

# 真空预压膜下真空度异常处理方法研究

郭杨子

连云港港口控股集团有限公司, 江苏 连云港 222042

**[摘要]**真空预压法在加固以黏性土为主的软土地基中得到广泛应用,结合连云港市某软土地基处理工程膜下真空度异常情况,通过分析工程实际原因,提出解决真空度异常处理措施,并印证措施的可行性,通过有效的处理措施,膜下真空度达到设计要求,达到软土地基加固设计指标,为后续软土地基处理膜下真空度异常提供参考方案。

**[关键词]**软土地基;真空预压;密封系统;真空度异常;处理措施

DOI: 10.33142/aem.v5i3.8164

中图分类号: TU997

文献标识码: A

## Research on the Handling Method of Abnormal Vacuum Degree under Vacuum Precompression Film

GUO Yangzi

Lianyungang Port Holding Group Co., Ltd., Lianyungang, Jiangsu, 222042, China

**Abstract:** The vacuum preloading method has been widely used in the reinforcement of soft soil foundations mainly composed of cohesive soil. Based on the abnormal vacuum degree under the membrane of a soft soil foundation treatment project in Lianyungang City, by analyzing the actual reasons of the project, measures to solve the abnormal vacuum degree are proposed, and the feasibility of the measures is confirmed. Through effective treatment measures, the vacuum degree under the membrane meets the design requirements and meets the design indicators for soft soil foundation reinforcement, and continue until the vacuum pumping is completed, stop the pump for unloading, and provide a reference plan for the abnormal vacuum degree under the membrane in subsequent soft soil foundation treatment.

**Keywords:** soft soil foundation; vacuum precompression; sealing system; abnormal vacuum degree; handling measures

### 引言

在港口飞速发展阶段,大量围填海形成的软基需要进行处理,处理软土地基方法有多种,真空预压法是一种有效的处理以黏性土为主的加固方法。在真空预压施工过程中,可能会因为各种因素,导致膜下真空度异常,这将影响抽真空效果以及施工工期、质量、成本。花锦峰等<sup>[1]</sup>全面提炼了真空预压工程所有工序中影响膜下真空度不利因素的种类、采取的预防和管控措施,对施工工艺的改进和优化有积极作用。陈国华<sup>[2]</sup>针对真空联合堆载预压施工中真空度不满足要求的异常状况,进行了整体密封方案的补救,效果良好。膜下真空度关系到了真空预压施工的好坏<sup>[3-4]</sup>,为了提高软土地基抽真空施工效率和施工质量,为后续软土地基处理施工膜下真空度异常提供参考方案,研究工程膜下真空度异常的处理具有指导意义。

真空预压法宜用于加固以黏性土为主的软土地基。当存在粉土、砂土等透水透气层时,加固区周边应采取确保膜下真空压力满足设计要求的密封措施。

本文依托连云港区旗台作业区某试验区工程,通过分析工程实际情况,查找分析不利因素,研究膜下真空度异常有效处理方法,探究真空度异常的影响因素,并实验了膜下真空异常的处理措施,从而找到有效的处理方法,为膜下真空度异常处理提供有效的施工处理建议意见。

### 1 工程简介

连云港市旗台作业区某试验区地基处理项目,位于连云港旗台作业区南部,位于已吹填完成的黄窝吹填三区,选择 6 万 m<sup>2</sup> 面积的场地进行真空预压地基处理,分为 4 个区,每个区 1.5 万平方,每个区采用不同工艺进行真空预压,本文依托试验三区常规工艺。本工程场地属填海造陆平原地貌,拟建场地原为海域,经吹填后形成陆域,地形较平坦,地表高程+6.62~+7.85m。整平高程+7.5m。根据勘察成果,拟地基处理区域以吹填土、淤泥、粉质黏土、粉砂为主,勘探深度内揭露的土层分布较有规律,综合各地层的物理力学性质和成因等特征,对勘探深度内的各土层自上而下进行划分,为 2 大层及分属于不同大层的亚层,各地基土层的分布规律和工程地质特征具体为:①<sub>1</sub>层吹填土:粉砂为主,局部夹黏性土。场区普遍分布,厚度 3.50~5.70m,地层平均厚度 4.40m。①<sub>2-1</sub>层淤泥:土性较软,含水量较高。场区普遍分布,厚度 4.0~8.0m,平均厚度 5.5m。①<sub>2-2</sub>层淤泥:隙比大、压缩性高、强度低、触变性强。场区普遍分布,厚度 22.50~29.10m,平均厚度 23.17m。③<sub>1</sub>层粉砂:土质不均匀,局部混粉土及黏性土,场地局部分布,厚度 0.50~1.50m,地层平均厚度 0.65m。③<sub>2</sub>层粉质黏土:土质不均匀,夹砂或粉土。场区普遍分布,受孔深限制,本层未贯穿。③<sub>2s</sub>层粉砂:土质

