

3.1.1.1 概述

通常我們知道合成人造鑽石需要高壓和高溫條件。爆炸合成與靜壓合成的基本區別在於製造產生高溫高壓的工藝方法不同。爆炸合成鑽石包括兩種方法：

①爆炸衝擊合成：利用炸藥爆炸產生的衝擊波的壓力和溫度將石墨轉變成鑽石。

②炸藥爆轟合成：利用炸藥（富碳的芳香類炸藥）中在爆轟反應時釋放出的游離碳或是將混在炸藥（硝酸類）裡的石墨、碳黑和有機碳在爆轟波的壓力和溫度作用下轉變成鑽石。

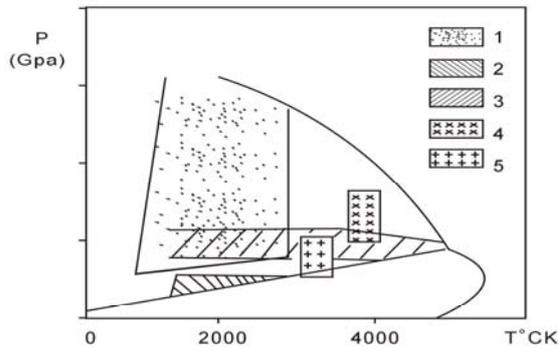
本專案是基於上述兩種方法而研製開發的：

項目利用炸藥可控的爆轟反應在反應區內或爆炸衝擊波的壓力，溫度和時間，對添加在炸藥中的碳、石墨、氮化硼、鑽石等物品或炸藥本身在反應區內生成的游離碳發生晶變，或者壓實而產生立方晶形的鑽石氮化硼或者形成它們的聚晶超硬材料。

各種合成鑽石方法的壓力 P 和溫度 T 的狀態表示在圖 3.1.1—1 上。

爆炸合成主要設施一個為爆炸井，主要作用是實施爆炸作業，收集爆炸產物；冷卻爆炸產物；緩解爆炸雜訊，這個設施就是我們的關鍵技術和創新點所在。另一個為鋼制的封閉爆炸合成室，其容積為 $4M^3$ ，最大爆炸是為 2Kg 高效炸藥，其作用也是實施爆炸作業；收集爆炸產物；緩解爆炸雜訊和產物的污染，其雜訊可達 40-50 分貝，該爆炸室配有抽空、充惰性氣體等設備。

爆炸合成鑽石的碳相圖



- ①爆炸衝擊合成區 12-50Gpa ，
500-2500°K ；
- ②觸媒靜壓合成區 5-10Gpa ，
1300-2800°K ；
- ③無觸媒靜壓合成區 14-21Gpa ，
1000-4000°K ；
- ④炸藥碳爆轟合成區 18-28Gpa ，
3000-3500°K ；
- ⑤炸藥添加物爆轟合成
3.7-16.2Gpa,2500-3000°K 。

