

Research on Support Technology of Soft and Broken Roof Coal Roadway in Shangkong Coal Mine

Shaofeng Li¹, Weibo Cao², Qingsong Wang¹

¹Jinmei Shangkong Coal Industry Co. Ltd., Jincheng Shanxi

²Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan

Email: 1961359980@qq.com

Received: Dec. 18th, 2018; accepted: Jan. 7th, 2019; published: Jan. 14th, 2019

Abstract

In view of the excavation of the soft-breaking roof coal roadway of No. 9 coal seam in Shangkong Coal Industry, the control effect of bolt support on roof displacement is greatly reduced due to the discontinuity of the prestressed field of anchor and anchor cable caused by the discontinuity of roof rock mass. Because of the large amount of roof subsidence, large-scale roofing is prone to occur. Through the field test, this paper analyzes the relationship between roadway layout and ground stress field, guides the layout of roadway layout, and determines the optimal support scheme by studying the failure mechanism of surrounding rock of roadway, and proves the rationality of the scheme through on-site monitoring test. It ensures a support effect, reduces or eliminates the cost of secondary road repair, and provides technical reference for similar mine roadway support.

Keywords

Broken Roof, Coal Roadway, Bolt Support, Mine Pressure Monitoring, Field Application

上孔煤业松软破碎顶板煤巷支护技术研究

栗少锋¹, 曹伟波², 王青松¹

¹晋煤上孔煤业有限公司, 山西 晋城

²河南理工大学, 河南 焦作

Email: 1961359980@qq.com

收稿日期: 2018年12月18日; 录用日期: 2019年1月7日; 发布日期: 2019年1月14日

摘要

针对上孔煤业9#煤层松软破碎顶板煤巷开挖后,由于顶板岩体不连续导致锚杆与锚索的预应力场作用范围减小,锚杆支护对顶板位移的控制作用大大降低,因其顶板下沉量大,大面积冒顶易于发生等问题,本论文通过现场测试,分析巷道布置与地应力场的关系,指导巷道布置位置,并通过对巷道围岩破坏原因分析,确定最优支护方案,并通过现场监测试验证明了方案的合理性,确保了一次支护效果,降低二次修巷费用,为类似矿井巷道支护提供技术参考。

关键词

破碎顶板, 煤巷, 锚杆支护, 矿压监测, 现场应用

Copyright © 2019 by author(s) 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

巷道围岩支护是井工开采技术的关键。具体的巷道支护与围岩控制技术是依据具体的巷道工程地质条件,采用科学合理的设计方法,以及不断的工程实践而建立起来的。关系到具体的支护技术的最核心的因素是工程地质条件。各类地质构造如褶曲、断层等,以及埋深、岩层力学性质与地下水大大削弱了巷道支护稳定性。以松软破碎岩层为顶板的巷道控制依然是现阶段难点之一。松软破碎顶板在构造运动下裂隙发育,加上自身承载能力弱,以及遇水崩解强度降低,导致巷道开挖后围岩松动范围大,顶板下沉现象严重,顶板与两帮变形不协调,以及大面积冒顶失稳等严重后果。松软破碎顶板巷道的围岩支护与控制问题如今仍制约着煤矿巷道的安全。

目前,锚杆支护已经成为煤矿井下巷道支护的一个主要方法,国外锚杆支护技术在矿山的发展有以下特点:1) 各国都结合本国巷道围岩特点,针对性地解决一些工程中遇到的技术难题;2) 锚杆支护技术逐步完善;3) 发展锚杆施工配套设备。围绕着锚杆支护,发展了包括支护机具、安全钻机、掘进设备和运输机械等设备;4) 各国都针对本国情况提出了自己的锚杆(索)支护设计方法[1]-[9]。如澳大利亚提出了“地质调查-初始设计-工程实践-调整方案”的设计方法,该方法已在多个国家得到推广应用[10];法国在煤层赋存条件变化不大的情况下,主要运用工程类比的方法;5) 发展与锚杆(索)支护相关的监测技术,使设计方案既安全又经济,包括地应力测试、围岩强度测试围岩结构观测等。

