

# 不同深度平面与表面的视知觉完形加工\*

沈模卫<sup>1</sup> 施壮华<sup>1</sup> 张光强<sup>1</sup> 张 锋<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>浙江大学心理与行为科学系,杭州 310028) (<sup>2</sup>云南师范大学教育科学与管理学院,昆明 650092)

**摘 要** 以往有关视觉完形加工的研究主要探索同一深度平面内的相似纹理表面或相关轮廓特性等对完形加工的影响。该研究采用汉字碎块,考察了双眼视差、颜色以及遮挡等线索在视觉完形中的作用。发现结果如下:视差与颜色等线索阻碍了视觉完形加工;遮挡线索加速了整体的视觉完形形成;在高级认知加工参与下,遮挡线索有效抑制了视差、颜色等线索的分离作用。通过对知觉填补机制及其理论的讨论,可以认为,该研究的结果为不同深度平面间的视知觉完形加工提供了实验支持。

**关键词** 视觉完形加工,双眼视差,遮挡,知觉填补。

**分类号** B842.1

## 1 前 言

人们观察三维空间物体时,经常会遇到物体局部受遮挡、视像模糊等视觉信息缺少现象。视觉系统为了解决这些由视觉信息缺失造成的视像歧义问题,必须根据视像上各部分的结构特征,假设它们之间的联系,以补充或推断被遮挡部分的信息。这一加工过程称为知觉完形加工或知觉填补<sup>[1,2]</sup>。

从格式塔学派开始<sup>[1,3]</sup>,诸多视知觉完形研究均将研究焦点集中于探索形成视知觉完形的一般条件上,如良好连续性<sup>[4,5]</sup>、相似纹理表面特性<sup>[6,7]</sup>等。Kellman 等人的研究表明对部分遮挡对象和主观轮廓的知觉均来自于边界轮廓的填补,这种填补是以良好的边界连续性为基础的<sup>[4]</sup>。Nakayama 和 Shimjo<sup>[7]</sup>与 Yin 等人<sup>[8]</sup>的研究则指出,基于相似纹理表面特性的知觉对象整合也是形成知觉完形的重要途径。然而,上述研究所采用的实验对象均为同属于一个平面的简单图形,对含深度信息对象的知觉完形加工讨论甚少。

长期以来,在知觉完形加工领域中,研究者对自上而下加工的作用存在诸多争议。Kanizsa 和 Gerbino 的研究发现,简单图形的完形加工只是知觉加工机制的一种自动输出,并不涉及认知推断等高级认知过程<sup>[9]</sup>。然而新近的研究指出,不管显式或

隐式表征,视觉系统均存在利用先验知识来解释完形的现象<sup>[10-12]</sup>。有关先验知识和自上而下的高级认知过程与自下而上的视知觉特性(如良好连续性、表面特性等)加工在视知觉完形生成过程中的相互关系,学界至今未见深入的探讨。

本研究以汉字为材料,着重探讨双眼视差、表面纹理(颜色)等底层视知觉特性与涉及高级认知加工的字形整体性之间的关系,旨在为揭示自上而下的高级认知加工影响视知觉完形加工的规律提供实验依据。

## 2 实验方法

### 2.1 被试

被试由 14 名(7 男 7 女)深度知觉正常、矫正视力 1.0 以上的浙江大学本科生和研究生组成。实验前以含有不同深度平面块的随机点立体图作刺激对被试进行测试,以保证被试均能正确区分实验中所用的视差水平。

### 2.2 实验装置及条件

实验装置主要由一台带 17 英寸 Sony 显示器的 PIII450 计算机、一副 3D 魔眼液晶立体眼镜、头部支架、STIMPAD 四按钮反应盒构成。屏幕取 800 × 600 的 VGA 高分辨率模式,以 120Hz 倍频方式交替呈现刺激图像,正前方 90cm 处的立体眼镜则与之同步

收稿日期:2003-04-15

\* 国家自然科学基金(30270463)、教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20030335024)和云南省政府-浙江大学合作共建云南省心理学重点学科资助项目。

