

古红果榆修复工程设计探索

郑浩志¹, 许晓岗^{1,*}, 刘一力¹, 童丽丽^{1,2}, 程瑶¹, 田露¹, 徐梦寒¹, 戴韦¹, 夏重立²

1. 南京林业大学生物与环境学院/南方现代林业协同创新中心, 江苏省南京市玄武区龙蟠路 159 号 210037

2. 金陵科技学院园艺园林学院, 江苏省南京市栖霞区晓庄中心村 130 号 210038

摘要: 本文以工程技术为手段, 尝试对南京栖霞山的一株古红果榆 (*Ulmus szechuanica* W. P. Fang) 进行环境修复。以不同的施工技术方案多角度切入问题, 并在最终确定了路面打孔疏通的施工方案后组织并完成了环境修复。经过八天的施工过程, 基本达到预期的修复整治效果。通过设计施工流程, 初步探索了栖霞山古红果榆的环境修复工程要领, 这包括但不限于: 其一对于人为活动影响占主要因素的古树来说, 恢复其历史生存环境是工程设计的基本出发点之一, 其二在做工程设计方案时要不断权衡比对、回归检验, 结合古树及其周边场景的具体情况选择施工方案。

关键词: 古树修复; 红果榆; 工程设计; 栖霞山; 环境整治

Exploration of ancient *Ulmus szechuanica* W. P. Fang restoration engineering design

Abstract: This article uses engineering technology as a means to try to restore an ancient tree (*Ulmus szechuanica* W. P. Fang) located in Qixia Mountain, Nanjing. We designed the construction from different perspectives and methods, and we finally settled on the construction plan, the content of which is punch holes in the ground. After eight days of construction process, the expected construction effect was basically achieved, and we have preliminarily explored the essentials of the restoration project of the ancient tree in Qixia Mountain. This includes, but is not limited to: On the one hand, for ancient trees that account for the main factor of human activities, breaking the overly closed ground hard paving is one of the basic starting points of engineering design, on the other hand, it is necessary to constantly return to the test when doing engineering design, and select the construction plan according to the specific conditions of the ancient tree.

Keywords: ancient tree restoration, *Ulmus szechuanica* W. P. Fang, project planning

引言

古树名木是指具有百年以上树龄, 重要历史价值或者纪念意义的树木^[1]。它们是森林资源中重要的重要的成员, 许多是中华民族悠久文化的载体, 也是自然和前人留下的宝贵遗产。加强对古树名木的保护在弘扬民族精神、提高生态意识、促进生态文明、建设美丽中国等方面具有重要的现实意义^[2]。随着古树树龄不断的增加, 自然和人为的破坏, 使得古树的生存状况堪忧^[3]。探索可行的古树修复方法具有重要意义, 对栖霞山的古红果榆来说, 如何在极其苛刻环境下恢复原有生境, 是一个具有挑战性的课题。在理论层面上需要基本的植物生理学、树木学、生态学、人文历史、水文气候等多学科综合知识; 技术层面上需要工程力学技术、铺装施工技术、土方开挖与填埋技术、土壤修复技术、病虫害防治技术、回归检验法以及基本的绘图技术 (Auto CAD、Photoshop、Sketchup), 同时还要掌握一定的施工现场实操技能。

红果榆 (*Ulmus szechuanica* W. P. Fang) 又名明陵榆、四川榆, 是榆科榆属落叶乔木。红果榆是中国特有珍贵树种资源^[4], 集树叶色彩丰富、树形挺拔高大、树枝舒展隽秀、树木生长迅速、树苗移植生长恢复期短等优良特性于一体^[5]。分布于安徽南部、江苏南部、浙江北部、江西及四川中部等地。生于平原、低丘或溪涧旁酸性土及微酸性土壤阔叶林中。因其在南京明孝陵也有分布故得别称“明陵榆”^[6,7], 但比较遗憾的是, 目前南京地区最大的古红果榆仅存栖霞山 (32.155688N, 118.955567E; ele:51.1m), 多年来这株古树受到的人为活动影响较多而已显颓势, 同时红果榆由于自身的自然繁育更新能力的制约已处于濒危状

态。除了森林公园、林场、寺庙、村庄周围的风水林有少量天然居群保存下来,现在成片的天然林已不多见^[8]。这株古红果榆对于栖霞山的生物多样性、自然景观、文化传承都是非常重要的,因而这项抢救复壮工程是极富挑战性的,课题组拟通过修复实践并尝试总结出一套工程技术措施,为同地区的相关类群的古树修复工作提供参考。而笔者的主要任务,是探索对该古红果榆的修复工程技术设计的最优解。

1. 介绍

1.1 古树修复技术的现状及研究动态

随着古树名木保护意识的加强与城乡生态文明建设的推进,相关研究与工作人员开展了各项调查,越来越重视古树修复工作,从探究影响古树继续生长的因子开始,再基于这些因子探求保护复壮方法,包括日常养护管理、桥接技术、根系复壮技术、树洞填充修补技术、支撑加固技术等^[9,10]。安徽农业大学的杨梦硕士通过实地调研将影响古树生长的诸多因子分成四类,即年龄因素、立地因素、环境污染因素和人为因素^[11]。其中年龄因素即伴随树龄增长所带来的古树的衰老与死亡,立地因素包括恶劣的土壤环境、极端的气候条件、病虫害与动物的危害等,环境污染指土壤、大气、水污染长期以来对古树生长环境的影响^[12]。此外,人为的干扰与破坏是直接造成古树濒危的重要因素^[13,14]。显然南京栖霞山这株古红果榆的情况属于人为干扰为主,间接引发立地因素与环境污染,同时可能存在年龄带来的自然衰老问题。浙江江山双塔林业站的严崇惠工程师将古树名木衰败的原因归为内因和外因,内因主要是年龄大导致的抗虫抗风雨能力弱,而外因又分自然和人为两大子因素^[15]。其中人为因素解释了人为活动诸如行人通车与工程作业、修路过程中浇筑混凝土、裁剪树枝树干等对古树造成的损伤。尤其是公园、古刹等风景名胜,这里凡古树名木生长之处,难免会遇到游人践踏和管理方的人为施工干扰^[16]。栖霞山作为秋叶观赏胜地,这株红果榆脚下又修筑了沥青路面,这势必会致使树体周围土壤板结,土壤密度增大。从而严重影响到土壤的气体交换、根系活动和正常生长繁育。

1.1.1 古树修复工程措施的应用

在具体修复措施上,北京石刻艺术博物馆古银杏树复壮工作曾采取过铺设木栈道、焊接金属龙骨支撑树洞的工程措施^[17]。此外,打孔在古树保护上也同样可适用,但孔的深度还需再依实际情况考量孔径在 2cm 以上为好。在树冠投影范围内打孔,同时再往孔内铺施透气性的固体颗粒与有机肥。而换土是在通过打孔仍未能解决其土壤通透性的情况下所使用的措施。在树冠投影范围内,挖去约 50cm 深的土层,再回填通透性良好并富含有机质的土壤。为防止积水,还可在树冠投影外围开挖几条放射状的排水暗沟。这些前人总结的工程措施有着重要学习意义,它们都是疏松根系周边土壤的有效措施。

综上所述,前辈们总结过并已尝试应用于实践的古树修复工程措施主要有除虫、施肥、局部换土、搭建木栈道取代混凝土地面、金属骨架支撑、砌筑暗渠排水等^[18]。如今人为施工给树木带来的损害日益显现,尝试采用更多新型材料和结构来搭建栈道或是改造原先的树池,不失为一个有价值的探索方向。

1.1.2 栖霞山先前的古树修复案例

栖霞山中有一座栖霞寺,寺中毗卢宝殿院内有两株树龄 110 年以上的古银杏,该古银杏在修复工程前显现部分末梢枯萎,树干基部有少量腐烂现象,沿树冠滴水线(投影)范围大部分花岗石路面隆起,围绕古树基部的花岗石花台严重撑裂。

经过外观目测法和拆除剖析法研究之后,结合实际情况最终采取拆除原有花池与地表硬质铺装,改设高度适宜的围栏或者架空平台的施工方案,并同时进行了局部换土,开挖环形沟与复壮坑,填充基质,增加地表有机覆盖物的一系列辅助措施。经过上述一整套抢救复壮工程措施之后,古银杏生长状况取得明显改善,达到预期效果。而本项古树修复工程也同样位于栖霞山,局部小气候接近,濒危原因类似,充分借鉴先前的古银杏修复工程具有重要指导意义。

1.1.3 结构选材与抢救复壮措施的创新和探索

除了园林绿化工程中常见的支撑杆以外,国内外进行树木修复的相关研究者们还在不断尝试新结构和新材料。包括采用复合材料制成的格栅,以及各种合金焊接成的骨架结构。而在工程方案与设计思路,也不拘泥于暴力拆除路面的方法,例如路面打孔这种思路。此外还有一些辅助措施上的创新尝试,例如高温火烧摧毁虫巢和霉菌。

1.2 工程修复的机理

在进行古树修复之前,探究该古红果榆濒危的原因是切入点。也就是说应搞清楚这株古树为什么会陷入濒危的境地,找出其致病的关键因子,对症下药,才能接着去做工程设计,并付诸实施。

宏观上来看,古树是百年以上树龄的老树,自然衰老无可避免,与周边生存环境长期的交互过程中也会积累很多负面影响^[19]。在外因上,通常有气候影响,极端天气造成的损伤,野生动物的破坏,人为的破坏,并且人为活动又可以细分为直接性的暴力摧毁和人为建造构筑物带来的长期影响。

1.2.1 物理层面的因素

从物理层面来讨论,树木遭到了机械损伤,这包括但不限于人为砍伐破坏,人为建造构筑物剥夺树木生长环境,土壤板结与人造铺装导致树根压迫窒息等情况^[20]。物理原理造成的机械损伤,无论是短时性的破坏还是长时性的压迫,都是当今现代社会中容易发生的,是值得思考的重要因素。

