

## 桩基础设计的一些新认识

徐珂/被某位大师在书中不点名批评

20160216

2015年9月开始做一个项目，场地属于湿陷性黄土地，综合项目特点采用桩基础。一般项目采用桩基础是很常见的的地基方案，这个项目与一般项目最大的区别是柱下荷载大，主要是水平荷载大，在初步分析时预估最大一根柱下的竖向荷载约为21000~24000kN，水平荷载X方向10000~12000kN，Y方向荷载值与X向基本接近，即竖向荷载与水平荷载大约是2:1的关系。

对于此数量级的水平荷载，依据规范提供的经验公式，靠桩基础水平承载能力是没办法解决的，有过桩基础设计经验的工程师都知道，直径800的桩水平承载力仅有百千牛级别，只能满足这个项目1/100设计荷载的需求，做下面的表格看一下：

桩编号	桩顶标高(m)	桩长(m)	桩身直径 d(mm)	混凝土强度等级	桩身钢筋牌号
ZG-A	-4.0	20.1	0.8	C30	HRB335
上部桩身纵筋			下部桩身纵筋		
根数	直径(mm)	配筋率	根数	直径(mm)	配筋率
16	14	0.49%	8	14	0.25%
桩身混凝土弹性模量 $E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )	桩身钢筋弹性模量 $E_s$ (kN/mm <sup>2</sup> )	桩身钢筋保护层厚度(mm)	扣除保护层厚度的桩直径 $d_0$ (mm)	钢筋与混凝土弹性模量比值 $\alpha_E$	桩身换算截面受拉边缘截面模量 $W_0$
30000000	200000000	0.050	0.700	6.667	0.052
桩截面模量塑性系数 $\gamma_m$	桩身混凝土抗拉强度设计值	桩身换算截面惯性矩 $I_0$	桩身抗弯刚度 EI	地基土类别	桩侧土水平抗力系数比例系数 m (MN/m <sup>4</sup> )
2	1430	0.0183	467693.7010	可塑	14
桩的水平变形系数 $\alpha$	换算深度	桩顶约束情况	桩身最大弯矩系数	桩顶水平位移系数	桩顶竖向力影响系数 $\zeta_v$
0.4616	4.000	铰接	0.768	2.441	0.5

桩身换算截面面积 $A_0(m^2)$					
0.516611874					
荷载效应标准组合下桩顶竖向压力	灌注桩单桩水平承载力特征值		桩顶允许水平位移(mm)	按水平位移控制时单桩水平承载力特征值	
0	91.73		1	14.13	
100	94.83		2	28.26	
200	97.94		3	42.40	
300	101.04		4	56.53	
400	104.15		5	70.66	
500	107.25		6	84.79	
600	110.35		7	98.93	
700	113.46		8	113.06	
800	116.56		9	127.19	
900	119.67		10	141.32	
1000	122.77				
1100	125.88				
1200	128.98				
1300	132.08				
1400	135.19				
1500	138.29				
1600	141.40				
1700	144.50				
1800	147.60				
1900	150.71				
2000	153.81				
2100	156.92				
2200	160.02				
2300	163.13				
2400	166.23				
2500	169.33				

如果调整桩身纵筋面积、混凝土强度等级，可以适当增加水平承载力，外部情况是增加桩侧土水平抗力比例系数  $m$  也可以适当提高水平承载力，但结构效率低下，例如我从某文献中看到如下工程案例介绍：

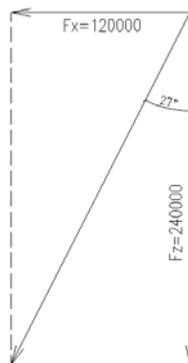
桥在承台下及承台后 10 m 长度、6 m 深度范围内采用压密注浆处理，经压密注浆处理后实测  $m$  值达到  $10\,000\text{ kN/m}^4$  以上。经  $m$  法计算桩顶位移控制在 6 mm 时，不采取浅层地基处理时群桩基础能承受的水平推力为 19 500 kN，经过压密注浆地基处理后群桩基础能承受的水平推力为 37 000 kN，处理后群桩基础能承受住上部结构传来的水平荷载而不发

$m$  值在提高一倍的情况下，水平承载力尚达不到一倍，因此这类方法只适用于水平荷载不大的情况，上表中  $m$  值已经比较大，挖潜意义不大。而且这种承载力是建立在有水平位移的基础上，结构分析经验可知，基础位移引发上部结构反应绝对会超乎想像，对于基础嵌固假定是彻底的否定，不可控因素很多。

