

## 路基路面设计中软基处理问题的研究

刘 辉

中南勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430074

**[摘要]**软土地质有高湿度、高压缩性、低强度等特点,对于路基路面设计来说如果处理不好就会造成路基沉降严重、路面破损或者发生失稳等损害现象。针对这一问题,文章详细介绍了软基处理在道路工程建设过程中的地位作用并对其存在的问题如勘察不准确、施工方案不合理、参数设置不合理进行剖析。同时介绍了换填法、预压法、真空预压法、排水固结法、深层搅拌桩与高压旋喷桩、加筋土等主要技术并分析它们的应用范围。最后提出了比较分析、实时跟踪、节能环保等改进措施和发展方向以供道路工程软基处理的技术借鉴。

**[关键词]**路基路面;软基处理;排水固结;深层搅拌桩;加筋土

DOI: 10.33142/ect.v4i4.19532

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

## Research on Soft Foundation Treatment in Roadbed and Pavement Design

LIU Hui

Zhongnan Engineering Corporation Limited, Wuhan, Hubei, 430074, China

**Abstract:** Soft soil geology has characteristics such as high humidity, high compressibility, and low strength. If not handled properly, it can cause serious roadbed subsidence, pavement damage, or instability in roadbed and pavement design. The article provides a detailed introduction to the role of soft foundation treatment in the process of road engineering construction, and analyzes the existing problems such as inaccurate survey, unreasonable construction plan, and unreasonable parameter settings. At the same time, the main technologies such as replacement method, preloading method, vacuum preloading method, drainage consolidation method, deep mixing pile and high-pressure rotary jet grouting pile, reinforced soil, etc. were introduced and their application scope was analyzed. Finally, improvement measures and development directions such as comparative analysis, real-time tracking, energy conservation and environmental protection were proposed for the technical reference of soft foundation treatment in road engineering.

**Keywords:** roadbed and pavement; soft foundation treatment; drainage consolidation; deep mixing pile; reinforced soil

### 引言

伴随着我国交通运输基础设施建设的发展,越来越多的道路建设工程不得不穿过软土地带。所谓软土就是指天然含水量较高、压缩性大、强度低、透水性差的松软黏土层,包括淤泥、淤泥质土、泥炭等,由于软土自身性质不符合道路施工的要求所以必须要进行专门的加固处理。我国的软土分布很广,一般位于沿海沿江地区,以及一些大型湖泊周围,在如长江三角洲地区、珠江三角洲地区、渤海湾地区、江汉平原、洞庭湖平原等都存在很大面积分布,而这些地区的经济高度发达也使得交通建设提出更高的标准。在软土地基中修建公路,如果不加以正确处理将会出现路基工后沉降大、路基稳定性差、公路路面破坏严重等问题,软土地基产生的沉降一直是影响我国公路工程质量的难题,据统计造成我国各条公路由于软土路基处

理不当引起的各类质量缺陷占到了全部公路质量缺陷的30%以上,造成的损失每年高达数千亿,近年来伴随着高速公路及高速铁路这类高标准交通运输工程的迅速发展,对软基处理的质量以及施工后的沉降都做出了很高的要求,所以深入探讨路基和路面设计过程中遇到的软土地基处理问题,正确地选用处理方法以及合理的设置相关的设计指标是十分必要的,是保证公路工程质量,提高使用寿命的重要手段。

### 1 软基处理在道路工程中的重要性

软基处理对公路工程的重要性表现在很多方面,它是保证路面工程质量的重要组成部分。首先是为了保证路基的安全性,由于软土的抗剪剪切强度很低、内摩擦角很小、粘聚力很低,在填土荷载的作用下容易产生滑移失稳破坏现象,尤其是高填段与桥头处的稳定性问题就更加严重了。

