

## 困难地带生态恢复技术研究进展

潘红丽<sup>1</sup> 刘兴良<sup>1</sup> 李君成<sup>2</sup> 张利<sup>3</sup> 代英<sup>3</sup> 杨华<sup>3</sup> 宿以明<sup>1</sup> 骆宗诗<sup>1\*</sup>

(1. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081; 2. 重庆市万州森林资源监测中心, 重庆 404000;  
3. 阿坝藏族羌族科学技术研究院, 四川 汶川 623000)

**摘要:** 受损山体边坡、荒漠化(干热/干旱河谷、退化沙地、贫瘠石质地)等困难立地是当今世界最突出的造林困难地带和生态治理重点地区, 被称为地球的“生态癌症”。我国的困难地带大都位于江河源头, 其功能区一般被归为“江河源”和“生态源”。未经治理的困难立地往往是造成环境恶化、水土流失和土地荒漠化的重要因素, 对经济发展和人类生存构成了严重的威胁。生态环境问题是制约世界各国发展的瓶颈, 生态工程是全球生态危机爆发和寻求解决的有效途径。本文总结了国内外目前最先进的困难地带生态恢复的工程技术手段, 旨在为困难立地的生态恢复提供有力科技支撑。

**关键词:** 困难地带; 工程技术措施; 生态恢复

中图分类号: X171.4

文献标识码: A

文章编号: 1003-5508(2013)03-0021-05

## Advances in Researches on Ecological Restoration Technology in Difficult Site Types

PAN Hong-li<sup>1</sup> LIU Xing-liang<sup>1</sup> LI Jun-cheng<sup>2</sup> ZHANG Li<sup>3</sup> DAI Ying<sup>3</sup>  
YANG Hua<sup>3</sup> SU Yi-ming<sup>1</sup> LUO Zong-shi<sup>1\*</sup>

(1. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China;  
2. Wanzhou Forest Resources Monitoring Center in Chongqing, Chongqing 404000, China;  
3. Aba Autonomous Prefecture Science and Technology Institute, Wenchuan 623000, China)

**Abstract:** Damaged mountain slopes and desertification, including hot or hot-dry valleys, degrading sands, poor rock lands, etc., known as the earth's "ecological cancer", are the key areas of afforestation and ecological management in the world. Many difficult site types are located in the source regions of the Yangtze River and the Yellow River in China, and belong to "the river source" and "the ecological source" by their ecological function. The difficult sites would often cause the deterioration of the environment, water loss and soil erosion and land desertification, and even bring about serious threats on the economic development and human survival if no effective managements were conducted. Ecological engineering are the effective ways of solving stubborn environmental problems of difficult site types. In this paper, a summary description is given of the most advanced engineering techniques and means of ecological restoration, aiming to provide strong scientific support for the ecological restoration of difficult site types.

**Key words:** Difficult site type, Engineering technologies, Ecological restoration

生态环境问题是制约全球发展的瓶颈问题。随着全球气候变暖、森林锐减、土地沙化、物种灭绝、工农业生产造成的大气、水环境恶化, 以及粮食、人口、环境、资源等一系列无法避免且因新的问题出现, 生态

收稿日期: 2013-02-26

基金项目: 国家林业局 948 项目“森林-砂防工程治山技术体系引进”(2011-4-77)与“地质灾害多发区滑坡生态毯植被恢复技术引进”(2012-4-74)

