

# 石砌挡土墙附生树木对墙体与周边环境的影响及其处理措施

## Influence of Epiphytic Trees on Stone Retaining Walls and Surrounding Environment and Measures to Deal with Them

于恒 李艾玲\*

YU Heng, LI Ailing\*

基金项目: 成都大学引进人才启动项目 (编号: 2081923043)

### 摘要

在我国南方湿热地区, 常有榕树等生命力顽强的树种生长在石砌挡土墙砌体间缝隙或伸缩缝中, 形成挡土墙附生树木。挡土墙附生树木的根系扎根于墙后土体中, 也有可能出现根系对墙面形成覆盖的现象。如何评价附生树木对挡土墙稳定性造成的影响以及对它们采取何种适当的处理措施成为城市绿化建设和市政维护中所需要考虑的问题。通过调查附生树木种类与生长条件, 分析附生树木对墙体和周边环境的影响, 主要得到以下结论: 挡土墙附生植物以榕树等根系发达、生命力顽强的树种为主; 挡土墙附生树木的蒸腾作用可以减少墙背填土的含水量, 有利于减小挡土墙墙背土压力, 提高挡土墙的稳定性; 挡土墙附生树木可体现人与自然和谐相处, 也具有减少城市污染、净化空气的生态意义, 可适当保护利用增进城市绿化, 但应注意根据实际情况对枝叶进行修剪; 对生长在挡土墙上根系不发达, 枝干粗壮的附生树木, 应及时移除以避免造成挡土墙失稳或变形。

### Abstract

In the sultry and humid regions of southern China, resilient tree species like the banyan tree often thrive in crevices or expansion joints of stone retaining walls. These trees, referred to as epiphytes or trees attached to stone retaining walls, extend their roots into the soil behind the wall, sometimes resulting in the complete coverage of the wall by the root system. Assessing the impact of these epiphytic trees on the stability of retaining walls and implementing appropriate measures has become a crucial consideration in urban greening construction and municipal maintenance. Through an examination of the growth conditions and types of epiphytic trees, as well as an analysis of their influence on the wall and the surrounding environment, the following conclusions can be drawn: Predominantly, the epiphytic plants on retaining walls are trees with well-developed roots and high vitality. The transpiration process of these epiphytes plays a role in reducing the water content of the soil behind the retaining wall, thereby lessening soil pressure and enhancing the stability of the structure. Trees attached to retaining wall epiphytes symbolize a harmonious coexistence between humans and nature. Beyond their aesthetic appeal, they hold ecological significance by mitigating urban pollution, purifying air, and contributing to overall environmental health. Properly managing and utilizing these epiphytic trees can enhance urban greening efforts. However, it is essential to be mindful of their maintenance. Pruning of branches and leaves should be carried out judiciously, taking into account the specific conditions. Epiphytic trees with underdeveloped roots and thick branches should be promptly removed to prevent potential instability or deformation of the retaining wall. Balancing the preservation of these natural elements with strategic intervention ensures a sustainable and safe urban landscape.

### 关键词

附生树木; 石砌挡土墙; 稳定性; 环境; 处理措施

### Keywords

Epiphytic trees; Stone retaining walls; Stability; Environment; Treatment measures

收稿日期: 2023-10-08

修回日期: 2024-01-26

## 文章亮点

1) 结合现场调查与理论分析, 认为榕树等根系发达的挡土墙附生树木有助于提高挡土墙的稳定性的。2) 挡土墙附生树木体现了人与自然和谐相处的理念, 具有净化空气、减少城市污染等功能, 但需要适当修剪以避免影响挡土墙稳定性, 特别是对于根系不发达、枝干粗壮的附生树木, 应及时移除。

在我国南方地区, 由于气候湿热且降雨充沛, 常有苔藓、蕨类植物、草本植物和小灌木等生长于挡土墙之上<sup>[1]</sup>。部分挡土墙上甚至有乔木生长, 形成挡土墙附生树木。挡土墙附生树木指部分生命力强劲, 依附于挡土墙, 扎根于挡土墙砌块间隙或伸缩缝中生长的树木。相较于其他树木, 挡土墙附生树木生长位置特殊, 与挡土墙共同形成一道独特的风景线。但附着生长于挡土墙墙体的树木会对墙体及周边环境造成何种影响? 是否会对挡土墙稳定性造成影响? 对此类挡土墙附生植物应采取何种处置措施? 这些问题都值得进一步讨论分析。

