

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB61/TXXXX—202X

黄土边坡胶-筋改性土生态防护技术规范

Technical specification for ecological protection of loess slope with biopolymer-fiber
modified loess

(编制说明)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

陕西省市场监督管理局 发布

《黄土边坡胶-筋改性土生态防护技术规范》

编制说明

1.工作简介

1.1 任务来源

根据陕西省交通运输厅下发的《陕西省交通运输厅关于征集 2024 年交通运输领域地方标准制修订项目的通知》(陕交函〔2024〕222 号)和陕西省市场监督管理局下发的《2024 年省级地方标准申报指》(陕市监发〔2024〕39 号),由长安大学主持承担陕西省地方标准《黄土边坡胶-筋改性土生态防护技术规范》的起草工作。

承担单位:长安大学

参编单位:陕西交控绿色发展集团有限公司

西安建筑科技大学

北京首创环境科技有限公司

1.2 目的意义

随着我国经济的快速发展和综合国力的提升,西部黄土地区的交通建设和城市化进程持续加速。例如,仅 2019 年陕西省高速公路续建项目达 19 个,建设规模超过 1500 公里;延安市城市化率则从 2004 年的 25.38%快速提升至 2018 年的 62.31%。重大工程的兴建为黄土高原地区的发展提供了新机遇,但黄土特殊的工程性质也为基础设施建设带来了严峻挑战。一方面,边坡浅层病害加剧了水土流失,进一步恶化了黄土地区本就脆弱的生态环境;另一方面,浅层侵蚀可能发展为整体失稳,威胁工程的安全性。因此,保障黄土边坡的坡面稳定与生态防护已成为区域可持续发展的迫切需求。

近年来,“绿水青山”发展理念的提出推动了绿色生态技术的应用探索。其中,胶结固化与纤维加筋改性土因其在边坡防护中的潜力受到广泛关注。这种技术结合了固化土和加筋土的优势,通过胶与筋协同作用,提高边坡土体的抗剪强度、抗崩解性和抗冲刷能力。然而,由于目前缺乏关于胶与筋种类、配比及用量的统一规范,限制了该技术在黄土地区的推广与应用。为此,制定一部科学有效的《黄土边坡胶-筋改性土生态防护技术规范》,明确设计和施工要求,优化技术参数,提升防护质量,成为解决这一技术瓶颈的重要手段。

本规范旨在规范黄土地区胶-筋改性土生态防护的设计、施工及质量控制技术标准,通过明确技术要求和安全指标,确保边坡防护工程的稳定性和可靠性,降低崩塌、滑坡等灾害风险,减少人员和财产

损失，并有效降低应急救援和后期维护成本。同时，本规范针对黄土侵蚀问题提出生态防护解决方案，可显著减缓水土流失，保护地表水质，维护区域生态系统的健康。

此外，本规范的实施不仅可提升黄土边坡工程的长效防护效果，还将推动黄土边坡防护技术的创新与发展。其推广应用有助于改善民生环境、节约维护成本、提高土地利用率，建设安全可靠、经济环保的边坡工程，进一步树立陕西省服务型政府的良好社会形象。更重要的是，在黄河流域生态保护和高质量发展战略的大背景下，本规范的出台为水土保持、绿色黄河及安全黄河的发展目标提供了坚实的技术支撑，对促进区域生态与经济协调发展具有重要意义。

1.3 主要工作过程

2024年5月，长安大学牵头申报的《黄土边坡胶-筋改性土生态防护技术规范》标准项目，成功获得陕西省市场监督管理局批准立项。任务下达后，长安大学迅速响应，组建了专项标准编制团队，并明确了各成员的具体分工。

编制工作启动后，团队首先系统梳理了相关技术资料并开展了实地调研。通过广泛搜集国内外关于该技术的标准规范、研究成果及工程案例，团队总结提炼了成熟的工程实践经验和关键科技成果。同时，深入典型工程现场进行考察，详细掌握了胶-筋改性土在黄土边坡防护中基层与面层的材料组成、配比以及施工工艺等核心环节，为后续规范制定奠定了实证基础。

