|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 点击此处添加ICS号 |
| CCS | |  | | --- | | D:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T.pngD:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T后面的反斜杠.png CGS |   点击此处添加CCS号 |

     团体标准

T/CGS XXXX—XXXX

油气勘探装备智能导钻仪器振动试验方法

Vibration test method for underground instruments

of intelligent oil exploration equipment

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中国地球物理学会  发布

目次

[前言 III](#_Toc197529500)

[1 范围 1](#_Toc197529501)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc197529502)

[3 术语和定义 1](#_Toc197529503)

[4 符号 2](#_Toc197529504)

[5 试验要求 3](#_Toc197529505)

[5.1 试验环境要求 3](#_Toc197529506)

[5.2 试验条件要求 3](#_Toc197529507)

[5.3 控制方式和控制点的选取 4](#_Toc197529508)

[5.4 试验允差 4](#_Toc197529509)

[6 试验设备要求 4](#_Toc197529510)

[6.1 一般要求 4](#_Toc197529511)

[6.2 电动振动台 4](#_Toc197529512)

[6.3 机械解耦装置 4](#_Toc197529513)

[6.4 振动控制系统 4](#_Toc197529514)

[6.5 振动测量和分析系统 4](#_Toc197529515)

[6.6 振动试验夹具 4](#_Toc197529516)

[6.7 吊挂装置和保护装置 5](#_Toc197529517)

[7 试验程序 5](#_Toc197529518)

[7.1 试验流程 5](#_Toc197529519)

[7.2 试验准备 6](#_Toc197529520)

[7.3 试验实施 7](#_Toc197529521)

[8 试验中断及其处理 7](#_Toc197529522)

[8.1 试验设备故障引起的中断 7](#_Toc197529523)

[8.2 产品失效引起的中断 7](#_Toc197529524)

[8.3 试验超差引起的中断 7](#_Toc197529525)

[9 试验结果 8](#_Toc197529526)

[9.1 试验数据记录信息 8](#_Toc197529527)

[9.2 试验判据 8](#_Toc197529528)

[10 试验报告 8](#_Toc197529529)

[附录A（资料性） 双台并激随机振动试验原理 9](#_Toc197529530)

[A.1 概述 9](#_Toc197529531)

[A.2 双台并激振动试验系统数学描述 9](#_Toc197529532)

[A.3 双台并激随机振动的参考谱矩阵 10](#_Toc197529533)

[A.4 均衡过程 10](#_Toc197529534)

附录B[（资料性） 吊挂装置和保护装置设计方法 12](#_Toc197529536)

[B.1 吊挂和保护装置的作用 12](#_Toc197529537)

[B.2 吊挂装置和保护装置的连接 12](#_Toc197529538)

[B.3 吊挂系统的设计方法 12](#_Toc197529539)

[附录C（资料性） 常用计算公式 15](#_Toc197529540)

1. 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专利的责任，本文件由中国地球物理学会提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院微电子所、中国石油集团测井有限公司、中海油田服务股份有限公司、中石化石油工程技术研究院有限公司、渤海钻探定向井技术服务分公司、苏州苏试试验集团股份有限公司。

本文件主要起草人：xxx、xxx、xxxx。

油气勘探装备智能导钻仪器振动试验方法

* 1. 范围

本文件规定了油气勘探装备智能导钻仪器采用电动振动台进行轴向和径向激振的振动试验方法的术语和定义、目的、试验系统、试验方法、试验实施等要求。本文件适用于智能导钻井下仪器随机振动试验和正弦振动试验，其它钻井仪器设备也可参照执行。

* 1. 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/T 2298-2010 机械振动、冲击与状态监测 词汇

GB/T 2423.62 环境试验 第2部分:试验方法 试验Fx和导则:多输入多输出振动

GB/T 14499 地球物理勘查技术符号

GB/T 44400 电动振动台双台并激振动试验系统

GJB 8547 军用装备多激振器振动试验方法

SY/T 5102 石油勘探开发仪器基本环境试验方法

GF/T 197 产品多台多轴振动试验方法

* 1. 术语和定义

GB/T 2298、 GB/T 44400、GF/T 197 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

