



《压水堆核电厂一回路冷却剂加锌指南》 标准应用及推广实践

三门核电：侯涛

2022年8月



CONTENTS

01 标准的发布背景

02 标准的应用实践

03 标准的推广实践



01 标准的发布背景

1. 加锌技术国外应用现状

一回路加锌可以降低电站剂量。1994年美国Farley 2机组开始实施一回路加锌技术，也是国际上第一个加锌的PWR（压水堆）电站。截止2021年，国际上加锌的机组超过**100**台，占比超过**35%**，且**呈连年增加的趋势**，而与此同时，世界范围内加锌电站集体辐照剂量呈现**逐年下降的趋势**。验证了一回路加锌对降低电站辐射剂量的显著效果。

图1 世界范围内PWR核电站加锌技术应用统计

图2 世界范围内核电站集体辐照剂量统计

2. 加锌技术国内应用现状

2016年，三门核电1号机为国内首台加锌机组，也是世界上第一台热试期间采用高浓度贫化醋酸锌的机组；目前，国内仅有三门1、2，海阳1、2等4台机组采用加锌技术。

加锌效果：国内加锌电站首循环集体剂量显著低于不加锌电站，氧化运行的 ^{58}Co 峰值也明显低于其它电站。其中，三门核电2号机组201大修集体剂量为183man.msv，创造了国际上首循环大修集体剂量新低记录

图3 国内部分电站首次大修集体剂量

图4 国内部分电站首次大修氧化运行Co-58峰值

3. 加锌技术在国内的应用前景

- 中核：三门核电1/2号机组（已实施），3/4号机组在建加锌；
秦山核电方家山（已开展研究）
华龙漳州核电预留加锌接口；
- 国核：海阳核电1/2号机组（已实施），3/4号机组在建加锌；
国核示范（加锌在建，CAP1400）；
- 广核：大亚湾（准备开展研究）；
华龙苍南核电拟采用一回路加锌技术；陆丰核电预留接口；
- 华能：开展加锌技术研究；
- 其它核设施：。

2) 标准的必要性

加锌技术发展需求大

- 国内新项目高速发展
- 国内核电老机组运行长，腐蚀产物多，辐射场控制挑战大
- 加锌技术应用是未来国内电站的发展趋势

加锌应用影响因素多

- 电站燃料包壳完整性
- 一回路压力边界完整性，
- 电站运行设计
- 加锌时机、加锌速率、
- 加锌量控制、取样监督、
- 化学控制、异常响应措施等

加锌应用指导文件缺失

- 美国/法国等都发布加锌相关的导则或指南；
- 国内没有关于电站加锌的标准或指导文件，不利于加锌技术的应用推广。



3) 消化吸收的经验

- ★ 《PWR一回路加锌应用导则》 (1025316)
- ★ 《PWR一回路水化学导则》 (3002000505)
- ★ 《压水堆电站燃料包壳腐蚀产物沉积评估》 (1009951)
- ★ 《加锌对压水对核电站化学和放射化学的影响》 (3002015883)
- ★ 《Davis-Base电站加锌应用大纲》 (3002010655)
- ★ 《EPRI标准辐射监测大纲》 (3002003155)
- ★ 《压水堆加锌电站运行经验和对辐射场的影响》 (1003389)
- ★ 《PWR热态功能试验期间化学控制优化》 (3002008296)



4) 实践遇到的问题及解决、经验总结

EPRI专家对加锌技术有深入的理论研究，同时借助成员单位，积累了丰富的加锌运行经验；三门核电作为国内首台加锌电站，缺少运行经验，通过会议、邮件等形式向EPRI专家咨询关于加锌的问题数十条，主要包括：

- 1号机组首次装料后启动镍含量高问题
- 一回路锌取样代表性问题
- 加锌电厂一回路镍分析检测限和分析方法
- 运行期间锌瞬态时的应急响应
- 电厂加锌效果评价

