

Application of Wald Test Particle Approximation Method in the Weak Cosmic Censorship Conjecture

Ming Zhang, Yu Song

Faculty of Science, Xi'an Aeronautical University, Xi'an Shaanxi
Email: zhangming@xaau.edu.cn

Received: Aug. 2nd, 2018; accepted: Aug. 15th, 2018; published: Aug. 22nd, 2018

Abstract

The naked singularities will break down all the laws of physics. Roger Penrose conceived the Cosmic Censorship Conjecture (CCC) to avoid the naked singularities. A gedanken experiment was given by Wald in 1974 to investigate the CCC. We reviewed the Wald's gedanken experiment and introduced the research progress in recent years.

Keywords

Weak Cosmic Censorship Conjecture, Black Hole, Singularities

Wald测试粒子近似方法在弱的宇宙监督假设中的应用

张明, 宋宇

西安航空学院理学院, 陕西 西安
Email: zhangming@xaau.edu.cn

收稿日期: 2018年8月2日; 录用日期: 2018年8月15日; 发布日期: 2018年8月22日

摘要

裸时空奇点会使所有物理定律在该点失效, 彭罗斯提出了宇宙监督假设猜想来避免宇宙中出现裸露的奇点。Wald于1974年提出一个思想实验来考察宇宙监督假设在特定背景下是否成立。本文回顾了Wald

当年提出的思想实验, 并介绍了一些近些年来基于该思想实验来证明/证伪该猜想的研究成果。

关键词

弱宇宙监督假设, 黑洞, 奇点

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

在广义相对论框架下, 人们通过对超大质量天体引力坍缩的研究发现: 引力坍缩最终结果是形成黑洞还是裸奇点依赖于坍缩初始条件的选取。一般情况下, 引力坍缩将产生曲率和密度都发散的奇点, 这些奇点被事件视界隐藏, 但有些情形下, 俘获面不能将奇点遮盖, 这样外部观测者可以看到裸奇点, 裸奇点可以和外部的观测者产生相互的作用。

最早提出奇点这个概念的时候, 有些研究者认为奇点是由于时空中包含很高的对称性而造成的, 人们希望通过减少对称性来试图消除奇点。然而霍金和彭罗斯在研究时空的结构和奇点问题时发现, 只要满足几个合理的物理假设, 则奇点不可避免[1]。也就是说时空奇点是广义相对论的一个一般的特征。事实上, 在另外一些时空流形架构的引力理论中, 如果以上这些条件成立, 则奇点大都不可避免。奇点定理虽然没有告诉我们奇点的本质是什么, 但是它确实说明了广义相对论在奇点处的失效。因而奇点可能会造成一些我们无法预测的结果[2]。

彭罗斯在研究球对称引力塌缩形成黑洞时, 发现奇点被类时的测地线所隐藏。受此启发, 彭罗斯在1969年的论文[3]中提出宇宙监督假设: 所有因引力塌缩而形成的物理奇点都会被隐藏在事件视界之内。这个假设也意味着宇宙中不存在裸奇点—即没有隐藏在事件视界之内而可以被观测者观测到的奇点。彭罗斯这个猜想用事件视界摒除了裸奇点出现的可能, 认为任何物理上真实的坍缩都不会造成裸奇点的出现, 形象的说就是“上帝憎恶裸奇点”。然而这一假设并不否认爱因斯坦方程存在含有裸奇性的解(例如: Taub 的平面对称真空解和 $M < 0$ 的施瓦西解都是裸奇性解)。

弱的宇宙监督假设主要针对渐近近似平直的时空[4], 它描述一个由引力坍缩形成的奇点不会对未来类光无穷远附近的点造成影响。在这种假设下, 由坍缩的星体形成的奇点必然隐藏在视界的后面, 观测者无法直接看到奇点, 但我们可以通过引力透镜来区分出哪些是黑洞形成的奇点[5] [6] [7] [8]。

