

潜水钻成孔灌注桩施工 及 无 损 检 测

铁道部第二工程局海外公司 夏其良

摘要 尼泊尔国际会议中心工程为我国的援外工程,其基础采用泥浆护壁混凝土灌注桩,9 度抗震,三类液化土,地质错综复杂。设计桩长 12—15m,直径 600mm,为摩擦端承桩,国产潜水钻机施工。施工前用两根试桩进行静载荷试验及动测法检测,并建立动、静载之间的线性方程;完工后用“瞬态振动法”进行无损检测,抽检了 20%的工程桩,完整率为 99.04%。由于采取了多种技术措施,达到了高速、优质,验收时评为优质工程。

关键词 潜水钻机 泥浆护壁 三类液化土 瞬态振动法

1. 引 言

本工程位于尼泊尔首都加德满都。主楼建筑面积 11140m²,水塔高 30m,容积 50m³,主楼与水塔基础均采用泥浆护壁混凝土灌注桩。工程位于 9 度地震区,地面 8m 以上三类土有液化可能,地基加固原设计采用碎石振冲桩,由于尼方在提供地基勘测报告中,在地基土质组成判断上有误,建筑场地以粘性土为主判断为以砂性土为主,碎石振冲桩不能达到预期目的,决定将主楼与水塔基础改为泥浆护壁混凝土灌注桩。本场地在地表下 8m 以上部分主要为粘性土(绝松粘土、亚粘土、轻亚粘土)并夹有细砂、粉细砂、淤泥质松土等夹层;8~14m 有一层中、粗砂层,厚约 4~6m。尼方地质钻探队又补钻了 4 个钻孔,均钻至 20m,4 个钻孔均有大致相同的现象,即钻至地面 15m 以下,又有不同程度出现了粘土、亚粘土、粉细砂。整个建筑场地构造复杂,粘、砂土互错,中沙层时厚时薄,难以确定,地下水位于地表下 1.2~1.5m 之间。桩基设计直径为 460mm,分 Z_H-1 与 Z_H-2 两种类型,Z_H-1 主筋为 6 ϕ 16,Z_H-2 主筋为 10 ϕ 16,混凝土设计为 C₁₈,其余技术要求均相同,采用导管法水下灌注混凝土,共 1063 根。

2. 桩基设计及技术要求

2.1 根据尼方提供的补充地质报告,桩基无法落在可靠的持力层上,设计为摩擦端承桩;9 度地震区,8m 以上轻亚粘土有液化可能,按组合群桩,刚性承压联成整体计算;单桩设计最大荷载为 60t,单桩极限承载力 P_u。

$$P_u = K_g \cdot P_a + 10 = 2 \times 60 + 10 = 130t$$

式中 K_g——安全系数,一般取 2;

P_a——设计容许单桩承载力;

$$P_a = \pi d_i \sum L_i f_i + A R_i,$$

式中 d_i ——成桩直径,以 m 计;

L_i ——桩周第 i 层的厚度,以米计;

f_i ——桩周第 i 层土的容许摩擦力(t/m^2);

A ——桩身截面积(m^2);

R_i ——土的容许端承力(t/m^2);

$10t$ ——地表土 8m 以上土质液化后的富余量。

根据上部结构荷重、地质报告及桩的垂直静荷试验结果,钻孔深度(以施工时地面为准)分别为 15m、14m、13m、12.5m、12m 五种类型。钻孔总长 13332m,混凝土桩总长 11629m,空桩长 1702m,混凝土桩平均长 10.94m,平均空桩长 1.6m。

2.2 桩基施工前,先对工根试桩做垂直静载荷试验及动测法检测,并建立两者之间的线性方程,桩基全部完成后,用动测法抽检了总桩数的 20%,共 208 根。

2.3 对于桩距小于 6d,排列超过 2 排,桩数超过 9 根的摩擦桩的群桩基础,尚应将群桩基础视为假想实体深基础,检算其地基承载力和沉降;由于荷载不对称,使部分桩基承受上拔力,同时检算桩基的抗拔稳定性。

