

澳門大橋健康監測項目
季度數據分析報告
(2025 年第 1 季度)

監測時間： 2025 年 1 月 1 日-2025 年 3 月 31 日

項目名稱： 澳門大橋結構健康監測項目

委托單位： 澳門特別行政區政府公共建設局

監測單位： 中鐵大橋勘測設計院集團有限公司澳門分公司

簽發日期： 2025 年 4 月 6 日

中鐵大橋勘測設計院集團有限公司澳門分公司

2025 年 4 月

目錄

1. 項目概述	1
1.1. 橋梁概況	1
1.2. 系統概況	3
2. 數據分析總體說明	4
2.1. 參考資料	4
2.2. 監測內容	6
2.3. 分析說明	8
3. 主橋監測數據分析	8
3.1. 風速風向	8
3.2. 環境溫濕度	9
3.3. 主梁豎向撓度	11
3.4. 墩頂偏位	13
3.5. 支座位移	14
3.6. 梁端轉角	17
3.7. 主梁振動	18
4. 監測結論和建議	20
4.1. 監測結論	20
4.2. 建議	22

圖表檢索

圖 1-1 澳門大橋平面布置圖.....	1
圖 1-2 澳門大橋橋跨布置圖.....	1
圖 1-3 橋梁健康監測系統架構示意圖.....	3
圖 3-1 風速風向監測測點布置圖.....	8
圖 3-2 10min 平均風速時程圖.....	9
圖 3-3 風速風向玫瑰圖.....	9
圖 3-4 環境溫濕度監測測點布置圖.....	9
圖 3-5 環境溫度時程圖.....	10
圖 3-6 環境濕度監測時程圖.....	11
圖 3-7 北主橋主梁豎向撓度監測測點布置圖.....	12
圖 3-8 南主橋主梁豎向撓度監測測點布置圖.....	12
圖 3-9 主橋豎向位移時程圖.....	13
圖 3-10 主橋墩頂偏位監測測點布置圖.....	13
圖 3-11 主橋墩頂偏位位移時程圖.....	14
圖 3-12 主橋支座位移監測測點布置圖.....	15
圖 3-13 主橋支座位移時程圖.....	16
圖 3-14 支座位移與環境溫度相關性散點圖.....	16
圖 3-15 主橋梁端轉角監測測點布置圖.....	17
圖 3-16 主橋梁端轉角時程圖.....	18
圖 3-17 主梁振動監測測點布置圖.....	18
圖 3-18 主橋振動加速度 10min 均方根值時程圖.....	19
表 2.1 澳門大橋健康監測測點布置匯總表.....	6
表 3.1 10min 平均風速特徵值匯總表/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	9
表 3.2 環境溫度特徵值匯總表/ $^{\circ}\text{C}$	10
表 3.3 環境濕度特徵值匯總表/ $\%RH$	11
表 3.4 主梁豎向位移特徵值匯總表/ mm	13
表 3.5 主橋墩頂偏位特徵值匯總表/ $\text{rad}\%$	14
表 3.6 主橋支座位移特徵值匯總表/ mm	16
表 3.7 支座位移與溫度相關性參數表.....	17
表 3.8 主橋梁端轉角特徵值匯總表/ $\text{rad}\%$	18
表 3.9 主橋振動加速度峰值統計表/ $\text{mm}\cdot\text{s}^{-2}$	19

1. 項目概述

1.1. 橋梁概況

澳氹第四跨海大橋(以下簡稱“澳門大橋”)起自澳門新城區填海 A 區東側，與港珠澳大橋口岸人工島連接，跨越外港航道、往內港航道，在澳門新城區填海 E1 區登陸，路線全長 3.085km，其中海中段長約 2.86km，設置 2 個通航孔。澳門大橋平面布置如圖 1-1 所示。



圖 1-1 澳門大橋平面布置圖

全橋由北向南劃分為：A 區立交橋（1 條主綫橋+4 條匝道橋）+北引橋+主橋+南引橋+E 區匝道橋，橋跨布置如圖 1-2 所示。

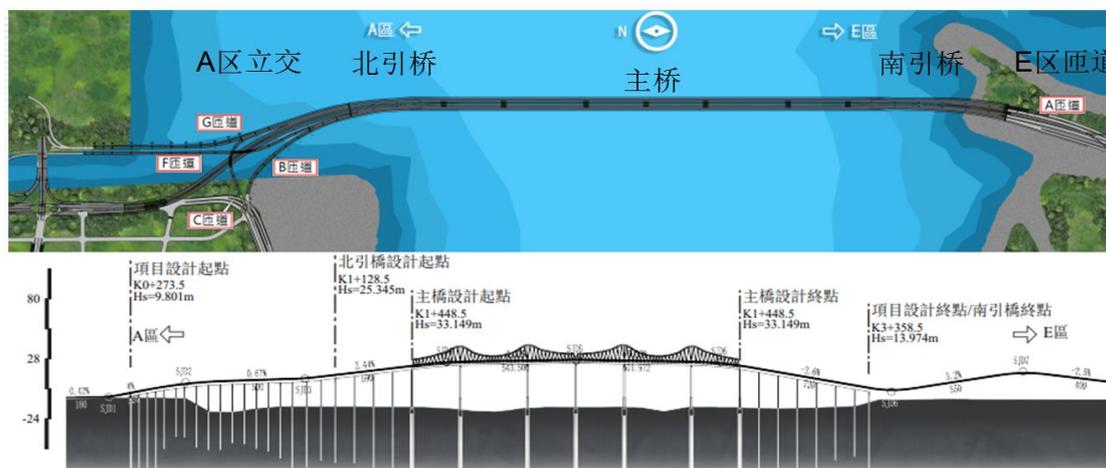


圖 1-2 澳門大橋橋跨布置圖

本橋路綫全長約 3.085 公里，城市快速路，主橋標準路幅寬度 45.15m，引橋標準路幅寬度 34.2m，雙向八車道，中間兩車道為電單車專用道，設計時速 80km/h。其中跨海段長約 2.86 公里，設置通航孔橋兩座。全綫在 A 區設置樞紐互通一座，在 E1 區預留與大潭山隧道對接高架橋。大橋通過設置風障，實現在 8 號風球期間汽車沿主綫安全行駛目標。

匝道設計時速 40km/h，分單向單車道和單向雙車道兩種，其中 B、C、F、G 匝道為單向單車道，A 匝道為單向雙車道，B 匝道標準路幅寬度為 14.35m，C 匝道標準路幅寬度為 9.2m，F 匝道標準路幅寬度為 8m，G 匝道標準路幅寬度為 9.9m，A 匝道標準路幅寬度為 9.5m。

主橋技術標準：

- (1) 道路等級：城市快速路。
- (2) 行車道數：主綫雙向六車道，中間兩車道為電單車專道；匝道單向（或雙）車道。
- (3) 設計速度：主綫 80km/h，匝道 40km/h。
- (4) 橋梁結構設計基準期：100 年。
- (5) 航道限高：航道橋限高 53m，E1 區登陸點限高 47m。
- (6) 設計水位：設計最高通航水位為 2.344m（澳門平均海平面 MSL），設計最低通航水位-1.8mMSL。
- (7) 外港航道（代表船型“雙體船”）：淨空高度 30m，垂直航道方向淨空寬度 181.2m；澳門水道（代表船型“3000t 級海輪”）：淨空高度 30m，垂直航道

方向淨空寬度 192.1m。

(8) 颱風期間運行標準：8 號風球期間，汽車可沿大橋主綫通行，電單車道及各匝道靜止通行；9 號風球期間，全橋禁止通行。

1.2. 系統概況

澳門大橋健康監測系統應由傳感器模塊、數據採集與傳輸模塊、數據處理與管理模塊、數據評價與預警模塊、系統集成與用戶界面交互五大部分組成，如所圖 1-3 示。



圖 1-3 橋梁健康監測系統架構示意圖

健康監測系統的五大部分的具體構成如下：

(1) 傳感器模塊

傳感器模塊由荷載與環境監測、結構整體響應監測和結構局部響應監測傳感器構成，可實現橋梁環境參數、荷載參數、結構響應的測量。

(2) 數據採集與傳輸模塊

數據採集與傳輸由數據採集設備、數據傳輸設備與纜綫、數據採集與傳輸軟件

構成，可實現傳感器數據同步采集與傳輸，且保證數據質量、不失真。

(3) 數據處理與管理模塊

數據處理與管理模塊由數據預處理、中心數據庫、數據查詢與管理軟硬件構成，可實現橋梁監測數據的處理、查詢、存儲與管理等功能。

此模塊還包含電子化人工巡檢子模塊，結合本橋梁具體情況，錄入橋梁結構構件日常巡檢養護手冊，支持采用便攜式設備(如筆記本)進行現場檢測的信息錄入。

(4) 數據評價與預警模塊

數據評價與預警模塊可實現數據實時線上顯示、數據分析、安全預警及評價等功能，此階段數據包含自動化監測數據與電子化人工巡檢數據。

(5) 系統集成與用戶接口交互系統集成

系統集成與用戶接口交互系統集成包含硬件集成、軟件集成和工具平臺集成，并且實現最優配置，形成完整的集成方案，使系統整體性能最優；用戶接口交互應清晰、友好的顯示監測數據、數據采集與運輸工作狀態、數據處理與分析結果、安全預警信息與評價結果。

2. 數據分析總體說明

2.1. 參考資料

1) 規範標準

(1) 中華人民共和國交通運輸部.公路橋梁結構安全監測系統技術規範(行業標準, JT/T 1037-2022) [S].人民交通出版社,2022.

