

路基稳定性分析与加固技术研究

张 炜

华汇工程设计集团股份有限公司 浙江 绍兴 312000

【摘要】：公路在当今社会的经济发展中起着举足轻重的作用，但在公路修建和养护过程中，路基的稳定性问题始终是一个突出的工程难题。路基的稳定状况关系到公路的使用寿命、安全及舒适性，所以，开展路基的稳定性分析及加固技术的研究显得十分必要。在公路建设中，由于公路荷载及行车荷载的作用，路基容易发生变形、沉降、开裂等病害，对公路的安全运营造成了很大的危害。所以，对路基的稳定状态进行评价，寻求合理的处理方法，是目前我国公路建设中亟待解决的课题。文章对路基稳定性分析与加固技术作出研究。

【关键词】：路基；稳定性；加固技术

DOI:10.12417/2811-0536.25.11.079

在现代化的道路工程中，路基的稳定性是一个非常关键的课题。随着我国交通事业的快速发展，道路网络成型愈加快速，相应地，对道路路基的稳定性提出了越来越高的需求。路基的稳定与否，不但决定着公路的使用年限与安全，而且还会对车辆的乘坐舒适度及工作效能产生重要的作用。为保证公路的可持续发展，对其进行稳定性分析和加固处理具有十分重要的意义。对公路路基的稳定性进行研究，应综合各种影响因素，包括原地地基土的性质、交通荷载的作用，以及周围环境等。对各影响因素进行全面的分析，可以对路基的稳定状况进行评价，并对可能出现的病害进行预防和处理。因此，如何提高路基的承载力及抵抗变形，提高公路的使用年限，成为我国公路建设中亟待解决的重要问题。

1 路基稳定性分析方法

1.1 土力学参数试验

在进行路基稳定性分析时，土力学参数试验是非常关键的一个环节。试验过程中，必须先收集土样，然后进行室内试验。常用的土力学参数指标有：剪切强度、压缩模量、黏聚力、内摩擦角等^[1]。

在测定土体剪切强度方面，采用直剪或三轴试验测定土体的剪切强度。采用直剪试验方法，将土样放入剪箱中，对其进行横向和纵向荷载测试，测定土体的变形及受力情况，从而得到土体的剪切强度。三轴试验是在一台仪器上对土体进行轴压、径向加载，测定土体的变形及应力，从而得到土体的剪切强度。

在土壤力学参数测试中，除抗剪强度外，其模量也是影响土体力学性能的主要因素。压缩模量是土在承受压力状态下的变形特性，常用的测试方法是轴压测试，通过对土样进行竖向荷载试验，获得土样的抗压强度、泊松比等物理参量。研究黏性土中的内聚力

与内摩擦角对土体剪切强度的影响。内聚力是用来表示土中粒子间的吸力，内摩擦角用来表示土中粒子间的摩擦力。上述两项指标可用直剪仪或三轴仪测量，如表：

土壤参数	测试方法	测试结果（单位）
土壤密度	湿法密度计法	1.85 g/cm ³
土壤含水量	烘干法	12%
压缩性指数	压缩试验	0.05
剪切强度	剪切试验	2.5 MPa
压缩模量	压缩试验	50 MPa
孔隙水压力	压滤法	100 kPa

1.2 数值模拟技术

在公路建设中，为了评价其承载力与强度，保证公路的安全与使用寿命，数值模拟技术得到了越来越多的重视。首先，传统的基于有限单元法（FEM）和边界单元法（BEM）对路基稳定进行数值仿真，这些方法可以快速、准确的分析模型，并对应力、应变、变形信息进行分析。另外，对于路基的结构及路基的边界条件，也是进行数值模拟技术应用的基础^[2]。路基的厚度、宽度、坡度等主要因素对路基的承载力和变形性能有很大的影响。边界条件包括路基与土基的接触情况、路基与基层之间的界面摩擦等，这些条件对于模拟路基的真实工作状态至关重要。在进行数值模拟计算时，应充分考虑各种荷载作用下的路基的变形情况。车辆荷载、自然环境荷载及地震荷载均会对路基的稳定造成一定的影响。在此基础上，将上述荷载作用纳入到有限元模型中，利用实测资料对其动力反应进行研究，能够对其进行综合评价。

1.3 土质性质及特点分析

土质性质主要由土的粒子构成及土中粒子之间的交互作用两部分构成。一般来说,土可以分为黏土、砂土、粉土和淤泥土。由于黏性土中的粘粒含量高,因此具有显著的黏聚性和流变性能。而砂土由于粒径大,具有良好的排水性,但剪切力却很小。粉土则介于黏性土和砂土之间,具有一定的流变性和排水性。淤泥的含水率较高,容易受到挤压。其次,水分含量也是衡量水土流失的一个主要因素。土体含水率对路基的力学性能起着很大的作用,含水率偏大或偏小都会引起路基失稳。通过对土体含水率的测定,可以为路基的稳定提供依据。