**智能导钻 Intelligent Drilling**

智能导钻是一种利用先进的传感器技术、自动化控制技术和人工智能算法，实时监测地质条件和钻探过程参数，并根据预设目标和实时数据自动调整钻探方向和参数的钻探技术，智能导钻井下仪器包括地质导向工具、旋转导向工具、井地高速传输仪器等。

**双台并激振动试验 dual-shaker vibration test**

由两台相同规格型号的单轴向电动振动台在试件的不同位置进行的相同轴向、相同方向的振动

试验。

[来源:GB/T 44400，3.1]

**机械解耦装置 mechanical decoupling device**

为消除或减轻多台振动的耦合运动对试验的影响而采用的振动传递机械装置。

[来源:GB/T 44400，3.2]

**方阵控制 square control**

振动控制点数量等于激振数量的多输入多输出控制方式。

[来源:GF/T 197，3.3]

**长方阵控制 rectangular control**

振动控制点数量不等于激振数量的控制方式。

[来源:GF/T 197，3.4]

**限制控制 limit control**

使测量点的响应不大于规定的试验谱的控制方式。

**限制谱 limit profile**

进行限制控制的试验谱。

**限制点 limit points**

进行限制控制的测量点。

**自由度 degrees of freedom**

完全确定一个机械系统状态所需要的最少广义坐标个数。

[来源:GB/T 2298，2.27 ]

**吊挂装置 hanging device**

用于支撑试验件并模拟其自由边界条件的装置。

[来源:附录B]

**保护装置 protective device**

用于试验件吊装时的承重及试验过程中安全防护的装置。

[来源:附录B]

* 1. 符号

表1中的符号适用于本文件,其他符号参照GB/T 14499的规定执行。

表1 符号及说明

| 符号 | 名称 | 单位 | 符号说明 |
| --- | --- | --- | --- |
| PSD | 加速度功率谱密度 | g²/Hz | 描述振动时域信号功率在频域上的分布 |
| Oct | 倍频程 | **/** | 一种频率间隔的相对度量，应用频率能量分布的描述与评估 |
| RMS | 均方根值 | g | 描述信号的有效值，能够反应振动能量大小 |
| MIMO | 多输入多输出 | **/** | 描述通过多路响应信号和多路驱动输出信号进行振动控制 |
| MISO | 多输入单输出 | **/** | 描述通过多路响应信号和单路驱动输出信号进行振动控制 |

* 1. 试验要求
     1. 试验环境要求

在下列标准大气条件下进行试验：

1. 温度：15℃～35℃；
2. 相对湿度：20%～80%；
3. 大气压力：试验场所气压；

如果现场环境条件不能满足要求，需要将实际环境数据进行记录，应对试验件、试验设备等进行评估，确认环境条件对试验结果无影响后方可开展试验。

* + 1. 试验条件要求
       1. 试验方法选择

若智能导钻仪器长度小于4m，宜采用单振动台进行轴向和径向振动试验；若长度大于等于4m，径向宜采用双台并激振动试验（双台并激振动试验原理见附录A），轴向宜采用单台振动台试验；常用计算公司见附录C。

* + - 1. 正弦振动试验条件

试验条件应以钻井过程中测得的能够反映产品寿命周期的实际振动数据为依据，当没有实测数据，或实测数据信息不充分时，可按照SY/T 5102石油勘探开发仪器基本环境试验方法中13.1中规定的试验条件选取相关参数。

* + - 1. 随机振动试验条件

试验条件应以钻井过程中测得的能够反映产品寿命周期的实际振动数据为依据，当没有实测数据，或实测数据信息不充分时，可按照SY/T 5102石油勘探开发仪器基本环境试验方法中15.1.1中规定的试验条件选取相关参数。

* + 1. 控制方式和控制点的选取

控制点宜选择智能导钻仪器在夹具附近的刚度较大的结构部位上，限制点宜选择在智能导钻仪器低频响应大的位置或关键部件上。若采用双台并激振动试验方法时，宜选取2个控制点、2～4个限制点。