1.2.2 化学层面的因素

从化学层面来讨论,土壤理化性质发生了变化,酸碱失衡,土壤有机质减少,树木生长存活所依赖的土壤环境变得恶劣,这样势必就会影响树木的健康状况,甚至死亡^[21]。

根据前期勘察的结果显示,栖霞山古红果榆基部的沥青混凝土路面历经重修与扩建,很可能已经层层堆积了很厚的人造硬质铺装。而普通混凝土 pH 值整体是碱性,这与红果榆偏好的酸性和微酸性土壤环境相悖,再加上筑路封闭了根系土壤的气体交换,其透气性、疏水性都受到影响,有机质也变少了,因此认为化学层面上的因素也是不容忽视的重要部分。

1.2.3 生物层面的因素

从生物层面上来讨论,树木可能会遭到各种病害、虫害的侵袭,从而影响到树木正常生长,致使其陷入濒危。园林榆科主要害虫包括榆叶蜂、榆黄叶甲、榆紫叶甲、春尺蠖(又名榆尺蠖)、天幕毛虫、榆毒蛾等^[22,23],经过观察栖霞山古红果榆的虫害主要发生在树干,以天牛为主,因此将依据实际情况配备除虫物品,在复壮阶段重点关注病虫害防治问题,而眼下笔者负责的工程设计是抢救阶段的重点工作。

综上所述,结合前人在古树修复,树木抢救复壮工程上留下的经验,以及榆属植物,尤其是红果榆这一个种的具体生长习性,认为此次要修复的栖霞山古红果榆在道路建设重度覆盖、游人践踏、行车碾压等外力作用下,土壤颗粒压缩,土壤密度升高,致使土壤板结、孔隙缩小、通气性变差、氧气含量不足、有机质减少、土壤肥力因子之间失衡甚至产生拮抗,最终古红果榆的生长受到抑制。同时,人为的路面构筑物建设也不同程度地改变了其生长范围内地下土壤的性质,并最终影响到了其根系的生长,根系得不到正常的呼吸,以及足够的养分以供给生命活动。通过总结,不难看出硬质铺装占主要原因,据此针对性地提出了恢复其历史生境的工程设计出发点,也就是说,不论最终采取什么施工方案,都必须破除一部分硬质铺装,让根系土壤与外界取得联系,尽力恢复其透气性,疏通板结的土壤。

2 研究方法

2.1 研究准备

2.1.1 数据观测整理

在实地勘察过程中已知,栖霞山古红果榆的树龄为 118 年(编号 770),位于栖霞寺般若台遗址附近(图 1)。目前(2023 年春)古红果榆高 27.6(± 0.5)米,冠幅 12.5 $\times$ 9.7 米,胸径 64.0 厘米,地径 85.3 厘米,古红果榆出现长势不良的现象(枯梢、脱皮、蛀孔洞等),树干有局部坏死、腐朽,蛀干腐洞明显,虫害发生于树干部,主要蛀茎干害虫以天牛为主;树条新梢少,枯枝稍多,长势较弱;叶片生长正常的占叶片总量 50%,显现部分末梢枯萎;树干基部有少量腐烂现象,沿树冠滴水线(投影)范围大部分被新修的沥青和石板路面覆盖,部分根部沿路边道牙隆起。

2.1.2 周边环境整体概况

除了对关键数据进行观测、测绘之外,还观察了整体情况,整理如下(图2,图3,图4):

表 2.1 周边场地概况

道路方向	东西向
两侧高差方向	东高西低
施工路段长度	30m
路面宽度	5.1m
路面仰角	8.2°
路面坡度	14%

在现场使用胸径尺、卷尺对古红果榆基部进行了测量，测得地径和胸径数据，而后使用激光测距仪测得树高，并且利用高低差测量人视点和树干的距离，以及激光测距仪中仰角的读数，通过几何运算得出了路面坡度（东西向路面纵坡）约为 14%，而路面横坡则因为太小故忽略不计。

首先是路面存在高差，这意味着雨水在路表汇聚成径流之后，就会因为重力影响而自然地东向西顺坡流淌下去，那么施工方案中涉及到的排水问题就要依据这点来处理。

其次是坡度大小，14%已经是比较陡的坡度了，对于汽车通行来说，需要考虑到施工后路面强度可能会一定程度下降的问题，其承重性和结构稳定性必须保证，对于行人来说，需要考虑到施工后路面安全系数的问题，一方面不能造成路面坑洼导致行人儿童陷入其中，扭伤腿脚；另一方面又要保证路面摩擦系数稳定，行人不会在爬坡的过程中滑落。此外，周边场地的情况也要纳入考虑。路面南侧是长着麦冬的土坡，但是南侧马路的边缘又高于紧靠它的土坡部分，这一部分的宽度在 30m 长的施工路段中均大于 1.3m，而这一部分与马路边缘的高差最大值约为 34.5cm。也就是说，如果将施工路段上任意一点横剖（南北向横剖，东西向马路）的话，横截面上路面取 0 为基准面，南侧紧靠马路的部分是要低于路面的，而这个最低的位置测得约为 34.5cm。而原有马路北侧紧靠古红果榆的地方，路面上有一个矩形凹陷形状，其长度是 5.02m，凹陷宽度为 0.8m。

在以上前期准备工作完成之后，笔者开始设计具体的施工方案，并绘制相应的施工图纸。

2.2 研究对策

在对这株古红果榆进行了实地观测后，发现它长势衰颓，根系受人造路面和马路道牙影响非常明显，树干上也有虫害侵染的痕迹。根据《南京市古树名木养护复壮技术规范》[22]关于古树名木生长势分级标准判断，目前该古树生长状况属于渐危向濒危发展的阶段。随后对古树又进行了基本物探，并将信息整合，分析具体原因，现陈述如下：

栖霞山古红果榆深受人造路面的压迫，据初步目测观察，路面是由沥青混凝土浇筑而成，这对根系呼吸造成了极大的负面影响，且路边道牙有一定程度的崩裂。该古红果榆的生存环境恶劣，笔者认为物理因素是最重要的因素之一。接下来的工程措施将以全力恢复其历史生境为主旨，进行环境整治。

2.2.1 初步拟定格栅方案

经过上述观测、物探、分析并得出结果的一系列研究活动，初步拟出了用格栅代替原先路面的方案，利用格栅材料兼具透气性与强度的优点，来实现疏通根系土壤的工程修复目标，同时不妨碍道路正常通车，不影响行人上下坡。

总平面图依据实地测绘而得，北侧有若干山石组团和鸡爪槭，其中最大的一组山石组团在古红果榆北侧约六七米处，其内部埋有一套弃用的水阀。不过这套设施不影响施工的进行，故不做考虑。

立面图与剖面图均按照实地测绘数据而绘制，作为参考示意，直观地从南立面和路面横剖面两个不同的角度展示了古红果榆现状，并预估了马路结构，据观测和分析，面层由沥青浇筑而成，下面结构层

由混凝土浇筑而成，最下面的垫层则是由碎石铺成。它们的厚度不详，在开挖之前都是预估值。

施工图包括平面示意和挖方碎石回填局部示意（图 5，图 6），其中施工任务分为两段，第一段是对路面进行 $7.32\text{m} \times 2.44\text{m}$ 的挖掘，挖掘深度依据实际情况而定，因为不同位置的沥青面层与混凝土结构层厚度不同，而且最下面应该还有未知厚度的碎石垫层。随后在挖开的部分铺设复合材料格栅，格栅的铺设方法是分为六块，每一块尺寸为 $2.44\text{m} \times 1.22\text{m}$ ，按长边三块短边两块排列方式铺设于土壤之上。每块格栅的交点位置还要设立一根承重柱，由混凝土浇筑制成，共计 12 根。

第二段是将第一段施工中挖出的建筑废料，也就是这些沥青面层、混凝土块、碎石，回填到道路南侧的高低差部分，这样就可以重新利用废料筑成新的路段，对原有路段进行拓宽，拟拓宽的宽度为 1.3m 。

这套方案中，需要考虑的实际问题还有挖方填方之间的平衡。根据估算，开挖深度取平均值 1m ，开挖面积约 17.86m^2 ，总挖方可达 17m^3 以上，而南侧拓宽路面需要的填方则是取高低差最大值 34.5cm 来估算，回填面积约 39m^2 ，总填方不会超过 13.46m^3 ，故填挖基本满足平衡，这样一来就无需另外购置材料拓路，而且也省去了上下山运输的麻烦，就地取材，就地回填，极大地节约了人力物力财力，积极响应国家绿色节能减排的号召，尽力优化施工流程。

而这套方案的缺点是施工周期较长，对栖霞山日常管理和游客上下山增加了负担，且施工成本尽管已经尝试降低，仍然是一笔不小的开销。此外，方案本身存在的固有问题，如复合材料的强度能否支持日常通车，耐久度问题，以及后期维护的成本和难度。

因此对于这些问题，进行了检验测试，在本项课题的技术路线中，拟定的方案必须经过回归检验才有可能投入实践活动。测试方法是用汽车等重物在空地上对格栅材料进行碾压，观测其承重能力与结构稳定性。最终的测试结果显示，复合材料格栅的承重能力有限，且不能保证耐久度，在后期的维护管理过程中，可能要换修。而换修需要再投入更多成本。

2.2.2 格栅方案改进

经过以上方案的测试和讨论，决定修改格栅方案，拟订第二次设计。由于第二次设计中的核心内容是钢格板取代复合材料格栅（以下简称钢格板方案）。

钢格板方案沿用了格栅方案的基本设计思路，挖除古红果榆基部的硬质铺装，再铺设热镀锌钢格板，格板下方要预先埋入砼承重柱，而挖方产生的建筑废料用来填方拓路，在原道路南侧拓建 1.3m 宽的新路。不同点在于，第一，热镀锌钢格板的强度非常高且不易锈蚀，在承重能力和结构稳定性上强于复合材料格栅，并且抗锈蚀，短期内不会因为风吹雨淋而换修。钢格板方案中的承重柱配置也相应加强了，每隔 1.22m 就要设一砼承重柱，采用 C300 强度的砼和钢筋内骨架结构浇筑制成，确保钢格板不会因为太重而下沉，导致路面塌陷，影响正常通车和行人通行。此外在图纸规范上也做出了优化，笔者划设了两道施工控制范围，内圈是以古红果榆为圆心，到钢格板外侧距离为半径，外圈是以古红果榆为圆心，到南面 1.3m 宽拓路外侧距离为半径。

