



# 矿山废弃地 生态修复研究与实践

RESEARCH AND PRACTICE OF ECOLOGICAL REMEDIATION  
OF MINE WASTELAND

周连碧 王琼 代宏文 等 著

中国环境科学出版社

“十一五”国家科技支撑课题 2006BAC09B04 资助

# 矿山废弃地生态修复研究与实践

周连碧 王琼 代宏文 等 著

中国环境科学出版社·北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

矿山废弃地生态修复研究与实践/周连碧, 王琼, 代宏文等著. —北京: 中国环境科学出版社, 2010.12

ISBN 978-7-5111-0381-9

I. ①矿… II. ①周…②王…③代… III. ①矿山—生态环境—环境治理—研究—中国 IV. ①X322.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 192116 号

责任编辑 高速进  
责任校对 尹芳  
封面设计 玄石至上

---

出版发行 中国环境科学出版社  
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)  
网 址: <http://www.cesp.com.cn>  
联系电话: 010-67112765 (总编室)  
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司  
经 销 各地新华书店经销  
版 次 2010 年 12 月第 1 版  
印 次 2010 年 12 月第 1 次印刷  
开 本 787×960 1/16  
印 张 12.75 彩插 24  
字 数 240 千字  
定 价 48.00 元

---

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

# 《矿山废弃地生态修复研究与实践》

## 编委会

主 编 周连碧

副主编 王 琼 代宏文

编 委 李小平 吴亚君 祝怡斌 郑学敏

过世民 孔祥龙 高承家 李 冬

邓禾淼 高继宏 马 玲 张冬松

潘 斌 占幼鸿 王柏莉 陈 斌

甘 霖 冯道永 冷杰彬 吴 缨

## 前 言

我国矿产资源丰富，截至 2010 年，全国已发现的矿产有 171 个矿种，探明储量的已经达到了 159 种，其中 20 多种矿的探明储量位居世界前列，如钨矿、锡矿、锑矿、稀土矿等大约 12 种位居世界第一。探明的储量占到了全球的 12%，从探明的总储量来看，我国仅次于美国和俄罗斯，居世界第三位。中国已成为世界重要的矿产资源大国和矿业大国。

然而，在矿业取得巨大成就的同时，我国矿区生态环境也普遍受到严重破坏。从 20 世纪 50 年代以来，随着国家工业化的发展，生产建设破坏土地的情况十分严重。特别是 20 世纪 80 年代以后，随着生产建设规模的不断扩大和开发速度的加快，对资源破坏规模和程度都远远超过以往，可以说是资源的掠夺性发展。研究报告表示，土地破坏的规模和程度持续增加，复垦形势十分严峻。据粗略估算，目前中国因矿产资源开发等生产建设活动，挖损、塌陷、压占等各种人为因素造成的破坏废弃的土地约 1 300 万  $\text{hm}^2$ ，约占耕地总面积的 10% 以上，而全国土地复垦率仅为 15% 左右。国际上矿地复垦率已经达到 50%~70%，美国因采矿业破坏的土地复垦率达到 85% 以上，德国土地复垦率超过了 90%，远远高于我国 15% 左右的矿地复垦率。由此可见，我国的土地复垦工作任重而道远。

随着国家对矿产资源需求的迅速增加及矿业经济的迅猛发展, 矿山开采造成大规模的土地破坏和植被破坏, 在中国乃至世界, 都是一个十分严重且日益受到高度重视的问题。矿产资源的开发和利用为我国的经济高速发展和城镇化建设作出了极大的贡献, 但也引发一系列难以避免的环境问题。矿山开采特别是露天开采, 不但影响自然景观、造成环境污染, 而且还会造成水土流失, 诱发山体滑坡等地质灾害。采矿活动所形成的废弃地具有众多极端理化性质, 主要表现为物理结构不良、贫瘠、极端 pH 值、重金属含量过高、干旱等, 对矿区景观、土地资源、水环境、生物多样性等均产生巨大影响并危及人类的生存与健康, 影响区域经济的可持续发展。