(2) 中華人民共和國交通運輸部.公路鋼結構橋梁設計規範(行業標準, JTG

D64-2015) [S].人民交通出版社,2015.

(3) 中華人民共和國住房和城鄉建設部.混凝土結構設計規範(國家標準,GB 50010-2011) [S].中國建築工業出版社,2011.

(4) 中華人民共和國交通運輸部.公路橋梁抗震設計規範(行業標準,JTG/T 2231-01-2020) [S].人民交通出版社,2020.

(5) 中國工程建設標準化協會.結構健康監測系統設計標準(團體標準,CECS 333:2012) [S].中國建築工業出版社,2013.

(6) 中華人民共和國交通運輸部.公路橋涵設計通用規範(行業標準,JTG D 60-2015) [S].中國建築工業出版社,2015.

(7) 中華人民共和國住房和城鄉建設部.城市橋梁設計規範(行業標準,CJJ 11-2011) [S].人民交通出版社,2011.

(8) 中華人民共和國交通運輸部.公路橋梁技術狀況評定標準(行業標準,JTG/T H21-2011) [S].人民交通出版社,2011.

(9) 中華人民共和國交通運輸部.公路橋梁承載能力檢測評定規程(行業標準,JTG/T J21-2011) [S].人民交通出版社,2011.

2) 設計及竣工文件

(1) 林同棧國際工程諮詢(中國)有限公司.澳氹第四條跨海大橋設計連建造工程.

(2) 中國土木工程集團有限公司&中國鐵建大橋工程局集團有限公司&澳馬建築工程有限公司.澳氹第四條跨海大橋設計連建造工程橋梁健康監測系統實施方

案.

2.2. 監測內容

根據橋梁結構特點、監測規範、現場設備安裝實施條件等要求，澳門大橋測點布置如下表所示：

表 2.1 澳門大橋健康監測測點布置匯總表

橋梁	監測類別	傳感器類型	數量	布置位置
主橋	混凝土腐蝕	多電極傳感器	8	Z1/Z2/Z3/Z4 墩柱各布置2 個測點
	鋼結構腐蝕	腐蝕傳感器	12	主跨和邊跨跨中各布置2 個測點
	地震	三向加速度傳感器	4	A 區和E 區地表場地各布置2 個測點
	船撞	三向加速度傳感器	4	Z1/Z2/Z3/Z4 墩頂各布置1 個測點
	環境溫度	溫度傳感器	4	主跨跨中箱梁內外各布置 1 個測點
	環境濕度	濕度傳感器	4	主跨跨中箱梁內外各布置 1 個測點
	風速、風向	風速風向儀	2	第一聯主跨跨中橋面、第二聯 Z4 墩處桁架頂部各布置 1 個測點
	主梁振動	單向加速度傳感器	36	主跨和邊跨的 L/4、跨中、3L/4 橫斷面各布置 1 個測點（雙向：橫向+豎向）
	主梁豎向撓度	靜力水平儀	20	主跨和邊跨的 L/4、跨中、3L/4 橫斷面各布置 1 個測點（外加 2 個基準點）
	主梁空間變位	GNSS 變形系統	3	主跨跨中各布置 1 個測點（外加 1 個基準點）
	墩頂偏位	固定式測斜探頭	4	Z1/Z2/Z3/Z4 墩頂各布置 1 個測點
	梁端轉角	角度傳感器	4	兩聯主橋梁端各布置 1 個測點
	結構應力	應變傳感器（含溫度測試功能）	136	主跨根部、L/4、跨中、3L/4 橫斷面和邊跨跨中橫斷面各布置 8 個測點；Z1/Z2/Z3/Z4 墩底各布置 6 個測點
	支座位移	支座位移計	8	Z1/Z2/Z3/Z4 和 G1/G3 墩頂各設置 1 個測點；G2 墩頂設置 2 個測點（第一聯、第二聯各 1 個）
	支座反力	支座反力傳感器	8	Z1/Z2/Z3/Z4 和 G1/G3 墩頂各設置 1 個測點；G2 墩頂設置 2 個測點（第一聯、第二聯各 1 個）
伸縮縫位移	測縫計	6	伸縮縫上下游各設置 1 個測點	
鋼結構疲勞	三向應變傳感器	28	主跨根部、L/4、跨中、3L/4 橫斷面和邊跨根部及跨中橫斷面各布置2 個測點	

橋梁	監測類別	傳感器類型	數量	布置位置	
	裂縫監測	裂縫監測儀	5	初擬主橋、引橋、匝道橋共計需求 量為5 個，實際數量根據橋梁結構性 裂縫產生的條數確定	
	鋼筋腐蝕監 測	鋼筋腐蝕儀	5	初擬主橋、引橋、匝道橋共計需求 量為5 個	
引橋	主梁振動	單向加速度傳感器	22	主梁跨中各布置 1 個測點（雙向： 橫向+豎向）	
	主梁豎向位 移	靜力水平儀	13	主梁跨中各布置 1 個測點（外加 2 個基準點）	
	墩頂偏位	固定式測斜探頭	4	N3/N4 和 S5/S6 墩頂各設置 1 個測點	
	結構應力	應變傳感器（含溫 度測試功能）	66	主梁跨中各布置 6 個測點	
	支座反力	支座反力傳感器	4	N3/N4 和 S5/S6 墩頂各設置 1 個測 點	
	伸縮縫位移	測縫計	4	伸縮縫上下游各設置 1 個測點	
	鋼結構疲勞	三向應變傳感器	22	主梁跨中各布置 2 個測點	
A 區	主 綫 橋	主梁振動	單向加速度傳感器	36	主梁跨中各布置1 個測點（雙向：橫 向+豎向）
		墩頂偏位	固定式測斜探頭	3	ZP1/ZP4/ZP7 墩頂各設置1 個測點
		支座反力	支座反力傳感器	3	ZP1/ZP4/ZP7 墩頂各設置1 個測點
		伸縮縫位移	測縫計	10	伸縮縫上下游各設置 1 個測點
	B 匝 道	主梁振動	單向加速度傳感器	14	主梁跨中各布置1 個測點（雙向：橫 向+豎向）
		墩頂偏位	固定式測斜探頭	2	BP3/BP6 墩頂各設置1 個測點
		支座反力	支座反力傳感器	2	BP3/BP6 墩頂各設置1 個測點
		伸縮縫位移	測縫計	6	伸縮縫上下游各設置 1 個測點
	C 匝 道	主梁振動	單向加速度傳感器	18	主梁跨中各布置1 個測點（雙向：橫 向+豎向）
		墩頂偏位	固定式測斜探頭	2	CP2/CP5 墩頂各設置1 個測點
		支座反力	支座反力傳感器	2	CP2/CP5 墩頂各設置1 個測點
		伸縮縫位移	測縫計	8	伸縮縫上下游各設置 1 個測點
	F 匝 道	主梁振動	單向加速度傳感器	34	主梁跨中各布置1 個測點（雙向：橫 向+豎向）
		墩頂偏位	固定式測斜探頭	2	FP2/FP8 墩頂各設置1 個測點
		支座反力	支座反力傳感器	2	FP2/FP8 墩頂各設置1 個測點
		伸縮縫位移	測縫計	12	伸縮縫上下游各設置 1 個測點
G 匝 道	主梁振動	單向加速度傳感器	20	主梁跨中各布置1 個測點（雙向：橫 向+豎向）	
	墩頂偏位	固定式測斜探頭	1	GP8 墩頂設置1 個測點	
	支座反力	支座反力傳感器	1	GP8 墩頂設置1 個測點	
	伸縮縫位移	測縫計	8	伸縮縫上下游各設置 1 個測點	
E	A	主梁振動	單向加速度傳感器	8	主梁跨中各布置1 個測點（雙向：橫

橋梁		監測類別	傳感器類型	數量	布置位置
區	匝				向+豎向)
		墩頂偏位	固定式測斜探頭	1	AP2 墩頂設置 1 個測點
		支座反力	支座反力傳感器	1	AP2 墩頂設置 1 個測點
		伸縮縫位移	測縫計	2	伸縮縫上下游各設置 1 個測點

2. 3. 分析說明

計算結果符號有如下規定：豎向位移正值表示向上移動，負值表示向下移動；縱向位移正值表示向拉伸方向移動，縱向位移負值表示向壓縮方向移動；應力正值表示拉應力，負值表示壓應力。

3. 主橋監測數據分析

3. 1. 風速風向

南北主橋各有 1 個風速風向監測測點，分別布置在主跨跨中橋面。測點布置如下圖所示。

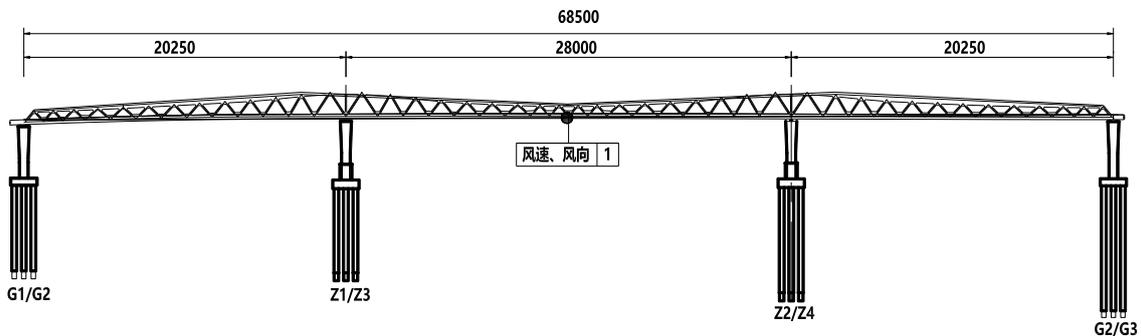
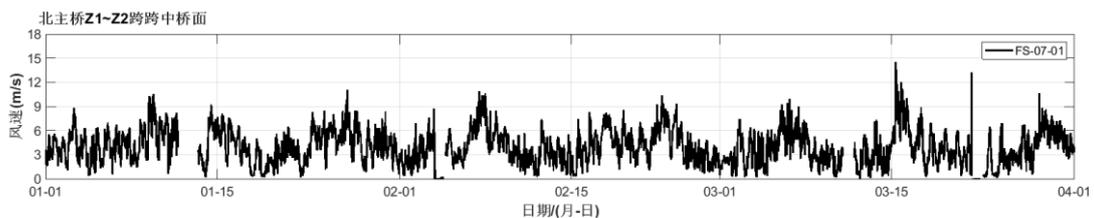


