

公路边坡生态恢复及 防护技术的研究

GONGLU BIANPO SHENGTAI HUIFU JI

FANGHU JISHU DE YANJIU

◎ 周斌 著



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

WWW.NEUP.COM

东北师范大学出版社

本专著由湖南工业大学博士点建设经费 (1015/3003) 资助

公路边坡生态恢复及 防护技术的研究

◎ 周斌 著



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS
WWW.NNUP.COM

东北师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

公路边坡生态恢复及防护技术的研究 / 周斌著. —
长春: 东北师范大学出版社, 2017.10
ISBN 978-7-5681-3882-6

I. ①公… II. ①周… III. ①公路路基—边坡—生态
恢复—研究 IV. ①U418.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第254079号

☐ 策划编辑: 王春彦

☐ 责任编辑: 卢永康

☐ 封面设计: 优盛文化

☐ 责任校对: 时星燕

☐ 责任印制: 张允豪

东北师范大学出版社出版发行
长春市净月经济开发区金宝街118号(邮政编码: 130117)

销售热线: 0431-84568036

传真: 0431-84568036

网址: <http://www.nenup.com>

电子函件: sdcbs@mail.jl.cn

河北优盛文化传播有限公司装帧排版

北京一鑫印务有限责任公司

2018年2月第1版 2018年2月第1次印刷

幅画尺寸: 170mm×240mm 印张: 16 字数: 298千

定价: 58.00元

前言

近年来,我国不断加大对公路建设尤其是高速公路的投资力度,截至2016年底,公路总里程已达469万千米,其中高速公路里程已突破13万千米,增速全球第一。“十二五”期间,我国高速公路投资取得了巨大成绩,通车里程位列世界第一。“十三五”期间增长势头将延续,预计2020年全国高速公路通车里程可达16万千米。

公路建设在快速发展的同时,难免会对环境产生一些负面的影响,其中进行边坡开挖就会对原有的地形地貌、自然景观及生态系统功能造成严重破坏。边坡的稳定性和抗灾能力,不仅对当地居民和生态环境具有重大影响,还对公路运营和行车安全具有无法忽视的影响。因此,在公路交通基础设施建设中,加强对公路边坡的生态恢复或重建,已成为公路交通行业实现“绿色发展”及可持续发展的一项重要任务。

随着全国“绿色通道建设”的大力推进,边坡生态恢复工程作为改善路域生态环境的重要举措,得到了大规模实施。与此同时,边坡生态恢复研究成为众多领域的热点和重点,边坡生态恢复技术正发展成一种涉及恢复生态学、植被生态学、土壤生态学、岩土工程学、材料科学、园林园艺学等多学科的综合性工程技术。

本书内容共分为十章,第1、2章主要是概括性的基本理论,介绍了公路边坡概论及生态恢复理论;第3章简要回顾了国内外公路边坡生态恢复技术的研究进展,提出了公路边坡生态恢复的发展思路;第4章阐述了公路边坡生态防护技术;第5、6、7、8章分别从植被恢复原理、边坡土壤恢复与重建、植被防护及建植设计、植被建植施工及养护几个方面阐述了边坡生态恢复的理论体系与技术体系;第9、10章从应用的角度出发,介绍了边坡生态防护工程及工程效果评价。

本书将理论与工程应用研究相结合,在积累前人研究成果、借鉴国外相关经验的基础上,针对公路边坡生态恢复及防护问题进行了深入的理论研究和体系研究,力争满足业内相关人员对生态恢复理论及工程技术知识系统性掌握的需求。

因笔者理论水平、实践经验有限,本书难免存在不足之处,敬请各位同行、专家和读者批评指正!

