

TSG

特种设备安全技术规范

TSG G5003—2008

锅炉化学清洗规则

Boiler Chemical Cleaning Regulation

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局颁布

2008年8月7日

前 言

2004年4月,国家质量监督检验检疫总局(以下简称国家质检总局)特种设备安全监察局(以下简称特种设备局)向中国特种设备检测研究院(以下简称中国特检院)下达了本规则的修订任务书。2004年4月,中国特检院组织有关专家成立起草组。2004年5月,在北京召开了起草组首次工作会议,确定了修订工作的原则、重点内容及主要问题、结构(章节)框架,并且就修订工作进行了具体分工,制定了修订工作时间表。2004年9月,在苏州召开了起草组第二次工作会议,经讨论修改,形成了《锅炉化学清洗规则》草案,并且邀请部分专家对草案进行了讨论,按照专家意见进行了修改。2004年10月,特种设备局以质检特函[2004]60号文征求基层部门、有关单位和专家及公民的意见,根据征求到的意见,起草组进行了修改并形成送审稿。2005年3月,特种设备局将该送审稿提交给质检总局特种设备安全技术委员会审议,随后多次召开相关讨论会进行了修改。2008年8月7日,由国家质检总局批准颁布。

锅炉化学清洗是保证锅炉安全经济运行的重要措施,是一项技术性和专业性很强的工作。1999年之前,工业锅炉和电站锅炉的化学清洗分别执行原劳动部1989年颁布的《低压锅炉化学清洗规则》和原水电部1986年颁布的SD 135—1986《火力发电厂锅炉化学清洗导则》。为了统一规范工业锅炉和电站锅炉的化学清洗工作,原国家质量技术监督局以《低压锅炉化学清洗规则》和SD 135—1986《火力发电厂锅炉化学清洗导则》为基础,于1999年制定颁布了《锅炉化学清洗规则》。该规则自颁布实施以来,对规范和指导锅炉化学清洗工作,保证锅炉化学清洗安全可靠起到了很好的作用。本规则是在此基础上,根据《特种设备安全监察条例》和《锅炉水处理监督管理规则》的有关规定,结合我国锅炉化学清洗技术与管理的实际情况和需要进行的修订。修订过程中,力求使本规则结构严谨、条理清晰,表述完整、简明扼要,用语准确、用词规范,使其具有较高的技术性、科学性、先进性。为此,起草组多次征求了有关部门、单位和专家及公民的意见并且反复进行了研讨、推敲和修改。为了体现改革精神,推进技术进步,便于实施并且具有可操作性,对于随着科学技术进步而不断改进的清洗工艺和技术,均未在正文中予以束缚性规定。制定本规则,旨在适应目前我国锅炉化学清洗及管理工作的需要,保证锅炉化学清洗质量,防止因化学清洗不当而危及人身安全和影响锅炉安全运行。

本规则主要起草单位和人员如下:

宁波市特种设备检验检测中心

西安热工研究院有限公司

周 英

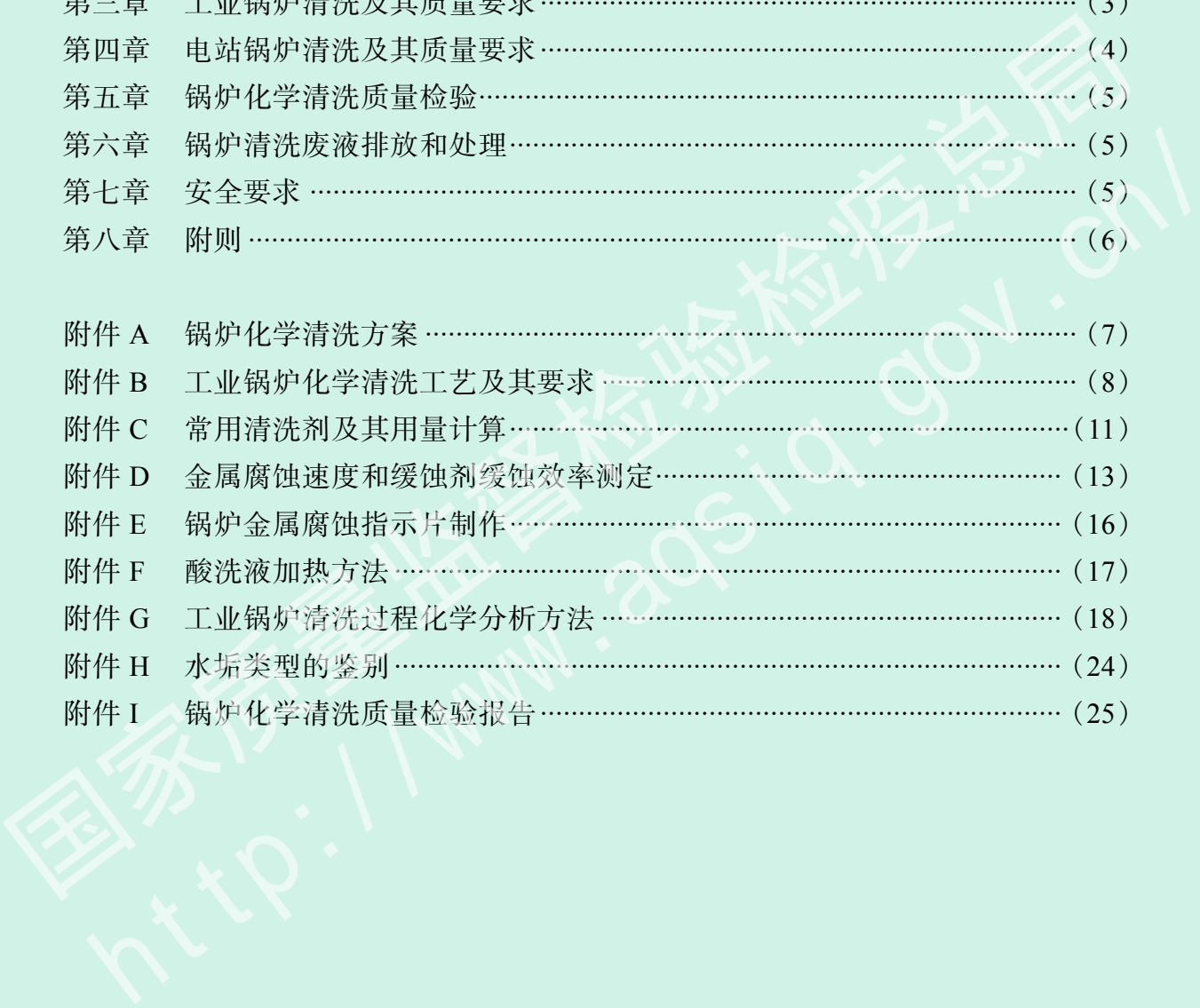
陈 洁

辽阳市锅炉压力容器检验研究所	郝景泰
长春市特种设备检测中心	刘瑞长
中国锅炉水处理协会	王骄凌
广州市锅炉压力容器监察检验所	杨麟
湖北省电力试验研究院	喻亚非
重庆市特种设备质量安全检测中心	李长林
江苏省特种设备安全监督检验研究院无锡分院	邓宏康
烟台市质量技术监督局	徐明娣
新乡市锅炉压力容器检验所	焦建国
江苏省特种设备安全监督检验研究院盐城分院	徐志俊
河南省锅炉压力容器安全检测研究院	张兆杰
中国特种设备检测研究院	赵洪彪
浙江省特种设备检验中心	赵欣刚
苏州热工研究院	何容

