

ICS 27.100

CCS F 20/29

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 606.5—2024

代替DL/T 606.5—2009

火力发电厂能量平衡导则

第5部分：水平衡试验

Guide for energy balance of thermal power plant
——Part 5: water balance test

2024-05-24发布

2024-11-24实施

国家能源局 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 2

5 水平衡试验 2

6 试验数据处理 4

7 试验结果分析和评价 5

8 报告 5

附 录 A（资料性）记录表格 7

附 录 B（资料性）水量辅助测量方法简介 9

附 录 C（资料性）火力发电厂水平衡图示例 12

附 录 D（资料性）火力发电厂水计量器具配备网络图示例 13

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替DL/T 606.5-2009《火力发电厂能量平衡导则 第5部分：水平衡试验》，与DL/T 606.5-2009相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 修改了规范性引用文件（见第2章，2009年版第2章）；
- b) 删除了部分名词术语（见第3章，2009年版第3章）；
- c) 修改了水平衡试验条件（见4.3，2009年版4.3）；
- d) 修改了测试项目，增加了水质、蒸汽流量等测试要求（见5.4，2009年版5.4）；
- e) 增加了循环冷却水排污水回收率、人均生活用水量计算要求和方法（见6.5、6.7）；
- f) 增加了绘制水计量仪表配备网络图的要求（见6.9）；
- g) 增加了电厂用排水改进建议和措施的要求（见7.3）；
- h) 报告内容增加了在线水计量仪表与测试仪表对比结果和完善意见的要求（见8.2）；
- i) 附录A增加了水计量器具配备情况统计表（见附录A）；
- j) 删除了附录B中灰水比测定方法（见附录B）；
- k) 更新了附录C中的水平衡图示例（见附录C，2009年版的附录C）；
- l) 增加了附录D火力发电厂水计量仪表配备网络图示例（见附录D）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由电力行业电厂化学标准化技术委员会（DL/TC 13）归口。

本文件起草单位：西安西热水务环保有限公司，国家能源集团科学技术研究院有限公司，黄河水利委员会水文局，西安河海电子科技有限公司，山东福瑞德测控系统有限公司，中国能源建设集团山西省电力勘测设计院有限公司。

本文件主要起草人：余耀宏，张江涛，李亚娟，胡大龙，王正江，王璟，李洪峰，薛洪海，李明，许臻，卢剑，郗天浩，李福军，方立，尹萍，杨永，孙东奇，曹瑞雪，张宁，李乐，翟佳明，李慧芳。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 1996年首次发布为DL/T 606.5-1996，2009年第一次修订；
- 本次为第二次修订。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

3.5

循环水量 (Q_{xn}) circulating water quantity
在工业系统中仍用于原工艺流程形成循环回路的水量。

3.6

复用水量 (Q_{f}) recycle water quantity
在生产过程中使用两次及两次以上的水量，包括循环水量、串用水量和回用水量。

3.7

总用水量 (Q_{z}) total water consumption
完成发电过程所需要的各种水量的总和，包括取水量和复用水量。

3.8

耗水量 (Q_{h}) water loss
水在使用过程中因蒸发、飞散、渗漏、风吹、污泥和灰渣携带、绿化等形式消耗掉的各种水量。

3.9

重复利用率 (R) recycle ratio
在一定的计量时间内，生产过程中的复用水量占总用水量的百分比。

3.10

排水率 (k_{p}) discharged water ratio
在一定计量时间内，排水量占取水量的百分比。

3.11

不平衡率 (δ) unbalance ratio
全厂取水量与分系统补水量（不包括复用水量）之和的相对误差。

3.12

废水回收率 (k_{f}) wastewater recovery ratio
在生产过程中，回收利用的废水总量占电厂产生废水总量的百分比。

4 总则和要求

- 4.1 水平衡试验是以火力发电厂作为一个确定的用水体系，分析火力发电厂水量分配、消耗及排放之间的平衡关系。
- 4.2 通过对火力发电厂各种取水、用水、排水和耗水水量以及水质的测定，查清火力发电厂的用水状况，正确评价火力发电厂的用水水平，为制定出合理的单位发电量取水量、耗水量等定额指标提供依据。
- 4.3 机组每运行5年应开展一次水平衡。此外，在下列任何一种条件下，都应进行水平衡试验：
- a) 新机组投入稳定运行一年内；
 - b) 主要用水系统、设备已进行了改造，运行工况发生了较大的变化；
 - c) 与同类型机组相比，单位发电量取水量明显偏高，或偏离设计水耗较大；
 - d) 在实施节水、废水综合利用或废水零排放改造之前以及工程稳定运行之后；
 - e) 水源发生改变，如增加水源或者减少水源。

