

文章编号: 1674—8247(2019)05—0056—06
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.05.012

西南山区某高速铁路双线特大桥桥墩沉浮机理探析

王茂靖 付开隆

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:西南山区某铁路双线特大桥开通运营以来,多个桥墩出现异常沉浮,对铁路运营产生了一定影响,铁路运输部门对通过此桥列车进行了限速。为查明桥墩异常升降的原因,文章以此桥为研究背景,结合地质补充勘察资料,分析了桥墩沉浮机理,提出了山区桥梁建设中需要重视的几个方面,对从事铁路勘察设计的工程技术人员具有很好的参考借鉴意义。

关键词:双线;特大桥;桥墩;沉浮;机理;分析

中图分类号:U443.22 **文献标志码:**A

Analysis of Piers Sinking and Floating Mechanism of Double-track Super-large Bridge on A High-speed Railway in South Mountain Area

WANG Maojing FU Kailong

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

Abstract: Since the operation, many piers of a double-track super-large railway bridge in southwest mountainous area sink and float abnormally, which has a certain impact on railway operation. Railway transportation departments have limited the speed of trains passing through the bridge. In order to find out the reasons for the abnormal sinking and floating of piers, this paper takes this bridge as the research background, combines with geological supplementary survey data, analyzes the sinking and floating mechanism of piers, and puts forward several aspects that need to be paid attention to in the construction of bridges in mountainous areas, which has a good reference significance for engineers and technicians engaged in railway survey and design.

Key words: double-track; super-large bridge; pier; sinking and floating; mechanism; analysis

1 概况

1.1 工程概况

西南山区某高速铁路特大桥桥长 738.107 m,最大墩高 8.5 m,桥梁中心里程 D3 K72+737.846,孔跨布置为 3×32+(32+48+32)m 连续梁+15×32 m+1×24 m 简支梁;主跨下部采用矩形实体墩、桩基础;引桥梁部采用 24 m、32 m 预应力混凝土简支组合箱

梁,下部结构采用矩形实体墩、T 型空心桥台、桩基础。全桥 5 号~11 号、16 号、17 号墩采用摩擦桩基础,其余为柱桩,各墩台桩基础设计情况如表 1 所示。

该桥从 2010 年 3 月 23 日开始施工,2012 年 9 月完工,2012 年 10 月架梁结束,2014 年 12 月开通运营。

1.2 病害概况

在施工过程中,施工单位自 2010 年 9 月开始对桥

收稿日期:2019-06-30

作者简介:王茂靖(1964-),男,教授级高级工程师。

引文格式:王茂靖,付开隆.西南山区某高速铁路双线特大桥桥墩沉浮机理探析[J].高速铁路技术,2019,10(5):56-61.

WANG Maojing, FU Kailong. Analysis of Piers Sinking and Floating Mechanism of Double-track Super-large Bridge on A High-speed Railway in South Mountain Area [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(5): 56-61.

表 1 双线特大桥墩台桩基设计统计表				
墩台号	墩台高/m	桩基布置	桩长/m	备注
0	5.0	9φ1.25	55.0	柱桩
1	6.5	8φ1.25	14.0	柱桩
2	7.0	8φ1.25	31.0	柱桩、不等长
3	7.0	8φ1.25	30.0	柱桩
4	6.5	8φ1.25	51.0	柱桩
5	6.5	8φ1.25	24.0	摩擦桩
6	7.0	8φ1.00	19.0	摩擦桩
7	7.5	8φ1.00	20.0	摩擦桩
8	7.5	8φ1.00	20.0	摩擦桩
9	7.5	8φ1.00	20.0	摩擦桩
10	7.5	8φ1.00	20.0	摩擦桩
11	7.5	8φ1.00	20.0	摩擦桩
12	8.0	8φ1.25	49.0	柱桩
13	8.0	8φ1.25	73.0	柱桩
14	8.0	8φ1.25	53.0	柱桩
15	8.0	8φ1.25	54.0	柱桩
16	8.0	8φ1.00	26.0	摩擦桩
17	8.5	8φ1.00	21.0	摩擦桩
18	8.5	8φ1.25	63.5	柱桩
19	8.5	8φ1.25	65.5	柱桩
20	8.5	8φ1.25	49.5	柱桩、不等长
21	6.5	8φ1.25	44.5	柱桩
22	5.0	9φ1.25	54.0	柱桩

