

第十二章 耐久性設計

12.1 適用範圍

本章說明有關鋼筋混凝土於中性化及鹽害環境下之耐久性設計，以及鋼結構之防蝕設計。

12.2 設計原則

1. 本章規定的耐久性設計要求，為結構達到設計年限所需之最低要求，設計中可根據工程的特點、當地的環境條件與工程經驗，以及具體的施工條件等適當提高。
2. 結構的耐久性設計應根據橋梁的設計年限、橋梁所處的環境類別及作用等級進行設計。同時應考慮材料之最新發展，亦不限於使用單一方法，設計者應就橋梁生命週期之觀點，選擇最適當之方式為之。
3. 當混凝土結構構件同時承受其他環境作用時，應按環境作用等級較高的要求進行耐久性設計。
4. 設計年限
 - (1) 設計年限係指依據相關規範設計及施工，並在正常使用及維護狀態下之年限。
 - (2) 高速公路、重要公路、跨越重要設施之公路橋梁、城鎮之主要聯外公路橋梁或經主管機關認為必要者，設計年限不小於100年。
 - (3) 其他公路橋梁，設計年限不小於50年。
 - (4) 橋梁主要構件在設計年限內無需大修，非主要構件（如伸縮縫、護欄、緣石等）及可更換構件（如支承、隔震及防落設施等）可設計成易於更換的形式，或能夠經濟合理地進行維修，其設計年限可低於結構整體的設計年限，並應在設計圖說中明確規定。

12.3 設計考量因素

橋梁耐久性設計考量因素包括：材料之隔絕性、維護方式、結構型式、橋梁

位置與海平面高度關係及排水設施等。

1. 材料之隔絕性：橋梁防蝕設計最主要者為隔絕鋼材與水份之接觸。其方式有(a)鋼材表面加保護層(如混凝土)，(b)鋼材表面加隔絕層(如油漆)。隔絕水分效果之設計應依橋梁週遭環境而異。
2. 維護方式：橋梁所採用之各項組件，應考量日後檢查、維修之方便性，對於檢修不易之橋梁，應考慮於橋梁上設置檢修步道等設施。
3. 結構型式：橋梁結構型式應以施工品質易於控制，且能避免濕氣聚集、鹽份附著為原則。
4. 橋梁位置：在路線經過水域或海水時，儘可能減少橋梁之曝露面積，以減少橋梁腐蝕的機會。
5. 梁底與海平面高度關係：橋梁跨越河川及海域，應考慮預留足夠梁底距水位之高度，特別是濱海或跨海橋梁需考慮潮汐作用下之最高水位，減少橋梁上部結構受浪潮潑濺及飛沫之影響。
6. 排水設施：橋梁上部結構應有適當的排水設施，以使雨水得以迅速排除。排水設施包括橋面洩水孔、排水孔、鋪面坡度等，且排水管埋置在結構體內部份愈短愈好。惟排水管若埋置於結構體內，仍應考慮維修需求。同時上部結構伸縮縫處應避免積水之可能，箱型梁內部應避免積水。

12.4 混凝土橋

12.4.1 通則

本節所稱混凝土橋包含鋼筋混凝土橋及預力混凝土橋，耐久性設計主要係針對中性化環境及海洋鹽害環境對鋼筋混凝土構造物所引起之腐蝕而採取之設計對策，對於其他腐蝕來源之防蝕對策，不在規定範圍之內。

12.4.2 一般環境

1. 一般規定

- (1) 一般環境下混凝土結構的耐久性設計，係為在正常大氣作用下混凝土中性化引起的內部鋼筋銹蝕。
- (2) 一般環境下之耐久性設計，除需符合本節之規定外，尚應符合本規

範第7.1.5節鋼筋之最小混凝土保護層的規定。

2. 環境作用等級

一般環境對鋼筋混凝土結構的環境作用等級應根據實際情況依據表12.1而確定。

表 12.1 一般環境下作用等級

環境作用等級	環境條件	結構構件示例
I	非乾濕交替環境	箱梁內部
II	乾濕交替環境	柱、橋台、版、「I」「T」梁、箱梁外露面等

3. 材料與保護層規定

- (1) 一般環境中的鋼筋混凝土結構構件，其鋼筋的最小保護層厚度與混凝土最大水膠比應符合表12.2的要求。
- (2) 設計年限為100年的構件，其混凝土抗壓強度不應低於280 kgf/cm²，設計年限為50年的構件，其混凝土抗壓強度不應低於245 kgf/cm²。
- (3) 預力混凝土的鋼筋保護層厚度可按照本節的規定執行。

