

# 脑电信号的研究与应用

王 蔚 博士

南京师范大学教科院

教育技术系

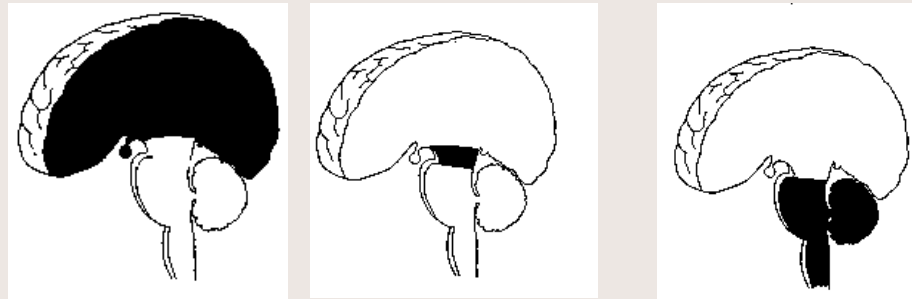
模式识别实验室

# 研究背景及目的

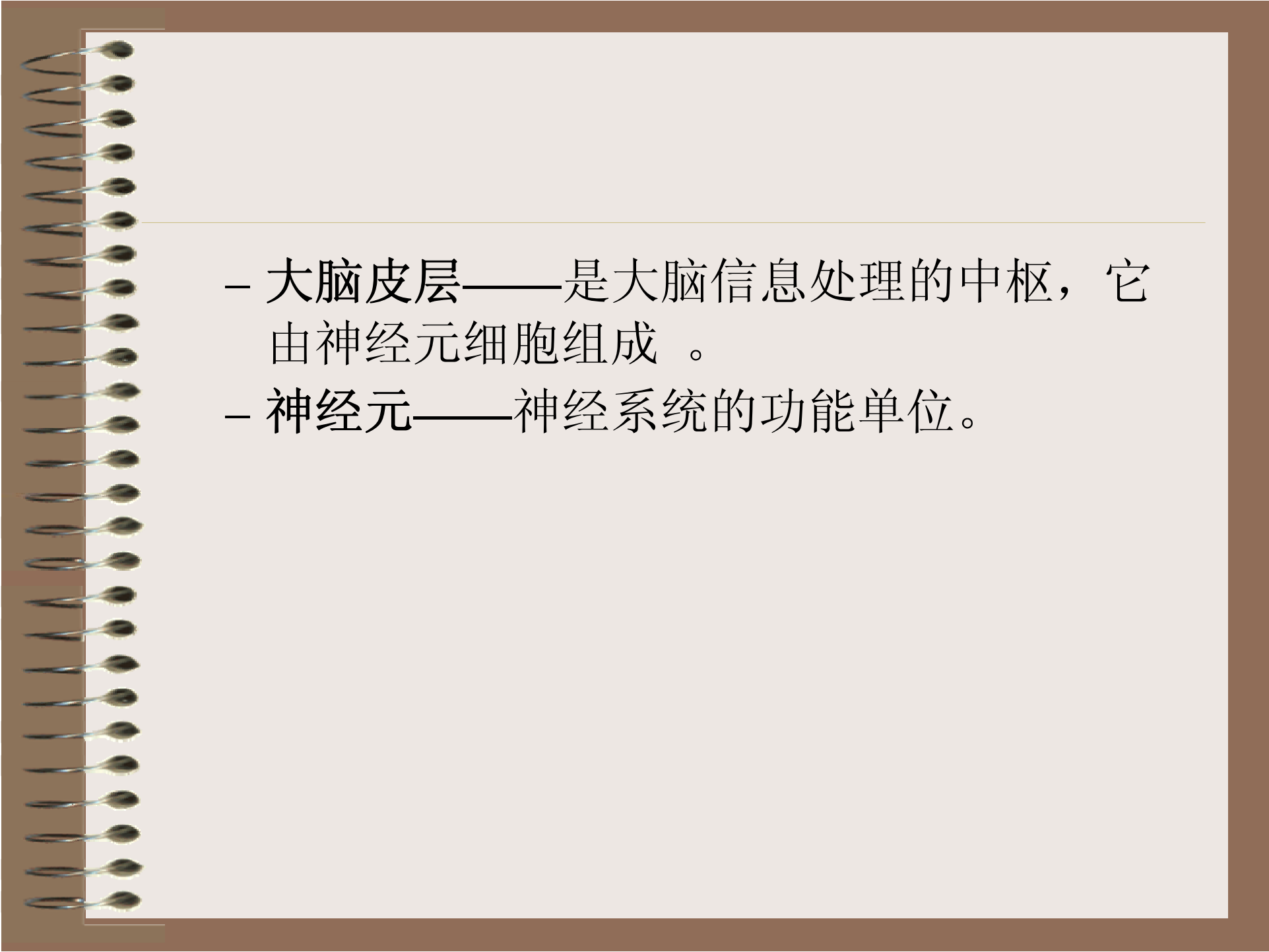
- 脑电活动与脑区域、脑状态有着密切的关系，是了解人脑信息处理过程的一种极为重要的形式，脑电信号EEG的研究可以了解脑活动机制、人的认知过程和诊断脑疾患的重要手段。也是实现人与外界通讯的新的途径。

