

文章编号: 1674—8247(2024)04—0024—06

DOI: 10. 12098/j. issn. 1674 - 8247. 2024. 04. 005

桩基支挡结构锚固段长度最优值计算方法

李伯根 吕 婷 杨祥容

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要: 本文介绍了一种桩基支挡结构锚固段长度最优值计算方法,以解决解析法在计算锚固段最优长度时的局限性和数值计算软件中缺乏相应设计功能的问题。该方法基于数值计算方法,将桩基支挡结构等效为梁单元,将锚固段地层等效为弹簧单元。根据锚固段长度和地基变形量的变化规律,利用二分法思想迭代求解地基最大变形量为容许变形量时的锚固段长度,从而获得最优锚固长度以及对应的结构内力和变形信息。该方法适用于单层和多层地层中的桩基支挡结构,以及抗滑桩、锚索桩、椅式桩和锚索椅式桩等多种形式的支挡结构。与传统的解析方法相比,该方法能够统一处理不同地层和结构形式下的计算问题,避免了解析方法难以获得解析解的问题,并且计算过程简单明了,适合实际工程中的程序化应用。

关键词: 桩基支挡结构; 锚固深度; 最优值; 二分法; 容许变形量

中图分类号: U417.1⁺1

文献标志码: A

Calculation Method for Optimal Anchor Length in Pile Foundation Retaining Structures

LI Bogen LV Ting YANG Xiangrong

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: This paper presented a calculation method for determining the optimal anchor length in pile foundation retaining structures, addressing the limitations of analytical approaches in computing the optimal anchor length and the absence of pertinent design functions in numerical computation software. The proposed method, grounded in numerical techniques, equates the pile foundation retaining structure to girder elements and the anchored soil layer to spring elements. By examining the variation patterns of anchor length and ground settlement, it employs a dichotomy-inspired iterative process to ascertain the anchor length that yields the maximum allowable ground displacement. Consequently, the optimal anchor length, along with the corresponding internal forces and deformations of the structure, is obtained. Characterized by broad applicability, this method is applicable to various types of retaining structures, encompassing single and multi-layered soil pile foundations, as well as different retaining structures such as anti-slide piles, cable bolt piles, chair piles, and cable-bolt chair piles. In comparison to conventional analytical methods, it offers a unified approach to tackle computational problems under diverse soil conditions and structural configurations, circumventing the challenge of obtaining analytical solutions. Moreover, the calculation procedure is straightforward and conducive to programmed application in practical engineering scenarios.

Key words: pile foundation retaining structure; anchor depth; optimal value; dichotomy method; allowable deformation

收稿日期: 2023-11-22

作者简介: 李伯根(1993-),男,工程师。

引文格式: 李伯根,吕婷,杨祥容. 桩基支挡结构锚固段长度最优值计算方法[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(4): 24-29.

LI Bogen, LV Ting, YANG Xiangrong. Calculation Method for Optimal Anchor Length in Pile Foundation Retaining Structures[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(4): 24-29.

在边坡工程中,常用的桩基支挡结构有抗滑桩、锚索桩、桩板墙、椅式桩^[1-2]以及锚索椅式桩等,其主要特征为依靠桩基锚固段地基抗力承受桩身外荷载^[3]。桩基支挡结构的设计计算,主要是锚固段长度最优值的计算,其主要计算方法为以文克尔“弹性地基”理论为基础^[4]的地基系数法。

桩的锚固深度受桩后推力、地层性质等诸多因素影响,计算过程较为复杂。在实际工程应用中,为提高计算效率,通常会采用经验长度,如对于土层或软质岩,锚固段长度取 $1/3 \sim 1/2$ 桩长,对于性质较好的硬质岩,锚固段长度取 $1/4 \sim 1/3$ 桩长。

经验法缺少理论支撑,存在诸多安全隐患,不少文献提出了锚固段长度最优值的计算方法。《抗滑桩设计与计算》^[5]中指出通过“锚固段侧壁压应力不大于地层容许应力”这一判定条件进行锚固段的多次试算来获取锚固段长度。蒋建国^[6]等推导了刚性抗滑桩锚固段长度的简化计算公式。胡晓军^[7]等基于强度折减法推导出刚性抗滑桩锚固段长度的计算公式。李丹丹^[8]等提出了一种抗滑桩锚固段最小长度的计算方法,将锚固段分为等压段和非等压段分别计算。马显春^[9]等将抗滑桩锚固段分为无效锚固段和有效锚固段,分别计算后求和得到锚固段长度。

