

某桥头软土地基处理的参数影响分析

游桂芳

(深圳道森工程设计有限公司,广东 深圳 518000)

摘要:为研究桥梁台背软基处理方案和参数,以某高速公路跨河桥梁工程为例,采用数值模拟法对“CFG桩+泡沫混凝土”处理桥头软土路基的变形规律进行研究,并对该方案的沉降影响参数进行分析。结果表明:1)采用传统填土的CFG桩软土地基路基顶面的沉降值主要在距离桥台20 m范围内增大,采用“CFG桩+泡沫混凝土”方案,其沉降值主要增大区域在15 m范围内,且最大值减小了3.4 cm;2)CFG桩长、桩径的增大、桩间距的减小、泡沫混凝土的泡沫含量的减小,均有利于路基顶面的沉降控制;3)泡沫混凝土的密度在一定范围内能有效减小路基的荷载,但随着泡沫含量的增大,沉降值会逐渐增大。在实际工程中,应采用适当的参数,在保证路基沉降得到控制的同时,控制工程造价。本文成果可为桥头软土地基处理参数选择提供参考。

关键词:CFG桩; 桥头跳车; 沉降; 泡沫混凝土

中图分类号:U416.1

文献标识码:A

文章编号:1673-8993(2024)11-0054-05

doi:10.13402/j.gcjs.2024.11.149

Influence analysis on parameters of soft foundation treatment at a bridgehead

YOU Guifang

(Shenzhen Dawson Engineering Design Co., Ltd., Shenzhen 518000, Guangdong, China)

Abstract: In order to study the treatment scheme and parameters of the soft foundation on the back of the bridge abutment, a highway cross-river bridge project is taken as an example, the numerical simulation method is used to research the deformation law of the soft subgrade treated by “CFG pile + foam concrete”, and the sedimentation influence parameters of the scheme are analyzed. The results show that: 1) The sedimentation value of the top surface of the soft foundation of CFG pile with traditional filling is mainly increased within 20 m from the abutment, and the sedimentation value of the “CFG pile + foam concrete” scheme is mainly increased in the range of 15 m, and the maximum value is reduced by 3.4 cm. 2) The increase of CFG pile length, pile diameter and pile spacing, and the decrease of foam content of foam concrete are all conducive to the sedimentation control of the top surface of the subgrade. 3) The density of foam concrete can effectively reduce the load of the roadbed within a certain range, but with the increase of foam content, the sedimentation value will be gradually increased. In the actual project, appropriate parameters should be used to control the project cost while ensuring that the subgrade sedimentation is controlled. The results can provide references for the selection of treatment parameters for soft foundation at bridgehead.

Key words: CFG pile; bridgehead jumping; sedimentation; foam concrete

由于桥梁、道路材料和结构的不同,路桥过渡段在长期车辆荷载作用下,常会出现差异性沉降,从而导致桥头跳车现象。路桥过渡段的差异

性沉降越大,对车辆行驶的舒适性和安全性的影响越大,甚至会引发严重的交通事故。桥梁常建于跨越河流的地区,容易产生桥头软土地基问题,

收稿日期:2024-04-09

作者简介:游桂芳(1992—),女,工程师,从事公路桥梁工程勘察设计工作。

因此桥头跳车问题往往得不到根本解决。软土地基处理大体可从两方面着手：一方面为加固地基本身，以提高地基自身的承载能力；另一方面为减小上部路基对地基的附加应力，从而减小路基和桥台的差异性沉降。泡沫混凝土作为一种常见的轻质材料，在软土地基处理中常被作为填料，CFG 桩复合地基也常用于深厚软土地基的处理，两者效果均较为显著。

