



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107157476 B

(45)授权公告日 2018.04.10

(21)申请号 201710361723.8

A42B 3/04(2006.01)

(22)申请日 2017.05.22

G01D 21/02(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107157476 A

(43)申请公布日 2017.09.15

(73)专利权人 西安科技大学

地址 710054 陕西省西安市雁塔中路58号

(72)发明人 汪梅 张国强 牛钦 张松志

王博馨 朱阳阳 吕元杰

(56)对比文件

CN 104605866 A, 2015.05.13, 全文.

CN 102499677 A, 2012.06.20, 全文.

CN 102512160 A, 2012.06.27, 全文.

WO 2008091323 A1, 2008.07.31, 全文.

CN 106175799 A, 2016.12.07, 全文.

审查员 郑其蔚

(74)专利代理机构 西安创知专利事务所 61213

代理人 谭文琰

(51)Int.Cl.

A61B 5/0476(2006.01)

A61B 5/16(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

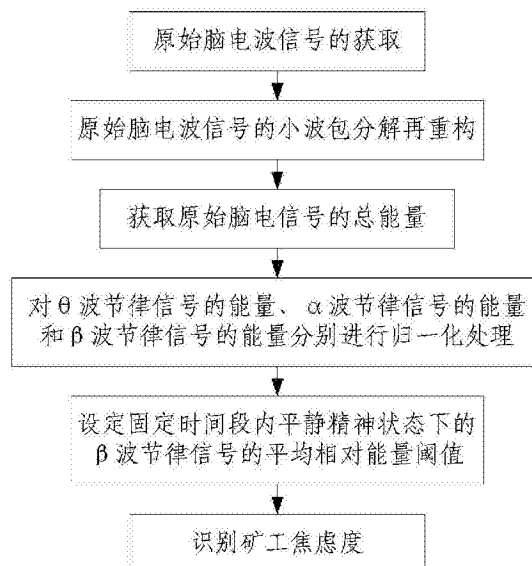
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法

(57)摘要

本发明公开了一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法,包括步骤:一、原始脑电波信号的获取;二、原始脑电波信号的小波包分解再重构;三、获取原始脑电信号 $X(t)$ 的总能量;四、对 θ 波节律信号的能量 $E_n(\theta)$ 、 α 波节律信号的能量 $E_n(\alpha)$ 和 β 波节律信号的能量 $E_n(\beta)$ 分别进行归一化处理;五、设定固定时间段内平静精神状态下的 β 波节律信号的平均相对能量阈值;六、识别矿工焦虑度。本发明通过 θ 波节律、 α 波节律和 β 波节律的单位时间内的平均相对能量波动关系量化负情绪,识别井下矿工的焦虑度,可以有效的避免矿工长时间受负情绪影响时在井下操作不当的行为,提高井下操作安全系数。



1. 一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

步骤一、原始脑电波信号的获取:采用安装在智能矿用头盔上的脑电信号获取装置获取矿工的脑电波信号并对其进行预处理,得到原始脑电波信号 $X(t)$ 后送入处理器(5);

所述脑电信号获取装置包括获取大脑右侧前额叶部位精神状态的第一脑电电极(1)、采集耳垂处的电位且屏蔽参考信号的第二脑电电极(2)、屏蔽大脑以下伪迹信号的第三脑电电极(3)以及用于对第一脑电电极(1)、第二脑电电极(2)和第三脑电电极(3)采集的信号进行预处理的脑电信号获取模块(4),脑电信号获取模块(4)的信号输出端与处理器(5)的信号输入端相接;

步骤二、原始脑电波信号的小波包分解再重构:处理器(5)利用Daubechies小波基函数对脑电信号获取模块(4)采集的原始脑电波信号 $X(t)$ 进行小波包分解再重构,得到原始脑电波信号 $X(t)$ 小波包分解再重构的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$,其中, k 为小波包分解层数且 k 为不小于5的正整数, m 为每层分解频带的位置编号且 $m=0,1,\dots,2^k-1$;

步骤三、获取原始脑电信号 $X(t)$ 的总能量:首先,处理器(5)根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在 $0\sim 4\text{Hz}$ 之间的 δ 波节律信号的能量,获取 δ 波节律信号的能量 $E_n[\delta(t)]=E_n(\delta)$;处理器(5)根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在 $4\sim 8\text{Hz}$ 之间的 θ 波节律信号的能量,获取 θ 波节律信号的能量 $E_n[\theta(t)]=E_n(\theta)$;处理器(5)根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在 $8\sim 14\text{Hz}$ 之间的 α 波节律信号的能量,获取 α 波节律信号的能量 $E_n[\alpha(t)]=E_n(\alpha)$;处理器(5)根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在 $14\sim 30\text{Hz}$ 之间的 β 波节律信号的能量,获取 β 波节律信号的能量 $E_n[\beta(t)]=E_n(\beta)$;处理器(5)根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在 $0\sim 30\text{Hz}$ 之外的剩余信号的能量,获取剩余信号的干扰能量 $E_n[b(t)]=E_n(b)$;然后,根据公式 $E_n[X(t)]=\{E_n[\alpha(t)]+E_n[\beta(t)]+E_n[\theta(t)]+E_n[\delta(t)]\}+E_n[b(t)]$,获取原始脑电信号 $X(t)$ 的总能量 $E_n[X(t)]$,其中, $E_n[\cdot]$ 表示能量函数,原始脑电信号 $X(t)$ 的总能量 $E_n[X(t)]=\sum_{m=0}^{2^k-1}E_n[x^{k,m}(i)]$,小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中任意一个离散信号 $x^{k,m}(i)$ 的能量 $E_n[x^{k,m}(i)]=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^N[x^{k,m}(i)]^2$, N 为离散信号 $x^{k,m}(i)$ 的离散采样点 i 的数据长度;

步骤四、根据公式
$$\begin{cases} E_n(\bar{\theta})=\frac{E_n(\theta)}{E_n[X(t)]} \\ E_n(\bar{\alpha})=\frac{E_n(\alpha)}{E_n[X(t)]} \\ E_n(\bar{\beta})=\frac{E_n(\beta)}{E_n[X(t)]} \end{cases}$$
,对 θ 波节律信号的能量 $E_n(\theta)$ 、 α 波节律信号的能量

$E_n(\alpha)$ 和 β 波节律信号的能量 $E_n(\beta)$ 分别进行归一化处理,得到 θ 波节律信号的相对能量 $E_n(\bar{\theta})$ 、 α 波节律信号的相对能量 $E_n(\bar{\alpha})$ 和 β 波节律信号的相对能量 $E_n(\bar{\beta})$;

步骤五、设定固定时间段内平静精神状态下的 β 波节律信号的平均相对能量阈值:根据

公式 $\overline{E_n(\beta)}_{LST} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M E_n(\beta_j)$, ($j=1,2,\dots,M$), 确定平均相对能量阈值 $\overline{E_n(\beta)}_{LST}$, 其中, M 为固定时间段内平静精神状态下的 β 波节律离散信号的离散采样点 j 的数据长度;

