

ICS 27.100
F 23
备案号: 35225-2012

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 794 — 2012
代替 DL/T 794 — 2001

火力发电厂锅炉化学清洗导则

Guideline for chemical cleaning of fossil plant

2012-01-04 发布

2012-03-01 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 总则 1

4 技术要求 2

5 化学清洗条件的确定 3

6 化学清洗系统的设计和安装 5

7 化学清洗工艺过程 10

8 清洗废液的处理 16

9 化学清洗质量指标 17

10 化学清洗中的化学监督 17

11 安全和质量保证措施 18

附录 A（规范性附录） 水冷壁割管方法及小型试验方法 20

附录 B（资料性附录） 锅炉清洗废液的排放和处理 23

附录 C（规范性附录） 清洗用药品（包括酸、碱、缓蚀剂、钝化剂）
的产品质量标准及检验方法 26

附录 D（资料性附录） 常见清洗介质的溶垢能力 29

附录 E（资料性附录） 清洗系统的材料、设备及化学药品的计算 31

附录 F（规范性附录） 化学清洗后评价试验方法 41

附录 G（资料性附录） 化学清洗中的测试方法 42

前 言

本标准与 DL/T 794—2001《火力发电厂锅炉化学清洗导则》相比，主要有以下变化：

- 修改了化学清洗范围；
- 增加了新的引用标准；
- 增加了对清洗单位的资质要求；
- 增加了对复配化学药剂的要求；
- 修改了多项清洗工艺的控制参数；
- 删除了多项落后的和不合理的清洗工艺；
- 增加了升温试验工艺要求；
- 增加了业主的化学监督职责；
- 增加了清洗质量保证内容；
- 增加了水冷壁割管方法；
- 增加了化学清洗后评价试验方法；
- 修改了部分文字错误和计算公式错误；
- 修改了附录中的清洗分析方法。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电厂化学标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：西安热工研究院有限公司、湖北省电力公司电力试验研究院、河北电力科学研究院。

本标准主要起草人：曹杰玉、张祥金、喻亚非、龙国军、刘绍银、孙心利、姚建涛。

本标准是第一次修订，自实施之日起，代替 DL/T 794—2001。

本标准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）。

火力发电厂锅炉化学清洗导则

1 范围

本标准规定了火力发电厂锅炉化学清洗的技术要求、质量指标和试验方法。

本标准适用于铁及其合金制成的热力设备的金属表面上的垢和腐蚀产物的化学清洗；以及锅炉出口压力不小于 3.8MPa 的火力发电机组及蒸汽动力设备的锅炉化学清洗。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 8978 污水综合排放标准

GB/T 4334 金属和合金的腐蚀 不锈钢晶间腐蚀试验方法

GB/T 12145 火力发电机组蒸汽动力设备水汽质量

GB/T 15970 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验

DL/T 522.1 水中二甲基酮肟的测定方法——分光光度法

DL/T 523 化学清洗缓蚀剂应用性能评价指标及试验方法

DL/T 561 火力发电厂水汽化学监督导则

DL/T 956 火力发电厂停（备）用热力设备防锈蚀导则

DL/T 977 发电厂热力设备化学清洗单位管理规定

HG/T 2387 工业设备化学清洗质量标准

3 总则

3.1 锅炉化学清洗是指采用一定的清洗工艺，通过化学药剂的水溶液与锅炉水汽系统中的腐蚀产物、沉积物和污染物发生化学反应而使锅炉受热面内表面清洁，并在金属表面形成良好钝化膜的方法。化学清洗是防止受热面因腐蚀和结垢引起事故的必要措施，同时也是提高锅炉热效率、改善机组水汽品质的有效措施之一。

3.2 承担火力发电厂锅炉化学清洗的单位应符合 DL/T 977 的要求，应具备相应的资质，严禁无证清洗。

3.3 清洗方案和措施应由专业技术人员制定，经技术负责人审核，呈报主管领导批准。锅炉化学清洗过程中应有技术部门进行监督；清洗结束后，应对清洗质量进行检查、评定。

3.4 清洗单位的项目负责人、技术负责人和化验人员应经过专业培训，考核合格后持证上岗，严禁无证操作。清洗工作实施前，应对参加化学清洗人员进行技术和安全教育培训，使其熟悉清洗系统，掌握安全操作程序。

3.5 清洗范围。

3.5.1 新建锅炉的清洗范围如下：

- 直流炉和过热蒸汽出口压力为 9.8MPa 及以上的汽包炉，在投产前必须进行化学清洗；压力在 9.8MPa 以下的汽包炉，当垢量小于 150g/m^2 时，可不进行酸洗，但必须进行碱洗或碱煮。
- 再热器一般不进行化学清洗。出口压力为 17.4MPa 及以上机组的锅炉，再热器可根据情况进行化学清洗，但必须有消除立式管内的气塞和防止腐蚀产物在管内沉积的措施，应保持管内清洗流速在 0.2m/s 以上。
- 过热器垢量或腐蚀产物量大于 100g/m^2 时，可选用化学清洗，但应有防止立式管产生气塞和腐蚀产物在管内沉积的措施，并进行应力腐蚀试验，清洗液不应产生应力腐蚀。

- d) 机组容量为 200MW 及以上新建机组的凝结水及高压给水系统, 垢量小于 150g/m^2 时, 可采用流速大于 0.5m/s 的水冲洗; 垢量大于 150g/m^2 时, 应进行化学清洗。机组容量为 600MW 及以上机组的凝结水及给水管道系统至少应进行碱洗, 凝汽器、低压加热器和高压加热器的汽侧及其疏水系统也应进行碱洗或水冲洗。
- 3.5.2 运行锅炉的清洗范围如下:
- a) 在大修时或大修前的最后一次检修时, 应割取水冷壁管, 测定垢量。当水冷壁管内的垢量达到表 1 规定的范围时, 应安排化学清洗。当运行水质和锅炉运行出现异常情况时, 经过技术分析可安排清洗。
- b) 以重油和天然气为燃料的锅炉和液态排渣炉, 应按表 1 中的规定提高一级参数锅炉的垢量确定化学清洗, 一般只需清洗锅炉本体。蒸汽通流部分的化学清洗, 应按实际情况决定。一旦发生因结垢而导致水冷壁管爆管或蠕胀时, 应立即进行清洗。
- c) 当锅炉清洗间隔年限达到表 1 规定的条件时, 可酌情安排化学清洗。
- d) 当过热器、再热器垢量超过 400g/m^2 , 或者发生氧化皮脱落造成爆管事故时, 可进行酸洗。但应有防止晶间腐蚀、应力腐蚀和沉积物堵管的技术措施。

表 1 确定需要化学清洗的条件

炉 型	汽 包 锅 炉				直流炉
主蒸汽压力 MPa	<5.9	5.9~12.6	12.7~15.6	>15.6	—
垢量 g/m^2	>600	>400	>300	>250	>200
清洗间隔年限 a	10~15	7~12	5~10	5~10	5~10

注: 表中的垢量是指在水冷壁管垢量最大处、向火侧 180° 部位割管取样测量的垢量。测定方法见附录 A

- 3.6 化学清洗方式可分为循环清洗、半开半闭式清洗、浸泡清洗 (包括氮气鼓泡法) 及开式清洗。在这四种清洗方式中, 宜采用循环清洗和半开半闭式清洗。对于新建汽包锅炉, 当垢量不大且垢易溶解时, 可采用浸泡清洗。
- 3.7 清洗介质中应添加合适的缓蚀剂, 并根据需要添加还原剂和其他助剂。
- 3.8 应备足用于锅炉化学清洗的水量。锅炉化学清洗应采用软化水、除盐水。无奥氏体钢的锅炉, 碱洗和碱洗后的水冲洗也可以采用澄清水。
- 3.9 锅炉化学清洗的时间应安排在清洗完毕后 20 天内投入运行, 否则, 应采取防腐保护措施。
- 3.10 化学清洗排出的各种废液应按 4.5 的规定进行处理。
- 3.11 工作人员在化学清洗过程中应严格遵守安全规程, 严格执行化学清洗安全措施, 确保人身、设备安全。根据国家劳动保护法的有关规定和实际需要, 参加化学清洗人员应享有劳动保障的待遇。

4 技术要求

- 4.1 在制订化学清洗施工方案及现场清洗措施时, 除应符合相关的标准外, 还应符合与设备相关的技术条件或规范, 以及业主和施工方共同签订的或合同规定的其他技术要求。
- 4.2 化学清洗前应拆除或隔离易受清洗液损害的部件和其他配件。
- 4.3 化学清洗后设备内的有害残液、残渣应清除干净, 并应符合相应的标准。
- 4.4 设备清洗后的质量应符合 9.1~9.6 的规定。
- 4.5 化学清洗产生的废液, 可参照附录 B 规定的处理方法处理, 排放时应符合 GB 8978 的规定和当地环保标准。

4.6 严禁用废酸液清洗锅炉。

5 化学清洗条件的确定

5.1 化学清洗介质及参数的选择，应根据垢的成分，锅炉设备的结构、材质等，通过试验确定。选择的清洗介质在保证清洗及缓蚀效果的前提下，应综合考虑其经济性及环保要求等因素。

5.2 用于化学清洗的药剂应有产品合格证，并通过有关药剂的质量检验，其质量要求见附录 C。

5.3 清洗介质的选择。

5.3.1 清洗介质的选择见表 2。清洗介质对铜铁垢溶解能力的对比参见附录 D。

表 2 清洗介质的选择

序号	清洗工艺名称	清洗介质	添加药品及条件 ^a	适用于清洗垢的种类	适用炉型及金属材料	优缺点
1	盐酸清洗 ^b	HCl 4%~7%	缓蚀剂 0.3%~0.4%	CaCO ₃ >3% Fe ₃ O ₄ >40% SiO ₂ <5%	汽包炉、碳钢	清洗效果好，价格便宜，货源广，废液易于处理；垢剥离量大，易产生堵塞；不能用于奥氏体钢和高合金钢
2	盐酸清洗清除硅酸盐垢 ^b	HCl 4%~7%	缓蚀剂 0.3%~0.4%、0.5%氟化物	Fe ₃ O ₄ >40% SiO ₂ >5%	汽包炉、碳钢	对含硅酸盐的氧化铁垢清洗效果好，价格便宜，货源广
3	盐酸清洗清除碳酸盐垢、硫酸盐垢和硅酸盐硬垢 ^b	HCl 4%~7%	清洗前必须用 Na ₃ PO ₄ 、NaOH 碱煮，酸洗液中加入缓蚀剂 0.3%~0.4%、NH ₄ HF ₂ 0.2%或 NaF 0.4%及 (NH ₂) ₂ CS 0.5%（无 CuO 不加）	CaCO ₃ >3% CaSO ₄ >3% Fe ₃ O ₄ >40% SiO ₂ >20% CuO<5%	汽包炉、碳钢及低合金钢	对坚硬的硅酸盐、氧化铁垢（CuO 含量小于 5%）有足够的清洗能力，价格便宜，货源广，清洗工艺简单，易于掌握，废液较易处理
4	盐酸清洗，硫脲一步除铜 ^b	HCl 4%~7%	缓蚀剂 0.3%~0.4%、NH ₄ HF ₂ 0.2%或 NaF 0.4%及 0.5~0.8% (NH ₂) ₂ CS，应加还原剂，保证 Fe ³⁺ <300mg/L	Fe ₃ O ₄ >40% CuO<5%	汽包炉、碳钢及低合金钢	适用于 CuO 含量小于 5%的氧化铁垢的清洗。工艺简单，效果好
5	氨洗除铜	NH ₃ ·H ₂ O 1.3%~1.5%	盐酸清洗后用 NH ₃ ·H ₂ O 1.3%~1.5%及 (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ 0.5%清洗除铜	Fe ₃ O ₄ >40% CuO>5%	碳钢、低合金钢	适用于 CuO 含量大于 5%的氧化铁垢的清洗。清洗后除铜效果好，无镀铜现象，但工艺步骤多
6	柠檬酸清洗	C ₆ H ₈ O ₇ 2%~8%	缓蚀剂 0.3%~0.4%，在 C ₆ H ₈ O ₇ 中添加氨水调 pH 值至 3.5~4.0，温度 85℃~95℃，流速大于 0.3m/s，时间≤24h	Fe ₃ O ₄ >40%	汽包炉、直流炉、过热器、奥氏体钢	清洗系统简单，不需对阀门采取防护措施，危险性较小。酸洗液中铁含量过高和溶液 pH 值小于 3.5，易产生柠檬酸铁沉淀，会影响酸洗效果，该介质不宜用于清洗钙、镁垢和硅垢
7	高温 EDTA 清洗 ^c	EDTA 铵盐	缓蚀剂 0.3%~0.5%，EDTA 铵盐浓度 4%~10%，温度为 120℃~140℃，pH 值为 8.5~9.5	CaCO ₃ <3% Fe ₃ O ₄ >40% CuO<5% SiO ₂ <3%	汽包炉、直流炉、奥氏体钢	清洗系统简单，时间短，清洗水量少，废液可回收；清洗钙镁盐垢 pH 值不宜太低。 该工艺不宜用于铜、硅垢大于 5%的锅炉。 辅助系统复杂，配药、回收工作量大。低温清洗适用基建炉

表 2（续）

序号	清洗工艺名称	清洗介质	添加药品及条件 ^a	适用于清洗垢的种类	适用炉型及金属材料	优缺点
8	低温 EDTA 清洗 ^c	EDTA 铵盐	缓蚀剂 0.3%~0.5%，开始 pH 值 4.5~5.5，EDTA 铵盐浓度 3%~8%，温度 85℃~95℃	CaCO ₃ <3% Fe ₃ O ₄ >40% CuO<5% SiO ₂ <3%	汽包炉、直流炉、奥氏体钢	清洗系统简单，时间短，清洗水量少，废液可回收；清洗钙镁盐垢 pH 值不宜太低。 该工艺不宜用于铜、硅垢大于 5% 的锅炉。 辅助系统复杂，配药、回收工作量大。低温清洗适用基建炉
9	氢氟酸开式清洗或半开半闭清洗	HF 1%~1.5%	缓蚀剂 0.3%，流速≥0.15m/s	Fe ₃ O ₄ >40% SiO ₂ >20%	直流炉不适于奥氏体钢	对氧化铁垢溶解能力强，反应速度快，清洗时间短。但酸液烟雾大，有强刺激性。废液处理较麻烦，应备有专门的技术和设施
10	硫酸清洗	H ₂ SO ₄ 3%~9%	缓蚀剂 0.3%~0.4%，NH ₄ HF ₂ 0.3%~0.4%，温度 45℃~55℃，时间 8h，流速 0.2m/s~0.5m/s	Fe ₃ O ₄ >40%	炉本体和炉前系统	采用此介质可扩大清洗范围，清洗流速要求大于 0.2m/s，但对结大量钙、镁垢的锅炉不适用
11	羟基乙酸、羟基乙酸+甲酸或柠檬酸清洗	羟基乙酸 2%~4%、羟基乙酸 (2%~4%)+甲酸或柠檬酸 (1%~2%)	缓蚀剂 0.2%~0.4%，温度为 85℃~95℃，流速为 0.3m/s~0.6m/s，时间≤24h	Fe ₃ O ₄ >40% CaCO ₃ >3% CaSO ₄ >3% Ca ₃ (PO ₄) ₂ >3% MgCO ₃ >3% Mg(OH) ₂ >3% SiO ₂ <5%	奥氏体钢、含铬材料的锅炉及过热器、再热器	羟基乙酸是腐蚀性低、不易燃，无臭、毒性小、生物分解性强、水溶性高、几乎不挥发的有机物，清洗时不会产生有机酸铁的沉淀，废液易于处理。因此，用途广泛，使用操作方便。当锈垢比重较大时，混酸清洗效果会更佳。注意甲酸的强刺激性
12	氨基磺酸清洗	NH ₂ SO ₃ H 5%~10%	缓蚀剂 0.2%~0.4%，温度为 50℃~60℃	CaSO ₄ >3% CaCO ₃ >3% Ca ₃ (PO ₄) ₂ >3% MgCO ₃ >3% Fe ₃ O ₄ >40%	碳钢、不锈钢（非敏化状态）	氨基磺酸具有不挥发，无臭味，对人体毒性小，对金属腐蚀量小、运输、存放方便的特点。对钙、镁垢溶解速度快，对铁的化合物作用慢，可添加一些助剂，从而有效地溶解铁垢
13	硝酸清洗	HNO ₃ 5%~8%	缓蚀剂 0.3%~0.5%，温度为 50℃~60℃	Fe ₃ O ₄ >40% Ca、Mg 垢>3%		清洗、溶垢能力强，氧化性强。注意防止产生氮氧化物（NO _x ）
14	磷酸清洗	H ₃ PO ₄ >8%	缓蚀剂 0.2%~0.3%，温度 80℃~95℃，流速 0.3m/s~0.6m/s，时间 4h~8h		奥氏体钢和含铬钢	高温时溶解能力强，低温、低浓度时溶解铁的饱和极限较小。Fe ³⁺ 达 10g/L~25g/L 时即产生沉淀，为避免产生沉淀，应增加浓度，但浓度达 25% 时经济性差。H ₃ PO ₄ 浓度应大于 8%，酸洗后可形成钝化膜

^a 根据锅炉炉型、材质和垢的成分，选择合适的清洗介质和清洗方式。除氢氟酸宜采用半开半闭式清洗、开式清洗和浸泡加鼓泡法清洗，其他几种清洗介质均宜采用循环清洗。
^b 清洗时盐酸与金属接触的时间不宜超过 10h。
^c 对于压力不大于 15.6MPa 的锅炉，可使用 EDTA 钠盐进行清洗

5.3.2 复配化学药剂的要求如下：

- a) 复配化学药剂的生产厂家应给出药剂的质量标准、检测方法、使用条件（温度、浓度、流速、清洗方式等）、适用材质、可清洗垢的种类、适用锅炉的类型、禁用条件、注意事项等。药剂应通过技术鉴定。
- b) 复合药剂应经第三方检测部门检测验证，其验证内容包括质量检定、清洗效果（对不同类型的垢）检定、 Cl^- 和 F^- 离子的含量。对奥氏体钢，应进行应力腐蚀和晶间腐蚀检验。

5.4 为减少清洗介质对被清洗设备的腐蚀，清洗液的最大浓度应由试验确定，并应选择合适的酸洗缓蚀剂。试验方法见 DL/T 523。

5.5 清洗流速。

5.5.1 清洗介质的流速应控制在该缓蚀剂所允许的范围内。

5.5.2 循环清洗宜维持炉管中清洗介质的流速为 $0.20\text{m/s} \sim 0.50\text{m/s}$ ，最高不应大于 1m/s 。

5.5.3 开式清洗宜维持炉管中清洗介质的流速为 $0.15\text{m/s} \sim 0.50\text{m/s}$ ，最高不应大于 1m/s 。

5.5.4 浸泡清洗时，为提高清洗效果，宜在锅炉底部通入氮气鼓泡，增加扰动。

5.6 清洗液温度。

5.6.1 无机酸的清洗温度应控制在 $45^\circ\text{C} \sim 95^\circ\text{C}$ 。其中，盐酸的清洗温度宜控制在 $50^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ ；硫酸的清洗温度宜控制在 $45^\circ\text{C} \sim 55^\circ\text{C}$ ；氨基磺酸的清洗温度宜控制在 $50^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ ；磷酸的清洗温度宜控制在 $80^\circ\text{C} \sim 95^\circ\text{C}$ 。

5.6.2 柠檬酸、羟基乙酸的清洗温度控制在 $85^\circ\text{C} \sim 95^\circ\text{C}$ 。

5.6.3 采用 EDTA 清洗时，运行锅炉清洗温度宜控制在 $120^\circ\text{C} \sim 140^\circ\text{C}$ 。基建锅炉清洗温度也可在 $85^\circ\text{C} \sim 95^\circ\text{C}$ 。

5.7 必要时，可向清洗液中添加还原剂，如异抗坏血酸钠、 N_2H_4 等，控制清洗液中 Fe^{3+} 浓度小于 300mg/L 。

5.8 当垢中含铜量大于 5% 时，应有防止金属表面镀铜的措施，详见 7.2.6 a) 的规定。

5.9 清洗奥氏体钢时，选用的清洗介质、缓蚀剂和其他清洗助剂，其 Cl^- 、 F^- 等杂质含量应小于 0.005%；同时还应进行应力腐蚀和晶间腐蚀试验，清洗液不应产生应力腐蚀和晶间腐蚀。试验方法参见 GB/T 4334 和 GB/T 15970。