现阶段, 专门针对石砌挡土墙稳定性与其附生植物之间关系的研究较少, 主要有 Chi Yung Jim 对我国香港地区多座石砌挡土墙附生植物的生长情况、树种等进行了调查, 并提出应制定保护策略来对这一特殊的城市景观和社区资产进行保护<sup>[2-3]</sup>。其他针对植物根系与挡土墙稳定性关系的研究, 则多聚焦于草本植物或灌木类植物根系对土质边坡或公路边坡稳定性影响。在国内, 及金楠等<sup>[4]</sup>以刺槐 *Robinia pseudoacacia* 和侧柏 *Platycladus orientalis* 为例, 应用有限元数值模拟法构建二维造林边坡稳定性分析模型, 研究 2 种植物根系的空间异质性对水平阶整地坡和对照自然坡稳定性的影响。肖培青等<sup>[5]</sup>通过分析黄土丘陵沟壑区不同植被坡面土壤的抗剪切力特性, 研究了植被根系固土减蚀的力学效应。周云艳等<sup>[6]</sup>则以棕榈 *Trachycarpus fortunei* 叶模拟植物根系开展生态袋加筋土挡土墙荷载模拟试验, 研究了植物根系长度对提高挡土墙稳定性的影响。在国外, 主要有 Cohen Denis 等<sup>[7-9]</sup>通过现场调查、室内试验和拉拔试验研究了植物根系的加筋作用, 得到植物根系能够提高河岸、边坡土体抗剪强度, 增加边坡稳定性的结论。

本文将以城市市政建设过程中采用石块或砖块作为砌体材料砌筑形成的挡土墙上的附生树木为研究对象, 开展现场调查与理论分析, 对附生树木对挡土墙稳定性和周边环境的影响, 以及其在城市绿化建设中可发挥的作用进行了分析和讨论, 并对不同类型附生树木的处置措施提出了建议。

## 1 实地调查与结果

挡土墙通常由石材、混凝土等材料建成, 形成的营养贫瘠的环境对植物生长不利。附生树木因附着于挡土墙生长, 往往具有顽强的生命力。笔者对广州市、成都市和重庆市的 5 座石砌挡土墙(石墙)的植物附生情况进行了调查(表 1, 图 1)。在进行调查前, 着重考虑了石砌挡土墙的类型, 所选择的调查对象涵盖了新建的混凝土砌块挡土墙、古代城墙和传统的条石砌筑堡坎等类型, 具有较好的代表性。

由于调查的墙体数量有限, 本文同时使用了文献调研的方法对其他研究人员针对挡土墙附生树种所作调查进行了梳理。Chi Yung Jim 等<sup>[3,10]</sup>对香港地区石墙进行的调查表明, 桑科榕属 *Ficus* 植物是附生植物的优势树种。李婷<sup>[11]</sup>在 2018 年对重庆市 289 块石墙的附生植物生长情况进行调查, 结果显示乔木优势种为黄葛树。Chen Meisi 等<sup>[12]</sup>在 2022 年对澳门地区石墙附生树木的树种进行了调查, 结果显示, 在调查到的 16 种树木中榕树出现的频率最高。结合表 1 所示调查结果可以看出, 挡土墙附生树木以榕属植物为主, 能形成高大树木的也以榕属植物居多。

榕属植物适合生长于炎热潮湿地区, 在我国南方地区以及东南亚、南亚等地分布广泛。榕属植物的一大特点是具有发达的气生根, 其气生根可利用植物株体供给的营养和吸收空气中的水分逐渐长成支柱根, 甚至形成板状根, 根系生长能力极其旺盛<sup>[13]</sup>。一般来说, 可将榕属植物的根分为以下几类:

- 1) 普通根: 与一般树木根系类似, 往下生长于地表以下。
- 2) 地表根: 常见于树干基部, 在地表纵横交错的木质根。
- 3) 气生根: 从树木枝干下侧或主干表面的丝状根。
- 4) 连生根: 原为气根, 接触土壤后长粗及木质化成管状, 部分覆盖主干或树枝表面。
- 5) 根座: 由气根接触土壤后长粗及木质化而成, 是远离主干的柱状支撑支干。

