

# 城市防汛应急物资储备模式研究

钟 佳<sup>1</sup>, 刘 钢<sup>2</sup>

(1. 河海大学 商学院, 江苏 南京 211100; 2. 河海大学 管理科学研究所, 江苏 南京 211100)

**摘要:**长期以来,我国城市防汛应急物资储备机制是以政府实物储备为主,由于灾情的不确定性及应急物资的有效使用期限等因素,难免会造成政府支出压力和大量物资闲置。在进行防洪风险分析的基础上,提出了基于政府实物储备和企业合同储备的城市防汛物资协同储备模式,进而,计算物资储备过剩或储备不足时的单位损失值,通过层次分析法对不同等级洪灾发生概率进行定性定量分析,从判定期望损失的角度构建了城市防汛物资储备量决策方法。算例分析表明:城市防汛物资储备模式具有显著的应急响应高效性和连续性。

**关键词:**防汛物资; 储备模式; 储备量; 城市防汛

**中图分类号:** TV871.3      **文献标志码:** A

## 1 研究背景

随着国内各大城市现代化和城镇化进程逐渐加速,城市系统在不断复杂化的同时也变得愈发脆弱。对江河海沿岸地区来说,不断升级的洪涝灾害是城市防汛应急系统所面临的最大挑战之一。防洪堤作为防汛应急系统的重要组成部分,在洪涝灾害中常会面临漫顶和防洪堤破坏风险。为有效应对以上两种风险,相关主体应形成完善的防汛应急管理机制,保证抗洪抢险措施的有效实施<sup>[1]</sup>。防汛物资、防汛工程和防汛人力并称为防汛应急的三大要素。其中,防汛物资是指在应急过程中所需要的工具、设备与设施等各种物资,是应急工作的物质基础和重要保证。防汛物资储备模式作为解决防汛物资储备问题的一系列方法,是一种理论性指导方略,可以帮助应急管理主体做出正确的应急物资决策,更高效地完成应急响应。围绕应急物资的储备量、储备机制等方面,国内外学者展开了相应的研究。

在国外的研究成果中,Saundra K. Schneider 通过研究政府在应对灾害时成功或失败的原因,提出提高城市应急响应效率和应急资源整合性见解<sup>[2]</sup>。Suley-

man Tufekci 和 William A. Wallace 两位应急管理专家认为应急管理本质上是一个复杂的多目标优化问题,因此有限资源的折衷利用是应急管理主体亟需解决的问题<sup>[3]</sup>。Jiuh - Bing Sheu 将应急救援问题分为受灾区分组和物资协调分配两阶段进行<sup>[4]</sup>,通过混合模糊聚类最优化方法进行研究。

在国内,包玉梅针对储备模式提出将企业供应链下的多级库存管理运用到应急物资储备中<sup>[5]</sup>,将应急物资储备分为政府实物储备和企业合同储备,建立了二级库存模型。关于应急物资储备量的研究,陈鸿起等人根据应急物资总需求和各库点缺货率确定防汛物资系统储备的最佳储备量<sup>[6]</sup>;刘宗熹,赵启兰等提出了“应急物资储备指数”的概念,利用极大值标准化和层次分析法计算该指数<sup>[7]</sup>。

虽然应急物资方面的研究已深入开展,但我国长期以来的应急物资储备机制是以政府实物储备为主,且物资的种类、数量缺乏统一的标准,在灾情发生时仅凭应急管理主体的经验进行估计,缺乏科学合理的预测评估体系,因此在储备主体多样化及运作模式和储备量决策方面仍有改善的空间,值得进一步探究。本文将从汛期应急物资的储备机制、储备量出发,就物资