不均匀,混黏性土、粉土。场地局部分布,厚度 0.50~7.20m,地层平均厚度 4.47m。典型钻孔断面示意图见图 1 所示。

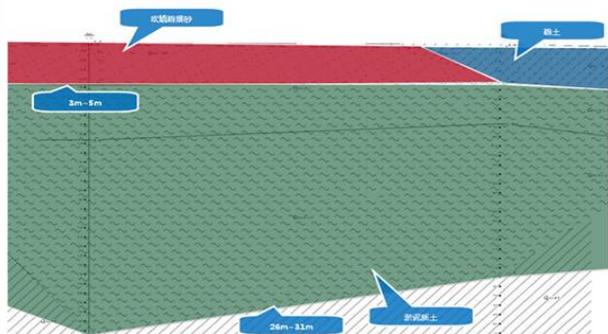


图 1 典型钻孔断面示意图

## 2 施工及膜下真空度监测情况

试验三区采用的是常规工艺,为无砂真空预压设计,主要施工步骤为:(1)在加固区打设塑料排水板,排水板采用 C 型高性能防淤堵板,正方形布置,相邻排水板之间采用承插型接头连接;(2)铺设真空管路,真空支管采用内径 25mmPVC 钢丝软管,真空主管采用内径 50mmPVC 钢丝软管,连接排水板的承插型接头之间采用真空支管连接,真空支管采用专用 PVC 三通、四通与主真空管连接,主真空管再通过真空连接管连接真空泵;(3)预压区外边缘搭设泥浆密封墙,形成密封系统,密封墙施工完成后设置压膜沟;(4)真空管路上铺设一层编织布,一层无纺土工布;(5)铺设两层密封膜,密封膜踩入压膜沟底;(6)抽真空施工,支管内真空度达到 80kPa 开始计时,真空预压满载时间 240 天。本阶段真空预压试验完成后地基承载力特征值应不小于 80kPa。卸载标准为:十字板强度不小于 16KPa,地基土预压荷载下固结度不小于 85%,连续 10 天实测地表沉降速率不大于 2mm/d。

真空管路内真空压力监测。预压荷载是真空预压施工质量保证的重要前提,真空压力值的大小是反映预压荷载情况的最直观手段之一,在不同真空管路处均匀布置真空压力表,监测不同真空管路处真空压力,分析研究真空管路内真空压力衰减情况。监测仪器采用真空压力表,在真空管路施工完毕,真空膜覆盖之前埋设,按照施工现场每个分区真空管路的实际铺设情况均匀布设,每个真空预压区共 6 个测点,真空压力测点位置均为布设在真空管路上,以保证测得数据的代表性。抽真空施工后,应立即监测真空度,一直延续至停泵卸载。抽真空初期按每隔 2h 测读一次,以便准确测出真空度的传递过程和有利于检查密封情况,当真空度维持至设计要求后,可按每 4~6h 测读一次。在真空压力出现异常时,立即结合其他监测项目数据分析原因,并通知各相关单位排查问题原因,尽快恢复真空压力。

前期施工工作完成后,开始抽真空工作后,历时 15 天,三区膜下真空度全部监测点压力达到-80kPa 设计满载要求(见表 1)。在真空度维持-80kPa 以上 2 个月左右,区内陆续出现真空度异常情况,无法持续稳定达到设计要求真空度,三区膜下真空度变化过程曲线见图 2 所示。

表 1 压力达到满载要求时间

区号	膜下真空度 (kPa)						抽真空时间 (d)
	MZK1	MZK2	MZK3	MZK4	MZK5	MZK6	
3	-80.5	-84.0	-85.3	-83.0	-84.7	-82.4	15
	-86.1	-85.7	-86.2	-84.6	-85.2	-82.7	16
	-88.7	-83.8	-80.5	-86.2	-83.4	-80.1	17
	-90.8	-87.9	-88.4	-88.2	-88.0	-85.0	18

