

Simulation Analysis of Retained Roadway Mining Pressure with Coal Pillar Effect in Deep Colliery

Yangfa Zheng^{1,2}

¹Mining and Designing Department, Tiandi Science and Technology Co., Ltd., Beijing

²Mining Research Branch, China Coal Research Institute, Beijing

Email: zhengyangfa@126.com

Received: Apr. 3rd, 2019; accepted: Apr. 22nd, 2019; published: Apr. 29th, 2019

Abstract

In order to solve the coal pillar design of scarce resource in Changqin coal mining area and strong dynamic pressure problem of retaining roadway, through the numerical simulation containing four different coal pillar width, the retained roadway which has experienced twice mining damage and deformation with pressure distribution law of its surrounding rock are discussed. The results show that, 5 m coal pillar is affected worst by mining, high stress ahead of retaining roadway mainly act on the solid coal side, leaving lane section shrinkage rate of more than 45%, and after the first mining coal pillar has completely yield. 8 m coal pillar affected by mining is weakened, and the mining stress distribution mutates, ahead high stress of retained roadway transfers to the upper goaf residual coal pillar side, which is conducive to control the surrounding rock deformation. Retained roadway deformation was significantly reduced, with the largest decline in 40%. The distribution law of 15 m and 25 m coal pillar is different from that of the narrow coal pillar, and the bearing pressure curve is changed from parabolic type of single peak value to the saddle type of double peak value, and the safety and stability of coal pillar increases; however, the resource is obviously wasted. Based on the results comparison, the retaining test feasibility of 8 m to 15 m narrow coal pillar is put forward.

Keywords

Retained Roadway, Coal Pillar Width, Mining Pressure, Numerical Simulation

深埋留巷矿压的煤柱尺度特征数值模拟分析

郑仰发^{1,2}

¹天地科技股份有限公司, 开采设计事业部, 北京

²煤炭科学研究总院, 开采研究分院, 北京

Email: zhengyangfa@126.com

文章引用: 郑仰发. 深埋留巷矿压的煤柱尺度特征数值模拟分析[J]. 矿山工程, 2019, 7(2): 181-187.

DOI: 10.12677/me.2019.72026

摘要

为解决长沁矿区稀缺煤炭资源区段煤柱设计及留巷强烈动压难题，通过数值模拟计算探讨了4种不同煤柱宽度下，经受两次回采动压的留巷变形破坏及围岩压力分布规律。研究表明，5 m煤柱时所受采动影响最大，留巷超前高应力主要作用在实体煤侧，留巷断面回缩率超过45%，且一次采动后煤柱已完全屈服。8 m煤柱所受采动影响有所减弱，且采动应力分布发生突变，留巷超前高应力转移到上采空区残留煤柱侧，这有利于留巷围岩控制；留巷变形显著降低，最大降幅40%。15 m、25 m煤柱矿压分布规律不同于以上小煤柱，支撑压力曲线由单峰值抛物线型向双峰值马鞍型转变，煤柱安全稳定性增大，但资源浪费明显。通过结果对比提出了8~15 m窄煤柱留巷试验的可行性。

关键词

留巷，煤柱宽度，矿压，数值模拟

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

随着煤炭开采规模强度的增大、回采机械化水平的提高，我国许多煤矿存在掘采衔接紧张的难题[1][2]；对一般中厚煤层矿井该问题更为突出。应对方案有跳采掘巷、沿空送巷、迎采动掘巷(或相邻采面同步掘巷)，条件适合时采用沿空留巷；其中区段煤柱宽度的确定成为关键问题。国内外针对区段煤柱宽度的研究已历史悠久，较为经典的是 Wilson 关于煤柱“双区约束”分布及其宽度计算理论[3][4][5]。此外，我国采矿界先后开展了特厚煤层分层综放区段煤柱设计、沿空掘巷小煤柱留设、沿空留巷技术等试验研究[6][7][8]，取得了大量工程技术经验。在窄煤柱护巷的留巷技术研究方面，相关学者采用力学理论计算、数值模拟或现场试验监测等方法开展了大量探索[9]。目前在煤柱数值模拟研究上，极少针对深部留巷煤柱尺寸合理设计及多次采动作用下超前支承应力峰值转移突变特征进行研究。