草案形成阶段：2024年5月标准草案完成后，编制团队组织了多轮内部研讨，并特别邀请了行业权威专家进行评审，吸纳其专业建议。团队认真分析专家意见，参考相关地方标准经验，补充查阅文献资料，并向工程建设一线的技术人员了解实际应用情况。经过多次修改与完善，于2024年11月形成标准初稿。

征求意见稿形成：2024年11月，标准大纲通过评审。编制组依据评审专家的反馈，对初稿内容再次进行细致讨论和修订，最终在2025年5月完成了标准的征求意见稿。

1.4 编制单位及人员分工

本标准起草单位：长安大学、陕西交控绿色发展集团有限公司、西安建筑科技大学、北京首创环境科技有限公司。

本标准主要起草人：晏长根、包含、王小雄、王心刚、张喜民、许健、许飞、曹占强、王俊田、齐群、孙巍锋、刘世杰、王彦凯、梁哲瑞、刘力、吉琛琳、张文铎。

本标准编制组成员及分工见下表。

序号	姓名	单位	分工
1	晏长根	长安大学	主编
2	包 含	长安大学	副主编

3	王小雄	陕西交控绿色发展集团有限公司	起草第 1-2 章，校对
4	王心刚	陕西交控绿色发展集团有限公司	起草第 1-2 章，校对
5	张喜民	陕西交控绿色发展集团有限公司	起草第 1-2 章，校对
6	许 健	西安建筑科技大学	起草第 3 章，校对
7	许 飞	北京首创环境科技有限公司	起草第 3 章，校对
8	曹占强	北京首创环境科技有限公司	起草第 3 章，校对
9	王俊田	长安大学	起草第 4 章，校对
10	齐 群	长安大学	起草第 5 章，校对
11	孙巍锋	长安大学	起草第 5 章，校对
12	刘世杰	长安大学	起草第 6 章，校对
13	王彦凯	长安大学	起草第 7 章，校对
14	梁哲瑞	长安大学	起草第 7 章，校对
15	刘 力	长安大学	校对
16	吉琛琳	长安大学	校对
17	张文铎	长安大学	校对

2 标准编制原则和标准主要内容

2.1 标准编制原则

为贯彻落实黄河流域生态保护和高质量发展战略，系统解决陕西省黄土区边坡水土流失与生态修复关键技术问题，规范胶-筋改性土生态防护技术的科学应用，提升边坡治理的生态效益与工程耐久性，特制定本规范。本标准立足陕西黄土工程特性及气候特征，融合材料创新、工艺优化和生态修复理念，通过构建调查设计、材料控制、施工养护全流程技术体系，为黄土边坡绿色防护提供标准化支撑。编制工作遵循以下核心原则：

（1）服务重大战略需求，构建标准技术体系

立足黄河流域生态保护国家战略，针对陕西省黄土区边坡生态修复的迫切需求，系统整合胶-筋改性土技术的科研成果与工程实践，构建涵盖勘察设计、材料控制、施工工艺及长效养护的全链条标准框架。通过规范核心技术参数和工艺流程，填补黄土区生态防护技术标准空白，为区域水土保持与灾害防治提供科学支撑。

（2）坚持生态工程协同，引领绿色技术创新

贯彻“生态优先、自然修复”理念，明确工程防护与生态功能的深度融合路径。规范生物基材料环保性要求、地域植物群落配置规则及资源循环利用措施（如就地取土、雨水利用），推动形成低扰动、低能耗、高效益的生态防护模式。强化胶-筋改性材料在抗蚀固土方面的技术创新价值，促进边坡治理从传统工程向生态化转型。

（3）聚焦地域突出问题，强化标准适用效能

针对陕西黄土湿陷性强、裂隙发育、季节性干旱等典型地质气候特征，量化陡坡适用性评价阈值，差异化制定坡面预处理、基材配比及养护周期等关键条款。注重标准可操作性，平衡技术先进性与施工可行性，为高陡边坡、浅层滑塌等复杂工况提供普适性解决方案，确保标准在全省不同地貌单元的落地应用。

（4）衔接国家标准体系，突出陕西实践特色

在遵循国家生态护坡通用标准基础上，精准对接陕西黄土工程特性与生态本底，补充细化胶-筋改性材料性能、双层喷附工艺及生境维护等地域化条款。通过固化本土创新成果（如附录 B 气候分区植物配置表、附录 C 喷附质量控制指标），形成“国家规范+陕西特色”的标准延伸体系，为全国类似地质区提供技术范式。

