

文章编号: 1001-1986(2010)01-0050-04

斜坡桥梁桩基础加固优化设计

欧阳辉^{1,2}, 徐光黎², 陈国华², 李春鹏²

(1. 岩土钻掘与防护教育部工程研究中心, 湖北 武汉 430074;

2. 中国地质大学工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 山区公路建设, 由于工程地质条件复杂, 上部结构荷载大, 传统工法难以很好解决桥梁桩基础大变形问题。利用三维有限元数值模拟, 对人工挖孔桩基础的加固方案进行模拟分析与研究, 给出了水平位移、沉降量等模拟结果。根据数值模拟的结果, 分析了锚杆(索)在加固桩基础中的作用与效果。结果显示, 锚杆(索)加固桩基础可以有效减小水平位移和沉降量, 大大降低工程投资, 且为类似工程优化设计提供了一条很好的思路。

关键词: 桥梁桩基础; 锚杆(索); 数值模拟; 有限元分析; 优化设计

中图分类号: TU473 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2010.01.012

Optimization design of bridge pile foundation in slope area

OU Yanghui^{1,2}, XU Guangli², CHEN Guohua², LI Chunpeng²

(1. Engineering Research Center of Rock-Soil Drilling and Excavation and Protection, Ministry of Education, Wuhan 430074, China; 2. Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Because of complicated engineering geology conditions and big load of upper structure in road construction of mountainous area, large deformation of bridge pile foundation appears, and the problem can not be solved very well. So deformation control of bridge pile foundation is very important in high frusta bridge design. Artificial dug pile foundation have been simulated by three-dimensional finite element method in the paper, then horizontal displacement and settlement were given. According to numerical simulation results, reinforced function and effect have been analyzed, horizontal displacement and settlement of pile foundation which have been reinforced by anchor pole (cable) were reduced effectively, and its project investment was reduced largely, and then the method provided a good way for similar projects.

Key words: bridge pile foundation; anchor pole (cable); numerical simulation; finite element method; optimization design

在我国西部山区修建公路桥梁, 其下部结构设计十分复杂, 建设费用在整个桥梁工程中占了很大比重, 往往成为公路建设的“瓶颈”。山区地质条件复杂, 切坡开挖会增加斜坡的不稳定性因素, 某些地段回填工程量大不经济, 必须采用高墩桥梁桩基础来解决这个矛盾。设计中必须协调好桥梁各部分结构构造与地形之间的关系。山区桥墩一般高度大, 跨度、上部结构荷载大, 地震烈度相对较高, 所以对山区斜坡桥梁基础要求必须具有足够的水平和垂直承载力, 具有很好的抗震性能。因此, 研究新型桩基础形式, 提高山区斜坡桥梁桩基础的水平承载力, 对减少工程投资, 具有重要的经济性、技术性、环保性。

目前关于桩基础^[1-5]与锚杆(索)^[5-11]研究相对成熟, 但是对于锚杆(索)桩基础的研究还存在很多问

题。由于锚杆(索)桩基础技术在桥梁基础中尚无应用先例, 仅有采用预应力锚索技术对处于滑动带上已产生偏斜的桥梁墩台进行纠偏和采用预应力锚索抗滑桩防治桥梁基础滑动的报道^[5], 而且在山区高墩桥梁桩基础的变形控制非常重要^[5,12], 所以必须结合具体的工程地质条件, 研究论证方案的可行性。利用三维有限元数值模拟锚杆(索)的加固作用机理, 对加固方案进行模拟和研究, 从而控制桥梁桩基础的变形, 对设计方案进行优化, 具有重要的实际意义。

1 工程概况

国道 312 线是新疆境内最重要的一条交通干线, 赛里木湖—果子沟段是国道改建工程中的重点和难点。本段中有近 7 km 的道路是桥隧相连接, 桥

收稿日期: 2009-04-17

作者简介: 欧阳辉(1973—), 男, 湖南隆回人, 博士研究生, 从事岩土工程性质方面的研究。

梁的基础多在山坡上。该段位于北天山西部,地貌上属于科古琴山脉中、高山区,海拔在 2 100 m 左右;气候条件属温带内陆干旱区山地气候,年平均气温约为 0℃左右,四季分明,温度变化较大;震烈度高(按Ⅷ度设计),风速大,有风吹雪、雪崩、碎落石等危害。天山山地经历过多期构造变动,褶皱断裂发育,现代构造活动强烈,岩性变化大,地质灾害多发。山坡坡角一般在 40~50°,以薄层(板)状结构为主,由寒武系深灰色泥质粉砂岩、硅质砂岩夹灰岩组成,而 SK578+150 附近地段,由奥陶系暗灰—黑色硅质岩、粉砂岩、灰岩组成,岩层风化深度大。施工设计桥梁基础采用人工挖孔桩的形式。本文采用三维有限元分析对桥梁的桩基础结构进行模拟,重点研究锚杆(索)在加固桩基础中的作用与效果。

