



森林修复相关技术体系 覆盖度分析

基于云南省提高森林质量、实现多重效益的实践需求



撰写单位

云南省林业和草原科学院



报告撰写团队

云南省林业和草原科学院

孟广涛、李品荣、曹建新



报告支持团队

北京大学城市与环境学院保护生态学课题组

绿色和平

潘文婧、吴浩、杨可人、宋筱、王克文、张安琪

致谢

感谢以下专家在研究过程中给予的建议和支持：

华方圆(北京大学城市与环境学院)、孙永玉(中国林业科学研究院高原林业研究所)、郭贤明(西双版纳国家级自然保护区管护局科学研究所 正高级工程师)、方震东(云南迪庆藏族自治州香格里拉高山植物园)、周嘉鼎(北京市海淀区山水自然保护中心)

撰写单位

云南省林业和草原科学院

支持单位

北京大学城市与环境学院保护生态学课题组

绿色和平

报告设计

贾森迪

2025年6月

摘要

在森林修复的实践中，相较于纲领性文件、法律、部门规章等政策文件，技术规程对于实际操作有着直接的指导作用。本研究采用文献查阅法，梳理出目前云南开展退化森林修复工作中适用的国家、行业和云南省地方技术规程 112 个，从主要退化区域、林地起点、修复目标、政府重点工作方向、指标特征共五个维度的实践需求出发，评价了现有技术体系对于实践需求的覆盖程度；并对云南高山亚高山、石漠化、干热河谷、矿山和火烧迹地等成熟的实践案例进行技术经验梳理与总结，挖掘其进一步贡献于云南地方技术体系的价值与潜力。

梳理结果表明：（1）主要退化区域方面，现有技术标准体系覆盖了云南省三大生态脆弱区域——高山亚高山区、干热河谷区和石漠化区，但筛选出的 11 个标准都是行业标准，由于云南省自然气候条件独特，森林生态系统丰富，森林修复措施多样，应根据适用于云南省特有条件的修复措施和方法制定相应的云南省地方标准。（2）不同林地起点方面，24 个无林地和退化天然林现有技术标准都是国家标准和行业标准，应根据云南省实际制定地方标准；云南种植面积较大的桉树、杉木等人工林缺乏相应技术标准。（3）不同修复目标方面，①从生物多样性角度分析，云南是“动物王国”，目前除亚洲象外，尚无其他濒危动物栖息地修复的相关标准，应制定相应的地方标准加以补充；②从碳汇角度分析，碳汇计量和计算需分树种、环境等因地制宜，不同的管理单位所推荐的方法也有不同参数设置，这些差别对于实操有较大影响；③从水土保持角度分析，现有技术体系缺少生态监测方面的技术标准。④从生产生计角度分析，现有技术体系缺少云南省三大生态脆弱区域——高山亚高山区域、干热河谷区域和石漠化区域的生态风景林建设的地方标准。（4）云南近中期森林修复重点领域方面，从以国家公园为代表的自然保护地体系建设角度分析，部分云南省地方标准颁布实施已超过 10 年，应结合当前形势进行修订；制定已申报国家公园的云南省地方标准，完善现有技术标准体系。（5）应用的技术和监测指标方面，从传统林业指标、生物多样性指标、水土保持指标和碳汇指标维度分析，覆盖传统林业指标的标准最多，有 21 个技术标准；具体指标分析，面积指标覆盖最多，有 17 个，遗传多样性、生态系统多样性、造林成活率、造林保存率等指标覆盖较少。

为完善云南省森林修复现有技术标准体系，我们建议：（1）制定云南高山亚高山、干热河谷和石漠化区域及云南松火烧植被恢复方面的地方标准；（2）制定桉树、杉木等人工林林分改造地方标准；（3）制定云南特有珍稀濒危野生动物，如滇金丝猴、绿孔雀等的栖息地保护和恢复的地方标准；（4）根据现有成熟的技术和参数，对颁布和实施时间长的地方标准进行修订；（5）基于生物多样性保护、水土保持等不同修复目标的要求，增加相应的技术和监测指标。

目录

01 概述	1
02 现有技术文件梳理	4
03 现有技术标准体系覆盖度分析	6
3.1 评价方法	7
3.2 主要退化区域覆盖度分析	7
3.3 不同起点覆盖度分析	9
3.4 不同修复目标(生态功能)覆盖度分析	13
3.5 近(中)期云南森林修复重点领域覆盖度分析	17
3.6 应用的技术和监测指标特征	21
3.7 结果分析	25
04 基于实践经验的技术总结案例	26
4.1 滇西北高山亚高山森林生态修复案例	28
4.2 云龙天池多重效益森林恢复案例	31
4.3 建水断陷盆地石漠化区植被恢复与功能提升案例	33
4.4 昆阳磷矿矿山生态修复案例	36
4.5 元谋干热河谷生态修复案例	39
05 建议与展望	41
附表1 森林修复相关标准	43
参考文献	51

前言



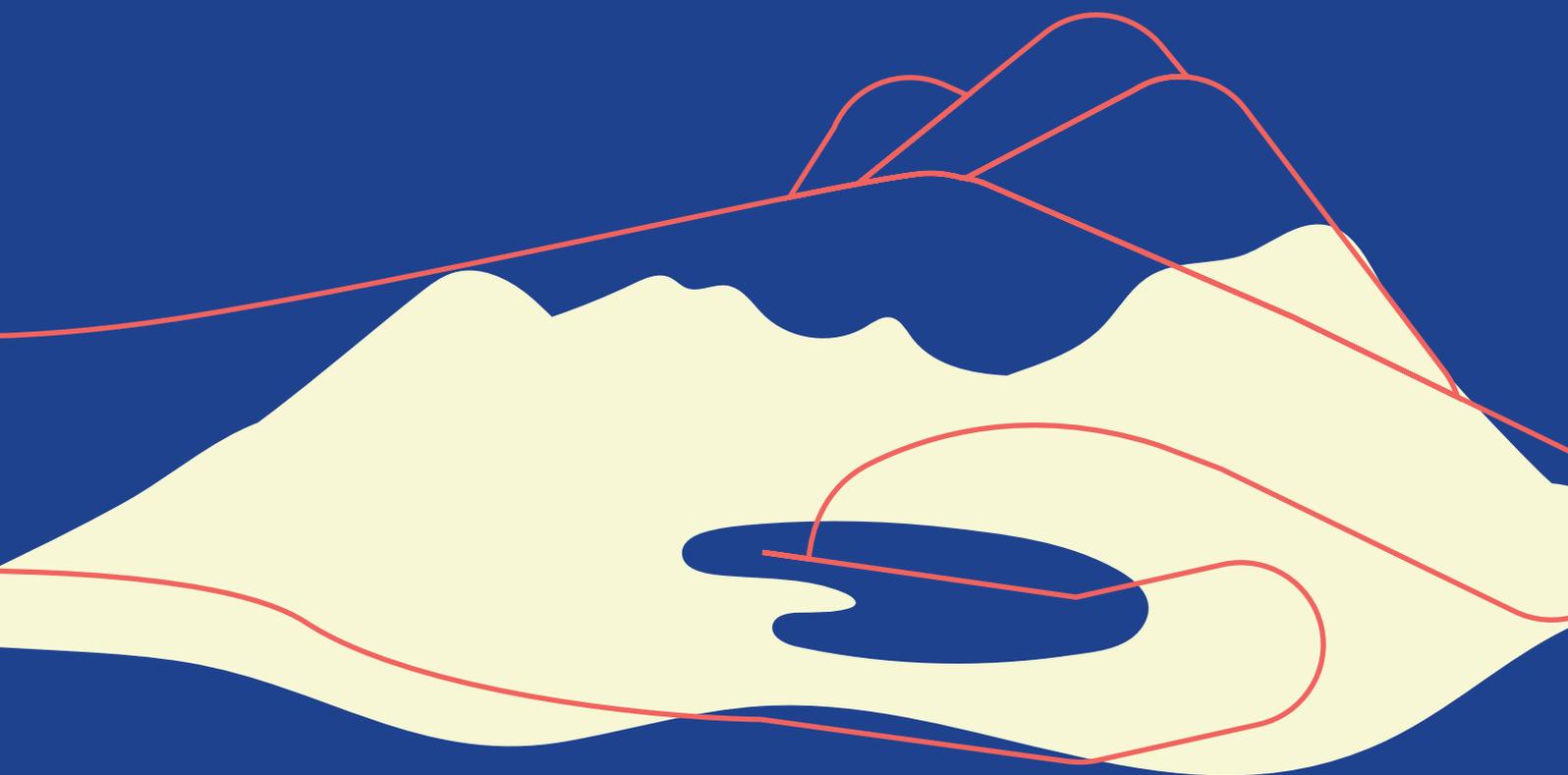
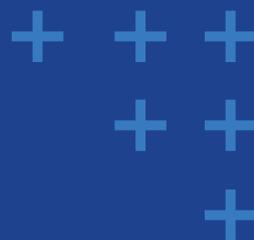
人工造林、退化林修复、封山育林等措施是提高森林质量的主要手段。在森林修复的实践中，相较于纲领性文件、法律、部门规章等政策文件，技术规程 / 指南类文件对于实际操作有着直接的指导作用。近年来，国家层面出台了《退化林修复技术规程》、《造林技术规程》、《退化防护林修复技术规程》等一批国家标准或行业标准。但由于森林类型的多样性、气候条件的差异性、修复起点与目标的不同，现实中的森林修复工作需要本着因地制宜的原则来进行规划、实施、验收与监测，才能更好地达到提高森林质量、实现多重效益的效果。单一大尺度的技术规程或指南难以对森林修复实践进行“千篇一律”的指导，各地需要制定更为细分的“分类施策”技术标准。

云南森林面积位居全国第二 [1]，同时也是中国森林植被类型最丰富的省份，全境从南到北、低海拔到高海拔，发育着热带季雨林、亚热带常绿阔叶林、暖温带针阔混交林、寒温带高山杜鹃林、高山草甸、喀斯特森林、干热河谷稀树灌木草丛、沼泽植被等几乎中国所有森林植被类型，同时还保有大面积不同起源不同用途的人工林。森林生态系统发挥着与云南当地生物多样性、生态环境、社会经济生活密切相关的多种功能，这些特点决定了云南本地实施的各种退化森林景观修复的实践对于技术规程和指南的需求各不相同；与此同时，不同实践项目通过不断地探索，也积累和总结了宝贵的实践经验与需求，可以为云南省制定技术标准提供技术支撑。

本研究将通过梳理目前云南开展退化森林修复工作中适用的国家、行业和地方性（省级、地州级）的技术规程或指南，参照主要退化区域、林地起点、修复目标、政府重点工作方向、指标特征等不同维度的实践需求，来评价现有技术体系对于实践需求的覆盖程度；并对一些代表性的实践案例进行技术经验梳理与总结，挖掘其进一步贡献于地方技术指南 / 标准制定的价值与潜力，为云南省正在开展的森林修复相关技术体系的建设提供有益参考。



概述



森林是陆地生态系统的主体，在维护生态安全、应对气候变化、促进可持续发展中具有不可替代的作用。森林修复是指通过人工或自然手段，恢复退化、受损和被破坏的森林生态系统的结构、功能和服务能力，提升其生物多样性、碳汇能力、水土保持能力及生态系统稳定性。森林修复既是生态治理的核心内容，也是实现高质量发展的重要载体，森林修复作为生态文明建设的核心任务之一，是国家生态安全战略的重要组成部分。

在“绿水青山就是金山银山”理念的指导下，森林修复被视为实现可持续发展、应对气候变化和维护生物多样性的重要手段。中国自 20 世纪后半叶以来，逐步推进森林修复工作，形成了系统的政策体系、技术路径和管理框架。2012 年中国把“生态文明建设”提升到国家战略高度；2013 年提出“山水林田湖是一个生命共同体”的理念，强调要按照生态系统的整体性、系统性及其内在规律，统筹考虑自然生态各要素进行整体保护、系统修复、综合治理。2017 年，提出“实施重要生态系统保护和修复重大工程，优化生态安全屏障体系”。2020 年印发了《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划（2021-2035 年）》[2]，这是中国国家层面出台的第一个生态保护和修复领域综合性规划。

云南地处独特的高原山地环境，是中国自然条件最复杂、全球生物多样性最丰富、中国西部生态环境最敏感、保护和发展矛盾最突出的区域之一，是中国西南生态安全屏障和生物多样性宝库。云南自然资源丰富、生物多样性聚集与生态环境脆弱敏感并存的特征，决定了生态保护和修复在全省经济社会发展中的特殊地位和重要作用。2021 年，云南省编制了《云南省重要生态系统保护和修复重大工程总体规划（2021—2035 年）》[3]，统筹山水林田湖草沙一体化保护和修复，以九大高原湖泊、生态保护红线、生态严重退化地区、国家级和省级重点生态功能区、自然保护地等重点区域为主，科学布局和组织实施重要生态系统保护和修复重大工程，解决重点区域的核心生态问题，使重要和典型生态系统、生物多样性得到有效保护，退化生态系统得以修复，自然生态系统服务功能逐步改善，全省湖泊、森林、草原等自然生态系统实现良性循环。

不同区域的森林退化原因、程度和类型存在差异。例如，在一些高海拔地区可能因气候寒冷、土壤贫瘠等自然因素以及过度放牧等人为因素，导致森林退化；而在一些平原地区可能由于城市化、工业化进程中的土地占用、环境污染等原因造成森林破坏。明确主要退化区域，能够针对不同区域的特点，分析现有技术标准体系在应对这些特定区域退化问题时的适用性和覆盖程度，以便因地制宜地制定和完善修复技术标准。

森林修复的起点不同，意味着面临的基础条件和问题各异。例如，有的修复项目起始于完全砍伐后的裸地，需要从植被恢复的基础工作做起；有的则是在部分退化的森林中进行，可能更侧重于林分结构调整、物种多样性提升等。从不同起点分析，可以了解现有技术标准体系能否全面覆盖各种起始状况下的森林修复需求，避免出现技术标准的空白或不匹配。

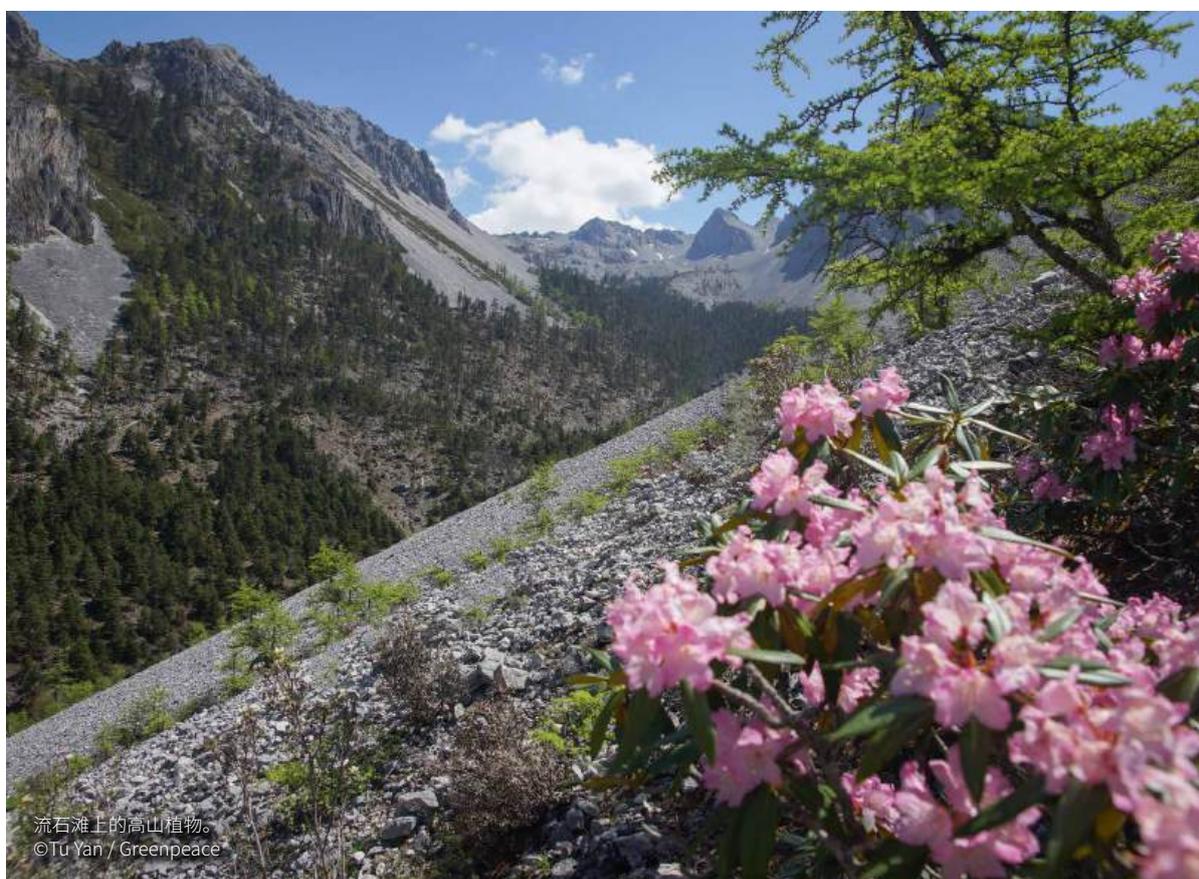
森林具有多种生态功能，如水源涵养、水土保持、生物多样性保护、碳汇等。不同的修复目标需要不同的技术手段和标准来支撑。例如，以水源涵养为主要目标的森林修复，可能更注重植被的层次结构和土壤的渗透性；而以生物多样性保护为目标的修复，则需要考虑为各种动植物提供适宜的栖

