

深圳市工程建设地方标准

SJG

SJG 132 – 2023

锚杆试验技术标准

Standard for Testing of Ground Anchor

2023-11-15 发布

2024-02-15 实施

深圳市住房和城乡建设局 发布

深圳市工程建设地方标准

锚杆试验技术标准

Standard for Testing of Ground Anchor

SJG 132-2023

2023 深 圳

前 言

根据《深圳市住房和建设局关于发布 2019 年深圳市工程建设标准制订修订计划项目的通知》（深建设〔2019〕40 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，结合深圳市的实际，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准。

本标准主要技术内容是：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.荷载试验；5.浆体抗压强度试验。

本标准由深圳市住房和建设局批准发布，由深圳市住房和建设局业务归口并组织深圳市房屋安全和工程质量检测鉴定中心、深圳市工勘岩土集团有限公司等编制单位负责技术内容的解释。本标准实施过程中如有意见或建议，请寄送至深圳市房屋安全和工程质量检测鉴定中心（地址：深圳市南山区铁二路南山建工村工程质量大厦，邮编：518051）或深圳市工勘岩土集团有限公司（地址：深圳市南山区科技南八路工勘大厦 15 楼，邮编：518063），以供今后修订时参考。

本 标 准 主 编 单 位：深圳市房屋安全和工程质量检测鉴定中心

深圳市工勘岩土集团有限公司

本 标 准 参 编 单 位：深圳市建筑工程质量安全监督总站

深圳市市政工程质量安全监督总站

深圳市南山区建设工程质量监督检验站

深圳市福田区建设工程质量监督站

深圳市宝安区住房和建设事务中心

深圳市光明区建设工程质量安全监督站

深圳市交通工程质量监督站

深圳市水务工程质量安全监督站

深圳市福田区建设工程质量检测中心

深圳市龙岗区建设工程质量检测中心

深圳市交通工程试验检测中心有限公司

深圳市水务工程检测有限公司

铁科院（深圳）检测工程有限公司

深圳市盐田港建筑工程检测有限公司

深圳市南山区建筑工务署

铁科院（深圳）研究设计院有限公司

深圳华力岩土工程有限公司

深圳市勘察测绘院（集团）有限公司

深圳地质建设工程公司

深圳市蛇口招商港湾工程有限公司

深圳市云鼎工程技术有限公司

深圳市岩土综合勘察设计有限公司

深圳市地质环境研究院有限公司

深圳市工勘建设集团有限公司

徐州建科仪器有限公司

武汉岩海工程技术有限公司

苏州市能工基础工程有限责任公司

广东省岩土与地下空间工程技术研究中心
天津大学建筑工程学院

本标准主要起草人员：	付文光	张道修	孟照辉	李 强	刘小斌
	马君伟	杨 立	强小俊	舒国志	邹学琴
	赵崇基	李彦生	林志欣	刘秀军	李新元
	袁广州	刘 学	耿光旭	向臻锋	李红波
	周志立	杜明祥	刘宏华	李澄宙	许 杰
	陈少平	刘江林	乔丽平	刁春德	侯德军
	饶彩琴	吴松涛	李洁文	李 波	范少峰
	李雁勤	吴 胤	赵明堂	张译天	周长标
	何远金	陈泽波	刘 强	胡 荣	刘林钊
	余 渊	杜 辉	叶 坤		
本标准主要审查人员：	丘建金	杨志银	陈 凡	陈久照	钟东波
	施 峰	潘永东	李振宇	汪四新	
本标准主要指导人员：	宋 延	李伟雄	姚兆平	陈天予	蔡 月

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	基本规定	3
3.1	一般规定	3
3.2	试验方法选择	3
3.3	抽样方式及试验数量	4
3.4	验收项目检测	5
4	荷载试验	7
4.1	一般规定	7
4.2	仪器设备及反力装置	7
4.3	试验荷载及加卸载	8
4.4	维荷时间及位移测读	9
4.5	基本试验	9
4.6	验收试验	12
4.7	持有荷载试验	12
4.8	试验报告	14
5	浆体抗压强度试验	16
附录 A	数据采集及远程传输	18
附录 B	快速加载法	19
附录 C	埋线法长度测试	20
附录 D	旁孔法长度测试	22
附录 E	回收试验	24
附录 F	自测力锚杆法测试	25
附录 G	分布式光纤测试	26
附录 H	检测不合格处置流程	28
附录 I	极限试验	29
附录 J	蠕变试验	33
附录 K	群锚试验	35
附录 L	疲劳试验	36
附录 M	锚杆荷载试验记录表	37
本标准用词说明		38
引用标准名录		39
附：条文说明		40

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	2
3	General Rules	3
3.1	General Requirements	3
3.2	Choose Test Method	3
3.3	Samples and Tests Amount	4
3.4	Acceptance Items Test	5
4	Load Test	7
4.1	General Requirements	7
4.2	Instruments and Equipments	7
4.3	Test Load and Process	8
4.4	Load Time and Displacement Sensing	9
4.5	Basic Test	9
4.6	Acceptance Test	12
4.7	Lift Off Test	12
4.8	Test Report	14
5	Grout Strength Test	16
Appendix A	Data Acquisition and Remote Transmission	18
Appendix B	Quick Loading Method	19
Appendix C	Embedded Wire Method for Measure Length	20
Appendix D	Parallel Drilling Method for Measure Length	22
Appendix E	Removing Test	24
Appendix F	Self-measuring Force Anchor Test	25
Appendix G	Distributed Optical Fiber Test	26
Appendix H	Handling Process with Nonconforming Items	28
Appendix I	Investigation Test	29
Appendix J	Creep Test	33
Appendix K	Group-effect Anchor Test	35
Appendix L	Oscillate Test	36
Appendix M	Oscillate Test	37
	Explanation of Wording in This Technical Standard	38
	List of Quoted Standards	39
	Addition: Explanation of the Provisions	40

1 总 则

- 1.0.1 为规范岩土锚杆试验方法，做到技术先进、经济合理及评价正确，为设计、施工、质量验收等提供依据，制订本标准。
- 1.0.2 本标准适用于深圳市工程建设领域岩土锚固工程的锚杆试验工作。
- 1.0.3 岩土锚固工程应根据工程地质条件、施工工艺、设计及使用要求、锚杆类型等因素，合理选择锚杆试验方法、确定试验数量并评价结果。
- 1.0.4 锚杆试验工作除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 岩土锚杆 ground anchor

安设于岩土体中并将拉力向周边岩土体传递的细长受拉构件，简称锚杆，其中锚筋采用钢绞线时也称为锚索，采用钢筋时也称为钢筋锚杆。

2.1.2 荷载试验 load test

在锚杆顶部施加轴向拉力后观测锚头位移随时间变化的试验。

2.1.3 基本试验 basic test

在现场进行的为了确定锚杆设计参数和施工工艺的荷载试验，其中用于验证锚杆设计参数及施工工艺对场地的适应能力时称为适应试验，用于测试锚杆极限承载性能时称极限试验，用于测试锚杆在恒定拉力长时间作用下的力学性能时称为蠕变试验，用于测试是否存在群锚效应时称为群锚试验，用于测试锚杆承受重复荷载能力时称为疲劳试验。

2.1.4 多循环法 multi-cycles loading method

锚杆荷载试验中荷载以循环方式逐级增加至最大试验荷载后卸载的加卸载方法。

2.1.5 分级维荷法 holding graded load method

锚杆荷载试验中荷载逐级增加至最大试验荷载后卸载且每级荷载均维持一定时长的加卸载方法。

2.1.6 快速加载法 quickloading method

锚杆荷载试验中荷载快速增加至最大试验荷载且维持一定时长后卸载的加卸载方法，简称快速法。

2.1.7 锁损试验 lock load loss test

锚杆锁定后立即测试锚筋持有荷载以计算荷载锁定损失的试验。

2.1.8 提离法 lift off method

预应力锚杆在锁定状态下采用千斤顶对锚头逐级加载以测试持有荷载的方法。

2.1.9 提离现象 lift off phenomenon

采用提离法测试预应力锚杆持有荷载时，工作锚锚板被提起离开锚垫板及工作锚夹片被提起离开锚板的现象。

2.1.10 埋线法 embedded wire method

在锚杆中预埋金属导线，发射高频电脉冲信号并测量信号在导线与金属锚筋中的传播时间等特性，从而分析判断锚筋长度的测试方法。

2.1.11 旁孔法 parallel drilling method

在锚杆旁边平行施钻测试孔，测试孔内磁场沿锚杆轴向的变化从而分析判断锚筋长度的测试方法，其中采用静磁场法时称为旁孔磁法，采用电磁感应法时称为旁孔电磁法。

2.2 符 号

P_p ——最大试验荷载；

N_k ——锚杆轴向拉力标准值；

α ——蠕变率；

s_p ——锚头塑性位移；

s_e ——锚头弹性位移。

3 基本规定

3.1 一般规定

- 3.1.1** 锚杆试验工作程序宜包括接受委托、收集资料、制定方案、配备仪器设备及人员、实施试验现场工作、加检、分析数据、评价成果、出具报告等环节。
- 3.1.2** 锚杆试验工作需收集的资料宜包括岩土工程勘察报告及调查资料,锚杆的设计文件、现场条件、试验类型、施工方案、施工记录、施工工艺、施工异常情况、材料检测报告等。
- 3.1.3** 试验方案应根据目的、现场条件、实施可行性等条件编制,并宜包括下列内容:
- 1 工程概况、地质条件、周边环境、编制依据、设计参数、试验要求、试验工艺等;
 - 2 试验目的、方法、锚杆类型、数量、抽样原则、仪器设备等工作要点;
 - 3 工作程序、人员、检测时间、仪器仪表、机械设备、安全管理等程序性及辅助性工作;
 - 4 安全、文明、环境保护、职业健康等要求或措施。
- 3.1.4** 锚杆试验系统应符合下列规定:
- 1 荷载试验系统宜具备信号自动采集、储存、显示荷载一位移曲线、与计算机等外部设备数据交换及实时远程传输等功能,宜符合本标准附录 A 规定;
 - 2 宜具有防止试验过程意外中断时的应急装置;
 - 3 宜具有耐高温、防水、防雷电、防电磁干扰装置;
 - 4 应在计量检定或校准有效期内。
- 3.1.5** 锚杆工程各种材料及零部体的检验应符合国家相关现行标准规定。
- 3.1.6** 试验作业时应采取必要的安全措施。

3.2 试验方法选择

- 3.2.1** 锚杆荷载试验方法可按表 3.2.1 的规定选择。

表 3.2.1 锚杆荷载试验方法

序号	试验方法	主要目的	主要适用阶段
1	基本试验	适应试验	设计、施工
2		极限试验	
3		蠕变试验	
4		群锚试验	
5		疲劳试验	
6	验收试验	检测工程锚杆力学性能是否符合设计指标	验收
7	持有荷载试验	测试预应力锚杆持有荷载,判断锚杆工作状态	设计、施工、验收、运维
8	锁紧试验	测试预应力锚杆荷载锁定损失	施工

- 3.2.2** 当锚杆存在下列情况之一时,应进行适应试验:
- 1 锚固类长期锚杆;
 - 2 工程安全等级为一级或二级工程中的锚固类临时锚杆;
 - 3 工程安全等级为一级或二级工程中的改良类长期锚杆。
- 3.2.3** 当锚杆存在下列情况之一时,应进行极限试验:
- 1 采用新技术的锚杆;

- 2 无锚固相关经验的地层;
 - 3 拟定的设计承载力高于既有经验值。
- 3.2.4** 锚固类锚杆存在下列情况之一且设计有要求时, 应进行蠕变试验:
- 1 锚固段位于泥质岩层、张开结构面发育且充填有黏性土的岩层、新近填土、塑性指数大于 20 或液限大于 50% 的土层, 且塑性指数及液限的试验方法按照现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的有关规定执行;
 - 2 水泥土锚杆;
 - 3 粘结段锚筋采用环氧涂层或波纹管等防腐措施;
 - 4 在进行适应试验过程中维荷期间位移不稳定。
- 3.2.5** 锚固类锚杆有下列情况之一时, 宜进行群锚试验:
- 1 锚固段中心距小于 1.2m;
 - 2 锚固段中心距小于锚固体直径或小于扩体锚杆扩体锚固段直径的 3 倍;
 - 3 锚固体处于层理发育的岩层且锚杆长度不大于 6m。
- 3.2.6** 锚固类锚杆有下列情况之一时, 宜进行疲劳试验:
- 1 锚杆所承受的重复荷载最大值超过了锚杆轴向拉力标准值或承载力特征值的 1.2 倍;
 - 2 预应力锚杆所承受的重复荷载最大值超过了设计锁定荷载的 1.2 倍;
 - 3 锚固段位于对重复荷载敏感的地层。
- 3.2.7** 工程锚杆应进行验收试验。
- 3.2.8** 预应力锚杆有下列情况之一时, 应进行持有荷载试验:
- 1 锚固类长期锚杆;
 - 2 工程安全等级为一级或环境等级为一级的临时工程中的锚固类锚杆;
 - 3 对锚杆工作状态有怀疑时。
- 3.2.9** 预应力锚杆宜进行锁损试验, 且锁定前宜按照本标准附录 B 的规定采用快速法进行承载力自检。
- 3.2.10** 工程锚杆应进行锚固体抗压强度试验。
- 3.2.11** 工程有需要时, 可按照本标准附录 C 及附录 D 的规定进行长度测试。
- 3.2.12** 可回收锚杆应进行回收试验, 试验方法宜符合本标准附录 E 的规定。
- 3.2.13** 存在下列情况之一时, 可按本标准附录 F 的规定采用自测力锚杆法进行测试:
- 1 锚杆荷载试验;
 - 2 压力(分散)型锚杆的锚筋摩阻力测试;
 - 3 锚杆回收试验;
 - 4 锚杆拉力监测。
- 3.2.14** 存在下列情况之一时, 可按本标准附录 G 的规定采用分布式光纤法进行测试:
- 1 全粘结型、拉力(分散)型等锚杆的锚筋应变测试;
 - 2 锚固体应变测试;
 - 3 长期应变监测;
 - 4 有效锚固长度测试。

3.3 抽样方式及试验数量

- 3.3.1** 极限试验及回收试验应采用试验专用锚杆, 适应试验宜采用试验专用锚杆或同类型工程锚杆中最先施工的锚杆。

3.3.2 荷载试验结果作为验收依据时，应采取判断抽样与随机抽样相结合方式选取受检锚杆样本，其中判断抽样应符合下列抽样条件之一且抽样数量不宜超过总样本的 50%：

- 1 对施工质量有疑虑的锚杆；
- 2 地质条件复杂多变部位及有松散软弱地层分布的锚杆；
- 3 设计方认为重要部位的锚杆。

3.3.3 荷载试验及浆体强度试验数量应符合表 3.3.3-1 及表 3.3.3-2 规定，锚杆长度测试、自测力锚杆测试及分布式光纤测试数量可按设计要求进行确定。

表 3.3.3-1 锚杆试验数量表

序号	试验方法	试验数量
1	适应试验、蠕变试验、疲劳试验及回收试验	同类型锚杆试验数量不少于 3 根
2	极限试验	同类型锚杆不少于 6 根，锚杆总数少于 50 根时不少于 3 根
3	群锚试验	每组锚杆数量不少于 3 根
4	验收试验	①锚固类锚杆试验数量符合表 3.3.3-2 规定； ②改良类长期锚杆试验数量不少于同类型锚杆总数的 2%，改良类临时锚杆试验数量不少于同类型锚杆总数的 1%； ③因质量缺陷而增补、更换或修复的锚杆单独作为检验批，试验数量不少于检验批容量的 5%； ④检验批试验锚杆数量不少于 6 根，检验批容量少于 6 根时全部进行试验
5	持有荷载试验	检测结果用作验收依据或质量鉴定依据时试验数量不少于同类型锚杆总数的 2%且不少于 6 根，其余情况不少于 3 根
6	浆体抗压强度试验	压力（分散）型锚杆每 30 根、其余锚固类锚杆每 60 根、改良类长期锚杆每 100 根、改良类临时锚杆每 200 根不少于 1 组试块， 每组试块数量为 3 个

表 3.3.3-2 锚固类锚杆验收试验数量表

锚杆检验批容量 n（根）	n≤500	500<n≤5000	n>5000
非预应力锚杆试验数量 m（根）	0.05n	25+0.04（n-500）	205+0.03（n-5000）
预应力锚杆试验数量 m（根）	0.04n	20+0.03（n-500）	155+0.02（n-5000）

3.3.4 极限试验、蠕变试验、群锚试验及疲劳试验可替代相应数量的适应试验。

3.3.5 适应试验采用工程锚杆且试验结果符合验收试验合格条件时，适应试验数量可作为判断抽样样本计入验收试验数量，计入数量不应超过验收试验总数的 30%。

3.4 验收项目检测

3.4.1 工程锚杆应检测下列验收项目：

- 1 锚杆承载力；
- 2 预应力锚杆的弹性位移及塑性位移；
- 3 非预应力锚杆的总位移；
- 4 预应力锚杆的持有荷载；
- 5 锚固体试件抗压强度。

3.4.2 检测不合格时，建设单位应组织有关各方分析原因，并根据综合质量评估和质量问题处置的需

要制定处置方案。

3.4.3 处置方案宜为技术处理、加检或不处理。

3.4.4 处置流程宜按本标准附录 H 的规定执行。

3.4.5 加检时应符合下列规定：

- 1 宜按不合格样本数量的 2 倍扩大检测；
- 2 持有荷载加检时，可先对不合格锚杆按照调整放张荷载、张拉、锁定及持有荷载试验的程序重新检测一次，重新检测不合格时可再按本条第 1 款规定进行扩检；
- 3 锚固体强度扩检试件数量不足时可采用锚杆承载力验收试验进行验证检测，验证检测数量应不少于试件不足组数且不少于 2 根。

4 荷 载 试 验

4.1 一 般 规 定

4.1.1 试验专用锚杆应符合下列规定：

- 1 为获取锚固体与岩土体粘结强度的试验，施工时宜在自由段与锚固段分界处设置止浆塞等隔离装置或使自由段无浆；
- 2 除针对某一特定目标而设定的设计参数外，其它设计参数应与工程锚杆基本相同；
- 3 有条件时宜在锚筋、锚固段及承压件上安装应力应变类及位移传感器，测试锚筋及锚固体的应力应变分布及锚固段位移；
- 4 有条件时宜挖出检查。

4.1.2 试验过程中锚筋及锚固体应与垫层、锚座、荷载反力装置及千斤顶等一直处于有效隔离状态。

4.1.3 荷载分散锚杆宜采用多个千斤顶对各单元锚杆同步张拉。

4.1.4 荷载试验开始时间应符合下列规定：

- 1 浆体及水泥土的标准养护期应为 28d，最短养护期应根据地质条件、工程特点及设计施工参数等条件综合确定；
- 2 工程相关责任各方同意后试验开始时间可少于标准养护期，但不应少于最短养护期。

4.2 仪器设备及反力装置

4.2.1 反力装置应符合下列规定：

- 1 可采用支梁式、支凳式或压板式等独立反力装置，采用支凳式或压板式时墙、梁、板、柱、桩、撑等锚座结构可作为反力装置的一部分；
- 2 支梁式反力装置不应与试验锚杆、锚头及锚固结构接触，支座底边缘与岩石锚杆中心距离不宜小于 0.75m，与等截面土层锚杆中间距离不宜小于 1.5m，与扩体锚杆中心距离不宜小于 3 倍扩体锚固段设计直径；
- 3 支凳式、压板式反力装置不应与试验锚杆及锚头接触，采用提离法进行持有荷载试验时支凳腿宜压紧锚垫板；
- 4 反力装置提供的反力不应小于 1.2 倍预定最大试验荷载，施加于地基的压应力不宜大于地基承载力特征值的 1.5 倍，结构及组件应满足承载力和变形的要求。

4.2.2 试验成果作为验收依据的荷载试验设备，应具备自动补压功能以及自动与手动两种操控方式。

4.2.3 千斤顶应符合下列规定：

- 1 应采用双作用千斤顶；
- 2 总额定负荷宜为预定最大试验荷载的 1.2 倍~2.0 倍；
- 3 采用多台同步工作时型号及规格应相同。

4.2.4 千斤顶荷载测定宜采用安装在千斤顶上的力类传感器，采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定液压时，应根据千斤顶率定曲线进行荷载换算。

4.2.5 张拉系统安装应符合下列规定：

- 1 千斤顶、反力装置及锚杆的中心线应重合，锚座的承压面应平整且与锚杆轴线方向垂直，不垂直时应采取处置措施；
- 2 各工具锚夹片夹持的松紧度应均匀；

- 3 系统安装后,应采用试张拉等方式对系统有效性及仪器仪表灵敏度进行测试检查;
 - 4 宜对锚筋进行预张拉 1次~2 次,预张拉荷载可为预定最大试验荷载的 0.2倍~0.3 倍。
- 4.2.6 传感器及仪器仪表除应符合现行国家标准《精密压力表》GB/T 1227、现行国家标准《指示表》GB/T 1219 以及现行行业标准《压力传感器系列型谱》JB/T 6172、现行国家标准《线位移传感器校准规范》JJF 1305 等相关标准的规定外,尚应符合下列规定:
- 1 压力传感器的准确度等级不应低于 0.5 级;
 - 2 压力表类仪表的精确度等级不应低于 0.4 级;
 - 3 宜采用位移传感器或大量程位移测量仪表,位移传感器的准确度等级不应低于 0.5 级;位移测量仪器的分度值用于极限试验、蠕变试验、群锚试验及疲劳试验时不应大于 0.01mm,用于其它荷载试验时不应大于 0.1mm;
 - 4 最大测量值宜为满量程的 25%~80%。
- 4.2.7 位移测量仪器仪表安装应符合下列规定:
- 1 宜采用基准梁及基准桩方式固定,基准桩与锚杆及反力装置的中心距离不宜小于本标准第 4.2.1 条第 3 款中支座与锚杆距离的规定,应避免受到锚杆、千斤顶、液压泵、油管、振动等影响;
 - 2 锚筋数量为 1 束时应安装至少 1 个测量仪表,为多束时应安装至少 2 个且应对称安装并取平均值作为位移实测值;荷载分散锚杆每个单元锚杆应安装至少 1 个测量仪表;
 - 3 锚头位移测量点宜设置在孔口处的杆体上,条件不允许时也可设置在工具锚具、工具锚具附近的杆体或钢垫板上。

4.3 试验荷载及加卸载

- 4.3.1 预定最大试验荷载取值应符合设计要求,设计无明确要求时应符合下列规定:
- 1 极限试验的取值应能使锚杆发生锚固体拔出破坏;
 - 2 适应试验及蠕变试验的取值不应低于同类型锚杆验收荷载,验收荷载取值应符合第 4.3.2 条规定;
 - 3 群锚试验及疲劳试验的取值宜为锚杆轴向拉力标准值的 1.5 倍;
 - 4 持有荷载试验的取值宜为设计锁定荷载的 1.25 倍或取验收荷载,设计锁定荷载及验收荷载均不明确时可取锚筋抗拉断力设计值;
 - 5 验收试验的取值应为验收荷载。
- 4.3.2 验收荷载的取值应符合设计要求,设计无明确要求时应符合下列规定:
- 1 锚固类锚杆,用作基础锚杆及抗浮锚杆的长期锚杆可取承载力特征值的 2.0 倍但不应低于 1.5 倍,其余长期锚杆宜取轴向拉力标准值或承载力特征值的 1.5 倍,临时锚杆宜取轴向拉力标准值或承载力特征值的 1.25 倍;
 - 2 改良类锚杆宜取轴向拉力标准值的 1.25 倍。
- 4.3.3 试验初始荷载宜取最大荷载的 0.1 倍。
- 4.3.4 试验加卸载应符合下列规定:
- 1 应分级加卸载;
 - 2 加载应均匀、连续、无冲击,加卸载速率宜为 1kN/s~10kN/s;
 - 3 预定最大试验荷载不小于 100kN 时在维荷期间的变化幅度不应大于该最大荷载的 1%且不大于 10kN,最大试验荷载小于 100kN 时变化幅度不应大于 1kN;
 - 4 加载至最大荷载时液压泵及油管的压力不应超过其额定工作压力的 80%。
- 4.3.5 锚杆最大张拉荷载下的位移超出常规千斤顶行程时,可采用大行程千斤顶或分步张拉法。

