



博士后文库  
中国博士后科学基金资助出版

# 矿山土地生态系统 恢复力性质、测度与调控

杨永均 著



科学出版社



博士后文库

中国博士后科学基金资助出版

国家自然科学基金青年基金项目：半干旱地区矿山植被活动及恢复力特征与机制研究（41807515）

国家自然科学基金面上项目：矿山土地生态系统恢复力研究 资助出版（51474214）

江苏高校优势学科建设工程资助项目（测绘科学与技术）

# 矿山土地生态系统恢复力 性质、测度与调控

杨永均 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

恢复力是继可持续性科学之后的新理论。本书将恢复力理论引入国土空间生态修复领域,以充实恢复力理论的研究实例、拓展国土空间生态修复的理论基础。本书首先系统地介绍了恢复力理论的起源和发展,采用逻辑演绎和非线性动力学方法解析了矿山土地生态系统恢复力的性质,其次利用数学建模方法开发了矿山土地生态系统恢复力的量化指标和测度模型,并揭示了矿山土地生态系统恢复力的调控机理;最后将恢复力理论应用到三个不同类型的矿山研究中。本书内容翔实,提供了丰富的实例、模型、数据和图表,可以帮助读者建立对恢复力的理论认知,拓展恢复力思维。

本书可为恢复生态学、土地整治、自然资源管理、环境评价和规划等相关领域的科学研究人员、工程技术人员、政府管理人员提供参考,也可以作为土地资源管理、生态学等专业教学的参考用书。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

矿山土地生态系统恢复力性质、测度与调控 / 杨永均著. —北京: 科学出版社, 2020.2

(博士后文库)

ISBN 978-7-03-063944-8

I. ①矿… II. ①杨… III. ①矿区-土地资源-生态恢复-研究 IV. ①X321

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 300452 号

---

责任编辑: 杨帅英 白 丹 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 吴兆东 / 封面设计: 图阅社

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

**北京虎影文化传播有限公司** 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2020 年 2 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2020 年 2 月第一次印刷 印张: 11 3/4

字数: 220 000

定价: **128.00 元**

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 《博士后文库》编委会名单

主任：李静海

副主任：侯建国 李培林 夏文峰

秘书长：邱春雷

编委：（按姓氏笔划排序）

王明政 王复明 王恩东 池建 吴军 何基报

何雅玲 沈大立 沈建忠 张学 张建云 邵峰

罗文光 房建成 袁亚湘 聂建国 高会军 龚旗煌

谢建新 魏后凯

## 《博士后文库》序言

1985年，在李政道先生的倡议和邓小平同志的亲自关怀下，我国建立了博士后制度，同时设立了博士后科学基金。30多年来，在党和国家的高度重视下，在社会各方面的关心和支持下，博士后制度为我国培养了一大批青年高层次创新人才。在这一过程中，博士后科学基金发挥了不可替代的独特作用。

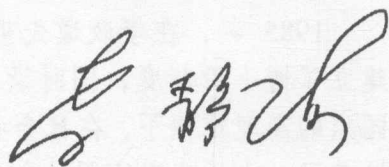
博士后科学基金是中国特色博士后制度的重要组成部分，专门用于资助博士后研究人员开展创新探索。博士后科学基金的资助，对正处于独立科研生涯起步阶段的博士后研究人员来说，适逢其时，有利于培养他们独立的科研人格、在选题方面的竞争意识以及负责的精神，是他们独立从事科研工作的“第一桶金”。尽管博士后科学基金资助金额不大，但对博士后青年创新人才的培养和激励作用不可估量。四两拨千斤，博士后科学基金有效地推动了博士后研究人员迅速成长为高水平的研究人才，“小基金发挥了大作用”。

在博士后科学基金的资助下，博士后研究人员的优秀学术成果不断涌现。2013年，为提高博士后科学基金的资助效益，中国博士后科学基金会联合科学出版社开展了博士后优秀学术专著出版资助工作，通过专家评审遴选出优秀的博士后学术著作，收入《博士后文库》，由博士后科学基金资助、科学出版社出版。我们希望，借此打造专属于博士后学术创新的旗舰图书品牌，激励博士后研究人员潜心科研，扎实治学，提升博士后优秀学术成果的社会影响力。

