

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 31593.1—2015

---

## 消防安全工程 第 1 部分：计算方法的评估、验证和确认

Fire safety engineering—

Part 1: Assessment, verification and validation of calculation methods

(ISO 16730:2008, Fire safety engineering—

Assessment, verification and validation of calculation methods, MOD)

2015-06-02 发布

2015-08-01 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	I
引言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 计算书要求 .....	3
5 计算方法 .....	5
6 用于确认计算方法的参考数据要求 .....	11
附录 A (资料性附录) 本部分章条编号与 ISO 16730:2008 的章条编号对照 .....	12
附录 B (规范性附录) 计算方法的验证与确认程序 .....	13
附录 C (资料性附录) 测量数据的不确定度 .....	15
附录 D (资料性附录) 确认程序示例 .....	17
附录 E (资料性附录) 软件质量评价方法 .....	23
参考文献 .....	27

## 前 言

GB/T 31593《消防安全工程》分为以下九个部分：

- 第 1 部分：计算方法的评估、验证和确认；
- 第 2 部分：所需数据类型与信息；
- 第 3 部分：火灾风险评估指南；
- 第 4 部分：设定火灾场景和设定火灾的选择；
- 第 5 部分：火羽流的计算要求；
- 第 6 部分：烟气层的计算要求；
- 第 7 部分：顶棚射流的计算要求；
- 第 8 部分：开口气流的计算要求；
- 第 9 部分：人员疏散评估指南。

本部分为 GB/T 31593 的第 1 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用重新起草法修改采用 ISO 16730:2008《消防安全工程 计算方法的评估、验证和确认》。

本部分与 ISO 16730:2008 相比在结构上有较多调整，附录 A 中列出了本部分与 ISO 16730:2008 的章条编号对照一览表。

本部分与 ISO 16730:2008 的技术性差异及其原因如下：

——关于规范性引用文件，本部分做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中，具体调整如下：

- 用 GB/T 5907(所有部分)代替了 ISO 13943(见第 3 章)；
- 增加引用了 GB/T 31593.3(见 B.3.3)；
- 增加引用了 GB/T 31593.5~GB/T 31593.8(见 4.2.8)；

——删除了国际标准第 3 章中 3.9、3.10、3.14、3.16、3.17、3.20、3.21、3.22 等通用术语和定义。

本部分还做了下列编辑性修改：

- 删除了国际标准的前言，重新起草了前言；
- 修改了国际标准的引言，将其作为本部分的引言；
- 将国际标准的“本标准”一词改为“GB/T 31593 的本部分”或“本部分”；
- 将国际标准第 4 章、第 5 章、第 6 章等章中内容较长的段进行分条处理；
- 增加了资料性附录 A，给出了本部分与国际标准的章条编号对照情况；
- 将国际标准 5.1 的部分内容调整为附录 B；
- 将国际标准的附录 B 调整为本部分的附录 D，并拆分为 D.1 和 D.2；
- 将国际标准的某些标点符号修改为符合汉语习惯的标点符号。

本部分由中华人民共和国公安部提出。

本部分由全国消防标准化技术委员会建筑消防安全工程分技术委员会(SAC/TC 113/SC 13)归口。

本部分负责起草单位：公安部天津消防研究所、中国科学技术大学、公安部四川消防研究所、中国建筑科学研究院。

本部分主要起草人：陆守香、汪金辉、姚松经、韩伟平、阚强、智会强、张玉贤、毕少颖、胡忠日、张向阳、梅秀娟、汪箭、宋卫国、庄磊、郭歌。

## 引 言

消防安全工程的工作目标是利用相关计算方法预测火灾的发生、发展趋势及后果,评估消防安全措施是否能够有效减轻火灾对人员、建筑 and 环境的危害,为实现可接受的消防安全水平提供技术依据。计算方法的可信度需要经过评估、验证和确认。

为检验所选择的计算方法是否具有足够的准确性,需要制定技术评判标准,供计算方法的开发者、使用者以及相关技术人员使用。

计算方法的使用者及需要接受其结果的任何有关各方,要确保计算方法能够足够准确地预测火灾的发展过程及后果。因此,计算方法的数学准确度和模拟火灾现象的能力需要得到可靠验证。

计算方法的准确度没有固定要求,而是取决于其应用对象的实际需求,并不要求所有的计算方法都具有很高的准确度,但要明确其误差、不确定性及适用范围。

本部分重点关注计算方法的准确度,但易用性、相关性、完整性等指标也是选择计算方法时需要考虑的因素。计算方法的适用性评估需要采用质量保证方法,本部分概述了建立相关质量特征指标的原则。

本部分适合以下各方使用:

- a) 从事计算方法开发活动(包括需求分析,结构设计及测试等)的个人或组织;
- b) 负责维护、提供计算模型以及评价计算模型质量的个人或组织;
- c) 应用计算方法开展分析工作的个人或组织;
- d) 消防性能化设计标准和规范的制定者;
- e) 负责评估方法和工具应用评审或认证工作的认证组织/官方机构;
- f) 从事计算方法应用培训的个人或组织。

# 消防安全工程

## 第 1 部分：计算方法的评估、验证和确认

### 1 范围

GB/T 31593 的本部分为消防安全工程计算方法的评估、验证和确认过程提供了实施框架,其中包括如下内容:

- a) 验证方法,即验证给出的方程和计算方法的正确性;
- b) 确认方法,即确认所用计算方法是否可以解决现有问题;
- c) 计算方法文件的编制要求;
- d) 数据要求(与数据有出入的预测结果要进行检验)。

本部分适用于解析模型计算方法和复杂数值模型计算方法的评估、验证和确认。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 5907(所有部分) 消防词汇

GB/T 31592 消防安全工程 总则(GB/T 31592—2015,ISO 23932:2009,MOD)

GB/T 31593.3 消防安全工程 第 3 部分:火灾风险评估指南(GB/T 31593.3—2015,ISO/TS 16732:2005,MOD)

GB/T 31593.5 消防安全工程 第 5 部分:火羽流的计算要求(GB/T 31593.5—2015,ISO 16734:2006,MOD)

GB/T 31593.6 消防安全工程 第 6 部分:烟气层的计算要求(GB/T 31593.6—2015,ISO 16735:2006,MOD)

GB/T 31593.7 消防安全工程 第 7 部分:顶棚射流的计算要求(GB/T 31593.7—2015,ISO 16736:2006,MOD)

GB/T 31593.8 消防安全工程 第 8 部分:开口气流的计算要求(GB/T 31593.8—2015,ISO 16737:2006,MOD)

### 3 术语和定义

GB/T 5907 和 GB/T 31592 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**准确度 accuracy**

测量结果、估计值等与实际真值之间的接近程度。

注:在本部分中,确定数值准确度(或数学准确度)是计算方法(如计算机火灾模型)验证的内容之一。准确度可用模型计算结果的不确定度来表示。

#### 3.2

**评估 assessment**

为确定所选计算方法反映现实情况的精确程度,使用户了解计算方法的概念性描述及其数值解的

精确程度,通过验证和确认来评价计算方法适用性的过程。

注:计算方法适用性评估的关键过程是验证和确认。

### 3.3

#### 计算方法 calculation method

用于预测火灾相关现象的数学程序。

注:计算方法可以表述目标特性或火灾行为,也可以表述人员行为;在形式上可以是概率性的,也可以是确定性的;计算方法既可以是简明的数学公式,也可以是复杂的计算机模型。

### 3.4

#### 校准 calibration

调整计算模型的模拟参数使其与试验数据一致的过程。

### 3.5

#### 计算机模型 computer[ized] model

实现概念模型的计算机程序。

### 3.6

#### 概念模型 conceptual model

利用各种信息、模拟数据及数学方程等工具对物理系统或物理过程所做的概念性描述。

### 3.7

#### 默认值 default value

在系统或用户没有重新设置情况下,由程序自动生成的标准设置或状态。

### 3.8

#### 确定性模型 deterministic model

在输入值相同的情况下,每次可以得到相同结果并以数学方程为基础的计算方法。

### 3.9

#### 火灾模型 fire model

与火灾发展(包括火灾动力学和火灾效应)相关的系统或过程的表述方法。

### 3.10

#### 数学模型 mathematical model

描述物理系统现象的方程组。

### 3.11

#### 测量值 measure

按照测量结果对变量的赋值。

### 3.12

#### 度量元 metric

评价计算机软件品质特性的定量或定性度量指标。

### 3.13

#### 物理模型 physical model

以一个简化的物理场景来重现火灾现象的模型,如缩尺模型。

### 3.14

#### 概率模型 probabilistic model

将某现象处理成一序列事件或状态,并利用数学规则描述一个事件向另一个事件的过渡,且对每一过渡点赋概率值的模型。

### 3.15

#### 确认 validation

评价计算方法反映真实场景准确程度的过程。

## 3.16

**验证 verification**

评价计算方法反映概念性模型的准确程度及求解精确度的过程。

**4 计算书要求****4.1 概要**

4.1.1 计算书的文件内容应充分详细,以确保所采用计算方法的计算结果在规定的准确度和精密度范围内具有可重复性,这是评价计算方法理论的适用性和计算程序准确性的重要基础,同时也能避免计算方法的误用。

4.1.2 计算方法的正确性评估应包括计算结果与试验数据、调查统计数据或实际情况近似值的比较,并且应符合质量保证要求。

4.1.3 计算书文件应包括:

- 介绍计算方法理论依据的技术文件,见 4.2;
- 计算机软件的用户指南,见 4.3。

**4.2 技术文件**

4.2.1 模型开发者应提供技术文件,技术文件应完整描述计算方法及其基础理论,充分展示其运算能力,并为用户提供正确使用计算方法的必备信息。

4.2.2 如果用户在计算过程中采用了由实验数据回归的代数方程或解析解,应标注所引用的标准或科技文献。

4.2.3 在制定消防安全工程计算方法标准时,应给出所用计算方法的来源以及符合 4.2.4~4.2.6 要求的技术文件。

4.2.4 技术文件中有关计算方法的描述应包括以下详细内容:

- a) 目的,包括:
  - 可解决的问题或使用功能;
  - 计算方法给出的结果;
  - 可行性研究及论证说明。
- b) 理论依据,包括:
  - 基础的概念模型;
  - 描述火灾现象的基础理论和计算方法所依据的物理定律。
- c) 理论应用,包括:
  - 支配方程;
  - 所采用的数学方法、程序、算法和相关文献;
  - 所有假设条件,为保证计算方法适用性对输入参数所作的必要限定条件;
  - 主要算法计算结果的精密度,与计算机模型相匹配的计算机运算能力;
  - 灵敏度分析结果。
- d) 输入,包括:
  - 需要的输入参数;
  - 数据来源的相关信息;
  - 计算机模型的辅助程序或所需的外部数据文件;
  - 计算机模型所用数据库的来源、内容及使用方面的信息。

4.2.5 技术文件中有关计算方法评估(验证及确认)的完整描述应包括如下内容:

- a) 以定量方式表征的计算方法预测能力的评估结果。
- b) 有关评审、分析测试、对比测试、试验验证及代码校核的参考文献。对于计算机模型,如果采用 $\beta$ 测试进行确认,则文件中应包括测试的概况(如:是否涉及计算方法的开发深度;是否为初级用户;是否进行额外指导等)。
- c) 计算方法满足本部分要求的程度。

4.2.6 计算模型的技术文件应收录在诸如手册等文件中,利用代数方程求解消防安全工程问题的相关技术文件可从有关文献引用。技术文件完成编制前,需通过第三方的独立审核来完成计算方法的验证与确认,审核过程中需要采用质量保证方法得到一个或一组测量值,用于表征计算方法的质量,以此判定计算方法的准确度是否满足用户的要求。如果要获得更多的信息可参阅 GB/T 25000.1。

4.2.7 技术文件应至少包含一个应用示例,对于代数方程和数学模型[见 4.3.5 h)]都应给出应用实例,其目的是说明一些必需的输入数据、限制条件以及计算结果的适用范围。

4.2.8 计算方法标准应规定计算方法的适用范围和局限性、输入参数等必备内容,同时应在资料性附录中给出应用示例(见 GB/T 31593.5~GB/T 31593.8)。

### 4.3 用户指南

4.3.1 计算机模型应提供用户指南,该指南应能指导用户理解模型的用途和用法、重复实现计算机的操作环境和有关示例结果,在参数给定范围内或特殊情况下,指导用户修改输入数据并运行程序。

4.3.2 用户指南应简明清晰,为准备输入数据和结果阐释提供参考。

4.3.3 安装、维护以及程序编制文件可以包含在用户指南中,也可以单独给出;应给出完整的计算机安装程序信息。

4.3.4 所有文件都应包括标题和有关详细信息,如:计算方法版本信息、负责维护计算方法并能提供更多帮助的机构信息。

4.3.5 为保证用户能够正确使用计算机模型,用户指南应为用户提供所有必需的信息,这些信息包括:

- a) 程序说明,包括:
  - 完整的模型描述;
  - 任务执行的基本过程、计算方法以及程序说明(可用流程图);
  - 执行典型程序运行任务所需基本技能的说明。
- b) 安装和操作说明,包括:
  - 所需的最低硬件配置;
  - 已成功运行过程序的计算机;
  - 程序语言和软件操作系统以及所使用的版本;
  - 提供程序安装指南;
  - 提供执行典型运行的启动时间;
  - 提供评估典型计算机系统执行时间的必要信息。
- c) 程序注意事项,包括:
  - 描述用于解决不同问题的主要功能选项,指导用户如何选择这些选项;
  - 确定应用的限制条件(如场景的范围,在这些范围内所用理论是公认的或者被认为是有效的;或输入数据的范围,在这些范围内计算方法已得到验证);
  - 给出软件的局限范围,包括合适的范围以及在超过限定范围后的程序运行状况。
- d) 输入数据描述,包括:
  - 每个输入变量的名称及其说明,包括:量纲单位,默认值(如果有)以及源文件(如不具备普适性);
  - 描述输入变量的输入方法;



- 根据数据的稳定性、精确性和可行性以及模型实用性,确认输入数据的限定范围及其对输出结果的影响;
  - 描述所用缺省变量以及将这些变量改为用户自定义的设置过程;
  - 如果可以连续处理,应对数据保留或重新初始化的条件给出说明。
- e) 外部数据文件,包括:
- 描述所有外部文件的目录及结构;
  - 对产生、修订或编辑这些文件的任何辅助程序提供参考资料。
- f) 系统控制要求,包括:
- 说明启动和运行程序详细步骤;
  - 列出操作系统的控制命令;
  - 在适当的响应范围内,列出程序的提示信息;
  - 说明在执行程序的过程中如何中断操作、重新运行或退出,以及程序中断后文件和数据的状态。
- g) 输出信息,包括:
- 给出程序输出结果、图形演示及绘图程序;
  - 提供判断程序是否得到收敛解的说明。
- h) 示例,即提供与输出信息相关的示例数据文件,以供用户检验是否正确操作了程序,示例应能演示大部分可使用的程序菜单选项(见 4.2.6);
- i) 错误信息处理,包括:
- 列出程序中可能出现的错误信息;
  - 提供当出现错误信息时相对合理的处理方法;
  - 描述违反限制条件时程序的行为;
  - 给出恢复程序。

## 5 计算方法

### 5.1 概述

5.1.1 计算方法应按附录 B 规定的程序接受验证和确认。

5.1.2 计算方法的理论依据应由一个或多个熟悉火灾理论和计算技术的专家进行评审,评审内容应包括文件的完整性评估,同时应特别重视对数值近似的评估。

5.1.3 计算机代码中的常数值和缺省值应接受正确性和适用性评估。其中适用性评估更为重要,因为对于不同场景,常量值可能有所不同,在有些情况下需要对常量值进行调整;不合适的缺省值可能导致错误的结果,对于输入变量,要明确定义变量的使用范围。

5.1.4 为发现求解系统可能存在的误差来源(参见附录 C),也需要对计算方法进行验证和确认。

5.1.5 对于代数方程,由于描述火灾现象的数学公式比较复杂,对这些经验计算方法不必进行评估。

5.1.6 本方法适用于评估火灾蔓延及类似问题的计算方法,对于人员疏散以及风险评估计算方法的评估、验证与确认也可采用本方法。

### 5.2 验证

#### 5.2.1 一般规定

5.2.1.1 验证是为确认所采用的计算方法准确反映了模型开发者对于该计算方法的概念表述并获得了有效求解所采取的必要程序;通过验证并不能表明所采用的计算公式(支配方程组)是合理的,只是表明

支配方程组得到应用并获得有效求解。

5.2.1.2 验证过程旨在检验编码是否正确,并评估数值误差的控制情况。误差分为以下三类:

- a) 舍入误差:由于计算机采用一组固定长度的数字表示实数,所以会出现舍入误差;
- b) 截断误差:当连续过程被有限过程所替代就会出现截断误差,如在一个有限状态之后截断一个无限序列,或者在满足收敛判据之后结束迭代就会出现截断误差;
- c) 离散误差:将连续函数的导数用差分近似表示时,会出现离散误差。

计算方法的评估包括对所用方法的分析和讨论,也包括对特定选项固有局限的分析和讨论。

## 5.2.2 代码校验

依据程序结构原理校验程序代码,可找出计算代码的错误与矛盾。可以采用手工方式校验,也可以采用代码校验程序进行校验。为了使程序具有可靠的数据处理能力,对用来校验的代码和方法及所发现的问题都应明确界定并作记录。

## 5.2.3 时间和空间离散化

5.2.3.1 在数值方法中,连续性的数学模型需要在时间和空间上进行离散化。根据离散方法的不同,连续模型可离散为多个不同的离散模型。

5.2.3.2 为对连续模型求解的可靠近似,离散模型应能模拟连续模型的性质和行为,满足相容性和稳定性要求。这就要求当离散参量(时间步长、空间网格等)减小时,离散解应能收敛于连续性问题的解(如果解存在)。为实现离散解的收敛,离散模型应满足相容性和稳定性要求。相容性要求意味着离散模型在一定尺度(某一规范)上能够较好地近似于连续模型,稳定性要求意味着误差不随程序的持续运行而增加。

5.2.3.3 对时间与空间离散化的误差分析应进行解释和说明。

注:大多数火灾问题都涉及不同物理和化学过程的相互作用。与这些过程相关的时间尺度可能完全不同,容易引起数值求解上的困难。在求解微分方程时,需要认真选择时间和空间步长,以确保计算的稳定性和收敛性。误差控制技术可用于实时监测离散的参数,以满足稳定性和准确度要求。代码文件要详细说明如何满足稳定性和准确度要求,并描述数值试验处理中算法的有效性。对于具体的计算,不要让用户自己去选择离散化参数。

## 5.2.4 迭代收敛和相容性测试

检查概念模型是否正确转化为计算机模型,应执行以下步骤:

- 检查残差判据;
- 检查输出变量的稳定性;
- 综合检查适宜量的守恒性;
- 在可能的范围内,与解析解对照、比较;
- 与公开的、已经验证过和更完善的模型所得到的精确解进行对照和比较;
- 检查开口部气体流动问题中人为定义的边界条件产生的影响。

## 5.2.5 模型数值处理的评估

模型数值处理的评估应包括技术文件的评估、计算代码对方程组的离散化处理、数值方法的分析。

## 5.3 确认

### 5.3.1 确认方法

5.3.1.1 确认的最基本方法是将模型预测值或解析解与可靠的试验数据进行比较。模型是理论概念的表现,试验数据是真实现象的表征,应选择合适的模型和输入数据体现试验内容,这样才能进行有效的

对比。模型和试验都具有局限性,因此对其本身的固有误差和不确定性也均应进行比较。如果模型能够产生与输入数据所描述的场景相对应的适宜结果,即可确认该模型是正确的。

5.3.1.2 对于火灾问题,即使最简单的案例通常也不存在解析解,但可以通过两种途径进行检验确认,第一种是利用试验结果确认各个算法;第二种是通过具有渐近结果的简单实验(如热传导和辐射)进行确认。例如,在一个没有火的单室房间中,温度应逐渐趋于一个单值,模型应能够重现这种规律。

