

火电厂与蒸汽动力设备的 腐蚀结垢风险评估与治理

窦照英 编著

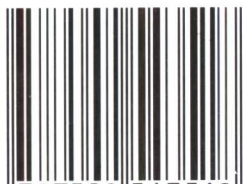


化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

火电厂与蒸汽动力设备的 腐蚀结垢风险评估与治理

ISBN 7-5025-4351-1



9 787502 543518 >

ISBN 7-5025-4351-1/TQ · 1675 定价：35.00元

火电厂与蒸汽动力设备的 腐蚀结垢风险评估与治理

窦照英 编著



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

火电厂与蒸汽动力设备的腐蚀结垢风险评估与治理/
窦照英编著. —北京: 化学工业出版社, 2003.1
ISBN 7-5025-4351-1

I. 火… II. 窦… III. ①火电厂-设备-腐蚀评
定②火电厂-设备-防腐③锅炉-腐蚀评定④锅炉-防
腐 IV. ①TM621②TK224.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 004935 号

火电厂与蒸汽动力设备的
腐蚀结垢风险评估与治理

窦照英 编著

责任编辑: 陈志良

文字编辑: 胡 波

责任校对: 郑 捷

封面设计: 于 兵

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

新华书店北京发行所经销

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 15 1/4 字数 397 千字

2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4351-1/TQ·1675

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前言

在祥和欢乐的春节中着手撰写本书，是怀着对所有接触风险设备的人祈福求安的愿望，作为一项善举从事的。

风险评估用于高风险行业，是防故障安全技术的重要组成部分。不同的行业有不同的风险特点；不同的风险因素可在相近的设备上引发同类故障，电力行业是高风险行业，电力不能存储，而且要求有高度计划性。风险评估是火电厂安全运转的保障条件之一，火电厂中腐蚀结垢风险是主要风险，对火电厂腐蚀结垢风险进行分析评估不仅对火电厂安全有助，而且可以类比用于有锅炉和涡轮设备的其他行业。

风险评估并非复杂的技术，但是非常有用。对承压设备腐蚀结垢风险进行评估，对具有燃烧爆炸危险的制氢、贮氢和用氢设备进行评估，提供确保安全的治理对策和防范措施，是当前的需要，在工业事故频发的今天尤其必要。

对故障控制手段的不同，影响到处理时机和控制故障的能力与效果。对失效故障原因判断和总结经验教训的失效技术分析，在故障发生而且已造成损失后进行，虽有亡羊补牢之效，但是为时已晚。故障诊断技术将对风险的发掘识别提前到设备运行当中，由风险因素越格超线的信息中发现危险征兆，指示通过点检消除，但是也往往难以制止故障的发生。

风险评估技术是对故障进行超前控制的有效手段。它通过对各种故障规律的研究，确定所具有的风险因素，对各种风险因素加以描述，便于识别；对风险程度进行量化，便于评定；提供预防处理对策，可以对设备进行预知维修，消除危险因素。

本书立足于作者从事失效分析 30 余年的经验，融 10 年故障诊

断研究的结晶，注入对祖国人民的热爱，带着对生产设备无故障运行的期望，在中秋月圆之际企盼着所有与高风险设备为伴的人平安无恙的美好心愿写成。希望这种通过风险评估实现对故障超前控制的方法能传播开来。希望本书能为安全生产做出贡献。

窦照英

2002年9月21日

内 容 提 要

锅炉和各种承压设备是生产和生活中不可缺少的设备,由于承压设备腐蚀结垢引起的故障,除了经济损失之外,常与人身伤害相联系。制取氢气、贮存和使用氢气中的火灾爆炸风险程度更高。发生事故后分析原因、总结教训并据以制定防范措施固然必要,但是代价太高,非智者所为。搜集事故例证,剖析诸风险因素,提供对风险程度评估的方法与尺度,提供超前控制事故的对策,将它与失效分析、诊断技术相结合能将故障消弭于未然,是防止事故的重要手段,也是实现安定团结的需要。