目录

第 1 章	公路边坡概论	001
1.1	边坡的概述及成因	001
1.2	边坡分类及其特点	002
1.3	公路边坡的主要生态问题	008
第 2 章	生态恢复理论及边坡生态恢复	012
2.1	生态恢复的概述及特点	012
2.2	生态恢复理论	013
2.3	边坡生态恢复的必要性和功能	023
2.4	边坡生态恢复目标与评价	027
第 3 章	公路边坡生态恢复研究进展	030
3.1	国内公路边坡生态恢复研究进展	030
3.2	国外公路边坡生态恢复研究进展	033
3.3	公路边坡生态恢复发展思路	036
第 4 章	公路边坡生态防护技术	041
4.1	边坡稳定评估方法	041
4.2	坡面植被防护技术	061
4.3	工程与植被结合防护技术	093
第 5 章	植被恢复原理及生态分析	099
5.1	植被恢复原理及要求	099
5.2	植被恢复实现模式	106
5.3	植被恢复生态分析	108
5.4	植被恢复的难点问题	112

第 6 章	边坡土壤恢复与重建	116
6.1	公路边坡土壤概述	116
6.2	边坡土壤恢复与重建	128
6.3	边坡表土利用	136
第 7 章	植被防护及建植设计	139
7.1	植被防护原理	139
7.2	土壤 - 植被系统理论	147
7.3	植物群落的恢复与重建	150
7.4	乡土植物及其应用	167
第 8 章	植被建植施工及养护	172
8.1	植被建植技术及边坡适用性分析	172
8.2	植被建植施工	192
8.3	养护管理	195
第 9 章	边坡生态防护工程实施	198
9.1	边坡生态防护工程型式	198
9.2	常见坡面植生材料	206
9.3	坡面客土喷播植被防护	212
9.4	土工合成材料生态防护	219
第 10 章	工程效果评价	220
10.1	评价指标体系	220
10.2	评价方法	224
10.3	评价流程	225
第 11 章	工程案例分	228
11.1	户洋高速公路边坡防护工程分析	228
11.2	云湛高速公路边坡防护工程分析	234
参考文献		244

第 1 章 公路边坡概论

1.1 边坡的概述及成因

1.1.1 边坡的概述

在穿越山区、丘陵地区的铁路、公路两侧，随处可见各种类型的边坡。“边坡”这个名词的出现已经有很长时间了（至少有上百年），但却一直没有一个准确且能被工程领域普遍接受的定义。

从边坡分类和边坡防护的角度出发，并考虑到边坡与人类的关系，本书认为，作为一个常用专业术语，“边坡”应有如下含义：边坡，又称斜坡、坡体或坡面，一般是指由自然作用或人为作用（工程活动）形成的，具有倾斜临空面的岩土体，其位移和变形往往对周边环境造成不良影响。它是人类工程活动中最基本的一种地质环境，也是公路工程建设中最常见的路基工程形式之一。

边坡的简化外形和构成要素（图 1-1）。

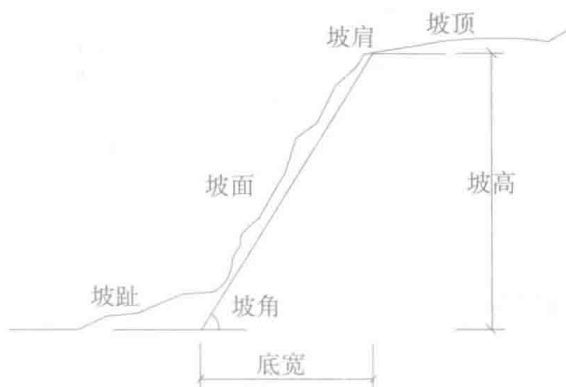


图 1-1 边坡外形和构成要素简图

1.1.2 边坡的基本属性

1. 坡质

坡质即边坡的组成物质，对边坡的各种性质具有决定性影响。边坡工程中涉及

的岩质边坡、岩质土边坡和土质边坡（俗称）就是根据坡质进行分类的。

2. 坡度

坡度是指边坡陡缓的程度，对边坡的稳定性有直接影响，也决定着地表侵蚀作用和水土流失的强度、土层厚度及植物生长适应程度等。边坡工程中常用坡度或坡比参数描述边坡，可表达为：

$$\text{边坡坡度（或坡比）} = H（\text{高}）/ B（\text{底宽}）$$

为方便比较，该比值在工程中经常换算为 $1:k$ ，其中， $k = B/H$ 称为坡度系数或坡率。实际应用中很少对坡度和坡率加以区分。

边坡工程中，一般将坡度小于 15° 、 $15^\circ \sim 45^\circ$ 、 $45^\circ \sim 60^\circ$ 、大于 60° 的边坡分别称为缓坡、中坡、陡坡和急坡。

