

爆炸容器力学安全的敏感度分析方法

曹渊^{1,2}, 韩峰², 王铁良², 雷鸣², 张海波²

1. 长安大学环境科学与工程学院, 西安 710054
2. 西北核技术研究所第五研究室, 西安 710024

摘要 为识别爆炸容器力学安全敏感因素,建立了基于拉丁超立方抽样(LHS)和 Spearman 偏秩相关分析方法的参数敏感度分析模型。采用该模型对某容器内爆炸过程进行了大量数值模拟和统计分析,给出了相关因素的敏感度大小及排序,分析了样本量、参数分布类型及参数取值范围对敏感度分析结果的影响,并与其他敏感度分析方法进行了比较。结果表明,对所研究的爆炸容器,体积比内能、屈服强度为影响容器力学安全的最敏感因素,切线模量为较敏感因素,而弹性模量、泊松比为不敏感因素;且体积比内能与容器应变正相关,泊松比与容器应变不相关,其他因素与容器应变负相关。本研究建立的爆炸容器力学安全敏感度分析方法可用于各类爆炸容器的力学安全敏感因素分析,为优化容器设计和促进试验安全提供了量化依据。

关键词 爆炸容器;力学安全;敏感度分析;拉丁超立方抽样;Spearman 偏秩相关分析

中图分类号 X932,X933.4

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.03.002

Sensitivity Analysis of Mechanical Safety of Explosion Vessel

CAO Yuan^{1,2}, HAN Feng², WANG Tieliang², LEI Ming², ZHANG Haibo²

1. College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China
2. Fifth Laboratory, Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China

Abstract To identify the sensitive factors in mechanical safety of explosion vessels, a parameter sensitivity analysis model based on the Latin Hypercube Sampling (LHS) and the Spearman partial rank correlation analysis methods is built. A great number of numerical simulations and statistical analyses were carried out for the explosion process in a hermetic vessel with this model, the sensitivity values and the orders of related factors were obtained, the impacts of the sample sizes, the parameter distribution types and the parameter value ranges on the sensitivity results were analyzed, and a comparison between the method in this paper and other sensitivity analysis methods was made. It is shown that the volumetric internal energy and the yield strength are the most sensitive factors in mechanical safety of the sample vessel, the tangent modulus is a relatively sensitive factor, while the elastic modulus and the Poisson's ratio are insensitive factors. It is also shown that the volumetric internal energy has a positive correlation with the vessel strain, the Poisson's ratio has no correlation with the vessel strain, while other factors have negative correlations with the vessel strain. The sensitivity analysis method presented in this paper can be used for the sensitivity analysis of various explosion vessels, to provide a quantitative basis for optimizing the vessel safety design and to enhance the safety in tests.

Keywords explosion vessel; mechanical safety; sensitivity analysis; LHS; Spearman partial rank correlation analysis

0 引言

爆炸容器常被用于封闭高能炸药的爆炸效应,限制爆炸冲击波及爆炸产物的作用范围,并对试验人员和设备进行有效的近距离防护,因此爆炸容器必须能承受一定当量的爆炸冲击。爆炸容器的安全问题尤其是力学安全问题是爆炸试验安全的基础和前提,是非常重要的和值得研究的。

研究和识别影响爆炸容器力学安全的敏感因素,对容器

设计和试验安全都具有重要的理论和现实意义^[1-4]。由于爆炸容器试验的高成本性及低重复性,试验方法所能获取的数据有限,加上爆炸作用过程复杂且影响因素较多,使得定量的敏感度分析研究存在较大困难。目前在此方面开展的研究较少,有的学者尝试从断裂力学的角度分析受压容器的力学安全问题^[5-7]。Spearman 偏秩相关分析方法作为一种全局性的参数敏感度分析方法,可有效识别模型中的敏感因素,已在相

收稿日期:2012-10-17;修回日期:2012-12-29

作者简介:曹渊,助理研究员,研究方向为计算力学,电子信箱:guoyuan2003@163.com

关领域得到广泛应用^[8-10]。

本文基于拉丁超立方抽样(LHS)和 Spearman 偏秩相关分析方法,研究了爆炸容器力学安全敏感因素的识别与量化问题,建立了爆炸容器力学安全敏感度分析的一般方法,并利用该方法识别了一个模拟试验容器的力学安全敏感因素,为容器安全设计及试验安全评估提供了量化依据和参考。

