

地震预警系统测试技术规程

Technical specification for earthquake early warning systems testing

2024 - 12 - 18 发布

2025 - 01 - 18 实施

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
5 技术要求	4
6 测试策划	5
7 测试设计	5
8 测试执行	6
9 评审	18
10 测试总结	18
附录 A（规范性） 功能测试评分参考模板	19
附录 B（规范性） 测试用例要素与分类	20
附录 C（资料性） 测试文档参考模板	22
参考文献	28

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。

本文件由四川省地震局提出、归口、解释并组织实施。

本文件起草单位：四川地震台、中国地震局工程力学研究所、福建地震台、广东地震台、成都理工大学、电子科技大学、自贡市应急管理局。

本文件主要起草人：江鹏、晋云霞、李同林、苏金蓉、李萍萍、王竞、曾维祖、李继龙、于伟恒、陈辉、欧阳龙斌、苏柱金、周冬梅、胡旺、许艳。

地震预警系统测试技术规程

1 范围

本文件规定了地震预警系统软件测试的技术要求、测试环境、测试用例、测试方法和测试过程，以及对测试结果评价的方法和判定标准。

本文件适用于地震预警系统软件的开发、使用和第三方测试。

2 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 11457 软件工程术语

GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 29833.3 系统与软件可移植性 第3部分：测试方法

GB/T 29835.3 系统与软件效率 第3部分：测试方法

GB/T 29836.3 系统与软件易用性 第3部分：测评方法

GB/T 38634.3 系统与软件工程 软件测试 第3部分：测试文档

3 术语和定义

GB/T 11457界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地震预警 earthquake early warning

地震发生后，对即将到来的破坏性地震动进行预测和警报。

3.2

地震震级 earthquake magnitude

对地震大小的相对度量。

[来源：GB/T 17740—2017，2.16]

3.3

预警时间 leading time

地震发生至地震动到达地震预警目标的剩余时间，一般以秒为单位。

3.4

预警产出用时 processing time

地震发生至地震预警系统产出预警信息的时间间隔，一般以秒为单位。

3.5

测试用例 test case

为特定测试任务编制的一组测试输入、执行条件以及预期结果。

3.6

测试震例 test seismic event

用于开展地震预警系统软件测试的地震事件数据。

3.7

预警信息漏报 the missed warning information

达到地震预警信息产出或发布标准但未及时产出或发布预警信息。

3.8

预警信息偏差 the deviation of warning information

地震预警系统软件产出的地震预警参数相比测试用例的期望结果的差值。

3.9

预警信息误报 the false warning information

未发生实际地震但地震预警系统软件错误产出或发布预警信息。

4 总则

4.1 测试目的

通过构建测试环境、设计测试用例，对地震预警系统软件的质量和进行测试和评价，验证系统是否满足地震预警软件技术要求、设计文档、需求说明书、软件产品说明书和操作手册等规定的质量要求，发现软件的潜在缺陷，为软件产品的质量评价提供依据。

4.2 测试范围

地震预警系统软件测试包括文档检查、软件的功能、性能、信息安全、兼容性和可移植性等内容。

4.3 测试过程

测试过程包括测试策划、测试设计、测试执行、评审、测试总结五项活动。测试流程如图1所示。

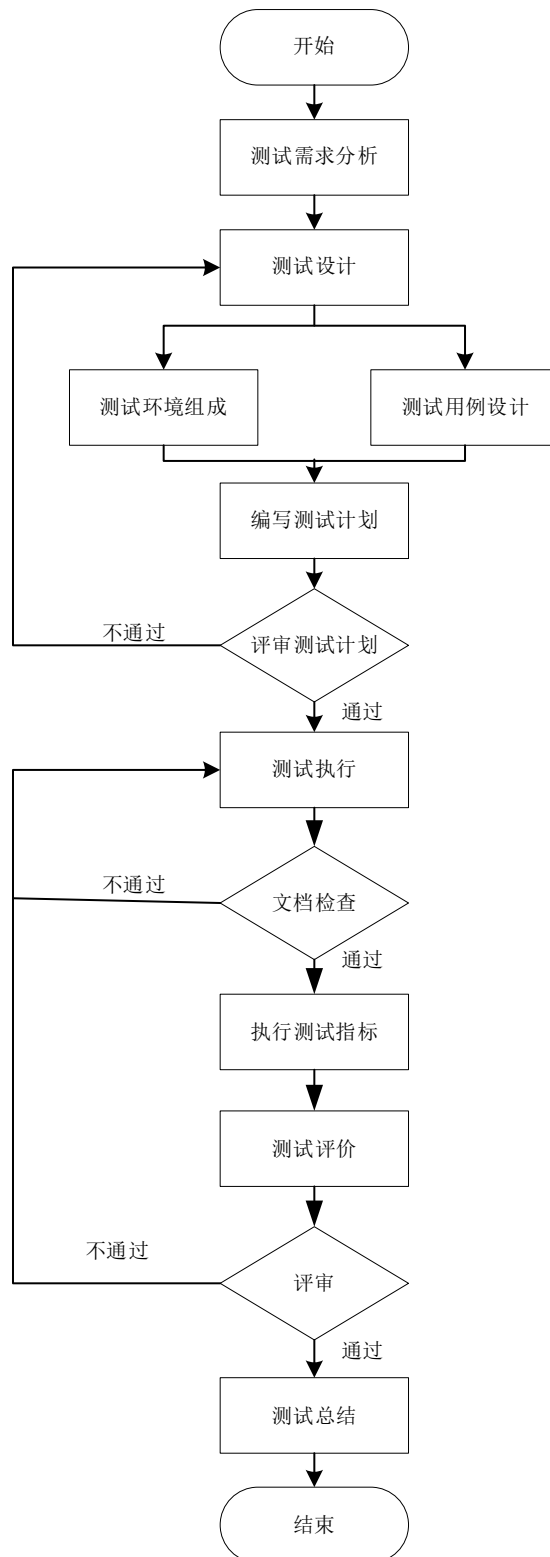


图1 测试流程图

4.4 测试方法

本规程规定的地震预警系统软件测试采用黑盒测试方法。

4.5 测试文档

软件测试文档通常包括测试计划、测试说明、测试报告、测试记录，根据软件的完整性级别和软件规模等级可进行合理的取舍与合并。测试文档的基本内容和要求参考GB/T 38634.3。

