

工程品質保證計劃及程序

錘擊樁工程

一、通則及適用範圍

本章內容適用於建築工程相關之錘擊樁工程的施工和材料等之品質管理工作。錘擊樁為基樁工程之一種，主要將預製之樁體以錘擊貫入地層中，作為支持構造物荷重之基礎。錘擊樁包括鋼製承重樁(鋼管樁、H型鋼樁/工字樁等)、預製鋼筋混凝土樁、預製預力混凝土樁(PHC樁)等，因應不同的預製樁體材料，其品質保證計劃及程序亦有所不同。

錘擊樁之品質保證有下列幾方面的基本要求：

- ✓ 預製樁體材料品質檢驗的要求；
- ✓ 施工精度之要求，包括樁中心偏移(水平精度)與傾斜(垂直精度)兩方面；
- ✓ 現場終止打樁(收錘)之判斷基準的要求；
- ✓ 樁體之完整性及其承載力的檢驗，包括反射波法完整性測試(SIT)、動力荷載試驗(DLT)和靜壓荷載試驗(SLT)等。

上述基本要求均需要滿足設計與相關標準、法規條款。

二、工程品質保證文件之要求

錘擊樁工程於各施工階段，需提交下列文件作審閱或記錄存檔：

工程施工前

- ✓ 工地之地質鑽探報告；
- ✓ 鄰房鑑定及保護措施，包括安全監測及環境保護(噪音與振動)的計劃；
- ✓ 當工地鄰近結構物為古蹟及具重要歷史價值之建築物，應於工地內以打入試樁之形式進行振動量測，並提交相關的振動量測報告，以確保工地因打樁所引致之振動能規範於限制之範圍內，減少對鄰近結構物之危害；
- ✓ 打樁設備資料，包括打樁機、樁錘、樁帽及墊塊等；
- ✓ 現場終止打樁(收錘)之判斷基準資料(俗稱收錘表)；
- ✓ 施工計劃，內容需包括預製樁體的製造、運輸、儲存、場地佈置與規劃、機具設備、施工步驟、品質管理與施工控制、工地安全和緊急應變措施等；

- ✓ 檢測計劃。
- ✓ 按不同的預製之樁體材料，需提交下列的文件：

鋼製承重樁

- 鋼材及焊材之產地來源證明書，包括材料之產地來源、規格尺寸、重量、力學性能及化學分析等；
- 當樁體以焊接法接樁時，須提交焊接人員之有效及認可的資格證明文件，相關的焊接作業程序圖表說明(Welding Procedure)的文件要求，可詳閱鋼結構工程的品質保證計劃及程序；
- 鋼材表面的覆蓋層/保護塗層的文件要求，可詳閱塗料/油漆工程的品質保證計劃及程序；
- 焊接及防鏽保護層的取樣和檢測計劃，須包括於工地現場進行驗收作業之獨立(第三方)檢查及試驗機構資料。

預製鋼筋混凝土樁

- 預製加工廠的介紹說明書；
- 廠方之生產控制系統資料，內容如下：
 - 品質控制手冊及相關的質控文件；
 - 廠方內部檢測記錄，包括近期(半年內)相關的原材料的產地來源之技術資料、試驗結果；
 - 產品的測試結果及測試計劃；
 - 廠方檢測試驗部門之試驗設備，相關試驗程序及儀器的校準記錄。
- 最近六個月的混凝土抗壓強度測試結果的統計分析；
- 最近六個月期間中所進行的水泥鹼含量和骨料與水泥中的鹼之潛在反應性的測試結果。

預製預力混凝土樁(PHC 樁)

- 生產商的產品介紹說明書；
- 廠方之生產控制系統資料，內容如下：
 - 若所建議的生產商已獲澳門政府認可機構所認證，只需提交相關的有效認可證書；
 - 若所建議的生產商未獲澳門政府認可機構所認證，需按照下列的要求提供相關的文件進行批核[3]：
 - 品質控制手冊及相關的質控文件；
 - 廠方內部檢測記錄，包括近期(半年內)相關的原材料的產地來源之技術資料、試驗結果；
 - 產品的測試結果及測試計劃；
 - 廠方檢測試驗部門之試驗設備，相關試驗程序及儀器的校準記錄；
 - 最近六個月的混凝土抗壓強度和預應力鋼材抗拉強度測試結果的統計分析；