# 大脑的结构

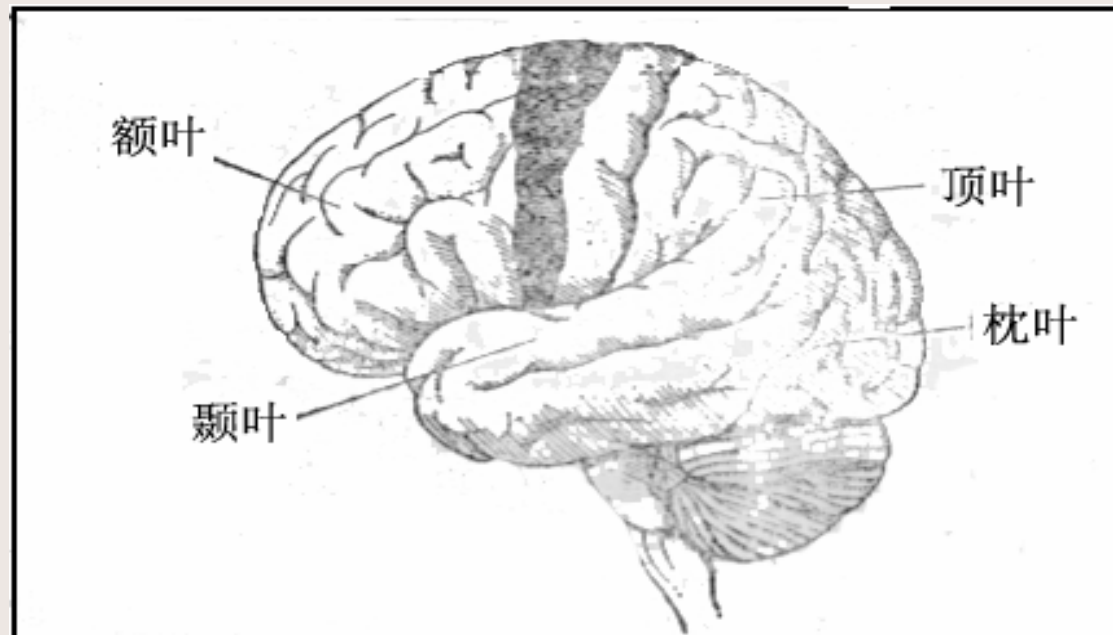
大脑——可分为3个基本单元：前脑、中脑和后脑。



- 前脑是人脑中最大最发达的部分，主要由大脑组成，大脑位于脑部前端，它控制人的记忆、思考、阅读、识别等等智力活动。
- 后脑包括脊椎的上部，脑干和小脑。后脑控制身体的生活机能功能例如呼吸和心跳。小脑与运动有关并参与学习机械运动，当人们弹琴打球等活动时小脑开始工作。
- 脑干的最前端是中脑，控制反射运动，并且参与眼睛和其它自发运动的控制。

- 
- The background of the slide is a spiral-bound notebook with a brown cover and a light beige page. The spiral binding is on the left side. A thin horizontal line is drawn across the page, just above the text.
- 大脑皮层——是大脑信息处理的中枢，它由神经元细胞组成。
  - 神经元——神经系统的功能单位。

- 哺乳动物的皮层
- 主要由4个叶组成：枕叶（Occiput）、顶叶(Peak)、颞叶(Temporal)和额叶(Frons)。前3个叶分别接受视觉、躯体感觉和听见的传入，额叶则是许多运动通路的起点。



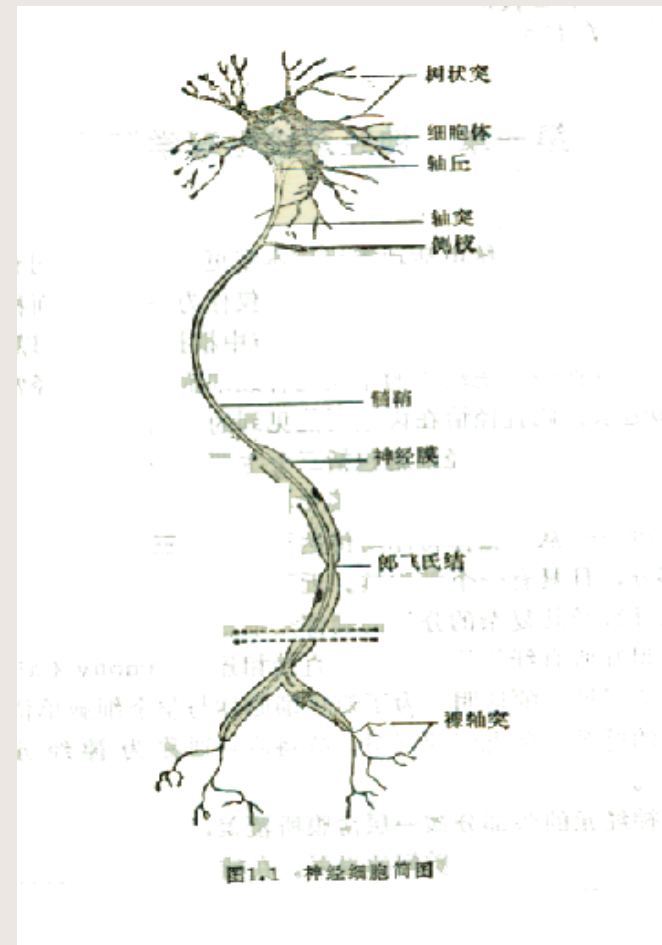
# 脑电信号的生理机制

## • 神经元:

- 神经系统的基本功能单位。  
约 $10^{11}$ 个神经元。
- 典型的神经元由细胞体、树突和轴突三部分组成。

## • 突触:

- 神经元的轴突终末与其它神经元的接受表面形成突触，实现神经元间的信息交换。
- 一个典型的神经元可能有 $1000 \sim 10000$ 个突触，能接受来自1000个其它神经元的信  
息。



# 脑电信号的生理机制

- 神经元的电活动：
  - 神经元的单位发放，符合“全或无”定律。
  - 突触后膜的突触后电位，以及神经元发放之后的后兴奋电位与后超级化电位。
- 突触后电位
  - 级量反应过程，不能迅速传导下去，只能在其产生部位的附近按空间总和规律叠加起来。
  - 兴奋性突触后电位和抑制性突触后电位两种。

# 脑电信号的产生

- 脑电信号（**EEG**）主要是由皮层内大量神经元突触后电位同步总和所形成的，是许多神经元共同活动的结果。



# 脑电信号的组成

- 直流电： 大脑不同部位之间存在着的恒定电位差。
- 慢电位： 慢电变化称大脑慢电位。更慢的大脑电活动每分钟为0.5-8次，称为大脑超慢电位。
- 自发电位EEG： 指大脑皮层神经元持续的、节律性的、较缓慢的电位变化，此种脑电活动即脑电波。
- 诱发电位： 外部刺激或感觉通路刺激在大脑皮层上引起的电位变化。包括事件相关电位。

# 脑电信号的研究发展

- 自1875年开始，Caton发现脑电波，了解了脑电活动的几个主要特征。当时所有的工作都是在低等动物上做的。
- 从1924年开始，Berger记录并分析了人的脑电图，研究重点转移到临床应用方面，例如神经病、精神病及心理学方面的应用。
- 二战之后，随着微电子技术和计算机技术的发展，神经生理学家开始应用可供利用的各种先进技术及方法，例如脑电分析仪，电子计算机，微电极的细胞内记录，在人脑安全埋藏电极等。这些技术推动了脑研究的新的的发展，使脑电活动能够与人类的行为联系起来进行考察。
- 80年代，非线性理论的在EEG中的应用。
- 90年代至今，随着计算机科学的发展，从脑电信号中提取与心理任务相关的模式成为可能，脑-机交互研究成为热点。

