

## 工程品質保證計劃及程序

### 鋼筋混凝土工程

#### 一、通則及適用範圍

鋼筋混凝土是指用混凝土及鋼筋合成之結構構件，並於混凝土硬化後，兩者需於應變上一致。使用混凝土及鋼筋之強度級別視符設計而定。一般鋼筋混凝土構件可分為現場澆置及預製兩類。在質檢程序上大致相同。就混凝土工程而言，本程序亦適用於預力混凝土工程、純混凝土工程等。

構件需通過施工現場之監督及材料測試以確保滿足設計及有關規章之要求。

#### 二、工程品質保證文件之要求

鋼筋混凝土工程於各施工階段，需提交下列文件作審閱或記錄存檔：

##### 工程施工前

##### [混凝土材料]

- ✓ 水泥物料證明書  
須符合澳門水泥標準 (法令 第 63/96/M 號) 第七條之質量要求，證書上須提供下列資料：
  - 生產商名稱/水泥種類/等級；
  - 物理性質 (包括凝結時間、力學強度、膨脹率)；
  - 化學分析 (包括燒失量、不溶殘餘物、硫酸鹽  $\text{SO}_3$ 、氯化物、鹼含量)。若無法提交上述要求之證書，應按水泥標準第九條之接收控制要求進行驗收工作。
  
- ✓ 骨料質量證明書  
骨料包括粗骨料、細骨料、砂/石粉，須符合澳門混凝土標準 (法令 第 42/97/M) 表一之質量要求，證書上須提供下列資料：
  - 骨料來源；
  - 力學強度；
  - 粒徑分析；
  - 比重及吸水量；
  - 體積指數；
  - 與水泥中鹼之反應性；
  - 與硫酸鹽之反應性；
  - 有害物料粒子數量 (粘土粒子、有機物質等)。
  
- ✓ 混合劑質量證明書  
混合劑包括塑化劑、高度塑化劑、滯水劑、早凝劑、硬化早強劑、緩凝劑及防濕劑，須符合澳門混凝土標準 (法令 第 42/97/M 號) 表三之質量要求，證書上須提供下列資料：
  - 混合劑來源/產品說明書；
  - 比重；

- 化學分析；
- 氯含量。
  
- ✓ 附加劑質量證明書  
附加劑包括粉煤灰、硅微粒、火山灰、高爐礦渣等，須符合澳門混凝土標準 (法令 第 42/97/M 號) 之質量要求，證書上須提供下列資料：
  - 附加劑來源；
  - 比重；
  - 活性指標；
  - 細度；
  - 膨脹率；
  - 化學分析。
  
- ✓ 拌合水  
須符合澳門混凝土標準 (法令 第 42/97/M 號) 表二之質量要求，一般情況下以自來水作為拌合水不需進行檢查，如由其他方法取得之水或對水質有懷疑時，須抽樣測試。
  
- ✓ 混凝土配比及規格資料  
須提供下列有關資料：
  - 混凝土強度等級；
  - 水泥種類、用量及水灰比；
  - 骨料用量及最大粒徑；
  - 鹼硅反應；
  - 混凝土稠度；
  - 混合劑種類及用量；
  - 附加劑種類及用量；
  - 混凝土抗氯離子性能測試報告(適用於海工結構、暴露於高氯離子環境或使用年限超過 50 年之結構)；
  - 外界環境暴露類型。
  
- ✓ 混凝土澆置施工方案；
  
- ✓ 混凝土澆置後之養護方案。

#### [鋼筋材料]

- ✓ 鋼筋質量證明書  
按每批量、級號的鋼筋提交質量證明/產品來源證明文件，包括化學成份分析、力學性能 (幾何尺寸、抗拉強度、屈服強度、伸長率及雙向彎曲試驗等)、材料識別 (爐號和生產商標識等)；
  