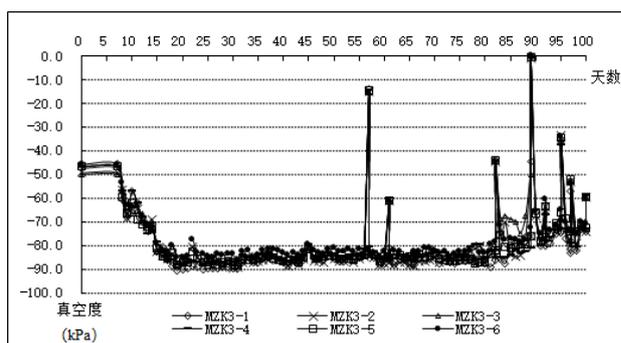


图 2 三区膜下真空度变化过程曲线

## 3 原因分析

鉴于膜下真空度异常情况,结合施工现场实际,全面排查,发现现场存在的问题,分析膜下真空度异常原因,思考抽真空过程中现场处理方案,总结处理经验,研究在抽真空前处理解决可行性,减少后续人力物力时间解决膜下真空度异常问题,为后续大面积软基处理施工提供指导意见。

### 3.1 查找现场存在问题

为有效排查区域膜下真空度异常情况,对区内进行排水,排水后全面排查真空度异常原因。抽真空过程中,根据真空压力表读数情况,从压力降低处压力表周边开始排查。主要方法是:区域排水的同时,针对膜表面漏气的部分,漏气会有气泡,发现漏洞及时修补;还因场地比较空旷,较为安静,也可采取听声音的方法查找漏气点排查;前两种方法查找不出原因的部分,需要停泵揭膜进行检查。主要检查以下几个方面:(1)检查密封膜上装置、管路完好情况;2.检查出膜装置、管路与密封膜连接情况;(2)整体检查密封膜表面破损情况;(3)检查压膜沟围堰处密闭情况;4.检查膜下管路、接头、排水板情况。

### 3.2 存在的情况原因分析

因本项目为试验区,需要检测的数据比较多,出膜装置设置较多,增加漏气风险。因本项目采用的是无砂真空

预压技术,通过真空支管与塑料排水板相连取代砂垫层作为水平排水通道,可有效减少真空传递损耗,同时因上部粉砂层颗粒较小,容易被吸入真空管网内,增加漏气风险。本区域压膜沟未发现起膜、深坑、缺水等导致漏气现象。

根据大面积排查情况,对产生膜下真空度异常因素进行归纳总结,有以下原因:(1)出膜装置、管路与密封膜连接处出现漏气情况:①胶粘不牢,螺丝松动,零散线路未包裹灌胶密封;②装置未完全固定到位,金属制杆件倾倒拉坏密封膜,支座底部为铁器等硬物,原包裹的土工布老化或脱落后可能造成铁器与密封膜直接接触,出膜器而造成密封膜破损;③真空压力表管路安装时,管路富余长度过长,支架底座支护不到位,支架底座倾斜导致扭结压力传递不足;(2)真空管路出现倾斜、变形、破裂现象:①在抽真空期间受真空吸力影响,真空管路变形破损;②雨水冲刷,管路下围堰边坡塌陷,管路悬空,连接密封不到位;(3)密封膜出现破损情况:①围堰被雨水冲出缺口,贝壳砂等尖锐物冲上密封膜,经过时行走接触易造成密封膜破损;②膜下手型接头与排水板连接的土钉锈蚀脱落,细砂被水流带入管道,形成坑洞;承插型接头处细小颗粒,在力的作用下通过接头处的缝隙进入真空管网,加剧该处孔洞的形成,以致承插型接头与真空管、排水板脱落,导致密封膜受较强的真空吸力变形最终被撕裂发生漏气;③真空膜下有尖锐物体未及时清理,抽真空后对密封膜造成损坏。

#### 4 膜下真空度异常修复施工

针对上述原因,采用不同修复方法进行处理。密封膜上覆水的时候,由于无法使用胶粘,密封膜破损采取孔洞上方覆盖密封膜并用泥袋压实方法临时解决漏气问题,后续需排水后进行处理。处理方法为:(1)出膜装置、管路与密封膜连接处出现漏气情况:①出膜装置与新的密封膜连接时应两层分开胶粘,保持其密封性,后续安装出膜装置需对螺丝拧紧,对有可能产生漏气点的部位灌胶密封;②出膜设备等出现问题的,联合检测单位对区内出膜装置进行更换、修复。(2)真空管路出现倾斜、变形、破裂现象:①更换破损的管路;②加固围堰,夯实管路下方基础,更换破损管路。(3)密封膜出现破损情况:①重新加固维护围堰,处理贝壳砂,采用胶粘方法修补密封膜,留有足够的搭接长度,后续围堰上覆盖土工布保护;②承插型接头、真空管路修整:将密封膜、土工布、编织布折叠后,即暴露出下部真空管路及承插型接头,将所有凹坑进行回填密实,大坑采取分层回填,小坑一次性回填,每层回填后须保持砂土密实。将脱落承插型接头、真空管路接头进行重新连接加固,并使用40cm\*40cm土工布铺在承插型接头下方,土工布十字交叉对角系紧进行包裹。对损坏的承插型接头、管路接头将予以更换,并加固包裹。已处理的承插型接头、管路等处理完毕后,按原工艺铺设编织布、土工布,两层密封膜,并留好足够的搭接长度;③清理膜

