

火力发电厂全厂废水零排放

Discussion on zero-discharge of waste water in thermal power plant

王佩璋

(山西省电力勘测设计院, 山西 太原 030001)

摘要: 讨论了火电厂废水类型、排放标准及治理与回用原则, 研究了全厂废水零排放的准确含义、约束条件、影响因素、主要内容以及国内外应用示例, 为实施火电厂全厂废水零排放提供参考。

关键词: 火电厂; 废水; 零排放

Abstract: This paper discussed the classification of waste water in power plant. It reviewed the discharge standard and summarized the principle for treatment, recovery and utilization of waste water. On this basis, the accurate implication and main contents of waste water zero-discharge were studied. Limiting conditions and affecting factors were also discussed.

Key words: thermal power plant; waste water; zero discharge

中图分类号: X703 文献标识码: B 文章编号: 1009—4032(2003)04—0025—05

原国家电力公司制定的《国电公司火电厂“十五”节水规划》指出, 要研究开发大型火电厂全厂废水零排放技术; 要对“零排放”的典型系统、治理与回用技术、经济分析、适用条件等作出技术定义, 并选择示范电厂, 逐步实施。

1 火电厂废(污)水

1.1 分类

火电厂废(污)水分类见表 1。

表 1 火电厂废(污)水的分类

分 类	项 目	排放特征	含杂情况	占电厂总排放量的比例/%
生活污水	生活区生活污水	连续水量	BOD 及 SS 约 100 mg/L	5.5
	生产区生活污水	变化系数 2.5		
含油废水	油库油处理间有洗涤排水	经常, 不连续	含量高但排量较小 含量高但排放次数较少 含油量不定, 但排量较大	6.5
	大小修或事故排放含油废水 工业冷却水及杂用排水	非经常性排水 连续, 基本定量		
湿式冷却塔排水	湿式冷却塔运行连续排水	连续, 定值	总含盐量为生水的 4 倍	作为冲灰渣水的水源
经常性化学排水	化学除盐再生水	经常, 不连续	pH 波动大, 含盐量高 SS 高, 浓度不定 含盐量较高 含盐不定	
	化学预处理污泥水 锅炉高温排水 取样排水	经常, 不连续 连续, 定期 不连续, 量少		
非经常性化学排水	锅炉化学清洗 炉管、空气预热器、 除尘器及烟囷的不定期冲洗水 凝汽器管泄漏检查水 湿冷塔清洗水	非经常 非经常 非经常 非经常	pH 和 COD 波动很大 SS、COD、重金属含量 都很高且变化不定	2.5
冲灰水、 冲渣水、 水封排水	冲灰水 冲渣水及水封溢流水	连续, 定量	pH、SS 较高 重金属等含量不定	35~50
煤场排水	输煤系统冲洗水 煤场雨水	经常, 不连续 不定期	SS 高, pH 不定 SS 高, pH 不定	<1(随各地 降雨量而变)

由表 1 可以看出, 火电厂全厂废水主要是灰水与工业废水。

1.2 排放标准

火电厂全厂废水排放原执行 GB 8987—1996《污

水综合排放标准》(简称老标准), 今后将执行《火电厂污染物排放标准》(征求意见稿)(简称新标准), 其最高允许排放值对比见表 2。

表 2 新、老标准火电厂污水最高允许排放值对比

项 目	pH	SS	COD _{Cr}	BOD ₅	石油类	氨氮	总磷	磷酸盐(P)	氟化物	硫化物	动植物油
1997—12—31 以前	6~9	200	150	60	10	25	0.5	1.0	10	1.0	20
1998—01—01 起	6~9	150	150	30	10	25	0.5	1.0	10	1.0	15
第Ⅰ、Ⅱ时段	7~9	70	100	20	5	5	0.5	0.5	10	1.0	10
第Ⅲ时段	7~9	50	50	10	1	1	0.5	0.1	5	1.0	5

注: 除 pH 外, 其他值的单位为 mg/L。

从表 2 可见,新标准中除硫化物以外的污染物允许排放限值均较老标准严格,特别是 SS、COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N 等对环境有较大影响的污染因子要求很严,新标准的全面实施,必然增加废(污)水处理回用难度和费用。