国家质量监督检验检疫总局
http://www.aqsic.gov.cn/

目 录

第一章	总则	(1)
第二章	一般要求	(1)
第三章	工业锅炉清洗及其质量要求	(3)
第四章	电站锅炉清洗及其质量要求	(4)
第五章	锅炉化学清洗质量检验	(5)
第六章	锅炉清洗废液排放和处理	(5)
第七章	安全要求	(5)
第八章	附则	(6)
附件 A	锅炉化学清洗方案	(7)
附件 B	工业锅炉化学清洗工艺及其要求	(8)
附件 C	常用清洗剂及其用量计算	(11)
附件 D	金属腐蚀速度和缓蚀剂缓蚀效率测定	(13)
附件 E	锅炉金属腐蚀指示片制作	(16)
附件 F	酸洗液加热方法	(17)
附件 G	工业锅炉清洗过程化学分析方法	(18)
附件 H	水垢类型的鉴别	(24)
附件 I	锅炉化学清洗质量检验报告	(25)



锅炉化学清洗规则

第一章 总 则

第一条 为了规范锅炉化学清洗工作，防止因化学清洗不当而危及锅炉安全运行，保证清洗工作人员安全，根据《特种设备安全监察条例》及其有关安全技术规范，制定本规则。

第二条 本规则适用于《特种设备安全监察条例》所规定范围内的以水为介质的固定式承压锅炉（以下简称锅炉）在非运行状态下的化学清洗。

第三条 从事锅炉化学清洗的单位应当符合《锅炉水处理监督管理规则》的有关要求。

第四条 从事锅炉化学清洗的人员应当通过培训考核，掌握锅炉化学清洗和有关安全知识后方能操作。

第五条 清洗单位应当按照本规则的要求进行锅炉化学清洗，并且对其清洗质量负责。清洗过程中应当进行检查、检测和记录，将相关清洗资料存档。

第六条 各级质量技术监督部门负责监督本规则的执行。

第二章 一般要求

第七条 锅炉清洗前，清洗单位应当按照技术和安全措施的要求做好以下各项准备工作：

（一）清洗前应当详细了解锅炉的结构和材质，并且对锅炉内外部进行仔细检查，确定清洗方式和制订安全措施，如果锅炉有泄漏或者堵塞等缺陷，应当采取有效措施预先处理；

（二）清洗前必须在锅炉受热面取有代表性的水垢样品进行分析，确定水垢类型，并且进行溶垢小型试验，对于额定工作压力大于或者等于 3.8MPa 的锅炉应当进行割管分析，并且进行模拟清洗小型试验，试验方法见 DL/T 794—2001《火力发电厂锅炉化学清洗导则》附录 B，水垢定量分析参照 SD 202—1986《火力发电厂垢和腐蚀产物分析方法》；

（三）清洗前应当根据锅炉的实际情况，由专业技术人员制订清洗方案，并且经过

相关负责人审核、批准，清洗时应当严格执行清洗方案，如果有特殊情况需要改变方案，应当经过原审核、批准的负责人同意，清洗方案的内容见附件 A；

(四) 确认化学监督所需试剂溶液准确有效，仪器仪表校验合格，化学清洗药品的质量和数量复验无误。

第八条 化学清洗系统应当根据锅炉结构、清洗介质、清洗方式、水垢的分布状况、锅炉房条件和环境以及清洗范围等具体情况进行设计和安装。

第九条 锅炉采用循环清洗时，其系统设置应当符合以下要求：

(一) 清洗箱应当有足够的容积和强度；

(二) 清洗泵宜选用耐腐蚀泵，并且满足循环清洗所要求的流速和扬程，同时现场还应当设有备用泵；

(三) 清洗泵入口或者清洗箱出口应当装设滤网，滤网孔径应当小于 5mm，并且有足够的流通截面；

(四) 清洗系统的各管路应当有足够的流通截面积以保证清洗液流量，同时各回路的流速应当力求均匀，并且避免回路之间产生短路；

(五) 锅炉顶部及封闭式清洗箱顶部应当装设排气管并且引至安全地点，排气管应当有足够的流通截面积；

(六) 清洗系统内的阀门应当灵活、严密，不含铜部件，过热器内应当充满合适的保护液，不参与清洗的系统、设备等都应当可靠隔离或者保护。

第十条 清洗液配制和加热的装置应当操作方便、安全可靠。

第十一条 锅炉化学清洗工艺的一般要求，应当符合附件 B 或者 DL/T 794 的要求。清洗单位应当根据不同的垢型和炉型制定合适的清洗工艺。

第十二条 清洗介质应当符合以下要求：

(一) 清洗介质的选择，应当根据垢的成分，锅炉设备的结构、材质，缓蚀剂的缓蚀效果，药剂的毒性和环境保护的要求等因素进行综合考虑，一般应当通过试验选用，常用清洗剂的选择及用量计算见附件 C；

(二) 一般情况下不得利用回收的清洗液清洗锅炉，特殊情况下利用回收的清洗液清洗锅炉，其清洗液中铁离子总含量不得超过 250mg/L，利用某些化工副产物的酸液清洗锅炉，必须预先对该酸进行金属腐蚀速度测定，如果其中含有容易引起金属腐蚀或者其他危害锅炉、影响安全的杂质，不得用于锅炉清洗；

(三) 清洗时应当根据清洗介质、温度、锅炉材质等因素选择合适的缓蚀剂，缓蚀剂的缓蚀效率必须达到 98% 以上，并且不发生氢脆、点蚀及其他局部腐蚀，同时尽量选择气味小、无毒害作用、性能稳定、水溶性及均匀性好的缓蚀剂；

(四) 清洗中如果添加清洗助剂，应当预先测定所加助剂对缓蚀剂缓蚀效率的影响，确保加入助剂后金属的腐蚀速度和缓蚀剂的缓蚀效率符合本规则要求；

(五)清洗单位对库存的缓蚀剂应当定时进行缓蚀效率的复测,防止缓蚀剂失效。

腐蚀速度和缓蚀效率的测定方法按照附件 D 或者 DL/T 523—2007《化学清洗缓蚀剂应用性能评价指标及试验方法》。

第十三条 化学清洗中金属腐蚀的防止与控制应当符合以下要求:

(一)清洗时必须在清洗系统中挂放金属腐蚀指示片,测定金属腐蚀速度和腐蚀总量,具体要求见附件 D,指示片的制作见附件 E;

(二)清洗时必须加入合适的缓蚀剂,其浓度和使用方法根据产品说明和试验结果确定,未加缓蚀剂的酸洗液不得进入锅内;

(三)酸洗液中游离的 Fe^{3+} 浓度过高时,应当加入合适的还原剂,其浓度应当不影响清洗质量,工业锅炉 Fe^{3+} 浓度应当不超过 750mg/L,电站锅炉 Fe^{3+} 浓度不超过 300mg/L;

(四)酸洗液最高浓度应当确保金属腐蚀速度不受明显影响,严禁向锅内直接注入浓酸;

(五)酸洗时,锅炉炉管内酸洗液流速宜维持在 0.2m/s ~ 0.5m/s,不得大于 1m/s;

(六)酸洗时,酸洗液加温的最高温度控制必须保证缓蚀剂的缓蚀效率和金属腐蚀速度符合本规则的规定,除了用 EDTA(乙二胺四乙酸)清洗外,严禁采用炉膛点火方式加热酸洗液,酸洗液加热时应当尽量使整个清洗系统的温度均匀,避免局部温度过高,酸洗液加热方法见附件 F;