矿区的生态修复已成为我国生态环境建设的重要组成部分, 通过对废弃矿区的生态修复, 能够有效改善生态环境; 同时结合土地整治, 对土地资源进行综合利用, 缓解人地资源的矛盾; 更为重要的是通过合理规划实施替代产业的发展, 解决由于一些矿山的关停造成的区域当前经济暂时负面影响, 从而实现黑白经济向绿色经济的转变, 安置产业转业人员。通过矿区的生态修复工作, 配合我国社会主义新农村建设, 促进绿色 GDP 的增长, 实现循环经济, 构建和谐社会。

本书的资料主要来自“中澳矿山废弃物研究管理项目”和国家“十一五”科技支撑课题(2006BAC09B04)——有色金属矿山废弃物堆场生态修复技术开发的成果, 是多学科、多专家联手攻关、辛勤劳动的结晶。同时, 本研究得到了铜陵有色金属集团股份有限公司冬瓜山铜矿、中条山有色金属集团有限公司、江西铜业股份集团公司德兴铜矿以及中国铝业股份有限公司广西分公司的大力支持, 在此表示衷心感谢!

本书共分为 9 章，第 1 章概述了矿山废弃地生态修复，包括生态修复的相关概念、理论以及国内外矿山生态修复概况；第 2 章主要阐述了矿山废弃地的特点和其对生态环境的影响；第 3 章主要介绍了矿山废弃地的土壤改良物质和改良措施；第 4 章主要介绍了矿山废弃地生态修复植被选择与配置，并列举了部分适宜的植被类型及名称；第 5 章至第 7 章主要介绍了有色金属矿山典型 3 类废弃物堆场生态修复研究与实践，包括基质的改良、植物的选择与配置、废石酸形成潜势规律、生态修复技术与施工工艺以及工程实践等；第 8 章介绍废弃采石场生态修复研究与实践；第 9 章在上述研究的基础上进行了归纳和总结，编制了土地复垦技术标准。书中所有未直接出现的图例，均可依据相应的编号在书后的附图中查阅。

本书适用于国土、矿山、林业、水利水保、园林、旅游等部门从事项目建设管理、生态环境建设的教学、科学研究、设计和工程技术人员参考。

由于作者知识水平有限，缺点和错误在所难免，恳请专家、学者不吝赐教，以便在日后工作中进一步完善提高，为推动我国对矿山废弃地生态修复的深入研究贡献力量。

周连碧

2010 年 8 月于北京

# 目 录

<b>第 1 章 矿山废弃地生态修复研究概述</b> .....	1
1.1 生态修复的有关概念 .....	1
1.2 矿山废弃地生态修复概念 .....	2
1.3 生态修复概念的内涵及外延.....	3
1.4 矿山废弃地生态修复的主要基础理论.....	4
1.5 国内外矿山废弃地生态修复研究进展.....	10
1.6 国内外矿山废弃地生态修复技术的主要研究动态.....	14
1.7 矿山废弃地生态修复面临的主要问题.....	19
<b>第 2 章 矿山废弃地的特点及其对生态环境的影响分析</b> .....	23
2.1 矿山废弃地的特点 .....	23
2.2 矿山废弃地对生态环境的影响.....	25
<b>第 3 章 矿山废弃地的土壤改良</b> .....	31
3.1 土壤改良的作用 .....	31
3.2 土壤改良的物质 .....	32
3.3 土壤改良的措施 .....	33
<b>第 4 章 矿山废弃地生态修复植被选择与配置</b> .....	39
4.1 植物选择的原则 .....	39
4.2 适生植物的筛选 .....	41
4.3 植物的优化配置 .....	60
<b>第 5 章 赤泥堆场边坡生态修复研究与实践</b> .....	62
5.1 概述 .....	62
5.2 限制赤泥堆场生态修复的因素.....	63
5.3 赤泥堆场边坡生态修复技术研究.....	63
5.4 赤泥堆场边坡生态修复工程实践.....	71



