

龍門電廠電氣工程-安全級可撓性金屬導  
線管安裝作業品質初步視察報告

行政院原子能委員會核能管制處

中華民國 101 年 6 月 8 日

# 目 錄

壹、前言.....	1
貳、視察計畫.....	2
參、視察結果.....	2
一、品質文件審查.....	3
二、現場安裝情形查證.....	3
肆、結論.....	4
表一 安全系統使用具被覆可撓性金屬導線管適用表.....	9-1
表二 龍門電廠一號機安全系統安裝具被覆可撓性金屬 導線管現況表.....	9-2
照片.....	10

# 龍門電廠電氣工程-安全級可撓性金屬導線管

## 安裝作業品質初步視察報告

### 壹、前言

龍門計畫非核島區採購之可撓性金屬導線管 (Flexible Conduit) 疑不具抗輻射功能，而引發外界對核能安全疑慮，本會為釐清外界疑慮並確保龍門電廠安裝於安全相關設備之可撓性金屬導線管符合相關法規或規範標準之要求，遂組成專案團隊視察，針對可撓性金屬導線管相關作業執行專案視察。

可撓性金屬導線管主要使用於馬達或其他有振動或位移設備與導線管間之連接，以避免導線管因振動或位移而造成損壞。龍門電廠可撓性金屬導線管依使用需求不同，分別採用具防水可撓性金屬導線管(Liquidtight Flexible Conduit)、防水兼抗輻射可撓性金屬導線管(Liquidtight Flexible Metallic Conduit with Radiation Resistant)、不鏽鋼防漏可撓性金屬導線管(Leak-Tight Stainless Steel Flexible Conduit)、無被覆可撓性金屬導線管(Flexible Metallic Conduit (Non-jacketed))、無被覆不鏽鋼可撓性金屬導線管(Stainless Steel Flexible Conduit(Non-jacketed))等類型，並於工程規範 874-E0012D1 規範應符合之工業標準指引要求或材質。因未具熱塑型(Thermoplastic)外被覆之可撓性金屬導線管，對於輻射環境較無特殊要求，所以本次主要針對具有外被覆之可撓性金屬導線管進行視察。

安全相關導線管(Conduit)於龍門電廠初期安全分析報告書(PSAR)第 3 章係歸類為安全等級(Safety Class 3, SC-3)，屬於耐震一級結構(Seismic Category I)，並須符合美國核管會之聯辦法規 10 CFR 50 App. B 及 PSAR 第 17 章品保方案之要求。另依美國電機及電子工程師學會 IEEE Std-628 1987 版要求，用於安全相關線路(Class 1E Circuit)之導線管，應保留適當之品質文件，例如符合性

認證(Certificates of Compliance, C/C)，以證明所採購使用之材料(Material)符合特定規範要求(Specified Requirements)。

另依我國「核子反應器設施安全設計準則」第6條、美國核管會之聯辦法規10 CFR 50 Appendix A「General Design Criteria for Nuclear Power Plants」之「Criterion 4—Environmental and dynamic effects design bases」等法規要求，前述安全相關導線管之設計，應確保於正常運轉、維護、測試及假想意外事故，包含反應爐爐水喪失事故(Loss-of-Coolant Accidents, LOCA)等各種環境條件下，仍能發揮其應有之安全功能。IEEE Std 628-1987之「5.6 Environmental Consideration」規範，並要求容納安全相關線路之纜線管槽(raceway)，包含前述安全相關導線管，應基於安裝地點所預期之環境條件，進行材料選用(material selection)設計。因此，本次視察對象—使用於安全相關設備之具有外被覆可撓性金屬導線管之設計及選用，若使用於輻射環境區域(radiation area)，應具有一定程度之抗輻射能力，方能符合前述法規或標準指引等之要求。