圖 3.1.1—1 爆炸合成鑽石的碳相圖

3.1.1.1 爆炸合成工藝路線

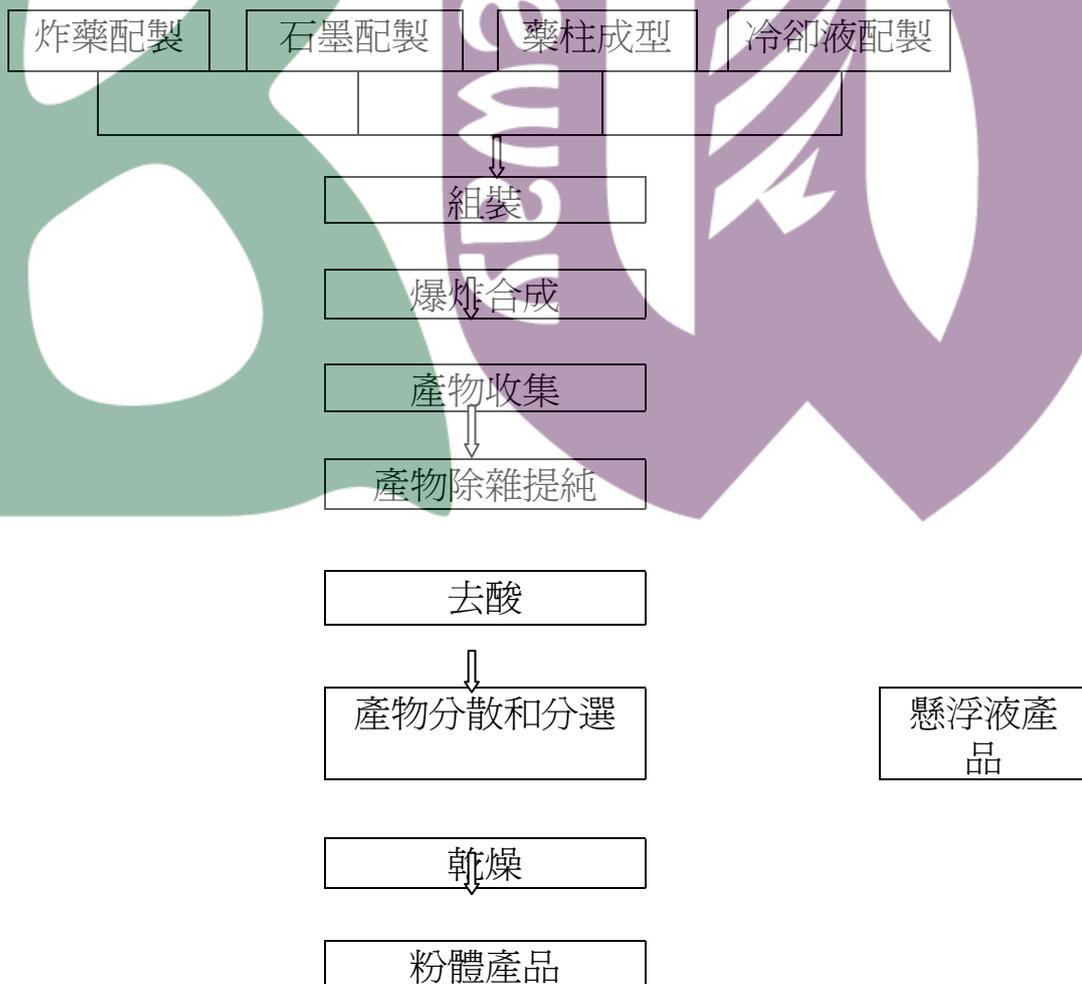


圖 3.1.1--2 工藝流程圖



3.1.1.2 爆炸衝擊合成裝置

以炸藥為動力源的合成裝置的設計原則

- ①選擇高爆速、廉價的高效優質炸藥
- ②爆炸裝置多為一次性使用，應力求結構簡單、製作簡便和價格低廉
- ③力求爆炸合成後具有高的鑽石轉化率和回收率
- ④爆炸裝置應安全可靠，對人和環境污染及危害小。

常用動態爆炸合成裝置

①透鏡式平面波發生器

這種裝置的結構如圖 3.1.1--3 所示。把高爆速 D1 的炸藥製成碗形 3，碗中裝上低爆速 D2 (D2<D1) 炸藥 4，藥碗的傾角為 α ，當雷管 1 起爆點燃引爆頭 2 後，使炸藥爆炸並以爆速 D1 傳播，在爆轟波到達平面波發生器

之處引起炸藥 4 爆炸，其爆轟波以速度 D2 傳播。使之平面爆轟波引爆藥柱，就要求兩種炸藥的爆速與炸藥碗傾角間滿足關係式： $\sin \alpha = D2/D1$

如果在主藥包下面貼放一個金屬平板，當主藥包爆炸時，它就成為高速飛片，撞擊到物體上產生較高的壓強和溫度。一般飛片法要比將炸藥直接貼在試樣上能產生更高的壓強。

②單飛片裝置

這種裝置的截面結構如圖 3.1.1--4 所示。當平面波發生器產

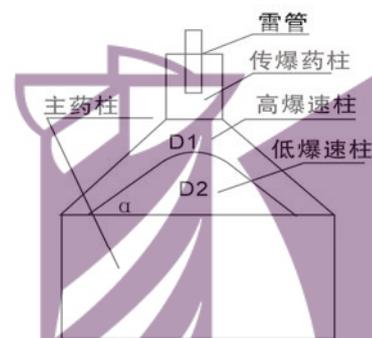


圖 3.1.1--3 透鏡式

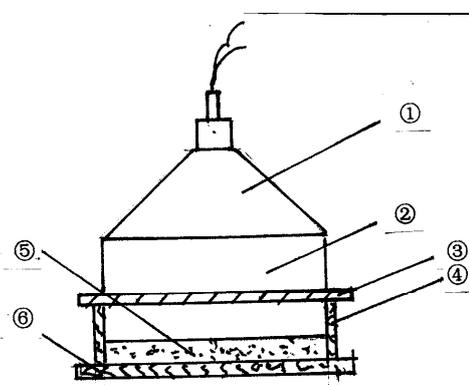


圖 4 單飛片裝置
1.平面波發生器 2.主炸藥包 3.金屬板
4.木支架 5.石墨 6.托板

生平面激波後，使主藥包 2 爆炸，驅動金屬板 3 以更高的速度撞擊到石墨上，使之轉變為鑽石。

③雙飛片爆炸衝擊合成裝置

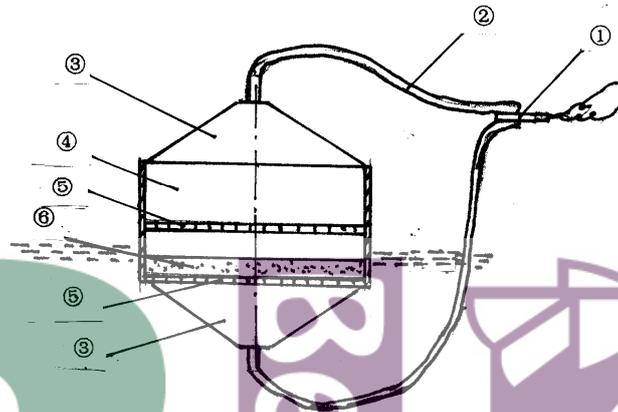


图5 双飞片爆炸冲击合成装置示意图
 ① 雷管 ② 导爆索 ③ 平面爆轰波发生器 ④ 主药柱
 ⑤ 飞片 ⑥ 碳片

④爆轟合成裝置

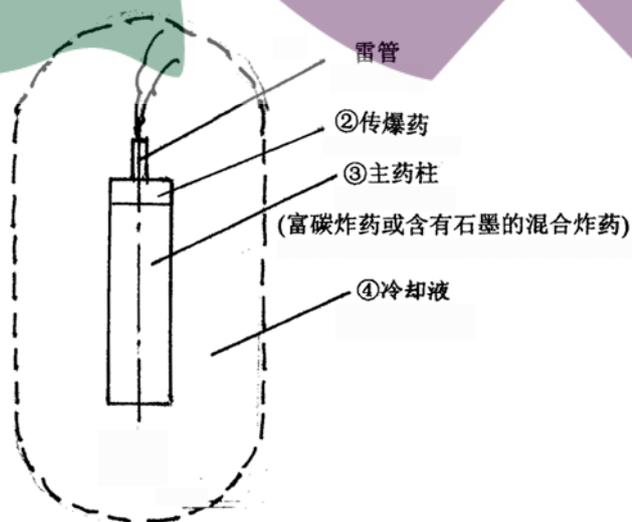


图6 爆轰装置合成示意图

3.1.1.3 動態合成鑽石炸藥選擇原理

國內外用於合成鑽石的炸藥為猛性炸藥。它們具有較高的爆速和爆熱，其穩定性能較好，通常需要引爆藥來激發爆性。TNT 和 RDX 炸藥是爆轟納米鑽石（或納米多晶鑽石）最基本，最常用的，兩種炸藥的基本特性如下表所列。