4.3.6 采用分步张拉法时宜按下列步骤进行：

- 1 初次张拉至千斤顶最大行程的 60%~90%后锁定锚杆；
- 2 拆卸千斤顶，安装支凳；
- 3 安装千斤顶，再次张拉直至预定最大试验荷载。

4.3.7 出现下列情况之一时，宜判定锚杆达到承载能力极限状态并中止加载，否则应加载至预定最大试验荷载：

- 1 锚杆筋体断裂；
- 2 维荷时间结束时位移不稳定；
- 3 非预应力锚杆锚头总位移或预应力锚杆塑性位移大于 100mm。

4.3.8 出现维荷时间结束时位移不稳定、非预应力锚杆锚头总位移或预应力锚杆塑性位移大于 100mm 现象时，可卸载后重新试验一次。

4.4 维荷时间及位移测读

4.4.1 初始位移应取初始试验荷载对应的位移。

4.4.2 荷载持续时长应符合下列规定：

1 多循环法各循环最大荷载、分级维荷法各分级荷载及快速法最大试验荷载的维荷时长均不应少于 15min；

2 多循环法及快速法加载过程中每级停留时长宜为 1min；

3 卸载过程中每级停留时长宜为 1min。

4.4.3 位移测读频率应符合下列规定：

1 维荷期间的前 15min 宜按 1 次/1min、之后的 45min 宜按 1 次/5min、再之后宜按 1 次/10min 测读并记录锚头位移；

2 卸载过程中每级停留时宜测读并记录 1 次锚头位移。

4.5 基本试验

4.5.1 适应试验加卸载宜采用多循环法，其中非预应力锚杆也可采用分级维荷法，分级荷载宜取预定最大试验荷载的 0.5 倍、0.7 倍、0.8 倍、0.9 倍及 1.0 倍（图 4.5.1）。

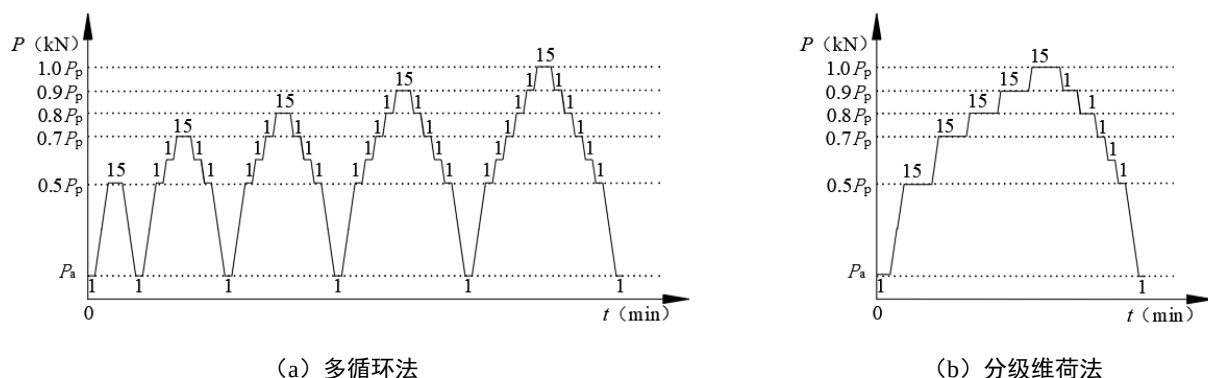


图 4.5.1 适应试验加卸载程序示意图

P —试验荷载； P_p —最大试验荷载

4.5.2 适应试验判稳方法应符合下列规定：

- 1 第 5min~第 15min 位移增量不大于 1.0mm 时，应判定为位移稳定；
- 2 第 5min~第 15min 位移增量大于 1.0mm 时，维荷时间宜延长 45min，满足本条第 3 款、第 4

款或第 5 款时应判定为位移稳定，否则应判定为位移不稳定；

3 第 15min~第 60min 位移增量不大于 1.2mm；

4 按 I. 0. 5 条规定绘制位移—时间对数曲线，根据曲线得到的蠕变率不大于 2.0mm；

5 蠕变率不大于按蠕变试验所确定的蠕变率指标。

4. 5. 3 预应力锚杆锚头弹性位移理论值、上限指标及下限指标应按下列公式计算，荷载分散锚杆应按每个单元锚杆单独计算。

$$s_{e,t} = (L_{tf} + L_e) \times (P_p - P_a) / nA_s E_s \quad (4. 5. 3-1)$$

$$s_{e,ub} = (L_{tb}/2 + L_{tf} + L_e) \times (P_p - P_a) / nA_s E_s \quad (4. 5. 3-2)$$

$$s_{e,uc} = (1.1L_{tf} + L_e) \times (P_p - P_a) / nA_s E_s \quad (4. 5. 3-3)$$

$$s_{e,l} = (0.8L_{tf} + L_e) \times (P_p - P_a) / nA_s E_s \quad (4. 5. 3-4)$$

式中：

$s_{e,t}$ ——弹性位移理论值（mm）；

L_{tf} ——锚筋自由段长度（m）；

L_e ——锚筋张拉段长度（m），位移测量点设置在孔口处的杆体上时取 0；

P_p ——最大试验荷载（kN）；

P_a ——初始试验荷载（kN）；

n ——锚筋数量；

A_s ——单束锚筋横截面积（m²）；

E_s ——锚筋材料的弹性模量（MPa）；

$s_{e,ub}$ ——拉力型锚杆弹性位移上限指标（mm）；

L_{tb} ——锚筋粘结段长度（m）；

$s_{e,uc}$ ——压力型锚杆弹性位移上限指标（mm）；

$s_{e,l}$ ——弹性位移理论值（mm）。

4. 5. 4 所有类型锚杆均应绘制荷载—位移（ $P-s$ ）曲线，其中预应力锚杆采用多循环法时应按式（4. 5. 4-1）计算弹性位移，采用分级维荷法时应按式（4. 5. 4-2）及式（4. 5. 4-3）计算弹性位移及塑性位移，并应绘制荷载—弹性位移（ $P-s_e$ ）及荷载—塑性位移（ $P-s_p$ ）曲线（图 4. 5. 4）。

$$s_{ei} = s_i - s_{pi} \quad (4. 5. 4-1)$$

$$s_{ei} = s_i^- - s_p \quad (4. 5. 4-2)$$

$$s_{pi} = s_i^+ - s_{ei} \quad (4. 5. 4-3)$$

式中：

s_{ei} ——第 i 级荷载时锚头弹性位移（mm）；

s_i ——第 i 级荷载时锚头总位移（mm）；

s_{pi} ——第 i 级荷载时锚头塑性位移（mm）；

s_i^- ——第 i 级荷载卸载时锚头位移（mm）；

s_i^+ ——第 i 级荷载加载时锚头位移（mm）。

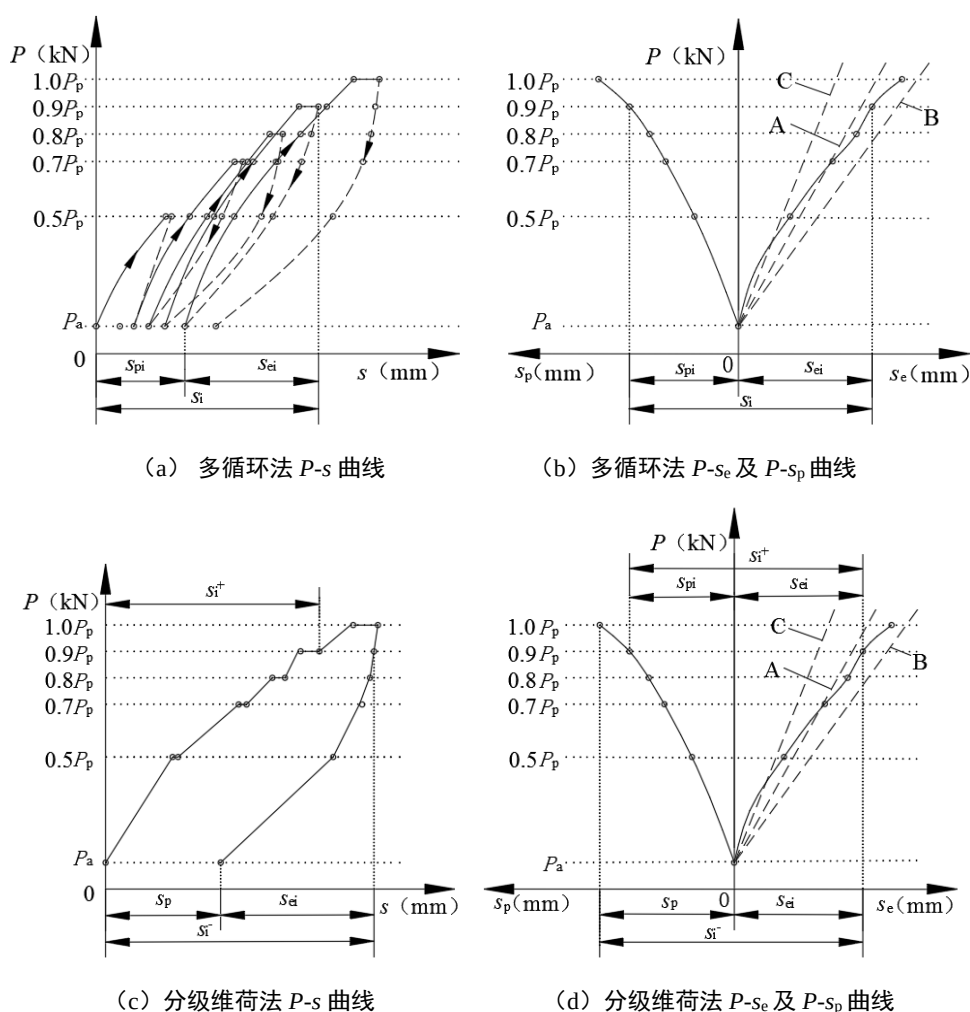


图 4.5.4 荷载—位移曲线示意图

A—弹性位移理论值；B—弹性位移上限指标；C—弹性位移下限指标

4.5.5 锚杆刚度系数 k_{RT} 可按式计算：

$$k_{RT} = (P_2 - P_1) / (s_2 - s_1) \quad (4.5.5)$$

式中：

k_{RT} ——通过锚杆试验获得的锚杆轴向刚度系数 (kN/mm)；

P_2 、 P_1 —— $P-s$ 曲线上的特定荷载 (kN)，取值方法宜按第 4.5.6 条规定执行；

s_2 、 s_1 —— P_2 、 P_1 所对应的锚头位移 (mm)。

4.5.6 P_2 、 P_1 及锚杆轴向刚度系数取值宜符合下列规定：

1 P_2 宜取锚杆轴向拉力标准值，不明确时宜取锚杆极限承载力标准值的 0.5 倍， P_1 宜取 P_a ；数据离散性较小时预应力锚杆的 P_1 也可取锁定荷载；

2 各锚杆轴向刚度系数极差不超过平均值的 30% 时可取平均值，超过 30% 时可会同相关各方协商处理，场地地质条件复杂或数据离散性较大时宜分区取值。

4.5.7 适应试验加载至预定最大试验荷载并满足下列规定时，应判定锚杆试验合格：

1 位移稳定；

2 对于非预应力锚杆，在轴向拉力标准值或承载力特征值时的总位移不大于设计允许值，无设计要求时不大于 20mm；

3 对于预应力锚杆，弹性位移位于上限指标与下限指标之间，塑性位移在轴向拉力标准值或承载

力特征值时的位移量不大于设计允许值，无设计要求时不大于 20mm。

4.5.8 适应试验出现第 4.3.7 条规定的中止加载情况时，应取锚杆达到承载能力极限状态前一级荷载作为承载力个体值。

4.5.9 适应试验预应力锚杆弹性位移或塑性位移不合格时，可按下列规定处置：

1 位移小于合格指标时再进行一遍试验，位移大于合格指标时进行蠕变试验；

2 采取调整设计施工参数、提高锚杆零部件及施工质量、测试锚筋与孔道间摩阻力等相应处置措施后重新试验；

3 不合格原因明确时调整弹性位移上下限指标及塑性位移指标作为验收试验合格指标。

4.5.10 极限试验宜按本标准附录 I 的规定执行。

4.5.11 蠕变试验宜按本标准附录 J 的规定执行。

4.5.12 群锚试验宜按本标准附录 K 的规定执行。

4.5.13 疲劳试验宜按本标准附录 L 的规定执行。

4.6 验收试验

4.6.1 加卸载方法应按现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 及现行深圳市标准《岩土锚固技术标准》SJG 73 的有关规定，结合锚杆类型及应用场景等条件综合选用。

4.6.2 采用分级维荷法或多循环法时，加卸载程序应符合第 4.5.1 条规定，并应按照第 4.5.3 条及第 4.5.4 条规定整理试验数据且宜按第 4.5.4 条的规定绘制试验曲线。

4.6.3 判稳方法应符合下列规定：

1 第 5min~第 15min 位移增量不大于 1.0mm 时，应判定为位移稳定；

2 第 5min~第 15min 位移增量大于 1.0mm 时，维荷时间宜延长 45min，满足本条第 3 款或第 4 款时应判定为位移稳定，否则应判定为位移不稳定；

3 第 15min~第 60min 位移增量不应大于 1.2mm；

4 蠕变率不应大于按蠕变试验所确定的蠕变率指标。

4.6.4 加载至预定最大试验荷载且满足下列条件时，应判定锚杆试验合格：

1 位移稳定；

2 对于非预应力锚杆，在轴向拉力标准值或承载力特征值时的总位移不大于设计允许值，无设计要求时不大于 20mm；

3 对于预应力锚杆，弹性位移位于第 4.5.3 条规定的上限指标与下限指标之间，或位于根据基本试验调整后的上限指标与下限指标之间；

4 对于预应力锚杆，在轴向拉力标准值或承载力特征值时的塑性位移不大于设计允许值，无设计要求时不大于 20mm 或不大于根据基本试验成果调整后的塑性位移合格指标。

4.6.5 出现第 4.3.7 条规定的中止加载情况时，可取锚杆达到承载能力极限状态的前一级荷载作为承载力个体值。

4.7 持有荷载试验

4.7.1 试验成果作为验收依据时，持有荷载试验开始时间应符合设计要求，无设计要求时宜在锚杆锁定后 5d 至 7d 之间进行。

4.7.2 应分级加卸载，分级荷载宜取预定最大试验荷载的 0.05 倍（图 4.7.2）。

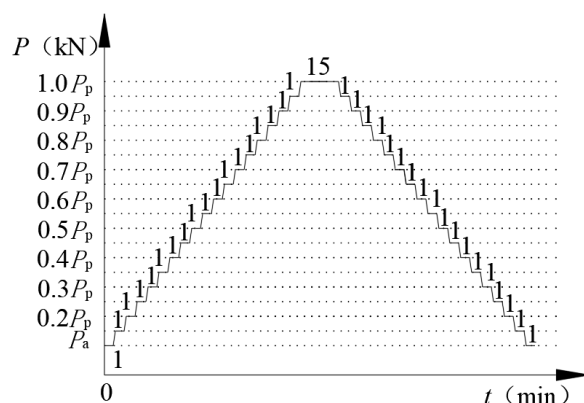


图 4.7.2 持有荷载试验加卸载程序示意图

4.7.3 采用提离法时进行持有荷载试验时，宜采用下列方法判断提离现象：

- 1 每级加载完成后，宜采用厚度 0.3mm 的塞尺从互成 180° 角的两个方向插入锚具与锚垫板之间的缝隙，塞尺从不能插入至能够插入时宜判断发生了锚板提离现象；
- 2 锚具夹片被提起现象清晰可见时宜判断发生了夹片提离现象；
- 3 可采用网格纸现场绘制 P - s 曲线，曲线出现了拐点后，结合现场观测成果综合判断是否发生了提离现象。

4.7.4 判断发生提离现象后应继续加载，加载级数宜为 2 级~3 级，但最大荷载不宜高于预定最大试验荷载，且不宜低于预定最大试验荷载的一半。

4.7.5 最后一级荷载维荷时长宜为 15min，其余各级荷载停留时长宜为 1min，宜按 1 次/1min 测读并记录锚头位移。

4.7.6 应整理试验数据并绘制 P - s 曲线（图 4.7.6）。

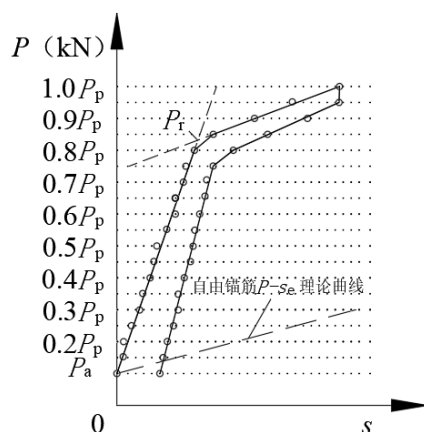


图 4.7.6 持有荷载试验 P - s 曲线示意图

P_r —持有荷载

4.7.7 持有荷载应按下列顺序分析判断取值，情况复杂难以判断时可重复一遍试验，并结合 P - s 理论曲线的误差范围等因素综合判断：

- 1 P - s 曲线上两拟合直线交点所对应的荷载；
- 2 P - s 曲线上两直线段明显拐点所对应的荷载；
- 3 现场观测发生提离现象时的前一级荷载。

4.7.8 持有荷载试验合格标准应符合设计要求，无设计要求时持有荷载为设计锁定荷载的 0.8 倍~1.1

倍可判定为试验合格。

4.7.9 塞尺使用前应擦拭干净。

4.7.10 试验行为对持有荷载有影响时宜再次锁定前压紧锚具或卸载后重新锁定。

4.7.11 锚索锁损试验采用提离法时宜符合下列步骤：

- 1 初步确定放张荷载，放张荷载按设计锁定荷载的 1.1倍~1.3 倍或其它经验值初步确定；
- 2 安装锚垫板、工作锚、限位板、千斤顶及工具锚；
- 3 千斤顶加载至放张荷载后放张，锚索锁定；
- 4 拆卸千斤顶；
- 5 安装支梁式或支凳式反力装置、千斤顶及工具锚；
- 6 测试持有荷载；
- 7 取持有荷载与设计锁定荷载之差为锁定损失，锁定损失如不大于10%或满足设计要求时则可判定中止试验，否则应继续试验；
- 8 调整放张荷载，使其为设计锁定荷载与 1.1倍~1.3 倍（或其它经验值）锁定损失荷载之和；
- 9 拆卸反力装置、千斤顶及工具锚，实际锁定荷载大于设计锁定荷载 5%时尚需拆卸工作锚；
- 10 重复上述步骤，直到实际锁定荷载达到设计锁定荷载。

4.7.12 钢筋锚杆及钢管锚杆的锁损试验采用提离法时宜符合下列步骤：

- 1 安装锁定螺母；
- 2 用扭力扳手转动锁定螺母至预设扭矩，该扭矩可使锚筋荷载达到设计锁定荷载；
- 3 安装支梁式或支凳式反力装置，安装千斤顶、工具螺母及垫块等；
- 4 测试持有荷载；
- 5 取放张荷载与实际锁定荷载之差为锁定损失荷载；
- 6 调整放张荷载，使其为设计锁定荷载与 1.1倍~1.3 倍锁定损失荷载之和，之后转动锁定螺母至调整后的扭矩，该扭矩可使锚筋拉力达到放张荷载；
- 7 重复本条第 4 款至第 6 款步骤，直到实际锁定荷载达到设计锁定荷载。

4.7.13 锁损试验采用测力计法时宜符合下列步骤：

- 1 初步确定放张荷载，放张荷载可按设计锁定荷载的 1.1倍~1.3 倍或其它经验值初步确定；
- 2 安装锚垫板、锚杆测力计、工作锚、限位板、千斤顶及工具锚；
- 3 加载至放张荷载后放张，锚杆锁定；
- 4 张拉过程中记录测力计示值及张拉荷载示值，建立两者的换算曲线或公式，锁定后测读测力计，将测力计示值换算为张拉荷载示值，该值可判定为实际锁定荷载；
- 5 实际锁定荷载与设计锁定荷载之差如不大于10%或满足设计要求时则可判定中止试验，否则应继续试验；
- 6 计算锁定损失荷载，锁定损失荷载应为放张荷载与实际锁定荷载之差；
- 7 调整放张荷载，使其为设计锁定荷载与 1.1倍~1.3 倍（或其它经验值）锁定损失荷载之和；
- 8 重复本条第 3 款至第 5 款步骤。

4.8 试验报告

4.8.1 锚杆试验报告宜包含下列内容：

- 1 委托单位，委托日期，工程名称、地点，建设（及代建）、勘察、设计、监理和施工单位，基础（支护）结构型式等设计概况，试验目的、依据、数量，日期、时间，试验人员信息等；
- 2 地层描述及典型地层地质柱状图；

- 3 试验方法、仪器设备及反力装置；
 - 4 试验锚杆类型、设计参数（孔径、长度、倾角、杆体材质规格、锚筋自由段及粘结段长度等）、编号、锚杆布置平面图、剖面图及施工情况等；
 - 5 试验过程、异常情况及破坏情形描述；
 - 6 试验记录及数据图表；
 - 7 分析计算曲线、表格和汇总结果；
 - 8 与试验目的相对应的结论。
- 4.8.2** 锚座结构或地基破坏或发生不适于继续进行试验的较大变形、仪器设备损坏、天气不良、环境影响等外界原因导致试验工作中止时，其数据不宜作为正常成果进行统计及使用，需要利用时应加以说明。
- 4.8.3** 数据分析时应考虑地基变形的影响。
- 4.8.4** 试验记录格式可按本标准附录 M 的规定执行。

5 浆体抗压强度试验

5.0.1 水泥净浆、水泥砂浆及水泥基灌浆材料的试块宜采用试模制作。

5.0.2 无侧限抗压强度评定应采用 70.7mm 立方体试块。

5.0.3 试验仪器设备应符合下列规定：

1 试模应采用 70.7mm×70.7mm×70.7mm 的带底试模，并符合现行行业标准《混凝土试模》JG 237 的规定；

2 压力试验机准确度不应低于 1%，试块破坏荷载宜不小于压力机量程的 20%且不宜大于全量程的 80%；

3 压力试验机上、下压板及试块之间可垫钢垫板，垫板的尺寸应大于试块的承压面，平整度应为每 100mm 不超过 0.02mm。

5.0.4 浆体取样应符合下列规定：

1 锚杆设置排气管时宜从管口收集返浆；

2 囊袋锚杆不设置排气管时，用于囊袋内的浆体宜从存浆设备内取样；

3 其余情况宜从锚杆孔口收集返浆，宜取锚杆停注前收集，应避免收集泥浆、土块、石屑、砂石、草木、垃圾等杂质。

5.0.5 试块制作及养护应符合下列规定：

1 试模的外接缝应采用黄油等密封材料涂抹，试模内应涂刷薄层机油或隔离剂，注浆材料应一次性装满试模；

2 试块应在温度为 20℃±5℃的环境下静置 24h±2h 之后再拆模及编号，当气温较低或者凝结时间大于 24h 时可延长静置时间，但不应超过 2d；

3 试块拆模后应及时放入温度为 20℃±2℃、相对湿度为 90%以上的标准养护室中养护，养护期间试块彼此间隔不得小于 10mm，试块上面应进行覆盖并防止有水滴在试块上；