本文针对沁源矿区主焦煤优质资源区段煤柱留设，及在上工作面未回采结束提前掘进下工作面顺槽而造成留巷强烈大变形的难题，采用模拟试验探讨了4种不同煤柱宽度时，同一地质条件下经受两次回采动压的留巷变形破坏及围岩压力分布规律。通过对比分析初步确定出区段煤柱合理宽度。

2. 模型构建

2.1. 工程背景

以长沁矿区埋深较大某煤矿 2-3 规划采面轨道顺槽为背景，2-3 轨道顺槽巷道以北为 2-2 作面，区段煤柱宽度待定；2-3 轨顺南为实体煤层，现未有采掘影响；东为二采区开拓大巷。为缓解矿井采掘衔接紧张的不利局面，在 2-2 工作面未开采前就开始掘进 2-3 轨道顺槽，2-3 轨道顺槽巷道为承受两次动压的隔煤柱留巷。

2-3 轨道顺槽底板埋深 600 m 左右，沿 2 号煤层底板掘进，巷道断面 4.5×2.6 m，走向长度为 1872 m，

主要为形成 2-3 工作面轨道运输、通风系统, 满足 2-3 工作面回采时的通风、行人、轨道运输及管路敷设的需要, 服务年限 4 年。2 号煤层厚度为 1.7 m~2.1 m, 平均 1.9 m。2013 年在 2-1 首采面进风顺槽内进行了地应力测试, 最大水平主应力 8.43 MPa, 最小水平主应力 4.87 MPa, 垂直主应力 13.1 MPa, 最大水平主应力方向为 N19.3°E。垂直主应力大于最大水平主应力, 属于自重应力场。煤层底板岩层为细砂岩, 巷道顶板以上 0~2.6 m 为细粒砂岩, 岩层原位单轴抗压强度平均值为 74.77 MPa; 2.6~8.4 m 为粉砂岩, 岩层强度平均值 71.26 MPa; 8.4~10.0 m 为泥岩, 岩层强度平均值 58.01 MPa。2 号煤层平均强度为 10.23 MPa。

2.2. 三维数值模型

采用三维有限差分数值模拟软件 FLAC^{3D} 开展不同煤柱宽度模拟计算。建模严格按照 2-2、2-3 采煤工作面现场实际工程地质状况, 煤岩层力学参数根据实验室测试折减选取。留巷煤岩层三维几何结构模型如图 1, 模型尺寸为 200 × 150 × 40 m, 三维模型的边界条件取为: 四周采用铰支, 底部采用固支, 上部为自由边界。

模拟方案设计四种: 5 m 煤柱宽度、8 m 煤柱宽度、15 m 煤柱宽度、25 m 煤柱宽度。模拟流程首先逐步回采 2-2 工作面, 到推进结束且对区段煤柱影响稳定后, 再逐步回采 2-3 工作面。据计算结果分析上工作面、本工作面回采两次动压下留巷矿压分布、围岩变形破坏特征。

