ICS xxx
CCS xx

团　　体　　标　　准

T/CCTAS　XX-20XX

交通建设工程锚杆锚固质量检验规程

Technical specification for anchorage quality testing of traffic construction engineering

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布　　20XX-XX-XX 实施

中国交通运输协会　　发布

目 次

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 2

4.1 一般规定 2
4.2 抽检数量 3
4.3 检测流程 3
4.4 检测方案 4
4.5 检测报告 4

5 锚杆无损检测 4

5.1 一般规定 4
5.2 检测设备及要求 4
5.3 现场检测 5
5.4 检测数据分析 6

6 锚杆拉拔力试验 9

6.1 一般规定 9
6.2 检测设备及安装 9
6.3 锚杆基本试验 9
6.4 锚杆验收试验 12

7 锚杆锚固质量评定 15

7.1 一般规定 15
7.2 锚杆锚固质量评定标准 15
7.3 锚杆锚固质量评定 16

附 录 A 17

锚杆模拟试验 17
A.1 一般规定 17
A.2 模拟锚杆设计、制作和检测 17
A.3 模拟锚杆检测资料整理 18

附 录 B 19

锚杆无损检测记录表 19

附 录 C 20

锚杆拉拔力试验记录表 20

附 录 D 21

单元工程锚杆锚固质量评定表 21

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国交通运输协会交通工程设施分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：浙江省交通工程管理中心、中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、浙江交工路桥建设有限公司、浙江交工集团股份有限公司、浙江华东测绘与工程安全技术有限公司、浙江交通集团检测科技有限公司、浙江交科工程检测有限公司、四川升拓检测技术股份有限公司。

本文件主要起草人：

交通建设工程锚杆锚固质量检验规程

1 范围

本文件规定了交通建设工程锚杆的锚固质量检测方法、技术要求和评定标准。

本文件适用于交通建设工程的锚杆的锚固质量检验。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范

JTG F80/1-2017 公路工程质量检验评定标准

3 术语和定义

GB 50086 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

锚杆锚固质量 anchorage quality of anchor

锚杆锚固后，锚杆的拉拔力、入孔长度和注浆密实度符合设计及相关技术标准的程度。

3.2

锚杆入孔长度 anchor length in hole

锚杆进入锚孔内的杆体长度。

3.3

锚杆注浆密实度 grouting compactness of anchor

锚杆孔中充填粘结物的密实程度。

3.4

锚杆杆系 anchor system

锚杆锚固后，锚杆杆体、注浆体和孔周围岩土体组成的复合体。

3.5

锚杆无损检测 nondestructive testing of anchor

对锚杆的锚固质量的非破坏性检测。

3.6

声波反射法 soundwave reflection method

通过在锚杆端头激振声波信号，实测加速度或速度响应时程曲线，依据波动理论进行分析，评价锚杆锚固质量的的无损检测方法。

3.7

锚杆模拟试验 simulation testing of anchor

在实验室或现场制作锚杆模型，模拟锚杆施工缺陷进行的无损检测试验。

3.8

锚杆拉拔力试验 pulling force test of anchor

采用分级加荷、卸荷方式，记录每级荷载作用下的锚杆位移，确定锚杆的极限抗拔力的方法，检验锚杆是否符合设计要求。

3.9

锚杆基本试验 basic test of anchor

工程锚杆正式施工期，为确定锚杆设计参数与施工工艺，在现场进行的锚杆拉拔力试验。

3.10

锚杆验收试验 acceptance test of anchor

为检验工程锚杆质量和性能是否符合锚杆设计要求的锚杆拉拔力试验。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 锚杆锚固质量检测包括锚杆无损检测和锚杆拉拔力试验，且应先进行锚杆无损检测，后进行锚杆拉拔力试验。

4.1.2 锚杆无损检测应确定全长粘结型锚杆的入孔长度和注浆密实度，对于机械锚固型锚杆应确定其入孔长度。

4.1.3 锚杆拉拔力试验分为锚杆基本试验和锚杆验收试验。为锚杆设计提供依据时，应进行基本试验；用于锚杆验收时，应进行验收试验。

4.1.4 受检锚杆应具有唯一标识，处于独立受力状态。不应受支撑构件、垫层连接或混凝土面层粘结的影响。

4.1.5 锚杆锚固质量检测设备应经检定合格或校准，并在检定或校准周期内使用。

4.1.6 锚杆锚固质量检测开始时间符合下列规定：

a) 粘结锚固型锚杆，无损检测应在注浆施工7天后进行，锚杆拉拔力试验应在注浆体强度达到设计强度90%及以上或注浆体龄期达到28天后进行。

b) 机械锚固型锚杆，宜在施工完成3天后进行无损检测和拉拔力试验。

4.1.7 锚杆锚固质量检测除应符合本文件的规定外，尚应符合现行国家和行业有关标准的规定。

4.2 抽检数量

4.2.1 锚杆无损抽检数量不应少于锚杆总数的10%，且每个单项或单元工程不应少于20根。重要部位的锚杆宜全部检测。临时工程锚杆可适当减少抽检比例，但每个单项或单元工程不应少于5根。