4 养护期应为 28d。

5.0.6 试块抗压强度试验应符合下列规定：

1 试块从养护地点取出后应及时进行试验；

2 试验前应将试块表面擦拭干净、测量尺寸并检查其外观，当实测尺寸与公称尺寸之差不超过 1mm 时可按照公称尺寸计算试块的承压面积；

3 应将试块安放在试验机的下压板或下垫板上，试块承压面应与成型时的顶面垂直，试块中心应与试验机下压板或下垫板中心对准；

4 当上压板在开动试验机之后与试块或上垫板接近时，应调整球座使接触面均衡受压；

5 试验应连续且均匀加载，加载速率应为 0.25kN/s~1.5kN/s，试块强度较低时宜取下限；

6 当试块接近破坏而开始迅速变形时，应停止调整试验机油门直至试块破坏并记录破坏荷载。

5.0.7 试块抗压强度个体值宜按下式计算：

$$C_c = N_u / A_0 \quad (5.0.7)$$

式中：

C_c ——试块抗压强度个体值（MPa），应精确至 0.1MPa；

N_u ——试块破坏荷载（N）；

A_0 ——试块承压面积（mm²）。

5.0.8 每组试块抗压强度代表值确定方法应符合下列规定：

1 当最大值及最小值中与中间值的差值均不超过中间值的 20%时，应以 3 个试块抗压强度平均值作为该组试块的抗压强度代表值；

2 当最大值或最小值中有一个与中间值的差值超过中间值的 20%时，宜取中间值作为该组试块的抗压强度代表值；

3 当最大值及最小值与中间值的差值均超过中间值的 20%时，可取中间值与最小值的平均值作为该组试块的抗压强度代表值或认定该组试验结果无效。

5.0.9 浆体试块强度代表值符合下列条件时，应判定为试验合格：

1 代表值中的 80%不低于设计强度；

2 代表值中的最小值不低于设计强度的 80%。

5.0.10 浆体试块数量不足时可从锚固体上钻取芯样制作试件并符合现行行业标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384 的规定。

5.0.11 浆体试块强度检测报告宜包含以下内容：

1 委托单位，委托日期，工程名称、地点，建设（及代建）、设计、监理和施工单位，基础（支护）结构型式等设计概况；

2 试验依据、日期、时间、人员信息等；

3 材料品种、规格、产地及性能指标；

4 试块配合比及设计强度；

5 试块数量及编号；

6 试验地点、温度及湿度；

7 仪器设备名称、编号及有效期；

8 实测数据及分析计算表格；

9 结论。

附录 A 数据采集及远程传输

A.0.1 锚杆荷载试验宜符合现行广东省标准《地基基础检测与监测远程监控技术规程》DBJ/T 15-158 的规定，且系统宜具备数据自动采集及远程实时传输功能。

A.0.2 数据远程传输信息宜包括下列内容：

- 1 实时数据及时间修正、手动记录、暂停等异常情况；
- 2 工程项目的辅助信息（文本信息及图像信息）；
- 3 前期准备及检测过程中关键节点与状态的图像及视频信息；
- 4 工程项目及试验锚杆的地理位置信息。

A.0.3 数据采集及远程传输系统的仪器设备应符合下列规定：

- 1 应能够自动采集工程项目及对象等的地理位置信息；
- 2 应能够实时同步采集及存储数据，并具有无线及有线传输功能；
- 3 应具有文本、图像及视频等信息实时传输功能，以及数据加密、传输因故中断后断点续传功能；
- 4 应具备操控/显示屏，能现场操作、显示并输出原始记录表及数据汇总表等数据；
- 5 应支持 NTP/SNTP 协议校时，实现时间同步；
- 6 应具有人工记录数据功能；
- 7 应具有故障自动及人工报警、数据自动备份、运行日志自动记录等功能；
- 8 外壳防护等级应符合现行国家标准《外壳防护等级（IP 代码）》GB/T 4208 的规定且不应低于 IP65；
- 9 应具有自动及手动加卸载保护功能；
- 10 采集及接口软件不得提供二次操作采集数据功能，不得提供修改原始数据功能。

A.0.4 检测工作开始前宜采集下列信息：

- 1 工程名称及位置等工程信息，其中锚杆地理位置信息宜在锚头或锚头对应的地面采集；
- 2 试验锚杆位置、编号、设计承载力、长度、直径等设计信息；
- 3 试验类型、最大试验荷载、反力装置类型及加载方式等试验参数信息；
- 4 千斤顶等加载装置、荷载试验及位移测量的仪表及校准情况等试验仪器设备信息；
- 5 上岗证等人员信息；
- 6 技术标准等试验依据信息。

A.0.5 检测过程中宜采集下列关键节点与状态信息：

- 1 加载反力装置、锚杆及基准桩等平面位置关系；
- 2 初始荷载、最大试验荷载、加载装置、终止试验时的荷载、位移测量仪器；
- 3 破坏状态；
- 4 异常情况。

附录 B 快速加载法

- B.0.1** 荷载试验要求应符合本标准第 4.1 节~第 4.4 节的规定。
- B.0.2** 每级荷载宜取预定最大试验荷载的 0.5、0.7、0.8、0.9 及 1.0 倍（图 B.0.2）。

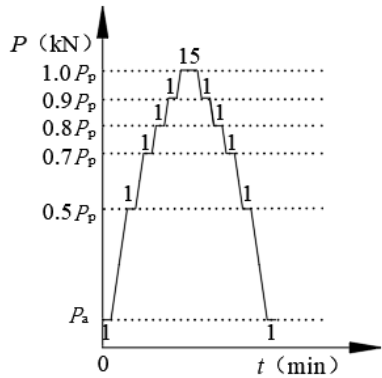
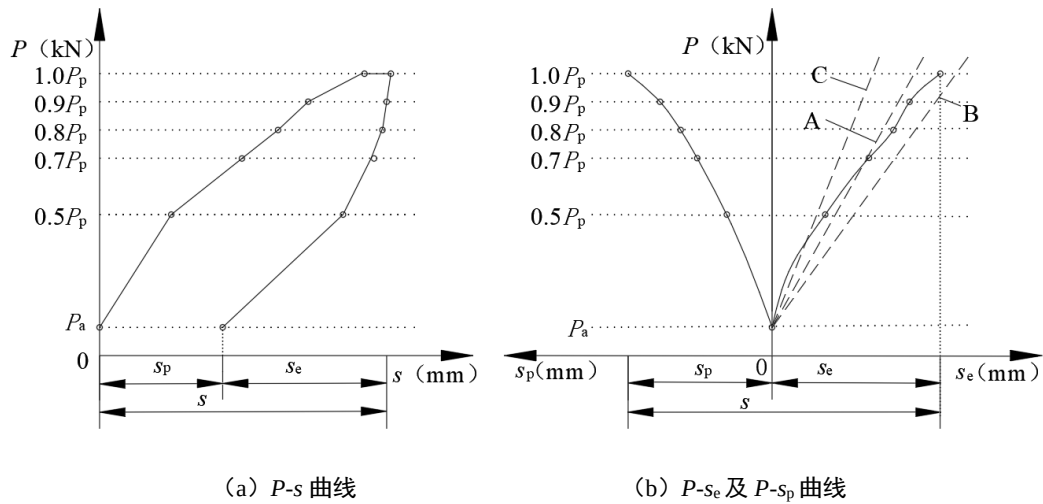


图 B.0.2 快速法加卸载程序示意图

- B.0.3** 试验数据整理应符合本标准第 4.5.3 条及第 4.5.4 条的规定。
- B.0.4** 宜绘制荷载—位移（ $P-s$ ）曲线，其中预应力锚杆尚宜绘制荷载—弹性位移（ $P-s_e$ ）及荷载—塑性位移（ $P-s_p$ ）曲线（图 B.0.4）。



(a) $P-s$ 曲线

(b) $P-s_e$ 及 $P-s_p$ 曲线

图 B.0.4 快速法荷载—位移曲线示意图

A—弹性位移理论值；B—弹性位移上限指标；C—弹性位移下限指标

- B.0.5** 判稳方法及试验合格判定应符合本标准第 4.6.3 条及第 4.6.4 条的规定。

附录 C 埋线法长度测试

C.0.1 仪器设备应符合下列规定：

- 1 波速调节范围宜为 60mm/ns~300mm/ns；
- 2 应具备可发射不少于 2 种宽度的脉冲的功能，脉冲宽度宜为 2ns~40ns。

C.0.2 导线规格及布设应符合下列规定：

- 1 同类型锚杆的导线种类应相同；
- 2 导线宜为单芯单股铜芯绝缘硬线，规格宜为 1.5mm²、2.5mm² 或 4mm²，锚杆越长截面积宜越大；
- 3 导线应保持顺直状态与锚筋平行敷设，宜每 1.5m~2.0m 用绝缘材料固定 1 次；
- 4 导线末端应与锚筋底端平齐且无导电接触，宜采用电工胶带包裹绝缘；
- 5 导线应与锚筋一起安放至钻孔内后注浆；
- 6 布设前后应检查导线的完好性。

C.0.3 锚筋不应与外部环境有导电连接或导磁连接，测试前应清除锚筋及导线表面附着的锚固体及氧化物等杂质，测量并记录锚筋外露长度。

C.0.4 现场测试开始时间宜为锚固体终凝后。

C.0.5 信号采集和筛选应符合下列规定：

- 1 信号采集前应调试仪器，确保仪器与线路的连接正常，可采用 2 个测试夹短路的方式初步确定起始光标的位置；
- 2 应采用不少于 2 个不同宽度的发射脉冲进行信号采集，选择锚杆底部同向反射明显或波幅较大的典型波形用于波速及锚杆长度计算；
- 3 信号记录时间不宜少于 2 次发射脉冲在锚杆两端往返所需时间；
- 4 测试过程中应随时检查信号质量，选择具有明显反射的信号进行存储；
- 5 宜将 2 个测试夹相互碰触时波形发生反转的起始上升位置作为测试夹与锚筋接触位置、即锚杆端头位置，将最大波幅的同向反射波形起始上升位置作为锚杆末端位置；
- 6 可将起始光标移至锚杆端头位置及将结束光标移至锚杆末端位置，将光标之间的时长作为发射脉冲与反射脉冲的时间差。

C.0.6 现场宜制作校准锚杆并符合下列规定：

- 1 同类型锚杆的校准锚杆数量不宜少于 3 根；
- 2 长度应事先确知；
- 3 长度宜在同类型锚杆中最长；
- 4 测读数据时宜不断改变脉冲宽度以获取最佳测试信号。

C.0.7 校准锚杆的波速计算宜按下列步骤进行：

- 1 采用 1 个脉冲宽度测量第 i 根校准锚杆的脉冲时间差；
- 2 按下式计算校准锚杆的波速；
- 3 采用另 1 个脉冲宽度重复测量；
- 4 取 2 个脉冲宽度波速的平均值作为第 i 根校准锚杆的波速；
- 5 取所有校准锚杆波速平均值作为脉冲传播校准速度 V_m (mm/ns)。

$$V_i = \frac{2L_i}{\Delta t_i - 2L_{iw}/V_0} \quad (C.0.7)$$

式中:

V_0 ——空气中的脉冲传播速度, 可取 230 mm/ns;

V_i ——第 i 根校准锚杆的脉冲传播速度 (mm/ns);

L_{iw} ——第 i 根校准锚杆的锚筋外露长度 (mm);

L_i ——第 i 根校准锚杆的锚固体从锚筋/导线底端至地表的长度 (mm);

Δt_i ——第 i 根发射脉冲与反射脉冲的时间差 (ns)。

C. 0. 8 受检锚杆长度的计算宜按下列步骤进行:

- 1 采用 1 个脉冲宽度测量该锚杆的脉冲时间差;
- 2 按式 (C. 0. 8) 计算该锚杆长度;
- 3 采用另 1 个脉冲宽度重复测量;
- 4 取 2 个计算长度 L_c 的平均值作为该锚杆的锚固体从锚筋/导线底端至地表的长度 L 。

$$L_c = V_m(\Delta t - 2L_w/V_0)/2 \quad (\text{C. 0. 8})$$

式中:

L_c ——受检锚杆的锚固体从锚筋/导线底端至地表的长度 (mm);

V_m ——校准波速 (mm/ns);

L_w ——受检锚杆的锚筋外露长度 (mm);

Δt ——受检锚杆发射脉冲与反射脉冲的时间差 (ns)。

C. 0. 9 有明显反向反射波形及无明显反射波形时, 不宜对锚杆长度进行判定。

C. 0. 10 钻孔内锚筋长度不超过 10m 时允许误差不应大于 1.5m, 超过 10m 时不应大于钻孔内锚筋长度的 15%。

附录 D 旁孔法长度测试

D.0.1 仪器及传感器应符合下列规定：

- 1 测试深度不宜小于 100m；
- 2 传感器测量感应距离不应小于 3m，在 1.5MPa 水压下不应渗水；
- 3 测试深度分度值宜小于 50mm，深度误差宜小于 0.5m；
- 4 数据采集仪应具有信号实时显示和初步分析处理功能；
- 5 旁孔磁法的磁感应强度测试范围宜为-99999nT~99999nT，分度值宜小于 10nT，精度宜优于 50nT；
- 6 电磁法发射机宜具有直连和夹钳两种输出模式，宜为阻抗自动匹配输出方式，输出功率不宜小于 10w，发射机及接收机工作频率范围宜为 50Hz~200kHz，接收机增益范围宜为 0dB~140dB。

D.0.2 测试孔布设应符合下列规定：

- 1 距离锚杆不宜超过 3.0m；
- 2 与锚杆轴线夹角不应大于 2°；
- 3 孔深宜超过锚杆底端不小于 5m；
- 4 孔径宜为 90mm~120mm；
- 5 钻孔宜采用 PVC 管等非磁性材料护壁，管内径宜为 60mm~100mm，管深度宜超过锚杆底端不小于 5m，传感器应能在孔内自由升降；
- 6 现场测试工作完成后应封孔。

D.0.3 现场测试应符合下列规定：

- 1 测试开始时间宜为锚固体终凝后；
- 2 锚筋不应与外部环境有导电连接或导磁连接，磁法测试前宜移除受检锚杆附近的机械设备、钢材等铁磁性较大物体；
- 3 电磁法选用直接法时，应将发射机输出端的一端连接在试验锚杆出露端，另一端与远离锚杆的接地电极相接，把交变电流直接施加在锚杆上；选用线圈感应法时，应采用夹钳方式在锚杆上施加高频交变电流；
- 4 设备安装完成、传感器置入测试孔底后，应匀速提升传感器，提升速率宜为 0.1m/s~0.15m/s；
- 5 磁场强度数据采集时测点间距宜为 0.05m~0.1m，在锚杆底端附近应取较小间距；
- 6 测试曲线记录时宜实时判断是否正常；
- 7 有效曲线不应少于 3 条；
- 8 数据曲线一致性较差时应分析原因、增加测试次数，磁法还可采用磁铁对锚杆进行充磁以及将磁向反向后重新测试，电磁法还可调节发射机频率；
- 9 初步判定实测长度不符合设计长度时应进行复测。

D.0.4 磁法垂直方向测试数据的分析与判定应符合下列规定：

- 1 应绘制垂直长度—磁场强度垂直分量（ L_v-Z ）曲线，并宜依据曲线下端平滑稳定的 Z 值判定测区垂直分量背景磁场强度 Z_0 ，当 Z 值相对 Z_0 有明显变化（高于或低于）时应判定有锚筋存在；
- 2 宜按下式计算磁场强度垂直分量梯度 dZ/dL_v ；

$$\frac{dZ}{dL_v} = \frac{Z_2 - Z_1}{\Delta L_v} \quad (\text{D.0.4})$$

式中：

- Z ——磁场强度垂直分量（nT）；
 L_v ——锚杆垂直长度（m）；
 dZ/dL_v ——磁场强度垂直分量梯度（nT/m）；
 $Z_1、Z_2$ ——上、下测点的磁场强度垂直分量（nT）；
 Δl_v ——上、下测点垂直间距（m）。

3 应综合 L_v-Z 曲线及垂直长度—垂直分量梯度（ L_v-dZ/dL_v ）曲线初步判定锚筋底端位置 L_0 ， L_0 宜取 L_v-Z 曲线底部 Z 值由小于 Z_0 的极小值转成大于 Z_0 的拐点或 L_v-dZ/dL_v 曲线底部最深的极值点对应的深度位置。

D.0.5 电磁法测试数据的分析与判定应符合下列规定：

1 应绘制锚杆电磁长度—交变磁场强度（ L_E-H ）曲线，曲线出现拐点畸变位置应判定为锚筋底端位置 L_0 ；

2 宜按下式计算交变磁场强度梯度 dH/dL_E ，绘制锚杆电磁长度—交变磁场梯度（ L_E-dH/dL ）曲线并综合判定锚筋底端位置 L_0 ：

$$\frac{dH}{dL_E} = \frac{H_2 - H_1}{\Delta l} \quad (\text{D.0.5})$$

式中：

- H ——交变磁场强度（A/m）；
 L_E ——锚筋电磁长度（m），为锚筋测试点至激发点的距离；
 dH/dL_E ——交变磁场强度梯度（A/m²）；
 $H_1、H_2$ ——前、后测点的交变磁场强度（A）；
 Δl ——前、后测点间距（m）。

D.0.6 钻孔内锚筋长度不超过 20m 时允许误差不应大于 1.0m，超过 20m 时不应大于钻孔内锚筋长度的 5%；测试孔与锚杆轴线不平时宜计入因此产生的测量误差。

附录 E 回收试验

- E.0.1** 应根据不同自解锁锚具产品选定相应的回收工艺。
- E.0.2** 试验专用锚杆可在地表附近挖操作坑制作并应符合下列规定：
- 1 长度、锁定荷载及承载力均应取同类型锚杆中的最大值；
 - 2 基坑下半部分地层与上半部分地层附近相差较大时应补充 3 根；
 - 3 材料、零部件、机械设备、施工工艺及参数等应与工程锚杆基本相同。
- E.0.3** 试验专用锚杆施工及保护应符合下列规定：
- 1 不得有拉拔、反旋、击入等误解锁动作；
 - 2 不得损伤锚头、钢绞线及辅助解锁的绳索管线等用具；
 - 3 锚筋护套不应破损，浆液、泥浆等杂物不得漏入护套及自解锁锚具内；
 - 4 张拉段长度应能满足试验及回收操作需求；
 - 5 应根据不同回收工艺设置适合的作业平台；
 - 6 对回收设备应采取防坠落及防飞出措施。
- E.0.4** 试验程序应符合下列规定：
- 1 应按本标准第 4.5 节规定进行多循环法适应试验；
 - 2 宜按本标准第 4.7 节规定进行锁损试验；
 - 3 宜按同类型锚杆锁定荷载中的最大值的 1.25 倍锁定；
 - 4 锁定后维荷时间不宜少于 5h；
 - 5 宜按照本标准第 4.7 节规定检测锚筋持有荷载；
 - 6 拆除锚具，解锁，回收锚筋。
- E.0.5** 试验结果满足下列条件时，应判定回收试验合格：
- 1 适应试验维荷时间内位移稳定；
 - 2 持有荷载符合本标准第 4.7 节规定的试验合格标准；
 - 3 按预定方式的回收率为 100%。

附录 F 自测力锚杆法测试

F.0.1 自测力锚杆产品应符合下列规定：

- 1 传感器的准确度等级不应低于 0.5 级，分度值不宜低于 1.0kN；
- 2 传感器的量程宜分级设置，最小量程不宜小于 300kN；
- 3 传感器及导线的防渗能力宜分级设置，最低等级宜为 0.5MPa 水压下不渗水；
- 4 导线应具有较强的变形适应能力，宜选用高松驰材料导线；
- 5 宜采用激光打码机械在锚杆外端头标记钢绞线杆体长度；
- 6 应在工厂内完成组装。

F.0.2 自测力锚杆法测试数量应根据需求确定。

F.0.3 自测力锚杆的施工机械设备、施工工艺及参数等应与其它工程锚杆基本相同。

F.0.4 施工及测试过程中不得损伤导线。

F.0.5 现场测试程序宜符合下列步骤：

- 1 在锚固体终凝 3d 内检查传感器及线路的完好性；
- 2 测试前测读初始压力值；
- 3 按加卸载程序逐级加载至预定最大试验荷载，按 1 次/5min 频率测读压力峰值；
- 4 卸载到初始试验荷载，测读压力谷值；
- 5 重复本条第 3 及第 4 款，直到相邻两次压力峰值的相对差小于 5%。

F.0.6 现场测试加卸载程序应符合设计要求，设计无要求时可按照本标准第 4.5 节适应试验执行。

F.0.7 宜将测试结果与锚头荷载对比，两者之差即为该级荷载下锚筋摩阻力损失。

F.0.8 测试结果可用作锚筋持有荷载及调整锚头弹性位移上、下限指标的依据。

附录 G 分布式光纤测试

G.0.1 传感光缆及解调设备应符合下列规定：

- 1 宜采用金属基索状应变感测光缆；
- 2 宜采用单模光纤；
- 3 光缆应变范围宜为 $\pm 10000\mu\epsilon$ ；
- 4 光缆抗拉强度及耐磨损性应满足现场施工和拉拔测试环境的要求；
- 5 解调设备准确度不应低于 $40\mu\epsilon$ ，重复性宜优于 $50\mu\epsilon$ ；
- 6 解调设备最小空间分辨率不宜大于 0.5m ，最小采样间隔不宜大于 0.1m ；
- 7 解调设备单次解调时间不宜大于 5min 。

G.0.2 光缆布设应符合下列规定：

- 1 布设前应核查光缆应变系数、温度系数和断点，宜采用解调设备进行系数标定；
- 2 光缆宜沿锚筋外侧对称布设，有条件时可布设2条回路，光缆引线长度不宜小于 4m ；
- 3 光缆附着在锚筋上时宜逐点拉紧，点距宜为 $0.5\text{m}\sim 1.0\text{m}$ ，用尼龙扎带或胶带绑扎固定在锚筋上；
- 4 光缆埋设在锚固体中时宜先固定光缆底端，再用锁线器拉伸顶端，之后将之绑扎固定在锚杆杆体上，中间部分用尼龙扎带宽松地绑扎在杆体定位架上，绑扎点距宜为 $1.2\text{m}\sim 1.5\text{m}$ ；
- 5 光缆布设完成后宜再次测试断点和损耗并检查光缆松紧程度，光缆松弛时应重新拉紧固定，光缆损耗不应大于 10dB ；
- 6 在光缆弯曲及出露地表位置宜松套套管保护，防止光缆损伤和折断，光缆弯曲半径应不小于20倍光缆直径；
- 7 测试锚杆不宜少于3根。

G.0.3 测读数据应符合下列规定：

- 1 同一锚杆测试过程中空间分辨率、采样间隔、扫描频率步长等设备参数应保持一致；
- 2 测试前应选取光缆特征点进行定位，确定锚杆长度范围内光缆起始位置及长度；
- 3 试验加载前，应采集3次光纤有效测试数据并取算数平均值作为测试初始读数；
- 4 试验加载过程中，应在本级荷载加载完成且锚头位移稳定后进行数据采集；
- 5 每级数据采集完成后，应进行数据检查，发现光纤测试数据异常、测试信号信噪比较低时，应检查光路、测试参数设置并重新测试；
- 6 测试时宜对光纤解调仪的测试参数、测试次数、测试时间、数据异常以及现场出现的问题或故障进行记录。

G.0.4 数据处理应符合下列规定：

- 1 数据处理前，应将光缆特征点位置与锚杆空间位置相对应以进行数据定位，宜根据数据定位结果选取测试目标范围内的光纤测试频率值进行计算分析；
- 2 锚杆应变可按下式计算：

$$\varepsilon_i(z) = [\nu_i(z) - \nu_0(z)] \times C_s \quad (\text{G.0.4-1})$$

式中：

- $\varepsilon_i(z)$ ——在第 i 级荷载下深度 z 处锚筋或锚固体应变；
- $\nu_0(z)$ ——初始状态下深度 z 处光纤的初始布里渊散射光频移量（MHz）；
- $\nu_i(z)$ ——在第 i 级荷载下深度 z 处光纤的初始布里渊散射光频移量（MHz）；

C_s ——光纤布里渊散射光的频移量与应变的比例系数 ($\mu\epsilon/\text{MHz}$)。

3 拉力型及全粘结锚杆的锚筋轴力可按下式计算:

$$Q(z) = \varepsilon(z)EA \quad (\text{G. 0. 4-2})$$

式中:

$Q(z)$ ——深度 z 处锚筋轴力 (N) ;

$\varepsilon(z)$ ——深度 z 处锚筋或锚固体应变;

E ——锚筋材料弹性模量 (MPa) ;

A ——所有锚筋横截面积之和 (mm^2)。

4 拉力型及全粘结锚杆锚固体与地层间的粘结应力可按下式计算:

$$f_m(z) = \frac{dQ(z)}{udz} \quad (\text{G. 0. 4-3})$$

式中:

