

# 桩承式加筋路堤在尾矿区的应用

彭少龙<sup>1</sup>, 王琥<sup>2</sup>, 苏爱斌<sup>3</sup>

(1. 广西新柳南高速公路有限公司, 广西 南宁 530021; 2. 广西交投科技有限公司; 3. 广西邕州高速公路有限公司)

**摘要:** 为保证高速公路在通过尾矿区的安全性, 该文提出采用桩承式加筋路堤技术对尾矿区高速公路路基进行处治。文章通过理论计算确定合理的设计参数并加以理论验算, 最后以广西桂(平)来(宾)高速公路为试点工程。通过监测路堤侧向位移和沉降发现, 随着时间的推移, 侧向位移及沉降逐级减小, 最后趋于稳定, 表明桩承式加筋路堤对尾矿区高速公路路基处治是有效、可靠和实用的。

**关键词:** 桩承式加筋路堤; 尾矿区; 沉降

根据《广西高速公路网规划(2018—2030)》, 广西区至2030年全区高速公路总规模15 200 km, 高速公路面积密度迈入国家第一梯队。而广西素有“有色金属之乡”之称, 矿产资源丰富, 全区遍布各大小矿区。为避免抢占耕地或高填深挖等问题, 广西区高速公路建设时, 穿过尾矿区的现象时有发生。尾矿区绝大部分是在未进行任何有效处理的地基上堆积而成的, 稳定性极差, 而高速公路穿过矿区而建, 更加剧了矿区的不稳定性, 容易造成溃坝而导致尾矿泄露, 威胁周边居民的生命财产安全, 甚至造成巨大的不可逆的环境污染问题。

尾矿区一般由废矿泥、矿渣等堆积而成, 具有结构松散、特别软弱、承载力低、严重欠固结性、堆积厚度大、具毒性等特点, 属于软弱地基, 而在软弱地基处治技术上, 国内外皆有学者在研究, 处治技术种类各式各样, 刚性桩在处治技术中备受青睐。主要集中应用在软土地基、路桥过渡段特殊处理工程、湿陷性类黄土地区高速铁路路堤处治、已在运营阶段的公路以及高速铁路的路堤等状况下的处治工程, 如文献[1]中, 处治的工况环境是黄土地区路桥过渡段, 通过综合桩承式加筋路堤与路堤填土加筋技术的方法以减小差异沉降和桥头跳车状况, 通过对现场试验施工并监测分析证明了该方法的实用性和有效性; 文献[2]主要对桩承式路堤进行技术性分析, 并以湿陷性黄土为模拟背景, 通过大型有限元ADINA对桩承式路堤在湿陷性黄土地区应用的沉降因素分析, 为湿陷性黄土的处治提供理论分析, 但缺乏实体工程验证; 文献[3]、[4]以高速公

路及高速铁路为工程背景, 通过足尺物理模型试验研究应力分析, 证明了桩网结构路基及桩承式加筋路堤在工程应用中的有效性; 文献[5—8]论述了桩承式加筋路堤的作用机理与应用研究成果, 提出了对存在问题做进一步研究的建议, 同时在现场进行了一系列相关试验; 文献[7]在中低压缩性土地地区高速铁路桥台和涵洞之间的填方路基应用桩承式路堤, 使得低压缩性土地基沉降得到控制。桩承式加筋路堤在软弱地基中得到了广泛应用, 但鲜有在尾矿区的工程处治案例, 因此, 该文拟采用桩承式加筋路堤方法, 对经过尾矿区的路基进行有效处治, 以提高尾矿区路堤的稳定性、降低沉降。

## 1 桩承式加筋路基设计方法

### 1.1 常用桩型及选用原则

(1) 尾矿区高速公路地基处理可采用预应力混凝土薄壁管桩(PTC)、预应力高强混凝土管桩(PHC)、预制混凝土方桩等刚性桩。预应力混凝土薄壁管桩宜工厂预制、现场焊接接长, 外径为300~500 mm, 壁厚为60~100 mm。

(2) 根据现场拟处治的桩端持力层土质详细状况、施工机械、现场施工状况、路堤的详细参数等, 选择技术相对成熟、经济适用性强、安全可靠性强、成桩工艺; 宜采用强度较高, 易于保证施工质量的不挤土或少挤土桩型。

(3) 根据现场待处治的地基土质详细状况、成桩

收稿日期: 2020-04-08(修改稿)

