

核能二廠 1 號機 7 支螺栓斷裂案

第 1 次專案視察報告

參與人員：

原子能委員會：張維文技正、臧逸群技正、鄭再富技正、

熊大綱技士、張自豪技士

核能研究所：黃俊源、高家揚、吳毓秀

行政院原子能委員會核能管制處

中華民國 101 年 5 月 8 日

目錄

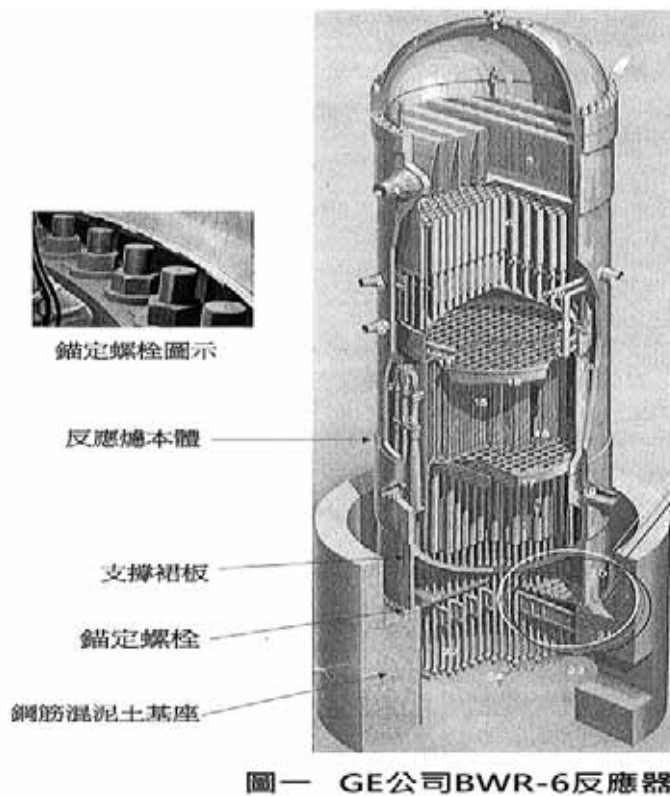
一、 簡介.....	1
二、 反應爐周邊組件運轉安全.....	2
(一) 反應爐周邊相連之管嘴/管路之鐸道.....	2
(二) 反應爐壓力槽系統洩漏試驗.....	5
(三) 重要組件之疲勞使用因子.....	6
三、 六支斷裂螺栓更換新品視察.....	8
(一) 錨定螺栓材料、施工及機械性質查證.....	8
(二) 斷裂螺栓修復計畫之基座灌漿材料、施工及結構之查證.....	17
四、 113 支未斷裂螺栓之 CMTR 查證.....	19
(一) 原始 3” -8 A540 B23 Class 1 Heavy Hex Nut 材料規格查證：.....	19
(二) 原始 3 1/2” Stud 材料規格查證：.....	20
五、 檢討與建議.....	21
六、 附件.....	26
附件一 本會 101 年 3 月 13 日會核字第 1010004072 號函.....	26
附件二 核二廠一號機 10 年檢測焊道數 (1/6).....	27
附件三 ASME 規章第十一部之表 IWB-3514-1 或表 IWB-3514-2.....	33
附件四 pro295 反應爐壓力槽系統洩漏試驗結果.....	34
附件五 裙板鐸道目視檢測.....	35
附件六 反應器重要組件疲勞使用因子計算程序書 (1/14).....	36
附件七 反應器重要組件疲勞使用因子計算程序書 rec1(1/14).....	50
附件八 法規修理/更換評估表 (1/5).....	64
附件九 ASME SA-540 B23, Class 1, 2007 Edition, 2008a Addenda(1/3)	69
附件十 反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝程序書 (RPV Skirt Bolt Installation Procedure) 54 Page (1/54).....	72
附件十一 BOLT 驗收 GE 之品質文件 40 Page (1/40).....	73
附件十二 GE 公司 Response to TPC Questions(1/3).....	74
附件十三 Embeco 880 材料規格說明書(1/7).....	76
附件十四 建廠時混凝土強度設計文件-圖 C-2215.....	83
附件十五 錨定螺栓基座灌漿水泥強度試驗報告(1/3).....	84

一、簡介

核二廠反應爐為 GE 公司 BWR-6 形式(圖一)；錨定螺栓座落於位寬 6 呎 10 吋的鋼筋混凝土基座上，於 2 呎寬的生物屏蔽牆內。反應爐下方之支撐裙板法蘭藉由內、外 2 圈各 60 支之錨定螺栓連結至基座(Pedestal)上之載板(Mounting Plate)，藉由摩擦力(Friction Joint)將反應爐之剪力負荷(shear loads)傳遞至基座，如下示意圖所示。

反應爐支撐裙板屬耐震一級，其設計依據 ASME Section III IWF (ASME: American Society of Mechanical Engineers)。鋼筋混凝土基座，土木結構屬耐震一級。而支撐群板錨定螺栓材質為 ASTM A-540 Gr. B23 Class 1，直徑為 3 吋，長度 26 吋。螺栓預力為 680kips(材料規範依據 subsection NF of ASME section III)。

核二廠 1 號機第 22 次大修，發現反應爐支撐裙板內圈 7 支螺栓斷裂事件，為確認台電公司核二廠 1 號機斷裂螺栓更換新品，113 支未斷裂螺栓之材質、結構及功能的完整性，符合所有原設計規範，特組成第 1 次專案視察，對該等螺栓之材料測試報告證明(CMTR)，螺栓更換新品等相關工作及與反應爐連接之周邊組件檢查執行現場查證。



二、反應爐周邊組件運轉安全

(一)反應爐周邊相連之管嘴/管路之鉚道

1、視察範圍

101 年 3 月 16 日 05:50 核二廠 1 號機進行反應爐模式切換至停機 (S/D) 時，強震儀 OSG-XE-105 動作，在垂直方向最大加速度有 0.29g 紀錄。為確保電廠運轉安全，落實電廠對反應爐周邊相連之管嘴/管路鉚道及控制棒驅動機構完整性之檢查，進行查證。