第 6 章 尾矿库生态修复研究与实践.....	82
6.1 概述.....	82
6.2 尾矿库生态修复的特点.....	82
6.3 限制尾矿库生态修复的因素.....	83
6.4 尾矿库生态修复的类型.....	85
6.5 尾矿库生态修复技术研究.....	86
6.6 尾矿库生态修复工程实践.....	100
第 7 章 酸性废石堆场生态修复研究与实践.....	106
7.1 概述.....	106
7.2 限制酸性废石堆场生态修复的因素.....	107
7.3 酸性废石堆场生态修复技术研究.....	107
7.4 水龙山酸性废石堆场边坡生态修复工程实践.....	116
第 8 章 废弃采石场生态修复研究与实践.....	120
8.1 概述.....	120
8.2 限制废弃采石场生态修复的因素.....	121
8.3 废弃采石场生态修复技术研究.....	121
8.4 废弃采石场生态修复工程实践.....	146
第 9 章 土地复垦技术标准研究.....	154
9.1 研究背景.....	154
9.2 标准制定的依据.....	154
9.3 标准研究的方法.....	154
9.4 标准条文.....	156
9.5 标准条文说明.....	172
参考文献.....	191
附图.....	195

# 第 1 章 矿山废弃地生态修复研究概述

## 1.1 生态修复的有关概念

### 1.1.1 生态

生态是指生物圈动物、植物和微生物等及其周围环境系统的总称。生态系统是一个复杂的系统，由大量的物种构成，它们直接或间接地连接在一起，形成一个复杂的生态网络。其复杂性是指生态系统结构和功能的多样性、自组织性及有序性。

### 1.1.2 生态修复

生态修复是相对于生态破坏而言，是为了加速已被破坏的生态系统的恢复，还可以辅助人工措施的生态系统健康运转服务，而加速恢复则称为生态修复；在特定的区域、流域内，依靠生态系统本身的自组织和自调控能力的单独作用，或依靠生态系统本身的自组织和自调控能力与人工调控能力的复合作用，使部分或完全受损的生态系统恢复到相对健康的状态，生态修复应包括生态自然修复和人工修复两个部分。关于“生态修复”，日本学者多认为，生态修复是指外界力量受损生态系统得到恢复、重建和改进（不一定是与原来的相同）。这与欧美学者“生态恢复”的概念的内涵类似。焦居仁认为，为了加速被破坏生态系统的恢复，还可以辅助人工措施，为生态系统健康运转服务，而加快恢复则被称为生态修复。该概念强调生态修复应该以生态系统本身的自组织和自调控能力为主，而以外界人工调控能力为辅。

### 1.1.3 生态恢复

生态恢复是指停止人为干扰,解除生态系统所承受的超负荷压力,依靠生态本身的自动适应、自组织和自调控能力,按照生态系统自身规律演替,通过其休养生息的漫长过程,使生态系统向自然状态演化。恢复原有生态的功能和演变规律,完全可以依靠大自然本身的推进过程。

### 1.1.4 生态重建

生态重建是对被破坏的生态系统进行规划、设计,建设生态工程,加强生态系统管理,维护和恢复其健康,创建和谐、高效的可持续发展环境。对于生态修复,国际上已有相应的科学理论支撑体系,对生态系统退化机理及其恢复途径已有所研究,并被日本、美国及欧洲所应用,取得了良好的效果。

## 1.2 矿山废弃地生态修复概念

矿山废弃地生态修复是指将受损生态系统恢复到接近于采矿前的自然状态,或重建成符合人类某种有益用途的状态,或恢复成与其周围环境(景观)相协调的其他状态。它强调的是动态的过程,而不单是过程的结果。几乎在所有的情况下,开采活动的干扰都超过了开采前生态系统的恢复力承受限度,若任由采矿废弃地依靠自然演替(natural succession)恢复,可能需要100~10 000年。尤其是金属矿开采后的废弃地(如尾矿库),其表面形成极端的生态环境,自然条件下植物几乎无法定居。