因此软土路基的稳定计算就是设计中的主要任务之一,如果不满足稳定性要求就必须进行软基加固以增强地基承载能力,一般情况下要达到稳定性系数不小于1.2的要求,而在桥头处等重要部位则更是应该有更大的系数值。其次是控制工后沉降的要求,软土地基压缩模量较大,在自重、车辆荷载作用下产生持续沉降,特别是不均匀沉降会造成路面平整度下降、桥头跳车等病害,严重影响行车舒适度及安全性,《公路路基设计规范》明确指出高速公路、一级公路的工后沉降不得大于30cm,桥头段落不得超过10cm,对软土地基处理提出严格要求。第三是工期短、造价低的需求,合理有效的软土地基处理措施能够使路基地层迅速沉实,减少了施工时间,避免后期大量的维修维护费用,实现全过程的成本最低化<sup>[1]</sup>。第四是对提高道路服务水平及安全性的要求,软基处理质量直接影响到路面平整度以及车辆行驶的平稳程度,间接也关系着行车安全。表1列出了不同类型软土地基工程特性及其相应处理要求。

表1 不同类型软土的工程特性与处理需求

软土类型	含水量 (%)	孔隙比	压缩系数 (MPa <sup>-1</sup> )	主要工程危害	典型处理需求
淤泥	>55	>1.5	>0.5	承载力极低、沉降量大	深层加固、排水固结
淤泥质土	40~55	1.0~1.5	0.3~0.5	承载力低、变形持续	排水预压、搅拌桩
泥炭	>100	>3.0	>1.0	有机质含量高、腐蚀性	换填、特殊处理
吹填土	40~80	1.2~2.0	0.4~0.8	欠固结、结构松散	真空预压、排水固结

## 2 路基路面设计中软基处理存在的问题

目前公路工程路基路面设计在软基处理方面还有不少问题影响到了工程质量的进步,首先是地勘深度不够,软土地质分布差异非常大,采样点距离过远或者扰动太大,从而使得对软土层厚度及深度、物理力学性能指标的认识有较大的偏差;地勘数据失真的直接影响到处理方法的选择错误,轻者处理不到位、工后沉降超标,重者导致路基坍塌,路面破损等质量事故的发生;其次是处理方法的选择错误,工程师对各种处理措施的应用环境了解不清,要么为了节省造价忽略处理结果,要么因为工期紧迫选用错误的快速加固手段。不同的处治方式对于土层环境要求的不同很大,简单套用经验方法很难得到好的结果,甚至带来负面的结果,例如深层搅拌桩在有机质含量较高的泥炭土中使用得不够好等。其三是设计参数选取不合理,例如排水板间距、预荷载大小、搅拌桩置换率这类重要参数过

多依靠经验选取,缺少专门计算验证及数值模拟分析的过程。选取偏小的成本高,造成浪费;选取偏大的存在风险隐患,出现工后沉降过大或者路基坍塌等问题。其四是施工过程管控与设计相脱离,在施工阶段没有相关的检测措施,不能依据实际沉降速度来调节加载速度以及预荷时间等。导致工后沉降控制不到位。第五方面就是缺少全寿命周期成本观念,有些设计前期投入少但是后期养护成本巨大,总体效果不好。

## 3 路基路面设计中软基处理关键技术

### 3.1 换填法及其适用条件

换填法就是挖掉软土地层,换成砂卵石、碎石、灰土地基改良材料,是最简单直接浅层软基处理措施。适用于软土层厚度不大、埋深不大的情况下的浅层软基处理,一般处理深度小于3m左右,可以通过置换的方法增大地基的容许承载力以及提高地基的压缩模量,减小了压缩性。其替换层的厚度要根据地基下部被替换的软土地层承载力大小来确定,一般情况下替换层厚度在1~3m之间,替换的材料必须是质地疏松,排水能力强的粗料,最大粒径不宜大于替换层厚度的2/3,含水量不得超过5%<sup>[2]</sup>,采用分层打夯,压实系数达到设计要求的96%以上,保证换填层密实均匀。此法有施工方便、质量可保证、结果可靠等特点,但是遇到软土层较厚的情况下,清淤量过大,而且挖出的软土如何处理也是一个难题,经济效益很低,还有就是弃土污染的问题。