另外,土体的压实程度对土体的机械性能也有一定的影响。土的密实度可以用密实度测试来评定,一般用干容重和湿容重来表达。适当的压实度能够增加路基的承载力,进而改善路基的稳定。

1.4 路基变形特征分析

首先,路基沉陷是一种普遍存在的变形,一般以mm或cm来度量。由于路基性质及土质特性的差异,其沉陷速度及范围也不尽相同。利用现场观测资料及有限元模型,可以对路基的沉陷进行评价,进而对路基的稳定性进行分析。其次,路基的横向变形也是公路工程中的一个主要的病害。横向变形一般是指路基横向移动的长度,可用米或厘米表示。公路的横向变形会引起路基的不均匀沉降与变形,从而降低道路的平整度及使用年限。可以根据现场实测资料,对路基的整体稳定情况作出判断^[3]。

另外,在对路基的破坏特性进行研究时,还需要对路基的裂缝进行研究。由于温度变化、基础沉降和荷载共同影响,导致路基产生裂缝。可以通过现场观察及非破坏性测试等手段获得裂缝的详细信息,再与试验资料相配合进行研究。路面裂缝将严重地降低公路的使用寿命,对其进行合理的加固处理和修补显得尤为重要。

1.5 路基稳定性评价指标

目前常用的路基稳定性评价指标有路基承载能力、变形能力和排水能力等。路基的承载力一般用CBR(荷载比率)来表达,它可以反应路基的压缩强度。从理论上讲,CBR值较大时,路基的承载力较大。为了保证路面在荷载作用下的稳定性,公路工程的设计要求一般需要CBR值达到一定值以上,这样才能保障公路路基在重载情况下的稳定性。此外,变形能力指标也是判断路基稳定性的主要因素之一。目前,我

国公路建设中普遍使用动力固结仪等仪器对路基土进行试验,以确定路基土的变形状态。试验结果表明,路基土的变形模量通常与其大小和土体种类、含水率有关。

同时,排水能力也是影响路基稳定与否的一个主要因素。路基土的渗水性对路基的稳定有很大的关系。为了保证在雨季期间不发生积水,工程技术人员要定期做水压测试,以评价路基的抗渗能力。实践资料表明,为确保降雨作用下的路基稳定,通常需要路基土的透水性大于10~6 cm/s。

2 路基加固技术应用

2.1 土工材料加固技术

土工格栅也叫土工合成材料,与其他土工合成材料相比,它具有独特的性能与功效。常用作加筋土结构的筋材或复合材料的筋材等。土工格栅是一种常用的路基处理方法,可显著改善路基不均匀沉降。

采用土工格栅对路基进行加固,其主要工序为:将路面上的杂物、疏松的土清理干净,然后进行整平;在此基础上,进行土工格栅的铺筑,一般为一层土工格栅,然后,利用专用机械设备将土工格栅和土壤进行加固,一般是用钢钉进行固定;然后对路基进行表面整修,使其达到良好的平整度、外观效果^[4]。在土工格栅加固工艺中,还应注意土工格栅材料的选用及尺寸,因应具体情况而选用各种型号、尺寸的土工格栅。另外,应加强对土工格栅的接头处理及施工质量的管理,保证土工格栅的铺设与固定满足设计规范,才能取得最好的加固作用。总体而言,土工格栅加固技术是一项较为成熟的路基处理手段,能显著改善公路路基的稳定与耐久性能,保证公路行车的安全与顺畅。

2.2 真空井点降水

真空井点降水施工原理是利用真空泵将井内的空气抽出,形成负压,使地下水通过地面孔隙流入井中,从而达到降水效果。真空井点降水施工原理简单易懂,施工过程中不会对周边环境造成影响,是一种环保的施工方式。真空井点降水的施工方法主要有如下步骤:

施工准备,确定施工参数;安装高真空排水系统,进行第一遍高真空排水击密施工;对第一遍处理后的地基进行现场自检;对第一遍处理后的地基进行现场自检;调整施工参数,进行第二遍高真空击密法施工;对第二遍处理后的地基进行现场自检;调整施工参数,进行第三遍高真空击密法施工;对第三遍处理后的地基进行现场自检;满夯或振动碾压平整场地;平整场

地，根据需要对相关指标进行检测。

对于路基沉降、变形及侧向变形等问题，采用真空井点降水技术进行处理，特别是对于软弱路基，更是一种行之有效的方法。经科学的设计与建造，既可提高地基的力学特性，又可提高路基的使用年限，为公路行车的安全与畅通奠定坚实基础。

