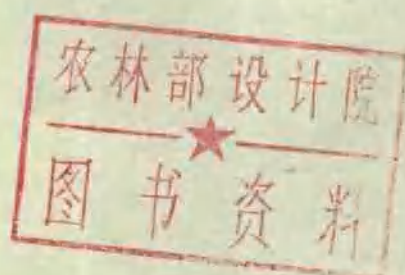


编号	95-242
张数	
归档日期	

磁粉离合器

译文集



第一机械工业部情报所

目 录

一、ZKA型、ZKB型磁粉离合器和 ZKB型磁粉制动器

1. 前言	1
2. 标准规格和外廓尺寸	1
3. 构造和作用原理	1
4. 特性	10

二、ZKG 微型磁粉离合器及其应用

1. 前言	17
2. 构造	17
3. 外廓尺寸和规格	18
4. 特性	20
5. 用途	24

三、用电磁离合器、制动器控制张力的设计

1. 张力控制系统	27
2. 张力控制装置	27
3. 磁粉离合器、制动器	29
4. 磁粉离合器、制动器的选定	35
5. 应用实例	37

四、磁粉离合器

第一章 磁粉离合器的构造	40
第二章 磁粉离合器用的材料	
主要零件	56
填料	59
第三章 磁粉离合器的计算	
确定参数	62
磁路计算	65
过渡过程的主要关系	70
磁粉离合器在动力传动装置中工作的动力学	74
发热状态	80
第四章 离合器的控制和调速	
基本特性	87
控制	89
传动装置的调速	92
第五章 磁粉离合器的试验	
试验方法的简短说明	95
试验台试验	96
生产试验	99

ZKA 型、ZKB 型磁粉离合器 和 ZKB 型磁粉制动器

1. 前 言

作为使工业机械和工作母机等自动化的机械元件，可以采用的离合器的型式有好多种，但特别是就传递力矩（以下简称力矩）的控制和操作等问题来说，原有一些离合器不能完全满足使用要求。这里要介绍的磁粉离合器，适合使用要求，可以控制激磁电流来任意调整力矩，并且两者的关系大致成比例，另外，不论滑差速度多大，力矩都大致一定，等等。因此，这是一种大有希望应用于新的方面的离合器。

磁粉离合器是德国人傅格（1943 年）和美国人拉比诺（1947 年）发明的，但是，直到 1962 年 12 月，磁粉离合器的专利权所有者英国的史密斯父子公司和德国通用电气公司进行技术合作，才开始得到发展。最近，作为一般工业用标准产品，制成了 ZKA—A₁ 型（线圈旋转式）、ZKB—A₁ 型（线圈静止式）磁粉离合器和 ZKB—Y 型磁粉制动器，故在此作一介绍。

2. 标准规格和外廓尺寸

2.1 尺寸和性能

在磁粉离合器系列方面，发展了线圈旋转式的 ZKA 型离合器、线圈静止式的 ZKB 型离合器和制动器等。图 2.1、2.2 和 2.3 所示，是它们的具有代表性的照片；表 2.1~2.3 所列，是各型的外廓尺寸；又表 2.4、2.6 所列，是它们的性能。



图 2.1 ZKA 型磁粉离合器



图 2.2 ZKB 型磁粉离合器



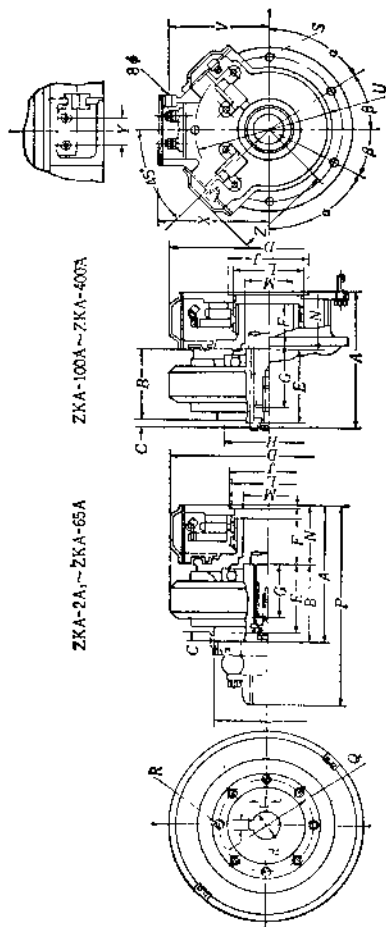
图 2.3 ZKB 型磁粉制动器

3. 构造和作用原理

3.1 构造和作用原理

磁粉离合器的构造如图 3.1 所示，主动件与从动件隔一定间隙配置在一个同心圆上，两件分别用轴承支承，使之均能自由旋转。间隙（这个间隙称为磁粉间隙）中充填导磁率高、耐热性好的磁粉，在主动件内（参看图 3.1）或主动件的外围（参看图 3.2）放置激磁线圈，使得磁通通过磁粉，构造就是这样极其简单。线圈、主动件、从动件等这些部件的结构形式有好多种，但本公司（指三菱电机股份有限公司—译注）采用下面两种形式：

