

田湾核电站某工程偏移基桩性状分析

何 剑<sup>1,2</sup>, 方仁宝<sup>1</sup>, 张晓伟<sup>1</sup>, 龙建辉<sup>2</sup>

(1. 核工业工程勘察院, 河南 郑州 450002; 2. 长安大学 地质工程与测绘工程学院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 用低应变动测法检测基桩结构完整性, 其测试结果是可靠的, 但在田湾核电站某子项用低应变对因滑坡而倾斜的基桩进行检测时, 却发现同样是偏移较大的基桩, 有的基桩断裂、破损, 有的完整, 从低应变测试结果很难与实际情况统一起来。考虑到基桩不是孤立的, 是与地基土结合在一起的, 通过利用基坑支护理论及滑坡形成的圆弧滑动面原理, 并结合施工的一些实际情况, 从理论上分析了滑坡后基桩断裂、破损、倾斜的可能性, 从而对偏移基桩性状做出了正确判断, 为工程桩的处理提供依据。

[关键词] 低应变动力检测; 水平剪力; 基桩; 基坑支护; 圆弧滑动面; 核电站

[中图分类号] TU433 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)02-0063-04

[作者简介] 何剑(1965—), 男, 陕西蓝田人, 高级工程师, 长安大学博士研究生, 现从事地质工程研究。

在工程建设中, 桩基础是处理软弱地基或某些特殊性土层的结构方法之一, 通常采用低应变动力检测对基桩结构完整性进行验收, 并能得到理想的效果。发生滑坡、基桩偏移等事故时, 仅通过低应变动力检测很难得出正确、完整的解释, 需要结合其他分析方法加以综合分析才能做出正确的判断。笔者针对某工程, 通过低应变动力检测, 并结合基坑支护中的水平剪力及滑坡形成的圆弧滑动面等理论分析, 对偏移基桩性状进行了研究分析, 并做出了正确判断。

1 工程地质概况

田湾核电站某工程为核电站提供生产和生活用水而建, 工程子项主要包括泵房、清水池、滤池、澄清池及附属设施等建筑物。建筑场地北靠山, 由北向南基岩面坡度变化较大, 上覆地层主要以淤泥为主。为保证建筑物群的稳定性, 基础采用桩基和筏基, 桩基采用混凝土冲孔灌注桩, 桩径为 600 mm, 桩长根据基岩面以入中风化基岩 1 倍桩径为准, 设计桩身混凝土强度等级为 C25, 主筋主要为 6Φ20。该场地各建筑物分布见图 1。

该场地地形平坦, 地貌结构单一, 属山前海积

平原, 分布有小水沟、塘、堤等人工微地貌。为便于基础施工, 用碎石将该场地回填至标高 2.8~3.8 m, 并经机械整平, 自上而下主要地层及地基土的物理力学性质指标见表 1。

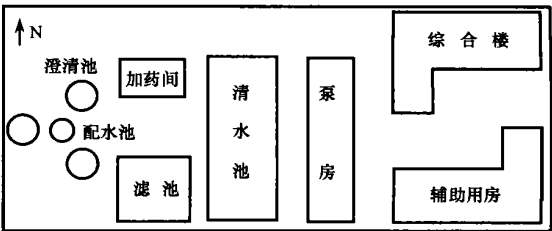


图 1 各建筑物分布

Fig. 1 Location of the constructions

表 1 场地地层土物理力学性质指标

Table 1 Physical and mechanical properties of the foundation soil						
地层	层厚 / m	含水量 w/ %	重度 / (kN · m <sup>-3</sup> )	孔隙比 e <sub>0</sub>	液限 / %	塑限 / %
回填碎石	0.8~2.0					
粘土	0.5~3.0	36.1	18.5	1.052	43.5	23.8
淤泥	1.8~20	70.8	15.9	1.949	58.8	30.7
粉质粘土	0.4~9.0	22.0	20.3	0.638	37.9	21.3
地层	塑性指数 I <sub>p</sub>	液性指数 I <sub>p</sub>	内聚力 σ/ kPa	内摩擦角 φ/ (°)	压缩系数 / MPa <sup>-1</sup>	
回填碎石						
粘土	19.6	0.76	17.7	11.9	0.55	
淤泥	28.1	1.38	54.4	2.17		
粉质粘土	16.7	0.042	32	12.1	0.24	

2 基桩偏移原因及偏移程度

泵房与清水池位于该场地的中部, 建筑面积分别为 14.0 m×69.0 m, 25.0 m×69.0 m。因场地淤泥层埋藏较浅, 施工单位将基桩桩顶超灌至地面, 钢筋笼也延伸至地面。基桩桩顶设计标高见图 2。