表 3.1.1—2 TNT 和 RDX 炸藥的基本特性

	RDX	TNT
學名	環三次甲基三硝胺	三硝基甲苯
顏色	白色粉末	黃色磷片狀結晶
真比重 (g/cm ³)	1.82	1.66
爆速 m/s	8800	6900
爆壓 Gpa	35	19
爆溫 °K	3700	3000
爆熱 千卡/公斤	1300	980
熔點 (k)	478	353.85
含碳量 (%)	16.22	37.00
價格 (元/噸)	23000	9000

這裡需要指出的是：

①RDX 的爆速大於 TNT；

②兩種炸藥的分子量相近，每分子所含的原子數相同，即分子中的平均原子量基本相同（10.57 和 10.81），炸藥爆炸瞬間 RDX 爆轟區的溫度和壓力均高於 TNT；

③RDX 爆炸不產生游離碳，而 227gTNT 產生約 40g 以上的碳；

④含碳較多的 TNT 爆壓通常較低，而爆壓較高的 RDX 含碳較少，在負氧條件下的游離碳含量的多少，是決定生成鑽石量的多少的基本條件。為提高合成壓力，所以在實際中通常採用 TNT/RDX 混合類型的炸藥；

⑤兩種炸藥的做功能力也是 RDX 高於 TNT(1.72 與 1.6kJ/g)，做功後炸藥氣團中以溫度升高表現的熱量為 3.74kJ/g，TNT 為 3.04kJ/g，前者比後者高 23%。

此外，還有採用 HMX 或 HMX 加 TNT 的混合炸藥。

3.1.1.4 動態合成鑽石石墨和衝擊情況選擇原則

爆炸合成鑽石的性質和性能：

①在動態壓力作用下，六方結構的石墨很容易首先滑轉為菱方結構的石墨。

當壓力增加到強轉變門檻時，就各自轉變為堆垛形式不同的六方結構的鑽石和立方結構的鑽石，如圖所示。因此，動態法合成鑽石時，通常既有六方結構的鑽石，又有立方結構鑽石，而且它們常以共生晶體形式存在於同一晶體中。

②亞穩態的六方結構鑽石的存在即表明相變是經固態無擴散形式進行的，並常常形成兩種晶體共存的鑽石織構體。

③動態法合成的鑽石具有由 5-20nm、長 20-100nm 的定向排列的針狀亞晶粒組成的織構體，其織構方向非常準確一致，以至其電子衍射花樣幾乎同單晶體衍射花樣相同和等軸多晶亞結構，多數情況

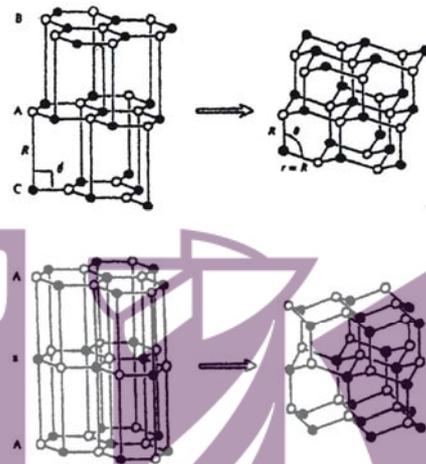


圖 3.1.1—7 石墨（左圖）直接轉化成鑽石（右圖）的示意圖。上圖示菱形石墨轉化成立方鑽石，下圖示六方石墨轉化成六方鑽石。圖示鑽石可由石墨層彎褶（上圖）或對褶下圖而成

下，亞晶排列不呈明顯的方向性，晶體中含有大量的空洞、位錯和微裂紋等缺陷。亞晶粒大小在 10-20nm 之間。

碳的兩貢紐（Hugoniot）狀態方程

研究石墨在動態高壓條件下轉變為鑽石問題時，人們對衝擊壓縮下石墨的壓縮曲線和相變有很大興趣。

Doran 和 Coleburn 分別採用結晶較好的熱解石墨為樣品，進行動態壓力下的可壓縮性試驗和 Hugoniot 紐動態方程曲線的測定。他們採用了 Rankine-Hugoniot(R-H)關係式

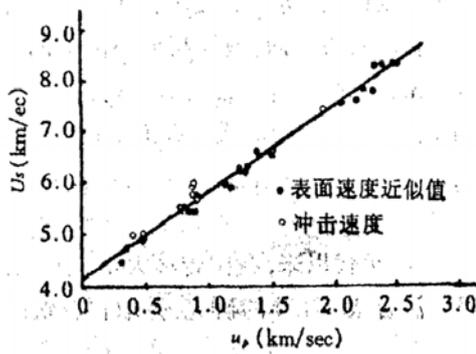
$$V/V_0=(U_s-U_p)/(U_s-U_0) \quad (1)$$

$$P-P_0=(1/V_0)(U_s-U_0)(U_p-U_0) \quad (2)$$

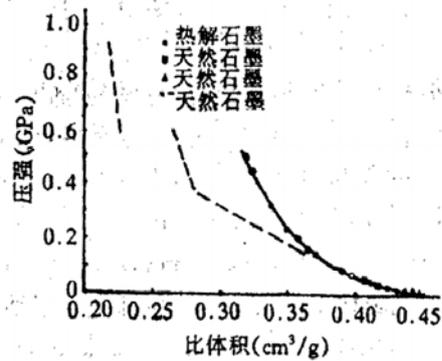
式中， U_s 為試樣所受的衝擊波速度； V 和 V_0 為試樣衝擊前後的比體積； P_0 和 P 為試樣衝擊前後承受的壓力大小； U_0 和 U_p 為試樣衝擊前後的質點速度。

試驗用樣品是在 2473K 經熱分解的石墨塊，密度為 2.20-2.00g/cm³。衝擊方向為石墨的 c 軸向，受衝擊面為石墨的基面，衝擊壓力大小由不同性能的炸藥和不同藥柱厚度來調節。把衝擊測得的資料代入上述方程（1）和（2），並繪成下圖所示的曲線。

