

公路路基路面设计过程中的软基处理技术

曹天民

武汉科铁人才发展有限公司, 湖北 武汉 430000

[摘要]软土路基地质条件呈现较高的含水量、较大的压缩系数、较低的强度等特点, 在公路工程荷载的作用下容易出现过大的沉降与差异沉降问题, 影响着路基稳定性与路基路面结构性能。文章以公路路基路面设计阶段中的软基处理技术为主题, 在软基对路面结构的影响机理基础上论述了对软基处理的相关设计原则和控制指标; 详细讲解了排水固结法、复合地基法、置换加固法以及加筋轻质填料法四种常见软基处理方式的原理及其适用范围; 深入分析了软基处理设计计算中的相关方法, 包括地基承载力估算、沉降计算以及固结理论应用等关键问题。指出软基处理必须与路面结构相配合考虑的问题。研究指出: 软土地基处理设计应该围绕工后沉降控制这个核心来进行, 合理的选材并调整有关参数使地基沉降以及路基结构内力反应达到一个理想的平衡状态。文章可以给道路工程软土地基处理设计方案提供整体的技术借鉴作用。

[关键词]软土地基; 路基路面设计; 复合地基; 沉降控制

DOI: 10.33142/ec.v9i4.19461

中图分类号: U415.1

文献标识码: A

Soft Foundation Treatment Technology in the Design Process of Highway Subgrade and Pavement

CAO Tianmin

Wuhan Ketic Talent Development Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract: The geological conditions of soft soil subgrade exhibit characteristics such as high moisture content, large compression coefficient, and low strength. Under the action of highway engineering loads, it is prone to excessive settlement and differential settlement problems, which affect the stability of the subgrade and the structural performance of the subgrade and pavement. The article focuses on the soft foundation treatment technology in the design stage of highway subgrade and pavement, and discusses the relevant design principles and control indicators for soft foundation treatment based on the influence mechanism of soft foundation on pavement structure; Detailed explanations were given on the principles and scope of application of four common soft foundation treatment methods: drainage consolidation method, composite foundation method, replacement reinforcement method, and reinforced lightweight filling method; In depth analysis was conducted on the relevant methods in the design and calculation of soft foundation treatment, including key issues such as estimation of foundation bearing capacity, settlement calculation, and application of consolidation theory. Identify the issues that must be considered in conjunction with the pavement structure for soft foundation treatment. Research suggests that the design of soft soil foundation treatment should revolve around the core of post construction settlement control. Reasonable material selection and adjustment of relevant parameters should be made to achieve an ideal balance between foundation settlement and internal force response of the roadbed structure. The article can provide overall technical reference for the design scheme of soft soil foundation treatment in road engineering.

Keywords: soft soil foundation; subgrade and pavement design; composite foundation; settlement control

引言

伴随着我国公路事业的不断扩大, 软土路基是现阶段路基路面工程中的一个重大难题。软土主要分布在沿海、江边、湖泊沼泽一带, 它具有天然含水量大、空隙率高、压缩性强、强度低、透水性差等特点, 在软土地基上面修建公路如果不加以重视的话, 在行车荷载的作用下路基路

面会产生很大的压缩变形以及沉降变形问题, 从而引发路面开裂塌陷、桥头跳车等一系列病害, 对交通运输产生很大的安全隐患, 降低了运输效率。对软土进行处理涉及到土质工程学和道路工程学这两个相关学科领域, 不仅要达到满足路基承载力和稳定性的要求, 还要严格限制工后沉降量, 保证路面结构在整个服务周期能够始终处于一种良

好的服务状况之中。近年来,排水固结法、复合地基法、置换加固法及加筋轻质填料法等软基处理技术日渐完善,但是如何在设计中正确选择适用的技术方法、合理确定设计参数并使软基处理与路面结构协调起来仍是目前工程建设面临的一个难题。本文基于对公路路基路面设计的研究,对软基处理主要技术环节进行了详细的归纳总结,以希望给设计人员一个系统的参考。