2 模型建立

2.1 地质模型的选取

依据地质勘查报告和地质剖面图,选择了果子沟改建工程中 3 个重点地段作为研究对象:a. 墩高 40 m 的地段,地质条件较差,山体岩石破碎;b. 墩高 75 m 的地段,地质条件相对较好,但墩高,载荷很大,具有代表性;c. 墩高为 100 m 的地段,上部荷载极大,下部桩基础承受的水平力和弯矩的值均特大,是重点研究对象之一。

2.2 力学模型建立

岩石(土)是一种复杂的、各向异性的、非均质和非线型的材料^[13]。在有限单元法进行分析时,如果把所有的复杂因素都考虑进去,则必然引起计算的复杂化^[14-15],使问题不易求解,或者反而解决不好。所以在进行有限单元法的分析时,要对所分析的岩石(土)地质条件进行一些必要的简化,即必须抓住影响分析结果的关键因素。研究中,对墩底受力及其所在的地质条件进行如下简化:a. 假设开挖斜坡的设计坡比为 1:0.5,不考虑边坡的开挖过程;b. 墩底的弯矩转化成等效的水平力;c. 承台之上的桥墩作刚体处理,只起将上部的荷载传递到承台的作用;d. 限于地质勘查的程度和精度,地层的分界线为与坡平行;e. 在承台的横向方向,对于周围的岩土体均取 10 m 作为有限元分析的影响范围;对于

承台纵向前、后两侧的土体,则根据实际开挖坡体后,分别取值 10 m 和 20 m 作为有限元分析的影响范围;f. 桩和承台连接呈刚性,所用水泥标号相同,力学参数一致;g. 40 m 墩高的桩长取 8 m,其余两个模型的桩长均取 15 m,深入到微风化岩层;h. 网格的剖分节点控制在 20 000 个以内。对于整体的桥墩、桩基础以及所模拟的周围岩土体共剖分了 4 300 个左右的空间块体单元。具体模型如图 1 和图 2。

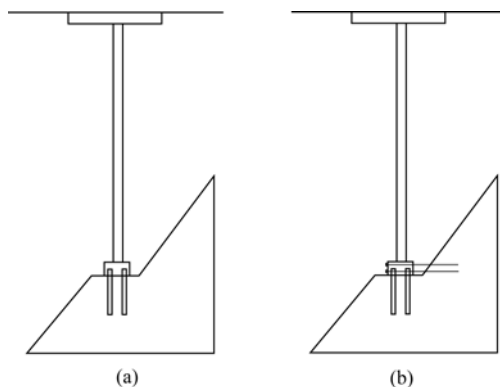


图 1 桩基础模型图

Fig. 1 Model figures of pile foundation
a——一般桩基础;b——加入水平锚杆的桩基础

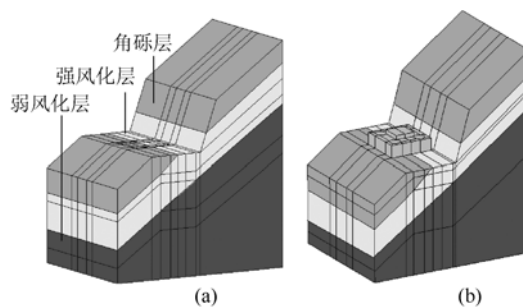


图 2 简化模型示意图

Fig. 2 Simple model sketches
a——地层示意图;b——计算模型

3 参数及计算结果

3.1 参数设置

3.1.1 岩土体的输入参数

岩土体计算参数的选取主要根据工程地质勘查报告、类比及计算等手段得出,同时,参考经验数据,对寒武系强风化岩层力学参数按弱风化岩体参数的 65% 计算给出。分析中涉及到岩土体的力学参数可参考表 1 和表 2。

表 1 岩土体物理力学参数(墩高 40 m 级)

Table 1 Physical mechanical parameters of rock and soil mass (frusta high 40 m)

地 层	密度 $\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	变形模量 E/GPa	泊松比 ν	抗拉强度 σ_t/MPa	内聚力 c/MPa	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$
第四系土层	1.6	0.6	0.35	0	0.03	30
寒武系强风化岩体	2.0	3.07	0.33	0.007	0.030	31
寒武系弱风化岩体	2.3	4.73	0.30	0.011	0.046	33.7

表 2 岩土体物理力学参数(墩高 75 m 和 100 m 级)
Table 2 Physical mechanical parameters of rock and soil mass (frusta high 75 m, 100 m)

