



水位计

(第二版)

徐德兴

水利电力出版社

水 位 计

(第 二 版)

徐 德 兴

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号)

各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 6.625印张 144千字 1插页

1989年3月第一版 1989年3月北京第一次印刷

印数12801—14700册 定价4.45元

ISBN7-120-00580-4/TP·22

内 容 提 要

本书在1978年版基础上修订而成，主要介绍了火力发电厂汽包水位的测量方法和仪表。书中对汽包运行工况下水位变化的特点，“水位-差压”转换装置的原理性问题、结构改进和设计计算，各种差压计仪表的结构、使用、校验等作了较详尽的阐述；另外，还介绍了电接点式、电容式、吹气式、光电式、浮力式水(液)位计的工作原理、结构和使用维护经验。

前 言

火力发电厂的锅炉汽包、直流锅炉启动分离器、高低压加热器、除氧器、蒸发器和凝汽器等热力设备以及水处理系统的清水箱、中间水箱、软水箱、反洗水箱、凝结水箱等均需进行水位测量，其中，锅炉汽包水位的测量，由于其重要性和测量技术上的复杂性，受到人们的重视，成为水位测量中的重要研究课题。

1978年由本人编写出版的《水位计》，得到广大读者的关心，在生产中起到了一点作用，使我更有信心接受水利电力出版社修订该书的任务。修订本仍以锅炉汽包水位测量为重点，但对原书作了较大的修改。删去了一部分过时的内容，补充了一部分新的水位测量技术和仪表，并对锅炉汽包水位测量技术和存在问题作了进一步分析。

在修订本的编写过程中，铁岭光学仪器厂、核工业部265厂、上海新亚仪表厂、大连第五仪表厂和江苏启东智能仪表厂等单位热情地提供了有关技术资料；我所朱赐英、邱玲同志还提供了“单片微型计算机在汽包水位压力校正系统中的应用”的科研成果资料，清华大学王俊杰老师对初稿进行了审阅，提了不少修改意见，在此均致谢意。由于本人水平有限，书中难免有许多不妥之处，诚恳希望读者批评指正。

编著者

一九八六年十二月于武汉

目 录

前言

第一章 概论	1
第一节 测量意义和仪表种类	1
第二节 水和蒸汽的基本特性	4
第三节 锅炉汽包内部结构	4
第四节 锅炉汽包内部工况和水位的实际情况	12
第五节 实际水位、饱和水位和虚假水位	15
第六节 国产锅炉汽包正常水位线	21
第二章 直读式水位计	24
第一节 玻璃管式和玻璃(云母)板式水位计	24
第二节 云母水位计水位与饱和水位的差值	26
第三节 双色水位计	29
第三章 差压式水位计	42
第一节 概述	42
第二节 水位平衡容器	46
第三节 双波纹管差压计	65
第四节 轻液水位计	76
第五节 差压变送器	83
第六节 QXZ型气动色带水位计	92
第七节 差压式水位计的汽包压力校正	100
第八节 差压式水位计的测量管路系统	109
第九节 差压式水位计的校验与投入	112
第四章 电接点水位计	117
第一节 电接点水位计的基本工作原理	118
第二节 水位测量筒	119

第三节	模拟式电接点水位计	134
第四节	数字式电接点水位计	145
第五节	电接点水位计组成的锅炉汽包水位测量系统	159
第六节	电接点水位计的测量误差	162
第五章	其它液位计	173
第一节	电容式液位计	173
第二节	吹气式液位计	179
第三节	光电式水位计	185
第四节	浮力式液位计	188
第六章	水位保护	195
第一节	锅炉汽包水位保护	195
第二节	加热器水位保护	199
第三节	UDB-11系列极限水位报警仪	199