2、檢測人員資格

反應爐周邊相連之管嘴/管路之鉚道及控制棒驅動機構，非破壞檢測及評估人員資格部分，經查證均具有台電公

司頒發之 LEVEL II 以上之非破壞檢測師證書或取得非破壞檢測協會頒發之 NDT LEVEL II 資格證書，並經台電公司檢定通過取有檢定資格卡，符合台電核能發電處作業程序 DONG-I-5.2-T「核能電廠運轉期間非破壞檢測人員考訓與資格審定程序規定」之要求。

3、管嘴管路之銲道檢測法規依據與規範

管嘴管路之銲道檢測依據 10 CFR 50.55a，December 23, 2010 及 ASME 規章第十一部之要求 10 年檢測最少 25%（如表一）

表一 銲道檢測規範

TABLE IWB-2500-1 (CONT'D) EXAMINATION CATEGORIES							
EXAMINATION CATEGORY B-J, PRESSURE RETAINING WELDS IN PIPING							
Item No.	Parts Examined	Examination Requirements/ Fig. No.	Examination Method	Acceptance Standard	Extent and Frequency of Examination		Deferral of Examination to End of Interval
					First Inspection Interval	Successive Inspection Intervals [Note (3)]	
B9.10 B9.11	NPS 4 or larger (DN 100) Circumferential welds	IWB-2500-8	Surface and volumetric	IWB-3514	Welds [Notes (1) and (4)-(7)]	Same as for first interval	Not permissible
B9.20 B9.21 B9.22	Less than NPS 4 (DN 100) Circumferential welds other than PWR high pressure safety injection systems Circumferential welds of PWR high pressure safety injection systems	IWB-2500-8	Surface Volumetric	IWB-3514	Welds [Notes (1), (4), and (5)] Welds [Notes (2), (4), (6), and (7)]	Same as for first interval	Not permissible
B9.30 B9.31 B9.32	Branch pipe connection welds NPS 4 or larger (DN 100) Less than NPS 4 (DN 100)	IWB-2500-9, -10, and -11	Surface and volumetric Surface	IWB-3514	Welds [Notes (1) and (4)-(7)] Welds [Notes (1), (4), and (5)]	Same as for first interval	Not permissible
B9.40	Socket welds	IWB-2500-8	Surface	IWB-3514	Welds [Notes (1) and (4)]	Same as for first interval	Not permissible
NOTES: (1) Examinations shall include the following: (a) All terminal ends in each pipe or branch run connected to vessels. (b) All terminal ends and joints in each pipe or branch run connected to other components where the stress levels exceed either of the following limits under loads associated with specific seismic events and operational conditions: (1) primary plus secondary stress intensity range of $2.4S_m$ for ferritic steel and austenitic steel (2) cumulative usage factor U of 0.4 (c) All dissimilar metal welds not covered under Category B-F. (d) Additional piping welds so that the total number of circumferential butt welds (or branch connection or socket welds) selected for examination equals 25% of the circumferential butt welds (or branch connection or socket welds) in the reactor coolant piping system. This total does not include welds exempted by IWB-1220 or welds in Item No. B9.22. These additional welds may be located in one loop (one loop is defined for both PWR and BWR plants in the 1977 Edition). (2) A 10% sample of PWR high pressure safety injection system circumferential welds in piping $\geq$ NPS 1½ (DN 40) and $<$ NPS 4 (DN 100) shall be selected for examination. This sample shall be selected from locations determined by the Owner as most likely to be subject to thermal fatigue. Thermal fatigue may be caused by conditions such as valve leakage or turbulence effects. (3) The initially selected welds are to be examined in the same sequence during successive inspection intervals, to the extent practical. (4) Includes essentially 100% of weld length. (5) For circumferential welds with intersecting longitudinal welds, surface examination of the longitudinal piping welds is required for those portions of the welds within the examination boundaries of intersecting Examination Category B-F and B-J circumferential welds. (6) For circumferential welds with intersecting longitudinal welds, volumetric examination of the longitudinal piping welds is required for those portions of the welds within the examination boundaries of intersecting Examination Category B-F and B-J circumferential welds. The following requirements shall also be met: (a) When longitudinal welds are specified and locations are known, examination requirements shall be met for both transverse and parallel flaws at the intersection of the welds and for that length of longitudinal weld within the circumferential weld examination volume. (b) When longitudinal welds are specified but locations are unknown, or the existence of longitudinal welds is uncertain, the examination requirements shall be met for both transverse and parallel flaws within the entire examination volume of intersecting circumferential welds. (7) For welds in carbon or low alloy steels, only those welds showing reportable preservice transverse indications need to be examined by the ultrasonic method for reflectors transverse to the weld length direction except that circumferential welds with intersecting longitudinal welds shall meet Note (5).							

2004 SECTION XI, DIVISION 1

4、視察結果

(a)依電廠所提供電廠 10 年運轉期間檢測計畫書（本會 101 年 3 月 13 日會核字第 1010004072 號函同意備查如附件一），其資料內容顯示 1 號機反應爐周邊相連之管嘴/管路之銲道共有 664 口，屬於晶粒間應力腐蝕（IGSCC）有 185 口，屬於 ASME 規定檢測項目有 479 口，電廠預備檢測數量為 234 口（如附件二）；其中屬於 IGSCC 有 81 口，屬於 ASME SEC XI 有 154 口。

(b)經比對台電 10 年運轉期間檢測計畫資料，連接反應爐周邊相連之管嘴/管路之銲道，電廠預備檢測屬於 IGSCC 有 81 口檢測比率為 43.7% ；屬於 ASME SEC XI 有 154 口檢測比率為 32.7% ，均符合 ASME 規章要求之比率。