3. 试桩施工及垂直静载荷试验

3.1 由于地质复杂,桩基在施工前选用两根试桩,以确定桩的垂直承载力;试桩工长为 12.6m、13.6m,用 8 根工程桩作为锚桩,锚桩长 15.79m。试桩、锚桩的桩型、直径、施工工艺均与工程桩相同,为缩短试桩养护期,混凝土等级由 C_{18} 提高为 C_{23} 级。

3.2 试桩加载采用锚桩主横梁反力装置。为安置沉降测点和百分表,试桩顶部高出地面为 60cm,320t 千斤顶平放于试桩中心。千斤顶在试验室先进行标定,制成率定曲线换算荷载;试桩沉降用百分表量测,千斤顶加载用油压表测定;为确保不受气候影响而发生竖向变位,在桩的 2 个正交直线方的对称设 4 个百分表,将其固定在支支架上。

3.3 加载方式,采用慢速维持荷载法(逐级加载,每级荷载达到相对稳定后加下一级荷载,直至试破坏,然后逐级卸载到零)。每级加载为 15t,在第一个小时每 15 分钟记录一次,以后每 30 分钟记录一次。沉降相对稳定标准:60 分钟沉降量不大于 0.1mm,并连续出现 2 次;确证已达到相对稳定,可加下一级荷载,且每级荷载维持时间不少于 120 分钟。终止加载条件:在某级荷载作用下,桩的沉降量为前一级荷载的下沉量的 5 倍或沉降量大于前一级的 2 倍且 24 小时尚未达到相对稳定。卸载及沉降观测:每级卸载值为 30t,每 15 小时记录一次残余沉降;读 2 次后,每 30 小时记录一次,即卸下一级荷载;全部卸载后,3~4 小时再记录一次。两根试桩每次连续试验、观测需 72 小时。

3.4 检测结果

试桩 1,在 $p-s$ 曲线图上,当明显并陡降段的起始点为 165t,考虑到 165t 桩顶累计下沉量达 68mm,已超过极限承载力的最大下沉量,应将极限荷载值推向前一级,即 155t,还可从 $S-LOGP$ 曲线图上可划分桩侧极限摩阻力为 135t,极限端承载力 20t。同理,试桩 2,极限承载力为 150t(端承载力为 15t,摩阻力为 135t)。

在对 2 根试桩做静载荷试验之前,分别用“瞬态振动法”对试桩进行无损检测。检测结果:桩身完整,无缩颈、断桩、夹泥等缺陷,纵波波速分别为 3977m/sec 与 4106m/sec,混凝土强度均已满足设计 C₂₃ 的要求。单桩极限承载力为 154.1t、155.2t,与静荷载试验值极为接近。

4. 桩基施工

4.1 施工设备

两台国产 GZQ-800 型潜水钻机从国内经青藏公路、中尼友谊公路运至工地,由于长途倒运,设备损伤较大,多次检验,反复校正。为掌握钻机的性能与特点,在桩基开始前试钻了 5 个孔,探索在不同地质条件下钻进速度、泥浆浓度、孔底沉渣及泥浆排入等问题,在后 2 次试孔中试灌了水下混凝土。认真总结了 2 根试桩、8 根锚桩及试钻的施工实践,为以后的桩基施工打下了基础。在施工场地建立了纵横轴线网、水准基点,测定桩位中心点并埋设钢浮筒。根据钻孔移位路线,平整场地、修建道路、接通水、电源、安装泥浆原设备、走行轨道、准备粘土、挖泥浆池、沉淀池、排浆沟等;同时全面检查刹车、电器控制、仪表、机械等设备,确保钻孔、水下混凝土灌注顺利进行。

4.2 施工方法与工艺

钻机在轨道上纵向或横向直线进行,为配合地下室土方开挖,两台钻机两班倒,先在大会堂后舞台部分及两侧条形基础进行,孔深 14~15m,该部砂层厚、桩距密,泥浆量大,泥浆一时供应不上就有埋钻的危险。

