

# 超越森林之外：来自中国黄土高原生态修复工程的经验教训

〔英〕凯瑟琳·白金汉（Kathleen Buckingham）

## 引 言

中国是世界上植树造林规模最大的国家。通过植树造林活动，中国过去 30 年的森林覆盖率上升了 9%（Wellesley，2014）。这种行动并非出自利他主义。2000 年以来，中国已成为世界上主要的林业加工中心。现在，中国是世界上最大的木制品进口国和消费国（Hoare，2015）。然而，曾经的毁林活动一度使中国成为世界上森林资源最贫乏的国家之一，全国森林覆盖率只有 22%，低于世界各国平均的森林覆盖率 31%（FAO，2012）。不仅如此，森林毁灭只是问题的冰山一角。中国还是世界上水资源压力最大的国家之一。中国有全世界 21% 的人口，但只有全世界 6% 的淡水资源（Wong，2013）。水资源和土地资源的持续性，同时影响着人口与经济的发展。

中国不仅是一个拥有 13 亿以上人口和受以上资源约束的国家，而且是受气候变化负面冲击最大的国家之一（Department of Climate Change，2015）。曾经的乱砍滥伐、土地流转、过度放牧和矿藏开采，使生态系统变得相当脆弱。洪涝灾害、土地荒漠和沙尘暴天气等恶劣的生态环境使中国政府不得不采取修复土地的行动，在考虑到气候变化威胁越来越大的情况下，更是如此（World Bank，2006）。

为了与这些复杂问题做斗争，中国需要提高粮食生产率、提升资源使用效率和加大环境保护力度（Fan et al. , 2012）。在预防各种灾害的过程中，中国政府加大财政投入力度对退化地区进行生态修复。生态修复是一项重新恢复采伐迹地或退化景观地的生态功能和促进人类福祉的长期工程。生态修复是缓解景观退化造成的灾难以及保护自然资源的重要工具（Buckingham et al. , 2016）。

面对气候变化、经济发展和人口压力带来的负面影响，保护土地和资源成为国家政策。2015年12月，联合国气候变化框架公约（UNFCCC）下的第2届联合国气候变化大会（COP21）在巴黎召开，全球的国家承诺缔结一个全新的、具有里程碑意义的国际气候协议：保证全球气温上升幅度在2℃（3.6°F）以下，并努力将其限制在1.5℃以下（BBC, 2015）。在新的国际协议下，世界各国公开了各自在2020年后应对气候变化将采取的行动。这些行动被统称为国家自定贡献预案（INDCs）。

显然，森林在固碳过程中起到了十分重要的作用。与植树造林有关的中国国家自定贡献预案期望增加固碳存量45亿立方米。这意味着，中国的森林覆盖面积要增加0.5亿~1亿公顷（1.24亿~2.47亿英亩），相当于2~4个英国的国土面积。如此大的森林覆盖面积，将累计产生约10亿吨的碳汇，相当于停止砍伐热带森林近一年或路上少跑7.7亿辆汽车产生的碳汇。这就是中国已经取得的显著成果：1990~2010年，中国已累计增加森林覆盖面积4900万公顷（1.21亿英亩）（Frazen et al. , 2015）。

中国的国家自定贡献预案计划，推动了植树造林、义务植树、天然林保护和退耕还林等工程的开展。为了缓解京津地区的土地沙化和荒漠化、减少水土流失以及提高水资源储备，政府采取了多项措施（Department of Climate Change, 2015）。早在国家自定贡献预案推出之前，中国就已在全国范围内的6个林业项目中投资了大约1000亿美元，这些项目覆盖了中国超过97%的县，并提出造林面积达7600万公顷的目标（Cao et al. , 2010a）。1999年，中国政府启动了“退耕还林”工程（Tang et al. , 2013），这是迄今为止世界上最大的生态保护计划。“退耕还林”工程由一系列项目与实践组成，其设计初衷是抑制水土流失，增加景观中自然植被的数量和多样性，推行更具持续性的土地管理实践。这一项目包含一项生态系统服务的转移支付，其主要目的是鼓励成百上千万的农户加入项目实施的进程（Lu et al. , 2012）。

2016 年中国政府提出的“十三五”规划的目标，就是加强和完善一系列有关自然资源的国家地理数据库建设，其中一项自然资源就是森林资源。例如，森林资源的关键数据是，到 2020 年全国的森林覆盖率有望达到 23.04%，森林固碳存量达到 95 亿吨。不仅如此，“十三五”规划还提出了与林业有关的四个重要领域：政策与制度改革；森林资源保护；森林（生态修复）质量和效率改进；森林的管理、保护和创新。第一，国有森林地区将以一种精简的方式，推动政府、公共机构、企业成为更有效率的国有农场管理机构。第二，保留和保护原始森林、森林资源和生态湿地，建立稀有和濒危物种国家公园。第三，加快植树造林的步伐，以强化森林管理，提高森林资源质量和增加国家木材储备，同时发展森林经济、森林旅游和苗圃修复。第四，政府希望通过林业科技创新预防和控制森林火灾和虫害的发生，最终达到强化对森林的保护的目的。其中，中国林业资源数据库平台已经于 2016 年 2 月份正式启动（Xinhua Net, 2016）。

