

装备自然环境试验工作管理方法探讨

赵鹏飞¹, 苏晓庆², 张生鹏¹

(1. 航天科工防御技术研究试验中心, 北京 100854;
2. 北京航天新风机械设备有限公司, 北京 100854)

摘要: **目的** 进一步规范和保障装备自然环境试验工作的顺利开展。**方法** 针对武器装备开展自然环境试验的工作流程, 从工作系统与职责、一般要求、试验策划、组织实施、试验总结等方面对试验管理方法进行探讨。**结果** 总结出适合于武器装备自然环境试验工作的通用管理方法。**结论** 通过典型航天装备的自然环境试验实践, 可以有效提高试验质量和效费比, 加快武器装备的研制进度。

关键词: 武器装备; 自然环境试验; 工作流程; 管理方法

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2020.07.021

中图分类号: E246 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2020)07-0116-06

Management Methods of Materiel Natural-environment Tests

ZHAO Peng-fei¹, SU Xiao-qing², ZHANG Sheng-peng¹

(1. CASIC Defense Technology R&T Center, Beijing 100854, China;
2. Beijing Aerospace Xinfeng Mechanical Equipment Co. Ltd, Beijing 100854, China)

ABSTRACT: The paper aims to normalize the materiel natural-environment test and guarantee its smooth implementation. In allusion to the workflow of materiel natural-environment test, management methods of the testing procedures were discussed in terms of work system and duty, general requirement, test planning, organization and implementation, test summary, etc. The general management methods suitable for weapon materiel natural-environment test were concluded. Materiel natural-environment test on typical aerospace could improve the test quality and cost-effectiveness, and accelerate the development schedule of weapon materiel.

KEY WORDS: weapon materiel; natural-environment test; workflow; management methods.

自然环境试验是在典型或极端自然环境条件下对非工作存放状态下产品及材料、工艺、构件进行的环境适应性试验与研究, 以评价其贮存性能^[1-2]。自然环境试验特点是: 环境条件的真实性、环境因子影响的综合性、试验数据的溯源性、试验结果的可靠性。在装备研制过程中科学有效地开展自然环境试验, 可以全面提高武器装备全天候、多地域使用的环境适应

性, 降低装备由于不适应使用环境而进行维护和维修的频率, 提高装备综合保障效费比。装备开展自然环境试验的重要意义^[3-4]主要体现在以下几个方面。

1) 通过自然环境试验可以获得研究报告、外观图片等试验数据, 可广泛用于产品设计、材料(工艺)选择、失效机理分析及贮存可靠性评价等方面, 促进产品环境适应性的提高。

收稿日期: 2020-01-19; 修订日期: 2020-02-29

Received: 2020-01-19; Revised: 2020-02-29

作者简介: 赵鹏飞(1985—), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为装备环境与可靠性工程技术、环境-力学耦合失效。

Biography: ZHAO Peng-fei (1985—), Male, Ph. D., Senior engineer, Research focus: environment and reliability technology of materiel, environmental-mechanical coupling failure.

2) 自然环境试验可以为标准的制定和剪裁、设计手册的编制和环境严酷度的评价提供主要依据。

3) 自然环境试验可以为产品环境适应性快速评价、贮存寿命预测等工作提供数据及信息基础。在研究环境适应性快速评价方法或使用寿命预测方法时, 必须有实测的环境适应性数据或贮存寿命数据来验证方法的可靠性。在研发新的模拟加速试验方法时, 也必须用自然环境试验获得的数据对方法的适用范围和可信性进行校准和验证。

自然环境适应性是装备产品通用质量特性的重要内涵之一, 自然环境试验一般安排在装备工程研制过程的早期阶段开展。由于装备实际贮存自然环境条件具有多因素协同作用、瞬态变化及时间累积效应等特点, 虽然目前装备实验室环境模拟试验已经发展形成比较完整和成熟的试验能力体系, 但仍然无法对产品自然环境效应实现准确与真实的再现, 还不能完全取代自然环境试验^[5-6]。此外, 目前订购方对武器装备产品的环境适应性及贮存可靠性指标要求越来越高, 装备不仅要满足多地域气候环境、复杂战场环境下能够正常使用的需求, 还要满足长贮存寿命、高可靠、保障性好的战备贮存及定期值班要求。这就需要在装备研制早期深入开展自然环境试验, 以暴露产品在设计、选材及工艺等方面存在缺陷和薄弱环节, 验证其环境适应性; 不断积累基础材料及工艺、部组件、整机及系统级产品的环境适应性数据, 为产品环境适应性设计提供依据; 获取产品的自然环境退化效应及失效机理, 提高改进措施的针对性; 验证产品环境保护措施的有效性。