4.2.2 锚杆拉拔力基本试验数量应根据锚杆类型、规格和地质条件综合确定，不同类型、规格和地质条件应至少选择1组，每组3根。基本试验锚杆应有代表性。

4.2.3 锚杆拉拔力验收试验数量不应少于锚杆总数的5%，且每个单项或单元工程不应少于1组，每组3根。验收试验锚杆的选择符合下列规定：

a) 施工质量有疑问的锚杆应全部进行验收试验。

b) 地质条件复杂部位的锚杆和重要部位的锚杆应适当增加抽检比例。

c) 其他部位的锚杆宜随机选取。

4.2.4 当设计有要求时，锚杆抽检数量应符合设计规定。

4.2.5 当单项或单元工程锚杆锚固质量抽检的不合格率大于10%时，应对该单项或单元工程未检测的锚杆进行加倍抽检。

4.3 检测流程

锚杆锚固质量检测工作程序应按图1执行。

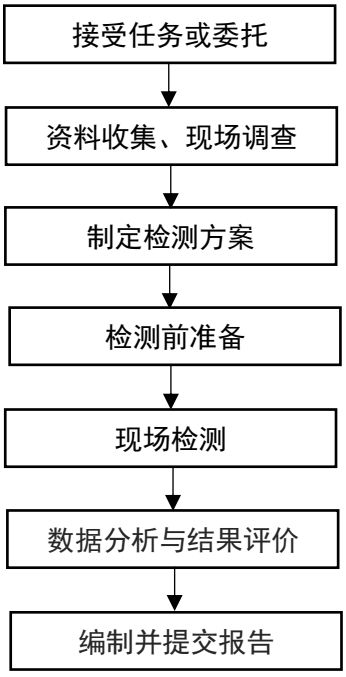

图 1 检测工作程序

4.4 检测方案

锚杆锚固质量检测前，应收集和了解锚杆设计、施工资料及相关地质资料，制定检测方案。检测方案应至少包含下列内容：

a) 工程概况、锚杆类型及结构形式、地质条件、锚杆设计及施工参数、施工工艺等。

b) 检测部位、抽检数量、检测要求等。

c) 检测依据、检测方法及检测进度计划。

d) 检测人员、检测仪器设备及检定或校准情况。

e) 检测质量、环境及职业健康与安全保证措施。

f) 现场检测配合事项及要求。

g) 拟提交的检测成果。

4.5 检测报告

锚杆锚固质量检测完成后，应及时提交检测报告。检测报告应至少包含下列内容：

a) 工程概况、锚杆类型及结构形式、地质条件、锚杆设计及施工参数、施工工艺等。

b) 检测部位、检测数量、检测日期、受检锚杆基本信息等。

c) 检测依据、检测方法、检测仪器设备及检定或校准情况、检测过程叙述等。

d) 锚杆检测数据和波形记录，计算分析图表。

e) 检测成果及结论。

5 锚杆无损检测

5.1 一般规定

5.1.1 锚杆无损检测宜采用声波反射法，全长粘结型锚杆应检测锚杆入孔长度和注浆密实度，其他类型锚杆应检测锚杆入孔长度。声波反射法的有效检测锚杆长度范围宜通过现场锚杆检测试验或锚杆模拟试验确定。

5.1.2 受检锚杆端头应外露，外露杆体应与孔内杆体呈直线，外露段不宜大于30cm。

5.1.3 当锚杆外露过长、长度较大、杆体有接头或存在其他情形，导致锚杆无损检测结果判断有困难时，宜结合现场条件制作模拟锚杆，并进行锚杆模拟试验。锚杆模拟试验方法见附录A。

5.2 检测设备及要求

5.2.1 锚杆无损检测设备由采集分析仪、激振器和传感器等组成，其中采集分析仪应符合下列规定：

a) 采集分析仪应具有信号采集、波形显示、数据存储及滤波、频谱分析、杆长分析、能量计算、密实度分析等功能。

b) 模拟放大器频率带宽不应窄于10Hz~50kHz，模数转换不低于16位。

c) 最高采样频率不应小于500kHz。

d) 随机分析计算软件应经模拟锚杆试验验证，分析计算结果正确，精度符合要求。

5.2.2 激振器及激振符合下列规定：

a) 激振器宜选用超磁激振器或高频冲击激振器，激振端直径不宜大于5mm。

b) 激振器的激振频率范围宜为0.1kHz～50kHz。

c) 实心锚杆的激振点宜选择在杆头靠近中心位置，中空锚杆的激振点应选择在环状管壁上。激振器与激振点应充分接触，不得触碰接收传感器。

d) 激振方向应与锚杆轴线平行，采用瞬态激振方式，并通过现场试验选择合适的激振力。

e) 当锚杆安装有托板时，不得在托板上激振。

5.2.3 接收传感器及安装符合下列规定：

a) 接收传感器宜选用带磁吸力的加速度传感器，传感器声波感应面直径不宜大于16mm。

b) 接收传感器频率范围宜为10Hz～50kHz，电荷灵敏度宜为10pc/m/s^2～20pc/m/s^2。

c) 接收传感器宜安装在锚杆杆头或部位杆端侧面，当磁吸力不足时应绑扎固定在杆端侧面。

d) 当锚杆安装有托板时，接收传感器不得直接安装在托板上。

5.3 现场检测

5.3.1 检测前，应选择与受检锚杆相同材质、类型、规格的裸杆，采用端发端收方式测试杆体波速，并按下列公式计算锚杆杆体波速及平均值：

$$C_{bi} = 2L/\Delta t_e \quad \text{……（1）}$$

$$\text{或}\ C_{bi} = 2L\Delta f \quad \text{……（2）}$$

$$C_{bm} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} C_{bi} \quad \text{……（3）}$$