(c)電廠依 10 年運轉期間檢測計畫，預備檢測屬於 IGSCC 之 81 口，本次 1 號機 22 次大修依排定之檢測時程僅需檢測 19 口，但為因應日本福島核電廠受災計畫而加強檢測，除上次 1 號機 21 次大修已檢測過之 24 口外，本次大修檢測其餘 57 口及繼續追蹤觀察檢測覆層銲道 2 口共計 IGSCC 部分 59 口（管嘴 28 口、管路銲道 31 口）；碳鋼部分 14 口（管嘴 1 口、管路銲道 13 口）。經查證檢測

紀錄資料顯示 59 口均合格，檢測結果均未發現瑕疵，故未填面狀瑕疵評估表執行評估；其瑕疵評估接受標準為 ASME 規章第十一部之表 IWB-3514-1 或表 IWB-3514-2(如附件三)。

(二)反應爐壓力槽系統洩漏試驗

控制棒驅動機構凸緣與反應爐 RPV 銲接處為爐內銲接，其完整性乃藉由程序書 295 反應爐壓力槽系統洩漏試驗執行驗證。

1、視察結果

(a)本次大修控制棒驅動機構凸緣與反應爐 RPV 銲接處為爐內銲接，其完整性乃藉由程序書 295 反應爐壓力槽系統洩漏試驗執行驗證，視察結果如下：反應爐壓力槽加壓至 71.25kg/cm^2 ，執行 145 根控制棒驅動機構凸緣 VT-2 目視檢查，而程序書 295 依據 ASME SEC. XI. 1995 THROUGH 1996A 法規要求，洩漏測試之 VT-2 檢查（第二類目視檢查），到達額定壓力後，即可檢查（無持壓時間之要求）。檢查結果無洩漏，紀錄資料詳附件四。

(b)支撐裙板及反應爐焊道於 101 年 04 月 10 日已執行 VT-3 目視檢查，結果正常，紀錄資料詳附件五。

(三)重要組件之疲勞使用因子

1、視察範圍

材料因溫度、外力反覆作用後產生疲勞現象 (Fatigue)，超過其極限時，材料終遭到破壞；為監視 RPV 重要組件在運轉壽命期間的疲勞情況，於電廠設計階段就會評估運轉壽命可能經歷之暫態，並預估其可能經歷的次數，然後評估各重要組件之疲勞使用因子 (Fatigue Usage Factor)。依照國外運轉慣例，當疲勞使用因子超過 0.7 時就會採取措施，一方面監視該組件之實際狀況，另一方面檢討其評估方法之保守性，以得到合理之評估結果；經過工研院化材所的評估後，認為飼水噴嘴、爐心噴灑管嘴及 RPV support skirt 為較關鍵的組件，台電公司訂定程序書 1036「反應器重要組件疲勞使用因子計算程序書」，於每個燃料週期末，統計各種暫態次數，據以計算上述關鍵組件之疲勞使用因子，以監視其疲勞情況。

- ✧ 疲勞使用因子：材料因溫度、外力反覆變化而產生疲勞現象 (Fatigue)，而材料之疲勞現象之累積可透過一「疲勞使用因子」(Fatigue Usage Factor) 之計算而獲得，通常此一參數在小於 1 時，材料不致產生破壞，此值愈接近 1，則表示材料或組件愈有可能產生破壞。

2、視察結果

- (a)大修停機後，電廠運轉組統計各項暫態（起動、急停、停機）發生的次數時間、事件說明（從上次大修開始至燃料週期末的資料），填寫於程序書附表「暫態次數記錄表」、「事件說明表」，送電廠核技組。
- (b)核二廠核技組大修中，利用運轉組提供的資料，以附表六「疲勞使用因子計算記錄表」，計算重要組件疲勞使用因子，經審核後存於核技組。
- (c)核二廠程序書 1036 規定如果使用因子超過 0.7 即需採取措施，除繼續監視該組件之實際狀況，並檢討其評估方法之保守性，設法去除非必要之保守假設以得到合理之評估結果。
- (d)核二廠本次大修前 RPV Support Skirt 疲勞使用因子為 0.08051(附件六)，將本次大修停機測得之 OBE 0.29g 震動計入，新計算之 RPV Support Skirt 疲勞使用因子為 0.08130（附件七）。RPV Support Skirt 疲勞使用因子距 0.7 仍有相當大之餘裕。
- (e)核二廠本次大修前疲勞使用因子為飼水噴嘴

0.26126、爐心噴灑管嘴為 0.05166，將本次大修停機測得之 OBE 0.29g 震動計入，新計算飼水噴嘴、爐心噴灑管嘴之疲勞使用因子並未改變。

三、六支斷裂螺栓更換新品視察

(一) 錨定螺栓材料、施工及機械性質查證

1、視察範圍.

本次核二廠 1 號機錨定螺栓更換，乃根據 ASME SEC XI 2004 版，進行按法規之修理/更換。電廠依程序書 1109.09 表 B 按法規之修理/更換評估表執行，並留審核紀錄如附件八，依終期安全分析報告之精神，設備更換新品如係依原材料、原工法施做，除特別要求，原則上無須先經本會核准。以下依錨定螺栓之材料法規要求、錨定螺栓施工紀錄進行查證。

