

JTG/T

中华人民共和国行业推荐性标准

JTG/T XX—20XX

公路结构物强震动安全监测技术规范

Technical specification of strong motion monitoring for seismic safety of highway structures

(征求意见稿,请勿引用)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国交通运输部发布

目 次

前言.....	II
1 总则.....	1
2 术语.....	2
3 基本规定.....	4
4 监测台阵布置	6
5 监测系统组成与技术要求	8
6 监测系统的测试、安装与验收	11
7 监测数据的分析处理	16
8 监测系统的管理与维护	18
附录 A 场地条件勘察要求	21
附录 B 台址背景振动加速度测试要求.....	22
附录 C 台站建设报告内容.....	24
附录 D 强震动安全检测记录报告单	27
附录 E 强震动加速度仪检测表.....	28
附录 F 远程通信检查记录表格式及内容	28
附录 G 台站现场常规检查表格式及内容	30
附录 H 强震动加速度仪现场检查记录表	23

前 言

根据交通运输部交公路法[2021]XX号《关于XXXXXXXXXXXXXXXXX的通知》的要求，由交通运输部公路科学研究所承担《公路结构物强震动安全监测技术规范》的制定工作。

公路交通工程是制约地震应急救援与灾后恢复重建速度和效率的关键生命线工程。但由汶川地震及近年来发生的破坏性地震灾害表明，桥梁、隧道、支挡结构等关键节点的严重破坏将造成整条公路运输线路的失效，导致应急救援与灾后重建人员与设备无法及时进入极震区，造成被压埋、受伤人员得不到及时救治，生活必需品无法及时到达灾区，灾后恢复重建无法及时开展。因此，对已建桥梁、隧道、支挡结构等关键公路交通节点开展地震安全监测，实时掌握公路结构物震后安全运行状态，为地震紧急反应与处置提供决策依据。并积累公路结构物强震动监测数据，为相关抗震规范的修订提供支撑，具有重要意义。

基于国家强震动观测台网建设经验，充分考虑公路工程结构物的地震响应特点，制定本规范。本规范主要包括强震动监测台阵的规划布置、场地勘测、监测系统的组成与技术要求、监测系统的测试、安装与验收、监测系统的管理与维护、监测数据的分析处理、地震紧急反应与处置等内容。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见及时函告主编单位交通运输部公路科学研究所（地址：北京市海淀区西土城路8号，邮编100088；电话：010-62025055，电子邮箱：kh.wang@rioh.cn），以便修订时参考。

主 编 单 位：交通运输部公路科学研究所

参 编 单 位：

主 编：

主要参编人员：

主 审：

参与审查人员：

1 总则

1.0.1 为了规范我国公路结构物强震动安全监测技术工作，充分保障观测数据及分析结果的可靠性和有效性，以便对公路结构物运行状态进行及时评估与应急处置，并为相关抗震规范修订提供数据，制定本规范。

【条文说明】

本条简要说明制定本规范的目的。公路结构物强震动安全监测是预先在公路结构物上布置强震动响应台阵，一旦发生强震，自动获取加速度记录，并进行及时分析和快速震害评估，以便采取应急措施，达到防灾、减灾的目的。另外，取得的强震记录还可为公路结构物抗震设计时地震动参数和地震烈度的评估提供定量资料。

1.0.2 本规范适用于公路桥梁、隧道等需建设强震动监测台阵的公路工程结构物、对经济社会有重大影响的公路工程 and 各级公路管理机构确定的其他重要公路工程。

1.0.3 公路结构物强震动安全监测除应符合本细则的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

【条文说明】

本规范中的部分术语和定义引自《防震减灾术语 第一部分》(GB/T 18207.1-2005)。公路工程抗震设计方法，引自《公路工程抗震设计规范》(JTG B02-2013)。强震动加速度仪的技术指标和检测方法引自《强震动观测技术规程》(DBT 64-2016)。

