





图 1 A 匝道边坡鼓胀



图 2 AK1+580 段已换填泡沫轻质土



图 3 C 匝道桥头跳车现象



图 4 D 匝道存在纵向裂缝

### 3 地形地貌

互通区属冲海积平原地貌。该互通跨越木兰溪，宽约 250~340m，水深约 1~3m，流速约 1m/s。地形平缓，现多为农田、鱼塘，高程约 4~5m。根据区域地质资料和本次勘

察成果：互通区未见断裂和构造发育。

### 4 路基监测情况

为观测路基沉降情况，研究进一步加固措施，委托第三方监测单位于 2020 年 8 月 17 日至 2021 年 5 月 1 日间进行监测，每 15 天观测一次，新增监测点布设于硬路肩外边缘位置，沉降观测具体点位见图 3。

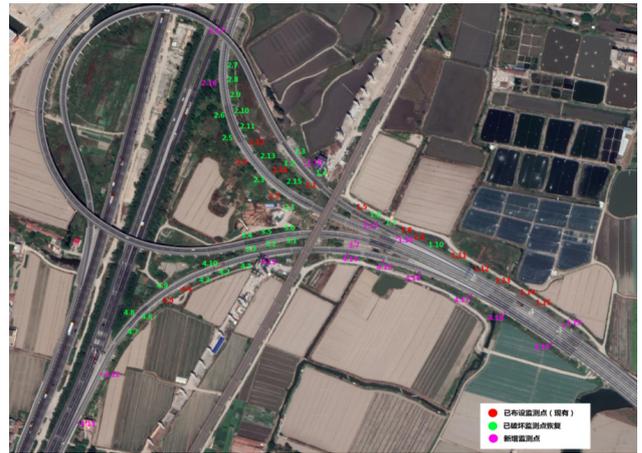


图 3 测点平面布置图

从 2020 年 8 月 17 日至 2021 年 5 月 1 日，沉降累计变化量见表 1，累计沉降—累计天数关系曲线图见图 4。

表 1 沉降累计变化量

试验检测日期	2020.08.18—2021.5.1						
	测点编号	初始高程 (m)2020.8.18	前次高程 (m) 2021.4.15	本次高程 (m) 2021.5.1	本次沉降 (mm) 2021.4.15~5.1	累计总沉降 (mm)	本次沉降速率 (mm·d <sup>-1</sup> )
	1.1	7.472	7.443	7.442	1	30	0.06
	1.2	8.859	8.811	8.804	7	55	0.44
	1.3	8.328	8.288	8.285	3	43	0.19
	1.4	6.852	6.815	6.815	0	37	0.00
	1.5	5.925	5.811	5.799	12	126	0.25
	1.6	6.144	6.075	6.071	4	73	0.25
	1.7	6.259	6.207	6.205	2	54	0.12
	1.8	6.564	6.504	6.503	1	61	0.06
	1.9	7.045	6.962	6.962	0	83	0.00
	1.1	7.444	7.351	7.340	11	104	0.69
	1.11	7.415	7.348	7.346	2	69	0.12
	1.12	7.849	7.772	7.766	6	83	0.38
	1.13	7.972	7.889	7.885	4	87	0.25
	1.14	8.043	8.009	8.004	5	39	0.31
	1.15	6.459	6.397	6.390	7	69	0.44
	1.16	6.944	6.831	6.827	4	117	0.75
	1.17	8.572	8.484	8.476	8	96	0.50
	1.18	6.437	6.558	6.555	3	48	0.19
	1.19	6.791	6.746	6.744	2	47	0.12
	2.1	6.976	6.901	6.890	11	116	0.69

