

## 調 查 報 告

壹、案由：據報載，台灣電力股份有限公司核三廠疑將列為核安等級之重要物料「高豐度硼酸」，開放中國等國家產品參與投標，且無視專家所訂之規範，任意放寬高豐度硼酸雜質含量限制，涉嫌圖利特定廠商，恐使核三廠之輻射劑量與核廢料劇增，危害電廠人員及附近居民安全。究相關權責單位對於核安等級採購標準及運轉規範是否善盡監管之責？認有深入瞭解之必要乙案。

貳、調查意見：

核三廠高豐度硼酸（下稱高豐硼）採購，放寬雜質含量限制，恐增加輻射劑量及廢棄物等情，案經本院調卷及現場履勘後，茲臚列調查意見如後：

一、高豐度硼酸成本雖較自然硼酸高，惟其調控能力為自然硼酸之 117 倍，減廢、減費效果大，且水質淨化成本低，除具經濟效益外，使用高豐度硼酸，雜質低，亦較不易造成塞管，惟核三廠 94 年採購高豐度硼酸試用後，迄 101 年始再度採購，核有疏失。

(一)查硼酸( $H_3BO_3$ )係壓水式反應器控制核分裂反應度方式之一，主要是吸收反應器內核反應產生過剩的熱中子，使核分裂反應順利地被適當控制。一般是將硼酸溶解於水中成為硼液，運轉員可以經由計算將所需的硼液加入反應器內。所稱硼酸，一般分為自然硼酸及高豐度硼酸，自然界的硼原子有 B-10、B-11 二種同位素，自然硼酸由 19.8% 的 B-10 及 80.2 的 B-11 兩種同位素組成，高於自然硼酸 B-10 豐度 (19.8%) 的硼酸，即稱為高豐度硼酸。但 B-11 對熱中子吸收效果很差，大都由 B-10 來控制吸收熱中

子。B-10 吸收熱中子後衰變成 Li 及 He，故硼酸中 B-10 豐度會隨在爐心中運轉時間增長而慢慢消耗減少，必須適時補充硼酸 B-10 來維持硼液中的 B-10 豐度。94 年之前，核三廠均按原廠西屋公司所訂自然硼酸規範補充所需硼液。該規範如下：B-10 豐度訂為未耗乏 B-10 之硼酸(Undepleted B-10)，純度 99.9 wt% min，餘砷、鈣、氯、氟…等不純物限值(單位 ppm)如下：砷 2.0、鈣 50、氯 0.4、氟 2.0、硫酸鹽 6.0、磷酸鹽 30.0、鈉 30.0、鐵 2.0、重金屬 2.0 及水不溶物 50.0，詳請參閱附表一。

(二)次查核三廠建廠以來一直使用自然硼酸來補充核反應系統所需的硼液，民國 80 年為降低固化廢棄物桶量，實施減廢策略，將系統中的硼液儘量回收使用，致系統中硼液之 B-10 豐度有逐年下降趨勢，因此於 94 年 3 月 25 日公告採購 15 公斤 B-10 高豐度硼酸<sup>1</sup>(B-10 Enriched Boric Acid)，採購技術規範要求：B-10 豐度 95 wt% min(B-10 豐度占所有硼元素 95%以上)，純度 99.9 wt% min，餘砷、鈣、氯、氟…等不純物限值(單位 ppm)，依序為砷 0.5、鈣 1、氯 0.3、氟 0.3、硫酸鹽 0.12、磷酸鹽 0.1、鈉 3.0、鐵 2.0、重金屬 1.0 及水不溶物 10.0。94 年 4 月 8 日決標結果，福臨公司(代理 Eagle-Pitcher 產品)以新台幣 1,069,913 元得標(相當於每公斤 71,328 元)。101 年台電公司另委託臺銀採購部辦理國際標，採購 B-10 高豐度硼酸 120 公斤，豐度 90 atm% min(相當於 89.11 wt% min)，規範審查時，中鼎化工公司係以豐度 96 atm% min(相當於之硼酸供審查，101 年 6 月 7 日開標結

---

<sup>1</sup>採購案號：核三供標字第 M3529400340 號。

果，由中鼎化工公司以 2,520,000 元得標，單價 21,000 元/公斤，為 94 年高豐硼採購案之 29.4%，惟本次採購硼酸豐度規範(89.11 wt% min)雖略低於 94 年 B-10 豐度規範(95 wt% min)，但得標廠商投標單係以日本 Kobe Steel，豐度 96atm% min(95.62wt% min)、不純物限值則與西屋規範同之高豐硼供審查，合約規定交貨時間為 101 年 12 月 24 日，詳如附表二。