等

5) 标准的发布：良好实践的总结

前言

引言

1. 范围

2. 规范性引用文件

3. 术语和定义

4. 总则

5. 加锌影响评估

6. 数据采集

7. 加锌装置

8. 锌化学品要求和安全防护

9. 加锌执行

10. 加锌注意事项

11. 加锌效果评估

附录A（资料性附录）加锌执行过程经验。

ICS 27.120.20
CCS F 65

中国核能行业协会
CHINA
NUCLEAR ENERGY
ASSOCIATION

团 体 标 准

T/CNEA 002—2021

压水堆核电厂一回路冷却剂加锌指南

Guidelines for zinc addition in primary coolant of PWR

2021-04-26 发布

2021-07-01 实施

中国核能行业协会 发 布

02 标准的应用实践



中国核能行业协会
CHINA
NUCLEAR ENERGY
ASSOCIATION

1) 加锌技术/标准的现场应用效果图

加锌与否的热态功能试验期间成膜效果对比图

国内加锌与否的首循环集体剂量对比



1) 加锌技术/标准的现场应用效果

加锌与否的一回路首循环冷段/热段局部剂量率对比

加锌与否首循环蒸发器顶封头局部剂量率对比





2) 升版应用程序等生产文件

三门核电通过对装料后启动及首循环运行期间的加锌控制，经验总结和标准的编制、应用生产，并形成如下指导和总结文件，并不断对加锌技术进行优化：

- 《反应堆冷却剂系统化学控制》
- 《标准辐射监测程序》
- 《三门核电辐照后燃料检查十年计划》
- 《1号机组装料后启动及运行期间加锌策略》
- 《AP1000热试期间加锌标准化策略评估报告》
- 《1号机组加锌策略优化》等

2) 升版应用程序等生产文件

 <p>三门核电有限公司 Sanmen Nuclear Power Co., Ltd.</p>		化学规程	
规程编码	G-CY-GJP-850	页数	61
使用级别	记忆使用	适用机组	1,2
反应堆冷却剂系统的化学控制			

 <p>三门核电有限公司 Sanmen Nuclear Power Co., Ltd.</p>		管理性工作程序	
规程编码	G-JY04-N5P-093	页数	13
使用级别	记忆使用	适用机组	1,2
标准辐射监测程序			

 <p>三门核电有限公司 Sanmen Nuclear Power Co., Ltd.</p>		燃料物理其他文件	
规程编码	G-FA01-FCR-040	页数	9
使用级别	查阅使用	适用机组	1,2
三门核电辐照后燃料检查十年计划			



3) 应用实践形成独立产权

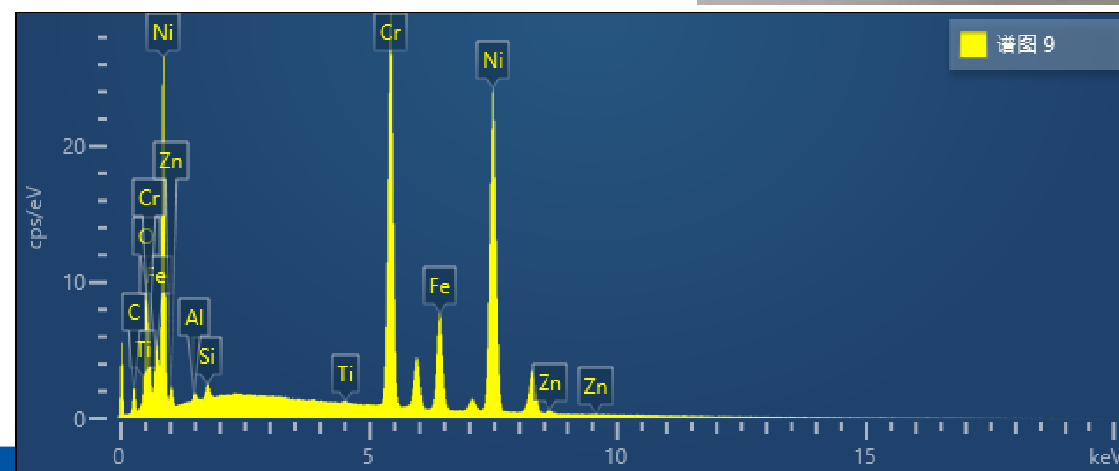
三门核电在加锌技术应用过程中，不断总结和优化，形成一系列加锌相关知识产权，为加锌技术后续的应用和推广奠定基础。

1. 发明1:
2. 发明2: 《一种核电厂一回路冷却剂取样流放射性的屏蔽装置》(ZL202022947466.6)
3. 发明3: 《一种测量硼基体样品中痕量元素含量的方法》(202011347340.3)
4. 发明4: 《一种石墨炉原子吸收法测定硼酸水样中痕量锌和镍的方法》(202110006823.5)
5. 标准1: 《核电厂含硼水中锌镍浓度的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》企标、团标;
6. 标准2: 《压水堆电站一回路加锌指南》团体标准已发布, NB能源行业标准在编;
7. 标准3: 《核级贫化醋酸锌 规格与测试方法》标准编制中;