## 貳、視察計畫

本次視察係由本會核能管制處三位視察員組成專案視察團隊，並於101年5月23日至24日針對龍門電廠一號機使用於安全相關設備之可撓性金屬導線管安裝作業進行查證。視察範圍包含可撓性金屬導線管安裝作業之相關品質文件、現場安裝作業及檢驗紀錄等項目。

## 參、視察結果

龍門計畫依設備安裝環境需求規劃使用5種類型之可撓性金屬導線管，而本次主要針對安裝於安全相關之具有外被覆可撓性金屬導線管進行視察。視察範圍包含品質文件、現場安裝情形及檢驗紀錄等項目。視察結果說明如下：

### 一、品質文件查證

龍門電廠一號機核島區電氣安裝工程係由榮電股份有限公司（以下簡稱榮電公司）得標施作，並於 95 年陸續展開電氣設備安裝作業。榮電公司除執行現場電氣設備安裝作業外，並提供電氣設備使用之部分器材，本次視察之可撓性金屬導線管係由該公司所提供。目前一號機核島區使用於安全相關設備之可撓性金屬導線管分別有(1)具防水兼抗輻射型部分：ANAMET 公司製造型式為 ANACONDA SEALTITE TYPE 之 NWC(Nuclear Wiring Conduit, NWC)；(2)具防水型部分：ANAMET 公司製造型式為 ANACONDA SEALTITE TYPE 之 ZHUA(Zero Halogen/Low Smoke Flexible Conduit, ZHUA)等兩種。

另龍門電廠一號機非核島區電氣安裝工程原由開立工程股份有限公司得標施作，惟該公司因財務因素等無法繼續承作，台電公司遂將該項工程分成施工與器材採購兩部分，而器材採購部分則係由台電公司自辦，其中台電公司自辦採購之安全級器材經公開招標後，由禾企國際股份有限公司得標提供安全級之電氣相關器材，主要使用於非核島區之安全系統(如反應器廠房海水泵室(RBSW)、反應器保護系統(C71)等)；另非安全級器材則由揚合實業公司得標提供，因使用於非安全相關設備，故未列入本次視察範圍。目前非核島區安全相關設備所使用之可撓性金屬導線管分別有(1)具防水兼抗輻射型部分：ANAMET 公司製造型式為 ANACONDA SEALTITE TYPE 之 NWC；(2)具防水型部分：ANAMET 公司製造型式為 ANACONDA SEALTITE TYPE 之 ZHUA 等兩種，均為與核島區同一製造商生產之相同型式器材。

查閱台電公司所提供前述產品之相關品質文件，視察發現說明如下：

1. 榮電公司依該公司建立之品保方案及程序書，於 95 年 10 月 19 日對 ANAMET 公司進行訪查並提出廠商評估報告，送台電公司審查後同意該廠家為其器材供應商。惟該份報告僅附 NWC 型式導線管之相關製造程序書，而無 ZHUA 型式導線管之相關製造程序書或文件。因此就榮電公司所提出之報告內容資料及台電公司之審查紀錄而言，僅涵蓋 ANAMET 公司之品質系統，以及 NWC 型導線管產品

