

ICS 27.140

P 59

备案号: J922—2009

**DL**

**中华人民共和国电力行业标准**

**P**

**DL/T 5424 — 2009**

---

**水电水利工程锚杆无损  
检测规程**

**Code for anchor bolt no-damage detecting of hydropower  
and water resources engineering**



2009-07-22 发布

2009-12-01 实施

---

中华人民共和国国家能源局 发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	2
3 术语和符号 .....	3
3.1 术语 .....	3
3.2 符号 .....	5
4 总则 .....	7
5 检测设备 .....	8
6 检测比例及结果评定 .....	9
6.1 一般规定 .....	9
6.2 检测比例 .....	9
6.3 检测结果评定 .....	9
7 现场检测 .....	11
7.1 一般规定 .....	11
7.2 接收传感器和激振器安装 .....	11
7.3 测试参数设定 .....	12
7.4 检测记录 .....	12
7.5 检测数据分析 .....	12
8 锚杆模拟试验 .....	17
8.1 一般规定 .....	17
8.2 模拟锚杆设计、施工和检测 .....	17
8.3 复核与验证 .....	18
8.4 试验资料整理 .....	18
9 检测成果报告 .....	19
附录 A (资料性附录) 单根锚杆检测记录表 .....	20

附录 B (资料性附录) 单项或单元工程锚杆  
 无损检测报告表 ..... 21  
 条文说明 ..... 23

# 前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于下达 2006 年度行业标准项目计划的通知》(发改办工业[2006]1093 号文)要求制定的。

本标准在编制过程中,进行了广泛调查研究、收集资料,认真总结了我国水电水利工程锚杆无损检测的实践经验及国内外最新研究成果,并征求了国内有关单位和专家的意见编写而成。

本标准主要技术内容包括检测设备、检测比例及结果评定、现场检测、锚杆模拟试验、检测成果报告。

本标准的附录 A、附录 B 为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电施工标准化技术委员会归口并负责解释。

本标准负责起草单位:长江水利委员会长江科学院。

本标准参加起草单位:长江大学工程地球物理研究中心、中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院、黄河水利委员会基本建设工程质量检测中心、杭州华东工程检测技术有限公司、长江水利委员会长江勘测规划设计研究院、水利部岩土力学与工程重点实验室、水利部长江勘测技术研究所。

本标准主要起草人:吴新霞、肖柏勋、王波、冷元宝、黄世强、陈磊、王黎、魏岩峻、武方洁、任贤斌、肖国强、尹健民、王文辉、吴从清、高建华、易晶萍。

# 1 范围

本标准规定了水电水利工程锚杆无损检测方法和成果评定标准。

本标准适用于水电水利工程的锚杆无损检测，其他工程可参照执行。

本标准适用于水电水利工程的锚杆无损检测，其他工程可参照执行。

本标准适用于水电水利工程的锚杆无损检测，其他工程可参照执行。

本标准适用于水电水利工程的锚杆无损检测，其他工程可参照执行。

本标准适用于水电水利工程的锚杆无损检测，其他工程可参照执行。

本标准适用于水电水利工程的锚杆无损检测，其他工程可参照执行。

本标准适用于水电水利工程的锚杆无损检测，其他工程可参照执行。

本标准适用于水电水利工程的锚杆无损检测，其他工程可参照执行。

本标准适用于水电水利工程的锚杆无损检测，其他工程可参照执行。

本标准适用于水电水利工程的锚杆无损检测，其他工程可参照执行。

本标准适用于水电水利工程的锚杆无损检测，其他工程可参照执行。

本标准适用于水电水利工程的锚杆无损检测，其他工程可参照执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些标准的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 50086 锚杆喷射混凝土支护技术规范

## 3 术语和符号

### 3.1 术语

3.1.1 下列术语和定义适用于本标准。

3.1.1 全长黏结型锚杆 **full-length bonded anchor-bar or full-length bonded anchor bolt**

锚杆孔全长填充黏结材料的锚杆。

3.1.2 自钻式锚杆 **self-drilling anchor-bar**

将钻孔、安装、注浆与锚固合为一体，中空钻杆作为杆体的锚杆。

3.1.3 端头锚固型锚杆 **anchor-bar anchored at head**

采用黏结材料或机械装置将锚杆底端锚固的锚杆。

3.1.4 摩擦型锚杆 **friction anchor-bar**

利用锚杆体与孔壁之间的摩擦力起锚固作用的锚杆。

3.1.5 锚杆无损检测 **anchor-bolt no-damage detecting or anchor-bar inspection**

对锚杆实施无损害或不改变其性能的检测手段。

3.1.6 锚杆杆系 **anchor-bar system**

锚杆锚固后，锚杆杆体、注浆体和孔周围岩组成的复合体。

## 3.1.7

**锚固段 anchor fixed segment**

通过注浆体或机械装置将杆体与围岩锚固的锚杆部分。

## 3.1.8

**锚身段 anchor body segment**

利用弹性伸长将拉力传递给锚固体，且运行期内能够适应设计范围内的拉力变化及伸缩或弯曲变形的锚杆部分。

## 3.1.9

**锚杆长度 anchor-bar length**

锚杆外露段长度、自由段长度和锚固段长度之和。

## 3.1.10

**锚固长度 anchor-bar anchored length**

锚杆锚固段长度之和，全长黏结型锚杆为孔口到孔底的锚杆杆系长度。

## 3.1.11

**锚杆饱满度 anchor-bar satiation degree**

锚杆孔中充填黏结物的密实程度，也可表述为锚杆孔中的有效黏结长度占设计黏结长度的百分比。

## 3.1.12

**声波反射法 sonic reflection method**

在锚杆外露端施加瞬态或稳态激振荷载，实测加速度或速度响应时程曲线，进行时域和频域等分析，对被检测锚杆锚固质量状况进行评价的检测方法。

## 3.1.13

**锚杆模拟试验 anchor-bar simulation test**

在实验室或现场，模拟锚杆施工缺陷进行的无损检测试验。

## 3.1.14

**有效长度法 effective length method**

采用锚杆孔中有效黏结长度计算锚杆饱满度的方法。

## 3.1.15

**能量法 energy method**

采用锚杆反射波能量计算并评价锚杆饱满度的方法。

## 3.2 符 号

下列符号适用于本标准。

## 3.2.1 材料性能参数

$c_b$ ——锚杆杆体波速，m/s；

$c_c$ ——注浆材料波速，m/s；

$c_r$ ——围岩波速，m/s；

$c_t$ ——锚杆杆系波速，m/s。

## 3.2.2 几何参数

$L$ ——锚杆杆体长度，m；

$L_r$ ——锚杆设计锚固段长度，m。

## 3.2.3 测试参数

$c_m$ ——同类锚杆的波速平均值，m/s；

$c_{bm}$ ——同类锚杆的杆体波速平均值，m/s；

$c_{tm}$ ——同类锚杆的杆系波速平均值，m/s；

$D$ ——锚杆饱满度；

$E_0$ ——锚杆入射波波动总能量，N·m；

$E_r$ ——锚杆反射波波动总能量，N·m；

$E_s$ ——锚杆波动总能量，N·m；

$f$ ——声波频率，Hz；

$L_m$ ——锚杆黏结段累计长度，m；

$L_x$ ——锚杆缺陷段累计长度，m；

$L'_r$ ——接收传感器至锚杆杆体底端距离，m；

$L_0$ ——锚杆杆体外露自由段长度，m；

$L'_0$ ——接收传感器至锚杆外露自由端距离，m；

$t_i$ ——时间、声时测量值，s；

- $t_x$  ——缺陷反射波到达时间, s;
- $t_0$  ——入射波波动开始至入射波持续波动结束时间, s;
- $x$  ——接收传感器至缺陷界面的距离, m;
- $\beta$  ——锚杆声波波动能量修正系数;
- $\Delta f$  ——杆底相邻谐振峰之间的频差, Hz;
- $\Delta f_x$  ——缺陷相邻谐振峰之间的频差, Hz;
- $\Delta t_e$  ——杆底反射波旅行时间, s;
- $\Delta t_x$  ——缺陷反射波旅行时间, s;
- $\eta$  ——锚杆声波波动能量反射系数。