6 化学清洗系统的设计和安装

6.1 清洗系统的设计要求

6.1.1 化学清洗系统应根据锅炉设备结构、热力系统、清洗介质、清洗方式、水垢的分布状况、锅炉房空间和环境及清洗范围等具体情况进行设计。

6.1.2 水、汽源应充足，电源应安全可靠。

6.1.3 清洗回路的划分，应力求流速均匀，防止各回路间的短路。清洗系统应尽量简化，便于操作，并能合理、有效地处理清洗废液。

6.1.4 清洗泵宜选用耐蚀泵，并安装备用泵。用普通清水泵作清洗泵时，泵壳及叶轮应涂防腐涂料，并确保轴封严密；应采用浸油石墨、柔性石墨或聚四氟乙烯等材料的盘根。

6.1.5 被清洗设备和临时系统接口处，应避免死区，并尽量减少接口的数量。

6.1.6 除 EDTA 清洗外，不宜采用炉膛点火方式加热，以防明火而引发的氢气爆炸和产生局部过热、腐蚀，宜采用表面式或混合式加热器加热清洗液。混合式加热器的构造参见图 E.3。

6.1.7 水冲洗时，流速应明显高于清洗流速。直流炉可采用清洗泵、给水前置泵或凝结水泵进行冲洗。

6.1.8 应避免将炉前系统的脏物带入锅炉本体和过热器。

6.2 清洗系统的划分

6.2.1 宜将锅炉分为炉前系统、炉本体和汽系统进行清洗。

6.2.2 应使每个回路具有相近的流通截面或流速。

6.3 加酸方式

6.3.1 清洗回路充满水后，当水温、缓蚀剂及其他助剂加入量达到要求时，应继续循环。然后用浓酸泵或酸喷射器向清洗回路内加入浓酸，一边循环，一边配酸。

6.3.2 固态酸配制时应控制加药点和加药速度，避免因加药位置不当（不利于循环）或加药速度过快导致固态药剂在箱底沉积；此外，加药口应设置过滤装置，防止杂物进入清洗箱。在溶液箱内配成一定浓度的溶液后，再用清洗泵将其送入清洗系统。

6.3.3 采用开路酸洗时，将一定比例的浓酸和缓蚀剂用浓酸泵打入正在运转的给水泵出口或清洗泵出口。

6.4 典型清洗系统的设计

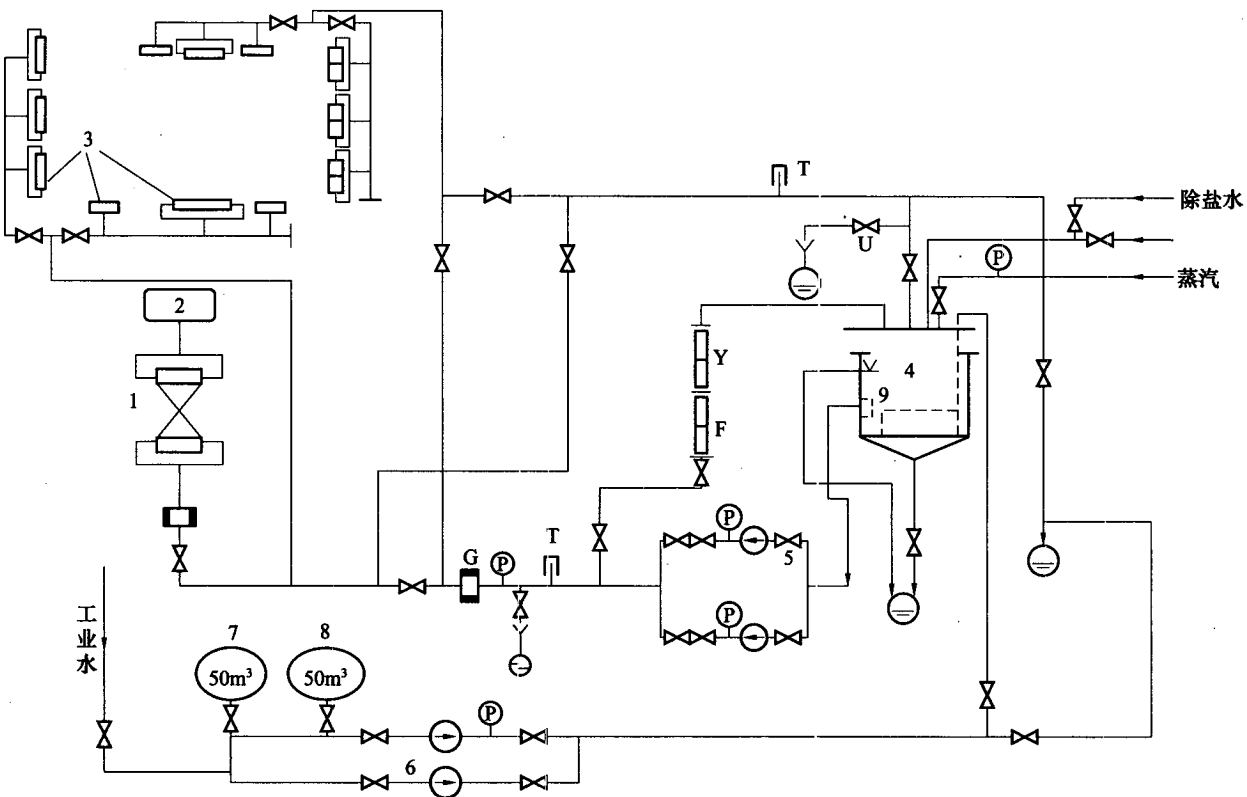
6.4.1 汽包炉循环清洗系统见图 1。

6.4.2 直流炉采用循环清洗时，其连接方法如下：

- a) 高压给水系统及炉本体清洗系统见图 2；
- b) 当清洗范围为高低压给水系统、炉本体及高温过热器时，清洗系统见图 3；
- c) 清洗范围为高低压给水系统、炉本体、高温过热器及再热器时，清洗系统见图 4。

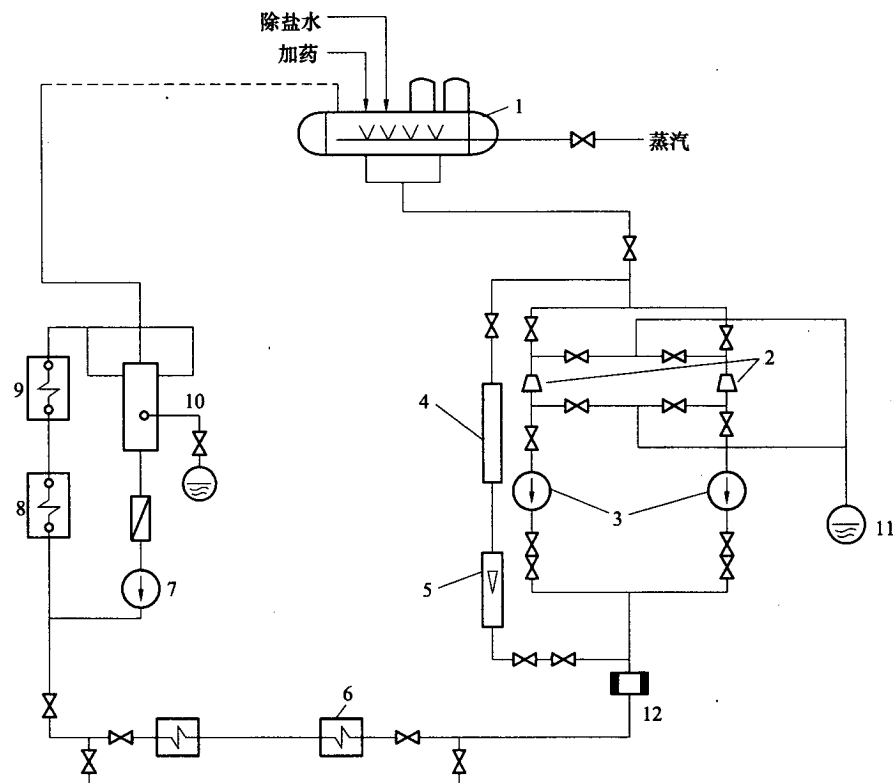
6.4.3 直流炉采用氢氟酸开路清洗时，其连接方法如下：

- a) 清洗范围为高低压给水系统、炉本体及高温过热器时，清洗系统见图 5；
- b) 清洗范围为高低压给水系统、炉本体、高温过热器及再热器时，清洗系统见图 6。



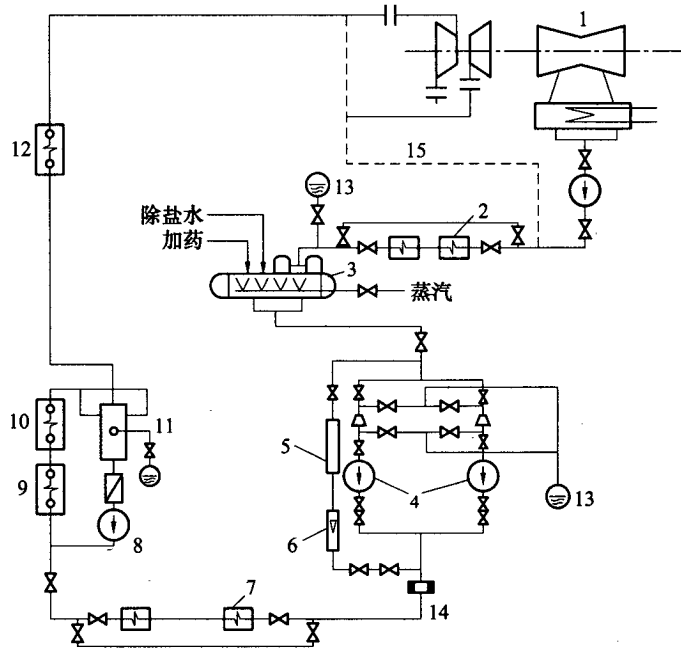
G—流量计；P—压力表；T—温度计；U—取样点；Y—腐蚀指示片安装处；F—转子流量计；
⊙—排放点；1—省煤器；2—汽包；3—水冷壁下联箱；4—清洗箱；5—清洗泵；
6—浓酸泵；7—浓碱箱；8—浓酸箱；9—滤网

图 1 汽包炉循环清洗系统



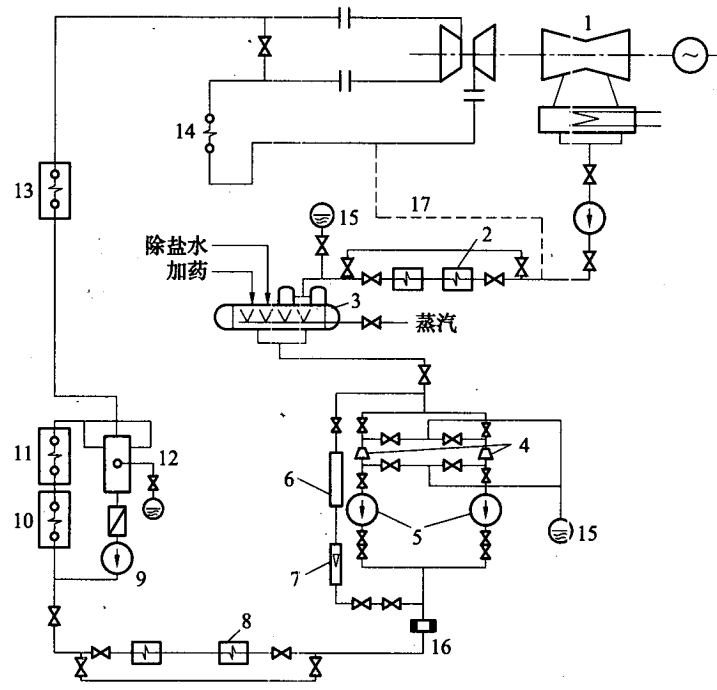
1—除氧器；2—过滤网；3—清洗泵；4—监视管；5—转子流量计；6—高压加热器；7—炉水循环泵；8—省煤器；
9—水冷壁；10—启动分离器；11—地沟；12—流量表

图2 直流炉本体循环清洗系统



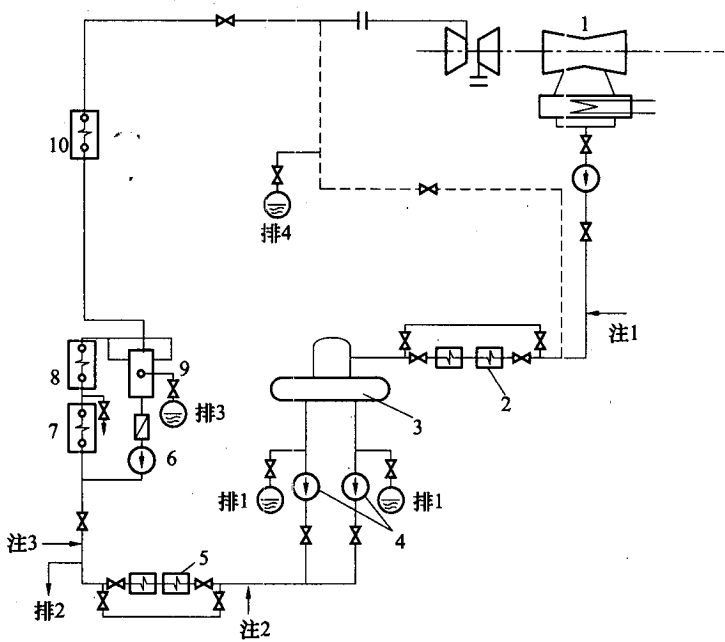
1—汽轮机；2—低压加热器；3—除氧器；4—清洗泵；5—监视管；6—转子流量计；7—高压加热器；
8—炉水循环泵；9—省煤器；10—水冷壁；11—启动分离器；12—过热器；
13—地沟；14—流量表；15—临时管路

图3 直流炉本体和过热器循环清洗系统



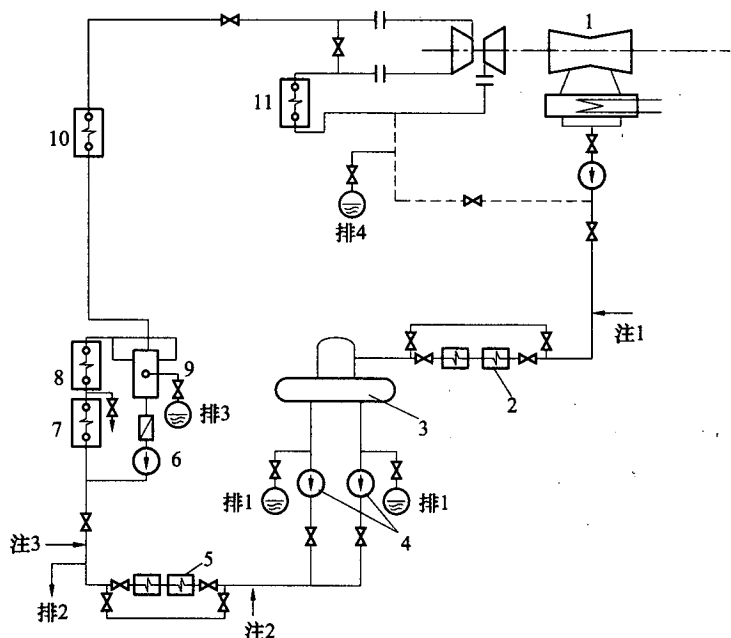
1—汽轮机；2—低压加热器；3—除氧器；4—过滤网；5—清洗泵；6—监视管；
7—转子流量计；8—高压加热器；9—炉水循环泵；10—省煤器；11—水冷壁；
12—启动分离器；13—过热器；14—再热器；15—地沟；16—流量表；17—临时管路

图4 直流炉本体、过热器和再热器循环清洗系统



1—汽轮机；2—低压加热器；3—除氧器；4—给水泵；5—高压加热器；
6—炉水循环泵；7—省煤器；8—水冷壁；9—启动分离器；10—过热器

图5 直流炉本体和过热器氢氟酸开路清洗系统



1—汽轮机；2—低压加热器；3—除氧器；4—给水泵；5—高压加热器；6—炉水循环泵；
7—省煤器；8—水冷壁；9—启动分离器；10—过热器；11—再热器

图6 直流炉本体、过热器和再热器氢氟酸开路清洗系统

6.5 清洗系统的安装要求

6.5.1 机组热力系统已安装或检修完毕，并经水压试验合格。

6.5.2 安装临时系统时，管道内应检查确认没有砂石或其他杂物。水平铺设的临时管道，朝排水方向的倾斜度不得小于 3/1000。按相应压力正式管道的质量要求，检查临时管道的焊接质量。焊接部位应易于观察，焊口不宜靠近重要设备。焊接操作人员应持有锅炉压力容器焊工岗位合格证。

6.5.3 对直流炉或亚临界压力及以上锅炉的化学清洗，其清洗临时系统的焊接应先用氩弧焊打底再进行焊接，以防酸洗剥离下来的焊渣进入锅炉。

6.5.4 阀门在安装前宜研磨密封面，更换法兰填料，并进行水压试验。所有阀门压力等级必须高于清洗泵相应的压力。阀门本身不应带有铜部件；阀门及法兰填料应采用耐酸、耐碱的防腐材料。

6.5.5 清洗泵入口侧（或酸箱出口）应装滤网。滤网孔径应小于 5mm，有效通流截面积应大于入口管截面积的 3 倍。为防止滤网堵塞，可在清洗箱内加装 1m² 以上的大滤网。安装清洗泵进、出口管道时，应考虑热膨胀补偿措施，避免水泵推力过大烧毁轴承。

6.5.6 清洗箱的标高及液位应能满足清洗泵的吸入高度，以防泵抽空。应按照清洗泵轴瓦使用要求采取冷却、密封措施。

6.5.7 化学清洗时，应在汽包上设临时液位计及液位监视和报警信号。其临时液位计汽侧应与汽包的汽侧相连，不允许直通大气，以防喷酸和出现假液位。根据循环流速的要求，在汽包下降管口，应临时安装节流孔板，并焊接固定装置，防止被水流冲脱。应将汽包内事故放水管临时加高至比汽包最高清洗水位高 100mm 或者封闭。

6.5.8 锅炉顶部应设有排氢管，其高度应高出汽包顶 2m 以上，并应有足够的通流截面（宜在 DN80～DN150 的范围内）。

6.5.9 临时系统中安装的温度、压力、流量表计及分析仪表，应经校验合格后方能使用。不耐蚀的表计，

应采取隔绝清洗液的措施。

6.5.10 清洗系统中应设监视管。监视管段应选用垢量最大的水冷壁管，其长度为 350mm~400mm，两端焊有法兰盘。应控制监视管流速与锅炉水冷壁管流速基本一致。必要时可在炉墙水冷壁管处设置监视管装置。

6.5.11 临时设置的清洗箱、溶药箱，不宜布置在电缆沟附近。清洗现场的道路应平整、畅通。通道上的临时管道如影响通行，应设临时便桥。应有良好的照明和通信设施。

6.5.12 对于悬吊式锅炉，在水冷壁下联箱或集中降水管底部手孔处连接的临时管，要考虑锅炉清洗时受热向下的膨胀量，要有缓冲膨胀的措施。在靠近临时接口或临时接口的母管上宜加装隔离门，以便进行临时系统的水压试验和酸洗事故中的抢修工作。

6.5.13 临时系统安装完毕，应通过热水水压试验。清洗泵、加药泵及其他转动机械应试运转正常。

6.5.14 不参加化学清洗的设备、系统应与化学清洗系统可靠地隔离，主要有：

- a) 拆除汽包内不宜清洗的装置和清洗回路中的标准流量孔板元件；
- b) 水位计及所有仪表、取样、加药等管道，均应与清洗液隔离；
- c) 汽包内孔眼朝上的排管，其下端要有排水孔，防止积酸；
- d) 过热器若不参加清洗，应采取保护措施（如充满保护液）。