1 自然环境试验工作系统与职责

自然环境试验是装备可靠性工程保证工作的重要组成部分, 试验工作系统主要由装备的两总系统、总体设计单位、试验承担单位、产品承制单位、试验站、科研生产管理部门、质量可靠性管理部门等组成。试验工作系统内各成员单位应履行的一般职责如下所述。

1.1 两总系统

装备总(副)指挥职责主要包括: 对自然环境试验管理工作全面负责; 负责组织自然环境试验管理工作的实施; 提供自然环境试验管理工作实施需要的保障条件。

装备总(副)师职责包括: 对自然环境试验技术工作全面负责; 负责审查确定自然环境试验工作的总体策划; 负责协调解决自然环境试验中重要的技术问题。

1.2 总体设计单位

装备总体设计单位职责主要包括: 负责依据装备可靠性工程工作计划, 制定自然环境试验总体策划、

试验大纲等文件; 负责依据装备贮存及使用环境要求, 开展环境适应性分析, 确定产品暴露环境类型及条件; 对产品进行环境效应分析, 初步确定自然环境试验参试产品清单; 负责自然环境试验总结及试验资料归档等工作。

1.3 试验承担单位

试验承担单位职责主要包括: 负责装备自然环境试验具体实施的组织和管理, 包括试品投放、定期检测、撤场甄别、失效分析等工作环节; 负责装备自然环境试验数据的收集、分析及传递工作; 负责对试验各环节进行质量监督。

1.4 产品承制单位

产品承制单位职责主要包括: 负责依据试验大纲编制具体试品的试验实施细则、测试分析报告等文件; 负责提供样品、运输包装、测试仪表及其他试验保障设施; 负责对试品进行定期检测及测试结果分析。

1.5 自然环境试验站

自然环境试验站职责主要包括: 负责提供试品存放环境及专用摆放架, 开展试品定期外观检查、维护测试及密封包装检查和更换等工作; 负责对投放环境因素进行连续采集、记录和反馈。

1.6 有关管理部门

科研生产管理部门负责对装备自然环境试验管理工作计划进行协调、落实, 质量可靠性管理部门负责对装备自然环境试验管理工作完成情况进行质量控制。

2 自然环境试验工作管理流程和要求

装备自然环境试验工作的管理流程如图 1 所示, 一般包括如下通用要求: 应在武器系统预先研制阶段尽早统筹安排试品的选取、准备及试验工作; 试验策划应综合考虑装备研制周期、序时进度、试验经费、社会效益等多方面因素的影响; 应建立自然环境试验与装备可靠性工程其他工作环节的联系与互补, 如贮存寿命评估、装备综合保障、环境鉴定试验等; 建立质量信息系统, 对质量信息进行及时收集、分析、处理和传递; 自然环境试验管理工作应符合 GJB 4239—2001、GJB 8893—2017 等标准^[1-2]的有关要求。