下圖分別為熱分解石墨受衝擊時的衝擊速度同樣品質點間的關係圖、熱分解石墨的 Hugoniot 狀態方程曲線圖。由此表明，炸藥爆炸以平面波推動飛片垂直轟擊石墨樣品表面，飛片的衝擊速度同石墨的質點速度之間存在相應的關係。當飛片的衝擊速度大於 4km/s 時，它與石墨的質點速度呈直線關係。



热解石墨受冲击时的冲击速度 (U_s) 同样品速度 (u_p) 的关系。



热解石墨的动态 R-H 方程曲线 (虚线为天然石墨试验曲线)

圖 3.1.1--8 表明，衝擊壓強增加時，石墨的比體積減小；當壓強大於 40Gpa 時，已超過石墨鑽石轉變門檻壓強，所以比體積出現突然縮小的現象。

圖 3.1.1--9 中天然石墨同熱解石墨在 Hugoniot 方程曲線中顯示的差異，被認為是天然石墨晶體中存在較多的菱方結構 (>14%) 的緣故，在衝擊壓縮時，或許它們轉變為立方鑽石的門檻壓強略低。因此，當衝擊壓强大於 30Gpa 時就發生轉變，而導致比體積劇烈減小。

石墨承受動態爆轟壓力時，由於原子間在瞬間受壓相互摩擦而產生隨衝擊壓增大而增高的溫升，稱之為 R-H 溫升，下表中 V 是在衝擊壓強下的比體積值； $P_{(R-H)}$ 是衝擊壓強值； $T_{(R-H)}$ 是 R-H 溫升值， P_t 是由於衝擊時試樣的 R-H 溫升而修正後的衝擊壓強值。

熱解石墨在 298K 等溫條件下，經受衝擊壓縮時，測定並計算的 R-H 溫升值見表 3.1.1—3。

表 3.1.1—3

$V(\text{cm}^3/\text{g})$	$T_{(R-H)}(\text{k})$	$P_{(R-H)}(\text{Gpa})$	$P_r(\text{Gpa})$
0.4545	298	0	0
0.4250	314	3.03	3.02

0.4014	354	6.75	6.7
0.3945	378	8.15	8.08
0.3882	407	9.62	9.53
0.3764	487	12.8	12.7
0.3714	535	14.5	14.3
0.3577	725	20.2	19.8
0.3486	932	24.1	23.6
0.3382	1247	31.0	30.2
0.3314	1541	35.9	34.9
0.3259	1840	41.0	39.7
0.3227	2045	43.8	42.3
0.3177	2461	49.4	47.6

由表 3.1.1—3 可見，熱解石墨在等溫條件下隨動態衝擊時，隨著衝擊壓強值的增大，R-H 溫度值會迅速增加，在衝擊壓強為 12.98Gpa 時， $T_{(R-H)}$ 已達 487k，顯然這樣的溫升對石墨向鑽石轉變還是起作用的，如果衝擊壓強很高時，衝擊時石墨的 R-H 溫升也很高，轉變後的鑽石若處於 2000K 以上的高溫，就會發生石墨化逆變的反應。

藥柱重量、飛片厚度與飛行撞擊速度、壓力和施壓時間的關係：見表 3.1.1—4。

表 3.1.1—4

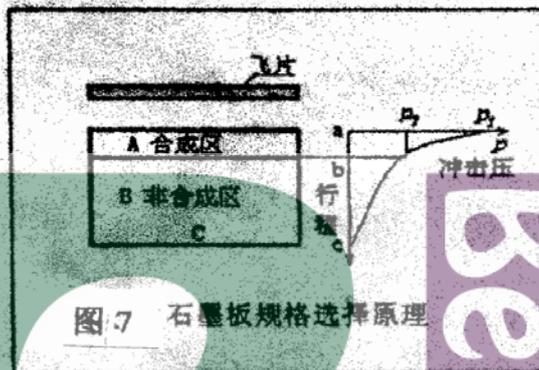
炸藥用量 g/cm ²	飛片厚度 mm	飛片速度 km/s	撞擊壓力 Gpa	施壓時間 μ s
3.8	2.5	2.1	43	0.85
7.75		2.9	71	0.44
15.5		4.1	107	1.18
3.88	5.0	1.8	39	1.74

7.75		2.3	43	1.44
15.5		2.7	68	1.17

注：①飛片飛程為 25mm；②炸藥為 TNT/RDX(40/60)， $D=1.67\text{g/cm}^3$

③飛片速度、撞擊壓力、施壓時間均為計算值。

石墨片厚度 H 、牌號對轉化率的影響：



(1) 石墨板尺寸的選擇

圖 3.1.1--10 表明，當石墨片厚度不大，衝擊波壓力衰減至 P_2 (合成鑽石所需的衝擊波壓力) 以下時，在石墨片厚度方向上的 R 區內不能生成

鑽石。因此，石墨板的厚度 h 應滿足： $h \leq ab$

當石墨板過薄時，由於墊板對沖波的反射加強，石墨溫度增高，產生嚴重的石墨化現象。在選用不同炸藥時，石墨片應通過實驗確定。例如，採用 TNT 藥包，藥高 225mm，飛片厚 2.5mm，飛程 25mm，墊片厚 1.5mm 及 SD-1 型石墨片時，鑽石的轉化率如表 4 所列。上述條件下，石墨片厚 $h=12-15\text{mm}$ 為宜。