(七)酸洗时间从系统进酸洗液起到开始排酸,一般不宜超过 10h。对于结垢特别严重和难溶水垢,在缓蚀剂性能稳定,并且严格监督的情况下,可以适当延长酸洗时间,但酸洗后金属腐蚀指示片的腐蚀量不得超过允许值;

(八)当垢样中含铜化合物时,必须采取合适的防止镀铜措施;

(九)酸洗后,从顶排酸至漂洗钝化的时间宜控制在 4h 内,超过时间,应当采取相应的防锈蚀措施;

(十)锅炉化学清洗后应当尽快投入运行,如果 20 天内不能投入运行,应当采取相应的保护措施。

第三章 工业锅炉清洗及其质量要求

第十四条 工业锅炉化学清洗包括碱洗和酸洗,当水垢或者锈蚀达到以下程度时应当及时进行除垢或者除锈清洗:

(一)锅炉受热面被水垢覆盖 80%以上,并且水垢平均厚度达到 1mm 以上;

(二)锅炉受热面有严重的锈蚀。

第十五条 清洗过程包括碱洗、酸洗、水顶酸及中和水冲洗、钝化，其化学分析和测定指标应当符合以下要求：

(一)碱洗(煮)，每 4h(接近终点时每 1h)测定碱洗液的 pH 值、总碱度和 PO_4^{3-} 浓度；

(二)酸洗，开始时每 30min(酸洗中间阶段每 1h)测定酸洗液中的酸浓度、 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 浓度，接近终点时，应当缩短测定间隔时间；

(三)水顶酸及中和水冲洗，后阶段每 15min 测定出口水的 pH 值；

(四)钝化，每 3h ~ 4h 测定钝化液的 pH 值和钝化液的浓度。

具体的测定方法见附件 G。

第十六条 清洗质量应当符合以下要求：

(一)清洗以碳酸盐或者氧化铁为主的水垢，除垢面积达到原水垢覆盖面积的 80% 以上，清洗硅酸盐或者硫酸盐为主的水垢，除垢面积达到原水垢覆盖面积的 60% 以上(水垢类型的鉴别见附件 H)，必要时可以通过割管检查水冷壁管的除垢效果；

(二)用腐蚀指示片测定的金属腐蚀速度小于 $6\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，腐蚀总量不大于 $80\text{g}/\text{m}^2$ ；

(三)金属表面形成较好的钝化保护膜，不出现明显的二次浮锈，并且无点蚀。

第十七条 清洗单位应当采取有效措施，清除锅内酸洗后已松动或者脱落的残留垢渣，疏通受热面管子。对于清洗前已经堵塞的管子，清洗后仍然无法疏通畅流的，应当由具有相应资格的单位修理更换，以确保所有的受热面管子畅通无阻。

第四章 电站锅炉清洗及其质量要求

第十八条 电站锅炉的清洗范围和条件、清洗系统的设计和安装、清洗工艺控制、清洗中的化学监督及测定方法等，应当符合 DL/T 794 的要求。

第十九条 清洗后的内部检查和系统恢复按照以下要求进行：

(一)清洗后，应当打开汽包和下联箱的人孔或者手孔、直流炉的启动分离器和集箱手孔等，进行内部检查并且彻底清除沉渣；

(二)检查监视管，判断清洗效果，必要时，对水冷壁、省煤器等进行割管检查，确定清洗效果；

(三)检查完毕后，恢复汽包内和系统中拆下的装置和部件，并且撤掉堵头、隔板、节流装置等，使系统恢复清洗前状态。

第二十条 清洗质量应当符合以下要求：

(一)被清洗的金属表面清洁，基本上无残留氧化物和焊渣，无镀铜现象，无明显金属粗晶析出的过洗现象；

- (二)除垢率大于 90%;
- (三)用腐蚀指示片测定的金属腐蚀速度小于 $8\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 腐蚀总量不大于 $80\text{g}/\text{m}^2$;
- (四)金属表面形成良好的钝化保护膜, 不出现二次浮锈, 无点蚀;
- (五)固定设备上安装的阀门等未受到损伤。

第五章 锅炉化学清洗质量检验

第二十一条 锅炉使用单位应当委托检验机构按照本规则的要求对清洗质量进行检验, 使用单位有检验能力的也可以自行检验。

检验后应当出具锅炉化学清洗检验报告, 并且存入该锅炉技术档案中, 报告内容格式参照附件 I。

第二十二条 锅炉化学清洗质量检验主要包括以下内容:

- (一)核查清洗方案是否符合本规则的要求, 了解清洗过程是否按方案进行;
- (二)核查垢样分析记录, 缓蚀剂缓蚀性能试验记录, 清洗过程中的清洗操作、工艺参数、分析测定等各项记录是否符合要求, 重点核查清洗前锅炉结垢情况、水垢主要成分及其类型、金属腐蚀指示片腐蚀情况等内容, 必要时对清洗液留样抽检;
- (三)检查清洗实际效果, 包括清洗除垢效果、腐蚀速度和腐蚀量、钝化效果和金属表面状况(是否有点蚀、镀铜、过洗等现象), 残垢及其脱落垢渣清除情况等。

第六章 锅炉清洗废液排放和处理

第二十三条 清洗废液必须经过处理, 符合 GB 8978—1996《污水综合排放标准》的规定后才能排放。严禁排放未经处理的酸、碱清洗液, 也不得采用渗坑、渗井和漫流等方式排放废液。

第二十四条 清洗废液的测定和处理方法参照 DL/T 794 附录 C6、附录 D 或者其他相关标准。

第七章 安全要求

第二十五条 清洗单位应当根据本单位具体情况制定安全管理制度, 有关清洗人员应当掌握安全操作规程, 了解所使用的各种药剂的特性及其急救方法, 并且进行自身的防护。

第二十六条 清洗现场应当配备可靠的消防设备、安全灯、照明、劳动保护用品、

受伤处理的常规和急救药品，并且设置“严禁明火”等安全警示标志。

第二十七条 搬运浓酸、浓碱时，应当使用专用工具，禁止肩扛、手抱等可能危及人身安全的方式。接触苛性碱或者酸的人员，应当穿戴专用的防护用品。在配制清洗液时应当戴好防护眼镜或者防护面具，使用氢氟酸时应当佩戴防毒面具。

第二十八条 酸洗时不准明火作业，加药场地、锅炉顶部严禁吸烟以及明火照明。检查时，应当使用安全照明。清洗过程中，应当有专人值班，定时巡回检查，随时检修清洗设备的缺陷。

第二十九条 化学清洗时，应当采取以下安全措施：

- (一)对影响安全的扶梯、孔洞、沟盖板、脚手架等，做好妥善处理；
- (二)清洗系统所有的连接部位安全可靠，阀门、法兰和清洗泵密封严密，清洗现场备有耐腐蚀的用于包扎管道、阀门的材料，以便漏酸时紧急处理(注)；
- (三)酸泵、取样点、监视管等附近设有用胶皮软管连接的清水水源及中和药剂，以备泄漏时冲洗、中和。

注：使用危及人身健康的清洗液，为了保证清洗系统严密，防止清洗过程清洗液泄漏伤人，清洗前，可对清洗系统进行高于清洗压力的 0.1MPa ~ 0.2MPa 的水压试验。

第八章 附 则

第三十条 本规则由国家质量监督检验检疫总局负责解释。

第三十一条 本规则自 2008 年 12 月 1 日起施行，原 1999 年 9 月 21 日由原国家质量技术监督局颁布的《锅炉化学清洗规则》(质技监局锅发[1999]217 号)同时废止。

