

沉管灌注混凝土桩在堤防基础处理中的应用

林其文¹ 廖 虎²

(1. 南宁市水利电力开发总公司, 广西 南宁 530001; 2. 广西电力工业勘察设计研究院, 广西 南宁 530023)

摘要: 目前沉管灌注混凝土桩在工业与民用建筑中用得较多, 在水利工程中的应用较少。介绍了沉管灌注混凝土桩在柳州市防洪工程柳州饭店段堤防基础处理中的应用。成桩检测结果表明, 桩基技术在该工程中的应用是成功的, 桩基技术可以用于水利工程中复杂地基的处理, 值得在类似工程推广中使用。

关键词: 桩基础 地基处理 沉管灌注桩 柳州防洪工程

中图分类号: TV223.2+2 文献标识码: B 文章编号: 1006-764X(2007)S2-0182-05

1 工程概况及地质情况

1.1 工程概况及地形地貌

柳州市防洪工程柳州饭店堤段上游起于广西区建五公司, 经柳州饭店, 下游终止于柳州市外事车队, 全长 550 m。该段堤防堤轴线位于柳州饭店河岸边坡上, 堤顶高程 92.3 m。工程等级为二等, 堤防为二级建筑物。工程区地形西高东低, 岸坡坡度 28°~35°, 坡顶台地标高 78~90.8 m, 堤线内侧岸坡顶上已建有区建五公司和柳州饭店宿舍楼、柳州饭店 1 号、4 号、7 号楼和贵宾楼。岸坡受雨水侵蚀, 冲刷严重。靠河岸坡的中、下部于 1996~1998 年建成两级平台, 一级平台宽 3~5 m, 高程约 76 m; 二级平台宽 17~18 m, 高程 81.5 m, 其中 10 m 长为江滨路, 人行道宽 8 m, 防洪堤轴线就落在二级平台人行道上。

1.2 地质情况

柳州饭店堤段地质岩(土)层自上而下主要为新近沉积土层、人工杂填土层、硬~可塑状土层、砂砾石层以及下伏微风化白云岩。新近沉积土为近代历次洪水的淤积物, 主要分布于岸坡的中部, 厚度 0.8~6.9 m; 人工杂填土层以碎砖、石块等建筑垃圾为主, 主要分布于岸坡中部, 厚度 0.8~9.2 m; 硬~可塑状黏土分布于岸坡的中、上部, 砂砾石层分布高程为 70~75 m。该堤段岩土工程力学指标见表 1。

2 沉管灌注混凝土桩的设计

2.1 基础处理

该堤防设置在柳州饭店台地边坡上, 坡顶有柳

表 1 柳州饭店堤段岩土物理力学性质						
岩土名称	天然含水量 $w/\%$	密度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	承载力 标准值 f_{ik}/kPa	变形模量 E_0/MPa	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{^\circ})$
新近沉积土	32	182	60	4.5		
人工杂填土	33	180	70	6		
硬塑状黏土	25	193	210	14	30	24
可塑状黏土	19	205	170	10	32	15
砂砾石层			220	18	0	36
白云岩			7000			

州饭店等重要建筑物, 见图 1。地质勘察资料表明, 地质为杂填土, 以建筑垃圾为主, 厚度 0.8~9.2 m。基础设计中, 若全部挖除杂填土, 必须进行深基开挖, 而场地施工范围狭窄, 边坡加固处理工程量很大。若以杂填土直接为堤防基础执力层, 则难以满足承载力要求。在已探明各杂填土层的主要成分及厚度的基础上, 基础处理选用桩基作为堤防基础。经过对人工挖孔桩与沉管灌注桩的技术经济比较, 选择投资较省的沉管桩方案。

2.2 桩基设计

桩基设计的任务是寻求能满足上部承载力要求的桩径、桩距及布桩形式。堤防基桩主要承受竖向承载力及水平承载力。

2.2.1 竖向承载力的估算

对于群桩, 桩数超过 3 根的非端承桩复合桩基, 宜考虑桩群、土、承台的相互作用效应。复合承载力的设计值按式(1)验算:

$$R = \eta_s Q_{sk} / r_s + \eta_p Q_{pk} / r_p + \eta_c Q_{ck} / r_c \quad (1)$$