作者简介: 彭少龙, 男, 大学本科, 高级工程师, E-mail: 1185403382@qq.com

制造设备、桩身尺寸等多种因素计算并确定桩的直径(或方桩尺寸)。同时,若处治现场使用的是小直径桩和低标号混凝土桩时,应验算所使用的桩身强度。

## 1.2 桩设计

### 1.2.1 桩身设计

桩身设计主要关注两大因素:① 桩身强度;② 桩身截面积。因此需要通过对二者的验算,以确定其能否满足荷载要求。桩身承载力由桩身强度和桩身截面积决定,计算式如下:

$$R_{bp} \geq F_{ub} Q_{\max} \quad (1)$$

$$R_{bp} = A_p f_c \quad (2)$$

若已知桩身轴向抗压强度标准值  $f_c$ ,可由式(1)、(2)求得桩身直径最小值:

$$D_p \geq \frac{4 \sqrt{F_{ub} Q_{\max}}}{\pi f_c} \quad (3)$$

上述各式中: $R_{bp}$  为桩身承载力(kN); $A_p$  为桩身截面积( $m^2$ ); $F_{ub}$  为承载力设计安全系数,取 1.2~1.5; $Q_{\max}$  为桩身所受最大轴力(kN),近似取  $F_p$  的值; $f_c$  为桩身轴向抗压强度标准值(MPa),按下式计算:

$$f_c = \varphi_c \varphi_b q_c \quad (4)$$

式中: $\varphi_c$  为施工工艺系数,混凝土预制桩取  $\varphi_c = 1.0$ ; $q_c$  为混凝土轴向抗压强度设计值(MPa); $\varphi_b$  为压曲稳定系数,一般情况取  $\varphi_b = 1.0$ ;参照 JGJ 94—2008《建筑桩基技术规范》有关技术规范要求,当同时满足下列情况时,应当充分考虑压曲稳定系数,即处治现场环境的软土层不排水抗剪强度  $< 10$  kPa,且长细比  $> 100$ ,同时处治的方案使用直径仅为 20 cm 以下的塑料套管桩等。

### 1.2.2 桩长

任何情况下,桩长应穿透软土层。若处治对象为巨厚软土层(大于 30 m),且桩长未穿透软土层时,应保证桩长达到最危险滑弧面以下 3 m 的深度,同时应验算软弱下卧层的承载力。桩端进入持力层的深度按照不同的土质而定:① 为黏性土、粉土时,深度应不小于 2 倍桩径;② 为砂性土时,深度不应小于 1.5 倍桩径;③ 为碎石类土时,深度不应小于 1 倍桩径。若持力层以下有软弱土层,该持力层的最小厚度不应小于 10 倍桩径。桩长的具体取值还应满足路堤沉降、单桩承载力及稳定性要求。

### 1.2.3 单桩承载力验算

根据 JTG/TD 31—02—2013《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》及 JGJ 94—2008《建筑桩基技术规范》的有关规定,PHC 桩的单桩承载力估算公式

如下:

$$R_a = \frac{u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + \alpha q_p A_p}{\gamma} \quad (5)$$

式中: $u_p$  为桩的周长(m); $q_{si}$  为中性点以下桩周第  $i$  层土的侧阻力特征值(kPa); $q_p$  为桩端端阻力特征值(kPa); $A_p$  为桩截面积( $m^2$ ); $l_i$  为中性点以下第  $i$  层土的厚度(m); $\alpha$  为桩端阻力修正系数,取 0.83; $\gamma$  为分项系数,取 1.65。

单桩承载力按下式进行验算:

$$\gamma_0 F_p \leq R_a \quad (6)$$

式中: $\gamma_0$  为工程重要系数,取 1.1。

## 1.3 水平加筋垫层

### 1.3.1 垫层填料

在工程处治方案中,垫层材料的备选较多,为获取最佳设计参数应根据试验进行确定,而垫层材料的种类一般可分为以下几种:① 级配良好的散粒状材料,主要由砂砾、碎石、粗砂、中粗砂、含泥量较小(含泥量应不大于 5%)的土石混合料(宕渣)组成;② 具有一定整体刚度的掺灰土等;③ 由不同材料混合而成的分层组合。

### 1.3.2 垫层厚度

加筋垫层的厚度以 30~80 cm 为佳,土工格栅间距一般为 20~25 cm,加筋垫层的初拟厚度  $t$  可按下式计算:

$$t = (0.2 \sim 0.25)s \quad (7)$$

式中: $s$  为桩间距离。

当软土指标不是很理想时,可适当加厚。厚度取值应充分考虑桩帽的布置间距和软土层的强度等相关因素,并通过计算验证进一步调整。

### 1.3.3 加筋体应变

加筋体的应变按下式进行验算:

$$\epsilon_{i\max} \leq 5\% \quad (8)$$

式中: $\epsilon_{i\max}$  为格栅最大拉应变。

## 2 尾矿区工程应用

### 2.1 工程项目概况

以广西在建公路桂(平)一来(宾)高速公路穿过的尾矿区为工程案例。经过前期勘察,尾矿区土层从上至下为:素填土、杂填土、黏土。尾矿区路基处治的目标为稳定性和沉降控制。

