

古树名木弹性拉索系统应用实践——以广州中山纪念堂白兰古树为例

Application and Practice of Elastic Cabling System for Ancient and Famous Trees: Taking Ancient *Michelia* × *alba* of Sun Yat-sen Memorial Hall in Guangzhou as an Example

陈峥 黄霖霞 罗宇谦 黄颂谊*

CHEN Zheng, HUANG Linxia, LUO Yuqian, HUANG Songyi*

摘要

随着对古树名木的保护愈加受到重视, 古树管理保护技术也在逐渐更新优化。目前, 国内对有缺陷的古树名木主要采用刚性支撑防护, 但长期使用刚性支撑会破坏树木的自适应能力, 不利于古树力学平衡。为减少刚性支撑带来的问题, 广州中山纪念堂对园内的 2 株白兰古树应用“眼镜蛇拉索系统”进行拉索牵引, 以提高树木结构稳定性。基于对白兰古树的风险评估结果, 从现状出发, 对具有风险的分枝进行有针对性的拉索系统技术设计, 并对比经历台风“苏拉”“海葵”所带来的强暴风雨前后拉索的应用情况, 发现白兰古树各拉索点没有脱落或偏移, 验证了“眼镜蛇拉索系统”的安全性。

Abstract

With the protection of ancient and famous trees receiving more and more attention, the management and protection techniques of the trees are also being gradually updated and optimized. At present, rigid propping is mainly used to protect ancient and famous trees with defects in China. However, long-term use of rigid propping will damage the adaptive ability of trees, which is not conducive to the mechanical balance of ancient trees. In order to reduce the problems caused by rigid propping, Sun Yat-sen Memorial Hall in Guangzhou adopted a 'Cobra Cabling System' for two ancient *Michelia* × *alba* in the park to improve structural stability. Based on the results of risk assessment of the trees and the current situation, the technical design of the cabling system for branches at risk was carried out. Comparing the application of the cabling system before and after the strong storm brought by Typhoon Saola and Haikui, it was found that there was no dislodgement or deviation of cabling points on the trees, which verified the safety of the cabling system.

文章亮点

1) 创新性地对 2 株白兰古树采用“眼镜蛇拉索系统”, 完成了广州首例白兰古树弹性拉索牵引技术工程; 2) 在应用过程中, 结合树木现状评估, 初步总结该系统的应用原则; 3) 通过对应用实例的观测, 验证该系统的安全性与实用性。

关键词

古树名木; 白兰; 弹性拉索系统; 眼镜蛇拉索系统; 树木安全

Keywords

Ancient and famous trees; *Michelia* × *alba*; Elastic cabling system; Cobra Cabling System; Tree safety

收稿日期: 2024-04-08

修回日期: 2024-06-14

古树名木是有生命的文物, 具有重要的历史、文化、科学、生态和经济价值, 是历代陵园、名胜古迹的重要组成部分。多数古树树体高大、冠幅广阔, 但在经历长时间的风雨

洗礼后, 其枝干可能会出现不同程度的风险。在灾害性天气下, 古树风险部位易断裂或劈裂倒伏, 从而威胁人民的生命财产安全^[1]。随着生态文明思想的深入贯彻, 国内对于古树

名木的管理保护愈加重视，并出台一系列政策措施，严格限制古树名木的迁移与修剪。因而，利用支撑技术对古树名木进行管理保护是常用的方法。

树木支撑系统主要分为拉索 (Cabling)、支撑 (Propping)、支撑杆 (Bracing) 和牵引索 (Guying) 4 种。根据应用材料，树木拉索系统的形式可分为弹性拉索和刚性拉索。弹性拉索，又称拉纤，是应用弹性材料使古树可在一定范围内活动的拉索方式；刚性拉索则是使用钢缆等硬质材料固定古树的拉索方式^[2]。目前，国内主要采用刚性支撑 (Rigid Propping) 对古树名木进行管理保护^[3-5]，其仿生支撑柱由钢管或钢筋笼浇灌水泥等制作而成。此类支撑虽具有制作简单、成本低廉的优点，但会使古树逐渐对其产生依赖，破坏树木的自适应能力。相较于支撑系统 (Propping)，以“眼镜蛇拉索系统” (Cobra Cabling System) 为首的弹性拉索系统^[6-8]容许树木在风力作用下在一定幅度内摇晃，并在提供支撑保护的前提下，促使树体在高应力部位产生支撑材，随时间成长而逐步强壮。目前，易于安装、成本低廉、持久耐用的“眼镜蛇拉索系统”已流行于世界各地，我国香港、澳门地区也拥有丰富的应用实践经验，将其广泛应用于古树名木，如加思栏花园的古榕树 *Ficus microcarpa*、白鸽巢公园古榕树、何东图书馆的古朴树 *Celtis sinensis*、望德堂区罗利老马路古重阳木 *Bischofia polycarpa* 等。但国内除香港、澳门和台湾地区外，鲜有对该系统的研究及应用。

