

路基填筑后的生态恢复技术与效果监测

邹吉鹏¹ 张会兵²

1. 中交一公局集团有限公司 北京 100024

2. 中交一公局第六工程有限公司 天津 300457

摘要：交通基础设施建设的蓬勃发展使路基填筑工程规模不断扩大，对沿线生态环境造成显著破坏。路基填筑后的生态恢复成为亟待解决的关键问题。本文深入剖析路基填筑后生态恢复的关键技术，涵盖植被恢复、土壤改良、水土保持等方面。同时，阐述生态恢复效果监测的指标、方法、频率，通过实际案例分析验证技术与监测方法的有效性，为路基填筑后的生态恢复工作提供全面、科学的技术指引与监测方案，推动工程建设与生态环境的协同共进。

关键词：路基填筑；生态恢复技术；效果监测；植被恢复；土壤改良

1 引言

交通基础设施作为经济发展的重要支撑，其建设规模持续扩大。然而，路基填筑工程在施工进程中，不可避免地对周边土壤、植被、水文等生态环境要素造成严重破坏。这种破坏不仅影响区域生态系统的平衡与稳定，还可能引发土地退化、生物多样性减少、水质污染等一系列环境问题。因此，在路基填筑工程结束后，采取科学有效的生态恢复技术，并建立完善的效果监测体系，对于实现工程建设与生态环境的和谐共生具有至关重要的意义。

2 路基填筑对生态环境的影响

2.1 对土壤的影响

路基填筑通常需要开挖和填筑大量的土石方，这会破坏原有土壤的层次结构和理化性质。一方面，开挖过程会剥离表层富含有机质和养分的土壤，导致土壤肥力下降；另一方面，填筑材料的使用可能改变土壤的质地、酸碱度和透气性等，影响土壤的生态功能。例如，填筑材料中的石灰、水泥等碱性物质可能导致土壤碱化，不利于植物生长。

2.2 对植被的影响

路基填筑会直接破坏地表植被，导致植被覆盖度降低，生物多样性减少。植被的破坏不仅影响景观美观，还会削弱土壤的保持能力，加剧水土流失。此外，植被的减少还会影响生态系统的物质循环和能量流动，对区域生态平衡产生负面影响。

2.3 对水文的影响

路基填筑改变了地表的形态和坡度，影响了地表水和地下水的径流和排泄。一方面，填筑路基可能阻断原有的水流通道，导致局部地区积水或排水不畅；另一方面，路基的填筑改变了地下水的补给和排泄条件，可能影响地

下水位和水质^[1]。水文条件的改变会对周边的湿地、河流等生态系统造成威胁，影响水生生物的生存和繁衍。

2.4 对生物多样性的影响

路基填筑对土壤、植被和水文的破坏，直接或间接地影响了生物的栖息地和食物来源，导致生物多样性下降。许多野生动物失去了适宜的生存环境，种群数量减少；一些珍稀植物也可能因生境破坏而面临灭绝的危险。生物多样性的减少会降低生态系统的稳定性和抗干扰能力，影响生态系统的服务功能。

3 路基填筑后的生态恢复技术

3.1 植被恢复技术

3.1.1 植物种选择：植物种的选择是植被恢复成功的关键。应根据当地的气候、土壤、地形等自然条件，选择适应性强、生长迅速、根系发达、具有良好水土保持和生态修复功能的植物种类。例如，在干旱地区可选择耐旱的草本植物和灌木，如紫花苜蓿、沙打旺、柠条等；在湿润地区可选择耐水湿的植物，如芦苇、香蒲、柳树等。同时，为了增加生物多样性，应尽量选择多种植物进行混播或混交种植。

3.1.2 播种与种植技术：播种方法包括撒播、条播和穴播等。撒播适用于大面积的植被恢复，但种子分布不均匀，易受鸟类和风力影响；条播和穴播可以保证种子的均匀分布和良好的生长环境，但成本较高。种植技术包括植苗造林和扦插造林等^[2]。植苗造林适用于生长缓慢、种子繁殖困难的植物种类；扦插造林可以保持母本的优良性状，但成活率受扦插材料和扦插技术的影响较大。在实际应用中，应根据植物种的特点和现场条件选择合适的播种或种植方法。

3.1.3 植被养护管理：植被恢复初期，需要进行精心的养护管理，包括浇水、施肥、除草、病虫害防治等。

浇水应根据植物的需水规律和土壤墒情进行，保证植物生长所需的水分；施肥应根据土壤肥力和植物生长状况，合理选择肥料种类和施肥量；除草可以减少杂草与恢复植物的竞争，保证恢复植物的生长空间；病虫害防治应采取综合防治措施，优先采用生物防治和物理防治方法，减少化学农药的使用。