作者简介: 潘红丽(1979-), 女, 博士, 主要从事气候变化生态学和生态恢复研究。E-mail: panfreely@126.com

\* 通讯作者: 骆宗诗(1963-), 男, 副研, 主要从事森林生态研究。E-mail: luozongshi168@yahoo.com.cn

问题越来越严峻,全世界掀起了一股治理生态环境的热潮,包括美国“罗斯福工程”、日本“治山计划”、前苏联“斯大林改造大自然计划”、加拿大“绿色计划”、北非五国“绿色坝工程”、印度“社会林业计划”、法国“林业生态工程”、韩国“治山绿化计划”、菲律宾“全国植树造林计划”、中国重点林业生态工程(包括中国“天然林保护工程”、“退耕还林工程”、“三北及长江流域等防护林体系建设工程”、“京津风沙源治理工程”、“野生动植物保护及自然保护区建设工程”、“速生丰产用材林基地建设工程”、太行山绿化工程、沿海防护林工程等)<sup>[1~8]</sup>。这些生态工程无论在当时还是现在都收到了一定成效,对人们更高层次思考生态环境的解决途径具有重要指导意义。然而在全球气候变化的大背景下,不同类型的极度困难立地迅猛出现,对生态恢复及重建提出了新的挑战,以往以自然恢复为主的治理模式已难以达到理想效果,先进的工程治理技术结合植被恢复措施,必然大大提高困难立地类型的生态恢复及其治理成效<sup>[2~16]</sup>。本文综述了国内外目前最先进的困难地带生态恢复的工程研究技术与手段,旨在为困难立地的生态恢复提供有力科技支撑。

## 1 困难地带概念

困难立地(地带)一般指沙地、砾石戈壁、盐碱地、滩涂、崩岗区等自然条件差的土地,或是地形复杂,包括石灰岩裸露山地、受损山体边坡、交通干线工程创面等地方,需要投入大量的人力、物力改良土壤,以及一定的工程措施辅助才能常规造林<sup>[2]</sup>。在这些地方,如果不采用新材料、新技术,树木很难生长,而且困难立地地区大多交通、基础设施较差,生态条件脆弱,因此治理恢复的投入大、见效慢。困难立地的生态治理,已经成为全世界最关注的问题。中国西部荒漠化与沙化、西南干旱河谷、南方岩溶地区石漠化,以及地震重灾区山体崩塌滑坡,是我国典型的生态恢复极困难地区<sup>[13~23]</sup>。

## 2 困难地带生态恢复措施

### 2.1 治山工程

治山工程主要是针对林区范围内,因各种灾害引发的山体坡面崩塌滑坡,山洪泥石流,以及河道淤塞等受损山体而进行的治理和预防<sup>[24~26]</sup>。

#### 2.1.1 治山技术介绍

日本在治山与植被恢复综合技术方面处于国际领先水平。我国在治山工程方面也逐渐积累了很多经验,取得了一些长足进步,尤其是5·12大地震令西部山河破碎,景观巨变,在这样的形势下,行之有效的灾害治理工程技术的引进将直接推动治山事业的发展。主要治山工程技术有木/竹栅栏、土袋阶梯、铁丝笼挡墙、铁丝笼渠系、挡土保坎技术等<sup>[24~25]</sup>。

木/竹栅栏技术:为了防止崩塌土砂下滑,分散地表径流,减轻地表径流对山体表面的侵蚀,稳固山体表面松动的土壤,改善植被恢复环境,在山坡面上相隔3 m~5 m配置木(竹)栅栏工程。木(竹)栅栏工程使用木桩、木材(整竹材)和铁丝。木桩高度为1 m,间隔桩距0.7 m,地上0.5 m,深入地下0.5 m。工程做法是先沿等高线开挖60 cm宽基槽,然后在基槽中部打桩,木材(整竹材)横向扎排,再回填土砂压实。

土袋阶梯技术:适宜在坡度较小、表层土松动的灾毁地表层实施,目的是为了防止挡土工程背面回填土的移动,集中地表径流和减小流水侵蚀,该工程措施适宜与木(竹)栅栏结合、交错设置,即在挡土工程之间斜面长度大约2.0 m的间隔放置土袋,防止砂土下滑,固土定坡,为植被的培育打下基础。

铁丝笼挡土墙技术:适宜应用于崩塌堆积部分,目的是防治崩塌的沙石流失,修正坍塌地斜面坡度,确保植被恢复地的基础稳固以及减小地表水的渗透,增强崩塌堆积土支撑力。

铁丝笼渠系技术:适宜应用于地表径流自然侵蚀形成的侵蚀沟,目的是为了减少地表水对地下土壤的侵蚀,防控侵蚀沟规模扩大,在现存的侵蚀沟内侵蚀较严重的部位设置铁丝笼渠系。