2.1 试验任务提出

装备自然环境试验任务一般由两总系统联合科研生产管理部门提出, 明确自然环境试验的总体要求、试验目标、试验周期、试验成本等方面内容, 并以文件形式进行下发。

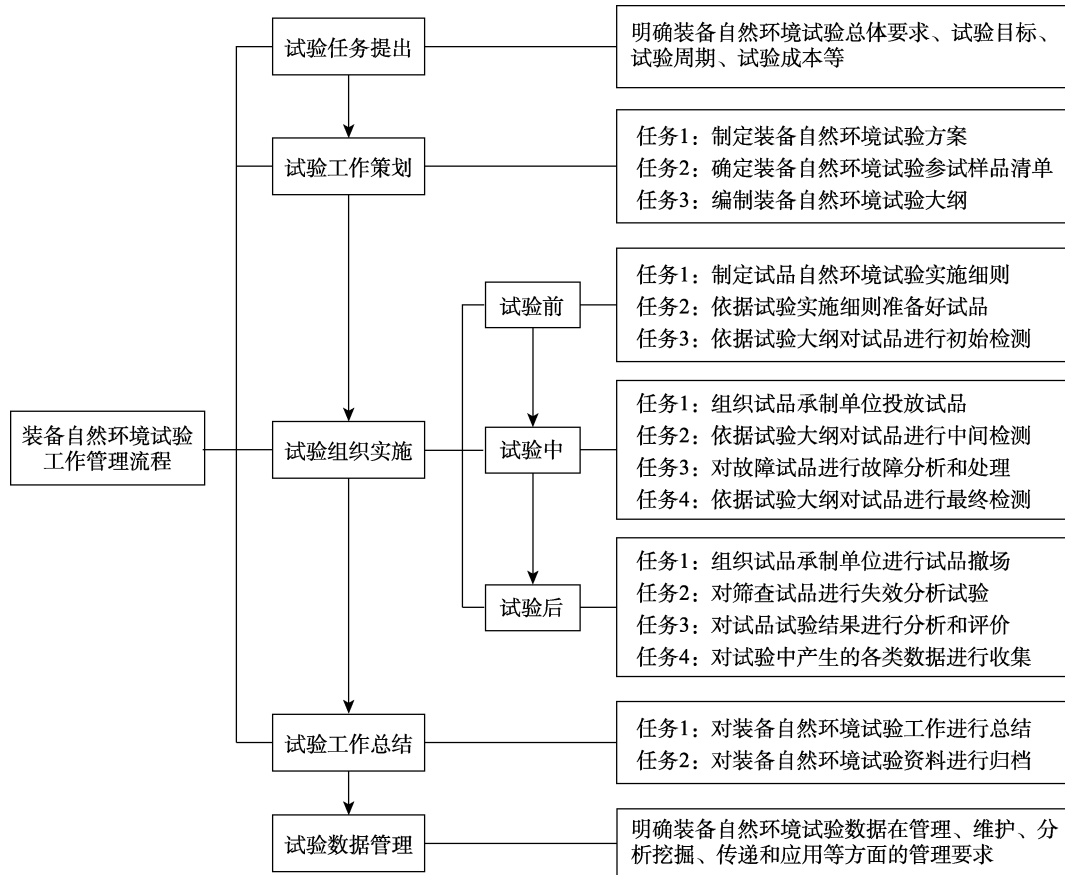


图1 装备自然环境试验工作管理流程
Fig.1 Management workflow of materiel natural-environment test

2.2 试验工作策划

1) 确定试验方案。由装备总体设计单位依据试验任务输入制定自然环境试验总体方案, 从试验目的与性质、试验方法、试验对象、试验周期、试验判据及评定等方面进行规定, 经过审查后报两总系统批准。

2) 参试样品确定。由装备总体设计单位按照试验方案要求组织试验承担单位及产品承制单位进行样品选取及分析论证, 并编制试品选取论证报告, 详细的试品选取依据、选取类别、选取数量等技术要求参照文献[7-8]有关内容。

3) 试验大纲编制。由装备总体设计单位依据试验任务及试验方案要求编制自然环境试验大纲, 作为试验实施和试验结果评价的依据, 主要包括以下内容: 试验目的; 试验方案(包括试品清单、投试地点、投试时间、试验周期、试品技术状态、存放及贮存维护要求等); 试验条件(包括环境条件、场地条件和其他要求等); 试验用配套设备(如工装、测试设备等); 试验程序; 数据录取和处理要求; 失效(故障)判据; 试验结束标志(试验判据); 试验评价方法; 试验保障要求(包括质量控制要求、安全措施规定, 参试单位及试验分工等)。

2.3 试验组织实施

2.3.1 试验前准备工作

1) 编制试验实施细则。由产品承制单位按照试验大纲要求编制试品试验实施细则, 作为试品进行后续试验的具体依据, 包括的内容可参考文献[7-8]有关规定。

2) 试品准备。由试品承制单位按照试验大纲及实施细则的规定设计和制作试验样品, 一般要求为: 应依据产品技术规范或标准要求检验试品的合格性, 并采取必要的预处理措施, 保证试品技术状态符合要求。应统一对试品进行标识处理, 可采用悬挂耐腐蚀铭牌或电子二维码等形式, 主要包括试品类别、投放时间、存放状态、研制单位等信息。标识一般固定于不影响试品环境效应的部位, 并保持在整个试验期间清晰可认。试品正反两面状态相同时, 应标明主要试验面。应按文献[7]有关规定, 明确试品从厂所到试验现场的包装和运输要求。