储备模式的改进进行探讨。

## 2 物资储备机制的改进

现行的防汛应急管理中,政府作为应急物资供应的核心主体,其实物储备是洪涝灾害发生初期应急物资的主要来源,能够快速响应灾害的需求,对于生命财产的抢救和灾情的控制具有重要的意义。目前全国各地的政府应急物资储备点已形成了点面结合的网络结构,可对物资进行全方位的规划和管理。但由于灾害事件的不确定性,以及应急物资的有效使用期限等因素,实物储备往往需要高昂的费用。而我国多数政府应急物资的经费主要是根据各政府部门的实际财政收支来确定的,用于应急物资的资金预算往往是有限的,导致储备点库存容量难以应对较高级别的灾难,同时单一的实物储备难免会造成政府支出的压力和大量物资的闲置。而企业在生产经营中,往往会储备一定量的产品或半成品。因此可以充分动员和发动社会力量,建立政府实物储备和企业协议储备相结合的应急物资储备体系,提高资金和物资的利用率。合同储备是指国家及各级政府先按最优量进行实物储备,对储备不足、不易存储的应急物品,可与拥有防汛应急资源的相关生产厂家(含大型物流超市)签订合同,汛情发生后根据协议优先调用企业物资。这样既能保证应急物资的数量和质量,也能降低储备成本。在此基础上,本文构建了协同储备供应链,险情发生后,协调中心围绕应急物资的需求,通过生产、筹措、储存、运输等环节,按一定的比例将足量的应急物资分别从协议企业和政府储备点,经转运点输送至需求点,从而实现应急响应效率最大化,本文将这种网络结构定义为应急物资协同储备供应链,如图 1 所示。

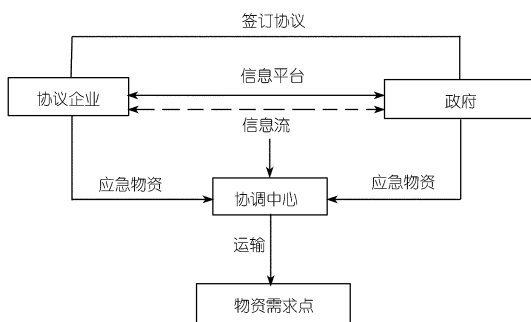


图 1 协同储备供应链

目前协同储备易出现的问题是:① 尽管政府已经与企业签订储备协议,但企业是以盈利为目的的经济组织,协同储备方式占用了企业一定的流动资金,因此保障能力比政府低,双方的权力义务难以明确,缺乏有效监管。② 协同储备信息公开化程度低,社会资源整

合度不高,汛情发生后社会应急保障体系不完善,物资供给速度较慢。针对以上两点不足,笔者认为主要可从以下两方面对现行的防汛应急物资协同储备机制进行改进。

### 2.1 加强协同储备管理

政府要对相关企业的应急物资生产和储备能力进行详细调查和存档,建立救助物资生产厂商名录,充分利用当地企业正常的生产能力和经营库存进行储备。与委托企业签订储备合同时,应当明确储备数量、品种、更新周期、服务要求、相关费用、接洽途径、双方责任等内容。其中防汛物资数量和品种由承担应急物资储备任务的责任部门与委托企业协商,须按照防汛应急预案、应急保障预案和国家、省、市标准及行业标准确定,应与当地人口数量、社会应急管理现状和经济发展规模等相适应。对部分品种采取立法强制或通过向企业提供低息甚至贴息贷款等方式,促使和鼓励企业进行协同储备。近年来,国家和地方已经开始通过法律和其他手段推进应急物资储备的社会化过程,如《突发事件应对法》、《上海实施〈突发公共卫生事件应急条例〉细则》等,可在此基础上进一步深化和改进<sup>[8]</sup>。

### 2.2 建立防汛物资保障机制

政府按照“分级承担、分类保障、警地联储”的原则,建立防汛物资保障机制。① 以省级储备物资作为核心,各市应当根据当地的汛期特点、区域情况等进行适当的分级储备,确保储备物资品种、质量和数量满足一定要求;并以此为基础建立市级物资储备库,作为对省级应急物资储备的补充,同时也作为政府防汛应急救援储备中心<sup>[9]</sup>。② 整合社会资源,建立物资的社会动员机制,完善资源共用、紧急调用、机械运输等应急保障体系,实行动态储备、应急筹措,打造“30 分钟快速供给保障圈”。③ 建立政府、企业共同的防汛物资储备网络,对所有防汛物资的流入流出信息进行统计。定期进行物资储备、使用情况的报告以及物资更新、轮换、补偿制度的公示,保证应急物资信息公开化和透明化,从而实现应急救援和综合保障一体化,确保快速调集和充足供应。

