

本文由几篇文章拼接而成，只为作者提供修改模板，具体见各批注。

一段分选、二段分级组合旋流器的性能研究

郭强¹，董平²，樊强²，樊盼²，王鹏²，郭虹锋²

(1. 中天公司 煤炭分公司，内蒙古 鄂尔多斯 017000;

2. 大学 矿物加工工程系，山西 太原 030024)

摘要：针对粗煤泥分选工艺流程较复杂的问题，开发了一种一段分选、二段分级组合旋流器，可同时实现粗煤泥的高效分选与粗细煤泥的有效分级；采用该旋流器对葫芦素选煤厂-3mm 粒级原煤进行分离试验，并对设备分选、分级效果进行了定量评定，结果显示，3~0.5mm 粒级分选可能偏差 0.075，数量效率 96.01%；0.5~0.125mm 粒级分选可能偏差 0.105，数量效率 93.52%；粗细煤泥分级粒度 0.038mm，分级效率 72.73%。

关键词：选煤厂；粗煤泥；分选；分级；短流程；旋流器

中图分类号：TD942 文献标识码：A 文章编号：1005-8397 (2018) 01-0000-00

Research on Field Application of High Precision Vortex Medium Cyclone in Gongwusu Coal Preparation Plant

作者英文
(英文单位,)

Abstract: Due to fluctuations in coal quality, the existing "main washing" heavy medium washing process of Guoneng (Wuhai Hainan District) Coal Processing Co., Ltd. has resulted in poor washing indicators. Based on the coal quality characteristics of the raw coal being washed, a new high-precision vortex heavy medium cyclone is adopted to upgrade and transform the original main washing heavy medium cyclone. Application practice has shown that the new high-precision vortex weight medium cyclone ensures a 10.5% ash content in clean coal products, with an Ep value of 0.0265% and a significantly reduced medium loss value compared to the original structure. The research on achieving high-precision and low-density washing in similar coal preparation plants provides a new solution.

Keywords: Heavy medium cyclone, vortex body, coal preparation plant, Ep value, low-density washing;

我国动力煤消耗量约占煤炭消费总量的 70%。对动力煤进行洗选，不仅可以提高其利用效率、节约运输成本，更是减少环境污染的重要手段。到 2020 年，我国动力煤入选率要求达到 70%，发展大型动力煤选煤厂将成为未来选煤产业发展的主要方向^[1-3]。

动力煤粗煤泥分选多数采用水介质分选，主要有螺旋分选机、干扰床分选机与水介质旋流器等。在这几种粗煤泥分选回收方法中，都要配备有煤泥分级或脱泥环节，即在螺旋分选机与干扰床分选机分选前常采用水力旋流器为分选设备准备合适的入料浓度与粒度范围，而水介质旋流器分选后溢流产品常采用水力旋流分级后，方可进入离心机或高频筛进一步脱水脱泥。由于粗煤泥常用回收流程较长，动力消耗略大，许多学者在缩短流程方面进行了研究。程宏志等设计了一种水力分级分选一体化装置，

批注 [W1]: 文章标题不要有浅谈、浅析等字样

批注 [W2]: 作者姓名之间用逗号隔开，字体为宋体 4 号；如果作者单位有多个，要分别在作者名上角标记相应的 1, 2, 3, ...。

批注 [W3]: 单位具体格式：一级单位名称 二级单位名称，单位所在省（直辖市）市 邮编。用小 4 号仿宋。

批注 [W4]: 摘要内容一般包括：研究目的、对象、过程、方法、结果和结论 6 个要素。摘要中一般不出现公式，去掉“本文”等第 1 人称字样，不出现参考文献序号。一般中文摘要不要超过 500 字，要求写成**报道性摘要**，客观写出主要技术手段及结论，反映论文中的主要信息，不加解释和评论。综述性论文一般写指示性摘要，比如文章介绍了什么，分析了什么，论述了什么，得出什么结论。

批注 [W5]: 关键词尽量选用规范词，一般列 3~6 个关键词，词间用分号隔开。关键词应当选用专指词，一般不选择没有意义的通用词作为关键词，例如“分析、问题、对策、研究、应用、措施”等，由于这些词没有实际意义，不能明确反映论文的主题，不单独作为关键词使用。化学分子式不能做关键词，同义词、近义词不要并列作为关键词，关键词应当含义清晰，一般不选用口语词汇或新闻用语。