- 最近六個月期間中所進行的抗彎強度測試結果(須為該工程中所使用的規格)，包括抗裂性能和極限性能的測試。該測試須由認可之測試機構進行。
- 最近六個月期間中所進行的水泥鹼含量和骨料與水泥中的鹼之潛在反應性(鹼硅反應)的測試結果。

工程施工階段或竣工驗收時

- ✓ 預製之樁體材料運至工地時，須提交交貨單副本及相關的出廠合格證明文件；
- ✓ 材料的試驗記錄和報告；
- ✓ 錘擊樁於施打的過程中，須提交定期之振動量測記錄報告(如有需要)；
- ✓ 工地現場施工記錄，包括：
 - 樁型及尺寸；
 - 打樁機之型式、錘重、落距或動力及附屬設備；
 - 基樁平面位置及編號；
 - 實際入土長度及每單位長度之擊入次數(俗稱收鎚記錄)；
 - 最終單位長度之擊入次數及反彈量；
 - 切樁、接樁情形；
 - 打擊過程中發生之特殊狀況及處理情形；
 - 補樁位置、樁徑、樁長及樁數；
 - 樁頭變位記錄(水平、垂直變位與傾斜度)等。
- ✓ 基樁現場檢測報告(包括樁體表面塗料乾膜厚度檢測報告，接樁位置焊縫外觀質量、焊縫探傷檢測報告，樁體之完整性及其承載力的檢測報告等)；
- ✓ 基樁的竣工平面圖。

三、檢查、測試及驗收工作

錘擊樁工程的檢查工作可歸納於下表：

錘擊樁工程檢查項目表								
檢查項目	位置偏差			施工控制	材料控制	檢查頻率	標準要求	備註
	水平	高程	傾斜度					
基準點控制	✓	✓		✓		全數檢查	a, b, c, e	
工地及鄰房之安全監測 ⁶				✓		如有需要①	a, b, c	
打樁系統所產生之振動量測 ⁷				✓		如有需要①	a, b, c	
材料標識/批號、級別					✓	全數檢查	c, d	
外觀質量					✓	全數檢查	c, d	
規格尺寸					✓	全數檢查	c, d	
預製混凝土樁廠或預製預力混凝土樁廠廠內考察、巡查					✓	生產商批核前	c, d	
預製樁體材料之存放及運輸					✓	全數檢查	c, d	
打樁設備檢查 ¹				✓		施工前	-	
吊樁				✓		全數檢查	c, d	
基樁試打				✓		如有需要①	c	
打樁精度控制 ²	✓	✓	✓	✓		全數檢查	a, b, c, e	
接樁 ³				✓		全數檢查	c, d	
終止打樁/收錘檢查				✓		全數檢查	a, b, c	
樁頭處理				✓		全數檢查	a, b, c, d	
環境保護 ⁴				✓		如有需要①	c	
塗裝的施工環境條件				✓		施工前	c, d	
塗裝/防鏽保護層外觀質量 ⁵				✓		全數檢查	c, d	

註： 檢查項目

1 - 打樁設備檢查

一般包括打樁機、樁錘、樁帽及墊塊等打樁設備。

2 - 打樁精度控制

打樁的施工精度能影響基樁之承載功能、建物基礎之荷重偏心、基樁打擊功能及接樁效果之損失，故施工精度應控制在規定的容許範圍內。按澳門基礎設計指引[2] 第 5.7.3 項的要求，施工精度的容許誤差可歸納如下：

- 在切斷處量測，平面上相對於指定位置之偏差為 75mm (陸地樁)、150mm (海上樁)；
- 垂直偏差為 1/75 (陸地樁)、1/25 (海上樁)；
- 斜樁相對於設計斜度之偏差為 1/25；