息环境或食物资源。通过从不同修复目标维度分析，可以评估现有技术标准体系在实现各类生态功能修复方面的完整性和有效性，确保森林修复工作能够精准地满足不同的生态需求。

云南拥有丰富的森林资源，但也面临着一些典型的森林生态问题，如石漠化地区的森林恢复、天然林保护与修复、生物多样性保护等重点领域。针对云南的具体情况进行分析，一方面可以检验现有技术标准体系在地方重点领域的针对性和实用性，另一方面也能为云南乃至其他类似地区的森林修复工作提供更具操作性的技术指导，促进区域森林生态系统的可持续发展。

技术是森林修复的核心支撑，不同的修复技术具有各自的特点和适用范围。分析现有技术标准体系中所涵盖的技术，可以了解其技术储备的丰富程度和先进性，以及是否与实际修复需求相匹配。同时，监测指标是评估森林修复效果的重要依据，通过对监测指标特征的分析，能够判断现有技术标准体系在衡量修复成效方面的科学性和准确性，确保能够及时、准确地掌握森林修复的进展和效果，为后续的调整和改进提供依据。

因此，本研究通过对现有技术文件梳理，从主要退化区域、不同起点、不同修复目标（生态功能）、近（中）期云南森林修复重点领域、应用的技术和监测指标特征共五个维度分析了现有技术标准体系对于实践需求的覆盖度。同时，本研究对云南省生态脆弱区（高山亚高山、干热河谷、石漠化）和矿区植被修复成功的实践案例进行了技术经验梳理与总结，挖掘其进一步贡献于地方技术指南或标准制定的价值与潜力，为云南省森林修复相关技术体系建设提供有益参考。



流石滩上的高山植物。
©Tu Yan / Greenpeace

02

现有技术文件 梳理



中国的森林修复相关标准体系分为国家标准、行业标准和地方标准三个级别。国家标准又分为强制性标准（GB）和推荐性标准（GB/T），覆盖全国共性需求；行业标准、地方标准是推荐性标准。

本研究采用文献查阅法对现有技术文件分国家标准、行业标准和云南省地方标准三个级别进行梳理，梳理的原则为技术文件所涉内容是与主要退化区域（高山亚高山、干热河谷及石漠化区域）、不同起点（无林地、退化天然林、结构单一的人工林）、不同修复目标（生物多样性、碳汇、水土保持、生产生计）、近（中）期云南森林修复重点领域（以国家公园为代表的自然保护地体系建设、矿山生态修复）、应用的技术和监测指标特征（传统林业、生物多样性、其它生态功能）五个维度相关的技术标准。搜索关键词包含：森林、培育、矿山、退化、干热河谷、石漠化、生态系统、生物多样性、水土保持、水源涵养、植被恢复、修复、生态、人工林、天然林、低产、低效林、低质、高山、亚高山、生态效益、生态功能、国家公园、自然保护地（区）、栖息地等。国家标准、行业标准、云南省地方标准和云南省州市级地方标准，通过云南省标准化信息传递服务平台 [4]、自然资源标准化信息服务平台 [5] 搜索获取。

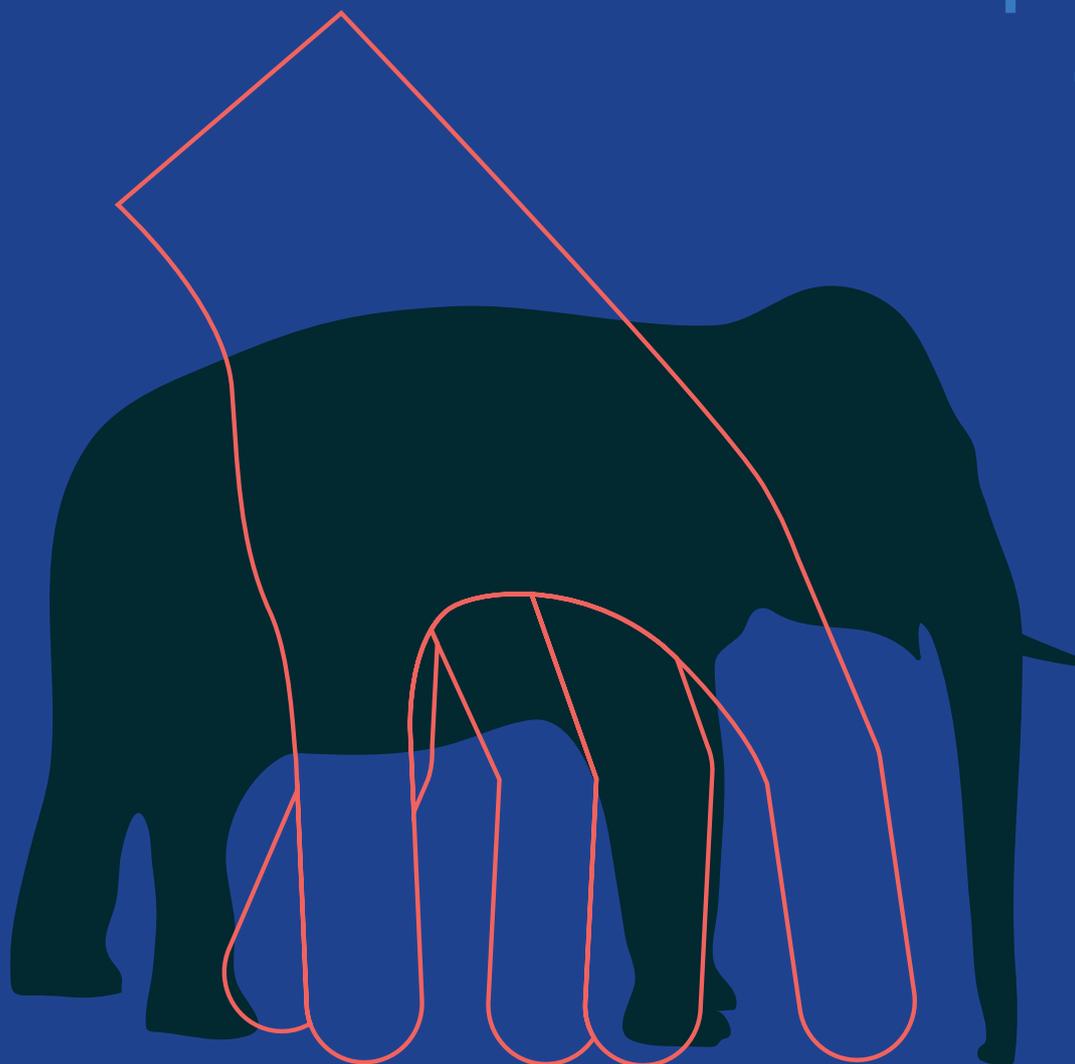
本研究根据维度、关键词和技术标准内容，初步筛选出技术标准 275 个（国家标准 61 个，行业标准 125 个，云南省地方标准 89 个），经 5 位成员独立判断，再对有异议的文件进行讨论筛选。最终确定涉及森林修复相关技术标准 112 个（附表 1），其中国家标准 35 个，行业标准 59 个，云南省地方标准 18 个。本研究基于这 112 个技术标准开展现有技术标准体系覆盖度分析。



羽叶金合欢是热带雨林中常见的藤本，也频频出现在云南美食中。
©Zhiwei Zhang / Greenpeace

03

现有技术标准体系 覆盖度分析



3.1 评价方法

覆盖度分析从主要退化区域、不同起点、不同修复目标（生态功能）、近（中）期云南森林修复重点领域、应用的技术和监测指标特征五个维度开展现有技术标准体系覆盖度分析。

主要退化区域选择云南省三大主要生态脆弱区域（高山亚高山、干热河谷及石漠化区域）；不同起点选择无林地、退化天然林、结构单一的人工林三种类型；不同修复目标（生态功能）选择生物多样性、碳汇、水土保持和生计四个方面；近（中）期云南森林修复重点领域选择以国家公园为代表的自然保护地体系建设、矿山生态修复两大重点领域；应用的技术和监测指标特征选择传统林业指标、生物多样性指标、水土保持指标和碳汇指标四类指标。共五大维度，十六个细分维度。

3.2 主要退化区域覆盖度分析

根据《云南省重要生态系统保护和修复重大工程总体规划（2021—2035年）》[3]、《云南省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》[6]和《云南省“十四五”林业和草原保护发展规划》[7]等规划提出的森林修复相关布局，结合现阶段云南林草生态保护修复重点工作，本研究关注云南省三大主要生态脆弱区域（高山亚高山、干热河谷及石漠化区域）进行森林修复相关技术体系覆盖度分析，主要有以下原因：

(1) 生态系统代表性：

这三大区域涵盖了云南省主要的生态脆弱区域类型，能代表省内不同地理环境和气候条件下的森林退化状况。高山亚高山区域体现了高海拔寒冷气候下的生态系统脆弱性；干热河谷区域反映了低热河谷地带特殊的干热气候对生态的影响；石漠化区域则代表了喀斯特地貌区因水土流失和岩石裸露导致的生态退化问题。通过对这三大区域的研究，可以为全省不同类型的生态脆弱区域森林修复提供典型案例和技术参考。

(2) 生态服务功能重要性：

高山亚高山区域是重要的水源涵养区和生物多样性保护区，其森林生态系统对维持区域水资源平衡和生物多样性具有关键作用；干热河谷区域虽然生态较为脆弱，但在保持水土、调节局部气候等方面也有着不可忽视的作用；石漠化区域若能成功修复森林，对于改善区域生态环境、减少自然灾害发生频率以及保障周边居民生产生活安全意义重大。对这些区域进行森林修复技术体系覆盖度分析，有助于提升其生态服务功能，促进区域生态环境的整体改善。

(3) 修复难度与紧迫性：

这三大区域的森林退化问题较为严重，修复难度大且具有紧迫性。高山亚高山区域因气候寒冷、土壤贫瘠等自然条件限制，植被恢复缓慢；干热河谷区域的干热气候和复杂地形使得植被生长困难，生态修复面临诸多挑战；石漠化区域水土流失严重，土地生产力极低，生态系统濒临崩溃，急需有

效的修复技术来遏制石漠化扩展，恢复森林生态。分析森林修复相关技术体系在这些区域的覆盖度，能够及时发现技术短板，加快技术研发和应用，以应对紧迫的生态修复需求。

(4) 对区域发展的影响：

高山亚高山区域的生态状况影响着周边地区的水源供应和生态安全，其森林修复对于保障下游地区农业生产、居民生活用水等至关重要；干热河谷区域的生态修复有助于改善当地的农业生产条件，促进特色农业和生态旅游业的发展；石漠化区域的森林修复则是解决当地贫困问题、实现可持续发展的关键举措，能够为当地居民创造更好的生活和发展机遇。因此，关注这三大区域的森林修复技术体系覆盖度，对于推动云南省区域协调发展和生态文明建设具有重要意义。

针对上述 3 个不同区域的森林修复工作，涉及的主要标准及其覆盖度情况见表 1。从表中看出：共有 11 个行业标准覆盖云南省三大生态脆弱区域，高山亚高山方面有 2 个，内容涉及不同类型退化林的生态修复和可持续经营技术，但缺少恢复后的监测和评价方面标准；石漠化方面有 7 个，内容涉及生态修复技术、监测指标和方法、监测技术及评价等，现有标准已经很全面，覆盖了石漠化区域从生态修复至监测评价全过程；干热河谷方面有 2 个，内容涉及土壤修复和监测指标，但缺少植被恢复及监测评价的技术标准。

表1 主要退化区域修复相关技术标准

主要退化区域	标准号	标准名称	主要技术内容(适用范围)
高山亚高山	LY/T 2028-2012	西南山地退化天然林恢复规程	针对不同退化程度天然林,采取封禁恢复、封育调整、封育改造、封育重建4种措施进行恢复
	LY/T 2764-2016	西南亚高山退化森林恢复与可持续经营技术规范	不同类型退化天然次生林及退化人工林的恢复和可持续经营技术(综合性)
石漠化	LY/T 1840-2020	喀斯特地区植被恢复技术规程	规定了人工造林和封山育林两种恢复方式的技术措施
	LY/T 2829-2017	喀斯特石漠化山地经济林栽培技术规程	退化程度中等以下山地经济林栽培技术要求
	LY/T 191-2013	西南岩溶石漠生态系统定位观测指标体系	西南岩溶石漠生态系统石漠化及气象、水文、土壤、生物观测指标
	LY/T 2902-2017	岩溶石漠生态系统服务评估规范	岩溶石漠生态系统服务评价的指标体系和评估方法
	LY/T 2994-2018	石漠化治理监测与评价规范	针对石漠化治理工程的监测和评价指标、方法
	LY/T 3258-2021	岩溶石漠生态系统定位观测技术规范	石漠化特征、气象、水文、土壤、生物观测的方法和技术要求
	LY/T 3404-2024	石漠化防治效益监测与评价规范	石漠化防治效益监测和评价指标及方法
干热河谷	LY/T 3180-2020	干旱干热河谷区退化林地土壤修复技术规程	树种选择、植苗造林;提出优良固氮树种名录
	LY/T 2255-2014	西南干热干旱河谷生态系统定位观测指标体系	气象、土壤、水文、生物观测指标



3.3 不同起点覆盖度分析

不同类型的退化林地，需要采取不同的修复手段和措施。选择无林地、退化天然林、结构单一的人工林这三种“不同起点”的修复类型进行森林修复相关技术体系覆盖度分析，主要有以下原因：

(1) 涵盖不同退化状况：

这三种类型涵盖了森林退化的多种典型状况。无林地代表了森林植被完全缺失的极端情况，可能是由于森林砍伐、火灾、自然灾害等原因导致，包括宜林地、采伐迹地和火烧迹地；退化天然林则是原有天然林生态系统受到不同程度破坏，如过度采伐、病虫害侵袭、人为干扰等，森林生态系统的结构和功能出现不同程度的衰退，生态服务功能降低的天然林；结构单一的人工林通常是由于造林树种单一、经营管理方式不当等原因，导致林分结构简单、生物多样性低、生态稳定性差。通过对这三种类型的研究，可以全面了解不同程度和原因导致的森林退化问题，为制定针对性的修复技术体系提供依据。

(2) 生态系统恢复目标差异：

不同类型的退化林地其生态系统恢复目标有所不同。无林地需要从无到有建立森林生态系统，重点在于选择适宜的树种和造林技术，快速恢复植被覆盖，构建基础的生态系统结构；退化天然林的修

