

TWL45S 型 ASG 汽动泵电磁超速跳闸故障原因分析

吉广娇

(辽宁红沿河核电有限公司 辽宁 大连 116001)

摘要: 国内某电厂2号机和4号机的专项检修中, Clyde Pump生产的TWL 45S型汽动泵在机组上下行期间出现电磁超速跳闸缺陷, 通过大量数据分析, 锁定跳闸故障点。

关键词: ASG汽动泵; 电磁超速; 故障原因分析

1 背景概述

1.1 背景信息

2016年12月31日, 国内某电厂2号机第二次大修上行热停堆阶段执行2ASG004PO全流量试验, 泵在启动阶段, 累计发生三次跳泵现象, 无法正常启动。通过调整2ASG237/238VV阀门开启时间、泵进出口排气、机械检查等一系列工作后, 执行两次全流量试验验证成功, 试验合格。

2017年4月23日, 该电厂4号机专项检修下行期间执行T4ASG032试验(7500kPa), 双泵全流量启动过程中4ASG003/004PO先后出现电磁超速跳闸情况, 核实高速记录仪, 跳闸值分别为9802r/min和9417r/min, 后各专业进行联合检查, 结合2号机第二次大修期间的跳闸反馈, 针对性进行排查, 最终对泵进行排气检查、气穴检查、调整进汽阀门空气压力以及调速器调整螺母等一系列检查与调整后, T4ASG032(7500kPa)/031/006试验相关数据均合格, 汽动泵恢复可用。

2号机第三次大修上行执行T2ASG006试验时, 2ASG004PO单泵启动再次出现电磁超速跳闸, 跳闸峰值约9563r/min, 执行预案减小调速器弹簧预压缩量, 全流量启动2ASG004PO正常, T2ASG006试验完成。再次执行双泵全流量启动2ASG003/004PO, 2ASG004PO发生电气超速跳闸。分析为2ASG004PO的进汽截止阀2ASG237/238VV开启时间较快, 调速器系统无法及时响应, 造成汽动泵超速跳闸可能性较大。现场增加电磁阀节流堵头(2.9mm)后, 重新执行T2ASG006试验, 经四次启泵试验验证, 未发生跳闸故障, 泵组性能满足要求, 试验合格。

1.2 ASG汽动泵调速原理

该电厂每台机组有2台汽动辅助给水泵

组(50%); 调速器为机械式GOVERNOR调速器, 靠文丘里管喉部及泵出口两股信号水压力控制。

调节阀通过阀杆的升降带动阀瓣升降, 以控制通汽口的大小, 起到调节蒸汽压力、流量的作用。调节阀阀杆的升降是通过调速机构控制。其依靠蒸汽压力+弹簧力=液体压差+文丘里管信号水对顶杆压力的平衡达到调节效果。泵出口自带文丘里管, 具有减压作用。因此活塞上腔压力大于下腔压力, 上下压差形成一个方向向下的压力, 同时文丘里管对顶杆有一个向下的压力。调节原理如图1所示。

1.3 ASG汽动泵启动过程分析

泵启动瞬间, 调节阀全开, 汽轮机和泵转速迅速上升。文丘里管喉部建立压力后, 对顶杆下移并压缩弹簧, 弹簧力增大, 调节阀向上移动关小, 减少进汽, 达到平衡。小流量转全流量工况下, 由于文丘里管压力变小, 受弹簧力顶杆上移, 调节阀向下移动开大, 增大进汽满足泵做功。

