

黄土冲沟区桥梁桩基受力特性现场试验研究

赵华

(山西省交通科学研究院 黄土地区公路建设与养护技术交通行业重点实验室, 山西 太原 030006)

摘要: 黄土冲沟区桥梁桩基是一种特殊的工程地质条件,为了研究黄土冲沟区桥梁桩基基础受到的水平推力、沉降、位移、桩周土含水率之间的相互关系,课题组在山西省太(原)佳(县)高速公路某桥梁桩基上安装了一套远程监测系统。通过两年的监测,得出了以下结论:① 监测点桥台(墩)桩基不同深度范围内所受桥下边坡滑移提供的水平压力均呈现出春夏季(雨季)增大而秋冬季减小的趋势;深度上的变化符合弹性嵌固桩的土压力分布规律;② 监测点桥墩的位移呈现波动式变化但量值很小,波峰处于春夏季;③ 监测点桥台(墩)桩基的差异沉降量随时间有减小的趋势,且与土压力随时间变化规律相对应;④ 监测点桥下边坡坡脚黄土的含水率与降雨密切相关。

关键词: 黄土冲沟区;桥梁桩基;压力;位移;含水率

1 前言

山西省是一个被黄土广泛覆盖的山地高原,境内山峦叠嶂,丘陵起伏,沟壑纵横,黄土冲沟分布广泛。随着高速公路建设的迅猛发展,穿越黄土冲沟的路线越来越多,路线跨越深切冲沟通常以桥梁方式通过。黄土冲沟区的桩基不仅是斜坡桩基而且是特殊岩土中桩基,其受力特性逐渐成为研究的热点。针对黄土地区桩基的受力特性研究更多的是集中在平坡地段或者是受湿陷性影响下负摩阻力对桩基的影响。冯忠居等自2005年开始在黄土冲沟桥梁桩基受力特性的研究方面做了很多科研工作,针对黄土冲沟区域地形地貌、工程地质与水文条件,利用理论方法、有限元分析、现场试验及室内模型试验对黄土冲沟区域桥梁桩基受滑坡、堆载及冲刷、地面水等影响的受力特征及桥梁结构受到的影响展开研究。但是对黄土冲沟这种特殊的地

形地质条件下桩基的受力特性、桩周土的力学特性探讨不多。

黄土冲沟区桥下边坡由于沟底水流侵蚀坡脚、坡面径流切割坡体、坡面渗流降低黄土强度等各种因素的影响使坡体产生下滑,这种下滑产生的累积效应会使其桥梁桩基产生倾斜、不均匀沉降等病害,影响桥梁乃至高速公路的运营安全。该文通过黄土冲沟区降雨量、桩周土含水率、桩基所受土压力及桩基的位移进行现场监测试验,获取它们的相互关系,以期为桥梁桩基的勘察、设计及运营期安全维护提供帮助。

2 监测点概况

监测点位于山西太(原)佳(县)高速公路(S104)平临段,桥址区地貌单元属黄土覆盖中低山区。该地区属温带大陆性气候。春季干旱多风少雨,夏季炎热雨量集中,秋季较为温凉湿润,冬季寒冷干燥少雪。监

参考文献:

- [1] 刘晶波.结构动力学[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 葛俊颖.桥梁工程软件 Midas Civil 使用指南[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [3] 项海帆.拱结构的稳定与振动[M].北京:人民交通出版

社,1991.

- [4] 张俊平.桥梁检测[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [5] 连岳泉,梁群.单拱肋外倾式钢管混凝土拱桥动力特性分析[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2012(5).
- [6] 田仲初,彭涛.佛山东平大桥静动力多层次有限元模型修正研究[J].振动与冲击,2007(6).