3. 坡面粗糙度

坡面粗糙度是指边坡表面的粗糙程度，它在很大程度上影响着土壤和基质的附着。计算时，采用坡面倾斜线上两点的坡面距离与两点的直线距离比值乘以坡面上最低点到最高点的距离（高差），可表达为：

$$k（\text{破面粗糙度}）= w（\text{破面倾斜度}）/ L（\text{两点的直线距离}）\times d（\text{最低点到最高点的距离}）$$

1.1.3 边坡的成因

边坡的成因可分为自然成因和人为成因。自然成因是指在自然界的各种地质构造运动、火山岩浆运动、侵蚀堆积运动（如崩塌、滑坡、泥石流、蠕动）等作用下所形成的地表倾斜，这种边坡称为自然边坡。人为成因则是指由于人类生活和生产活动（挖掘、堆积、回填等）所形成的地表倾斜，这种边坡称为人工边坡。

未经人类改造，即使有少量的人类活动，也不足以改变其根本性状的边坡，才能称为自然边坡。自然边坡若经过人类改造，形态和性状发生了显著改变，则应称为人工边坡。

1.2 边坡分类及其特点

1.2.1 边坡的分类

为了从不同的角度认识边坡的性质和存在的问题，进而采取适当的工程措施防治边坡病害以确保边坡稳定，有必要从不同方面对边坡进行分类。

1.2.1.1 边坡的一般分类方法

按形成原因，可将边坡分成自然边坡和人工边坡（如前所述）。但实际工程中，

按坡面物质分类最为常见，即可将边坡分为岩质边坡、岩质土边坡和土质边坡。除此之外，还可按边坡形态（坡高、坡长、坡度、坡向、坡面形态和起伏程度）和状态（稳定性和水文情况），将边坡分成不同类型（表 1-1）。

表 1-1 边坡一般分类

分类依据	名 称	简 述
坡面物质	岩质边坡	也称为岩石边坡或石质边坡，由岩石构成，无土壤又可按岩石类型（岩性）、岩石风化程度、岩体结构、岩层倾向与坡向关系细分成若干亚类，详见表 1-2
	岩质土边坡	也称为碎石土边坡或土石边坡，由砾石和土混合构成，岩质土中粒径大于 2mm 的土颗粒含量超过 50% 或略小于 50%（几乎不含有机物，肥力极差）
	土质边坡	也称为土边坡或土坡，由砂土、粉土、黏性土（粉质黏土和黏土）等构成，粒径小于 2mm 的土颗粒含量达 100%（以生土为主，有机物含量低，肥力较差），按土质可分为砂土边坡、粉土边坡和黏性土（粉质黏土和黏土）边坡
坡高	超高边坡	岩质边坡坡高大于 25 m，土质边坡坡高大于 15 m
	高边坡	岩质边坡坡高 15 ~ 25 m，土质边坡坡高 10 ~ 15 m
	中高边坡	岩质边坡坡高 8 ~ 15 m，土质边坡坡高 5 ~ 10 m
	低边坡	岩质边坡坡高小于 8 m，土质边坡坡高小于 5 m
坡长	长边坡	坡长大于 300 m
	中长边坡	坡长 100 ~ 300 m
	短边坡	坡长小于 100 m
坡度	缓坡	岩石边坡坡度小于 30%，土质边坡坡度小于 20°
	斜坡	岩质边坡坡度 30° ~ 45°，土质边坡坡度 20° ~ 30°
	陡坡	岩质边坡坡度 45° ~ 90°，土质边坡坡度 30° ~ 45°
	倒坡	岩质边坡坡度大于 90°
坡向	向阳边坡（阳坡）	坡面朝南（北半球，南半球相反）
	阴阳边坡	坡面朝东或朝西，可细分为半阳坡和半阴坡
	背阳边坡（阴坡）	坡面朝北（北半球，南半球相反）