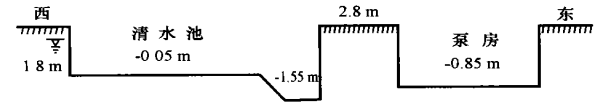


图 2 清水池、泵房桩顶设计标高

Fig. 2 Designed altitude on the top of the piles in clean water pool and pump room

泵房灌注桩施工完后, 清水池仍在进行灌注桩施工。因工期需要, 泵房需开挖施工, 考虑到场地地下水位较浅, 开挖前, 在泵房南端采取集水明排水措施, 利用挖掘机进行开挖, 并用装卸车将开挖土运走。施工中首先对泵房东侧两排基桩进行开挖, 并在基坑的东侧采取放坡措施, 接着对泵房西侧两排基桩由南向北进行开挖, 当挖至 ZH24 号桩附近时出现滑坡, 致使泵房、清水池部分基桩桩顶发生了偏移, 泵房、清水池滑坡基桩桩顶偏移量及大致分布情况见表 2, 图 3。

表 2 滑坡基桩桩顶偏移量汇总

Table 2 Horizontal displacement on the top of the inclined piles

桩号	偏移量/cm	桩号	偏移量/cm	桩号	偏移量/cm
ZH70	22	ZH77	20	ZH81	48
ZH84	30	ZH85	56	ZH88	25
ZH89	44	ZH92	18	ZH93	30
ZH96	20	ZH97	18	ZH101	10
ZH178	150	ZH179	120	ZH180	250
ZH181	270	ZH182	260	ZH183	260
ZH184	250	ZH185	310	ZH186	220
ZH187	210	ZH188	90	ZH189	60
ZH190	48	ZH191	50	ZH192	30
ZH193	30	ZH22	230	ZH24	280

3 偏移基桩性状分析

3.1 低应变动力检测

低应变动力检测是工程上检测桩身结构完整性最常用的方法, 它是利用弹性波沿桩身向下传播, 当遇到桩身存在明显波阻抗差异的界面或桩身截面变化的部位, 将产生反射波, 根据反射波信号可推定桩身缺陷类型及在桩身中的位置。

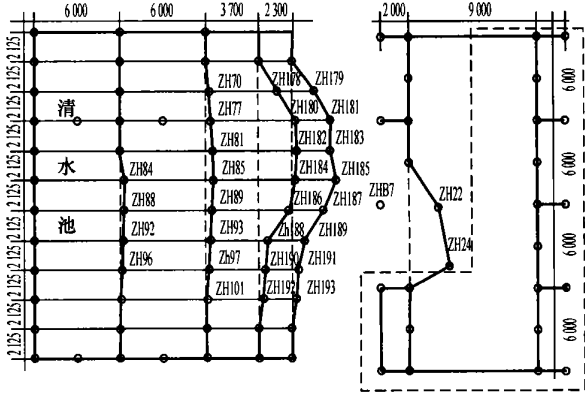


图 3 清水池、泵房桩位偏移分布

Fig. 3 Displacement of inclined piles in clean water pool and pump room

本次共对 28 根偏位基桩进行低应变动力检测 (图 4)。经分析, 其中桩顶偏移距离在 1.0 m 以内的基桩, 桩身结构完整性良好, 没有特殊异常信号, 可以排除桩身断裂, 如图 4j 中 ZH77。桩顶偏移距离在 1.0 m 以上的基桩有两种情况, 一种是桩身有不同程度的断裂、破损, 如图 4a 中 ZH185 号桩在

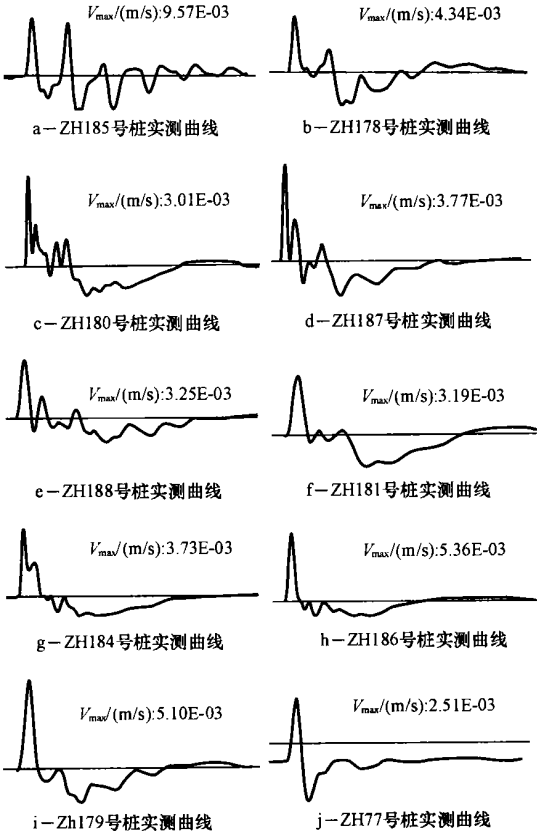


图 4 清水池滑坡桩部分低应变实测曲线

Fig. 4 Measured curve by micro strain dynamic test on part of inclined piles in clean water pool