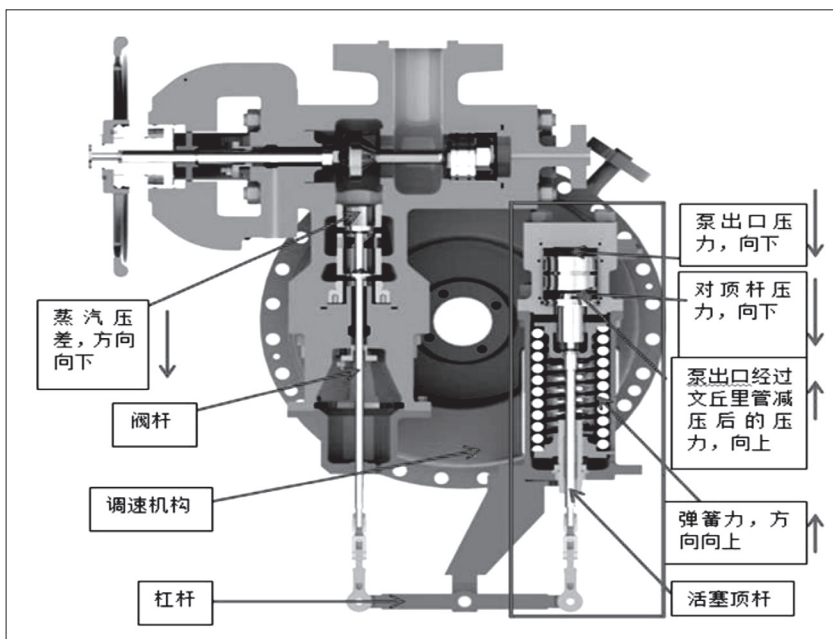


图1 调速机构原理

全流量转小流量工况下,由于文丘里管压力变大,顶杆下移,调节阀向上移动关小,减小进汽满足泵做功。

2 原因排查过程

2.1 调节阀及调速器本体故障

(1)调节阀阀杆检查:4ASG136VV 阀芯划痕非新划痕,动作顺畅。2ASG136/236VV、4ASG236VV 状态良好;调节阀相关尺寸已检查,4ASG136VV 的 D 值存在超标,但其影响为关阀方向,对跳闸不存在积极贡献。离线打压调速器:打压时顶杆动作顺畅。

(2)调速器相关尺寸已检查,无超标问题。

(3)2ASG003/004PO、4ASG003/004PO 在日常及下行小流量试验期间启动正常,均未发生跳机现象,间接说明汽动泵本身调速器及调节阀无异常。

2.2 出口压力相对于转速建立迟缓

(1)根据录波仪数据收集,发现泵出口压力在跳闸比启动成功时建立迟缓,调速器因泵出口压力建立迟缓,进而调节阀关阀速度慢,蒸汽大量涌入汽柜,转速上升,导致超速跳闸。结果如图 2 所示。

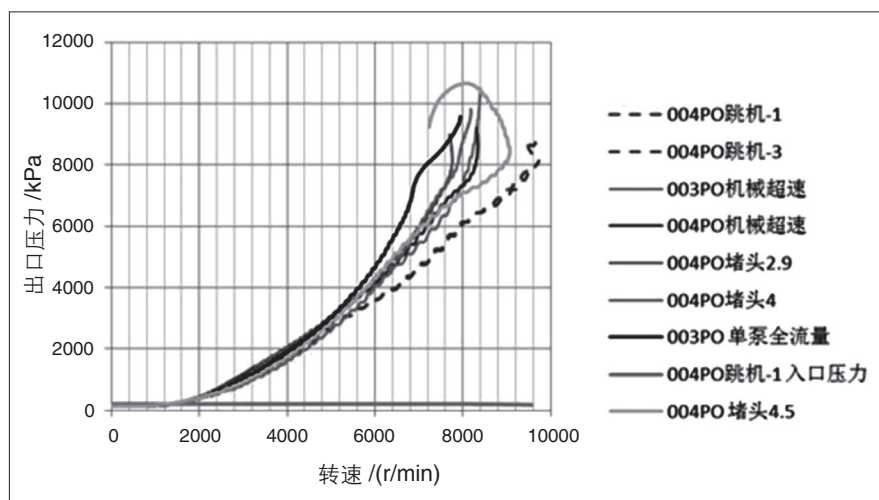


图 2 2号机第三次大修上行升速阶段转速与压力对应曲线——2ASG004PO

(2)4号机专项检修下行/上行以及3号机第一次大修上行 ASG 汽动泵每次启动达到 8000r/min 对应出口压力值统计,每次跳闸工况下泵出口压力都偏低,加以印证泵出口压力在跳泵工况比启动成功工况建立迟缓。

(3)综上分析,同等转速下,跳泵时泵出口压力相对较低是跳泵直接原因,调速器因泵出口压力低,进而调节阀开度大,蒸汽大量涌入汽柜,转速上升,导致超速跳闸。

2.2.1 蒸汽侧因素

(1)四台机组进汽阀门电磁阀均已改造,改造前后阀门开启时间对比,改造后明显比改造前开启时间快,2/4 较 1/3 号机进汽阀门开启时间快,同时 4 号机专项检修下行与 3 号机第一次大修上行开启时间对比也加以印证。