松软破碎顶板煤巷的管理和维护一直是当前我国煤矿巷道支护的一个重点与难点。上孔煤业IX一盘区轨道上山是第一条掘进上山实体煤巷巷道,掘进过后受各方面因素影响巷道内多处出现了片帮离层现象,多处最大变形量在500 mm及以上,巷道底臃量更是超了400 mm,严重的影响了上孔煤业掘进施工。为了有效解决上山群巷道围岩控制难题,本文对IX一盘区上山群的支护技术进行深入、系统的研究,开发出适合IX一盘区上山群掘进顺序、支护方式,确定合理煤柱尺寸留设及支护方案。

2. 巷道围岩地质力学测试

目前,我国大多数矿井在巷道围岩地质力学测试工作,尚未进行过全面、系统的,导致基础参数严重不足。巷道支护设计合理性、稳定性较差、安全程度得不到保证。近年来随着煤矿资源整合的进行,

大多数新井都是在小煤窖的基础上进行改扩建，基本上没有进行过地质力学参数测量，巷道布置和支护设计凭经验来定，这与现代企业建设是不相符的。

2.1. 地应力测试

根据水力压裂曲线经水压致裂数据计算得出地应力测试计算情况：测量结果见表 1。

Table 1. Ground stress measurement results

表 1. 地应力测量结果

序号	地点	深度 (m)	垂直应力 (MPa)	水平主应力(最大/MPa)	水平主应力(最小/MPa)	水平主应力方向(最大)
1	IX 一盘区轨道上山	371	8.63	11.31	5.92	N44.9°E
2	IX 一盘区轨道上山	371	8.63	8.36	4.48	N35.1°E

2.2. 围岩强度测试

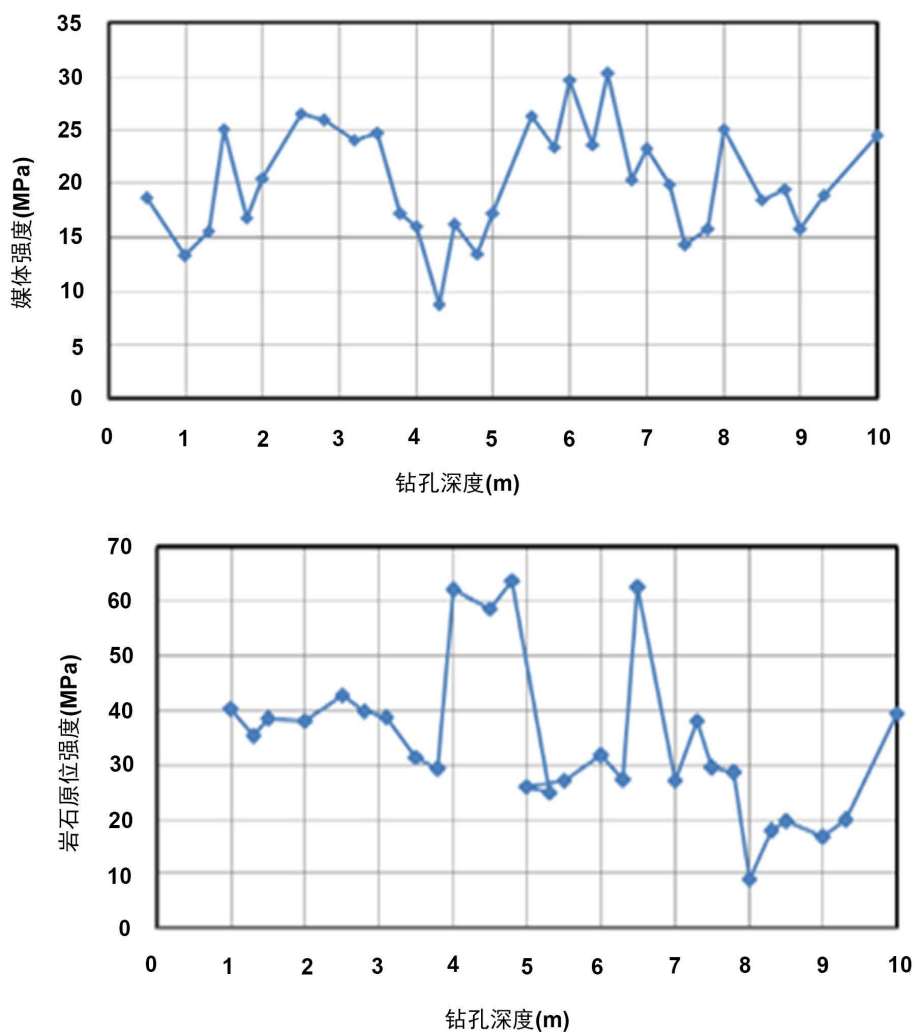


Figure 1. Test results of rock formation and coal strength of the top station of the ninth station

