第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

1.2 土工格栅加筋土研究现状

1.3 本文主要研究内容

第二章 土工格栅加筋路堤稳定性研究

2.1 土工格栅的基本概念及性能指标

2.2 土工格栅的加筋机理

2.3 土工格栅加筋土路堤边坡

2.4 本章小结

第三章 土工格栅加筋路堤边坡数值模拟研究

3.1 有限元分析理论的基本原理

3.2 工程概况

3.3 有限元模型的建立

3.4 本章小结

第四章 土工格栅加筋路堤边坡优化设计

4.1 加筋与未加筋路堤边坡稳定性及变形特征分析

4.2 不同加筋间距下路堤边坡稳定性及变形特征分析

4.3不同加筋长度下路堤边坡稳定性及变形特征

4.4 本章小结

第五章 结论与展望

5.1结论

5.2 展望

第一章绪论

1.1第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

古代人们使用植物纤维作为加筋材料的实践，比如长城遗留的城墙是由土石混合后添加芦苇柳树枝藤蔓等纤维材料构筑的，巴比伦人曾在在土中加入动物毛发植物纤维等修筑庙塔，英格兰人在泰晤士河岸的坡上埋设金属丝网以对其进行防护，这些反映了人们对于提高土体抗压性能的认识和需求。随着科学技术的发展和工程实践的不断深入，人们对土体的加筋加固方法和理论研究也逐渐加深。在20世纪70年代，法国工程师Vidaly与1971年首次在实验中发现加入纤维材料可以明显提高土体的强度，并且法国在这项研究的基础上建立起了世界上第一座加筋挡土墙。这为土工合成材料的研究奠定了基础。在此之后，人们对于土工合成材料的研究逐渐深入，并取得了一系列的重要进展。例如1973年，英国的Carson等人在《土木工程》杂志上发表了一篇题为《撑墙体的拉伸受力装置》的论文，介绍了一种用土工格栅来加固撑墙体的方法。1976年，美国的Giroud和Han推广了土工格栅的概念，提出了土工格栅的定义和分类，成为土工格栅技术发展的重要里程碑。1978年，美国的Koerner发表了《土工合成材料》一书，详细介绍了土工格栅和其他土工合成材料的研究、制造和应用情况。1979年，美国的Mercado和Morgenstern在《土木工程》杂志上发表了一篇题为《加固砂土路堤的土工合成材料试验研究》的论文，使用土工格栅成功地加固了砂土路堤，证明了土工格栅在加固土体中的可行性。80年代后，人们开始研究不同类型的土工合成材料对土体力学性质的影响，同时也对土工格栅加筋土技术进行了深入研究，提出了一系列的设计方法和施工规范，他们涉及到土工格栅的测试方法、试样包装和运输、特性要求以及颜色代码识别等方面。比如由国际国际标准化组织（美国铸造工程师协会American Society for Testing and Materials，简称ASTM）提出的ASTM D638-14、ASTM D6637-15、ASTM D6911-17等国际规范，其中ASTM D638-14是用于测试塑料制品拉伸性能的标准测试方法，ASTM D6637-15是用于测试土工格栅拉伸性能的标准测试方法，ASTM D6911-17是关于地工合成材料试样包装和运输的标准指南。除了这些标准之外，其他还包括ASTM D6467、ASTM D7179、ASTM D7748、ASTM D7928等等；90年代以来，随着新材料和新技术的不断涌现，人们对土工合成材料的研究范围和深度不断拓展，涌现出各种各样新型材料做成的土工格栅，比如塑料纤维、玻璃纤维、聚酯涤纶等材料做成的土工格栅，同时也为土体加固和地基处理等领域提供了更加有效的技术手段,20世纪80年代以后，我国也逐渐开始出现土工格栅加筋路堤,随之一起出现的还有《公路土工合成材料应用技术规范》(GB50290-98)、 《公路土工合成材料试验规程》、《公路加筋土工程设计规范》(JTJ015-91)、《公路加筋 土工程施工技术规范》(JTJ035-91)、《土工合成材料塑料土工格栅》（GB/T 17689-2008）等各项国家标准。随着各国研究人员采用不同手段对土工材料加筋进行研究，经过20多年的经验技术积累，针对土工材料包括土工格栅的各个方面都取得了丰硕的成果