不同类型的退化林地其生态系统恢复目标有所不同。无林地需要从无到有建立森林生态系统，重点在于选择适宜的树种和造林技术，快速恢复植被覆盖，构建基础的生态系统结构；退化天然林的修复目标是尽可能恢复其原有的生态功能和生物多样性，需要在保护现有植被的基础上，采取促进天然更新、补植补造等措施，逐步恢复其复杂的生态结构；结构单一人工林的修复则侧重于调整林分结构，增加生物多样性，通过抚育间伐、混交改造等手段，提高人工林的生态稳定性和服务功能。分析不同起点的修复类型，有助于明确不同退化林地的生态恢复目标，从而确定相应的技术体系覆盖度，以实现精准修复。

(3) 技术需求多样性：

三种不同起点的退化林地在修复过程中面临的技术需求各不相同。无林地造林需要考虑适宜树种选择、种苗培育、造林密度、造林方法等技术问题；退化天然林修复需要涉及到生态监测、森林抚育、有害生物防治、野生动物栖息地保护等多方面的技术；结构单一人工林改造则需要掌握林分结构调整、树种搭配、地力维持等技术。对这三种类型进行研究，可以全面梳理森林修复过程中的各种技术需求，了解现有技术体系在不同类型退化林地上的覆盖情况，找出技术空白和薄弱环节，为进一步完善森林修复技术体系提供方向。

(4) 指导实践的全面性：

在森林修复实践中，这三种退化林地类型较为常见。通过对它们进行森林修复相关技术体系覆盖度的分析，可以为不同地区、不同类型的森林修复工作提供全面的指导。无论是在大面积的荒山造林（无林地修复），还是在天然林保护与修复工程（退化天然林修复），以及人工林质量提升项目（结构单一人工林修复）中，都能根据相应的技术体系覆盖度分析结果，选择合适的修复技术和措施，提高森林修复的效果和质量，实现森林资源的可持续发展。

本研究从无林地、退化天然林、结构单一的人工林三种“不同起点”的修复类型进行梳理，涉及的主要标准及其覆盖度情况见表 2。从表中看出：①共有 36 个技术标准覆盖无林地、退化天然林、结构单一的人工林三种“不同起点”类型，其中无林地 13 个（国家标准 11 个、行业标准 2 个），标准类型包括通用基础标准、具体森林类别和林种的标准、特殊类型标准，通用基础标准内容涉及造林的总体设计、作业设计、造林技术和综合核查，具体森林类别和林种的标准内容涉及生态公益林和水源涵养林的规划设计、建设技术和检查验收，特殊类型标准内容涉及裸露坡面、沙化土地和生态风景林的植被恢复技术；退化天然林 11 个（国家标准 5 个、行业标准 6 个），标准类型包括通用基础标准、不同区域或林种的标准、不同恢复措施标准，通用基础标准内容涉及退化林的生态修复和效益评估，不同区域或林种的标准内容涉及西南山地、西南亚高山、热带退化林的生态修复和可持续经营技术，不同恢复措施标准内容涉及森林抚育、封山（沙）育林技术和管理；结构单一的人工林 12 个（行业标准 4 个、云南省地方标准 8 个），标准类型包括国家储备林 [8] 和不同树种，国家储备林内容涉及改培和可持续经营技术，不同树种涉及云南松、华山松、思茅松、旱冬瓜的作业设计和培育技术，生态茶园和橡胶的建设和改造技术。②现有规程对造林的验收标准以面积和成活率为主，缺少生态功能指标。③现有技术规程基本为传统的人工林抚育或改造技术，对生物多样性和生态功能相关指标关注不足。

表 2 不同起点森林修复相关技术标准

不同起点	标准类型	标准号	标准名称	主要技术内容(适用范围)
无林地	通用基础标准	GB/T 15776-2023	造林技术规程	人工造林、更新造林、四旁植树造林全过程技术
		GB/T 15782-2009	营造林总体设计规程	营造林设计编制的内容、方法、要求及编制程序
		LY/T 2083-2013	全国营造林综合核查技术规程	营造林成效的综合核查技术要求
		LY/T 1607-2024	造林作业设计规程	人工造林和更新造林的作业设计技术要求
	具体森林类别和林种的标准	GB/T 18337.1-2001	生态公益林建设导则	生态公益林建设的原则、程序及设计、建设、检查验收系列标准
		GB/T 18337.2-2001	生态公益林建设规划设计通则	
		GB/T 18337.3-2001	生态公益林建设技术规程	
		GB/T 18337.4-2001	生态公益林建设检查验收规程	
	特殊类型标准	GB/T 26903-2011	水源涵养林建设规范	涉及无林地的水源涵养林建设
		GB/T 50885-2013	水源涵养林工程设计规范	
		GB/T 38360-2019	裸露坡面植被恢复技术规范	裸露坡面植被恢复技术要求
		GB/T 21141-2007	防沙治沙技术规范	沙化土地造林
		GB/T 26902-2011	热带、亚热带生态风景林建设技术规程	以生态公益林为主体的绿化体系。包括人工更新、林分改造和封育管护三种类型。
退化天然林(次生林、低效林)	通用基础标准	GB/T 44351-2024	退化林修复技术规程	适用于用材林和防护林,其它林种参照执行。
		GB/T 44590-2024	天然林保护修复生态效益评估指南	保护和修复工程项目的生态效益评估
		LY/T 1690-2017	低效林改造技术规程	低效次生林,林种包括防护林、用材林、经济林和薪炭林。
	不同区域或林种的标准	LY/T 2651-2016	退化森林生态系统恢复与重建技术规程	天然更新、人工促进天然更新、人工重建3种植被恢复措施
		LY/T 2028-2012	西南山地退化天然林恢复规程	针对不同退化程度天然林,采取封禁恢复、封育调整、封育改造、封育重建4种措施进行恢复
		LY/T 2764-2016	西南亚高山退化森林恢复与可持续经营技术规范	不同类型退化天然次生林及退化人工林的恢复和可持续经营技术(综合性)
		LY/T 2455-2015	热带次生林抚育技术规程	热带地区次生林的抚育及经营管理
	不同恢复措施标准	LY/T 3179-2020	退化防护林修复技术规程	难以自然恢复的退化防护林的修复技术
		GB/T 15163-2018	封山(沙)育林技术规程	适用通过封育能恢复森林植被的所有退化天然林
		GB/T 15781-2015	森林抚育规程	用材林、防护林的幼中龄林抚育。规定了抚育对象、抚育条件、措施、方法和技术指标。
结构单一的人工林	国家储备林	GB/T 33890-2017	森林抚育 工程实施指南	国有林区森林抚育项目的实施管理
		LY/T 2787-2017	国家储备林改培技术规程	国家储备林改培的技术要求
	不同树种	LY/T 3313-2022	国家储备林可持续经营指南	国家储备林的建设和管理
		LY/T 2326-2014	云南松低产低效林改造技术规程	云南松低产低效林改造对象、措施和作业设计要求
		LY/T 2973-2018	华山松人工林抚育技术规程	华山松人工林抚育对象、方式方法、措施、控制指标等要求
		DB53/T 935-2019	华山松低质低产林改造技术规程	更替、抚育、补植补造、封禁4种改造方式
		DB53/T 433-2012	思茅松人工用材林中龄林抚育技术规程	抚育对象、强度、技术要求
		DB5331/T 1-2020	旱冬瓜人工林培育技术规程	德宏地区旱冬瓜人工林栽培
		DB5308/T 35.1-2018	立体生态茶园建设技术规程 第1部分:新建立体生态茶园	新建云南大叶种茶的生态茶园技术
		DB5308/T 35.2-2018	立体生态茶园建设技术规程 第2部分:中低产茶园改造成立体生态茶园	云南大叶种茶中低产茶园改造
DB5308/T 74-2023	景迈山古茶林保护管理技术规范	林地管理、茶树管理、植被管理技术要求		
DB5328/T 6-2019	生态茶园建设技术规程	西双版纳州生态茶园建设		
DB5328/T 7-2022	生态胶园建设技术规程	西双版纳州生态胶园建设		

3.4 不同修复目标(生态功能)覆盖度分析

森林退化的内涵是林木产品和生态服务功能的逆向改变。针对云南森林修复的实际情况,选择生物多样性(动植物栖息地)、碳汇、水土保持、生产生计这四个修复目标进行森林修复相关技术体系覆盖度分析,主要有以下原因:

(1) 生物多样性(动植物栖息地):

①丰富的生物资源:云南是中国生物多样性最丰富的省份之一,拥有大量的珍稀濒危动植物。森林是众多动植物的栖息地,通过森林修复来保护和提升生物多样性至关重要。选择这一修复目标,能够聚焦于为各类动植物提供适宜的生存环境,确保物种的繁衍和生态系统的稳定。②生态系统稳定的关键:生物多样性是生态系统稳定的基础。丰富的物种相互作用、相互依存,共同维持着生态系统的平衡和功能。保护和恢复动植物栖息地,可以增强生态系统的自我调节能力和抗干扰能力,使其更好地应对气候变化、病虫害等挑战。

(2) 碳汇:

①应对气候变化的需求:随着全球气候变化问题日益严峻,增加森林碳汇成为缓解气候变化的重要手段。云南的森林资源丰富,具有较大的碳汇潜力。将碳汇作为森林修复目标之一,有助于充分发挥云南森林在吸收和固定二氧化碳方面的功能,为应对全球气候变化做出贡献。②森林资源的优势:云南的森林面积广阔,不同类型的森林在碳汇能力上存在差异。通过森林修复,可以优化森林结构,提高森林质量,增加森林的碳储存量。例如,选择一些生长迅速、碳吸收能力强的树种进行造林和补植,能够有效提升森林的碳汇功能。

(3) 水土保持:

①复杂的地形地貌:云南地形复杂,山地、高原占比较大,且降水集中,水土流失风险较高。森林具有涵养水源、保持水土的重要作用,能够减少土壤侵蚀、降低泥石流等自然灾害的发生频率。以水土保持为修复目标,有助于保护云南的土地资源和生态环境,减少水土流失对农业生产、基础设施和人民生活的影响。②保障生态安全:良好的水土保持状况是区域生态安全的重要保障。通过森林修复增强水土保持功能,可以维持河流水系的稳定,保护土壤肥力,为各类生态系统的稳定和发展提供基础条件。这对于维护云南整体的生态平衡和生态安全具有重要意义。

(4) 生产生计:

①经济发展的需要:云南部分地区经济相对落后,森林资源与当地居民的生产生计密切相关。森林修复不仅要注重生态效益,还要考虑经济效益和社会效益。将生产生计纳入修复目标,能够通过发展林下经济、特色经济林、森林旅游等产业,为当地居民提供就业机会和经济收入,实现生态保护与经济发展的良性互动。②可持续发展的要求:实现生产生计与森林修复的有机结合,是促进云南可持续发展的必然选择。这样可以提高当地居民对森林保护和修复的积极性,使他们从森林资源的合理利用中受益,从而更加自觉地参与到森林保护与修复中来,形成可持续的森林经营模式。

本研究从生物多样性(动植物栖息地)、碳汇、水土保持、生产生计四个修复目标进行梳理,涉及的主要标准及其覆盖度情况见表3。从表中看出:①共有29个技术标准覆盖生物多样性(动植物栖息地)、碳汇、水土保持和生产生计四个方面,其中生物多样性9个(行业标准4个、云南省地方标准5个),标准类型包括自然保护区、森林、极小种群和亚洲象,内容涉及自然保护区的林窗修复、生物多样性调查、监测与评估,极小种群保护与生境修复,亚洲象栖息地建设和修复技术;碳汇5个(国家标准2个、行业标准3个),内容涉及造林技术、计量参数和监测、项目审定和核算;水土保持5个(国家标准1个、行业标准2个、云南省地方标准2个),内容涉及工程设计、水电工程生态修复、高原湖泊湿地汇水面山和矿区生态修复;生产生计10个(国家标准2个、行业标准2个、云南省地方标准6个),内容涉及生态风景林建设和石漠化山地经济林技术、生态系统服务功能评估、生态旅游景区建设、生态茶园和生态胶园建设和改造技术。②生物多样性方面,除亚洲象外,未见其它珍稀濒危野生动物栖息地的保护恢复相关技术规程。③水土保持方面,缺少生态监测的技术标准。④生产生计方面,缺少干热河谷、高山亚高山区域生态风景林(指以专门的生态功能为主,将景观美学与生态功能和谐统一的森林、林地,是以生态公益林为主体的绿化体系和森林生态系统。)建设的技术标准。