收稿日期:2018-10-16

基金项目:山西省交通厅科技项目(编号:2014-1-9)

作者简介:赵华,女,硕士,高级工程师.E-mail:zhaohua1634@163.com

测桥梁全长 156 m,为预应力钢筋混凝土形式,1 号桥墩高 28 m,灌注桩基础,桩基属于黄土层内的摩擦桩。1 号桥墩所处的陡坡坡度为 46° (佳县至太原方向),坡长 20 m,坡高 18 m。出露的地层为上更新统风积粉土、中更新统冲洪积粉质黏土,下伏中三叠系二马营组黄色砂岩。坡面多处有裂缝,小水冲槽,局部土体碎散。

3 监测方案设计

为了获取桥梁桩基的受力、沉降、位移等与降雨以及沟底水位变化的相互关系,在现场安装了一套集土压力、土壤水分、差异沉降等为一体的远程实时监测系统(图 1)。

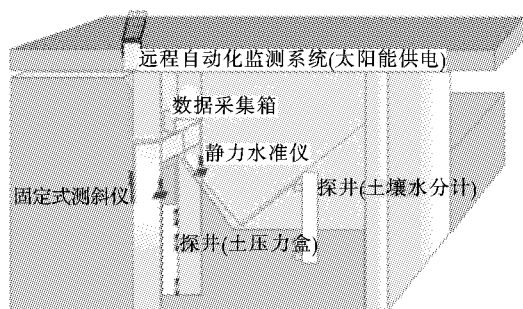


图 1 现场监测试验示意图

3.1 桩基受力

桥墩桩基受力的现场监测采用 YT-ZX-03 型土压力盒和基于频率仪的数据采集系统。土压力盒布设于 1 号桥墩桩基所在位置,该桩基为坡中桩,所在边坡高 8 m,坡体已产生明显的贯通裂缝,为测试桥梁桩基受力特性提供了良好的天然条件。在桩基迎坡一侧采用人工挖探井的方式,探井直径 80 cm,井深 500 cm,自坡面 1 m 以下每 50 cm 放置一个土压力盒,每个土压力盒垂直紧贴桩基表面,受力面面向土体。压力盒埋设完毕,采用人工分层回填原地的黄土。考虑到探井的开挖相当于对桩侧土进行卸载,故在探井回填时严格按照室内测试获取的试验现场原状黄土密度 1.54 g/cm^3 进行夯实,确保边坡下滑产生的推力能被压力盒准确接受,不影响土压力的监测结果。

3.2 含水率

桥下边坡坡脚受沟底水流侵蚀进而影响黄土强度的情况,采用 YT-DY-0101 型土壤水分计对黄土含水率变化情况进行监测。监测桥下边坡土体含水率变化的土壤水分计亦采用人工挖探井的方法,自地面 1 m 以下每 50 cm 放置一个,挖至地面下 4.2 m 出露三叠系黄色砂岩,因此将最后一个土壤水分计放置于 4 m 处。

3.3 桩基位移

2 个静力水准仪及 1 个测斜仪均通过支架固定于 1 号桥墩上。2 个静力水准仪分置于两根墩的左右两侧(太原至佳县方向),通过其测量值的变化来计算桥梁桩基的差异沉降(该沉降量为相对沉降量)。

3.4 降雨量

为了建立降雨量、冲沟土壤水分、桩基受力特性之间的关系,在试验现场还安装了 YT-RS-0100 型雨量远程自动化一体站。高精度雨量计通过雨量筒接收到的实际降雨量,按每小时进行雨量统计,精度可达 0.1 mm。

4 试验数据整理及分析

所有现场监测设备运行正常,共历时两年(降雨量监测了 17 个月,监测到 2 个降雨周期)。通过对监测数据的分类统计发现,桩基所受边坡下滑水平推力(压力盒监测数据)、桩基水平位移(固定式测斜仪数据)、桩基不均匀沉降量(静力水准仪数据)均与桩周黄土含水率(土壤水分计数据)的变化相关,而黄土的含水率变化又直接与降雨量(雨量计数据)的大小及入渗时间密切相关。以下对桩前土压力、桩基水平位移、桩基不均匀沉降、桥下边坡黄土含水率这 4 项指标受现场降雨影响的规律进行详细论述。