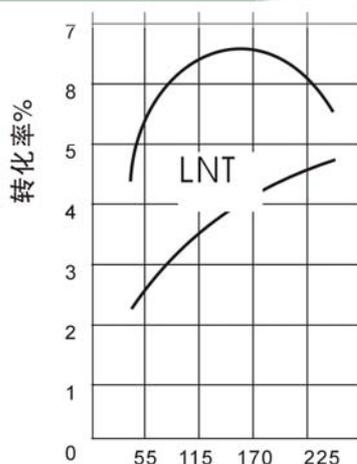


表 3.1.1—5 合成鑽石的轉化率

石墨片厚 /mm	5	10	15	20	25
轉化率%	0.6	4.0	5.2	3.6	2.7

(2) 石墨品種的選擇

石墨品種的選擇對鑽石轉化有很大影響，一般應選擇石墨化程度高的

石 墨。所作的實驗表明，哈爾濱電碳廠生

圖 3.1.1-11 炸藥成分與藥高和 產的 SD-1 型和 D215 石墨轉化率較高轉化率的關係。

(3) 炸藥成分與藥塊高度的選擇

圖 3.1.1--11 表明，不同炸藥成分和藥塊高度 h 時，鑽石轉化率 n 也不同。

飛片的材質，我們採用 A3 鋼。

3.1.1.5 爆炸合成鑽石的性質和性能特徵

①爆炸衝擊法可以製備出形貌具有球狀凸出（類似葡萄串形貌）的多晶鑽石結構顆粒。該顆粒與爆轟合成納米鑽石顆粒同樣都是 2-10nm 的基本晶粒構成的。但是多晶的電子衍射表樣與單晶體是不一樣的，球狀多晶與單晶的研磨效率是不一樣的，球狀多晶出刃好、效率高，研磨後表面粗糙度可達 0.6nm 以下，從本質上優於天然單晶鑽石和靜壓法合成人造單晶鑽石微粉，避免了單晶鑽石微粉容易沿解理面脆性斷裂的弱點，從而易於劃傷工件表面。

②最高石墨轉變成鑽石的得率在 $>29.5\text{wt}\%$ ，國外最好的指標是 6-10wt%。目前最佳合成條件為主藥柱為 TNT/RDX 40/60，柱高在 80—100mm；石墨片厚度為 10-18mm，牌號為 G3。

③提純選用 HClO_4 或 HNO_3 氧化劑，基礎酸為 H_2SO_4 ，在催化劑的作用下的液相提純工藝，而用硫酸+少量硝酸+催化劑代替高氯酸，氟化鹽+硝酸鹽+硫酸鹽方法代替氫氟酸，其中融鹽法代替液沸法使生產操作人員在生產環境中人身保證更加安全，並取得高效、污染小等好的生產及社會效果。

④爆炸合成裝置與工藝中採用了雙飛片和水保護介質作為冷卻劑方案，可進一步提高得率和保障鑽石顆粒具有良好的形貌及其容易分散的特點。

爆炸合成鑽石表徵測試結果

①X 光衍射圖(XRD)

圖 3.1.1—12 爆炸衝擊合成多晶鑽石的 XRD

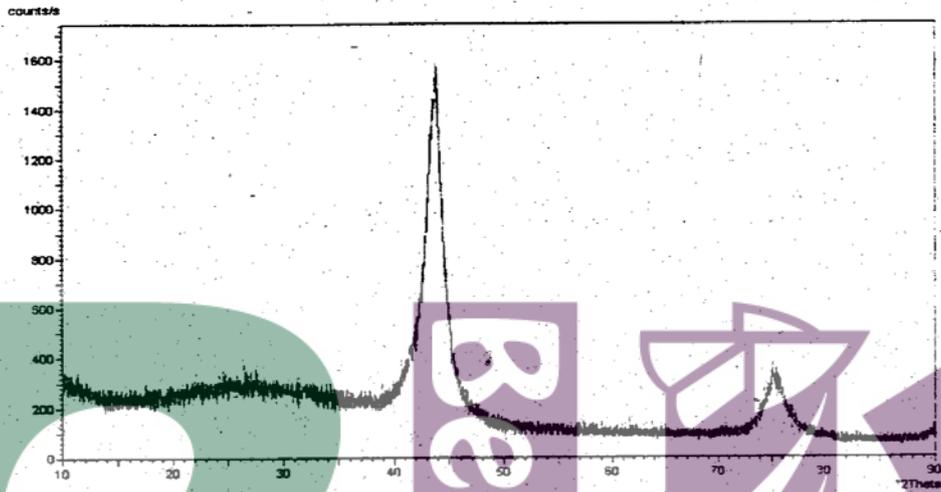


图 9 爆炸冲击合成多晶金刚石的 XRD 图

XRD 的三個特徵峰表明：爆炸合成出的產品為納米多晶鑽石

②爆炸合成納米多晶鑽石的 TEM 圖

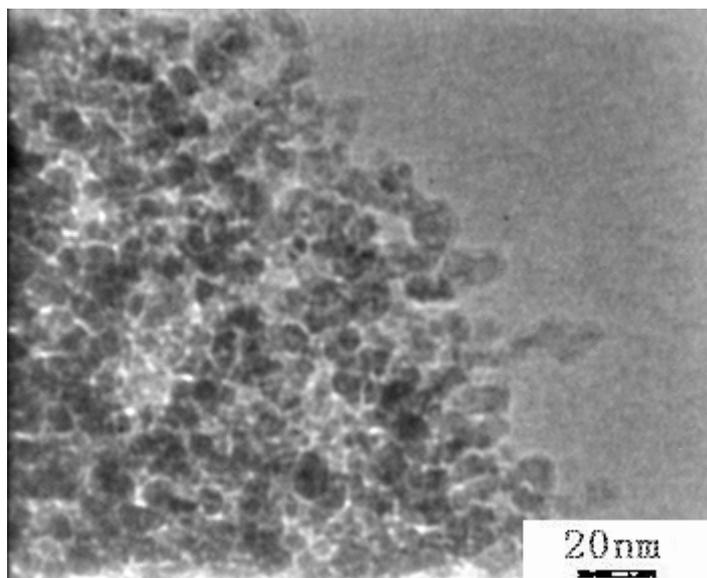


圖 3.1.1-13 爆炸合成納米多晶鑽石 TEM 圖

圖 3.1.1—13 是爆炸合成納米多晶鑽石的 TEM 照片，該照片表明，它是由 2-10nm 組成的多晶鑽石顆粒

③納米多晶鑽石的 SEM 圖



圖 3.1.1-14 爆炸合成多晶鑽石的 SEM 圖

從 SEM 圖上顯示，爆炸合成納米多晶鑽石的顆粒表面形貌為凸球形。

④爆炸合成納米多晶鑽石的細微性分佈

圖 3.1.1-15 為經過分散分選前的鑽石細微性分佈情況；



圖 3.1.1-16 為分選後的鑽石細微性分佈情況,其重量額度 55.18%的鑽石在 100nm 以下。

⑤物理—化學性質的比較（見表 3.1.1—6）

表 3.1.1—6 三種合成鑽石方法制的鑽石物理—化學性質

性質	鑽石製造方法及其牌號		
	RVD (靜壓法)	納米鑽石 (衝擊法)	納米鑽石 (爆轟法)