1.3 火电厂废水治理与回用

1.3.1 湿除灰系统改造

(1)水力除灰改为干除灰,稀浆输送改为浓浆输送、渣水分离回收及灰水回收系统改造等。

(2)浓浆输灰系统用水量要与循环冷却水浓缩倍率相匹配,使得两者水量平衡。如水灰比为 2:1 时,浓缩倍率需提高到 5。

(3)应根据电厂的具体水质情况确定灰水防垢技术。

1.3.2 污废水回收利用

工业水、生活污水、工业废水要尽快实施治理,完善回收系统,把能够再利用的水尽量全部回收。

1.3.3 循环冷却水回用

(1)适当提高循环冷却水浓缩倍率,减少湿冷塔的排污损失。

(2)建议将湿冷塔排污水处理后作锅炉补水。

(3)采用旁流过滤、除盐等技术,使循环冷却水达到回用标准。

2 火电厂全厂废水零排放

2.1 含义

美国电力研究中心将火电厂全厂废水零排放定义为“电厂不向地面水域排放任何形式的水(排出或渗出),所有离开电厂的水都是以湿气的形式或是固化在灰或渣中”,其排放系统见图1。

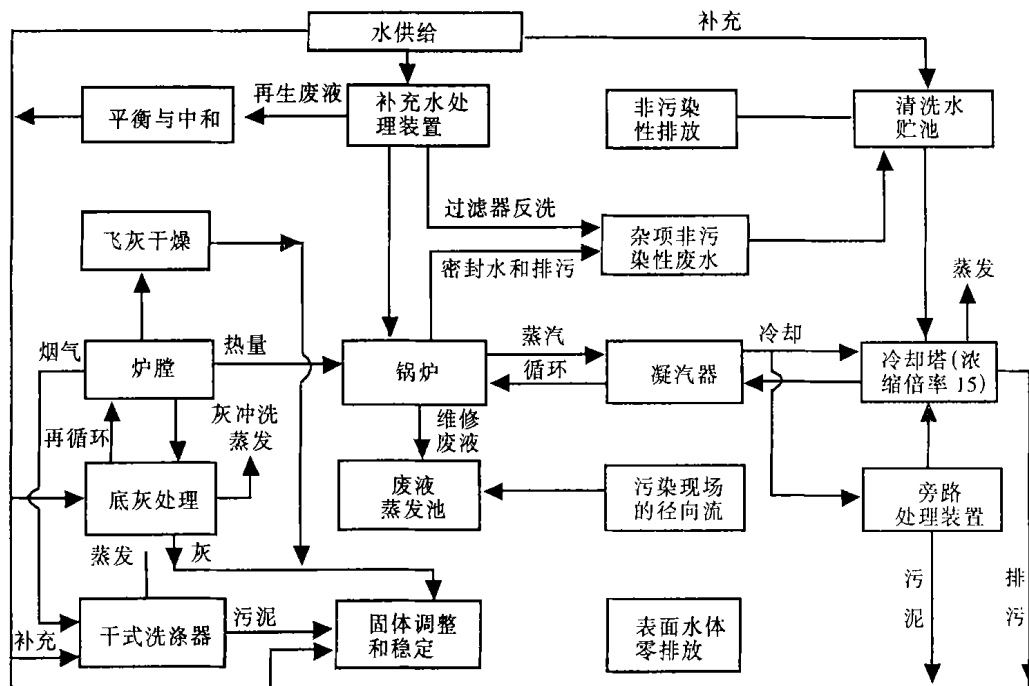


图 1 全厂废水零排放系统

2.2 约束条件

火电厂全厂废水零排放受当地环境保护法规的约束,并在充分的技术经济论证、配置有效防垢、防腐的循环冷却水处理系统和设备、制定出水务管理方案的基础上才能实现。全厂废水零排放是一项综合措施,不仅基建投资高,运行也很复杂。因此,不应盲目追求全厂废水零排放而忽视运行经济性,但对缺水又限制外排废水的地区,则是必然趋势。

火电厂全厂废水零排放涉及到电厂 8 个子系统的用、耗和排水,即汽轮机冷却系统、锅炉除灰排渣系统、循环冷却水和锅炉补水处理系统、辅机水系统、输煤系统、工业水系统、杂用水系统及生活水系统。特别是耗水量大的冷却和除灰渣系统用、排水应尽量采用无水工艺。其余系统则根据水质要求进行回用。

由此可见,火电厂全厂废水零排放既包括各水处理系统之间的相关关系,又包括火电厂全厂水系统的水量平衡。很显然,不能把火电厂全厂废水零排放技术简单地理解为水处理技术,也不能把某个子系统实现了回用就误认为是全厂废水零排放。判断标准只能是全厂废水外排量与湿贮灰场外渗灰水量之和与取水量之比为零,才是真正意义上的全厂废水零排放。

