



# 电厂化学仪表 培训教材

西安热工研究院有限公司 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

# 电厂化学仪表 培训教材

西安热工研究院有限公司 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

电厂化学仪表是发电厂水汽化学监督的重要手段,因此明确各类化学仪表的测量原理,正确使用、维护及管理各类仪表对发电厂安全运行至关重要。由于国内针对电厂化学仪表的专业书籍和教材非常少,因此大部分在线化学仪表维护人员及化学监督人员理论知识欠缺,化学仪表维护不到位,严重影响了发电机组运行安全性。本书为了提高电厂化学仪表维护人员及化学监督人员的理论知识水平、全面提高化学仪表测量准确性而编写。

本书系统地介绍了在线电导率表、在线 pH 表、在线钠表、在线溶解氧表、水汽中痕量有机物测量仪表、水汽中痕量氯离子测量仪器、在线硅酸根分析仪、在线磷酸根分析仪、在线 ORP 表、在线联氨表、在线浊度仪、在线余氯分析仪和在线酸碱浓度计的测量原理、影响因素及使用与维护。另外还详细阐述了化学监督与在线化学仪表的关系、提高在线化学仪表准确性方法等。

本书可作为发电厂化学仪表使用和维护人员的培训教材,也可作为化学监督、化学分析及从事相应工作人员的参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电厂化学仪表培训教材/西安热工研究院有限公司编著. —北京:中国电力出版社,2017.9

ISBN 978-7-5198-1016-0

I. ①电… II. ①西… III. ①电厂化学—化工仪表—岗位培训—教材 IV. ①TM62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 182904 号

---

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:郑艳蓉 (63412379)

责任校对:王小鹏

装帧设计:郝晓燕 赵姗姗

责任印制:蔺义舟

---

印 刷:三河市百盛印装有限公司

版 次:2017 年 9 月第一版

印 次:2017 年 9 月北京第一次印刷

开 本:787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张:14.75

字 数:356 千字

印 数:0001—3000 册

定 价:80.00 元

---

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换



## 编写人员

主 编 曹杰玉

参 编 刘 玮 田 利 李俊菀

张维科 黄 茜



## 前 言

随着我国高参数、大容量机组的不断发展，GB/T 12145—2016《火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量》标准对各项水汽控制指标的要求也越来越严格，因此，电厂化学仪表在发电厂化学监督与控制中的作用也越来越重要，对电厂化学仪表维护人员及化学监督人员进行相关系统性专业知识培训的要求也越来越迫切。为了使化学仪表维护人员及化学监督人员掌握各类化学仪表的测量原理，正确使用、维护及管理各类仪表，提高化学仪表测量准确性，特编写本教材。

本教材内容涵盖了发电厂水汽系统所有的化学仪表，包括在线电导率表、在线 pH 表、在线钠表、在线溶解氧表、水汽中痕量有机物测量仪表、水汽中痕量氯离子测量仪器、在线硅酸根分析仪、在线磷酸根分析仪、在线 ORP 表、在线联氨表、在线浊度仪、在线余氯分析仪和在线酸碱浓度计。另外，还详细阐述了化学监督与在线化学仪表的关系、提高在线化学仪表准确性方法等。

第一章、第三章、第四章、第五章由曹杰玉和刘玮编写，第二章由曹杰玉、刘玮和张维科编写，第六章、第七章由田利编写，第八章、第九章由刘玮编写，第十章、第十一章、第十二章由李俊菀编写，第十三章、第十四章由张维科编写，第十五章由曹杰玉编写，附录由黄茜编写并整理。全书由曹杰玉、刘玮校阅和统稿。由于作者水平和时间有限，难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2017 年 8 月

# 目 录

## 前言

<b>第一章 化学监督与在线化学仪表</b> .....	1
第一节 化学监督与发电厂安全运行及节能降耗的关系.....	1
第二节 水汽化学监督的技术关键.....	2
复习题.....	6
参考答案.....	7
<b>第二章 在线电导率表</b> .....	9
第一节 电导率测量基本原理.....	9
第二节 在线电导率测量的意义、原理及影响因素.....	11
第三节 在线氢电导率测量的意义、原理及影响因素.....	16
第四节 在线脱气氢电导率测量的意义、原理及影响因素.....	20
复习题.....	23
参考答案.....	25
<b>第三章 在线 pH 表</b> .....	28
第一节 准确测量 pH 值的意义.....	28
第二节 pH 值基本概念及测量原理.....	28
第三节 pH 玻璃电极.....	30
第四节 pH 参比电极.....	34
第五节 低电导率水 pH 值在线测量注意事项.....	35
第六节 在线 pH 表测量准确性影响因素.....	36
第七节 在线 pH 表的校准.....	43
复习题.....	45
参考答案.....	48
<b>第四章 在线钠表</b> .....	50
第一节 测量水汽系统钠的意义.....	50
第二节 在线钠表的测量原理、组成及注意事项.....	50
第三节 在线钠表的检验校准.....	52
第四节 在线钠表测量注意事项.....	54
复习题.....	54
参考答案.....	55
<b>第五章 在线溶解氧表</b> .....	57
第一节 在线溶解氧测量的意义.....	57

