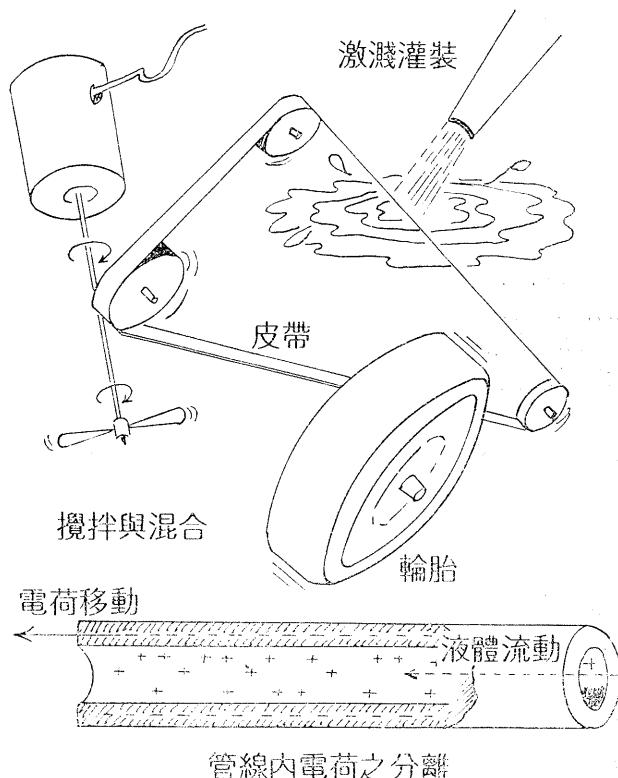


靜電與油料安全

段開紀*

在我們日常生活中，一些細微尋常的動作如在梳理頭髮時，或在夜間穿脫化學纖維質料的衣服時，常會感覺到輕微的霹拍聲音或附著力，以及微弱的亮光，這些現象就是靜電的作用。不過這種靜電的影響很小，不會造成任何損害。可是，若發生在工業方面情形就不同了，「靜電」能對若干作業過程產生麻煩，甚至造成重大災害，而具有危險性。故在工業操作方面如何將靜電之危害減輕至最低程度，是非常重要的。因此，首先我們必須對靜電的性質、靜電如何發生，以及一般的控制方法有所瞭解。



典型的靜電產生情況，包括在管線內電荷之分離

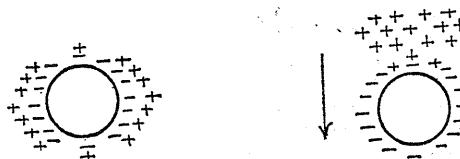
* 中國石油股份有限公司工業安全衛生處處長

靜電的性質

靜電的定義是「靜止狀態的電」，通常由被絕緣體分隔開的正負兩種相異電荷組合而成。這些電荷可能因帶電量的大小而有不同，可以存在於導體或非導體上，而且最先是由於不相同物質間電子的轉移而產生。不相同物質的分離可能留下過多的電子在一方，而不足的電子在另一方，結果二物表面會互相吸引。過多和不足的電子產生相反的，相互吸引的電荷，就是正電荷和負電荷。這種吸引力可利用電壓（電位差）來測量，較大的電壓可促使電荷穿越空氣間隙而產生火花。

靜電的產生

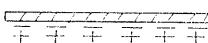
任何兩種不同物質間之相互移動或接觸均可產生靜電，因此兩種物質都帶有電荷。但如其中一種物質是導體並裝有接地線，則所產生的電荷立即消失，如該物質為非導體或已使之絕緣，那末電荷就會聚積於上。工業上的實例包括液體在導管中的流過（尤以流經小孔及過濾時），液體的攪拌與混合，固體微粒在液體中之沉降，如鐵锈或泥渣在油槽內之沉澱，一種液滴在另一種液體內之沉降，如水滴在石油儲槽內與油之分離沉降、氣泡自液體內上升，高壓不純氣體之噴出，若干種類織物之加工處理粉狀或粒狀物質在管筒中通過，以及片狀物質穿過或越過滾筒等等都可能產生「靜電」。（圖一）（圖二）



靜止狀態的水滴

水珠沉降時電荷分離

圖一



靜止狀態的液體

(a)



液體流動時

(b)