第一章 概 论

第一节 测量意义和仪表种类

一、水位测量的意义

火力发电厂中的锅炉汽包、直流锅炉启动分离器、高低压加热器、除氧器、凝汽器、双水内冷发电机的冷水箱以及水处理系统的清水箱、中间水箱、软水箱（或除盐水箱）、反洗水箱、凝结水箱等均需进行水位测量。准确、可靠地测量这些设备的水位，并使水位控制在允许范围内，对保证发电设备的安全经济运行具有十分重要的意义。例如：火力发电厂的锅炉汽包水位是最重要的热工参数，由于其测量的重要性和测量技术的复杂性，已成为水位测量中最重要的研究对象。汽包水位过高，会影响汽水分离装置的汽水分离效果，使饱和蒸汽的湿度增大、含盐量增多，造成过热器和汽轮机通汽部分积垢，日久容易引起过热器管壁超温甚至爆管，以及汽轮机效率降低、轴向推力增大。当水位高到一定值时，还会造成蒸汽带水，使汽轮机产生水冲击，引起破坏性事故（如推力瓦熔化、轴封破损和叶片断裂，严重时，还会出现叶轮和大轴变形等），直接威胁汽轮机的安全经济运行；水位过低，会影响自然循环锅炉的水循环安全，造成水冷壁管某些部分循环停滞，因而局部过热甚至爆管。但是，只要有水位计及时反映汽包水位的高低和变化趋向，将水位控制在规定的范围内，就能避免上述事故的发生。

测量加热器的水位是为了使其水位维持在一定范围内，以确保加热器进汽和疏水相平衡。通过对高压加热器的水位测量还可以及时发现因管子破裂，高压给水沿抽汽管路倒灌入汽缸的事故先兆。

测量凝汽器水位是为了确保凝结水泵的进口侧有一定的灌注高度，防止因凝结水汽化产生汽蚀现象。

二、水位计的种类

水位计按工作原理可分为直读式水位计、差压式水位计、浮力式水位计、电容式水位计、电接点水位计、吹气式水位计、光电式水位计、压阻式水位计等；按安装位置可分为就地水位计、远传水位计（对汽包水位计也可称低置水位计）；按显示方式可分为模拟式水位计和数字式水位计。

目前火力发电厂用得最普遍的有以下几种水位计。

1. 直读式水位计

这种水位计就地安装在锅炉汽包等容器附近，值班人员就地监视水位，或通过电话、手拨信号将水位指示值传送到控制室。玻璃管式或玻璃（云母）板式水位计、双色玻璃水位计等属于就地直读式水位计。大型锅炉上所安装的这类水位计不作为正常运行时的监视仪表，只有在锅炉起停等异常工况下核对水位时用到。目前，我国已能生产配有工业电视的双色水位计，通过它可在控制室内直观地监视水位变化情况。

2. 差压式水位计

差压式水位计是利用液体静力学原理将水位转换成差压，再通过测量差压来显示水位的。仪表由平衡容器、差压计和二次仪表等组成。

这种仪表种类很多，不同差压计主要是工作原理和结构不同，如双波纹管差压计、膜片式差压计、力平衡式电动或

气动差压变送器和电容式差压变送器等。这类仪表用来测量锅炉汽包水位时，汽包压力变化引起的汽、水密度变化，使“水位-差压”的关系发生变化，造成较大的测量误差。正确地设计水位平衡容器可减小测量误差。还有一种具有汽包压力自动校正装置的差压式水位计，对压力变化引起的水位误差可进行全补偿，使水位计指示能较正确反映汽包水位。

3. 电接点水位计

这类水位计是利用锅炉饱和蒸汽及其凝结水的电导率有较大差异的原理测量水位的。它具有结构简单、运行可靠、适应锅炉变参数运行使用的优点。按显示方式不同，这类仪表可分为数字式和模拟式两大类。

4. 浮力式水位计

这类水位计是利用漂浮于液面上或没入液体中的浮子位置随液位变化而变化的原理工作的。它可分为浮子带钢丝绳或钢带的、浮球带杠杆的和沉筒式的三种。这类水位计结构简单，工作可靠，不易受外界温度、湿度、电磁场等影响，而且机械结构比较直观，容易发现故障及进行维修；其缺点是可动部分易锈蚀，仪表变差大。

5. 电容式水位计

这类水位计的工作原理是，利用水作电容的一个极，插入水中的一根金属棒作电容的另一个极，两极间电容量随水位上升而增加，测出电容变化即可测出水位。这类仪表具有结构简单、安装方便、耐腐蚀等优点。