表 2.1 ZKA型磁粉离合器的外形尺寸

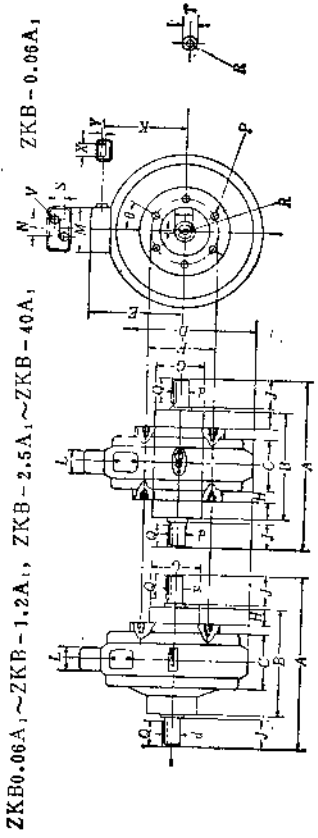


ZKA-2A₁~ZKA-65A ZKA-100A~ZKA-400A

单位: 毫米

型 号	A	B	C	D	E	F	G 最 小	H (g7)	J (H7)	K	L	M	N	P	Q	R 螺 纹 规 格 (H7) 外 径 头 数	d $\begin{pmatrix} +0.2 \\ -0 \end{pmatrix}$	T (E9)	U	S (φ)	V	X	Y	Z	α (°)	β (°)		
ZKA-2A	127.5	73	10	152	62	45	40	110	80	4	75	52	54.5	207.5	100	5	6	20	226	6	104	5.5	75	88	30	76	60	30
ZKA-6A	156	112	10	215	102	36	55	140	104	4	100	70	44	256	128	6	6	30	33	8	132	5.5	90	109	15	88.5	60	30
ZKA-10A	183.5	132.5	20	255	116.5	43	60	170	104	4	100	70	51	312.5	150	8	6	35	39	10	132	5.5	90	109	15	88.5	60	30
ZKA-20A	201	150.5	20	300	131.5	42.5	80	218	104	4	100	73	50.5	356	200	8	6	45	49	12	132	5.5	90	109	15	88.5	60	30
ZKA-45A	260.5	193.5	20	365	170	54	110	270	150	4	130	102	67	444	242	12	8	60	66.5	18	208	9	135	154	15	132	60	30
ZKA-65A	280.5	213.5	20	405	190	54	120	295	150	—	130	102	67	—	260	12	8	60	66.5	18	208	9	—	—	—	132	60	30
ZKA-100A	305	227	7	455	235	58	150	185	200	—	170	110	71	—	210	12	8	80	88.5	24	230	9	—	—	—	134	60	30
ZKA-200A	421.5	323	7	470	331	78.5	210	185	200	—	170	110	90.5	—	210	12	8	90	98.5	24	230	9	—	—	—	147	60	30
ZKA 400A	—	413	7	575	402	85	250	220	200	—	210	135	107	—	270	20	8	100	110	28	220	9	—	—	—	167	45	15

表 2.2 ZKB型磁粉离合器的外形尺寸



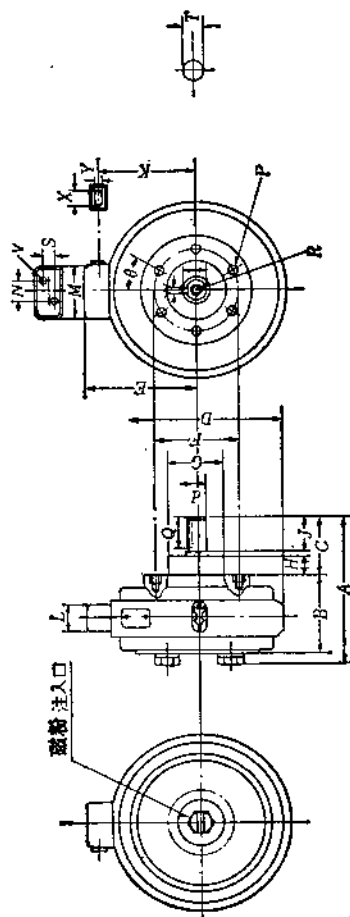
单位: 毫米

型 号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	S	D			键			R		X	Y	V		d (h7)	
																螺栓 外径	螺钉 头数	螺钉 有效 长度	W (P7)	T 0 (-0.2.3)	Q	固定键用的螺钉 螺栓 外径	螺钉有 效深度			接柱螺钉 螺栓 外径	螺栓 头数		
ZKB 0.06A ₁	132	80	40	94	74	55	33	15	22	63	33	53	10	14	14	5	6	10	30	—	7	20	—	—	12	4	4	2	8
ZKB-0.3A ₁	154	98	42	112	83	64	42	14	22	72	33	53	10	14	14	5	6	10	30	4	11.5	20	3	6	12	4	4	2	10
ZKB 0.6A ₁	164	100	54	134	95	64	42	14	26	84	33	53	10	14	14	5	6	10	30	4	13.5	24	4	8	12	4	4	2	12
ZKB-1.2A ₁	192	124	58	152	104	64	42	15	28	93	33	53	10	14	14	6	6	10	30	4	13.5	25	4	8	12	4	4	2	12
ZKB-2.5A ₁	230	136	68	182	119.5	78	55	17	41	108.5	33	53	10	14	14	6	6	10	30	5	17	40	5	15	12	4	4	2	15
ZKB-5A ₁	294	172	85	219	138	100	74	30	53	127	33	53	10	14	14	6	6	10	30	7	23	50	6	15	12	4	4	2	20
ZKB-10A ₁	360	216	98	290	174	140	100	28	65	163	33	53	10	14	14	10	6	15	30	7	33	60	10	20	12	4	4	2	30
ZKB-20A ₁	408	250	128	335	197	150	110	30	69	186	33	53	10	14	14	10	6	15	30	10	38.5	60	10	20	12	4	4	2	35
ZKB-40A ₁	500	292	158	398	229	200	130	35.5	92	218	33	53	10	14	14	12	8	25	22.5	12	48	85	10	20	12	4	4	2	45

单位: 毫米

表 2.3 ZKB型磁粉离合器外部尺寸

ZKB-0.06Y



单位: 毫米

型 号	A	B	C	D	E	F	G (g7)	H	J	K	L	M	N	S	P				键			R		X	Y	V		d (h7)	
															螺栓 外径	头数	有效 深度	螺 钉 有效 深度	θ°	W (P7)	T 0 -0.23	Q	螺 纹 外径			螺 纹 有 效 深 度	螺 纹 柱 螺 钉 螺 纹 头 数		
ZKB-0.06Y	93	48	41	94	74	55	33	15	22	63	33	53	10	14	5	6	10	30	—	7	20	—	—	12	4	4	4	2	8
ZKB-0.3Y	102	56	42	112	83	64	42	14	22	72	33	53	10	14	5	6	10	30	4	11.5	20	3	6	12	4	4	4	2	10
ZKB-0.6Y	114	64	46	134	95	84	42	14	26	84	33	53	10	14	5	6	10	30	4	13.5	24	4	8	12	4	4	4	2	12
ZKB-1.2Y	130.5	76	49	152	104	64	42	15	28	93	33	53	10	14	6	6	10	30	4	13.5	25	4	8	12	4	4	4	2	12
ZKB-2.5Y	155	85	64	182	119.5	78	55	17	41	108.5	33	53	10	14	6	6	10	30	5	17	40	5	15	12	4	4	4	2	15
ZKB-5Y	198	102	91	214	138	100	74	30	53	127	33	53	10	14	6	6	10	30	7	23	50	6	15	12	4	4	4	2	20
ZKB-10Y	238.5	135	100	290	174	140	100	28	65	163	33	53	10	14	10	6	15	30	7	33	60	10	20	12	4	4	4	2	30
ZKB-20Y	271.5	159	109	335	197	150	110	30	69	186	33	53	10	14	10	6	15	30	10	38.5	60	10	20	12	4	4	4	2	35
ZKB-40Y	332.5	189.5	139.5	398	229	200	130	35.5	92	218	33	53	10	14	12	8	25	22.5	12	48	85	10	20	12	4	4	4	2	45