挡土保坎技术:抑制、固定河床内不稳定的泥沙以及坍塌地产生的大量泥沙,作为山坡工程的基础,在坍塌地的垂直下部配置浆砌堡坎,防止泥沙流向下游区域。

#### 2.1.2 典型治山工程介绍

根据治理的针对性和措施,治山工程主要有损毁坡面治理、滑坡泥石流堆积体治理、潜在崩塌及滑坡治理3大种类。

##### 2.1.2.1 山体滑坡治理

山体滑坡治理工程是治山工程最常见的措施之一,主要是针对地震、暴雨等灾害导致的山体局部滑坡后的治理。滑坡面治理主要包括坡面导流,阶梯

护坡,以及植被恢复工程。

坡面处理属于基础性工作,主要清除受损坡面的潜在危险,如一些不稳定的石块和土方,采用机械或人工进行清理,形成相对稳定、规则的坡面。

坡面处理工程完成后,首先须开展合理规划控制坡面排水,使坡面土壤水分和地表水得到控制,因为山体滑坡最主要的因素之一就是土壤水的失调。一般设计为纵向主排水沟,有暗沟和明沟两种形式,针对某些特殊山体坡面,还需设计排水隧道、暗渠等工程,使坡面的土壤水、地表水都得到引导、控制和管理,确保治理后的坡面不因雨水冲刷而造成新的灾害。

此外还须设计完成阶梯护坡工程。该工程主要是设置横山挡土墙进行坡面稳定,其结构有混凝土、浆砌石、铁丝笼、木栅栏以及土袋阶梯工程等类型,用于固定坡面土壤和防止土壤侵蚀。此外,从力学角度还在坡面上配合了其他工程措施,包括混凝土框格、单体水渠工程、横向钻孔固定工程、铆固工程、排桩工程等,各种措施的综合作用使坡面达到稳固状态。

坡面处理完成后,再配套必要的植被恢复措施,加强治理效果,最终达到近自然生态恢复目的。一般选择适生性较强的乡土树种(包括灌木及草种),采取人工种植方式,用草帘覆盖保湿进行植被恢复。

#### 2.1.2.2 滑坡泥石流堆积体治理

滑坡泥石流堆积体主要是大地震等严重自然灾害后形成的坡面治理,具有体量大、不稳定性强、施工作业极困难等特点,滑坡泥石流堆积体基本都位于坡体下方的沟谷等位置,形成大量的堆积体甚至堵塞溪流及河道,是治山工程中涉及面宽、内容复杂、技术要求高的一种类型,其治理耗时长,投资高。

滑坡、泥石流堆积体处理是最基础性工作,主要用大型机械进行降坡与除危,形成基本的施工作业面,再进一步对滑坡、泥石流堆积体逐步进行稳定、平整及清运,形成相对稳定、规则的坡面。

堆积体清除后,按照一定间格设置重型挡墙,挡墙结构主要为钢筋混凝土,确保足够的强度抵挡土石冲击,在挡墙上还可设置相应的排水和泄洪装置,满足水系的导流功能。在挡墙之间再采取钢构、铁丝笼及木石混合等结构建二级挡墙,防止土石滑动和与水的侵蚀,一般依据坡度大小、稳定性进行布设,通过二级挡墙对土石方进行再固定。

在发生滑坡、泥石流后,原有的溪流与沟渠均被破坏,导致排水功能丧失,需要构建新的排水工程,

按照滑坡、泥石流堆积体的走向,结合原有溪流方向,确定主排水渠道的方向,采用工程措施建立钢筋混凝土结构的排水通道,并分别利用挡土墙进行流速与流量的调控。在主排水渠道两侧坡面修建排水支沟进行人工导流,一般有暗沟/渠和明沟/渠两种形式,确保治理后的坡面不因雨水而造成新的灾害。

#### 2.1.2.3 潜在崩塌及滑坡治理

除了受损山体的治理,在某些具有不稳定的地质结构和降水丰沛地区,可能存在不同程度的潜在崩塌及滑坡危险,需要采取预防措施,确保不产生新的危害,这类治山工程具有体量小、针对性强、不易机械化作业等特点,属于精细类治山工程。

针对有滑坡潜在可能的林地,采取人工清除松动石块和土方,再用水泥桩、木桩及挡墙等加固,挡墙大多采用的以石、木结构为主,对钢筋混凝土也用木材做模具,并将木板永久保留,主要是将治山工程与自然环境有机融合,并修建排水渠系进行地表水和土壤水的导流,排水渠系大多采用排水暗管、暗渠方式,使林地景观不受影响,通畅的排水可保证坡面的稳定。为阻止坡面石块下坠,在坡体下部的道路上侧边坡设置人为防护措施,如铁丝网、钢框架、木栅栏以及围栏等设施,避免坠石直接下落产生破坏。