续表

试验检测日期	2020.08.18—2021.5.1					
	测点编号	初始高程 (m)2020.8.18	前次高程 (m) 2021.4.15	本次高程 (m) 2021.5.1	本次沉降 (mm) 2021.4.15~5.1	累计总沉降 (mm)
2.2	7.287	7.176	7.171	5	116	0.31
2.3	7.911	7.857	7.848	9	108	0.56
2.4	7.415	7.348	7.346	2	69	0.12
2.5	7.849	7.772	7.766	6	83	0.38
2.6	8.972	8.895	8.891	4	81	0.25
2.7	9.940	9.816	9.812	4	64	0.25
2.8	9.506	9.801	9.796	5	71	0.31
2.9	8.892	8.794	8.789	5	103	0.31
2.1	8.163	8.087	8.082	5	81	0.31
2.11	7.364	7.250	7.246	4	118	0.25
2.12	6.959	6.899	6.889	10	111	0.62
2.13	6.445	6.391	6.387	4	58	0.25
2.14	6.166	6.096	6.092	4	74	0.25
2.15	5.978	6.108	6.105	3	65	0.19
2.16	10.192	10.107	10.103	4	89	0.25
2.17	11.396	11.317	11.305	12	91	0.75
3.1	6.221	7.008	7.002	6	65	0.38
3.2	7.629	7.570	7.567	3	62	0.19
3.3	9.279	9.241	9.239	2	72	0.12
3.4	9.276	9.160	9.156	4	61	0.25
3.5	7.944	7.878	7.874	4	70	0.25
3.6	6.706	7.319	7.312	7	60	0.44
3.7	5.833	5.766	5.760	6	73	0.38
4.1	5.878	5.811	5.807	4	71	0.25
4.2	5.981	5.903	5.899	4	82	0.25
4.3	6.277	6.163	6.152	11	125	0.69
4.4	6.492	6.374	6.371	3	121	0.19
4.5	6.420	6.323	6.308	15	112	0.94
4.6	7.133	7.050	7.032	18	101	1.12
4.7	7.279	7.231	7.230	1	49	0.06
4.8	7.577	7.485	7.479	6	98	0.38
4.9	7.264	7.150	7.139	11	125	0.69
4.1	6.446	6.355	6.347	8	99	0.50
4.11	7.939	7.905	7.901	4	38	0.25
4.12	7.806	7.768	7.765	3	41	0.19
4.13	5.690	5.633	5.632	1	58	0.06
4.14	5.786	5.721	5.719	2	67	0.12
4.15	5.829	5.731	5.726	5	103	0.31
4.16	6.165	6.077	6.068	9	97	0.56
4.17	6.778	6.671	6.667	4	111	0.25
4.18	7.114	7.026	7.019	7	95	0.44
4.19	7.732	7.657	7.653	4	79	0.25