一些维持森林储备、提升森林质量和强化森林修复的解决方法还涉及采伐禁令。“十三五”规划中的部分内容，也包含了对国有林场中天然林进行商品性采伐的禁令<sup>①</sup>。第一个试点项目是 2014 年 4 月对中国东北黑龙江省的主要林区中原始森林的所有商业性采伐的禁令（Hoare, 2015）。历史上，黑龙江省一度提供超过 30% 的国内原木产量（Sun et al., 2016）。“十三五”规划的林业部分和新出台的砍伐禁令，是中国满足木材需求的最基本条件。现在，中国每年砍伐的原始森林面积大约为 4994 万立方米。由于中国超过一半的木材需求通过进口得到满足，采取必要的措施确保国外木材资源的来源合法性是十分重要的。据估计，在当前全世界的非法木制品交易中，出口到中国的木制品占据了一半（Hoare, 2015）。有人推测，在绿色发展背景下，中国可能会通过追溯其他国家木材来源的方式，结束向生态更脆弱的国家出口环境破坏。

---

① 这一禁令将于 2017 年在全国范围内实施。这是对 1998 年开始的项目的扩展，其目标是使森林从几十年的林木砍伐中恢复过来，从而帮助修复森林的生态系统、提升其适应性。黑龙江省的国有天然林的商业采伐于 2014 年终止。2015 年 4 月 1 日的采伐禁令覆盖了中国东北与内蒙古的所有天然林，其中包括国家森林保护项目尚未覆盖的 14 个省份的天然林保护工程，参见 Sun, X., Canby, K. and Liu, L. (2016), China's logging ban in natural forests: Impacts of extended policy at home and abroad, *Forest Trends Information Brief*, March.

尽管最新立法的效果及全球性的国家自定贡献预案（INDCs）均对国家森林资源有着重大的意义，但现在推测它们对国家政策的影响还为时尚早。然而，中国已经从当今广泛存在的土壤退化问题中学到不少教训。沙尘暴不时地袭击下风向的城市地区，这类严重危机推动了土壤退化地区生态修复问题的解决。其中一个广为人知的案例，就是黄土高原的水土流失问题。水土流失所导致的大规模沙尘天气在 20 世纪 80 ~ 90 年代周期性地袭扰北京，其中包括 1993 年著名的“黑风”天气（Qian and Quan, 2002）。世界银行的黄土高原一期项目在一年之后启动也就不足为奇了。黄土高原水土流失非常严重，提供了黄河中全部泥沙的 90%（Chen et al., 2007）。不仅如此，土壤的严重退化导致曾经作为耕地的土地大面积荒废，几十年间造成了约 12.8 亿美元的经济损失，并带来前所未有的粮食安全威胁（Chen et al., 2007）。

## 黄土高原：一个案例研究

坐落于中国中部偏北的黄土高原，是一个面积相当于阿富汗国土面积的大型山丘状干旱地区。几千年的耕种尤其是“文革”期间的开垦，使黄土高原的草地不断退化、水土流失加剧。黄土高原的沙尘暴，使粮食产量下降、河道里充满淤泥、遥远城市的空气中弥漫着沙尘的味道。事实上，当地多达 5000 万的人口使问题更加复杂。

从 1994 年起，国家开始致力于生态修复。两项有关黄土高原治理的工程先后在山西、陕西、甘肃三省和内蒙古自治区的 48 个县展开（Liu and Hiller, 2016）。一方面，由于在修复过程中开展了大量的植树造林活动（在历史的非林区土地上植树），一些观察者可能没有将黄土高原境内 1100 条水系的生态修复看作一个严格的“森林景观修复”案例。另一方面，这种生态修复的努力——或者说寻求生态系统功能的恢复——确实表现出森林景观修复的若干特征和关键成功因素（Hanson et al., 2015）。重要的是，这些因素为其他森林与景观修复项目提供了借鉴，为未来方案设计提供了经验教训（Hanson et al., 2015）。

鉴于黄土高原的重要性和对其进行生态修复的重要意义，世界资源研究所（WRI）将黄土高原的生态修复案例作为世界范围内 16 个森林景观修复案例研究

中的一个，以构成一个大型的林业评估项目（Hansen et al.，2015）。

通过文献综述和专家访谈，对16个森林景观修复案例的共同特征进行分析，总结了森林景观修复成功的三个共同主题。

（1）清晰的动机。决策者、土地所有者和公民被鼓励或激励参与生态景观的森林与树木的修复工作。

（2）成熟的有利条件。存在足够数量的生态、市场、政策、社会 and 制度条件，为森林和树木的生态修复工作提供有利的环境。

（3）可持续执行的能力和资源。能力和资源的存在和调用将森林景观修复项目建立在可持续的环境基础上。

相关历史案例指出，当三个主题内的一系列条件存在时——无论是先天条件还是人们通过努力来创造的条件——生态修复工程成功的概率将增加。

表1 总结了重要的成功要素，是生态修复诊断程序的一部分。

表1 森林景观修复的关键成功因素

主题	特征	关键成功因素
动机	收益	生态修复可以产生经济收益
		生态修复可以产生社会收益
		生态修复可以产生环境收益
	意识	生态修复的收益可以公开交流
		生态修复的机会可以被识别
	危机事件	危机事件具有放大效应
	立法要求	存在生态修复的法律要求
		生态修复的法律要求被广泛理解和执行
有利条件	生态条件	土壤、水、气候和火灾条件均适宜于生态修复
		不存在阻碍生态修复的动植物
		本地的种子、幼苗和原始种群随时可用
	市场条件	退化林区的竞争性需求（如食品、燃料）不断下降
		修复地区的产品存在价值链
	政策条件	土地和自然资源的使用权受到保护
		影响生态修复的政策统一且流程简明
		存在天然林的砍伐限令
	社会条件	森林砍伐限令得到很好的执行
		当地居民有权做出生态修复的决定
	制度条件	当地居民可以从生态修复中获益
		生态修复参与方的责任和义务得到清晰界定
		高效的制度能够协调到位

