

火力发电厂给水泵机械密封水温度高原因分析

周新乐

(华电内蒙古能源有限公司包头发电分公司, 内蒙古包头 014013)

摘要: 针对某火力发电厂1台汽动给水泵出水侧机械密封水温度长期偏高的问题, 通过对机械密封水系统运行参数进行全方位监测和横向对比、设备结构和工作原理深度分析、机械密封相关部件解体检查, 查明了故障根本原因, 解决了机械密封水系统冷却水流量偏低和循环装置水动力严重下降的问题。检修后机械密封水温度降低了50.0℃, 消除了给水系统隐患, 提高了机组安全性。

关键词: 给水泵; 机械密封; 轴密封壳体; 管状毛边; 平衡鼓

中图分类号: TM621

文献标志码: A

文章编号: 1671-086X(2026)05-0357-06

DOI: 10.19806/j.cnki.fdsb.2026.05.004

Cause Analysis of High Mechanical Seal Water Temperature of the Feed Water Pump in a Thermal Power Plant

ZHOU Xinle

(Huadian Inner Mongolia Energy Co., Ltd., Baotou Generation Branch, Baotou 014013, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: Aiming at the long-term high temperature of mechanical seal water on the outlet side of one steam-driven feed water pump in a thermal power plant, relevant troubleshooting was carried out. Comprehensive monitoring and horizontal comparison of operating parameters of the mechanical seal water system, an in-depth analysis of equipment structure and working principles, and a disassembly inspection of components related to the mechanical seal were conducted sequentially. The problems of insufficient cooling water flow and severely degraded hydrodynamic performance of the circulation device in the mechanical seal water system were resolved. The results show that the mechanical seal water temperature is reduced by 50.0℃ after maintenance, potential hazards in the feed water system are eliminated, and the safety and reliability of the unit are improved.

Key words: feed water pump; mechanical seal; shaft seal shell; tubular hairy edge; balance drum

火力发电厂给水泵承担着为锅炉连续供水的核心任务。给水泵机械密封水系统是保障给水泵稳定、高效运行的关键子系统。机械密封的主要作用是防止泵内的高压液体泄漏。给水泵机械密封采用动静环结构: 动环安装在泵轴上随轴高速旋转, 静环固定在泵体密封腔上保持静止。当给水泵运转时, 密封水在动静环端面间形成一层稳定的极薄水膜。这层水膜兼具润滑与密封双重功能: 一方面大幅降低动静环间的摩擦磨损; 另一方面有效阻挡泵内高压水向外泄漏。水膜厚度虽薄, 通常在微米级, 但凭借其连续性与液体的不可压缩性, 可实现可靠

密封。机械密封水温度过高会导致密封面出现气液两相流, 工况恶化时, 水膜发生气化, 造成机械密封失去润滑, 加剧磨损, 同时引发泵内高压水泄漏。

为防止泵内高温水导热和密封面高速机械摩擦发热导致机械密封水膜气化^[1], 设计了给水泵机械密封冷却循环系统: 通过外接冷却水, 实现密封冷却腔室的隔热冷却和机械密封水的循环换热冷却。凯士比给水泵设计机械密封水温度80℃报警, 90℃自动停运, 以保护给水泵机械密封元件安全。若给水泵机械密封水温超限停运, 会触发机组快速降负荷(RB)保护, 导致汽包

收稿日期: 2025-11-17; 修回日期: 2025-12-18

作者简介: 周新乐(1983—), 男, 高级工程师, 从事汽轮机、供热系统运行技术管理和能耗管理工作。

E-mail: 253237768@qq.com

水位大幅下降,极易引发机组非计划停运,严重影响火力发电厂安全运行。

现有研究表明,给水泵机械密封水温度高多由设备安装问题导致^[1-6]。主要有3方面原因:①机械密封冷却系统内部异物堵塞,导致循环流量下降、热量积聚;②泵的平衡装置轴向、径向间隙过大,节流作用减小,高温泄漏量增大,传入机械密封腔室和机械密封水的热量过多;③安装方向错误,导致循环动力不足、热量积聚。

以某电厂 600 MW 机组给水泵机械密封水温度高的问题为研究对象,通过运行参数对比分析和设备结构原理研究,不仅发现了常规安装问题,还排查出设备制造工艺的特殊缺陷,彻底解决了长期存在的温度异常问题,可为同行和设备厂家提供参考。