图 1. 第九测站顶板岩层和煤体强度测试结果

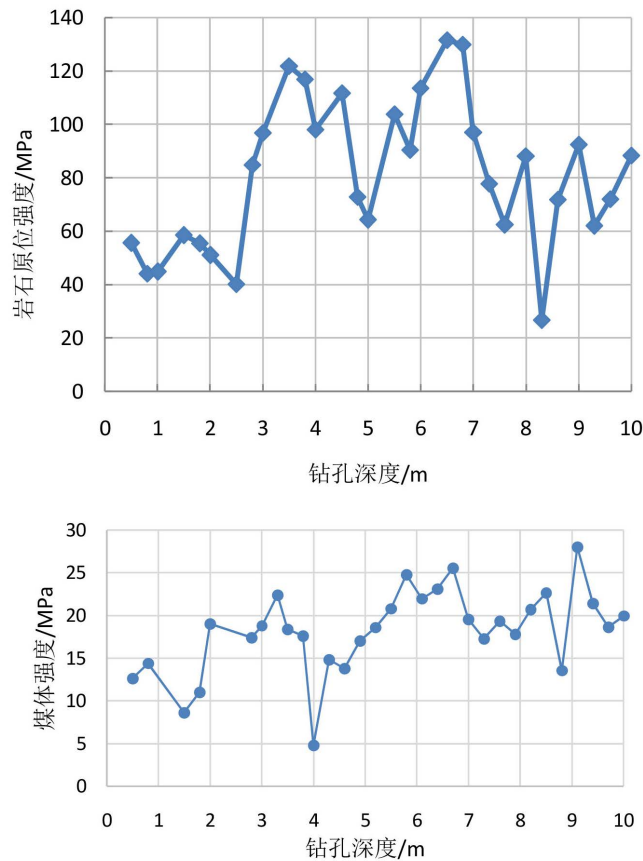


Figure 2. Tenth station roof rock and coal body strength test results
图 2. 第十测站顶板岩层和煤体强度测试结果

2.3. 测试结果分析

将上孔煤业IX一盘区 9#煤层底板等高线图，IX一盘区上山群正处于轴线方向为 NE-SW 方向的向斜及轴线方向为 NE-SW 方向的背斜交汇形成的倒转褶曲中。由于在地层形成时，发生扭转、弯曲等，造成 IX 一盘区上山群地应力异常，地应力大小及方向变化比较大，岩性变化比较大。

上孔煤业IX一盘区 9#煤直接顶板以泥质砂岩和砂质泥岩为主，老顶为致密坚硬的砂岩；如上图 1 和图 2 的结果，砂岩平均强度为 123.42 MPa，泥质砂岩平均强度 41~81 MPa 之间。但 9#煤体整体完整性较差。

3. 巷道围岩变形与破坏机理分析

在巷道围岩地质条件中，煤岩体的强度与变形特征，围岩内结构面形式、结构面分布、结构面力学参数，是影响地应力异常区域巷道围岩变形与破坏的重要因素。在结构面比较发育的围岩中，结构面是最关键的影响因素。

地应力异常区域巷道蠕变围岩岩体自身特征及所处环境决定了巷道围岩变形具有初期变形量小、持续时间长、变形已受到外力作用的特点。

3.1. 锚杆支护的加固作用机理

1) 锚杆提供的支护强度

锚固体变形模量的增加值可用下式表示

$$E_m = \frac{\pi d^2 E_b}{4l_1 l_2} \quad (1)$$

式中： E_m ——锚固体变形模量的增加值，MPa；

E_b ——钢材的弹性模量，MPa；

l_1 、 l_2 ——锚杆的间、排距，m。

杆体直径 22 mm，锚杆间排距为 $0.8 \times 0.8 \text{ m}^2$ ，钢材的弹性模量为 210 MPa，则锚固体变形模量的增加值为 161 MPa。

