

預應力錨桿之長期安全與腐蝕問題

姚大鈞 溫年通

(國際亞新工程顧問有限公司)

摘要 隨著交通建設與城市建設的迅速發展，預應力錨桿(索)長久以來除大量使用於基坑開挖臨時支保外，近十年來更普遍作為長期結構使用於邊坡穩定與治理及結構物之抗浮穩定上。本文將針對預應力錨桿(索)作為永久結構物使用時，討論可能於設計施工及檢測上發生的長期安全與腐蝕問題。

關鍵詞 預應力錨桿 腐蝕 檢測

1 前言

近年來由於交通、城市與建築建設的蓬勃發展，工程規模與困難度日益增加，對於岩土工程技術的質量要求也不斷提高，新工藝與科學技術應用於工程建設的安全性問題日趨受到重視，結構物因為長期使用產生於設計時無法預期的變化，造成於長期使用時安全的威脅將成為未來工程上必須解決的問題。而預應力錨桿(索)之長期安全與腐蝕問題即為其中之一例。

錨桿(索)應用於工程建設上已有相當長的歷史，由於施工簡易快速、機具設備相對輕巧便宜、技術門檻較低且施工費用低廉等優點，從基坑開挖之臨時支護至作為永久結構如抗浮、擋牆、樁版牆及近年來常使用於高邊坡穩定的錨桿(索)框架皆有許多實例的應用(許加安等, 2004; 陳棠茵等, 2004年; 吳海斌, 2002; 陳孝英, 2002)，對於預應力錨桿(索)之使用亦日漸增加。預應力錨桿(索)於長期使用下所可能產生的變化如構件損壞、預應力降低甚至消失、與金屬構件的腐蝕等皆可能對工程之安全性造成危害(吳海斌, 2002)，尤有甚者其破壞大多以無預警方式發生。對於以上原因而可能產生之災害，除可以改良設計與施工技術方式進行防治外，完工後結構功能驗證與定期檢測亦為降低災害不可或缺之重點。

2 預應力錨桿(索)之設計標準

對於預應力錨桿(索)之設計可參考之主要規範如表一所示，約有4個國家標準，2個行業標準與1個協會標準。一般而言主要設計規範對於錨桿(索)之力學計算、幾何構造與材料選擇皆有規定，且對新工藝、新材料或新技術的使用採開放的態度。對於防腐蝕的處理，除對於錨桿(索)存在之周圍環境需先進行腐蝕性調查外，於材料處理規定則包括除鏽、刷漆、塗黃油、裹瀝青玻纖布、加套管以及使用水泥沙漿充填方式。對錨頭、自由段及錨固段需分別進行防腐蝕處理。永久性錨桿(索)及臨時性錨桿(索)於環境腐蝕性嚴重時，則需進行雙層防腐蝕處理。

國際上常引用之設計標準包括歐洲標準(European Standard EN1537, 1999，適用

地區包括德國、瑞士等歐洲國家)、英國標準 (BSI, 2000)、國際預應力協會 (FIP, 1986 及 1996)、美國 (PTI, 1980) 及日本 (JSF, 1990) 標準。這些國際標準的共同點為對於永久錨桿 (索) 之防腐蝕處理規定皆須以雙層內灌樹脂漿方式進行如圖一及圖二所示。其中歐洲標準、英國標準、國際預應力協會規定於灌漿完畢後需以數字電阻計進行電阻試驗以檢測雙層防蝕效果。此外預應力錨桿 (索) 應用於香港地區之邊坡治理亦已有相當長之歷史, 然鑑於施工及材料對於預應力錨桿 (索) 防腐蝕及耐久性質之影響甚鉅, 香港地區對於永久性預應力錨桿 (索) 之設計及使用採預先核可制 (Prior Approval System, GEO, 1989), 對於設計進行嚴格的個案審查以確保設計、施工及材料於錨桿 (索) 設計年限內之穩定與安全。

對於預應力錨桿 (索) 之力學設計基本理論中外並無太大不同, 雙層防蝕設計亦已納入中國主要設計規範中, 對於灌漿料之選擇, 國際上已將樹脂漿料使用於錨固段納入規範, 中國主要規範仍以水泥砂漿為主。綜觀中外規範主要的差異, 中國主要規範於結構安全的重點主要為強度要求方面, 國際規範對於錨桿 (索) 存在的土岩及地下水環境條件的規定較多, 且規定必須以電阻試驗進行防蝕檢測 (吳海斌, 2002)。中國主要規範對於電阻防蝕檢測僅於「土層錨桿設計與施工規範」(CECS 22-90) 之「條文說明」中簡單提及可進行地層電阻率之量測, 然對於實際操作方式並無說明。

