

# 首都国际机场停车楼 永久性抗浮锚桩施工试验研究

张建青

(北京中航勘地基基础工程总队,北京 100086)

**【摘要】** 通过首都国际机场停车楼永久性抗浮锚桩的施工试验研究,提出了在永久性抗浮锚桩施工时应注意的主要问题和解决方法。

**【关键词】** 永久性抗浮锚桩;施工方法;试验研究

**【Abstract】** Through the experimental study of perpetual antifloating anchored pile which is applied in the construction of the parking building at the Capital International Airport, the main problems to be noticed and their solving methods are put forward in their construction.

**【Key words】** perpetual antifloating anchored pile; construction method; experimental study

## 0 引言

首都国际机场停车楼为首都国际机场扩建配套工程之一,建筑物设计为地下4层,地上1层,南北长262.8m,东西宽133.8m,建筑物中部为宽9m、高4.8m东西向布置的地下5层地铁通道。考虑到这一地区地下水历史最高水位到达地表,此时停车楼建筑物自身重量将不能抵抗地下水的浮力。为了解决建筑物的抗浮问题,建筑设计采用了永久性抗浮锚桩与地下4层底部预留架空层堆载两种措施。

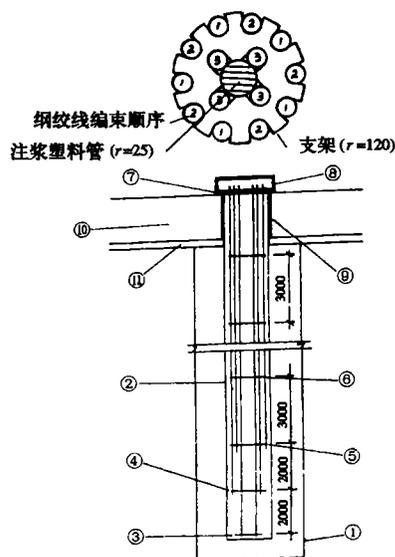
### 1 抗浮桩的特点

抗浮桩不同于一般的基础桩,有其自身的独特性能,与一般基础桩的最大区别在于:基础桩通常为抗压桩,桩体承受建筑荷载压力,受力自桩顶向桩底传递,桩体受力大小随着建筑荷载的变化而变化;而抗浮桩则为抗拔桩,桩体承受拉力,普通抗浮桩受力也是自桩顶向桩底传递,桩体受力大小随着地下水位的变化而变化,但两者受力机制恰好相反。

## 2 永久性抗浮锚桩

永久性抗浮锚桩是在普通抗浮桩基础上,采用预应力技术,使桩体受力从桩底向桩顶传递,预先将所需最大抗拔力施加于锚桩体上。桩体受力为一恒值,不随地下水位的变化而变化,从而达到永久性抗浮的目的。为此,设计者要求:①采用单管高压旋喷法成型一个 $\phi 600$ ,深度为24m,具有一定强度的旋喷桩体;②在 $\phi 600$ 的旋喷桩体内钻出一个 $\phi 250$ ,深度为23.5m的锚孔;③锚孔内下入一组(14根 $\phi 15$ ,型号为1 860MPaII级松弛无粘结预应力)钢绞线束;④锚孔内灌入强度满足C40的细石混凝土(试验开始后更改为压注强度满足C60的水泥浆液);⑤将每根钢绞线分别施加设计要求应力锁定在建筑物基础底板上;⑥用密闭钢帽将抗浮锚桩顶部加以封闭并注入黄油,从而形成永久性抗浮锚桩;⑦预估单根抗浮锚桩可利用荷载1 230kN。这种永久性抗浮锚桩设计思想在国内尚属首创。永久性抗浮锚桩构造见图1。

