

靜電塗裝

序

目前的工業塗裝中，噴霧塗裝大半為靜電塗裝，可謂人人皆知，但在台灣可能還有不少人不清楚靜電塗裝的內容。鑒於溶劑塗裝的公害及浪費，實有必要大力推展靜電塗裝，本書旨在對初學者及現場人員提供實用的解說。

塗裝技術的真正瞭解在有正確的學理認識，並親手使用塗裝機器或塗裝裝置，被塗料沾污了手，才能深入體驗。亦即，親眼辨認塗膜的濕態及塗膜的形成過程，才能辨別缺陷，學會對策，作成更好的塗膜。

塗裝機、塗料都一直在研究開發中，本書的知識在明天可能已成老朽，但有過去才有現在，不知過去，不可能展望未來，溫故知新的道理古今皆然。技術是以過去為基礎。塗裝機器的進步，與塗料有密切的因果關係，不瞭解塗料的性能，也無法發揮塗裝機器的功能。

靜電塗裝可節省塗料、改善塗裝環境、塗裝公害也少、塗料的遍塗性良好、有助省力化，在工業塗裝上已推行自動化，使勞力及資源更合理化，但願本書的問世也可引導更多的廠商採用靜電塗裝，共享其益。

Hwt607/602

靜電塗裝 / 目 次

第 1 章 日本的靜電塗裝歷史	1
1.1 格子式靜電塗裝裝置	2
1.2 杯式靜電塗裝機	3
1.3 高電壓發生器	5
1.4 手持式靜電塗裝機	6
1.5 自動式靜電塗裝裝置	7
第 2 章 靜電塗裝的原理	8
2.1 靜電	8
2.2 靜電感應現象	8
第 3 章 靜電塗裝裝置	10
3.1 靜電場的形式	10
3.2 被塗物的性質	10
3.3 靜電塗裝機	11
3.4 高電壓發生器	11
3.5 塗料供給裝置	11
3.6 空氣供給裝置	13
3.7 塗裝裝置環境	13
第 4 章 靜電塗裝機的分類	14
4.1 定置式靜電塗裝機	14
4.1.1 電霧化型靜電塗裝機	14
4.1.2 空氣霧化型靜電塗裝機	16
4.2 手持式靜電塗裝機	18

4.2.1	電霧化型手持靜電塗裝機·····	18	4.2.3	無氣霧化型手持靜電塗裝機·····	25
4.2.2	空氣霧化型手持靜電塗裝機·····	29	4.3	自動式靜電塗裝機·····	29
4.3.1	空氣霧化型自動靜電塗裝機·····	29	4.3.3	無氣霧化型自動靜電塗裝機·····	30
4.3.2	電霧化型自動靜電塗裝機·····	30	4.4	特殊靜電塗裝機·····	30
4.4.1	導電塗料用靜電塗裝機·····	30	4.4.1	導電塗料用靜電塗裝機·····	30
4.4.2	F.H.B-32型熱電塗裝機·····	31	4.4.2	F.H.B-32型熱電塗裝機·····	31

第5章 靜電塗裝法····· **32**

5.1	預備知識·····	32	5.1.3	塗料與溶劑·····	40
5.1.1	被塗物的吊法·····	32	5.1.4	各種塗料的添加溶劑·····	42
5.1.2	噴霧塗裝的基本事項·····	34	5.2	塗裝法·····	44
5.2.1	噴團調查·····	44	5.2.2	塗裝法·····	46
5.3	周邊技術·····	65	5.3.4	塗裝室·····	69
5.3.1	塗料供給裝置·····	65	5.3.5	吊具·····	72
5.3.2	空氣供給裝置·····	69	5.3.6	塗裝的系統化·····	72
5.3.3	高壓發生器·····	69			

第6章 靜電塗裝容易發生的塗膜缺陷與其對策····· **74**

6.1	流動·····	74
6.2	柚皮·····	74
6.3	排斥·····	75
6.4	凸腫·····	75
6.5	模糊·····	76
6.6	分色·····	76