5.3.1.3 相关关系也是有效的火灾分析方法,应像计算机模型一样对其采用类似的统计方法进行确认。

5.3.1.4 确认过程还包括对输入数据有效范围的说明。一般情况下,输入数据应满足如下要求:

- 包含完整的环境数据,例如建筑内的温度梯度,建筑内外的温差、风向、风力等。
- 使用正确的物性参数,若采用常数,则应进行灵敏度分析并说明其对输出结果的影响;若使用常量代替变量(如随温度变化的量),则应估计模型或计算方法在此近似条件下的适用范围。

5.3.1.5 从文献得到的数据应给出文献出处,文献可以是手册、标准、期刊和研究报告等。如果数据不是来自同行认可的文献,则应对这些数据进行核准。

### 5.3.2 计算方法与相应结果的比较

#### 5.3.2.1 单值预测与数据的比较

代数方程通常给出单值预测,计算模型也可用于单值预测。对单值预测结果应采用实验或调查数据进行校验,但这些数据应适用于所考虑的问题,并具有等价的初始条件和边界条件。详细内容见5.3.3。

#### 5.3.2.2 时间-变量预测值与数据的比较

5.3.2.2.1 采用计算模型预测的时间-变量曲线(如上层烟气温度随时间的变化曲线)可与实验数据曲线进行比较,分辨两条曲线相似性和差异性的量化比较方法参见附录 D。该方法通过将曲线处理成无量纲向量,再采用向量分析来描述两者之间的差异。这种方法即可用于验证火灾模型,也可用于对实验数据的不确定性进行量化。

5.3.2.2.2 有多种参数可以用来描述两条曲线或者一组曲线之间的差异,本部分主要考虑相对差和余弦函数:

- 相对差是一个非负的实参函数,用于表征两条曲线的差异;对于相同的两条曲线,相对差取值为 0,两条曲线差异越大,则相对差的数值越大;
- 余弦函数用于描述两条曲线形状的差异,取值从-1~1;对于有相同形状的曲线,取值为 1;对于互为镜像的两条曲线,取值为-1;如果两条曲线没有任何的共同点,取值为 0。

注:附录 D 介绍了此方法以及相应的计算公式,并给出了实例。

#### 5.3.2.3 概率模型理论和试验依据的检验

概率模型作为风险评估的重要工具,采用的方程通常根据基于火灾场景建立的概率函数来计算风险,一般从容易获取的概率值推导出所需的概率值。对这些方程正确性的检查应包含以下内容:

a) 模型是否只使用了具有明确定义的概率变量和参数;

注 1: 概率模拟和风险评估通常采用经验数据库或工程判断来为概率变量和参数赋值。对于单变量或参数,可以将其估计值与采用相同计算方法从另一组独立数据获得的估计值相比较,由此判断其准确性,例如将一组专家得到的判断与从另外一组专家得到的判断进行比较。同样,实验获得的概率(如起火概率)可以通过与不同地点或时间获得的实验概率值进行比较,从而获得验证。

注 2: 风险评估的输出变量主要基于风险概率和可能导致的后果,而后者由确定性模型获得。确定性模型预测结果的验证方法见附录 B。对于风险的组合计算结果,不论是对整个计算方法或者对其中的一个子系统,都可以通过与实际损失记录的对比而获得验证。如果风险概率值根据经验推测获得,用于验证风险概率的损失

记录与根据经验获得的风险概率具有相同的地点和时间。

- b) 概率变量、参数及其计算是否遵循了概率准则(如:概率值介于0和1之间);
- c) 采用的条件概率公式是否完整;
- d) 风险计算是否来自于包含场景发生概率和后果的直观表达式;如果不是,是否有其他潜在表达式;
- e) 关于火灾场景的风险表达式是否考虑了所有可能的场景;如果不是,计算中是否考虑了被忽略场景对计算结果的影响;
- f) 计算中是否明确阐述了概率变量和参数的不确定性,是否考虑和阐述了随机不确定性和系统偏差的来源;
- g) 如果概率模型使用的方程是从原始完整方程简化而来,其精确性是否与原始方程进行了比较。

### 5.3.3 子系统模型或子模型与相应数据的比较

5.3.3.1 将子系统模型(如烟气流/开口气流)或子模型(如火羽流模型)的预测结果与采集的实验数据进行比较,是用户确认模型预测能力的基本方法。如果对火灾现象理解和认识不够充分,依据经验数据就是测试程序所用模型(程序)的一条重要途径。利用模型预测结果的过程中不应参考用于对比的实验数据,必要的输入数据可以从小型实验中获得。测量的不确定性应得到系统化和逻辑化的考量,不应为实现测量结果与预测结果的良好吻合,而对测量结果或预测结果做出任何主观的调整。

5.3.3.2 预测结果与实验数据的比较应满足以下要求:

- a) 对数据不确定性的来源有全面了解;
- b) 对不确定性的来源给予量化;
- c) 利用灵敏度分析评价不确定性对预测结果的影响;
- d) 能够说明不确定性的数据或计算程序比较方法。

5.3.3.3 对模型预测和实验数据的比较结论多数是定性的,如:“满意”“好”或“合理”。

5.3.3.4 预测结果可以与下列几项结果进行对比:

- a) 解析解(相对于验证);
- b) 基准案例(定义完整且精确求解的案例);
- c) 实验结果;
- d) 其他计算程序的计算结果;
- e) 调查结果。

## 5.4 灵敏度分析

5.4.1 计算方法的灵敏度分析研究的是计算方法中特定参数的改变对计算结果的影响。输入数据的不确定度、物理和化学模型近似程度以及不恰当的数值处理都会引起预测结果的变化。完整可行的灵敏度分析应包含以下内容:

- a) 确定计算方法中的主要变量;
- b) 定义每个输入变量可接受的数值范围;
- c) 阐述输出数据对输入数据变化的灵敏度;
- d) 告知用户在选择输入数据和运行模型时需要注意数据的准确程度;
- e) 提供大尺度实验时需要检测的参数信息。

5.4.2 对复杂火灾模型进行灵敏度分析是一项困难的工作,模型需要大量的输入数据并在整个运算过程中输出结果。应根据研究目的、需要获得的结果、可用的资源和分析模型的复杂性,来选择合适的灵敏度分析方法。

#### 5.4.3 灵敏度分析包括以下两种基本方法：

- a) 局部法：通过对一系列特定的输入参数在一定范围内重复进行灵敏度测量，获得对整个模型性能的评价。有限差分法不需要对模型的方程组作任何改变就可以直接得到应用，但要得到满意的分析结果就应对输入参数进行仔细选择。直接方法为计算模型的方程组补充了灵敏度方程，通过对灵敏度方程与模型方程组进行联合求解得到灵敏度。直接方法一般不适用于现有的火灾模型，因此应将其集成到火灾模型的设计之中。
- b) 全局法：在输入参数上下限内进行多次灵敏度测量，然后将这些测量值进行平均得到灵敏度信息。全局法需要使用输入参数的概率密度函数，对火灾模型而言，该函数一般是未知的。

#### 5.4.4 灵敏度的两种基本分析方法之中，局部法更容易得到应用，但如果已知输入信息的范围，则可以采用全局法，比如消防安全工程中的风险计算。

注：尽管可以定义灵敏度并建立多种方法来计算，但进行灵敏度分析仍然存在困难。Iman 和 Helton(参见参考文献[12])指出复杂计算模型的下列特性造成了灵敏度分析的困难：

- a) 有太多的输入和输出参数；
- b) 模型的行为可能存在不连续；
- c) 输入数据可能存在相关性，相关的边缘概率分布为非正态分布；
- d) 模型预测是关于输入变量的非线性、多变量和时间相关函数；
- e) 单个输入变量的相关重要度是时间的函数。

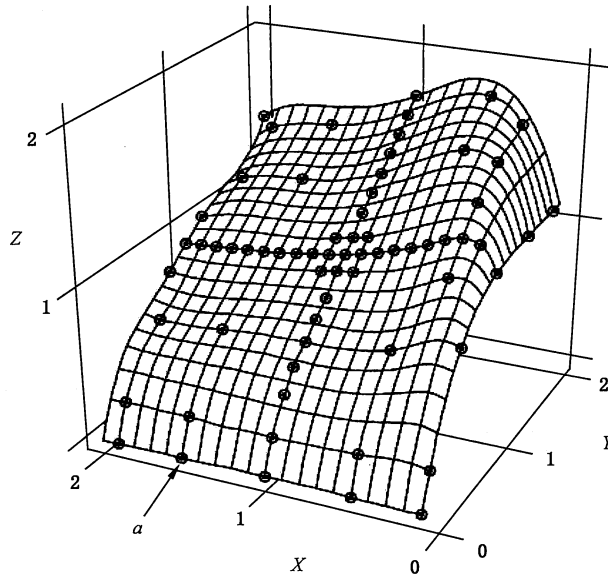
#### 5.4.5 灵敏度方程具有相似的性质。对于模型的某一输入和输出参数，可能在某个特定时间区间内，该输出参数对该输入参数敏感，但在另外的特定时间区间内，同样的输出参数可能对同样的输入参数不敏感。

#### 5.4.6 对于火灾模型的灵敏度分析，至少应解决以下两个问题：

- a) 模型是否对于特定的输入参数敏感。这是对某个特定输入参数相对于其他输入参数重要度的全面评价，因此应尽可能宽地选择模型的输入范围，以代表模型的适用范围；然后在这很宽的范围内进行后续分析，从而得出输入参数对于所选择输出结果的相对重要度。
- b) 输入参数值与真实情况相比应准确到何种程度。为了解所选输入参数的不确定性对模型输出结果的影响，应检测输入数据的微小扰动值。对于特定的火灾场景，则应测量此特定场景输入参数的扰动值。