(2)通过时间与转速坐标轴对比,4ASG003/004PO 出现的几次跳闸曲线,转速上升斜率都比较大,说明调速器未参与调节或参与调节程度不够,同时上游进汽阀门开启时间也比较快(跳闸几次开启时间 $\leq 1s$)。

(3)综上分析,由进汽阀开启时间过快造成大量蒸汽涌入,转速迅速上升,泵出口压力相对于转速建立迟缓,进而调节阀关阀速度慢,升速速率未得到控制,直至超速跳泵。

2.2.2 水侧因素

(1)由于管道布置,入口管阻大,泵入口产生局部汽蚀,启动瞬间泵负载小跳闸,经核实,1/3 号机出入口管线布置相同,2/4 号机出入口管线布置相同,计算额定流量下(126T/H)2/4 比 1/3 号机入口管线管阻大 20kPa,启动瞬间记录入口压力最大为 110kPa 降至 68kPa,跳闸工况入口压力变化,可以发现跳闸工况入口压力变化幅度较大,间接说明进汽过快,泵转速迅速上升,水侧吸入口所需流量较大,进而压力降低幅度大。

(2)水中溶解气体,微小气泡析出,造成水密度下降,压力与转速关系偏离,加之系统管线积气,导致启动瞬间负载小,造成汽动泵超速跳闸,现场已对泵体及出入口管线进行排气,未发现明显气泡,同时对管线进行超声波测量气穴,也未发现积气情况。

(3)综上分析,ASG 汽动泵水侧故障对电磁超速跳闸故障的产生有积极的影响。

2.3 原因分析结果

故障原因分析及改进措施见表。

3 处理验证

(1)根据排查结果,进汽阀 ASG137/138/237/238VV 开启时间过快,造成大量蒸汽涌入,转速迅速上升,泵出口压力相对于转速建立迟缓,进而使调速结构调节滞后,升速速率未得到控制,导致电磁超速跳闸。4 号机专项检修期间,对 4ASG137/138/237/238VV 增加消音器,上行验证与下行曲线对比发现,增加消音器后泵出口压力与转速建立跟随性较好,每次启动曲线很吻合,见图 3、图 4。

(2)同时对增加消音器后进汽阀开启时间验证,发现增加消音器后开启时间明显变慢,增加消音器前开启时间平均值 1.0s,增加后开启时间平均值 2s,效果良好。基于以上成功经验,在 4 号机第一次大修期间,对 4ASG137/138/237/238VV 进行改造,对弹簧和电磁阀进行换型,并对电磁阀加装节流堵头,进一步延长进汽阀的开启时间,并且经 4 号机第一次大修上行试验的验证,未再

表 故障原因分析及改进

原因		可能性	改进措施
(1) 调节阀及调速器本体故障		低	后续每轮机组大修热态试验对 ASG136/236VV 增加 LVDT 位移传感器进行录波, 采集调节阀动作跟随性
(2) 泵出口压力相对于转速建立迟缓	①进汽阀开启时间快	高	对 1-4 号机的进汽隔离阀 ASG137/138/237/238VV 的电磁阀及弹簧进行改造, 电磁阀换为 V301 型号, 弹簧换为新型大弹簧, 在电磁阀的排气口安装节流堵头
	②由于管道布置, 入口管阻大, 泵入口产生局部汽蚀	低	后续每轮机组大修对入口压力录波, 进行数据对比分析
	③水中溶解气体, 微小气泡析出, 造成水密度下降, 压力与转速关系偏离	低	后续各机组大修热态试验前对 ASG003/004PO 入口进行气穴测量, 若存在积气现象, 对泵入口进行排气