(三)惟查補充 B-10 豐度的方式有二種，一是補充高豐度硼酸，另一是補充自然硼酸，二者的調控能力，前者約為後者 117 倍(按豐度 90 wt%估計)，以核三廠 B-10 耗乏速度計算，每年需補充約 50 公斤高豐硼或 5,850 公斤自然硼酸，用來維持目前系統硼酸的 B-10 豐度。至廢棄物年產出量，使用 50 公斤高豐硼提高 B-10 豐度時，僅會產生 0.5 桶固化廢棄物。但若使用自然硼酸提高豐度，由於使用量大，則會產生 54.5 桶的固化廢棄物，二者產出之廢棄物差額達 54 桶。再以每一桶固化廢棄物成本(包括製備、儲存、管理)20 萬元估計，可節省約 1,080 萬元固化費用，故使用高豐度 B-10 可以兼具減廢(減少廢棄物 54 桶)及減費之效用。按前揭核三廠所提供參考數據，比較 94 年與 101 年採購案之經濟效益，94 年斥資 1,069,913 元採購高豐硼 15 公斤，與等效自然硼酸 1,755 公斤(按每公斤 66 元估計)相較，硼酸成本雖多花費 954,083 元，但可減廢 16.2 桶，因而減少廢料固化成本 3,240,000 元，減廢效益大於成本增加，故總體而言，與使用自然硼酸相較，使用高豐硼仍有 2,285,917 元之經濟效益(使用 15 公斤高豐硼時)。至 101 年採購高豐硼 120 公斤，節省成本更是可觀，預估達 24,326,640

元，詳如附表三。

(四)綜上，高豐硼成本雖較自然硼酸高，惟其調控能力為自然硼酸之 117 倍，減廢、減費效果大，且水質淨化成本低，除具經濟效益外，使用高豐硼，雜質低，亦較不易造成塞管，惟核三廠 94 年採購高豐硼試用後，迄 101 年始再度採購，核有疏失。

二、101 年採購高豐硼之豐度與 94 年採購高豐硼之豐度幾乎相同，其不純物限值雖較 94 年採購高豐硼高，但並未高於自然硼酸不純物限值，且其採購單價僅為 94 年採購單價 29.4%，其採購本案 120 公斤之價格比 94 年採購同數量之價格節省約 603 萬元，並無證據顯示 101 年採購高豐硼因其不純物限值高而造成損害金額或增加淨化成本高於 603 萬元，難謂此採購案有何違失。

(一)查為避免壓水式反應爐壁、燃料護套及有關配件管路內部遭受腐蝕，爐水的純度應相當嚴格控制，以防止任何有機、無機、鹽類滲入爐水，因為這些爐水不但會腐蝕機械元件，且極易遭受中子輻射活化，而污染整個一次系統(指反應爐及與之直接連通的 RCS、CVCS 管路內的爐水)，故一次系統用水須隨時取樣化驗及嚴格的化學控制水質，以確保爐水之純度，合於運轉規範之限制，其目的在減低機件腐蝕，以及延長其壽命，因而訂定「反應器冷卻水系統化學運轉規範限值」，含溶解氧、氯、氟、總懸浮固體、氫及 PH 等參數，其中為防止應力腐蝕，規定氯穩定狀態運轉、24 小時限值依序為 0.15ppm、1.5ppm，氟亦同；為減少腐蝕，溶解氧穩定狀態運轉、24 小時限值依序為 0.10ppm、1.0ppm…等。至影響爐水化性因素，包括反應器內之高輻射引起一些化學反應而直接影響到反應器

冷卻水的化學特性，進而影響到反應器冷卻水系統的設備、管路及燃料間之反應作用，這些反應直接關係到結構完整性和電廠的可運轉狀態、電廠材料及腐蝕產物的活化和燃料分裂，產生了放射性元素，這些放射性元素的多寡，一大半決定了運轉、維護和廢料處理之方便程度。核三廠自 73 年商轉迄 94 年間均使用自然硼酸來補充系統所需的硼液，西屋公司(原廠)所訂自然硼酸( $H_3BO_3$ ，其中 B 由 19.8% B-10 及 80.2% B-11 組成)規範如下：B-10 豐度訂為未耗乏 B-10 之硼酸(Undepleted B-10)，硼酸純度：99.9 wt% min。餘砷、鈣、氯、氟…等不純物，亦為影響爐水化學性因素之一，其含量限制及對系統之影響如下：