诸多学者对桩的锚固段长度解析解进行了深入研究,但仍存在一定的局限性,如仅针对刚性桩,或单一地层锚固段,或仅针对单一抗滑桩,对于锚索桩、锚索椅式桩等复杂结构,以及非单一地层的情况,难以得出解析解,也难以在工程实际中推广应用。

对于数值计算方法,常见的有限元法^[10-11]、有限差分法^[12-13]等可以进行类似结构的内力计算,但单纯的数值方法无法计算锚固段长度最优值,且数值计算软件中暂未发现其有计算锚固段长度最优值的功能。

根据弹性地基理论,将地基岩土体等效为弹簧,在其他条件不变的情况下,锚固段越长,与桩接触的地基弹簧越多(地基受力面积越大),地基弹簧在同样外荷载作用下产生的最大变形量越小,即锚固段长度与地基弹簧最大变形量呈负相关^[14],如图1所示。地基弹簧变形量越大,其所受压应力越大;当压应力等于容许压应力时,此时的变形量即为满足理论计算需求的最大变形量,对应的锚固段长度即为最优值(即小于该长度,地基土压应力超过容许值,可能发生破坏;大于该长度,虽能满足理论计算,但经济性欠合理)。

因此,为解决解析法在计算锚固段长度最优值时

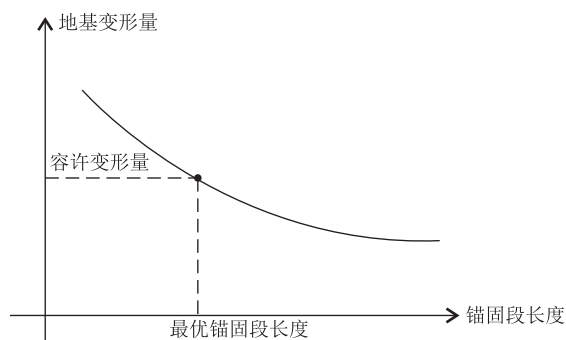


图1 锚固段长度与地基变形量变化规律图

的局限性,弥补数值计算软件中相应桩基支挡结构设计功能的缺失,基于上述变化规律提出一种锚固段长度计算方法,用于计算桩基支挡结构锚固段长度最优值,以及对应的结构内力与变形。由于上述规律只是定性描述,无法采用数学公式具体表示,但在变化过程中地基最大变形量随锚固段长度单调递减,因此采用二分法的思想迭代求解地基最大变形量为容许变形量时的锚固段长度。该方法可用于单层、多层地层中的桩基支挡结构锚固段,以及抗滑桩、锚索桩、椅式桩、锚索椅式桩等形式支挡结构的锚固段最优长度计算,以及组合情况的计算。

1 计算模型

根据设计计算基础资料,可以得到需要计算的代表性剖面,如图2所示。可以获得基础计算数据:受荷段长度 L_1 ,锚固地层的强度参数(如岩层的地基系数等)及其地层厚度。

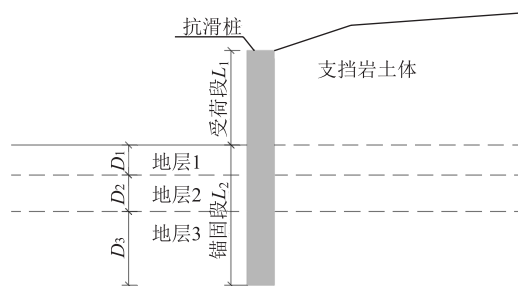


图2 代表性计算剖面图

在抗滑桩设计时,可初步拟定桩截面类型(如矩形截面)、桩截面尺寸(如 $1.5 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$)、桩间距、桩身混凝土强度。受荷段的荷载主要是桩后土压力或滑坡推力,其分布形式通常简化为矩形、三角形或梯形,在此统一简化为梯形分布,其顶部荷载为 q_1 ,底部荷载为 q_2 ,即可得到简化计算模型,如图3所示。此时,锚固段长度 L_2 为抗滑桩结构设计中唯一的未知量。