表 2.4 ZKA型磁粉离合器性能表

型 号	公称传递力矩 (公斤·米)	激 磁 线 圈				时间常数 (秒)	旋转部分GD ² (公斤·米 ²)		重 量 (公斤)
		电 压 (伏)	电 流 (安)	电 阻 (欧/20℃)	消费电力 (瓦)		输 入 端	输 出 端	
ZKA-2A ₁	2	24	0.65	37.2	16	0.2	0.074	0.0052	6.5
ZKB-6A ₁	6	24	1.71	14	41	0.25	0.35	0.037	14.5
ZKB-10A ₁	10	24	2.5	9.6	60	0.32	0.8	0.08	23.5
ZKB-20A ₁	20	24	2.45	9.8	59	0.4	1.7	0.2	37.5
ZKB-45A ₁	45	24	2.28	10.5	55	0.5	4.25	0.55	84.0
ZKB-65A ₁	65	75	0.74	10.1	55.5	0.7	8.5	1.0	120
ZKB-100A ₁	100	75	2.02	37.2	150	1.0	15	1.75	196
ZKB 200A ₁	200	75	4.44	16.9	330	1.8	34	3.9	352
ZKB 400A ₁	400	75	5.4	13.9	405	1.9	90	13.7	600

表 2.5 ZKB型磁粉离合器性能表

型 号	公称传递力矩 (公斤·米)	激 磁 线 圈				时间常数 (秒)	旋转部分GD ² (公斤·米 ²)		冷却方式	重量 (公斤)
		电 压 (伏)	电 流 (安)	电 阻 (欧/20℃)	消费电力 (瓦)		输 入 端	输 出 端		
ZKB-0.06A ₁	0.06	24	0.58	41.17	13.9	0.025	2.43×10^{-4}	0.36×10^{-5}	自然冷却 (密封式)	2
ZKB-0.3A ₁	0.3	24	0.845	28.4	20.3	0.03	9×10^{-4}	1.15×10^{-4}		3
ZKB-0.6A ₁	0.6	24	1.43	16.8	34.3	0.06	2.71×10^{-3}	9.8×10^{-4}		5
ZKB-1.2A ₁	1.2	24	1.73	13.8	41.5	0.10	5.13×10^{-3}	1.81×10^{-3}		6.5
ZKB-2.5A ₁	2.5	24	2.24	10.7	53.7	0.10	1.64×10^{-2}	7.1×10^{-3}		10.5
ZKB-5A ₁	5	24	3.4	7.06	81.5	0.11	4.22×10^{-2}	1.9×10^{-2}	自然冷却 (敞开式 带风扇)	18.5
ZKB-10A ₁	10	24	4.4	5.45	105.5	0.21	1.4×10^{-1}	7.35×10^{-2}		4.4
ZKB-20A ₁	20	24	4.6	5.22	110	0.3	3.7×10^{-1}	2.3×10^{-1}		62.5
ZKB-40A ₁	40	24	6.1	3.94	146.4	0.4	9.7×10^{-1}	6×10^{-1}		85

表 2.6 ZKB型磁粉制动器性能

型 号	制动力矩 (公斤·米)	激 磁 线 圈				时间常数 (秒)	旋转部分GD ² (公斤·米 ²)	冷却方式	重 量 (公斤)
		电 压 (伏)	电 流 (安)	电 阻 (欧/20℃)	消费电力 (瓦)				
ZKB-0.06Y	0.06	24	0.58	41.17	13.9	0.025	2.43×10^{-4}	自然冷却 (密封式)	1.2
ZKB-0.3Y	0.3	24	0.845	28.4	20.3	0.03	9×10^{-4}		2.4
ZKB-0.6Y	0.6	24	1.43	16.8	34.3	0.06	2.71×10^{-3}		4
ZKB-1.2Y	1.2	24	1.73	13.8	41.5	0.10	5.13×10^{-3}		5.2
ZKB-2.5Y	2.5	24	2.24	10.7	53.7	0.10	1.64×10^{-2}		8.4
ZKA-5Y	5	24	3.4	7.06	81.5	0.11	4.22×10^{-2}	自然冷却 (敞开式 带风扇)	15.2
ZKA-10Y	10	24	4.4	5.45	105.5	0.21	1.4×10^{-1}		35
ZKA-20Y	20	24	4.6	5.22	110	0.3	3.7×10^{-1}		50
ZKA-40Y	40	24	6.1	3.94	146.4	0.4	9.7×10^{-1}		68

3.1.1 线圈旋转式 (ZKA型离合器)

图 3.1 是它的构造图。由于激磁线圈直接安置在主动件内, 所以尺寸上安排紧凑, 并且由于磁路中的间隙只有磁粉间隙, 所以所需激磁电流较小。但因线圈旋转, 必须采用电刷和滑环构成的馈电装置。另外, 在主动件与从动件之间装有轴承, 而当离合器完全连接时, 两者成为一体, 所以这时轴承就成了不起作用的零件。

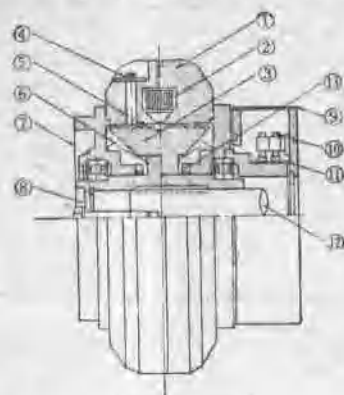


图 3.1 ZKA 型磁粉离合器构造图

1—主动件; 2—激磁线圈; 3—从动件;
4—磁粉注入入口; 5—磁粉间隙; 6—迷宫式密封; 7—输入端托架; 8—热面;
9—电刷罩; 10—电刷; 11—滑环; 12—输出轴; 13—永久磁铁橡皮密封圈

3.1.2 线圈静止式 (ZKB 型离合器和制动器)

图 3.2 是它的构造图。主动件和线圈分开, 主要组成部分定为定子 (线圈装在定子内)、主动件和从动件 (图 3.3、3.4、3.5)。因为除磁粉间隙外, 还有空气间隙, 所以需要较大的激磁电流, 线圈、外廓尺寸也都比较大, 而主动件的转动惯量则可减小。力矩在 2.5 公斤米以下的小型离合器和制动器, 外壳构造是全部密封的; 力矩更大的, 为增大热容量起见, 就在输出端托架内部的主动件上装风扇来冷却, 做成敞开式构造。冷风从输出端托架进来, 通过空气间隙, 冷却离合器内部后, 从输入端托架的排气口出来。图 2.3 的磁粉制动器, 是把从动件固定在输出端托架上。输入端的构造与离合器相同, 以期做到标准化。