2015年，国务院办公厅印发了《关于改革完善博士后制度的意见》（国办发〔2015〕87号），将“实施自然科学、人文社会科学优秀博士后论著出版支持计划”作为“十三五”期间博士后工作的重要内容和提升博士后研究人员培养质量的重要手段，这更加凸显了出版资助工作的意义。我相信，我们提供的这个出版资助平台将对博士后研究人员激发

创新智慧、凝聚创新力量发挥独特的作用，促使博士后研究人员的创新成果更好地服务于创新驱动发展战略和创新型国家的建设。

祝愿广大博士后研究人员在博士后科学基金的资助下早日成长为栋梁之才，为实现中华民族伟大复兴的中国梦做出更大的贡献。



中国博士后科学基金会理事长

# 前 言

新时代生态文明建设亟待从系统工程角度寻求修复之道，实现国土空间生态系统的“整体保护、系统修复和综合治理”目标。然而，实现这一目标却面临诸多挑战，一方面，修复的目标、规模、尺度、要素都大大增加；另一方面，修复对象和外部环境都充斥着显著的非平衡动态特征。这些挑战使得传统方法不再有效，甚至面临风险，国土空间生态修复的科学和实践都陷入争议和困惑中。如何理解国土空间生态系统，如何有机组织工程、方法、技术、政策来实现国土空间修复目标，迫切地需要一种新的系统性思维。这种思维既需要充分表达国土空间生态系统的自然规律，又必须能够引导人们做出能达到目标的行动。

恢复力(resilience)一词来源于物理学领域，20世纪70年代该词在生态学领域被抽象化，被定义为系统吸收状态变量、驱动变量和参数的变化并继续存在的能力。尽管这个概念已经被提出40多年，但其价值在近几年才得到广泛重视。恢复力被认为是可持续性的基石，是继可持续性科学之后的一个崭新的理论和实践命题。由于恢复力十分抽象，缺乏实例研究和应用，一度被质疑为一个空洞的流行语，至今仍然存在很多争议。但不论如何，其价值已经在城市规划、灾害应对、自然资源管理领域得到了重视，并在这些领域迅速地掀起了理论和方法范式的革新。但是，大多数研究仍然停留在概念层面，推动恢复力理论的深入化和实用化，特别需要一个具体对象的支撑。

全球超过1%的地表已经被采矿所扰动。矿山具有系统复杂、扰动多样、类型丰富等特点，是一个亟待恢复的国土生态空间。本书以矿山土地生态系统为对象，研究其恢复力的性质、测度和调控方法，以丰富恢复力理论的研究对象、拓展国土空间生态修复的理论基础和思维，为矿山土地复垦与生态修复提供参考。本书首先分析矿山土地生态系统的构成、扰动和动态特征，构建矿山土地生态系统恢复力概念的构思模型，提出矿山土地生态系统恢复力的概念、内涵和要义。随后构建一个非线性动力学模型(VWS\_model)来揭示矿山土地生态系统恢复力的形成机理和基本属性。其次，利用数学建模方法构建了矿山土地生态系统特定恢复力和一般恢复力的测度模型和指标。再次，分析了矿山土地生态系统恢复力调控的机理，包括调控的内涵、原理和实施途径。最后，将恢复力理论应用到三个不同类型的矿山中。

通过上述分析和研究，本书阐述了一些新的科学认识，如恢复力具有物质性、

量性、可塑性三个基本属性；恢复力调控的基本途径是恢复力克服和强化。本书同时开发了实用模型和方法，包括矿山土地生态系统特定恢复力和一般恢复力的测度模型和方法，以及恢复力的适应性调控、恢复力克服和强化的基本原理与方法。恢复力是实现“整体保护、系统修复和综合治理”的理论基础和关键，它决定了系统在各种变化条件下维持其状态的内在能力。恢复力是一个客观存在的系统属性，它引导管理者将系统维持在期望状态。本书所介绍的内容可为恢复力的深入研究提供启发，也可为与矿山及类似对象的生态恢复工程设计和科学研究提供参考。

本书的出版得到了国家自然科学基金项目（41807515、51474214）和中国博士后科学基金的支持。研究过程中，矿山生态修复教育部工程研究中心、自然资源部国土环境与灾害监测重点实验室、江苏省资源环境信息工程重点实验室和江苏贾汪资源枯竭矿区土地修复与生态演替教育部野外观测研究站提供了平台支持。本书写作期间，张绍良教授、侯湖平副教授、陈浮研究员、汪云甲教授、卞正富教授、白中科教授、雷少刚教授、董霁红教授、Peter Erskine 副教授、Alex Lenchner 副教授、David Mulligan 教授、David Doley 教授、Phill McKenna 博士、Bevan Emmerton 博士、王金满教授、陈利顶研究员、徐占军教授和张燕女士等提出了宝贵的建议，在此表示感谢。

