

LTE 无线系统终端省电机制研究

麦岳波, 林晓辉

(深圳大学信息工程学院, 广东 深圳 518060)

摘 要: 针对长期演进(LTE)系统恒功率休眠模式中存在的低业务、高功耗等缺点, 提出一种变功率休眠算法。该算法可根据终端业务要求, 动态改变休眠周期, 以提高终端的待机时间, 并以该算法为基础, 探讨休眠状态终端的平均响应时间和平均功耗等问题。仿真实验表明, 与恒功率休眠算法相比, 该变功率休眠算法可以减少功耗 6%~12%。

关键词: 长期演进系统; 休眠间隔; 响应时间; 功耗

Research on Terminal Electricity Saving Mechanism of LTE Wireless System

MAI Yue-bo, LIN Xiao-hui

(College of Information Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

【Abstract】 Aiming at the demerits of the lower business and higher power consumption, etc., in constant power dormancy mode of the Long Term Evolution(LTE) system. This paper proposes a variation of power dormancy algorithm at first, which can dynamically change the dormancy period according to the demands of terminal business, promote the standby time of terminal, then, discusses several problems about the average response time and average consumption of the terminal in the dormant state under this algorithm. Simulation experiments show that, compared with constant power dormancy algorithm, the energy consumption can be reduced by 6%~12% in this algorithm.

【Key words】 Long Term Evolution(LTE) system; dormancy interval; response time; power consumption

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.15.091

1 概述

随着社会的发展, 人们不仅对通信的需求日益迫切, 而且对通信的要求也越来越高。理想的目标是不管在任何时候、任何地方和任何人都能及时取得沟通并交流信息。这不仅要具有移动通信, 还必须确保通信终端的正常工作, 而终端省电机制是一个解决及时沟通问题的技术。

近些年, 移动用户对高传输速率数据业务的要求促进移动通信系统的发展。3GPP 在 2004 年 11 月启动无线接入网长期演进(Long Term Evolution, LTE)的研究, 以期实现 B3G 和 4G 的平滑演进, 其更深层原因是移动通信与宽带无线接入(Boardband Wirless Access, BWA)技术的融合。“宽带接入移动化”和“移动通信宽带化”^[1]势必成为通信产业的趋势和挑战, 故 3GPP 开始关注“长期演进”的进程。

3GPP 的 LTE 标准化项目分为 2 个阶段: (1)2004 年 12 月-2006 年 9 月为 SI(Study Item)阶段, 进行可行性研究, 完成各种技术研究报告;(2)2006 年 9 月-2007 年 9 月为 WI(Work Item)阶段, 进行系统技术标准的具体制定和编写, 完成技术规范起草工作。在完成标准制定工作后, 计划不久将向市场推出成熟的商品^[1]。

文献[2]提到的恒功率休眠模式, 是固定休眠周期的算法。文献[3-4]讨论的 I 类休眠算法性能, 对休眠模式的研究和改进有一定的参考价值。在探讨休眠模式前, 需对 LTE 系统的监听过程有一定了解, 文献[5]介绍 LTE 的监听过程。正是在对上述文献的研究后发现恒功率休眠存在当低业务状态的功耗和高业务状态的功耗一样时, 造成电量的浪费的问题, 针对这一问题, 本文提出变功率休眠算法。

2 LTE 系统的变功率休眠模式

恒功率休眠模式是监听间隔不变, 固定休眠间隔的模式。若采用这种休眠模式, 对于不同业务而言, 移动终端(MS)的平均功率消耗能保持不变。该模式虽然简单, 但其以高业务、时功耗为参考标准, 在考虑到低业务的情况下, 经过相同时间间隔之后, 到达的数据包数目相对于高业务所得数据包数目而言较少, 按理应该是平均功耗相应减少, 平均响应时间相应较大, 然而, 恒功率休眠模式却靠牺牲电能换取数据帧的响应时间, 这样虽能及时接收到数据, 却存在低业务高功耗的缺点, 浪费电能。相对于恒功率休眠模式提出的变功率休眠模式, 即变功率休眠算法, 其是一种基于终端业务要求而动态改变非连续接收周期的算法, 即根据白天和晚上各个时间段终端业务量的不同, 修改休眠间隔长度。为提高终端的待机时间采取如下措施: 在业务量较多的时候, 减少休眠间隔长度; 在业务量较少的时候, 增加休眠间隔长度。

