

# 静息状态脑活动及其脑功能成像

赵小虎<sup>1,2</sup> 王培军<sup>2</sup> 唐孝威<sup>1\*</sup>

1. 浙江大学物理系交叉学科实验室, 杭州 310027; 2. 同济大学附属同济医院, 上海 200065

**摘要** 目前应用无创性磁共振功能成像技术的脑功能成像研究常把无任务的静息状态作为对照, 特定的脑功能区活动是任务状态脑活动与对照状态相减所得。但是近年来研究发现, 所谓静息状态时大脑也存在功能活动。显然这种脑活动将会影响与目的任务相关的脑功能成像结果以及对这种结果的解释。因此理解静息状态脑活动及其生理意义, 对解释脑功能成像的结果以及全面了解大脑功能具有重要意义。文中就静态脑活动的研究背景、存在证据、活动特点、生理意义及其功能成像研究进展做简要评述。

**关键词** 静态脑活动 血氧水平依赖性 负激活 氧吸收分数 脑功能成像

基于血氧水平依赖性(BOLD)效应的无创性磁共振功能成像(简称fMRI)技术已广泛应用于活体人脑功能的研究<sup>[1-4]</sup>。应用这种技术, 在认知科学、精神疾病以及脑损伤等领域的研究取得了重要进展。近年来研究发现, 大脑在没有任务的清醒、静息状态时也存在功能活动, 这一现象引起了研究者的极大兴趣。因为任务相关的fMRI脑功能成像研究大多以无任务的静息状态作为对照进行成像, 所定义的脑功能活动是任务状态与无任务的静息状态相减所得。显然作为对照的静息期如果存在大脑活动, 将会影响与目的任务相关的脑功能成像结果以及对这种结果的解释。因此理解fMRI脑功能成像研究中作为对照的静息状态脑活动特点及其生理意义对解释脑功能成像的结果以及全面了解大脑功能具有重要意义。本文就静态脑活动的研究背景、存在证据、活动特点、生理意义及其功能成像研究进展作简要评述, 供从事相关领域的研究者参考。

BOLD效应是BOLD—fMRI成像的基础。BOLD效应, 是指由血氧水平依赖性使磁共振信号发生改变的效应。其生理学基础是: 大脑活动时神经兴奋增高, 伴随着局部脑血流的血液动力学改变(局部血液的流量、流速及容量增加), 引起局部脑组织血氧含量相对增高。但是血氧供应的增加与氧消耗并不成比例, 氧供应远远超过了脑组织对氧的消耗利用。氧过剩的结果是微血管中氧合血红蛋白相对增多, 脱氧血红蛋白含量相对下降。脱氧血红蛋白为顺磁性物质, 含量增多的直接作用是使局部组织受激发后失相位速度加快,  $T2^*$ 弛豫时间缩短,  $T2^*$ 加权像信号减低。若脱氧血红蛋白减少时, 使局部组织受激发后失相位速度减慢,  $T2^*$ 弛豫时间延长,  $T2^*$ 加权像信号增高, 因此这时进行成像即可得到相关的脑功能激活成像图。BOLD效应直接反映的是脑神经活动引起的局部血流和代谢改变, 但是德国科学家 Logothetis 等<sup>[6]</sup>的研究成果显示, BOLD信号与神经突触活动产生的局部场电位变化(local field potentials)最为相关。这说明BOLD信号本质上反应了神经突触的活动。