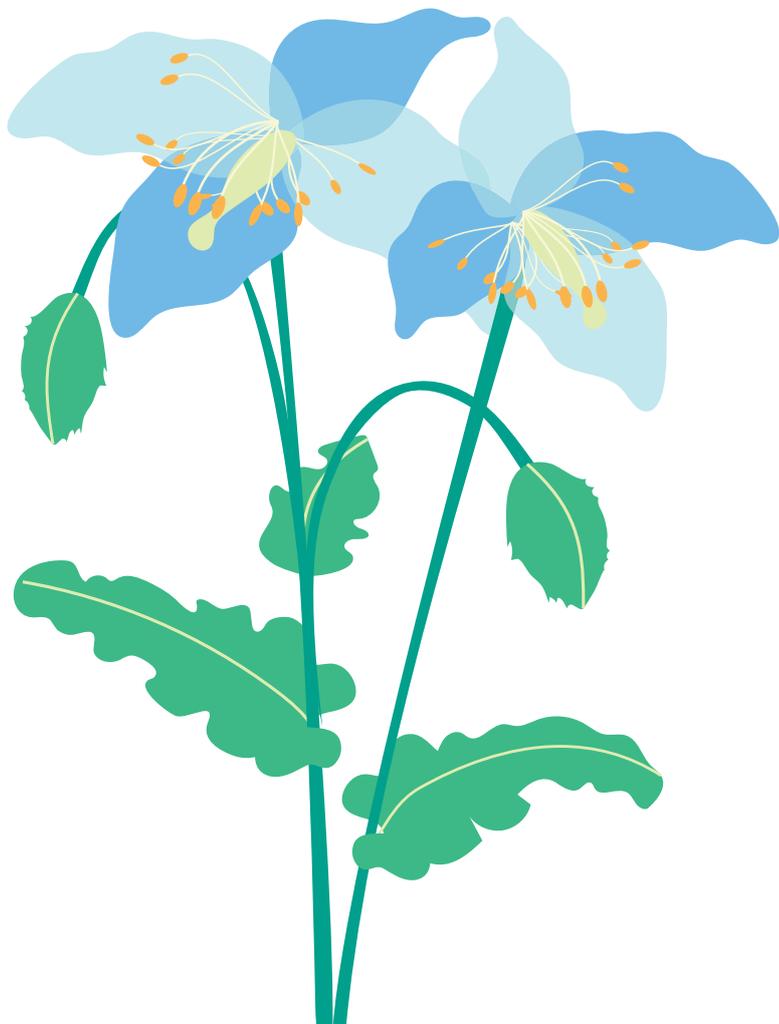


表3 针对不同修复目标的相关技术标准

修复目标	标准号	标准名称	主要技术内容(适用范围)
生物多样性(动植物栖息地)	LY/T 1814-2009	自然保护区生物多样性调查规范	林业部门主管的自然保护区生物多样性调查
	LY/T 2241-2014	森林生态系统生物多样性监测与评估规范	生物多样性长期定位监测及其物种保育功能的评估
	LY/T 3086.1-2019	极小种群野生植物保护技术 第1部分 就地保护及生境修复技术规程	极小种群野生植物就地保护和退化生境修复技术及其管理
	LY/T 2242-2014	自然保护区建设项目生物多样性影响评价技术规范	在自然保护区试验区开展建设项目的生物多样性影响评价
	LY/T 2649-2016	自然保护区生物多样性保护价值评估技术规程	自然保护区生物多样性保护价值的评估原则、评估内容及数据来源、评价指标及其分级赋值方法、保护价值指数计算方法等内容
	DB53/T 391-2012	自然保护区与国家公园生物多样性监测技术规程 第1部分:森林生态系统及野生动植物	自然保护区与国家公园范围内植被、野生动植物、环境要素和外来入侵植物的监测
	DB53/T 1218-2023	亚洲象栖息地修复技术规程	亚洲象栖息地修复的抚育疏伐、计划烧除、种植主食植物、人工硝塘建设、外来入侵植物清理、成效监测与评估等技术要求
	DB53/T 1220-2023	亚洲象食源地建设技术规程	食源地建设地点选择、食性植物选择、苗木种植、硝塘建设等技术要求
DB5329/T 19-2019	苍山林窗地修复管理规范	苍山洱海国家级自然保护区内的林窗地修复管理	
碳汇	GB/T 41198-2021	林业碳汇项目审定和核证指南	温室气体减排市场碳汇项目审定和核证程序、内容和方法
	GB/T 43648-2024	主要树种立木生物量模型与碳计量参数	主要树种林木生物量与碳储量计算
	LY/T 2252-2014	碳汇造林技术规程	碳汇造林地点选择、调查和作业设计、树种选择、造林方式等要求
	LY/T 2253-2014	造林项目碳汇计量监测指南	碳汇计量监测的基线和碳计量方法、监测程序等要求
	LY/T 2988-2018	森林生态系统碳储量计量指南	森林生态系统林分尺度碳储量的计算
水土保持	GB/T 51097-2015	水土保持林工程设计规范	新造和改造的水土保持林建设工程设计
	NB/T 10510-2021	水电工程水土保持生态修复技术规范	水电工程水土保持生态修复的规划、涉及、实施、维护等全过程技术
	NB/T 35082-2016	水电工程陡边坡植被混凝土生态修复技术规范	水电工程陡边坡(45°-85°)生态修复工程的设计与施工要求
	DB53/T 864-2018	高原湖泊湿地汇水面山植被恢复技术规程	湖泊湿地汇水面山植被恢复原则和技术
	DB5301/T 37-2019	滇池流域“五采区”植被恢复技术规程	采石、采砂、采矿、取土、砖瓦窑等形成的采区植被恢复措施、环保措施等技术要求
生产生计	GB/T 26902-2011	热带、亚热带生态风景林建设技术规程	热带、亚热带生态风景林的建设原则、建设类型、规划设计、建设技术等技术要求
	GB/T 38582-2020	森林生态系统服务功能评估规范	术语和定义、基本要求、数据来源、评估指标体系、分布式测算方法、评估公式等
	LY/T 2829-2017	喀斯特石漠化山地经济林栽培技术规程	喀斯特石漠化山地栽培经济林的立地选择、树种(品种)选择、树种配置、种苗、整地栽植及管理等技术要求
	LY/T 2902-2017	岩溶石漠生态系统服务评估规范	岩溶石漠生态系统服务的评估指标体系和评估方法等内容
	DB53/T 372-2012	高黎贡山国家公园生态旅游景区建设及管理规范	高黎贡山国家公园生态旅游景区的术语和定义、景区建设和管理
	DB5308/T 35.1-2018	立体生态茶园建设技术规程 第1部分:新建立体生态茶园	新建云南大叶种茶的生态茶园技术
	DB5308/T 35.2-2018	立体生态茶园建设技术规程 第2部分:中低产茶园改造成立体生态茶园	云南大叶种茶中低产茶园改造
	DB5308/T 74-2023	景迈山古茶林保护管理技术规范	林地管理、茶树管理、植被管理技术要求
	DB5328/T 6-2019	生态茶园建设技术规程	西双版纳州生态茶园建设
	DB5328/T 7-2022	生态胶园建设技术规程	西双版纳州生态胶园建设

3.5 近(中)期云南森林修复重点领域覆盖度分析

自然保护区是中国生态建设的核心载体,在维护国家生态安全中居于首要地位。矿山生态修复是国土空间生态修复的重要工作内容,实施长江经济带(云南段)、青藏高原东南缘、九大高原湖泊流域等重要生态区历史遗留矿山生态修复项目,对提升生态系统质量和稳定性,筑牢中国西南生态安全屏障有重要意义。针对云南省近(中)期森林修复重点工作,选择以国家公园为代表的自然保护区体系建设和矿山生态修复这两个重点领域进行森林修复相关技术体系覆盖度分析,主要有以下原因:

(1) 国家公园为代表的自然保护区体系建设:

根据《中国国家公园总体空间布局研究》[9],云南省规划有香格里拉、高黎贡山、哀牢山、亚洲象四个国家公园候选区,这些国家公园将在以下方面发挥重要作用。①生态保护重要性:云南省拥有丰富的自然生态系统和独特的生物多样性,国家公园等自然保护区是这些珍贵自然资源的核心保护区域。建设自然保护区体系对于保护云南的生态安全屏障、维护生态平衡、保护濒危物种及其栖息地具有关键作用。森林作为自然保护区的重要组成部分,其修复质量直接关系到整个保护地生态功能的发挥,因此需要针对性地分析森林修复技术体系在其中的覆盖度,以确保保护地内森林生态系统得到有效保护和恢复。②示范引领作用:国家公园的建设在生态保护、自然资源管理和生态旅游等方面具有示范引领作用。通过对国家公园森林修复技术体系覆盖度的研究,可以为其他类型自然保护区以及全省的森林保护与修复工作提供先进的理念、技术和管理经验。例如,国家公园在生态旅游开发中的森林修复技术应用,可以为如何在保护生态的前提下合理利用森林资源提供参考,推动全省森林资源的可持续利用。③提升生态服务功能:自然保护区内的森林具有多种生态服务功能,如水源涵养、水土保持、气候调节等。随着人们对生态环境质量要求的不断提高,需要通过科学的森林修复技术来提升这些生态服务功能,以满足社会对优质生态产品的需求。分析技术体系覆盖度有助于发现现有技术在提升生态服务功能方面的优势和不足,从而有针对性地进行技术改进和创新。

(2) 矿山生态修复:

①生态破坏严重:云南是矿业大省,长期的矿产资源开发导致了大量的生态破坏,包括森林植被破坏、水土流失、土地沙化、环境污染等问题。矿山生态修复是改善区域生态环境、促进资源型地区可持续发展的迫切需要。森林修复作为矿山生态修复的重要环节,对于恢复植被覆盖、改善土壤质量、减少水土流失和环境污染具有重要作用。对其技术体系覆盖度进行分析,能够为矿山生态修复提供科学的技术支撑,提高修复效果。②政策导向与社会责任:国家和地方政府高度重视矿山生态修复工作,出台了一系列相关政策法规,要求矿山企业履行生态修复责任。以矿山生态修复为重点进行森林修复技术体系覆盖度分析,有助于推动矿山企业落实生态修复责任,规范修复行为,同时也符合社会对矿业行业绿色发展的期望,有利于提升矿业企业的社会形象,促进矿业与生态保护的协调发展。③技术复杂性与多样性:矿山生态修复涉及到多种复杂的技术问题,如废弃矿坑治理、土壤重构、植被恢复等。不同类型的矿山、不同的开采方式和破坏程度需要采用不同的修复技术和方法。森林修复在矿山生态修复中需要与其他工程措施、生物措施相结合,形成综合的修复技术体

系。分析技术体系覆盖度可以全面了解现有技术对矿山生态修复中的适用性和局限性，为研发和推广更加有效的森林修复技术提供依据，以满足矿山生态修复的多样化需求。

本研究从以国家公园为代表的自然保护地体系建设和矿山生态修复两个云南省近（中）期森林修复重点领域进行梳理，涉及的主要标准及其覆盖度情况见表 4。从表中看出：①共有 25 个技术标准覆盖以国家公园为代表的自然保护地体系建设和矿山生态修复，其中自然保护地体系建设 8 个（国家标准 4 个、行业标准 1 个、云南省地方标准 3 个），内容涉及自然保护区的总体规划、生态旅游规划、功能区划、外来入侵种管理和国家公园建设与规划；矿山生态修复 17 个（国家标准 6 个、行业标准 11 个），内容涉及矿山土地复垦、生态修复和工程验收。②以国家公园为代表的自然保护地体系建设方面，云南省地方标准“国家公园建设规范 DB53/T 301-2009”和“高黎贡山国家公园生态旅游建设及管理规范 DB53/T 372-2012”颁布实施已超过 10 年。③矿山生态修复方面，现有标准已经覆盖云南省的全部矿山类型。



表 4 近(中)期云南森林修复重点工作领域相关技术标准

重点工作	标准号	标准名称	主要技术内容(适用范围)
以国家公园为代表的自然保护地体系建设	GB/T 20399-2006	自然保护区总体规划技术规程	除海洋类型外自然保护区总体规划的方法、内容等技术性、原则性要求
	GB/T 20416-2006	自然保护区生态旅游规划技术规程	自然保护区生态旅游规划的基本准则,以及旅游资源调查与评价、环境容量测算、生态旅游区划与生态旅游基础设施建设等技术性指标和原则性要求
	GB/T 35822-2018	自然保护区功能区划技术规程	自然保护区功能区划的基本原则、功能分区、依据、程序、结果和调整等技术性要求
	GB/T 39736-2020	国家公园总体规划技术规范	国家公园总体规划的编制、审查、管理和实施评估的相关内容
	LY/T 2243-2014	自然保护区外来入侵种管理规范	自然保护区中外来入侵种的调查、评估、防控和管理等技术内容和要求
	DB53/T 301-2009	国家公园建设规范	国家公园建设规模与布局、功能、基本条件及评价
	DB53/T 372-2012	高黎贡山国家公园生态旅游景区建设及管理规范	高黎贡山国家公园生态旅游景区建设、布局、管理的相关要求
	DB53/T 855-2017	自然保护区管理规范	自然保护区的机构及人员、基础设施、保护管理、公共服务、考核及评估等管理要求
矿山生态修复	GB 51287-2018	煤炭工业露天矿土地复垦工程设计标准	露天煤矿土地复垦规划与工程设计,包括土壤重构、植被重建及配套工程
	GB 51411-2020	金属矿山土地复垦工程设计标准	金属矿山土地复垦项目工程设计,包括土壤重构、植被重建、配套工程、监测与管护工程
	GB/T 42251-2022	采矿沉陷区生态修复技术规程	矿产资源地下开采活动形成的稳定沉陷区生态修复的设计、技术措施、管理维护等技术要求
	GB/T 43933-2024	金属矿土地复垦与生态修复技术规范	金属矿土地复垦与生态修复的方案编制、工程实施、管理维护及监测评价等技术要求
	GB/T 43934-2024	煤矿土地复垦与生态修复技术规范	生产煤矿矿土地复垦与生态修复的方案编制、工程实施、管理维护及监测评价等技术要求
	GB/T 43936-2024	石油天然气项目土地复垦与生态修复技术规范	陆上油气项目土地复垦与生态修复的方案编制、工程实施、管理维护及监测评价等技术要求
	LY/T 2356-2014	矿山废弃地植被恢复技术规范	各类矿山废弃地进行土地整理、森林或林草植被恢复的技术要求
	LY/T 2770-2016	南方有色金属矿区废弃地植被生态修复技术规程	长江以南地区有色金属矿区废弃地土地复垦整理、植被修复技术要求
	LY/T 2991-2018	煤矸石山生态修复综合技术规范	煤矸石矿土壤构建、植被恢复、养护等技术措施
	TD/T 1070.1-2022	矿山生态修复技术规范 第1部分:通则	第1部分规范了矿山生态修复工作的技术流程、总体思路、工作方法等通用内容,其他6个部分是第1部分的延伸和细化,重点强调了不同矿种的矿山生态修复技术措施,包括生态修复的总体原则与要求、基础调查与问题识别、方案编制、方案实施、监测与管护、成效评估、信息管理等内容
	TD/T 1070.2-2022	矿山生态修复技术规范 第2部分:煤炭矿山	
	TD/T 1070.3-2024	矿山生态修复技术规范 第3部分:金属矿山	
	TD/T 1070.4-2022	矿山生态修复技术规范 第4部分:建材矿山	
TD/T 1070.5-2022	矿山生态修复技术规范 第5部分:化工矿山		
TD/T 1070.6-2022	矿山生态修复技术规范 第6部分:稀土矿山		
TD/T 1070.7-2022	矿山生态修复技术规范 第7部分:油气矿山		
TD/T 1092-2024	矿山生态修复工程验收规范	矿山生态修复工程验收组织程序、内容与要求等	

3.6 应用的技术和监测指标特征

森林修复应用的技术和监测指标是评估森林资源状态、指导科学管理、保障生态安全的核心工具，本研究选择传统林业指标、生物多样性指标、水土保持指标和碳汇指标四类指标进行森林修复相关技术体系覆盖度分析，主要是因为这些指标能全面、综合地反映森林修复的效果和质量，具体原因如下：

(1) 传统林业指标：

①基础衡量标准：传统林业指标如森林覆盖率、蓄积量、生长量等，是衡量森林资源数量和质量的基础指标。它们能够直观地反映森林修复在增加森林面积、提高林木生长状况等方面的成效，为评估森林修复技术体系的实施效果提供了最基本的量化依据。通过对这些指标的监测和分析，可以了解森林修复技术在促进林木生长、扩大森林资源规模方面是否达到了预期目标。②行业规范与管理需求：在林业领域，传统林业指标是长期以来形成的行业规范和标准，广泛应用于森林资源管理、规划和评价等方面。选择这些指标进行森林修复相关技术体系覆盖度分析，有助于与现有的林业管理体系相衔接，便于在行业内进行统一的评估和比较，为森林修复工作的规范化管理提供支持。

(2) 生物多样性指标：

①生态系统健康的关键：生物多样性是生态系统健康和稳定的重要标志。森林作为一个复杂的生态系统，丰富的生物多样性对于其功能的完整性和稳定性至关重要。生物多样性指标如物种多样性、遗传多样性、生态系统多样性等，能够反映森林修复技术体系对生态系统中生物种类、种群结构和生态过程的影响。通过监测这些指标，可以评估森林修复是否有助于恢复和提升森林生态系统的生物多样性，进而判断修复技术体系是否有利于构建健康、稳定的森林生态系统。②保护珍稀濒危物种：云南拥有众多珍稀濒危动植物物种，保护这些物种是森林修复的重要任务之一。生物多样性指标能够直接反映出森林修复对珍稀濒危物种及其栖息地的保护效果。例如，通过观察鸟类或植物在修复后的森林中的出现的种类、频率、栖息地范围变化等指标，可以了解森林修复技术是否为它们提供了适宜的生存环境，从而为针对性地保护这些物种提供科学依据。

(3) 水土保持指标：

①云南地理环境的需求：云南地形复杂，山地、高原面积广大，且降水丰富但分布不均，水土流失问题较为突出。森林具有强大的水土保持功能，通过树冠截留、枯枝落叶层吸水、根系固土等作用，能够有效减少土壤侵蚀、涵养水源。水土保持指标如土壤侵蚀模数、林地土壤含水量、径流系数等，能够准确衡量森林修复技术体系在减少水土流失、保持土壤肥力和涵养水源方面的作用效果。选择这些指标进行分析，有助于评估森林修复能否满足云南地区特殊地理环境下对水土保持的迫切需求，为改善区域生态环境提供保障。②维护生态平衡的基础：良好的水土保持状况是维护森林生态系统平衡的基础。水土流失会导致土壤肥力下降、河流泥沙淤积、生态系统退化等一系列问题。通过监测水土保持指标，可以及时发现森林修复过程中存在的问题，调整修复技术和措施，确保森林生态

系统的稳定和可持续发展。例如，如果发现某一区域在森林修复后土壤侵蚀模数仍然较高，就需要进一步分析原因，可能是修复树种选择不当或植被覆盖度不够等，从而采取相应的改进措施。

(4) 碳汇指标：

①应对气候变化的必然选择：随着全球气候变化形势日益严峻，增加森林碳汇已成为应对气候变化的重要举措。森林作为陆地生态系统中最大的碳库，在吸收和固定二氧化碳方面具有不可替代的作用。碳汇指标如森林碳储量、碳固定速率等，能够直接反映森林修复技术体系在增加森林碳汇能力方面的成效。选择碳汇指标进行森林修复相关技术体系覆盖度分析，有助于评估森林修复对减缓气候变化的贡献，为制定应对气候变化的林业政策和措施提供科学依据，同时也符合全球对森林生态系统服务功能的新要求。②森林生态系统服务价值的体现：碳汇功能是森林生态系统服务价值的重要组成部分。通过量化森林碳汇指标，可以更好地评估森林修复所带来的生态系统服务价值，为森林资源的经济价值评估和生态补偿提供依据。例如，在一些生态补偿机制中，根据森林碳汇量来确定补偿标准，能够更加科学合理地体现森林的生态价值，激励各方参与森林修复和保护的积极性。