附件 A

锅炉化学清洗方案

锅炉化学清洗方案至少包括以下内容：

- (1) 锅炉使用单位名称、锅炉型号、锅炉使用登记证号、投运年限以及上次清洗时间、清洗依据等；
- (2) 锅炉设备状况，包括是否存在缺陷以及采取的措施；
- (3) 近期的锅炉定期检验结论及其意见；
- (4) 锅炉结垢或者锈蚀的状况，包括水垢的分布、厚度或者沉积物量，水垢成分分析结果；
- (5) 清洗范围和清洗工艺；
- (6) 根据小型试验确定的清洗介质和工艺条件；
- (7) 清洗系统图(包括循环系统、半开半闭式系统和开式系统)；
- (8) 清洗所需要采取的节流、隔离、保护等措施；
- (9) 清洗过程中应当监测和记录的项目及控制要求等；
- (10) 清洗废液的排放处理；
- (11) 安全要求及事故预防措施；
- (12) 确保清洗中水、汽、电、通讯等充足、安全、可靠使用的措施；
- (13) 清洗后锅炉各部位的残垢清理、清洗质量验收等。

附件 B

工业锅炉化学清洗工艺及其要求

B1 新锅炉煮炉清洗

新安装锅炉应当按照 GB 50273—1998《工业锅炉安装工程施工及验收规范》的规定进行煮炉清洗，并且符合以下要求：

(1) 煮炉药剂及加药量按照锅炉技术文件的规定，当无规定时，可以根据锅内锈污程度参照表 B-1 选用；

表 B-1 煮炉加药量 (kg/m³ 水)

药品名称	油污、锈蚀较少	油污、锈蚀较多
氢氧化钠 (NaOH) 或者碳酸钠 (Na ₂ CO ₃)	2 ~ 3 3 ~ 4.5	3 ~ 4 4.5 ~ 6
磷酸三钠 (Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O) (相当于 PO ₄ ³⁻ 浓度, mg/L)	2 ~ 3 (500 ~ 750)	3 ~ 5 (750 ~ 1250)

注：(1) 药品按 100% 的纯度计算。

(2) 磷酸三钠与氢氧化钠或者碳酸钠同时使用。

(3) 胀接锅炉不宜用氢氧化钠煮炉。

(2) 药品溶解并且稀释至一定浓度后方可加入锅内，配制和加入药液时必须注意安全；

(3) 煮炉时，锅炉水位宜保持在水位表的最高可见水位，但不得使药液进入过热器；

(4) 煮炉时间根据锅内锈污程度确定，一般为 2 ~ 3 天，升温升压的速度及保持压力的时间按照锅炉使用说明和操作规程进行，煮炉过程中，需要由底部排污 2 ~ 3 次；

(5) 煮炉期间，定期对锅水取样分析（分析方法见附件 G），当锅水碱度小于 45mmol/L 或者 PO₄³⁻浓度小于 500mg/L 时，应当适当补加药剂；

(6) 煮炉结束后，交替进行排污、上水，直到水温降至 70℃ 以下，然后排尽锅水，打开检查孔，冲洗锅内各部位，清除锅筒、集箱内的沉积污物，确认排污阀无堵塞；

(7) 煮炉后对清洗质量进行检查，锅内被清洗的金属表面应当清洁，无油污和锈斑，并且形成完整的钝化膜。

B2 在用锅炉化学清洗

在用锅炉化学清洗除垢工艺包括碱煮转型、水冲洗、酸洗、酸洗后水冲洗、漂洗

及钝化等。其中碱煮转型根据垢型确定是否进行，采用带压钝化的可以免做漂洗。

B2.1 锅内堆积物的清除

化学清洗前，应当预先清除锅内堆积的沉渣和污物。如果有堵塞的管子应当尽量预先进行疏通。

B2.2 碱煮转型

对于以硫酸盐为主或者以硫酸盐和硅酸盐混合的水垢，应当先进行碱煮转型，方法参照如下：

(1) 根据水垢厚度和成分，将配成溶液的碳酸钠和磷酸三钠混合溶液加入锅内，使锅水中药剂浓度均匀，其 Na_2CO_3 达到 0.3% ~ 0.6%， $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 达到 0.5% ~ 1.0% (相当于 PO_4^{3-} 浓度 1250mg/L ~ 2500mg/L)；

(2) 锅炉缓慢升压，一般在 5h 内使锅炉压力升至工作压力的 50%，并且维持 36h ~ 48h，结垢严重的应当适当延长碱煮转型时间；

(3) 煮炉期间，应当定期取样分析，当锅水总碱度小于 45mmol/L， PO_4^{3-} 浓度小于 1000mg/L 时，适当补加碳酸钠和磷酸三钠；

(4) 碱煮转型结束后，放尽碱液，用水冲洗至出口水的 pH 值小于 9。

B2.3 酸洗

B2.3.1 酸洗液配制

酸洗液必须配成一定浓度后才能进入锅内。当采用盐酸或者硝酸清洗时，其浓度宜控制在 4% ~ 8%；添加氟化物助剂（氢氟酸或者氟化钠等）的浓度为 0.5% ~ 1.0%。配制方法如下：

(1) 将清洗系统的配药用水加热至预定温度后停止加热，待系统内水温稳定均匀后，加入缓蚀剂进行系统循环，均匀后用酸泵或者酸喷射器向清洗箱内逐渐加入浓酸，边循环、边加酸至预定浓度，氟化物、渗透剂、还原剂等清洗助剂根据需要加入，所有的药剂都应当在清洗箱内溶解后再进入清洗循环系统；

(2) 对于容量较小的锅炉，可以直接在清洗箱内将清洗液配成预定浓度，然后用清洗泵送入排空的锅炉内，进行循环清洗。

B2.3.2 酸洗终点判断

一般工业锅炉酸洗时间为 8h ~ 10h，当接近预定酸洗时间时，应当根据以下分析结果判断酸洗终点，停止酸洗：

(1) 酸洗液浓度趋于稳定，相隔 30min，两次分析结果酸洗液浓度的绝对差值小于 0.2%；

(2) 铁离子浓度基本趋于平衡。

B2.4 水冲洗

酸洗结束后，不宜直接排空酸洗液，应当用清水迅速将锅内的酸洗液顶出。如果

冲洗水量不足，也可以采用边排酸边上水(排酸速度不大于上水速度)，水冲洗至排出液的 pH 值大于 4 为止。如果垢渣量较多，钝化前需要清渣，可以在水冲洗后期用适量稀碱液中和冲洗至排出液的 pH 值大于 7.5，然后打开所有检查孔进行清渣。

B2.5 漂洗和钝化

酸洗后宜进行漂洗、钝化。漂洗方法参照 DL/T 794。如果不漂洗而直接钝化，宜采用下述方法带压钝化：

- (1) 水冲洗或者清渣后，在系统循环下，加入 $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ，使其浓度达到 1% ~ 2%，同时加入氢氧化钠调整 pH 值至 11 ~ 12，当锅内钝化液浓度均匀后停止循环；
- (2) 锅炉点火，缓慢升压至工作压力以下，保持压力进行钝化 16h 以上，如果漂洗后钝化，将钝化液加热并且维持在 $80^\circ\text{C} \sim 95^\circ\text{C}$ ，钝化 10h 以上。

B2.6 残垢清理

锅炉钝化后必须打开所有的人孔和手孔，用人工彻底清理锅内已松动的残垢和沉渣，并且用压力射流水枪等冲洗工具逐根冲洗或者疏通炉管，使受热面的管子畅流无阻，防止残留垢渣脱落后造成堵管。

