱塞式	0.25~10	750(1150)
	轴向柱塞式	5~10	600(1200)
多作用	径向柱塞式	0.1~1	100(800)
	轴向柱塞式	0.1~1	600(1000)
	内啮合齿轮式	5~10	750(840)
	叶片式	10~15	150(400)

注：①油马达的最低转速，在原始资料中介绍均可为零，但实际上低速稳定性和效率将显著下降。表中所列的最低转速范围，是根据不同油马达的结构特点和性能曲线的分析统计数据；

②多作用径向柱塞式油马达如装有特制的低速控制阀，最低转速可达0.01转/分。

的减速装置。因此对油马达扭矩的要求也越来越大。目前国外单作用油马达的扭矩已达6300~7870公斤力·米，多作用油马达的扭矩已达12600公斤力·米；在苏联公布的油马达系列中，扭矩已达15400~24000公斤力·米，但未见产品报道。随着机械制造技术的发展，材料性能和工艺水平（尤其是热处理和特种表面处理工艺）的提高，预计将会有更大扭矩的

表 1-4 国外最大的油马达性能参数对比

	型 号	排 量 (升/转)	压 力 (公斤力/厘米 ²)	扭 矩 (公斤力·米)	转 速 (转/分)	最大径 向尺寸 (毫米)	重量 (公斤)
波兰	SHT-6300	24.75	160~200	6300~7870	2~60	1120	2280
瑞典	8385	38.10	210	12600	0~16	1100	1450
捷克	HM52.5	52.50	80~120	6670~10000	0~15	980	1850
苏联	ПГЦ-20	62.60	200	20000	0~6	1800	5000
苏联	MP-63	63	160~250	15400~24000	0~60	1000	2850

注：表中所列除波兰SHT-6300型为单作用斯达法式油马达外，其余都是多作用内曲线式油马达。

油马达出现。表1-4是目前国外最大的油马达性能参数对比。

四、效 率

效率是油马达最重要的经济指标，也是油马达综合因素的性能指标。效率值与油马达的负荷工况（压力和转速）有很大关系。概括地说，油马达的泄漏量随压力的增高而增加，与轴的转速无关，因此容积效率相应地降低。当提高油马达的转速，可以增加油马达的进口流量，泄漏量相对地就显得较小，因此可以提高油马达的容积效率。油马达的机械效率随压力的增高而提高，因为这时油马达输出的理论扭矩增加，大大超过摩擦（损失）扭矩的增加。当转速提高（超过额定转速），因油马达内部管道和配流系统流速增大而受到局部阻力造成压力损失（液压损失），致使机械效率降低。

以上所说的油马达效率，并没有考虑其它各种因素（油马达结构型式、结构参数、液压油的性能等）的影响。因此，对于各种低速大扭矩油马达的效率（容积、机械和起动效率）只能作一般比较。国外的资料报道中，油马达的各种效率都很接近，但分析一下油马达的性能曲线，可以看出高效率只是在一定的区域之内。因此应该根据等效率曲线，来确定油马达最合理、最经济的使用范围（压力和转速）。

国外几种典型低速大扭矩油马达的各种效率（附其它性能参数）对比见表1-5。由表中可以看出：

1. 除内啮合齿轮式和叶片式油马达的效率较低外，其它类型的油马达效率都很接近（容积、机械效率约95%；总效率约90%）；

2. 内曲线式油马达和采用静压平衡原理设计的卡尔松尼和茹雷夫油马达具有较高的起动效率（约95~98%）。斯

表 1-5 国外典型的低速大扭矩马达效率对比(14)

结构型式		单作用油马达				多作用油马达						
典型产品	日 本 川崎斯达达	英 国 罗斯通	意 大 利 卡尔松尼	瑞 典 茹雷夫	英 国 道马斯	日 本 住友	芬 西	法 国 朴克兰	瑞 典 赫格兰	英 国 卡龙	丹 麦 奥比托	日 本 东京计器
型 号	SX509BM	41ASI	MR1800N	M84	MK-2	RB500J	AM177020	2000	2150	300	OMS	MHT150-75/75
排量(毫升/转)	2100	1916	1809	1995	1868	2310	2000	2000	2360	328	290	1860
容积效率(%)	96.8	95	95	94	95	95	95	95	95	95	95	90
机械效率(%)	93	95	95	96	96	95	95	95	95	95	80	85
总效率(%)	90	90	90	90.3	91.2	90	90	90	90	90	76	76.5
启动效率(%)	85	90	98	97.5	90	90~95	98	98	98	80~85	80~85	80~85
压力 (公斤力/厘米 ²)	210 245	175 285	210 250	210 300	210 245	140 210	200 250	300 400	100 250	140 210	80 105	140 190
转速 (转/分)	5~10 200	2 275	0.5 220	3.5 520	5~10 200	0.5 120	0.5 125	0.5 75	0.5 100	1 600	5~10 245	10~15 250
重量(公斤)	210	317	205	289	270	220	170	270	350	22	14.5	162.4
单位排量的重量 (公斤/毫升)	0.10	0.16	0.11	0.145	0.14	0.095	0.085	0.135	0.14	0.067	0.05	0.08
外形尺寸 轴 向 径 向	493 540	595 579	504 538	341 610	528 430	525 460	666 446	475 560	340 634	213 158	265 114	363.7 345
结构特点	连杆式	无连杆 式(静压平衡)	摆缸式 (静压平衡)	滚柱式 (静压平衡)	双斜盘 轴向柱 塞式	内曲线式 (柱塞传力)	内曲线式 (横梁传力)	内曲线式 (横梁传力)	内曲线式 (横梁传力)	内曲线式 (柱塞传力)	内啮合 齿 轮 式	叶片式

