

# A Diesel Engine Water Heating System Simulation and Test Validation

Xianghua Li, Wen Qin, Chuanchen He

Research and development institute of Guangxi Yuchai Machinery company co., Ltd., Nanning Guangxi  
Email: xhleexj@163.com

Received: Dec. 11<sup>th</sup>, 2017; accepted: Dec. 22<sup>nd</sup>, 2017; published: Dec. 29<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

A three-dimensional model of a diesel engine water jacket is developed, and the water flow in it was simulated by using Computational Fluid Dynamics (CFD) software FIRE. The flow uniformity among cylinders and the heat speed have been compared among several design cases. Test has been carried out, and the results show that calculation is in accordance with test data.

## Keywords

Diesel Engine, Water Jacket, Cold Start, CFD

---

# 某柴油机加热系统仿真与试验验证

李湘华, 覃文, 何传成

广西玉柴机器股份有限公司工程研究院, 广西 南宁  
Email: xhleexj@163.com

收稿日期: 2017年12月11日; 录用日期: 2017年12月22日; 发布日期: 2017年12月29日

---

## 摘要

建立了某柴油机的三维水套模型, 并应用计算流体动力学软件FIRE分析发动机加热系统流场, 对比了多种设计方案下对发动机各缸流量均匀性、加热快速性, 并对该发动机进行了试验验证。结果表明: 计算与试验相符。

## 关键词

柴油机, 水套, 冷启动, CFD

---



## 1. 引言

当环境温度低于 $-40^{\circ}\text{C}$ ，不通过其他手段或措施，汽车无法靠本身的起动装置自行起动[1]。为了解决这类冷启动问题，有的在发动机外部布置一个锅炉加热水系统。该系统在发动机启动前将发动机内部冷却液从柴油机某合适部位引出，经过锅炉系统的循环水泵进入锅炉，经过锅炉加热后的冷却液返回柴油机内部循环流动加热发动机。该系统设计有几个关键点需要注意：一是加热速度快，最简单的办法是加大锅炉功率及循环水流量，但是这带来耗能多、布置空间紧张等问题，因此要求锅炉热水尽可能多的流经发动机本体，尽量不要走发动机内部小循环通道流动；二是各缸加热尽量均匀；三是发动机正常启动后锅炉内部循环不要出现反向流动导致锅炉损坏；四是单向阀目前在温度 $-50^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$  大范围工作可靠性及耐久性差，尽量不用。

由于在低温状态下节温器关闭了大循环，因此计算不考虑大循环管路及水箱等部件，只是针对柴油机本体水套进行，用加热水经过发动机各缸的流量评价加热均匀性，用经过小循环通道被短路的流量占比来评价加热的快速性。

## 2. 锅炉加热水系统优化计算

### 2.1. 计算模型及方案

本次计算水套网格模型如图 1 所示，使用 Hypermesh 对几何模型进行处理，生成面网格，使用 AVL Fire 自动网格生成器 FAME HYBRID 生成体网格，最大网格尺寸 4 mm，最小尺寸 1 mm，总网格数约 425 万个。