通讯作者:沈模卫, E-mail: mwshen@zju.edu.cn; Tel: 0571-88273820

开关左右镜片。在立体镜片的控制下,被试的左右眼分别接收到刷新频率约为 60Hz 的刺激图像。

### 2.3 实验材料

实验材料采用经由切割和遮挡变换处理的 420 个中国汉字。所用汉字取自《现代汉语频率词典》中表 7《汉字频率表》<sup>[13]</sup>,笔划数均在 7~13 划之间,字频在 0.01~0.25 之间。正式实验采用 360 个汉字,其余 60 个汉字用于实验前训练。

刺激材料制作步骤如下(见图 1):

(1)产生黑体、字号 160 的白底黑字图像,黑字亮度为  $0.08\text{cd}/\text{m}^2$ ,白底亮度为  $79.8\text{cd}/\text{m}^2$ ,图像大小为  $213 \times 213$  像数点;

(2)以  $56 \times 56$  像数点,45 度倾斜的网格切割上述汉字;

(3)根据不同条件作以下几种变换:

a. 在 90cm 的视距下,分别以非交叉视差  $2.75'$ 、 $5.16'$  和  $7.91'$  依次形成三个沿显示器基准平面(非交叉视差为 0 度)向纵深延伸的不同深度的平面。通过对经切割后的各汉字碎块进行视差变换,获得含有视差信息的字块。

b. 对切割后的汉字块随机着以红、蓝、蓝绿或黑色,获得含有颜色信息的字块。

c. 利用像数为 20 的网格,对变换后的字块加以重新切分或遮挡。遮挡网格的亮度为  $38.1\text{cd}/\text{m}^2$ 。

(4)利用上述变换,得到 2(有视差/无视差)  $\times$  2(彩色/单色)  $\times$  2(有遮挡/无遮挡) 共八种类型的汉字刺激。有视差字刺激的各汉字碎块分布在基准平面和其它三个不同深度的平面上,无视差字刺激的汉字碎块均呈现在基准平面上;彩色字刺激的汉字碎块包含红、蓝、蓝绿或黑色四种色彩,单色字刺激的各汉字碎块均以黑色呈现;有遮挡字刺激在基准平面上叠加遮挡网格,无遮挡字刺激不呈现遮挡网格。

(5)以上述刺激为基础,分块进行随机移位、翻转,再获得非字刺激。

### 2.4 实验设计与程序

本实验采用 2(有视差/无视差)  $\times$  2(彩色/单色)  $\times$  2(有遮挡/无遮挡) 的被试者内设计。在汉字刺激材料中加入 25% 的非字刺激材料作干扰项。即各处理条件包括 45 个汉字刺激和 15 个非字刺激,整个实验 8 种处理条件所用刺激共 480 个。实验以 Neuroscan 的 STIM 系统呈现刺激。

实验过程中,被试就坐于屏幕前,双眼与屏幕的观察距离为 90cm。正式实验前,以训练字表进行实验前训练,呈现时间为 2000ms。要求被试对呈现的刺激作“字”或“非字”的口头报告。当被试对单色、无遮挡、无视差条件的汉字碎块的识别率(“击中”百分率)达到 50% 时,停止练习。

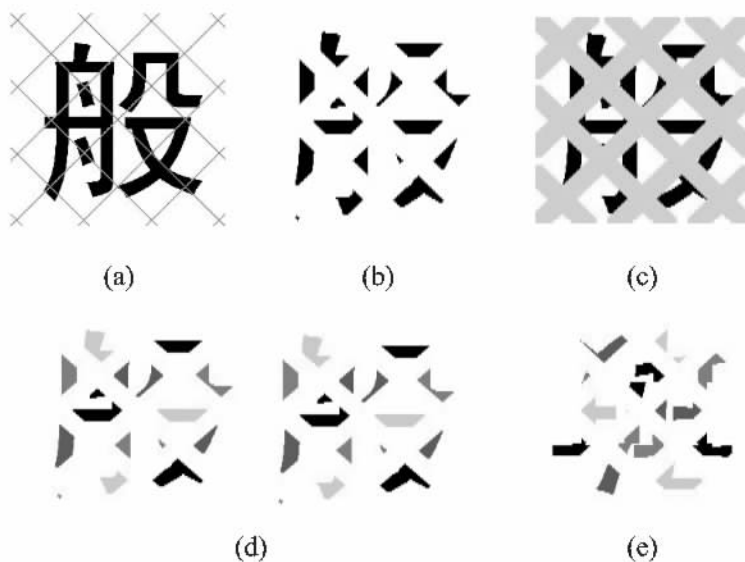


图1 实验中所用刺激图形

注:(a)以网格线切分汉字;(b)线宽为 20 像数的网格切分后的字块;(c)线宽为 20 像数的灰色网格遮挡所成的刺激图形;(d)对字块着色并进行视差变换后的立体图对;(e)非字刺激图形