之製程管理，而無法確認評鑑作業涵蓋 ZHUA 型導線管。故依目前資料並無法判定 ZHUA 型導線管可完全滿足安全級產品之要求，此部分，仍待進一步確認。

2. 另，查閱台電公司提供之審查文件中，發現 ANAMET 公司於 2007 年 3 月 8 日提供之採購文件中表示「Type NWC nuclear conduit has also been approved for use by NUPIC (Nuclear Procurement Issue Committee) and listed NUPIC number 2651. Anaconda Sealtite Type ZHUA is manufactured with a non-toxic low smoke TPU(Thermoplastic Polyurethane)and does NOT contain any PVC (Polyvinylchloride)」此顯示 ANAMET 公司為 NUPIC 廠家(NUPIC number 2651)，且該公司認為其所提供之 NWC 型可撓性金屬導線管可使用於核能電廠圍阻體內，而 ZHUA 型式則並未有前述之說明。
3. 查閱 NWC 型具防水及抗輻射可撓性金屬導線管器材檢驗表之附件，其產品之 Certificate of Compliance(C/C)文件中表示核心材料(Core material)符合 UL 360(Underwriters Laboratory)之 Construction Requirements；至於外被覆(Jacket material)部分，則可符合 IEEE Std-323 1974 及 IEEE Std-383 1974 規定模擬核電廠 LOCA 曝露準則之要求，並由 ANAMET 公司之品保主管及公證人員(Notary Public)簽署，該型器材並經台電公司審查同意作為安全級器材使用。
4. 查閱 ZHUA 型防水可撓性金屬導線管器材檢驗表之附件，其產品之 Certificate of Compliance(C/C)文件中表示可符合 UL 360 等相關規範(但未述明可符合 IEEE Std-323 1974 及 IEEE Std-383 1974 等相關測試)，並由 ANAMET 公司品保主管或製造工程師簽署，但無公證人員簽署，該型器材亦經台電公司審查同意作為安全級器材使用【註：該型式之安裝地點環境限制於 -40°C~80°C Dry，60°C Wet，70°C oil】。

## 二、現場安裝情形查證

## (一)核島區部分

### 1. 核島區輻射區域安裝情形 (表一、二)

(1)依台電公司龍門施工處表示目前於核島區安全相關設備使用具防水兼抗輻射可撓性金屬導線管(NWC 型)僅於控制棒驅動(Control Rod Drive, CRD)系統之 HCU(Hydraulic Control Unit)設備室(Room 117、126)，其餘安全相關設備則使用防水可撓性金屬導線管(ZHUA 型)，而此部分與設計圖之圖例 Notes 明確指出輻射區域(Radiation Area)須使用具抗輻射可撓性金屬導線管不一致。不過該部分台電公司龍門施工處表示設計圖並未明確指出輻射區域之範圍或設備房間，且龍門計畫所使用之電纜及管槽管理系統(Cable and Raceway Management System, CARMS)系統僅於 HCU 設備室明確設計須使用具防水及抗輻射之可撓性金屬導線管，其餘並未於 CARMS 系統上標註，故台電公司對安全相關設備僅於 HCU 設備室裝置具防水及抗輻射之可撓性金屬導線管(NWC 型)，其餘區域(不含一次圍阻體內)均使用防水型可撓性金屬導線管。

(2)前述輻射區域部分，台電公司認為設計圖說、施工規範及設備規範等，並未明確指出輻射區域之範圍或設備房間，該部分台電公司已請設計公司—奇異公司提出澄清。

(3)對於輻射區域之劃分，在龍門電廠初期安全分析報告書(PSAR)第 12 章對輻射區域有明確之劃分，以及奇異公司設計文件 31113.023.1000 Project Design Manual (PDM)第 3 章亦有明確依輻射強度由低至高規劃成 A~F 區，其中 D、E、F 劃分為輻射區域(Radiation Area)，其餘則未註明為輻射區域。另設備運轉環境係工程設計之重要項目，且材料之選用應符合所使用環境之要求，亦是工程設計之基本。因此對處於輻射區域之設備或器材，理應選用具抗輻射能力之材料。

### 2. HCU 設備室(Room 117、126)安裝情形：

(1)此區劃分為 C 級，應非屬輻射區域。惟依 CARMS 系統規定應裝設具抗輻射 NWC 型式可撓性金屬導線管，但現場發現有為數不

少者安裝 ZHUA 型可撓性金屬導線管(如 1C12-HCU-0022、1C12-HCU-003 等)，不符合要求(照片一)；另抽查一號機 HCU 設備室(Room 117、126)目前安裝之具抗輻射 NWC 型式可撓性金屬導線管之相關檢驗表，其安裝檢驗表之檢查項目均為抗輻射(NWC 型)可撓性金屬導線管者，並無安裝 ZHUA 型可撓性金屬導線管之安裝紀錄，進一步訪談後，台電公司龍門施工處人員表示可能是承包商發現現場已安裝之 NWC 型可撓性金屬導線管有損壞情形而自行更換。然本項更換作業，台電公司無法提供 HCU 設備室內有關 ZHUA 型可撓性金屬導線管之安裝檢驗紀錄，也無相關 NCR 開立之管制文件等管控措施，不符合品保要求。