### 4 总 则

- 4.0.1 为规范水电水利工程锚杆施工质量无损检测方法,保障检测质量,特制定本标准。
- 4.0.2 锚杆无损检测宜采用声波反射法,检测内容包括锚杆长度和注浆饱满度。
- 4.0.3 检测前,应收集和了解与锚杆施工质量无损检测相关的工程地质和锚杆支护设计资料并制定检测方案;检测期间还应收集相关地质资料、锚杆施工质量记录和设计变更文件,并根据工程实际情况对检测方案进行调整。
- 4.0.4 检测前宜进行锚杆模拟试验。
- 4.0.5 检测成果应根据检测方法的技术特点和适用范围,结合现场施工工艺、使用要求、施工过程等因素进行综合分析判断。
- 4.0.6 检测设备应经质量技术监督部门授权的检定机构检定或校准合格。
- 4.0.7 检测时应确保所使用的仪器、设备在检定或校准有效期内,并处于正常状态。
- 4.0.8 检测单位应通过相应的计量认证或实验室认可,检测人员应有资质。
- 4.0.9 锚杆无损检测的新方法、新设备,应经过试验和工程建设有关各方认可后方可在检测中采用。
- 4.0.10 锚杆无损检测除应符合本标准的规定外,尚应符合国家行业现行有关强制性标准的规定。

## 5 检测设备

5.0.1 检测设备应配套齐全、功能完整、主要技术参数、精度符合本标准要求，宜实现检测资料数字化长期保存。

5.0.2 检测设备应满足防尘、防潮和防水等测试环境要求，并能在 $-10^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$ 环境下正常工作。

5.0.3 检测系统包括激振器、传感器和信号采集与分析仪等。

5.0.4 激振器符合下列规定：

- 1 激振器宜选用超磁激振器或冲击激振器。
- 2 激振器激振端直径宜不大于锚杆杆体直径的 $1/4$ ，能紧贴杆端。
- 3 激振器的激振频率应涵盖被检测锚杆的优势频率范围，宜为 $0.1\text{kHz}\sim 50\text{kHz}$ 。

5.0.5 接收传感器符合下列规定：

- 1 宜使用加速度传感器，也可使用速度传感器。
- 2 传感器声波接收面直径宜小于 $16\text{mm}$ ，可通过强力磁座或黏结材料与杆端耦合。
- 3 传感器响应频率宜为 $10\text{Hz}\sim 50\text{kHz}$ 。

4 在线性响应范围内，加速度传感器电荷灵敏度宜为 $10\text{pc}/(\text{m}/\text{s}^2)\sim 20\text{pc}/(\text{m}/\text{s}^2)$ ；速度传感器电压灵敏度宜为 $50\text{mV}/(\text{cm}/\text{s})\sim 300\text{mV}/(\text{cm}/\text{s})$ 。

5.0.6 信号采集与分析仪，符合下列规定：

1 应具有现场显示、输入、保存实测波形信号和检测参数的功能，宜有对现场检测数据进行分析处理、与计算机进行数据通信的功能，一屏宜能同时显示不少于三条采样波形。

2 模拟放大的频率带宽不窄于 $10\text{Hz}\sim 50\text{kHz}$ ，具有滤波频率可调功能，模数转换不低于16位，采样频率应不小于 $500\text{kHz}$ 。

## 6 检测比例及结果评定

### 6.1 一般规定

6.1.1 锚杆质量评价以单项或单元工程为评价单位，按锚杆数量进行计量。

6.1.2 锚杆质量评价应根据被测锚杆类别、受力特点及其重要性，评定每根被检测锚杆的锚固质量。

6.1.3 全长黏结型单根锚杆锚固质量应评价锚杆长度、注浆饱满度。

### 6.2 检测比例

6.2.1 常规部位永久锚杆检测比例应不小于施工总数的10%，且每单项或单元工程不少于10根。

6.2.2 岩锚梁等关键部位的锚杆检测比例应不低于施工总数的50%，必要时可100%检测，且每单项或单元工程不少于20根。

6.2.3 临时工程锚杆检测比例宜为施工总数的3%，且每单项或单元工程不少于5根。

6.2.4 永久锚杆单项或单元工程质量无损检测合格率达不到要求时，应加倍检测。

### 6.3 检测结果评定

6.3.1 实测单根锚杆长度达到下列条件，判断该锚杆长度合格：

- 1 岩锚梁等关键部位结构锚杆实测入孔长度大于等于设计长度的95%，且不足长度不超过 $20\text{cm}$ 。
- 2 常规部位永久锚杆实测入孔长度大于等于设计长度的95%。
- 3 临时锚杆实测入孔长度大于等于设计长度的95%。



## 6.3.2 锚杆分级标准如下:

- 1 I级锚杆, 长度合格, 锚杆饱满度  $D \geq 90\%$ 。
- 2 II级锚杆, 长度合格, 锚杆饱满度  $90\% > D \geq 80\%$ 。
- 3 III级锚杆, 长度合格, 锚杆饱满度  $80\% > D \geq 75\%$ 。
- 4 IV级锚杆, 长度不合格, 或锚杆饱满度  $D < 75\%$ 。
- 5 缺陷部位集中在孔底或孔口段, 应按以上标准降低一级评定。

## 6.3.3 单根锚杆锚固质量达到下列级别, 可判断为合格:

- 1 岩锚梁等关键部位锚杆, I级。
- 2 常规部位永久锚杆, II级及以上。
- 3 临时性锚杆, III级及以上。

## 6.3.4 单项或单元工程锚杆抽检质量达到以下标准, 可判断为合格:

- 1 岩锚梁等关键部位锚杆抽检样本中 90%达到I级以上, 且无IV级锚杆。
- 2 常规部位永久锚杆抽检样本中 80%达到II级及以上, 且无IV级锚杆。
- 3 临时锚杆抽检样本中 80%达到III级及以上。

## 7 现场检测

## 7.1 一般规定

- 7.1.1 声波反射法适用于检测全长黏结型锚杆的杆体长度和杆系注浆饱满度, 也可用于检测相关类型的锚杆。
- 7.1.2 声波反射法的有效检测锚杆长度范围宜通过现场锚杆模拟试验确定。
- 7.1.3 锚杆饱满度可根据波形特征进行定性分析, 也可采用有效长度法、能量法进行定量分析。
- 7.1.4 检测前应对检测仪器设备进行检查。
- 7.1.5 各部位的检测应随机抽样。当发现检测锚杆数量不足或检测数据出现异常情况时, 应补充检测。
- 7.1.6 现场检测锚杆应予以标识, 多方检测时编号应统一; 检测仪器记录、现场标识、图纸标识的锚杆编号等应一致。
- 7.1.7 被检测的锚杆砂浆应达3天以上龄期。
- 7.1.8 检测宜在挂网、喷混凝土或衬砌支护施工前进行。