由于现状总平面图、立面图、剖面图都依据实地测量绘制，并不随主观设计改动而改动，故依然沿用，不再重复赘述，现将在格栅方案基础上做出的第二次钢格板方案施工图纸和大样图陈列如下（图 7，图 8）：

如图所示，钢格板方案的基本思路与格栅方案大致相同，主要改动是材料的加强。而在局部细节上，也相应地做出了强化。

钢格板的尺寸经过讨论后定为 $1.22\text{m} \times 1.22\text{m}$ ，这是因为原先的尺寸只适用于密度较小的复合材料格栅，钢格板如果还按 $2.44\text{m} \times 1.22\text{m}$ 的尺寸来做的话，就会大大增加承重结构的负担，并且尽管缩小了每块钢格板的尺寸，还是增添了承重柱的数量。

承重柱在钢格板方案中做出了明确的设计，主体材料使用 C300 砼，骨架结构用钢筋箍扎而成。先用直径 12mm 的圆钢竖立作为承重筋，再用直径 6mm 的箍筋进行加固稳定，确保承重柱足以承担上部钢格板的重量。并且承重柱间隔设计为 1.22m ，每块钢格板之间的交点都要设置一根，总计 21 根，比起格栅方案，承重柱数量增加了不少。

在钢格板和承重柱之间，另设一层钢梁架。这层梁架使用工字梁焊接工艺制作，起到辅助稳定的作用。这是因为钢格板的尺寸是 1.22m 见方，承重柱也是间隔 1.22m 埋入地下，所以中间需要一个稳定层作为过渡，否则钢格板可能会晃动，长期以往容易与承重柱脱节。由于承重柱尺寸为基部宽 40cm × 40cm，上部宽 20cm × 20cm，两根承重柱基部之间空出距离是 82cm，所以如果将承重柱间隔缩短为原先的二分之一的话，两根之间的空出距离就仅有 41cm，过于密集致使施工难度加大。此外，即便缩短承重柱间隔，钢格板和承重柱之间也依然需要一个过渡层，来保障整个构造的稳定性。所以这层钢梁架有其存在的必要性，而笔者在图纸中绘制的工字梁参数是翼缘 10cm 宽，高度 20cm，这是考虑到强度已经足够，同时兼顾成本。

这套工程方案基本达到设计要求，有一定合理性，交付栖霞山相关管理人员之后经过研究讨论，可以进行下一步工程预算。预算结果显示，这套方案的成本相较于第一次格栅方案来说会大幅度增加，同时施工周期也要延长，人工费用也会大大增加，劳务班组的酬劳也应考虑在内。也就是说，第一次方案中关于总成本的问题不但没有解决反而还而提升。

总的来说，钢格板方案是对格栅方案的优化，虽然尽力争取了最佳工程效果，但是也让经济成本与施工时间大幅增长。最终结合实际情况分析，放弃了相对繁琐且造价高昂的钢格板方案，尝试其他方向。

2.2.3 挖路方案

暂时放弃铺设新路面取代原先闭塞的沥青混凝土马路这一基本思路后，提出了仅挖除原先路面，让土壤与剩余路面自然衔接的做法。

预想人为，顺着路面弯曲走向挖除先前方案中铺设格栅的地方，让土壤重新裸露出来，为古红果榆创造生长环境，尽量恢复根系正常的呼吸与气体交换，同时也可以局部换土，把这些在硬质铺装下面闭塞已久的板结土壤、低肥力土壤换掉，进一步为古红果榆创造良好环境，再进行后续的复壮措施，实现古树修复目标。

现将第三次挖路方案图纸陈列如下（图 9，图 10）：

第三次方案舍弃了铺设可透气材料的思路，而是选择了更为简单直接的挖路，修栅栏，回填废料拓路的设计。

挖路的范围是选取古红果榆为中心，东西各沿直线开挖 3.6m 后，顺着原路面的弯曲弧度继续开挖 3.6m，向北侧靠拢。东西两个方向总计开挖 14.4m 的路段长度，古红果榆中心点处向南到开挖范围的垂直宽度为 1.3m，估算出开挖面积和挖方量分别约为 17.82m² 和 7.128m³，这里由于不用埋入承重柱，所以只要挖到土壤的深度就行，换言之就是沥青混凝土层加上碎石垫层整个硬质铺装的厚度，按照 40cm 的平均深度来计算。南侧的拓宽路面设计与先前的方案一致，填方量估值为 13.455m³，这里不难看出，填挖之间可能不平衡，实际施工过程中如果发现确实不够填方，则需要另外准备材料运送上山进行拓路。

在挖方施工完成之后，对挖除的部分也就是靠近古红果榆基部的地方进行局部换土，把板结土壤换成适宜树木生长的营养土。然后新的马路边缘设置一排 pvc 材质栅栏进行围护，防止行人践踏，栅栏下方还有一排新的道牙，采用芝麻灰道牙砖砌筑而成。一系列的施工，与局部破除硬质铺装的基本出发点相符合，同时也做到了保护古树周边区域，用道牙和栅栏简洁有效地进行围护，至于挖路占用的空间，在南侧的拓宽路面上得到补偿，通车和行人的需求也得以保障。但是挖路方案存在的固有问题是，原有道路的稳定性很可能遭到破坏，路面平均宽度只有 5.1m，而古红果榆处的路面本就向内凹陷了 80cm 左右，加上 1.3m 的挖路宽度，也就是说古红果榆基部的原有路面经过开挖后，最窄处仅有 3m 左右。这对原路面的强度和稳定性是个巨大的考验，虽然通车和行人需要的空间由南侧拓宽路面进行补偿，但是新筑的路面与原有老路之间毕竟不是一个整体，不能补偿它的强度，而原路面开挖后最窄处的宽度只剩下平均宽度的五分之三，自身强度和稳定性大打折扣，对通车来说存在风险，特别是一些用于园林绿化作业的工程车辆载重比较大，这样的车辆在经过该路段时风险难以评估，万一造成路面断裂或是塌陷又会需要更多施工来维修。

总之,挖路方案虽然不用铺设替换材料作为新路面,但也有同样的挖除大面积路面和填方拓路过程,其施工周期与成本,人工费用,劳务班组也一样不少。与先前的两套方案相比,优点在于破除硬质铺装更彻底,让下面的土壤重现天日,为古红果榆创造了最通畅的土壤环境。同时总成本也要减少一些,在材料购置上可以有所节约。

而缺点则是施工后路面强度难以保证,照顾古树的同时无法兼顾路面。这个问题非常现实且牵涉到安全保障,因此在交付栖霞山相关管理人员之后,进行了较长时间的商讨。经过各方面慎重考虑之后,决定暂且保留本方案,同时也要另寻他法,尝试探索其他更优化的方案以期替换本方案。

2.2.4 打孔方案 (结论方案)

在前面的三套方案拟出又搁置之后,反复进行假设论证,并在期间多次再赴栖霞山古红果榆现场观测,最终拟出了第四次方案。这套方案的主要内容是在古树基部附近的原有路面上打孔,再将打孔口半封闭处理,达到局部破除硬质铺装的抢救工程基本要求,同时吸取了先前三套方案的缺点,避开了大量挖方破坏路面强度、铺设新材料的强度不够、总成本过于高昂、过程过于繁琐的几个重要问题,力求简洁有效、经济实惠,同时符合各项基本要求,贴切实际情况。现将打孔方案的图纸陈列如下:

这套方案中,在先前铺设格栅、钢格板的范围基础之上,重新划定了 $7.2\text{m}\times 3.6\text{m}$ 的区域,在此区域内按 13×6 的排列方式打孔 78 个,然后在孔内埋入钢管进行稳定支撑,最后再在钢管上安装圆形地漏盖,对洞口进行半封闭。而马路南侧的拓宽路面也相应取消,这是因为本方案中没有大量挖方,也没有占用路面空间,照常通车行人,所以不用另行拓路。其中,打孔直径设计为 175mm ,埋入的钢管壁厚 10mm ,钢管内径 155mm ,同时预留 2mm 空间,地漏盖上部外径 178mm ,确保可以稳妥盖住,下部是压入钢管内的,下部外径 153mm ,与预留的 2mm 空间相对应。对于钢管的长度,则与先前的方案中类似,要依据实际情况决定,不同的孔位路面厚度不同,打孔的深度也就深浅不一,但都要挖到土壤为止。所以图纸中的 50cm 长钢管仅作参考示意,不具有绝对性(图 11,图 12)。

这套方案首先在设计思路摒弃了大面积挖除路面的做法,打孔法虽然破除的原路面面积有限,但是依然起到了疏通作用,为根系呼吸、气体交换提供了一定的便利,符合在工程设计之初就提出的基本理念。

为打孔设计配套的支撑构造时,使用钢管对孔壁进行稳定,防止路面碎裂、塌陷,从而将孔堵住,使得这些透气孔失去功能。而透气孔本身的尺寸也是要仔细衡量的,直径太宽会破坏路面强度,直径太小又让透气效果不显著。同时应防止游客不慎踩到,陷入其中扭伤,所以洞口要有一定遮蔽。此外,还要考量自然天气对透气孔的长期影响,包括枯枝落叶掉进孔中造成堵塞,降雨时在孔内造成积水等现实问题。

综合考虑上述问题之后,决定采用地漏盖来对洞口进行半封闭处理。地漏盖可以直接性的防止行人腿脚陷入,也能阻挡一部分枯枝落叶飘落滑入透气孔中。透气孔如果真的被异物堵塞住,工作人员还可以拆除地漏盖,因为将地漏盖与钢管的连接方式设计成可拆卸式,可以随时换修且成本低廉、人工简单。至于积水问题,经分析认为一般情况下积水可以向下渗透进入土壤,如果严重到一定程度,也可以拆卸地漏盖把积水手动排出,不会让过多的积水长期滞留透气孔中。