本文以广州中山纪念堂内 2 株树龄近 120 年的白兰 *Michelia × alba* 古树为例，通过现场综合评估，考察 2 株白兰古树现存的风险隐患。针对存在风险隐患或者风险缺陷的古树树枝，从树木力学角度出发，结合树木结构形态、拉索设计原则，为 2 株白兰古树设计配套的拉索技术方案，并详细解析其设计思路。通过对比极端天气前后的拉索应用情况，为“眼镜蛇拉索系统”的实用性以及安全性提供实例支持，旨在为中国的古树名木管理保护提供参考和帮助。

1 研究对象及方法

1.1 研究对象

目前，广州中山纪念堂园区范围内共有 11 株古树名木，其中，1 株木棉 *Bombax ceiba* 及 2 株白兰于 1985 年被定为广州市首批保护古树名木。2 株白兰古树分别于纪念堂奠基、竣工时栽下，至今已有近 120 年树龄，属三级古树。两树大小一致、形态类似，如同 2 个高大忠勇的卫士守卫着纪念堂，因此具有“白兰卫士”的美誉。

目前，2 株白兰古树存在偏冠、树体倾斜、树皮开裂、空洞腐朽等问题，加之现有的刚性支撑系统面临老化形变的问题，采用能逐步替代当前刚性支撑的新型支撑系统已迫在眉睫。为应对广州即将到来的台风季，项目团队以国际树木学会 (International Society of Arboriculture) 认证树艺师及攀树师的先进实践经验为基础，研究树木结构特征，于 2023 年 7 月为 2 株白兰古树设置“眼镜蛇拉索系统”，旨在应用弹性拉索技术调整树枝力学平衡，使古树逐步摆脱对于刚性支撑的依赖。

1.2 “眼镜蛇拉索系统”技术

“眼镜蛇拉索系统”是由德国制造的非侵入式弹性拉索系统，具有无需破坏树体、易于安装、成本低廉、耐用持久等优点，主要由中空编织聚丙烯绳、减震器、窄身扁带环、摩擦套、热缩套等组成^[9]。

1.2.1 拉索技术实施原则

1) 拉索点应选择距离分叉点向上 2/3 树枝高度处，使拉索绳索以

较小的张力承受枝干之间向外的张力作用。

2) 拉索的枝条选择应遵从粗枝条牵引细枝条，或者等势枝间进行牵引的原则。对于跨度和角度较大的枝条，除使用主枝条进行牵引外，还应使用辅助枝条进行牵引，以降低过重荷载和过大受力摆幅的风险。

3) 枝干的夹角过小将导致拉索无法作用。拉索前应仔细观察枝条间的夹角，特别是当拉索准备设置在较直立枝干与较平枝干之间时。

4) 两两枝干间应采用 1 根绳索拉索，避免采用 1 根绳索拉索贯穿 3 个及以上的枝干。

5) 动态拉索系统应根据牵引目标枝条的胸径及距离确定使用的绳索强度；静态拉索系统应确保其绕过枝干的夹角不超过 45°，如果角度超过此限制，可能会影响枝干的生长^[9]。

1.2.2 拉索类型与材质强度选择

根据插入组件、允许摆幅的不同，“眼镜蛇拉索系统”可分为动态拉索系统 (Dynamic Cabling System) 和静态拉索系统 (Static Cabling System) 2 种，其对应的绳索抗拉强度及应用材料强度均有特定要求。“眼镜蛇拉索系统”的绳索抗拉强度与树木分枝直径、拉索系统类型具有相应的关系，一般情况下，动态拉索系统对于绳索最低抗拉强度的要求较静态拉索系统低 (表 1)。