续 表

分类依据	名 称	简 述
坡面形态	直形坡	坡面平直
	凸形坡	坡面上缓下陡
	凹形坡	坡形上陡下缓
	复合形坡	凹凸相间、坡形多变
起伏程度	平整坡	坡面基本平整，无较大凹凸
	凹凸坡	坡面凹凸不平，有较大坑穴
稳定性	稳定边坡	稳定条件好，不会发生破坏，可以直接进行生态恢复施工
	欠稳定边坡	稳定条件差或已发生局部破坏，必须处理使之达到稳定后才能进行生态恢复施工
	危险边坡	坡面物质极不稳定，随时有坍塌或掉落的可能性
水文情况	干燥边坡	下雨后坡面干燥快，夏天干旱超过 10 天，坡面植物缺水
	潮湿边坡	坡面有少量地下水从岩石缝隙渗出，夏天能忍受连续 40 天干旱而坡面植物不枯
	滴水边坡	坡面有较多地下水活动，夏天即使连续干旱 60 天，坡面仍然潮湿
	涌泉边坡	坡面有泉水活动，常年涌水

另外，边坡还可根据土质和岩石类别进一步细分，通常前者采用《建筑地基基础设计规范》（GBJ50007—2002）的分类标准（如图 1-2）；后者采用地质学和《岩土工程勘察规范》（GB50021—2001）的分类标准（表 1-2 所示）。

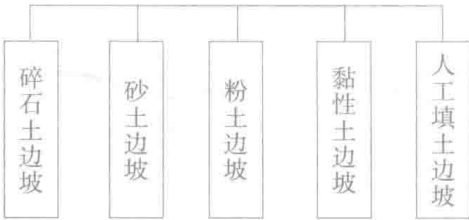


图 1-2 土质边坡分类框图

表 1-2 岩质边坡分类

分类依据	亚类名称	简 述
岩石类型	岩浆岩边坡	由岩浆岩构成，可细分为侵入岩边坡和喷出岩边坡
	沉积岩边坡	由沉积岩构成，可细分为碎屑沉积岩边坡、碳酸盐岩边坡、黏土岩边坡、特殊岩（夹有岩盐、石膏等）边坡
	变质岩边坡	由变质岩构成，可细分为正变质岩边坡和副变质岩边坡
岩石风化程度	未风化边坡	坚硬岩石，岩质新鲜，偶见风化痕迹，浸水后基本无吸水反应
	微风化边坡	坚硬岩石，岩石结构基本未变，仅节理面有渲染或略有变色，有少量风化裂隙，浸水后大多无吸水反应
	中（弱）风化边坡	较坚硬岩石，岩石结构部分破坏，岩节理面有次生矿物，风化裂隙发育，岩体被切割成岩块。用镐难挖，岩芯钻方可钻进，浸水后有轻微吸水反应
	强风化边坡	较软岩石，岩石结构大部分破坏，矿物成分显著变化，风化裂隙很发育，岩体破碎用镐可挖，干钻不易钻进，浸水后可用指甲刻出印痕
	全风化边坡	极软岩石，岩石结构基本破坏，但尚可辨认，有残余结构强度，可用镐挖，干钻可钻进，浸水后可用手捏成团
	残积土边坡	岩石组织结构全部破坏，已风化成土状，锹镐易挖掘，干钻易钻进，具可塑性
岩体结构	整体结构边坡	边坡岩体节理裂隙不发育，由巨块状岩浆岩、变质岩或巨厚层沉积岩构成，整体性好，岩体稳定，可视为均质弹性各向同性体，破坏时局部滑动或坍塌
	块状结构边坡	边坡岩体成块状结构由厚层状沉积岩、块状岩浆岩或变质岩构成，完整性较好，岩体基本稳定，结构面互相牵制接近弹性各向同性体破坏时局部滑动或坍塌
	层状结构边坡	边坡岩体成层状结构，由多韵律薄层、中厚层状沉积岩或副变质岩构成，结构体多为层状或板状，有层理、片理、节理，常见层间滑动变形和强度受层面控制，可视为各向异性弹塑性体。稳定性较差，可沿结构面滑塌，软岩可产生塑性变形
	碎裂结构边坡	又称网状结构边坡。由构造影响严重的破碎岩层构成，岩体成碎裂状结构结构体多为碎块状，断层、节理、片理、层理发育整体强度很低，并受软弱结构面控制，呈弹塑性体，稳定性很差，易发生规模较大的岩体失稳，地下水加剧失稳
	散体结构边坡	边坡岩体成散体状结构，由断层破碎带、强风化及全风化带的极易破碎岩体构成，结构体多为碎肩状，且多充填黏性土，构造和风化裂隙密集，结构面错综复杂，完整性遭极大破坏，稳定性极差，接近松散体介质，易发生规模较大的岩体失稳，地下水加剧失稳