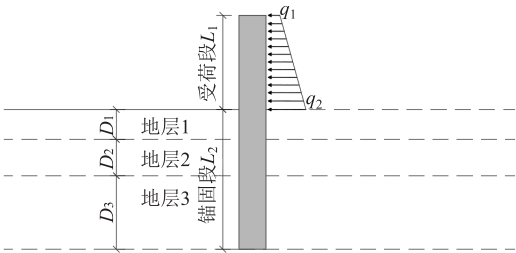


图3 计算模型图

2 锚固段初始区间

对于待求抗滑桩锚固段长度 L_2 , 为其指定覆盖工程设计中所有长度可能性的取值范围 $[L_{\text{left}}, L_{\text{right}}]$, 如工程中锚固段最小可能长度 L_{min} 为 1 m, 最大可能长度 L_{max} 不超过 50 m, 则取值范围 $[L_{\text{left}}, L_{\text{right}}]$ 的初始区间即为 $[1, 50]$ 。锚固段长度 L_2 的最优值则位于初始区间 $[L_{\text{left}}, L_{\text{right}}]$ 内。

3 结构计算

取锚固段长度 L_2 为区间中值 L_{mid} , 即 $L_{\text{mid}} = (L_{\text{left}} + L_{\text{right}})/2$, 此时抗滑桩结构设计参数全部已知。根据弹性地基理论以及上述计算模型, 采用数值计算方法对计算模型进行结构内力和变形计算。对于结构简单的桩基支挡结构, 如抗滑桩, 可以采用理论解析解计算, 但对于结构复杂的支挡结构, 难以推导出理论解析解。因此采用适用性较好的数值计算方法求解, 如有限单元法、有限差分法等, 本质上都是对求解域进行离散来近似求解。本文中采用有限单元法, 将计算模型建模形成有限元结构模型, 具体如下:

- (1) 抗滑桩为弹性(或刚性)结构, 将其受荷段 L_1 和锚固段 L_2 分别简化为多个梁单元。
- (2) 如结构包含锚索, 则将其简化为杆单元, 每一孔锚索对应一个杆单元。
- (3) 根据弹性地基理论, 将锚固段各地层等效转换为不同刚度的弹簧单元。
- (4) 弹簧单元远离桩侧节点采用固定约束。
- (5) 对梁单元施加受荷段荷载。

有限元模型建立完成后, 汇总所有节点、单元、荷载及约束, 建立代数矩阵方程计算求解, 即可得到各个节点的位移、转角以及单元的弯矩、剪力, 如图 4 所示。

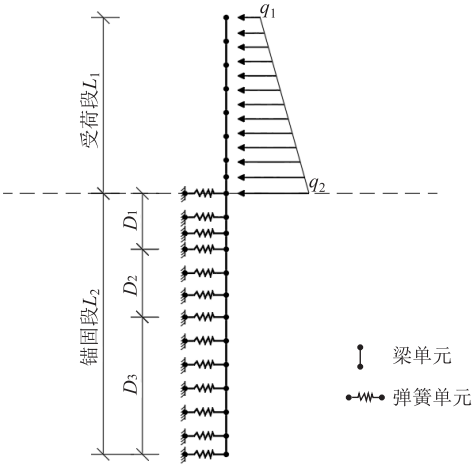


图4 有限元模型图

4 调整区间范围

根据上述数值计算结果, 提取出所有弹簧单元的水平位移, 并根据其对应所在地层的地基系数计算所受横向压应力 σ_c , 将其与地层容许横向压应力 σ_r 进行对比。

若锚固段范围内任一弹簧单元出现所受压应力 $\sigma_c > \text{容许应力 } \sigma_r$, 则计算所得地基变形量超过其容许变形量, 锚固段长度过短不满足工程要求, 锚固段长度最优值大于当前值, 如图 5(a) 所示, 此时调整锚固段长度区间范围为 $[L_{\text{mid}}, L_{\text{right}}]$, 则区间中值为 $(L_{\text{mid}} + L_{\text{right}})/2$ 。

若锚固段范围所有弹簧单元均出现所受压应力 $\sigma_c \leq \text{容许应力 } \sigma_r$, 则计算所得地基变形量低于其容许变形量, 计算锚固段长度满足工程要求, 锚固段长度最优值小于等于当前值, 如图 5(b) 所示, 此时调整锚固段长度区间范围为 $[L_{\text{left}}, L_{\text{mid}}]$, 则区间中值为 $(L_{\text{left}} + L_{\text{mid}})/2$ 。

