

江苏建科建筑技术培训中心

锚杆承载力试验

—— 补充讲义 ——



仲海蓓 高级工程师

参培须知

- 1、参培学员应按课程表和分班表中的内容、时间及要求参加培训。
- 2、参培学员应服从教务安排，不得无故缺席、早退，认真做好笔记，课堂上应将手机调至静音或关机状态。
- 3、培训期间须爱护一切公物，禁止在课桌上乱写乱画，如有损坏须照价赔偿。严禁吸烟，不得随地吐痰，不得乱扔纸屑和其它杂物。
- 4、培训期间学员须自行保管好学习资料及财物，如有遗失责任自负。
- 5、学员食宿自理，住宿请按酒店入住要求办理相关手续。
- 6、参培企业**发票统一快递**，能力水平评价期间不予换领发票。
- 7、本期能力水平评价具体时间和准考证打印，请关注**江苏建科建筑技术培训中心网站 <http://jkpx.jsqjc.com/>**。
- 8、会务专用房间：民国楼一楼 B101 咨询电话：13770773113 田老师
- 8、培训地点：**南京市鼓楼区中山北路 178 号 华江饭店 民国楼二楼(V288)**。

培训地点路线图



2019年全省第四期建设工程质量检测人员培训班 培训课程及分班表

日期	时间		培训方式	培训项目	参培地区
11.19 ~ 12.09	全天		网络培训	静载试验（检测员班）	缴费完成后自动开通
			网络培训	静载试验（检测工程师班）	
			网络培训	锚杆承载力试验（检测员班）	
			网络培训	锚杆承载力试验（检测工程师班）	
			网络培训	取芯法检测（检测员班）	
			网络培训	取芯法检测（检测工程师班）	
11.24 周日	全天	09:30 ~17:30	报到、办理相关手续，领取培训讲义		
11.25 周一	上午	08:00 ~10:00	面授培训	高应变法检测（检测员班）	全省
	上午	10:00 ~12:00	面授培训	高应变法检测（检测工程师班）	全省
	下午	13:00 ~15:00	面授培训	声波透射法检测（检测员班）	全省
	下午	15:00 ~17:00	面授培训	声波透射法检测（检测工程师班）	全省
11.26 周二	上午	8:30 ~11:30	面授培训	低应变法检测（检测工程师）	全省
	下午	13:30 ~15:00	面授培训	低应变法检测（检测员班）	全省

备注：本期学员请按规定的分班班次参加培训。

目 录

第一部分 锚杆承载力试验-----	1
第一节 概述-----	1
第二节 锚杆的结构与分类-----	1
第三节 土层锚杆的作用机理-----	3
第四节 锚杆设计施工要点-----	4
第五节 锚杆现场抗拔试验-----	6
第二部分 土钉抗拔试验-----	21
第一节 概述-----	21
第二节 土钉墙设计施工要点-----	23
第三节 土钉现场抗拔试验-----	25
第四节 土钉抗拔试验实例-----	28

第一部分 锚杆承载力试验

第一节 概述

锚杆是一种将拉力传递到稳定的岩层或土体的构件。它通常包括杆体（由钢绞线、钢筋、特制钢管等筋材组成）、注浆体、锚具、套管和可能使用的连接器。当采用钢绞线或高强钢丝束作杆体材料时，也称锚索。

锚杆按应用对象可分为岩石锚杆和土层锚杆两种。土层锚杆是在岩石锚杆的基础上发展起来的。1958年原联邦德国的 Karl Bauer 公司在深基坑开挖中，为固定挡土墙首次在非粘性土层中采用了土层锚杆。

由于锚杆具有一系列的优点，在岩土工程中得到广泛应用。锚杆不仅用于深基坑临时支护结构，而且在永久性建筑工程中亦得到应用，如地下室抗浮锚杆。

第二节 锚杆的结构与分类

锚杆主要由锚头、自由段、锚固段组成，如图 1.2.1 所示。



图 1.2.1 锚杆结构示意图

1. 锚头：锚杆外端用于锚固或锁定锚杆拉力的部件，由垫墩、垫板、锚具、保护帽和外端锚筋组成。

2. 锚固段：通过注浆体，实现锚杆杆体与岩土体之间力的传递的锚杆区段。

3. 自由段：从锚头锁定点至锚杆锚固段最近端的锚杆区段。

锚杆的分类方法较多。

1. 按锚杆应用对象：可分为岩石锚杆、土层锚杆。

2. 按是否加预应力：可分为预应力锚杆、非预应力锚杆。预应力锚杆应用较多，其锚筋一般采用精轧螺纹钢（直径 $\phi 25 \sim \phi 32$ ）或钢绞线。典型结构示意图见图 1.2.2 所示。

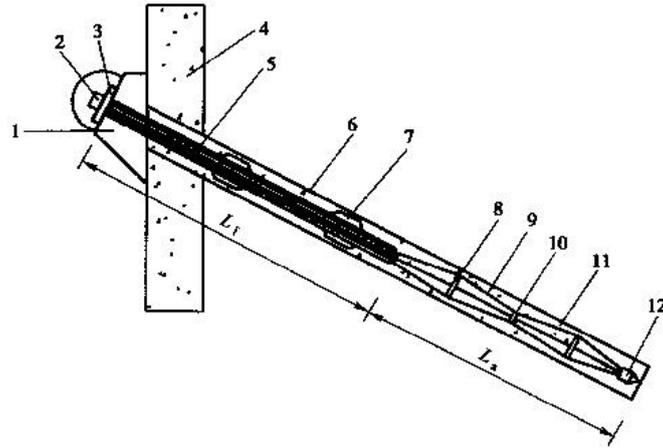


图 1.2.2 锚杆结构示意图

1-台座；2-锚具；3-承压板；4-支挡结构；5-自由隔离层；6-钻孔；7-对中支架；8-隔离架；9-钢绞线；10-架线环；11-注浆体；12-导向幅； L_f -自由段； L_a -锚固段

3. 按锚杆的锚固形态：可分为圆柱形锚杆、端部扩大型锚杆、连续球型锚杆。

4. 按锚杆的设计使用期：可分为永久性锚杆（2 年以上）、临时性锚杆。深基坑工程中的锚杆一般为临时性锚杆，山体边坡支挡、地下室抗浮用锚杆一般为永久性锚杆。

5. 按锚杆的锚固段注浆体受力形式：可分为拉力型锚杆（将张拉力直接传递到杆体锚固段，锚固段注浆体处于受拉状态的锚杆）、压力型锚杆（将张拉力直接传递到杆体锚固段末端，且锚固段注浆体处于受压状态的锚杆）、荷载分散型锚杆（在同一个钻孔内，由两个或两个以上独立的单元锚杆所组成的复合锚固体系）。

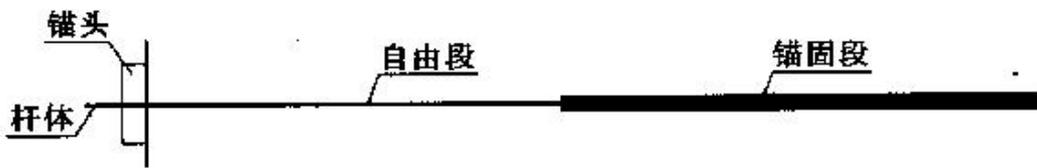


图 1.2.3 拉力型预应力锚杆示意图



图 1.2.4 压力型预应力锚杆示意图

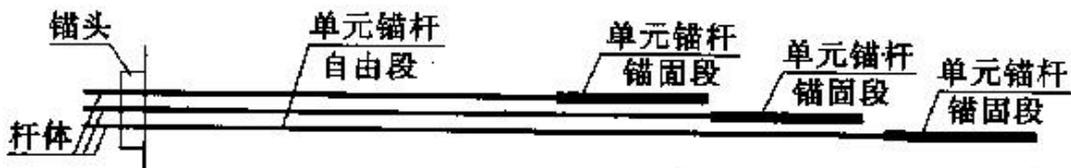


图 1.2.5 荷载分散型锚杆示意图

除此之外，按锚固机理还可分为有粘结锚杆、摩擦型锚杆、可拆芯式锚杆等等。

第三节 土层锚杆的作用机理

土层锚杆是深基坑支护工程中的一项实用技术。锚杆长度根据土体潜在滑裂面，分为自由段 L_f 和锚固段 L_a 两部分：锚固段是通过注浆体将拉力传递到周围稳定土层中的杆件部分，是锚杆受力的主体，自由段位于不稳定土层中，处于自由段的锚杆杆体与土层脱离，一旦土层滑动，它可以自由伸缩，其利用弹性伸长将拉力传递给锚固体。

试验证明锚杆受力时，沿锚固段全长分布的粘结应力是很不均匀的。特别当采用较长的锚固段时，受荷初期，粘结应力峰值在锚固段前段，并随荷载增大峰值向锚固段根部转移，前段的粘结应力则显著下降。当荷载进一步增大，粘结应力峰值传递到接近锚固段根部，在锚固段前部较长范围内，粘结应力进一步下降，甚至趋近于零。由此可见，能有效发挥锚固作用的粘结应力分布长度是有一定限度的。也就是说，平均粘结应力随着锚固段的长度的增加而减小。

利用预应力筋自由段（张拉段）的弹性伸长，对锚杆施加预应力，由锚头、预应力筋、锚固体组成预应力锚杆。

土层锚杆的抗拔承载能力受拉杆强度、拉杆与锚固体之间的握裹力、锚固体与土体之间的摩阻力等因素影响。单根锚杆的承载力主要决定于：锚杆拉杆的抗拉极限强度；拉杆与锚固体（注浆体）之间的极限握裹力；锚固体与土体之间的极限摩阻力。对于土层锚杆，一般情况下拉杆强度、拉杆与锚固体之间的握裹力总是比较大的，所以锚杆的承载能力主要决定于锚固体与土体之间的极限摩阻力。

土层锚杆的承载能力主要与下列因素有关：

（1）随土体密度的增加，土层锚杆的承载能力迅速提高，在粘性土体中的土层锚杆的承载能力，还随土体塑性指数的提高而减小；

（2）土层锚杆的承载能力与锚固体长度成正比，但在砂性土中承载能力的增值，随着锚杆长度的增长而递减。锚固体的适宜长度为 6~12m。在粘性土中当锚固体直径为 90~160mm 时，土层锚杆的承载能力与直径成正比。

