

## 古槐迁地保护移植关键技术及复壮研究

何军, 刘宝强, 聂亚芳, 汤毅, 程国兵, 赵海明, 李振星, 高发明

(北京金都园林绿化有限责任公司, 北京 100140)

**摘要:** 古树保护性移植是一项综合性、系统性的工程, 其移植技术含量高, 操作难度大, 各工作环节都要严格遵循正确的操作技术流程。总结了 2022 年 12 月中旬至 2023 年 1 月中旬对北京市东城区两株古槐 *Sophora japonica* 移植前的现场调研、人员和材料准备、树木雷达波探根、应力波枝干空洞检测、新型井字形工字钢托架吊运以及移植后复壮等关键技术要点, 保证了古槐移植的成活及施工安全。结果表明, 移植前的充分准备、先进诊断技术及可操作性强的施工工艺, 是保证古槐移植成功的关键, 为古树依法迁地保护提供重要的技术参考。

**关键词:** 古槐; 迁地保护; 移植; 复壮

中图分类号: S792.26

文献标识码: A

文章编号: 1001-3776(2024)01-0072-07

## Experiment on Key Techniques and Rejuvenation for Ex-situ Conservation of Ancient *Sophora japonica*

HE Jun, LIU Baoqiang, NIE Yafang, TANG Yi, CHENG Guobing, ZHAO Haiming, LI Zhenxing, GAO Faming

(Beijing Jindu Landscaping & Afforesting Co. Ltd, Beijing 100140, China)

**Abstract:** Presentations were made on investigation, personnel and material preparation, root detected by tree radar waves, trunk detection by stress wave, preparation of I-beam bracket lifting, as well as rejuvenation technique for ex situ conservation of two ancient *Sophora japonica* in Beijing. The results indicated that sufficient preparations ensured the success of transplantation of the two ancient trees.

**Key words:** ancient *Sophora japonica*; ex-situ conservation; transplantation; rejuvenation

古树是不可再生的、珍贵的自然资源, 是研究自然与人类历史文化的活标本、活文物<sup>[1,3]</sup>, 是悠久历史和灿烂文化的佐证, 有着极高的科学、经济和生态价值。随着城市规划的发展和变化, 古树保护过程中遇到一些新问题, 如古树生境发生不良改变、道路扩宽、重大项目建设等难以抗拒的客观因素, 导致少数古树名木不得不进行迁地移植<sup>[1-2]</sup>。如此, 古树迁地保护移植技术就直接影响后续古树的生存和发展。

古树移植成本大、技术要求高, 如果操作不当会造成成活率偏低, 甚至死亡, 进而造成古树种质资源浪费, 古树移植技术及复壮措施研究的必要性和迫切性不言而喻<sup>[2-4]</sup>。2022 年 12 月中旬至 2023 年 1 月中旬对北京市东城区需要迁地保护移植的两株古槐 *Sophora japonica* (代号分别为 780、784) 进行了实地调研, 创新采用树木雷达波探根、应力波空洞检测等先进技术对古槐进行一系列的诊断, 结合得出的诊断报告, 编制移植方案, 在此基础上, 经专家论证, 形成一树一策的移植方案, 最终通过依法审批实施迁地保护移植。通过两株古槐迁地保护移植的成功案例, 以期为国家重点工程涉及的古树迁地保护提供技术参考。

收稿日期: 2023-05-017; 修回日期: 2023-12-09

作者简介: 何军, 正高级工程师, 从事古树保护复壮技术研究; E-mail:hejun100@263.net。通信作者: 高发明, 高级工程师, 从事城市树木健康管理研究; E-mail: gaofaming.1008@163.com

1 古槐原状及新植地环境

古槐 780 位于北京东城区, 树干东侧距通行道路 (沥青路) 3.9 m。古树树冠垂直投影下, 共有乔木 3 株、灌木 9 株。新栽植地位置距离原位置西侧 26 m, 古树迁地保护种植在绿地内, 新栽植位置绿地内的树木外移, 树冠下无其他树木。

古槐 784 位于北京东城区, 生长于狭长绿带中, 绿带宽度为 2.4 m。新栽植地位置距原位置西北侧 85 m, 古树迁地保护种植在绿地内, 树冠距离新建南楼 12.4 m, 距离新建道路 4.2 m。古槐的现状调查信息如表 1。