6. 光电式水位计

光电式水位计是利用光通过空气（或蒸汽）和水的折射率不同，使光电器件受光程度不同，再通过光电信号的不同来区分水和汽的，从而达到测量水位的目的。

7. 吹气式水位计

吹气式水位计是利用液体静力学原理，将水位的高低转换成气压的高低，再通过测量气压达到测量水位目的。

第二节 水和蒸汽的基本特性

火力发电厂中需要测量水位的热力设备，其内部都有一定的压力和温度。运行中的锅炉汽包内部，由于处于水沸腾状态，汽包压力和温度之间具有确定的对应关系，只要知道汽包内部温度或压力，即可确定饱和水或饱和蒸汽的密度。表1-1列出了饱和蒸汽和饱和水的密度与汽包压力的关系，图1-1绘出了它们之间的关系曲线。图中，上半段曲线为饱和水的密度 ρ' 曲线，下半段为饱和蒸汽的密度 ρ'' 曲线。由曲线可归纳以下几点：

(1) 饱和水的密度随汽包压力升高而下降，饱和蒸汽的密度随汽包压力升高而上升。在临界压力(22.022MPa)时，二者密度已没有差别。

(2) 饱和水密度在低压范围内或接近临界压力处，随压力的升高下降很快，曲线比较陡；在中压和高压范围内，曲线比较平坦且线性较好；在亚临界压力范围内，曲线很陡，密度增加很快。

为了便于进行水位平衡容器的设计计算及水位计的误差分析和校正，表1-2列出了水的密度与压力、温度之间的关系。

表 1-1 饱和蒸汽、饱和水密度和汽包压力的关系

表 压 力 P		饱和蒸汽密度 ρ''	饱和水密度 ρ'
MPa	kgf/cm ²	kg/m ³	kg/m ³
0	0	0.5797	958.77
0.1	1.01972	1.1191	942.90
0.2	2.03943	1.6409	931.73
0.3	3.05915	2.1535	922.82
0.4	4.07886	2.6593	915.22
0.5	5.09858	3.1604	908.51
0.6	6.11830	3.6571	902.53
0.7	7.13803	4.1519	896.97
0.8	8.15773	4.6465	891.88
0.9	9.17744	5.1384	887.15
1.0	10.19718	5.6284	882.64
1.1	11.21688	6.1174	878.41
1.2	12.23660	6.6072	874.35
1.3	13.25631	7.0964	870.45
1.4	14.27602	7.5854	866.76
1.5	15.29574	8.0767	863.15
1.6	16.31546	8.5638	859.68
1.7	17.33517	9.0561	856.35
1.8	18.35489	9.5424	853.18
1.9	19.37460	10.035	850.00
2.0	20.39432	10.529	846.92
2.1	21.41404	11.022	843.91
2.2	22.43375	11.516	841.03
2.3	23.45347	12.009	838.21
2.4	24.47318	12.505	835.44
2.5	25.49290	13.002	832.63
2.6	26.51262	13.500	829.95
2.7	27.53233	13.998	827.32
2.8	28.55205	14.499	824.71

续表

表 压 力 P		饱和蒸汽密度 ρ'	饱和水密度 ρ''
MPa	kgf/cm ²	kg/m ³	kg/m ³
2.9	29.57176	15.000	822.19
3.0	30.59148	15.503	819.73
3.2	32.69091	16.513	814.87
3.5	35.69006	18.037	807.77
3.8	38.74921	19.576	800.94
4.0	40.78864	20.609	796.54
4.2	42.82807	21.653	792.24
4.5	45.88722	23.229	785.93
4.8	48.94637	24.819	779.78
5.0	50.98580	25.890	775.74
5.2	53.02523	26.971	771.81
5.5	56.08438	28.604	766.00
5.8	59.14353	30.263	760.28
6.0	61.18296	31.379	756.50
6.2	63.22239	32.505	752.79
6.5	66.28154	34.209	747.28
6.8	69.34069	35.936	741.85
7.0	71.38012	37.109	738.27
7.2	73.41955	38.287	734.72
7.5	76.47870	40.071	729.41
7.8	79.53785	41.884	724.17
8.0	81.57728	43.110	720.71
8.2	83.61712	44.348	717.27
8.5	86.67586	46.233	712.14
8.8	89.73501	48.143	707.01
9.0	91.77444	49.436	703.61
9.2	93.81387	50.736	700.24
9.5	96.87302	52.713	695.20