作者是全国水电锅炉技术评定专家组成员,近50年,不间断地进行着水处理与防腐蚀研究,锅炉及压力容器运行评定,失效分析与处理的评定与咨询工作。本书是作者立足于从事失效分析30余年的经验,10余年故障诊断研究的结晶,提供了对火电厂与蒸汽动力设备的承压设备(尤其是锅炉、涡轮机)的腐蚀结垢故障风险识别认定、量化评估和防范治理的系统方法;提供了对氢气制、贮和用各个环节的防火防爆技术。本书在介绍腐蚀结垢风险评估技术和防止氢气火灾爆炸危险及腐蚀损坏的评估技术同时,还运用作者所进行的60余厂、次评估治理实践,和对多达500余项风险因素的发掘识别、量化评估与治理的实践例证,生动的表述了各类风险的认定与消除。阅读本书,读者自能举一反三,对各类腐蚀结垢风险了然于胸,处理起来运用自如,避免风险发生,防患于未然。

本书适于一切与承压设备(尤其是火电厂)有关的领导、专业人员、研究者与操作者阅读,适于不同文化水平的人阅读,从事安全工作的人员必读。

目 录

第 1 章 总论	1
1.1 风险与风险控制	1
1.1.1 古今祸福观	1
1.1.2 古今避凶趋吉方法	2
1.1.3 风险控制	3
1.2 腐蚀风险与治理	6
1.2.1 腐蚀风险因素剖析	6
1.2.2 火电厂的腐蚀风险点发掘	16
1.2.3 火电厂腐蚀风险的控制与治理概要	24
1.3 结垢风险与治理	41
1.3.1 结垢风险因素剖析	41
1.3.2 火电厂的结垢风险点发掘	45
1.3.3 火电厂结垢风险的控制与治理概要	53
1.4 腐蚀结垢风险控制技术	66
1.4.1 由失效分析到专业技术管理	66
1.4.2 诊断技术及风险评估	81
第 2 章 腐蚀结垢风险评估诸例	127
2.1 滨海火电厂风险评估情况	128
2.1.1 概况	128
2.1.2 风险评估情况及主要结果	132
2.2 某热电厂风险评估情况	140
2.2.1 概况	140
2.2.2 腐蚀结垢风险评估情况及主要结果	144
2.3 燃油热电厂风险评估情况	150
2.3.1 背景情况	150
2.3.2 腐蚀结垢风险评估情况与主要结果	155

2.3.3 对风险评估中高风险问题的复查及建议	162
2.4 某市郊区热电厂风险评估情况	164
2.4.1 背景情况	164
2.4.2 腐蚀结垢风险评估情况及主要结果	168
2.4.3 复查情况及建议	174
2.5 某发电总厂风险评估情况	177
2.5.1 概况	177
2.5.2 腐蚀结垢风险评估情况及主要结果	181
2.5.3 复查情况及建议	184
2.6 某 10.8 MPa 凝汽式电厂风险评估情况	187
2.6.1 背景情况	188
2.6.2 腐蚀结垢风险评估及其主要结果	194
2.6.3 复查情况及建议	199
2.7 某热电分公司风险评估情况	202
2.7.1 背景情况	202
2.7.2 腐蚀结垢风险评估情况及主要结果	203
2.7.3 复查情况	209
2.8 某独立发电公司热电厂腐蚀结垢风险评估	213
2.8.1 背景情况	213
2.8.2 腐蚀结垢风险评估及对策	215
2.9 某亚临界凝汽式电厂风险评估	220
2.9.1 概况	220
2.9.2 腐蚀结垢风险评估及主要结果	223
2.9.3 风险评估复查	229
2.10 某超临界参数发电厂风险评估情况	235
2.10.1 概况	235
2.10.2 腐蚀结垢风险评估情况及主要结果	239
2.10.3 复查情况	247
2.10.4 第二轮风险评估情况	252
2.10.5 第二轮风险评估中间复查情况	261
2.10.6 第二轮评估最终复查结果	263
2.11 某高压凝汽式电厂风险评估情况	269