圖 3-1 風速風向監測測點布置圖

分析時段內，橋址處以偏北風為主，風速總體較為平穩，最大 10min 平均風速為 15.4m/s，對應風級 7 級，發生在 2025/3/16 8:10。



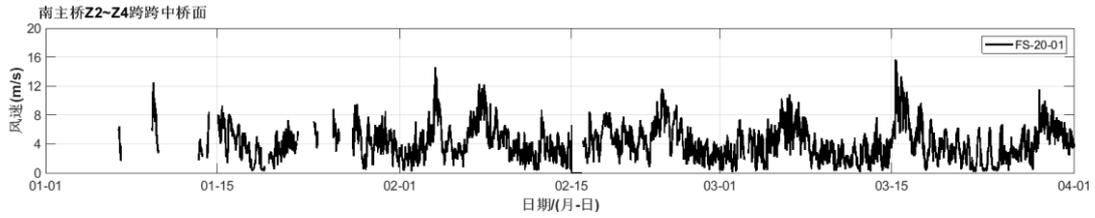


圖 3-2 10min 平均風速時程圖

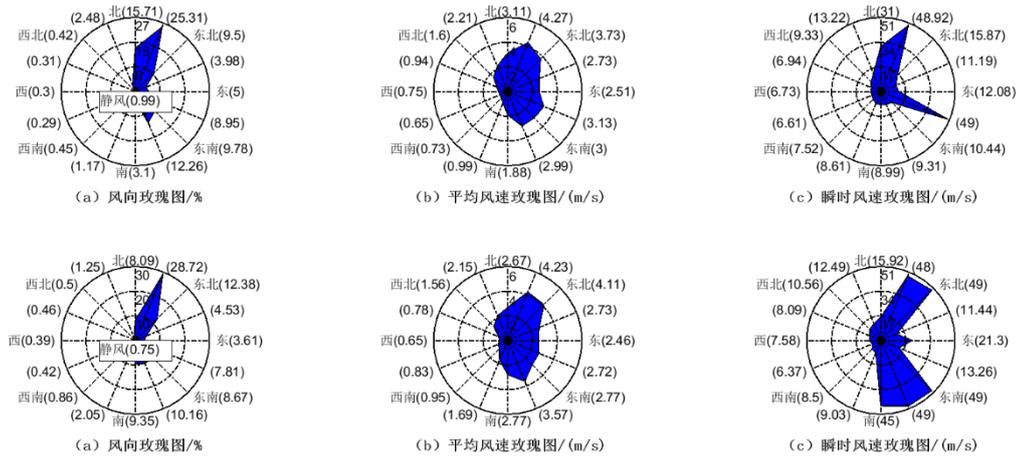


圖 3-3 風速風向玫瑰圖

表 3.1 10min 平均風速特徵值匯總表/m·s⁻¹

測點編號	位置	最大風速	最大值時間	平均風速
FS-07-01	北主橋 Z1~Z2 跨跨中橋面	14.6	2025/3/16 8:10	3.9
FS-20-01	南主橋 Z2~Z4 跨跨中橋面	15.7	2025/3/16 8:10	4.1

3. 2. 環境溫濕度

南北主橋各布置了 2 個溫濕度監測測點，分別布置在主跨跨中橋面、箱梁內。

測點布置如下圖所示。

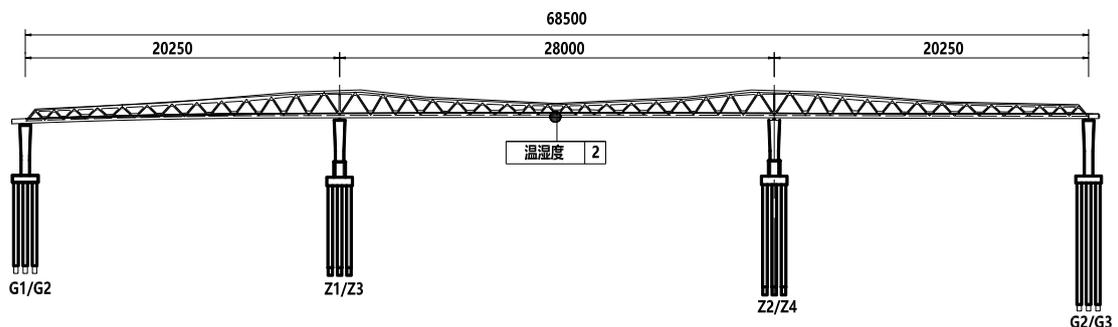


圖 3-4 環境溫濕度監測測點布置圖

環境溫度實測曲線如下圖所示。分析時段內，橋址處橋面環境最高溫度 27.6℃，最低 8.7℃，最大變化幅度 18.9℃；箱梁內環境最高溫度 32.9℃，最低溫度 16.5℃，

最大變化幅度 19.2°C，箱梁內溫度較高且變化量較小，與實際情況相符。

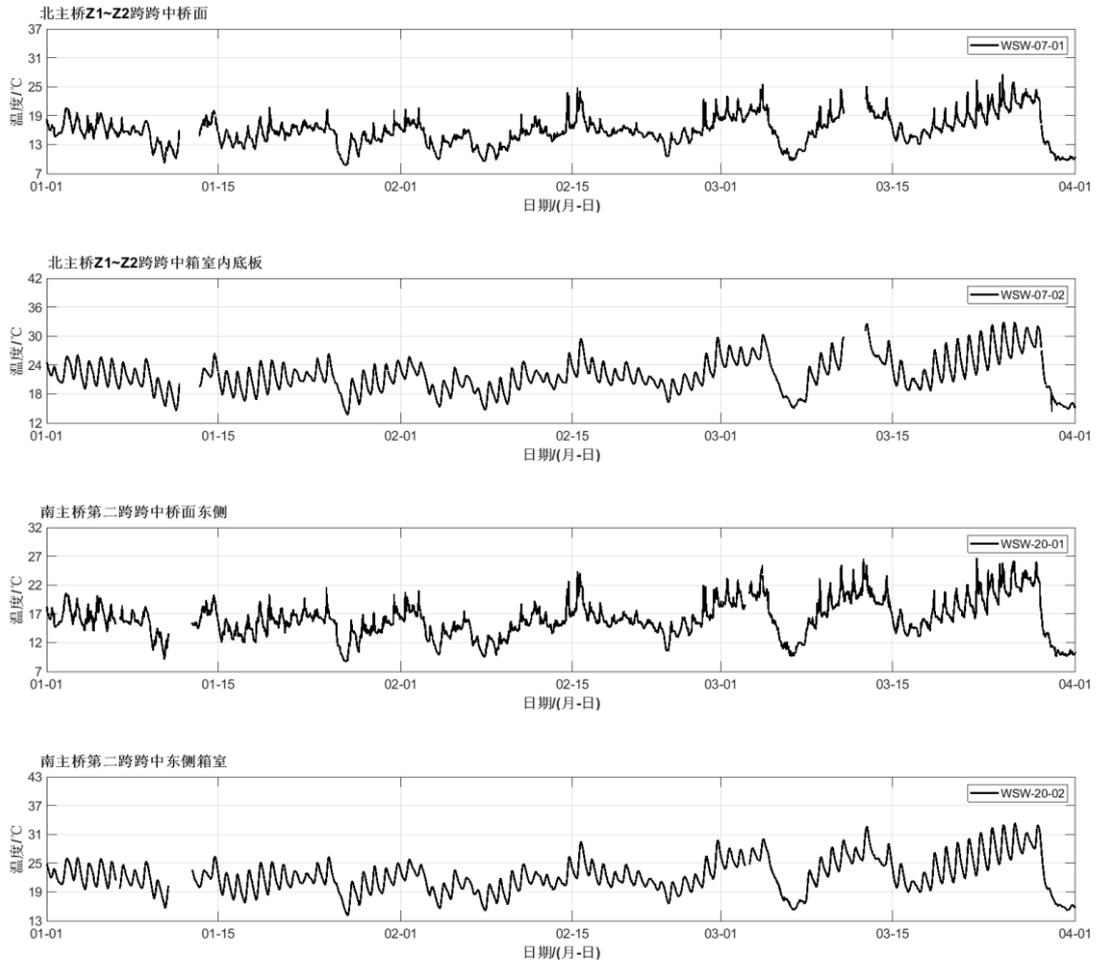


圖 3-5 環境溫度時程圖

表 3.2 環境溫度特徵值匯總表/°C

測點編號	位置	最高	最低	變化幅度
WSW-07-01	北主橋 Z1~Z2 跨跨中橋面	27.6	8.7	18.9
WSW-07-02	北主橋 Z1~Z2 跨跨中箱室內	32.9	13.7	19.2
WSW-20-01	南主橋 Z3~Z4 跨跨中橋面	26.7	8.7	18.0
WSW-20-02	南主橋 Z3~Z4 跨跨中箱室內	32.4	14.2	18.2

