中国地球物理学会团体标准

《油气勘探装备智能导钻仪器三轴振动试验方法》

Tri-axis simultaneous vibration test vibration test method for

intelligent petroleum 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](#_Toc195031624)

[1.1 任务来源 1](#_Toc195031625)

[1.2主要工作过程 1](#_Toc195031626)

[2. 标准编制原则和主要内容 2](#_Toc195031627)

[2.1 标准编制原则 2](#_Toc195031628)

[2.2 标准主要内容 3](#_Toc195031629)

[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](#_Toc195031630)

[3.1 主要试验（或验证）分析 3](#_Toc195031631)

[3.2 综述报告 4](#_Toc195031632)

[3.3 技术经济论证 5](#_Toc195031633)

[3.4 预期经济效果 6](#_Toc195031634)

[4. 与国际、国外同类标准水平的对比情况 6](#_Toc195031635)

[4.1 国内外标准情况 6](#_Toc195031636)

[4.2 参考标准 7](#_Toc195031637)

[4.3 采标情况 8](#_Toc195031638)

[5. 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系 8](#_Toc195031639)

[6. 重大分歧意见的处理经过和依据 9](#_Toc195031640)

[7. 标准性质的建议说明 9](#_Toc195031641)

[8. 贯彻国家标准的要求和措施建议 9](#_Toc195031642)

[9. 废止现行有关标准的建议 9](#_Toc195031643)

[10. 其他应予说明的事项 9](#_Toc195031644)

# 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15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《智能石油勘探装备三轴振动试验规范》（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，该文件应用在石油行业及地球物理行业。

（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参编单位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，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《智能石油勘探装备三轴振动试验规范》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，经过主编单位和参编单位多位专家的共同讨论和修改，形成了《智能石油勘探装备三轴振动试验规范》团体标准初稿（第一版）。2025年2月6日-3月16日，将初稿（第一版）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《智能石油勘探装备三轴振动试验规范》立项申请书。

（6）2025年3月25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15号）关于开展《智能石油勘探装备三轴振动试验规范》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，主要分两个阶段的工作过程。

（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，提出编制工作计划。

（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三轴振动试验相关标准，经过大量的研究分析、资料查证工作，结合实际应用经验以及智能导钻专项的研究成果，全面地总结和归纳，于2025年4月4日形成《智能石油勘探装备三轴振动试验规范》（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《智能石油勘探装备三轴振动试验规范》（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《智能石油勘探装备三轴振动试验规范》更改为《油气勘探装备智能导钻仪器三轴振动试验方法》。

（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，将修改完善后的《油气勘探装备智能导钻仪器三轴振动试验方法》（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）贯彻我国相关的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，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、测量点及控制点、试验允差；

第6章为试验设备（引用苏试国标），包括一般要求、三轴振动台、振动控制系统、振动测量和分析系统、振动试验夹具；

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，包括多台多轴振动试验控制原理。

# 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 三轴振动试验

模拟石油勘探装备在X、Y、Z三个轴向的振动环境，验证其抗振性能。项目实施过程中，针对设备三向正弦振动和三向随机振动试验对三轴激振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，开展的试验类型包括如下三方面。

正弦振动试验：验证装备在固定频率下的振动耐受能力。

随机振动试验：模拟实际工况下的随机振动环境。

耐久性试验：通过长时间振动测试装备的疲劳寿命。

3.1.2 **可靠性试验**

温度-振动复合试验：评估装备在高温/低温气候环境下的抗振性能。

温度-湿度-振动复合试验：评估装备在高温、高湿环境下的抗振性能。

3.1.3 **功能验证试验**

动态性能测试：验证装备在振动条件下的信号采集、数据传输等功能是否正常，尤其适用于动态姿态解算算法的验证与仿真。

结构强度分析：通过有限元分析（FEA）评估振动对装备关键部件的影响。

## 3.2 综述报告

本文件主要根据石油勘探装备井下仪器系统的特点，同时参考一些国标、国军标、石油行业标准和航天行业标准中相近标准，结合本单位的试验经验，考虑石油领域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。