5 水平衡试验

5.1 水平衡试验原则

- 5.1.1 火力发电厂水平衡试验工况和结果应能够反映真实的用水水平。供热机组水平衡试验应在冬季、夏季工况分别进行，非供热机组宜在夏季进行。
- 5.1.2 所有试验仪表应经过检定或校准合格，并在检定的有效期内，其精度应满足GB 17167的要求。
- 5.1.3 水计量器具应按照GB/T 24789的要求配备和管理，定期进行校验、维护保养和记录。
- 5.1.4 水量测试应选取运行稳定的、有代表性的时段，连续测试时间应不少于7d，每24h至少记录一次。

5.2 水平衡试验前应核查以下内容

- 5.2.1 全厂装机容量、机组台数、投产日期及主要技术参数。
- 5.2.2 全厂各种水源（包括地表水、地下水、自来水、再生水等）情况，填写附录A中表A.1。
- 5.2.3 全厂取水、用水、排水情况，填写附录A中表A.2。
- 5.2.4 全厂已采取的节水措施。
- 5.2.5 全厂水系统管网和已安装的水量计量器具位置，填写附录A中表A.3。
- 5.2.6 全厂已建成投运的原水预处理和废水处理系统情况。

5.3 划分水平衡试验体系

根据火力发电厂水系统实际情况，全厂水系统宜按工艺系统性质划分为供水、循环水、工业水、锅炉补给水、输煤、除灰渣、脱硫脱硝、废水处理（回用）、生活杂用水等系统，各系统可进一步划分成单项用水系统或用水设备。

5.4 测试项目

- 5.4.1 各用水单元应测试的水量参数见表1。

表 1 水量参数测试清单

序号	用水单元	测试水量参数
1	供水系统，含原水预处理系统	取水量、排水量、回用水量
2	锅炉补给水系统	取水量、排水量、循环水量、回用水量
3	循环水系统，含循环水旁流处理系统、循环水排污水处理系统等	取水量、排水量、循环水量、回用水量
4	输煤系统，含煤水处理系统	取水量、排水量、循环水量、回用水量
5	除灰渣系统，含渣水处理系统	取水量、排水量、循环水量、回用水量
6	脱硫脱硝系统，含脱硫废水处理系统	取水量、排水量、循环水量、回用水量
7	工业废水处理系统	处理水量、排水量、回用水量
8	生活以及消防水系统，含生活污水处理系统	取水量、排水量、回用水量
9	杂用水系统	取水量、排水量、回用水量
10	非经常性废水	取水量、排水量、回用水量
注：1. 杂用水系统包括绿化、食堂、办公楼等附属生产用水。 2. 非经常性废水包括空预器冲洗水、化学清洗废水、地面冲洗水等。		

- 5.4.2 对用水水质和排放水质有要求的用、排水单元应进行水质参数测试。
- 5.4.3 对外供汽的电厂应测试工业抽汽量，供热的电厂应测试热网补水量，若电厂设置了余热回收系统，应测试相关水量。

5.5 流量测量方法的选择及测量

5.5.1 试验方法参考附录B进行，并满足以下要求：

- a) 测试管道上有水量计量仪表的，需要用试验仪表对主要仪表进行比对，误差小于 5%的表计由试验人员记录，同时查阅以前的报表记录进行核算；误差大于等于 5%的表计测量数据，应取试验仪表测试数据。
- b) 测试管道上无水量计量仪表的，可采用便携式超声波流量计或其他不影响管道正常运行的辅助测量仪表测量。对于稳定连续流量，宜分时段 3 次测量取平均值；对于非连续流，宜采用仪表长时间测量累计流量，计算其平均流量。
- c) 测试管道上无水量计量仪表且无法使用便携式等辅助流量计测定的，可以首先测定其他相关管道或系统的流量，然后通过计算得出该管道的流量数据。
- d) 对于连续稳定的水渠流量的测定，根据现场具体情况可采用超声波明渠流量计或流速仪测量。
- e) 对于间断性通水的管道、沟渠，可以安装水量计量仪表累计计量或采用容积法测量。
- f) 污泥、灰渣等固体物的含水率可以采用重量法测定。