续 表

分类依据	亚类名称	简 述
岩层走向、倾向与坡面走向、倾向关系	顺向边坡	又称顺层边坡，二者基本一致
	反向边坡	二者走向基本一致，但倾向相反
	斜向边坡	二者走向成较大角度（ $>45^{\circ}$ ）相交
	直立边坡	二者走向接近垂直

在边坡工程领域，为了避繁就简，并考虑到可操作性、实用性，可先将地质特征（坡面物质、坡体创面高度和坡度等）作为边坡分类的标准，再按照岩石类别、风化程度以及形态、水文状况、岩石坚硬程度（软质岩、硬质岩）等情况进一步细分。

1.2.2 边坡的其他分类方法

除一般分类方法外，不同国家、不同行业根据区域状况、工程建设或研究需要还有其他的分类方法，现概括如下。

1. 按岩石质量分类

国内外代表性的方法有 RMR-SMR 法和 CSMR 法。RMR 即岩体分类法由 Bieniawski 于 1976 年提出，其主要考虑了完整岩石的抗压强度、岩体 RQD、节理间距、节理条件、地下水这几个特征值，来作为对岩体质量进行量化描述的依据；SMR 即边坡岩体分类法，则充分考虑了岩体结构面特征对边坡稳定性的影响，并且对工程边坡最常见的滑动、倾倒和楔形破坏这三类都做了适当的考虑，然后将计算获得的 SMR 值 20、40、60，分别作为确定边坡破坏、基本稳定、稳定情况良好的判断依据。

CSMR（Chinese System for SMR），即中国边坡岩体分类体系，它是边坡岩体质量（RMR）系统的一种应用。1997 年，在执行国家“八五”科技攻关项目时，中国水利水电边坡工程登记小组将边坡岩体分类体系做了进一步的发展。它是在 RMR-SMR 体系的基础上，引入高度修正系数和结构面条件修正系数，而提出的一种边坡岩体质量评价方法。由于它考虑了各种结构面对边坡岩体质量的影响，同时考虑了坡体开挖高度、开挖方式的影响，因而对大中型边坡设计更有指导作用。

2. 按边坡变形和破坏形式分类

这个分类通常是从物质类别、运动方式、变形速度、变形发展阶段和破坏类型等某一或几个方面进行。

瓦姆斯（D.Vames）按运动方式将斜坡分为：崩落边坡、倾倒边坡、滑动边坡、

侧向扩离边坡和流动边坡 5 种基本类型。

我国铁道部门则将变形边坡分为：滑坡、崩塌、岩堆、错落、坠石、剥落、蠕动、坡面泥石流等。

美国的夏普（C. F. S. Sharpe）等把边坡岩土体顺坡向下的一切运动统称为滑坡，再按岩土体的移动方式、相对速度和物质组成，将其分为：缓慢流动类、快速流动类、滑动类和沉陷类等 4 大类 12 小类。

捷克的扎留巴（Q. Za. Ruba）则按物质类别、滑面形状和移动类型，将边坡变形分为：地表堆积物斜坡移动、泥质岩滑坡、坚硬岩层斜坡移动和特殊类型斜坡移动等 4 大类 13 小类。