第二节	溶解氧的测量原理 .....	57
第三节	两种传感器共有的测量误差来源及防止措施 .....	61
第四节	在线溶解氧表的校准 .....	62
第五节	其他注意事项 .....	64
复习题	.....	65
参考答案	.....	66
<b>第六章</b>	<b>水汽中痕量有机物测量仪表 .....</b>	<b>68</b>
第一节	测量意义 .....	68
第二节	测量原理、方法 .....	68
第三节	测量准确性影响因素 .....	71
第四节	检验校准 .....	73
第五节	使用维护 .....	74
复习题	.....	75
参考答案	.....	76
<b>第七章</b>	<b>水汽中痕量氯离子测量仪器 .....</b>	<b>78</b>
第一节	测量意义 .....	78
第二节	测量原理及方法 .....	79
第三节	测量准确性影响因素 .....	80
第四节	检验校准 .....	81
第五节	使用维护 .....	82
复习题	.....	83
参考答案	.....	84
<b>第八章</b>	<b>在线硅酸根分析仪 .....</b>	<b>86</b>
第一节	光学分析法的基本知识 .....	86
第二节	在线硅酸根分析仪 .....	92
复习题	.....	97
参考答案	.....	98
<b>第九章</b>	<b>在线磷酸根分析仪 .....</b>	<b>100</b>
第一节	在线磷酸根分析测量的意义 .....	100
第二节	在线磷酸根分析仪工作原理 .....	100
第三节	在线磷酸根分析仪的使用和维护 .....	101
复习题	.....	101
参考答案	.....	102
<b>第十章</b>	<b>在线 ORP 表 .....</b>	<b>103</b>
第一节	测量原理 .....	103
第二节	测量影响因素 .....	105
第三节	检验、测量 .....	106
第四节	使用维护 .....	107
复习题	.....	107

参考答案	108
<b>第十一章 在线联氨表</b>	109
第一节 基本原理	109
第二节 联氨分析仪测量准确性影响因素	110
第三节 联氨分析仪的使用和维护	112
复习题	113
参考答案	114
<b>第十二章 在线浊度仪</b>	115
第一节 基本概念及原理	115
第二节 浊度仪的类型和测量原理	119
第三节 浊度仪的使用、校准和维护	122
复习题	124
参考答案	125
<b>第十三章 在线余氯分析仪</b>	126
第一节 基本概念及测定原理	126
第二节 测定仪器及应用	126
第三节 在线余氯分析仪的校准、使用及维护	128
复习题	130
参考答案	130
<b>第十四章 在线酸、碱浓度计</b>	131
第一节 酸、碱浓度测量的意义及原理	131
第二节 酸、碱浓度计的校准及维护	132
复习题	133
参考答案	133
<b>第十五章 提高在线化学仪表准确性方法</b>	135
第一节 在线化学仪表测量准确性的检验	135
第二节 在线化学仪表测量准确性低的主要原因	135
第三节 在线化学仪表测量准确性检验的错误方法	136
第四节 确保在线化学仪表测量准确的途径	139
复习题	142
参考答案	143
附录 A 几种标准溶液的制备方法	145
附录 B 火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量 (GB/T 12145—2016)	150
附录 C 发电厂在线化学仪表检验规程 (DL/T 677—2009)	159
附录 D 发电厂低电导率水 pH 在线测量方法 (DL/T 1201—2013)	183
附录 E 发电厂纯水电导率在线测量方法 (DL/T 1207—2013)	196
附录 F 火力发电厂水汽分析方法 总有机碳的测定 (DL/T 1358—2014)	210
附录 G 水的氧化还原电位测量方法 (DL/T 1480—2015)	215
参考文献	227



