

## MAGNETICS KOOL M $\mu$ <sup>®</sup> E-CORES

### 簡介

Kool M $\mu$ <sup>®</sup> 磁粉芯由鐵合金粉製成，具有高溫下低損耗的特性。Kool M $\mu$  E 型磁芯具有分散式氣隙，適用於開關式穩壓器電感、回轉變壓器和功率因數校正 (PFC) 電感。Kool M $\mu$  的飽和度可達 10,500 高斯，因而可以比間隙式鐵氧體 E 型磁芯儲存更多的能量，如此有助於降低磁芯的體積。與間隙式鐵氧體 E 型磁芯相比，Kool M $\mu$  E 型磁芯不僅價格富有競爭力，而且其特有的分散式氣隙可以消除困擾鐵氧體的間隙損耗問題。與粉狀 E 型鐵磁芯相比，Kool M $\mu$  E 型磁芯顯示出卓越的低損耗屬性與優異的熱屬性。

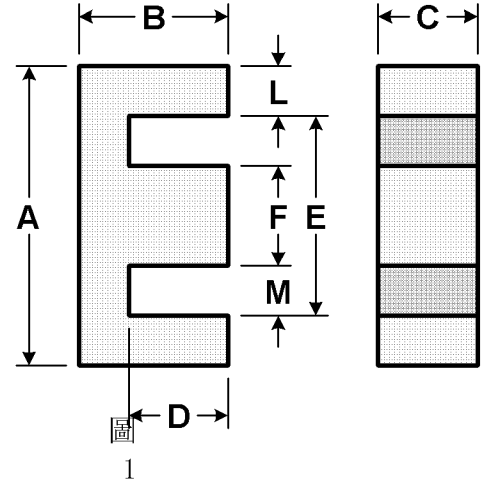


表 1

零件號		A	B	C	D (最小值)	E (最小值)	F	L (額定值)	M (最小值)
00K1207E (EF 12.6)	in (mm)	0.500±.010 (12.7)	0.252±.004 (6.4)	0.140±.006 (3.6)	0.178 (4.4)	0.350 (8.9)	0.140±.005 (3.6)	0.070 (1.8)	0.104 (2.6)
00K1808E (EI-187)	in (mm)	0.760±.012 (19.3)	0.319±.007 (8.1)	0.188±.006 (4.8)	0.218 (5.5)	0.548 (13.9)	0.188±.005 (4.8)	0.094 (2.4)	0.183 (4.6)
00K2510E (E-2425)	in (mm)	1.000±.015 (25.4)	0.375±.007 (9.5)	0.250±.004 (6.5)	0.245 (6.2)	0.740 (18.8)	0.250±.005 (6.2)	0.125 (3.2)	0.246 (6.3)
00K3007-E (DIN 30/7)	in (mm)	1.185±.018 (30.1)	0.591±.009 (15)	0.278±.006 (7.1)	0.376 (9.7)	0.768 (19.5)	0.274±.008 (6.9)	0.201 (5.1)	0.254 (6.5)
00K3515E (EI-375)	in (mm)	1.360±.020 (34.5)	0.557±.009 (14.1)	0.368±.007 (9.4)	0.378 (9.6)	0.995 (25.3)	0.367±.008 (9.3)	0.175 (4.4)	0.310 (7.9)
00K4017E (EE 42/11)	in (mm)	1.687±.025 (42.8)	0.830±.013 (21.1)	0.424±.010 (10.8)	0.587 (15)	1.195 (30.4)	0.468±.010 (11.9)	0.234 (5.9)	0.365 (9.3)
00K4020E (DIN 42/15)	in (mm)	1.687±.025 (42.8)	0.830±.013 (21.1)	0.608±.010 (15.4)	0.587 (15)	1.195 (30.4)	0.468±.010 (11.9)	0.234 (5.9)	0.365 (9.3)
00K4022E (DIN 42/20)	in (mm)	1.687±.025 (42.8)	0.830±.013 (21.1)	0.788±.010 (20)	0.587 (15)	1.195 (30.4)	0.468±.010 (11.9)	0.234 (5.6)	0.365 (9.3)
00K4317E (EI-41)	in (mm)	1.609±.024 (40.9)	0.650±.011 (16.5)	0.493±.007 (12.5)	0.409 (10.4)	1.115 (28.3)	0.493±.008 (12.5)	0.238 (6)	0.310 (7.9)
00K5528E (DIN 55/21)	in (mm)	2.16±.032 (54.9)	1.085±.016 (27.6)	0.812±.015 (20.6)	0.729 (18.5)	1.476 (37.5)	0.660±.015 (16.8)	0.330 (8.4)	0.405 (10.3)
00K5530E (DIN 55/25)	in (mm)	2.16±.032 (54.9)	1.085±.016 (27.6)	0.969±.015 (24.6)	0.729 (18.5)	1.476 (37.5)	0.660±.015 (16.8)	0.330 (8.4)	0.405 (10.3)
00K6527E (Metric E65)	in (mm)	2.563±.050 (65.1)	1.279±.150 (32.5)	1.063±.016 (27)	0.874 (22.2)	1.740 (44.2)	0.775±.012 (19.7)	0.394 (10)	0.476 (12.1)
00K7228E (F11)	in (mm)	2.850±.043 (72.4)	1.100±.020 (27.9)	0.750±.015 (19.1)	.699 (17.8)	2.072 (52.6)	0.750±.015 (19.1)	0.375 (9.5)	0.665 (16.9)
00K8020E (Metric E80)	in (mm)	3.150±.047 (80)	1.500±.025 (38.1)	0.780±.015 (19.8)	1.103 (28.1)	2.334 (59.3)	0.780±.015 (19.8)	0.390 (9.9)	0.780 (19.8)

