

中國工程師學會台中分會會訊

(第四十五期)

發行人：薛富盛

編輯：蔡清標、簡均宇

中華民國一〇二年三月三十一日

中國工程師學會台中分會
 國立中興大學材料系 CB03 室
 台中市 402 國光路 250 號
 電話：(04)22855209 轉 16
 傳真：(04)22851007
 E-mail: chienchunyu@msn.com

郵正
票貼

印刷品

中國工程師學會台中分會第四十八屆理、監事
候選人登記表

會員級別		會員證號	
姓名		性別	
出生年次		專長	
服務單位現職		電話	
通訊地址			
候選別		簽章	備註
<input type="checkbox"/> 一、本人登記為理事候選人 <input type="checkbox"/> 二、本人登記為監事候選人			

(請影印此表,並請於 102 年 4 月 30 日前郵寄掛號回 40227 台中市國光路 250 號 中興大學材料系 CB03 室轉中國工程師學會台中分會收,或傳真 04-22851007,並請來電確認登記(04)22855209 轉 16 簡均宇小姐)

中華民國 年 月 日

* 中國工程師學會 台中分會
 第四十八屆理監事候選人登記已
 開始,請各位有志於學會服務的
 會員,請於 102 年 4 月 30 日前登
 記參選!

中國工程師台中分會第 47 屆第二次會員大會

目的：增進會員交誼，達成工程科技、經驗與知識交流。

參加對象：中國工程師學會台中分會會員及眷屬

活動日期：102 年 5 月 22 日（星期三）

活動地點：中興大學工學院暨電機大樓 R101

報名方式：即日起至 102 年 5 月 15 日前傳真報名或來電告知

主辦單位：中國工程師學會台中分會

會員大會活動行程表

時間	行程
09:30~10:00	報到(中興大學工學院暨電機大樓 R101)
10:00~10:05	主席致詞
10:05~10:15	貴賓致詞
10:15~10:45	頒獎，會務報告，提案討論，臨時動議
10:45~11:00	休息時間
11:00~11:50	專題演講 講員：吳 淞 經理 講題：台灣高鐵計劃介紹
12:00~14:00	午宴(國立中興大學盛宴餐廳)

會員大會報名表

確認參加會員大會者請傳真報名表或使用郵寄報名

報名聯絡人：簡均宇 小姐

傳真：04-22851007，並請來電確認報名(04)22855209 轉 16

郵寄掛號至 “40227 台中市國光路 250 號中興大學材料系 CB03 室
中國工程師學會台中分會收”

姓 名	身 份 證 字 號
男 <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> 會員 _____
女 <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> 非會員 _____
聯絡電話	
※懇請 貴單位給予公假並協助出席，謝謝！	

會務動態

第四十七屆理監事第八次聯席會議記錄

時間：一〇二年三月二十七日（星期三）下午三時半至五時

地點：國立中興大學工學院暨電機大樓三樓 302 會議室

主席：薛理事長 富盛

出席理事：錢玉樹(請假)、謝慶豐(請假)、吳淞、李沂、李春驊、李慶龍、
林正堅(請假)、陳豪吉(請假)、黃國興、溫志超

出席監事：蔡清池(請假)、朱廷章(請假)、林水春(請假)

秘書長：蔡清標

列席候補理事：李明雄、彭朋畿(請假)

記錄：簡均宇

一、主席致詞：略

二、會務報告

1. 中國工程師學會台中分會第44期會訊已於102年1月10日出刊。
2. 102年1月至3月經費支用明細表(如下表)。

日期	項目	摘要	支出	收入	總結餘
12月底結餘：\$59,648					
102/01/15	雜項費用	第44期會訊郵寄費	1,151		\$78,030
	雜項費用	各項獎項發函至各單位郵寄費	441		
102/01/16		總會補助款		24,054	
102/03/19	雜項費用	弔唁花籃(錢玉樹理事父親)	2,000		
102/03/27		第47屆理監事第八次聯席會議			
	雜項費用	餐盒	2,080		
3月底合計			5,672	24,054	

三、提案討論

提案(一)：核議「傑出工程教授獎」與「傑出工程師獎」評選結果
 決議：核議通過高書屏副教授為本會102年傑出工程教授獎得獎者，彭朋畿博士為本會102年傑出工程師獎得獎者。

提案(二)：第四十七屆第二次會員大會事項討論

決議：本次會員大會擬於102年5月22日(三)早上10點於中興大學電機大樓一樓R101舉行。並於會訊上公告會員大會活動行程，邀請學會會員一起參與第四十七屆第二次會員大會。