2 术语

下列术语和定义适用于本文件。

2.0.1 强震动 Strong motion

地震引起的场地或工程结构的强烈震动。

2.0.2 强震动安全监测 Strong motion monitoring for seismic safety

用专门仪器记录强震发生时工程结构和场地的地震反应，为评估公路结构物安全性而进行的监测。

2.0.3 加速度仪 Acceleration instrument

由加速度传感器和记录器组成的仪器。

2.0.4 台站 Station

设置强震动加速度仪进行强震动监测的设施。

2.0.5 台阵 Array

根据特定的目的，按专门设计布设的多个测点、台站、测点与台站组合构成的监测网。

2.0.6 自由场地 Free field

不受周围环境建筑和结构振动影响的空旷场地。

2.0.7 场地效应台阵 Site array

记录自由场地地震动参数的台阵。

2.0.8 基本地震动 Basic Ground Motion

相应于 50 年超越概率 10%（相当于地震重现期 475 年）II 类场地的地震动。

2.0.9 设计地震动参数 Design parameters of ground motion

抗震设计采用的地震加速度时程曲线、加速度反应谱和加速度峰值。

2.0.10 灵敏度 Sensitivity

传感器的指定输出量与指定输入量之比。

2.0.11 测量范围 Measuring range

输入信号能够被有效测量的幅值域。

2.0.12 动态范围 Dynamic range

满量程和噪声（均方根值）之比的常用对数与 20 的乘积，用分贝表示。

2.0.13 频率响应 Frequency response

在定常线性系统中输出与输入之比表示为输入信号频率的函数，通常以幅频特性曲线、相频特性曲线表示幅度、相位与频率的关系。

2.0.14 触发 Trigger

记录器从等待转变为记录的状态。通常有阈值触发、长短项比/差值触发、信道加权触发等。

3 基本规定

3.0.1 监测工作可分为四个阶段，各阶段应开展以下工作：

可行性研究阶段：监测系统的总体布置、监测仪器及设备的数量、监测系统的工程概算。

设计阶段：监测系统设计文件，包括监测系统布置图、仪器设备清单、各监测仪器设施的安装技术要求及工程预算等。

施工阶段：编制施工详图，做好仪器设备的检验、埋设、安装、调试和保护，绘制竣工图，编写建台报告和试运行报告。

运行阶段：监测系统的管理与维护，监测数据分析处理。

3.0.2 本规范所指的应进行强震动安全监测的公路结构物包括：

1 基本地震动峰值加速度 $\geq 0.20g$ ，对经济、国防或抗震救灾上具有重要意义，且破坏后 24 小时内难以恢复主要功能的公路工程构筑物。

2 基本地震动峰值加速度 $\geq 0.10g$ ，单跨跨径超过 150m 的特大桥、长度超过 3000m 的隧道。

3 跨越全新世活动断层、《公路工程技术标准》（JTG B01-2014）规定的高速公路和一级公路上的桥梁、隧道。

【条文说明】

公路结构物强震动安全监测技术规范的实施，可以逐步改变我国缺少强震动监测记录的落后状态。据不完全统计，美国有强震动监测加速度仪 6000 余台，日本有强震动监测加速度仪 3000 余台。美国、日本等国不仅已建成了全国强震动安全监测台网，还布设了各类强震密集监测台阵。美国已取得大于 0.1g 强震动加速度记录数千条；日本在阪神大地震时，有近百台仪器均同时取得地震加速度记录，促进了地震工程学和工程抗震领域的发展。目前，我国抗震设计地震动参数主要是借鉴美国已有记录，但由于场地条件、结构特性等因素的影响，只有尽快完成我国自己的公路结构物强震动安全监测台网建设，才能尽早地、不断地取得我国自己的强震动加速度记录。

3.0.3 强震动监测仪器应稳定可靠，技术指标应满足工程安全监测需要。

3.0.4 在监测物理量上，主要记录地震加速度。

【条文说明】

监测物理量主要应记录地震加速度。这是因为当前阶段抗震设计采用的地震动参数是加速度。对加速度时程进行一次和二次积分可得到速度和位移时程。

3.0.5 应收集台阵附近地形数据，水平方向网格尺寸宜 $\leq 5\text{m}$ 。

3.0.6 应收集或建立公路结构物地震动力响应分析模型。

3.0.7 在对公路结构物进行强震动监测的同时，宜对结构物所在场地地震动进行监测。应对公路结构物所在场地的背景振动加速度进行测试，确定背景振动加速度水平和场地卓越周期。测试仪器、测试方法及数据处理的要求见附录 B。

3.0.6 对位于土层场地上的观测点，应进行场地条件勘察。场地条件勘察内容包括钻孔、土层剪切波速测试和土动力参数试验。应编制土层分布柱状图和剪切波速分布图。场地条件勘察要求见附录 A。

3.0.9 仪器监测应与震害检查相结合，当结构物场地发生的有感地震动记录峰值加速度大于 $0.05g$ 时，应立即对公路结构物进行震害检查，且宜对公路结构物开展安全评估。

【条文说明】

根据我国 1961 年新疆巴楚地震, 1962 年广东河源地震, 1966 年河北邢台地震, 1969 年广东阳江地震、山东渤海湾地震, 1970 年云南通海地震, 1974 年江苏溧阳地震、云南昭通地震, 1975 年辽宁海城地震, 1976 年内蒙和林格尔地震、云南龙陵地震、河北唐山地震, 1979 年江苏溧阳地震, 1985 年云南禄劝地震、新疆乌恰地震, 1988 年云南澜沧-耿马地震, 1996 年青海格尔木等 17 次强震进行调查得出的认识: 混凝土结构物 VI 度以下 (含 VI 度) 没有震害, 相当于最大加速度 $0.05g$ 。