续表

主题	特征	关键成功因素
执行	领导力	存在全国性或者地区性的生态修复典型
		存在可持续的政治承诺
	知识	存在与候选的景观地相关的生态修复的专门知识
		生态修复的专门知识可通过同行或推广服务传递
	技术设计	生态修复设计具有技术基础和气候适应性
		生态修复限制漏出
	财政激励	生态修复的正向激励与项目资金超过负向激励
		项目激励与资金随时可得
	反馈	建立高效的绩效监管和评估体系
		早期取得的成绩可以进行沟通交流

资料来源：Hanson, C. , Buckingham, K. , DeWitt, S. and Laestadius, L. （2015）, *Restoration diagnostic*, Washington, DC: World Resources Institute。

这种生态修复诊断程序已经发展为一套结构性的方法，能够在具备生态修复机会的国家或景观地中，识别哪些生态修复的关键成功条件已经成熟，哪些条件已部分实现以及哪些条件暂不具备。它是一个定性的诊断工具，可以帮助决策者和生态修复的支持者将努力集中最重要的因素条件上——进行大型人力、物力和政治资本投资前。一个生态修复项目正常启动后，执行者可以每隔几年应用这种生态修复诊断程序调整和优化政策，从而形成一种适用的管理实践方法。

有些重要的警告需要提出。第一，没有案例能够满足每一个关键的成功因素。因此，景观生态的成功修复并不需要满足每一个关键的成功因素。第二，不存在某种单一因素是生态修复工作的充分必要条件，所以我们实际上需要的是成功因素的组合。但是，某些因素对于通过自然再生修复的生态项目来说，确实是特别重要的（如生态和市场条件），某些因素对于主动生态修复项目来说，确实是特别重要的（如清晰的产权）。第三，某些关键的成功因素之间具有交互效应，并且可以影响其他的因素。例如，绩效监督对于执行来说是一种非常关键的成功因素。当绩效监督被广泛地用于交流生态修复项目的成功和收益时，它实际上还有助于生态修复项目的进一步推行。

## 识别关键的成功因素

### 动机因素

出于多种动机因素，中国政府致力于推动黄土高原的生态修复工程。在许多已有的大型生态修复案例包括韩国和埃塞俄比亚（Hanson et al., 2015）的案例背景下，20 世纪末期黄土高原的沙尘暴不时袭扰下风向的城市地区，这种生态危机的出现成为寻求黄土高原生态修复解决办法的最基本的触发器。决策者认识到景观生态修复会带来一系列经济、社会和环境的收益。从经济来看，它会提升粮食安全和增收机会，尤其是对贫穷的乡村地区（Tsunekawa et al., 2014）。黄土高原生态修复项目中来自世界银行和中国政府的资金已经累计修复了 400 万公顷的土地。据报告，该项目使当地农民的收入翻了一番，每年降低泥沙流失量 1 亿吨，降低了洪水暴发的风险并极大地提升了粮食产量。从社会收益来看，它的目标是增强家庭的稳定性和降低向城市移民的数量。从环境收益来看，生态修复工程的目标是提高土壤的健康度，减少水土流失，确保更清洁的水和更少的碳排放（Lu et al., 2012）。

### 有利条件

黄土高原的生态修复工程确实存在一些有利于项目实施的条件——生态、政策和市场条件。

第一，生态条件：通过退耕还林项目，消除阻碍自然植被修复的因素。特别是通过在生态修复目的地禁止放牧，这些地区的植被覆盖面积增加了 99%。

第二，政策条件：森林砍伐约束和土地使用权也起到十分重要的作用。例如，1999 年之后，中央政府禁止砍伐树木及在山坡上种植谷物，并且撤回在这些地区自由放牧的许可。这些放牧禁令，成为黄土高原扭转土地退化状况和重建自然植被战略的基石（Hiller and Guthrie, 2011）。同样重要的是禁令的执行。这些禁令与种植植被的行动一起，使该地区的植被覆盖率从 17% 上升到 21 世纪第一个十年中期的 34%（World Bank, 2007b）。不仅如此，政府给予当地居民低价租赁土地的机会以修复耕地，并给予他们使用土



地的机会，如鼓励他们生产服务于生态系统的农产品或向他们提供转移支付（World Bank, 2007a）。接着，2003 年颁布的《农村土地承包法》向土地使用者提供了保护。农地具有 30 年产权，草地具有 30 ~ 50 年产权，森林土地则具有 30 ~ 70 年产权（Zhao et al., 2014）。

第三，市场条件：生态修复地区存在产品的价值链。最初，那些能够激励当地农民合作修复生态的补偿，主要集中于果树、蔬菜以及生态系统服务的小额支付。然而，在世界银行的第一期项目中，农民们要求最多的是帮助其建立新的畜牧企业。世界银行的第二期项目，帮助贫困地区的农民成功引进克什米尔羊（圈养）获得羊毛、引进奶牛（圈养）以及大量种植以收获生态物量，该项目在很大程度上变成了畜牧业项目。这两种畜牧业活动在该地区是全新的，使通过生态修复项目产生新的生态物量成为可能。在更好的生物量管理技术基础上，新型劳动密集的高价值畜牧企业的成功可能决定黄土高原的未来。黄土高原提供了林业和农业生态修复可以高度协同的重要例子。