# 化学监督与在线化学仪表

## 第一节 化学监督与发电厂安全运行及节能降耗的关系

### 一、水汽化学监督对发电厂安全运行及节能降耗的影响

火力发电厂水汽系统化学监督不准确，水汽品质恶化问题不能及时发现，化学控制出现偏差，会导致发电机组水汽系统发生腐蚀、结垢和积盐，造成巨大的经济损失。

据国外资料介绍，美国发电厂机组发生非计划停机事故，其中约有 50% 是因蒸汽热力设备腐蚀结垢造成，导致每年增加 30 亿美元运行和检修成本。发电厂由于腐蚀造成运行成本增加 10% 以上，在美国所有工业中，腐蚀造成的损失排名第一位。

近年来，我国电力装机容量增加迅猛，但热力设备水汽系统化学监督管理水平和技术水平相对滞后，由此引起的热力设备腐蚀、结垢和积盐问题比较普遍，严重影响了电厂的安全经济运行。

例如，山西某电厂两台 600MW 亚临界机组，2004 年年底相继投产，由于汽包汽水分离装置存在缺陷使饱和蒸汽大量带水。同时，由于蒸汽在线钠表测量结果偏低，所以一直未能及时发现该问题。2006 年初大修检查发现汽轮机严重积盐，高压缸叶片积盐最厚达 3mm，导致汽轮机效率显著降低。机组满负荷运行时的蒸汽流量从投产初期的 1790t/h（额定蒸发量），增加到 1900t/h 以上，煤耗增加 20g/(kW·h) 以上。据估算，每年增加成本约 5600 万元。2006 年以来，天津、内蒙古、广东等地多台亚临界参数大机组高压缸发生程度相似的严重积盐问题。另外，全国有更多的机组出现不同程度的汽轮机积盐，据估算，平均煤耗增加 5g/(kW·h) 以上。

国内某电厂 300MW 汽包炉，炉水在线 pH 表测量值偏高，仪表显示 pH 值始终大于 9.0（合格），而炉水实际 pH 值经常低于 8.3。运行两年后锅炉水冷壁管频繁发生爆管事故。割管检查发现大量水冷壁管发生酸性腐蚀，造成重大损失。

某电厂给水在线 pH 表测量值偏高，造成实际给水 pH 控制值偏低，导致给水及高压加热器疏水系统发生严重腐蚀，高压加热器疏水铁含量高达 70 $\mu$ g/L。高压加热器腐蚀泄漏会造成高压加热器退出运行，严重影响机组效率；给水系统腐蚀产生的大量铁腐蚀产物会加速水冷壁管的沉积和腐蚀，降低锅炉效率，并造成爆管事故的发生。

某电厂炉水水质控制不当，造成水冷壁管严重结垢，降低了水冷壁管的传热系数，使锅炉效率降低，并导致水冷壁管超温爆管；同时造成过热器烟气温度升高近 100 $^{\circ}$ C，发生过热器爆管事故。

综上所述，火力发电厂热力设备水汽系统化学监督和控制工作出现偏差，不仅会造成汽轮机积盐和锅炉管内壁结垢、降低汽轮机和锅炉效率，还会造成热力设备腐蚀，引起机组非计划停机和高压加热器退出运行，影响机组的安全性和经济性，不利于电厂节能降耗。



## 二、发电厂加强水汽化学监督的重要性

国内外大量实例表明，水汽化学监督和控制对发电厂的安全运行及节能降耗工作有很大影响。然而，国内多数发电厂对水汽化学监督工作的重视程度不够，其根本原因有以下两方面：

### 1. 水汽化学监督对节能降耗的影响是隐性的

在节能降耗工作中，发电厂普遍对热力设备的改造比较重视。例如，对风机、泵等设备电动机的变频改造，对汽轮机的改造，可以获得降低煤耗的直接显性效果。由于这种煤耗降低可以通过试验测定，见效直观明显，所以电厂投入大量资金进行主设备的改造。

而水汽化学监督获得的效益，是防止热力设备由于腐蚀、结垢或积盐造成的锅炉和汽轮机效率的降低。这种防止效率降低获得的节能降耗效益不能通过试验直接测定，是防止问题出现时造成损失。因此，水汽化学监督对节能降耗的影响是隐性的，不容易引起电厂的重视。但是，实际上水汽化学监督工作出现问题，造成热力设备腐蚀、结垢和积盐，降低了锅炉效率和汽轮机效率，造成煤耗的增加少则每千瓦时几克，多则每千瓦时十几克以上。虽然不能直接测量，但水汽化学监督获得的节能降耗经济效益也是客观存在的，并且是长期的，有时是巨大的。