6.7	凹下	76
6.8	塗膜髒污	77
6.9	厚度不均勻	77
第 7 章 靜電塗裝的管理		78
7.1	設備或裝置管理	78
7.2	作業管理	78
7.3	品質管理	81
7.4	安全性管理	82
第 8 章 安全對策與注意事項		83
8.1	人身事故	83
8.2	火災	83
第 9 章 粉體塗裝		87
9.1	粉體塗料	88
9.2	粉體塗裝法	90
9.3	靜電粉體噴塗裝置	91
9.3.1	粉體塗裝機	93
9.3.2	粉體塗料供給裝置	98
9.3.3	粉體回收器	99
9.3.4	粉體塗裝室	102
9.4	粉體塗料的輸送回路	104
9.5	靜電粉體噴塗法	105
9.6	換色	112
9.7	靜電粉體塗裝的「塗膜缺陷」「管理」「安全對策」	113

第1章 日本的靜電塗裝歷史

靜電塗裝使用的塗料分爲液體塗料和粉體塗料，兩者在不同的時期發展。液體塗料的靜電塗裝在目前可謂人人皆知，但在二三十年前仍是特殊部門的塗裝，上本保氏首將靜電塗裝的觀念引入日本，1935年申請，1936年公告專利第116576號，但內容極抽象，內容如下：

「本發明是以適當的裝置，在適當氣體中發生液體、固體或其混合體的分散系，以靜電牽引力和磁牽引力的合成牽引力，使分散系中的分散質移動，附著塗裝於被塗裝物體上，目的在比傳統的浸塗、刷塗、噴塗增廣應用範圍，達成經濟而容易的塗裝法」。

塗料爲現今的液體塗料、粉體塗料，被塗物可爲金屬、紙、布、橡

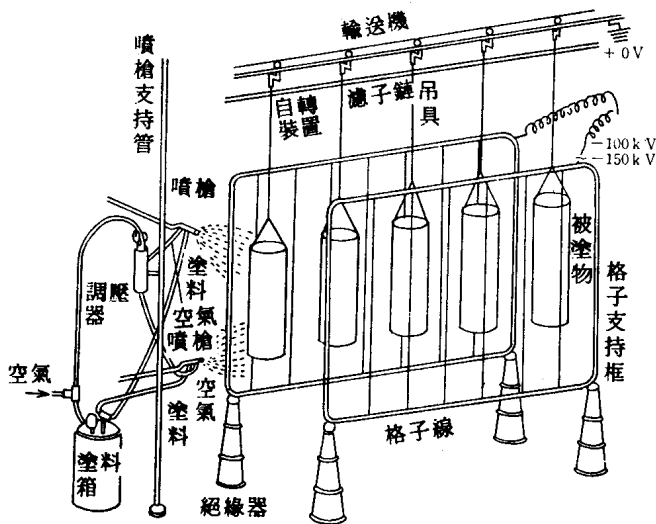


圖 1-1 格子式靜電塗裝裝置

註) 本裝置是接地的被塗物與連接高壓電的格子線間藉空氣噴槍吹入噴霧塗料，霧化粒子藉格子帶電，被塗裝物吸著，多個粒子重疊，形成塗膜。

膠加工品、賽璐璐加工塗裝。

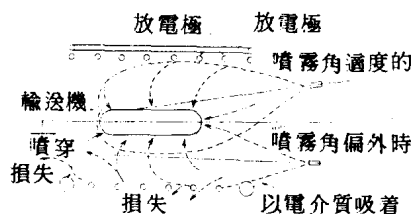
但因當時無適當塗料，未能實用化。

靜電塗裝裝置經變遷而至於今，經過如下：

1.1 格子式靜電塗裝裝置

1949 年開發格子 (grid) 式靜電塗裝裝置，圖 1-1 為裝置的概略圖，檢討格子線的粗細、格子線的間隔、被塗物與格子的距離、被塗物與格子間的塗裝機噴入方向等，實用上，格子線約 $0.5\text{mm}\phi$ ，間隔 $90\sim 100\text{mm}$ ，噴入角度如圖 1-2 所示，問題在高壓發生器，此乃電容量大的特別高壓用器具。