5 技术要求

地震预警系统的功能和性能要求由用户需求决定,但须具备数据接收与处理、地震定位、震级估算、烈度预测、预警信息更新、处理过程记录六项通用功能,其他功能参照设计等相关文档说明。功能技术要求见表1。

表1 功能列表

功能类别	功能项	功能项描述
通用功能	数据接收及处理	具备获取台站信息的功能； 具备实时接收连续波形的功能； 基于台站端预处理或边缘计算的地震预警系统应提供由连续波形提取关键参数的数据预处理模块； 具备震相检测识别功能。
通用功能	地震定位	具备震相关联功能,通过震相特征值的分析,将同一个事件的震相数据相关联； 具备地震预警连续定位功能,可从一个台站触发开始进行地震定位,随着触发台站数量的增加,分别进行地震定位处理,更新产出地震定位信息； 定位信息包括震中位置、震源深度、发震时刻等。
通用功能	震级估算	利用地震波触发后的有限信息进行预警震级估算； 将不同台站计算得到的震级值进行综合计算,得到可靠度更高的预警震级； 随着台站触发信息和触发台站数量的增加,对震级参数按一定规则进行更新。
通用功能	预警目标区烈度预测	具备针对目标区域的烈度预测功能； 目标区域或目标点位可根据需求自主配置。
通用功能	预警信息更新	随着时间延长或记录台站信息的增加,可根据规则更新地震预警结果； 具备自主配置地震预警信息更新规则功能。
通用功能	处理过程记录	具备记录处理过程日志的功能； 日志内容主要包括以下内容:震相识别信息,震相关联情况,参与计算台站估算震级,各报次地震定位结果和历次定位使用的震相信息,预警烈度预测的重要步骤和结果,预警信息更新的重要步骤和结果信息,系统运行状态记录,系统异常告警和报错记录； 处理日志的记录时间标识应精确到毫秒。
其他功能	其他功能项	参照设计文档、用户手册和技术手册等其他功能指标的说明。

6 测试策划

测试策划是地震预警系统软件测试的需求分析和制定计划阶段，具体实施内容包括：

- a) 确定需要测试的内容或质量特性；
- b) 确定测试的充分性要求；
- c) 确定测试的资源和技术需求；
- d) 确定人员配置和培训需求；
- e) 提出测试的基本方法；
- f) 进行风险分析与评估，制定测试计划。

7 测试设计

7.1 概述

测试设计是依据测试需求进行设计，具体实施内容包括：

- a) 依据测试需求，分析并选用已有的测试用例或设计新的测试用例；
- b) 获取并验证测试数据；
- c) 根据测试资源、风险等约束条件，确定测试用例执行顺序；
- d) 建立并校准测试环境；
- e) 进行测试就绪评审。

7.2 测试环境

7.2.1 测试环境组成

测试环境包括被测试的地震预警系统软件运行环境和测试工具及其运行使用环境。

7.2.2 测试环境要求

地震预警系统软件的测试运行环境应符合测试任务书（测试合同或项目计划）的要求，通常包括系统硬件配置、系统软件配置、操作系统、网络环境、数据库、必要的中间件。若有特殊约定的，则按照要求搭建；若未约定，则按照以下要求进行测试环境搭建：

- a) 测试环境应具有独立的网络环境；
- b) 利用有效的正版杀毒软件检测部署环境，确保测试环境中没有病毒；
- c) 硬件配置符合软件运行的最低要求；
- d) 使用通用操作系统和相关软件平台；
- e) 建立相对独立的测试环境，仅安装软件运行和测试必须的软件。

7.2.3 测试工具

根据测试计划、问题管理和测试配置管理等要求配备测试工具，测试工具应具有可追溯性。地震预警系统软件测试的专用测试工具应具备以下功能：

- a) 统计测试结果；
- b) 记录测试过程和日志；
- c) 对失败用例进行错误分类，分析提取测试指标完成情况；
- d) 测试用例分级分类维护管理等功能。

7.3 测试用例

7.3.1 设计原则

测试用例设计原则要求：

- a) 测试用例应具备完备性，输入数据中不仅要包含合理正常的输入数据和测试震例，还要包括边界值、异常值、错误值、无效值，以及误操作及非常规输入等多种情况；
- b) 测试用例应具备正确性，测试数据应符合用户实际工作流程，预期结果应与测试数据发生的业务相吻合；
- c) 测试用例应具备可操作性，在测试用例中规定足够详细、准确和清晰的步骤，明确不同操作步骤相对应的操作结果；
- d) 测试用例应具备可重复性，测试用例的数据能够被重复使用，对同样的测试用例，系统的执行结果应是相同的，且不同人员使用的测试结果应保持一致。

7.3.2 内容和要素

测试用例由测试输入、执行条件以及预期结果等内容组成，包括用例的编号、测试项、测试环境、输入数据、测试步骤、预期结果、测试结论等要素，其中功能测试的输入数据应以测试震例为主，具体见附录B。

7.3.3 测试震例

测试震例由历史地震事件的记录数据和背景噪声数据组成，按照事件类型（如网内、网外、双震、震群、干扰等）和震级大小进行分类。测试震例分类见附录B。

一次完整的测试任务应抽取一定数量的测试震例组成测试震例集。测试震例集应包括多种类型，其中干扰震例占比应不低于 5 %。

7.3.4 修改更新

在测试过程中出现设计测试用例时考虑不周，反馈的软件缺陷是由于测试用例存在漏洞而造成测试结果有误，被测软件自身新增功能以及版本更新等情形时，需对测试用例进行更新或完善。

