Civil Engineering and Technology
September 2013, Volume 2, Issue 3, PP.48-53

Detection of Anti-floating Anchor in the Underground Space Structure

Jianhui Han†, Ningwei Wang, Yuyang Wang

School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, 110168, China

†Email: hanjian_cool@126.com

Abstract

The uplift test on anchor plays an important role in geo-anchorage, and is the essential component of the specification. A comparison of the existing specifications on the anchor detection in domestic has been made in this paper, from which the appropriate ones are selected to determine the conditions about loading and test termination. The uplift resistance and relevant parameters of anchor are obtained from the basic and acceptance experiment of some project on anti-floating anchor, which provides reference for the design of anti-floating engineering; then the analysis on the deflection of anchor is made to validate the design.

Keywords: Anti-floating Anchor; Basic Experiment; Acceptance Experiment; Bearing Capacity; Trial Load; Deformation Analysis; Termination Conditions

地下空间结构抗浮锚杆的检测

韩舰辉，王宁伟，王宇阳

沈阳建筑大学 土木工程学院，辽宁 沈阳 110168

摘 要：锚杆抗拔试验在岩土锚固技术中具有十分重要的作用，也是相关规范中必不可少的内容。文章对国内现行有关锚杆规范中锚杆检测部分进行对比分析，合理选取锚杆的试验方法与相关规定，确定试验荷载、试验终止条件等。通过某工程抗浮锚杆的现场基本试验和验收试验，确定了锚杆的抗拔力和相关参数，为抗浮工程的设计提供依据，并对锚杆进行变形分析，验证锚杆设计的合理性。

关键词：抗浮锚杆；基本试验；验收试验；抗拔力；试验荷载；变形分析；终止条件

引言

随着经济的快速发展，城市地下空间得到了充分的开发和利用。在地下工程中，当地下水位高、结构荷载不能抵抗地下水的浮力时，地下建筑的抗浮问题显得越来越重要。目前，地下工程的抗浮问题普遍采用抗浮锚杆法、压重法或抗浮桩来解决，其中抗浮锚杆具有单点受力小、底板结构受力均匀合理、造价低廉、施工便捷等特点，可大大节省整个抗浮结构的工程造价，因此在实际工程中得到广泛采用。

抗浮锚杆检测分为基本试验、验收试验与蠕变试验。其中基本试验是确定锚杆的极限承载力和锚杆参数的合理性，为锚杆设计、施工提供依据；验收试验是对锚杆施加大于设计轴向拉力值的短期荷载，以验证工程锚杆是否具有与设计要求相近的安全系数；蠕变试验是合理地确定锚杆的设计参数和荷载水平，并且采取适当措施，控制蠕变量，从而有效控制预应力损失。

目前国内抗浮锚杆的检测规范版本较多，各规范规定的锚杆检测内容和取值也不尽相同，按规范施行时间先后顺序列举若干：《锚杆施工规范》（CECS22-89-1）、《土层锚杆设计与施工规范》（CECS22：90）、《锚杆喷射混凝土支护技术规范》（GB50086-2001）、《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2002》、《建筑边坡工程技术规范》（GB50330-2002）、《岩土锚杆技术规程》（CECS_22：2005）、《建筑地基基础设计规范》（GB_50007-2011）。各规范具有一定的异同性与传承性。

本文依据《建筑边坡工程技术规范》（GB50330-2002）[1]（以下简称《边坡规范》）、《岩土锚杆技术规程》（CECS_22：2005）[2]（以下简称《锚杆规程》）与《建筑地基基础设计规范》（GB_50007-2011）[3]（以下简称《基础规范》），对某工程抗浮锚杆进行了锚杆基本试验和验收试验，合理选择试验方法，得出相关结论，并对锚杆进行变形分析。

2 工程概况

某工程位于丹东市，包括1栋4层酒楼、1栋9层商务酒店、1栋4层洗浴中心、1栋19层五星级酒店（四层裙房）、2栋23层甲级写字楼及2～6层商业裙房组成，工程采用筏板基础，基础底部埋深约-12.0m。根据地勘报告，该场地地层自上而下依次为：杂填土、粉质粘土、砾砂、碎石、圆砾、强风化变粒岩、中风化变粒岩。

地下水主要为赋存于砾砂层和圆砾层中的孔隙潜水，具一定承压性，地下水与地表水联系密切，由于临近鸭绿江水，地下水位埋深受潮汐影响较大，地下水补给来源为大气降水及鸭绿江江水及花园河水。勘察期间勘探深度内地下水初见水位埋深2.80-5.40m，稳定水位埋深2.80-4.60m。