根据“眼镜蛇拉索系统”技术标准，存在风险隐患或者风险缺陷的树枝应使用静态拉索系统，可以阻止风险缺

表 1 拉索点等级与对应材质强度要求

Tab.1 Grades of cable point and corresponding material strength requirements				
拉索点等级	动态拉索系统		静态拉索系统	
	分枝直径 D/cm	绳索最低抗拉强度	分枝直径 D/cm	绳索最低抗拉强度
A	D ≤ 40	2t PP 材质绳索 (Cobra 2t)	D ≤ 30	2t PP 材质绳索 (Cobra 2t)
B	40<D ≤ 60	4t PP 材质绳索 (Cobra 4t)	30<D ≤ 40	4t PP 材质绳索 (Cobra 4t)
	60<D ≤ 80 *	8t PP 材质绳索 (Cobra 8t)	40<D ≤ 60	8t PP 材质绳索 (Cobra 8t)
C	-	-	60<D ≤ 80 *	2 倍 8t PP 材质绳索 (Cobra 8t)

*注：若目标分枝直径>80 cm，属于特殊情况，需要根据具体情况决定是否采用拉索系统。

陷进一步扩大，并有助于防止分枝断裂。由于本次白兰古树弹性拉索涉及的目标调整枝条皆具有一定的风险隐患，应采用静态拉索系统。

2 树木现状评估

东 侧 白 兰（古 树 编 号：44010400311300019）位于中山纪念堂主体建筑大平台东侧，其西北侧靠近文物建筑，整体向南侧严重倾斜。西侧白兰（古树编号：44010400311300020）位于中山纪念堂主体建筑大平台西侧，其东北侧靠近文物建筑，整体向南侧严重倾斜。根据现场的综合评估，东、西侧白兰存在的问题如表 2 所示。

3 白兰古树拉索技术与应用

3.1 拉索系统设置

基于树木拉索技术的实施原则，根据东侧白兰的风险评估结果，结合现场实际情况，为东侧白兰具有风险的 4 条分枝设计合理的树木拉索点，并详细测量拉索点的各项数据，确定拉索点等级，为拉索材料的强度选择提供依据（表 3）。

E1 分枝为东侧白兰南侧分枝，由于该分枝应用了刚性支撑，存在依赖支撑过度向外生长的趋势，枝条荷载过重。为了恢复树木的自适应能力，帮助其摆脱对刚性支撑的依赖，在该分枝设置 2 个拉索点（图 1），共同承担其过重的荷载。此外，设置 2 个拉索点能降低潜在风险，若该分枝的薄弱部位（刚性支撑接触点）发生断裂，拉索系统将拉紧枝条并将其暂时固定在树上，减少对周边环境的破坏。

E2 分枝为东侧白兰西侧分枝，正逐步向中山纪念堂主体建筑的方向生长。调查发现，该分枝的中部位置存在 1 处开口向下的空洞，推测为刚性支撑挤压枝干接触点造成的风险，为该分枝的主要薄弱部位。为了降低该分枝的潜在风险。在中部空洞位置的两侧分别设置 1 个拉索点（图 2）。

E3、E4 分枝为东侧白兰东侧分枝，位于同一二级分枝上，枝下的人流量

大，且分枝具有树皮开裂、切口木质腐朽的风险，因此，2 条分枝各设置 1 个拉索点（图 3）。

基于树木拉索技术的实施原则，根据西侧白兰的风险评估结果，结合现场实际情况，为西侧白兰具有风险问题的 3 条分枝设计合理的树木拉索点，并详细测量拉索点的各项数据，

确定拉索点等级，为拉索材料的强度选择提供依据（表 4）。

W1、W2 分枝为西侧白兰南侧分枝，由于西侧白兰树干向南侧严重倾斜（约 25°），上级分枝应用刚性支撑，且以该支撑作为减缓树干倾斜的主要手段。经调查，因刚性支撑的反作用力，受支撑的枝条出现异常木质隆起，存

表 2 白兰风险评估

Tab.2 Risk assessment for *Michelia × alba*

对象	枝条编号	风险项目	现场示意图
东侧白兰	E1	南侧偏冠，现采用刚性支撑的枝条，后续可能有荷载过重的风险	
	E2	西侧二级分枝，中部位置存在 1 处空洞，推测为之前刚性支撑挤压木质造成变形的风险	
	E3	东侧三级分枝，该枝条北向中部有明显树皮开裂的风险	
	E4	东侧三级枝条，为下垂枝，下侧分枝切口木质腐朽，且存在荷载过重的风险	
西侧白兰	W1、W2	南侧偏冠，树干向南侧严重倾斜，约 25°。枝条因刚性支撑受应力影响，枝干 1/3 处的木质异常隆起，存在反向断折的风险；其下一级分枝（W1 和 W2）较长，具备安装拉索系统的条件	
	W3	西侧二级分枝，枝条较长，且角度较为水平，存在荷载过重的风险	