環境相對濕度實測曲綫如下。橋面最大濕度 99.9%RH，最小濕度 25.2%RH；箱梁內最大濕度 56.4%RH，最小濕度 29.3%RH，箱梁內平均相對濕度最大值為 42.5%RH，本橋箱梁內較為乾燥，除濕效果較好。

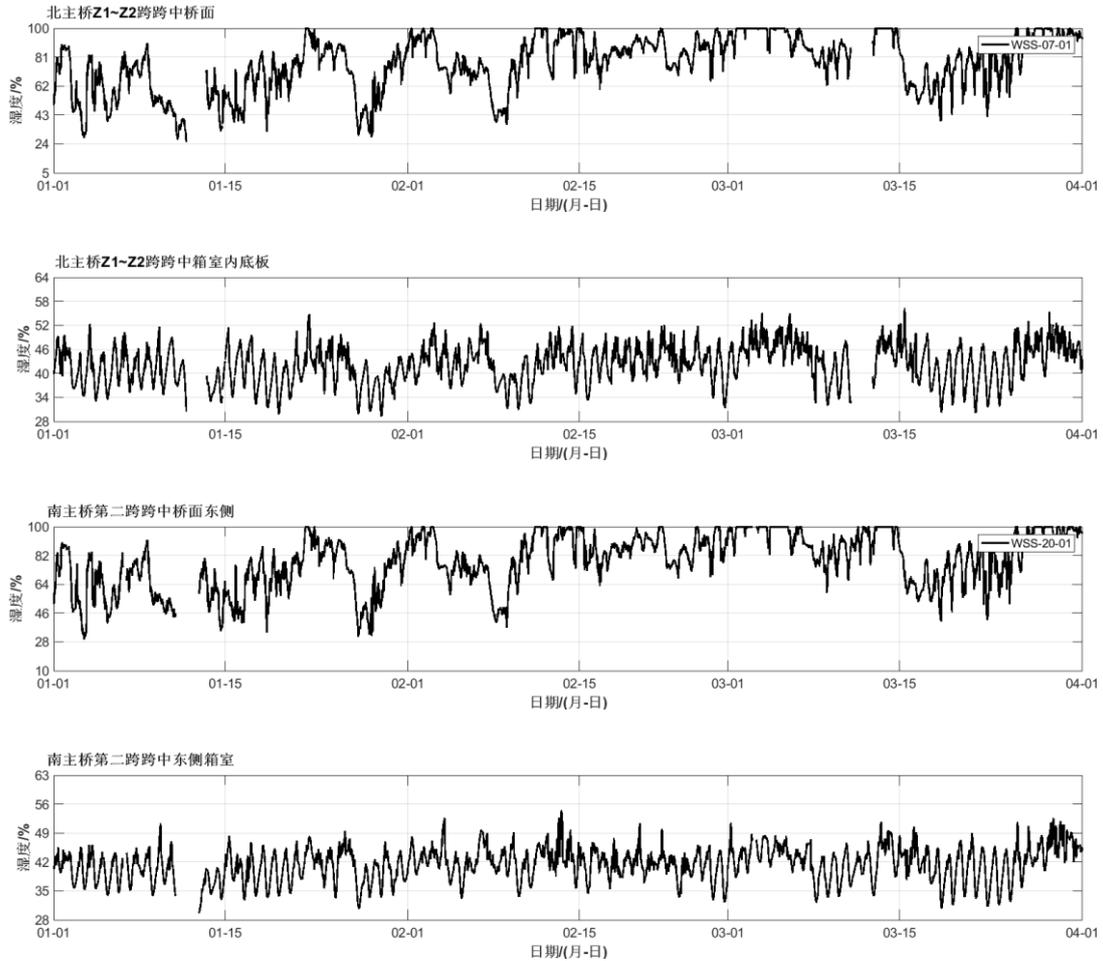


圖 3-6 環境濕度監測時程圖

表 3.3 環境濕度特徵值匯總表/%RH

測點編號	測點位置	最大濕度	最小濕度	平均濕度
WSS-07-01	北主橋 Z1~Z2 跨跨中橋面	99.9	25.2	77.2
WSS-07-02	北主橋 Z1~Z2 跨跨中箱梁內	56.4	29.3	42.5
WSS-20-01	南主橋 Z2~Z4 跨跨中橋面	99.9	29.4	78.9
WSS-20-02	南主橋 Z2~Z4 跨跨中箱梁內	54.6	29.7	41.5

3.3. 主梁豎向撓度

主梁撓度監測點布置如下圖所示，南北主橋各 10 個豎向撓度測點，各跨四分點箱梁內各布置 1 個，北主橋基準點布置在 Z1 墩處箱梁內，南主橋基準點布置在 Z4 墩處箱梁內。