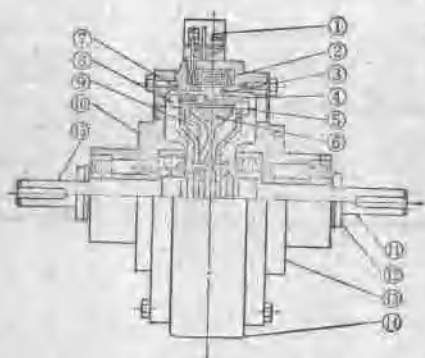


图 3.2 ZKB 型磁粉离合器构造图

1—接线柱; 2—激磁线圈; 3—空气间隙;
4—主动件; 5—磁粉注入入口; 6—从动件;
7—磁粉间隙; 8—冷却风扇; 9—迷宫式密封;
10—输出端托架; 11—输入轴; 12—轴承压盖螺母; 13—输入端托架; 14—定子; 15—输出轴



图 3.3 定子



图 3.4 主动件



图 3.5 从动件

3.1.3 作用原理

在无激磁状态下使主动件旋转时, 磁粉因离心力而被压在主动件工作面上, 不与从动件有任何连接。这种断开状态如图 3.6 所示。将直流电接通线圈, 则如图 3.7 所示产生磁通, 磁粉在转瞬间沿磁通连接成链状。靠这时磁粉间的连接力和磁粉与工作面之间的摩擦力, 把力矩从输入端传到输出端。

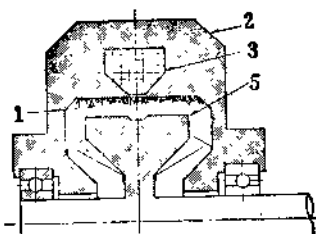


图 3.6 断开状态

1—磁粉；2—主动件；3—激磁线圈；
5—从动件

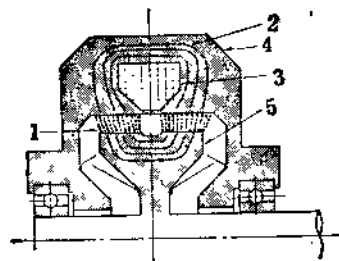


图 3.7 连接状态

1—磁粉；2—磁通；3—线圈；4—
主动件；5—从动件

3.2 在构造上要注意的问题

3.2.1 线圈绝缘

激磁线圈采用B级或B级以上的绝缘。在ZKA型磁粉离合器中，在铝框架上衬以玻璃带，上面绕聚脂线，绕成的线圈用环氧树脂浸渍，然后用螺钉紧固在主动件内，使它能承受因旋转产生的振动。在ZKB型磁粉离合器中，用聚酯线绕成线圈后再用玻璃带进行包扎绝缘，然后进行环氧树脂真空浸渍处理。另外，使用聚四氟乙烯线作引导线。

3.2.2 工作面

与磁粉直接接触而传递力矩的主动件和从动件的工作面，采用粗糙面，或为了防止磨损起见，镀上厚40~50μm的硬质铬。另外，在从动件工作面上，加工出如图3.5所示的沟槽，沟槽的稀密根据磁粉的分布安排，目的在于激磁电流断开后能拆开磁粉的连接，使离合器有良好的断开特性。沟槽形状和大小等均由实验确定。

3.2.3 轴承

从使用上看，无论是离合器还是制动器，轴承的耐久性与磁粉一样，也是重要问题之一。有时滚珠部分的温度超过100°C，还要连续使用，另外，如有油流出混入磁粉，就要使特性降低，因此提到润滑剂，希望采用耐热性好的并且在高温下仍有适当稠度的黄油。为了满足这一要求，可采用加约10%减摩剂二硫化钼的硅润滑脂，还要特别考虑到因高温引起的热膨胀，轴承间隙可采用C₃。

3.2.4 防止磁粉泄漏的构造

为了防止磁粉从工作面附近泄漏，采用了迷宫式密封，因构造上不是摩擦密封，故无空转力矩，离合器的断开性能良好。通常把迷宫式密封两层或三层重叠使用，并且在轴承前部安装永久磁铁橡皮密封圈，以防泄漏的磁粉侵入轴承部分。

3.2.5 磁粉

磁粉在离合器性能上是一个非常重要的因素。特别是它大大左右着力矩性能、断开性能和耐久性。在性能上对磁粉的要求是：

- (1) 在磁场中的导磁率高；
- (2) 剩磁少；
- (3) 流动性好；
- (4) 耐磨性良好（不因摩擦而损耗或破坏）；
- (5) 耐热性良好（不因受热而降低导磁率，不烧结、不氧化或不变质）。

特别是关于耐热性这一点，因为往往要达到 300°C 以上，必须能承受如此高温。为了满足上述诸性能要求，对下列各种磁粉，就材料、粒子直径和形状等方面进行了实验：

- a) 羰基铁粉 100 目 (150μ)，325 目 (50μ)；
- b) 铁氧体 200 目 (75μ)，325 目 (50μ)；
- c) 铁硅铝磁粉 200 目 (75μ)，325 目 (50μ)；
- d) 不锈钢系铁粉 100 目 (150μ)，200 目 (75μ)，325 目 (50μ)。