式中：

C_{bi} ——第i根锚杆的杆体波速实测值（m/s）；

L——锚杆长度（m）；

Δt_e——时域波形两次杆底反射波的时间差（s）；

Δf——频率域波形中相邻杆底谐振峰之间的频差（Hz）。

C_{bm}——该类锚杆的平均杆体波速（m/s）；

n——参加波速统计的锚杆数量（n≥3）。

5.3.2 根据受检锚杆设计长度、杆体波速设置信号采样频率、采样长度、脉冲宽度等参数。同一工程相同材质、类型、规格的锚杆，检测参数设置宜保持一致。

5.3.3 当采集的波形记录用于时间域分析时，波形记录时间长度宜为2.5~3.0倍预估杆底反射时间；当采集的波形记录用于频率域分析时，波形记录时间长度宜为5~8倍预估杆底反射时间。

5.3.4 检测时，现场及周边不得有机械振动、强电磁等干扰。采集的波形不应有失真、零漂或削峰等现象。

5.3.5 每根锚杆应采集并保存不少于3个有效波形记录，其中应至少有2个用于时间域分析的记录和1个用于频率域分析的记录。

5.3.6 现场检测时，应记录锚杆的材质、类型、规格及锚杆设计长度、外露段长度、传感器位置等信息。记录表格式可参照附录B。

5.4 检测数据分析

5.4.1 锚杆无损检测应选择典型波形进行时间域、频率域分析，识别锚杆杆底反射波、缺陷反射波及旅行时间，计算锚杆长度、缺陷位置及注浆密实度。对于全长粘结型锚杆，应首先根据波形特征分析预判其注浆密实性，分析预判标准见表2。

表2 全长粘结型锚杆注浆密实性分析预判标准

波形特征	注浆密实性
波形规则，呈指数快速衰减，持续时间短	密实性好
波形较规则，呈较快速衰减，持续时间较短	密实性较好
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	密实性较差
波形不规则，呈慢速衰减或间歇增强后衰减形态，持续时间长	密实性差

5.4.2 锚杆无损检测数据分析时，应根据波形的时间域和频率域分析结果，并结合锚杆设计长度、杆体波速等识别杆底反射波，确定其旅行时间和频差。

5.4.3 对于全长粘结型锚杆，宜通过锚杆模拟试验确定其杆系波速。当无锚杆模拟试验数据时，应选取不少于3根相同类型、相同规格且经预判密实性好、杆长符合的锚杆，按下列公式计算该类锚杆的杆系波速及平均值：

$$C_{ti} = (2L - L_0')/\Delta t_e \quad \cdots\cdots (4)$$

$$C_{tm} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} C_{ti} \quad \cdots\cdots (5)$$

式中：

C_{ti}——某类第i根锚杆的杆系波速实测值（m/s）；

L——锚杆长度（m）；

L_0'——接收传感器至锚杆外露端距离（m），当采用端发端收方式时$L_0'=0$；

Δt_e——杆底反射波旅行时间（s）；

C_{tm}——该类锚杆的平均杆系波速（m/s）；

n——参加波速统计的锚杆数量（n≥3）。

注：粘结型锚杆的杆系波速与杆体材质及直径、锚孔直径及粘结材料等有关，通常小于锚杆杆体波速。

5.4.4 锚杆的长度和入孔长度计算应符合下列规定：

a) 当时间域的杆底反射波信号明显时，应按下列公式计算锚杆长度和入孔长度：

$$L = 0.5C_m\Delta t_e + 0.5L_0' \quad \text{（6）}$$

$$L_r = 0.5C_m\Delta t_e - 0.5L_0' \quad \text{（7）}$$

式中：

C_m——该类锚杆的平均波速（m/s），全长粘结型锚杆为杆系波速平均值C_{bm}，机械锚固型锚杆为杆体波速平均值C_{tm}；

L_r——锚杆入孔长度（m）。

b) 当频率域的杆底谐振峰信号明显时，应按下列公式计算锚杆长度和入孔长度：

$$L = 0.5C_m/\Delta f + 0.5L_0' \quad \text{（8）}$$

$$L_r = 0.5C_m/\Delta f - 0.5L_0' \quad \text{（9）}$$

式中：

Δf——频率域波形中相邻杆底谐振峰之间的频差（Hz）；

c) 锚杆的长度和入孔长度宜以时间域计算结果为准，频率域计算结果作为参考或验证。

5.4.5 在计算确定受检锚杆的锚固质量缺陷位置前，应首先按照下列方法分析判断缺陷的性质。

a) 对于全长粘结型锚杆，锚固质量的缺陷性质判断应符合下列规定：

1) 当时间域波形在理论计算杆底反射波到达时间之前存在明显的反射波信号；或频率域曲线存在基本等距的谐振峰，且谐振峰的频差值大于杆底频差值，则该锚杆存在杆长不足缺陷或注浆不密实缺陷；

