

微型桩—承台—挡墙在临水软弱土路堤加固中的应用

谭可¹, 瞿永¹, 郭博¹, 刘维正², 石志国²

(1. 中建五局 土木工程有限公司, 湖南 长沙 410004; 2. 中南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410075)

摘要: 张家界市融山东路新建工程需在紧临澧水一侧对原有公路进行扩宽, 针对该场地地层软弱、施工作业区狭窄、河水水位变化较大的特点, 设计采用微型桩—承台—挡墙对拼宽路堤进行支挡加固。微型桩采用注浆钢管桩, 矩形布置 3~4 排, 并通过加劲筋与承台相连; 挡墙采用在承台上现浇而成的素砼衡重式挡墙。对该组合结构的受力进行验算, 得出地基承载力、单桩抗剪能力和结构整体抗滑稳定性均满足要求, 同时现场监测的水平位移和沉降均远小于警戒值, 表明微型桩—承台—挡墙组合结构有效保证了空间受限且地基软弱路堤的稳定性。

关键词: 公路; 软弱路堤; 注浆钢管微型桩; 承台; 衡重式挡墙; 临水路堤; 稳定性

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)02-0065-05

近年来, 随着经济的高速发展, 交通运输需求不断增长, 许多道路已不能适应社会发展的需要, 拓宽增建成为一种解决途径, 由此产生了许多路堤支挡工程。最常见的是使用挡土墙作为支挡结构, 但在存在软弱地基的区域, 为解决地基承载力低的问题, 采用桩基+挡土墙的组合结构。由于场地条件受限的路基不便于大量开挖, 考虑到微型桩具有承载力较高、无需开挖、对场地适应性较强的特点, 采用微型桩代替传统抗滑桩。李国维等通过现场试验, 研究了路堤挡墙与预应力管桩采用两种不同连接方式的影响, 表明使用有承台板的垫层式连接比无承台板的嵌入式连接更好。但微型桩、承台、挡墙与土体之间作用机理很复杂, 目前工程中微型桩—承台—挡墙组合结构应用较少。该文以张家界市某临水软土路堤加固工程为例, 探讨微型桩—承台—挡墙加固软弱路堤技术, 为类似工程提供借鉴。

1 工程概况

1.1 工程简介

张家界永定城区融山东路拓宽工程西起八米桥西侧现状融山路, 东北至大庸桥, 全长 2 180 m, 为城市次干道, 双向四车道, 路幅宽 18 m, 道路扩建宽度 10 m。路线大致呈西南—东北走向, 全线沿澧水河畔及既有省道 S306 建设。原始地貌大部分为邻水低山岸坡, 临近终桩路段为澧水右岸阶地, 地形起伏较大, 通常海拔高程为 155~238 m, 地势东南高、西北低。标准横断面见图 1。

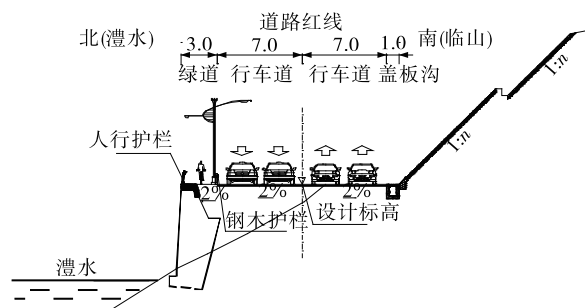


图 1 张家界永定城区融山东路拓宽工程
标准横断面示意图(单位: m)

1.2 地质水文条件

该工程所在地土层主要为人工填土、碎石土、粉质黏土、强风化砂质页岩、中风化砂质页岩等, 土层物理力学参数见表 1, 地质剖面见图 2。地表水系主要表现为场地范围内及其附近的澧水、小沟渠、小溪、山塘等。澧水位于拟建道路西北侧, 河面宽 180~350 m, 流速缓慢。沿线地下水主要为赋存上层滞水, 为赋存于第四系含砂粉土、碎石土中的孔隙潜水及赋存于砂质页岩中的基岩裂隙水。

表 1 土层物理力学参数

土层名称	天然重度/(kN·m ⁻³)	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)	承载力容许值/kPa
人工填土	18.5	10	8	—
粉质黏土	20.0	30	17	100
碎石土	19.8	5	35	140
强风化砂质页岩	22.5	—	—	400
中风化砂质页岩	25.0	—	—	1 000