#### 5.4.7 对单个输入数据和输出数据进行比较时，可以用平均相对差来表征模型的灵敏度。

注：图 1 是某火灾模型烟气层温度对热释放速率和通风口尺寸的响应曲面，表征的是热释放速率峰值和通风口尺寸变化对上层烟气峰值温度的影响。图中的曲面网格通过数据点之间的样条插值获得，对实际模型的计算值进行归一化处理得到的基本场景值采用覆盖在曲面网格表面的圆圈表示。可以看出，热释放速率对上层烟气峰值温度的影响比开口宽度对其影响更为显著。在火灾向受限燃烧转变前，曲面的趋势与预测结果一致，即温度随着热释放速率的上升而上升，随着开口的增大而下降，但与两者均不呈线性关系。



说明:

X —— 归一化通风口宽度;

Y —— 归一化热释放速率;

Z —— 归一化峰值温度;

a —— 实际模型计算结果归一化后得到的基本场景值。

图 1 表征火灾模型灵敏度的响应曲面

## 5.5 质量保证

5.5.1 为保证计算机软件的质量,应采用质量保证模型对计算机软件质量进行评估。对用户而言,这是很重要的外部质量评估过程;对程序功能而言,这是重要的内部质量评估过程。

5.5.2 软件质量特性包括六大方面,即功能性、可靠性、可用性、效率性、可维护性和可移植性,每个特性还可以细分为多个子特性(见图 2)。

5.5.3 对计算方法软件质量的评估,完整步骤可参见 GB/T 25000.1、GB/T 16260.1 和 GB/T 18905.1 的规定,附录 E 是其简化版本。

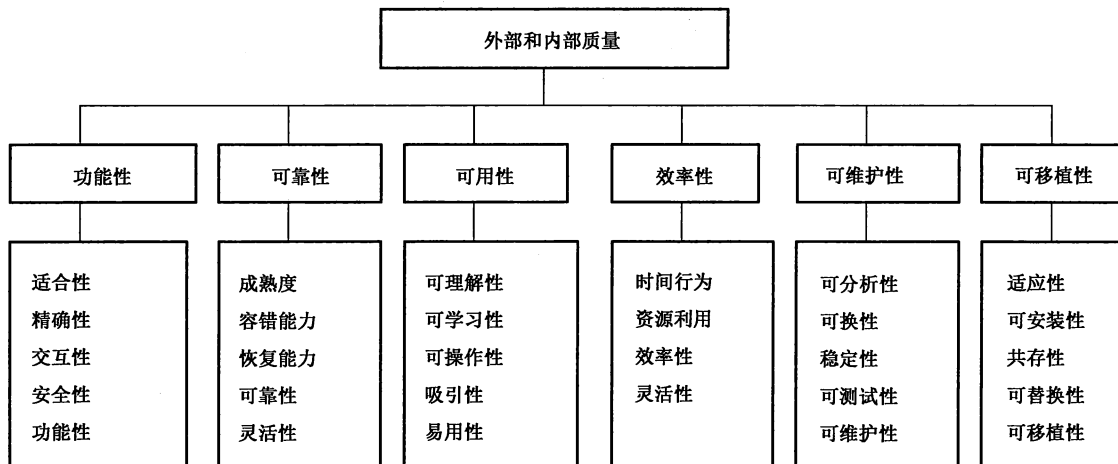


图 2 质量模型的外部 and 内部特征,描述特征和子特征

## 6 用于确认计算方法的参考数据要求

6.1 用于确认计算方法的参考数据,可从实验、调查、存档完好的火灾案例或其他已确认有效的计算方法中获得。

6.2 用于定义、设置或评估计算方法中某个特定量的数据不能用作计算方法确认的参考数据,应采用其他独立的数据来评估计算方法的有效性。

6.3 计算模型的计算值和确认值的差异可能由计算误差造成,也可能由参考数据的误差造成。应评估参考数据的误差量级和来源以及这些误差对计算值和确认值之间差异的影响,以此为计算方法的有效性评估结论提供支撑。

6.4 在采用参考数据之前,应描述参考数据的完整性、质量、精密度以及偏倚:

- a) 对于实验数据,应评估实验过程的可重复性,参考数据的精密度和偏倚取决于测量仪器的精密度和偏倚;
- b) 对于调查(统计)数据,应对调查方案和所得样本的代表性进行评估,同时应确定样本数量导致的不确定性;
- c) 对于法医学分析数据,应说明数据的收集方法和过程;
- d) 对于从其他已确认有效的计算方法所得的数据,需要提供计算方法确认的证据及其精密度、偏倚、误差的来源和量级。

6.5 应评估参考数据的收集条件和计算方法假设条件的一致性,包括初始条件和边界条件。若实验仅得到年轻人、健康成年人的疏散特征数据,则这些数据不能应用于复杂人群的疏散计算。

6.6 对整体的计算方法和其子系统、子模型应分别进行评估,评估过程中识别、获取的参考数据应与评估对象相匹配。

6.7 为得到合适的参考数据,通常会对原始数据进行一定程度的删减、转换和编译,对这些过程也应进行评估。例如,如果原始调查数据只适用于个别城市高层办公楼,则对于其他国家城市不同类型、不同高度的建筑,其应用就具有不确定性,对此应进行说明和评估。

6.8 通过了解回顾计算方法的研发过程,对参考数据来源的独立性进行评估。

6.9 计算方法的整体有效性评估,应在所有工况和条件下产生的所有输出数据范围内进行。参考数据应尽可能确保评估的完整性,如果对于输出数据的范围和所评估工况有任何限定条件,也应详细说明。例如,如果实验数据仅适用于顶棚温度,那么计算方法对房间内其他位置的温度预测结果,就不能直接用此实验数据来确认。

附 录 A  
(资料性附录)

本部分章条编号与 ISO 16730:2008 的章条编号对照

表 A.1 给出了本部分章条编号与 ISO 16730:2008 的章条编号的对照一览表。

表 A.1 本部分章条编号与 ISO 16730:2008 的章条编号对照

本部分章条编号	对应的 ISO 16730:2008 的章条编号
—	3.9~3.10
3.9~3.11	3.11~3.13
—	3.14
3.12	3.15
—	3.16~3.17
3.13~3.14	3.18~3.19
—	3.20~3.22
3.15~3.16	3.23~3.24
4.1.1~4.1.3	4.1
4.2.1~4.2.5	4.2
4.3.1~4.3.5	4.3
5.1.1~5.1.6	5.1
5.2.1.1、5.2.1.2	5.2.1
5.2.3.1~5.2.3.3	5.2.3
5.3.1.1~5.3.1.6	5.3.1
5.3.2.2.1~5.3.2.2.2	5.3.2.2
5.3.3.1~5.3.3.4	5.3.3
5.4.1~5.4.7	5.4
5.5.1~5.5.3	5.5
6.1~6.9	6
附录 A	—
附录 B	5.1
附录 C	附录 A
C.1.1~C.1.4	A.1.1
C.2~C.6	A.1.2~A.1.6
附录 D	附录 B
附录 E	附录 C

注：表中的章条以外的本部分其他章条编号与 ISO 16730:2008 其他章条编号均相同且内容相对应。



**附录 B**  
(规范性附录)  
**计算方法的验证与确认程序**

### B.1 概述

计算方法的验证和确认,即判定计算方法反映真实现象的准确程度,以及判定该计算方法对概念模型的描述及其求解的精确程度。验证是判定方程是否得到正确求解。如果方程正确,下一步就是确认,以保证结果与真实情况相符。

### B.2 计算机模型的建立和模拟的一般过程

图 B.1 给出了计算机模型的建立和模拟的一般过程,以及验证与确认在这些过程中的作用。火灾计算机模型的建模和模拟也是如此。

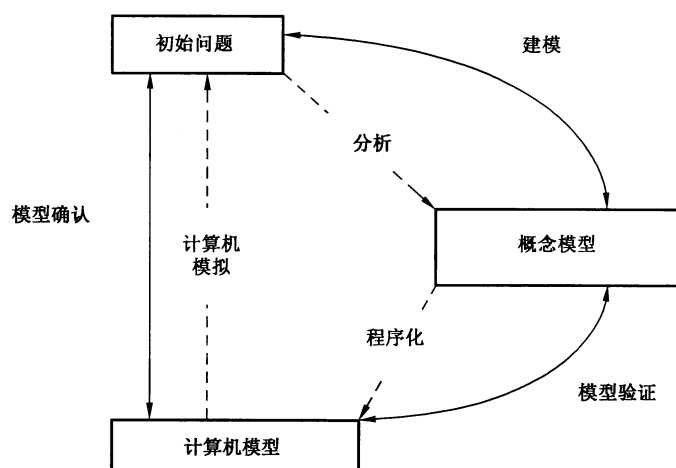


图 B.1 计算机模型的建立和模拟的一般过程

概念模型通过分析真实现象(有时是物理系统)而建立,由描述物理系统的数学模型和方程构成(N-S方程,能量及质量守恒定律,以及附加物理模型,如湍流模型、人员行为、结构行为、风险等)。验证过程是处理概念模型和计算机模型之间的关系,而确认过程是处理计算机模型与真实现象之间的关系。

### B.3 计算方法的验证和确认

#### B.3.1 数学模型建立过程

图 B.2 是从图 B.1 发展而来,给出了计算模型的验证和确认的流程图,其中指明了代数方程的使用阶段。首先,利用测试、试验或调查,对真实现象进行感性认识,建立概念模型,再将高度复杂的概念模型进行近似处理和简化,进而再发展成为一组数学关系,即数学模型。在保证足够的精确度和可接受的求解能力条件下(如时间和计算机运算能力),获得求解。

**B.3.2 对计算方法基础理论的评审要求**

计算方法的理论基础需要有一个或多个熟悉火灾理论和计算技术的专家进行评审。评审应包括文件的完备性,特别是一些数值近似。评审者应能够判断是否存在已公开文献以证明方法的合理性。对于代码中的常量和缺省值同样要进行精确性和适用性评估。适用性评估更为重要,因为对于特定场景,常量可能有特定取值,在有些情况下,需要对常量值进行调整。对于输入变量,要明确其取值的上限和下限,以此将计算方法的应用限制在合理范围之内。

**B.3.3 验证和确认的流程**

为了发现计算方法当中可能导致错误结果出现的源头问题,应对其进行验证和确认。图 B.2 中包含了代数方程的框图,这些与火灾现象相关的数学公式比较复杂,对经验公式计算方法的评估不需要使用这些代数方程。