## 1 任务相关fMRI及其负激活

### 1.1 BOLD信号的生理基础与神经活动本质

1990年美国贝尔实验室的Ogawa等<sup>[5]</sup>发现的

2005-04-26 收稿, 2005-05-22 收修改稿

\* 通讯作者, E-mail: tangxw@zju.edu.cn

## 1.2 任务相关 fMRI 脑激活及其负激活

脑活动相关的 fMRI 信号是通过数学计算与统计推断获得的。最常用的方法是模型驱动 (model-driven) 数据分析方法<sup>[7]</sup>, 如国际上常用的采用线性模型或者广义线性模型的 SPM (statistical parametric mapping) 等<sup>[8,9]</sup>。此类方法多采取两种不同状态(任务与静息)间脑区活动的 fMRI 信号差值确定激活区域, 表征激活强度的大小。通常所定义的脑激活信号即为任务减去对照数据所得信号, 它反映了与任务相关的局部脑神经细胞活动。这类实验中, 将无任务的静息状态人为定义为对照状态。但近年来研究者发现, 将静息状态与任务反减, 即静息状态减去任务数据, 也会有脑活动信号, 这种现象称为负激活。大量研究发现, 负激活存在两种现象<sup>[10-14]</sup>: 一种为任务依赖性负激活(task-dependent decrease), 另一种为非任务依赖性负激活(task-independent decrease)。前者与特定的任务密切相关, 其活动脑区随不同的任务而不同; 后者则与研究的任务关系不太密切。不同任务其负激活脑区的解剖位置变化甚小, 如在视觉与听觉注意、语言处理、记忆等任务时均可在某些相同脑区出现负激活。

## 1.3 负激活现象的神经生理机制及其意义

fMRI 研究中的脑激活现象反映了相关脑区的神经元活动增强, 以及与之密切相关的局部脑组织血流增加和血氧水平变化。但与脑激活相对的负激活反映了什么样的神经生理变化呢? 其确切的生理机制目前还不清楚。从生理学角度看, 这种现象有几种解释。一种解释认为它与脑的血流动力学变化相关<sup>[15]</sup>。当某一脑区活动时, 局部脑组织的血液供应增加, 由于血液分流效应, 使其邻近组织的血流相对减少以供应激活的脑组织, 因此邻近组织表现为负激活。在微血管水平, 确实存在这种现象<sup>[16]</sup>, 但这并不能完全解释脑功能成像中的负激活现象。原因是: (1) 相对于大脑的整体血供, 与特定认知任务相关的局部脑血流变化甚小(在脑皮层的变化只有百分之几), 因此它的变化对整个大脑血供的影响几乎检测不到<sup>[17]</sup>; (2) 大脑的血液储备量非常大, 足以供应两倍于因某种功能需要而增加的血供<sup>[18,19]</sup>; (3) 这种血流减弱现象可以出现在远离脑活动的区域, 或者不伴随血流增加而单独出现。这

些现象是血液分流的观点所不能解释的<sup>[20]</sup>。

另外一种解释则基于大脑的生理与功能意义。这种观点认为激活脑区与负激活脑区共同组成了一个神经网络, 负激活脑区在该网络中可能起到对某些信息的“闸控”(gating)或抑制作用<sup>[11]</sup>, 即过滤掉那些无意义的输入信息, 更有利于大脑对有用信息的处理, 但是具体的机制并不清楚。

这两种观点对负激活现象的解释均有缺陷。根据现有的实验结果, 前一种观点基本可以否定。后一种观点着重于说明其功能意义, 但并没有对它产生的生理机制进行深入阐述。此外, 有学者提出负激活可能是某些抑制性神经元活动的结果<sup>[21,22]</sup>。但任何神经元的活动都需要消耗能量, 局部脑组织的血流及血氧供应都会增加, 所以该观点仍不能解释基于 BOLD 效应的 fMRI 脑功能成像研究中的负激活现象。

由此可见, fMRI 脑功能成像研究中负激活现象的确切生理机制还需要更深入研究。但是总结前人的观点及已有的研究成果, 可以注意到: (1) 在一个特定任务相关的神经网络中, 有些脑区的活动在任务状态时强于对照状态, 这种脑活动就是激活。与之相反该网络中某些脑区活动任务状态时低于对照状态, 相应脑区的血流减少、血氧水平变化, 表现为负激活。(2) 任务依赖性负激活脑区出现的位置随不同任务而变化, 受试者执行的任务不同, 负激活脑区的部位不同。(3) 非任务依赖性负激活脑区出现的位置相对较为恒定, 随不同任务其部位变化甚小。(4) 任务依赖性与非任务依赖性负激活的产生原理类似, 但是两者的生理意义却有较大不同。前者仅在特定的任务状态时出现, 后者在我们通常定义的静息状态时就存在较高的代谢活动, 但在某些任务状态时却会降低。这提示大脑在静息状态时可能就存在有组织的脑功能活动。据此 Raichle 提出了静息状态脑活动网络(default mode activity network)学说<sup>[23]</sup>。