3) 试品初始检测。试品承制单位应在试验承担单位的监督下, 按照试验实施细则的规定, 对试品外观及功能性能指标进行初始检测, 并将检测结果作为后续试验检测和对比的基线数据。试品通过初始检测后方可安排投放试验。

2.3.2 试验期间工作

由试验承担单位负责组织试品承制单位和试验站开展试验期间有关工作，包括进行试品投放、中间检测、故障处理、试品撤场、失效分析及最终检测等方面内容。

1) 试品投放。试品进行投放时一般应遵循以下要求：试验承担单位应会同产品承制单位对到达试验现场的试品进行状态符合性确认和数量清点，并共同与自然环境试验站完成试品试验前交接手续；自然环境试验站应按试验大纲要求对试品进行预处理或密封包装，并小心固定安装和轻拿轻放，确保试品暴露面不引入人为损伤；试品存放时应尽量模拟试品在装备中的安装和使用状态，包括裸露、气密、加载、自由状态等类别；应采用专门支撑架或暴露框对试品进行悬挂或固定摆放等形式的存放，试品应采用支撑物或暴露架对试品进行摆放或悬挂存放，专用设备应以实际贮存状态或专门包装形式放置。

2) 试验中间检测。试验过程中需要对试品进行定期检测和环境因素连续监测，一般按照以下要求实施：按 Q/WE 1221—2016 有关规定明确试品检测对测试设备及仪器、测试人员、测试方法及参数记录等方面的要求；应按试品试验实施细则规定的检测项目和检测周期对试品进行定期检测，并将检测结果与基线数据进行对比，以达到监测试品外观及性能变化趋势的目的；应在试验早期加强观测和检查，发现测试结果异常应尽快复验，并采取纠正和补救措施；试品存放期间的环境因素由试验站负责连续监测和数据记录，并定期以月报表形式反馈给试验承担单位，监测环境因素类型及周期设置参照文献[7-8]有关规定。

3) 故障处理。试品在试验现场发生故障后，一般按照以下要求进行处理：在取回实验室分析前，应由试验承担单位负责按照文献[7]有关规定进行预处理，填写“自然环境试验故障报告表”（见表 1），并及时报告装备两总系统和总体设计单位；试品承制单位应及时分析故障模式及原因，配合试验承担单位开展失效分析和识别失效机理，根据故障判定依据和试验目标判断试验结束与否，并采取合理的处置办法，具体参照文献[7-8]有关规定；由试品关联故障导致试验提前结束的，应在定位故障原因及采取纠正措施后，重新投放改进后试品或补充投放新试品，填写“自然环境试验故障分析及纠正措施报告表”（见表 2），并及时报告装备两总系统和总体设计单位；由设计、工艺、选材、环境应力等原因引起的产品关联故障，应统计入自然环境试验故障范畴，由外观检查、性能测试、装卸、运输等操作违反技术规程而引起的非关联产品故障，不计入自然环境试验故障范畴。

4) 试验最终检测。试验结束时，产品承制单位须在试验承担单位的监督下，按照试验实施细则的规定对试品外观及功能性能指标进行最终检测，并将检

测结果与基线及中间检测数据进行对比。试品通过最终检测后，方可安排撤场。

表 1 自然环境试验故障报告表
Tab.1 Fault report of natural-environment test

故障报告表编号	填表日期	
故障件型号、名称、编号		
故障时间、地点		
故障时试验条件		
故障现象		
初步故障定位		
承制方	使用方	承试方

表 2 自然环境试验故障分析及纠正措施报告表
Tab.2 Fault analysis and corrective action of natural-environment test

故障分析及纠正措施报告表编号	填表日期	
故障件型号、名称、编号	故障报告表编号	
承制单位	故障分析单位	
纠正措施实施单位	实施日期	
故障模式		
故障原因		
分析说明		
纠正措施		
验证方法及纠正效果		
承制方	使用方	承试方

