

調查報告

壹、案由：據訴，台灣電力股份有限公司（下稱台電公司）明潭電廠之抽蓄發電機組，自民國82年啟用以來，其推力軸承因設計餘裕度不足，致溫度長期偏高，甚至發生燒毀情事，為控制溫度，須於運轉時使用頂升油泵，惟又造成額外之電力損耗。該公司為提升運轉可靠性，曾責由所屬綜合研究所及陳訴人進行降溫可行性研究，嗣經提出使用油壓千斤頂之改善方案，該公司又一再認該方案不可行，最終未採用，卻堅持改採承商阿爾斯通（Alstom）公司提出之高分子聚合材質（POLYPAD）推力軸承。究實情為何？兩種方案何者為優？台電公司堅持採用承商之方案，有無經專業評估？能否澈底改善軸承高溫問題？有無偏袒承商情事？均有深入瞭解之必要案。

貳、調查意見：

本件明潭電廠抽蓄機組推力軸承溫度偏高案，經調閱相關卷證，並於民國(下同)108年1月10日履勘明潭電廠，聽取簡報，並函請科技部推薦諮詢委員，同年10月15日召開諮詢會議，11月8日再赴明潭電廠履勘#3機大修拆解之推力軸承塊，已調查竣事，茲臚列調查意見如下：

一、卷查明潭抽蓄發電工程之發包策略，依工程性質，分土木工程(I)、泵/水輪機與主起重機(II)、發電機/馬達及有關設備(III)、……等6大類，分別招標。其中第III標又分A、B、C、D等4個子標，發電機/馬達為第III-A標，由法商Alsthom-Jeumont公司(下稱AJ公司，幾經併購，目前繼受公司為ALSTOM)得標，與泵/

水輪機(第Ⅱ-A標)得標商不同，惟AJ公司承攬標案，#2、#3機組推力軸承溫升超過合約保證值50°C問題，於機組試運轉時即已發現，經AJ公司採更換潤滑油、軸承塊等改善工作，並未見效，台電公司竟接受承商所辯「推力軸承溫升值雖略超出保證值50°C，唯尚能正常運轉」，於85年6月7日與AJ公司協商暫時驗收日之會議載明「第二號及第三號機組推力軸承高溫問題業已藉由將潤滑油自R-46改為R-32而獲得解決」，並草率以新臺幣70萬元減價收受，顯有違失。

- (一)查明潭抽蓄發電工程之發包策略¹，依工程性質，主要分為6大類：即LOT I：土木工程、LOT II：泵/水輪機與主起重機、LOT III：發電機/馬達及有關設備；LOT IV：水工機械設備、LOT V：水里電廠設備及LOT VI：其他週邊設備等6大類。其中，LOT II與LOT III係主要重電設備標，LOT II復細分為A(泵/水輪機)、B(主起重機)兩標，而LOT III則再細分為A(發電機/馬達)、B(主變壓器)、C(開關廠設備，含GIS)、D(Oil Filled Power Cable)等4個標發包。各標得標商及其發包工程費用的比重，詳如下表。上述重電設備兩LOTS與土木標LOT I的介面關係至為密切，因此將土木標分標情形，一併列如下表供參。

¹ 資料來源：明潭抽蓄發電工程紀事拾遺第29頁 中興工程科技研究發展基金會編印 97年7月

	細分	承辦範圍	佔總發包費用的 %	得標廠商	發包方式
LOT I	A	地下工程；隧道，鋼管路，地下廠房	33	榮工處	議價
	B	進水口、尾水口、下池壩	28	中華工程公司	議價
LOT II	A	泵/水輪機	12	Voith Hydro, 美商	議價
	B	主起重機	0.4	Whiting, USA	國際標
LOT III	A	發電機/馬達	10.2	Alsthom-Jeumont, 法國	限制性國際標
	B	主變壓器	1.0	Jeumont-Schneider, 法國	國際標
			1.7	大同公司	國內標
	C	開關場設備(含GIS)	4.7	中興電工	議價
D	oil-filled power cable	1.7	Fujikura, 日本	國際標	

(二)次查發電機/馬達(LOT III-A)標發包情形²，經預審合格而參加採購發電機/馬達(下稱G/M)標之投標廠商，共有8家。歐洲方面，計有奧國ELIN-UNIN、法國ALSTHOM-JEUMONT、英國G.E.C LARGE MACHINES LTD及瑞典ABB GENERATION AB等4家，日本則有三菱、FUJI ELECTRIC CO.等4家廠商。該8家均於規定期限內將標單依規定分為技術與價格兩標單，分別密送台電公司，並由中興社會同審標，第1階段技術標評審結果，如下表，各有2家歐洲、日本廠商評審合格。

