

# Research Progress of Laser Filamentation by Using Axicon

Fei Wang, Lanzhi Zhang\*, Junwei Chang, Dongwei Li, Zuoqiang Hao

School of Science, Changchun University of Science and Technology, Changchun Jilin  
Email: [lzzhang@cust.edu.cn](mailto:lzzhang@cust.edu.cn)

Received: May 2<sup>nd</sup>, 2018; accepted: May 17<sup>th</sup>, 2018; published: May 24<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

When the ultrashort pulse laser power is higher than its self-focusing critical power in optical media, the laser will form plasma filament due to the dynamic balance between the nonlinear Kerr self-focusing and plasma defocusing effects. The filament has a very broad application due to its unique advantages in many research fields. In the different fields of the femtosecond laser filamentation, the conical lens, also called axicon, is often chose as a focal element which has a very important property of long focal depth. This paper discusses the research progress of femtosecond laser filamentation in solid, liquid and gas by using conical lens respectively, and summarizes the characteristics of filamentation in different nonlinear media, which provides a helpful reference for the application of the conical lens.

## Keywords

Femtosecond Filamentation, Axicon, Bessel Beam

---

# 超快激光经圆锥透镜成丝传输研究进展

王 飞, 张兰芝\*, 常峻巍, 李东伟, 郝作强

长春理工大学理学院, 吉林 长春  
Email: [lzzhang@cust.edu.cn](mailto:lzzhang@cust.edu.cn)

收稿日期: 2018年5月2日; 录用日期: 2018年5月17日; 发布日期: 2018年5月24日

---

## 摘 要

当超短脉冲激光功率大于其在光学介质中的自聚焦临界功率时, 由于克尔自聚焦和等离子体散焦效应的

\*通讯作者。

动态平衡作用，会在介质中形成等离子体细丝。等离子体丝具有很多独特的优点而在很多研究领域有着很广阔的应用。针对飞秒激光成丝的不同应用领域，圆锥透镜因其对光束不同的汇聚方式成为一种成丝优化控制的具有独特优势的光学元件。本文论述了飞秒激光经圆锥透镜在固体、液体、气体等介质中所形成等离子体丝及其伴随的非线性效应的变化规律，并对不同非线性介质成丝的特点进行了归纳总结，为更好地使用圆锥透镜进行成丝控制提供有益的参考。

## 关键词

飞秒激光成丝，圆锥透镜，贝塞尔光束

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

圆锥透镜又称为轴锥镜，是由一个平面和一个圆锥面所组成的光学元件。圆锥透镜常用来产生贝塞尔光束或者锥形光束[1]，因其具有无衍射特性而被广泛应用在激光打孔[2]、微纳加工[3]、精密准直[4]等领域。圆锥透镜由于具有普通透镜显然不同的能量分配方式引起了飞秒激光成丝领域的广泛关注。飞秒激光成丝是 Braun 等人于 1995 年发现的一种非线性光学现象，其基本的物理过程为：超强飞秒激光在空气中传输时，由于非线性克尔自聚焦效应，激光强度逐渐增大，当达到空气的电离阈值时，电离空气产生等离子体，而产生的等离子体又会对激光束产生散焦作用，当这两种作用达到动态平衡时，激光脉冲在时间空间的分布上达到稳定，激光束成丝传输，形成很长的等离子体细丝[5]。面向不同的应用，飞秒激光成丝的研究相应地具有若干研究方向；然而，无论是进行白光激光雷达，还是进行空气激光研究，都希望激光成丝或伴随的非线性过程是稳定的、可控的、可反馈优化的；因此，成丝的优化控制对所有相关的应用研究都是非常关键的。人们已经通过很多手段对成丝进行过优化和控制，例如：使用相位板[6]、光阑[7]、时间空间啁啾[8] [9]、变形镜[10] [11]、液晶空间光调制器[12]、利用分子取向[13]、圆锥透镜[14]等，都获得了不同程度的控制效果。其中，使用圆锥透镜对飞秒激光成丝的优化控制能够比较方便地获得更长的等离子体细丝[15]，甚至可以形成环形的多丝分布[16]，这在激光引雷、微波传输等领域至关重要。截至目前，人们利用圆锥透镜已经实现了飞秒激光在空气[17]、氩气[18]、熔融石英[19]、K108 玻璃[20]、水[21]、氟化钡[22]和甲醇[23]等光学介质中的成丝优化控制。本文中，我们按照光学介质的不同系统阐述了飞秒激光经圆锥透镜的成丝传输及其超连续辐射等非线性效应的产生，列举了圆锥透镜在超快激光成丝领域的最新研究进展。