节温器座小循环通道内在某些方案内安装有单向阀(如图 2 所示)，针对有单向阀的情况计算时直接认为通道完全不通。

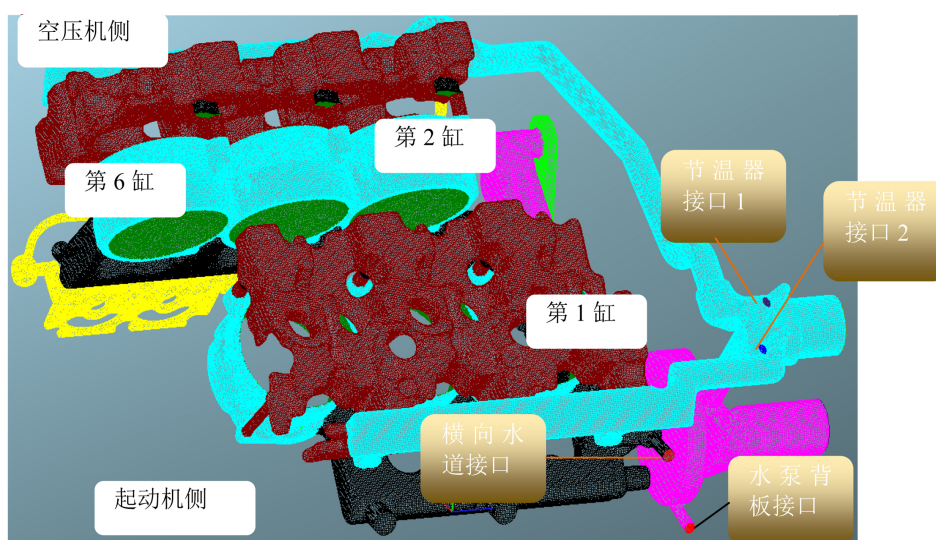


Figure 1. Cooling water jacket mesh model

图 1. 水套网格模型图

计算方式为标准的求解 N-S 方程组迭代求解方式：给定初场，然后通过联立求解每个网络单元上的 N-S 方程组，不断迭代，直到计算达到收敛。计算中对于压力项和速度项之间的耦合关系采用 SIMPLE 算法，使用的湍流模型为 k- $\epsilon$  两方程湍流模型，近壁面采用了标准壁面函数法。

计算方案具体见表 1。方案 5 是在方案 2 基础上将节温器接口 1 管内径由原来的 10 mm 加大到 14 mm，机体横向水道接口内径由原来的 12 mm 加大到 18 mm。

## 2.2. 边界条件

采用稳态计算，进水口流量根据锅炉水泵性能按 20 L/min 计算，进口水温按试验温度 $-40^{\circ}\text{C}$  设置；出水口设置为压力：100,000 Pa；其余为壁面边界，考虑重力，不考虑传热。工质为 water/glycol，体积分数各 50%。

## 2.3. 计算结果与分析

模拟结果主要从压力、流速、流量等方面进行分析说明。

### 2.3.1. 压力计算结果

各方案进出口压差对比柱状图如图 3 所示。除了方案 5 加大进出口直径阻力非常小外，其余各方案总压差在 16~21 kPa 之间，相差不大。

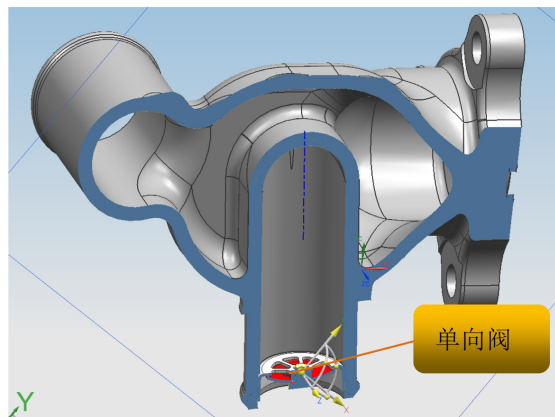


Figure 2. Non-return valve assembly  
图 2. 节温器座小循环管道内安装单向阀的装配图

Table 1. Simulation case list

表 1. 计算方案列表

计算方案	单向阀状态	进水口位置	出水口位置	方案标识
方案 1	不装	水泵背板接口	节温器接口 1	In-pump-open
方案 2	不装	横向水道接口	节温器接口 1	In-manifold-open
方案 3	装	水泵背板接口	节温器接口 1	In-pump
方案 4	装	横向水道接口	节温器接口 1	In-manifold-close
方案 5	不装	横向水道接口	节温器接口 1	In-mani-open-enlarge
方案 6	不装	节温器接口 1	横向水道	out-manifold-open
方案 7	不装	节温器接口 2	横向水道	out-manifold-open 2

### 2.3.2. 流速计算结果

各方案缸垫上水孔截面速度矢量图如图 4 所示, 从图中可以看出方案 3 和方案 6 缸垫孔处的流速相对较高和较均匀, 方案 1 各缸均匀性还可以, 但是由于小循环短路流量占比大, 通过机体缸盖的水流量小。

图 5 为方案 6 节温器座附近截面速度矢量图, 从图中可以看出, 在方案 6 节温器小循环口周围存在较大速度的垂直流动, 产生的水墙阻碍水从小循环通道流动, 这就是小循环流量低的原因。方案 7 稍微改动脉温器部位的进水位置小循环流量就大幅度增加, 因此一定要注意选择节温器接口 1, 不要选择接口 2。

### 2.3.3. 流量计算结果

各方案对应各缸缸盖口流量占比如图 6 所示, 从图中可以看出: 方案 6 各缸流量相对较大, 经过机体缸盖的流量占比达到 92.9%, 只有 7.1% 的流量经过小循环被短路; 且方案 6 各缸比较均匀, 第 2 缸流量最小, 占比 12.8%, 第 5 缸流量最大, 占比 18.3%。方案 6 迹线图及对应支路流量占比结果见图 7。其余方案结果在此不展示。