# 脑电信号的采集

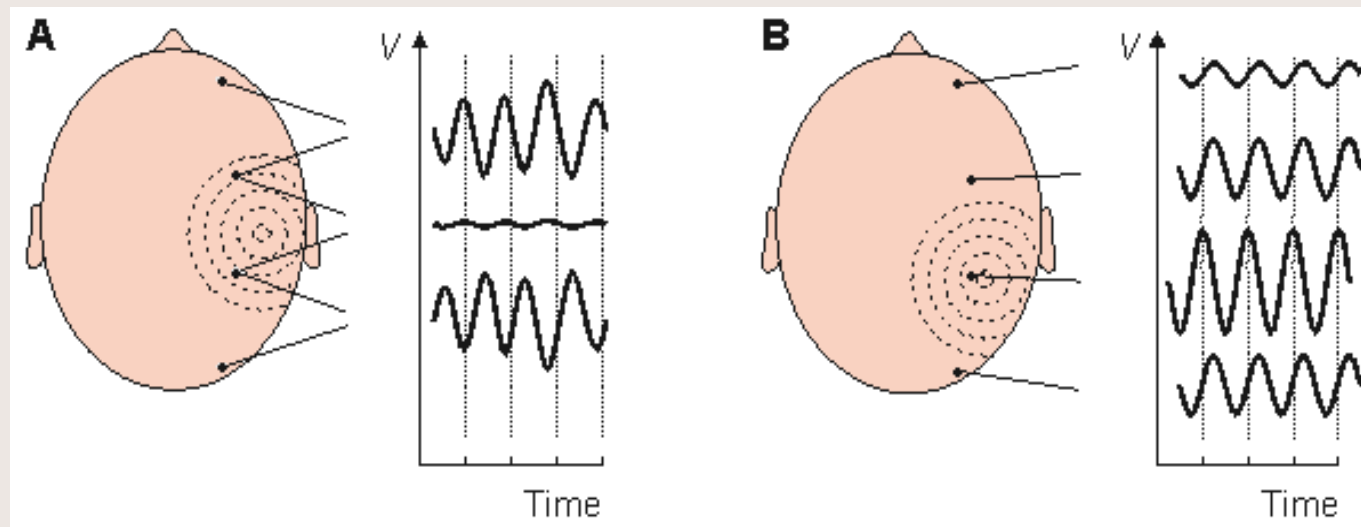


图4-1 (A)单极测量和(B)双极测量示意图  
**Fig. 4-1** (A) Bipolar and (B) unipolar measurements.

# 国际10-20导联系统电极安放示意图。

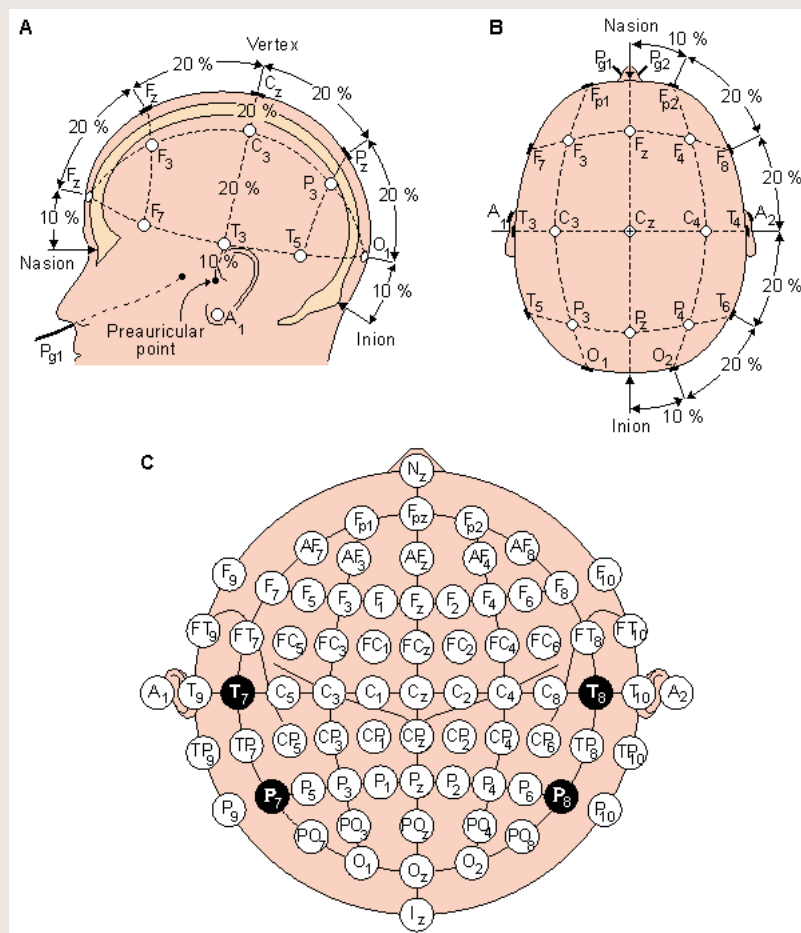
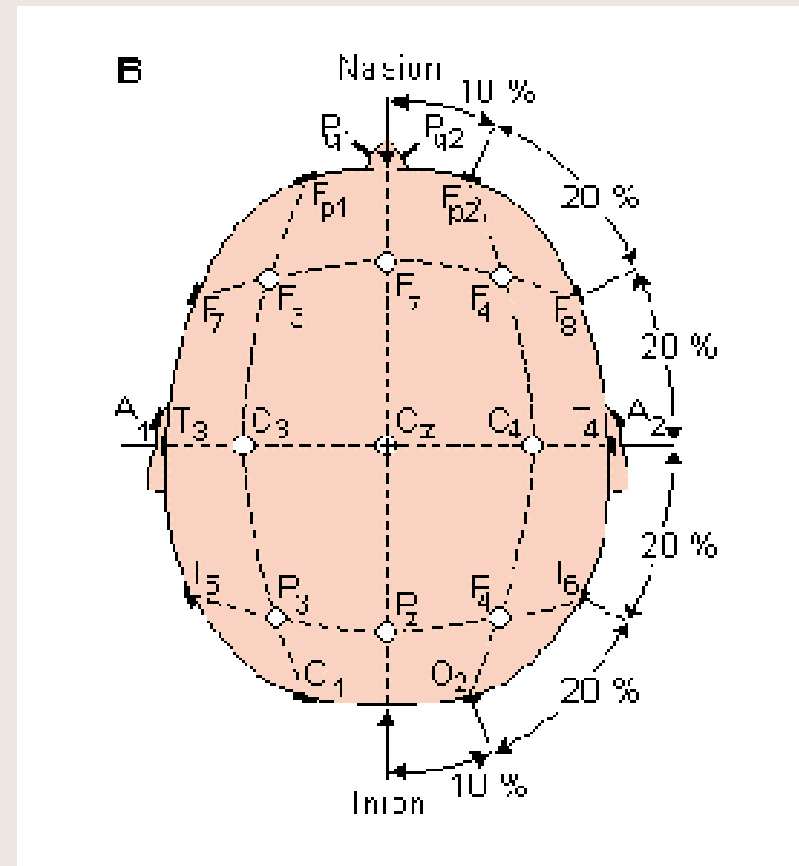


图4-2(A)从左侧(B)从头顶(C)美国脑电图仪协会标准10%电极位置和符号  
Fig.4-2. A = Ear lobe, C = central, Pg = nasopharyngeal, P = parietal, F = frontal, Fp = frontal polar, O = occipital.  
(C) Location and nomenclature of the intermediate 10% electrodes, as standardized by the American EEG Society. (Redraw from Sharbrough, 1991.)