式中: Q_{sk} , Q_{pk} 分别为单桩总极限侧阻力和总极限端

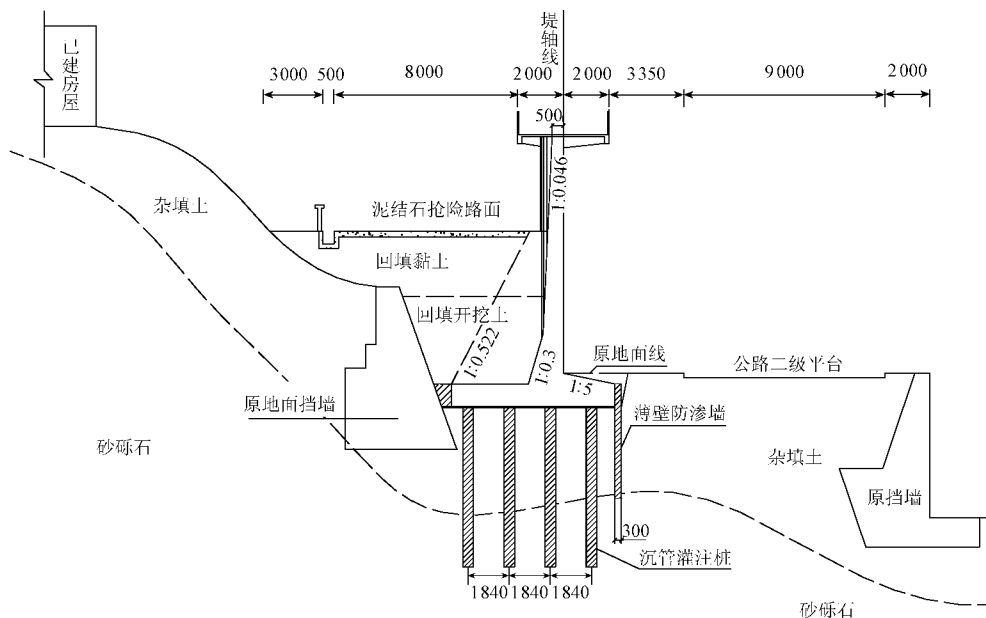


图 1 基础为沉管桩的堤防横剖面(单位:mm)

阻力标准值 Q_{ek} 为相应于任一复合基桩的承台底基土总极限阻力标准值; η_s, η_p, η_c 分别为桩侧阻群桩效应系数、桩端阻群桩效应系数、桩侧阻端阻综合效应系数。 r_s, r_p, r_c 分别为桩侧阻力分项系数、桩端阻力分项系数、桩侧阻端阻综合抗力分项系数。桩基受力计算图如图 2 所示。图中 N 为作用于桩基承台顶面的竖向力; G 为桩基承台自重; H 为作用于桩基承台底面的水平力; M 为作用于桩基承台底面通过桩群形心的力矩; C_n 为作用于桩基承台上的水平土压力; H_n 为基础埋置深度; H_0 为桩长。

图 2 桩基计算示意图

2.2.2 水平承载力的估算

对桩身全截面配筋率不小于 0.65% 的钢筋混凝土灌注桩,可按公式(2)估算单桩水平承载力设计值:

强度设计值; W_0 为桩身换算截面受拉边缘截面模量, 圆形截面 $W_0 = \frac{d}{32} \pi [d^2 + 2(\alpha_E - 1)\rho_g]$, 其中 d 为扣除保护层的桩直径, α_E 为钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值; v_m 为桩身最大弯矩系数; ρ_g 为桩身配筋率; A_n 为桩身换算截面积, 圆形截面 $A_n = \pi d^2 [1 + (\alpha_E - 1)\rho_g] / 4$; ζ_N 为桩顶竖向力影响系数, 竖向压力 $\zeta_N = 0.5$, 竖向拉力 $\zeta_N = 1.0$ 。

2.2.3 基本参数的确定

堤防按二级建筑物设计,防洪标准按 $P=2\%$ 洪水考虑,堤型以扶臂式混凝土挡墙为主。桩基按 JGJ 94—94《建筑桩基技术规范》^[1] 设计,并考虑桩顶固结的边界条件。按挡水、退水等工况进行群桩基础受力计算。