2) 当时间域波形在理论计算杆底附近有较强反射波信号，或频率域曲线存在多个等距谐振峰，且谐振峰的频差值等于杆底频差值，则该锚杆存在严重注浆不密实缺陷；

3) 当时间域波形在理论计算杆底反射波到达时间之前出现首波相位交替反向的多次反射波信号，则该锚杆孔口段存在注浆严重不密实缺陷；

4) 当时间域波形在理论计算杆底反射波到达时间之前存在同相位反射波信号甚至多次反射波信号，且频率域曲线有多个等距谐振峰。若两者计算的缺陷位置基本一致且小于设计锚杆长度，则该锚杆长度不足且注浆不密实。

b) 对于机械锚固型锚杆，若出现上述本条第a)款第4)项的情形时，则该锚杆长度不足。

5.4.6 锚杆的缺陷位置计算应符合下列规定：

a) 锚杆的缺陷位置应以时间域的缺陷反射波旅行时间计算结果为主，频率域的谐振峰频差值计算结果作为参考或验证。

b) 当采用时间域的缺陷反射波旅行时间计算缺陷位置时，应按式（10）计算：

$$X = 0.5C_m\Delta t_x + 0.5L_0' \quad (10)$$

式中：

X——锚杆外露端头至缺陷界面的距离（m）；

Δt_x——缺陷反射波旅行时间（s）。

c) 当采用频率域的谐振峰频差值计算缺陷位置时，应按式（11）计算：

$$L = 0.5C_m/\Delta f_x + 0.5L_0' \quad (11)$$

式中：

Δf_x——缺陷相邻谐振峰之间的频差（Hz）。

5.4.7 当出现本文件第5.4.5条a)款3)项的情形，且深部无不密实缺陷时，全长粘结型锚杆注浆密实度可采用式（12）计算：

$$D = (L_r - L_x) / L_r \times 100\% \quad (12)$$

式中：

D——锚杆注浆密实度（%）；

L_x——锚杆孔口不密实段长度（m）；

L_r——锚杆入孔长度（m）。

5.4.8 除出现本文件第5.4.5条a)款3)项的情形外，全长粘结型锚杆注浆密实度可依据下列公式计算：

$$D = (1 - \beta\eta) \times 100\% \quad (13)$$

$$\eta = E_r / E_0 \quad (14)$$

$$E_r = (E_s - E_0) \quad (15)$$

式中：

β——锚杆声波波动能量修正系数，根据锚杆模拟试验结果或类似工程经验确定，如无锚杆模拟试验结果和类似工程经验，取β=1；

η——锚杆声波能量反射系数；

E_r——锚杆反射波能量（N·m）；

E_0——锚杆入射波能量（N·m）；

E_s——锚杆波动总能量（N·m）。

5.4.9 出现下列情况之一时，锚杆无损检测成果应结合其它检测方法进行综合分析：

a) 实测信号复杂，无规律。

b) 锚杆外露自由端过长、弯曲或杆系截面多变。

6 锚杆拉拔力试验

6.1 一般规定

6.1.1 锚杆拉拔力试验时，锚杆杆体受力不宜超过极限抗拉强度标准值的75%或屈服强度标准值的85%较小值。

6.1.2 锚杆基本试验应确定锚杆极限抗拔承载力，锚杆验收试验应判定锚杆抗拔承载力是否满足设计要求或验收荷载要求。

6.2 检测设备及安装

6.2.1 锚杆拉拔力试验设备一般包括中空千斤顶、百分表或位移传感器、压力表或压力传感器、油泵、反力装置等。当受检锚杆位于边坡和基坑时，应搭设操作平台。

6.2.2 加载和荷载测量设备及安装符合下列规定：

a) 千斤顶的额定荷载不应小于最大试验荷载的1.25倍，并在所设定的时间内持荷稳定。

b) 油泵、油管在最大试验荷载时的工作压力不应超过额定压力的80%。

c) 试验荷载宜采用压力表或压力传感器测量，其量程应满足测量最大试验荷载要求，准确度应优于或等于0.5级。

6.2.3 位移测量设备及安装符合下列规定：

a) 锚头位移测量宜采用百分表或位移传感器，量程不应小于50mm，测量误差不应大于0.1%FS，分辨率应优于或等于0.01mm。

b) 百分表或位移传感器应安装在基准梁上。基准梁应架设在基准桩上，基准桩距离受检锚杆不应小于1m。

c) 位移测量方向应与锚杆的轴向平行。

6.2.4 锚杆拉拔力试验的反力装置应符合下列规定：

a) 反力装置宜采用可调节平面位置、高度的槽钢架，用枕木或承压板做底部支撑。

b) 反力装置在最大试验荷载下应具有足够的强度和刚度，应满足承载力和变形的要求，可提供的反力不应小于最大试验荷载的1.2倍。

6.3 锚杆基本试验

6.3.1 新型锚杆、不同参数和不同地质条件下的锚杆应进行基本试验。

6.3.2 用于基本试验的锚杆，其杆体材料、规格参数、施工工艺和地质条件应与工程锚杆相同，但不应选择工程锚杆进行基本试验。

6.3.3 锚杆基本试验最大试验荷载预估值的确定应符合下列规定：

a) 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值的1.0~1.5倍。

b) 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。

c) 最大试验荷载时，锚杆杆体受力应符合本文件第6.1.1条的规定。

d) 当设计有要求时，应按设计要求取值。

注：锚杆基本试验最大试验荷载预估值的确定方法参考《锚杆检测与监测技术规程》JGJT 401。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，可按《建筑地基基础设计规范》GB 5007、《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086等有关规定进行计算。

6.3.4 锚杆基本试验应施加初始荷载，初始荷载宜为最大试验荷载预估值N_k的10%。在初始荷载作用下应测定锚头位移基准值，并符合下列规定：

a) 在初始荷载作用下，每间隔5min测读一次锚头位移；

b) 当连续2次锚头位移增量不大于0.02mm时，可视为锚头稳定，取最后一次测值作为锚头位移基准值；

c) 当观测15min后锚头位移增量仍大于0.02mm，应检查试验装置及所施加的荷载。检查正常后，再次按5min间隔继续测读锚头位移，直至符合本条第b)款的规定；若15min后仍不符合本条第b)款的规定，则终止试验。

