中国地球物理学会团体标准

《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

编制说明

中国科学院地质与地球物理研究所

2025年5月

目 录

[1. 工作简况 1](#_Toc195030351)

[1.1 任务来源 1](#_Toc195030352)

[1.2 主要工作过程 1](#_Toc195030353)

[2. 标准编制原则和主要内容 2](#_Toc195030354)

[2.1 标准编制原则 2](#_Toc195030355)

[2.2 标准主要内容 3](#_Toc195030356)

[3. 主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果 3](#_Toc195030357)

[3.1 主要试验（或验证）分析 3](#_Toc195030358)

[3.2 综述报告 4](#_Toc195030359)

[3.3 技术经济论证 5](#_Toc195030360)

[3.4 预期经济效果 6](#_Toc195030361)

[4. 与国际、国外同类标准水平的对比情况 6](#_Toc195030362)

[4.1 国际标准情况 6](#_Toc195030363)

[4.2 国外标准情况 7](#_Toc195030364)

[4.3 我国标准情况 8](#_Toc195030365)

[5. 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系 10](#_Toc195030366)

[6. 重大分歧意见的处理经过和依据 10](#_Toc195030367)

[7. 标准性质的建议说明 10](#_Toc195030368)

[8. 贯彻国家标准的要求和措施建议 10](#_Toc195030369)

[9. 废止现行有关标准的建议 10](#_Toc195030370)

[10. 其他应予说明的事项 10](#_Toc195030371)

# 1. 工作简况

## 1.1 任务来源

本项目是中国地球物理学会正式下达的标准化年度计划项目，项目计划编号球会字（2025）第14号，由中国科学院地质与地球物理研究所负责制定团体标准《油气勘探装备智能导钻仪器振动试验方法规范》（以下简称“文件”）,计划完成时间为2025年11月，由中国地球物理学会归口管理。

## 1.2 主要工作过程

### 1.2.1 计划下达前主要工作过程

计划下达前，主要分五个阶段的工作过程。

（1）2022年7月1日，该文件由中国科学院地质与地球物理研究所发布企业标准，并于2022年12月1日实施。

（2）2022年12月至2024年12月，该文件用在地球物理、石油勘探、石油测井等行业应用。

（3）2025年1月，由中国科学院地质与地球物理研究所牵头，会同中国科学院微电子所、中国石油集团测井有限公司、中石化石油工程技术研究院有限公司、中海油田服务股份有限公司、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等参编单位，通过广泛的国内外调研，以中国科学院地质与地球物理研究所《油气勘探装备智能导钻仪器振动试验方法》企业标准为基础，完成了文件草稿的起草工作。

（4）2025年2月5日，经主编单位、参编单位及相关领域专家共同讨论修订后，形成了《智能石油勘探装备井下仪器振动试验方法》团体标准初稿（第一版）。2025年2月6日至3月16日，文件初稿发放给除牵头单位和参编单位外的专家进行意见征集，并根据各专家意见进行了修改完善，形成文件初稿（第二版）。

（5）2025年3月16日，向中国地球物理学会团体标准工作委员会（下文简称“标委会”）提交《智能石油勘探装备井下仪器振动试验方法》立项申请书。

（6）2025年3月26日，标委会在北京组织立项评审，经专家质询，同意立项，并下发（球会字（2025）第14号）关于开展《智能石油勘探装备井下仪器振动试验方法规范》团体标准制定的通知。

### 1.2.2 计划下达后主要工作过程

计划下达后，主要分四个阶段的工作过程。

（1）由中国科学院地质与地球物理研究所担任主要编制工作，成立标准编制委员会（以下简称“编委会”），确定工作方案，编制工作计划。

（2）编委会进一步对国内外技术的现状与发展情况进行了全面调研，同时广泛搜集和检索了国内外技术资料，并参考石油行业、石油与天然气工程、地球物理等相关领域行业的相关振动试验标准，经过大量的研究分析、资料查证工作后，结合实际应用经验以及智能导钻专项的研究成果，进行了全面地总结和归纳，于2025年4月4形成《智能石油勘探装备井下仪器振动试验方法规范》（初稿第三版），并提交给标委会审核，待组织专家进行初稿审议。