## 2 静息状态脑活动网络存在的证据

### 2.1 负激活现象产生的两种情况

要考察静息态的大脑活动就必须定义什么是“静息态”。fMRI 实验中, 研究者通常定义的静息

状态是指：受试者清醒、静息平卧于检查床；闭眼、平静呼吸；固定头部并最大限度地减少头部及其他部位的主动与被动运动；同时要求尽量不要做任何思维活动。然而清醒状态时大脑能够真正进入无任何意识活动的静息状态吗？脑功能成像研究中的负激活现象提示了静息状态下大脑仍然存在某些重要功能活动的可能性。

如上所述，从 BOLD 信号的生理机制以及目前

fMRI 脑功能成像的处理策略看，负激活现象直接提示的信息是局部脑血流及血氧水平在对照状态时高于任务状态，其生理本质是对照状态时局部脑神经活动强于任务状态。换言之，在特定任务状态时相应脑区的血流、血氧水平及局部脑神经活动较对照状态时减弱。这种情况可在如图 1 所示的两种状态下发生。

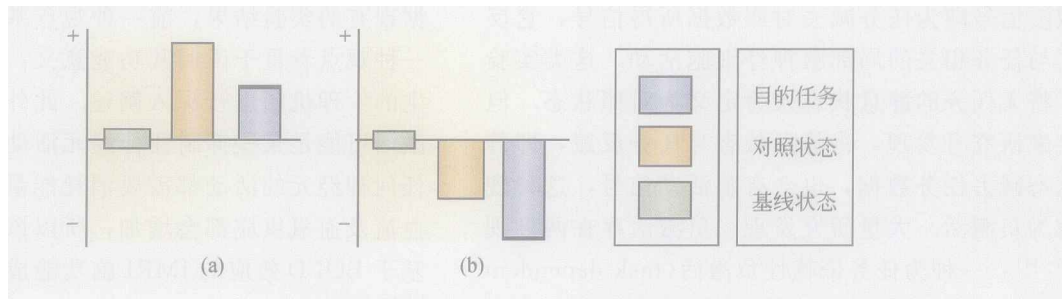


图 1 脑功能成像中负激活产生的两种情况

图片引自文献[24]略修改

图 1(a)说明在对照状态时，相对于基线水平某些脑区的活动较强，与之相对应局部血流较多；在特定任务状态时这些脑区活动相对减弱，局部血流相应减少。图 1(b)说明在对照状态时，相对于基线水平某些脑区的活动较低，与之相对应局部血流较少；特定任务活动时，局部血流进一步减少（也可以看作负性增大）。这里的问题是，大脑在静息状态下究竟会发生何种情况。如果发生前一种情况，说明大脑某些脑区在静息状态时存在高于基线水平的主动活动，因此我们有理由推断这时大脑某些脑区进行着重要的功能活动，与之相关的负激活脑区可能就是执行这些功能的神经网络结构。而后一种情况可能主要发生在由特定任务所引起的相关神经网络中。本文重点讨论前一个问题。

## 2.2 静息状态大脑活动网络存在的证据

**2.2.1 生理学基础** 人类大脑的重量仅占人体体重的 2%，但其耗氧及耗能较大。清醒静息状态时的供血占心输出量的 11%，总耗氧量占全身的 20%<sup>[25]</sup>。大脑为什么会在静息或基础状态下消耗如此大量的血氧与能量呢？研究显示，静息状态时 50% 的能量消耗与神经突触传递功能有关<sup>[26-28]</sup>，这说明静息状态存在大量的神经突触活动，提示了静