² 資料來源：明潭抽蓄發電工程紀事拾遺第41頁 中興工程科技研究發展基金會編印 97年7月

Bidders	Commercial Terms	Technical Proposal	Final Result
Alsthom-Jeumont	O	O	O
G E. C.	X	X	X
Mitsubishi	O	O	O
Fuji	O	X	X
Elin-Union	O	X	X
Marubeni-Hitachi	O	O	O
ABB	O	O	O
Mitsui	O	X	X

O代表 合格

X代表 不合格(或要改)

(三)78年開標結果，法商Alsthom-Jeumont(下稱AJ公司，嗣該公司由ALSTOM阿爾斯通公司繼受)是最低標，在尚未正式宣布其得標前，中興社鑑於AJ公司之主軸較已決標之美商第II-A廠商主軸粗，經協調改為與第II-A標同主軸直徑(965mm)，且獲穩定性及在容許應力範圍保證後始宣布AJ公司得標，契約金額新臺幣(下同)347,340,000元及美金52,995,236元。明潭工程於84年6月30日辦理竣工典禮，之後，仍持續辦理未完成工項(下稱Pending Item)之改善工作。依「明潭抽蓄工程竣工試驗小組」於85年9月完成之工作報告，台電公司於85年4月19日召開「明潭電廠水力發電工程結束會議」，其中第12案：目前承商無法改善之工作應如何處理？指出當時無法改善之工作計「#2、#3機推力軸承高溫需再改善」等8案(編號12-1~12-8)，會中明潭電廠報告：「各部機組的推力軸承都有高溫問題，幾經改善雖有好轉，但#2、#3機仍不合規範(頂

升油泵必須全程使用，機組才能運轉)，最近承商已準備更換潤滑油冷卻器，是否有效仍待觀察。」另該試竣工試驗小組工作報告附錄Ⅱ³第55~59頁「G/M推力軸承問題檢討」結論亦指出：「……2.目前6部機組中，#1~#3三部機組下油槽推力軸承潤滑油使用R-32，而#4~#6三部機組使用R-46，與原規範使用R-46不符，承商於85年6月Pending Item檢討會中提出AJ公司製造之機組適用R-32潤滑油，將待承商提出正式之報告後，再確認適用之潤滑油。3. 推力軸承表面巴氏合金燒損問題，承商仍無法提出足以說明事故原因之分析報告，因此進一步過熱問題之改善，仍待承商進一步徹底研究。」等語。

(四)惟查明潭抽蓄工程，於76年9月開工，81年4月至82年12月6部機組陸續併聯，84年6月30日竣工。其中發電機/馬達工程(第Ⅲ-A標)，台電公司於78年8月與法商AJ公司簽約，由AJ承攬設計、製造及安裝該廠6部發電機/馬達及電廠設備(下稱系爭設備)。依系爭合約，暫時驗收(PROVISIONAL ACCEPTANCE，下稱PA)構成台電公司對系爭設備及其相關工作之受領，一旦台電公司對系爭設備為暫時驗收，則所有工程委款均應給付予AJ公司，而系爭設備之所有權及危險負擔亦同時移轉予台電公司⁴。本案Ⅲ-A標合約規定，系爭設備PA日期為82年9月30日，惟經幾次修約後，PA日改訂為84年3月31日，於此一日期當時，依AJ於84年4月19日所提之未完成工作項目表(文號AJ-P-1858)，台電公司發現仍留有69項工作等待AJ改進惟此一日期，依台電公司87年3月25日函復審計部之文稿(檔號440-12)，與有爭

³ 試驗及試運轉期間問題檢討。

⁴ 資料來源：聯鼎法律事務所(87)年元月5日意見函中文摘譯，第3頁

議，AJ公司於85年5月22日提交仲裁，嗣該仲裁遭仲裁協會駁回，AJ公司亦未於法定申訴期內提出撤銷仲裁之訴，經台電公司與聯鼎法律顧問數次研商結論，咸以85年6月5日，AJ公司完成6部機組推力軸承高溫問題等改善工作之日，已實質完成其合約工作，而認定該日(85年6月5日)為達成PA日，並於87年3月3~4日與AJ公司達成協議。台電公司依中興工程顧問公司看法，認為推力軸承高溫案不影響全系統性能，建議減價收受，減價金額70萬元，與契約金額相較，實是微不足道。本院調查發現暫時驗收日回溯認定為85年6月5日，依聯鼎法律事務所87年1月5日意見函，係該所據台電公司告知：「在85年6月7日台電公司與AJ公司舉行之協商會議中，最後一項重大缺失工作，即推力軸承高溫問題，已經台電公司認定在85年6月5日解決，上開會議之會議紀錄其主要部分載明：『第2號及第3號推力軸承高溫問題業藉由將潤滑油自R-46改為R32而獲得解決，AJ將提出確認推力軸承係經設計適用R-32潤滑油之支持資料。』」析言之，聯鼎法律事務所是依據台電公司自承85年6月7日與AJ公司協商之會議紀錄記載「推力軸承高溫問題業已藉由將潤滑油自R46更換為R32而獲得解決」，而建議暫時驗收日為85年6月5日。事實上，該推力軸承高溫問題，並未因潤滑油更換而獲解決，台電公司為解決暫時驗收日之爭議，辯稱推力軸承高溫問題已獲解決，顯有過失。