批注 [W6]: 文章编号、中图分类号等可以不加，由编辑部统一填加。

批注 [W7]: 第一部分，不加“引言”、“前言”、“绪论”等标题。但引言内容要有，引言简要阐述论文的写作背景及其在相关领域的地位、作用和意义；并阐述与课题相关的国内外学者在该领域的研究成果、进展情况及现在的知识空白和不足，以此找到论文切入点，从而说明论文研究的目的和价值。

将传统的水力分级与粗煤泥分选两个工艺环节的两种设备集成为一体，缩短了选煤工艺流程^[13]。夏文成等公开的脱泥型液固流化床粗煤泥分选溢流精煤分级装置，液固流化床溢流经分级装置被分为粗精煤与细泥，简化了分选后续脱泥脱水工艺^[14]。崔广文等发明的粗煤泥分选分级一体机将水介质旋流器与旋流脱水筛集成，能够实现分选与脱水功能的二合一^[15]。位革老研究了具有两个同轴心的溢流管的两种复合型煤泥旋流器的分选、分级效果，结果表明先分级后分选结构复合型煤泥旋流器分级分选效果优于先分选后分级结构的复合型煤泥旋流器^[16]。樊民强等公开的一种溢流直连的三产品旋流器，将一段分选旋流器溢流直连二段分级旋流器，连接管内加设导流叶片，提高了二段旋流器分级性能，实现了先分选后分级的功能^[17]。王江鹏等设计的一段分选、二段分级两段旋流器，可以一次给料同时实现粗煤泥的分选与分级功能^[18]。

神华鄂尔多斯煤制油公司拥有世界上首个煤直接液化的工业化示范装置。煤直接液化是将煤在氢气和催化剂作用下通过加氢裂化转变为液体燃料的过程，该工艺排放的污水不仅具有浓度高、色度深、水质波动大、难生物降解等特点，且由于大规模的煤直接液化项目在世界上为首次，煤制油污水的治理技术尚没有成功经验可以借鉴，因此该污水的处理难度极大。此外，由于企业所处地理位置特殊、环保要求极高、生产污水要求经过处理后达到循环水补水及电厂高压锅炉补给水等水质要求，这也大大增加了污水处理的难度。

1 试验

1.1 试验系统与旋流器结构

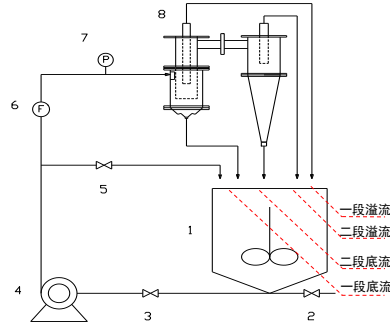
神华鄂尔多斯煤制油公司拥有世界上首个煤直接液化的工业化示范装置。煤直接液化是将煤在氢气和催化剂作用下通过加氢裂化转变为液体燃料的过程，该工艺排放的污水不仅具有浓度高、色度深、水质波动大、难生物降解等特点，且由于大规模的煤直接液化项目在世界上为首次，煤制油污水的治理技术尚没有成功经验可以借鉴，因此该污水的处理难度极大。此外，由于企业所处地理位置特殊、环保要求极高、生产污水要求经过处理后达到循环水补水及电厂高压锅炉补给水等水质要求，这也大大增加了污水处理的难度。

试验系统与旋流器结构示意图如图 1。旋流器结构如图 1 中的 8 所示：以煤泥旋流重选柱为锥形的一段分选旋流器筒体内设置套筒，套筒上部切向出口直接与二段分级旋流器相连接，构成一段分选、二段分级组合旋流器。物料经矿浆搅拌桶搅拌混合均匀后沿入料管切向进入一段分选旋流器，物料在锥体部分完成分选后，高密度物料由一段旋流器底流口排出，低密度粗物料及细颗粒随向上的螺旋流在套筒内进行第一次分级。

旋流器入料量、压力由变频器调节渣浆泵的转速控制，电磁流量计、压力表在线显示。入料矿浆由两段旋流器完成分选、分级后，各产品返回搅拌桶形成闭路循环。

批注 [W8]: 文中的层次编号用阿拉伯数字，并以“1”、“1.1”、“1.1.1”形式编排。文中尽量不用“我们”字样。一级标题用 5 号黑体字，数字 1 后空一字。中文各级题名不得超过 20 字，二级标题用 5 号楷体，1.1 后空一字。