1 爆炸容器力学安全的敏感度分析方法

参数敏感度分析是度量输入参数对模型计算结果影响程度的数学方法,而参数敏感度可以用计算结果对该参数的偏微分来表示,即

$$S_{i,k} = \frac{\partial Y_i}{\partial X_k} \quad (1)$$

其中, $S_{i,k}$ 为模型因变量 Y 关于第 k 个参数 X_k 在第 i 个实测点的敏感度。

局部敏感度分析方法在分析时保持其他输入参数不变,只改变某一个输入参数,进而通过计算得到该参数的敏感度,该方法易于操作,但忽略了参数间相互作用对模型输出结果的影响,故局限性较大。全局灵敏度分析方法则允许多个参数同时变化,考虑参数间相互作用的影响。

对于爆炸容器来说,力学安全影响因素较多,且各因素间可能存在相互作用,因此本文采用了全局敏感度分析方法。首先通过合理的抽样方法获取整个参数空间的一些参数组合(代表整个参数空间),然后对这些参数组合下的容器内爆炸过程进行数值模拟,再对模拟结果进行统计分析,最终获取各影响因素的敏感度大小。具体步骤如下。

1.1 影响因素的参数化

通过理论分析,选择可能对容器力学安全具有较大影响且具有一定不确定性的参数,如炸药的体积比内能以及材料的屈服强度、弹性模量、切线模量等,分别记为变量 X_1, X_2, \dots, X_k ,明确各参数的概率分布类型、取值范围和均值,即进行不确定性参数的选择和量化。

1.2 参数空间的拉丁超立方抽样

要分析参数的敏感度,需要在整个参数空间中抽样。对复杂的多维参数空间抽样,LHS方法所获得的数据点的代表性比常规抽样方法要好得多,因此可以大大节省样本量。

将每个输入变量 $X_i (i=1, 2, \dots, k; k$ 是变量总数)的取值范围以同等概率 $(1/n)$ 划分为 n 个互不重叠的区间间隔,对每个输入变量在每个间隔内的取值按其概率密度分布随机抽样,接着对 X_1 的 n 个取值随机地与 X_2 的 n 个取值组成 n 个配对,然后将这 n 个配对再与 X_3 的 n 个取值随机组合,以此类推,可得 1 组 n 个抽样的 k 维变量组值。

1.3 爆炸过程的模拟计算

采用 LS—DYNA 程序进行爆炸过程的数值计算。分别将 n 组抽样参数值输入 LS—DYNA 计算程序,计算得出 n 个 Y 值(本文将爆炸后容器外壁径向变形量作为衡量爆炸后容器

力学安全的指标 Y)。

1.4 模拟结果的 Spearman 偏秩相关分析

Spearman 偏秩相关分析法是一种非参数统计分析方法,常用于 2 个或多个变量间的相关分析,以获取输入变量对输出变量的影响趋势^[11,12]。这里通过对多组爆炸模拟结果的统计分析,可以获取各参数对爆炸容器力学安全的影响大小,即获得各输入参数的敏感度。该方法适用于数据不呈正态分布、总体分布类型未知或为有序分类资料等情况。

首先生成输出变量 Y 与输入变量 X_1, X_2, \dots, X_k 这 $k+1$ 个变量间的 Spearman 秩相关系数矩阵 T ,即

$$T = \begin{pmatrix} 1 & r_{X_1 X_2} & \cdots & r_{X_1 X_k} & r_{X_1 Y} \\ r_{X_2 X_1} & 1 & \cdots & r_{X_2 X_k} & r_{X_2 Y} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{X_k X_1} & r_{X_k X_2} & \cdots & 1 & r_{X_k Y} \\ r_{Y X_1} & r_{Y X_2} & \cdots & r_{Y X_k} & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

其中, r 为 2 个变量的 Spearman 秩相关系数。

然后计算 T 的逆矩阵 C ,即

$$C = \begin{pmatrix} \frac{1}{1-R_{X_1}^2} & C_{12} & \cdots & C_{1k} & \frac{-B_1}{1-R_Y^2} \\ C_{21} & \frac{1}{1-R_{X_2}^2} & \cdots & C_{2k} & \frac{-B_2}{1-R_Y^2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{k1} & C_{k2} & \cdots & \frac{1}{1-R_{X_k}^2} & \frac{-B_k}{1-R_Y^2} \\ \frac{-B_1}{1-R_Y^2} & \frac{-B_2}{1-R_Y^2} & \cdots & \frac{-B_k}{1-R_Y^2} & \frac{1}{1-R_Y^2} \end{pmatrix} \quad (3)$$