## 执行因素

在生态修复阶段，执行相关项目的能力和资源的就位将有助于生态修复的推进。这些能力和资源包括领导力、知识、技术设计、资金和激励。在领导力上，中国政府和世界银行通过黄土高原生态修复项目提出可持续性承诺，尤其是 20 世纪 90 年代末期开始的“退耕还林还草”项目（Hiller and Guthrie, 2011）。

在知识和技术设计上，中国政府在与世界银行的合作中创造了一个同时包含了技术设计和能力发展的生态修复计划。该计划的技术设计部分主要包含梯田、人造林、果园、草原、拦沙坝、灌溉、放牧和沟壑控制等活动，能力发展部分包含了集中于训练、研究和技术转移等的活动（World Bank, 2003）。综合流域管理行动催生了一种雨水收集设施，并通过大型的植树造林、草原再生和农林方法等，确保植被覆盖的连续性（EEMP, 2013）。

在金融支持和激励上，黄土高原生态修复项目具有广泛的项目资金来源：1994 ~ 2005 年，项目预算达到了 5 亿美元。资金包括中国政府的直接支出和世界银行的贷款。这种金融支持补贴项目将已退化的农田转变为对农



民经济可行的树木和其他各种植被。补贴内容包括每公顷 122 美元的种子与幼苗补贴，以及持续 2 ~ 8 年补贴标准为 49 美元/年的生态修复服务费（World Bank, 2006）。

## 对可持续性的挑战

目前，黄土高原生态修复计划所带来的积极影响已获得广泛的关注，许多生态和社会收益得到了认可（World Bank, 2006；Ferwerda, 2012；Tsunekawa et al., 2014）。政策的转变与执行，尤其是停止放牧和控制土地用途变化，是取得这一成功的基本原因。

根据世界银行的研究，在黄土高原的某些地区，当地农民的收入已经翻了一番，每年流失的泥沙量下降 1 亿吨，洪水暴发风险下降，粮食产量急剧上升。然而，取得这些成就的同时也付出了一些代价。中国在快速获得这些成就时，可能使用了单一的物种或多样性较低的种植方式，当地居民可能无法享有森林修复的收益。虽然一些地区的生态修复确实已经使土地免于荒漠化并给当地居民带来更好的生活，但其他地区的树木生长非常缓慢甚至一些已经死亡。中国专家认为，有时候在某些干旱地区种草比种树更合适。这些结果导致中国对绿色和自然的向往越来越强烈（Cao et al., 2011）。

在重要的成功条件方面，黄土高原生态修复项目体现了地区生态修复将面临的长期可持续性的挑战因素。这些因素包括生态修复意识、财政激励、生态条件和技术设计。

在生态修复意识上，目前生态修复和水土保护的收益可能并没有完全被当地相关居民和地方官员所理解（Chen et al., 2007；Lu et al., 2012）。这种意识的缺乏，至少一部分可能是由于项目设计与决策自上而下的特点。只有吸引更多当地人员参与，推动更多当地项目开展，才能解决这种信息不对称的问题。绝大多数农民——无论是项目内还是项目外——参与到了项目活动中，只不过他们有时候是由政府推动去做的。这就是说，尽管项目参与率已经很高，但项目过程和计划的地方归属感还有待提高（Hiller, 2012）。

在财政激励上，一项针对黄土高原地区农民的调查发现：56% 的农户

表示，如果补贴在 2018 年停发，那么他们将重新耕作那些坡地（Chen et al. , 2007；Jiao et al. , 2012）。进一步地，一些研究人员认为八年的生态系统服务转移支付的时间太短了：土地还没有产生足够高的产出、生态修复景观中稳健的产品市场还未被开发出来，项目补贴就停止了。例如，杏树必须经过足够年份，才能结出足够多的果实从而提供足够高的经济回报（Chen et al. , 2007）。假定下风向城市（如北京）足够大，并且希望降低沙尘天气、提升水资源质量和降低黄河暴发洪水的概率，那么由城市居民向农村居民进行支付就能有效实现（Hiller, 2012）。不仅如此，Cao 等（2009）认为将国有财富向私人进行转移支付，并不能对当地居民进行生态保护和土地修复形成足够的激励（Cao et al. , 2010c）。由于多数项目地处中国贫困地区，禁止森林砍伐和开放放牧会导致那些依赖于森林资源和开放放牧的经济体严重萎缩。在一些地区，经济补偿或替代性生计远远不够（Cao et al. , 2010a）。

除了基金捐赠外，私人部门在生态修复中也具有重要的地位。现有食品行业（毒素、添加剂和生物富集）的重重危机以及生态修复的环境需要，加倍激励了致力于生态修复的行业的发展。例如，在黄土高原以外的华南地区，法国跨国公司达能食品集团正在试点源自澳大利亚的“动态农业”技术。达能集团试点的是一个能让农户看到生态修复对其经营影响的金融模式：首先，它允许农户种植本土的杉树，而非项目推荐的非本土、可速生的桉树项目；其次，它可以在高端蜂蜜市场为农户提供具有竞争力的价格；最后，它表明柑橘可以在没有高强度化学产品投入的条件下进行种植（Buckingham, 2015）。虽然项目规模较小，不能解决土地退化的问题，但鼓励私人部门参与景观生态修复有助于农民认识生态修复的必要性。