提案(三)：第四十八屆理、監事候選人提名

決議：薛理事長提名本屆現任理監事為第四十八屆理監事候選人名單(若因其他要事無法參選者，請告知本會秘書處)。檢附台中分會理監事候選人登記表一份(見第一頁附表)，如有意參加第四十八屆理監事者，請於102年4月30日前填妥寄回(以投郵日郵戳為憑)。本分會第四十八屆理監事選舉將採通信選舉(102年5月10日至102年5月31日)，選票將於102年5月7日寄發。

四、散會

會務花絮



第四十七屆理監事第八次聯席會議

專題報導

伽瑪射線應用於橋梁之檢測

彭朋畿¹，王仲宇²

¹中龍鋼鐵股份有限公司 冶金技術處 課長

²國立中央大學 土木工程學系 教授

摘要

台灣屬地震帶，因此台灣結構過去幾十年來多少都受到相當之損傷。目前台灣建築或橋梁結構仍以鋼筋混凝土為主，鋼筋混凝土之非破壞檢測技術包括量測混凝土結構的強度、裂縫深度、鋼筋腐蝕狀況、氯離子含量等。同時檢測設備也隨著科技發展不斷更新，逐步走向電腦化、影像化、自動化，提昇了檢測可靠度。但由於混凝土是由水泥、砂、骨材及水所組合而成之複合非均質材料，且通常尺寸較龐大，因此鋼筋混凝土結構之非破壞檢測技術通常較金屬材料複雜與困難。本文提供伽瑪射線檢測法應用於橋梁之相關技術，經試驗與現場施作證明，本方

法確實可有效提高檢測鋼筋、鋼鍵及缺陷尺寸之準確度，並可作為結構安全評估之參考。

1、前言

台灣橋梁由於地震、颱風等天災頻繁，並常有車輛超載、河川陡急及盜採砂石等問題，故交通部於 92 年 3 月頒布最新版之「公路養護手冊」，已明確規定檢測週期與工作項目。例如 5.3.3 節檢測頻率中規定「原則上每兩年至少檢測一次，惟橋梁跨徑超過一百五十公尺或特殊類型橋梁，如斜張橋、型橋或鋼拱橋等，每年應檢測一次。完工五年內之新建橋梁若無特殊情況，應自完工後第五年進行第一次定期檢測，而後續之檢測頻率則依照前述規定」。由此可知，橋樑管理單位對於橋梁檢測之要求日益重視，並持續推動執行。

中華民國八十八年九月二十一日(南投)發生芮氏規模 7.3 的『集集大地震』，對台灣地區造成極大的人員傷亡與財產損失，所以針對老舊結構物之安全檢測將更加值得重視。其中鋼筋之存在位置、數量、缺陷及混凝土之缺陷等，對於鋼筋混凝土結構物之承载力與安全性有著極密切之關係。在工程實務中常須對於鋼筋之尺寸及位置進行非破壞性之檢測，以作為詳細評估結構之功用。目前用於探測結構中鋼筋分佈及尺寸之非破壞性檢測法主要有超音波、透地雷達、彈性波與 X-Ray 等。其中 Cardarelli(2001)等人於文獻中指出超音波檢測法應用在混凝土上常面臨入射能量不足的困境，而有關透地雷達檢測法目前多應用於鋼筋位置之檢測，但對於鋼筋排列較密集時，訊號解析能力將大受影響。同時由於混凝土屬於高度非均質物體，因此彈性波在傳遞過程中會有嚴重的散射效應，導致能量快速衰減。另 Tillack(2000)等人於文獻中指出高能量之 X-Ray 檢測法由於其穿透性強可得到鋼筋之顯像結果。但由於高能量之 X-Ray 設備非常昂貴及笨重，且需外接電源，因此較不適合現地鋼筋混凝土構造物之檢測。

2、原理

放射線檢測法所使用之放射線是以直線照射檢測工件，並在底片成像。由於可直接呈現檢測結果，降低檢測結果的爭議(如訊號分析)，因此放射線檢測法除在混凝土結構物之應用較少外，目前已廣泛地應用於現代工業上，如銲道檢測、管線壁厚檢測等。

2.1 放射線之穿透性

有關放射性對物質的穿透能力可由 Weng(1984)文獻所述式(1)表示之。

$$I = I_0 e^{(-\mu T)} [B(x, h\nu, A, L)] \quad (1)$$

其中

I_0 ：為穿透前之能量(MeV)。

I ：為穿透後之剩餘能量(MeV)。

T ：為穿透厚度(cm)。

μ ：為被穿透物對放射線的吸收係數(cm⁻¹)。

x ：工件厚度(cm)

