

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.10.041

# 沿海吹填区市政道路基础设施位移控制关键技术浅析

陈豪,瞿和瓯

(温州市城市道路建设研究中心,浙江温州 325000)

**摘要:**吹填造陆是利用海积软土或淤泥作为填土资源的一种变废为利的地基处理方式,既可清理海港码头淤泥和疏浚航道,又可缓解沿海地区用地需求急剧增加的矛盾。但吹填造陆需对吹填土进行加固处理,提高其土体抗剪强度和地基承载力,控制市政道路基础设施的位移以满足后续工程建设的要求。以温州市瓯江口新区一期市政工程为背景,浅析吹填区道路位移控制关键技术。

**关键词:**淤泥吹填区;道路;真空预压;位移控制;地表沉降;承载力

中图分类号:U415

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)10-0160-03

## 0 引言

由于沿海地区土地资源缺乏,大量的海岸带被开发成了住宅和工业用地。在海涂和新吹填土中,其工程地质特征常常是“三高两低”。其特点是:高含水量,高孔隙比,高压收缩,渗透率低,强度低。相对于养殖用地,建设用地须具备较高的承载力和较小的地基变形要求。因此,原状土必须经处理后,才能满足建设要求。本文将理论与实践相结合,提出一种适合沿海吹填区大规模使用的位移控制技术,并分析其效果。

## 1 吹填区市政基础设施位移产生的问题

海涂改造成建设用地难度大、成本高、时间长。在海涂区域进行基础设施建设,因位移难以控制,极易产生各种工程质量问题。按问题产生的时间,可分为施工时和施工后。

### 1.1 施工时的问题

(1)地基承载力低,施工人员、机械难以进场。吹填区的原状土一般为滩涂土,吹填的材料往往也是海泥或海砂,整个场地场坪低,含水量极高,缺少排水通道,承载力极低,施工车辆甚至施工人员都难以进入。

(2)桥梁桩基易偏移。吹填区淤泥层厚,桥梁桩基须打至基岩,桩长较长。施工时,施工方往往在吹填面高程上开始施工桩基。施工完桩基后,在开挖承

台时,因两侧开挖不均,桩基常常被淤泥挤偏。

(3)河道、管线开挖难度大。吹填区地下水位高,吹填土含水量高、强度低、灵敏度高,土体往往呈流塑状。在原状吹填土区域内开挖河道和管线时,开挖到一定深度,流塑状的土体向开挖处涌动,河道和管线难以开挖到设计高程。

### 1.2 施工后的问题

(1)市政道路沉降大,路面凹陷、开裂。吹填区因特殊的地质特性、施工质量和工期,软基处理往往难以到达设计要求。尤其是路基工后沉降往往过大,造成路面凹陷、开裂。

(2)市政桥头跳车、桥接坡路面开裂等问题。市政道路采用软基处理后,工后沉降虽然得到控制,但仍会沉降。桥梁采用的是桩基础,打入基岩,不会沉降。因此,两者间的不同沉降会产生桥头跳车、桥接坡路面开裂或承台上路面波浪问题。

(3)市政管线变形,产生裂缝甚至错位。因吹填区软基处理未达到设计标准,市政管线工后沉降大,且不同区域沉降不均,造成重力管排水不畅。更有甚者,管线变形过大后,管线产生裂缝,接口错位。