6.5.15 系统安装过程中及安装完毕，应及时清除临时系统（包括汽包）内的砂石、焊渣和其他杂物。

7 化学清洗工艺过程

7.1 化学清洗前的准备

按 6.5 的要求完成清洗系统安装后，还应完成下列准备工作：

- a) 贮、供水量应能满足化学清洗和冲洗的用水需要。清洗用水量见表 3。
- b) 废液处理的设施应安装完毕，并能有效地处理废液。
- c) 化学清洗的药品纯度应经检验确证无误，并按技术方案的要求备足各种药品及化验仪器、腐蚀指示片、监视管（垢量最大的管段）等。
- d) 为维持锅炉清洗液的温度，应完成锅炉保温，清洗前应封闭炉膛及尾部烟道。
- e) 应将清洗系统图挂于清洗现场。系统中阀门应按图纸编号、挂牌。管道设备应标明清洗液流动方向，并经专人核对无误。
- f) 在汽包水位监视点、加药点及清洗泵等处，应装设通信设备。

表 3 化学清洗用水量

清 洗 过 程	用水量（清洗系统水容积的倍数）	
	汽包炉	直流炉
碱洗及随后的水冲洗	3~5	6~9
酸洗及随后的水冲洗	3~3.5	3~4
钝化用水	1~2	1~2
总用水量	7~10.5	10~15

7.2 化学清洗工艺

7.2.1 化学清洗的工艺步骤。水冲洗（包括冷态和热态）→碱洗→碱洗后水冲洗→酸洗→酸洗后水冲洗→漂洗和钝化。清洗工艺的主要控制条件见表 4 和表 5。

表 4 清洗工艺综合一览表

序 号	清洗工艺 名称	介质浓度 ^a	添加药品							控制条件				废液 处理	备 注	
			助溶剂 %		(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ %	还原剂 %	缓蚀剂 %	(NH ₄) ₂ CS %	MBT %	N ₂ H ₄ mg/L	流速 m/s	时间 h	温度 ℃			pH 值
			NaF	NH ₄ HF ₂												
1	盐酸清洗	4%~7% HCl				0.1~0.2	0.3~0.4				0.2~1.0	4~6	50~60	碱中和	硫酸盐垢和硅垢先转型, Fe ³⁺ 过高需加还原剂	
2	盐酸清洗 (除硅酸盐垢)	4%~7% HCl	0.5	0.25			0.3~0.4				0.2~1.0	4~6	50~60			
3	盐酸清洗除碳酸盐垢和硫酸盐硬垢	4%~7% HCl	0.4	0.2			0.3~0.4	0.5~0.8			0.2~1.0	4~6 不超过10	50~60			
4	氨洗除铜	1.3%~1.5% NH ₃ ·H ₂ O			0.5~0.75						0.0~0.2	1~1.5	25~30	酸中和	氨洗后排去洗液再钝化	
5	硫脲一步除铜钝化	4%~7% HCl	0.4	0.2		0.1~0.2	0.3~0.4	0.5~0.8			0.3~1	4~12	55~60			
6	柠檬酸清洗	2%~8% C ₆ H ₈ O ₇ , 用 NH ₃ ·H ₂ O 调 pH 值为 3.5~4.0					0.3~0.4			800	0.3~1	≤24	85~95	3.5~4.0		
7	高温 EDTA 清洗	EDTA 铈盐 ^b 浓度宜为 4%~10%, 剩余 EDTA 浓度为 0.5%~1%					0.3~0.5	乌洛托品 0.3%	0.03	1500~2000	≥0.3	≤24	120~140	8.5~9.5	酸化法沉淀回收, 排放液碱中和	不宜含铜、硅量高的水垢, 清洗末期 pH 值为 9.5, 维持 6h~10wh 排气量
8	低温 EDTA 清洗	EDTA 铈盐 ^b 浓度宜为 3%~8%, 剩余 EDTA 浓度为 0.5%~1%					0.3~0.5	乌洛托品 0.3%	0.03	1500~2000	≥0.3	≤24	85~95	开始 pH 值为 4.5~5.5	酸化法沉淀回收, 排放液碱中和	不宜含铜、硅量高的水垢

表 4 (续)

序 号	清洗工艺 名称	介质浓度 ^a	添加药品								控制条件				废液 处理	备 注	
			助溶剂 %		(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ %	还原剂 %	缓蚀剂 %	(NH ₄) ₂ CS %	MBT %	N ₂ H ₄ mg/L	流速 m/s	时间 h	温度 ℃	pH 值			
			NaF	NH ₄ HF ₂													
9	氢氟酸开路 清洗	1%~1.5% HF						0.3~0.4				0.15~1	2~3	45~55		石灰处理	直流炉清洗
10	H ₂ SO ₄ 清洗	3%~9.0% H ₂ SO ₄		0.3~0.4				0.3~0.4				0.2~0.5	7~8	45~55			对结大量 钙镁垢的锅 炉不适用
11	羟基乙酸清 洗	2%~4% HOCH ₂ COOH						0.2~0.4				0.3~0.6	≤24	85~95			
12	羟基乙酸、 甲酸、柠檬 酸清洗	2%~4% HOCH ₂ COOH 1%~2%甲酸或柠檬酸						0.2~0.4				0.3~0.6	≤24	85~95			适用于奥氏体 钢及水冷壁管已 有裂纹的锅炉
13	氨基磺酸清 洗	5%~10% NH ₂ SO ₃ H						0.2~0.4						50~60			
14	硝酸清洗	5%~8% HNO ₃						0.3~0.5				0.3~0.5	6~8	50~60			
15	磷酸清洗	>8% H ₃ PO ₄						0.3~0.4				0.3~0.6	4~8	80~95			
16	碱处理 热态 成膜洗硅及氧 化成膜	在炉水电导率为 20μs/cm 以下, SiO ₂ 为 2mg/L 的炉水加入 NaOH 100g~200g, 将炉水 pH 值调整为 10.3~10.8, 进行热态造膜除硅; 对于直流炉, 则以 NH ₄ OH 代替 NaOH, 并适当提高 N ₂ H ₄ 用量, 在 pH 值为 9.5 左右成膜															
a “%” 为溶质质量分数。																	
b 对于压力不大于 15.6MPa 的锅炉, 可使用 EDTA 钠盐进行清洗。																	
c 与 lg Fe ₃ O ₄ 络合需 EDTA 3.8g, 与 lg CaO (MgO) 络合需 EDTA 5.2g																	

表 5 钝化工艺的控制条件

序号	钝化工艺名称	药品名称	钝化液浓度	钝化液温度 ℃	钝化时间 h
1	过氧化氢	H ₂ O ₂	0.3%~0.5% pH=9.5~10.0	45~55	4~6
2	EDTA 充氧钝化	EDTA、O ₂	游离 EDTA 0.5%~1.0% pH=8.5~9.5 氧化还原电位-700mV (SCE)	60~70	氧化还原电位升至 -200mV~-100mV (SCE) 终止
3	丙酮肟	(CH ₃) ₂ CNOH	500mg/L~800mg/L pH ≥10.5	90~95	≥12
4	乙醛肟	CH ₃ CHO	500mg/L~800mg/L pH≥10.5	90~95	12~24
5	磷酸三钠	Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O	1%~2%	80~90	8~24
6	联氨	N ₂ H ₄	常压处理法 300mg/L~500mg/L, 用氨 水调 pH 值至 9.5~10.0	90~95	>24
7	亚硝酸钠	NaNO ₂	1.0%~2.0%, 用氨水调 pH 值至 9.0~10.0	50~60	4~6

7.2.2 清洗工艺的确定:

- a) 被清洗设备和管路中若无坚硬的 CaSO₄ 垢、硅垢 (SiO₂<5%), 且采用含有除硅的清洗介质时, 可省去碱洗工艺。
- b) 新建炉清洗前, 应检查汽包内壁, 当涂有油脂和不耐温的防腐漆时, 碱洗工艺不应省略。
- c) 酸洗后, 被清洗的表面未暴露在空气中、冲洗时间不超过 2h、无二次锈蚀时, 可省去漂洗工艺。冲洗结束后应立即建立循环, 并使 pH 值由弱酸性状态升到 9~10, 转换在 30min 之内完成。此时观察监视管段内的金属腐蚀指示片应为银灰色, 确认冲洗过程中无二次锈蚀, 即可直接添加钝化剂进行钝化。

7.2.3 系统水冲洗的确定:

- a) 对新建炉, 在化学清洗前应进行水冲洗。冲洗正式设备之前, 应先冲洗干净临时管路。正式系统的冲洗, 应按照从小管径管道向大管径管道的方向冲洗。
- b) 对于无奥氏体钢的设备, 可用过滤后的澄清水或工业水进行分段冲洗, 冲洗流速宜为 0.5m/s~1.5m/s。冲洗终点以出水达到透明无杂物为准。
- c) 有奥氏体钢部件的设备, 应使用符合 GB/T 12145 标准的除盐水冲洗, 除盐水电导率应小于 0.4μS/cm。
- d) 升温试验。水冲洗合格后, 系统充满水, 循环, 投加热, 进行升温试验。测量升温速度, 检查隔离阀门应无内漏, 系统应无短路。

7.2.4 碱洗或碱煮的工艺控制:

- a) 碱洗、碱煮时药液的控制温度、时间和控制条件见表 6。
- b) 新建炉仅实施碱煮清洗时, 在煮炉过程中, 需由底部排污 2 次~3 次。煮炉结束后进行大量换水, 待排出水和正常炉水的浓度接近, 且 pH 值降至 9.0 左右、水温降至 70℃~80℃, 即可将水全部排出。碱煮炉步骤为:
 - 1) 煮炉清洗时, 使用质量合格的碱, 按表 6 配制煮炉溶液, 注入锅炉至中间水位。锅炉点火升压至 0.1MPa 后关闭空气门, 在 0.4MPa 压力下拧紧人孔门螺栓。升压至 0.8MPa, 保持 8h~10h; 后对各下联箱排污点放水, 截止门全开保持 1min, 补充煮炉溶液至中间水位。

升压至 1.0MPa~1.5MPa，保持 8h~10h；后对各排污门再排污各 1min，然后补水至汽包中间水位。再升压至 2.0MPa~2.5MPa，保持 8h~10h，各排污点均排放 1min，随后补充除盐水，并对锅炉进行底部排污和连续（表面）排污；换水至锅炉水碱度和磷酸根为正常值（碱度为 0.5mmol/L~1mmol/L，磷酸根为 5mg/L~15mg/L），且 pH 值降至 9.0 左右，水温降至 70℃~80℃，即可将水全部排出。注意控制温度变化，使其符合锅炉的要求。

表 6 碱洗、碱煮时药液的控制温度、时间和控制条件

序号	清洗阶段		药品浓度 %	控制温度及压力	碱洗时间 h	污垢程度和碱洗目的
1	碱洗	3.8MPa~5.8MPa	NaOH 0.5~0.8 Na ₂ HPO ₄ 0.2~0.5	90℃~95℃	8~24	除油污、浮污或水渣较轻
		5.9MPa~9.8MPa	Na ₃ PO ₄ 0.2~0.5 Na ₂ HPO ₄ 0.1~0.2 湿润剂 0.05	90℃~95℃	8~24	
2	碱煮	3.8MPa~5.8MPa	Na ₃ PO ₄ 0.2~0.5 Na ₂ HPO ₄ 0.1~0.2 湿润剂 0.05	0.1MPa~0.8MPa 1MPa~1.5MPa 2MPa~2.5MPa	8~10 8~10 8~10	含较严重的油垢或水渣
		3.8MPa~5.8MPa	Na ₂ CO ₃ 0.3~0.6 Na ₃ PO ₄ 0.5~1.0	升至清洗对象 额定压力的 30%~40%	≥72	垢中 (CaSO ₄ +CaSiO ₃) >10%
		3.8MPa~9.8MPa	Na ₂ CO ₃ 0.3~0.6 Na ₃ PO ₄ 0.5~1.0 Na ₂ SO ₃ 0.013	升压至 1.0MPa~3.0MPa	24~48	垢中 (CaSO ₄ +CaSiO ₃) >10%，起松垢作用

- 2) 煮炉后应对锅炉进行内部检查，要求金属表面油脂类的污垢和保护涂层已去除或脱落，无新生腐蚀产物和浮锈，且形成完整的钝化保护膜。同时应清除堆积于汽包、集箱等处的污物。
- c) 已投入运行的汽包炉，若水垢中硫酸盐、硅酸盐含量较高，为提高除垢效果，可在酸洗进行碱煮转型，碱煮工艺为：
- 1) 将碳酸钠和磷酸三钠混合液加入锅炉内，并使炉水中药剂浓度均匀地达到 0.3%~0.6% (Na₂CO₃)，0.5%~1.0% (Na₃PO₄·12H₂O)。
 - 2) 锅炉缓慢升压，宜在 5h 内升压至 0.05MPa，碱煮转型时间总计 36h~48h；结垢严重的，可适当延长碱煮转型时间。
 - 3) 煮炉期间，应定期取样分析，当炉水碱度低于 45mmol/L、PO₄³⁻ 浓度小于 1000mg/L 时，应适当补加碳酸钠和磷酸三钠。
 - 4) 碱煮转型结束后，应放尽碱液，并用水冲洗至出口水 pH 值小于等于 9.0。
- d) 碱洗或碱煮过程中，仔细检查所有的临时焊口、法兰、阀门，标记漏点。碱洗或碱煮后，应对所有漏点进行处理，方可转入酸洗阶段。

7.2.5 碱洗后水冲洗。用过滤澄清水、软化水或除盐水冲洗，冲洗至出水 pH 值小于等于 9.0，水质透明。

7.2.6 酸洗：

- a) 循环酸洗：
- 1) 加药前，应循环加热至酸洗要求温度的下限。缓蚀剂应在浓酸液注入前加入清洗系统，缓蚀剂的加入速度应根据泵流量在一个循环周期内均匀加入。酸洗工艺的控制条件见表 4。酸液中的铜离子会在金属表面产生镀铜现象，可在酸洗后用温度 25℃~30℃、浓度 1.3%~

1.5%的氨水和 0.5%过硫酸铵溶液清洗 1h~1.5h。随后排掉溶液，再用 0.8% NaOH 和 0.3% Na_3PO_4 溶液进行清洗。

2) 加硫脲一步除铜的工艺见表 4。

- b) 若注酸后在 2h 内 EDTA 或柠檬酸液浓度小于 1.5%，应补加酸并使其达到预定浓度。有机酸清洗时，设备接触清洗液的总时间不宜超过 24h，过热器清洗时间不宜超过 48h；无机清洗液清洗时，接触酸液总的时间应小于 10h。
- c) 在清洗系统进酸 30min 前，应将监视管段投入循环系统，并控制监视管内流速与被清洗锅炉水冷壁管内的流速相近。
- d) 当每一回路循环清洗达到预定时间时，应加强进出口的酸洗液浓度和铁离子浓度的分析，检查其是否达到平衡，并取下监视管检查清洗效果。当酸洗液中铁离子浓度趋于稳定时，监视管段内基本清洁，再循环 1h 左右，即可停止酸洗。
- e) 循环配酸过程中应定时测定清洗回路出入口酸浓度，瞬间浓度不应过高。
- f) 酸洗过程应注意控制酸液温度、循环流速、汽包及清洗箱的液位。

7.2.7 酸洗后水冲洗：

- a) 为防止酸洗后活泼的金属表面产生二次锈蚀，酸洗结束时，不宜采用将酸直接排空、上水的方法进行冲洗。
- b) 可用纯度大于 97%的氮气连续顶出废酸液，也可用除盐水顶出废酸液。
- c) 缩短冲洗时间以不影响最终的清洗效果、不会产生二次锈蚀为宜。直流炉采用大流量冲洗，汽包炉则采用保持最大进水流量和对水冷壁管间歇式大流量排放的方法冲洗。
- d) 酸液排出后采用交变流量连续冲洗，直至冲洗合格。
- e) 冲洗终点，冲洗水电导率小于 $50\mu\text{S}/\text{cm}$ 、含铁量小于 $50\text{mg}/\text{L}$ 、pH 值为 4.0~4.5。在冲洗的后期还可加入少量柠檬酸，有助于防止二次锈蚀的生成。冲洗合格后立即建立整体大循环，并用氨水将 pH 值迅速调整至 9.0 以上。
- f) 当冲洗水量不足时，可采用反复排空和上水的方法进行冲洗，直至出水 pH 值为 4.0~4.5。但在采用此方法冲洗后，应接着对锅炉进行漂洗。必要时，第一次冲洗排水后，用 0.2%~0.5% Na_3PO_4 溶液循环中和残留酸度；排出中和溶液后，再进行钝化。如果排水方式采用氮气顶排，可不进行漂洗，直接钝化。
- g) 对垢量较多的运行锅炉，酸洗后如有较多未溶解的沉渣堆积在清洗系统及设备的死角，可在酸液排尽后，用水冲洗至出水 pH 值为 4.0~4.5，并对死区加强疏放水冲洗，再排水。人工清理汽包和酸箱内的沉渣。在此情况下，应冲洗并经过漂洗处理，再进行钝化。

7.2.8 漂洗和钝化：

- a) 采用氮气或水顶酸，当炉内金属在未接触空气的情况下，冲洗至出水 pH 值为 4.0~4.5、含铁量小于 $50\text{mg}/\text{L}$ 。冲洗结束后立即建立锅炉系统水循环，并在 30min 之内将 pH 值由 4.5 提至 9.0。此时观察监视管段内的金属腐蚀指示片，应为银灰色，按表 5 控制条件进行钝化后，应立即排空系统中的钝化液，或用加有 $200\text{mg}/\text{L}$ N_2H_4 、用氨水调节 pH 值大于 10.0 的除盐水顶出钝化液。
- b) 漂洗：宜采用浓度为 0.1%~0.3%的柠檬酸溶液，加 0.1%缓蚀剂，加氨水调整 pH 值至 3.5~4.0 后的漂洗液进行漂洗。溶液温度宜维持在 50°C ~ 80°C ，循环 2h 左右。漂洗液中总铁量应小于 $300\text{mg}/\text{L}$ ；若超过该值，应采用热的除盐水更换部分漂洗液，直至铁离子含量小于该值后，方可进行钝化。

7.2.9 循环清洗的注意事项：

- a) 酸洗时，应维持酸液液位在汽包中心线上；水冲洗时，应维持液位比酸洗时液位略高；钝化时，液位应比水冲洗的液位更高。
- b) 对结垢严重的回路应增加循环清洗时间。

- c) 为了提高清洗效果，每一回路宜正反向循环。
- d) 酸洗时，若汽包液位控制不当，排酸前，应用加有 200mg/L N_2H_4 、pH 值为 9~10 的除盐水对过热器进行反冲洗。
- e) 高温 EDTA 清洗时，升温后应检查并紧固循环系统内所有的法兰螺栓。

7.3 清洗后的内部检查和系统恢复

- 7.3.1 清洗后，应对汽包、下联箱、直流炉的启动分离器和联箱手孔进行内部检查，并彻底清除沉渣。
- 7.3.2 对水冷壁、省煤器进行割管检查，判断清洗效果，评价试验方法见附录 F。对于运行炉，应在酸洗前垢量最高的部位割取管样；对于新建炉，应在清洗流速最低处割取管样。割管方法见附录 A。
- 7.3.3 检查完毕，将汽包内和系统中拆下的装置和部件全部恢复，并撤掉堵头、隔板、节流装置等，使系统恢复正常。

7.4 清洗后的锅炉保养

7.4.1 锅炉清洗后如在 20 天内不能投入运行，应进行防腐保护，保护方法参见 DL/T 956。也可采用 7.4.2 和 7.4.3 的保护方法。

7.4.2 液体保护法：

- a) 氨液保护。钝化液排尽后，用 100mg/L 的氨液冲洗至排出液不含钝化剂时，再用 300mg/L~500mg/L 的氨液充满锅炉，进行保护。
- b) 氨—联氨溶液保护。将氨浓度为 50mg/L、联氨浓度为 200mg/L~250mg/L、pH 值为 9.5~10 的保护液充满锅炉，进行保护。
- c) 乙醛肟溶液保护。用纯水配制乙醛肟浓度为 500mg/L~800mg/L，并用氨水将此溶液 pH 值调到 10.5 以上，然后注入热力设备中，可保护设备半年以上。
- d) 二甲基酮肟液保护。用纯水配制二甲基酮肟浓度为 500mg/L~800mg/L，并用氨水将此溶液 pH 值调到 10.5 以上，然后注入热力设备中进行保护。

7.4.3 气体保护法。在严冬季节，可采用充氮法保护或气相缓蚀剂保护，使用的氮气纯度应大于 99.5%，锅炉充氮压力应维持在 0.01MPa~0.03MPa。

8 清洗废液的处理

8.1 锅炉化学清洗废液的排放应符合 GB 8978 和地方环保标准的规定，GB 8978 的主要指标和最高允许排放浓度见表 7。

表 7 GB 8978（第二类污染物最高容许排放浓度）的主要排放指标 mg/L

序号	有害物质或项目名称	最高容许排放浓度		
		一级标准	二级标准	三级标准
1	pH 值	6~9	6~9	6~9
2	悬浮物	70	150	400
3	化学需氧量（重铬酸钾法）	100	150	500
4	氟化物	10	10	20（用氟离子计测定）
5	油	5	10	20

