

# 道路工程软基处理的设计和沉降控制探究

牛 哲

广州市城市规划勘测设计研究院 广东广州 510060

**摘要:**近年来,我国沿海省市陆续加快开发沿海用地的进程。滨海地区地貌往往由各类海积相地貌单元组成,沉(冲)积的软基往往具有软土层较厚、软土含水量高、分布面积广等特点。因此,针对沿海地区涉及软土地基的道路工程,软基处理得当是确保地基承载力满足路基要求、保证路堤整体稳定性和防止路面沉降的关键。软基处理方法往往是技术、经济、和工期之间的较量。但具体选择预压排水法相比于其他处理方法,虽然工期较长,但处理效果好且最具经济性,在滨海地区的大面积软基的工程中常被采用。真空联合堆在预压相比于传统的堆在预压,更能够提升加固效果,缩减工期。本文将结合工程案例,讨论真空联合堆载预压法在滨海地区软基处理中的应用。

**关键词:**道路工程;软基处理设计;沉降控制

## Research on the design and settlement control of soft foundation treatment in road engineering

Zhe Niu

Guangzhou Urban Planning, Investigation and Design Institute, Guangzhou 510060

**Abstract:** In recent years, China's coastal provinces and cities have accelerated the process of coastal land development. The landform of coastal area is often composed of various Marine sediment geomorphic units, and the soft foundation of subsidence (accumulation) often has the characteristics of thick soft soil layer, high water content of soft soil and wide distribution area. Therefore, for the road engineering involving soft land foundation in coastal areas, the proper treatment of soft foundation is the key to ensure that the bearing capacity of the foundation meets the requirements of the subgrade, ensure the overall stability of the embankment and prevent the pavement subsidence. Soft foundation processing method is often a contest between technology, economy, and construction period. However, compared with other treatment methods, although the prepressure drainage method is longer, but the treatment effect is good and the most economical, so it is often used in large-area soft foundation projects in coastal areas. Compared with the traditional reactor, the vacuum combined reactor can improve the reinforcement effect and reduce the construction period. In this paper, the application of vacuum combined stacking preloading method in soft foundation treatment in coastal area will be discussed with engineering cases.

**Keywords:** Road engineering; Soft foundation treatment design; Settlement control

党的二十大提出:“发展海洋经济,保护海洋生态环境,加快建设海洋强国”的战略部署。多个沿海城市发布了海洋经济发展的十四五规划,提出围绕海洋科技,海上贸易,沿海产业,现代渔业和海洋旅游等海洋产业发展的海洋经济。近年来,我国沿海省市陆续加快开发沿海用地的进程。滨海项目的开发也对临海市政基础设施的建设提出了新的要求。

滨海地区地貌往往由各类海积相地貌单元或人工吹填构成,其软基往往具有软土层较厚、软土含水量高、

分布面积广等特点。因此,针对沿海地区涉及软土地基的道路工程项目,软基处理得当是确保地基承载力满足路基填筑要求,保证整体路堤的稳定性并加以控制是软基施工的关键。

道路工程中,常见的软基处理处理方法有浅层换填、预压排水、刚性桩、复合地基、强夯等。其中,常用于滨海地质条件的处理方式预压排水、复合地基和刚性桩。软基处理方法的选择,往往是技术、经济和工期的博弈。在工期条件允许的前提下,预压排水往往具有经

济性和适用性，特别是针对滨海地区空广的建设条件下，预压排水法常被采用作地块和市政道路范围内的软基处理方法。

真空预压加固软土地基的方法源于传统的堆载预压，属于排水固结法。采用真空预压加固软基时，通常先在整平的软基表面铺设砂垫层作排水体，在土体中打设排水板作竖向排水通道，再将不透气的薄膜铺设在表面密封，通过埋设于排水体中的管道抽真空，从而在排水通道中形成负压，使土体中的孔隙水流入排水通道排出。真空联合堆载预压，是在真空预压法的基础上增加传统堆载。实践表明，联合预压法相比于堆载预压或真空预压，能够提升加固效果，有效缩减工期。

### 一、真空联合堆载预压应用研究现状

改革开放初期，经高校及研究院合作研究，使真空预压法技术获得突破性进展，工艺上解决了密封和抽气的设备问题，膜下真空度达到 80 ~ 95kPa 的等效荷载。成功应用于天津新港软基加固等工程实践中，并取得了较好的经济效益。