- ✓ 儲存及運送資料及證明；
  
- ✓ 鋼筋拼接施工方案，包括利用續接器之機械式對接、鋼筋端點對焊之拼接和鋼筋疊接之側向焊接等，還需要提交相關的續接器產品說明書、焊條資料、焊工資格證明等；
  
- ✓ 檢測計劃。

[鋼筋混凝土預製品]

如工程需要使用鋼筋混凝土預製品，施工前需提交下列文件作審閱或記錄存檔：

- ✓ 鋼筋混凝土預製品生產商的产品介紹說明書；
- ✓ 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、預應力鋼材抗拉強度測試結果的統計分析及其他產品相關的力學性能測試報告；
  - 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。
- ✓ 儲存及運送資料及證明；
- ✓ 鋼筋混凝土預製品的搭接及施工方案。

工程施工階段或竣工驗收時

- ✓ 混凝土澆置記錄表，包括記錄每次澆置混凝土之相關交貨單據、配料時間、澆置開始及完成時間、現場坍度量測記錄、澆置部位說明(含圖示)、混凝土用量累計及相應試體製作編號等；
- ✓ 混凝土抗壓強度測試報告；
- ✓ 鋼筋到場記錄 (每批量材料之數量、相關之產地來源證明書)；
- ✓ 鋼筋抗拉強度測試報告；
- ✓ 鋼筋混凝土預製品到場記錄 (每批量材料之數量、相關之產地來源證明書)。

### 三、檢查、測試及驗收工作

鋼筋混凝土工程的檢查工作可歸納於下表：

鋼筋混凝土工程檢查項目表									
檢查項目		檢查目的	工作性能	結構品質	結構精度	施工控制	檢查頻率	標準要求	備註
鋼筋	運送及儲存		✓			✓	每批量	c, d	
	模板及支撐 <sup>1</sup>		✓	✓	✓	✓	每次混凝土施築前，全數檢查	c, d	
	排佈及搭接 <sup>2</sup>		✓	✓	✓	✓		a, c, d	
混凝土	運送 <sup>3</sup>	✓	✓			✓		b, c, d	
	均勻性	✓	✓			✓	澆置期間全數檢查	b, d	
	澆注 <sup>4</sup>		✓			✓		b, c, d, f	
	養護 <sup>5</sup>		✓			✓	全數檢查	b, c, d	
鋼筋混凝土預製品	運送及儲存	✓	✓			✓	全數檢查	d, e	
	尺寸		✓	✓	✓	✓	每批量	d, e	
	表面外觀		✓	✓	✓	✓		d, e	
	結構完整性		✓	✓	✓	✓		d, e	

註： 檢查項目

- 1 - 模板及支撐  
包括模板材料、尺寸、位置、清潔、防水性、表面處理與及混凝土施工後模板及支撐的拆除。
- 2 - 鋼筋排佈及搭接  
包括束筋、最少間距、最少保護層厚度、最大彎曲、鋼筋彎曲截面、錨固、搭接、排置及固定。
- 3 - 混凝土運送  
包括混凝土運送設備檢查、交貨單據檢查。
- 4 - 混凝土澆注  
包括澆注方法、搗實方法、施工接縫處理、混凝土溫度檢測，一般而言，混凝土到達工地時，其溫度不能高於 35°C，對於大體積混凝土(混凝土結構物實體最小尺寸不小於 1 米)，應該採取措施使已澆注混凝土各部分溫度差不超過 20°C 及最高溫度不能高於 70°C。澆注前應計劃在合適位置安裝溫度測試元件以便澆築後對混凝土結構體裡表溫差、降溫速率及環境溫度進行監測。
- 5 - 混凝土養護  
包括養護方法、最小養護時間；對於大體積混凝土，保濕養護持續時間不宜少於 14 日。

標準要求

- a - 澳門鋼筋混凝土用熱軋鋼筋標準 [1]
- b - 澳門混凝土標準 [2]
- c - 澳門鋼筋混凝土及預應力混凝土結構規章 [3]
- d - 專案工程技術規格/承攬規則
- e - Code of Practice for Precast Concrete Construction [13]
- f - 大體積混凝土施工標準 [18]