本流程不仅限于火灾蔓延及类似问题的处理,同时也适用于对人的行为和运动以及风险评估计算方法的评估、验证与确认(风险=发生概率×后果,见 GB/T 31593.3)。

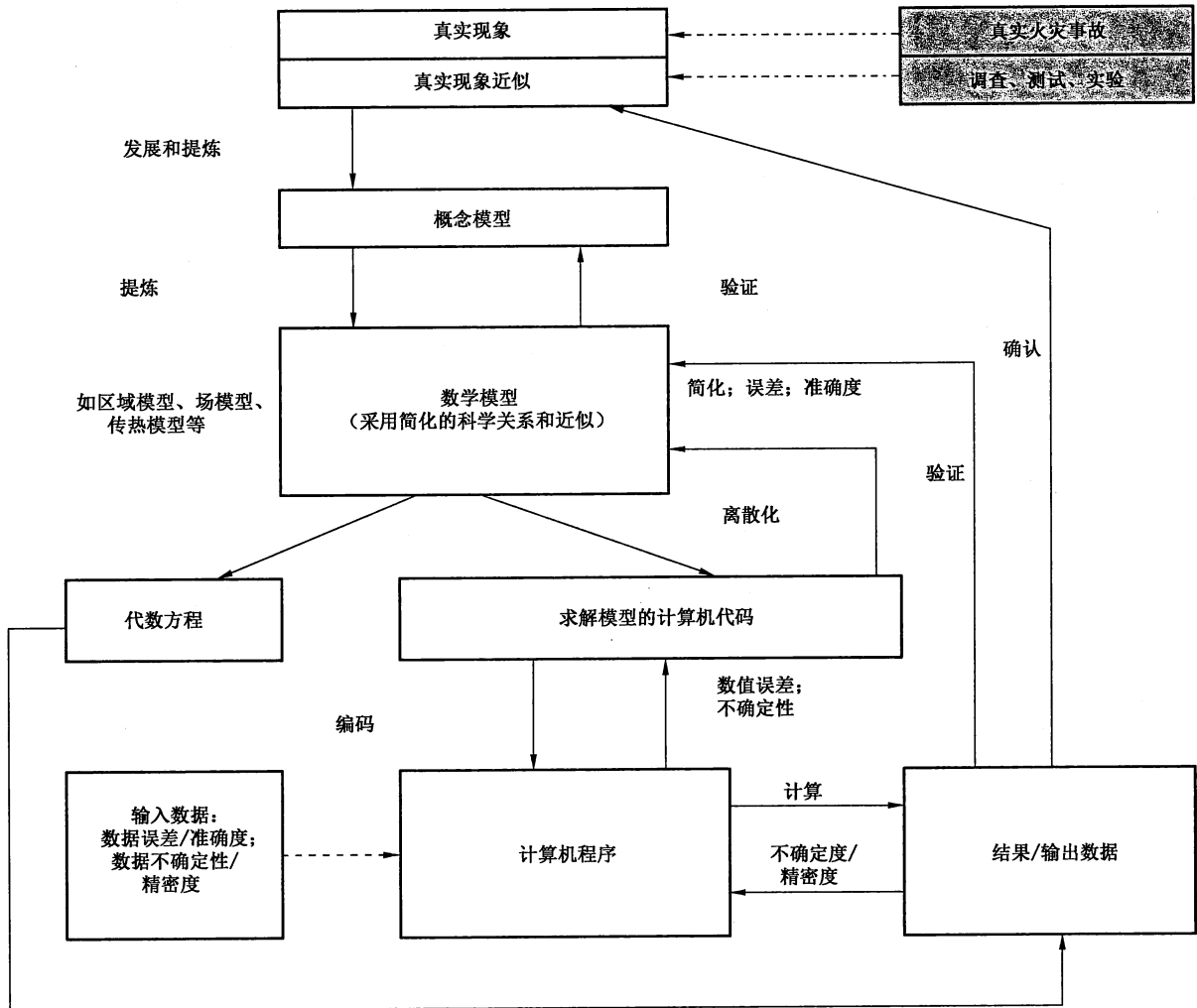


图 B.2 模型评估流程图(包括验证与确认)

**附录 C**  
(资料性附录)  
**测量数据的不确定度**

**C.1 概述**

C.1.1 并非所有公布的实验数据都会包含不确定度信息。本附录内容用于帮助实验人员确定实验数据的不确定度,还可帮助模型使用者在验证模型时判断实验数据的有效性。

C.1.2 一般而言,实验测量结果仅仅是实验条件下特定量的近似值或估计值,因此,结果应包含对于完整的不确定度的定量表述。

C.1.3 测量结果的不确定度通常由几部分组成。根据国际度量委员会采用的方法,按照数值估计方法,标准不确定度可分为两类:

- A类:统计方法估计的不确定度;
- B类:其他方法估计的不确定度。

C.1.4 一般将不确定度分成两个部分:随机部分和系统部分。每一部分对测量不确定度的贡献用一个标准偏差表示,即标准不确定度,通常以  $u_i$  表示,等于方差  $u_i^2$  的正平方根。A类标准不确定度中的不确定分量可采用基于统计方法估计的标准偏差  $s_i$  表示,是基于统计方法估计的方差  $s_i^2$  和自由度  $\nu_i$  的正平方根。对于这部分不确定度分量,其标准不确定度  $u_i = s_i$ 。同样,B类标准不确定度的不确定分量以  $u_j$  表示,是相应标准偏差的近似值,等于  $u_j^2$  的正平方根,可看成相应方差的近似值,根据基于可用信息假设的概率分布可以获得该值。由于将  $u_j^2$  看成方差, $u_j$  看成标准偏差,所以对于这类不确定度分量,标准不确定度就是  $u_j$ 。

**C.2 A类标准不确定度的估计**

A类标准不确定度估计可以基于任何一种有效的数据统计方法。例如,在利用最小二乘法将一组独立观察数据拟合成一曲线时,可以计算这组数据均值的标准偏差来估计该曲线参数及标准偏差。本部分不详细介绍统计方法。

**C.3 B类标准不确定度的估计**

B类标准不确定度的估计是基于可用信息所做出的科学判断,这些信息可包括:

- a) 以前的测量数据;
- b) 对有关技术资料和测量仪器特性的了解和经验;
- c) 仪器制造商提供的技术说明文件;
- d) 手册或相关资料给出的校准数据与参考数据的不确定度。

**C.4 合成标准不确定度**

测量结果的合成标准不确定度,以符号  $u_c$  表示,用于表示测量结果的标准偏差。不论是A类不确定分量还是B类不确定度分量,都采用合成方法将这些独立的标准不确定度  $u_i$  组合为合成标准不确定度。这一合成方法称作“不确定度传播律”或“和的平方根方法”。目前广泛采用合成标准不确定度  $u_c$ 。

来度量不确定度。

### C.5 扩展不确定度

尽管可以采用合成标准不确定度  $u_c$  表示多个测量结果的不确定度,但实际经常需要做的是定义测量结果  $y$  的偏差区间,并使测量值  $Y$  在一定置信度条件下位于这个区间内。这样的区间就是扩展不确定度,以符号  $U$  来表示,通过  $u_c(y)$  与包含因子  $k$  相乘得到,见式(C.1)。

$$U = k u_c(y) \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

在一定置信度条件下,可以得到式(C.2):

$$y - U \leq Y \leq y + U \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

通常写作式(C.3):

$$Y = y \pm U \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

一般而言,需要在一定置信度条件下选择包含因子  $k$ ,  $k$  值通常介于 2~3 之间。如果用正态分布,忽略  $u_c$  的不确定度,  $k=2$  时确定了置信水平近 95% 的区间,  $k=3$  时的置信水平超过 99%,当前国际上采用  $k=2$ 。

### C.6 不确定度报告

不确定度报告应给出  $U$  及其包含因子  $k$ , 或  $u_c$ 。如报告测量结果和不确定度,应包括下列信息或引用发表的文献:

- a) 所有标准不确定度分量及其自由度的详细清单,以及  $u_c$  值,不确定度分量数值的获取方法(统计方法或其他方法);
- b) 对每个标准不确定度分量值估计过程的详细报告。

**附 录 D**  
**(资料性附录)**  
**确认程序示例**

**D.1 概述**

火灾模型确认的关键是量化模型预测和实验测量之间的差别,或两种模型预测结果、两组实验数据之间的差别。在比较模型和实验、不同模型之间,以及模型预测和实时系统预测的结果差别时,所采用方法是泛函分析。本节下面介绍涉及的基本计算方法,并给出具体示例。

**D.2 基本理论**

模定义了向量长度,两个向量的距离即为两个向量差的模,用符号表示为  $\|\vec{x}\|$ ,  $\vec{x}$  是  $n$  维向量  $(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n)$ , 其计算公式见式(D.1):

$$\|\vec{x}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad \dots\dots\dots(D.1)$$

为了对两条曲线进行整体对比,将单点比较拓展到多点比较。先将曲线用多维向量表示,并定义时间为一维,采用向量模对实验数据和模型预测结果的差异进行比较。每个时间点所测的实验数据组成一向量记为  $\vec{E}$ , 在相同的时间点上的模型预测结果用另外一向量表示为  $\vec{m}$ 。两个向量之间的距离即为  $\|\vec{E} - \vec{m}\|$ , 根据式(D.2) 可以很方便地将该距离处理为与实验数据的相对差:

$$\frac{\|\vec{E} - \vec{m}\|}{\|\vec{E}\|} \quad \dots\dots\dots(D.2)$$

在进行向量比较时,主要计算两个参数:两向量差的模和向量间夹角。内积  $\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle$  是两个向量的长度与夹角余弦的乘积,见式(D.3):

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \|\vec{x}\| \|\vec{y}\| \cos(\angle(\vec{x}, \vec{y})) \quad \dots\dots\dots(D.3)$$

将式(D.3)变换后,可以得到式(D.4):

$$\cos(\angle(\vec{x}, \vec{y})) = \frac{\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle}{\|\vec{x}\| \|\vec{y}\|} \quad \dots\dots\dots(D.4)$$