## 2 市政基础设施出现问题成因分析

(1)整个场地为滩涂区,场地承载力低,受力后易发生变形,造成地基或管线沉降、边坡失稳、桥桩偏移。

(2)滩涂区土体孔隙比高、压缩性高,建设时受力影响范围内,地基变形大、变形时间长。

(3)滩涂区土体含水量高、渗透率低,呈流塑状,且需要很长时间才能排水固结,满足在其上层建设的

收稿日期:2022-06-11

作者简介:陈豪(1977—),男,本科,高级工程师,从事市政道路桥梁建设管理工作。

要求。

### 3 沿海吹填区市政道路基础位移控制技术

根据成因分析,要在吹填区上进行市政建设,必须要解决土体中水的问题,而且要通过工程措施加快土体排水。

根据工程经验,吹填区位移控制的方法主要有真空预压法、堆载预压法、真空-堆载联合预压法、换填法、强夯法、复合地基法等。

#### 3.1 技术比较

结合区域实际地质条件和加固要求,着重从技术、造价、工期和施工可行性等方面具体分析不同的软基处理方式的特点,包括施工、工期、成本,具体见表1。

软基处理的本质是通过工程措施(费用)换取时间,因此从工期与造价两个方面对以上处理方案进行比较。

工期:③水泥搅拌桩<①真空联合堆载预压法+竖向排水板<②堆载预压+土工合成材料加筋法。

地基处理单位造价:②堆载预压+土工合成材料加筋法<①真空联合堆载预压+竖向排水板法<③水泥搅拌桩。

综合工期和造价因素,真空联合堆载预压+竖向排水板法是处理大范围的吹填土较好的办法。

#### 3.2 真空预压+竖向排水板法加固机理

真空预压法是一种比较有效的加固方式。它是利用真空产生的局部负压源,减少土壤中的孔隙水压力,从而达到排出孔隙水、增加有效应力、压密土

表1 吹填区位移控制处理方法特点比较

方案	优点	缺点	工期/月	平均造价/(元·m <sup>2</sup> )
①真空联合堆载预压+竖向排水板法	1.利用大气压力作为超载加固软土,相对堆载预压法,不需要额外超载预压材料,减少弃渣,降低投资; 2.加固过程中剪切变形小,分级加载间歇期短,加载速度相对较快,且引起地基失稳可能性小,也减少了两侧反压措施; 3.地基侧向挤出较小,沉降相对堆载预压小,相应路基填方少; 4.相同预压荷载,地基土强度增长比堆载预压大; 5.加固过程中,土中封闭气泡被真空吸力排出,固结过程快	1.需增加抽真空和密封系统投入; 2.较适合处理路基较宽的道路,但对路基较窄的次干路、支路效果相对较差; 3.局部存在的透镜体透水层,可能影响真空预压效果,需采取连续深层搅拌桩等措施,确保加固区的气密性	6~12	400 (接排水板20m,间距1.2m)
②堆载预压+土工合成材料加筋法	1.经超载预压后,工后沉降可基本消除; 2.主要利用路堤自身荷载,无需真空和密封系统	1.受地基强度增长限制,需分级加载,加荷过程时间较长; 2.相同预压荷载沉降较大,地基土强度增长偏小; 3.超载部分土石方带来一定弃渣	15~24	120 (不含土方费用)
③水泥搅拌桩	1.适合处理淤泥质软土; 2.路堤沉降小,填土数量少	桩身强度较低,对上部荷载较大的路段,搅拌桩置换率较高,投资偏大	8	500~600 (按15m桩长,桩径0.5m,间距1.5m)

壤的目的。

目前,国内外对真空预压加固机理的研究、数值模拟计算、现场试验和实验室模拟试验都有较大的发展。赵维炳<sup>[1]</sup>对真空预压砂井地基的半解析解进行了改进,使之适合于堆载预压及成层土。孙立强等<sup>[2]</sup>在现场和实验室实验中,利用超软土真空预压法研究了真空预压法加固效果不理想的原因,得出了二次插板补强的结论。楼晓明等<sup>[3]</sup>分析原位测试结果,并提出了按强度增加与深度递减规律计算超固结比及真空固结应力在深度上的分布。

关于真空预压法的负压转移和加固深度问题尚有许多争论。闫澍旺等运用弹性力学原理,介绍了真空预压法在软土地基中的作用机制,并用实际工程

实践证明,真空预压法的有效加固深度可以达到10m以上。经研究,真空预压法的有效加固深度与排水管板的埋设深度有关,经对抽放20m排水管的真空预压软基工程进行分析,发现对20m以下的地基仍然具有一定的加固作用。

下文将在温州市瓯江口新区一期市政工程案例中分析本工法的实际使用效果。

## 4 理论在工程案例中的应用

### 4.1 工程概况

以温州市瓯江口新区一期市政工程为背景,进行吹填土区域市政道路基础设施位移关键技术分析。

温州市瓯江口新区一期市政建设项目,地处瓯江口新城的中心地带,是一座城市的重要组成部分。其具体范围包括:经七路以西,北至北围堤,东至经一路,南至通海大道,共计 14.72 km<sup>2</sup>。目前已建浅滩填埋场,基坑高度在 2.6~2.8 m 之间。

瓯江口新区一期工程总体布置在温州浅滩,在海床软质基础上进行了吹填。根据现场实测资料,在 46.20 m 以下的基础上,可将其分为 4 个级别:第 1 层为流塑-软塑状、高压缩性;第二层为砂质、流塑型、无层理、局部微层理、区域分布;第三层为泥质,流塑,不具层理,局部有少量的贝壳碎片,分布于全区;第四层为泥质黏土、流塑、鳞片状区域。