$f_m(z)$ ——深度 z 处锚固体与地层间的粘结应力 (MPa) ;

u ——深度 z 处锚固体周长 (mm)。

附录 H 检测不合格处置流程

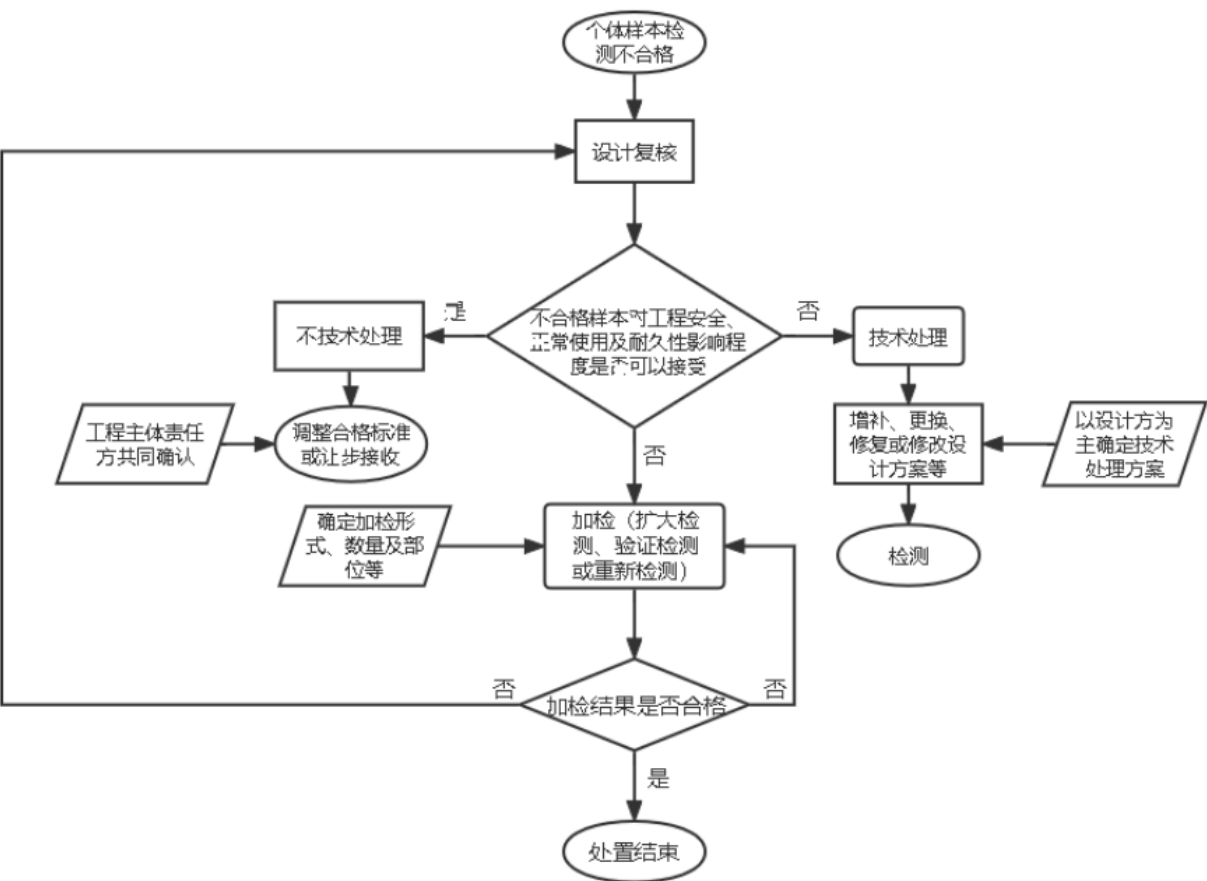


图 H 检测不合格处置流程

附录 I 极限试验

I. 0.1 加卸载应采用多循环法，循环次数宜为 7 次，分级荷载可取预定最大试验荷载 P_p 的 0.3 倍、0.5 倍、0.6 倍、0.7 倍、0.8 倍、0.9 倍及 1.0 倍（图 I. 0.1），加载至预定最大试验荷载后如未出现本标准第 4.3.7 条规定的中止加载情况时，宜继续按预定最大试验荷载的 0.05 倍分级循环加载试验直至破坏。

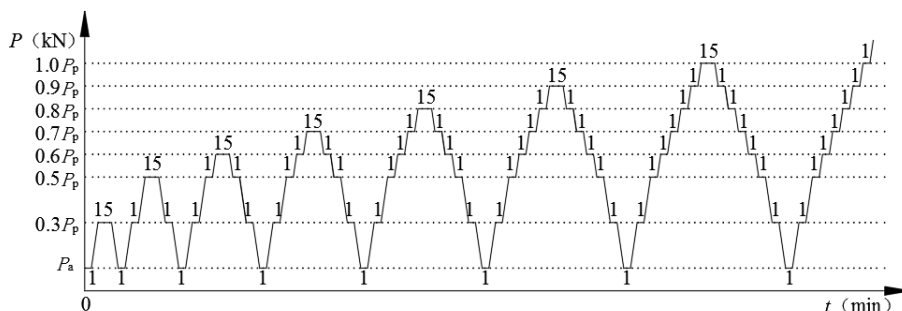


图 I. 0.1 极限试验加卸载程序示意图

I. 0.2 蠕变率宜按下式计算，荷载分散锚杆应按各单元锚杆单独计算：

$$\alpha = (S_b - S_a) / (\lg t_b - \lg t_a) \quad (\text{I. 0.2})$$

式中：

α ——蠕变率 (mm)；

S_b 、 S_a —— t_b 、 t_a 时刻的锚头位移读数 (mm)；

t_b 、 t_a ——计算时间对数周期的终、始时刻 (min)，其中 t_a 不宜小于第 5min， t_b 宜大于 t_a 至少 30min。

I. 0.3 判稳方法宜符合下列规定：

- 1 第 5min~第 15min 位移增量不大于 1.0mm 时，宜判定为位移稳定；
- 2 第 5min~第 15min 位移增量大于 1.0mm 时，维荷时间宜延长 45min，第 15min~第 60min 位移增量不大于 1.2mm 时，宜判定为位移稳定；
- 3 第 15min~第 60min 位移增量大于 1.2mm 时，宜再次延长维荷时间 240min 并取不同时间段计算蠕变率 α ，可判断出 $\alpha \leq 2.0\text{mm}$ 或 $\alpha > 5.0\text{mm}$ 时即可进入下一循环试验，否则宜试验至维荷时间结束。

I. 0.4 试验数据整理应符合本标准第 4.5.3 条~第 4.5.6 条的规定。

I. 0.5 应绘制荷载—位移 ($P-s$)、位移—时间对数 ($s-\lg t$) 及蠕变率—荷载 ($\alpha-P$) 曲线 (图 I. 0.5)，预应力锚杆尚应绘制 $P-s_e$ 及 $P-s_p$ 曲线 (图 4.5.4b)。

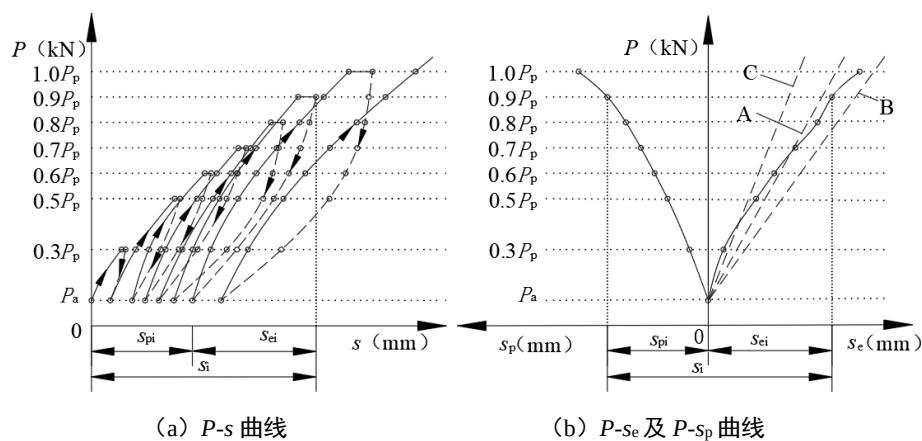
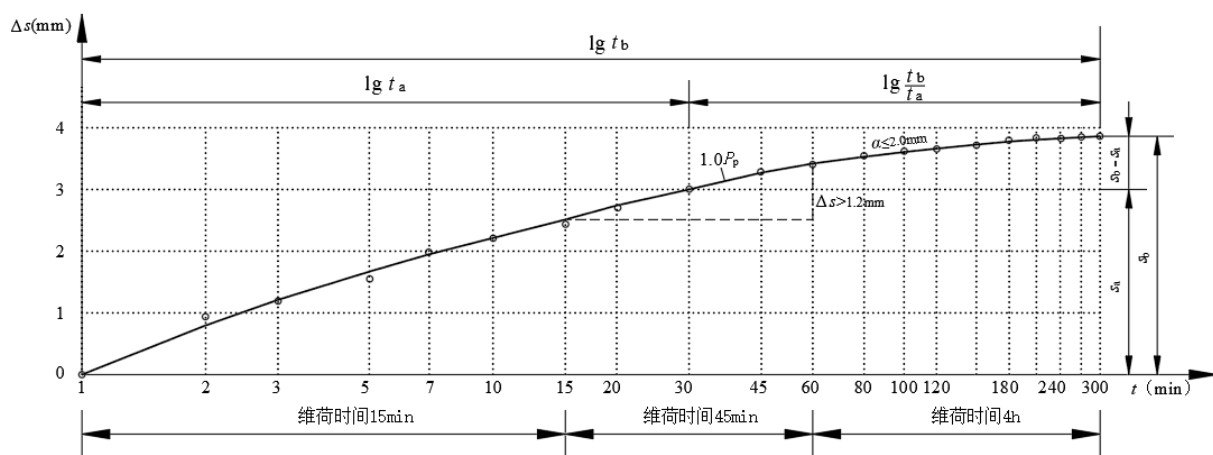
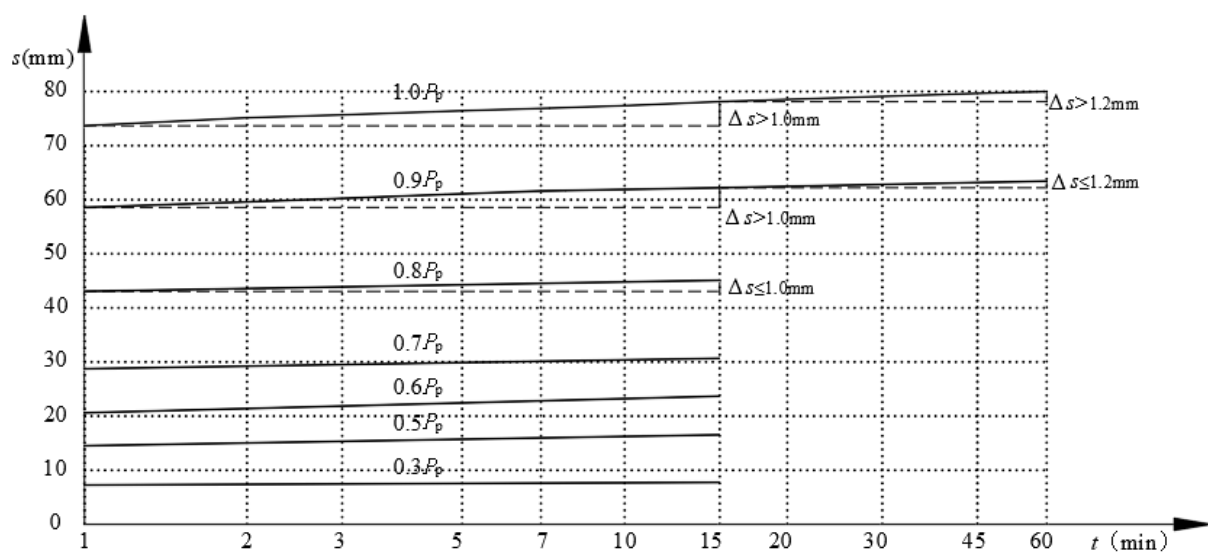


图 1.0.5-1 荷载—位移曲线示意图



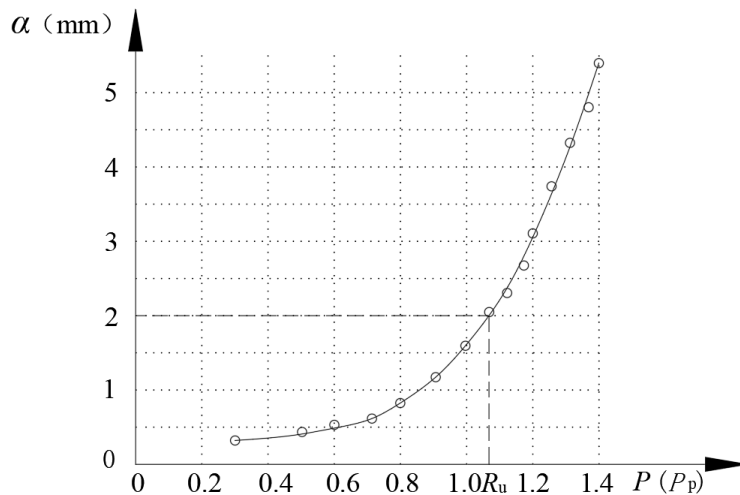


图 I.0.5-4 $\alpha-P$ 曲线示意图

R_u —锚杆极限承载力个体值

I.0.6 锚杆极限承载力个体值 R_u 宜按下列规定计取：

- 1 $\alpha \geq 2.0\text{mm}$ 时宜取 2.0mm 对应的荷载或取破坏荷载的前一级荷载，其中有本标准第 3.2.4 条所列情况时宜按本标准第 J.0.7 条第 1 款取值；
- 2 $\alpha < 2.0\text{mm}$ 但锚杆达到承载能力极限状态时宜取破坏荷载的前一级荷载；
- 3 $\alpha < 2.0\text{mm}$ 且锚杆未达到承载能力极限状态时宜取实际最大试验荷载。

I.0.7 锚杆承载力计取方法宜符合下列规定：

- 1 锚杆荷载试验数量不少于 6 个时，宜按下列公式计算极限承载力标准值：

$$R_{um} = \sum_{i=1}^m R_{u,i} / m \quad (\text{I.0.7-1})$$

$$\sigma_f = \sqrt{[\sum_{i=1}^m R_{u,i}^2 - (\sum_{i=1}^m R_{u,i})^2 / m] / (m-1)} \quad (\text{I.0.7-2})$$

$$\delta_m = \sigma_f / R_{um} \quad (\text{I.0.7-3})$$

$$\gamma_s = 1 - (1.704 / \sqrt{m} + 4.678 / m^2) \delta_m \quad (\text{I.0.7-4})$$

$$R_{uk} = \gamma_s R_{um} \quad (\text{I.0.7-5})$$

式中：

- R_{uk} ——锚杆极限承载力标准值（kN）；
 R_{um} ——承载力个体值的平均值（kN）；
 m ——试验数量；
 $R_{u,i}$ ——第 i 个试验锚杆极限承载力个体值（kN）；
 σ_f ——标准差；
 δ_m ——变异系数；
 γ_s ——统计修正系数。

2 试验数量少于 6 个且极差不超过平均值的 30% 时，宜取试验结果中的最小值作为极限承载力代表值，极差超过平均值的 30% 时应分析原因，并结合施工工艺、地层条件等工程具体情况综合确定，

原因不能明确时宜增加试验数量后重新统计；

3 锚杆承载力特征值取值应按设计要求，设计无明确要求时可按极限承载力标准值或代表值除以安全系数 2.0 取值。

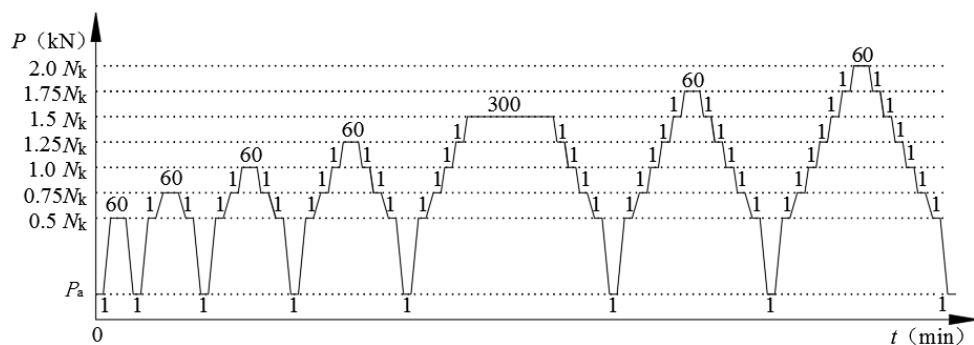
I. 0. 8 承载力统计计算采用其它破坏形式获得的成果时应注明，有争议时可重新试验。

I. 0. 9 极限试验获得的锚杆性能参数应用于工程锚杆时应考虑适用条件。

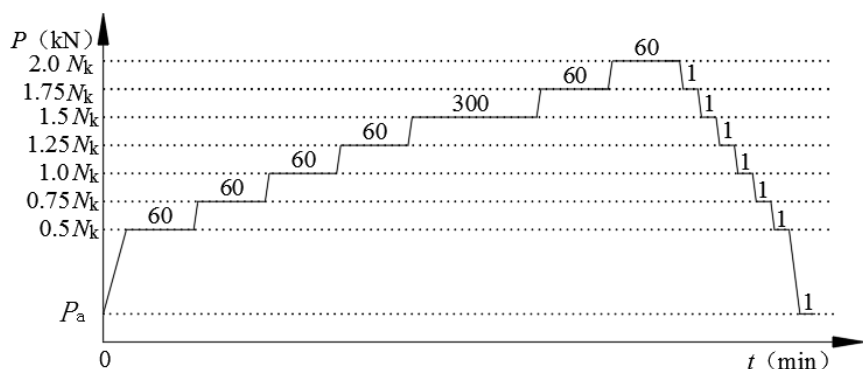
I. 0. 10 预应力锚杆锚头弹性位移不符合按本标准第 4. 5. 3 条计算得到的上下限指标及塑性位移不满足设计要求时，可采取调整设计施工参数、提高锚杆零部件及施工质量、测试锚筋与孔道间摩阻力等处置措施后重新试验或通过适应试验重新验证，不合格原因明确时可调整弹性位移上下限指标及塑性位移合格指标作为验收试验合格指标。

附录 J 蠕变试验

J. 0.1 加卸载宜采用多循环法，非预应力锚杆也可采用分级维荷法，分级荷载宜为锚杆轴向拉力标准值 N_k 或承载力特征值的 0.5 倍、0.75 倍、1.0 倍、1.25 倍、1.5 倍、1.75 倍及 2.0 倍（图 J. 0.1）。



(a) 多循环法



(b) 分级维荷法

图 J. 0.1 蠕变试验加卸载程序示意图

J. 0.2 各级荷载维持时间应符合表 J. 0.2 的规定：

表 J. 0.2 蠕变试验各级荷载维荷时间

试验荷载	荷载等级	$0.5N_k$	$0.75N_k$	$1.0N_k$	$1.25N_k$	$1.5N_k$	$1.75N_k$	$2.0N_k$
预定最大试验荷载 为 $2.0N_k$	常规维荷时长 (min)	60	60	60	300	60	60	60
	延长维荷时长 (min)	240	240	240	0	-	-	-
预定最大试验荷载 为 $1.5N_k$	常规维荷时长 (min)	60	60	60	300	60		
	延长维荷时长 (min)	240	240	240	0	-		
预定最大试验荷载 为 $1.25N_k$	常规维荷时长 (min)	60	60	60	300			
	延长维荷时长 (min)	240	240	240	0			

J. 0.3 判稳方法应符合下列规定：

- 第 6min~第 60min 蠕变量不大于 2.0mm 宜判定为位移稳定；
- 第 6min~第 60min 蠕变量大于 2.0mm 时，应按表 J. 0.2 的规定进入延长维荷时间，并取不同时间段计算蠕变率 α ，可判断出 $\alpha \leq 2.0\text{mm}$ 或 $\alpha > 5.0\text{mm}$ 时即可进入下一循环试验，否则宜试验至维荷时

间结束。

J.0.4 试验数据整理应符合本标准第 4.5.3 条~第 4.5.6 条的规定。

J.0.5 应绘制 $P-s$ (图 4.5.4a、图 4.5.4c)、 $s-lgt$ 及 $\alpha-P$ (图 I.0.5) 曲线, 预应力锚杆尚应绘制 $P-s_e$ 及 $P-s_p$ 曲线 (图 4.5.4b、图 4.5.4d)。

J.0.6 应按本标准第 4.5.7 条的规定判断锚杆试验是否合格。

J.0.7 出现本标准第 4.3.7 条规定的中止加载情况时, 锚杆极限承载力个体值 R_u 应按下列规定计取:

1 $\alpha \geq 2.0\text{mm}$ 时可取 2.0mm~5.0mm 的某一数值作为蠕变试验确定的蠕变率指标, 并取该蠕变率对应的荷载;

2 $\alpha < 2.0\text{mm}$ 但锚杆达到承载能力极限状态时宜取破坏荷载的前一级荷载。

J.0.8 预应力锚杆弹性位移不符合按本标准第 4.5.3 条计算得到的上下限指标及塑性位移不满足设计要求时, 宜按下列规定处置:

1 可采取调整设计施工参数、提高锚杆零部件及施工质量、测试锚筋与孔道间摩阻力等相应处置措施后重新试验;

2 原因明确时可调整弹性位移上下限指标及塑性位移指标作为验收试验合格指标。

附录 K 群 锚 试 验

K.0.1 锚杆试验数量不少于两组时，宜先选择水平间距最小的一组进行试验，证实有群锚效应时再试验其它组。

K.0.2 试验宜在相邻 3 根锚杆上进行，试验锚杆可呈正三角形或一字型布置。

K.0.3 每根锚杆均应设置独立的支梁式反力装置。

K.0.4 试验时应对反力装置主梁及地基进行位移监测。

K.0.5 试验程序宜按下列步骤进行：

- 1 分别对 3 根锚杆进行适应试验；
- 2 锚杆 a（一字型布置时中间的锚杆为 a）按快速法加载到预定最大试验荷载 P_p 后维荷；
- 3 锚杆 a 维持 P_p 荷载 15min 后锚杆 b 按快速法加载到 P_p ；
- 4 锚杆 a、b 同时维持 P_p 荷载 15min 后锚杆 c 按快速法加载到 P_p ，三者同时维荷时长不宜少于 15min；
- 5 按锚杆 c、b、a 的顺序卸载至 P_a ；
- 6 加卸载时每级停留 1min；
- 7 一字型布置的锚杆按 a、c、b 顺序，三角型布置的锚杆按 c、a、b 顺序，重复上述步骤；
- 8 按 1 次/min 频率测读并记录锚杆 a、b、c 位移。

K.0.6 先加载锚杆受到后加载锚杆干扰发生蠕变量异常增加或千斤顶异常掉压现象时，可判定锚杆之间存在着群锚现象。

附录 L 疲劳试验

L. 0. 1 加卸载应采用多循环法，分级荷载上限宜分为锚杆轴向拉力标准值 N_k 或承载力特征值的 0.75 倍、1.0 倍、1.25 倍及 1.5 倍四级，分级荷载下限宜取重复荷载设计下限值且不高于同级荷载上限的 0.5 倍（图 L. 0. 1）。