### 2. 水汽化学监督对热力设备的影响是慢性的

火力发电厂热工、电气、汽轮机和锅炉等专业出现问题，会使机组短期、甚至瞬间出现停机事故，因此各电厂对上述专业非常重视；而水汽化学监督出现问题，一般不会造成短期停机事故，而是长期缓慢的影响，因此，发电厂普遍不太重视水汽化学监督。然而，如果水汽化学监督出现问题，积累到一定时间后，同样会造成频繁的爆管事故，同时还会降低锅炉效率和汽轮机效率，长期影响电厂的节能降耗。

由此可见，不重视水汽化学监督对节能降耗的作用，不利于长期经济效益。重视水汽化学监督，电厂只需投入较少的资金，却可以获得长期的节能降耗效果。

## 第二节 水汽化学监督的技术关键

### 一、水汽化学监督工作中的“两高问题”

“两高问题”是指电厂水汽化学监督合格率很高，而大修检查时热力设备的腐蚀、结垢和积盐速率也很高的异常现象。这是国内发电厂经常出现的问题，是困扰了国内电力行业几十年的一个技术难题。

近年来，随着化学仪表技术的不断进步，确认“两高问题”主要是由于在线化学仪表测量不准确造成的。例如，某电厂蒸汽在线钠表测量不准确，严重偏低，蒸汽实际钠浓度已严重超标，而仪表测量值显示合格，结果就出现了蒸汽钠“合格率”很高，同时汽轮机又发生严重积盐的异常现象；某电厂给水在线 pH 表测量值偏低 0.73，当在线 pH 表显示值为 9.0 时（合格范围是 8.8~9.3），给水实际 pH 值已达 9.73，严重超标，导致凝汽器铜管发生大面积的氨腐蚀泄漏，造成热力设备严重腐蚀、结垢和积盐，显著增加了煤耗，并且一次更换 6000 多根铜管。

由此可见，“两高问题”的根源是在线化学仪表测量不准确，而化学监督合格率高，其实是假象。

## 二、在线化学仪表测量不准确的根本原因

在线电导率表（包括在线氢电导率表）、在线 pH 表、在线钠表和在线溶解氧表是水汽系统化学监督与控制中最重要的在线化学仪表，国外化学控制导则称这四种在线化学仪表为核心仪表，国内有些电力公司称其为关口表或关键仪表。确保这四种在线化学仪表测量准确，并控制其测量值在合格范围内，基本上就可以有效防止热力设备的腐蚀、结垢和积盐问题。

但是，这四种在线化学仪表最不容易测量准确，原因是造成这些在线化学仪表测量不准确的主要误差来源是在线干扰因素和纯水干扰因素，而离线检验这些仪表测量准确性的标准方法却不能发现在线干扰和纯水干扰产生的测量误差，因此检验不出仪表实际测量值是否准确。

在线氢电导率表测量准确性不仅受交换柱（树脂再生度、树脂裂纹、树脂失效）、系统漏气、电极污染、流通池水位等在线干扰因素的影响，还受温度补偿、测量频率、电极常数等纯水因素的影响。国内以前的电导率表检验标准方法是采用标准溶液进行离线检验，既脱离了在线条件，也脱离了纯水条件，无法检验由于纯水和在线干扰因素造成的仪表测量误差。由于水汽系统在线氢电导率表的主要误差来源是纯水和在线干扰因素，因此，采用以前的离线方法检验准确的氢电导率表，在电厂纯水条件下在线测量时，仍然会出现很大的测量误差，但电厂监督人员和仪表维护人员却认为氢电导率表测量准确，以此统计水汽化学监督合格率就会出现偏差。

在线 pH 表测量准确性不仅受流动电位、地回路等在线因素的影响，还受液接电位、温度补偿等纯水因素的影响，采用标准缓冲溶液，对 pH 表进行离线检验，既脱离了在线条件，也脱离了纯水条件，无法检验由于纯水和在线因素造成的仪表测量误差。由于水汽系统在线 pH 表的主要误差来源是纯水和在线干扰因素，所以采用离线方法检验准确的 pH 表，在电厂纯水条件下进行在线测量时，仍然会出现很大的测量误差，但电厂监督人员和仪表维护人员却认为 pH 表测量准确，以此统计水汽化学监督合格率同样会出现偏差。

在线溶解氧表和在线钠表的主要误差来源同样是纯水和在线干扰因素，因此，采用以前的离线方法检验准确的仪表，在电厂纯水条件下在线测量时仍然会出现很大的测量误差，但电厂监督人员和仪表维护人员却认为测量准确，并以此统计水汽化学监督合格率。