## 7.2 接收传感器和激振器安装

## 7.2.1 接收传感器安装符合下列规定:

- 1 接收传感器宜安装在锚杆杆端部位, 且接收面应与锚杆轴线垂直, 接收传感器与杆端宜采用磁性固定。
- 2 安装有托板的自钻、空芯注浆等中空型锚杆, 接收传感器不得直接安装在托板上, 且避免安装在锚杆内腔和孔内的充填物上。

## 7.2.2 激振器安装符合下列规定:

- 1 宜采用瞬态激振方式, 激振器与激振点充分接触; 宜通过

现场试验选择适度的激振力。

2 振源激振方向应与锚杆轴线平行,分体式探头应避免激振器触击接收传感器。

3 实芯锚杆的激振点宜选择在杆端靠近中心位置。

4 安装有托板的自钻、空芯注浆等中空型锚杆,激振点宜布置在靠近接收传感器一侧的环状管壁上,不得布置在托板上。

### 7.3 测试参数设定

7.3.1 同一工程相同规格的锚杆,检测时仪器宜保持相同的技术参数。

7.3.2 锚杆波速参数应根据现场锚杆模拟试验或类似工程的波速值设定。

7.3.3 激振器激振信号脉宽参数宜设置为 0.5ms~1ms;记录设备的采样时间间隔或采样频率应根据杆长、锚杆波速和频域分辨率选择。

7.3.4 时域信号记录时间不宜少于杆底 2 次反射所需时间。

### 7.4 检测记录

7.4.1 单根锚杆检测记录参见附录 A。检测、校对人员应在检测记录上签名。

7.4.2 单根锚杆检测波形信号不应失真和产生零漂,信号幅值不应削峰。

7.4.3 单根锚杆检测的有效波形记录不应少于 3 个,且一致性较好。

7.4.4 应测量并记录被测试锚杆的外露自由段长度,描述孔口段注浆情况。

### 7.5 检测数据分析

7.5.1 检测资料分析应以时域分析为主,辅以频域分析,并结合

施工记录、地质条件和波形特征等因素进行综合分析判定。

7.5.2 杆体波速和杆系波速平均值的确定应符合下列规定:

1 检测工程所用材质和规格的锚杆杆体波速按式(7.5.2-1)计算平均值。

$$c_{bm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{bi} \quad (7.5.2-1)$$

$$c_{bi} = 2L'_r / \Delta t_e \quad (7.5.2-2)$$

或 
$$c_{bi} = 2L'_r \Delta f \quad (7.5.2-3)$$

式中:

$c_{bm}$ ——同类锚杆的杆体波速平均值, m/s;

$n$ ——参加波速平均值统计的模拟锚杆试验的锚杆数量 ( $n \geq 5$ );

$c_{bi}$ ——第  $i$  根试验杆的杆体波速实测值,且  $|c_{bi} - c_{bm}| / c_{bm} \leq 5\%$ , m/s;

$L'_r$ ——接收传感器至锚杆杆体底端距离,端收则为锚杆的实测长度, m;

$\Delta t_e$ ——杆底反射波旅行时间, s;

$\Delta f$ ——杆底相邻谐振峰之间的频差, Hz。

2 选取不少于 3 根注浆饱满度大于 90% 的相同材质和规格同类型锚杆的杆系波速值按式(7.5.2-4)计算平均值。

$$c_{im} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{ii} \quad (7.5.2-4)$$

$$c_{ii} = 2L'_r / \Delta t_e \quad (7.5.2-5)$$

或 
$$c_{ii} = 2L'_r \Delta f \quad (7.5.2-6)$$

式中:

$c_{ii}$ ——第  $i$  根试验锚杆的杆系波速实测值,且  $|c_{ii} - c_{im}| / c_{im} \leq 5\%$ , m/s。

## 7.5.3 锚杆长度计算应符合下列规定：

- 1 杆底反射谐振信号的识别应以杆底谐振峰排列基本等间距，其相邻频差的相对误差不大于5%为依据。
- 2 杆底反射时间差宜采用多个杆底谐振峰的平均值计算。
- 3 杆体长度宜按式(7.5.3-1)计算。

$$L = L'_0 + L'_r \quad (7.5.3-1)$$

$$L'_r = 0.5c_m \Delta t_r \quad (7.5.3-2)$$

$$\text{或} \quad L'_r = 0.5c_m / \Delta f \quad (7.5.3-3)$$

式中：

$L'_0$ ——接收传感器至锚杆外露自由端距离，端发端收则为0，m；

$c_m$ ——同类锚杆的平均波速，m/s。

## 7.5.4 缺陷判断及缺陷位置计算应符合下列要求：

- 1 缺陷反射谐振信号的识别应以谐振峰排列基本等间距为依据。
- 2 时域缺陷反射波信号到达时间应小于杆底反射时间。
- 3 幅频域缺陷频差值应大于杆底频差值。
- 4 缺陷位置应按式(7.5.4-1)或式(7.5.4-2)计算。

$$x = 0.5\Delta t_x c_m \quad (7.5.4-1)$$

$$\text{或} \quad x = 0.5c_m / \Delta f_x \quad (7.5.4-2)$$

式中：

$x$ ——接收传感器至缺陷界面的距离，m；

$\Delta t_x$ ——缺陷反射波旅行时间，s；

$\Delta f_x$ ——缺陷相邻谐振峰之间的频差，Hz。

- 5 锚杆缺陷长度按式(7.5.4-3)或式(7.5.4-4)计算。

$$L_{xi} = x_{i1} - x_{i2} \quad (7.5.4-3)$$

$$L_x = \sum_{i=1}^n L_{xi} \quad (7.5.4-4)$$

式中：

$L_{xi}$ ——锚杆缺陷第*i*段长度，m；

$x_{i1}$ ——接收传感器至第*i*段缺陷起点界面的距离，m；

$x_{i2}$ ——接收传感器至第*i*段缺陷终点界面的距离，m；

$L_x$ ——锚杆缺陷段累计长度，m。

7.5.5 锚杆饱满度可按照模拟锚杆图谱进行定性评价，即将被检测锚杆的检测波形与模拟锚杆试验样品进行比对，并结合表7.5.5及施工资料、地质条件综合判定。

表 7.5.5 锚杆饱满度波形特征评判标准

类别	波形特征	时域信号特征	幅频信号特征	锚杆饱满度范围
I	波形规则，呈指数快速衰减，持续时间短	$2L'_r/c_m$ 时刻前无缺陷反射波，杆底反射波信号微弱或没有	呈单峰形态，或可见微弱的杆底谐振峰，其相邻频差 $\Delta f \approx c_m/(2L'_r)$	$D \geq 90\%$
II	波形较规则，呈较快衰减，持续时间较短	$2L'_r/c_m$ 时刻前有缺陷反射波，或杆底反射波信号较明显	呈单峰或不对称的双峰形态，或可见较弱的谐振峰，其相邻频差 $\Delta f \geq c_m/(2L'_r)$	$80\% \leq D < 90\%$
III	波形欠规则，呈逐步衰减或间歇衰减趋势形态，持续时间较长	$2L'_r/c_m$ 时刻前可见明显的缺陷反射波或清晰的杆底反射波，但无杆底多次反射波	呈不对称多峰形态，可见谐振峰，其相邻频差 $\Delta f \geq c_m/(2L'_r)$	$75\% \leq D < 80\%$
IV	波形不规则，呈慢速衰减或间歇增强后衰减形态，持续时间较长	$2L'_r/c_m$ 时刻前可见明显的缺陷反射波及多次反射波，或清晰的、多次杆底反射波信号	呈多峰形态，杆底谐振峰明显、连续，或相邻频差 $\Delta f > c_m/(2L'_r)$	$D < 75\%$