2.11.1	概况	269
2.11.2	腐蚀结垢风险评估及主要结果	272
2.11.3	腐蚀结垢风险评估复查情况	277
2.12	某高压、超高压电厂风险评估情况	279
2.12.1	概况	279
2.12.2	风险评估情况及主要结果	282
2.12.3	风险评估复查及下一轮的风险评估	286
2.13	某大容量亚临界参数电厂风险评估情况	290
2.13.1	概况	290
2.13.2	风险评估中发现的问题及建议	294
2.13.3	风险评估复查与第二轮评估	298
2.14	某能源基地大容量电厂风险评估情况	302
2.14.1	概况	302
2.14.2	腐蚀结垢风险评估情况及治理对策	309
2.14.3	对风险评估治理结果的复查	313
2.15	某煤城瓷都高压电厂风险评估情况	317
2.15.1	概况	317
2.15.2	腐蚀结垢风险评估情况及治理对策	322
2.15.3	风险评估复查及第二轮评估	324
2.16	某大型超高压、亚临界参数电厂风险评估情况	326
2.16.1	概况	326
2.16.2	腐蚀结垢风险评估情况及治理对策	331
2.16.3	风险评估复查及第二轮评估	334
2.17	某滨海超高压、亚临界热电厂风险评估	337
2.17.1	概况	337
2.17.2	腐蚀结垢风险评估	342
2.18	某单机容量最大的滨海电厂风险评估情况	345
2.18.1	概况	345
2.18.2	腐蚀结垢风险评估	349
2.18.3	腐蚀结垢风险治理情况复查	353
2.19	某高压、超高压电厂风险评估情况	357
2.19.1	概况	357

2.19.2	风险评估及复查情况	360
2.20	某煤田电厂腐蚀结垢风险评估	364
2.20.1	概况	364
2.20.2	腐蚀结垢风险评估结果及治理建议	366
2.20.3	腐蚀结垢风险评估复查	371
2.21	某亚临界参数独立发电公司风险评估	376
2.21.1	概况	376
2.21.2	风险评估情况及治理建议	379
2.22	某矿区大容量亚临界参数电厂评估	382
2.22.1	概况	382
2.22.2	腐蚀结垢风险评估与治理建议	385
2.23	某长江三角洲地区亚临界参数电厂评估	390
2.23.1	概况	390
2.23.2	腐蚀结垢风险评估与所提供的建议	395
2.24	某发电公司部分电厂风险评估	399
2.24.1	河北省某亚临界参数电厂风险评估	399
2.24.2	江苏省某超临界参数电厂风险评估	407
2.24.3	广东省某亚临界参数电厂风险评估	412
2.25	对几个拟改、扩建电厂的风险评估	416
2.25.1	对某厂风险评估复查及提供的建议	416
2.25.2	某热电厂改造后的风险评估	421
2.25.3	某电厂将进行以大代小改造的评估	426
2.25.4	某亚临界参数电厂改造燃油锅炉前评估	432
2.25.5	某凝汽式电厂改为热电厂的评估	437
第3章	氢气制备与贮存设备风险评估与治理	440
3.1	氢气与氢气制备装置	440
3.1.1	氢气简介	440
3.1.2	氢气制备装置及氢气有关参数	442
3.2	氢气制备、贮存与防火管理的风险因素与评估	444
3.2.1	氢气制备与贮存设备的风险因素	444
3.2.2	氢气制备、贮存和防火管理的风险概率赋值	446
3.3	对制氢、贮存设备及防火、防爆风险的治理	449

3.3.1	氢气湿度测量误差对绝缘损坏和护环开裂等的影响	449
3.3.2	对氢气制取与贮存设备风险的治理	458
3.4	制氢设备及氢气系统风险评估例证	463
3.4.1	制氢设备及氢气系统设备缺陷评估及治理	463
3.4.2	制氢设备及氢气系统着火风险评估及治理	465
后记		469
参考文献		471

第 1 章

总 论

风险存在于一切事物中，保险业的发展就是最好的证明。腐蚀结垢是设备故障的常见诱因，尤其是承压设备的主要风险因素。研究腐蚀结垢的发生发展规律，使设备安全运转，是建设有中国特色的社会主义的需要。

1.1 风险与风险控制

风险就是危险因素，具有构成灾害的可能。灾害含有天灾类不可抗力的作用，如旱涝风虫与农作物；也有失控设备的故障，例如我国工伤每年数十万人，死亡有 10 万之众。广西某矿透水死亡 85 人，山西 9 天内发生 5 次瓦斯爆炸，死亡失踪 99 人。