（3）土层锚杆的承载能力与成孔方法（冲击或螺旋钻孔）无明显影响，而与灌浆压力有关，尤其采用二次劈裂注浆时承载能力明显提高。

（4）土层锚杆的锚固段形式对承载能力有显著影响。例如锚杆端部形成扩大头，或以机械扩成几个连续球型，锚杆的承载能力增大很多。

第四节 锚杆设计施工要点

关于锚杆的设计与施工, 许多规范均有介绍, 主要是各自应用侧重点不同, 介绍内容有出入。本讲义根据《建筑基坑支护设计技术规程》(JGJ120-2012), 对锚杆的设计和施工简述如下。

一、锚杆的设计应用要点:

1. 锚杆的地层适用条件:

(1) 避免将锚固体设置在边坡或支挡结构后侧极限平衡状态的破裂面之内以及滑坡地段和有可能顺层滑动地段的滑动体以内;

(2) 在未经处理的有机质土、液限 $w_l > 50\%$ 的土层及相对密实度 $D_r < 0.3$ 的砂土层不宜做锚固土层;

(3) 设置在岩层的锚固段应尽量避免基岩的破碎带;

(4) 有节理构造面存在时, 应分析锚固受力之后对基岩稳定性的影响, 当有不利影响时, 应予以避开;

(5) 要注意锚固段的蠕变特性, 尽量将锚固段避开软土层, 设置在蠕变性小的基岩层、密实的砂土层和硬粘土层;

(6) 锚固段尽量避开地下水位高, 成孔施工会流砂的粉砂、粉土等土层;

(7) 锚固段应避开地下水流速较大, 注浆体不能固结的填土或卵石地层;

(8) 当环境保护不允许在支护结构使用功能完成后锚杆杆体滞留在地层内时, 应采用可拆芯式钢绞线锚杆;

(9) 在复杂地质条件下, 应通过现场试验确定锚杆的适应性。

2. 锚杆的设计要点

(1) 基坑支护中采用的锚杆, 其设计使用期不应小于 12 个月。

(2) 锚杆的极限抗拔承载力应符合下式要求:

$$R_k/N_k \geq K_t$$

其中 K_t : 锚杆抗拔安全系数, 安全等级为一级、二级、三级的支护结构, 该值不应小于 1.8、1.6、1.4; N_k : 锚杆轴向拉力标准值, 按规程第 4.7.3 条计算; R_k : 锚杆极限抗拔承载力标准值。

(3) 锚杆极限抗拔承载力标准值的确定:

1) 按规程规定的试验方法现场试验确定;

2) 也可根据锚杆的极限粘结强度标准值 (规程建议值), 按规程 (4.7.4) 式计算确定。

(4) 当锚杆锚固段主要位于粘土层、淤泥质粘土层、填土层时, 应考虑土的蠕变对锚杆预应力损失的影响, 并应根据蠕变试验确定锚杆的极限抗拔承载力。

(5) 锚杆的非锚固段长度应按规程 (4.7.5) 式计算确定, 且不应小于 5.0m。

(6) 锚杆杆体的受拉承载力应符合杆体材料强度要求, 即锚杆轴向拉力设计值应小于或等于锚

杆材料抗拉强度设计值与锚杆截面积的乘积，具体按规程（4.7.6）式验算。

（7）锚杆锁定值宜取锚杆轴向拉力标准值 N_k 的（0.75-0.9）倍。

3. 锚杆的布置应符合下列规定：

（1）锚杆的水平间距不宜小于 1.5m；对多层锚杆，其竖向间距不宜小于 2.0m；当锚杆的间距小于 1.5m 时，应根据群锚效应对锚杆抗拔承载力进行折减或改变相邻锚杆的倾角。

（2）锚杆锚固段的上覆土层厚度不宜小于 4.0m。

（3）锚杆倾角宜取 15° - 25° ，不应大于 45° ，不应小于 10° ；锚杆的锚固段宜设置在强度较高的土层内。

（4）当锚杆上方存在天然地基的建筑物或地下构筑物时，宜避开易塌孔、变形的土层。

（5）锚杆成孔直径宜取 100mm-150mm。

（6）锚杆自由段长度不应小于 5.0m，且应穿过潜在滑裂面并进入稳定土层不小于 1.5m，钢绞线、钢筋杆体在自由段应设置隔离套管。土层中的锚固段长度不宜小于 6m。

（7）锚杆注浆应采用水泥浆或水泥砂浆，注浆固结体强度不宜低于 20MPa。

二、锚杆的施工要点：

1. 锚杆的成孔应符合下列规定：

（1）应根据土层性状和地下水条件选择套管护壁、干成孔或泥浆护壁成孔工艺，成孔工艺应满足孔壁稳定性要求。

（2）对松散和稍密的砂土、粉土，碎石土，填土，有机质土，高液性指数的饱和粘性土宜采用套管护壁成孔工艺。

（3）在地下水位以下时，不宜采用干成孔工艺。

（4）在高液性指数的饱和粘性土层成孔时，不宜采用泥浆护壁成孔工艺。

（5）当成孔工程中遇不明障碍物时，在查明其性质前不得钻进。

2. 钢绞线或钢筋锚杆注浆应符合下列规定：

（1）注浆液采用水泥浆时，水灰比宜取 0.5-0.55；采用水泥砂浆时，水灰比宜取 0.4-0.45，灰砂比宜取 0.5-1.0，宜选用中粗砂。

（2）基坑采用截水帷幕时，地下水位以下的锚杆注浆应采取孔口封堵措施。

3. 预应力锚杆张拉锁定应符合下列要求：

（1）当锚杆固结体的强度达到 15MPa 或设计强度的 75%后，方可进行锚杆的张拉锁定。

（2）锚杆锁定前，应按锚杆承载力检测值进行锚杆预张拉；锚杆张拉应平稳加载，加载速率不宜大于 $0.1 N_k / \text{min}$ ；在张拉值下的锚杆位移和压力表压力应能保持稳定；当锚头位移不稳定时，应判定此锚杆不合格。

（3）锁定时的锚杆拉应力应考虑锁定过程的预应力损失量；一般锁定时的锚杆拉力可取锁定值的 1.1-1.15 倍。

（4）锚杆张拉过程中出现锚头松弛、脱落、锚具失效等情况时，应及时进行修复并对其进行再次锁定。

第五节 锚杆现场抗拔试验

锚杆抗拔试验方法在《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120-2012)、《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》(GB50086-2015)、《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)、《建筑边坡工程技术规范》(GB50330-2013)、《岩土锚杆(索)技术规程》(CECS22:2005)、江苏省地方标准《建筑地基基础检测规程》(DGJ32/TJ142-2012)等数本规范中均有介绍。其中《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)对岩石锚杆抗拔试验和土层锚杆试验分别介绍,两者试验方法完全不同,“岩石锚杆抗拔试验要点”所采用的是单循环慢速维持荷载法,与基桩抗拔静载试验类似,“土层锚杆试验要点”采用的方法是多循环加载法,与其他规范基本一致。《建筑边坡工程技术规范》(GB50330-2013)仅对锚杆试验要点作了规定。

除了《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)外,其他规范或规程对锚杆的试验方法介绍基本一致,但具体内容略有不同,可操作性不一致,对锚杆检测工作带来困难。所以在选用试验方法时,应根据具体工程的设计要求来确定。在基坑工程中,锚杆的试验方法推荐使用《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120-2012)附录A中的方法。对于基础抗拔锚杆,锚杆的试验方法推荐使用江苏省地方标准《建筑地基基础检测规程》(DGJ32/TJ142-2012)中的方法。

建筑行业标准《锚杆检测与监测技术规程》(JGJ/T401-2017)于2017年9月1日正式施行,该规程专门介绍了锚杆的试验与监测内容,可操作性较强。本讲义重点介绍《锚杆检测与监测技术规程》(JGJ/T401-2017)中的锚杆试验。

一、一般规定

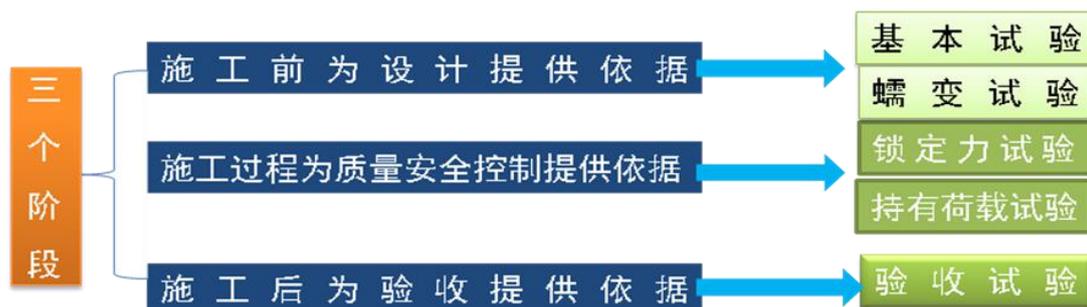
1. 基本定义

(1) 基本实验:工程锚杆正式施工前,为确定锚杆设计参数和施工工艺,在现场进行的锚杆极限抗拔承载力试验。

(2) 蠕变试验:为确定锚杆在不同加荷等级的恒定荷载作用下位移随时间变化规律的试验。

(3) 持有荷载试验:采用液压千斤顶加载,对已锁定的预应力锚杆的锚头进行分级加载,已确定锚杆杆体持有荷载的试验。

(4) 验收试验:为检验工程锚杆抗拔承载力是否符合设计要求而进行的锚杆抗拔试验。



2. 试验锚杆的选择

用于基本试验、蠕变试验的锚杆，其地质条件应具有代表性，设计参数和施工工艺宜于工程锚杆相同；进行持有荷载试验、锁定力测试的工程锚杆应具有代表性。

3. 锚杆检测开始时间

(1) 进行锚杆基本试验、蠕变试验以及基础锚杆验收试验时，锚固段注浆体强度不应低于设计强度的 90%。或锚固段注浆体的龄期应达到 28 天；

(2) 进行支护锚杆验收试验时，锚固段注浆体强度达到 15MPa，或达到设计强度的 75%后进行；

(3) 当进行土钉验收试验时，注浆体强度不应低于 10MPa 或不低于设计强度的 70%。

4. 检测数量

(1) 锚杆基本试验的检测数量，永久性锚杆不得少于 6 根，临时性锚杆不应少于 3 根，土钉不应少于 3 根。

(2) 对锚固段主要位于粘性土层、填土层、全风化与强风化的泥质岩层中或节理裂隙发育张开且充填有黏性土的岩层中的预应力锚杆，宜进行蠕变试验。试验数量不应少于 3 根。

