

## 介紹

### 1. 使用範圍

在某些物理狀況之下，幾乎所有鹼金屬會導致燃燒，其中有許多種會造成較特殊之危害。因為容易造成燃燒，一些金屬稱為“易燃金屬”，有起火之特性。

### 2. 型式種類

易燃金屬要根據分子量、溫度、穩定性及種類來作精確區分並不容易，故要簡化火災安全之介紹，在本文使用下列易燃金屬之判別並區分性質。①自燃金屬：包括一些鹼性物質，譬如鎂、鈦、鋅、銻、鉬、及鈉鉀合金。②放射性物質：如銻、鈾及鈾等。③非自燃金屬：包含商業用結構物，譬如鎂、鈦、鋅、鉛等。雖然一些大塊物質，如塊狀物及壓成塊狀之型式金屬，在水中並非自燃，但磨成粉狀則會自燃。本文提到這些易燃金屬之燃燒危害及回顧關於防火之技術及相關部份。無論如何，本文並非涵蓋所有儲存及使用這些易燃金屬及合金。

當易燃金屬作細微區分時，期盼在其燃燒危害上明顯增加其特性及潛在特性作記錄上之參考。以機械處理磨成粉狀比儲存在桶中來得更容易燃燒。因為表面積增加，粉狀比塊狀更容易反應，且金屬箔比薄頁紙更容易燃燒。灰塵及粉狀物為高反應型式，甚至有一些為自發性反應。在金屬塵埃防火安全之訊息細節上，並未涵蓋在本文範圍（在塊狀型式當中，鋰與鎂之成份相似）。

## 危害

### 1. 潛在危害：易燃金屬燃燒、爆炸之直接相關因素：

- (1) 主要因素為燃燒速率，剛開始時反應較慢，然後迅速反應至爆發，由點而線而面至整體迅速反應。
- (2) 次要因素為潛在危害，如溫度、溼度、純度、表面氧化度、壓力等等。這些因素將可能是導致反應之重要因素。直接影響其燃燒，同時其潛在熱量可能提升至燃燒溫度。

雖然燃點及能量為兩大重要考量，顯示出個別之重要性。但是像電火

花、露天火苗、靜電、機械運轉之摩擦生熱都有可能造成燃燒。因為許多變化性因素，並不完全涵蓋在本文當中（除非需要，避免使用氮氣，也就是說，將不會形成有害複合物及氣體污染）。

2. 災害防止對策：爲了減低起火爆炸之可能性：
  - (1) 使用較小量之自燃物或不易燃之合金。
  - (2) 當操作時，降低運作所生成之熱能。
  - (3) 當磨成切片時，碎屑應儘快清理乾淨，以免發生反應造成危害。
  - (4) 降低導致燃燒之因素，特別是接近現場時。
  - (5) 操作當中附加惰性氣體，如氮、氬等。
  - (6) 避免污染到金屬有機物及易（可）燃潤滑油。
  - (7) 儘量防止金屬粉曝露在空氣中。若可行，則使用密閉設備及集塵裝置。
  - (8) 提供減壓設備，當過壓時可避免危害。
  - (9) 有金屬塵產生或製程、手提、儲存易燃金屬時，可參考 OSHA 之設定標準，1910.178(c)(2)(vi)(a)及(b)之工業使用設計。

## 使用

### 使用程序應注意事項

1. 手持、操作塊狀金屬
  - (1) 在辨識金屬當中，附上適當標籤、顏色標記等。譬如，塗上顏色以區別每個不同金屬。在做機械清潔工作時，須嚴格把關，才不會在過程當中起燃燒反應。
  - (2) 保持切片銳利才可把金屬磨成條狀而非長絲帶狀。亦即依金屬之不同而使用不同切片速度及不同潤滑油（詳見後面章節）當條狀物形成時，周圍保持乾燥及低溫之狀態。鋰金屬適合附加氬氣及二氧化碳以惰性化。經常清潔操作機械可避免附著易燃金屬而造成危害。當附著物累積至某種程度，去除附著物做適當之處置，確保安全。
  - (3) 作溼式磨光時，特殊金屬需使用冷卻劑。作乾式磨光時，使用除塵設備去除細微之金屬塵。階段性乾燥磨光機可以在允許範圍內來儲存易燃金屬。調整至“安定”之反應速率，預防潛熱造成危害。不容許金屬塵污染物累積在機械當中。