表 2 某双线特大桥桥梁观测数据统计表											
序号	桥墩(台) 编号		下沉量 /mm	上浮量 /mm	总上浮量 /mm	序号	桥墩(台) 编号		下沉量 /mm	上浮量 /mm	总上浮量 /mm
1	0 号	左侧	5.22	2.08	3.14	12	11 号	左侧	18.88	- 15.37	34.25
		右侧	5.22	1.21	4.01			右侧	17.96	- 15.71	33.67
2	1 号	左侧	7.25	3.16	4.09	13	12 号	左侧	18.98	- 16.36	35.34
		右侧	7.69	3.11	4.58			右侧	18.51	- 16.08	34.59
3	2 号	左侧	7.89	2.87	5.02	14	13 号	左侧	15.81	- 16.85	32.66
		右侧	7.84	3.03	4.81			右侧	15.32	- 17.18	32.50
4	3 号	左侧	8.52	3.33	5.19	15	14 号	左侧	14.18	- 18.04	32.22
		右侧	7.76	2.19	5.57			右侧	14.14	- 19.00	33.14
5	4 号	左侧	8.90	1.1	7.80	16	15 号	左侧	14.26	- 18.02	32.28
		右侧	8.37	0.41	7.96			右侧	14.09	- 19.02	33.11
6	5 号	左侧	11.53	- 7.04	18.57	17	16 号	左侧	15.83	- 22.75	38.58
		右侧	10.96	- 6.90	17.86			右侧	14.79	- 23.05	37.84
7	6 号	左侧	11.94	- 8.84	20.78	18	17 号	左侧	16.01	- 21.25	37.26
		右侧	11.71	- 8.60	20.31			右侧	14.81	- 21.00	35.81
8	7 号	左侧	12.82	- 11.04	23.86	19	18 号	左侧	14.43	- 12.93	27.36
		右侧	11.75	- 11.62	23.37			右侧	13.79	- 12.91	26.70
9	8 号	左侧	13.14	- 14.75	27.89	20	19 号	左侧	12.54	- 11.11	23.65
		右侧	12.34	- 14.53	26.87			右侧	12.50	- 10.98	23.48
10	9 号	左侧	14.35	- 16.29	30.64	21	20 号	左侧	11.94	- 9.14	21.08
		右侧	13.07	- 17.26	30.33			右侧	11.29	- 9.12	20.41
11	10 号	左侧	15.59	- 15.58	31.17	22	21 号	左侧	11.25	- 7.28	18.53
		右侧	14.40	- 16.39	30.79			右侧	10.84	- 7.19	18.03
						23	22 号	左侧	10.63	- 8.17	18.80
								右侧	10.47	- 8.32	18.79

注:①下沉量:指桥墩(台)观测的最低高程与第一次观测高程的差值
②上浮量:指桥墩(台)观测的最高高程与第一次观测高程的差值
③总上浮量:指桥墩(台)观测的最大下沉高程与上浮高程之间的差值
④观测时间为:2012 年 10 月 21 日至 2013 年 8 月 4 日

桥墩台沉降进行监控量测,发现桥墩存在较大的异常升降。针对该情况,自 2012 年 10 月开始,设计单位对桥墩沉降进行平行观测。观测结果显示:部分桥墩一年中会在某段时间内异常上升,其余时间则下降。对 2012 年 10 月至 2013 年 8 月的观测数据进行统计,结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出:

(1)0 号桥台至 4 号桥墩的沉降变化不大,5 号桥墩至 22 号桥台出现较大的下沉或上浮。

(2)2012 年 10 月至 2013 年 3 月初和 2013 年 6 月下旬至 10 月,墩(台)呈下沉趋势。其中,0 号桥台至 4 号桥墩的下沉量在 10 mm 以内,其它桥墩(台)均大于 10 mm,12 号桥墩下沉量最大,为 18.98 mm。

(3)2013 年 3 月中旬至 6 月中旬,桥墩(台)呈上浮趋势,且在 6 月中旬达到最高值。9~17 号桥墩总上浮量均大于 30 mm,16 号桥墩总上浮量最大,为 38.58 mm。

(4)全桥所有墩台的升降与雨季、旱季在时间上吻合,与地区地下水位升降存在一致性关系。

2 环境地质条件

2.1 地形地貌

桥址位于黔南布依族苗族自治州贵定县境内,属低山岩溶谷地地貌,桥位跨越溶蚀谷地,谷地平缓开阔,大桥跨越一条小河,河岸宽10~20 m,深3 m,地表多为水田,地面高程1 027~1 060 m。