# 脑电信号的采集

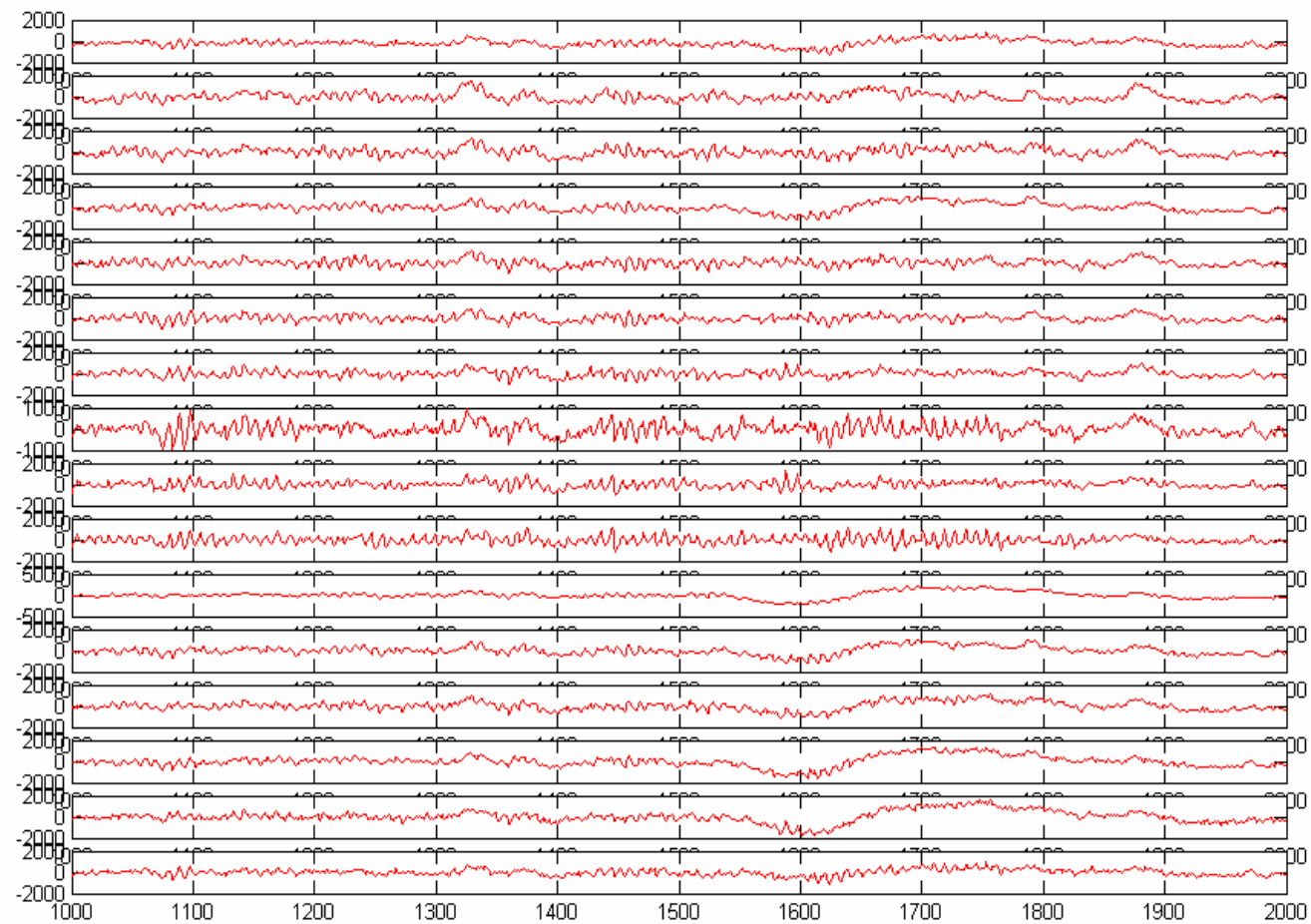
- 采用16导联单极测量，电极安放按国际标准导联 10 / 20 系统放置（省去3个中线电极）。参考电极为耳垂。



# 16导采样电极的位置与标准代码

导联	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
位置	左前额	右前额	左额	右额	左中央	右中央	左顶	右顶	左枕	右枕	左前颞	右前颞	左中颞	右中颞	左后颞	右后颞
符号	FP1	FP2	F3	F4	C3	C4	P3	P4	O1	O2	F7	F8	T3	T4	T5	T6

# 一正常受试者16导脑电信号波形图



# 脑电信号分析

- 时域参数:

- 1932 年, D ietch 首次发表了用傅里叶变换进行EEG 分析的文章。此后, 该领域相继引入了时域分析、频域分析等脑电图分析的经典分析方法。时域分析方法主要分析EEG 波形的几何性质, 如幅度、均值、方差、偏歪度、峭度等;

- 频域参数:

- 分析方法则主要基于各频段功率、相干等。近年来, 如小波分析、神经网络分析、混沌分析等等, 运用于脑电分析, 它们代表了脑电信号现代分析方法新发展。

- 非线性参数:

- 将混沌和分形应用与EEG研究: 分维数、拓扑熵、分形维、分形强度等。



# 常用节律波

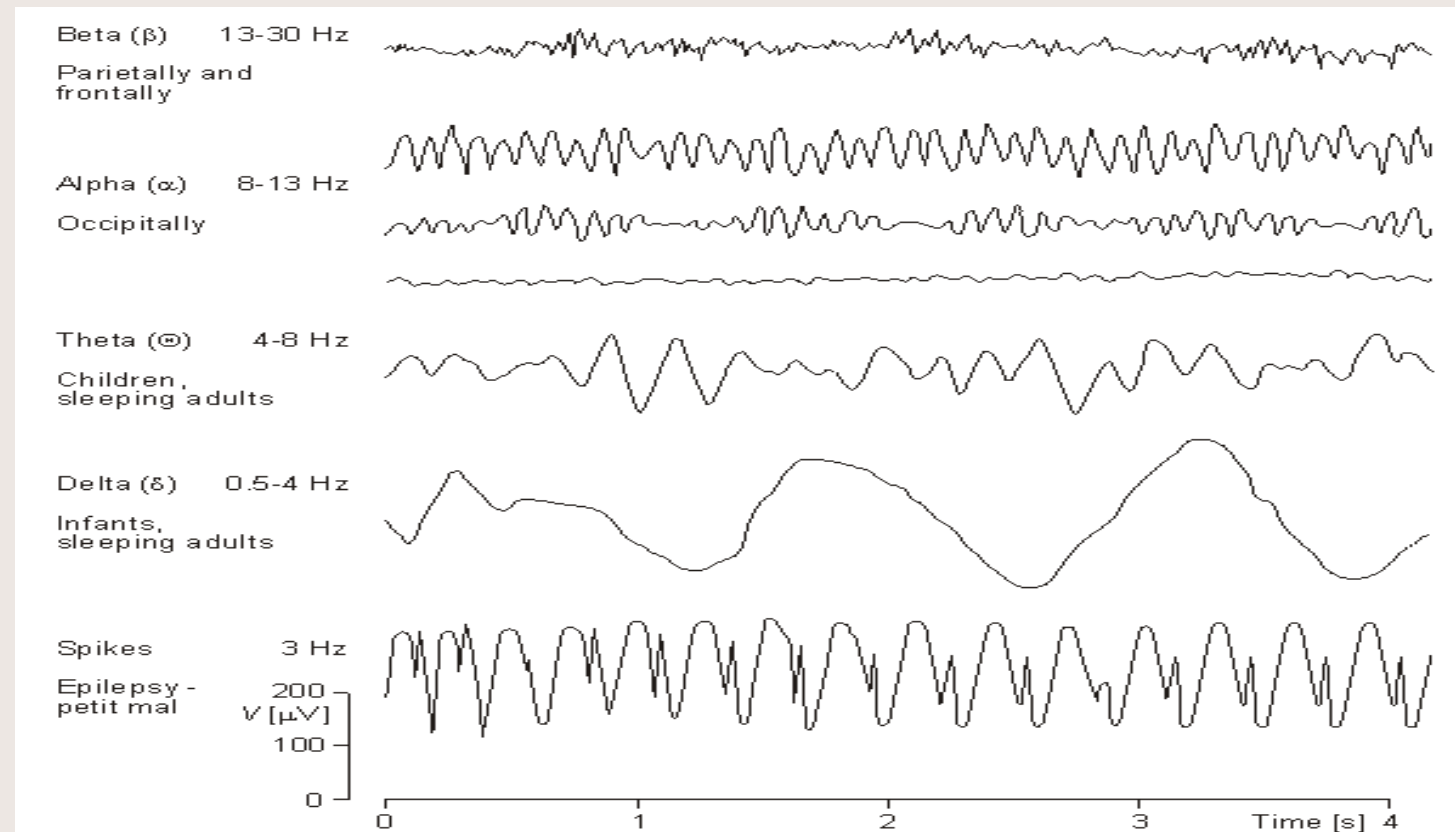


图1-6 各种节律波及其产生的条件  
Fig. 1-6 Various frequencies wave caused and their conditions

# 正常人EEG信号的频谱图

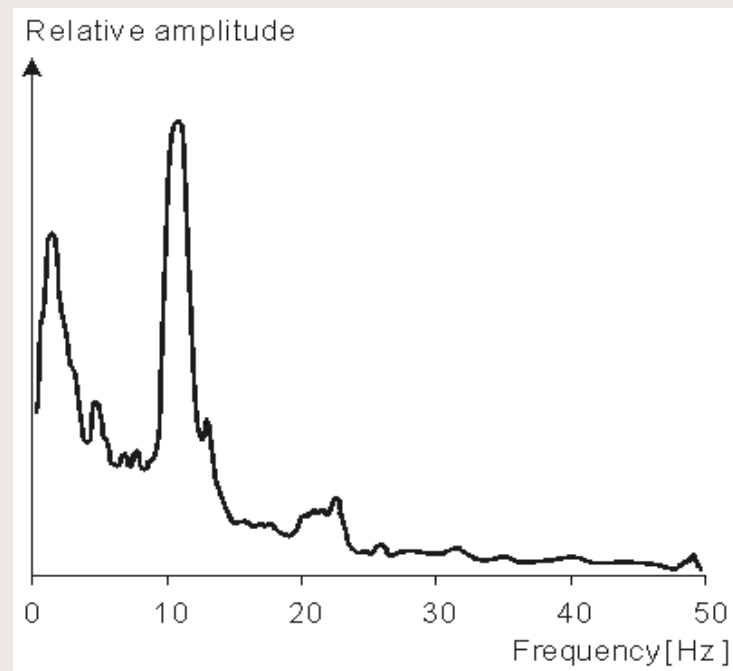
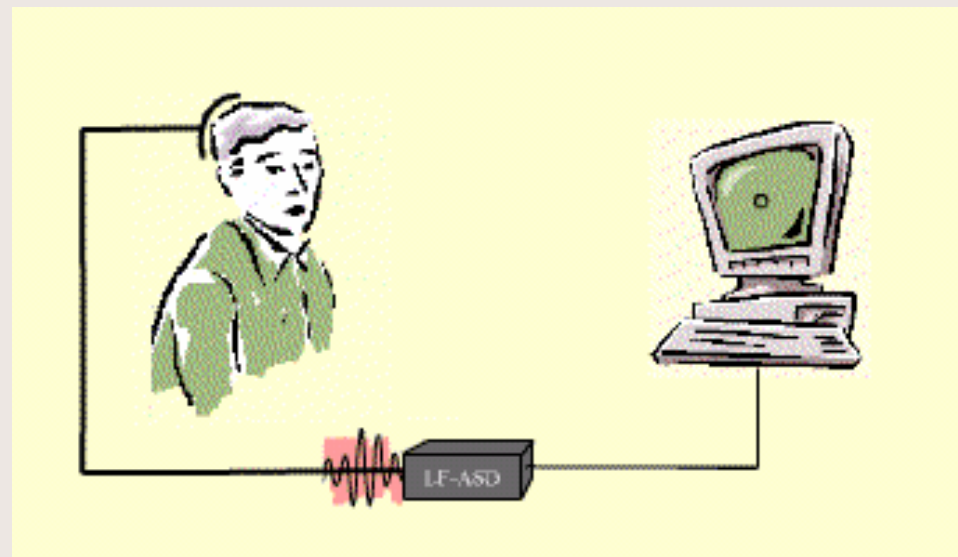


图1-7 正常人EEG信号的频谱图

Fig. 1-7 EEG's Frequency spectrum of a health object

# 脑机交互（BCI）的研究

- 脑 - 机接口是指在大脑和外部设备之间建立起一种直接的交流和控制通道。




# BCI研究的发展

- 自60年代以来，认知心理学和神经科学在电生理学上的研究成果，特别对人脑在各种状态下所产生的特定EEG信号的研究，显示出不同的心理任务以不同的程度激活局部头皮区（例如，运动想象，视觉刺激等），这为BCI的研究提供了理论依据。
- 90年代中期随着信号处理和机器学习等研究技术的发展，BCI的研究逐渐成为热点。Nature杂志在2000年刊载了题为“Real Brains for Real Robots”的文章，报道了从猴子大脑皮层获取的神经信号实时控制千里之外的一个机器人。
- 2002年美国国防部高级研究计划署（DARPA）出于军事目的投入巨资于BCI，从而兴起了一个BCI研究高潮，1995 年BCI 研究小组不超过6 个，而现在已经发展到数以百计。