3 火电厂全厂废水零排放研究内容

3.1 减少新鲜水耗量和外排废水量

3.1.1 汽轮机冷却系统

采用无水工艺的空冷系统,不仅可以大幅度节水,而且系统的排水量为零。目前,国内火电空冷机装机容量为 1 600 MW,分别建在山西和内蒙古。以笔者多年的实践认为:不同容量火电空冷机组的全厂节水率:2×200 MW 为 65%、2×300 MW 为 70%、2×600 MW 为 75%。“十五”期间,国内拟发展 600 MW、300 MW、200 MW 及 50 MW 火电直接空冷机组,大致容量为 23 000 MW,将有约 70 台空冷机组投运。

3.1.2 锅炉除灰排渣系统

原国家电力公司要求近几年建设的火力发电厂采用气力除灰或浓浆水力除灰系统,全厂节水率约 15%。有少数电厂采用的风冷型干式排渣系统,可实现无排水的洁净排渣。

3.1.3 湿贮灰场

铺设防渗土工布,减少并消除灰水外渗。

3.2 各种排水的复用和再生回用

3.2.1 提高循环冷却水浓缩倍率

河北西柏坡电厂采用了循环冷却水分段浓缩串联技术,使得全厂 4×300 MW 机组循环冷却水总浓缩倍率达到 7.04。由于采用了节水、防垢、防腐措施,该厂湿式冷却塔排污水在 4 台机组内循环利用而实现零排污。

3.2.2 高 pH 值灰水回收与防垢

采用稀浆水力除灰的老电厂,大多按高 pH 值灰水闭路循环方式运行,其关键是防垢技术。目前,有效的防垢技术有:加酸法、炉烟处理法、加阻垢剂法、中和稀释法、磁化、高频电磁场防垢法、设置带机械搅拌的预结晶池法等。各电厂应结合实际,因地制宜。

3.2.3 生活污水

据全国 56 座火电厂生活污水处理装置使用效果调研,处理效果良好者有自净式生活污水净化装置等。

3.2.4 工业废水

新乡火电厂用絮凝沉淀法处理工业废水和工业废水与澄清灰水的混合水。用 PAC 作絮凝剂,可去除 SS、降低 COD 含量;对混合水另加少量高分子絮凝剂,可吸附微颗粒物。

3.3 城市污水回用于火电厂

3.3.1 适用条件

对于缺水又限制废水外排的地区,就近将城市污水回用于火电厂冷却系统是废水资源化行之有效的方案,并被国内外火电厂实践所证实。

3.3.2 以工业废水为主的城市污水回用

作为火电厂冷却系统补水的城市二级污水水质应达到:SS<30 mg/L, COD_{Cr}<40 mg/L, BOD₅<20 mg/L, NH₃-N<5 mg/L, 细菌总数 5×10⁵个/mL。

华能北京热电厂循环冷却系统补水用高碑店污水处理厂二级污水,其中工业废水比例高达 50%,经石灰凝聚、澄清、过滤处理后回用,效果好。

3.3.3 以生活污水为主的城市污水回用

山西侯马热电厂 2×50 MW 供热机组的循环冷却系统补水由侯马污水处理站供应,由于这部分水达不到热电厂的水质要求,故该厂采用了新型(Bio

—Sac)流动床生物膜技术进行生物二级处理,尔后再用石灰混凝进行深度处理。流动床处理后的水质可达 $SS<20\text{ mg/L}$, $COD_{Cr}<20\text{ mg/L}$, $BOD_5<10\text{ mg/L}$, $NH_3-N<3\text{ mg/L}$ 。石灰深度处理后的出水水质可达到 $COD_{Cr}<20\text{ mg/L}$, $BOD_5\approx 0\text{ mg/L}$, $NH_3-N\approx 1\text{ mg/L}$,过滤后的浊度低于0.5度,达到了热电厂冷却系统补水的水质要求。

4 国内外火电厂全厂废水零排放示例

4.1 国外示例

美国、加拿大等国家兴起的火电厂全厂废水零排放技术已基本成熟。几种典型的系统介绍如下:

(1)美国科罗拉多州的 R. D. Nixon 电厂

该电厂采用含盐量高的地下水为水源(TDS 高达 $1\,500\text{ mg/L}$,硬度以 CaCO_3 计为 750 mg/L)。在零排放系统中,除盐设备排水、地面或实验室排水、锅炉冲洗水、冷却塔排污水等均排入平衡池,经沉淀过滤后,一部分再用作冲渣水,另一部分经反渗透处理后,作为循环冷却水的补充水。反渗透排出的水经盐浓缩器浓缩处理后,再用作循环冷却水补充水,浓缩后的废液排入沉淀池、蒸发池,残渣经浓缩后以固体废物形式填埋。锅炉排污水作冲渣用水。