在反向断折的风险,其下一级分枝(W1和W2)较长,具有设置拉索的条件。因此,2条分枝各设置1个拉索点(图4),减少树木对刚性支撑的依赖,为将来更换刚性支撑的位置提供基础。

W3分枝为西侧白兰西侧分枝,是从树木主干延伸出来的二级分枝,枝条覆盖面广,枝下的人流量大,且枝条与树木主干间的角度较为水平,整个分枝存在荷载过重的风险。为了降低该分枝的潜在风险,在该分枝与主干的分叉点向上2/3树枝高度处设置2个拉索点(图5)。

3.2 应用结果与分析

2023年9月2日,超强台风“苏拉”于广东省珠海市南部沿海登陆,距离广州最近时的风速达到45~52 m/s,为广州带来暴风雨。紧随“苏拉”之后,“海葵”于9月5日在广东省潮州市沿海登陆,中心附近最大风力有8级(18 m/s),虽风力不及“苏拉”,但其持续时间长,累积雨量大,亦给广州市带来明显降雨。

为了确认白兰古树拉索系统的安全性,项目团队于“双台风”过境后进行拉索系统复查,详细记录各拉索点的状况,并与最初的拉索点位置进行比对(表5)。通过比对得知,在经

表 3 东侧白兰拉索点测量数据

Tab.3 Measurement data of the east <i>Michelia</i> × <i>alba</i> cable point						
分枝编号	分枝直径 D/cm	拉索材料强度	拉索角度	拉索点高度 /m	拉索点之间距离 /m	风险点说明
E1	D ≤ 30	2t PP 材质绳索 (Cobra 2t)	≤ 45°	5.4	8.0	枝条荷载过重
				5.1	9.4	
E2	30<D ≤ 40	4t PP 材质绳索 (Cobra 4t)	≤ 45°	7.6	10.0	枝条较长
				7.1	8.0	
E3	D<20	2t PP 材质绳索 (Cobra 2t)	≤ 45°	6.7	7.5	分枝上部树皮开裂
E4	D<30	2t PP 材质绳索 (Cobra 2t)	≤ 45°	3.8	7.5	下垂枝条荷载重

表 4 西侧白兰拉索点测量数据

Tab.4 Measurement data of the west <i>Michelia</i> × <i>alba</i> cable point						
分枝编号	分枝直径 D/cm	拉索材料强度	拉索角度	拉索点高度 /m	拉索点之间距离 /m	风险点说明
W1	D ≤ 30	2t PP 材质绳索 (Cobra 2t)	≤ 45°	6.6	6.5	二级分枝 1/3 处木质异常隆起
W2	D<30	2t PP 材质绳索 (Cobra 2t)	≤ 45°	8.2	8.0	
W3	D<30	2t PP 材质绳索 (Cobra 2t)	≤ 45°	5.6	10.6	分枝较长,荷载较重
				5.8	7.4	



图 1 E1 分枝拉索示意

Fig.1 Schematic diagram of the E1 branch cabling



图 2 东侧白兰 E2 分枝拉索示意

Fig.2 Schematic diagram of the E2 branch cabling

历“双台风”所带来的强暴风雨影响后，白兰古树各拉索点没有出现脱落、偏移的问题。这为“眼镜蛇拉索系统”的实用性以及安全性提供了实例支持。

4 结论

随着生态文明思想的深入贯彻，对于古树名木的保护管理亦需要保持科学创新、与时俱进。目前国内对古树名木主要采用的刚性支撑会逐步破坏树木自身的适应能力，且由于树干与刚性支撑的接触点长期承受压力，树干可能会出现压迫变形、损伤腐朽等现象，从而损害树木的健康，令刚性支撑无法提供长久的支持。因此，国内部分学者提出弹性支撑^[10]和活体支撑^[11]，以期克服刚性支撑的缺点，但因制作困难、维护成本高等，目前这些方法尚未得到广泛的应用。“眼镜蛇拉索系统”自20世纪90年代问世以来，经过数十年的发展与推广，已成为国外树艺师最常用的树木支撑系统之一，并广泛应用于全球各地。相较于刚性支撑，其具有易于安装、成本低廉、持久耐用、不损伤树木、随树木生长自我调节等优点。