内积的计算见式(D.5):

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad \dots\dots\dots(D.5)$$

根据内积的运算法则,从式(D.3)可推理得式(D.6):

$$\langle \vec{x}, \vec{x} \rangle = \|\vec{x}\|^2 \text{ or } \|\vec{x}\| = \sqrt{\langle \vec{x}, \vec{x} \rangle} \quad \dots\dots\dots(D.6)$$

内积和模的主要运算性质见表 D.1(参见参考文献[13])。

对于某一随时间变化的函数  $x$ , 且  $x(0)=0$ , 可基于函数的一阶导数进行积分得到黑林格内积, 见式(D.7):

$$\langle x(t), y(t) \rangle = \int_0^T x'(t) y'(t) dt \quad \dots\dots\dots(D.7)$$

表 D.1 内积、模的运算性质

序号	内积	模
I	$\langle \vec{x}, \vec{x} \rangle \geq 0$	$\  \vec{x} \  \geq 0$
II	$\langle \vec{x}, \vec{x} \rangle = 0 \Leftrightarrow \vec{x} = 0$	$\  \vec{x} \  = 0 \Leftrightarrow \vec{x} = 0$
III	$\langle \alpha \vec{x}, \vec{y} \rangle = \alpha \langle \vec{x}, \vec{y} \rangle$	$\  \alpha \vec{x} \  =  \alpha  \  \vec{x} \ $
IV	$\langle \vec{x} + \vec{y}, \vec{z} \rangle = \langle \vec{x}, \vec{z} \rangle + \langle \vec{y}, \vec{z} \rangle$	$\  \vec{x} + \vec{y} \  \leq \  \vec{x} \  + \  \vec{y} \ $
V	$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \overline{\langle \vec{y}, \vec{x} \rangle}$	—

对于离散向量,采用一阶差分替换式(D.7)中的一阶导数,近似得到内积,见式(D.8):

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{i-1})(y_i - y_{i-1})}{t_i - t_{i-1}} \dots\dots\dots (D.8)$$

根据一阶导数,黑林格内积和模给出了两个向量对比的敏感度。黑林格内积的变化根据正割来定义。计算公式见式(D.9):

$$\langle x(t), y(t) \rangle = \int_{pT}^T \frac{(x(t) - x(t - pT))(y(t) - y(t - pT))}{(pT)^2} dt \dots\dots\dots (D.9)$$

这里  $0 < p \leq 0.5$ ,限定了正割的长度。当  $p \rightarrow 0$  时,正割内积的极限即是黑林格积分。对于离散向量,计算公式见式(D.10):

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \frac{\sum_{i=1,s}^n (x_i - x_{i-s})(y_i - y_{i-s})}{t_i - t_{i-s}} \dots\dots\dots (D.10)$$

当  $s=1$  时,正割的定义等价于离散黑林格内积。根据  $p$  或  $s$  值,正割内积和模给出了数据的平滑程度,可以度量向量之间的差别。对于含有小范围噪声的实验数据,或因数值计算稳定性而导致的模型预测数据也有较小的噪声,正割提供筛选功能对不含潜在噪声的曲线进行比较。最后,综合欧几里德内积和正割内积后可以定义混合内积,即在欧几里德模排序与正割比较的函数形式之间进行一个均衡,简单对两种内积采用取权重后加和,见式(D.11):

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i + \frac{1}{n-s} \frac{\sum_{i=1,s}^n (x_i - x_{i-s})(y_i - y_{i-s})}{t_i - t_{i-s}} \dots\dots\dots (D.11)$$

**D.3 示例**

在图 D.1 中,两向量之间的距离  $\| \vec{E} - \vec{m} \|$  是 14.1,相对差是 0.056。两条曲线仅峰值不同,比较峰值即可全面对比两者之间吻合程度,与依据式(D.2)得出的计算结果相同。如果曲线复杂,峰值比较法将不再适用。后续几个例子也能说明这一点。

对于上面的例子,  $\cos(\angle(\vec{x}, \vec{y})) = 0.99$ 。可以看出,两向量之间的角度代表了两向量之间的匹配程度。当夹角的余弦接近 1,两条曲线彼此重合,即完全相同。

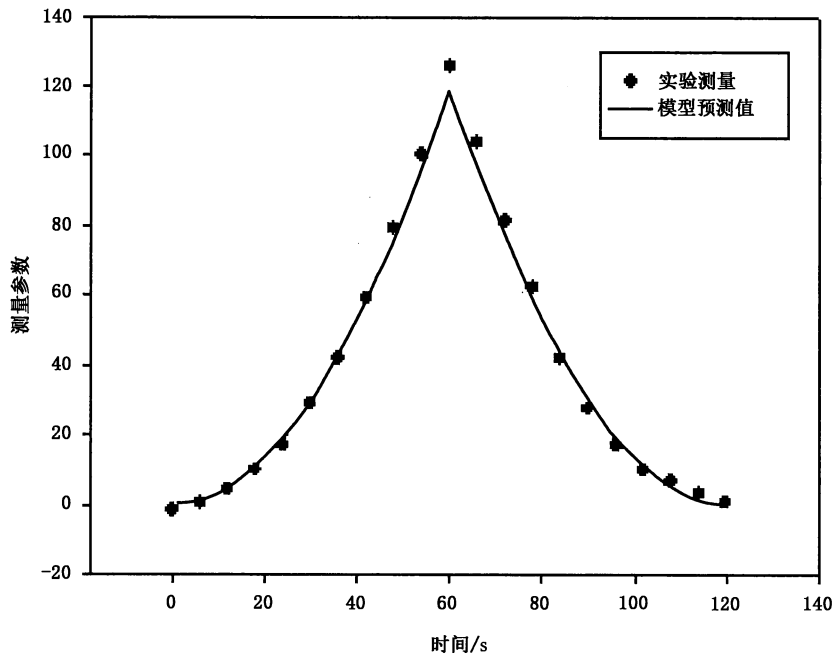


图 D.1 实验数据与模型预测结果的对比

图 D.2 是关于实验数据与三个模型预测结果相比较的例子。三个模型的预测结果具有相同的峰值,模型 1 是实验数据乘以 0.9 以后的结果。模型 2 与模型 1 有相同的峰值,与模型 1 不同的是,模型 2 的峰值向左漂移了 25 s。模型 3 与模型 1、模型 2 有相同的峰值,但存在一个以实验数据峰值为中心的 20 s 的平台区。如果仅比较峰值,可以看出这三种模型与实验数据存在 10% 的差别,但却无法辨识三种模型之间的差别。

表 D.2 给出了相对差以及实验数据向量与三种模型的预测结果向量之间的余弦,可以看出模型 1 最接近于实验数据,其次是模型 2 和模型 3,很显然,模型 1 是最优的,有相同的函数形式和同步峰值,只是比实验数据略小;相反,模型 2 的峰值相对于实验数据的偏差最大;模型 3 峰值是平稳区,其变化趋势与实验结果一致。

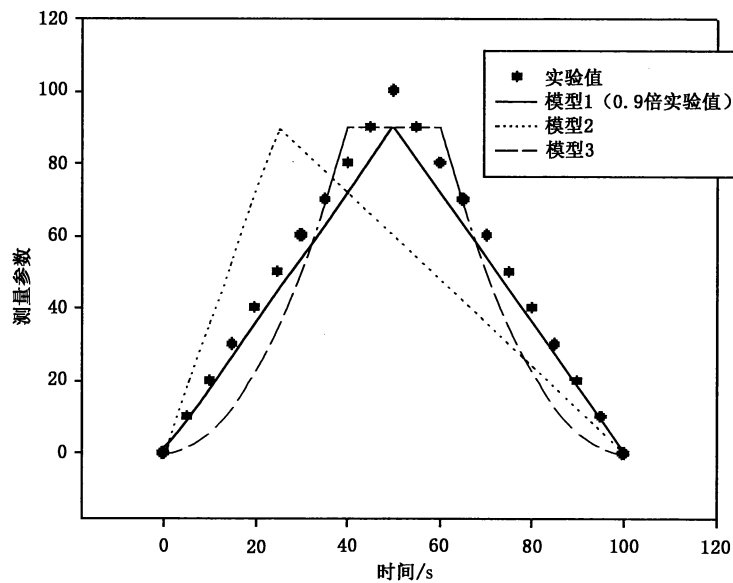


图 D.2 实验数据与三种模型的预测结果比较

表 D.2 实际数据与某模型预测结果的对比

几何学	模型类别	相对差	余弦
欧几里德	1	0.10	1.00
	2	0.40	0.92
	3	0.20	0.98
黑林格	1	0.10	1.00
	2	0.94	0.58
	3	0.74	0.77
正割	1	0.10	1.00
	2	0.92	0.58
	3	0.66	0.83
混合	1	0.10	1.00
	2	0.64	0.78
	3	0.43	0.91

模型 1 的向量形式为  $\vec{m}$ , 简化为  $\vec{m}=0.9\vec{E}$ 。相对差  $\|\vec{E}-\vec{m}\|/\|\vec{E}\|$  即  $\|\vec{E}-0.9\vec{E}\|/\|\vec{E}\|$ , 等于 0.1。类似地, 模型 1 的预测结果曲线与实验结果曲线的夹角余弦值为 1.0。

根据欧几里德相对差与余弦这两个参数可以对所有模型给出适当的评价。作为这种方法的应用实例, 在表 D.3 中将 CFAST 模型模拟结果与 5 种不同尺度火灾实验的结果进行了比较, 实验内容主要包括以下几个方面:

- 单房间火灾实验, 房间内布置软垫沙发作为燃烧物, 能够较好代表真实火源的特性(参见参考文献[14]);
- 与前一实验类似, 仍为单房间火灾实验, 房间内布置普通家具作为燃烧物, 更能代表真实火灾情况(参见参考文献[15]);
- 三个房间的组合构筑物火灾实验, 引用的数据是从简单稳定的煤气燃烧器火灾实验重复 11 次后所得数据的平均值;
- 多房间结构建筑内的系列火灾实验, 采用的是更复杂的气体燃烧器的火灾实验,(参见参考文献[16]);
- 开展一系列的全尺寸实验(包括楼梯井有或没有加压情况), 评估区域烟气控制系统(参见参考文献[17])。楼梯井没有加压, 实验在一幢八层的宾馆里进行, 宾馆的每一层楼有多个房间、楼梯与所有楼层连接。从众多相同的实验中选取数据, 说明使用模和内积进行比较的等价性(参见参考文献[18])。表 D.2 给出了混合相对差模、方程式(D.1), 以及按照五种实验工况进行模拟得到的结果向量与实验数据向量之间夹角的余弦。为了便于理解, 图 D.3 给出针对表 D.3 中一个变量参数的实验数据与模型预测结果的比较。

图 D.3 中比较的参数是一个单房间火灾实验中的上层烟气温度。在这个实验中, 模拟结果与测量值有明显的相似性。在两种测量位置上, 峰值温度都出现在大致相同的时刻, 而且实验数据的峰值温度高于采用模型计算得到的温度。相对差的模与余弦均很好地反映了这些差异。模拟结果相对差的模稍微高于实验点的相对差的模(分别是 0.36 和 0.31)。所有的曲线形状相似, 两种曲线余弦(0.93 和 0.95)值很接近。

对于需要考察的模型和实验, 采用上述这些方法可以将模型计算与实验结果的比较进行量化。



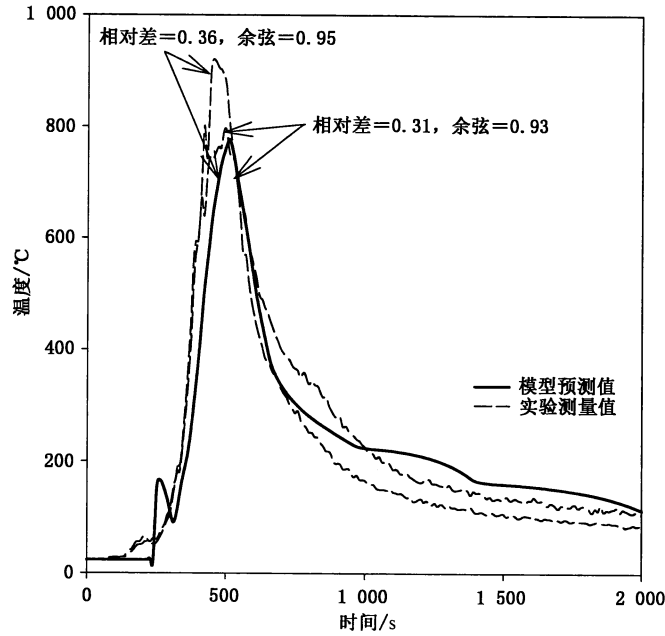


图 D.3 单房间实验烟气层温度测量值与模型预测值比较

表 D.3 实验数据与三种模型的预测结果比较

试验模型	位置或房间	相对差	余弦	相对差	余弦	相对差	余弦
		烟气层上层温度		烟气层下层温度		烟气层交界面位置	
单一房间家具	1	0.31	0.95	0.47	0.92	1.38	-0.60
	2	0.36	0.93	0.63	0.78	0.63	0.78
带走廊的三房间组合	1	0.25	0.97	—	—	—	—
	2	0.26	0.99	—	—	—	—
	3	0.26	0.98	—	—	—	—
带走廊的四房间组合	1	0.51	0.93	0.33	0.95	2.26	0.06
	2	0.54	0.91	0.52	0.87	—	—
	3	0.36	0.97	0.78	0.86	—	—
	4	0.20	0.98	—	—	—	—
多层建筑	1	0.28	0.97	—	—	—	—
	2	0.27	0.96	—	—	—	—
	7	2.99	0.20	—	—	—	—
试验模型	位置或房间	相对差	余弦	相对差	余弦	相对差	余弦
		氧气浓度		一氧化碳浓度		二氧化碳浓度	
单一房间家具	1	0.48	0.90	0.93	0.66	0.69	0.93
带走廊的四房间组合	1	0.85	0.53	1.05	0.61	1.16	0.63
	2	0.93	0.39	1.02	0.57	0.90	0.63
多层建筑	2	0.74	0.68	0.72	0.90	0.87	0.93

表 D.3 (续)

试验模型	位置或房间	相对差	余弦	相对差	余弦	相对差	余弦
		热释放速率		压力		开口气流	
单一房间家具	—	0.19	0.98	—	—	0.61	0.79
单一房间墙壁面燃烧	—	0.21	0.98	1.31	0.80	—	—
带走廊的三房间组合	1	0.43	0.96	0.15	0.99	0.14	0.99
	2	—	—	0.68	0.98	0.20	0.98
带走廊的四房间组合	—	—	—	6.57	0.74	—	—
多层建筑	1	—	—	1.12	-0.41	—	—

**附录 E**  
**(资料性附录)**  
**软件质量评价方法**

**E.1 综述**

软件质量评价过程如图 E.1 所示,内容详见 E.2 和 E.5。

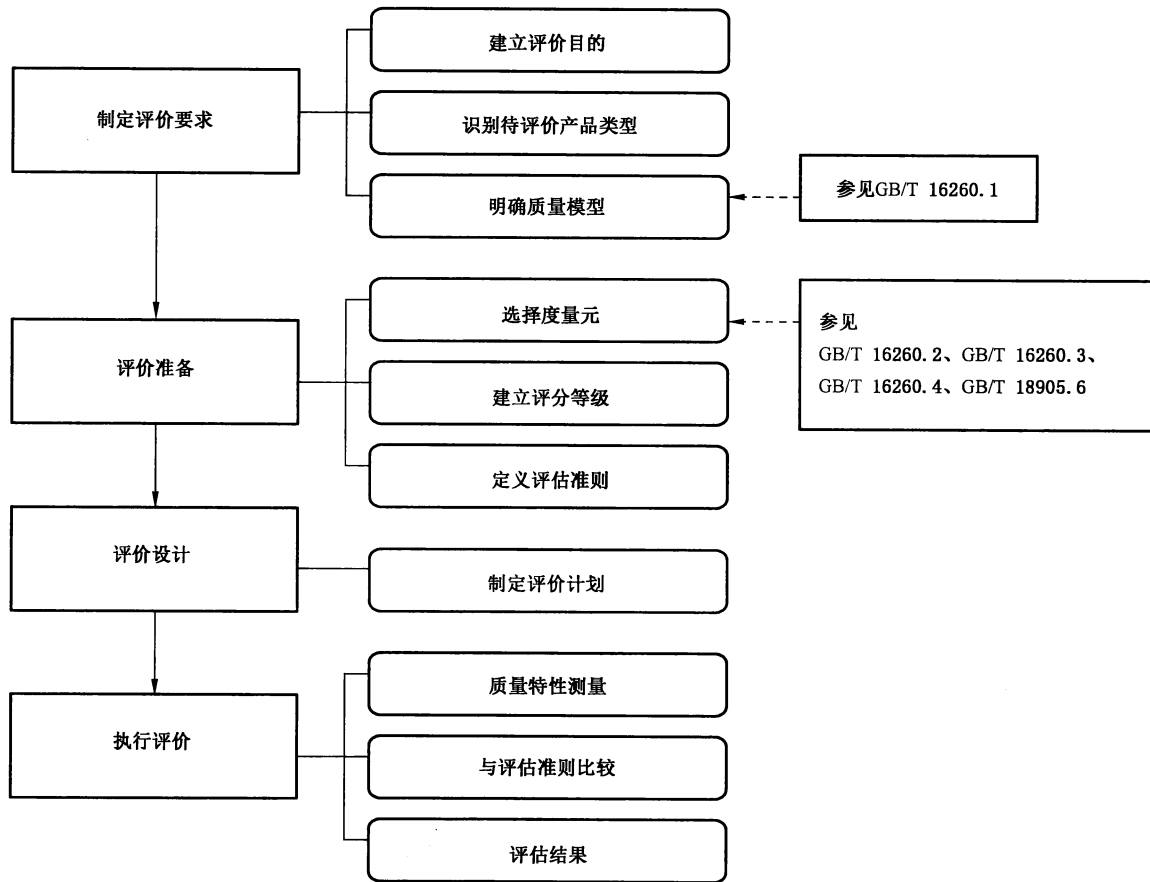


图 E.1 软件质量评价过程(参见 GB/T 18905.1)

**E.2 制定评价要求**

**E.2.1 建立评价目标**

软件质量评价目标一般包括:判断软件产品的质量是否满足用户的要求,或者通过对不同软件产品进行比较选择其中一种产品,或者对某一产品与其同类竞争对手相比所具有的水平给出评价。根据待评价软件产品的研发状态(处于正在开发中的产品或者最终产品),评价目标可以进一步细化。

**E.2.2 识别待评价产品的类型**

待评价产品的类型由评价目标决定。首先,评价者应将待评价的产品界定为中间产品(处于正在开

发中的产品)或最终产品。待评价产品的度量方法包括:外部度量(当产品为运行中的完整硬件/软件系统一部分时)、内部度量(用于测量软件的内部特性,如说明书、源代码)以及使用效果度量(用以度量特定环境下软件的应用效果)。

### E.2.3 明确质量模型

应按软件要求建立用于评价的质量模型。在此阶段,软件质量要求转化为相关的质量特性,并按照用户的要求将这些质量特性进行重要性排序。

## E.3 评价准备

### E.3.1 选择度量元

软件产品质量要求的量化应利用与特定质量特性相关的度量元来实现。这些度量元可以是:

- 内部度量,与软件产品的体系结构相关,可以预测最终软件产品的质量;
- 外部度量,适用于正在运行的软件产品质量度量;
- 使用效果度量,用以度量软件产品的使用效果。

软件评价过程度量元的选择依赖于以下几个因素:评价目的、选择的质量特性以及度量的适用性和经济性。用于对比的度量元应有效,并且具有足够的精确度,因此测量要客观、可重现。

### E.3.2 建立评分等级

对于所选的每个度量元应定义相关等级的数值,使被测量值能按所需准确度进行表示。评分等级指示每个属性的界限,确定测量值属于不可接受、可接受的最低程度、在目标范围之内或者超出要求等情况。