5.5.2 各用排水系统测量结果填写参见附录 A 中表 A.4。

6 试验数据处理

6.1 水平衡数据处理应由单台设备到系统，再由系统到全厂。

6.2 对于无法测量但又是水平衡试验及绘制全厂水平衡图不能缺少的数据，可根据经验公式进行计算。冷却塔蒸发损失量的计算可参考 GB/T50102。

6.3 计算全厂取水量、耗水量、排放水量、总用水量、复用水量，全厂各类用水所占比例。全厂各类用水情况表填写参见附录A中表A.5。计算公式如下：

$$Q_f=Q_{xh}+Q_{cy}+Q_{hy} \dots\dots\dots (1)$$

$$Q_z=Q_q+Q_f \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- Q_f—复用水量，m³/h；
- Q_{xh}—循环水量，m³/h；
- Q_{cy}—串用水量，m³/h；
- Q_{hy}—回用水量，m³/h；
- Q_z—总用水量，m³/h；
- Q_q—取水量，m³/h

6.4 计算全厂重复利用率、排放水率、废水回收率、单位发电量取水量等指标值。计算公式如下：

$$R=Q_f/(Q_f+Q_q)\times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

$$k_p=(Q_p/Q_q)\times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

$$k_f=(Q_{fsh}/Q_{fs})\times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

$$V_{ui}=Q_q/W \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- R—重复利用率，%；
- k_p—排放水率，%；
- Q_p—排放量，m³/h；
- k_f—废水回收率，%；
- Q_{fsh}—全厂回收利用的废水总量，m³/h；
- Q_{fs}—生产过程中产生废水总量，m³/h；

V_{ui} —单位发电量取水量, $\text{m}^3/(\text{MW}\cdot\text{h})$;

W —在一定计量时间内的全厂发电量, $\text{MW}\cdot\text{h}$ 。

6.5 对于敞开式循环冷却水系统, 计算循环冷却水排污水回收率。计算公式如下:

$$K_{xf} = (Q_{xhy}/Q_{xp}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

K_{xf} —循环冷却水排污水回收率, %;

Q_{xhy} —循环冷却水排污水串用或回用的水量, m^3/h ;

Q_{xp} —总的循环冷却水排污水产生量, m^3/h 。

6.6 计算水量不平衡率。全厂不平衡率计算公式如下:

$$\delta = (Q_q - \sum Q_i) / Q_q \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

δ —不平衡率, %;

Q_q —全厂取水量, m^3/h ;

$\sum Q_i$ —各分系统补水量 (不包括复用水量) 之和, m^3/h ;

6.7 计算人均生活用水量。计算公式如下:

$$P_{sh} = Q_{sh} / N \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

P_{sh} —厂区人均生活用水量, $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{人})$;

Q_{sh} —厂区生活用水取水量, m^3/h ;

N —电厂总人数, 人。

6.8 绘制全厂和各分系统水平衡图。水平衡图应能反映出各用水系统水的来源、类别 (取水、复用水、排放水、蒸发、泄漏等)、用水系统或设备名称、废水处理设施、工艺流程和水的流向, 应标出各节点水的流量。水平衡图示例可参见附录C。

6.9 根据电厂在线水计量器具配备情况, 绘制水计量器具配备网络图, 示例可参见附录D。

7 试验结果分析和评价

7.1 全厂水量不平衡率应在 $\pm 5\%$ 之内。

7.2 用水评价应包括全厂用水指标的评价、主要生产用水系统的评价及非生产用水评价等三个方面。

7.2.1 全厂用水指标的评价内容包括:

- a) 分析单位发电量取水量、重复利用率、排放水率、废水回用率等指标是否满足 GB/T 18916.1、GB/T 26925 相关考核指标以及当地政府和水务管理部门的要求。
- b) 对全厂水系统进行分析、评价。指出存在的不合理用水, 分析排放水量大的主要原因以及管理上的薄弱环节。

7.2.2 主要生产用水系统评价内容包括:

- a) 循环水系统的蒸发、风吹和排污损失水率的评价可参照 GB/T 50102 进行, 并结合原水水质、补充水处理方式、凝汽器管材以及除灰渣方式等多个因素对循环冷却水处理方法和浓缩倍率进行评价。
- b) 锅炉补水率、排污率及汽水损失率等可参照 DL 5068 进行评价。
- c) 脱硫、除灰渣、输煤等系统用排水情况可参照 DL/T 783 进行评价。
- d) 废水处理系统运行状态及处理后废水回收利用情况等可参照 DL/T 783 进行评价。
- e) 其他生产用水系统的评价内容与设计指标进行比较。