注：波形规则、没有底部反射波的情况是由于锚杆锚固段波阻抗与锚固岩体波阻抗相近而导致检测信号无杆底反射波。

7.5.6 宜采用下述方法计算注浆饱满度：

1 有效长度法计算锚杆饱满度。

$$D = (L_r - L_s) / L_r \times 100\% \quad (7.5.6-1)$$

式中：

$D$ ——锚杆饱满度；

$L_r$ ——锚杆设计锚固段长度，m。

2 除孔口段缺浆而深部密实外，也可依据反射波能量法计算锚杆饱满度。

$$D = (1 - \beta\eta) \times 100\% \quad (7.5.6-2)$$

$$\eta = E_r / E_0 \quad (7.5.6-3)$$

$$E_r = (E_s - E_0) \quad (7.5.6-4)$$

式中：

$\beta$ ——锚杆声波波动能量修正系数；

$\eta$ ——锚杆声波波动能量反射系数；

$E_r$ ——锚杆反射波波动总能量，N·m；

$E_0$ ——锚杆入射波波动总能量，N·m；

$E_s$ ——锚杆波动总能量，N·m。

7.5.7 出现下列情况之一时，锚杆锚固质量判定宜结合其他检测方法进行：

- 1 实测信号复杂，无规律。
- 2 锚杆外露自由端过长、弯曲或杆系截面多变。

## 8 锚杆模拟试验

### 8.1 一般规定

8.1.1 锚杆模拟试验宜进行室内试验和现场试验。

8.1.2 模拟试验之前应编写试验方案，检测完成后应编写模拟试验检测报告或验证总结报告。

8.1.3 锚杆模拟试验应选用所要检测工程有代表性的锚杆类型和规格，现场试验应结合有代表性的地质条件进行。

8.1.4 锚杆模拟试验应采用拟用于工程锚杆无损检测同类型的仪器设备。

8.1.5 锚杆模拟试验的试件及现场取样的试件在工程施工期间宜标识并妥善保管。

8.1.6 锚杆施工前应测试杆体波速。

### 8.2 模拟锚杆设计、施工和检测

8.2.1 室内锚杆模拟试验设计符合下列规定：

- 1 模拟锚杆孔宜采用内径不大于 90mm 的 PVC 或 PE 等低阻抗非金属套管，其长度宜比模拟的锚杆长 1m 以上。
- 2 孔口外露段长度宜与设计锚杆相同，杆端应加工平整。
- 3 宜模拟工程锚杆的主要缺陷类型。
- 4 应采用与工程锚杆相同的施工材料。

8.2.2 现场锚杆模拟试验设计符合下列规定：

- 1 试验场地宜选在能代表被检测工程锚杆条件的部位，并且不影响主体工程施工作业，便于揭露验证。
- 2 试验锚杆宜与被检测工程锚杆的材质与类型相同，长度宜与设计相同，杆端应加工平整。







## 目 次

1 范围	25
4 总则	26
5 检测设备	29
6 检测比例及结果评定	31
6.1 一般规定	31
6.2 检测比例	31
6.3 检测结果评定	31
7 现场检测	36
7.1 一般规定	36
7.2 接收传感器和激振器安装	37
7.3 测试参数设定	37
7.4 检测记录	38
7.5 检测数据分析	38
8 锚杆模拟试验	41
8.1 一般规定	41
8.2 模拟锚杆设计、施工和检测	42
8.3 复核与验证	43
8.4 试验资料整理	43
9 检测成果报告	44

## 1 范 围

锚杆类型的划分有多种方式。按应用对象划分,有岩石锚杆、堆积体锚杆、土层锚杆;按是否预先施加应力划分,有预应力锚杆、非预应力锚杆;按锚固机理划分,有黏结型锚杆、摩擦型锚杆、端头锚固式锚杆和混合型锚杆;按锚杆杆体构造原理划分,有胀壳型锚杆、水胀式锚杆、自钻式锚杆和缝管锚杆;按锚固体传力方式划分,有压力型锚杆、拉力型锚杆和剪力型锚杆;按锚固体形态划分,有端部扩大型锚杆、连续球型锚杆;按锚固体材料划分,有砂浆锚杆、树脂锚杆、水泥卷锚杆;按作用时段和服务年限划分,有永久锚杆、临时锚杆;按布置划分,有系统锚杆、随机锚杆。

目前,工程常用的锚杆总体上可按锚杆结构分为集中(端头)锚固类锚杆和全长锚固类锚杆两大类。锚固装置或杆体只有一部分和锚孔壁接触的锚杆,称为集中锚固类锚杆;锚固装置或杆体全部和锚孔壁接触的锚杆,则称之为全长锚固类锚杆。或按锚固方式分为机械锚固型和黏结锚固型两大型式。锚固装置或杆体直接和孔壁接触,以摩擦为主起锚固作用的锚杆,称之为机械型锚杆;杆体部分或全长利用胶结材料把杆体和锚固孔孔壁充填黏结,以黏结力为主起锚固作用的锚杆,称之为黏结型锚杆。本标准中除特别注明外,均指全长黏结型锚杆。

其他工程是指水电工程的相关工程,如进场道路、采石场等。



## 4 总 则

4.0.1 随着锚杆无损检测技术水平的提高,锚杆锚固质量无损检测技术已在水电工程中得到广泛应用。然而,目前水电水利行业没有系统的锚杆锚固质量无损检测技术标准,检测设备和检测方法尚无统一的规定,锚杆质量评价也不一致。因此,为统一检测方法及成果评价标准,特制定本标准。

4.0.2 锚杆无损检测是对锚杆实施无损伤或不改变其性能的检测,目前普遍采用且比较成熟的方法为声波反射法,该方法具有无损、便捷、准确等特点,已在锚杆锚固质量无损检测中得到广泛应用。本标准所指的检测方法为声波反射法。

依据《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086—2001)第 10.1.5 条规定“全长黏结型锚杆,应检查砂浆密实度,注浆密实度大于 75%方为合格”。本标准中的锚杆饱满度与 GB 50086 中的注浆密实度为同一物理概念,依据目前水电水利工程的习惯用语以及锚杆饱满度能更确切地表述锚杆注浆质量,本标准定义锚杆中充填黏结物的密实程度为锚杆饱满度。

4.0.3 检测前应收集以下与检测有关的资料:

- 1 工程项目用途、规模、结构,项目锚杆的设计类别及功能、设计数量、设计长度范围。
- 2 工程项目的锚杆设计布置图、施工工艺、施工记录、监理记录。
- 3 与锚杆工程有关的地形、地质资料。