本研究从传统林业指标（生长量、造林成活率、造林保存率、覆盖率 / 郁闭度、面积、蓄积量）、生物多样性指标（物种多样性、遗传多样性、生态系统多样性）、水土保持指标（年径流总量、土壤侵蚀量、年径流系数、侵蚀模数、年降水量、年蒸发量、年固土量）和碳汇指标（植物地上碳储量、植物地下碳储量、森林土壤碳储量）四类指标进行梳理，涉及的主要标准及其覆盖度情况见表 5。从表中看出：①共有 23 个技术标准覆盖传统林业指标、生物多样性指标、水土保持指标和碳汇指标。其中涉及传统林业指标有 21 个标准（其中生长量 12 个、造林成活率 2 个、造林保存率 3 个、覆盖率 / 郁闭度 10 个、面积 17 个、蓄积量 9 个），生物多样性指标有 18 个标准（其中物种多样性 18 个、遗传多样性 1 个、生态系统多样性 2 个），水土保持指标有 14 个标准（其中年径流总量 10 个、土壤侵蚀量 12 个、年径流系数 11 个、侵蚀模数 11 个、年降水量 8 个、年蒸发量 8 个、年固土量 9 个），碳汇指标有 9 个标准（其中植物地上碳储量 9 个、植物地下碳储量 8 个、森林土壤碳储量 8 个）。②从传统林业指标、生物多样性指标、水土保持指标和碳汇指标维度分析，覆盖传统林业指标的标准最多，有 21 个技术标准；具体指标分析，面积指标覆盖最多，有 17 个标准，遗传多样性、生态系统多样性、造林成活率、造林保存率等指标覆盖最少。



表 5 应用的技术和监测指标

标准级别	标准号	标准名称	传统林业指标					生物多样性指标			水土保持指标						碳汇指标			
			生长量	造林成活率	造林保存率	覆盖率/郁闭度	面积	蓄积量	物种多样性	遗传多样性	生态系统多样性	年径流量	土壤侵蚀量	年径流系数	侵蚀模数	年降水量	年蒸发量	年固土量	植物地上碳储量	植物地下碳储量
国家标准	GB/T 23231-2009	退耕还林工程检查验收规则		√	√	√														
	GB/T 23233-2009	退耕还林工程建设效益监测评价	√			√					√	√	√	√	√	√				
	GB/T 23235-2009	退耕还林工程质量评估指标与方法			√		√													
	GB/T 30363-2013	森林植被状况监测技术规范	√			√	√	√										√	√	√
	GB/T 38582-2020	森林生态系统服务功能评估规范	√				√	√	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	GB/T 43935-2024	矿山土地复垦与生态修复监测评价技术规范	√	√	√	√	√		√		√	√	√	√	√	√				
行业标准	HJ 1272-2022	生态保护修复成效评估技术指南(试行)				√	√	√	√											
	LY/T 1594--2002	中国森林可持续经营标准与指标	√				√	√	√	√	√	√	√					√	√	√
	LY/T 1606-2003	森林生态系统定位观测指标体系	√			√		√	√		√	√	√	√	√	√	√			
	LY/T 1721-2008	森林生态系统服务功能评估规范	√				√	√	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	LY/T 1813-2009	自然保护区自然生态质量评价技术规程					√	√	√	√										
	LY/T 1818-2009	天然林资源保护工程建设评价技术规程				√	√	√	√			√	√	√						
	LY/T 1836-2009	工业人工林生态环境管理规程					√		√								√			
	LY/T 1875-2010	中国热带地区森林可持续经营指标					√	√	√			√						√	√	√
	LY/T 1877-2010	中国西南林区森林可持续经营指标	√				√	√	√		√	√	√	√			√	√	√	√
	LY/T 1952-2011	森林生态系统长期定位观测方法	√			√		√	√		√	√	√	√	√	√	√	√		
	LY/T 1958-2011	森林可持续状况评价导则	√			√	√	√												
	LY/T 2244.1-2014	自然保护区保护成效评估技术导则 第1部分:野生植物保护							√											
	LY/T 2244.2-2014	自然保护区保护成效评估技术导则 第2部分:植被保护				√	√													
	LY/T 2244.4-2014	自然保护区保护成效评估技术导则 第4部分:野生动物保护							√											
	TD/T 1069-2022	国土空间生态保护修复工程验收规范	√				√	√	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
TD/T 1102-2024	国土空间生态保护修复工程成效评估规范	√				√	√	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
地方标准	DB53/T 382-2012	工业人工林可持续经营指南					√		√							√				

3.7 结果分析

本研究从主要退化区域、不同起点、不同修复目标、近(中)期云南森林修复重点领域、应用的技术和监测指标特征五个维度来评价现有技术体系覆盖度。

(1) 主要退化区域方面, 现有技术标准体系覆盖了云南省三大生态脆弱区域—高山亚高山区、干热河谷区和石漠化区, 但筛选出的11个标准都是行业标准, 由于云南省自然气候条件独特, 森林生态系统丰富, 森林修复措施多样, 应根据云南省特有修复措施和方法, 制定相应的云南省地方标准, 对现有技术标准体系进行补充和完善, 如云南省高山亚高山植被恢复技术及监测评估, 云南省干热河谷和石漠化区植被恢复技术等。

(2) 不同起点方面, 24个无林地和退化天然林现有技术标准都是国家标准和行业标准, 应根据云南省实际制定地方标准; 云南面积较大的桉树、杉木等人工林缺乏相应技术标准。另外, 现有技术标准仍以传统面积和成活率为主, 生态功能、生物多样性相关指标的缺失, 与现今愈发强调森林质量提升、发挥森林多重效益的科学和森林治理趋势有所脱节。

(3) 不同修复目标方面, ①从生物多样性角度分析, 云南是“动物王国”, 除亚洲象外, 还有滇金丝猴、绿孔雀等特有珍稀濒危野生动物, 应制定相应的地方标准加以保护; ②从碳汇角度分析, 碳汇计量和计算需分树种、环境等因地制宜, 不同的管理单位所推荐的方法也有不同参数设置, 这些差别对于实操有较大影响; ③从水土保持角度分析, 现有技术体系缺少生物多样性和生态监测方面的技术标准。④从生产生计角度分析, 现有技术体系缺少云南省三大生态脆弱区域—高山亚高山区域、干热河谷区域和石漠化区域的生态风景林建设的地方标准。

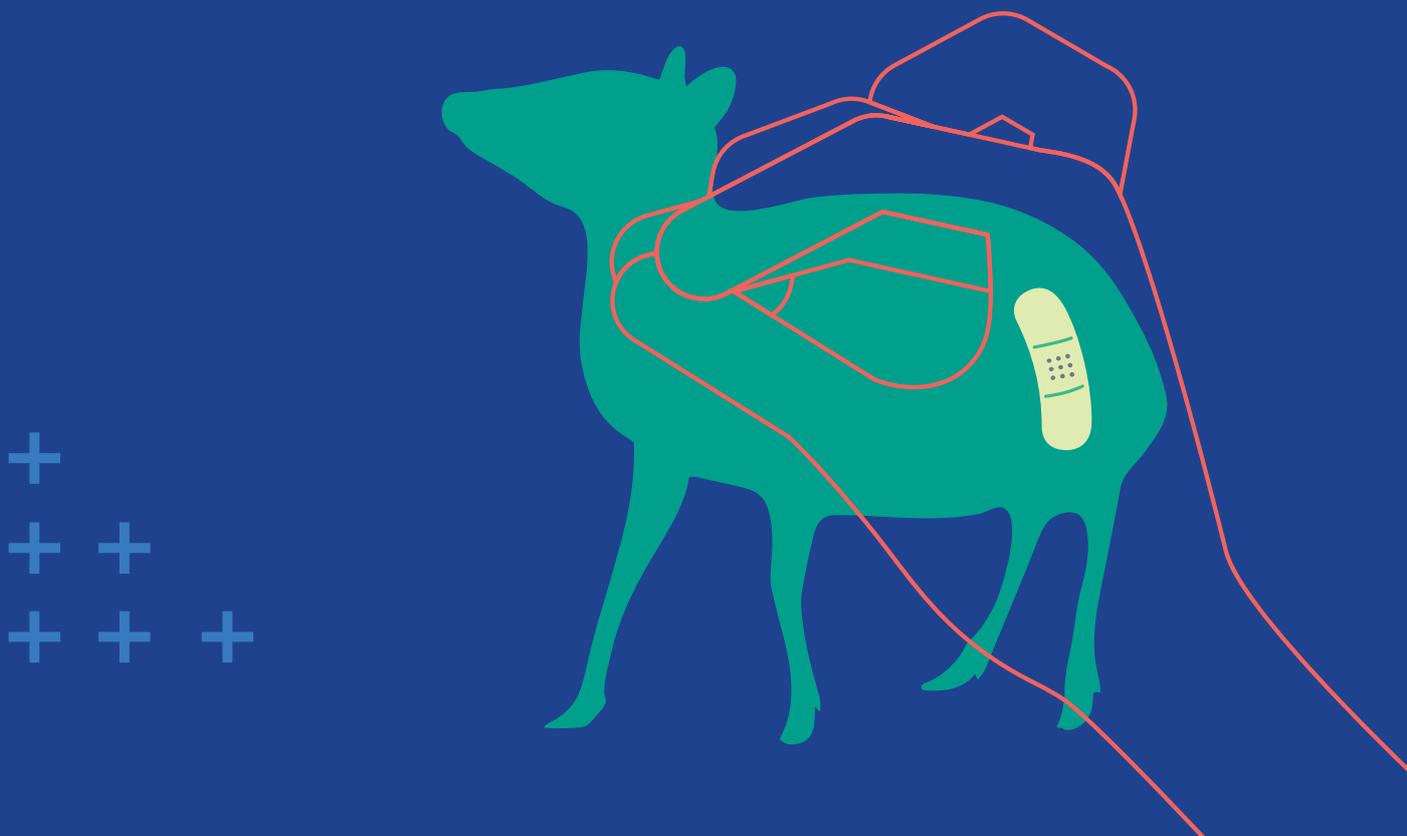
(4) 近(中)期云南森林修复重点领域方面, 从以国家公园为代表的自然保护地体系建设角度分析, 部分云南省地方标准颁布实施已超过10年, 应结合当前形势进行修订; 制定已申报国家公园的云南省地方标准, 完善现有技术标准体系。

(5) 应用的技术和监测指标方面, 从传统林业指标、生物多样性指标、水土保持指标和碳汇指标维度分析, 覆盖传统林业指标的标准最多, 有21个技术标准; 具体指标分析, 面积指标覆盖最多, 有17个, 遗传多样性、生态系统多样性、造林成活率、造林保存率等指标覆盖较少。

04

基于实践经验的 技术总结案例

自上世纪 90 年代开始，云南省全面启动退化森林景观修复项目，开展了长江防护林体系建设、石漠化治理、干热河谷植被恢复、“双重”建设等工程，这些修复实践通过长期探索，积累了丰富的本土化经验并取得良好的效果。本研究对云南高山亚高山、石漠化、干热河谷、矿山和火烧迹地等方面成熟的实践案例进行技术经验梳理与总结，挖掘其进一步贡献于云南地方技术的价值与潜力。





流石滩上的梭沙贝母与正在授粉的熊蜂。
©Tu Yan / Greenpeace

4.1 滇西北高山亚高山森林生态修复案例



通过植苗和播撒配方种籽技术，裸露边坡上已覆盖一定厚度的植被。
供图/香格里拉高山植物园



白马雪山隧洞边坡上栽植的云杉袋苗。
供图/香格里拉高山植物园

4.1.1 项目背景

滇西北地处青藏高原东南缘横断山脉三江纵谷区，拥有独特的高山亚高山生态系统。是我国乃至世界生物多样性最丰富和最独特的地区之一，同时也是生态环境十分脆弱的区域。其地处金沙江、澜沧江、怒江等大江的上游，是中国内陆生态安全的重要屏障。然而，由于特殊的地形地貌、复杂的气候环境，尤其是高海拔、气候冷凉，山高坡陡、土地贫瘠等因素，导致滇西北生态植被恢复和演替过程非常缓慢，而且一旦破坏，极难恢复，致使水土流失加剧、生物多样性受损，部分区域生态功能退化，影响了区域的生态安全和可持续发展。

自上世纪80年代开始，云南省林业和草原科学院、云南大学等高校和科研机构承担了多项相关研究项目，完成了多项省级和区域生态评价、规划、恢复和建设方面的决策支持项目，为滇西北高山地区的生态保护和恢复提供了科学依据和技术支持；此外，还有一些国际合作项目，如与亚行合作实施“大湄公河次区域生物多样性保护廊道建设”等项目。政府部门先后实施了天然林保护、退耕还林、滇西北水源涵养和生物多样性保护等工程，取得了良好生态、经济和社会效益。

此外，随着滇西北公路网建设的扩展，建设中产生的大量公路边坡工程创面，也带来了自然植被破坏、野生动物栖息地破碎化、水土流失、泥石流、落石、山体滑坡等生态问题与道路安全隐患问题。香格里拉高山植物园针对上述问题开展了滇西北地区裸露地表上的植被修复科学和工程技术问题相关研究和实践，在数个项目中取得了较好的修复效果[10]。

4.1.2 技术措施

(1) 植被恢复技术

- ① 封山育林:对部分生态受损较轻、具有一定自然恢复能力的区域实施封禁管理,减少人为干扰,依靠自然演替促进植被恢复。同时设置标识牌和防护围栏,加强监管力度,防止偷砍盗伐和非法放牧等行为。
- ② 人工造林:针对植被破坏严重的区域,选择乡土树种如云杉、冷杉、高山松等进行人工种植。在造林过程中,严格按照科学的造林技术规程操作,注重苗木质量、栽植密度和整地方式等关键环节,提高造林成活率和保存率。
- ③ 林下植被恢复:通过人工补播本地草本植物种子、移栽幼苗等方式,促进林下植被的生长,恢复森林层次结构,为野生动物提供更多栖息和觅食空间。
- ④ 裸露地表植被恢复:针对工程造成的裸露地表,调查和评估项目区域的原生植物种类,开发植被修复的种籽配方和植苗方案。通过采集植物种籽配制配方种籽,如需育苗则进行繁育种苗。并采用播撒、喷洒来散播配方种籽或移栽幼苗。

(2) 土壤改良技术

- ① 土壤侵蚀控制:通过修建梯田、鱼鳞坑等工程措施,减缓坡面径流速度,减少水土流失。同时,在坡面覆盖地膜、秸秆等材料,起到保水、保土、保温的作用,促进土壤肥力的恢复。
- ② 增施有机肥:为了改善土壤结构和肥力状况,向土壤中施加有机肥料如牲畜粪便、堆肥等,或种植绿肥。有机肥不仅能增加土壤中的有机质含量,还能改善土壤的物理性质,为植物生长提供良好的土壤环境。

(3) 生物多样性保护技术

- ① 建立自然保护区与生态廊道:划定一定范围的自然保护区,对珍稀濒危物种及其栖息地进行严格保护。同时,通过建设生态廊道,将各个孤立的栖息地斑块连接起来,促进物种的基因交流和迁徙,提高生物多样性的保护效果。
- ② 开展生态监测与科学研究:建立长期的生态监测体系,对植被生长状况、物种数量变化、土壤质量等进行实时监测和分析。依托国内外科研机构开展相关研究,深入了解生态系统的运行机制和修复过程中的关键问题,为生态修复工作提供科学依据和技术支持。

4.1.3 修复成效

(1) 生态效益

滇西北高山亚高山地区是许多珍稀动植物的栖息地,森林生态修复为它们提供了更适宜的生存环境。修复后的森林可以为滇金丝猴、黑颈鹤等珍稀动物提供食物来源和栖息场所,也有利于保护红豆杉、珙桐等珍稀植物,维护区域生物多样性。高山亚高山森林犹如“绿色水库”,能够有效截留降水,减缓地表径流,增加土壤水分含量,提高水源涵养能力,为金沙江、澜沧江、怒江等河流提供稳定的水源补给。