### 2.3.4. 各方案关键计算结果对比

表 2 为各方案关键结果评价, 综合评价认为方案 6 最优。

## 3. 锅炉加热水系统试验验证

图 8 为各方案对应各缸缸盖口 18 分钟温升测试数据对比(方案 5 由于需要改变零件尺寸未验证, 由于方案 6 结果已经满足整车厂要求, 且台架资源紧张, 方案 7 未再验证), 从图中可以看出: 方案 6 各缸出水口最低温升达到 57.1°C, 比其他方案中较优的方案 3 (40°C) 高 17.1°C; 平均温升达到 65.6°C, 比其他方案中较优的方案 4 (49.5°C) 高 16.1°C。

## 4. 结语

通过 AVL FIRE 对某柴油机水套加热系统进行了多方案对比分析, 优选出了各缸加热均匀、加热速

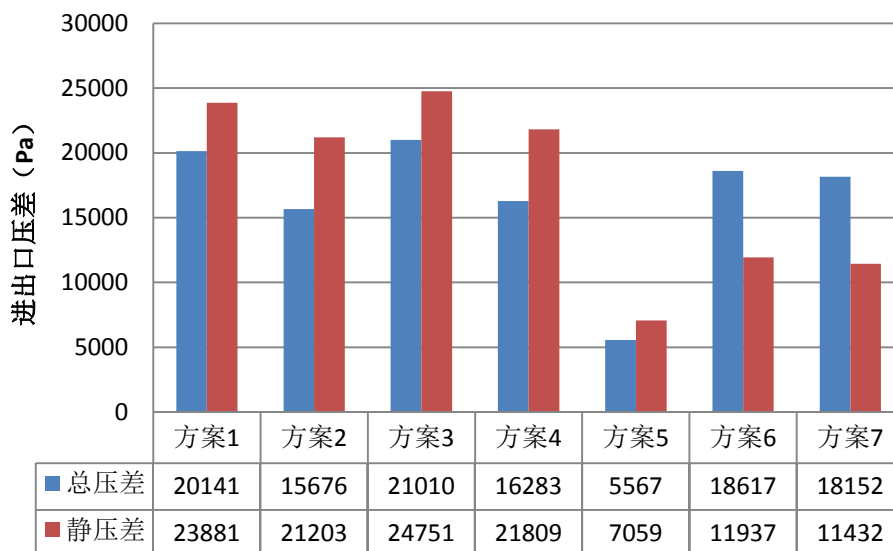


Figure 3. Pressure loss results of all cases

图 3. 各方案进出口压差对比柱状图

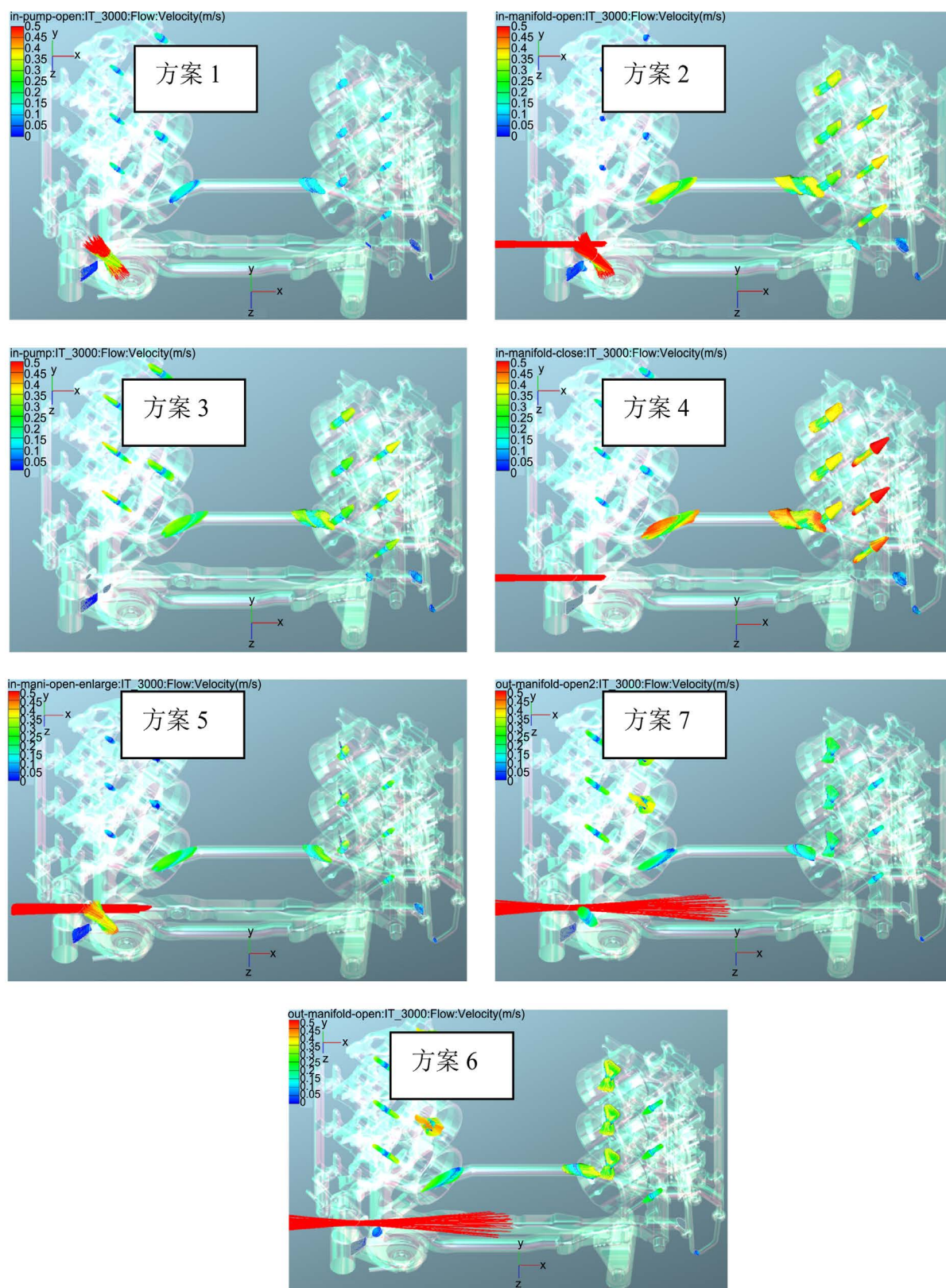


Figure 4. Velocity distribution at cylinder gasket hole of all cases

图 4. 各方案缸垫上水孔截面速度矢量图

