

抗拔(浮)桩的发展历程和研究方向

朱世平¹, 杜高恒¹, 何世鸣², 贾城², 杨敏²

(1. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083; 2. 北京建材地质工程公司, 北京 100102)

摘要:综述了由最初的普通钢筋混凝土抗拔(浮)桩发展到预应力抗拔(浮)桩的历程;总结了对于抗拔桩性能研究的 3 种方法:现场试验、模型试验和理论分析法。在此基础上为了降低成本,方便施工,环保高效,提出了一种新型的预应力抗拔(浮)桩,即部分粘接预应力抗拔(浮)桩,这将是预应力抗拔(浮)桩一个有意义的发展方向。

关键词:抗拔(浮)桩;预应力抗拔(浮)桩;部分粘接预应力抗拔(浮)桩;永久性抗拔(浮)桩

中图分类号:TU473.1⁺4 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)05-0005-03

Development and Research Direction of Uplift Pile/ZHU Shi-ping¹, DU Gao-heng¹, HE Shi-ming², JIA Cheng², YANG Min² (1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Beijing Building Material Geological Engineering Corporation, Beijing 100102, China)

Abstract: The paper summed up the developing course from ferroconcrete uplift pile to pre-stressed uplift pile and three methods for study on property of uplift pile: field test, model test and theoretical analysis. On the basis of less cost, convenient construction and efficient environment protection, a new type pre-stressed uplift pile is put forward.

Key words: uplift pile; pre-stressed uplift pile; part-bonding pre-stressed uplift pile; permanent uplift pile

0 引言

随着地下空间利用的越来越多,基础埋深越来越深,特别是基础浸入地下水的深度越来越大,建筑物基础承受上拔荷载的情况愈来愈多,而且基础所承受的上拔荷载越来越大。为了满足这种基础的受力平衡,目前一般采用桩基的形式来解决,这种受上拔力的桩一般称为抗拔桩。根据抗拔桩的所受抗拔力时间的长短,可以把抗拔桩分为临时性抗拔桩和永久性抗拔桩。

临时性抗拔桩主要是指使用时间较短或只是暂时承受上拔力的桩,一般是整个构筑物施工过程中的一种辅助措施。比如在地下水位较高地段施工时的高层建筑抗浮桩,这种抗浮桩只是用来抵消停止降水后已完成上部建筑物还不足以抵消地下水的上浮力,其作用时间不长,设计时主要考虑的是成本。还有如试桩中的锚桩,也属临时性措施。

永久性抗拔桩一般和建筑物的使用寿命是一致的,尽管在不同的阶段可能不一定承受抗拔力。永久性抗拔桩设计时主要考虑桩身结构的可靠性和安全性,相对成本不是设计考虑的主要因素。如高水位地区的地下工程、水处理构筑物、高耸塔、斜拉桥中的锚桩等。

抗拔桩在受力时,桩身混凝土呈拉伸状态,因混

凝土在拉伸受力时强度很低,所以抗拔桩破坏时一般是桩身混凝土在拉伸作用下先产生裂隙,随着裂隙的逐步扩大,桩身的钢骨架也开始慢慢腐蚀破坏,然后桩体的整体失效破坏。

抗拔桩的使用越来越普及,但到目前抗拔桩还是传统上的钻孔灌注桩,只是钻孔灌注桩的受力和作用机理改变而已。但由于传统钻孔灌注桩中,桩身混凝土是受压的,在受压状态下桩身混凝土很难会发生破坏,桩身钢骨架也不会产生破坏。但一旦把传统钻孔灌注桩当作抗拔桩来使用,桩身混凝土在拉伸作用下很容易发生破坏,随着桩身混凝土的破坏,桩身钢骨架也随之发生破坏。