### 3.2 预压与堆载预压处理技术

预压法就是在地基上施加压力,让淤泥质软土在压力的作用下排水固结,从而增强强度降低工后沉降量,这是传统解决深层软土地基的一种经典办法,堆载预压就是对场地堆填土石料来施加压力,其压力一般取设计路面的压力的1.1~1.3倍,保证在使用过程中地基不会发生较大的沉降,受预压荷载下的固结度与时间的关系可以用太沙基的一维固结理论求得,在固结度达到90%以上之后就可以进行卸载了,此过程一般为3~6个月甚至更长的时间。堆载预压适用于工期较充裕、软土层较厚以及排水良好的工程,它的优点是没有特殊的材料、简便易行,但是需要很长的预压期,并且有大量的堆载土方量,在无土源的地方不宜采用,并且在堆载的过程中要把握好堆载的速度,不能让土体发生坍塌的现象。

### 3.3 真空预压处理技术

真空预压法采用竖向排水体及密封膜,在真空泵的作用下产生负压使软土地基排水固结,是近年来出现的一种比较新的软基处理方法。真空预压可以提供约80~90kPa

等效荷载，相当于 4~5m 厚的堆载量，最大的优点是不用进行堆载取土作业，另外施加速度快，沉降快，一般情况下要比堆载预压节约工期 30%左右，适用于饱和厚层软土，尤其是海相软土、吹填土质等地基。深圳前海、上海临港、天津滨海等均已广泛使用并取得良好成果<sup>[3]</sup>。真空预压的固结速度取决于排水板距离、真空度保持的程度，在施工时应注意密封系统的完整性，避免出现漏气现象从而降低处理质量，还需特别关注真空预压对周围环境的影响，有可能导致临近建筑变形下沉，要加以防护。

### 3.4 排水固结法（砂井、塑料排水板等）

排水固结法就是在软土地基中布置一定的竖向排水通道来缩短排水距离从而加快软土固结时间，在施工过程中往往与施加预压荷载相结合。砂井是最传统的竖向排水体，直径多在 30~50cm 之间，用中细粒的砂子填充，适用于较厚的软土地基上，而塑料排水板由于其施工效率高、价格便宜以及对地基土扰动小等特点而被广泛地应用为竖向排水体，一般宽度为 100mm，厚度在 4~5mm 之间，有效排水半径为 5~7cm 左右，一根单长可以达到 25m 以上，施工时常用的间距为 1.0~1.5m，应结合工期以及地质情况来选择合适的间距。排水固结法必须配合预压或者真空预压一起运用，单独做排水体是不会有固结力产生的，必须配合加载才能起到固结的作用。

### 3.5 深层搅拌桩与高压旋喷桩技术

深层搅拌桩是采用水泥等固化剂与软土强行拌合，在固化剂的作用下发生化学变化产生一定强度的桩体，以增强地基的承载能力和抗剪强度，是目前较为常用的软土地基加固措施之一。水泥掺入比例一般是 12%~20%，28 天无侧限抗压强度可以达到 0.8~1.5MPa 左右，桩径一般为 50~80cm 之间，桩距常为 1.0~1.5m 布置复合地基，适用于淤泥、淤泥质土等饱和软弱粘土层，可以较好地控制沉降量，改善地基稳定性，处理深度不宜超过 20m，对于有机质含量较高的泥炭质土需要慎重应用。高压旋喷桩是利用高压喷射流对土进行切割并掺入水泥浆液来制作桩体的一种方法，适合应用于粒径较大的软土地基或者有夹砂层的场地。旋喷桩桩径能够达到 60~120cm 左右，处理深度可达 30m 以上，适用于深部软弱地基的加固处理，但是成本较高，一般应用于一些局部的重点区域或者深层的加固处。

### 3.6 加筋土技术在软基处理中的应用

加筋土技术就是在软土地基与填土地基之间布置一些土工合成材料，用筋材的抗拉强度来限制土体的侧向位

移，达到增强路基的整体强度的目的，是一种对软基进行加固的辅助措施，常用到的加筋材料有土工格栅、土工织物、土工网等等，各自有不同的特性和应用场景，加筋可以有效的改变软基上填土地基的状态，使集中荷载分散传递，减少地基地面不均匀沉降的情况，研究发现加筋后路基的差异沉降可以降低 30%~50%，加筋土技术在软基加固中通常会与排水固结或者桩基加固相结合，形成桩网复合基础系统，发挥桩体承载力与筋材调节能力的双重效果<sup>[4]</sup>。桥头位置，采用加筋土可以解决好桥头跳车现象，在桥头采用设置过渡段加筋层的方法，使桥梁过渡到路面逐渐发生刚度变化的过程。表 2 列出了各种加筋材料的功能特性及使用范围。