彭罗斯提出宇宙监督假设已半个世纪了, 时至今日, 依然没有任何直接的证据表明它是正确的[2] [9] [10], 奇性问题依然是广义相对论中的最重要的开放性问题之一, 广义相对论和一切已知理论在奇点处的失效说明我们现有理论有待进一步完善, 而揭示奇点的本质有可能会为我们打开一扇量子引力之门。彭罗斯的宇宙监督假设虽然用视界暂时回避了这一问题, 但人们并不满足于这一假设, 对这一问题的探求依然在继续。一些研究者通过在某些特定条件下举出反例来证实宇宙监督假设被违反, 从而说明宇宙监督假设并不是普适的。第二章里我们介绍由物理学家 Wald 提出的一种比较常见的考察宇宙监督假设的方法, 第三章我们介绍这一基本的研究方法在实际中的应用。

2. Wald 测试粒子近似方法介绍

根据弱宇宙监督假设(WCCC), 所有由引力坍缩形成的奇点都必须隐藏在视界后面[3], 无穷远处观

者无法直接观测到裸奇点。对于一个已坍缩形成视界的黑洞, 我们是否有办法观测到它的奇点, 从而出现 WCCC 违反呢? 1974 年, Wald 设计了一个理想试验[11], 一个处于极端状态的 Kerr-Newman 黑洞捕获一个带有角动量和电荷的测试粒子, 如果测试粒子穿过视界后造成黑洞的事件视界消失, 这也就意味着黑洞被破坏, 将导致裸奇点对远处观者可见, WCCC 出现违反。

为了将粒子对黑洞背景时空的影响降到最低, 粒子质量 m 、电荷 q 和角动量 L 远小于黑洞的质量 M 、电荷 Q 和角动量 J 。为计算的简便, 我们可以选取粒子和黑洞的电荷都为正, 黑洞角动量与粒子角动量方向一致。黑洞吸收粒子后其参数和视界半径将发生变化, 我们可以利用这些新的参数来判断黑洞视界是否消失。

Kerr-Newman [12]黑洞的线元为

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2Mr - Q^2}{\rho^2}\right) dt^2 + \frac{\rho^2}{\Delta} dr^2 + \rho^2 d\theta^2 + \left[(r^2 + a^2) \sin^2 \theta + \frac{(2Mr - Q^2) a^2 \sin^4 \theta}{\rho^2} \right] d\phi^2 - \frac{2(2Mr - Q^2) a \sin^2 \theta}{\rho^2} dt d\phi \tag{1}$$

其中 $\rho^2 \equiv r^2 + a^2 \cos^2 \theta$, $\Delta \equiv r^2 - 2Mr + a^2 + Q^2$ 。 $a = J/M$ 是单位质量的角动量, M 为黑洞质量, Q 是黑洞电荷。这个黑洞的事件视界半径为

$$r_+ = M + \sqrt{M^2 - Q^2 - a^2} \tag{2}$$

在极端黑洞情况下满足条件

$$M^2 = Q^2 + a^2 \tag{3}$$

Kerr-Newman 黑洞拥有事件视界必须要满足条件

$$M^2 \geq Q^2 + a^2 \tag{4}$$

如果极端 Kerr-Newman 黑洞吸收测试粒子后有

$$M^2 < Q^2 + a^2 \tag{5}$$

则我们说黑洞吸收了测试粒子后黑洞事件视界消失, 裸奇点可以被远处的观者看到, 出现了 WCCC 的违反。

当一个能量为 E 、电荷为 q 和角动量为 L 的粒子被质量为 M 、电荷为 Q 和角动量为 J 的黑洞吸收后, 黑洞的电荷变为 $q+Q$, 角动量为 $aL+J$, 总质量不超过 $M+E$ (不考虑黑洞辐射), 形成裸奇点的条件变为

$$(M+E)^2 < \left(\frac{aM+L}{M+E}\right)^2 + (q+Q)^2 \tag{6}$$

由于测试粒子的参数选取要求 $m \ll M$, $q \ll Q$, $L \ll J$, 我们可以做测试粒子近似(test particle approximation), 对方程(6)取一阶线性近似, 可以得到要使黑洞视界消失, 测试粒子的能量必须满足