息状态时可能存在有重要意义的脑功能活动。

**2.2.2 脑功能成像研究证据** Shulman 和 Mazoyer 各自领导的研究小组利用 PET 进行的大样本研究为静息状态脑活动神经网络的研究提供了基础性资料<sup>[10,14,20,29]</sup>。Shulman 等<sup>[10]</sup>的研究对象为 132 个正常志愿者，目的是探索在不同的视觉任务条件下（如目标搜索、排序操作、注意建立及语言任务等）受试者的大脑活动情况。有两种对照条件：其一是被动看与刺激任务相同的视觉任务，不要求注意其中的某一特殊之处；其二是注视刺激器上的“+”。结果显示除视觉皮层外，其他的激活脑区随任务条件的不同而变化，但不同任务条件下发生负激活的区域几乎一致。说明某些负激活脑区并不随任务的不同而变化，这些脑区包括：扣带回后部/楔前叶 (BA31/7)、左侧 (BA40 和 39/19) 及右侧 (BA40) 顶下小叶、左额叶背外侧 (BA8)、左额下回外侧面 (BA10/47)、左颞下回 (BA20)、前额叶中部腹侧及背侧脑区 (BA8, 9, 10 及 32) 以及右侧杏仁核等共 9 个主要脑区。

Mazoyer 等<sup>[14]</sup>的研究则以通常定义的静息状态（见上文）作为研究的目标任务，以各种工作记忆任务作为对照，研究静息状态大脑活动情况。结果发

现活动脑区与 Shulman 等<sup>[10]</sup>的研究结果完全一致。这两组较大样本研究得出同样的结论：在清醒静息状态、注视“+”以及被动看简单的视觉刺激时，大脑存在相对固定的主动性活动的神经网络，而且这些脑区的活动强度在完成某些目标任务时会衰减。由于这些脑区的活动是在被动条件下的基态时产生，因此可以认为这些活动是主动性活动。与特定任务条件下的短暂脑活动相比，这种基线状态下脑区网络的活动是持续性的，提示大脑在持续处理某些重要信息。

在 Shulman 和 Mazoyer 等研究的基础上，Raichle 提出了静态脑活动假说<sup>[23]</sup>：这个假说认为大脑在无任务的清醒、静息状态下就存在有组织的脑区功能活动，这些脑区主要包括前额叶中内侧、扣带回前部、扣带回后部及两侧顶下小叶等区域，其确切的功能意义尚不清楚，但与大脑对内外环境的监测、情节记忆及自我意识密切相关。此后，许多研究者对此进行了深入研究。概括说，主要有以下结果：(1) Greicius

等用 fMRI 功能连接(functional connectivity)分析发现前额叶中内侧部、扣带回前部、扣带回后部以及顶下小叶等区域静息态 BOLD 信号波动具有较高的时间相关性<sup>[30]</sup>，其功能连接脑活动图与 Shulman 和 Mazoyer 等的研究成果极为一致。(2) 负激活信号强度随任务难度的增加而增强，提示由静息态转移至任务相关脑活动过程中注意力的分散程度增加<sup>[31]</sup>。(3) 某些特定任务(如与情感或自我意识相关的任务)可激活前额叶中内侧部、扣带回后部以及顶下小叶等与静息态脑活动网络一致的脑区<sup>[32,33]</sup>，提示静息态脑活动相关脑区是一个有组织的网络结构，执行着一定认知功能。

我们在对焦虑症患者与正常人的 fMRI 对照研究中，以无任务空白状态作为对照，情绪中性词作为任务，两者数据进行反减后，也发现了与上述许多研究结果一致的负激活脑区：扣带回后部、前额叶中部以及顶下小叶等大脑区域<sup>[34]</sup>。