### E.3.3 定义评估准则

评估准则不是要求对测量值进行总结并获得一个代表产品质量的唯一指标,因为软件产品的质量与确立的质量要求密切相关,研发成本和计划易受到建立的每项质量要求及其测量值的影响。当评价结果用于在不同产品之间做出选择的时候,有必要为每一个产品建立模型,通过测量值来预测其商业价值,从而做出更为客观的比较。

## E.4 评价设计

在文档中说明评价方法和制定评价方案时,应涵盖以下内容:

- a) 测量或验证确认的技术限制;
- b) 每一项测量和验证的评价方法应该用文档说明;
- c) 确认用于测量的工具软件;
- d) 确认对产品每一部分应采用的方法;
- e) 必要时对结果做出解释和说明;
- f) 对环境的描述;
- g) 细化评价计划,例如:修订计划草案,避免重复评价;
- h) 测量过程及各项工作的时间计划表,要考虑到交付时间、产品及零组件、评价者与开发者的关系以及开发和运行场所的途径。

注:本部分的用户在制定评价计划时,建议从参阅 GB/T 18905.2 开始,同时可从 GB/T 18905 的其他部分中收集相关信息以拓宽理解。

## E.5 执行评价

### E.5.1 测量

根据所选取的度量元对软件产品进行测量,其结果是个定值。

### E.5.2 与评估准则进行比较

在此步骤中,将测量值与建立的评估准则进行比较。最终产品的测量值应该与目标值进行比较。测量值可识别:

- a) 产品的每一处缺陷及缺陷的程度;
- b) 为解决识别出的缺陷需要进行的附加评价,例如,如果对软件设计进行修正消除了以前的缺陷,这一附加评价可确认软件性能无缺陷,或可用于验证正确并可接受的软件性能;
- c) 可附加说明、性能可接受或验证软件正确性的评价;
- d) 是否需要限制软件的使用,这些限制是否影响强制要求、本附录评价的要求以及应用设计、预算和进度安排;
- e) 任何评价范围的排除以及评价结果的限制,例如“本评价未包含对产品功能性的详细说明”等;
- f) 评价行为的完整结果能够对所评软件给出总结论。

### E.5.3 评估结果

通过评估行为给出一组评分值,用以表示软件产品的质量,并且将软件的综合质量与软件的其他方面(例如研发时间和费用)进行比较,最后根据管理准则做出管理决策,其结果是对软件产品做出接受或者拒绝、发布或者不发布的决定。评估结果会影响软件研发生命周期的下一阶段,例如是否需要改变需求或者开发过程是否需要更多资源。

结论可以采用以下两种互补方式给出:

- a) 按照如何满足每一项需求的方式说明需求适应性情况;
- b) 做出最终决定,接受或不接受所评价的软件产品,如果结论是不接受,应该考虑对产品进行修改或改变需求。

另外还需指出,尽管评价者为评价结论负责,但评价者仅在评价说明书中规定由其做出结论的情况下才给出最终的评估。评价者通常将含有一些结论的评估报告交予评价需求方,评价需求方以此为基础完成评估,这是因为最终的评估需要替用户考虑战略决策问题,例如研发费用、为适应实际情况而需做出的调整变化以及发布需要的时间。

## E.6 示例指南<sup>1)</sup>

### E.6.1 度量元和测量标准的选择

选择度量元应以软件产品的商业目标和评价者的需求为基础,其中评价者的需求由测量标准具体给出。GB/T 16260.2 中给出的模型能满足多种评价需求,例如:

- a) 用户可以用使用质量的度量来评价软件产品的适用性;
- b) 需方(从供方采购系统、软件产品或软件服务的个人或组织)可以通过对比软件产品的功能性、可靠性、易使用性和效率的外部测量值与标准值,或者使用质量测量值与标准值来评价该软件产品;
- c) 维护者可以用可维护性的度量来评价软件产品;

1) 参见 GB/T 16260.2。

- d) 负责不同环境下实现软件运行的人可以通过可移植性的度量评价软件产品；
- e) 开发者可以通过比较质量特性的内部测量值与标准值来评价软件产品。

注：GB/T 16260.4 对软件产品评价中度量元和度量过程标准选择提出了要求并给出了指南。

### E.6.2 度量元分级

利用软件质量的度量元可以对可量化的质量特性进行定量测量。结果(测量值)可以映射到度量刻度上,刻度本身并不能表示满意程度,因此,刻度应划分为若干范围,分别对应于需求得到满足的不同程度。如：

- a) 将度量刻度划分为两类:不满意和满意；
- b) 将度量刻度划分为 4 类,如图 E.2 所示,其 3 条分界线分别表示已有软件或者备选软件的当前水平、最坏情况、计划水平。规定当前水平的目的是为了控制新系统质量特性不从当前状况下降;计划水平是指在可用资源条件下普遍认为可以达到的水平;最坏情况表示万一在产品无法满足计划水平的情况下用户可接受的界限。

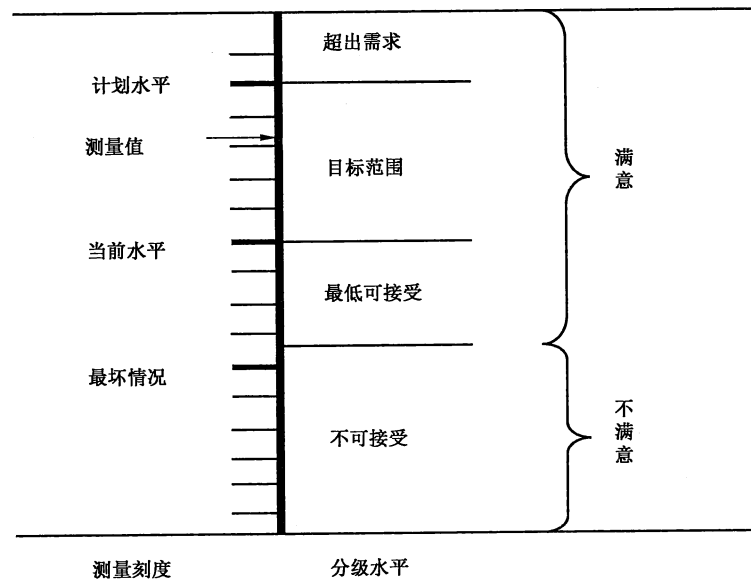


图 E.2 度量元分级水平

### E.6.3 评估度量元——建立评估准则

软件质量需求标准应该用适当、详细完备的质量模型来定义,一般采用 GB/T 16260.2 中的质量模型和相关定义,除非有特殊的原因才可采用其他模型。

评价软件的产品质量需要将不同方面的特性评价结果加以概括和总结,评估人员需要为此准备一个规程,对不同质量特性采用不同的评估准则,这些准则可以根据单个子特性,也可以根据加权子特性的集合来确定;这个规程还要包括其他方面,如软件在特定环境下进行质量评估所需要的时间和经济成本。

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 16260.1—2006 软件工程 产品质量 第1部分:质量模型
- [2] GB/T 16260.2—2006 软件工程 产品质量 第2部分:外部度量
- [3] GB/T 16260.3—2006 软件工程 产品质量 第3部分:内部度量
- [4] GB/T 16260.4—2006 软件工程 产品质量 第4部分:使用质量的度量
- [5] GB/T 18905.1—2002 软件工程 产品评价 第1部分:概述
- [6] GB/T 18905.2—2002 软件工程 产品评价 第2部分:策划和管理
- [7] GB/T 18905.3—2002 软件工程 产品评价 第3部分:开发者用的过程
- [8] GB/T 18905.4—2002 软件工程 产品评价 第4部分:需方用的过程
- [9] GB/T 18905.5—2002 软件工程 产品评价 第5部分:评价者用的过程
- [10] GB/T 18905.6—2002 软件工程 产品评价 第6部分:评价模块的文档编制
- [11] GB/T 25000.1—2010 软件工程 软件产品质量要求与评价(SQuaRE) SQuaRE指南
- [12] IMAN, R.L. and HELTON, J.C., An Investigation of Uncertainty and Sensitivity Analysis Techniques for Computer Models, Risk Analysis, Vol.8(1):71-90 (1988).
- [13] KREYSZIG, E., Introductory Functional Analysis with Applications, John Wiley and Sons, New York, pp.63-64, 1989.
- [14] BABRAUSKAS, V., Upholstered Furniture Room Fires—Measurements, Comparison with Furniture Calorimeter Data, and Flashover Predictions, J.Fire Sci.1984, 4, 5-19.
- [15] LEE, B. T., Effect of Wall and Room Surfaces on the Rates of Heat, Smoke, and Carbon Monoxide Production in a Park Lodging Bedroom Fire, Natl. Bur. Stand. (U. S.), NBSIR 85-2998, 78 pp., 1985.
- [16] HESKESTAD, G., and HILL, J. P., Propagation of Fire and Smoke in a Corridor, Proceedings of the 1987 ASME: JSME Thermal Engineering Joint Conference 1987, Honolulu, HI, 371-379.
- [17] KLOTE, J. H., Fire Experiments of Zoned Smoke Control at the Plaza Hotel in Washington DC, Natl. Inst. Stand. Technol., NISTIR 90-4253, 75 pp., 1990.
- [18] PEACOCK, R. D., JONES, W. W., and BUKOWSKI, R. W., Verification of a Model of Fire and Smoke Transport, Fire Safety J.21, pp.89-129, 1999.
-

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
消 防 安 全 工 程  
第 1 部分:计算方法的评估、验证和确认  
GB/T 31593.1—2015

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238  
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

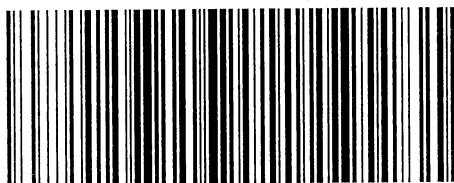
\*

开本 880×1230 1/16 印张 2 字数 58 千字  
2015年7月第一版 2015年7月第一次印刷

\*

书号: 155066·1-51314 定价 30.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



GB/T 31593.1-2015