张悼元等又根据斜坡的最终破坏形式，将其归并为：崩落（塌）边坡、滑落（坡）边坡和（侧向）扩离边坡 3 种基本类型。

日本的渡正亮按滑坡的发展阶段将滑坡分为：幼年期滑坡、青年期滑坡、壮年期滑坡和老年期滑坡。

1.2.3 边坡情况分析

不同的边坡情况决定了植被建植技术应用的不同，如岩质边坡不能采取铺草皮技术，坡度较陡的边坡上不能种植乔木，不稳定边坡必须要采取工程防护措施等。有关几种边坡情况的分析见表 1-3 ~ 表 1-5。

表 1-3 边坡类型和基质状况

边坡类型	植物生长所需基质状况
土质边坡	一般坡面可直接作为植物生长基质，若土壤肥效贫瘠则需要进行土壤改良或覆盖基质
岩质土边坡	一般坡面进行处理后可直接作为植物生长基质，若土壤肥效贫瘠则需要进行土壤改良或覆盖基质
岩质边坡	需要在坡面上另行覆盖植物生长所需的人工土壤

表 1-4 坡度和植物发育状态表

坡 度	植被生长发育状态
缓于 1:1.7 (30° 以下)	可以恢复以乔木为主的植物群落。周边的本地种容易侵入，植物生长容易。如形成植被覆盖层，边坡表面几乎不发生土壤侵蚀

续 表

坡 度	植被生长发育状态
1 : 1.7-1 : 1.4 (30° ~ 35°)	35° 以下的边坡如果不做植物防护, 周边植物的自然入侵可以形成植物群落
1 : 1.4 ~ 1 : 1.1 (35° ~ 45°)	可以建造以草本覆盖地表, 以中、低高度乔木为主的植物群落
1 : 1 ~ 1 : 0.8 (45° ~ 50°)	可以建造由低矮乔木和草本构成的植物群落。如种植高大乔木, 会带来坡面不稳定
陡于 1 : 0.8 (50° 以上)	如果恢复以草本为主的植被, 必须结合加固坡面的工程措施

表 1-5 边坡稳定性和防护措施表

稳定性	防护措施
稳定边坡	坡度缓和时可只进行生态防护, 坡度较陡时与工程措施相结合
不稳定边坡	生态防护 + 工程防护
极不稳定边坡	生态防护 + 工程防护

1.3 公路边坡的主要生态问题

要在人工坡面顺利完成植被恢复, 必须解决地表基底稳定性、土壤重建与改良、植物群落及物种多样性和坡面水运动 4 个生态问题。

1.3.1 地表基底稳定性问题

保证地表基底的稳定性, 是人工坡面植被恢复的前提条件。由于边坡是一个倾斜的土体, 根据岩土力学原理, 边坡及其表面的物体在重力和其他外力作用下总是存在一种向下运动的趋势, 这种运动趋势就是边坡不稳定性的原因。当各种力的作用达到平衡时, 向下运动趋势受到抑制, 边坡及其表面物体就处于稳定状态。而当这种力的平衡受到破坏时, 向下运动趋势得以释放, 边坡及其表面物体产生位移, 处于不稳定状态。

地表基底不稳定包括表层不稳定、浅层不稳定和深层不稳定。表层不稳定指外力侵蚀不稳定带来的坡体表层水土流失、风蚀; 浅层不稳定指坡面上的表层土体,

在自身重力的作用下,总有一种向坡底运动的趋势,这种重力不稳定能引起坡体浅层失稳;深层不稳定指地下水位的变动以及地质结构的变化带来的不稳定。这几种不稳定之间存在着相互联系,表层(0 ~ 2 m)不稳定促使坡面形成侵蚀沟槽,沟槽的进一步发育造成坡体浅层(2 ~ 5 m)重力失稳,重力失稳的进一步发展又会引发地下水位的变化,造成深层(>5 m)不稳定。

地表基底稳定性问题主要考虑边坡表层的稳定性,即坡面土壤层是否稳定,如果坡面土壤层不稳定,植物生长发育的地表基底就要受到破坏,植物的生存受到威胁,坡面植被恢复也就难以实现。边坡表层或土壤层的厚度因坡质、坡度不同而有所差异,一般可以看成是木本植物根系在地下所能伸展的空间范围(0 ~ 2 m)。在这样一个厚度范围内,通过一些简单的工程措施,如混凝土框格、窗式护面墙、锚杆挂网等,可以在某种程度上抑制降雨等带来的土壤侵蚀,使坡面土壤层处于稳定状态。随着植物根系的发育和枝叶的生长,这些工程措施与植物措施的防护效果融为一体,边坡表层的稳定性会进一步增加。从这个意义上看,植物护坡的效果是有限的,它主要是保证边坡表层的稳定,而对于边坡浅层和深层的不稳定性问题,仍需要依靠锚索、防滑桩等土木工程措施来解决。