总结本方案的优缺点发现,透气孔法在保障修复工程基本要求的同时,将施工难度和施工流程简化到最简程度,相较于过于繁琐而造价高昂的钢格板方

案做了一次精简,更贴合实际与可行性。并且打孔方案不涉及大量挖方填方,也就避开了挖路方案的潜在风险。但任何一套施工方案都不能保证绝对完美,打孔方案中 60cm 的间隔也有可能造成路面强度严重下降,沥青混凝土层可能会开裂。因此施工过程中需要注意观察路面情况,并最好先进行预施工检验方案可行性。另外,透气孔的效果相较于第三次方案中的挖路来说也会稍弱一些。

第四次方案相较于前三次设计,施工上最大的不同就是将整块挖除路面的做法彻底舍弃,也相应的不再需要拓路。该方案主要从可行性、成本费用、后期维护上做到了优化,并且吸取了前三次设计的缺点。

3 结论与讨论

3.1 反复检验

工程设计阶段先后拟订了四套方案，这些方案都经过了回归检验的过程。第一套格栅方案经过压力测试发现强度不够，于是才有了第二套钢格板方案，但是第二套方案经过工程预算之后发现造价过于高昂，且费时费力，比较繁琐，施工可行性较差。第三套方案因为存在一定风险，出于安全性考虑也不得不再尝试更多思路，而第四套方案吸取了前面三次设计中的问题，是对它们的不断推翻重试，不断优化，同时尽量简化，最终达到预期。

3.2 结合实际情况

所有设计方案全部交付栖霞山方面后，经过研究决定，第四套设计也就是打孔方案的可行性最高，不仅是因为施工复杂度的简化，操作方便，工期不长，还有施工成本的降低。栖霞山方面的预算有限，要在有限的范围里争取最优解，第四套方案无疑是最佳选择。

4 施工过程

4.1 施工组织与起止日期

施工组主要由三位工人师傅组成，其中一人负责操作打孔机按照施工图方案在预定位置打孔，挖穿沥青混凝土层之后，由另一人手持小型电钻继续打通碎石垫层，另外再有一人负责在施工现场测量打孔深度后当场切割钢管埋入孔洞，其余安装地漏盖等杂务共同完成。本项施工自五月四日开始，至五月十一日竣工，总计八天。

4.2 施工准备和预施工

施工起始时间为五月四日，先将钢管地漏盖等材料和砂轮切割机、钻头等工具配备齐全，部分安置在古红果榆附近的管理库房中，随后对施工现场进行放线定点，标记，对照施工图纸逐一清点完毕，并且准备好四个路障，在施工区域两端布置好，以提醒来往车辆和行人注意安全。

预施工做法是，选取最靠近古红果榆基部的一排孔位中西侧的几个孔位，以及最西侧的一排也就是高程最低的一排中的几个孔位，对它们进行试探性的钻孔。经过尝试，发现靠近古红果榆的地方，路牙可能会崩裂，钻孔后极有可能导致路面碎裂，透气孔也就无法形成。

4.3 正式施工的流程

4.3.1 作业时间段

作业时间段为傍晚 17:00 前后至 22:00 点前后，避开白天游客活动时，减少车辆和行人的干扰。

4.3.2 作业前的准备

每次作业前先从库房取出相关材料和工具，然后从库房架设水管、电线，供电动工具使用以及冲水所需，并临时设置 LED 照明灯供夜间施工所用。

4.3.3 放线定点、定位

施工准备工作中已经完成了放线工作，按照图纸定好零基准点，在具体施工时，找到每一个孔洞的位置并用粉笔标记，完成定点。而定位则是在定好点之后，再以定点的粉笔标记为圆心，钻孔直径为直径画圆，其目的是方便钻头校准，减小误差。

4.3.4 钻机打孔

打孔时先使用口径 114mm 的钻孔机沿竖直方向钻孔，先后挖穿沥青面和混凝土结构层，再换用小型手持电钻打碎最底部的碎石垫层，破除小石块和其他硬质异物。

4.3.5 冲水与埋管

打孔和清理碎石工作完成之后，用水管对孔洞进行冲刷，将里面的异物冲洗干净，这些异物主要是钻孔时产生的沥青碎块、混凝土碎块以及碎石垫层中本就含有的小石块。冲刷后方可进行埋管工作，首先截取孔洞深度，在一根整的钢管上做上标记，然后用砂轮切割机进行切割，按照现场量、现场切、现场埋的原则，坚持做到一孔一管，不得随意换用、不得进行二次切割焊接。埋管这一步骤密切关系到孔壁的稳定性的，施工过程中必须仔细操作，确保工程质量。

4.3.6 安装地漏盖

由于上一步施工流程中冲水操作会让场地潮湿，所以在安装地漏盖之前，要先等待地面干燥后，且确保孔洞内积水已经清理干净的前提下，再使用胶枪在钢管口上打一圈结构胶，然后将地漏盖安装在钢管口上。整个过程需要耐心操作，尤其是清理积水时，可以先用钻机进行抽水，这是因为高速旋转的钻头会将水流挤压出孔洞，然后再慢慢舀出剩余积水。结构胶在使用时也要注意出胶均匀，并且在安装地漏盖时，一致将地漏盖上盖空隙方向与道路方向垂直安放，即道路方向为东西方向，上盖竖纹空隙为南北方向。至此，一个透气孔的完整施工过程结束。

4.4 施工局部细节简述

4.4.1 打孔细节

在钻机打孔时，先接触到的部分是沥青面层，这部分厚度依据现场实测大多在 6cm~10cm，最厚处可达 12cm。接下来是混凝土结构层，这部分厚度大多在 20cm 左右，最厚处接近 25cm。而最下面的碎石垫层由于观测困难，并未测得准确的数据，估测在 6cm 左右。此外，在钻孔时，钻机接入了一根水管用以水冷，这会导致钻孔过程中孔洞内就已经蓄水。在挖穿整个路面结构后，水流会携带泥土变成泥浆从孔洞中溢出，依据这一现象来辨别打孔是否到位，只有在确保挖穿之后才能进行下一步的碎石清理。

4.4.2 碎石清理与冲水

打孔完成后用小电钻继续清理碎石这一步骤中，由于碎石和泥浆混在一起，难以用肉眼观测，所以小电钻每清理一段时间就要停下，确保戴好手套的情况下伸手入孔摸索，并且随时用水管冲水，帮助排出孔内异物。清理步骤完成后，再用钻头抽水，舀出剩余积水，观察情况，若确实已经清理干净，则进入埋管步骤；若还需继续清理，则重复上述操作，直至清理干净，不能贸然埋管，以防出现钢管与底部土壤接合不紧密或孔内异物杂质过多的问题。

4.5 施工成果

经过八天的施工之后，本项古树修复工程告一段落，取得了阶段性成果。整个施工流程基本按照打孔方案实行，打孔——埋管——封盖依次进行，顺利完成既定的工程计划。共计打孔 78 个，并安装好了配套的钢管和地漏盖。

不过，本项工程虽然在整体上依据施工图进行施工，但局部做法在施工过程中发现了问题后有所改动。接下来笔者将这些情况另起一章进行陈述。

5 施工中的问题与调整方法

5.1 发现的实际问题

5.1.1 钻头尺寸与钢管及配套地漏盖的尺寸不适宜

原设计中打孔直径是 175mm，钢管与地漏盖也相应地匹配这个尺寸，但是在施工前的准备工作中，经研究认为尺寸应该尽量减小，谨防路面强度急剧下降致使碎裂。

5.1.2 孔位不适宜

在预施工中，工人师傅发现最北侧靠近古红果榆基部的一排孔位需要调整，这是因为它们在设计中距离道牙边缘只有 60cm，如果依原设计打孔，道牙会崩裂。并且这一排透气孔本身的意义也不大，它们距离道路边缘太近，附近就是土壤，所以完全可以取消掉，在别处再补添上同等数量的透气孔。

5.1.3 地漏盖连接方式不实用

此前在进行工程设计时并未考虑周全，忽略了地漏盖连接方式的实用性。在原设计中，笔者认为地漏盖下部的卡扣可以紧紧卡住钢管内壁，直接按压进入钢管即可。这样的做法看似简单方便，但是卡扣由于长时间的车辆碾压产生形变，或是在其他的外力作用下产生形变后，就可能脱落、错位、塌陷。此外，还有可能被路人取下私自带走，造成损失。因此，地漏盖与钢管之间的连接方式还有待改进。

5.1.4 打孔顺序颠倒

工人在施工之初是从西侧开始的，在工程进行中发现，冲水时会在路表形成径流，向低处流淌，而西侧高程低，从西开始往东依次打孔的话就会导致新打的孔产生的水流进入先前打的孔内，形成积水。高低差虽然在设计阶段就已经考虑到，但实际施工时还是疏忽了这点。

5.2 采取的调整措施

针对上述问题，施工过程中积极采取应对措施，在打孔方案原设计的基础上作出了局部调整。

5.2.1 调整尺寸

正式施工开始前,施工队准备的钻头为外径 114mm,定制的钢管外径为 110mm,壁厚 2.5mm,内径 105mm,地漏盖外面板直径 125mm,里圈直径 100mm,预留空隙 5mm 用于卡扣与钢管内壁连接。根据测算,实际操作中每孔开挖直径约 120mm。

5.2.2 调整孔位

对于预施工中发现的孔位不适宜问题,最终决定将最北侧这一排孔位减少9个,同时在最南侧新增9个孔位,与原设计中共计 78 孔的数量保持一致。竣工图示意如下(图13,图14):

5.2.3 地漏盖连接处固定

原设计中紧靠按压安装地漏盖,而实际施工时稳妥起见,给每孔钢管与地漏盖打上了一圈结构胶,这样一来地漏盖就固定在钢管上了,如果后期管理中发现部分地漏盖需要换修,使用刀片割开胶体就能重新取下。另外,通常情况下路人也不会携带专业工具有目的地对地漏盖进行拆卸破坏,打胶固定的做法可以防范路人的不良举动。

5.2.4 打孔顺序调整

在发现先打低处孔位会造成持续性积水的问题后,施工队调整了顺序,改为先打东侧地势高处的孔,然后依次向西一排一排地打孔。最后,在施工进行到西侧末端,其余孔位都已经完成时,再用刀片割开最初打的几个孔位上的地漏盖,将里面的积水清理干净,重新封上地漏盖,完成施工。