根据地勘报告,温州瓯江口新区的地质属于典型的吹填区地质。在其范围内进行道路建设,地基需要满足市政道路的建设要求。

#### 4.2 位移控制要求

道路基础设施位移控制要求:表层 0~2 m 深度范围内地基承载力特征值不小于 80 kPa,2 m 以下加固范围内地基承载力特征值不小于 60 kPa,15 a 内地基工后沉降要求不大于 30~50 cm。

#### 4.3 应用中的难点

温州瓯江口新区的建设场地,吹填土以淤泥为主,淤泥层厚度大,导致在市政配套工程建设中,吹填土区域需进行市政道路基础设施位移控制。

针对大面积的滨海吹填区软土地基,位移控制有以下难点。

(1)由于吹填深度深、面积大,且江浙一带大多为平原,缺乏填筑材料,不宜采用换填法。

(2)复合地基法造价高昂,不适用于大面积的吹填区域。

#### 4.4 瓯江口道路位移控制采取的设计方案与施工过程

对于大面积深厚软土地基,工程中较多采用真空预压法、堆载预压法或强夯法。

综合考虑瓯江口地质条件、现场情况、工期时间和造价,道路一般路段大部分采用真空预压+竖向排水板法。

设计方案为:竖向排水板长 20 m,间距 0.8 m,正方形布置,抽真空压强 80 kPa,时间不少于 3 个月(根据沉降速率确定抽真空时间),处理范围为道路路基范围。

施工过程:先在原状土上铺筑砂垫层,厚度 0.5 m;再将排水板打至底标高-16 m,塑料排水板长 19.6 m,其间距均为 0.8 m,正方形布置。然后,在地表铺真空

膜,开始抽真空。由于沉降一直难以稳定,实际抽真空时间约为 180 d。

### 5 应用评估

#### 5.1 地表沉降与真空度检测评估

减少地基沉降是地基处理的目的。地基沉降的变化规律是工程设计中控制工程进度、合理安排工程设计的关键,同时也是最直观的检测方法。大范围的真空预压会导致场地的沉降加速,在较短时间内,特别是在抽气初期消除大量沉降,加固效果很明显。

由于每个路段内不同区块的沉降和真空度历时曲线很接近,所以此处只给出路段有代表性的沉降和真空度历时曲线(见图 1)。

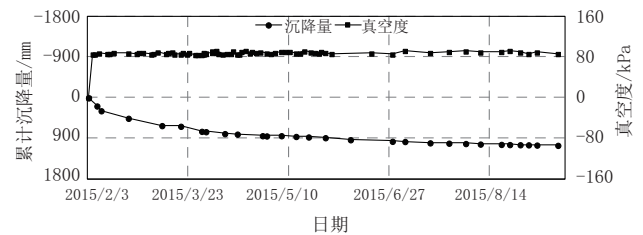


图 1 第九合同段某路沉降历时曲线

上述监测结果表明,在真空压力施加初始阶段,随着土体中真空度的增加,各土层在真空压力的作用下发生固结压缩,逐渐引起地表沉降。

通过观测到的沉降数据和记录曲线可知,整个场地的固结沉降与真空预压时间有很大的相关性。在真空预压作用前期(5~7 d),地面沉降速度最大;在真空度升高后,地面沉降速度逐渐降低,最终以一个相对平稳的速度缓慢收敛。

#### 5.2 承载力检测评估

通过静力触探试验,检测不同深度土层的承载力,并与原状情况进行比较,详见图 2、图 3。

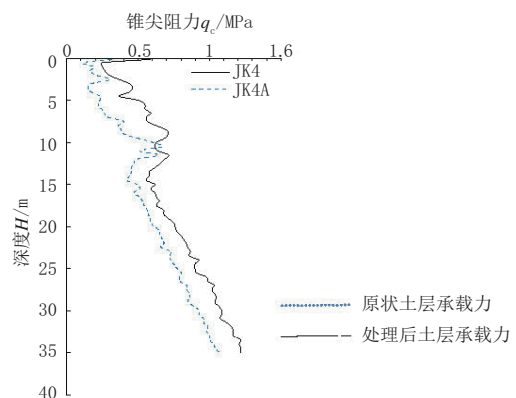


图 2 钻孔处预压处理前后锥尖阻力随深度变化图

(下转第 168 页)