1.3.2 土壤重建与改良问题

土壤是植物赖以生存的场所,人工坡面植被恢复的基础工作是解决土壤重建与改良问题。对完全丧失土壤的人工坡面来说,其重点是如何重建土壤(客土、人工土壤),对残留有部分土壤的人工坡面来说,其重点是如何改良土壤。

自然土壤的厚度从几十厘米到几米不等,耕作土壤的厚度也有50 ~ 60 cm,在人工坡面上无论是重建土壤还是改良土壤,要想在短期内完全恢复到原有自然土壤或耕作土壤的状态,几乎是不可能的。但从土壤的剖面来看,自然土壤表层的腐殖质层和耕作土壤表层的耕作层,都是良好的团粒结构,而具有团粒结构的土壤其透气性、渗水性和保水性都很好,既有利于植物种子的发芽,也有利于植物根系的生长。因此,以自然土壤腐殖质层或耕作土壤耕作层的土壤结构为参照,以不同植物(草本、灌木、木本)生存所需最小土层厚度为标准,在人工坡面上重建土壤层或改良土层,是解决公路坡面土壤重建与改良问题的有效途径。

1.3.3 植物群落及生物多样性问题

构建什么样的植物群落,是人工坡面植被恢复的核心问题。在群落设计上需要遵循的主要原则有地带性或地域分异规律原则和群落演替规律原则。

植物是组成植被的单元,它的生长与分布取决于气候、地形和土壤等自然因素,

特别是温度、降水及其因地形变化而产生的再分配即水热组合，它们对植物群落的类型特征起着决定性的影响作用。在自然因素（气候、地形、土壤等）的影响下，我国的植被分布主要表现出由北向南（纬向）、由东向西（经向）、由低向高（垂直）的变化更替，如针叶落叶林、针阔混交林、落叶阔叶林、常绿阔叶林、热带季雨林、热带雨林或灌丛植被、草原植被、荒漠植被等，即地带性分布规律。此外，还有以非地带性为特征的盐生植被、沼泽植被、水生植被等隐域植被的分布，它们呈斑点或条带状嵌入地带性植被类型之中。人工坡面植被的恢复，先要考虑坡面所处地区的地带性植被是什么，构成这种地带性植被的植物群落类型有哪些，然后再选择与坡面立地条件相适宜的植物群落。一般来说，本地种是最能够代表地带性植被的物种，多使用本地种对于构建适合当地环境稳定的植物群落是非常重要的。

人工坡面植被的恢复过程也是植物群落的演替过程。原有植物群落在人类活动干扰下被破坏丧失，新植物群落——人工植物群落又在人类活动干扰下重新建立。而要使人工坡面植被恢复的效果能够长时间的稳定存在，新恢复的人工植物群落能逐渐向自然植物群落过渡，植物群落设计就必须考虑植物群落的演替规律。根据生态学理论，群落的形成过程可简单地分为开敞或先锋群落阶段、郁闭未稳定的阶段和郁闭稳定的阶段。当一个先锋群落在裸地形成后，演替便会发生。一个群落接着一个群落相继不断地为另一个群落所代替，直至顶级群落。旱生植物群落的演替过程（干性演替）分为地衣植物阶段、苔藓植物阶段、草本植物阶段、灌木植物阶段、乔木植物阶段。其中，从草本植物向灌木、乔木植物过渡中所出现的植物群落也称为先锋群落，而最终形成的乔木植物群落（郁闭稳定）则称为顶级群落。