榕属植物的地表根可以大面积生长, 当植株附生于挡土墙时, 地表根往往会覆盖住相当面积的挡土墙表面区域, 形成所谓“树墙”(图 2)。而松树、构等树种不具备发达的地表根, 如果要在挡土墙这种较为贫瘠的条件下生存下去, 就只能深深扎根于墙后的土体中。

## 2 讨论与分析

### 2.1 附生树木的形成条件

结合对 5 座挡土墙的现场调查发现, 挡土墙附生树木生长需要有特定的环境, 挡土墙附生树木的生长与所在地的自然环境、挡土墙自身条件及附生树木的树种有关。

1) 自然环境。挡土墙附生植物的形成需要湿润多雨的气候条件。因附生树木生长于挡土墙之上, 生长环境相对不利, 且挡土墙地势往往较高, 容易出现缺水现象。故一般而言, 湿润多雨地区出现挡土墙附生植物的可能性较高, 较多的雨水可以使挡土墙上附生树木及时得到水分补充, 避免缺水枯萎或死亡。

2) 挡土墙类别。挡土墙按墙体材料可分为石砌挡土墙、混凝土挡土墙、钢筋混凝土挡土墙、钢板挡土墙等<sup>[14]</sup>。一

一般而言，以混凝土或钢材作为面板的挡土墙建筑材料特殊，不利于植物生长，出现附生植物的可能性较低。石砌挡土墙由于其石材之间存在合适的空隙，且表面较为粗糙，能够为部分根系发达、生命力顽强的植物生长提供条件，出现附生植物的挡土墙多属于此种类型。

3) 树种。挡土墙对植物而言，生长环境相对贫瘠，因此只有生命力顽强的树种，如榕树、松树等才有可能生长存活。调查的5座挡土墙上的树木也以榕树这类生命力顽强的树种居多，其他树种相对较少。此外，树种根系的抓握能力、根系穿透能力与根系覆盖范围的大小也会影响挡土墙附生树木的形成，榕树、松树等根系发达有力的树种也有可能形成挡土墙附生树木。

## 2.2 附生树木对墙体的影响

挡土墙附生树木可以分为气根发达及无气根2类。2类附生植物对挡土墙的稳定性的影响也不同，不可一概而论。如当构、松树等不能形成气根的树种生长于挡土墙缝隙之间时，为保证自身获得生存所必需的营养与水分，其必须将根尽可能伸向墙背的土体中。同时，随着树木的生长，树干会不断变粗，从而对挡土墙缝隙形成撑裂作用，不利于墙体稳定。当挡土墙墙面形成的裂缝过大时，则有可能造成挡土墙面板破裂，甚至出现局部垮塌。



图1 5座石砌挡土墙附生树木

Fig.1 Epiphytic trees on five stone retaining walls

表1 石砌挡土墙（含古城墙）附生树木树种

Tab.1 Epiphytic tree species on stone retaining walls ( include ancient city walls)

| 地点                      | 树种                      |                               |                            |                                     |   |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|---|
|                         | 松树<br><i>Pinus</i> spp. | 榕树<br><i>Ficus microcarpa</i> | 黄葛树<br><i>Ficus virens</i> | 构<br><i>Broussonetia papyrifera</i> | 其他树种<br>(樟 <i>Camphora officinarum</i> 等) |
| 华南理工大学南区饭堂东侧挡土墙 (图 1-a) | √                       |                               |                            | √                                   |   |
| 广州市越秀区越秀公园内古城墙 (图 1-b)  |                         | √                             |                            |                                     |   |
| 成都市十陵街道双林路挡土墙 (图 1-c)   |                         |                               |                            | √                                   |   |
| 重庆市东水门古城墙 (图 1-d)       |                         |                               | √                          |                                     | √   |
| 重庆火车站附近某挡土墙 (图 1-e)     |                         |                               | √                          |                                     |   |