2.2 标准的适用范围与主要内容

(1) 本地方标准适用于指导陕西省内各等级公路黄土边坡的胶-筋改性土生态防护工程设计、施工及养护。

(2) 本地方规范包含以下主要内容:1 范围、2 规范性引用文件、3 术语和定义、4 黄土边坡胶-筋生态防护调查与设计、5 黄土边坡胶-筋生态防护施工、6 施工期养护与生境养护、7 质量检验与验收

2.3 标准主要创新性

为满足陕西地区特殊自然地质条件对于边坡防护的特殊技术要求，本标准具有以下 2 个主要创新点：

（1）跨领域解决黄土边坡生态防护难题：本标准打破传统行业界限，推动多学科、多领域间的交叉融合与协同创新，在边坡防护过程中，结合交通规划、植物多样性搭配、水土流失等多个领域的专业知识，形成了满足陕西地区特殊自然地质条件对于边坡防护的特殊技术要求的标准体系。

（2）融合前沿科技成果实现技术创新：增韧纤维加筋技术与可持续生物胶固化技术相结合，研发出具有高机械强度、耐水力侵蚀、长期生态环保的新型公路黄土边坡生态防护材料，形成本标准的核心技术创新。

2.4 与国内外已有同类标准对比情况

经调研发现，针对边坡生态防护的国家相关标准为 0 项，行业相关标准为 6 项，地方相关标准 11 项，这些标准主要围绕生态防护的材料和植物类型的选择，防护工程的设计、景观协调、施工、质量检查、验收进行一定的技术指标规范化。然而，对于黄土边坡的生态防护设计虽有设计，却没有专门的规范标准，导致陕西省内大面积黄土区的工程建设中黄土边坡防护缺少指导文件。下面将进行拟制订地方标准项目与国内外已有标准对比情况说明：

相关行业标准：

(1)

标准名称：《绿化护坡及生态修复用植被水泥土》

标准编号：JC/T 2722-2022

发布单位：工业和信息化部

发布时间：2022-09-30

标准主要技术指标对比：本文件规定了绿化护坡及生态修复用植被水泥土的原材料、技术要求、试验方法、检验规则。文件主要适用于湿润区、半湿润区的小坡度稳定坡面绿化及生态修复用植被水泥土，而拟制订地方标准项目针对黄土地区的生态防护，在施工工序、材料选择，和技术要求上有一定的区别。

(2)

标准名称：《矿山生态修复技术规范 第 4 部分：建材矿山》

标准编号：TD/T 1070.4-2022

发布单位：自然资源部

发布时间：2022-07-20

标准主要技术指标对比：本文件适用于建材矿山开采活动结束后的矿山生态修复等技术工作，文件中的施工流程和施工工艺与拟制订地方标准项目有所区别。

(3)

标准名称：《水电工程陡边坡植被混凝土生态修复技术规范》

标准编号：NB/T 35082-2016

发布单位：电力、热力、燃气及水生产和供应业

发布时间：2016-08-16

标准主要技术指标对比：本文件主要针对水电工程下坡度为 45°~85°的稳定边坡，而拟制订地方标准项目针对黄土边坡的坡度范围较大，且稳定性较差，在施工工序和设计流程上有一定的不同。

(4)

标准名称：《三峡库区消落带植被生态修复技术规程》

标准编号：LY/T 2964-2018

发布单位：国家林业和草原局

发布时间：2018-02-27

标准主要技术指标对比：本文件规定了三峡库区消落带植被生态修复的植物种类选择、修复模式、栽植及管护技术。由于与拟制订地方标准项目的地区气候，地理环境不同，在植物种类选择，施工流程方面有一定的偏差。

(5)

标准名称：《水电工程水土保持生态修复技术规范》

标准编号：NB/T 10510-2021

发布单位：国家能源局

发布时间：2021-01-07

标准主要技术指标对比：本文件适用于水电工程水土保持生态修复的规划、设计、实施、维护等全过程技术工作。标准是适用于岩质和土质边坡生态防护而拟制修订地方标准项目更适用于黄土边坡生态防护，在一些植物种类的选择和施工工序上面与拟制订地方标准项目不同。

(6)