σ_m 可用下式表示：

$$\sigma_m = \frac{\pi d^2 \sigma_b}{4l_1 l_2} \quad (2)$$

岩石强度与其所受的围压有如下关系：

$$\sigma_1 = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \sigma_3 + \frac{2C \cdot \cos \phi}{1 - \sin \phi} \quad (3)$$

式中： σ_1 ——岩石强度，MPa；

σ_3 ——围压，MPa；

ϕ ——岩石内摩擦角，°；

C ——岩石凝聚力，MPa。

由上式可知，假设岩石的内摩擦角为 35°，则 σ_1 可提高 2.33 MPa

2) 锚杆对不连续面的加固作用

位移 u 的分量为：

$$\left. \begin{aligned} u_n &= u \sin \alpha \\ u_t &= u \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中： u_n ——法向位移量，mm；

u_t ——切向位移量，mm；

α ——位移向量与节理面之间的夹角。

在杆体与节理的交点，由位移引起的杆体中的力为 P 。设 P 与杆体之间的夹角为 β ，则：

$$\left. \begin{aligned} P_n &= P \cos \beta \\ P_t &= P \sin \beta \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中： P_n ——法向分量，kN；

P_t ——切向分量，kN。

锚杆的加固作用来自两方面的效应：杆体中的轴向拉力；切向力。

如果 α 大于节理的剪胀角，节理张开，杆体提供的节理切向抗力为：

$$C = P \sin(\theta + \beta) \quad (6)$$

如果 α 等于节理的剪胀角，则沿节理产生剪切位移，杆体提供的节理切向抗力为：

$$C = P \sin(\theta + \beta) + P \cos(\theta + \beta) \operatorname{tg} \phi \quad (7)$$

式中： θ ——杆体轴向与节理法向的夹角；

ϕ ——节理面的内摩擦角。

理论分析表明,影响杆体对节理抗剪强度作用的主要参数包括:杆体的截面,钢材的屈服强度,杆体的倾斜度,节理内摩擦角,节理剪胀角及岩石强度等。

根据已有试验结果,当 $\theta = 30^\circ$,抗压强度 $\sigma_c = 25 \text{ MPa}$, $a = 0.88$, $b = 0.39$ 。假设 $\varphi = 20^\circ$,则: $C = 1.02 P_0$ 。对于直径 22 mm 的 MSG500 杆体, $P_0 = 230 \text{ kN}$, $C = 234 \text{ kN}$ 。可见,锚杆提供的抗剪力是很大的。

综上所述,锚杆对不连续面的本质作用是提高结构面的强度以达到提高节理岩体的整体强度、完整性与稳定性。

3.2. 巷道破坏特点

1) 上孔煤业井下巷道破碎围岩变形具有受应力场影响较大,变形量大、初期变形显著、变形持续时间长等特点,而且围岩变形是突然剧烈增加的。

2) 上孔煤业围岩巷道变形破坏主要以两帮内挤、片落为主;巷道底臃现象严重,断面收缩率很大。

3) 破碎围岩巷道锚杆支护存在锚杆预应力小、杆体强度低、延伸率低等,以及护表构件(托板、钢带、金属网等)强度低、与锚杆强度匹配性比较差等缺点,显著影响了巷道支护效果。

4) 针对破碎围岩上山群,提出强力一次支理论。其显著的特点是通过采用全长预应力锚固强力锚杆锚索组合支护系统,大幅度提高锚杆支护的刚度与强度。松软破碎顶板巷道的底板移近量,以及钻孔窥视监测顶板离层和破碎状况,分析松软破碎顶板的破坏特征,结合理论分析顶板离层破碎原因;针对原方案出现的破坏状况归纳原因,为后续研究软弱顶板破坏机理及优化支护设计提供依据及基础。