步骤六、识别矿工焦虑度: 根据公式 $A_{nx} = \begin{cases} \frac{\overline{E_n(\beta)} + \overline{E_n(\theta)}}{\overline{E_n(\alpha)} + \varepsilon}, & \overline{E_n(\beta)} > \overline{E_n(\beta)}_{LST} \\ 0, & \overline{E_n(\beta)} < \overline{E_n(\beta)}_{LST} \end{cases}$, 识别焦虑

度 A_{nx} , 其中, $\overline{E_n(\beta)}$ 为单位时间段内矿工实际精神状态下的 β 波节律信号的平均相对能量, $\overline{E_n(\alpha)}$ 为单位时间段内矿工实际精神状态下的 α 波节律信号的平均相对能量, $\overline{E_n(\theta)}$ 为单位时间段内矿工实际精神状态下的 θ 波节律信号的平均相对能量, ε 为焦虑度精度调节值且 ε 为正数。

2. 按照权利要求1所述的一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法, 其特征在于: 所述智能矿用头盔上设置有采集井下环境参数的环境参数传感组件 (7) 和用于对环境参数传感组件 (7) 采集的井下环境参数进行信号调理的信号调理电路 (6), 信号调理电路 (6) 的信号输出端与处理器 (5) 的信号输入端相接, 所述智能矿用头盔上还设置有与监控井下工况状态的监控主机 (10) 通信的无线通信节点 (9) 和用于直接显示矿工精神状态的显示器 (8), 显示器 (8) 和无线通信节点 (9) 均与处理器 (5) 连接, 所述环境参数传感组件 (7) 包括温湿度传感器、甲烷浓度传感器、二氧化碳浓度传感器和一氧化碳浓度传感器, 信号调理电路 (6) 由依次连接的滤波调理电路、放大电路和模数转换电路组成。

3. 按照权利要求2所述的一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法, 其特征在于: 所述无线通信节点 (9) 为WIFI无线通信节点, 监控主机 (10) 上连接有云存储器 (11), 所述处理器 (5) 包括STM32微控制器。

4. 按照权利要求1所述的一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法, 其特征在于: 所述原始脑电波信号 $X(t)$ 的频率为 $0 \sim 256\text{Hz}$, 脑电信号获取模块 (4) 的采样频率 P 为 $512\text{Hz} \sim 1024\text{Hz}$ 。

5. 按照权利要求4所述的一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法, 其特征在于: 所述单位时间段内平静精神状态下的 β 波节律离散信号的离散采样点 j 的数据长度 $M = P \cdot T$, 其中, T 为单位时间段。

6. 按照权利要求1所述的一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法, 其特征在于: 所述焦虑度精度调节值 ε 满足: $0.001 \leq \varepsilon \leq 0.1$ 。

一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法

技术领域

[0001] 本发明属于矿井安全技术领域,具体涉及一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法。

背景技术

[0002] 脑机接口的技术研究已经有几十年的历史,但在国内脑机接口的技术还不成熟,大多处于实验室研发阶段。煤炭在我国能源结构中占66.6%的绝对性份额,在短期内我国还无法离开煤炭能源,而目前我国每年有平均约6000人死于矿难。矿工的智能头盔作为监测系统的移动终端,是监测系统全面覆盖矿井复杂环境的新发展手段。智能头盔的设计及关键技术的研究对未来煤矿事故的减少,人员伤亡率的降低有着重大意义的贡献。现有的智能矿用头盔大多只是完成矿工所处环境的监测、语音通话等,没有对矿工精神状态及负性情绪方面的检测与评估。长时间的负性情绪对人的影响尤为显著,人在愤怒、憎恨、过度悲伤的情况下会做出过激的反应。而针对矿工来说井下的突发事件可能会引起工人的过激行为进一步引起误操作。或者突然的事故会引起矿工紧张、悲伤、惊恐。所以对负性情绪的检测就变得重要起来,可以有效的避免长时间受负情绪影响的矿工有不当的操作,如果大面积的操作面的工人负情绪明显,就有必要着重了解该工作面的工况情况,警惕事故发生。

发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题在于针对上述现有技术中的不足,提供一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法,步骤简单,通过 θ 波节律、 α 波节律和 β 波节律的单位时间内的平均相对能量波动关系量化负情绪,识别井下矿工的焦虑度,可以有效的避免矿工长时间受负情绪影响时在井下操作不当的行为,提高井下操作安全系数,便于推广使用。

[0004] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

[0005] 步骤一、原始脑电波信号的获取:采用安装在智能矿用头盔上的脑电信号获取装置获取矿工的脑电波信号并对其进行预处理,得到原始脑电波信号 $X(t)$ 后送入处理器;

[0006] 所述脑电信号获取装置包括获取大脑右侧前额叶部位精神状态的第一脑电电极、采集的耳垂处的电位且屏蔽参考信号的第二脑电电极、屏蔽大脑以下伪迹信号的第三脑电电极以及用于对第一脑电电极、第二脑电电极和第三脑电电极采集的信号进行预处理的脑电信号获取模块,脑电信号获取模块的信号输出端与处理器的信号输入端相接;

[0007] 步骤二、原始脑电波信号的小波包分解再重构:处理器利用Daubechies小波基函数对脑电信号获取模块采集的原始脑电波信号 $X(t)$ 进行小波包分解再重构,得到原始脑电波信号 $X(t)$ 小波包分解再重构的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$,其中, k 为小波包分解层数且 k 为不小于5的正整数, m 为每层分解频带的位置编号且 $m=0,1,\dots,(2^k-1)$;

[0008] 步骤三、获取原始脑电信号 $X(t)$ 的总能量:首先,处理器根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在 $0\sim 4\text{Hz}$ 之间的 δ 波节律信号的能量,获取 δ

波节律信号的能量 $E_n[\delta(t)] = E_n(\delta)$;处理器根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在4Hz~8Hz之间的 θ 波节律信号的能量,获取 θ 波节律信号的能量 $E_n[\theta(t)] = E_n(\theta)$;处理器根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在8Hz~14Hz之间的 α 波节律信号的能量,获取 α 波节律信号的能量 $E_n[\alpha(t)] = E_n(\alpha)$;处理器根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在14Hz~30Hz之间的 β 波节律信号的能量,获取 β 波节律信号的能量 $E_n[\beta(t)] = E_n(\beta)$;处理器根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在0~30Hz之外的剩余信号的能量,获取剩余信号的干扰能量 $E_n[b(t)] = E_n(b)$;然后,根据公式 $E_n[X(t)] = \{E_n[\alpha(t)] + E_n[\beta(t)] + E_n[\theta(t)] + E_n[\delta(t)]\} + E_n[b(t)]$,获取原始脑电信号 $X(t)$ 的总能量 $E_n[X(t)]$,

其中, $E_n[\cdot]$ 表示能量函数,原始脑电信号 $X(t)$ 的总能量 $E_n[X(t)] = \sum_{m=0}^{2^k-1} E_n[x^{k,m}(i)]$,小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中任意一个离散信号 $x^{k,m}(i)$ 的能量 $E_n[x^{k,m}(i)] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [x^{k,m}(i)]^2$, N 为离散信号 $x^{k,m}(i)$ 的离散采样点 i 的数据长度;