则变量 X_i 和 Y 的偏秩相关系数 P_{X_i} 为

$$P_{X_i} = B_i \left(\frac{1-R_{X_i}^2}{1-R_Y^2} \right)^{1/2} \quad (4)$$

其中, $B_i (i=1, 2, \dots, k)$ 是用 X_1, X_2, \dots, X_k 线性回归 Y 的标准回归系数, R_Y^2 则是它的可决系数; $R_{X_i}^2$ 是用 $Y, X_1, \dots, X_{i-1}, X_{i+1}, \dots, X_k$ 线性回归 X_i 的可决系数。可决系数反映了回归方程的拟合优劣程度,可决系数越接近 1 说明拟合越好。将各输入参数对输出结果的偏秩相关系数按绝对值大小排序,偏秩相关系数绝对值越大说明该输入参数对预测结果的影响越大,即参数的敏感度越高;正负号则分别表示参数与预测结果是正相关还是负相关。偏秩相关系数即输入参数的敏感度指标。

2 算例与分析

2.1 材料模型与计算模型

所选容器为某化爆模拟试验容器,为单层柱形容器,内径 6cm,外径 7cm,长度 30cm。装药量为 200g TNT 当量,如图 1 所示,其中绿色代表容器,红色代表 TNT 炸药。

在本文的计算中,涉及到的材料主要有炸药、空气和钢 3 种。对炸药采用 *MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN 材料模型,

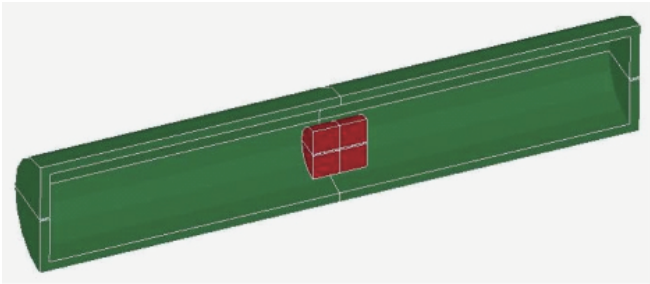


图 1 单层柱形容器示意图

Fig. 1 Sketch diagram of single-layer cylindrical vessel

爆炸产物状态由 JWL 状态方程确定;对空气采用理想气体状态方程;对钢采用各向同性的弹塑性材料模型 *MAT_PLASTIC_KINEMATIC。容器失效应变设为 16%,其他相关材料参数根据系列试验数值计算经验设置^[13-15]。

在大型计算机上使用并行版的 LS-DYNA 进行数值模拟研究,爆炸及其力学效应使用 Euler 方法描述,容器结构的变形采用 Lagrangian 方法描述,相互之间的作用采用流固耦合技术处理。

2.2 影响因素选择

容器安全通常需要考虑爆炸载荷、容器材料、容器结构 3 个方面的因素。由于本文所用容器结构较为简单,因此主要考虑前 2 个方面因素。另外在因素选择时,着重选择现有模拟手段能够体现的且具有一定随机性的因素进行分析。

通过对爆炸产物 JWL 方程及材料弹性模型等理论分析,初步选取 5 个因素进行分析,包括炸药的体积比内能及容器材料的弹性模量、泊松比、屈服强度、切线模量^[16]。其中,第 1 个是载荷参数,后 4 个为材料参数。各参数的分布范围及类型见表 1,其他参数取经验值,均采用 cm-g- μ s 单位制。

表 1 参数分布类型及取值范围
Table 1 Distribution types and value ranges of parameters

参数	均值	分布类型	取值范围
体积比内能	0.0703		
弹性模量	2.0700		
泊松比	0.3000	正态	均值 \pm 10%
屈服强度	0.0027		
切线模量	0.0086		

2.3 爆炸容器的动力学响应过程

爆炸后容器发生弹塑性应变,当容器爆心截面外壁的相对塑性应变小于失效应变时,认为容器是安全的。通过模拟发现,在上述的参数取值范围内,容器爆心截面外壁的相对塑性应变为 10.8%~13.2%(表 2),平均相对塑性应变为