尽管顶级群落是在当地自然环境下最稳定的植物群落，但构成顶级群落的树种初期生长极为缓慢，耐阴性强，而且在贫瘠立地条件下几乎不能生长发育，必须要通过先锋群落改变环境，形成一定厚度的肥沃土壤后，顶级群落才能发育生长。因此，人工坡面植被恢复必须遵循植物群落的演替理论，即从低级向高级、从先锋群落向顶级群落逐渐演变。恢复初期就将群落设计为顶级群落是很难成功的，期望一举建造顶级群落常常会导致欲速则不达的结果。如果人工已经在裸露的坡面上为高等植物的生育创造了良好的土壤环境，可人为加速演替进程，演替可直接从草本群落阶段或草本灌木相结合的群落阶段开始。这里需要注意的是，人工坡面植被群落建造的最终目标是使其形成理想植物群落，而并非一定是顶级植物群落，真正顶级群落的形成，还需要植物在当地自然环境背景的制约下，通过自身的竞争过程逐步完成。高成本条件下过度的人为干扰，不仅不能形成顶级群落，而且往往会导致植物群落逆向演替的发生，所栽植的顶级群落物种最终也要被自然所淘汰。

一般认为，群落的结构越复杂，物种多样性越高，群落也越稳定，并用香农——

维纳多样性指数来表示群落的稳定性。对于人工坡面植被恢复来说,在裸地直接建立起来的人工植物群落,如果能具有较高的物种多样性,理论上其植物群落的稳定性也会增加。但问题是物种之间的竞争能力差异较大,尽管在人工坡面植物群落建植施工时播撒了多种植物的种子,移栽了多种植物的苗木,但并不意味着这些种子都能发芽、这些苗木都能成活,尤其是对于局部坡面来讲,往往只是部分种子发芽,部分苗木成活。其原因在于人工植物群落在与周边自然环境相适应的调整过程中会出现适者生存现象,竞争力强的种子和苗木会淘汰竞争力弱的种子和苗木,物种多样性的高低并不完全取决于初期投入的多少,更多的还是要靠后期周边物种的入侵。因此,在考虑人工坡面植物群落的物种多样性时,所用物种不宜过多,最好是把小范围内相对简单的物种数量与大范围内相对丰富的物种数量结合起来,这样既可以保证初期不同物种在坡面各局部的存活率,又可以为后期物种入侵和多样性增加创造条件。

1.3.4 水运动问题

坡面水运动问题包括表面水运动、底层水运动和深层水运动,是指由大气降水所形成的径流、入渗和地下水位变化对人工坡面所带来的各种影响。表面水运动是指大气降水对边坡表面(人工土壤层表面)产生冲刷,由此造成土壤侵蚀并引发边坡表层不稳定;底层水运动是大气降水入渗到坡面人工土壤层后,如果其底部为不透水的岩石坡面,渗透水会在人工土壤层底部产生聚集并沿不透水面向坡下流动,由此造成人工土壤层的塌落;深层水运动是指暴雨等强降水引起边坡地下水位急升,由此造成坡体软弱面向下滑动(滑坡),或者由于土的剪切强度减少、间隙水压增大,从而带来坡面土体坍塌。

表面水运动和底层水运动问题直接影响坡面人工土壤层的稳定,威胁坡面植物的正常生长和发育,需要采用表面排水和底层排水等措施加以解决;深层水运动问题关系到边坡整体的稳定与否,需要采用地下排水工程措施加以解决。

由此可见,边坡植被系统的重建,想要达到坡面防护和生态恢复的双重目的,必须增加坡面基底的稳定性,改良坡面土壤,并通过播种或移栽等方法重建植物群落,改善排水条件,减少坡面水土流失。这些工作的完成,仅依靠传统技术和方法很难实现,还要依据生态学、土壤学、林学、农学、土木工程学、机械工程学的原理,利用土工材料与植物的结合,通过人工或机械的方法,在坡面构筑一个具有自生长能力的功能系统。在土工材料的辅助下,通过植物的根系固土,植物的叶茎和表皮蒸腾排水、防冲蚀和入渗,控制雨水和风对边坡的侵蚀,增加土体的抗剪强度,减小孔隙水压力和土体自重,提高边坡的稳定性和抗冲刷能力,达到边坡护坡和生态恢复的双重目的。