

# 斜坡桥桩塌孔原因分析及处治对策研究

杨华<sup>1</sup>,尹小涛<sup>2\*</sup>

(1.中交铁道(武汉)建设科技有限公司,湖北 武汉 430071;2.中国科学院武汉岩土力学研究所  
岩土力学与工程国家重点实验室,湖北 武汉 430071)

**摘要:**斜坡稳定性和桥桩安全相互影响,改变地形坡体安全是桥桩施工安全的重要保障。该文依托花地寨2号桥3个塌孔桥桩段,在地质调查的基础上,设计初始地形和改变地形坡体自然状态稳定性计算工况和1.35安全标准下改变地形坡体水平补偿力计算工况,利用地质、坡体稳定状态和补偿力综合分析塌孔原因和对策,所得结论如下:①初始地形下3个桥桩塌孔段坡体处于欠稳定到相对稳定状态;弃渣改变地形下3个桥桩塌孔段坡体处于相对稳定状态,安全系数为1.35时所需水平补偿力分别为 $K32+973(4\,667\text{ kN/m}) > K33+053(1\,478\text{ kN/m}) > K32+733(815\text{ kN/m})$ ;②弃渣造成的碎石土层拖坡变形是桥桩塌孔的主控因素,厚层碎石土的黏结特性差、直立性差是塌孔的次要因素,塌孔的严重程度与补偿力排序为 $K32+973(\text{严重}) > K33+053(\text{较严重}) > K32+733(\text{相对较轻})$ ;③桥桩上部近20 m扰动层不能承载,需要重新核定有效长度,竖向承载特性改变,需要采取抗滑桩加固后再施工桥桩, $K32+973$ 段墩台临坡内侧和临空外侧分别设置1排3根抗滑桩, $K33+053$ 和 $K32+733$ 段仅需在临坡内侧设置1排3根抗滑桩;④3个问题桩孔段需要加强坡体深部位移监测和桥桩结构内力监测,用于评估坡体加固效果和桥桩结构安全。

**关键词:**斜坡;弃渣场;桥桩;塌孔;初始地形;改变地形;稳定性

**中图分类号:**U443.1

**文献标志码:**A

## 0 引言

西南山区的公路高程较高,自然斜坡整体高度较大,高处半挖半填切坡形成的有限空间作业面对自然陡坡的稳定性影响较大,由此造成的人工边坡的稳定性及其次生影响需要慎重对待。沿着峡谷展开的桥梁桩基坐落在斜坡地形上,要求斜坡不能产生下滑力作用于桥桩,即桥桩只承受桥梁荷载,以竖向承载为主。但实际工程中,在峡谷地形有限空间下,需要布设便道、梁板场地、钢筋加工棚、材料堆放、边帮弃土场等施工有关的临时和永久设施,这些设施对自然斜坡造成的地形改变和加载不能影响其工程稳定性,而且相互之间的影响或者综合影响不能造成工程设施设计及运行条件的改变,否则威胁施工安全、自然坡稳定和工程结构

安全。

当前国内外对于斜坡地形和桥桩相互影响的研究主要集中在:①斜坡桩的桩基承载力计算方法<sup>[1-5]</sup>;②桥桩施工条件下,斜坡改变地形坡体稳定性的影响机制<sup>[6-8]</sup>;③斜坡改变地形边坡和桥桩的相互影响机制<sup>[9-10]</sup>;④斜坡、桥桩联合作用下的工程加固措施及优化<sup>[11-15]</sup>;⑤斜坡、桥桩联合作用下工程安全监测<sup>[16-18]</sup>。因此,斜坡地形下的桥桩安全问题研究主要集中在由此造成的安全控制方面,主要服务科学问题和工程应用。

本文依托已经产生桩孔孔壁破坏的某高速公路桥桩场地及相关设施安全问题,在地质调查的基础上,采用极限平衡法探讨改变地形下桥桩+斜坡稳定性的演化机制,评价其对桥桩施工安全和结构安全的影响和应对措施,为类似工程提供经验。