## 2. 超快激光经圆锥透镜在空气中的成丝传输

在气体中获得长距离传输以及可控的等离子体细丝一直是飞秒激光成丝领域的研究重点，研究的主要内容集中在成丝长度的延长以及成丝分布的可控方面。

首先，为了延长成丝长度，人们往往采用增加初始激光能量的方法，这时，激光会有多丝形成，对于激光传输方向上的长度延长效果并不显著。2008 年，Polynkin 等人使用圆锥透镜并通过改变能量和脉冲啁啾实现了激光在空气中的成丝长度的延长以及成丝位置的控制[17]。圆锥透镜实现成丝长度优化控制的重要原因是光束经圆锥透镜会形成环形分布的贝塞尔光束，贝塞尔光束的外环类似一个“能量背景池”，

能够持续提供能量,进而使等离子体丝得到了延长。进一步,他们还研究了飞秒激光经圆锥透镜在空气中成丝过程中光轴上的激光强度[24]。研究表明,适当的脉冲啁啾有利于成丝的延长,引起这种现象的原因是适当的脉冲啁啾提高了其光轴上的激光强度,进而支持成丝的继续延长。2009年,Abdollahpour等人通过在圆锥透镜前放置凹透镜,实现了紫外皮秒激光空气中等离子体丝长度的延长,最长延长了一个量级[25]。使用凹透镜和圆锥透镜的组合,本质上相当于对圆锥透镜的锥角进行了改变,增加了圆锥透镜的焦深区域,进而提供了一种便捷的成丝控制手段。

其次,在激光成丝分布的控制方面,规则的多丝分布不仅是成丝领域学者研究的一个重点,其潜在的应用价值在白光阵列[26]、微波通道[27]、精密加工[28]等方面已经引起了人们的高度重视。然而,在空气中控制多丝的分布有很多方法,其中包括引入像散、改变波前相位、改变入射光束椭圆度、使用圆锥透镜[29]等。其中,使用圆锥透镜在控制多丝的分布方面有着显著的特点,不但可以减小多丝情况的发生[30],也可以抑制空气扰动的影响。在理论上,孙晓东等人理论模拟了使用圆锥透镜阵列控制激光多丝的分布情况[16],研究表明,与单圆锥透镜、普通透镜相比,激光多丝的分布更加有规律。在考虑空气扰动的实际情况下,空气扰动不仅会对多丝的分布造成影响[31],多丝数量也会发生明显变化,而使用圆锥透镜能够有效抑制空气的“湍流现象”[32]。但是,截至目前,使用圆锥透镜阵列在空气中进行多丝控制的研究主要集中在理论模拟,尚无实验验证的报道。

### 3. 超快激光经圆锥透镜在固体中的成丝传输

超快激光在固体中的成丝传输不仅对于激光微加工,也对成丝超连续辐射的产生等领域有极其重要的意义。研究人员提出了多种方法在多种介质中实现了固体介质中的激光成丝优化和控制。