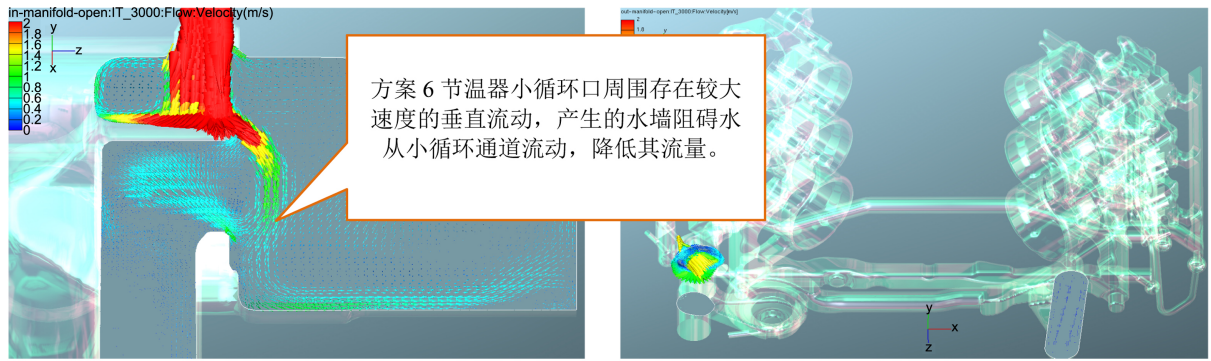


Figure 5. Velocity distribution near thermostat of Case 6

图5. 方案6节温器座附近截面速度矢量图

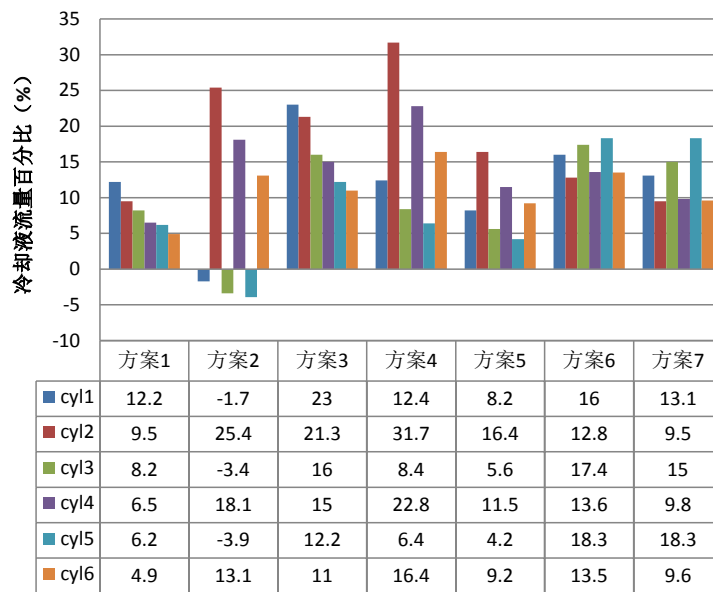


Figure 6. Mass flow percentage at each cylinder inlet of all cases

图6. 各方案对应各缸缸盖口流量占比

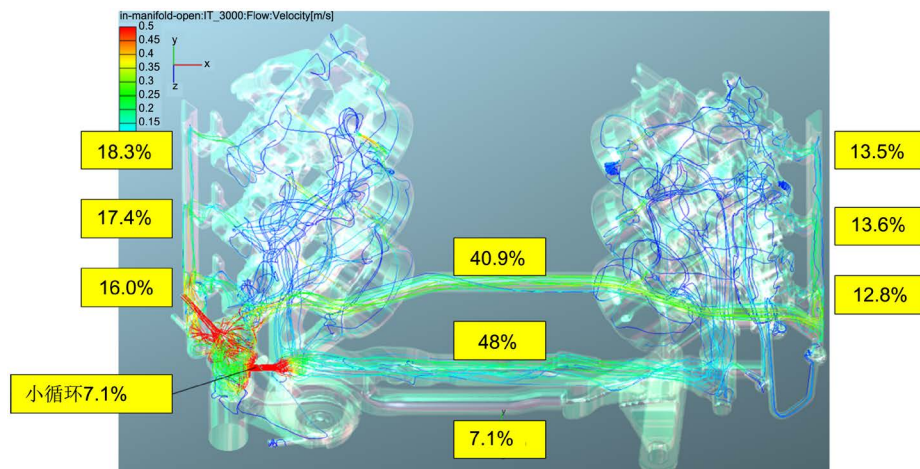


Figure 7. Mass flow percentage at each cylinder inlet of Case 6

图7. 方案6迹线图及对应支路流量占比

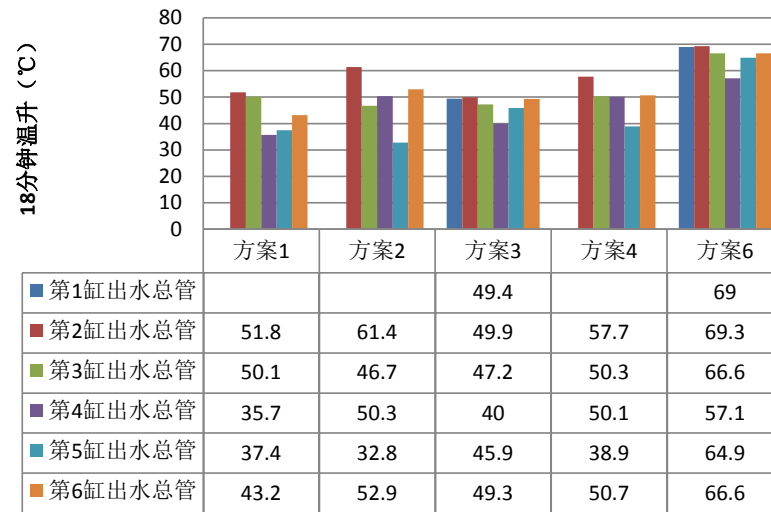


Figure 8. Tested temperature rise at each cylinder inlet of all cases

图 8. 各方案对应各缸缸盖口 18 分钟温升测试数据对比

Table 2. Simulation results assessment of all cases

表 2. 计算方案关键结果评价

计算方案	加热快速性	加热均匀性	发动机启动后锅炉内水是否会回流	单向阀状态	总压阻力
方案 1	差	一般	好, 不可能出现回流	好	差, 大于 20 kPa
方案 2	差	差	差, 可能出现回流	好	一般
方案 3	好	好	好, 不可能出现回流	差, 存在老化可靠性问题	差, 大于 20 kPa
方案 4	好	差	差, 可能出现回流	差, 存在老化可靠性问题	一般
方案 5	一般	差	差, 可能出现回流	好	好, 小于 10 kPa
方案 6	好	好	好, 不可能出现回流	好	一般
方案 7	一般	一般	好, 不可能出现回流	好	一般

度高的设计方案, 优化方案得到了试验验证。

## 参考文献 (References)

- [1] 吴克刚, 罗青峰, 边耀章. 改善汽车冷起动性的试验研究[J]. 车用发动机, 2002(4): 10-11.

**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：2328-0557，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：[ijfd@hanspub.org](mailto:ijfd@hanspub.org)