

牙科材料學Dental morphology
石膏產物
(Gypsum Products)

臺北醫學大學 牙醫學系
董德瑞老師
drdong@tmu.edu.tw

學習目標

能辨識及敘述牙齒之形態、特徵與功能意義，並能應用於臨床診斷與治療

1. 牙齒形態相關名辭術語之定義與敘述
2. 牙齒號碼系統之介紹
3. 牙齒之顎間關係與生理功能形態之考慮
4. 恆齒形態之辨識與差異之比較
5. 乳齒形態之辨識與差異之比較
6. 恆齒與乳齒之比較
7. 牙髓腔形態
8. 牙齒之萌出、排列與咬合
9. 牙體形態學與各牙科臨床科目之相關
10. 牙科人類學與演化發育之探討

參考資料

1. 牙科材料學(鍾國雄)
2. Phillip's Science of Dental Materials (11th edition, Kenneth J. Anusavice)
3. Craig's Restorative Dental Materials (12th edition, John M. Powers, Ronald L. Sakaguchi).

Summary

The course of Dental Morphology provides the student with knowledge in the morphological characteristics of the teeth and related oral structures upon which a functional concept of intra-arch relationships may be based for the clinical application to patient assessment, diagnosis, treatment planning, and oral rehabilitation.

石膏 (Gypsum) 雖然在牙醫治療工作上不是直接應用於復形體的製造，然而，石膏都是很多臨床操作和技工所作業中最重要的牙科材料，正確的選擇和使用石膏對於很多臨床治療效果特別是復形體的品質有重要的影響。

一般所言的石膏產物是泛指不同形態的硫酸鈣，其中包括含水和無水的成分，而在牙醫界最主要的成分是部份脫水的石膏成分，亦即半水硫酸鈣 (Calcium Sulfate Hemihydrate $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$)。

牙科用石膏產物按其應用的範圍和特性可分為五大類型：

- 印模用石膏(Impression Plaster)
- 模型用石膏(Model Plaster)
- 實驗室用硬石膏(Laboratory Stone)
- 單齒模用硬石膏(Die Stone)
- 高膨脹率硬石膏(High Expansion Stone)

廣義言之，石膏產物除了上述的五大類型外還應包括包埋材料 (Investment Materials)的部份，特別是用於金合金鑄造的包埋材料：石膏鍵結包埋材料 (Gypsum-Bonded Investment Material)。

模型 (Model) 和單齒模 (Die) 是石膏類材料在應用上主要製作的產物。模型主要是利用印模材料將口腔內軟組織和硬組織特別是齒列的形態印取後再以石膏類材料灌製成一複製品。單齒模所指的是單顆牙齒形態的模型複製品，以上的口腔組織和牙齒的複製模型可讓牙醫能在患者口外進行診斷、治療和裝置的製作等項目。

壹、石膏產物的化學和物理性質

壹、石膏產物的化學和物理性質

各類的石膏產物大部份是從石膏礦石所提煉出來的，而石膏礦石的主要化學成分就是二水硫酸鈣(Calcium Sulfate Dihydrate, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)，此含水的硫酸鈣礦物遇熱將會蒸發部份的含水量，約為2克摩爾水的1.5克摩爾，而由二水的含量轉為半水硫酸鈣(Calcium Sulfate Hemihydrate $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)，而當此半水產物和水一起混合調拌後，其化學作用為原先加熱消失水份的可逆反應，半水又轉換成二水硫酸鈣，反應方程如下所列：

壹、石膏產物的化學和物理性質



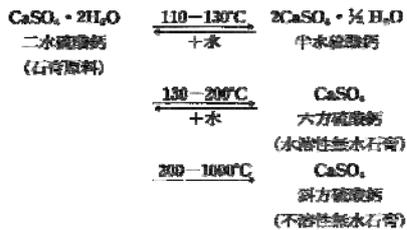
壹、石膏產物的化學和物理性質

在半水硫酸鈣加水作用漸漸凝固的過程中乃一放熱反應，據計算1克摩爾的半水硫酸鈣和1.5克摩爾水進行反應成1克摩爾二水硫酸鈣時將釋放出3900卡的熱量。

一、化學性質

前面已經提到五大類型的石膏產物都是經石膏礦石提煉而成，其中的過程稱之為煨燒作用 (Calcination)，工業上製造石膏產物常用的方法是先將石膏礦石研磨成碎石粉，然後在溫度約攝氏110~120度的爐內烘燒以驅逐石膏礦石部份的結晶水，若溫度持續上昇則礦石內部所剩餘的結晶水將慢慢被蒸發驅除而成為無水硫酸鈣產物，其過程如下：