* + 1. 试验允差
       1. 正弦振动试验

用方阵控制且未进行限制控制的情况下，正弦振动试验的允差要求参照GJB8547 军用装备多激振器振动试验方法.7.3.2.3正弦振动控制允差：

在整个试验频率范围内，正弦峰值加速度偏差在规定值的±10%以内，在共振段可允许为±20%。

任意两个振动控制相位差偏差在±10%以内。

* + - 1. 随机振动试验

随机振动试验的允差要求参照GJB8547 军用装备多激振器振动试验方法.7.3.2.2随机振动控制允差：

在整个试验频率范围内，自功率谱密度的控制允差在±3dB以内；500Hz以上可以为±6dB，但超过±3dB的累积带宽宜限制在整个试验频率范围的10%以内；自功率谱均方根值与规定值的偏差在±20%以内。试验中宜通过调试试验使互功率谱密度最大程度接近规定要求。

* 1. 试验设备要求
     1. 一般要求

应确保试验设备状态完好，满足试验方法、试验条件和试验容差要求。有计量检定要求的试验设备应计量检定合格并在检定有效期内。

* + 1. 电动振动台

电动振动台的要求依据 GB/T 44400 4~5章规定执行。

* + 1. 机械解耦装置

采用双台并激振动试验时，振动台和夹具之间宜有机械解耦装置，机械解耦装置应能减小或消除两个振动台之间的交叉耦合运动带来的对试验件和振动台的不利影响，其沿激振方向的一阶共振频率应尽可能高，对于随机振动试验宜大于试验上限频率的1/3。

* + 1. 振动控制系统

振动控制系统要求如下：

1. 控制频率范围应满足2Hz-2000Hz要求。频率示值误差、正弦信号失真度、随机闭环加速度功率谱控制动态范围等要求应该满足计量检定要求。任意两通道一致性应满足：同步采样，幅值比小于等于0.25dB,相位差小于等于0.5°；
2. 应具备多输入多输出振动控制的功能，输入通道和输出数量均不少于3个；实时闭环控制的控制点自谱、互谱、相干系数和相位符合预置要求，频谱线数可选。
   * 1. 振动测量和分析系统

振动测量和分析系统要求如下：

1. 控制频率范围至少满足2Hz～2000Hz；加速度传感器工作频率应覆盖试验频率范围，量程应大于测量点响应均方根值的5倍以上，且能满足计量检定规程规定的测量精度要求；
2. 具有自功率谱密度、互功率谱密度、相干、相位、频率响应等分析功能。
   * 1. 振动试验夹具