(3) 验收试验的受检锚杆选择，应符合下列规定：

a、施工质量有疑问的锚杆应全部进行锚杆验收试验；

b、应优先选取下列条件中的锚杆：局部地质条件复杂部位的锚杆、设计方认为重要部位的锚杆；其余受检锚杆宜随机选取。锚杆检测数量不应少于锚杆总数的 5%，且不应少于 5 根。土钉验收试验的检测数量不应少于土钉总数的 1%，且不应少于 5 根。

5. 锚杆验收不合格后扩大检测数量

当验收试验出现不合格锚杆、土钉时，应扩大抽检。扩大抽检的数量应为不合格锚杆、土钉数量的 2 倍。

二、仪器设备及其安装

1. 一般规定

(1) 仪器设备应在检定或校准的有效期内，使用前应对仪器设备进行检查调试；当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时，应采取有效的防护措施。

(2) 试验加载装置安装前，应采取措施确保试验锚杆处于独立受力状态，不应受支撑构件、垫层或混凝土面层的影响。

(3) 锚杆基本试验、蠕变试验、验收试验宜采用液压千斤顶加卸载，其作用力方向应与锚杆轴线重合；当采用并联千斤顶同步进行试验时，千斤顶的合力中心应锚杆的作用力方向重合。

2. 试验仪器设备性能指标

- (1) 荷重传感器、压力传感器或压力表的准确度应优于或等于 0.5 级；
- (2) 试验用油泵、油管在最大加载时的工作压力不应超过规定工作压力的 80%；
- (3) 荷重传感器、千斤顶、压力表或压力传感器的最程应与测量范围相适应，测量值宜控制在全量程的 25 %~80%；
- (4) 位移测量仪表的测量误差不应大于 0.1%FS. 分度值/分辨力应优于或等于 0.01mm。

3. 荷载测量装置

荷载量测可采用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定，或采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压，根据千斤顶校准结果换算荷载。

4. 位移测量装置

锚头位移宜采用位移传感器或百分表测量，且应符合下列规定：

- 1) 位移测量方向应与锚杆的轴向变形方向平行；
- 2) 应安装 1~2 只位移测量仪表；
- 3) 位移测量系统应设置基准桩和基准梁，位移测量仪表的基座应固定在基准梁上，不得使用千斤顶作为位移测量基准点；
- 4) 基准桩应优先设置在与试验加载装置不同标高的下一台阶的岩土层中；
- 5) 基准桩、基准梁和固定位移测量仪表的夹具应避免太阳照射、振动及其他外界因素的影响。

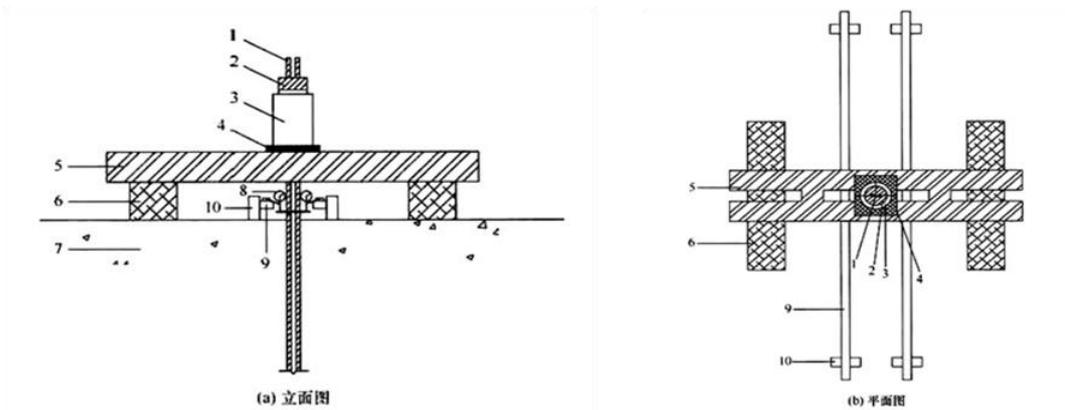
5. 加载反力装置

锚杆试验加载反力装置应符合下列规定：

- 1) 加载反力装置提供的反力不得小于最大试验荷载的 1.2 倍；
- 2) 加载反力装置的构件应满足承载力和变形的要求。

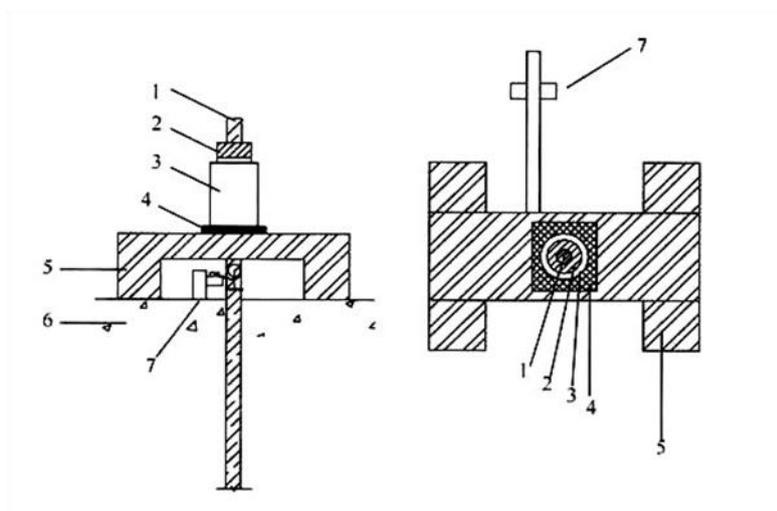
提供加载反力的连续墙、排桩、腰梁、圈梁等支撑构件或喷射混凝土面层，其提供的反力不得小于最大试验荷载的 1.2 倍；加载反力装置施加给岩土层的压应力不宜大于岩土承载力特征值的 1.5 倍。

锚杆试验加载反力装置：支座横梁反力装置、支撑凳式反力装置、承压板式反力装置，具体如下图所示。



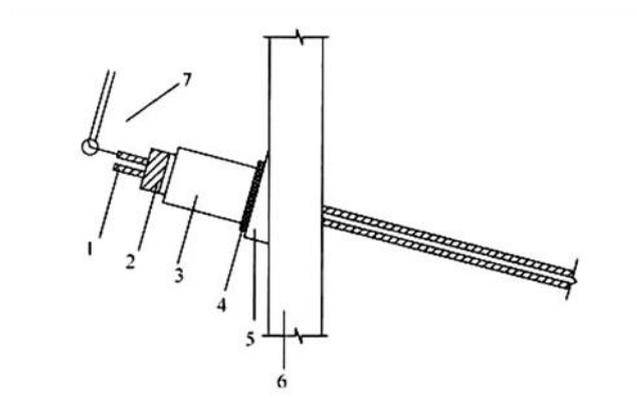
1—试验锚杆 2—工具锚 3—穿心千斤顶 4—垫板 5—主梁 6—反力支座 7—垫层
8—位移测量传感器 9—基桩梁 10—基准桩

支座横梁反力装置示意图



1—试验锚杆或土钉 2—工具锚 3—穿心千斤顶 4—垫板 5—支撑凳
6—喷射混凝土面层、岩土层 7—基桩梁与基准桩

支撑凳式反力装置示意图



1—试验锚杆 2—工具锚 3—穿心千斤顶 4—承压板 5—台座
6—支挡结构 7—位移测量装置

承压板式反力装置示意图

6. 安装要求

锚杆中心、支座边（承压板边）、基准桩中心之间的距离应符合下表要求：

反力装置类型	距 离		
	两支座净距	基准桩中心与锚杆中心	基准桩中心与支座边(承压板边)
支座横梁反力装置	$\geq 4B$ 且 $\geq 6.0d$ 且 $>2.0m$	$>2.0m$	$\geq 1.5B$ 且 $>2.0m$
支撑凳式反力装置	$\geq 3.0d$	$>1.0m$	$\geq 1.0B$ 且 $>1.0m$
承压板反力装置	--	$>1.0m$	$\geq 1.0B$ 且 $>1.0m$

注：1 B为支座边宽或承压板边宽；d为锚杆(土钉)钻孔直径。

2 当按第6条第4款设置基准桩时，基准桩与锚杆距离、基准桩与反力装置的距离可不执行表6.4.1的规定，

三、基本试验

1. 试验目的：确定锚杆的极限抗拔承载力，验证锚杆设计参数和施工工艺的合理性，为锚杆设计、施工提供依据。

2. 试验数量：永久性锚杆不得少于6根，临时性锚杆不应少于3根，土钉不应少于3根。

3. 试验方法：

1) 支护锚杆应采用多循环加卸载法，当有成熟的地区经验时，钢筋锚杆也可采用单循环加卸载法；

2) 基础锚杆应采用分级维持荷载法，也可采用多循环加卸载法；

3) 土钉宜采用单循环加卸载法；

4) 荷载分散型锚杆应采用多循环加卸载法。

4. 基本试验最大试验荷载(Q_{max})预估值的确定

1) 拉力型锚杆应取锚固段注浆体与岩土体之间破坏荷载预估值、杆体与锚固段注浆体之间破坏荷载预估值两者中较小者的(1.0-1.5)倍；

2) 压力型锚杆应取锚固段注浆体与岩土体之间破坏荷载预估值的(1.0-1.5)倍，且不宜超过锚固段注浆体局部抗压破坏荷载的0.9倍；

3) 钢绞线锚杆杆体应力不应超过杆体极限强度标准值的0.85倍；钢筋锚杆杆体应力不应超过杆体屈服强度标准值的0.9倍；

5. 现场操作

1) 预紧 (预加载) —— 钢绞线锚杆

(1) 单束 (单组) 钢绞线的预紧荷载为 $(0.1 \sim 0.2) N_k/n$, 当连续两遍预紧伸长增量不超过 3mm 时, 可终止预紧;

(2) 整束或各组钢绞线宜共同进行预紧, 预紧荷载宜为最大试验荷载的 15%, 荷载施加完成后, 持荷 5min; 卸载并退出全部工具锚夹片。

2) 初始荷载 (Q_0) 的确定

(1) 支护型钢筋锚杆、土钉, 宜取最大试验荷载预估值的 10%;

(2) 支护型钢绞线锚杆, 宜取最大试验荷载预估值的 30%;

(3) 基础锚杆, 宜取 0。

3) 加、卸荷速度

加荷速度宜为 $(0.05 \sim 0.10) N_k/\text{min}$, 卸荷速度宜为加荷速度的 2 倍

4) 锚头位移基准值的确定

(1) 在初始荷载作用下, 应每间隔 5min 测读一次锚头位移;