下尖锐物体,修补密封膜。

按照以上处理方法,真空压力逐步上升,压力一直稳定在-80kPa以上,偶尔出现膜下真空度异常情况,也使用上述方法进行处理,直至达到设计要求,停泵卸载,加固前后现场十字板剪切强度值见图3所示,加固效果良好。

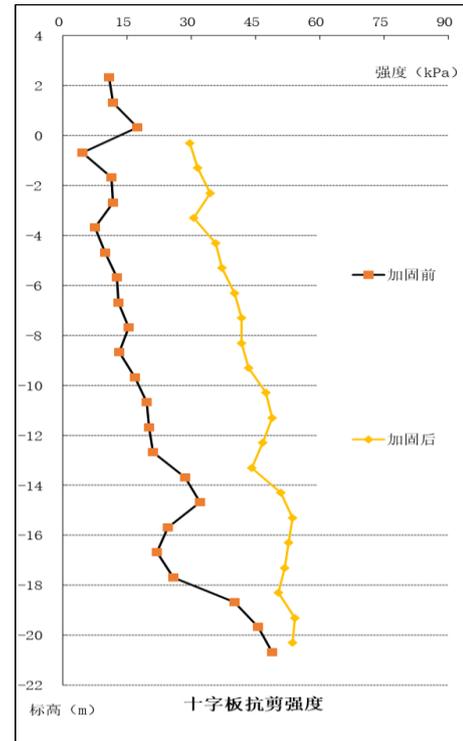


图3 加固前后十字板剪切强度值

#### 5 意见建议

在后续软土地基处理抽真空施工前,设计施工要点:

- (1) 真空支管与手型接头连接时,支管中的钢丝严禁剪断;真空排水管网与排水板之间的连接进行加固密封处理,防止抽脱以及淤泥进入排水板板头;所有接头及管网连接完成后,需进行固定。真空支管与手型接头连接后进行充分保护,防止锈蚀。
- (2) 当真空预压场地存在粉细砂时,应充分考虑进行手型接头的包裹,防止砂土进入真空管路导致出现坑洞。
- (3) 保证泥浆密封墙打设施工质量,控制泥浆搅拌桩径偏差,搅拌头速度,供浆量,搅拌桩搭接长度,泥浆搅拌桩必须穿透吹填土层,进入不透水层顶面标高以下0.5m。
- (4) 压膜沟闭气:边界压膜沟是真空预压施工的关键工序,也是工程难点,关系到整个工程真空预压的效果,为保证整个真空预压施工区域内场地能基本达到均匀预压,压膜沟设置在场地施工范围外。将密封膜压入压膜沟内达一定长度。
- (5) 铺布前应确保施打塑料排水板处孔洞已填平。
- (6) 在加工密封膜时,膜的尺寸应考虑埋入压膜沟部分,并根据实际情况预留足够的地基不均匀沉降变形富

裕量,防止密封膜拉裂;铺膜应在白天进行,选择无风或风力较小的天气;铺膜过程中,随铺随用土袋进行压膜,防止大风将铺好的膜卷走或撕裂;密封膜铺设分层铺设与搭接,每层膜铺设完成后派专人检查膜是否完好,发现有破裂处,及时用清水清洗干净,再用胶水贴膜补好,完成后进行下道铺设膜工作。

(7)若密封不好,极易发生漏气现象,做好出膜装置与密封膜交界处的密封工作。

(8)按密封膜修补措施补膜,真空表出膜气管换为软管。

## 6 结论

总结经验,针对查出的问题,留下视频影像资料,罗列问题清单及整改措施,作好总结工作,在后续大面积地

基处理的时候,在抽真空前的工序中,提前做好防范,尽量避免以上问题产生,若无法避免,再在抽真空过程中进行处理。

## 【参考文献】

- [1]花锦峰,陈焕龙.浅析膜下真空度的不利因素对真空预压效果的影响[J].科学技术创新,2022(9):97-100.
- [2]陈国华.真空联合堆载预压法中膜下真空度下降解决方案对比[J].广东土木与建筑,2021,28(6):30-32.
- [3]唐辉湘,黄建华,鲍树峰.膜下真空度对浅层超软土加固效果的影响分析[J].工业建筑,2017(1):05.
- [4]JTS 147-2017,水运工程地基设计规范[S].

作者简介:郭杨子(1988-),女,江苏连云港人,双学士学位,工程师,主要从事港口航道与海岸工程研究。