

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛОСКОСТНОЙ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ДЛЯ ТЕРМОМЕТРИИ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ С ЗАКРУТКОЙ ПОТОКА*

В. М. Дулин¹, Д. К. Шараборин², Р. В. Толстогузов³, А. С. Лобасов⁴, Л. М. Чикишев⁵, Д. М. Маркович⁶

Аннотация: Представлены результаты апробации метода регистрации распределений температуры на основе плоскостной лазерно-индуцированной флуоресценции гидроксильного радикала (ОН) при возбуждении перехода (1–0) системы $A^2\Sigma^+ - X^2\Pi$. Термометрия основана на регистрации отношения интенсивности излучения перехода (2–0) и переходов (0–0) и (1–1). Для наиболее частых линий возбуждения $Q_2(7)$, $Q_1(8)$, $R_1(14)$ и $P_1(2)$ проведено численное моделирование спектров флуоресценции с использованием программы LASKIN. Показано, что наибольшая чувствительность сигнала к изменению температуры достигается при возбуждении перехода $Q_1(8)$. Установлено, что тушение флуоресценции оказывает незначительный эффект на точность измерения температуры. Экспериментально отработана методика проведения измерений для ламинарного пламени предварительно перемешанной смеси и для факела предварительно перемешанной смеси в турбулентном потоке в модельной камере сгорания с закруткой потока. Показано, что метод эффективен для обнаружения областей высокой температуры в турбулентном пламени. Однако сочетание данного подхода с методом анемометрии по изображениям частиц требует использования более эффективного оптического фильтра для разделения слабой интенсивности флуоресценции перехода на полосе (2–0) и излучения, рассеянного частицами-трассерами.

Ключевые слова: плоскостная лазерно-индуцированная флуоресценция; панорамная термометрия; флуоресценция ОН

DOI: 10.30826/CE20130204

Литература

1. Pickett L. M., Ghandhi J. B. Passive scalar measurements in a planar mixing layer by PLIF of acetone // *Exp. Fluids*, 2001. Vol. 31. No. 3. P. 309–318.
2. Meyer T. R., King G. F., Martin G. C., Lucht R. P., Schauer F. R., Dutton J. C. Accuracy and resolution issues in NO/acetone PLIF measurements of gas-phase molecular mixing // *Exp. Fluids*, 2002. Vol. 32. No. 6. P. 603–611.
3. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте / Под ред. В. М. Фомина. — Новосибирск: Изд-во НГУ, 2009. 450 с.
4. Klinner J., Willert C. E. Measurements of turbulent jet mixing in a turbulent co-flow including the influence of periodic forcing and heating // *Flow Turbul. Combust.*, 2017. Vol. 98. No. 3. P. 751–779.
5. Kothnur P. S., Tsurikov M. S., Clemens N. T., Donbar J. M., Carter C. D. Planar imaging of CH, OH, and velocity in turbulent non-premixed jet flames // *P. Combust. Inst.*, 2002. Vol. 29. No. 2. P. 1921–1927.
6. Duwig C., Iudiciani P. Extended proper orthogonal decomposition for analysis of unsteady flames // *Flow Turbul. Combust.*, 2010. Vol. 84. No. 1. P. 25.
7. Stöhr M., Arndt C. M., Meier W. Transient effects of fuel–air mixing in a partially-premixed turbulent swirl flame //

* Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (уникальный идентификатор проекта RFMEFI58318X0035).

¹ Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук; Новосибирский государственный университет, vmd@itp.nsc.ru

² Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук; Новосибирский государственный университет, sharaborin.d@gmail.com

³ Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук; Новосибирский государственный университет, epot.roman@gmail.com

⁴ Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук; Новосибирский государственный университет, alexey.lobasov@gmail.com

⁵ Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук; Новосибирский государственный университет, chlml@itp.nsc.ru

⁶ Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук; Новосибирский государственный университет, dmark@itp.nsc.ru