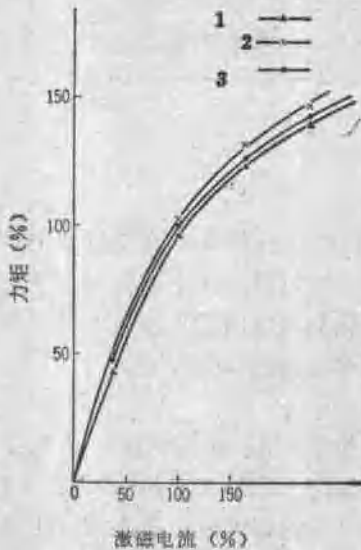


图 3.8 不同磁粉的力矩特性
1—不锈钢系；2—羰基系；3—铁硅铝合金系

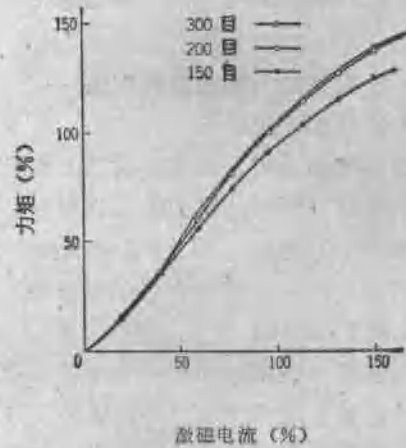


图 3.9 粒度不同的铁硅铝磁粉的力矩特性



图 3.10 精研磨前的磁粉

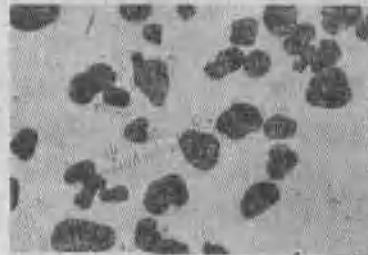


图 3.11 精研磨后的磁粉

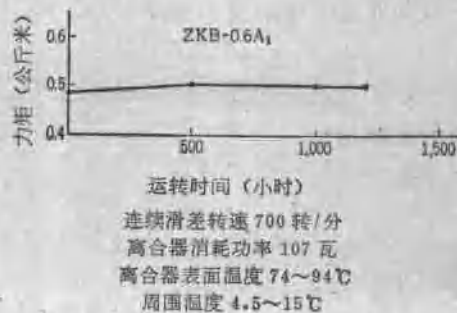


图 3.12 耐久试验中力矩的变化

材 料

羰基铁粉磁性好，但在高温下出现氧化和烧结现象，在耐热性上存在问题，不堪使用。铁氧体的耐热性最好，但磁性差，只能用于特殊用途中。铁硅铝粉和不锈钢粉在磁性、耐磨性、耐热性等方面均显示出卓越的性能，在实验中得到很好的成绩。图 3.8 所示为三种磁粉的离合器力矩性能曲线。

粒子直径

如表 3.1 所列，粒子直径若大，充填率就高，视密度变大，但如图 3.9 所示，力矩特性却相反，显示出降低的趋势。粒子若大，则离心力妨碍粒子的结合，结果使传递力矩的能力减弱。因此从实验结果得出的结论是，大体上粒度的分布是 $20\sim 80\mu$ ，中间值 $50\sim 60\mu$ 的较适宜。

表 3.1 充填率根据粒子直径而改变

磁 粉	粒子直径 (μ)	充 填 率 %
铁硅铝系粉	100以下	61.0
	70	59.7
	50	59.0
	40	50.0

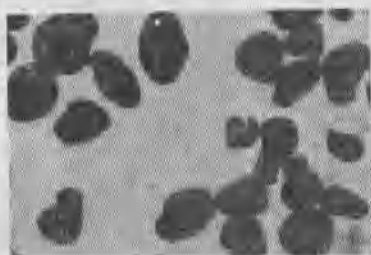


图 3.13 耐久试验前的磁粉

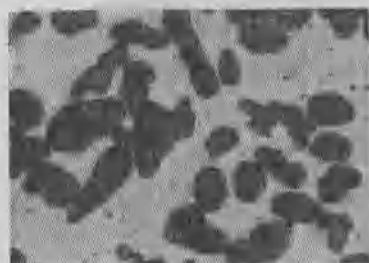


图 3.14 耐久试验后的磁粉

形 状

形状以椭圆形为好，愈不规则，充填率愈低，磁性也愈差。另外带圆形的有助于提高充填率，更能大大提高流动性。图 3.10 和图 3.11 所示，就是磁粉在精研磨前与精研磨后的形状。根据上述结果，目前我们全面采用了不锈钢系磁粉，用这种磁粉所作耐久试验的结果如图 3.12 所示。即使是在 1200 小时的连续滑差运转后，也几乎看不出力矩的降低。又图 3.13、3.14 所示为耐久试验前及试验后磁粉的状态。图 3.14 的磁粉中混有细小粉粒，论它的颜色，在试验前是灰褐色，试验后变得略带红褐色（表面稍有氧化），说明它是十分耐用的。

3.2.6 磁 路

构成磁路的材料（特别是主动件、从动件）要十分注意选择，通常使用含碳量在 0.1% 以下的钢材。这种磁性材料若选择不当，将导致力矩的波动（也包括因磁滞引起的），剩磁和空转力矩增大等。

其次，磁路中的间隙，即空气间隙和磁粉间隙，对离合器性能有很大影响。空气间隙主

要是所需安匝的大小和外廓形状的大小起影响，这与其他电气机械同；磁粉间隙根据雅亦惹尔公司费里氏的数据，最好大约是磁粉大小的15倍，据说更小则离合器的断开性能差，更大则磁粉连接的粒数多，故力矩性能很容易变得不稳定。可是实际问题是，若不论离合器的形状、大小如何，而采用同一种磁粉间隙，则为使磁粉分布均匀而作跑合运转的难易程度，以及与所需磁势相关等问题却难于解决。目前ZKA型的磁粉间隙是1~2毫米，ZKB型的是0.4~1.2毫米。

4. 特 性

4.1 力矩特性

根据格劳和查布等的意见，磁粉离合器的力矩可用下式近似地表示：

$$T = 1.63 \times 10^4 (f \cdot \rho_p \cdot R/A) \phi^2 \dots\dots\dots (4.1)$$

- 式中 f 为磁粉的摩擦系数；
- ρ_p 为磁粉的充填率；
- ϕ 为磁粉间隙的总磁通量（韦伯）；
- A 为垂直于磁通的磁粉间隙总截面面积（米²）；
- R 为从动作半径（米）。

若把铁内的磁阻忽略不计，上式中 ϕ 可写成：

$$\phi = \frac{BA}{2} = \mu_s \cdot NI / KL_g \dots\dots\dots (4.2)$$

- 式中 B 为磁通密度（韦伯/米²）；
- μ_s 为磁粉间隙的比导磁率；
- N 为激磁线圈的匝数；
- I 为激磁电流（安）；
- L_g 为磁粉间隙长度（毫米）；
- K 为常数

(4.1) 式的 f ，在磁粉离合器中，不论静摩擦系数还是动摩擦系数都一样，是由实验确定的常数。根据 (4.1)、(4.2) 式，若令磁粉间隙的 μ_s 为一定，则力矩与磁通密度或激磁电流的平方成正比例，但实际上由图 4.1 可知，因 μ_s 值随磁通密度而变化，故不妨说力矩与激磁电流成正比。