## 材料和直流偏壓

Kool M $\mu$  E 型磁芯具有四種磁導率：26 $\mu$ 、40 $\mu$ 、60 $\mu$  和 90 $\mu$ 。下表列出了每種磁芯的磁性資料。對開關式穩壓器電感材料而言，最重要的參數是其在直流偏壓下提供電感或磁導率的能力。圖 2 為磁導率隨直流偏壓的增加而減小的函式曲線。Kool M $\mu$  的分散式氣隙使電感-直流偏壓曲線變緩。在大多數應用中這樣的電感是受歡迎的，因為它既能提高效率又能拓寬操作範圍。當電流需求固定時，較為平緩的電感-直流偏壓曲線可以在過載情形下提供額外的保護。圖 2 以半對數曲線的形式描述了高電流下的直流偏壓特性。

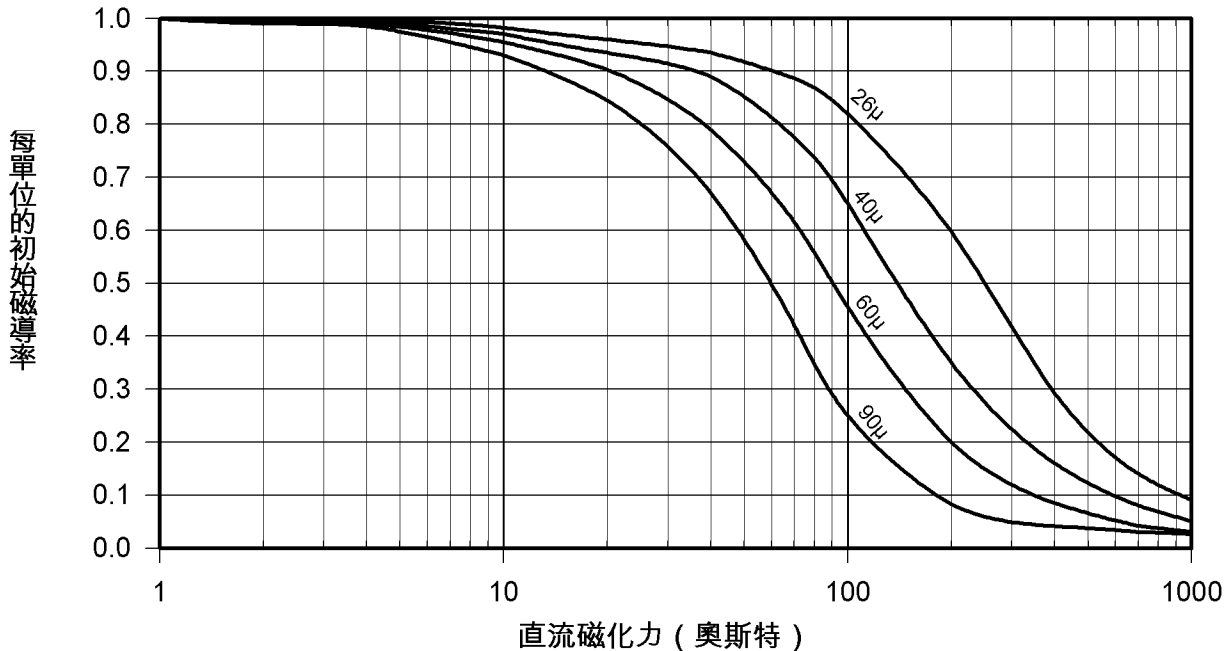


圖 2

表 2

零件號	A <sub>L</sub> mH/1000 轉±8 %				路徑 長度 l <sub>e</sub> (cm)	截面 面積 A <sub>e</sub> (cm <sup>2</sup> )	體積 V <sub>e</sub> (cm <sup>3</sup> )
	26 $\mu$	40 $\mu$	60 $\mu$	90 $\mu$			
00K1207E***	-	-	-	-	2.96	0.13	0.385
00K1808E***	26	35	48	69	4.01	0.228	0.914
00K2510E***	39	52	70	100	4.85	0.385	1.87
00K3007E***	33	46	71	92	6.56	0.601	3.94
00K3515E***	56	75	102	146	6.94	0.84	5.83