7.2.3 非生产用水评价包括人均生活用水量及绿化景观用水等内容, 可参照 DL/T 5339 进行评价。

7.3 根据水平衡测试结果的评价分析, 应提出电厂用排水改进建议和措施, 主要包括:

- a) 完善水计量器具配备、维护和校验，建立全厂智慧水务监控系统；
- b) 针对不合理用水，挖掘节水潜力，提出节水思路和改进措施；
- c) 针对不合理排水，提出废水回用、综合治理等解决方案。

8 报告

8.1 报告应包括以下主要内容：

- a) 水平衡试验的目的、原则及技术依据；
- b) 机组概况，主系统设备名称、台数及技术参数；
- c) 主要供、排水系统简要说明；
- d) 电厂已实施的节水措施；
- e) 试验项目、试验方法、使用的试验仪器设备；
- f) 试验数据处理及计算；
- g) 绘制水平衡图和水计量器具配备网络图；
- h) 试验结果分析和用水评价、用排水改进建议和措施；
- i) 试验结论，包括全厂水平衡试验主要结果，如不平衡率、单位发电量取水量、外排水量等内容。

8.2 报告应列出在线水计量器具与测试仪表对比结果，提出完善意见。

8.3 报告应提出可行性节水措施和预计节水效果，绘制全厂水平衡优化图。

附录 A
(资料性)
记录表格

水平衡测试相关表格格式见表A.1~A.5所示。

表A.1 水资源调查表

序号	水源	供水能力	供水管道规格	水质状况	取水量	主要用途	水表	备注
定额用水指标：								
装机取水量：								
注 1：“水源”指地表水、地下水、自来水、再生水等。								
注 2：“供水能力”栏内填写稳定供水能力等情况。								
注 3：“水质状况”栏内填写来水含盐量、浊度、TOC、油含量等项目。								
注 4：“水表”栏内填写一级水表类型及使用情况。								

表A.2 近三年用水、排水情况调查表

年 份	取水总量 万 m³/a	外排水总量 万 m³/a	废水回用水量 万 m³/a	年发电量 MW·h	单位发电量 取水量 m³/(MW·h)	重复利用率 %
注：总取水量和单位发电量取水量的计算不含直流冷却水量。						

表A.3 水计量器具配备情况统计表

序号	仪表编号	用水单元	配备位置	型号规格	计量范围	仪表精度	备注

表A.4 _____系统水平衡试验统计表

子系统/ 设备名称	水的 来源	取水量 m³/h	循环水量 m³/h	串用、回用水量 m³/h	耗水量 m³/h	排放水量 m³/h	排放水率 %	备注
合计								

表A. 5 全厂各类用水情况表

试验系 统名称	取 水 量 m³/h	复用水 量 m³/h	回用串 用水量 m³/h	总用水 量 m³/h	耗水量 m³/h	排放水 量 m³/h	重复利 用率 %	排放 水率 %	净补 水量 m³/h	占总 取水 量%	备注
											机组负荷率： 环境气温：

附录 B

(资料性)

水量辅助测量方法简介

B.1 超声波管道法

B.1.1 工业上常用的超声波流量计根据测量介质性质不同主要采用时差式和多普勒式两种测量原理。时差式利用超声波在通过流体的顺逆两方向上传播速度之差来求取流体的流量和流速；而多普勒超声波流量计是以超声多普勒效应为原理，即通过向流动着的液体发射一固定频率的超声波束，液体里的颗粒反射出来的信号被探头接收，其频率受流速的影响而发生偏移，即接收频率的变化与流速变化成比例关系，捕获的信号经CPU处理后，取出平均频率也就得到了管道内的平均流量。

B.1.2 超声波测流装置主要由主机、探头、电源等组成，其型式有固定式和便携式，一般可测管径范围DN25mm～DN3000mm，在满足测量条件的情况下，精度可达到 $\pm(1\sim2.5)\%$ 。

B.1.3 安装、测量要求应符合下列规定：

- a) 测点上游等断面直管段长度应大于10D、下游应大于5D（D为管内径）；
- b) 为保证测量管段内液体满管，尽量选取上升流向管段进行测试；
- c) 测量段的内外管壁要求平滑，无凹凸不平以使探头安装时与管壁很好接触，接触面上应涂黄油和凡士林作耦合剂。