[0009] 步骤四、根据公式
$$\begin{cases} E_n(\bar{\theta}) = \frac{E_n(\theta)}{E_n[X(t)]} \\ E_n(\bar{\alpha}) = \frac{E_n(\alpha)}{E_n[X(t)]} \\ E_n(\bar{\beta}) = \frac{E_n(\beta)}{E_n[X(t)]} \end{cases}$$
,对 θ 波节律信号的能量 $E_n(\theta)$ 、 α 波节律信号

的能量 $E_n(\alpha)$ 和 β 波节律信号的能量 $E_n(\beta)$ 分别进行归一化处理,得到 θ 波节律信号的相对能量 $E_n(\bar{\theta})$ 、 α 波节律信号的相对能量 $E_n(\bar{\alpha})$ 和 β 波节律信号的相对能量 $E_n(\bar{\beta})$;

[0010] 步骤五、设定固定时间段内平静精神状态下的 β 波节律信号的平均相对能量阈值:

根据公式 $E_n(\bar{\beta})_{LST} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M E_n(\bar{\beta}_j)$, ($j=1,2,\dots,M$),确定平均相对能量阈值 $E_n(\bar{\beta})_{LST}$,其中, M 为固定时间段内平静精神状态下的 β 波节律离散信号的离散采样点 j 的数据长度;

[0011] 步骤六、识别矿工焦虑度:根据公式
$$A_{nx} = \begin{cases} \frac{E_n(\bar{\beta}) + E_n(\bar{\theta})}{E_n(\bar{\alpha}) + \varepsilon}, & E_n(\bar{\beta}) > E_n(\bar{\beta})_{LST} \\ 0, & E_n(\bar{\beta}) < E_n(\bar{\beta})_{LST} \end{cases}$$
,识别

焦虑度 A_{nx} ,其中, $E_n(\bar{\beta})$ 为单位时间段内矿工实际精神状态下的 β 波节律信号的平均相对能量, $E_n(\bar{\alpha})$ 为单位时间段内矿工实际精神状态下的 α 波节律信号的平均相对能量, $E_n(\bar{\theta})$ 为单位时间段内矿工实际精神状态下的 θ 波节律信号的平均相对能量, ε 为焦虑度精度调节值且 ε 为正数。

[0012] 上述的一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法,其特征在于:所述智能矿用头盔上设置有采集井下环境参数的环境参数传感组件和用于对环境参数传感组件采集

的井下环境参数进行信号调理的信号调理电路,信号调理电路的信号输出端与处理器的信号输入端相接,所述智能矿用头盔上还设置有与监控井下工况状态的监控主机通信的无线通信节点和用于直接显示矿工精神状态的显示器,显示器和无线通信节点均与处理器连接,所述环境参数传感组件包括温湿度传感器、甲烷浓度传感器、二氧化碳浓度传感器和一氧化碳浓度传感器,信号调理电路由依次连接的滤波调理电路、放大电路和模数转换电路组成。

[0013] 上述的一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法,其特征在于:所述无线通信节点为WIFI无线通信节点,监控主机上连接有云存储器,所述处理器包括STM32微控制器。

[0014] 上述的一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法,其特征在于:所述原始脑电波信号 $X(t)$ 的频率为 $0\sim 256\text{Hz}$,脑电信号获取模块的采样频率 P 为 $512\text{Hz}\sim 1024\text{Hz}$ 。

[0015] 上述的一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法,其特征在于:所述固定时间段内平静精神状态下的 β 波节律离散信号的离散采样点 j 的数据长度 $M=P\cdot T$,其中, T 为固定时间段。

[0016] 上述的一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法,其特征在于:所述焦虑度精度调节值 ε 满足: $0.001\leq\varepsilon\leq 0.1$ 。

[0017] 本发明与现有技术相比具有以下优点:

[0018] 1、本发明采用第一脑电电极获取大脑右侧前额叶部位精神状态,采用第二脑电电极和第三脑电电极对干扰信号进行屏蔽并去除大脑以下伪迹信号,脑电信号采集准确可靠,通过脑电信号获取模块对脑电电极获取的脑电信号进行预处理,脑电信号获取简单,便于推广使用。

[0019] 2、本发明利用Daubechies小波基函数对脑电信号获取模块采集的原始脑电波信号进行小波包分解再重构,获取小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$,分别得到满足 δ 波段信号的频带离散信号及其位于小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中的位置、满足 θ 波段信号的频带离散信号及其位于小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中的位置、满足 α 波段信号的频带离散信号及其位于小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中的位置、满足 β 波段信号的频带离散信号及其位于小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中的位置,便于提取有用的波段信号为后续计算矿工焦虑度提供数据基础,使用效果好。

[0020] 3、本发明方法步骤简单,对影响矿工焦虑度的波段信号进行能量提取,同时设定单位时间段内平静精神状态下的 β 波节律信号的平均相对能量阈值,矿工焦虑产生负面情绪时, α 波节律和 β 波节律的能量会上升, θ 波节律的能量会被抑制,通过单位时间段内矿工实际精神状态下的 β 波节律信号的平均相对能量、 α 波节律信号的平均相对能量和 θ 波节律信号的平均相对能量的对应关系识别矿工焦虑度 A_{nx} ,另外,设置焦虑度精度调节值 ε 对矿工焦虑度 A_{nx} 进行识别精度量化,便于监控主机识别矿工焦虑度 A_{nx} 的有效变化,便于推广使用。

[0021] 综上所述,本发明通过 θ 波节律、 α 波节律和 β 波节律的单位时间内的平均相对能量波动关系量化负情绪,识别井下矿工的焦虑度,可以有效的避免矿工长时间受负面情绪影响时在井下操作不当的行为,提高井下操作安全系数,便于推广使用。

[0022] 下面通过附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

附图说明

- [0023] 图1为本发明采用的矿工焦虑度识别设备的电路原理框图。
- [0024] 图2为本发明矿工焦虑度识别方法的方法流程框图。
- [0025] 图3为本发明频率为256Hz的原始脑电波信号的小波包脑电节律分解示意图。
- [0026] 图4为本发明原始脑电波信号 $X(t)$ 的时域波形图。
- [0027] 图5a为本发明利用db4小波包基函数对 δ 波节律信号分解再重构的时域波形图。
- [0028] 图5b为图5a的频域波形图。
- [0029] 图6a为本发明利用db4小波包基函数对 θ 波节律信号分解再重构的时域波形图。
- [0030] 图6b为图6a的频域波形图。
- [0031] 图7a为本发明利用db4小波包基函数对 α 波节律信号分解再重构的时域波形图。
- [0032] 图7b为图7a的频域波形图。
- [0033] 图8a为本发明利用db4小波包基函数对 β 波节律信号分解再重构的时域波形图。
- [0034] 图8b为图8a的频域波形图。
- [0035] 附图标记说明：
- [0036] 1—第一脑电电极； 2—第二脑电电极； 3—第三脑电电极；
- [0037] 4—脑电信号获取模块； 5—处理器； 6—信号调理电路；
- [0038] 7—环境参数传感组件； 8—显示器； 9—无线通信节点；
- [0039] 10—监控主机； 11—云存储器。