加固机理方面，陈环<sup>[1]</sup>认为真空作用通过改变土体内的孔隙水压力，从而使得有效应力增加，并且认为真空预压和堆载预压相比，土体强度增长和加固效果基本一样，只是边界条件不同。侯红英<sup>[2]</sup>过有限元模型计算与实测相结合的手段，进一步论证了真空作用的机理即是通过降低土体中的孔隙水压力，转化为有效应力的理论。万建军<sup>[3]</sup>认为真空联合堆载预压过程中，土体既在

正压（堆载作用）下的被动重新排列和破碎充填过程，又在负压（真空作用）下水和气被抽出土体颗粒发生“主动”重新排列，将真空预压和堆载预压的优点结合了起来实现更好的固结度。

真空联合堆载预压法固结机理方面的研究仍有多方面争论，对于真空预压法的有效加固深度也存有争议。目前，真空作用下的地下水位的变化和影响、负压荷载分布和传递、加固影响区范围、孔隙水压力变化规律、处理场地几何形状、土体的变形特性、沉降计算值与实际差异等等成为近期研究的热点。

### 二、真空联合堆载预压技术在实际工程中的应用

滨海地区地貌往往由各类海积相地貌单元组成或为吹填造陆，往往具有淤泥层较厚，含水率高等特点。本文结合两个滨海地区涉及软基处理的项目，讨论真空联合堆载预压技术在实际工程中的应用效果。

#### 案例一

温州金海湖北路（滨海十六路-金海五道）道路工程位于温州经济技术开发区滨海核心区。项目位于龙湾二期围垦区中部，道路全长 1.8km，城市次干路，沥青路面。道路填高 2m 至 3.5m。

温州地区第四系覆盖层厚度达 80-100m，其中上部 30m 为淤泥类土，主要为河口相和海相沉积的淤泥及淤泥质土。场地土层分布自上而下为：硬壳层 1-3m，淤泥层 20-30m，淤泥质土 15-25m，其下分布黏土、粉质黏土、及碎砾石等。淤泥层埋深

表 1 温州软土典型物理力学指标

土层名称	厚度 (m)	含水量 %	密度 g/m <sup>3</sup>	孔隙比	液限 %	塑限	塑性指数	压缩系数 MPa <sup>-1</sup>
淤泥	20-30	65.4	1.60	1.85	53.7	28.1	25.7	1.84
淤泥质粘土	15-25	45.1	1.76	1.25	42.6	23.7	19.0	0.97

淤泥层具有明显的结构性，随着深度加深，含水率和孔隙比逐渐减小。经研判，由于工程计划建设工期较长，通过综合经济技术比选，采用“真空预压联合堆载+塑料排水板”的地基处理方法。

堆载高度 1.5m—2.5m。路基经过预压满足卸载标准后，卸载至砂垫层顶，再分层回填宕渣至路床顶面标高，再在其上施做路面结构。排水板间距 1m，正方形布置，排水板长度 15-25m，排水通道采用砂垫层（砂垫层计入堆载）。

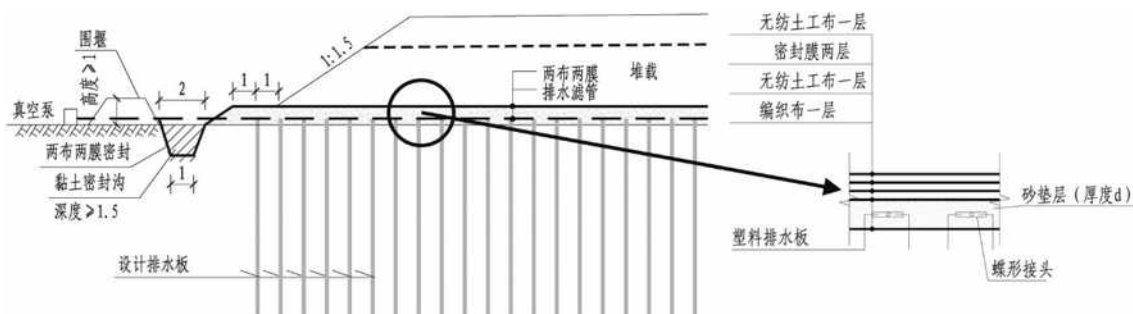


图 1 真空联合堆载预压处理

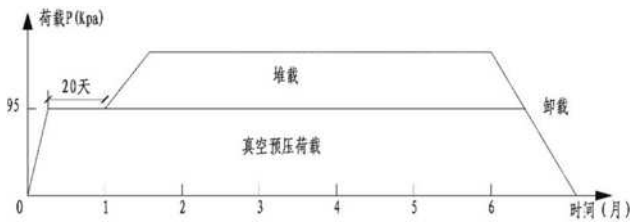


图2 加载曲线

真空预压联合堆载的周期6个月，膜上堆载在真空预压满载20天后进行，加荷曲线如上图。主固结沉降采用分层总和法计算，计算参数采用e-p曲线，地基总沉降计算方法采用经验系数法，固结度采用太沙基固结理论的微分方程数值解法，平均固结度采用改进太沙基法进行修正。沉降计算结果如下，固结度满足>85%。