由于作者水平有限和时间仓促，书中难免存在不足和疏漏之处，敬请广大同行和读者批评指正。

杨永均

2019年8月

# 目 录

## 《博士后文库》序言

### 前言

第 1 章 绪论	1
1.1 矿山及其生态环境	1
1.1.1 特定的国土空间	1
1.1.2 脆弱的人地系统	2
1.2 矿山土地恢复面临的问题	2
1.2.1 理论瓶颈	2
1.2.2 实践困惑	3
1.3 本书的内容与框架	4
1.3.1 本书内容	4
1.3.2 总体框架	5
1.4 小结	8
参考文献	8
第 2 章 生态恢复力的基本理论	10
2.1 生态恢复力概念及发展	10
2.1.1 生态恢复力的基本概念	10
2.1.2 生态恢复力理论的发展	12
2.2 生态恢复力的基本模型	16
2.2.1 稳定性景观模型	16
2.2.2 适应性循环模型	17
2.3 生态恢复力的测度与建设	18
2.3.1 生态恢复力的测度	18
2.3.2 生态恢复力的建设	19
2.4 生态恢复力的研究趋势	20
2.4.1 生态恢复力的理论研究	20
2.4.2 生态恢复力的实践应用	20
2.5 小结	21
参考文献	22

<b>第 3 章 矿山土地生态系统的基本特征</b> .....	28
3.1 矿山土地生态系统的构成.....	28
3.1.1 矿山土地生态系统的组分.....	28
3.1.2 矿山土地生态系统的结构.....	29
3.1.3 矿山土地生态系统的功能.....	31
3.2 矿山土地生态系统的扰动.....	32
3.2.1 采矿活动的扰动.....	32
3.2.2 复垦或修复的工程扰动.....	38
3.2.3 其他自然或人为扰动.....	40
3.3 矿山土地生态系统的动态.....	41
3.3.1 特征指标的时序变化.....	41
3.3.2 系统动态的综合模式.....	50
3.4 小结.....	55
参考文献.....	56
<b>第 4 章 矿山土地生态系统恢复力的性质</b> .....	60
4.1 矿山土地生态系统恢复力的内涵.....	60
4.1.1 矿山土地生态系统恢复力的概念模型.....	60
4.1.2 矿山土地生态系统恢复力的基本内涵.....	62
4.1.3 矿山土地生态系统恢复力的核心要义.....	63
4.2 矿山土地生态系统恢复力的形成机制.....	65
4.2.1 矿山土地生态系统恢复力的形成基础.....	65
4.2.2 矿山土地生态系统恢复力的形成过程.....	73
4.3 矿山土地生态系统恢复力的属性.....	84
4.3.1 矿山土地生态系统恢复力的物质性.....	84
4.3.2 矿山土地生态系统恢复力的量性.....	86
4.3.3 矿山土地生态系统恢复力的可塑性.....	89
4.4 小结.....	93
参考文献.....	94
<b>第 5 章 矿山土地生态系统恢复力的测度</b> .....	97
5.1 矿山土地生态系统恢复力的测度框架.....	97
5.1.1 矿山土地生态系统恢复力测度的内容.....	97
5.1.2 矿山土地生态系统恢复力测度的程序.....	99
5.2 矿山土地生态系统特定恢复力的测度.....	101
5.2.1 矿山土地生态系统状态与阈值的确定.....	101