# 有关会议和组织

- 1999 年6 月,美国国家儿童研究院国家医学康复研究中心和美国国家健康研究院人类发展部主办了关于BCI 的第一次国际会议。来自美国、加拿大、英国、德国等的22 个研究小组的科学家与工程师参加了会议。
- 2002年6月, 在纽约又举行了第二次BCI的国际会议, 92位来自美国、加拿大、欧洲和中国的38个不同研究小组参加了会议。
- 2003年3月, IEEE医学生物工程学会举行的首届神经工程国际会议, 与脑-机接口有关的论文超过一半。
- 在我国, 2003年10月在无锡召开了中国生物医学工程学会电子学分会。
- 国际BCI竞赛。

- 
- IEEE International EMBS Conference on Neural Engineering
  - Neural Information Processing Systems (NIPS)
  - Human-Computer Interaction International (HCII)
  - International Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT)
  - International Conference on Technology & Disability (RESNA)
  - International Conference on Cognitive and Neural Systems (ICCNS)
  - **IEEE EMBS Annual International Conference**

# BCI研究的生理依据

- 半球功能侧化或优势半球
  - 大脑由一个裂缝分为2个半球。它们是不对称的，例如语言的能力主要依靠左半球，而右半球主要控制抽象推理技能。
- 功能区域化特性：
  - Brodmann根据组织学结构特点，把人类大脑皮层分为52区，并分别以数字来标志。这些区域与身体特定部位的活动有关。

## 节律与心理活动

- EEG按其频率分为  $\alpha$  (8-13Hz),  $\beta$  (14-30Hz),  $\theta$  (4-7Hz),  $\delta$  (0.02-4Hz), 这些波可以在人头皮的不同区域同时出现并被检测出来
- 正常人来说, 大脑在处于闭目休息状态时, 均有  $\alpha$  波出现, 当人睁开眼睛或受某种刺激时,  $\alpha$  波会立即消失而呈现快波, 这一现象称为  $\alpha$  波阻断。人在困倦时一般可出现  $\theta$  波。成人在清醒状态下, 几乎没有  $\delta$  波, 但在睡眠期间, 皮层脑电可以出现  $\delta$  波, 癫痫病患者, 其脑电图呈现棘波、尖波、棘慢综合波等, 40Hz的节律在人精神高度集中时出现, 一般认为与人的智力活动有关。



# 诱发电位

- 运动想象
  - 单边的肢体运动或想象运动时大脑对侧产生事件相关去同步电位ERD, 大脑同侧产生事件相关同步(ERS)。
- 视觉刺激
  - 以大于6Hz闪烁的视觉刺激将产生稳定的对应频率的EEG波形。

# BCI信号获取方式

- BCI根据控制信号获取的方式可分为无创伤式和有创伤式\*。
  - 目前几乎所有BCI 系统都属于无创伤式。其系统使用的控制信号是电极从头皮检测到的脑电信号。
  - 有创伤式的**BCI**系统的控制信号是在大脑内部(如大脑皮层)放置电极记录到的脑电信号如皮层脑电位ECoG。

# BCI接口的控制信号

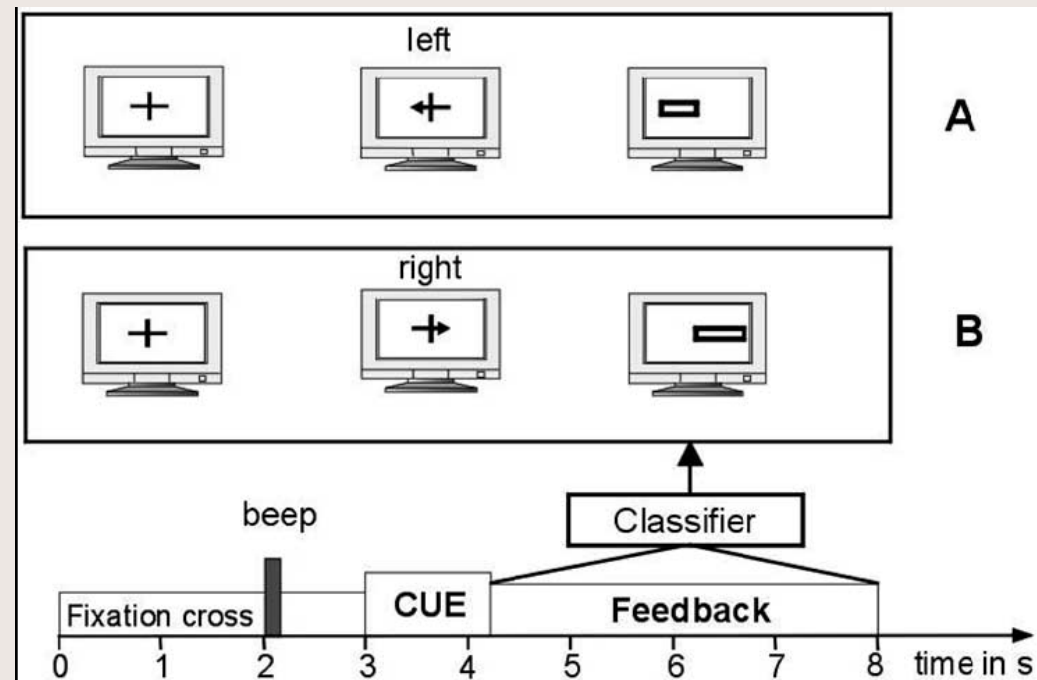
- P300事件相关电位。1988年Illinois大学的 Farewell and Donchin等利用P300设计的虚拟打字机。80%，7.8字符/分钟。
- 稳态视觉诱发电位（SSVEP）：2002年，清华大学程明、高上凯教授等人开发的利用SSVEP实现电话拨号的实验系统。
- 事件相关同步（ERS）和事件相关去同步电位（ERD：奥地利Graz 科技大学的GrazI准确率为 85%。GrazII77%。
- 皮层慢电位（SCP）：德国N. Birbaumer实验室，利用头皮电极记录的SCP为ALS瘫痪病人设计了名为Thought Translation Device (TTD)的BCI 设备。
- 自发脑电信号： 纽约Wadsworth 中心的Wolpaw 等人通过训练受试者学习控制8~12 Hz 的mu 节律幅度,来控制光标运动。