国内学者对桥头跳车处治问题进行了大量研究，如：李展等^[1]结合有限元分析软件成果，提出泡沫轻质土在道路扩建工程中作为路基填料的具体设计方案；李传华^[2]研究得出，复合地基宜采用桩体的有效工作荷载 800 kN，发挥桩-土-褥垫层的联合作用；唐小富^[3]基于双层地基理论，得到超孔隙水压力的一般计算公式，进而给出了瞬时加荷的固结度特殊计算公式；李易等^[4]以某桥台采用泡沫混凝土回填工程为例，对比采用碎石回填施工方案，得出泡沫混凝土回填的工况能够有效减小桥台和路基的固结沉降量；钱志创^[5]对深厚软土地基采用泡沫混凝土置换的沉降变形进行研究，总结了路基附加应力作用下的 4 种软基的沉降分布形式，并提出超载-卸载-再加载的沉降总量计算方法。对于桥头跳车问题，蒋应军等^[6]详细分析了桥头跳车的成因，并在此基础上提出了桥头跳车的综合防治措施；谷世平等^[7]研究发现，采用水泥搅拌桩和堆载预压的方式对路桥过渡段的软土地基进行处理，以阶梯式泡沫混凝土进行刚度过渡，对治理软土地基和降低路基的工后沉降有良好的效果；涂义亮等^[8]对刚度过渡的路桥结合段进行了模拟分析，得出了旋喷桩复合地基的各参数变化对沉降变化的敏感度和最优解；李然等^[9]研究处理范围、差异桩长等对消除桥头跳车和二次跳车现象的影响，发现处理范围的增大有利于缓解二次跳车现象。

综上所述，当前对泡沫混凝土和复合地基的研究较多，单独的泡沫混凝土和复合地基处理对路桥过渡段的沉降控制的相关研究有限。本文以某高速公路跨河桥梁工程为例，通过将 CFG 桩复合地基和泡沫混凝土进行联用，降低路基的整体沉降，以消除桥头跳车现象的发生，为类似工程

提供参考。

1 工程概况

某四车道高速公路，设计时速为 100 km/h，路基宽度为 26 m，设计道路与桥梁为跨河连接。地勘报告显示，该处底层自上而下分为 3 层，分别为杂填土、淤泥和细砂，其中：杂填土层厚度为 1.2~3.6 m，主要成分为黏土、砂土和碎石，硬质杂质质量分数约为 35%，粒径为 7~12 cm；淤泥层厚度为 6~11.5 m，呈灰色流塑状，含腐质夹少量细砂；细砂层厚度为 6~10 m，局部含泥和细中砂，稍密。桥头路基填土高度为 4 m。由于桥头路段淤泥层较厚，天然地基承载能力不足，地勘报告建议对桥头路段进行地基处理，并对于深厚软土地基的处理，推荐采用 CFG 桩复合地基施工方法。CFG 桩复合地基结构包括褥垫层、CFG 桩和土工格栅等，拟定 CFG 桩的桩径为 0.5 m，桩长为 15.5 m（伸入细砂层 1.5 m），桩间距取 4 倍桩径，褥垫层采用碎石材料，厚度为 0.5 m。

2 CFG 桩复合地基有限元模型

为研究 CFG 桩复合地基和泡沫混凝土联合使用对路桥过渡段地基沉降的影响，采用有限元软件 Midas GTS NX 进行模拟分析。

2.1 几何模型

对路桥过渡段的纵断面进行建模分析。桥台后的填土高度为 4 m，杂填土、淤泥、细砂层的厚度分别为 2.5、11.5、10 m，褥垫层的厚度为 0.3 m。为简化 CFG 桩和桥墩桥台的模拟，其几何模型均采用线模型建立 1 D 模型属性，其中 CFG 桩长为 15.5 m，桩径为 0.5 m，桩间距为 2 m。模型尺寸为 60 m×28 m（长×宽），具体如图 1 所示。

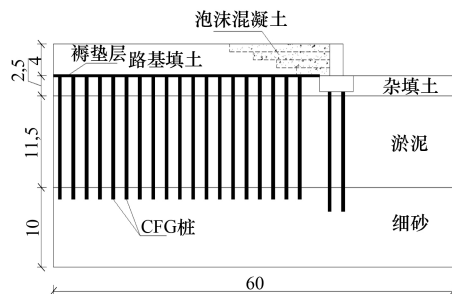


图 1 几何模型

m

2.2 基本假定

- (1) CFG 桩、桥台、桥墩假定为各向同性的弹性材料。
- (2) 泡沫混凝土、杂填层土、淤泥层、细砂层、褥垫层符合摩尔 - 库伦准则。
- (3) 各单元之间连接紧密，无相对移动。
- (4) 模型仅考虑重力场。

2.3 模型参数

几何模型划定后进行网格单元化。桥台、桥墩、CFG 桩均采用均质的 1 D 弹性单元模拟，网格划分密度为 1 m，泡沫混凝土、土层和褥垫层等均采用平面应变的 2 D 单元进行模拟。各个单元材料的参数如表 1 所示，有限元模型如图 2 所示。