7.4 就绪评审

在测试执行前，对测试计划和测试说明进行评审，包括：

- a) 测试文档内容的完整性、正确性和规范性；
- b) 测试环境要求和配置的合理性；
- c) 测试项选择的完整性和合理性；
- d) 测试用例的可行性、正确性和充分性；
- e) 测试震例的数量、类型以及震例事件权重。

8 测试执行

8.1 概述

在准备好的测试环境中执行测试用例，记录测试过程，分析和判定测试结果。根据不同的判定结果采取相应的措施，对测试过程的正常或异常终止情况进行核对；根据核对结果，对尚未达到测试终止条

件的测试用例，决定是停止测试，还是需要修改或补充测试用例集，并进一步测试；按照测试计划的规定，记录测试执行日志。

8.2 准入准出条件

8.2.1 准入条件

地震预警系统开始软件测试的准入条件包括：

- a) 提交成熟被测软件；
- b) 具有软件测试所需的文档，且文档完整、合理、准确并满足测试需求；
- c) 形成测试任务书或测试合同。

8.2.2 准出条件

地震预警系统结束软件测试的准出条件包括：

- a) 软件测试中的问题或异常有合理解释或正确有效的处理，客观、详细地记录了软件测试过程和软件测试中发现的所有问题，软件测试文档齐全、符合规范，测试工作通过了测试评审；
- b) 被测软件存在重大问题或异常影响软件测试工作正常进行，被测方不要求复测的；
- c) 被测方主动要求停止测试的；
- d) 其他未提到但可能涉及的情况。

8.3 文档检查

8.3.1 检查内容

地震预警系统软件测试应先对配套的文档类部件进行检查，主要检查文档的完整性、正确性、一致性、易理解性和易浏览性，具体包括以下方面：

- a) 明确文档验收的标准，软件开发人员和用户应对此达成一致；
- b) 检查文档的完整性，主要检查文档的种类和内容的完整程度；
- c) 检查文档的正确性，主要检查编写是否正确；
- d) 检查文档一致性，主要检查软件的设计描述是否按照需求定义进行，系统与文档的描述一致；
- e) 检查文档的易理解性，主要检查文档针对的用户，表达是否易于理解并且详细；
- f) 检查文档的易浏览性，主要检查各类文档之间的相互关系是否明确，每个文档应有目录表或索引表。

8.3.2 检查结果

地震预警系统软件文档检查完成后，应对软件的文档检查结果进行分析。文档检查达到验收标准后，执行其他测试指标。

8.4 功能测试

8.4.1 测试内容

功能测试用于评估地震预警系统在指定条件下使用时满足明确和隐含要求功能的能力。功能测试主要从完备性、准确性、时效性3个子特性开展。

8.4.2 完备性测试

除应满足全部通用功能外，评价地震预警系统软件需求说明书提供的其他功能所覆盖的全部任务或用户目标的程度。测试时，从地震预警系统需要实现的功能点，与其实际实现的功能点进行匹配，形成功能对照。

以功能覆盖率作为评价完备性的重要指标，具体表达为下式：

$$W=1-\frac{A}{B} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- W—功能覆盖率；
- A—缺少的功能数量；
- B—一定的功能数量。

8.4.3 准确性测试

8.4.3.1 测试要求

地震预警系统除完整实现所要求的功能以外，还应该能正确实现所要求的功能。准确性测试的目标是评估地震预警系统提供具有所需精度的正确结果的能力。准确性测试包括通用功能准确性测试和其他功能准确性测试。

通用功能的准确性测试是评测地震预警系统在预警处理结果中对于预警信息误报、预警信息漏报、预警震级、预警定位、预测烈度、预警发震时刻六个通用功能结果与测试用例提供的期望结果进行偏差比对。

8.4.3.2 预警信息误报

以测试用例中的期望产出预警信息为标准计算预警信息误报率，具体计算表达式：

$$F_{error}=1-\frac{F_{eew}}{F_{ag}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- F_{error} —预警信息误报率；
- F_{eew} —预警系统软件有预警信息产出的用例数；
- F_{ag} —测试用例中期望产出的用例数。

8.4.3.3 预警信息漏报

以测试用例中的期望产出预警信息为标准计算预警信息漏报率，具体计算表达式：

$$I_{error}=1-\frac{I_{eew}}{I_{ag}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- I_{error} —预警信息漏报率；
- I_{eew} —预警系统软件有预警信息产出的用例数；
- I_{ag} —测试用例中期望产出的用例数。

8.4.3.4 预警震级偏差

以测试用例中的期望震级为标准，计算测试中预警震级的偏差，具体计算表达式：

$$M_{\text{error}} = M_{\text{ew}} - M_{\text{ag}} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

M_{error} —震级偏差；

M_{ew} —预警震级；

M_{ag} —测试用例期望震级。

8.4.3.5 预警定位偏差

以测试用例中的期望震中位置为标准，计算震中位置偏差（单位：千米），具体计算表达式：

$$L_{\text{error}} = 2r * \arcsin(\sqrt{\text{hav}(\text{lat}_2 - \text{lat}_1) + \cos(\text{lat}_1) \cos(\text{lat}_2) \text{hav}(\text{lon}_2 - \text{lon}_1)}) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

L_{error} —定位偏差，单位为千米（km）；

r —地球半径，单位为千米（km）；

lon_1 —地震预警定位中震中位置的经度，单位为度（°）；

lat_1 —地震预警定位中震中位置的纬度，单位为度（°）；

lon_2 —测试用例期望结果中震中位置参数的经度，单位为度（°）；

lat_2 —测试用例期望结果中震中位置参数的纬度，单位为度（°）。

8.4.3.6 预测烈度偏差

预测烈度偏差将台站作为目标区进行测试，以测试用例中台站实际记录的仪器烈度为标准，计算预测烈度的偏差，具体计算表达式：

$$\delta_{\text{error}} = \frac{\sum_i^N (I_i^{\text{pre}} - I_i^{\text{obs}})}{N} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