一、化學性質



一、化學性質

以上的產物中的半水硫酸鈣就是牙醫界常使用的石膏和硬石膏的主要成分，其中各種石膏產物其製造過程重點分別如下：

1. 熟石膏(Plaster)或巴黎石膏(Plaster of Paris)

其製造提煉方法乃將石膏原料粉末放在一開放性容器內進行乾燒處理，溫度約在攝氏120至180度左右，由於大量的結晶水在乾燒處理下蒸發，但是硫酸鈣結晶仍然可以在冷卻時吸收大氣中的水份，然而所獲得的內部晶體結構是假形性結晶(Pseudomorphic Crystal) 呈互相平行排列，較低的堆積能力，密度較低但卻有較不規則且大的表面積與多孔性，又稱為 β -半水硫酸鈣。

2. 牙科用硬石膏(Dental Stone)

由於在乾式煨燒過程中水份下斷地蒸發，致硫酸鈣分子無法進行再結晶作用，然而，當進行濕熱煨燒處理(Wet Calcination)時由於有足夠的液體或水份容許硫酸鈣晶體進行再結晶(Recrystallization)而成為密緻的六方的硫酸鈣晶體，在冷卻時同樣會吸收大氣中的水份而成為半水硫酸鈣，此時的產物顆粒將較上述的熟石膏為細，但仍是假形性結晶，擁有單斜晶體構造但卻保有六方晶體的無水石膏的特性。

2. 牙科用硬石膏(Dental Stone)

此種經由水蒸氣加熱至攝氏約125度，同時在加壓(117KPa) 情況下煅燒處理約5至7小時，獲得的石膏粉末擁有較高的密度和較低的表面積，顆粒較為均勻，又稱為 α -半水硫酸鈣。另一種是以化學藥劑添加一起加熱處理以驅除石膏原料內部的結晶水，例如：將石膏原料和30%氯化鈣溶液一起煮沸，然後以沸水將氯化物沖洗乾淨，最後研磨成幼細粉末以供使用。由於在攝氏100度的沸水裡半水硫酸鈣的溶解度和二水硫酸鈣完全相同，因此前者雖然和水相遇但仍不會作用成二水硫酸鈣。以此種方法獲得的石膏粉末其結晶較為規則，內部較小空泡，因此相對密度是最高的，又稱為改良硬石膏(Improved Stone)或高強度硬石膏(High-Strength Stone)。

3.凝結作用(Setting Reaction)

當半水硫酸鈣粉末和水以正確比例混合時將成爲一稠性漿液狀物體，其中，半水硫酸鈣在攝氏20度的溶解度約爲每公升水達6.5克，因此，以上的漿液(Slurry)是飽和的硫酸鈣和混有半水硫酸鈣粒子的懸浮液，在攝氏40度以下的水合物(Hydrate)是二水硫酸鈣，其溶解度比半水硫酸鈣更低，攝氏20度時約每公升水只有2.4克。

3.凝結作用(Setting Reaction)

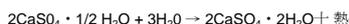
因此，由於溶解度的不同，當半水硫酸鈣粉末和適當比例水調和後將呈超飽和(Super-saturated)溶液狀態，當在此懸浮液中出現一些成核位(Nucleation Sites)，石膏結晶將以這些核種(Nuclei)爲中心進行球形(Spherulite) 狀的凝集結晶反應，見圖7-1所示。

3.凝結作用(Setting Reaction)

而加速晶體生長凝集的成核位或核種其本質可能是石膏粉末內的不純物質核粒、額外添加的石膏粉末顆粒、或是未溶解的半水硫酸鈣粒子的應變區域(Strain Area)等均是具有較高能量的部位或粒子對於其它結晶或粒子的凝集有較大的吸收力。因此，石膏的凝結反應是一項非均質成核再結晶作用(Heterogeneously Nucleated Recrystallization)，呈現繼續的半水硫酸鈣溶液存在，而鈣和硫酸離子不斷地朝成核位擴散並結集，且結晶沈澱下來成爲固態的石膏。

3.凝結作用(Setting Reaction)