**作者简介:**张建青,男,高级工程师。1983年毕业于合肥工业大学。现主要从事岩土工程勘察、设计及施工的研究管理工作。



- |                     |                     |                     |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| ①旋喷桩体               | ②锚孔                 | ③底层承压板(4 $\phi$ 15) |
| ④中部承压板(5 $\phi$ 15) | ⑤上层承压板(5 $\phi$ 15) |                     |
| ⑥支架                 | ⑦锁定压板               | ⑧封闭钢帽               |
| ⑨预留钢筒               | ⑩底板                 | ⑪C20垫层              |

图 1 永久性抗浮锚桩构造图

### 3 永久性抗浮锚桩施工试验

#### 3.1 试验条件

##### 3.1.1 地层

试验遇到的主要地层(自建筑物底板向下)依次为:①粉质粘土-粘质粉土,厚度 4~5.5m;②粘质粉土-砂质粉土,厚度约 1m;③重粉质粘土-粘土,厚度 1~1.5m;④粉砂-砂质粉土,厚度约 1m;⑤细砂-中砂,厚度 14~16m;⑥粘质粉土-粉质粘土,厚度约 7m。

##### 3.1.2 地下水

试验场地周围建有 10 个深度分别为 22~28m 的大口径辐射式降水井。根据场内 5 个观测井在建筑物底板施工前的观测资料反映,场区内的地下水位在建筑物底板以下 3m 左右。

##### 3.1.3 施工场地

试验场地在  $\pm 0.00$  以下 18.6m 的预留地铁通道内。试验开始时建筑物正在进行地

下四层的顶板施工。试验与建筑物主体结构施工同步进行。

#### 3.2 工艺流程

① $\phi 600$  单管高压旋喷桩施工 $\rightarrow$ ② $\phi 250$  锚孔施工 $\rightarrow$ ③钢绞线编束安装 $\rightarrow$ ④C 60 锚孔注浆 $\rightarrow$ ⑤抗拔试验。

### 4 主要问题与解决方法

#### 4.1 锚孔与施喷桩体的同心度

锚孔与旋喷桩体能否同心是抗浮锚桩成败的首要问题。从理论上来说,在 23.5m 深度内想要保证锚孔不离开旋喷桩体,就必须保证两者在 23.5m 处的中心点在任何方向上的位移之和不超过 0.17m,这就要求两者的垂直度偏差之和控制在 0.7% 以内,即锚孔与旋喷桩体施工垂直度偏差均应小于 0.35%,方能保证锚孔一次成孔。但就现行桩基施工规范来说,其垂直度允许偏差值一般规定 100m 内应小于 1%。而抗浮锚桩实际允许垂直度偏差值只有规范要求值的 1/3。其施工难度是显而易见的。在试验中也充分反映了这一点。1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>、6<sup>#</sup> 锚桩在 20m 上下锚孔相继与旋喷桩体脱离。

施工中当对施工机械及钻具采取适当的导正措施,同心度这一难题还是能够得到有效控制的。经对施工机械及钻具不加导正措施和采取导正措施两种方式施工的锚孔进行检测:1<sup>#</sup> 锚孔 7.0m 以上没有采取导正措施,7.0m 以下开始采取导正措施(本次施工试验仅对锚孔施工设备及钻具采取了导正措施),在 15.0m 处测得锚孔垂直偏差值为 0.18m;6<sup>#</sup> 锚孔从孔口就开始采取导正措施,在 20.0m 处测得锚孔垂直偏差值为 0.12m(检测设备本身有一定的误差范围)。由此可见,钻探设备采取适当的导正措施对解决锚孔与旋喷桩体同心问题是有效的。因此,对锚孔钻探设备与旋喷引孔设备(旋喷钻机)同时在孔口上、孔口处及孔内钻具采取适当的导正措施,可以解决锚孔与旋喷桩体的同心问题。