$$E < \frac{QqM + aL}{M^2 + a^2} \tag{7}$$

从上式我们知道, 如果粒子能够破坏黑洞, 则粒子的最大能量要满足方程(7)。

在一个弯曲的时空中, 一个带电粒子从无穷远能够达到黑洞视界需要的最小能量和其角动量有关系 [11]:

$$E = \frac{g_{t\phi}}{g_{\phi\phi}}(qA_\phi - L) - qA_t + \sqrt{\left(\frac{g_{t\phi}^2 - g_{\phi\phi}g_{tt}}{g_{\phi\phi}^2}\right)\left((L - qA_\phi)^2 + m^2 g_{\phi\phi}(1 + g_{rr}\dot{r}^2 + g_{\theta\theta}\dot{\theta}^2)\right)} \quad (8)$$

这样, 我们得到了一个粒子能到达事件视界所需的最小能量

$$E > \frac{g_{t\phi}}{g_{\phi\phi}}(qA_\phi - L) - qA_t \quad (9)$$

综合(7)式和(9)式, 测试粒子能破坏黑洞事件视界需要满足的能量范围为

$$E_{\min} < E < E_{\max} \quad (10)$$

这里我们用 E_{\min} 表示测试粒子能量最小值, E_{\max} 表示最大值。

3. Wald 测试粒子方法研究综述

3.1. 考虑高阶修正后极端 Kerr-Newman 黑洞的视界破坏

Wald 假想试验发现极端的 Kerr-Newman 黑洞通过捕获一个测试粒子是无法出现裸奇点的, Wald 在计算时对粒子一些参数作了线性近似。后来有研究者指出[13], 在不作线性近似的情况下, 测试粒子是可以破坏一个极端的 Kerr-Newman 黑洞的, 其所允许的破坏黑洞的粒子的能量范围很窄。定义新参量 W

$$W = (M + E)^2 \quad (11)$$

方程(6)可以重新写为

$$W^2 - (Q + q)^2 - (aM + L)^2 < 0 \quad (12)$$

这就意味着

$$W_1 < W < W_2, \quad (13)$$

$$W_{1,2} = \frac{(Q + q)^2 \pm \sqrt{(Q + q)^4 + 4(aM + L)^2}}{2} \quad (14)$$

上面所给出的粒子最小能量可以写作

$$W > \left(\frac{aL + qQM}{a^2 + M^2} + M\right)^2 \equiv W_3 \quad (15)$$

则黑洞视界能够被破坏掉的区间范围是

$$s \equiv W_2 - W_3 = \frac{(Q + q)^2 + \sqrt{(Q + q)^4 + 4(aM + L)^2}}{2} - \left(\frac{aL + qQM}{a^2 + M^2} + M\right)^2 > 0 \quad (16)$$

这项研究说明在考虑到高阶效应修正后, 在吸收一个测试粒子后, Kerr-Newman 黑洞的视界可能会被破坏掉, 相应的会违反弱宇宙监督假设。

3.2. 近极端 RN 黑洞视界破坏

Hubeny 指出[14], 通过向一个近极端的 RN 黑洞投入一个带电的粒子, 黑洞的视界可以被破坏。其中粒子的最小能量 E

$$E > \frac{qQ}{r_+} \quad (17)$$

$$r_+ = M + \sqrt{M^2 - Q^2} \quad (18)$$

这个条件保证了粒子能够掉入黑洞。另外, 根据 RN 黑洞视界半径的表达式(18), 可以给出能使黑洞视界被破坏掉的最大粒子能量

$$E < Q + q - M \quad (19)$$

因此, 带电粒子的电荷 q 必须满足条件

$$q > r_+ \left(\frac{M - Q}{r_+ - Q} \right) = \frac{r_+ - Q}{2} \quad (20)$$

根据 RN 黑洞的具体形式, 可以发现对于非极端 RN 黑洞, 我们是可以找到满足条件(17)和(20)的测试粒子, 以使得黑洞视界被破坏, 对于极端 RN 黑洞来说, 是无法找到同时满足条件(17)和(20)的测试粒子, 说明该极端 RN 黑洞在吸收带电粒子后仍能保持为黑洞。作者计算出能破坏掉非极端黑洞的测试粒子质量的范围

$$m < Q \sqrt{\frac{-E^2 + 2 \frac{M}{Q} E q - q^2}{M^2 - Q^2}} \quad (21)$$

相应的, 作者给出测试粒子参数的选取方法: 1) 对于给定质量和电荷的黑洞, 首先选择好满足条件(20)的粒子电荷 q 。2) 再挑选满足条件(17)和(20)的粒子能量 E 。3) 最后再选择满足条件(21)的粒子质量 m 。这样选出的粒子一定能够破坏该黑洞视界。