表 1 古槐现状调查信息  
Tab. 1 Information of two ancient *S. japonica* trees

代号	树种	胸径/cm	胸围/cm	树高/m	平均冠幅/m
780	槐	109.9	345	27	26.7
784	槐	75.8	238	21	16.9

2 迁地保护难点分析

2.1 树龄、规格、移植木箱超大

古槐 780 树龄约 380 年, 枝干伸展长, 树冠内枝叶密集。从施工难度和技术层面来讲, 此次迁地保护古槐树龄、木箱规格创下现有文献记载的移植新记录, 实际木箱规格为 580 cm × 580 cm × 188 cm, 箱底面积为 530 cm × 530 cm。

古槐 784 树龄约 140 年, 枝干伸展长且向南倾斜, 树冠内枝叶密集, 加上地下管道等影响, 实际木箱规格为 446 cm × 346 cm × 186 cm, 箱底面积为 430 cm × 330 cm。

2.2 枝干存在空洞, 折断风险高

古槐 780 干基部从下往上 50 cm、100 cm 和 130 cm 处的树干空洞率分别为 56% (图 1)、25%、4%, 表明空洞率随着树干向上有逐渐降低的趋势。按照《城市树木健康诊断技术规程》(DB11/T 1692) 树干空洞率判定依据, 表明该株古槐树干基部空洞程度达到重度风险, 在移植吊运过程中存在干基部折断的风险。

2.3 施工成本高、难度大

木箱移植工程造价高, 尤其超大规格的箱体移植。古槐 780 掏底过程中遇到三七灰土层等建筑垃圾 (图 2A), 占箱底总面积的 2/3, 致使掏底难度加大。古槐 784 南北两侧、西侧均有废弃的地下管网和砖砌结构 (图 2B), 导致木箱移植掘苗及包装的难度加大。

项目工期较紧。古槐移植在冬季, 大量的动土作业都使用机械开挖, 同时针对裸露的根系及回填的土壤采取必要的防寒措施, 增加了施工的成本。

2.4 劳务人员紧缺

春节将至, 劳务人员返乡过年, 用工紧缺。提前安排劳务人员, 提高劳务薪酬, 加强对劳务人员的关心关爱, 确保古树迁地保护的顺利进行。

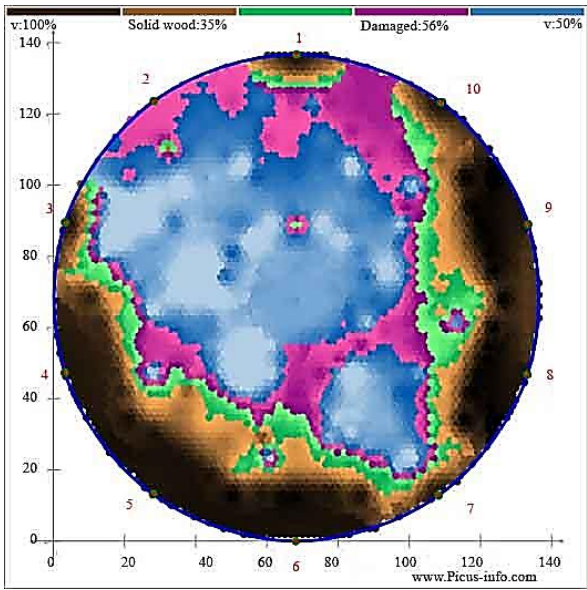


图 1 树干空洞检测结果

Fig. 1 Detection and result of hollow in trunk



A-780 三七灰土层

B-784 地下管网和砖砌结构

图2 根部的土壤环境

Fig. 2 Soil environment of root of the two ancient trees

### 3 迁地保护移植技术体系构建

参考《古树名木保护复壮技术规程》(DB11/T 632)和《大规格苗木移植技术规程》(DB11/T 748)的技术要求,结合古槐的现状生长特点,归纳整合国内外大规格树木及古树移植现有技术与方法,构建移植前准备→掘苗、包装及吊运→栽植→移植后复壮等关键环节的技术体系<sup>[5-7]</sup>,以保证古槐移植成活及施工安全,还原古树风貌。

#### 3.1 移植前准备

3.1.1 枝干空洞及地下根系分布检测 两株古槐枝干从外观观察:整体良好,无损伤、无明显空洞。根据前人的经验,古槐通常“十槐九空”,为确定古槐树干空洞情况,利用应力波检测仪对两株古槐进行空洞检测分析,发现两株古槐树干和侧枝均存在不同程度的空洞情况。采取方木保护支撑树体主干、修剪减重等措施防止干基部折断。