6 总结与建议

6.1 工程设计过程中回归检验的必要性

本项工程设计历经方案更迭,每次的改动都要经过严谨的检验,结合实际要求,否则既不能直接投入施工,也不能随意变改。并且即使经过了四套方案的设计,事实表明,该设计考虑地还不够周全,还有若干问题在预施工和正式施工中逐渐呈现出来。

回归检验法是技术路线中的基本研究方法之一,在达到预期之前,发现任何问题都要回到设计分析步骤重新思考,进行调整与改正。

6.2 施工过程中动态检验的必要性

在施工的过程中,需要保持动态检验,随施工进行的同时也要随时跟进检查,这样做是对工程质量的严格把关,更是对施工方案的检验。一旦出现问题就要立刻调整,例如对孔位的调整,这个问题本质上是设计阶段出现的疏忽,并且直到设计方案确定下来都没有被发现,假如预施工时再没有注意到,那么后果可想而知。因此,随时保持动态检验是施工过程中必不可少的习惯。对古树修复工程而言,古树往往衰颓脆弱,施工中稍微不加注意就有可能误伤古树,这更需提高检验意识,严谨认真地对待。

6.3 对后续复壮阶段的建议

经过一周的施工,本项古树修复工程中抢救的阶段基本完成,采取了打孔方案进行实地施工并基本取得了预期效果,工程于二零二三年五月十一日竣工,笔者的论文内容至此也接近尾声,下面结合抢救阶段的工程实操过程,尝试给出不太成熟的建议,仅供参考:

□持续观测古树生长状况:打孔方案对路面的破除有限,透气性是否已经满足古树修复需要还有待跟进观察,检验过程还要继续。可以通过观察叶片情况来了解古红果榆康复的进度。

□及时清理孔内积水:地漏盖只能阻止体积较大的异物滑落透气孔内,并不能阻止降雨产生的自然积水,虽然积水会逐渐蒸发,但在降雨集中的月份,积水问题可能会相对严重,可能需要介入人工进行清理。

6.4 存在的问题

由于人力、物力、财力的限制,最终施工效果究竟是否满足古树修复的需要还有待检验,以及设计中存在的问题,现在具体分析如下:

6.4.1 排水设计

地漏盖本身是一种排水用具,为避免透气孔内长期积水,在具体施工时将竖纹空隙的方向对准南北向,而路表径流汇聚后会自东向西流去,通过这种做法尽力减少孔内积水。但由于工期限制,并未一一测试其他可能的做法。

6.4.2 路面强度

竣工后对路面强度下降的问题也有待检验。在减小孔径和配套的钢管地漏盖尺寸之后,并不能确定路面强度是否经得起长时间的考验,因此,具体情况会在今后的工程复查中进行补充和总结。

6.4.3 透气性

前文提到,打孔方案对于土壤透气性的设计较之于其他方案较弱,究竟能否满足古树抢救复壮的需要,还需对古红果榆进行持续性的观察。

综上所述几点是笔者在最后回顾整个古红果榆修复工程设计到施工完成所提出的不足,希望能为以后的古树修复相关工作提供经验教训和经验总结。由于受时间的限制,笔者在完成本文时不能进行全面的、大量的测试和检验,因此这项古树修复工程有待做进一步的研究和探讨。

结论

本课题研究内容是栖霞山古红果榆的修复工程设计探索,以栖霞山古红果榆修复为案例,基于整个修复过程总结出一套符合北亚热带地区气候条件的古树修复技术体系,形成可参考、可复制、可借鉴的模式。虽然竣工后仍不能尽善尽美,但总体上对栖霞山古红果榆的抢救复壮起到了积极的影响。

此次对栖霞山古红果榆的修复工程中,技术路线由实地观测开始,发现问题,进一步进行基本物探,对收集到的信息进行分析,初步拟定施工方案,并且对施工方案反复论证检验,直至确定下来,然后组织施工,施工过程中也保持动态检验,直至达到预期,进行总结。但限于时间,后续的复壮计划尚未展开,距离总结出较为完整的、符合南京地区的古红果榆抢救复壮技术体系还有很长的一段路要走。

从此次修复工程中,经探索得出想要使用工程措施对栖霞山这株古红果榆进行修复,就是要以破除地面硬质铺装为基本出发点,这些硬质铺装对古树根系经年累月的压迫正是其濒危的关键因素,掌握了关键才能对症下药,设计出符合要求、结合实际的具体施工方案。同时,将回归检验的习惯贯穿始终,无论是方案的更迭优化过程,还是具体的施工细节,都要以实践检验想法、以实践发现矛盾,最终以实践解决矛盾,基于实践观和方法论来作为行动指南。

参考文献

- [01]王枫. 古树名木保护: 发展历程·内涵辨析与制度构建[J]. 安徽农业科学, 2022, 50 (15): 98-101.
- [02]刘诗瑶. 古树名木保护现状与复壮措施探究[J]. 广东蚕业, 2022, 56(09): 26-28.
- [03]李猛. 园林古树衰弱原因及复壮措施研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022(27): 166-168.
- [04]中国植物志编委会. 中国植物志[M]. 1998, (22), 370.
- [05]万承永, 卢高杨, 邹旭, 等. 红果榆在城乡绿化中的推广应用研究[J]. 园林, 2020, (06): 51-56.
- [06]郑万钧. 中国树木学资料榆属五新种[J]. 南京林学院学报, 1958, (00): 70-71.
- [07]刘启新, 主编. 江苏植物志[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2013, (02): 245.
- [08]周忠胜, 张文豹, 曾雷, 等. 稀有树种红果榆种实发芽特性与苗期种源筛选初报[J]. 特产研究, 2021, 43(01): 29-32.
- [09]黄金森. 古树名木衰败死亡原因调查及保护措施初探[J]. 现代园艺, 2011(03): 49-50.
- [10]赵家宏. 古树名木衰败死亡原因及保护措施[J]. 云南林业, 2014, 35(03): 71.
- [11]杨梦. 古树保护与复壮技术的研究——以阜阳市颍上县为例[D]. 安徽: 安徽农业大学, 2021: 1-74.
- [12]李贺敏, 张江涛, 高致明, 等. 中国榆属 12 种 2 变种木材解剖学研究[J]. 河南林业科技, 2007, 27(03): 1-3.
- [13]黄大国, 江增盛. 古树名木修复探讨——以安徽省休宁县为例[J]. 林业科技通讯, 2023, (04): 77-82.
- [14]胡德敏. 古树修复保护技术要点——以歙县一株南方红豆杉为例[J]. 安徽林业科技, 2020, 46(6): 30-31.
- [15]严崇惠. 古树名木衰败原因和复壮技术探讨[J]. 福建林业科技, 2006, 33(01): 213-215.
- [16]郭宜强. 古树名木衰败原因及对策[J]. 防护林科技, 2013(01): 62-64.
- [17]武迪. 古银杏树的复壮与保护——以北京石刻艺术博物馆古银杏树复壮为例[J]. 现代园艺, 2022, 45(03): 85-87.
- [18]曾辉, 朱丽辉, 李冬, 李慧茹. 古树名木衰败死亡原因及保护措施初探[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2007(01): 23-24.
- [19]杨军, 赵志宏. 古树名木衰败死亡原因及保护措施初探[J]. 中国林业, 2010(18): 45.
- [20]况太忠. 古树名木衰败的原因及保护措施[J]. 现代园艺, 2011(07): 136.
- [21]张容, 刘晶岚, 张振明, 史晓艺, 温志勇, 张津林, 王春雷. 不同区域古树土壤化学特性分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(31): 57-60.
- [22]王志麟. 金叶榆栽培管理技术和病虫害防治[J]. 种子科技, 2022, 40(15): 64-66.
- [23]王景胜, 梁宏斌, 王丽华等. 东港地区榆树病虫害发生现状及治理对策[J]. 辽宁林业科技, 2000, (02): 23-24.