在生态条件上，在黄土高原的某些地区，一些非本地的树种被种植在原本适宜植草的土地上。不仅如此，由于缺乏及时交货的充足激励，许多高质量树种和灌木幼苗供给不足。例如，苗圃种植的目标是无论好坏只要种上所有幼苗就可以，结果导致项目绩效目标与实际成功率出现了偏离。许多已种下的树木在干旱年份无法存活，导致 1/3 的林地不得不重新植树。这种情况在项目末期才逐步改善，主要归功于 2002 年农业改革之后一些私人苗圃的建立。然而，对于农民和政府官员来说，高质量幼苗的供给仍然是一个挑战

(World Bank, 2007a)。

目前，正在对黄土高原生态修复项目的技术特征进行详细审查。其中，植树造林被认为是防止黄土高原水土流失的一项重要战略。然而，中国科学家对在这种半干旱环境下植树造林的长期可持续性的争论越来越激烈 (Jiao et al., 2012)。在黄土高原某些地区，树木存活率非常低。例如，陕西省北部曾种植超过 40 万株中国松树，但仅有 25% 的树木存活 (Chen et al., 2007)。管理人员更倾向于种植短期生存物种，以获得短期回报。但是生态景观的再生涉及可持续发展所需的物种多样性，这显然是一个长期过程 (Cao et al., 2010b, 2011)。

另一项审查内容是气候适应性。一些研究人员在地区气候变暖和更加干旱的趋势下，提出了生态修复项目技术设计的适应性问题。在气候变化背景下，在黄土高原的土地上大规模造林，会因林木的蒸腾作用增强而加剧水资源短缺的严重性 (Cao et al., 2007)。除此之外，如果树木生长不充分，它们将不能控制雨水径流和土壤流失 (Chen et al., 2007)。由于物种/场所修复条件较差、树木种植过量和管理不善，某些地区种下的树木最初生长良好，后来却因水资源短缺而死亡 (Chen et al., 2007)。因此，植被修复策略需要根据水资源的可获得性和该地区其他的生态条件进行“量体裁衣”式的打造 (Chen et al., 2010; Cao et al., 2011)。例如，生态修复设计中可能要减少对松树移植的依赖，改种更耐旱的树种、灌木和其他更易适应生态条件的植被 (Cao et al., 2007; Chen et al., 2007; Jiao et al., 2012)。

通常，人们很容易将生态修复的失败归咎于薄弱的科技，实际上这低估了文化的重要性。开放的、半干旱的黄土高原是回族人民的精神家园，遍布着清真寺，回族人民与汉族人民的文化存在很大差异。在中国，汉族人口占据了全部人口的 92%，并在整个国家的政治和文化生活中占据重要地位。

1912 年以来，中国选择普通话（汉族人的语言）作为通用语言。尽管整个国家实际上跨越了 5 个时区，毛泽东主席于 1949 年颁布法令决定全国统一执行北京时间。然而，自然是不受人类秩序所束缚的。现在重要的是看土地管理者能够从回族人民与生态景观的历史关系中学到什么。对于黄土高原这种干旱景观地区，被种植的树木就是生物学意义的定居者和外来者。

从文化的视角来看，树木的移栽也代表着一种移民。尽管引种外来植物获得了科学界和公众的关注，但文化视角总是容易被人忽略。文化的偏差通常很难被理解，就像中国诗人所说的那样：不识庐山真面目，只缘身在此山中。当你身处其境时总是很难看清全貌。

黄土高原的生态修复工程的规模是巨大的，然而通过引进外来物种设计想要的景观的做法在全球范围内都很普遍。我们需要在景观的本土生态和文化记忆的基础上，理解生态修复在生物物理学和文化层面的含义。认识到在生态修复决策中文化多样性与生物多样性同样重要之后，我们需要在气候变化和人口激增的背景下对生态系统进行修复，确保 21 世纪生态系统服务的稳定性（Buckingham et al. , 2014）。

## 前瞻：重建重度荒漠化地区的生态修复策略

由于过度放牧、过度耕种和植树造林等活动，黄土高原已经获得广泛关注。然而，中国当前面临的土地利用挑战，已经从单纯的土地使用转向了更具破坏性的土地荒漠化：矿业开采。为了保证土地修复项目取得成功，在战略选择上需要超越狭隘的植树造林观念，通过种植生态可持续的土地植被保持土壤的质量。中国环保部（MEP）发布了一份发人深省的强调土地退化问题的报告。土地退化问题导致中国土地休耕面积占全部耕地面积的 1/5——长期处于重金属污染环境的结果（MEP, 2014；Patel, 2014）。这种污染在很大程度上是由矿业开采活动造成的。

中国有超过 9000 个大中型矿井和 26000 个小型矿井（Li et al. , 2014）。矿业资源在经济发展中扮演了非常重要的角色。中国目前有各类矿藏资源 171 种，占全球矿藏资源总量的 12%（Hu et al. , 2010）。由于矿业开采活动，矿区周边的土壤受到严重的重金属污染。这种类型的土壤污染不仅使矿区周围的空气、水体和粮食作物质量下降，而且通过食物链尤其是生物富集的方式威胁动物和人类的健康与福利。重金属所造成的土壤污染使社会大众罹患致癌性与非致癌性疾病的风险大幅度增加，对于那些居住在严重污染地区的人们来说更是如此（Hu et al. , 2010）。