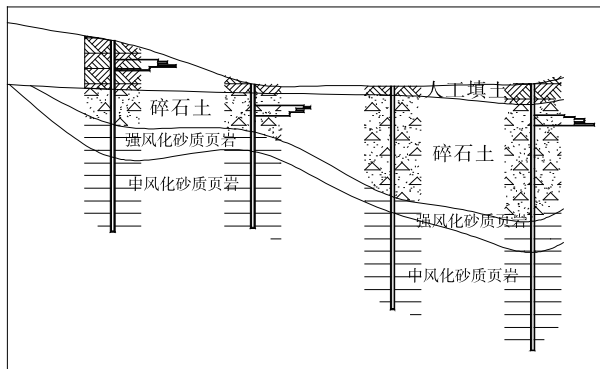


图2 土层地质剖面图

1.3 设计方案

根据图1和图2,该工程施工场地靠近澧水,会产生水流冲刷,软弱土层较厚且分布不均匀,而边坡较陡,放坡条件不足,故采用挡墙支挡。挡墙对地基承载力要求较高,需进入持力层,会产生大量开挖,而该工程施工场地狭窄,故考虑在挡墙底部加设桩基。传统抗滑桩、旋喷桩和钻孔灌注桩均不合适,考虑到微型桩具有无需开挖、承载力高的优点,在衡重式挡土墙底部加设注浆钢管微型桩,钢管桩通过加劲筋与承台连接,衡重式挡墙在承台顶部现浇而成。考虑到土层的不均匀性,每5 m分成一个施工段,每10 m设一道2 cm施工缝(见图3)。

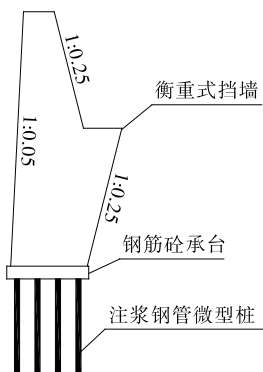


图3 临水软弱土路堤加固设计方案

2 微型桩挡土墙结构验算

K1+960段挡墙高度最大,填土层厚,土质软弱,故选取该段进行微型桩挡土墙结构验算。

2.1 挡墙土压力及稳定性验算

2.1.1 挡土墙土压力验算

参考文献[10]中挡土墙土压力简便算法,采用第二破裂面法对上挡墙进行计算(见图4),计算公式见式(1)~(4)。计算得 $E_a = 115.3 \text{ kN/m}$ 。

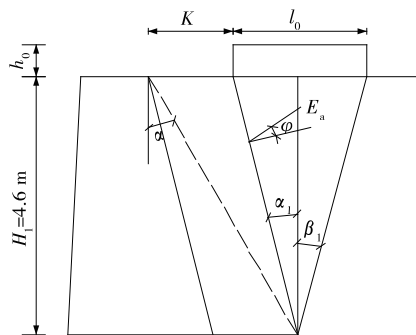


图4 上挡墙计算示意图

$$\tan \alpha_1 = \tan \alpha - \frac{K}{H_1} \quad (1)$$

$$\tan \beta_1 = -\tan \alpha + \frac{K + l_0}{H_1} \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{(\tan \alpha_1 + \tan \beta_1) \cos(\beta_1 + \varphi)}{\sin(\alpha_1 + \beta_1 + 2\varphi)} \quad (3)$$

$$E_a = 1/2 \gamma H_1 (H_1 + 2h_0) \lambda \quad (4)$$

式中: $\alpha = 29.96^\circ$; α_1 为第二破裂面角($^\circ$); K 为荷载距墙顶的距离(m),取 1.1 m; β_1 为第一破裂面角($^\circ$); l_0 为荷载作用范围(m),取 3.5 m; φ 为路基填土内摩擦角($^\circ$),取 35° ; γ 为填土重度(kN/m^3),取 19.0 kN/m^3 ; h_0 为等效荷载高度(m),为 0.74 m。

采用延长墙背法对下挡土墙进行计算(见图5),计算公式见式(5)~(8)。计算得 $E_a = 192.0 \text{ kN/m}$,由于延长墙背,考虑折减后的实际 $E_a = 173.8 \text{ kN/m}$ 。