## 2. 手持、乾燥、操作粉狀金屬

- (1) 從儲存槽移送易燃金屬粉，應在乾燥、附有惰性氣體（通常為氮及氬）之狀態下進行。通常在容器底部都會有塊狀物呈現。爲了移送這些金屬粉，首先，輕輕搖晃容器數次。在移送時，避免在挖掘當中產生靜電、火花而造成燃燒反應。從儲存容器移送之後，放置在乾燥，厚牆及不起火花反應之處。至於鋰金屬應在惰性氣體或礦油中儲存。
- (2) 若潮濕，則應保持乾燥。若金屬粉需置放在容器外，在量方面儘可能少量，避免空氣中靜電與表面起反應且儘量避免熱源生成。容器中應儘可能附加惰性氣體並保持乾燥。
- (3) 當金屬換成是鎂或鈦等金屬時，亦同樣儲存在附有惰性氣體之容器中，容器內儘可能避免有靜電存在以方便攜帶。在區域當中儘量控制其溼度。在移送這些金屬方面，切勿用紙類物質作易燃金屬之轉移。因爲在傾倒過程當中會導致燃燒反應。只能使用不起火花之工具。

## 3. 金屬廢料之處置

- (1) 易燃金屬廢料若未能處置得宜，亦會導致火災或爆炸之危害。如何做好安全上之處置成爲此章節之重點。若工作人員做好安全設備上之訓練，則可順利做好金屬廢料之處置工作。
- (2) 在執行燃燒處置之後，應將金屬降溫。在移除時必須小心注意，因爲在滅火後可能會有不可預期之狀況出現。

## 4. 鹼性金屬

- (1) 鹼性金屬：鈉涵蓋、鉀、鋰、銫、銣爲週期表易燃金屬中之同族（鹼金族）。即使在低溫，亦能自燃及生成巨大火焰。在水中或濕氣當中亦迅速氧化，產生氫氣。在空氣當中曝露時可能迅速造成危害。
- (2) 鹼土族金屬應儲存在密閉容器當中，若可行，則靜電亦必須儘量去除，以及在容器貼上標籤以作識別。在搬動時，動作儘量輕微。
- (3) 容器應經常注意，避免意外發生，鋰金屬之容器中應有礦油、鈉應置煤油中，除此之外，容器中應含有惰性氣體。在儲存方面，周圍應保持乾燥、防火、防腐蝕之空間，以確保其安全。若儲存地點會有震動情形，切勿用來當作儲存場所。
- (4) 因爲此類金屬在水中會導致爆炸性反應，在鹼金屬之儲存上應做

特殊設計。屋頂灑水器在不使用時應關閉以防狀況出現。基於相同理由，水及蒸氣管不應放置在儲存區周圍。無論如何，在溫度方面應保持穩定，避免濕氣沈積。若灑水器失靈，則勿儲存易燃金屬，尤其是鹼金族金屬，以防意外之發生。若儲存區有良好之防火設備，則可在狀況發生時作較好之控制。

- (5) 若要從容器取出鹼金屬執行運作時將使用，儘可能少量取用，且取出後儘快將容器覆蓋住，如此則容器仍可維持在緊密狀態中。

#### 5. 鈉鉀合金 (NaK)

因爲其以低熔點混合，在常溫下爲液態，鈉鉀合金用來作爲熱交換及連續製程操作之使用。此合金亦有易燃金屬之特性，尤其在濕氣中活性更強。

#### 6. 放射性金屬

- (1) 易燃金屬分類中包括放射性金屬，如銻、鈷、鈾等。固態銻及鈷爲反應快速之物質即使在室溫時亦同。但是固態鈾之反應爲自發性反應 (Spontaneous Reaction)。這些金屬磨成粉狀之後反應更爲激烈。放射性之合金，其反應比放射性純物質更具有反應性。除了會造成燃燒、爆炸等危害，同時亦具放射性。

