

渦電流分選與資源化評析(一)

一、前言

近年來由於人們越來越重視環保問題，再加上天然資源的日漸耗竭，資源再生技術扮演著不可或缺的關鍵角色，而分選技術又是資源再生技術重要的一環，如何有效的利用機械分選提高回收效率及減少對天然資源不必要的浪費，將是一項勢在必行的工作。

二、渦電流分選原理

渦電流分選 (Eddy-Current Separation, ECS) 是利用物質電導度之不同的一種分選技術，其分選原理是利用由永久磁石鑲成的磁石轉筒高速旋轉，產生一個具有交替變換的磁場，當具有電導度性能的金屬經過磁場時，會在金屬內感應出渦電流。此渦電流本身會產生交替變換的磁場，並與磁石轉筒轉動所產生的磁場方向相反，而非鐵金屬（如鋁、銅等）則會因相斥作用而沿其輸送方向跳出來，因而與其它玻璃、塑膠等非金屬類物質分離開來，達到分選目的。渦電流對導體產生之排斥力受磁場密度之梯度及導體之電導度、密度、面積及形狀等因素所影響，其中以高電導度及低密度之排斥力最大，表一為一些常見物質之電導度 (σ)、密度 (ρ) 及 σ/ρ 的比值，由表中可得知鋁金屬之電導度：35.4、密度：2.70、 σ/ρ 值：130，其所受之排斥力較其他物質大。如分選物質為合金時，其電導度、密度與原組成金屬會有所差異，因此其 σ/ρ 之值亦不同，通常合金之 σ/ρ 值較原組成金屬低，所以各種合金在變動磁場所受之排斥力亦不同，如黃銅為銅與鋅之合金，其 σ/ρ 值比純銅及純鋅皆低，同時由表中亦可得知玻璃、塑膠及橡膠之電導性非常低，與金屬相比差異更高達 10^{-15} 10^{-22} 倍，因此其 σ/ρ 值更趨近於 0。表二為汽車鋁合金之電導度 (σ)、密度 (ρ) 及 σ/ρ 的比值，從表中可明顯看出鋁合金之 σ/ρ 值比純鋁的都來得小，主要是受電導度之影響。

表一、各種物質之電導度(s)與密度(r)之比值

物質	s ($10^6 W^{-1} m^{-1}$)	r ($10^3 kgm^{-3}$)	s/r ($10^2 m^2 W^{-1} kg^{-1}$)
鋁	35.4	2.70	130
鎂	23.0	1.74	130
銅	59.1	8.93	66
銀	68.1	10.49	65
鋅	17.4	6.92	25
黃銅	15.6	8.47	18
錫	8.8	7.29	12
鉛	5.0	11.34	4.5
302 不銹鋼	1.4	7.9	1.8
玻璃	10^{-15} 10^{-19}	2.3 3.6	趨近於 0
塑膠	2×10^{-16} 10^{-16}	1.0 2.0	趨近於 0
橡膠	10^{-18} 10^{-22}	1.0 2.0	趨近於 0

資料來源：1.Scholeman, E., "Eddy-Current Separation Methods", in "Progress in Filtration and Separation", Ed. by R. J. Wakeman, Elsevier Scientific Publishing Company, pp. 29-82, 1979.
2.Rousseau, M and Melin, A., "The Processing of Non-Magnetic Fractions from Shredded Automobile Scrap : A Review", Resources, Conservation and Recycling, Vol. 2, pp. 139-159, 1989.