综上所述，在电厂纯水系统中，在线（氢）电导率表、pH 表、钠表、溶解氧表的主要误差来源是纯水干扰因素和在线干扰因素，国内原有的检验标准和电厂具备的离线检验手段无法发现测量误差超标的在线化学仪表。因此，超过半数的在线化学仪表测量不准确，电厂监督人员和仪表维护人员无法知道。由此可见，电厂缺乏正确的在线化学仪表检验方法和检验手段，是导致大量在线化学仪表测量不准确的主要原因。

## 三、正确检验在线化学仪表准确性是水汽化学监督的技术关键

电厂缺乏检验在线化学仪表准确性的正确方法和必要手段，无法发现在线化学仪表测量不准确，导致大量在线化学仪表测量值不准确，造成水汽化学监督和控制的偏差，给节能降耗造成影响。使用能够检验在线和纯水干扰因素的在线化学仪表检验装置，检验 20 个电厂的 4 种关键在线化学仪表，平均 58% 的在线化学仪表测量误差超标。

电厂按照错误的方法校验在线化学仪表，导致在线化学仪表测量值不准确而无法发现，并依据不准确的在线化学仪表测量数据进行化学监督和控制，不可避免地会出现监督和控制



的偏差。这就好比医院检查病人所用的医疗仪器不准确，既不能及时发现病情导致治疗延误，也可能导致误诊，将造成严重后果。

比如，蒸汽在线钠表测量偏低，就不能及时发现蒸汽钠浓度超标问题，会导致汽轮机积盐，降低汽轮机效率；给水或炉水在线 pH 表测量偏高，就会使实际控制值偏低，会造成高压加热器流动加速腐蚀损坏、增加锅炉结垢速率、水冷壁酸性腐蚀等问题，降低机组效率，甚至造成机组非计划停机。

按照 DL/T 677—2009《发电厂在线化学仪表检验规程》采用在线检验方法对在线化学仪表检验后，对误差超标的在线化学仪表进行误差原因查定和消除，使误差超标的化学仪表恢复准确。随后对机组水汽系统进行简单的查定，7 个电厂水汽系统查定结果统计情况见表 1-1，共发现腐蚀、结垢和积盐隐患 25 项，其中严重影响机组安全经济运行的隐患 15 项。

表 1-1 7 个电厂水汽系统查定结果统计情况汇总

电厂名称	发现的问题	存在的隐患及可能产生的危害	危害程度
A 电厂	2 号机组在每天后半夜机组低负荷运行时，饱和蒸汽钠浓度一直处于较高水平，同时氢电导率也出现小幅度上升现象	会增加过热器和汽轮机的积盐，影响机组的安全经济运行	严重
	1 号机组所有氢电导率表测量值偏低。饱和蒸汽和过热蒸汽氢电导率表测量值分别偏低 26.2% 和 23.2%。同时发现 1 号机组给水、蒸汽氢电导率较高	如果水质受到低水平的污染，如精处理漏氯离子，得不到及时发现，有造成汽轮机腐蚀的隐患	严重
	1 号机组炉水在线 pH 表偏低 0.27	如果炉水采用固体碱化剂处理，有发生水冷壁管碱性腐蚀破坏的风险	严重
	部分在线钠表测量值偏低。如 1 号机组过热蒸汽在线钠表，真实值为 4.55 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，在线表测量值为 1.46 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，偏低 3.09 $\mu\text{g}/\text{L}$ ；3 号机组精处理 2 号混床在线钠表，真实值为 3.24 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，在线表测量值为 1.52 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，偏低 1.72 $\mu\text{g}/\text{L}$	如果蒸汽钠超标、凝结水钠超标，将得不到及时发现，有造成过热器、汽轮机积盐的隐患	严重
B 电厂	1 号机组主蒸汽品质在升负荷时，蒸汽钠浓度和氢电导率显著升高	有造成过热器、汽轮机积盐的风险	严重
	1 号机组锅炉汽包就地水位计零点标注偏高	有引起蒸汽品质恶化，造成过热器、汽轮机积盐的风险	严重
	在线 pH 表测量值偏低。给水 pH 表偏低 0.21，炉水 pH 表偏低 0.38	增加混床再生次数及再生废液的排放。有增加系统铜部件腐蚀的风险。如果炉水采用固体碱化剂处理，有发生水冷壁管碱性腐蚀破坏的风险	较严重
C 电厂	4 号机省煤器入口给水、主蒸汽和凝结水泵出口凝结水的氢电导率实际测量值大于 0.30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，远高于标准要求的小于 0.20 $\mu\text{S}/\text{cm}$	有造成锅炉设备和汽轮机腐蚀的风险	严重
	钠表测量值均偏低。凝结水泵出口钠表真实值为 5.02 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，在线表测量值为 3.2 $\mu\text{g}/\text{L}$ ；主蒸汽钠表真实值为 5.23 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，在线表测量值为 3.71 $\mu\text{g}/\text{kg}$	蒸汽钠超标的现象不能及时发现，有造成过热器、汽轮机积盐的隐患	严重