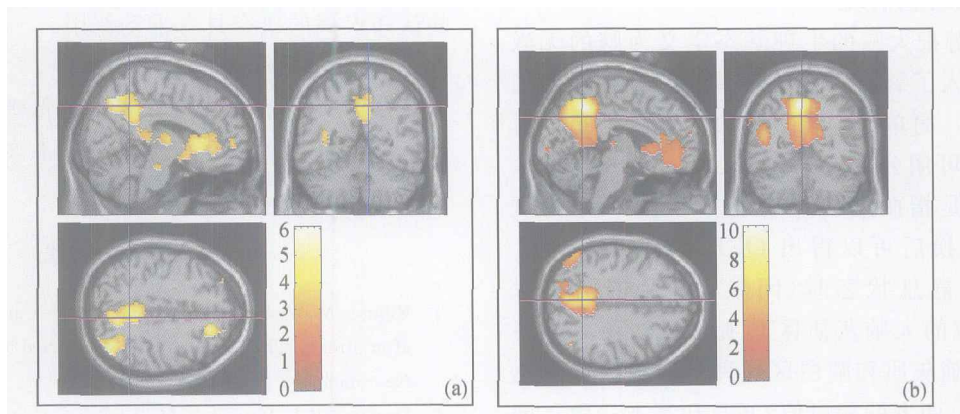


图2 正常人与焦虑症患者负激活脑区比较

(a) 示正常人，空白对照与中性词相减所得结果图；(b) 示焦虑症患者，空白对照与中性词相减所得结果图

图2说明，当空白对照与中性词相减时，正常人与患者均激活了几乎相同的脑区，如扣带回后部、前额叶中部等。这与 Raichle 等的研究结果基本一致。

### 3 静息状态脑活动网络的特点

以上证据说明，在无任务的清醒、静息状态时大脑某些脑区存在主动活动，并且这些脑区活动是有组织的，它们共同组成了一个特定的功能性神经网络，这就是静息状态脑活动网络。根据已有研究

成果，可以总结出以下特点：(1) 该神经网络在无任务的清醒、静息状态时就存在主动性活动，这些脑区的活动水平明显高于其他的脑区，并且执行着特定而重要的脑功能。(2) 虽然该网络活动的确切功能尚不清楚，但目前认为它和情景记忆的提取、对周围环境与自我内省状态监测<sup>[35-40]</sup>以及持续进行的认知和情感的相互作用过程有关<sup>[41-47]</sup>。(3) 该网络节点上各个脑区作用大小并不相同，其中扣带回后部起着关键性作用<sup>[30]</sup>。(4) 与特定目标任务相关的激活脑区与该网络会产生相互作用，这种影响与

目标任务所需要的认知程度相关<sup>[23,30]</sup>。(5)在完成不需要认知参与的一般运动、感觉与知觉等任务时(如手动、简单视觉任务等),相关脑活动对该网络活动几乎不受影响;完成认知任务时,相关脑活动对该网络的活动会产生一定影响。认知的难度越大,影响就越明显,两者呈负相关性<sup>[30]</sup>。

#### 4 静息状态脑活动与脑的生理基态

静息状态脑活动是在没有特定的目标任务时就存在的持续性进行的大脑功能活动,是在“生理基态”(physiological baseline of the brain)水平发生的活动;完成特定的目标任务所产生的脑活动,则包括了激活与负激活,负激活存在任务依赖性与非依赖性。这些现象对研究者提出了一个基本的问题,即如何定义大脑的生理基态。要确切定义脑的基态是十分困难的,但 Gusnard 等<sup>[24]</sup>的以下观点目前为多数学者所接受。

##### 4.1 基态(基线)脑活动

Gusnard 等把大脑的生理基态定义为脑的无激活状态,并引入了氧吸收分数(OEF)的概念来定义脑的生理基态。简单地说,氧吸收分数就是组织对氧的利用率。可用公式来表示: $O_u = BF \times OEF \times C_A$ ,其中 BF 是指血流,  $C_A$  指血氧含量,  $O_u$  为氧利用,简单变换后可以得出  $OEF = O_u / BF \times C_A$ 。在通常定义的静息状态时(闭眼、静卧的清醒状态),不同部位的大脑灰质区其血流量和耗氧量并不相同,而在脑灰质和脑白区这种差异更大,可达4倍之多。但是两者的相对值 OEF 却基本一致,即大脑各部位的 OEF 达到空间上的均一状态(视觉皮层例外),这种均一状态反映了局部脑组织的代谢(也即血氧供应与氧的消耗)达到动态平衡状态,这种平衡满足了长时间、持续性神经活动的需求。Gusnard等把脑组织的这种代谢平衡状态定义为神经元的基线活动水平。

##### 4.2 氧吸收分数与脑的激活与负激活

脑功能成像背景下的脑激活是指脑血流与氧消耗的不匹配状态:局部神经活动增强时,其相应血液氧供应增加,但是耗氧并没有相应增加。即 BF,  $C_A$  增加,而氧消耗没有相应增加,由公式  $OEF = \text{氧消耗} / BF \times C_A$  可以看出 OEF 是下降的。据此