矿山废弃地生态修复是一项系统工程,不仅涉及废弃地所处的地质、地貌、水文、植被、土壤等因素,而且还需要岩石力学、生态学、生物学、土壤学、植物生理学、肥料学、园艺学等多个学科的共同参与研究,充分体现了多学科交叉综合的特点。从实践的角度来说,生态修复具有一定的生态、环境、社会和经济效益。而从理论来说,矿山废弃地生态修复也是生态学理论的实践和检验者。因此,矿山废弃地生态修复是在矿山废弃地生态系统的退化、自然恢复的过程与机理等理论研究的基础上,建立起相应的技术体系,用以指导和恢复因采矿活动所引起的退化生态系统,最终服务于矿山废弃地的生态环境保护、土地资源利用和生物多样性的保护等理论与实践活动。

矿山的生态修复通常是指将采矿破坏的土地因地制宜地恢复到所期望状态的

行动和过程，是矿区生态环境综合整治工作的核心。由于各国、各地区生态系统特点的差异与复垦目标和范围的不同，生态修复曾经有过不同的定义。

“复垦”一词，其主要含义是赋予复垦地以农业使用价值。“复垦”一词，其主要含义是赋予复垦地以农业使用价值。从持续发展的观点看，采后土地治理和恢复是为了建立或恢复与当地自然界相和谐的人工生态系统，其实质是“生态修复”。近年来，国内围绕矿区土地复垦研究已渐成“热门”，矿山、土地、农业等的研究领域称其为“土地复垦”；环保研究领域有时称其为“土地复垦”，有时称其为“生态建设”；生态研究领域原称其为“土地复垦”，现常称之为“生态恢复”、“生态重建”或“生态修复”。虽然各类从事研究领域对其有不同的称谓，但从近年研究和实施工程来看，虽名称各异，方向也各有所侧重，但总目标逐渐在趋向一致，趋向于更综合的生态问题。不论称其为生态修复或生态重建，现状已由单纯的工程问题趋向于更高层次的生态问题，或应更明确地称之为复合生态问题。

### 1.3 生态修复概念的内涵及外延

实现生态自我修复，应遵循人与自然和谐相处的原则，控制人类活动对自然的过度索取，停止对大自然的肆意侵害，依靠大自然的力量实现自我修复。它的含义应包括以下三个方面：一要遵循自然生态经济规律；二要充分利用自然资源；三要快速恢复植被。

近年来，有些研究者认为，生态修复的概念应包括生态恢复、重建和改建，其内涵大体上可以理解为，通过外界力量使受损（开挖占压、污染、全球气候变化、自然灾害等）生态系统得到恢复、重建或改建（不一定完全与原来的相同）。按照这一概念，生态修复涵盖了环境生态修复，即非污染的退化生态系统。按照这一内涵，生态修复可以理解为“生态的修复”，即应用生态系统自组织和自调节能力对环境或生态本身进行修复。因此，我国生态修复在外延上可以从四个层面理解：第一个层面是污染环境的修复，即传统的环境生态修复工程概念；第二个层面是大规模人为扰动和破坏生态系统（非污染生态系统）的修复，即开发建设项目的生态系统修复；第三个层面是大规模农林牧业生产活动的森林和草地生态系统的修复，即人口密集农牧业区的生态修复，相当于生态建设工程或生态工程；第四个层面是小规模人类活动或完全由于自然原因（森林火灾、雪线上升等）造成的退化生态系统的修复，即人口分布稀少地区的生态自我修复，正在实施的水土保持生态修复工程及重要水源保护地、生态保护区的封禁管护均属于这一范畴。第二、三、四层面综合起来即为生态恢复学的内容，这四个层面的生态修复可能同一较大区域并存或交叉出现。

## 1.4 矿山废弃地生态修复的主要基础理论

矿山废弃地生态修复的主要基础理论有两部分组成，即土壤重构理论和生态学理论，本章就矿山生态修复的生态学和土壤学方面的理论基础进行简要介绍。

### 1.4.1 生态学理论

矿山废弃地生态修复的生态学理论可以从恢复生态学中找到，恢复生态学是一门在 20 世纪 80 年代得到有力发展的现代生态学分支。自我设计与人为设计理论（Self-design versus design theory）是恢复生态学的重要理论。自我设计理论认为，只要有足够的时间，随着时间的进程，退化生态系统将根据环境条件合理的组织自己并会最终改变其组分。而人为设计理论认为，通过工程方法和植物重建可直接恢复退化的生态系统，但恢复的类型可能是多样的。恢复生态学应用了许多学科的理论，但应用最多、最广泛的还是生态学理论。这些理论主要有：