5.2.2	矿山土地生态系统特定恢复力指标	106
5.3	矿山土地生态系统一般恢复力的测度	110
5.3.1	矿山土地生态系统一般恢复力指标体系	111
5.3.2	矿山土地生态系统一般恢复力相对指标	115
5.4	小结	119
	参考文献	119
<b>第6章</b>	<b>矿山土地生态系统恢复力的调控</b>	<b>122</b>
6.1	矿山土地生态系统恢复力调控的内涵和作用	122
6.1.1	矿山土地生态系统恢复力调控的内涵	122
6.1.2	矿山土地生态系统恢复力调控的作用	124
6.2	矿山土地生态系统恢复力调控的原理	126
6.2.1	矿山土地生态系统恢复力调控的路径	126
6.2.2	矿山土地生态系统恢复力调控的措施	129
6.3	矿山土地生态系统恢复力调控的实施	135
6.3.1	矿山土地生态系统恢复力调控的实施程序	135
6.3.2	矿山土地生态系统恢复力调控的实施内容	137
6.4	小结	140
	参考文献	141
<b>第7章</b>	<b>矿山土地生态系统恢复力理论的初步应用</b>	<b>143</b>
7.1	实例一：补连沟井工矿山恢复力研究	143
7.1.1	研究区与数据来源	143
7.1.2	问题识别与恢复力具体内涵	145
7.1.3	特定恢复力测度及调控措施	149
7.2	实例二：Curragh 露天矿山恢复力研究	153
7.2.1	研究区与数据来源	153
7.2.2	问题识别与恢复力具体内涵	155
7.2.3	特定恢复力测度及调控措施	158
7.3	实例三：孟家沟采煤迹地恢复力研究	161
7.3.1	研究区与数据来源	161
7.3.2	问题识别与恢复力具体内涵	162
7.3.3	一般恢复力测度及调控措施	166
7.4	小结	169
	参考文献	170

第 8 章 未来展望	172
8.1 总结	172
8.2 展望	173
编后记	176

# 第1章 绪 论

## 1.1 矿山及其生态环境

### 1.1.1 特定的国土空间

矿山是一个特定的国土空间，物理边界常用矿业权界线来确定。实际上，伴随采矿而生的社会生态影响，常使得矿山的边界远远大于矿业权界线。一些时候，整个城市都可以被称为矿山，因为这些城市就是因矿而兴起的。与地球上的城市和农田一样，矿山是一个在自然生态系统基础上，产生的人地耦合关系最密切的国土空间。相比于城市和农田，矿山区域的国土空间所遭受的扰动更彻底，如露天采矿彻底清除地表土壤和植被；井工采矿挖损数米到千米深的地球基岩，所引起的地面沉陷直接改变区域地形；在采矿之后，企业、政府或利益相关者常常不得不投入巨资进行生态重建。与其他人地系统不一样，矿山国土空间不仅要提供矿产资源，还要提供环境安全、生存空间、生态产品等人类福祉。

矿山广泛分布在地球上的各个生物气候区，但主要沿成矿带分布，如富含有色金属的安第斯山脉跨越南美洲 7 个国家。一些矿山还与城市、农业区、生物多样性保护区高度重合。目前，地球上被发现的大多数矿床已经被全部或部分开发，采矿活动已经向深海、深地进发。还没有确切的数字记录地球上一共有多少个矿山，美国地质调查局（United States Geological Survey）的世界矿床数据库（major mineral deposits of the world database）记录了世界上的 1.2 万余个大型矿床，国土资源部 2014 年统计我国有 10 万多个矿山。也没有确切的数字表明全球采矿业扰动了多少土地，有学者估计全球有 1% 的陆地被采矿扰动（Walker, 1999），有研究表明，至 2011 年全球金属采矿扰动了 1.20 万  $\text{km}^2$  土地（Murguía, 2015），中国煤炭和金属矿山 1987~2020 年累计损毁 2.6 万  $\text{km}^2$  土地（周妍等，2013），美国有 0.92 万  $\text{km}^2$  露天采矿迹地（Soulard et al., 2016）。由这些数字可以看出，矿山国土空间是地球陆地地表的一个重要类型，也是当代全球变化的一个重要因素和体现。

### 1.1.2 脆弱的人地系统

矿山作为一个地理学综合概念,常被当作土地利用/覆盖的一个类型。实际上,矿山内部是高度异质化的,通常由复垦场地、采掘场地、排土场、工业广场、原生自然保留地等异质单元组成。由于有人类参与,矿山具有社会、自然、经济多种维度。此外,从地下到地上,矿山拥有一般地球系统常见的要素,如基岩、生物、水等;从采矿前到采矿后,矿山又具有迅速变化的特征。因而,矿山是一个人地系统,这个人地系统就是以土地为骨架的综合体。矿山不仅是景观生态学上的一个空间斑块,也是具有时间和空间概念的生态系统。矿山的生态环境问题,如水土流失、污染、生物多样性损失,常引起人们的质疑。这些生态环境问题还具有空间外溢性,如美国阿巴拉契亚山脉的采煤使得区域受到影响的溪流中的生物总丰富度下降了 53% (Giam et al., 2018)。