2、錨定螺栓之材料法規要求

(a) ASME SA-540 B23, Class 1, 2007 Edition, 2008a

Addenda，詳附件九，節錄如下表二。

(b) 機械性質：抗拉強度 $> 165\text{ksi}$ ；降伏強度 $> 150\text{ksi}$ ；

Elongation $> 10\%$ 。

(c) Reduction of Area $> 35\%$ ；415 $>$ Surface Brinell

Hardness>321 要求如下表二。

(d)化學成分：Carbon (0.37%~0.44%)、Manganese

(0.6%~0.95)、Phosphorus Max(0.025%)、Sulfur

Max(0.025%)如下表三要求。

3、錨定螺栓施工紀錄查證

錨定螺栓施工之程序書編號為 SP-2012-04「反應爐支撐

裙板錨定螺栓安裝程序書 (RPV Skirt Bolt Installation

Procedure)」，施工紀錄如附件十。

表二 錨定螺栓要求機械性質

TABLE 2 MECHANICAL PROPERTY REQUIREMENTS									
Grade	Class	Diameter	Tensile Strength, min	Yield Strength, 0.2% offset, min	Elongation, min, %	Reduction of Area, min, %	Surface Brinell Hardness		Charpy V-Notch +10°F (-12.2°C)
							min	max	
Inch-Pound Units									
		in.	ksi	ksi	In 2 in.				
B21 (Cr-Mo-V)	5	to 2, incl	120	105	15	50	241	285	Note 4
		over 2 to 6, incl	115	100	15	50	248	302	Note 4
		over 6 to 8, incl	115	100	15	50	255	311	Note 4
	4	to 3, incl	135	120	13	45	269	331	Note 4
		over 3 to 6, incl	135	120	13	45	277	352	Note 4
	3	to 3, incl	145	130	12	40	293	352	Note 4
		over 3 to 6, incl	145	130	12	40	302	375	Note 4
	2	to 4, incl	155	140	11	40	311	401	Note 4
	1	to 4, incl	165	150	10	35	321	429	Note 4
	B22 (4142-H)	5	to 2, incl	120	105	15	50	248	293
over 2 to 4, incl			115	100	15	50	255	302	Note 4
to 1, incl			135	120	13	45	269	341	Note 1
4		over 1 to 4, incl	135	120	13	45	277	363	Note 4
		to 2, incl	145	130	12	40	293	363	Note 4
3		over 2 to 4, incl	145	130	12	40	302	375	Note 4
		to 3, incl	155	140	11	40	311	401	Note 4
2		to 3, incl	155	140	11	40	311	401	Note 4
1		to 1½, incl	165	150	10	35	321	401	Note 4
B23 (E-4340-H)		5	to 6, incl	120	105	15	50	248	311
	over 6 to 8, incl		115	100	15	50	255	321	Note 1
	over 8 to 9½, incl		115	100	15	50	262	321	Note 4
	4	to 3, incl	135	120	13	45	269	341	Note 1
		over 3 to 6, incl	135	120	13	45	277	352	Note 1
		over 6 to 9½, incl	135	120	13	45	285	363	Note 4
	3	to 3, incl	145	130	12	40	293	363	Note 2
		over 3 to 6, incl	145	130	12	40	302	375	Note 2
		over 6 to 9½, incl	145	130	12	40	311	388	Note 4
	2	to 3, incl	155	140	11	40	311	388	Note 4
		over 3 to 6, incl	155	140	11	40	311	401	Note 4
		over 6 to 9½, incl	155	140	11	40	321	415	Note 4
	1	to 3, incl	165	150	10	35	321	415	Note 4
		over 3 to 6, incl	165	150	10	35	331	429	Note 4
		over 6 to 8, incl	165	150	10	35	341	444	Note 4

NOTES:

- (1) The minimum average of 3 specimens shall not be less than 35 ft-lbf [47 J]. One specimen from a set of 3 may be less than 35 ft-lbf [47 J] but not less than 30 ft-lbf [41 J].
- (2) The minimum average of 3 specimens shall not be less than 30 ft-lbf [41 J]. One specimen from a set of 3 may be less than 30 ft-lbf [41 J] but not less than 25 ft-lbf [34 J].
- (3) The minimum average of 3 specimens shall not be less than 25 ft-lbf [34 J]. One specimen from a set of 3 may be less than 25 ft-lbf [34 J] but not less than 20 ft-lbf [27 J].

(4) No minimum values established. Tests shall be run for information only.

表三 錨定螺栓要求化學成分

TABLE 1
CHEMICAL REQUIREMENTS⁴

Identification Symbol Grade	B21		B22		B23		B24		B24V	
	(Cr-Mo-V)		(4142-H)		(E-4340-H)		(4340 Mod.)		(4340V Mod.)	
	Chromium-Molybdenum-Vanadium		Chromium-Molybdenum		Chromium-Nickel-Molybdenum		Chromium-Nickel-Molybdenum		Chromium-Nickel-Molybdenum-Vanadium	
	Product Variation, Over or Under, ^a %		Product Variation, Over or Under, ^a %		Product Variation, Over or Under, ^a %		Product Variation, Over or Under, ^a %		Product Variation, Over or Under, ^a %	
	Range, %		Range, %		Range, %		Range, %		Range, %	
Carbon	0.36-0.44	0.02	0.39-0.46	0.02	0.37-0.44	0.02	0.37-0.44	0.02	0.37-0.44	0.02
Manganese	0.45-0.70	0.03	0.65-1.10	0.04	0.60-0.95	0.04	0.70-0.90	0.04	0.60-0.95	0.04
Phosphorus, max	0.025 ^c	0.005	0.025 ^c	0.005	0.025 ^c	0.005	0.025 ^c	0.005	0.025 ^c	0.005
Sulfur, max	0.025 ^c	0.005	0.025 ^c	0.005	0.025 ^c	0.005	0.025 ^c	0.005	0.025 ^c	0.005
Silicon	0.15-0.35	0.02	0.15-0.35	0.02	0.15-0.35	0.02	0.15-0.35	0.02	0.15-0.35 ^d	0.02
Chromium	0.80-1.15	0.05	0.75-1.20	0.05	0.65-0.95	0.05	0.70-0.95	0.05	0.60-0.95	0.05
Nickel	...	...	...	...	1.55-2.00	0.05	1.65-2.00	0.05	1.55-2.00	0.05
Molybdenum	0.50-0.65	0.03	0.15-0.25	0.02	0.20-0.30	0.02	0.30-0.40	0.02	0.40-0.60	0.03
Vanadium	0.25-0.35	0.03	...	...	...	...	...	...	0.04-0.10	0.01

⁴ The intentional addition of Bi, Se, Te, and Pb is not permitted.