δ_{error} —预测烈度偏差；

i —参与台站数，取值范围为1~N；

I_i^{pre} —第*i*个台站的烈度预测值；

I_i^{obs} —测试用例期望结果中第*i*个台站的烈度实测值。

8.4.3.7 预警发震时刻偏差

以测试用例中的实际发震时刻通过时间平移的方式获得期望发震时刻，计算预警发震时刻偏差，具体计算表达式：

$$\Delta T_{\text{error}} = \Delta T_{\text{ew}} - \Delta T_{\text{ag}} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

ΔT_{error} —发震时刻偏差，单位为秒（s）；

ΔT_{ew} —预警发震时刻，单位为秒（s）；

ΔT_{ag} —测试用例期望发震时刻，单位为秒（s）。

8.4.3.8 其他功能的准确性测试

查看需求文档、设计文档、操作手册等用户文档集陈述的地震预警系统软件的使用条件限制，对文档中规定准确度的功能点进行测试，验证功能的测试结果是否与用户文档集中一致。

以功能正确率作为评价准确性的重要指标，具体表达为下式：

$$Z=1-\frac{C}{D} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

Z—功能正确率；

C—功能不正确的数量；

D—用于评价的功能数量。

8.4.4 时效性测试

地震预警系统软件的时效性测试主要通过首次预警产出用时体现，计算预警产出用时与测试用例提供的期望时间偏差，具体计算表达式：

$$T_{error}=T_{eew}-T_{ag} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

T_{error} —首次预警产出用时，单位为秒（s）；

T_{eew} —预警信息发布时间，单位为秒（s）；

T_{ag} —测试用例期望发布时间，单位为秒（s）。

8.5 性能测试

8.5.1 测试内容

依据地震预警系统设计文档、用户手册和技术手册等关于软件性能指标的说明和实际测试需求，确定性能测试内容，对被测软件的负载、压力、效率性能进行测试，具体方法参考GB/T 29835.3。性能测试要求包括：

- a) 满足软件设计文档中说明的性能要求；
- b) 一定时间内，最大存储量、最多处理数据流量、数据处理效率、响应时间等应满足设计文档的要求；
- c) 一定时间内，系统的CPU利用率、内存使用率、磁盘I/O吞吐率、网络吞吐量等应满足设计文档要求；
- d) 系统运行时资源监控指标应符合软件设计文档要求。

8.5.2 负载测试

负载性能是在各种工作负载下地震预警系统的性能情况，通常用来度量系统的可扩展性。通过测试输入台站波形数据逐渐增加时各组成部分的相应输出项，如处理时间、CPU负载、内存使用等情况，通过综合分析评估系统的性能。

8.5.3 压力测试

压力性能是指在地震预警系统稳定运行情况下，能够处理的最大工作量强度或提供的最大服务性能。可以通过测试临界台站波形数据负载、容量变化、资源占用等指标，综合分析功能执行情况和系统性能表现。

8.5.4 效率测试

在一定规模台站数据量下，相对所用资源的数量，测试地震预警系统可提供适当性能的能力。性能测试的效率应符合下列要求：

- a) 功能指标的执行速度应满足用户需求，包括数据处理效率、数据处理周期、产品产出时间、界面响应时间等；
- b) CPU、内存、网络带宽等硬件资源的使用应较为充分合理。

8.6 信息安全测试

8.6.1 测试内容

地震预警系统的信息安全测试包括权限管理、访问控制及设计文档明确的安全要求。系统的安全等级应满足GB/T 22239之规定。

8.6.2 数据安全

地震预警系统的数据安全测试应符合下列要求：

- a) 采用网络隔离策略，外网不能直接访问内网；
- b) 采用安全的部署策略、数据签名等防止信息篡改措施；
- c) 采用数据备份策略，检查本地和异地数据备份和恢复能力。

8.6.3 权限认证

地震预警系统的功能权限认证测试包括：

- a) 检查用户、角色、权限三要素的统一申请、审批和管理实现情况；
- b) 检查参数和数据获取的权限设置；
- c) 检查不同用户对数据进行新增、删除和更新读写权限认证约束。

8.7 兼容性测试

8.7.1 测试内容

兼容性测试用于评估在共享相同的硬件或软件环境的条件下，地震预警系统能够与其他产品、系统或组件交换信息或执行其所需功能的程度。测试内容和方法参考GB/T 29836.3。

8.7.2 共存性测试

共存性测试是评估在与其他产品共享通用的环境和资源的条件下，地震预警系统能够有效执行其所需的功能并且不会对其他产品造成负面影响的程度。共存性测试的具体要求：

- a) 安装测试软件，验证测试软件和已安装组件均能成功安装和正确运行；
- b) 对产品说明列举出与测试软件兼容的软件，在同一个操作环境下同时运行两个及以上软件，CPU、进程等系统资源的使用情况正常。

8.7.3 互操作性测试

互操作性测试的目标是评估两个或多个系统或组件能够交换信息并使用已交换信息的程度。测试内容主要包括产品说明和用户文档集中声明的数据格式是否可交换、数据传输的交换接口是否已实现。