桩基施工为正循环作业,按施工工艺一环一环地进行。桩位测量定位后,埋设护筒,护筒高 1.2m,直径 $\varnothing 700$ mm,用 3mm 钢板卷成,护筒与坑壁之间用粘土夯实。护筒不但可以固定桩位,保护孔口,提高孔内水位,防止地下水流入,还可增加孔内静水压力以维护孔壁稳定,并兼作钻进导向。护筒中心与桩位中心偏差不大于 10mm,每台钻机配 30 只浮筒。钢筋笼加工用特制的模具,集中加工成型,用专用运输车运至孔口;由于桩的长短不一,钢筋笼品种、类型多,采用编号挂牌、对号入座的方法,不易搞错;钢筋笼用灌灰车整孔吊装就位,将钢筋笼与钢浮筒焊接,以防钢筋笼下沉与上浮。钻机成孔的关键在于泥浆。泥浆的作用:携砂、固壁、冷却和润滑,以固壁为主,泥浆具有一定的比重,若孔内泥浆高出地下水位一定高度,泥浆就会对孔壁产生静水压力,相当于一种液体支撑。泥浆有较高的粘性,将砂粒悬浮起来,并将粗砂甚至砾砂随同泥浆一同排出孔外。工地建立 2 座 100m³ 的制浆池与泥浆池。粒土先在制浆池内溶解,人工搅拌过滤后进入泥浆池,自制泥浆搅拌机搅拌均匀后,用 3PN 泥浆原将优质泥浆不断送往钻机。每天约需 90m³ 泥浆,如此大量纯洁泥浆难以保证,稍有不慎,极易将异物裹进去,造成堵管堵钻的危险。施工初期,多次发生堵管卡钻现象。通过摸索、试验,改变了施工工艺:在护筒内先投适当的粘土块,当钻至 8m 到达砂层后,抬起钻头,倒进 1~1.5m³ 粘土,其数量视砂层的厚度而定,然后向孔内注水,泥浆浓度控制要适当,过稠影响钻进速度,过稀不利于护壁、排碴,只有适当的泥浆浓度,才能将中粗砂甚至砾砂带出地面。从严控制残碴厚度,测量孔深并做好记录。成孔后立即下钢筋笼与导管,对准孔位,吊直扶稳,缓缓下沉,切勿扭曲撞击孔壁,造成孔壁坍塌,导管应提高孔底 30~50cm。上述工程完成后,立即浇灌水下混凝土。按水下混凝土灌注技术要求进行,浮球放在靠近地下水位,第一次灌注约 1.8m 高的容积,保证导管底端能

埋入混凝土中0.8~1.3m的规范要求,同时将孔底沉渣挤压出来,导管埋入混凝土应保持2~3m,不得小于1m,严禁将导管底端提出混凝土面。水下混凝土灌注应连续不间断地进行,一气呵成,一般灌至比桩顶高出0.7m,同时将从孔内压出的泥浆通过排泥沟进入蓄浆池。混凝土设计等级为C₃₀,施工坍落后为16~22cm,用1t机动翻斗车从拌和站送至孔口,并配有专职人员记录混凝土灌注量并不断量测灌注高度,以确定混凝土的最后灌注量。从钻孔内带换出的大量泥浆,如何妥善处理?是施工中的一大难题。经多次试验后确定,将钻孔内泥浆先引入事先挖好的排泥沟,进入小的沉淀池,再用泥浆泵打入大蓄浆池。随着钻机前进,护筒拔出,孔眼填平,场地平整。

4.3 劳动力安排与工效

钻机、钢筋成型、埋护筒、测量定位、拌和及运输,每一台班42人;1063孔桩,2台钻机两班倒,共用了88个工天,256个台班,平均每个台班完成4.15根桩。

5. “瞬态振动法”对桩基的无损检测

5.1 检测原理与目的

桩基是地下隐蔽工程,在施工过程中,由于受地质土层变化、实际桩径、桩垂直度偏差、桩底沉渣厚度、施工工艺、施工机具等多种因素的影响,使灌注桩存在不少通病、常见病:缩颈、断裂、夹泥、偏斜、沉渣等,因而桩的实际承载力值往往离散性很大,并非是个定值。因此用数量较小的试桩得出的承载力,难于代表全面。通过范围广得多,挑选有代表性桩的动测,并用数理统计方法进行处理要可靠得多。