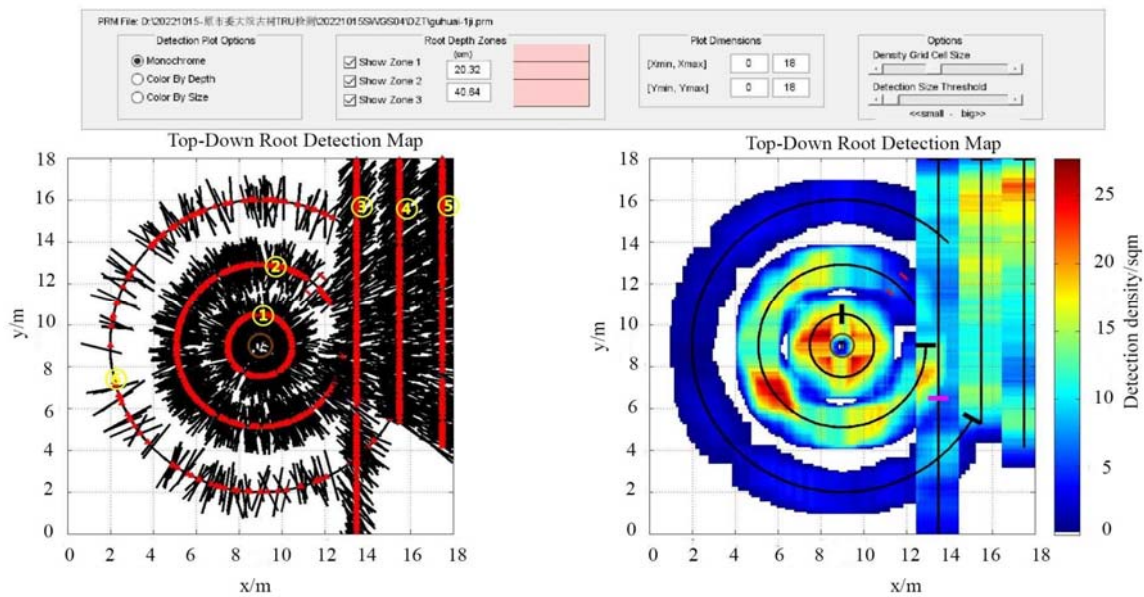
为最大程度地保护古槐根系,运用 TRU 树木雷达检测仪(美国)对古槐地下根系分布情况进行圆圈和直线扫描检测。对古槐 780 检测结果表明:距离主干半径 3.9 m 范围内根系分布集中(图 3A)。对古槐 784 检测结果表明:距离主干北侧 1 m、2 m 处根系分布密集,在北侧树冠投影 4.5 m 处根系仍有分布;南侧距离主干 3.2 m 处根系分布较为均匀,6 m 处根系分布稀少(图 3B)。结合两株古槐根系数量分布的探测结果(图 3A、3B),加上古槐根部土壤环境现状(图 2),确定木箱的规格尺寸。

3.1.2 树冠整理 因两株古槐均高达 20 多米,故采用高车进行修剪,邀请树木修剪专家进行现场全程指导。按照专家论证意见,在保证施工安全和迁地保护成活的基础上,采用高空作业车进行树冠整理减重,修剪量不能超过树冠的 1/4,保留 1 级至 4 级分枝,修剪 5 级及以上分枝。所有剪锯口应修剪光滑,并安排 1 人涂抹伤口保护剂。

3.1.3 树干保护 经应力波检测到古槐 780 主干内有较严重的空洞现象,安排 2 人在主干外侧使用 35 根长 300 cm、横截面积为 10 cm×10 cm 的方木保护,在方木上、中、下位置用三道宽 5 cm、厚 0.5 cm 铁箍箍紧进行主干保护。为防止在施工过程中碰伤树木枝干,用草绳、扎绑绳和无纺布缠绕裹干。

3.1.4 木箱移植模型及材料 为保证吊运的安全性和稳定性,在专家论证意见的指导下,制作了两株古槐的移植木箱及吊装模型(图 4)。由于古槐 780 移植木箱经测算达到近百吨,为防止吊装箱体变形,创新研发了井字形工字钢托架(长×宽=580 cm×300 cm)(图 5)。