注: 表中除丹麦奥比托和英国卡龙油马达外, 其余油马达的排量都在2000毫升/转左右。

达法、罗斯通和道马斯油马达的起动效率较低(约85~90%)。内啮合齿轮式和叶片式油马达的起动效率约80~85%。

五、寿 命

寿命和效率一样,也是油马达最重要的技术经济指标。寿命的长短对油马达的使用和推广有很大关系。

国外油马达(或油泵)还没有一个统一的计算寿命,确定寿命的标准和试验方法也不一致。例如,齿轮式和轴向式油泵的压力是不平衡的,不平衡力作用在轴承上,因此寿命大致上可以用轴承的计算寿命来决定。对平衡型的叶片泵就没有一个明确的计算寿命。日本油压工业会叶片泵小组委员会对这种泵的寿命问题曾做过审议,但也只能笼统地认为当定子出现异常磨损就是寿命极限^[15]。又如某些单作用径向柱塞式油马达,由于摩擦副采用了静压平衡原理设计,摩擦副零件处于静压轴承的工作条件,零件在保证足够的机械强度和耐磨性的条件下,其寿命在理论上是“无限”的。因此,油马达的寿命可按主轴承计算寿命来决定。对于某些多作用径向柱塞式油马达(内曲线式),由于本身径向液压作用力完全或近似处于平衡(不考虑外载的影响),油马达主轴承的寿命问题不大,所以油马达的寿命主要取决于柱塞副的滚轮(轴承)寿命及导轨寿命。

资料[16]提供了国外油马达的估计寿命(见表1-6)。表中全负荷的寿命数据是偏高的;而半负荷与全负荷的寿命并不是一倍的关系,有的甚至相差数十倍。

下面列举一部分国外低速大扭矩油马达寿命进行对比。

1. 单作用油马达

1) 英国斯达发油马达的计算寿命3000~5000小时。

表 1-6 国外油马达的估计寿命

负 荷 工 况	外啮合齿轮式	内啮合齿轮式	叶片式	径向柱塞式	轴向柱塞式
全负荷估计寿命 (小时, 基于轴承)	2000~5000	2000~5000	3000~ 6000	7000~ 15000	7000~ 15000
半负荷估计寿命 (小时, 基于轴承)	5000~10000	5000~10000	7000~ 15000	15000~ 25000	15000~ 25000

2) 英国罗斯通油马达 (或日本岛津HT油马达) 在最高转速和额定压力时的计算寿命在6000小时以上。

3) 意大利卡尔松尼油马达从轴承寿命计算图表求得, 在最高转速和额定压力 (210公斤力/厘米²) 时的寿命 1500~3000小时; 在额定转速和150公斤力/厘米²时的寿命约 8000~12000小时; 当输出轴承受较大的径向载荷时, 油马达寿命将显著下降。

4) 意大利沙埃油马达的寿命在5000小时以上。

2. 多作用油马达

1) 法国扑克兰油马达在额定转速和额定压力 (300公斤力/厘米²) 时的计算寿命为10000小时。

2) 瑞典赫格兰德油马达的寿命取决于滚轮的寿命, 标准寿命为10000小时。各种不同规格的油马达在额定转速和100公斤力/厘米²时的计算寿命, 分别在 3400~41000小时的范围内。

3) 英国卡龙钢球油马达在正常工作条件和全负荷时的寿命为3000~3500小时。

以上数据多为计算寿命, 少数为统计寿命, 一般都缺少实际的试验寿命数据。影响油马达的寿命因素很多, 其中主要因素是压力、转速、径向载荷和工况变化情况。