(2) 当相邻两次锚头位移增量不大于 0.01mm 时, 可视为锚头位移稳定, 取最后一次读数作为锚头位移基准值。

5) 荷载分级及位移测读

(1) 基本试验的多循环加卸载法的荷载分级和锚头位移观测时间:

循环次数	试验荷载值与最大试验荷载预估值的比例 (%)											
	初始荷载	加载过程							卸载过程			
第一循环	10	30	—	—	—	—	—	50	—	—	30	10
第二循环	10	30	50	—	—	—	—	60	—	—	30	10
第三循环	10	30	50	—	—	—	60	70	—	50	30	10
第四循环	10	30	50	—	—	60	70	80	—	50	30	10
第五循环	10	30	50	—	60	70	80	90	70	50	30	10
第六循环	10	30	50	60	70	80	90	100	70	50	30	10
观测时间间隔 (min)		5	5	5	5	5	5	≥10	5	5	5	5

当初始荷载取最大试验荷载预估值的 30% 时, 从第二循环开始试验, 共进行五个循环的加卸载试验, 每个循环均卸载至最大试验荷载预估值的 30%。

在每一循环的非最大荷载作用下, 每级荷载加载或卸载完成后持荷 5min, 并在第 0min、5min

测读锚头位移；在每一循环的最大荷载作用下，加载完成后，应每间隔 5min 测读一次锚头位移，当锚头位移达到稳定标准时，方可卸载。

当加载至最大试验荷载预估值尚未出现规定的终止加载情况时，宜按最大试验荷载预估值 10% 的荷载增量继续进行（1-2）个循环的加卸载试验。

（2）基本试验的**单循环加卸载法**的荷载分级和锚头位移观测时间：

试验荷载值与最大试验荷载预估值的比例（%）											
初始荷载	加载过程							卸载过程			
10	30	50	60	70	80	90	100	70	50	30	10
观测时间 (min)	≥10							5			

当初始荷载取最大试验荷载预估值的 30% 时，从最大试验荷载预估值的 50% 开始试验，并卸载至最大试验荷载预估值的 30%。

每级荷载施加完成后，应每间隔 5min 测读一次锚头位移；锚头位移达到相对稳定标准时，可继续施加下一级荷载；卸载时，每级荷载持荷 5min，并在第 0min、5min 测读锚头位移；当加载至最大试验荷载预估值尚未出现终止加载情况时，宜按最大试验荷载预估值 10% 的荷载增量继续进行（1-2）级加载试验。

（3）基本试验的**分级维持荷载法**应符合下列规定：

- a. 加载应分级进行，采用逐级等量加载，分级荷载宜为最大试验荷载预估值的 1/10，其中，第一级加载量可取分级荷载的 2 倍；卸载应分级进行，每级卸载量可取分级荷载的 2 倍；
- b. 每级荷载施加完成后，应每间隔 5min 测读一次位移；
- c. 锚头位移达到相对稳定标准时，可继续施加下一级荷载；
- d. 卸载时，每级荷载维持 15min，按第 0、5min、10min、15min 测读锚头位移。

6) 锚头位移相对稳定标准

（1）多循环加卸载法、单循环加卸载法：

在 0~30min 观测时间内，当岩石锚杆/土层锚杆/土钉相邻两次锚头位移增量分别不大于 0.05mm/0.10mm/0.20mm 时，可视为位移稳定；

当 30min 内锚头位移仍不稳定时，则应延长观测时间，当岩石锚杆/土层锚杆/土钉出现 1h 内锚头位移增量分别不大于 0.50mm/ 1.00mm/2.00mm 时，可视为位移稳定。

(2) 分级维持荷载法:

当岩石锚杆/土层锚杆 30min 内的位移增量分别不大于 0.05mm/0.10mm, 可视为锚头位移达到相对稳定;

7) 终止加载条件

(1) 锚杆杆体破坏;

(2) 多循环加卸载法中, 本次循环荷载产生的单位荷载下的锚头位移增量达到或超过前一循环荷载产生的单位荷载下的位移增量的 5 倍;

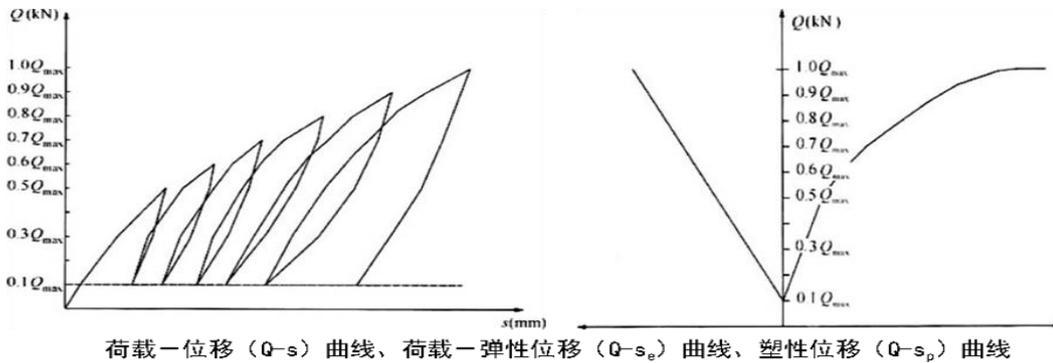
(3) 单循环加卸载法和分级维持荷载法中, 本级荷载产生的单位荷载下的锚头位移增量达到或超过前一等级荷载产生的单位荷载下的位移增量的 5 倍;

(4) 土层锚杆在 3h 内、岩石锚杆在 2h 内, 锚头位移未达到相对稳定标准的;

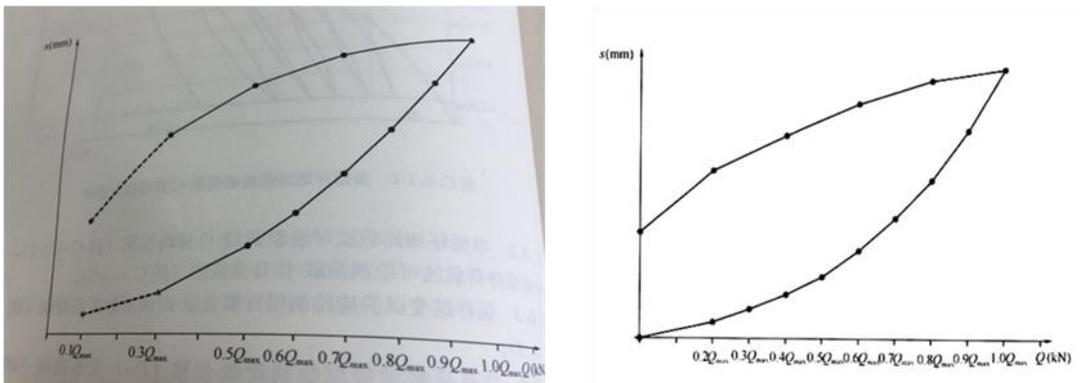
(5) 已加载至最大试验荷载预估值或完成了增加的 (1~2) 级荷载试验, 且锚头位移达到位移相对稳定标准。

8) 检测数据分析与判断

多循环加卸载法绘制锚杆的荷载-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:



单循环加卸载法和分级维持荷载法绘制荷载-位移 (Q-s) 曲线:



单循环加卸载法的荷载-位移曲线

分级荷载法的荷载-位移曲线

单根锚杆极限抗拔承载力 (Q_u) 的确定:

- (1) 符合终止加载条件 1-4 情况之一时, 取前一级荷载值或前一循环最大试验荷载值;
- (2) 符合终止加载条件 5 时, 取最大试验荷载值。

锚杆极限抗拔承载力统计值的确定:

(1) 当其试验结果满足极差不超过平均值的 30% 时, 该批次锚杆极限抗拔承载力 (Q_u) 可取平均值;

(2) 当极差超过平均值的 30% 时, 宜增加试验数量, 并分析极差过大的原因, 结合工程实际情况确定该批次锚杆极限抗拔承载力

基础锚杆抗拔承载力特征值 (R_t) 应按极限抗拔承载力 (Q_u) 的 50% 取值。

预应力支护锚杆弹性变形验算:

- (1) 实测弹性位移量 (s_e) 可取为锚头总位移与卸载至初始荷载时的锚头位移 (塑形位移) 之差;
- (2) 杆体自由段长度的理论弹性伸长值, 可按下式计算:

$$\Delta L_1 = \frac{(Q_{\max} - Q_0)L_{tf}}{EA_s}$$

式中: Q_{\max} — 最大试验荷载 (kN);

Q_0 — 初始荷载 (kN);

L_{tf} — 杆体自由段长度 (m);

E — 杆体弹性模量 (MPa)

A_s — 杆体截面积 (m^2)

(3) 实测弹性位移量应大于该荷载下杆体自由段长度的理论弹性伸长值的 80%; 预应力锚杆弹性变形不满足上述要求时, 应建议设计单位和施工单位调整设计参数、施工工艺。

检测报告应包含以下内容:

通用要求:

- (1) 委托方名称, 工程名称、工程地点, 建设、勘察、设计、监理和施工单位;
- (2) 地质条件描述;
- (3) 锚杆类型、编号、位置、尺寸 (孔径、长度、角度、杆体直径或面积、锚杆锚固段长度、锚杆自由段长度、杆体自由段长度、杆体锚固段长度等)、杆体材料、材料强度;
- (4) 锚杆施工日期和相关施工记录
- (5) 仪器设备的规格、型号、量程和精度;
- (6) 检测目的、方法、数量、日期;

- (7) 检测过程叙述及异常情况描述；
- (8) 检测数据，实测与计算分析图表；
- (9) 与检测内容相应的结论。

特定要求：

- (1) 受检锚杆孔位对应的地质剖面图或柱状图；
- (2) 加载反力装置，试验方法，张拉方法；
- (3) 相应的曲线与对应的数据表；
- (4) 每根试验锚杆的极限承载力的确定依据
- (5) 预应力锚杆弹性变形验算结果。

四、蠕变试验

1. 一般规定

- 1) 试验目的：确定锚杆的蠕变特性（蠕变率），为控制蠕变量和预应力损失提供锚杆设计参数。
- 2) 试验数量：同一土层中的试验数量不应少于 3 根。
- 3) 试验方法：采用逐级加载法。