具体实施方式

[0040] 如图1和图2所示，本发明的一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法，包括以下步骤：

[0041] 步骤一、原始脑电波信号的获取：采用安装在智能矿用头盔上的脑电信号获取装置获取矿工的脑电波信号并对其进行预处理，得到原始脑电波信号 $X(t)$ 后送入处理器5；

[0042] 所述脑电信号获取装置包括获取大脑右侧前额叶部位精神状态的第一脑电电极1、采集的耳垂处的电位且屏蔽参考信号的第二脑电电极2、屏蔽大脑以下伪迹信号的第三脑电电极3以及用于对第一脑电电极1、第二脑电电极2和第三脑电电极3采集的信号进行预处理的脑电信号获取模块4，脑电信号获取模块4的信号输出端与处理器5的信号输入端相接；

[0043] 所述脑电信号获取装置采集活动最为明显的前额Fp2导联的原始脑电波信号，所述脑电信号获取模块4为美国NeuroSky公司研发的TGAM芯片；所述TGAM芯片的EEG管脚和EEG_shield管脚的连接端与第一脑电电极1相接用于采集人体脑电波信号，TGAM芯片的REF管脚和REF_shield管脚的连接端与第二脑电电极2相接，TGAM芯片的EEG_GND管脚与第三脑电电极3相接，通过第二脑电电极2和第三脑电电极3屏蔽人体头部以下电波对大脑电波的影响，所述TGAM芯片对第一脑电电极1、第二脑电电极2和第三脑电电极4采集的脑电波信号进行预处理，如图4所示，得到时域下的原始脑电波信号 $X(t)$ 。

[0044] 本实施例中，所述智能矿用头盔上设置有采集井下环境参数的环境参数传感组件7和用于对环境参数传感组件7采集的井下环境参数进行信号调理的信号调理电路6，信号

调理电路6的信号输出端与处理器5的信号输入端相接,所述智能矿用头盔上还设置有与监控井下工况状态的监控主机10通信的无线通信节点9和用于直接显示矿工精神状态的显示器8,显示器8和无线通信节点9均与处理器5连接,所述环境参数传感组件7包括温湿度传感器、甲烷浓度传感器、二氧化碳浓度传感器和一氧化碳浓度传感器,信号调理电路6由依次连接的滤波调理电路、放大电路和模数转换电路组成。

[0045] 本实施例中,所述无线通信节点9为WIFI无线通信节点,监控主机10上连接有云存储器11,所述处理器5包括STM32微控制器。

[0046] 需要说明的是,所述智能矿用头盔上设置有采集井下环境参数的环境参数传感组件7是为了采集矿工在井下分别遇到温湿度变化、甲烷气体浓度变化、二氧化碳气体浓度变化和一氧化碳气体浓度变化时,对所述脑电信号获取装置采集的脑波信号的影响,同时可预知影响环境的恶劣程度,同时信号调理电路6的设置是为了进一步的提高环境参数传感组件7采集数据的精度,便于处理器5处理,无线通信节点9采用现有井下已经搭建好的无线网络环境与监控主机10通信,云存储器11的设置是为了远程的将井下采集的数据大量的传输保存,避免数据的丢失。

[0047] 步骤二、原始脑电波信号的小波包分解再重构:处理器5利用Daubechies小波基函数对脑电信号获取模块4采集的原始脑电波信号 $X(t)$ 进行小波包分解再重构,得到原始脑电波信号 $X(t)$ 小波包分解再重构的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$,其中, k 为小波包分解层数且 k 为不小于5的正整数, m 为每层分解频带的位置编号且 $m=0,1,\dots,(2^k-1)$;

[0048] 本实施例中,所述原始脑电波信号 $X(t)$ 的频率为 $0\sim 256\text{Hz}$,所述脑电信号获取模块4的采样频率 P 为 $512\text{Hz}\sim 1024\text{Hz}$ 。

[0049] 需要说明的是,如图3所示,对频率为 $0\sim 256\text{Hz}$ 的原始脑电波信号 $X(t)$ 采用Daubechies小波基函数进行小波包分解再重构,Daubechies小波基函数为db系列小波基,其中,db系列小波基包括db1~db10小波基,常用的有db4小波包基函数和db8小波包基函数,本实施例中采用db4小波包基函数对脑电信号获取模块4采集的原始脑电波信号 $X(t)$ 进行小波包分解再重构,小波包分解再重构的过程中信号频带均为逐层均分,得到原始脑电波信号 $X(t)$ 小波包分解再重构的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$,其中, k 取7时可获取脑波中 δ 波、 θ 波、 α 波、 β 波四种节律。

[0050] 步骤三、获取原始脑电信号 $X(t)$ 的总能量:首先,处理器5根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在 $0\sim 4\text{Hz}$ 之间的 δ 波节律信号的能量,获取 δ 波节律信号的能量 $E_n[\delta(t)]=E_n(\delta)$;处理器5根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在 $4\sim 8\text{Hz}$ 之间的 θ 波节律信号的能量,获取 θ 波节律信号的能量 $E_n[\theta(t)]=E_n(\theta)$;处理器5根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在 $8\sim 14\text{Hz}$ 之间的 α 波节律信号的能量,获取 α 波节律信号的能量 $E_n[\alpha(t)]=E_n(\alpha)$;处理器5根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在 $14\sim 30\text{Hz}$ 之间的 β 波节律信号的能量,获取 β 波节律信号的能量 $E_n[\beta(t)]=E_n(\beta)$;处理器5根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在 $0\sim 30\text{Hz}$ 之外的剩余信号的能量,获取剩余信号的干扰能量 $E_n[b(t)]=E_n(b)$;然后,根据公式 $E_n[X(t)]=\{E_n[\alpha(t)]+E_n[\beta(t)]+E_n[\theta(t)]+E_n[\delta(t)]\}+E_n[b(t)]$,获取原始脑电信号 $X(t)$ 的总能量 $E_n[X(t)]$,

其中, $E_n[\cdot]$ 表示能量函数, 原始脑电信号 $X(t)$ 的总能量 $E_n[X(t)] = \sum_{m=0}^{2^k-1} E_n[x^{k,m}(i)]$, 小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中任意一个离散信号 $x^{k,m}(i)$ 的能量 $E_n[x^{k,m}(i)] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [x^{k,m}(i)]^2$, N 为离散信号 $x^{k,m}(i)$ 的离散采样点 i 的数据长度;