抗拔桩的荷载传递机理和计算方法并不成熟,除了有的工程采用现场试验来确定抗拔桩的承载力外,大部分工程的抗拔桩极限承载力的确定主要还是借鉴抗压桩极限承载力的确定方法。《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-94)规定,抗拔桩的极限承载力按抗压桩的侧摩阻力值的 0.5~0.8 估算承载力。到目前为止,还没有一个完整的、成熟的抗拔桩荷载传递理论和抗拔桩承载力确定的计算公式。同时对影响单桩抗拔承载力的因素和提高极限承载力的方法的试验和研究也还不够;特别是永久性抗拔桩,因试验周期长、成本高、机理复杂,对其研究更少。但

收稿日期:2006-12-05; 改回日期:2007-05-13

作者简介:朱世平(1970-),男(汉族),浙江人,中国地质大学高级工程师,地质工程专业,博士在读,从事地质工程研究工作,北京市海淀区学院路 29 号,13901215037。

在实际工程中,永久性抗拔桩的应用越来越多,而且要求越来越高,对永久性抗拔桩的研究显得非常迫切,并且具有非常重大的实际意义。

1 抗拔桩的发展过程

早期的抗拔桩是按抗压桩的理论为基础来设计的,如刘祖德(1996)关于抗拔桩基础的介绍。即以抗压桩的侧摩阻力值引入一个折减系数来计算抗拔桩的承载力,这样设计的抗拔桩一般比较长也比较粗,钢骨架材料一般为钢筋。以这种理论为基础来设计的抗拔桩,因没有和抗拔桩本身的荷载传递、破坏机理相吻合,一般只能用在临时性或抗拔承载力较低的抗拔桩,对于永久性抗拔桩就不太适合了。

随着抗拔桩应用的越来越广泛,对抗拔桩的研究也越来越多。抗拔桩的荷载作用和破坏机理也日趋成熟,抗拔桩的设计也日趋合理,抗拔桩桩长相对较短。这过程中比较典型的研究有王维雅(1998)通过现场原型抗拔试验,他通过研究钻孔灌注桩抗拔时荷载的传递机理,由实测桩身内力确定了荷载沿桩深度的变化,桩侧摩阻力沿桩深度的分布规律及桩的荷载传递函数。根据上述研究成果提出了合理设计抗拔桩的思路:在抗拔桩的设计中,应根据桩的类型、施工方法、土层性质及土层分布深度等综合情况来合理考虑桩侧摩阻力值——长桩的底部摩阻力得不到充分的发挥,因而将抗拔桩设计成粗短桩要优于细长桩;但从经济方面来看,摩阻力只是与桩径呈一次方关系,而工程量却与桩径的平方成正比,这在设计时应综合衡量。荷载传递函数表明,仅在桩身开裂前,摩阻力与上拔位移成正比,而桩身出现裂缝时,桩侧摩阻力尚未充分发挥,因而在抗拔桩的设计中,除了应合理利用桩侧摩阻力外,更应考虑加强桩身上部混凝土的抗裂性能。

随着对抗拔桩研究的深入,并根据抗拔桩的荷载传递机理和抗拔桩的特点,为更好地发挥抗拔桩的效果,特别是防止桩身混凝土的破坏和提高桩侧摩阻的利用效率,有人提出了在抗拔桩上施加预应力的想法。其中郭增强、赵玉成、胡朝阳(2003)利用有限元方法分析了岩层中抗拔桩的受力、变形,并对预应力抗拔桩的设计、施工提出了以下建议:

(1) 桩的上拔力着力点设在桩的下部,有利于减少桩的轴向力的最大值,在工程应用中应尽量把桩的上拔力着力点设在桩的下部,如可能设在桩端是最理想的。

(2) 由于桩周岩石分担了很大一部分荷载,即

提供了相当大的侧摩阻力,因此荷载由桩的下部向上部传递时衰减很快,桩的上半部并没有发挥很大作用。若荷载继续增大,桩上部的桩周摩阻力能否明显增加而使桩的这部分发挥作用与岩石自身的强度及它所能提供的侧摩阻力有关。当前者占优势时,有利于侧阻力的发挥;若后者占优势,则可能在抗拔桩上部侧摩阻力尚未发挥出来时,桩周围岩石内部已经发生了剪切破坏,使抗拔桩丧失承载力。