- (2) 關於存放放射性物質最安全之方法爲容器中附加惰性氣體，如氦及氬。儲存槽應有緊急通風設備及運送物體之簡便設備。合適之過濾系統需預防粉狀物與氣體循環系統混雜在一起。

#### 7. 非自燃金屬

- (1) 週期表中最後一群非自燃金屬爲鎂、鋅、鈦以及鉛。雖然在塊狀時不易燃燒，但燃燒時則具活性。鎂及鈦呈現綿狀時低於 10,000 °F (5,380°C) 之下起火燃燒。若呈現粉狀時，燃點則更低，一根火柴就能將其點燃。無論如何，在粉狀時仍無法自燃。

- (2) 塊狀鎂金屬燃燒不易。若燃燒時，則滅火不易，特別是一整塊完全燃燒時。因此，鎂應儲存在不易燃之構造物或區域 (詳見 NFPA 48)。切勿儲存在有可燃物或可燃區域。

- (3) 當以水濕潤時，會導致細微物體自燃。若其碎屑存放在非自燃容器時，則可與外物隔離而避免造成反應。內部儲存應放在陰暗角落。濕氣之存在可能導致氫氣生成，並且會造成嚴重之爆炸。

- (4) 鎂作機械處理時，可切割成 0.001 英吋，以礦油作切割最安全，切勿使用水溶性之溶液。切片時，工具保持銳利。儘速清除切割

後之碎屑，並存放在不可燃容器中覆蓋好。(自燃反應可能發生在壓力上升，高濃度氧氣，或快速曝露在空氣中與未氧化之部分產生反應)。

- (5) 因為鈦之塊狀物不易自燃，比鎂較不會有關於存放之問題。無論如何，若作細微之形狀時，仍容易起火燃燒(詳見 NFPA 48)。起火所造成之危害與鎂相似。
- (6) 鎂及鈦之切割設備應詳細設計以降低所產生之熱能。因為鈦之硬度大於鎂但活化能低於鎂，若切割過久，所生成之熱能會導致起火燃燒，水溶液亦可作切割、磨光之操作上冷卻之用。若無接觸反應，則不會引起燃燒。切勿與發煙硝酸接觸，否則可能會爆炸。因為與氮氣接觸時會引燃，勿以此氣體存在於儲存容器中。
- (7) 鋅及鉛金屬有類似之特性(詳見 NFPA 482)。雖然兩者呈塊狀時不易燃燒，但呈綿狀時則易燃，粉狀之金屬塵在室溫下即可燃燒。呈現塊狀時，可不需作儲存，但呈現綿狀或粉狀時則需儲存在乾燥容器或防火區。雖然沒有更好之方法，但經驗告訴我們此種方法較好。
- (8) 一般以濕式儲存法有下列不便：它需 25 wt%水分，污染物及氧化物難以掌控，及其它不可預知之問題。一般而言，濕式儲存法較不安全，無論如何，含 10~25 wt%水分將導致危害。對大部分而言，於濕氣中之反應性並非完全瞭解，因此，手持金屬時容器時須加以注意。其基本原則為：若為濕式儲存法，保持 25 wt% 以上水份，若為乾式儲存，則保持乾燥。
- (9) 儘量減少曝露以防起火。如此亦可減低生鏽之情形。粉狀物在水中不易燃，但若燃燒時，則比在空氣中更為激烈，而且燃燒將生成氫氣，此氣體亦會燃燒起來。
- (10) 鋅粉及鉛粉存放在惰性氣體容器中最安全(乾燥容器中含氮氣及氫氣)。作塊狀切片時亦導致危害，因此需水溶液作冷卻之用。在一些情形當中，需潤滑整片切片表面。切片後之碎屑應經常清除，收集在含水之金屬容器中。鋅之乾式切片則使用噴氣冷卻用，但應考慮潛在性之危害，集塵設備收集後之金屬塵應儲存在含水金屬容器之中。