Raichle 等认为:与全脑平均 OEF 相比较, OEF 降低的区域就是激活区,此时神经活动高于基态水平。与平均 OEF 相同的区域就是处于基态水平的区域,而 OEF 高于全脑平均 OEF 的脑区就是负激活区。

#### 5 展望

静息状态脑活动研究是近几年脑功能成像研究的热点,它对以往脑功能成像研究的某些结果提出了挑战。以往研究都是以无任务的静息状态作为对照,由于大脑在静息状态同样存在脑功能活动,以此作为对照,显然将会对实验结果产生影响。因此只有了解静息状态脑活动的本质与规律,才能更合理地解释实验的结果,更科学地进行实验设计。其次,静息状态脑功能活动本身具有重要的生理意义,它与人类的自我意识以及情景记忆等重要功能密切相关。需要进一步深入研究静息态脑活动的网络结构与功能特点,它将会对人脑高级意识以及某些认知疾病的研究具有推动作用。

**致谢** 感谢中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室臧玉峰副教授为本文初稿提出的建议与意见。

#### 参 考 文 献

- 1 Rijntjes M, Weiller C. Recovery of motor and language abilities after stroke: The contribution of functional imaging. *Progress in Neurobiology*, 2002, 66: 109—122
- 2 Davidson R J, Putnam K M, Larson C L, et al. Dysfunction in the neural circuitry of emotion regulation—A possible prelude to violence. *Science*, 2000, 289: 591—594
- 3 赵小虎, 王培军, 李春波, 等. Wernicke-Geschwind 语言模型的 fMRI 初步检验. *中国医学影像技术*, 2004, 20(12): 1836—1838
- 4 陈飞燕, 胡正辉, 赵小虎, 等. 电刺激的 fMRI 的初步研究. *中国医学影像技术*, 2004, 20(6): 954—956
- 5 Ogawa S, Lee T M, Nayak A S, et al. Magnetic resonance imaging of blood vessels at high fields: *in vivo* and *in vitro* measurements and image simulation. *Magn Reson Med*, 1990, 14: 68—78
- 6 Logothetis N K, Pauls J, Augath M, et al. Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal. *Nature*, 2001, 412: 150—157
- 7 Friston K J, Holmes A P, Worsley K J, et al. Statistical para-