- 相對於指定切斷高程之偏差為 25mm。
- 3 - 接樁
當樁體以焊接法進行接樁時，有關焊接工藝的檢查項目可詳閱「鋼結構工程的品質保證計劃及程序」，接續樁體之焊接完成後，焊縫的溫度需低於 300°C [5]，才可繼續進行打樁的工作，施焊完成後應由認可機構對焊縫進行目視檢驗，所有接合位置的焊接工作應由認可之焊接人員進行。
- 4 - 環境保護
錘擊樁之施工應慎選打樁的機具設備，以使噪音與振動值能符合本地法規之規定。
- 5 - 塗裝/防鏽保護層外觀質量
應符合規範「DBJ/T 15-22」第 3.1.10 至 3.1.11 節的要求。塗料工程的檢查工作項目可詳閱塗料/油漆工程的品質保證計劃及程序。
- 6 - 工地及鄰房之安全監測
對錘擊樁工程，於施工過程中可針對基地四周鄰房建物，透過裝設沉陷觀測釘、建物傾斜計、裂縫計及質點速度峰值量測儀(地震儀)等，以了解因工地施工機具振動對鄰房結構的影響，進而研判建築物的安全性，可詳閱「土工安全監測的品質保證計劃及程序」。
- 7 - 打樁系統所產生之振動量測
對工地上經錘擊貫入而完成之基樁，其貫入過程中所引致之振動將會對鄰接之結構或建築物產生不同程度之影響，量度其振動水平的檢測方法可利用地震儀於所選擇的位置量測其質點速度峰值(Peak Particle Velocity, P.P.V.)，其數值乃代表地面因周邊振動而產生三維(縱向、橫向及垂直方向)位移的最大速度。當工程的承攬規則或設計有判定指標時，應以相關要求為依據；如無相關指標依據時，應按澳門「基礎設計指引」的要求進行評定，詳見下表：

對不同建築物之最大質點速度峰值 [2]

等級	描述	最大速度 (mm/s)
1	古跡及有重要歷史價值之建築物	2
2	存在有損壞之建築物（如磚構物有可見之裂縫等。）	5
3	在技術上有良好狀態之無損壞之建築物，不包括微小的裂縫	10
4	穩固之建築物，鋼筋混凝土或鋼之工業建築物	10-40

* 鄰近結構物基礎之土壤質點速度。

檢查頻率

- ① - 當工程的設計或施工要求須特定考慮該項測試或監測結果作為工程的指標；或該項測試結果/參數對該工程的施工或質量有著重要的影響時，須加以考慮進行。

標準要求

- a - 土工技術規章 [1]
- b - 基礎設計指引 [2]
- c - 專案工程技術規格/承攬規則
- d - 生產商成品技術規格
- e - General Specification for Civil Engineering Works [4]

檢查、測試及驗收工作 (續)

錘擊樁工程的測試及驗收工作可歸納於下表：

錘擊樁工程試驗項目表											
檢測方法			檢測項目	地質調查	樁體材料	基樁完整性	基樁承載力	建議檢測頻率	標準要求	合格準則	備註
地質鑽探				✓				如有需要❶	a, b, c, d	-	
預製 樁 體 材 料	鋼製承重樁	鋼材制品驗收測試 ❶			✓			-	c	-	
		防鏽保護塗層測試 ❷			✓			如有需要❷	c	-	
	預製鋼筋混凝土、預力混凝土樁	尺寸及外觀檢查 ❸			✓			每批測試❸	a, b, c GB13476 [9] JIS A5337 [10] LECM APR/DMC/017 [3]	i	
		混凝土抗壓強度測試和螺旋筋直徑檢驗 ❹			✓			每批測試❸	a, b, c GB13476 [9] EN 12504-1 [11] LECM APR/DMC/017 [3]	ii	
		抗裂性能測試 ❺			✓			每批測試❹	a, b, c GB13476 [9] JIS A5337 [10] LECM APR/DMC/017 [3]	iii	
接樁：焊縫無損探傷試驗 ❻						✓		詳見❶	c	v	
打樁分析 (PDA)⁷							✓	如有需要❷	a, b, c ASTM D4945 [12]	-	
完整性測試 (SIT)⁸						✓		20%❹	a, b, c ASTM D5882 [13]	iv	至少一根
動力荷載試驗 (DLT)⁹							✓	3%	a, b, c ASTM D4945 [12]	iv	至少一根
靜力荷載試驗 (SLT)¹⁰ (包括豎向拉力、壓力和橫向荷載試驗)							✓	1% ❺	a, b, c ASTM D1143 [14] ASTM D3689 [15] ASTM D3966 [16]	iv	至少一根