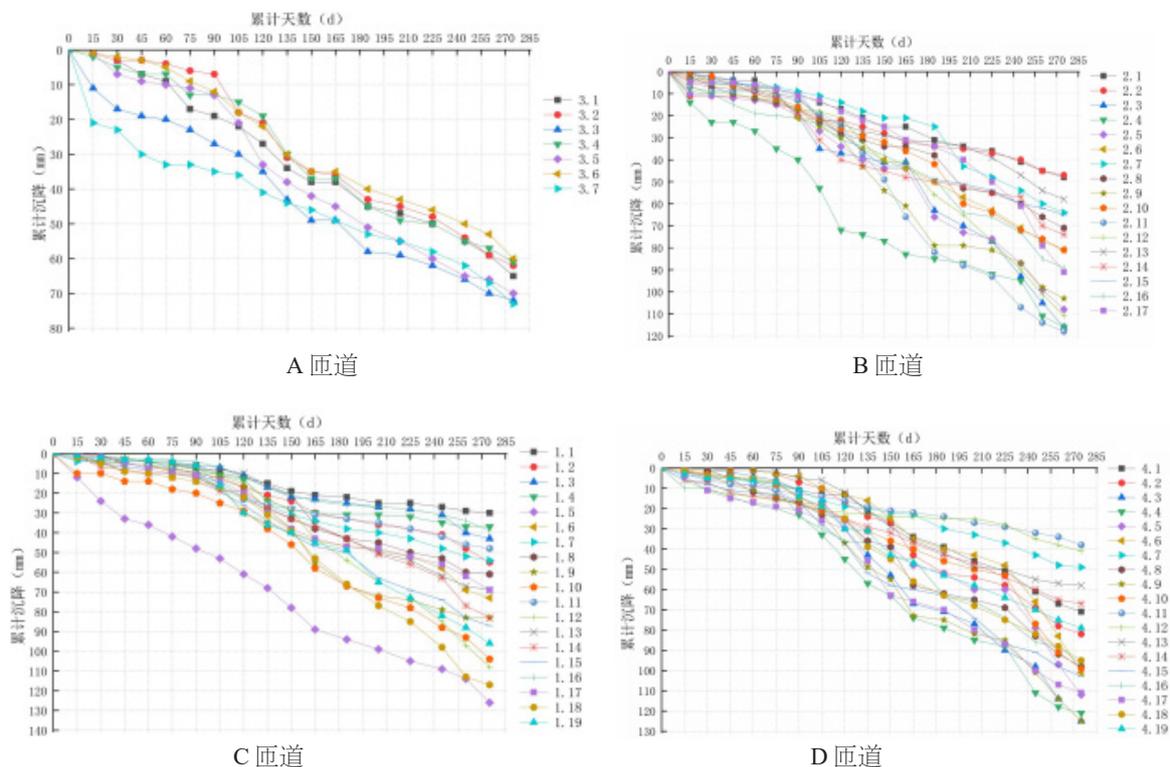


图 4 累计沉降—时间关系曲线

监测结果分析:

① A 匝道 (监测点为 3.1 至 3.3, 3.7) 路基最大沉降量为 72mm, 为 3-3 测点。(监测点为 3.4 至 3.6) 路基最大沉降量为 70mm, 为 3-5 测点, A 匝道最大沉降速率为 0.44mm/d。

3.3 累计沉降 72mm, 3.4 累计沉降 61mm, 存在沉降差异 11mm。3.2 累计沉降 62mm, 3.5 累计沉降 70mm, 存在沉降差异 8mm。

A 匝道 3.3、3.5 测点的沉降曲线, 沉降速率都没有收敛减小。

② B 匝道 (监测点为 2.1 至 2.6, 2.16, 2.17) 路基最大沉降量为 116mm, 为 2-3、2-4 测点, 其中 2-5 测点沉降量为 108mm。

B 匝道 (监测点为 2.7 至 2.15) 路基最大沉降量为 118mm, 为 2-11 测点, 2-12 测点沉降量为 111mm, B 匝道最大沉降速率为 0.75mm/d。

2.3 累计沉降 116mm, 2.14 累计沉降 74mm, 存在沉降差异 42mm。

B 匝道 2.3、2.4、2.11、2-12 测点的沉降曲线, 沉降速率都没有收敛减小。

③ C 匝道 (监测点为 1.3 至 1.19) 路基最大沉降量为 105mm, 为 1-5 测点, 其中 1.10 最大沉降量为 126mm, 1.12 最大沉降量为 108mm, 1.10 最大沉降量为 104mm。C 匝道 (监测点为 1.1, 1.2, 1.17, 1.18) 路基最大沉降量为 117mm, 为 1-18 测点, C 匝道最大沉降速率为 0.75mm/d, C 匝道 1.5、1.10、1.12 测点的沉降曲线, 沉降速率都没有收敛减小。

④ D 匝道 (监测点为 4.8 至 4.10) 路基最大沉降量为 125mm, 为 4-9 测点, D 匝道 (监测点为 4.1 至 4.19) 路基最大沉降量为 125mm, 为 4-3 测点。4.4 测点沉降量为 121mm, 4.5 测点沉降量为 112mm, 4.17 测点沉降量为 111mm, D 匝道最大沉降速率为 1.12mm/d。D 匝道 4.3、4.4、4.9、4.15、4.17 测点的沉降曲线, 沉降速率都没有收敛减小。