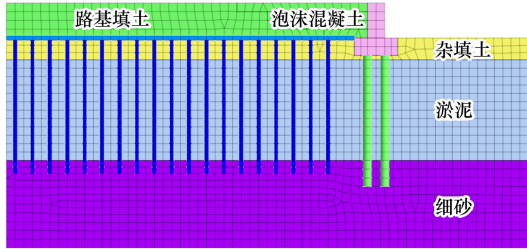


图 2 有限元模型

模型建立后，对模型施加重力荷载和交通荷载，其中交通荷载采用 20 kPa 的均布荷载进行模拟。模型两侧设置水平约束，模型底部设置水平和竖向约束。在施工阶段模块中建立施工阶段的模拟。先进行原始地面地应力场的恢复，再进行位移清零处理，然后对桥墩、桥台、CFG 桩、褥垫层等结构物施加模拟荷载，最后实施台后土体的分层回填和计算分析。

3 参数影响性分析

3.1 沉降分析

因天然地基的承载能力不足，先对 CFG 桩处

理后，再进行复合地基沉降分析，得到 CFG 桩复合地基处理后的模型 15 a 工后沉降图(图 3)，其中离桥台距离为 0 的点为桥台中点。由图 3 可知：随着离桥台距离的增大，路基顶面的沉降值增大。在初始阶段(0 ~ 20 m)内，路基顶面沉降值的增长幅度最快；当离桥台 20 m 之外，沉降值逐渐稳定，最大沉降值为 7.12 cm。根据《公路路基设计规范》(JTG D30—2015)规定，路桥过渡段的最大沉降值不应大于 10 cm，结果符合规范要求。

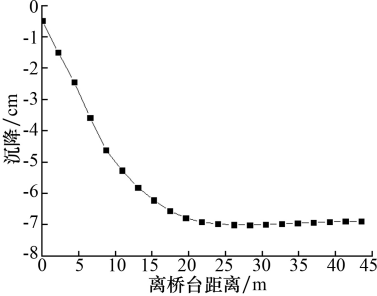


图 3 CFG 桩复合地基路基顶面沉降

冯忠居等^[10]研究表明，路桥过渡段的台阶差小于 1.5 cm 时不影响行车安全，台阶差为 1.5 ~ 3.5 cm 时，会有明显的颠簸感。车辆在 100 km/h 行驶速度下，20 m 的距离行驶时间仅需 0.72 s，并且在桥台前 10 m 的距离内，15 a 后最大沉降可达 5.45 cm，这会对行车的安全性和舒适性造成影响。在实际工程中受施工工艺等的影响，桥台与路基结合处的路基压实度往往达不到要求，在桥台处的路基沉降量比理论值大。虽然，桥台在接近段常做搭接处理，改善过渡段的差异性沉降，这在短期内效果明显，但在长期的环境因素和车辆荷载作用下，单板会出现断裂和下移等问题，可再引发“二次跳车”等影响行车安全性的问题。CFG 桩复合地基的处理方式虽能够在一定程度上减小路基与桥台的差异性沉降，缓解桥头跳车现

表 1 模型材料参数

名称	弹性模量/MPa	厚度/m	泊松比	容重/(kN·m ⁻³)	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)
泡沫混凝土	210.0	—	0.25	8.0	120	26
路基填土	20.0	4.0	0.30	19.0	20	25
杂填土	19.0	2.5	0.30	17.0	12	15
淤泥	7.2	11.5	0.35	18.0	14	9
细砂	40.0	10.0	0.30	21.0	4	29
褥垫层	40.0	0.3	0.25	21.5	10	30
CFG 桩	2 000.0	—	0.25	25.0	—	—

象,但未能有效消除,故将台后的路基填筑材料进行更换,改为泡沫混凝土材料。一方面,泡沫混凝土材料自身的轻质性,减小对地基的荷载,从而降低了路桥之间的差异性沉降;另一方面,泡沫混凝土与路基形成阶梯状布置形式,有利于路基与桥台刚度差异上的过渡,达到治理桥头跳车的目的。

根据图 3 所示的沉降情况,选择沉降变化最快的区段,即桥台前 15 m 范围内进行台后土体的换填。采用阶梯式的换填方式,如图 1 虚线所示,泡沫混凝土长度自上而下为 15、12、9、6 m,每层厚均为 1 m。换填后对两种工况下各点的沉降情况进行统计分析,结果如表 2 所示。