5.3 m 左右断裂, 图 4b 中 ZH178 号桩在 4.8 m 左右局部断裂, 图 4c 中 ZH180, 图 4d 中 ZH187 号桩在 4.0 m 左右有裂痕; 图 4e 中 ZH188、图 4f 中 ZH181, 图 4g 中 ZH184 号桩在 3.5~6.0 m 左右有不同程度的破损。另一种是基桩桩身结构完整性良好, 如图 4h 中 ZH186, 图 4i 中 ZH179。

3.2 基桩水平受力理论分析

在基坑开挖前, 基桩处于受力平衡状态。基坑开挖后, 由于地基土发生侧向变形, 对桩侧产生主

动土压力, 另外坡肩顶面受到挖掘机、装卸车等荷载作用、土体内地下水的渗流、附近冲击成孔的震动等, 使土体内原有的应力平衡状态受到破坏。基桩上部一侧处于临空状态, 此时基桩类似于基坑悬臂式支护桩。基坑深度为 3.65 m, 基桩平均桩长约为 16.0 m, 桩间距为 2.125 m, 桩身混凝土强度等级为 C25, 基桩嵌固深度为 12.4 m, 桩端嵌岩 0.6 m, 则根据理正深基坑支护结构设计软件, 可得基桩土压力、弯矩、剪力、位移分布图(图 5)。

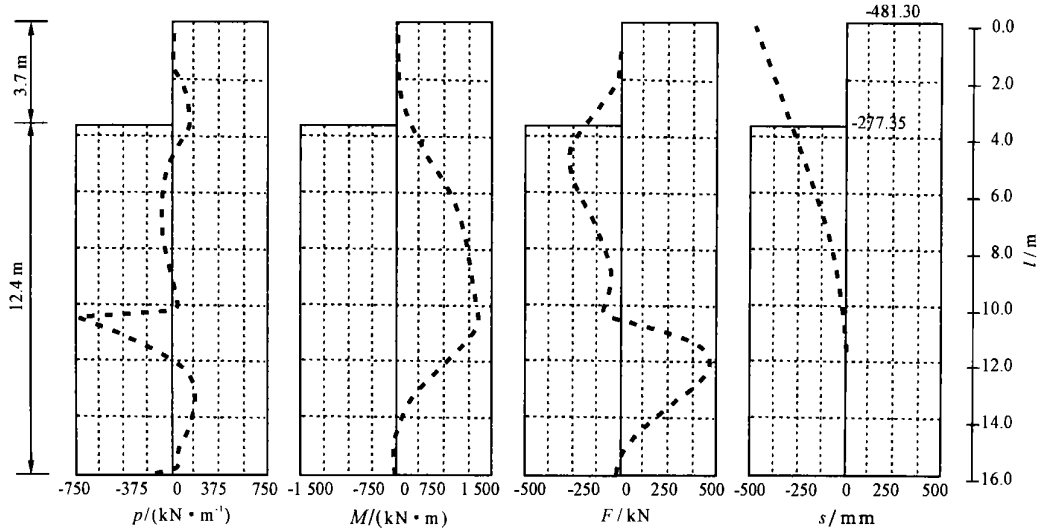


图 5 基桩土压力、弯矩、剪力、位移分布

Fig. 5 Earth pressure bending moment shear stress and displacement of the pile abide excavation pit

从图 5 可以看出, 在主动土压力作用下, 基桩向基坑内侧偏移, 随着深度的增加偏移量减小时, 就会在这一区域发生断裂或破损。为低应变动力检测分析得出的部分基桩在 4.0~6.0 m 范围内断裂、破损结果提供了理论依据。