4. 支护初始设计

4.1. 巷道支护断面设计

巷道设计时必须考虑掘进设备、通风、辅助运输、抽采设备、出煤设施、行人的安装,合理安全的设计必须超前预留好空间,IX 一盘区皮带上山掘进断面尺寸如下:矩形断面,断面为 15.75 m^2 ;IX 一盘区轨道上山,矩形断面,断面为 18.15 m^2 ;IX 一盘区回风上山矩形断面,断面为 17.5 m^2 。

4.2. 支护方案

巷道支护布置如图 3。

4.3. 支护材料

锚杆杆体为直径 22 mm,长 2.4 m 的左旋无纵筋螺纹钢筋,钢号为 MSG500。极限拉断力分别为 290 kN,屈服力为 230 kN,延伸率均大于 20%。杆尾螺纹规格为 M24,采用滚压加工工艺成型。冲击吸收功不低于 40 J。

4.4. 矿压监测

上孔煤业现有的监测手段分为综合监测(巷道位移、综合测站、顶板离层仪的观测)、日常监测。

矿压监测结果及分析:

巷道两帮移近量最大为 80 mm 和 90 mm,顶板最大下沉量为 31 mm 和 20 mm。巷道掘进至 40 m 左右位置后,巷道变形趋于稳定,总体来说,轨道上山表面位移量很小。

同比原有锚杆支护段,采用高应力让压锚杆每排顶板布置 6 根 $\phi 22 \text{ mm}$ 左旋无纵筋、长度 2.4 m,间排距为 $900 \times 1000 \text{ mm}$ 。顶板锚索采用长度 6.3 m 的 $\phi 17.8 \text{ mm}$ 的钢绞线,每排 2 根布置。巷帮布置 4 根 $\phi 22$ 左旋无纵筋、长度 2.4 m 锚杆。锚杆预紧扭矩为 300 Nm。由于支护强度及刚度不够,在巷道施工后,