2.2 地层岩性及地质构造

桥址区上覆厚层第四系全新统冲洪积(Q_4^{al+pl})松软土、黏土、砂土、卵石土及坡残积(Q_4^{dl+el})红黏土。粘性土一般位于表层,厚1~7 m,下伏卵石土厚度差异较大,4~12号墩处厚41~57 m,向桥两端延伸逐渐变薄。下伏基岩为二叠系上统吴家坪、长兴组(P_2w+c)和茅口组(P_1m)地层。岩性分非可溶岩和可溶岩两类,其整体分布规律如下:0~7号墩台基岩为灰岩,岩体完整性较好,但岩溶发育;8~22号墩台为页岩、硅质岩夹炭质页岩的杂合岩类,风化程度较严重,全、强风化层总厚20~40 m。

桥址区位于昌明向斜核部,昌明向斜是南北向川黔经向构造体系内的一条紧密状向斜构造。昌明向斜轴向近南北向延伸,与线路方向的夹角约70°,其南部延伸到贵州与广西交界处,向北延伸到开阳县附近与贵阳向斜合并后进一步向北延伸,长度超过50 km。在线路附近,昌明向斜核部为飞仙关组(T_1f)地层,两翼地层由新到老分别为长兴组(P_2c)、吴家坪组(P_2w)、茅口组(P_1m)、栖霞组(P_1q)、梁山组(P_1l)和黄龙组(C_2hn)地层,岩层倾角20°~70°,区域性虎场正断层通过桥址区,断层产状N45°E/45°SE,断层破碎带及影响带宽100~300 m,由断层角砾、断层角砾岩、压碎岩组成,影响范围为D3K 72+520~D3K 72+760。

桥址区地震动峰值加速度0.05 g,场地地震动反应谱特征周期0.35 s。

2.3 水文地质特征

桥址区地下水主要为第四系孔隙潜水、基岩裂隙水及岩溶水。孔隙潜水主要赋存于桥区砂层及卵、砾石层中,含水量较丰富,由地表及大气降水补给。基岩裂隙水主要赋存于硅质岩、页岩地层之中,岩溶水赋存于下伏灰岩溶隙、溶洞中,基岩裂隙水、岩溶水含水量中等。地下水受大气降水及地表水补给,斜坡处基岩裂隙水、岩溶水在谷底低洼处排泄。桥位谷地雨季地下水位于地表下2~8 m,旱季则达30~40 m,表明桥址处地下水受大气降雨补给明显,受周围远距离地下水补给有限,地下水位波动幅度较大,也说明下伏岩溶

水径流途径通畅。

2.4 主要不良地质、特殊岩土

桥址地处岩溶谷地,主要不良地质为隐伏岩溶,据钻孔揭示:下伏栖霞茅口灰岩岩溶极为发育,多个墩(台)处溶洞发育,分布规律性差,洞径大小不一,揭示最大溶洞高达21.6 m,多数为充填溶洞,底板最低高程954.89 m。

特殊岩土为松软地基土,呈透镜状分布于桥址区地表,厚度较薄,对桥梁桩基础影响不大。

3 地质补勘及主要成果

3.1 地质补勘情况

针对此桥墩台异常沉浮的地质病害,设计单位进行了多次地质补勘,2013年3月在异常升降值较大的6号、12号桥墩附近进行了补充钻探,钻孔布置于D3K 72+778及D3K 73+007,钻孔深度分别为70.7 m和60.1 m,钻探揭示土石结构、岩溶发育情况等与勘察阶段揭示并提交设计的成果资料一致。

2013年8月13日,建设单位组织专家对该桥墩(台)异常升降问题进行探讨,专家组初步分析认为,沉降异常与桥址的地层结构、地下水活动有关,可能存在深层承压水作用。

2013年8月,设计单位再次对该桥进行了地质补勘,分别在D3K 72+827处7号墩右侧30 m、D3K 73+154处16号墩右侧50 m施钻两孔。

2013年9月15日完成D3K 72+827处钻孔,孔深90.10 m,终孔时水位埋深18.2 m。钻探揭示:0~40 m为卵石土;40~57.8 m为漂石土;57.8~77.5 m为灰岩;77.5~81.8 m为溶洞,全充填细砂及卵石;81.8~82.3 m为溶蚀破碎带;82.3~85.3 m为溶洞,全充填黄色黏土夹细砂;85.3~90.10 m为灰岩。