B.2 超声波明渠法

B.2.1 采用超声回波技术，通过测量流量槽（堰）液位高度，再经过仪器内部的微处理器运算得到流量，由于是非接触测量，能在较恶劣的环境中应用，如测量厂区总排水。

B.2.2 测量装置和要求应符合下列规定：

- a) 仪表的发射面一定要与液体表面水平；
- b) 仪表的发射面与最低液面之间距离应小于仪表最大量程；
- c) 液体的最高液位不得进入仪表测试盲区；
- d) 仪表下方不得有障碍物；
- e) 仪表应安装在液面比较平缓的地方。

B.3 流速仪法

B.3.1 流速仪的工作原理是当水流作用到仪器的感应元件桨叶时，桨叶即产生旋转运动，水流速越快，桨叶转动越快，转速与流速之间存在着一定的函数关系，即 $v=f(n)$ 。

B.3.2 流速计算公式如式（B.1）所示：

$$v=an+b \quad \text{..... (B.1)}$$

式中：

a、b—流速仪标定系数

n—流速仪转速，r/min。

B.3.3 流速仪主要由旋转（包括感应和接触机构）部分、身架部件和尾翼不见及计数、记时器等附属设备组成。一般测速范围 $v=0.06\text{m/s}\sim7.0\text{m/s}$ ，测量公式的均方差可达到 $\pm(1\sim2.5)\%$ 。

B.3.4 在火力发电厂水平衡试验中，流速仪法主要用于测定外排水渠道等过水断面平均流速。为了求得断面平均流速，首先在断面上布设一些测速垂线（一般在测深垂线中选择若干条同时兼作测速垂线），测速垂线数目一般在5条以下，测速垂线上的测点数，根据垂线的水深，流速仪的悬吊方式和测量精度的要求来确定。由于火力发电厂外排水渠道宽度、深度大都在1米左右，实测中通常采用一点法进行测

速，测量时间不少于100s。最后根据测速垂线平均流速求得部分面积平均流速，两者的乘积为通过各部分面积的流量，累积各部分面积上的流量即得全断面流量。

B.3.5 流速仪测流工作包括断面测量和流速测量两部分工作。其工作步骤通常是：点流速→垂线平均流速→部分面积平均流速→乘以对应的部分断面面积→部分流量→全断面流量。

B.3.6 全断面流量的计算

a) 一点法垂线平均流速的计算如式（B.2）所示：

$$v_m = v_{0.6} \text{ 或 } v_m = (0.90 \sim 0.95) \times v_{0.5} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

v_m —测速垂线平均流速；

$v_{0.6}$ —为测速垂线0.6倍有效水深点流速；

$v_{0.5}$ —为测速垂线0.5倍有效水深的点流速。

b) 部分面积平均流速的计算如式（B.3）所示，部分面积平均流速的计算是指两测速垂线间部分面积的平均流速。

$$v_i = 0.5 \times (v_{mi-1} + v_{mi}) \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

v_i —第*i*部分面积对应的部分平均流速；

v_{mi-1} 、 v_{mi} —分别为第*i*—1及第*i*条测速垂线的垂线平均流速。

c) 岸边部分面积平均流速的计算如式（B.4）所示：

$$v_l = \alpha v_{ml} \text{ 或 } v_n = \alpha v_{mn} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

v_l 、 v_n —岸边部分面积对应的部分平均流速；

v_{ml} 、 v_{mn} —分别为第*l*及第*n*条测速垂线的垂线平均流速。

岸边流速系数 α 可通过增加测速垂线由试验资料确定，也可由公式推导确定。在陡岸边，若岸壁不平整， α 取为0.80；光滑岸壁， α 取用0.90；在死水与流水交界处的死水边， α 取为0.60。

d) 部分流量的计算，由各部分的部分平均流速 v_i 与部分面积之积可得到部分流量。

e) 断面流量的计算，断面流量为断面上各部分流量的代数和。

B. 4 容积法

B. 4. 1 测量方法

将被测介质注入预定的容器或水池，用秒表计量水量到达预定容积所需时间，计算出流量。

B. 4. 2 计算公式

流量计算公式如式（B.5）所示：

$$Q = V/t \dots\dots\dots (B.5)$$

式中：

Q —流量， m^3/h ；

V —预定容积， m^3 ；

t —时间， h 。

B. 5 渣含水率的分析

许多火力发电厂除灰除渣系统多采用灰渣分除方式，渣水经闭式水力除渣系统的脱水仓脱水后由自卸车运，渣含水率的分析采用重量分析法测定。

在脱水仓出渣口分时间段采集渣样五次，每次采集100g左右。将采集的渣样分别放入烧杯中称重，然后放入烘箱内一起烘干至恒重，放入干燥器内冷却至室温后称重，每次取样的渣含水率计算公式如（B.6）所示：