A-780



B-784

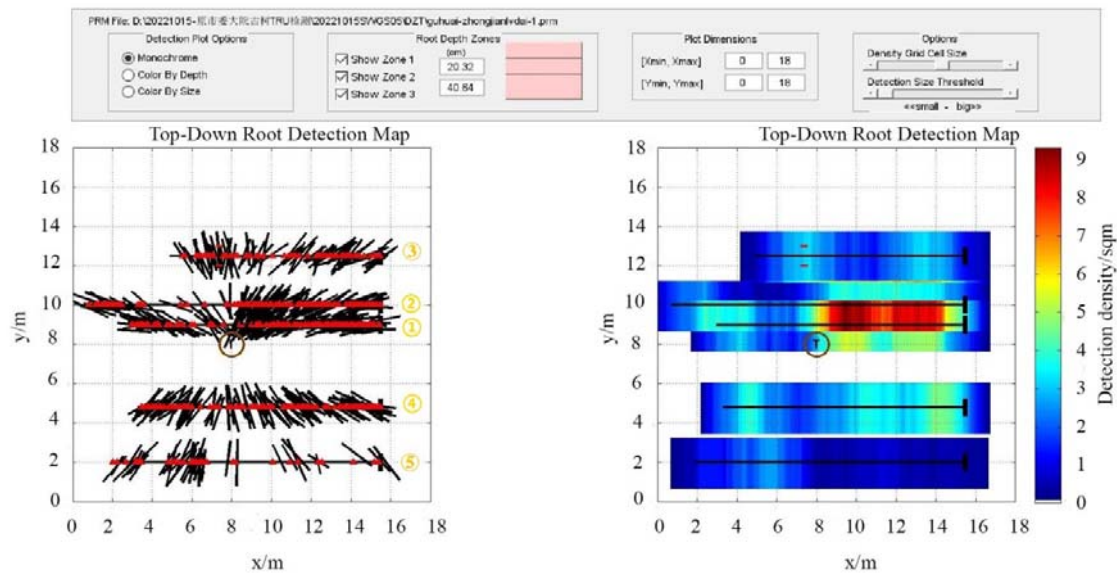


图 3 地下根系分布俯视图、密度图

Fig. 3 Top view and density of root system distribution



图 4 移植木箱及吊装模型

Fig. 4 Wooden box and lifting model

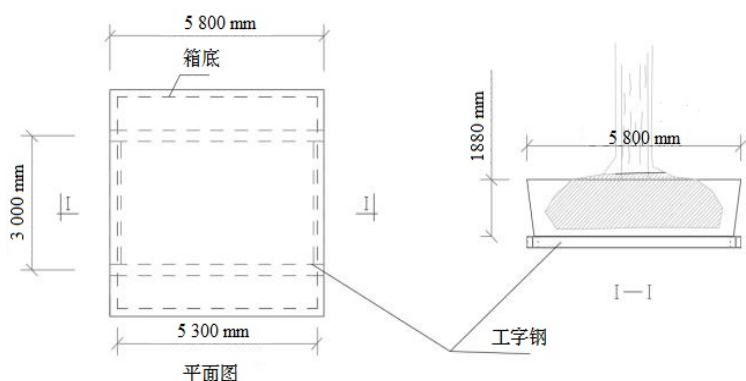


图5 井字形工字钢托架平面图及制作

Fig. 5 Plan and preparation of cross I-beam bracket

3.1.5 复壮材料准备 针对园区土壤密实度大、透气性差、有机质含量低、pH 接近强碱性 ( $\text{pH} > 8.5$ ) 等问题,通过测土配方研制了古槐土壤改良基质;精心定制竹筒透气管代替塑料透气管;采用通气透水施工工艺,改善土壤结构,促进古槐根系活力快速恢复。

## 3.2 掘苗及包装

3.2.1 去宝盖土 将距离树中心  $700 \text{ cm} \times 700 \text{ cm}$  的范围表面覆盖的浮土清理干净,深度为  $10 \sim 30 \text{ cm}$ ,以接近表层树根为止,最后做成表面四角在同一水平面上。

3.2.2 放线 以树干为中心,划出  $560 \text{ cm} \times 560 \text{ cm}$  的正方形土台范围线,然后在土台范围外  $100 \sim 150 \text{ cm}$  处再划出正方形白灰线,  $560 \sim 760 \text{ cm}$  位置为操作沟范围。