续表

电厂名称	发现的问题	存在的隐患及可能产生的危害	危害程度
C 电厂	3 号机组省煤器入口氢电导率表没有水样, 主蒸汽、再热器、启动分离器等水样氢电导率表的氢交换柱完全失效	不能及时发现氢电导率超标、漏氯离子情况, 有造成热力设备腐蚀、结垢和积盐的隐患	严重
D 电厂	钠表测量值均严重偏低。9 号机组饱和蒸汽钠表真实值为 $5.6\mu\text{g}/\text{kg}$ , 在线表测量值为 $1.3\mu\text{g}/\text{kg}$ , 偏低 $4.3\mu\text{g}/\text{kg}$ ; 过热蒸汽钠表真实值为 $5.4\mu\text{g}/\text{kg}$ , 在线表测量值为 $1.0\mu\text{g}/\text{kg}$ , 偏低 $4.4\mu\text{g}/\text{kg}$	蒸汽钠超标的现象不能及时发现, 有造成过热器、汽轮机积盐的隐患	严重
	(氢) 电导率表测量值偏低。4 号机组饱和蒸汽在线氢电导率表测量值偏低 18.7%, 凝结水在线氢电导率表测量值偏低 12.7%	不能发现如凝汽器微漏、饱和蒸汽带水等水汽品质低水平污染的异常现象, 积累到一定程度会造成腐蚀、结垢及积盐	一般
	炉水 pH 表测量值偏低	会导致炉水 pH 值控制过高, 存在水冷壁碱腐蚀的风险	较严重
	凝结水、给水 pH 表测量值偏低。9 号机组给水在线 pH 表测量值偏低 0.46, 精处理母管在线 pH 表测量值偏低 0.24~3.98	会造成加氨量的浪费及凝结水精处理混床运行周期缩短, 增加混床再生次数及再生废液的排放	一般
	9 号机组炉水氢电导率大于 $10\mu\text{S}/\text{cm}$ , 超过标准	存在水冷壁腐蚀的风险	严重
E 电厂	4 号机组主蒸汽的氢电导率大于再热蒸汽的氢电导率	汽轮机、过热器有积盐的倾向	一般
	钠表测量值均偏低。如 4 号机组过热蒸汽在线钠表真实值为 $3.77\mu\text{g}/\text{kg}$ , 在线表测量值为 $0.41\mu\text{g}/\text{kg}$ , 偏低 $3.36\mu\text{g}/\text{L}$	蒸汽钠超标的现象不能及时发现, 有造成汽轮机积盐的隐患	严重
	给水、凝结水、除氧器入口 pH 表测量值偏低	会造成加氨量的浪费及凝结水精处理混床运行周期缩短	一般
	省煤器入口 pH 表测量值偏高, 会导致实际 pH 值控制偏低	有增加给水系统腐蚀的风险	较严重
F 电厂	蒸汽品质超标。饱和蒸汽氢电导率为 $0.4\mu\text{S}/\text{cm}$ , 饱和蒸汽钠浓度为 $21\sim 31\mu\text{g}/\text{kg}$	有造成过热器、汽轮机积盐的风险	严重
	1 号炉水在线 pH 表测量值偏低 0.39。在机组正常运行期间, 发现炉水 pH 值控制在 $9.7\sim 10.0$ , 其实真实炉水 pH 值已超过 10	有发生水冷壁管碱性腐蚀破坏的风险	严重
G 电厂	除氧器入口溶解氧严重超标	导致要增大除氧器排汽门的开度, 才能使给水的溶解氧合格, 使机组的热经济性降低	一般



续表

电厂名称	发现的问题	存在的隐患及可能产生的危害	危害程度
G 电厂	钠表测量值均偏低。凝结水泵出口钠表真实值为 $6.1\mu\text{g/L}$ ，在线表测量值为 $2.6\mu\text{g/L}$ ，偏低 $3.5\mu\text{g/L}$ ；主蒸汽钠表真实值为 $5.4\mu\text{g/kg}$ ，在线表测量值为 $1.9\mu\text{g/kg}$ ，偏低 $3.5\mu\text{g/kg}$	如果蒸汽钠超标、凝结水钠超标，将得不到及时发现，有造成过热器、汽轮机积盐的隐患	严重
	所有氢电导率表测量值偏低	如果水质受到低水平的污染，如精处理漏氯离子，得不到及时发现，有造成汽轮机腐蚀的隐患	较严重
	省煤器入口 pH 表测量值偏高，会导致实际 pH 值控制偏低	有增加给水系统腐蚀的风险	较严重