黄土高原作为采矿活动的活跃区，其采矿活动进一步威胁了当地的生态景观。露天煤矿开采活动基本在中国西北的环境脆弱地区进行，如山西、内

蒙古、甘肃、宁夏和陕西等省份（Zhang et al. , 2015）。矿藏开采地区的大部分土地一直处于贫瘠状态，阻碍了该地区的农业、社会和经济的可持续发展。鉴于中国土地供给的短缺性——因人口激增而恶化——现在是时候出台政策对采矿造成的土地退化进行生态修复或改造（Miao and Marrs, 2000）。现有政策规定，曾经废弃的矿山的生态环境修复率必须达到45%，受污染矿山地区的生态修复率应该达到30%。新矿山地区的土地生态修复率必须达到100%（Hu et al. , 2010）。

与黄土高原上的广阔草原一样，全世界的草原都在被改变、被破坏。草原消失，是因为农业、植树造林、矿业开采和城市发展，也是因为物种入侵、地方畜牧的管理不善、消防制度改变、空气中二氧化碳浓度增加、氮沉降积累等（Veldman et al. , 2015a）。对于被砍伐的森林景观来说，植树、改善灭火条件和禁止本地家畜放牧是较为合适的生态修复策略。然而，这些干预措施应用到草地、稀树草原和开阔林地可能会产生负面影响。因此，现在有必要对退耕还林（在被砍伐的土地上种植树木）和植树造林（将曾经非林地的地区转换为森林或者树木种植园）进行区分，以确保生态修复战略的可持续发展（Veldman et al. , 2015b）。

为了实现可持续的景观生态修复，我们应该吸取黄土高原生态修复过程中的经验教训。为了理解中国生态景观修复在特定生态景观条件下所面临的机遇和挑战，我们需要展开全面评估。作为国际自然保护联盟（IUCN）和世界资源研究所（WRI）评估工具包的一部分，这种生态修复诊断方法又被称为生态修复机会评估方法论（ROAM）。鉴于现有政策规定对矿区进行生态修复和恢复，ROAM可在生态修复战略发展中大有作为。这种方法论可以使黄土高原在生态修复实践中避免不可持续项目的某些缺点。

该方法论还涉及利益相关者之间的协商、识别生态修复战略的机会关联、成本效益分析、有利条件和金融与投资选择（IUCN and WRI, 2014）。其一，向地方利益相关者提供地区景观与气候特点方面的咨询服务，为其提供非常重要的信息，从而为生态修复项目面临的机遇和挑战提供反馈。其二，需要通过识别生态景观中存在的机会，选择适合当地的生态条件的植被类型。可能是林木，也可能是草地、灌木或者其他植被类型，植被类型的选择要取决于当地的地貌、降雨量和土壤类别。通过执行

这种生态修复诊断程序，利益相关者需要判断哪些关键的成功因素已经到位，哪些还不到位，从而为生态修复战略的制定打下基础。为了合理执行和监测生态修复策略，还有很多事情要做。不仅如此，在一些严重荒漠化的景观地区，中国仍迫切需要开发参与式的生态修复策略，以确保走上可持续发展之路。

## 参考文献

- British Broadcasting Corporation (BBC) (2015). COP21 climate change summit reaches deal in Paris, *BBC News*, 13 December. Available from: [bbc.com/news/science-environment-35084374](http://bbc.com/news/science-environment-35084374).
- Buckingham, K. (2015). Duck-rice, honey-bees and mandarins, China Policy Institute Blog, Nottingham, UK: University of Nottingham. Available from: [blogs.nottingham.ac.uk/chinapolicyinstitute/2015/05/18/duck-rice-honey-bees-and-mandarins/](http://blogs.nottingham.ac.uk/chinapolicyinstitute/2015/05/18/duck-rice-honey-bees-and-mandarins/).
- Buckingham, K., DeWitt, S. and Laestadius, L. (2016). The global restoration initiative, in I. Chabay, M. Frick and J. Helgeson (eds), *Land restoration: Reclaiming landscapes for a sustainable future*, 483–496, Atlanta: Elsevier.
- Buckingham, K., Laestadius, L., Padovezi, A. and Covell, P. (2014). Taking culture into account in restoring China's Loess Plateau, WRI Blog, Washington, DC: World Resources Institute. Available from: [wri.org/blog/2014/12/taking-culture-account-restoring-china%E2%80%99s-loess-plateau](http://wri.org/blog/2014/12/taking-culture-account-restoring-china%E2%80%99s-loess-plateau).
- Cao, S., Chen, L. and Zhu, Q. (2010a). Remembering the ultimate goal of environmental protection: Including protection of impoverished citizens in China's environmental policy, *Ambio*, 39: 439–442.
- Cao, S., Chen, L., Shankman, D., Wang, C., Wang, C., Wang, X. and Zhang, H. (2010b). Excessive reliance on afforestation in China's arid and semi-arid regions: Lessons in ecological restoration, *Earth-Science Reviews*, 104: 240–245.
- Cao, S., Chen, L., Xu, C. and Liu, Z. (2007). Impact of three soil types on afforestation in China's Loess Plateau: Growth and survival of six tree species and their effects on soil properties, *Landscape and Urban Planning*, (83): 208–217.