## 5 变形情况

自通车以来, 根据各方历次现场踏勘及监测数据, A、B、C、D 四条匝道均不同程度发生沉降、侧移等变形迹象, 并呈现以下几个特点:

① 各段路基发生沉降的段落及沉降值差别较大且与填高的关系偏离沉降规律, 部分区域如 CK0+130~CK0+219.5 (桥头) 段、CK0+283.5 (桥头)~CK0+375 (桥头) 段、DK0+278.703 (涵洞侧)~DK0+514.43 段、AK1+146.7 (桥头~AK1+234.39 (桥头段) 等通车以来累计沉降可达 20~40cm, 而 CK0+130~CK0+219.5 (桥头) 段处填高仅为 2.9~3.5m, 工后沉降 (至今) 却可达 25.2~32cm; DK0+000~DK0+200 段为与沈海高速拼宽段, 填高最高可达 5.2m, 根据现场踏勘情况, 路面未经加铺使用情况良好, 未发现明显变形。

② 路基较大规模段落出现侧移迹象, 路肩位置出现脱空、开裂, 边坡中下部路基土体发生鼓胀, 坡面素砼封面、六棱块护坡等变形开裂迹象明显, 如 DK0+578.47 (桥头)~DK0+650 段 (填高仅为 2.6~2.7m)

及 AK1+430 ~ AK1+690 段(填高 3.3~4.7m)左右侧、CK0+130~CK0+219.5(桥头)段坡面,车道出现纵向张拉裂缝,其中 CK0+130~CK0+219.5 段路面中线张拉裂缝发现有明显下错,坡体下部鼓胀,急流槽下错,但边沟仍完好;DK0+430~514.4 段硬路肩位置明显拉开下错,坡面鼓出,边坡发现有挤压变形;BK0+523~BK0+800 段坡体鼓胀明显,路肩有侧移开裂,并有修补痕迹。根据现场踏勘,除 DK0+430~514.4 段路基右侧边沟有变形迹象外,其余路基边坡均较为完好,路基体发生滑移的可能性较大,由于沉降观测点均位于硬路肩位置,故而路基体自身的沉降、滑移对沉降值也有一定影响。

③ 2020 年底互通路面经过加铺后,部分路段发生再次沉降的现象较为明显且绝对值较大,如 CK0+130~CK0+219.5(桥头)段,路面加铺后 6 个月内路基再次沉降最大约 9cm,量值明显偏大。

④ 2020 年,临近新福厦高铁兴建木兰溪特大桥上跨三江口互通,与三江口互通 A、B、C、D 匝道大角度交叉,交叉桩号为 AK1+207.3、BK0+501.0、CK0+295.8、

DK0+587.4,临近三江口互通的铁路桥墩共计有木兰溪特大桥 334#、335# 及 336# 墩,其与三江口互通匝道位置关系见图 5,其中桥墩与匝道最近距离为 334# 墩距 C 匝道路肩,约 15.38m,梁底净高最低处位于 A 匝道左侧路肩处约为 9.85m。

## 6 设计原则

依据审查意见,本路段路线设计原则如下:

- ①互通路基路面处理段落不改变原有匝道平面线形。
- ②按设计速度 60 公里/小时标准进行纵断面设计,A、B、C 匝道纵断面设计线仍采用原设计,D 匝道起点与主线相接且沉降严重,为避免影响主线,因此重新进行纵断面设计。
- ③根据路基竖向现场搜点高程,结合相关专业组纵断面设计双控要求:一是设计高程位置要求改造纵断面设计不低于对应实际搜点高程;二是改造的设计高程不低于路基外侧路缘带边缘点搜点标高按设计路拱坡度推算出的设计高程。
- ④受搜点路面高程精度影响,局部路段根据现场实际进行顺坡处理。