批注 [W9]: 文中有图表时，要按照出现的顺序编号，如图 1，图 2，图 3…（表 1，表 2，表 3…），并且正文中必须有与图、表呼应的文字，且叙述应与图、表结果相符。



【右部分文字排入图中对应序号】1.搅拌桶 2.排料阀 3.入料阀 4.渣浆泵 5.回流阀 6.流量计 7.压力表 8.两段旋流器

图1 试验系统与旋流器结构示意图(修改前作者原图)

批注 [W10]: 图和表的标题用小5号黑体,“图1”或“表1”后空一字,如果图中有空位,图下的文字要移到图中,图不宜太大,能清晰表述要表达的内容即可。尽量为编辑部提供矢量图格式,如CAD或Excell原文件等。如果只能提供图片,请提供分辨率300dpi以上的图片。

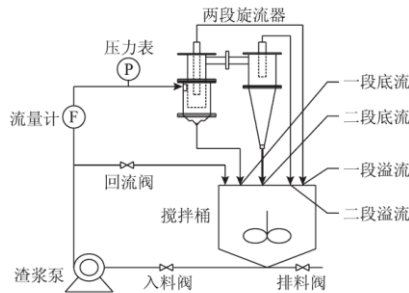


图1 试验系统与旋流器结构示意图

图1 试验系统与旋流器结构示意图(修改后图)

批注 [W11]: 量、单位和符号严格执行国家标准,单位要用字母表示,比如:数字后的“吨”写成“t”,“万吨”应写“万t”等。不可使用非法计量单位。引用文献数据出现非法计量单位时,应换算成法定计量单位的关系式,比如大卡要换算成kJ或MJ,电量“度”应改为“kW·h”。正文中组合单位用分数形式,如:不用 $g \cdot L^{-1}$,而用 g/L 形式。数字与单位之间加一个空格。

批注 [W12]: 正文中不要出现“<”和“>”用文字表示“大于”、“小于”,或“不大于”“不小于”

批注 [W13]: 表的上方须注出表序和表题。表的结构应简洁,具有自明性,采用三线表(可由编辑部做成三线表)。表头物理量对应数据应纵向可读。表中物理量表示方法,如水分 $M_{ad}/\%$ 。物理量与单位间用斜线,单位要用乘积的形式,如 $MJ \cdot kg^{-1}$ 。对于相似的表格应尽量合并。

表注分两种:一种是对全表的综合性注释,以不加括号的阿拉伯数字编号,数字前冠以“注:”,注文回行时左边顶格,每注末加句号;另一种表注与表内某处文字或数字对应,这时表内文字或数字右上角加“*、**”字样,表注也以“*、**”引出注释文字。表内物理量尽量用符号表示。

表格不要做成图片格式。

1.2 试验研究方法

试验过程中矿浆浓度为 $100 g/L$,旋流器入料压力 $0.10 MPa$,此时旋流器矿浆处理量约 $24 m^3/h$ 。此条件下待系统运行稳定后,同时段内接取两段旋流器的4个分离产品,用 0.5 、 0.25 、 0.125 、 0.074 、 $0.038 mm$ 标准套筛湿法筛分,各粒级产品经过滤、烘干后称重。计算各产品中各粒级物料占产品产率。底流(尾煤)与二段底流(精煤) $0.5 \sim 0.125 mm$ 和大于 $0.5 mm$ 粒级产品进行密度组成测定,计算各密度级物料在重产物中的分配率,绘制分配曲线,计算粗粒物料的分选精度。

2 结果与讨论

2.1 分选分级结果

一段分选、二段分级组合旋流器的分选结果见表1。由表1可以看出,物料通过组合旋流器分离,实现了溢流出细粒、一段底流出高灰物料、二段底流出低灰物料的目标。

表1 综合级 $200 \sim 0.5 mm$ 浮沉试验

密度级/ $kg \cdot L^{-1}$	占本级/%	占全样/%	水分 $M_{ad}/\%$	灰分 $A_d/\%$	硫分 $S_{td}/\%$	发热量 $Q_{net,ar}/MJ \cdot kg^{-1}$
<1.30	0.69	0.64	4.948	4.01	0.56	27.85
1.30~1.40	15.75	14.51	4.807	8.44	0.58	26.15
1.40~1.50	12.53	11.55	5.009	16.73	0.51	22.81
1.50~1.60	8.43	7.77	4.192	23.41	0.36	20.04
1.60~1.70	7.02	6.47	3.910	31.59	0.27	16.77
1.70~1.80	5.66	5.22	3.649	40.26	0.28	13.98