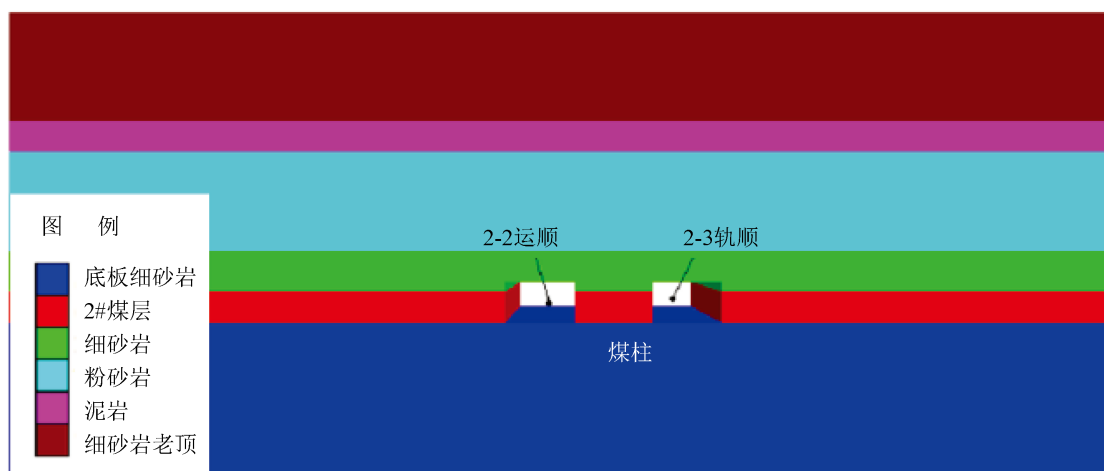


Figure 1. The geometric model of coal and rock around dynamic pressure roadway

图 1. 留巷煤岩层几何模型

3. 煤柱矿压分析

3.1. 上工作面采动影响

2-2 工作面回采过程中, 区段煤柱接续承受超前采动、滞后老顶垮落不稳定动压影响, 不同煤柱宽度留巷煤层顶板支承应力分布明显不同。2-2 工作面回采结束后稳定煤柱中支承压力分布对比曲线如图 2 所示。

据图 1 可知, 2-2 工作面回采结束至一次动压稳定后, 区段煤柱 5 m 宽度时其煤柱范围内支承压力峰值 30.9 MPa。8 m 宽度时其煤柱范围内支承压力峰值 29.7 MPa, 同时也是采动范围支承压力最大值。15 m 宽度时煤柱范围内支承压力峰值 28.5 MPa, 25 m 宽度时 28.1 MPa。随着煤柱宽度增大, 支承压力峰值略有降低, 最大降幅 9%。

5 m 区段煤柱采动影响的最大支承压力 37 MPa, 出现在留巷实体煤侧帮, 其应力集中系数达到 2.82, 对留巷维护的不利影响较大。8m 区段煤柱留巷内侧帮支承压力峰值 28.2 MPa, 15 m 区段煤柱时为 19.8 MPa, 25 m 区段煤柱时为 17.2 MPa。随煤柱宽度增大, 支承压力曲线由抛物线型向马鞍型转变。15 m 宽度时, 煤柱中部开始出现显著应力下降盆地, 这说明煤柱承载能力仍未充分发挥。因此, 在考虑留巷矿压分布均匀性、煤柱自身承载充分性方面, 8m 煤柱的留巷支承压力分布具有一定优势。