表 12.2 一般環境下混凝土材料與鋼筋最小保護層厚度

設計年限 環境作用等級	50 年		100 年	
	最大水膠比	最小保護層厚度 cm	最大水膠比	最小保護層厚度 cm
I	0.50	3.0	0.50	3.5
	0.45	2.5	0.45	3.0
II	0.50	4.0	0.45	4.5
	0.45	3.5	0.40	4.0
	0.40	3.0	0.35	3.5

12.4.3 海洋鹽害環境

1. 一般規定

- (1) 海洋和臨海地區接觸海水、飛沫、大氣中氯鹽等氯化物的鋼筋混凝土構件，應按海洋鹽害環境進行耐久性設計。
- (2) 橋梁之鋼筋混凝土主要構件，當環境作用等級為極嚴重鹽害區時，

得採用附加保護措施，可依本節第4點規定辦理，不限於使用單一方法。

2. 環境作用等級

- (1) 海洋鹽害環境之作用等級，依離海岸的距離可分為極嚴重鹽害區、嚴重鹽害區及中度鹽害區三種等級，如表12.3所示。其中極嚴重鹽害區係指橋梁位於海水中，會受海浪飛沫影響之部份，如橋墩柱。至於未直接受海浪飛沫影響之部份，如橋面版則為嚴重鹽害區。若橋面版冬季需做撒鹽除冰，橋面則屬極嚴重鹽害區。
- (2) 橋梁所在位置如有環境之實測數據，則可依學理進行耐久性設計，不需按表中規定之離海岸距離進行分級。

表 12.3 鹽害環境下作用等級

環境作用等級	離海岸的距離
極嚴重鹽害區	海水中飛沫區
嚴重鹽害區	離海岸 300 公尺以內之區域
中度鹽害區	離海岸 300 公尺至 3 公里以內之區域

3. 材料與保護層規定

- (1) 海洋鹽害環境中各環境作用等級的鋼筋混凝土構件，混凝土最大水膠比及最低抗壓強度應符合表12.4之規定。

表 12.4 鹽害環境下混凝土最大水膠比及最低抗壓強度

	極嚴重鹽害區	嚴重鹽害區	中度鹽害區
最大水膠比	0.4	0.4	0.45
最低抗壓強度 f'_c (kgf/cm ²)	350	350	280

- (2) 主要構件鋼筋保護層厚度依設計年限、橋梁部位及所處環境作用等級列於下表12.5。

表 12.5 鹽害環境下主要構件鋼筋最小保護層厚度

設計年限	50 年			100 年		
環境作用等級 橋梁部位	極嚴重 鹽害區	嚴重 鹽害區	中度 鹽害區	極嚴重 鹽害區	嚴重 鹽害區	中度 鹽害區
基礎、基樁	10	10	10	10	10	10
柱、牆	10	7.5	7.5	10	10	7.5
橋面版頂層筋	6.5	5.5	5	7.5	6.5	6
橋面版下層筋	6.5	5.5	5	7.5	6.5	6
箱梁底層筋	6.5	5.5	5	7.5	6.5	6
「I」「T」梁、箱梁腹版外 露面	6.5	5.5	5	7.5	6.5	6
混凝土面未直接曝露於大 氣、未與土壤或水接觸	4	4	4	4	4	4

註：單位為公分

(3) 海洋鹽害環境下，主要構件應採用添加礦物摻料之混凝土，礦物摻料總量不得超過總膠結材料重量之50%，且建議不小於總膠結材料重量之40%，其中飛灰不得超過15%，巨積混凝土或特殊用途混凝土除外。