#### 4.2 旋喷桩体施工中的缩径、断桩

高压旋喷桩体施工虽慎之又慎,但还是出现了相当严重的缩径、断桩现象。4<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>、7<sup>#</sup>、8<sup>#</sup>锚桩在锚孔钻进至5~10m段内锚孔与旋喷桩体相继脱离。在此深度范围内出现锚孔与旋喷桩体分离现象,很难从垂直偏差方面来进行分析,只能从高压旋喷施工中寻找原因:①旋喷施工引孔用清水钻进14~16m厚细、中砂层时出现卡钻事故,在处理事故和事故处理后的引孔中,采用了水泥浆液护壁。由于处理事故时间较长,造成水泥浆液在某些部位小范围渗透,并产生凝固胶结,旋喷时在此部位出现无扩径旋喷而产生旋喷桩体缩径或断桩。②旋喷施工中出现喷嘴堵塞事故,需较长时间进行喷嘴疏通或更换,可能造成旋喷桩体不连续。③地层分布在深度上并不稳定,导致某些部位旋喷桩体缩径。④局部可能存在地下水迳流现象。在试验场地东侧有一口深28.0m的大口径辐射降水井,辐射降水井在降水过程中造成地下水流动及其他可能存在的地下水迳流。在旋喷施工中,由于地下水的不稳定流动将旋喷浆液稀释并带走,使旋喷桩体在此地段难以固结成体而出现断桩。⑤旋喷施工操作人员之间协作出现漏洞。送浆控制压力与旋喷提升速度协调不好,可能出现无水泥浆液旋喷或低压力旋喷而导致局部地段旋喷桩柱体严重缩径或断桩。

旋喷引孔采用泥浆护壁,旋喷施工中加强各工序间的联系与协调,缩短孔内处理事故时间,严格控制施工参数,缩径、断桩现象将可得到有效控制。

#### 4.3 旋喷施工冒浆量偏大

旋喷施工冒出地表的浆液量远大于在一般软土地层中进行高压旋喷施工的返浆量。其原因为:①抗浮锚桩设计所产生的必然结果。为了形成一个24m深,任一横截面直径不小于 $\phi 600$ 的旋喷桩体,必须采用高压、低转速、慢提升等手段来进行旋喷施工控制,

由此而产生高流速、大流量、长时间的返浆;或采用重复旋喷施工方法来保证旋喷桩体的直径,同样会产生大量的返浆。②由于锚孔与旋喷桩体不同心,需进行重复补喷施工而增加了返浆量。

锚孔与旋喷桩体同心问题的解决,缩径、断桩现象的减少,施工的返浆量也就相应减少。另外,经对返浆固结体进行测试,其干密度为 $1.2\sim 1.3\text{g}/\text{cm}^3$ ,可以考虑作为配重加以利用。

#### 4.4 锚孔成孔施工速度

试验使用XY-1A型钻机与BW-160L型泥浆泵进行锚孔成孔工作。据施工统计, $\phi 250$ 锚孔成孔施工平均速度为 $0.96\text{m}/\text{h}$ 。施工速度慢的原因是①施工设备能力所限。②建筑施工单位在清理现场时将管卡、螺杆、钢筋棍等杂物弃入预留钢管内,造成锚孔施工钻具磨损不进尺及卡钻等事故。③钻具不配套。④锚孔施工采用清水钻进,BW-160L型泥浆泵能力有限,无法将锚孔内的大颗粒、碎块全部返出孔口。⑤其他因素影响,如处理井下事故、设备维修、施工场地限制等。

XY-1A型钻机与BW-160L型浆泵不宜作为抗浮锚桩生产施工用主要设备,应使用YL-3型钻机及300L型以上的泥浆泵。

#### 4.5 保证锚孔深度

试验中有5根锚桩成桩与锚孔成孔深度不一致,原因是:①锚孔成孔后捞渣清孔不彻底。②锚孔成孔后受场地条件所限,不能及时进入下道工序,锚孔放置时间较长,孔口又难以完全封堵,其他锚孔返出浆液又流入该锚孔内产生沉淀。③锚孔穿出旋喷桩体后,地层涌砂造成。