表二、汽車鋁合金之電導度(s)與密度(r)之比值

合金	副成份, %	s $10^6 W^{-1} m^{-1}$	r $10^3 kgm^{-3}$	s/r與 Al 之s/r比值
5052	Mg : 2.5、 Cr : 0.25	20.23	2.68	0.58
5056	Mn : 0.12、 Mg : 5.0、 Cr : 0.12	16.76	2.64	0.49
5086	Mn : 0.45、 Mg : 4.0、 Cr : 0.15	17.92	2.66	0.52
6061	Si : 0.6、 Mn : 0.28、 Mg : 1.0、 Cr : 0.20	27.17	2.70	0.78
6063	Si : 0.4、 Mg : 0.7	33.53	2.70	0.96
6070	Si : 1.3、 Cu : 0.28、 Mn : 0.7、 Mg : 0.8	30.06	2.71	0.86
6151	Si : 0.9、 Mg : 0.6、 Cr : 0.25	31.21	2.70	0.89

資料來源：Aluminum-properties and physical metallurgy, American Society for Metals, 1984.

三、渦電流設備種類

早在公元 1889 年渦電流分離技術就被用來分離非鐵金屬與非金屬，從早期之分選設備如磁鋁 (Aluminum magnet) 線性馬達分選器 (Linear motor separator) 脈選分選器 (Pulsort separator) 轉盤分離器 (Rotary disc separator) 及滑板分選器 (Sliding ramp)，以及目前最常使用的滾輪皮帶式渦電流分選設備，利用渦電流自廢棄物中分選有價非鐵金屬的技術已達成熟階段。

渦電流分選設備大致可分為幾個部分：控制箱、震動進料機及本體等。本體裝有一圓筒狀之磁石轉筒、尾滑輪、滑車軸承、輸送進料皮帶及護導、護蓋、排料護斗、及分隔板等。磁石轉筒內裝有南北極相間排列成之強力釹硼鐵稀土磁石，此磁石之最大磁能積為 35×10^6 gauss-oersted。渦電流的產生是採用永久磁石而不用線圈式設計，如此可以縮小磁石轉筒的體積，亦可使用變頻器改變其轉動頻率，達到產生不同效力之渦電流。此分選設備可調控之部分有磁石轉筒之旋轉方向及轉速（0 3,600rpm）、震動進料機之進料速度、進料輸送皮帶之速度（50 130cm/sec）及排料分隔板之角度等。

磁石轉筒為分選設備的心臟，以 Eriez 公司生產的渦電流分選設備為例，就開發出四種不同結構的磁石轉筒分別為：鐵氧磁體（Ferrite） 稀土元素的拱形結構（Rare earth arched, REA） 稀土元素的原型結構（Rare earth original, REO）和超級渦流（Super eddy）等結構作為不同的應用。

- 1.鐵氧磁體：鐵氧磁體適合作為分離鋁金屬與垃圾中用過的飲料罐用。鐵氧磁石轉筒亦可分離不同的非鐵金屬，例如像鋁、黃銅或鉛等混合金屬。
- 2.稀土元素拱形結構：使用高磁力的釹、硼、鐵稀土永久磁石，並將其彎曲安裝於殼體外形上；這個高頻轉子有 22 個電極，可從電子廢料、塑膠、碎玻璃、鑄造砂與城市廢木，提供小型和中型非鐵金屬之分離作業。
- 3.稀土元素原型結構：使用稀土元素氧化物磁鐵塊來產生較深的渦流場；這個轉子有 16 個電極，非常適合從較密的流量中分離非鐵金屬，例如從固體廢料或汽車壓碎機處的汽車壓碎後殘餘物。
- 4.超級渦流：使用巨大彎曲度的稀土元素氧化物磁鐵塊，在渦流輸送帶的表面上有超過 5,000 高斯的磁通量；這個磁石轉筒適合作為大噸位之應用。

德國 STEINERT 公司製造的渦電流分選機屬偏心式磁石轉筒系統，偏心式磁石轉筒系統的優點是，可避免傳統同心式磁石轉筒旋轉時，鐵質粒子滲進皮帶和磁石轉筒之間而無法排出，造成跳動磨擦生熱破壞皮帶和輪殼，使磁石轉筒故障。偏心式磁極系統可根據物料不同而調整磁極的中心位置，使非鐵金屬能以最適宜的角度跳離，獲得最佳的分選效果。◆

【下一期待續】

【工業技術研究院環安中心副研究員 莊鈺賢】