- (2) HCU 設備室(Room 117、126)目前安裝之具抗輻射 NWC 型式可撓性金屬導線管，現場發現疑似有導線管彎曲半徑不足，造成該導線管有相當高比例之外被覆剝離現象(此部分，製造廠家於 Certificate of Compliance 中有特別強調導線管之彎曲半徑)(照片二、三)；另亦發現有疑似施工不當或人為破壞，而造成導線管接頭處有斷裂或脫落之情形(照片四)。

3. 反應器爐心餘熱移除系統(Residual Heat Removal System, RHR)之 RHR A 泵室安裝情形：依台電公司認定為非輻射區，故僅使用 ZHUA 型可撓性金屬導線管，又現場發現流量控制閥 1E11-MCV-002A 之閥位傳送器 1E11-MCU-0022A-ZT 安全相關儀用電纜導線管(1RE10040)所使用之可撓性金屬導線管均已脫落(照片五)，且靠近設備端之導線管標示模糊不清無法辨識。

## (二)非核島區部分

1. 經查一號機高壓汽機附近連接壓力傳送器 1C71-PT-0301B 等安全相關儀用電纜導線管(1RE2W303)，係使用 ZHUA 型可撓性金屬導線管。惟此部分，台電公司龍門施工處表示汽機廠房安全相關設備均使用 ZHUA 型導線管(照片六)，但依非核島區管槽安裝規範書(874-ECP002-C)之 5.3.4.2.4 對使用於安全相關設備之可撓性金



屬導線管列為 NWC 型。故該部分並未依管槽安裝規範書施作，亦未落實相關檢驗作業程序，不符合品保要求；另於該處(1RE2W303 導線管)附近，發現靠近設備端之 Support 遭人移除而以鐵絲替代，不符合要求。

2. 抽查一號機反應器廠房海水泵室(RBSW)之 RBSW C 泵設備室及儀用感測器等安全相關設備所使用可撓性金屬導線管安裝情形，發現雖大部分使用 NWC 型可撓性金屬導線管，惟存有少量使用 ZHUA 型可撓性金屬導線管。此部分未依施工規範施作，以及未落實相關檢驗作業程序，不符合品保要求。

## 肆、結論

- 一、目前龍門電廠安全相關設備使用具外被覆可撓性金屬導線管，全廠區(含核島區/非核島區)分別有防水型(ZHUA 型)，以及具防水兼抗輻射型(NWC 型)等兩種類型可撓性金屬導線管。惟以核四品保方案附錄五方式，經由符合品保要求之承包商評鑑 ANAMET 公司所製造之產品，其報告對於 ZHUA 型可撓性金屬導線管並無相關製程之程序書或審查紀錄，且製造商-ANAMET 公司僅對 NWC 型表示為經 NUPIC 承認之產品，並無述及 ZHUA 型。因此 ZHUA 型可撓性金屬導線管應不可使用於輻射區域之安全相關設備，至於可否使用於非輻射區域安全相關設備之防水型可撓性金屬導線管，仍待台電公司提供品質相關證明文件，方可確認；另為確保 NWC 型之符合性，將要求台電公司進一步澄清 ANAMET 公司生產之 NWC 型，是否為 NUPIC 認可之產品及其於核能電廠使用之情形。
- 二、目前核島區及非核島區位於輻射區域之安全相關設備，使用未具抗輻射可撓性金屬導線管部分，台電公司表示因設計圖說未明確標註輻射區域之範圍，造成施工人員錯誤使用未具抗輻射之可撓性金屬導線管。惟設備運轉環境係工程設計之重要基本項目，且涉及設備採購對環境的要求，故對於核電廠獨特之輻射區域所使用的設備或材料，施工人員對使用於輻射區域之器材(材料)理應