因此对公路结构物可按场地最大加速度 $0.05g$ 作为安全监测的警示值。等于小于加速度警示值时, 公路结构物一般不会出现震害。

4 监测台阵布置

4.1 监测台阵由结构反应观测点和场地效应观测点组成。

4.2 强震动安全监测台阵的布置方案设计应考虑公路结构物的所在地基本地震动参数、工程等级、结构类型和地形地质条件。

4.3 台阵设计应包括确定台阵的类型和规模、布置方案、仪器的性能要求，仪器安装和管理维护的技术要求等。

4.4 台阵测点布置要求

4.4.1 桥梁

1 在距离桥墩及路基 200m 至 1000m 范围内，选择与桥梁场地条件相同或相似的自由场地，建立桥梁结构地震动输入场地观测点。

2 桥梁跨越不同类别场地时，应在各类别场地上均布设自由场地地震动观测点和桥梁结构反应观测点。

3 跨越全新世活动断层的桥梁，应在断层两侧各设置至少一个位于自由场地地震动观测点。

4 宜根据桥梁结构动力反应数值模拟结果确定结构响应测点位置。

5 结构观测点应位于主要受力构件上，避开伸缩缝及构件端部，且应与结构锚固。

6 梁式桥：应根据桥梁长度、联数和地震响应分析结果，在桥台、桥墩承台及桥墩顶（或桥墩盖梁）布设结构观测点，可在主梁部布设结构观测点。

7 悬索桥、斜拉桥：应在至少桥墩承台上和索塔上部各布设一个结构观测点，宜在索塔中部、桥梁跨中承重结构处增设观测点。

8 拱桥：应在至少桥墩承台（或桥台）上和桥梁跨中承重结构处各布设一个结构观测点。

4.4.2 隧道

1 隧道进出口距离 $\leq 8\text{km}$ 时，应至少布设 1 个观测点，且距离隧道出口应 $\leq 200\text{m}$ 。

2 隧道进出口距离 $\geq 8\text{km}$ 时，应至少在离隧道进出口内小于 200m 的位置分布各布设 1 个观测点，且隧道内测点间距应 $\leq 10\text{km}$ 。

3 跨越全新世活动断层的隧道，应在断层两侧各布设至少一个观测点。

【条文说明】

本条规定了结构反应台阵测点布置要求。测点的布置是依据公路结构物的动力特性以及地震反应而确定的，测点布置的部位一般都是公路结构物各阶振型的最大值、地震反应较大以及重要的动力特征部位。

5 监测系统组成与技术要求

5.0.1 监测系统由加速度传感器、记录器、信号传输线路、信息处理系统四部分组成。

【条文说明】

规定了监测系统由加速度传感器、加速度记录器、传输线路和计算机四部分组成，监测系统框图参见图 1 强震动监测系统框图。

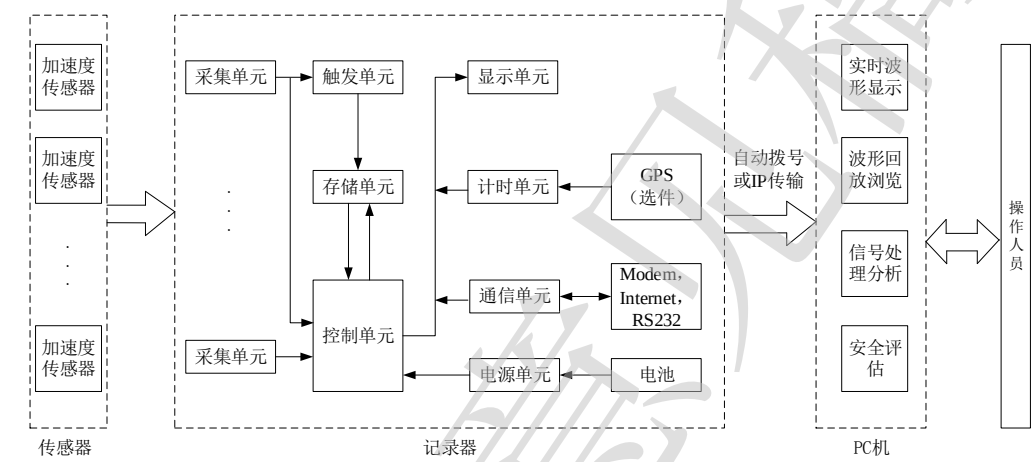


图 1 强震动监测系统框图

5.0.2 加速度传感器的主要技术指标应满足表 5.0.2 的要求。

表 5.0.2 加速度传感器的主要技术指标

序号	项目	技术指标
1	测量范围	$\pm 2 g$ 、 $\pm 4 g$
2	满量程输出	$\pm 2.5V$ 或 $\pm 5.0V$ ；单端、差分可选
3	频率响应	0~50 Hz
4	动态范围	$\geq 120\text{ dB}$
5	线性度误差	$\leq 1\%$
6	横向灵敏度比	$\leq 1\%$ （包括角偏差）
7	噪声均方根值	$\leq 10^{-6} g_n$
8	零位漂移	$\leq 500\mu g_n/^{\circ}C$

9	运行环境温度	-20~+65℃
10	相对湿度	< 90 %

5.0.3 记录器应由数据采集单元、触发单元、存储单元、计时单元、通信单元、控制单元、显示单元及电源单元组成。主要技术指标应满足表 5.0.3 的要求。

表 5.0.3 记录器的主要技术指标

序号	项目	技术指标
1	满量程输入	±2.5V 或 ±5V，单端、差分输入可选
2	动态范围	≥90dB
3	频率响应	0~50Hz≤1LSB(均方根值)
4	分辨率	≥16 位
5	系统噪声	≤1LSB(均方根值)
6	触发模式	阈值触发、STA 与 LTA 差、比值触发、手动触发等
7	采样率	50sps, 100sps, 200sps, 500sps 可控
8	时间服务	标准 UTC，内部时钟精度优于 10 ⁻⁶ ，GPS 校时精度优 1ms
9	数据通信	RS-232 实时数据流串口，通信速率 9600bit/s, 19200bit/s, 57600bit/s, 115200bit/s 可选
10	数据存储	CMOS 静态或 RAM 固态盘，容量≥16M 字节，可扩充容量
11	道间延迟	无
12	零点飘落	<100μV/℃
13	软件	包括通信程序，图形显示程序，其他实用程序和监控、诊断命令
14	环境温度	-20~+65℃
15	环境湿度	<90%

