

# Analysis of energy saving effect of the turbine flow passage reconstruction

Yu Wang

State Power Investment Corporation Fushun Liaodian Operation Management Co., Ltd., Fushun, Liaoning, 113007, China

## Abstract

To address energy cost pressures and meet energy conservation requirements, implementing energy-saving retrofits on turbine flow passages has become crucial for enhancing the efficiency of aging units. This paper investigates the technical approaches and practical outcomes of energy-saving retrofits for traditional steam turbines, which suffer from energy loss due to performance degradation in flow passages. The analysis identifies key energy consumption factors such as blade wear and clearance leakage, while detailing the energy-saving mechanisms achieved through core technologies including optimized blade profiles and grid structures, upgraded sealing systems, and improved steam intake/exhaust mechanisms. Field applications demonstrate that these retrofits effectively enhance energy conversion efficiency, improve load adaptability, achieve significant reductions in specific energy consumption, and enhance operational stability, providing an effective pathway for enterprises to reduce energy consumption and facilitate technological transformation.

## Keywords

steam turbine; flow path; energy-saving retrofit; energy loss; operational efficiency

## 汽轮机通流部分改造的节能效果分析

王宇

国家电投抚顺辽电运营管理有限公司, 中国·辽宁 抚顺 113007

## 摘要

为应对能源成本压力与节能减排要求,对汽轮机通流部位实施节能改造成为提升老旧机组效能的关键。本文针对传统汽轮机因通流部位性能衰退导致的能量损耗问题,探讨了其节能改造的技术路径与实际应用效果。文章分析了通流部位叶片磨损、间隙泄漏等主要能耗成因,重点阐述了通过优化叶片型线与叶栅结构、升级密封技术、改进进排汽机构等核心技术进行改造的节能机理。实践表明,改造能有效提升机组能量转换效率,增强负荷适应能力,实现单位能耗显著降低,并改善运行稳定性,为企业节能降耗与转型升级提供了有效途径。

## 关键词

汽轮机; 通流部位; 节能改造; 能量损耗; 运转效能

## 1 引言

在能源结构转变与节能减排政策不断向前推进的背景之下,传统能源企业面临着降低成本、提高效益的急切需求。汽轮机作为电力生产以及工业动力供应的核心装备,其能耗占比处于较高水平,特别是运行年限比较长的老旧机组,鉴于当时设计技术水准存在局限以及长期运行产生损耗,通流部位的气动性能大幅降低,存在着严重的能量浪费情形。通流部位改造作为汽轮机节能升级的关键举措,具备改造周期相对较短、投资回报率较高、技术成熟程度较高等优势,已经在工业领域获得广泛运用。本文立足于实际工业场景,深入分析通流部位改造的技术路径与节能机理,结合改造实践说明其节能效果,规避空泛的理论内容,将重点放在贴近

实际的技术应用以及实际效益方面,为企业开展汽轮机节能改造提供切实可行的参考内容<sup>[1]</sup>。

## 2 汽轮机通流部分运行现状及能耗问题

### 2.1 通流部位核心构成及运行功能

汽轮机通流部位主要由进汽构造、隔板、喷嘴、动叶片、叶栅、排汽构造等部件构成,是蒸汽完成能量转换的核心通道。其核心功能是把蒸汽的热能转变为动能,接着借助动叶片将动能传导至转子,最终达成机械能的输出。在运行过程当中,蒸汽依次经历进汽构造节流环节、喷嘴膨胀加速环节、动叶片做功环节、排汽排出环节等阶段,每个环节的能量损耗都对机组的整体效能产生直接影响。通流部位的设计精准程度、部件性能以及运行状态,是决定汽轮机能量转换效率的关键要素。

### 2.2 现实运转中的主要能耗事项

自工业现实运转状况而言,汽轮机通流部位的能耗事

【作者简介】王宇(1983-),男,中国辽宁阜新人,本科,工程师/技师,从事火力发电厂汽轮机研究。

项主要来源于两个层面：其一为陈旧机组的设计欠缺，早期设计技术水准存在局限，通流部位的气动布局、叶片型线设计未达优化程度，使得蒸汽流动进程中产生较大的气动损耗；其二是长期运转造成的性能减退，在高温、高压、高速转动的工况环境下，通流构件容易出现磨损、腐蚀、积垢等状况，同时叶片、隔板等构件可能产生形变，致使通流间隙扩大，出现蒸汽泄漏情形。此类事项会直接造成蒸汽能量利用率降低，机组发电煤耗或供热煤耗上升，不仅加大了企业的能源成本，还与节能减排的要求相背离。举例来讲，部分运转超过15年的机组，因通流部位磨损和泄漏，其热效率较新机组降低5%—8%，能源浪费状况极为严峻<sup>[2]</sup>。