互操作性测试的具体要求：

- a) 软件之间共享并交换信息，能够互相协作共同完成一项功能；
- b) 在与其他软件进行通信时，对于规定的数据传输，正常实现交换接口的功能。

8.8 可移植性测试

8.8.1 测试内容

可移植性测试用于评估地震预警系统能够从一种硬件、软件或其他运行环境迁移到另一种环境的有效性和效率的程度。测试内容和方法参考 GB/T 29833.3。

8.8.2 适应性测试

适应性测试主要评估地震预警系统软件能够有效率地适应不同的硬件、软件或者其他运行环境的程度，包括：

- a) 对于产品说明中指定的每一种硬件环境，软件均能成功安装和正确运行；
- b) 对于产品说明中指定的每一种软件环境均能成功安装和正确运行。

8.8.3 易安装性测试

易安装性测试主要评估在指定环境中地震预警系统软件能够成功安装和卸载的有效性和效率的程度，包括：

- a) 检查按照产品说明或安装手册中的安装方法进行软件安装，是否可安全安装软件；
- b) 检查按照产品说明中的卸载方法进行软件卸载，检查是否可安全卸载软件。

8.9 测试评价

8.9.1 概述

本规程的测试评价是对地震预警系统软件进行的功能测试、性能测试、信息安全、兼容性、可移植性等测试结果进行综合评价。

8.9.2 评价方法

地震预警系统软件测试中，功能测试评价、性能测试评价、信息安全测试评价、兼容性测试评价、可移植性测试评价均是通过子特性来衡量，子特性是通过测试指标项度量。对于测试结果，通过表示符合要求（度量值等于或优于期望值），不通过表示不符合要求（度量值低于期望值）。

8.9.3 子特性测量方法

功能测试的子特性包括完备性测试、准确性测试、时效性测试，性能测试子特性包括负载测试、压力测试和效率测试，信息安全测试子特性包括数据安全和权限认证，兼容性测试子特性包括共存性测试、互操作性测试，可移植性测试子特性包括适应性测试和易安装性测试。各子特性的测量值利用公式计算：

$$V = \frac{\sum m_i}{n} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

V—子特性的测量值；

m_i—子特性的第i个测试指标项，通过时为1，否则为0；

n—子特性的测试指标总项。

8.9.4 功能测试评价

功能完备性、功能准确性、时效性的测量值分别为 V_1 、 V_2 、 V_3 ，则功能测试的测量值计算：

$$V_f = \frac{(V_1 + V_2 + V_3)}{3} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

V_f —功能测试测量值；

V_1 —完备性测试值；

V_2 —准确性测试值；

V_3 —时效性测试值。

当预警信息误报率 $F_{\text{error}} \neq 0$ 或者漏报率 $I_{\text{error}} \geq 15\%$ 时，则判定 $V_2=0$ 、 $V_3=0$ 。

由于地震预警系统预警处理结果的特殊性（针对同一用例产出多次结果），故准确性测量值 V_2 、时效性测量值 V_3 要对多次结果进行综合计算，预警报次权重如表 2 所示，具体如下：

$$V_2 = \frac{R_M + R_L + R_\delta + R_{\Delta T} + Z}{5}, V_3 = R_T \dots\dots\dots (12)$$

式中：

R_M —震级偏差对应的额定值；

R_L —定位偏差对应的额定值；

R_δ —烈度偏差对应的额定值；

$R_{\Delta T}$ —发震时刻偏差对应的额定值；

Z —其他功能准确性对应的额定值；

R_T —时效性偏差对应的额定值。

$$M = \frac{W_1 * M_{\text{error}1} + W_2 * M_{\text{error}2} + W_3 * (M_{\text{error}3} + \dots + M_{\text{error}n})}{\sum_1^n W_i} \dots\dots\dots (13)$$

式中：

M —震级偏差测量值；

W —预警报次对应的权重值；

M_{error} —单个预警报次对应的震级偏差。

$$L = \frac{W_1 * L_{\text{error}1} + W_2 * L_{\text{error}2} + W_3 * (L_{\text{error}3} + \dots + L_{\text{error}n})}{\sum_1^n W_i} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

L —定位偏差测量值；

W —预警报次对应的权重值；

L_{error} —单个预警报次对应的定位偏差。

$$\delta = \frac{W_1 * \delta_{\text{error}1} + W_2 * \delta_{\text{error}2} + W_3 * (\delta_{\text{error}3} + \dots + \delta_{\text{error}n})}{\sum_1^n W_i} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

δ —烈度偏差测量值；

W —预警报次对应的权重值；

δ_{error} —单个预警报次对应的烈度偏差。

$$\Delta T = \frac{W_1 * \Delta T_{error1} + W_2 * \Delta T_{error2} + W_3 * (\Delta T_{error3} + \dots + \Delta T_{errorn})}{\sum_1^n W_i} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

- Δ T—发震时刻偏差测量值；
- W—预警报次对应的权重值；
- Δ T_{error}—单个预警报次对应的发震时刻偏差。

$$T = W_1 * T_{error} \dots\dots\dots (17)$$

式中：

- T—时效性测量值；
- W₁—首次预警报次对应权重；
- T_{error}—首次预警产出用时，单位秒（s）。

权重值如表 2 所示。准确性的评测结束时间按照下式确定：

$$T_{end} = E + \frac{10^{\frac{3.4+1.3*M_{ag}}{5.1}} - 24}{6.5} + 20 \dots\dots\dots (18)$$

式中：

- T_{end}—准确性的评测结束时间，单位秒（s）；
- M_{ag}—测试用例期望震级；
- E—测试震例为网内地震时，取 0，当测试震例为网外地震或其他时E等于首个触发台站的走时。

表2 预警处理结果产出报次权重

预警报次	参考值
W ₁	1
W ₂	0.7
剩余报次	0.5

完备性测量值V₁、准确性测量值V₂、时效性测量值V₃，按照评价等级规约得到对应测量结果，依据功能测试结果计算公式计算功能测试结果值V_f。该结果按照表3确定的功能完备性、准确性、时效性评价等级，以最低等级作为功能测试的最终等级。

表3 功能测试评价等级

额定值	1（差）	2（合格）	3（良好）	4（优秀）
完备性	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]
准确性	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]
时效性	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]
功能测试	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]