高壓電纜是用 Rontgen (X 光) 電纜，配線採用埋設工程，今天看來為龐然大物。



註) 上半的噴霧角度適當，而且放電極支持法也良好。下半的噴霧角度不適，突入放電線離子化圈內的粒子污染放電極，放電極支持法不適，在電場入口，粒子吸着於框。

圖 1-2 噴塗角度的狀態

宮田製作所設置第 1 號機，記錄如下：

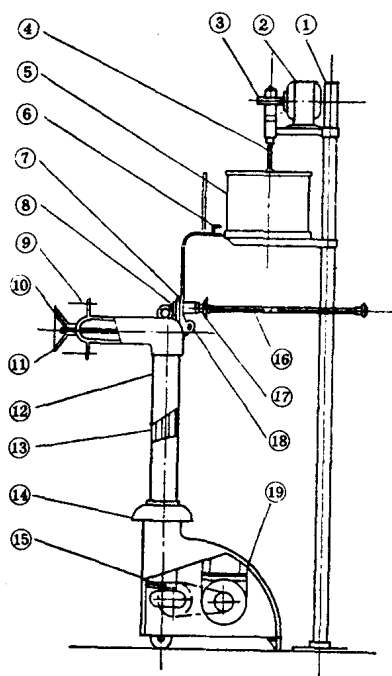
塗裝條件	利用輸送機的一貫作業
	使用電壓…… $100\sim 120\text{ kV}$
	放電電流…… $0.7\sim 1.0\text{ mA}$
	被塗物……腳踏車車架 120 部/h
	塗料……黑漆，黏度 $20\sim 30\text{ Thomas/sec}$
	噴塗吐出量…… 20 cc/sec
	噴塗空氣壓…… $1.0\sim 1.5\text{ kg/cm}^2$

這比起空氣噴塗，勞力為 $1/4\sim 1/10$ ，生產速度加倍，單位地板面積的生產量加倍，所需動力成數分之一，塗料用量 $1/2$ 。

但實際上會污染塗裝室、污染格子線，不易達成流傳作業，不得不改用 2 年後開發的杯式靜電塗裝機。

1.2 杯式靜電塗裝機

1951 年推出杯式 (cup) 靜電塗裝機，由納五平氏設計，納氏着



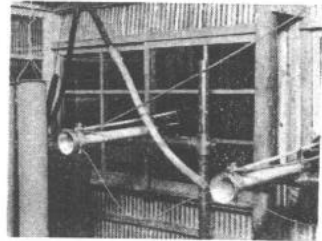
品號	品名	備考
1	支柱	
2	攪拌機馬達	
3	攪拌機蝸齒輪	
4	可撓軸箱	
5	塗料箱	
6	塗料旋塞	有乳頭
7	支持板	
8	針閥	有直刃彎曲接頭
9	電量鉗	
10	玻璃管	4 φ 孔徑
11	噴杯	4 φ 外徑
12	絕緣筒	硬橡膠製
13	絕緣筒	硬橡膠製
14	上下調節手把	
15	下部外殼	
16	塗料調節手把	硬橡膠製
17	塗裝調節刻度板	
18	塗料輸送管	PVC 製 7φ 孔、2φ 厚
19	驅動馬達	1/8HP

圖 1-3 框式靜電塗裝機又稱 (納式靜電塗裝機)

註) 噴杯⑪藉驅動馬達⑫旋轉，塗料從塗料箱⑤經塗料旋塞⑥進入針閥⑧，塗料調節手把⑬適當左方旋轉進入杯，藉電霧化分散塗料粒子，適合被塗物

眼於硫酸製造裝置必要的柯特烈爾集塵裝置，最初研究格子式，偶然從噴塗機漏出的塗料接觸高壓電線時，發生電霧化現象，得到靈感而發明

，從 1949 年 7 月開始研究，1950 年 12 月申請專利，1951 年 6 月實用化，開始出售。此靜電塗裝機如圖 1-3 所示，俗稱鴨子型靜電塗裝機。噴杯①旋轉，塗料成薄膜狀，送到圓周，藉邊緣的銳邊電暈放電而電霧化，但這是固定型，不便改變噴塗方向，1953 年推出 T·S 式靜電塗裝機，也是杯式旋轉電霧化，塗料供給系統簡易，塗裝機本體也輕，使用方便，慮及清掃、保養，照片 1-1 為其塗裝裝置。



照片 1-1 T·S 式靜電塗裝裝置
註) 高壓電纜為 Rontgen 電纜

靜電塗裝固然要改良塗裝機，也須檢討塗料及溶劑，有適用的塗料才可發揮塗裝機的價值，1954 ~ 1955 年因於塗料及溶劑，當時苯二甲酸樹脂系塗料為萬能塗料，剛開始使用三聚氰樹脂系塗料。