【条文说明】

5.0.2、5.0.3 条提出了对加速度传感器、加速度记录器的主要技术指标要求。提出的依据是从我国公路结构物强震动安全监测自动化的要求出发，又考虑到我国目前强震动加速度仪的生产水平。我国已发布地震行业标准《数字强震动加速度仪》(DB/T10-2016)，适用于设计、生产和质量监督。明确规定了检验方法，本标准加以引用。

5.0.4 信息处理系统配置应符合下列要求:

- 1 应配备适合工业应用环境, 有较高运算速度和较大存储容量的工业 PC 机, 并宜配有打印机、扫描仪等外围设备。
- 2 应配置便携式计算机作为移动工作站。
- 3 应配置强震动加速度记录处理分析软件。

5.0.5 监测系统的主要技术指标应符合下列要求:

- 1 监测台站观测点的建设应按照《地震台站建设规范 强震动台站》(DB/T 17) 进行。
- 2 应在观测点处或观测室外部的显著位置标识强震动台站名称、安全警示等信息。
- 3 台阵监控管理软件应具备远程访问观测仪器、检查观测仪器运行状态、设置或修改观测仪器运行参数等基本功能。
- 4 记录分析处理软件应具备多种数据格式的加速度记录的常规处理功能, 包括计算校正的加速度、速度和位移时程、反应谱、傅里叶谱等。
- 5 台阵数据管理与服务软件宜具备网络数据库管理的功能。
- 6 仪器检测软件宜具备自动采集加速度传感器和强震动记录器的数据检测功能。

6 监测系统的测试、安装与验收

6.1 强震动加速度仪的检验

6.1.1 强震动加速度仪应在有相应检测资质的实验室超低频标准振动台上进行整机标定。

【条文说明】

规定强震动加速度仪，应在有相应检测资质的实验室超低频标准振动台上进行整机标定。这是由于仪器各通道虽然标有统一的灵敏度额定值,但在仪器选择元器件和生产过程的差异，各仪器灵敏度是不同的。必须以整机标定的结果为准。在标准振动台上进行整机标定的方框图见图 2。



图 2 整机标定框图

整机标定通常包括三方面内容：

(1) 输入-输出特性（简称线性特性）。标定方法是将被测加速度仪固定在振动台台面中心，其灵敏轴应与振动方向平行。在一定的频率下，逐次改变振动输入量，测出相应的仪器输出量。见图 3。

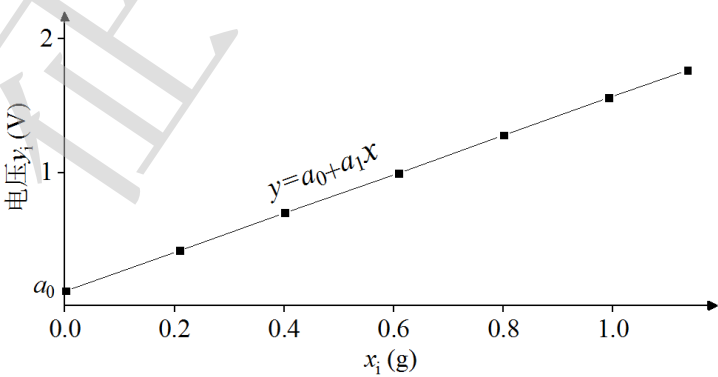


图 3 输入-输出特性图

将全部振动输入量和相应的仪器输出量代入直线方程后,求解方程组,即可将标定所取得的全部资料用最小二乘法拟合成一个直线方程,即

$$y = a_0 + a_1 x$$

式中 a_0 (截距) ——仪器系统测量误差;

a_1 (斜率) ——测试仪器的增量,即灵敏度。

(2) 幅度-频率特性 (简称幅频特性)。标定方法是在振动台上给定一个振动幅值,并逐次改变振动频率,用显示器读出仪器在各个频率时的输出量的幅值,取其输出量与输入量的幅值比,即

$$A_f = U_f / U_0$$

将不同频率下的幅值比连成一条曲线,即可得仪器的幅度-频率特性图。见图 4。

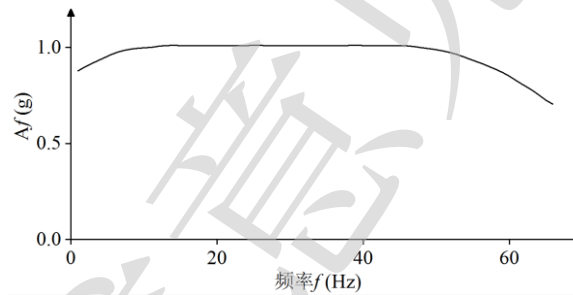


图 4 幅度-频率特性图

由图 6 可知仪器工作频带的低端和高端。

(3) 相位-频率特性 (简称相频特性)。相频特性标定方框图见图 5。

相频特性标定是表示仪器在不同频率时,输入信号和相应的仪器输出信号之间相位差的变化情况。其方法是将被测仪器和标准相位加速度仪固定在振动台上,两者的输出信号同时输出给数字相位计。其测点不小于 10 个。