由于地下水埋深较浅，筏板基础承受地下水的浮力作用。本工程采用抗浮锚杆来解决筏板基础抗浮问题。锚杆杆体采用内置4根$K_{40}Si_2MnV$精轧螺纹钢筋，钢筋直径为Φ32。锚杆孔径取150mm，注浆方式采用高压注浆。[4]

3 锚杆的基本试验

锚杆基本试验是锚杆性能的全面试验，目的是确定锚杆的极限承载力和锚杆参数的合理性，为锚杆设计、施工提供依据。各规范和规程均对抗浮锚杆基本试验的检测范围进行了规定，即新型锚杆或已有锚杆用于未曾应用过的地层时均应进行基本试验。

3.1 各规范基本试验要求的对比与选取

3.1.1 最大试验荷载

抗浮锚杆基本试验，不同的规范要求不尽相同，《边坡规范》、《基础规范》规定基本试验最大试验荷载（Q_{max}）不宜超过锚杆杆体承载力标准值的0.9倍，《锚杆规程》规定基本试验最大试验荷载不宜超过锚杆杆体极限承载力的0.8倍。各规范标准的表述虽不尽相同，但基本试验的最大试验荷载与锚杆杆体强度是相联系的。对基本试验的最大试验荷载的选择，再参考《基桩检测规范》[5]中对单桩竖向抗拔静载试验中的终止加载条件：“按钢筋抗拉强度控制，桩顶上拔荷载达到钢筋抗拉强度的0.9倍”的规定。本工程基本试验采用《边坡规范》、《基础规范》中规定的最大试验荷载要求[6]。

3.1.2 加、卸荷方式

基本试验是要模拟锚杆实际使用受力状态，根据锚杆实际受力特性选取循环加、卸荷载法是合适的。除《边坡规范》外，其余两本规范的基本试验方法均采用6次循环，每级加、卸荷的观测时间、次数及稳定标准也大致相同，“在每级加载观测时间内，测读锚头位移不应少于3次”，“在每级加载观测时间内，当锚头位移增量不大于0.1mm时，可施加下一级荷载；不满足时应在锚头位移增量2小时以内小于2mm时再施加下一级荷载”。只在每级的加、卸荷量略有区别，《边坡规范》采用的是4次循环，“每级荷载施加或卸除完毕后，应立即测读变形量”，“在每次加、卸荷时间内应测读锚头位移二次，连续二次测读的变形量：岩石锚杆均小于0.01mm，砂质土、硬粘性土中锚杆小于0.01mm时，可施加下一级荷载”。基本试验对锚杆施加循环荷载是为了区分锚杆在不同等级荷载作用下的弹性位移与塑性位移，以判断锚杆参数的合理性和确定锚杆的极限拉力。笔者认为6次循环和多次观察以及较长的检测时间是必要的，所以本工程采用《基础规范》规定的锚杆基本试验循环加卸载等级与位移观测间隔时间。

3.1.3 基本试验终止标准

各规范对基本试验终止条件都有“后一级荷载产生的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生的位移增

量的2倍”的规定和“锚头位移持续增长”或“锚头位移不收敛”的规定，其中只有《锚杆规程》中提出“锚杆杆体破坏”的条件，但考虑到“锚杆的最大试验荷载不超过锚杆杆体承载力标准值的0.9倍，所以笔者认为此条件不是十分必要。《边坡规范》与《基础规范》中规定“锚头总位移量超过设计允许值”是合理的，因为即使锚头位移稳定，但总位移量过大，锚杆就已经失去了工程使用价值。

3.2 荷载-位移(Q~S)曲线

《边坡规范》、《锚杆规程》与《基础规范》均规定“试验完成后，应根据试验数据绘制荷载-位移（Q~s）曲线、荷载-弹性位移（Q~s_e）曲线和荷载-塑性位移（Q~s_p）曲线”。

本工程对抗浮锚杆进行了基本试验,锚杆的破坏均为整体拔出破坏，试验结果如表1。

表 1 锚杆极限承载力标准值成果表

试验锚杆编号	试验相对标高(m)	锚杆长度(m)	锚杆孔径(mm)	岩土层名称	极限承载力标准值(kN)	对应位移(mm)
1	-11.10	10.20	150	中风化变粒岩	940	7.78
2	-11.0	9.80	150	中风化变粒岩	940	7.60
3	-11.20	9.20	150	中风化变粒岩	830	9.00
4	-10.90	8.80	150	强风化变粒岩	830	8.20
5	-10.90	10.00	150	强风化变粒岩	830	7.15
6	-10.80	10.80	150	强风化变粒岩	830	10.26