其凝結反應是一項可逆反應，乃原料脫水處理的相反反應，因此是放熱反應的現象：



二、物理性質

1.水粉比例(Water/Powder Ratio)

由於熟石膏和硬石膏在製造過程中產生的粉末形態和密度不同，因此，在調拌成爲臨床應用適中的漿液所需的水份量便有所不同。熟石膏方面一般的水粉比例約爲0.5至0.6，而硬石膏方面一般爲0.30至0.33，改良式硬石膏或單齒模用石膏(Die Stone)則爲0.22至0.25。

1.水粉比例(Water/Powder Ratio)

在整個反應過程中，1克摩爾的熟石膏相1.5克摩爾的水反應作用生成1克摩爾的石膏，換言之，以145.15克的熟石膏與27.02克水作用生成172.17克石膏，計算結果是100克熟石膏只需18.61克水便能作用生成二水硫酸鈣。

1.水粉比例(Water/Powder Ratio)

實際上，以上述的如此少量的水是無法充份溼潤一般半水硫酸鈣粉末或是調得流動性佳的漿液以灌製石膏模型，所以，就熟石膏而言，通常要使用水粉比例約爲0.5才能調得所須的稠度；然而，加入的50克水其中只有18.61克是真正參與反應成爲二水硫酸鈣或石膏，過多的水分子將存留在凝固的石膏內部，並且造成石膏模型強度降低，所以水粉比例較小的硬石膏便擁有較高的強度。

2.凝結時間(Setting Time)

凝結反應需要一定的時間以完成，當粉末和水混合的開始時間算起直至材料硬化，其間所經歷的時間稱之爲凝結時間，其中又包含混合時間(Mixing Time)乃指粉末加入水裡進行調拌，至調拌動作完成爲止，一般手調的時間約爲1分鐘，機械輔助調拌則祇需20至30秒，操作時間(Working Time)乃指石膏材料有足夠的流動性或稠度讓操作者可以按需要而使用石膏，一般約爲3分鐘是適中的：

2.凝結時間(Setting Time)

另如表面光澤消失，此表示調拌完成的石膏表面所有有過多的水份蒸發乾燥所形成的現象，時間約在水粉相混開始計算的9分鐘，然而此時石膏仍然很軟不具任何明顯的強度，不宜進行任何工作處理。

2.凝結時間(Setting Time)

對於石膏真正凝結特性的確認必需藉一些儀器的配合才能獲得客觀的結果，常用的工具是吉爾摩針 (Gillmore Needle)，見圖7—2所示，用作測量初期凝結(Initial Setting)的吉爾摩針其重量爲1磅，針端直徑爲2.13毫米，後期凝結(Final Setting)用的吉爾摩針重量爲1磅，針端直徑爲1.06毫米。初期凝結時間(Initial Setting Time)其定義爲從水粉接觸調和始，至凝結的石膏材料能支持初期凝結測量用的吉爾摩針而不產生任何刺入印痕中間經歷的時間稱之，至能支持後期凝結測量用的吉爾摩針而同樣下產生任何刺入痕跡者所經歷的時間稱爲後期凝結時間(Final Setting Time)。

2.凝結時間(SettingTime)

以上的測定只是對石膏凝結機轉相反應作一客觀比較標準，並不表示石膏材料或模型已經有足夠的強度或硬度進行任何操作，對熟石膏而言，前者約為13分鐘，後者約在第20分鐘左右。

2.凝結時間(SettingTime)

根據臨床實際經驗和測定結果顯示，石膏凝結過程中可開始進行使用操作的時機約在30分鐘左右；石膏材料或模型具有足夠的抗壓強度約在水粉始調起後1小時後，可獲得最少80%真正所需的抗壓強度。

2.凝結時間(SettingTime)

由於臨床應用的要求，石膏的凝結時間往往都會被期望能作適當的調整以配合實際應用的需用。理論上，最少有三種方法可以進行石膏凝結時間的控制：

- (1)促使半水硫酸鈣材料在水中的溶解度改變，例如：溶解度增加時，硫酸鈣超飽和的現象便更明顯，結果將加速結晶的沈積和凝結。
- (2)增加或減少引起結晶作用的核種數量，核種數目愈多，石膏結晶沈積也愈快，石膏硬化現象也會提早出現。
- (3)結晶生長(Crystal Growth)的速率如果改變，則凝結時間亦將按同樣的傾向出現變化。