8.2 严禁排放未经处理的酸、碱液及其他有害废液，也不得采用渗坑、渗井和漫流的方式排放。清洗废液处理方法参见附录 B。

8.3 火电厂宜设置足够容量以存放和处理废液的设施。

9 化学清洗质量指标

- 9.1 清洗后的金属表面应清洁，基本上无残留氧化物和焊渣，不应出现二次锈蚀和点蚀，不应有镀铜现象。
- 9.2 用腐蚀指示片测量的金属平均腐蚀速度应小于 $8\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，腐蚀总量应小于 $80\text{g}/\text{m}^2$ ，测量方法见附录 F。
- 9.3 运行炉的除垢率不小于 90% 为合格，除垢率不小于 95% 为优良，测量方法见附录 F。
- 9.4 基建炉的残余垢量小于 $30\text{g}/\text{m}^2$ 为合格，残余垢量小于 $15\text{g}/\text{m}^2$ 为优良，测量方法见附录 F。
- 9.5 清洗后的设备内表面应形成良好的钝化保护膜。
- 9.6 固定设备上的阀门、仪表等不应受到腐蚀损伤。

10 化学清洗中的化学监督

10.1 化学清洗单位的化学监督职责

- 10.1.1 锅炉清洗前应检查并确认化学清洗用药品的质量（见附录 C）、数量，监视管段和腐蚀指示片（按 DL/T 523 的规定制作腐蚀指示片）。腐蚀指示片应放入监视管、汽包或清洗箱内，每个部位腐蚀指示片不少于 3 片。
- 10.1.2 锅炉清洗中应监督加药、化验，控制各清洗阶段介质的浓度、温度、流量、压力等重要清洗参数。
- 10.1.3 根据化验数据和监视管内表面的除垢情况判断清洗终点。
- 10.1.4 监视管段应在预计清洗结束时间前取下，并检查管内是否已清洗干净。若管段仍有污垢，应把监视管段放回系统继续清洗，直至监视管段全部清洗干净。若监视管段已清洗干净，清洗液仍需再循环 1h，方可结束清洗。
- 10.1.5 锅炉清洗监视点布置、取样及化学分析项目如下：
- a) 锅炉化学清洗时的监视点通常设在清洗系统的进口、出口和排放管，必要时可在系统其他部位设置监视点。清洗液的测试方法参见附录 G。
 - b) 锅炉清洗过程中的测试项目及终点见表 8。

表 8 化学清洗过程中的测试项目及终点

工艺过程	取样点	测 试		终 点	说 明
		项目	时间间隔		
碱洗	汽包炉盐段和净段， 直流炉出入口	碱度 温度	2h	含油量及酚酞碱度基本稳定	结束时留样测定碱度、 二氧化硅和沉积物含量
碱煮				直到水样碱度和正常炉水 碱度相近为止	
碱洗后 水冲洗	清洗系统 出入口	pH 值	15min	pH<9.0	30min 取一次平均样
循环配酸	系统出 入口	酸度	20min~ 30min	出入口酸浓度均匀一致，并 达到指标要求的浓度	浸泡、循环酸洗
		酸度	3min	(0.5%~1.0%) HF	直流炉开式酸洗
酸洗		酸度 含铁量 温度	30min	酸度平衡，Fe ³⁺ 出现铁离子 峰值后，Fe ²⁺ 铁量趋于平稳	汽包炉循环酸洗结束 时留样测定沉积物含量 和总铁的平均值
		酸度 含铁量	3min 20min	HF 浓度为 0.5%~1.0%， 出入口含铁量几乎相等	直流炉采用开式酸洗
		酸度 含铁量	30min	酸度、含铁量 (Fe ³⁺ 、Fe ²⁺) 趋于平衡	浸泡酸洗

表 8（续）

工艺过程	取样点	测 试		终 点	说 明
		项目	时间间隔		
酸洗后 水冲洗	清洗系统 出口	pH 值 电导率 含铁量	15min	pH=4.0~4.5 电导率≤50μS/cm Fe<50mg/L	接近终点时
稀柠檬酸 漂洗	清洗系统 出口	C ₆ H ₈ O ₇ pH 值 含铁量 温度	30min	C ₆ H ₈ O ₇ <0.2% pH=3.5~4.0 全 Fe<300mg/L	结束时留样测定沉积 物含量
钝化	清洗系统 出口	浓度 pH 值 温度	1h	按钝化工艺的要求进行测 试	结束时留样测定沉积 物含量

10.2 业主的化学监督职责

- 10.2.1 审核化学清洗实施单位、化学清洗技术负责人和化验员是否符合 3.2 和 3.4 的规定。
- 10.2.2 负责组织相关单位和部门对清洗方案进行审核，批准清洗方案。
- 10.2.3 负责对清洗用化学药品的数量进行检查和记录，对药品的检测质量报告进行监督审核。
- 10.2.4 负责对清洗前后腐蚀指示片称重进行监督，记录腐蚀指示片的编号和称量结果，计算腐蚀指示片的腐蚀量和腐蚀速率。
- 10.2.5 提供清洗用监视管的管样，参与酸洗前后监视管的表面检查和记录。
- 10.2.6 化学清洗前，负责组织清洗单位和有关部门进行系统隔离情况检查。
- 10.2.7 负责对清洗期间的清洗剂浓度、pH 值、Fe³⁺、Fe²⁺等参数的化验进行监督。
- 10.2.8 清洗结束后，参加割管检查过程，监督残余垢量的测量过程，并保留部分割取的管样。
- 10.2.9 负责对化学清洗排放水进行化验和监督。
- 10.2.10 负责组织相关单位和部门对清洗效果进行检查和评定。

11 安全和质量保证措施

11.1 化学清洗中的安全防范工作

- 11.1.1 应设专人负责安全监督保障工作，制订安全措施，并检查落实措施的执行情况，确保人身与设备安全。
- 11.1.2 安全注意事项：
 - a) 清洗单位应根据本单位具体情况制定切实可行的安全操作规程。锅炉清洗前，有关工作人员必须学习并熟悉清洗的安全操作规程，了解所使用的各种药剂的特性及灼伤急救方法，并做好自身的保护。
 - b) 清洗工作人员应经演练和考试合格后才能参加清洗工作。参加锅炉清洗的人员应佩戴专用标志，与清洗无关的人员不得进入清洗现场。
 - c) 清洗现场应照明充足，备有消防通信设备、安全灯、急救药品和劳保用品。常用的急救备用药品见 11.1.8。
 - d) 现场应有“注意安全”、“严禁明火”、“有毒危险”、“请勿靠近”等安全警示牌。
- 11.1.3 锅炉清洗系统的安全检查应符合下列要求：
 - a) 与化学清洗无关的仪表及管道应隔绝；
 - b) 临时安装的管道应与清洗系统图相符；

- c) 对影响安全的扶梯、孔洞、沟盖板、脚手架，要做妥善处理；
- d) 清洗系统所有管道焊接应可靠，所有法兰垫片、阀门及水泵的盘根均应严密耐腐蚀，应设防溅装置，还应备有毛毡、胶皮垫、塑料布、胶带和专用卡子等；
- e) 酸泵、取样点、化验站和监视管附近应设专用水源和石灰粉；
- f) 临时加热蒸汽阀门的压力等级应高于所连接汽源阀门一个压力等级，并采用铸钢阀门。

11.1.4 清洗时，禁止在清洗系统上进行明火作业和其他工作。加药场地及锅炉顶部严禁吸烟。清洗过程中，应有专人值班，定时巡回检查，随时检修清洗设备的缺陷。

11.1.5 搬运浓酸、浓碱时，应使用专用工具，禁止肩扛、手抱。直接接触苛性碱或酸的操作人员和检修人员，应穿戴专用的防护用品。尤其在配酸（包括使用氢氟酸或氟化物）及加氨、加碱液时，更应注意戴好防护眼镜或防毒面具。

11.1.6 在配碱地点，应备有自来水、毛巾、药棉和浓度为 0.2% 的硼酸溶液。

11.1.7 酸液泄漏的处理：

- a) 酸液漏到地面上时应用石灰中和；
- b) 酸溅于衣服上，应先用大量清水冲洗，然后用 2%~3% 碳酸钠溶液中和，最后再用水冲洗；
- c) 酸液溅到皮肤上，应立即用清水冲洗，再用 2%~3% 碳酸钠溶液清洗，最后涂上一层凡士林；
- d) 酸液或结晶体药品溅入眼睛里，应立即用大量清水冲洗，再用 0.5% 的碳酸氢钠溶液冲洗并立即送医务室急救，切忌用手搓揉；
- e) 氢氟酸一旦溅于皮肤上，应用饱和石灰水冲洗。

11.1.8 清洗过程中，现场应备有医药箱和如下急救药品：

- a) 0.2% 硼酸溶液、0.5% 碳酸氢钠溶液、2%~3% 碳酸钠溶液各 5L，凡士林 250g 和饱和石灰水 50L。
- b) 氢氟酸灼伤急救用药：
 - 1) 药膏由乳酸钙（或葡萄糖酸钙）20g、氧化镁 20g、甘油 15g、水 44g 和盐酸普鲁卡因 1g 混合而成；
 - 2) 静脉注射用的含 10% 葡萄糖酸钙或 10% 氯化钙溶液 10mL 的针管 30 支~40 支。含 10% 碘化钠溶液 5mL~10mL 的针管 10 支；
 - 3) 可拉明、咖啡因或止痛片药片。

11.1.9 易燃、易爆、有毒的化学药品在存放、运输、使用过程中应遵守有关的安全规定。

11.1.10 禁止向水泥沟内排放废酸液；在向除灰系统内排酸时，应有相应的技术措施并控制排放速度。排酸时应有专人监视，防止酸液溢流到其他沟道。

11.1.11 联氨、亚硝酸钠、氢氟酸溶液应先排至废液池，经处理符合排放标准后再行排放。

11.2 清洗质量保证

11.2.1 锅炉化学清洗应对清洗准备、清洗实施、清洗后的保护进行全过程质量管理，应包括清洗样管采集、清洗小型试验、清洗单位选择、清洗方案制订、清洗药品检验、临时系统安装、清洗条件确认、清洗工艺实施、清洗化学监测、清洗质量评定、清洗废液处理、临时系统拆除、锅炉清洗后防锈蚀保护等所有环节。

11.2.2 清洗单位应建立相应的质量保证体系，在人员、设备设施、物资采购、清洗服务、项目分包、防止清洗质量事故、作业文件和记录等方面做到有效管理和控制。

11.2.3 清洗项目负责人应由具有相应资质和能力的人员承担。

11.2.4 化学清洗实施前应由业主、监理和清洗单位联合做好清洗条件的检查确认。

附 录 A
(规范性附录)
水冷壁割管方法及小型试验方法

A.1 小型试验目的

小型试验的主要目的有:

- a) 垢量的测定;
- b) 检验清洗效果和缓蚀剂的缓蚀效果;
- c) 确定各种清洗条件, 制订锅炉清洗方案。

A.2 水冷壁割管方法

A.2.1 割管的原则

水冷壁割管的原则是割取垢量最大的水冷壁管, 这样才能正确判断是否需要安排酸洗, 正确确定清洗方案和判断清洗效果。由于事先不知道垢量最大的水冷壁管的位置, 需要根据锅炉燃烧情况和水冷壁发生故障的历史记录, 选择多个部位割管, 并比较垢量。以垢量最大的管样的试验结果, 确定清洗计划、清洗方案, 并用该水冷壁管制作监视管段。

A.2.2 割管位置

A.2.2.1 根据燃烧和水循环情况确定割管位置:

- a) 位于顶层燃烧器上部, 水平位置的中间部位。
- b) 切圆燃烧的锅炉, 位于顶层燃烧器高度, 靠近燃烧器火焰的水冷壁管。
- c) 火焰接触的部位 (观察水冷壁外表面的炉渣情况判断)。
- d) 水循环阻力较大的水冷壁管。
- e) 经常在低负荷下运行的锅炉, 应同时在顶部燃烧器高度和向下 3m 的高度割取水冷壁; 如果下部管样垢量大于上部垢量 20% 以上, 应再向下 3m 割取管样, 直到割取垢量最大的管样。

A.2.2.2 根据故障记录确定割管位置:

- a) 发生过爆管的水冷壁, 在曾经爆管的位置附近;
- b) 炉膛内观察到水冷壁鼓包、减薄、裂纹的部位;
- c) 吹灰器吹损的部位。

A.2.3 割管方法

清洗后割管时不应使用火焰切割; 用手工锯割时, 管样长度应不小于 200mm; 用砂轮切割时, 管样长度不应小于 400mm。宜使用软毛刷清理管段内表面的切割残留金属粉末。

A.3 腐蚀量和腐蚀速率的测定

A.3.1 腐蚀量的测定

试验方法按 DL/T 523 的规定。腐蚀量按式 (A.1) 计算, 即

$$W = \frac{m_0 - m_1}{S} \quad (\text{A.1})$$

式中:

W ——腐蚀量, g/m^2 ;

m_0 ——试片试验前质量, g ;

m_1 ——试片试验后质量, g ;

S ——试片表面积, m^2 。

A.3.2 腐蚀速率的测定

试验方法按 DL/T 523 的规定。腐蚀速率按式 (A.2) 计算, 即

$$V = \frac{m_0 - m_1}{St} \quad (\text{A.2})$$

式中:

V ——腐蚀速率, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;

m_0 ——试片试验前质量, g ;

m_1 ——试片试验后质量, g ;

S ——试样表面积, m^2 ;

t ——反应时间, h 。

A.4 垢量和除垢率测定方法

A.4.1 垢量的测定

化学清洗前应进行垢量的测定。按 A.2 的要求割取垢量最大的水冷壁管。宜将割下的炉管标记向火侧和背火侧的分界线, 在车床上切削其外壁, 使管样壁厚为 1.0mm 左右。根据天平所能承载的质量和管径大小, 截取长为 30mm~50mm 的管段, 再按分界线将管段切割成向火侧和背火侧两半。

测量管样内表面积: 可用平整的硫酸纸沿着管内壁紧贴按压, 然后把硫酸纸展平后, 测量其边长, 计算管样内表面积。

称管样质量为 W_1 , 然后将管样浸入加有 0.2%~0.5% 缓蚀剂的 5%~6% 盐酸溶液中, 加热至 60℃, 并用塑料棒搅动酸液, 直至管样内表面的垢均已清洗干净为止。管样在酸液中的浸泡时间以 1h~2h 为宜。记录酸洗的时间, 立即将管样取出, 用蒸馏水冲洗, 再将管样放在无水乙醇中摇晃取出, 用滤纸擦净管样表面, 再用热风吹干, 放入干燥器内干燥 1h 后称重, 记录此质量为 W_2 。

管样经酸浸会有微量的腐蚀, 在做此试验时, 应同时放入一块空白试片, 按式 (A.2) 测量试片的腐蚀速率, 按式 (A.3) 计算出管样的腐蚀量, 即

$$G_F = SV_{\text{corr}} t \quad (\text{A.3})$$

式中:

G_F ——管样腐蚀量, g ;

V_{corr} ——试片腐蚀速率, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;

t ——管样与酸接触时间, h ;

S ——管样表面积, m^2 。

按式 (A.4) 计算试验管段内表面单位面积的垢量, 即

$$G = \frac{W_1 - W_2 - G_F}{S_N} \quad (\text{A.4})$$

式中:

G ——管样垢量, g/m^2 ;

W_1 ——管样初始质量, g ;

W_2 ——管样经酸洗后质量, g ;

S_N ——管样内表面积, m^2 。

若管样表面有镀铜时, 可将称重后的管样放入 1%~2% NH_4OH 和 0.3% $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 溶液中洗铜, 然后用蒸馏水冲洗, 再浸入无水乙醇中, 取出蒸发干燥后, 称质量为 W_3 。按式 (A.5) 计算管样垢中铜量, 即

$$G_T = \frac{W_2 - W_3}{S_N} \quad (\text{A.5})$$

式中:

G_T ——管样垢中铜量, g/m^2 ;

W_2 ——管样经酸洗后质量, g ;

W_3 ——管样经氨洗后质量, g 。

A.4.2 除垢率的测定

A.4.2.1 除垢率的定义

原始管样清洗前后单位面积的垢量差,与原始管样清洗前单位面积的结垢量之比的百分数,称为除垢率。

A.4.2.2 除垢率的测定

将割取的锅炉管段,制成多个管样。取其中一个管样,按 A.4.1 方法测量其原始垢量 G_0 。取其他管样进行清洗试验后,按 A.4.1 方法测量清洗试验后管样的垢量,即为残余垢量 G_c 。按式 (A.6) 计算除垢率,即

$$\eta = \frac{G_0 - G_c}{G_0} \times 100 \quad (\text{A.6})$$

式中:

η ——除垢率, %;

G_0 ——管样的原始垢量, g/m^2 ;

G_c ——管样的残余垢量, g/m^2 。

A.5 缓蚀剂评价试验

缓蚀剂筛选评价参见 DL/T 523。

A.6 除垢试验

A.6.1 静态试验

割取垢量最大的锅炉水冷壁管,按 A.4.1 的方法加工后,测定其内表面积和质量。按实际设备被清洗面积与清洗系统水容积的比例关系,配制一定体积、一定浓度的清洗液,按 DL/T 523 规定的方法进行静态试验。试验结束后,用 A.4 所述的方法测量管样的残余垢量和除垢率。

通过静态试验确定清洗液的配方、浓度、温度、耗酸量,测量清洗液的除垢效率,以此为依据制定初步化学清洗方案。

A.6.2 动态试验

依据 A.6.1 所确定的清洗工艺参数和实际清洗时的流速,按 DL/T 523 规定的方法进行动态模拟试验,进一步验证动态清洗效果。根据结果进一步完善化学清洗方案。

附 录 B
(资料性附录)
锅炉清洗废液的排放和处理

B.1 新建锅炉启动前清洗排放水量的估算

新建锅炉启动前清洗排放水量的估算见表 B.1。

表 B.1 新建锅炉启动前清洗排放水量的估算

锅炉出力及类型 t/h	清 洗 方 案		清洗回路容积 m ³	排入中和箱的废水量 m ³
420, 汽包炉	单回路		220	2800
640, 汽包炉	双回路	第一回路	350	2450
		第二回路	150	1050
950, 直流炉	单回路, 分两阶段		550	3750
950, 直流炉	双回路	第一回路	500	5000
		第二回路	550	5500
1600, 直流炉	双回路	第一回路	680	6800
		第二回路	680	6800
2650, 直流炉	双回路	第一回路	550	5500
		第二回路	700	7000

B.2 锅炉清洗废液的主要成分

按水中所含杂质对水体卫生标准的影响, 锅炉清洗废液中的主要杂质可分为三类:

- a) 无机物。主要是钙、镁和钠的硫酸盐和氯化物。
- b) 有毒物。主要是铁、铜和锌的盐类, 含氟化合物和联氨。
- c) 有机物、铵盐、亚硝酸盐、硫化物。这些物质能被细菌氧化或直接氧化, 其排放量应按水体的生物需氧量计算。

