

水电站厂房通风、 空调和采暖

长江流域规划办公室枢纽处
古田溪水电站

水电站运行丛书



水利电力出版社

水电站运行丛书

水电站厂房 通风、空调和采暖

长江流域规划办公室枢纽处
古田溪水电站

水利电力出版社

内 容 提 要

本书较详细地介绍了水电站厂房通风、空气调节和采暖系统的运行、管理、检修及安装的方法；还全面而又概要地阐述了工作原理、系统布置、设计计算、测量调整以及必要的传热学及制冷学等基础知识。书中列有计算所必需的公式及常用的资料数据。还列举了不少工程实例，以供实际工作中应用。

本书可供水电站运行、检修工人及技术人员使用，也可供设计、施工、安装单位工程技术人员及大、专院校师生参考。

水电站运行丛书

水电站厂房通风、空调和采暖

长江流域规划办公室枢纽处

古 田 溪 水 电 站

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

房山南召印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 16.875印张 374千字 1插页

1984年3月第一版 1984年3月北京第一次印刷

印数 0001—6040 册 定价 1.75 元

书号 15143·5324

出版者的话

为了总结交流各水电站运行与检修方面的经验，不断提高职工的技术管理水平，以适应日益发展的水电建设的需要，为此水利电力部生产司特组织有关单位编写了《水电站运行丛书》。这套丛书共有八册，书名为《混流式水轮机运行与检修》、《轴流转叶式水轮机运行与检修》、《冲击式水轮发电机组运行与检修》、《水轮发电机运行与检修》、《水轮发电机辅助设备运行与检修》、《水电站厂房通风、空调与采暖》、《金属结构设备的运行与检修》、《水电站水库调度》。

我们热忱地希望广大读者在阅读这套丛书时，将发现的问题和改进意见告诉我们，以便再版时修改补充。

一九八三年六月

前 言

建国以来，在党的领导下，水电建设取得了很大的成就。为了总结水电站厂房的通风、空气调节和采暖方面的实践经验，提高职工的技术水平，在水利电力部生产司主持下，组织有关单位编写了《水电站通风、空调和采暖》一书。

本书较系统地介绍了水电站厂房的通风、空气调节和采暖的基本原理及其设计、运行、管理、检修与安装的方法和实践经验，还扼要地介绍了一些设计计算常用公式和图表资料，可作为大中型水电站厂房运行、检修工人的自学读物，也可供有关院校师生和工程技术人员参考。

本书由长江流域规划办公室枢纽处金峰、吴云翔、李大熙和古田溪水电站陈炜、杨作栋等同志共同编写，并得到中南水电勘测设计院、武汉市轻工业设计院、西安冶金建筑工程学院、陕西省建筑工程学院、武汉制冷设备总厂、成都水电勘测设计院、东北水电勘测设计院、昆明水电勘测设计院、江西水电勘测设计院、刘家峡水电厂、丹江口水电厂、新安江水电厂、流溪河水电厂、葛洲坝工程局安装分局等单位有关同志的大力支持和帮助，杨虞武、胡凤山、赵洪寿、张伯海、崔鸿义、陈畴等同志参加了审校工作，在此一并致谢。