土工合成材料加筋路堤作为一种新型的土体加固方式，相比传统的土石结构具有使用方便、建造周期短、节约土石材料等优势，在公路工程中，加筋土工格栅能够有效地增加路基承载能力，提高公路的稳定性，减小路面沉降，延长路面使用寿命，降低公路运营成本，从而满足日益增长的交通运输需求。在公路工程中，土工合成材料广泛应用于路基、路面和侧坡等方面，其作用主要体现在以下几个方面：首先，土工合成材料的加筋作用可以提高路基、路面和侧坡的稳定性和承载能力，防止发生沉降、变形、断裂等问题，从而延长路面使用寿命，提高道路的安全性和可靠性。其次，土工合成材料的过滤和分隔作用可以防止土壤颗粒的混合和流失，同时防止水分和气体的渗透，从而保持路基、路面和侧坡的稳定性和通透性。最后，土工合成材料的隔水和防护作用可以防止路面和路基被雨水、地下水和地下水流侵蚀和冲刷，从而保证道路的安全性和稳定性。具体到相关实例比如国内:2013年，四川省南充市西充县境内的一段公路发生路基塌陷事故。经过调查，事故原因是因为该路段没有进行加固和防护措施。后来在对该路段进行整改时，使用了土工格栅等土工合成材料进行加固处理，以确保路基的稳定性和安全性。国外：2007年，美国加利福尼亚州的一段高速公路发生路基塌陷事故，导致部分路段被封闭。事故原因是因为该路段未经过适当的土工格栅加固处理。事故发生后，相关部门立即对路段进行了加固处理，以确保道路的安全性和稳定性。同时也存在一些因为布设了土工格栅而没有出现问题的案例比如2008年5月12日，中国四川省汶川县发生了里氏7.9级大地震，导致了大规模的人员伤亡和财产损失。然而，由于在汶川地震区域大量采用了土工格栅等土工材料进行加固，一些公路和桥梁得以幸存，有效避免了更多的人员伤亡和财产损失。在新德里地铁建设中，大量采用了土工格栅等土工材料进行加固，确保了隧道和地铁站的稳定性和安全性。

以上案例表明，未使用土工格栅进行加固处理可能会导致公路的安全问题。在公路工程设计和施工过程中，应根据具体情况选用合适的土工格栅和加固方案，确保道路的安全和稳定。因此，研究土工合成材料在公路工程中的应用和机理，对于提高公路工程的质量和效益具有重要意义。

1.2 土工格栅加筋土研究现状

经过多年的研究，目前的研究主要集中在如下方面

（1）土工格栅与土相互作用机理。

研究借助于拉拔试验、直剪试验和数值分析等手段.研究的问题主要有以下几个方面。专家通过研究土工格栅加筋土中力的分布和传递，以及在拉力和剪力作用下土工格栅周围内应力的分布，发现土工格栅在土体中的工作状态可分为拉拔状态和直剪状态，这两种状态下土工格栅工作特性会直接影响到土工格栅加筋路堤的研究。1994年RaguiF、Wilson、Fahmy等人进行了沙土中土工格栅拉拔实验，试验表明土工格栅在拉力作用下出现三种类型的破坏：土工格栅拔出断裂和土工格栅纵肋与横肋之间的连接失效。土工格栅在拉伸方向上的拉伸性能、横筋的柔韧性和横筋间荷载传递能力对土工格栅在土中的拉伸性能有重要影响[3]。1995年他们又在砂土中土工格栅长期拉拔(超过1000小时)与短期拉拔试验中对比表明，长期拉拔的最大拉拔力基本等于短期拉拔[4]。1997年Ahmet和Pamuk等人在拉拔试验中发现，土工格栅的蠕变随黏土张力的增加而增大，格栅的蠕变变化率是荷载幅值的函数，恒载条件下土工土的蠕变比重复荷载条件下要大[5]。1999年Shigenori和Hayashi等人对土工格栅在压实砾石的室内拉伸试验进行了研究，结果表明，在较低的法向应力下，土体经历膨胀后土与土工格栅界面法向应力的叠加和拉力增大[6]。马学宁测试了砾石、粗砂、湿性和饱和黄土条件下土工格栅的拉深曲线，发现不同土质下土工格栅的摩擦系数之比均不大于一，且摩擦系数随含水量的增加而减小。他认为土工格栅与填充物的界面为弱滑动面，施工时应考虑土工格栅的抗滑系数[7]。周志刚他们发现Duncan-Chang模型不能很好地反映土工格栅与土体之间剪力r与相对位移s的非线性关系。而南京水利科学研究所发表的非线性模型克服了Duncan-Chang模型不能描述岩土应变软化阶段、剪应力与相对位移呈非线性关系的缺陷。它能反映界面处的剪胀现象，增加土体中粗颗粒的含量，有利于提高界面抗剪强度指标和界面残余抗剪强度指标[8]。施有志发现在拉拔试验中摩擦力由两部分构成，分别是土工格栅与填充物之间的摩擦力和土工格栅对填充材料的嵌挤导致的摩擦力，起固定作用的主要是嵌挤导致的摩擦力，并且多层土工格栅产生的摩擦力大于单层大于土工布。相同土工格栅在不同材料中产生的摩擦系数也不一样，土工格栅在沙砾石中产生的摩擦系数大于粗砂大于细砂。拉拔实验产生的摩擦系数大于直剪实验[9]。