桩基设计为端承摩擦桩,桩端受力层为砂砾层,根据不同的地质条件,桩长分别为 7 m、8 m、12 m、15 m;成桩工艺按锤击沉管灌注混凝土桩施工,桩身混凝土强度等级为 C20,桩径 480 mm,排距 2000 mm,列距 1840 mm,见图 3。

2.2.4 构造设计

a. 堤防建于岸坡边上 按规范的坡地岸边桩基

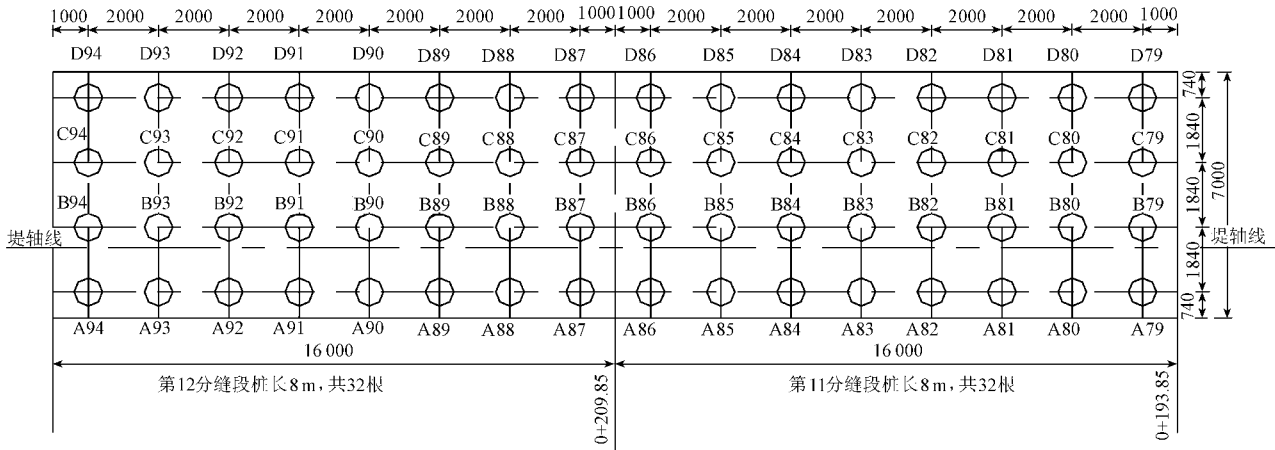


图3 柳州饭店堤段第11、第12分缝段桩基平面布置(单位:mm)

成桩试验和承载力试验,以验证地质资料,检验所选用的桩机设备、施工工艺是否适宜。检验成桩的可行性及成桩后的单桩承载能力等设计参数。

3.2 试验过程

3.2.1 桩位选择

按地质剖面图所反映的地质选取不同土质的地段布置试验桩位,以验证不同地质条件下的成桩工艺及承载力情况,同时按设计的不同桩长进行试验,以验证桩长变化条件下的承载力情况。经设计、监理、施工、业主共同研究,决定选择 A132,B130,A108,B108,A42,B42共6根桩进行试验。

3.2.2 试桩准备

工程选用3.2t的柴油打桩机锤击沉管,管径480mm,管身有间距为1m的数字标尺,管外箍钢板厚度为10mm,桩尖为钢筋混凝土预制,外径520mm。试验所用的粗骨料为粒径5~40mm的碎石,细骨料用柳江河砂。钢筋笼按设计图纸预制待用。

3.2.3 试桩过程

先在非桩基位进行锤击沉管试验,成功地将桩管沉入土中,深度可达15m。按堤防的分缝段由测量放样出要试验的桩位,人工埋设预制桩尖,打桩机就位,锤击沉管,校核桩管的垂直度,以保证桩孔的垂直,锤击沉管至设计深度。验孔合格后,打桩机吊起钢筋笼放进管内安装。按计算的混凝土量拌好混凝土,集于集料斗中,打桩机吊起集料斗,从管口灌入桩管内。打桩机拔起钢管,拔管时速度不超过

0.7m/min,并且进行锤击反插振动,使混凝土密实。拔出桩管移机后,用插入式振捣器振捣,振捣棒插入桩头4~6m,以加强桩上部的密实度。试桩施工过程中安排专人对沉管过程进行记录,记录内容包括桩号、每米沉管锤击数、最后3阵锤击数、桩管入土深度,并对记录资料及时进行处理。