1 基本情况

某厂 2×600 MW 燃煤纯凝汽式发电机组,给水系统配置 2 台 50% 容量的汽动给水泵(简称“汽泵”),是德国凯士比公司生产的 CHTC 6/5 型多级离心泵,共 5 级叶轮组装在 1 个芯包内,备用 1 台 30% 容量的电动给水泵。

CHTC 6/5 型多级离心给水泵设计泵出口压力为 20.3 MPa、泵入口压力为 1.8 MPa。为减小出入口差压大产生的轴向推力,在泵出口非驱动端侧设有双平衡鼓,平衡鼓泄漏水经平衡管回流至给水泵入口管道,剩余轴向力由非驱动端推力轴承承担^[2]。给水泵平衡鼓泄漏的微量高温水经挡套与轴密封壳体的配合间隙流出,在机械密封冷却腔室内冷却水冷却后进入机械密封处^[3],即为机械密封水,如图 1 所示。

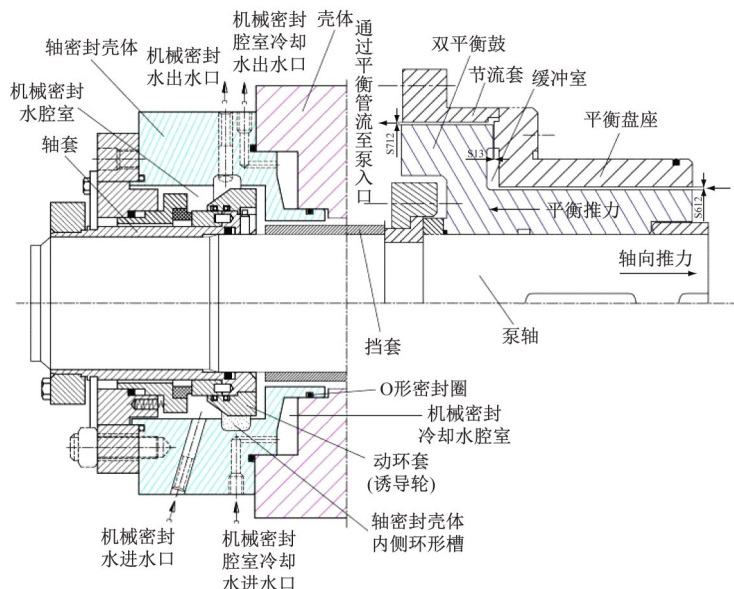


图 1 给水泵非驱动端机械密封及平衡鼓剖面结构

机械密封装置转动时的摩擦生热,通过外接冷却器带走;机械密封水在机械密封动环上诱导轮的旋转动力作用下,由左上方流出,经过磁性过滤器、冷却器冷却后由右下方回流至机械密封处,实现闭式循环。为防止机械密封水内积存空气导致机械密封超温,在机械密封出水管上部还设有自动排气阀和手动排气阀。详细系统及结构如图 2 所示。

1 号机组 B 汽泵出水侧(非驱动端)机械密封水温度常年偏高,2016 年之前稳定在 71.0℃左右,较其他 3 台汽泵机械密封水温度偏高 15.0~20.0℃。2018 年 4 月,1 号机组 B 汽泵发生一次驱动端泵轴断裂,返厂检修后,首次启动时,机械密