表 2 最小、最大相对应变及相应参数组合

Table 2 Minimal and maximal relative strain and corresponding parameter combinations

参数	最小应变参数组合	最大应变参数组合
体积比内能	0.0655	0.0781
弹性模量	2.1121	2.1875
泊松比	0.3026	0.2878
屈服强度	0.0027	0.00261
切线模量	0.0092	0.0080
相对应变/%	10.8	13.2

12.0%,容器未受到破坏。

2.4 样本量的确定

运用拉丁超立方抽样方法,一般需要抽样 100 次左右。对参数较多的情况,理论上样本量也要加大。样本量越大,样本对整个参数空间的代表性越强,敏感度分析结果就越准确,但是过大的样本量会带来过大的计算成本,因此需要在满足精度要求的情况下选取 1 个合适的样本量。不同抽样次数的计算结果见表 3。

表 3 不同样本量计算结果

Table 3 Calculation results for different sample sizes

数据条件	参数敏感度	体积比内能	弹性模量	泊松比	屈服强度	切线模量
抽样 100 组	指标	0.919	-0.071	-0.042	-0.900	-0.674
	排序	1	4	5	2	3
抽样 100 组	指标	0.879	-0.115	0.004	-0.858	-0.590
	排序	1	4	5	2	3
抽样 200 组	指标	0.899	-0.090	-0.015	-0.875	-0.697
	排序	1	4	5	2	3
抽样 300 组	指标	0.908	-0.042	-0.045	-0.875	-0.686
	排序	1	5	4	2	3
抽样 500 组	指标	0.891	-0.095	0.003	-0.875	-0.666
	排序	1	4	5	2	3

从表 3 可以看出,前 2 项 100 组抽样的参数敏感度排序一致,但敏感度指标还有一定差异,说明样本量不够。200 组、300 组、500 组抽样的参数敏感度排序基本一致,敏感度指标基本无变化,仅弹性模量和泊松比的排序发生变化(两者均极不敏感,敏感度指标约为 0),这说明样本量取 200 时参数敏感度结果已经比较稳定(下文研究的样本量均为 200)。此时将各参数按照其敏感度由大到小进行排序,依次为体积比内能、屈服强度、切线模量、弹性模量、泊松比。

2.5 参数分布类型及取值范围的影响

原则上,参数分布类型和范围应该根据容器设计值或实

表 4 不同参数分布类型计算结果
Table 4 Calculation results for different parameter distribution types

数据条件	参数 敏感度	体积比 内能	弹性 模量	泊松比	屈服 强度	切线模 量
正态抽样	指标	0.899	-0.090	-0.015	-0.875	-0.697
	排序	1	4	5	2	3
均匀抽样	指标	0.956	-0.100	-0.005	-0.945	-0.831
	排序	1	4	5	2	3

测值确定,但是在不能准确获取这些数据的情况下,需要分析参数分布类型及取值范围的具体影响。

(1) 将参数分布类型由正态分布改为均匀分布,不同参数分布类型计算结果如表 4 所示。可以看出,参数均匀分布时其敏感度排序与正态分布时一致,敏感度指标略有变化。

(2) 将参数取值范围由均值±10%改为均值±20%,不同参数数值范围计算结果如表 5 所示。可以看出,参数分布范围改变后,参数敏感度指标及排序基本无变化。此时容器相对应变形的范围增大为 10.0%~14.7%。

表 5 不同参数取值范围计算结果
Table 5 Calculation results for different parameter value ranges

参数取值 范围	参数 敏感度	体积比 内能	弹性 模量	泊松 比	屈服 强度	切线 模量
均值±10%	指标	0.899	-0.090	-0.015	-0.875	-0.697
	排序	1	4	5	2	3
均值±20%	指标	0.908	-0.046	-0.039	-0.873	-0.679
	排序	1	4	5	2	3

2.6 与局部敏感度分析方法的比较

采用局部敏感度分析方法 (每次只改变 1 个参数值,然后在均值点附近求偏导,并对计算结果做归一化处理)与本文方法所得计算结果的比较如表 6 所示。可以看出,2 种方法敏感度指标有所不同,但敏感度排序一致。本文方法可以考虑 5 个因素同时变化、相互作用时对容器力学安全的影响,