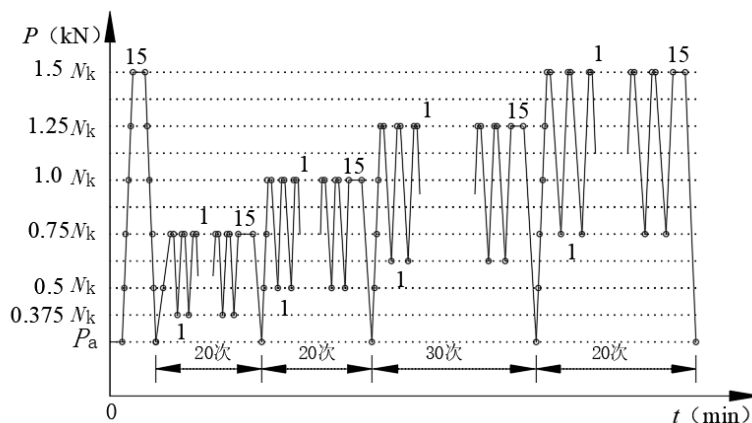


图 L. 0. 1 疲劳试验加卸载程序示意图

L. 0. 2 宜先按快速法加载至 $1.5N_k$ ，之后再分四级荷载重复加卸载。

L. 0. 3 每级荷载循环次数宜为 20~30 次。

L. 0. 4 各级荷载维荷时长最后一遍不宜少于 15min、其余宜为 1min，加载时每级停留时长宜为 1min。

L. 0. 5 应测读并记录锚头位移，

L. 0. 6 试验数据整理宜符合本标准第 4. 5. 3 条及第 4. 5. 4 条的规定。

L. 0. 7 宜绘制 P - s 、位移—循环次数 (s - n) 曲线（图 L. 0. 7）及 s - $\lg t$ 曲线（图 I. 0. 5-2）。

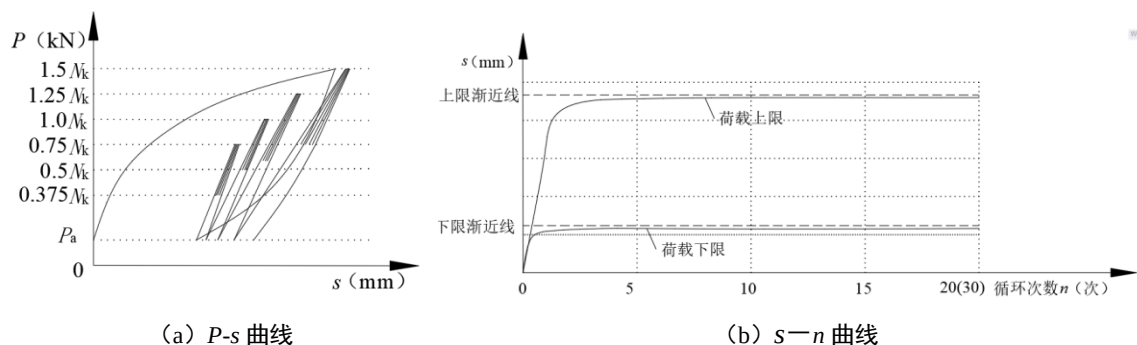


图 L. 0. 7 疲劳试验曲线示意图

L. 0. 8 锚杆位移收敛于某渐近线时，荷载上、下限对应的位移渐近线可分别作为重复荷载作用下的锚头最大位移及最小位移，位移不收敛时宜取前一级荷载对应的位移渐近线。

附录 M 锚杆荷载试验记录表

检测编号:

工程名称:													天气状况: ☐ 晴 ☐ 阴 ☐ 雨		
工程地点:					锚杆编号:					检测日期: 年 月 日					
锚杆类型: ☐ 锚固类 ☐ 改良类 ☐ 拉力型 ☐ 压力型 ☐ 拉压型 ☐ 全粘结型 ☐ 摩擦型 ☐ 其它型															
工程类别: ☐ 基坑 ☐ 边坡 ☐ 抗浮 ☐ 基础 ☐ 地下空间 ☐ 加固 ☐ 其它 注浆日期: 年 月 日															
设计参数	锚筋材料:		材料强度 (MPa):			锚筋规格及根数:			锚固体强度 (MPa):						
	孔径 (mm):		钻孔角度 (°):			锚筋自由段长度 (m):			粘结段长度 (m):						
试验类型: ☐ 适应试验 ☐ 验收试验 ☐ 极限试验 ☐ 蠕变试验 最大试验荷载 P_p (kN):															
加载方法: ☐ 多级维荷法 ☐ 快速法 ☐ 多循环法, 第____次循环															
千斤顶型号及编号:					液压表编号:					位移计编号:					
荷载	荷载级别 (P_p)		0.1	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.7	0.5	0.1	备注	
	液压表读数 (MPa)														
	实际荷载 (kN)														
位移 读数 (mm)	第 1min	表 1													
		表 2													
		平均													
	第 3min	表 1	-										-		
		表 2	-										-		
		平均	-										-		
	第 5min	表 1	-										-		
		表 2	-										-		
		平均	-										-		
	第 6min	表 1	-										-		
		表 2	-										-		
		平均	-										-		
	第 10min	表 1	-										-		
		表 2	-										-		
		平均	-										-		
	第 15min	表 1	-										-		
		表 2	-										-		
		平均	-										-		
	第 1~第 15min 位移增量: 第 5~第 15min 位移增量:														
	试验过程叙述及异常情况描述:														

注: 1 采用自动记录设备时, 位移读数宜为 1 次/min。
2 用于多循环法极限试验时分级荷载应增加 0.3 P_p 及 0.6 P_p 级别。

试验: 记录: 校对: 共 页第 页

本标准用词说明

- 1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关的标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202
- 2 《指示表》 GB/T 1219
- 3 《精密压力表》 GB/T 1227
- 4 《外壳防护等级（IP 代码）》 GB/T 4208
- 5 《土工试验方法标准》 GB/T 50123
- 6 《混凝土试模》 JG 237
- 7 《钻芯法检测混凝土强度技术规程》 JGJ/T 384
- 8 《压力传感器系列型谱》 JB/T 6172
- 9 《线位移传感器校准规范》 JJF 1305
- 10 《地基基础检测与监测远程监控技术规程》 DBJ/T15-158
- 11 《岩土锚固技术标准》 SJG 73

深圳市工程建设地方标准

锚杆试验技术标准

SJG 132-2023

条文说明

编制说明

为便于设计、施工、检测、监理、监督、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据、执行方法、有关注意事项、本标准与现行行业标准《锚杆检测与监测技术规程》JGJ/T 401-2017 等技术标准中的相关条款的差别以及深圳市提高相关等级标准的原因和注意事项进行了说明，以便更好地指导工程实践。本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

本标准由深圳市房屋安全和工程质量检测鉴定中心、深圳市工勘岩土集团有限公司会同建设工程质量监督机构、检测机构及单位、试验室、大学、工程技术研究中心等科研单位、设计公司、专业施工公司、仪器设备研究所、设备及产品厂商等 30 家单位共同编制完成，编制单位来自住建、市政、交通、城市轨道交通、水务、港口等行业，编制组成员涵盖了勘察、岩土、结构、市政、地灾、设计、材料、施工、检测、监测、试验、信息化、机械设备、产品等岩土锚杆试验技术所涉及的专业领域。

本标准编制过程中进行了以深圳坪山锚杆大型综合试验项目为主的大型原位试验（以下简称深坪锚杆试验）。该试验是一项采用多种方法以测试岩土锚杆力学特性、长度及试验方法为主要目的的大型足尺综合性专项试验，试验场地位于深圳市坪山新区锦绣东路，自 2019 年 11 月开始历经 9 个月完成现场试验工作。深坪锚杆试验按目的分为 6 大类：①检验锚杆力学特性新理论；②测试锚杆荷载试验新技术；③测试锚杆长度检测新技术；④测试锚杆应力测试新技术；⑤测试加卸载新设备及新操作系统；⑥测试可回收锚杆及自测力锚杆新产品等，试验成果成为本技术标准的重要技术依据。试验锚杆共 182 根，分为全粘结型、拉力型、压力型、二次注浆型、拉力扩体型、压力扩体型、压力分散型、拉力分散型及超长可回收型计 9 类 14 小类；锚杆荷载试验类型分为多循环法适应试验、分级维荷法适应试验、多循环法极限试验、分级维荷法极限试验、多循环法蠕变试验、分级维荷法蠕变试验、荷载损失试验、疲劳试验、群锚试验、持有荷载试验、回收试验、锁紧试验等十余种；长度测试分为埋线法、旁孔磁法、旁孔电磁法、声波反射法、光纤法等 5 种；应力测试采用分布式光纤及自测力锚杆；加卸载采用新型伺服系统，自动采集及远程传输数据；可回收锚杆采用热熔型。深坪锚杆试验应用了大量新理论、新技术、新设备、新产品，采集各种数据近 500 组，取得大量科技成果，群锚试验、疲劳试验、快速加载法、回收试验、埋线法、旁孔磁法、旁孔电磁法、自测力锚杆法、分布光纤法等检测方法为业界首创，测试了自动化加卸载设备、伺服系统、自测力锚杆、磁测仪、电磁测仪等新设备及新产品，众多成果达到了国际先进水平。

目 次

1	总则	43
2	术语与符号	44
3	基本规定	48
3.1	一般规定	48
3.2	试验方法选择	48
3.3	抽样方式与试验数量	52
3.4	验收项目	53
4	荷载试验	54
4.1	一般规定	54
4.2	仪器设备及反力装置	55
4.3	试验荷载及加卸载	56
4.4	维荷时间及位移测读	57
4.5	基本试验	58
4.6	验收试验	58
4.7	持有荷载试验	59
4.8	试验报告	59
5	浆体抗压强度试验	60
附录 C	埋线法长度测试	61
附录 D	旁孔法长度测试	63
附录 G	分布式光纤测试	65
附录 I	极限试验	66

1 总 则

1.0.1 岩土锚杆广泛地应用于建筑、市政、水利水电、矿业、交通、能源、港口、人防等领域的边坡、基坑、基础与抗浮、隧道与地下洞室、既有挡墙加固及地灾治理等工程，起着不可或缺的作用。锚杆试验工作对锚固工程的质量、结构安全、投资及技术水平的提高等至关重要，近年来随着城乡建设的迅猛发展，试验方法与手段日益成熟、完善及进步。为满足岩土锚固工程的实际需求、统一试验标准、规范方法及评价指标、提高技术以达到国际先进水平，编制组基于深圳本地的工程实践并总结吸取了国内外先进技术及经验，在深圳市住房和建设局指导下编制了本标准。

1.0.2 本标准适用于深圳市的房建、地铁、公路、市政、水利水电、港口、混凝土坝、矿山井巷、隧道与地下空间等工程建设领域的岩土锚固工程，岩土锚固指采用岩土锚杆等构件以维持岩土体及结构稳定的土木工程技术。按本标准进行的锚杆试验成果可作为工程设计、技术研究、质量控制、质量检查、工程验收、质量问题处理及运维依据，其中作为验收依据及质量问题处理依据时从事试验工作的相关机构与人员的资质资格及相关行为应符合政府相关规定。

1.0.3 各种锚杆试验工作都应充分了解勘察、设计、施工的全过程，了解设计条件（地质条件、周边环境、使用功能及锚杆类型等）及施工因素（施工工艺、质量控制的可靠性、便利性及工期等）对锚杆质量的影响，了解本地的工程经验。锚杆工程是隐蔽工程，应因地制宜选择试验方法与数量，既达到准确评价的目的，又兼顾经济合理性。

1.0.4 引用标准名录及本条文说明中列举了本标准应执行或参照执行的标准，采用其它标准条款时应注意考察其适用性。本标准基于深圳本地工程实践，并吸取了国内外先进技术及经验，少量条款与现行相关标准（包括规范及技术标准）规定存在一些差异，使用时应注意区分，并建议本标准未尽之处再执行其它标准。

本标准参考的国际标准主要有：

- ① BS 8081:2015, Code of practice for grouted anchors;
- ② EN 14490:2010, Execution of special geotechnical works - Soil Nailing;
- ③ EN 1997-1:2004+A1-2013, Eurocode 7: Geotechnical design - Part1: General rules;
- ④ EN 1537:2013, Execution of special geotechnical works - Ground anchors;
- ⑤ FHWA-IF-99-015, Geotechnical Engineering Circular No.4: Ground Anchors and Anchored Systems;
- ⑥ ISO 22477-5:2018, Geotechnical investigation and testing - Testing of geotechnical structures - Part 5: Testing of grouted anchors;
- ⑦ JGS4101-2012, グラウンドアンカー—設計・施工基準、同解説;
- ⑧ PTI DC35. 1-14. Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors.

2 术语与符号

2.1.1 “岩土锚杆”的术语定义引自深圳市标准《岩土锚固技术标准》SDJG 73-2020。岩土锚杆也称地锚。锚杆筋体（简称锚筋）指用于传递拉力的纵向钢筋、钢绞线、钢管及钢丝绳等零部件，锚杆采用钢绞线锚筋时也称为锚索，采用钢筋时也称为钢筋锚杆，采用钢管时也称为钢管锚杆，采用钢丝绳时也称为锚绳。

锚杆结构可划分为粘结段、锚筋自由段及张拉段，按与外界环境的传力特征可划分为锚固段、自由段及锚头段，典型结构原理如图 1 所示。其中：①锚垫板指安装在锚座表面将外锚具荷载分散传递到锚座的钢板；②锚座指用于支承锚头及扩散应力的梁、墙、板、柱、墩、承台、桩等结构构件；③浆体狭义上指水泥净浆，广义上为水泥浆、水泥砂浆、细石混凝土及水泥基灌浆材料等水泥系胶结材料的合称；④锚杆孔内的浆体、水泥卷、水泥土及树脂等胶结材料凝固后形成固结体，设置于稳定岩土体内且用于为锚杆提供抗拔承载力的那部分固结体称为锚固体；⑤锚头指位于地表的那部分锚杆；⑥锚固段指通过锚固体或机械部件将锚杆拉力传递给周边地层的那部分锚杆；⑦自由段指位于锚固段近端与锚头之间的那部分锚杆；⑧锚端指位于杆体底端的那部分锚杆；⑨内锚具指位于压力（分散）型锚杆锚端的锚具，主要有固定端锚具及自解锁锚具等形式；⑩承载体指位于压力（分散）型锚杆锚端、承受内锚具或锚筋压力并将压力传递到锚固体的板状或筒状零部件，其中形状为板状时也称为承载板或承载盘；⑪锚筋粘结段指与固结体粘结并传递拉力给固结体的那部分锚筋，简称粘结段；⑫锚筋自由段指位于外锚具与粘结段近端或外锚具与内锚具之间、受力后能够自由伸长产生拉应力的那部分锚筋；⑬锚筋张拉段指位于外锚具以外用于锚杆张拉的那部分锚筋，简称张拉段。

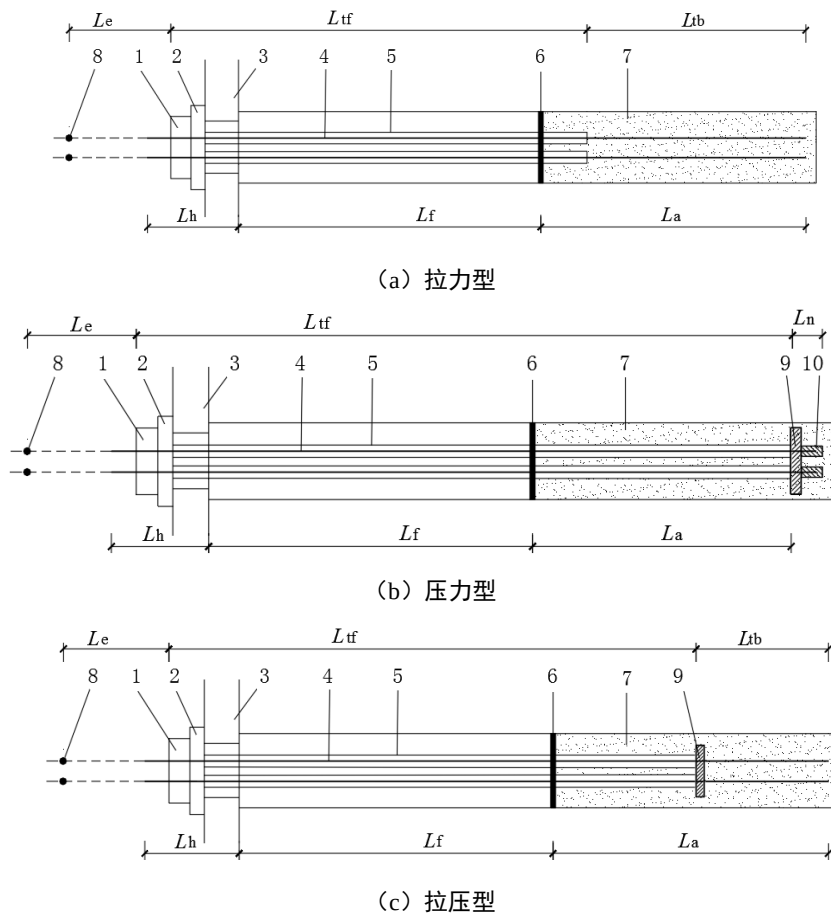


图 1 典型注浆粘结预应力锚杆结构简图

1—外锚具；2—锚垫板；3—锚座；4—杆体；5—护套；6—止浆塞；7—浆体/锚固体；8—千斤顶夹持点；9—载体；10—内锚具； L_{tb} —粘结段； L_{tf} —锚筋自由段； L_e —张拉段； L_h —锚头段； L_a —锚固段； L_f —自由段； L_n —锚端段
锚杆类型及名词解释如下：

1 设置了锚筋自由段并能够利用其弹性伸长产生预应力的锚杆称为预应力锚杆，主要类型有：①压力型锚杆，指受力时锚固段处于压剪状态的预应力锚杆；②拉力型锚杆，指受力时锚固段处于拉剪状态的预应力锚杆；③拉压型锚杆，指受力时锚固段一部分处于拉剪状态一部分处于受压或压剪状态的预应力锚杆。工程锚杆通常不设置止浆塞，锚固段与自由段通常浆体连续，拉力型锚杆锚固段不太可能受到纯拉力作用，部分锚固段往往还会受到压力作用，工程中的“拉力型锚杆”实际几乎均为拉压型锚杆，本标准按业界习惯仍采用“拉力型锚杆”一词；④荷载分散锚杆，指由置放于同一个钻孔、共用同一锚头、锚固段位置不同的多组拉力（压力、拉压）型锚杆组成的复合预应力锚杆，其中的个体锚杆称为单元锚杆；荷载分散锚杆分为拉力、压力及拉压分散锚杆，单元锚杆只有 1 组时也称为拉力（压力、拉压）集中锚杆，简称为拉力（压力、拉压）型锚杆；

2 没有设置锚筋自由段的锚杆称为非预应力锚杆，主要类型有：①钢管锚杆，指锚筋采用钢管、置入岩土体后可从管壁上预设的数个出浆孔向外注浆的锚杆；②摩擦锚杆，指主要依靠全长与地层的摩擦获得抗拔力的锚杆；③全粘结锚杆，指钻孔后注浆及置入杆体形成、除了孔口处可能设置很短的锚筋自由段外、杆体全长粘结的锚杆，杆体材料一般为钢筋，胶结材料可为浆体、树脂、水泥卷、水泥土等；④土钉，指基坑工程中全粘结锚杆、摩擦锚杆及钢管锚杆等的合称；

3 胶结材料为旋喷等方法形成的锚固体为水泥土的锚杆称为水泥土锚杆；

4 采用机械扩体、水力扩体等形式对锚固体截面局部扩大的锚杆称为扩体锚杆，扩体锚杆可设

置为预应力锚杆及非预应力锚杆；

5 通过预先安置在杆体上的特定装置可使锚筋自行脱离后拆除回收的锚杆称为可回收锚杆；

6 自测力锚杆指通过预装在内锚头上的压力传感器可自行测试锚固体底端所承受压力的压力（分散）型锚索，也称为数字锚；

7 根据所服务工程对象不同，锚杆可分为基坑锚杆、边坡锚杆、抗浮锚杆、基础锚杆、地下空间锚杆、挡墙加固锚杆等；

8 锚杆按杆体轴向与水平向夹角，可分为竖向锚杆、斜向锚杆及水平锚杆。

2.1.3 国际标准中没有“基本试验”，相对应的是探究试验及适应试验，国内传统的“基本试验”兼具探究试验及适应试验性质且更偏重于后者，在锚杆设计施工前实施。本标准对基本试验内容进行了细分及补充，把以确定锚杆设计参数及施工工艺为目的的事前试验均归类于基本试验，一般在同类型锚杆大面积施工前实施，通常由第三方完成。

2.1.4~2.1.6 国内外锚杆及基桩静荷载试验主要有 4 种加卸载方法：①分级递增多循环法，简称多循环法，荷载分为多级以循环方式递增，下一循环最大荷载高于前一级，在国内外锚杆试验中应用最为广泛，较少用于基桩试验；②重复多循环法，荷载不分级递增，快速加载至最大试验荷载后循环 2~3 遍，在英联邦国家用于锚杆试验，未见国内应用，也未见用于基桩试验；③慢速加载单循环法，荷载分级递增达到最大试验荷载后卸载，只循环 1 遍，但每级荷载均维持一定时长，是基桩试验主要方法，国内称为维持荷载法、分级维持荷载法等，本标准参照现行行业标准《锚杆检测与监测技术规程》JGJ/T 401-2017 称为分级维荷法；④快速加载单循环法，简称快速加载法或快速法，荷载快速加载至最大试验荷载且维持一定时长后卸载，只循环 1 遍，国外多用于锚杆试验，国内应用尚不多，国内外均未见用于基桩试验。

2.1.7 预应力锚杆因张拉锁定使锚筋上立即持有的荷载称为锁定荷载，也称为锁定力、初始持有荷载（拉力）、初始预应力等。锚杆张拉锁定时，千斤顶放张瞬间对锚筋施加的荷载称为放张荷载，也称为超张拉力，随着千斤顶卸载放张，锚筋、锚夹具回缩及锚座回弹变形等原因导致预加拉力产生即时损失，称为荷载锁定损失，为使锁定荷载恰好达到设计值，理论上应将放张荷载设定为设计锁定荷载与锁定损失之和，由于比较复杂原因，锚杆锁定荷载很难一次性达到设计指标，宜采取锁损试验，根据测试结果调整放张荷载，以使锁定荷载最终达到设计指标。

2.1.8、2.1.9 预应力锚杆因受荷载作用而在锚筋自由段产生的拉力称为持有荷载，也称持有拉力、持有力、驻留荷载、有效预应力、张拉力、预紧力等，通常因受千斤顶张拉以及岩土体或结构施加的荷载而产生。持有荷载试验也称为持有拉力试验、锚下预应力试验、提离试验、提离检查等，通常采用提离法进行。提离法也称为反拉法、再张拉法、拉脱法等，具体操作为：锚杆锁定后，不松开锚具，千斤顶跨立在锚头上对锚头逐级加载，工作锚锚板被提起离开锚垫板或锚具夹片提起离开锚板现象称为提离现象，其中前者又称为锚板提离现象，后者又称为夹片提离现象，将锚板提离现象发生前的某级荷载作为持有荷载。国际标准普遍认为采用锚索测力计等其它方法存在着造价高、耐久性差、监测率低、结果不准确等缺陷，故把提离法作为测试锚筋持有荷载的普查手段，还可根据随基本试验进行的持有荷载试验结果调整锁定荷载设计值及相应的试验合格指标。

2.1.10 埋线法测试锚杆长度采用了时域反射（简称 TDR）原理。TDR 是一种对高频率电子脉冲信号在金属导线中传播时间的测量方法，当脉冲沿着导线行进时，任何不连续面都将产生反射，在示波器上接收到反射波，可根据反射波的传输时间、波幅及相位等特性，分析计算出不连续面的位置和特性。TDR 近些年来在国内外开始用于锚杆长度测试，在锚杆杆体上安装导线，与金属锚筋等效为同轴电缆，发射脉冲，在锚筋底端产生反射波，测量发射波与反射波之间的时间差及波速等参数，从而计算出锚杆长度。采用 TDR 法不埋设导线也可测试锚筋长度，但反射信号较弱较模糊，对仪器及技术水平的要