3.3 试验桩的检测及结论

试桩施工完成并养护到龄期后即对桩进行检测。检测包括动载试验和静载试验。水平推力静载试验,静载试验按JGJ94—94《建筑桩基技术规范》附录E“单桩水平静载试验”的相关规定进行^[1],单桩水平静载试验结果见表2。动载试验按JGJ/T93—96《基桩低应变动力检测规程》^[2]及JGJ106—97《基桩高应变动力检测规程》^[3]进行。

沉管桩的试验表明在杂填土地基进行沉管桩的施工是可行的,成桩的承载力满足设计要求。试桩施工中也发现了一些施工工艺问题,对沉管桩的施工有指导意义:①试桩时要探明地下障碍物的位置及走向,以避开地下障碍物布桩;②经过对试桩的检测分析,沉管灌注桩的混凝土级配宜用一级配碎石,以增加混凝土的和易性和流动性,提高成桩密实度,减少断桩缩颈及离析等质量缺陷的发生。

4 施工控制及质量检测

4.1 施工工艺流程

沉管灌注桩施工工艺流程为:桩位定位→埋设

表2 单桩水平静载试验结果

桩号	桩径/mm	桩长/m	单桩水平承载力设计值/kN	无垂直荷载			有垂直荷载(550kN)		
				单桩水平临界荷载/kN	单桩水平临界荷载对应的位移/mm	对应于桩顶变位为10mm时的水平荷载/kN	单桩水平临界荷载/kN	单桩水平临界荷载对应的位移/mm	对应于桩顶变位为10mm时的水平荷载/kN
A42	480	9.3	115	60	3.78	100	80	4.18	150
B108	480	9.2	115	80	1.52	200	90	1.65	300
A132	480	13.2	115	100	0.69	≥240	120	1.35	≥330

注:A42号桩经挖掘发现桩中间混凝土被架空,是断桩,所在分缝段后来改用人工挖孔桩,已不计该桩承载力。

桩尖→桩机就位→桩管定位→锤击沉管→验孔→安装钢筋笼→灌注混凝土→拔管振动→转移桩机→振捣桩头混凝土→基坑开挖→破除桩头→质量检测。

4.2 施工中关键工序的控制

4.2.1 桩位控制

桩位控制包括施工桩位放样控制及避开地下障碍物布桩控制。施工桩位放样控制方法是先放样定位堤轴线及分缝段,按分缝段进行桩位定位。由于试桩过程中遇到地下障碍物,沉管达不到所要求的设计深度。施工中开挖探坑,探明地下挡墙的位置、尺寸及走向,设计按探查结果修改布桩。在遇地下障碍物段,施工放样时将障碍物尺寸、位置放样到地面上来,以便施工布桩时避开地下障碍物。

4.2.2 打桩顺序控制

由于设计桩排距 1 840 mm,小于 4 倍桩径,施工中采取隔排跳打,以保证已成型桩的质量。按规范要求施工过程有专职记录员做施工记录,每根桩的施工记录包括每米的锤击数、桩位偏移及倾斜以及最后 3 阵每阵 10 锤的贯入度。

4.2.3 沉管深度控制

通过试验发现,在杂填土地基上进行沉管桩施工桩长达到设计要求而收锤标准未达到设计要求的现象。设计规定延长桩长不超过 2 m,即沉管达到设计桩长而最后 3 阵的锤击数未达到设计规定的收锤标准时,可以继续锤击沉管,但延长部分不超过 2 m,钢筋按桩下部的配筋延伸至孔底。

4.2.4 安装钢筋笼的质量控制

桩基设计配置沿桩身通长的钢筋。试验过程中发现,沿桩通长配置钢筋,在凿除桩头试验时有找不到桩头钢筋的现象。后通过分析知,若钢筋笼吊平沉管到位后的管顶自由下落,在重力作用下,钢筋笼会散开或发生弯曲变形而紧贴管壁,灌注混凝土后反插振动时,在桩锤冲力作用下,会将贴管壁的箍筋冲往孔底,导致桩的钢筋失效。施工时用钢筋钩将钢筋笼送至孔底,避免了钢筋下冲时的散开变形。施工后破桩头混凝土时,未发现找不到桩头钢筋的现象。