4.1 土压力

通过对两年时间土压力监测数据的统计分析可知,桩基在 3.0 m 以上部分会因水分在黄土中的运移等影响于冬季出现拉力,最大值在 3.0 m 处,为 -3.4 kPa ;进入春夏季,压力增大,增幅大的部位在 1.5 m 及 3.0~4.0 m 范围内,最大值为 33.5 kPa ;表层 1.0 m 范围内黄土下移明显但提供的推力较小,最大值为 12 kPa (表 1)。

表 1 不同深度桩基所受土压力

监测深度/ m	土压力值/kPa		
	最大值	最小值	平均值
1.0	12.0	0.0	0.0
1.5	22.7	-0.1	10.5
2.0	10.7	-6.0	-4.1
2.5	20.6	-1.0	9.9
3.0	3.4	-3.4	0.3
3.5	33.5	4.4	18.2
4.0	33.1	7.3	18.5
4.5	24.7	4.1	12.6

由土压力监测曲线(图2)的波动式变化可发现:2.0 m及3.0 m处土压力在两年内随季节性变化并不明显,而1.0、1.5、2.5、3.5和4.0 m这5个深度处桩前土压力均表现出波动性变化,波峰处于春夏季。而且,自2015年春季开始至今,这5个深度处桩前的土压力总体表现为增大的趋势;4.5 m处桩前土压力未出现波动变化,但两年来总体近线性增大。

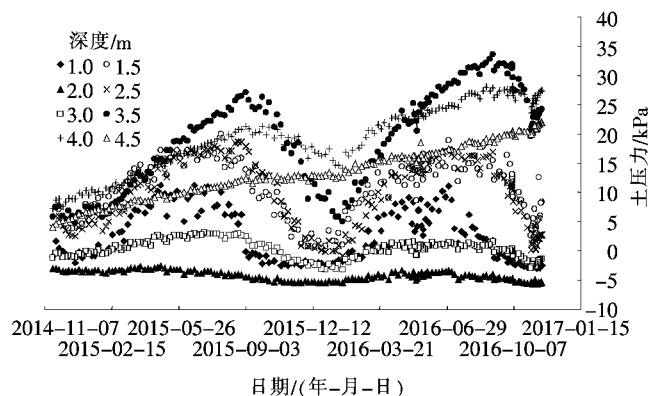


图2 桩前土压力监测曲线图

研究发现,桩前后土压力在不同深度的变化规律与基坑支护中的“弹性嵌固桩”桩前后的土压力分布(图3)规律一致,即桩前主要承受桥下边坡黄土提供的主动土压力,在弯矩平衡点下部出现被动土压力。

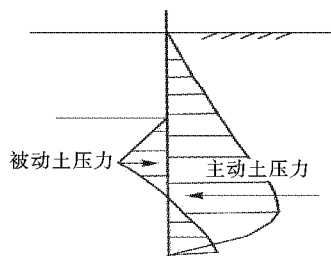


图3 桩前后土压力分布示意图

监测点桥墩桩基不同深度范围内所受桥下边坡滑移提供的水平压力均呈现出春夏季(雨季)增大而秋冬季减小的趋势,表明桥下边坡的滑移变形具有季节性规律,春季积雪融化,黄土含水率增加,土体强度降低向桩前位移,桩前监测的土压力开始增大;夏季降雨增加,加速了黄土含水率的增加,土体强度降低更加明显,土压力的增大趋势也更加明显;秋冬季降雨减少,黄土因蒸发等原因含水率降低,黄土滑移变形减弱,提供给桩基的水平土压力也开始减小。