(2) 经济效益

生态修复后的森林可以提供丰富的林产品,如木材、竹材、中药材、野生菌等,为林业产业发展提供了原料基础。合理发展林下经济,如种植天麻、重楼等中药材,养殖蜜蜂等,能够增加农民收入。此外,森林生态旅游也具有很大的发展潜力,吸引游客前来观赏自然风光、体验森林康养,带动周边地区餐饮、住宿、交通等服务业的发展,促进地方经济增长。

(3) 社会效益

森林生态修复工程的实施需要大量的人力,包括造林、抚育、护林等工作,为当地居民提供了丰富的就业机会,尤其是为贫困地区的农民提供了增收途径,有助于推动当地脱贫攻坚与乡村振兴有效衔接。滇西北高山亚高山地区拥有独特的生态文化,森林生态修复有助于保护和传承这些文化。同时,美丽的森林景观也为人们提供了休闲、教育和科研场所,有利于提高公众的生态保护意识,促进生态文化的传播和发展。滇西北地区公路工程的裸露地表修复也进一步提升了当地的生态和居民生产生活的安全性。

4.1.4 技术应用分析

由政府部门、高校和科研机构承担的项目实施过程中应用了《封山(沙)育林技术规程》(GB/T 15163-2018)、《造林技术规程》(GB/T 15776-2023)、《森林抚育规程》(GB/T 15781-2015)、《退化林修复技术规程》(GB/T 44351-2024)、《云南松低产低效林改造技术规程》(LY/T 2326-2014)、《西南山地退化天然林恢复规程》(LY/T 2028-2012)、《西南亚高山退化森林恢复与可持续经营技术规范》(LY/T 1840-2020)等技术规程,针对滇西北高山亚高山地区植被恢复困难、水土流失严重等关键生态问题,形成了从植物材料筛选、造林、抚育到可持续经营一整套技术体系。另外,香格里拉高山植物园也在对裸露地表修复的实践中,总结出了“使用当地物种修复当地植被和区系”的理念,并且对技术路线进行了梳理和总结,涵盖了原生植物种类调查、开发植物物种配合方案、采集种籽和繁育种苗、播撒/喷洒配方种籽或移栽幼苗、修复效果监测等植被修复工作的主要步骤[10]。

本案例在高山亚高山生态修复方面取得的技术成果和参数,对制定云南省高山亚高山植被恢复方面的地方标准提供了有力的技术支撑。

4.2 云龙天池多重效益森林恢复案例



火烧迹地五年前后对比, 植被恢复成效明显。供图/山水自然保护中心



项目设计了定期的科研监测活动, 由科研人员和科学志愿共同完成。
供图/山水自然保护中心



当地社区老百姓积极参与森林抚育活动。
供图/山水自然保护中心

4.2.1 项目背景

云龙天池多重效益森林恢复项目位于云南省大理白族自治州云龙县境内的云龙天池国家级自然保护区及周边区域。该区域森林资源丰富, 是众多珍稀动植物的栖息地, 然而, 2014年3月, 五宝山国有林场辖属的位于云龙县功果桥镇海沧村的林地发生火灾, 约4200亩植被遭到破坏, 对当地生态环境造成了严重影响。2015年, 在火烧迹地山坡背面发现滇金丝猴足迹, 刷新了滇金丝猴最南端分布位置的纪录, 这片火烧迹地的植被恢复对滇金丝猴栖息地的保护至关重要。同时, 云龙天池及周边的湿地、白族村寨自然和人文景观类型十分丰富, 特色农产品多样, 极具自然体验基地和生态产品的开发和推广价值。

为了修复受损的森林生态系统, 实现生态、经济和社会的多重效益, 从2017年起, 中国绿化基金会、北京市海淀区山水自然保护中心、云南云龙天池国家级自然保护区管护局等单位, 整合多方资源, 开展了云龙天池多重效益森林恢复项目。项目的总体目标是通过科学有效的森林恢复措施, 改善项目区的生态环境, 保护生物多样性, 促进当地社区的可持续发展。

4.2.2 技术措施

(1) 植被恢复技术

项目在5年的执行期间,分批修复五宝山国有林场共1000亩火烧迹地,通过混交种植共计17.33万株云南松、旱冬瓜、栓皮栎、华山松等本地树种,恢复云南松林地的生态功能。混交种植能够增加植被的多样性,提高森林生态系统的稳定性和抗干扰能力。组织当地村民巡护森林,对400亩恢复林区进行修枝抚育管护,人工促进云南松林更新。修枝抚育可以改善林木的生长环境,促进林木的生长和发育,提高森林的质量。

(2) 生物多样性保护技术

建立长期科研监测体系,从2018年起,持续进行火烧迹地气象、鸟兽、昆虫、土壤、水质等各项指标的综合监测,阐明火干扰后不同干预恢复方式下生态系统的变化情况,为指导火灾后生态系统构建、合理进行人工干预提供了理论依据。通过监测,可以及时了解森林生态系统的恢复情况,调整森林修复措施,防止水土流失,确保森林生态系统的健康发展。

(3) 社区参与和发展技术

举办自然观察节和科学志愿者活动,使项目的价值和理念得到广泛传播,推动公众参与保护行动。活动期间,参与者共拍摄到动植物822种,在云南云龙天池国家级自然保护区物种新增纪录289种,植物新种1种,昆虫新种3种,并编制了《云南云龙天池国家级自然保护区动植物手册》和《社区导赏手册》。通过这些活动,提高了公众的生态保护意识,促进了社区与自然的和谐共生。

4.2.3 修复成效

(1) 生态效益

项目在进行森林生态修复的同时,帮助修复濒危物种滇金丝猴的栖息地,增强了项目区森林生态系统的碳汇功能,发挥了森林的保护生物多样性、涵养水源、改善生态环境和自然景观等多重效益。通过植被恢复和生物多样性保护措施,项目区的森林覆盖率提高,生态系统的稳定性增强,生物多样性得到有效保护。

(2) 经济效益

项目通过培训合作社的专业能力、产品开发实践,协助合作社销售生态产品;护林员向导、社区自然体验示范户的选拔,使当地村民在可持续利用周边森林资源方面有了新的理念和认识。项目在增加村民收入的同时,充分调动村民参与保护的积极性,为云龙县当地生态脱贫提供了新的思路和方向。

(3) 社会效益

项目通过举办自然观察节和科学志愿者活动,提高了公众的生态保护意识,促进了社区与自然的和谐共生。同时,项目为我国森林经营提供了多方参与的行动示范,推动了森林保护和恢复工作的社会化进程。

4.2.4 技术应用分析

项目实施过程中应用了《造林技术规程》(GB/T 15776-2023)、《森林抚育规程》(GB/T 15781-2015)、《退化林修复技术规程》(GB/T 44351-2024)、《云南松低产低效林改造技术规程》(LY/T 2326-2014)、《自然保护区与国家公园生物多样性监测技术规程 第1部分:森林生态系统及野生动植物》(DB53/T 391-2012)等技术规程,并创新性应用了社区参与和发展技术。2021年,该项目入选联合国《生物多样性公约》第十五次缔约方大会(COP15)“生物多样性100+全球典型案例”[11]。

本案例在云南松林火烧迹地的植被恢复、生物多样性保护等方面取得的技术和参数,对制定云南省火烧迹地植被恢复方面的地方标准提供参考。

4.3 建水断陷盆地石漠化区植被恢复与功能提升案例

4.3.1 项目背景

建水县地处云贵高原南缘,全县国土面积3789km²,全县地势呈南高北低、西高东低的态势,形成两山、两谷、两坝以及部分丘陵山区的断陷盆地岩溶地貌。岩溶分布广泛,所辖十四个乡镇均有分



苗圃是生态修复中的重要一环。供图/云南省林业和草原科学院



修复样地里五年生的云南松。供图/云南省林业和草原科学院

布,是全省岩溶面积较大的65个县之一。建水县处于《岩溶地区石漠化综合治理规划大纲》的岩溶断陷盆地石漠化综合治理区,境内及周边存在不同程度石漠化,是首批100个石漠化综合治理示范县之一。2008年,云南省林业和草原科学院在建水县建立了云南省建水石漠化综合治理效益监测站;2016年,建立了云南建水荒漠生态系统定位观测研究站;从“九五”开始,先后承担了“滇东南岩溶山区生态经济林优良树种选择及营造技术试验示范”(95A5-3)、“滇东南岩溶地区石漠化综合治理试验示范”(2001NG54)、“云南典型石漠化地区生态修复技术与产业化试验示范”(2019BC001)等云南省重点科技攻关课题。

2016年,云南省林业和草原科学院联合北京林业大学、中国林业科学研究院、中国科学院西双版纳热带植物园、建水县林业和草原科技推广站在建水承担了“十三五”国家重点研发课题“断陷盆地石漠化区植被恢复与功能提升”(2016YFC0502504),营建试验基地1992亩,示范区1239.75hm²,取得了显著的经济、生态和社会效益。

4.3.2 技术措施

(1) 石漠化机理研究

项目开展了不同退化阶段植被的演替规律,不同恢复年限植被演替规律,土壤种子库特征及其与地上植被关系,不同恢复年限植被与土壤的互馈关系等方面的斯特断陷盆地石漠化植被退化与恢复机制研究。

(2) 植被恢复技术

筛选出麻栎、滇朴、栎叶枇杷、女贞、清香木、白枪杆等15种断陷盆地石漠化优良植物材料及其快繁技术,认定铁橡栎和锥连栎4个云南省林木良种;利用筛选出的优良植物材料构建了坡面人工植被恢复模式,攻克了以母土+繁殖体库为材料的复印仿自然森林的植被恢复技术。

(3) 生态产业复合系统的构建技术

依托石漠化区丰富的光热资源优势,通过经济林和牧草林草间作模式、节水灌溉技术及水肥一体化技术等方面的研发,构建了具生态经济效益的果-草-畜复合系统,并形成生态衍生产业模式。

4.3.3 修复成效

(1) 生态效益

建立示范区面积1239.75hm²,其中岩溶面积1234.34hm²,占总面积的99.57%;示范区植被综合覆盖率由2016年的35.18%提升至2020年的46.30%,提升率为31.6%。

(2) 经济效益

石榴试验林产量和产值从2016年的275吨和368万元提高到2020年的1355吨和1342万元,分别提高3.93倍和3.65倍;脐橙试验林产量和产值从2016年的400吨和300万元提高到2020年的1500吨和1170万元,分别提高3.75倍和3.90倍。

(3) 社会效益

脐橙基地长期用工及管理农户50余户,水果成熟采摘期临时用工约3000余个。挂果后公司采取“管理费+提成+奖金”模式至丰产期管理农户户均收入可达到7万元。石榴基地长期用工及管理农户48余户,水果成熟采摘期临时用工约3000余个。示范区产业开发增加了当地农民的就业机会,为引领农民脱贫致富奔小康做出了积极的贡献。

4.3.4 技术应用分析

项目实施过程中应用了《封山(沙)育林技术规程》(GB/T 15163-2018)、《造林技术规程》(GB/T 15776-2023)、《喀斯特地区植被恢复技术规程》(LY/T 1840-2020)、《喀斯特石漠化山地经济林栽培技术规程》(LY/T 2829-2017)、《岩溶石漠生态系统定位观测技术规范》(LY/T 3258-2021)等技术规程,针对西南地区喀斯特断陷盆地植被退化、石漠化严重等关键生态问题,形成了喀斯特断陷盆地区石漠化治理植被恢复的理论、模式与技术体系。2023年,该项目成果获中华人民共和国教育部科学技术进步二等奖[12]。

本案例在石漠化区域植被恢复的理论、模式等方面取得的技术成果和参数,对制定云南省石漠化植被恢复方面的地方标准提供参考。



4.4 昆阳磷矿矿山生态修复案例



矿区俯视图展现了采矿区、覆土区、植被修复区、现代农业示范基地等。供图/云南磷化集团昆阳磷矿



作为国家级绿色矿山，昆阳磷矿拥有一整套可持续的矿山治理技术体系。供图/云南磷化集团昆阳磷矿

4.4.1 项目背景

云南磷化集团昆阳磷矿位于云南省昆明市西山区海口镇,处于滇池流域范围内,地理位置特殊,生态环境较为敏感。昆阳磷矿是云天化云南磷化集团有限公司下属露天矿山之一,迄今已有60年的矿业开发历史,是中国“三大磷矿”之一。长期以来为国家和地方经济发展提供了大量的磷矿资源,但同时也带来了一系列矿山环境问题。矿区内,大面积山体裸露,岩石突兀,植被破坏殆尽,每逢降雨,水土流失严重,不仅威胁周边生态环境,还对当地居民的生产生活造成诸多困扰。彼时,扬尘漫天,周边村落被尘土笼罩,农作物生长受影响,村民苦不堪言。

20世纪80年代,昆阳磷矿就确立了“保护中开发、开发中保护”的工作方针,并与中国科学院、云南省林业和草原科学院等多家科研机构开展了“昆阳磷矿采空区复土植被试验研究”、“云南昆阳磷矿地质环境恢复与治理”、“矿区废弃地生态修复综合控制技术研究示范”和“矿山废弃地土壤微生物群落响应研究”等多项项目研究,这些研究项目的实施,为昆阳磷矿的生态修复提供了坚实的技术支撑。昔日满目疮痍的矿山,如今已绿意盎然,生态环境得到极大改善,也为同类矿山的生态修复提供了可借鉴的成功范例。

4.4.2 技术措施

(1) 生态修复技术

- ① 植被恢复:采用客土喷播、植树造林等技术手段,在废弃矿区和塌陷区域进行植被重建。选择适合当地生长的乡土植物品种,提高植被的成活率和适应性。经过多年努力,矿山区域的植被覆盖率显著提高,生态环境得到初步改善。
- ② 土地复垦:对开采破坏的土地进行平整、改良和再利用。通过土壤改良措施,如添加有机肥料、客土改良等,恢复土地的肥力和农业生产条件。部分复垦土地已用于种植农作物或发展林业,实现了土地资源的可持续利用。

(2) 污染治理技术

- ① 废渣综合利用:建设废渣处理设施,对磷矿废渣进行综合利用。例如,将废渣用于生产建筑材料,如磷渣砖、磷渣水泥等,既解决了废渣堆放问题,又实现了资源的循环利用,减少了因废渣排放对环境造成的压力。
- ② 废水处理:建设完善的矿山废水处理系统,采用物理、化学和生物等多种处理工艺,对生产废水进行深度处理。处理后的废水达到排放标准后回用于矿山生产环节,如选矿、降尘等,实现了废水的零排放或达标排放,有效改善了周边水环境质量。

4.4.3 治理成效

(1) 生态效益

截至目前,昆阳磷矿已累计投入生态修复资金5亿余元,实施植树造林面积近2.4万亩,土地复垦率达到77.53%,植被恢复率达95.32%[13]。

(2) 经济效益

通过废渣综合利用和废水回用等措施,提高了磷矿资源的综合利用效率,减少了资源浪费和环境破坏。这不仅降低了企业的生产成本,还实现了经济效益与环境效益的双赢。

(3) 社会效益

昆阳磷矿结合滇池流域文旅产业发展布局,建成震旦地质生态园、海拔2260米的足球场、磷都天池、矿山设备展示区等矿山公园景点。结合昆明花卉产业布局,发展林下经济,发挥复垦区综合功能,积极推动“云花”“云菜”“云果”“云米”系列产业落地,打造产业示范园区,带动周边35个村5000多村民致富,实现工业反哺农业,构建企地和谐共建、互利共赢发展新格局。

4.4.4 技术应用分析

矿山治理过程中应用了《采矿沉陷区生态修复技术规程》(GB/T 42251-2022)、《矿山废弃地植被恢复技术规范》(LY/T 2356-2014)、《矿山生态修复技术规范 第5部分:化工矿山》(TD/T 1070.5-2022)、《矿山生态修复工程验收规范》(TD/T 1092-2024)技术规程,针对矿山治理难点,形成了从植物材料筛选、造林技术、树种配置、抚育管理到可持续经营一整套矿山治理技术体系。2024年,昆阳磷矿生态修复案例成功入选自然资源部首批15个生产矿山生态修复典型案例。