附件 C

常用清洗剂及其用量计算

C1 常用清洗剂及其选用

C1.1 碱洗剂

碱洗剂常用于新建锅炉煮炉钝化、锅炉酸洗工艺中的碱洗或者使垢转型的碱煮以及小型锅炉的碱煮除垢等。常用碱洗剂选用如下：

(1) 新建锅炉进行碱煮或者酸洗前的碱洗时，碱洗液一般由氢氧化钠和磷酸三钠，或者磷酸三钠和磷酸氢二钠以及湿润剂等助剂组成，高压锅炉或者含奥氏体钢材的锅炉，不宜采用氢氧化钠作为主碱洗剂；

(2) 运行锅炉清除硫酸盐垢和硅酸盐垢时，酸洗前需要进行碱煮转型，碱煮液一般由磷酸三钠和碳酸钠，或者磷酸三钠和氢氧化钠以及表面活性剂等助剂组成。

C1.2 酸洗剂

对不同的水垢和金属材料，应当选用合适的酸洗剂和助溶剂，一般选择如下：

(1) 碳酸盐水垢，采用盐酸清洗；

(2) 硅酸盐水垢，可以在盐酸中添加氟化物(例如氢氟酸、氟化钠、氟化氢铵等)清洗；

(3) 硫酸盐水垢或者硫酸盐与硅酸盐混合水垢，应当预先碱煮转型，然后用盐酸或者盐酸添加氟化物清洗；

(4) 氧化铁垢，可以在盐酸中添加氟化物或者采用硝酸清洗；

(5) 垢样中含铜时，清洗液中应当添加防止镀铜的助剂，一般可以选用盐酸加硫脲和氟化物等助剂，或者酸洗后用氨水加过硫酸铵清洗除铜；

(6) 含奥氏体钢材料的锅炉，禁止使用盐酸清洗，一般可以选用 EDTA、氨基磺酸、柠檬酸、甲酸、乙酸、羟基乙酸等作清洗剂，同时选用的缓蚀剂和助剂等不宜含卤族元素。

C2 主要清洗药品的用量计算

C2.1 碱洗、碱煮及钝化用药量计算

按照公式 C-1 进行。

$$m = k \cdot C \cdot V \cdot 1000 \quad (\text{C-1})$$

式中：

m —— 以 100% 纯度计的药剂用量，kg；

k —— 药剂富裕系数，一般取 1.2；

C —— 需要配制的碱洗液或者钝化液质量分数浓度；

V —— 需要配制的溶液体积， m^3 。

C2.2 盐酸(硝酸)除垢所需要的浓酸量计算

按照公式 C-2 进行。

$$m_{\text{酸}} = \frac{n \cdot G \cdot S \cdot 10^{-6} + \alpha \cdot V}{C_{\text{浓}}} \quad (\text{C-2})$$

式中：

$m_{\text{酸}}$ —— 需要的浓酸量，t；

n —— 清洗系数。清洗碳酸钙水垢时，采用盐酸为 0.73、硝酸为 1.26；清洗氧化铁垢时，采用盐酸为 1.26、硝酸为 2.17；

G —— 被清洗的垢量， g/m^2 ；

S —— 被清洗的面积， m^2 ；

α —— 清洗后酸洗液中残余酸浓度，一般为 1% ~ 2%；

V —— 清洗系统的酸洗液总量(近似为系统总体积)， m^3 ；

$C_{\text{浓}}$ —— 工业浓酸的质量分数浓度。

C2.3 EDTA 清洗剂用量计算

按照公式 C-3 计算。

$$m_{\text{EDTA}} = (3.8 \cdot G \cdot S \cdot 10^{-6} + \alpha \cdot V) \times 1.1 \quad (\text{C-3})$$

式中：

m_{EDTA} —— 以 100% 纯度计的 EDTA 用量，t；

3.8 —— 清洗系数(即清洗 1g Fe_3O_4 所需 EDTA 克数)；

G —— 被清洗的垢量， g/m^2 ；

S —— 被清洗的面积， m^2 ；

α —— 清洗后残余 EDTA 浓度，一般以 1.5% 为宜；

V —— 清洗系统的酸洗液总量(近似为总体积)， m^3 ；

1.1 —— 药剂富裕系数。

柠檬酸用量计算也可参照 C-3 公式进行，其中清洗系数为 3.5。

C2.4 缓蚀剂用量计算

按照 C-4 公式计算。

$$m_{\text{缓}} = V \cdot C \quad (\text{C-4})$$

式中：

$m_{\text{缓}}$ —— 缓蚀剂用量，kg；

V —— 酸洗液体积， m^3 ；

C —— 酸洗液中缓蚀剂浓度， kg/m^3 。

附件 D

金属腐蚀速度和缓蚀剂缓蚀效率测定

D1 仪器、药品与金属腐蚀指示片

D1.1 仪器、药品

需要仪器、药品如下：

- (1) 烧杯，500mL；
- (2) 水砂纸；
- (3) 恒温水浴锅；
- (4) 量筒，100mL ~ 200mL；
- (5) 游标卡尺；
- (6) 分析天平，感量为 0.1mg；
- (7) 温度计，0℃ ~ 100℃；
- (8) 丙酮；
- (9) 无水乙醇；
- (10) 7%酸洗溶液，经过相应的标准溶液标定，其浓度误差不超过±0.1%。

D1.2 金属腐蚀指示片

金属腐蚀指示片(以下简称指示片)应当符合以下要求：

(1) 指示片的材质与锅炉被清洗的受压部件材质相同，当被清洗的受压部件由不同材质制作，而且对腐蚀敏感性有明显差异时，选用腐蚀敏感性较强的材质或者分别选用各受压部件的材质制成的指示片；

(2) 指示片使用前进行处理，将指示片用水砂纸在平面玻璃板上前后方向研磨至光洁，并且仔细磨去棱边的小毛刺，用清水冲洗干净(注意擦洗指示片挂孔内污物)后擦干，立即用丙酮或者无水乙醇浸泡 1min ~ 2min，取出后擦干放入干燥器内，2h 后称量(精确至 0.1mg)，然后用游标卡尺准确量取指示片的表面尺寸，计算总表面积。

D2 缓蚀剂的缓蚀效率测定

(1) 量取准确配制的 7%酸洗溶液 400mL，注入 500mL 烧杯中，加入一定量的缓蚀剂并且搅拌均匀，水浴锅保持恒温 $55^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，将三个已经称重的指示片分别用尼龙线串过指示片挂孔，等距离地悬挂于烧杯中，指示片应当全部浸入酸洗液中，并且与液面保持 20mm ~ 25mm。盖上表面皿，恒温下浸泡 3h 取出(准确计时至小数点后 1 位)，立即用清水冲洗后放入用氨水调节 pH 值为 9 ~ 10 的除盐水(或者蒸馏水)中浸

泡 1min ~ 2min, 然后取出擦干, 再放入无水乙醇中浸泡 1min ~ 2min 后取出擦干, 放入干燥器中, 2h 后称量;

(2) 另取同样浓度的酸洗溶液, 除了不加缓蚀剂外, 其他条件相同的情况下, 以另一组相同指示片按上述步骤做空白试验;

(3) 按照公式 D-1 计算腐蚀速度(v), 按照公式 D-2 计算缓蚀效率(η)。

$$v = \frac{\Delta w}{S \cdot t} \quad (\text{D-1})$$

$$\eta = \frac{v_0 - v_1}{v_0} \times 100\% \quad (\text{D-2})$$

式中:

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

η —— 缓蚀效率, %;

Δw —— 指示片在酸洗溶液浸泡前与浸泡后的质量(重量)之差, g ;

S —— 指示片的总表面积, m^2 ;

t —— 指示片在酸洗溶液中浸泡的时间, h ;

v_0 —— 指示片在无缓蚀剂的酸洗溶液中的腐蚀速度, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;

v_1 —— 指示片在有缓蚀剂的酸洗溶液中的腐蚀速度, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

注: 应当分别计算三片指示片的腐蚀速度, 取其中两个数值相近的平均值计算其缓蚀效率。

D3 清洗助剂与酸液中杂质对金属腐蚀影响的测定

酸洗时若需要加入某些助剂, 或者利用某些化工厂副产物的酸液清洗锅炉, 都应当预先对其进行金属腐蚀速度测定。测定方法与本附件 D2 要求的缓蚀效率测定方法相同, 但酸洗溶液中应当加入相应的助剂, 或者用副产物酸液配制 7% 酸洗液, 并且将指示片在相应的酸洗溶液中恒温浸泡 3h 以上。酸洗后除了计算腐蚀速度和缓蚀效率, 并且与常规测定结果作对比外, 还应当仔细观察指示片表面是否有点蚀或者其他腐蚀迹象, 判断其中是否有影响缓蚀剂缓蚀效果或者容易引起金属腐蚀的物质存在。

D4 锅炉酸洗时金属腐蚀速度和腐蚀量的测定

锅炉酸洗时金属的腐蚀速度和腐蚀量通过测量金属腐蚀指示片来确认。

D4.1 指示片的悬挂

指示片应当用耐酸碱腐蚀的非金属材料按照以下要求可靠地悬挂于清洗系统内, 并且分别记录各指示片接触酸洗液的时间:

(1) 锅筒(汽包)内的指示片一般应当在进酸洗液之前悬挂;

(2) 清洗箱内指示片在酸洗液配制完毕时悬挂;

(3) 设有监视管的，指示片与监视管同时投入酸洗循环系统。

D4.2 酸洗后指示片的处理

酸洗结束时取出指示片，立即用清水淋洗后放入用氨水调节 pH 值为 9~10 的除盐水(或者蒸馏水)中浸泡 1min~2min，取出后快速擦干，再放入无水乙醇中，浸泡 1min~2min 后取出擦干，放入盛有干燥剂的密封瓶中，干燥 2h 后称量。如果现场暂时无法称量，可以将指示片保存于干燥瓶内，第二天称量。

D4.3 金属腐蚀速度和腐蚀量的计算

(1) 腐蚀速度按公式 D-1 计算，其中 t 分别按照各指示片与酸洗液实际接触的时间计算，直流锅炉如果采用开式清洗的， t 为清洗系统开始加酸起到停止加酸止的时间；

(2) 腐蚀量(g/m^2)等于 $\Delta w / S$ (式中符号意义同公式 D-1)。

附件 E

锅炉金属腐蚀指示片制作

E1 指示片规格

(1) 指示片尺寸,一般为 50mm×25mm×2mm(用水冷壁管制作的可以按实际管材尺寸制作),挂孔直径 4mm;

(2) 指示片外观表面不能有划痕、凹坑、锈斑,棱边和挂孔不能有毛刺,指示片六面加工的表面粗糙度均不得低于 $\sqrt{0.8}$ 。

E2 指示片的制作

制作指示片的材料,不能有夹渣、气孔、裂纹等缺陷。取材时将钢材的压延面作为平面,由整块钢板或者备用水冷壁管气割下坯料,然后用刨床刨去四周的热影响区并且刨平,再经铣、钻、磨等工序将指示片加工到规定的尺寸和表面粗糙度,并且在试片一端用 5 号以下钢字打上钢印编号,再用细砂纸研磨,除去棱边、挂孔等的毛刺。指示片在制作加工过程中,严禁敲打撞击。

E3 制作后处理

用丙酮或者无水乙醇洗去指示片表面油污,再置于洁净的无水乙醇中浸泡几分钟,取出后擦干,置于干燥器内待用。若指示片暂时不用,可将指示片干燥后,浸泡在机油中或者用油纸包好置于真空器皿内保存,使用前用丙酮或者无水乙醇浸泡去油。

附件 F

酸洗液加热方法

F1 工业锅炉酸洗液加热方法

F1.1 炉内加热法

向锅炉内注水，水位到达锅筒低水位处，在投酸前采用炉膛点火的方法将锅内的水加热到预定的温度，然后彻底熄灭炉火，封闭炉门及尾部烟道等出口。再将部分热水退到清洗箱，并且根据加酸量适当排掉一部分，以便配酸后酸洗液的液位维持在锅筒中间水位。确定清洗系统内水温稳定均匀后，便可以配制酸洗液。当清洗箱容积小于锅炉水容量时，可以边循环边向清洗箱加酸。

F1.2 炉外加热法

将蒸汽加热管或者电加热器管置于清洗箱内，边循环边将清洗系统内的水加热到预定的温度，然后停止加热，配制清洗液。在酸洗过程中，如果需要加热保温，必须注意避免酸洗液局部过热，禁止用蒸汽直接向锅内酸洗液加热。

F2 电站锅炉酸洗液加热方法

电站锅炉酸洗液一般采用炉外加热法。有关蒸汽量和加热器的计算可以参照 DL/T 794 附录 A。

附件 G

工业锅炉清洗过程化学分析方法

G1 常用清洗药剂的产品质量及测定方法有关标准

G1.1 碱洗(煮)、钝化药剂

- (1) GB 209—2006 《工业用氢氧化钠》;
- (2) GB 210.1—2004 《工业碳酸钠及其试验方法 第1部分:工业碳酸钠》;
- (3) GB/T 1606—2008 《工业碳酸氢钠》;
- (4) HG/T 2517—1993 《工业磷酸三钠》;
- (5) HG/T 2965—2000 《工业磷酸氢二钠》;
- (6) GB/T 9983—2004 《工业三聚磷酸钠》;
- (7) HG/T 2519—2007 《工业六聚偏磷酸钠》。

G1.2 酸洗药剂

- (1) GB 320—2006 《工业用合成盐酸》;
- (2) GB/T 337.1—2002 《工业硝酸 浓硝酸》;
- (3) GB/T 534—2002 《工业硫酸》;
- (4) GB/T 2091—2008 《工业磷酸》;
- (5) HG/T 2527—1993 《工业氨基磺酸》;
- (6) GB/T 8269—2006 《柠檬酸》;
- (7) GB 7744—1998 《工业氢氟酸》。

G2 清洗中的分析测定

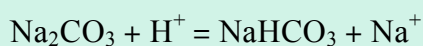
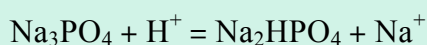
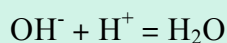
G2.1 碱洗(煮)液和磷酸盐钝化液的测定

G2.1.1 碱洗液和钝化液浓度及碱度的测定

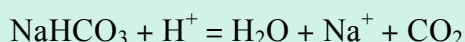
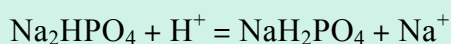
G2.1.1.1 基本原理

由氢氧化钠与磷酸三钠、碳酸钠与磷酸三钠或者磷酸三钠和磷酸氢二钠等配制成的碱洗(煮)液和钝化液,当用酸标准溶液滴定时的步骤及其反应如下:

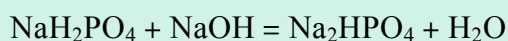
- (1) 加酚酞指示剂;