^a Unless otherwise specified, separate determinations may vary from the specified ranges, except that elements in any heat must not vary both above and below the specified range.

^c Phosphorus and sulfur content is 0.04% max when open-hearth steel is specified.

^d Silicon content is 0.35% max if vacuum-carbon deoxidized.

4、本項視察項目結果(機械、材料性質)

(a)本次大修驗收之錨定螺栓材料法規要求及驗收標準，詳

附件十一，視察結果如下表四：附件十一之 Page19-20

錨定螺栓之材料 42265 END A 及 42266 END A 之機械性

質檢測試驗結果：

表四 視察錨定螺栓機械強度結果

法規要求	抗拉強度 >165ksi	降伏強度 >150ksi	Elongation >10%	Reduction of Area > 35%	415 > Surface Brinell Hardness > 321
42265 END A	171	157	16%	51	363
42266 END A	174	160	14%	41	363

CUSTOMER P.O.
88967-75

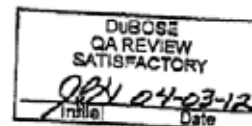
CERTIFICATION DATE
4/3/2012

SHIP VIA
WILL ADVISE

DESCRIPTION

Quantity: 4 (39'-8")
Trace No.: 42265
Heat No.: 8088711
Size: 3-1/4" Dia. x 9'-11" Long
Description: Round Bar
Manufacturer: Republic
Material: ASME SA-540, B23, Class 1, 2007 Edition, 2008a Addenda
Customer: GE-Hitachi Nuclear Energy
Customer PO No.: 437067131
DC No.: 111111
Reference: Vendor: Castle; Vendor PO #: 88964-75

Quantity: 2 (19'-10")
Trace No.: 42266
Heat No.: N0836
Size: 5-1/4" Dia. x 9'-11" Long
Description: Round Bar
Manufacturer: Timken
Material: ASME SA-540, B23, Class 1, 2007 Edition, 2008a Addenda
Customer: GE-Hitachi Nuclear Energy
Customer PO No.: 437067131
DC No.: 111111
Reference: Vendor: Castle; Vendor PO #: 88964-75



CORRECTED CERTIFICATION (4/3/12)

BRINELL HARDNESS TEST:

APPLICABLE SPECIFICATIONS: ASME SA540, 2007 Edition, 2008a Addenda, B23, Class 1
KEY: C - Conforms NC - Non-Conformance R-Report for Information

TRACE NO. REQUIRED	HARDNESS READING		SCALE	KEY (C/NC/R)
	Min	Max		
	331	429	HBW	
42265 - END A	363		HBW	C
42265 - END B	363		HBW	C
42266 - END A	363		HBW	C
42266 - END B	363		HBW	C



**LABORATORY
TESTING INC.**

2331 Topaz Drive, Hatfield, PA 18440
TEL: 800-219-9085 • FAX: 800-219-8086

Certified Test Report
DSI001-12-04-12703-1



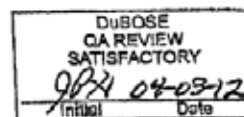
Accredited

Materials Testing Laboratory
Nondestructive Testing

CORRECTED CERTIFICATION (4/3/12)

TENSILE TEST:

APPLICABLE SPECIFICATIONS: ASME SA540, 2007 Edition, 2008a Addenda, B23, Class 1
KEY: C - Conforms NC - Non-Conformance R-Report for Information



SAMPLE ID REQUIRED	(KSI) TENSILE STRENGTH	(KSI) YIELD (.2%) STRENGTH	(%) ELONGATION (IN 2")	(%) REDUCTION OF AREA	SPECIMEN SIZE	KEY C/NC/R
	Min	Min	Min	Min		
	165	150	10	35	---	
42265 - End A	171	157	16	51	0.4992" Dia.	C
42265 - End B	166	151	15	47	0.4995" Dia.	C
42266 - End A	174	160	14	41	0.4993" Dia.	C
42266 - End B	173	158	14	38	0.4993" Dia.	C

(b) 錨定螺栓之材料化學成分檢測試驗結果如下表五：

表五 視察錨定螺栓材料化學成分結果

法規要求	0.44>C >0.37	0.95>Mn >0.60	0.025 > P	0.025>S	0.35>Si >0.15	0.95>Cr >0.65	2.0>Ni >1.55	0.3>Mo >0.2
檢測結果	0.39	0.73	0.011	0.018	0.28	0.76	1.72	0.24

CERTIFICATE OF MATERIAL TEST REPORTS

H-A Industries A Division of A. M. Castle & Co. 4527 Columbia Avenue Hammond, IN 46327				Customer: A. M. Castle & Co. 3400 N. Wolf Road Franklin Park, IL 60131																			
MANUFACTURER (MILL)			CUST. ORDER NO.																				
REPUBLIC ENGINEERED PRODUCTS																							
IC	HEAT NO.	MECHANICAL ID	ORDER NO.	SHIP QUANTITY	DATE																		
17582	8098711	AE800	7957814	37925	16-NOV-11																		
DESCRIPTION OF MATERIAL																							
3.2500 RD B4340 ALLOY HR ANN AQ AMS 6415.216.0000-288.0000																							
CHEMICAL ANALYSIS %																							
C	MN	P	S	SI	CU	NI	CR	MO	AL														
.39	.73	.011	.018	.28	.18	3.72	.76	.24	.026														
JOMINY HARDENABILITY Re																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	22	24	26	28	30	32
58	58	57	57	57	57	56	56	56	56	55	55	55	55	55	54	54	53		51		49		48
METALLURGICAL																							
MACROETCH S: 1 R: 1 C: 2		AMS 2301 F: 0 S: 0		NAFTA YES		GRAIN SIZE 5																	
CONTINUOUS CAST YES		REDUCTION RATIO 15.7		FROM IC 32822																			
COUNTRY OF MANUFACTURE United States		COUNTRY OF MOLT US																					
HEAT TREATMENT																							
						% LP ANNEAL 80		DECARB (in) .005		HRS 8.4		TEMP °F 1520											
HARDNESS																							
Location		Type		Value		Location		Type		Value													
SURF		HBW		200		SURF		HBW		205													
SURF		HBW		201		SURF		HBW		204													
SURF		HBW		203																			
CONFORMANT TO SPECIFICATIONS																							
AMS 6415S																							
AMS 7301K																							
ASTM A322-07																							
AMS-S-6000 COND C1																							
AISI 4340																							
UNSA G43406																							