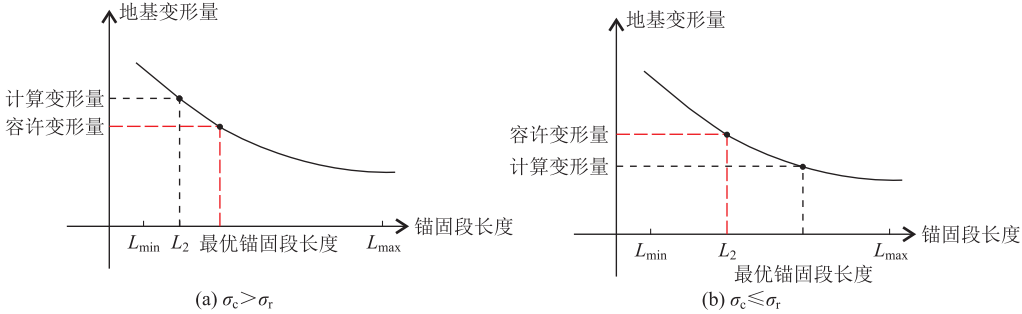


图5 区间调整示意图

5 结束条件判断

根据调整后的锚固段长度区间,循环重复前文第3章、第4章所述的计算过程,直到锚固段的区间长度 R_{len} 小于某个指定容许值 tol ,如区间长度 $R_{\text{len}} \leq 0.1$ 。此时,锚固段长度最优值计算结束。最后,再进行结果合理性判断:若最终所得锚固段区间最大值为初始区间最大值 L_{max} ,则说明地基系数或桩截面尺寸等计算参数选取有问题,区间范围内的所有长度值均无法满足工程需求,需调整计算参数或方案;否则,取区间最大值为最终锚固段长度最优值。

对于计算中的某一长度区间 $[L_{\text{left}}, L_{\text{right}}]$,其所用计算锚固长度为区间中值 $L_{\text{midi}} = (L_{\text{left}} + L_{\text{right}})/2$;若区间长度满足: $tol < R_{\text{len}} < 2 tol$,则本次锚固段长度计算完成后,再根据计算结果调整区间后即可满足结束条件 $R_{\text{len}} < tol$,进而完成锚固段长度最优值的计算过程。若本次计算(区间中值为 L_{midi})不通过,调整后的区间为 $[L_{\text{midi}}, L_{\text{right}}]$,锚固段长度最优值为 L_{right} ,而结构数值计算结果为锚固段长度 L_{midi} 对应的结果,与锚固段长度最优值不对应;若本次计算通过,调整后的区间为 $[L_{\text{left}}, L_{\text{midi}}]$,锚固段长度最优值为 L_{midi} ,与结构数值计算结果相对应。

因此,为保证最后一次结构数值计算结果与锚固段长度最优值相对应,根据最后所得锚固段长度 L_{final} ,即 L_{right} 或 L_{midi} ,重新构造锚固段长度区间 $[L_{\text{final}} - \alpha tol, L_{\text{final}} + \alpha tol]$,其中 α 需满足条件: $0.5 < \alpha < 1.0$,再进行一次前文第3章、第4章所述的计算过程,最终所得锚固段长度最优值为 L_{final} ,且与最后一次结构计算结果相对应。

6 指定锚固长度

对于指定结构锚固段长度 L_c 的情况,可将其计算过程归一化,使其可以采用同样的方法按照前文第3~第5章所述计算过程进行求解计算,进行如下处理:

根据锚固段区间的长度容许值 tol ,构造锚固段长度初始区间 $[L_c - \alpha tol, L_c + \alpha tol]$,其中 α 需满足条件: $0.5 < \alpha < 1.0$ 。

按照前文第3~第5章所述计算过程,取区间中值可得锚固段长度 $L_2 = L_c$,进行一次迭代计算即可满足结束条件,即区间长度 $R_{\text{len}} = 2\alpha tol < tol$,进而进入结果合理性判断:若所得区间为 $[L_c, L_c + \alpha tol]$,所得区间最大值为初始区间最大值,则说明指定锚固段长度 L_c 无法满足工程需求,需调整计算参数或方案;若