该厂的废水回收率为95%,其回收系统流程及水量平衡如图2所示。

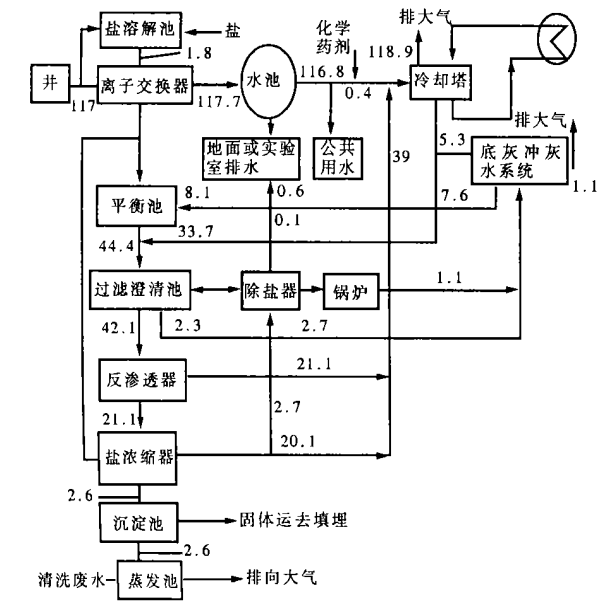


图 2 R.D.Nixon 电厂废水回收系统(流量以 L/s 计)

(2)美国科罗拉多州的 Hayden 电厂

与 R. D. Nixon 电厂相比, Hayden 电厂采用了较优质的水源(TDS 为 200 mg/L ,硬度以 CaCO_3 计为 60 mg/L),电厂直接回用废水,水处理装置少,因而投资低,实现了较高等度的废水再用。其再用系统如图3所示。

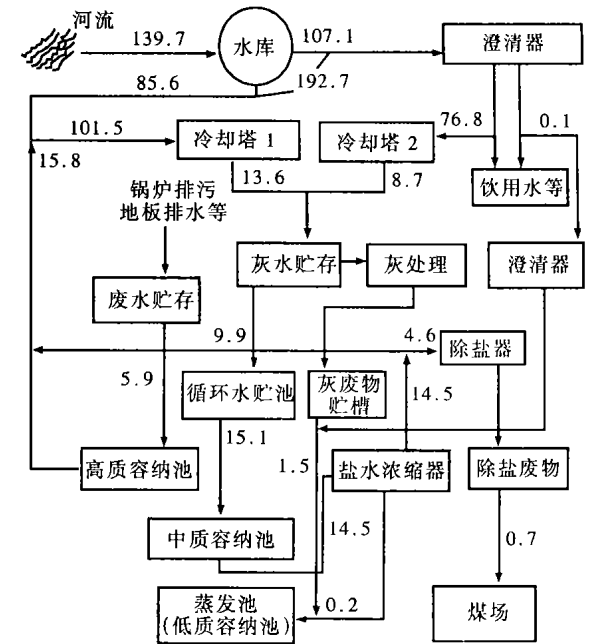


图 3 Hayden 电厂水的再用系统(流量以 L/s 计)

(3)澳大利亚立德尔贝司渥德电厂

澳大利亚2000 MW 立德尔火电厂(A厂)所用冷却池系硫酸盐含量很高的立德尔湖,因当地气候干旱、水源不足,致使湖水含盐量猛增,为解决此问题,结合当地煤炭资源丰富、运煤设施完备的优势,在该电厂附近另建了一座2640 MW(4台640 MW 机组)的贝司渥德火电厂(B厂),并通过B厂的全厂废水零排放,彻底改造A厂。

B厂的补充水取自立德尔湖,同时,为改善立德尔湖水质,将补充水的加酸处理改为石灰处理。另外还将B厂的少量循环水进行旁流处理(采用盐浓缩器),以减少废水的排放量。其水处理装置为:

- ①石灰软化装置。2台 $\varnothing 42\text{ m}$ 的澄清器,总出力为 $5\,000\text{ m}^3/\text{h}$,用于软化立德尔湖水。
- ②循环水旁流处理装置。按循环水量的3%考虑,采用降碱与反渗透装置,使 $300\text{ m}^3/\text{h}$ 处理过的水进入循环水系统。
- ③废水处理装置。B厂约 $250\text{ m}^3/\text{h}$ 的废水采用再循环蒸汽压缩蒸发器,2台总出力为 $275\text{ m}^3/\text{h}$,可