圖二 在導管內電荷之分離

電子的轉移產生靜電的情形，我們可以用印刷機來說明。當紙張接觸到滾筒而又分開，在紙張與滾筒間因連續的電子轉移而產生靜電。電荷增多，電壓就朝向某限值逐漸加強。

若干物質於乾燥的氣候時所聚積的靜電比在潮濕的氣候時要多。在潮濕天氣，曝露的表面可能覆蓋了一層由濕氣所成的導電性薄膜，而使靜電電荷漏失。換言之，潮濕空氣較乾燥空氣之導電性為佳，而可防止電荷的聚積。至於在容器中，液體所獲得的電荷趨向集中於液體表面。

靜電之危險

靜電之主要危險，是當相當能量的電荷積聚至放電的程度而產生了火花，以致引發可燃性混合物，造成燃燒或爆炸等災害。

靜電所產生的另一種災害是電擊（Electrical shock）。積聚之電荷如被一漫不經心的某人觸及，就會發生電擊。人在受電擊時由於不能自主的行動可能導致身體受傷，尤以在移動的機械近旁工作時所發生的電擊最為危險。

在某些事例中，靜電是一項困擾而非危險。在如印刷等操作中，當處理輕質非導電性物料時，靜電常使一張張的紙黏在一起，嚴重地妨礙操作之進行。

導體與非導體均可集聚電荷。經絕緣後的金屬緩慢接受並積聚由非導體而來的電荷，然後向大地放電形成火花，為一特殊的危險情況。

靜電的控制

藉由排除靜電的方法，以防止電荷積聚至足夠能量而跳火，可大為減少由靜電引發的事故。極大多數導電性物質或裝置，可利用聯結（Bonding）與接地（Grounding）的方法以排除靜電，排除靜電的速度可與產生靜電的速度同樣的快。

對非導電性的物質，可用以下方法使靜電減至最少：

- 一、用接地的靜電收集器使該物質內靜電荷排出。
- 二、在該物質四週佈置一個離子化的氣層。
- 三、在該物質四週維持高的相對濕度。

「聯結」與「接地」

「聯結」與「接地」兩個名辭不能互相混用，因為這兩種方法有不同的作用：聯結是消除兩個物體間的電位差，接地是消除物體與大地間的電位差。然而「聯結」與「接地」均只可應用於導電性的物體才能有效。（圖三）

聯結可平衡物體與物體間的電位差，但卻不能消除物體與大地間的電位差。在裝設聯接的物體上仍會有電荷停留，除非物體之一連有適當的導線通至大地——接地裝置。

專家們同意需用聯結的方法來平衡兩物體間的電位，使靜電火花無從由一物體跳過間隙至另一物體之上，但並未一致同意於何時應將裝有「聯結」的物體加裝「接地」以消除靜電荷。在某些情況下，有「聯結」而無「接地」的裝置已被認為是適當的。在另一些情況下，「聯結」與「接地」卻皆屬必需。

除了在儲槽內部表面之感應電荷被緊牢束住以外，一個有效的接地裝置應可隨時使導體放電。政府管轄機構應規定何種情況下應採用接地裝置，並宜規定在有懷疑存在之情況下，應加裝「接地」，以強化安全措施。（圖四）（圖五）