## 易燃性金屬之滅火方法及技術

1. 欲要發展出消防計劃時需考慮到：(1) 特殊易燃金屬之危害區域。(2) 區域位置之規劃與設計。
2. 當危害發生時，救火行動上需考慮下列因素：(1) 分子顆粒大小：顆粒愈小，火災愈強烈。注意滅火時勿揚起飛灰，以免發生爆炸。(2) 易燃物之含量：可讓消防人員判定使用何種滅火器及何種滅火方法。(3) 物質種類：使用適當之滅火設備可達滅火之效率。(4) 作最快之搶救：依火災之程度及種類來進行最有效率之搶救行動使災害降低至最小程度。(5) 其它物質：可容易搬移易燃金屬免受波及並遭池魚之殃。因為其不穩定性及高反應性可能遭遇許多易燃金屬之災害，須加小心注意以防不可預期之災害發生。若可行的話，易燃物儘快與火場隔離，以免產生連鎖效應。
3. 乾粉滅火器可有效率撲滅易燃金屬之火災。傾倒式或供給式乾粉滅火於小火災時可輕易滅火。僅需薄層就能覆蓋整個區域，若大區域時，需大量粉末覆蓋。當遇到劇烈火災時，則使用長柄圓鍬。工作人員應穿著防護衣。
4. 當災害種類更大時，14 公斤（30 磅）乾粉滅火器可拿來使用。一般塗上黃色與其它 30 磅化學滅火器中短距離範圍、低沉降等性質作區別。當接近火災現場時，須完全打開滅火器儘快撲滅。並且使用滅火器時須對準目標作重點式滅火。當噴氣口剛打開時，所噴出之乾粉可覆蓋至整個火場。此刻火場已快熄滅，須注視火場之趨勢，若再有燃燒之情形，則須再加以撲滅。此區域即可達到滅火之目的。再來須確認易燃物是否正在冷卻當中，否則可能還會導致火災之發生。
5. 輪盤式 68 及 158 公斤（150 及 350 磅）滅火器，使用在大型火災時，有較大容量及較多用途。它們與標準乾式化學滅火器相類似，在設備上有較特殊之低沉降噴氣孔能迅速覆蓋整個滅火區域。
6. 管線系統由 Met-L-X（一種含 NaCl 之乾粉）經由噴氣口，大量噴出粉末至火場。一般而言，此系統通常是發生大型火災時供消防人員執行滅火之用。噴氣口可調整噴出量大小來適量覆蓋火場或於大樓火場依各樓層火災程度而作調整。若能在區域當中控制火勢，則對消防人員之安全較具保障。
7. 以氣體作滅火器不適用於易燃金屬火災當中。二氧化碳及氮氣之滅火效率遠不及乾粉滅火，並且若使用氣體滅火，祇會讓火勢更加劇烈。

氫及氦，僅能控制鋅金屬之火災。滅火之結尾須等到易（可）燃物冷卻時才算結束，否則可能會再復燃。

8. 其它化學滅火器使用在易燃金屬之特殊狀況時。在未作測試評估之前，切勿擅自使用任何滅火器。使用時，可參考風險實驗室機構之參考文獻（或其它組織機構），要不然，則須視何種情形之狀況，讓工作人員判斷出該使用何種滅火設備。工作人員須經常演練，可以熟練在使用上之技術。
9. 在有易燃金屬及鹼性金屬儲存之處，須加強防護以確保安全。可參考 **NFPA** 所設立之標準或安全防護上做適當之授權。