#### 1.4.1.1 限制因子原理

生态因子是指环境中对生物生长、发育、生殖、行为和分布有直接或间接影响的环境因素，如温度、湿度、食物、氧气、二氧化碳和其他相关生物等。生物的生存和繁殖依赖于各种生态因子的综合作用，其中限制生物生存和繁殖的关键性因子就是限制因子。任何一种生态因子只要接近或超过生物的耐受范围，它就会成为这种生物的限制因子。系统的生态限制因子强烈地制约着系统的发展，在系统的发展过程中往往同时有多个因子起限制作用，并且因子之间也存在相互作用。当一个生态系统被破坏之后，要进行恢复会遇到许多因子的制约，如水分、土壤、温度、光照等，生态恢复工程就是从多方面进行生态环境和生物种群的设计与改造。因此，在进行生态恢复时必须找出该关键因子，找准切入点，才能进行恢复工作。

对矿山废弃地进行植被恢复时，应首先弄清这个地区的多年平均降雨量、热量、土壤、温度等条件，找出生态恢复的限制因子。如岩质坡地绿化的限制因子是植物生长必需的土壤；南方很多土质边坡的限制因子是土壤板结、酸度大；北方边坡的限制因子是缺水。针对这些问题，设计不同的解决方案。

#### 1.4.1.2 生态系统的结构理论

生态系统是由生物组分与环境组分组合而成的结构有序的系统，生态系统的

结构指生态系统中的组成成分及其在时间、空间上的分布和组分间能量、物质、信息流的方式与特点。具体来说,生态系统的结构包括三个方面,即物种结构、时空结构和营养结构。

建立合理的生态系统结构有利于提高系统的功能。合理的生态结构体现在生物群体与环境资源组合之间的相互适应,能充分发挥资源的优势,并保护资源的持续利用。时空结构,应能充分利用光、热、水、土资源,提高光能的利用率。营养结构,应实现生物物质和能量的多极利用和转化,形成一个高效的、无废物的系统。物种结构方面,提倡物种多样性,以有利于系统的稳定和持续发展。根据此结构理论,生态恢复工程中应采用多种生物物种,实现物种之间的能量、物质和信息的流动。

#### 1.4.1.3 生态适应性原理

在与环境的长期协同进化过程中,生物对生态环境产生了生态上的依赖,其生长发育对环境就有所要求,即产生了对光、热、温、水、土等方面的依赖性,如果生态环境发生明显变化,生物就不能较好的生长。因此,种植植物必须考虑其生态适应性,让最适宜的植物生长在最适宜的环境中。生态恢复应该尽量使用当地物种,因为当地物种是经过长期与环境协同进化而来的。

在进行矿山废弃地生态恢复的工程设计之前,要首先调查恢复区的野生植物资源以及自然生长条件,如气候、土壤、光照、温度等,然后根据生态环境因子来选择适合的生物种类,找出与当地环境相适宜物种,使生物种类与环境生态条件相适宜。尤其是中草药、食用菌、牧草、野果、灌木等物种,也可根据物种特性改良土壤,达到有的放矢、有利于当地经济的植被生态恢复。

#### 1.4.1.4 生态位理论

生态位可被表述为:生物完成其正常生命周期所表现出的对特定因子的综合位置,即用某一生物的每一个生态因子为一维,以生物对生态因子的综合适应性为指标构成的超几何空间。在自然生态学中,主要指一个种群在时间、空间上的位置及其与相关种群之间的功能关系。在恢复生态工程中,要避免引进生态位相同的物种,即尽可能使各物种的生态位错开,避免种群之间的直接竞争,保证群落的稳定。