2006年,Kompanets等人研究了飞秒激光分别经普通透镜和圆锥透镜在K108玻璃中的成丝传输,对比分析了成丝过程产生的锥角辐射[20]。研究表明,飞秒激光经普通透镜在玻璃中产生了很多无序相邻的丝,而使用圆锥透镜时可以获得具有再次自聚焦过程的单丝。相对于普通透镜情况,使用圆锥透镜所产生的锥角辐射圆环的数目更多,强度分布也更均匀。实验中改变了透镜的焦距获得了相对延长的等离子体丝,但发现伴随着等离子体丝的延长,电子密度发生了改变[33],这种改变会扰乱等离子体丝稳定性,从而在石英固体中形成无序相邻的等离子体丝。Dota等人使用了氟化钡晶体作为激光成丝的介质[22],他们研究了不同脉冲能量以及圆锥透镜角度情况下等离子体丝和超连续辐射的变化规律[34]。研究表明,改变能量时,圆锥透镜不仅可以实现等离子体丝长度的优化控制,也可以控制成丝的起始位置。尽管固体介质与空气相比,成丝的阈值功率低,圆锥透镜仍需要较高的能量来达到固体介质成丝的阈值功率进而实现成丝的优化控制。通过优化介质与圆锥透镜的距离,还可以实现成丝超连续辐射光谱更大的展宽。Majus等人使用蓝宝石晶体作为激光成丝介质[35],对比研究了高斯光束和贝塞尔光束在蓝宝石晶体中成丝过程中的超连续辐射现象。研究表明,这两种光束所经历的时间过程实际上是类似的。Chekalin等人对比研究了中心波长800 nm和1800 nm的飞秒激光经圆锥透镜在熔融石英中的成丝传输[36],研究结果揭示,使用1800 nm的激光更有利于抑制多丝的产生。

总之,使用圆锥透镜可以有效控制飞秒激光在不同种类的固体介质中的成丝,另外,固体介质与气体介质相比,无论是等离子体丝还是成丝伴随的超连续辐射,都表现出独特的优点,例如,等离子体丝稳定性更好、长度更容易控制、超连续辐射转化效率更高。

### 4. 超快激光经圆锥透镜在液体中的成丝传输

相对于使用圆锥透镜控制飞秒激光在气体和固体中成丝,成丝领域的学者在液体中所做研究较少,主要使用的介质为甲醇和水。

2005年, Polesana 等人进行了使用圆锥透镜控制皮秒激光在甲醇中的成丝实验和理论模拟研究[15], 结果表明, 贝塞尔光束与高斯光束相比在甲醇液体中可以获得相对较长的等离子体丝。并进一步研究了激光不同传输位置处的多丝分布情况, 发现改变介质在焦深区域的位置可以影响等离子体丝的长度、多丝的分布及伴随的非线性效应等, 但是决定成丝的位置及数量的最终因素取决于入射激光能量、脉冲宽度、光斑尺寸和圆锥透镜的角度。孙晓东等人发现光束的均匀性也会对多丝分布产生影响[23], 根本原因在于激光光束的不均匀性经圆锥透镜后会对所产生贝塞尔光束的对称性造成扰动, 导致多丝的杂乱分布, 最终影响了成丝的稳定。

2007年, Dubietis 等人使用圆锥透镜对波长为 527nm 的激光在水中成丝控制[37], 研究发现光轴上的超连续辐射来源于圆锥透镜形成的贝塞尔光束的自聚焦过程。Kaya 等人使用空间光调制器控制贝塞尔光束外环的数量在水中获得了不同长度的等离子体丝[21], 通过增加贝塞尔光束外环的数量能有效地增加等离子体丝的峰值强度和长度, 引起这种现象的原因是贝塞尔光束外环类似一个能量背景池。研究结果还表明, 光束外环的数量越多, 可以提供给内环的能量就越多, 等离子体丝的长度就越长。

## 5. 结束语

本文论述了飞秒激光经圆锥透镜在气体、固体和液体中成丝及其超连续辐射的特点, 讨论了近年来圆锥透镜对于成丝控制最新研究进展。可以看出, 在气体中使用圆锥透镜进行成丝优化控制所做的研究主要集中在延长等离子体丝的长度, 在多丝分布可控方面所做的研究相对较少, 尽管模拟证明了使用圆锥透镜可以获得更加均匀的多丝分布, 但并没有实验相验证。在固体中使用圆锥透镜进行成丝控制的研究集中在成丝的长度及伴随的非线性效应, 通过改变固体介质的种类、介质与透镜之间的距离来实现成丝的优化控制。在液体中所做的研究既可以得到相对延长的等离子体丝, 又可以得到均匀的多丝分布, 但截止目前, 液体中介质的种类仅局限于甲醇和水, 在其它液体介质中进行成丝控制有待于进一步的研究。使用圆锥透镜控制飞秒激光在非线形介质中成丝的方法包括改变能量、光斑的尺寸、引入啁啾、凹透镜、增加贝塞尔光束的外环。其本质都是改变激光能量在焦深区域内的重新分布来实现成丝的优化控制。无论是在气体、液体、固体等非线形介质中, 使用圆锥透镜与其它光学元件相比都体现出了其对于成丝长度、起始位置、多丝均匀分布及伴随的非线形效应等优化控制的独特优势, 对于实现在微波通道[28]、太赫兹的产生[38]、材料微加工[39]等方面提供更好的应用前景。