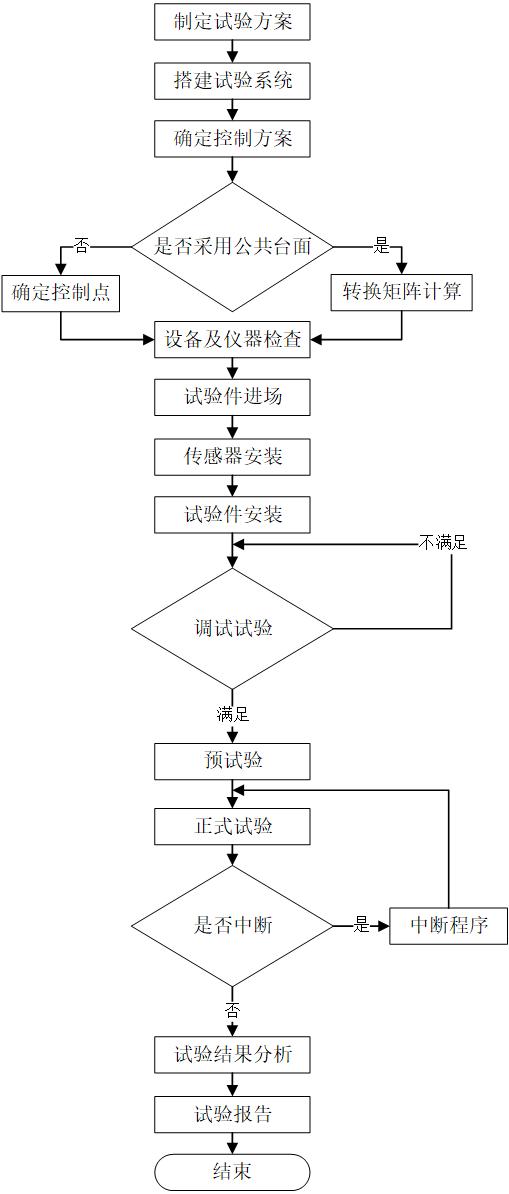
振动试验夹具要求如下：

1. 夹具应选用比刚度大和阻尼大的材料，如铝合金、铝镁合金；
2. 夹具采用整体式结构，避免螺栓连接；
3. 试验前应通过分析和试验的手段来评价夹具的动态特性，试验频率范围内不应有过大的放大或衰减以致影响试验的进行；
4. 避免在试验频率范围内发生夹具—试验件—振动台耦合共振；
5. 夹具加工完成后，应与试验件进行预安装以确认协调性，必要时进行局部修整。
   * 1. 吊挂装置和保护装置

当试验件、夹具和机械解耦装置的总质量大于振动台的静承载能力时，应使用吊挂装置。吊挂装置和试验件组成的悬吊系统的一阶频率应低于试验件一阶频率的1/3。试验过程中应采用保护装置，保护装置用于试验件安装、起吊和振动试验过程中的安全保护。吊挂装置和保护装置设计方法参见附录B。

* 1. 试验程序
     1. 试验流程

振动试验流程见图1。



1. 试验流程图
   * 1. 试验准备
        1. 制定试验实施方案

对于大型、复杂试验应在试验前编制试验方案并评审。试验方案应包含以下内容：

1. 试验设备的选取；
2. 激励方案；
3. 控制方案；
4. 试验安装方案；
5. 试验夹具设计；
6. 模拟件或工艺件要求；
   * + 1. 状态确认

检查试验件技术状态，确保试验件满足相关技术文件规定的技术状态要求。

* + 1. 试验实施
       1. 传感器安装

传感器的安装应为刚性连接，与试验件之间应进行绝缘，宜使用速干胶水粘接，传感器与试验件之间应有胶木块等绝缘隔层。

* + - 1. 试验件安装

将试验件通过试验夹具固定在振动台台面上。对于双台并激振动试验，宜通过试验夹具和解耦装置将试验件与振动台相连，同时安装吊挂装置和保护装置。

* + - 1. 调试试验

安装完成后，根据7.2.1控制方案开展调试试验。随机试验功率谱密度值宜小于或等于正式试验条件的1／9，正弦试验量级宜小于或等于0.1g。对调试试验结果进行分析，根据调试结果优化控制方案。

* + - 1. 预试验

试验流程复杂或者试验量级大的试验宜在正式试验前进行预试验，试验件技术状态和试验流程应与正式试验一致。根据调试试验确定的控制方案开展预试验。随机试验功率谱密度值宜为正式试验条件的1／9，正弦试验量级宜为0.1g，试验时间宜小于正式试验时间。对预试验结果进行分析，确认后开展正式试验。

* + - 1. 正式试验

预试验通过后，开展正式试验，具体步骤如下：

1. 确认预试试验后的试验仪器与设备、试验件状态完好；
2. 根据试验要求对试验件进行初始检测，记录测试结果；
3. 按规定试验条件开展试验；
4. 试验中按要求记录振动数据；
5. 试验中按要求开展试验件检测；
6. 试验过程中进行监测，监测内容包括：振动控制、测量点响应、试验设备运行情况、吊挂装置、保护装置、夹具螺栓连接情况、试验件的功能和性能。
7. 达到要求的试验持续时间，停止试验；
8. 试验后按要求开展试验件检测；
9. 试验后对振动控制和测量数据进行处理和分析；
10. 填写相关运行记录和试验记录；
11. 完成全部试验内容；
12. 与委托方协商后，拆卸试验件，进行相关检查；
13. 试验结束。
    1. 试验中断及其处理
       1. 试验设备故障引起的中断