因桥梁墩台桩基类似于弹性嵌固桩,其土压力分布符合土压力分布规律,这是不同深度桩基所受桥下边坡滑移提供的水平压力大小不同的主要因素。

4.2 桥墩位移

桥墩位移是通过一组安装在1号桥墩台下第一道系梁上1.0 m高度处的固定式测斜仪来进行监测的。两年时间的监测数据显示,桥墩位移量很小,最大值为0.3 mm,最小值为-0.21 mm,平均值为0.17 mm。并且桥墩的位移尽管量值很小,却表现出波动式变化,波峰处于春夏季(图4)。而且,目前监测到的两个春夏季位移量具有逐渐增大的趋势。但这种位移累进式增大的规律与土压力随时间变化的规律一致。

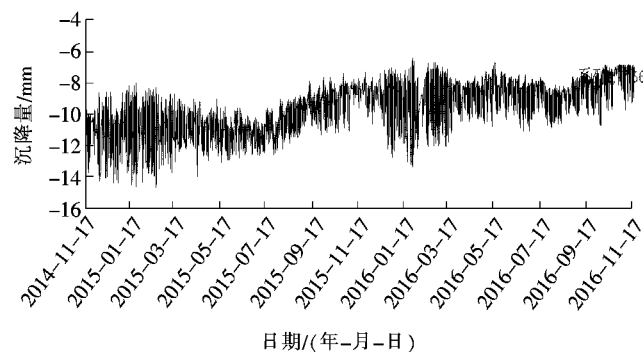


图4 桥墩位移监测曲线

4.3 桩基沉降

桩基沉降是通过一组安装在1号桥墩台下第一道系梁上1.0 m高度处的静力水准仪来进行监测的。两年时间的监测数据显示,桥墩沉降量很小,最大值为14.7 mm,最小值为6.4 mm,平均值为9.8 mm。由沉降监测曲线(图5)可以发现,桩基的差异沉降量随时间有减小的趋势,这种沉降累进式减小的规律与土压力随时间变化的规律也是相对应的,因为桩基沉降到一定程度将趋于稳定而不再沉降。同样,桩基沉降监测曲线也表现出微弱的季节性波动式变化,波峰仍处于春夏季。单就春夏季数据来看,目前监测到的2015年和2016年两个春夏季桩基沉降量具有逐渐增大的趋势,这是由于2016年雨季总降水量大于2015年雨季,表明桩基沉降变形仍受降雨的直接影响。

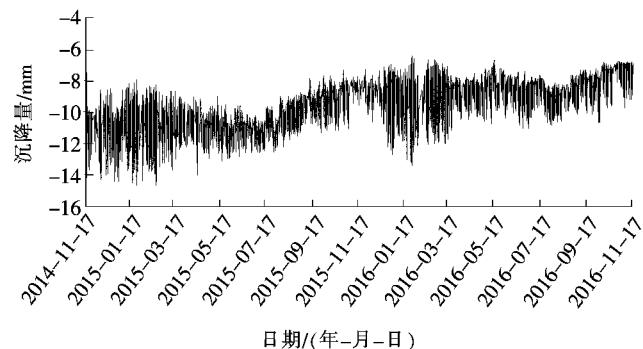


图5 桩基沉降监测曲线

4.4 坡脚黄土含水率

坡脚含水率是通过探井埋设于 1 号桥墩台下边坡坡脚黄土层内的 7 个土壤水分计来监测的。探井距离桥墩 8.0 m, 埋设深度由上至下分别为 1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5 和 4.0 m。

7 个深度的初始含水率数据(2014 年 11 月 18 日 09:46 采集)(图 6)显示, 2.5 m 以上边坡黄土的含水率均不大于 15%, 属于降雨影响敏感深度范围; 而 3.0 m 以下边坡黄土含水率都大于 20%, 尤其是 3.5 m 以下部分已经接近 40%, 基本达到饱和状态, 受降雨影响程度很小。