本案例在植物材料筛选、造林技术、树种配置、抚育管理等矿山治理方面取得的技术成果和参数,对制定云南省矿山治理方面的地方标准提供技术支撑。

4.5 元谋干热河谷生态修复案例



该生态修复工程位于金沙江边的干热河谷。
供图/云南省林业和草原科学院



项目配备了多台科研仪器用于监测修复效果。
供图/云南省林业和草原科学院

4.5.1 项目背景

元谋县地处滇中高原北部,是典型的金沙江干热河谷地区。属低纬高原季风气候,气候干燥,降水量少,蒸发量大,气温高(是云南省三大火炉之一),平均气温 21.5°C ,极端最高气温为 42°C 。据统计,近6年平均降水量595毫米,蒸发量1660毫米,年蒸发量是降水量的近3倍,年平均相对湿度56.8%,干旱比较严重。植被覆盖率低,水土流失严重,生态环境十分脆弱,给当地农业生产和居民生活带来了诸多挑战。

近年来,元谋县先后实施了国家储备林建设、重点区域生态保护和修复、“光伏+生态修复”等工程。曾经的荒山荒坡焕发新的生机,栽植的新植苗木长势喜人,大部分地块种植行内已基本郁闭,树种结构得到优化,生态环境恶化的趋势得到有效逆转,生态质量持续改善。

4.5.2 技术措施

(1) 植被恢复技术

筛选出适宜干热河谷生长的乡土植物品种,如攀枝花、滇榄仁、余甘子等先锋树种,通过人工造林和封山育林相结合的方式,逐步恢复植被。同时,采用混交林种植模式,提高森林生态系统的稳定性和抗逆性。

(2) 土壤改良技术

针对干热河谷土壤贫瘠、保水保肥能力差的问题,采用客土改良、增施有机肥、种植绿肥等措施,改善土壤结构和肥力。此外,还通过修建梯田、鱼鳞坑等水土保持工程,减少水土流失。

(3) “光伏+生态修复”技术

从“挖大塘”“等雨水”到“集光热”“巧灌溉”的思路转变,加强与云南省林业和草原科学院等科研院所合作,不断探索、总结造林模式和树种选择的经验,充分利用金沙江干热河谷地区充足的光照优势,创新推进实施“光伏+生态修复”试验示范工程,通过合理利用水资源促进生态建设。一键开关,引水节水灌溉,加强乡土树种选育、优化种植技术及乔灌草配置等措施,为金沙江干热河谷地区探索出一条“生态优先、绿色发展”的“生态修复+”新路径。

4.5.3 修复成效

(1) 生态效益

元谋县森林覆盖率从2012年的40%提升到2020年的51%。2020年元谋沙化土地比上期监测减少1090亩,其他类型土地净增1846亩,荒漠化面积净减少11144亩[14]。截至2024年,重点区域生态保护和修复项目完成人工造林3.61万亩,退化林修复4.7万亩,封山育林10.32万亩;龙川江流域生态修复项目完成金沙江生态修复项目造林1.6万亩、木材储备基地造林1.8万亩等;国家储备林建设项目在金沙江干热河谷实施了2万亩的木材储备基地建设[15]。

(2) 经济效益

元谋县因地制宜发展了红柚、芦荟、滇橄榄等特色经济作物种植,以及核桃、青枣、蜜桃等特色经济林果产业,打造了“光伏+林草产业”模式,形成了新的经济增长点。这些特色产业的发展不仅为当地农民带来了直接的经济收入,还带动了相关加工、运输、销售等产业的发展,促进了农村经济的繁荣。

(3) 社会效益

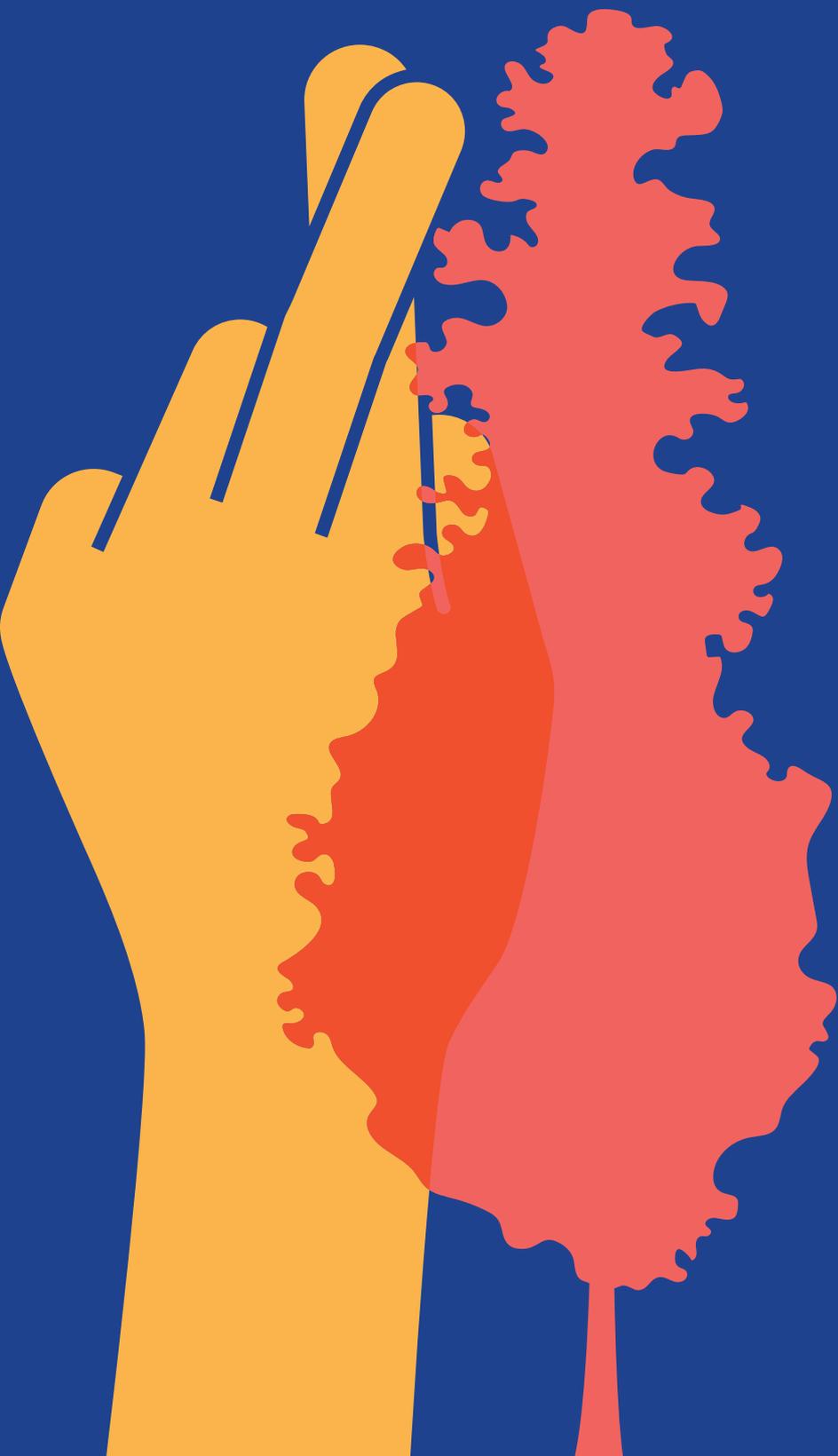
在生态修复项目实施过程中,需要大量的劳动力参与植树造林、苗木培育、基础设施建设等工作,为当地村民提供了丰富的就业机会,尤其是吸纳了大量贫困村民务工,增加了他们的收入,帮助他们实现脱贫致富,同时也促进了社会的稳定和谐。

4.5.4 技术应用分析

生态修复实施过程中应用了《封山(沙)育林技术规程》(GB/T 15163-2018)、《造林技术规程》(GB/T 15776-2023)、《干旱干热河谷区退化林地土壤修复技术规程》(TD/T 1070.5-2022)、《国家储备林改培技术规程》(LY/T 2787-2017)、《国家储备林可持续经营指南》(LY/T 3313-2022)等技术规程,针对干热河谷生态修复难点,形成了从植物材料筛选、造林技术、树种配置、抚育管理到“光伏+”模式一整套干热河谷生态修复技术体系。2023年,元谋县林业和草原局获云南省唯一一家“全国防沙治沙先进集体”称号[14]。

本案例在植物材料筛选、造林技术、树种配置、抚育管理到“光伏+”模式等生态修复方面取得的技术成果和参数,对制定云南省干热河谷生态修复方面的地方标准提供技术支撑。

05 建议与展望



本研究基于收集整理的112个森林修复相关技术标准,开展了围绕主要退化区域、不同起点、不同修复目标、近(中)期云南森林修复重点领域、应用的技术和监测指标特征五个维度的现有技术体系覆盖度分析,并通过典型案例总结成熟的技术成果和参数,提出以下建议,为完善云南省森林修复相关技术标准体系提供参考:

- (1) 制定云南高山亚高山、干热河谷和石漠化区域及云南松火烧植被恢复方面的地方标准;
- (2) 制定桉树、杉木等人工林林分改造地方标准;
- (3) 制定云南特有珍稀濒危野生动物如滇金丝猴、绿孔雀等栖息地保护和恢复的地方标准;
- (4) 根据现有成熟的技术和参数,对颁布和实施时间长的地方标准进行修订;
- (5) 基于生物多样性保护、水土保持等不同修复目标的要求,增加相应的技术和监测指标。

云南是中国自然条件最复杂、全球生物多样性最丰富、中国西部生态环境最敏感、保护和发展矛盾最突出的区域之一,是中国西南生态安全屏障和生物多样性宝库。云南林地面积、森林面积、森林蓄积量位居全国第二[16],且拥有中国最丰富的森林植被类型。云南省多样化森林修复工作的成果与经验,可以成为其他省份、流域、区域相似环境和社会条件下工作的宝贵参考和范本。

本研究基于云南省的管理和实践需求所辨识出的技术体系空缺,如能在后续工作中得到加强与完善,将可以为森林修复相关的实践工作提供更有针对性的指导,使工作成效更为显著,森林质量得到更有效地提升并协同实现多重效益。本研究所整理的实践案例是云南省多样森林修复实践中的部分代表,除这些案例以外,尚有很多宝贵的实践案例及其技术经验尚未纳入本研究报告,在未来应对这些实践经验进行更系统的整理和总结,吸纳贡献于技术体系的补充与完善,使源于实践的技术经验成为可复制可参考的操作范本,有机会发挥更大的作用。



云南文山地区的森林中,自然萌发了壳斗科的植物。
©Tu Yan / Greenpeace

附表1 森林修复相关标准

标准级别	序号	标准号	标准名	发布日期	实施日期	发布单位	提出/管理单位
国家标准	1	GB 51287-2018	煤炭工业露天矿土地复垦工程设计标准	2018/3/16	2018/11/1	住房和城乡建设部、国家质量监督检验检疫总局	住房和城乡建设部
	2	GB 51411-2020	金属矿山土地复垦工程设计标准	2020/1/16	2020/8/1	住房和城乡建设部、国家市场监督管理总局	住房和城乡建设部
	3	GB/T 15163-2018	封山(沙)育林技术规程	2018/12/28	2018/12/28	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	4	GB/T 15776-2023	造林技术规程	2023/5/23	2023/5/23	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	5	GB/T 15781-2015	森林抚育规程	2015/7/3	2015/11/2	国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	6	GB/T 15782-2009	营造林总体设计规程	2009/2/23	2009/8/1	国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	7	GB/T 18337.1-2001	生态公益林建设 导则	2001/3/14	2001/5/1	国家质量技术监督局	国家林业和草原局
	8	GB/T 18337.2-2001	生态公益林建设 规划设计通则	2001/3/14	2001/5/1	国家质量技术监督局	国家林业和草原局
	9	GB/T 18337.3-2001	生态公益林建设 技术规程	2001/3/14	2001/5/1	国家质量技术监督局	国家林业和草原局
	10	GB/T 18337.4-2008	生态公益林建设 检查验收规程	2008/9/2	2009/3/1	国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	11	GB/T 20399-2006	自然保护区总体规划技术规程	2006/5/25	2006/11/1	国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	12	GB/T 20416-2006	自然保护区生态旅游规划技术规程	2006/5/25	2006/11/1	国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	13	GB/T 21141-2007	防沙治沙技术规范	2007/10/16	2008/5/1	国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	14	GB/T 23231-2009	退耕还林工程检查验收规则	2009/2/23	2009/8/1	国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	15	GB/T 23233-2009	退耕还林工程建设效益监测评价	2009/2/23	2009/8/1	国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	16	GB/T 23235-2009	退耕还林工程质量评估指标与方法	2009/2/23	2009/8/1	国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	17	GB/T 26902-2011	热带、亚热带生态风景林建设技术规程	2011/9/29	2011/12/1	国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	18	GB/T 26903-2011	水源涵养林建设规范	2011/9/29	2011/12/1	国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	19	GB/T 30363-2013	森林植被状况监测技术规范	2013/12/31	2014/6/22	国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	20	GB/T 33890-2017	森林抚育 工程实施指南	2017/7/12	2018/2/1	国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	21	GB/T 35822-2018	自然保护区功能区划技术规程	2018/2/6	2018/9/1	国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	22	GB/T 38360-2019	裸露坡面植被恢复技术规范	2019/12/31	2019/12/31	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	23	GB/T 38582-2020	森林生态系统服务功能评估规范	2020/3/6	2020/10/1	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	24	GB/T 39736-2020	国家公园总体规划技术规范	2020/12/22	2021/7/1	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	25	GB/T 41198-2021	林业碳汇项目审定和核证指南	2021/12/31	2021/12/31	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	26	GB/T 42251-2022	采矿沉陷区生态修复技术规程	2022/12/30	2023/4/1	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	中国煤炭工业协会

标准级别	序号	标准号	标准名	发布日期	实施日期	发布单位	提出/管理单位
国家标准	27	GB/T 43648-2024	主要树种立木生物量模型与碳计量参数	2024/3/15	2024/10/1	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	28	GB/T 43933-2024	金属矿土地复垦与生态修复技术规范	2024/4/25	2024/8/1	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	自然资源部
	29	GB/T 43934-2024	煤矿土地复垦与生态修复技术规范	2024/4/25	2024/8/1	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	自然资源部
	30	GB/T 43935-2024	矿山土地复垦与生态修复监测评价技术规范	2024/4/25	2024/8/1	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	自然资源部
	31	GB/T 43936-2024	石油天然气项目土地复垦与生态修复技术规范	2024/4/25	2024/8/1	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	自然资源部
	32	GB/T 44351-2024	退化林修复技术规程	2024/9/29	2024/9/29	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	33	GB/T 44590-2024	天然林保护修复生态效益评估指南	2024/9/29	2025/4/1	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	国家林业和草原局
	34	GB/T 50885-2013	水源涵养林工程设计规范	2013/8/8	2014/3/1	住房和城乡建设部、国家质量监督检验检疫总局	住房和城乡建设部、国家林业和草原局
	35	GB/T 51097-2015	水土保持林工程设计规范	2015/3/8	2015/11/1	住房和城乡建设部、国家质量监督检验检疫总局	住房和城乡建设部、国家林业和草原局
行业标准	1	HJ 1272-2022	生态保护修复成效评估技术指南(试行)	2022/12/14	2022/12/14	生态环境部	生态环境部
	2	LY/T 1594--2002	中国森林可持续经营标准与指标	2002/10/12	2002/12/1	国家林业和草原局	中国林科院林业可持续发展研究中心
	3	LY/T 1606-2003	森林生态系统定位观测指标体系	2003/8/14	2003/12/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	4	LY/T 1607-2024	造林作业设计规程	2024/12/16	2025/5/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	5	LY/T 1690-2017	低效林改造技术规程	2017/10/27	2018/1/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	6	LY/T 1721-2008	森林生态系统服务功能评估规范	2008/3/1	2008/5/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	7	LY/T 1813-2009	自然保护区自然生态质量评价技术规程	2009/6/18	2009/10/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	8	LY/T 1814-2009	自然保护区生物多样性调查规范	2009/6/18	2009/10/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	9	LY/T 1818-2009	天然林资源保护工程建设评价技术规程	2009/6/18	2009/10/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	10	LY/T 1836-2009	工业人工林生态环境管理规程	2009/6/18	2009/10/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	11	LY/T 1840-2020	喀斯特地区植被恢复技术规程	2020/3/30	2020/10/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	12	LY/T 1875-2010	中国热带地区森林可持续经营指标	2010/2/9	2010/6/1	国家林业和草原局	中国林业科学研究院
	13	LY/T 1877-2010	中国西南林区森林可持续经营指标	2010/2/9	2010/6/1	国家林业和草原局	中国林业科学研究院
	14	LY/T 1952-2011	森林生态系统长期定位观测方法	2011/6/10	2011/7/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	15	LY/T 1958-2011	森林可持续状况评价导则	2011/6/10	2011/7/1	国家林业和草原局	北京林业大学、中国林业科学研究院
	16	LY/T 2028-2012	西南山地退化天然林恢复规程	2012/2/23	2012/7/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	17	LY/T 2083-2013	全国营造林综合核查技术规程	2013/3/15	2013/7/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	18	LY/T 2191-2013	西南岩溶石漠生态系统定位观测指标体系	2013/10/7	2014/1/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	19	LY/T 2241-2014	森林生态系统生物多样性监测与评估规范	2014/8/21	2014/12/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	20	LY/T 2243-2014	自然保护区外来入侵种管理规范	2014/8/21	2014/12/1	国家林业和草原局	北京林业大学
	21	LY/T 2244.1-2014	自然保护区保护成效评估技术导则 第1部分:野生植物保护	2014/8/21	2014/12/1	国家林业和草原局	北京林业大学