回收 97% 的水量, 其余的水用来湿润干灰, 达到废水零排放的目的。

4.2 国内示例

4.2.1 实现全厂废水零排放的老电厂改造

2000 年底, 电力建设研究所与山西大同第二发电厂一起对该厂全厂废水进行零排放改造, 工程分两个阶段实施。

第一阶段: 局部废水零排放方案。对现有水系统进行完善、特定水系统专项治理、湿冷系统和厂区、生活区生活污水再治理等。本阶段主要改造项目是湿冷系统排污水采用反渗透处理技术, 生活污水采用 Bio—Sac 生物膜处理技术, 工程总投资 3 000 万元, 可节水约 $1.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。全厂的发电水耗由

$0.637 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot ^\circ\text{GW})$ 降至 $0.463 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot ^\circ\text{GW})$ 。

第二阶段: 全厂废水真正意义上的零排放。在第一阶段改造的基础上, 对不易回用的废水用蒸发结晶器进行处理, 产生的固体废物填埋处理, 蒸馏水回用; 对湿贮灰场、贮渣场做防渗处理, 从而实现全厂废水零排放。

4.2.2 新建 2×600 MW 空冷电厂全厂废水零排放规划

(1) 汽轮机冷却系统采用先进的机械通风直接空冷无水工艺, 不耗水、不排水; 采用气力除灰和干贮灰场, 全厂发电水耗仅为 $0.07 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot ^\circ\text{GW})$ 。

(2) 全厂空冷、干除灰与干贮灰场的新鲜水取量及耗量见表 4。

表 4 2×600 MW 空冷电厂水量平衡 m³/h

编号	项 目	用水量	回收水量	取水量(耗水量)	备 注
1	化学水处理系统用水	152	20	132	由第 8 项供给
2	辅机冷却水、机房工业水	96	—	96	由第 10 项供给
	及小冷却系统补充水 (蒸发 38, 风吹 11, 排污 47)				
3	干除灰与捞渣机除渣及干灰场用水	81	81	0	由第 8 项供给
4	输煤系统及煤场用水	47	47	0	由第 8 项、第 6 项供给
5	生活用水	7	7	0	
6	空调补水、绿化、杂用水	19	13	6	
7	净化站用水	27	—	27	
8	定排冷却水、制氢站闭式冷却水	132	132	0	
9	不可预见用水	39	—	39	
10	其它冷却用水	96	96	0	
	合 计	696	396	300	

注: 小型湿冷系统冷却水全部循环量 $W=11\,274 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

(3) 最终处置水量仅占 1%, 但处置费用相当昂贵。

参考文献:

[1] 王佩璋. 关于城市污水资源化问题[J]. 电力建设, 1990 (6): 61—62.
[2] 王佩璋. 论国内大型火电厂水务管理指标与节水技术[C]. 火电厂水务管理和废水治理学术会议论文集, 南昌: 1991.
[3] 王佩璋. 推广循环水处理新技术, 促进大型火电厂节水[J]. 工业水处理, 1991, (4): 7—9
[4] 王 翔, 王佩璋. 废(污)水再生回用于火电厂水系统的实践和经验[J]. 山西电力技术, 1997, (3): 25—30.
[5] 王 翔, 王佩璋. 大型火电厂节水技术综述[J]. 热力发电, 1998 (6): 18—23
[6] 刘希波, 何凤鸣, 尹连庆. 火电厂水务管理[M]. 北京: 中国电力

出版社, 1998
[7] 王 翔, 王佩璋. 大型火电厂高浓缩倍率循环冷却水处理技术与实践[J]. 电站辅机, 1999, (1): 25—33.
[8] 王佩璋. 反渗透在火电厂循环水处理中的应用[J]. 华北电力技术, 1999 (2): 36—37.
[9] 王 芳. 论利用城市污水回用于火电厂冷却系统综合效益[J]. 甘肃电力技术, 2001, (1): 21—23.
[10] 王佩璋, 王 芳. 火电厂生活污水的处理工艺、效果与设备改进[J]. 电站辅机, 2002, (2): 44—48.
[11] 陈泽萍. 新老《火电厂污染物排放标准》的对比与探讨[J]. 华北电力技术, 2002, (12): 53—55

收稿日期: 2003-06-04; 修回日期: 2003-10-24

作者简介: 王佩璋(1932—), 男, 河北怀来人, 高级工程师, 长期从事火电厂节水, 节水型火电空冷技术的设计研究和教学工作。