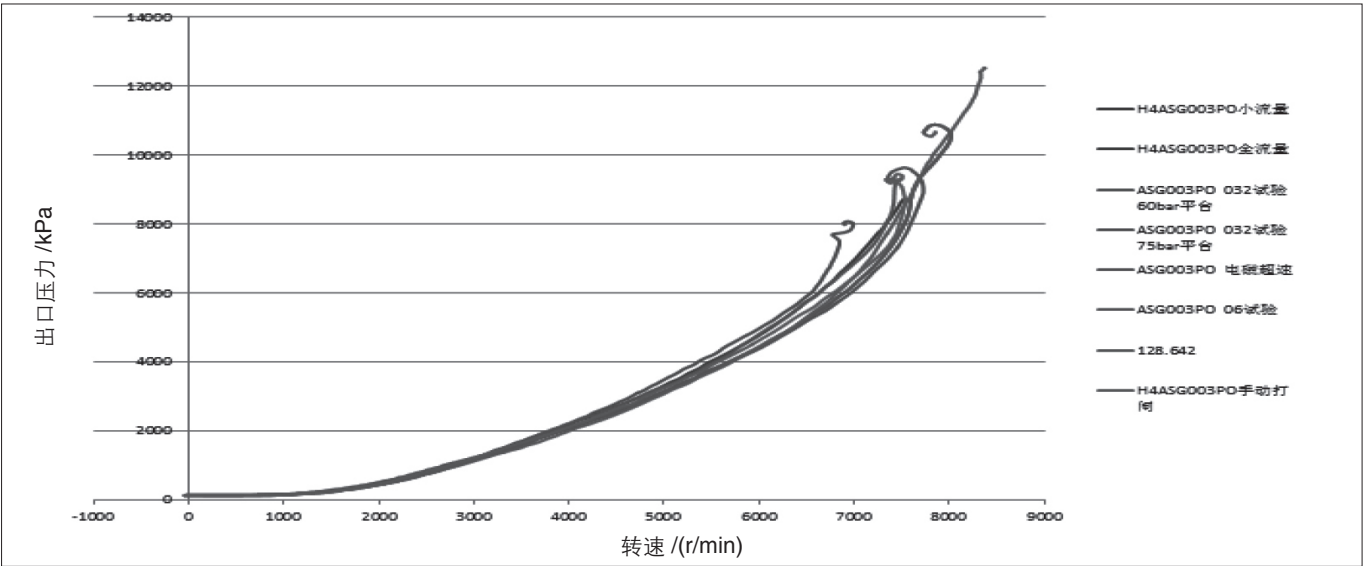


图 3 4 号机专项检修期间上行（增加消音器）升速阶段压力与转速对应曲线——4ASG003PO

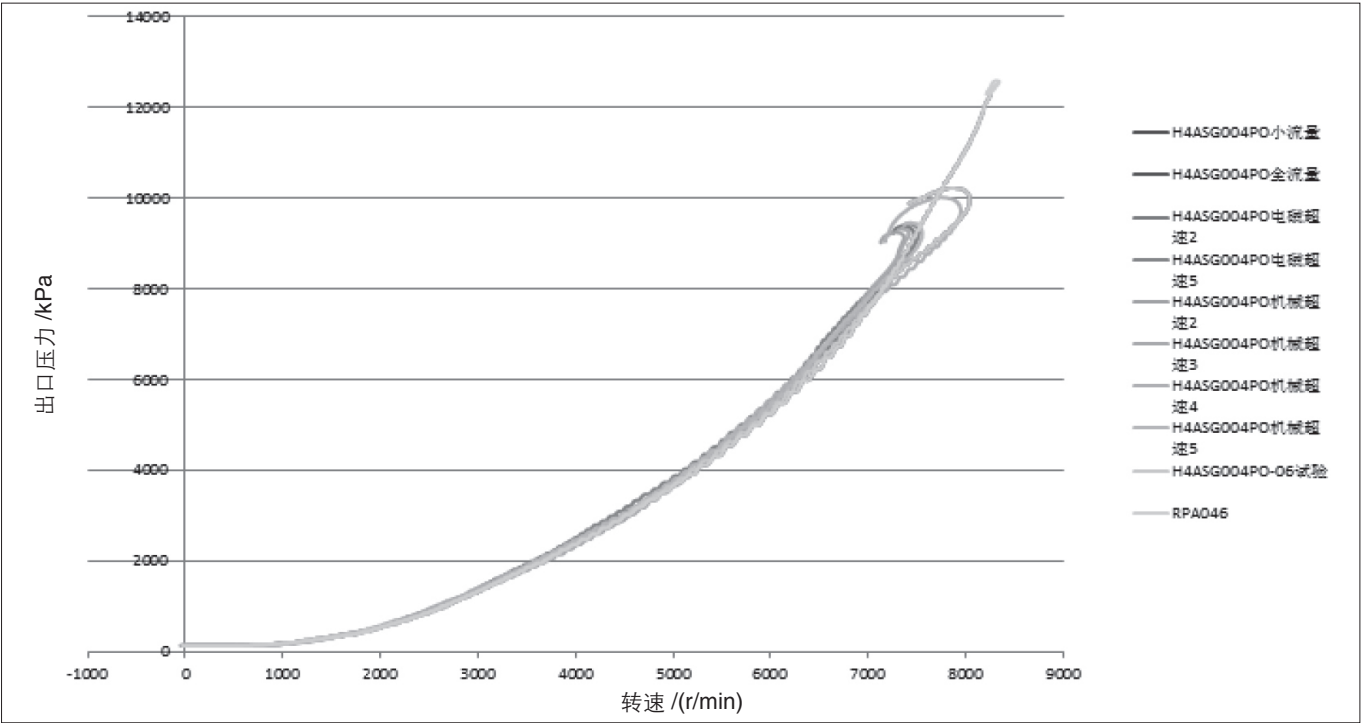


图 4 4 号机专项检修期间上行（增加消音器）升速阶段压力与转速对应曲线——4ASG004PO

次出现跳泵故障。

(3) 根据仿真分析结果偶数机组开阀时间 6.3s 时跳闸, 6.4s 不跳闸, 奇数机组开阀时间需 6.1s 时跳闸, 6.2s 不跳闸, 现场对所有机组执行进汽阀改造, 对比改造前后进汽阀开阀时间, 阀芯动作时间 (SM5-SM3) 明显延长, 均满足仿真分析结论。

4 结语

经过现场勘查取证, 根据大数据对比及理论分析, 该电厂 ASG 汽动泵电磁超速跳闸故障原因分析结论为:

(1) 直接原因: 汽动泵升速率高, 因液体固有的惯性响应迟滞特造成水侧压力建立慢 (同一转速下对应压力低), 导致调速机构驱动力不足, 引发超速;

(2) 根本原因: 供汽隔离阀开启特性、泵内液体固有惯性响应迟滞特性、调阀动作响应特性三者匹配不佳, 综合导致泵升速速率过快。

(3) 促成因素: 由于该电厂的 2/4 号机的 4 号泵管线排布方式的影响, 泵入口管线较其他泵组长, 管阻损失大, 促成了电磁超速跳闸的故障。

针对以上分析结论, 最终采取措施是将进汽隔离阀的弹簧变更为大弹簧, 将电磁阀换型并在排气口增加节流堵头, 经 4 号机第一次大修及 2 号机第四次大修上行试验期间验证效果良好, 未出现跳闸故障。同时将 2/4 号机已采取的措施反馈至 1/3 号机, 已分别在 1 号机第五次大修和 3 号机第 3 此大修期间执行, 并在上行试验时得以验证。

参考文献:

[1] 王涛, 刘谦. 某核电厂 2ASG004P0 汽动泵电气超速跳闸根本原因分析报告 [Z].

作者简介: 吉广娇 (1990. 10-), 男, 汉族, 本科, 工程师, 研究方向: 核电站核岛泵检修。