地 层	密度 $\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	变形模量 E/GPa	泊松比 ν	抗拉强度 σ_t/MPa	内聚力 c/MPa	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$
第四系土层	1.6	0.6	0.35	0	0.03	30
奥陶系逆向坡弱风化岩体	2.6	18	0.25	0.157	0.319	48.2
奥陶系顺向坡强风化岩体	2.1	4.62	0.32	0.017	0.053	32

3.1.2 承台和灌注桩的输入参数

承台和灌注桩的输入参数,如表 3 所示。需要指出的是,对于桥墩的弹性模量值选择的是假设值 100 GPa,其值要比设计提供的 C30 混凝土的弹性模量值要大得多。这样选取的主要目的是将桥墩完

全看作是刚体,并不对下部的结构产生力学效应,只起到将上部结构的力传递给承台及下部基础的作用。

3.1.3 桥墩底部内力

桥墩底部内力,如表 4。

表 3 承台和灌注桩物理力学参数
Table 3 Physical mechanical parameters of bearing platforms and filling piles

地层	密度 $\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	变形模量 E/GPa	泊松比 ν	抗拉强度 σ_t/MPa	内聚力 c/MPa	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$
承台混凝土	2.5	32	0.15	0	0.03	41.8
桩混凝土	2.5	32	0.15	0.026	0.03	41.8
墩混凝土	2.5	100	0.10	0.026	0.081	41.8

表 4 墩底内力表*
Table 4 Internal force of frusta bottom*

墩高/m	墩底横宽/m	墩底纵宽/m	力的方向	弯矩 $M/\text{kN}\cdot\text{m}$	剪力 Q/kN	最大轴力 N_{\max}/kN	最小轴力 N_{\min}/kN
40	4.0	2.4	纵向力	8 680	294	19 060	16 530
			横向力	12 010	336		
75	5.15	3.84	纵向力	23 130	492	26 750	24 220
			横向力	12 010	336		
100	6.42	4.34	纵向力	43 190	732	33 550	31 020
			横向力	12 010	336		

* 表中数值来自中咨(武汉)桥隧设计研究院有限公司。

3.1.4 施加外力

设计外力以桥梁设计中提供的计算值为基础。在模拟过程中,按照实际情况加载到模型的相应位置。墩底外力输入参数如表 5 所列。因纵向力对承台、基础向临空面发生变形的影响大于横向力,故只考虑纵向力对承台的作用。

表 5 外荷载的输入值*
Table 5 Input value of outside load *

墩高/m	弯矩力/t	墩底水平推力/t	垂直荷载/t
40	868	29.4	1 906
75	2 313	49.2	2 675
100	4 319	73.2	3 355

* 表中数值来自中咨(武汉)桥隧设计研究院有限公司。

3.2 分析计算

3.2.1 分析方式

对桥梁基础加固形式的模拟主要从两方面进行:a.在原设计基础上增加桩的数量;b.在承台中加入水平锚杆,即保证原设计桩数量。将水平锚杆的一侧打入承台,另一侧打入山体。锚杆加固桩基

础的作用原理如图 3 所示。

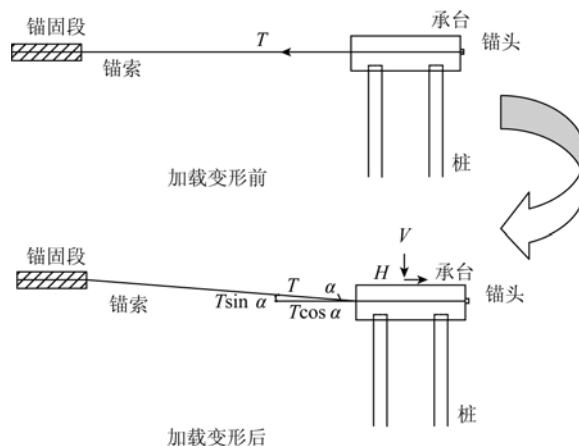


图 3 锚杆(索)加固桩基础机理图示

Fig. 3 Reinforced mechanism of anchor pole (cable)

3.2.2 模拟结果

通过对所选地段桩基础的三维有限元模拟,可以得到图 4、图 5 的关系曲线。以墩高 75 m 级的计算模型为例。

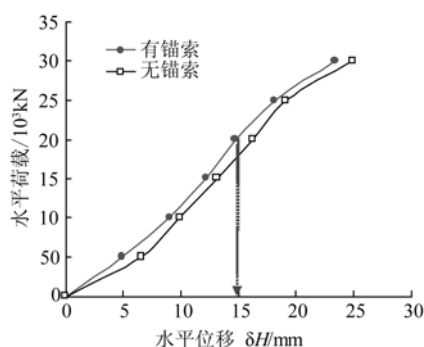


图 4 有、无锚索加固基础水平荷载-位移曲线

Fig. 4 Horizontal load-displacement curve of pile foundation with and without anchor cable