$$P=(GY_{zs}-GY_z)\times 100/GY_{zs} \cdots \cdots \cdots (B.6)$$

式中：

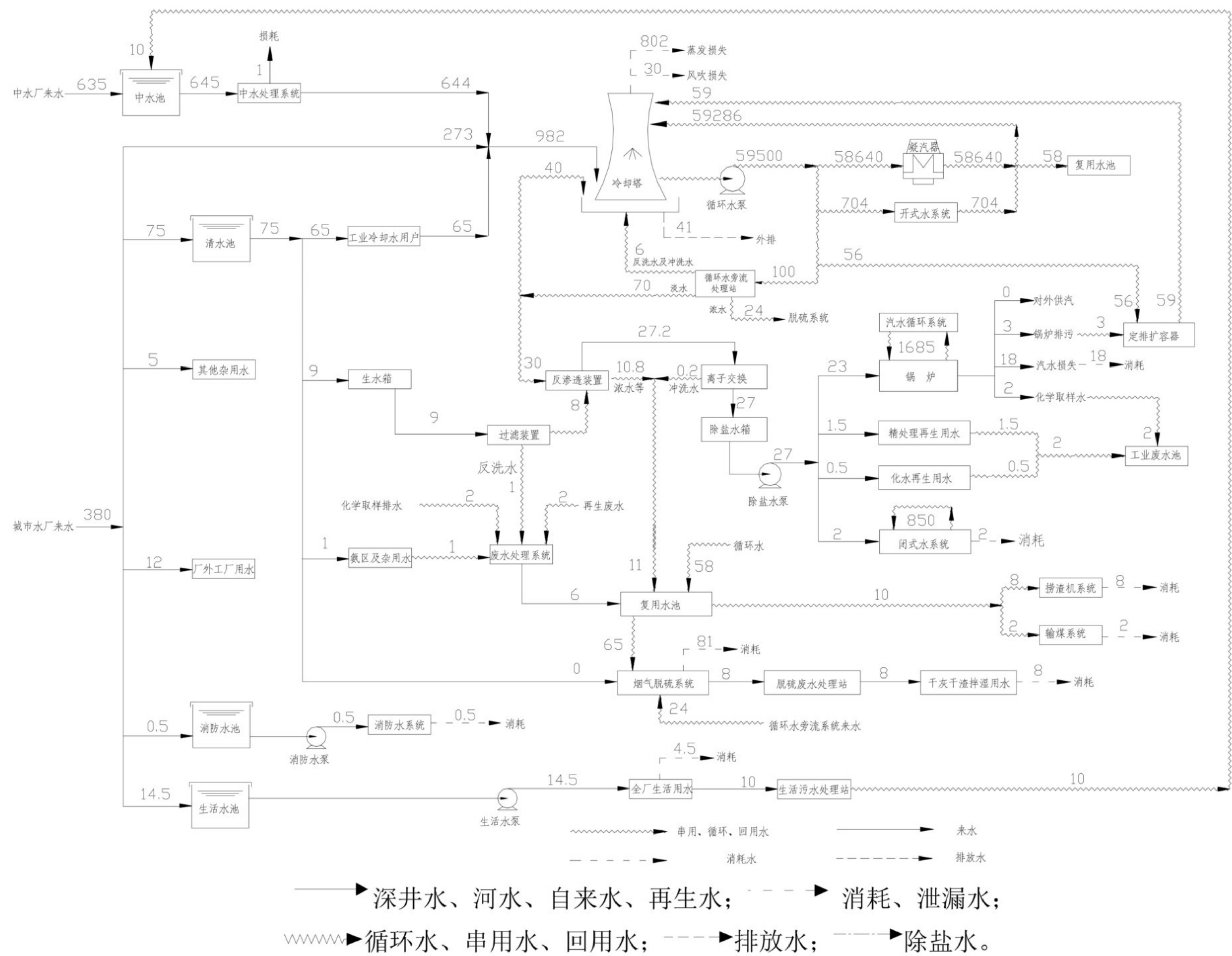
P—渣含水率，%；

GY_{zs} —放入烘箱前渣样重，g；

GY_z —烘干后的渣样重，并且应表明烘箱温度和烘考时间，g。