#### 2.1.2.4 岩石边坡生态恢复治理

矿山开采与高速公路修建均可导致岩石边坡裸露,危及生态环境及人身安全。生态工程护坡基于土力学、植物学等学科的基本原理,利用土工格栅的耐久加筋作用,在生态袋中装入土,通过种植灌木、草本等植物,在坡面构建一个具有生长能力的立体生态工程护坡系统,借助系统的自支撑、自组织与自我修复等功能来实现边坡的抗冲刷、抗滑动和生态恢复,达到加固边坡、减少水土流失、维持生态平衡以及美化环境等目的。常用的工程技术有阶梯植被护坡、框格植被护坡、植生带护坡和喷混植生护坡等<sup>[27-28]</sup>。

目前以混喷植生护坡法应用最广,其优点是以重建植被生态系统和生物护坡为目标,兼顾边坡防护和绿化美化环境于一体,其快捷高效的工程特点尚没有其他技术所能替代<sup>[26-29]</sup>。该法适用于开挖后的岩石坡面的植被恢复,尤其对不宜植物生长的恶劣地质环境,如破碎岩、软岩,以及较硬的基岩,均有较明显治理效果。与传统的喷锚、浆砌片石骨架、水泥骨架、挡土墙等措施相比,不但生态效益明显,经济效益也十分显著。

## 2.2 干旱河谷区治理

一般地,干旱河谷区自然条件复杂,垂直分异显著,各种灾害频繁,是典型的生态环境脆弱带。以中国西南干旱河谷为例,历史上由于乱砍滥伐、无休止樵采、放牧和烧垦,加之受地形、地貌、大气环流的综合影响,使森林植被产生逆向演替,生态环境不断恶化,形成干旱、半干旱河谷,部分地段出现荒漠、半荒漠景观,土壤极度贫瘠和环境极度恶劣<sup>[17~21]</sup>。森林植被的破坏,使森林涵养水源、保持水土功能减弱,导致风沙大、塌方、滑坡、泥石流等自然灾害特别严重。而全球气候变暖为主要特征的全球气候变化及极端气候事件、强烈的人类干扰、地震等生态破坏叠加效应正在加剧干旱河谷环境的恶化,如何遏制这种趋势成为当前亟待解决的科学问题。

干旱河谷地带生境恢复及治理的工程技术主要有坡改梯工程,土地整治工程,以及封山育林工程<sup>[2,17,20,21,23]</sup>。

坡改梯工程是实施水土保持的主要内容之一,在干旱河谷和石漠化地区,坡改梯项目显得尤为重要。它不仅能有效防止水土流失,达到保水、保土、保肥效果,且能改善耕地质量,提高土地附加值。其主要原则有:因地制宜,大弯顺向,小弯取直,做到平顺美观;基槽开挖后要进行核验,主要对基础开挖深度、宽度、高度及进行现场确认;选择好石料,防止崩塌,确保挡土强基础牢固稳定,讲究砌筑工艺,控制好坡比及墙顶高程,确保立面平顺整齐。

土地整理是解决土壤干旱和贫瘠的关键措施之一。一般采用局部整地,主要是针对废弃地、旱地、河滩地、荒地等进行整理、复垦、开发,辅助有客土、换土、增施改良剂等。其特点是:蓄水保墒,改善水分状况;改变光照条件,调节土壤温度;提高土壤肥力,改变土壤现有结构;最终目的为,提高造林成活率及促进林木生长。

封山育林传统上以封禁为主,在现代林业指导思想下,对封山育林认识的日益提高,封山育林技术措施日趋科学化,封与育有机结合,更注重不同阶段的育林技术研究。

## 2.3 荒漠化(沙化)区域工程治理

荒漠化是指由于气候变化和人类不合理的经济活动产生的土地退化形式,草原沙化、草场退化和盐碱化等是其表现形式<sup>[22]</sup>。以我国西部地区荒漠化为例,上世纪50年代每年以1 500 km<sup>2</sup>的速度扩大,到上世纪90年代达到2 500 km<sup>2</sup>,目前每年约12%的速度蔓延,严重影响到区域民生及长江黄河中下