3.2.3 树木支撑 支撑管选用直径  $15 \text{ cm}$ 、壁厚  $0.5 \text{ cm}$  的镀锌钢管,镀锌钢管长度为  $900 \text{ cm}$ 。采用 5 根进行支撑,支撑管之间采用 6 根长  $500 \text{ cm}$  钢管做可靠连接,使 5 根支撑管连接成一个整体结构,支撑管上端捆在第一主分支点的基部。

3.2.4 开挖边沟 沿白灰线向下开挖工作沟,采用机械配合人工挖土,沿  $560 \sim 760 \text{ cm}$  范围内下挖,先挖至  $160 \text{ cm}$  深,遇粗根时,应用手锯锯断,并涂抹伤口愈合剂,不可用铁锹硬切,以免散坨。将工作沟边的土及时清理到工作沟  $2 \text{ m}$  以外区域,不得让沟边的土壤下落到工作沟中。

3.2.5 修整土台 在工作沟开挖达到  $120 \text{ cm}$  深时进行土台的修整工作,按拟定土台规格将土台四周修整齐,突出土台的根系应使用手锯将其锯断并涂抹伤口愈合剂。土台形状与边板形状一致,呈倒梯形,尺寸应稍大于边板规格,四周均应较箱板大  $5 \text{ cm}$ ,土台面平滑,以保证箱板与土台紧密靠近。

3.2.6 上边板 土台修好后,使用厚度  $10 \text{ cm}$  木箱侧板,贴立边板时靠紧,如有不紧实之处应随之修平,边板中心要与树干成一条直线,不得偏斜。首先土台四周用蒲包片包严,然后用预制好的厚  $10 \text{ cm}$  的木箱侧板进行包装,边板上口应比土台上顶低  $2 \text{ cm}$ ,边板靠紧对齐后用支撑管将箱板临时紧固住。

边板靠紧后分别在距离上下沿  $15 \sim 20 \text{ cm}$  处用两道钢丝绳捆紧。两道钢丝绳接口分别置于箱板的两个相对的方向(东对西或南对北),钢丝绳接口处套入紧线器挂钩内,紧线器应稳定在箱板中间的带板上。

3.2.7 钉箱板 将钢丝绳收紧后,在箱板四角交接处钉铁板条,最上、最下两道铁板条各距箱板上下口  $5 \text{ cm}$ ,中间每隔  $8 \text{ cm}$  钉一道铁板条,钉箱板时应钉牢,钉子稍向外倾斜钉入,以增强拉力;钉子不能弯曲,弯曲的钉子应拔掉重新钉。每条铁板条应有 2 对以上的钉子钉在带板上。箱板与带板之间的铁板条应拉紧。

3.2.8 掏底、上底板 掏底上底板为重中之重,危险系数极高。在掏底施工前,使用挖掘机将南、北及西侧边坡中心位置分别挖一条宽为  $100 \text{ cm}$  的通道,便于施工人员作业。现场安排一台  $100 \text{ t}$  的吊车,用数根吊带拴住树体的中上部或者箱体中部,用以牵引树体本身,保持树体的平衡,防止掏底时出现土壤局部塌陷,造成不必

要的安全隐患。安排 25 t 的吊车辅助配合吊运厚 1 cm 长 600 cm 底板安装。

加深边沟: 钉完箱板以后沿木箱四周继续将边沟挖深 60 cm, 从相对两侧同时向土台内进行掏底。

横木支撑边坡支护: 在掏挖底之前, 为保障操作人员安全, 应将四面箱板上部, 用四根横木 (400 cm × 30 cm × 20 cm) 支撑, 横木一头顶住坑边, 坑边先挖一小槽, 槽内立一块小木板做支垫, 将横木顶住支垫, 横木的另一头顶住木箱带板上, 用钉子钉牢, 边坡支护安全后, 检查无误后再掏底。

掏底: 每次掏底宽度要和底板宽度相等, 掏完一块板的宽度后应立即钉上一块底板。底板间距基本一致, 宜在 10 ~ 15 cm 范围以内。冬季施工时应应对已完成的掏底及未完成的部分采取保温措施。