物相組成	立方晶形的鑽石 (a=0.357nm)	立方的 (a=0.357nm) 和 六方晶形 (a=0.252nm)	立方晶形的金 剛 石(a=0.357nm)
亞結構相散射區大小	未顯示	10-12nm	4nm
Ⅱ類微應力 ($\Delta \alpha / \alpha$)		$1 \times 10^{-3} - 1.9 \times 10^{-3}$	無
位元錯密度 cm^{-2}	-	-	1.8×10^{13}
密度(比重瓶法) g/cm^3	3.49	3.20-3.40	3.30
細微性 nm	0-2000	41-82	2-50
		10-50 (從石墨)	$2-20^{[3]}$
		20-80(從煙黑) ^[4]	$4^{[5]}$
比表面 cm^2/g	$13.5^{[6]}$	20-42	217
		20-25 (從石墨)	
		35(從煙黑)	
化學組成 %	C-99.0	C-99.0	80—90
	(Ni、Mn、Cr、Fe)-0.5		0-0-6.8
	Si-0.2		Si-痕跡
	B-0.2		
	(O、H)-0.1		
灰粉 %	<0.1	0.1	<0.5
空氣中起始 氧化溫度 $^{\circ}\text{C}$	1100	>800	1100-1200
電阻 $\Omega \cdot \text{M}$	1.10^{11}	-	$7.7 * 10^9$
介電損耗角 $f=10^3 \text{HZ}$	0.0100	-	0.0145
比磁化係數 $10^{-3} \text{m}^3 / \text{kg}$	0.5	-	<1.0
親水程度 MJ/mol.g	-1480	-	-3100
表面電泳電荷 MB	-6.53	-	-78.44
吸附勢 A J/kg	14.2	-	384
比吸附勢 “A” J/kg	1.005	-	1/8

⑥使用效果

(1) 應用於精磨拋光領域，如電子晶片，堅硬材料拋光，使表面的粗糙度可下降 0.6nm 以下；

(2) 用於複合渡層，產生高的附著性和低的摩擦因子數；

(3) 用於機械設備的潤滑，作為極壓抗磨劑，將滑動摩擦轉變成滾動摩擦，有效避免了幹摩擦現象，表現出良好的潤滑性；對提高機械工業加工精度，作為耐用敷著功能材料。 《詳見附件 14》

3.1.1.6 鑽石含雜特點及表面處理

① 破碎後微米靜壓鑽石粉，其雜質碳、金屬、氧化矽等一般在 1% 以下，去除工藝簡單，無需太多時間；

② 而爆炸鑽石多晶產物，含有 50% 以上的雜質，去除大量的碳工藝過程複雜要花費大量時間，也是工藝流程中研究的重點。

採用去雜工藝路線：

① 一般靜壓鑽石微粉去雜質方法：

硝酸+鹽酸 → 高氯酸 → 氫氟酸

② 爆炸合成鑽石多晶去雜質方法

鹽酸 → 硫酸+硝酸+催化劑 → 氟化鹽+硝酸鹽+硫酸鹽

說明：該處理法具有良好的可控制性，可以得到與礦物學的礦物組成分析時使用的熔鹽處理法的熔融劑相近的反應性，比如 $MHSO_4 + H_2SO_4$, $M=Na, K, NH_4$; 或者 $XNO_3 + H_2SO_4$, $X=K, NH_4$ 。不僅熔鹽，其分解物三氧化硫 (SO_3) 作用也很大。三氧化硫是硫酸熱分解的產物。硫酸是非揮發性的，沸點為 $380^\circ C$ ，是強氧化劑之一，即使在常溫下也能侵蝕有機化合物，高溫下反應性更強。而且，沸點低於超微細鑽石的分解開始溫度，在回流容器內加熱硫酸，可以長時間安定地維持很強的氧化氛圍。

硝酸鉀作為鑽石的刻蝕劑被廣泛使用。鉀離子能侵入到石墨的層狀結構內，生成層間化合物。鹼金屬通過熱反應很容易形成層間化合物，Na 能生成含量低於 $C_{64}Na$ 的化合物，Li 生成 C_6Li ，其它元素生成 C_8M 。所出, K 常被用來通過與石墨生成層間化合物，使層間