续表

表 压 力 P		饱和蒸汽密度 ρ''	饱和水密度 ρ'
MPa	kgf/cm ²	kg/m ³	kg/m ³
9.8	99.93217	54.734	690.16
10.0	101.9716	56.073	686.76
10.2	104.01103	57.495	683.47
10.5	107.07018	59.804	678.44
10.8	110.12983	61.732	673.42
11.0	112.16876	63.188	670.08
11.5	117.26784	66.934	661.7
12.0	122.36592	70.793	653.82
12.5	127.4645	74.832	644.88
13.0	132.56308	79.004	636.40
13.5	137.66166	83.363	627.81
14.0	142.7602	87.922	619.15
14.5	147.85882	92.761	610.33
15.0	152.9574	97.750	601.36
15.5	158.05598	103.044	592.19
16.0	163.15456	108.572	582.79
16.5	168.25314	114.50	573.08
17.0	173.35172	120.77	563.08
17.5	178.4503	127.62	552.38
18.0	183.54888	134.90	541.22
18.5	188.64746	142.94	529.22
19.0	193.74604	151.62	516.57
19.5	198.84462	161.53	502.70
20.0	203.9432	172.63	487.69
20.5	209.0418	186.33	470.11
21.0	214.1404		
21.7	221.2784	241.73	404.08
22.022	224.56	315.46	315.46

表 1-2 不同温度、压力下水的密度 (kg/m^3)

t ($^{\circ}\text{C}$)	P (MPa)							
	0.1	2	5	8	10	13	16	20
0	999.8	1000.8	1002.3	1003.8	1004.8	1006.3	1008.0	1009.8
10	999.6	1000.6	1001.9	1002.9	1003.8	1005.7	1008.9	1008.9
20	998.1	999.2	1000.6	1001.9	1002.8	1003.9	1005.3	1006.9
30	995.6	996.2	997.5	998.8	999.9	1001.2	1002.6	1004.2
40	992.1	993.2	994.4	995.7	996.8	997.8	999.1	1000.7
50	987.8	988.9	989.9	991.2	992.5	993.6	995.1	996.6
60	983.2	984.0	985.4	986.7	987.6	988.9	990.4	992.0
70	977.4	978.3	979.7	981.2	982.3	983.6	985.0	986.7
80	971.7	972.6	973.9	975.3	976.2	977.7	979.2	980.8
90	964.9	965.9	967.2	968.6	969.6	971.3	972.8	974.4
100	958.1	959.1	960.5	961.9	962.9	964.4	965.9	967.6
110		951.4	952.9	954.4	955.4	957.0	958.7	960.4
120		943.8	945.4	946.8	947.8	949.3	951.0	952.8
130		935.3	937.0	938.5	939.6	941.2	942.9	944.7
140		926.8	928.5	930.2	931.3	932.7	934.4	936.4
150		917.4	919.3	921.0	922.1	923.8	925.5	927.5
160		908.1	910.0	911.8	912.9	914.5	916.4	918.3
170		897.9	899.9	901.8	903.0	904.8	906.8	908.8
180		887.7	889.7	891.7	893.0	894.7	896.7	898.8
190		876.4	878.6	880.7	882.1	884.1	886.2	888.5
200		865.10	867.4	869.7	871.2	873.0	875.2	877.9
210			855.1	857.6	859.2	861.5	863.7	866.6
220			842.8	845.4	847.2	849.3	852.0	854.9
230			829.2	832.0	833.9	836.8	839.5	842.7
240			815.5	818.6	820.6	823.4	826.5	829.9
250			800.0	803.4	805.7	809.3	812.7	816.5
260			784.4	788.2	790.8	794.8	798.1	802.2
270				770.8	774.8	778.4	782.5	787.1
280				753.3	756.5	761.3	766.0	771.1
290					736.8	742.7	748.0	753.9