$h\nu$ ：能量(MeV)

A ：面積(cm²)

L：射源至底片之距離(cm)

不同物質吸收係數不同，密度較高的物質可吸收較多的放射線(如鋼筋或金屬物質等)，相對在底片接受放射線照射量即較少，故底片上呈現較白色，而接受放射線較多者則呈現較黑之顏色。例如能量由 0.5 至-10MeV 時，常態混凝土的吸收係數 $\mu \approx 0.204-0.054(\text{cm}^{-1})$ ，鋼筋為 $\mu \approx 0.651-0.321(\text{cm}^{-1})$ 。兩者的吸收係數比約為 3.2-4.3 倍，因此可明顯比對底片黑度之差異，此特性反應在底片上就是感光程度的差別(黑白對比)，在醫學上即依此情況來判斷人體器官狀況(Weng, 1984)。

一般底片可依被照體的對放射線的透光性分為五類：1. 非常不透光(very radiopaque)：如鉛、鐵等。 2. 較不透光(moderately radiopaque)：如骨骼、混凝土。 3. 中間值(intermediate)：如肌肉、軟組織。 4. 較透光(moderately radiolucent)：如脂肪組織。 5. 非常透光(very radiolucent)：如空氣、混凝土的孔洞等。因此只要將攝影底片放在判片燈上即可在底片圖像上評估。而放射線之非破壞檢測即是利用底片上的透光程度，加上工程專業知識及現場狀況做正確的診斷判讀(Cardarelli 等, 2001)。公式(3-1)中 B 為增建因素，主要是考慮真實狀況下被穿透物的散射(scatter)，括弧內表示增建因子是依穿透之工件厚度(x)、能量($h\nu$)、面積(A)、射源至底片之距離(L)而定，其數值可由 1-100，因此有時並不容易經由計算來決定照射之強度(Weng, 1984)。

2.2 放射線檢測法之種類

放射線檢測法依射源之種類可分為兩種，分別為 X 射線及伽瑪(γ)射線。其中 X 射線是由高速電子流撞擊物質陽極靶而產生，陽極靶之材料原子序愈高，產生之 X 光效應愈好。其能量依管電壓大小而定，亦即由正極靶與負極燈絲間的電壓差而定，若 X 射線能量愈高則代表其穿透能力愈強[1-5]。

2.3 伽瑪射線之優點

伽瑪射線是由不穩定同位素之衰變所產生的高能量電磁波，這些同位素可以是天然的(如鐳、鈾等會產生自發性之衰變)，也可以是人造的，而每種同位素具有不同之光譜。目前工程界放射線檢測法較常使用之同位素為 Ir-192 (銜 Iridium - 192)、Co-60 (鈷 Cobalt - 60)及銫-137 (銫 Cesium - 137)等三種伽瑪射線裝備[6-10]。由於伽瑪射線具有下列多項優點，因此執行本案時使用伽瑪射線，以增加檢測法之適用性。下列為伽瑪射線用於現地檢測之優點：

- (1) 伽瑪射線能量較一般攜帶式 X 射線能量高，所以較易穿透混凝土結構物。
- (2) 伽瑪射線射源體積小，易置放於任何複雜結構位置處。
- (3) 伽瑪射線之射線強度均勻，因此可針對不同位置全方位同時執行檢測。
- (4) 伽瑪射線無需電力系統，因此檢測成本低、操作簡便，所以較適合現地執行檢測。

2.4 底片黑度

一般工業用放射線檢測中需藉底片來顯示檢測工件內部之品質狀況，當射線撞擊底片銀化物粒子時，粒子之結構將產生變化，並經由底片顯影之作用後，感光乳劑內之銀化合物即可析出金屬銀粒子，並產生黑色影像之記錄。顯影完畢將底片置入中止液(顯影作用停止)，再置入定影液中，以去除為感光(變黑)之乳化劑。最後再經水洗及乾燥，即可由判片燈評估底片之黑度(黑白對比)。

依據放射線檢測原理，當射線穿透過檢測工件，由於檢測工件內部結構之不同，使到達底片之射線強度不同，並得到一不同黑度(d)所形成之底片影像。其中黑度是指底片之黑暗程度，其定義為入射於底片之光線強度為 I_0 ，透射過底片之