(4) 當採用附加保護措施或非本規範建議之混凝土水膠比、抗壓強度、礦物摻料取代量時，可另依學理或試驗提出合適之鋼筋最小保護層厚度。

(5) 預力混凝土的鋼筋保護層厚度可按照本節的規定執行。

4. 附加保護措施

(1) 鋼筋表面保護

鋼筋表面處理可採用環氧樹脂或鍍鋅來增強抵抗腐蝕環境。環氧樹脂材料應符合ASTM A934之規定；鍍鋅鋼筋應符合CNS 14771或ASTM A767之規定。若使用環氧樹脂鋼筋或鍍鋅鋼筋，其受拉伸展長度、搭接長度、標準彎鉤之伸展長度應適度增加。

(2) 混凝土摻料

混凝土中添加腐蝕抑制劑可減緩混凝土中鋼材腐蝕時間。腐蝕抑制劑之效能試驗依照ASTM G129之規定辦理。混凝土添加腐蝕抑

制劑後，不應影響混凝土基本性質，其抗壓、抗彎強度依AASHTO M194之規定不得低於未添加者混凝土強度之90%。

(3) 混凝土表面處理

混凝土構件若長期直接受到水分滲入之影響時，可於混凝土表面施作適當防護措施以降低水分及氯離子之侵入。此種混凝土表面處理包含防水膜、表面塗封劑或滲透型塗封劑。

(4) 陰極防蝕

鋼筋混凝土結構可採用陰極防蝕工法作為保護鋼筋之方法之一，不論新建或使用中之橋梁構件均可應用陰極防蝕工法進行防蝕保護。陰極防蝕工法包括外加電流法與犧牲陽極法。外加電流不適用於預力混凝土構材。

鋼筋混凝土構造物處於腐蝕環境中可選取上述任一方法或多重方法互相配合使用。

12.5 鋼橋

12.5.1 通則

本節適用於公路鋼橋進行防蝕工程設計時，應考量之步驟及內容，並對各種防蝕的方法作原則性之要求。

12.5.2 大氣腐蝕環境調查分類

1. 大氣腐蝕環境調查

鋼橋防蝕設計應基於環境的認知與大氣腐蝕環境分類，大氣腐蝕環境分類可根據充分可靠的大氣腐蝕環境調查資料為之。橋址附近之大氣腐蝕環境調查資料可參考國內既有之調查成果，若無相關資料時，宜進行大氣腐蝕性調查，並據以進行大氣腐蝕性分類。

2. 大氣腐蝕環境分類

(1) 大氣腐蝕環境分類，應依CNS 13401 (ISO 9223) 之規定辦理，大氣腐蝕環境可分為如表12.6所示之C1、C2、C3、C4、C5等5類。

(2) C5等級根據ISO 12944-2可依其環境特性再進一步區分為C5-I(工業環

境)及C5-M(海洋環境),其中C5-I屬有高溼度及侵蝕性大氣的工業區，C5-M係高鹽度的海濱及海岸區。

- (3) 大氣腐蝕環境分類，可依CNS 13753 (ISO 9226) 之標準金屬試片腐蝕速率作分類，或依CNS 13754 (ISO 9225) 污染之測定作分類。上述兩種調查方式可擇一進行。
- (4) 大氣腐蝕環境分類結果或金屬腐蝕速率可作為鋼橋防蝕設計之依據，若腐蝕速率超過C5等級，應詳細檢討其腐蝕產生之因素及來源。
- (5) 大氣腐蝕環境分類以碳鋼或鋅之腐蝕速率為主要分類依據，若兩者因腐蝕速率而產生不同之分類，一般以碳鋼為主。惟鋼橋之防蝕採熱浸鍍鋅時，則以鋅之腐蝕速率進行分類。

表 12.6 大氣腐蝕性分類

分類	腐蝕性	環境特色描述
C1	非常低	—
C2	低	低污染之大氣(鄉村)
C3	中等	都市、工業大氣、中度二氧化碳污染、低鹽度的海濱
C4	高	工業地區、中度鹽度的海濱地區
C5-I	非常高	有高溼度及侵蝕性大氣的工業區
C5-M	非常高	高鹽度的海濱及海岸區

12.5.3 構件防蝕設計

鋼橋應儘量減少腐蝕物質接觸到或停留在鋼材上，以降低腐蝕機會。腐蝕物質較可能長期滯留之部位，應加強防蝕保護。鋼橋之構材設置、斷面形狀與附屬設施等各項構造細部均應考量進行防蝕設計。