如在矿山废弃地生态恢复过程中,要避免引进生态位相同的物种,尽可能地使物种的生态位错开,避免种间直接竞争,注意维持系统生物多样性,保证群体稳定,如在进行边坡喷播绿化时,应选择冷季型草与暖季型草搭配,灌木和草本结合使用。

### 1.4.1.5 生物群落演替理论

在自然条件下,原有植物群落遭到破坏后,还是能够恢复的,尽管恢复的时间有长有短。

先是先锋植物侵入遭到破坏的地方并定居和繁殖。先锋植物改善了被破坏地的生态环境后,随着其他更适宜物种的生存和繁衍,先锋植物逐步被取代。如此渐进直到群落恢复到它原来的面貌和物种成分为止。

在遭到破坏的群落地点所发生的这一系列变化就是演替。演替有原生演替和次生演替两种基本类型,发生哪一种类型的演替由演替过程开始时的土壤条件所决定。无论是原生演替还是次生演替,都可以通过人为手段加以调控,从而改变演替速度或方向。

恢复生态工程是在生态建设服从于自然规律和社会需求的前提下,在群落演替理论指导下,通过物理、化学、生物的技术手段,控制待恢复生态系统的演替过程和发展方向,恢复或重建生态系统的结构和功能,并使系统达到自维持状态。

实际上,边坡生物群落是在不断演替的。自然状态下,土质边坡与岩质边坡的演替过程和时间是不一样的。而在人工干预下,坡地生态恢复的顺序一般应为:先锋植物(一般人选择草类植物)→当地草种→灌木→乔木(土层太薄不能演绎到乔木)。对岩质边坡而言,先锋植物的选择尤其重要,一般应选择根系发达、生长迅速的草类,同时考虑豆科植物和菌肥的使用。

### 1.4.1.6 生物多样性原理

生物多样性指生命形式的多样化,各种生命形式之间及其与环境之间的多种相互作用,以及各种生物群落、生态系统及其生境与生态过程的复杂性。一般来讲,生物多样性包括遗传多样性、物种多样性、生态系统与景观多样性。

生态恢复中的一个关键成分是生物体,生物多样性在生态恢复计划、项目实施和评估过程中具有重要作用。在生态恢复的计划阶段就要考虑恢复乡土种的生物多样性:在遗传层次上考虑那些温度适应型、土壤适应型和抗干扰适应型的品种;在物种层次上,根据退化程度选择阳生性、中生性或阴生性种类并合理搭配,同时考虑物种与生境的复杂关系,预测自然的变化,种群的遗传特性,影响种群存活、繁殖和更新的因素,种的生态生物学特性,足够的生境大小;在生态系统水平层次上,尽可能恢复生态系统的结构和功能(如植物、动物和微生物及其之间的联系),尤其是其时空变化。

生态恢复工程应最大限度地采取技术措施,如种植先锋植物、进行水肥管理等,还要引进新的物种,配置好初始种类组成,以加快恢复与地带性生态系统相似的生态系统。

## 1.4.2 土壤重构理论

土壤是植物生长繁育的基础,不同土壤的物理、化学特性以及它的水、肥、气、热状况对植物的生育有着重要的影响。植物的健康持续生长,必须以废弃地具有适宜植物生长的土壤环境为前提。因此,废弃地生态修复技术必须遵循土壤学的基本理论,在坡面营造适宜植物生长的土壤环境。

### 1.4.2.1 土壤物理特性

#### (1) 土壤质地

土壤质地指土壤中各粒级含量的百分比。土壤质地一般分为砂土、壤土和黏土三大类。不同质地的土壤具有不同的特性,它直接影响土壤透水、保水、保肥、供肥、通气等肥力特性,与植物生长的关系十分密切。我国的土壤质地分类标准见表 1-1。