正式实验中,首先在屏幕中央呈现由上下两排,每排由左右两个小方块构成的立体随机点图,四个小方块分布在不同深度的平面上。各方块在随机点图中各方位上的呈现次数在各种处理条件内加以平衡,呈现时间为 1000ms。随后呈现字块刺激 800ms,要求被试根据刺激字块作“字”或“非字”的字判别反应,若确认汉字按 STIMPAD 上的 1 键;否则按 2 键。反应窗口(被试作有效按键反应的时程)设置为自刺激呈现后 200ms 至 2200ms。每次试验所需时间为 4800ms。整个实验包括的 480 个刺激的呈现次序作随机排列。实验分三节完成,每节完成后休息 5 分钟。单次实验流程如图 2 所示。实验中同时记录汉字的识别率(“击中”百分率)和反应时。

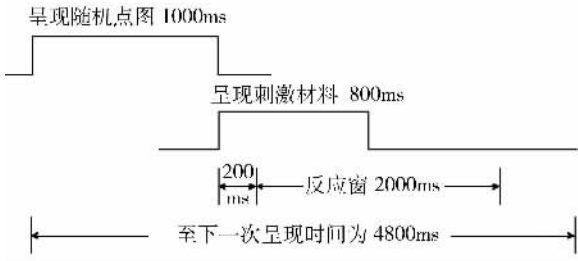


图 2 单次实验流程

### 3 实验结果

#### 3.1 识别率

对于汉字碎块的八种类型刺激的识别率如图 3 所示。图中显示,遮挡对识别率存在较大影响,颜色与视差也存在不同程度的效应。

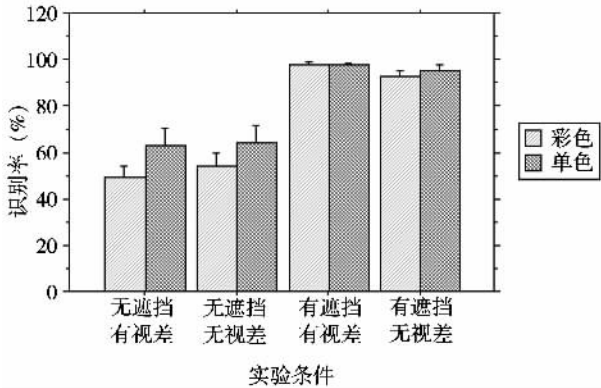


图 3 八种刺激图中汉字的平均识别率

对识别率进行  $2 \times 2 \times 2$  三因素重复测量方差分析。结果表明,遮挡、视差和颜色三者均对识别率存

在显著影响(遮挡:  $F(1, 13) = 68.350, p < 0.01$ ; 视差:  $F(1, 13) = 18.60, p < 0.01$ ; 颜色:  $F(1, 13) = 19.043, p < 0.01$ )。有遮挡的识别率显著高于无遮挡的识别率,说明遮挡线索有效地引起汉字碎块间的知觉填补。增加字块的深度层次(视差因素)或者增加字块的颜色数目(颜色因素),都会引起识别率的下降。

**3.1.1 遮挡与视差** 遮挡和视差的交互作用显著,  $F(1, 13) = 37.317, p < 0.01$ , 两者的关系如图 4 所示。为进一步分析两者的关系。笔者分别在遮挡与非遮挡条件下,对视差有无作简单效应检验。在无遮挡条件下,视差线索对字块的整合识别有显著影响,  $F(1, 108) = 5.746, p < 0.01$ ; 在含有栅格遮挡条件下,字块之间有无视差对汉字识别无显著影响,  $F(1, 108) = 0.252, p > 0.05$ 。