4.2.5 灌注混凝土及拔管控制

试桩时桩身浇筑二级配混凝土,由于骨料太粗,而钢筋笼的箍筋较密,造成混凝土的粗骨料被钢筋架空而产生断桩。施工中改用一级配混凝土浇筑桩身。在拔管过程中轻击振动是为了加强桩身混凝土的密实度,减少桩混凝土的离析。按设计要求,速度控制在 0.7 m/min。

4.3 成桩检测结果及质量评定

4.3.1 低应变完整性检测

柳州饭店堤防工程沉管桩共 305 根,按规范要

求完整性检测的桩数不少于施工总桩数的 20%,且不少于 10 根。本堤段完整性检测桩数共 66 根,占总桩数的 22%,检测结果为一级桩(即完整桩)共 46 根,占总桩数的 70%;二级桩(轻度沥青桩)共 19 根,占总桩数的 28.5%;三级桩(严重缩颈或断桩)共 1 根,占总桩数的 1.5%。经质量检测单位质量评价认定合格率为 98.5%。

4.3.2 低应变承载力检测

按桩基检测规范及设计要求,桩的低应变承载力检测桩数为总桩数的 10%,且不少于 5 根。本堤段桩承载力检测共抽检 30 根,所抽检桩全部达到设计承载力要求,见表 3。

表 3 基桩低应变承载力检测结果

桩号	桩径 mm	竖向承 载力设 计值/kN	竖向承 载力检测 推算值/kN	桩号	桩径 mm	竖向承 载力设 计值/kN	竖向承 载力检测 推算值/kN
A77	480	460	520	B137	480	460	560
A80	480	460	519	C72	480	460	538
A90	480	460	389	C100	480	460	519
A97	480	460	497	C123	480	460	525
A109	480	460	513	C125	480	460	508
A122	480	460	522	C133	480	460	505
A129	480	460	543	C136	480	460	524
A131	480	460	554	D86	480	460	498
A138	480	460	536	D92	480	460	513
B75	480	460	507	D104	480	460	531
B83	480	460	497	D127	480	460	514
B87	480	460	543	D129	480	460	554
B96	480	460	517	D131	480	460	460
B105	480	460	543	D133	480	460	503
B123	480	460	513	D139	480	460	505

注:A90 号桩由于遇到深层的地下障碍物,桩长达不到设计要求而受力水平不足,后经设计、业主、监理研究,采用人工挖孔桩代替,不计该桩受力。

4.3.3 静载水平推力检测

按桩基检测规范,检验混凝土灌注桩的水平承载力时,抽检的桩数不得少于其施工桩总数的 1%,且不得少于 5 根。本堤段沉管桩共检测 6 根,所抽检的单桩的水平承载力全部符合设计要求,见表 4。

表 4 单桩水平静载试验结果

桩号	桩径/ mm	桩长/ m	桩顶自由 单桩水平 承载力设 计值/kN	桩顶自由 单桩水平 位移设计 值/mm	桩顶自由 对应于设 计水平承 载力水平 位移实测 值/mm	桩顶自由 对应于桩 顶位移 10 mm 水平 荷载/kN
A73	480	8.2	95	10	8.38	102
C80	480	9.2	95	10	8.47	102
A91	480	8.0	95	10	0.34	189
C97	480	9.2	95	10	6.25	114
A126	480	9.5	95	10	1.94	158
B133	480	13.6	95	10	1.19	182

5 结 语

桩基技术是成熟的工程技术,该技术在柳州防洪工程堤防建设中的应用表明,在杂填土地质条件下的水利工程可以利用桩基技术来处理复杂地基问题,为桩基施工的技术发展起到了促进作用。但工程桩的施工目前还没有相应的施工质量评定规程,只有检测结论,施工过程中到底有多少桩优良即为优良工程,多少桩合格即为合格工程,目前国家还没

有相应的标准来规范工程的施工质量管理。施工单位、设计单位、监理单位、业主都呼唤这方面的规范出台,以完善这项工程技术的施工质量管理。

参考文献:

[1] JGJ94—94 建筑桩基技术规范[S].
[2] JGJ/T93—96 基桩低应变动力检测规范[S].
[3] JGJ106—97 基桩高应变动力检测规范[S].