2.凝結時間(SettingTime)

以上三項的理論，在實際操作上可透過以下廠商或操作者的不同方法處理而獲得所需要的特性：

2.凝結時間(SettingTime)

(A)水粉比例：

在調拌石膏時若水量愈多，則在單位容積內存在的核種數則愈少，結果是凝結時間會延長，下同水粉比例和混合時間對凝結時間的影響見表7-1所列。

2.凝結時間(SettingTime)

(B)精細程度：

半水硫酸鈣粉末愈細，調拌愈快，石膏硬化也愈快，此種可以經由廠商在製造石膏粉末時加工的處理，不單祇可增加半水石膏粉末的溶解度，同時由於石膏核種數目的增加促使結晶作用速率也加快。

2.凝結時間(SettingTime)

(C)不純物的存在：

如果在石膏原料煅燒過程中發生煅燒不完全的現象時，部份石膏顆粒殘留在粉末內或是廠商故意添加石膏粉未於提煉的半水硫酸鈣材料內，此種由於煅燒不完全或添加的石膏不純物，會扮演結晶作用時的核種角色，將加速結晶的完成與縮短凝結時間。

2.凝結時間(SettingTime)

(D)混合作用：

在實際操作可能範圍之內，熟石膏的調拌愈久和愈快速則凝結時間愈短，其中的理由是調拌的動作會把結聚在一起石膏結晶打散而成爲更多的核種，接受硫酸鈣結晶的沈積而加速凝結反應，縮短凝結時間，其中的關係見表7-2所列。

2.凝結時間(SettingTime)

(E)溫度的影響：

雖然溫度對凝結時間的影響較爲不一致，往往因材料品質的產異.而有所不同，但是調拌用水和周圍環境的溫度對石膏凝結有兩方面的影響：

2.凝結時間(SettingTime)

第一是在半水和二水石膏的水溶解度方面，測量結果，在攝氏20度時二水硫酸鈣和半水硫酸鈣的溶解度值爲4.5，隨水和環境溫度的改變此比例值亦將改變。當此比例值大於4.5，此表示凝結反應有加速現象，凝結時間縮短，若比例值少於4.5，表示凝結反應被減速，凝結時間延長，不同溫度的半水硫酸鈣和二水硫酸鈣的溶解度見表7-3所列。

2.凝結時間(SettingTime)

第二方面的影響主要是對離子移動性，一般情況下鈣和硫酸離子的移動性會依溫度上昇愈增加，繼而化學反應的速率便增加，凝結時間便縮短。

2.凝結時間(SettingTime)

然而，表7-3中以第一和第三項的影響結果像似互相矛盾，從溫度攝氏20度升高至30度時，溶解比例值從4.5(9.0/2.0)則下降至3.44(7.2/2.09)呈現減速效應，但是離子卻又因溫度熱量的增加而活動能增強使反應作用加速進行，此兩者的效應將互相中和，且從實際測量得知石膏的凝結反應如果溫度從攝氏20度升高至30度，速率是會稍爲增加，凝結時間則縮短，若溫度上昇超過37度，則反應速率有減慢和凝結時間有延長的傾向，當水的溫度在攝氏100度時，二水和半水硫酸鈣二者的溶解度同爲每公斤水溶解1.7克，凝結反應便無法達成，所調拌的石膏漿液也無法凝結硬化。

2. 凝結時間(Setting Time)

(F)加速劑和減速劑(Accelerators and Retarders)的影響：

在實際應用上，最簡單有效地控制凝結時間是在石膏粉末內添加化學藥劑，以改變石膏的凝結速率。如果化學劑會縮短凝結時間，則稱之為加速劑，若造成凝結時間增長者，稱為減速劑。

2. 凝結時間(Setting Time)

減速劑其作用原理一般是在半水硫酸鈣粒子表面形成一層吸附性的薄膜，從而影響石膏的溶解和結晶的生成，此類物質常見如明膠(Gelatine)、動物膠(Glue)等有機物，其它類型的減速劑，例如：高濃度的無機鹽類(>3.4%的硫酸鈉溶液)，將會在石膏表面形成一層溶解度較硫酸鈣為低的無機鹽層，而抑制硫酸鈣結晶的生成；但是此類的無機鹽類在較低濃度時，則如同核種的角色，加速結晶生長和沈積，扮演加速劑的作用。加入這些無機鹽類物質，除了對凝結速度影響外還對其它性質，例如凝結膨脹現象有深遠影響。