3 变功率休眠算法

3.1 指标规定

该算法的目的是以满足通信要求为基础, 先通过对不同时间段业务量大小的判断, 决定对哪些休眠间隔长度进行实时修改, 最后达到移动终端省电效果。虽然在低业务情况下,

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60602066); 深港创新圈计划基金资助项目(SG200810220145A); 深圳市科技基础研究基金资助项目(JC200903120069A)

作者简介: 麦岳波(1985—), 男, 学士, 主研方向: 无线通信, 信号处理; 林晓辉, 教授、博士

收稿日期: 2011-01-13 **E-mail:** xhlin@szu.edu.cn

变功率休眠模式在数据平均响应时间方面相对于恒功率休眠模式会较长,但是,只要不影响通信,都可以被接受,然而此时的平均功耗确实相对非常少,可为终端节省大量电能,从而保证终端的实用性。

必须是在符合通信标准,且不能改变通信过程中原使用系统参数的情况下,提出此类算法;在同时满足平均响应时间的指标要求的情况下,减少系统终端功耗。现对算法指标要求如下:(1)在响应时间性能方面,相对于恒功率休眠模式而言,平均响应时间可以增多,但不能超过 500 ms;(2)在节能性能方面,相对于恒功率休眠模式而言,平均功耗不能比原算法差,且功耗节省率要达到 4%~20%。

3.2 算法理论推导

在对变功率休眠算法的理论推导分析之前,先定义一些参数:监听间隔长度为 T_L ms;监听间隔期间移动终端的单位时间功耗为 E_L mW;休眠间隔长度为 t_s ms;休眠间隔期间移动终端的单位时间功耗为 E_S mW。在 MS 和基站(BS)确定休眠模式后,在一定的时间段内使用固定的参数,直到重新确定新的参数。假设数据帧到达 MS,遵循泊松强度为 λ 的泊松分布, λ 表示数据帧到达的平均速率,单位为 $\text{f}\cdot\text{ms}^{-1}$ 。在不同的时间段内,由于终端的业务量不同,因此,不同时间段的休眠间隔不同;在同一业务量时段内,休眠间隔相同。根据一定的实际情况,变功率休眠算法为改善恒功率算法低业务高功耗的缺点,提出 λ 和休眠间隔存在一定关系,即休眠间隔 t_s 随着 λ 的减少而增大。该关系本文假设为:

$$t_s = k \times \lambda + b$$

其中, k 为负数, b 为正数。

该泊松过程, t 时段内数据帧到达的概率可表示为式(1):

$$P\{N(s+t) - N(s) = k\} = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!} \quad k = 0, 1, L \quad (1)$$

其中, $N(t)$ 代表 t 时刻数据帧到达数目; $k=0$,表示 s 时刻到 $s+t$ 时刻没有数据帧到达。其概率可表示为式(2):

$$P\{N(s+t) - N(s) = 0\} = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

由式(2)可得,若从 s 时刻到 $s+t$ 时刻,则会有数据帧到达,其概率可表示为式(3):

$$P\{N(s+t) - N(s) > 0\} = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3)$$

设在同一 λ 情况下,休眠周期长度为 T ,第 i 个休眠周期长度为 T_i ,则可得式(4):

$$T_i = T = t_s + T_L \quad i = 0, 1, L \quad (4)$$

设 e_i 表示在第 i 个休眠周期,MS 有数据帧到达,那么,第 i 个休眠周期可监听到数据到达,可用 $e_i = \text{true}$ 表示,否则,用 $e_i = \text{false}$ 表示。根据式(2)~式(4),在同一 λ 情况下,若前 $i-1$ 个休眠周期没有数据到达,在第 i 个休眠周期才开始数据到达,则其概率为式(5):

$$\begin{aligned} P(n=i) &= \prod_{j=1}^{i-1} P(e_j = \text{false}) \times P(e_i = \text{true}) = \\ &= e^{-\lambda \sum_{j=1}^{i-1} T_j} \times (1 - e^{-\lambda T_i}) = e^{-\lambda(i-1)T} \times (1 - e^{-\lambda T_i}) = \\ &= e^{-i\lambda(t_s + T_L)} \times (e^{\lambda(t_s + T_L)} - 1) \end{aligned} \quad (5)$$