1.80~1.90	4.89	4.51	3.092	46.92	0.25	11.17
>2.0	31.61	29.12	2.112	78.65	0.20	1.38
合计	100.00	92.12	3.474	44.20	0.35	12.67
煤泥	3.74	3.58	4.361	36.58	0.77	14.31
总计	100.00	95.70	3.507	43.92	0.37	12.74

2.2 分级效果评定

将一、二段溢流作为细粒产品，一、二段底流作为粗粒产品，结合计算入料粒度组成，计算各粒级在粗粒产品中的分配率。二段旋流器主要功能为分级浓缩，二段溢流作为细粒产品，底流作为粗粒产品，计算二段旋流器各粒级在底流中的分配率。绘制设备总体分配曲线与二段旋流器分级曲线见图 2。

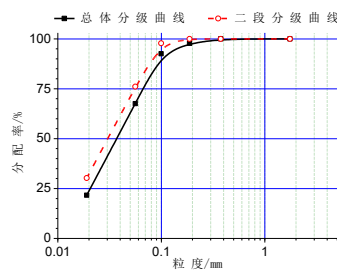


图 2 分级分配曲线 (修改前作者原图)

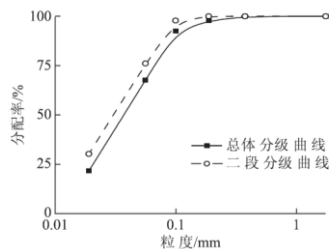


图 2 分级分配曲线 (修改后图)

由图 2 可以得出，设备总体分级粒度接近 0.04 mm，分级精度可能偏差 E 为 0.025 kg/L，二段分级粒度更细。分级过程基本无跑粗现象，但细粒夹带较严重，小于 0.038 mm 在底流中的携带量占入料中此粒级含量的 21.66%，主要原因是由于二段旋流器底流细粒夹带所造成。若以 0.038 mm 作为设备总体分级粒度，其分级综合效率为 72.73%。

2.3 粗粒产物正配效率

从工艺上讲，粗粒产物正配效率越接近 100% 越好。粗粒产物正配效率的定义是：粗粒产物中粗粒物料占计算入料中粗粒物料的百分率，其计算式为：

$$E_c = \frac{\sum \gamma_{0>S_d}}{\sum \gamma_{FT>S_d}} \times 100\% \quad (1)$$

式中： $\sum \gamma_{0>S_d}$ ——粗粒产物中大于指定粒度颗粒的累计产率（占入料），%；

$\sum \gamma_{FT>S_d}$ ——计算入料中大于指定粒度颗粒的累计产率，%。

以林西选煤厂为例，由表 3 数据（指定粒度 $S_d=0.125\text{mm}$ ），

批注 [W14]: 坐标图，端线尽量取在刻度线上。图内的空间较大时可将图注列在图内空白处为宜。横、竖坐标必须垂直，坐标刻度线的疏密程度要相近，刻度线朝向图内，去掉无数字对应的刻度线，不用背景网格线。标度数字尽量完整，过大或过小时可用指数表示，如 10^3 、 10^{-2} 。图注的各项间用分号，最后无标点；纵横坐标的物理量尽量用中文，如，粒度/mm。图中有英文单词时要翻译为中文。对于相似的图像应尽量予以合并，做成分图形式 (a)，(b)，(c) …

批注 [W15]: 公式依出现的顺序编号(如果在下文没有提到此公式，可以不编号)。变量注意用斜体。

在正文文字中出现的物理量、字符、字母以及其他符号，要尽量不用公式编辑器（列出的公式除外）。

在 Word2007 或 2010 中，请使用外挂的 MathType 来编写公式，不要用 word 自带的公式编辑器。

批注 [W16]: 物理量符号在文中首次出现时，前面应有其中文名词或对其进行解释，并标注单位；后文重复出现时可直接用符号表示；物理量符号解释的顺序要以在式中出现顺序为依据。

一个符号只代表一个物理含义，一个物理量只用一个符号表示。符号尽量简化，最好以单字母表示。物理量符号采用国家标准中的规定，如压力用 P 、温度用 T ，均用斜体。矢量、张量、矩阵用黑斜体。下角一般用小写正体，只有下列情况除外：表示数、变量用小写斜体，

$$E_c = \frac{3.66+11.26+12.73+5.35}{3.66+11.31+12.95+6.08} \times 100\% = 97.05\%$$