中国科学院地质与地球物理研究所振动试验系统投入使用以来已经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试验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，能够实现如下三方面的效果。

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：总结石油勘探装备在振动试验中出现的故障类型及原因。

改进建议：提出设计优化方案（如减振结构、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。国内航空航天301所等单位针对惯导等关键精密仪器开展了多台多轴并激振动试验，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。以苏试为代表的国内振动台厂家已经研发并为国内石油和航空航天领域提供多套三轴振动试验设备，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。国产化设备也取得了技术突破，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多套三轴振动试验系统。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研制，开展了大量的三轴振动试验。通过振动响应分析优化仪器结构设计，降低故障率（如减少电气失效率30%）。本文件的编制满足国际标准（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**

编制本文件将显著提升石油行业设备可靠性，从如下几个方面提高经济效益。

研发成本：硬件条件初期需投入三轴振动试验设备（约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。

可靠性提高：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。

提高安全性：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：为石油行业提供高端检测服务，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 国内外标准情况

截至目前未检索到关于智能石油勘探装备三轴振动试验的国内外标准。以下从国内外相关的通用振动试验标准及石油行业相关标准来进行对比分析。

GB/T 44401-2024《三轴同振电动振动试验系统》：这是一项中国国家标准，规定了三轴同振电动振动试验系统的基本参数、技术要求、检验规则等。适用于该系统的制造，其对振动频率范围、最大推力、最大位移、最大加速度等参数以及正弦振动、随机振动的精度指标等提出了要求。可用于智能石油勘探装备三轴振动试验系统的选型和性能参考。但它并非专门针对智能石油勘探装备，在具体应用时，还需要结合石油勘探装备的特点和实际工况进行调整和补充。

GB/T 24262-2009《石油物探仪器环境试验及可靠性要求》：该标准规定了石油物探仪器环境试验及可靠性的要求和试验方法，涉及温度试验、湿度试验、振动试验、冲击试验等。其中的振动试验部分对石油物探仪器在振动环境下的性能和可靠性测试提供了指导，但没有详细规定三轴振动试验的具体参数和方法。它是从石油物探仪器的整体环境适应性和可靠性角度出发，对振动试验的要求相对较为宽泛，需要进一步细化和明确三轴振动试验的方法。

ISO 10816 系列标准：适用于旋转机械的振动评估，按机械类型（如小型、中型、大型、特殊机械）规定了振动速度限值。智能石油勘探装备中的一些旋转部件可以参考该标准进行振动评估，但对于装备整体的三轴振动特性描述不够全面，不能完全适用于智能石油勘探装备在复杂地质条件下的三轴振动模拟和测试。

API 670 标准：适用于石油和天然气行业的机械，规定了振动速度的正常、警告和危险限值。主要侧重于石油和天然气行业中通用机械的振动监测和评估，对于智能石油勘探装备的针对性不强，特别是在三轴振动的复合工况模拟和试验方法方面存在不足。

GB/T2423.62标准：该标准为国标，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，可操作性较弱。

GJB 8547标准：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，其与石油、化工等行业差别较大，不适用于石油勘探装备。

MIL-810-G Method 527：该标准为美军标，主要试验对象为航空航天类产品，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。

综上所述，目前国内虽有三轴同振电动振动试验系统的装备标准，但缺失针对智能石油勘探装备的三轴振动试验的测试标准；国际和国外相关标准也不能完全满足智能石油勘探装备的特殊要求。在实际应用中，需要结合智能石油勘探装备的特点、工作环境和勘探工艺等因素，参考现有标准，制定出更加完善和适用的三轴振动试验方法。

## 4.2 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 44401 三轴同振电动振动试验系统

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

## 4.3 采标情况

试验环境要求和参试仪器设备部分参考了GB/T2423和SY/T 5102-2016 系列标准中对试验环境的要求；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。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。

# 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，兼容现有的三轴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。