距離變大，結構容易破壞。另外，少量的水可以促進回流容器內的物質迴圈。

應用領域與其表面物理化學性質的關係：

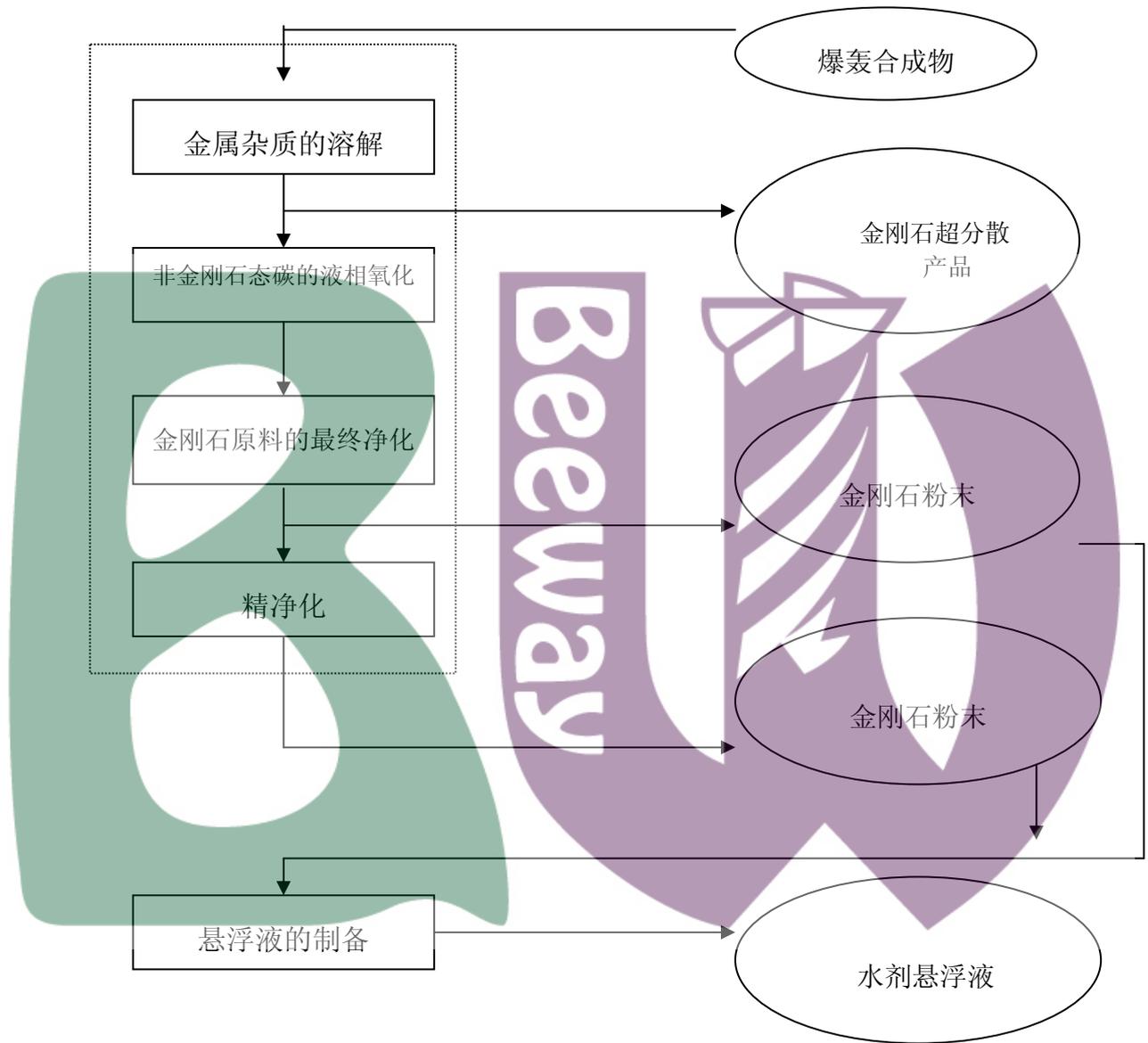


圖 3.1.1—17 以納米鑽石超分散體為基的產品製備的工藝流程圖

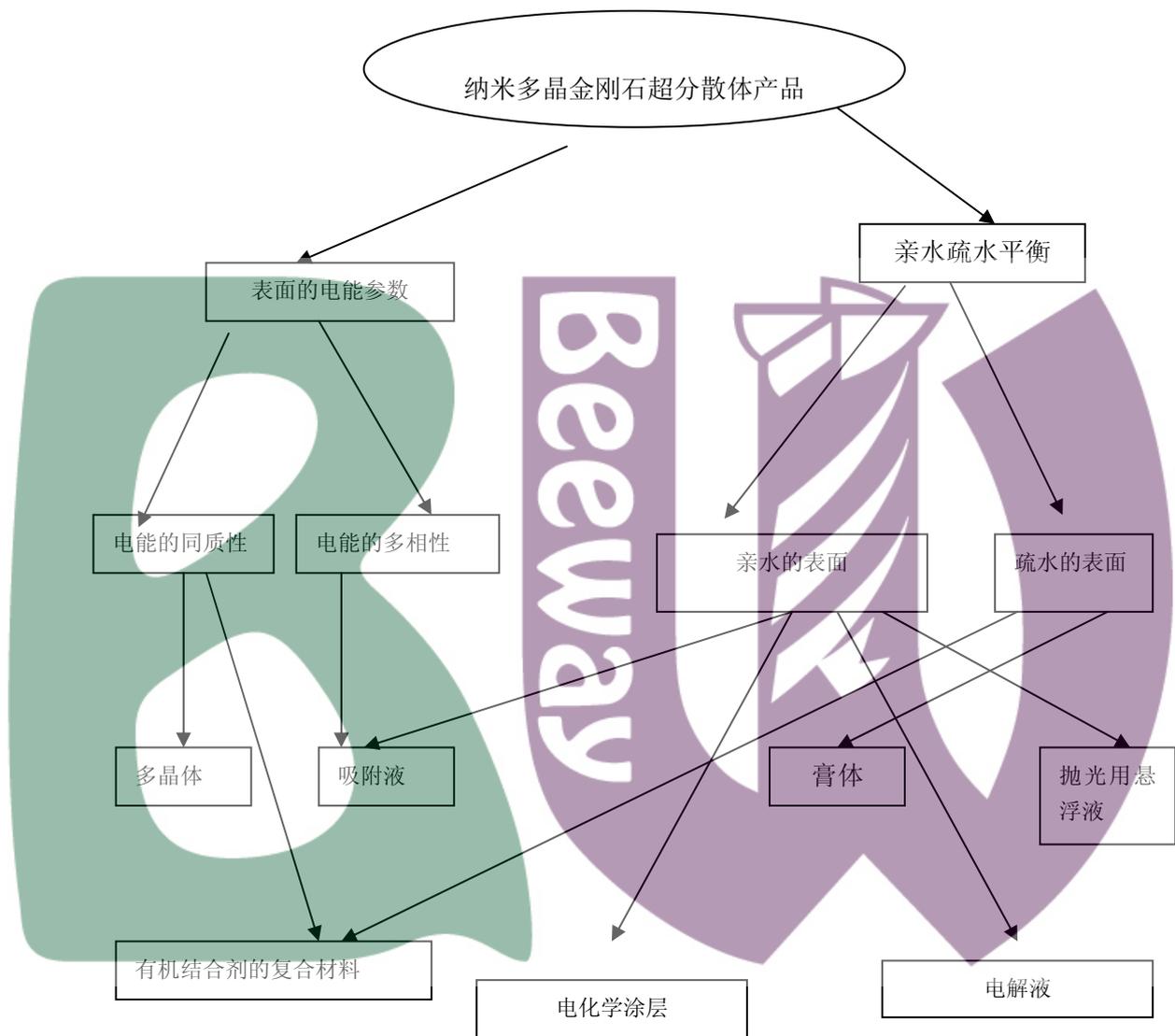


圖 3.1.1—18 納米鑽石超分散體表面改性後的應用領域

納米鑽石超分體產品的應用領域所描繪的結果與選擇原則是相符的圖 3.1.1--18，例如：電能的同質性與超分散粉末表面的疏水性配合是多晶體，有機結合劑複合材料（密封膠、橡膠等）和膏體產生的必需的要素。電能的同質性與表面親水性配合，用於製備拋光

的水劑納米鑽石懸浮液，複合的電化學塗層的電解液是必需的，而電能的多相性與表的疏水性配合則可制得專門用途的吸附劑。

將納米鑽石產品做出這樣區分的原因是，納米鑽石的超分散體表面的電能同質性可產生高的附著性，這一性能有可能改善多晶體的燒結反應過程和得到高質細粒的複合電化學塗層等，納米鑽石表面疏水性，首選有利於減少團聚體的不穩定性，可利用其製備拋光的懸浮液和製備複合塗層的電鍍液。

3.1.1.7 專案關鍵技術內容

①爆炸合成裝置雙飛片增壓的微差調控技術，其作用是提高石墨受載壓力和時間，增加石墨轉化或鑽石的得率；

②爆炸合成產物的冷卻技術，其作用是大大加速合成產物的冷卻速度，和防止鑽石的氧化，從而增加鑽石的得率；

③適應于爆炸合成物的分離和提純工作，爆炸合成產物的金屬和非鑽石碳的含量大，約占得料的 70%，因此必須有相應的分離和提純工藝；

④納米多晶鑽石的分散和分級工藝。超細粉體的最大特點是分散粉體的再團聚性，它大大影響了其它應用領域，因此必須採用一定改性處理工作保持其分散的穩定性。