2013年10月2日,完成D3K 73+154处钻孔,孔深90.5 m,终孔时水位埋深29.8 m。钻探揭示:0~5 m为粉质黏土;5~23.2 m为卵石土;23.2~36.3 m为页岩,呈全风化状;36.3~48 m为硅质岩,弱风化夹强风化透镜体,岩体极破碎,棱角锋利;48~90.4 m为硅质岩、灰岩弱风化层,岩体较破碎。

钻孔结束后,在两钻孔中分别对砂卵石层和基岩裂隙水进行了稳定流、非稳定流抽水试验,同时在D3K 72+778, D3K 73+827和D3K 73+154处钻孔中埋置花管进行地下水位的长期观测,观测时间根据当地的降雨情况动态设置,在丰水期一般2次/7 d,在枯水期一般1次/7 d。

为查明桥址区一定深度范围岩层的完整性、地下水发育情况等,针对性开展了大地电磁法物探工作。

现场区完成3条物探剖面,其中大角度与桥位相交的1条,自桥位左侧至右侧贯通槽谷,长1 930 m。平行于桥位的物探剖面2条,分别位于线路左侧5.6 m和右侧9.3 m,共长1 560 m。同时,在桥址区开展了磁法勘探,测定桥区磁场强度,分析桥区是否存在磁异常现象。

为分析桥址区水文地质特征、地下水变化规律,设计单位还开展了区域水文地质调绘,基本查明了桥址区水文地质单元及地下水补、迳、排条件,为分析桥址区地下水位变幅打下了良好基础。

3.2 地质补勘的主要成果

(1)地层岩性

钻孔揭示桥址区覆盖土厚度较大,松散土层厚度达60 m,下伏基岩为硅质岩、页岩及厚层灰岩,桥址区处于向斜核部,受向斜构造及断层作用,岩体节理裂隙发育,使灰岩岩溶极为发育,多见溶洞,硅质岩十分破碎,呈散体结构、碎石类土状。上覆卵砾石土,据颗粒分析,粒径大于2 mm的土样占总质量的56%~90%,平均值为76%;粒径小于2 mm而大于0.075 mm的颗

粒占总质量的5%~37%,平均值为13%;粒径小于0.075 mm的细粒土占总质量3%~38%,平均值为11%。由此可见,桥址土层粗粒土占比较高。

(2)抽水试验成果

D3K 72+827处钻孔按潜水完整井非稳定流抽水试验,采用相距57 m的D3K 72+778处钻孔资料进行直线解析法计算,卵石层的渗透系数 $K=0.177\text{ m/d}$ 。D3K 73+154处钻孔按潜水非完整井稳定流抽水试验,采用单孔2个落程观测资料按裘布依、库萨金公式计算,岩层的渗透系数 $K=0.597\text{ m/d}$ 。

从抽水试验结果来看,桥址区卵砾石土层渗透系数较小,说明卵砾石土层较为密实且含有黏土,与勘察阶段实施的超重型动力触探结果吻合。硅质岩的渗透系数较卵砾石土层大,这与桥址区处于紧密状昌明向斜核部的构造部位有关,核部岩层受挤压明显,岩体破碎,因而渗透系数较大。