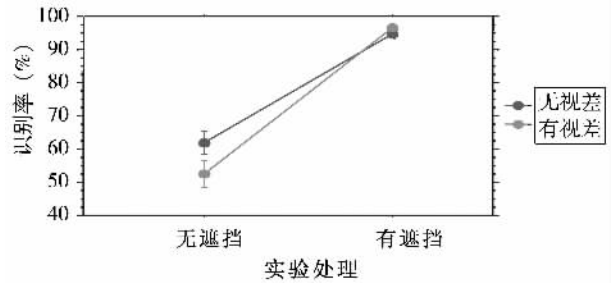


图 4 遮挡与视差的交互效应

上述结果显示,视差是对象分离的有效线索,有效地阻断了不同深度间的汉字碎块构成整体汉字的加工。而遮挡则能导致字块间的知觉填补加工,促进了知觉系统的对象整合。由于遮挡引发的知觉填补作用较强,从而表现出对视差线索引起的对象分离加工的抑制作用。

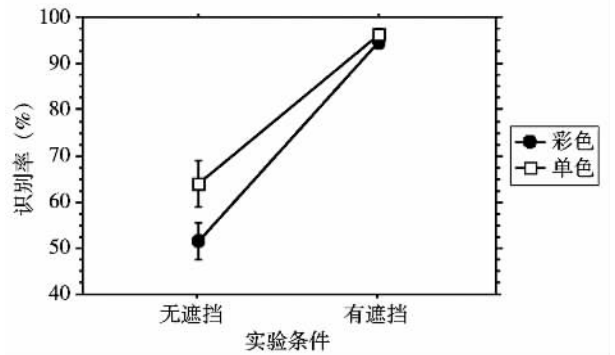


图 5 遮挡与颜色的交互效应

**3.1.2 遮挡与颜色** 遮挡和颜色的交互作用显著,  $F(1, 13) = 13.381, p < 0.01$ , 两者的关系如图 5 所

示。简单效应检验发现,无遮挡情形下,颜色对字块的识别率产生显著影响, $F(1,108) = 10.328, p < 0.01$ ;有遮挡条件下,颜色对字块的识别率无显著影响, $F(1,108) = 0.034, p > 0.05$ 。此结果同样显示了颜色是导致对象分离的有效线索,但遮挡引起的知觉填补加工却抑制了颜色的对象分离功能。

### 3.2 反应时

汉字碎块的八种类型刺激的平均反应时如图6所示。对反应时进行 $2 \times 2 \times 2$ 三因素重复测量方差分析。结果表明,只有遮挡对反应时存在显著影响, $F(1,13) = 32.472, p < 0.01$ 。含有遮挡条件的反应时显著低于无遮挡时的反应时。这表明遮挡线索存在条件下,汉字碎块的整合更为容易,这与识别率结果一致。其余因素的效应均不显著。

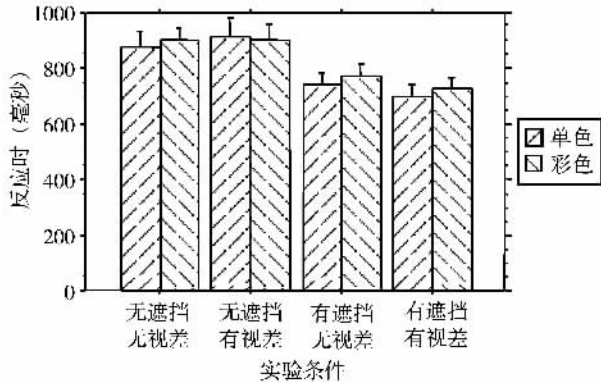


图6 八种刺激图对中汉字的平均反应时

## 4 讨论

以往的FACADE理论认为,视觉遮挡引发的知觉填补(filling-in)首先基于单一深度平面上的轮廓,然后在轮廓中进行表面填补加工,形成知觉对象,即视觉遮挡促进了单一深度平面上的知觉填补加工<sup>[14]</sup>。本实验发现,不管有无视差存在,视觉遮挡条件下字块的识别率远远高于无遮挡条件,并且反应时间也显著低于后者。这一结果表明,遮挡引起的知觉填补不仅可以发生在同一视差平面内,还可以发生在由不同视差产生的不同深度平面之间。Yang和Blake对随机点图作连续视差和不连续视差两种处理,产生相应的沿基准显示平面外突的连续或不连续的波纹状立体图,要求被试对两者最高峰的高度作判断,结果发现被试对后者的峰高度也能作出比较精确的判断<sup>[15]</sup>。他们的研究为无遮挡条件下不同深度平面之间存在知觉填补的假设提供了实验支持。