- 1、砷(As), 2.0 ppm max，可能形成氧化物沉積在燃料護套表面(結垢 scale)影響熱傳效率。
- 2、鈣(Ca), 50 ppm max，可能與 Si 形成矽酸鹽沉積在燃料護套表面(結垢 scale)影響熱傳效率。
- 3、氯(Cl), 0.4 ppm max，在高溫且溶氧存在下可能引發設備或管線應力腐蝕龜裂。
- 4、氟(F), 2.0 ppm max，在高溫且溶氧存在下可能引發設備或管線應力腐蝕龜裂。
- 5、硫酸鹽( $SO_4$ ), 6.0 ppm max，在高溫且溶氧存在下可能引發設備或管線應力腐蝕龜裂。
- 6、磷酸鹽, ( $PO_4$ ), 30.0 ppm max，可能與 Ca 形成磷酸鹽沉積在燃料護套表面(結垢 scale)影響熱傳效率。
- 7、鈉(Na), 30.0 ppm max，可能在系統造成局部濃縮導致苛性腐蝕。
- 8、鐵(Fe), 2.0 ppm max，可能形成氧化物沉積在燃料護套表面(結垢 scale)影響熱傳效率。

9、重金屬, 2.0 ppm max, 可能形成氧化物沉積在燃料護套表面(結垢 scale)影響熱傳效率

10、水不溶物, 50.0 ppm max, 可能沉積在燃料護套表面(結垢 scale)影響熱傳效率。

(二)次查核三廠 80 年起為降低固化廢棄物桶量, 實施減廢策略, 將系統中的硼液儘量回收使用, 致系統中硼液之 B-10 豐度因逐年消耗而有下降趨勢。該廠因而於 94 年 3 月 25 日公告採購<sup>2</sup>B-10 豐度 95% wt% min 之高豐硼酸 15 公斤試用, 採購技術規範要求: 純度 99.9 wt% min, 餘砷、鈣、氯、氟、... 等不純物限值<sup>3</sup>, 較西屋自然硼酸不純物限值嚴格, 例如本次採購氯限值 0.3 ppm max, 較西屋規範限值 2.0 ppm 低... 等是。94 年 4 月 8 日決標結果, 由福臨公司(代理 Eagle-Pitcher 產品)以新台幣 1,069,913 元得標(相當於每公斤 71,328 元), 低於底價(190 萬元)80% 以上。為此, 福臨公司曾致函核三廠, 表示之所以低於底價, 係讓核三廠有使用 Eagle-Pitcher 公司產品之機會。嗣核三廠 99 年 1 月 28 日公告以新台幣 510 萬元採購 B-10(50~97 wt%) 20 公斤, 相當於硼酸 223.985 公斤(50 wt% B-10)~125.062 公斤(97 wt% B-10), 純度 99.9 wt% min, 餘不純物限值(單位 ppm), 依序為砷 1.0、鈣 10.0、氯 0.4、氟 0.2、硫酸鹽 2.0、磷酸鹽 5.0、鈉 10.0、鐵 2.0、重金屬 2.0。與 94 年採購規範相較, 不純物限值均有放寬, 加上預算金額降低、包裝材質規定、交貨期及不純物分析化驗方式不明等, 引起福臨公司質疑, 歷經 6 次公告招標, 均無

---

<sup>2</sup>採購案號: 核三供標字第 M3529400340 號。

<sup>3</sup>不純物限值(單位 ppm): 砷 0.5、鈣 1.0、氯 0.3、氟 0.3、硫酸鹽 0.12、磷酸鹽 0.1、鈉 3.0、鐵 2.0、重金屬 1.0、水不溶物 10.0。

廠商參與投標，以流標收場。台電公司因而於 101 年另委託台銀採購部辦理國際標，採購豐度 90 atm% min 之硼酸(純度 99.9 wt%，不純物規範與西屋規範同)120 公斤，開標結果，中鼎化工公司以 2,520,000 元得標，相當於每公斤 21,000 元，單價為 94 年高豐硼(豐度 95 wt%)採購案之 29.4%。101 年採購規範審查時，因中鼎化工投標單係以豐度 96.0atm% min(相當於 95.62 wt% min)之高豐硼提供審查，故 101 年與 94 年兩採購案之豐度差異忽略不計。