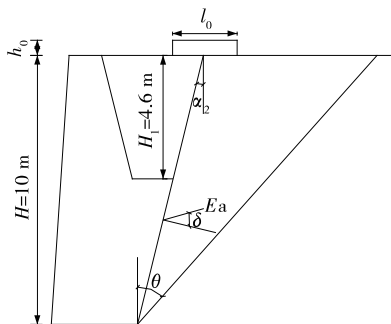


图5 下挡墙计算示意图

$$A_0 = 1/2 H^2 \quad (5)$$

$$B_0 = -l_0 h_0 + 1/2 H^2 \tan \alpha_2 \quad (6)$$

$$\tan \theta = -\tan \psi + \sqrt{(\tan \psi + \cot \varphi)(\tan \psi + \frac{B_0}{A_0})} \quad (7)$$

$$E_a = \gamma (A_0 \tan \theta - B_0) \frac{\cos(\theta + \varphi)}{\sin(\theta + \psi)} \quad (8)$$

式中: $\alpha_2 = 14.04^\circ$; $\delta = 2.67^\circ$; $\psi = \varphi + \delta - \alpha_2$ 。

2.1.2 挡土墙稳定性验算

挡土墙传递给承台的竖向荷载 N_y 和水平荷载 N_x 分别为 966、241.4 kN/m, 弯矩 M 为 784.5 kN·m。根据文献[11], 采用式(9)和式(10)验算挡墙抗滑和抗倾覆稳定性。

$$K_c = \frac{[N + (E_x - E'_p) \tan \alpha_0] \mu + E'_p}{E_x - N \tan \alpha_0} \quad (9)$$

$$K_0 = \frac{GZ_G + E_y Z_x + E'_p Z_p}{E_x Z_y} \quad (10)$$

式中: K_c 为抗滑稳定系数; N 为作用于基底合力竖向分力(kN); E_x 、 E_y 、 E'_p 分别为墙后主动土压力水平分力、竖向分力和墙前被动土压力水平分力 0.3 倍(kN); μ 为挡墙与承台间的摩擦系数, 取 0.6; α_0 为基底倾斜角($^\circ$), 取零; K_0 为抗倾覆稳定系数; G 为各部分重力(kN); Z_G 、 Z_x 、 Z_y 、 Z_p 分别为重力合力、主动土压力竖向分力、主动土压力水平分力、被动土压力水平分力到墙趾的距离(m)。

计算得 $K_c = 2.18 > 1.3$ 、 $K_0 = 1.79 > 1.5$, 挡墙稳定性满足规范要求。

2.2 滑坡推力计算

采用不平衡推力法, 按式(11)和式(12)计算滑坡推力。计算得 $E = 120.37$ kN/m。

$$E_i = KW_i \sin \alpha_i + \phi_i E_{i-1} - W_i \cos \alpha_i - \tan \varphi_i c_i l_i \quad (11)$$

$$\phi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i \quad (12)$$

式中: E_i 为第 i 个条块滑面剩余下滑力(kN/m); K 为设计安全系数, 取 1.15; W_i 为第 i 个条块重力(kN/m); α_i 为第 i 个条块滑面倾角($^\circ$); ϕ_i 为传递系数; φ 为填土内摩擦角, 取 35° ; c 为路基填土内聚力, 取 5 kPa; l_i 为第 i 个条块滑面长度(m)。

2.3 微型桩结构验算

2.3.1 复合地基承载力验算

根据文献[12], 采用式(13)验算复合地基承载力。计算得 $R_a = 165$ kN, $f_{spk} = 723.2$ kPa $> 966/3.2 = 301.9$ kPa, 地基承载力满足要求。

$$f_{spk} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1 - m)f_{sk} \quad (13)$$

式中: f_{spk} 为复合地基承载力特征值(kPa); λ 为单桩承载力发挥系数, 取 0.7; m 为面积置换率, 取 0.04; R_a 为单桩竖向承载力(kN), 按式(14)计算; A_p 为桩截面积(m^2), 为 0.031 4 m^2 ; β 为桩间土承载力折减系数, 取 0.5; f_{sk} 为持力层承载力(kPa), 为 1 200 kPa。

$$R_a = \mu_p \sum_{i=1}^n \sum q_{si} l_i + \alpha q_p A_p \quad (14)$$

式中: μ_p 为桩周长(m), 为 0.63 m; q_{si} 为第 i 层土侧阻力特征值(kPa); l_i 为桩长范围内第 i 层土厚度(m); α 取 0.4; q_p 为桩端土阻力特征值(kPa), 取 600 kPa。