为了改善广州中山纪念堂园区内现有古树刚性支撑系统老化形变的状况，项目团队引入“眼镜蛇拉索系统”，并组织粤港澳各地的专家进行技术把关，完成了广州首例白兰古树弹性拉索牵引技术工程。在本次拉索系统的设置过程中，项目团队仅用2天，共设置11条“眼镜蛇拉索”，其易于安装的优点得到充分地体现。此外，通过现场评估发现，以黑色聚丙烯绳为主体的“眼镜蛇拉索系统”，因其拉索位置多为于枝繁叶茂的树冠，对古树及周边景观的影响远低于仿生刚性支撑。而根据复查结果，在经历台风带来的强暴风雨后，白兰古树各拉索点也没有出现脱落、偏移的问题。这证实了该拉索系统的安全性及实用性，未来可将其广泛地应用于处于健康状态、景观要求较高、树下空间狭小或行人来往频繁的古树名木案例中。

由于“眼镜蛇拉索系统”采用防紫外线材料，其使用寿命理论上能达到10~15年。为了更好把握拉索系统，延长其实际使用寿命，未来将对拉索系统进行长期观测，记录观测数据，并探索一套科学准确的拉索系统安全评估体系。同时积极推广“眼镜蛇拉索系统”，运用国内外经验总结出一套适合华南地区古树拉索的具体实践技术标准，促进拉索系统在国内得到更为广泛的应用。

注：文中图片均由作者自绘自摄。

参考文献：

- [1] 吴贻军, 姚剑飞, 吴俊, 等. 古树和大树支撑拉纤防护准则和方法 [J]. 安徽农业科学, 2022, 50 (10) : 90-94.
- [2] 骆会欣. 如何做好古树支撑加固 [J]. 园林, 2012, 29 (8) : 64-65.
- [3] 李魏飞. 浅析树木的支撑方法 [J]. 农业与技术, 2012, 32 (9) : 102, 105.
- [4] 罗伟聪. 古树名木支撑方法浅谈 [J]. 现代园艺, 2012 (4) : 90.