检测方案宜包括工程概况、编制依据、检测方法、检测内容、工艺流程、现场检测关键过程控制、质量判断标准、检测数量、检测成果形式及提交和存档、检测质量保障措施、不合格锚杆的处置、检测机构职责和功能设置等。

地质缺陷会对检测原始波形产生影响,进而影响锚杆质量的评判结果。检测期间,应对处于不良地质条件部位的锚杆进行记录,确定不良地质体在岩体内的分布状况。不良地质因素主要包括:断层破碎带、软弱夹层、溶洞等。在地质缺陷部位一般支护工程量将增大,或支护形式进行了修改,检测单位需根据实际情况调整检测方案。

4.0.4 水电工程的锚杆数量较大,施工周期较长,一般将引进检测单位与锚杆模拟试验同时进行。模拟锚杆对于检测人员来讲是“盲杆”,通过锚杆模拟试验获得不同缺陷锚杆的无损检测图谱,同时还对检测人员的检测水平和检测仪器的测试精度进行考核。

4.0.5 锚杆锚固质量与设计方案和施工因素等直接相关,从目前的客观实际来看,这些因素的作用和影响,直接决定了检测结果评判是否可靠。因此,应根据检测目的、技术方法的适用范围和特点,考虑上述因素进行合理检测,以达到正确评价的目的。

4.0.6 当前锚杆无损检测仪器主要是在基桩低应变检测仪器的基础上开发出来的,有的直接使用基桩仪进行锚杆检测,但近年来已有一些厂商开发出了专门的锚杆检测仪。专门锚杆无损检测仪的原理与基桩低应变检测仪原理没有本质差异,但在传感器、激振、频率响应、界面处理等方面充分考虑了锚杆检测的实际情况,所以,本标准规定锚杆无损检测仪应是国家质量技术监督部门批准生产并经检定合格的专门锚杆无损检测仪。

4.0.7 按照实验室电子仪器检验周期的规定,检测设备应经省级及以上计量部门定期检定或校准。

4.0.8 检测单位应通过相应的实验室认可或具备省级及以上计量行政主管部门的计量认证资质,在认可或认证项目中包含锚杆无损检测才能承担水电水利工程锚杆无损检测工作。实施此管理办法,旨在加强检测机构质量保证体系允许的监督和管理,确保检测结果客观、公正、可靠、有效。此外,考虑到锚杆无损检测具有较强的技术性,对从业人员的技术素质和实践经验要求较高,

因此,除检测单位应具有相应的资质外,检测人员还应经过行政主管部门认可的专业培训和考核,持有相应的技术资格证书后,才能从事锚杆无损检测工作。

4.0.9 水电水利工程锚杆无损检测过程中,采用新方法、新设备的目的是为了保证检测质量,提高检测技术水准,提高检测精度、加快检测进度和体现科学技术的进步。

4.0.10 为遵守国家有关标准,并与同级有关标准协调、不致重复或相互矛盾,以保证本标准的完整性和科学性,故对本标准未涉及的内容,要求执行现行国家或行业标准的有关规定。

## 5 检测设备

5.0.1 成套的检测仪器是经过研制单位长期的实验室调试和现场试验得出的,并经相关质量技术监督部门认可,如将不同的检测仪器和备件(主要为传感器和振源)随意组成一个检测系统可能存在技术缺陷,所以不宜采用。

响应频率是指采集仪器的通频带宽,一般来说,当检测背景较安静、锚杆结构较简单时,通常采用全通,但每种检测仪器和接收传感器、激振设备都有一定的频响范围,这个频响范围应彼此包容,并涵盖锚杆的频率特性范围。

5.0.2 现场测试条件恶劣,对仪器的性能要求较严格,锚杆无损检测仪作为现场测试仪器,在设计制造或选型时,应充分考虑仪器的工作环境和场地条件,其可靠性要求应高出室内实验仪器。

5.0.4 信号发生激振器的选择注意事项如下:

- 1 现场实际使用表明超磁激振器优于冲击激振器。
- 2 锚杆截面积较小,为了获得稳定单一的信号,要求分体式激振器不与接收传感器接触,要求激振器激振端直径宜不大于锚杆杆体直径的  $1/4$ 。有些锚杆检测仪器使用接收与激振一体的探头,探头的底面积可大于锚杆直径,该类探头使用时在杆体外部会产生一定长度的余振,外露段超过  $0.2\text{m}$  时使用效果不好。
- 3 锚杆的优势频率与锚杆长度、注浆饱满度等有关。激振器发射的激振信号频率在锚杆的优势频率范围时,锚杆对激振信号响应较好,大量的检测数据统计分析表明,锚杆的优势频率大多为  $1\text{kHz}\sim 6\text{kHz}$ ,激振器的激振频率带限宜为  $0.1\text{kHz}\sim 50\text{kHz}$ 。

5.0.5 信号接收传感器的选择注意事项如下:

- 1 锚杆无损检测仪器可使用加速度或速度传感器作为信号接收传感器,一般在研制生产时就给以确定,仪器说明书应说明

其使用条件。一般来说，加速度传感器采用压电式，体积小、灵敏度高、分辨率较高，速度传感器采用机械式，体积大。由于锚杆端头面积小，推荐使用加速度传感器。

2 早期试验时，主要采用端发端收、侧发端收等多种激发和接收方式。大量实践证明，端发端收信号较好，其他方式虽然在一定条件下也能取得较好效果，但存在信号难以解释等缺点。所以，本标准推荐采用端发端收的方式。由于锚杆的截面积较小，所以对传感器的直径进行了具体规定。

3 传感器的频响范围是指其线性响应范围，该范围应大于被测锚杆的优势频率范围。激振器激振信号频带远大于锚杆优势频率范围，激振信号在锚杆杆系中传播，反射信号的频率范围一般与锚杆的优势频率范围相近，因此，要求接收传感器频响范围较被测锚杆的优势频率范围广，但可窄于激振频率范围。

4 传感器的灵敏度仅为参考，只要测试信号满足采集仪量程及波形辨识要求即可。

5.0.6 信号采集与分析仪的选择注意事项如下：

1 锚杆无损检测是现场检测，该条规定是为保证现场检测人员能及时识别、判断信号的有效性，保证检测数据的质量，同时，也保证资料分析评判人员能完整地使用现场检测数据，从而保证了“现场检测—数据检查—成果分析”的连续性。分析软件应具有将原始记录和分析结果导入 Excel、Word 等普通办公软件功能，输出的数据文件格式应采用国际通用格式。

2 本规定充分考虑了锚杆不同于桩基的特殊性，低频可以使信号传得更远，高频可分辨较小的杆系缺陷，记录设备的采样频率应为接收信号最高频率的 10 倍~12 倍，所以，规定采集的采样频率、A/D 转换精度等参数。

## 6 检测比例及结果评定

### 6.1 一般规定

6.1.1 单项或单元工程锚杆质量评价应以不同部位和性质的锚杆分别进行测试、统计分析。

6.1.2 不同类别和部位的锚杆检测结果评定标准不同，应分别评定单根锚杆的锚固质量，再按本标准规定统计单元或单项工程锚杆长度和注浆饱满度合格情况。

6.1.3 其他类型锚杆锚固质量评价：自钻式锚杆评定杆体长度、注浆饱满度；端头锚固型锚杆评定杆体长度、锚固端注浆饱满度；摩擦型锚杆评定锚杆长度。

### 6.2 检测比例

6.2.1~6.2.3 检测比例可根据工程规模进行适当调整，但应不低于本标准的规定。

6.2.4 锚杆无损检测合格率达到要求时，岩锚梁部位应 100% 检测。其他部位的永久锚杆加倍检测是指原检测比例为 10% 的，应再检测 20%，且新检测锚杆应与原检测锚杆不重复并不少于 10 根。