檢查、測試及驗收工作 (續)

鋼筋混凝土工程的測試及驗收工作可歸納於下表：

鋼筋混凝土工程測試及驗收項目								
檢測方法	檢測項目	材料 自身 材質	結構 性能	測試 標準	建議檢測頻率	標準 要求	合格 準則	備註
混凝土 材料	混凝土試拌分析 <sup>1</sup>	✓		BS 1881 [5] ISO 2736 [6] ISO 4012 [7] ISO 7031 [8]	對未經檢定的混凝土，於施工前按每一種使用混凝土之配比及規格進行	b, d, f		
	稠度/坍落度測試	✓		ISO 4109 [9]	每 15m <sup>3</sup> 混凝土	b, d, f	i	
	立方試體抗壓強度測試 <sup>2</sup>	✓	✓	ISO 4012 [7]	每 30m <sup>3</sup> 混凝土 <sup>1</sup>	b, d, f	i	
	鑽孔取心測試 <sup>3</sup>	✓	✓	BS 1881 [5]	詳見 <sup>2</sup>	b, d, f	i	
	滲水性測試	✓	✓	ISO 7031 [8]	每批測試 <sup>6</sup>	b, d, f	i	
	氯離子含量測試		✓	DB44/T 556 [15] GB/T 50476[16]	如有需要 <sup>3</sup>	b, d, f	i, v	
	抗氯離子入侵測試 <sup>4</sup>	✓	✓		每批測試 <sup>7</sup>	b, d, f	i, vi	
鋼筋 材料	幾何尺寸及重量之測量	✓		EN 10002-1 [10] BS 4449 [11]	每批號(同一爐號及級號)鋼筋應抽取試樣進行驗收測試，其取樣頻率如下 少於十噸 - 三支 十至三十噸 - 六支 大於三十噸 - 九支	a, d	ii	
	拉伸性能測試	✓				a, d	ii	
	鋼筋之拼接 <sup>5</sup>	✓	✓	EN 10002-1 [10] BS 4449 [11]	每一批量；詳見 <sup>4</sup>	a, c, d	iii	
	錨固鋼筋現場拉拔試驗 <sup>6</sup>		✓	BS 5080 [14]	每批測試 <sup>5</sup>	a, d	iv	
	化學成分分析	✓		-	如有需要 <sup>3</sup>	a, d	ii	
	正反向彎曲測試	✓		BS 4449 [11]		a, d	ii	
	疲勞性能測試		✓	BS 4449 [11]		a, d	ii	
鋼筋 混凝土 預製品	鑽孔取心測試	✓	✓	BS 1881 [5]	如有需要 <sup>3</sup>	b, d, e	iii	
	滲水性測試		✓	ASTM E331-96 ASTM E547-96		d, e	iii	
	結構性能測試 <sup>7</sup>		✓	-		d, e	iii	