3.2 土壤改良技术

3.2.1 物理改良：物理改良主要包括客土法、深耕翻土法和表土剥离回填法等。客土法是将适宜植物生长的土壤搬运到填筑路基表面，改善土壤的理化性质；深耕翻土法是通过深耕打破土壤板结层，增加土壤的透气性和透水性；表土剥离回填法是在路基填筑前将表层土壤剥离保存，工程完成后回填到路基表面，以保留土壤的肥力和种子库。

3.2.2 化学改良：化学改良是通过添加化学物质来改善土壤的酸碱度、养分含量和结构等。例如，对于酸性土壤，可添加石灰、草木灰等碱性物质进行中和；对于碱性土壤，可添加石膏、硫磺等酸性物质进行改良。同时，可根据土壤养分状况，添加氮、磷、钾等肥料，提高土壤肥力。

3.2.3 生物改良

生物改良是利用微生物、植物和动物等生物的活动来改善土壤性质。例如，接种有益微生物可以提高土壤的肥力和活性，促进植物生长；种植豆科植物可以固定空气中的氮素，增加土壤氮含量；蚯蚓等土壤动物的活动可以改善土壤结构，增加土壤孔隙度^[3]。

3.3 水土保持技术

3.3.1 工程措施：工程措施主要包括挡土墙、护坡、排水沟等。挡土墙可以防止路基边坡的坍塌和滑坡，保护土壤不被侵蚀；护坡可以采用浆砌石、混凝土预制块、三维植被网等材料，对路基边坡进行防护，同时为植被生长提供支撑；排水沟可以及时排除地表水和地下水，防止积水对路基和周边土壤的侵蚀。

3.3.2 植物措施：植物措施是利用植物的水土保持功能来防止水土流失。如前文所述，选择根系发达、生长迅速的植物进行植被恢复，植物的根系可以固结土壤，减少土壤侵蚀；植物的枝叶可以截留降雨，减缓雨水对地表的冲刷。

3.3.3 临时措施：在路基填筑施工过程中，应采取临时水土保持措施，如覆盖防尘网、设置临时排水设施等，减少施工过程中的水土流失。

4 路基填筑后生态恢复效果监测

4.1 监测指标体系

4.1.1 植被指标：包括植被覆盖度、植物种类多样性、植物生长状况（如株高、冠幅、生物量等）。植被覆盖度可以反映植被恢复的程度；植物种类多样性可以衡量生态系统的稳定性和抗干扰能力；植物生长状况可以直观地反映植被恢复的效果。

4.1.2 土壤指标：包括土壤肥力（如有机质含量、氮、磷、钾含量等）、土壤质地、土壤酸碱度、土壤水分含量等。土壤肥力是植物生长的基础，土壤质地、酸碱度和水分含量等会影响土壤的透气性、透水性和保肥保水能力。

4.1.3 水土保持指标：包括土壤侵蚀模数、径流系数等。土壤侵蚀模数可以反映水土流失的强度；径流系数可以反映地表径流的情况，间接反映水土保持措施的效果。

4.1.4 生物多样性指标：包括动物种类多样性、昆虫种类多样性等。生物多样性指标可以全面评估生态系统的恢复效果，反映生态系统的健康状况。

4.2 监测方法

4.2.1 样地调查法：在生态恢复区域设置固定样地，定期对样地内的植被、土壤和生物等进行调查。样地的设置应根据监测区域的地形、植被类型等因素进行合理布局，一般样地面积为10m×10m或20m×20m。在样地内，设置若干个小样方（如1m×1m）进行植被调查，记录植物的种类、数量、株高、冠幅等信息^[4]。土壤调查可在样地内选取3-5个采样点，采集0-20cm、20-40cm等不同深度的土壤样品，进行理化性质分析。生物调查可根据不同的生物类群，采用相应的方法进行调查。

4.2.2 遥感监测法：利用卫星遥感、航空遥感等技术，获取生态恢复区域的植被覆盖度、土地利用变化等信息。遥感影像的选择应根据监测的时间尺度和精度要求进行，一般可选择多光谱或高光谱影像。通过对遥感影像进行预处理、分类和后处理等操作，提取植被信息，计算植被覆盖度和土地利用变化情况。遥感监测具有覆盖范围广、获取信息速度快等优点，可以快速掌握生态恢复的整体情况。

4.2.3 模型模拟法：建立生态恢复模型，输入相关的生态因子和恢复措施参数，模拟生态恢复的过程和效果。常用的生态恢复模型有CENTURY模型、DNDC模型等。CENTURY模型可以模拟土壤有机碳、氮等元素的循环过程，预测植被生长和土壤肥力的变化；DNDC模型可以模拟农田生态系统的碳、氮、水循环过程，评估生态恢复措施对温室气体排放的影响。模型模拟可以预测生态恢复的未来发展趋势，为生态恢复决策提供科学依据。