标准名称：《北方地区裸露边坡植被恢复技术规范》

标准编号：LY/T 2771-2016

发布单位：国家林业局

发布时间：2016-12-21

标准主要技术指标对比：本文件适用于北方地区坡度 25°（含）以上，由于人为或自然因素造成的地表植被损毁或土壤母质层丧失的裸露边坡植被恢复。与拟制订地方标准项目相比，在植物种类的选择，防护工程的设计，防护工程的施工等方面有不同技术指标。

相关地方标准：

(1)

标准名称：《高纬度多年冻土区公路土质路堑边坡植物防护技术规范》

标准编号：DB15/T 2426-2021

发布单位：内蒙古自治区市场监督管理局

发布时间：2021-10-15

标准主要技术指标对比：文件规定了高纬度多年冻土区公路土质路堑边坡植物防护设计、施工、检查验收和管护等要求。在植物种类和施工工序方面与拟制订地方标准项目不同，拟制订地方标准项目更

适用于黄土边坡的生态防护。

(2)

标准名称：《公路边坡植物纤维毯施工技术规程》

标准编号：DB34/T 3270-2018

发布单位：安徽省市场监督管理局

发布时间：2018-12-29

标准主要技术指标对比：文件规定了公路边坡植物纤维毯的术语和定义、施工工序、施工方案选定、施工准备、坡面处理施工铺设、养护管理、检查与验收。在植物种类和施工工序方面与拟制订地方标准项目不同，拟制订地方标准项目更适用于黄土边坡的生态防护。

(3)

标准名称：《边坡客土喷播生态防护技术标准》

标准编号：DB37/T 5193-2021

发布单位：山东省市场监督管理局

发布时间：2021-11-01

标准主要技术指标对比：文件适用于山东省内各类边坡的客土喷播生态防护的设计、施工、质量验收等。在施工工序方面与拟制订地方标准项目不同，拟制订地方标准项目更适用于黄土边坡的生态防护。

(4)

标准名称：《公路边坡生态防护施工技术指南》

标准编号：DB41/T 1893-2019

发布单位：河南省市场监督管理局

发布时间：2019-12-30

标准主要技术指标对比：文件规定了公路边坡生态防护施工的术语和定义、设计、施工、养护和质量控制与验收。但是并没有提及专门针对黄土边坡的防护措施，在一些植物种类的选择和施工工序上面与拟制订地方标准项目不同，拟制订地方标准项目更适用于黄土边坡的生态防护。

(5)

标准名称：《道路边坡生态防护工程施工及验收技术规范》

标准编号：DB44/T 499-2008

发布单位：广东省质量技术监督局

发布时间：2008-05-26

标准主要技术指标对比：文件标准规定了道路边坡生态防护工程的设计、施工、养护和验收标准等

技术内容。文件更多的是适应于人工边坡，因此在施工工序和使用材料这些方面与拟制订地方标准项目不同，拟制订地方标准项目更适用于黄土边坡的生态防护。

(6)

标准名称：《高陡台阶边坡生态修复技术规范》

标准编号：DB3710/T 166-2022

发布单位：威海市市场监督管理局

发布时间：2022-08-11

标准主要技术指标对比：文件规定了高陡台阶边坡生态修复技术规范的术语和定义、设计、施工技术、验收。文件更多适用于废弃采石矿山、废弃采场的高陡台阶边坡生态修复工程，因此在施工工序和使用材料这些方面与拟制订地方标准项目不同，拟制订地方标准项目更适用于黄土边坡的生态防护。

(7)

标准名称：《库区裸露边坡植被生态恢复技术规程》

标准编号：DB33/T 2525-2022

发布单位：浙江省市场监督管理局

发布时间：2022-09-09

标准主要技术指标对比：文件规定了库区裸露边坡植被生态恢复的调查设计、施工技术、养护管理及质量控制等技术要求。文件适用于海拔 800 m 以下库区范围内、坡度 75°以下，因人为或自然因素造成地表植被损毁或土壤母质层丧失形成的裸露边坡的植被生态恢复。在植物种类的选择和施工工序上面与拟制订地方标准项目不同，拟制订地方标准项目更适用于黄土边坡的生态防护。

(8)