6.3.5 锚杆基本试验应采用分级多循环加卸载法，其加载、持荷、卸载方法应符合下列规定：

a) 每级试验荷载宜为最大试验荷载预估值的1/10，首级、次级可加倍。

b) 试验加载速度宜为（0.05~0.10）N_k/min，卸载速度宜为加载速度的两倍。每级荷载加载、卸载时间不宜超过2分钟。

c) 每个循环在初始荷载基础上开始加载，每个循环结束卸载至初始荷载。

d) 岩层中的锚杆每级持荷时间宜为5min，土层中的锚杆每级荷载持荷时间宜为10min。每一循环的最大荷载持荷时间不应小于10min。

e) 锚头位移测读应符合下列规定：

1) 在每个循环的非最大荷载加载或卸载完成后，岩层锚杆在第0min、5min测读锚头位移；土层锚杆在第0min、5min、10min测读锚头位移。

2) 在每个循环的最大荷载加载完成后，应每间隔5min测读一次锚头位移。当锚头位移达到本文件第6.3.6条规定的相对稳定标准，方可卸载；当出现本文件第6.3.7条规定的情形，应终止加载。

f) 锚杆基本试验分级多循环加卸载法的加载、持荷、卸载时间及观测时间应符合表1的规定。

表1　锚杆基本试验分级多循环加卸载法的加载、持荷、卸载时间及观测时间

<table>
<tr><td rowspan="2">循环次数</td><td colspan="14">试验荷载值与最大试验荷载预估值的比例 (%)</td></tr>
<tr><td>初始荷载</td><td colspan="8">加载分级及过程</td><td colspan="5">卸载分级及过程</td></tr>
<tr><td>第一次</td><td>10</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>30</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>10</td></tr>
<tr><td>第二次</td><td>10</td><td>30</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>50</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>30</td><td>10</td></tr>
<tr><td>第三次</td><td>10</td><td>30</td><td>50</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>60</td><td>---</td><td>---</td><td>50</td><td>30</td><td>10</td></tr>
<tr><td>第四次</td><td>10</td><td>30</td><td>50</td><td>60</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>70</td><td>---</td><td>---</td><td>50</td><td>30</td><td>10</td></tr>
<tr><td>第五次</td><td>10</td><td>30</td><td>50</td><td>60</td><td>70</td><td>---</td><td>---</td><td>---</td><td>80</td><td>---</td><td>70</td><td>50</td><td>30</td><td>10</td></tr>
<tr><td>第六次</td><td>10</td><td>30</td><td>50</td><td>60</td><td>70</td><td>80</td><td>---</td><td>---</td><td>90</td><td>---</td><td>70</td><td>50</td><td>30</td><td>10</td></tr>
<tr><td>第七次</td><td>10</td><td>30</td><td>50</td><td>60</td><td>70</td><td>80</td><td>90</td><td>---</td><td>100</td><td>90</td><td>70</td><td>50</td><td>30</td><td>10</td></tr>
<tr><td colspan="2">加卸载时间(min)</td><td>≤2</td><td>≤2</td><td>≤2</td><td>≤2</td><td>≤2</td><td>≤2</td><td>≤2</td><td>≤2</td><td>≤2</td><td>≤2</td><td>≤2</td><td>≤2</td><td>≤2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">持荷时间
(min)</td><td>岩层锚杆</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>≥10</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr>
<tr><td>土层锚杆</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>≥10</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">观测时间
(min)</td><td>岩层锚杆</td><td colspan="8">第0min、5 min</td><td rowspan="2">第0min、5 min、10mm…….</td><td colspan="5" rowspan="2">第0min、5min</td></tr>
<tr><td>土层锚杆</td><td colspan="8">第0min、5 min、10 min</td></tr>
</table>

g)　当加载至最大试验荷载预估值尚未出现终止加载的情形时，宜按最大试验荷载预估值10%的荷载增量继续进行循环加载试验，直至出现本文件第6.3.7条规定的终止加载条件，或加载装置、反力装置达到荷载限值，或锚杆受力超过本文件第6.1.1条的规定。

6.3.6　锚杆基本试验的锚头位移相对稳定标准应符合下列规定：

a)　在每个循环的最大试验荷载作用下，在0~30min观测时间内，当岩石锚杆/土层锚杆相邻两次锚头位移增量分别不大于0.05mm/0.10mm时，可视为位移稳定。

b)　当岩石锚杆/土层锚杆在1h内位移增量分别不大于0.50mm/1.00mm时，亦可视为位移稳定。

6.3.7　出现下列情况之一时，应终止加载：

a)　锚杆杆体开裂、断裂或体系破坏。

b)　本次循环荷载产生的锚头位移增量达到或超过前一循环荷载产生的锚头位移增量的5倍。

c)　本级荷载作用下的锚杆位移增量超过前一级的5倍。

d)　在荷载持荷过程中，锚杆位移持续增大，岩石锚杆在2h内/土层锚杆在3h内的锚头位移未达到本文件第6.3.7条规定的相对稳定标准。

e)　在规定的持荷时间内，锚杆位移增量大于2.0mm。

f)　已加载至加载装置、反力装置荷载限值，或超过本文件第6.1.1条的规定，且锚头位移达到本文件第6.3.6条规定的相对稳定标准。

6.3.8　试验过程中宜按附录C记录试验数据，按试验荷载与对应的锚头位移列表整理，并绘制锚杆荷载~位移（P~S）曲线、锚杆荷载~弹性位移（P~S_e）曲线和锚杆荷载~塑性位移（P~S_p）曲线及其他曲线。