3. 容積變化(Volumetric Change)

在凝結過程中，無論是那一類石膏產物所製成的模型或試片，所測量得的均是膨脹的現象。由於不同的水粉比例調拌半水硫酸鈣和水反應生成二水硫酸鈣，所觀察得到的線性膨脹量由0.06甚至高達0.5%不等。理論上，按照化學反應的過程，等容積的半水石膏，水和生成的二水石膏共同計算比較下，二水石膏的容積比反應物的容積為小。

3. 容積變化(Volumetric Change)



摩爾質量	290.284	54.048	344.332
密度	2.75	0.997	2.32
容積	105.556	54.211	148.405

結果：反應物總容積為159.767立方厘米；生成物總容積為148.405立方厘米

容積改變量： $\frac{148.405 - 159.767}{159.767} \times 100\% = -7.11\%$

3. 容積變化(Volumetric Change)

• 如果將立方容積變化粗略換算成線性變化結果為：

如果將立方容積變化粗略換算成線性變化結果為： $-\frac{7.11\%}{3} = -2.37\%$

3. 容積變化(Volumetric Change)

因此石膏在凝結時，理論性的尺度變化(Dimensional Change)為：2.37%的線性收縮現象。上述石膏凝結時理論性和實際測量結果的相反現象可以經由石膏凝結時結晶作用的機轉來解釋。

3. 容積變化(Volumetric Change)

- 從前述圖7—1所示石膏在凝結時是一項結晶作用的發生，從懸浮液中的成核位或核種為中心進行二水石膏結晶的沈積，然而，此項結晶作用要4萬個核種為中心同時進行的反應，在瞬間核與核間所沈聚的結晶便會出現互相接近而互相擠擁的現象出現，在互相接觸、擠壓而結晶作用又要同時進行的情況下，生成的結晶體將內含不同程度的應力和互相交錯生長的結果。

3. 容積變化(Volumetric Change)

然而，由於在半水石膏粉末和水調和時所加入的水容積此石膏結晶凝結所需的量較高，過多的水分子就提供了自由或額外的空間容積讓結晶進行時發生的擠壓交錯有舒展的空間。因此，在後期石膏凝結時其形態是內含交錯的二水硫酸鈣結晶體與結晶間存有無數的微小氣孔或空泡，微小氣孔和空泡的出現其原因一是來自結晶進行交錯間所餘下的空間，另一最大來源是石膏調拌時所加入過量的水份經石膏凝結後便慢慢蒸發而殘留下來的空泡。

3. 容積變化(Volumetric Change)

由於石膏的臨床使用，例如單齒模製作，往往對於尺度的穩定性和準確性的要求較高，所以對於石膏在凝結過程中所出現的膨脹現象必需能作適當的控制或瞭解其變化的量，以期在製作精確復形體時能掌握誤差，保持品質的良好，對於凝結膨脹的控制可經由以下的方法而獲得

3. 容積變化(Volumetric Change)

(A)水粉比例的改變：當比例值升高時，由於水份增加，相對擁有的核種濃度下降，結晶在生長過程中的相互擠壓的情況較不嚴重且內部有足夠的空間讓結晶沈積凝結，所以膨脹的現象便減低。相反地，若加入的液體或水份比正常較少，或是如硬石膏類材料原先所需的水量便較少，結果在晶體生長過程中互相擠壓的現象便很明顯。膨脹的效應由於水份比例降低而明顯升高，然而，硬石膏此種比熟石膏較大膨脹反應變化往往被一些添加物的影響而不明顯或被遮蓋住。

3. 容積變化(Volumetric Change)

(B)加速劑和減速劑的使用：此種利用添加物以獲得凝結反應的尺度穩定性是最有效且常用的方法。如因前述化學物質中無論是加速劑或減速劑除了改變石膏產物的凝結反應速率，經常會降低凝結膨脹的發生，其中的機轉仍不十分清楚，大部份被用作加速劑的化學物質在使用量和濃度方面如果增加將可能改變其加速效力變為減速或阻滯劑。例如氯化鈉在2%以內的濃度作用為加速劑，大於2%則有阻滯效果，硫酸鈉其加速效力的最高濃度不能超過3.4%，大於3.4%便顯示阻滯的反應。硫酸鉀的濃度則在3%為分界效力。