收稿日期:2021-01-14

基金项目:云南省交通科技项目(云交科教便[2020]98号)

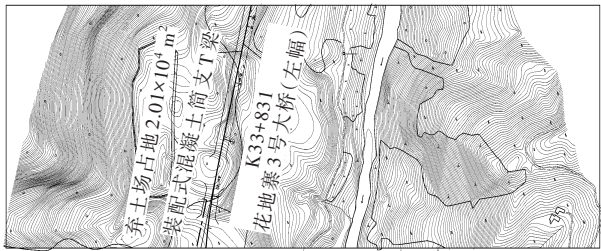
作者简介:杨华,男,大学本科,高级工程师.E-mail:6275578@qq.com

\*通信作者:尹小涛,男,博士,副研究员.E-mail:xytin@whrsm.ac.cn

1 桥桩桩孔坍塌区段工程概况

1.1 花地寨2号桥工程概况

K32+953花地寨2号大桥位于山间坡地上,基本顺山坡等高线方向布设,桩号为K32+633~K33+173,K33+200~K33+400段存在中型崩塌危岩体,K32+700附近发育活动性冲沟。桥基嵌岩,以中风化白云岩或砂岩为持力层。桥位区自然地形坡度为 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ,局部地形陡峭,整体地形起伏大。工程区斜坡、桥桩、弃土场空间位置见图1。



(a) 线路、桥梁、弃土场平面关系



(b) 斜坡、问题桥桩、弃土场关系空间照片

图1 工程区斜坡、桥桩、弃土场空间位置

花地寨2号桥北侧为边帮弃土场,往下为河流。自然坡地层由表及里依次为:上覆第四系残坡积层( $Q_4^{el+dl}$ )黏土和碎石,下伏二叠系下统沙子坡组下段( $P_{1S1}$ )白云岩(强风化、中风化)和古生界二叠系下统永德组( $P_{1Y}$ )砂岩(强风化、中风化)。边坡各地层岩土力学参数见表1。

表1 路堑高边坡各地层岩土力学参数

岩土名称	重度/( $kN \cdot m^{-3}$ )	黏聚力/kPa	内摩擦角/( $^{\circ}$ )
残坡积土	18.5	20.0	19.0
碎石土	19.7	5.0	30.0
强风化白云岩	22.8	50.0	32.0
断层破碎带	21.5	10.0	15.0

1.2 工程安全问题及原因分析

K32+953花地寨2号大桥为左幅18跨(40 m T梁),右幅19跨(40 m T梁)。桩基施工,3个墩的桩孔出现孔壁破损问题(图2):



(a) 桥桩孔壁坍塌



(b) 周边裂缝和凹陷

图2 桥桩桩孔破坏情况

(1) 左幅3#墩桩基(剩2个),桩长50.0 m,桩径2.3 m,嵌岩桩。采用人工挖孔,20.0~25.0 m处为胶泥土,25.0 m以下出现流沙。挖孔护壁出现拉裂、坍塌。11.9~21.2 m为小勐撒坝断层。

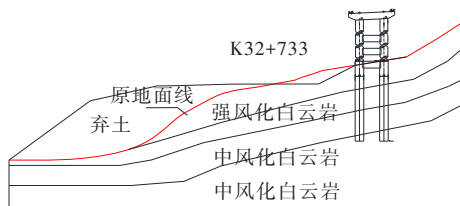
(2) 左幅11#墩桩基(剩5个),桩长31.0 m,桩径1.5 m,嵌岩桩。采用人工挖孔,7.0~8.0 m出现坍孔。0~18.3 m为碎石层。