续表

t (°C)	p (MPa)							
	0.1	2	5	8	10	13	16	20
300					715.6	722.1	728.7	735.3
310						673.3	706.9	715.0
320							683.2	692.6
330							653.0	667.2
340							620.6	638.1
350								602.6
360								550.2

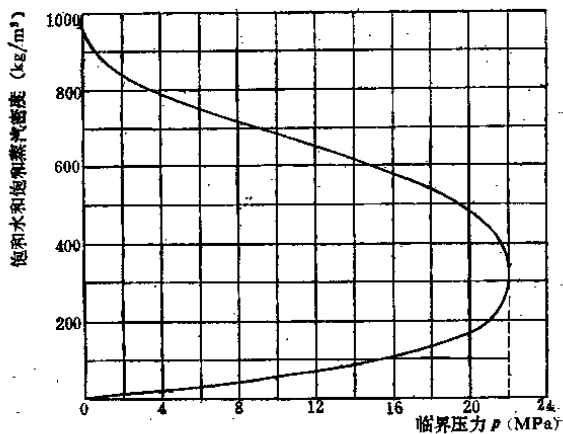


图 1-1 饱和蒸汽和水的密度与汽包压力之间的关系曲线

第三节 锅炉汽包内部结构

锅炉参数不同，汽包内部结构也不同。一般锅炉汽包的

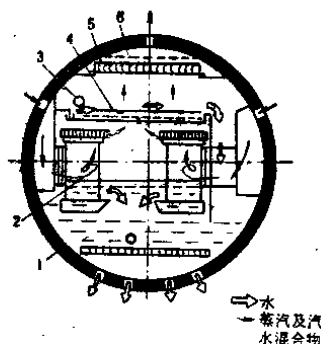


图 1-2 高压锅炉汽包内部装置

1—汽包；2—旋风分离器；3—给水管；4—蒸汽清洗装置；5—百页窗分离器；6—顶部孔板

内部装置有如下几种（图1-2）：

1. 汽水分离装置

它包括旋风分离器和百页窗分离器两部分。蒸汽经旋风分离器进行初分离后，再到百页窗分离器进行二次分离，将水分从蒸汽中分离出来，以降低蒸汽的机械性携带。汽水分离器的结构，应考虑到能消除汽水混物流进汽包时对水面的冲击，以及可能产生的水位膨胀和水面起泡沫现象。

2. 蒸汽清洗装置

高压锅炉才有这种装置。这是因为，高压锅炉蒸汽对某些盐类（主要为硅酸盐）具有选择性携带的特性，所以不能用机械分离的方法消除蒸汽中的盐分。蒸汽清洗，就是将蒸汽通过洁净的给水层使蒸汽中的硅酸盐扩散掉。蒸汽清洗装置应与汽包正常水位保持一定的距离，以保证清洗前蒸汽能充分分离，从而消除汽包水位膨胀时对清洗装置的影响。

3. 分段蒸发装置

为了提高蒸汽的品质,有些锅炉采用了分段蒸发,即将汽包分为盐段和净段两部分。在设计汽包内部装置时,应使盐、净段间的水位差不大于 $20\sim 50\text{mm}$,不仅在净段,而且在盐段也应安装水位计。

4. 水位计保护装置

它用来消除或减小汽包内部工况对水位计的干扰,以保证水位计的正常工作。

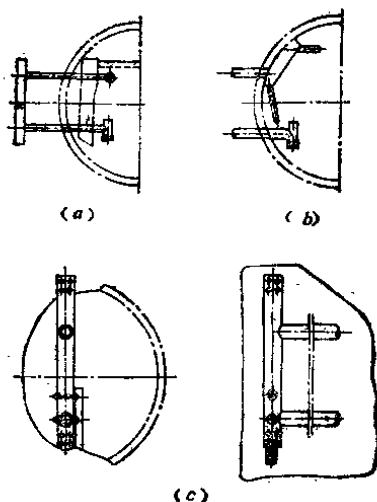


图 1-3 水位计保护装置

(a)有蒸汽清洗装置时的保护装置; (b)汽侧脉冲管单独保护装置(带疏水管); (c)水、汽两侧脉冲管共用的稳定装置