## 参考文献

- [1] Scott, G. and Mcardle, N. (1992) Efficient Generation of Nearly Diffraction-Free Beams Using Anaxicon. *Optical Engineering*, **31**, 2640-2643.
- [2] 蒋志平, 陆启生, 刘泽金. 贝塞尔光束与激光打孔[J]. 光学技术, 1997(1): 32-35.
- [3] Bhuyan, M.K., Velpula, P.K., Colombier J.P., Olivier, T., Faure, N. and Stoian, R. (2014) Single-Shot High Aspect Ratio Bulk Nanostructuring of Fused Silica Using Chirp-Controlled Ultrafast Laser Bessel Beams. *Applied Physics Letters*, **104**, 021107. <https://doi.org/10.1063/1.4861899>
- [4] Laycock, L.C. and Webster, S.C. (1992) Bessel Beams—Their Generation and Application. *Geophysical Research Journal*, **10**, 36-51.
- [5] 郝作强, 张杰. 超短脉冲强激光在空气中的传输[J]. 物理, 2004, 33(10): 741-747.
- [6] Gao, H., Chu, W., Yu, G.L., Zeng, B., Zhao, J.Y., Wang, Z., Liu, W.W., Cheng, Y. and Xu, Z.Z. (2013) Femtosecond Laser Filament Array Generated with Step Phase Plate in Air. *Optics Express*, **21**, 4612-4622. <https://doi.org/10.1364/OE.21.004612>
- [7] Hao, Z.Q., Stelmaszczyk, K., Rohwetter, P., Nakaema, W.M. and Woeste, L. (2011) Femtosecond Laser Filament-Fringes in Fused Silica. *Optics Express*, **19**, 7799-7806. <https://doi.org/10.1364/OE.19.007799>
- [8] Zeng, B., Wang, T.J., Hosseini, S., Cheng, Y., Xu, Z.Z., Liu, W.W. and Chin, S.L. (2012) Enhanced Remote Fila-