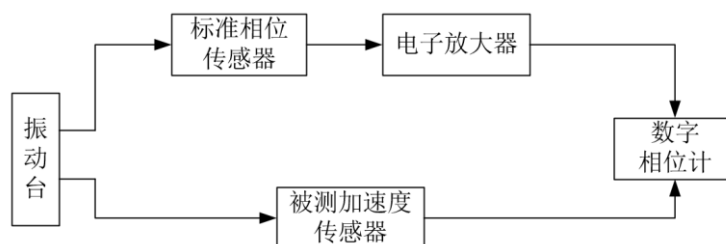


图 5 相位-频率特性图

6.1.2 强震动加速度仪安装前，应进行测试验收。测试验收应包括下列内容：

1 对加速度传感器进行外观检查和功能测试（阻尼与自振频率测试）。按照 DB/T10 规定方法和表 5.0.2 加速度传感器的主要技术指标，进行灵敏度、线性度、测量范围、满量程输出、噪声、动态范围、幅频特性、相频特性、横向灵敏度的测试、静态耗电电流测试。

2 对记录器进行触发功能、本地和远程通讯功能、控制功能测试。按照 DB/T10 规定方法和表 5.0.3 加速度记录器的主要技术指标，进行噪声、动态范围、分辨力、幅频响应、带通滤波器、守时精度、校时精度的测试。

【条文说明】

规定了仪器安装前对加速度传感器和记录器进行测试，以及测试的具体内容，这是确保仪器能否正常运转及保障监测数据准确的重要步骤。

6.2 监测系统的安装

6.2.1 加速度传感器的安装应符合下列规定要求：

1 加速度传感器宜直接固定在监测结构上，或者安装在现浇混凝土监测墩上。现浇混凝土监测墩制作应符合《地震台站建设规范 强震动台站》（DB/T 17）的相关要求。

符合下列建造要求：

2 应将加速度传感器底板用环氧树脂或螺栓加以固定在监测结构上或者监测墩上，并应外加保护罩。

3 加速度传感器固定前，应使加速度传感器符合设计要求的方位和初动方向。

6.2.2 记录器的安装应符合下列规定要求：

1 记录器应安装在强震监测中心或台站内。

2 记录器与加速度传感器接通后，应确定加速度传感器的振动方向与加速度记录图上波形方位的对应关系，并保持相位一致。

3 为消除多台加速度记录器的时差,可采取联机的运行方式,共同记录主机的绝对时间。

4 应根据环境振动的具体情况,选择 STA 与 LTA 比值触发、阈值触发、STA 与 LTA 差触发等模式。

6.2.3 传输电缆的敷设应符合下列规定要求。

1 宜采用多芯屏蔽电缆。不应在具有强电磁干扰设备的附近布线。室外电缆应采用套管保护,并采用接地保护措施。

2 传输电缆宜减少接头。接头处应焊接牢固,并做好导线的绝缘屏蔽。

3 敷设电缆时,应避免电缆承受过大拉力,防止受损。

6.3 监测系统的检查、设置和调试

6.3.1 监测系统安装后,应进行检查、设置和调试。

6.3.2 监测系统的检查主要应包括确认各通道的极性和加速度传感器的零位等内容,并及时填写检查记录表。记录表见附录 C。

6.3.3 监测系统的设置应包括:仪器参数设置、通道极性设定。

6.3.4 监测系统的测试应包括:背景噪声测试、标定、人工触发试验、GPS 同步检测、双向通信遥测试验。

【条文说明】

6.3.1~6.3.4 强震动加速度仪安装后,对监测系统进行参数设置和调试,确认各通道的极性和加速度传感器的零位,检查的内容和顺序是:设置仪器参数、设定通道极性、测试背景噪声、标定记录、人工触发试验、GPS 同步检测、双向通信遥测试验,这是确认监测系统是否正常运行的重要步骤。

6.3.5 监测系统运行正常后,应进行场地脉动和公路结构物脉动反应测试,记录脉动加速度时间过程并进行分析。

【条文说明】

规定了安全监测系统运行正常后，进行场地脉动和公路结构物的脉动反应测试，对测试记录进行计算分析，以便选择和确定强震动加速度仪的触发方式和阈值，并确定场地的卓越周期和公路结构物的自振周期。通过将历年记录进行对比分析，可依据公路结构物动力特性的变化，对公路结构物进行动力健康诊断分析。

为满足脉动测试加速度要求，对安装的强震动加速度仪适当调整增益，使其满足脉动测试加速度要求。脉动测试分别在白天和晚上各进行一个时段的测试。每一时段的测试时间不小于 15min。场地脉动和公路结构物的脉动反应测试结束后，对测试记录进行计算分析，以便选择和确定强震动加速度仪的触发方式和阈值，并进一步确定场地的卓越周期和公路结构物的自振周期。通过多次测试结果的对比，可根据公路结构物的动力特性变化对其工作性态进行分析。