[0051] 需要说明的是, 如图3所示, 原始脑电信号 $X(t)$ 的总能量 $E_n[X(t)]$ 满足 $E_n[X(t)] = \{E_n[\alpha(t)] + E_n[\beta(t)] + E_n[\theta(t)] + E_n[\delta(t)]\} + E_n[b(t)]$, 采用Daubechies小波基函数对原始脑电信号 $X(t)$ 进行小波包分解再重构, 各个频率带的信号相互独立, 无冗余, 不疏漏, 满足能量不变原则, δ 波节律信号的能量 $E_n[\delta(t)] = E_n(\delta)$, 根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在 $0 \sim 4\text{Hz}$ 之间的 δ 波节律信号的能量, 如图5a所示, 得到 δ 波节律信号分解再重构的时域波形图, 图5b为对时域下 δ 波节律信号的频域变化波形图, 获取 δ 波节律信号的能量 $E_n(\delta)$, 即 $E_n(\delta) = E_n[x^{6,1}(i)]$; 同理, 根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在 $4\text{Hz} \sim 8\text{Hz}$ 之间的 θ 波节律信号的能量, 如图6a所示, 得到 θ 波节律信号分解再重构的时域波形图, 图6b为对时域下 θ 波节律信号的频域变化波形图, 获取 θ 波节律信号的能量 $E_n(\theta)$, 即 $E_n(\theta) = E_n[x^{6,2}(i)]$; 根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在 $8\text{Hz} \sim 14\text{Hz}$ 之间的 α 波节律信号的能量, 如图7a所示, 得到 α 波节律信号分解再重构的时域波形图, 图7b为对时域下 α 波节律信号的频域变化波形图, 获取 α 波节律信号的能量 $E_n(\alpha)$, 即 $E_n(\alpha) = E_n[x^{6,3}(i)] + E_n[x^{7,7}(i)]$; 根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中频率在 $14\text{Hz} \sim 30\text{Hz}$ 之间的 β 波节律信号的能量, 如图8a所示, 得到 β 波节律信号分解再重构的时域波形图, 图8b为对时域下 β 波节律信号的频域变化波形图, 获取 β 波节律信号的能量 $E_n(\beta) = E_n[x^{7,8}(i)] + E_n[x^{5,3}(i)] + E_n[x^{6,7}(i)] + E_n[x^{7,15}(i)]$; 同理, 根据能量不变原则叠加步骤二得到的小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 的全部离散信号 $x^{k,m}(i)$ 的能量 $E_n[X(t)] = \sum_{m=0}^{2^k-1} E_n[x^{k,m}(i)]$ 。

[0052] 小波树频带离散信号 $x^{k,m}(i)$ 中任意一个离散信号 $x^{k,m}(i)$ 的能量 $E_n[x^{k,m}(i)] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [x^{k,m}(i)]^2$, N 为离散信号 $x^{k,m}(i)$ 的离散采样点 i 的数据长度, 本实施例中, 根据采用定理采用采样频率 P 为 512Hz 的脑电信号获取模块4获取原始脑电信号 $X(t)$, 因此, 离散信号 $x^{k,m}(i)$ 的离散采样点 i 的数据长度 N 为 512 。

[0053] 步骤四、根据公式
$$\begin{cases} E_n(\bar{\theta}) = \frac{E_n(\theta)}{E_n[X(t)]} \\ E_n(\bar{\alpha}) = \frac{E_n(\alpha)}{E_n[X(t)]} \\ E_n(\bar{\beta}) = \frac{E_n(\beta)}{E_n[X(t)]} \end{cases}$$
, 对 θ 波节律信号的能量 $E_n(\theta)$ 、 α 波节律信号

的能量 $E_n(\alpha)$ 和 β 波节律信号的能量 $E_n(\beta)$ 分别进行归一化处理, 得到 θ 波节律信号的相对能量 $E_n(\bar{\theta})$ 、 α 波节律信号的相对能量 $E_n(\bar{\alpha})$ 和 β 波节律信号的相对能量 $E_n(\bar{\beta})$;

[0054] 需要说明的是, δ 波节律信号与负情绪不相关, θ 波节律信号、 β 波节律信号在明显

负情绪下有幅值增加的变化,其中 β 波节律信号高频部分增幅明显,而 α 波节律信号在明显负情绪下有轻微被抑制表现,在脑电信号分析中,各节律信号的幅值差异较大,通过相对能量的分析可有效地将各节律归一化处理,去除掉量纲。

[0055] 步骤五、设定固定时间段内平静精神状态下的 β 波节律信号的平均相对能量阈值:

根据公式 $\overline{E_n(\beta)}_{LST} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M E_n(\beta_j)$, ($j=1,2,\dots,M$), 确定平均相对能量阈值 $\overline{E_n(\beta)}_{LST}$, 其中,

M 为固定时间段内平静精神状态下的 β 波节律离散信号的离散采样点 j 的数据长度;

[0056] 本实施例中,所述固定时间段内平静精神状态下的 β 波节律离散信号的离散采样点 j 的数据长度 $M=P \cdot T$,其中, T 为固定时间段。

[0057] 需要说明的是,在明显负情绪下 β 节律高频部分增幅明显,以 β 波节律信号的平均相对能量作为衡量负情绪下焦虑度的标志,实际使用中,设定固定时间段为3分钟,采集每个矿工在未下井之前3分钟之内平静精神状态下的 β 波节律信号的平均相对能量作为平均相对能量阈值,3分钟之内平静精神状态下的 β 波节律离散信号的离散采样点 j 的数据长度 M 满足: $M=512 \times 60 \times 3$ 。

[0058] 步骤六、识别矿工焦虑度:根据公式 $A_{nx} = \begin{cases} \frac{\overline{E_n(\beta)} + \overline{E_n(\theta)}}{\overline{E_n(\alpha)} + \varepsilon}, & \overline{E_n(\beta)} > \overline{E_n(\beta)}_{LST} \\ 0, & \overline{E_n(\beta)} < \overline{E_n(\beta)}_{LST} \end{cases}$, 识别

焦虑度 A_{nx} ,其中, $\overline{E_n(\beta)}$ 为单位时间段内矿工实际精神状态下的 β 波节律信号的平均相对能量, $\overline{E_n(\alpha)}$ 为单位时间段内矿工实际精神状态下的 α 波节律信号的平均相对能量, $\overline{E_n(\theta)}$ 为单位时间段内矿工实际精神状态下的 θ 波节律信号的平均相对能量, ε 为焦虑度精度调节值且 ε 为正数。

[0059] 需要说明的是, $\overline{E_n(\beta)}$ 、 $\overline{E_n(\alpha)}$ 和 $\overline{E_n(\theta)}$ 的计算方式与单位时间段内平静精神状态下的 β 波节律信号的平均相对能量阈值 $\overline{E_n(\beta)}_{LST}$ 的计算方式相同,不同的是, $\overline{E_n(\beta)}$ 、 $\overline{E_n(\alpha)}$ 和 $\overline{E_n(\theta)}$ 的值为矿工位于井下后实际精神状态下各节律信号的平均相对能量。

[0060] 本实施例中,所述焦虑度精度调节值 ε 满足: $0.001 \leq \varepsilon \leq 0.1$ 。

[0061] 需要说明的是, θ 波节律信号的相对能量 $\overline{E_n(\theta)}$ 、 α 波节律信号的相对能量 $\overline{E_n(\alpha)}$ 和 β 波节律信号的相对能量 $\overline{E_n(\beta)}$ 取值范围为 $(0,1)$,且由于干扰信号不可避免的存在, $\overline{E_n(\theta)} + \overline{E_n(\alpha)} + \overline{E_n(\beta)}$ 之和的取值范围也为 $(0,1)$,若 $\overline{E_n(\alpha)}$ 为0时, $\frac{\overline{E_n(\beta)} + \overline{E_n(\theta)}}{\overline{E_n(\alpha)}}$ 无意义,