2. 现场操作

- 1) 预紧
- 2) 加荷速度、锚头位移基准值的测读
- 3) 蠕变试验加卸载法

蠕变试验的加载分级和锚头位移观测时间（JGJ/T 401-2017）

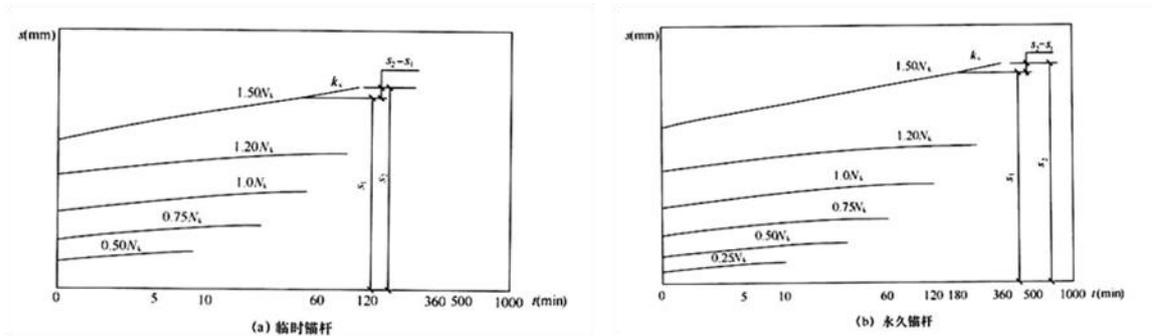
加载等级	观测时间 (min)			
	临时锚杆		永久锚杆	
	t_1	t_2	t_1	t_2
0.25 N_k	-	-	5	10
0.50 N_k	5	10	15	30
0.75 N_k	15	30	30	30
1.00 N_k	30	60	60	60
1.20 N_k	45	90	120	120
1.50 N_k	60	120	180	180

- N_k 锚杆轴向拉力标准值， t_1 为每级加载总观测时间的 50%， t_2 为每级总观测时间；
- 在观测时间内荷载必须保持恒定；每级荷载施加完成后，应根据观测时间的长短，分别按第 0 min、5min、10min、15min、30min、45min、60min 测读一次锚头位移，1h 后应每隔 30min 测读一次锚头位移；
- 在非最大试验荷载作用下，观测时间达到表 4.3.4 中的规定值时，可施加下一级荷载；
- 卸载时，每级荷载持荷 5min，并在第 0 min、5min 测读锚头位移。

3. 资料整理、分析及评价

1) 资料整理

试验结果应按每级荷载对应的锚头蠕变量列表整理，绘制每级荷载下的锚杆蠕变量-时间对数 (s-lgt) 曲线。



蠕变量-时间对数 (s-lgt) 曲线

2) 分析及评价

蠕变率按下式计算：

$$k_c = \frac{s_2 - s_1}{\lg t_2 - \lg t_1}$$

k_c — 锚杆蠕变率 (mm) ;
 s_1 — t_1 时间测得的蠕变量 (mm) ;
 s_2 — t_2 时间测得的蠕变量 (mm)

锚杆在最大试验荷载作用下的蠕变率不应大于 2.0mm。

3) 检测报告除应包含通用内容，还应包含下列内容：

- (1) 受检锚杆孔位对应的地质剖面图或柱状图；
- (2) 加载反力装置，锚杆试验方法，张拉方法；
- (3) 相应的曲线与对应的数据表；
- (4) 锚杆的蠕变率

五、验收试验

1. 一般规定

锚杆验收试验也称为抗拔承载力检测试验，包括支护锚杆验收试验、基础锚杆验收试验、土钉验收试验。锚杆验收试验是一种采用接近于锚杆实际工作条件的试验方法，对锚杆施加大于设计轴向拉力值的短期荷载，判定锚杆抗拔承载力检测值是否满足设计要求，或验证工程锚杆是否具有与设计要求的相近的抗拔安全系数，为工程验收提供依据。

锚杆验收试验加卸载方法的选择应符合下列规定：

- 1) 支护锚杆应采用单循环加卸载法，也可采用多循环加卸载法；
- 2) 基础锚杆应采用分级维持荷载法，也可采用多循环加卸载法；
- 3) 土钉宜采用单循环加卸载法。

锚杆验收荷载应按设计要求确定，且基础锚杆验收荷载应等于抗拔承载力特征值与锚杆抗拔安全系数的乘积；最大试验荷载不应小于锚杆验收荷载，需验收评价时，宜取锚杆验收荷载的（1.1～1.2）倍。

***锚杆验收荷载：**由于现行锚杆设计方面的规范较多，相关规范对锚杆设计体系和抗拔安全系数有不同的规定；设计参数有采用锚杆轴力拉力标准值的，也有采用锚杆轴向拉力特征值的；因此本规程只是简单的规定锚杆验收荷载应按设计要求确定，包括设计图纸上标明的验收荷载和设计所依据的技术标准来确定验收荷载。部分现行规范关于锚杆验收荷载的具体规定如下：

类型	规范名称	锚杆验收荷载
支护锚杆	《建筑基坑支护技术规程》 JGJ120-2012	对支护结构安全等级为一级、二级、三级工程中的锚杆，分别为 $1.4N_k$ 、 $1.3N_k$ 、 $1.2N_k$ (N_k ：锚杆轴向拉力标准值)
	《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》 GB50086-2015	永久性锚杆： $1.2N_d$ (N_d ：锚杆的轴向拉力设计值， $N_d=1.35\gamma_w N_k$ ； γ_w ：工作条件系数，一般情况取 1.1)； 临时性锚杆： $1.1 N_d(N_d=1.25 N_k)$ ；
	《建筑边坡工程技术规范》 GB50330-2013	永久性锚杆： $1.5 N_k$ (N_k ：锚杆轴向拉力标准值)； 临时性锚杆： $1.2 N_k$ ；
	《建筑地基基础设计规范》 GB50007-2011	土层锚杆： $0.85f_{yA_s}$ ； 岩石锚杆：锚杆承载力特征值的 2 倍；
	《高压喷射扩大头锚杆技术规范》 JGJ/T 282-2012	永久性锚杆取 $1.5R_t$ (R_t ：锚杆承载力特征值)； 临时性锚杆取 $1.2 R_t$ ；
土钉	《建筑基坑支护技术规程》 JGJ120-2012	土钉轴向拉力标准值的 1.3 倍或 1.2 倍 (分别对应安全等级为二级、三级的土钉墙)
基础锚杆	《建筑地基基础设计规范》 GB50007-2011	抗拔承载力特征值的 2.0 倍

2. 现场操作

- 1) 预紧
- 2) 初始荷载(Q_0)：支护型锚杆、土钉，宜取最大试验荷载预估值的 30%；基础锚杆，宜取 0。
- 3) 加载分级与观测（单循环加卸载法/多循环加卸载法/分级维持荷载法）

JGJ/T401-2017 单循环加卸载法的荷载分级和锚头位移观测时间

试验荷载值与最大试验荷载预估值的比例(%)									
初始荷载	加载过程						卸载过程		
10	50	60	70	80	90	100	70	50	30
观测时间 (min)	≥10						5		

- 每级荷载施加完成后，应每隔 5min 测读一次锚头位移；
- 锚头位移相对收敛标准：当后 5min 的位移增量小于前 5min 的位移增量时，可视为锚头位移达到相对收敛标准；
- 锚头位移达到相对收敛标准时，可施加下一级荷载；
- 卸载时，每级荷载持荷 5min，并在 0/5min 测读锚头的位移；
- 当出现规定的终止加载情况时，可终止加载。

JGJ/T401-2017多循环加卸载法的荷载分级和锚头位移观测时间

循环次数	试验荷载值与最大试验荷载预估值的比例(%)									
	初始荷载	加载过程						卸载过程		
第一循环	30	—	—	—	—	—	50	—	—	30
第二循环	30	50	—	—	—	—	60	—	50	30
第三循环	30	50	—	—	—	60	70	—	50	30
第四循环	30	50	—	—	60	70	80	—	50	30
第五循环	30	50	—	60	70	80	90	70	50	30
第六循环	30	50	60	70	80	90	100	70	50	30
观测时间间隔 (min)	1	1	1	1	1	1	≥10	1	1	1

- 在每一循环的非最大荷载作用下，每级荷载施加或卸载完成后，持荷 1min，测读一次锚头位移；
- 锚头位移相对收敛标准：当后 5min 的位移增量小于前 5min 的位移增量时，可视为锚头位移达到相对收敛标准；
- 在每一循环的最大荷载作用下，荷载施加完成后，应每间隔 5min 测读一次锚头位移；当锚头位移达到相对收敛标准时，方可卸载；
- 当出现规定的终止加载情况时，可终止加载。

验收试验采用分级维持荷载法时，与基本试验一致

4) 终止加载条件：

- (1) 锚杆杆体破坏；
- (2) 多循环加卸载法中，本次循环荷载产生的单位荷载下的锚头位移增量达到或超过前一循环荷载产生的单位荷载下的位移增量的 5 倍；
- (3) 单循环加卸载法和分级维持荷载法中，本级荷载产生的单位荷载下的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生的单位荷载下的位移增量的 5 倍；
- (4) 土层锚杆在 3h 内、岩石锚杆在 2h 内，锚头位移未达到相对稳定标准的；
- (5) 已加载至最大试验荷载值，且锚头位移达到位移相对收敛标准。

3. 资料整理、分析与评价

1) 数据整理

不同的方法进行的验收试验，其相关图表与基本试验对应一致

2) 锚杆、土钉的抗拔承载力检测值 (T_y) 的确定

- (1) 符合终止加载条件 1-4 情况之一时，取前一级荷载值或前一循环最大试验荷载值；
- (2) 符合终止加载条件 5 时，取最大试验荷载值。

3) 支护锚杆的弹性变形验算

(1) 实测弹性位移量 (s_e) 可取为锚头总位移与卸载至初始荷载时的锚头位移 (塑形位移) 之差；

(2) 杆体自由段长度的理论弹性伸长值按下式计算：

$$\Delta L_1 = \frac{(Q_{\max} - Q_0)L_{tf}}{EA_s}$$

(3) 拉力型锚杆杆体自由段长度与 1/2 杆体粘结段长度之和的理论弹性伸长值，按下式计算：

$$\Delta L_2 = \frac{(Q_{\max} - Q_0)(L_{tf} + L_{tb}/2)}{EA_s}$$

拉力型支护锚杆实测锚头弹性位移应大于杆体自由段长度的理论弹性伸长值 (ΔL_1) 的 80%，且应小于杆体自由段长度与 1/2 杆体粘结段长度之和的理论弹性伸长值 (ΔL_2)；