聯結或接地裝置的結合器應有適當的導電性強度起見，宜採用 AWG8 號或 10 號或更粗

與大地絕緣之二物，一帶電荷，另一不帶電荷

與大地絕緣之
帶電荷物體



與大地絕緣之
未帶電荷物體

電荷(Q) = 6 微庫倫
對大地之電容(C) = 0.01 微法拉
對大地及未帶電荷物體間之電壓(V) = 600 伏特

電荷(Q) = 0
電容(C) = 0.01 微法拉
對大地之電壓(V) = 0

該二與大地絕緣之物體分擔同樣電荷



二物連接後分負相同
電荷而無電位差。

二物之總電荷(Q) = 6 微庫倫
二物對大地之總電容(C) = 0.02 微法拉
對大地之電壓(V) = 300 伏特

該二物體經“接地”後均無電荷
“聯結”導線



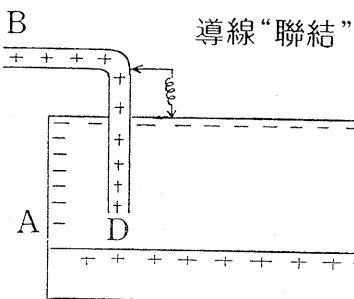
二物連接並接地後
容許電荷流向大地

二物之電荷(Q) = 0

“接地”導線

圖三 「聯結」消除兩個物體間之電位差。「接地」則消除
物體與大地間之電位差。

「接地」與「聯結」均只應用於導電性之物體只要應
用恰當，可信賴能消除靜電荷。

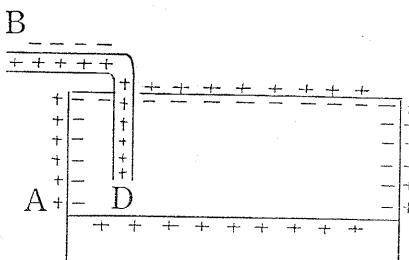


油罐進油時之電荷分離

油罐未「接地」且未與進油管「聯結」

圖四

經由「聯結」之導線，已分離之電荷再行結合
油罐未「接地」但已與進油管「聯結」



圖五

的電線作為導體。對經常需作結合與打開的導體或設備常作運動者，宜採用股線。聯結或接地所用的導線可加以絕緣包紗或不加絕緣包紗，無絕緣包紗的導線易發現其折斷之處，絕緣

的導線卻應定期檢查導電的連續性。

聯接與接地均需定期檢查其機械強度。整個系統的電阻可用電阻表 (Ohmmeter) 來測定，接地系統的有效性則可用靜電電壓計 (Static Voltmeter) 測出。粗略的估測可用檢電器 (Electroscope) 。

靜電火源與油氣災害

靜電之產生並不一定表示會發生災害。靜電之能成爲石油體的火源，必須同時達到下列條件：

一、首先須有靜電的發生——靜電放電達到 0.25 微焦耳 (Milijoules) 以上，就可使石油氣與空氣混合物爆炸。以機械效果言，相當於使 $\frac{1}{32}$ 英兩 (0.89 克) 的物體昇高 1 吋 (2.54cm) 所需之能量。

二、須有積聚靜電荷的物體，並須積聚至足夠的靜電電壓——帶靜電的物體必須有足夠的絕緣性才會積聚，否則隨時疏散電荷。白油 (如汽油) 之絕緣性很高，其表面容易積聚靜電荷。

(表一) 易燃性液體及氣體之着火危險性

名稱	着火點 °F	着火溫度 °F	爆炸範圍		蒸氣濃度 空氣 = 1
			下限 在空氣中之 %	上限 在空氣中之 %	
醋酸乙酯	24	800	2.2	11.0	3.0
丙酮	0	869	2.6	12.8	2.0
戊醇	91	572	1.2	10.0	3.0
甲醇	52	725	6.7	36	1.1
乙醇	55	689	3.3	19	1.6
乙炔	氣體	581	2.5	100	0.91
苯	12	1040	1.3	7.1	2.8
丁烷	氣體	761	1.9	8.5	2.0
乙烷	氣體	959	3.0	12.5	1.0
氯代乙烷	-58	966	3.8	15.4	2.2
乙烯	氣體	914	2.7	36.0	1.0
乙二醇	232	752	3.2	2.1
甲醛	130	806	7.0	73	1.0
汽油(車用)	-45	495	1.4	7.6	3—4
己烷	-7	437	1.1	7.5	3.0
氫氣	氣體	752	4.0	75	0.1
硫化氫	氣體	500	4.0	44	1.2
甲烷	氣體	1004	5.0	15.0	0.6
戊烷	-40	500	1.5	7.8	2.5
丙烷	氣體	842	2.2	9.5	1.6
丙烯	氣體	860	2.0	11.1	1.5
甲苯	40	896	1.2	7.1	3.1

三、要有足夠的跳火強度——靜電電場強度必須達到一定的「突破」數值才能跳火。在空氣中跳火放電電壓最低為3,000千伏／公尺或30,000V/cm。

四、放電跳火之間隙中，須有在爆炸範圍內的易燃性氣流之存在——低揮發性與高揮發性的油料所產生之氣體不是太稀就是太濃，但在卸完油料之空罐或空桶內之油氣濃度在常溫時恰在爆炸（燃燒）範圍內（見表一），故須特別小心。