(3) 右幅12#墩桩基(剩6个)桩长23.0 m,桩径1.5 m,嵌岩桩。采用旋挖钻孔,18.0 m处出现坍孔。0~18.3 m为碎石层。

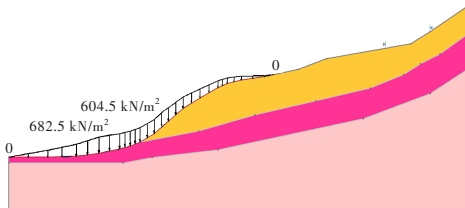
造成坍孔的原因有地层原因和弃渣拖坡原因,地层原因可以通过造孔和护壁工艺解决;弃渣拖坡的原因不是桩基施工自身能够解决的,桥桩受力性状和有效长度均会发生改变,需要在设计上进行调整应对。因此,桥桩施工安全问题需要弄清机制,引起重视,慎重对待。

1.3 计算方案设计

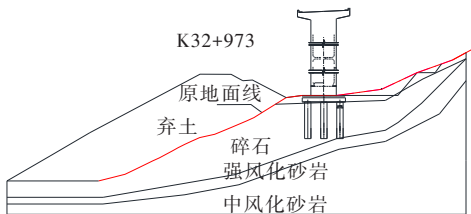
对于产生问题的3个桩号的桥墩桩基路段涉及的边坡场地进行计算断面测绘。利用Slide软件,采用简化Bishop方法,计算3个问题桩号的初始地形和改变地形边坡在自然状态的稳定性,坡体等级为1级,安全系数标准取1.35,弃渣等效成竖向荷载,计算模型和结果见图3。



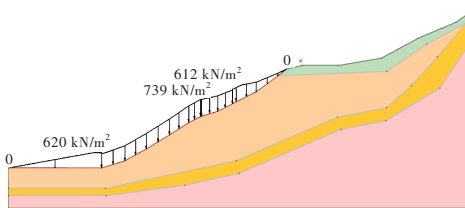
(a) K32+733 初始地形、现状地形、桥桩



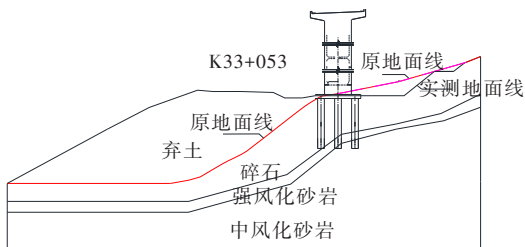
(b) K32+733 边坡计算模型



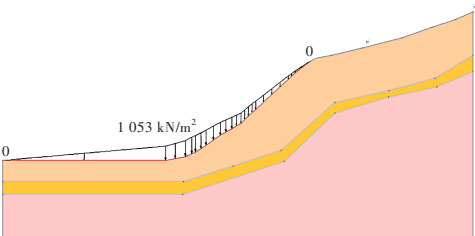
(c) K32+973 初始地形、现状地形、桥桩



(d) K32+973 边坡计算模型



(e) K33+053 初始地形、现状地形、桥桩



(f) K33+053 边坡计算模型

图 3 3 个问题桥桩位置边坡计算模型

桥桩作用力的估算通过补偿水平加固力使现状边坡的安全系数达到 1.35 的方式获取。

## 2 弃渣对自然坡稳定性的影响

### 2.1 改变地形下的坡体稳定性评价

3 个问题桩孔段初始地形和改变地形边坡的稳定性计算结果见图 4。

从图 4 可以看出:初始地形时,3 个问题段自然斜坡稳定性均处于欠稳定到相对稳定状态,稳定性排序为:K32+973 (1.035) < K32+733 (1.037) < K33+053 (1.165) 段。改变地形后,稳定性排序为:K32+973 (1.057) < K33+053 (1.256) < K32+733 (1.303) 段。K32+973 段的初始地形和改变地形坡体稳定状态相对最低,K33+053 段改变地形后堆载压脚改善了坡体稳定性,K32+733 段改善效果最显著。由此可见,稳定性计算结果与现场观察和记录到的桩孔孔壁稳定程度基本吻合,即 K32+973 段塌孔相对最严重,且深度最大,基本在碎石土层内;K32+733 段和 K33+053 段次之,前者在碎石土层内,后者是夹层造成。