压力型支护锚杆实测锚头弹性位移量应大于杆体自由段长度的理论弹性伸长值 (ΔL_1) 的 80%，且应小于杆体自由段长度与 1/2 杆体粘结段长度之和的理论弹性伸长值 (ΔL_2) 的 120%。

- 对拉力型锚杆，若 $s_e \ll 80\% \Delta L_1$ ，则表明杆体自由段长度小于设计值，或杆体自由段长度预应力筋的非粘结段长度不符合设计要求，因而当出现锚杆位移时将增加锚杆的预应力损失。
- 若 $s_e > \Delta L_2$ 时，可能锚固段注浆体产生了明显的塑形变形或在相当的范围锚固段注浆体与杆体之间的粘结作用已破坏，这就意味着部分锚固段长度位于滑移区内或破坏区内，则表明锚杆的承载力受到严重削弱，甚至将危及工程安全。

4) 结果的判定

(1) 合格锚杆的判定

- 锚杆抗拔承载力检测值不应小于锚杆验收荷载；
- 锚杆变形应符合要求；
- 当设计有要求时，锚杆的总位移量应满足设计要求。

(2) 统锚杆承载力检测值统计评价

- 锚杆抗拔承载力检测值的平均值不应小于锚杆验收荷载；
- 锚杆抗拔承载力检测值的最小值不应小于锚杆验收荷载的 0.9 倍；
- 锚杆变形应符合要求；
- 当设计有要求时，锚杆的总位移量应满足设计要求。

(3) 土钉验收试验，应对同一条件土钉承载力检测值统计评价

- 土钉抗拔承载力检测值的平均值不应小于土钉验收荷载；
- 土钉抗拔承载力检测值的最小值不应小于土钉验收荷载的 0.8 倍；
- 当设计有要求时，土钉的变形应满足设计要求。

5) 报告内容特定要求

- (1) 受检锚杆孔位对应的地址剖面图或柱状图；
- (2) 加载反力装置，锚杆试验方法，张拉方法；
- (3) 要求绘制的曲线及对应的数据表；
- (4) 基础锚杆抗拔承载力确定标准、抗拔承载力；
- (5) 支护锚杆、土钉验收标准与评定依据、抗拔承载力检测值；
- (6) 支护锚杆变形验算结果。

第二部分 土钉抗拔试验

第一节 概述

土钉是一种植入土中并注浆形成的承受拉力和剪力的杆件。例如，钢筋杆体与注浆固结体组成的钢筋土钉，击入土中的钢管土钉。

土钉在稳定边坡中是以群体起作用的，土钉与喷射混凝土面层及原位土体等组成土钉墙，在基坑边坡土体中形成补强复合体，达到稳定土壁、限制基坑土体位移的作用。可见土钉支护技术是以土钉作为主要受力构件的边坡稳定技术，土钉依靠与土体间的界面粘结力和摩阻力，在土体发生变形的条件下被动承受拉力作用。

土钉墙支护技术一般只能在安全等级为二、三级的基坑中采用。土钉墙体从上到下分层构筑，典型的施工步骤为：基坑开挖一定深度；在这一深度的作业面上设置一排土钉并注浆；喷射混凝土面层，继续向下开挖并重复上述步骤，直至达到基坑开挖深度。

土钉墙有如下主要特点：

1. 土钉墙充分利用了土体自身的强度及自稳能力，形成主动的制约体系。
2. 土钉与护面是在开挖土坡以后施工的，土的侧壁须在竖直或者接近于竖直无支挡条件下，自稳一定时间而不倒塌。因而对基坑的土质及地下水位条件有较高的要求。
3. 土钉墙可在无构件打入坑底的情况下直接开挖到坑底，施工工作面开阔。
4. 施工速度快，所需的材料较省，机械设备较少，造价低廉。
5. 支护结构轻，适应性好。
6. 由于土钉数量多，一旦遇到孤石、基桩、地下结构物及其他障碍物，可以通过局部变化土钉位置、角度、长度而避开。
7. 在基坑工程中，土钉墙已经广泛应用多年，积累了较丰富的工程经验，成为相当成熟的工法。
8. 土钉墙需要在土体发生一定量的变形后，才能充分发挥其抗力，因而产生的位移和周围地面的沉降偏大，不适用于对变形要求严格的场地条件。

复合土钉墙是在土钉墙的基础上发展来的。它是土钉墙与预应力锚杆、微型桩、旋喷桩、搅拌桩中的一种或多种组成的复合型支护结构。如在软土地区，经常采用水泥搅拌桩复合土钉墙支护技术，支护深度 4m-5m。复合土钉墙的应用，大大拓展了土钉技术的应用范围。

土钉支护示意图见下图。

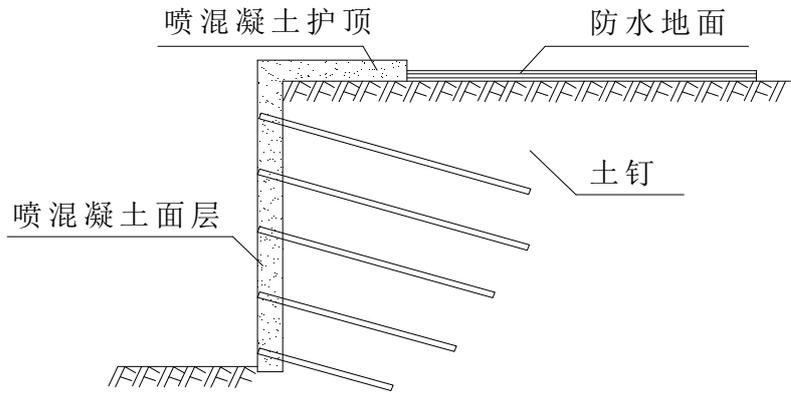


图 2.1.1 土钉支护

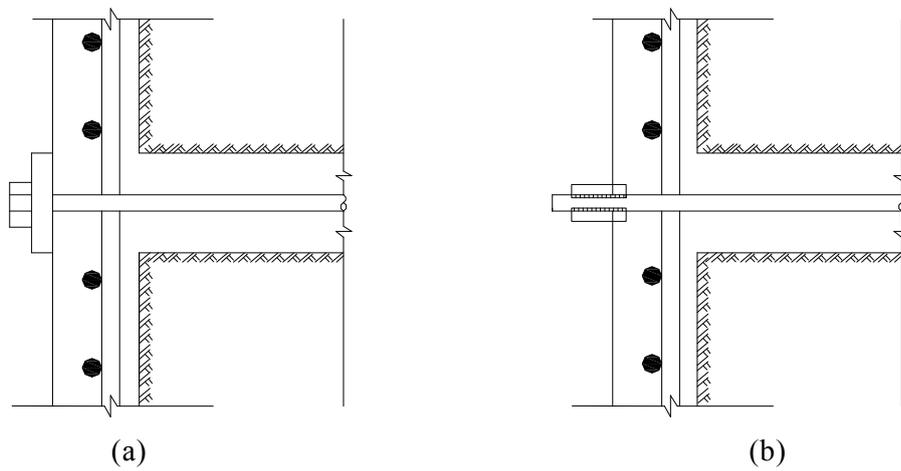


图 2.1.2 土钉与面层的连接

第二节 土钉墙设计施工要点

根据《建筑基坑支护设计技术规程》(JGJ120-2012),对土钉墙的设计和施工简述如下。

一、土钉墙的设计应用要点:

1. 土钉墙的适用条件

土钉墙适用于土质较好、场地开阔、周边对变形要求不严的条件。当墙外有地下结构、密布的基桩、密集的地下管线等的情况时会限制其使用。同时它也受建筑红线的限制。

2. 土钉墙的计算要点

(1) 土钉墙应按规范规定对基坑开挖的各种工况采用圆弧滑动条分法进行整体滑动稳定验算。

(2) 基坑底面下有软土层的土钉墙结构应进行坑底隆起稳定性验算。

(3) 土钉墙与截水帷幕结合时，应进行地下水渗透稳定性验算。

(4) 单根土钉的极限抗拔承载力应符合规范(5.2.1)式要求。

(5) 单根土钉的轴向拉力标准值可按规范(5.2.2)式计算。

(6) 单根土钉的极限抗拔承载力应按下列规定确定:

1) 可通过抗拔试验确定。

2) 可根据土钉的极限粘结强度标准值按(5.2.5)式进行估算。

3) 对安全等级为三级的土钉墙，可按(5.2.5)式确定单根土钉的极限抗拔承载力。

4) 土钉的极限抗拔承载力标准值大于 $f_{yk} \cdot A_s$ 时，取等于 $f_{yk} \cdot A_s$ 。

(7) 土钉杆体的受拉承载力应符合下列规定：土钉的轴向拉力设计值应小于或等于杆体的抗拉强度设计值与土钉截面积的乘积。

3. 土钉的构造要点

(1) 土钉墙、预应力锚杆复合土钉墙的坡比(墙面垂直高度与水平宽度的比值)不宜大于1:0.2。

(2) 土钉墙宜采用洛阳铲成孔的钢筋土钉。对易塌孔的松散或稍密的砂土、粉土以及填土、软土宜采用击入式钢管土钉。对洛阳铲成孔或钢管土钉打入困难的土层，宜采用机械成孔的钢筋土钉。

(3) 土钉水平间距和竖向间距宜为1m-2m；当基坑较深、土的抗剪强度较低时，土钉间距取小值。土钉倾角宜为 5° - 20° 。

(4) 成孔注浆型钢筋土钉的构造要求:

1) 成孔直径宜取70mm-120mm。

2) 土钉钢筋宜选用HRB400、HRB500钢筋，直径宜取16mm-32mm。

3) 土钉注浆材料可采用水泥浆或水泥砂浆，其强度不宜低于20MPa。

(5) 钢管土钉的构造要求:

1) 钢管的外径不宜小于48mm，壁厚不宜小于3mm；钢管的注浆孔应设置在钢管末端1/2-1/3范围内；每个注浆截面的注浆孔宜取2个，对称布置，注浆孔的孔径宜取5mm-8mm；注浆孔外应设置

保护倒刺。

2) 钢管连接采用焊接时，接头强度不应低于钢管强度；钢管焊接可采用数量不少于 3 根、直径不小于 16mm 的钢筋沿钢管截面均匀分布拼焊，双面焊接时钢筋长度不应小于钢管直径的 2 倍。