所得区间为 $[L_c - \alpha tol, L_c]$,则取区间最大值 L_c 为最终锚固段长度最优值(与所指定锚固段长度 L_c 相等)。

7 多桩复合支挡结构计算

上述计算过程主要针对单桩支挡结构(抗滑桩),在实际设计中,还有多桩复合支挡结构,如图6所示,整个支挡结构设计需要计算不止1个锚固段长度。

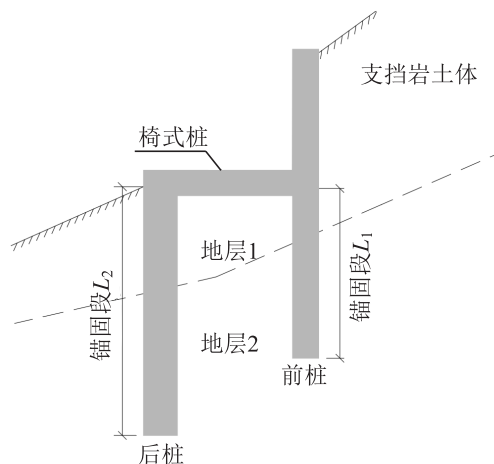


图6 多桩复合支挡结构(椅式桩)图

对于多桩复合支挡结构,其锚固段长度与地基变形量仍符合图1所示变化规律,因此同样可以采用上述二分法对结构锚固段长度最优值进行求解计算,主要差别在于锚固段长度区间的构造和区间范围调整的判定。

(1) 锚固段长度初始区间

该类支挡结构采用2根基桩(前桩和后桩)进行锚固。在设计计算时,锚固段长度通常有3种情形:①2根桩均不指定锚固段长度,而根据计算取最优值;②前后桩均指定锚固段长度;③其中一根桩指定锚固段长度,而另一根不指定,根据计算取最优值。

假定需要计算的锚固段长度最优值为 L_{mao} ,对于情形①,前后桩均不指定锚固段长度时,以某根桩为计算基准,如取前桩锚固段长度为 L_{mao} ,前桩与后桩锚固段长度差值为 δL (当前后桩锚固段等长变化时,可取 $\delta L = 0$;当前后桩锚固段长度不等长变化时,可按设计要求取值),即后桩的锚固段长度为 $L_{\text{mao}} + \delta L$,此时锚固段长度区间取值为 $[L_{\text{left}}, L_{\text{right}}]$,区间中值为 $L_{\text{mid}} = (L_{\text{left}} + L_{\text{right}})/2$ 。取前桩锚固段长度为区间中值 $L_{\text{mao}} = L_{\text{mid}}$,则前后桩锚固段长度均为已知,按照前文第3~第5章所述计算过程进行求解计算即可得到前后桩锚固段长度最优值。

对于情形②,前后桩均指定锚固段长度时,取其

中一根桩作为计算基准,如前桩指定锚固段长度为 L_{fore} ,与前文第 6 章过程相似,根据锚固段区间长度的容许值 tol ,构造一个锚固段长度初始区间 $[L_{fore}-\alpha tol, L_{fore}+\alpha tol]$,其中 α 需满足条件: $0.5 < \alpha < 1.0$ 。

对于情形③,只有一根桩锚固段长度未知时,其锚固段长度为 L_{mao} ,锚固段区间取值为 $[L_{left}, L_{right}]$,区间中值 $L_{mid} = (L_{left} + L_{right})/2$ 。取其锚固段长度为区间中值 $L_{mao} = L_{mid}$,按照前文第 3~第 5 章所述计算过程进行求解计算即可得到该桩锚固段长度最优值。

(2) 区间范围调整判定

与单桩抗滑桩计算过程类似,提取前后桩所有弹簧单元的水平位移,并根据其对应所在地层的地基系数计算所受横向压应力 σ_c ,将其与地层容许横向压应力 σ_r 进行对比。

若前桩或后桩锚固段范围内,有任一弹簧单元出现所受压应力 $\sigma_c > \text{容许应力 } \sigma_r$,则计算所得地基变形量超过其容许变形量,调整锚固段长度区间为 $[L_{mid}, L_{right}]$ 。