- (2) 再加甲基橙指示剂;



(3) 然后用碱标准溶液反滴定。



根据不同的滴定终点所消耗的标准溶液量可以分别计算其含量。

G2.1.1.2 试剂

(1) $C=0.100\text{mol/L}$ ($1/2\text{H}_2\text{SO}_4$) 标准溶液；

(2) $C=0.100\text{mol/L}$ (NaOH) 标准溶液；

(3) 1%酚酞指示剂(以乙醇为溶剂)；

(4) 0.1%甲基橙指示剂。

G2.1.1.3 测定方法

用移液管准确吸取已经过滤的碱洗液 20mL 于锥形瓶中，加蒸馏水稀释至 100mL，加入 1~2 滴酚酞指示剂，用 0.100mol/L ($1/2\text{H}_2\text{SO}_4$) 标准溶液滴定至红色恰好消失，记下硫酸消耗量 V_1 ，再加入 2~3 滴甲基橙指示剂，继续用硫酸标准液滴定至橙红色，记下消耗量 V_2 (不包括 V_1)。如果碱洗液或者钝化液由碳酸钠和磷酸三钠组成，则再将上述溶液在电炉上加热煮沸约 2min，去除 CO_2 后迅速冷却，再用 0.100mol/L (NaOH) 标准溶液反滴定至黄色，记下 NaOH 消耗量 V_3 。

G2.1.1.4 计算

(1) 总碱度，按照公式 G-1 计算；

$$(\text{JD})_{\text{总}} = \frac{0.100 (V_1 + V_2)}{V_{\text{碱}}} \times 1000 \quad (\text{G-1})$$

(2) 当碱洗液或者钝化液为氢氧化钠和磷酸三钠时，按照公式 G-2、G-3 计算；

$$\text{NaOH} = \frac{0.100 (V_1 - V_2) \times 40}{V_{\text{碱}} \times 1000} \times 100 \quad (\%) \quad (\text{G-2})$$

$$\text{Na}_3\text{PO}_4 = \frac{0.100 V_2 \times 164}{V_{\text{碱}} \times 1000} \times 100 \quad (\%) \quad (\text{G-3})$$

(3) 当碱洗液或者钝化液为磷酸三钠和碳酸钠时，按照公式 G-4、G-5 计算；

$$\text{Na}_3\text{PO}_4 = \frac{0.100 V_3 \times 164}{V_{\text{碱}} \times 1000} \times 100 \quad (\%) \quad (\text{G-4})$$

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 = \frac{0.100 (V_2 - V_3) \times 106}{V_{\text{碱}} \times 1000} \times 100 \quad (\%) \quad (\text{G-5})$$

(4) 当碱洗液或者钝化液为磷酸三钠和磷酸氢二钠时，按照公式 G-6、G-7 计算。

$$\text{Na}_3\text{PO}_4 = \frac{0.100 V_1 \times 164}{V_{\text{碱}} \times 1000} \times 100 \quad (\%) \quad (\text{G-6})$$

$$\text{Na}_2\text{HPO}_4 = \frac{0.100 (V_2 - V_1) \times 142}{V_{\text{碱}} \times 1000} \times 100 (\%) \quad (\text{G-7})$$

式中：

0.100—— $C(1/2\text{H}_2\text{SO}_4)$ 或者 $C(\text{NaOH})$ 标准溶液浓度，mol/L；

V_1 —— 加入酚酞指示剂时所消耗的酸标准溶液的量，mL；

V_2 —— 再加入甲基橙指示剂后所消耗的酸标准溶液的量，mL；

V_3 —— 反滴定时所消耗的 NaOH 标准溶液的量，mL；

40 —— NaOH 的摩尔质量，g/mol；

164 —— Na_3PO_4 的摩尔质量，g/mol；

106 —— Na_2CO_3 的摩尔质量，g/mol；

142 —— Na_2HPO_4 的摩尔质量，g/mol；

$V_{\text{碱}}$ —— 所取碱洗液或者钝化液的量，mL。

G2.1.2 碱洗液或者钝化液中磷酸根(PO_4^{3-})浓度的测定(目视比色法)

G2.1.2.1 基本原理

在 0.6mol/L (H^+) 的酸度下，磷酸盐与钼酸铵生成磷钼黄，用氯化亚锡还原成磷钼蓝后，与同时配制的标准色进行比色测定。

G2.1.2.2 试剂及配制

(1) 磷酸盐标准溶液 (1mL 含 1mgPO_4^{3-})，称取在 105℃ 干燥过的优级纯磷酸二氢钾 (KH_2PO_4) 1.433g，溶于少量除盐水中，然后准确稀释至 1000mL；

(2) 磷酸盐工作溶液 (1mL 含 0.1mgPO_4^{3-})，取上述标准溶液，用除盐水准确稀释 10 倍；

(3) 钼酸铵-硫酸混合溶液，于 600mL 蒸馏水中徐徐加入 167mL 浓硫酸 (密度 1.84g/cm^3)，摇匀后冷却至室温，称取 20g 钼酸铵 [$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$]，研细后溶于上述硫酸溶液中，用蒸馏水稀释至 1000mL；

(4) 1%氯化亚锡甘油溶液，称取 1.5g 分析纯氯化亚锡于烧杯中，加 20mL 浓盐酸溶解，再加 30mL 纯甘油 (丙三醇)，搅匀后将此溶液转入塑料壶中密封备用。此溶液容易受空气氧化而失效，需及时更换。

G2.1.2.3 测定方法

用移液管吸取磷酸盐工作溶液 (1mL 含 0.1mgPO_4^{3-}) 0.50mL, 1.00mL, 1.50mL, 2.00mL, 2.50mL 分别注入一组 25mL 比色管中；用另一支移液管准确吸取 1~5mL 被测溶液至 100mL 容量瓶，稀释至刻度后摇匀，然后吸取该溶液 5.00mL 注入一支比色管中。在上述所有比色管中加蒸馏水稀释至约 20mL，再往各比色管中加入 2.5mL 钼酸铵-硫酸混合溶液，并且用蒸馏水稀释至刻度，最后在每支比色管中各加入 5 滴氯化亚锡甘油溶液，摇匀，待 2min 后进行比色。

G2.1.2.4 计算

按照公式 G-8 计算。

$$\text{PO}_4^{3-} = \frac{0.1V_{\text{标}}}{V_{\text{碱}} \times \frac{5}{100}} \times 1000 = 2000 \frac{V_{\text{标}}}{V_{\text{碱}}} \quad (\text{mg/L}) \quad (\text{G-8})$$

式中：

$V_{\text{标}}$ —— 与被测溶液颜色相当的标准色中加入的磷酸盐工作溶液体积，mL；

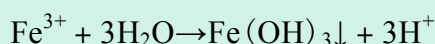
$V_{\text{碱}}$ —— 所取碱洗液或者钝化液的量，mL。

G2.2 盐酸(硝酸)清洗液的测定

G2.2.1 酸洗液中酸浓度的测定

G2.2.1.1 基本原理

酸浓度测定通常以甲基橙为指示剂，用氢氧化钠标准溶液中和滴定至溶液由红色转为橙黄色为终点，根据氢氧化钠标准溶液的消耗量计算酸浓度。但是锅炉酸洗时，由于酸洗液中存在 Fe^{3+} ，在测定时容易发生以下水解反应：



产生的棕红色 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀会影响终点观察，所以测定时需要用柠檬酸铵掩蔽 Fe^{3+} ，或者改用其他合适的指示剂，例如溴甲酚绿-甲基红混合指示剂 (pH 值 = 5.1 时，由酒红色转变为绿色)。