二. 土钉的施工要点

1. 土钉墙应按土钉层数分层设置土钉、喷射混凝土面层、开挖基坑。

2. 钢筋土钉注浆应符合下列要求：

1) 注浆材料可选用水泥浆或水泥砂浆；水泥浆的水灰比宜取 0.5—0.55；水泥砂浆的水灰比宜取 0.4—0.45，同时，灰砂比宜取 0.5—1.0，拌合用砂宜选用中粗砂，按重量计的含泥量不得大于 3%。

2) 一次拌合的水泥浆或水泥砂浆应在初凝前使用。

3) 注浆前应将孔内残留的虚土清除干净。

4) 注浆应采用将注浆管插至孔底、由孔底注浆的方式，且注浆管端部至孔底的距离不宜大于 200mm；注浆及拔管时，注浆管出浆口应始终埋入注浆液面内，应在新鲜浆液从孔口溢出后停止注浆；注浆后，当浆液液面下降时，应进行补浆。

3. 击入式钢管土钉的施工应符合下列要求：

1) 钢管端部应制成尖锥状；钢管顶部宜设置防止施打变形的加强构造。

2) 注浆材料应采用水泥浆；水泥浆的水灰比宜取 0.5—0.6；注浆压力不宜小于 0.6MPa；应在注浆至钢管周围出现返浆后停止注浆；当不出现返浆时，可采用间歇注浆的方法。

第三节 土钉现场抗拔试验

根据《建筑基坑支护设计技术规程》(JGJ120-2012),对土钉的现场抗拔试验简述如下。

一、一般规定

1. 试验土钉的参数、材料、施工工艺及所处的地质条件应与工程土钉相同。
2. 土钉抗拔试验应在注浆体固结强度达到 10MPa 或达到设计强度的 70%后进行。
3. 加载装置(千斤顶、油压系统)的额定压力必须大于最大试验压力,且试验前应进行标定。
4. 加荷反力装置的承载力和刚度应满足最大试验荷载的要求,加载时千斤顶应与土钉同轴。
5. 计量仪表(位移计、压力表)的精度应满足试验要求。
6. 在土钉墙面上进行试验时,试验土钉应与喷射混凝土面层分离。
7. 最大试验荷载下的土钉杆体应力不应超过其屈服强度标准值。

二、土钉极限抗拔承载力试验

1. 试验目的:确定土钉极限抗拔承载力。
2. 试验数量:同一条件下的试验数量不应少于 3 根。
3. 试验方法:采用单循环加载法。
4. 加载分级与观测时间:加载分级和土钉位移观测时间应按下表确定。

单循环加载试验的加载分级与土钉位移观测时间

观测时间 (min)		5	5	5	5	5	10
加载量与最大试验荷载的百分比 (%)	初始荷载	--	--	--	--	--	10
	加载	10	50	70	80	90	100
	卸载	10	20	50	80	90	--

注:最大试验荷载取土钉的预估破坏荷载。

5. 试验步骤:

(1) 初始荷载下,应测读土钉位移基准值 3 次,当每间隔 5min 的读数相同时,方可作为土钉位移基准值。

(2) 每级加、卸载稳定后,在观测时间内测读土钉位移不应少于 3 次。

(3) 在每级荷载的观测时间内,当土钉位移增量不大于 0.1mm 时,可施加下一级荷载;否则应延长观测时间,并应每隔 30min 测读土钉位移 1 次;当连续两次出现 1h 内的土钉位移增量小于 0.1mm 时,可施加下一级荷载。

6. 终止试验条件:试验中遇下列情况之一时,应终止试验:

(1) 从第二级加载开始，后一级荷载产生的单位荷载下的土钉位移增量大于前一级荷载产生的单位荷载下的土钉位移增量的 5 倍。

(2) 土钉位移不收敛。

(3) 土钉杆体破坏。

7. 成果记录与分析：根据试验情况绘制荷载-位移（Q-s）曲线。如下图所示。

8. 土钉极限抗拔承载力标准值确定方法：

(1) 土钉的极限抗拔承载力，在某级试验荷载下出现终止试验条件时，应取终止加载时的前一级荷载值；未出现时，应取终止加载时的荷载值。

(2) 参加统计的试验土钉，当极差不超过其平均值的 30% 时，土钉极限抗拔承载力标准值可取平均值；当极差超过平均值的 30% 时，宜增加试验数量，并应根据极差过大的原因，按实际情况重新进行统计后确定土钉极限抗拔承载力标准值。

三、土钉验收检测试验

1. 试验目的：判定土钉抗拔承载力合格。

2. 试验数量：不宜少于土钉总数的 1%，且同一土层中的检测数量不应少于 3 根。

3. 试验方法：采用单循环加载法。

4. 加载分级与观测时间：加载分级和土钉位移观测时间应按下表确定。

单循环加载试验的加载分级与土钉位移观测时间

观测时间（min）		5	5	5	5	5	10
加载量与抗拔承载力检测值的百分比（%）	初始荷载	--	--	--	--	--	10
	加载	10	50	70	80	90	100
	卸载	10	--	--	--	--	--

5. 试验步骤：

(1) 初始荷载下，应测读土钉位移基准值 3 次，当每间隔 5min 的读数相同时，方可作为土钉位移基准值。

(2) 每级加、卸载稳定后，在观测时间内测读土钉位移不应少于 3 次。

(3) 当观测时间内土钉位移增量不大于 1.0mm 时，可视为位移收敛；否则应延长观测时间至 60min，并应每隔 10min 测读土钉位移 1 次；当该 60min 内土钉位移增量小于 2.0mm 时，可视为土钉位移收敛，否则视为不收敛。

6. 终止试验条件：试验中遇下列情况之一时，应终止试验：

(1) 从第二级加载开始，后一级荷载产生的单位荷载下的土钉位移增量大于前一级荷载产生的

单位荷载下的土钉位移增量的 5 倍。

(2) 土钉位移不收敛。

(3) 土钉杆体破坏。

7. 成果记录与分析：根据试验情况绘制荷载-位移（Q-s）曲线。如下图所示。

8. 土钉抗拔承载力检测值的合格判定：在抗拔承载力检测值下，土钉位移稳定或收敛应判定土钉合格。

9. 土钉抗拔承载力检测值的确定*

《建筑基坑支护设计技术规程》（JGJ120-2012）规定，土钉验收检测时，最大试验荷载不应小于土钉抗拔承载力检测值。土钉抗拔承载力检测值取：二级坑为 1.3Nk，三级坑为 1.2Nk。Nk 为土钉轴向拉力标准值，根据规范规定的计算模式（5.2.3 式）进行计算而得，一般由设计单位提供。

第四节 土钉抗拔试验实例

1. 工程概况

某综合楼的拟建基坑为不规则形状, 大体近方形, 占地约 12500m²。基坑周长约 500 米, 东西宽约 105 米, 南北约 119 米, 开挖深度为 4.9~7.0 米。

2. 地质概况地质概况因每层土厚度均有变化范围, 无法一一绘制分层图, 设计参数已有列表根据勘察报告, 场区岩土体划分为 5 个工程地质层, 11 个亚层, 其特征描述如下:

1-1 层杂填土: 杂色, 松散, 主要为砼地坪及碎石、砖块垫层, 局部与粘性土混杂组成, 均匀性差。局部缺失, 层厚一般 0.2~1.5m。

1-2 层素填土: 灰黄~青灰~灰色, 松散, 以粘性土为主, 局部为含淤质填土, 夹有碎石、碎砖及少量植物根茎, 均匀性差。整个场地分布, 层厚一般 0.3~4.6m。

2 层粉质粘土: 灰黄色, 软~可塑, 含有大量铁质浸染斑点及灰色条带, 粉质稍重。无摇振反应, 稍有光泽, 干强度中等, 韧性中等。局部分布, 层顶高程 8.32~12.2m, 层厚 0.4~4.8m。

3-1 层粉质粘土: 褐黄色, 可~硬塑, 夹粘土, 含铁锰质斑点及少量青灰色团块。无摇振反应, 切面较光滑, 干强度高, 韧性高。局部缺失, 层顶高程 7.00~12.86m, 层厚 0.9~7.00m。

3-2 层粉质粘土: 褐黄色, 可~硬塑, 夹粘土, 含少量铁锰质斑点及灰白色团块, 粉质重。无摇振反应, 切面较光滑, 干强度高, 韧性高。整个场分布, 层顶高程 3.19~11.25m, 层厚 1.5~12.2m。

4-1 强风化泥质粉砂岩: 紫红色, 层状构造, 砂状结构, 岩芯已风化成“粘性土~砂土”状, 手捏即碎, 遇水软化强烈。属极软岩, 岩体基本质量等级为 V 级。主要分布于场地西南部, 层顶高程-4.85~3.14m, 层厚 1.2~3.4m。

4-2 中风化泥质粉砂岩: 紫红色, 层状构造, 砂状结构, 夹泥岩及粉砂岩, 岩芯呈“短柱~柱”状, 见 1 组倾角 45 度左右的闭合裂隙, 充填泥质。岩芯锤击可~易碎, 声哑。该层岩体风化欠均匀, 强度欠均一, 属极软岩, 岩体基本质量等级为 V 级, 主要分布于场地西南部, 部分钻孔未揭穿, 层顶高程-6.05~1.67m, 最大控制厚度 6.3m。

4-2A 中风化粉砂岩: 灰黄~紫红色, 层状构造, 砂状结构, 岩芯呈“短柱~柱状”, 裂隙稍发育, 见一组倾角 45 度左右的微张节理, 充填钙质、铁质。岩芯锤击可碎, 声稍哑。属软岩, 岩体基本质量等级为 IV 级。该层呈“透镜体”状分布于 4-2 层中, 层厚一般 0.4~1.9m。

4-3 层微风化泥质粉砂岩: 紫红色, 层状构造, 砂状结构, 岩芯呈“短柱~柱状”, 见 1 组近倾角 40 度左右微张节理, 泥质充填。岩芯锤击可碎。岩体基本质量等级为 V 级。该层仅分布于场地西南部, 未揭穿, 层顶高程-7.50~-6.26m, 最大控制厚度 9.0m。

5-1 强风化粉砂岩: 灰黄色, 层状构造, 砂状结构, 岩芯已风化成“砂土”状, 手捏即碎, 遇

水软化强烈, 局部夹少量硬岩块。属极软岩, 岩体基本质量等级为 V 级。该层仅西南部未揭穿, 层顶高程-6.96~8.25m, 层厚 0.1~3.3m。

5-2 中风化粉砂岩: 灰黄~灰白色, 层状构造, 砂状结构, 岩芯多呈“短柱~柱~长柱”状, 局部为“碎块”状, 见 1 组倾角 45 度左右微张节理及 1 组 X 型微张节理, 充填钙质、铁质。岩芯锤击可碎, 声稍哑。属软岩, 岩体基本质量等级为 IV 级。该层仅西南部未揭示, 层顶高程-7.26~-7.75m, 最大控制厚度 9.3m。