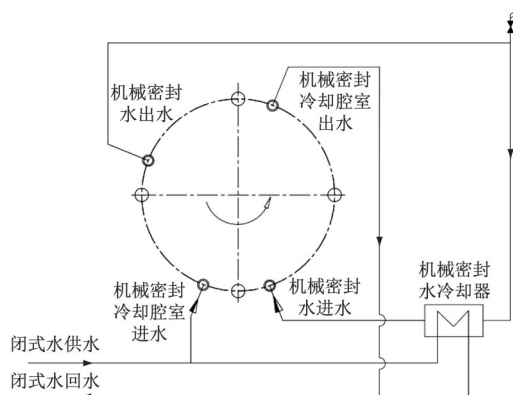


图 2 给水泵机械密封水冷却系统

封水温度缓慢上升至 81.0℃,触发报警;开启出水侧机械密封水滤网旁路手动门无效,在 1 号机

组 B 汽泵出水侧机械密封水冷却器处加装冷却风扇后温度降至 79.0℃。2018 年 5 月,为保障机组满负荷运行,在确保该泵运行安全的前提下,将其非驱动端机械密封水温度保护定值提高 10.0℃。2018 年 10 月,1 号机组 B 汽泵芯包返厂修复后,机组负荷 300 MW 时,非驱动端机械密封水温度高达 77.2℃,负荷 430 MW 时,非驱动端机械密封水温度最高达 86.6℃,较修前在同等负荷下上升 12.0℃,负荷达 550 MW 时,机械密封水温度达到 97.0~98.0℃,接近跳闸值 100.0℃(修改后定值),严重制约 1 号机组带负荷能力。经专业论证确认该泵运行安全后,再次将其非驱动端机械密封水温度保护定值提高至 105.0℃,以保证 1 号机组可带 530~550 MW 较大负荷运

行。后期在该泵机械密封水冷却器处加装压缩空气管冷却,降温约 10.0℃,机组勉强带满负荷运行。2020 年 1 号机组大修期间,B 汽泵返厂检修并更换备用芯包;厂家技术人员现场指导安装,平衡鼓间隙严格按照安装使用手册调整,但启动运行后机械密封水温度仍无改善。

1 号机组 B 汽泵经过 2 次检修后,机械密封水温度反而上升 22.0℃,为此开展专项排查分析工作。在相同机组负荷下,对 2 台机组 4 台汽泵机械密封水相关参数进行测量和收集,结果见表 1。在 1 号机组闭式水温度低于 2 号机组闭式水温度 8.8℃的情况下,1 号机组 B 汽泵非驱动端机械密封水温度明显高于 2 号机组 A、B 汽泵,也高于 1 号机组 A 汽泵对应温度。

表 1 2 台机组 4 台汽泵机械密封水相关运行数据

给水泵		负荷/ MW	闭式水 压力/ MPa	闭式水 温度/ ℃	机械密 封水进 水温 度/℃	机械密封水 出水温度/℃	机械 密封水 温升/℃	机械密封水 冷却器冷却 水(闭式水) 出水温度/℃	机械密封水 冷却器冷却 水(闭式水) 温升/℃	机械密封 冷却腔室出水 (闭式水) 温度/℃	机械密封 冷却腔室 进出口 (闭式水) 温升/℃
驱动端	1号机组 A	465	0.590	20.5	28.4	30.1	1.7	22.2	1.7	24.3	3.8
	1号机组 B	465	0.590	20.5	30.1	34.0	3.9	22.5	2.0	23.5	3.0
	2号机组 A	436	0.585	29.3	35.4	40.5	5.1	32.5	3.2	32.9	3.6
	2号机组 B	436	0.585	29.3	33.1	36.6	3.5	30.5	2.8	32.3	3.0
非驱动端	1号机组 A	465	0.590	20.5	30.6	42.6	12.0	22.5	2.0	26.6	6.1
	1号机组 B	465	0.590	20.5	35.0	68.8	33.8	24.2	3.7	26.7	6.2
	2号机组 A	436	0.585	29.3	35.4	45.4	10.0	32.7	3.4	34.8	5.5
	2号机组 B	436	0.585	29.3	34.8	43.1	8.3	32.2	2.9	33.5	4.2

2 原因分析

2.1 初步原因排查

- (1) 机械密封水冷却器异常:解体检查伯格曼管壳式冷却器,无结垢、堵塞现象,水压试验无泄漏,与其他冷却器型号一致。
- (2) 磁性过滤器堵塞:现场多次检查过滤器无堵塞,开启过滤器旁路门后,机械密封水温度仍偏高。
- (3) 冷却水异常:机械密封冷却器由闭式水冷却换热,另一台机组闭式水压力、温度均正常,机械密封冷却水进出阀门全开状态,冷却器相关管路管径正常,无缩径管,压缩空气吹扫管路通畅无异物,冷却水无异常。
- (4) 机械密封水管内空气未排出:给水泵投运前现场检查自动排空阀工作正常,手动排空阀排水无气泡。
- (5) 机械密封冷却腔室冷却效果差:机械密

封冷却腔室由闭式水换热冷却,进、出水阀门全开,1 号机组 B 汽泵非驱动端机械密封冷却腔室进出口(闭式水)温升为 6.2℃,与 1 号机组 A 汽泵一致,但较 2 号机组 A、B 汽泵略偏高(见表 1),推测可能存在冷却腔室冷却水流量不足的情况。