光線強度為 I_t ，以 I_0/I_t 取 10 為底的對數值稱之為黑度，如下式所示(鄭銘文、紀隆盛，1992)：

$$d = \log(I_0 / I_t) \quad (2)$$

放射線檢測法通常會規定黑度範圍，因為假如黑度太小(即底片太白)，則底片對比不佳，而若黑度太大(即底片太黑)則判片燈將無法清楚顯像。美國機械工程師學會在法規(ASME Code)中有明確之規定，當單片判讀時，X 光黑度規定須在 1.8~4.0、 γ 射線須在 2.0~4.0。而當雙片判讀時則(X 或 γ 射線)每張黑度規定須在 1.3 以上，且合起來須在 2.6~4.0(ASME, 1998; AWS, 1990)。由於本文主要目的是求得鋼鍵於底片之成像，因此判讀底片之黑度值，將以能使鋼鍵清晰成像，同時須參考相關法規之規定(ASME Code)，本論文即依據美國機械工程師學會法規(ASME Code)，當單片判讀時， γ 射線之黑度須在 2.0~4.0。

2.5 伽瑪射線之衰變

放射性物質之強度會隨時間衰變而減少，若經一定時間剩下原來強度之壹半，而其所需之時間稱為半衰期。放射性物質之半衰期不受溫度、壓力及其他作用影響(本文所使用之射源 Ir-192 半衰期為 75 天)。下列為半衰期計算隨時間衰變而減少之射源強度：

$$A = A_0 / 2^N \quad (3)$$

其中 A 為任意時間之放射性強度， A_0 為初始之放射性強度，N 為半化期個數(即 A_0 至 A 所經時間除以半衰期)。而放射性核種之強度單位為貝克(Bq)，舊制為居禮

(Ci)，1 居禮的放射性核種每秒產生 3.7×10^{10} 個衰變量(Lawrence E.、Bryant, Paul McIntire, 1985)。

由式(3)可知放射性物質之強度將隨時間漸漸衰變而減少，因此本文在使用放射性物質(Ir-192)須先求得射源強度，以利計算所需照射之時間。

3、橋梁之伽瑪射線檢測技術

3.1 伽瑪射線之主要參數

在放射線檢測法中，若能量確定不變，則決定所需曝光量之因素有： γ 射線之射源強度(或 X 射線管內之毫安培電流)、時間(照相曝露時間)及距離(射源至底片之距離)等。以上三個因素中任一因素的變動量，均可藉由公式計算得之。由於伽瑪射線之射源會隨時間衰變(如 Ir-192 之半衰期為 75 天)，因此在實際施照鋼筋混凝土時，可適當調整強度、時間及距離等參數，並以得到清晰之鋼筋底片成像為檢測原則。

3.2 伽瑪射線之曝光公式

本文利用具有穿透能力之伽瑪射線穿透檢測預力梁，達於底片介質，以生成鋼鍵影像之記錄。由於鋼筋混凝土結構物內之鋼鍵與混凝土材質不同，因此對於放射線之穿透或吸收會有程度上之差異。因此本技術可藉由底片感光程度之差異，間接評估預力梁內部之鋼鍵狀況。

執行本伽瑪射線檢測時，現場放射線施照所需之時間將是本方法成功與否的重要關鍵，因此為得知施照之曝光時間，本方法建立鋼筋混凝土之伽瑪射線曝光曲線[13-15]，確認射源強度、混凝土厚度與曝光時間之關係(如公式 4 所示)。經

現場施作證明，本方法確實可看到預力梁內部之鋼鍵狀況，以作為結構安全評估之參考。

$$E = 243.21e^{0.0853T} \quad (4)$$

其中 E 為射源能量強度(即射源強度與曝光時間之乘積)，T 為混凝土厚度。使用本公式時可先量測混凝土厚度，並由半衰期公式計算射源目前之強度，再代入式(4)求得所需照射之建議時間。

3.3 施作流程

伽瑪射線檢測流程如下所示：

- (1) 觀察施作現場，並了解現場可能危害工安之因素。
- (2) 組裝放射線檢測設備，並準備攜帶式輻射偵測儀及必要之輻防設備。
- (3) 劃定輻射管制區，並清楚標示警告區域。
- (4) 照射時間計算：將射源置於預力梁內，並對準檢測區，計算所需之照射時間。
- (5) 照射進行：將底片組密貼於混凝土檢測區上，再開啟射源，計時照射時間，時間到收回(關閉)射源。
- (6) 輻安查核：利用輻射偵測儀檢測是否仍有輻射，確定輻防安全無虞後，即拆下底片組，最後撤除管制區。
- (7) 底片沖洗：拆開底片裝架，依照顯影、中和、定影、漂洗、潤濕及烘乾等程序沖洗底片。