6.4 监测系统工程验收

6.4.1 监测系统建设完成后，应编制建设报告。报告格式及内容可按附录 D 编制。

6.4.2 试运行满 3 个月，应编制试运行报告。报告格式及内容可按附录 E 编制。

6.4.3 对监测人员应完成技术培训。

6.4.4 在完成上述三项任务的基础上，可申请进行监测系统验收。监测系统验收应提交下列资料：

- 1 强震动安全监测设计报告。
- 2 强震动安全监测建设报告。
- 3 强震动安全监测试运行报告。
- 4 相关的仪器、软件使用说明书等技术资料。

【条文说明】

6.4.1~6.4.4 规定了台阵建设完成后，编写出建台报告，试运行报告，并完成人员的技术培训和相关的仪器、软件使用说明书等技术资料，可申请进行单元工程验收。

7 监测数据的分析处理

7.0.1 结构观测点或场地观测点记录的加速度记录大于 0.05g 时，应及时读取各个通道最大加速度值，并复制备份原始数据。

【条文说明】

7.0.1 规定了在获得地震动加速度记录后，及时读取各个通道最大加速度值，并复制备份，按照规定格式形成包括头段数据和记录波形数据两部分的未校正加速度记录。

7.0.2 结构观测点或场地观测点记录的加速度峰值大于等于 0.05g 时，应及时填写监测记录报告单，并报告上级主管单位。监测记录报告单的内容应包括地震发生的时间、各通道地震记录的最大加速度值、各通道地震记录的时间长度等。强震动安全监测记录报告单格式见附录 F。

【条文说明】

7.0.2 规定了获得场地峰值加速度 $\geq 0.05g$ 的记录后，填写监测记录报告单，并报告上级主管单位。监测记录报告单的内容包括地震发生的时间，各通道地震记录的最大加速度值，各通道地震记录的时间长度等。

7.0.3 记录的峰值加速度记录大于 0.05g 时，应及时对加速度记录进行常规处理分析，包括以下内容：

- 1 校正加速度记录:对未校正加速度记录波形数据进行零基线和仪器频率校正，形成校正加速度记录。
- 2 速度和位移时程:对校正加速度记录波形数据进行一次、二次积分计算处理，形成速度时程和位移时程。
- 3 反应谱：对校正加速度记录计算 5 个阻尼比值（0，0.02，0.05，0.1，0.2）的反应谱。
- 4 傅里叶谱:对校正加速度记录计算傅里叶谱。

7.0.4 在对加速度记录进行常规处理分析的基础上，应提出加速度水平向最大峰值、垂直向最大峰值、地震动持续时间、地震卓越周期、地震烈度、结构的动力放大系数和结构自振周期等重要数据。

【条文说明】

7.0.3、7.0.4 规定了对场地峰值加速度大于 $0.05g$ 的台阵记录应进行常规处理分析，包括校正加速度记录、速度和位移时程、反应谱、傅里叶谱。可得到加速度水平、垂直向最大峰值，地震动持续时间，地震卓越周期，地震烈度，结构的动力放大系数和结构自振周期等重要数据，对于分析结构物的动力特性是十分宝贵的。

8 监测系统的管理与维护

8.1 一般规定

8.1.1 强震动监测系统的运行管理应纳入工程安全监测的日常工作。

8.1.2 监测人员应经过专业培训。

8.1.3 巡回检测分为远程访问、月巡回检测、年度巡回检测和特别巡回检测四类。

【条文说明】

8.1.1~8.1.3 对监测系统的管理做了一般规定。即纳入公路结构物安全监测的日常工作。强调了对台站兼管人员应经过培训上岗,以便能了解仪器的基本原理和主要技术特性,正确掌握仪器操作使用方法和简单的故障检查,学会对加速度记录进行现场处理分析。规定了台站巡回检测为远程访问、月巡回检测、年度巡回检测和特别巡回检测四类。

8.2 远程访问

8.2.1 远程访问每月不应少于 3 次。

8.2.2 主要检测内容应包括仪器参数设置、触发事件数、加速度传感器零位电压、GPS 天线状态、电池电压等。并填写附录 G。

【条文说明】

8.2.1、8.2.2 对远程通信检查的时间和内容做出具体规定。每月至少远程访问 3 次,主要是可以发现仪器是否正常运行,可靠性是否达到要求。另外目前的强震仪有网络功能,检查也比较方便。

8.3 巡回检测

8.3.1 月巡回检测

对强震动加速度仪每月应进行一次常规性检测。检测内容应包括下列各项:

- 1 是否以标准时间校对了仪器时钟。

- 2 强震动记录器面板指示灯、开关检查。
- 3 检测直流电源电压是否正常。
- 4 检查各通道记录显示是否正常。
- 5 强震动记录器是否处于待触发状态。

应及时填写检测表，检测表格式及内容应符合附录 H 的要求。

【条文说明】

规定了月巡回检测的具体内容和要求。月巡回检测可以发现故障隐患。

8.3.2 年度巡回检测

- 1 对强震动加速度仪每年应进行一次全面检测。
- 2 检测对象应包括加速度传感器、信号传输和强震动记录器。对仪器的灵敏度应进行标定。
- 3 不应同时对两套以上处于待触发的仪器进行标定。
- 4 台阵仪器检测合格后，宜进行场地脉动和公路结构物脉动反应测试，记录脉动加速度时间过程并进行分析。
- 5 年度巡回检测完成后，应编写年度强震动安全监测报告，并及时填写检测表。检测表见附录 I。