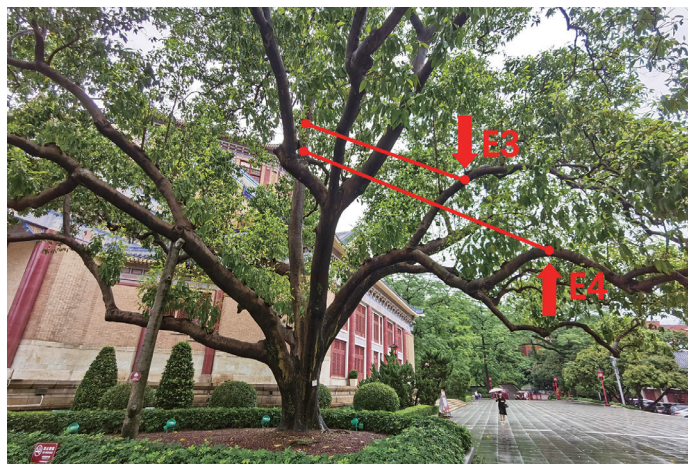


图3 E3、E4 分枝拉索示意

Fig.3 Schematic diagram of the E3 and E4 branch cabling

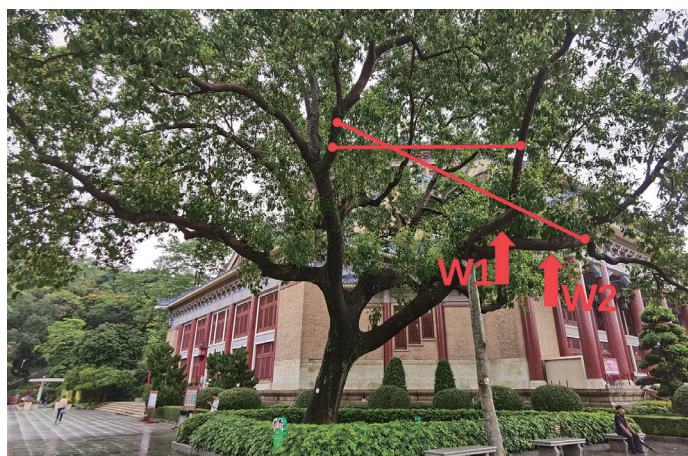


图4 W1、W2 分枝拉索示意

Fig.4 Schematic diagram of the W1 and W2 branch cabling

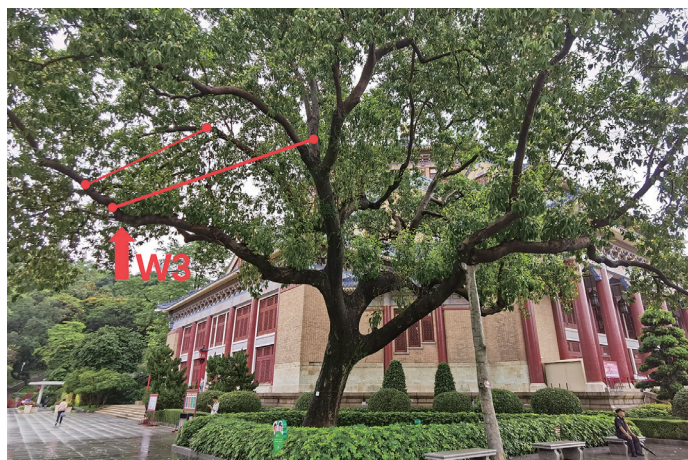
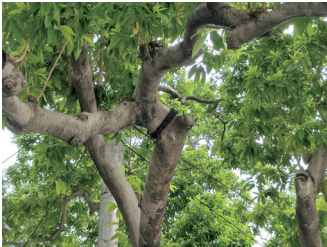
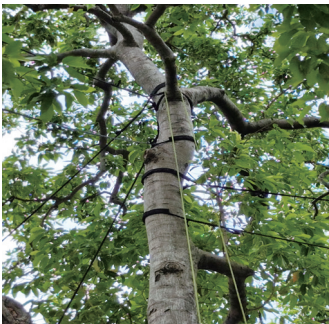
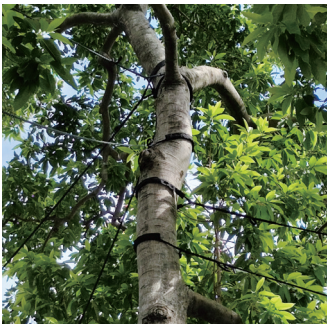


图5 W3 分枝拉索示意

Fig.5 Schematic diagram of the W3 branch cabling

表 5 白兰古树部分拉索点台风前后情况对比
Tab.5 The comparison pre- and post-typhoon conditions at section cable point of the ancient *Michelia × alba*

拉索点位置	台风前 2023 年 7 月	台风后 2023 年 9 月
E1 分枝		
E2 分枝		
东侧白兰 主干		
W1、W2 分枝		
W3 分枝		

[5] 马亚琼 . 病腐伤损古树加固填充技术现状研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.

[6] DANIEL S. Can wound wood's haptotropic nature be artificially manipulated to utilise edaphocototropism?[J]. Arboricultural Journal, 2023, 45 (1) : 72-83.

[7] KANE B, RYAN III H D P. Discoloration and Decay Associated with Hardware Installation in Trees[J]. Arboriculture & Urban Forestry, 2002, 28 (4) : 187-193.

[8] STOBBE H, DUJESIEFKEN D, SCHRÖDER K. Tree Crown Stabilization with the Doublebelt System Osnabrück[J]. Arboriculture & Urban Forestry, 2000, 26 (5) : 270-274.

[9] MIS310 Tree Support Systems[M]. Australia: Arboriculture Australia Ltd, 2020: 99-105.

[10] 汪传友, 吴俊, 吴贻军, 等 . 古树名木弹性支撑杆的设计应用 [J]. 广东园林, 2015, 37 (2) : 68-69.

[11] 计燕, 郭义, 秦雪 . 郑州市人民公园古国槐活体支撑技术初探 [J]. 河南林业科技, 2018, 38 (2) : 50-53.

作者简介:

陈 峥 /1991 年生 / 女 / 福建漳州人 / 硕士 / 广东省沂绿生态科技发展有限公司 (广州 510000) / 园林工程师 / 专业方向为风景园林工程与技术、园林植物与应用

黄霖霞 /1982 年生 / 女 / 广东河源人 / 本科 / 广州市中山纪念堂管理中心 (广州 510180) / 园林工程师 / 专业方向为古树名木保护、公园景区管理和自然教育

罗宇谦 /1997 年生 / 男 / 广东广州人 / 硕士 / 广东省沂绿生态科技发展有限公司 (广州 510000) / 专业方向为风景园林工程与技术、植物保护与应用

(* 通信作者) 黄颂谊 /1982 年生 / 女 / 广东广州人 / 华南理工大学建筑学院在读博士研究生 / 仲恺农业工程学院园艺园林学院 (广州 510225) / 园林正高级工程师 / 研究方向为风景园林工程与技术、园林植物与应用 /E-mail: huangsongyi@hotmail.com