（2）土工格栅加筋土强度特性研究

土工格栅加筋土强度特性研究通常采用三轴试验技术，主要包括：待解决的加筋土抗剪强度问题以及加筋土加固时不发生变化的问题；加筋土整体的本构关系。准粘聚力理论是较早的理论研究方向，也是加筋土工程领域应用广泛的理论之一。准粘聚力理论是基于加筋土和不加筋土体的三轴试验提出的理论，通过对加筋土结构整体进行考虑，认为加筋土体约束增加土体横向变形的侧压力，从而增加土体的抗剪强度。内摩擦角的理论是指加筋土体与未加筋土体的内摩擦角相等，因此相当于增加了土体的粘结力，使这部分增加称为准粘结力。吴景海利用MTS试验仪对五种土工格栅材料进行了三轴压缩试验，分别测试了配筋对砂土抗剪强度和应力应变特性的影响。他发现土工合成材料加筋砂具有准粘聚力，加入土工格栅后的土体符合Mohr\_Coulomb抗剪强度理论[12]。闫澍旺提出了一种测量土壤与土工格栅相互作用拉拔阻力的方法。他将拉伸阻力试验分为大、小格栅试验，均遵循欧洲技术委员会制定的土壤拉伸阻力试验方法（cen/tc189）。他发现，土壤对于处于拉拔状态的土工格栅的阻力有两部分组成，土壤与格栅的表面摩阻力以及土对横肋的阻力，其作用程度与格栅变形的大小有关。摩阻力在小的变形时达到峰值，之后随着网格变形的进一步增大，横肋阻力逐渐占主导地位，最终承担90%的荷载[11]。

(3)土工格栅加筋路堤变形破坏机理

1998到1999年徐林荣等人通过加筋土边坡承载力和边坡位移特征的常见物理模型试验研究表明，加筋土边坡的断口面是一种不规则形状的“锯齿”形[13]。研究发现，影响加筋土边坡承载力的因素有:加筋类型、加筋层间距、加筋长度和边坡坡度[14]。同时研究还表明，横向位移是影响土工格栅总抗拉强度或弹性模量的主要因素，竖向位移是控制格栅刚度的主要因素。边坡侧向位移量应该作为高陡坡加筋土体破坏情况的量化指标[15]。S.Murugesan根据不同土工格栅加筋土路基与非加筋土路基的室内模型试验，指出在一定荷载极限下，加筋土路基与非加筋土路基沉降没有明显差异，但随着荷载逐渐增加并达到一定数值，未加筋土路基会发生突然破坏，而加筋土路基则逐渐被破坏。加筋路堤的承载力约为无加筋路堤的1.5倍。由于加筋的锚固作用，边坡的位移减小，所能承受的变形比无加筋路堤大[16]。在2000年杨锡武等利用离心模型试验对土工格栅高加筋边坡路堤进行了研究，试验指出了加筋边坡和不加筋路堤边坡的坡面最大的一侧的位移都会出现在路堤的三分之一至二分之一之间[17]。实验证明中部布筋密的坡面侧向位移比布筋疏的模型小[18]。另外，加筋斜面的滑裂面呈折线状，加筋使沉降延着路基的横向分布更加均匀[19-20]。