- metric maps in functional imaging: A general linear approach. *Human Brain Mapping*, 1995, 2: 189—210
- 8 吴义眼, 李 可. SPM 软件包数据处理原理简介 I: 基本数学原理. *中国医学影像技术*, 2004, 20(11): 1768—1771
- 9 吴义眼, 李 可. SPM 软件包数据处理原理简介 II: 应用于 PET 及 fMRI. *中国医学影像技术*, 2004, 20(11): 1772—1775
- 10 Shulman G, Fiez J A, Corbetta M, et al. Common blood flow changes across visual tasks II. Decreases in cerebral cortex. *J Cogn Neurosci*, 1997, 9: 648—663
- 11 Drevets W C, Burton H, Videen T O, et al. Blood flow changes in human somatosensory cortex during anticipated stimulation. *Nature*, 1995, 373: 249—252
- 12 Haxby J V, Horwitz B, Ungerleider L G, et al. The functional organization of human extrastriate cortex: A PET-rCBF study of selective attention to faces and location. *J Neurosci*, 1994, 14: 6336—6353
- 13 Kwashima R, O'Sullivan B T, Roland P E. Positron emission tomography studies of cross-modality inhibition in selective attention tasks; Closing the mind's eyes. *Proc Natl Acad Sci*, 1995, 92: 5969—5972
- 14 Mazoyer B, Zago L, Mellet E, et al. Cortical network for working memory and executive function sustain the conscious resting state in man brain. *Res Bull*, 2001, 54: 287—298
- 15 Shmuel A, Yacoub E, Pfeuffer J, et al. Negative BOLD response and its coupling to the positive response in the human brain. *Neuroimage*, 2001, 13: S1005
- 16 Woolsey T A, Rovainen C M, Cox S B, et al. Neuronal units linked to microvascular modules in cerebral cortex: response elements for imaging the brain. *Cereb Cortex*, 1996, 6: 647—660
- 17 Sokoloff L, Mangold R, Wechsler R, et al. The effect of mental arithmetic on cerebral circulation and metabolism. *J Clin Invest*, 1995, 34: 1101—1108
- 18 Heistad D D, Kontos H A. *Handbook of Physiology. The Cardiovascular System*. Bethesda, Maryland: American Physiological Society, 1983, 137—182
- 19 Plum F, Posner J B, Troy B. Cerebral metabolic and circulatory responses to induced convulsions in animals. *Arch Neurol*, 1968, 18: 1—13
- 20 Shulman G L, Corbetta M, Buckner R L, et al. Top-down modulation of early sensory cortex. *Cereb Cortex*, 1997, 7: 193—206
- 21 Ackerman R F, Finch D M, Babb T L, et al. Increased glucose utilization during long-duration recurrent inhibition of hippocampal pyramidal cells. *J Neurosci*, 1984, 4: 251—264
- 22 Batini C, Benedetti F, Buisseret-Delmas C, et al. Metabolic activity of intracerebellar nuclei in the rat: Effects of inferior olive inactivation. *Exp Brain Res*, 1984, 54: 259—265
- 23 Raichle M E, MacLeod A M, Snyder A Z, et al. A default mode of brain function. *Proc Natl Acad Sci*, 2001, 98: 676—682
- 24 Gusnard D A, Raichle M E. Searching for a baseline: Functional imaging and the resting human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 2001, 2: 685—694
- 25 Clark D D, Sokoloff L. *Basic Neurochemistry. Molecular, Cellular and Medical Aspects*. Philadelphia: Lippincott-Raven, 1999, 637—670
- 26 Schwartz W J, Schwartz W J, Smith C B, et al. Metabolic mapping of functional activity in the hypothalamo-neurohypophysial system of the rat. *Science*, 1979, 205: 723—725
- 27 Mata M, Fink D J, Gainer H, et al. Activity-dependent energy metabolism in rat posterior pituitary primarily reflects sodium pump activity. *J Neurochem*, 1980, 34: 213—215
- 28 Astrup J, Sorensen P M, Sorensen H R, et al. Oxygen and glucose consumption related to  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  transport in canine brain. *Stroke*, 1981, 12: 726—730
- 29 Shulman G L, Fiez J A, Corbetta M, et al. Common blood flow changes across visual tasks; I. Increases in subcortical structures and cerebellum, but not in non-visual cortex. *J Cogn Neurosci*, 1997, 9: 624—647
- 30 Greicius M D, Krasnow B, Reiss A L, et al. Functional connectivity in the resting brain: A network analysis of the default mode hypothesis. *Proc Natl Acad Sci*, 2003, 100(1): 253—258
- 31 McKiernan K A, Kaufman J N, Kucera-Thompson, et al. A parametric manipulation of factors affecting task-induced deactivation in functional neuroimaging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2003, 15: 394—408
- 32 Gusnard D A, Akbudak E, Shulman G L, et al. Medial prefrontal cortex and self-referential mental activity: Relation to a default mode of brain function. *Proc Natl Acad Sci*, 2001, 98(7): 4259—4264
- 33 Kjaer T L, Nowak M, Lou H C, et al. Reflective self-awareness and conscious states: PET evidence for a common midline parietofrontal core. *NeuroImage*, 2002, 17: 1080—1086
- 34 李春波, 吴文源, 赵小虎, 等. 焦虑症精神病理机制的功能性磁共振成像初步研究. *上海精神医学*, 2003, 15: 10—13
- 35 Maguire E A, Mummery C J. Differential modulation of a common memory retrieval network revealed by positron emission tomography. *Hippocampus*, 1999, 9: 54—61
- 36 Maddock R J, Garrett A S, Buonocore M H. Remembering familiar people: The posterior cingulate cortex and autobiographical memory retrieval. *Neuroscience*, 2001, 104: 667—676
- 37 Fujii T, Okuda J, Tsukiura T, et al. The role of the basal forebrain in episodic memory retrieval: A positron emission tomography study. *NeuroImage*, 2002, 15: 501—508
- 38 Cabeza R, Dolcos F, Graham R, et al. Similarities and differences in the neural correlates of episodic memory retrieval and