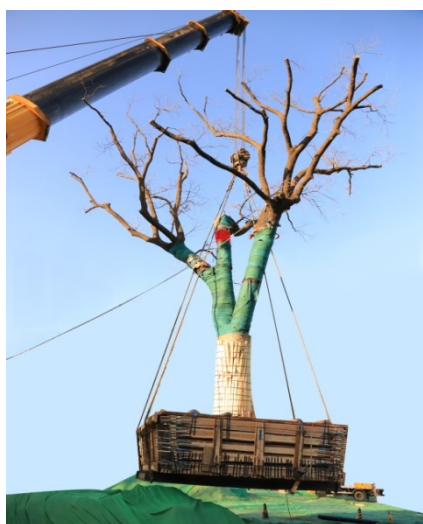
掏中央底板: 掏中心底时需要先挖坑道, 以保证遇危险时掏底人员可以躲避在坑道中, 保证掏底人员的人身安全。掏中央底板时, 底面中间应稍向下突出, 便于收得更紧, 掏底时如遇粗根时, 用手锯锯断, 树根断口凹陷于土内, 以免影响底板收紧。

3.2.9 上盖板 先将表土铲、垫平整, 使中间部分稍高于四周 2 cm, 表层有缺土处用潮湿细土填实, 土台应高出边板上口 1 ~ 2 cm, 土台表面铺一层蒲包后, 上板长度应与边板外沿相等, 不得超出, 上板放置的方向与底板交叉, 依次在上面钉盖板, 上板间距一般为 15 cm, 且分布均匀。盖板完成后, 木箱底部穿 2 根钢丝绳, 用紧线器绷紧, 紧紧固定好木箱的地板和盖板, 与水平方向的两条钢丝绳呈井字形布置, 牢牢地捆住木箱。

### 3.3 吊装及运输

古槐 780 新位置距离原位置西侧 26 m, 经测算吊装质量约 104.0 t, 采用 500 t 吊车。古槐 784 树木迁地保护距离约 85 m, 经测算吊装质量约 49.1 t, 采用 300 t 吊车。考虑到现场土壤的密实度无法满足吊车的工作需求, 需提前租用厚 2 cm, 长 × 宽为 600 cm × 220 cm 的钢板铺垫施工现场, 吊车提前进入铺设好的钢板区域进行碾压, 保证吊车车身平衡。

吊装古槐 780 时, 根据吊车自身位置、吊臂的长度, 将吊车与树的位置与将要新栽植位置三点大约成一等腰三角形, 一次性将树木吊运到指定的位置, 使用 500 t 吊车用 4 根高吨位的钢丝绳 (定制) 兜住工字钢吊环。将钢丝绳的另一头扣在吊钩上, 起吊过程中注意吊钩不要碰伤树木枝干, 同时利用 100 t 吊车吊住树头, 防止树头倾斜。2 吊车同时指挥作业, 注意不要扭动, 减少古树折断的安全隐患。500 t 吊车采用井字形工字钢托架 1 次吊运古槐 780 至新栽植位置 (图 6A)。古槐 784 吊运至平板拖车上, 运输至西北侧 85 m 处新栽植区域 (图 6B)。



A - 780 井字形工字钢托架吊运



B - 784 吊装及平板车托运

图 6 吊装及运输

Fig. 6 Lifting and transportation

### 3.4 栽植

栽植方木箱树,定植种植穴为正方形,每边比木箱宽 200 cm,土质不好的地方还要加大。栽植时回填至坑内及土球四周,坑的深度应比木箱深 50 cm,坑内中间位置 400 cm×400 cm 范围内首先回填厚 20 cm 级配碎石(粒径 4~6 cm),碎石上铺设土工布滤水层,滤水层上铺设混合好的每立方 10%的凯茵古树复壮改良基质作底肥,坑中央堆一个高 50 cm、宽 350 cm 的正方形土台,以便拆除底板和工字钢井字架。在吊树入坑时,起吊过程中注意吊钩不要碰伤树木枝干,起吊入穴,慢慢放在坑内土台上。按照树干已标定的南北方向,使其移栽后仍能保持原方位。

### 3.5 支撑

古树落稳后,100 t 吊车的吊绳暂时不撤,安排 5 个技工和 5 个普工快速拆除工字钢井字架,同时用 8 个支撑木墩支在木箱底板上。

栽植后先扎绑 6~8 根长 600 cm 的杉篙做临时支护,树木支撑稳定后,即可拆除木箱的上板及所覆盖的蒲包,底板能拆除的尽量拆除。待浇第一遍水前,将支撑管改用直径 15 cm 壁厚 0.5 cm 的镀锌钢管支撑,镀锌钢管长度要达到 900 cm。用 5 根镀锌钢管进行永久支撑,支撑稳固后,迅速浇灌水,因为冬季施工,要求一次性浇足浇透,防止土壤水分结冰形成冻层。