### 6.3 检测结果评定

6.3.1 本条参照《岩土锚杆（索）技术规程》（CECS 22：2005）中表 11.2.3 锚杆工程质量标准提出。实测锚杆入孔长度为实测杆体长度减去外露段长度（测点至孔口的距离）。

6.3.2 依据锚杆的注浆饱满度和长度进行单根锚杆分级。缺陷是指在设计要求的锚固段出现空浆或不密实。

6.3.3 不同部位的锚杆依据重要性不同,合格标准也不同。

6.3.4 只要出现Ⅳ级锚杆,则可判断单项或单元工程锚杆注浆饱满度不合格。部分工程锚杆验收标准(本标准颁布执行前锚杆饱满度用锚杆密实度表述,以下工程实例中的密实度即为饱满度):

(1) 三峡水电站工程锚杆验收标准。

三峡工程锚杆锚固质量检测评价标准分两种:一是根据现场检测时目测反射波信号的幅值大小、相位变化等波形规律来初步评价锚固质量的优劣;二是根据检测成果所提供的技术参数对注浆密实度进行分级评价。

1) 现场初步评价标准见表1。

表1 锚杆锚固质量应力波检测初步分类评价表

锚固质量等级	锚固状态	波形特征
优	密实	波形规律性强,入射信号很强而杆中固有信号小或没有,杆底反射信号很微弱或没有,回波相对能量值小于30
良	局部欠密实	波形较有规律,杆中固有信号小且局部有小的相位变化,底部反射信号小,回波相对能量值处于30~40之间
一般	局部不密实或空浆	波形规律性一般,杆中固有信号较强且局部有较大的相位变化,底部反射信号较强,回波相对能量值处于40~50之间
差	多处不密实或空浆	波形规律性极差,杆中固有信号和底部反射信号强,并伴有强烈的其他反射信号,回波相对能量值大于50

2) 根据《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086—2001)的规定,依据规范要求,并参照国内其他工程的标准,将锚杆的注浆密实度检测结果按如下标准进行分级评价:

Ⅰ级:密实度大于等于90%,施工质量评定为优良。

Ⅱ级:密实度大于等于80%,但小于90%,且最大空腔段长度不大于5cm,施工质量评价为合格。

Ⅲ级:密实度小于80%,施工质量评价为不合格。

(2) 水布垭水电站工程锚杆验收标准。

水布垭水电站工程锚杆注浆密实度按Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ分四级,Ⅰ级锚杆密实度>90%,为优质锚杆,Ⅱ级锚杆密实度75%~90%,为合格锚杆。Ⅲ级锚杆密实度在50%~75%,Ⅳ级锚杆密实度<50%。Ⅲ、Ⅳ级锚杆为不合格锚杆。

(3) 龙滩水电站工程锚杆验收标准。

1) 龙滩水电站工程将岩石砂浆锚杆的密实度判定初步分级为:

Ⅰ级:密实度检测结果≥75%,合格。

Ⅱ级:75%>密实度检测结果≥50%,不合格。

Ⅲ级:密实度检测结果<50%,不合格。

2) 对于三大永久性锚杆施工5%抽检结果中Ⅲ级杆比例大于5%时,3天内报告合同甲方,以便及时采取补救措施,确保施工质量。检测现场能够确定是废杆的,当场通知相关部门,以便及时处理。

(4) 瀑布沟水电站工程锚杆验收标准。

1) 单一锚杆检测锚固长度不得短于设计锚固长度的90%,且最大短缺长度不得大于1m,该项合格率控制标准为100%。

2) 单一锚杆注浆密实度达到75%为合格,该项合格率控制标准为90%。

3) 岩锚梁单一锚杆注浆密实度达到80%为合格,合格率控制标准为100%。检测比例:①一般锚杆按施工总数的5%,且每单元不少于10根;②高强(结构)锚杆按施工总数的10%;③锁口锚杆按施工总数的50%;④岩锚梁锚杆按施工总数的100%。检测宜在注浆完成7天后进行。抽检的锚杆应该体现均衡和随机的原则。

4) 锚杆长度检测不合格时,检测比例视情况加大10%~20%,或按建设方的要求进行。复检没有发现新的不合

格锚杆时,对原发现的不合格锚杆按 1:2 的比例在旁边补打。补打锚杆应 100%检测并达到合格标准。发现新的不合格锚杆时,应按不合格锚杆所占的比例进行补打。设计另有要求按照设计要求进行,直至全部补打。

5) 注浆密实度检测不合格时,检测比例加大至 8%,或者按建设方的要求进行。没有发现新的不合格锚杆时,对原不合格锚杆按 1:2 在旁边补打,补打锚杆应 100%检测合格。发现新的不合格锚杆时,进一步工作按建设方的要求进行,设计另有要求时按设计要求进行。

(5) 彭水水电站工程锚杆验收标准。

1) 单根锚杆检测锚固长度不得短于设计锚固长度的 95%,该项合格率控制标准为 100%。设计另有要求时按设计要求执行。

2) 单根锚杆注浆密实度达到 75%为合格,单项或单元工程合格率控制标准为 90%,设计有另行规定时按设计要求执行。

3) 检测比例:①一般锚杆按施工总数的 1%,且每单元不少于 3 根;②高强(结构)锚杆按施工总数的 2%,且每单元不少于 3 根;③锁口锚杆、洞室交叉部位、应力集中部位按施工总数的 10%且每单元不少于 3 根;④岩锚梁锚杆按施工总数的 100%。检测宜在注浆完成 7 天后进行。抽检的锚杆应该体现均衡和随机的原则。

4) 锚杆长度检测不合格时,按 3) 规定的比例加倍抽检或按建设或监理单位的要求进行。复检没有发现新的不合格锚杆时,对原发现的不合格锚杆在旁边补打。补打锚杆应 100%检测合格并满足要求。发现新的不合格锚杆时,进一步工作按建设或监理单位的要求进行,设计有另行规定时按设计要求进行。

5) 注浆密实度检测不合格时,按 3) 规定的比例加倍抽检

或按建设或监理单位的要求进行。没有发现新的不合格锚杆时,对原不合格锚杆按设计要求在旁边补打,补打锚杆应 100%检测合格并满足要求。发现新的不合格锚杆时,进一步工作按建设方的要求进行,设计另有要求时按设计要求进行。

## 7 现场检测

### 7.1 一般规定

7.1.1 全长黏结型锚杆检测锚杆长度和注浆饱满度；非黏结型（摩擦型、膨胀型、管楔型）锚杆检测锚杆长度；端部锚固型锚杆检测锚杆长度和锚固段长度。

7.1.2 声波反射法检测锚杆长度和饱满度受杆体和围岩的波速差异影响。波速差异越大，可检测长度相对较长；杆体直径也是影响检测长度的重要因素，杆体直径越大可检测长度越长。