5-3 微风化粉砂岩: 灰黄~青灰色, 层状构造, 砂状结构, 岩芯呈“柱~长柱”状, 裂隙稍发育, 见一组倾角 45 度左右的微张节理, 充填钙质、铁质。岩芯锤击较难破碎, 声较脆。属较软岩, 岩体基本质量等级为 III 级。该层仅西南部未揭示, 层顶高程-10.53~-0.15m, 最大控制厚度 14.1m。

场地土的工程特性指标见表 8.3

地基土设计参数推荐值表

表 8.3

土层	含水量 W (%)	重度 γ (kN/m ³)	孔隙比 e	塑性指数 I _p	液性指数 I _L	压缩模量 E _s	压缩系数 α_{1-2}	快剪		承载力特征值 f _{ak} (kPa)
								内聚力 C (kPa)	摩擦角 Φ (度)	
1-1										
1-2	26.3	18.9	1.785	14.3	0.47	4.98	0.37	28	15.1	
2	25.5	19.1	0.748	12.5	0.50	5.33	0.33	35	16.5	130
3-1	24.9	19.3	0.732	15.8	0.24	7.11	0.25	50	20.0	200
3-2	22.9	19.8	0.667	16.0	0.17	8.06	0.21	59	20.9	240
4-1										280
4-2	天然抗压强度 f _{rk} =1.41MPa									1100
4-2A	饱和抗压强度 f _{rk} =13.9MPa									4000
4-3	天然抗压强度 f _{rk} =4.1MPa									2100
5-1										300
5-2	饱和抗压强度 f _{rk} =13.67MPa									4000
5-3	饱和抗压强度 f _{rk} =21.85MPa									5000

3. 基坑支挡方案

基坑西南部邻近已有建筑物(3层、6层, 需重点保护)的 E' FGJ 段采用人工挖孔桩(Φ900@1600, 计 80 根)加一道混凝土支撑的支护形式作为挡土结构, 桩间挂网喷浆, 其中 GG' 段采用双排桩的支护形式, 前后排桩间距 5000mm, 后排桩间距为 3200mm。基坑西部 JAA' 段采用放坡开挖的支护形式, 上部填土坡比为 1: 1, 下部粘性土均为 1: 0.2, 土钉布设三排, 自上而下长度分别为 7.0m, 6.0m, 7.0m。

4. 土钉施工情况

受检土钉钢筋为 Φ16, 上, 中, 下三层土钉中钢筋长度分别为 7m, 6m, 7m, 对应的最大试验荷

载值不小于 34.8kN，27.7kN，41.8kN。受检土钉的施工情况汇总见表 8.4

受检土钉的施工情况汇总表

表 8.4

检测序号	位置	钢筋直径 (mm)	土钉长度 (m)	最大试验荷载值 (kN)	设计计算承载力标准值 (kN)
1	上	16	7	34.8	27.84
2	上	16	7	34.8	27.84
3	中	16	6	27.7	22.16
4	中	16	6	27.7	22.16
5	下	16	7	41.8	33.44
6	下	16	7	41.8	33.44

注：最大试验荷载值应超出设计计算所用标准值的 1.25 倍。

5. 受检土钉示意图

受检土钉抗拔试验由甲方根据设计要求指定，具体位置见图 8.5、图 8.6 和图 8.7。

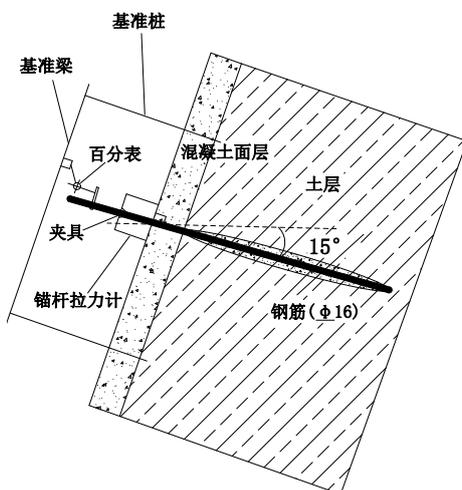


图 8.5 检测基坑土钉抗拔示意图

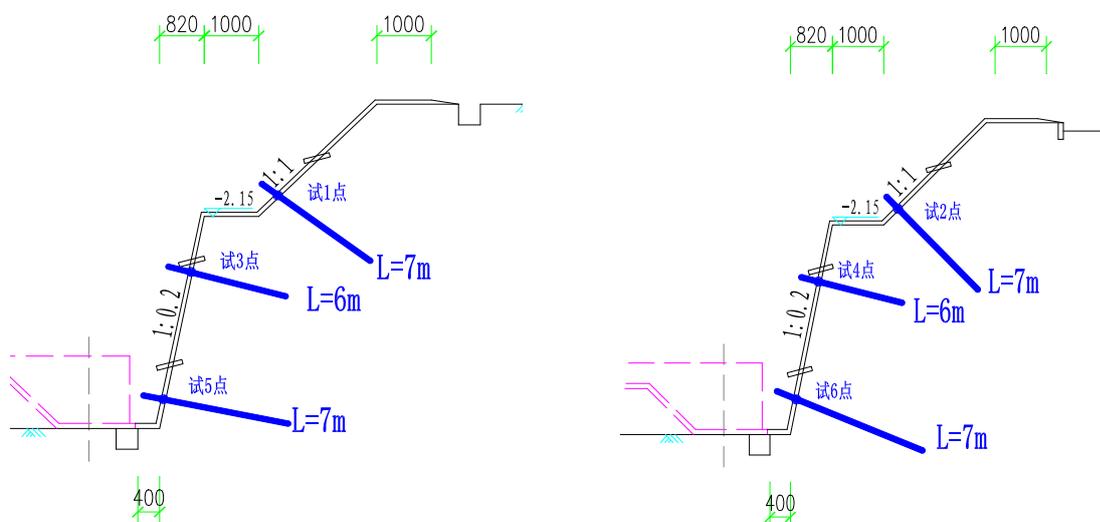


图 8.6 检测基坑土钉剖面示意图 (AA') 图 8.7 检测基坑土钉剖面示意图 (JA 段)

6. 检测成果汇总

检测成果汇总，见表 8.5。

基坑土钉抗拔检测成果汇总表

表 8.5

序号	土钉长度 (m)	设计计算承载力标准值 (kN)	试验最大加载 (kN)	最大位移量 (mm)
1	7	27.84	34.8	3.54
2	7	27.84	34.8	3.11
3	6	22.16	27.7	3.55
4	6	22.16	27.7	3.43
5	7	33.44	41.8	3.85
6	7	33.44	41.8	3.53

根据检测基坑土钉抗拔的实测数据可绘制各监测点的 U- δ 曲线，见图 8.8~8.13。

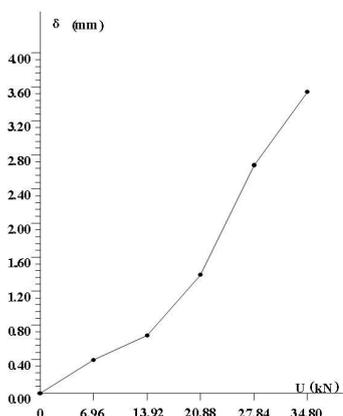


图 8.8 试 1 点 U- δ 曲线

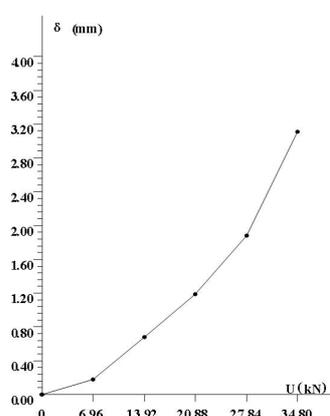


图 8.9 试 2 点 U- δ 曲线

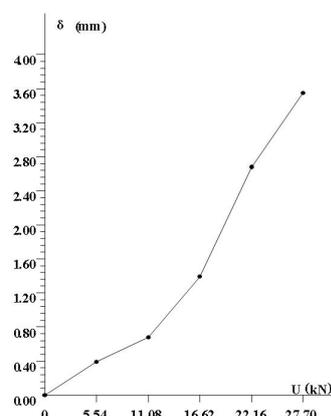


图 8.10 试 3 点 U- δ 曲线

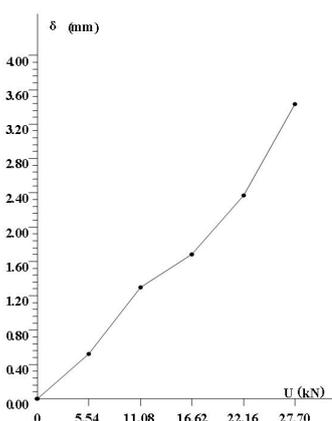


图 8.11 试 4 点 U- δ 曲线

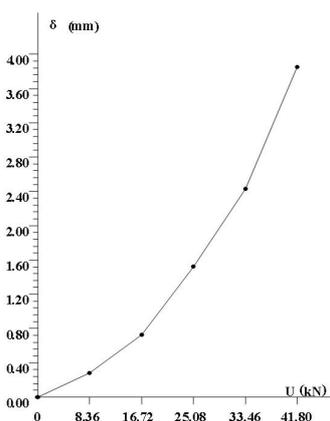


图 8.12 试 5 点 U- δ 曲线

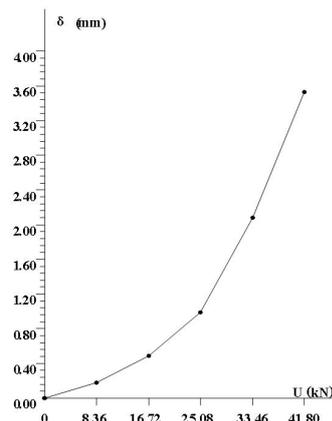


图 8.13 试 6 点 U- δ 曲线

7. 结论

通过以上分析可知，经过对某综合楼基坑土钉抗拔 6 个点的检测，上，中，下三层土钉的抗拔承载力均满足设计要求。

肩负行业责任，为检测人员素质保驾护航！



☎ 025-8545 8112
<http://jkpx.jsgcjc.com>
E-mail: jianketrain@163.com
江苏建科建筑技术培训中心