“瞬态振动法”利用弹性波在一维杆状介质中的传播特性,当桩顶施加一瞬时冲击波,就有弹性波沿桩身向下传播,当传到桩底时,会产生反射波沿桩身向上传播,记录下冲击信号和反射波传播到桩顶的信号。介质内弹性波传播速度大小,与其物理性质(密度、压缩模量、泊松比)密切相关,根据速度大小,可以对桩基混凝土强度做出评价。桩埋入地下,可以把桩与周围土体的互相作用简化为质量—弹簧—阻尼系统,即桩及参振的桩周土的质量之和做为该系统的质量;桩端的支承力及桩周的摩擦力简化为弹簧,桩周土对振动能量的扩散与吸收作为阻尼器;当在桩顶施加一足够大的冲击力时,就会引起桩土系统的自由振动,用仪器记录下该体系的振动信号,并对其进行数字滤波,快速付氏变换,频谱分析等一系列电算处理,就可得出系统的自振频谱;进而计算出桩基的弹簧常数——动刚度,桩的动刚度是与承载力有关的一个系数,就可以推算出单桩承载力,确定桩的承载力是一种间接的方法。对于完整桩来说,桩内没有波阻抗界面,接受到的只有桩底反射;当桩间有离析、夹泥、蜂窝、断裂等缺陷时,线密度和速度均会减小,使得波阻抗有较大的变化,导致线密度变化。总之,在桩体内存在缺陷时,均会发生反射波。当桩顶进行竖向瞬间激振,其振源能量大部分集中在一次谐波内,对于完整桩来说,频谱只有一个主频,使形上下对称;有严重断裂的桩,频谱图上呈现双峰值;有多次断裂的桩,频谱曲线较乱,出现多峰值。综上所述,动测法可以完成三项任务:(1)桩的完整性;(2)桩基混凝土强度;(3)单桩承载力。

5.2 检测设备、仪器及方法

检测设备:(1)手锤,8~12磅。敲击时,用力均匀并短促有力;(2)自由落锤,重75kg铁锤,

自制高约 50cm 三角架,上设一只小滑轮;(3)仪器为瑞典产 Terraloc 地震仪。集采集、记录、显示系统于一体,轻便、紧凑、精度高、机动性强,是桩基无损检测较为理想的仪器。其检测过程可概括为:激振、信号采集、数据处理三大系统;(4)信息处理设备:将地震仪采集的信息输入磁带,信息处理使用美国惠普公司 Hp—85 微机,通过 HP—地震仪联机,进行数据传送,利用自编的 FFT 等软件,可对现场采集的信息做频谱分析及其他数据处理。

5.3 内业整理及检测结果

对记录在磁带上的资料在室内进行回放处理,其步骤为:滤波、振幅标准化、自动增益调整、频率分析等,最终得到桩基振动的波形曲线,桩底反射信号 T_0 ,振动信号频谱 $A(t)$,桩土体系的自振频率 f_0 。利用波形曲线 t_0 、 $A(t)$ 和 f_0 ,结合工程地质资料,就可以对桩基质量、完整性及单桩承载力做出评价。根据设计要求,动测法检测为桩基总数的 20%,根据结构特点、荷载分布及施工情况,水塔、主楼共检测 208 根,其检测结果如下:(1)桩身完整性,发现桩身夹泥 2 根,占检测桩总数的 0.96%,国内外病桩约在 5~10%,因此,本工程桩有良好的完整性;(2)桩基混凝土,混凝土波速与试块强度 R_{28} 有良好的相关性与一致性,处于正态分布,其众值出现在 C_{28} 左右;(3)桩基承载力,近似于正态分布,离散性较小,纵值分布在 65~85t,桩的极限承载力设计为 130t,在被检测的 204 根桩中,204 根大于 130t,占 98.07%,其中 4 根为 117、115、112、104t,占被检测桩总数的 1.92%,超过了常规的 85~90%的保证率。综上所述,大厦桩基工程,具有良好的桩身完整性,桩身混凝土分布均匀,强度满足设计要求,桩基承载力达到了设计要求。