更為謹慎。何況對於設計圖說及施工規範（含設備、安裝作業）若有疑慮（如標註不清等）之處，亦應於第一時間向設計單位反映或澄清，而非全面性安裝後再澄清，致有施工、安裝、採購等錯誤及重複施工之風險。

- 三、核島區 HCU 設備室之安全相關設備，須安裝具抗輻射 NWC 型可撓性金屬導線管，惟現場發現仍有安裝 ZHUA 型可撓性金屬導線管者，且對台電公司宣稱之 HCU 設備室自行更換可撓性金屬導線管部分，亦查無相關 NCR 及安裝與檢驗表等相關紀錄，不符合品保要求。
- 四、非核島區汽機廠房之高壓汽機區域係為輻射區域，此區域之安全相關設備使用 ZHUA 型可撓性金屬導線管，另反應器廠房海水泵室(RBSW)安全相關設備所使用可撓性金屬導線管，亦發現有部分使用 ZHUA 型可撓性金屬導線管者。故非核島區可撓性金屬導線管安裝作業，並未落實相關規範要求施作，也未落實相關檢驗作業程序，不符合品保要求。
- 五、核島區 CRD HCU 設備室安裝之具抗輻射 NWC 型可撓性金屬導線管，疑似有未符合製造商要求之最小彎曲半徑，而造成該導線管外被覆有大量剝離現象，且龍門施工處之檢驗表並未將此項列為檢查項目，應改善；另發現有疑似施工不當或人為破壞，而造成可撓性金屬導線管接頭處有斷裂或脫落之情形，台電公司應全面清查並改善之。
- 六、綜合上述，台電公司對使用於安全相關設備之可撓性金屬導線管審查作業，嚴謹度不足，大部分輻射區域皆誤用 ZHUA 型，不合法規要求，且 ZHUA 型可否使用非輻射區域，仍待進一步確認是否符合核能級之要求；現場施工部分，除相關作業（如安裝及檢驗作業）未落實程序書及品保要求外，對於設計圖說及施工規範（含設備、安裝作業）有疑慮之處，亦未能於第一時間向設計單位反映及澄清，直至全面性安裝完成後再澄清。故台電公司應更強化設計、採購、施工及測試等各界面間之整合，並加強現場

作業人員之相關專業訓練及經驗傳承。

表一 安全系統使用具被覆可撓性金屬導線管適用表

型號 \ 區域	核島區 (NI)		非核島區 (BOP)	
	輻射區域	非輻射區域	輻射區域	非輻射區域
NWC (防水兼抗輻射型)	V	V	V	V
ZHUA (防水型)	X	△	X	△

註：1. 本表依據 ANAMET 製造廠家型錄認定適用之區域。

2. V：適用；X：不適用；△：待台電提供資料確認符合性。

表二 龍門電廠一號機安全系統安裝具被覆可撓性金屬導線管現況表

	設備室 (房間編號)	輻射區分	安裝型式	是否符合規定	備註
核島區 (NI)	RHR A/B/C (121/131/132)	E	ZHUA	否	
	RCIC (112)	E	ZHUA	否	
	HPCF B/C (122/130)	D	ZHUA	否	
	HCU (117/126)	C	NWC (少量使用 ZHUA)	大部分符合	NWC 損壞更換 為 ZHUA
非核島區 (BOP)	高壓汽機區	E	ZHUA	否	
	RBSW A/B/C	非輻射區	NWC (少量使用 ZHUA)	大部分符合	