（3）2025年4月9日，标委会组织专家对《智能石油勘探装备井下仪器振动试验方法规范》（初稿第四版）进行评审，经专家质询，同意通过初稿评审，并建议将《智能石油勘探装备井下仪器振动试验方法规范》更改为《油气勘探装备智能导钻仪器振动试验方法》。

（4）2025年4月9日至4月22日，编委会根据初稿评审专家意见修改完善。4月23日，编委会将修改完善后的《油气勘探装备智能导钻仪器振动试验方法》（初稿第五版）发给3位跟踪专家审核。5月8日，编委会根据3位跟踪专家反馈的意见再次修改完善形成第六版作为征求意见稿提交至标委会，开展征求意见。

# 2. 标准编制原则和主要内容

## 2.1 标准编制原则

（1） 贯彻我国相关法律法规和强制性国家标准，与我国现行标准协调一致。

（2）满足石油行业、地球物理技术发展需求，提升标准技术水平，适应不同产业的发展。

（3）满足市场需要，保证试验质量，规范市场秩序。

（4）积极向国际标准靠拢，力求做到标准内容的先进性。

（5）根据国内不同领域、行业企业具体情况，力求做到标准的合理性、经济性与实用性。

（6）格式符合GB/T1.1 2020《标准化工作导则 第1部分：标准文件的结构和起草规则》。

（7）标准的编制注重科学性、准确性，同时要在不违背原则的前提下，保留行业内已流行的某些提法。

（8）标准编制遵循统一、规范、实用性强和可操作性强的原则。

## 2.2 标准主要内容

本文件按照专业术语—理论简介—设备介绍—试验操作—试验结果要求的布局进行编制，附录对振动台试验方法特有的理论问题进行了归纳，另外对试验设计中的吊挂和保护装置的工程方法做了总结，方便标准试验，目前结构安排具体如下。

第1-4章是前言、范围、规范性引用文件、术语和定义、符号的介绍；

第5章为试验要求，包括试验环境、试验条件、控制方式和控制点的选取、试验允差；

第6章为试验设备要求，包括一般要求、电动振动台、机械解耦装置、振动控制系统、振动测量和分析系统、振动试验夹具、吊挂装置和保护装置；

第7章为试验程序，包括试验流程、试验准备、试验实施；

第8章为试验中断及其处理，包括试验设备故障引起的中断、产品失效引起的中断、试验超差引起的中断；

第9章为试验结果，包括试验数据处理、试验判据；

第10章为试验报告。

最后一部分为资料性附录，包括双台并激随机振动试验原理、吊挂装置和保护装置设计方法、常用计算公式。

# 3. 主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

## 3.1 主要试验（或验证）分析

### 3.1.1 试验类型与标准

智能石油勘探装备井下仪器振动试验需包含正弦振动（模拟周期性机械运动）和随机振动（模拟复杂井下环境），参考国际标准如IEC 60068-2-64和国内标准GB/T 2423系列。

正弦振动：验证仪器在特定频率下的共振点及耐疲劳性能。

随机振动：评估仪器在宽频带随机载荷下的可靠性，需覆盖井下常见振动频谱（如2Hz-2000Hz）。

项目实施过程中，针对井下仪器整机轴向振动试验和径向双台并激振动试验控制方式进行了验证，对各类控制方式的响应均匀度和控制精度进行了分析验证。给出了各类型试验中控制方式和控制点的选取方法及原则，对试验程序的合理性和可行性进行了验证。

### 3.1.2 关键参数验证

中国科学院地质与地球物理研究所双台并激振动试验系统投入使用以来承担了大量的智能导钻等石油勘探装备井下仪器的振动试验，大量的工程试验数据和经验为本文件的编制提供了很好的基础，标准的技术参数与指标确定有较充分的基于工程实际的依据，对于如下关键参数进行了充分的验证。