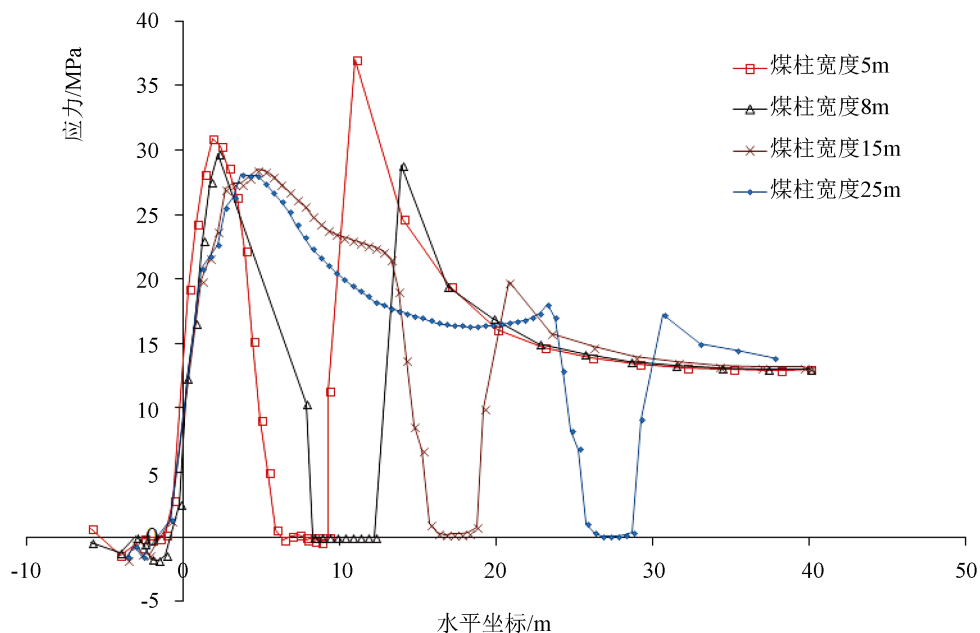
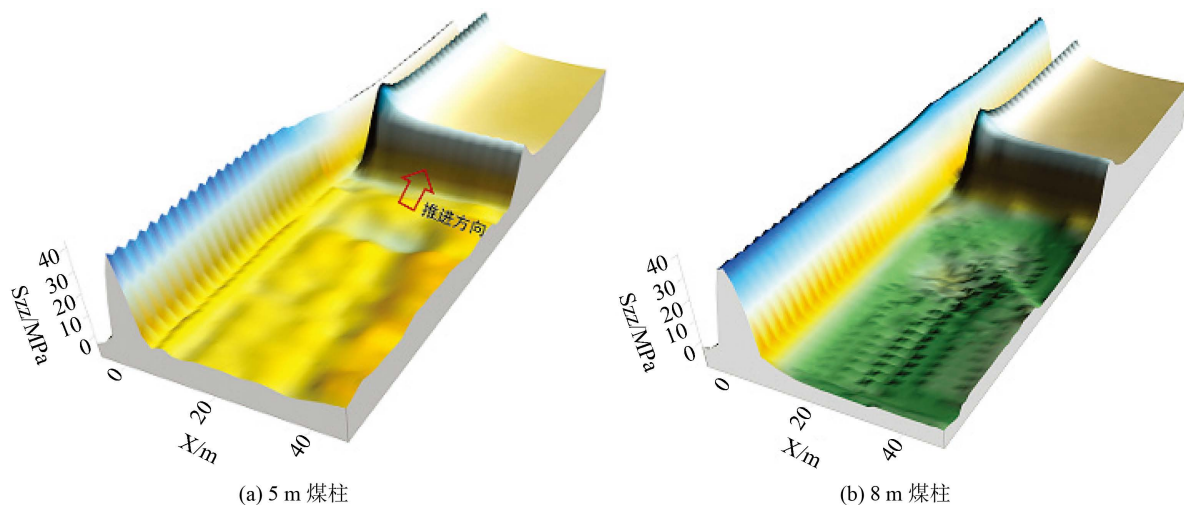


Figure 2. The stability curve of abutment pressure under once dynamic impact in different width of pillar
图 2. 不同煤柱宽度一次动压稳定支承压力曲线