6.3.9 锚杆极限抗拔承载力应按下列方法确定：

a) 符合本文件6.3.7条第a)、b)、c)、d)、e)款规定终止加载的，取前一级荷载。

b) 符合本文件6.3.7条第f)款规定终止加载的，取最大试验荷载。

6.3.10 锚杆极限抗拔承载力统计值的确定应按符合下列规定：

a) 参加统计的试验锚杆应属于同一类型、规格、施工工艺和相同地质条件。

b) 当该组试验锚杆的极限抗拔承载力极差不大于平均值的30%时，取最小值作为该类锚杆的抗拔极限承载力。

c) 当该组试验锚杆的极限抗拔承载力极差大于平均值的30%时，应分析极差过大的原因，宜增加试验锚杆数量，按95%保证概率计算锚杆的抗拔极限承载力。

6.3.11 支护锚杆弹性变形验算应符合下列规定：

a) 实测弹性位移量计算应符合下列规定：

$$s_e = s_{\max} - s_0 \quad \cdots\cdots (16)$$

式中:

s_e——实测弹性位移量（mm）；

$s_{\max}$——锚头总位移量（mm）；

s_0——初始荷载时的锚头位移量（mm）。

b) 杆体自由段长度的理论弹性伸长量，可按式（17）计算：

$$\Delta L_i = \frac{(Q_{\max} - Q_0)L_{if}}{EA_s} \quad \cdots\cdots (17)$$

式中:

ΔL_i ——从初始荷载至最大试验荷载，杆体自由段长度的理论弹性伸长值（mm）；

Q_{max}——最大试验荷载（kN）；

Q_0——初始荷载（kN）；

L_{if}——杆体自由段长度（m）；

E——杆体弹性模量（MPa）；

A_s——杆体截面面积（m^2）。

c) 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量的80%。

6.4 锚杆验收试验

6.4.1 锚杆验收试验加载方式宜选择分级维持荷载法，设计有要求时选择分级多循环加卸载法。

6.4.2 锚杆验收试验的最大荷载应符合下列规定：

a) 永久性锚杆应取锚杆抗拔力设计值或验收荷载的1.2倍，临时性锚杆应取锚杆抗拔力设计值

或验收荷载的1.1倍。

b) 当锚杆抗拔力设计值和验收荷载不一致时，应取两者之高值。

6.4.3 锚杆验收试验初始荷载和锚头位移基准值测定按本文件第6.3.4条执行。

6.4.4 锚杆验收试验的分级维持荷载法应符合下列规定：

a) 每级试验荷载宜为最大试验荷载的1/10，首级、次级可加倍。

b) 试验加载速度宜为（0.05~0.15）N_k/min，卸载速度宜为加载速度的两倍。每级荷载加载、卸载时间不宜超过2分钟。

c) 每级荷载加载完成后，应每间隔5min测读一次锚头位移，当锚头位移达到本文件第6.4.5条规定的相对稳定标准时，方可施加下一级荷载。

d) 当出现本文件第6.4.6条规定的终止加载情况时，可终止加载并开始卸载。

e) 卸载时，每级卸载量可取分级荷载的两倍。每级荷载卸载完成后应持荷5min，并在第0min、5min测读锚头位移，然后卸载下一级，直至卸载至初始荷载。

f) 锚杆验收试验分级维持荷载法的荷载加载、持荷、卸载时间和锚头位移观测时间应符合表2的规定。

表2 锚杆验收试验分级维持荷载法的荷载加载、持荷、卸载时间及观测时间

试验荷载值与最大试验荷载值的比例（%）											
初始荷载	加载分级及过程							卸载分级及过程			
10	30	50	60	70	80	90	100	70	50	30	10
加载、卸载时间(min)	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2
持荷时间(min)	≥10	≥10	≥10	≥10	≥10	≥10	≥10	5	5	5	5
观测时间(min)	第 0min、5 min、10mim……. 直至相对稳定							第 0min、5min			