- ment-Induced Breakdown Spectroscopy with Spatio-Temporally Chirped Pulses. *Journal of the Optical Society of America B*, **29**, 3226-3230. <https://doi.org/10.1364/JOSAB.29.003226>
- [9] Xi, T.T., Zhao, Z.J. and Hao Z.Q. (2014) Filamentation of Femtosecond Laser Pulses with Spatial Chirp in Air. *Journal of the Optical Society of America B*, **31**, 321-324. <https://doi.org/10.1364/JOSAB.31.000321>
- [10] Ionin, A.A., Iroshnikov, N.G., Kosareva, O.G., Larichev, A.V., Mokrousova, D.V., Panov, N.A., Seleznev, L.V., Sinitsyn, D.V. and Sunchugasheva, E.S. (2014) Filamentation of Femtosecond Laser Pulses Governed by Variable Wavefront Distortions via a Deformable Mirror. *Journal of the Optical Society of America B Optical Physics*, **30**, 2257-2262. <https://doi.org/10.1364/JOSAB.30.002257>
- [11] Daigle, J.F., Kamali, Y., Châteauneuf, M., Tremblay, G., Théberge, F., Dubois, J., Roy, G. and Chin, S.L. (2009) Remote Sensing with Intense Filaments Enhanced by Adaptive Optics. *Applied Physics B*, **97**, 701-713. <https://doi.org/10.1007/s00340-009-3713-7>
- [12] Ackermann, R., Salmon, E., Lascoux, N. and Kasparian, J. (2006) Optimal Control of Filamentation in Air. *Applied Physics Letters*, **89**, 171117. <https://doi.org/10.1063/1.2363941>
- [13] Lu P.F., Wu, J. and Zeng, H.P. (2013) Manipulation of Plasma Grating by Impulsive Molecular Alignment. *Applied Physics Letters*, **103**, 221113. <https://doi.org/10.1063/1.4837035>
- [14] Gadonas, R., Jarutis, V., Paškauskas, R., Smilgevičius, V., Stabinis, A. and Vaičaitis, V. (2001) Self-Action of Bessel Beam in Nonlinear medium. *Optics Communications*, **196**, 309-316. [https://doi.org/10.1016/S0030-4018\(01\)01386-4](https://doi.org/10.1016/S0030-4018(01)01386-4)
- [15] Polesana, P., Faccio, D., Trapani, P., Dubietis, A., Piskarskas, A. and Couairon, A. (2005) High Localization, Focal Depth and Contrast by Means of Nonlinear Bessel Beams. *Optics Express*, **13**, 6160-6167. <https://doi.org/10.1364/OPEX.13.006160>
- [16] Sun, X.D., Gao, H., Zhang, S.W. and Liu, W.W. (2013) Numerical Simulation of the Generation of Multiple Laser Filaments by an Axicon array. *Journal of Modern Optics*, **60**, 1637-1643. <https://doi.org/10.1080/09500340.2013.850542>
- [17] Polynkin, P., Kolesik, M., Roberts, A., Faccio, D., Trapani, P. and Moloney, J. (2008) Generation of Extended Plasma Channels in Air Using Femtosecond Bessel Beams. *Optics Express*, **16**, 15733-15740. <https://doi.org/10.1364/OE.16.015733>
- [18] Song, Z. and Nakajima, T. (2010) Formation of Filament and Plasma Channel by the Bessel Incident Beam in Ar Gas: Role of the Outer Part of the Beam. *Optics Express*, **18**, 12923-12938. <https://doi.org/10.1364/OE.18.012923>
- [19] Chekalin, S.V., Dokukina, A.E., Smetanina, E.O., Kompanets, V.O. and Kandidov, V.P. (2014) Plasma Channels in a Filament of a Femtosecond Laser Pulse Focused by an Axicon. *Quantum Electronics*, **44**, 570-576. <https://doi.org/10.1070/QE2014v044n06ABEH015452>
- [20] Kompanets, V.O., Chekalin, S., Kosareva, O.G., Grigor'evskii, A.V. and Kandidov, V.P. (2006) Conical Emission of a Femtosecond Laser Pulse Focused by an Axicon into a K 108 Glass. *Quantum Electronics*, **36**, 821-824. <https://doi.org/10.1070/QE2006v036n09ABEH013195>
- [21] Kaya, G., Kaya, N., Sayrac, M., Boran, Y., Strohaber, J., Kolomenskii, A.A., Amani, M. and Schuessler, H.A. (2016) Extension of Filament Propagation in Water with Bessel-Gaussian Beams. *AIP Advances*, **6**, Article ID: 035001. <https://doi.org/10.1063/1.4943397>
- [22] Dota, K., Pathak, A., Dharmadhikari, J.A., Mathur, D. and Dharmadhikari, A.K. (2012) Femtosecond Laser Filamentation in Condensed Media with Bessel Beams. *Physical Review A*, **86**, Article ID: 023808. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.86.023808>
- [23] Gao, H., Sun, X.D., Zeng, B., Xu, S.Q., Chu, W., Liu, W.W., Cheng, Y., Xu, Z.Z. and Mu, G.G. (2012) Cylindrical Symmetry Breaking Leads to Multiple Filamentation Generation When Focusing Femtosecond Lasers with Axicons in Methanol. *Journal of Optics*, **14**, Article ID: 065203. <https://doi.org/10.1088/2040-8978/14/6/065203>
- [24] Polynkin, P., Kolesik, M. and Moloney, J. (2009) Extended Filamentation with Temporally Chirped Femtosecond Bessel-Gauss Beams in Air. *Optics Express*, **17**, 575-584. <https://doi.org/10.1364/OE.17.000575>
- [25] Abdollahpour, D., Panagiotopoulos, P., Turconi, M., Jedrkiewicz, O., Faccio, D., Trapani, P., Couairon, A., Papazoglou, D.G. and Tzortzakis, S. (2009) Long Spatio-Temporally Stationary Filaments in Air Using Short Pulse UV Laser Bessel Beams. *Optics Express*, **17**, 5052-5057. <https://doi.org/10.1364/OE.17.005052>
- [26] Cook, K., Kar, A.K. and Lamb, R.A. (2003) White-Light Supercontinuum Interference of Self-Focused Filaments in Water. *Applied Physics Letters*, **83**, 3861-3863. <https://doi.org/10.1063/1.1624640>
- [27] Châteauneuf, M., Payeur, S., Dubois, J. and Kieffer, J.C. (2008) Microwave Guiding in Air by a Cylindrical Filament Array Waveguide. *Applied Physics Letters*, **92**, Article ID: 091104. <https://doi.org/10.1063/1.2889501>
- [28] Matsuoka, Y., Kizuka, Y. and Inoue, T. (2006) The Characteristics of Laser Micro Drilling Using a Bessel Beam. *Applied Physics A*, **84**, 423-430. <https://doi.org/10.1007/s00339-006-3629-6>
- [29] 高慧, 赵佳宇, 刘伟伟. 超快激光成丝现象的多丝控制[J]. 光学精密工程, 2013, 21(3): 598-607.