有关知觉填补现象的机制问题,至今仍一直是争论的焦点。以Dennett为代表的哲学家不承认神经元群层面上的填补过程<sup>[16]</sup>,认为“信息的缺失不等于缺失的信息”。所谓的“信息的缺失”是指视觉感受器未捕获的信息,而“缺失的信息”是指在已捕获的、不完整的信息基础上,为形成知觉整体而由主观经验(即对象的主观映像)提供的相关信息。他进一步区分知觉填补(filling-in)与知觉搜索(find out)的概念,认为“填补现象”是由对知觉搜索获得的信息中那部分“缺失的信息”加以构建主观映像的结果,而非神经元群层面活动的产物。这种基于经验的知觉形式,可以用Gregory的“知觉即是假设”观点加以解释。Gregory认为,大脑接收到感觉系统产生的信号,只有与特定的知觉经验结合,才会形成对象知觉,这种有意义的假设能更有效地组织外界信息<sup>[17]</sup>。

然而,Fiorani等人在猕猴实验中发现,与盲点区对应的视皮层神经元对来自双眼的输入都有反应<sup>[18]</sup>,因而他们认为神经元群层面存在知觉填补过程。这一观点强调神经元对边界的检测,即边界轮廓首先激活与之对应的视皮层细胞,而后再引发轮廓内对应位置的视皮层细胞兴奋,其中颜色对比、明暗对比、视差等对轮廓形成起主要作用<sup>[19~22]</sup>。

本实验中采用的材料是单个汉字,属高级知觉对象。本实验结果显示,视觉遮挡条件下字块的识别率远远高于无遮挡条件,反应时间也显著低于后者,并且这种效应模式不受视差因素和颜色因素的影响。这一结果表明遮挡条件下的知觉填补有效地抑制了视差与颜色等导致平面分离的线索加工。笔者认为,汉字的整体特征在知觉加工过程中起了关键作用,体现了格式塔学派的简单整体性原则。这种整体性加工模式已远非Fiorani等人以轮廓检测为基础的、自下而上的知觉填补机制所能解释的。

根据本实验的结果,笔者认为当基于高级知觉对象(汉字)的整合加工与基于空间线索的字块加工相冲突时,由于个体知觉经验的作用,前者更具优先权。基于经验的对象熟悉性对完形产生自上而下的作用。这种自上而下的加工模式也在相关研究中获得支持,如Enns等人的研究也发现“正方体”整体图形知觉早于“正方体”中线段知觉<sup>[23]</sup>。Yin等人的表面整合研究表明,表面知觉早于视差知觉,并且相似表面质地(如颜色、纹理等)的整合加工抑制了视差线索分离平面的加工<sup>[8]</sup>。本实验发现,在知觉经验的参与下,由遮挡引起的汉字碎块间的知觉

填补首先形成了有意义的对象知觉(汉字),进而更有效的抑制了对颜色、视差等自下而上的空间分离线索的加工。

## 5 结 论

本研究以汉字碎块为刺激材料,考察了双眼视差、颜色以及遮挡等线索在视觉完形中的作用,得到以下结论:遮挡对视知觉完形加工起了有效的知觉填补作用;知觉填补可发生在不同的深度平面和不同的色块之间,并有效地抑制了与其冲突的空间线索。