3. 容積變化(Volumetric Change)

阻滯或減速劑的作用機轉可能是在半水硫酸鈣粒子表面覆蓋成一不溶解膜阻止硫酸鈣分子進入水中進行結晶沈積，有機物質如檸檬酸鹽(Citrate)、醋酸鹽(Acetate)和硼酸鹽(Borate)是最常用的阻滯劑，但是酒石酸鉀(Potassium Tartrate)則屬於加速劑類。

3. 容積變化(Volumetric Change)

在石膏製造廠商方面為求減低膨脹又能同時控制凝結時間往往將加速劑和減速劑以一定的比例同時加入石膏原料中以達到效果，以上混合的常用組合為硫酸鉀和硼酸，酒石酸鉀鈉和檸檬酸鈉。

4. 吸濕性凝結膨脹(Hygroscopic Setting Expansion)

一般熟石膏或硬石膏其進行凝結時都是處於大氣的環境中，若凝結的進行是浸泡在水裡則可能出現的膨脹將比正常大許多，其原理主要是讓材料內部有額外的結晶生長空間而導致明顯的膨脹效應，其中的反應機轉見圖7-3所示。

4. 吸濕性凝結膨脹(Hygroscopic Setting Expansion)

第一期，半水硫酸鈣粒子被水所包圍和調和在一起。
第二期，結晶作用開始，二水硫酸鈣結晶開始形成，在圖左側的正常凝結狀況裡，水分子在結晶生成的同時有減少的現象，而右側的吸濕性凝結由於石膏是浸泡在水裡，水分子保持補充，石膏粒子保持互相一定的間距。當結晶作用持續進行時，出現互相靠攏，接觸和最後的擠壓、交錯現象，在正常凝結現象中，水分子不斷減少，當擠壓現象發生，則結晶有向外伸展的傾向造成一般凝結膨脹的作用，而在吸濕性凝結的過程中，由於周圍的水分子源源不斷補充，當結晶生成時，一旦互相接觸形成擠壓的時候，核種和周圍所沈積的結晶將會與鄰近的核種由於壓力的形成而互相推開分離，在分離後凝結反應仍繼續進行直至石膏硬化為止。

4. 吸濕性凝結膨脹(Hygroscopic Setting Expansion)

此時正常凝結狀況的內部結晶互相纏結在一起且阻止更進一步的向外膨脹，而在吸濕性凝結的狀況裡，由於結晶有可以外移的空間，所以在凝結過程中有更明顯的膨脹現象，同時此種現象純是一種物理反應，而非化學反應結果，對吸濕性凝固膨脹可因調拌時的水粉比例降低和加快調拌速度和次數而造成吸濕性膨脹效應更明顯增加。

4. 吸濕性凝結膨脹(Hygroscopic Setting Expansion)

此種吸濕性凝固膨脹現象在一般石膏模型的製作方面應用機會較小，主要是在石膏鑄結包埋材料使用時，為求對鑄造合金收縮時作代償而將鑄模作吸濕性凝結膨脹處理。

貳、機械性質

貳、機械性質

模型用石膏是屬於脆性材料，換言之，其抗拉強度遠較抗壓強度為弱，凝結後的熟石膏試樣其抗拉強度約為抗壓強度的20%，硬石膏更只有10%而已，因此，石膏材料的斷裂主要是發生於拉張情況下，而抗壓強度同時又可以作為材料表面硬度的一項指標。

貳、機械性質

從凝結的機轉中可以預測，石膏材料達到初期凝結時間開始硬化石膏的強度將會迅速地增加，然而，由於調拌過程中加入多量的水份，這些水分存留在石膏內對於石膏模型或試樣的強度有主要的影響，因此在考慮石膏產物的強度時，有濕強度(Wet Strength)和乾強度(Dry Strength)的分別。濕強度乃調拌後過多的剩餘水分仍留在石膏模型或試樣中，此時模型或試樣所擁有的強度。當試樣經乾燥處理將內部殘餘水分蒸乾，此時試樣擁有的強度稱之為乾強度，約為濕強度的一倍或以上，不同的石膏產物其強度見表7-4所列。