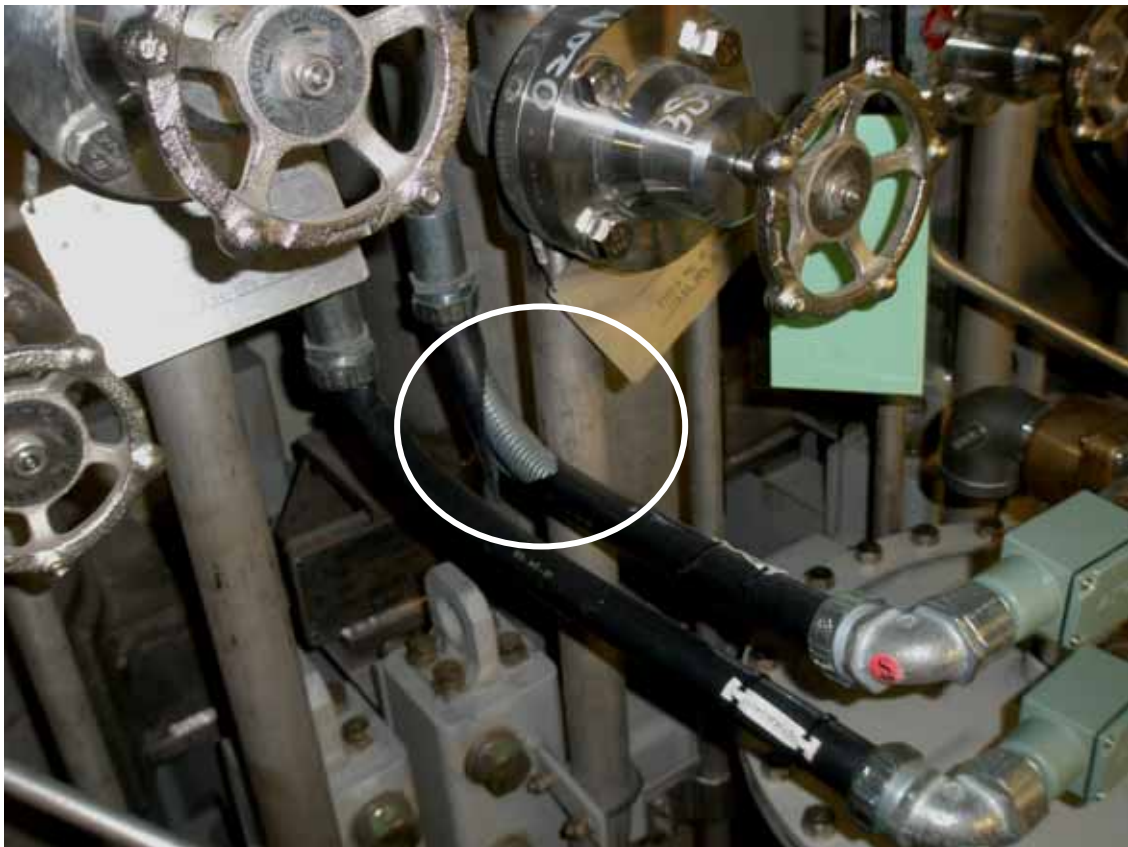
註：1. 輻射區分係依據龍門電廠 FSAR 第 12 章 (輻射強度由低至高規劃成 A~F 區)，若原設計者有修改，從其設計。

2. NWC、ZHUA 使用區域係依據 ANAMET 製造廠家型錄說明。

3. 本表僅列重要設備安裝現況。



照片一 核島區 HCU 設備室可撓性金屬管使用非抗輻射型



照片二核島區 HCU 設備室可撓性金屬管外被覆剝離





照片三 核島區 HCU 設備室可撓性金屬管外被覆剝離



照片四 核島區可撓性金屬管接頭處脫落



照片五 核島區 RHR A 設備室可撓性金屬接頭處脫落



照片六 非核島區可撓性金屬管使用非抗輻射型