游生态安全<sup>[23,21~35]</sup>。建国以来,虽然经过半个多世纪的不懈努力,荒漠化研究和防治取得了显著的成绩,但仍然没有扭转“局部好转,整体恶化”的严峻态势。

依据荒漠化发展程度和治理目标,生态治沙的内容主要是建立人工植被或恢复天然植被,以固定流动沙丘,保护封育天然植被,防止固定半固定沙丘和沙质草原向荒漠化方向发展,营造大型防风阻沙林带,阻止绿洲、城镇、交通和其他经济设施外测的流沙的侵袭,营造防护林网,保护农田绿洲和牧场的稳定,并防止土地退化。

草原沙化治理分为流动沙地治理、半固定沙地治理、固定沙地治理式、露沙地治理等类型。不同类型采取的治理措施各不一样,对沙化程度严重的流动沙地、半固定沙地采用围栏封育、设置沙障(高山柳沙障、拦沙墙、石块沙障、泥土障等)、种植灌木、补播1年生和多年生适生性较强的牧草、进行鼠虫害防治、全封方式,以达到防风固沙,综合治理<sup>[22,31~35]</sup>。此外,营造生物埂也是一项有效的治沙技术,即顺坡隔一定距离等高栽种灌木、草本等植物,或在等高坎上再栽种植物形成地埂,用以拦蓄水土,固定沙土<sup>[36]</sup>。

## 3 困难地带生态治理展望

综上所述,困难立地生态环境十分脆弱,生态演替具有逆向演替特征,其破坏和影响深远,恢复及治理难度超大,以至于“年年栽树不见树,荒山秃林依旧”<sup>[2,17,37,38]</sup>。全面进入工程化,采取工程措施为主、生物措施结合的方式有针对性地进行专项治理,立足长治久安,是经济社会发展后对国家生存发展空间更加重视的必然选择。因此,工程治理是在国家经济社会发展到一定水平后开展的应对自然灾害而采取的必要生态修复活动,是人工促进自然恢复的重要环节之一。为了更好地开展困难立地的治理工作,需要方方面面的保障措施,如国家重视、科技先行、合理规划、保证投入,以及精细施工等。

### 参考文献:

- [1] 李世东. 世界重点工程生态研究[M]. 科学出版社, 2007.
- [2] 胡聃, 奚增均. 生态恢复工程系统集成原理的一些理论分析[J]. 生态学报, 2002, 22(6): 866~877.
- [3] 杨京平, 卢剑波. 生态恢复工程技术[M]. 化学工业出版社, 2002.
- [4] 韦东. 生态工程护坡系统[D]. 大连交通大学, 2004.