00K4017E***	56	76	105	151	9.84	1.28	12.6
00K4020E***	80	108	150	217	9.84	1.83	18
00K4022E***	104	140	194	281	9.84	2.37	23.3
00K4317E***	88	119	163	234	7.75	1.52	11.8
00K5528E***	116	157	219	NA	12.3	3.5	43.1
00K5530E***	138	187	261	NA	12.3	4.17	51.4
00K6527E***	162	-	-	NA	14.7	5.4	79.4
00K7228E***	130	-	-	NA	13.7	3.68	50.3
00K8020E***	103	145	190	NA	18.5	3.89	72.1

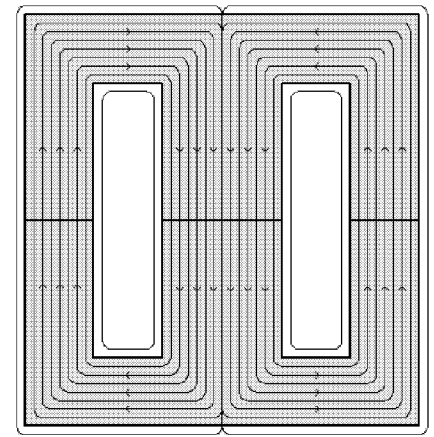
\*\*\* 磁導率代碼已加入零件號，例如，磁導率為 60 $\mu$  時其完整的零件號就是 00K1808E060

## 與間隙式鐵氧體的對比

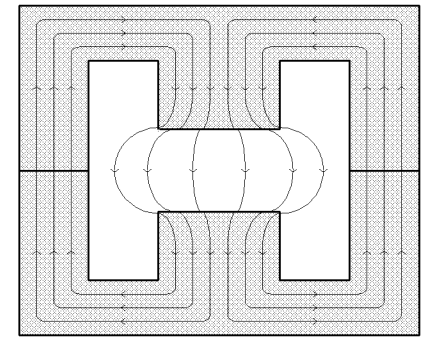
雖然高級鐵氧體磁芯的損耗比 Kool M $\mu$  磁芯損耗低，但高電平時鐵氧體通常需要較低的有效磁導率才能阻止飽和。而鐵氧體的初始磁導率又很高，這樣就需要相對較大的氣隙才能獲得較低的有效磁導率。而大氣隙又會產生間隙損耗（這個複雜問題通常會在比較材料損耗曲線時被忽略掉）。簡單來說，由於氣隙周圍存在邊緣通量，間隙損耗會大幅增加損耗量（圖 3）。邊緣通量與銅線圈相交，會在導線中產生過量渦流。