(3)水位观测成果

观测自2013年9月开始,至2014年2月结束,钻孔地下水位观测升降曲线,如图1所示。

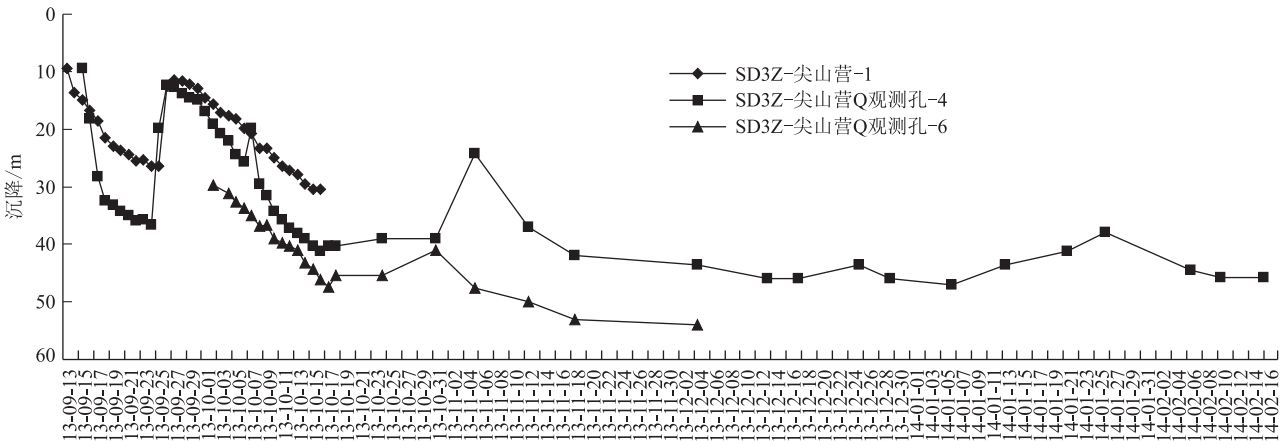


图1 某双线特大桥钻孔地下水位观测升降曲线图

从图中可以看出:钻孔水位随降雨量的增减而变化,降雨后水位明显升高。D3K 72+827处钻孔水位起伏最大,变幅达到35 m,D3K 72+778处钻孔变幅次之,为25 m,D3K 73+154处钻孔变幅最小,为23 m。需要说明的是,D3K 73+154处钻孔水位观测时间较晚,其变化幅度可能受此影响。

在各孔钻进过程中,钻至土层与基岩风化层间的界线、基岩风化层与完整基岩间的界线、土层与完整基岩的界线时,均未观察到水位的突然变化,即揭穿完整灰岩后未见到有承压水的情况,各层地下水均表现出潜水的特征。

对比各孔潜水位起伏情况与相应位置的墩台升降测量数值可见,墩台的升降时间、幅度与孔隙潜水的升

降有一定的相关性。

(4)桥址区水文地质单元划分

受南北向构造格局控制,桥区附近地貌整体呈南北向山岭与槽谷相间分布。地表水主体流向为顺槽谷流动的南北向。同时,受横向断裂控制,存在一系列切穿主构造线的横向沟谷,本桥所跨过的昌明河,即为顺横向断裂发育并切穿南北向主构造线的横向沟谷。据区域水文地质单元分析:昌明河属长江水系乌江支流堡子河上游补给水源,自该桥位往南方向的向斜谷内所有沟谷,其河水均属珠江水系红水河的支流老面河上游补给源,昌明河往北方向的向斜谷内所有沟谷,其河水均属长江水系乌江的支流堡子河上游补给源。该桥实际上处于长江水系与珠江水系分水岭附近,南北

分属两个水文地质单元,分界区域内地表水、地下水活动频繁剧烈,地下水位变幅巨大。

(5) 桥址区地下水承压性

桥址区下伏含水层主要有卵砾石土层中的孔隙潜水和赋存于二叠系下统栖霞组、茅口组灰岩中的岩溶水。灰岩上部为含水微弱的二叠系上统吴家坪组、长兴组硅质页岩、页岩夹灰岩、煤层,可视为顶部隔水盖层,底部隔水层为二叠系下统梁山组砂页岩夹煤层。从勘探揭示的地质剖面来看,顶部隔水层并未形成一连贯的盖层,灰岩层直接“开口”于凹地内,其内所含岩溶水与覆土内潜水相通,且桥址区发育虎场断层,破碎影响带宽度达300 m,断层也将土层潜水与岩溶水水力联系起来,下伏岩溶水不具备形成独立水力系统的条件,桥址区没有形成高于地面或潜水面承压水的条件。根据现场调查,尖山营大桥所在区域的落水洞具备“消水”性质,雨季时,大量降水灌入落水洞,迅速补给地下水,造成地下水位抬高;旱季时,由于桥址区地处地下水分水岭,下伏可溶岩岩溶发育,地下水迳流畅通,无地表水、孔隙潜水补给,地下水位迅速下降。

(6) 桥址区岩溶发育

桥址区覆盖土下伏灰岩,隐伏岩溶十分发育,多个钻孔揭示,灰岩中存在较多溶洞、溶隙,多为充填、半充填溶洞,最大洞高达21.6 m。隐伏岩溶地下水迳流畅通,为桥址区地下水位涨落创造了条件。