## 3 储备量决策

### 3.1 总储备量的确定

洪涝灾害的发生是随机性的,对防汛物资的需求具有极大的不确定性,且防汛物资的储备需要一定的成本。许多物资都有一定的使用寿命,储备物资过多,必然会造成资金的浪费,储备物资不足,一旦发生突发

事件,就会因物资运送不及时而延误救灾的最佳时间,从而影响应急效果。因此科学合理的数学模型是储备量决策中重要的组成部分。防洪抢险物资储备属于一种信息不全型决策问题,可采用期望损失最小值作为择优标准。考虑到专业预报人员难以直接定量判断各级洪灾出现的概率,但定性确定两两比较的发生概率则较为容易,故本文采用层次分析法对未来灾情进行概率描述,从而得到期望损失最小的储备方案。对某一流域而言,洪灾可划分为4个等级,各级洪灾理论上所需物资数量  $E$  如表1所示。

表1 某流域洪灾等级所需物资量

洪灾等级	所需物资量 $E$	洪灾等级	所需物资量 $E$
I级(轻度)	$a$	III级(严重)	$c$
II级(较严重)	$b$	IV级(很严重)	$d$

假设针对不同等级洪灾的物资需求量,可拟定4种储备量方案  $H_1, H_2, H_3, H_4$ ,其对应的实际储备量  $F$  分别为  $a', b', c', d'$ 。从而可得出4种方案在不同等级洪灾中可能出现的物资储备过剩或储备不足的数量,假设  $L_M$  为防灾物资储备过剩时,每一单位量物资由于过期报废造成的经济损失; $L_N$  为防灾物资过少时,每缺少一单位量物资所造成的经济损失。当物资储备过剩时经济损失为  $L_M(F - E)$ ,物资储备不足时经济损失为  $L_N(E - F)$ 。根据历年抗洪资料和专家调查  $L_M$  和  $L_N$  由公式(1)和公式(2)的表达:

$$L_M = (\alpha_1 + \alpha_2)P \quad (1)$$

式中,  $P$  表示每单位物资的价格; $L_M$  分别与过剩物资的保管费和过期损失费有关,这两类费用均与过剩物资的购置费成一定比例关系,比例值分别为  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$ 。

$$L_N = \begin{cases} \beta_1 P & \text{不发生事故} \\ L_{N1} & \text{发生事故} \end{cases} \quad (2)$$

当不发生防洪堤决口事故时,  $L_N$  主要由所缺物资的购置单价  $\beta_1 P$  决定,  $\beta_1$  为临时购置物资的涨价费率;当发生决堤事故时,  $L_N$  主要是事故所造成的直接损失  $L_{N1}$ 。

在此基础上,若能预期未来洪水不同等级的发生概率,则能判断不同储备方案下的期望损失。根据层次分析法的原理,首先采用 Saaty 提出的 1~9 比率标度法对各级洪灾发生概率的相对大小进行两两比较,如表2所示。

根据两两比较的结果,构造反映洪灾发生概率相对大小的判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} \end{bmatrix} \quad (3)$$

表2 相对比较标度

标度	含义
1	$B_i$ 和 $B_j$ 发生概率相同
3	$B_i$ 发生概率略大于 $B_j$
5	$B_i$ 发生概率稍大于 $B_j$
7	$B_i$ 发生概率明显大于 $B_j$
9	$B_i$ 发生概率强烈大于 $B_j$
2,4,6,8	取上述两个奇数所代表程度的中间值
倒数	$B_j$ 与 $B_i$ 两因素比较结果是 $B_i$ 与 $B_j$ 两因素比较结果的倒数

进行  $A - B$  层次判断矩阵的相关参数计算。

(1) 求判断矩阵每行所有元素的几何平均值。

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n b_{ij}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