求较高，目前尚不成熟，故本标准要求预埋导线。锚筋为非金属材料时可安装 2 条导线以等效同轴电缆。

2.1.11 旁孔法广泛应用于地球物理探测，用于锚杆长度测试时，根据场源信号不同主要分为静磁场法及电磁感应法两类。①静磁场法，简称磁法：锚杆安置在地层中，岩土体一般由无磁性或弱磁性物质组成，可认为背景磁场为某一常值，锚杆筋体一般采用钢绞线或钢筋，是铁磁性物质，在地磁场中磁化而产生磁异常，锚筋底部是铁磁性物质和无磁性物质的界面，磁场强度通常会有较大变化，超过界面再向下则逐渐变为稳定的背景场，故测试到磁场强度有一定变化幅度时可认为有锚筋存在，对磁异常的测点进行形态分析，从而计算出锚筋底部位置及锚杆长度；②电磁感应法，简称电磁法：对试验锚杆加载高频交变电流，锚杆周围空间产生相同频率的交变磁场，因锚筋一般为金属材料，导电性大大优于周围岩土体的导电性，故锚筋内电流密度大，可视为一条单独线电流，测试孔内则为线电流形成的磁场，用传感器去接收，探测线圈中的感应电动势正比于该处磁场强度，因锚筋底部是金属材料与岩土体的界面，磁场强度会有较大变化导致感应电动势有较大变化，可因此分析计算出锚筋底部位置及锚杆长度。相对于磁法，电磁法受周边环境干扰较小，可一孔测试多条锚杆而效率高，适用性更强。电磁法常用两种加载电磁场源信号方式：**a.** 直连法，也称直接法或单端充电法，将仪器发射机输出端的一头连接在锚杆出露端，另一头与远离锚杆的接地电极相接，把交变电流直接施加在试验锚杆上，使电源-锚杆-大地形成回路，用仪器接收机在测试孔内测试锚杆产生的交变磁场；**b.** 夹钳法，也称线圈感应法，用专用夹钳套夹住锚杆，夹钳感应线圈使锚杆中产生感应电流，进而在锚杆周围产生环形二次磁场，用接收机在测试孔内测试该交变磁场。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 “加检”一词指检测工作中为对检测不合格项目及疑似不合格项目采取的扩大检测、验证检测及重新检测等检测形式的统称，“检测”一词特指由第三方实施的、成果用作验收依据或质量鉴定依据的试验。

3.1.3 试验成果作为验收依据时检测方案应由检测方编制，主要为设计、运维、质量问题处理等提供依据时试验方案宜由设计方编制或提出技术要求，为施工服务时宜由检测方或施工方编制。

3.1.4 锚杆试验数据远程传输系统指基于无线/有线网络的系统，能够对检测数据、报警及状态等信息进行远程实时采集、传输、存储、处理，将信息实时传输到政府监管平台。实践证明，采用具有数据自动采集及远程实时传输功能的仪器设备可有效提高检测水平，为保证工程质量提供了重要的基础条件。

3.1.5 锚杆工程应检验的材料及零部件包括但不限于：①钢绞线、钢筋、钢管、对中架、连接器、束线环等杆体材料；②水泥、树脂卷、水泥卷、外加剂、水、砂等锚固体材料；③防腐润滑脂、护套、环氧树脂、防水涂料、遇水膨胀止水环等防腐防水材料；④锚垫板、螺母、锚板、夹片、内锚具、承载体等零部件。这些材料及零部件的检验工作不在本标准适用范围内。

3.1.6 为了试验人员和设备的安全，试验时应采取必要的安全措施，例如在试验锚杆和设备上安装安全绳、在试验点与人员活动区域之间安装防护网等，尤其是进行极限试验时。

3.2 试验方法选择

3.2.1 应综合考虑锚杆试验的主要目的、性质、主要适用阶段、设计要求、试验条件、工程地质状况、施工因素、工程重要性等级、经济性、工期要求等因素，合理选择试验方法。表 3.2.1 中的试验通常由专业公司实施，其中锁损试验也可由施工方实施。

3.2.2 锚杆基本试验的主要目的是为设计及施工服务，应充分测试各种条件下的相应性能。适应性基本试验简称适应试验，通常在同类型锚杆大面积施工前进行，通过试验获得某具体场地中锚杆的实际承载力与位移特性等力学性能，与设计预期指标进行对比校验，主要目的是确认设计参数、施工机械设备及工艺等是否适用于该场地，一般不需试验至破坏。以前业界习惯于出现 3.2.3 条所列极限条件或 3.2.4 条所列蠕变条件时才进行基本试验，实际上要么不做，要么在基坑及边坡等开挖工程中的地表实施、在深处地层中基本不实施，而很多场地的深层地质条件与地表会有一定差别，如果深处锚杆试验结果不符合设计要求，难以分清是设计、施工还是地质条件问题，容易产生纠纷。还有，对于开挖工程，主要受工期限制，不太可能每层锚杆验收试验之后再开挖施工下一层锚杆，通常是开挖数层之后再进行验收试验，此时如果验收试验结果不合格，很难再采用补救措施。而适应试验一方面在主要地层中均要实施，覆盖面广，可以避免因不同地层性状差异大而引发的锚杆力学性能突变，另一方面锚杆达到最短养护期后即可实施，方便灵活，其具有“预验收”的性质，如果性能符合验收条件则试验结果可作为验收依据，不符合时则可视自检，还有时间进行技术改进及补救，既解决了上述问题，又几乎没有增加检测造价。

“锚固类锚杆”术语引自深圳市标准《岩土锚固技术标准》SJG 73-2020，定义为锚固体位于稳定岩土体、由锚头承受荷载并将荷载通过锚固体传递到周边稳定岩土体的锚杆，主要包括各类工程中的预应力锚杆、抗浮锚杆、基础锚杆等荷载主要施加在锚头处的锚杆。“改良类锚杆”在深圳市标准

《岩土锚固技术标准》SJG 73-2020 中称为“加固类锚杆”，定义为通过加筋、注浆、挤压、锚固等群体作用方式使岩土体得到改良加固的锚杆，通常为杆体全长粘结或全长摩擦的非预应力锚杆及端头锚固型锚杆，主要包括土钉墙、复合土钉墙、锚喷等工程中的钢筋土钉、钢管土钉及自钻锚杆等，以及隧道与地下洞室工程中的各种短锚杆等。改良类锚杆的荷载不一定完全作用于锚头，也可能直接作用于固结体或杆体上，通常依靠群体而起作用，设计承载力较低，个体锚杆作用相对较弱。

业界以往通常把设计使用年限 2 年以内的锚杆称为临时锚杆、大于 2 年的称为永久锚杆。不少基坑、临时边坡、挡墙加固、隧道及地下洞室等工程中锚杆使用年限超过 2 年但不到 5 年，如果作为永久锚杆则造成浪费且工程中不易实施。按照国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068-2018、国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153-2008 及国家标准《民用建筑设计通则》GB 50352-2019 等标准规定，临时性建筑结构的设计使用年限为 5 年，锚杆作为结构构件应执行，故本标准将临时性工程中的锚杆、亦即设计使用年限不超过 5 年的锚杆定义为“临时锚杆”。因上述标准中没有类似“永久性建筑结构”的用语，故本标准引用深圳市标准《岩土锚固技术标准》SJG 73-2020 规定，将超过 5 年的定义为“长期锚杆”而不采用“永久锚杆”用语。另外，美标 PTI DC35.1-2014 亦将长期锚杆的设计使用年限定义为超过 5 年。

边坡、基坑等工程的安全等级划分应执行现行国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003、现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330、现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120、现行深圳市标准《基坑支护技术标准》SJG 05 等国家现行相关标准。

3.2.3 以测试锚杆极限承载性能为主要目的的基本试验称为极限试验，为探究性质，应加载至破坏以获得锚杆的承载力极限值与位移特性等力学性能，反算黏结强度，为锚杆设计提供依据，新材料、新施工工艺、新结构等新型锚杆，无锚固相关经验的地层及拟设计承载力高于既有经验时应采用。新技术包括新材料、新零部件、新结构、新施工工艺等，其中新零部件包括但不限于杆体、内锚具、止浆塞、传递应力的防腐涂层或护套、新型锚具等，在深圳市第一次工程应用的技术应视为新技术。

3.2.4 国内外标准对蠕变性能试验的观点及要求差异较大。欧标认为所有地层都产生蠕变，不进行专项试验，而是按黏性土、非黏性土、岩层等地层设置不同的维荷时间，维荷时间均较长且根据蠕变稳定状况还可延长。美标认为蠕变性能试验是适应试验的一种特殊形式，只在某些特定条件下实施。美标将维荷时间 60min 以内的试验称为短期蠕变试验，在泥质岩层等一些特定地层进行维荷时间较长的试验（最大试验荷载时不少于 5h），称为延长蠕变试验（extended creep test）。国内蠕变性能试验为专项试验，作法与美标延长蠕变试验类似，只在一些特定条件下实施，本标准按行业习惯称为蠕变试验，指测试锚杆在恒定拉力长时间作用下锚头位移随时间变化的荷载试验，归类于基本试验。

蠕变试验耗时较长，宜事先对岩土层及锚杆的蠕变特性有所预判，之后进行针对性试验以节省工期。经验表明，锚固类锚杆有本条 1~3 款列举情况时宜进行蠕变试验。近些年来珠三角地区在淤泥质土、淤泥、新近填土等软土基坑中旋喷锚杆、搅拌锚杆、旋喷搅拌锚杆、自进锚杆等水泥土锚杆及囊袋锚杆应用越来越多，基坑变形普遍较大甚至有些出现险情或事故，有些锚杆短短数日持有荷载即损失过半，分析与地层蠕变关联性较大，故本标准要求这些软弱地层中的锚杆以及水泥土锚杆应进行蠕变试验。另外，长期锚杆的粘结段锚筋如果采用了环氧涂层或波纹管等防腐措施也可能会加大蠕变，业界这方面的经验还不多，需要进行蠕变试验。如果有些地层事先没有了解清楚或认为不需要测试蠕变性能，但锚杆施工或者试验过程中认为需要一例如适应试验在维荷时间内蠕变不稳定，则宜补做蠕变试验，以确定更合理的设计参数（主要是设计承载力）及了解地层的实际蠕变特性。本标准中的极限试验已经覆盖了蠕变性能测试，故实施了极限试验后不必再进行蠕变试验。经验表明，深圳市的花岗岩、凝灰岩及砂岩等一般不需要进行蠕变试验。另外，为满足软弱地层基坑工程对蠕变试验的需求，

本标准规定的维荷时间不区分设计使用年限。

3.2.5 以测试是否存在群锚效应为主要目的的基本试验简称为群锚试验。锚杆相距较近时，应力在地层中扩散后应力场叠加会导致锚杆承载力降低或蠕变量增加等性能劣化现象，即群锚效应，经验表明锚杆中心距小于 3 倍锚固体最大直径时可能会发生。群锚效应很难通过现场试验验证及测定，本标准群锚试验仅用于定性判断。为达到较好的测试效果，群锚试验时锚杆数量不宜少于 3 根。另外，层理发育的岩层锚杆长度较短时宜进行群锚试验。

3.2.6 以测试锚杆承受重复荷载能力的基本试验简称为疲劳试验，在国际标准中较为常用，在国内目前应用不多。抗浮锚杆、高耸构筑物的基础锚杆及路堤锚杆等特定场所的锚杆受到重复荷载作用，可能会影响承载性能，疲劳试验加卸载程序应尽量模拟锚杆的实际工作环境。在饱和细砂等对重复荷载较为敏感地层中宜进行疲劳试验，试验可单独进行，也可在适应试验或蠕变试验完成之后进行。国际标准认为，疲劳试验时一般情况下循环 20 次锚头位移即可稳定。

3.2.8 持有荷载试验一般应用于以下场景及目的：

- 1 锚杆锁定后即进行，测试持有荷载 P_t 以计算锁定荷载损失，此时又称为锁损试验，试验结果可作为调整锁定荷载设计值及相应验收指标的依据；
- 2 锚杆锁定一段时间后进行，测试 P_t 以测试荷载短期损失，为调整锁定荷载提供依据；
- 3 锚杆锁定一段时间后进行，检验 P_t 是否符合设计指标，为验收提供依据；
- 4 长期锚杆全部或分区锁定后进行，测试 P_t 以确定群锚拉力损失；
- 5 锚杆服役数月或数年之后进行，测试 P_t 以确定荷载长期损失；
- 6 锚杆工作荷载达到设计预定或结构变形预警进行，检验 P_t 是否达到设计预定；
- 7 锚杆服役期超过设计使用年限后进行，测试 P_t 以判断结构安全性能；
- 8 结构物或岩土体发生了坍塌或大变形等环境条件改变后进行，测试 P_t 以判断锚杆安全性能；
- 9 对锚杆施工质量有争议或质量事故鉴定时进行，检验 P_t 以判断锚杆施工质量是否满足设计指标。

环境等级划分可按照现行广东省标准《广东省建筑基坑工程技术规程》DBJ/T 15-20 的有关规定执行。

3.2.9 锁损试验在锚杆锁定后随即进行，目的是测试持有荷载及锁定荷载损失，试验结果作为调整锁定工艺、锁定荷载设计值及相应验收指标的依据。常规锚索张拉工艺中锁定荷载损失的主要原因是千斤顶放张后锚筋带动夹片回缩所致，可采用顶压夹片装置以减少，此时锁损试验的数量可适当减少甚至不做。

快速法在国际标准中广泛应用于锚杆验收试验，在 ISO 22477-5:2018、JGS4101-2012 及 PTI DC35.1-14 等国际标准中仅用于验收试验且几乎是验收试验唯一加卸载方法，但在国内目前更多地应用于工程自检，用于第三方验收试验尚不多。快速法可明显节省试验时间，有利于恶劣作业环境下的工程进展，但由于加载不分级，当某级荷载的位移不稳定时较难查明从哪级荷载开始的，故一旦试验结果不合格很可能会判定承载力个体值实测为零。

快速法试验结果与多循环法及分级维荷法有时可能存在一定偏差，为谨慎起见，用于验收试验时应具备下列条件之一：①适应试验结果均满足验收试验合格条件；②适应试验结果不能均满足验收试验合格条件时，验收试验应先采用分级维荷法或多循环法进行试验，如果试验数量达到验收试验总数的 10%且不少于 3 根的试验结果均满足验收试验合格条件，其余验收试验可采用快速法。

3.2.11 工程中有时需要测试成品锚杆的长度，如长度不明的老旧锚杆、对锚杆实际长度有疑虑等情况。压力（分散）型锚杆全长均为锚筋自由段，弹性位移满足本标准规定的上下限指标时即可认为锚杆长度符合设计要求，无需进行长度测试；锚杆产品的预制化及工厂化是大势所趋，杆体具有激光打

码长度标识的商品锚杆安装后随时可目视检查长度，也无需再进行长度测试。

锚筋材料为钢材时可采用埋线法及旁孔法测试锚杆实际长度，经验丰富时也可采用声波反射法，为非金属材料时可采用埋线法。几种锚杆长度测试方法中：①埋线法在香港等地区应用较为广泛，深圳市已有若干工程应用案例。本标准编制组经过一年多的专项研究及系统的对比试验，认为其可作为一种成熟技术应用于锚杆长度检测，结果可靠，准确度较高，受干扰较少，成本低，但需要事先埋设导线。钻孔注浆锚杆容易埋设导线，其它施工工艺形成的锚杆相对复杂些。②旁孔法在国内外较多应用于测试灌注桩钢筋笼长度，编制组经过一年多的专项研究取得了可靠经验，并经过了一些工程的验证，认为旁孔磁法及旁孔电磁法可用于那些符合测试条件的锚杆的长度测试。但旁孔法受传感器置放工艺限制，目前尚难以大面积使用，例如对于斜向锚杆，锚杆越长传感器下放越困难、测试孔与锚杆的偏差越大、测量误差越大，故目前技术水平仅适用于竖向锚杆的测试。③声波反射法在锚杆杆体外端发射一个声波脉冲，信号沿锚筋向前传播，到达锚筋底端后反射，在杆体外端接收反射波，测量发射脉冲与反射脉冲之间的时间差及波速，从而分析和判断出锚杆长度。④宜优先采用埋线法，竖向锚杆也可采用旁孔法，埋线法或旁孔法难以实施时，较短的非预应力锚杆也可采用声波反射法。

声波反射法可按照现行行业标准《锚杆锚固质量无损检测技术规程》JGJ/T 182 及现行国家电力行业标准《水电水利工程锚杆无损检测规程》DL/T 5424 等相关标准执行，深圳市总体应用不多。编制组经过一年多的专项研究，认为该法在锚杆长度较长或地层较硬时声波衰减严重，锚孔直径发生变化或直径较小时检测信号复杂，采集到的波形数据质量不高，经常会出现错判和漏判的现象，故只能用于较短的非预应力锚杆的初步测试，且锚筋宜为钢筋。声波反射法适用的锚杆长度与地层、锚杆直径、锚固体种类及质量、锚筋种类及规格等多种因素相关，经验表明不可应用于长度超过 5m 的岩层锚杆及长度超过 10m 的土层锚杆，且需事先根据校准锚杆试验结果确定。

校准锚杆指现场用于校准测试参数的基准锚杆，可利用工程锚杆也可另行施工，长度、直径等设计参数应事先确知。采用埋线法、声波反射法等方法测试锚杆长度时，常常需要采用若干校准锚杆事先校准测试参数以便得到准确的测试结果。

3.2.12 可回收锚杆是较为新型的锚杆，为临时性的压力型或压力分散锚杆，有多种类型，深圳市常用机械锁型及热熔型两类，锚筋采用无粘结钢绞线。回收试验是可回收锚杆的特有试验，主要目的是在工程现场测试锚杆按相关程序进行荷载试验后按预定方式回收锚筋的能力，预定方式指利用锚杆自带的回收装置自行回收这种方式，不必采用其它措施强行回收。不同施工工艺、不同厂商及不同类型的自解锁锚具产品对影响回收的各种因素的适应能力不同，锚杆大面积施工前应通过回收试验进行测试，回收率达不到 100% 的产品不得用于实际工程。

可回收锚杆应先进行适应试验或蠕变试验之后再行回收测试。试验时：①由于地层差异等原因，长度、锁定荷载及设计承载力的最大值不一定同时集中在某一类工程锚杆上，此时可取长度、承载力及锁定荷载最大值分别制作试验专用锚杆，也可令某一试验专用锚杆的长度、承载力及锁定荷载同时最大；②有的基坑上半部分与下半部分地层差异较大，在地表附近进行的回收试验很难验证下半部分地层中锚杆回收能力，故应在下半部分地层中补充试验；③随着基坑开挖，基坑锚杆受力越来越大，锚筋持有荷载大于设计锁定荷载的现象时有发生，可回收锚杆在这种情况下应能保持自回收能力，故本标准规定试验时按最大设计锁定荷载的 1.25 倍锁定；④锚杆持有荷载通常随着时间而减少，为了能够在较高荷载水平体现锚杆回收能力，维荷时间宜为 5h~24h。

3.2.13 锚固体的受力状态直接表征了锚杆的工作荷载及承载性能。工程界以往几乎没有方法直接测试锚固体的受力、而是通过间接方法来推断，即测试锚头荷载并将之等同于锚固体所受荷载。因锚筋与孔道的弯曲、扭转及摩擦，锚座、锚筋及锚固体的塑性位移，锚筋材料的长期应力松弛等原因，锚头荷载并不能完全传递到锚固体上，锚固体所受荷载小于锚头荷载，即沿锚杆长度有荷载损失，损失

较大时可能会影响到锚固结构的稳定性，但业界以往并不清楚具体损失多少。自测力锚杆通过直接测试内锚头对锚固体的压力，可得到传递到锚索尾端的荷载及荷载损失从而全面、及时、准确地了解锚索承载性能及工作荷载，既可用于锚杆荷载试验，也可用于锚杆拉力监测，为判断锚索及锚固结构的受力状态及长期工作性能提供了基础条件，还可用于回收试验以利于可回收锚产品改进。锚杆受力后产生位移，锚筋自由段越长位移值越大，自测力锚杆的导线应具有适应较大变形的能力以防拉断，尤其是在极限试验时。测试时宜重复测试，目的是了解摩阻力的影响程度，重复次数越多，摩阻力消除量越大。

3.2.14 分布式光纤法测试是一种通过在锚杆内布设传感光缆进行多物理参量连续性分布式测试技术，具有质量轻、抗电磁干扰、耐腐蚀、精度高、便于远程控制等优点，适用于各种新钻孔注浆锚杆，近些年来得到了越来越多的工程应用。通过采用分布式光纤测试锚筋及/或锚固体的应变，可进一步推算锚杆应力沿全长的分布，包括锚筋及锚固体的侧摩阻力分布情况，有助于全面评估锚杆的工作状态、锚固体的裂缝形态及锚固结构的安全程度，提高锚杆的设计及施工质量。长期监测时应视现场情况考虑温度对监测结果的影响，必要时应进行温度补偿。锚杆的有效锚固长度可根据现场测试的锚杆长度—应变曲线规律，结合现场实际情况进行综合判断。

3.3 抽样方式与试验数量

3.3.1 工程锚杆指作为锚固工程结构一部分的锚杆，试验专用锚杆指仅用于测试相关性能的锚杆，为非工程锚杆，试验锚杆包括试验专用锚杆及用于测试相关性能的工程锚杆。试验锚杆可尽量采用工程锚杆以节省费用及时间：①适应试验的试验锚杆一般应包括同类型工程锚杆最早施工的 3 根，各种同类型锚杆均应具有代表性试验锚杆；②极限试验及回收试验为破坏性试验，不应在工程锚杆上实施，应在同类型工程锚杆大面积施工前制作试验专用锚杆；③蠕变试验、疲劳试验及群锚试验为非破坏性试验，条件具备时可采用工程锚杆；④为能反映工程实际情况，持有荷载试验宜选用工程锚杆；⑤上述试验宜全程进行锚杆监测。

同类型锚杆指主要地层等环境条件、锚杆类型、锚固体截面尺寸及施工工艺基本相同的锚杆，锚杆承载力、长度、角度、偏斜度等参数可能会有所差别。同类型锚杆应随试验目的不同而采用不同的划分标准，主要应由设计人综合工程各方意见后判别，例如：①极限试验可按主要地层、锚杆类型及施工工艺等划分；②适应试验及验收试验可按主要地层、锚杆类型、锚筋材料、锚固体截面尺寸、承载力及施工工艺等划分；③蠕变试验、群锚试验及疲劳试验可按主要地层划分；④持有荷载试验可按锚杆类型划分；⑤回收试验可按主要地层及锚杆类型划分。

3.3.2 判断抽样是根据抽样人员的主观经验从总体样本中选择那些被判断为最具代表性的样本，一般凭抽样者的意愿、经验和知识进行，主观性较强，抽样者往往是工程现场人员，样本有时很难全面反映总体及实际情况，故本标准建议判断抽样比例不宜超过总样本的一半。判断样本一般由建设、勘察、设计、施工及监理等五方责任主体共同确定，随机样本也可由检测人员或质量监督机构人员等参与抽取。

3.3.3 锚杆极限试验数量不少于 6 个的规定主要参照了现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 对岩石锚杆的规定及国际惯例，主要目的是为了便于数理统计、更准确地使用试验结果。基于费用及时间等因素，锚杆承载力验收试验绝对数量不宜太多，锚杆数量较多时比例宜适当减少。国内相关技术标准大多规定试验锚杆为总数的 5%，本标准中预应力锚杆增加了持有荷载试验，承载力验收试验比例适当减少仍可保证整体检验水平及结构安全，表 3.3.3-2 中试验锚杆数量按检验批容量增加后新增比例减少的原则确定，如图 2 所示。考虑到基坑工程锚杆时有质量事故发生，编制组认为锚固类临时锚杆的验收试验比例和长期锚杆相比不宜降低。