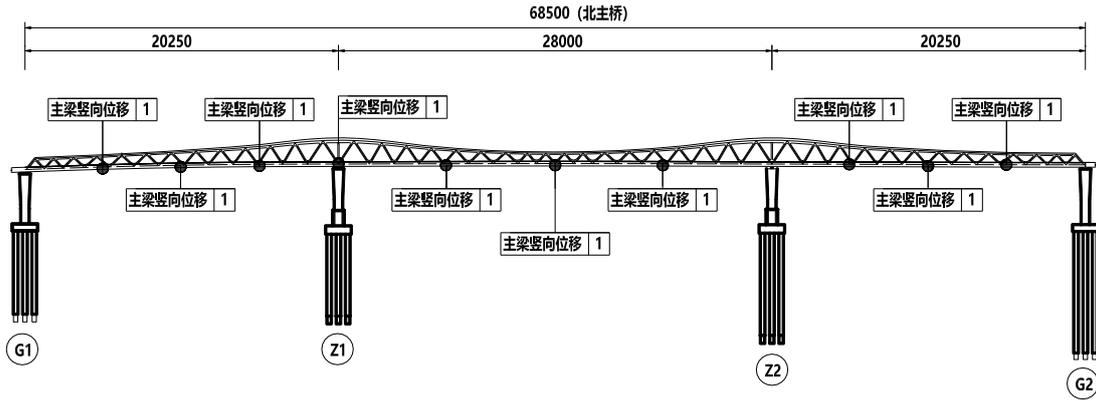


圖 3-7 北主橋主梁豎向撓度監測測點布置圖

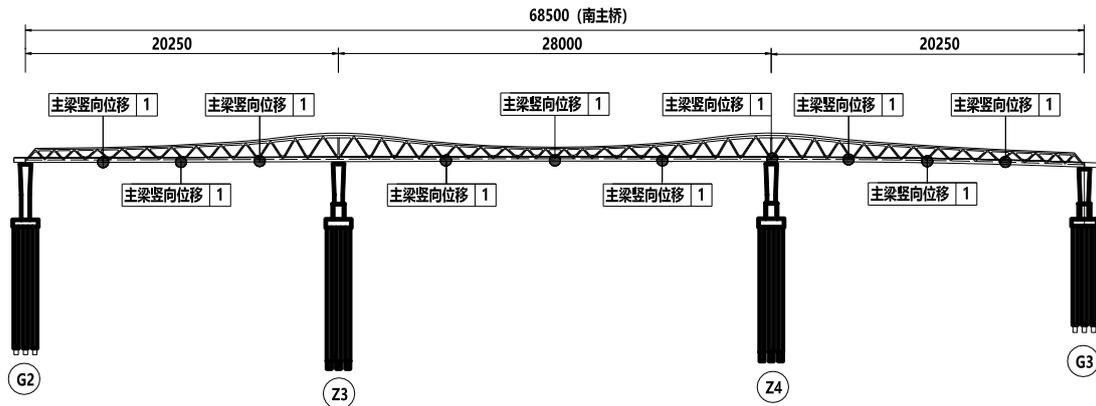


圖 3-8 南主橋主梁豎向撓度監測測點布置圖

本橋主梁撓度部分測點時程圖如下所示，北主橋豎向撓度最大 29.1mm，最小 -18.8mm；南主橋豎向撓度最大 23.6mm，最小 -12.8mm。

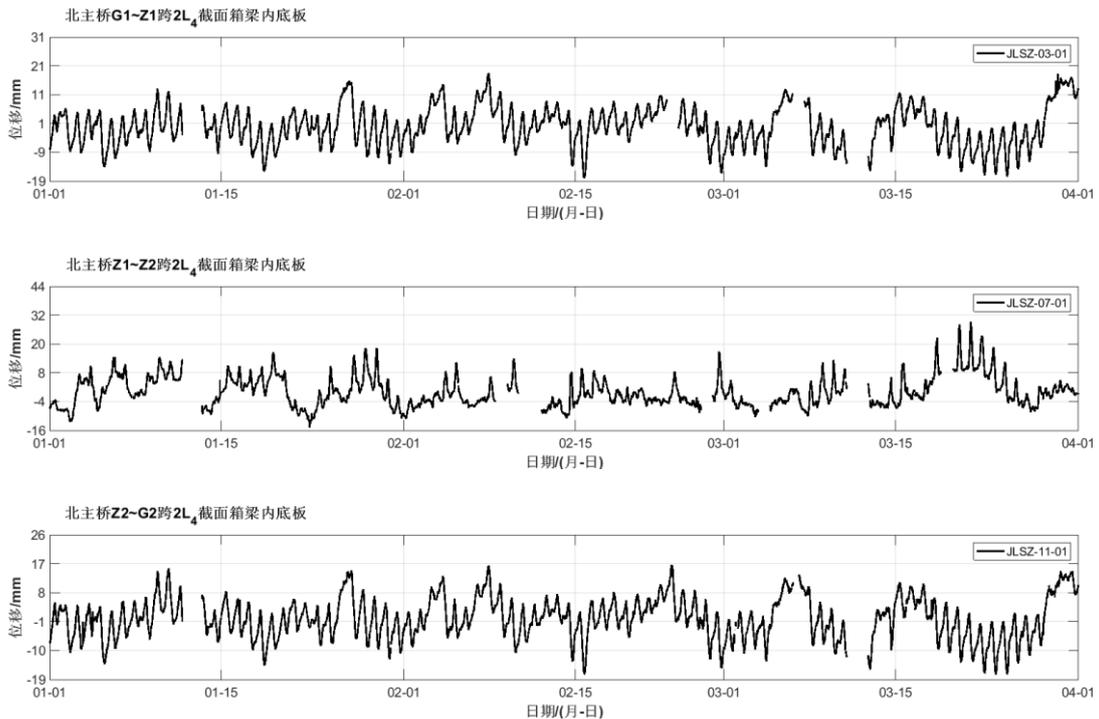


圖 3-9 主橋豎向位移時程圖

表 3.4 主梁豎向位移特徵值匯總表/mm

傳感器	位置	最大值	最小值	變化幅值
JLSZ-02-01	北主橋 G1~Z1 跨 L/4 截面箱梁內	15.5	-15.0	30.5
JLSZ-03-01	北主橋 G1~Z1 跨 2L/4 截面箱梁內	18.5	-18.0	36.5
JLSZ-04-01	北主橋 G1~Z1 跨 3L/4 截面箱梁內	17.4	-18.8	36.2
JLSZ-06-01	北主橋 Z1~Z2 跨 L/4 截面箱梁內	15.1	-15.4	30.5
JLSZ-07-01	北主橋 Z1~Z2 跨 2L/4 截面箱梁內	29.1	-14.8	43.9
JLSZ-08-01	北主橋 Z1~Z2 跨 3L/4 截面箱梁內	14.7	-17.2	31.9
JLSZ-10-01	北主橋 Z2~G2 跨 L/4 截面箱梁內	16.2	-17.6	33.8
JLSZ-11-01	北主橋 Z2~G2 跨 2L/4 截面箱梁內	16.7	-17.5	34.2
JLSZ-12-01	北主橋 Z2~G2 跨 3L/4 截面箱梁內	15.9	-15.4	31.3
JLSZ-15-01	南主橋 G2~Z3 跨 L/4 截面箱梁內	5.0	-6.3	11.3
JLSZ-16-01	南主橋 G2~Z3 跨 2L/4 截面箱梁內	5.2	-6.3	11.5
JLSZ-17-01	南主橋 G2~Z3 跨 3L/4 截面箱梁內	4.0	-5.4	9.4
JLSZ-19-01	南主橋 Z3~Z4 跨 L/4 截面箱梁內	13.7	-7.7	21.4
JLSZ-20-01	南主橋 Z3~Z4 跨 2L/4 截面箱梁內	23.6	-12.8	36.4
JLSZ-21-01	南主橋 Z3~Z4 跨 3L/4 截面箱梁內	14.1	-7.2	21.3
JLSZ-23-01	南主橋 Z4~G3 跨 L/4 截面箱梁內	3.8	-4.6	8.4

3.4. 墩頂偏位

南北主橋各 2 個墩頂偏位監測測點，主墩墩頂各 1 個測點。測點布置如下圖所示。

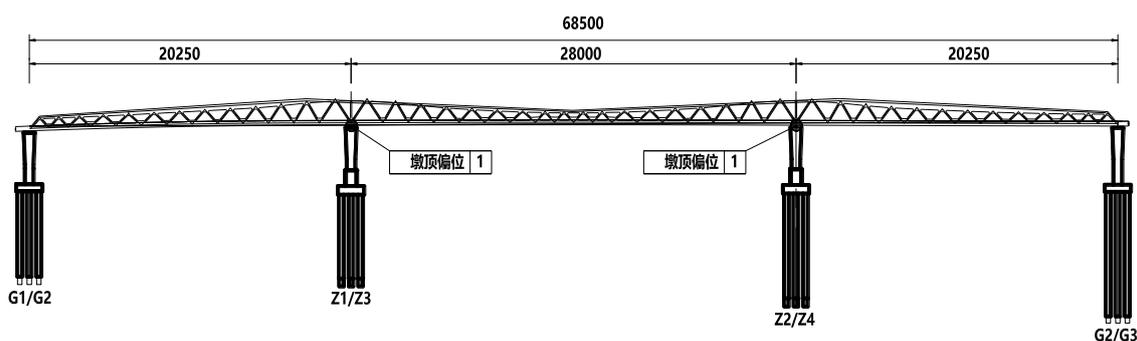


圖 3-10 主橋墩頂偏位監測測點布置圖

監測時段內，墩頂偏位呈周期性變化，無明顯時程突變。北主橋主墩墩頂縱向偏位最大 0.01rad‰，最小-0.01rad‰，橫向偏位最大 0.03rad‰，最小-0.02rad‰；南主橋主墩墩頂縱向偏位最大 0.01rad‰，最小-0.01rad‰，橫向偏位最大 0.03rad‰，最小-0.04rad‰。

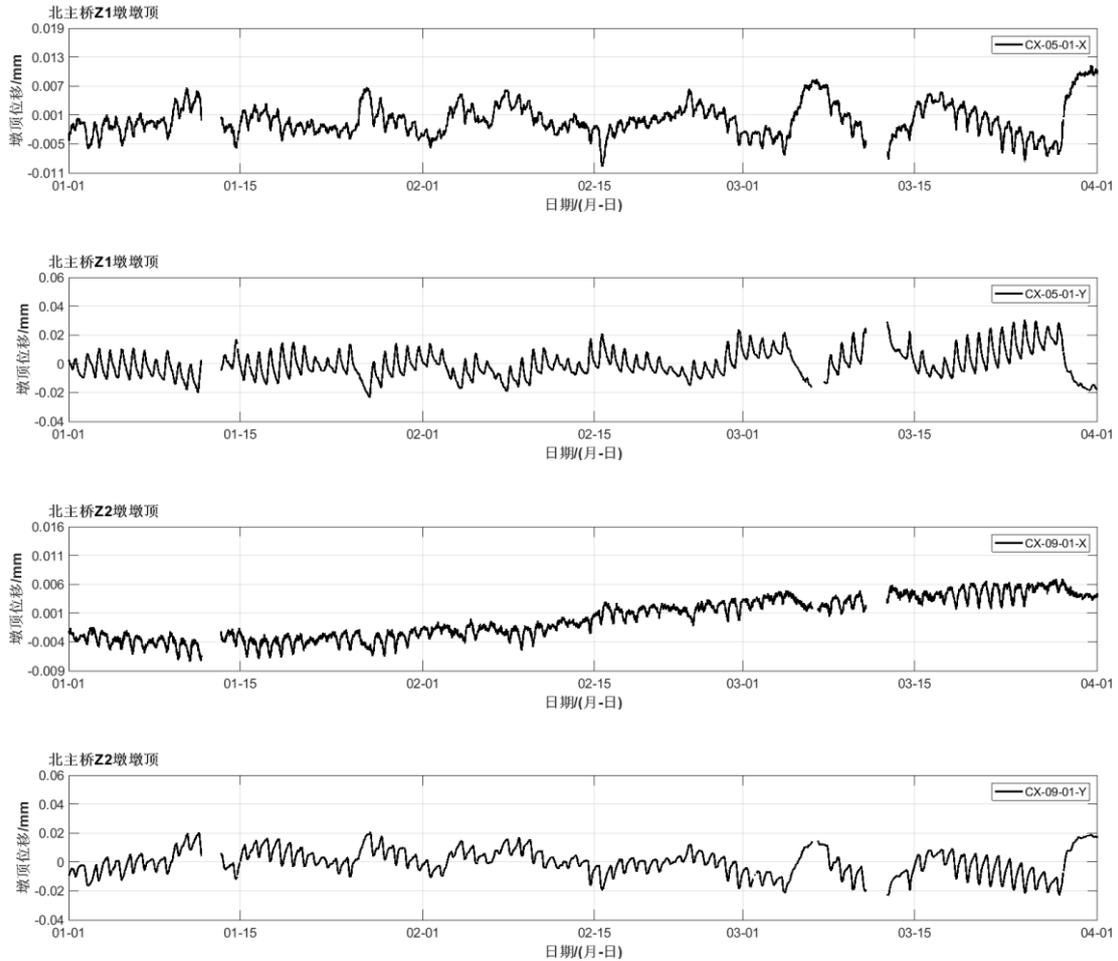


圖 3-11 主橋墩頂偏位位移時程圖

表 3.5 主橋墩頂偏位特徵值匯總表/rad‰

傳感器	位置	最大值	最小值	變化幅值
CX-05-01-X	北主橋 Z1 墩墩頂 (縱)	0.01	-0.01	0.02
CX-05-01-Y	北主橋 Z1 墩墩頂 (橫)	0.03	-0.02	0.05
CX-09-01-X	北主橋 Z2 墩墩頂 (縱)	0.01	-0.01	0.02
CX-09-01-Y	北主橋 Z2 墩墩頂 (橫)	0.02	-0.02	0.04
CX-18-01-X	南主橋 Z3 墩墩頂 (縱)	0.01	-0.01	0.02
CX-18-01-Y	南主橋 Z3 墩墩頂 (橫)	0.03	-0.02	0.05
CX-22-01-X	南主橋 Z4 墩墩頂 (縱)	0.01	-0.01	0.02
CX-22-01-Y	南主橋 Z4 墩墩頂 (橫)	0.02	-0.04	0.06