### 滅火器種類

1. 近年來，在易燃金屬之滅火方面一些滅火器之發展神速。縱使有些可針對多種易燃金屬使用。但尚未有滅火器可完全針對所有之易燃金屬。數種滅火器之滅火性質列表於風險實驗室之機構，其它許多共同可針對某一金屬或使用在實驗方面，則還在研發測試當中。
2. 大部份共同易燃金屬（**D** 級火災）之滅火器為乾粉滅火器。“乾粉”滅火器僅適用於金屬火災且區別於“乾化學”滅火器，因為此種適用在易燃液體及電器之火災。在某些情形，乾化學滅火器亦可使用在易燃金屬之火災當中，但是乾粉滅火器則不能使用在易燃液體之火災當中。也就是說，乾粉之使用範圍較乾化學小。
3. 實驗室機構中最早使用之滅火器為 **G-1** 粉末。由石墨顆粒及有機磷所組成，來改善滅火之效率，此物為無毒性及不具燃燒性，並且可安置於容器當中。雖然風險實驗室機構列表上祇限於鎂及其合金之乾燥顆粒。或潮濕之顆粒免於多餘之濕氣，此物是撲滅易燃金屬最有效之滅火器。因為無法改變其粉末顆粒大小，**G-1** 粉末無法裝置在加壓式滅火設備。其特性亦即撲滅金屬粉之火燒。石墨粉可傳導熱能免於讓粉末繼續燃燒，並且可將溫度降至低於燃點之溫度。有機磷化合物可以將所生成之熱生成煙霧散熱至整個空間且增加其滅火之效率。使用鏟子將粉末覆蓋在區域範圍內約 **12 mm**（**1/2 英吋**）之厚度或更厚。因為 **G-1** 粉末之功能不只僅於撲滅火場之垂直表面，它將作完全之覆蓋至整個火場範圍。
4. 大部份共同之乾粉滅火器為 **Met-L-X**，鹽分中含磷酸鈣來改變內部之空氣流動，可與金屬形成不透水之功能。熱塑性物質亦加入以凝固鹽

分來達成滅火之目的。此粉末為無毒及不具燃燒性，不易損耗，不易導電並且當儲存及滅火時，其成份不易改變。

5. 滅火器之範圍大小從 14 公斤（30 磅）手提式至 68 至 158 公斤（150 及 350 磅）輪盤手推式。更大之設備可達 907 公斤（2,000 磅），設置於消防站或管線系統。二氧化碳通常壓縮存於 30 磅之滅火器，而氮氣則壓縮在較大之滅火設備。
6. 火中所生成之熱導致粉末形成糕狀，然後再凝結成塊狀，與空氣隔絕來達到滅火之效果。不過重點仍在塊狀物在滅火之後不會碎裂，因為如果碎裂的話，空氣會從隙縫中進入而再燃燒。
7. 此粉末能夠凝固在熱體之垂直表面上，因此，能夠於塊狀物不規則表面燃燒時覆蓋良好。Met-L-X 滅火器於風險實驗室機構之列表中可針對鈉、鉀、鈉及鉀之合金，以及鎂。除此之外，亦可針對鋅、鈾、鈦或其它易燃金屬。
8. Na-X 乾粉可使用在鈉、鉀、鈉及鉀之合金之滅火功能。它是由碳酸鈉以及氯化鈉所組成，其中亦含高分子聚合物來凝固碳酸鈉及氯化鈉來達成其滅火之功效。此物亦發展至在高溫下具防腐、防銹之附加功效。此粉末無毒、不具燃燒性、不易損耗、不易導電，當儲存在密封之容器或被廠商列為滅火器時，亦不會改變其物理及化學成份。
9. 滅火器之大小從 14 公斤（30 磅）手提式滅火器或 68 至 158 公斤（50 及 350 磅）之輪盤手推式滅火器。更大的設備為 907 公斤（2,000 磅）多管線消防站（如果可以做得到的話）。二氧化碳可壓縮成 30 磅之手提式滅火器，氮氣則壓縮在其它之滅火設備中。火中之熱能可導致粉末形成糕狀，然後凝結成塊狀，再與空氣隔絕來達到滅火之效果。其重點在於塊狀物在滅火之後，不會碎裂。此粉末能凝固在易燃物之垂直表面上，因此，能夠於塊狀物不規則表面燃燒時覆蓋良好。Na-X 滅火器由風險實驗室機構作測試，可針對鈉、鉀、鈉及鉀之合金達成滅火之功能。Na-X 與 Met-L-X 在應用技術之需求上大致相同。
10. 其它粉末，可用圓錐傾倒至易燃金屬，如 X-8 粉末，為乾式、粒狀、岩石般之物質與瀝青、水晶狀  $\text{NH}_4\text{Cl}$  混合在一起。無毒且不具燃燒性質，X-8 在常溫下不會變質或分解。可以使用適量之 X-8 粉末來作易燃金屬撲滅之工作。粉末可黏著在熱表面上，可減低使用上之量。X-8 可有效地撲滅易燃金屬之燃燒。因為它不會與易燃金屬起化學反