2.3.3 试验后工作

当试品满足试验大纲规定的试验时间、检测内容和试验结束条件时，结束试验。由试验承担单位组织产品承制单位和试验站开展试验后有关工作，包括试品撤场、试验结果分析与评价、试品失效分析等方面内容。

1) 试品撤场。试品进行撤场时一般应遵循以下要求：应小心拆卸暴露场试品，所有试品应轻拿轻放，以确保试品试验结果不引入二次损伤；试品承制单位应按文献[8-9]有关内容制定试品从试验现场到厂所的包装和运输要求，尽量减少运输过程对试品试验结果的影响；试验承担单位及试品承制单位应共同对撤场试品进行试验状态确认和清点，并统一与试验站完成试品撤场交接。

2) 试品失效分析。试验承担单位应联合试品承制单位对撤场试品进行综合检查和甄别，遴选可能存在潜在隐患的试品进行失效分析测试，以获得试品存放失效原因、失效现象和失效机理，有针对性地提出产品选材、设计、工艺、定期维护及使用保障等方面的改进建议。失效分析试验工作参照文献[8-9]有关要

求进行。

3) 试验结果分析及评价。应综合多源数据信息对试品试验结果进行分析和评价,具体要求包括:试品研制单位负责依据试验实施细则规定的判据对试验结果进行直接评价,具体可参考文献[7-8]规定的分析方法,同时结合试品组成材料及工艺特性分析,找出试品环境适应性设计和防护工艺的薄弱环节;总体设计单位负责依据装备贮存环境剖面及试品实际安装、使用情况,深入分析和评估故障试品在贮存和使用中可能存在的隐患,提出贴近实战的改进措施和使用维护建议;试验承担单位负责对试验数据进行整理和对比,归纳试品外观形态及性能指标的变化趋势,同时依据试品失效分析试验结果,揭示引起试品退化或失效的深层次原因和机理,给出比较客观的试验结论、改进方法及选用建议等参考信息。

4) 试验数据收集。试验承担单位应对试验过程中产生的环境因素数据及试品检测数据进行收集,其中试品检测数据一般包括试品基本信息、材料及工艺组成、试验要求、测试结果、失效分析数据、选用结论、使用维护建议等方面内容。各类试验数据的来源及收集方法可参考文献[8-9]有关内容,一般要求如下:环境数据包括试品存放大气环境及腐蚀因素数据,由试验站连续收集并定期以报表形式向试验承担单位反馈;试品基本特性及检测等数据由试品承制单位负责定期收集和提供,并以试品检测报告的形式向试验承担单位反馈,并纳入装备月调度计划进行监督和考核;试品失效数据由试验承担单位依据试品投放试验及失效分析试验结果进行分析和完善。

2.4 试验工作总结

1) 试验总结。试验结束后,装备总体设计单位应及时联合试验承担单位进行试验分析和总结,编制试验分析及工作总结报告,一般应包括的内容如下:试验目的,阐明自然环境试验的目的和性质,包括环境适应性验证、贮存寿命验证方面的摸底性或鉴定性试验类型;试验依据,归纳试验的参考依据性文件,包括管理办法、试验大纲、试验方案、技术规范及相关标准等;试验简述,从参试样品、参试单位及人员、试验时间及地点、试验过程及完成情况等方面进行简要说明;参试设备,说明参试设备和仪器的计量状态、测量范围、型号规格、精度及有效性等方面信息;试验过程及测试数据,描述主要试验过程及试验状况,收集和整理各项试验结果,用表格、曲线等形式表示清楚,对环境因素数据及试验检测数据进行分析;故障处理,对试验期间出现的异常情况或故障现象进行原因定位和失效机理分析,并列出的纠正措施;试验结果评价,分析试验结果并评价其是否符合产品技术规范或试验大纲的指标要求;试验结论,依据试验大纲有关规定,评价试品的环境适应性或贮存寿命

指标,并针对产品设计、工艺、选材、环境保护及维护措施等方面的薄弱环节提出改进建议。

2) 试验资料归档。试验工作系统各单位应及时对产生的试验数据及相关技术资料进行归档,并按要求交由装备总体设计单位进行统一归档。归档资料范围一般包括:试验方案、试品选取分析说明、试验大纲、试验实施细则、试验检测报告、故障处理报告、失效分析报告、试验总结报告等文件。