表 1-1 土壤质地分类标准

项目		颗粒组成		
组别	名称	砂粒 (1~0.05 mm)	粗粉粒 (0.05~0.01 mm)	细黏粒 (<0.01 mm)
砂土	粗砂土	>70%	—	<30%
	细砂土	60%~70%	—	
	面砂土	50%~60%	—	
壤土	砂粉土	≥20%	≥40%	
	粉土	<20%		
	砂壤土	≥20%	<40%	
	壤土	<20%		
	砂黏土	≥50%	—	≥30%
黏土	粉黏土	—	—	30%~35%
	壤黏土	—	—	35%~40%
	黏土	—	—	40%~60%
	重黏土	—	—	>60%

砂土类土壤砂粒多,粒间孔隙大,毛管作用弱,通气透水,内部排水通畅,不易积聚还原性有毒物质。好气性微生物活动强烈,土壤中有机质分解速度快,易释放有效养分。矿物成分以石英为主,养分含量低,保水保肥性差。热容量较小,土壤温度易升降,变化幅度较大。土粒间黏结性弱。

黏土类土壤的粒间孔隙很小,多为毛细管孔隙和无效孔隙,故通气不良,透水性差,内部排水不良。黏土中一般矿质养分含量高。由于通气性差,有机质分



解慢，易于积聚腐殖质。黏土保水力强，热容量大，增温降温慢，温差小。土粒间黏结力强。

壤土类土壤砂黏适中，兼有砂土和黏土的优点，消除了其缺点，是植物生长比较理想的质地。它既有一定数量的大孔隙，又有相当多的毛管孔隙，故通气透水性良好，又有一定的保水保肥性能。含水量适宜，土温比较稳定，黏性不大。

### (2) 土壤结构

土壤结构是指在内外因素的综合作用下，土粒相互黏结成大小、形状和性质不同的团聚体，这种团聚体称为土壤结构。它影响着土壤中水、肥、气、热状况，从而在很大程度上反映了土壤肥力水平。常见的土壤结构有块状结构、核状结构、柱状结构、片状结构和团粒结构。团粒结构是指形状近似圆球、疏松多孔的小团聚体，其粒径为 0.25~10 mm。

具有团粒结构的土壤，能协调水、肥、气、热诸因素，是最适于植物生长的土壤结构。团粒结构能调节土壤水分与空气的矛盾；能协调土壤养分的消耗和积累的矛盾；稳定土温，调节土壤热状况；有利于植物根系伸展。

### (3) 土壤水分

土壤水分以固态、液态和气态三种形态存在。当水分进入土壤后，会受到土壤中各种力的作用，如土粒表面的分子引力、毛管孔隙的毛管引力、重力等。由于土壤水所受力的大小、性质的不同及其被植物利用状况的差异，一般把土壤水分分为吸湿水、膜状水、毛管水、重力水四种类型。土壤从干燥状态吸水开始，随着水分含量的增加，其形态经吸湿水、膜状水、毛管水和重力水一直到饱和持水量，土壤对水的吸力由 10 亿 Pa 一直降到接近于零。

土壤中各种形态的水分，并非都能被植物吸收利用。其中，可以被植物吸收利用的水分称为有效水，不能被植物吸收利用的水分称为无效水。土壤水分对植物是否有效，主要取决于土壤对水分的保持力及植物根系的吸水力。当土壤水的保持力小于植物的吸水力时，土壤水分就能被植物利用，反之就不能从土壤中吸水。土壤有效水的范围是从田间持水量到凋萎持水量之间的含水量。两者之差就是土壤能保存的最大有效持水量，下简称有效持水量。不同的土壤，其有效持水量差异很大。它主要受土壤质地、有机质含量、结构等的影响。

### (4) 土壤通气性

土壤通气性是指土壤空气与大气空气之间不断进行气体交换的性能。维持土壤适当的同期性，是保证土壤空气质量、维持土壤肥力不可缺少的条件。土壤空气与大气进行气体交换的方式有气体分子的扩散作用、气体的整体交换两种。土壤通气性对植物生长发育的影响是多方面的，主要有影响种子萌发；影响根系的发育与吸收水分、养分的功能影响很大；影响养分的转化，从而影响到养分的形态及其有效性；影响植物的抗病性。土壤通气状况的好坏，对植物生长有很大影