【条文说明】

规定了台阵年度巡回检测的内容和应注意的事项。强调了“不应同时对两套以上处于待触发下的仪器进行标定”，以尽量减少漏记地震的可能性。

8.4 监测系统的维护

8.4.1 强震动监测系统经检测发现故障时，应及时维修。对于重要测点，应更换备用仪器，以免漏记强震动。

8.4.2 对于达到使用年限的强震动监测仪器，应及时更新。

【条文说明】

8.4.1、8.4.2 规定了台阵在维护方面应遵守的事项。一是强震动监测系统经检测发现故障时，尽快进行检修，排除故障。对于重要测点，换上备用仪器，以免漏记强震动。这条是接受了汶川大地震时紫坪铺强震动监测台阵正在检修时发生地震而漏记主震的教训。二是强震动监测仪器的使用寿命一般 10 年左右，需及时更新仪器设备，避免因监测仪器老化而漏记地震

附录 A 场地条件勘察要求 (规范性附录)

A.1 钻孔位置

场地条件勘察钻孔位置和台址应位于同一工程地质单元内,且与仪器墩位置的距离应小于100 m。

A.2 钻孔深度及方式

通过钻孔或已有资料判定,覆盖土层厚度小于50 m时钻孔深度应至基岩层位置,覆盖土层厚度不小于50m时钻孔深度应大于30m。

A.3 取样与标贯

宜对钻孔中每一典型土层取样。宜对地下20 m之上的每一典型砂土层及粉土层进行标准贯入度测试,标准贯入度测试点间距应小5 m。标准贯入度测试和土动力学土样的提取方法应符合GB 50021—2001中10.5和9.4的规定。

A.4 剪切波速测试

应对钻孔进行土层原位剪切波速测试,测试深度应大于30 m或至基岩层,测点间距1 m至2 m。测试设备、方法和数据处理应符合GB/T 50269—1997中第7章的规定。

A.5 土动力特性参数试验

应进行典型土样动三轴或共振柱试验,编制土样动力特性测试报告。测试设备、方法和数据处理应符合GB/T 50269—1997中第9章的规定。

A.6 台站场地类别划分

应根据钻孔资料进行台站场地类别划分,划分标准应符合GB 50011的规定。

附录 B 台址背景振动加速度测试要求 (规范性附录)

B.1 测试仪器

应选用强震动加速度仪，工作频带应不窄于DC~80 Hz，采样率应不小于200 sps，动态范围应不小于127 dB，自身噪声应低于0.000001 g_n ，灵敏度应高于2.5 V/ g_n 。

B.2 观测方法

将测试仪器安装到拟测试的台站仪器墩位置或拟建的台站位置，进行仪器系统校准和试测，查看试测记录确认仪器正常后，连续观测背景振动加速度不少于24 h 时长。

B.3 数据处理

B.3.1 场地卓越周期

抽取振动幅值最小的1 h 时长的背景振动加速度观测数据，计算水平向背景振动加速度的傅立叶幅值谱，根据傅立叶幅值谱最大值对应的频率值确定场地卓越周期。

B.3.2 背景振动加速度均方根

抽取白天和晚上各4 h 时长的背景振动加速度观测数据，分别计算各小时的功率谱密度（PSD），并按照GB/T 3241—2010的规定，用1/3倍频程滤波器在DC~80 Hz频带范围内，按式（B.1）由PSD分别计算各小时的均方根值（ R_{rms} ），再计算白天和晚上的 R_{rms} 平均值。

$$R_{rms} = \sqrt{2(PSD) \times (f_u - f_l)} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

f_u ——分度倍频程上限频率；

f_l ——分度倍频程下限频率。

f_u 和 f_l 按GB/T 3241—2010的规定确定。

附录 C 强震动加速度仪现场检查记录表
(资料性附录)

强震动加速度仪现场检查记录表见表 C。

表 C 强震动加速度仪现场检查记录表

台站名称				台站代号			
记录仪型号				记录仪编号			
传感器型号				传感器编号		外置	
						内置	
UPS* 状态				存储卡剩余容量			
通道		1	2	3	4	5	6
原电压 (mv)							
调整后电压 (mv)							
功能试验 文件名			人工触发试验 文件名			GNSS* 校时有效性	
示例:	文件个数						
记录回收	文 件 名						
观测室环境*							
故障 处理	故障现象						
	故障处理						
	结 果						
重要记事							
检查人员							
日期							
*: UPS 指不间断电源; GNSS 指全球导航卫星系统; 观测室环境指室内及周边环境变化情况。							

附录 D 台站建设报告内容

(规范性附录)