从文献中找方法，大致有以下方案：

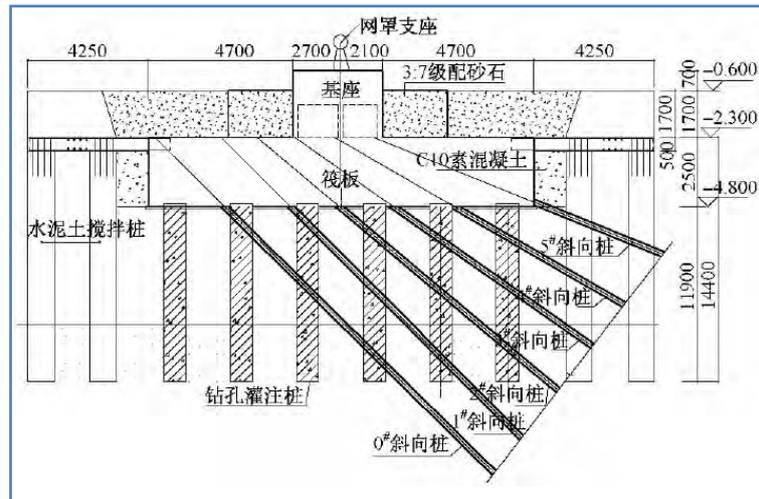
1、充分利用桩的能力提供水平承载力，前面已说，有些工程经验在可接受的情况下增加桩数量。

2、采用斜桩基础，由斜桩提供分力平衡水平力，最佳的方案是桩的角度与合力的角度相同，例如本工程中竖向力是 24000kN，水平力是 12000kN，合力大约为 268328 kN，与竖向力的角度大约为 27 度，示意图如下：



采用这种方案对于上部结构来说，受力最直接，有部分工程采用这种方案，比较典型的有两个案例，文献介绍如下：

北京师范大学珠海分校风雨操场工程，屋面主要支撑结构为单榀格构式钢拱结构，钢拱矢高为30m，跨度为150m，钢拱两端钢筋混凝土支墩下设计有4根斜桩，与地面水平夹角为 $33.75^\circ$ ，原设计桩径1600mm，端部扩大头直径为2400mm，混凝土强度等级为C40。桩端持力层为强风化花岗岩，根据地质条件，桩长为15~25m。



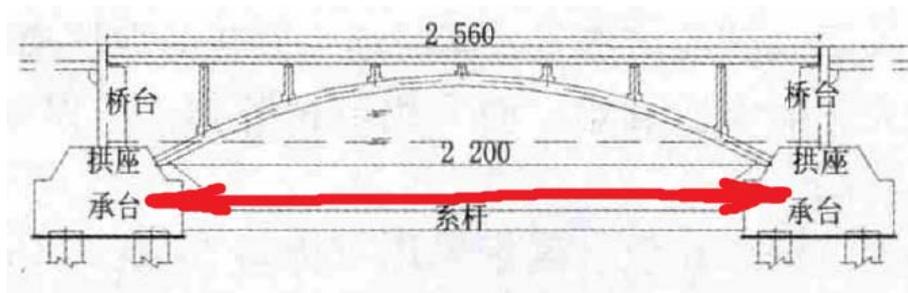
这两个结构设计方案均采用大角度斜桩提供水平承载力，容易让笔者认为采用斜桩是很容易实现的方案，但是仔细阅读文献后发现，前者在施工中将原桩基础机械挖钻修改为人工挖孔，为确保施工安全，对周围土体进行注浆加固，同时增大桩径便于人员进出，文中也提到这种斜桩也可采用隧道掘进工艺，但是造价高。后者其实是锚杆结构，所需的锚杆数量多，只适用于在一个场地里仅有一两个这样基础情况，像笔者的项目如果大量采用锚杆，锚杆角度、方向不同在地下空间中互相交错，不可能去布置。

笔者与桩基施工单位以及地勘单位进行交流，他们基本上不同意斜桩施工方案，施工单位的理由有几点：a) 斜桩施工成本高。b) 斜桩施工工艺难。c) 斜桩容易塌孔。d) 大部分打孔机仅能倾斜10度左右。e) 打孔机的倾斜方向是有方向性的，对施工场地空间要求高。总结这几条就是斜桩施工并不像画图那么简单，不是想打哪个角度就可以打哪个角度，从经验角度出发，斜桩的角度不宜大于15度。地勘单位的理由有几点：a) 桩基规范是以

竖直桩为描述，不能简单的拿竖直桩的经验应用于斜桩。b)由于重力因素和施工扰动因素，斜桩桩身下的土体对于桩身摩擦力和支撑力有效性难以保证。c)桩基检验方法不好确定。d)如果采用斜桩也应以竖桩与斜桩结合使用，单纯用斜桩在竖向荷载作用下会发生桩顶下移问题。这样讨论后，是否采用斜桩应该有更多的思考。



3、在基础间设置拉杆，平衡水平力。这种方法是结构设计中比较常见的办法，例如小拱桥的做法。



为什么本项目在设计之初不予以考虑？这是因为这种方法必须建立在可施工的基础上，本项目是土遗址保护项目，是不允许开挖遗址进行施工，就卡在这里。

笔者以前做过的遗址保护项目，土遗址都是在地下，地下不能解决可以在地上解决，本项目的土遗址在地下有，在地上也有，因此出现如下情况：



笔者最近这几个月一直在想采用何种方案平衡水平力，减少对桩基础影响，在如此数量级的水平荷载作用下，桩顶位移超过 10mm，对桩基础有影响，上部结构内力也会出现很大变化，需要一个稳妥的设计方案。