(7) 特殊的水文地质部位

该桥处于长江水系与珠江水系分水岭附近,南北分属两个水文地质单元,分界区域属地下水强烈补给区,属于贵州地区典型峰丛洼地地貌。桥址区落水洞发育,降雨迅速通过落水洞补给地下水,水位上升,旱季无表水补给时,大量地下水通过下伏强烈岩溶洞隙排走,水位下降。

谷底区发育4个落水洞,其中,位于昌明河谷中的2个落水洞,具有较强消水能力,3号、4号落水洞导致昌明段河道大多时间为干枯状态的原因。

因此,桥址区特殊的水文地质部位导致区内地下水活动频繁剧烈,地下水位波动幅度大。

4 桥墩沉降机理分析

根据补充地质勘察成果,该桥桥墩异常沉浮与桥址区雨季、旱季地下水位剧烈波动存在明显正相关关系,分析认为桥址区特殊的水文地质部位是引起地下水位剧烈波动的地质因素,孔隙潜水的地下水变幅是引起桥墩异常沉浮的主要原因。

4.1 地下水渗流对桥墩桩基础的作用

地下水渗流产生渗透压力,其作用方向与水流方

向一致,水位上升时,产生向上的渗透力,水位下降时,将产生向下的渗透压力。同时,地下水上升后,桩基将承受一定浮力。

本文以7号摩擦桩基为例,探讨渗透压力和浮力是否为主导桥墩(台)沉浮的诱因。

根据地下水水位观测结果:7号墩2月地下水水位埋深45 m,6月份水位埋深2 m,地下水位变幅达43 m。

7号桥墩设置8根直径1 m摩擦桩,置于卵石土层中,桩长20 m。该桥墩在水位变幅时段内,桥墩相对上升11.33 mm,相对沉降12.29 mm,绝对上升23.62 mm。

水位上升时:单根桩侧壁摩阻力,按式(1)计算:

$$P = 1/2U(\sum f_i l_i) \quad (1)$$

式中: U ——桩身截面周长;

f_i ——各土层极限摩阻力(kPa),卵石土水中部分取160 kPa,水上部分取220 kPa;

l_i ——各土层厚度。

则:

$$P = 1/2 \times 3.14 \times 1 \times (220 \times 2 + 160 \times 18) = 5\,213 \text{ kN}$$

地下水属孔隙潜水,其上升、下降产生的渗透压力大小一致,方向相反,单位渗透力按式(2)计算:

$$J = \gamma_w \times i = \gamma_w \times \Delta h/h \quad (2)$$

式中: γ_w ——水溶重;

i ——地下水变幅的水力坡度。

则 $J = 10 \times 43/43 = 10 \text{ kPa}$ 作用于桩身侧壁的渗透压力:

$$P_w = J \times U \times l = 10 \times 3.14 \times 1 \times 18 = 565.2 \text{ kN} \quad (3)$$

桩基承受浮力按式(4)计算:

$$F_{\text{浮}} = \rho_w \times g \times V_{\text{液}} \quad (4)$$

当地下水位埋深2 m时,桩基有18 m置于饱土中, $F_{\text{浮}} = 1 \times 10 \times 3.14 \times 0.5^2 \times 18 = 141.3 \text{ kN}$ 。

此时,桩基所承受的渗透压力与浮力之和,即:

$$F_{\text{上}} = P_w + F_{\text{浮}} = 565.2 + 141.3 = 706.5 \text{ kN}$$

由此可见,地下水位变动对桩基产生的渗透压力及浮力,远小于桩基侧壁摩阻力,不会导致桩基上浮下沉。由此推断,地下水渗流引起土体压缩与回弹,是唯一可能导致置于土体中的桥桩基沉浮的原因。

4.2 渗流引起土体沉浮定性分析

土体是一种固相、液相、气相的三相物体,土体中固体颗粒是土的主要组成部分,为土体骨架,水、气体充填于颗粒孔隙之间,土体的工程地质性质主要由颗粒、液体决定,土体颗粒间被水充满时,土体为饱和土体。

根据饱和土体相关理论,土体中任一平面上所受的总应力可分为两部分,即:

$$\sigma = \sigma' + U \quad (5)$$

式中: σ' ——有效应力;