标准名称：《矿山边坡生态恢复技术标准》

标准编号：DB43/T 1788-2020

发布单位：湖南省市场监督管理局

发布时间：2020-05-15

标准主要技术指标对比：文件规定了矿山边坡生态恢复的边坡分类、基本规定、资料收集与调查、边坡坡面防护、生态恢复技术、维护管养、工程验收及档案管理等技术要求。虽然有针对边坡坡面的防护技术要求，但是矿山边坡更对是岩质边坡与黄土边坡在植物选择和施工工序方面有着巨大的不同。

(9)

标准名称：《边坡生态防护技术规程》

标准编号：DB42/T 1350-2018

发布单位：湖北省质量技术监督局

发布时间：2018-05-08

标准主要技术指标对比：文件通过总结湖北省边坡生态防护应用较多的铺草皮、撒种、三维植被网、骨架、速藤屏、客土喷播、植被混凝土、植生袋、土工格室、栽植灌木等生态防护措施的相关技术指标，制定了适应于边坡生态防护工程的设计、施工及验收工作的技术规范，针对边坡生态防护结构、材料、组成成分、设计和施工方法以及质量要求做了详细规定。但是在一些植物种类的选择和施工工序上面与拟制订地方标准项目不同，拟制订地方标准项目更适用于黄土边坡的生态防护。

(10)

标准名称：《采矿废弃地边坡绿化技术规范》

标准编号：DB42/T 1350-2018

发布单位：湖北省质量技术监督局

发布时间：2018-05-08

标准主要技术指标对比：文件标准规定了采矿废弃地边坡绿化设计、施工、养护、验收等技术方法。标准是适用于岩质边坡生态防护而拟制订地方标准项目更适用于黄土边坡生态防护。

(11)

标准名称：《露天矿山采场边坡生态修复施工安全规程》

标准编号：DB43/T 1788-2020

发布单位：湖南省市场监督管理局

发布时间：2020-05-15

标准主要技术指标对比：文件标准规定了露天矿山采场边坡生态修复施工的基本规定、施工准备、施工机械、高处作业、修复作业的安全要求。更多是适应于已闭坑的稳定的非煤露天矿山采场边坡生态修复工作，在施工器械、施工工序和植物种子选择方面都与黄土边坡生态防护有巨大差别。

3.主要技术要求的说明

(1) 试验（或验证）准确度、可靠性、稳定性的分析和说明

本标准结合陕西地区的地质与生态特征，制定了针对黄土边坡胶-筋改性生态护坡工程的技术规范，明确了边坡及其周边区域系统调查与综合评价的技术要求。调查内容涵盖气候条件、地形地貌、地质构造、生态基础及工程背景等关键因素，为工程设计提供科学的基础数据。气象气候调查主要包括气候类型、年均日照时数、年均气温、最低气温、月平均气温、年降雨总量、日最大降雨量、年均蒸发量及无霜期等指标；地形地质调查则重点掌握边坡类型、坡向、坡度、坡体稳定性、坡面形态、渗水状况、边

坡规模及地层结构等信息，并结合室内试验获取土体干密度、含水率、液限、塑限、抗剪强度、崩解性等物理力学特性参数。

本标准在制定期间，采用室内试验、现场检测、工程调研等手段，系统梳理和提炼了边坡调查方法、评价指标及加固技术。通过对典型公路边坡胶-筋改性生态护坡工程关键技术参数的量化分析与工程验证，形成了具有实践指导意义的技术体系。经验证，该标准所规范的设计与施工技术具有良好的适应性和可行性，能够有效提升边坡稳定性及生态修复效果，具备显著的工程应用价值和推广潜力。

(2) 黄土边坡胶-筋改性土生态防护材料配比范围确定

本标准以建筑边坡工程技术规范(GB 50330-2013)、裸露坡面植被恢复技术规范(GB/T 38360-2019)、林木种子检验规程(GB 2772-1999)、豆科草种子质量分级(GB6141-2008)、湿陷性黄土地区边坡工程勘察规范(DBJ61 / T 192-2021)、黄土地区高速公路路基施工技术规范(DB 62/T 2992-2019)、边坡喷播绿化工程技术标准(CJJ / T 292-2018)、绿化护坡及生态修复用植被水泥土(JC/T 2722-2022)等规范中相关分级标准，提出胶筋材料配合比的适用范围，指导设计与施工。