(2) 将  $\bar{W}_i$  归一化得到矩阵  $B$  特征向量  $W$  的诸分量,即相对重要度。

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i} \quad (5)$$

(3) 计算判断矩阵最大特征值。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \quad (6)$$

(4) 计算  $CI$ ,对判断矩阵的一致性加以检验。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (7)$$

$RI$  取值表如表3所示。若  $CI/RI < 0.1$ ,判断矩阵一致性符合要求,否则专家须重新进行评价,写出新的判断矩阵。在一致性检验符合要求后,则可以用特征向量  $W$  的各分量作为各级洪灾发生的概率。结合前文求出的各储备方案在4种等级灾害中的损失值,可求出每种方案的期望损失值  $E(p_i)$  [10]。在此基础上可帮助应急管理主体做出科学合理的应急物资储备量决策。

表3  $RI$  取值

$n$	$RI$	$n$	$RI$	$n$	$RI$
1	0	4	0.90	7	1.32
2	0	5	1.12	8	1.41
3	0.58	6	1.24	9	1.45

### 3.2 实物储备量与合同储备量的确定

确定物资储备总量  $S$  后,继而可利用成本最小化的原理确定政府实物储备  $S_1$  和企业合同储备  $S_2$  分别所占的比例。一般情况下,协议企业单位物资储备成本低于政府单位储备成本,因此一定量的合同储备可降低储备总成本。但由于企业为盈利性组织,且政府对合同储备的管理能力有限,导致合同储备存在一定风险,因此政府一般采用给予企业补贴的方式来降低风险。协议企业的补贴金可用线性函数  $C_3 = \alpha + \lambda S_2$  表示,

$\alpha$  是固定补贴,单位物资储备补贴  $\lambda$  是分段函数,随着储备量的增加而相应增加。故政府与协议企业之间存在一个最佳分配比,使储备总成本最低。设政府实物储备占总储备量的百分比为  $\alpha$ ,政府实物储备单位成本为  $C_1$ ,协议企业储备单位成本为  $C_2$ ,且  $C_1 > C_2$ ,则物资储备总成本  $C = \alpha SC_1 + (1 - \alpha)SC_2 + C_3$ 。继而以成本最低为目标函数,即可求得  $\alpha$  的最优取值。

### 4 算例分析

下面以长江某流域为例,通过算例分析证明该应急物资储备模式的可行性。

#### 4.1 初步确定储备量方案

设长江某流域在 I、II、III、IV 级洪灾中所需要的防汛沙袋数量  $E$  分别为 3 万袋,5 万袋,7 万袋和 10 万袋,沙袋规格为 25 cm × 60 cm,价格  $P$  为 5 元/袋。针对不同等级洪灾的物资需求量,可拟定 4 种储备方案,其中“+”表示储备过剩,“-”表示储备不足,“0”表示储备量为最佳水平,则不同等级洪灾的应急物资供应情况如表 4 所示。

表 4 不同等级洪灾时各方案沙袋物资供应情况 万袋

方案代号	实际储备量 $F$	物资供应情况			
		I 级	II 级	III 级	IV 级
$H_1$	3	0	-2	-4	-7
$H_2$	5	+2	0	-2	-5
$H_3$	7	+4	+2	0	-3
$H_4$	10	+7	+5	+3	0

在本算例中,设保管费和过期损失费分别为物资单价的 5% 和 40%,则防汛沙袋储备过剩时,每单位物资所造成的经济损失  $L_M = (\alpha_1 + \alpha_2)P = (5\% + 4\%) \times 5 = 2.25$ ;设临时购置沙袋的涨价费率为 10%,防洪堤发生决堤事故的概率为 0.4,每缺少一单位沙袋所造成的直接事故损失转化为货币价值计 60 元,则防汛沙袋储备不足时,每缺少一单位物资造成的经济损失  $L_N = p\beta_1 P + (1 - p)L_{N1} = 0.6(10\% \times 5) + 0.4 \times 60 = 24.3$ ,可得出  $\frac{L_N}{L_M} = 10.8$ 。