征稿启事

《中国机械》(Machine China) 杂志, 1982 年创刊于北京, 由中国工业经济联合会主管, 中国工业报社主办, 是经国家新闻出版总署批准登记的机械工业类学术期刊 (旬刊), 系万方数据全文数据库。国内统一刊号: CN11-5417/TH; 国际标准刊号: ISSN 1003-0085; 邮发代号: 28-165。

《中国机械》杂志定位于成为机械工业领域产学研用协同创新平台, 顺应大机械学科发展趋势, 主要刊发机械工程领域及其交叉学科具有创新性的应用研究, 进而推动机械工程技术进步的优秀科研成果, 兼顾基础研究领域对科技创新有前瞻性和重大影响的基础理论研究, 引领机械工程学科发展。杂志主要服务机械工业主管部门、行业组织、科研院所、制造企业, 以及各相关企业事业单位等, 以管理者、中高层技术人员、经理人为主。

◆ 栏目设置 ◆

本刊特稿: 发表有较高价值的应用研究论文, 理论上有深度或前瞻性的研究论文, 以及技术创新、政策解读和市场调研等方面的热点综述文章。

机械制造与智能化: 发表机械制造技术、工艺、智能及自动化等科技论文。

工业设计: 发表机械设计、产品设计、造型设计、环境设计、建筑设计、传播设计和设计管理等科技论文。

工业互联网: 工业系统与高级计算、分析、感应技术以及互联网连接融合、软件和大数据库设计等科技论文。

先进材料技术: 发表高性能结构材料、功能材料、关键原材料与先进制造业结合相关科技论文。

先进动力与能源技术: 先进及新型动力系统相关科技论文。

现代交通技术: 立足综合交通运输技术, 主要刊发道路工程机械、桥隧工程机械、交通工程机械、港航工程机械、轨道交通装备等领域的科研文章。

可持续环境工程: 发表环保机械、环保工程相关科技论文。

机械工业: 发表农业机械、工程机械、内燃机、仪器仪表、石油化学通用机械、机床工具、汽车、重型矿山机械、文化办公设备、电工电器、食品包装机械、其他民用机械, 以及增材制造等行业领域的科技应用论文。