靜電之能量

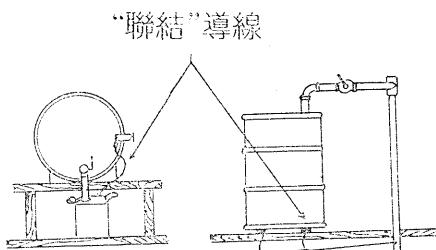
兩個導體被一個絕緣物隔絕，即形成一個電容器。此時若施加一電壓，就可使電能儲存。其中一物獲得正電荷，另一物則獲得等量的負電荷。在甚多積聚靜電的事例中，二種物體之一就是大地，絕緣介質為空氣，另一物體則可獲得電子或放出電子。若使二物體間形成導電性的通路，則儲存的電能就被釋出或稱「放電」，而同時很可能有火花產生。所儲蓄的及產生火花放電的能量與電容器的電容（C）以及電壓（V）之關係如下：

$$\text{靜電能量} = \frac{C}{2} \times V^2$$

對同一物體言，其電容量為固定數值，因此，電荷堆積越多，電壓就越高，靜電能量也就越大。按實用單位計，式中之靜電能量單位為微焦耳（Millijoules），C為微微法拉（Micromicrofarads），V為 10^{-9} 伏特（Volts $\times 10^{-9}$ ）。

火花促成易燃性混合物着火的能力，主要須視實際傳達至易燃混合物的能量，此僅為總儲存能量的一部份，另一部能量則消耗於電極的烘熱。根據以平面電極作實驗的結果，對最小能測出的間隙（0.01m.m.）言，最低的跳火電壓為350伏特。間隙增大，須按比例增加電壓，才會跳火。在電極之間，由於熱的損失或火燄之速冷作用，在靜電電壓低於350伏特時，因其不產生火花，實際上阻碍了電極間的跳火，故無危險性。

在最有利的間隙距離下所作試驗結果，顯示烴類蒸氣與空氣之混合物，其着火所需的靜電能量最低須為0.25微焦耳。（圖六）



容器灌裝時之「聯結」，以確保產生之電荷安全放電

圖 六

下表為在各種不同電壓時，積聚0.25微焦耳能量所必須的電容之數值：

靜電能量在0.25微焦耳以下之火花，無引燃氣體之危險性，其原理猶如汽油引擎中氣缸內火星塞上發生之火花過小，無法引燃氣缸內可燃性氣體者相同。在油料裝卸過程中，欲絕對防止靜電之產生，幾無可能，然而儘量減少靜電荷之積聚，使其積聚能量保持在0.25微焦

電 壓 (Volts)	電 容 (mmf)	間隙長度 (mm)	備 註
350	4,000	0.01	間隙長度為最小可測出者，因速冷阻止著火。
1,500	222	0.5	
5,000	20	1.5	恰超過速冷之距離，跳火可能引起燃燒。
10,000	5	3	
20,000	1.25	7	

耳以下，亦可達到安全要求。

以下乃油料及液體作業與產生靜電的關係：

1.油料的流速

油料在光滑的管線中平穩流動時所產生之靜電電流與油料流速成線型關係（正比）。在湍流時靜電電流幾乎與流速之平方成正比。泵油慢時不但可減少靜電之生成，且有更多的時間使油料中已產生的靜電荷消散（Relaxation）。最後，當油料停輸時，其中所生成的電荷亦完全消失。對長程管線言，緩慢輸油自不經濟，且因僅需在油料進入油罐前能減少油料中的電荷，故可在管線末段（如最後100呎處）增大管線直徑或裝設一個消散電荷之槽（Relaxation Tank），以使油料在進入油罐前已有充份之滯留時間以消散靜電電荷。

2.雜質

商品液態石油中常含有微量可離解性的雜質而在油料中形成正離子和負離子，因通常負離子較易被管線內壁「吸附」，故在油料靜止時常有含負離子（近管壁）及正離子（距管壁較遠）的兩個離子層存在。當油料流動時，正離子隨液體向前流動，而負離子則向大地消散，同時新生成的負離子又再吸向管子內壁。

液體化學品或油料中若含有過多量可離子化的雜質，電阻係數就減小，亦即增加導電性，而使靜電電荷之積聚減少。

3.油料導電性與靜電荷之生成

曾以若干石油產品發生靜電的傾向，在實驗室中加以試驗。一般而言，脂肪族溶劑與低沸點的烴類，較高沸點的烴類呈現較少的帶靜電荷之傾向。但單對某一項產品而言，每次試樣所測得的電阻係數卻有頗大差距。表(二)為若干化學品概略的電阻係數值（電阻係數的倒數即為電導係數）。