若前桩和后桩锚固段范围内,所有弹簧单元均出现所受压应力 $\sigma_c \leq \text{容许应力 } \sigma_r$,则计算所得地基变形量低于其容许变形量,此时调整锚固段长度区间为 $[L_{left}, L_{mid}]$ 。

8 工程算例

以文献[7]中所采用的两个代表性工程算例为参照,采用本文所述方法进行对比计算。

算例 1: 抗滑桩截面尺寸 2.0 m×3.0 m,桩间距 6.0 m,悬臂段桩长 10.0 m,桩前后滑体厚度基本相同,桩后滑坡推力 1 000 kN/m,桩前土抗力 500 kN/m,三角形分布,滑面处地基系数为 80 000 kN/m³。滑体土的参数为: $\gamma_1 = 19 \text{ kN/m}^3$ 、 $\varphi_1 = 26^\circ$; 锚固段土层参数为: $\gamma_2 = 21 \text{ kN/m}^3$ 、 $\varphi_2 = 42.17^\circ$ 。锚固段地层地基系数比例系数为 40 000 kN/m⁴。由于算例采用刚性桩计算,此处有限元计算取桩的弹性模量为 100 GPa。计算结果对比如表 1 所示。

表 1 锚固段最优值计算对比表

计算方法	锚固段最优值/m	桩侧最大应力/kPa	桩侧最大容许力/kPa
文献5	6.00	1 414.1	1 606.9
文献7	5.58	1 562.3	1 562.3
本文	5.60	1 495.6	1 508.0

算例 2: 抗滑桩截面尺寸 1.5 m×1.8 m,桩间距 3.0 m,悬臂段桩长 5.0 m,桩前后滑体厚度基本相同,桩后滑坡推力 550 kN/m,均匀分布,滑面处地基系数

为 50 000 kN/m³。滑体土的参数为: $\gamma_1 = 19 \text{ kN/m}^3$ 、 $c_1 = 28 \text{ kPa}$ 、 $\varphi_1 = 8^\circ$; 锚固段土层参数为: $\gamma_2 = 21 \text{ kN/m}^3$ 、 $c_2 = 60 \text{ kPa}$ 、 $\varphi_2 = 18^\circ$ 。锚固段地层地基系数比例系数为 30 000 kN/m⁴。同理,取桩的弹性模量 100 GPa。计算结果对比如表 2 所示。

表 2 锚固段最优值计算对比表

计算方法	锚固段最优值/m	桩侧最大应力/kPa	桩侧最大容许力/kPa
文献6	7.300	584.5	591.7
文献7	7.387	639.0	639.0
本文	7.400	594.9	591.5

根据表 2 计算结果,本文方法得到的锚固段长度最优值与文献[5-7]结果基本相同,与文献[7]所用改进方法最为接近。可见,本文计算方法同样能够考虑影响锚固深度的多种因素,并能够得到合理的计算结果。

9 结论

本文所述计算方法以结构数值计算为基础算法,将结构等效为梁单元,将锚固段地层等效为弹簧单元。根据锚固段长度与地基最大变形量的变化规律,采用二分法的求解思想迭代求解锚固段长度最优值,并将指定锚固段长度的计算统一起来。该方法不仅适用于单层、多层地层中的桩基支挡结构计算,也适用于抗滑桩、锚索桩、椅式桩、锚索椅式桩等多种形式支挡结构的计算,以及组合情况的结构计算。该方法将多种地层、多种结构形式下的桩基支挡结构锚固段长度计算统一起来,不仅适用范围广,而且避免了解析方法难以得到解析解的弊端。这种统一且简化的计算方法适合实际工程中的程序化应用,有助于优化桩基支挡结构的设计,提高结构的安全性和稳定性。

参考文献:

[1] 姚裕春,魏永幸,李安洪. 椅式桩板结构变形破坏特征模型试验研究分析[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(1): 6-10.
YAO Yuchun, WEI Yongxing, LI Anhong. Model Test Study on Deformation and Failure Characteristics of Chair-shaped Pile-sheet Structure [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(1): 6-10.

[2] 张礼财,王顺豪,刘思阳,等. 斜坡段路基椅式桩板支挡结构力学特性分析[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(1): 46-49.
ZHANG Licai, WANG Shunhao, LIU Siyang, et al. Analysis of Mechanical Characteristics of the Chair-shaped Pile-board Structure in Steep Slope Subgrade [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(1): 46-49.