3 預應力錨桿 (索) 之施工

施工質量之良窳對於預應力錨桿 (索) 之影響就短期而言主要在錨桿 (索) 預應力與抗拔荷載方面, 一般而言可藉由現場抗拔荷載試驗檢測施工質量。對於作為永久結構物之預應力錨桿 (索) 而言, 不良之施工技術除了可能降低長期預應力與荷載外亦將影響腐蝕防護能力, 嚴重損害結構物之耐久性與安全性。

於施工過程可能造成錨桿 (索) 之長期腐蝕問題就腐蝕位置可分為錨固段、自由段與錨頭部分, 國際預應力協會 (FIP, 1986) 收集自 1934 年以來 35 個因腐蝕造成錨桿 (索) 破壞之案例並進行統計分析, 結果詳表二。

由表二可知腐蝕問題不僅存在於臨時性錨桿 (索), 對於永久性錨桿 (索) 之影響 (約佔 70%) 更為嚴重。就腐蝕 (斷裂) 位置而言, 於設計理論上應受完整保護之錨固段仍有約 6% 因施工質量不佳造成腐蝕斷裂的情形。錨頭附近與自由段之腐蝕嚴重情形約為錨固段 10 倍, 除了因為臨時性錨桿 (索) 防腐蝕之要求標準較低外, 對於永久性錨桿 (索) 而言, 施工不良造成保護層不足或脫落, 甚至未設保護層皆為破壞之主要原因。

4 預應力錨桿 (索) 之檢測

中國主要規範對於施工之監理與檢測目前除了針對材料與施工技術外, 於施工完成後之檢測大多以預應力與抗拔荷載力學試驗為主, 一般規範並無對於防腐蝕檢測方式之特別規定。此外, 由於力學試驗之檢測對於永久性錨桿 (索) 於設計之使用年限內可於任何時間進行檢測, 對於地層潛變 (習變) 或其他原因導致預應力低於原設計要求之錨桿 (索), 可再重新施加應力修復或補強, 維持原始設計要求之安全性。然

對於金屬錨桿（索）之實際腐蝕情形，目前並無非破壞性檢測之應用案例可資參考。國外對於金屬錨桿（索）之腐蝕檢測規範目前則以檢測腐蝕之防護功能性為主。

預應力錨桿（索）之檢測項目主要以檢測抗拔荷載、自由段長度與腐蝕防護為主。抗拔荷載試驗於主要規範如建築地基基礎設計規範、建築邊坡工程技術規範與土層錨桿設計與施工規範中皆有說明，長度檢測一般可藉由量測鑽孔深度、錨桿（索）長度於施工前進行。於完工後錨桿（索）之自由段長度可藉由抗拔荷載試驗結果進行推估是否符合規範要求。

由於金屬錨桿（索）之腐蝕與地下水的存在有直接關係，腐蝕防護檢測方式亦以此特性為原則。國際上對於腐蝕防護檢測的標準約以瑞士標準與歐洲標準（英國標準）為主要依據，原則上於施工前後以電阻計進行金屬錨桿（索）與周圍土體中設置之接地棒間之相對電阻之量測（圖三），其電阻量測值需大於 $100,000 \Omega$ ($0.1M\Omega$) 方可符合標準。此非破壞性檢測方式可於任何時間內進行，於設計年限內定時檢測可了解錨桿（索）之腐蝕防護情形。

5 安全與腐蝕問題

由於各種建設發展迅速，永久性預應力錨桿（索）施工簡易迅速與費用相對低廉之優勢特性使其大量應用於邊坡治理與結構抗浮上。於土層中使用時，地層中存在之腐蝕性物質與地下水將對金屬錨桿（索）造成嚴重威脅，腐蝕過程將減少桿（索）受力之面積，拉應力相對增加，可能之破壞模式一般為桿（索）之突然斷裂或因金屬桿件降伏而變形過大造成拉應力喪失失去原設計功能。而預應力的狀態下更易使金屬錨桿（索）產生應力腐蝕破裂（**Stress Corrosion Cracking**）情形，加深了預應力錨桿（索）於土層中作為永久性結構物的危險。此外於錨頭部分亦常因保護層填充不實或握線器脫落，造成金屬部分腐蝕破壞（圖四）。若施工稍有不慎或因地層潛變（習變）、地震等未可預知之原因，錨桿（索）之腐蝕破壞最快於完工後數週即有可能發生（FIP，1986），慢則數年或數十年。