由於 Kool M $\mu$  的磁通量比鐵氧體的兩倍還多，Kool M $\mu$  的直流偏流特性明顯比後者好（圖 4）。這樣，在通常衰減 50% 的情況下，如果設計方案使用適度飽和的 Kool M $\mu$ ，那麼就可以在磁芯體積減少 35% 的情況下獲得更佳性能。高溫時二者的磁通量差異會更加明顯，因為鐵氧體的磁通量會隨溫度升高而降低，而 Kool M $\mu$  則保持相對穩定。

與 Kool M $\mu$  E 型磁芯相比，間隙式鐵氧體磁芯也具有自己的優點。一般情況下間隙式鐵氧體的電感容限為  $\pm 3\%$ ，而 Kool M $\mu$  的電感容限為  $\pm 8\%$ 。間隙式鐵氧體也有更多的尺寸和形狀供您選擇。另外，由於鐵氧體材料的間隙有效磁導率更高些，因此非常適用於低偏壓應用（如前饋變壓器和低偏壓電感器）。



Kool M $\mu$



間隙式鐵氧體

圖 3

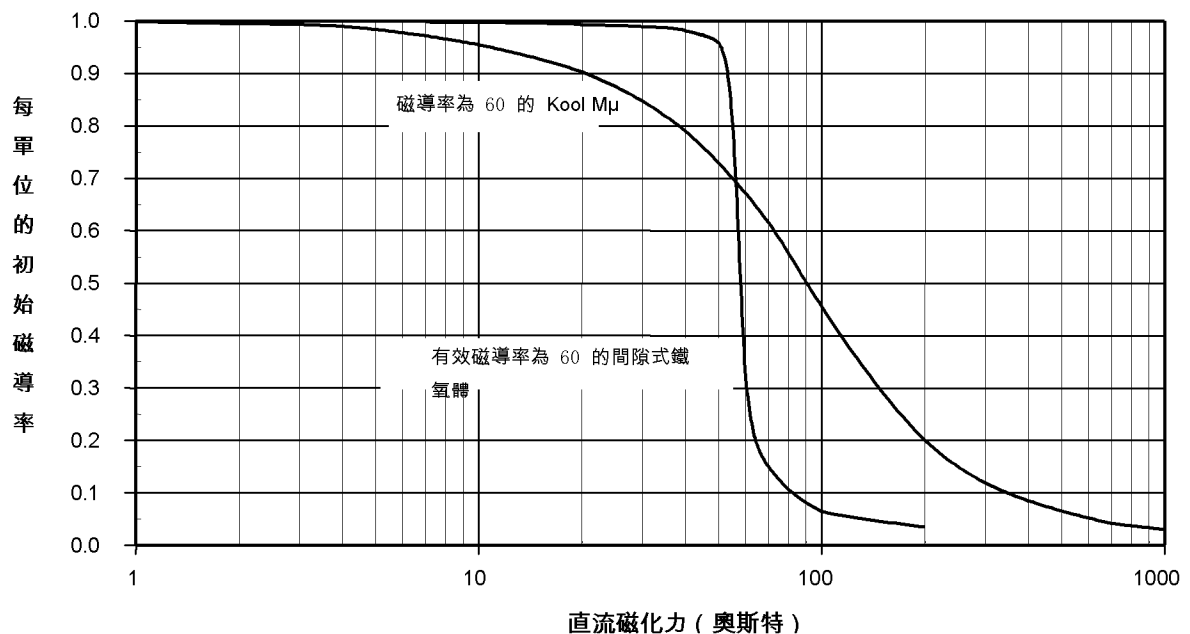


圖 4

## 與鐵粉的對比

Kool M $\mu$  比鐵粉的優越之處主要在於其具有較低的磁芯損耗，見圖 5。並且 Kool M $\mu$  (Al、Si、Fe 合成物) 與鐵粉 (純 Fe 成分) 具有相似的直流偏壓特性，見圖 6。除了能夠承受直流偏壓，開關式穩壓器電感還能承受一定的交流電流 (通常為 10 kHz 到 300kHz)。這樣的交流電流可以產生高頻磁場，進而導致磁芯損耗並使磁芯發熱。對於 Kool M $\mu$ ，這種影響將減小，因此電感將更為有效且工作溫度更低。另外，Kool M $\mu$  的磁致伸縮近乎零，可以降低鐵粉磁芯、鐵氧體或矽鐵片在 20Hz 到 20kHz 範圍內工作時通常會產生的噪音。