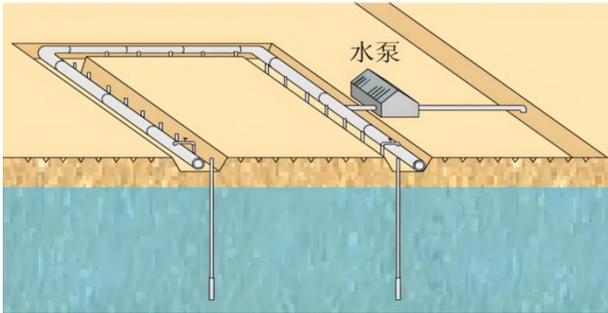


图1 真空井点降水

2.3 桩基加固技术

首先，针对不同的道路路基条件，对不同的桩基础进行加固处理。桩基常用的形式有：预应力桩、水泥搅拌桩、钻孔灌注桩等。在对路基承载力要求很高的工程中，可以采用一种预应力管桩技术对路基进行加固处理；钻孔灌注桩是一种适合于软基处理的桩基，在其基础上注入水泥，使桩身牢固，从而增强路基的稳定。其次，对于桩基的处理，应按照设计的要求，合理地确定桩的直径、间距和长度。一般来讲，增大直径，增加桩间距，增加桩的深度，可以提高路基的承载力和稳定性能。在此基础上，由专业的设计人员依据现场调查资料及施工需要，并依据土体的基本原理，对桩基础进行合理的设计。

另外，在进行桩基处理时，还应注意桩基与路基的结合形式。常用的连接形式有桩顶梁、桩帽等。为了使桩基成为一个完整的结构，通常会采用一种新型的结构形式，即预制梁或现场浇筑的方法。桩帽是一种与桩身顶部相连的横向构件，起到分散荷载和减小桩端压力的作用，确保桩身工作特性。

2.4 注浆加固技术

注浆加固技术是一种将特殊物质灌注于路基土中，以提高路基的稳定与承载性能的一种新方法。目前，对其进行注浆加固的方法主要有水泥浆、聚合物浆液和树脂浆液。而水泥浆作为一种应用最为广泛的灌浆材料，因其固化后的抗压、透水性好，能显著改善路基承载力。为保证浆液能完全渗入路基土内，发挥其应有的增强作用，应结合工程实际情况，准确地进行灌浆厚度及灌浆密度的计算与控制。在进行灌浆

处理时，首先要做好路基处理和准备工作，再用钻机设备将浆液灌注至路基土中^[6]。为保证灌浆的均匀性，并能对路基土中的空洞及病害进行填充，应结合路基条件及实际施工要求，合理选择灌浆孔的直径及间距。通过对其进行适当的养护与硬化处理，可以提高其抗压强度与稳定度，从而降低路基的沉陷与变形，提高公路的使用年限。

2.5 动力碾压技术

动力碾压技术是一种采用特定的能量、频率的压实机械设备，在路基上施以强力压实、增强路基承载力的方法。

在工程实践中，动力碾压技术多为振动压路机，其振动频率与幅值的选取直接关系到路基的强度与加固效果。通常，振动压路机的工作频率范围为30—50 Hz，幅度范围为0.5—1.0毫米。通过对振捣参数的适当调节，可以使路基压实程度得到改善，从而降低路基的松弛、沉降。另外，将动力碾压技术与土工格栅材料结合，可以使路基的承载力得到较大程度的改善。土工格栅材料是一种高强度、高应变特性的新型复合结构，可以有效的提高路基的抗剪强度，通过在施工期间及时铺放土工格栅，使其与路面构成一体，从而改善整个路基的承载及抵抗变形能力，如图2。



图2 路基动力碾压

通过对现场施工资料数据的分析，采用动力碾压技术与土工格栅材料结合的方法，对路基的承载力及稳定性能有较大的改善作用。在实际工程中，采用合适的土工格栅材料，可以显著提高路基的使用年限，降低路基的损坏率，保证公路的行车安全。

3 结语

综上所述，在对公路路基稳定性分析及加固技术的研究中，需要着重对路基工程中存在的问题给予关注，然后针对问题核心制定相应对策。通过对相关问题的研究，可加深对该问题的认识，并为加固技术在

实际工作中的应用和发展奠定基础。在公路建设中，路基的稳定问题尤为突出，关系到公路的使用年限与安全。采用适当的方法进行处理，能有效地改善路基的稳定性，达到延长道路使用年限、保证行车畅通与

行车安全的目的。因此，开展公路路基稳定性分析和加固技术的研究，是提高公路建设质量的关键。只有通过持续的研究与实践，才能使公路施工与养护工作更加可靠、安全和高效。

参考文献：

- [1] 贾静静.注浆加固黄土冲沟虚填段路基变形及稳定性分析[J].市政技术,2024,42(02):62-67.
- [2] 翟文光.山区高填方边坡稳定性分析与加固处理[J].黑龙江交通科技,2023,46(10):42-44+92.
- [3] 王梅.公路路基边坡稳定性及加固措施研究[J].运输经理世界,2023,(24):113-115.
- [4] 邱瑞成,贾飞扬.路基稳定性分析与加固技术研究[J].科技创新与生产力,2023,44(08):44-46.
- [5] 覃敏军.水位变化对临河路基挡土墙加固边坡稳定性的影响分析[J].西部交通科技,2023,(07):16-19.
- [6] 张立军.山区高速公路路基边坡稳定性及加固措施分析[J].四川水泥,2023,(04):257-258+261.