(6) 机械密封水排空门内漏:运行中机械密封水排空门严禁排空,否则平衡腔室大量高温水会进入机械密封腔室,导致机械密封水温度快速升高,现场检查排空口无排水情况。

(7) 机械密封壳体与壳体密封圈泄漏:密封圈泄漏会导致平衡室内的高温水进入机械密封冷却腔室,造成高温热水进入闭式水中,使冷却腔室失去换热作用。现场测量腔室冷却水进、回水温度正常,判断密封圈无异常。

(8) 诱导轮型号、尺寸、安装异常:机械密封水循环动力主要是由机械密封动环上同步旋转的诱导轮提供的,若诱导轮安装方向错误,会导致机械密封水循环动力异常下降,机械密封水温

度升高。解体检查确认机械密封组件为原厂配置的伯格曼机械密封,测量尺寸无异常,安装方向正确。

(9) 机械密封面和 O 形圈泄漏:若机械密封泄漏或轴套与轴之间的密封圈存在泄漏,会导致平衡腔室内的高温热水进入机械密封腔室,造成机械密封水温度升高,现场检查汽泵运行时端部无泄漏现象。

(10) 平衡鼓平衡装置间隙过大:现场测量平衡鼓与平衡盘座、节流套的配合间隙,均符合厂家安装使用手册要求;各元件无异常磨损,厂家技术人员现场指导安装,且芯包已整体更换一次,排除平衡鼓装置问题。

2.2 运行参数深度分析

对 1 号机组 B 汽泵非驱动端机械密封水温度进一步详细测量对比,结果如图 3、表 2 所示。对比其他 3 台泵同样温度测量点 7 位置,发现 1 号机组 B 汽泵非驱动端机械密封水温度在温度测量

点 7 的温度异常升高 3.4℃;正常情况下,温度测量点 7 的温度应与温度测量点 3 一致。该现象表明,机械密封水流量偏低,无法完全带走轴密封壳体传导至进口管的热量,导致测点 7 温度异常。横向对比各台汽泵的机械密封水温度测点 3 温度正常,无异常偏高情况,进一步说明机械密封水冷却器无异常,冷却水流量正常。

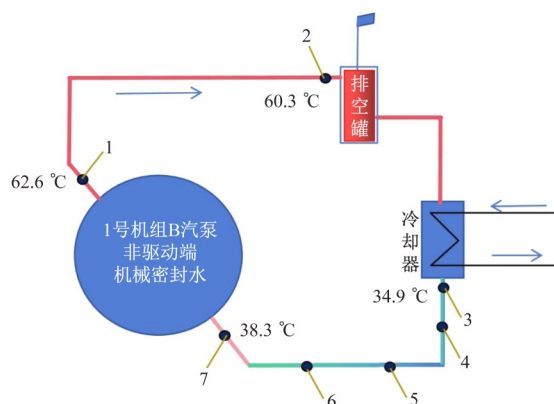


图 3 给水泵非驱动端机械密封冷却系统温度

表 2 4 台汽泵非驱动端机械密封水温度分点测量数据(负荷 465 MW)

单位:℃

测量位置	1号机组 A 汽泵	1号机组 B 汽泵	2号机组 A 汽泵	2号机组 B 汽泵
点 1	42.6	64.5	48.1	42.8
点 2	41.9	60.3	48.0	42.0
点 3	32.6	34.9	35.7	34.4
点 4	30.1	35.0	35.4	34.2
点 5	30.2	36.5	35.7	34.1
点 6	30.7	37.7	35.3	34.6
点 7	31.1	38.3	35.2	35.1
点 7 与点 3 差值	-1.5	3.4	-0.5	0.7
点 2 与点 3 差值	9.3	25.4	12.3	7.6

2.3 设备解体检查

为彻底解决 1 号机组 B 汽泵非驱动端机械密封水温度高的问题,利用 2025 年 9 月 1 号机组大修机会对 1 号机组 B 汽泵解体检查,发现以下 2 项问题:

(1) 1 号机组 B 汽泵非驱动端机械密封壳体外侧的进水口深处有一个 L 形金属碎片,因机械密封壳体的进水孔是 L 形,如图 1、图 4 所示,内侧横向孔径设计较小,金属片卡在孔内侧拐角处导致机械密封冷却腔室(如图 1、图 5 所示)冷却水(闭式水)流量降低。这是 2018 年 2 次返厂检修后温度异常升高的主要原因,2 次温度波动与碎片位置变化导致流量改变有关。