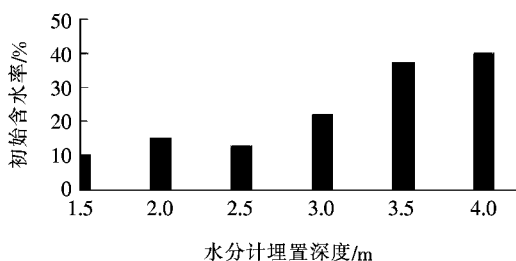


图 6 桥下边坡坡脚黄土的初始含水率

两年时间的监测数据显示, 各个深度黄土的含水率均与降雨密切相关, 2.5 m 以上部分随季节变化而呈波动性变化, 波峰处于春夏季, 若遇强降雨, 含水率增加更快, 土体强度受降雨影响明显, 可能表现为湿陷或坍塌; 3.0 m 以下黄土含水率季节性变化规律不明显, 但遇到强降雨仍会急剧增大。因为黄土水分的入渗直接影响其自身的结构而表现出强度降低, 自然条件下常以地面自重湿陷的形式出现, 但累进式的湿陷变形为集水提供了条件, 会加剧黄土结构破坏, 进而表现为落水洞, 继续变形便会形成局部坍塌, 进而为坡体提供临空条件诱发坡体滑移。土体含水率的变化规律与土压力、桩基位移等的变化规律也是一致的。

5 结论

综合上述对桥台(墩)桩基土压力、桥墩位移、桩基沉降、桥下边坡坡脚黄土含水率以及监测区域降雨量等监测数据的分析可知:

(1) 监测点桥台(墩)桩基不同深度范围内所受桥下边坡滑移提供的水平压力均呈现出春夏季(雨季)增大而秋冬季减小的趋势; 深度上的变化符合弹性嵌固

桩的土压力分布规律。

(2) 监测点桥墩的位移尽管量值很小, 却表现出波动式变化, 波峰处于春夏季; 而且, 监测到的两个春夏季位移量具有逐渐增大的趋势, 这种位移累进式增大的规律与土压力随时间变化的规律是一致的。

(3) 监测点桥台(墩)桩基的差异沉降量随时间有减小的趋势, 这种沉降累进式减小的规律与土压力随时间变化的规律也是相对应的; 监测曲线也表现出微弱的季节性波动式变化, 波峰仍处于春夏季; 受降雨量大小的直接影响, 监测到的 2015 年和 2016 年两个春夏季桩基沉降量具有逐渐增大的趋势。

(4) 监测点桥下边坡坡脚黄土的含水率均与降雨密切相关; 其变化规律与桩基受边坡滑移提供的水平压力、桩基桥墩位移量的变化规律均一致。

监测点的各项数据统计分析表明降雨入渗、地表径流、地面积水等因素造成了桥下边坡黄土结构的累进式破坏, 进而产生滑移作用于桥台(墩)桩基之上, 引起桩基沉降和桥墩位移。这种变形破坏程度不大但长期累积会影响桥梁的使用寿命, 甚至造成桥面的不均匀沉降而影响交通运输。

参考文献:

- [1] 山西省地方志办公室. 省情概况[EB/OL]. http://www.shanxi.gov.cn/sq/sqgk/zrdl/201606/t20160630_161619.shtml.
- [2] 李晋. 黄土桩基桩土共同作用性状仿真与试验研究[D]. 长安大学博士学位论文, 2009.
- [3] 冯忠居, 谢永利, 张宏光, 等. 地面水对黄土地区桥梁桩基承载力影响试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005(10).
- [4] 冯忠居, 冯瑞玲, 赵占厂, 等. 黄土湿陷性对桥梁桩基承载力的影响[J]. 交通运输工程学报, 2005(3).
- [5] 冯忠居, 王航, 魏进, 等. 黄土冲沟斜坡桥梁桩基竖向承载特性模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2015(12).
- [6] 刘海松. 黄土边坡工程——坡面稳定性的理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [7] 刘海松. 地貌学及第四纪地质学[M]. 北京: 地质出版社, 2013.
- [8] 临县政府办. 自然概况[EB/OL]. [2007-06-28]. http://www.linxiang.gov.cn/content/2007-06/28/content_17740.htm
- [9] 赵华. 高速公路沿线黄土滑坡群(带)的利导与整治[J]. 灾害学, 2016(3).