#### 4.2 判断不同等级洪灾发生概率

根据 Saaty 提出的 1~9 比率标度法,该流域各级洪灾发生概率相对大小如表 5 所示。

构造反映洪灾发生概率相对大小的判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 9 \\ 1/3 & 1 & 3 & 7 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

表 5 某流域各级洪灾发生概率相对大小

各等级灾害发生概率两两比较	1~9 比率标度
$P_1$ 比 $P_2$ 略大	3
$P_1$ 比 $P_3$ 稍大	5
$P_1$ 比 $P_4$ 强烈大	9
$P_2$ 比 $P_3$ 略大	3
$P_2$ 比 $P_4$ 明显大	7
$P_3$ 比 $P_4$ 略大	3

(1) 求判断矩阵每行所有元素的几何平均值。

$$\bar{W}_1 = 3.409, \bar{W}_2 = 1.627, \bar{W}_3 = 0.669, \bar{W}_4 = 0.270。$$

(2) 将  $\bar{W}_i$  归一化得相对重要度。 $W_1 = 0.571, W_2 = 0.272, W_3 = 0.112, W_4 = 0.045$ 。

(3) 计算判断矩阵最大特征值。

$$AW = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 9 \\ 1/3 & 1 & 3 & 7 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.571 \\ 0.272 \\ 0.112 \\ 0.045 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.352 \\ 1.113 \\ 0.452 \\ 0.185 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} = 4.089$$

(4) 计算  $CI$ ,查表得  $RI = 0.90$ ,对判断矩阵的一致性加以检验。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4.089 - 4}{4 - 1} = 0.0297, \frac{CI}{RI} = \frac{0.0297}{0.90} = 0.033 < 0.1$$

因此,  $A - B$  层次判断矩阵满足一致性检验要求。

#### 4.3 判断期望损失

各等级洪灾发生的概率可用矩阵  $A$  特征向量的诸分量  $W_i$  表示,即  $P_1 = 0.571, P_2 = 0.272, P_3 = 0.112, P_4 = 0.045$ 。结合  $L_M$  与  $L_N$  的比值关系,可将 4 种物资储备方案的期望损失用  $L_M$  表征: $E(H_1) = 14.116L_M, E(H_2) = 5.991L_M, E(H_3) = 4.286L_M, E(H_4) = 5.693L_M$ 。通过比较可得, $H_3$  方案期望损失最小,是物资储备量的最佳选择。

### 5 结语

城市在快速发展的同时,应急系统的建设也应当与时俱进,这对于改善城市灾害脆弱性具有重要意义。对于沿海沿海地区,防洪防汛无疑是城市应急系统的重要组成部分。在防洪的应急响应过程中,涉及到人、物、机制的互相协调。本文围绕应急物资的储备,就储备机制、储备量这两方面进行研究。通过层次分析法对不同洪灾等级的概率进行判断,结合不同等级下物资储备量不当所造成的损失值,求得不同储备量方案的期望损失,为应急决策提供依据。通过算例分析,本文构建的城市防汛物资储备模式具有显著的应急响应

高效性和连续性。

### 参考文献:

- [1] 王卓甫,章志强,杨高升. 防洪堤结构风险计算模型探讨[J]. 水利学报,1998,(7):64-67.
- [2] Sandra K. Schneider. Flirting with Disaster: Public Management in Crisis Situations[M]. New York: M. E. Sharpe,1995.
- [3] Suleyman Tufekci, William A. Wallace. The emerging area of emergency management and engineering[J]. IEEE Transactions on engineering management,1998,21(45):103-111.
- [4] Jiuh - Biing Sheu. An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters[J]. Transportation Research Part E. 2007,(43):687-709.
- [5] 包玉梅. 突发公共事件应急物资储备策略研究[J]. 科技信息,

2008,(34):67-69.