由于数据帧到达服从泊松分布,即数据帧到达的时刻是随机的,因此,若数据帧在第 n 个休眠间隔期间到达,则移动终端不会立即接收数据,只有当等到监听时间到达之后才会接收。从数据帧到达直到接收数据这段时间叫做数据响应时间,记作 T_{dn} ms。移动终端经过 n 个休眠周期消耗的功率

记作 E_n mW。

上面提到考察该算法省电能力的指标是平均响应时间和平均功耗,在此,设 $E[T_{dn}]$ 为数据帧的平均响应时间,该指标反映算法对数据帧的响应速度,单位是 ms; $E[E_n]$ 为进入休眠模式到接收到数据后跳出休眠模式的平均功耗,单位是 mW,该指标反映该算法的节能性能。

虽然 MS 从休眠状态转入监听状态或从监听状态转入休眠状态要花费时间和消耗功率,但该时间很小,单位时间内的功耗和监听状态的功耗一样,故监听间隔加该段时间的功耗相当于监听间隔增长时的功耗。由于每种休眠模式都存在这种情况,且具有相同性,没有可比性。因此,不对这种情况加以讨论。

现对改进算法的平均响应时间和平均功耗作理论分析:若数据到达服从泊松分布,则说明 2 次数据到达的时间间隔服从指数分布,由于数据到达具有随机性,因此,导致数据可以在第 i 个休眠周期内的任何时刻到达,即在第 i 个休眠周期内随机取值,这也说明在同一 λ 情况下,数据在第 i 个休眠周期内到达的时刻服从该周期间隔区间 $[(i-1)T, iT]$ 的均匀分布。由概率论可知在区间 $[a, b]$ 的均匀分布的期望为 $(a+b)/2$,则数据在时间区间 $[(i-1)T, iT]$ 内到达的平均时刻为 $[(i-1)T + iT]/2$,则数据到达的等待响应时间表示为式(6):

$$T_{di} = [(i-1)T + T_s] - \frac{(i-1)T + iT}{2} = t_s - \frac{T}{2} = \frac{t_s - T_L}{2} \quad (6)$$

根据式(5)和式(6)得,数据到达的平均响应时间表示为式(7):

$$E[T_{dn}] = \sum_{i=1}^{\infty} P(n=i) T_{di} = \frac{t_s - T_L}{2} \times \sum_{i=1}^{\infty} P(n=i) = \frac{t_s - T_L}{2} \quad (7)$$

在同一 λ 情况下,MS 经过 i 个休眠周期所消耗的功率表示为式(8):

$$E_i = i(t_s \times E_s + T_L \times E_L) \quad (8)$$

根据式(5)和式(8)得,终端消耗的平均功率表示为式(9):

$$\begin{aligned} E[E_n] &= \sum_{i=1}^{\infty} P(n=i) E_i = \\ &= \sum_{i=1}^{\infty} \left[e^{-i\lambda T} (e^{\lambda T} - 1) \times i(t_s \times E_s + T_L \times E_L) \right] = \\ &= (e^{\lambda T} - 1)(t_s \times E_s + T_L \times E_L) \times \sum_{i=1}^{\infty} i e^{-i\lambda T} = \\ &= \frac{(e^{\lambda T} - 1)(t_s \times E_s + T_L \times E_L) e^{-\lambda T}}{(1 - e^{-\lambda T})^2} = \\ &= \frac{t_s \times E_s + T_L \times E_L}{1 - e^{-\lambda(t_s + T_L)}} \end{aligned} \quad (9)$$

由于在式(7)和式(9)中, T_L 、 E_L 和 E_S 固定不变,因此,只需要分析参数 t_s 和 λ 对平均响应时间和平均功耗的影响。

分析式(7)和式(9)得如下结论:(1)若数据到达的平均响应时间只与休眠间隔 t_s 有关,休眠间隔只与 λ 有关,则数据到达的平均响应时间只与 λ 有关,且当 λ 越小的时候,休眠间隔 t_s 越大,平均响应时间越大。(2)若平均功耗也与休眠间隔和 λ 有关,则当 λ 越小的时候,休眠间隔 t_s 越大,平均功耗越大。(3)若平均功耗固定不变,则 λ 减小, t_s 增大。这些结论可证明前面提到的 t_s 和 λ 的关系为递减关系。