### 2.2 桥桩潜在承受水平力估算

3 个问题桩孔段改变地形边坡的安全系数为 1.35 时所需水平补偿力计算结果见图 5。

从图 5 可以看出:改变地形下,安全系数为 1.35 时所需水平补偿力分别为 K32+973 (4 667 kN/m) > K33+053 (1 478 kN/m) > K32+733 (815 kN/m),与改变地形下边坡安全系数计算排序相反,说明桥桩承受水平力作用,不再是竖向承载,也解释了为什么桩孔会出现问题。

### 2.3 综合评价

碎石土层较厚地段,初始边坡处于欠稳定到相对稳定状态,不满足工程稳定性要求;弃土后,改变地形处于相对稳定状态,但不满足工程稳定性要求的 1.35 安全系数标准。

K32+973 段初始地形和改变地形坡体稳定状态效果相对最低,补偿力最大;K33+053 段改变地形下堆载压脚改善了坡体稳定性,补偿力次之;K32+733 段改善效果最显著,所需补偿力最小。拖坡变形破坏的程度为:K32+973 (最严重) > K33+053 (较严重) > K32+733 (相对较轻),是造成桩孔坍塌的主要原因。

综上,需要对该区出现问题路段桥桩施工区域进行边坡处治,处治的原则是控制桥桩由于边坡变

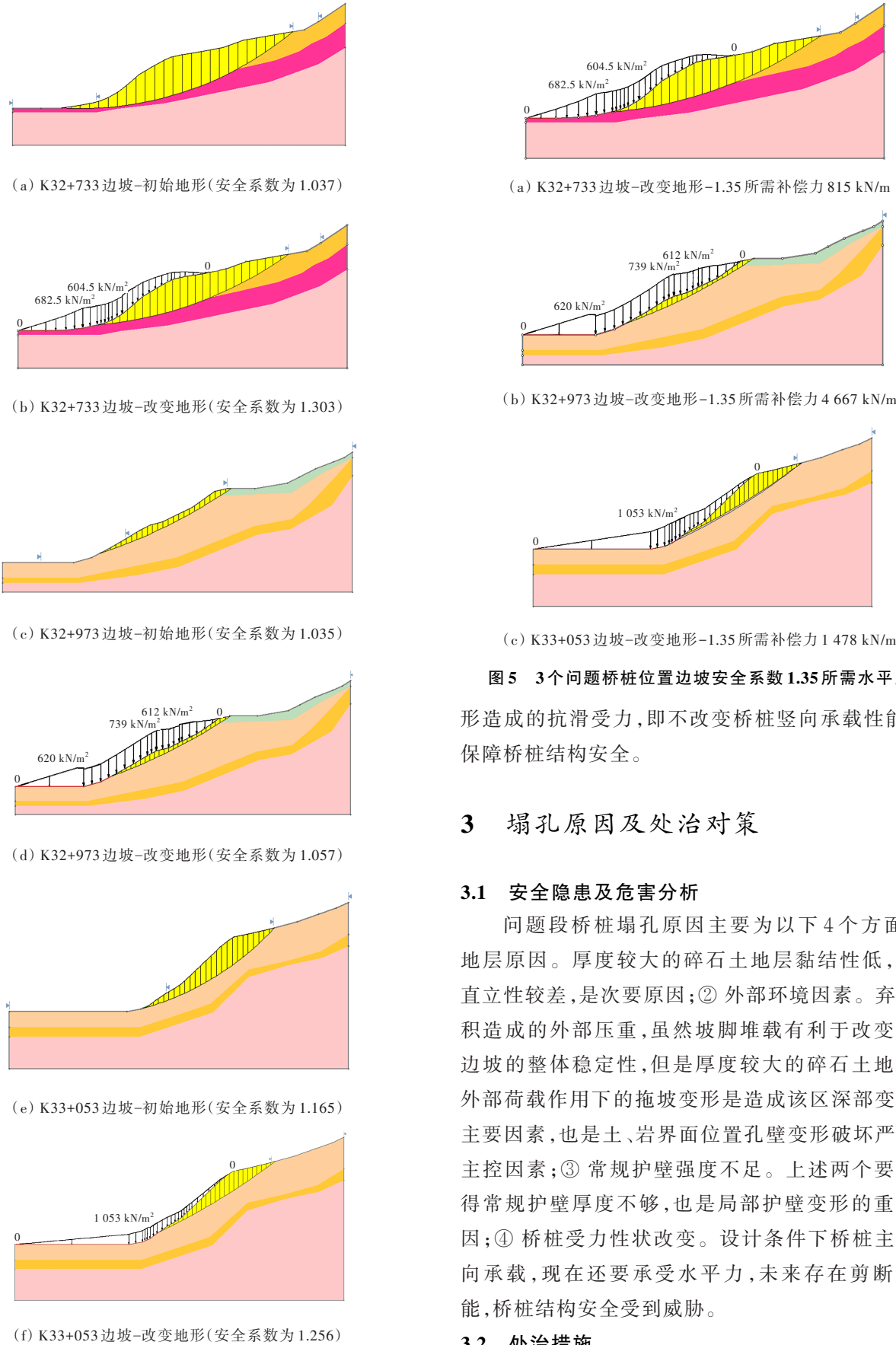


图 4 3 个问题桥桩位置边坡稳定性计算结果图

图 5 3 个问题桥桩位置边坡安全系数 1.35 所需水平力形造成的抗滑受力,即不改变桥桩竖向承载性能,以保障桥桩结构安全。

3 塌孔原因及处治对策