2002年,东南大学建筑研究设计院的王志明、冯健在江苏省招生、教仪综合楼抗拔桩设计中采用了预应力技术,并对2根抗拔桩进行了测试,探索了预应力抗拔桩的施工工法。

2003年,广东省水利水电第二工程局的丁仕辉、陆岸典提出了PPW工法(预应力桩墙支护技术)并将它运用于基坑的挡土桩或地下连续墙中。工程试验证明,PPW工法桩工程效益明显,使挡土结构形式变得体小而高强,并能满足工程要求。但是在技术上,PPW工法还需要解决2个问题:一是现浇混凝土桩墙底锚固问题;二是桩墙本身的预应力问题(对于预应力抗拔桩也同样如此)。

2005年,中国建筑七局三公司王耀等在福州福建大剧院抗拔桩中应用了预应力套管与注浆管“双管并排”方案。

随着预应力抗拔桩研究的深入和在实际工程中应用的增多,如何在抗拔桩上施加预应力成为大家关注的问题。2005年,何世鸣、朱世平、杜高恒等人提出了部分粘结预应力抗拔桩的概念。部分粘结预应力抗拔桩是一种新型的预应力抗拔桩,是利用抗拔桩本身的桩端部分作为预应力压盘,这种新型的抗拔桩能更充分地发挥桩侧摩阻力,有效改善桩身结构,提高抗拔桩的承载力。为了通过试验弄清其受力机理,他们在北京市果品仓储用房及配送中心工程桩基工程中选择了3根桩进行不同粘结长度条件下的预应力抗拔桩的抗拔试验。通过试验的方法研究在不同粘结长度来改变抗拔桩的力学性质与上拔力的着力点位置,不同预应力大小,不同上拔力作用下的抗拔桩的荷载传递机制、桩土相互作用机制与桩的变形情况。通过现场对比试验得出了如下结论:

(1) 利用桩体下部的粘结体作为上拔力着力点,有效减少了桩的轴向力的最大值。

(2) 利用施加的预应力,有效改善了桩身混凝土的抗裂性,能最大程度地发挥桩侧土体的摩阻力,提高了抗拔桩的承载力。

(3)不同的粘结长度、不同的上拔力着力点,对桩身轴向力和桩侧摩阻力有影响。

2 抗拔桩的研究方向

预应力技术在抗拔桩设计和施工中还处于探索阶段,到目前为止还没有学者提出关于预应力抗拔桩受力机理的完整理论,特别是预应力在永久性抗拔桩中的变化和随之引起的桩侧土体应力的改变。在抗拔桩的研究上必须要解决以下3大问题。

2.1 解决永久性抗拔桩桩身混凝土的裂缝问题

钢筋混凝土构件本身是带有微裂缝(宽度小于肉眼可见裂缝宽度0.05 mm)的,这些微裂缝是混凝土在凝结硬化过程中产生的,抗拔桩也不例外。抗拔桩的桩身混凝土在成型过程中,存在着众多的微孔、气泡,结构内部呈不均匀状态;混凝土中的水泥石和骨料在温湿度变化条件下产生体积变形,而它们又粘结在一起不能自由变形,于是形成相互间的约束应力,一旦此约束应力大于水泥石和骨料间的粘结强度,以及水泥石自身的抗拉强度,就产生微裂缝。微裂缝对混凝土的承重、防渗漏、防腐蚀等使用功能无危害性。抗拔桩在上拔力的作用下,桩身混凝土呈拉伸状态,导致微裂缝被拉伸后扩展、串通,以致材料失去强度,结构构件失去承载能力。裂缝宽度是最主要的特征,因为它直接影响混凝土的抗渗能力,直接影响混凝土对钢筋的保护能力,也即直接影响构件或结构的耐久性和承载能力。我国现行《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2002)中规定在二类环境条件下普通钢筋混凝土结构为0.2 mm、预应力混凝土结构为一级要求(严格不出现裂缝)(欧洲混凝土委员会和国际预应力协会CEB-HP规定在一般土中为0.2 mm,处于侵蚀介质中为0.1 mm;美国混凝土学会规定在土壤中为0.3 mm)。对于抗拔桩,应按什么标准来控制 and 解决裂缝还值得我们去研究和探索。