8.9.5 性能测试评价

负载、压力、效率的测量值分别为V₁、V₂、V₃，则性能测试的测量值计算：

$$V_p = \frac{(V_1 + V_2 + V_3)}{3} \dots\dots\dots (19)$$

式中：

- V_p—性能测试的测量值；

V_1 —负载性能的测量值；

V_2 —压力性能的测量值；

V_3 —效率的测量值。

依据性能测试测试量 V_p 、负载性能测量值 V_1 、压力性能测量值 V_2 和效率测量值 V_3 ，按照表4确定地震预警软件的负载性能、压力性能和效率的评价等级；性能测试结果的评价，确定以负载性能、压力性能和效率的评价等级的最低等级作为性能测试的最终等级。

示例：负载性能的等级为“合格”，压力性能的等级为“良好”，效率的等级为“优秀”，则性能测试的最终等级为“合格”。

表4 性能测试评价等级

额定值	1（差）	2（合格）	3（良好）	4（优秀）
负载性能	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]
压力性能	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]
效率	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]
性能测试	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]

8.9.6 信息安全测试评价

数据安全和权限认证的测量值分别为 V_1 和 V_2 ，则安全测试为：

$$V_c = \frac{(V_1 + V_2)}{2} \dots\dots\dots (20)$$

式中：

V_c —信息安全测试的测量值；

V_1 —数据安全的测量值；

V_2 —权限认证的测量值。

依据信息安全测试测量值 V_c 、数据安全测量值 V_1 和权限认证测量值 V_2 ，按照表5确定信息安全评价等级，安全测试结果的评价，以数据安全和权限认证的评价等级的最低级作为安全测试的最终等级，如表6所示。

表5 信息安全测试评价等级

额定值	1（差）	2（合格）	3（良好）	4（优秀）
数据安全	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]
权限认证	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]
信息安全测试	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]

表6 信息安全测试等级评价方法

功能等级	权限认证等级			
	1（差）	2（合格）	3（良好）	4（优秀）
数据安全等级	1（差）	差	差	差

表6 信息安全测试等级评价方法（续）

功能等级		权限认证等级			
		1（差）	2（合格）	3（良好）	4（优秀）
数据安全等级	2（合格）	差	合格	合格	合格
	3（良好）	差	合格	良好	良好
	4（优秀）	差	合格	良好	优秀

8.9.7 兼容性测试评价

共存性和互操作性的测量值分别为 V_1 和 V_2 ，则兼容性测试的测量值计算：

$$V_d = \frac{(V_1 + V_2)}{2} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

V_d —兼容性测试的测量值；

V_1 —共存性的测量值；

V_2 —互操作性的测量值。

依据兼容性测试测量值 V_d 、共存性测量值 V_1 和互操作性 V_2 测量值，按照表7确定兼容性评价等级，兼容性测试结果的评价，以共存性和互操作性的评价等级的最低级作为兼容性测试的最终等级，如表8所示。

表7 兼容测试评价等级

额定值	1（差）	2（合格）	3（良好）	4（优秀）
共存性	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]
互操作性	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]
兼容测试	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]

表8 兼容性测试等级评价方法

功能等级		权限认证等级			
		1（差）	2（合格）	3（良好）	4（优秀）
互操作性	1（差）	差	差	差	差
	2（合格）	差	合格	合格	合格
	3（良好）	差	合格	良好	良好
	4（优秀）	差	合格	良好	优秀

8.9.8 可移植性测试评价

适应性测量值和易安装性测试值分别为 V_1 和 V_2 ，则可移植性测试的测量值计算：

$$V_e = \frac{V_1 + V_2}{2} \dots\dots\dots (22)$$

式中：

V_e —可移植性测试的测量值；

V_1 —适应性的测量值；

V_2 —易安装性的测量值。

依据可移植性测试测量值 V_e 、适应性测量值 V_1 和易安装性 V_2 测量值，按照表9确定可移植性评价等

级,可移植性测试结果的评价,以适应性和易安装性的评价等级的最低级作为可移植性测试的最终等级,如表10所示。

表9 可移植性测试评价等级

额定值	1 (差)	2 (合格)	3 (良好)	4 (优秀)
适应性	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]
易安装性	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]
可移植性测试	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]

表10 可移植性测试等级评价方法

功能等级		易安装行			
		1 (差)	2 (合格)	3 (良好)	4 (优秀)
适应性	1 (差)	差	差	差	差
	2 (合格)	差	合格	合格	合格
	3 (良好)	差	合格	良好	良好
	4 (优秀)	差	合格	良好	优秀

8.9.9 评价结果

测试评价结果测量值为:

$$V_r = \frac{(P_1 * V_f + P_2 * V_p + P_3 * V_c + P_4 * V_d + P_5 * V_e)}{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5)} \dots\dots\dots (23)$$

式中:

V_r —测试结果的测量值;

V_f —功能测试的测量值;

V_p —性能测试的测量值;

V_c —信息安全测试的测量值;

V_d —兼容性测试的测量值;

V_e —可移植性测试的测量值;

P_1 —功能测试的权值;

P_2 —性能测试的权值;

P_3 —信息安全测试的权值;

P_4 —兼容性测试的权值;

P_5 —可移植性测试的权值。

地震预警系统软件技术要求,侧重功能测试,故 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 取值分别为3、2、1、1、1。

根据测试任务需求,重点针对某一类测试时,相应的权值应取较大值,相反取较小值,但不得超过功能测试的取值。

根据功能测试测量值、性能测试测量值、信息安全测试测量值、兼容性测量值、可移植性测量值,确定结果测量值,出现评价等级为“差”的,测试结论为不通过;其它评价等级,经专家综合评审后对软件进行评级。测试等级见表11。

表11 地震预警系统软件测试等级

额定值	1 (差)	2 (合格)	3 (良好)	4 (优秀)
测试结果	[0, 0.85)	[0.85, 0.90)	[0.90, 0.95)	[0.95, 1.0]