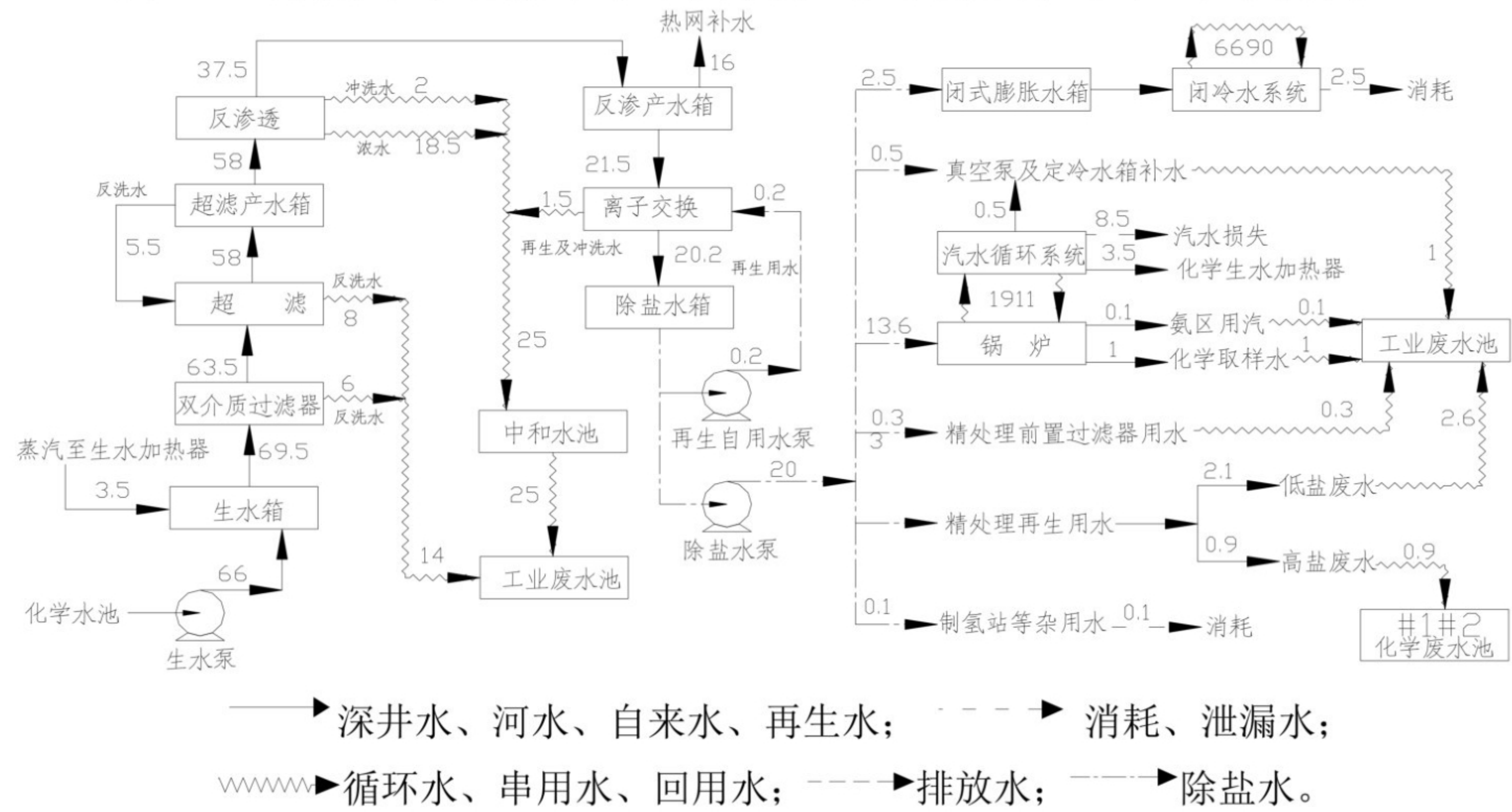
附 录 C
(资料性)
火力发电厂水平衡图示例

采用冷却塔循环冷却方式火力发电厂全厂水平衡图见图 C.1，化学除盐水系统水平衡图见图 C.2。



注：图中标注数字为2×330MW发电机组94%负荷条件下各点的水流量，单位为m³/h。

图 C.1 采用冷却塔循环冷却供水方式火力发电厂全厂水平衡图。