图片



图1. 实地观测情况

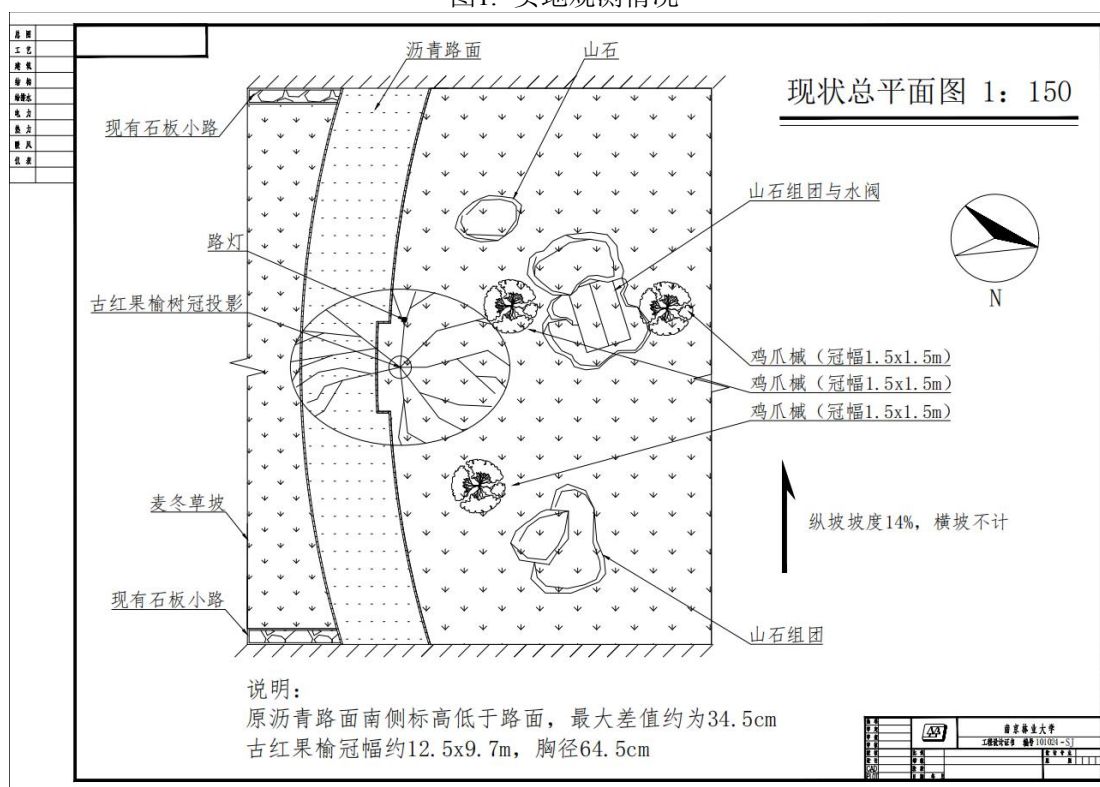


图2. 总平面图

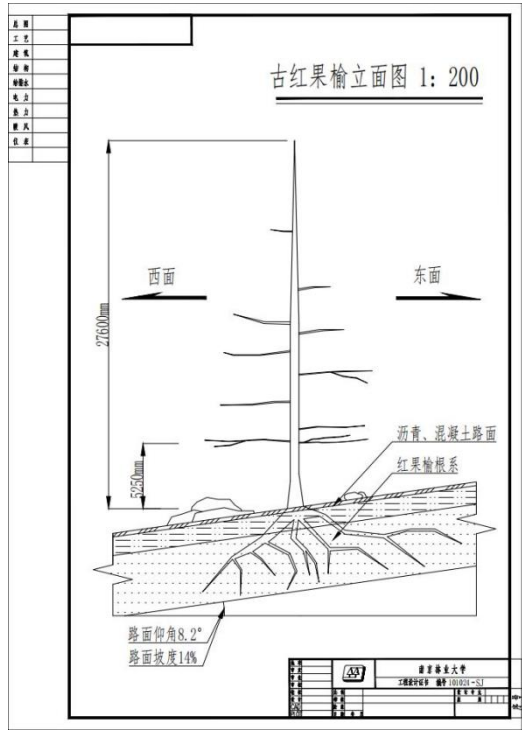


图3. 剖面图

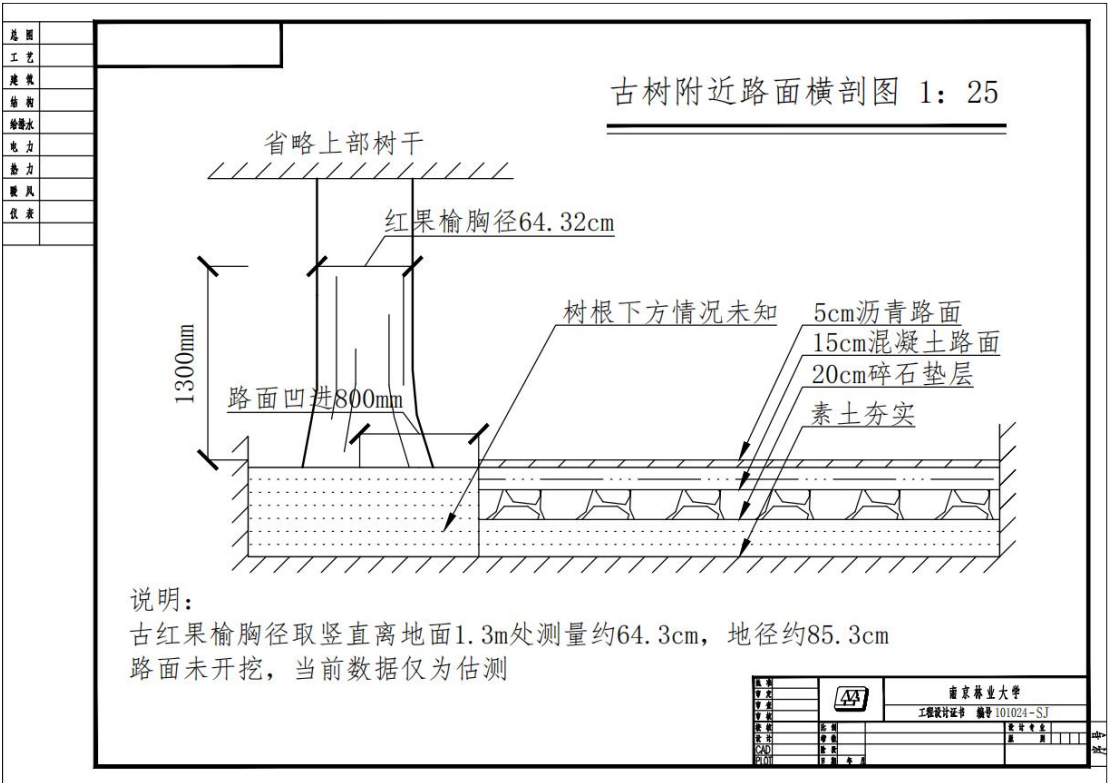


图4. 路面剖面图

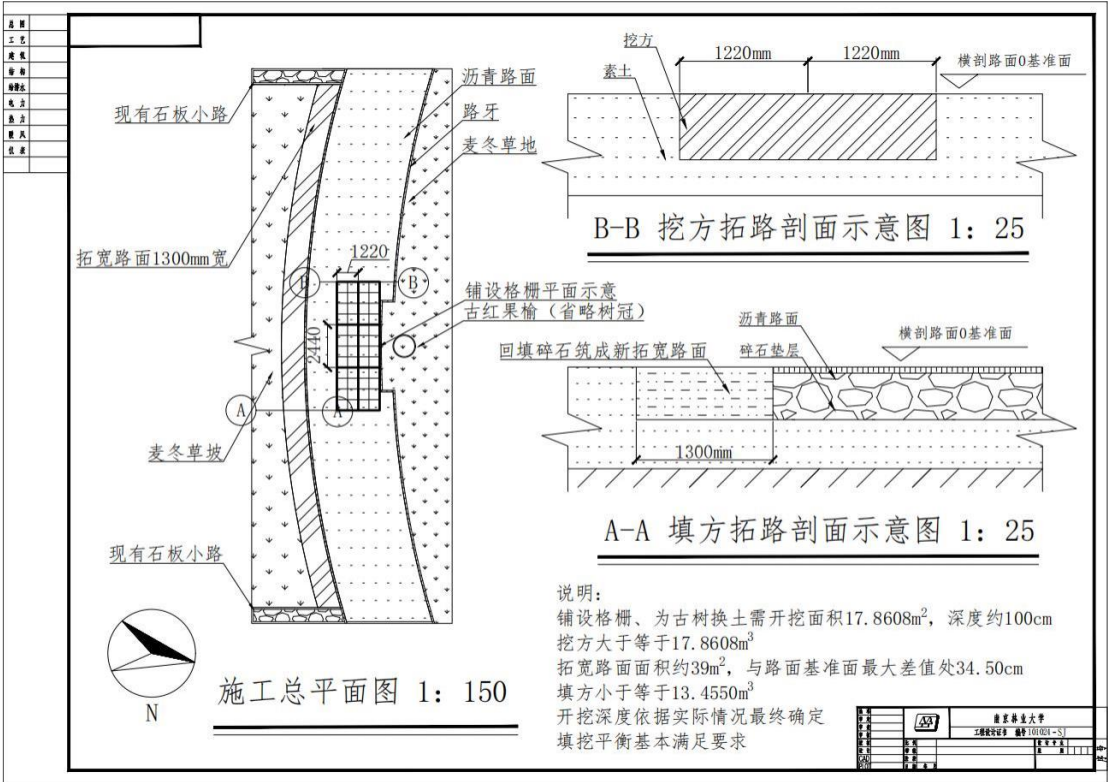


图5. 总施工图