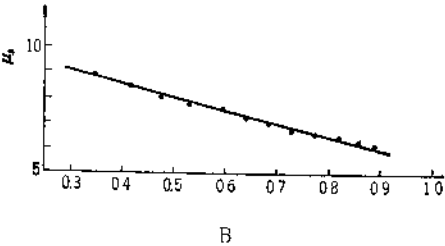


图 4.1 不锈钢磁粉的比导磁率 μ_s 和磁通密度 B （韦伯/米²）的特性曲线

4.1.1 力矩—激磁电流特性

图 4.2 所示为力矩与激磁电流的关系。由曲线可知，除弱激磁和强激磁的饱和部分外，

大致是一直线，但多少有些磁滞现象，另外，电流切断后也还剩有微小的空转力矩。这是因为磁性材料的剩磁造成，不可能完全避免。这在许多情况下，在离合器的力矩控制和断开性能方面就成了问题。

表 4.1 空 转 力 矩

型 号	额定力矩 (公斤米)	空转力矩 (公斤米)
ZKB-2A	2	0.06
ZKA 6A ₁	6	0.1
ZKA 10A ₁	10	0.19
ZKA 20A ₁	20	0.40
ZKA 45A ₁	45	0.55
ZKB-0.06A ₁	0.06	5.0×10^{-4}
ZKB-0.3A ₁	0.3	0.001
ZKB-0.6A ₁	0.6	0.0019
ZKB-1.2A ₁	1.2	0.015
ZKB-2.5A ₁	2.5	0.020
ZKB-5A ₁	5	0.035
ZKB-10A ₁	10	0.05
ZKB 20A ₁	20	0.12
ZKB 40A ₁	40	0.40

关于这个问题，可以在磁性材料的选择和磁路的设计上加以考虑，而得到某种程度的解决。力矩磁滞回线的宽度，在额定力矩附近是10%以内。另外关于空转力矩，若对磁粉间隙加一漏磁分路就有效，通常其值在额定力矩的1%以下。另外，根据需要靠加反激磁也能使空转力矩减少。反激磁电流与空转力矩的一例，如图4.3所示。由此可见，反激磁电流增大，则空转力矩逐渐减小，在某一点达最低值，反激磁电流若再增大，它也增大。这个最低值大约是激磁电流为零时的1/3~1/5。另外，各种类型离合器在激磁电流为零时的空转力矩，如表4.1所列。ZKB型因有空气间隙，空转力矩较ZKA型的小。

其次，以磁粉充填率（空气间隙的体积乘以磁粉比重4.5，称之为充填率100%）为参数时，力矩与激磁电流的关系如图4.4所示。力矩的梯度和饱和点随充填率而变化，力矩大致与充填率成正比而增加，直到充填率等于100%为止，充填率再增大，力矩增加的比例就急剧减小，而空转力矩则因磁粉间和工作面之间的摩擦而增大。因此磁粉充填率应控制在100%以下，目前规定在90~100%的范围内。图4.5所示，为ZKA型与ZKB型力矩特性的比较，可见空气间隙的有无，对所需激磁电流有相当大的影响。

4.1.2 力矩—滑差特性

图4.6所示，是以激磁电流为参数时力矩与滑差转速的关系。在某一定激磁电流下的力矩，与滑差速度无关，大致是一定的。这就是这种离合器的特长，其原因可以认为是传递力矩不仅靠磁粉与工作面之间的摩擦力，也靠磁粉的连接力。实际上或多或少有些波动，滑差速度在零附近也往往变得不稳定，但一般在实用上不妨说力矩不随滑差速度而变动。磁粉的分布有问题是力矩变动的主要原因，而为使磁粉分布均匀，在构造上要求把它做成使磁粉容易导入磁粉间隙的形状。为此，对于磁粉间隙的侧面形状和磁粉间隙，在设计上应加以考虑。另外，在滑差速度比较小的情况下，力矩大致是一定的，但若滑差速度变大，则因磁粉