2.5 试验数据管理

装备自然环境试验数据管理方法可参考 Q/QJB 200.2—2012、Q/QJB 200.3—2012 等标准^[10-11]有关规定,一般要求如下:应明确各类试验数据标准格式和收集清单,由试验承担单位建立数据库系统,对试验数据进行统一管理和维护,逐步建立具备在工作系统内进行试验数据传输、交换、查询和发布等功能的通道;应综合运用数学模型、大数据等手段对试验数据进行分析,挖掘影响装备产品自然环境适应能力的潜在问题和共性规律;试验承担单位应及时将收集和整理的试验数据定期向试验工作系统其他单位进行传递和共享,按季度报送装备自然环境试验工作简报,及按年度报送装备自然环境试验专题分析报告,以加强试验数据的工程应用和反馈。

3 试验评审管理

自然环境试验过程中应对试验工作关键环节的文件资料进行评审,包括试验方案、试验大纲及实施细则、故障归零报告、试验总结报告、鉴定试验报告等。评审会由科研生产管理部门负责组织并协调工作系统成员单位参加,质量可靠性管理部门负责监督评审意见及整改措施的落实。

4 结语

简要介绍了武器装备开展自然环境试验的一般管理方法。围绕试验工作流程这条主线,从试验策划、试验实施、试验总结等方面对应重点关注的实施途径和管理方法进行了浅析,以进一步加强装备自然环境试验工作的规范性和指导性,为提高试验工作效率与质量及加强试验数据应用提供保障,希望能对关注自然环境试验的工程技术和管理人员提供参考和帮助。

参考文献:

- [1] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].
GJB 4239—2001, General Requirements for Equipment Environmental Engineering[S].
- [2] GJB 8893—2017, 军用装备自然环境试验方法[S].

- GJB 8893—2017, Natural Environment Test Methods for Military Materiel[S].
- [3] 汪学华. 自然环境试验技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.
WANG Xue-hua. Natural Environment Test Technology[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2003.
- [4] 宣卫芳. 装备与自然环境试验[M]. 北京: 航空工业出版社, 2011.
XUAN Wei-fang. Equipment and Natural Environment Test[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2011.
- [5] 秦晓洲, 李颖. 军用装备自然环境试验方法剪裁探讨[J]. 装备环境工程, 2011, 8(3): 54-57.
QIN Xiao-zhou, LI Ying. Tailoring of Natural Environmental Test Methods of Materiel[J]. Equipment Environmental Engineering, 2011, 8(3): 54-57.
- [6] 朱玉琴, 陈源, 张燕, 等. 国内外动态自然环境试验技术发展现状[J]. 装备环境工程, 2015, 12(6): 93-99.
ZHU Yu-qin, CHEN Yuan, ZHANG Yan, et al. Current Status of Dynamic Natural Environmental Test Techniques at Home and Abroad[J]. Equipment Environmental Engineering, 2015, 12(6): 93-99.
- [7] 赵朋飞, 张生鹏, 翟疆, 等. 航天导弹装备自然环境试验方法探讨[J]. 装备环境工程, 2017, 14(11): 37-43.
ZHAO Peng-fei, ZHANG Sheng-peng, ZHAI Jiang, et al. Testing Methods for Space Missile Materiel in Natural-environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(11): 37-43.
- [8] Q/WE 1221—2016, 地(舰)空导弹武器系统自然环境试验样品选取及测试分析规范[S].
Q/WE 1221—2016, Specification for Sample Selection and Test Analysis of Ground to Air Missile Weapon System in Natural Environment[S].
- [9] Q/WE 1143—2015, 地(舰)空导弹贮存数据收集指南[S].
Q/WE 1143—2015, Storage Data Collection Guide for Surface to Air Missile[S].
- [10] Q/QJB 200.2—2012, 试验数据管理规范 第2部分: 系统建设[S].
Q/QJB 200.2—2012, Test Data Management Specification Part 2: System Construction[S].
- [11] Q/QJB 200.3—2012, 试验数据管理规范 第2部分: 管理流程[S].
Q/QJB 200.3—2012, Test Data Management Specification Part 2: Management Process[S].