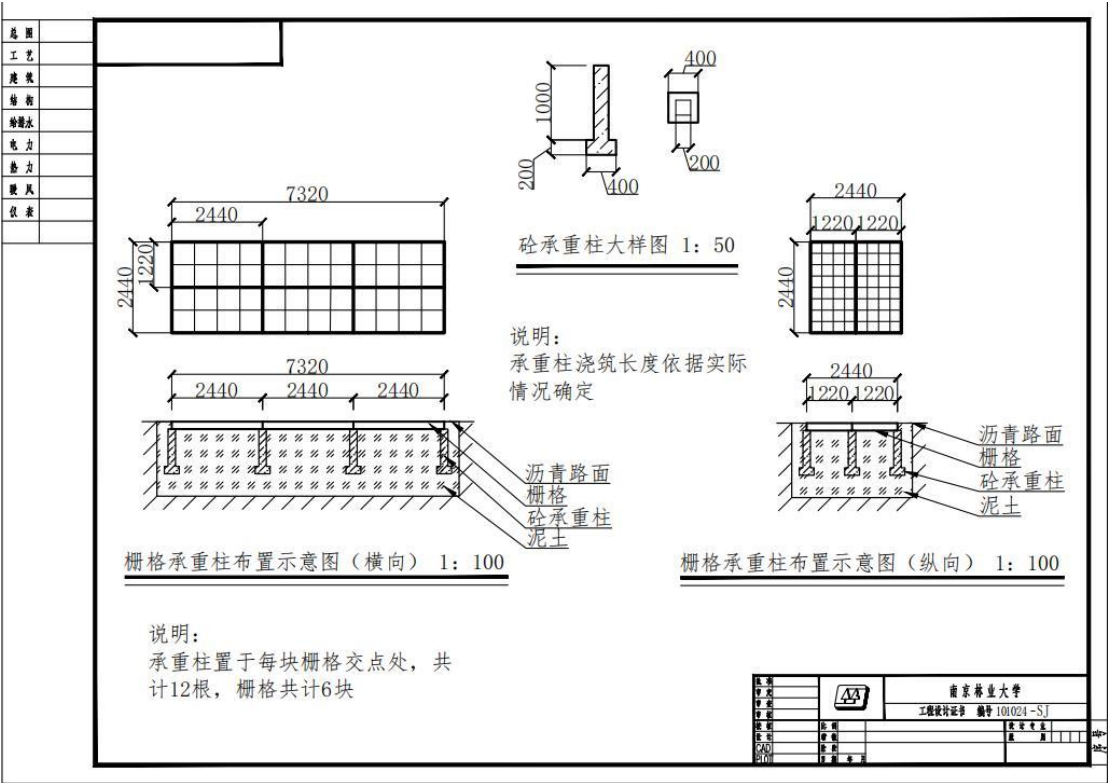


图6. 格栅大样图

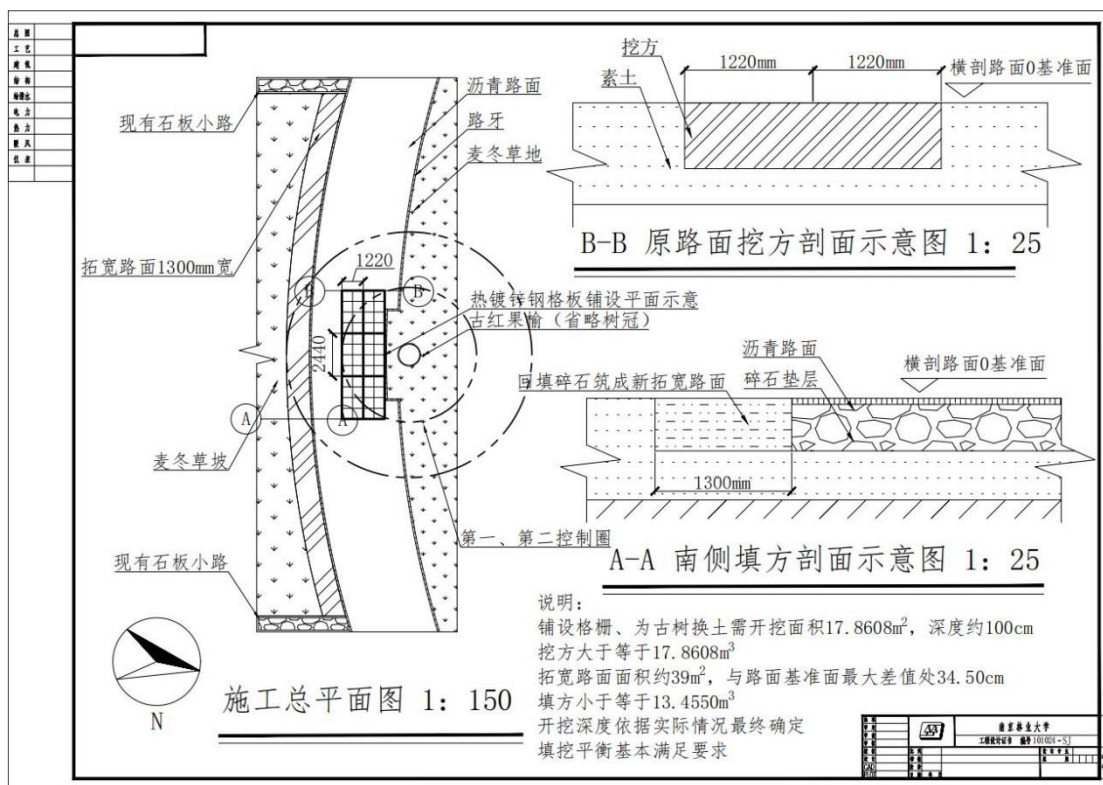


图7.钢隔板方案总施工图

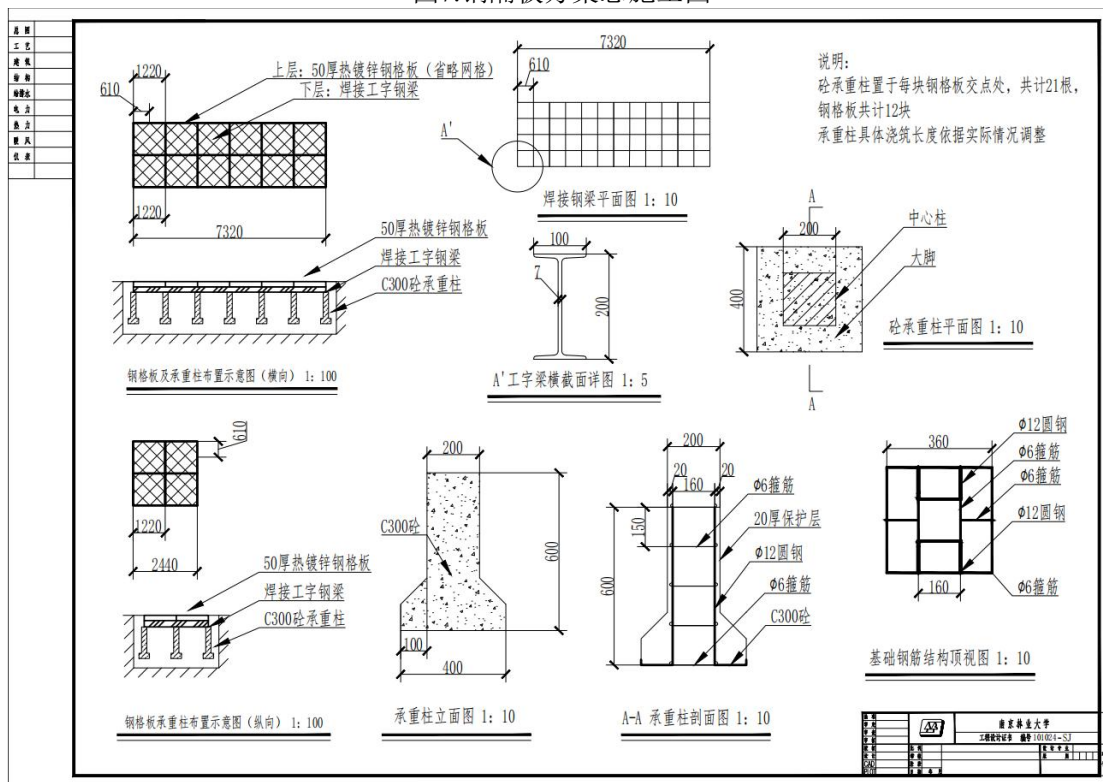


图8. 钢隔板方案局部大样图

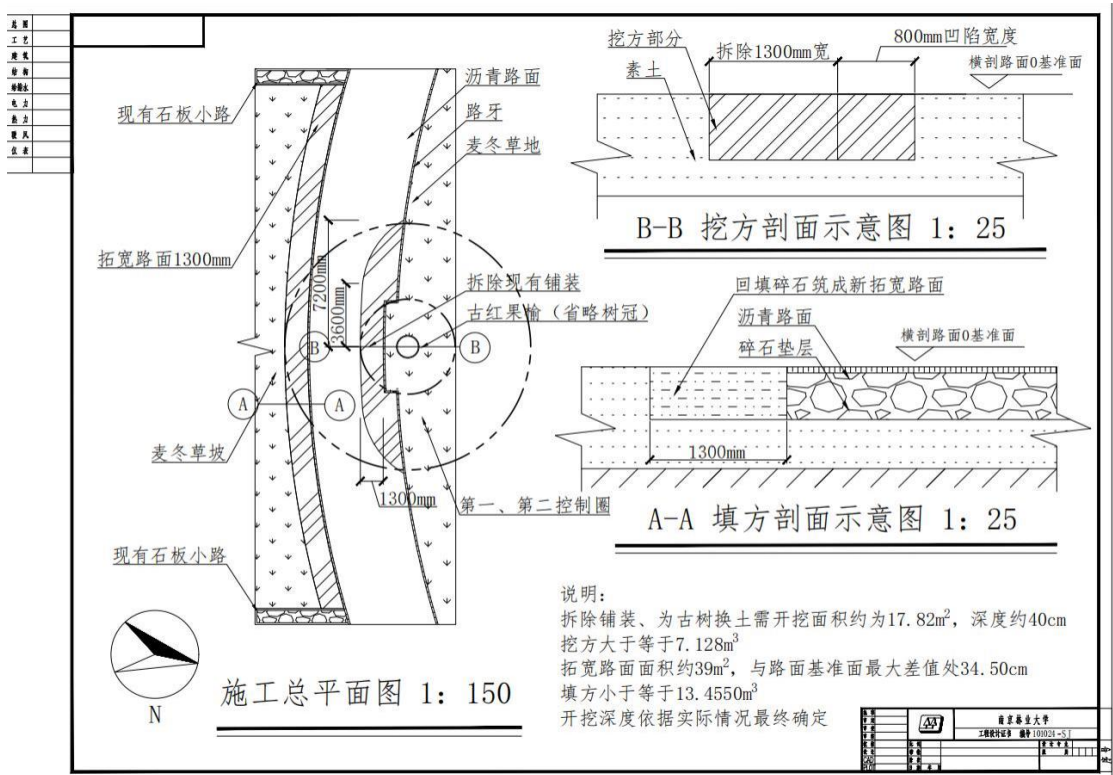


图9. 挖路方案总施工图