6.4.5 锚杆验收试验分级维持荷载法的锚头位移相对稳定标准应符合下列规定：

a) 在每级荷载作用下，当后5min的位移增量小于前5min的位移增量，且锚头位移总量小于2.0mm。

b) 在0~30min观测时间内，岩石锚杆/土层锚杆在10min内锚头位移总量分别小于1.0mm/2.0mm。

6.4.6 当出现下列情况之一时，应终止加载：

a) 锚杆杆体开裂、断裂或体系破坏。

b) 本级荷载作用下的锚杆位移增量超过前一级的5倍。

c) 岩石锚杆/土层锚杆的锚头位移总量分别大于1.0mm/2.0mm。

d) 在本级荷载作用下，锚杆位移持续增大，岩石锚杆在2h内/土层锚杆在3h内的锚头位移未达到本文件第6.4.5条规定的相对稳定标准。

e) 已加载至最大试验荷载，且锚头位移达到本文件第6.4.5条规定的相对稳定标准。

6.4.7 当设计有要求时，锚杆验收试验可采用分级多循环加卸载法，并按本文件第6.3.5条执行。

6.4.8 锚杆验收试验分级维持荷载法宜按附录C记录试验数据，按试验荷载与对应的锚头位移列表整理，并绘制锚杆荷载~位移（*N*~*S*）曲线。

6.4.9 锚杆的极限抗拔承载力应按下列方法确定：

a) 分级维持荷载法应按下列方法确定锚杆的极限抗拔承载力：

1) 符合本文件6.4.6条第a)、b)、c)、d)款规定终止加载的，取前一级荷载。

2) 符合本文件6.4.6条第e)款规定终止加载的，取最大试验荷载。

b) 分级多循环加卸载法按照本文件第6.3.9条规定确定锚杆的极限抗拔承载力。

6.4.10 支护锚杆弹性变形验算应符合下列规定：

a) 实测弹性位移量应按本文件式（16）计算。

b) 杆体自由段长度的理论弹性伸长量，可按本文件式（17）计算。

c) 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，应按式（18）计算：

$$\Delta L = \frac{(Q_{\max} - Q_0)(L_f + L_b / 2)}{EA_s} \quad \text{……（18）}$$

式中：

ΔL——从初始荷载至最大试验荷载，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（mm）；

Q_{ma}——最大试验荷载（kN）；

Q_0——初始荷载（kN）；

L_b——杆体粘结段长度（m）；

L_f——杆体自由段长度（m）；

E——杆体弹性模量（MPa）；

A_s——杆体截面面积（m^2）。

d) 拉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。

e) 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的80%，且应小于杆体自由段长度的理论伸长值的120%。

7 锚杆锚固质量评定

7.1 一般规定

7.1.1 锚杆锚固质量应根据锚杆无损检测成果和锚杆拉拔力试验成果进行综合评定。

7.1.2 当只有锚杆无损检测或锚杆拉拔力试验单一成果时，不宜对锚杆锚固质量进行综合评定。

7.2 锚杆锚固质量评定标准

7.2.1 单根锚杆拉拔力试验合格标准应符合下列规定：

a) 锚杆抗拔承载力不应小于锚杆验收荷载。

b) 拉力型锚杆在最大试验荷载下，所测得的弹性位移量应大于锚杆自由段长度理论弹性伸长值的90%，且应小于自由段杆体长度与1/3锚固段长度之和的理论弹性伸长值。

c) 压力型锚杆在最大试验荷载作用下，所测得的弹性位移量应大于锚杆自由段杆体长度理论弹性伸长值的90%，且应小于自由段杆体长度理论弹性伸长值的110%。

d) 当设计有要求时，锚杆在最大试验荷载作用下的总位移量应满足设计要求。

注：单根锚杆拉拔力试验合格评定标准参考《锚杆检测与监测技术规程》JGJT 401。

7.2.2 单元或单位工程锚杆拉拔力试验应采用统计确定验收合格标准，应符合下列规定：

a) 锚杆抗拔承载力平均值不应小于锚杆验收荷载，且最小值不应小于锚杆验收荷载的0.9倍。

b) 锚杆的变形应符合本文件第7.2.1条b)和c)款的规定，当设计有要求时其总位移量应符合本文件第7.2.1条d)款的规定。

7.2.3 锚杆无损检测质量分级应符合下列规定：

a) 全长粘结型锚杆无损检测质量评判应符合表3的规定。

表3 全长粘结型锚杆无损检测质量评判标准

类别	定性指标			定量指标	
	波形特征	时域信号特征	幅频信号特征	入孔长度比(%)	注浆密实度范围(%)
I	波形规则，呈指数快速衰减，持续时间短	杆底反射波信号微弱，杆底前无缺陷反射波	呈单峰形态	≥95	且D≥90
II	波形较规则，呈较快速衰减，持续时间较短	杆底反射波信号较明显，或杆底前可见缺陷反射波	呈单峰或不对称双峰形态	≥95	且80≤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	杆底反射波信号明显，或杆底前有明显缺陷反射波	呈不对称多峰形态	≥95	且75≤D＜80
IV	波形不规则，呈慢速衰减或间歇增强后衰减形态，持续时间长	杆底反射波信号强或有多次反射波，或杆底前可见明显多次缺陷反射波	呈多峰形态，杆底或缺陷谐振峰明显、连续	＜95	或D＜75

注：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。

b) 机械锚固型锚杆无损检测质量评判应符合表4的规定。

表4 非粘结型锚杆无损检测质量评判标准

质量等级	入孔长度比(%)	备注
合格	≥98	
不合格	＜98	

7.3 锚杆锚固质量评定

7.3.1 单根锚杆锚固质量评定应符合下列规定：

a) 锚杆无损检测质量分级为I级或II级，且锚杆的拉拔力验收试验合格，则该锚杆的锚固质量合格。

b) 锚杆的拉拔力验收试验不合格，则该锚杆的锚固质量不合格。

c) 锚杆拉拔力验收试验合格，但锚杆无损检测质量分级为III级或IV级，则该锚杆的锚固质量不合格。

7.3.2 单元或单位工程锚杆锚固质量评定应符合下列规定：

a) 单元或单位工程的锚杆无损检测质量分级全部为I级或II级，且锚杆拉拔力验收试验全部合格，则该单元或单位工程的锚杆锚固质量合格。

b) 单元或单位工程的全部或部分锚杆拉拔力验收试验不合格，则该单元或单位工程的锚杆锚固质量不合格。

c) 锚杆无损检测质量全部或部分为III级或IV级，则该单元或单位工程的锚杆锚固质量不合格。

7.3.3 单元或单位工程的锚杆锚固质量不合格，应按本文件第4.2.4条的规定增加抽检比例。

7.3.4 对锚固质量不合格的锚杆，应进行补打或补灌浆处理，然后再按一定比例抽检，直至该单元或单位工程的锚杆锚固质量合格。当锚杆抗拔承载力不合格时，补打锚杆的总抗拔承载力不应小于于检测抗拔承载力与设计抗拔承载力的差值。