3.3. 近极端 Kerr 黑洞视界面的破坏

Jacobson 和 Sotiriou 研究发现[15], 一个近极端的 Kerr 黑洞视界可以通过捕获一个有角动量的粒子被破坏。文章中定义测试粒子带有 δE 的能量和 δJ 的角动量。为了使测试粒子能够掉入黑洞, 其角动量必须满足条件

$$\delta J > \delta J_{\min} = (M^2 - J) + 2M\delta E + (\delta E)^2 \quad (22)$$

同时, 为了满足零能量条件, 粒子角动量有一个上限值

$$\delta J < \delta J_{\max} = \frac{2Mr_+}{a} \delta E \quad (23)$$

当粒子的最小角动量都大于最大角动量的时候, 就意味着黑洞的视界面被破坏了。

3.4. 近极端 Kerr-Newman 黑洞视界面的破坏

而在最近, Saa 等人的研究表明[16], 在忽略测试粒子对背景时空影响的情况下, 一个近极端的 Kerr-Newman 黑洞可以被一个带电的测试粒子破坏, 并指出了测试粒子需要满足的破坏能量区间。对于近极端 KN 黑洞来说, 吸收一个测试粒子, 其视界面能够被破坏, 粒子的能量 E 拥有一个上限

$$E < E_{\max} = \frac{QeM + aL}{M^2 + a^2} - \frac{M^3}{2(M^2 + a^2)} \left(\frac{\delta}{M} \right)^2 \quad (24)$$

同时, 为了保证粒子能够被黑洞捕获, 能量 E 拥有一个下限

$$E \geq A - B \left(\frac{\delta}{M} \right) - \left(\frac{(2 + \sin^2 \alpha) A - 4B}{2 + 2 \cos^2 \alpha} \right) \left(\frac{\delta}{M} \right)^2 \quad (25)$$

其中

$$A = \frac{(L/M) \cos \alpha + e \sin \alpha}{1 + \cos^2 \alpha} \geq 0 \quad (26)$$

$$B = \frac{(L/M) \cos \alpha + e \sin^3 \alpha}{(1 + \cos^2 \alpha)^2} \geq 0 \quad (27)$$

$$a = \sqrt{M^2 - \delta^2} \cos \alpha \quad (28)$$

$$Q = \sqrt{M^2 - \delta^2} \sin \alpha \quad (29)$$

当黑洞退化为极端黑洞时($\delta=0$)时, 我们发现结论就退化为 Wald 研究极端 KN 黑洞时的结论($E_{\max} = E_{\min}$)。当黑洞是近极端黑洞时, 我们就能够找到可以使得黑洞视界面破坏的合适的粒子。

3.5. 更多的研究进展

以上几种基于 Wald 的思想实验方法来考察弱宇宙监督假设, 均得到弱宇宙监督假设可能被违反的情况。而在文献[17] [18] [19]中, Bouhmadi-Lopez 等人对粒子参数作线性近似, 发现在大多数情况下很难破坏一个极端黑洞视界。另外, 前面介绍的这些研究并未考虑测试粒子的电磁辐射以及粒子本身对背景时空影响这些因素, Barausse 等人研究了粒子对背景时空影响的情况[20] [21] [22] [23], 提出在自力(self-force)守恒的情况下, 裸奇点的出现可能会避免[20]。Isoyama 等人提出如果考虑粒子对背景时空的影响, 则用测试粒子方法验证的 RN 黑洞的 WCCC 违反可能会避免[24]。