烴類產生靜電的趨勢，主要與微量雜質之存在有關——微量雜質可減小電阻係數，增加靜電荷的產生。但以淨化產品的方法來完全消除靜電荷的產生並不切合實際。當電阻係數高，如在 $10^{15}\text{ohm}\cdot\text{cm}$ 以上時，因無可成離子的成份存在，靜電電荷就產生得少。然而一旦產生靜電荷，因油料電阻係數高，不易導電，靜電荷就較難消散（較慢）。小於 $10^{10}\text{ohm}\cdot\text{cm}$ 時，電阻變小，所生成之靜電荷多，但卻因液體易導電而靜電荷隨時消散，致淨生成並積聚之靜電荷反而極少。電阻係數在 10^{15} 至 $10^{10}\text{ohm}\cdot\text{cm}$ 之間，靜電荷生成量增加，而以達 $10^{18}\text{ohm}\cdot\text{cm}$ 時最多。

(表二) 化學工業常用純液體之電阻係數

液態化學品	電阻係數 Ohm-cm
乙醛	5.9×10^5
醋酸	8.9×10^8
醋酸酐	2.1×10^6
丙酮	1.7×10^7
苯	1.3×10^7
醋酸乙酯	1.0×10^9
酒精	7.4×10^8
庚烷	1.0×10^{13}
己烷	1.0×10^{13}
醋酸甲酯	2.9×10^5
甲醇	2.3×10^6
丁酮	1.0×10^7
正丁醇	1.1×10^8
	2.8×10^{10}
正丙醇	5.0×10^7
硫酸	1.0×10^2
甲苯	1.0×10^{14}
水	2.5×10^7

4.換裝油料 (Switch Loading) 時之危險及安全措施

曾經裝載高揮發性油料之油槽車如未經清洗而灌裝低揮發性之油料，如裝汽油後再裝噴氣機燃油或煤油，裝汽油後再裝柴油，或裝噴氣機燃油後再裝汽柴油，統稱為換裝油料。

據美國油料保險協會統計，在裝車台所發生的嚴重災害事故中，由於換裝油料引起的事故之比率高達百分之七十七至八十，因此，談到油料裝車的安全，對換裝重油料一事特別值得重視。裝過輕油料（如汽油）的空油罐中，已充滿了過濃的烴類蒸氣，當再裝入重質油料時，原來的輕質油料（如汽油）之過濃蒸氣中，有一部份被重質油料吸收，形成局部真空，於是外界空氣立即引入，而在油罐內油面上方形成爆炸混合物，如遇到較重油料常帶有的靜電荷（火源）則可能引起爆炸。尤以當油罐內較重油料灌入量佔油罐總容積四分之一至三分之一時以及溫度接近30°F (-1.1°C) 時最為危險。

適當的「聯結」與「接地」並不能有效地阻止換裝重油料之着火危險，因在換裝油料時，放電之火花常發生於帶靜電荷的油料表面與進油管或與油罐的金屬部份之間。

消除換裝油料着火危險的辦法，可在灌油之前，以足量的二氧化碳或氮氣通入油罐內之空間，但此法因設備及氣體價昂而不切實際。

使用下面方法（適當的混用）可減輕換裝油料的危險程度：

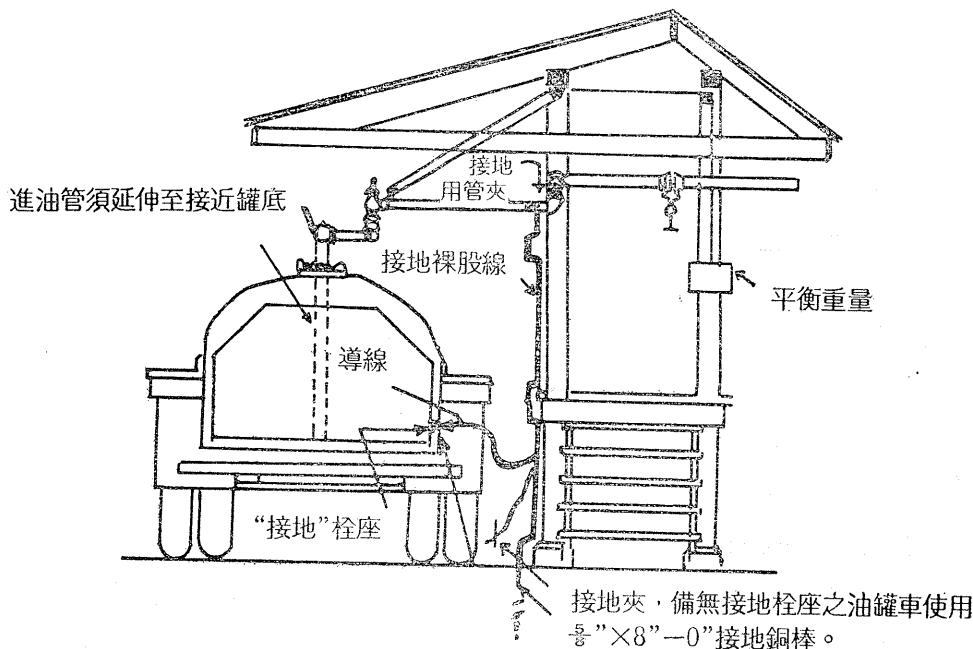
- (1)減低灌油速度：最初每秒3呎，然後增加至不超過每秒15呎。
- (2)對中間油料具有雷比蒸氣壓小於4.5及閃火點小於華氏100度者，可在管線升高處安設靜電中和裝置。
- (3)在灌油嘴與濾油器之間，對油料流動提供至少三十秒的靜電消散時間。