G2.2.1.2 试剂及配制

(1) 5%柠檬酸铵；

(2) 0.1%甲基橙指示剂；

(3) 溴甲酚绿-甲基红混合指示剂，称取 0.2g 溴甲酚绿和 0.04g 甲基红溶于 100mL 乙醇中；

(4) 0.1000mol/L (NaOH) 标准溶液，称取 4g NaOH 用煮沸后冷却的蒸馏水溶解并稀释至 1L，然后用 0.1000mol/L (1/2H₂SO₄) 硫酸标准溶液标定。

G2.2.1.3 测定方法

准确吸取酸洗液 1.00mL (浓度较低时取 2.00mL) 于 250mL 锥形瓶中，加蒸馏水至 100mL，加入 5%柠檬酸铵溶液 5mL，加甲基橙指示剂 2~3 滴，然后用 0.1000mol/L (NaOH) 标准溶液滴定至橙黄色为终点。如果不加柠檬酸铵溶液，则改用溴甲酚绿-甲基红混合指示剂 2~3 滴，然后用 NaOH 标准溶液滴定至绿色为终点，记下 NaOH 消耗量 V 。

G2.2.1.4 计算

酸洗液中酸浓度 $[\text{H}^+]$ 按照公式 G-9 计算。

$$H^+ = \frac{C \cdot V \cdot M}{V_{\text{酸}} \times 1000} \times 100 \quad (\%) \quad (\text{G-9})$$

式中：

C —— NaOH 标准溶液浓度，mol/L；

V —— 滴定时 NaOH 标准溶液的消耗量，mL；

$V_{\text{酸}}$ —— 酸洗液的吸取体积，mL；

M —— 酸洗液中酸的摩尔质量，g/mol,当酸洗液为盐酸时 $M = 36.5$,当酸洗液为硝酸时， $M = 63$ 。

G2.2.2 酸洗液中 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 的测定

G2.2.2.1 基本原理

在 pH 值为 2~3 的条件下，磺基水杨酸指示剂与 Fe^{3+} 生成紫红色络合物，滴定时 EDTA 标准溶液与 Fe^{3+} 生成无色络合物。由于 EDTA 络合能力强于磺基水杨酸，因此滴定至溶液中紫红色消失即为终点到达。再用过硫酸铵将溶液中的 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} ，溶液又呈紫红色，继续用 EDTA 滴定至紫红色消失。根据 EDTA 标准溶液二次消耗量，分别计算酸洗液中 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 的量。

G2.2.2.2 试剂

- (1) 10%磺基水杨酸指示剂；
- (2) 10%过硫酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$ 溶液；
- (3) 0.1000 mol/L EDTA 标准溶液；
- (4) 0.0100mol/L EDTA 标准溶液，此浓度的标准溶液不宜久置，应随用随配，取 0.1000mol/L EDTA 标准溶液准确稀释 10 倍即可；
- (5) 1+1 氨水；
- (6) 1+4 盐酸。

G2.2.2.3 测定方法

准确吸取 2mL~10mL 经滤纸过滤后的酸洗液于 250mL 锥形瓶中，用蒸馏水稀释至 100mL，用 1+1 氨水和 1+4 盐酸调节 pH 值至 2~3，加入 1mL 10%磺基水杨酸作指示剂，用 0.0100mol/L EDTA 标准溶液滴定至紫红色消失，记录所消耗的 EDTA 体积 V_1 ，再加入 0.5g~1g 过硫酸铵晶体或 5mL10%过硫酸铵溶液，加热至 70℃左右，继续用 0.0100mol/L EDTA 标准溶液滴定至紫红色消失，记录消耗的 EDTA 体积 V_2 (不包括 V_1)。

G2.2.2.4 计算

按照公式 G-11、G-12 计算。

$$\text{Fe}^{3+} = \frac{0.01 \times V_1 \times 56}{V_{\text{酸}}} \times 1000 = 560 \frac{V_1}{V_{\text{酸}}} \quad (\text{mg/L}) \quad (\text{G-11})$$

$$\text{Fe}^{2+} = \frac{0.01 \times V_2 \times 56}{V_{\text{酸}}} \times 1000 = 560 \frac{V_2}{V_{\text{酸}}} \quad (\text{mg/L}) \quad (\text{G-12})$$

式中：

V_1 —— 滴定 Fe^{3+} 时 (第一次) 所消耗的 EDTA 标准溶液体积, mL;

V_2 —— 滴定 Fe^{2+} 时 (第二次) 所消耗的 EDTA 标准溶液体积, mL;

$V_{\text{酸}}$ —— 所取酸洗液 (或者漂洗液) 体积, mL;

56 —— Fe 的摩尔质量。

附件 H

水垢类型的鉴别

水垢类型	颜 色	鉴 别 方 法
碳酸盐 为主的水垢	灰白色 或者白色	在 5%~8%盐酸溶液中，大部分可以溶解，同时会产生大量气泡，反应结束后，溶液中酸不溶物较少
氧化铁 为主的水垢	棕褐色	常温下，在稀盐酸中溶解较缓慢，溶液呈黄绿色；加氢氟酸或者在硝酸中能够较快地溶解，溶液呈黄色
硅酸盐 为主的水垢	灰白色	常温下，在盐酸溶液中基本不溶解，加热后垢的其他成分部分地缓慢溶解，有透明状砂粒沉淀物，加入 1%HF 或者 NaF 可以有效溶解
硫酸盐 为主的水垢	黄白色 或者白色	在盐酸溶液中很少产生气泡，溶解很少，加入 10%氯化钡溶液后，有大量白色沉淀生成

附件 I

锅炉化学清洗质量检验报告

报告编号：

锅炉及其使用单位	使用单位					
	联系人		联系电话			
	锅炉品种(型号)		使用登记证号			
	工作压力	MPa	锅炉水容积		m ³	
	投运时间		上次清洗时间			
清洗单位	清洗单位					
	联系人		联系电话			
	单位资格证号		清洗人员持证情况			
清洗方案及其执行						
清洗过程各项记录						
清洗前锅炉结垢状况	部位	工业锅炉水垢状况		电站锅炉结垢量		
		水垢厚度 (mm)	水垢覆盖率 (%)	向火侧垢量 (g/m ²)	背火侧垢量 (g/m ²)	
水垢主要成分及其类型						
金属指示片腐蚀情况	腐蚀指示片钢印号		试片 1	试片 2	试片 3	试片 4
	指示片酸洗前重量		$W_1 =$ g	$W_2 =$ g	$W_3 =$ g	$W_4 =$ g
	指示片酸洗后重量		$W_1 =$ g	$W_2 =$ g	$W_3 =$ g	$W_4 =$ g
	腐蚀指示片表面积		$S_1 =$ m ²	$S_2 =$ m ²	$S_3 =$ m ²	$S_4 =$ m ²
	酸洗时间 $t =$ h		平均腐蚀速度 $v =$ g/m ² ·h		平均腐蚀总量 $W =$ g/m ²	
清洗效果	清洗除垢效果					
	钝化效果及金属表面状况					
	残垢及脱落垢渣清除情况					
结论：						
备注：						
检验：			日期：			
审核：			日期：			
批准：			日期：			
			检验机构核准证号：			
			(检验机构公章或者检验专用章)			
			年 月 日			

(注：锅炉使用单位自行检验，表右下方的盖章，可盖实施检验的负责部门的章，删除检验机构核准证号，本注不印制。)