4.3 监测频率与周期

监测频率应根据生态恢复的阶段和特点确定。在生态恢复初期，应增加监测频率，如每月或每季度监测一次，及时掌握生态恢复的动态变化。在植被恢复初期，每月监测植被的覆盖度和生长状况；每季度监测土壤的肥力和水分含量。在生态恢复后期，监测频率可以适当降低，如每年监测一次。监测周期应根据生态恢复的目标和要求确定，一般应持续监测3-5年，甚至更长时间，以全面评估生态恢复的效果和稳定性。对于一些生态敏感区域或生态恢复难度较大的区域，监测周期可适当延长至10年以上。

5 实际案例分析

5.1 项目概况

某山区高速公路建设项目，路基填筑长度约60公里，填筑高度4-10米。路基填筑过程中对周边的土壤、植被和水文造成了较大破坏，填筑区域植被覆盖度从原来的75%降至12%，土壤有机质含量从2.8%降至0.4%，地下水位下降了1.5-2米，周边湿地面积减少了45%。为了恢复生态环境，项目实施了生态恢复工程，并进行了长期的生态恢复效果监测。

5.2 生态恢复技术应用

5.2.1 植被恢复：根据当地的气候和土壤条件，选择了紫花苜蓿、沙打旺、柠条、刺槐等植物进行混播和植苗造林。草本植物与灌木的混播比例为6:4，播种量为紫花苜蓿每平方米20克、沙打旺每平方米15克；灌木采用植苗造林，刺槐的株行距为1.5m×1.5m。在植被恢复初期，加强了浇水、施肥和除草等养护管理措施。浇水频率为每4天一次，每次浇水量草本植物每平方米8升、灌木每株15升；施肥采用有机肥和氮肥结合的方式，有机肥每平方米2.5千克、氮肥每平方米70克。

5.2.2 土壤改良：采用了客土法和生物改良相结合的方法。在路基表面覆盖了45厘米厚的客土，并接种了根瘤菌和磷细菌等有益微生物。同时，在客土中添加了适量的有机肥和氮、磷、钾肥料，有机肥每平方米3千克、尿素每平方米60克、过磷酸钙每平方米120克、硫酸钾每平方米60克。

5.2.3 水土保持：在路基边坡设置了浆砌石挡土墙和三维植被网护坡，挡土墙高度为4米，厚度为1米；三维植被网规格为网孔尺寸6cm×6cm，厚度1.8cm。在路基两侧修建了梯形排水沟，排水沟底宽0.8米，深0.8米，边坡比为1:1。在施工过程中，采取了覆盖防尘网等临时水

土保持措施。

5.3 生态恢复效果监测

5.3.1 监测指标与方法：选择了植被覆盖度、植物种类多样性、土壤有机质含量、土壤侵蚀模数等指标进行监测。采用样地调查法和遥感监测法相结合的方法，每季度对样地进行一次实地调查，每年进行一次遥感监测。样地面积为20m×20m，在样地内设置5个1m×1m的小样方进行植被调查；土壤调查在样地内选取4个采样点，采集0-20cm、20-40cm土壤样品进行分析。

5.3.2 监测结果与分析：经过4年的生态恢复和监测，结果表明：植被覆盖度从恢复初期的12%提高到了78%；植物种类从最初的6种增加到了25种；土壤有机质含量从0.4%提高到了1.7%；土壤侵蚀模数从恢复前的每年每平方公里6000吨以上降低到了每年每平方公里800吨以下。生态恢复效果显著，生态系统逐渐趋于稳定。

结语

路基填筑后的生态恢复是一项复杂的系统工程，需要综合运用植被恢复、土壤改良和水土保持等多种技术。科学合理的生态恢复措施和有效的监测能够显著提高植被覆盖度、增加植物多样性、改善土壤肥力并减少水土流失，促进生态系统稳定。植被恢复需合理选种和采用科学种植与养护管理；土壤改良要结合物理、化学及生物方法；水土保持则依赖于工程与植物措施的结合。未来，应加强生态恢复技术的研究创新，开发更高效环保的技术，完善监测体系，采用先进监测技术和设备，并强化规划管理，将生态恢复纳入工程建设前期规划。同时，通过公众宣传和教育提升参与度，借鉴国内外经验，制定个性化方案，推动交通建设与生态保护协调发展，实现人与自然和谐共生。这不仅有助于生态环境的保护，也为美丽中国的建设贡献力量。

参考文献

- [1]典型大宗工业固废路基填筑规模化应用关键技术[J].交通节能与环保,2024,20(S1):4-7.
- [2]刘素美,王妍.公路工程路基填筑施工技术研究[J].汽车周刊,2025,(07):208-209.
- [3]周裕朋.高速公路填筑路基施工技术要点探究[J].交通科技与管理,2024,5(16):153-155.
- [4]王磊.公路建设中砂性土路基填筑施工工艺研究[J].运输经理世界,2024,(16):10-13.