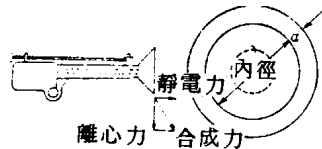
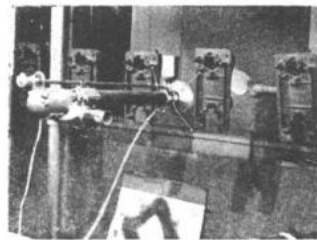


圖 1-4 杯式電霧化的噴團狀況

不易微粒化的塗料噴團如圖 1-4 所示，中空內徑大，塗佈寬度 d 小，亦即，分散性極差，得不到塗膜的均勻性，使用電暈鎗，使噴團變形，達成均勻塗膜，照片 1-2 為其狀況。

塗膜面常成柚皮狀，塗料製造廠為使粒子的飛行距離大，添加高沸點溶劑或可解決，但不能微粒化，因未考慮塗料的電性質——亦即塗料及溶劑的電介質係數。同一塗料也因改變溶劑而成不同噴團（圖 1-5），若無塗料與溶劑的改良，達不到今天的靜電塗裝。



照片 1-2 使用電暈鎗對縫綫機頭的塗裝狀態

1957 年美國 Ransburg 公司取得日本專利，對電霧化型塗裝機須支付專利費，索費太高，故有空氣霧化型靜電塗裝機出現，普烈巴克斯等屬之，通常稱為固定式靜電塗裝機，如照片 1-3 ~ 6 所示。

註) 以下示的噴團塗裝

1.3 高電壓發生器

開發格子式、納氏杯式靜電塗裝機的當初，高電壓發生器受限於特別高壓用規則，使用大型機，有的容量達 15 kW，這是沿用柯特烈爾集

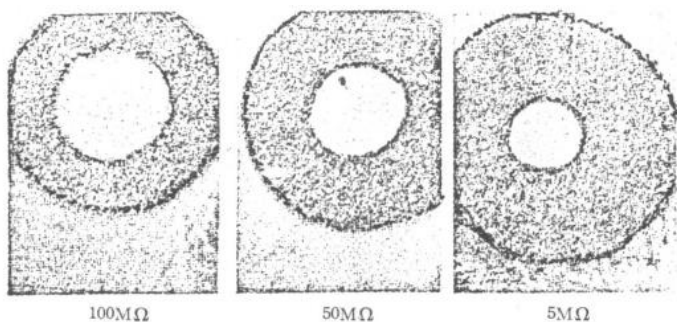
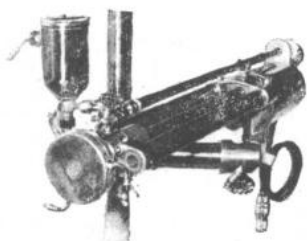
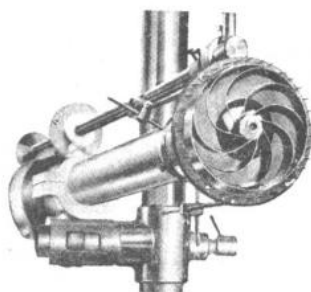


圖 1-5 不同電阻值的噴圈狀態

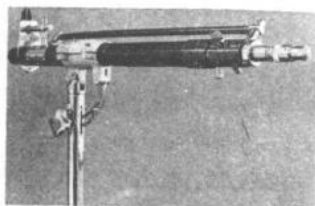
註) 電阻值愈低時分散狀態愈好。



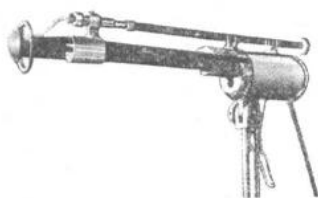
照片1-3 旋風器式靜電塗裝機



照片1-5 衝擊式靜電塗裝機



照片1-4 NAKAYA式靜電塗裝機

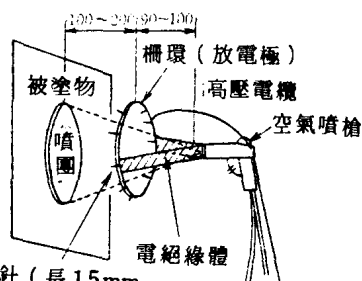


照片1-6 普烈巴克斯靜電塗裝機

塵裝置用者。靜電塗裝必要的放電電流很小，杯式靜電塗裝機 1 部只 0.02mA，用 2 極真空管整流時，容量小者為 3.0mA，成過大容量，增加使用上的危險。最近為最大約 300W，電流容量 0.6 mA 的低電流高壓發生器。又因變壓器卷線技術進步，以極細線作變壓器，用矽或矽半導體整流，達成容量小的高壓發生器，且為高周波形，不危險，開始推展手持式靜電塗裝機。