不同的树种可产生不同的根分泌物。其中，部分树种的根系能够分泌出包括甲酸、乙酸、乳酸、琥珀酸在内的多种有机酸。上述酸类物质能使岩石溶解，变成粉状土壤，以使树根深扎入石缝之中，并使岩石中的矿物盐类得以分解出来供树木生长所需<sup>[15]</sup>。以生长于挡土墙上的松树为例，其根分泌的酸性物质有可能与偏碱性的石块或混凝土砌块产生酸碱中和反应，对石材或混凝土造成腐蚀，从而影响结构的耐久性。因此，可认为附生于挡土墙的松树对挡土墙的稳定不利。此外，挡土墙上的松树往往是由早期落入砌体缝隙或伸缩缝中的种子生长而成，其树干的增粗将会对砌体缝隙或伸缩缝形成挤压或撑裂，造成缝宽变大。因此，对于此种类型的挡土墙附生树木，应当及时予以清除。

对于具有发达气根系统的榕属附生树种而言，为确保植株的稳定性并尽可能地利用气根来吸取水分，其往往会将地表根铺展开来附着于挡土墙表面，而这些地表根进一步生根之后会再通过其他缝隙进入墙后土体（图3）。当大面积的地表根覆盖住挡土墙表面时，相当于给挡土墙增加了一层保护网，并施加向挡土墙内部的拉力，使得挡土墙更加牢固。此外，根据挡土墙稳定理论<sup>[16]</sup>，要保证挡土墙在土压力的作用下不发生绕墙趾O点的倾覆（图4），必须要求抗倾覆稳定系数 $K_t$ （O点的抗倾覆力矩与倾覆力矩之比）不小



图2 地表根覆盖于挡土墙形成“树墙”  
Fig.2 The ground roots cover the retaining wall to form a ‘Tree Wall’

于1.6，即需要满足：

$$K_t = \frac{Gx_0 + E_{az}x_f}{E_{ax}z_f} \geq 1.6 \quad (1)$$

式中， $E_{ax}$ 为土压力 $E_a$ 的水平分力（kN/m）， $E_{ax} = E_a \cos(\alpha + \delta)$ ； $E_{az}$ 为土压力 $E_a$ 的竖向分力（kN/m）， $E_{az} = E_a \sin(\alpha + \delta)$ ； $G$ 为挡土墙每延米自重（kN/m）； $x_f$ 为土压力作用点离O点的水平距离（m）， $x_f = b - z \tan \alpha$ ； $z_f$ 为土压力作用点离O点的高度（m）， $z_f = z - z \tan \alpha_0$ ； $x_0$ 为挡土墙重心离墙趾的水平距离（m）； $\alpha_0$ 挡土墙的基底倾角（°）；基底的水平投影宽度（m）； $z$ 为土压力作用点离墙踵的高度（m）。

由公式（1）可以看出，挡土墙抗倾覆稳定系数为关于墙背土压力的函数，即：

$$K_t = \frac{Gx_0 + x_f E_a \sin(\alpha + \delta)}{z_f E_a \cos(\alpha + \delta)} \quad (2)$$

对 $K_t$ 求关于 $E_a$ 的一阶导数，可得：

$$K_t' = \frac{-Gx_0}{z_f E_a^2 \cos(\alpha + \delta)} \quad (3)$$

由式（3）可知 $K_t' \leq 0$ 恒成立，故可知在 $E_a$ 的取值范围内， $K_t$ 始终是关于 $E_a$ 的减函数，即 $K_t$ 随着 $E_a$ 的增大而减小， $E_a$ 的增大将不利于挡土墙的稳定。

在夏季暴雨后，墙后填土中的含水量往往会较平常状态显著变大，土体自重增加。此时 $E_a$ 也会变大，根据公式（3）可知 $E_a$ 增大会导致 $K_t$ 下降，不利于挡土墙的稳定。另一方面，挡土墙附生树木存在蒸腾作用，树木根系将大量吸收挡土墙后土体中的水分，并进一步将水分散发到空气中，使得墙后土体含水量减少，进而减小 $E_a$ ，使 $K_t$ 增大，说明挡土墙树木的蒸腾作用可以在一定程度上降低挡土墙倾覆的可能性。然而，在附生树木过于粗壮和枝叶过分繁茂的情况下，特别是在大风天气条件下，挡土墙面临着较严重的稳定性挑战。当大风天气出现时，挡土墙若存在太过粗壮或树叶过分繁茂的附生树木，则此时树冠会形成面积较大的迎风面，风荷载经由“树冠-树枝-树干-根部-挡土墙”路径传递到挡土墙。当传递到挡土墙的荷载超过其刚度或强度时，则可能造成挡土墙墙体的倾斜、位移等变形或滑坡、局部崩塌等问题。此外，附生树木枝叶过于繁茂，也有可能对周边道路、行人、线缆、输电线和建筑物等造成影响。