- (8) 底片判定：查核底片影像之靈敏度、模糊度、黑度及錯誤影像等相關資料，以判定底片品質合格與否。

3.4 檢測結果

本案使用具有穿透能力之伽瑪射線穿透檢測預力梁，並達於底片介質，經相關標準洗片程序，可生成鋼鍵影像之記錄。由於鋼筋混凝土結構物內之鋼鍵與混凝土材質不同，因此對於放射線之穿透或吸收會有程度上之差異。因此本技術可藉由底片感光程度之差異，間接評估預力梁內部之鋼鍵狀況。

執行伽瑪射線檢測時，現場放射線施照所需之時間將是本方法成功與否的重要關鍵，因此為得知施照之曝光時間，本文建議參考過去建立之鋼筋混凝土之伽瑪射線曝光曲線，建立射源強度、混凝土厚度與曝光時間之關係。經施作證明，本方法確實可清楚看到預力梁內部之鋼鍵狀況，以作為結構安全評估之參考。

4、 結論與建議

本檢測方法之結果應可符合工程評估之需求，但射線成像因影像模糊度而使鋼筋(缺陷)與混凝土邊界未能完全區別，因此建議搭配影像處理技術強化底片影像結果，並評估鋼筋(缺陷)周圍邊界與混凝土之灰階差異程度，藉此定義鋼筋(缺陷)之範圍，以求得更為精確之尺寸與位置。

本研究利用具有穿透能力的放射線，穿透鋼筋混凝土結構物至底片，以生成影像之紀錄。經試驗顯示本方法可確實檢測橋梁之腐蝕劣化情況，同時使用影像紀錄之方式呈現，可有效提供工程人員評估劣化之參考。另方法已獲得中華民國及美國發明型專利，未來將持續推廣與應用，以利本技術之精進。

5、 參考文獻

- (1) P.S. Weng, Introduction to Health Physics, Li-Ming publishing house. 1984.

- (2) E. Cardarelli, and D.E. Nardis, “Seismic refraction, isotropic anisotropic seismic tomography on an ancient monument (Antonino and Faustina Temple AD 141) ”, Geophysical Prospecting, Vol. 49, pp. 228~240, 2001.
- (3) G.R. Tillack, C. Nockemann and C. Bellon, “X-ray modeling for industrial applications”, NDT&E International, Vol. 33, No. 6, pp. 481~488, 2000.
- (4) L.E. Bryant and P. McIntire, Nondestructive testing handbook, American Society of Nondestructive Testing., 1985.
- (5) 黃純夫，非破壞檢測概論，核能研究所，桃園，1980年。
- (6) 金崇勳，機械材料，復文書局，台南，1995年。
- (7) J.G., Schneeman, Industrial X-ray interpretation., Intex Publishing Company ,1968.
- (8) 經濟部，放射性同位素之工業應用，經濟部，台北，1971年。
- (9) 黃評，射線照相檢測法，核能研究所，桃園，1977年。
- (10) P.S. Weng, Introduction to Health Physics, Li-Ming publishing house. 1984.
- (11) 鄭銘文、紀隆盛，放射線檢測法(初級)，中華民國非破壞檢測協會，台北，1992年。
- (12) 財團法人中華民國輻射防護協會，游離輻射防護彙萃，財團法人中華民國輻射防護協會，新竹，2005年。
- (13) P.C. Peng, C.Y. Wang, C.K. Huang and M.C. Chen, “Detecting steel bars and defects in reinforced concrete members using γ -ray ”, Materials Evaluation (ASNT) Vol. 66, No. 2, 2008 (SCI).
- (14) P.C. Peng, M.C. Chen, C.H. Lin, C.Y. Chi, and C.Y. Wang, “Testing of Holes in Concrete Using Gamma Radiography,” Materials Evaluation (ASNT), Vol. 67, No. 3, 2009 (SCI).

- (15) P.C. Peng, C.Y. Chi, “Detecting Steel-Bars in Bridge Using Gamma-Ray,” Materials Evaluation (ASNT), Vol. 71, No. 1, 2013 (SCI).

本會訊歡迎會員投稿，若有資料或意見提供，請與本會秘書處聯絡或傳真(04)2285-6232 或投送台中分會會址：台中市 40227 國光路 250 號中國工程師學會台中分會。