标准级别	序号	标准号	标准名	发布日期	实施日期	发布单位	提出/管理单位
行业 标准	22	LY/T 2244.2-2014	自然保护区保护成效评估技术导则 第2部分:植被保护	2014/8/21	2014/12/1	国家林业和草原局	北京林业大学
	23	LY/T 2244.4-2015	自然保护区保护成效评估技术导则 第4部分:野生动物保护	2015/10/19	2016/1/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	24	LY/T 2252-2014	碳汇造林技术规程	2014/8/21	2014/12/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	25	LY/T 2253-2014	造林项目碳汇计量监测指南	2014/8/21	2014/12/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	26	LY/T 2255-2014	西南干热干旱河谷生态系统定位观测指标体系	2014/8/21	2014/12/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	27	LY/T 2326-2014	云南松低产低效林改造技术规程	2014/8/21	2014/12/1	国家林业和草原局	云南省林业和草原局
	28	LY/T 2356-2014	矿山废弃地植被恢复技术规范	2014/8/21	2014/12/1	国家林业和草原局	国家林业局植树造林管理司、河北省林业厅
	29	LY/T 2455-2015	热带次生林抚育技术规程	2015/1/27	2015/5/1	国家林业和草原局	中国林业科学研究院
	30	LY/T 2651-2016	退化森林生态系统恢复与重建技术规程	2016/7/27	2016/12/1	国家林业和草原局	中国林业科学研究院
	31	LY/T 2764-2016	西南亚高山退化森林恢复与可持续经营技术规范	2016/10/19	2017/1/7	国家林业和草原局	中国林业科学研究院
	32	LY/T 2770-2016	南方有色金属矿区废弃地植被生态修复技术规程	2016/12/21	2017/3/1	国家林业和草原局	湖南省林业厅
	33	LY/T 2787-2017	国家储备林改培技术规程	2017/6/5	2017/9/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	34	LY/T 2829-2017	喀斯特石漠化山地经济林栽培技术规程	2017/6/5	2017/9/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	35	LY/T 2902-2017	岩溶石漠生态系统服务评估规范	2017/10/27	2018/1/1	国家林业和草原局	全国防沙治沙标准化技术委员会
	36	LY/T 2973-2018	华山松人工林抚育技术规程	2018/2/27	2018/6/1	国家林业和草原局	全国营造林标准化技术委员会
	37	LY/T 2988-2018	森林生态系统碳储量计量指南	2018/12/29	2019/5/1	国家林业和草原局	北京林业大学
	38	LY/T 2991-2018	煤矸石山生态修复综合技术规范	2018/12/29	2019/5/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	39	LY/T 2994-2018	石漠化治理监测与评价规范	2018/12/29	2019/5/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	40	LY/T 3086.1-2019	极小种群野生植物保护技术 第1部分 就地保护及生境修复技术规程	2019/10/23	2020/4/1	国家林业和草原局	中国林业科学研究院
	41	LY/T 3179-2020	退化防护林修复技术规程	2020/3/30	2020/10/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	42	LY/T 3180-2020	干旱干热河谷区退化林地土壤修复技术规程	2020/3/30	2020/10/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	43	LY/T 3258-2021	岩溶石漠生态系统定位观测技术规范	2021/6/30	2022/1/1	国家林业和草原局	中国林业科学研究院
	44	LY/T 3313-2022	国家储备林可持续经营指南	2022/11/30	2023/4/1	国家林业和草原局	国家林草局世行贷款项目管理中心提出;全国营造林标准化技术委员会
	45	LY/T 3404-2024	石漠化防治效益监测与评价规范	2024/12/16	2025/5/1	国家林业和草原局	全国荒漠化防治标准化技术委员会
	46	NB/T 10510-2021	水电工程水土保持生态修复技术规范	2021/1/7	2021/7/1	国家能源局	水电水利规划设计总院
	47	NB/T 35082-2016	水电工程陡边坡植被混凝土生态修复技术规范	2016/8/16	2016/12/1	国家能源局	水电水利规划设计总院
	48	TD/T 1069-2022	国土空间生态保护修复工程验收规范	2022/7/7	2022/11/1	自然资源部	自然资源部
	49	TD/T 1070.1-2022	矿山生态修复技术规范 第1部分:通则(报批稿)	2022/7/20	2022/11/1	自然资源部	自然资源部
	50	TD/T 1070.2-2022	矿山生态修复技术规范 第2部分:煤炭矿山(报批稿)	2022/7/20	2022/11/1	自然资源部	自然资源部
	51	TD/T 1070.3-2024	矿山生态修复技术规范 第3部分:金属矿山	2024/6/11	2024/9/1	自然资源部	自然资源部

标准级别	序号	标准号	标准名	发布日期	实施日期	发布单位	提出/管理单位
行业标准	52	TD/T 1070.4-2022	矿山生态修复技术规范 第4部分:建材矿山(报批稿)	2022/7/20	2022/11/1	自然资源部	自然资源部
	53	TD/T 1070.5-2022	矿山生态修复技术规范 第5部分:化工矿山(报批稿)	2022/7/20	2022/11/1	自然资源部	自然资源部
	54	TD/T 1070.6-2022	矿山生态修复技术规范 第6部分:稀土矿山(报批稿)	2022/7/20	2022/11/1	自然资源部	自然资源部
	55	TD/T 1070.7-2022	矿山生态修复技术规范 第7部分:油气矿山(报批稿)	2022/7/20	2022/11/1	自然资源部	自然资源部
	56	TD/T 1092-2024	矿山生态修复工程验收规范	2024/6/11	2024/9/1	自然资源部	自然资源部
	57	TD/T 1102-2024	国土空间生态保护修复工程成效评估规范	2024/6/11	2024/9/11	自然资源部	自然资源部
	58	LY/T 2242-2014	自然保护区建设项目生物多样性影响评价技术规范	2014/8/21	2014/12/1	国家林业和草原局	国家林业和草原局
	59	LY/T 2649-2016	自然保护区生物多样性保护价值评估技术规程	2016/7/27	2016/12/1	国家林业和草原局	北京林业大学
	云南省地方标准	1	DB 5301/T 37-2019	滇池流域“五采区”植被恢复技术规程	2019/12/1	2020/2/1	昆明市市场监督管理局
2		DB53/T 1218-2023	亚洲象栖息地修复技术规程	2023/11/23	2024/2/23	云南省市场监督管理局	云南省林业和草原局、云南省市场监督管理局
3		DB53/T 1220-2023	亚洲象食源地建设技术规程	2023/11/23	2024/2/23	云南省市场监督管理局	云南省西双版纳国家级自然保护区管护局
4		DB53/T 301-2009	国家公园 建设规范	2009/11/16	2010/3/1	云南省质量技术监督局	云南省国家公园管理办公室、云南省人民政府研究室
5		DB53/T 372-2012	高黎贡山国家公园生态旅游景区建设及管理规范	2012/2/15	2012/4/1	云南省质量技术监督局	高黎贡山国家公园管理局
6		DB53/T 382-2012	工业人工林可持续经营指南	2012/3/15	2012/5/1	云南省质量技术监督局	云南省林业标准化技术委员会
7		DB53/T 391-2012	自然保护区与国家公园生物多样性监测技术规程 第1部分:森林生态系统及野生动植物	2012/3/15	2012/5/1	云南省质量技术监督局	云南省林业标准化技术委员会
8		DB53/T 433-2012	思茅松人工用材林中龄林抚育技术规程	2012/9/20	2012/12/1	云南省质量技术监督局	云南省林业标准化技术委员会
9		DB53/T 855-2017	自然保护区管理规范	2017/12/20	2018/3/1	云南省质量技术监督局	云南省林业标准化技术委员会
10		DB53/T 864-2018	高原湖泊湿地汇水面山植被恢复技术规程	2018/3/1	2018/6/1	云南省质量技术监督局	云南省林业标准化技术委员会
11		DB53/T 935-2019	华山松低质低产林改造技术规程	2019/9/23	2019/12/23	云南省市场监督管理局	云南省林业标准化技术委员会
12		DB5308/T 35.1-2018	立体生态茶园建设技术规程 第1部分:新建立体生态茶园	2018/8/17	2018/12/30	普洱市质量技术监督局	普洱市思茅区时木茶厂(起草)
13		DB5308/T 35.2-2018	立体生态茶园建设技术规程 第2部分:中低产茶园改造成立体生态茶园	2018/8/17	2018/12/30	普洱市质量技术监督局	普洱市思茅区时木茶厂(起草)
14		DB5308/T 74-2023	景迈山古茶林保护管理技术规范	2023/12/8	2023/12/8	普洱市市场监督管理局	普洱景迈山古茶林保护管理局
15		DB5328/T 6-2019	生态茶园建设技术规程	2019/11/26	2019/12/1	西双版纳傣族自治州市场监督管理局	西双版纳傣族自治州人民政府发展生物产业办公室
16		DB5328/T 7-2022	生态胶园建设技术规程	2022/7/18	2022/10/18	西双版纳傣族自治州市场监督管理局	西双版纳傣族自治州农垦局
17		DB5329/T 19-2019	苍山林窗地修复管理规范	2019/11/29	2019/11/29	大理白族自治州市场监督管理局	大理州苍山保护管理局
18		DB5331/T 1-2020	旱冬瓜人工林培育技术规程	2020/11/30	2021/1/10	德宏州市场监督管理局	德宏州林业科学研究所

参考文献

1. 云南省人民政府. 云南全面推进“森林云南”建设. 2018 [Cited 2025]; Available from: https://www.yn.gov.cn/ynxwfbt/html/2018/zuixinbaodao_1122/1276.html
2. 国家发展改革委. 全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年). 中国政府网, 2020 [Cited 2025]; Available from: https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-06/12/content_5518982.htm
3. 云南省自然资源厅. 云南省重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年). 2020 [Cited 2025]; Available from: https://dnr.yn.gov.cn/html/2021/guihuajihua_1207/32929.html
4. 云南省标准化研究院. 云南省标准化信息传递服务平台. 2023 [Cited 2025]; Available from: <https://www.ynstdinfo.net/>
5. 自然资源部. 自然资源标准化信息服务平台. 2020 [Cited 2025]; Available from: <http://www.nrsis.org.cn/portal/xxcx/std>
6. 云南省自然资源厅. 云南省国土空间生态修复规划(2021-2035年). 2024 [Cited 2025]; Available from: https://dnr.yn.gov.cn/html/2024/tzgg_0408/4046444.html
7. 云南省林业和草原局. 云南省“十四五”林业和草原保护发展规划. 2021 [Cited 2025]; Available from: https://lcj.yn.gov.cn/html/2021/fazhanguihua_1029/64401.html
8. 国家林业和草原局. 国家储备林建设规划(2018-2035年). 2018 [Cited 2025]; Available from: <http://www.doc88.com/p-58139243202679.html>
9. 欧阳志云等. 中国国家公园总体空间布局研究[M]. 北京 中国环境科学出版社, 2018.
10. 方震东等. 滇西北裸露地表植被恢复研究[M]. 云南 云南科技出版社, 2022.
11. 中华环境保护基金会等编. 生物多样性100+全球案例集[M]. 北京 中国环境出版集团, 2022.
12. 北京林业大学. 我校喜获8项高等学校科学研究优秀成果奖. 2023 [Cited 2025]; Available from: <https://news.bjfu.edu.cn/lsyw/0f2e49e804aa405b959b223621df2a78.html>
13. 昆明市生态环境局. 昆阳磷矿生态修复案例入选自然资源部首批矿山生态修复典型案例. 2025 [Cited 2025]; Available from: <https://sthjj.km.gov.cn/c/2024-10-28/4910052.shtml>
14. 楚雄彝族自治州林业和草原局. 点“绿”成金——楚雄州探索金沙江干热河谷生态保护与修复纪实. 2024 [Cited 2025]; Available from: <https://lcj.cxz.gov.cn/info/1021/10824.htm>
15. 元谋县人民政府. 元谋县金沙江干热河谷带生态保护和修复工作面临的问题和期盼. 2024 [Cited 2025]; Available from: <http://yncxym.gov.cn/info/1041/58059.htm>
16. 胡晓蓉. 多项指标居全国第一位!云南省林草工作取得历史性突破. 人民网 2023 [Cited 2025]; Available from: <http://yn.people.com.cn/n2/2023/0118/c378439-40272116.htm>



云南省林业和草原科学院

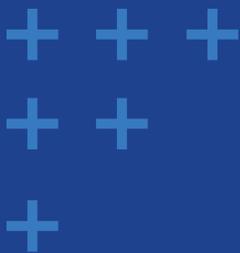
云南省林业和草原科学院专注于林业与草原领域研究。承担关键技术问题研究，开展成果转化、宣传培训等工作。服务全省并辐射南亚东南亚，在林草资源培育、生态修复等多领域发力，通过产学研结合推动行业发展，助力生态建设。

地址：云南省昆明市盘龙区蓝桉路 2 号

电话：0871-65150418

网址：www.ynlky.org.cn





GREENPEACE 绿色和平

绿色和平是一家国际环保机构，致力于发现和解决环境问题，以实际行动推进积极改变，保护地球环境和推进可持续发展。绿色和平成立于1971年，在全球55个国家和地区设立了26家分支机构。2002年，绿色和平在北京设立办公室，21年来始终坚持基于丰富国际经验下的本土化实践，将可持续发展和环境保护领域的专业知识和先进理念，都投入到推动中国本土环境改善的工作中。从参与国际气候谈判到推动可再生能源发展，从保护青山绿水到建立更可持续的渔业管理体系，从减少工业污染到推广生态农业，从参与蓝天保卫战到推动绿色消费生活理念，绿色和平都深度参与并且积极提供解决方案。



地址：北京东城区东四十条 94 号亮点文创园 A 座 201 室

邮编：100007

电话：86 (10) 65546931

传真：86 (10) 64087851

www.greenpeace.org.cn

北京大学 PEKING UNIVERSITY

北京大学保护生态学课题组，致力于研究当代人类影响下生物多样性的保护与恢复议题。研究的核心方向为全球变化下生物多样性所受的影响及其保护机遇，具体围绕人类对森林栖息地及物种的利用和影响，使用生态科学理论与方法，结合环境经济学、社会科学的跨学科视角，为森林生物多样性保护的前沿挑战提供科学理解 and 政策指导。研究尤其关注保护区体系外、需要在一定程度上满足人类生产生活需求的生态系统所面临的保护威胁和机遇。



地址：北京市海淀区颐和园路 5 号

电话：86 (10) 62742799

www.conservationee.org