表 2 路基顶面沉降统计

离桥台 距离/m	CFG 桩		CFG 桩 + 泡沫混凝土	
	工期沉 降/cm	15 a 后/cm	工期沉 降/cm	15 a 后/cm
0	1.53	3.33	0.87	1.43
3	3.82	5.22	1.75	2.51
6	4.59	5.83	2.25	3.21
9	5.13	6.31	2.42	3.36
12	5.41	6.62	2.66	3.48
15	5.91	6.80	3.10	3.71

由表 2 可知:对比 CFG 桩工况,CFG 桩 + 泡沫混凝土工况时的沉降量均较小,可见换填后能够将离桥台 15 m 范围内较大的沉降减小,且 15 a 后的最终沉降减小了 45.4%,说明换填后的方案对台后路基沉降的控制有效。

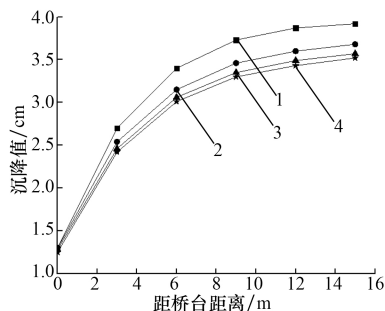
3.2 参数影响性分析

对 CFG 桩 + 泡沫混凝土的方案进行参数(桩长、桩径、桩间距等)影响性分析。

3.2.1 桩长影响分析

建立不同桩长(15.0、15.5、16.0、16.5 m)的工况进行研究,其余参数保持一致。分别对路基顶面距离桥台不同位置的 15 a 后(下同)沉降值进行统计分析,得到沉降变化规律,如图 4 所示。由图 4 可知:整体上路基顶面的沉降值随着距离桥台距离的增加逐渐增大,最大沉降值均位于 4 cm 以下。CFG 桩长越长路基顶面的沉降值越小。桩长对沉降的影响会随着长度的增长逐渐减小,故在设计中桩长应取适当值,以保障路基沉降得到控制的

同时也能减少工程成本。

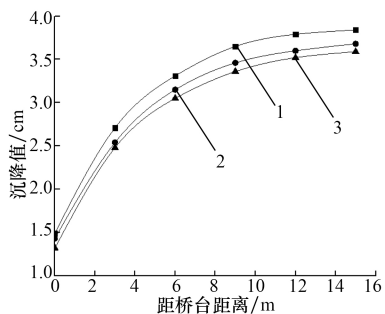


桩长/m: 1—15; 2—15.5; 3—16; 4—15.5。

图 4 路基顶面沉降随桩长变化

3.2.2 桩径影响分析

桩径的大小主要影响地基的处理效果,桩径越大,软土地基的置换面积越大。对不同桩径(0.4、0.5、0.6 m)时的路基顶面沉降变化规律进行分析,其他参数不变,结果如图 5 所示。由图 5 可知:随着桩径的增大,路基顶面的沉降值逐渐减小。桩径从 0.4 m 增大到 0.5 m 时的沉降减小值较桩径从 0.5 m 增大到 0.6 m 时的大,沉降变化幅值呈减小的趋势。在设计中应选择合适的桩径,以免造成工程浪费。



桩长/m: 1—0.4; 2—0.5; 3—0.6。

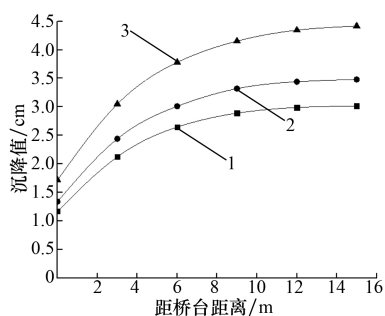
图 5 路基顶面沉降随桩径变化

3.2.3 桩间距影响分析

在工程中,桩间距的取值一般为桩径的 3~4 倍。取不同桩径(1.5、2.0、2.5 m)进行分析,其他参数不变,路基顶面沉降变化如图 6 所示。由图 6 可知:桩间距的变化对路基顶面的沉降敏感性较高,桩间距在 2.5 m 时的沉降最大值较桩径为 1.5 m 时的大 1.75 cm,增幅达 38%。随着桩间距的减小,路基顶面的沉降也随之减小。