A-376

ASTM A-370

5、本項視察項目結果(施工紀錄查證)

本次大修錨定螺栓更換之施工安裝確認(位置 B10、B13、C06、C09、D11、D14)，紀錄資料詳附件十，視察結果如下：

錨定螺栓更換之施工由 GE 公司人員依程序書編號 SP-2012-04「反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝程序書 (RPV Skirt Bolt Installation Procedure)」執行，品質人員依程序書編號 SP-2012-04 之附件一廠家程序書「Vessel Skirt Bolt Replacement Project Installation Specification」之(001)「Bolt replacement project」執行現場之查證，其查證項目為：

(a)施工人員資格及準備事項 (節錄如下)

3.1 All installation personnel shall be trained, and qualified prior to the Bolt repair. Record of training/qualification shall be documented.

視查結果:品質人員查證施工人員訓練紀錄及其訓練狀

況，訓練時間為 2hr。

(b)螺栓安裝之定位 (節錄如下)

6.6 Refer to the Appendix D datasheet for the specified work location and select the hardware dedicated for that location. Install replacement stud, washers, and nuts as shown in Appendix B. Hand-tighten nuts and visually confirm the washers and nuts are seated.

6.7 Using the Go-No-Go gauges, ensure that a minimum of 4 inches of thread is exposed at the top of the stud and a minimum of 3 inches of thread is exposed at the bottom of the stud. Adjust as required to achieve minimum thread exposure.

視察結果：品質人員查證 6 支錨定螺栓安裝之定位施

工狀況，於執行版簽證表均有簽名紀錄。

(c) 螺栓安裝之張力（節錄如下）

6.8 Install tensioner onto stud and verify all hoses are properly connected.

CAUTION

Tensioner operates at high pressures. Take safety precautions when working in the vicinity

Note

Tensioning will be done incrementally at each location until preload reaches its final value of 680 kips

6.9 Tension the stud and tighten the nuts over 3 pulls using values indicated in the corresponding datasheet in Appendix D. After each incremental pull, take an elongation measurement using UT and record elongation values on Datasheet. (Refer to Appendix C for transducer set up.)

視察結果：品質人員查證 6 支錨定螺栓安裝之張力施工

狀況，於執行版簽證表均有簽名紀錄。

(d) 24 小時後確認螺栓之伸長量（節錄如下）

6.11 After 24 hours, recheck the elongation corresponding to 620 kips and record elongation value on corresponding datasheet in Appendix D. If stud is outside the acceptable elongation range, re-perform steps 6.8 to 6.11.

視察結果：六根螺栓之安裝紀錄如附件十所示，於執行

版簽證表可以確認 6 支螺栓安裝時之拉力均分三段

310、510、680kips 達成。24 小時後確認螺栓之伸長量

符合 620 kips 拉力之要求。

QH	1 Verify personnel requirements and prerequisites have been met.	KS1-EOC22-VSB-SWP-001, Rev 0 Section 3 & 4	H
----	---	---	---

QH →	6	Install replacement hardware and hand tighten. Confirm minimum thread exposure using Go-No-Go gages NOTE: The upper washer has a 6.5 inch outer diameter and the lower washer has a 7 inch outer diameter.	KS1-EOC22-VSBM-SWP-001, Rev <u>0</u> Section 6.6-6.7	H
	7	Install tensioner and tension in three stages. Record elongation measurements on datasheets.	KS1-EOC22-VSB-SWP-001, Rev <u>0</u> Section 6.8 – 6.9	C
	9	After 24 hrs. re-check elongation corresponding to 620kips and record results on datasheet.	KS1-EOC22-VSB-SWP-001, Rev <u>0</u> Section 6.11	C

(e)舊有錨定螺栓拉力驗證由 GE 公司人員依程序書編號

SP-2012-04 反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝程序書(RPV

Skirt Bolt Installation Procedure)執行，品質人員

依程序書編號 SP-2012-04 之附件一廠家程序書「Vessel

Skirt Bolt Replacement Project Installation

Specification」之 (002)Bolt preload check 執行現

場之查證，其查證項目（節錄如下）：

5.3 Install tensioner and **slowly** raise the tensioner pressure in incremental steps up to a value of 560 kips. Use increments of approximately 200 kip per incremental step. At each increment use a mallet or hammer to strike the upper washer and look for movement.

- 200 kips corresponds to 5,873 psi
- 400 kips corresponds to 11,746 psi
- 560 kips corresponds to 16,444 psi

QH →	3	Install tensioner and slowly raise pressure in incremental steps up to a value of 560 kips. Use increments of approx. 200 kip per incremental step. At each increment, use a mallet or hammer to strike the washer and look for movement	KS1-EOC22-VSB-SWP-002, Rev <u>0</u> Section 5.3

視察結果:舊有錨定螺栓(位置 C02)執行拉力驗證紀錄如附件十所示,可以確認螺栓拉力驗證時之拉力,分三段 200、400、560kips 達成。螺栓預力要求 560kips,由 GE 公司 Response to TPC Questions 結果附件十二:依學理論述(Bickford, An Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints):螺栓預力之鬆弛僅發生於有限的時間內,大部份預力的鬆弛發生於完成螺栓鎖緊後之當時,且隨著時間預力鬆弛率將趨近於零。(As described in An Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints, Bickford, Chapter 6, a bolted joint will experience relaxation for an indefinite period of time, with most of the relaxation occurring immediately upon tensioning. The rate of relaxation approaches zero as time passes. This phenomenon has already been accounted for in the tensioning procedure used for the studs.)