近年来在工程应用实践中的预应力抗拔桩,也就是在抗拔桩上施加预应力,其主要目的之一是解决桩身混凝土裂缝的问题。通过施加在桩身混凝土上的预应力来抵消抗拔桩在上拔力作用下混凝土的拉伸作用力,施加的预应力大小以桩侧摩阻力发挥到极限时桩身混凝土基本接近裂缝控制的极限值为宜。预应力抗拔桩是一种非常复杂的力学体系,其工程设计方法至今仍处于半经验半理论的状态,到目前为止还没有成熟的设计标准。而且,抗拔桩在经上部结构的拉力作用时,预应力钢索的不同加载

点、粘结段长度不同,对抗拔桩的抗拔承载力和抗拔桩桩体以及桩体周围土体的变形特性也有着一定的影响。

2.2 如何最大程度地发挥桩侧土体的摩阻力,提高抗拔桩的承载力

目前很多学者都在研究抗拔桩承载机理,通过对影响抗拔桩侧摩阻力和极限承载力各种因素的分析研究,提出了一些提高抗拔桩承载力的方法,其中也有几位研究者提出通过改变桩的上拔力着力点之类的构造措施来提高其抗拔承载力,但研究还不够深入,尤其是对于预应力抗拔桩的设计和施工基本上是无章可循,笔者认为这种研究思路是很有价值的。

就目前来看,对于抗拔桩性能的研究可采用3种方法:现场试验、模型试验和理论分析法。现场试验能真实体现桩的实际受力和变形情况,其结果最为可靠,但因试验经费过于庞大,原型桩的试验过于困难等,而且地层、岩土性质变化大,可重复性小,所得成果多不理想。模型试验采用模拟抗拔桩的边界地层条件、工艺、桩体材料、受力情况,对抗拔桩的工作性能的普遍规律进行研究。理论分析法包括解析法和数值计算法,前者比较简单、明确,但只适合于简单的工程问题。而对于以研究为目的的计算分析,采用数值计算更为合理。

近年来,有限元法被广泛用于包括桩基的各类建筑物的设计计算中,用有限元法分析群桩共同作用的主要机理,并以它作为指导实际工程以及探索和校核工程的实用简化计算方法,有着重要的实际意义。这类方法既能考虑地基土的不均匀性、非线性和各项异性等特征,也考虑桩土的滑移,因此是分析桩工作性能的有效手段。其缺点是计算所需的参数难求,但此法用于与实际量测结果相验证,以及研究各种因素对桩承载性能的影响值得借鉴。

很多学者在对抗拔桩承载机理的研究中,通过对影响抗拔桩侧摩阻力和极限承载力各种因素的研究,提出了上述一些提高抗拔桩承载力的方法,其中也有几位研究者提出通过改变桩的上拔力着力点之类的构造措施来提高其抗拔承载力,虽然研究还不够深入,但这种研究思路是很有价值的,有待于进一步研究。

2.3 解决永久性抗拔桩的预应力的耐久性问题

永久性抗拔桩的使用年限一般都在50年以上,而预应力抗拔桩是基于预应力保持有效的前提进行

(下转第11页)

表 2 加固前和加固后沉降预估计算结果

序号	计算工况	塘渣高度 /m	预估总沉降量 /mm	施工期及预压期瞬时 沉降预估沉降量/mm	预估工后固结沉降 沉降量预估/mm	备注
1	1.5 m 有较稳定的① ₂ 层粘土	1.5	181	59	122	加固前
2	4.5 m 缺失较稳定的① ₂ 层粘土	4.5	579	149	430	加固前
3	1.5 m 有较稳定的① ₂ 层粘土	1.5	88	26	62	加固后
4	4.5 m 缺失较稳定的① ₂ 层粘土	4.5	125	46	79	加固后