預應力錨桿（索）應用於邊坡治理上時易造成無預警破壞（圖五），嚴重影響邊坡底部之安全，此種威脅尤以近年來常使用預應力錨桿（索）框架方式進行高邊坡治理之地區為甚。

6 結論

為降低永久性預應力錨桿（索）於設計年限中因未預期腐蝕發生所造成之危險，除依規範進行設計與確實執行施工監理保障工程質量外，完工後之檢測確實掌握結構物之長期變形行為及即時發現修復發生問題之錨桿（索），為降低風險提高工程安全之必要條件。腐蝕現象為一不可逆（**Irreversible**）反應，藉由電阻檢測方法於錨桿（索）設計年限內定期檢測腐蝕防護能力是否受損，即時補強為增加永久性預應力錨桿（索）應用安全之可行方式。

7 誌謝

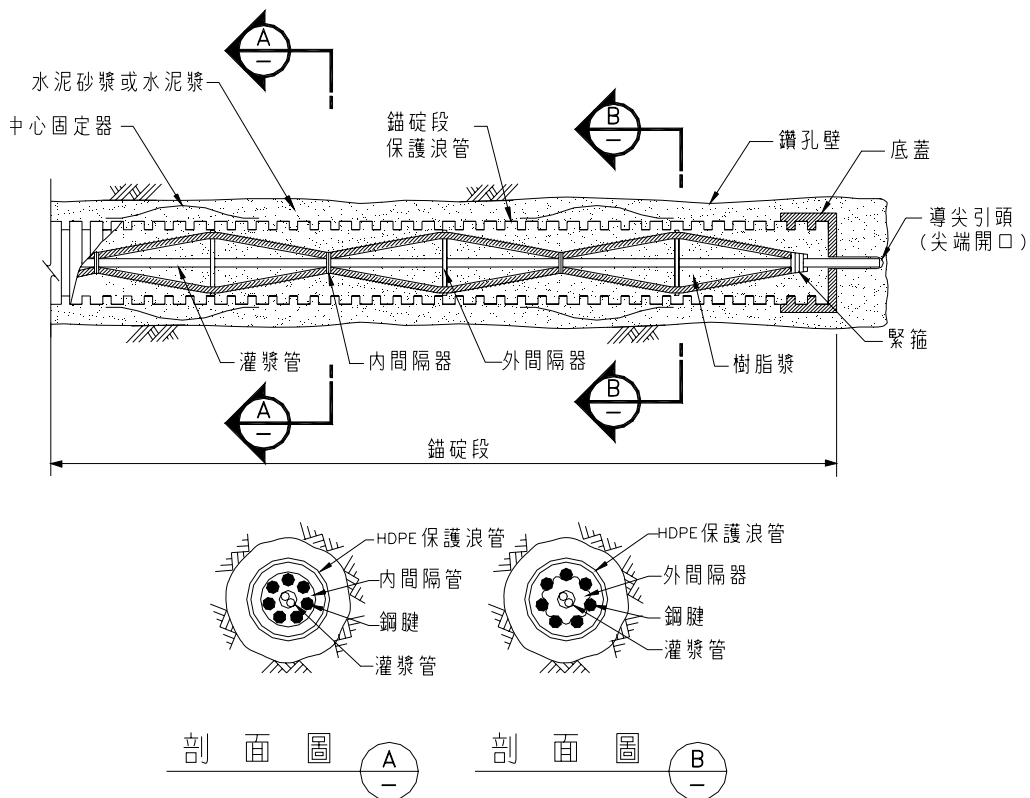
本文承蒙台灣保利工程股份有限公司盧錫煥先生，提供相關資料和協助，謹致謝忱。

表一 中國錨桿（索）之設計規範