7.1.3 锚杆注浆饱满度推荐采用有效锚固长度或能量法进行定量评价，孔口段缺浆而深部密实时，宜采用有效锚固长度法进行定量评价；除此之外，可采用能量法进行评价。采用波形特征进行定性评价时，宜进行现场锚杆模拟试验。

7.1.4 该条要求是针对现场检测，采用了相关行业野外测试的规定，一般要求形成检查记录，与原始记录一起管理。

7.1.5 现场检测除随机抽样外，还应考虑以下情况：

- 1 工程的主要部位。
- 2 局部地质条件较差部位。
- 3 锚杆施工较困难的部位。
- 4 施工质量有疑问的部位。

当检测数据出现异常情况时，应对工程进行补充检测，补充检测的数量应不少于应检测数量的50%，必要时，重新进行锚杆模拟试验以判断检测方法是否正确，检测设备是否可靠。

7.1.6 多方检测时，统一锚杆编号并比较各方检测成果，当检测成果不一致时，应进行补充检测，并比对模拟锚杆进行检验，确认合格检测方。

7.1.7 注浆初期的锚杆孔中的砂浆强度较低，不能检测出砂浆中的缺陷，但初凝前可较准确检测锚杆长度，此时，检测参数锚杆波速应设为杆体的波速。此外，几乎所有的锚杆施工设计规范都强调砂浆在初凝期不得振动、摇动杆体，锚杆孔内砂浆如果添加了早强剂，使得砂浆的初凝时间提前，检测时间也可提前。

7.1.8 挂网和喷混凝土可能影响锚杆无损检测工作，例如，挂网与锚杆钢筋相连可能使接收信号能量部分损失，影响检测成果。如已挂网，应清除杆头周边浮浆，已喷的应清出其杆头周围喷护体（包括挂网），保证待检锚杆与喷护体挂网无连接。

### 7.2 接收传感器和激振器安装

7.2.1 可采用接收激振分离的分体式检测探头或接收激振在一起的一体式检测探头。分体探头安装操作复杂，但激振与接收信号相互干扰小；一体式探头安装操作简单，但浅部有激振信号干扰接收信号。

锚杆锚固质量无损检测宜在杆端处理前进行，中空锚杆、预应力锚杆只能在安装托板后进行检测。

7.2.2 激振点不宜安装在托板上，避免产生寄生干扰或造成信号衰减。实芯锚杆检测时接收传感器安装在杆中心，激振在侧边；中空锚杆检测时接收传感器安装在管壁上，激振也在管壁上，靠近而不接触接收传感器。

### 7.3 测试参数设定

7.3.1 检测仪器上的杆体长度、截面积等有关锚杆的设计参数可以在检测后重新设定，现场设定并决定检测波形质量的主要包括采样频率、增益、记录时间长度。同类型同规格的锚杆无损检测时采样频率和记录时间长度宜相同。传感器类型及仪器参数设置应与实际使用相符，检测仪器型号和编号应与实际一致。

7.3.2 对检测而言，杆系波速主要用来计算埋在砂浆孔中的杆体

长度。试验表明,一维自由弹性体的波速和有一定边界条件的一维弹性体的波速存在差异,计算砂浆中杆体长度和不密实段长度应采用杆系波速。

7.3.3 记录设备的采样频率与测试精度有关,采样频率越高,测试精度越高。一般锚杆波速约为 3800m/s~5200m/s,长度测试精度达到 0.05m 时,传感器频率要求 38kHz~52kHz,对应采样频率要求约为 380kHz~520kHz。

7.3.4 对于长度不大于 9m 的锚杆,一般记录时间长度为波从外露端端头传到孔底,再反射到外露端端头所需时间,再延续 5 $\mu$ s。正文 5.0.6 的第 2 款规定“采样频率应不小于 500kHz”,以锚杆长 9m 为例,采样点数则要求至少 4739 个。

#### 7.4 检测记录

7.4.1 检测记录为检测过程的重要依据,检测的主要活动均能从检测记录中体现。检测时应在检测记录中填写检测人员的岗位和姓名,由软件生成的检测记录涉及人员岗位的,应一律使用签名,网上办公的可使用电子签名。

7.4.2 保证检测信号的质量,失真、零漂、削峰的波形为不合格波形。

7.4.3 重复性检验是科学试验最重要的手段,3 次重复是一般试验的要求。3 次重复检测,至少应有 2 次重复的结果基本一致,如 3 次重复检测结果不一致,则该根锚杆的检测记录不能采用。

7.4.4 锚杆外露长度直接影响检测结果,准确记录外露长度后,根据检测波形以及外露段长度,获得准确的锚杆检测长度。

#### 7.5 检测数据分析

7.5.1 可直接对记录信号进行分析,依据反射波波形,确定锚杆长度和缺陷的起止位置。

7.5.2 工程锚杆为全长黏结型锚杆时,可不测杆体波速。室内模

拟锚杆试验的模拟孔径大小对杆系波速影响较大,获得的杆系波速不应作为现场检测时锚杆长度和注浆饱满度的计算依据。

#### 7.5.3

1、2 设置的记录数据点为本标准 7.3.4 规定的倍数时,才可采用多个杆底谐振峰的平均值计算杆底反射时间差。

3 当接收传感器安装在锚杆孔口至锚杆外露端头之间杆体上接收时, $L'_0 \neq 0$ ,应采用式(7.5.3-1)计算杆体长度;当接收传感器安装在锚杆外露端头接收时, $L'_0 = 0$ ,即可直接用正文式(7.5.3-2)计算杆体长度。 $c_m$ 一般由锚杆试验或同类工程资料分析获得,取值方法:当锚杆饱满度  $D < 30\%$ ,或空浆段集中在孔口时, $c_m = c_{bm}$ ;当锚杆饱满度  $30\% \leq D < 75\%$ 时, $c_m = 0.5(c_{bm} + c_{tm})$ ;当锚杆饱满度  $D \geq 75\%$ 时, $c_m = c_{tm}$ 。

#### 7.5.4

1~3 综合分析锚杆杆体内应力波的传播规律、反射波的能量关系、反射波与直达波初始相位间的关系和透射波的能量分配关系等,得出缺陷反射波和杆底反射波基本变化规律,将直达波、缺陷反射波、杆底反射波三者的相位、振幅、频率作为判据进行综合分析判断不同类型的反射波。另外,还应该收集锚杆成孔工艺、锚杆安装机具及工艺与施工记录、岩土工程地质勘察报告等资料,利用这些辅助资料可以帮助分析可能出现哪些缺陷,缺陷可能出现的部位,用固结波速和频谱分析进行辅助判断。固结波速越低,饱满度越高;基频越高,锚固质量越好,饱满度越高。缺陷判断、计算缺陷位置是锚杆无损检测的核心内容,本条所指的缺陷是指锚杆孔中锚杆杆体与砂浆凝结而成的锚杆体系柱中的体积缺陷,如空腔、不密实段等。

若缺陷界面的波阻抗差值为正,则缺陷反射波信号的相位与杆端入射波信号反相,二次反射信号的相位与入射波信号同相,依次交替出现;若缺陷界面的波阻抗差值为负,则各次缺陷反射波信号均与杆端入射波同相。

通过施工记录区分镶接式锚杆杆体连接处的反射信号、锚杆缺陷反射信号与杆底反射信号。镶接式锚杆镶接部位由于锚杆截面尺寸的变化将产生反射信号，其反射波相位与缺陷反射波相位相反。