- (五)綜上，明潭抽蓄發電工程之發包策略，依工程性質，分土木工程(I)、泵/水輪機與主起重機(II)、發電機/馬達及有關設備(III)、……等6大類，分別招標。其中第III標又分A、B、C、D等4子標，發電機/

馬達為第Ⅲ-A標，由法商Alsthom-Jeumont公司(AJ)得標，與泵/水輪機(第Ⅱ-A標)得標商不同，惟AJ公司承攬標案，#2、#3機組推力軸承溫升超過合約保證值50°C問題，於機組試運轉時即已發現，經AJ公司採更換潤滑油、軸承塊等改善工作，並未見效，台電公司竟接受承商所辯「推力軸承溫升值雖略超出保證值50°C，唯尚能正常運轉」，於85年6月7日與AJ公司協商暫時驗收日之會議載明「第二號及第三號機組推力軸承高溫問題業已藉由將潤滑油自R-46改為R-32而獲得解決」，並草率以70萬元減價收受，顯有違失。

二、明潭抽蓄發電機組推力軸承溫度偏高，為該廠特有問題，陳情人本於工作熱忱，提出加裝千斤頂輔助之員工改善方案，經電力修護處委託綜合研究所進行「明潭電廠推力軸承降溫可行性研究」，報告結論認為理論可行，可輔助楔形油膜之建立，並建議後續之設計安裝，仍請由修護處主導完成。惟之後該改善方案遭台電公司、經濟部相繼以尚無實績、修護處無能力完成等由否決，此般要求明潭電廠特有問題要有千斤頂輔助實績之處理，洵屬草率，應檢討改進。

(一)查明潭電廠抽蓄發電機組推力軸承之主要功能，係承受水輪發電機組全部之重量，自81年首部機併聯起，其推力軸承溫度偏高，台電公司明潭電廠、電力修護處(下稱修護處)、發電處、原製造商等相關單位曾評估改善下列方案：

- 1、更換新軸承塊及彈性油鼓
- 2、軸承塊表面刮花及頂升油泵出口改善
- 3、更換新溫度感測器
- 4、運轉中使用高壓頂舉油泵以提升軸承潤滑油膜壓力及厚度等

5、千斤頂輔助方式

6、更換PEEK(襯覆工程塑膠)新工程材料等改善方案。

(二)次查台電公司修護處員工蔡釋羽⁵(下稱蔡君)，為解決明潭抽蓄發電機組推力軸承高溫問題，93年曾提出「採用千斤頂輔助推力軸承支承系統，確保楔形油膜建立」改善對策，案經修護處委託綜合研究所(下稱綜研所)執行「明潭電廠推力軸承降溫可行性研究」，執行期間96~97年，參與人員除計畫主持人外，另有研究人員蔡君等5人，97年12月完成可行性研究報告，主要建議事項：「1. 推力軸承原設計之裕度不足，解決之道為(a)以千斤頂輔助，(b)變更設計。2. 本案加千斤頂輔助楔形油膜之建立，可提高本系統之承載力，原提案單位為修護處，有關後續之設計安裝等，仍請由修護處主導完成。……」等語。由於蔡君所提改善方案，與98年6月17日ALSTOM簡報所提改善方案(R & D Improvements-Final Choice)方向一致，卻迄其99年6月30日退休仍未付諸實施，蔡君於同年10月19日寄存證信函向董事長陳情，經董事長批示由發電處召集修護處、綜研所及明潭電廠成立專案小組，再研究及驗證可行性。案經發電處於100年3月2日召開「明潭發電廠抽蓄機組推力軸承高溫改善對策研討第1次會議」，討論及決議事項略以：「1、本案研究採用『千斤頂輔助推力軸承支承系統，確保楔形油膜建立』改善推力軸承之承載機制，理論可行。2、任何改善案應以機組運維安全為首要考量，有太多不確定因素需再詳加探討。故本案擬增設之