这意味着该厂大于 0.125 mm 低灰分粗精煤泥仅有 100%-97.05%=2.95%漏到筛下，进入浮选作业。其他三座选煤厂的粗粒产物正配效率计算值列于表 10。

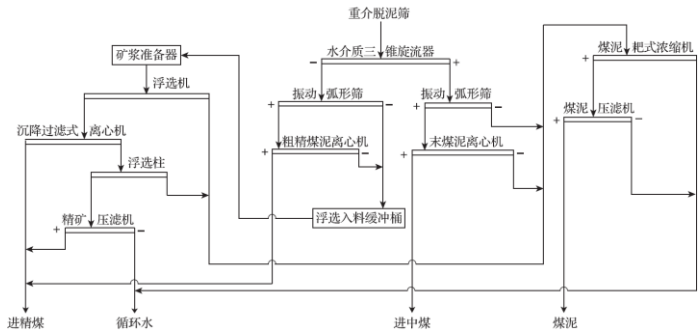


图 3 改造后的浮选工艺流程示意

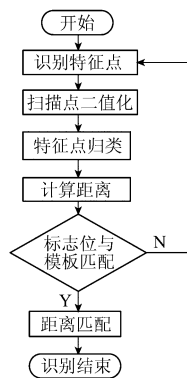


图 4 BP-GA 计算过程

批注 [W17]: 流程图、设备图要合理、简洁，不列与正文无关的内容。注意流程图箭头走向。计算机框图要按规定画，如起始和结束用□、判断用◇等。较复杂的流程图作者要提供矢量图格式。

该厂的精煤弧形筛和中煤弧形筛实际分级粒度为 0.66mm 和 0.58mm，大量的 0.5~0.25mm 粒级物料透筛进入筛下物，因此梗阳选煤厂 0.25mm 粗粒级正配效率仅为 68.76% 和 80.54%。无压给料三产品重介质旋流器分选下限已经达到 0.25mm，这必然造成大量质量已经合格的 0.5~0.25mm 粒级物料进入合格介质中，在旋流器内重复分选。

批注 [W18]: 量值范围可以为 1~50 mm。百分数范围为 12%~18%，而不是 12~18%。偏差范围为 (50±1) Hz 或 50 Hz±1 Hz，而不是 50±1 Hz。附带长度单位的量值相乘表示为：30 cm×40 cm×50 cm，不能写成 30×40×50cm 或 30×40×50cm³。

山西梗阳选煤厂是由北京国华科技集团有限公司（以下简称国华科技）设计的炼焦煤选煤厂，年处理能力 3.0 Mt，采用的是原料煤不脱泥、不分级，以无压给料三产品重介质旋流器为核心的工艺及设备。2016—2017 年山西梗阳选煤厂对新更换筛面的精煤、中煤脱介弧形筛进行了工业性检测，全厂共采用 4 台 OSB362060 型精煤脱介弧形筛和 2 台 OSB362060 型中煤脱介弧形筛，其结构见图 1。该筛筛面宽 3.60 m，长 2.13 m，面积 7.67 m²，筛缝宽度 1.00 mm，开孔率为 40.00%。

批注 [W19]: 两个年份、月份之间用一字线“—”连接。连接几个相关的项目，表示递进式发展或者工艺流程也可以换用一字线。例如，选煤工艺流程：原煤—筛分—破碎—重介质选—浮选。

3 结论与建议

(1) 一段分选、二段分级组合旋流器以一次入料同时实现粗煤泥的分选与细煤泥的分级，可有效减少煤泥回收环节，缩短煤泥分选回收流程；

批注 [W20]: 计量和计数单位前的数字，代号、代码和序号，以及计数的数字等，要采用阿拉伯数字。例如：20 世纪 90 年代，2010 年 4 月 15—21 日，2d 时间，9 本书等。对于计量或计数的数字，小数点前或后若 ≥4 位数，可采用三位分节法，即从小数点起向左或向右每 3 位留出适当间隙，不得用千分撇“，”。如：7 106，3. 141 5。