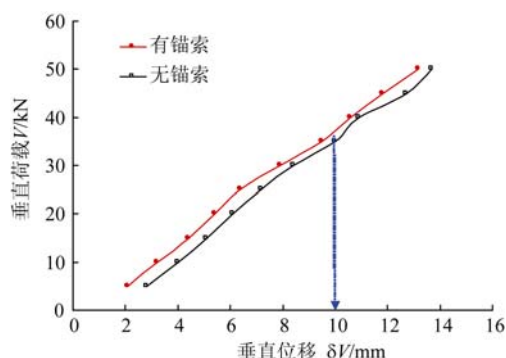


图 5 有、无锚索加固基础垂直荷载-位移曲线

Fig. 5 Vertical load-displacement curve of pile foundation with and without anchor cable

对施加不同锚杆(索)预应力进行三维模拟, 可以得到图 6 的锚杆(索)预应力-水平位移关系曲线。

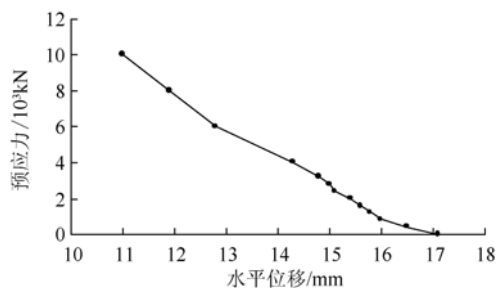


图 6 锚杆(索)预应力-水平位移曲线

Fig. 6 Prestress-horizontal displacement curve of anchor pole (cable)

4 结 论

通过对以上模拟结果进行分析, 可以得到如下结论:

a. 同样的桩径、桩长和承台设计条件下, 加入锚杆(索)后桩基础的水平位移和垂直位移均得到明显的控制, 桩基础的变形减小。

b. 由水平加固效益系数 α_H =基础水平承载力增大值 ΔH /预应力, $\Sigma T=2\ 380\text{ kN}/(4 \times 800\text{ kN})=0.74$,

和垂直加固效益系数 α_v =基础垂直承载力增大值 ΔV /预应力, $\Sigma T=2\ 273\text{ kN}/(4 \times 800\text{ kN})=0.71$, 可知, 锚杆(索)加固基础的效果是十分明显的。

c. 尽管锚杆(索)预应力越大, 对抑制水平位移越有利, 但是, 这并不意味着设计预应力值越大越好, 而应综合考虑, 节省加固投资的同时保证施工质量。

针对我国山区公路建设存在的高墩桥梁桩基础的大变形的问题, 本文提供了一条很好的加固桩基础的方法, 而且通过三维有限元数值模拟的手段论证了锚杆(索)桩基础的加固效果十分显著, 这对于类似工程采用锚杆(索)桩基础进行加固与三维有限元数值模拟进行方案优化设计提供了很好的思路。

参考文献

- [1] 黄宏伟, 张冬梅, 徐凌, 等. 国内外桥梁深基础形式的现状[J]. 公路交通科技, 2002, 19(14): 60-63.
- [2] H. M. 戈洛泽夫, K. C. 西林. 管柱基础[M]. 铁道部大桥工程局译. 上海: 科技卫生出版社, 1959.
- [3] 《桥梁史话》编写组. 桥梁史话[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.
- [4] 刘吉士, 张俊义, 陈亚军. 桥梁施工百问[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [5] 李春鹏. 锚固桩基础在高墩桥梁中的应用研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2007.
- [6] 霍布斯特, 泽吉斯. 岩层和土体的锚固技术[M]. 陈宗严, 王绍基, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1977.
- [7] 刘宁, 高大水, 戴润泉, 等. 岩土预应力锚固技术应用研究[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2002.
- [8] 苏自约, 阎莫明, 徐祯祥. 岩土锚固技术与工程应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [9] 程良奎, 范景伦, 韩军, 等. 岩土锚固[M]. 北京: 中国建筑出版社, 2003.
- [10] 李海梁, 黄勇. 预应力锚拉桩在公路滑坡治理中的应用[J]. 中南公路工程, 2005(6): 112-114.
- [11] 周继安, 王崇绪. 预应力锚索抗滑桩在整治火夹沟滑坡中的应用[J]. 公路交通技术, 2004, 10(5): 11-14.
- [12] 徐俊. 斜坡地段桥梁基础布置有限元分析[J]. 土工基础, 2006, 20(2): 62-66.
- [13] 刘佑荣, 唐辉明. 岩体力学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998.
- [14] 宋一凡, 贺拴海, 赵煜. 弹性地基高桥墩施工稳定性分析的能量法[C]//中国公路学会桥梁和结构工程学会 2001 年桥梁学术会议论文集, 2001.
- [15] 唐辉明, 晏鄂川, 胡新丽. 数值模拟在工程地质中的应用[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998.