通过地质资料区分围岩软硬岩层界面的反射信号、杆系缺陷反射信号与杆底反射信号。一般锚杆孔穿过断层时才可能接收到软硬岩层界面的反射信号，可通过钻孔记录来确定软硬岩层交界位置。

4 缺陷反射波信号与杆端入射首波信号的时间差即为缺陷反射时差，若同一缺陷有多次反射信号，则取各次缺陷反射时差的平均值。 $c_m$ 取值原则与正文 7.5.3 相同。

7.5.5 根据波形特征进行定性判断锚杆饱满度，受人为影响因素较大，一般用于现场初判。

#### 7.5.6

1 锚杆饱满度采用时域分析法时，可按实测波形缺陷段的历时乘以杆系波速得出缺陷长度，如工程规模较小未进行现场模拟锚杆试验，也无法按正文 5.7.2 规定获得杆系波速时，可参照同类工程实测杆系波速资料。

2 孔口段缺浆对反射波能量影响较大，导致反射波能量法测试精度降低，不宜采用。

7.5.7 其他方法主要指拉拔试验。

## 8 锚杆模拟试验

### 8.1 一般规定

8.1.1 模拟锚杆的室内试验是指，在内径与锚杆孔径相同的 PVC 或 PE 管中，模拟施工缺陷锚杆，试验后可将锚杆外壳剖开，与测试结果进行对比分析。模拟锚杆的现场模拟试验是针对不同地质条件在施工现场进行原位试验，主要测试杆系波速、不同围岩条件对检测波形的影响。

8.1.2 锚杆模拟试验大纲宜包含工程概况、试验依据、检测设备和检测方法、试验内容、试验进度安排、试验锚杆设计、预期检测成果。检测单位在检测完成后，应编写并提交锚杆模拟试验报告，内容宜包含试验概况、试验依据、检测设备和方法、试验内容、试验进度情况、试验检测成果、试验检测与开挖验证对比分析、锚杆模拟试验检测成果样本图谱。

8.1.3 岩土特性及锚杆的长短、直径大小对锚杆无损检测波形均有一定影响，因此，应选择不同规格的锚杆和围岩条件进行锚杆模拟试验。室内锚杆模拟试验主要用于检验测试人员及检测设备和方法对预置缺陷判断的准确率，室内模拟锚杆的杆系波速受模拟锚杆孔直径影响较大，不宜用于确定杆系波速。

8.1.4 检测规模较大时，宜在锚杆模拟试验时选择多种测试设备或测试方法对同一组模拟锚杆进行重复测试，选择准确性高的检测设备和方法作为工程锚杆质量无损检测的设备和方法。

8.1.5 当检测设备或人员发生变化后，宜对保存的模拟锚杆进行试验，校验测试设备、考核检测人员。



## 8.2 模拟锚杆设计、施工和检测

8.2.1 模拟锚杆制作时,饱满度用有效锚固长度占设计锚固长度的比例来控制。中部不饱满是指缺陷在中部。试验锚杆的长度和缺陷应分开,每种缺陷类型有3组,每组锚杆长度应不相同。

锚杆缺陷宜设计为完全饱满(饱满度100%)、中部不饱满(饱满度90%、75%、50%)、孔底饱满孔口段不饱满(饱满度90%、75%、50%)、孔口段饱满孔底不饱满(饱满度90%、75%、50%)等模型,每组制作3根锚杆,设计另有规定的以设计为准。

8.2.2 锚杆模拟试验模型和主要参数见图1。锚杆施工规范规定:注浆锚杆的钻孔孔径,若采用“先注浆后安装锚杆”的程序施工,钻头直径应大于锚杆直径15mm以上;若采用“先安装锚杆后注浆”的程序施工,钻头直径应大于锚杆直径25mm以上,并均应满足施工详图要求。锚杆安装可采用“先注浆后插杆”或“先插杆后注浆”的方法进行,但应根据锚杆的长度、方向及锚固材料性能进行综合选定,以确保注浆的饱满度,保证锚杆的耐久性。水泥锚固剂张拉锚杆应采用“先注浆后插杆”的程序施工,注浆材料(速凝和缓凝水泥锚固剂)应一次性完成。锚杆的架设和居中措施应按施工图纸的要求进行。当锚杆孔渗水量较大或遇软弱破碎带,应采用相应的处理措施。锚杆注浆后,在砂浆凝固前,不得敲击、碰撞和拉拔锚杆。

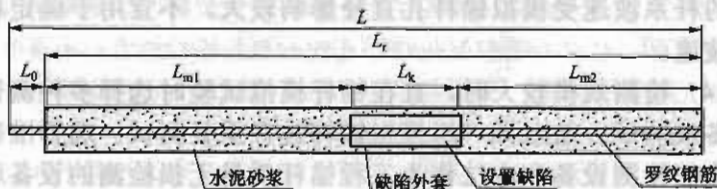


图1 模拟锚杆示意图

8.2.3 预置缺陷可采用内空软橡胶管等声阻抗远小于注浆体的

材料模拟,施工中避免浆液渗入模拟缺陷处,同时应采取有效措施保证锚固段的锚固质量。

8.2.4 采用不同时间段进行检测是为了选择最佳检测龄期,既能准确检测出锚杆长度又能检测出饱满度,同时龄期最短。改变激振方式、激振力、仪器频率范围、采样频率是为选择最佳检测参数,这些工作应准确记录。

## 8.3 复核与验证

8.3.1 验证与复核既是对参加试验各方进行考核,也是检验施工工艺水平。

8.3.2 宜采用钻孔取芯、控制爆破等破坏范围有限的手段进行揭露验证。

## 8.4 试验资料整理

8.4.1 试验关键是制作检测样本,检测时检测资料评判主要依靠试验样本确定注浆饱满度的百分比数据。应分析检测记录与实际不符的资料,如因锚杆制作导致检测资料与设计不符,与实际施工相符时,宜修正后录入检测图谱;如因检测设备、检测方法以及检测人员引起检测资料与实际施工样本不符时,应分析原因并采取有效措施。

8.4.2 杆体波速、杆系波速及能量修正系数按正文第7章规定计算。

8.4.3 锚杆长度和饱满度对检测精度和检测最佳参数设置均有影响,通过试验应给出有效检测范围。锚杆饱满度对杆系波速也有影响,应给出不同饱满度条件下的杆系波速。

## 9 检测成果报告

9.0.1 检测简报主要用于施工方快速修补缺陷，便于建设、监理、质检机构了解锚杆的施工质量、数量。简报宜采用日、周或月简报形式及时提交。部分零星或小工程不设检测机构，一次进场，检测时间要求紧、数量少、质量要求高，可采取直接提交成果报告的方式。

9.0.2 现场检测时锚杆编号应一一对应，保证设计图纸、检测记录、现场标识的准确对应非常重要，是复核和缺陷处理的依据。原始记录应与简报一起进行存档，原始记录应包括电子文档和纸质文档。

9.0.3 检测报告系统、全面、严谨，可以为施工验收、质量系统检查提供依据。工程概况包括项目简介、建设和施工单位、设计要求、施工工艺、检测目的、检测依据、检测数量、施工和检测日期、锚杆布置图。检测报告各单位的格式要求可能有所不同，但主要内容应涵盖本条规定，加盖的检测机构图章应经检测机构上级主管授权、报建设或监理单位同意，资质印章应与内容相符。