3.2. 本工作面超前采动影响

2-3 回采工作面推进过程中, 轨顺留巷主要承受超前采动影响。不同煤柱的宽度留巷煤层顶板支承应力三维分布如图 3 所示。



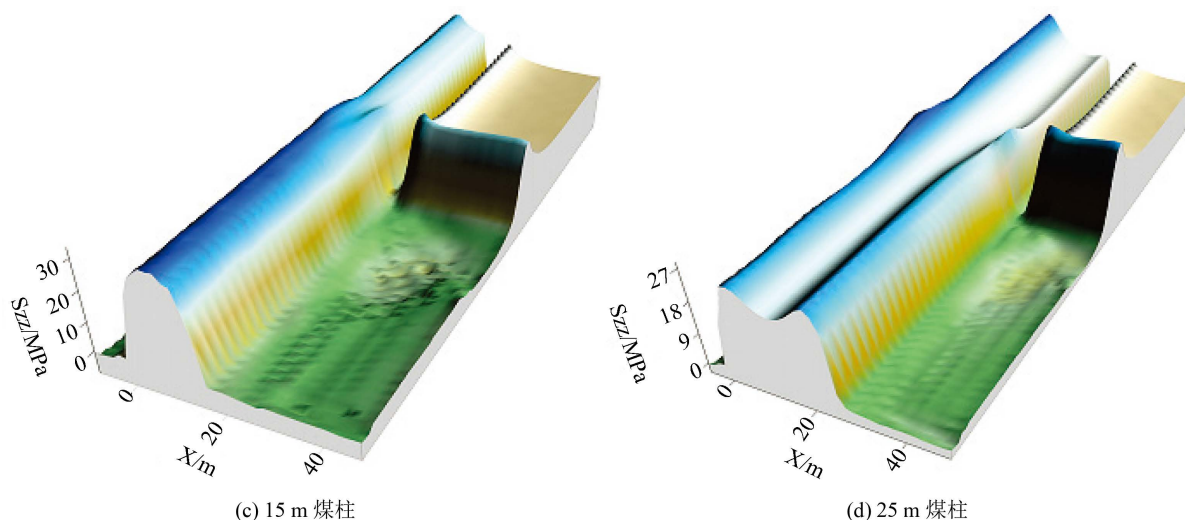


Figure 3. The 3D distribution of roof bearing stress under twice dynamic impact in different width of pillar
图 3. 不同煤柱宽度本工作面回采中煤层顶板支承应力三维分布

分析以上 2-3 轨顺留巷二次超前动压影响结果,可知:5 m 宽度煤柱的超前支承压力最大值 38.5 MPa, 出现在留巷实体煤帮与回采工作面交叉点处, 留巷右帮煤体峰值压力始终大于左帮。8 m 宽度煤柱的超前支承压力最大值 38.3 MPa, 并且出现在煤柱靠近采空区侧, 留巷与回采工作面交叉点处也出现压力叠加区, 留巷实体煤帮煤体压力大于左帮浅区, 但小于煤柱内靠近采空区侧的峰值应力。相比 5 m 煤柱说明超前压力已经发生转移。15 m、25 m 煤柱超前支承压力也呈现类似 8 m 煤柱的规律, 应力峰值有所降低。

5 m、8 m 宽度煤柱的超前影响段支承应力始终呈现单峰值抛物线分布。15 m、25 m 煤柱超前影响初始段呈现双峰值的马鞍型支承应力分布, 说明宽煤柱二次动压后的承载能力未能得到充分发挥, 从经济效益考虑, 15 m 煤柱宽度仍有缩小空间。

在采空区内矿压分布方面, 5 m 煤柱的稳定采空区压力明显大于 8 m 煤柱, 支承应力值在 6~8 MPa 范围, 随煤柱宽度增加, 采空区支承应力逐渐减小。

4. 留巷变形破坏分析

4.1. 上工作面采动影响

总结模拟结果, 分析 2-3 轨顺留巷承受上工作面一次动压的变形影响可知: 5 m 煤柱宽度时留巷煤柱侧帮回缩量达到 1019 mm, 8 m 宽度时煤柱侧帮鼓出 404 mm, 变形量减少 60%; 15 m 宽度时煤柱侧帮鼓出 149 mm; 25 m 宽度时煤柱侧帮鼓出 101 mm。

留设 5 m 宽度时煤柱全部进入塑性状态, 煤柱已经完全屈服。从 8 m 煤柱宽度开始出现弹性核区, 说明经历侧向动压影响后煤柱没有完全屈服, 仍然具有一定承载能力, 挡水挡风作用基本没有受到影响。15 m、25 m 宽度煤柱的塑性区宽度均为 2 m。

4.2. 本工作面超前采动影响

分析 2-3 轨顺留巷二次超前动压影响结果, 可知: 5 m 宽度煤柱时顶板最大下沉值 783 mm, 两帮最大回缩量 1071 mm。8 m 煤柱时顶板最大下沉量 591 mm、两帮最大回缩量 660 mm; 对比 5 m 煤柱变形结果, 顶板最大下沉量降低约 200 mm, 两帮最大回缩量减少 411 mm, 降低比例 40%。15 m 煤柱时顶板

最大下沉量、两帮最大回缩量分别为 391 mm、348 mm；25 m 煤柱时两量分别为 377 mm、340 mm。宽煤柱的留巷变形结果差距不大。

留设 5 m 宽度时煤柱全部进入塑性状态，煤柱已经完全屈服。8 m 煤柱也完全屈服。15 m 煤柱宽度时出现大范围弹性核区，说明经历两次动压影响后煤柱没有完全屈服，仍然具有较高承载能力，挡水挡风作用未受到影响。15 m、25 m 宽度煤柱的塑性区宽度均为 2.5 m。