1.4 手持式、靜電塗裝機

其一稱為柵式手噴槍 (grid type hand gun)，1958 ~ 1959 年發售，如圖 1-6 所示，當時日本國鐵路各工廠採用，塗裝條件如下：

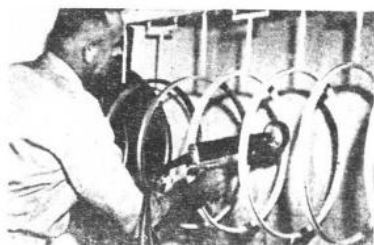


塗裝條件	噴嘴口徑	1.0 ~ 1.3 mm ϕ	針 (長 15mm, 在環上安裝 12 ~ 18 支)
	柵環的大小	180 ~ 200 mm ϕ (圓形)	圖 1-6 柵式手噴槍
		或 160 × 230 mm (橢圓形)	
	塗料種類	葡萄色 (苯二甲酸樹脂塗料)	
	塗料黏度	18 ~ 35 sec / 15°C F.C. #4	
	噴塗空氣壓	1.5 ~ 2.0 kg / cm ²	
	噴槍運行速度	10 ~ 20 m / min	
	距離	槍起 200 ~ 300 mm	
		放電極起 100 ~ 200 mm	
	電壓	50 ~ 60 kV	
	塗料吐出量	100 ~ 120 cc / min	
	噴團大小	60 × 230 mm	

但這也不大實用。

當時從美國 Ransburg 公司引入 No.2 手噴槍 (電極旋轉電霧化，照片 1-7)，但重量不適合日本人，電霧化的吐出量有限，塗裝效率有問題，使用例極少。改善塗裝效率即增多吐出量，但為使吐出的大量

塗料充分微粒化，須施加空氣壓力，所以手持式者成為空氣霧化型，構造小型化，使用方便，1962年推出 White dragon，1963年使用 R·E·A 槍，後來用 NAKAYA 式、手持式靜電塗裝機，1968年推出 DEVIL BISS 靜電手噴槍。



照片1-7 No. 2 手噴槍

手持式的槍前端要接觸被塗物，各廠在構造上克服靜電塗裝的危險，塗裝機本體、高電壓發生器、高壓電纜，內容構成各異，但都安全第一。

1.5 自動式靜電塗裝裝置

塗裝量日日增加，塗裝工人却減少，有必要省力化、塗裝合理化、自動化。作業線塗裝法的輸送機速度以往有 $1.0\text{m}/\text{min}$ ，通常為 $2.0 \sim 3.0\text{m}/\text{min}$ ，最近希望 $6\text{m}/\text{min}$ ，Ransburg 公司 U 形轉向輸送機的 disc（盤）型電霧化塗裝機在 1964 年開始運轉，同時推出 auto-dragon，將手持式靜電塗裝機的塗料 on·off 手作業改用空氣控制，塗裝機本體也大形化，內藏空氣缸，藉光電管開關檢知被塗物，利用脈衝發訊，指令限時器或移位記錄器（shift register），只朝向被塗物時可調節塗料的 on·off，達成塗裝自動化，1965 年以後盛行自動化，最近已成機器人塗裝時代。

近來為了塗裝效率，也推行無氣靜電塗裝機的自動化，用於車輛方面。

粉體塗料詳見第 9 章。

第2章 靜電塗裝的原理

2.1 靜電

以綢布摩擦玻璃棒時，玻璃棒表面發生電，以毛皮摩擦時，也發生電，全屬靜電，綢布產生的電與毛皮產生的電會相吸。綢布的電為正（+），毛皮的電為負（-），正（+）與負（-）相吸，正（+）與正（+）、負（-）與負（-）相斥。塗裝利用正負相吸力，若使塗料霧化粒子為負，被塗物為正，塗料粒子被吸向被塗物。