从表1试验结果可以看出，在相近的地质条件下，锚固于中风化变粒岩中抗浮锚杆的极限承载力高于锚固于强风化变粒岩的承载力[7]。由表1得到的荷载位移曲线绘如图1~图2。

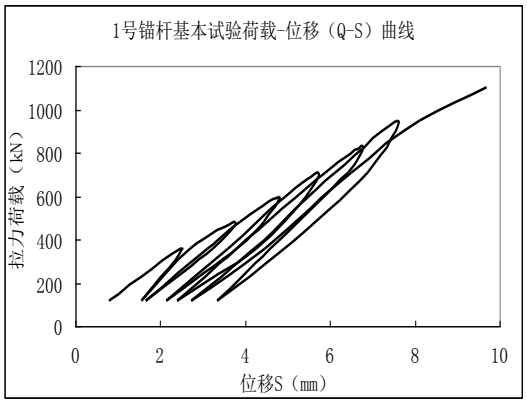


图1 1号锚杆Q~S曲线

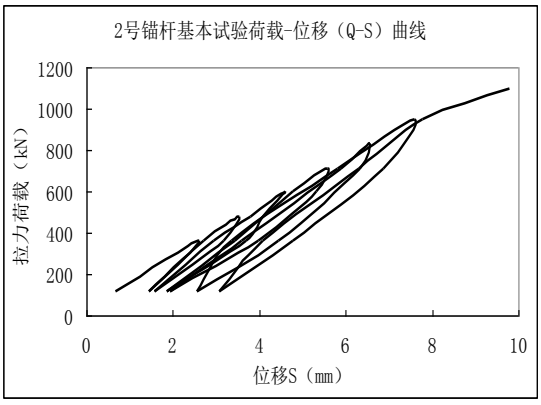


图2 2号锚杆Q~S曲线

3.3 荷载-弹性位移、塑性位移(Q~S)曲线

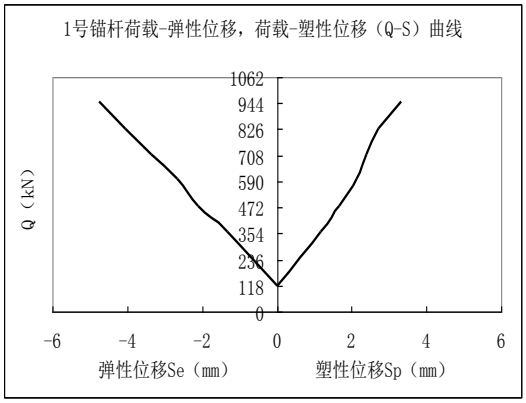


图 3 1 号锚杆荷载-弹性位移、塑性位移 Q~s 曲线

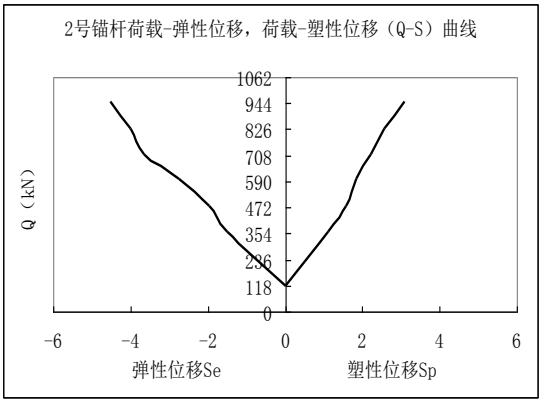


图 4 2 号锚杆荷载-弹性位移、塑性位移 Q~s 曲线

根据图1与图2的荷载-位移（Q~s）曲线可以得出锚杆的荷载-弹性位移、荷载-塑性位移（Q~s）曲线，如

图3~图4所示。

3.4 锚杆抗拔力

《锚杆规程》、《边坡规范》、《基础规范》规定“单根锚杆的极限承载力取破坏荷载前一级的荷载量；在最大试验荷载作用下未达到破坏标准时，单根锚杆的极限承载力取最大荷载值”；“当每组试验锚杆极限承载力的最大差值不大于30%时，应取最小值作为锚杆的极限承载力”，依据规范规定，并由表1可以看出，本工程抗浮锚杆极限承载力标准值可采用830kN。