### 3 汽轮机通流部位改造的核心技术要点

#### 3.1 叶片及叶栅优化改造

叶片作为通流部位能量转换的核心构件，其型线设计直接决定了蒸汽流动的气动性能。在实际改造工作中，叶片优化主要采用两种形式：其一为更换新型高效叶片，结合现代气动设计技术，对叶片的型线、弦长、安装角等参数进行优化，减少蒸汽在叶片表面的附面层分离和涡流损耗；其二为对原有叶片实施修复与整形，针对磨损程度较轻的叶片，借助打磨、补焊等手段修复表面缺陷，调整叶片安装间隙，使其原有气动性能得以恢复<sup>[3]</sup>。叶栅作为叶片的组合构造，其排列密度和气流通道形状同样会对蒸汽流动效率产生影响，改造过程中需对叶栅的间距和排列方式进行优化，确保蒸汽平稳、均匀地流过叶栅通道，减少气流相互干扰带来的能量损耗。在现实改造施工活动中，叶片更换需严格掌控安装精度，防止因安装偏差引发额外泄漏和振动事项，这是保障改造成效的关键环节。

#### 3.2 通流间隙密封优化

通流间隙泄漏属于汽轮机能量损耗的重要来源之一，主要涵盖叶片顶部与隔板之间、隔板与转子之间的间隙泄漏。在实际运转过程中，受机组振动、部件热膨胀、磨损等因素影响，通流间隙会逐渐扩大，造成大量高压蒸汽未参与做功便直接泄漏，形成严重的能量浪费。通流间隙密封优化改造是提升节能效果的关键举措，常用的改造形式包括更换新型密封构造和优化密封间隙。新型密封构造像蜂窝密封、刷式密封之类，同以往的梳齿密封相对比，具备更佳的密封效能与耐磨特质，可有效实施蒸汽泄漏量的降低操作；同时，与机组的热膨胀特征相契合，借助精准化的计算及加工手段，对密封件的安装间隙进行优化处理，于保障机组安全运行的基准之上，将通流间隙予以最大限度地缩减，达成泄漏损失的减少目的。于改造进程当中，需对机组启停流程中的热胀冷缩改变情况展开充分考量，防止密封间隙过小而引发部件磨损问题，对密封构造的可靠程度与耐用时长进行确保<sup>[4]</sup>。

#### 3.3 进汽以及排汽机构的优化事宜

进汽机构所产生的节流损耗和排汽机构的余速损耗同

样属于通流部分能量损耗的关键构成内容。进汽机构的改造工作主要是通过对进汽阀组构造的优化、对喷嘴调节形式的改进来加以实现，进而降低蒸汽进入通流部分时所面临的节流阻力，保证蒸汽平稳地抵达喷嘴通道；针对排汽机构，主要是借助对排汽通道形状的优化、对排汽面积的增大，来减少蒸汽排出时的余速损耗，实现排汽效率的提升。在实际的改造工作当中，部分机组会运用进汽喷嘴分组优化设计方案，依照机组不同的负荷工况状况，对喷嘴的开启次序和开启程度进行调整，让通流部分在全负荷范围之内都能够维持较好的气动性能，避免部分负荷工况下出现能量浪费现象。除此之外，排汽管道的优化改造工作同样不可轻视，通过对排汽管道内部积垢的清理、对管道走向的优化，来降低蒸汽流动阻力，进一步实现排汽损耗的降低<sup>[5]</sup>。

### 4 通流部分改造的节能机理剖析

#### 4.1 气动损耗的减少，能量转换效率的提升

气动损耗属于通流部分能量损耗的主要表现形式，涵盖沿程摩擦损耗、局部涡流损耗、撞击损耗等内容。通过叶片以及叶栅的优化改造举措，新型高效叶片的型线更能契合蒸汽流动的气动特征，能够有效开展蒸汽在叶片表面附面层分离现象的减少工作，降低沿程摩擦损耗；优化之后的叶栅排列形式可使气流通道更为顺畅，避免气流相互干扰所产生的涡流损耗。同时，在部分负荷工况条件下，优化后的进汽调节形式能够让蒸汽均匀地进入叶栅，减少叶片与气流之间的撞击损耗，确保机组在不同负荷状态下都可以维持较高的能量转换效率。这些改造举措从根本层面提升了蒸汽热能向动能、机械能的转换效率，直接造成单位能耗的降低。

#### 4.2 缩减泄漏损耗，削减能量浪费

通流间隙当中的蒸汽泄漏归属于无效能量耗费，泄漏的高压蒸汽并未投身动叶片做功环节，径直经由间隙流失，不只是虚耗了蒸汽的能量，还会对主流蒸汽的流动形成干扰，进而加大能量损耗。借助密封优化改造举措，新型密封构造与合理的密封间隙能够有力阻挡高压蒸汽的泄漏情况，让更多蒸汽参与做功进程，提升蒸汽的利用程度。与此同时，减少泄漏还可以规避泄漏蒸汽对部件造成冲刷磨损问题，延长部件的使用时长，保障机组实现长期稳定运转，间接地提升机组的节能效益水平。