3.3 从滑坡形成的圆弧滑动面分析

随着离基坑距离越远, 主动土压力逐渐减小, 基桩水平偏移位移也逐渐减小, 直到水平位移为零, 这样就形成了一个半径约 6.0 m 的圆弧滑动面(图 6)。

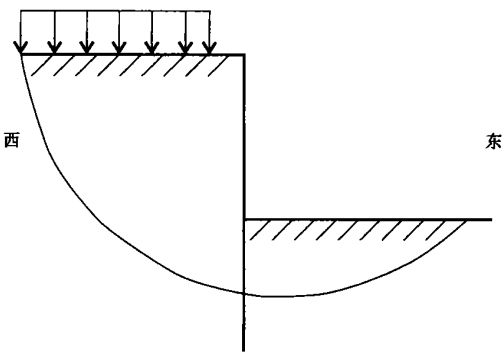


图 6 土层圆弧滑动面

Fig. 6 Circular sliding surface of soil

从图 6 可知, 滑动面的深度由东向西是逐渐减小的。根据泵房现场开挖情况, 发现 ZHB7 号桩漏灌, 在基坑面下 2.3 m 左右找到桩顶, ZH22, ZH24 号桩在基坑面下 2.5 m 左右断裂(在地面下约 6.1 m)。通过对清水池偏移基桩的低应变动力检测, 发现基桩断裂、裂缝、破损的程度由西向东方向是由小变大的, 距离地面的深度也是由深 3.1 m 变大到 5.3 m, 这与上面的分析完全相符。

3.4 其他因素分析

从低应变检测结果来看, 偏移距离较大的基桩大部分都有不同程度地断裂、裂缝、破损, 从基桩水平受力理论分析也验证了这一点, 但也有部分桩顶偏移较大的基桩没有断裂, 可从以下几个方面加以分析。

(1)该场地上部地层主要为饱和软土, 工程桩

基施工采用冲击成孔,为防止淤泥土层塌孔,在成孔时向孔内扔大量碎石。冲击挤压可使粉质粘土层挤密,但不可能使饱和软土密实,甚至扰动了土的结构,引起土中孔隙水压力升高,土体被挤出,邻近先打好的桩会随着土体挤出而抬高,对那些嵌岩效果不好的基桩则会脱离开基岩面。

(2)成桩采用冲击成孔,当冲击成孔至基岩时,成孔速度慢,时间长,而该工程基桩数量多,工期特别紧,所以很难保证入岩部分能满足设计要求,在一定程度上严重影响了水平方向上的抗剪能力。

(3)由于该场地地下水位较浅,开挖前,在泵房南端采取集水明排措施。在基坑开挖过程中,表面水对坡肩有冲刷作用,使坡肩产生坍塌。泵房子顶对 ZH22, ZH24 基桩进行开挖时土体局部塌方,说明在基坑开挖后,因地下水的影响促使土体局部滑动,增加了对基桩的水平推力。

正因以上各种因素的影响以及软弱土层的分布范围及厚度变化不同,在基坑开挖后,使基桩产生不同程度地整桩倾斜,所以部分基桩虽偏移距离

较大,但并没有断裂。

## 4 结语

根据低应变检测结果、基桩水平受力理论分析及其他因素综合分析,可以判断部分偏移基桩已经断裂或局部破损,部分基桩发生倾斜。考虑到偏位基桩范围较大、深度较深,增加的开挖可能导致更大范围的滑坡,故对部分偏移量较大的基桩做废桩处理,并采取相应的补桩措施。

海积相淤泥及粘性土具有高压缩性、强度低等特点,是工程建设中问题最多的一种土,因为对软弱土层的处理不善,很容易出现基坑失稳的现象。为防止事故的发生,各相关部门特别是设计及施工单位应引起足够的重视,以免造成不必要的损失。

## [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] JGJ120—99. 建筑基坑支护技术规程[ S ]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [ 2 ] 杨位洮. 地基与基础[ M ]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.

# Analysis on damage properties of the inclined foundation piles of a construction in Tianwan nuclear power plant

HE Jian<sup>1, 2</sup>, FANG Ren-bao<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-wei<sup>1</sup>, LONG Jian-hui<sup>2</sup>

(1. Investigation Institute of Nuclear Industry, Zhengzhou 450002, China; 2. School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract** Generally, it is reliable to test the integrity of foundation pile structure by low-strain dynamical test. But while testing the inclined pile due to landslide by low-strain in some sub-item of Tianwan Nuclear Power Station, the same pile of large displacement shows different results by low-strain test in which some are broken or damaged, some are integrity. The test results are difficult to be identical with the practice. Considering that the pile isn't isolated, but combined with the foundation soil, the excavation pit support theory and circular sliding surface theory are used in combined with the construction practice, the possibility of pile fracture, damage and incline accordingly obtaining the correct adjustment to the inclined pile properties and providing the foundation for the engineering pile treatment.

**Key words** micro-strain dynamic test; horizontal shear stress; foundation pile; excavation pit support; circular sliding surface; nuclear power plant

(英文审定: 苏生瑞)