(2) 1 号机组 B 汽泵非驱动端轴密封壳体机械密封水内侧出口存在加工工艺缺陷,壳体内侧环形凹槽内的机械密封水出水口,存在向内凸起



图 4 机械密封冷却腔室冷却水(闭式水)进口

约 5 mm 的管状毛边(加工出水孔遗留),如图 6 所示,造成轴密封壳体与机械密封环上诱导轮组成的排送装置排水动力严重下降,机械密封水循环流量大幅降低。正常情况下,轴密封壳体内侧环形凹槽内的水被诱导轮带动高速流动,在机械密封水出水口处遇凹槽断点(凸起)阻挡,水流速

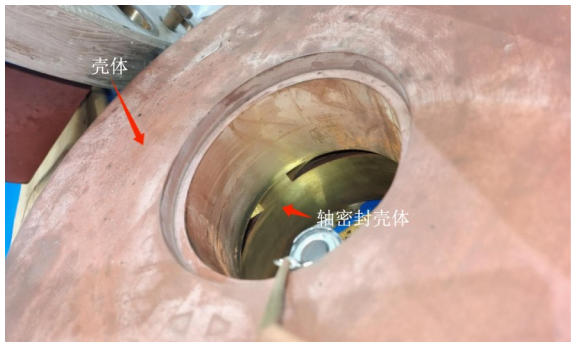


图5 壳体与轴密封壳体组成了机械密封冷却腔室

度下降,压力升高,推动机械密封水压入出口。因出水口存在向内凸起约5 mm的管状毛边,管状毛边顶端距诱导轮极近,此处水流速度与诱导轮外周速度相近,显著高于凹槽底部流速,导致管状毛边口压力较低,机械密封水循环动力不足、流量下降。

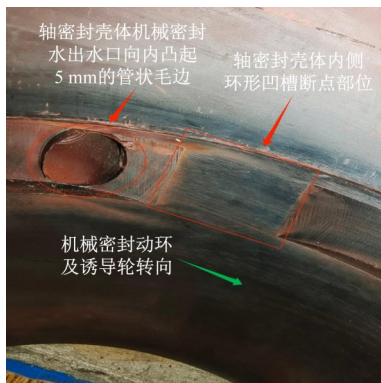


图6 轴密封壳体内侧

3 结果分析与验证

机械密封冷却腔室冷却水(闭式水)流量偏低的原因:非驱动端轴密封壳体上机械密封冷却腔室(壳体和轴密封壳体组成)进水接口孔内卡有金属碎片,增加了冷却水(闭式水)流道阻力,导致给水泵平衡鼓泄漏的微量高温水未能有效通过机械密封冷却腔室换热冷却,高温水直接进入机械密封处,造成机械密封水温度升高。该缺陷反映出检修工艺管控不严、设备回装过程监督不到位的问题。

机械密封水循环流量大幅降低理论分析:依据伯努利原理,理想流体定常流动时,单位流体的动能、重力势能与压力势能之和保持恒定,数学表达式为

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = C \quad (1)$$

式中: p 为压力; ρ 为流体密度; v 为流速; g 为重力加速度; h 为高度; C 为常量。

在轴密封壳体内机械密封水出水口局部区域,可视为重力势能 ρgh 不变。 ρ 为定值,唯一影响出水口压力 p 的因素是流体速度 v ,流体速度 v 越大,压力 p 越低。诱导轮高速旋转时,越靠近其外圆弧,流体速度 v 越大,流体压力 p 越低。距离诱导轮外圆周最远处为轴密封壳体内侧环形凹槽底部,水流速度 v 由于黏性耗散而逐渐降低,叠加凹槽断点的阻挡作用,流速 v 会大幅降低,压力 p 随之大幅升高,推动机械密封水从出口排出。但因向内凸起的5 mm管状毛边阻挡了机械密封水的正常流动,凸起管状毛边顶部管口距诱导轮极近,管口液体流速 v 大、压力 p 低,导致机械密封水出口与回水口之间无法形成有效压差,循环动力不足,流量大幅降低。因此,需要将5 mm管状毛边彻底打磨平整,提高机械密封出水口压力 p ,增强机械密封水循环动力,恢复正常流量。机械加工工艺管控不严是造成密封元件出现管状毛边的根本原因。