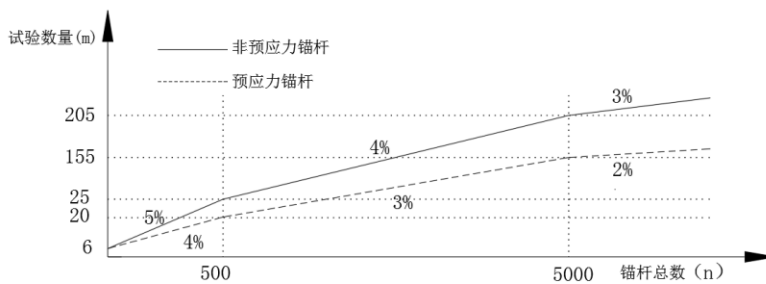


图2 锚固类锚杆验收试验数量

3.3.4 极限试验、蠕变试验、群锚试验及疲劳试验均具有适应试验功能,可替代相应数量的适应试验。

3.3.5 符合验收合格条件的适应试验等基本试验的成果可作为验收依据是国际标准的通用作法,符合验收合格条件指试验条件(如试验人员及单位资质等)、试验程序(包括数据的远程实时传输)及试验参数(如判稳时长等)均符合验收试验要求且检测结果均合格,例如:适应试验常规维荷时间与验收试验的相同,故判稳结果可作为验收依据;因验收试验维荷时间不超过 60min,故如果蠕变试验在 60min 以后位移才稳定则试验结果不宜作为验收依据。验收试验与基本试验的卸载时长可以有所不同。

3.4 验收项目

3.4.1 验收项目应由第三方检测。对验收项目的设置主要考虑以下因素:①承载力是锚杆最重要的性能参数之一,必须检验;②锚固体抗压强度在国内锚杆相关标准中一般均列为验收项目;③岩土锚固工程中往往不是因为锚杆承载力而是持有荷载达不到设计指标而导致结构变形较大甚至发生事故或险情,故国内外标准几乎均将持有荷载作为工程验收项目,但目前在国内工程实践中持有荷载还没有得到足够重视;④预应力锚杆的弹性位移,主要用于判断预应力锚杆位移特性及锚筋自由段长度,是以往国内外技术标准中与锚杆工后长度测试相关的几乎唯一方法,在国内外标准中几乎均被列为预应力锚杆的验收项目;⑤预应力锚杆的塑性位移及非预应力锚杆的总位移如果太大,很可能导致被锚固结构发生难以接受的较大变形,故应列入验收项目,对之进行限定,这与基桩静载试验对总位移进行限定的原因相同。

3.4.2 建设方应对处理方案承担首责,非责任主体但工程相关方应提供数据或参考建议。

3.4.3 制定处理处置时:①工程实际所需的每条锚杆承载力往往不同,设计时通常取其中最大值作为同类型锚杆设计承载力,如果某锚杆检测结果没达到设计承载力但达到了该锚杆实际所需承载力,则可将该锚杆的承载力合格标准从设计承载力降低至实际所需承载力;②随着检测比例的增大,允许检验水平(检验倍数)、即最大试验荷载可适当降低;③承载力等其它验收项目检测合格但弹性位移不合格时,工程中有时会让步接收。让步接收是在锚杆质量及锚固工程安全基本能够得到保证的前提下(如锚固结构安全系数低于原设计预期,但能达到较低工程安全等级及临时工况下的最小安全系数),对部分质量缺陷有限制有评审的验收与接收,包括降低设计或验收标准。另外,锚杆承载力合格但锚具、锚垫板或持有荷载等有缺陷时可进行修复。

3.4.5 加检时:①因受干扰因素较多,持有荷载检测结果往往存在着较大的不确定性,重新检测结果比初次检测结果通常更为准确;②锚固体强度不合格时,如仍留置有试块,可扩大检测或从锚固体中取芯扩大检测;但锚固体埋置于地层中,有时难以钻取芯样制作试件,此时可采用承载力验收试验作为验证检测替代锚固体强度试验。

4 荷载试验

4.1 一般规定

4.1.1 用于极限试验等的试验锚杆：①试验通常会造成锚筋拉断或拔出、锚固体破坏等，不应在工程锚杆上进行，应制作试验专用锚杆；②为测试锚固体极限抗拔力，应加设止浆塞等分隔装置，以使锚固段长度可控、可知；③设计及施工参数，如设计承载力、锚固体截面尺寸、杆体材料、零部件、机械设备、施工工艺、所处的工程地质及水文地质等条件应与拟建工程锚杆基本相同，但为满足某一特定目标而设定的设计参数例外，例如为了不发生拉断破坏而加多了锚筋束数等。地层条件不同或同一地层条件下设计参数（例如锚筋材料、锚杆直径等）不同时，均应有代表性的试验锚杆。工程锚杆可以根据极限试验结果进行改进，改进后可根据具体情况决定是否再进行极限试验。不少工程忽略了施工工艺这个决定了锚杆抗拔力的重要条件，基本试验时采用某种施工工艺，工程施工时改成了另外一种，导致了试验结果对工程指导作用有限；④试验后没有破坏的锚杆，性能适当折减后可用作临时锚杆；⑤目前锚杆荷载试验中，通常以锚头位移及千斤顶荷载来推测锚固段的应力及位移性能，准确度有待提高，有条件时宜采用自测力锚杆或分布式光纤直接测试；⑥试验后有条件时应尽量挖出检查锚固体直径变化、裂缝、脱粘等情况。

4.1.2 注浆锚杆一般会注浆到孔口返浓浆后才停注，孔内充满固结体，张拉时如果反力装置压在孔口上，可能会抵触到固结体而消耗掉一部分张拉荷载，导致张拉荷载不能全部施加到锚杆上，故需确保张拉过程中锚固体及锚筋独自受力、不受到干扰。另行施工的试验锚杆容易做到这点，但工程锚杆有时比较困难，例如锚杆格构梁支护的边坡工程，大多都在格构梁制安之后再行锚杆试验，可能会发生这种现象。有几种解决办法：①在锚座制安之前试验。例如基础锚杆及抗浮锚杆，宜在底板结构施工前进行验收试验，试验时需要设置单独的反力装置；②在锚杆注浆后锚座制安前选定试验锚杆，凿除孔口固结体 50mm~100mm，长期锚杆安装过渡管、临时锚杆可不安装，之后制作安装锚座及试验，试验后过渡管内注浆或注润滑脂。采用这种方法时应多选定几根试验锚杆以备不合格时扩大检测；③锚座制安后，从穿筋孔中凿除孔口固结体；④注浆后及时清除孔口以下长度约 0.2m 的浆体，以使锚筋保持自由状态。

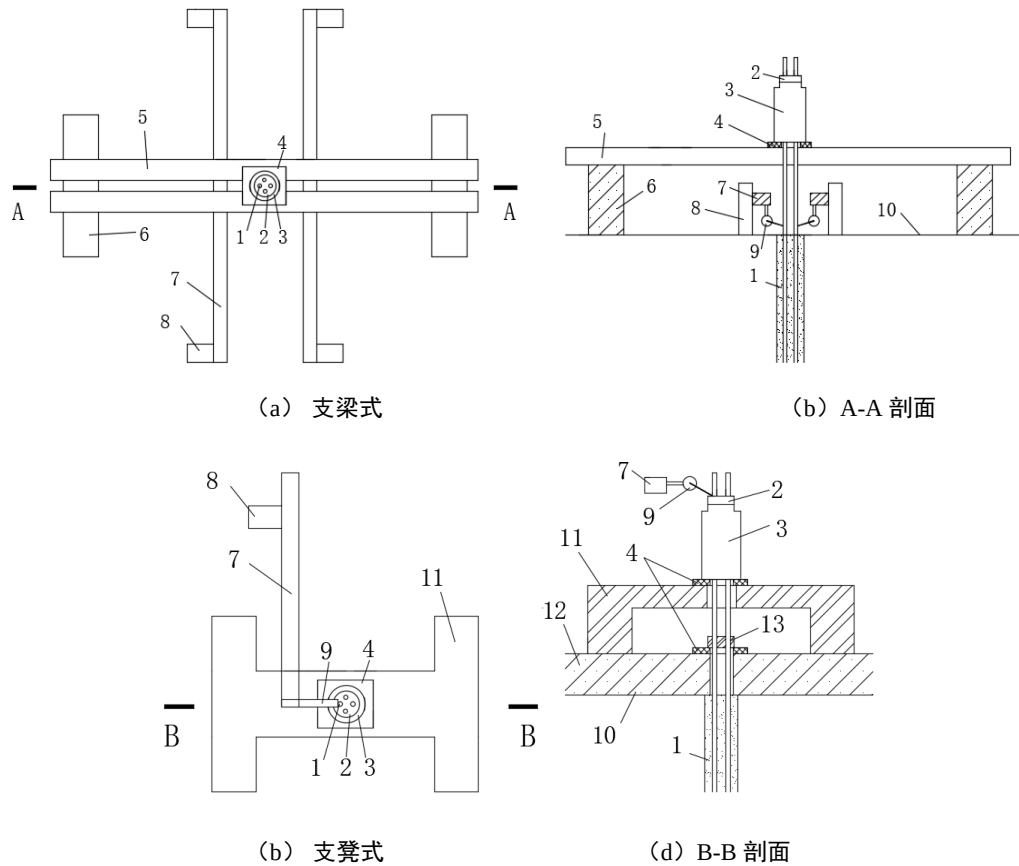
4.1.3 荷载分散锚杆的张拉方法有同步张拉法、补偿张拉法、单拉单锁法、整拉整锁法、整拉单锁法等多种，其中前 3 种国内应用最多：①同步张拉法即采用多个千斤顶对各单元锚杆同步张拉，不需考虑位移差或荷载差，操作简单；②补偿张拉法即按先长后短顺序依次张拉单元锚杆，逐次预先补偿在相同荷载作用下因锚筋自由段长度不等引起的弹性位移差，再整体张拉并锁定；③单拉单锁法即采用一个千斤顶对各单元锚杆按先短后长顺序依次张拉锁定；如果先长后短，后张拉的单元锚杆对前面已锁定的单元锚杆可能产生卸载效应，导致最后张拉的最短单元锚杆受力最大，从而使锚杆安全风险加大。这 3 种张拉方法理论上都能使单元锚杆受力相等，但后 2 种实际操作时很难保证效果，例如补偿张拉法，补偿的仅是锚筋弹性位移差，但锚筋总位移中还有塑性位移，塑性位移有时甚至会大于弹性位移。国际标准中仅建议采用同步张拉法，认为其它方法均不够准确，国内近些年来多千斤顶等荷载（各单元锚杆荷载相等或不相等均可）同步张拉锁定法工程应用越来越多，业界已经积累了丰富经验，可大面积推广使用。

4.1.4 浆体、水泥石等胶结材料强度增长与设计强度、施工质量、温度、养护条件等多种因素相关。锚杆施工过程中不可避免对周边地层造成扰动，随着锚固体养护期及地层休止时间增加，锚杆抗拔承载力也逐渐增加并稳定。实际工程中受周边环境或工期限制，往往不允许等到锚固体及锚座结构的混凝土强度达到标准养护期后再开始试验，考虑到这种情况，荷载试验开始时间可适当提前。锚杆

最短养护期应综合考虑锚固体材料的养护期及地层的休止时间，以设计者工程经验优先，可参考以下经验：①锚固类锚杆锚固体为浆体时，岩层及非黏性土地层中为 5~7d，软塑~流塑状的淤泥及淤泥质土中为 15~21d，其它地层中为 7~15d，其中非黏性土层指粉土、砂土及碎石土；②改良类锚杆锚固体为浆体时，长期锚杆为 3~5d，临时锚杆为 1~2d；③水泥土锚杆非黏性土中为 10~15d，黏性土中为 15~21d；④锚杆锚固体为树脂、水泥卷等胶结材料时养护期应符合相关标准规定；⑤锚杆承载力越高及岩土体性状越差，提前时间应越长。另外，经验表明，锚杆锁定后的 1~3d 内拉力损失较大，锚杆越密、锁定力越大则损失越大；不同地层中的拉力损失期不同，一般为 3~7d，之后基本趋于稳定。但对于基坑或边坡锚杆，此时可能因地层向下开挖而导致持有荷载增加，试验成果分析时应予考虑。对试验结果有异议时应以标准养护期的试验结果为准。

4.2 仪器设备反力装置

4.2.1 锚杆荷载试验常用反力装置可分为 支梁式、支凳式及压板式，如下图所示：支梁式反力装置一般采用钢梁作为千斤顶底座主梁，主梁两端下设置混凝土梁或钢梁作为支座支撑在地基上；支凳式反力装置一般为钢制板凳状或厚筒状部件；压板式反力装置一般为钢制或混凝土制部件示。实践中发现，不少极限试验是现浇混凝土锚座先发生破坏的，故采用这类锚座作为反力装置时宜进行专项设计或验算。



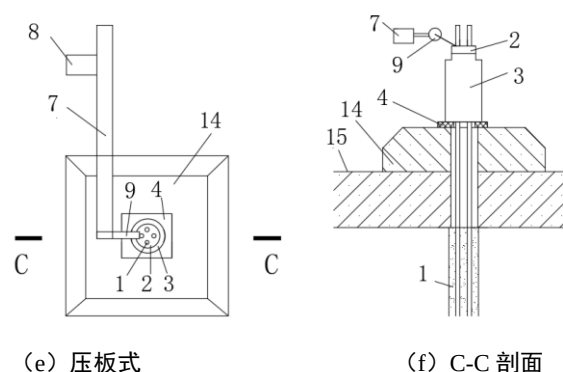


图3 锚杆荷载试验各种反力装置示意图

1—试验锚杆；2—工具锚；3—千斤顶；4—锚垫板；5—主梁；6—支座；7—基准梁；8—基准桩；9—测量位移仪表；10—地面；11—支墩；12—锚座；13—既有锚具；14—压板；15—锚座或地基

4.2.5 锚座的承压面与锚杆轴线方向垂直度偏差一般不宜大于 5° ，超过时应采用水泥砂浆、斜锚垫板或混凝土斜垫板等找平，使千斤顶与锚杆同轴。预张拉为业界常用作法，目的是使锚筋、尤其钢绞线锚筋平直以及各部位接触紧密，但编制组数十组拉力型锚索试验成果表明，锚筋较长及数量较多时取预估最大试验荷载的 0.2倍~0.3 倍预张拉 1次~2 次有时难以消除各钢绞线之间的受力不均匀现象，加大到0.4倍~0.5 倍效果有时也不是很显著，此时可对钢绞线逐束预张拉，最好采用多个千斤顶对各束钢绞线单独且同步张拉。

4.2.6 测量位移一般采用百分表及拉线式位移传感器等仪器，在斜坡上作业仪器安装困难时经工程责任各方同意后也可采用游标卡尺。极限试验、蠕变试验、群锚试验及疲劳试验对试验结果准确度的要求较高，故位移测量仪器的分度值应更小。

4.3 试验荷载及加卸载

4.3.1 经验不丰富、对试验结果有疑议、欲获取更高的承载力等情况下，适应试验及蠕变试验的最大试验荷载宜高于同类型锚杆的验收荷载。锚杆张拉试验时通常控制最大荷载下锚筋应力不大于 0.85倍~0.9 倍屈服强度或条件屈服强度以保证锚筋安全，正常使用极限状态下钢筋锚筋应力不大于0.7倍~0.75 倍屈服强度、钢绞线锚筋不大于 0.55倍~0.6 倍条件屈服强度以满足耐久性需求。筋体材料抗拉断力设计值大于预定最大试验荷载时能够同时满足这两个要求，否则应加强材料抗拉断力设计值，抗拉断力设计值即锚筋材料抗拉强度设计值与锚筋总截面积的乘积。

4.3.2 验收荷载指满足设计承载力验收要求的预定最大试验荷载。验收荷载与抽检率问题很复杂，在各相关标准中与样本绝对数量、试验方法、费用及时间、习惯作法、工程安全等级、结构设计使用年限等多种因素相关。①锚杆验收荷载与拉力标准值（或承载力特征值）的倍数简称检验倍数。验收试验本质上为抽样检验，目的是通过检测少量受检样本的质量来估计和推断全部样本的，通常假定锚杆承载力呈正态分布，此时样本数量越大，允许检验水平（检验倍数）则越低；反之，样本数量越小检验倍数应越高。检验倍数主要用于评估施工质量符合设计指标的概率，并不是设计安全系数小的工程允许施工质量不符合设计指标的概率就可以高，故检验倍数主要应基于抽样率而不是设计安全系数。②桩基相关标准通常规定受检桩抽样率为 1%、检验倍数为 2.0，如果以之为参照，锚杆验收试验的抽样率大于 1%时检验倍数可以低于 2.0。但基于业界习惯等原因，本标准中锚固类长期基础锚杆及长期抗浮锚杆的抽样率为 4%~5%但检验倍数仍取 2.0，设计人可根据实际情况适当下调。③其余锚固类的长期锚杆主要指边坡锚杆及既有挡墙加固锚杆，最大抽样率为 5%，检验倍数为 1.5，与相关标准中的指标大体一致。④锚固类临时锚杆主要指基坑锚杆，各相关标准中部分检验倍数固定为 1.2、部分随基

坑安全等级变化而取 1.2~1.6，本标准取 1.25，不随安全等级而变化。⑤改良类锚杆抽样率 1%~2%及检验倍数 1.25 与相关标准中的指标大体一致。

4.3.3 为了提高试验准确性，试验初始荷载应尽量低。

4.3.5、4.3.6 锚杆张拉通常采用单个穿心式千斤顶或多个前卡式千斤顶，千斤顶最大行程一般不超过 200mm。锚筋自由段较长（如压力型锚杆）及张拉荷载较大时，最大张拉荷载下的锚头位移量可能会超出千斤顶最大行程，此时宜采用大行程千斤顶，也可采用分步张拉法，即先张拉至一定荷载后锁定，再二次张拉。初次张拉锁定后宜拆卸千斤顶，安装支凳，再安装千斤顶继续张拉，支凳的主要作用是避免千斤顶直接压在锚具上导致张拉荷载损失，与持有荷载张拉机理基本相同。

4.3.7 锚杆承载能力极限状态包括破坏及出现了不适于继续承载的较大变形这两种状态，其中破坏模式主要有锚筋断裂、锚筋从锚固体中或地层中拉脱、锚固体从地层中拔出及锚固体压碎等几种，不同破坏模式对应着不同的破坏机理。破坏就意味着不稳定，在张拉受力过程中表现为荷载不稳定（如千斤顶掉压）或位移不稳定，国内普遍采用位移参数来判断是否稳定，即是否位移稳定。如果发生了锚筋断裂、锚筋从锚固体中快速拉脱及锚固体从地层中快速拔出等现象，很容易判断出锚杆达到了破坏状态，但更多情况下这些明显现象不会发生或受试验时间所限等不及发生，通常需要测读锚头位移去判断锚杆是否达到了承载能力极限状态，即利用锚头位移参数来判断稳定，简称判稳。锚头位移参数分为三种：①总位移，即某级荷载的位移读数与初始荷载的位移读数之差，也称累计位移、位移、绝对位移等。工程中通常不允许结构发生较大变形，故应对全粘结抗浮锚杆等非预应力锚杆的总位移及预应力锚杆的塑性位移进行控制，本标准引自现行深圳市标准《岩土锚固技术标准》SJG 73-2020，把非预应力锚杆总位移 100mm 及预应力锚杆塑性位移 100mm 作为极限指标，100mm 也是现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2014 中抗拔桩位移极限指标。总位移或塑性位移达到极限指标并不意味着不稳定，有些锚杆在发生了较大位移后仍然能够稳定下来，故绝对位移不能够作为判稳指标。②位移增量，即某级荷载维荷一段时间之后的位移读数与该级荷载的初始位移读数之差，也称为蠕变量。业界有个作法就是把位移增量突变现象（如某级荷载的位移增量为前一级荷载的位移增量的 5 倍）作为判稳指标，编制组认为这种现象没有对应的破坏模式和极限状态，除了可能意味着破坏外还有可能是孔道弯曲或锚筋自由段夹杂异物等原因引发的，并不能表征锚杆一定就达到了破坏状态，且因时间越长位移增量越大、前后两级荷载维荷时间不同时显然不能直接比较，故不采用这一作法。位移增量与维荷时间密切相关，不考虑时间因素的位移增量工程意义不强，不能直接作为判稳指标。③单位时间内的位移增量，也称蠕变率，在国内外均为最主要判稳指标，适用于所有类型锚杆。所谓的位移稳定，数学含义就是蠕变率收敛于某一数值，故也称为蠕变稳定或蠕变收敛，该数值即为蠕变稳定指标，即判稳指标，蠕变率大于该指标后容易发生蠕变曲线发散、位移（蠕变）不稳定现象。“维荷时间结束时不满足判稳指标”中的“维荷时间”包括了延长后的维荷时间，“不满足判稳指标”即指位移（蠕变）不稳定，如果维荷时间继续加长，则位移可能继续增加至工程难以接受或难以继续承载，还有可能发生锚杆破坏。另外，广义上，锚筋断裂也可视为蠕变不稳定。

4.3.8 锚杆在锚固体—地层粘结界面、拉力型锚杆锚筋—锚固体粘结界面、压力型锚杆锚固体—承载体局压界面、扩体锚杆锚固体—地层端阻界面、波纹管—锚固体剪切界面等多个界面均可能发生破坏，当锚杆有两个及以上破坏界面时，从荷载试验角度，当发生本条所述破坏现象时，有时很难判断是哪个界面发生了破坏，此时可卸载后重新试验一次以助于查明原因，从而有利于设计及施工工艺改进。

4.4 维荷时间及位移测读

4.4.2、4.4.3 维荷时间及位移测读频率：①多循环法、快速法的加载及各种方法的卸载过程中，每级荷载需停留一下以测读锚头位移，停留时长无需过长，能够测读出位移即可，通常为 1min；②每级

荷载维持时长不应过短，否则可能会产生较大测试误差，一般不应短于 15min；③确定发生了蠕变稳定破坏后，卸载时前两级的停留时长宜延长至 5min 以观测锚杆残留承载力。

4.5 基本试验

4.5.1、4.5.2 适应试验的作用之一相当于“预验收”，与验收试验的试验参数及合格指标等均应基本相同。本标准参照国际标准采用蠕变率 $\alpha=2.0\text{mm}$ 作为各种试验判稳指标，为便于现场操作，将之量化为第 5min~第 15min 蠕变量不大于 1.0mm 及第 15min~第 60min 蠕变量不大于 1.2mm；当工程进行了蠕变试验时，则将蠕变试验确定的蠕变率作为判稳指标，该蠕变率通常位于 2.0mm~5.0mm 之间。另外，确定量化指标时采用了第 15min 及第 60min 的位移读数作为关键数据用于第二次判稳，如果其误差较大会影响到稳定与否的判断，有争议时应绘制 $s-\lg t$ 、 $\alpha-t$ 等曲线进行校核，其中稳定蠕变曲线的 α 稳定于 2.0mm 以下， s 收敛于某一数据。适应试验及验收试验的最大试验荷载低于极限试验的最大试验，作为合格指标的蠕变率也应该相应降低，故国际标准中初次判稳的量化指标一般为第 5min~第 15min 蠕变量不大于 0.5mm。考虑到国内习惯及为简单起见，本标准中极限试验、适应试验及验收试验的判稳采用了相同的量化指标。另外，每级加载完成后即应测读位移作为初始值，测读时刻视为第 0min（零时刻），因此“第 5min”表示时长为 5min、“第 15min”表示时长为 15min，以此类推。

4.5.5、4.5.6 理论上预应力锚杆 P_1 取锁定荷载 P_0 计算结果会更准确一些，但 P_0 往往不可确知且离散性较大，使用不便。刚度系数 k_{RT} 离散性通常较大，分区统计及分区使用会容易一些。各锚杆 k_{RT} 极差超过平均值的 30%时，为安全起见，本标准建议：可将 k_{RT} 按数值大小排列，取后 1/2 的平均值作为地下室底板等被锚固结构的设计计算依据，取前 1/2 的平均值作为锚杆设计计算依据，样本较多时可用标准值替代平均值。