註： 檢測方法

1 - 鋼材制品驗收測試

取樣後之鋼材試件應進行抗拉試驗，試驗方法應符合 EN10002[6] 標準之規定。當鋼材軋制證書內並沒有鋼材化學成份及沖擊吸收功之資料時，應對鋼材進行夏比沖擊試驗及化學成份分析。沖擊試驗之試驗方法應符合 EN10045[7] 標準之要求，可參閱鋼結構工程的品質保證計劃及程序。

2 - 防鏽保護塗層的測試

一般包括塗層乾膜厚度測試、塗層濕膜厚度測試及塗層黏結性測試等，塗層厚度測試應根據 ISO 2808[8] 之規定進行，可參閱塗料/油漆工程的品質保證計劃及程序。

3 - 尺寸及外觀檢查

按國標 GB 13476[9] 或日標 JIS A5337[10]、JC/T 947[25]、管樁生產商規格說明的要求對預製預力混凝土樁進行檢查，詳列如下：

尺寸檢查，包括樁長度、端部傾斜、樁身直徑、壁厚和樁身彎曲度等。

外觀檢查，包括粘皮和麻面、樁身合縫漏漿、局部磕損、內外表面露筋、表面裂縫、樁端面平整度、斷筋及脫頭、樁套箍凹陷和內表面混凝土塌落等。

4 - 混凝土抗壓強度測試和螺旋筋直徑檢驗

每根試樁抽取三組、每組二個、(合共六個)之鑽芯試體。每組試體可沿樁的縱向上，選取三個橫向截面，以正向於樁身形式鑽取。樁壁厚少於 125 mm 時，鑽芯試體直徑為 70 mm，當壁厚相等或大於 125 mm 時，直徑則為 100 mm；並須根據英標 EN 12504-1 [11] 的要求進行抗壓強度試驗。

混凝土抗壓強度測試完成後，須破碎其中一個鑽芯試體，以取得試體內螺旋筋作進一步的直徑檢驗。

5 - 抗裂性能測試

按國標 GB 13476 [9] 或日標 JIS A5337 [10] 進行抗彎試驗，每次抽取二根樁作為一個試樣，進行測試。

6 - 焊縫無損探傷試驗

以焊接法進行接樁的預製樁體，其對接焊縫和角焊縫可按照鋼結構工程的品質保證計劃及程序的要求進行無損探傷檢測。

7 - 打樁分析試驗 (PDA)

利用波動方程式於打樁時從樁體的應力波傳遞來獲得應力波與承載力的關係式，從而估算出樁的承載能力，得出樁於該地質條件下施打及承載能力之表現，並可作為該項目同類型樁施工之參考數據。

8 - 完整性試驗 (Pile Sonic Integrity Test, SIT)

屬較簡便的一種檢測方法，主要利用手錘敲擊樁頂，通過安裝在樁頂的速度傳感器而獲得樁頂速度隨時間的變化曲線，從而判斷樁的質量。其原理乃利用敲擊而產生音波，當音波在傳遞時遇到不均質而形成反射波時，依據其波形及位置研判樁之完整性，屬於一種非破壞性的檢驗。本試驗於樁長(L)與樁徑(D)之比不超過 30(即 $L/D \leq 30$)的情況下，較能獲取準確的波形進行樁體完整性判定[18] [22] [24]。

9 - 軸向動力荷載試驗 (Pile Dynamic Loading Test, DLT)

屬於樁的動力量測和分析方法，主要通過安裝在樁側頂部的加速度和應變計分別測出樁頂處的振動速度和力(或應力)隨時間的變化曲線，從而分析得出樁的靜承載力。此檢測設備主要由錘擊設備和量測儀器兩部份所組成。其中錘擊設備需選擇適當的錘重，保證在錘擊時，使樁產生足夠的貫入度，樁側阻力和樁端阻力才能得到充分發揮，從而得到動阻力和樁的極限承載力。

10 - 靜力荷載試驗 (Pile Static Compression Loading Test, SLT)