清洗废水的处理, 应使第二组的物质分离出来, 使第三组物质氧化到允许的生物需氧量值, 从而减少公害, 达到废水排放标准。

B.3 锅炉清洗废液的处理方法

锅炉清洗废液的处理方法见表 B.2。

B.4 废液处理系统

废液的处理系统见图 B.1~图 B.3。

表 B.2 锅炉清洗废液的处理方法

编号	项 目		处 理 方 法 概 要		
1	重金属	铁	pH=10.5~11.0 时产生沉淀	pH=10, 破坏铁的柠檬酸络合物	pH=11, 破坏 Fe ³⁺ 的 EDTA 络合物 pH=13, 破坏 Fe ²⁺ 的 EDTA 络合物
				为使铁彻底沉淀, 必须加入氧化剂 (CaOCl ₂), 将 Fe ²⁺ 转化为 Fe ³⁺	
		铜、锌	pH=10.5~11.0 时产生沉淀	pH>11, 破坏铜、锌的柠檬酸络合物; pH 值>13, 形成易溶水的化合物, 溶液中这些离子又全部被还原	
				为使铜、锌离子沉淀, 可用硫化钠与这些离子作用形成 难溶硫化物, $K_{CuS}=6.3\times 10^{-36}$, $K_{ZnS}=1.6\times 10^{-24}$	
2	联氨		① 用 CaOCl ₂ 处理。 ② 用 NaOCl 处理。 ③ 对于燃烧固体燃料的火力发电厂, 建议将含 N ₂ H ₄ 的溶液排入水力除灰系统; 而对燃烧天然气、重油的火力发电厂, 建议在曝气池内使溶液氧化。 ④ 臭氧氧化法: 向联氨废液中通入臭氧处理		
3	氨		① 用 CaOCl ₂ 处理。 ② 溶液加热时鼓空气可有效除氨		
4	亚硝酸钠		① NH ₄ Cl 处理。 ② CaOCl ₂ 处理。 ③ 复合铵盐法处理。 ④ 尿素分解法处理。 ⑤ WT-1 处理。 ⑥ 酸处理法		
5	氟化物		① CaO、Ca(OH) ₂ 、Al ₂ (SO ₄) ₃ 处理。 ② 石灰—磷酸盐法处理		
6	化学耗氧量 (COD)		① 有机酸清洗废液可与煤粉一起送入炉膛进行焚烧, 也可将废液与煤灰混合, 排至灰场。 ② 采用过氧化物分解。 ③ 氧化法: 空气氧化、臭氧氧化和氧化剂氧化		
7	生化耗氧量 (BOD)		废水经过曝气池和生物过滤器进行生化处理		
8	pH 值		利用盐酸或 NaOH 中和清洗后的废液至 pH=6~9 后再排放		
9	EDTA 回收		① 采用直接硫酸法回收。 ② 采用 NaOH 碱法回收		
10	酸性处理		① 将酸洗废液与碱洗废液相互中和, 使 pH=6~9。 ② 常用的中和药剂有纯碱、烧碱、氨水、石灰乳、碳酸钙等		
11	碱性处理		① 将碱洗废液与酸洗废液相互中和, 使 pH=6~9。 ② 采用投药中和法。常用的中和药剂为工业用硫酸、盐酸和硝酸。 ③ 可用烟气中的 CO ₂ 和 SO ₂ 进行中和处理		
12	油分处理		① 破乳处理: 常用的药剂有氯化钙、氯化钠、氯化镁等; 常用的混凝剂和助凝剂有硫酸铝、聚合氯化铝、硫酸亚铁、三氯化铁、活化硅酸、聚丙烯酰胺等。 ② 油水分离: 通过破乳、凝聚处理, 油珠和杂质生成絮凝; 然后通过物理的方法使油水分层, 油泥刮出, 达到油水分离的效果。 ③ 质净化: 经破乳, 油水分离后, 再通过吸附、过滤处理		

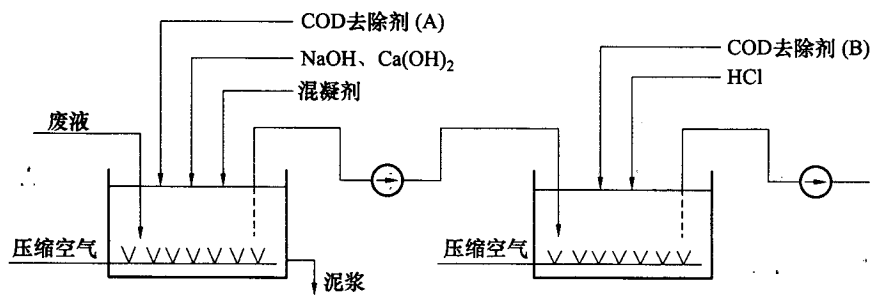
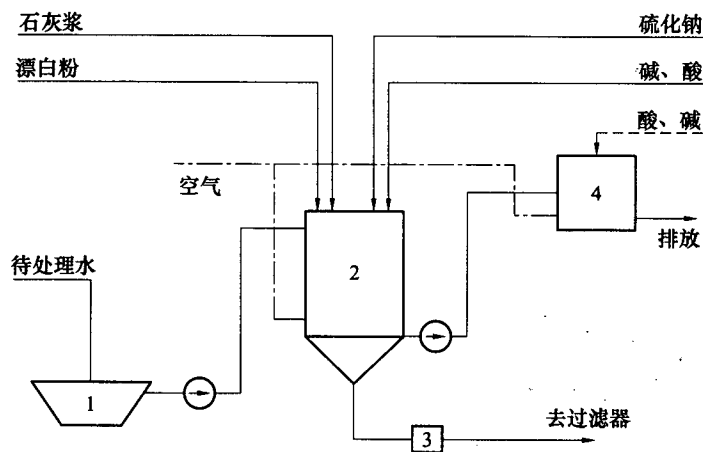


图 B.1 清洗废液中有机物的处理方法



1—水箱；2—中和箱；3—泥渣沉淀箱；4—pH 值调节箱

图 B.2 化学清洗后的废水处理系统

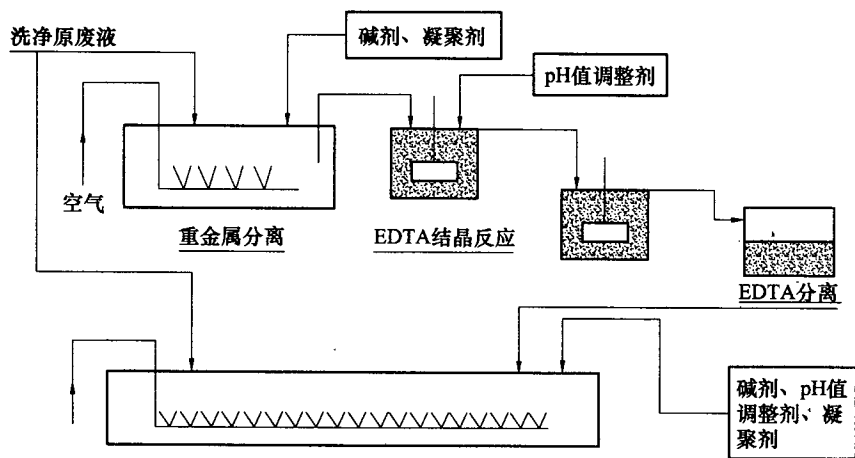


图 B.3 回收 EDTA 和去除 COD 处理系统

附录 C
(规范性附录)

清洗用药品（包括酸、碱、缓蚀剂、钝化剂）的产品质量标准及检验方法

C.1 清洗用碱的质量标准

清洗用碱的质量标准如下：

- a) 工业用氢氧化钠质量标准见 GB 209;
- b) 工业碳酸钠质量标准见 GB 210;
- c) 工业碳酸氢钠质量标准见 GB/T 1606;
- d) 工业磷酸三钠质量标准见 HG/T 2517;
- e) 工业磷酸氢二钠质量标准见 HG/T 2965。

C.2 清洗用酸的质量标准

清洗用酸的质量标准如下：

- a) 工业用合成盐酸质量标准见 GB 320;
- b) 浓硝酸质量标准见 GB 337;
- c) 工业硫酸质量标准见 GB 534;
- d) 工业磷酸质量标准见 GB/T 2091;
- e) 工业氨基磺酸质量标准见 HG/T 2527;
- f) 柠檬酸 ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$, $C_6H_8O_7$) 质量标准见 GB/T 8269;
- g) 工业氢氟酸质量标准见 GB 7744;
- h) 乙二胺四乙酸 (EDTA) 质量标准见 HG/T 3457;
- i) 工业甲酸质量标准见 GB/T 2093。

C.3 清洗助剂质量标准

C.3.1 缓蚀剂的质量

缓蚀剂的质量评定可按 DL/T 523 进行。

C.3.2 硫脲质量

硫脲质量标准见 HG/T 3266。

C.3.3 除油用的表面活性剂

最常用的除油用表面活性剂是工业直链烷基苯磺酸钠阴离子表面活性剂和 OP 类的表面活性剂。质量应满足 GB/T 8447 的要求。

C.4 钝化用药剂的质量标准

C.4.1 氨水

质量标准见 HG 1。

C.4.2 工业六偏磷酸钠

质量标准见 HG/T 2519。

C.4.3 工业三聚磷酸钠

质量标准见 GB/T 9983。

C.4.4 乙醛肟

乙醛肟产品质量标准应符合表 C.1 的要求。

表 C.1 乙醛肟产品质量标准

指标名称	单 位	指 标
外观	—	无色透明液体
乙醛肟含量	%	≥30
乙醛含量	%	≤0.02
钠离子含量	%	≤0.000 5
氯离子含量	%	≤0.000 5
注：测定方法见本标准 G4.3		

C.4.5 二甲基铜肟

二甲基铜肟产品质量指标应符合表 C.2 的要求。

表 C.2 二甲基铜肟产品质量指标

项目名称	单 位	指 标
含量（以氮含量计）	%	≥95
熔点范围	℃	58～62
氯化物（以 Cl ⁻ 计）	%	≤0.002
硫酸盐（以 SO ₄ ²⁻ 计）	%	≤0.020
注：测定方法见 DL/T 522.1～2—1993		

C.4.6 工业水合肼（N₂H₄·H₂O 联氨）

C.4.6.1 工业水合肼产品质量指标

工业水合肼产品质量指标应符合 HG/T 3259 的要求。

C.4.6.2 水合肼含量的测定

C.4.6.2.1 试剂

- a) 碳酸氢钠（GB/T 640）。
- b) 硫酸（GB/T 625）：1+5 溶液。
- c) 碘（GB/T 675）：c(1/2I₂)0.1mol/L 标准滴定溶液。

C.4.6.2.2 测定步骤

用带有磨口盖的称量瓶称取约 1g 试样，精确至 0.000 2g，小心地全部移入 250mL 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。用移液管移取 10mL（80%）或 20mL（40%）试验溶液，置于 250mL 锥形瓶中，加 20mL 水、1mL 硫酸和 1g 碳酸氢钠，摇匀。用碘标准滴定溶液滴定，溶液出现微黄色并保持 1min 不消失即为终点。同时做空白试验。

以质量百分数表示的水合肼（N₂H₄·H₂O）含量（x₁）按式（C.1）计算，即

$$x_1 = \frac{0.012\,52(V - V_0)c}{\frac{mV_1}{250}} \times 100$$

(C.1)

式中：

- x₁——水合肼（N₂H₄·H₂O）含量，%；
- V——试验溶液消耗的碘标准滴定溶液的体积，mL；

DL/T 794 — 2012

V_0 ——空白溶液消耗的碘标准滴定溶液的体积, mL;

V_1 ——移取的试验溶液体积, mL;

c ——碘标准滴定溶液的浓度, mol/L;

m ——试料质量, g;

0.012 52 ——与 1.00mL 碘标准滴定溶液 $[c(1/2I_2)=1.000\text{mol/L}]$ 相当的、以克表示的水合肼的质量。

C.4.7 工业过氧化氢

质量标准见 GB 1616。

C.5 酸洗废液处理用药

C.5.1 次氯酸钠溶液

质量标准见 HG/T 2498。

C.5.2 漂白粉

质量标准见 HG/T 2496。

C.5.3 生石灰

质量标准见 GJB 2714。

附录 D
(资料性附录)
常见清洗介质的溶垢能力

D.1 常见有机酸和无机酸对氧化铁垢的理论溶解量

常见有机酸和无机酸对铁垢的理论溶解量见表 D.1。

表 D.1 常见有机酸和无机酸对铁垢的理论溶解量

酸种类及浓度		溶解铁的质量浓度 g/L	酸的种类及浓度		溶解铁的质量浓度 g/L
无机酸	HCl, 1%	7.5	有机酸	柠檬酸, 1%	2.9
	H ₂ SO ₄ , 1%	5.7		甲酸, 1%	6.1
	H ₃ PO ₄ , 1%	8.5		羟基乙酸, 1%	3.7
	HNO ₃ , 1%	4.4		草酸, 1%	6.2
	HF, 1%	14		酒石酸, 1%	3.7
	氨基磺酸, 1%	2.9			
注：表中“%”均为溶质质量分数					

D.2 常见有机酸和无机酸对氧化铁垢的试验溶垢量

常见有机酸和无机酸对氧化铁垢的试验溶垢量见表 D.2。

表 D.2 常见有机酸和无机酸对氧化铁垢的试验溶垢量

酸洗液种类	质量分数 %	溶解锈垢的量 g/L	酸洗液种类	质量分数 %	溶解锈垢的量 g/L
盐酸	5	39.6	EDTA 铵盐	6	6.0
磷酸	19	6.0	柠檬酸铵	3	8.6
羟基乙酸	2	13.4	EDTA 铵盐	5	6.2

D.3 常见清洗介质对不同类别垢的理论溶解量

常见清洗介质对不同类别垢的理论溶解量见表 D.3。

表 D.3 常见清洗介质对不同类别垢的理论溶解量

1kg 纯清洗剂溶解水垢的质量 kg		水垢的种类						
		FeO	CaSO ₄	MgSO ₄	CaCO ₃	Fe ₂ O ₃	CuO	MgCO ₃
有机酸	EDTA	0.25	0.47	0.41	0.34	—	—	—
	羟基乙酸	0.48	0.90	0.79	0.66	0.53	0.52	0.55
	羟基乙酸: 甲酸 (2:1)	0.58	1.09	0.96	0.80	—	0.64	0.67

表 D. 3 (续)

1kg 纯清洗剂溶解水垢的质量 kg		水垢的种类						
		FeO	CaSO ₄	MgSO ₄	CaCO ₃	Fe ₂ O ₃	CuO	MgCO ₃
有机酸	柠檬酸	0.37	0.71	0.62	0.52	—	0.41	0.44
	甲酸	0.79	1.50	1.32	1.10	—	0.87	0.92
	EDTA 四钠盐	0.37	0.72	0.63	0.53	—	0.41	0.44
无机酸	HCl	0.99	1.86	1.64	1.37	0.73	1.10	1.15
	H ₂ SO ₄	0.73	—	—	1.02	0.54	0.82	0.86
	H ₃ PO ₄	1.10	2.08	1.84	1.53	0.82	1.23	1.29
	HNO ₃	0.57	1.08	0.95	0.79	0.42	0.64	0.67
	氨基磺酸	—	—	—	0.53	—	—	0.44

附录 E (资料性附录)

清洗系统的材料、设备及化学药品的计算

E.1 进液总管内径的计算

进液总管的内径 D 按式 (E.1) 计算, 即

$$D \geq \sqrt{\frac{4G}{3600\pi\omega}} \quad (\text{E.1})$$

循环回路最大截面的流量之和 G 按式 (E.2) 计算, 即

$$G = 3600Fv \quad (\text{E.2})$$

式 (E.1)、式 (E.2) 中:

G ——循环回路最大截面的流量之和, m^3/h ;

F ——循环回路最大的截面积之和, m^2 ;

v ——炉管中清洗液的流速, m/s ;

ω ——进液总管流速, m/s ;

D ——进液总管的内径, m 。

E.2 回液总管内径的计算

回液总管要有足够的截面积, 其管子内径 D_2 按式 (E.3) 计算, 即

$$D_2 \geq \sqrt{\frac{4G}{3600\pi v}} \quad (\text{E.3})$$

回液总管流速 v 按式 (E.4) 计算, 即

$$v = \sqrt{2H_1 g} \quad (\text{E.4})$$

式 (E.3)、式 (E.4) 中:

D_2 ——回液总管管径, m ;

G ——系统中最大流量, m^3/h ;

v ——管中流速, m/s ;

g ——重力加速度, 取 9.8m/s^2 ;

H_1 ——汽包清洗液液面和溶药箱药液液面的位差, m 。

E.3 清洗各组件流通截面的计算

清洗各组件流通截面积 F 按式 (E.5) 计算, 即

$$F = \frac{\pi}{4} \sum d_i^2 \quad (\text{E.5})$$

式中:

F ——清洗各组件流通截面积, m^2 ;

d_i ——各组件管子的内径之和, m 。

E.4 清洗泵容量的核算

清洗泵最大容量 Q 按式 (E.6) 核算, 即

$$Q = 3600F_{\max}v \quad (\text{E.6})$$

式中:

Q ——最大循环流量, m^3/h ;

F_{\max} ——各循环组件中最大的流通截面积, m^2 ;

v ——各组件中最大循环流速, m/s 。

E.5 清洗泵扬程的核算

E.5.1 清洗泵扬程核算, 必须根据具体的系统布置进行。每台泵的扬程至少应按式 (E.7) 计算, 即

$$H = \Delta p_{\max} + \Delta H + \Delta p_K \quad (\text{E.7})$$

E.5.2 当采用标准孔板时, Δp_K 可按式 (E.8) 选取, 即

$$\Delta p_K = 0.6(\rho - 1)H_M \quad (\text{E.8})$$

E.5.3 当采用标准喷嘴时, Δp_K 可按式 (E.9) 选取, 即

$$\Delta p_K = 0.5(\rho - 1)H_M \quad (\text{E.9})$$

式 (E.7) ~ 式 (E.9) 中:

ρ ——流量表内溶液的密度, $1000\text{kg}/\text{m}^3$;

H_M ——流量表最大压差值;

Δp_K ——进液管上流量孔板阻力损失, Pa ;

H ——满足循环要求时的最低扬程, Pa ;

Δp_{\max} ——系统循环阻力最大值, Pa ;

ΔH ——汽包液位与清洗箱液位差, Pa 。

E.5.4 系统循环最大阻力值 Δp 最大按式 (E.10) 计算, 即

$$\Delta p_{\max} = \sum \left(1 + \xi + L \frac{\lambda}{d} \right) \frac{\rho v^2}{2g} \quad (\text{E.10})$$

式中:

ξ ——系统局部阻力系数;

λ ——单位摩擦阻力系数;

L ——管长, m ;

d ——管内径, m ;

v ——管内流速, m/s ;

g ——重力加速度, 取 $9.8\text{m}/\text{s}^2$;

ρ ——管内流体密度, $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

E.6 清洗泵入口母管管径的选择

为满足两台循环泵并列运行的需要, 入口母管截面积不得小于泵出口总截面积的两倍。

E.7 下降管内节流孔板的选择

下降管内节流孔板的下降管阻力 $\Delta H'$ 按式 (E.11) 计算。为了使循环组件内各管流速均匀, 在汽包下降管口, 装有节流孔板。节流孔板的孔径通常是集中下降管内径的 $1/8 \sim 1/7$, 使清洗组件内的上升管及下降管, 在相同的流速下阻力相等。

$$\Delta H' = \Delta H_1 + \Delta H_2 \quad (\text{E.11})$$

式中:

$\Delta H'$ ——加装节流孔板后的下降管阻力, Pa ;

ΔH_1 ——水冷壁管阻力, Pa ;

ΔH_2 ——连通导汽管阻力, Pa。

E.8 锅炉系统阻力计算

E.8.1 按顺序连接的粗细不同的管路, 称为串联管路, 如图 E.1 所示。其沿程阻力损失按式 (E.12) 计算, 即

$$\sum h_n = \lambda_1 \frac{L_1 v_1^2}{d_1 2g} + \lambda_2 \frac{L_2 v_2^2}{d_2 2g} + \dots + \lambda_n \frac{L_n v_n^2}{d_n 2g} \quad (\text{E.12})$$

E.8.2 并联管路如图 E.2 所示。如具有三个并联管路, 在并联管路中其总流量为各路流量之和, 且每一管路两端 (相当于 A、B 两点) 之间的压头损失应相等, 而各管路之间流量的分配则应与各管的阻力成一定比例, 按式 (E.13) 计算, 即

$$\sum h_n = \lambda_1 \frac{L_1 v_1^2}{d_1 2g} = \lambda_2 \frac{L_2 v_2^2}{d_2 2g} = \lambda_3 \frac{L_3 v_3^2}{d_3 2g} \quad (\text{E.13})$$

式中:

d_1 、 d_2 、 d_3 ——三个不同管径管子的内径, m;

L_1 、 L_2 、 L_3 ——三个不同管径单管长度 (包括弯头), m;