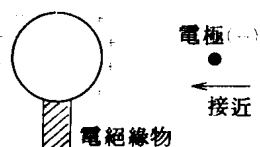


圖 2-1

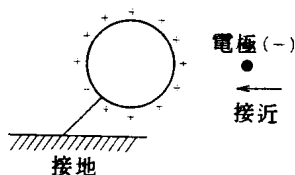


圖 2-2

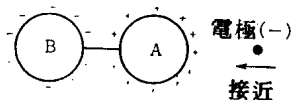


圖 2-3

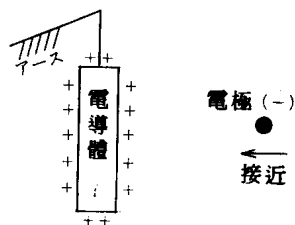


圖 2-4

2.2 靜電感應現象

將金屬球置於電絕緣物上，使電極一例如負極（-）接近，則負極側的表面呈現正（+）電，反對側表面為負（-）電，挪遠時，兩種電消失（圖 2-1）。預先連接兩金屬球 A、B，使負極接近 A 球，則 A 球呈現正（+），B 球為負（-）（圖 2-2）。B 球若是地球，負電被地球吸收。這表示將金屬球接地的話，對負極的金屬球表面常帶正電。電極接近接地的物體（電導體）時，呈現與電極相反的極，此稱靜電感應現象，將此連同靜電的正負吸力用於塗裝，即是靜電塗裝（圖 2-1

3, 2-4)。

將被塗物接地，負極連接塗裝機前端，被塗物表面呈現正 (+)，塗裝機前端霧化的塗料粒子帶負電，被正的被塗物吸着而塗裝 (圖 2-5)。

塗裝機用負的理由是放電現象平穩，放電現象有 dark (黑)、glow (輝光)

brush、strimmer、spark (火花) 的成長過程，負極的放電幾無 strimmer。使用高電壓可增高塗着效率，被塗物務必着地。

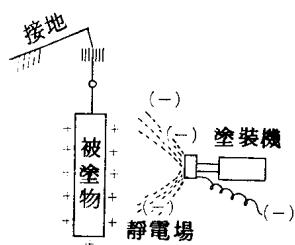


圖 2-5

第3章 靜電塗裝裝置

圖 3-1 為靜電塗裝裝置的流程圖，為定置式靜電塗裝機，塗裝機理論皆同。

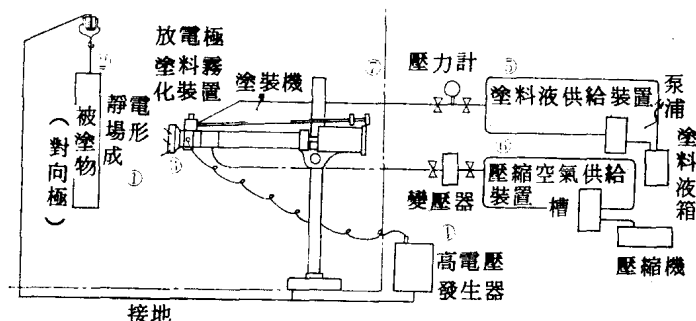


圖 3-1 靜電塗裝裝置的流程圖

3.1 靜電場的形式—①（以下○數字指圖 3-1 的編號）

從塗裝機的放電極向接地的被塗物放電的電壓漸增高，則成電暈放電，將電極周圍空氣離子化，離子空氣奔向被塗物，亦即離子電流，離子電流的流通範圍稱為靜電場。

因而，靜電塗裝的範圍一定要形成靜電場。

亦即，靜電塗裝的第一條件為形成靜電場。

3.2 被塗物的性質—②

被塗物須為電導體，金屬為電導體。木材有吸濕性，通常含水 12 ~ 15%，水也有電導性，塑膠等非導體塗佈電導液，也與金屬同樣，塑膠添加碳黑，也可成導體。被塗物形狀不宜大形（無法載於輸送機），中小形只要形狀不很複雜，都可適用（表 3-1）。