- [6] 陈鸿起,解建仓,申毅荣,等. 防汛物资协同储备模型研究[J]. 系统工程理论与实践,2007,(4):91-94.
- [7] 刘宗熹,赵启兰. 应急物资储备指数及储备量探讨[J]. 物流技术,2009,28(7):124-126.
- [8] 马新,陈涛,黄钧. 建立全社会应急物资储备体系的若干重要问题[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程,2011,(1):83-86.
- [9] 刘利民,王敏杰. 我国应急物资储备优化问题初探[J]. 物流科技,2009,(2):39-41.
- [10] 姚令侃,汤家发,杨明. 防洪物资储备决策方法初探[J]. 灾害学,2001,16(1):30-34.

(编辑:邓玲)

## Research on reserve model of emergency supplies for urban flood control

ZHONG Jia<sup>1</sup>, LIU Gang<sup>2</sup>

(1. Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China; 2. Institute of Management Sciences, Hohai University, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** The reserve mechanism of emergency supplies for urban flood control has been mainly based on government's real object reserves for quite a long time. Due to the uncertainty of disasters and effective service life of emergency supplies, the pressure on government spending and large quantities of idle supplies can not be avoided. On the basis of flood risk analysis, the paper presents a collaborative model that is based on government's real object reserve and enterprise contract reserve, and the unit loss value due to excess or less reserves is calculated. The qualitative and quantitative analysis for probability of floods in different levels is conducted by using Analytic Hierarchy Process (AHP), and a decision-making method is established from the perspective of determining the expected loss. The results illustrate that the reserve model of emergency supplies for urban flood control is significantly efficient and consecutive in emergency response.

**Key words:** flood control supplies; reserve model; reserve quantity; urban flood control

### · 简 讯 ·

## 长江流域河湖采砂现场监管研讨会召开

2013年10月11日,长江水利委员会在陕西省西安市召开了长江流域河湖采砂现场监管研讨会。水利部建管司副司长、督察专员祖雷鸣、长江委副主任杨淳出席会议并讲话,会议由长江委砂管局局长徐勤勤主持。

祖雷鸣对长江流域采砂管理工作给予了充分肯定。他表示,自《长江河道采砂管理条例》颁布实施以来,长江委和沿江各级水行政主管部门认真履行职责,加大执法力度,探索采砂管理长效机制,河湖采砂秩序总体处于可控状态。结合当前开展的党的群众路线教育实践活动,祖雷鸣指出,要深入开展自查自纠,切实提高工作水平。①认清形势。目前部分河段出现了大功率的非法采砂船,局部地区非法采砂势头有所反弹,务必引起高度重视。②查找原因。客观上,建筑市场繁荣和砂石利润高是非法采砂活动反弹的一大诱因;主观上,一些地方出现了监管不到位、甚至现场监管形同虚设的情况。③明确现场监管的目标。远期目标为依法、科学、有序;现实目标是总体可控。④落实现场监管的责任主体。其中长江委负责统一管理、监督检查,各地在地方人民政府行政首长负责制的前提下,分

区域负责管理,河道所属的水行政主管部门应为现场监管的第一责任主体。⑤明确现场监管的内容。必须抓集中停靠点,对船只登记造册;做好涉河建设项目审批,规范砂场管理;加强船只在可采区(期)、禁采区(期)的监管。⑥强化采砂管理能力建设,努力提高采砂管理的能力和水平。

杨淳在讲话中分析了近年来长江流域采砂管理工作形势。他强调,流域各地要充分认识到采砂管理工作的重要性、长期性、复杂性、敏感性和危险性,扣紧构建流域河湖采砂长效管理机制的总目标,不断探索新举措。杨淳要求,要以本次会议为契机,站在确保江河水安澜和沿岸人民福祉的高度,认真学习借鉴相关省市有益的做法,创新思维、大胆实践、强化协作,解决制约和影响流域河湖采砂管理工作深入开展的历史性、根本性难题。

长江干流沿江8省(直辖市)以及陕西、青海省水利(水务)厅(局)分管领导,流域19个省(自治区、直辖市)水利部门砂管负责人和部分市、县河湖采砂现场监管负责人和代表参加了研讨会。

(长江)