U ——孔隙水压力。

随着地下水位或水头变动,土层中的孔隙水压力会发生变化,其有效应力也会随之改变。土体的变形和强度只取决于有效应力。当土体中地下水位上升时,土体有效应力可由式(6)计算:

$$\sigma' = \sigma - u = \gamma H - \gamma W \Delta h \quad (6)$$

有效应力减小,土体颗粒间空隙充满了孔隙潜水,土体发生扩容膨胀,饱和土体积增大,因而导致地基土发生向上回弹、上升,进而带动设置于土体中的摩擦桩一并上升。

当土体中地下水位下降时,饱和土中渗流向下,此时,土体有效应力可按(7)计算:

$$\sigma' = \sigma - u = \gamma H + \gamma W \Delta h \quad (7)$$

土体中地下水向下渗流,颗粒间地下水逐渐排出,土体有效应力增加,导致土体发生渗流压密,地基土发生下沉,并带动设置于土体之间的摩擦桩下沉。

桥址区厚层覆盖土及岩层风化层已形成了多年,地下水的大幅波动现象也已存在多年。地下水大幅波动造成土体有效应力的增大与减小循环往复,使得桥址厚层覆盖土颗粒之间地下水不断注入与排出,由于水不可压缩,因而导致颗粒间空隙压密与扩容,这种因地下水波动造成的土体变形属于可完全恢复的弹性变形。地下水位下降时,土层及风化层有效应力增加,土体颗粒之间空隙压密减小,地基土整体下沉;地下水上升时,颗粒间充满地下水,引起土体渗流变形,土体及风化层有效应力减小。颗粒空间扩容增大,土层及风化层体积增大后整体上浮。

从土层及风化层结构、成分和力学性质来看,土层及风化层与桥梁基桩之间的侧壁摩阻力,足以保证土层及风化层同桥墩之间沉浮规律相同,沉浮同步发生,

幅度量基本一致。因而发生了墩台与周边土层及风化层同时等幅度沉浮的现象。

4.3 代表性墩台地基土沉浮值定量计算

以7号墩为例进行计算。7号墩处覆土全部为圆砾土,土层厚度57 m,最低水位为地面下45 m,最高水位为地面下2 m,受地下水波动产生弹性变形的土层深度范围为2~45 m。勘察期间在7号墩处实施了2个超重型动力触探测试孔,试验深度分别为21.7 m和23.2 m,所测动探锤击数值随深度呈线性增加,最大锤击数为93击。参考《成都地区建筑地基基础设计规范》中卵石土载荷试验与超重型动力触探击数的对比分析结果,变形模量与超重型动力触探值的关系式为:

$$E_0 = 15 + 2.7 \times N_{120} \quad (8)$$

由此计算得深度23 m处的变形模量:

$$E_0 = 15 + 2.7 \times 93 = 266 \text{ MPa}$$

由于超重型动力触探试验揭示圆砾土层锤击数与深度呈线性关系,因此变形模量与深度也呈线性关系。由此计算出57 m深度范围内的变形模量平均值:

$$E_0 \text{ 平均} = 266 \times 57 / 2 / 23 = 330 \text{ MPa}$$

采用积分法计算2~45 m深度范围内因地下水涨落所导致的地基土弹性变形量:

$$\varepsilon = 10 \times (45 \times 45 - 2 \times 2) / 2 / 330 / 1000 = 0.031 \text{ m}$$

可以看出,计算出的地基土弹性变形量与测量出的7号墩变形总量基本同一数量级(略大于7号墩变形量的原因为计算中采用变形模量的值,计算较粗略)。

4.4 桥墩沉浮规律分析

根据观测数据,绘制各墩台沉浮最大值对比曲线,如图2所示。从图中可以看出,0号台、1~4号墩、18~21号墩、22号台沉浮数值相对较小,这是因为这些墩(台)为柱桩基础且柱桩嵌入基岩锚固端越长。12~16号墩虽然也是柱桩基础,但其桩基嵌入完整灰岩的锚固段过短,不足以抵抗饱和土体因地下水升降产生的弹性变形,因此,12~16号墩仍有较大沉浮。