塗裝以輸送機作業線為主體，貨櫃、汽車車體、家電、家具、產業機器等用吊運輸送機吊者，通過塗裝機前而塗裝。大形或重物利用手持

表 3-1 靜電塗裝的被塗物

建 材	門窗、欄杆
家電製品	冷凍機、冰箱、洗衣機、電扇、冷氣機、照明器具、廚房用具、電集塵機器
家具、產業機器	鋼製家具、門鎖、自行車、滅火器、鋼類、農機、縫紉機頭、電動機外殼、木製家具、電視機外板
車輛	汽車車體、客車、貨車外裝、巴士外裝、貨櫃
交通材料	護軌、交通標誌類

式靜電塗裝機。

3.3 靜電塗裝機—③

電絕緣體前端有塗料液霧化裝置和放電極，塗裝形態有定置式、手持式、自動式，霧化機構有電霧化、空氣霧化、無氣霧化，放電極形態有固定型、旋轉型。組合成多種塗裝機（表 3-2）

詳見第 4 章靜電塗裝的分類。

3.4 高電壓發生器—④

高電壓發生器為靜電塗裝的主角，各種塗裝機的電壓及電流容量互異，定置式靜電塗裝機及自動式靜電塗裝機是電壓 80～90 kV，電流值 1mA 以下。手持式靜電塗裝機在外部帶電型為電壓 60 kV，電流值 0.6mA，在內部帶電型為 30 kV，0.2mA。

變壓器構成在低周波（50～60 Hz）以變壓型或 Cockcroft 型升壓，以矽或硒半導體整流，30 kV 程度者作成整體保持絕緣，另有以高壓絕緣油密閉者。高周波式發生器的電擊極小，曾用為安全的發生器，近年不流行製造真空管，不大使用。

3.5 塗料供給裝置—⑤

定置式靜電塗裝機的塗料吐出量較少，適合重力型供給，手持式及自動式靜電塗裝機需要空氣壓送型塗料箱，利用齒輪泵浦的供給裝置，從利用柱塞泵浦的塗料循環裝置取入的裝置。

表 2-2 各種靜電塗裝機

	型 式	放電極 型式	霧 化 機 構	廠 牌
定 置 式 靜電塗裝機	FB-10	固 定	空 氣 霧 化	NAKAYA工業
	CF	旋 轉	"	日本工藝工業
	RansburgNo.2	"	電 霧 化	日本Ransburg
	Bell	"	"	"
手 持 式 靜電塗裝機	mini-Bell	"	"	"
	E·G·D-1B	固 定	空 氣 霧 化	岩田塗裝機工業
	H·B-70	"	"	NAKAYA工業
	E·H·K-570	"	"	日本迪比爾比斯
	R·E·A	"	"	日本Ransburg
	W·D·9S	"	"	日本工藝工業
	N·A·E-1M	"	"	Nordson
	A·P·E·G-1	固 定	無 氣 霧 化	旭大限產業
	E·G·D-3	"	"	岩田塗裝機工業
	E·H·H-580	"	"	日本迪比爾比斯
	R·E·H	"	"	日本Ransburg
	L·D·G-3	"	"	日本工藝工業
	Model·C	"	"	Nordson
自 動 式 靜電塗裝機	E·G·D-2B	固 定	空 氣 霧 化	岩田塗裝機工業
	E·A·B-20	"	"	NAKAYA工業
	A·G·C	"	"	日本迪比爾比斯
	AutoR·E·A	"	"	日本Ransburg
	RansburgNo.2	旋 轉	電 霧 化	"
	disc			
	A·D·R-20	固 定	空 氣 霧 化	日本工藝工業
	N·A·E-1A	"	"	Nordson

塗料吐出量安定化可使製品品質均勻，所以供給裝置要求較高精度，手持式靜電塗裝機依賴作業者的第六感，膜厚不足時，重塗數次，但定置式及自動式靜電塗裝機是在塗裝機前通過 1 次而塗成，相對要求吐出量的正確性。

塗料軟管常用 PE、PVC 管，無氣霧化要耐高壓（ 200 kg/cm^2 ），要求柔軟可撓性，以 teflon 或耐隆遮蔽不銹鋼，也可用為接地線，內徑 $5 \sim 6 \text{ mm } \phi$ ，外徑 $9 \sim 12 \text{ mm } \phi$ 。

塗料是用噴漆，高厚膜噴漆，各種合成樹脂塗料，黏度在電霧化型