1.3 本文主要研究内容

本文主要是对土工格栅加筋土技术进行系统研究，探讨其发展历程、研究现状和存在的问题。对国内外相关文献进行综述和分析，总结土工格栅加筋土技术在不同领域的应用和实践经验，并探讨其未来的发展趋势。在此基础上，我们将深入探讨土工格栅加筋土技术的机理和影响因素，从物理、化学和力学特性等多个角度来分析其加固效果和影响因素。最后，我们将通过实例分析和数值模拟来验证土工格栅加筋土技术的可行性和有效性，评估其加固效果和经济效益。通过本文的研究，我们旨在为进一步的研究和应用提供理论支持和实践指导，让读者对土工格栅加筋土技术有更全面深入的了解。在探讨土工格栅加筋土技术的机理和影响因素方面，本文将深入分析土工格栅加筋土的物理、化学和力学特性，并探讨土工格栅与土体之间的相互作用机理。通过深入分析，本文将为土工格栅加筋土技术的加固效果和影响因素提供理论依据。

在最后的研究阶段，本文将通过实例分析和数值模拟，验证土工格栅加筋土技术的可行性和有效性。以工程实例为背景，通过现场实测和数值模拟的方法，评估土工格栅加筋土技术的加固效果和经济效益，为其应用推广提供可靠的依据。通过这一步骤，我们可以深入了解土工格栅加筋土技术在实际工程中的应用情况，了解它的真实效果和可行性。

综上所述，本文旨在通过全面系统地介绍土工格栅加筋土技术的相关理论和应用，为进一步的研究和应用提供理论支持和实践指导。同时，本文也希望能够引起更多学者和工程师对土工格栅加筋土技术的关注和研究，为其未来的发展做出更加积极的贡献。此外，本文也将重点探讨土工格栅加筋土技术在不同领域的应用情况，比如在道路工程、水利工程、土石坝加固等领域的实践应用，以及在环境保护方面的应用，如固体废弃物填埋场和矿山尾矿库的加固等。同时，本文还将分析土工格栅加筋土技术的优点和局限性，并提出相应的改进和完善建议。

总之，本文旨在通过全面细致的研究和分析，深入探讨土工格栅加筋土技术的相关理论和应用，为该技术的发展和推广提供有力的理论支持和实践指导。

第二章 土工格栅加筋路堤稳定性研究

2.1土工格栅的基本概念、性能指标及相关其他应用

土工格栅是一种用于土壤加固的结构材料，通常由聚合物、钢、玻璃纤维等材料制成，具有良好的拉伸性能和刚度。它们通过网格状的结构，将土壤分割成一系列小单元，从而能够有效地抵抗土壤的侧向移动和滑动。

不同材料和成形工艺的土工格栅具有不同的性能指标。例如，通过粘焊工艺成型的钢塑格栅，由于焊接工艺易损害筋条原有的拉伸强度，整体结构强度较低。玻璃纤维和聚酯经编涤纶土工格栅等经编织物类土工格栅具有较高的拉伸强度，但节点强度较低，易产生滑移，导致矩形网格结构变形。塑料拉伸类土工格栅则具有较高的生产效率，产品节点强度高，不易变形，满足了工程的需要，应用市场最为广阔。

根据形貌特征，塑料土工格栅可以分为单向土工格栅、双向土工格栅、多向土工格栅等。其中，单向土工格栅是对经过冲孔的聚丙烯或高密度聚乙烯板料进行单向拉伸得到；双向土工格栅和多向土工格栅是对经过冲孔的聚丙烯板料进行两次拉伸得到，多向土工格栅的预冲孔结构相比于双向土工格栅更为复杂，在两次拉伸后可以在多个方向形成筋条。常见的多向土工格栅如三向土工格栅、四向土工格栅，可以在三个或四个方向上承载较大载荷，相比于普通的双向土工格栅具有更优的力学性能，具有较好的应用前景。

土工格栅的主要性能指标包括拉伸强度、节点强度、刚度、耐化学腐蚀性、耐候性等。

1. 抗拉强度：土工格栅的抗拉强度是指其在受到拉力作用下能够承受的最大应力值。这是土工格栅最基本的性能指标之一，也是其使用时需要考虑的重要因素。
2. 节点强度：土工格栅的节点强度是指节点部位的抗拉强度，也就是连接筋条和网格的部分。节点强度越高，土工格栅在使用时就越不容易出现节点断裂等问题，从而具有更好的使用性能。
3. 拉伸模量：拉伸模量是指土工格栅在受到一定拉力作用下发生形变的能力。拉伸模量越高，土工格栅就越不容易发生变形，从而能够更好地保持其结构的完整性。
4. 疲劳性能：土工格栅在使用时需要经历长期的拉伸和压缩变形，因此其疲劳性能也是非常重要的。好的土工格栅应该具有较好的疲劳性能，能够在长期使用过程中不断地承受变形而不失效。
5. 环境适应性：土工格栅在使用时需要承受各种不同的环境条件，如高温、低温、潮湿、干燥等等。好的土工格栅应该具有较好的环境适应性，能够在不同的环境条件下仍然保持其性能不变。