(收稿日期 2007-04-30 编辑 骆超)

(上接第 181 页)

6.2 施工措施

针对开挖地质情况采取以下应急措施:

a. 暂停 2 号支洞的开挖,改从未发现夹泥掉块的 1 号叉管挖进,在 1 号、2 号岔管已挖地段,重点检查顶拱,对漏打系统锚杆的部位进行补打,在局部地段增加锚杆。

b. 先对 2 号岔管掉块部位用喷混凝土进行封闭,待塌方稳定后,据“新奥法”原理,采用弱爆破、短进尺、早支护的方法:①打 $\varnothing 25$ mm 间距 300 ~ 400 mm、长 4 500 mm 的超前锚杆;②上导洞挖掘;③向两侧扩挖,每道工序均边挖边锚喷支护,每次进尺不大于 500 mm;④再往下扩挖成型。

c. 顶拱锚杆施工的填料改采用锚固剂。以往锚杆注浆都习惯用水泥砂浆或是纯水泥浆,这种方法只适用于水平及倾斜孔的锚杆。对于起拱线以上的锚杆,无论用水泥砂浆或是纯水泥浆,浆液过稀就会倒流,浆液过稠又难以注浆。而且浆液短时间内无法达到强度要求,如果在容易坍塌部位锚杆不能及时起到锚固作用,就极有可能导致塌方。有效解决这一问题的关键是加快锚杆施工。监理工程师支持施工单位使用锚杆加固剂的方案。锚固剂使用非常方便有效,使用前只需用清水浸泡 5 ~ 6 min,待其充分吸水后就塞入锚杆孔内,插杆后强度在 10 min 内就达 50%。锚杆剂施工时间短、效率高、安全性好,不必担心浆液稠稀或倒流问题。

6.3 洞顶支护

水平支洞开挖遇到的另一个难题是 2 条支洞与主洞交汇处的洞顶支护。3 个洞交汇处拱顶跨度最大有 10 m,洞身发现有夹泥、掉块的情况。最安全的方法是用钢拱架支承,如果采用钢拱架,必须全断面开挖,并且较原跨度加大 400 mm。在扩挖中来不及用钢支撑将会引起更大的坍塌,且洞的右侧全为夹泥层,基础软弱,钢拱架自身无法稳定,也无法支承

上部岩石应力。考虑到施工工期紧,为不影响施工进度计划,根据开挖出露的岩石进行分析研究,决定采用 $\varnothing 25$ mm@500 mm、长 4 500 mm、梅花型布置的长系统锚杆,挂 $\varnothing 8$ mm@150 mm $\times$ 150 mm 的钢筋网,喷射厚 200 mm 的 C20 混凝土进行封闭。要求开挖出一段马上进行支护封闭,处理完成后才能进行下一段的施工。在 1 号支洞的岔段顶拱设置观测点加强对围岩的变形观测,在跨度 10 m 的岔管交叉段,对岩性差的右侧暂保留 2 m 不挖,以减小顶拱跨度。通过以上处理,在开挖到洞中心位置时对拱顶进行全面检查,并对测量点进行检测,结果表明支护是成功的。虽有数条小裂缝,但经分析都属于爆破震动或初期变形引起的,并不影响周边岩层的自身稳定。当挖到斜洞段和水平主洞段贯通、通风条件大为改善后,再返回来处理交叉段所欠挖的部分区域,从而赢得了工期。

7 结 语

下桥水电站工程在引水隧洞和调压井的开挖过程中,监理工程师根据设计图纸文件,在参建各方的支持下,深入施工第一现场,运用“新奥法”理论,不断总结经验,在地质不良的岔管交叉段和调压井上部明挖难度较大的过程中,起着既是参谋者又是决策者的作用,克服各种困难,加快施工进度,节约了工程投资,且做到无一例伤亡事故发生,得到建设单位的好评。

参考文献:

[1] SL47—94 水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范[S].
[2] DL/T5181—2003 水利水电工程锚喷支护施工技术规范[S].
[3] YBJ226—91 喷射混凝土施工技术规范[S].
[4] GB6722—2003 爆破安全规程[S].

(收稿日期 2007-04-30 编辑 熊水斌)