表2 沉降计算结果

填土高度	处理方式	工后沉降	施工期间的沉降
		(cm)	(cm)
2.0m	真空预压+联合堆载(85+25kpa)	8.1	81.2
2.5m	真空预压+联合堆载(85+25kpa)	12.4	115.7
3.5m	真空预压+联合堆载(85+25kpa)	13.4	134.8

#### 案例二

天津南港工业区市政基础设施工程红旗路(南港六街~南港九街)道路工程位于天津南港工业区一期,处于大港区独流碱河入海口南侧滩涂浅海区,是利用沿海滩涂进行围海造陆工程,并促进海洋经济的一个典型的工程实例。

地质报告揭示,软土层为广泛分布的淤泥质黏土层,该层位于吹填土层以下,其天然含水率达到40%,天然孔隙比为1.069~1.178,压缩系数0.648~0.697MPa<sup>-1</sup>,层厚约10.0m。软土层承载力低,工程性质差。该港区软基处理普遍采用真空预压的方式。

结合路堤填筑高度及换填材料容重计算,地基附加应力荷载约79kPa,虽然低于85kPa的真空预压荷载,但由于工期限制,残余沉降不能满足工后沉降要求。因此,项目采用真空联合堆载预压进行地基处理。



图3 天津南港预压排水现场

真空联合堆载预压方案总体与案例一例基本一致,

塑料排水板间距采用0.8m,正方形布置,真空预压荷载85kPa,堆载厚度1m。真空预压90天,其中联合堆载80天。沉降计算方法与前一案例相同,计算结果为:总沉降223.0cm,其中施工期间沉降201.7cm,残余沉降21.3cm,固结度达到90%。

#### 案例分析

通过对两个项目的后评价表明,通过采用真空联合堆载预压技术进行软基处理,均能满足道路工程工后沉降和固结度的要求。

通过施工期间及通车后对项目沉降的跟踪监测,实际沉降情况与工程计算结果误差能够在15%,并且计算结果相比实际情况偏保守,实际沉降可控。另外,结合上述两个案例及临近地区其他相关工程经验,排水预压在处理地块时的效率,优于仅处理带状道路的效率。

综上,通过分析两个案例的设计与后评价可知,真空联合堆载预压技术适用于滨海地区的大面积软基处理。相比于刚性桩和复合地基处理,预压排水方案能够满足工程需求并且具有较好的经济性。相比于传统的真空预压或堆载预压,真空联合堆载预压加固效果比较明显,且能有效缩短工期。

#### 三、结语

本文结合工程案例,对真空联合堆载预压技术处理滨海地区道路软基进行了探讨和研究,实践证实了真空联合堆载预压技术在处理滨海道路软基中的适用性。通过对沉降的跟踪监测表明:在地质勘探及室内试验可靠的前提下,基于分层总和法和太沙基一维固结理论解对地基固结沉降和平均固结度的计算,能够满足控制沉降的要求。针对真空预压处理有效深度的讨论,文中工程案例也能够说明:加固深度至少能达到排水体的设置深度20m以上,而不仅限于1个大气压力水头10m+堆载。值得关注的是,目前真空联合堆载预压法加固时的地下水位变化一直存在争论,在处理场地几何形状为带状的工程时,技术人员也会根据地质条件设置地下水控制设施控制预压期的水源补给速率。因此,场地预压排水处理的几何形状、以及处理范围以外的水源补给对预压排水效率存在的影响将会是未来一个重要研究课题。

#### 参考文献:

- [1]陈环.真空预压法机理研究十年[J].港口工程,1991(4):17.26.
- [2]候红英.真空预压法在大型刚性基础上地基处理中的应用研究[D].吉林大学硕士学位论文,2001.
- [3]万建军.真空联合堆载预压处理吹填土应用研究[D].长安大学硕士学位论文,2010.