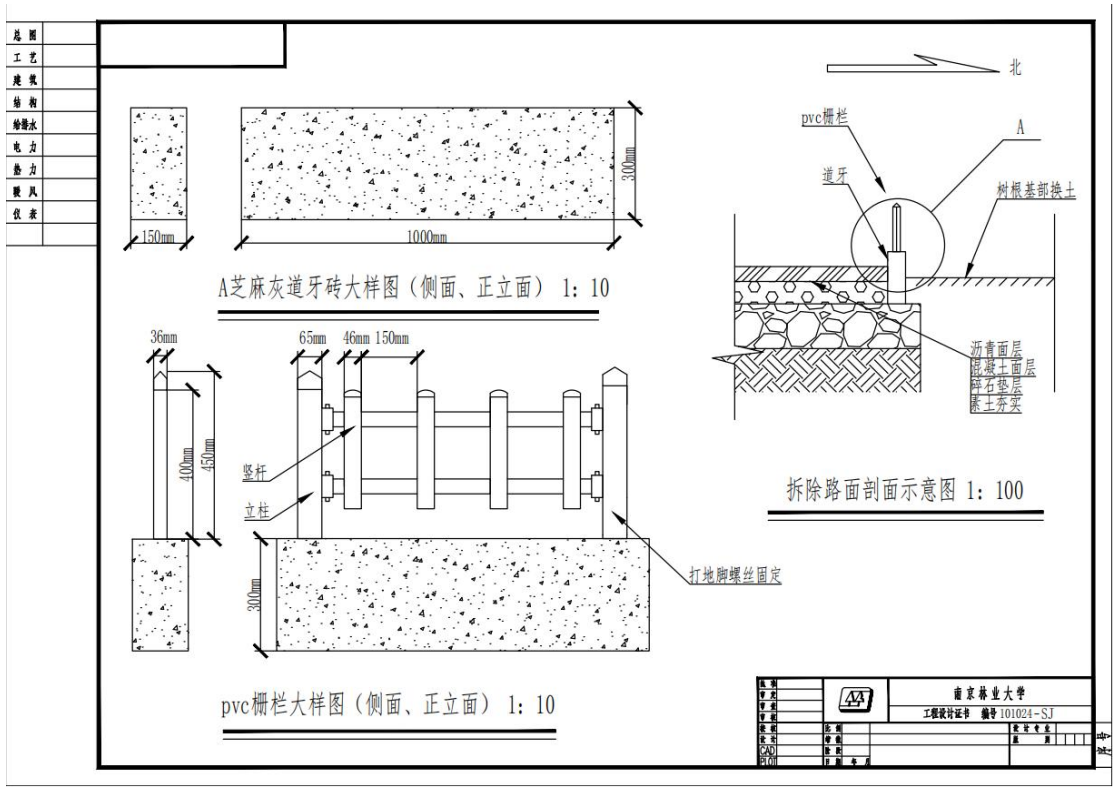


图10. 挖路方案局部详图

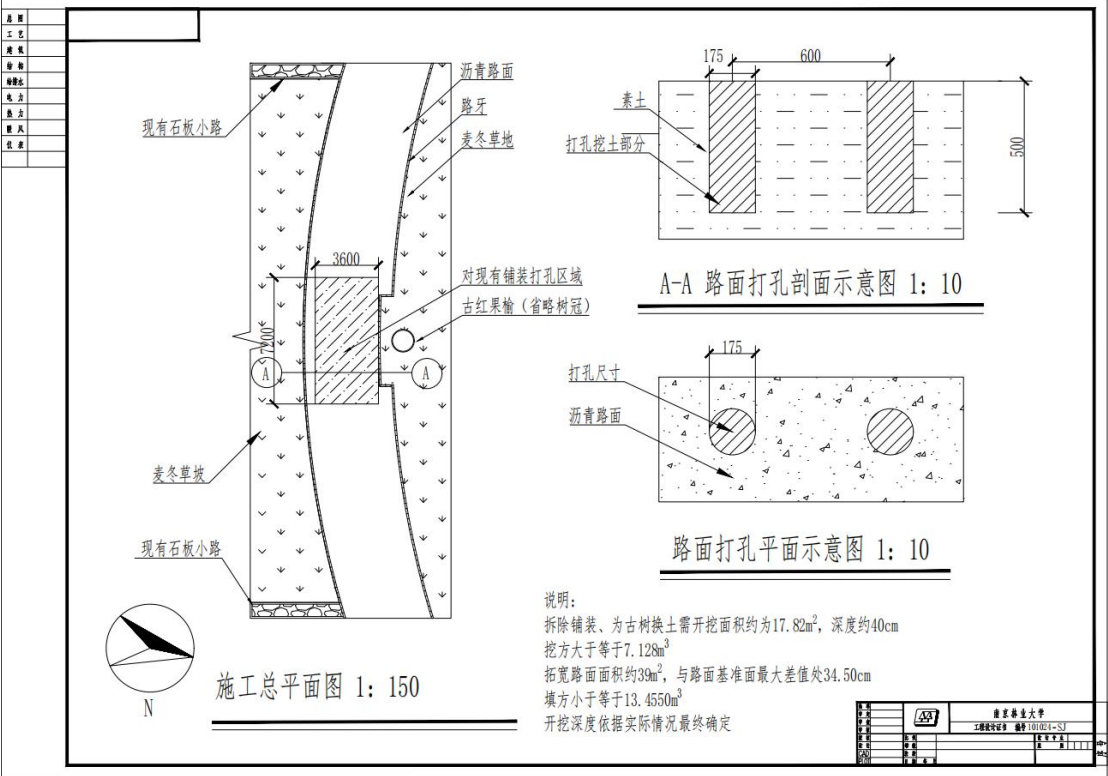


图11. 打孔方案施工平面图

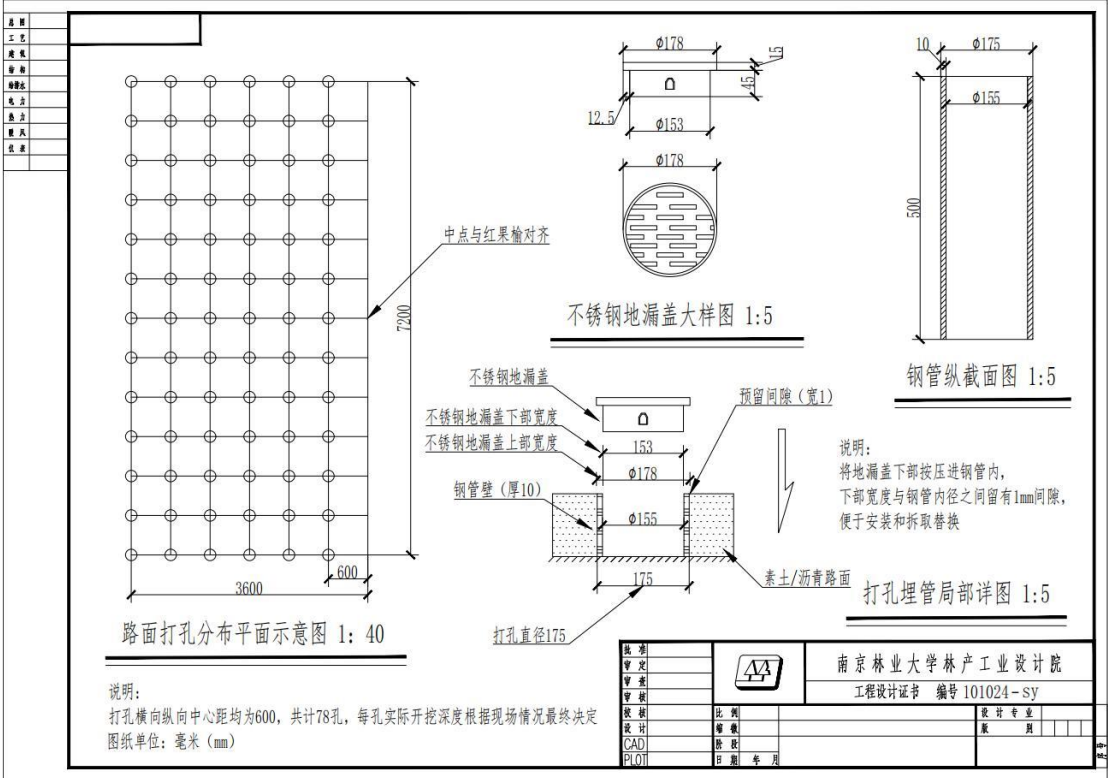


图12. 打孔方案大样图

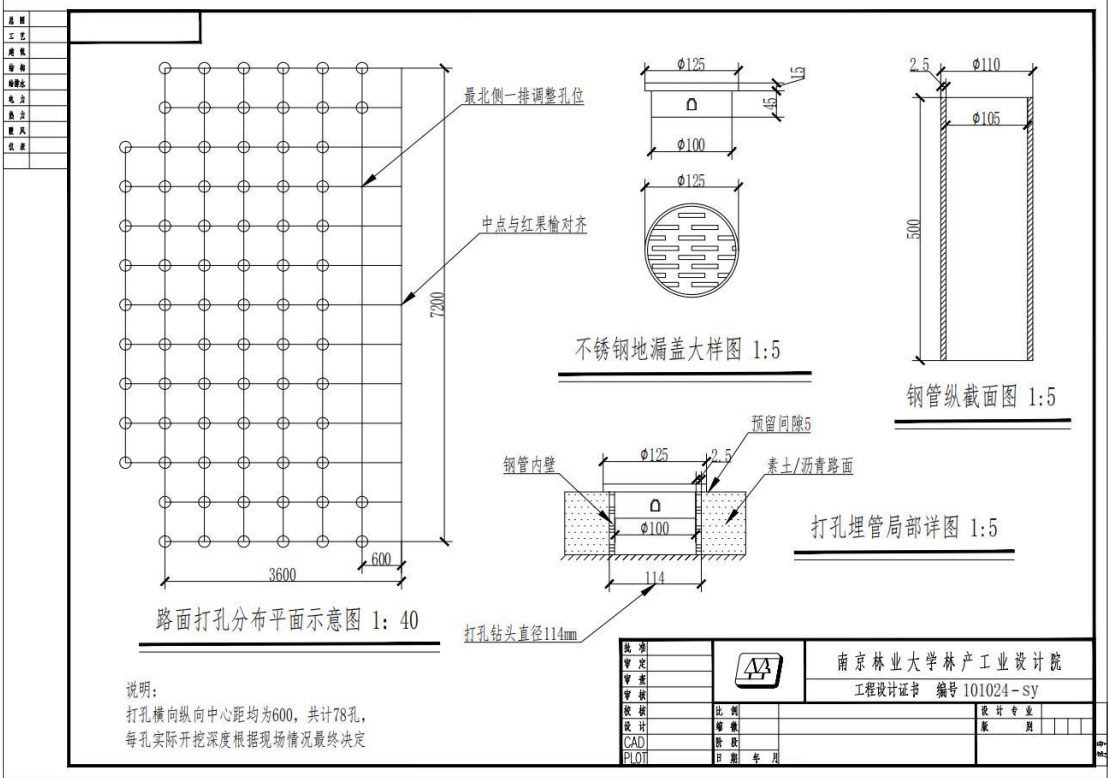


图13. 竣工图



图14. 实际效果图