- (三)惟查台電核三廠壓水式反應器在設計上具備下列三項功能：機組應隨時保持結構之完整性和可運轉性、機組設計必須容許連續運轉和容易保養、電廠廢料必須依所訂的安全標準來控制和處置等三個基本功能要求。為了達成此三種基本功能之要求，已將運轉時影響水質之因素，如反應爐內高放射能量所產生的核化學反應直接影響爐水的化學特性，和爐水與一次系統設備管路材料的反應等納入設計考量，並訂有「反應器冷卻水系統化學運轉規範限值」(附表四)。為達成此化學運轉規範，採取化學劑(如氫氣、氫氧化鋰、聯胺、硼酸等)添加、離子交換(Ion Exchange)、過濾(Filtration)及除氣等手段，控制爐水化性於運轉規範內。其中離子交換係由化學與容積控制系統(CVCS)之混和除礦器(Mixed Bed Demineralizer)保持反應器冷卻水的純度，Lithium-Type 陽離子樹脂( $\text{Li}^+\text{R}^-$ )和 OH-Type 陰離子樹脂( $\text{R}^+\text{OH}^-$ )填放在這除礦器內，陽離子樹脂可吸附鈉、鐵等陽離子，陰離子樹脂可吸附氟、氯等陰離子，除去硼酸中之不純物。核三廠 94 年以前皆使用自然硼酸控制反應度，所含不純

物，即皆透過上述混合床除礦器，保持反應爐冷卻水的純度，俾符合化學運轉規範。94年及101年採購高豐硼，只要其不純物限值不高於自然硼酸不純物限值，該廠水質化學與容積控制系統(CVCS)理論上應有能力移除高豐硼中之不純物，尚不致增加其淨化成本。

(四)退步而言，縱認101年採購之高豐硼，因不純物限值高於94年採購之高豐硼，而須增加淨化成本。101年採購高豐硼之豐度(95.62 wt% min)與94年採購高豐硼之豐度(95 wt%)幾乎相同，且101年高豐硼採購案之單價為每公斤21,000元，僅為94年高豐硼採購案之單價(每公斤71,328元)29.44%，以101年採購120公斤計算，101年高豐硼之採購價格為252萬元(21,000元 x 120)，94年高豐硼之採購價格為855萬9,360元(71,328元 x 120)，兩者相較，101年採購價格節省約603萬元，並無證據顯示101年採購高豐硼因不純物限值高於94年採購高豐硼而造成損害金額或增加淨化成本高於603萬元，故難謂101年採購案有何違失。

調查委員：高鳳仙

趙昌平

陳永祥

附表一、核三廠硼酸(H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>)採購規範對照表

項目	規範	西屋規範 (自然硼酸)	94 年高豐硼 採購規範	99 年高豐硼 採購規範						101 年高豐硼 採購規範
				1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	6 <sup>th</sup>	
採購案號	-	-	M3529400340	M3529900357						GF2-100195
採購標的及數量	-	-	B-10 高豐度 硼酸，15 公斤	B-10 20 公斤						B-10 高豐度硼 酸，120 公斤
公告招標	-	-		1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	6 <sup>th</sup>	
公告招標日期	-	-		4/30	6/1	8/16	9/16	10/6	10/27	1/13、2/6、2/20、3/7
B-10 豐度(enrichment)	Undepleted B-10 (下限 19.8%)	95 wt% min	50~97 wt% min	50 wt% min	50 wt% min	50 wt% min	50 wt% min	50 wt% min	50 wt% min	90.0 atom% min (相當於 89.11 wt% min)
對應硼酸量(公斤)	-	15	223.985. ~125.062	223.985~121.912		234.601~121.912			120	
公告預算金額(萬元)	-	200 <sup>a</sup>	550	300 <sup>b</sup>	300	300	300	300	300	399
投標廠商	-	民眾、禾安國 際、福臨(得標) 等 3 家	廠商異議 暫停開標	無	無	無	無	無	無	劍虹貿易 <sup>c</sup> 、 中鼎化工(得標)
硼酸純度 wt% min	99.9	99.9	99.96	99.9 <sup>d</sup>	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
不 純 物 限 值 (ppm)	砷(As)	2.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0
	鈣(Ca)	50.0	1.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	50.0
	氯(Cl)	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	氟(F)	2.0	0.3	0.2	0.3 <sup>e</sup>	0.3	0.3	0.3	0.3	2.0
	硫酸鹽	6.0	0.12	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	6.0
	磷酸鹽(PO <sub>4</sub> )	30.0	0.1	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	30.0
	鈉(Na)	30.0	3.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	30.0
	鐵(Fe)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	重金屬	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
水不溶物	50.0	10.0	-	-	-	-	-	-	-	50.0