3.1.2 項目創新點

① 爆炸合成裝置雙飛片的微差調控技術創新

利用爆炸合成的單飛片裝置人工合成鑽石是一般廠家採取的方法，而我們在利用爆炸法合成納米多晶鑽石的研究過程中，順利實現了爆炸合成裝置中利用雙飛片的微差調控技術，使合成工藝過程中，所需的高溫高壓持續時間更長，物化反應更加劇烈；從而提高了最終產物更高的獲得率；一次性石墨轉化為 30wt%，該裝置經權威部門鑒定：屬國內領先水準。裝置對比如下：

單飛片合成裝置

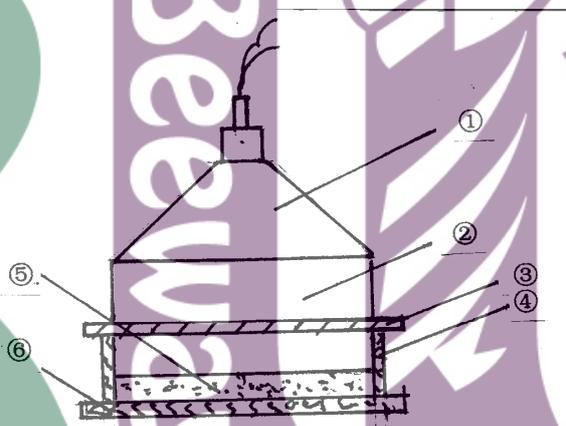


图4 单飞片装置
1.平面波发生器 2.主炸药包 3.金属板
4.木支架 5.石墨 6.托板

雙飛片合成裝置

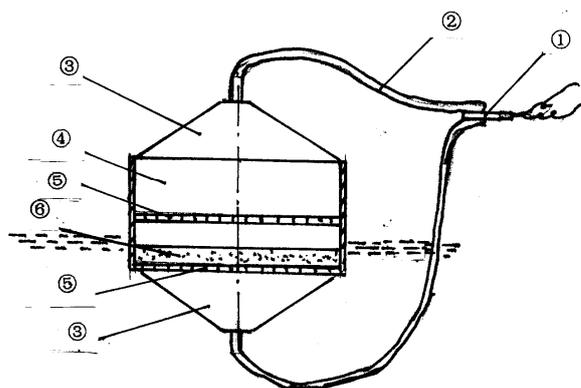


图5 双飞片爆炸冲击合成装置示意图
① 雷管 ② 导爆索 ③ 平面爆轰波发生器 ③ 平面波发生器 ④ 主药柱
⑤ 飞片 ⑤ 飞片 ⑥ 破片

② 產物水冷卻工藝的創新

在爆炸合成產物的冷卻工藝中，傳統的冷卻工藝運用固體冷卻劑或裝置進行冷卻，該專案利用水冷卻液冷卻技術，使冷卻時間大大縮短，減少了鑽石轉化為石墨的反轉化幾率；

③ 包殼或接枝產物分散工藝的創新

利用該工藝合成的最終產物納米多晶鑽石等產品，在最終的分散工藝中，由於眾多廠家生產的是普通鑽石微粉，常見的有沉澱法收集等，而該專案合成的鑽石最終產物是 50nm 左右的納米級多晶鑽石，如何將如此微小的產品分散開來在世界同行業生產領域中是一直困擾專家學者的難題，我公司採取包殼或接枝後等級分散原理（該分散原理涉密，在此不作詳細描述），更加完整、準確的將產物分散出來，提高了納米鑽石產量。