註： 檢測方法

- 1 - 混凝土試拌分析  
包括混凝土稠度測試、混凝土抗壓強度測試、混凝土均勻性檢定、骨料粒徑分析及其他混凝土特性分析 (如工程條件需要時, 試拌分析須考慮吸水率和滲水性的測定, 另外對於海工結構或暴露於高氯離子環境之結構混凝土, 須考慮抗氯離子性能的測定)。
- 2 - 立方試體抗壓強度測試  
進行抗壓強度測試的每一組樣本 (Sample), 應以三個或以上試體 (Specimen) 於 28 天齡期時抗壓強度之平均值為該組樣本試驗結果。若監造者認為有需要時, 每一組樣本可多做試體於較早或較晚齡期進行抗壓試驗, 以供參考。
- 3 - 鑽孔取心測試  
若立方試體的結果不能滿足澳門混凝土標準的合格準則要求, 或不能提供測試結果, 或現有樣本結果數目不足以符合規範中所定義之取樣計劃, 或當施工出錯, 或受惡劣天氣條件影響而對結構之強度、耐久性或安全有懷疑時, 應從結構鑽取樣心試體加以檢驗評定其強度。
- 4 - 抗氯離子入侵測試  
包括混凝土抗氯離子滲透性電量指標測定及混凝土中的氯離子擴散系數測定。
- 5 - 鋼筋之拼接試驗  
此拉力試驗包括利用續接器之機械式對接、鋼筋端點對焊之拼接和鋼筋疊接之側向焊接等。
- 6 - 錨固鋼筋現場拉拔試驗 (Anchored Steel Rebar Pull-out Test)  
對現場錨固於硬固混凝土內的鋼筋應於不同位置進行鋼筋拉拔試驗, 以確定其錨碇力及錨碇之可靠性。試驗過程須於驗收區域內隨機選取 3 根已錨固的鋼筋進行測試, 測試方法主要利用加荷設備, 按照設計單位所建議的荷載施加於錨固鋼筋, 並進行持荷的工作, 以確保鋼筋不可出現損壞、脫出或變形的現象。
- 7 - 鋼筋混凝土預製品之結構性能試驗  
包括荷載測試、抗彎測試、表面飾面抗拔測試等, 按不同類型之鋼筋混凝土預製品而定。

標準要求

- a - 澳門鋼筋混凝土用熱軋鋼筋標準 [1]
- b - 澳門混凝土標準 [2]
- c - 澳門鋼筋混凝土及預應力混凝土結構規章 [3]
- d - 專案工程技術規格/承攬規則
- e - Code of Practice for Precast Concrete Construction [13]
- f - 預製節段梁批核及驗收程序-澳門輕軌工程預製節段梁項目 [17]

建議檢測頻率

- ① - 關於混凝土抗壓強度之詳細取樣計劃, 可詳閱澳門混凝土標準第九條和承攬規則之要求。
- ② - 於相應的一個缺漏樣本或一個疑問樣本結果的區域或位置, 需鑽取至少 3 個直徑在 70 或 100mm 之樣心。
- ③ - 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。
- ④ - 同一鋼筋級別、規格、同一類型接頭, 每一驗收批需取樣一組 (3 個試體) 進行拉力試驗, 每批數量最多為 500 件。
- ⑤ - 建議每個驗收批中應進行一個錨固鋼筋現場拉拔試驗以作驗收。驗收批可定義為在同一施工區相同時間內所進行之錨固工作。
- ⑥ - 視乎工程設計考慮於施工前制定抽樣批次指標, 每一驗收批需取樣一組 (3 個試體) 進行滲水性試驗。
- ⑦ - 當混凝土結構之設計使用年限超過 50 年, 每批量混凝土 (不大於 1500m<sup>3</sup> 或每三個月) 須加以考慮進行。

合格準則

- i - 關於混凝土材料測試及品質控制之合格準則, 可詳閱澳門混凝土標準(法令 第 42/97/M 號)和承攬規則之要求。有關試拌驗證立方試體強度應符合專案工程技術規格/承攬規則/設計單位要求, 如無相關指標依據時, 可按以下之要求進行評定:

$$f_{cu,m} \geq f_{ck} + 1.645 S_n$$

$$f_{cu,min} \geq f_{ck} + 5MPa$$

當中:

- $f_{cum}$  – 立方試體的強度平均值;
  - $f_{cu,min}$  – 立方試體的強度最小值;
  - $f_{ck}$  – 指定的混凝土特徵強度;
  - $S_n$  – 混凝土立方試體強度標準差(以不少於 30 組同類混凝土統計算確定及不小於 3.0MPa, 沒有統計資料時強度標準差取值為 5.0MPa);
- ii- 當有試樣不符合澳門鋼筋混凝土用熱軋鋼筋標準(法令 第 64/96/M 號)中之幾何要求及有試樣不符合該標準中表 4 規定之力學性能要求, 該批鋼筋視為不合格。當有試樣不符合上述兩項要求之一, 在同批鋼筋中抽取相同數量之試樣進行測試。如有一根或以上再次取樣的試樣不符合本上述兩項要求或其中之一, 該批鋼筋視為不符合本標準。
- iii- 當試驗結果不符合要求時, 應取雙倍數量的試件進行覆試。
- iv- 當測試結果不能滿足相關技術規格的要求時, 建議於相同的驗收區域內額外選取 3 根錨固鋼筋進行覆試, 對於不能滿足要求之錨固鋼筋, 需提交補救措施/方案, 並進行適當的補強工作。
- v- 關於混凝土氯離子含量測定, 須滿足下表要求:

混凝土配比中氯化物之最大含量	
混凝土最終用途	氯化物最大含量 (以膠凝材料質量計)
素混凝土	1.00%
鋼筋混凝土 (或含有其他金屬埋件)	0.20% (適用於暴露級別 1 及 2) 0.10% (適用於暴露級別 3)
預應力混凝土	0.06% (適用於暴露級別 1、2 及 3)

硬化混凝土中氯化物之最大含量	
混凝土最終用途	氯化物最大含量 (以混凝土質量計)
素混凝土	0.15%
鋼筋混凝土 (或含有其他金屬埋件)	0.03% (適用於暴露級別 1 及 2) 0.015% (適用於暴露級別 3)
預應力混凝土	0.009% (適用於暴露級別 1、2 及 3)

vi- 關於混凝土抗氯離子入侵性能測定, 須滿足下表要求:

混凝土抗氯離子滲透性電量指標 (56d 齡期,C)						
設計使用年限	100 年		70 年		50 年	
環境條件	中度、 嚴重	非常嚴重、 極端嚴重	中度、 嚴重	非常嚴重、 極端嚴重	中度、 嚴重	非常嚴重、 極端嚴重
6h 電量值	<950	<800	<1100	<800	<1350	<950

混凝土中的氯離子擴散係數 DRCM (28d 齡期, $10^{-12} m^2/s$ )						
設計使用年限	100 年		70 年		50 年	
環境條件	中度、 嚴重	非常嚴重、 極端嚴重	中度、 嚴重	非常嚴重、 極端嚴重	中度、 嚴重	非常嚴重、 極端嚴重
氯離子擴散係數	$\leq 6$	$\leq 4$	$\leq 7$	$\leq 4$	$\leq 10$	$\leq 6$

#### 四、引用法規/參考技術文件

- [1] 澳門鋼筋混凝土用熱軋鋼筋標準, Norma de Aço para Armaduras Ordinárias, 法令 第 64/96/M 號
- [2] 澳門混凝土標準, Norma de Betões, 法令 第 42/97/M 號
- [3] 澳門鋼筋混凝土及預應力混凝土結構規章, Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado, 法令 第 60/96/M 號
- [4] 水泥標準, Norma de Cimentos, 法令 第 63/96/M 號
- [5] BS1881, Testing concrete. Methods for analysis of hardened concrete
- [6] ISO2736-1, Concrete tests -- Test specimens -- Part 1: Sampling of fresh concrete
- [7] ISO4012, Concrete -- Determination of compressive strength of test specimens
- [8] ISO7031, Concrete, hardened -- Determination of penetration depth, under pressure
- [9] ISO4109, Fresh concrete -- Determination of the consistency -- Slump test
- [10] EN10002, Tensile testing of metallic materials
- [11] BS4449, Specification for carbon steel bars for the reinforcement of concrete
- [12] 混凝土工程施工規範與解說, 科技圖書
- [13] Code of Practice for Precast Concrete Construction, HK SAR Government Buildings Department
- [14] BS5080: Part 1, Structural fixings in concrete and masonry, Method of test for tensile loading
- [15] 抗海水腐蝕混凝土應用技術導則, DB44/T 566
- [16] 混凝土結構耐久性設計規範, GB/T 50476
- [17] 預製節段梁批核及驗收程序 - 澳門輕軌工程預製節段梁項目
- [18] 大體積混凝土施工標準, GB/T 50476