9 评审

完成软件测试后应对测试过程、测试结果的有效性和各项测试内容的权重进行评审，具体内容和要求应包括：

- a) 测试过程中形成的文档和记录内容的完整性、正确性和规范性；
- b) 测试记录、测试数据以及测试报告内容与实际测试过程和结果的一致性；
- c) 评审未测试项和新增测试项的合理性；
- d) 测试结果的真实性和正确性；
- e) 对测试过程中出现的异常进行处理的正确性。

评审完成后，评审专家组结合测试各流程评审情况对测试结果进行通报。

10 测试总结

测试总结应考虑以下方面：

- a) 整理和分析测试数据；
- b) 评价测试效果和被测软件项；
- c) 描述测试状态、被测项的状态；
- d) 完成软件测试报告，并给出是否通过测试评审的结论。

附 录 A
(规范性)
功能测试评分参考模板

地震预警系统功能测试中准确性测试包含的预警震级偏差、预警定位偏差、预警烈度偏差、预警发震时刻偏差、时效性评分规则如表A.1所示。

表A.1 通用功能测试评分表

通用功能项	偏差范围	额定值
预警震级偏差 (M_{error})	$ M_{\text{error}} < 0.5$	1
	$0.5 \leq M_{\text{error}} < 1$	0.95
	$1 \leq M_{\text{error}} < 1.5$	0.9
	$ M_{\text{error}} \geq 1.5$	0.85
预警定位偏差 (L_{error})	$ L_{\text{error}} < 10$	1
	$10 \leq L_{\text{error}} < 30$	0.95
	$30 \leq L_{\text{error}} < 50$	0.9
	$ L_{\text{error}} \geq 50$	0.85
预警烈度偏差 (δ_{error})	$ \delta_{\text{error}} < 0.5$	1
	$0.5 \leq \delta_{\text{error}} < 1$	0.95
	$1 \leq \delta_{\text{error}} < 1.5$	0.9
	$ \delta_{\text{error}} \geq 1.5$	0.85
预警发震时刻偏差 (ΔT_{error})	$ \Delta T_{\text{error}} < 0.5$	1
	$0.5 \leq \Delta T_{\text{error}} < 1.5$	0.95
	$1.5 \leq \Delta T_{\text{error}} < 3$	0.9
	$\Delta T_{\text{error}} \geq 3$	0.85
时效性 (T_{error})	$T_{\text{error}} < 1$	1
	$1 \leq T_{\text{error}} < 1.5$	0.95
	$1.5 \leq T_{\text{error}} < 2$	0.9
	$T_{\text{error}} \geq 2$	0.85

附 录 B
(规范性)
测试用例要素与分类

B.1 测试用例要素

测试用例要素见表B.1。

表B.1 测试用例要素

序号	测试用例要素	描述	
1	名称和标识	每个测试用例应有唯一的名称和标识符	
2	测试追踪	说明测试所依据的内容来源	
3	用例说明	简要描述测试的对象、目的和所采用的测试方法	
4	测试的初始化要求	应考虑下述初始化要求：	
		硬件配置	被测系统的硬件配置情况，包括硬件条件或电气状态
		软件配置	被测系统的软件配置情况，包括测试的初始条件
		测试配置	测试系统的配置情况，如用于测试的模拟系统、测试工具等配置情况
		参数设置	测试开始前的设置，如标志、指针、控制参数和初始化数据等的设置
	其他	其他对于测试用例的特殊说明	
5	测试输入	在测试用例执行中发送给被测对象的所有测试命令、数据和信号等。对于每个测试用例应提供如下内容：	
		每个测试输入的具体内容(如确定的数值、台站数据状态或信号等)及其性质(如有效值、无效值、边界值等)	
		测试输入的来源(例如：测试程序产生、磁盘文件、通过网络接收、人工键盘输入等)，以及选择输入所使用的方法(例如：等价类划分、边界值分析、差错推测、因果图、功能图方法等)	
		测试输入是真实的还是模拟的	
		测试输入的时间顺序或事件顺序	
		测试震例的数量、权重和组成	
6	期望测试结果	说明测试用例执行中由被测软件所产生期望的测试结果，即经过验证，认为正确的结果。必要时，应提供中间的期望结果。期望测试结果应该有具体内容。如确定的数值、地震三要素、状态或信号等。不应是不确切的概念或笼统的描述	
7	评价测试结果准则	判断测试用例执行中产生的中间和最后结果是否正确的准则。对于每个测试结果，应根据不同情况提供如下信息：	
		实际测试结果所需的精度	
		实际测试结果与期望结果之间的差异允许的上限、下限	
		时间的最大和最小间隔，或事件数目的最大值和最小值	
		实际测试结果不确定时，再测试的条件	

表B.1 测试用例要素（续）

序号	测试用例要素	描述
7	评价测试结果准则	与产生测试结果有关的出错处理
		上面没有提及的其他准则
8	操作过程	每一步所需的测试操作动作、测试程序的输入、设备操作等
		每一步期望的测试结果
		每一步的评价准则
		程序终止伴随的动作或差错指示
		获取和分析实际测试结果的过程
9	前提和约束	在测试用例说明中施加的所有前提条件和约束条件，如果有特别限制、参数偏差或异常处理，应该标识出来，并要说明它们对测试用例的影响
10	测试终止条件	说明测试正常终止和异常终止的条件

B.2 测试震例分类

地震预警系统测试输入包括发送给被测对象的所有测试命令、数据和信号等。功能测试的输入数据根据测试项可分为真实地震波形数据和模拟地震波形数据，真实地震波形包含天然地震和非天然地震波形，各类情形下对应的功能测试输入数据应纳入数据库管理，地震预警系统功能测试输入数据分类见表B.2。