項目	規範	西屋規範 (自然硼酸)	94 年高豐硼 採購規範	99 年高豐硼 採購規範	101 年高豐硼 採購規範
交貨期限			決標後 100 天內	決標後 200 天	決標後 200 天 <sup>4</sup>
底價			190 萬元	-	2,600,000
決標價格(含稅, NTD)			1,069,913	-	2,520,000
決標日期			94.04.15	-	101.06.07
得標廠商			福臨公司	-	中鼎化工
製造廠商			Eagle-Pitcher	-	(尚未交貨)
公告硼酸單價(元/公斤)			133,333	因規定 B-10 豐度 50 wt% 以上, 範圍大, 無法比較	33,250
決標硼酸單價(元/公斤)			71,328	NA(未決標)	21,000
產地要求			未要求	未要求	未要求

註：

a.99.02.01 首次公告預算金額 420 萬元，嗣經廠商(福臨公司)提醒，公告預算降為 200 萬元。

b.99.04.30 首次公告預算金額 550 萬元，同年 6 月 1 日改為 300 萬元。

c.代理 NUKUM 產品。

d.99 年 4 月 30 日首次招標規定硼酸純度 99.96 wt% min，較 EP 公司純度 99.95 wt% min 嚴苛，經廠商異議，修正為 99.9 wt% min。

e.99 年 4 月 30 日第一次招標規範規定 0.2 ppm(max)，嗣因廠商異議，調為 0.3 ppm(max)，與 94 年規範同。

<sup>4</sup> 交貨期限：101.6.8~101.12.24。

附表二、台電公司 101 年高豐硼採購規範及投標商(中鼎化工公司)標單所載高豐硼規格

台電公司規範

TPC's Specification

與正本無誤

B<sup>10</sup> Enriched Boric Acid

針對此採購二組

1. Material : B-10 Enriched Boric Acid
2. Quantity: 120 kg
3. Quality:

Characteristic	Limit
B <sup>10</sup> Enrichment	90.0 atom % min.
Equivalent Boric Acid	99.9 wt % min.
Impurities:	
Arsenic	2.0 ppm max.
Calcium	50.0 ppm max.
Chloride	0.4 ppm max.
Fluoride	2.0 ppm max.
Heavy Metals(as Pb)	2.0 ppm max.
Iron	2.0 ppm max.
Phosphates	30.0 ppm max.
Sodium	30.0 ppm max.
Sulfates	6.0 ppm max.
Insoluble	50.0 ppm max.

4. Packing: ≤40 kg with fiber drum or equivalent, protected by vapor barrier bag.

5. Test for acceptance

- (1) Sampling and analysis shall be conducted for each batch of shipment. Samples are taken from randomly selected drums for each batch.
- (2) Sample taken from the same batch shall mix thoroughly and be divided into three equal parts with at least 10grams of weight for each part. After sealed, one part shall be delivered to outside facility(Institute of Nuclear Energy Research, Industrial Technology Research Institute, or National Tsing-Hua University) for Boron-10 isotope analysis. The rest two parts shall be reserved for other testing use.

6. Final acceptance shall be validated based on the overall test results of this specification.

7. Marking—Each package shall be plainly marked as follows:

BOT/DP's Invitation No. Contract No. and TPC's reference No.

Batch number

Net weight

Manufacturer and product name

Date of manufacture



附表三、高豐硼與自然硼酸經濟效益比較

採購別 成本	不同硼酸之效能比較		94 年採購		94 年採購(120 公斤)		101 年採購案	
	高豐硼	自然硼酸 相當數	高豐硼	自然硼酸 相當數	高豐硼	自然硼酸 相當數	高豐硼	自然硼酸 相當數
數量(公斤)	50	5,850	15	1,755	120	14,040	120	14,040
硼酸成本 A(元) (自然硼酸每公斤 66 元)		386,100	1,069,913	115,830	8,559,304	926,640	2,520,000	926,640
廢棄物產出桶數	0.50	54.5	0.15	16.4	1.2	130.8	1.2	130.8
廢棄物成本 B(元) (每桶以 20 萬元估計)	100,000	10,900,000	30,000	3,270,000	240,000	26,160,000	240,000	26,160,000
總成本 A+B(元)			1,099,913	3,385,830	8,799,304	27,086,640	2,760,000	27,086,640
總成本差(元) (高豐硼-自然硼酸)				-2,285,917		-18,287,336		-24,326,640
每公斤高豐硼與等效 自然硼酸之總成本差				-152,394		-152,394		-202,722

註 1：廢棄物成本，每桶以 20 萬元估計。

註 2：自然硼酸成本，每公斤以 66 元計。

註 3：101 年高豐硼採購案，得標商(中鼎化工)投標單所載 B-10 豐度為 96 atm% min(相當於 95.62 wt% min)，與 94 年採購規範豐度 95wt% 相當，故本表暫不考慮豐度之差異。