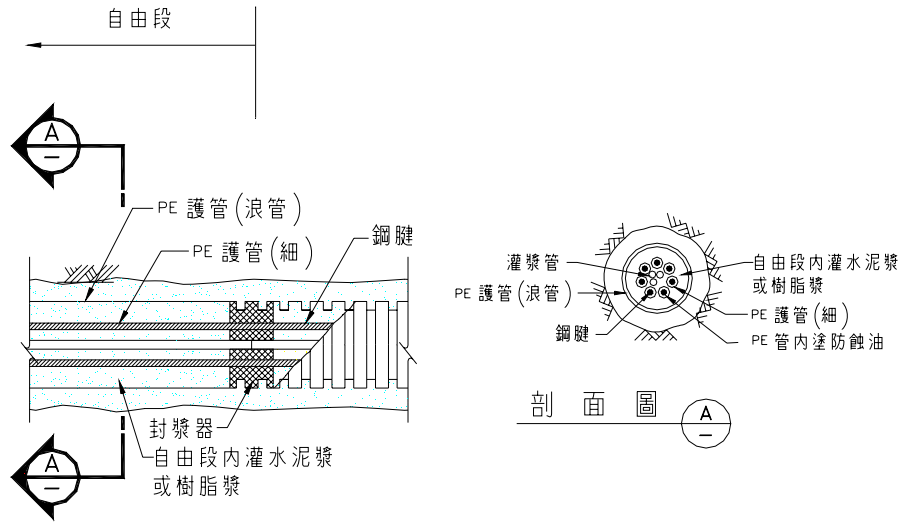
標準等級	名稱
國家標準	建築邊坡工程技術規範（GB50330-2002）
	建築地基基礎設計規範（GB50007-2002）
	建築地基基礎工程施工質量驗收規範（GB50202-2002）
	錨桿噴射混凝土支護技術規範（GB50086-2001）
行業標準	水工預應力錨固設計規範（SL212-98）
	預應力筋用錨具、夾具何連接器應用技術規程（JGJ85）
協會標準	土層錨桿設計與施工規範（CECS 22-90）

表二 錨桿（索）腐蝕破壞統計分析（國際預應力協會 FIP，1986）

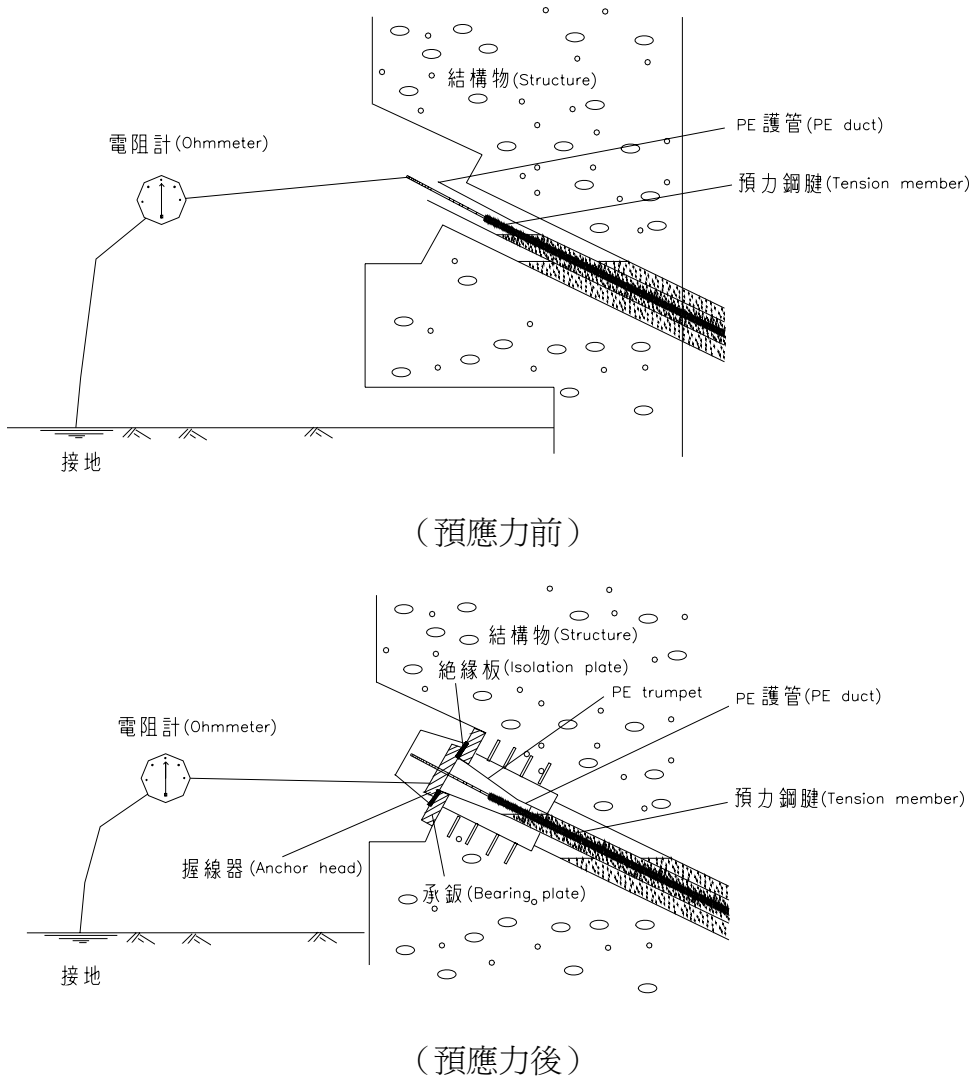
項目	分類	數量	比例（%）
種類	永久性錨桿（索）	24	69
	臨時性錨桿（索）	11	31
腐蝕（斷裂）位置	錨頭附近	19	54
	自由段	21	60
	錨固段	2	6