#### 4.6 锚孔施工时机

锚孔施工与旋喷桩体施工间隔时间试验计划以3~7d为原则,以确定锚孔施工的最佳时机。实际施工间隔为3~18d。3d后的旋喷桩体已经具有一定的强度(旋喷浆液中掺入了早强剂),3~18d间隔对锚孔施工速

度差别不大。

#### 4.7 旋喷桩体强度

设计要求旋喷桩体在可、硬塑土层中强度能满足 4~6MPa;细、中砂层中强度能满足 8~10MPa。试验中旋喷桩体施工浆液采用水灰比 1:1,掺入 1%~3%的 861-4 型早强剂。对旋喷桩体取芯样件作单轴抗压强度试验,其结果为:可、硬塑土层中强度为 5.27~16.01MPa,平均值为 9.75MPa;细、中砂层中强度为 19.93~52.50MPa,平均值为 31.03MPa。由此可见,在可、硬塑土层中旋喷桩体平均强度与设计要求的差别不大,而在细、中砂层中旋喷桩体平均强度远大于设计要求强度。因此,在细、中砂层中进行旋喷桩体施工时可适当增大水灰比,既节约原材料费用,又使旋喷桩体强度整体上较均匀。

#### 4.8 C 60 浆液压力灌注

C 60 浆液压力灌注也是本次试验的关键,注浆质量直接关系到锚桩的成败。试验中有三次注浆均为在搅拌站配制好 C 60 浆液后用搅拌车送到现场,均以失败而终止。

其原因有:①浆液中含有较多的砾石颗粒,虽经过二次过滤,但受 C 60 浆液本身流动度及现场条件的限制,无法将砾石颗粒过滤干净,注浆时砾石颗粒把注浆泵及注浆管路堵塞。②施工现场道路不畅,送浆车辆不能及时到位,C 60 浆液搁置时间较长,浆液稠度增大,流动性降低,注浆泵无法正常工作。③注浆管路不协调,出现脖径现象,影响浆液流通,且易使未过滤尽的硬颗粒在变径处集中而堵塞管路。④孔内注浆塑料管抗压强度不够,注浆时塑料管路破裂。

改成现场配制 C 60 浆液,增大孔内注浆塑料管直径,消除脖径现象,控制注浆压力与注浆管出口埋入深度,压力灌注 C 60 浆液问题就迎刃而解。注浆试块的 28d 抗压强度试验结果为:60.0~79.8MPa,平均值为 68.15MPa,达到设计要求。

### 5 结论及建议

对 8 根不同深度的抗浮试验锚桩分别进行了不同终级荷载的拉拔试验,结果见表 1。

表 1 抗浮锚桩不同终级荷载的拉拔试验成果表

项 目 \ 桩 号	1	2	3	4	5	6	7	8
有效桩长 $L/m$	19.4	19.3	16.3	20.3	16.3	21.8	18.8	17.4
终级荷载 $P/kN$	1 500	2 250	1 500	1 500	1 500	3 000	3 000	1 500
桩顶上拔量 $s/mm$	4.32	6.36	2.80	4.68	1.89	8.08	7.05	2.68
钢绞线上拔均值 $s/mm$	84.69	143.6	36.18	49.74	45.79	163.0	159.8	47.69

据施工试验与拉拔试验结果,可得出结论:

(1)永久性抗浮锚桩的设计意图能够实现。

(2)8 根抗浮试验锚桩全部达到设计预估 1 230kN 的抗拔荷载。

(3)由 6#、7# 锚桩的 3 000kN 拉拔试验结果,抗浮锚桩的实际可利用抗拔荷载可以超过 1 230kN。

(4)由 8 根试验锚桩的有效桩长来看,可适当减短永久性抗浮锚桩的设计长度或减少永久性抗浮锚桩的数量,可以降低永久性抗浮锚桩工程的投资费用。

感谢参加本次试验的主要人员:方雪松、李树伟、高景利、刘祥军、杨俊峰、王超凡、曾兵、李继忠。

收稿日期:1998-12-09