表 2 加筋材料性能特点与适用条件

加筋材料	主要性能	抗拉强度 (kN/m)	适用条件	主要作用
塑料土工格栅	高抗拉、低延伸	20~200	高填方路基、桥头路段	约束侧向变形、提高稳定性
玻纤土工格栅	高模量、低蠕变	50~150	沥青路面反射裂缝防治	抗拉增强、应力分散
涤纶土工织物	抗拉、透水、隔离	10~50	软土隔离、反滤层	隔离软土与填土、排水
土工网垫	三维结构、固土	5~20	边坡防护、植草固土	防止冲刷、植被护坡

## 4 软基处理优化策略与发展方向

软土地基加固的技术措施应在勘察、设计、施工、检测四个环节全面开展，建立合理有效的技术平台，在勘察过程中要通过钻探与静力触探结合的方式进行联合勘探，加大重要位置的勘探频率，使得软土层分布、参数测定结果更准确来作为方案确定的基础，可以进行现场测试以及实验室分析确认等。在设计方面要确立多种方案进行经济技术的比较选择，要结合实际地质状况、工期时间安排、工程成本、周边环境情况来选择最佳的加固措施。利用数值计算得出的参数调整的方法可以帮我们找出合适的排水带间距、预压荷载以及桩体置换率等重要参数，从而减少因主观判断导致的误差范围，做到精确设计，大幅度提升设计水平，在具体施工中要实行全面监控体系，对沉降、孔隙水压力、侧向位移等相关指标进行跟踪观察，并加以动态性设计，通过自动化观测设备来完成信息及及时收集并且远端报警，在出现监测数值有偏差的情况之后可以马上调节施工进度或者进行相应的修复工作，从而减小事故的发生概率，保障治理目标达标。未来方向是绿色环保型软基处理方法会越来越受重视，例如使用生物酶固化、工业

废弃物再利用以及废旧轮胎橡胶颗粒这类绿色环保材料取代传统的水泥类材料;智能化监测及数字孪生技术将会使整个软土地基处理过程实现数字化管理;复合处理技术包括“真空预压法+电渗”“桩网复合地基”“动静结合排水固结”会在复杂的环境下更具有优势;还有就是软基处理同生态环境相融合的理念也会被更多人接受,做到和谐发展。

## 5 结语

软基处理是道路工程中最重要的一部分,对公路的使用年限以及质量有着重要的影响作用,本文首先介绍了软基处理工作的重要程度,接着指出了目前道路工程设计中所存在的不足之处并针对不同情况提出了一些相应的解决措施。具体有换填法、预压法、真空预压法、排水固结法、深层搅拌桩及高压旋喷桩、加筋土等施工工艺和技术以及适用范围。不同的软基处理技术都有各自适应的情况以及限制条件,在实际的应用过程中应该结合当地的情况来进行选择,不可以机械化地照搬。另外对于软基处理的发展趋势也进行了探讨,认为今后将越来越重视精

细化的勘探工作以及动态化的设计方案并且在监测过程中也会采用智能化的手段进行检测最后还会选用环保型的材料等等。今后需要加大新科技、新材料、新技术的研发及工程化应用力度,在软基处理上完善全寿命周期性能评估方法,强化设计和施工之间的相互协作,为道路工程的可持续高质量建设提供强有力的技术保障。

## [参考文献]

- [1]方春.公路路基路面设计中软基的处理技术[J].四川水泥,2022(1):253-254.
- [2]蒋思成,韩晓春.路基路面设计中软基处理问题的研究[J].建材与装饰,2019(33):278-279.
- [3]范旻.公路路基路面设计中的软基处理分析[J].交通科技与管理,2023,4(11):128-130.
- [4]王立民.公路路基路面设计过程中的软基处理技术[J].北方建筑,2024,9(6):119-122.

作者简介:刘辉(1991—),男,汉族,吉林省德惠市,职员,2015年6月毕业于吉林大学,道路与桥梁工程,道路桥梁设计路基专业。