3.1 安全隐患及危害分析

问题段桥桩塌孔原因主要为以下 4 个方面:① 地层原因。厚度较大的碎石土地层黏结性低,地层直立性较差,是次要原因;② 外部环境因素。弃土堆积造成的外部压重,虽然坡脚堆载有利于改变地形边坡的整体稳定性,但是厚度较大的碎石土地层在外部荷载作用下的拖坡变形是造成该区深部变形的主要因素,也是土、岩界面位置孔壁变形破坏严重的主控因素;③ 常规护壁强度不足。上述两个要素使得常规护壁厚度不够,也是局部护壁变形的重要原因;④ 桥桩受力性状改变。设计条件下桥桩主要竖向承载,现在还要承受水平力,未来存在剪断的可能,桥桩结构安全受到威胁。

3.2 处治措施

(1) 调整桥桩的长度,桥桩原本的竖向承载状态



改变,同时潜在滑面以上的摩擦承载部分不能再考虑其承载贡献,需要对原有的桥桩长度进行调整。同时采取有限加固防止桥桩承受较大的水平推力作用,即每个桥墩内侧设置3根抗滑桩,对于水平补偿力较大的K32+973段,可以考虑内、外侧各设1排3根抗滑桩。考虑到变形深度较大,可在上部放坡,采用锚索挡墙支护,使抗滑桩有效长度得到最大程度的保证。

(2) 加强安全监测,布设表观监测点、测斜监测孔和埋设结构内力监测点,对涉事段边坡进行表观和深部变形监测,对影响区桥桩结构的筋材和混凝土进行测力和变形监测,用于评估治理措施的有效性和桥桩结构安全。

(3) 加固完成后采用加厚护壁的方式进行造孔施工,或者采用泥浆护壁机械钻孔灌注桩施工。

## 4 结 论

依托花地寨2号桥出现问题的3个桥桩段边坡稳定性分析,探讨桥桩塌孔的原因,并总结处治应对措施,得到主要结论如下:

(1) 花地寨2号桥3个问题边坡段,初始地形时,边坡稳定性处于欠稳定到相对稳定状态,稳定性排序为:K32+973(1.035)<K32+733(1.037)<K33+053(1.165)段;改变地形后,边坡稳定性处于相对稳定状态,稳定性排序为:K32+973(1.057)<K33+053(1.256)<K32+733(1.303)段;改变地形后,安全系数为1.35时所需水平补偿力分别为:K32+973(4 667 kN/m)>K33+053(1 478 kN/m)>K32+733(815 kN/m)段。

(2) 桥桩塌孔原因:厚度较大碎石土地层为次要原因,弃土堆积造成的外部压重形成的拖坡变形是主控因素。需要加固边坡后再增加护壁厚度,或者采取泥浆护壁机械钻孔灌注桩施工方式,防止桥桩塌孔,保障桥桩施工安全。

(3) 地层扰动后,桥桩需要保障有效长度,K32+973墩台临坡和临空侧分别设置1排3根抗滑桩,其余地段在墩台临坡侧设置1排3根抗滑桩。还需要

加强问题地段的坡体深部位移监测和桥桩结构内力监测,以方便评估加固效果和桥桩安全。

## 参考文献:

- [1] 缪林昌,周贻鑫,李植淮,等.中美欧规范桩基承载力计算设计对比[J].中外公路,2016,36(1):77-81.
- [2] 戴国亮,龚维明,程晔,等.深长嵌岩桩承载力计算方法研究[J].岩石力学与工程学报,2011,30(S2): 4019-4024.
- [3] 冯国军.摩擦桩竖向承载力计算方法研究[J].铁道工程学报,2007,24(2):65-68,99.
- [4] 李杰,朱勤.桩基等代计算中的比拟杆件法[J].中外公路,2002,22(4):48-50.
- [5] 姚泽良.竖向荷载作用下单桩极限承载力计算方法的研究[D].西安:西安理工大学,2003.
- [6] 李程,戴公连.高边坡摩擦桩承载能力的数值分析[J].中外公路,2008,28(1):28-32.
- [7] 于德顺.建筑岩质边坡桩基受力特性及边坡稳定性分析[D].重庆:重庆大学,2018.
- [8] 廖睿.陡坡与桥梁桩基相互影响及稳定性分析[D].赣州:江西理工大学,2017.
- [9] 谢方臣,吴维义,金昶睿.高陡斜坡条件下桥梁桩基数值分析[J].交通科技,2019(6):52-56.
- [10] 姚竞.桥梁桩基受邻近开挖影响的数值模拟研究[J].安徽建筑,2014,21(3):119-120,124.
- [11] 唐志,龙万学,杜镔,等.贵州山区高速公路复杂地质条件桥梁基础设计[J].中外公路,2014,34(5):138-142.
- [12] 龙刚,宣以琼.高压旋喷桩在桥梁桩基加固工程中的应用[J].安徽建筑工业学院学报(自然科学版),2010,18(3):55-58.
- [13] 曾波.石灰岩地区桥梁桩基的施工[J].中外公路,2003,23(5):35-36.
- [14] 于丽莉,胡长远,常浩.复合注浆法加固桩基础作用机理研究[J].水利与建筑工程学报,2008,6(3):107-108,116.
- [15] 敬静,饶秋华,刘利松.节理岩质边坡桩基加固的稳定性分析[J].中南大学学报(自然科学版),2014,45(8):2774-2780.
- [16] 余继东,马焱藩,汪益敏,等.陡坡地段桥梁桩基的施工监测和有限元分析[J].公路,2006,51(7):100-104.
- [17] 严飞淞,汪益敏,陈页开.陡坡地段公路桥梁桩基施工现场监测与性状分析[J].勘察科学技术,2006(3):28-31.
- [18] 田帅帅,任伟新,李星新.箱梁桥大跨钻孔桩现浇支架计算与施工监控[J].中外公路,2015,35(6):190-194.