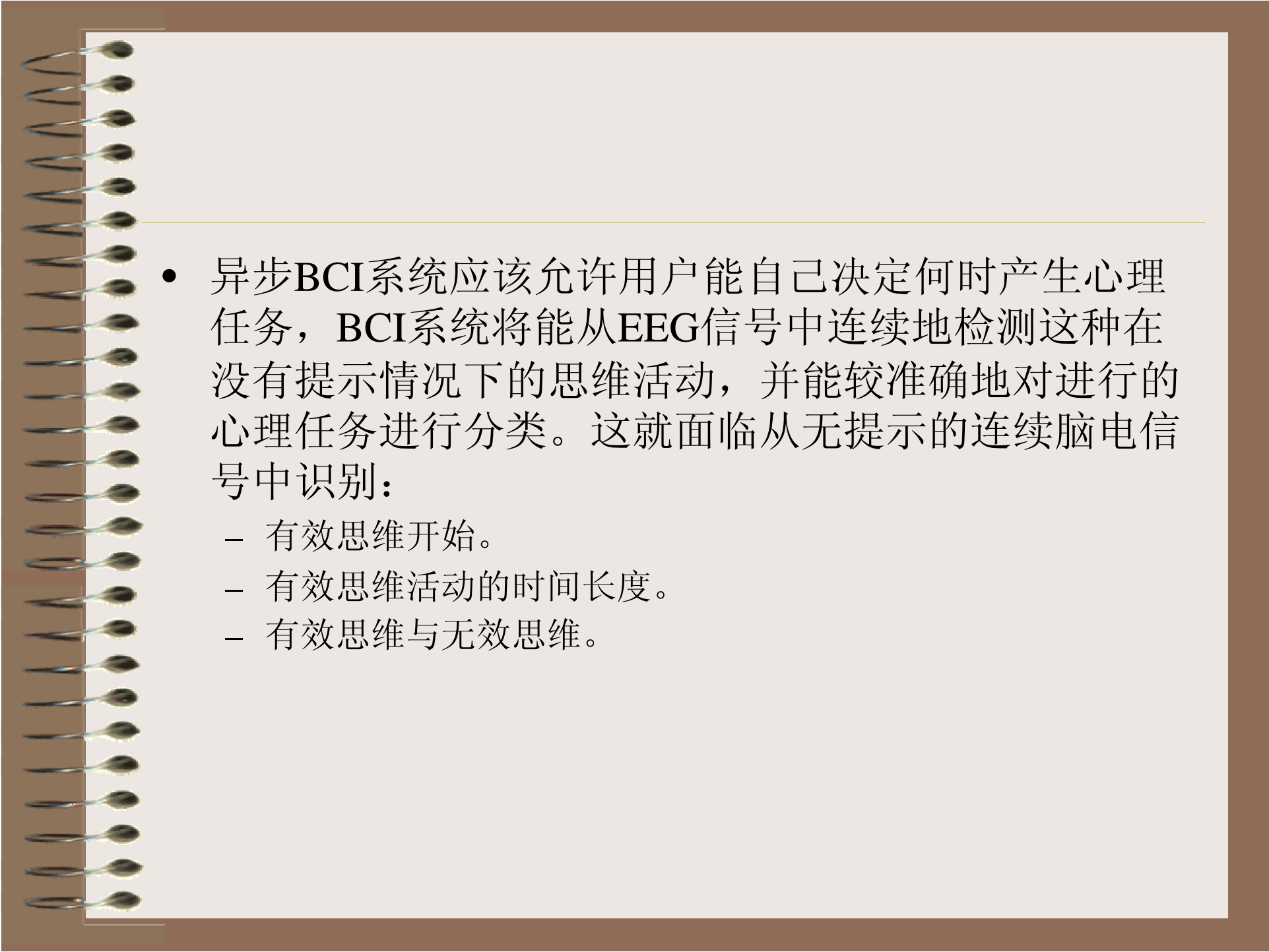
- P300 和SSVEP 都属于诱发电位，不需要训练，由于P300 出现在特定时间, SSVEP 集中于特定频率, 其信号检测和处理方法较简单且正确率较高, 不足之处是, 需要额外的刺激装置提供刺激, 并且依赖于人的某种知觉(如视觉)。
- 其它几种方法的优点是不依赖外部刺激，用户可自主地产生用于控制的脑电信号，但使用设备前需要大量的训练。Pfurtscheller 等人研究基于ERSPERD 的Graz BCI，基于皮层慢电位、 $\alpha$  节律、mu 节律的BCI，使用者需要进行长时间的训练, 以产生可以控制的稳定的脑电信号。

# BCI工作模式

- BCI有同步和异步两种工作模式：
  - 同步的BCI要求用户必须在预定的时间进入一种特定的精神状态。
  - 异步的BCI系统需要不断地分析脑电信号，用户可以自由地启动某种思维任务来完成控制。
  - 当前的BCI的研究中，几乎所有的基于EEG的脑——机交互系统大都采用同步模式，