因此新裝螺栓於鎖緊時都會鎖比設計需求要多的預力,以備螺栓鎖緊鬆弛發生時,仍有符合設計需求所

需的預力。核二廠反應爐支撐裙鈑螺栓其需求預力依計算書為 510kips，而新安裝時為因應螺栓的鬆弛，安裝程序要求鎖緊 680kips。而於一個運轉週期查驗其預力仍有 560kips。

唯六根螺栓之安裝紀錄附件十-廠家程序書

「Vessel Skirt Bolt Replacement Project Installation Specification」之(001)「Bolt replacement project」執行版簽證表內要求，於 24 小時後確認螺栓之伸長量符合 620 kpis 拉力之要求，與附件 E 中 page 1 「The tension was checked 48 hours after application with an allowable relaxation of 10%」之理論依據不一致，請台電要求 GE 公司澄清。本次螺栓執行預力查驗，GE 公司係以計算書對螺栓預力要求 510kips 加上 10%裕度，而得 560kips 以驗證仍在壓緊狀態，顯示螺栓預力仍大於 560kips。

(二)斷裂螺栓修復計畫之基座灌漿材料、施工及結構之查證

1、視察結果-灌漿材料

為填補修復螺栓時敲除之基座混凝土，電廠使用預拌型

金屬骨材灌漿料，灌漿水泥型號為 Embeco 880。

(a)該材料適用於核能電廠結構組件，依據材料規格說明在 30°C 環境下，施灌完成後 24 小時，強度可達到 5000 psi 以上，材料規格說明書（英文版及中文版如附件十三）符合原基座設計混凝土強度要求（附件十四-建廠時混凝土強度設計文件）。

(b)在材料強度確認方面，電廠方面為求保守謹慎事已於灌漿前 4 月 8 日完成灌漿材料試拌，製作測試用試體 4 組製作，並持續養護後，於 4 月 11 日取其中 2 件測試其 72 小時抗壓強度分別為 8210 及 7583 psi，4 月 16 日再取 1 件測試其 7 天以上齡期的抗壓強度 9766psi，均可滿足設計強度所需。為進一步確認錨定螺栓基座灌漿水泥強度，電廠於 4 月 17 日執行錨定螺栓水泥基座鑽心取樣，並於 4 月 18 日執行單壓試驗，測得抗壓強度為 7621psi，上述試驗報告如附件十五所示。

2、視察結果-灌漿施工

為更換螺栓所移除之混凝土區域，再重新灌漿時會有新舊混凝土接合面的問題，應特別注意，根據螺栓基座現場查核與施工照片可知，更換螺栓所移除之混凝土區域僅下方為混凝土

土，其餘 5 個方面(包括：前、後、左、右及上方)均為鋼板所分隔，當螺栓更換完成後，重新灌漿時灌漿材料與下方舊有水泥混凝土應注意接合問題。

(a)經查「反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝程序(SP-2012-04)」

電廠於各項灌漿施工程序均有載明施工細節，包括：新舊混凝土接合面粗糙度、表面砂土清除潔淨度、表面噴灑潤、濕漿液拌合程序等。實際施工時，電廠均派有專人於現場督導查核。

(b)惟根據上述程序書與電廠灌漿施工實況，並未對完成拌合後同一批灌漿材料不同齡期的材料強度指標與驗證之依據，與一般混凝土施工規範要求不一致，應立即修訂程序書比照一般混凝土施工規範要求做法取試體，並於下次執行錨定基座維修時予以改進。

四、113 支未斷裂螺栓之材料測試報告證明(CMTR)查證

(一)原始 3” -8 A540 B23 Class 1 Heavy Hex Nut 材料規格查證：

依據 ASME Sec. II, 2007 Part A 有關 ASME SA-540 B23

(E4340H)材料規範說明，查證台電公司所提原始 3” -8 A540 B23

Class 1 Heavy Hex Nut 材料測試報告證明 (CMTR) 結果，說明

如下：

1、台電公司所提有關原始 3” -8 A540 B23 Class 1 Heavy

Hex Nut 材質證明文件概可分 2 批次，其組件數量分別為 569 件及 135 件。

2、第 1 批次組件，經查證所提 CMTR 報告結果，其化學成分

分析與機械性質分析均符合 ASME SA-540 B23 (E4340H)

材料規範要求，其中 559 件經 UT 檢測合格，330 件經 MT 檢測合格。

第 2 批次組件，經查證所提 CMTR 報告結果，其化學成分分

析符合 ASME SA-540 B23 (E4340H) 材料規範要求，但有關機械性質分析部分則未提供相關分析資料，其中 134 件經 UT 檢測合格。

(二)原始 3 1/2” Stud 材料規格查證：

依據 ASME Sec. II, 2007 Part A 有關 ASME SA-540 B23

(E4340H) 材料規範說明，查證台電公司所提原始 3 1/2” Stud

材料測試報告證明 (CMTR) 結果，說明如下：

(a)有關 3 1/2” Stud 材料材質，經查證所提 CMTR 報告結

果，其化學成分分析符合 ASME SA-540 B23 (E4340H)

材料規範要求，但機械性質分析部分除未提供硬度測試

結果外，其餘機械性質分析符合 ASME SA-540 B23

(E4340H) 材料規範要求，其中 271 件經 MT 檢測合格。

五、檢討與建議

(一) 錨定螺栓修復計畫台電公司僅於 4 月 3 日會議以簡報方式簡

述修復方式，尚未依會議記錄決議事項第 5 點，正式向原能

會送達修復計畫，其修復計畫內容必須在材料、工序、工法

上符合法規及原設計者奇異公司之規範修復計畫書，請台電

澄清改善。

(二) 依據檢測紀錄顯示，鐸道檢測口數比率、檢測人員資格及檢

測結果，均符合法規及程序書接受要求。

(三) 因鐸道檢測計畫內容繁複，依鐸道性質、檢測週期、適用法

規分類，建議應建立管理系統具備各項條件查詢功能，俾利

查詢、管理及追蹤管制。

(四) 視察結果本次大修驗收使用之錨定螺栓之驗收符合法規

(ASME SA-540 B23, Class 1, 2007 Edition, 2008a Addenda)