1 软土地基工程特性与设计影响分析

1.1 软基对公路路基路面结构的影响机制

软土路基对道路工程的危害主要是沉降变形及稳定性问题。由研究得出,随着车辆重量以及路堤填土高度的增大,路面的最大沉降量也随之增大。软基路堤沉降可以分为三个阶段:即时沉降、主固结沉降和次固结沉降等,其中主固结沉降占的比例最大,是对沉降起着决定性作用的部分。不均匀沉降则是导致路面结构开裂的根本原因,当差异沉降大于了路面结构的允许变形范围后,在沥青路面层会形成反射式裂缝;而在水泥砼路面板上会引发脱空或者开裂等路面病害。在桥路过渡段,由于路基与桥梁结构的强度存在差异,导致该区域沉降变形急剧,进而引发桥头跳车病害。一方面会降低行车平稳性,另一方面行车过程的撞击也会对桥面、桥台结构造成破坏,另外软土的横向变形也不容忽略。路堤填筑过程中,软土层易受挤压向外挤出,导致路堤边坡失稳,同时产生反力作用于桩体,进而影响构筑物整体的安全与稳定。所以软基处理设计要综合考虑路基竖向沉降以及横向变形两方面的因素。

1.2 软基处理的设计原则与控制目标

软基处理设计主要坚持的原则是“安全适用、技术先进、经济合理”,设计者要根据公路等级,荷载条件、软土特性和环境条件等因素,合理的选择处理方案。首先,因地制宜原则:不同的地区不同的软土成因类型、软土层厚不同,物理力学性质也不同,在确定软基处治设计方案时应根据详细的勘察资料进行针对性比选。其次,重视变形控制:现在公路的设计已经由过去的只重视承载力转变为重视工后沉降的问题了,特别是对于高等级公路,规范中对其工后沉降的要求非常严格。最后要保证全寿命周期的道路质量;在进行软基处理方案比选的时候不仅要考虑到初始的投资,还要考虑后期的维护费用,以实现全寿命周期的最优化。工后沉降控制标准是软基处理设计的主要指标之一,依据《公路路基设计规范》(JTGD30-2015)的要求,在高速公路中桥台与路堤相邻处上工后沉降要小于10cm,在涵洞以及箱涵处要小于20cm,在其他一般路

段也要小于30cm;而在道路结构上差异化沉降控制就更加重要了,一般规定在纵向上每隔20m的沉降差距不能超过千分之三。

2 软基处理主要技术方法与适用性比选

2.1 排水固结法

排水固结法是在软土中布置竖向排水通道(砂井、塑料排水板),从而减小软土的排水距离,配合采用堆载预压或者真空预压的方式使软土加速排水固结沉降,以达到增强地基强度的目的。此种处治方法适用于含水量大、渗透性强的软黏土地基,处理深度能达到25m以上,塑料排水板由于其施工简单方便、排水能力强、对土体破坏小等原因逐渐代替了传统的砂井排水体,真空预压和堆载预压同时进行可以达到8~10m填土堆载效果。真空预压真空度一般设置80~85kPa,真空联合预压时先进行真空抽气,然后达到一定真空度后分阶段进行加载,可节省30%~50%预压时间,此方法非常适合无填料来源的软土地基。排水固结法工程造价便宜,但是工期较长(大多3~12个月),适用于有充裕施工工期的一般路段。设计时应针对工后沉降量要求反推其需要多少天的预压时间及超负荷高度等参数。

2.2 复合地基法

复合地基法就是用竖向加筋的方式,在软土地基中布置桩体,桩与土共同承担荷载。珠江三角洲区域高速公路常使用的复合地基形式有搅拌桩复合地基、CFG桩复合地基和管桩复合地基等。水泥搅拌桩适用处理含水量小于等于85%且不含较多有机物质的软泥土层,其有效加固深度一般不超过15m。水泥搅拌桩水泥掺量一般在12%~20%之间,利用四喷四搅来保证搅拌均匀;直径一般选择500mm或者600mm,桩间距一般设置在1.0~1.5m左右。CFG桩复合地基属于高粘结强度桩型复合地基,由于该结构受力合理并能够节约很多材料而在软弱地基上得到了广泛的运用。CFG桩处理深度可达30m以上,适合深厚软基。桩体混合料强度等级一般为C15~C20,桩径400~600mm,桩距3~5倍桩径,置换率8%~25%,褥垫层作为保障桩与地基变形协调、协同工作的基础,褥垫层厚度取值为100~300mm、模量取值为40~90MPa比较合适,若在桩头部位增设了桩帽可以缓解桩顶受力状态,使桩间土、桩间土、桩之间应力分布更加均匀合理。