- [5] 徐龙. 关于三北防护林体系工程建设思路——以山西、河北省三北防护林工程建设为例[J]. 防护林科技, 2009, (5): 51 ~ 53.
- [6] 唐述杰. 石灰石矿山废弃地生态恢复工程研究[D]. 中山大学, 2006.
- [7] 张信宝, 齐永青. 非干旱造林困难地区植被恢复的科学检讨及建议[J]. 中国水土保持, 2004, 10: 5 ~ 7.
- [8] 邓东周, 鄢武先, 黄雪菊, 等. 四川地震灾后重建生态修复 I: 实施情况及国内外经验[J]. 四川林业科技, 2011, 32(5): 56 ~ 61.
- [9] 王道结, 陈吕容, 周麟, 等. 山地灾害治理中生物工程存在的问题[J]. 山地学报, 2004, 22(4): 461 ~ 466.
- [10] 费世民. 川西南山地生态脆弱区森林植被恢复机理研究[D]. 中国林业科学研究院, 2004.
- [11] 李利江. 困难立地条件抗旱造林综合配套技术[J]. 河北林业科技, 2003, 4: 42 ~ 44.
- [12] 方万祥. 地震灾区森林生态植被恢复技术[J]. 现代农业科技, 2012(2): 200 ~ 201.
- [13] 和浩, 和树华. 高海拔生态脆弱地带生态恢复产业化的前景分析[J]. 中国科技博览, 2009(28): 242 ~ 243.
- [14] 党小虎, 刘国彬, 薛冀. 中国黄土丘陵区水土保持与生态恢复模式[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 72 ~ 80.
- [15] 黄铭洪, 骆永明. 矿区土地修复与生态恢复[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 161 ~ 169.
- [16] 叶建军, 许文年, 王铁桥. 南方岩质坡地生态恢复探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(增1): 2245 ~ 2249.
- [17] 刘彬, 吴福忠, 张健, 等. 岷江干旱河谷山地森林交错带震后生态恢复的关键科学技术问题[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 5893 ~ 5898.
- [18] 刘兴良, 慕长龙, 向成华, 等. 四川西部干旱河谷自然特征及植被恢复与重建途径[J]. 四川林业科技, 2001, 22(2): 11 ~ 17.
- [19] 杨兆平, 常禹, 杨孟, 等. 岷江上游干旱河谷景观边界动态及其影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(9): 1972 ~ 1976.
- [20] 王维平. 凉山州干热河谷困难地带生态恢复与重建对策和建议[J]. 四川林业科技, 2012, 33(1): 77 ~ 79.
- [21] 贾忠奎, 徐程扬, 马履一. 干旱半干旱石质山地困难立地植被恢复技术[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(4): 559 ~ 565.
- [22] 赵建新. 国内外荒漠化状况与西藏防沙治沙[J]. 林业建设, 2007, 1: 25 ~ 28.
- [23] 何锦峰, 樊宏, 叶延琼. 岷江上游生态重建的模式[J]. 生态经济, 2002(3): 35 ~ 37.
- [24] 王雅飞, 喻晓钢, 林琦, 等. 绵竹市灾后生态修复造林技术应用研究[J]. 四川林业科技, 2012, 33(5): 80 ~ 84.
- [25] 鄢武先, 桂林华, 骆建国, 等. 日本的山地灾害治理考察报告[J]. 四川林业科技, 2012, 33(2): 35 ~ 41.
- [26] 陈长兴, 陈慧. 地震次生山地灾害及其防治对策[J]. 西南科技大学学报, 2009, 24(1): 42 ~ 47.
- [27] 晏晓林, 顾卫, 江源, 等. 公路路域生态工程技术集成体系初探[J]. 第四届全国公路科技创新高层论坛论文集, 2009: 854 ~ 858.
- [28] 姜仲连, 董志良. 岩质边坡的生态恢复工程新技术研究[J]. 地下空间, 2001, 21(4): 318 ~ 322.
- [29] 潘树林, 何鹏, 辜彬. 人工边坡生态恢复抗侵蚀效果研究[J]. 中国水土保持, 2012(4): 32 ~ 35.
- [30] 潘树林, 辜彬, 杨晓亮. 岩石边坡生态恢复工程质量监理[J]. 宜宾学院学报, 2011, 11(12): 89 ~ 94.
- [31] 董强, 韩志强, 王丛. 干旱荒漠区两侧推土路基修筑技术[J]. 公路交通科技, 2012(8): 151 ~ 153.
- [32] 朱俊凤, 朱震达. 中国沙漠化防治[M]. 中国林业出版社, 1999.
- [33] 干友民, 罗元佳, 周家福, 等. 川西北沙化草地生态恢复工程对沙地植被群落的影响[J]. 草业科学, 2009, 26(6): 51 ~ 56.
- [34] 常海军, 陈昕. 半干旱荒漠草原带沙化草地封禁治理效果研究[J]. 中国沙漠, 2007, 27(2): 206 ~ 209.
- [35] 刘朔, 蔡凡隆, 杨建勇, 等. 川西北沙化治理现状及治理区划[J]. 林业调查规划, 2011, 36(3): 122 ~ 126.
- [36] 孙辉, 唐亚, 王春明, 等. 等高固氮植物篱技术——山区坡耕地开发利用的有效途径[J]. 山地学报, 2001, 19(2): 125 ~ 129.
- [37] 隆孝雄. 四川天然林保护和退耕还林工程重点难点技术问题[J]. 四川林业科技, 2003, 24(1): 32 ~ 35.
- [38] 郭增江. 山西省三北防护林工程造林技术模式研究[J]. 山西农业科学, 2008, 36(10): 67 ~ 68.