灾害的发生有其偶然性和必然性。偶然性难以把握，但是不占主导地位；必然性是导致灾害发生的决定性因素，却是有规律可循，而且可被人为控制把握的。设备故障就属于此类。

为防止设备故障的发生，必须对相关的风险因素进行充分发掘，对危险的发生与发展有充分的估计，严格执行有关的规章制度，通过对事故的预想，预先消除各种危险因素。

1.1.1 古今祸福观

安全与危险是矛盾的两个方面，它们互相依存，彼消此长。我们希望运用一切有效的手段，扩大安全，压缩风险。

老子问：“善之与恶，相去若何？”成书于公元 500 年的《千字文》中有：“祸因恶积，福缘善庆”之句。这是事物量变到质变的

规律，甲烷、乙烷、丙烷是气体，但随分子量增加其沸点依次升高，丁烷则易液化，戊烷、己烷、庚烷则是液体。危险因素的积累可以为祸；危险因素的消除则转危为安。在工作中恪守安全规程，进行危险因素分析，预知可能出现的风险，加以规避或消除，将这种工作方法演变成工作的习惯，就能使灾祸的危险压缩到最低点。

随着科学技术的发展，人们对祸福的认识及转化控制的认识在变化，处于由必然王国向自由王国发展的阶段中。

基于对迷信的破除，人们对自然灾害有了科学的解释，对人力能够控制的危险因素开始加强控制，使之向安全方面转化。这里包含对风险发生、发展规律的认识，从中总结防治经验，并从消极的治理转向积极的防危。

1.1.2 古今避凶趋吉方法

当人们处于蒙昧时期时，对自然力无法解释，时序交替，日蚀月亏，电闪雷鸣，风雨霜雪，都被归结为神力。遭受意外伤害，渔猎丰歉，均被认为冥冥中神的意旨，献祭跳傩成为避凶求福的主要方法；巫师成为神的代言人。

卜筮有麻醉人民的作用，可被封建统治者利用。秦始皇焚书时保留了易经，把它看做占卜之书。两千多年来，卜筮与星相在中国流传，神汉巫婆夹杂其中，都是打着预知吉凶祸福的招牌骗财坑人，主要是能迎合人们避凶趋吉的愿望，而有这种愿望才有其生存发展的土壤。

卜筮星相者以命运定吉凶祸福，把命看做一生注定的，运则随时可变，通过占卜星相，躲避厄运、寻找好运，达到避凶趋吉的目的。

墨翟著《非命》，认为“执有命者之言，不可不非，此天下之大害也”。他认为信命则不进取。被推崇为仙师的刘基（字伯温）实际是对占卜批驳最深刻的人。他借司马季主之口说：“夫蓍枯草也；龟枯骨也。物也。人灵于物者也，何不自听，而听于物乎？”

灾祸危险既是客观存在的，避凶趋吉又是人们所期望的，迷信

不仅于事无补，反而常常误事。刘伯温说的自听是依靠自己，而今还可依靠科学、依靠政策规章的约束，以消除防火。

《国策》中有“亡羊而补牢，未为迟也。”这是告诫人们注意汲取教训。每当故障发生之后，查明原因，制定相应的防范措施，举一反三，消除隐患，可以杜绝类似危险的重复发生。

对设备故障除进行失效分析排查原因外，还可针对风险因素编制运行管理规程，在每日每时的例行巡查中查看风险苗头，控制其发展。

火灾可使失火者倾家荡产，可累及街坊四邻。某市为防止火灾频繁发生，除规定市区禁放烟花爆竹外，还以政府令的形式颁布城镇居民防火安全管理规定，向社会广泛宣传根据国家消防法规、规范提炼的《消防安全 20 条》，起到了良好的预警、预防作用。这是规章制度起的作用。

自汽车问世以来，因交通事故伤亡的人数已超过两次世界大战之和。交通管理法规和交通警察就是降低和消除交通风险的有力武器。司机及行人各自恪守交通规则是防止交通事故的保障。除此之外要配合各种科技手段和设施条件，例如高速路的人车分流，各种快速反应的刹车设备等。

研究设备寿命评估和诊断技术，可以在设备运转过程中发现危险因素，使危险因素处于受控状态，以免发展为失效。而进行风险评估则可对危险因素早期辨别与消除，起到防患于未然的作用。