對工地上經錘擊貫入而完成之基樁，可在其樁頂逐級加荷並測其變形，用以確定單樁豎向的承載力。靜載試驗裝置由加壓部份和樁頂沉降觀測部份組成。加壓部份通過裝在樁頂上的液壓千斤頂進行，千斤頂反力由壓重平台承受。對樁之軸向壓力荷載試驗需按照澳門地工技術規章[1]、基礎設計指引[2] 和 ASTM D1143 [14] 的要求進行，可得出樁之總沉降量及其殘餘沉降量。此外，靜力荷載試驗還包括豎向拉力荷載試驗 (ASTM D3689[15]) 和橫向荷載試驗 (ASTM D3966[16])。

建議檢測頻率

- ① - 當工程的設計或施工要求須以此鑽探數據作為施工之對照依據，則應考慮進行。
- ② - 當工程的設計或施工要求須特定考慮該項測試結果作為工程的指標；或該項測試結果/參數對該工程的施工或質量有著重要的影響時，須加以考慮進行。
- ③ - 有關預製預力混凝土管樁或鋼筋混凝土樁的尺寸及外觀檢查，和混凝土抗壓強度測試，所建議的檢測頻率，參照澳門現行規定，歸納如下[3]：

對未獲澳門政府認可機構認證之樁廠

工程項目每種規格中樁總量 (米)	每批量	外觀檢查頻率	混凝土抗壓強度測試
少於 500	全部	10 根	--
500 及不大於 20,000	少於或等於 200 根	10%及不少於 10 根	1.5%
等於或大於 20,000	少於或等於 200 根	10%及不少於 10 根	首 20,000 米取 1.5%，其後取 0.5%

對已獲取澳門政府認可機構認證之樁廠

工程項目每種規格中樁總量 (米)	每批量	外觀檢查頻率	混凝土抗壓強度測試
少於 500	全部	10 根	--
大於或等於 500	少於或等於 200 根	10%及不少於 10 根	0.5%

- ④ – 有關預製預力混凝土管樁的抗裂性能測試所建議的檢測頻率，參照澳門現行規定，從付運的合格產品中，按該工程所使用的規格抽取兩根進行驗收測試，抗裂性能測試必須經由第三方、獨立的認可測試機構進行，歸納如下[3]：

預製預力混凝土管樁型號	檢驗頻率
A	工程項目中同一樁規格超過 30,000 米，按每 30,000 米進行一個試驗。
AB*	工程項目中同一樁規格超過 20,000 米，按每 20,000 米進行一個試驗。
B 及 C	工程項目中同一樁規格超過 10,000 米，按每 10,000 米進行一個試驗。

* 只適用於中國國家標準

- ⑤ – 對軸向拉力荷載及橫向荷載試驗需視符專案工程技術規格/承攬規則的要求、設計需要及施工情況而決定是否需要進行。
- ⑥ – 正常條件下隨機抽檢不少於樁總數的 20%，如有需要可調整抽檢樁數至 50%~100%，此外，當現場實際之樁長(L)與樁徑(D)之比例超出了試驗之限制時(即 $L/D > 30$) [19]，應考慮適當地以軸向動力荷載試驗(DLT)作取代，其測試頻率應事先協定或按兩者檢測頻率要求的比例，以 1 個額外的軸向動力荷載試驗(DLT)取代 5 個完整性試驗(SIT)。
- ⑦ – 若專案工程技術規格及承攬規則等文件沒有說明焊縫檢驗頻率時，對預製預力混凝土樁(PHC 樁)，當受檢樁設計為承受壓力，其超聲波測試的檢測頻率為所有同類型力學行為樁焊縫的 1%；當受檢樁設計為承受拉力，其超聲波測試的檢測頻率為所有同類型力學行為樁焊縫的 6%；目視檢測的檢測頻率為所有焊縫的 100%。
對鋼製承重樁(H 型鋼樁、鋼管樁)，其超聲波測試的檢測頻率為所有焊縫的 10%；目視檢測的檢測頻率為所有焊縫的 100%。

標準要求

- a - 地工技術規章 [1]
- b - 基礎設計指引 [2]
- c - 專案工程技術規格/承攬規則
- d - Guide to Site Investigation [17]