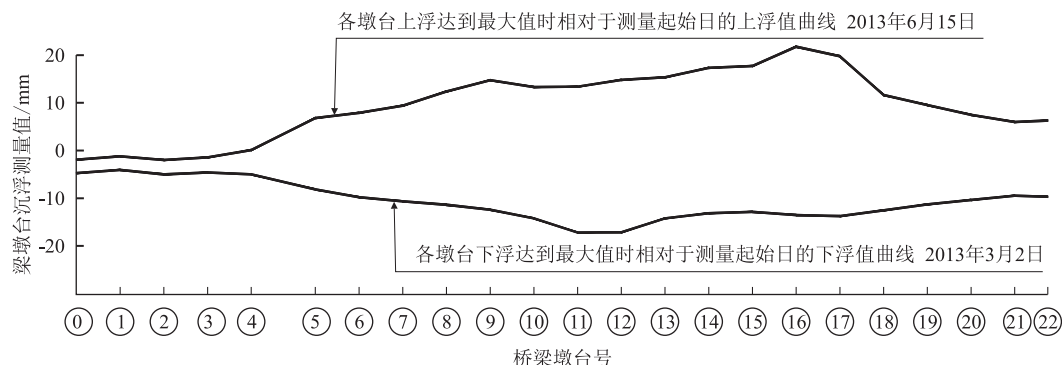


图2 特大桥各墩台沉浮最大值对比曲线

(下转第66页)

[J]. Shanghai Railway Science & Technology, 2016, 41 (4): 79-80.

[6] 金辉. 京沪高铁南京大胜关长江大桥养护模式探讨[J]. 现代交通技术, 2013, 10(6): 51-55.

JIN Hui. Discussion on Maintenance Method of Beijing-Shanghai High-speed Railway of Nanjing Dashengguan Yangtze River Bridge [J]. Modern Transportation Technology, 2013, 10(6): 51-55.

[7] 中铁第四勘察设计院集团有限公司. 剑潭东江特大桥(136+260+136)m 四线铁路预应力混凝土部分斜拉桥施工图(供咨询)[Z]. 武汉: 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 2017.

China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd. Construction Drawing of the (136+260+136)m Prestressed Concrete Partial Cable-stayed Bridge of the Jiantan Dongjiang Four Lines Railway Super Major Bridge (for Consultation) [Z]. Wuhan: China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 2017.

[8] 中铁二院工程集团有限责任公司. 剑潭东江特大桥(136+260+136)m 四线铁路预应力混凝土部分斜拉桥检算报告[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2017.

China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Checking Report of the (136+260+136)m Prestressed Concrete Partial Cable-stayed Bridge of the Jiantan Dongjiang Four Lines Railway Super Major Bridge [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2017.

[9] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新白沙沱长江特大桥施工图[Z]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2012.

China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Construction Drawing of the New Baishatuo Yangtze River Super Major Bridge [Z]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2012.

(编辑:赵立红 白雪)

(上接第 61 页)

5 结论

(1)该桥桥址区处于特殊的水文地质部位,加之沟谷周围发育 4 个岩溶落水洞、且下伏基岩岩溶发育,这些条件十分有利于地下水的汇聚及消散,加剧了地下水波动。因此,认真分析桥址谷区地下水存在较大波动的可能性和原因十分重要。

(2)对厚覆盖层区的桥梁基础,若覆盖土中地下水变幅较大,应高度重视地下水渗流引起的地基土弹性变形,正确计算地基土在地下水流渗流作用下的弹性变形量,分析弹性变形对桥梁桩基础的影响程度。

(3)跨越山区沟谷的桥梁,应充分研究桥址区水文、水文地质条件,特别要查清地下水补、迳、排条件,确定桥址区水文年度区地下水波动幅度,应认真分析地下水动水位波动在土层中形成的渗透压力、地下水浮力等对桥梁桩基础产生的影响。

参考文献:

[1] TB 10027—2012 铁路工程不良地质勘察规程[S].

TB 10027—2012 Code for Unfavorable Geological Condition Investigation of Railway Engineering[S].

[2] 工程地质手册编委会. 工程地质手册(第四版)[K]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.

Editorial Board of Engineering Geology Manual. Engineering Geology Manual (4th Edition) [K]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1992.

[3] TB 10093—2017 铁路桥涵地基和基础设计规范[S].

TB 10093—2017 Code for Design on Subsoil and Foundation of Railway Bridge and Culvert [S].

[4] 中铁二院工程集团有限责任公司. 尖山营特大桥桥墩异常升降补充地质勘察报告[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2014.

China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Supplementary Geological Investigation Report on Abnormal Sinking and Floating of Jianshanying Super-large Bridge piers[R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2014.

[5] 张倬元, 王士天, 王兰生, 等. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 2009.

ZHANG Zhuoyuan, WANG Shitian, WANG Lansheng, et al. Principle of Engineering Geological Analysis [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009.

(编辑:苏玲梅 张红英)