## 2.3 附生树木对周边环境的影响

### 2.3.1 人文意义

挡土墙附生树木既是一道自然现象，也是人文景观。大部分挡土墙附生植物在无人管理的情况下，仍能生长于挡土墙这种贫瘠之处，其坚韧、顽强拼搏及自力更生的精

神正是人们奋发向前的真实写照，可作为奋斗精神的一种象征<sup>[17]</sup>。此外，在南方部分地区，榕树常常作为传统景观树种被栽种于村落、河畔、祠庙、渡头和桥边等公共场所，其往往承载了人们对乡土的感情<sup>[18]</sup>。作为南方地区人们喜爱的树种，榕树、黄葛树等榕属树种被广泛用于绿化，并成为部分城市的市树<sup>[19]</sup>。总的来说，附生于挡土墙的树木不但可以成为区域地标，而且可以承载附近居民对于居住区域的情感。部分生长于古城墙、历史较长的堡坎上的附生树木，还能够为城市或社区增添历史和文化的层次感，营造出历史沧桑感，成为当地文化传承的一种方式。

### 2.3.2 生态意义

城市中的挡土墙大多位于用地紧张或绿化不易的区域，挡土墙附生植物的存在恰可在不占用空间的情况下弥补绿化



图3 香港科士街挡土墙附生树木

Fig.3 Trees attached to the retaining wall of Forbes Street, Hong Kong

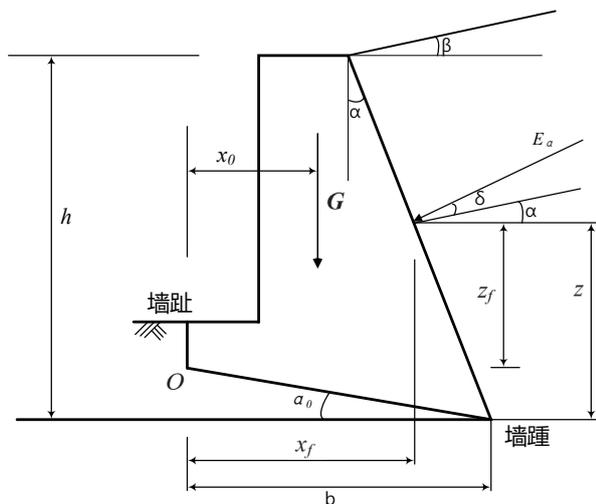


图4 挡土墙的稳定验算示意图

Fig.4 Stability calculate diagram of retaining wall

的不足。在炎热的夏季，挡土墙附生树木还可对道路起到遮荫作用，降低路面温度。此外，挡土墙附生植物可与其他人工绿化植物一起净化空气、吸收空气悬浮微粒，为改善城区环境做出贡献。

良好的城市绿化可以起到改善人居环境、减少扬尘和噪声污染、改善空气质量、缓解城市热岛效应等作用。如果能够适当地利用挡土墙附生植物生命力顽强的特点及降水充沛自然条件，做好边坡、挡土墙、堡坎或自然裸露山体、岩体等城市区域的绿化，将有助于美化城市空间，创造、形成层叠掩映的绿化效果和多维立体的绿色景观<sup>[20-22]</sup>。以重庆市为例，作为典型的丘陵山地城市，重庆市在城市建设中出现了较多的切坡、挡土墙和堡坎，同时大量临山道路狭窄，无足够的绿化空间。为解决这些区域的绿化问题，20世纪50年代末，重庆市制定了《立体绿化规划方案》，方案中特别提到了岩壁垂直绿化。园林绿化部门在市区古城墙、道路边坡、堡坎、悬崖陡壁和石砌挡土墙上种植黄葛树。时至今日，大多数黄葛树已茁壮成长、枝叶繁茂，形成了独特的山城景观。同时，也应注意，若此类附生黄葛树过于粗壮，可能会出现影响邻近居民楼采光、滋生蛇虫鼠蚁等问题，因此，栽种后续的修剪与维护工作同样值得重视。