若 $\overline{E_n(\alpha)}$ 不为0但是取值极小时, $\frac{\overline{E_n(\beta)} + \overline{E_n(\theta)}}{\overline{E_n(\alpha)}}$ 无穷大,焦虑度取值无参考意义,因此,在

$\frac{E_n(\beta) + E_n(\theta)}{E_n(\alpha)}$ 的分母上设置焦虑度精度调节值 ε , 随着负情绪的加剧, 单位时间内 β 波节律

信号的相对能量 $E_n(\beta)$ 及 θ 波节律信号的相对能量 $E_n(\theta)$ 增幅逐渐变大, α 波节律信号的相

对能量 $E_n(\alpha)$ 减小, $\frac{E_n(\beta) + E_n(\theta)}{E_n(\alpha) + \varepsilon}$ 值增加; 当负情绪缓解, $\frac{E_n(\beta) + E_n(\theta)}{E_n(\alpha) + \varepsilon}$ 值减小; 焦虑度精

度调节值 ε 满足: $0.001 \leq \varepsilon \leq 0.1$, 使焦虑度 $A_{nx} \in [0, 1000)$, 便于显示器 8 有效的显示矿工焦虑度, 可以有效的避免矿工长时间受负情绪影响时在井下操作不当的行为, 提高井下操作安全系数。

[0062] 以上所述, 仅是本发明的较佳实施例, 并非对本发明作任何限制, 凡是根据本发明技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、变更以及等效结构变化, 均仍属于本发明技术方案的保护范围内。