#### 4.3 优化负荷适应能力，降低变工况能量消耗

在工业生产场景下，汽轮机常常需要依据生产负荷的变动情况调整运行状态，传统机组处于变负荷工况之时，通流部分的气动性能会出现大幅下滑态势，致使能量消耗升高。通流部分改造工作通过优化进汽调节模式、叶片型线以及叶栅构造，增强了机组的负荷适应能力，使得机组在高、中、低不同负荷工况条件下都能够维持较好的通流效率水准。举例来讲，改造之后的机组在低负荷运行阶段，借助合理的喷嘴开启组合方式，能够避免部分叶片处于低效运行状

况,减少能量浪费现象;在高负荷运行阶段,优化后的通流构造能够满足大流量蒸汽的顺畅流动需求,提升做功效率,进而降低机组在全负荷范围内的平均能量消耗。

## 5 通流部分改造的实际节能效果及应用价值

### 5.1 直接节能成效体现:降低单位能量消耗

从工业改造实践情况观察,通流部分改造能够显著降低汽轮机的单位能量消耗。针对运行年限较长的老旧机组,通过实施叶片优化、密封改造以及进排汽机构优化等组合措施,机组的热效率能够提升3%~6%幅度,相应的发电煤耗或者供热煤耗会出现大幅下降情况。例如,某热电联产企业所属的300MW汽轮机,在运行12年之后通流部分磨损情况严重,能量消耗升高,通过开展通流部分全面改造工作,优化了叶片型线与密封构造,改造之后机组在相同负荷条件下的蒸汽消耗量有所减少,单位供热煤耗降低了40g/GJ以上幅度,单位发电煤耗降低了15g/kWh左右幅度,节能成效显得十分显著。此类直接的节能成效能够迅速降低企业的能源采购成本费用,提升企业的经济效益水平。

### 5.2 间接节能效益:构造机组运转稳固性与经济格局

通流区段改造非但可催生直接的节能成效,还能塑造机组的运行稳固性与可靠性,衍生间接的节能收益形态。改造达成的通流构件性能进阶,磨损、泄漏等状况获得应对,机组的振动、温度等运转参量更趋稳定态势,削减了因故障停摆带来的能源损耗与生产亏损规模。同时,改造之后的机组维护周期延伸,维护成本压缩,进一步提升了企业的经济收益结构。另外,机组能耗降低之后,企业的污染物排放数量也会相应收缩,契合节能减排政策诉求,规避了环保责罚风险情形,提升了企业的社会形象维度。

### 5.3 行业应用价值:助力传统能源企业转型蜕变进程

在当前能源转型的宏大背景之下,通流区段改造为传统能源企业供给了一条低成本、高效率的节能升级轨迹路径。针对大量运行时长处于10—20年区间的老旧汽轮机机组,借助通流区段改造手段,无需更替整套机组装置,即可达成能耗大幅回落目标,相较新建机组模式,改造投入成本更低、周期更短,投资回报率更高。这种改造范式能够有

效延展老旧机组的使用年限,提升其市场竞争能力,助力传统能源企业达成降本增效愿景,推动能源利用朝向高效、低碳方位转型。同时,通流区段改造的实践经验也可成为同类机组节能改造的参照样本,促进节能技术的推广应用态势,推动整个行业的能源利用水准提升进程。

## 6 结论

汽轮机通流区段改造是提升机组运行效能、实现节能减耗目标的关键举措和方式,其核心要点在于借助优化叶片及叶栅构造、改进密封形式、优化进排气机构等技术手段办法,缩减蒸汽流动进程中的气动损耗与泄漏损耗数量,提升能量转换效率程度。从工业实践视角观察,通流区段改造可催生显著的直接节能效果,降低单位能耗数值,同时还能提升机组运行稳固性,减少维护成本与故障损耗规模,衍生间接的经济收益与社会收益形态。未来阶段,伴随气动设计技术、材料技术与制造工艺的持续演进,通流区段改造技术将迈向更精准、更高效、更智能化的发展方位。譬如,结合数值模拟技术达成通流构造的个性化优化设计,采用高性能耐磨耐腐蚀材料延展构件使用年限,引入智能监测系统实时监控通流区段运行状态,及时察觉并处置能耗异常问题情形。通流区段改造作为传统能源企业节能升级的重要路径选择,将在推动能源高效利用、实现“双碳”目标进程中发挥更为关键的作用效能。

## 参考文献

- [1] 杨若彬. 超临界汽轮机通流部分流场优化设计[J]. 中国新技术新产品, 2025, (21): 71-73.
- [2] 赵航, 解晨晨. 火力发电厂汽轮机通流部分改造对机组性能影响的实验分析[J]. 科技资讯, 2025, 23 (21): 100-102.
- [3] 汪飞, 王华, 刘明, 陈显辉, 钟主海, 万忠海. 超超临界汽轮机通流部分改造后配汽调整仿真研究[J]. 汽轮机技术, 2025, 67 (05): 373-378.
- [4] 宋景全. 垃圾焚烧发电厂汽轮机通流部分故障诊断模型研究[J]. 中国设备工程, 2023, (20): 17-19.
- [5] 王加勇, 邓德兵, 赵清森, 柏余杰. 汽轮机通流部分状态监测与诊断方法研究及应用[J]. 电站系统工程, 2023, 39 (04): 47-49.