### 2.3.3 其他

附生于挡土墙的树木，特别是榕树等传统景观树种，可以成为城市的地标。这些独特的景观可吸引游客和居民，树立城市形象，增强城市的辨识度。在“打卡”成为热门城市旅游方式的年代，具有特色的挡土墙附生树木具备较好的“打卡点”建设基础。“打卡点”的形成对于促进附近社区的活跃性、提升附近社区知名度、刺激附近社区的经济都具有一定的积极作用。

### 2.4 挡土墙附生植物的处理措施建议

鉴于不同类型的挡土墙附生树木具有不同的特性，对周边环境造成的影响也有所不同，对待不同树种的附生植物，应当采取不同的措施。

1) 城市中的石砌挡土墙、堡坎、悬崖陡壁、边坡等场所多为土质贫瘠的区域，因此在树木栽种前期应多加浇水施肥。待树木成型后，应对枝干进行合理修剪，以免过分粗壮的枝干对附近的居民楼、线缆等造成影响或干扰。

2) 由于榕属挡土墙附生树木根系较为发达，其根系甚至可以布满墙面，对挡土墙面板形成一定的束缚作用，相当于在墙后的土中进行了加筋。此类附生树木的存在对于挡土墙的稳定是有利的，应对其采取保护。

3) 松树、构类附生树木根系不发达，它们在挡土墙上的最初立足点往往是墙面上的砌块缝隙或伸缩缝。当树干越长越粗，将会对缝隙或伸缩缝形成明显的挤压作用，使得缝隙或伸缩缝进一步变宽，不利于挡土墙的稳定。因此，对于此类根系不发达的附生树木应当及时移除。

4) 南方地区夏季暴雨频发，还可能遭遇台风的袭击。在此类恶劣天气出现时，挡土墙附生树木如果太过高大，有

可能倾倒并威胁下方行人、车辆及其他设施的安全，故应对此类太过高大的树木进行合理修枝或移除。

### 3 结论及展望

通过文献调研、实地调查与理论分析，对挡土墙附生树木的树种及其对墙体、周边环境的影响进行了分析，并对不同类型附生树木的处置方式提出了建议，得到的主要结论如下：

1) 挡土墙附生树木一般出现在气候湿润的地区，石砌挡土墙由于其砌块之间存在较大缝隙，适于部分根系发达、生命力顽强树木的生长。出现附生树木的挡土墙多属于石砌挡土墙。

2) 通过对 5 座挡土墙和古城墙的调查，并结合相关文献资料的梳理，发现挡土墙附生树木以榕树等根系发达、生命力顽强的树种为多，同时也有构等当地树种。

3) 理论分析表明，挡土墙附生植物的蒸腾作用可以减少墙背填土的含水量，有利于减小挡土墙墙背土压力，提高挡土墙的稳定。但树干过于粗壮的附生树木则可能挤压砌体缝隙，造成挡土墙变形或局部破坏。

4) 挡土墙附生树木的存在，具有展现人与自然和谐相处及顽强拼搏精神的人文意义，也具有减少城市污染、净化空气的生态意义。适当利用当地条件与挡土墙附生树木的生长特点，将合适的树种应用于城市边坡、堡坎和挡土墙的绿化中，可实现城市环境美化。

5) 出于避免挡土墙失稳或变形的考虑，应及时移除生长在挡土墙上根系不发达、枝干粗壮的附生树木；榕树类根系发达的附生树木，则可予以保留，但应结合适当修枝等措施，避免枝叶对道路、行人、线缆、输电线和建筑物等造成影响。

在下一步的研究中，将开展更深入的理论分析、模拟计算以及与其他相关领域的交叉研究，更全面地理解挡土墙附生树木的生态和工程影响。

注：图1来自HK Kennedy Town Forbes Street w1 - Category:Stone wall trees in Central and Western District - Wikimedia Commons; 图2来自[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Forbes\\_Street.jpg?uselang=zh](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Forbes_Street.jpg?uselang=zh)，由Jashhk拍摄；其余图片由作者自绘自摄。