遵循量变引起质变的规律，一点一滴地消除和削减风险因素，通过评估、治理的螺旋形提升，将风险概率压缩到 10% 以下，可使设备基本能无故障运转。

1.1.3 风险控制

使设备无时不处于受控状态是消除风险的要务。除应使设备保持无缺陷的良好状态之外，人员素质与工作环境同样具有重要作用。

1.1.3.1 设备

设备购置前应经选型论证, 选取技术新而且可靠的型号。某电力集团公司为使所投产的电厂都能顺利启动投产和无故障运转, 组织各专业的技术专家组成设备选型参谋组, 经智囊团讨论选定的设备基本都能达到无故障的启动和运行, 其技术经济指标比较先进, 可靠性也高。

在考虑主设备先进可靠的同时, 还应考虑主要辅属设备的可靠性, 使其在规定的服役期间内可靠的工作。例如汽轮发电机组的服役期限可达 40 年, 在选取汽轮机凝汽器时, 如果冷却水质恶劣, 则选用全钛制作的凝汽器, 尽管投资较高, 但是其使用寿命可超过主设备。而选用铜合金管时, 其使用寿命不超过 15 年, 不仅要更新 1~2 次凝汽器管, 还将因凝汽器管泄漏而引发腐蚀结垢故障。

编制健全完善的设备运行规程与检修规程, 并且严格执行, 用以规范设备管理人员、维护和检修工人的操作, 可防止产生误操作和失修的风险。对定时巡查中发现的小缺陷及时通过点检消除, 可以防止危险因素扩大为失效。

良好的运行管理和点检维修, 可以使设备的大检修周期延长, 提高设备利用率。变定期大拆大卸的盲目检修为预知维修, 使设备的检修具有更高的针对性, 不仅节省大量人力物力, 还可使设备维修更有成效, 更有利于消除隐患。

1.1.3.2 运转人员与维修人员

为设备服务的人员包括主管、专业技术人员和运转工、维修工。设备的安危除依赖自身质量之外, 更与有关的人员关系密切。

人的优势在于有思维和能动性。在按照运行规程和检修规程管理设备时, 能够发觉异乎寻常的变化, 发现危险苗头而早期治理。

人的劣势在于受情志体力的影响。人体生命节律使体能、情绪和思维辨识能力不能保持在同一水准, 人的情志喜怒忧思悲恐惊可以使其失态。作为设备管理人员, 在当班之际体能和精力影响甚大, 疲惫产生懈怠, 恍惚引起错觉, 长时间的紧张可转入麻痹状

态。已有许多电厂由 8 小时工作制改为 6 小时工作制，以防疲劳引起失误。

人员素质的影响不可忽视。诚信敬业的值班人员能发现细微的危险因素；漫不经心者则对危险信号熟视无睹；弄虚作假则滋生隐患。

1.1.1.3.3 作业环境

人机以外的诸多因素均可归入此范围。狭义的作业环境指工作人员与所辖设备所处的条件；广义的理解包括各种组织管理工作。

作业环境条件含有生产过程中产生的职业性有害因素和劳动过程中的职业性有害因素。对于前者，生产设备、所使用的原料材料燃料和生产工艺均可有危险因素产生，例如燃烧、爆炸的危险，噪声、振动、辐射热引起的肌体损伤和体能消耗，粉尘和有毒、有害物质以及侵蚀性物质的危害等；对于后者劳动组织的不合理，可引起工作人员精神长期高度紧张，影响到某些器官和系统产生疾患。在现代化生产中，体力过度消耗情况较少出现，但是使精神过度紧张的作业较多。采取远程监视与远程操作，设置隔音和空调等改善环境的设施，可使作业条件得以改善。合理安排劳动作息，在舒适方便的体位下从事设备的监护管理，可使职业性有害因素降至最低。但是对生产过程或工艺过程中的爆炸燃烧或毒害危险不可有一时的粗心。

组织管理中首先是专职工作人员，他们按照“预防为主”的原则，对生产过程中的风险因素进行分析，提出预防措施，以控制故障的发生。这种管理工作的重要性在于通过一定的组织保证，将操作人员的不安全行为约束在不失态的范围内，控制在不因人的不安全行为影响设备正常运转的范围内；还在于通过一定的组织保证，消除设备的不良运行状态。做好组织管理工作，调动一切积极因素，就可以消除作业环境中潜在的危险因素，防止故障的产生。

防范事故的组织管理工作内容很广，它以“安全第一”为口号，确定防范事故的安全工作在生产中居于主导地位。它组织贯彻