要求。

(五) 本次大修 6 支錨定螺栓之安裝紀錄附件 C-廠家程序書

「Vessel Skirt Bolt Replacement Project Installation

Specification」之(001)「Bolt replacement project」執行版簽證表內要求，於 24 小時後確認螺栓之伸長量符合 620 kips 拉力之要求，與附件 E 中 page 1「The tension was checked 48 hours after application with an allowable relaxation of 10%」之理論依據不一致，請台電要求 GE 公司澄清。

(六)舊有錨定螺栓（位置 C02）執行拉力驗證結果符合原廠家程序書之要求。

(七)大修控制棒驅動機構凸緣與反應爐 RPV 銲接處檢查結果無洩漏。支撐裙板及反應爐焊道 VT-3 目視檢查結果正常。

(八)將本次大修停機測得之 OBE 0.29g 震動計入後，新計算之 RPV Support Skirt 疲勞使用因子由 0.08051 增加為 0.08130，新計算飼水噴嘴、爐心噴灑管嘴之疲勞使用因子並未改變。新計算飼水噴嘴、爐心噴灑管嘴、RPV Support Skirt 之疲勞使用因子距 0.7 仍有相當大之餘裕，仍在安全範圍內。

(九)灌漿施工方面，應取同一批拌料做試體，以作為材料強度驗證之主要依據。另外，施工程序書應載明試體取樣、養護、以及試體強度試驗等參考規範。

(十)針對 3" -8 A540 B23 Class 1 Heavy Hex Nut 第 2 批次組

件材料規格，台電公司並未提供相關組件機械性質分析資料，建議請台電公司澄清。

(十一)針對 3 1/2” Stud 材料規格，台電公司並未提供相關硬度檢測資料，意見亦請台電公司澄清。

(十二)針對 3 1/2” Stud 材料規格，經查證相關 CMTR 報告結果，顯示其化學成分中磷、硫含量均符合 ASME SA-540 B23 (E4340H) 材料規範要求，但核能研究所針對斷裂螺栓之重新檢測結果，顯示磷、硫含量有極大差異，建議請台電公司釐清檢測方式是否符合檢測規範。

(十三)依據 ASME Sec. II, 2007 Part A 補充說明，相關 NDE 檢測係屬業主自主行為，非屬強制要求，因此，前述相關 NDE 結果，應屬參考性質。

(十四)P0010 與 P0011 同為 heat #61765 螺栓但熱處理程序卻不同，請說明？

(十五)部分字跡模糊難以辨認，建請確認原稿之清晰度，建立可讀之電子檔案。由 CMTR 無法知道斷裂螺栓屬於哪一批次，建議 CMTR 作適度分類及註記，增加可讀性，及日久文件之追溯性？

(十六)請說明 P0021 與 P0037 於 10°F 之衝擊值之差異？

(十七)無法由 CMTR 確認目前核二廠使用之螺栓與材料之 HT No.

關連性與追溯性。

(十八)P0003 Heat No. 8073029 與 P0005 Heat No. 8073023，

P0006、7 HT No. 不明，P0008、9 HT No. 不明且硬度分別為

217、217、229、229、285、285，依規定應為 331-429。

(十九)P0018、19 共有 65 pcs 作 UT 及 MT 檢查，合格有 58 pcs，

不可接受有 7 pcs，請說明與核二廠螺栓有何關連性。

(二十)品質文件有螺栓(STUD)和螺帽(NUT)的 CMTR，但尚缺墊圈

(WASHER)的 CMTR。

(二十一)提供之螺栓(STUD)和螺帽(NUT)的 CMTR No. 由 50-100、

102、103、104，可知尚有其他之 CMTR No. 未提供。

(二十二)由於 CMTR 影印本的左邊大部份未印到，因此材料 E4340

有幾批以及部份 HEAT No. 無法得知。

(二十三)材料熱處理文件 Page 0011-0015，熱處理方式不一致，

依照(ASME Sec. II NA SA-540 1984a) 5.3 節規定要矯直

的材料應執行應力釋放(STRESS RELIEVE)，未取樣之材料並

未執行應力釋放例如 Page 0010、0013、0015，但有一件取

樣之材料亦未執行應力釋放例如 Page 0014。

(二十四)依照(ASME Sec. II NA SA-540 1984a) 5.3 節規定應力

釋放應在淬水和回火之後執行，且溫度應低於回火溫度 100°F 以內，但 Page 0012 應力釋放在淬水和回火之前執行，且溫度也低於於回火溫度約 400°F。

(二十五)PAGE 0015 缺少材料的 HT No.；PAGE 0020 螺栓的物理性質測試缺硬度值；PAGE 0016、0017 MT 及 UT 檢查 210-3” OD x 26”，足夠一部機使用，如二部機都使用這些批號的螺栓還欠 30pcs。

(二十六)由 PAGE 0025-0043 品質文件可知螺帽分三批製造，共有 671pcs 檢驗合格，但核二廠只用 480pcs，因此無法得知使用了那一批的螺帽。

(二十七)螺帽與螺栓的熱處理方式不同，有何區別，請說明。

(二十八)由 PAGE 0041 熱處理螺帽 135 個(10-26-76)，但 PAGE 0039 化學分析及物理性質(9-4-76)、PAGE 0040 MT 檢測合格 120 個(9-4-76)，為何檢測合格後才執行熱處理，是否適當。

註：因涉及智慧財產權及保護廠家商業機密，附件部分予以刪除。