除了研究粒子对黑洞的破坏外, 研究者们还考察了场与黑洞的相互作用对黑洞视界的破坏[25] [26] [27] [28] [29]。另外, Felice 等人[30]还发现, 一个极端的 RN 黑洞在吸收一个转动的测试物体后可能会产生一个 Kerr-Newman 时空的一个裸奇点。Matsas、Richartz 和 Saa 等人还考虑了量子隧穿过程, 指出如果考虑这一量子效应的话, 对一个近极端的黑洞是可能出现 WCCC 违反的[31] [32]。总而言之, 对于验证弱的宇宙监督假设仍需要我们不断的去探索和创新, 相信在未来的某一天我们可以得到确定的证明和结论。

参考文献

- [1] Hawking, S.W. and Ellis, G.F.R. (1973) *The Large Scale Structure of Space-Time*. Cambridge University Press, London, New York. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511524646>
- [2] Wald, R.M. (1999) Gravitational Collapse and Cosmic Censorship. *Fundamental Theories of Physics*, **100**, 69. gr-qc/9710068. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0934-7_5
- [3] Penrose, R. (1969) Gravitational Collapse: The Role of General Relativity. *Nuovo Cimento Rivista Serie*, **1**, 1141-1165.
- [4] Joshi, P.S. (2007) *Gravitational Collapse and Spacetime Singularities*. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511536274>
- [5] Virbhadra, K.S. and Ellis, G.F.R. (2000) Schwarzschild Black Hole Lensing. *Physical Review D*, **62**, Article ID: 084003. [astro-ph/9904193] <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.62.084003>
- [6] Virbhadra, K.S. and Ellis, G.F.R. (2002) Gravitational Lensing by Naked Singularities. *Physical Review D*, **65**, Article ID: 103004. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.65.103004>
- [7] Virbhadra, K.S. (2009) Relativistic Images of Schwarzschild Black Hole Lensing. *Physical Review D*, **79**, Article ID: 083004. arXiv:0810.2109 [gr-qc].