## 2.2 工程处治概况

鉴于处治要求,采用 PHC 刚性桩并配以桩帽,桩上采用多层土工格栅加筋。PHC 刚性桩嵌入持力层 2.5 m,桩径 0.4 m,桩间距由 1.5 m 优化为 1.8 m,桩身采用 C80 预应力高强混凝土,桩帽采用 1 m×1 m×0.35 m 的 C30 混凝土现浇正方形台体。

该工程采用静压桩施工技术进行刚性桩加筋路基施工,主要施工流程如下:① 施工前,寻找并填埋整平出一个比较稳定的施工平台;② 进行 PHC 管桩打桩施工;③ 按设计要求进行桩帽支模,混凝土浇筑;沉桩完成后,开挖至相应高程,割桩,然后浇筑混凝土桩帽,桩帽通过桩塞使混凝土与管桩连接;④ 对桩帽进行养护,达到强度后拆模,继续养护至规范要求;⑤ 桩帽间用 15 cm 的碎石进行第 1 层铺设,并整平;⑥ 进行第 1~5 层格栅的碎石填铺和土填铺平;⑦ 进行正常土填铺及路面修筑施工。

值得关注的是,在 PHC 桩加筋路堤的施工过程中,难点和重点是 PHC 桩的施工,PHC 桩施工阶段工程质量控制的任务包括:施工准备阶段的质量控制;材料和施工机具的质量控制,施工实施过程的质量控制,施工后桩基质量检测。

施工完成后,鉴于施工效果验证,需要对施工试验区域进行检测,监测共选取 2 个断面位置(表 1)。具体观测内容为地基沉降。地基沉降主要反映填土速率对路堤的安全与稳定的影响,指导和优化现场施工;预测沉降变形趋势;反映桩土差异沉降量;评价地基处理效果,体现刚性桩处理结果。

表 1 断面位置

| 区段  | 断面里程     | 断面编号 | 断面特点 |
|-----|----------|------|------|
| 尾矿池 | K172+170 | A1   | 池中部  |
|     | K172+200 | A2   | 池边部  |

## 2.3 监测结果

通过侧向位移和沉降监测数据判断路段在投入使用后的安全与稳定状况,并对监测数据进行分析。在矿区布置 4 个测量点:2 个桩顶沉降观测点(A-D1、A-D3)、2 个桩间土沉降观测点(A-D2、A-D4)。沉降随填土变化的时程曲线如图 1 所示,沉降差随填土变化的时程曲线如图 2 所示(沉降差 1 为 D2 与 D1 的沉降之差,沉降差 2 为 D4 与 D3 的沉降之差,该矿区于 2015 年 4 月开始铺设路面)。

由图 1、2 可知:

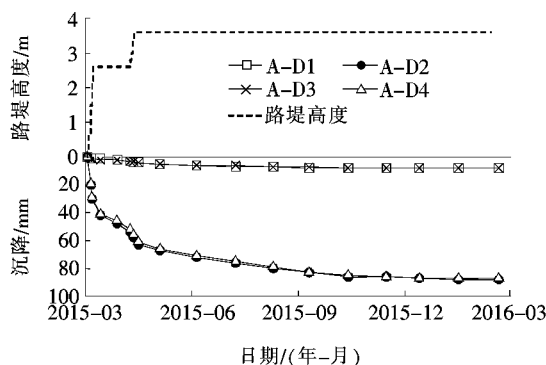


图 1 沉降变化时程曲线

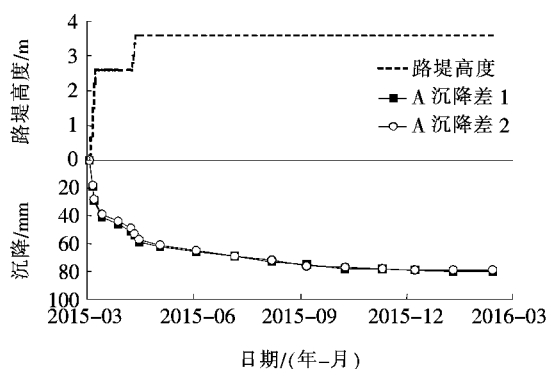


图 2 沉降差时程曲线

(1) 从总体上看,桩顶沉降和桩间土沉降均随填土高度的升高而增大,随时间增长而增长,最后趋于稳定。

(2) 矿区路堤填筑阶段发生的差异沉降为 53.5 mm,占总差异沉降量(80.5 mm)的 66%;这和 L. Briançon 以及 Chen 研究得出的结论有所不同。二者的研究都显示桩承式加筋路基的差异沉降一般在路堤填筑阶段完成。这可能是因为该工程中尾矿土高度饱和及极度欠固结的特点导致沉降过程时间变长,使得路堤填筑完成后仍有差异沉降发生。