4 锚杆验收试验

4.1 最大荷载值与加载方式

《锚杆规程》、《边坡规范》和《基础规范》规定的验收试验均为分级加载，只是对每级加载的量与观测时间有所差别，本工程采用《基础规范》中“试验最大荷载值按$0.85A_S f_y$确定”循环方式也按《基础规范》中“采用单循环法，按试验最大荷载值的10%、30%、50%、70%、80%、90%、100%施加”， 抗浮锚杆拉拔验收试验结果如表2。

表 2 抗浮锚杆拉拔验收试验结果汇总表

试验序号	试验编号	锚杆抗拔承载力特征值(kN)	锚杆抗拔承载力特征值对应位移量(mm)	试验最大加载值 (0.85×极限承载力标准值)(kN)	累计最大位移量(mm)	残余位移量(mm)	回弹率(%)
1	1-1-1	400	7.47	680	15.96	5.96	62.60
2	1-7-2	400	7.33	680	15.66	5.54	64.60
3	2-3-4	400	8.67	680	17.66	4.54	74.29
4	3-1-4	400	8.33	680	18.33	5.40	70.54

4.2 荷载-位移(Q~S)曲线

锚杆试验完成后，绘制的锚杆荷载-位移曲线（Q~s）曲线图如图5~图6所示。

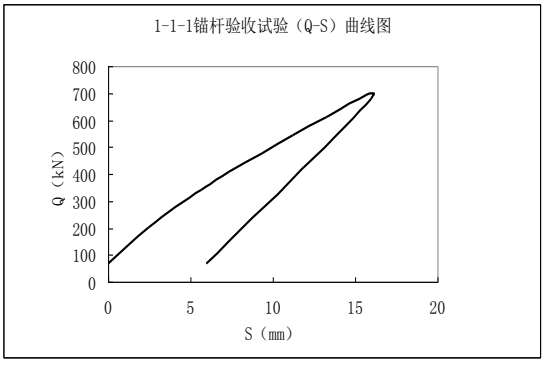


图 5 1-1-1 锚杆验收 Q~s 曲线

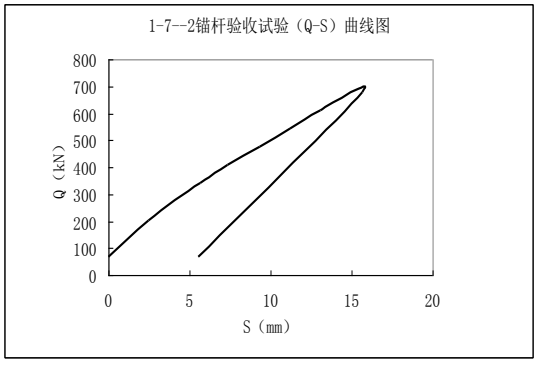


图 6 1-7-2 锚杆验收 Q~s 曲线

4.3 锚杆变形分析

一般情况下，锚杆的塑性变形很小，可忽略不计，通过对锚杆的预张拉可基本消除接触间隙的影响，因此锚杆的总位移量S_0可以用锚杆自由段的弹性变形S_1、锚杆锚固段的拉伸变形S_2和锚杆锚固段与周围土体间的相对剪切位移S_3来表示：

$$S_0 = S_1 + S_2 + S_3 \tag{1}$$

锚杆自由段受到的拉力是张拉荷载，因此由虎克定律可知：

$$S_1 = \frac{PL_f}{E_a A_c} \tag{2}$$

式中，L_f为锚杆的自由段长度；P为锚杆所受的张拉荷载；A_c为锚杆的截面积；E_a为锚杆的有效弹性模量，

可由下式计算，$E_a=\frac{E_sA_s+E_cA_a}{A_s+A_a}$，$E_s$，$E_c$ 分别为钢筋和锚杆浆体的弹性模量；A_s，A_a 分别为钢筋和锚杆浆体的截面积。

在张拉荷载较小时，可将锚固段的拉伸变形视为弹性变形。锚杆锚固段弹性变形可按下式计算：

$$S_2=\frac{PL_m}{3E_aA_c} \tag{3}$$

式中 L_m 为锚杆体的锚固段长度。[8]