附 录 A

（规范性）

锚杆模拟试验

A.1 一般规定

A.1.1 锚杆锚固质量无损检测前，宜制作与工程锚杆类型、规格类同的锚杆模型进行模拟试验。现场模拟试验时，应选择有地质代表性的部位。

A.1.2 锚杆模拟试验可选择室内模拟试验或现场模拟试验，现场条件具备时宜进行现场模拟试验。

A.1.3 锚杆模拟试验之前应编写锚杆模拟试验方案，试验完成后编写锚杆模拟试验报告。

A.1.4 模拟锚杆信息在模拟锚杆试验前宜对锚杆检测与数据分析人员保密。

A.2 模拟锚杆设计、制作和检测

A.2.1 室内模拟锚杆设计和制作应符合下列规定：

a） 模拟锚杆孔宜采用内径不大于90mm的PVC或PE管，其长度应比模拟锚杆长度长1m以上。

b） 模拟锚杆长度宜涵盖工程锚杆长度范围，其外露段长度应与工程锚杆相同。

c） 模拟锚杆应模拟工程锚杆可能存在的主要缺陷类型及程度。

d） 模拟锚杆制作时，应严格按设计图纸模拟各类缺陷。粘结材料应与工程锚杆相同，且不应充填缺陷部位。

e） 模拟锚杆注浆后应自然养护，粘结材料固结前不得敲击、碰撞或拉拔锚杆。

A.2.2 现场模拟锚杆设计和制作应符合下列规定：

a） 试验场地宜选在与工程锚杆地质条件类同部位。

b） 现场模拟锚杆应与工程锚杆的施工工艺一致，孔径与工程锚杆孔径相同。

c） 现场模拟锚杆长度宜涵盖工程锚杆长度范围，其外露段长度与工程锚杆相同。

d） 现场模拟锚杆制作时，应严格按设计图纸模拟各类缺陷。粘结材料应与工程锚杆相同，且不应充填缺陷部位。

e) 现场模拟锚杆的注浆后应自然养护，粘结材料固结前不得敲击、碰撞或拉拔锚杆。

A.2.3 模拟锚杆检测应符合下列规定：

a） 模拟锚杆检测方法应与工程锚杆检测方法相同，检测仪器应与拟用于工程锚杆检测的仪器类型相同。

b) 模拟锚杆检测时，应采用不同激振、接收方式和设置不同仪器参数进行对比试验。

c） 模拟锚杆检测宜在粘结材料不同龄期时进行，检测结果应进行对比分析。

A.3 模拟锚杆检测资料整理

A.3.1 模拟锚杆检测数据应按本文件第5.4条的规定进行整理分析，识别锚杆底端和杆中各类缺陷反射波的特征，确定不同类型、不同规格锚杆的杆体波速、杆系波速和杆系能量修正系数等参数，并建立锚杆检测图谱。

A.3.2 对比分析不同激振、接收方式和不同仪器参数的检测结果，确定工程锚杆检测的激振、接收方式和仪器参数。

附 录 B

（资料性）

锚杆无损检测记录表

委托编号：　　第　页 共　页

检测部位		工程名称		施工区段	
锚杆类型		委托单位		注浆日期	
锚杆直径	mm	粘结材料		检测日期	
设备名称/编号					
检测依据					

序号	锚杆编号	位置	设计长度(m)	外露长度(cm)	检测长度(m)	入孔长度(m)	注浆密实度（%）

校核：　　**检测：**

附　录 C

（资料性）

锚杆拉拔力试验记录表

委托编号：　　第　　页 共　　页

锚杆编号		工程名称		工程部位	
锚杆类型		锚杆长度	m	施工日期	
最大试验荷载	kN	锚杆直径	mm	检测日期	
试验方法	☐基本试验 ☐验收试验 ☐但循环加卸载 ☐多循环加卸载 ☐分级维持荷载				
设备名称/编号					
检测依据					

级序	循环次数	压力	荷载	观测时间			位移读数(1/100mm)			位移(mm)		备注
		(MPa)	(kN)	日	时	分	表 1	表 2	平均	增量	累计	

校核：　　检测：

附 录 D

（资料性）

单元工程锚杆锚固质量评定表

委托编号：　　第　页 共　页

单元工程		工程名称		施工区段	
锚杆类型		工程部位		检测日期	

序号	锚杆编号	设计值			检测值			无损质量类别	锚固质量
		长度(m)	入孔长度(m)	抗拔力(kN)	入孔长度(m)	注浆密实度（%）	抗拔力(kN)		

校核：　　检测：

参 考 文 献

[1] JGJ/T 401 锚杆检测与监测技术规程

[2] JGJ/T 182-2009 锚杆锚固质量无损检测技术规程

[3] DL/T 5424-2009 水电水利工程锚杆无损检测规程

[4] GB 5007 建筑地基基础设计规范