(2) 溢流分流两段旋流器分选粗煤泥精度高，有效分选粒度下限低，对于细煤泥分级粒度小，分

级精度较高，为动力煤煤泥重力法短流程分选回收提供了新的设备选择。

(3) 建议进一步优化改善二段分级旋流器结构，降低二段底流中的细粒含量，避免因后续脱泥不完善而影响末精煤质量。

(4) 建议加快设备工业应用步伐，为煤炭提质与高效利用贡献力量。

参考文献

- [1] 郑均笛, 王美丽. 对我国大型动力煤选煤厂的评述和建议[J]. 煤炭加工与综合利用, 2017(05): 1-4.
- [2] 钱爱军. 中国动力煤分选工艺现状及展望[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(4): 22-24.
- [3] 齐正义. 动力煤深度洗选加工的研究[J]. 选煤技术, 2012(5): 37-39.
- [4] 叶贵川, 马力强, 徐鹏, 等. 螺旋分选机应用现状研究[J]. 煤炭工程, 2017, 49(4): 132-135.
- [5] 沈丽娟, 陈建中, 祝学斌, 等. ZK-LX1100螺旋分选机精选粗煤泥的研究[J]. 选煤技术, 2009(6): 16-20.
- [6] 孙伟, 沈丽娟, 陈建中, 等. ZK-LX1100型螺旋分选机的应用[J]. 矿山机械, 2010, 38(7): 78-81.
- [7] 张彦军, 孟叶胜, 张峰, 等. 张家口选煤厂粗煤泥分选系统技术改造[J]. 煤炭工程, 2016, 48(3): 74-76.
- [8] 陈峰华, 王建南. 斜沟选煤厂煤泥处理与综合利用[J]. 煤炭与化工, 2017, 40(6): 130-133.
- [9] 徐东升, 崔广文, 刘立文, 等. 三锥角水介旋流器应用效果分析[J]. 选煤技术, 2015(1): 41-44.
- [10] 石尚杰, 郝守信, 夏灵勇. 三锥角水介旋流器分选吕家塔选煤厂粗煤泥的工业应用研究[J]. 选煤技术, 2015(4): 15-18,22.
- [11] 樊民强, 董连平, 韩小恒, 等. 新型水介旋流器分选粗煤泥的试验研究与工业应用[J]. 选煤技术, 2007(4): 25-29.
- [12] 董连平. 具有水跃复锥结构的煤泥旋流重选柱研究[D]. 太原理工大学, 2014.
- [13] 程宏志, 徐春江, 李伯云, 等. 一种水力分级分选一体化装置[P]. 中国, ZL200920101222.7, 2009-11-11.
- [14] 夏文成, 王天威, 倪超, 等. 脱泥型液固流化床粗煤泥分选溢流精煤分级装置[P]. 中国, 201710024070.4, 2017-05-17.
- [15] 崔广文, 刘惠杰. 粗煤泥分选分级一体机[P]. 中国, 201610463448.6, 2016-08-17.
- [16] 位革老. 复合型煤泥旋流器分级分选效果试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(8): 113-116.
- [17] 樊民强, 张明, 张大卫, 等. 一种溢流直连的三产品旋流器[P]. 中国, 201510062797.2, 2015-05-20.
- [18] 王江鹏, 卫伟, 樊民强, 等. 溢流分流两段旋流器分选分级效果试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(2): 209-214.
- [19] 戴少康. 选煤工艺设计实用技术手册[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2010.

收稿日期: XXXX-XX-XX

基金项目: XXXXXXXXXXXX 基金资助项目 (项目编号): ...

作者简介: XXX (出生年-), 性别, XXXX人(籍贯), XXX年毕业于XXXX学校XXXX专业, XXXX学位, XXXX单位职务或职称. 电话: XXXX, E-mail: XXXX@XXX.

批注 [W21]: 参考文献以在正文中引用的先后顺序排列, 并在文中引用的位置以上角的形式标出, 序号加方括号。参考文献数量最好不少于 10 篇。具体格式参见“参考文献著录规则”。字号为小 5 号。

一般期刊的标注方式如下:

析出文献主要责任者. 析出文献题名[J]. 连续出版物题名, 年, 卷(期): 页码范围.

书籍等专著的标注方式如下:

析出文献主要责任者. 析出文献题名[M]. 出版地: 出版单位, 出版年.

批注 [W22]: 收稿日期一般由编辑部填写, 如果文章有基金支持, 尽量填写, 有助于文章尽快发表, 作者简介要填写完整。在校学生没有工作单位的, 书写格式如下: 作者简介: XXX (出生年-), 性别, XXXX人(籍贯), XXX学校XXX专业 XXX级在读硕士/博士/本科学子, 研究方向: XXX。