市场与管理: 发表机械工业相关的市场分析、管理提升等学术论文。

质量与标准: 发表机械工业相关企业事业单位的质量管理、体系建设及相关产品标准、故障诊断等科技论文。

安全与生产: 发表机械装备制造、施工及使用过程中安全与生产等科技论文。

职业教育: 发表机械行业相关院校职业教育、学生就业、创业等相关文章。

首台套: 发布首台套重大工业技术装备有关技术突破、功能创新、用户反馈等相关文章。

◆ 征稿要求 ◆

1. 本着尊重原创、严禁抄袭的原则。

2. 文章格式采用 GB7713-87, 科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式。

3. 稿件的结构组成, 按次序排列为: 题名、作者署名、作者工作单位名称、第一作者工作单位所在省、市及邮编; 摘要、关键词; 引言、正文、结语; 基金项目 (可选)、参考文献 (必选) 及作者简介 (可选)。

(1) 题名: 符合学术期刊论文标题要求, 简单明了概括文章主题, 一般不超过 15 个字。

(2) 作者署名及工作单位: 所有文章须 2 版起发, 2 版论文的作者数量不应超过 3 位; 4 位作者的论文起发表版面数为 3 版; 5 位作者的论文起发表版面数为 4 版, 依此类推。多位作者分属不同工作单位的, 须明确标注。

(3) 摘要: 摘要应具有独立性和自含性, 即不阅读论文的全文, 就能获得必要的信息。摘要一般应说明研究工作的目的、实验方法、结果和结论等, 重点是结果和结论。以 200 ~ 300 字为宜, 用第三人称写, 尽量不重复题名中已有信息。不出现插图、表格、公式及参考文献序号等。

(4) 关键词: 每篇论文选取 3 ~ 6 个单词或术语作为关键词。

(5) 正文: 撰写论文时, 不同级别标题可采用阿拉伯数字 1, 1.1, 1.2, 1.3, ..., 2, 2.1, 2.2, 2.3, ... 标示。结语部分不能重复正文内容, 如果层次分明, 可以编号 (1)、(2) 等分条来撰写。

(6) 参考文献: 参考文献须按照 GB-T7714 - 2005 标准编写。所引用的文献及对应的刊物需具有较高的学术质量。作者一律姓前名后 (外文作者名应缩写), 多位作者间用 “, ” 间隔。凡参考过本刊论文的, 请切记标注在参考文献中。

(7) 作者简介: 须按照统一格式编写: 姓名 (出生年. 月 -), 性别, 民族, 籍贯, 最高学历, 职称, 研究方向: 具体专业 (不超过 10 个字为宜)。

注:

1. 作者所投论文是否满足要求, 以《中国机械》编辑部审核意见为准, 编辑部拥有稿件的惟一最终审核权。

2. 文章一旦被录用, 除特殊原因不允许无故撤稿。同时, 不允许再行增减作者或变更原作者顺序, 否则一律视为作者主动撤稿, 该稿将不再录用。

3. 作者在收到稿件录用通知后, 如主动撤稿并易名再投, 一经发现, 将被纳入本刊敏感作者名单, 相关稿件均不再录用。

4. 对于未通过本刊初审, 二次投稿依然不能通过审核的稿件, 一律做退稿处理, 不再录用。

5. 针对每一篇论文, 编辑部将免费赠送一本发表该论文的期刊, 如需更多请联系编辑部预定。

◆ 权利和责任约定 ◆

1. 作者在投稿时视同同意向《中国机械》编辑部授予论文著作权有许可使用和独家代理授权书, 包括授权以电子出版物形式出版发布。

2. 编辑部收到稿件后, 将按照工作流程对稿件进行处理。

3. 稿件需经本刊编辑和审稿专家审核, 一经录用则依照编辑部出版流程依序刊登出版。如果作者想撤稿或改投其他刊物, 需向本刊提出申请, 已定稿、进入了出版流程的稿件, 作者需承担相应的责任和费用。

4. 本刊只接收作者原创、未公开发表过的论文, 对存在抄袭剽窃、一稿多投等学术不端现象的论文, 编辑部将严肃处理。