3.2.4 泡沫影响分析

泡沫混凝土参数对泡沫混凝土的性能影响较大,其中泡沫在一定程度上决定了泡沫混凝土的



桩间距/m: 1—1.5; 2—2.0; 3—2.5。

图 6 路基顶面沉降随桩间距变化

质量,并且鉴于阶梯型换填结构特点,越是远离桥台部分的泡沫混凝土越少,相应的路基沉降过渡受影响性越大。对泡沫质量/体积分数为 55%~65%的泡沫混凝土进行模拟,采用改变泡沫混凝土强度参数和密度模拟不同泡沫质量/体积分数的泡沫混凝土,结果如表 3 所示,其中沉降值为距离桥台 15 m 处的沉降值。

表 3 泡沫混凝土参数及沉降

泡沫/%	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	抗压强 度/MPa	弹性模 量/MPa	最大沉 降值/cm
50	1 130	5.70	280	3.45
55	1 040	4.85	260	3.53
60	1 000	4.50	210	3.62
65	930	3.80	180	3.91

由表 3 可知:随着泡沫质量/体积分数的增大,泡沫混凝土的弹性模量、抗压强度会降低,密度也会减小。密度的减小对沉降的控制有利,但从沉降的整体变化来看,随着质量/体积分数含量的增大,沉降值增大。说明密度的减小虽然能在一定程度上减小地基土的荷载,但总体而言,泡沫混凝土的沉降变形仍会增大;另外,随着泡沫质量/体积分数的减小,路基沉降最大值的幅度也逐渐减小。所以,泡沫混凝土的密度和弹性模量之间需要平衡,在保证泡沫混凝土弹性模量的同时可适当减小泡沫质量/体积分数。

4 结 论

本文通过研究某桥头软土地基的处理方案,提出 CFG 桩联合泡沫混凝土的方案,并采用数值模拟的方法对沉降影响参数进行分析,得到结论

如下。

(1) 采用传统填土的 CFG 桩软土地基处理工况中,路基顶面的沉降在前 20 m 的沉降值增幅最快,最大值为 7.12 cm。

(2) 采用泡沫混凝土换填台后路基方案,可以改善桥台和路基的差异性沉降,15 a 后最大沉降值为 3.71 cm。

(3) CFG 桩长、桩径的增大均有利于沉降的减小,桩间距的增大却不利于沉降的控制。

(4) 泡沫混凝土的泡沫质量/体积分数虽然能在一定程度上降低泡沫混凝土的密度,减小路基的荷载,但随着泡沫质量/体积分数的增大,沉降值会逐渐增大,故应控制泡沫混凝土的泡沫质量/体积分数。

参考文献:

- [1] 李展,靳灿章. 泡沫轻质土在天津软土地基道路扩建中的应用[J]. 工程建设,2019,51(4):44-47.
- [2] 李传华. CFG 桩在桥头软基处理中的应用[J]. 湖南交通科技,2016,42(4):58-61.
- [3] 唐小富. 山区高速公路软基处理 CFG 桩复合地基的固结分析[J]. 公路工程,2016,41(2):19-22.
- [4] 李易,胡焕忠,褚胜群. 轻质泡沫混凝土在桥台台背回填中的应用研究[J]. 交通科技. 2019(1):19-20.
- [5] 钱志创. 深厚软土地基上泡沫混凝土置换路堤全过程沉降变形特性研究[D]. 武汉:华中科技大学,2018.
- [6] 蒋应军,武建民,陈忠达,等. 桥头跳车成因分析及防治技术研究[J]. 公路,2004(7):124-131.
- [7] 谷世平,程玉泉,王铁法. 路桥过渡段复合软基处理技术[J]. 公路,2018,63(11):164-167.
- [8] 涂义亮,王星驰,柴贺军,等. 旋喷桩复合地基变刚度处治桥头跳车效果[J]. 东南大学学报(自然科学版),2021,51(4):588-595.
- [9] 李然,刘润,徐余,等. 水泥搅拌桩法处理软土地基中桥头跳车现象的影响因素分析[J]. 岩土工程学报,2013,35(S2):725-729.
- [10] 冯忠居,方贻立,龚坚城,等. 高等级公路桥头跳车的危害及其机理的分析[J]. 西安公路交通大学学报,1999(4):33-35.