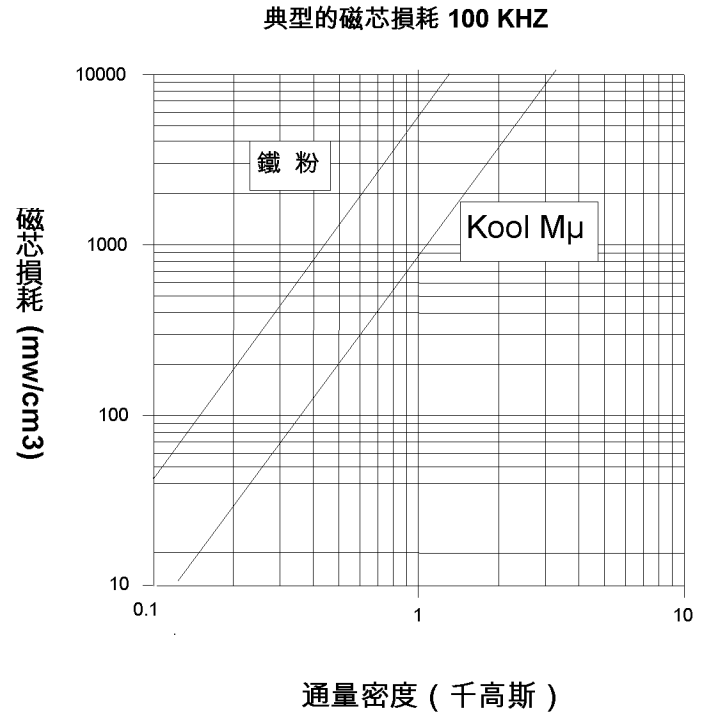


圖 5

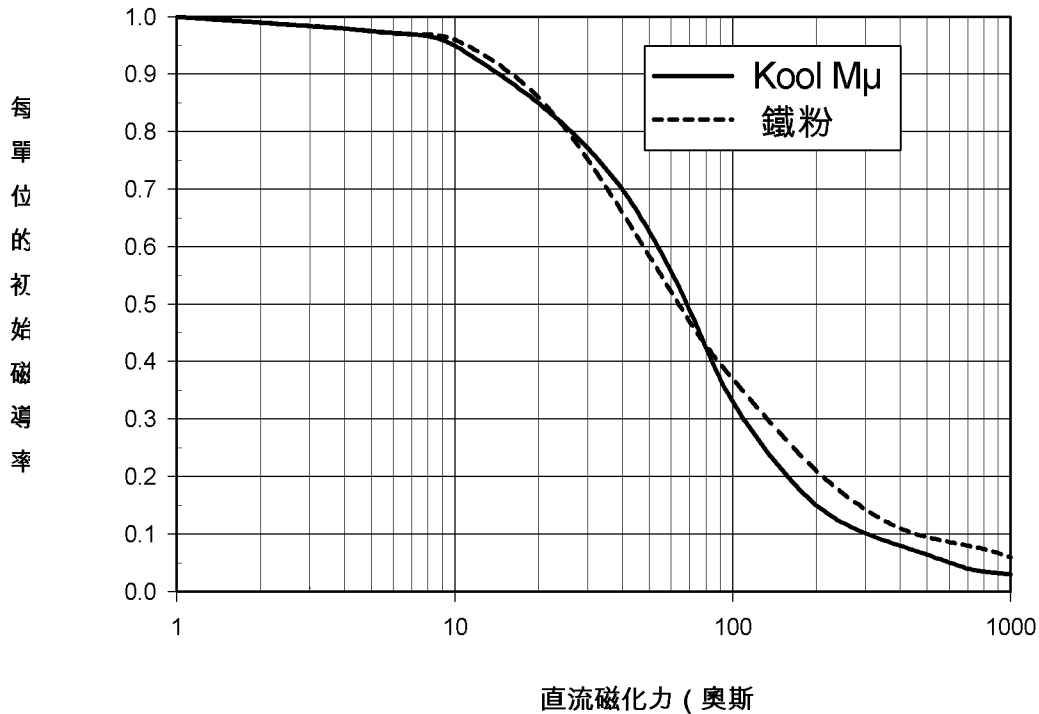


圖 6

## 性能隨溫度的變化

如果居裏溫度約為 500°C 並且是在 -65°C 到 +200°C 的範圍內持續工作，Kool M $\mu$  就能在整個溫度範圍內提供卓越性能。與鐵粉不同，Kool M $\mu$  在製造過程中未使用有機粘結劑，因而就能擺脫困擾鐵粉磁芯的熱老化問題。另外，Kool M $\mu$  的電感也能在溫度變化時保持相對穩定，見圖 7。和某些鐵氧體材料不同的是，Kool M $\mu$  的損耗不會隨溫度的升高而增大。此外，高溫時 Kool M $\mu$  的飽和通量密度不會顯著下降，此特性會降低鐵氧體的直流偏壓處理能力。

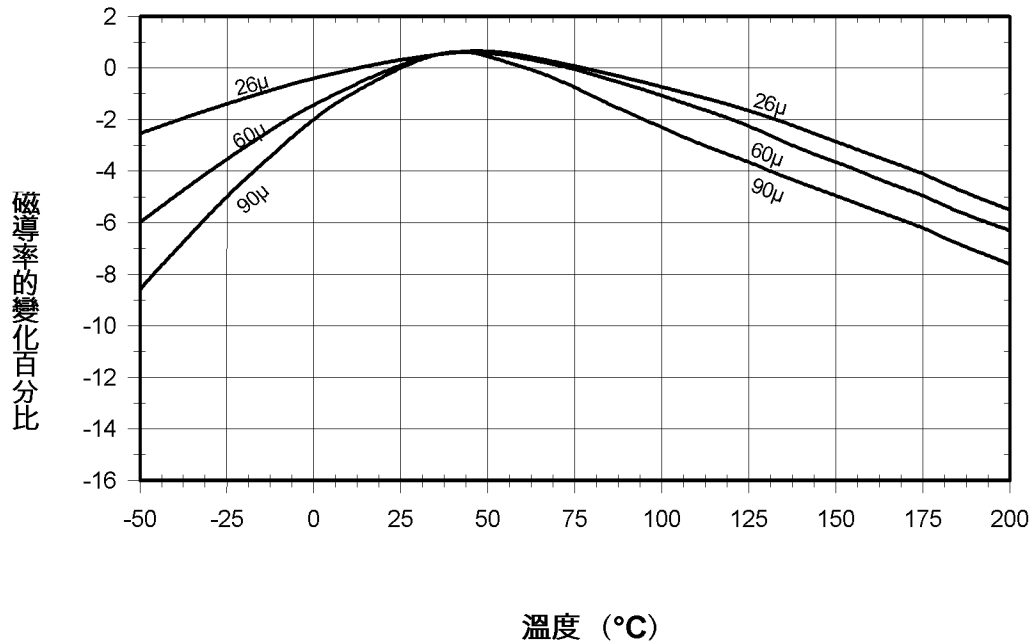


圖 7

## 漏磁通

當部分磁場超出磁芯結構之外就會發生漏磁通。所有變壓器和電感器都會產生一定量的漏磁通，但低磁導率材料所產生的漏磁通比高磁導率材料要多。為了防止飽和，高磁導率鐵氧體通常都帶有間隙，而且經常會採用單一間隙。在這種結構下，漏磁通將集中在單一氣隙的周圍。低磁導率材料 (如 Kool M $\mu$ ) 的氣隙呈分散式，因而漏磁通也分佈在磁芯結構的四周。

漏磁通會增加磁芯的有效面積、減少其有效路徑長度。這樣，低磁導率磁芯的測量電感通常比其計算值大，請看下面的公式：

$$L = .4 \pi \mu N^2 A_e 10^{-8} / l_e$$

其中：L = 電感量 (以亨為單位)

$\mu$  = 磁芯磁導率

N = 轉數

$A_e$  = 有效截面面積 (以  $\text{cm}^2$  為單位)

$l_e$  = 磁芯磁路長度 (以 cm 為單位)