- [8] Virbhadra, K.S. and Keeton, C.R. (2008) Time Delay and Magnification Centroid due to Gravitational Lensing by Black Holes and Naked Singularities. *Physical Review D*, **77**, Article ID: 124014. arXiv:0710.2333 [gr-qc]. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.77.124014>
- [9] Penrose, R. (1999) The Question of Cosmic Censorship. *Journal of Astrophysics and Astronomy*, **20**, 233. <https://doi.org/10.1007/BF02702355>
- [10] Jacobson, T. and Sotiriou, T.P. (2010) Destroying Black Holes with Test Bodies. *Journal of Physics: Conference Series*, **222**, Article ID: 012041. arXiv:1006.1764 [gr-qc].
- [11] Wald, R.M. (1974) Gedanken Experiments to Destroy a Black Hole. *Annals of Physics*, **82**, 548. [https://doi.org/10.1016/0003-4916\(74\)90125-0](https://doi.org/10.1016/0003-4916(74)90125-0)
- [12] Newman, E.T., Couch, R., Chinnapared, K., et al. (1965) Metric of a Rotating, Charged Mass. *Journal of Mathematical Physics*, **6**, 918-919. <https://doi.org/10.1063/1.1704351>
- [13] Gao, S. and Zhang, Y. (2013) Destroying Extremal Kerr-Newman Black Holes with Test Particles. *Physical Review D*, **87**, Article ID: 044028. arXiv:1211.2631 [gr-qc]. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.87.044028>
- [14] Hubeny, V.E. (1999) Overcharging a Black Hole and Cosmic Censorship. *Physical Review D*, **59**, Article ID: 064013. gr-qc/9808043. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.59.064013>
- [15] Jacobson, T. and Sotiriou, T.P. (2009) Over-Spinning a Black Hole with a Test Body. *Physical Review Letters*, **103**, Article ID: 141101. Erratum: *Physical Review Letters*, **103**, Article ID: 209903 (2009). arXiv:0907.4146 [gr-qc].
- [16] Saa, A. and Santarelli, R. (2011) Destroying a Near-Extremal Kerr-Newman Black Hole. *Physical Review D*, **84**, Article ID: 027501. arXiv:1105.3950.
- [17] Bouhmadi-Lopez, M., Cardoso, V., Nerozzi, A. and Rocha, J.V. (2010) Black Holes Die Hard: Can One Spin-Up a Black Hole Past Extremality? *Physical Review D*, **81**, Article ID: 084051. arXiv:1003.4295. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.81.084051>
- [18] Rocha, J.V. and Santarelli, R. (2014) Flowing along the Edge: Spinning up Black Holes in AdS Spacetimes with Test Particles. *Physical Review D*, **89**, Article ID: 064065. arXiv:1402.4840. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.89.064065>
- [19] Toth, G.Z. (2012) Test of the Weak Cosmic Censorship Conjecture with a Charged Scalar Field and Dyonic Kerr-Newman Black Holes. *General Relativity and Gravitation*, **44**, 2019-2035. arXiv:1112.2382. <https://doi.org/10.1007/s10714-012-1374-z>
- [20] Barausse, E., Cardoso, V. and Khanna, G. (2010) Test Bodies and Naked Singularities: Is the Self-Force the Cosmic Censor? *Physical Review Letters*, **105**, Article ID: 261102. arXiv:1008.5159. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.105.261102>
- [21] Barausse, E., Cardoso, V. and Khanna, G. (2011) Testing the Cosmic Censorship Conjecture with Point Particles: The Effect of Radiation Reaction and the Self-Force. *Physical Review D*, **84**, Article ID: 104006. arXiv:1106.1692. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.84.104006>
- [22] Zimmerman, P., Vega, I., Poisson, E. and Haas, R. (2013) Self-Force as a Cosmic Censor. *Physical Review D*, **87**, Article ID: 041501. arXiv:1211.3889. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.87.041501>
- [23] Colleoni, M. and Barack, L. (2015) Overspinning a Kerr Black Hole: The Effect of Self-Force. *Physical Review D*, **91**, Article ID: 104024. arXiv:1501.07330.
- [24] Isoyama, S., Sago, N. and Tanaka, T. (2011) Cosmic Censorship in Overcharging a Reissner-Nordström Black Hole via Charged Particle Absorption. *Physical Review D*, **84**, Article ID: 124024. arXiv:1108.6207. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.84.124024>
- [25] Semiz, I. (2011) Dyonic Kerr-Newman Black Holes, Complex Scalar Field and Cosmic Censorship. *General Relativity and Gravitation*, **43**, 833. <https://doi.org/10.1007/s10714-010-1108-z>
- [26] Semiz, I. and Düzta, K. (2015) Weak Cosmic Censorship, Superradiance and Quantum Particle Creation. *Physical Review D*, **92**, Article ID: 104021. arXiv:1507.03744.
- [27] Düzta, K. (2015) Stability of Event Horizons against Neutrino Flux: The Classical Picture. *Classical and Quantum Gravity*, **32**, Article ID: 075003. arXiv:1408.1735. <https://doi.org/10.1088/0264-9381/32/7/075003>
- [28] Düzta, K. and Semiz, I. (2013) Cosmic Censorship, Black Holes and Integer-Spin Test Fields. *Physical Review D*, **88**, Article ID: 064043. arXiv:1307.1481. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.88.064043>
- [29] Düzta, K. (2014) Electromagnetic Field and Cosmic Censorship. *General Relativity and Gravitation*, **46**, 1709. arXiv:1312.7361. <https://doi.org/10.1007/s10714-014-1709-z>
- [30] Felice, F. and Yu, Y.Q. (2001) Turning a Black Hole into a Naked Singularity. *Classical and Quantum Gravity*, **18**, 1235. <https://doi.org/10.1088/0264-9381/18/7/307>
- [31] Matsas, G.E.A. and da Silva, A.R.R. (2007) Overspinning a Nearly Extreme Charged Black Hole via a Quantum

Tunneling Process. *Physical Review Letters*, **99**, Article ID: 181301. arXiv:0706.3198.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.99.181301>

- [32] Richartz, M. and Saa, A. (2008) Overspinning a Nearly Extreme Black Hole and the Weak Cosmic Censorship Conjecture. *Physical Review D*, **78**, Article ID: 081503. arXiv:0804.3921. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.78.081503>

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: 2330-1724, 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: ojs@hanspub.org