合格準則

- i – 參照一般驗收程序[3]，每根不符合尺寸及外觀檢查要求的樁應不予採用，並須額外抽取兩根樁作檢查。
- ii – 參照一般驗收程序[3]，對於混凝土抗壓強度，每一驗收批均應符合兩個基本要求，即六個鑽芯試體換算為現場立方體評估強度平均值不應少於標準強度；及個別鑽芯試體換算為現場立方體評估強度不應少於標準強度的 85%。
外徑 ≤ 450mm 之管樁，螺旋筋直徑應不少於 4mm；外徑 500mm~600mm 之管樁，螺旋筋直徑應不少於 5mm；外徑 800mm~1000mm 之管樁，螺旋筋直徑應不少於 6mm。
當測試結果不能滿足上述要求時，同一生產日期及相同規格的樁可視作不合格及不予採用。然而，可於該驗收批中額外抽取兩根不同生產日期的樁進行鑽芯取樣抗壓強度測試。若兩試樁中任何一測試結果不符上述要求時，則該驗收批中的所有樁均不予採用，而同一生產日期及相同規格的樁均視作不合格及不予採用。
若連續兩個驗收批均不符合上述的驗收要求時，則工程項目中將使用的相同規格樁應視作不合格及不予採用。
- iii – 參照一般驗收程序[3]，對於抗裂性能測試，當加荷達至廠方規格之抗裂彎矩時，樁身表面不可出現任何裂縫。當兩根試樁均不能通過測試，則該樁規格之產品應不予採用。當其中一根試樁不能通過測試，則於相同規格及相同合格產品中額外抽取的四根進行測試。若四根試樁中任何一根不能通過測試，則該樁規格之產品應不予採用。
- iv – 當測試結果不能滿足法規或相關技術規格的要求時，建議另外選取兩個鄰近的基樁進行覆試，對於不能滿足要求之基樁，需提交補救措施/方案，並進行適當的補強工作。
- v – 焊縫檢測之合格標準可採用建築鋼結構規章第八十八條之規定。若檢測結果低於合格標準，則焊縫經適當之處

理後，應再進行驗收測試，並需額外對兩個同類型焊縫進行測試。

四、引用法規/參考技術文件

- [1] 法令第 47/96/M 號，地工技術規章，澳門政府
- [2] 基礎設計指引，土地工務運輸司，澳門政府
- [3] APR/DMC/017, 批核及驗收程序 - PHC 樁，澳門土木工程實驗室(LECM)
- [4] General Specification for Civil Engineering Works, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [5] Canadian Foundation Engineering Manual, Canadian Geotechnical Society
- [6] EN10002, Tensile testing of metallic materials
- [7] EN10045, Charpy impact test on metallic materials. Test method (V- and U-notches)
- [8] ISO2808, Paints and varnishes. Determination of film thickness
- [9] GB13476, 先張法預應力混凝土管樁
- [10] JIS A 5337, Pretensioned Spun High Strength Concrete Piles
- [11] EN 12504-1, Testing Concrete in Structures - Cored Specimens - Taking, Examining and Testing in Compression
- [12] ASTM D4945, Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles
- [13] ASTM D5882, Standard Test Method for Low Strain Integrity Testing of Piles
- [14] ASTM D1143, Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load
- [15] ASTM D3689, Standard Test Method for Individual Piles Under Static Axial Tensile Load
- [16] ASTM D3966, Standard Test Method for Piles Under Lateral Loads
- [17] GEOGUIDE 2, Guide to Site Investigation, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [18] 樁基檢驗手冊，中國水利水電出版社
- [19] 基礎工程施工規範與解說，科技圖書
- [20] 土力學地基與基礎，中國建築工業出版社
- [21] 預力混凝土管樁，中國建材工業出版社
- [22] Code of Practice for Foundations, Buildings Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [23] GEO Publication No. 1/96, Pile Design and Construction, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Hong Kong
- [24] JGJ 106, 建築基樁檢測技術規範，中華人民共和國行業標準
- [25] JC/T 947, 先張法預應力混凝土管樁用端板
- [26] DBJ/T 15-22, 錘擊式預應力混凝土管樁工程技術規程