### 参考文献：

[1] 陈春谛. 被遗忘的城市“生境”：重庆市墙体自生植物调查分析[J]. 生态学报, 2020, 40 (2) : 473-483.  
[2] Jim C Y. Urban Biogeographical Analysis of Spontaneous Tree Growth on Stone Retaining Walls[J]. Physical Geography, 2008, 29 (4) : 351-373.  
[3] Jim C Y. Old stone walls as an ecological habitat for urban trees in Hong Kong[J]. Landscape and Urban Planning, 1998, 42 (1) : 29-43.  
[4] 及金楠, 张志强, 郭军庭, 等. 黄土高原刺槐和侧柏根系固坡的有限元数值模拟[J]. 农业工程学报, 2014, 30 (19) : 146-154.  
[5] 肖培青, 姚文艺, 刘希胜, 等. 植被固土减蚀作用的力学效应[J].

水土保持学报, 2013, 27 (3) : 59-62.

[6] 周云艳, 钱同辉, 宋鑫, 等. 植物根系长度对生态袋加筋土挡墙稳定性的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36 (13) : 102-108.

[7] DENIS C, MASSIMILIANO S. Tree-root control of shallow landslides[J]. Earth Surface Dynamics, 2017, 5 (3) : 451-477.

[8] HUBBLE T, DOCKER B B, RUTHERFURD I. The role of riparian trees in maintaining riverbank stability: A review of Australian experience and practice[J]. Ecological Engineering, 2010, 36 (3) : 292-304.

[9] SCHWARZ M, COHEN D, OR D. Root-soil mechanical interactions during pullout and failure of root bundles[J]. Earth Surface Dynamics, 2017 (5) : 451-477.

[10] JIM C Y, CHEN W Y. Habitat effect on vegetation ecology and occurrence on urban masonry walls[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2010, 9 (3) : 169-178.

[11] 李婷. 重庆都市区石墙植物组成特征及成因[D]. 重庆: 重庆大学, 2018.

[12] CHEN M, HUANG S, CHEN Z, et al. Species characteristics and cultural value of stone wall trees in the urban area of Macao[J]. Scientific Reports, 2022, 12 (1) : 1562.

[13] 余莉. 榕树气生根的园林应用及引根技术调查[J]. 广东园林, 2011, 33 (1) : 57-60.

[14] 潘磊, 刘明. 挡土墙的类型和适用条件[J]. 黑龙江交通科技, 2009, 32 (4) : 68, 70.

[15] 朱永官, 段桂兰, 陈保冬, 等. 土壤-微生物-植物系统中矿物风化与元素循环[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44 (6) : 1107-1116.

[16] 赵明华. 土力学与基础工程[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2014.

[17] 王轩. 如何保存历史记忆[J]. 沪港经济, 2014 (10) : 52-54.

[18] 杨宏烈. 南粤榕树文化景观的美学探微——以广州沥滘古村为例[J]. 广州城市职业学院学报, 2019, 13 (1) : 1-7.

[19] 郗光发, 曹丽雯, 刘宏明, 等. 我国城市市树选择应用现状及区域分布特征[J]. 林业科学, 2019, 55 (10) : 76-87.

[20] 姜彦旭, 韩林飞. 基于韧性设计的城市剩余空间亲生物性恢复规划研究[J]. 城市发展研究, 2021, 28 (1) : 23-31.

[21] 刘骏, 向冷霓. 城市绿地系统规划与建设对山地特征的响应探析——以重庆市为例[J]. 中国名城, 2022, 36 (5) : 56-64.

[22] 肖竞, 曹珂, 李和平. 基于适应性思维的山地城市绿地系统规划方法[J]. 中国园林, 2020, 36 (2) : 23-28.

---

### 作者简介：

于恒/1992年生/男/四川南充人/博士/成都大学(成都610106)/讲师/研究方向为挡土墙

(\*通信作者) 李艾玲/1997年生/女/四川成都人/博士/渥太华大学(加拿大渥太华市K1N6N5)/助理研究员/研究方向为岩土工程/E-mail: alii170@uottawa.ca