根据公式(2)与公式(3)得出抗浮锚杆弹性变形试验实测值与理论值，结果如表3，表3中80%S_1为锚杆自由段杆体理论伸长值的80%，S_1+1/2S_2为锚杆自由段长度与1/2锚固段长度之和的理论弹性伸长值。

表3 抗浮锚杆弹性变形值汇总表

试验序号	锚杆长度/m	自由段长度/m	锚固段长度/mm	试验最大加载值/KN	试验实测弹性位移/mm	80%S_1/mm	S_1+1/2S_2/ mm
1	11	6	5	680	10.00	9.2	10.8
2	11	6	5	680	10.12	9.2	10.8
3	11	8	3	680	13.12	12.27	13.24
4	11	8	3	680	12.93	12.27	13.24

4.4 验收合格条件

《锚杆规程》、《边坡规范》和《基础规范》均规定符合“锚杆弹性变形不小于自由段长度变形计算值的80%，且不大于自由段长度与1/2锚固段长度之和的弹性变形计算值”，若测得的弹性位移远小于相应荷载下自由段杆体理论伸长值的80%，则说明自由段长度小于设计值，因而当出现锚杆位移时将增加锚杆的预应力损失。若测得的弹性位移大于自由段长度与1/2锚固段长度之和的理论弹性伸长值，则说明在相当长范围内锚固段注浆体与杆体间的粘结作用已被破坏，锚杆的承载力将受到严重削弱，甚至将危机工程安全，由表3可以看出本工程抗浮锚杆的弹性变形符合规范的规定。

由表2、表3、图5和图6可以看出，加载至设计值后变形稳定，锚杆弹性变形不小于自由段长度变形计算值的80%，且不大于自由段长度与1/2锚固段长度之和的弹性变形计算值。全部验收锚杆未出现破环现象，均满足设计要求。

5 结论

抗浮锚杆检测试验中，要合理选取国家现行规范中对于锚杆部分的相关试验规定，建议基本试验的最大试验荷载不宜超过锚杆杆体承载力标准值的0.9倍；基本试验的加、卸荷方式应按多次循环及长时间的检测时间原则选取；基本试验中规定“锚头总位移量超过设计允许值”的终止条件是必要的。

通过对现场试验的结果分析，得出在相近的地质条件下，锚固于中风化变粒岩中抗浮锚杆的极限承载力高于锚固于强风化变粒岩的承载力；锚杆试验中要严格监测锚杆的弹性位移，锚杆的弹性位移与预应力损失、锚杆承载力，工程安全问题息息相关，本文给出锚杆弹性变形的理论公式，并与弹性变形的现场实测值进行对比，得出本工程抗浮锚杆的弹性变形符合规范规定；本文的锚固段弹性变形公式是在张拉荷载较小时得出的，当荷载较大时，是否适用，有待于进一步研究。

REFERENCES

[1] 中华人民共和国国家标准.GB50330-2002.建筑边坡工程技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002

[2] 中国工程建设标准化协会标准.CECS22:2005.岩土锚杆（索）技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005

[3] 中华人民共和国国家标准 GB_50007-2011.建筑地基基础设计规范[S]. 北京.中国建筑工业出版社.2011

[4] 朱作为, 张雷, 王宁伟, 修彦吉, 韩舰辉.桩锚支护结构中锚杆的检测试验[C]. 辽宁工程勘察与岩土工程学术会议. 2012.

东北大学出版社,工程勘察与岩土工程:162-165

[5] 中华人民共和国行业标准.JGJ106-2003.建筑基桩检测技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003

[6] 齐军, 林通, 杜军. 土层抗浮锚杆抗拔力试验和检测问题的探讨[J]. 工程质量,2010,28(7):4-18

[7] 朱作为, 张雷, 王宁伟, 修彦吉,韩舰辉. 地下结构的抗浮锚杆的设计与应用[C]. 辽宁工程勘察与岩土工程学术会议. 2012, 东北大学出版社,工程勘察与岩土工程:162-165

[8] 邹金锋, 李亮, 阮波. 弹性状态下锚杆位移变形分析[J].中国铁道科学,2004,25(5):94-96

【作者简介】



[1] 韩舰辉（1989-），男，汉，硕士生，岩土工程。

Email: hanjian_cool@126.com

[2] 王宁伟（1964-），男，汉，教授，岩土工程。

Email: sy_wnw@163.com

[3] 王宇阳（1987-），女，汉，硕士生，岩土工程。

Email: fashionyoung123@sina.com