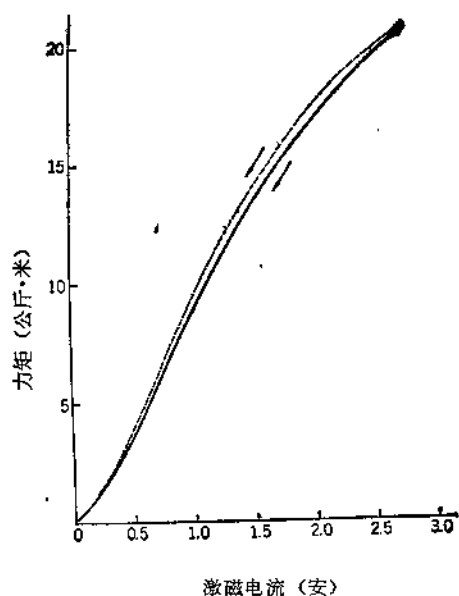


图 4.2 ZKA-10A型离合器 (额定值 10 公斤·米) 激磁电流—力矩特性

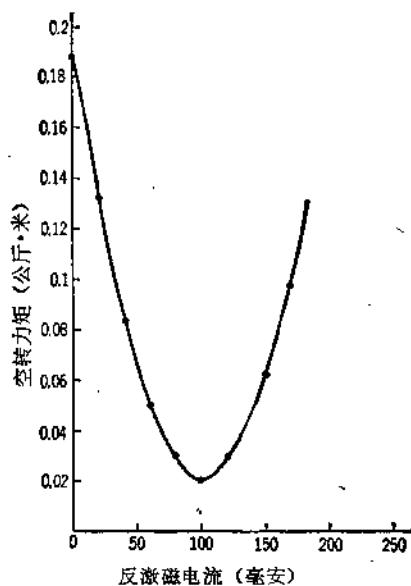


图 4.3 ZKA-10A₁型磁粉离合器 反激磁电流—空转力矩特性

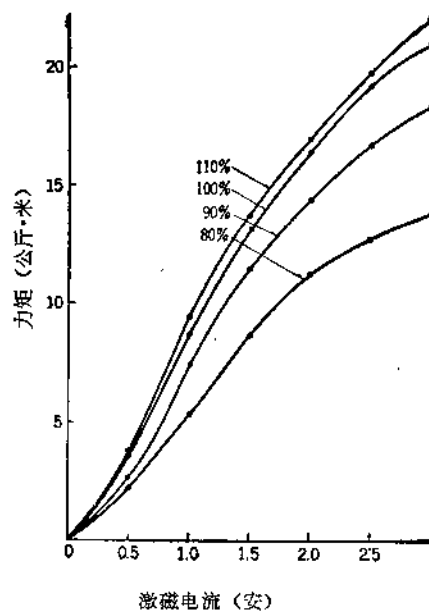


图 4.4 ZKA-10A₁型离合器磁粉填充率不同时激磁电流—力矩特性

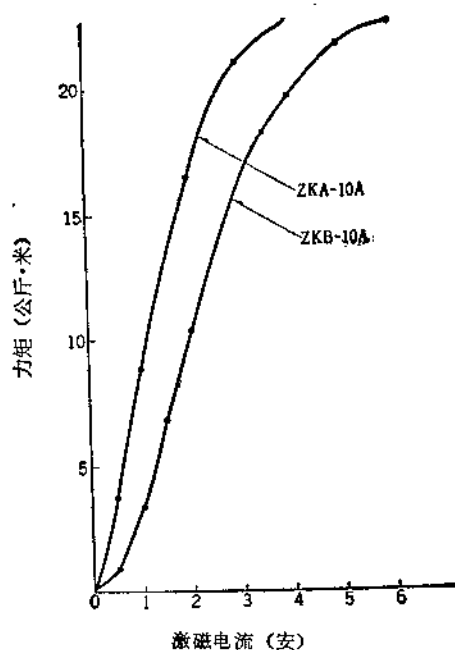


图 4.5 ZKA 型与 ZKB 型离合器 力矩的比较

受离心力作用而使连接力降低，或由于磁粉分布变得不均匀等原因，力矩往往减小。根据实测数据，在磁粉间隙部分的圆周速度若超过1500米/分左右，就出现这种趋势。

4.2 响应特性

图 4.7 所示，为离合器接通与断开时的过渡状态的一例。接通时激磁电流的时间常数，由线圈的阻抗决定，所以一般与它的形状尺寸成正比例增大。而力矩则有一段时无响应，由图 4.7 可知，是电流时间常数的10%左右，无响应时间短，这是磁粉离合器的特长。这段时间是磁粉的连接所需的排列时间，比起移动可动片或可动铁心的其他方式的电磁离合器来，用以使惯性非常小的粒子移动的时间当然就短了。另外，关于力矩的时间常数，大体上显示与电流相同的倾向，但因磁路中磁通的滞后，将或多或少使它的时间常数增大。

其次，关于断开时的情况，时间常数为接通时的10%以下。可是力矩的时间常数，比电流滞后得多。其原因可以认为是电流变化太快，磁通难以迅速跟上它的变化。这一数据是在线圈没有并联电阻的情况下得到的，但实际上为了吸收断开时线圈中发生的冲击电压，应接约10倍于线圈的并联电阻，所以力矩常数还要加大两三成。还有它的断开性能，

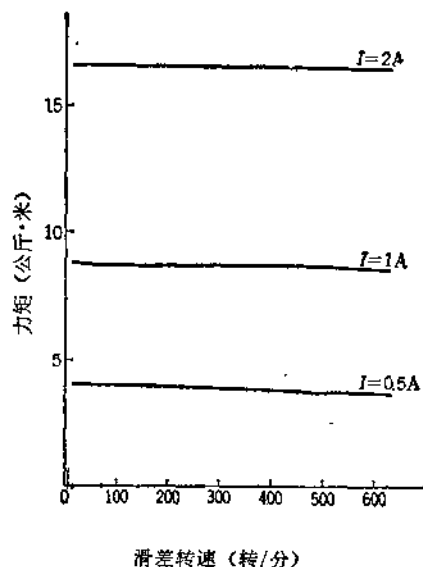
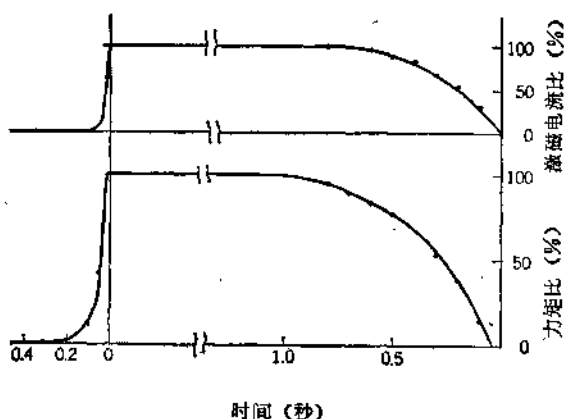
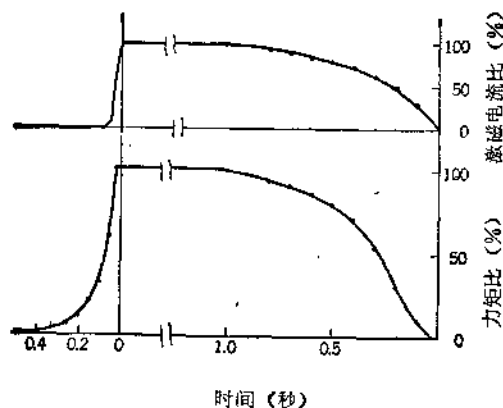


图 4.6 ZKA-10A₁型磁粉离合器
滑差转速—力矩特性



接 通 时 (秒)				断 开 时 (秒)			
激磁 电流	力 矩			激磁 电流	力 矩		
时间 常数	无响应 时间	时间 常数	95%	时间 常数	无 响 应 时 间	36%	
0.3	0.025	0.36	0.87	0.03	0.025	0.09	

(a) ZKA 10A₁ 型磁粉离合器 100% 力矩 = 15.1 公斤米 100% 电流 = 2.05 安 转速 200 转/分

接 通 时 (秒)				断 开 时 (秒)			
激磁 电流	力 矩			激磁 电流	力 矩		
时间 常数	无响应 时间	时间 常数	95%时	时间 常数	无 响 应 时 间	36%时	
0.26	0.04	0.36	1.0	0.016	0.004	0.058	

(b) ZKB-10A₁ 型磁粉离合器 100% 力矩 = 19 公斤米 100% 电流 = 4 安 转速 200 转/分

图 4.7 离合器的响应特性

如3.2.6节所述,磁粉间隙应是磁粉大小的一定倍数,在10倍以下时,在力矩衰减过程中产生很大的跳跃现象,往往不能平稳地断开。另外,根据实验结果,接通时和断开时的力矩时间常数,当滑差速度在1000转/分以下时,几乎都不变化。图4.8所示,为ZKB-5A₁型磁粉离合器接通和断开电流时的过渡状态在示波器上的图形。