(4) 在裝油管之出口接上產生湍流最小的灌裝嘴。

(5) 使灌裝嘴觸及罐底。

(6) 在裝油管末端略加長「聯結」用的導線，使此段未固定之導線觸及罐底。

雖然每天都有千千萬萬噸的易燃性石油產品以油罐汽車或油罐火車輸送至銷售場所，然而發生災害的機會卻極微，主要原因是油氣在油罐外面的散佈情形（甚至在艙蓋打開灌裝時，遠比一般想像者為小，以及對煙火，明火，靜電以及其他火源的有效管制。（圖七）



油罐車及裝油台之「聯結」與「接地」裝置圖

圖 七

在石油產品裝卸作業中，過去所發生的少數油罐車火災，仍以導因於靜電事故者為主，因此，油料裝卸作業安全措施的重點，即在防範靜電的發生與積聚，以及設法使靜電荷消失，茲列舉其舉要大者如下：

1. 石油產品裝入油罐時，開始灌裝的線速率 (Linear Flow Velocity) 須不超過每秒 3呎 (每秒 1 公尺)，是灌裝管入口完全被油料浸淹沒入油料後，裝油速度再行加入，但應不超過每秒 21呎 (每秒 7 公尺)。

2. 「聯結」與「接地」須裝妥並定期檢查是否連通導電良好。灌裝設備彼此以導線聯結的原因是散佈面大，局部靜電電壓不致過高。裝卸油料要養成接地習慣，接線夾須維護良好，各種裝備如能分別接地則更理想。軟質聯結電線在結頭處勿作絕緣包紮以便檢查。

3. 根據美國石油協會 (American Petroleum Institute-API) 的意見，接地電阻最好能達到 5 Ohm 以下，但無論如何不可超過 25 Ohm 。臺灣電力公司的意見 (根據本省土壤情況) 認為接地電阻應小於 10 Ohm 。

4. 在開始向油罐裝油之前，以及在油灌滿後艙口蓋板打開之前，輸油管與油罐之間均須

先行接妥導線「聯結」，其目的在防止裝入油料時，或作業完畢自油罐內取出輸油管時，輸油管與油槽艙口之間發生靜電火花。

5.灌裝油料時不可將金屬物品（如量油尺等）放入油罐中，以免發生感應電荷而跳火，產生危險。

6.爲了避免灌裝油料時的沖激產生靜電荷起見，使用頂部灌裝法之輸油管應加長，裝油時伸入罐底。裝油停止後稍等一分鐘以便靜電荷消失後，才可抽出輸油管或抽取化驗用油樣。最後，須將艙蓋蓋好，才能拆除「聯結」與「接地」之導線。

7.因爲油槽艙口有著火之可能性，國外若干石油公司規定在裝油地區，每次只准一個艙蓋打開——每次只灌油一車，以便萬一發生災害時危險性最小，也容易撲救。

8.須注意勿使油罐進油超出限量溢出。

9.改善灌裝設備採，用底部罐裝法（Bottom Filling）。此法自然接地，如有靜電荷生成，可立刻導至地下消失。

10.避免換裝油料——同一油罐只裝同一種油料，以免發生靜電災害（已於本文前段詳述）。

11.灌裝油料工作人員應戴安全帽及穿着規定之工作服。

12.萬一油罐汽車於裝油期間發生火警，應立即停止進油，然後再設法滅火。火木撲滅以前及輕油管未取出以前勿將油罐車駛離。如火由艙蓋口發生，應迅速將艙蓋蓋好火即熄滅，又使用防火氈蓋住艙口或用手提滅火機亦可使火熄滅。