振动幅值：根据井下实际工况设定加速度范围（如10g-20g）。

振动频率范围：2Hz-2000Hz。

允差：对随机振动和正弦振动允差验证，针对双台方阵控制，分析验证了其各个不同频段内、不同控制方式和试验项目中的允差要求。

持续时间：模拟不同作业阶段（钻井、完井）的累积振动影响，通常需连续测试数小时至数十小时。

环境适应性：通过在轴向和径向施加高量级振动以模拟井下强振动工作条件。

### 3.1.3 设备与监测要求

采用高精度加速度传感器和动态信号分析仪，实时监测振动响应曲线、频率特性及波形畸变。

需验证双台同步控制技术，确保振动台协同工作精度（如相位差≤5%）。

## 3.2 综述报告

本文件主要根据石油勘探装备井下仪器长径比的特点，同时参考国标、国军标、石油行业标准和航天行业标准中近似标准，结合中国科学院地质与地球物理研究所的试验经验，综合考虑石油领域企事业单位的实际情况和反馈意见，确定技术参数和指标。在本文件的技术参数与指标参数确定时，考虑标准的通用性和可供剪裁性，关于振动试验控制参数类型、控制方法以及控制容差等技术问题，通过调研和各阶段评审会，在广泛征求各单位和专家的意见基础上确定技术指标。

试验数据汇总：整理振动试验中的关键参数（如频率响应、位移幅值、加速度等）。

失效模式分析：总结智能石油勘探装备井下仪器在振动试验中出现的故障类型及原因。

改进建议：提出试验设计优化方案（如工装夹具结构、材料升级等）。

## 3.3 技术经济论证

### 3.3.1 技术可行性

多轴振动试验已在汽车、航天领域应用逐步推广应用，国外NASA和JAXA的六自由度振动台系统已验证航天器级多轴环境模拟能力。国内航天702所、航天二院等针对火箭导弹等飞行器开展了双台并激振动试验，航天511所通过多个振动台联合共同推动大台面的方式开展大质量卫星振动试验。多台多轴控制方面，国外DP公司、SD公司和M+P公司等均研制了相应的多台多轴控制仪，国内部分航天单位有引进和应用案例。国产化振动试验设备也取得突破，如苏州苏试试验集团股份有限公司能够生产最大推力60吨电动振动台，并为国内石油装备、航空航天装备振动试验提供双台并激振动试验系统10余套，为本文件的实施提供了硬件基础。借鉴此类技术，针对石油勘探装备需求，通过整合现有成熟技术并与针对油行业仪器设备特点进行优化，中国科学院地质与地球物理研究所结合智能导钻装备研制，开展了大量的系统级（单双台振动）和设备级振动试验。在数据驱动优化方面通过振动响应分析优化仪器结构设计，降低智能导钻装备井下工作的故障率（如减少电气失效率30%）。本文件的制定满足国际标准（如ISO 10816、API 6A）或行业规范。综上所述，石油勘探井下仪器振动试验方法具备技术落地条件。

### 3.3.2 经济效益分析

编制多台多轴振动试验方法将显著提升石油行业设备可靠性，在如下几个方面体现经济效益。

研发成本：硬件条件初期需投入双台并激振动试验设备（约300-500万元/套）及控制系统开发费用，但长期可降低外购技术依赖。振动试验条件制定，需要进行井下环境实际数据采集（平均每口实井测试费用约20万元），并建立数据模型。

可靠性升级：通过实现传统单轴试验因无法模拟多向应力叠加，更真实的模拟井下勘探振动环境，在研制初期提前有效激发仪器故障，可提前识别潜在失效模式，为仪器设备设计提供支撑，实现可靠性的迭代升级，降低研发费用