总的来说，土工格栅是一种非常重要的土工材料，在各种土木工程中都有广泛的应用。同时土工材料还在土木工程的其他方面展示出他强大的作用

比如：（1）土工材料在环境治理方面发挥着重要的作用。在污染场地的修复过程中，土工材料可以用于构筑污染物隔离带、渗漏控制层和排水系统等，起到防止污染物向周边环境扩散的作用。（2）土工材料还可以用于河道、湖泊和海洋等水体环境的修复和保护工程中，例如河道护岸、湖泊堤防、海岸保护等，可以有效地保护水体环境，防止自然灾害对周边环境的损害。（3）土工材料在城市建设方面也有广泛的应用。例如在城市道路、广场、公园等场所的铺设中，土工材料可以用于加固土体、增强土体的承载能力，同时具有抗水、防腐、耐磨、抗老化等特性，可以提高城市建设的质量和耐久性。（4）土工材料还可以用于城市隧道、地下室、地铁等地下工程的施工中，可以增强土体的稳定性和承载能力，保证施工的安全和质量。（5）土工材料在能源开发领域也有着重要的应用。例如在水电站、风电场等能源设施的建设中，土工材料可以用于护坡、加固土体、防止土壤侵蚀等，保证设施的稳定性和可靠性。（6）土工材料还可以用于油田开发中，例如油田注水井、采油井等的井壁加固，可以提高井壁的稳定性和抗压能力，同时防止土层坍塌、井道塌陷等事故的发生。（7）土工材料在海岸工程方面也有着广泛的应用。例如在海岸护坡、码头、港口等工程的建设中，土工材料可以用于防波堤、加固土体、抗冲刷等，起到保护海岸线和提高海洋工程可靠性的作用。

总之，土工材料在各个领域中都有广泛的应用，展现出重要的作用。随着科技的不断发展和人们对环境保护意识的提高，土工材料的应用前景将会更加广阔。

2.2 土工格栅的加筋机理

经过分析总结，可以将筋土之间的作用机理大致分为两类：一种是摩擦加筋理论，即通过铺设加筋材料在填土上方，并施加作用荷载，从而使填土自重和外力通过内传递作用于筋材，从而间接阻止筋材被拔出土体。另一种是准粘聚力理论，即通过增加土与筋材之间的粘着力来实现加筋效果。

摩擦加筋原理可以用微元分析来理解。以加筋土体的一段微元为例，筋材左右两端受力分别为T1和T2，筋材所受拉力为dT=T1-T2。土体自重和外荷载合力为N，格栅与土体间的摩擦系数为f，格栅宽度为b，格栅与土体之间的摩阻力为F=2Nfbdl。当F＜dT时，微元段所受摩阻力大于筋材所受拉力，即发生失稳现象；反之，则处于稳定状态。整个加筋土结构都处于稳定状态的条件是每个微元段都满足F＞dT。虽然摩擦加筋理论具有较好的适用性，但也存在一些不足。一方面，该理论没有考虑到筋材在荷载作用下会发生变形的特点；另一方面，该理论也没有考虑到土体属于各向异性的非连续介质材料。因此，摩擦加筋理论主要适用于高模量的金属加筋材料等，使用时需正确理解其适用性和局限性。

准粘聚力原理是复合材料理论在加筋土领域的应用。它将加筋土看作各向异性的复合材料进行结构分析。准粘聚力原理的研究人员利用三轴试验的方法，对加筋土和未加筋土进行了多组实验。结果表明，在相同的应力作用下，加筋土的强度明显高于未加筋土的强度。这是因为铺设筋材后，填土的抗剪力以及筋材与土体间的摩擦力共同作用，提高了加筋土体的强度。准粘聚力原理还借助库伦理论和摩尔破坏准则对加筋土的强度提高现象进行了分析。其中，库伦强度公式推算出土的极限抗剪强度

τf = c+σtanυ （1-1）

式中：

τf —土体的极限抗剪强度；

c —土的粘聚力；

σ —土体受到的正应力；

υ —土的内摩擦角。

摩尔破坏包线则是应力和抗剪强度之间的函数关系，通过分析摩尔圆的位置和曲线的特征，可以得出加筋土的准粘聚力。但是准粘聚力求导公式只适用于筋材不出现断裂、筋材受力后未发生变形以及筋土