對於石膏強度的影響可歸納如下：

一、水粉比例的影響

一般而言，石膏的強度與水粉比例值和內部的多孔性呈反比關係。因此實際操作中能以最低水量調得所需的石膏稠度以供使用，則石膏硬化後的強度則最佳。其中單齒模用硬石膏粉所需的調拌水量為0.23(與理論值0.186甚為接近)。因此，強度昇高的方法是以較低的水粉比例值較少的情況來調拌石膏，但是，可惜卻會因調拌用水減少而引起凝結式的明顯膨脹現象，所以當尺度準確性比強度更為重要的情況下，正確的甚至稍高的水粉比例較為理想。

對於石膏強度的影響可歸納如下：

二、烘乾處理的影響

以較低的溫度緩慢地將石膏試樣內部未結合殘餘的水分蒸發，結果可使石膏試樣的強度加倍，見表7-4，據測量要蒸發移除內含水份超過2%或以上，強度才會有效增加，而此種強度的增加乃一種可逆反應，當模型或試樣再浸泡吸入水分後其強度又將回復其原有濕強度的程度，至於乾燥處理對熟石膏強度的影響見表7-5所列。

對於石膏強度的影響可歸納如下：

三、添加物的影響

無論是添加加速或減速劑，通常都將形成濕和乾強度造成減弱的結果，其原因是所加入的物質或鹽類對石膏而言均屬於攪雜物質，對結晶成果和內窺有減低與阻礙的效應。

參、操作考慮因素

參、操作考慮因素

對於不同類型的石膏產物的應用，完全按臨床實際需要的特性而作不同的選擇，例如：牙科用硬石膏雖然擁有高強度但是用作代替印模用熟石膏使用於臨床印模則不適宜，可能容易造成口腔組織的傷害，另一方面在義齒製作過程中，模型的精確性和硬度是一般熟石膏所沒法提供的(根據美國牙醫協會第25號規範石膏產物其細微複製能力應能複製50微米寬度的溝槽)，因此，迄今沒有單一類型石膏產物能適合牙醫臨床各項需要的使用，祇能按臨床的需求而選擇適當的石膏材料應用。表7-6乃美國牙醫協會第25號規範對不同類型石膏產物性質的基本要求。

參、操作考慮因素

一、第一類型，印模用熟石膏

其成份主要是熟石膏添加多種化學物質以調整其凝結時間，凝結膨脹和臨床應用的特色。其水粉比例乃超適0.50甚至高達0.75，凝結時間特別短，由於屬於脆且硬的材料，臨床應用時不能有太大的倒凹，不然將造成口腔組織的傷害，目前漸漸被其它彈性印模材料所取代，只局限於修正性印模(Corrective Impression)使用。

參、操作考慮因素

二、第二類型，模型用熟石膏

長久以來是實驗室應用最多最廣的材料之一，主要是義齒製作時包埋用，多為白色，以別於其它硬石膏。

參、操作考慮因素

三、第三類型，牙科用硬石膏

此類硬石膏的第一小時抗壓強度在210-350MPa範圍內，有足夠的抗壓強度，主要用於製作全口義齒的模型材料，且在拆除時較其它硬石膏易於處理。

參、操作考慮因素

四、第四類型，牙科用高強度硬石膏

由於單齒模型製作時，材料須具備強度，硬度和較低的凝結膨脹，特別是復形體在齒模上製作時，模型必須是有高度的抗刮或抗磨損的能力，此類型的石膏是最為合適的材料。據測定第四類型高強度硬石膏的表面硬度數為92，而第三類型祇有82。

參、操作考慮因素

五、第五類型，牙科用高強度，高膨脹率硬石膏

此類型石膏乃最新的石膏產物，擁有如第四類型硬石膏的強度和更低的水粉比例值，最大的特色是其膨脹量可達0.30，臨床上，此項高膨脹效果在單曲模型製作時，可作為日後復形體在使用收縮量大的基底合金(Base Metal Alloys)鑄造時收縮的一項補償效果。所以，主要是針對日趨廣泛使用的基底合金鑄造而發展成功的硬石膏材料

參、操作考慮因素

除了上述五種類型的石膏產物外，歐日國家曾嘗試以化學方法合成石膏成份，然而由於成品較昂貴且天然的石膏原料目前儲存量甚豐，所以，人工合成石膏的開發在經濟效益不彰情況下未被推廣，但是由於人工合成可以控制很多因素，特別是純度和結晶的形態，所以，性質上比天然石膏原料所提煉的產物各相似甚至更為優異。