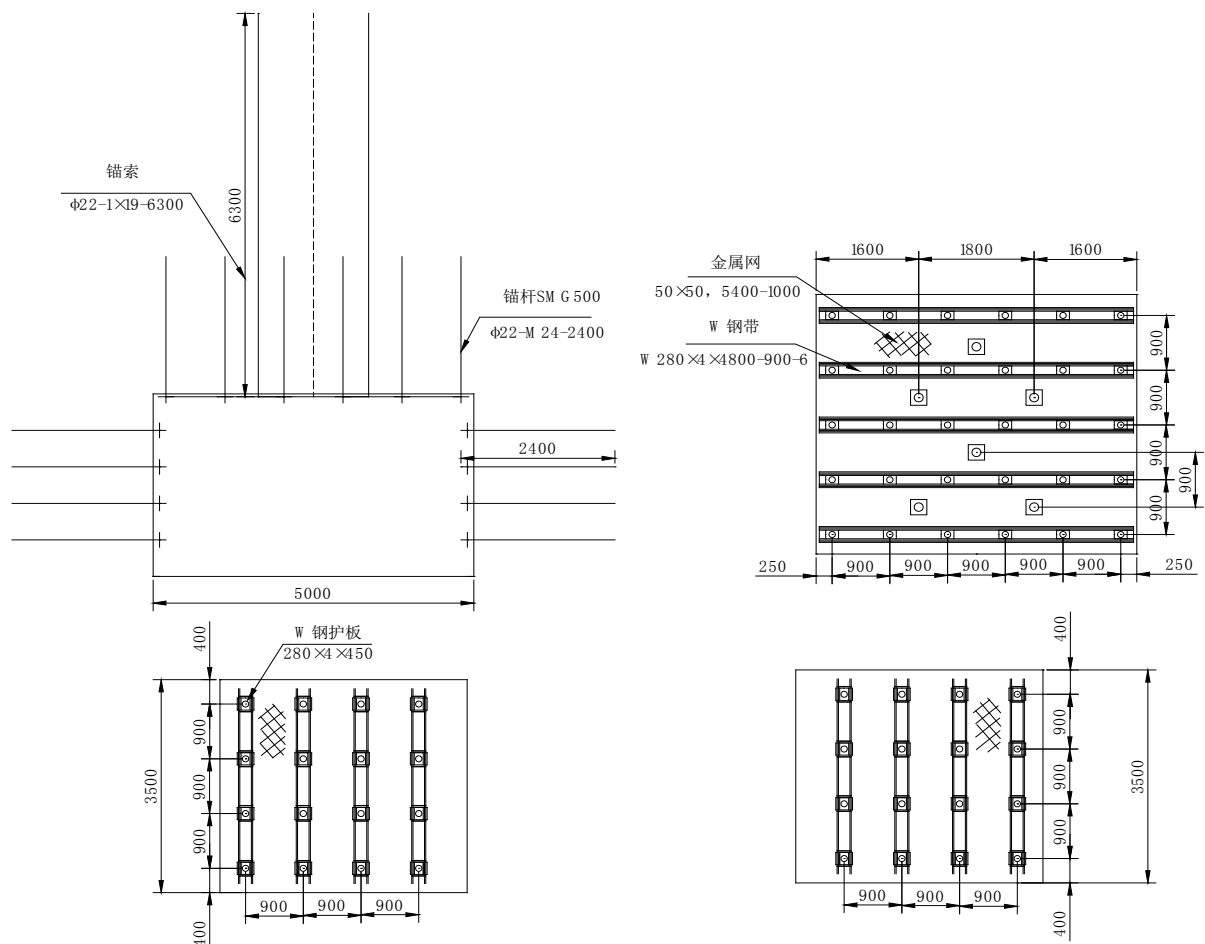


Figure 3. Roadway support layout
图 3. 巷道支护布置图

出现了巷道收敛、变形，底臃严重，两帮最大变形量达到 600 mm 左右，底臃达 300 mm 以上，个别地段出现了锚索破断，支护失效的现象。

通过采用全长预应力锚固强力锚杆锚索组合支护系统，大大减少了锚索的长度和数量，减少了施工强度，减轻了工人劳动强度，非常有利于提高巷道单进水平。

5. 结论

论文针对上孔煤业 9#煤层进行了实验和支护研究，得到了以下结论：

- 1) IX 一盘区上山群在地层中发生扭转、弯曲等，造成地应力异常，地应力大小及方向变化比较大，岩性变化比较大。
- 2) 上孔煤业井下巷道破碎围岩变形受应力场影响较大，变形量大、初期变形显著、变形持续时间长，且围岩变形是突然剧烈增加的。
- 3) 破碎围岩巷道锚杆支护锚杆预应力小、杆体强度低、延伸率低，以及护表构件强度低、与锚杆强度匹配性差，显著影响了巷道支护效果。
- 4) 全长预应力锚固强力锚杆锚索组合支护系统增加了支护系统的强度和刚度，从而有效的减小了巷道变形。

通过在上孔煤业区一盘区井下现场试验, 以及通过矿压检测结果分析, 验证了该支护系统的科学性、合理性、适用性。

参考文献

- [1] 罗景一, 牛建英. 我国煤炭资源开发利用中某些问题的探讨[J]. 中国煤田地质, 2006, 18(3): 6-10.
- [2] 孟庆彬, 韩立军, 乔卫国. 深部高应力软岩巷道变形破坏特性研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(4): 481-486.
- [3] 何满潮, 谢和平, 彭苏萍, 等. 深部开采岩体力学研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(16): 2803-2813.
- [4] 康红普, 姜铁明, 高富强. 预应力在锚杆支护中的作用[J]. 煤炭学报, 2007, 32(7): 680-685.
- [5] 赵长海. 预应力锚固技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [6] 贾金青, 郑卫锋, 陈国周. 预应力锚杆柔性支护技术的数值分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(21): 3978-3982.
- [7] 康宝伟, 王贻明, 吴黎. 破碎矿岩预应力全长锚固数值分析[J]. 金属矿山, 2012(433): 67-70.
- [8] 尤春安. 全长粘结式锚杆的受力分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(3): 339-341.
- [9] Chen, H.J. (1999) Stress Analysis in Longwall Entry Roof under High Horizontal Stress. West Virginia University, Morgantown.
- [10] Siddall, R.G. and Gale, W.J. (1992) Strata Control: A New Science for Old Problem. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, **101**, A1-12.

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: 2329-7301, 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: me@hanspub.org