注：图中标注数字为水系统各点的水流量，单位为m³/h。

图 C.2 化学除盐水系统水平衡图

附录 D
(资料性)
火力发电厂水计量器具配备网络图示例

典型火力发电厂水计量器具配备网络图示例见图 D.1。

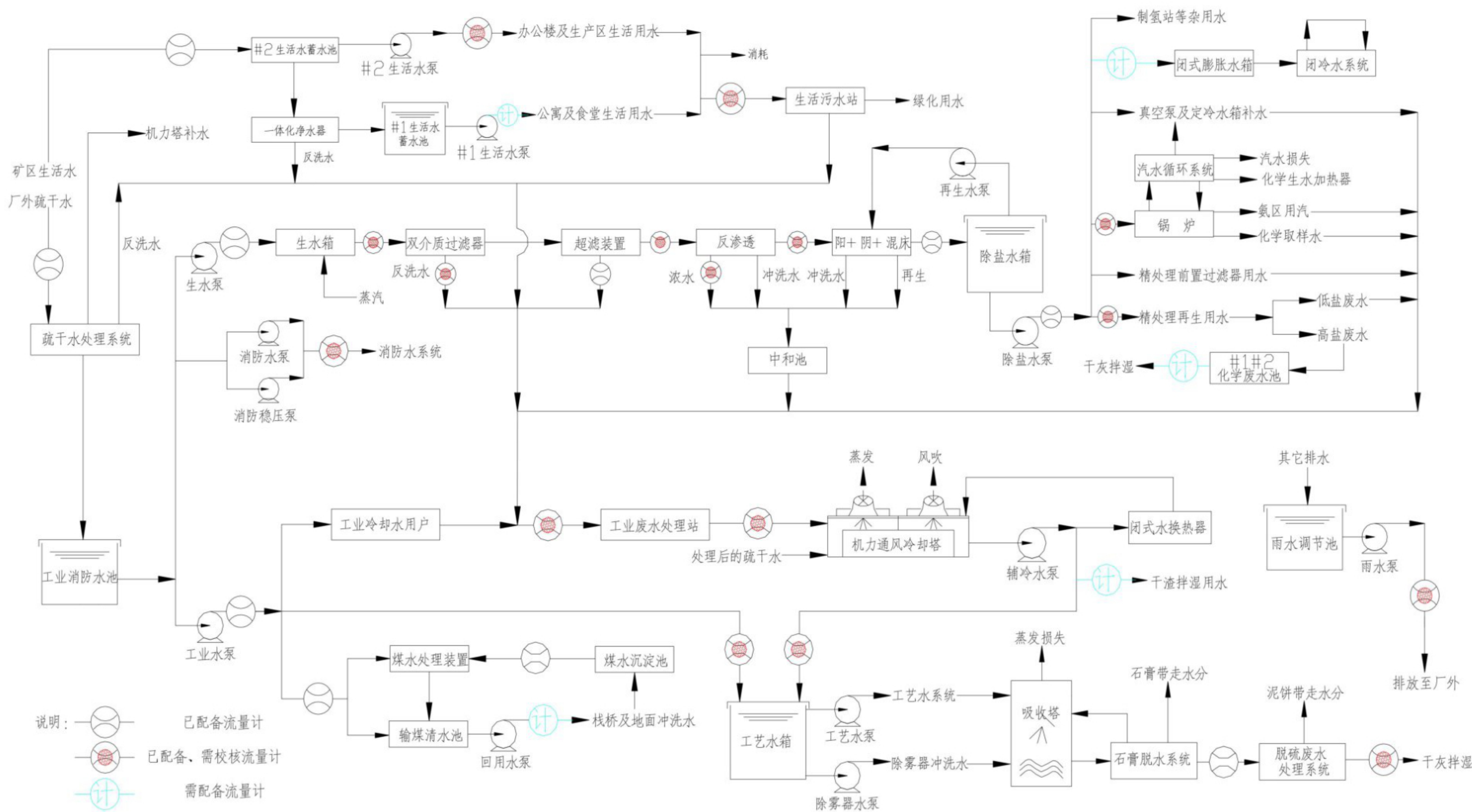


图 D.1 典型火力发电厂用水情况监测网络图