3.5. 支座位移

南北主橋各 4 個位移監測測點，各墩墩頂支座 1 個測點，其中北主橋 Z2 墩、南主橋 Z3 墩處支座監測的是橫向位移，其餘均監測縱向位移。測點布置如下圖所示。

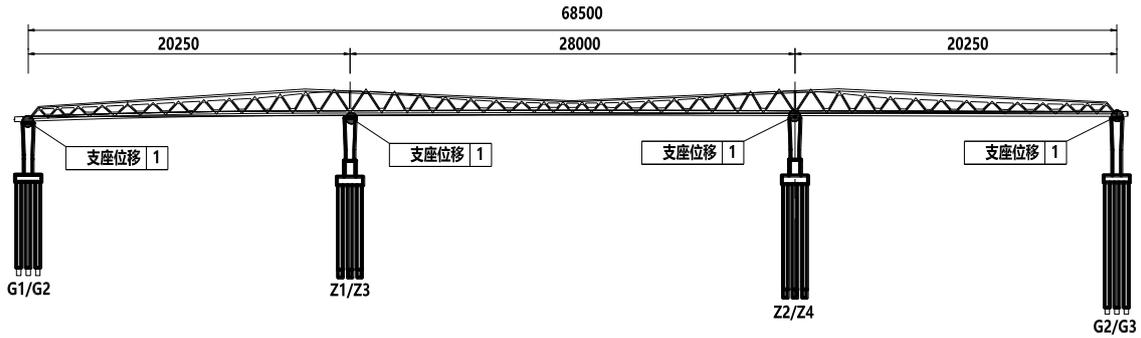
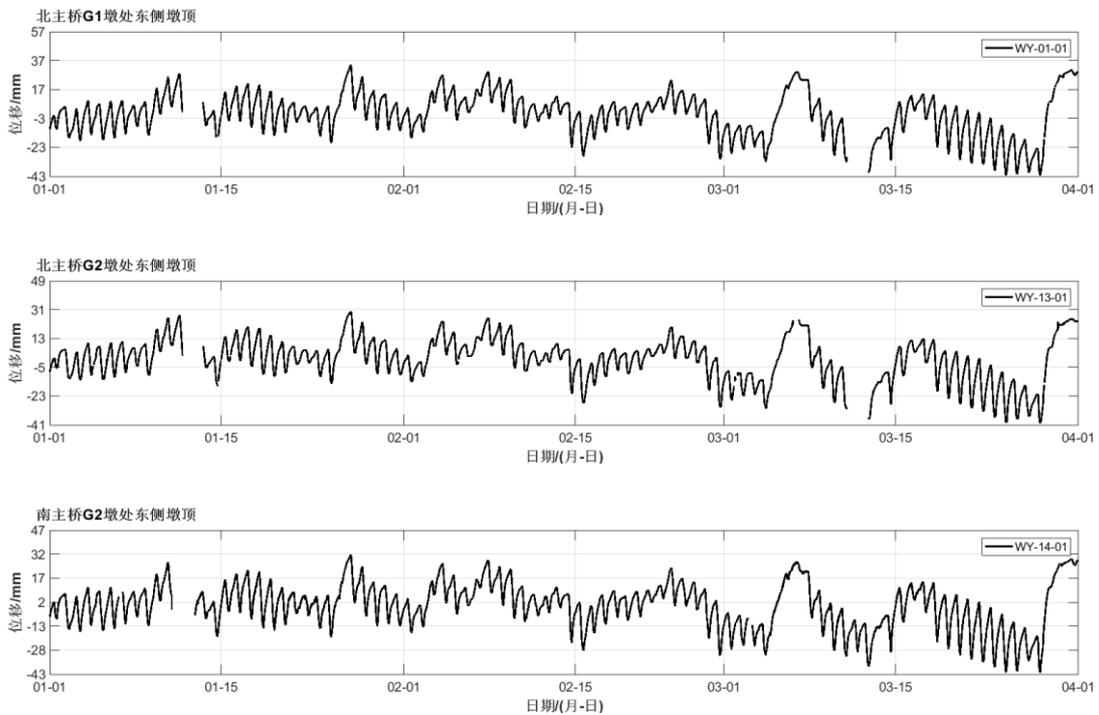


圖 3-12 主橋支座位移監測測點布置圖

南北主橋各 4 個位移計，各墩墩頂墩支座 1 個，其中兩側梁端支座監測的是縱向位移，主墩處支座監測的是縱向或橫向位移。從支座位移分析結果可以得到，兩側梁端的縱向支座位移受環境溫度影響呈現“類正弦”的變化趨勢，而主墩處縱向和橫向支座位移變化幅度較小，基本沒變化。北主橋梁端縱向支座位移最大值為 37.7mm，最小值為-42.0mm；南主橋梁端縱向支座位移最大值為 33.2mm，最小值為 -49.0mm。



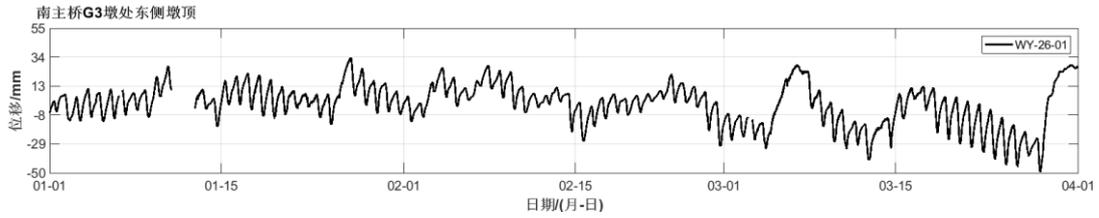


圖 3-13 主橋支座位移時程圖

表 3.6 主橋支座位移特徵值匯總表/mm

傳感器	位置	最大值	最小值	變化幅值
WY-01-01	北主橋 G1 墩墩頂東側支座位 (縱)	33.7	-42.0	75.7
WY-05-01	北主橋 Z1 墩墩頂東側支座位 (縱)	3.7	-3.7	7.4
WY-09-01	北主橋 Z2 墩墩頂東側支座位 (橫)	0.5	-1.1	1.6
WY-13-01	北主橋 G2 墩墩頂東側支座位 (縱)	29.4	-39.5	68.9
WY-14-01	南主橋 G2 墩墩頂東側支座位 (縱)	31.2	-41.7	72.9
WY-18-01	南主橋 Z3 墩墩頂東側支座位 (橫)	1.2	-1.1	2.3
WY-22-01	南主橋 Z4 墩墩頂東側支座位 (縱)	9.1	-3.0	12.1
WY-26-01	南主橋 G3 墩墩頂東側支座位 (縱)	33.2	-49.0	82.2

統計本季度主梁位移 10min 平均值數據，採用綫性模型來反映本橋主梁梁端支座位移與溫度的相關程度。可以看出，南主橋支座位移與溫度的擬合曲綫相關係數在 0.92 以上，支座位移與溫度相關性較高，且橫向同側支座位移相關性參數接近，支座工作狀態正常。

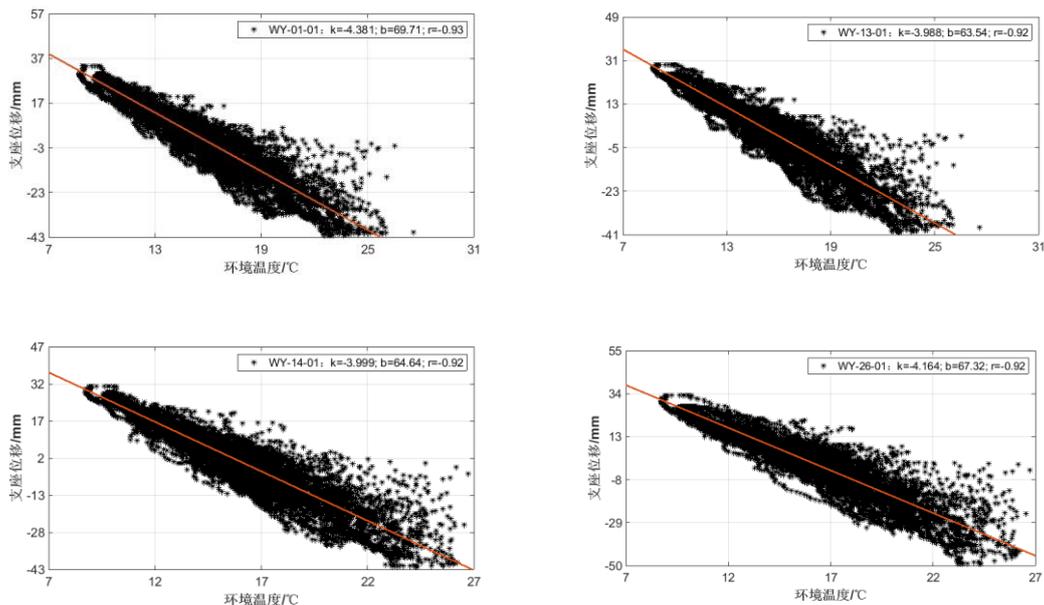


圖 3-14 支座位移與環境溫度相關性散點圖

表 3.7 支座位移與溫度相關性參數表

測點編號	測點位置	變化關係係數 k	相關係數 r
WY-01-01	北主橋 G1 墩墩頂東側支座（縱）	-4.38	-0.93
WY-13-01	北主橋 G2 墩墩頂東側支座（縱）	-3.99	-0.92
WY-14-01	南主橋 G2 墩墩頂東側支座（縱）	-4.00	-0.92
WY-26-01	南主橋 G3 墩墩頂東側支座（縱）	-4.16	-0.92