锚杆静压桩加固机理是利用锚杆桩将上部结构部分荷载通过桩传给地基较深较好的持力层,减轻其荷载,从而达到控制建筑物过大沉降及不均匀沉降的目的。

3.2.2 锚杆静压桩托换基础加固施工工艺

锚杆静压桩托换基础加固施工工艺为:利用原有建筑物(地坪)的自重,先在基础相应位置上埋设锚杆,借锚杆反力通过反力架,用千斤顶将预制好的桩逐节压入基础上开凿出来的桩孔内,每节桩桩长 2.0~3.0 m(单节桩长根据底层空间高度确定),接桩采用焊接的方法,压桩至设计深度或达到设计压桩力后,立即将桩与基础连接锚固,当施工完成后该桩便能承受上部荷载同时阻止建筑物继续沉降,迅速起到基础托换加固作用。

场地有塘渣回填,需加固处均为原河塘位置(回填厚约 4 m),在锚杆桩施工前应先用地钻机进行引孔,然后再进行锚杆桩施工。

采用气动潜孔锤干钻施工引孔,引孔孔径 250 mm。锚杆桩采用预制 200 mm × 200 mm 混凝土方桩。

(上接第 7 页)

设计的。所以在实际工程中,必须要切实解决永久性预应力抗拔桩的预应力的耐久性,确保在使用年限前能保证预应力的有效性。

3 结语

综上所述,预应力抗拔桩是抗拔桩发展的必然趋势,在将来的工程中应用会越来越普遍。但对于预应力在抗拔桩中应用,特别是对于部分粘结预应力抗拔桩这种利用桩体本身来作为预应力体系的抗拔桩还需进一步更深入的实践、研究,以满足工程实际的需要。

参考文献:

- [1] 刘祖德. 抗拔桩基础[A]. 刘金励. 桩基工程技术[C]. 北京: 中国建材工业出版社, 1996. 642 - 674.

4 经济技术指标

本工程治理费用见表 3,采用本文所述方案,比常规的桩基-筏板托换体系节省投资 30%,有针对性地解决了工程难题。

表 3 工程造价估算表

工作内容	单价	工程量	小计/元
袖阀管法施工	10246 元/10 m ³	163 m ³	167100
锚杆静压桩施工	3931 元/100 m	5800 m	227998
合计		395098 元	

5 结语

此方案实施后,通过一年时间的跟踪观察,加固达到了预期效果,满足使用要求。

参考文献:

- [1] 张民庆,等. 袖阀管注浆工法在国内工程施工中的应用[J]. 探矿工程,1999,(5).
- [2] 熊厚金,等. 袖阀管灌浆法工程实录[C]. 中国锚固与注浆工程实录选[M]. 北京: 科学出版社,1995.
- [2] 王维雅. 钻孔灌注桩抗拔荷载的传递机理研究[J]. 合肥工业大学学报,1998,21(4):71-77.
- [3] 郭增强,赵玉成,胡朝阳. 岩层中抗拔桩的有限元分析[J]. 铁道标准设计,2004,(1):35-40.
- [4] 王志明,冯健. 预应力挖孔灌注抗拔桩的工程应用[J]. 建筑技术,2002,33(12):920-921.
- [5] 丁仕辉,陆岸典. 深基坑预应力桩墙支护新技术[J]. 地基基础工程,2003,7(2):76-78.
- [6] 王耀,赖金耀,周铭灯,等. 预应力抗拔灌注桩施工技术[J]. 建筑技术,2005,(3):212-213.
- [7] 冯君,谢涛. 数值仿真在抗拔桩承载性能分析中的应用[J]. 建筑技术开发,2003,30(3):30-50.
- [8] 范建洲. 浅谈混凝土裂缝缺陷[J]. 山西建筑,2001,27(4):20-21.
- [9] 杜广印,黄锋,李广信. 抗压桩与抗拔桩侧阻的研究[J]. 工程地质学报,2000,8(1):91-93.
- [10] 何思明. 抗拔桩破坏特性及承载力研究[J]. 岩土力学,2001,22(3):308-310.
- [11] 王之军,毛志新,刘建平. 等截面抗拔桩极限承载力的灰色预测[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(增刊):63-64.