- Cao, S., Sun, G., Zhang, Z., Chan, L., Feng, Q., Fu, B., McNulty, S., Shankman, D., Tang, J., Wang, Y. and Wei, X. (2011), Greening China naturally, *Ambio*, 40(7): 828–831.
- Cao, S., Wang, X., Song, Y., Chen, L. and Feng, Q. (2010c), Impacts of the Natural Forest Conservation Program on the livelihoods of residents of northwestern China: Perceptions of residents affected by the program, *Ecological Economics*, 69(2010): 1454–1462.
- Cao, S., Xu, C., Chen, L. and Wang, X. (2009), Attitudes of farmers in China's northern Shaanxi province towards the land-use changes required under the Grain for Green project, and implications for the project's success, *Land Use Policy*, 26(2009): 1182–1194.
- Chen, L., Wang, J., Wei, W., Fu, B. and Wu, D. (2010), Effects of landscape restoration on soil water storage and water use in the Loess Plateau region, China, *Forest Ecology and Management*, 259: 1291–1298.
- Chen, L., Wei, W., Fu, B. and Lu, Y. (2007), Soil and water conservation on the Loess Plateau in China: Review and perspective, *Progress in Physical Geography*, 31: 389–403.
- Department of Climate Change (2015), Enhanced actions on climate change: China's intended nationally determined contributions, 30 June, Beijing: Department of Climate Change, National Development and Reform Commission of China. Available from: [www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/China/1/China's%20INDC%20-%20on%2030%20June%202015.pdf](http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/China/1/China's%20INDC%20-%20on%2030%20June%202015.pdf).
- Environmental Education Media Program (EEMP) (2013), *Loess Plateau watershed*, 5 August, Environmental Education Media Program. Accessible from: [eempc.org/loess-plateau-watershed-rehabilitation-project/](http://eempc.org/loess-plateau-watershed-rehabilitation-project/).
- Fan, M., Shen, J., Yuan, L., Jiang, R., Chen, X., Davies, W. J. and Zhang, F. (2012), Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality, *China Journal of Experimental Botany*, 63(1): 13–24.
- Ferwerda, W. (2012), *Organizing ecological restoration by partners in business for next generations*, IUCN Commission on Ecosystem Management, Rotterdam: Rotterdam School of Management, Erasmus University.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2012), *State of the world's forests*, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.



- Frazen, T., Song, R., Stolle, E. and Henderson, G. (2015), A closer look at China's climate plan (INDC), WRI Insights Blog, Washington, DC: World Resources Institute. Available from: [wri.org/blog/2015/07/closer-look-chinas-new-climate-plan-indc](http://wri.org/blog/2015/07/closer-look-chinas-new-climate-plan-indc).
- Guan, L., Sun, G. and Cao, S. (2011), China's bureaucracy hinders environmental recovery, *Ambio*, 40: 96–99.
- Hanson, C., Buckingham, K., DeWitt, S. and Laestadius, L. (2015), *Restoration diagnostic*, Washington, DC: World Resources Institute.
- Hiller, B. T. (2012), Sustainability dynamics of large-scale integrated ecosystem rehabilitation and poverty reduction projects, PhD thesis, University of Cambridge, Cambridge.
- Hiller, B. T. and Guthrie, P. M. (2011), Phased large-scale approaches to integrated ecosystem rehabilitation and livelihood improvement: Review of a Chinese case study, *Agricultural Science Research Journal*, 1(3): 50–63.
- Hoare, A. (2015), *Tackling illegal logging and the related trade: What progress and where next?*, A Chatham House Assessment, London: Chatham House.
- Hu, R., Liu, J. and Zhai, M. (2010), *Mineral resources science in China: A roadmap to 2050*, Beijing: Chinese Academy of Sciences.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) and World Resources Institute (WRI) (2014), *A guide to the Restoration Opportunities Assessment Methodology (ROAM): Assessing landscape restoration opportunities at the national or sub-national level*, Working Paper (Road-test edition), Gland, Switzerland: IUCN.
- Jiao, J., Zhang, Z., Bai, W., Jia, Y. and Wand, N. (2012), Assessing the ecological success of restoration by afforestation on the Chinese Loess Plateau, *Restoration Ecology*, 20(2): 240–249.
- Jie, K. (2015), China to launch natural forest logging ban in 2016, *Global Times*, 4 December. Available from: [globaltimes.cn/content/956510.shtml](http://globaltimes.cn/content/956510.shtml).
- Li, R., Liu, G., Xie, Y., Qinke, Y. and Liang, Y. (2002), Ecosystem rehabilitation on the Loess Plateau, in T. R. McVicar, R. Li, J. Walker, R. W. Fitzpatrick and C. Liu (eds), *Regional water and soil assessment for managing sustainable agriculture in China and Australia*, 358–365, ACIAR Monograph 84, Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research.
- Li, Z., Ma, Z., van der Kuijp, T. J., Yuan, Z. and Huang, L. (2014), A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment, *Science of the Total Environment*: 843–853.