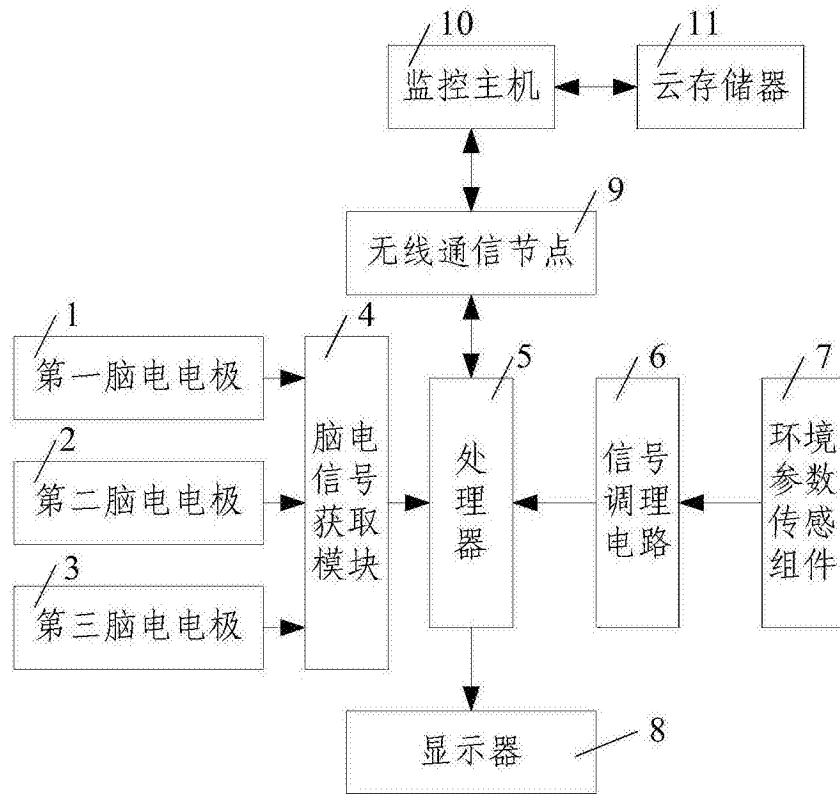


图1

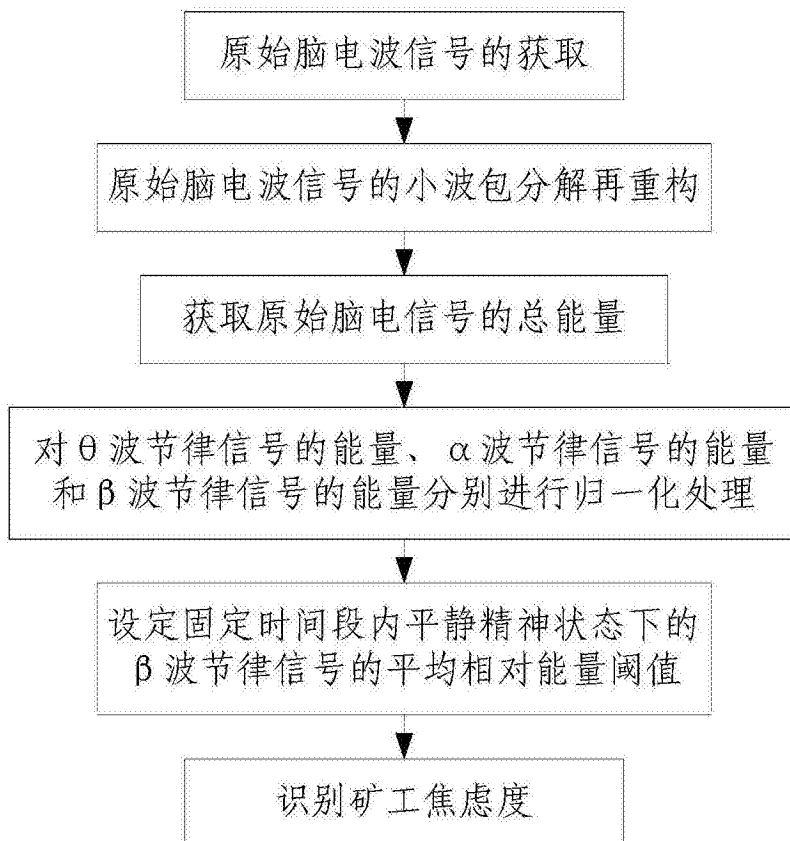


图2

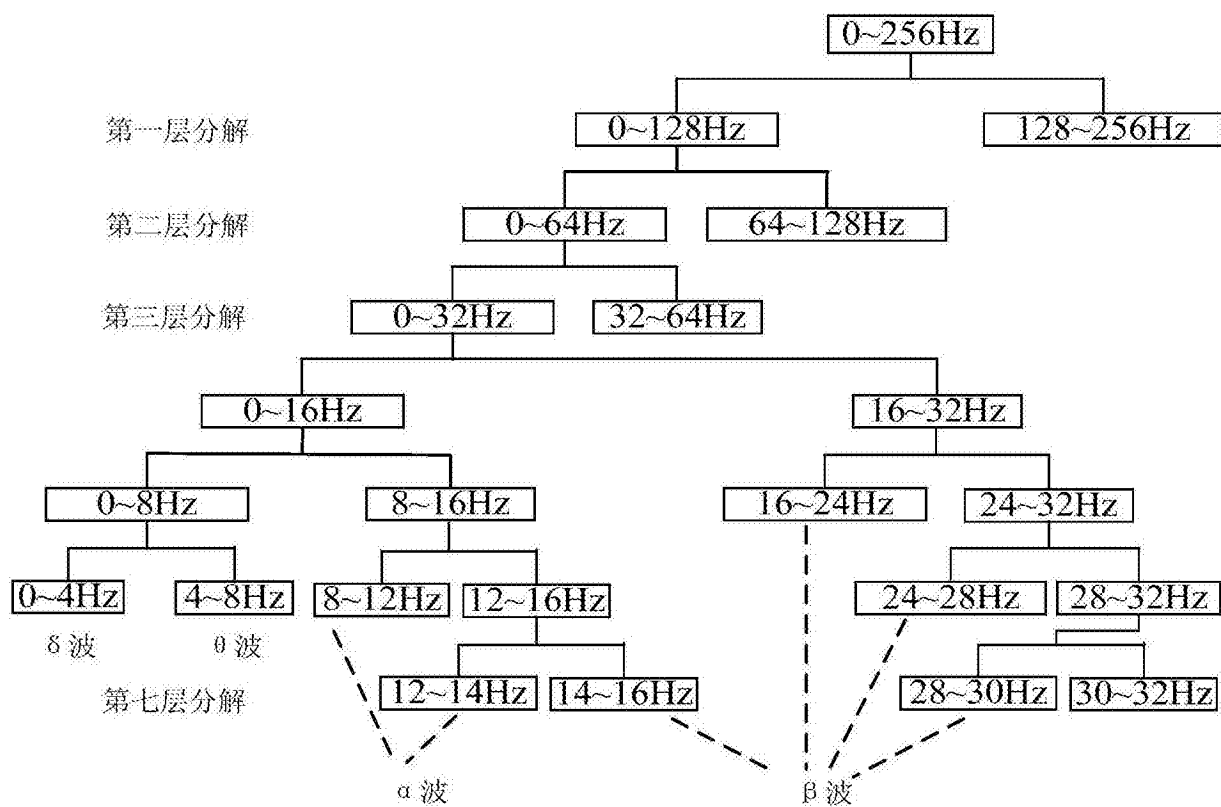


图3

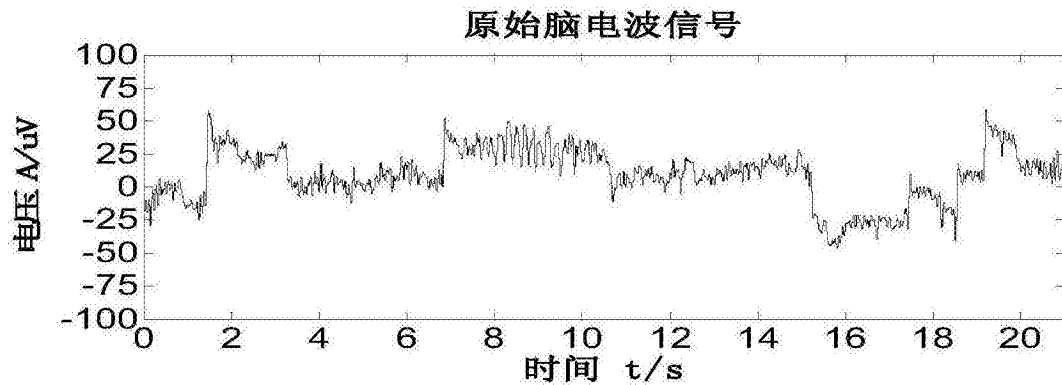


图4

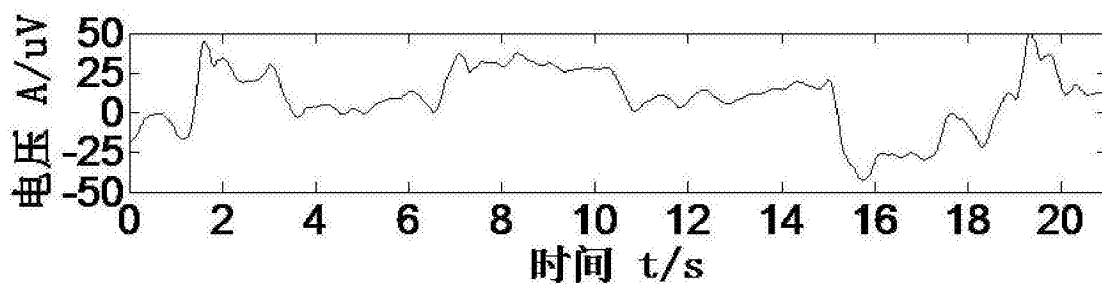


图5a

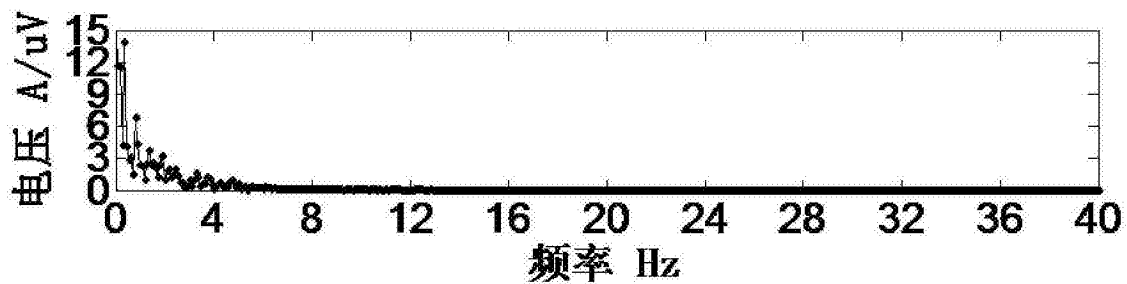


图5b

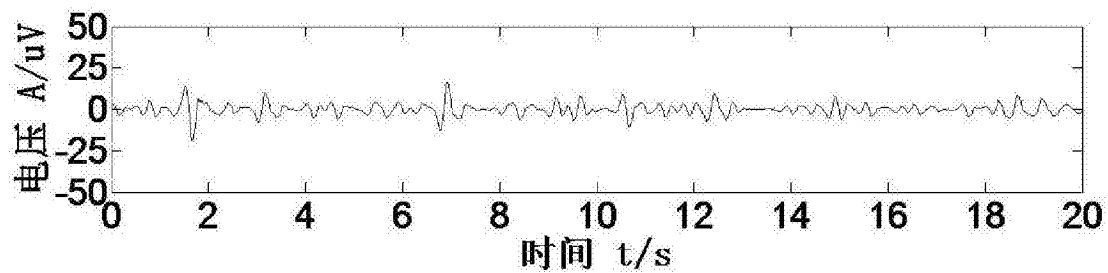


图6a

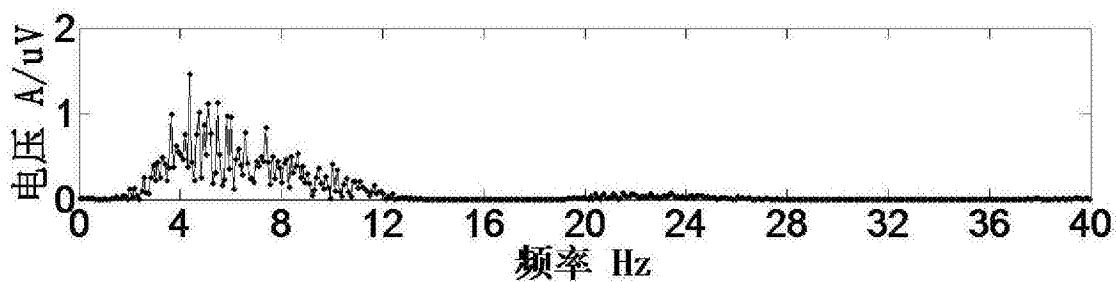


图6b

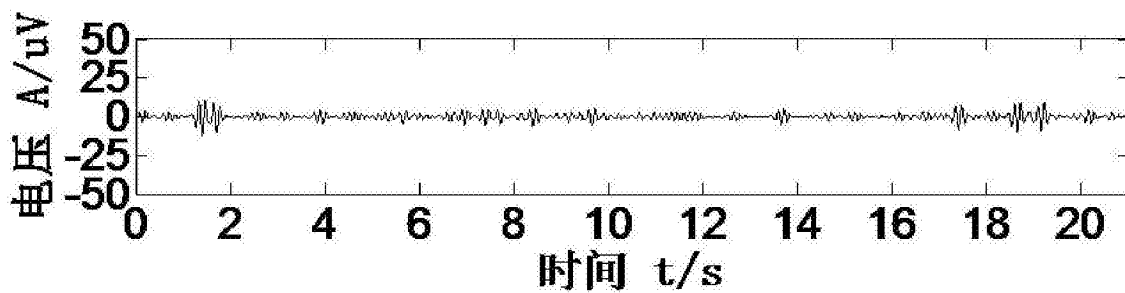


图7a

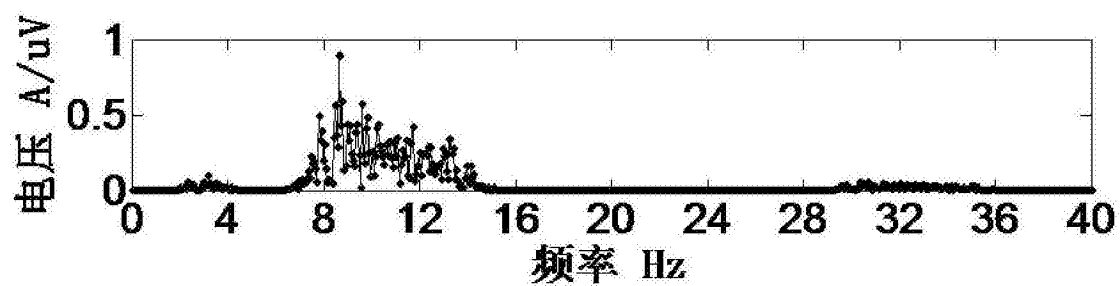


图7b

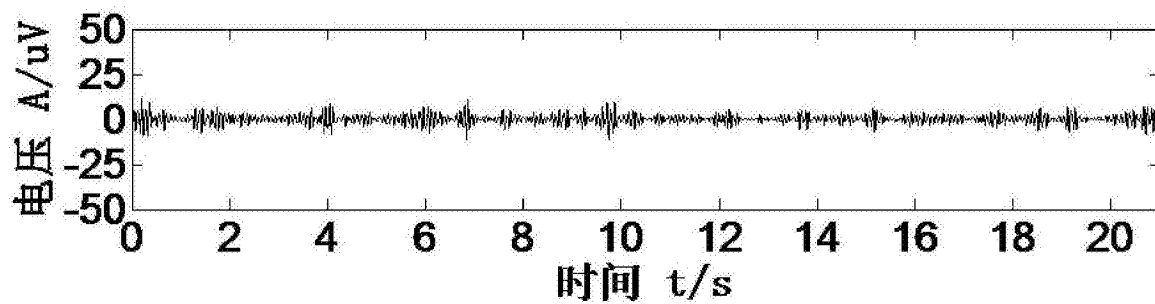


图8a

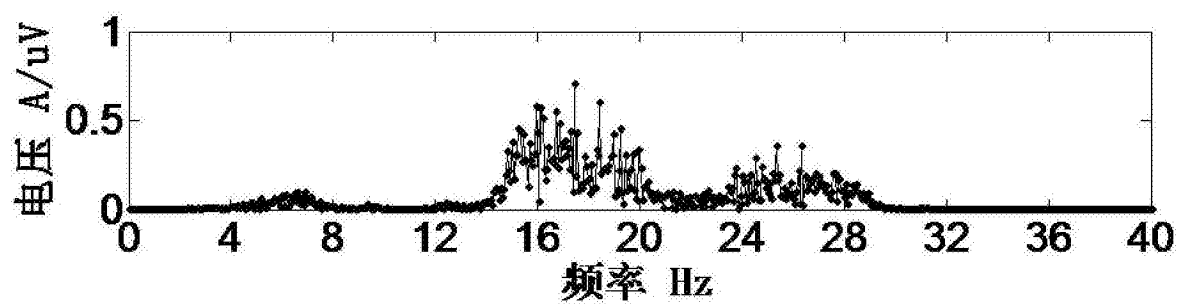


图8b

专利名称(译)	一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法		
公开(公告)号	CN107157476B	公开(公告)日	2018-04-10
申请号	CN2017110361723.8	申请日	2017-05-22