胶和纤维是从不同的层次对土体进行固化改良的，胶是从微细观角度出发的，增强了土颗粒与胶体之间的分子作用力；改变了土颗粒、孔隙的结构、形态、大小；通过在孔隙中和土颗粒表面填充胶结物，使得较小的土颗粒聚集呈较大的团聚体。而纤维则是从相对宏观的角度对土体进行加固，这种加固属于物理加筋，通过纤维的加筋作用将团聚体紧密的联系在一起，使土体表现出更强的完整性，通过提高土体的韧性进而改善土体性能。加筋黄土界面作用力主要来自纤维表面与黏土颗粒的摩擦力；而对于胶-筋改性黄土，纤维主要与颗粒间的界面作用力以黏结力为主，但同时胶体的存在也增加了界面有效接触面积与界面摩擦系数，这也就使纤维在胶-筋改性黄土中可以发挥出更好的加筋效果。胶-筋改性黄土与胶结黄土相比，土体中多了纤维，纤维的存在从宏观上抑制了土体产生的破坏，使土体更具有韧性，增强了土体的完整性。因此胶和纤维从微细观和宏观方面协同作用，从不同角度改善土体性能。而过多的纤维和胶会产生负面作用，加速土体的崩解，因此限制胶结材料掺量在 8%以下，纤维掺量在 0.5%以下。

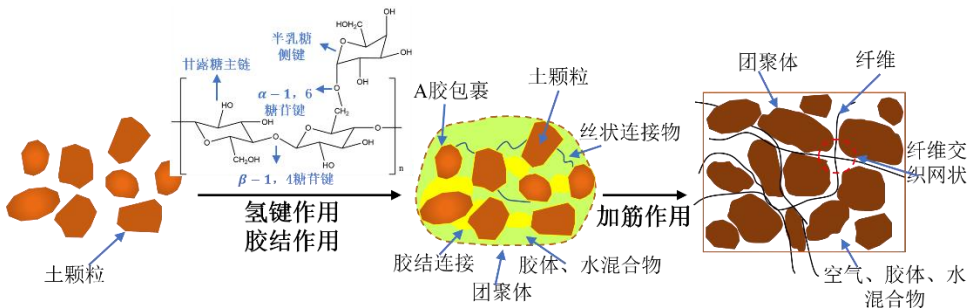


图1 胶-筋改性黄土结构模型图

(3) 黄土边坡胶-筋改性土生态防护材料现场施工参数的确定

不同于传统的坡面防护材料，胶-筋改性土生态防护材料的生态性好、施工便捷，其大多采用喷附

的施工工艺，因此在实际工程中采用湿喷的方式进行施工，湿喷工法施工效率高、初期出苗快、种类多、植被覆盖度好。根据已有研究，在拌合过程中，不同的拌合次序会影响喷播体的材料分布均匀程度及强度，而初始土水比会影响喷播体与原坡面土体的界面强度以及喷播体强度。鉴于此，为保证施工质量，需明确施工中的拌合次序及初始土水比对胶-筋固化黄土强度、抗崩解性能和界面强度的影响规律，探寻施工最优拌合次序和初始土水比，并提供施工初始土水比快检方法，便于快速确定以不同地区黄土为基础的胶-筋改性黄土的施工初始土水比。

拌合方式对胶-筋固化黄土的纤维分布均匀度有较大影响，而对胶-筋固化黄土的抗剪强度和抗崩解性能影响微弱，采用纤维干拌的方法可以使胶-筋固化黄土有更好的均匀性。胶粉拌合方式对纤维分布状态无明显影响，而对胶-筋固化黄土的抗剪强度和抗崩解性能有显著的影响，采用胶粉干拌的方式可以使拌合后的胶-筋固化黄土拥有更高的抗剪强度和抗崩解性能，且对抗剪强度的增强主要体现在对黏聚力的增强。此外，拌合方式对胶-筋固化黄土拌合状态、抗剪强度和抗崩解性能的影响程度随初始土水比的降低而弱化。

4 知识产权说明

本标准的最最终知识产权归长安大学所有。

5 采标情况

本标准为首次起草的陕西省地方标准，未采用国际标准和国外先进技术。

6 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

7 标准性质的建议说明

无。

8 其他应予以说明的事项

无。