D.1 基本规定

台站建设报告应包括以下基本内容：

- a) 概述；
- b) 台站位置和场地条件；
- c) 观测室与仪器墩；
- d) 仪器设备；
- e) 安装与测试；
- f) 建台人员和日期。

概述

本部分内容应包括观测目的、建台依据和建台过程简介等。

D.2 台站位置和场地条件

本部分内容应包括下列台站地理位置介绍、台址背景振动加速度测试数据及处理结果、台址地质构造背景和场地条件勘察等：

- a) 台站的地理位置，包括经纬度（精确到 1"）和海拔高度等；附有可精确定位台站的交通图和观测室位置图；
- b) 台址背景振动加速度测试数据及处理结果，方法见附录 A；
- c) 台址地质构造背景和场地条件勘察，包括台址所在地区的地质构造和活动断层分布、场地一般描述、土层柱状图和土层剪切波速分布图、土动力参数试验数据、建筑场地类别划分等。对尚未进行详细勘察的场地，可收集台址附近同类场地的勘察资料。

D.3 观测室与仪器墩

本部分内容应包括下列观测室与仪器墩施工及竣工资料等：

- a) 观测室资料,包括设计施工图纸、施工过程中关键控制节点照片、竣工后室内布置照片和观测室全貌照片等；
- b) 对使用已有建筑作为观测室的台站，说明该观测室建筑结构类型、高度和层数、建筑年代、设防标准等，并附有结构简图；
- c) 仪器墩图纸及施工过程照片；
- d) 测点位置分布图。

D.4 仪器设备

本部分内容应包括下列仪器设备清单、指标，及通信方式等：

- a) 台站的主要仪器设备及观测系统框图；
- b) 强震动观测系统的主要技术指标；
- c) 远程通信方式及详细信息。

D.5 安装与测试

本部分内容应包括下列仪器设备安装与调试过程中的关键记录、图片、资料等：

- a) 仪器安装；
- b) 仪器参数设置；

- c) 各通道极性测试;
- d) 背景振动加速度测试;
- e) 功能测试;
- f) 人工触发试验;
- g) 卫星授时同步检测;
- h) 双向通讯遥测试验。

D.6 完成人员与时间节点

本部分内容应包括下列完成台站建设任务的工作人员名单，及关键时间节点日期等：

- a) 台站选址完成人员名单及日期;
- b) 场地条件勘察完成人员名单及日期;
- c) 观察室、仪器墩建造完成人员名单及日期;
- d) 观测设备安装与调试完成人员名单及日期;
- e) 台站建设报告编写完成人员名单及日期。

附录 E 台站试运行报告格式和要求

E.0.1 试运行基本情况：试运行开始、结束时间，故障及处理，设备及参数调整说明。试运行负责人及参加人员。

E.0.2 基本运行环境：湿度、温度、电源系统、避雷系统。

E.0.3 系统设备状况：设备及软件名称、型号、数量。

E.0.4 系统技术指标：台阵监控、数据传输处理和存储能力。

E.0.5 原始监测数据与强震动加速度记录处理分析结果。

附录 F 强震动安全检测记录报告单

台阵名称						台阵代号			
仪器型号						仪器编号			
场地条件						监测对象			
地震时间						震级			
震中经纬度						震中地点			
震中距						震中烈度			
震源深度						记录编号			
仪器 编号	通道 编号	拾震 器号	测点 编号	测点 位置	测点高程 (m)	测点 方向	灵敏度 (mV/g)	最大加速度 (cm/s ²)	记录 长度
安全评估		安全		警惕			危险		
检查人员				日期					

附录 G 远程通信检查记录表格式及内容
(规范性附录)

远程通信检查记录表格式及内容见表G。

表 G 远程通信检查记录表

台站名称				台站代码			
仪器型号				仪器编号			
事件数				存储卡剩余容量			
内部电池电压				外部电池电压			
零位电压 (mV)	通道	1	2	3	4	5	6
	检查电压						
功能测试			授时状态				
记录回收	文件						
	文件						
参数修改		事前时间	事后时间	触发阈值	STA/LTA	触发比	
原设置							
修改值							
检查结束后仪器状态		数据采集			退出通信		
重要记事							
检查人员							
日期							

附录 H 强震动加速度仪检测表
(规范性附录)

表 H 强震动加速度仪检测表

台阵名称		测点编号	
仪器型号		仪器编号	
事件数		存储卡余容量	
内部电池电压		外部电池电压	
充电电压		UPS状态	
通道零位电压			
检查电压			
调整后电压			
标定试验		人工触发	GPS状态
记录文件回收			
参数修改			
原设置			
修改值			
监测室环境			
检查后仪器状态			
故障及处理			
重要记事			
检查人员			
日期			

附录 I 台站现场常规检查表格式及内容
(规范性附录)

台站现场常规检查表格式及内容见表I。

表 I 台站现场常规检查表

台站名称				台站代码			
仪器型号				仪器编号			
事件数				存储卡剩余容量			
内部电池电压				外部电池电压			
充电电压				充电设备状态			
零位电压 (mV)	通道	1	2	3	4	5	6
	检查电压						
	调整后电压						
标定试验				人工触发试验			
记录回收	文件						
	文件						
参数修改		预存时间	延续时间	触发阈值	STA/LTA	触发比	
原设置							
修改值							
观测室环境		内部					
		外部					
检查结束后仪器状态		数据采集				退出现场通信	
故障及处理							
重要记事							
报告人员							
日期							