4 性能评估

本文对恒功率休眠算法和变功率休眠算法进行仿真,以便进行仿真验证和对 2 种模式算法的对比。由于 2 种模式处理数据帧的功耗一样,因此,在实验中不考虑 MS 处理数据帧的情况,仅考察对数据帧的响应时间以及消耗功率。

本文的仿真参数设置如下: $t_s = -12\ 000\lambda + 840$ ms, $T_L = 1.0$, $E_L = 10.0$, $E_S = 1.0$, λ 由 0.005 增加到 0.065, 对每个 λ 仿真时间是 43 200 s。

4.1 变功率休眠算法理论与仿真比较

图 1、图 2 是理论和仿真的对比结果。

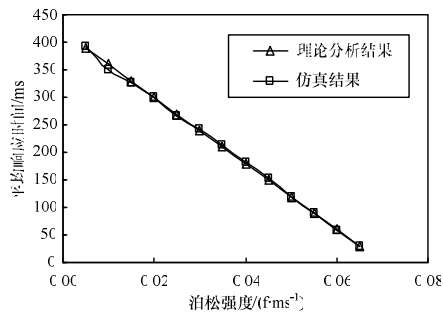


图 1 平均响应时间的理论和仿真结果对比

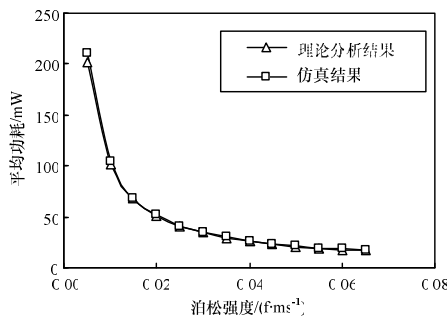


图 2 平均功耗的理论和仿真结果对比

由图 1、图 2 可知，该仿真结果与理论的吻合度很高，说明所使用的实验方法正确，同样也能验证恒功率休眠算法仿真的正确性。

4.2 休眠算法性能比较

为呈现变功率休眠算法具有的节能优势，需对 2 种算法的平均响应时间和平均功耗结果作对比，分别如图 3、图 4 所示。

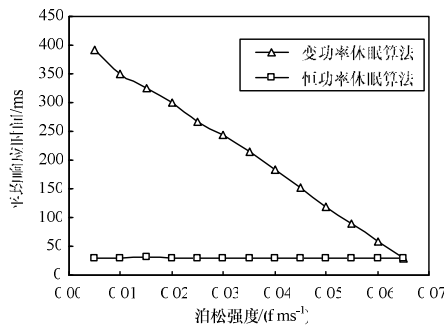


图 3 平均响应时间的结果对比

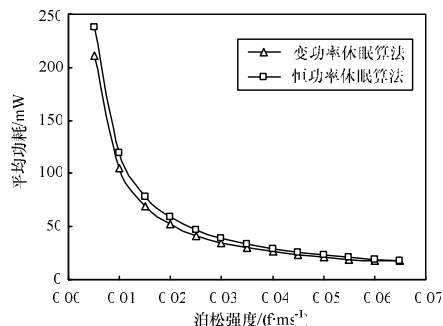


图 4 平均功耗的结果对比

由图 3、图 4 可知，相对于恒功率休眠模式，改进的休眠模式在功耗性能上可以达到省电效果，但付出的代价是数据帧平均响应时间的增大，尤其是在低业务的情况下，节能性能更加显著，但同时响应效果也相对较差。但由于此种模式的等待时间小于 400 ms，不影响通信，因此，这种改进的休眠模式可取。变功率休眠相对于恒功率休眠的功耗节省率如图 5 所示。

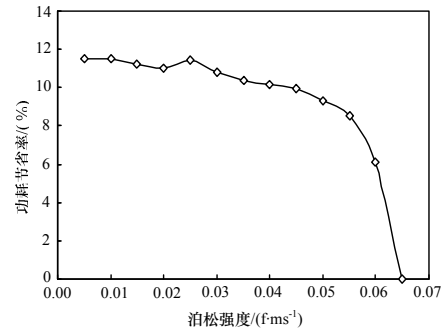


图 5 功耗节省率

由图 5 可知，变功率休眠算法比恒功率休眠算法节省 6%~12% 的功耗。

综上所述可得，在平均响应时间允许的范围内，变功率休眠模式具有明显的省电效果，具有实用性的实际意义。

4.3 各参数对性能的影响

为考察参数在同一 λ 下，不同的 t_s 和监听间隔 (T_L) 对平均响应时间和平均功耗的影响，定义 $t_s = k \times \lambda + b$ ，故分别选用不同的监听间隔和不同 b 进行仿真，分析所得结果。当其他仿真参数 E_L 、 E_S 、 k 不变， λ 由 0.005 增加到 0.065，则对每个 λ 的仿真时间是 43 200 s。