- P. Combust. Inst., 2015. Vol. 35. No. 3. P. 3327–3335.
8. Renaud A., Yokomori T., Tachibana S. Study of a thermo-acoustic instability triggering in a low-swirl burner using simultaneous time-resolved acetone and OH-PLIF // P. Combust. Inst., 2019. Vol. 37. No. 2. P. 2627–2633.
9. Fayoux A., Zähringer K., Gicquel O., Rolon J. Experimental and numerical determination of heat release in counter-flow premixed laminar flames // P. Combust. Inst., 2005. Vol. 30. No. 1. P. 251–257.
10. Ayoola B. O., Balachandran R., Frank J. H., Mastorakos E., Kaminski C. F. Spatially resolved heat release rate measurements in turbulent premixed flames // Combust. Flame, 2006. Vol. 144. No. 1–2. P. 1–16.
11. Gordon R. L., Masri A. R., Mastorakos E. Heat release rate as represented by $[OH] \times [CH_2O]$ and its role in autoignition // Combust. Theor. Model., 2009. Vol. 13. No. 4. P. 645–670.
12. Meyer T. R., Roy S., Belovich V. M., Corporan E., Gord J. R. Simultaneous planar laser-induced incandescence, OH planar laser-induced fluorescence, and droplet Mie scattering in swirl-stabilized spray flames // Appl. Optics, 2005. Vol. 44. No. 3. P. 445–454.
13. Burkert A., Paa W. Ignition delay times of single kerosene droplets based on formaldehyde LIF detection // Fuel, 2016. Vol. 167. P. 271–279.
14. Thurber M. C., Grisch F., Kirby B. J., Votsmeier M., Hanson R. K. Measurements and modeling of acetone laser-induced fluorescence with implications for temperature-imaging diagnostics // Appl. Optics, 1998. Vol. 37. No. 21. P. 4963–4978.
15. Miller V. A., Gamba M., Mungal M. G., Hanson R. K. Single- and dual-band collection toluene PLIF thermometry in supersonic flows // Exp. Fluids, 2013. Vol. 54. No. 6. P. 1539.
16. Lachney E. R., Clemens N. T. PLIF imaging of mean temperature and pressure in a supersonic bluff wake // Exp. Fluids, 1998. Vol. 24. No. 4. P. 354–363.
17. Lee T., Bessler W. G., Kronmayer H., Schultz C., Jeffries J. B. Quantitative temperature measurements in high-pressure flames with multiline NO-LIF thermometry // Appl. Optics, 2005. Vol. 44. No. 31. P. 6718–6728.
18. Bessler W. G., Schulz C. Quantitative multi-line NO-LIF temperature imaging // Appl. Phys. B Lasers O., 2004. Vol. 78. No. 5. P. 519–533.
19. Giezendanner-Thoben R., Meier U., Meier W., Aigner M. Phase-locked temperature measurements by two-line OH PLIF thermometry of a self-excited combustion instability in a gas turbine model combustor // Flow Turbul. Combust., 2005. Vol. 75. No. 1–4. P. 317–333.
20. Ayoola B., Hartung G., Armitage C. A., Hult J., Cant R. S., Kaminski C. F. Temperature response of turbulent premixed flames to inlet velocity oscillations // Exp. Fluids, 2009. Vol. 46. No. 1. P. 27.
21. Halls B. R., Hsu P. S., Roy S., Meyer T. R., Gord J. R. Two-color volumetric laser-induced fluorescence for 3D OH and temperature fields in turbulent reacting flows // Opt. Lett., 2018. Vol. 43. No. 12. P. 2961–2964.
22. Devillers R., Bruneaux G., Schulz C. Development of a two-line OH-laser-induced fluorescence thermometry diagnostics strategy for gas-phase temperature measurements in engines // Appl. Optics, 2008. Vol. 47. No. 31. P. 5871–5885.
23. Kostka S., Roy S., Lakusta P. J., Meyer T. R., Renfro M. W., Gord J. R., Branam R. Comparison of line-peak and line-scanning excitation in two-color laser-induced fluorescence thermometry of OH // Appl. Optics, 2009. Vol. 48. No. 32. P. 6332–6343.
24. Heinze J., Meier U., Behrendt T., Willert C., Geigle K. P., Lammel O., Lückelath R. PLIF thermometry based on measurements of absolute concentrations of the OH radical // Z. Phys. Chem., 2011. Vol. 225. No. 11–12. P. 1315–1341.
25. Copeland C., Friedman J., Renksizbulut M. Planar temperature imaging using thermally assisted laser induced fluorescence of OH in a methane–air flame // Exp. Therm. Fluid Sci., 2007. Vol. 31. No. 3. P. 221–236.
26. Bülter A., Lenhard U., Rahmann U., Kohse-Höinghaus K., Brockhinke A. LASKIN: Efficient simulation of spectra affected by energy transfer // Laser Applications to Chemical and Environmental Analysis Proceedings. — Optical Society of America, 2004. Paper TuE4.
27. Janus B., Dreizler A., Janicka J. Experiments on swirl stabilized non-premixed natural gas flames in a model gasturbine combustor // P. Combust. Inst., 2007. Vol. 31. No. 2. P. 3091–3098.

Поступила в редакцию 15.11.2019