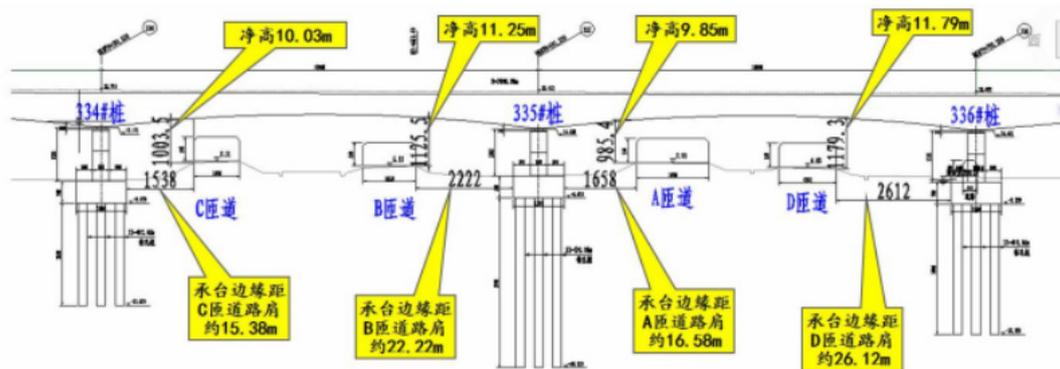


图 5 铁路桥墩与三江口互通各匝道的位 置关系

## 7 路基处治方案设计

采用桩板结构对沉降量较大、桥头段沉降差明显的 A、C 两匝道桥间路基沉降段落进行处治,桩板结构由钢筋混凝土承载板、钢筋混凝土托梁和钻孔灌注桩组成;承台板采用 C40 砼浇筑,托梁及基桩采用 C30 砼现浇。桩板结构共 4 联,4 种尺寸,板块长度 33.2m、40m、41.7m 三种尺寸,板厚 55cm;钻孔灌注桩桩径 1.2m,横向桩间距 5~7m、纵向桩间距 8~8.9m。承载板起终点及板块之间设置 D40 伸缩缝。

使用桩板结构处治方案有以下几个优点:

①承载能力提升:桩板结构通过钻孔灌注桩的加固和钢筋混凝土承载板的使用,可以显著提升路基的承载能力。钻孔灌注桩的加固作用可以增加路基的侧向稳定性和抗沉降能力,而钢筋混凝土承载板能够分散车辆荷载并承担大部分荷载,减轻对路基的压力<sup>[1]</sup>。

②沉降控制和调整:桩板结构能够有效控制和调整路基的沉降。通过钻孔灌注桩的加固,可以防止或减缓沉降的

继续发展,稳定路基的沉降过程。同时,桩板结构中的承载板可以通过调整其厚度和尺寸,以适应路段的沉降差异,进一步平衡路基的沉降。

③路基的整体性和稳定性:桩板结构能够提供路基的整体性和稳定性。钻孔灌注桩的加固作用可以将路基的力传递到更深的土层,增强路基的整体稳定性。钢筋混凝土承载板的使用则确保了路基的均匀受力和变形的控制,减少了局部沉降和变形的风险<sup>[2]</sup>。

④可持续性和耐久性:桩板结构通常采用钢筋混凝土和灌注桩等耐久材料,具有较长的使用寿命和较低的维护成本。这种结构的可持续性表现在其对环境的较小影响和能够满足长期使用需求。

其余填高较高、沉降较大的段落采用泡沫轻质土+连续配筋复合式路面。

使用泡沫轻质土+连续配筋复合式路面的处治方案有以下几个优点:

①减轻荷载：泡沫轻质土的使用可以显著减轻填土的重量，从而降低对路基的荷载。泡沫轻质土是一种低密度材料，由空气泡沫与土壤混合而成，具有较低的密度和较好的抗压性能。这种特性使得泡沫轻质土能够有效减轻路基所受到的垂直荷载，并降低路基的沉降。

②控制沉降：填高较高、沉降较大的路段通常存在较大的沉降差异。采用泡沫轻质土+连续配筋复合式路面处治方案可以帮助控制沉降，并平衡路段的沉降差异。泡沫轻质土可以填充在填土层中，通过减轻填土荷载和提供较好的压缩性，有助于减缓沉降的速率和幅度。连续配筋复合式路面的结构稳定性也有助于保持路面的平整性和减少沉降引起的损坏。