3.6. 梁端轉角

南北主橋各 2 個梁端轉角監測測點，兩側梁端各 1 個。測點布置如下圖所示。

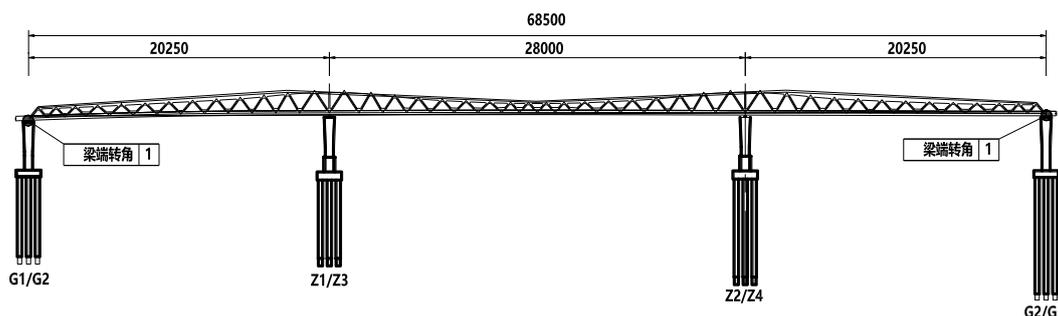
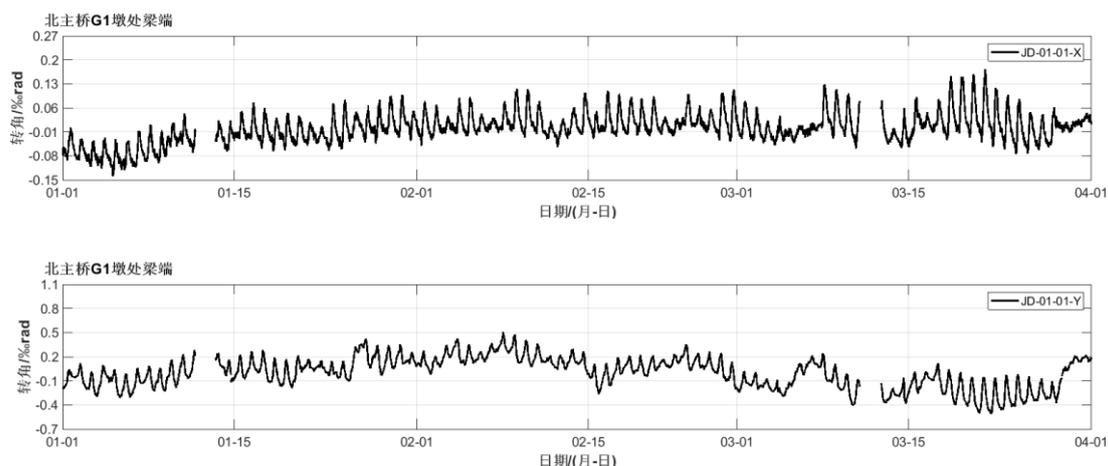


圖 3-15 主橋梁端轉角監測測點布置圖

監測時段內，梁端轉角周期性變化，無明顯時程突變。北主橋梁端縱向轉角變化範圍為-0.14rad‰~0.25rad‰，橫向轉角變化範圍為-0.51rad‰~0.50rad‰；南主橋梁端縱向轉角變化範圍為-0.14ad‰~0.22rad‰，橫向轉角變化範圍為-0.35rad‰~0.32rad‰。



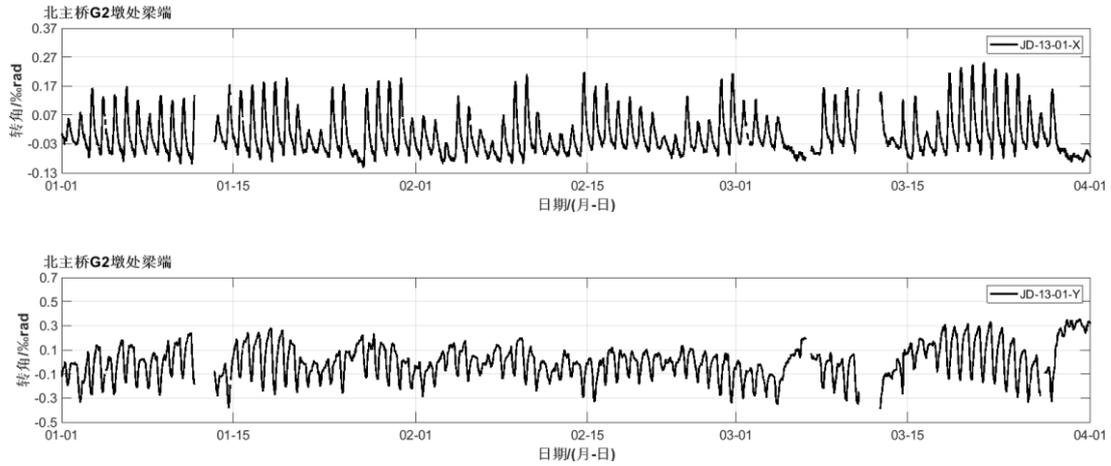


圖 3-16 主橋梁端轉角時程圖

表 3.8 主橋梁端轉角特徵值匯總表/rad‰

傳感器	位置	最大值	最小值	變化幅值
JD-01-01-X	北主橋 G1 墩處梁端（縱）	0.17	-0.14	0.31
JD-01-01-Y	北主橋 G1 墩處梁端（橫）	0.50	-0.51	1.01
JD-13-01-X	北主橋 G2 墩處梁端（縱）	0.25	-0.11	0.36
JD-13-01-Y	北主橋 G2 墩處梁端（橫）	0.36	-0.39	0.75
JD-14-01-X	南主橋 G2 墩處梁端（縱）	0.21	-0.14	0.35
JD-14-01-Y	南主橋 G2 墩處梁端（橫）	0.32	-0.32	0.64
JD-26-01-X	南主橋 G3 墩處梁端（縱）	0.22	-0.11	0.33
JD-26-01-Y	南主橋 G3 墩處梁端（橫）	0.31	-0.35	0.66

3.7. 主梁振動

南北主橋各 18 個主梁振動監測測點，分別布置在各跨四分點。測點布置如下圖所示。

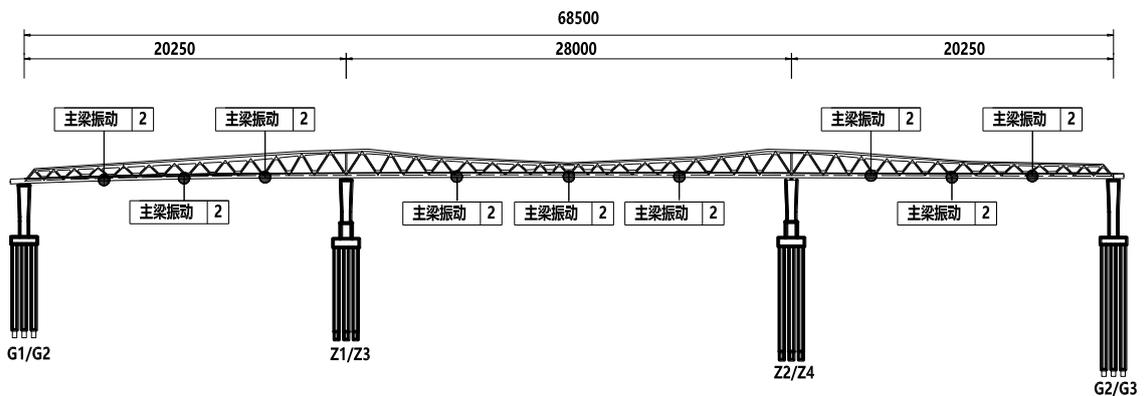


圖 3-17 主梁振動監測測點布置圖

統計 10min 振動加速度均方根值，分析結果如下所示，南北主橋振動加速度

10min 均方根值都比較小，其中北主橋豎向最大值 24.7mm/s^2 ，橫向最大值 0.4mm/s^2 ；南主橋豎向最大值 20.8mm/s^2 ，橫向最大值 0.3mm/s^2 ，未超閾值，無異常。