- [3] 赵青海,薛海洋,胡会星. 桩基托梁扶壁式托盘支挡结构设计[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(3): 42–45, 50.
ZHAO Qinghai, XUE Haiyang, HU Huixing. Design of Pile Foundation Joist Buttress Tray Retaining Structure [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(3): 42–45, 50.
- [4] 赵其华,彭社琴. 岩土支挡与锚固工程[M]. 成都: 四川大学出版社, 2008.
ZHAO Qihua, PENG Sheqin. Rock, Soil Retaining and Anchoring Engineering [M]. Chengdu: Sichuan University Press, 2008.
- [5] 铁道部第二勘测设计院. 抗滑桩设计与计算[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983.
The Second Survey and Design Institute of Ministry of Railways. Design and Computation of Anti-slide Piles [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1983.
- [6] 蒋建国,邹银生,周绪红. 刚性抗滑桩锚固深度的简化计算[C]//第十届全国结构工程学术会议论文集第II卷. 2001: 465–468.
JIANG Jianguo, ZOU Yinsheng, ZHOU Xuhong. Simplified Calculation on Rigid Anti-slide Piles Anchorage Depth [C]//Proceedings of the 10th National Conference on Structural Engineering, 2001: 465–468.
- [7] 胡晓军,王建国. 基于强度折减的刚性抗滑桩锚固深度确定[J]. 土木工程学报, 2007, 40(1): 65–68.
HU Xiaojun, WANG Jianguo. Determination of the Anchorage Depth of Rigid Anti-slide Piles Based on Strength Reduction Method [J]. China Civil Engineering Journal, 2007, 40(1): 65–68.
- [8] 李丹丹,雷声军,雷有栋,等. 一种抗滑桩锚固段最小长度的计算方法: CN104612144B [P]. 2016–05–18.
LI Dandan, LEI Shengjun, LEI Youdong, et al. Method for Calculating Minimum Length of Anchorage Section of Slide-resistant Pile: CN104612144B [P]. 2016–05–18.
- [9] 马显春,上官力,谷明成,等. 倾斜滑面滑坡抗滑桩锚固段长度计算方法: CN109977575 A [P]. 2019–07–05.
MA Xianchun, SHANGGUAN Li, GU Mingcheng, et al. Method for Calculating Length of Inclined Sliding Surface Landslide Anti-slide Pile Anchoring Section: CN109977575 A [P]. 2019–07–05.
- [10] 张友良,陈从新,夏元友. 杆件有限单元法在抗滑桩设计中的应用研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, 11(1): 30–32, 40.
ZHANG Youliang, CHEN Congxin, XIA Yuanyou. Study on the Application of FEM to the Design of Anti-sliding Piles [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2000, 11(1): 30–32, 40.
- [11] 彭辉,王世梅,田斌. 基于有限单元法的抗滑桩内力计算[J]. 路基工程, 2009(2): 3–5.
PENG Hui, WANG Shimei, TIAN Bin. Calculation of Internal Force of Anti-slide Pile Based on Finite Element Method [J]. Subgrade Engineering, 2009(2): 3–5.
- [12] 朱晨,陈绍游,陈雷. 弹性抗滑桩内力计算的有限差分法[J]. 建筑技术开发, 2007, 34(6): 63–64, 66.
ZHU Chen, CHEN Shaoyou, CHEN Lei. Finite Difference Method of Internal Forces Calculation of Elastic Anti-sliding Pile [J]. Building Technique Development, 2007, 34(6): 63–64, 66.
- [13] 刘代文,廖小平,王浩,等. 抗滑桩全桩计算的有限差分法[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(S1): 42–46.
LIU Daiwen, LIAO Xiaoping, WANG Hao, et al. Finite Difference Method for Calculating the Whole Pile of Anti-slide Pile [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2007, 18(S1): 42–46.
- [14] 王凌. 基于地基系数(k)法计算的抗滑桩锚固深度分析[J]. 中国新技术新产品, 2023(13): 88–90.
WANG Ling. Analysis of Anchorage Depth of Anti-slide Pile Based on Foundation Coefficient (k) Method [J]. New Technology & New Products of China, 2023(13): 88–90.