③抗裂和耐久性：连续配筋复合式路面结构采用钢筋混凝土层和沥青混凝土层的组合，提供了良好的抗裂性能和耐久性。钢筋混凝土层能够分担和承受车辆荷载，减少沥青混凝土层的应力集中，从而减少路面裂缝的产生和扩展。沥青混凝土层具有良好的防水性和抗氧化性能，能够保护钢筋混凝土层免受水分和氧化的侵害，延长路面的使用寿命。

④维护和修复便利性：采用泡沫轻质土+连续配筋复合式路面处治方案的路段维护和修复相对便利。钢筋混凝土层的存在使得局部修补和补强更容易进行，避免了对整个路面的大修。

填高较低、沉降较小的段落采用连续配筋复合式路面等路面处治方案。

使用连续配筋复合式路面等路面处治方案的优点：

①强度和刚度：连续配筋复合式路面通过钢筋混凝土层提供了较高的强度和刚度。钢筋混凝土层能够分担并承受车辆荷载，减少了沥青混凝土层的变形和损坏风险。这种结构能够提供稳定的行车表面，减少路面变形和塌陷。

②耐久性：连续配筋复合式路面具有较高的耐久性，能够承受长期和重复的车辆荷载作用。钢筋混凝土层具有良好的抗裂性和抗疲劳性能，能够减缓裂缝的扩展并延长路面的使用寿命。沥青混凝土层则能够提供良好的防水性和抗氧化性能，保护钢筋混凝土层免受水分和氧化的侵害<sup>[1]</sup>。

③修复和维护便利性：连续配筋复合式路面的维修和修复相对较为便利。由于钢筋混凝土层的存在，可以更容易地进行局部修补和补强，避免了对整个路面的大面积破坏和

替换。这降低了维护成本和交通中断时间。

④舒适性：连续配筋复合式路面能够提供相对平滑的行车表面，减少车辆震动和噪音，提供更加舒适的驾驶体验。

## 8 结语

通过近一年左右的施工，本项目严格按照路基处治方案完成施工任务，并通过交工验收，通过后期的监测和巡查，至今未发现新的病害，达到了预期的处治效果。然而，对于通车后出现的路基不均匀沉降、桥头跳车、边坡起鼓等病害，简单的加铺等临时措施并不能解决问题。针对这些病害，需要采取一系列的综合措施：

首先，需要收集并定期监测路基的水平位移、沉降等情况，以了解病害的演化和变化趋势。通过监测数据的分析，可以判断病害的变形是否稳定，为后续的处治措施提供依据。

其次，需要综合考虑原设计方案、施工质量、地质条件、水文情况等因素，深入分析病害产生的原因。可能的原因包括路基材料不均匀、荷载过重、地下水位变化等，需要对每个可能因素进行评估。

再次，通过技术经济性方案比选，提出针对性可行的综合处治措施。这些措施可能涉及加固和修复路基、改善排水系统、调整荷载分布等方面。在制定方案时，需要考虑措施的效果、成本以及对交通运行的影响。

最后，为了实现一次性处治到位，需要确保提出的综合处治措施的可行性和有效性。这可以通过在其他工程项目中的应用实践、相关文献的参考以及专家的评估来验证。

综上所述，对于通车后出现的路基病害，不能简单化采取加铺等临时措施。通过收集监测数据、分析病害原因、制定可行的综合处治方案，可以解决病害问题并实现一次性处治到位。

## 参考文献

- [1] 邹会权,钟南川,杨伟.汕梅高速公路路基病害分析与处治[J].公路交通技术,2007(1):28-31.
- [2] 田斌.高速公路路基沉降及路面动力施工特性研究[J].工程机械与维修,2021(4):249-251.
- [3] 孙瑞,彭伟.公路路基沉降计算及不均匀沉降对路面结构的影响[J].工程技术研究,2021(12):23-24.