### 3.6 复壮

“三分种,七分养”,栽植中的复壮措施及栽后养护管理是后期古树活力快速恢复的关键<sup>[7-8]</sup>。古槐复壮及后期养护按照《古树名木日常养护管理规范》(DB11/T 767)技术要求执行,移植后的养护期为 22 个月。

3.6.1 施用土壤改良基质 按古槐土壤改良基质与生境土体积比 1:10 进行分层(厚度 50 cm 左右)回填,回填种植土时每填 20~30 cm 一层,进行层层夯实,保证栽植牢固,填土夯实至地平为止。

3.6.2 通气透水 在古槐土台外围螺旋状埋设通气渗灌管( $\phi$  8 cm 的软式透水管)2 圈,螺旋渗灌管的间距以 40~50 cm 为宜。根据古槐土台的大小,每个土台外侧面设置 4~6 根空型竹筒透气管( $\phi$  10 cm),外包无纺布,管壁有孔,透气管内填充适量有机覆盖物。在地势低的一侧设置 2 根长 200 cm 的中空形下端 30 cm 带渗水孔的 PVC 管( $\phi$  20 cm)。

在种植完成后,沿种植穴边开双堰并浇水。冬季迁地保护施工后在 12:00—14:00 浇第一遍水,浇足浇透。浇水应缓浇,不得大水冲灌。遇到堰内土壤塌陷及时回填。

## 4 结论与讨论

古树移植是一项系统工程,移植前准备、掘苗、包装、吊运、栽植及栽植后复壮等各工序应按施工技术标准进行质量控制,才能保证古树移植成功<sup>[7]</sup>。因市级以上重点工程建设等特殊情况经依法批准确需迁移古树名木的,采用传统的平移法存在耗时长、投入大,安全性低的弊端。本研究对两株古槐的生境及其枝干空洞和地下根系分布状况的系统分析,建立了移植前准备→掘苗、包装及吊运→栽植→栽植后复壮等全过程移植技术体系。创新采用树木雷达波、应力波等先进诊断技术,尽可能保护古槐根系,降低枝干折断风险;研发了新型井字形工字钢托架吊运技术;应用自主研发的古槐土壤改良基质及通气透水系统集成技术,有效解决了古树移植成活率低,移植后生长势弱的难题。

本研究提出的古槐迁地保护移植方法克服了建筑平移法的缺陷,其移植技术可操作性强,复壮工艺先进,兼具成本低、耗时短、安全性高的特点;在确保移植成活的同时,新生枝条数量多,叶片深绿,移植 9 个月 after 长势良好(图 7)。



A - 780

B - 784

图 7 移植后的成活效果 (2023 年 10 月拍摄)

Fig. 7 Growth after transplantation

## 参考文献

- [1] 肖庆来, 李新星, 曹雯, 等. 古树名木移植技术探索与实践——以松阳县黄南水库工程淹没区古树移植为例[J]. 浙江林业科技, 2022, (3): 86-91.
- [2] 陈志军. 一级香樟古树保护性移植的技术实践与探讨[J]. 现代园艺, 2022, 11: 67-69.
- [3] 罗红霞. 延安市黄陵县古柏迁地保护移植关键技术的研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2015.
- [4] 吴玉华, 杜宇峰, 蒙志辉, 等. 大树古树移植与养护促活综合管理措施[J]. 安徽农业科学, 2010 (17): 9354-9357.
- [5] 孔爱辉, 袁学文, 高发明, 等. 北方城市绿化施工中大规格乔木的移植技术[J]. 绿色科技, 2018 (17): 78-79.
- [6] 彭丽芬, 李新贵. 大树移植技术研究与应用进展综述[J]. 内蒙古林业调查设计, 2015 (3): 56-58.
- [7] 张正文, 吕元兰, 何帮亮. 名木古树移栽技术与实践[J]. 南方农业, 2012 (9): 42-45.
- [8] 刘向国. 透气管和施肥沟对移植古树根系活力的影响[J]. 植物医生, 2020 (6): 29-33.