- [30] Scheller, M., Mills, M., Miri, M., Cheng, W.B., Moloney, J., Kolesik, M., Polynkin, P. and Christodoulides, D. (2014) Externally Refuelled Optical Filaments. *Nature Photonics*, **8**, 297-301. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2014.47>
- [31] Zeng, T., Gao, H., Sun, X.D. and Liu, W.W. (2015) Turbulence-Induced Beam Wandering during Femtosecond Laser Filamentation. *Chinese Optics Letters*, **13**, Article ID: 070008. <https://doi.org/10.3788/COL201513.070008>
- [32] Zeng, T., Gao, H., Sun, X.D., Lin, L. and Liu, W.W. (2015) Generation of Multiple Femtosecond Laser Filaments by Using Axicon in Turbulent Air. *Laser Physics*, **25**, Article ID: 085401. <https://doi.org/10.1088/1054-660X/25/8/085401>
- [33] Kosareva, O.G., Grigor'evskii, A.V. and Kandidov, V.P. (2005) Formation of Extended Plasma Channels in a Condensed Medium upon Axicon Focusing of a Femtosecond Laser Pulse. *Quantum Electronics*, **35**, 1013-1014. <https://doi.org/10.1070/QE2005v035n11ABEH013031>
- [34] Dota, K., Dharmadhikari, J.A., Mathur, D. and Dharmadhikari, A.K. (2014) Supercontinuum Generation in Barium Fluoride Using Bessel Beams. *Chinese Journal of Physics*, **52**, 431-439.
- [35] Majus, D. and Dubietis, A. (2013) Statistical Properties of Ultrafast Supercontinuum Generated by Femtosecond Gaussian and Bessel Beams: A Comparative Study. *Journal of the Optical Society of America B*, **30**, 994-999. <https://doi.org/10.1364/JOSAB.30.000994>
- [36] Chekalin, S.V., Dokukina, A.E., Smetanina, E.O., Kompanets, V.O. and Kandidov, V.P. (2014) Plasma Channels in a Filament of a Femtosecond Laser Pulse Focused by an Axicon. *Quantum Electronics*, **44**, 570-576. <https://doi.org/10.1070/QE2014v044n06ABEH015452>
- [37] Dubietis, A., Polesana, P., Valiulis, G., Stabinis, A., Trapani, P. and Piskarskas, A. (2007) Axial Emission and Spectral Broadening in Self-Focusing of Femtosecond Bessel Beams. *Optics Express*, **15**, 4168-4175. <https://doi.org/10.1364/OE.15.004168>
- [38] Hussain, S., Singh, M., Singh, R.K. and Sharma, R.P. (2014) THz Generation by Self-Focusing of Hollow Gaussian Laser Beam in Magnetised plasma. *Europhysics Letters*, **107**, 65002. <https://doi.org/10.1209/0295-5075/107/65002>
- [39] Duocastella, M. and Arnold, C.B. (2012) Bessel and Annular Beams for Materials Processing. *Laser & Photonics Reviews*, **6**, 607-621. <https://doi.org/10.1002/lpor.201100031>

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7567, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [app@hanspub.org](mailto:app@hanspub.org)