## 参 考 文 献

- Koffka K. Principles of Gestalt psychology. New York: Harcourt, Brace & Co, 1935
- Kanizsa G. Margini quasi - percettivi in campi con stimolazione omogenea. Rivista di Psicologia, 1955, 49: 31 ~ 49
- Wertheimer M. Untersuchungen zur lehre von der gestalt. Psychological Research/Psychologische Forschung, 1923, 4: 301 ~ 350
- Kellman PJ, Shipley TF. A theory of visual interpolation in object perception. Cognitive Psychology, 1991, 23: 141 ~ 221
- Wouterlood D, Boselie F. A good - continuation model of some occlusion phenomena. Psychological Research/Psychologische Forschung, 1992, 54: 267 ~ 277
- Nakayama K, Shimojo S, Silverman. Stereoscopic depth: Its relation to image fragmentation, grouping, and the recognition of occluded objects. Perception, 1989, 18: 56 ~ 68
- Nakayama K, Shimojo S. Experiencing and perceiving visual surfaces. Science, 1992, 257: 1357 ~ 1363
- Yin, C, Kellman PJ, Shipley TF. Surface integration influences depth discrimination. Vision Research, 2000, 40: 1969 ~ 1978
- Kanizsa G, Gerbino W. A modal completion: Seeing or thinking. In: Beck J ed. Organization and representation in perception. Erlbaum; Hillsdale NJ, 1982. 167 ~ 190
- Kersten D. Statistical limits to image understanding. In: C Blake-more ed. Vision; Coding and Efficiency. Cambridge University Press; Cambridge, 1990. 32 ~ 44
- Yuille A L, Bulthoff H H. Bayesian decision theory and psychophysics. In: Perception as Bayesian Inference, R., Cambridge University Press; Cambridge, 1996
- Kersten D, Schrater P. Pattern inference theory: A probabilistic approach to vision. In: Perception and the Physical World. D. Heyer, John Wiley & Sons, Ltd.; Chichester, 2000
- Institute of Linguistics. Word Frequency Dictionary of Modern Chinese. Beijing: Press of Beijing Language and Culture University, 1986  
(北京语言学院语言教学研究所. 现代汉语频率词典. 北京:北京语言学院出版社, 1986)
- Grossberg S. 3 - D vision and figure - ground separation by visual cortex. Perception and Psychophysics, 1994, 55: 48 ~ 120
- Yang Y, Blake R. On the accuracy of surface reconstruction from disparity interpolation. Vision Research, 1995, 35: 949 ~ 960
- Dennett D C. Consciousness explained. New York: Little, Brown, 1991
- Gregory R L. Perception as Hypotheses, in The Oxford companion to the mind, R. L. Gregory, Oxford University Press, 1987. 608 ~ 611
- Fiorani M, et al. Visual responses outside the "classical" receptive field in primate striate cortex: a possible correlate of perceptual completion. Proceeding of the National Academy of Science USA, 1992, 89: 8547 ~ 8551
- Eskew R, et al., Detection uncertainty and facilitation of chromatic detection by luminance contours. Journal of the Optical Society of America, 1991, 8: 394 ~ 403
- Thompson E, Palacios A, Varela FJ. Ways of coloring: comparative color vision as a case study for cognitive science. Behavioral and Brain Sciences, 1992, 15: 1 ~ 74
- Grosz D, Shapley R, Hawken M. Macaque V1 neurons can signal "illusory" contours. Nature, 1993, 365: 550 ~ 552
- Leshner GW. Illusory contours: toward a neurally based perceptual theory. Psychonomic Bulletin & Review, 1995, 2: 278 ~ 321
- Enns JT, Rensink RA. Preattentive recovery of three - dimensional orientation from line drawings. Psychological Review, 1991, 98: 335 ~ 351

## VISUAL COMPLETION ON DIFFERENT DEPTH PLANES AND DIFFERENT SURFACES

Shen Mowei<sup>1</sup>, Shi Zhuanghua<sup>1</sup>, Zhang Guangqiang<sup>1</sup>, Zhang Feng<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Department of Psychology and Behavioral Science, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China)

(<sup>2</sup> College of Educational Science and Management, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China)

### Abstract

Visual completion is constantly used by the visual system to deal with image data that is missing, ambiguous or corrupted. In recent years, there have been a large number of researches on visual completion. Although many researches reported that visual completion is based on Gestalt law in a common depth surface, little is known about the visual completion process among different depth surfaces. In this study fragments of Chinese characters were used to investigate the effects of binocular disparity, color and occlusion in visual completion. The results indicated that binocular disparity and color hinder the visual completion process. Occlusion facilitates global visual integration, and that global visual integration may inhibit those separation effects when high-level perceptual processing is involved under such occlusion conditions.

**Key words** visual completion, binocular disparity, occlusion, perceptual filling-in.

---

### 第三届亚洲视觉科学会议(ACV2004)

由中国科学院视觉信息加工重点实验室、上海神经科学研究所和第三军医大学西南眼科医院联合主办的第三届亚洲视觉科学会议(ACV)原定于2003年11月举行,因受SARS影响,改为2004年11月15-19日在重庆举行。请注意会议回执提交:2004年4月30日。论文摘要截止日期:2004年8月30日。详情请见会议网址:www.ibp.ac.cn/acv2004,请在网上下载会议回执。