若由于试验设备异常引起的中断，需要对振动控制和响应数据进行分析与评价，分析试验中断对试验件影响。若无不良影响，则修复试验设备后从中断点继续试验。若存在不良影响，应立即向委托方通报，经双方共同分析、评估对试验件的影响，根据分析结果决定后续试验方案。

* + 1. 产品失效引起的中断

若因试验件的失效而中断试验，需要分析失效原因。若失效原因不影响对试验件功能性能的判断，处理完成后可从中断点继续试验。若试验件失效是由某一部件的失效引起的，终止本次试验，再分析确定是否更换试验件或修复失效部件后，重新开始试验。

* + 1. 试验超差引起的中断

若试验中断前一段时间内试验量级超出容差下限，故障排除后，重新进行试验，试验时间为试验条件要求的时间减去中断前没有欠试验的时间。当出现过试验时，应判断过试验是否对试验件造成不良影响，是否需要更换试验件重新进行试验。

* 1. 试验结果
     1. 试验数据记录信息

试验后应记录的信息如下：

1. 试验件的外观、功能和性能检查结果；
2. 试验顺序和过程；
3. 振动试验条件；
4. 对试验要求或技术状态的偏离及说明；
5. 控制点和监测点传感器响应的数据分析；
6. 异常数据测量结果分析；
7. 试验中断的记录及处理结果。
   * 1. 试验判据

当试验件满足下列情况时，则认为产品通过试验考核：

1. 振动控制满足规定的试验条件及允差要求；
2. 试验件的功能性能参数测试结果满足试验件有关标准和技术文件规定的要求。
   1. 试验报告

试验报告应至少包含以下内容：

1. 试验依据；
2. 试验目的；
3. 试验件信息；
4. 试验仪器与设备信息；
5. 试验条件；
6. 试验系统；
7. 试验方法；
8. 试验过程；
9. 试验数据与分析；
10. 试验结论。
12. （资料性）  
    双台并激振动试验原理
    1. 概述

本附录以随机振动试验为例介绍了双台并激随机振动试验基本原理。

* 1. 双台并激振动试验系统数学描述

振动台通过夹具、机械解耦装置激励一个试验件，试验件上有两个测量点作为控制点。如图A.1所示，图中（i=1,2）为振动控制系统产生两个驱动信号，（i=1,2）为控制点时域信号。



图A.1双台并激振动试验原理示意图

假设试验系统为线性时不变系统，与单输入单输出线性系统类似，输出与输入频域关系见公式（A.1）。

………………………………(A.1)

式中：

（i=1,2）——控制点响应时域信号（i=1,2）的傅里叶变换；

——驱动信号的傅里叶变换。

公式（A.1）可记为公式（A.2）。

C=HD………………………………………(A.2)

式中：

C——的傅里叶变换的向量；

H——系统的传递函数矩阵；

D——的傅里叶变换的向量。

传递函数矩阵H描述多输入多输出线性系统的频率特性，这个系统不只包括试验件和振动台，还包括夹具、功放、传感器、电缆、信号调理器等一切从输入到输出所组成的系统。

驱动谱矩阵表示见公式（A.3）。

 ……………………………………(A.3)

控制谱矩阵表示见公式（A.4）。

……………………………………(A.4)

则驱动谱矩阵、控制谱矩阵和传递函数关系见公式（A.5）：

 ……………………………………(A.5)

式（A.3）~（A.5）中：

——驱动谱矩阵；

——控制谱矩阵；

——系统的传递函数矩阵。

* 1. 双台并激随机振动的参考谱矩阵

参考谱矩阵是给定的用于做控制目标的矩阵，参考谱矩阵宜从试验条件直接获得。

参考谱矩阵见公式（A.6）。

 ……………………………………(A.6)

参考谱矩阵的对角元素称为自谱，为实数；非对角元素称为互谱，宜为复数。参考谱矩阵是共轭对称矩阵，即。可以证明，只有当(A.6)都是正定的才具有物理可实现性。

互谱表示见公式（A.7）。

…………………………(A.7)