- 以下是一带有反馈实验的记时过程。

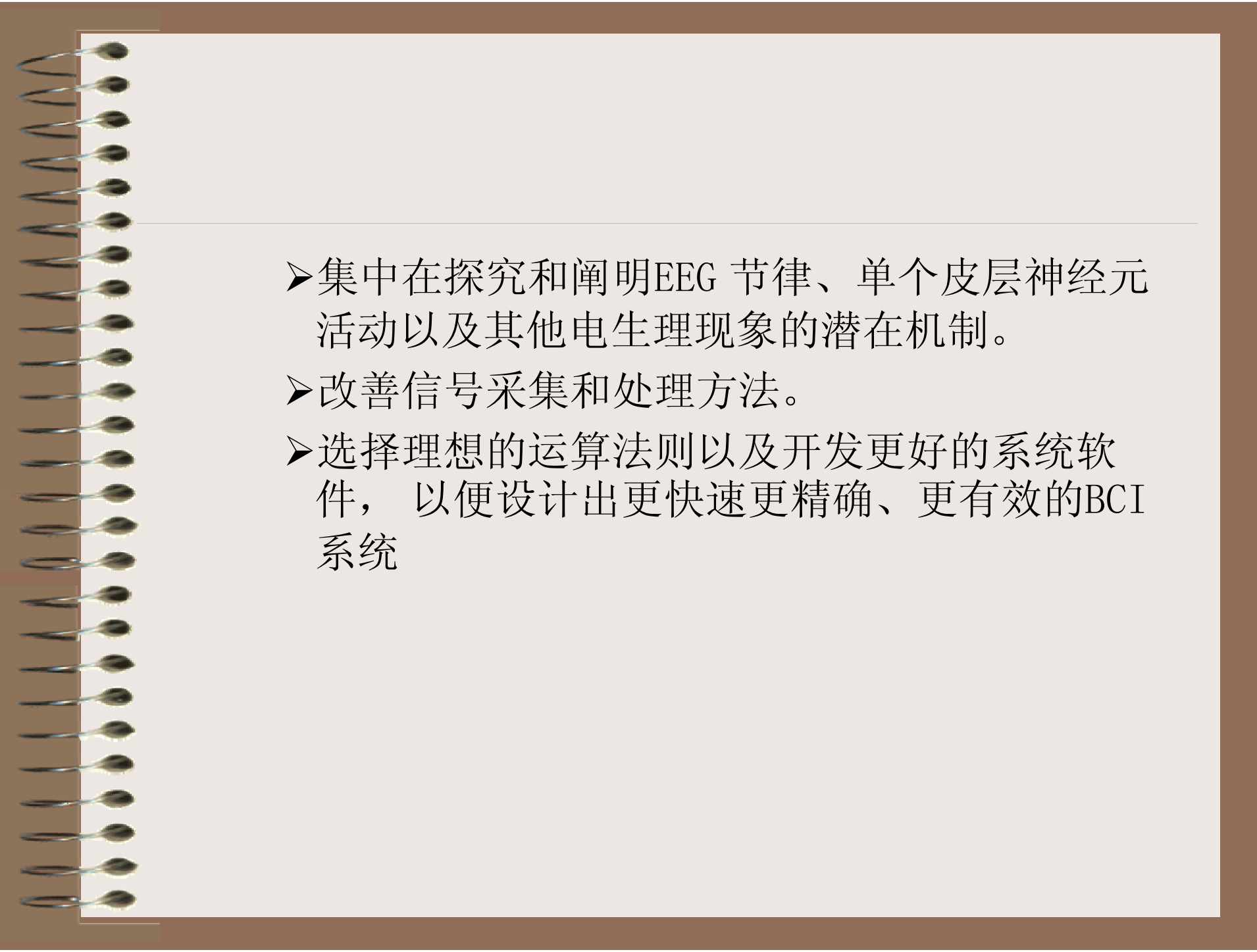


- 
- The background of the slide is a brown spiral-bound notebook. The spiral binding is on the left side, and the pages are a light beige color. The text is written on one of the pages.
- 异步BCI系统应该允许用户能自己决定何时产生心理任务，BCI系统将能从EEG信号中连续地检测这种在没有提示情况下的思维活动，并能较准确地对进行的心理任务进行分类。这就面临从无提示的连续脑电信号中识别：
    - 有效思维开始。
    - 有效思维活动的时间长度。
    - 有效思维与无效思维。

# BCI研究中的主要问题

- 提高准确性。理论上可以达到99%。
  - 根据分类的数量，Graz I对左右手运动85%。而GrazII对三种运动分类，准确率为77%。
  - 实验协议、训练时间。
- 提高通讯速率。5~25bits/min.
- 走向实用化。
  - 减少训练时间。
  - 提高稳定性。
  - 开发异步工作模式。



- 
- A graphic of a spiral-bound notebook with a brown cover and a light beige page. The spiral binding is on the left side. The text is written on the page.
- 集中在探究和阐明EEG 节律、单个皮层神经元活动以及其他电生理现象的潜在机制。
  - 改善信号采集和处理方法。
  - 选择理想的运算法则以及开发更好的系统软件， 以便设计出更快速更精确、更有效的BCI系统

A spiral-bound notebook with a brown cover and a light beige page. The spiral binding is on the left side. The text "谢谢!" is centered on the page.

谢谢！

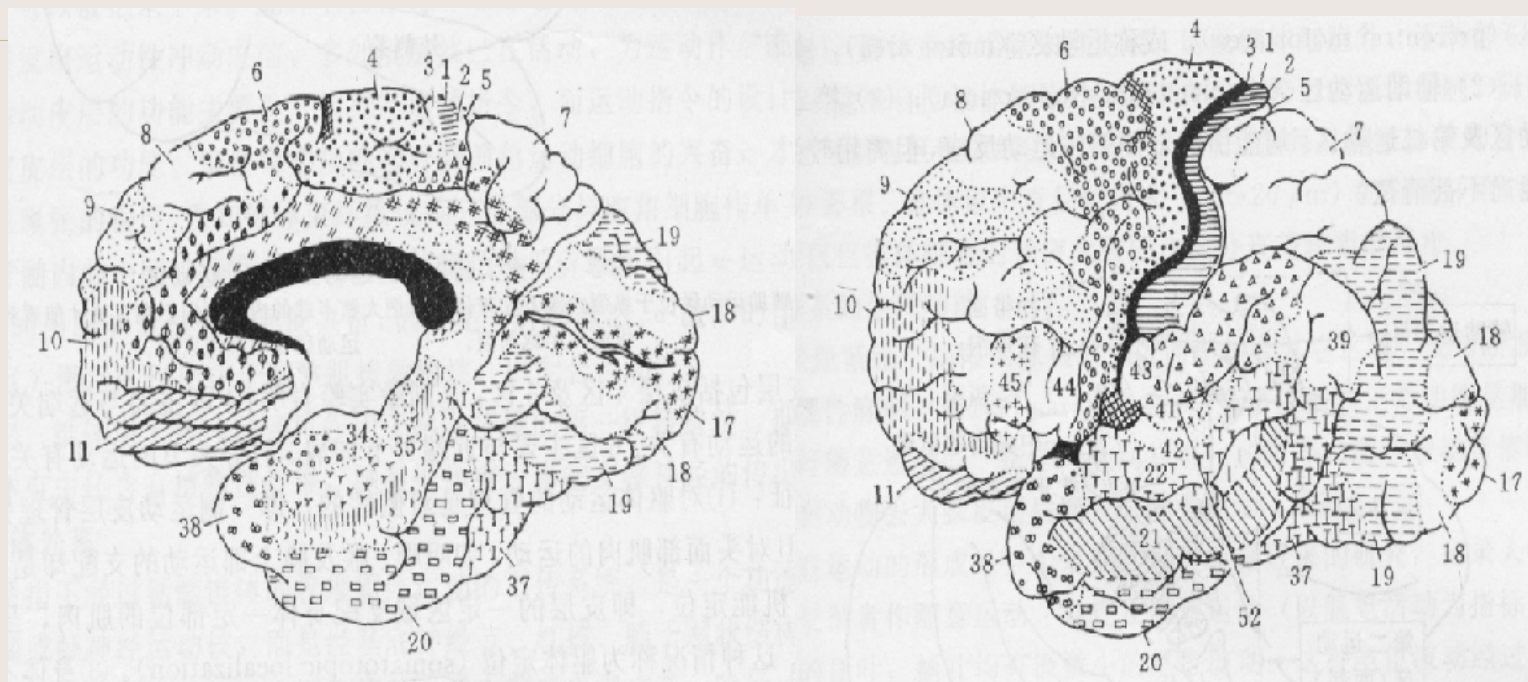


图1-2 大脑皮层的分区  
Fig.1-2 The brain cortex region