4.3. 采动影响全过程分析

据以上不同宽度煤柱模拟结果，可以获得二次动压超前区段煤柱应力集中系数、留巷顶板最大下沉值及外侧帮最大水平移近量等统计对比值如表 1 所示。

Table 1. Statistics of retaining roadway pressure & deformation of coal pillar with different width
表 1. 不同宽度煤柱留巷矿压变形统计

煤柱宽度/m	应力集中系数	顶板最大下沉值/mm	两帮最大水平移近值/mm	煤柱塑性区宽度/m
5	3.3	783	1071	5
8	3.2	591	660	8
15	2.5	391	348	2.5
25	2.1	377	340	2.5

留设 5 m 煤柱时所受采动影响最大，应力集中系数 3.3 最高，且留巷超前高应力主要作用在实体煤侧；留巷变形量最大，断面回缩率超过 45%，仅通过二次补强与加强超前支护难于有效控制。且 5 m 煤柱经历一次采动时已完全屈服，留下采空区漏风自燃、突水隐患。

留设 8 m 煤柱时所受采动影响有所减弱，而且采动应力分布发生突变，留巷超前高应力转移到上工作面采空区残留煤柱侧，这对留巷围岩控制非常有利；留巷变形显著降低，最大降低比例 40%；二次动压超前煤柱已完全屈服，但一次动压影响后煤柱仍有弹性核心区，通过加强回采面超前支护能够保障安全生产，实现了区段煤柱承载能力的充分利用。15 m、25 m 区段煤柱矿压分布规律不同于 5 m、8 m 小煤柱，支承压力曲线由单峰值抛物线型向双峰值马鞍型转变，煤柱安全稳定性进一步增大，留巷所受采动影响显著降低，但由于煤柱宽度明显加大，资源浪费较大。综合以上模拟研究结果，可以初步判断：设计 8 m 宽度煤柱开展稀缺 2 号煤层留巷开采比较合理。

5. 结论

1) 模拟分析了四种不同煤柱宽度留巷的支承应力分布及围岩变形破坏特征。5 m 煤柱时所受采动影响最大，留巷超前高应力主要作用在实体煤侧，留巷断面回缩率超过 45%，且一次采动后煤柱已完全屈服。8 m 煤柱所受采动影响有所减弱，且采动应力分布发生突变，留巷超前高应力转移到上采空区残留煤柱侧，这有利于留巷围岩控制；留巷变形显著降低，最大降幅 40%。15 m、25 m 煤柱矿压分布规律不同于以上小煤柱，支承压力曲线由单峰值抛物线型向双峰值马鞍型转变。

2) 对比不同煤柱宽度矿压及留巷变形研究结果，考虑资源回收率的经济效益，留设 8~15 m 宽度区段煤柱开展稀缺 2 号煤层留巷开采比较合理。

基金项目

国家自然科学基金青年项目(51704156)，中国煤炭科工集团创新创业基金面上项目(2018-TD-MS026)。

参考文献

- [1] 钱鸣高, 石平五, 许家林. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.
- [2] 康红普. 煤岩体地质力学原位测试及在围岩控制中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [3] Wilson, A.H. (1972) An Hypothesis Concerning Pillar Stability. *Mining Engineer*, **6**, 85-90.
- [4] Wilson, A.H. (1981) Stress and Stability in Coal Ribslides and Pillars. *Proceedings of 1st Conference on Ground Control in Mining*, Morgantown, 27-29 July 1981, 1-12.
- [5] 王旭春, 黄福昌, 张怀新, 等. A.H.威尔逊煤柱设计公式探讨及改进[J]. 煤炭学报, 2002, 27(6): 604-608.
- [6] 李文洲. 特厚煤层分层综放开采区段煤柱合理留设研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2008.
- [7] 郑西贵, 姚志刚, 张农. 掘采全过程沿空掘巷小煤柱应力分布研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(4): 459-465.
- [8] 曹树刚, 陈先哲, 杨红运, 等. 沿空留巷巷旁控制技术及其适用条件分析[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(4): 27-33.
- [9] 李庆忠. 综放面小煤柱留巷理论与试验研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2003.

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