4.3 允许滑差功率,允许连接能,耐久性

4.3.1 连续滑差时的允许滑差功率

图4.9所示,为磁粉离合器在连续滑差状态下使用时温度上升特性的一例。ZKA型因其主动件直接与外界大气接触,冷却效果好,输入端的转速增大,滑差功率也就显著增大。ZKB型的则如图4.10所示,靠装里面的风扇的作用,随着转速的提高,滑差功率也大大可增大。两者相比较时,在低转速下相差不大,但在高转速下则是ZKA型的有利。又就每个离合器来说,其从动件单位面积的滑差功率如图4.11及4.12所示。ZKB型离合器在2.5A₁以下的,因是密封构造,看不出因转速差引起的变化。两种类型的都是如此,愈是大型的,愈可以看到单位面积滑差功率降低的趋势。在允许滑差功率的临界值附近连续使用时,各部分温度上升和最高允许温度如表4.2所列。但在一般使用状态下,则推荐使用时温度比此最高温度低一点。在允许温度以上连续使用时,就会因磁粉发生烧结和熔融粘附工作面上等现象而使磁性变坏,因轴承胶着和线圈过热等而使耐久性显著降低。另外,特别为了增大允许滑差功率,目前正在研究借压缩空气进行强制冷却,这种方式也是有效的。

表 4.2 各部分允许的最高温度表

部 位	温 度 上 升 (°C)	最 高 温 度 (°C)
离合器表面(轭)	60	100
轴 承	40	80
线 圈	90	130
磁 粉	260	300

(周围温度为40°C时)

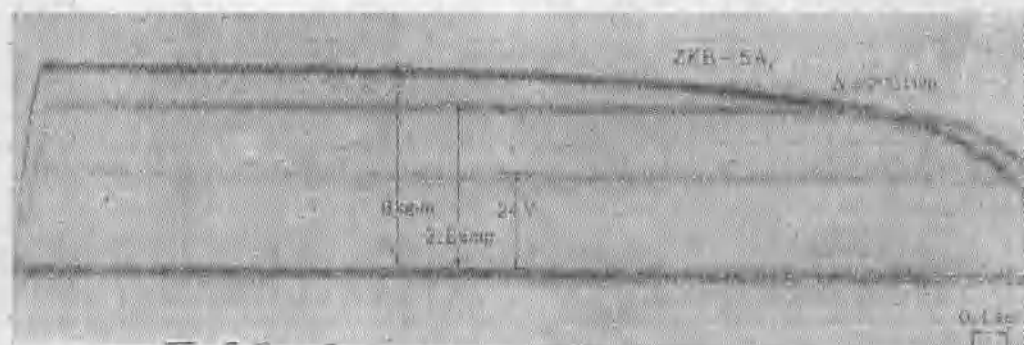


图 4.8 ZKB-5A₁型磁粉离合器的过渡特性波形图

· 图中 kg·m—公斤·米; amp—安; sec—秒; rpm—转/分; V—伏

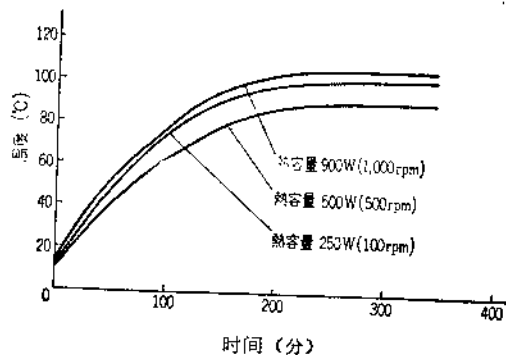


图 4.9 ZKA—10A₁ 型离合器线圈温度上升特性 (I) (图中括号内为主动件每分转速)

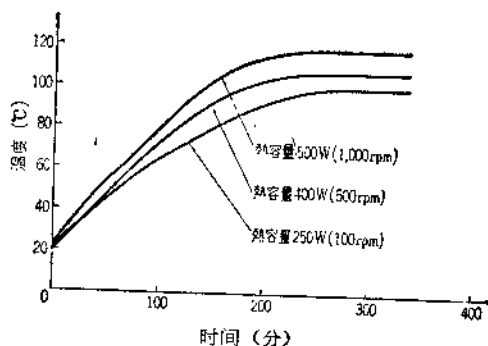


图 4.10 ZKB—10A₁ 型线圈温度上升特性 (II)

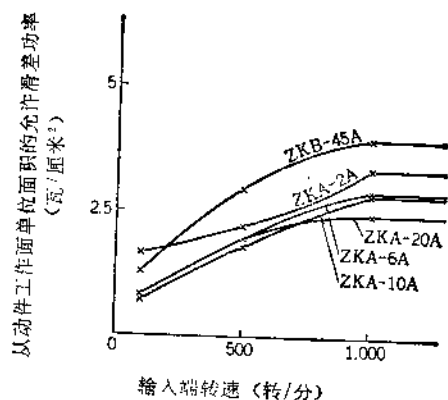


图 4.11 允许滑差功率特性 (I)

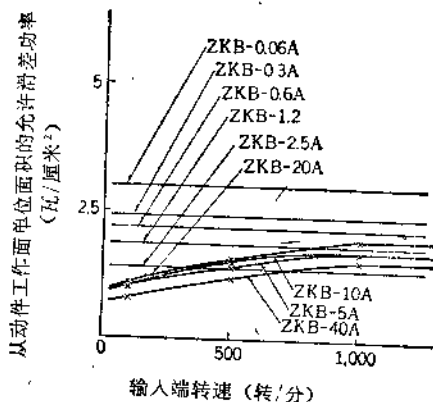


图 4.12 允许滑差功率特性 (II)

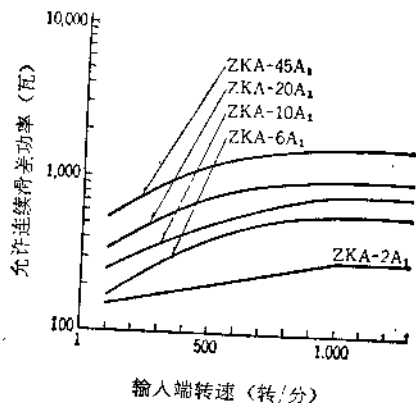


图 4.13 ZKA型允许连续滑差功率。
(图中曲线表明临界值, 选定时在曲线范围内使用)

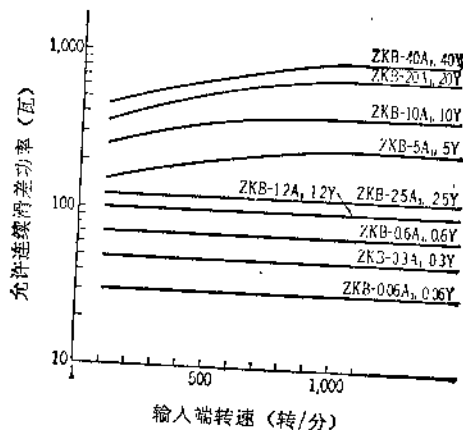


图 4.14 ZKB型允许连续滑差功率
(图中曲线表明临界值, 选定时在曲线范围内使用)