6. 结论

6.1 桩基为整个工程的先头工序,它的顺利与否控制着后序工程的展开。因而重点突出,措施具体,技术可靠,采用动测法检测,实现了高产,优质,提前 46 天完成任务。

6.2 桩位控制采用极坐标放线法,同时用不同的方法校核,保证了桩位正确。桩基开挖后,未发现有错位、移位现象,横成行,竖成列;钻机整平就位采用横、竖水平尺校正,护筒导向,保证了桩的垂直度;

6.3 钻机造型

结合工地水文地质情况,广泛地听取专家意见,并进行了慎重分析研究,将原订的乌卡式冲孔机改为国产 GZQ—800 型潜水钻机,通过 1 千多根桩的施工实践,选型是正确的。施工速度快,在粘性土中尤为明显,扩孔小,充盈系数低于 1.1,无震动,不坍孔,保证了桩的垂直度;

6.4 钢筋笼在加工车间集中下料、成型,自制专用模具,加工质量好;规格多、长短不一,采用挂牌编号、对号入座的方式,并用特制的运输车运送至孔口,使钢筋笼加工有条不紊地进行;

6.5 在中、粗砂层中,钻头磨损利害,对钻头进行加固、改进,将原钻头的端焊合金刀具改为背焊刀具,加快了钻进速度;

6.6 孔内自造浆代替人工制浆,掌握了钻孔的主动权。若沙层厚即时挖制重投粘土,掌握泥浆浓度,将中、粗带出地面,控制沉渣厚度,加快了钻进速度;

6.7 卡钻、埋钻处理。在钻进中时有卡钻、埋钻、掉导管、遇异物等现象。由于泥浆供应不上或临时停电故障,高速旋转的钻头往往被埋住,由于砂层厚、时间长,用倒链葫芦已不易拉出;

只有退出钻机架,用2台大型号千斤顶将其拉出;曾有一根桩,正灌注水下混凝土时,7.5m长的导管掉进孔内,水下混凝土已灌8m长,打捞已很困难,经研究后补桩。其他还发生几次类似现象,均作了妥善处理。

参 考 文 献

〔1〕(美)H·F 温特科恩、方晓阳著,钱鸿缙、叶书麟等译《基础工程手册》,中国建筑工业出版社,1975。

〔2〕刘振锋、杨成林:《尼泊尔国际会议中心桩基质量无损检测与静荷载试桩成果报告》,尼泊尔,加德满都,1991.1。

基 桩 无 损 检 测 技 术

由铁科院铁建所研究的《瞬态激振(敲击)时域频域分析法基桩无损检验新技术》,近年来应用取得成效。

过去,桩基质量检测一直是通过钻桩取芯进行的,设备庞大,即费时费力、又损坏桩体。并且只能局限于所取桩芯部位。由铁建所研究的瞬态动力法检测新技术是用力锤激振。使桩内产生纵向应力波,根据波动理论和应力波在桩内传播规律,来检验桩的完整性、强度,判断有无全断、半断离析、扩颈、缩颈等缺陷及其位置。

对该课题进行测试考核,进行了预埋人为设置缺陷桩,考核结果,缺陷桩个数、缺陷类型和完整桩个数未超出允许误差。

该项新技术实用简便。检测速度快,成本低、效率高,使用设备轻便,可在桩径2.2米以内。桩长50米以内的钢筋混凝土桩(包括钻孔桩、挖孔桩、振动沉桩、打入桩等)的现场质量检测中推广应用。

(林 志 供稿)