发现并及时消除这些隐患，对于防止热力设备腐蚀、结垢和积盐，提高机组运行的安全性、经济性以及节能降耗有重要意义。

因此，正确检验在线化学仪表的准确性，确保在线化学仪表测量准确，是水汽化学监督的技术关键。

## 复习题

### 一、填空题

- 火力发电厂水汽系统化学仪表测量不准确、水汽品质恶化问题得不到及时发现、化学控制出现偏差，会导致发电机组水汽系统发生\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_，造成巨大的经济损失。
- 大型火力发电机组由于蒸汽在线钠表测量结果偏低，未能及时发现蒸汽钠超标，会使\_\_\_\_\_积盐，导致\_\_\_\_\_显著降低，增加\_\_\_\_\_。
- 炉水在线 pH 表测量值偏高，会使炉水实际控制的 pH 值\_\_\_\_\_，导致水冷壁管发生\_\_\_\_\_，锅炉水冷壁管发生爆管事故。
- 给水在线 pH 表测量值偏低，会使给水实际控制的 pH 值\_\_\_\_\_，导致凝汽器铜管发生\_\_\_\_\_，凝汽器管发生泄漏。
- “两高问题”的根源是\_\_\_\_\_不准确，而化学监督合格率高，其实是假象。

### 二、选择题

- 炉水在线 pH 表测量偏低，会造成水冷壁（ ）的风险。  
A. 酸腐蚀；                      B. 碱腐蚀；                      C. 结垢。
- 蒸汽在线钠表测量偏低，会造成汽轮机（ ）的风险。  
A. 腐蚀；                          B. 积盐；                          C. 冲蚀。
- 饱和蒸汽在线氢电导率表测量偏低，会造成（ ）的风险。  
A. 水冷壁腐蚀；                  B. 水冷壁结垢；                  C. 汽轮机腐蚀。
- 超临界机组给水在线氢电导率表测量偏低，会造成（ ）的风险。

- A. 水冷壁腐蚀;            B. 水冷壁结垢;            C. 汽轮机腐蚀。
5. 给水在线 pH 表测量偏高, 会造成 ( ) 的风险。  
A. 给水系统腐蚀;        B. 汽轮机积盐;            C. 水冷壁结垢。

### 三、判断题

1. 某机组过热蒸汽在线钠表测量值为  $0.41\mu\text{g}/\text{kg}$ , 实际蒸汽中的钠浓度为  $3.77\mu\text{g}/\text{kg}$ , 汽轮机发生积盐。( )
2. 某机组炉水在线 pH 表测量值偏低 0.39。在机组正常运行期间, 发现炉水 pH 值控制在 9.7~10.0, 其实真实炉水 pH 值已超过 10, 有发生水冷壁管碱性腐蚀破坏的风险。( )
3. 某机组给水在线 pH 表测量值偏高, 会导致实际给水 pH 控制值偏高。( )
4. 某机组蒸汽在线氢电导率表测量值偏低, 会造成汽轮机腐蚀的风险。( )
5. 某机组炉水在线 pH 表测量值偏高, 会造成水冷壁酸洗腐蚀的风险。( )

### 四、问答题

- “两高问题”是指什么? 其根本原因是什么?
- 在线化学仪表测量不准确的根本原因是什么?
- 发电厂对水汽化学监督不重视的原因是什么?
- 为什么说在线化学仪表准确性是水汽化学监督的技术关键?