圖一 錨桿（索）錨固段雙層防蝕設計內灌樹脂漿示意圖



圖二 錨桿（索）自由段雙層防蝕設計示意圖



圖三 腐蝕防護電阻檢測



圖四 錨桿（索）腐蝕錨頭剝落



圖五 用於邊坡穩定之錨桿框架結構之破壞

參考文獻

中華人民共和國國家標準． 建築邊坡工程技術規範（GB50330-2002）． 北京：中國建築工業出版社，2002.

中華人民共和國國家標準． 建築地基基礎設計規範（GB50007-2002）． 北京：中國建築工業出版社，2002.

中華人民共和國國家標準． 建築地基基礎工程施工質量驗收規範（GB50202-2002）． 北京：中國計劃出版社，2002.

中華人民共和國國家標準． 錨桿噴射混凝土支護技術規範（GB50086-2001）． 北京：中國計劃出版社，2001.

中華人民共和國行業標準． 水工預應力錨固設計規範（SL212-98），1998.

中華人民共和國行業標準． 預應力筋用錨具、夾具何連接器應用技術規程（JGJ85）． 北京：中國建築工業出版社，2003.

中國工程建設標準化協會標準． 土層錨桿設計與施工規範（CECS 22-90），1991.

許加安，周可貴等． 土層錨桿在某抗浮工程中的應用． 岩土工程界，2004年，第一期，總第73期.

陳榮茵，王賢能，余錦洲． 深圳地區抗浮錨桿試驗中錨桿的破壞型式及位移性狀． 岩土工程界，2004年，第一期，總第73期.

吳海斌． 國內預應力錨桿（索）防護要求與存在的問題． 中國三峽建設，2002年，第8期，總第85期.

陳孝英． 三峽永久船閘高強錨桿的應用與研究． 中國三峽建設，2002年，第8期，總第85期.

盧錫煥，盧彥成，李逸龍． 永久性地錨浪管內灌樹脂漿雙重防蝕保護探討． 第9屆大地工程學術研討會論文集，台灣，2001.

BSI, British Standard – Execution of Special Geotechnical Work – Ground Anchors, British Standards Institution (BSI), 2000.

European Standard EN 1537, “Execution of Special Geotechnical Work – Ground Anchors”, Comite Europeen de Normalisation (CEN), 1999.

FIP (Federation Internationale de la Precontrainte), Corrosion and Corrosion Protection of Prestressed Ground Anchorages, FIP-State of the Art Report, Tomas Telford Ltd., 1986.

FIP (Federation Internationale de la Precontrainte), Recommendations, Design and Construction of Prestressed Ground Anchorages, SETO, 1996.

JSF, グラントアンカー 設計、施工準則，同解説，日本土質工學會(JSF), 1990.

GEO, GEOSPEC1, “Model Specification for Prestressed Ground Anchors”, Geotechnical Engineering Office (GEO), Civil Engineering Department, Hong Kong, 1989.

PTI, Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors, Post Tensioning Institute (PTI), 1980.