其中为的辐角，称为相位差。

见公式（A.8）

 ………………………………(A.8)

式（A.6）～（A.8）中：

——参考谱矩阵；

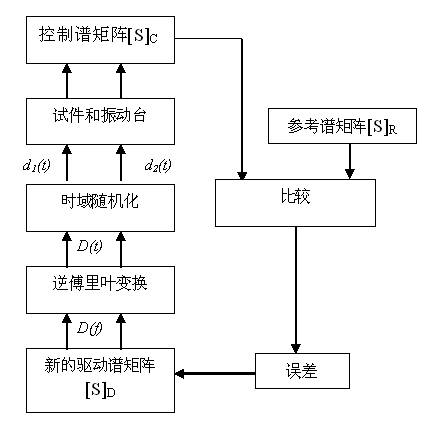
——相干系数；

——互谱。

可以用自谱、相位差和相干系数来描述功率谱密度矩阵。

* 1. 均衡过程

双台并激振动试验系统加载时，振动控制系统首先通过加载白噪声估计传递函数矩阵，然后利用传递函数矩阵、参考谱矩阵通过(A.1)式计算得到初始的驱动谱矩阵，再用初始驱动谱激励，进行小量级试验，开始均衡过程，均衡示意图见图A.2，然后逐步提高量级，直至达到规定的试验条件。在试验过程中宜也需要不断的均衡。



图A.2振动试验均衡方框图



（资料性）  
吊挂装置和保护装置设计方法

* 1. 吊挂和保护装置的作用

吊挂装置作用：吊挂装置使试验件处于弹性支撑状态，承受“试验件－夹具”结构的静态负载，并模拟试验件自由边界条件。

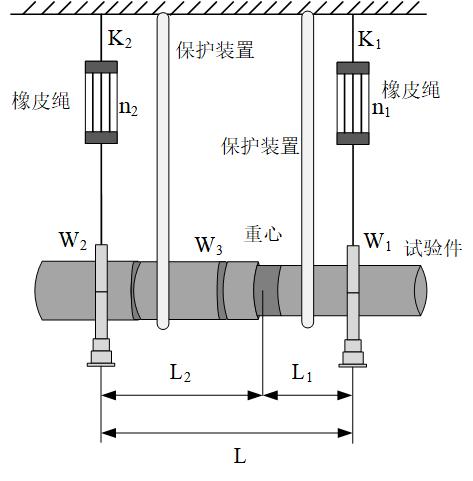
保护装置作用：试验件上架时吊装承重，在试验过程中，不与试验件接触，起到安全保护作用。

* 1. 吊挂装置和保护装置的连接

吊挂装置宜采用橡皮绳组的形式，在振动试验中保持连接，根据导钻具体特点确定吊点位置，宜在前、后夹具的上方。

保护装置的安装位置可为夹具，钢丝绳不宜直接连接钻体或夹具尖锐棱角处。根据导钻和夹具的形式确定保护的形式，宜采用钢丝绳或者专用承重包带。根据试验件重量核算吊挂抗拉承受能力，安全系数大于3。