- Liu, J. D. and Hiller, B. T. (2016), A continuing inquiry into ecosystem restoration: Examples from China's Loess Plateau and locations worldwide and their emerging implications, in I. Chabay, M. Frick and J. Helgeson (eds), *Land restoration: Reclaiming landscapes for a sustainable future*, Atlanta: Elsevier.
- Lu, Y., Fu, B., Feng, X., Zeng, Y., Liu, Y., Chang, R., Sun, G. and Wu, B. (2012), A policy-driven large scale ecological restoration: Quantifying ecosystem services changes in the Loess Plateau of China, *PLoS ONE*, 7(2): 1–10.
- Miao, Z. and Marrs, R. (2000), Ecological restoration and land reclamation in open-cast mines in Shanxi Province, *China Journal of Environmental Management*, 59: 205–215.
- Ministry of Environmental Protection (MEP) (2014), Environmental Protection and the Ministry of Land and Resources issued nationwide survey of soil pollution bulletin, 17 April, Beijing: MEP. Available from: [mep.gov.cn/gkml/hbb/qt/201404/t20140417\\_270670.htm](http://mep.gov.cn/gkml/hbb/qt/201404/t20140417_270670.htm).
- Patel, K. (2014), China's food security dilemma, World Policy Blog, 4 June, New York: World Policy Institute. Available from: [worldpolicy.org/blog/2014/06/04/chinas-food-security-dilemma](http://worldpolicy.org/blog/2014/06/04/chinas-food-security-dilemma).
- Qian, W. and Quan, L. (2002), Variations of the dust storm in China and its climatic control, *Journal of Climate*, 15: 1216–1229.
- Sun, X., Canby, K. and Liu, L. (2016), China's logging ban in natural forests: Impacts of extended policy at home and abroad, *Forest Trends Information Brief*, March.
- Tang, Q., Bennett, S. J., Xu, Y. and Li, Y. (2013), Agricultural practices and sustainable livelihoods: Rural transformation within the Loess Plateau, China, *Applied Geography*, 41: 15–23.
- Thiel, A. and Sun, X. (2016), China's logging ban impacts not just its own forestry industry, but others around the world as well, Forest Trends Blog, March. Available from: [forest-trends.org/blog/2016/03/14/chinas-logging-ban/](http://forest-trends.org/blog/2016/03/14/chinas-logging-ban/).
- Tsunekawa, A., Liu, G., Yamanaka, N. and Du, S. (eds) (2014), *Restoration and development of the degraded Loess Plateau, China*, Tokyo: Springer Japan.
- Veldman, J. W., Buisson, E., Durigan, G., Fernandes, G. W., Le Stradic, S., Mahy, G., Negreiros, D., Overbeck, G. E., Velman, R. G., Zaloumis, N. P., Putz, F. E. and Bond, W. J. (2015a), Toward an old-growth concept for grasslands, savannas, and woodlands, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13(3): 154–162.
- Veldman, J. W., Overbeck, G. E., Negreiros, D., Mahy, G., Le Stradic, S., Fernandes, G. W., Durigan, G., Buisson, E., Putz, F. E. and Bond, W. J. (2015b), Tyranny of trees in grassy biomes, *Science Insights*, 347(6221): 484–485.

- Wellesley, L. (2014), *Trade in illegal timber: The response in China*, A Chatham House Assessment, London: Chatham House.
- Wong, G. (2013), *China's war on water scarcity: Gridlines*, London: PricewaterhouseCoopers.
- World Bank (2003), *Implementation completion report on a credit in the amount of SDR 106.3 million (US\$150 million equivalent) to the People's Republic of China for a Loess Plateau watershed rehabilitation project*, Washington, DC: The World Bank.
- World Bank (2006), *Implementation completion report on a loan in the amount of SDR 36.9 million (US\$50 million equivalent) to the People's Republic of China for the second Loess Plateau watershed rehabilitation project*, Washington, DC: The World Bank. Accessible from: [www-wds.worldbank.org/external/default/WDSPContentServer/WDSP/IB/2006/01/20/000011823\\_20060120152438/Rendered/PDF/34612.pdf](http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSPContentServer/WDSP/IB/2006/01/20/000011823_20060120152438/Rendered/PDF/34612.pdf).
- World Bank (2007a), *Project performance assessment report, People's Republic of China, second Loess Plateau watershed rehabilitation project and Xiaolangdi multipurpose project and Tarim Basin project*, Washington, DC: The World Bank. Available from: [www-wds.worldbank.org/external/default/WDSPContentServer/WDSP/IB/2007/10/31/000020953\\_20071031102004/Rendered/PDF/41122.pdf](http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSPContentServer/WDSP/IB/2007/10/31/000020953_20071031102004/Rendered/PDF/41122.pdf).
- World Bank (2007b), *Restoring China's Loess Plateau*, Washington, DC: The World Bank. Available from: [worldbank.org/en/news/feature/2007/03/15/restoring-chinas-loess-plateau](http://worldbank.org/en/news/feature/2007/03/15/restoring-chinas-loess-plateau).
- World Bank (2010), *Rehabilitating a degraded watershed: A case study from China's Loess Plateau*, Washington, DC: World Bank Institute.
- Xinhua Net (2015), China's 13th national plan areas of focus, [in Chinese], *Xinhua Net*, 7 October. Available from: [news.xinhuanet.com/fortune/2015-10/07/c\\_1116746981.htm](http://news.xinhuanet.com/fortune/2015-10/07/c_1116746981.htm).
- Zhang, L., Bai, K., Wang, M. and Karthikeyan, R. (2015), Basin-scale spatial soil erosion variability: Pingshuo opencast mine site in Shanxi Province, Loess Plateau of China, *Natural Hazards*, 80(2): 1231–1230. doi: 10.1007/s11069-015-2019-9.
- Zhao, Y., Wen, T., Yan, J., Sit, T., Yang, S. and Xia, F. (2014), *Land governance in China: Historical context and critical junctures of agrarian transformation*, International Land Coalition Framing the Debate Series, Rome: International Land Coalition.

(陈三攀译; 唐诗校)