(3) 矿区的桩间土、桩顶最大沉降量分别为 88、8 mm,最大差异沉降为 80 mm。一般来说,可以忽略路堤自身的压缩沉降,则路堤总沉降可以桩顶沉降计,显然可以看出采用桩承式加筋的地基处理方法能够有效减小路基的沉降,矿区观测到的最大沉降均满足规范要求。

## 3 结论

首先通过理论计算,确定桩身、桩长等参数,并加以验算。接着,通过工程实例应用,按施工流程加以工艺和质量控制完成示范工程,最后通过监测点观察发

# 双排不等距圆截面桩板墙的简化计算与设计应用

谢瑾荣<sup>1</sup>, 刘可<sup>2</sup>

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230; 2. 中交城市投资(宁波)有限公司)

**摘要:**对双排不等距圆截面桩板墙的受力机制进行分析,将整体结构模型简化为单支点桩板结构与平面刚架结构的线性组合。采用平面杆系结构弹性支点法分别计算土压力作用下的单支点桩板结构和平面刚架结构的位移响应,计算结果叠加后得到整体结构的位移响应。将该计算思路用于某路堑边坡的支护设计中,结果表明:简化法计算所得位移值与实测值较为吻合,该方法较有限元法更安全、高效;双排不等距圆截面桩板墙支护结构抗弯能力较强,且桩身变形量小,具有良好的安全性、经济性和适用性。

**关键词:**桩板墙; 不等距双排桩; 简化分析; 边坡支护

门架式桩板墙是一种直立式边坡支护结构,在变形控制要求高且无法设置内外支撑的条件下应用较多,该结构整体截面惯性距较大,抗弯能力强,支护效果好。为便于计算,门架式桩板墙的前后桩常采用等间距形式布置,如矩形或梅花形。而为了最大限度减少工程量,节约工程造价,前排桩和后排桩各自的水平间距应可以不相等设置,如前后排桩采用T字形布置,但是,T字形布置的双排桩门架式结构的体系受力计算则较为复杂。钱同辉等将双排门架式抗滑桩视为单层多跨框架结构,提出了桩梁土空间协同作用下的双排门架式抗滑桩受力空间模型,计算较为繁琐;李宝田等通过有限元法计算得到了排架桩的位移、弯矩、剪力等力学指标;赵波等采用有限差分软件对双排

桩的桩土空间效应进行了模拟。上述数值分析法建模工作量大,耗时较长,且不易求解。而工程人员在设计中需要一种既安全又高效的计算方法。

该文以广东省湛江市某路堑边坡支护工程为例,针对双排不等距桩板墙结构提出简化分析算法。

## 1 双排不等距桩板墙受力机制分析

双排不等距圆截面桩板墙是由前排支护桩、后排锚固桩、前排桩顶冠梁、前后桩系梁以及挡土板组成。前排桩通过冠梁连接形成整体支护能力,后排桩通过系梁与前排冠梁连接,整体呈T字形分布,是具有整体抗弯能力的空间超静定结构(图1)。

现:桩承式加筋路堤在尾矿区中应用可避免路面发生大沉降,证明了此方法在尾矿区路基处治工程应用中具有较高的实用价值。

### 参考文献:

- [1] 郑俊杰,张军,马强,等. 路桥过渡段桩承式加筋路堤现场试验研究[J]. 岩土工程学报, 2012(2).
- [2] 王长丹,王旭,宋晓光. 湿陷性黄土地区高速铁路桩承式路堤沉降性状初探[J]. 水利与建筑工程学报, 2008(2).
- [3] 陈仁朋,陈金苗,汪焱卫,等. 桩网结构路基应力传递特性及累积沉降规律[J]. 土木工程学报, 2015(2).
- [4] CHEN R. P., WANG Y. W., YE X. W., et al. Tensile Force

of Geogrids Embedded in Pile-Supported Reinforced Embankment: A Full-Scale Experimental Study[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2016, 44(2): 157-169.

- [5] 陈福全,李阿池. 桩承式加筋路堤的改进设计方法研究[J]. 岩土工程学报, 2007(12).
- [6] 徐超,汪益敏. 桩承式加筋路堤研究综述[J]. 长江科学院院报, 2014(3).
- [7] 郑俊杰,曹文昭,董同新,等. 中低压缩性土地区桩承式加筋路堤现场试验研究[J]. 岩土工程学报, 2015(9).
- [8] 徐正中,陈仁朋,陈云敏. 软土层未打穿的桩承式路堤现场实测研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009(11).
- [9] 徐立新. 桩承式加筋路堤的设计计算方法研究[D]. 浙江大学博士学位论文, 2007.

收稿日期:2019-12-31(修改稿)

作者简介:谢瑾荣,男,硕士,工程师. E-mail:15080274@qq.com