- working memory. *NeuroImage*, 2002, 16: 317—330
- 39 Minoshima S, Giordani B, Berent S, et al. Metabolic reduction in the posterior cingulate cortex in very early Alzheimer's disease. *Ann Neurol*, 1997, 42: 85—94
- 40 Johnson K A, Jones K, Holman B L A, et al. Preclinical prediction of Alzheimer's disease using SPECT. *Neurology*, 1998, 50: 1563—1571
- 41 Drevets W C, Raichle M E. Reciprocal suppression of regional cerebral blood flow during emotional versus higher cognitive processes: Implications for interactions between emotion and cognition. *Cogn Emotion*, 1998, 12: 353—385
- 42 Mayberg H S. Limbic-cortical dysregulation: A proposed model of depression. *J Neuropsychiatry*, 1997, 9: 471—481
- 43 Bush G, Luu P, Posner M I, et al. Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends Cogn Sci*, 2000, 4: 215—222
- 44 Simpson J R Jr, Öngür D, Akbudak E, et al. The emotional modulation of cognitive processing: An fMRI study. *J Cogn Neurosci*, 2000, 12(Suppl. 2): 157—170
- 45 Simpson J R Jr, Snyder A Z, Gusnard D A, et al. Emotion-induced changes in human medial prefrontal cortex: I. During cognitive task performance. *Proc Natl Acad Sci*, 2001, 98: 683—687
- 46 Simpson J R Jr, Drevets W C, Snyder A Z, et al. Emotion-induced changes in human medial prefrontal cortex: II. During anticipatory anxiety. *Proc Natl Acad Sci*, 2001, 98: 688—691
- 47 Bechara A, Damasio H, Tranel D, et al. Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*, 1997, 275: 1293—1295

## 中国地震局地质研究所主持的 “分布式并行控制声发射全波记录仪”通过验收

由中国地震局地质研究所刘力强研究员主持的“分布式并行控制声发射全波记录仪”科学仪器专项于2005年6月28日在北京通过验收。

该项目组经过3年努力,研制出了一套32通道、12位分辨率、最高采样频率50 MHz的声发射全波形记录系统,在达到预期指标的基础上,一些关键技术性能取得了显著进展。本系统达到技术指标如下:(1)32个信号记录通道,每道缓存4096—32768字可调;(2)采样速度0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 40, 50 MHz可调;(3)多通道并行工作,各通道间的同步误差不大于20 ns。新增分布式时间同步采样功能,授时误差25 ns;(4)模/数转换分辨率12位,系统信噪比优于60 dB(100倍增益,实测零点噪声均方差1.2字,即 $2\sigma$ 条件下的信噪比为64 dB);(5)4096字样长条件下,系统“死时间”短于0.9 ms,即每秒钟最快可以记录1100个以上的AE事件在32个方位上的振动波形;(6)系统每单元至少可以存储4 k字长波形2千万个;(7)简单、快捷的系统操作界面,大容量磁盘阵列机支持下的声发射数据库系统,提供标准、方便的数据处理接口。

与同类声发射观测系统相比,该系统具有如下特点:(1)应用计算机机群技术,在分布式控制环境中,实现了对声发射数据的实时高速并行采集,创建了一种新型的系统架构;(2)宽带高速大流量数据采集,实测连续记录系统累加带宽达到384 Mbyte/s。该性能使声发射系统的“死时间”降到1 ms以下,即当声发射事件爆发频率达到每秒一千个以上时,本系统仍能连续记录每个事件产生的振动达到32个测点上的波形。声发射系统的动态记录能力因此提高了数十倍;(3)纳秒时钟统一授时,各通道独立触发记录,成倍提高了系统资源的利用率。它彻底改变了以往系统的“事件同步”工作方式,代之以“时间同步”。这不但提高了系统的性能,还使室内系统的工作方式更贴近现场测震台网;(4)对每次实验产生的数以千兆字节计的观测数据提供数据库支持,用户可以获得强大的计算处理能力。

该系统全面提高了岩石变形声发射的观测技术,对促进实验地震学和地球物理学、岩石力学和材料力学等学科的深入发展具有重要的意义,在矿山及大型工程的安全检测领域具有广泛的应用前景。评审专家建议项目组应尽早实现仪器的商品化。

(供稿:于贵华 于 晟)