矿山人地系统的脆弱性主要体现在两个方面。其一,本底自然生态脆弱。一些矿山位于干旱、半干旱地区,如中亚、澳洲中部,这些地方自然条件差,生态敏感。其二,在采矿扰动和生态重建活动下,一些生态要素被彻底清除或者重组,形成的半人工生态系统较脆弱。因而,恢复矿山生态环境成为世界上主要采矿国家的共识。大多数国家都采取了“谁破坏、谁修复”的原则,将恢复矿山生态环境确定为一个法定责任。矿山恢复的工作包括地质环境治理、土地复垦、生态重建等,这些工作的目的是在采矿之后将矿山恢复到某个状态。在实践中,尽管一些示范性的恢复工程取得了显著的成绩,但仍然有大量的矿山土地因为各种原因处于被遗弃待恢复状态。如何尽可能多地恢复矿山土地,仍然是一个不小的挑战。

## 1.2 矿山土地恢复面临的问题

### 1.2.1 理论瓶颈

我国在实行自然资源的统一管理之后,开始推进国土空间的整体保护、系统修复与综合治理(白中科等,2019)。《全国土地整治规划》(2016—2020年)提出到2020年,我国土地复垦率达到45%以上,矿区土地复垦补充耕地15万 $\text{hm}^2$ 。国际上也提出了生态恢复计划,如《纽约宣言》设定了到2030年恢复3.5亿 $\text{hm}^2$ 森林的目标。这显示出人类迫切地需要恢复自然,从而为可持续发展提供基础。在这些宏大目标下,国土空间修复的目标、规模、尺度、要素都大大增加。

新时期的国土空间修复不再是零星的工程实践，而必须是有计划的、全局性的系统工程，必须在大尺度上构建生态安全格局、在小尺度上发挥生态服务功能。人们也不再局限于某个具体生态要素和功能的恢复，如土壤生产力，并且期待系统功能和结构的整体最优，也不再单纯考虑自然视角下的生态过程，还需要考虑社会维度下的修复动机和生态需求（Perring et al., 2016）。

进入 21 世纪，生态学家意识到非线性动态、连续性环境变化、社会生态交互作用、生态多稳态和阈值效应普遍存在。特别是在全球变化的背景下，自然系统受到多尺度、多方面、多维度因素的影响。传统生态学的“生物与环境关系论”已经发展到现代生态学的“包含一切的整体论”（integral theory of everything），正是因为世界普遍存在着复杂的系统非平衡动态机制（那维，2010）。这种机制在生态恢复实践中显而易见，如湿地在不知不觉中越过阈值，发生富营养化，造成严重后果；一些重建的森林在遭遇干旱扰动时，再次退化；一些矿区土地复垦工程因为没有考虑到土地利用变化，从而被废弃或改造；一些地区工矿废弃地因为没有很好的社会动力机制，所以长期得不到复垦利用，生态恢复难以扩大规模。系统非平衡动态机制使得国土空间生态修复的实践变得复杂，成为国土空间修复的理论瓶颈。

### 1.2.2 实践困惑

在实践方面，人们对国土空间修复的目标、途径、实施过程等方面逐渐产生了困惑。其一，生态修复究竟是将退化系统修复成一个新型生态系统（novel ecosystem），还是使其恢复到退化前的状态（Hobbs et al., 2009）。这实际上是对生态修复目标的争议，关键是退化系统到目标系统之间的阈值是否能越过、是否有必要越过。其二，关于生态恢复途径，是采取积极的人工修复（active restoration）还是被动的自然修复（passive restoration）（Holl and Aide, 2011；胡振琪等，2014），关键是自然的内在能力如何。其三，关于实施过程，应当考虑如何有机组织各种工程、项目，来实现整体保护、系统修复与综合治理目标（高世昌等，2018）。要解决这些困惑，迫切地需要一种新的系统性思维。这种思维既需要充分表达国土空间生态系统的自然规律，又必须能够引导人们做出能达到目标的行动。

多学科交叉的边缘涌现出了恢复力这一新理论。恢复力是继可持续发展之后的研究热点。在恢复生态学观点中，可持续性是指在遭受扰动时有足够的恢复力来恢复到完好状态的自维持系统的持续保存（Clewell and Aronson, 2013）。因而，恢复力被认为是维持可持续性的关键，以恢复力为基础的自然资源管理方法正在不断被革新和广泛接受，但由于恢复力十分抽象，缺乏实践和实例应用，一度被