吊挂及保护装置示意图见图B.1。



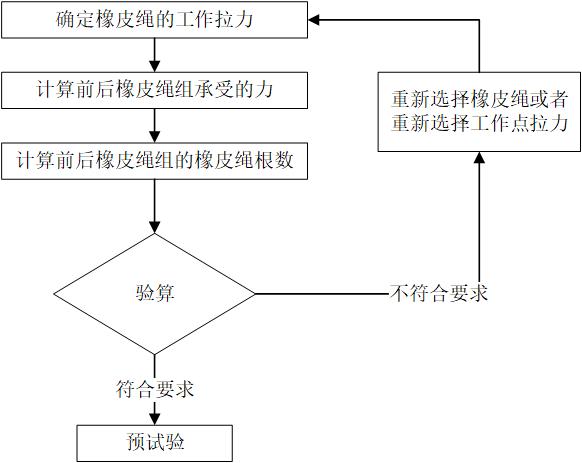
图B.1吊挂装置和保护装置示意图

* 1. 吊挂系统的设计方法
     1. 概述

宜用前后两组橡皮绳组做吊挂系统，吊挂系统与夹具-试验件组成的悬吊系统的频率要低于试验件一阶频率的1/5，绳组和连接件的强度安全系数大于3。

首先可以根据导钻和夹具的总重量以及(B.8)式得到橡皮绳组的总弹性系数(n1,n2为前后橡皮绳根数，K为单根橡皮绳弹性系数)，为选择合适的橡皮绳做参考。

吊挂系统设计步骤如图B.2所示。



图B.2吊挂系统设计步骤

橡皮绳的工作拉力、前后橡皮组承受的力、前后橡皮绳组橡皮绳的根数和悬吊系统频率按下面B.3.3～B.3.5中的方法进行。橡皮绳并联组成橡皮绳组，橡皮绳组长度为400mm～450mm（拉伸前）。

* + 1. 橡皮绳的工作拉力

根据出厂时的（拉力-伸长率）曲线，确定在伸长率为30%～40%范围内橡皮绳的拉力值为工作拉力Q，对于出厂一年以上的橡皮绳，试验前应进行拉伸试验，根据新的曲线确定橡皮绳的工作拉力Q。

* + 1. 前后橡皮绳组所承受的力

前橡皮绳组做承受的力见公式（B.1）。

 ………………………………(B.1)

后橡皮绳组做承受的力见公式（B.2）。

 ………………………………(B.2)

式（B.1）、(B.2)中：

Ｗ——试验件、前后夹具和两个振动台动圈的总重力，单位为牛顿（N）；

、、——如图中标注的尺寸，单位为米（m）。

* + 1. 前后橡皮绳组橡皮绳的根数

前橡皮绳组的橡皮绳根数见公式（B.3）。

 ………………………………(B.3)

前橡皮绳组的橡皮绳根数见公式（B.3）。

 ………………………………(B.4)

式（B.3）、(B.4)中：

*W1*——前橡皮绳组做承受的力，单位为牛顿（N）；

*W2*——后橡皮绳组做承受的力，单位为牛顿（N）；

*Q*——单根橡皮绳工作点拉力值，单位为牛顿（N）。

* + 1. 前后橡皮组的弹性系数

一根橡皮绳的弹性系数见公式(B.5)。

…………………………………………(B.5)

式(B.5)中：

——单根橡皮绳初始长度，单位为米（m）；

*Q*——工作点拉力，单位为牛顿（N）；

——单根橡皮在工作点拉力下的伸长率。

则前橡皮绳组的弹性系数见公式(B.6)。

……………………………………………(B.6)

后橡皮绳组的弹性系数见公式(B.7)。

 …………………………………………(B.7)

吊挂系统与导钻-夹具组成的系统的固有频率见公式(B.8)。

 ………………………………(B.8)

式(B.6)～(B.8)中：

——前橡皮绳组的弹性系数；

——后橡皮绳组的弹性系数；

——吊挂系统与导钻-夹具组成的系统的固有频率；

g——重力加速度；

Ｗ——试验件、前后夹具和两个振动台动圈的总重力，单位为牛顿（N）。

附录C  
（资料性）  
常用计算公式

1. 振动台推力估算公式

所需振动台推力

（千克力）

其中



：试验件质量，单位kg

：夹具质量，单位kg

：振动台动圈重量，单位kg

：其他辅助工装质量，如转接板、静压轴承等，单位kg

1. 最大加速度、最大速度、最大位移和频率的关系

正弦振动时，频率f、位移D、速度V和加速度关系

V=（2πf/1000）×D

A=（2πf）×V=【（2πf）2/1000】×D

1. 总均方根值（RMS）计算公式

RMS值计算方法为PSD谱面积的平方根。

1. 扫频时间计算

为扫频下限频率，为扫频上限频率，n为倍频程数

扫描速率为m个倍频程每分钟（min），则从到的扫频时间为：

t=n/m=log2（/）/m (min)；

1. 随机振动最大位移估算

Xpp 最大峰峰值位移；

为处的PSD值，为低频限。