應，並且不會對周圍環境造成污染。

11. 液態金屬種類，像 **M-X**，由原油衍生而來，專門針對鎂金屬片之燃燒。此物為非電導性、無毒、不易損耗且不具腐蝕性。此物質壓縮至滅火器約 2 或 9.5 公升（2 夸特或 2.5 加侖）之容量。雖然第二級 **B** 類火災可能會發生，燃燒後之煙煙尚未熄滅。此物可冷卻燃燒中之鎂金屬。過幾分鐘後，煙煙熄滅，可減少再燃之可能。
12. 在鎂金屬鑄造工廠之操作當中，鑄模之助熔劑可使用於控制火勢。此助熔劑儲存在密封之容器中，並且可以用鏟子或圓鋤將之挖出作滅火之用。當接觸熱金屬表面且熔化鎂金屬時，可形成保護膜與空氣隔離。此物具有相當之潮濕性，且吸收濕氣之後再與金屬中之鹽份化合易造成嚴重腐蝕。此助熔劑於機械操作當中請勿使用。
13. 在此有數種物質可以使用在易燃金屬之滅火工作。這些物質一般用來控制火勢之蔓延。這些物質大致為：（1）滑石，（2）砂礫（乾燥狀態），（3）蘇打灰，（4）石灰石，（5）石墨粉，與（6）食鹽。若有足夠用量時，這些物質可以控制火勢。但即使是經由這些物質之使用，火勢仍繼續燃燒。不過討論之重點在於如何避免物質中濕氣之存在。這些物質中有許多具有大量之濕氣，譬如砂礫，很少是完全乾燥狀態。若狀況發生時，控制火勢之效果會打折扣。
14. 其它粉末可用來作滅火器，如 **Lith-X**，為乾粉狀外加石墨粉所組成。在使用技術中，與 **Met-L-X** 之滅火技術大致相同。**Lith-X** 並非糕狀或可凝固覆蓋至金屬表面上，或隔離空氣與導熱之作用。亦非熔化燃燒中之金屬，且其須完全覆蓋在燃燒之金屬表面上。**Lith-X** 針對鋰金屬之滅火，亦可針對鎂及鋅金屬片燃燒時滅火之使用。進一步說，亦可針對鈉、鈉與鉀之合金作滅火之使用。

## 人員危害

1. 當燃燒時，許多易燃金屬之煙煙具有毒性，容易造成現場之工作人員身體方面之威脅。救火人員在進入火場之前，須注意到何種易燃物燃燒及何種具有毒性之煙煙，才不會對自身造成危害。除此之外，消防人員應身穿防護衣，避免在火場造成人員之意外，並可在緊急時迅速進入火場進行滅火之工作。
2. 當火勢撲滅時，處置易燃金屬當中應著防毒面具，避免煙煙之毒性造成二次危害，直到沒有任何煙煙為止。放射性物質亦將對救護人員造

成危害，必須穿著防護衣，避免身體曝露在熱輻射當中。在工廠設備上應有監視系統，並在製程方面多加注意，可防範意外之發生。

3. 一般而言，易燃金屬具有燃燒之活性，放出巨大之熱能。針對此類型之滅火設備亦須具備相當之技術，況且消防人員須經常接近火場進行滅火之工作。隔熱裝備及防護面具（廣角面罩）須經常戴上。在大型火場當中，防火及隔熱衣物須使用到。關於物質燃燒之輻射熱及火焰之部分（除了放射性物質之外），無論如何，在後續醫療處理當中將不再會呈現特殊且複雜之問題。
4. 在救火時，除了身體防護之外，眼睛之防護設備亦應具備，可避免眼睛灼傷及外物所造成對眼睛之傷害。

## 主要參考資料

1. NFPA 48, 1982; “ Storage, Handling and Processing of Magnesium”
2. NFPA 481, 1982; “Production, Processing, Handling and Storage of Titanium”
3. NFPA 482, 1982; “Production, Processing, Handling and Storage of Zirconium”
4. Industrial Safety Data Sheets, National Safety Council, No.86, 1984; “Fire Protection for Combustible Metals”
5. Riley. J. F., 1974; “A New Metal Fire Extinguishing Agents” , Fire Technology, 10:470.