磁芯外型尺寸也會影響漏磁通。對 E 型磁芯而言，線圈越長漏磁通越小。另外，線圈體積越大磁芯的漏磁通也越大。

## 外部漏磁場

磁芯形狀影響外部漏磁場。因為對 E 型磁芯而言，磁芯的大部分都圍繞著線圈，而對環形磁芯而言是線圈圍繞磁芯，所以前者的外部漏磁場大於後者。使用 Kool M $\mu$  E 型磁芯時，必須考慮其外部漏磁場。Kool M $\mu$  E 型磁芯不能用金屬支架安裝，因為漏磁通會在支架中集中，導致總損耗增加。佈置電路板時一定要考慮漏磁場。易於受漏磁場影響的元件應當遠離 Kool M $\mu$  E 型磁芯，該距離近似於其與間隙式鐵氧體的間距。欲瞭解該內容的詳細資訊，請向 Magnetics 應用工程部門索取有關《Kool M $\mu$  E 型磁芯漏磁通考慮事項》的白皮書副本。

## 金屬構件

多數尺寸的 Kool M $\mu$  E 型磁芯都可使用金屬構件，見表 3。另外還有供多數尺寸使用的普通或無銷釘式線圈管。詳細資訊請參考《Magnetics 粉末磁芯設計手冊》5.5 頁。磁芯採用的是行業標準尺寸，因而能配合許多不同來源的標準線圈管使用。組裝磁芯時，首先依照表面啮合情況將各部件接合起來，然後輕輕敲打該組合的周邊。

表 3

磁芯編號	線圈管編號	銷釘數	線圈面積 (in <sup>2</sup> )	線圈面積 (cm <sup>2</sup> )	每轉長度 (ft)	每轉長度 (cm)
00K1808E (EI-187)	PCB180881	8	0.049	0.316	0.133	4.05
00K2510E (E-2425)	PCB2510T1	10	0.063	0.406	0.178	5.42
00K3007E (DIN 30/7)	PCB3007T1	10	0.129	0.833	0.180	5.48
00K3515E (EI-375)	PCB3515L1	12	0.147	0.948	0.241	7.34
00K4020E (DIN 42/15)	PCB4020L1	12	0.300	1.94	0.300	9.14
00K4022E (DIN 42/20)	PCB4022L1	12	0.300	1.94	0.335	10.21
00K4317E (EI-21)	PCB4317L1	12	0.156	1.01	0.281	8.56
00K5528E (DIN 55/21)	PCB5528WA	20	0.468	3.02	0.352	10.73
00K5530E (DIN 55/25)	PCB5530FA	14	0.448	2.89	0.439	13.38
00K7228E (F11)	00B722801	-	0.632	4.08	0.49	14.94
00K8020E (Metric E80)	00B802001	-	1.25	8.06	0.542	16.52

## 延展

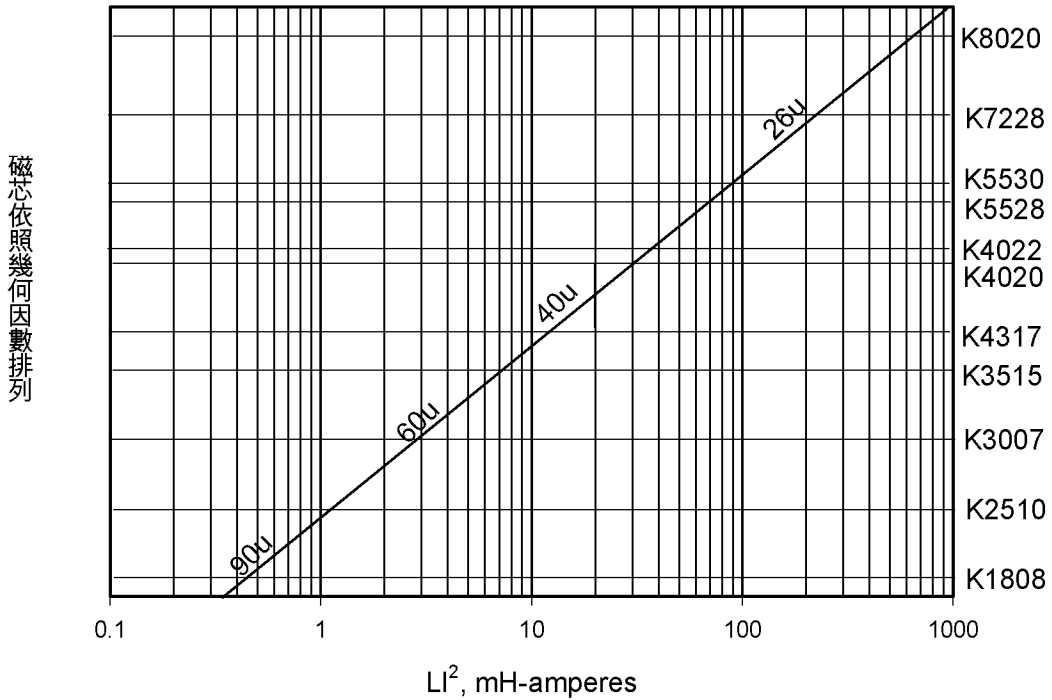
Kool M $\mu$  E 型磁芯未來可預期的尺寸延展範圍。適用時，金屬構件將隨磁芯一起提供。另外，還提供 U 型磁芯和部件（某些尺寸現在就有）。欲獲得未來的產品通告，仍然可以聯繫 Magnetics 的應用工程部門或訪問我們的網站。