机组启动后,停运1号机组B汽泵机械密封水冷却器处的压缩空气冷却,在不同负荷阶段观察1号机组B汽泵机械密封水温度,最高温度为48.9℃(如图7所示);较维修前未采取压缩空气冷却时降低约50.0℃,较2016年之前降低了22.0℃,彻底解决了该厂1号机组B汽泵机械密封水温度长期偏高的疑难问题,消除了给水系统隐患,提高了机组的安全可靠性。

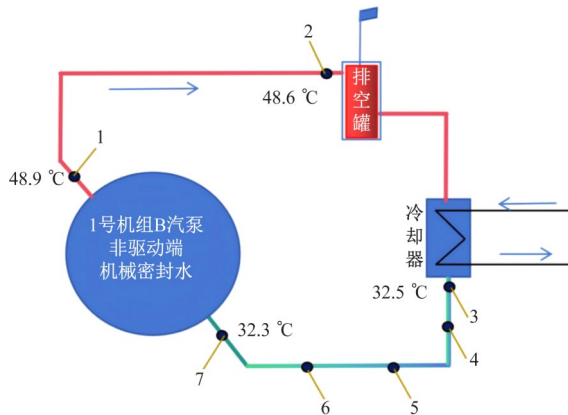


图7 给水泵非驱动端机械密封冷却系统(修后)

4 结语

给水泵机械密封冷却系统是保障机组安全运行的重要系统,其异常会直接影响给水泵乃至主机的稳定运行。正常运行时,机械密封水温度小于60℃,常见异常情况为机械密封水磁性过滤器堵塞,清理后即可恢复正常。

机械密封水温度高,一方面会导致机械密封高温下异常损害;另一方面会造成给水泵长时间故障退出运行,严重影响机组安全运行与带负荷能力,需高度重视。应严格做好检修质量验收与故障排查工作,避免隐患长期存在。另外,某厂汽泵机械密封冷却腔室加工工艺存在缺陷,其他采购同型号设备的电厂可能存在类似隐患;此类缺陷通常不会导致机械密封水温度显著异常,但在闭式水温度升高或压力降低等特殊工况下,机械密封水温度会变得极为敏感,容易过早出现快速上涨。建议利用机组大小修机会对给水泵进行解体检查,将机械密封水温度尽可能降低,消除隐患,提高设备可靠性。

参考文献:

- [1] 潘阳. 汽动给水泵机械密封水温度异常升高分析与对策[J]. 电力安全技术, 2024, 26(4): 70-73.
- [2] 浦承皓, 卢熙宁, 汤黎明. 多级离心泵双平衡鼓结构流动特性研究[J]. 水泵技术, 2021(增刊1): 33-36.
- [3] 王玉军. 给水泵机械密封冷却水温度高原因分析[J]. 中国化工贸易, 2017, 9(22): 201-202.
- [4] 胡玉峰, 王子阳. 给水泵机械密封循环液温度高的原因及处理措施[J]. 节能, 2020, 39(12): 103-104.
- [5] 陈惠永. 600 MW 汽轮机组汽动给水泵机械密封循环冷却液温度高原因及处理[J]. 民营科技, 2012(12): 62.
- [6] 陈红霞. 给水泵机械密封温度高的原因分析[J]. 机电信息, 2012(18): 78-79.

2027 年《发电设备》征订启事

《发电设备》杂志是全国发电设备行业专业科技期刊,由上海发电设备成套设计研究院有限责任公司编辑出版,发行范围覆盖全国电力系统企业以及机械行业与电力行业发电设备制造、设计、试验研究、运行等单位及有关大专院校的能源与动力工程专业,在国内外颇有影响。欢迎广大读者订阅。

《发电设备》杂志为双月刊,大 16 开,单月的 15 日出版,每期定价 25 元,全年共 150 元(含邮费)。国内统一连续出版物号 CN 31-1391/TN;邮发代号 4-622。

订阅者可向全国各地邮局订阅;或直接向《发电设备》编辑部订阅,订款则需由银行汇入上海发电设备成套设计研究院有限责任公司(开户银行为中国工商银行上海市浦江支行;银行帐号为 1001236209008924079;户名为上海发电设备成套设计研究院有限责任公司),邮政编码 200240,地址为上海市闵行区剑川路 1115 号,并写明订阅份数。