(1) 在选取不同 T_L 时，平均响应时间和平均功耗如图 6、图 7 所示。

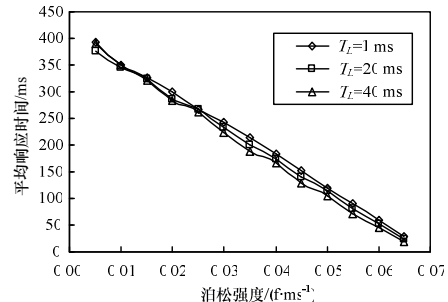


图 6 不同 T_L 的平均响应时间

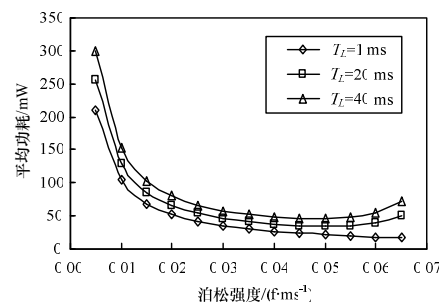


图 7 不同 T_L 的平均功耗

由图 6、图 7 可知，在同一 λ 情况下，随着监听间隔的增加，平均响应时间的长度减少，平均功耗的值却增大。这是由于当 T_L 的增大，数据帧到达的时刻落在监听间隔附近的概率增大，响应时间接近零的概率也增大，而平均响应时间

会随 T_L 的增大而减小。可休眠周期总数减少, 当监听时功耗远大于休眠时功耗, T_L 增大势必造成整个过程平均功耗增大。

(2) 当选取不同数值的 b 时, 平均响应时间和平均功耗如图 8、图 9 所示。

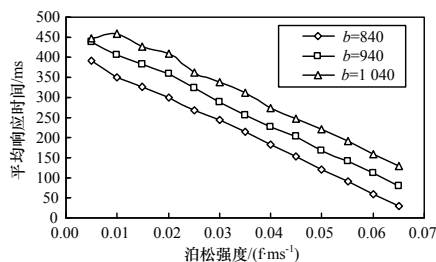


图 8 不同 b 的平均响应时间

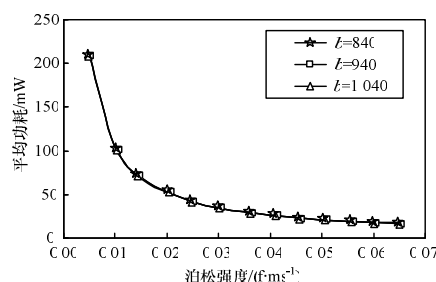


图 9 不同 b 的平均功耗

由图 8、图 9 可知, 在同一 λ 情况下, 随着 b 的增大, 平均响应时间也增大, 而平均功耗基本不变。这是因为当 b 增大, 休眠间隔长度增大, 则数据帧落在休眠间隔的概率增大, 平均响应时间增大。由于当可休眠周期总数减少时, 监听间隔累加起来消耗的功率会减少, 且休眠时功耗远小于监听时功耗, 依照理论而言, 平均功耗应随 b 增大而减小, 但

(上接第 275 页)

落, 如图 3(a)和图 4(a)所示。从模拟结果来看, 在这一过程中, 液柱在气体推动作用下速度不断增加, 达到约 20 m/s。

(2) 二次喷射阶段。当高压气体贯穿发射管后, 径向阻力突然减小, 高压气体迅速膨胀从而使喷雾锥角增大形成“二次喷射”, 包围着气体的液体迅速破碎形成大量液滴, 同时推动液体向前移动, 高压气体的迅速膨胀使液柱后端的速度大于头部, 且液柱头部受到空气的剪切作用, 液柱变得狭长, 而中心轴线速度大于两侧, 从而逐渐形成“伞形”液膜, 如图 3(b)、图 3(c)及图 4(b)、图 4(c)所示。