[标]申请(专利权)人(译)	西安科技大学		
申请(专利权)人(译)	西安科技大学		
当前申请(专利权)人(译)	西安科技大学		
[标]发明人	汪梅 张国强 牛钦 张松志 朱阳阳 吕元杰		
发明人	汪梅 张国强 牛钦 张松志 王博馨 朱阳阳 吕元杰		
IPC分类号	A61B5/0476 A61B5/16 A61B5/00 A42B3/04 G01D21/02		
CPC分类号	A42B3/0433 A61B5/04012 A61B5/0476 A61B5/165 A61B5/6803 A61B5/7203 A61B5/7235 A61B5/7253 A61B2503/20 G01D21/02		
其他公开文献	CN107157476A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种用于智能矿用头盔的矿工焦虑度识别方法，包括步骤：一、原始脑电波信号的获取；二、原始脑电波信号的小波包分解再重构；三、获取原始脑电信号 $X(t)$ 的总能量；四、对 θ 波节律信号的能量 $En(\theta)$ 、 α 波节律信号的能量 $En(\alpha)$ 和 β 波节律信号的能量 $En(\beta)$ 分别进行归一化处理；五、设定固定时间段内平静精神状态下的 β 波节律信号的平均相对能量阈值；六、识别矿工焦虑度。本发明通过 θ 波节律、 α 波节律和 β 波节律的单位时间内的平均相对能量波动关系量化负情绪，识别井下矿工的焦虑度，可以有效的避免矿工长时间受负情绪影响时在井下操作不当的行为，提高井下操作安全系数。