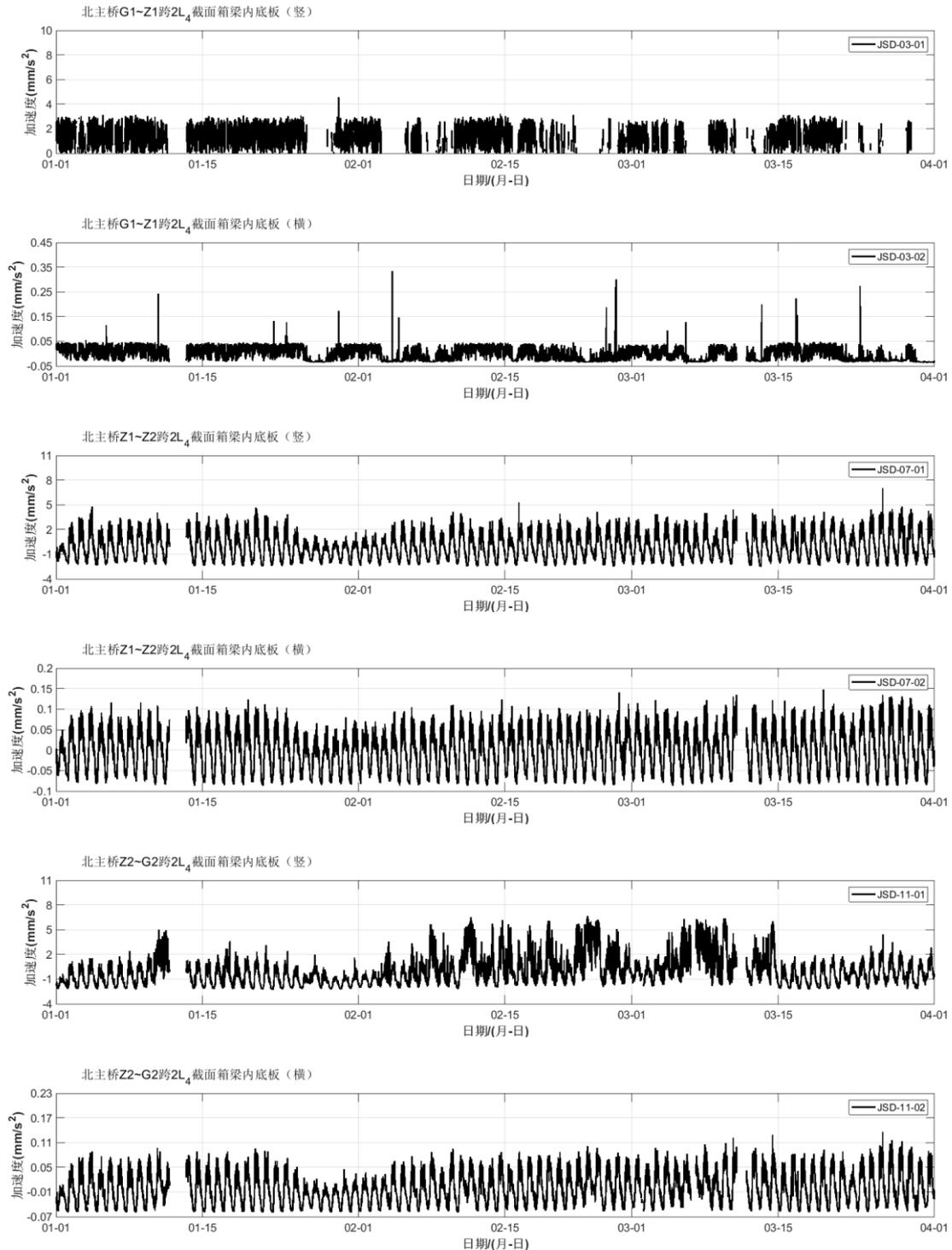


圖 3-18 主橋振動加速度 10min 均方根值時程圖

表 3.9 主橋振動加速度峰值統計表/ mm/s^2

傳感器	位置	10min 加速度均方根峰值
-----	----	----------------

JSD-02-01	北主橋 G1~Z1 跨 L/4 截面箱梁內底板（豎）	6.7
JSD-03-01	北主橋 G1~Z1 跨 2L/4 截面箱梁內底板（豎）	6.7
JSD-04-01	北主橋 G1~Z1 跨 3L/4 截面箱梁內底板（豎）	5.6
JSD-06-01	北主橋 Z1~Z2 跨 L/4 截面箱梁內底板（豎）	24.7
JSD-07-01	北主橋 Z1~Z2 跨 2L/4 截面箱梁內底板（豎）	7.0
JSD-08-01	北主橋 Z1~Z2 跨 3L/4 截面箱梁內底板（豎）	7.1
JSD-10-01	北主橋 Z2~G2 跨 L/4 截面箱梁內底板（豎）	5.9
JSD-11-01	北主橋 Z2~G2 跨 2L/4 截面箱梁內底板（豎）	6.7
JSD-12-01	北主橋 Z2~G2 跨 3L/4 截面箱梁內底板（豎）	9.0
JSD-02-02	北主橋 G1~Z1 跨 L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.3
JSD-03-02	北主橋 G1~Z1 跨 2L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.3
JSD-04-02	北主橋 G1~Z1 跨 3L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.4
JSD-06-02	北主橋 Z1~Z2 跨 L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.3
JSD-07-02	北主橋 Z1~Z2 跨 2L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.1
JSD-08-02	北主橋 Z1~Z2 跨 3L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.2
JSD-10-02	北主橋 Z2~G2 跨 L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.1
JSD-11-02	北主橋 Z2~G2 跨 2L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.1
JSD-12-02	北主橋 Z2~G2 跨 3L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.2
JSD-15-01	南主橋 G2~Z3 跨 L/4 截面箱梁內底板（豎）	11.9
JSD-16-01	南主橋 G2~Z3 跨 2L/4 截面箱梁內底板（豎）	8.0
JSD-17-01	南主橋 G2~Z3 跨 3L/4 截面箱梁內底板（豎）	9.2
JSD-19-01	南主橋 Z3~Z4 跨 L/4 截面箱梁內底板（豎）	20.8
JSD-20-01	南主橋 Z3~Z4 跨 2L/4 截面箱梁內底板（豎）	12.5
JSD-21-01	南主橋 Z3~Z4 跨 3L/4 截面箱梁內底板（豎）	11.1
JSD-23-01	南主橋 Z4~G3 跨 L/4 截面箱梁內底板（豎）	9.3
JSD-24-01	南主橋 Z4~G3 跨 2L/4 截面箱梁內底板（豎）	10.1
JSD-25-01	南主橋 Z4~G3 跨 3L/4 截面箱梁內底板（豎）	8.8
JSD-15-02	南主橋 G2~Z3 跨 L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.3
JSD-16-02	南主橋 G2~Z3 跨 2L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.2
JSD-17-02	南主橋 G2~Z3 跨 3L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.2
JSD-19-02	南主橋 Z3~Z4 跨 L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.2
JSD-20-02	南主橋 Z3~Z4 跨 2L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.3
JSD-21-02	南主橋 Z3~Z4 跨 3L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.3
JSD-23-02	南主橋 Z4~G3 跨 L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.2
JSD-24-02	南主橋 Z4~G3 跨 2L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.2
JSD-25-02	南主橋 Z4~G3 跨 3L/4 截面箱梁內底板（橫）	0.2

4. 監測結論和建議

4.1. 監測結論

對澳門大橋在 2025 年 1 月 1 日至 2025 年 3 月 31 日的數據進行分析，詳細分析結果如下：

(1) 監測時段內，橋址處以偏北風為主，風速總體較為平穩，最大 10min 平均風速為 15.4m/s，對應風級 7 級；橋址處橋面環境最高溫度 27.6°C，最低 8.7°C，最大變化幅度 18.9°C；箱梁內環境最高溫度 32.9°C，最低溫度 16.5°C，最大變化幅度 19.2°C；橋面最大濕度 99.9%RH，最小濕度 25.2%RH；箱梁內最大濕度 56.4%RH，最小濕度 29.3%RH，箱梁內平均相對濕度最大值為 42.5%RH，本橋箱梁內較為乾燥，除濕效果較好。

(2) 監測時段內，北主橋豎向撓度最大 29.1mm，最小-18.8mm；南主橋豎向撓度最大 23.6mm，最小-12.8mm。

(4) 監測時段內，墩頂偏位呈周期性變化，無明顯時程突變。北主橋主墩墩頂縱向偏位最大 0.01rad‰，最小-0.01rad‰，橫向偏位最大 0.03rad‰，最小-0.02rad‰；南主橋主墩墩頂縱向偏位最大 0.01rad‰，最小-0.01rad‰，橫向偏位最大 0.03rad‰，最小-0.04rad‰。

(5) 從支座分析時程圖可以看出，兩側梁端的縱向支座位移受環境溫度影響呈現“類正弦”的變化趨勢，而主墩處縱向和橫向支座位移變化幅度較小，基本沒變化。北主橋梁端縱向支座位移最大值為 37.7mm，最小值為-42.0mm；南主橋梁端縱向支座位移最大值為 33.2mm，最小值為-49.0mm；另外，南主橋主梁梁端縱向支座位移與溫度的相關程度較高，綫形相關性係數在 0.92 以上，且橫向同側支座位移相關性參數接近，支座工作狀態正常。

(6) 梁端轉角周期性變化，無明顯時程突變。北主橋梁端縱向轉角變化範圍為-0.14rad‰~0.25rad‰，橫向轉角變化範圍為-0.51rad‰~0.50rad‰；南主橋梁端縱向轉角變化範圍為-0.14rad‰~0.22rad‰，橫向轉角變化範圍為-0.35rad‰~0.32rad‰。

(7) 分析時段內，南北主橋振動加速度 10min 均方根值都比較小，其中北主橋豎向最大值 24.7mm/s^2 ，橫向最大值 0.4mm/s^2 ；南主橋豎向最大值 20.8mm/s^2 ，橫向最大值 0.3mm/s^2 ，未超閾值，無異常。

綜上所述，結構健康監測系統整體運行正常，橋梁結構處於正常運營狀態。

4.2. 建議

通過 2025 年第一季度的數據分析，有如下建議：

本橋為鋼箱梁，在監測時段內，主橋箱梁內濕度相較於上個季度有很大改善，建議持續保持除濕系統的運行，確保箱梁內的乾燥環境，有效降低鋼結構的腐蝕。