⁵ 99年6月30日退休。

液壓千斤頂系統尚須再詳加探討，以確保應用安全及降低風險。」嗣100年5月3日再召開第2次會議決議，略以：「1、明潭電廠所提ALSTOM公司曾建議軸承塊巴氏合金更改為新材質(襯覆工程塑膠)，可降低推力軸承溫度約6°C，請明潭電廠繼續與ALSTOM公司研究可行性。2、請修護處研議成立『明潭電廠推力軸承改善為楔形油膜改善及其支撐機構研究設計小組』之可行性，並於下次會議報告。」惟修護處後續回應略以：千斤頂機構於機組運轉設計支撐整組發電機及水輪機等組件，現有資料並無原廠機組運轉設計參數可供參考，且設計尚需原廠(或第三方)認可，以確認其功能及安全性，修護處為維修單位，並無此能力完成，故未予成立小組。

(三)惟查明潭電廠抽蓄機組推力軸承高溫問題，係81年機組運轉即存在之爭議問題，並試過上開更換軸承塊、潤滑油等諸多改善方案，迄未獲真正解決。最後以減價方式「暫時驗收」。陳情人任職修護處期間，因明潭推力軸承塊於91年間首次送到修護處整修，眼見推力軸承塊磨損超乎預期，經查閱原廠阿爾斯通的設計資料⁶，並與88年5月25日ABB公司幫台電公司電腦模擬的結果⁷相較，從軸承塊磨損情況來看，認為阿爾斯通設計的油膜應該沒有產生，爰提出員工改善提案，建議加裝千斤頂輔助，以使油膜壓力中心自0.6L移至0.5L，建立所需楔形油膜。蔡君93年所提加裝千斤頂輔助改善方案，經綜研所2年研究，於97年底完成報告，認為學理上可行，且

⁶ 明潭推力軸承的油膜是在額定796噸推力下最薄還有0.08mm的厚度，最高的溫度只上升到95°C。

⁷ 88年5月25日ABB公司幫台電公司電腦模擬的結果最薄的油膜厚度，卻只有0.033mm而最高溫度達到134°C。

與ALSTOM公司98年6月17日簡報最後建議之R&D改善方向一致，卻未獲付諸實施，蔡君99年6月30日退休後，轉投書媒體，並先後向立法委員及本院陳訴，略以：「93年所提改善方案，經過綜研所歷時2年專案研究，確認具有完全降溫效果。但台電公司卻完全不採用其設計，反而採用原設計廠商所提改善方案」等語。經核，綜研所可行性研究報告結論明確指出：「明潭電廠抽蓄機組推力軸承之高溫問題，經學理驗證以及有限元素分析軟體之模擬，證實其設計之裕度不足，即軸承塊無法承載目前之軸向推力」，故該高溫問題為該明潭電廠特有之問題，台電公司要求陳情人蔡君所提加裝千斤頂輔助之改善方案要有實績，失之草率，且前揭不採理由，不待綜研所可行性研究即可告知陳情人，卻於其陳情多年始告知，亦有可議。

(四)綜上，明潭抽蓄發電機組推力軸承溫度偏高，為該廠特有之問題，陳情人本於工作熱忱，提出加裝千斤頂輔助之員工改善方案，經修護處委託綜研所進行「明潭電廠推力軸承降溫可行性研究」，報告結論認為理論可行，可輔助楔形油膜之建立，並建議後續之設計安裝，仍請由修護處主導完成。惟之後該改善方案遭台電公司、經濟部相繼以尚無實績、修護處無能力完成等由否決，此般要求明潭電廠特有問題要有千斤頂輔助實績之處理，洵屬草率，應檢討改進。

三、明潭電廠推力軸承設計裕度不足，未能建立所需楔形油膜，陳訴人主張以加裝千金頂輔助方式根本解決之，並稱在完全潤滑的情況下，摩擦係數不影響軸承能耗之大小，與本院諮詢委員認為「改用摩擦係數小、耐溫較高之PEEK材質，解決了最小油膜不夠厚的

問題」見解有間，台電公司允宜委託第三公正單位進行深入研究，比較加裝千斤頂輔助方式與以PEEK材質替代巴氏合金對油膜厚度、能量損失……等各方面之影響，以澈底解決問題。