表 6 不同敏感性分析方法计算结果的比较
Table 6 Comparisons of calculation results by using different sensitivity analysis methods

数据条件	参数 敏感度	体积比 内能	弹性 模量	泊松 比	屈服 强度	切线 模量
本文方法	指标	0.899	-0.090	-0.015	-0.875	-0.697
	排序	1	4	5	2	3
局部敏感度分析法	指标	0.455	-0.015	-0.012	-0.360	-0.210
	排序	1	4	5	2	3

因此敏感度指标能同时反映多个参数在整个参数空间里的敏感度,计算结果能够反映参数的全局变化。而局部敏感度分析法每次只能反映单个参数在一维参数空间里的均值点附近的灵敏度,局限性较大。

2.7 讨论

对所研究的容器,关键参数的敏感度排序为体积比内能>屈服强度>切线模量>弹性模量>泊松比)。对容器变形量,体积比内能、屈服强度敏感度最强,切线模量敏感度较强,弹性模量敏感度极弱,泊松比不敏感;且体积比内能与容器变形量呈正相关,泊松比与容器应变不相关,其他因素与容器应变负相关。

3 结论

本文基于拉丁超立方抽样和 Spearman 偏秩相关分析方法,建立了爆炸容器力学安全影响因素敏感度分析的一般方法。通过对算例容器内爆炸过程的大量数值模拟及计算结果的统计分析,得到了容器力学安全影响因素的敏感度指标及排序。结果表明,对所研究的爆炸容器,体积比内能、屈服强度、切线模量为影响容器力学安全的敏感因素,而弹性模量、泊松比为不敏感因素,这一结果对容器设计和试验安全具有直接的指导意义,对其他容器,同样可以采用本文建立的方法进行敏感因素分析。

参考文献 (References)

- [1] 胡八一, 柏劲松, 刘大敏, 等. 爆炸容器的工程设计方法及其应用[J]. 压力容器, 2000, 17(2): 39-41.
Hu Bayi, Bai Jinsong, Liu Damin, et al. Pressure Vessel Technology, 2000, 17(2): 39-41.
- [2] 邢晓林. 基于灵敏度分析的单层厚壁容器可靠性稳健优化设计[J]. 兰州理工大学学报, 2009, 35(3): 55-59.
Xing Xiaolin. Journal of Lanzhou University of Technology, 2009, 35(3): 55-59.
- [3] 胡八一, 周刚, 郑津洋, 等. 爆炸容器研究及应用最新进展评述[C]//第七届全国压力容器学术会议论文集. 北京: 化学工业出版社, 2009: 329-333.
Hu Bayi, Zhou Gang, Zheng Jinyang, et al. The research and application advance survey of explosive chamber[C]// Proceedings of the seventh International Symposium on Press Vessel. Beijing: Chemical Industry Press, 2009: 329-333.
- [4] 邓阳春, 陈钢, 杨笑峰, 等. 确定压力容器安全系数原则 [J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(6): 84-88.
Deng Yangchun, Chen Gang, Yang Xiaofeng, et al. China Safety Science Journal, 2008, 18(6): 84-88.
- [5] 赵福松, 田锦邦, 赵子龙. 不同因素对扁平绕带爆炸容器抗爆性能的影响[J]. 压力容器, 2010, 27(12): 8-12.
Zhao Fusong, Tian Jinbang, Zhao Zilong. Pressure Vessel Technology, 2010, 27(12): 8-12.
- [6] 伍爱友, 蔡康旭. 基于断裂力学的受压容器安全评定方法 [J]. 工业安全与环保, 2004, 30(7): 21-23.
Wu Aiyou, Cai Kangxu. Industrial Safety and Environmental Protection, 2004, 30(7): 21-23.