4) 深入研究、持续提高



中国核能行业协会
CHINA
NUCLEAR ENERGY
ASSOCIATION



03 标准的推广实践



1) 与EPRI的国际合作：分享新机组加锌经验/指南

- ① EPRI先进核技术部2021年课题（EPRI Task ID: 1-114356-01-01）
- ② EPRI热试水化学项目EPRI # 3002008296；

三门核电是世界上首个热试期间高浓度加锌钝化的电站，钝化效果很好，积累了热试加锌数据和运行经验，并在运行过程中对数据进行分析，不断优化加锌策略。

得到了EPRI的极大兴趣，经过充分的交流和沟通，其对三门热试加锌的兴趣，发起了合同，为中国核电的首个国际合作项目（费用支付）。并将合作内容拓展到AP1000调试、建造的各个领域经验分享。

2) 国际标准的申报：新机组加锌经验/实践

(四) 关于国际标准项目申报的建议：

(1)《压水堆核电厂反应堆换料安全评价通用要求》《严重事故管理导则现场实施规范》《新建压水堆核电厂一回路加锌方法》等 3 项国际标准提案内容符合 ISO/TC85/SC6 工作范围，可行性较强，适宜申报和制定国际标准，建议提案申报单位进一步调研国内外标准化现状、完善标准草案的内容，识别可能涉及的技术专利和知识产权，如无侵权等潜在问题，可按国际标准制定程序和国家标准化委员会要求准备相关材料；



中国核能行业协会
CHINA
NUCLEAR ENERGY
ASSOCIATION

© ISO ##### - All rights reserved

ISO #####-#:####(X)

ISO TC. ###/SC. ##/WG. #

Secretariat: XXXX

Title (Source Term Control —Zinc Addition Method for Primary Circuit of New Pressurized Water Reactor)

WD/CD/DIS/FDIS stage

Warning for WDs and CDs

This document is not an ISO International Standard. It is distributed for review and comment. It is subject to change without notice and may not be referred to as an International Standard.

Recipients of this draft are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.

To help you, this guide on writing standards was produced by the ISO/TMB and is available at <http://www.iso.org/iso/how-to-write-standards.pdf>

A model manuscript of a draft International Standard (known as "The Rice Model") is available at <http://www.iso.org/iso/model-document-rice-model.pdf>

3) 承接国家重大专项的加锌经验、数据分析



中国核能行业协会
CHINA
NUCLEAR ENERGY
ASSOCIATION

三门核电积累了热试、启动、运行、大修等全过程加锌数据和运行经验，并在运行过程中对数据进行分析，不断优化加锌策略。得益于三门核电丰富、全面的加锌运行经验，目前已与上海核工院签订了加锌技术服务合作合同，支持其国家重大科研项目研发，并推动加锌技术在新项目上的应用。

。

4) 行业分享与提升：NB能源行业标准的编制



中国核能行业协会
CHINA
NUCLEAR ENERGY
ASSOCIATION

218	能源 20210218	压水堆核电站一回路冷却剂加锌指南	基础	制定	2023	中国核电发展中心	能源行业核电标准化技术委员会	三门核电有限公司、苏州热工研究院有限公司、山东核电有限公司、中核核电运行管理有限公司、上海核工程研究院有限公司	本标准适用于压水堆核电站装料前热态功能试验和功率运行期间一回路加锌的推荐方法。本标准主要技术内容包括11章，第一章为范围；第二章为规范性引用文件，为本标准引用的参考文献；第三章为术语和定义；第四章为总则，介绍加锌应用过程的总体原则；第五章为加锌前评估；第六章为数据采集；第七章为加锌装置；第八章为醋酸锌技术规范和安全防护；第九章为加锌执行；第十章为加锌注意事项；第十一章为加锌效果评估。
-----	----------------	------------------	----	----	------	----------	----------------	---	---

国家能源局综合司文件

国能综通科技〔2021〕92号

国家能源局综合司关于下达2021年能源领域行业标准制修订计划及外文版翻译计划的通知

各有关单位：

根据国家能源局2021年标准化工作安排，现下达2021年能源领域行业标准制定计划（共计535项，见附件1）、标准修订计划（共计305项，见附件2）及外文版翻译计划（共计85项，见附件3）。请认真组织各有关标准化技术委员会、标准起草单位、翻译工作承担单位抓好落实，按时完成任务，确保标准质量。

特此通知。

ICS 点击此处添加 ICS 号
点击此处添加中国标准文献分类号

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T XXXXX—XXXX

压水堆核电站一回路冷却剂加锌指南

Guidelines for zinc addition in primary coolant of pressurized water reactors

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

（工作组讨论稿）
2020年12月

XXXX—XX—XX 发布 XXXX—XX—XX 实施

国家能源局 发布

谢谢!