间不出现滑动的情况[54]，特别适用于高弹性模量和高拉伸强度的加筋材料

2.3 土工格栅加筋土路堤边坡

目前，在工程实际应用中存在许多使用土工格栅的案例，它们通过土工格栅很好的解决了原本应用中存在的问题，比如

国内：

温岭市某土工格栅边坡工程, 该项目位于浙江省温岭市，是一处长约400米、宽约60米的边坡。在施工前，该边坡的土质较松散，地下水位较高，存在较大的滑坡风险。为解决滑坡风险，设计师采用了土工格栅作为边坡加固措施。首先，在边坡上挖掘出一定深度的坑，然后在坑内铺设土工格栅，并且与坑壁连接固定，形成一个稳定的整体结构。然后，在土工格栅上进行垂直和水平排水，以排除地下水的影响。最后，利用土工格栅的抗拉性能，拉紧土工格栅，并在土工格栅后填充一定厚度的填土，形成了一个稳定的土体结构。因为采用土工格栅作为边坡加固措施，不仅可以有效地提高边坡的稳定性和承载力，还可以大幅度降低施工成本和工期。同时，土工格栅还具有良好的透水性和抗腐蚀性能，能够适应不同的地质环境和气候条件，是一种非常优秀的土工材料。

云南某公路边坡加固工程。这个工程是在云南省普洱市的一条公路上，使用土工格栅技术来解决边坡稳定性问题。该公路的边坡地质条件复杂，主要由粘性土和岩石组成，且存在水土流失等问题。为了解决这个问题，工程师们采用了土工格栅作为边坡加固材料。他们首先进行了现场勘测和设计，确定了格栅的大小、形状和斜度，并制定了具体的施工方案。施工过程中，首先要清理和处理原有边坡的土壤和植被，然后铺设土工格栅。格栅的使用可以增加边坡的稳定性，并可以控制水土流失。同时，格栅的柔性和高强度可以使其适应边坡的不规则表面，并能够承受各种不同方向的荷载。施工完成后，工程师们对边坡进行了实测和监测。结果表明，使用土工格栅的边坡稳定性得到了显著改善，并且没有出现明显的滑坡和裂缝等问题。该方案得到了较为成功的应用和推广，成为解决类似边坡稳定性问题的重要。

国外：

日本大雨山崩塌治理工程。该项目位于日本冈山县岸田市，是一项治理大雨山南侧崩塌的工程。在治理过程中，土工格栅被用于加强边坡的稳定性，避免再次发生崩塌。项目采用了高强度土工格栅，其格栅结构分为水平和垂直两个方向，有效地控制了边坡的变形和滑动。最终，治理工程取得了成功，边坡稳定性得到了有效的提升。治理过程采用了复杂的边坡工程设计和土工格栅结构设计，从而提高了整个工程的稳定性和安全性。通过对现场进行细致的勘察和分析，设计团队制定了一套符合当地实际情况的边坡治理方案。在施工过程中，工程人员将土工格栅和其他材料进行有效地组合和搭配，确保了工程的成功实施。治理工程的成功实施，为未来的大型边坡治理工程提供了有力的借鉴。

加拿大科尔多瓦海滨大道边坡加固工程该工程是对加拿大科尔多瓦海滨大道的一个边坡进行加固。在边坡表层的土体中嵌入了数层土工格栅，并用连接件将不同层的土工格栅连接在一起，形成一个整体的加筋体系。通过数值模拟和现场监测，该工程表现出良好的稳定性和抗震性能。

新西兰奥克兰西南高速公路边坡加固工程该工程是对新西兰奥克兰西南高速公路上的一个边坡进行加固。在边坡表层土体中嵌入了一层土工格栅，并采用了植草覆盖的方式进行绿化。通过现场监测和稳定性分析，该工程表现出良好的稳定性和美观性。

2.4 本章小结

第三章 土工格栅加筋路堤边坡数值模拟研究

3.1 有限元分析理论的基本原理

3.2 工程概况

3.3 有限元模型的建立

3.4 本章小结

第四章 土工格栅加筋路堤边坡优化设计

4.1 加筋与未加筋路堤边坡稳定性及变形特征分析

4.2 不同加筋间距下路堤边坡稳定性及变形特征分析

4.3不同加筋长度下路堤边坡稳定性及变形特征

4.4 本章小结

第五章 结论与展望

5.1结论

5.2 展望