- [7] 赵福松, 孙宾, 田锦邦, 等. 应变率效应对扁平绕带爆炸容器抗爆性能影响的分析[J]. 化工机械, 2011, 38(4): 449-452.
Zhao Fusong, Sun Bin, Tian Jinbang, et al. Chemical Engineering and Machinery, 2011, 38(4): 449-452.
- [8] 曹渊, 王文科, 王铁良, 等. ^3H 在地下水中迁移的灵敏度分析 [J]. 核技术, 2012, 35(10): 771-774.
Cao Yuan, Wang Wenke, Wang Tieliang, et al. Nuclear Techniques, 2012, 35(10): 771-774.
- [9] 杨端节, 郭择德, 李书绅, 等. 孔隙介质中放射性核素迁移的不确定性和参数灵敏度分析[J]. 辐射防护, 2002, 22(2): 87-93.
Yang Duanjie, Guo Zede, Li Shushen, et al. Radiation Protection, 2002, 22(2): 87-93.
- [10] Oakley J E, O'Hagan A. Probabilistic sensitivity analysis of complex models[J]. Journal of the Royal Statistical Society, 2004, 66(3): 751-769.
- [11] 李裕奇, 刘海燕, 赵联文. 非参数统计方法 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998.
Li Yuqi, Liu Haiyan, Zhao Lianwen. Nonparametric statistics method [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1998.
- [12] Conover W J, 崔恒健. 实用非参数统计 [M]. 3 版. 北京: 人民邮电出版社, 2006: 225-239.
Conover W J, Cui Hengjian. Practical nonparametric statistics [M]. 3rd ed. Beijing: Posts & Telecom Press, 2006: 225-239.
- [13] 陈星, 王凤英, 吴玉平. 圆柱形爆炸容器冲击载荷及其动力响应的数值模拟[J]. 压力容器, 2012, 29(3): 17-21.
Chen Xing, Wang Fengying, Wu Yuping. Pressure Vessel Technology, 2012, 29(3): 17-21.
- [14] 赵福松, 田锦邦, 赵子龙. 柱形爆炸容器动力响应的数值模拟 [J]. 中北大学学报: 自然科学版, 2010, 31(4): 356-359.
Zhao Fusong, Tian Jinbang, Zhao Zilong. Journal of North University of China: Natural Science Edition, 2010, 31(4): 356-359.
- [15] 崔云霄, 胡永乐, 陈剑杰, 等. 容器内填沙爆炸实验的数值模拟[J]. 兵工学报, 2010, 31(S1): 1-5.
Cui Yunxiao, Hu Yongle, Chen Jianjie, et al. Acta Armamentarii, 2010, 31(S1): 1-5.
- [16] 韩峰, 刘钰, 雷鸣. 爆炸容器安全概率评判方法研究 [J]. 兵工学报, 2012, 33(S1): 209-212.
Han Feng, Liu Yu, Lei Ming. Acta Armamentarii, 2012, 33(S1): 209-212.

(责任编辑 孙秀云, 马骁骁)

· 学术动态 ·

中国科协论坛

为发挥中国科协所属学会在推动自主创新中的作用, 中国科协于 2009 年 7 月起设立中国科协论坛。论坛旨在打造品牌型高端学术论坛, 瞄准科学发展前沿, 围绕建设创新型国家的战略目标, 面向国家重大战略需求, 紧密跟踪高技术发展趋势, 就引领未来科技发展的关键科学问题、制约经济社会发展的瓶颈技术问题、重大工程技术中的核心科学问题, 组织进行学术交流, 以期提升学术交流层次, 推动学科的交叉和融合, 营造和谐学术环境, 提高学术交流的质量和成效, 促进自主创新和高层次人才成长, 打造新的学术交流品牌, 优化学术交流格局。

中国科协论坛强调主题前沿性、人员高端性、规模小型性和学科交叉性。主题采取学会申报、个人申报与专家推荐相结合的形式确定, 要求在充分调研基础上确定主题发言, 并形成基本完整的文本资料; 实行首席科学家负责制, 参会人员为相关领域的一线主流科学家和专家学者, 采用主题报告与交流互动相结合、专家讨论与学者旁听相结合等多种交流形式, 要求讨论时间应大于 50%; 每期论坛完成后, 由首席科学家牵头写出相关的学术备忘录, 由中国科协视情况报有关领导及相关部门。至 2012 年 11 月 20 日已成功举办 22 次。

信息来源: www.cast.org.cn。



 科技
 导报
 SCIENCE & TECHNOLOGY REVIEW

《科技导报》“综述文章”栏目征稿

“综述文章”栏目发表对当前自然科学有关学科领域的研究热点、前沿分支发展现状及动向的评述性文章。要求在所属学科领域从事比较深入研究的一线科研人员在研读相当数量文献资料的基础上, 全面、深入、系统地论述该领域的问题, 并对所综述的内容进行归纳、分析、评价, 以反映作者的观点和见解。在线投稿: www.kjdb.org。