λ_1 、 λ_2 、 λ_3 ——三个不同管径管子的摩擦系数;

g ——重力加速度, 取 9.8m/s^2 ;

v_1 、 v_2 、 v_3 ——三个不同管径单管中介质流速, m/s。

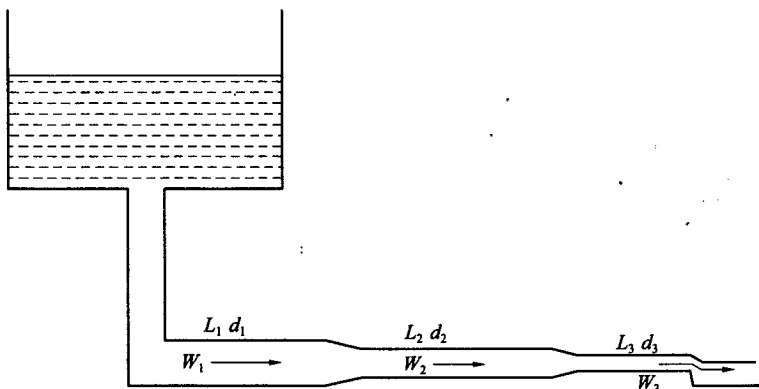


图 E.1 串联管路

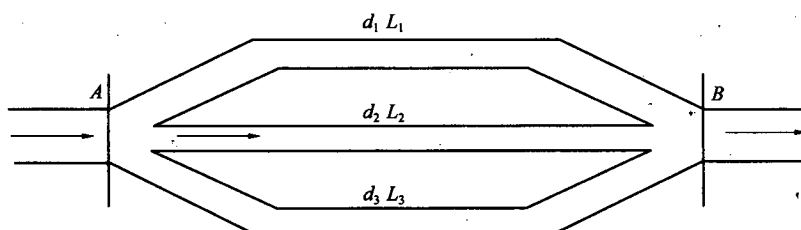


图 E.2 并联管路

E.9 蒸汽加热热源的计算

E.9.1 介质吸热量的计算

介质的吸热量 Q_1 按式 (E.14) 计算, 即

$$Q_1 = V \Delta t c_1 \rho \quad (\text{E.14})$$

式中:

Q_1 ——介质的吸热量, J;

V ——清洗系统的容积, m^3 ;

Δt ——被加热液体最终温度与初始温度之差, K;

c_1 ——水的比热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

ρ ——水的密度, 取 $1000 \text{kg}/\text{m}^3$ 。

E.9.2 金属吸热量的计算

金属吸热量 Q_2 按式 (E.15) 计算, 即

$$Q_2 = G \Delta t c_2 \quad (\text{E.15})$$

式中:

Q_2 ——金属吸热量, J;

G ——金属总质量, kg;

c_2 ——金属的比热容, 取 $0.502 \times 10^3 \text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

Δt ——被加热液体最终温度与初始温度之差, K。

E.9.3 系统散热量的计算

系统散热量 Q_3 按式 (E.16) 计算, 即

$$Q_3 = D \Delta t c_1 \quad (\text{E.16})$$

式中:

Q_3 ——系统散热量, J/h;

D ——清洗液每小时的循环量, kg/h ;

Δt ——被加热液体最终温度与初始温度之差, K;

c_1 ——水的比热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

E.9.4 补充系统散热所需汽量的计算

补充系统散热所需汽量 D_n 按式 (E.17) 计算, 即

$$D_n = \frac{Q_3}{h'' - h_H} \quad (\text{E.17})$$

式中:

D_n ——补充系统散热所需汽量, kg/h ;

Q_3 ——系统散热量, J/h;

h'' ——加热蒸汽比焓, J/kg;

h_H ——饱和水的比焓, J/kg。

E.9.5 表面式加热器传热面积的计算

为便于制作, 表面式加热器可做成排管式, 放置于清洗箱内。这种“储液器”型的加热器传热面积 F 按式 (E.18) 计算, 即

$$F = \frac{Q_3}{k \Delta t_{cp}} \quad (\text{E.18})$$

式中:

F ——表面式加热器传热面积, m^2 ;

Q_3 ——系统散热量, J/h;

k ——放热系数, 见表 E, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

Δt_{cp} ——加热工质与被加热介质的平均温差, K。

表 E 表面式加热器放热系数 (k)

热媒性质	放热系数 $k \times 1.16 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
蒸汽 (低压)	500~600
热水	280~300

E.9.6 加热蒸汽来汽管径选择

E.9.6.1 汽耗量的计算 G 按式 (E.19) 计算, 即

$$G = \frac{Q_3}{h_0 - h_k} \tag{E.19}$$

式中:

- G ——汽耗量, kg/h;
- Q_3 ——系统散热热量, J/h;
- h_0 ——加热蒸汽初焓, J/kg;
- h_k ——加热蒸汽终焓, J/kg。

E.9.6.2 来汽管径 d_1 按式 (E.20) 计算, 即

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4Gv_0}{3600\pi v}} \tag{E.20}$$

式中:

- d_1 ——来汽管径, m;
- G ——蒸汽流量, kg/h;
- v_0 ——加热蒸汽比体积, m^3/kg ;
- v ——管内流速, 可选取 $20\text{m/s} \sim 30\text{m/s}$ 。

E.9.7 混合式加热器的选择

E.9.7.1 混合式加热器所需的蒸汽量 G 按式 (E.21) 计算, 即

$$G = \frac{Q_3}{h_0 - h_H} \tag{E.21}$$

式中:

- G ——混合式加热器所需的蒸汽量, kg/h;
- Q_3 ——系统散热热量, J/h;
- h_0 ——加热蒸汽初焓, J/kg;
- h_H ——加热蒸汽终焓, J/kg。

E.9.7.2 加热蒸汽管内径 d_2 按式 (E.22) 计算, 即

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{4Gc_0}{3600\pi v}} \tag{E.22}$$

式中:

- d_2 ——加热蒸汽管内径, m;
- G ——加热蒸汽量, kg/h;
- c_0 ——加热蒸汽比体积, m^3/kg ;
- v ——管内蒸汽流速, 取 $20\text{m/s} \sim 30\text{m/s}$ 。

混合式加热器蒸汽宜直接从钢管上的孔眼喷出, 并与清洗液混合, 进行加热。其孔眼直径为 $\phi 5$, 小孔开孔数为 100 个~120 个, 孔眼总截面积应为进汽管截面积的 2 倍~3 倍。混合式加热器的构造

见图 E.3。混合式加热器装在循环泵出口总管上，设计压力为 1.57MPa（16 个表大气压），设计温度为 320℃。

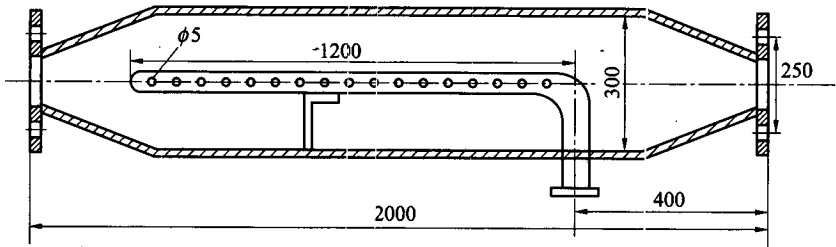


图 E.3 混合式加热器结构

E.10 冲通过热器的措施及计算

E.10.1 用高流速水冲通过热器系统

E.10.1.1 措施

用高流速水通过立式过热器组，保持过热器管出入口端的流动压差 Δp 大于液位差 H ，并需在出口侧施加一定背压。其背压应比静压高出 0.049MPa~0.070MPa（0.5 表大气压~0.7 表大气压）。

E.10.1.2 计算

酸洗时，立式过热器的并联管束能否全部冲通的关键，是将管组上部弯头内的空气排除干净。要达到这一条件，应使过热器管的流动压差 Δp 大于过热器 U 形管的液位差。

a) 过热器管出入口压差 Δp 按式 (E.23) 计算，即

$$\Delta p > H$$

$$\Delta p = \Delta p_{\lambda} - \Delta p_{\text{出}} \quad (\text{E.23})$$

式中：

Δp ——过热器管出入口压差。

b) 各 U 形管液位差之和 H 按式 (E.24) 计算，即

$$H = h_1 \rho g + h_2 \rho g + \dots + h_i \rho g = \sum_{i=1}^n h_i \rho g \quad (\text{E.24})$$

式中：

h_1, h_2, \dots, h_i ——各过热器 U 形管位差。

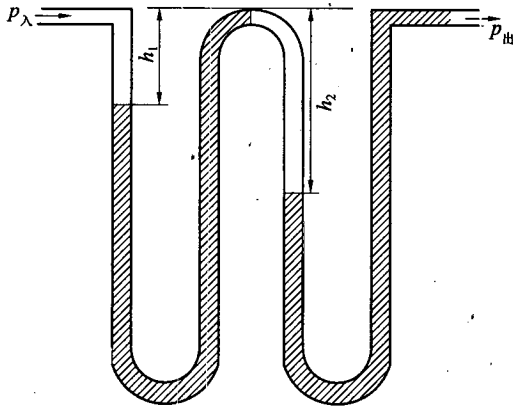


图 E.4 过热器管差位图

c) 消除气塞的流量计算:

1) 有气塞情况下, 过热器两端的压差 (Δp_0) 按式 (E.25) 计算, 即

$$\Delta p_0 = \sum_{i=1}^n h_i \rho g + \lambda \frac{L v_0^2 \rho}{2d} + \sum \xi \frac{v_0^2 \rho}{2} = \sum_{i=1}^n h_i \rho g + \frac{v^2 \rho}{2} \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum \xi \right) \quad (\text{E.25})$$

式中:

Δp_0 ——有气塞情况下过热器两端之间的压差, Pa;

v_0 ——存在气塞时过热器管的水流速度, m/s;

ρ ——水的密度, 取 1000 kg/m³;

L ——过热器蛇形管总长, m;

λ ——沿程阻力系数;

d ——过热器蛇形管内径, m;

$\sum \xi$ ——局部阻力系数之和;

g ——重力加速度, 9.8 m/s²。

设 $\lambda \frac{L}{d} + \sum \xi = \xi_{\text{总}}$, 则式 (E.25) 可改写为

$$\Delta p_0 = \sum h_i \rho g + \frac{v^2 \rho}{2} \xi_{\text{总}} \quad (\text{E.26})$$

2) 无气塞情况下过热器两端的压差 Δp 按式 (E.27) 计算, 即

$$\Delta p = \frac{v^2 \rho}{2} \xi_{\text{总}} = \frac{\xi_{\text{总}} \rho}{2 F^2} G^2 \quad (\text{E.27})$$

式中:

Δp ——无气塞情况下过热器两端的压差, Pa;

v ——无气塞时过热器管的水流速度, m/s;

G ——消除气塞的体积流量, m³/s;

F ——过热器蛇形管通流截面积, m²。

要消除气塞, 必须使 $\Delta p > \Delta p_0$ 。

d) 消除气塞的水流量 G_0 按式 (E.28) 计算, 即

$$G_0 > \sqrt{\frac{4 g F^2 \rho^2 \sum_{i=1}^n h_i}{\xi_{\text{总}}}} \quad (\text{E.28})$$

式中:

G_0 ——存在气塞时的水流量, kg/s。

E.10.2 抽真空法

打开主蒸汽疏水门, 将过热器经疏水膨胀箱与凝汽器连通。用凝汽器射水泵抽真空。

E.10.3 防止沉积的措施

应增大清洗流速, 在垂直向上流管道中, 只要流体速度大于最大粒子的自由沉降速度 U_0 , 则全部溶垢颗粒均可带走。球形粒子的自由沉降速度 U_0 按式 (E.29) 计算, 即

$$U_0 = \sqrt{\frac{4 D_p (r_F - r_p) g}{3 C_D r_F}} \quad (\text{E.29})$$

式中:

U_0 ——球形粒子的自由沉降速度;

D_p ——粒子的直径, m;

r_f 、 r_p ——流体和固体的密度, kg/m^3 ;

C_D ——粒子的阻力系数;

g ——重力加速度。

根据实际清洗过程测算, 过热器管内流体呈湍流状态时, $Re > 1000$ 。此时, C_D 取 0.44, D_p 取 0.5mm~1.5mm, Fe_2O_3 密度 (即 r_p) 取 5250kg/m^3 , r_f 取 1000kg/m^3 。

E.11 化学清洗用药品的计算

E.11.1 用盐酸清除碳酸钙水垢

用盐酸清除碳酸钙水垢用酸量 G_{HCl} 按式 (E.30) 计算, 即

$$G_{\text{HCl}} = (0.73F\delta\rho + \alpha) \cdot \frac{1}{c_{\text{HCl}}} \quad (\text{E.30})$$

式中:

G_{HCl} ——用酸量, kg;

F ——被清洗面积, m^2 ;

δ ——被清洗垢的平均厚度, m;

ρ —— CaCO_3 的密度, 取 1550kg/m^3 ;

α ——洗后溶液中残存酸量, 排酸浓度可取 1%, kg;

c_{HCl} ——工业盐酸的浓度, %;

0.73 ——每清除 1kg CaCO_3 所需纯 HCl 的质量数。

E.11.2 用盐酸清除氧化铁垢

用盐酸清除氧化铁垢, 用酸量 Q 按式 (E.31) 计算, 即

$$Q = \alpha k G \frac{c_1 \rho_1}{c_{\text{HCl}} \rho} \quad (\text{E.31})$$

式中:

G ——被清洗氧化铁垢量, kg;

c_1 ——采用酸液浓度, %;

c_{HCl} ——工业盐酸的浓度, %;

ρ ——工业盐酸的密度, kg/m^3 ;

ρ_1 ——采用酸液的密度, 可取 1000kg/m^3 ;

α ——药剂富裕系数;

k ——清洗系数, 取 1.37 (即清洗 1kg 氧化铁垢所需盐酸量为 1.37kg)。

E.11.3 EDTA 络合清洗的用药量

EDTA 络合清洗的络合比为 1:1。EDTA 用量 G_{EDTA} 按式 (E.32) 计算, 即

$$G_{\text{EDTA}} = 1.2(0.015Q + 3.8G) \quad (\text{E.32})$$

式中:

G_{EDTA} ——清洗所需 EDTA 总量, kg;

1.2 ——药剂富裕系数;

0.015 ——清洗结束时需维持 EDTA 的过剩量 (根据试验确定, 过剩浓度取 1.5% 为宜);

Q ——锅炉正常运行水位的溶液体积, m^3 ;

3.8 —— Fe_3O_4 与 EDTA 1:1 络合换算系数;

G ——垢的质量, kg。

EDTA 清洗液浓度的配制按式 (E.33) 计算, 即

$$c_{\text{EDTA}} = \frac{G_{\text{EDTA}}}{Q\rho} \quad (\text{E.33})$$

式中:

c_{EDTA} —— EDTA 洗炉液浓度;

ρ —— 清洗液密度, 可取 1000kg/m^3 。

E.11.4 柠檬酸清洗用药量

柠檬酸清洗用药量 $G_{\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7}$ 按式 (E.34) 计算, 即

$$G_{\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7} = k(1 + \alpha)\text{Fe}_{\text{总}} \quad (\text{E.34})$$

式中:

$G_{\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7}$ —— 柠檬酸清洗用药量, t;

$\text{Fe}_{\text{总}}$ —— 由割管检查估算整台锅炉应清出的总垢量, 以铁离子计, t;

k —— 柠檬酸与铁离子的络合比, 取 3.5;

α —— 柠檬酸过剩量系数, 可取 0.01。

E.11.5 缓蚀剂用量

缓蚀剂用量 $G_{\text{缓}}$ 按式 (E.35) 计算, 即

$$G_{\text{缓}} = Vc \quad (\text{E.35})$$

式中:

$G_{\text{缓}}$ —— 缓蚀剂用量, kg;

V —— 稀酸液体积, m^3 ;

c —— 采用的缓蚀剂浓度, kg/m^3 。

E.11.6 碱洗、碱煮或钝化用药量

E.11.6.1 纯度为 100% 的晶体氢氧化钠的用量 (G_{NaOH}) 按式 (E.36) 计算, 即

$$G_{\text{NaOH}} = 1000KVc' \quad (\text{E.36})$$

式中:

G_{NaOH} —— 纯度为 100% 的晶体氢氧化钠的用量, kg;

K —— 药品富裕系数, 取 1.2;

V —— 需配制的清洗液量, m^3 ;

c' —— 清洗碱液的质量百分比, %。

E.11.6.2 磷酸三钠的用量 ($G_{\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}}$) 按式 (E.37) 计算, 即

$$G_{\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}} = 1000KVc'' \quad (\text{E.37})$$

式中:

$G_{\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}}$ —— $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 的用量, kg;

K —— 药剂富裕系数, 取 1.2;

V —— 需配制的清洗液量, m^3 ;

c'' —— 清洗碱液或钝化液的质量百分比, %。

E.11.6.3 纯度为 100% 的亚硝酸钠的用量 (G_{NaNO_2}) 按式 (E.38) 计算, 即

$$G_{\text{NaNO}_2} = 1000KVc \quad (\text{E.38})$$

式中:

G_{NaNO_2} ——纯度为 100% 的亚硝酸钠的用量, kg;

K ——药剂富裕系数, 取 1.2;

V ——需配制的溶液量, m^3 ;

c ——钝化液的质量百分比, %。

附录 F
(规范性附录)
化学清洗后评价试验方法

F.1 清洗过程腐蚀测量方法**F.1.1 腐蚀量的测定**

锅炉化学清洗的腐蚀量是指从第一次水冲洗开始至钝化液排放完，整个化学清洗过程中以腐蚀指示片表示的设备单位面积的质量损失。

测定方法为：钝化液排放后，取出清洗系统中悬挂的三个试片（见 10.1.1），按 DL/T 523 的规定要求处理试片、测量每一试片的失重量和表面积，按式（A.1）计算腐蚀量。腐蚀量取三个试片的平均值；如果某一试片的相对误差超出 10%，则以其余两试片的平均值作为最终结果。

F.1.2 腐蚀速率的测定

化学清洗后的腐蚀速率是指在化学清洗中以腐蚀指示片表示的设备单位面积、单位时间的质量损失量。

测定方法为：按腐蚀量的测定方法（见 F.1.1）测得的腐蚀量，除以开始进酸至排酸完毕的时间。

F.2 残余垢量和除垢率测定方法**F.2.1 残余垢量的测定**

酸洗结束后，应割取酸洗前垢量最大部位的水冷壁管和被清洗设备其他部位的管段，按 A.4.1 的方法测量管样的垢量，即管样的残余垢量。

F.2.2 除垢率的测定

酸洗结束后，按式（A.6）计算除垢率。式（A.6）中， G_0 取酸洗前管样的垢量； G_c 取酸洗后相同部位割取的管样，按 F.2.1 测定的残余垢量。

附 录 G
(资料性附录)
化学清洗中的测试方法

G.1 碱洗液的测定

G.1.1 碱性物质的测定

G.1.1.1 试剂:

- a) 1%酚酞指示剂;
- b) 0.1%甲基橙指示剂;
- c) $0.1\text{mol/L}\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 标准溶液。

G.1.1.2 测定步骤:

吸取碱洗液 10mL 于锥形瓶中, 用除盐水稀释至 100mL, 加入 2 滴~3 滴酚酞指示剂, 此时溶液显红色, 用 $0.1\text{mol/L}\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 标准溶液滴至无色, 记下耗酸量 a , 再加入 2 滴甲基橙指示剂, 继续滴定至溶液呈橙色为止, 记下第二次耗酸量 b (不包括 a)。

当碱洗液为氢氧化钠、磷酸三钠及洗涤剂时, 以质量百分数表示的氢氧化钠浓度按式 (G1) 计算, 磷酸三钠浓度按式 (G2) 计算, 即

$$c_{\text{NaOH}} = \frac{0.1 \times 40 \times 100(a-b)}{1000V} \quad (\text{G1})$$

$$c_{\text{Na}_3\text{PO}_4} = \frac{0.1 \times 164 \times 100b}{1000V} \quad (\text{G2})$$

当酸洗液为磷酸三钠、磷酸氢二钠及洗涤剂时, 以质量百分数表示的磷酸三钠浓度按式 (G3) 计算, 磷酸氢二钠浓度按式 (G4) 计算, 即

$$c_{\text{Na}_3\text{PO}_4} = \frac{0.1 \times 164 \times 100a}{1000V} \quad (\text{G3})$$

$$c_{\text{Na}_2\text{HPO}_4} = \frac{0.1 \times 142 \times 100(b-a)}{1000V} \quad (\text{G4})$$

式 (D.1) ~ 式 (D.4) 中:

- c_{NaOH} —— 氢氧化钠浓度, %;
- $c_{\text{Na}_3\text{PO}_4}$ —— 磷酸三钠浓度, %;
- $c_{\text{Na}_2\text{HPO}_4}$ —— 磷酸氢二钠浓度, %;
- a 、 b —— 消耗的硫酸标准溶液的体积, mL;
- 0.1 —— $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$ 标准溶液的浓度, mol/L;
- V —— 取碱洗液的体积, mL;
- 164 —— 磷酸三钠的摩尔质量, g/mol;
- 40 —— 氢氧化钠的摩尔质量, g/mol;
- 142 —— 磷酸氢二钠的摩尔质量, g/mol。

G.1.2 含油量的测定

G.1.2.1 试剂:

- a) 正己烷;
- b) 乙醇溶液, 将 600mL 无水乙醇与 400mL 水混合;
- c) 1+1 硫酸溶液。

G.1.2.2 测定步骤:

量取 1000mL 碱洗液倒入 2000mL 分液漏斗内, 先加入 10mL 1+1H₂SO₄, 使 pH 值为 1.0 左右; 后加入 30mL 正己烷, 振荡 2min~3min, 澄清 10min。待正己烷和水分层后, 将水倒入烧杯以备再次萃取。在正己烷层中加 100mL 乙醇溶液, 振荡 2min~3min, 澄清 5min, 待正己烷分层后, 将正己烷移入充分干燥的烧杯, 将乙醇弃去, 再将干燥烧杯内的水层重复萃取第二次。把干燥烧杯中的正己烷置于蒸发皿, 在通风柜里用水浴或红外线灯蒸发正己烷后, 在 100℃~105℃的烘箱里干燥 30min 后, 再在干燥器里冷却 30min 称重。含油量按式 (G.5) 计算, 即

$$c_o = \frac{10^6}{V}(b-a) \quad (G.5)$$

式中:

- c_o ——含油量, mg/L;
- a ——蒸发皿用前质量, g;
- b ——蒸发正己烷后蒸发皿的质量, g;
- V ——试样体积, L。

G.1.3 硅酸化合物的测定 (氢氟酸转化分光光度法)

G.1.3.1 试剂:

- a) 10% 钼酸铵溶液。
- b) 10% 草酸溶液。
- c) 1-氨基-2-萘酚-4 磺酸溶液 (简称 1-2-4 酸) 还原剂, 称取 0.75g 1-2-4 酸[H₂NC₁₀(OH)SO₃H] 和 3.5g 无水亚硫酸钠 (Na₂SO₃) 溶于约 100mL II 级试剂水中。称取 45g 亚硫酸氢钠 (NaHSO₃) 溶于约 300mL II 级试剂水中, 将两种溶液混合, 再用 II 级试剂水稀释至 500mL。
- d) 二氧化硅标准溶液 (0.05mg/mL SiO₂): 取一定体积 0.1mg/mL SiO₂ 的硅标准贮备液, 用 II 级试剂水准确稀释至 2 倍。
- e) 盐酸溶液 1+1。
- f) 氢氟酸溶液 (1+7)。
- g) 3mol/L 三氯化铝溶液: 称取三氯化铝 (AlCl₃·H₂O) 724g 溶于 800mL II 级试剂水中, 并稀释到 1L。
- h) 三氯甲烷。

上述所有试剂应存储于塑料瓶中。

G.1.3.2 仪器:

- a) 紫外—可见分光光度计;
- b) 比色皿: 10mm;
- c) 多孔水浴锅;
- d) 0~5mL 塑料移液管;
- e) 150mL~200mL 密封塑料杯。

G.1.3.3 测定步骤:

- a) 工作曲线的绘制。按表 G1 的规定, 取二氧化硅标准溶液 (0.05mg/mL SiO₂) 注入一组塑料杯中, 用 II 级试剂水稀释至 50mL。分别加 3mol/L 三氯化铝溶液 3.0mL, 摇匀, 用塑料移液管准确加氢氟酸溶液 (1+7) 1mL, 摇匀, 放置 5min。加 1mL 盐酸溶液 (1+1), 摇匀, 试液温度控制在 (27±5)℃下加 10% 钼酸铵溶液 2mL, 摇匀, 放置 5min。加 10% 草酸溶液 2mL, 摇匀, 放置 1min。

再加 1-2-4 酸还原剂 2mL，摇匀，放置 8min。在分光光度计上用 660nm 波长，10mm 比色皿，以 II 级试剂水做参比，测定吸光值，并以吸光值为纵坐标、SiO₂ 含量为横坐标绘制工作曲线。

表 G.1 0.5mg/L~5mg/L 硅标准液的配制

工作溶液体积 mL	0	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
加 II 级试剂水体积 mL	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	45.0
SiO ₂ 浓度 mg/L	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

b) 水样的测定。取经定量滤纸过滤后的碱洗清液 100mL 于 200mL 分液漏斗内，加 1+1 盐酸调整 pH 值至 1.0，加 40mL 三氯甲烷，振荡 2min~3min，澄清 5min 至三氯甲烷和水分层，弃去三氯甲烷。吸取一定体积分离后的试样于塑料杯中，用 II 级试剂水稀释到 50mL，摇匀。加 1mL 盐酸溶液 (1+1)，摇匀，用塑料移液管准确加入 1mL 氢氟酸溶液 (1+7)，摇匀，盖好瓶盖（不要过紧）置于沸水浴锅中，加热 15min。

取下塑料杯加 3mol/L 三氯化铝 3.0mL，摇匀，并置于冷水中冷却，当水样温度为 (27±5)℃ 时，加 10% 钼酸铵溶液 2mL，摇匀，放置 5min。加 10% 草酸溶液 2mL，摇匀，放置 1min。再加 1-2-4 酸还原剂 2mL，摇匀，放置 8min。用 II 级试剂水做参比，在 660nm 处，用 10mm 比色皿测定水样的吸光度，从工作曲线上查出相应的二氧化硅含量 *a*。硅含量按式 (G6) 进行计算，即

$$c_{\text{SiO}_2} = \frac{50a}{V} \tag{G6}$$

式中：

a ——从工作曲线上查出的二氧化硅含量，mg/L；

V ——水样的体积，mL。

G.1.4 悬浮物的测定

取 500mL~1000mL 经充分摇匀的碱洗液，用定量滤纸过滤。过滤前应将该定量滤纸放在称量瓶内，置于 105℃ 烘箱内烘 2h，烘时应将称量瓶置于 105℃ 烘箱内烘 2h（烘时应将称量瓶盖子打开），然后将称量瓶盖子盖好，取出置于干燥器内冷却至室温，称量至恒重，将已知重量的定量滤纸过滤碱洗液，过滤后用除盐水洗涤几次，将滤纸连同滤渣一同再移入已知重量的称量瓶内，于 105℃~110℃ 烘箱内干燥 2h，取出置于干燥器内冷却称量。悬浮物含量按式 (G7) 计算。

$$c_x = \frac{G_1 - G_2}{V} \times 10^6 \tag{G7}$$

式中：

c_x ——悬浮物含量，mg/L；

G₂ ——空白滤纸及称量瓶质量，g；

G₁ ——烘干后悬浮物、滤纸及称量瓶质量，g；

V ——碱洗液体积，mL。

G.2 酸洗液的测定

G.2.1 酸洗液浓度的测定

G.2.1.1 盐酸浓度的测定

G.2.1.1.1 试剂：

- a) 0.1%甲基橙指示剂;
- b) 0.1mol/L NaOH 标准溶液。

G.2.1.1.2 测定步骤。取酸洗液 1mL 于 250mL 锥形瓶中，用除盐水稀释至 100mL，再加入 2 滴~3 滴甲基橙指示剂，用 0.1mol/L NaOH 测定到溶液呈橙色为止，记下消耗体积数为 *a*。以质量百分数表示的盐酸浓度按式 (G8) 计算，即

$$c_{HCl} = \frac{0.1 \times 36.5a}{1000V} \times 100 \tag{G8}$$

式中:

- c_{HCl}* —— 盐酸浓度，%;
- V* —— 吸取酸洗液的体积，mL;
- a* —— 消耗 0.1mol/L NaOH 标准溶液的体积，mL。

G.2.1.2 游离柠檬酸浓度的测定

G.2.1.2.1 试剂:

- a) 0.1mol/L NaOH 标准溶液;
- b) 5%Mg(ClO₄)₂ 溶液;
- c) 溴百里酚蓝指示剂，称取 0.1g 溴百里酚蓝，溶于 50mL 95%乙醇溶液中，稀释至 100mL。

G.2.1.2.2 pH-*Fa* 表的制作。准确称取 3.281 2g 优级纯柠檬酸 (C₆H₈O₇•H₂O)，溶解于 96.7g 除盐水中，配制成 3.0%浓度的柠檬酸溶液。分别取 3.0%浓度的柠檬酸溶液 2mL，用除盐水稀释至 100mL，分别加入不同量的氨水调节 pH 后，记录 pH 值。加入高氯酸镁溶液 5mL，加 2 滴溴百里酚兰指示剂（变色的 pH 值范围为 6~7.6），用 0.1mol/L NaOH 滴定至溶液呈浅绿为止。按式 (G9) 计算 *Fa* 值。不同的 pH 值对应不同的 *Fa* 值，可制成 pH-*Fa* 表。表 G2 是部分 pH 值下的 *Fa* 值。也可按上述方法制作完整 pH 值范围的 pH-*Fa* 表。

$$Fa = \frac{3}{V} \tag{G9}$$

式中:

- 3 —— 3%的柠檬酸;
- V* —— 滴定时消耗 0.1mol/L NaOH 标准溶液的体积，mL。

表 G.2 不同 pH 值时柠檬酸的 *Fa* 值 (pH-*Fa* 表)

pH 值	<i>Fa</i>	pH 值	<i>Fa</i>
2.0	0.28	3.3	0.37
2.1	0.29	3.4	0.38
2.2	0.29	3.5	0.39
2.3	0.29	3.6	0.40
2.4	0.30	3.7	0.41
2.5	0.30	3.8	0.42
2.6	0.31	3.9	0.43
2.7	0.32	4.0	0.45
2.8	0.32	4.1	0.46
2.9	0.33	4.2	0.47
3.0	0.34	4.3	0.48
3.1	0.35	4.4	0.49
3.2	0.36	4.5	0.50

G.2.1.2.3 测定步骤。取柠檬酸清洗液 2mL，用除盐水稀释至 100mL，用酸度计精确测定试样的 pH 值，并记录 pH 值。然后加入高氯酸镁溶液 5mL，加 2 滴溴百里酚兰指示剂，用 0.1mol/L NaOH 滴定至溶液呈浅绿为止，记下消耗 NaOH 的体积 V 。以质量百分数表示的柠檬酸浓度按式 (G.10) 计算，即

$$c_{\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7} = FaV \quad (\text{G.10})$$

式中：

$c_{\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7}$ ——柠檬酸百分比浓度，%；

Fa ——根据 pH 值从 pH- Fa 表中查得；

V ——消耗 0.1mol/L NaOH 标准溶液的体积，mL。

因为 Fa 值是依据 0.1mol/L NaOH 标准溶液滴定结果制作的，在实际测定时，如果 NaOH 标准溶液不是 0.1mol/L，则柠檬酸浓度按式 (G.11) 计算，即

$$c_{\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7} = \frac{FaVc}{0.1} \quad (\text{G.11})$$

式中：

$c_{\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7}$ ——柠檬酸百分比浓度，%；

Fa ——根据 pH 值从 pH- Fa 表中查得；

V ——消耗 NaOH 标准溶液的体积，mL；

c ——NaOH 标准溶液物质的量浓度，mol/L。

G.2.1.3 氢氟酸浓度的测定

G.2.1.3.1 浓氢氟酸浓度的测定

G.2.1.3.1.1 试剂：

- 1% 酚酞乙醇溶液。
- 混合指示剂：甲基红—亚甲基蓝指示剂，准确称取 0.125g 甲基红和 0.085g 亚甲基蓝，在研钵中研磨均匀后，溶于 100mL 95% 乙醇溶液中。
- 1mol/L NaOH 标准溶液。
- 饱和氯化钾溶液。

G.2.1.3.1.2 测定步骤。在塑料器皿中称取 1g~2g 氢氟酸（为防止浓氢氟酸挥发，可先在塑料器皿内加入少量除盐水与器皿一起称重）。将氢氟酸移入三角瓶中，并淋洗塑料器皿，使体积稀释至约 70mL，加入 3.0mL 饱和氯化钾溶液，2 滴酚酞乙醇溶液（或混合指示剂），用 1mol/L NaOH 滴定至微红色，15s 不消失（用混合指示剂作指示剂时，紫色消失即为终点）。以质量百分数表示的浓氢氟酸浓度按式 (G.12) 计算，即

$$c_{\text{HF}} = \frac{1 \times 20A}{1000G} \times 100 \quad (\text{G.12})$$

式中：

c_{HF} ——浓氢氟酸浓度，%；

A ——1mol/L NaOH 滴定体积毫升数，mL；

20 ——氢氟酸的摩尔质量，g/mol；

G ——称取浓氢氟酸质量，g。

G.2.1.3.2 稀氢氟酸浓度的测定

G.2.1.3.2.1 试剂：

- 0.1mol/L NaOH 标准溶液。
- 混合指示剂：甲基红—亚甲基蓝指示剂，准确称取 0.125g 甲基红和 0.085g 亚甲基蓝，在研钵中研磨均匀后，溶于 100mL 95% 乙醇溶液中。

c) 饱和氯化钾溶液。

G.2.1.3.2.2 测定步骤。取酸洗液 1mL~2mL, 稀释至 100mL, 加入 15mL 饱和氯化钾溶液, 加入 2 滴混合指示剂, 用 0.1mol/L NaOH 滴定至紫色消失为亮绿色, 即为终点。以质量百分数表示的稀氢氟酸浓度按式 (G.13) 计算, 即

$$c_{\text{HF}} = \frac{0.1 \times 20A}{1000V} \times 100 \quad (\text{G.13})$$

式中:

c_{HF} ——稀氢氟酸浓度, %;

A ——0.1mol/L NaOH 滴定毫升数, mL;

20 ——氢氟酸的摩尔质量, g/mol;

V ——取酸洗液体积毫升数, mL。

G.2.1.4 EDTA 浓度的测定

G.2.1.4.1 清洗液中游离 EDTA 浓度的测定

G.2.1.4.1.1 试剂:

- $c(\text{Zn}^{2+})$ 为 0.10mol/L 的锌标准溶液: 准确称取 28.7450g 新鲜的 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶解于 500mL 除盐水中, 稀释到 1L 容量瓶中, 其浓度为 0.10mol/L。
- 乙酸—乙酸钠缓冲溶液 ($\text{pH} \approx 6$): 称取 50g 乙酸钠 ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), 溶于水, 加入 2.85mL 乙酸 (冰醋酸), 稀释至 500mL。
- 二甲酚橙指示剂: 称取 0.2g 二甲酚橙, 溶于水, 稀释至 100mL, 存于滴瓶中 (可稳定 3 个月)。
- 1:4 HCl 溶液。
- 1:4 氨水溶液。

G.2.1.4.1.2 测定步骤。准确量取 1mL 经过滤的 EDTA 清洗液于 250mL 锥形瓶中, 加 100mL 除盐水, 再加 10mL 乙酸—乙酸钠缓冲溶液, 检查滴定液的 pH 值。如果 pH 值不在 5~6 范围内, 用 1:4 盐酸或 1:4 的氨水调节至该范围。加 10 滴二甲酚橙指示剂, 充分振荡, 此时溶液应为亮黄色, 然后用 0.10mol/L 锌标准溶液进行滴定, 溶液呈红色或紫红色为终点, 记下消耗的锌标准溶液体积数 a 。以质量百分数表示的游离 EDTA 浓度按式 (G.14) 计算, 即

$$x = \frac{292ca}{1000V} \times 100 \quad (\text{G.14})$$

式中:

x ——以质量百分数表示的游离 EDTA 浓度, %;

292 ——EDTA (乙二胺四乙酸) 的摩尔质量, g/mol;

c ——锌标准溶液的浓度, mol/L;

a ——滴定中消耗的锌标准溶液的体积数, mL;

V ——取酸洗液的体积数, mL。

G.2.1.4.2 清洗液中总 EDTA 清洗液浓度的测定

G.2.1.4.2.1 试剂:

- 10mol/L NaOH 溶液;
- 1+1 HCl;
- $\text{pH} = 10 \pm 0.1$ 的氨—氯化铵缓冲溶液;
- 铬黑 T 指示剂, 5% 乙醇溶液;
- Zn^{2+} 标准溶液。

G.2.1.4.2.2 测定步骤。准确量取 2mL EDTA 清洗液于 250mL 锥形瓶中, 加 100mL 除盐水, 用 10mol/L NaOH 溶液调节 pH 值至 13.0~13.5, 沉淀中析出铁, 加热煮沸。用中速滤纸过滤, 滤液留下, 沉淀用

除盐水清洗 2 遍~3 遍后弃去。再用 1+1 HCl 溶液调节滤液 pH 值至 2.0 以下,用 10 mol/L NaOH 溶液调节 pH 值至 13.0~13.5,重复沉淀和过滤操作 2 次~3 次,直到滤液澄清透明为止。留下的滤液用 1+1 HCl 溶液调节滤液 pH 值至 10.0 左右,加 5mL~10mL 氨—氯化铵缓冲溶液,加 3 滴~6 滴铬黑 T 指示剂,用标准 Zn^{2+} 溶液滴定至刚好呈红色,记录 Zn^{2+} 标准溶液的体积 V 。以质量百分数表示的总 EDTA 清洗液浓度按式 (G.15) 计算,即

$$c_{\text{EDTA}} = \frac{292Vc}{1000V_{\text{EDTA}}} \times 100 \quad (\text{G.15})$$

式中:

- c_{EDTA} ——总 EDTA 浓度, %;
- 292 ——EDTA (乙二胺四乙酸) 摩尔质量, g/mol;
- c ——锌标准溶液的浓度, $c(\text{Zn}^{2+})$, mol/L;
- V ——锌标准溶液的消耗体积, mL;
- V_{EDTA} ——所取 EDTA 清洗液体积, mL。

G.2.2 酸洗液中铁离子浓度的测定

G.2.2.1 盐酸酸洗液中铁离子浓度的测定

G.2.2.1.1 试剂:

- a) 10% 磺基水杨酸钠;
- b) 10% $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 溶液;
- c) 0.1mol/L EDTA 标准溶液。

G.2.2.1.2 测定步骤。准确量取 5mL 经定性滤纸过滤后的酸洗液于 250mL 三角瓶中,稀释至 100mL,加 1mL 10% 磺基水杨酸钠作指示剂,用 0.1mol/L EDTA 滴至红紫色消失(滴定快到终点时,静置 2min,观察颜色变化,如果仍显红紫色则继续滴定),记下消耗量为 a 。再加入 3mL 10% $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 溶液,加热至 $60^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$,用 0.1mol/L EDTA 溶液滴至红紫色消失(滴定快到终点时,静置 2min,观察颜色变化,如果仍显红紫色则继续滴定),记下消耗量为 b 。以质量百分数表示的 Fe^{3+} 浓度按式 (G.16) 计算,以质量百分数表示的 Fe^{2+} 浓度按式 (G.17) 计算,即

$$c_{\text{Fe}^{3+}} = \frac{0.1 \times 56 \times 100a}{1000V} \quad (\text{G.16})$$

$$c_{\text{Fe}^{2+}} = \frac{0.1 \times 56 \times 100b}{1000V} \quad (\text{G.17})$$

式中:

- $c_{\text{Fe}^{3+}}$ ——酸洗液中 Fe^{3+} 含量, %;
- $c_{\text{Fe}^{2+}}$ ——酸洗液中 Fe^{2+} 含量, %;
- a ——0.1mol/L EDTA 消耗数, mL;
- b ——加 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 后, 0.1mol/L EDTA 的消耗数, mL;
- 56 ——Fe 的摩尔质量, g/mol;
- V ——所取水样数, mL。

注:当含铁量高时,应稀释水样的含铁量在 20mg/L~100mg/L 之间,以便观察终点。

G.2.2.2 柠檬酸 ($\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) 清洗液中铁浓度的测定

G.2.2.2.1 试剂:

- a) $0.5\text{mol/L} \left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4 \right)$ 标准溶液;
- b) 0.05mol/L EDTA 标准溶液;
- c) 40% KCNS 溶液;

d) 10% $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 溶液。

G.2.2.2.2 测定步骤。取 5mL 试液，加入 4mL 0.5mol/L $\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ ，用蒸馏水稀释至 100mL，加入 5mL 40%KCNS 溶液，用 0.05mol/L EDTA 标准溶液滴定至红色消失，记下 EDTA 溶液的消耗量 V_1 。再加入 3mL 10% $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 溶液，加热至 $60^\circ\text{C}\sim 70^\circ\text{C}$ ，用 0.05mol/L EDTA 标准溶液滴至红色消失，记下 EDTA 溶液的消耗量为 V_2 。 $\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ 不干扰铁的测定，当溶液中铁的浓度较大，接近终点时溶液呈橙色，终点不明显可酌情用蒸馏水稀释。以质量百分数表示的 Fe^{3+} 浓度按式 (G.18) 计算， Fe^{2+} 浓度按式 (G.19) 计算，即

$$c_{\text{Fe}^{3+}} = \frac{0.05 \times 56 \times 100V_1}{1000V} \quad (\text{G.18})$$

$$c_{\text{Fe}^{2+}} = \frac{0.05 \times 56 \times 100V_2}{1000V} \quad (\text{G.19})$$

式中：

$c_{\text{Fe}^{3+}}$ ——酸洗液中 Fe^{3+} 含量，%；

$c_{\text{Fe}^{2+}}$ ——酸洗液中 Fe^{2+} 含量，%；

V_1 、 V_2 ——0.05mol/L EDTA 标准溶液的消耗量，mL；

V ——取样体积，mL；

56 ——铁的摩尔质量，g/mol。

G.2.2.3 氢氟酸酸洗液中 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 的测定

G.2.2.3.1 试剂：

a) 10%磺基水杨酸钠；

b) 25% AlCl_3 溶液；

c) 5mol/L $\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ ；

d) 0.05 mol/L EDTA 溶液；

e) 10% $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 。

G.2.2.3.2 测定步骤。在 250mL 三角瓶中，先加入 100mL 蒸馏水，放入 1mL~5mL 酸洗液，加入 25% AlCl_3 2mL，混匀后用 1+1 氨水和 5mol/L $\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 调节 pH 值至 2.0 左右，加热至 30°C ，加入 10%磺基水杨酸钠 5mL，用 0.05mol/L EDTA 滴至紫色消失，记下 EDTA 溶液的消耗量 a ，再加 10% $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 5mL，加热至 70°C 继续用 0.05mol/L EDTA 滴定至黄色，EDTA 溶液的消耗量为 b 。以质量百分数表示的 Fe^{3+} 浓度按式 (G.20) 计算， Fe^{2+} 浓度按式 (G.21) 计算，即

$$c_{\text{Fe}^{3+}} = \frac{0.05 \times 56 \times 100V_1}{1000V} \quad (\text{G.20})$$

$$c_{\text{Fe}^{2+}} = \frac{0.05 \times 56 \times 100V_2}{1000V} \quad (\text{G.21})$$

式中：

$c_{\text{Fe}^{3+}}$ ——酸洗液中 Fe^{3+} 含量，%；

$c_{\text{Fe}^{2+}}$ ——酸洗液中 Fe^{2+} 含量，%；

V_1 、 V_2 ——0.05mol/L EDTA 消耗数，mL；

V ——取酸洗液体积，mL；

56 ——Fe 的摩尔质量，g/mol；

0.05 ——EDTA 标准溶液的浓度, mol/L。

G.2.2.4 EDTA 清洗液中全铁离子含量的测定

G.2.2.4.1 试剂:

- 10% NaOH;
- 分析纯过氧化氢 (H_2O_2);
- 25%过硫酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$ 溶液;
- 1+1 HCl;
- 10%磺基水杨酸钠溶液;
- 0.10mol/L EDTA 标准溶液。

G.2.2.4.2 测定步骤。准确吸取 EDTA 清洗液 1mL~5mL (视洗液中铁的总含量而定), 注入 100mL 烧杯中, 加 30mL 热除盐水和 25%过硫酸铵 5mL~25mL (以 1mL 样品加入 5mL 为基准), 再加 15mL 10%的 NaOH。加热至沸腾后, 逐滴加入 2mL H_2O_2 , 稍冷后用定量滤纸过滤, 并用少量除盐水淋洗烧杯, 洗液也一并过滤, 过滤后再用少量除盐水淋洗沉淀 2 次~3 次。然后用热的 1+1 HCl 溶解沉淀, 并用热除盐水和盐酸交替洗至滤纸完全无黄色。将此溶解液接至 100mL 容量瓶中, 稀释至刻度后, 倒入 250mL 锥形瓶中, 用 1+1 氨水和 1+4 盐酸调节 pH=2~3, 加入 1mL 10%磺基水杨酸钠作指示剂, 以 0.1mol/L EDTA 标准溶液滴定至紫红色消失, 记录所消耗的 EDTA 溶液体积 V 。以质量百分数表示的 EDTA 清洗液中全铁离子含量按式 (G.22) 计算, 即

$$c_{\text{Fe}} = \frac{0.1 \times 56 \times 100 V_1}{1000 V} \quad (\text{G.22})$$

式中:

- c_{Fe} ——清洗液中全铁离子含量, mg/L;
 V_1 ——EDTA 标准溶液消耗的体积, mL;
 V ——吸取的 EDTA 清洗液体积, mL;
 56 ——Fe 的摩尔质量, g/mol;
 0.1 ——EDTA 标准溶液的浓度, mol/L。

G.2.3 酸洗液中铜离子浓度的测定

G.2.3.1 试剂:

- 氯化铵;
- 紫尿酸铵指示剂;
- 0.01mol/L EDTA 标准溶液;
- 1+1 NH_4OH ;
- 1+4 HCl。

G.2.3.2 测定步骤 (酸洗液需经过滤除铁后再测)。酸洗液或氨洗液中溶解的铜, 以紫尿酸铵为指示剂进行络合滴定。取 10mL~15mL 试样 (沉积物含量较多时, 过滤后测定), 加入少量氯化铵 (约 0.5g), 用 1+1 NH_4OH 和 1+4 HCl 调节 pH 值至 7~8, 加入 0.4g 紫尿酸铵指示剂, 用 0.01mol/L EDTA 溶液滴定至玫瑰紫色, 记下消耗的毫升数为 V_1 。以质量百分数表示的酸洗液中铜离子浓度按式 (G.23) 计算, 即

$$c_{\text{Cu}} = \frac{0.01 \times 63.54 \times 100 V_1}{1000 V} \quad (\text{G.23})$$

式中:

- c_{Cu} ——酸洗液中铜离子浓度, %;
 V_1 ——消耗 0.05mol/L EDTA 标准溶液的体积, mL;
 V ——量取酸洗或氨洗液的体积, mL;

0.01——EDTA 标准溶液的摩尔浓度, mol/L;

63.54——铜的摩尔质量, g/mol。

G.2.4 酸洗液内硅酸化合物测定方法

同 G.1.3。

G.2.5 酸洗液悬浮物含量测定方法

同 G.1.4。

G.2.6 电导率的测定

参阅 GB 6908。

G.2.7 pH 值的测定

参阅 GB 6904。

G.3 氨洗液的测定

G.3.1 氨浓度的测定

G.3.1.1 试剂:

a) 0.1% 甲基橙指示剂;

b) $0.5\text{mol/L} \left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4 \right)$ 标准溶液。

G.3.1.2 测定步骤。取氨溶液 10mL 于 250mL 三角瓶中, 用除盐水稀释至 100mL, 加入 2 滴甲基橙指示剂, 用 $0.5\text{mol/L} \frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4$ 标准溶液滴定至溶液呈橙色为止。以质量百分数表示的氨浓度按式 (G.24) 计算, 即

$$c_{\text{NH}_3} = \frac{0.5 \times 17 \times 100V_1}{1000V} \quad (\text{G.24})$$

式中:

c_{NH_3} ——氨浓度, %;

V_1 ——消耗 $0.5\text{mol/L} \left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4 \right)$ 标准溶液的体积数, mL;

V ——量取氨洗液的体积, mL;

17——氨的摩尔质量, g/mol。

G.3.2 氨洗液中铜离子浓度的测定

氨洗液中铜离子浓度的测定见 G.2.3。

G.3.3 氨基磺酸含量的测定

见 HG/T 2527。

G.4 钝化液的测定

G.4.1 NaNO_2 浓度的测定

G.4.1.1 试剂:

a) 1+3 H_2SO_4 ;

b) $0.05\text{mol/L} \left(\frac{1}{5} \text{KMnO}_4 \right)$ 标准溶液;

c) $0.05\text{mol/L}[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2]$ 标准溶液。

G.4.1.2 测定步骤。在 300mL 三角瓶中加入 100mL 除盐水, 加 10mL 1+3 H_2SO_4 , 并立即用

0.05mol/L $\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right)$ 滴定至微红,稳定2min(此 KMnO_4 不计量),准确加入15mL 0.05mol/L $\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right)$,用移液管加入5mL 钝化液(移液管插入液面下,再缓慢搅拌均匀)。待5min后再加入10mL 0.05mol/L $[\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$,静置5min后,用0.05mol/L $\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right)$ 滴定过量0.05mol/L $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2]$,消耗体积数为 X 。以质量百分数表示的 NaNO_2 浓度按式(G.25)计算,即

$$c_{\text{NaNO}_2} = \frac{69 \times 0.05 \times 100[(15 + X) - 10]}{2 \times 1000V} \quad (\text{G.25})$$

式中:

c_{NaNO_2} ——亚硝酸钠浓度, %;

69——亚硝酸钠的摩尔质量, g/mol;

X ——滴定时消耗0.05mol/L $\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right)$ 的体积数, mL;

V ——钝化液取样的体积, mL;

2—— NaNO_2 和 $\frac{1}{5}\text{KMnO}_4$ 反应的物质的量之比;

0.05—— $\frac{1}{5}\text{KMnO}_4$ 和 $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 的浓度, mol/L。

G.4.2 联氨浓度的测定

G.4.2.1 试剂:

- 0.1mol/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液;
- 0.05mol/L 碘标准溶液;
- 1% 淀粉指示剂;
- 2mol/L NaOH 溶液;
- 1mol/L $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液。

G.4.2.2 测定步骤。取两只 250mL 具磨口塞的三角瓶,一只加入待测试样 10mL,并用除盐水稀释至 100mL,另一只加入除盐水 100mL,各加入 2mol/L NaOH 溶液 2mL 用滴定管精确加入 10mL 0.05mol/L $\frac{1}{2}\text{I}_2$ 标准溶液,充分混匀,置于暗处 3min,分别加入 1 mol/L $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$ 5mL,用 0.1mol/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液滴定过剩的 $\frac{1}{2}\text{I}_2$,在接近终点时(滴定至溶液呈浅黄色)加入 1mL 淀粉指示剂,继续滴定至蓝色消失,记录 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 的消耗量。联氨浓度按式(G.26)计算,即

$$c_{\text{N}_2\text{H}_4} = \frac{0.1 \times 8 \times 1000(b - a)}{V} \quad (\text{G.26})$$

式中:

$c_{\text{N}_2\text{H}_4}$ ——测定的 N_2H_4 浓度, mg/L;

a ——试验中所消耗的 0.1mol/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液体积, mL;

b ——滴定水样空白时消耗的 0.1mol/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 的体积, mL;

V ——所取试样的体积数, mL;

8—— $\frac{1}{4}\text{N}_2\text{H}_4$ 的摩尔质量, g/mol。

G.4.3 乙醛肟含量的测试方法

G.4.3.1 试剂:

a) $2\text{mol/L}\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 。

b) 高铁标准溶液 (1mL 含 $500\mu\text{g Fe}^{3+}$)，称取 4.317g 硫酸高铁铵溶于 250mL 1mol/L 硫酸中，待全部溶解后转入 1L 的容量瓶中，用高纯水稀释至刻度并摇匀。

c) 浓 H_2SO_4 。

d) 1+2 磷酸溶液。

e) $0.002\text{mol/L}\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right)$ 标准溶液：

1) $0.02\text{mol/L}\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right)$ 标准溶液的配制和标定。称取 3.3g 高锰酸钾溶于 1050mL 的蒸馏水中，

缓慢煮沸 15min~20min，冷却后在暗处密封保存两周，以“4 号”玻璃过滤器过滤，滤液储于具有磨口塞的棕色瓶内。

以草酸钠作基准标定，称取经 $105^\circ\text{C}\sim 110^\circ\text{C}$ 烘至恒重的基准草酸钠 0.2g (准确至 0.2mg)，溶于 100mL 蒸馏水中，加 8mL 浓硫酸，用 50mL 滴定管以 $0.02\text{mol/L}\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right)$ 溶液滴定，近终

点时，加热至 65°C ，继续滴定至粉红色并保持 30s，同时做空白试验。 $\frac{1}{5}\text{KMnO}_4$ 标准溶液浓度按式 (G27) 计算，即

$$c = \frac{G}{0.067(a-b)} \quad (\text{G27})$$

式中：

c —— $\frac{1}{5}\text{KMnO}_4$ 溶液的浓度，mol/L；

G ——草酸钠的质量，g；

a ——标定时消耗 $\frac{1}{5}\text{KMnO}_4$ 的体积，mL；

b ——空白试验时消耗 $\frac{1}{5}\text{KMnO}_4$ 的体积，mL；

0.067—— $1\text{mmol/L}\left(\frac{1}{2}\text{草酸钠}\right)$ 的质量，g。

2) 0.002mol/L 高锰酸钾标准溶液的配制。取 0.02mol/L 高锰酸钾标准溶液，用经煮沸冷却的纯水稀释 10 倍。其浓度不需标定，由计算得出。

G.4.3.2 测定步骤。取 1mL 乙醛肟注入 250mL (或 200mL) 容量瓶中，用纯水稀释至刻度。取稀释后的乙醛肟溶液 1mL 注入三角烧瓶中，加入 50mL 纯水，加入 $0.5\text{mL } 2\text{mol/L}\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 的硫酸溶液和 10mL

高铁溶液，摇匀后置于 100°C 沸水浴中准确加热 10min，充分冷却后加入 5mL 浓硫酸和 2mL 1+2 磷酸溶液摇匀。用 0.002mol/L 高锰酸钾标准溶液滴定至溶液呈粉红色并保持 30min 不褪。记录高锰酸钾标准溶液的体积，同时做空白试验。以质量百分数表示的乙醛肟含量按式 (G28) 计算，即

$$c_y = \frac{29.5c(b-a)}{10 \times \frac{1}{250} \times 1} \quad (\text{G28})$$

式中：

c_y ——乙醛肟的浓度，%；

b ——高锰酸钾消耗的体积，mL；

a ——空白试验时高锰酸钾消耗的体积, mL;

c —— $\frac{1}{5}$ 高锰酸钾浓度, mol/L;

29.5—— $\frac{1}{2}$ 摩尔乙醛肟的克数。

G.4.4 水中二甲基酮肟 (DMKO) 含量的测定 (容量分析法)

测定方法见 DL/T 522.1~2—1993。

按式 (G.29) 计算水中二甲基酮肟的含量, 即

$$X(\text{DMKO}) = \frac{36.55(a-b)c}{V} \times 1000 \quad (\text{G.29})$$

式中:

a ——滴定水样消耗的 $\frac{1}{5}$ KMnO_4 标准溶液的体积, mL;

b ——空白试验消耗的 $\frac{1}{5}$ KMnO_4 标准溶液的体积, mL;

c —— $\frac{1}{5}$ KMnO_4 标准溶液的摩尔浓度, mol/L;

36.55—— $\frac{1}{2}$ DMKO 的摩尔质量, g/mol;

V ——水样的体积, mL。

G.5 清洗废液的测定

G.5.1 化学需氧量重铬酸钾法 (COD_{Cr})

G.5.1.1 试剂:

- 重铬酸钾标准溶液 $\left[c\left(\frac{1}{6} \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) = 0.2500 \text{mol/L} \right]$: 称取预先在 120°C 烘干 2h 的基准或优级纯重铬酸钾 12.258g 溶于水中, 移入 1000mL 容量瓶, 稀释至标线, 摇匀。
- 试亚铁灵指示液: 称取 1.485g 邻菲罗啉, 0.695g 硫酸亚铁 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 溶于水中, 稀释至 100mL, 储于棕色瓶内。
- 硫酸亚铁铵标准溶液 $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \approx 0.1 \text{mol/L}]$ 配制: 称取 39.5mL 硫酸亚铁铵溶于水中, 边搅拌边缓慢加入 20mL 浓硫酸, 冷却后移入 1000mL 的容量瓶中, 加水稀释至标线, 摇匀。临用前, 用重铬酸钾标准溶液标定。

标定方法: 准确吸取 10.00mL 重铬酸钾标准溶液于 500mL 锥形瓶中, 加水稀释至 110mL 左右, 缓慢加入 30mL 浓硫酸, 混匀。冷却后, 加入 3 滴试亚铁灵指示液 (约 0.15mL), 用硫酸亚铁铵溶液滴定, 溶液的颜色由黄色经蓝绿色至红褐色即为终点。 $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 标准溶液按式 (G.30) 计算, 即

$$c_{(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2} = \frac{0.25 \times 10.0}{V} \quad (\text{G.30})$$

式中:

$c_{(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2}$ ——硫酸亚铁铵标准溶液的浓度, mol/L;

V ——硫酸亚铁铵标准滴定溶液的用量, mL。

d) 硫酸—硫酸银溶液配制: 于 2500mL 浓硫酸中加入 25g 硫酸银。放置 1 天~2 天, 不时摇动使其溶解 (如无 2500mL 容器, 可在 500mL 浓硫酸中加入 5g 硫酸银)。

e) 硫酸汞: 结晶或粉末。

G.5.1.2 测定步骤:

- 取 20.00mL 混合均匀的水样 (或适量水样稀释至 20.00mL) 置于 250mL 磨口的回流锥形瓶中,

准确加入 10.00mL 重铬酸钾标准溶液及数粒小玻璃珠或沸石。连接磨口回流冷凝管，从冷凝管上口慢慢地加入 30mL 硫酸—硫酸银溶液，轻轻摇动锥形瓶使溶液混匀，加热回流 2h（自开始沸腾时计时）。

注 1：对于化学需氧量高的废水样，可先取上述操作所需体积 1/10 的废水样和试剂，于 15mm×150mm 硬质玻璃试管中，摇匀，加热后观察是否变成绿色。如溶液显绿色，适当减少废水取样量，直至溶液不变绿色为止，从而确定废水水样分析时应取用的体积。稀释时，所取废水水样量不得少于 5mL，如果化学需氧量很高，则废水样应多次稀释。

注 2：废水中氯离子含量超过 30mg/L 时，应先把 0.4g 硫酸汞加入回流锥形瓶中，再加 20.00mL 废水（或适量废水稀释至 20.00mL）、摇匀。以下操作相同。

- b) 冷却后，用 90mL 水冲洗冷凝管壁，取下锥形瓶。溶液总体积不得少于 140mL，否则，因酸度太大，滴定终点不明显。
- c) 溶液再度冷却后，加 3 滴试亚铁灵指示液，用硫酸亚铁铵标准溶液滴定，溶液的颜色由黄色经蓝绿色至红褐色即为终点，记录硫酸亚铁铵标准溶液的用量。
- d) 测定水样的同时，以 20.00mL 重蒸馏水，按同样操作步骤做空白试验。记录滴定空白时硫酸亚铁铵标准溶液的用量。化学需氧量按式（G31）计算，即

$$\text{COD}_{\text{Cr}} = \frac{8 \times 1000 (V_0 - V_1) c}{V} \quad (\text{G31})$$

式中：

COD_{Cr} ——以氧表示的 COD_{Cr} 含量，mg/L；

c ——硫酸亚铁铵标准溶液的浓度，mol/L；

V_0 ——滴定空白时硫酸亚铁铵标准溶液用量，mL；

V_1 ——滴定水样时硫酸亚铁铵标准溶液的用量，mL；

V ——水样的体积，mL；

8 ——氧 $\left(\frac{1}{2}\text{O}\right)$ 的摩尔质量，g/mol。

G.5.2 酸洗废液中氟化物的测定

参照 GB 7484—1987《水质 氟化物的测定 离子选择电极法》。

G.5.3 pH 值的测定

参见 GB 6904。

G.5.4 悬浮物测定

参见 GB/T 14415。

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
火力发电厂锅炉化学清洗导则
DL/T 794—2012
代替 DL/T 794—2001

*

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)
北京博图彩色印刷有限公司印刷

*

2012年3月第一版 2012年3月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 3.75印张 109千字
印数 0001—3000册

*

统一书号 155123·806 定价 31.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



155123.806

上架建议：规程规范/
电力工程/火力发电