- (一)查97年12月30日「明潭電廠推力軸承降溫可行性研究」成果發表會會議紀錄，出席單位有綜研所、明潭發電廠及修護處，發電處未出席，會中雖明潭電廠機械組經理表示，研究案無實體設計及成品，電廠無法採用，但綜研所可行性研究報告仍結論：「修護處提案在學理上可行，程式之驗證也可行。」、「加千斤頂可使軸承墊有效產生楔形油膜，增加承載能力，降低軸承墊溫度 11.8°C (79.2°C 降低至 67.4°C ，以80噸之承載條件)」等語，並建議就推力軸承原設計之裕度不足，解決之道為：以千斤頂輔助或變更設計，並稱「本案加千斤頂輔助楔形油膜之建立，可提高本系統之承載力，原提案單位為修護處，有關後續之設計安裝，請由修護處主導。」
- (二)次查綜研所97年12月30日完成之可行性研究報告，曾送請ALSTOM參考，次(88)6月9日ALSTOM簡報「MINGTAN Thrust Bearing Issues」，提出改善方式有二：傳統法與R&D法。前者(傳統法)之作法包括改用高級巴氏合金、修改徑向軸承內徑、加大冷卻器；後者(R&D)則用外力，以增加油膜厚度，該公司最後建議選擇R&D方式，即外加動力(Power Source)方式，惟此一方式遭陳訴人蔡釋羽君指為援引過期專利FR29100089，最終未被ALSTOM公司採用，而係改採POLYPAD軸承材料之改善方案，改用TYPE A之PEEK材質，其摩擦係數0.051，較巴氏合金摩擦係數0.3低，耐溫亦高。
- (三)惟查陳訴人主張「在完全油膜潤滑情況下，材料的

摩擦係數已經不會影響軸承能耗的大小。反而是油膜厚度直接影響軸承能耗的多寡。」、「重要的是必須認清過熱原因是設計錯誤，造成油膜過薄，潤滑不良，所以不改善潤滑而光是把巴氏合金換掉是不行的。而要從現有基礎上去改善，最有效方法是借助千斤頂來增厚油膜才能把能耗降下來。」，對此，本院諮詢委員則認為：「蔡先生認為軸承改用PEEK後，沒有改善油膜過薄潤滑不良的問題，這種想法沒有考量PEEK和巴氏合金表面組織及表面粗糙度之影響，潤滑油膜並不是在理想光滑的表面跑油，潤滑油在越粗糙的表面跑，有效油膜越差，所需之最小膜厚越大，所產生之摩擦熱量越大，以致油溫及軸承墊表面溫度分布也越高。巴氏合金粗糙度比較大，造成流體摩擦阻力比較大。同時PEEK可耐受的溫度遠高於巴氏合金，所以將巴氏合金換成PEEK當然是可行的。雖然現在各國尚沒有PEEK的國家標準，但是商品規格已很明確，美國磨潤協會試驗證明PEEK可耐溫260°C，而巴氏合金只耐溫180°C，二者相差80°C。」、「原廠的原始設計肯定是錯誤的，解決其設計錯誤的方法，以PEEK取代巴氏合金是一種可行的方法，已有研究⁸結論證實其可行了，原因是PEEK表面粗糙度較低本身材質又比巴氏合金耐高溫，而且有很多研究論文⁹談到表面粗糙度(包括了粗糙高度、紋路走向、花樣的影響)對動壓軸承摩擦力、油膜厚度及油溫的影響，粗糙度愈大，

⁸ Jie Zhou, "Temperature Monitoring of PEEK Bearings," STLE 2016, May 15-19, 2016, Las Vegas

⁹ P. I. Andharia, J. L. Gupta, G.M. Deheri, "Effect of Surface Roughness on Hydrodynamic Lubrication of Slider Bearings," Tribology Transactions 44(2):291-297, April 2001. DOI: 10.1080/10402000108982461

摩擦力愈大油溫也上升愈多。改用PEEK之後，因為表面粗糙度降低，而解決了最小油膜不夠厚的問題」等語。

- (四)綜上，明潭電廠推力軸承設計裕度不足，未能建立所需楔形油膜，陳訴人主張加裝千金頂輔助方式根本解決之，並稱在完全潤滑的情況下，摩擦係數不影響軸承能耗之大小，與本院諮詢委員認為「改用摩擦係數小、耐溫較高之PEEK材質，解決了最小油膜不夠厚的問題」有間，台電公司允宜委託第三公正單位進行深入研究，比較加裝千斤頂輔助方式與以PEEK材質替代巴氏合金對油膜厚度、能量損失……等各方面之影響，以澈底解決問題。

參、處理辦法：

- 一、抄調查意見一至三，函請台電公司確實檢討改進見復。
- 二、抄調查意見二，函請經濟部檢討改進見復。
- 三、抄調查意見一至三，函復陳訴人。
- 四、調查報告之案由、調查意見及處理辦法上網公布。