4.5.7 本条第 2 款规定引自深圳市标准《岩土锚固技术标准》SJG 73-2020 的研究成果。

4.5.9 本条第 1、2 款主要目的为查明位移不合格原因。锚杆长度不能得到有效检测时，弹性位移通常作为预应力锚杆的试验合格指标。弹性位移如果不符合上下限指标，通常说明锚杆长度或锚筋自由段与粘结段的分配比例不符合设计，可能导致锚杆承载力安全储备不足：①弹性位移小于下限指标时通常意味着锚杆的实际锚筋自由段及自由段长度不足可能导致荷载回传至自由段，不过也可能是因为张拉设备不同轴、锚筋与孔道间摩阻力太大、锚筋自由段漏浆、被石粒卡住等意外原因造成的，此时可再试验一遍，因摩阻力会有所降低而导致弹性位移增加。国内外有些标准建议弹性位移下限指标与 $0.9L_{ef} + L_e$ 相对应，实践证明偏于严格了，本标准按最新国际标准及工程实践经验与 $0.8L_{ef}+L_e$ 相对应，适用于大多数情况，但对于较长的压力型锚杆（例如长度超过 35m）及压力分散锚杆可能仍不适用，试验结果表明弹性位移可能会低至与 $0.5L_{ef} + L_e$ 相对应，此时应采用根据前期进行的锚杆基本试验结果调整后的下限指标作为试验合格指标；②荷载沿锚固段传递速率均匀时，本条规定的弹性位移上限指标通常适用，粘结应力沿锚固段非均匀分布现象较严重、锚固段前半部分地层性状较差或地层易于蠕变时弹性位移可能会超过上限指标，此时可进行蠕变试验并以蠕变试验结果替代上限指标作为试验合格指标；③锚筋与孔道间摩阻力可采用自测力锚杆测试。另外，验收试验时弹性位移有时与基本试验的不相符且相差很大，有可能是岩土体性状变异造成的，宜选择不相符锚杆的 2 条相邻锚杆进行适应试验以进一步查明原因，查明后可调整承载力设计值或弹性位移上下限指标作为验收试验合格指标，查不明时宜继续试验验证。

4.6 验收试验

4.6.1 国家、行业、省、市及团体现行有关标准中对验收试验加卸载方法的规定并不一致，通常需根据锚杆类型、应用场景等条件选择最适宜的加卸载方法。

4.7 持有荷载试验

4.7.1 经验表明，锁定荷载通常在 1~3d 内损失较大，之后趋于稳定，快者 3~5d、慢者 5~7d 时基本稳定，故作为验收依据的持有荷载试验宜在锚杆锁定后 5d~7d 之间进行，此时试验结果变异性较小。

4.7.3 应制作并留存提离现象的影像资料。

4.7.4 在现场判断发生提离现象后再加载 2~3 级荷载的主要目的为：①经验表明，现场对是否发生提离现象容易产生误判，再加载几级以便准确判断，荷载水平越低再加载级数宜越高；②发生提离现象后，通常需要进一步了解锚杆在提离后的承载力特性。

4.7.10 加卸载过程扰动导致夹片松弛等原因，锚筋弹性位移量较试验前通常会减小，锁定荷载相应减少，如果减少幅度较大，则应在卸载锁定前压紧工作锚具（主要为夹片）或卸载后重新锁定；发生夹片破损或打滑需要更换等现象，应卸载后重新锁定。

4.8 试验报告

4.8.3 群锚试验设备较多，反力装置彼此之间的距离很难满足第 4.2.4 条规定，因各主梁距离较近，支座可能因地基土应力场重叠而彼此干扰导致沉降或隆起，故应进行沉降监测以消除因此产生的测量误差。

5 浆体抗压强度试验

5.0.1 本章适用于采用试模制作的水泥净浆、水泥砂浆及水泥基灌浆材料的试块。锚固体由树脂、水泥卷、水泥土、混凝土等胶结材料形成时，应执行国家现行相关标准。

5.0.3 除试块制作及强度代表值确定外，本标准中试验所需仪器设备、试块养护、试验步骤及试块强度计算均参考了行业标准《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 70-2009 及行业标准《混凝土试模》JG 237-2008。行业标准《混凝土试模》JG 237-2008 规定，试模的内表面应机械加工，平整度应为每 100mm 不超过 0.05mm，组装后各相邻面的不垂直度不应超过 $\pm 0.5^\circ$ 。

5.0.4 用孔口返浆制作的试块更接近于锚杆锚固体实际强度。

5.0.8 试块强度不可避免地会受到收集到的返浆中的杂质干扰，离散性较大，返浆试块与原浆试块的对比试验统计结果表明，差值 20%是一个较为合适的分选指标，极少数返浆试块强度最低可低至原浆试块强度的 70%。另外，锚固体强度对压力型锚杆及岩层锚杆承载力影响较大，对其它类型锚杆影响不大。

5.0.9 本条合格标准采用了检验批概念。锚杆浆体试块的取浆制作方式、重要性、责任方、强度代表性等均不同于混凝土及建筑砂浆，不宜采用混凝土或建筑砂浆强度评定方法。

5.0.10 从锚固体上钻取芯样制作的试件强度更具有代表性，但取芯制件非常困难，通常只在有条件时采用，取芯方法可执行现行行业标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384。

5.0.11 浆体试块强度试验记录表及统计表等可按照水泥砂浆的表格形式填写。

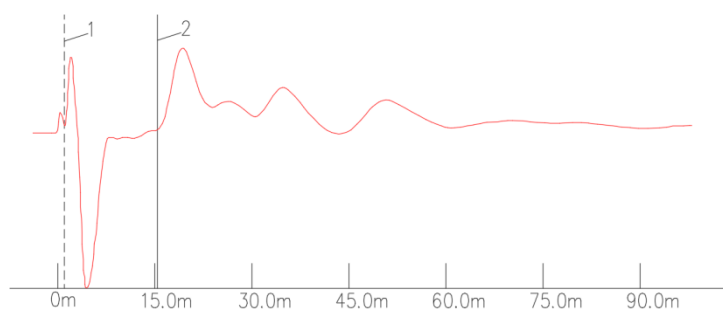
附录 C 埋线法长度测试

C.0.1 锚筋与导线之间的脉冲传播速度在不同介质中有所不同，编制组实测空气中脉冲传播速度约为 220~240mm/ns，纯水泥浆中约为 80mm/ns~100mm/ns，为测得不同介质下的脉冲传播速度，仪器的波速调节范围应覆盖以上波速范围。脉冲宽度较小时分辨率较高、高频信号衰减较快、锚杆底部的同向反射波幅亦较小，适用于短锚杆；脉冲宽度较大时分辨率较低、低频信号衰减较慢、锚杆底部的同向反射波幅亦较大，适用于长锚杆，测试过程中宜采用不同宽度的脉冲进行测试以获得最佳质量信号。

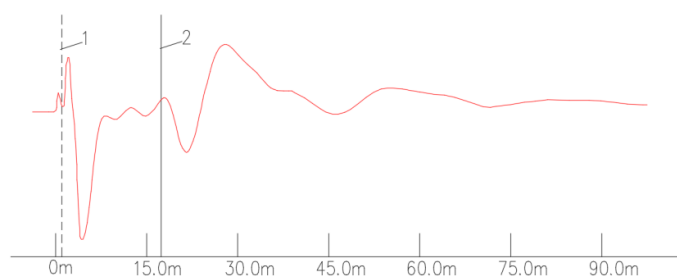
C.0.2 埋线法宜以锚杆直径、锚筋品种、锚筋规格及锚固体种类等作为同类型锚杆分类条件，每类型均宜有校准锚杆。不同种类的导线对测试结果有影响，不能混用。锚杆越长导线被损伤的风险越大，导线截面积也应越大。锚杆采用高压喷射注浆或二次高压劈裂注浆等工艺形式时，应测试是否会损伤导线。预埋导线的锚杆数量不宜低于受检锚杆数量的 3 倍。

C.0.3 外部环境指锚座、结构物以及机械设备等。应清除锚筋及导线上附着的杂质以保证导电性能良好。

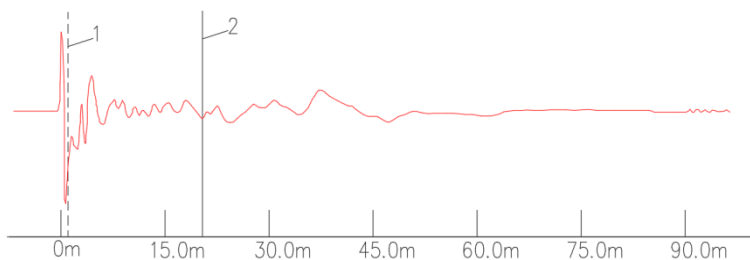
C.0.5 波形通常先显示出许多振幅较小的脉冲，再是振幅较大的脉冲，结束光标应移至振幅最大的那一条，如图 4（a）所示。具有明显反向反射波形、无明显反射波形、在主脉冲反射之前存在明显波形等作为非典型波形如图 4（b）~（d）所示，计算波速及锚杆长度时不应选择非典型波形。



（a）典型波形



（b）有明显反向反射波形



（b）信号紊乱，无明显反射波形



(d) 在主脉冲反射之前存在明显波形

图 4 典型及非典型脉冲信号

1—起始光标；2—结束光标

C. 0. 7 部分埋线法测试仪器界面上显示的锚杆长度，是根据选定的波速及测得的时间自动计算得出的，因为计算时未考虑锚筋的外露长度及锚筋中脉冲波速的变化，该长度只能作为现场测试时的粗判不能直接采用，否则可能产生较大的误差。另外，一些埋线法仪器会考虑脉冲的传播时间，面板显示的时间实际上对应着 1 个锚杆长度，此时式 (C. 0. 7) 需相应调整。

C. 0. 10 经验表明，介质为水泥浆时，同一场地同批次施工的锚杆测试波速一般为 80 mm/ns~100 mm/ns，无校准测试时平均波速可取 90 mm/ns。影响波速的因素包括介质（锚固体质量的差异）及脉冲宽度（不同脉冲宽度测得的波速略有差别）等，锚筋长度测试误差通常不大于 1.0m，但试验表明，波速最大测试误差、亦即锚筋长度误差最大偶然可能达到 12%，故本标准允许偏差取 15%。

附录 D 旁孔法长度测试

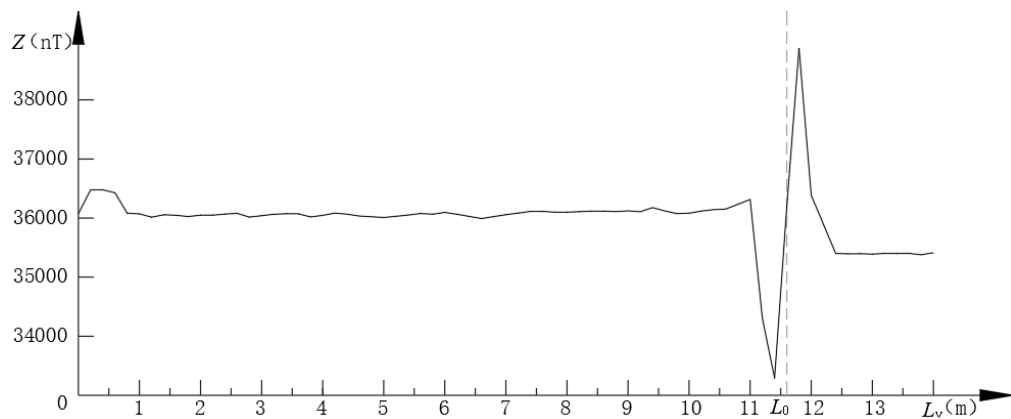
D.0.1 对于旁孔磁法及旁孔电磁法的仪器设备：①最长工程锚杆已达到近 70m，检测系统应具备相应的测量能力；②旁孔法的传感器通常在水下工作，应具有良好的耐压性能；③测点的深度步距对后期磁场梯度计算影响较大，因此要求设备具有较高的深度分辨力。试验结果表明磁法及电磁法的深度分度值均可达到 20mm，考虑到工程实际需求本标准设定为 50mm；④为避免重复进退场，数据采集仪应具有实时监控和初步分析处理功能。

D.0.2 测孔布设时：①为减少测试误差，测试孔开孔方向应尽量与锚杆轴线平行且贴近锚杆，竖向开孔时钻机立轴、天轮中心与孔口中心应在同一铅锤线上，钻进过程中应经常对钻机立轴进行纠偏。②测试孔是传感器的通道，常用磁法传感器直径约为 40mm、电磁法约为 60mm，为保证传感器在测试孔内顺畅通行，磁法测试孔孔径不应小于 60mm、电磁法不应小于 80mm。③为获得稳定背景场 Z_0 ，测试深度应超过锚杆深度 5m。④测试孔为斜孔时传感器不易下放至孔底，可采取在传感器上安装滑轮、钻机辅助下放等辅助措施。

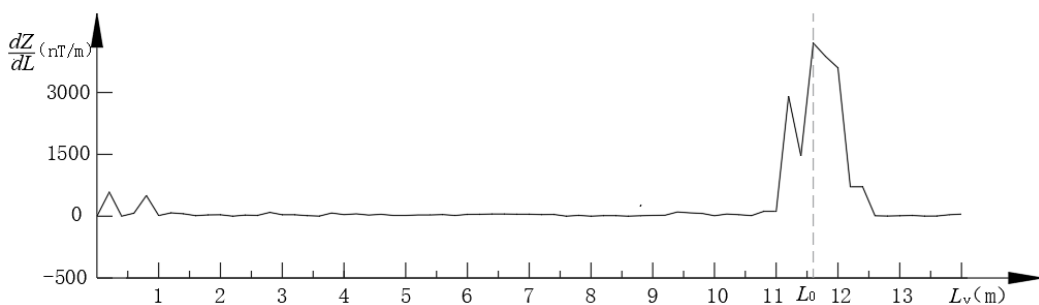
D.0.3 测试时应注意：①施工现场的机械设备、钢筋、钢绞线、钢管等铁磁性物体受地磁场磁化作用，在其周围会形成较强的磁化场。锚杆长度磁法测试时，锚杆磁化形成的磁化场是测量研究的对象，其他铁磁性物体等形成的磁化场是干扰场，干扰场强度比锚杆磁化场强度更强时，锚杆磁化场的分布特征会被干扰场掩盖，此时需要将干扰场事先移除；②支好管口拉线滑轮及计数滑轮，连接计数电缆、传感器数据线及电源线，将传感器放入测试孔底，之后提升测读。人工拉线要尽量保证缓慢匀速，拉线过快会导致某些特定点磁场读数为 0，容易误判；③应采集多条实测曲线以消除人为或仪器设备等因素造成的偏离数据；④锚杆底部以下实测背景磁场值平滑稳定、锚筋底部磁反应明显则可判断信号正常；⑤锚杆底端位置与设计不符、出现异常实测曲线或实测曲线一致性较差时，应分析原因，排除影响测试的不良因素，必要时可采用调整测试措施，旁孔磁法可采用磁铁或电磁设备等加磁设备加强磁场、以及将磁向反向后重新测试，旁孔电磁法可调整发射机频率。

D.0.4 垂直方向旁孔磁法相关曲线如图 5 所示。锚筋在地磁场的作用下产生磁化场，锚筋底部为磁介质分界面，界面上部为铁磁性物质，下部为无磁性或弱磁性物质，界面向下逐渐变为稳定的背景场，锚筋底部位置磁场发生剧烈波动， Z 分量强度急剧变化，出现由极小值转变成大于背景场的拐点（斜率最大处），相应的 Z 分量强度梯度曲线出现极值点，可分辨出锚杆的存在。经验表明，对于锚杆而言， L_v-Z 曲线的 Z 分量拐点位置判读难度较大，而 dZ/dL_v 的灵敏度较高，故应结合 L_v-Z 曲线和 L_v-dZ/dL_v 曲线综合判定。垂直方向测试时，磁感应传感器在提升过程中晃动或转动对水平分量影响比较大，测试误差较大，进而影响到磁场强度 T ，故以垂直分量 Z 为主要判据，水平分量和磁场总量作辅助判据。倾斜或水平测试时垂直分量及水平分量方向发生改变，需要综合垂直分量、水平分量和磁场总量来判定。

倾斜方向测试数据的分析与判定应符合下列规定：①绘制长度—磁场强度、垂直深度—磁场强度垂直分量及水平投影长度—磁场强度水平分量曲线，依据曲线下端平滑稳定的磁场强度判定测区背景场，磁场强度及各分量相对背景场有明显变化（高于或低于）时应判定有锚筋存在；②计算磁场强度梯度、垂直分量梯度及水平分量梯度，综合各曲线初步判定锚筋底端位置。



(a) L_v-Z 曲线



(b) L_v-dZ/dL_v 曲线

图5 旁孔磁法测试曲线

D.0.5 锚杆在充电激发或感应激发条件下产生的一次磁场或二次磁场都是以锚杆为中心的环形磁场，随着锚杆电磁长度增加而衰减，在底端急剧衰减。在锚杆底端及以下的磁场分布十分复杂，试验数据表明，在锚杆底端及以下的磁场分布基本上符合磁偶极子场的分布规律，故可将锚杆底端部位视为磁偶极子，磁场分布视为磁偶极子场。绘制 L_E-H 及 L_E-dH/dL 曲线分别如图6所示，锚杆底端之前曲线较为平滑，曲线出现拐点畸变位置应判定为锚筋底端。可对 H 值取对数，绘制 $L_E-\log H$ 曲线辅助判断。

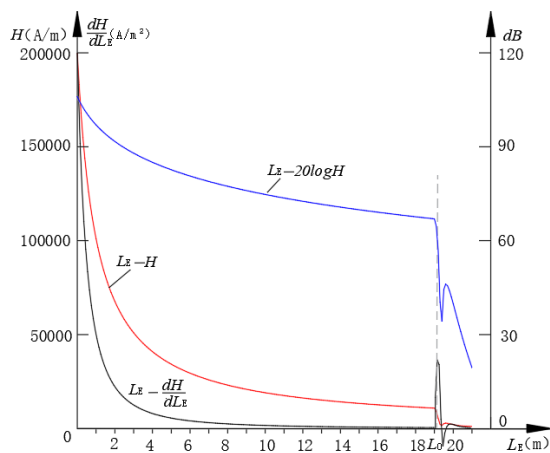


图6 旁孔电磁法测试曲线

D.0.6 经验表明，测试孔与锚杆轴线基本平行时，测试误差通常不超过 1.0m；不平行时，夹角越大带来的测试误差越大，测试结果中宜计入因此产生的误差。

附录 G 分布式光纤测试

G.0.1 为避免测试过程中解调时间过长影响锚杆测试进度，要求设备解调时间不大于 5min。锚杆测试过程中最大应变通常在 $2000\mu\epsilon$ 以上，要求解调设备应变测量准确度不低于最大应变量的 1/50 即 $40\mu\epsilon$ ，原则上尽可能选择精度较高的光纤解调设备。光缆抗拉强度及耐磨损性应满足现场施工和拉拔测试环境的要求以避免在运输和安装过程中损坏。

G.0.2 光缆可布设在锚筋上或锚固体内。不同光纤解调设备标定的光缆系数不同，有条件时可利用试验采用的光纤解调设备进行系数标定。光缆断点及损耗检查可采用红光笔、光功率计和光时域反射技术进行。双端测量光纤解调设备允许损耗为 20dB~25dB，单端测量光纤解调设备允许损耗为 30 dB，考虑到拉拔过程中光纤拉伸损耗增大，实际布设光缆本身损耗不宜大于 10dB。光缆引线即为暴露在孔口外的光缆，引线长度应该根据现场条件确定，以利于光缆保护和后续接线方便为宜。光缆宜沿锚筋外侧对称布设，一方面可对两侧数据进行对比分析及平均计算以减少误差，另一方面光缆出现断点时可从两端采集数据以保证测试效果。光缆弯曲会增大损耗，对称穿过隔离架时应形成较大弯曲半径以有效降低弯曲损耗。另外，经验丰富时也可用手工替代锁线器拉紧光缆。

G.0.3 测试参数是影响分布式光纤应变监测系统性能的重要因素，应根据测量精度和采集时间选择最优仪器参数设置。锚杆在各级荷载作用下的应变分布均为相对于初始状态的应变差值，为便于光纤应变计算分析，对同一锚杆应采用相同的空间分辨率、采样间隔、扫描频率步长等测试参数。光纤定位是将测试光纤的距离与锚杆的空间位置进行匹配，可采用如下方法：①温度标识法。在锚杆端部采用热水、发热袋、热吹风等方法使得 0.5m~1m 长度范围的光纤发生明显温度变化，测试前后数据，根据温度引起的应变异常部位来定位；②微弯法。在锚杆端部弯曲光缆，通过仪器的光时域反射功能来对弯曲位置进行定位；③实际测量法。利用钢尺测量光纤从仪器到锚杆端部的实际长度来定位。试验加载前采集数据作为测量基准，测试范围内 3 次数据的应变极差小于仪器的重复性误差视为有效数据，取 3 次测试数据的算数平均值作为初始值（测量基准）。数据采集完成后，应检查文件是否保存、布里渊频谱是否完整平滑、光谱能量是否正常，待检查无误后加载下一级。测试时发现断点或损耗较大时应拔出锚索重新布设光缆。

G.0.4 完成数据定位后，将测试数据进行分割提取，选取锚杆长度范围内的测试数据进行计算分析，以锚杆深度为坐标重新定义数据的 X 轴，其中光纤由锚杆底部向顶部方向的数据要进行上下倒转。上述公式计算考虑了锚筋与锚固体之间的粘结应力往往没有达到极限状态、锚筋与锚固体处于应变协调状态，锚筋与锚固体的应变相同等因素。另外需要注意，在达到极限状态前，测试得到的锚固体与地层间的粘结应力小于粘结强度。

附录 I 极限试验

I. 0.1 因分级维荷法及快速法可能因极限破坏等原因测量不到卸载位移从而导致试验不能完整测试出锚杆位移特性，故本标准要求所有类型的锚杆极限试验均采用多循环法。多循环法加卸载循环次数一般分为 7 级，可按承载力高低增减 1~2 级，分级越多试验结果越精确，但试验时间也越长。另外，极限试验主要目标就是要测定锚杆承载力极限值，应尽量做到极限破坏。

I. 0.2、I. 0.3 再次延长维荷时间(即 240min)后，如能判断蠕变稳定($\alpha \leq 2.0\text{mm}$)或蠕变破坏($\alpha > 5.0\text{mm}$)则随时可中断当级荷载而进入后一级荷载或中止试验，不必等到维荷时间结束。经验表明： t_a 在第 0min~第 5min 的前 5min 位移数据不容易稳定；为了计算准确， t_b 宜大于 t_a 至少 10min，维荷时长超过 1h 后至少 30min。另外，蠕变率“2.0mm”为国际通用写法，是“2.0mm/对数周期”的简写。

I. 0.6 经验表明，一般情况下可将 2.0mm 作为蠕变率收敛值、即判稳指标，但经验表明有 3.2.4 条所示情况时蠕变率可能会较大，这个指标可能偏于严格。极限试验为探究性试验，为了更加全面准确的了解锚杆承载特性，此时宜执行蠕变试验的规定，根据试验结果，采用位于 2.0mm~5.0mm 之间的某一数值，如 2.5mm、3.0mm、4.0mm、5.0mm 等（不应大于 5.0mm，否则发生蠕变破坏的概率将大幅增加），作为新的蠕变率指标，具体数据应根据蠕变曲线及计算结果确定。锚杆发生缓变型破坏时可清晰地判别出 α 值，发生突变型破坏时破坏荷载前一级荷载的 α 通常小于 2.0mm。另外，采用 α 作为判稳指标与采用“破坏荷载的前一级荷载”相比，判得的承载力极限值通常会稍大一些。

I. 0.8 例如，测试锚固体极限抗拔力时如果发生了锚筋断裂、锚筋变形过大、岩土体破坏、反力装置破坏或变形过大等不适于再继续加载的情况时，通常作法是取不适用于加载情况的前一级荷载作为锚固体极限抗拔力，但这样则低估了锚固体极限抗拔力，对此有争议时可以重新试验。

I. 0.9 将极限试验获得的锚杆性能应用于工程锚杆应考虑：①采用较短的锚固段在岩土体—锚固体界面产生破坏获得的粘结强度，用于较长锚固段时应考虑粘结强度随锚固长度的发挥程度；②钻孔直径或扩体直径不同时，获得的岩土体—锚固体界面粘结强度多数情况下不宜直接通用；③采用较短的粘结段以在锚筋—锚固体界面产生破坏时，获得的粘结强度用于较长粘结段时应考虑粘结强度随粘结段长度的发挥程度；④锚筋截面形状或面积不同时，获得的锚筋—锚固体界面粘结强度不宜直接通用；⑤钻孔或扩体直径、锚固体强度或内锚头规格不同时，获得的锚固体抗局压力不宜直接通用。