2.3.2 单桩抗剪力验算

采用式(15)验算单桩抗剪力。计算得 $R = 218.5$ kN, 而钢管桩剪力最大值为 172.4 kN, 单桩抗剪力满足要求。

$$R = [\tau] A_s \quad (15)$$

式中: R 为单桩抗剪力(kN); $[\tau]$ 为钢管抗剪强度(MPa), 取 150 MPa; A_s 为钢管桩面积(mm^2), 为 1 457 mm^2 。

2.3.3 整体结构的抗滑移稳定性验算

采用式(16)~(17)验算整体结构的抗滑移稳定性。计算得 $k_h = 5.8 > 1$, 结构整体稳定, 不会发生剪切破坏。

$$R_c = n[\tau] A_s \quad (16)$$

$$R_j = W \cos \alpha \tan \varphi + cl + E_h \sin \Delta \alpha \tan \varphi \quad (17)$$

$$k_h = \frac{R_c + R_j}{E_h \cos \Delta \alpha + W \sin \alpha} \quad (18)$$

式中: R_c 为微型桩群抗滑力(kN/m); R_j 为土体产生的抗滑力(kN/m); W 为单位长度滑体的重量(kN/m), 为 209.1 kN/m; α 为结构所在滑面倾角($^\circ$), 为 20° ; E_h 为滑坡推力水平分力(kN/m), 为 113.1 kN/m; $\Delta \alpha$ 为微型桩滑面与上一滑面倾角差, 为 15° ; k_h 为抗滑稳定系数。

3 施工方案

3.1 微型桩、承台施工

该工程所在地区软弱土层较厚, 而注浆微型钢管桩加固地基要通过软弱土层, 故微型桩是施工重点, 同时需特别注意微型桩与承台的连接。施工流程见图 6。

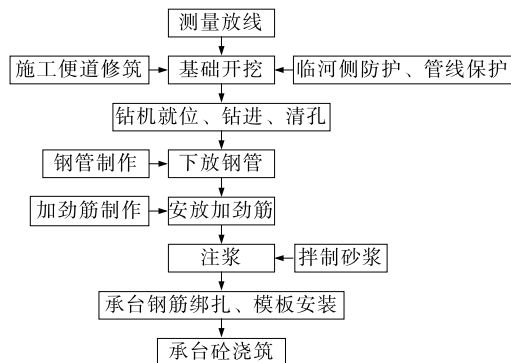


图 6 微型桩承台施工流程

注浆微型桩采用内径 $\phi 146$ 无缝钢管桩(热镀锌),壁厚 6.5 mm,桩长 4~12 m,用套筒连接,采用钻机成孔,孔径 200 mm。由于挡墙不等高,钢管桩设置为 3 或 4 排,矩形排列,桩中心距为 0.8 m。平面布置见图 7。

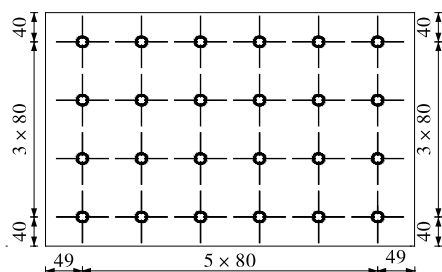


图7 微型桩平面布置(单位:cm)

采用 M30 砂浆进行注浆,注浆压力为 0.5~1 MPa。砂浆用 P.O42.5 级水泥配制,水灰比为 0.42,设计配合比为水:水泥:砂:外加剂(水玻璃)=0.42:1:1:0.008。无缝钢管搭接部位用套筒连接,套筒高度不小于钢管直径的 2 倍,套筒壁厚不小于无缝钢管壁厚,在套筒周边焊接,焊接应饱满。无缝钢管驳接时检查垂直度,防止接头弯折。钢管桩桩身 140 cm 以下部分钻打出浆孔,直径 10 mm,间距 15 cm,钻头长度为 10 cm。为保证出浆效果,出浆孔呈梅花形交错布置(见图 8)。

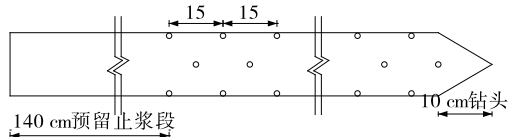


图8 钢管桩大样图(单位:cm)