1. 鋼橋結構之構造細部

- (1) 斷面較小之箱型構材或圓管構材，如不易進入內部塗裝時或未來無法重塗，應予完全密閉，以充分阻絕腐蝕因子侵入。
- (2) 對於位在濱海地區，會有鹽分附著之鋼橋，其構材下翼緣之鋼板組合方式，應避免含氯離子之腐蝕氣體聚集和附著。

2. 橋面版構造

(1) 鋼橋採用混凝土橋面版時，應避免橋面版產生裂縫，而使雨水滲入鋼梁處；必要時應設置防水層，以阻絕雨水滲入。

(2) 鋼橋採用鋼床板之橋面版構造時，應於鋼床板上方設置防水層，惟因鋪設AC面層時熔融瀝青溫度較高，防水層及鋼床板之油漆塗裝均須具耐高溫性。

3. 螺栓接頭

(1) 螺栓接頭處之塗裝應採用適當塗料或增加塗層厚度，並應審慎施工，特別在使用斷尾螺栓時，避免斷尾螺栓斷裂面於箱外，並應注意箱外之斷裂面及尖銳處應予以研磨滑順，以確保螺栓接頭各部位均有足夠塗膜厚度與防蝕能力。

(2) 鋼橋鍍鋅時仍應搭配鍍鋅螺栓，不應採斷尾螺栓以避免銳緣腐蝕。

4. 雨水可能滯留部位

對於雨水易滯留、附著之部位，例如鋼梁下翼板底面與外側腹板下緣部分，以及易受積水滯留或漏水影響之梁端鋼材，應較其他部位增加塗層厚度，或採用適用於更惡劣腐蝕環境之塗裝系統，以確保和增強該等較易成為最先銹蝕點部位之防蝕能力。

5. 附屬設施

(1) 伸縮縫、支承構造及其附近鋼橋構造應避免水分、塵土等腐蝕因子停留或堆積。支承周邊宜設置防水板或防塵罩。

(2) 設置金屬欄杆、防震拉桿、管線架與電桿基座設施等，應注意其設置方式或選用適當金屬，以避免與鋼橋產生電化學反應。

12.5.4 防蝕方法

鋼橋防蝕方式可從鋼構基材之選擇及鋼材表面處理兩方面著手：

1. 鋼構基材：鋼構基材可分為一般結構用鋼材(如ASTM A709、ASTM A36、ASTM A572、CNS 2947等)及耐候鋼材(如ASTM A588、ASTM A709-W、CNS 4269、JIS G3114等)。若選擇耐候性鋼材，應依環境腐蝕性配合採用有油漆塗裝處理或無油漆塗裝處理等方式。
2. 鋼材表面處理：鋼材之表面處理可分為油漆塗裝、熱浸鍍鋅、金屬鍍射等。

應就鋼橋所處之環境條件、結構特性、防蝕材料的耐用年限、新建或既建、維修困難性、施工性及經濟性等加以適當評估後選擇合適之表面防蝕處理方式。

(1) 油漆塗裝

鋼橋油漆塗裝為最常用之防蝕方式，在不同大氣腐蝕環境分類及不同結構位置下可採用不同之塗裝系統，由主辦機關依需要選用之。其中鋼橋外露表面塗裝系統可參考ISO 12944-5低合金碳鋼於各大氣腐蝕環境分類之油漆塗裝系統。

(2) 熱浸鍍鋅

- a. 鍍鋅量可參考ISO 9224中對於鋅在不同腐蝕環境分類下的建議值，由主辦機關依需要規定之。
- b. 鋼橋位於嚴重腐蝕環境（如海洋環境中之鹽霧帶及飛沫帶、硫磺區、工業區等）時，構件經熱浸鍍鋅後表面應再施以油漆塗裝，可依據鋼橋所在的大氣腐蝕環境分類，參考ISO 12944-5熱浸鍍鋅之塗裝系統。

(3) 金屬鍍射

- a. 金屬鍍射的主要材料有鋅、鋁或鋅鋁合金，鍍射材料及膜厚由主辦機關依環境腐蝕性需要規定之。
- b. 金屬鍍射系統包括表面處理、鍍射層、封孔劑及面漆等，為增進整體防蝕性，可選擇與封孔劑相容的油漆塗裝系統於封孔後塗裝，可參考ISO 12944-5金屬鍍射之塗裝系統。