## 参考答案

### 一、填空题

- 腐蚀; 结垢; 积盐。
- 高压缸叶片; 汽轮机效率; 煤耗。
- 偏低; 酸性腐蚀。
- 偏高; 氨腐蚀。
- 在线化学仪表测量。

### 二、选择题

1. B; 2. B; 3. C; 4. C; 5. A。

### 三、判断题

1.  $\checkmark$ ; 2.  $\checkmark$ ; 3.  $\times$ ; 4.  $\checkmark$ ; 5.  $\checkmark$ 。

### 四、问答题

1. “两高问题”是指电厂水汽化学监督合格率很高, 而大修检查时热力设备的腐蚀、结垢和积盐速率也很高的异常现象。

“两高问题”的根本原因是在线化学仪表测量不准确, 实际水汽指标已经超标, 而在线化学仪表测量不超标, 依据在线仪表测量结果统计的化学监督合格率比真实的水汽合格率高。

2. 在线(氢)电导率表、pH 表、钠表、溶解氧表的主要误差来源是纯水干扰因素和在线干扰因素, 采用离线检验手段无法发现测量误差超标的在线化学仪表。因此, 电厂监督人员和仪表维护人员无法发现测量不准确的在线化学仪表。电厂缺乏正确的在线化学仪表检验方法和检验手段, 是导致大量在线化学仪表测量不准确的根本原因。



3. (1) 水汽化学监督对节能降耗的影响是隐性的。水汽化学监督是防止热力设备由于腐蚀、结垢或积盐造成锅炉和汽轮机效率的降低。这种防止效率降低获得的节能降耗效益不能通过试验直接测定，是防止问题出现造成的损失，不容易引起电厂的重视。

(2) 水汽化学监督对热力设备的影响是慢性的。水汽化学监督出现问题，一般不会造成短期停机事故，积累到一定时间后，同样会造成频繁的爆管事故，同时还会降低锅炉效率和汽轮机效率，长期影响电厂的节能降耗。

4. 如果在线化学仪表测量值不准确，依据不准确的在线化学仪表测量数据进行化学监督和控制，不可避免地会出现监督和控制的偏差，导致热力设备的腐蚀、结垢和积盐，严重影响机组的安全性和经济性。



# 在线电导率表

## 第一节 电导率测量基本原理

### 一、溶液电导率测量原理

溶液的电导率指边长为 1cm 的立方体内所包含的溶液电导。测量溶液的电导率（电阻率的倒数），必须有两片金属插入水中，测量示意图如图 2-1 所示。

将两片金属板放入溶液中，在金属板间施加一定的电压，在电场的作用下，溶液中的阴、阳离子便向与本身极性相反的金属板方向移动并传递电子，像金属导体一样，离子的移动速度与所施加的电压呈线性关系，因此，电解质溶液也遵守欧姆定律，所呈现的电阻和金属导体一样可用式（2-1）表示，即

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2-1)$$

式中  $R$ ——溶液电阻， $\Omega$ ；

$\rho$ ——溶液电阻率， $\Omega \cdot \text{cm}$ ；

$L$ ——金属板间距离， $\text{cm}$ ；

$A$ ——溶液导电的有效截面积， $\text{cm}^2$ 。

不同种类或不同浓度的溶液一般具有不同的电阻率  $\rho$ ，电阻率  $\rho$  的大小表示了溶液的导电能力。但是，习惯上用电阻率  $\rho$  的倒数  $\kappa$  来表示， $\kappa$  称为溶液的电导率。溶液电导率  $\kappa$ 、电阻率  $\rho$ 、电阻  $R$  及电导  $G$  之间的关系为

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} \cdot \frac{L}{A} = G \cdot \frac{L}{A} \quad (2-2)$$

### 二、电导电极和电极常数

用于测量溶液电导率的两块金属板称为电导电极。常规用的电导电极一般是两个金属片（或圆筒）用绝缘体固定在支架上。当电导电极制成后，两个金属片（或圆筒）之间溶液导电的有效截面积  $A$  和金属片间距离  $L$  是不变的。 $L$  与  $A$  的比值是一个常数，称为电极常数。

电极常数  $J$  与溶液的电导率  $\kappa$ 、溶液电导  $G$ 、溶液电阻  $R$  的关系见式（2-3）。

$$J = \frac{L}{A} = \frac{\kappa}{G} = \kappa \cdot R \quad (2-3)$$

式中  $J$ ——电极常数， $\text{cm}^{-1}$ ；

$L$ ——金属片间距离， $\text{cm}$ ；

$A$ ——溶液导电的有效截面积， $\text{cm}^2$ ；

$\kappa$ ——溶液电导率， $\text{S/cm}$ ；

$G$ ——溶液电导， $\text{S}$ ；

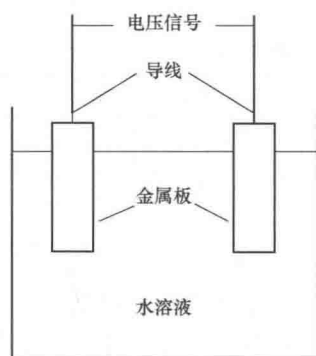


图 2-1 溶液电导率测量示意图