## 磁芯選擇過程

只需要知道設計應用的兩個參數：直流偏壓所需的電感和直流電流。採用以下步驟確定磁芯尺寸和轉數。

1. 計算  $LI^2$  的結果，其中：  
 $L =$  直流偏壓所需的電感 (mH)  
 $I =$  直流電流 ( 安培 )
2. 在磁芯選擇表 ( 第 8 頁 ) 上找到  $LI^2$  的值。沿此座標向上，在磁導率斜線 ( 小磁芯尺寸在下方，大磁芯尺寸在上方 ) 上找到具有第一個磁芯尺寸的交點。這就是可以使用的最小磁芯尺寸。
3. 磁導率線包含幾段可用標準磁芯磁導率。選擇它所指示的磁導率將獲得可以使用的最小磁芯尺寸。當然也可以使用更低或更高的磁導率，但這時磁芯尺寸將會變大。
4. 現在已經知道電感、磁芯尺寸和磁導率。請採用以下步驟計算轉數：
  - a) 磁芯的額定電感 ( $A_L$ ，單位是 mH / 1000 轉 ) 得自磁芯資料表。使用最壞情況的負容限 (-8%) 確定最小額定電感。獲得此資訊後，使用  $N = (L \times 10^6 / A_L)^{1/2}$  計算要得到所需電感 (mH) 必須運行的轉數。
  - b) 根據  $H = 0.4\pi NI / l_e$  ( $l_e$  單位是 cm ) 計算偏壓 ( 奧斯特 )。
  - c) 根據磁導率-直流偏壓曲線，確定先前計算所得偏壓電平在每單位初始磁導率 (mpu) 的下降量。
  - d) 用初始轉數 ( 來自步驟 4a ) 除以初始磁導率的單位值 (mpu)，以此增加轉數。用以上方法得到的電感量近似於所需值。如果需要特定電感量，則可能需要對轉數進行最終調整。
5. 使用導線表選擇正確的導線尺寸。低於 100% 的占空度允許較小的導線尺寸和較低的繞組因數，但禁止用較小的磁芯尺寸。
6. 與使用指定直流電流偏置後所需的電感量相比，您所選擇的磁芯將產生至少與之相等的電感。此時繞組因數將在 50% 和 80% 之間。

# 磁芯選擇表



使用上表可以快速得到直流偏壓應用中最適宜的磁導率和最小磁芯尺寸。該表基於以下條件：直流偏壓所產生的磁導率降低幅度不超過 20%，線圈管採用 50% 到 80% 的典型繞組因數，交流電流小於直流電流。另外，該表採用了所選磁芯尺寸和磁導率下的最小電感容限。

如果磁芯工作時的交流電流大於所有直流電流（如回轉電感），就應該選擇尺寸大於上表值的磁芯。如此有助於降低交流電流的工作通量密度（導致磁芯損耗）。

MAGNETICS  
 P.O. Box 11422  
 Pittsburgh, PA 15238  
 傳真：412-696-0333  
 電話：412-696-1300  
**1-800-245-3984**

網站：[www.mag-inc.com](http://www.mag-inc.com)

電子郵件：[magnetics@spang.com](mailto:magnetics@spang.com)