质疑为一个流行语和政治口号，至今仍然存在很多争议。尽管很多管理者逐渐意识到恢复力对生态恢复可能具有某种潜在价值，但对恢复力的性质、测度与调控方法还缺乏研究，究竟如何实践恢复力理论，仍然是一个令人困惑的难题（Lake, 2013）。因而，推动恢复力理论的深入化和实用化，特别需要具体对象的支撑（Walker and Salt, 2012）。

## 1.3 本书的内容与框架

### 1.3.1 本书内容

#### 1. 生态恢复力的基本理论

该内容包括生态恢复力的基本概念和发展过程、生态恢复力的稳定性景观模型和适应性循环模型，还包括生态恢复力现有的测度方法和建设案例、生态恢复力在理论和实践两个方面的研究趋势。这些内容对应本书的第2章。

#### 2. 矿山土地生态系统的基本特征

该部分主要介绍矿山土地生态系统的基本构成，如组分、功能、结构等；分析采矿和国土空间修复的生态扰动过程。在此基础上，讨论矿山土地生态系统的动态性，包括特征指标的时序变化、综合模式。这些内容对应本书的第3章。

#### 3. 矿山土地生态系统恢复力的性质

根据矿山土地生态系统的扰动及其动态演变特征，本书提出矿山土地生态系统恢复力概念的构思模型，对其内涵进行界定。研究矿山土地生态系统恢复力的形成机理，构建系统演变的动力学模型，对系统的稳态、平衡、分岔等动力学行为进行模拟，揭示其形成过程和主要特征。这些内容对应本书的第4章。

#### 4. 矿山土地生态系统恢复力的测度

基于恢复力性质，构建矿山土地生态系统恢复力的测度框架，提出恢复力测度的主要任务、开发状态和阈值的识别模型，以及特定恢复力的量化指数及其计算方法，揭示一般恢复力的影响因素和量化指数，并分析其性质和含义。这些内容对应本书的第5章。

## 5. 矿山土地生态系统恢复力的调控

分析恢复力及其调控在矿山土地适应性管理中的价值，矿山土地生态系统恢复力调控的方法和措施，以及矿山土地生态系统恢复力调控的策略，包括分析恢复力调控的实施程序和内容等。这些内容对应本书的第6章。

## 6. 矿山土地生态系统恢复力理论的初步应用

为检验矿山土地生态系统恢复力理论在矿山生态修复中的作用和实际价值，本书还引入三个矿山案例，结合案例阐述了矿山土地生态系统恢复力及其测度与调控方法的应用模式。这些内容对应本书的第7章。

### 1.3.2 总体框架

#### 1. 技术脉络

本书的总体技术脉络是：系统调查→系统分析→内涵界定→性质解析→数学建模→测度方法→机理阐释→实例应用和检验。通过这一脉络，逐步将恢复力理论引入矿山土地生态系统中，并构建恢复力在矿山领域的理论框架，如图1.1所示。

在系统调查和分析阶段，基于矿山调研的基础资料，首先介绍了矿山土地生态系统的基本构成、结构和功能，然后分析矿山土地生态系统的扰动形式及其变化，归纳矿山土地生态系统的特征指标、变化规律及其综合模式。

在内涵界定和性质解析阶段，对矿山土地生态系统及其变化进行抽象，提出矿山土地生态系统恢复力的概念模型，以此为基础，界定矿山土地生态系统恢复力的内涵。然后分析矿山土地生态系统动力学过程，采用常微分方程方法建立系统动力学模型，讨论动力系统的运动稳定性，以此揭示矿山土地生态系统恢复力的形成基础和过程，进一步归纳矿山土地生态系统恢复力具备的特征。

在数学建模和测度方法阶段，为提高其恢复力评估方法的实用性，首先研究恢复力评估的基本框架，然后再根据恢复力性质开发恢复力测度的指标和方法，其中恢复力相关指标的开发采用数学方法进行逻辑运算和推理。

首先，在机理阐释阶段，根据矿山土地生态系统可持续性的要求来分析恢复力及其调控的必要性。其次，根据恢复力的基本特征、测度的结果，在不同的可持续目标下，分析如何调节和控制矿山土地生态系统恢复力。再次，结合实际案例讨论恢复力调控的潜在措施。最后，讨论实现恢复力调控应该采取什么样的实施程序和内容。