表B.2 测试震例分类表

序号	测试震例分类	事件权重	描述
1	弱震	/	震级 $M < 3.0$ 的地震事件数据
2	有感地震	/	震级 $3.0 \leq M \leq 4.5$ 的地震事件数据
3	中强震	/	震级 $4.5 < M < 6.0$ 的地震事件数据
4	强震	/	震级 $M \geq 6.0$ 的地震事件数据
5	双震（原地）	/	较短的一段时间中首震发震地区以内发生另一地震的地震事件数据
6	双震（异地）	/	较短的一段时间中首震发震地区以外发生另一地震的历史地震事件数据
7	震群	/	较短的一段时间中发生一系列地震的历史地震数据
8	网内	/	发生在指定地震预警观测台网以内的历史地震数据
9	网缘	/	发生在指定地震预警观测台网边界的历史地震数据
10	网外	/	发生在指定地震预警观测台网以外的历史地震数据
11	人工合成震例	/	在历史地震数据的基础上根据测试目的设定不利测试条件，通过人为编辑形成人工合成震例，包括修改台网配置信息、台站位置信息、地震数据信噪比、时移、零漂、延时等情形
	干扰事件	/	在历史地震事件数据的基础上叠加规则干扰波或随机干扰波形成包括特定干扰信号的事件数据
12	其他	/	上述未提及但测试大纲需求的其他地震数据

附录 C
(资料性)
测试文档参考模板

C.1 测试计划单

软件测试计划如图C.1所示。

测试软件名		版本号	
测试人员配置			
测试范围			
测试计划及安排		测试周期	
测试风险项			
测试策略			
复测	复测内容		

注：实线框为A4幅面。

图C.1 测试计划单

C.2 测试说明用表

测试说明用表如图C.2所示。

用例名称		用例标识		测试需求标识	
软件名称				软件版本	
关联的配置项					
测试人员		审核人员		测试日期	
测试类型	功能测试 <input type="checkbox"/>	性能测试 <input type="checkbox"/>	安全性测试 <input type="checkbox"/>	兼容性测试 <input type="checkbox"/>	可移植性测试 <input type="checkbox"/>
测试工具					
测试描述 (简述测试过程和目的)					
测试过程					
测试步骤	前提和约束	测试目的	测试输入	预期结果	测试结果

注：实线框为A4幅面。

图C.2 测试说明

C.3 测试用例表

测试用例表见图C.3。

用例名称				用例标识		
测试追踪						
用例说明						
用例的初始化	环境配置					
	测试配置					
	参数配置					
操作过程						
序号	输入及操作说明	期望的测试结果	评价标准	备注		
前提和约束						
过程终止条件						
结果评价标准						
设计人员				设计时间		

注：实线框为A4幅面。

图C.3 测试用例

C.4 软件测试记录

测试记录见图C.4。

用例名称				用例标识	
用例说明					
用例初始化	环境配置				
	测试配置				
	参数设置				
	测试工具				
序号	输入及操作说明	期望的测试结果	评价标准	实测结果	
测试过程(简述)					
故障说明	重启动 <input type="checkbox"/>	重启成功 <input type="checkbox"/>	失效 <input type="checkbox"/>	故障 <input type="checkbox"/>	
测试结论					
测试人员				测试日志	

注：实线框为A4幅面。

图C.4 测试记录

C.5 软件问题报告单

软件问题报告单见图C.5。

问题标识			项目名称		程序文档名	
发现日期			报告日期		报告人	
问题性质	类别	程序问题 <input type="checkbox"/>	文档问题 <input type="checkbox"/>	设计问题 <input type="checkbox"/>	其他问题 <input type="checkbox"/>	
	级别	1级 <input type="checkbox"/>	2级 <input type="checkbox"/>	3级 <input type="checkbox"/>	4级 <input type="checkbox"/>	5级 <input type="checkbox"/>
问题追踪						
问题描述 / 影响分析 (可另加附页)						
附注及修改建议 (可另加附页)						

注：实线框为A4幅面。

图C.5 问题报告单

C.6 测试报告

测试报告见图C.6。

软件名称		版本号		测试样品编号	
委托单位			接收日期		
委托单位地址			邮政编码		
联系人			联系电话		
测试单位					
测试地点			测试起始时间		
测试样品信息	内容			备注	
测试依据					
测试环境	硬件配置	软件配置	网络环境	测试工具	
测试内容	<input type="checkbox"/> 功能性 <input type="checkbox"/> 性能效率 <input type="checkbox"/> 易用性 <input type="checkbox"/> 可靠性 <input type="checkbox"/> 信息安全 <input type="checkbox"/> 维护性 <input type="checkbox"/> 兼容性 <input type="checkbox"/> 可移植性 <input type="checkbox"/> 用户文档集 <input type="checkbox"/> 产品说明 <input type="checkbox"/> 其他约定测试项：_____				
测试结论					
批准		审核		编制	

注：实线框为A4幅面。

图C.6 测试报告

参 考 文 献

- [1] GB 17740 地震震级的规定
 - [2] GB/T 17742 中国地震烈度表
 - [3] DB/T 4 地震台站代码
 - [4] DB/T 59 地震观测仪器进网技术要求 地震烈度仪
 - [5] DB/T 60 地震台站建设规范 地震烈度速报与预警台站
 - [6] DB/T 66 地震编目规范
 - [7] GB/T 15532 计算机软件测试规范
 - [8] GB/T 18207.1 防震减灾术语第1部分：基本术语
 - [9] GB/T 18207.2 防震减灾术语第1部分：专业术语
 - [10] GB/T 20158 信息技术 软件生成周期过程 配置管理
 - [11] GB/T 25000.51 系统与软件工程系统与软件质量要求和评价 第51部分：就绪可用软件产品 (RUSP)的质量要求和测试细则
 - [12] GB/T 29831.3 系统与软件功能性 第3部分：测试方法
 - [13] GB/T 29832.3 系统与软件可靠性 第3部分：测试方法
-