当连接处完成,需要进行基础注浆时,必须对注浆压力进行严格控制,以避免接头损坏。

### 3.6 针对酸性骨料沥青混凝土的特殊措施

酸性骨料沥青混凝土在用于水工防渗面板项目施工时,针对以下几点问题需采取针对性措施。

#### (1)重点部位用料

酸性骨料沥青混凝土相较于碱性骨料沥青混凝土材料存在抗断裂性能稍差的问题。因此,在坡道拐弯处、曲线处、地质结构薄弱处,应采用强度相对较高的碱性骨料沥青混凝土作为面板铺设材料或在酸性骨料沥青混凝土面板厚度设计的基础上根据强度要求加铺一层加厚层,以保证重点部位的沥青面层强度。

#### (2)酸碱料接缝处处理

酸性骨料沥青混凝土与碱性骨料沥青混凝土在接缝部位由于化学性质的差异会出现接缝不严密,导致后期沥青面层强度下降。在面对酸碱接缝问题时,应保证接缝处干净整洁无杂质。同时在温度符合摊铺条件的情况下,在接缝处涂上热熔沥青,经充分加热后进行摊铺作业。

## 4 结 语

综上所述,在将酸性骨料沥青混凝土应用到水工行业时,在施工阶段应注重材料拌制、运输、施工 3

个阶段,保证施工操作符合规范要求,满足设计需要,控制好各环节各方面的参数,从而提高整体施工质量。

材料拌制阶段,酸性骨料沥青混凝土主要用于防渗层。在根据设计要求添加抗剥落剂的前提下,将集料和填充物按要求加热后放入拌罐内进行干燥拌合 15~25 s,然后在掺入加热完全的沥青后继续拌合 45~50 s,酸性骨料沥青混合料的出机口温度应控制在 160~180℃。

运输阶段,酸性骨料沥青混凝土在排除一般沥青混合料禁用的防黏剂外,还需注意防黏剂的酸碱性,避免酸性骨料沥青混凝土的化学性质遭到破坏。

施工阶段,需在重点部位重点用料的基础上,加强接缝处的热熔沥青使用及温度加热规范,保证工程实体的质量。

#### 参考文献:

[1] 郝巨涛,纪国晋,孙志恒,等.水工结构材料研究的回顾与展望[J].中国水利水电科学研究院学报,2018,16(5):405-416.  
 [2] 马江飞,罗小和,杨金华.酸性砂砾石骨料沥青混凝土心墙施工质量控制[J].四川水利,2020,41(5):74-75,78.  
 [3] 娄长圣,唐文哲,王腾飞.水利工程风险管理:以宁夏水利工程为例[J].清华大学学报(自然科学版),2023(2):233-241.  
 [4] 周世华.我国水工沥青混凝土防渗面板的裂缝现状与成因分析[J].水力发电,2020,46(12):60-63,78.

(上接第 162 页)

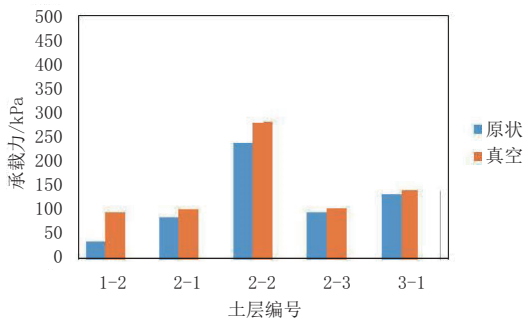


图 3 不同土层不同状态土样承载力对比直方图

通过直方图的对比可以发现,经过处理的土层的承载力、压缩模量等参数都有了一定的增强,浅部土层比深部土层更加明显。

### 5.3 小结

根据沉降观测和承载力检测,可以得出以下结论:

(1)真空预压+塑料排水板是沿海吹填区市政道路基础设施位移控制的有效措施。

(2)在海岸淤泥吹填区域,真空预压法对设排水板范围内的土壤有较好的强化作用,且与处理深度成反比关系。

#### 参考文献:

[1] 赵维炳.砂井地基固结分析半解析解方法的改进[J].岩土工程学报,1991(4):51-58.  
 [2] 孙立强,闫澍旺,李伟,等.超软土真空预压室内模型试验研究[J].岩土力学,2011,32(4):984-990.  
 [3] 楼晓明,范成杰,朱亚娟,等.利用原位测试结果评价真空预压的加固效果[J].岩土工程学报,2013(S2):511-514.