2.3 置换与加固法

换填法是一种简便易行的软土基础处理的方式,针对浅层软土(其厚度小于5m),挖掉软土然后用砂、石子等粗料

进行回填,提高了地基的承载能力。换填的厚度一般根据软弱土层的深度来定,开挖基础的坡比一般为1:1~1:1.5,回填物料层要分层压实,每层高度不宜超过30cm,施工工艺较为简单、易于控制,但是需要开挖大量土方,可用于较薄的软土地段、埋得浅的工程。强夯法是利用重锤(重量在10~40t之间)从较高的位置(高度大约为10~20m)处自由落下对地基进行反复夯实,从而引发振动波使土体得到夯实,适用于砂土层及非饱和粘性土。夯实能量设置为1000~8000kN·m之间,夯点距离一般取夯锤直径的1.5~2.5倍左右,须通过试验加以确认施工参数。而强夯置换法就是在夯坑里面加填块石,形成碎石墩复合地基来适用饱和软粘土地质情况。置换墩的深度一般为3~6m,墩体能够有效提升地基承载力并且加速排水固结,处理效果比一般的强夯要好,但是这种施工方式速度比较快,但是伴随着较大的震动及噪音污染,应避免在人口集中居住区施工。

2.4 筋与轻质填料法

土工合成材料加筋法是在路堤底部铺设土工格栅、土工布等,提高路堤抗拉强度,抑制侧向位移,均匀路基地部应力分布,特别适合应用于高填方路堤及边坡路基的加固;气泡混合轻质土是利用在水泥浆添加大量细气泡而成的一种轻型土,容重可调节为3~8kN/m³之间,明显小于普通填料重量,极大的减少了施加给软基处的额外应力,能够很好的起到减沉效果。此方法特别适用于桥头跳车治理以及软土地段的高填方路基处理等。

表1 加筋法与轻质填料法技术对比

对比项目	土工合成材料加筋法	气泡混合轻质土
作用原理	筋土摩擦约束侧向变形、均化应力	降低填料自重、减少地基附加应力
核心材料	土工格栅、土工布、土工格室	水泥、发泡剂、水
密度控制	不可调、取决于路堤填料	可调范围3~8kN/m ³
主要功能	增强路堤整体性、抗拉、抗侧向挤出	减荷填充、桥头过渡、抗浮
适用场景	高填方路堤、陡坡路基、软土路堤	桥头跳车处理、软土区高填方
施工速度	快、随填随铺	较慢、需现场制浆浇筑养护
相对造价	低至中等	高

3 软基处理设计计算与参数确定

3.1 地基承载力与沉降计算方法

软基处理完成后的复合地基承载力确定也是设计计算的第一步。而复合地基的承载力主要由桩身承载力与桩间土承载力组成,要通过桩土应力比来进行分配,荷载越大,桩土应力比越大,桩间土模量越高,桩土应力比就越

小。一般有三种承载力计算方式,分别是面积比法,应力比法,经验参数法,在设计时要结合静载荷试验的结果加以校核。沉降计算是整个软基处理设计的主要内容。总沉降为瞬时沉降,固结沉降及次固结沉降三者之和^[1]。固结沉降一般采用分层总和法来核算,根据室内的固结试验所得到的孔隙比和应力之间的关系曲线来求得每个土层相应的压缩模量值。通过实验发现CFG桩复合地基应力在加固区中上部有降低的趋势,在加固区下部以及下卧层中应力相对增加,故沉降计算需要兼顾加固区和下卧层的压缩量。

3.2 处理深度、加固范围与复合地基参数优化

软基的处理深度需要综合考虑软土层厚薄、路堤高低以及沉降限制条件,若软土层较薄,则应选用置换法浅层处理,穿透软土层至下伏较硬层;若软土层较厚,则可用悬空性复合地基,在此情况下,桩尖无须达到硬持层,只需控制下卧层贡献度。加固范围一般要大于路堤坡脚一定长度,提高抗滑能力,同时避免软土横向挤动现象产生。高等级公路工程中,加固处理范围一般不小于路堤基层宽度外侧2~3m。CFG桩复合地基优化设计的方法是选取目标应力比作为控制标准,在不同设计因素与应力比的关系曲线上查找相应数值^[2]。桩径越大,复合地基置换率越大,桩土应力比也越小;桩长愈大桩土应力比就愈大,然而桩长对桩土作用发挥程度影响不大,在设计中要根据持力层条件、变形控制指标、施工可能性等,进行多种方案对比选择最佳的设计参数。