安全效益：井下仪器在验收或下井前，提前发现潜在故障，减少因设备故障导致的停产损失和安全风险

维护成本：通过更为精确的振动环境模拟，优化结构设计，延长设备寿命，降低维护成本，减少现场维修费用和井下故障率

提供服务：为石油行业井下仪器提供高端环境适应性与可靠性测试服务，实现创效。

## 3.4 预期经济效果

### **3.4.1 提高勘探效率**

通过模拟井下仪器振动工作条件，在实验室环境条件下通过振动台进行复现，暴露井下仪器的故障，提升仪器在复杂地层的环境适应性，缩短钻井周期（如单井节省3-5天），降低因振动异常导致的井下事故率（预计减少20%-30%）。

### **3.4.2** 市场竞争力

国产化装备成本较进口降低，加速技术出口（如中亚、中东市场），推动行业标准制定（如修订GB/T 2423），增强技术话语权。

### 3.4.3 长期收益

延长仪器使用寿命（如提高至1000小时以上），降低设备更换频率，助力油气田高效开发。

# 4. 与国际、国外同类标准水平的对比情况

## 4.1 国际标准情况

目前，国际上虽无专门针对智能石油勘探装备井下仪器振动试验的统一标准，但存在一些相关的通用振动试验标准以及部分石油行业相关标准可供参考。例如，国际标准化组织（ISO）制定的 ISO 16750 系列标准，主要针对道路车辆电子电气设备在振动、冲击等环境条件下的可靠性测试。虽然该标准并非专门针对石油勘探装备井下仪器，但其中关于振动试验的基本原理、试验方法以及对设备性能要求等方面的内容，具有一定的借鉴意义。在频率响应测试方面，ISO 16750 标准规定了详细的扫频范围、扫频速率以及测量响应参数的方法，其频率范围通常涵盖了较宽的区间，如5Hz-2000Hz，能够较为全面地检测设备在不同频率下的振动响应特性。

## 4.2 国外标准情况

### 4.2.1 **美国相关标准**

API 在石油行业标准制定方面具有广泛影响力，然而针对智能石油勘探装备井下仪器双台振动试验，API 目前也没有专门的细化标准。但在其相关的设备可靠性与安全标准中，对设备在振动环境下的一般要求有所提及。例如，API RP 1110 标准主要关注泵的振动监测与控制，其中涉及到振动测量方法、振动限值等内容，对于井下仪器振动试验中的振动幅值控制以及测量精度要求等方面有一定的参考价值。但该标准更多是从宏观的石油设备运行安全角度出发，对于井下仪器这种特殊、精密设备在双台振动试验中的具体参数设置、试验流程等方面的规定不够详细。

多台多轴振动试验方面，国外主要有美军标MIL-810-G Method 527和美国环境和科学技术研究院（Institute of Environmental Sciences and Technology）企业标准IEST-RP-DTE022.1 Multi-Shaker Test and Control。美军标MIL-810-G Method 527规定了一些多台多轴的概念和一些试验方法的指导性原则，适用于初期接触多台多轴的军工试验人员，了解多台多轴振动试验的基本概念、应用方法等；IEST-RP-DTE022.1 Multi-Shaker Test and Control则从工程实际通常出发，从多台多轴系统的组成的角度，比较全面的介绍了现阶段多台多轴的各种设备，适用于多台多轴试验设计的设备选型参考。

### 4.2.2 欧洲相关标准

欧洲一些国家在机械振动与冲击试验方面有较为成熟的标准体系。以德国为例，其工业标准（DIN）在机械工程领域被广泛应用。在振动试验设备方面，DIN标准对振动台的性能指标，如频率精度、振幅均匀度等提出了严格要求。对于智能石油勘探装备井下仪器双台振动试验系统中的振动台选型和性能评估具有参考意义。但在针对井下仪器这种特定应用场景的双台振动试验方法制定上，欧洲标准同样缺乏专门性和针对性，更多是基于通用机械振动试验要求，无法完全满足井下仪器复杂的工作环境和高精度性能要求。