微型钢管桩与承台连接时需安放加劲筋。加劲筋主筋采用 105 cm $\phi 12$ 螺纹钢 4 根,箍筋为 $\phi 8$ 螺纹钢圈制,周长 44 cm,依钢筋笼下部 45 cm 段以间距 15 cm 布置 4 道。加劲筋与承台的连接见图 9。承台受力钢筋接头设置在梁受力最小部位(一般在 1/3 跨度处),且接头错开 50%,钢筋搭接长度 $\geq 40D$,同截面内接头数量受拉区 $\leq 25\%$ 、受压区 $\leq 50\%$,钢筋主筋保护层为 40 mm。钢筋接头采用搭接焊,焊缝长度双面 $\geq 5d$ 、单面 $\geq 10d$ 。采用 C30 商品砼浇筑,严格控制配合比。砼分层浇筑,纵向每 10 m 设一道伸缩缝,振捣密实。拆模时砼强度达到 2.5 MPa 以上。

3.2 挡墙施工

挡墙选用素砼,通过臂架泵在承台顶部浇筑。

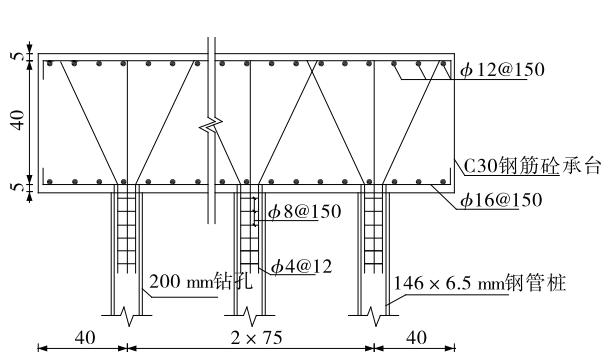


图9 加劲筋和承台的连接(单位:cm)

墙身采用 4 mm 钢模板支护,钢管作肋,配套 $\phi 14$ mm 对拉螺杆,通过三型蝴蝶卡固定在双钢管上,锁口采用 $\phi 48$ mm 钢管固定,以提高模板系统的稳定性。模板应平整顺直,无局部凹凸。

该工程所在地区水系丰富,需做好排水泄水措施。墙身在地面以上部分,每隔 2~3 m 上、下、左、右交错设置 100 mm 泄水孔,利用钢筋骨架固定泄水孔。挡墙第一排泄水孔以下回填碎石土,按要求夯实并在最底排泄水孔进口底部铺设一层机织防渗土工布,以防基底受水侵蚀。

原地面填方部分坡度较陡,完工后因沉降容易沿线路纵向形成纵向裂纹,施工时应确保填筑的压实度,同时在陡坡路堤与填挖交界处的原地面开挖向内的台阶,台阶宽 2 m、高 1.5 m、倾斜度 2%(见图 10)。挡墙错缝砌筑,待砂浆强度达到 70% 以上时方可回填并分层碾压墙背填筑区填料。墙背填筑区采用级配碎石填筑,一般填筑区采用邻近挖方渗水性良好的开山石渣填筑,填料内摩擦角不小于 35° 。墙背填筑区采用小型压实机具碾压,要求压实度不小于 96%。