(3) 液膜破碎阶段。气体继续冲击液膜向前运动, 同时之前由于气体膨胀形成的大量液滴发生二次雾化形成更小的液滴, 如图 3(d)、图 4(d)所示。此时液膜前端的速度逐渐大于后端, 且前端受到空气阻力的作用, 液膜表面在不均匀分布的压力扰动下发生变形, 逐渐形成细长的液片, 进而破碎成液滴, 如图 5、图 6 所示, 此时液滴的速度达 30 m/s。

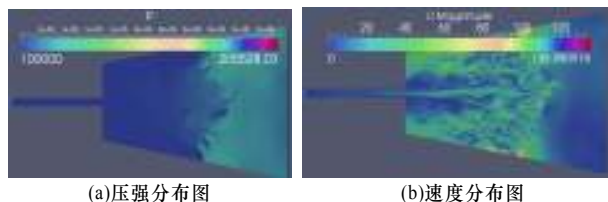


图 5 液膜破碎阶段 40 ms 时的压强、速度分布图

从图中还可以看出, 在该阶段中, 气体的推动作用逐渐减弱, 主要表现为压强逐渐减至大气压强, 气体速度和液体

b 增大的值不够大, 则造成休眠间隔增加不够多, 因此, 平均功耗出现不明显变小。

5 结束语

为克服在恒功率休眠模式中存在的低业务高功率的缺陷, 并使移动终端的待机时间达到最大化, 本文提出基于 LTE 系统的变功率休眠算法。在不改变标准参数的情况下, 理论分析平均响应时间和平均功耗等性能, 并结合仿真实验, 得出变功率休眠算法的耗电性能更加优越的事实。在此基础上, 通过改变参数实现能量消耗的优化。实验结果表明, 该算法既能增强 LTE 非连续接收的高度节能性, 又能保证与原算法具有良好的兼容性。但在 LTE 系统休眠模式中, 仍然存在节能性和吞吐量等需要权衡的方面, 这是今后的研究方向。

参考文献

- [1] 沈 嘉, 索士强, 全海洋, 等. 3GPP 长期演进(LTE)技术原理与系统设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [2] 董国军, 戴居丰. IEEE802.16e 的休眠模式性能评估与优化[J]. 计算机工程, 2007, 33(19): 10-12.
- [3] 李博光, 金顺福, 张哲瑞, 等. IEEE 802.16e 中节能类型 I 的排队性能分析[J]. 计算机工程, 2010, 36(1): 121-123.
- [4] Dong Guojun, Zheng Chengjun, Zhang Hongxia, et al. Power Saving Class I Sleep Mode in IEEE802.16e System[C]//Proc. of the 9th International Conference on Advanced Communication Technology. [S. l.]: IEEE Press, 2007.
- [5] 买 望, 宋崇汶, 孙向前. LTE 网络下的寻呼消息及其监听算法[J]. 现代电信科技, 2009, 39(10): 19-22.

编辑 刘 冰

速度趋于相等。此时, 液膜在惯性下继续向前运动。

5 结束语

本文构建的 LES-VOF 耦合模型能较好地模拟脉冲水炮近流场的雾化过程。从发展过程的分析来看, 高压气体膨胀是近流场射流雾化的主要动因。在二次喷射阶段, 包裹着高压气体的液体已经雾化成液滴, 随着高压气体的继续膨胀, 液滴发生二次雾化。这一现象在本文二维模拟结果中没有明显地体现, 但能在实验图像中看到。下一步是将该模型应用到三维计算中, 并考虑电磁阀的内部结构及开启过程, 使其更加贴近脉冲防暴水炮的实际喷射情况。

参考文献

- [1] 伊君翰. 基于多核处理器的并行编程模型[J]. 计算机工程, 2009, 35(8): 62-64.
- [2] 邹建锋, 郑 耀. 有界压缩 VOF 算法在界面流问题中的应用[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2008, 42(2): 253-258.
- [3] Weller H. A Code Independent Notation for Finite Volume Algorithm[R]. Nabla Ltd., Technical Report: TR/HGW/02, 2002.
- [4] Rusche H. Computational Fluids Dynamics of Dispersed Two-phase Flows at High Phase Fractions[D]. London, UK: Imperial College of Science, Technology & Medicine, 2002.
- [5] Brackbill J, Kothe D, Zemach C. A Continuum Method for Modeling Surface Tension[J]. Journal of Computational Physics, 1992, 100(2): 335-354.

编辑 张 帆