### 4.2.3 国外标准小结

智能石油勘探装备井下仪器的性能与可靠性对石油勘探作业的效率和安全性至关重要。国外标准重点是基础性的、理论性的多台多轴振动试验方法的介绍，只规定了一些多台多轴的概念和一些试验方法的指导性原则，没有具体的试验方法，可操作性不强。双台振动试验方法作为评估仪器在复杂振动环境下表现的关键手段，在国内外都备受关注。通过对比我国智能石油勘探装备井下仪器双台振动试验方法与国际、国外同类标准水平，能够明确我国标准的优势，为进一步优化标准、提升仪器质量提供参考。

## 4.3 我国标准情况

我国在智能石油勘探装备井下仪器双台并激振动试验方法方面，正逐步完善相关标准体系。目前，有一些行业标准和正在制定的标准开始关注这一领域。例如，在某些石油物探仪器相关标准修订过程中，开始增加对双台振动试验的要求。我国的石油勘探开发仪器振动试验标准如SY/T 5134-1993等，对振动试验的条件、方法、步骤等进行了详细规定。这些标准主要基于国内的工程实践和仪器特点制定，仅能够满足国内石油勘探装备井下仪器单台振动试验的基本试验需求。还没有双台振动试验方法。国内GB/T2423.62标准对象覆盖范围较广，给出了一部分指导性原则，较为笼统，在双台同方向激励方面针对性不强，可操作性性较弱；GJB 8547主要针对军工行业导弹等细长体试验件，其试验设备、参试设备、试验流程等方面主要针对军工行业试验件制定。

国内GB/T2423.62更适合作为通用的工程试验的参考和原则性指导；GJB 8547主要针对军工行业的特定试验件，与其他行业相差较大。《油气勘探装备智能导钻仪器振动试验方法》则着眼于石油行业特定的振动台振动试验系统和具体的试验方法，在试验条件制定、试验设备、试验流程等各方面做出了全面、详实的规定，可操作性强、针对性更强。

## 4.4 参考标准

本文件在编制过程中参考、引用、参阅了下述的技术标准。

GB/T 2298 机械振动、冲击与状态监测术语

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

GB/T 24262 石油物探仪器环境试验及可靠性要求

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

## 4.5 采标情况

国内现有的GB/T2423.62 和GJB 8547标准规定了多个激振器在多输入多输出方面的试验要求，但其主要针对军工行业的导弹、卫星等类型产品，部分内容较为笼统，试验条件、方法等与石油导钻有较大差异，对石油领域产品试验指导可操作性性较弱，本文件填补了石油导钻类产品在石油领域此类标准的空白。

试验环境要求和参试仪器设备部分参考了GB/T2423系列标准中对试验环境的要求；在试验条件制定方面，参考了石油行业现有的SY/T 5102-2016和GB/T 24262-2009中关于正弦振动试验条件和随机振动试验条件的推荐量值；在试验设备要求和试验允差方面部分参考了《GJB 8547-2015 军用装备多激振器振动试验方法》和《GB/T 2423.62-2018 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》。在参考各类国内相关标准基础上，分析了其相关要求在石油勘探领域的适用性， 结合石油装备的自身特点和实际研制试验经验制定了本文件

# 5. 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本文件力求与其他现行国家标准的有关要求相协调，兼顾标准的可操作性和对产品要求的全面性。经分析，本文件与现行相关法律、法规、规章无不协调之处，且贯彻了我国的有关法律、法规和强制性国家标准，符合国标委《国家标准管理办法》等规章的规定。

本文件具有国际间领域通用性，兼容现有的双台振动技术相关试验方法和标准；本文件不同于目前正在编订的行业或企业标准。

# 6. 重大分歧意见的处理经过和依据

本文件编制过程中无重大分歧意见。

# 7. 标准性质的建议说明

建议本文件作为推荐性国际标准发布。

# 8. 贯彻国家标准的要求和措施建议

建议本文件发布之日起6个月后实施。

# 9. 废止现行有关标准的建议

本文件为新制定标准，无废止相关标准的建议。

# 10. 其他应予说明的事项

无。