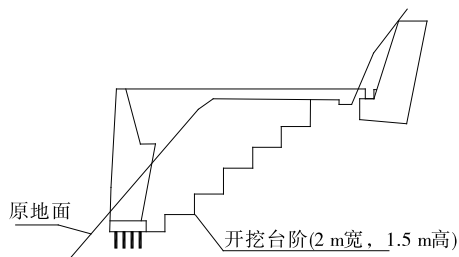


图10 墙后路基开挖示意图

4 现场实施效果

为观察现场实施效果,在挡墙于 2017 年 1 月初施工完成后,在道路沿线设置测点监测墙体位移,监测实施至变形趋于稳定,时间约 5 个月。设置 J1~

J7 共 7 个测点,其中 J3 在施工中被损坏。监测期间,环境状况较好。监测结果见图 11、图 12。

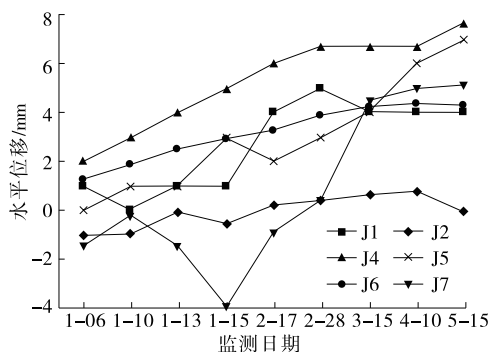


图 11 墙身累计水平位移

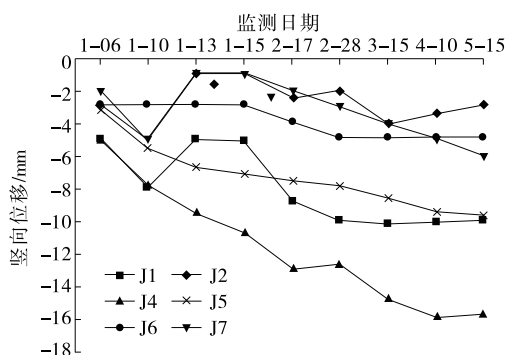


图 12 墙身累计沉降量

由图 11 可知:随着时间的增加,墙身累计水平位移逐渐增大,J1、J6、J7 测点后期趋于稳定,J4、J5 后期增长较缓慢。J1 累计变形总体较小;J4 水平位移最大,最大值为 8 mm,远小于边坡累计水平位移警戒值 50 mm。

由图 12 可知:随着时间的增加,墙身累计沉降量逐渐增大,后期趋于稳定。J4 沉降量最大,最大值为 16 mm,小于边坡累计沉降量警戒值 50 mm。

该工程靠近澧水,存在软弱土层,地质条件较复杂,根据现场监测结果,采用挡土墙+承台+微型桩方案施工后变形较小,表明该组合结构稳定性很好,加固效果明显。

5 结论

(1) 微型桩挡墙组合地基承载力为 723.2 kPa,大于竖向荷载 301.9 kPa;单桩抗剪力为 218.5 kN,大于钢管桩剪力最大值 172.4 kN;整体结构抗滑稳定系数为 5.8,结构稳定,不会发生剪切破坏。

(2) 微型桩施工中需特别注意承台连接处,在钢管下放后要安装加劲筋;灌注砂浆中严格控制注

浆压力和材料设计配合比。为防止在陡坡处形成纵向裂纹,设置开挖台阶,并开挖到持力层。墙后填土采用性能较好的碎石或石渣填筑。

(3) 路堤加固施工完成后,墙体水平位移最大累计值为 8 mm,远小于规范要求的警戒值 50 mm;沉降量累计最大值为 16 mm,也小于规范要求的警戒值 50 mm。微型桩挡墙组合结构的稳定性好,加固效果明显。

参考文献:

- [1] 李海光.新型支挡结构设计工程实例[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 王新荣.采用小管棚结合桩基托梁技术使隧道通过溶洞[J].铁道建筑,2001(12).
- [3] 赵如意.桩基托梁式挡土墙在黄土路堑中的应用研究[J].铁道设计标准,2013(10).
- [4] 李湛,滕延京,李钦锐,等.既有建筑加固工程的微型桩技术[J].土木工程学报,2015,48(增刊2).
- [5] 李冬,岳大昌,唐延贵,等.微型桩复合土钉墙在膨胀土基坑中的应用研究[J].地下空间与工程学报,2016,12(6).
- [6] 邓小鹏,张晓娟.微型抗滑桩在滑坡处治中的应用研究[J].公路,2016(9).
- [7] 陈德文,陈连峰,杜军芝.锚杆微型桩加固技术在公路路基治理中的应用[J].施工技术,2007,36(增刊).
- [8] 卢才金.轻质混凝土+微型桩在某临江道路拼宽中的应用[J].中外公路,2017,27(5).
- [9] 李国维,苏建斌,贺冠军,等.路堤挡墙与预应力管桩连接方法现场试验研究[J].岩土力学,2014,35(6).
- [10] 吴正杰.微型桩桩基托梁挡土墙设计理论及应用[D].成都:西南交通大学,2011.
- [11] GB 50330—2013,建筑边坡工程技术规范[S].
- [12] 王超,甘先永,张文杰,等.软基路堤加筋垫层与竖向加固桩作用模式数值分析[J].公路与汽运,2018(5).
- [13] 刘三豆.公路软基处理方案技术决策的 Bayes 判别分析法[J].公路与汽运,2016(2).
- [14] 冯仲仁.高速公路软基处理智能决策支持技术研究[D].武汉:武汉理工大学,2003.
- [15] 曹文昭,郑俊杰,薛鹏鹏.抗滑桩—加筋土挡墙组合支挡结构开发[J].中南大学学报:自然科学版,2019,50(1).
- [16] 郑俊杰,吴文彪,曹文昭,等.桩基挡墙支挡结构极限状态及稳定性分析[J].华中科技大学学报:自然科学版,2016,44(4).