3.3 固结理论在软基处理设计中的应用

固结理论是排水固结法设计的基础,在此之上发展了太沙基一维固结理论来刻画饱和土体受力作用下的孔隙水压力下降与土骨架压缩过程,进而可以作为砂井或者塑料排水板间距的设计参考;但是面对复合地基来说,固结问题就非常复杂了。双层地基一维固结理论适用于分析打穿软土层的情形,但当下卧层未打穿时则应考虑到下卧层排水固结性质的影响,当前越来越倾向于使用真三维固结理论来进行数值模拟计算,它可以考虑土骨架变形以及孔隙水流动,也可以再现加载超静孔隙水压力形成、消散及地基变形的整个过程^[3]。相对于一维固结理论而言,真实的三维固结理论更为合理地模拟复杂的边界条件、不同排水边界条件下的固结过程,特别是适用于真空预压、分层加载等情况下。对于真空预压这种复杂边界条件的问题来说,数值模拟的方法是一种较好的优化设计变量、预测处理结果的方式。通过对地基固结数值模型的研究,能够了解到排水体间距、预压荷载大小、施加速度等因素对于固

结时间和最终沉降量的影响来选择最佳方案;并且固结理论所对应的沉降-时间曲线拟合方式可以根据现场的数据求出固结系数,进而对施工预压时间进行调节,达到信息化设计的效果。

3.4 软基处理与路面结构协同设计

软土地基处理及路面结构综合设计是道路工程中路基路面一体化设计的关键步骤,在传统设计过程中,软土地基处理由岩土工程师进行,而路面结构的设计是由道路工程师完成,互不相干,会造成设计断层的现象。而事实上,软土地基自身的工后沉降量以及不均匀沉降方式都会影响着路面结构所受到的作用力以及使用寿命。协同设计的关键点在于:一方面将路面结构的使用品质指标即平整度保持能力和抗开裂能力等作为软土地基沉降控制的输入参数,而不是死搬硬套规定数值;另一方面将路面结构设计成柔性结构。第一,在差异沉降敏感路段(桥头、箱涵处等)可采用软基处理措施设置过渡段,使桩长逐渐变化或者桩距逐渐变化,同时在路面结构中增设加强措施;第二,在轻质填料路堤和加筋垫层组合使用的情况下,能够较好地协调路基沉降,降低路面结构的附加应力;第三,CFG 桩复合地基中褥垫层是联结桩体与上部结构之间的桥梁,其厚度以及模量影响着桩土荷载分担比例及路面结构受力状况,在合适的范围内确定褥垫层参数便可以优化桩土应力比,从而提高路面结构的耐久性。该思路也是软基处理与路面结构一体化的设计理念。

4 结语

公路路基路面设计中的软基处理技术覆盖面大,综合性强。本文以设计的角度出发,全面总结了软基处理四个重要方面即:影响机制及设计原则、主要技术措施、设计验算指标、协调设计理念及其现状。研究发现目前我国软基处理设计已经由原来的单凭承载力控制发展为综合性的变形控制;由以往的地基加固加铺面结构独立设计变为整体式协同设计。工程设计者应当注意以下几点:结合当地土质情况和工程环境选择合适的方案,以工后沉降为主要控制指标确定设计方案参数,注重软基处理与路基结构之间的相互配合。将来,随着数值模拟计算方式的进步及智能化检测仪器的应用,软基处理设计愈发精准化、动态化并能给公路工程建设高品质建设提供更强有力的技术保障。

[参考文献]

- [1]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.
 - [2]靳亮.公路路基路面设计中的软基处理技术分析[J].工程技术研究,2024,9(8):182-184.
 - [3]张立群.公路路基路面设计中软基的处理技术研究[J].运输经理世界,2022(18):25-27.
- 作者简介:曹天民(1993.5—),男,汉族,湖北监利人,本科,工程师,2015年6月毕业于中国地质大学江城学院,现主要从事道路工程专业方面工作。