由于编写者水平有限，时间也较仓促，难免有不妥之处，希望读者指正。

编 者

目 录

前 言

第一章 概述 1

第一节 通风、空气调节和采暖的作用 1

第二节 空气的物理性质 3

第三节 空气的焓湿图及其应用 15

第四节 传热学基础知识 22

第二章 通风 36

第一节 室内热负荷的计算 36

第二节 主厂房通风 53

第三节 副厂房通风 79

第四节 检修通风 88

第五节 通风管道的布置及计算 97

第六节 风机的选择 113

第三章 空气调节 119

第一节 空气调节的内容和分类 119

第二节 负荷计算和风量的确定 125

第三节 空调冷源 144

第四节 空气温湿度处理 171

第五节 空气的过滤 210

第六节 空气的消声 213

第七节 气流组织 223

第八节 空调系统的阻力、隔热及空调器房布置 247

第九节 自动控制 259

第四章 采暖和防潮除湿	272
第一节 采暖	272
第二节 防潮除湿	282
第五章 通风系统的管理、检修与安装	290
第一节 主厂房自然通风的管理	290
第二节 机械通风的管理	291
第三节 通风设备的检修	297
第四节 风机的安装	322
第六章 空调设备的管理、检修和安装	330
第一节 空气调节器	330
第二节 空气调节机组	340
第三节 氟利昂活塞式压缩制冷系统	347
第四节 其他形式的制冷系统	425
第五节 自动控制系统	446
第七章 测量与调整	462
第一节 测量仪器	462
第二节 通风空调系统风量风压的测量与调整	473
第三节 空气处理室的测量与调整	480
第四节 室内空气参数和气流组织的测量与调整	483
第五节 空调系统综合工况的测量	489
附录一 常用局部阻力系数表	492
附录二 标准风管规格表	501
附录三 夏季太阳辐射热的总辐射强度	503
附录四 夏季透过普通窗玻璃的太阳总辐射强度	505
附录五 7月各城市日射得热因数最大值 D_{Jmax}	507
附录六 窗玻璃的冷负荷系数 X_{CL}	509
附录七 外墙冷负荷温度 $t_{l,r}$	517
附录八 屋面冷负荷温度 $t_{l,r}$	525

附录九 国际单位制526

附录十 空气焓湿图

附录十一 土建风管线算图

附录十二 钢板制圆形风管线算图

附录十三 塑料制圆形风管线算图

第一章 概 述

第一节 通风、空气调节和采暖的作用

空气是人们生活所必需的要素之一。但不是任何状态、任何成分的空气都适合人们的需要。这是因为人们有冷与暖、干燥与潮湿的感觉，故对空气的温度、湿度有一定的要求。不仅如此，空气的清洁度不同，流动速度不同，也会给人以污浊或新鲜、难受或舒适的感觉。如我国南方某些水电站地面厂房发电机层，夏季室温高达 40°C 以上，过高的环境温度阻碍人体散热，使体温调节机能过分紧张，甚至破坏人体的正常热平衡；又如某些水电站地下式或封闭式厂房，由于噪声控制、照明、环境色彩、通风、空气调节的不良等原因，往往使人感到疲倦、头晕、闷热、困乏和食欲减退；高程低于水面的房间，一般潮湿严重，运行检修人员容易患关节炎等疾病。

随着科学技术的发展，工业、农业、国防、科学研究等方面的生产工艺、仪表设备，对室内的空气环境提出了各种不同的要求。如果不能满足这些要求，便要影响产品质量和生产效率。如电子计算机室的空气温度、湿度及清洁度有不良变化时，会引起电子计算机故障的发生。当相对湿度 φ 大于65%时，电子计算机每天稳定的时间要减少2~4小时。在中央控制室、载波和微波机室、发电机层等电气和自动化仪表较集中的地方，对温湿度的要求也较严。室温越高，电气元件的可靠性越差，故障率也愈高。据统计室温超过 55°C 时，电气元件的故障率就急剧增加。半导体(PN结)在正

常工作温度以上每升高 $13\sim 15^{\circ}\text{C}$ ，失效率就增加 5 倍；室温超过 40°C 时，一般半导体元件就易发生误动作甚至烧坏。室温低于 5°C 时，会使电气设备绝缘层脆化断裂。发电机内的线圈或磁芯温度允许值，主要受绝缘能力的制约，在正常工作温度以上 $8\sim 15^{\circ}\text{C}$ 条件下运行，其寿命要缩短十年左右，故发电机的冷却进风温度一般不大于 40°C 。相对湿度过高，会使仪表元件发霉、绝缘下降，甚至击穿失灵。相对湿度过低又会由于静电干扰而发生误动作。各种机械锈蚀的主要原因是空气的相对湿度过高。据试验，腐蚀速度以 $\varphi=100\%$ 时为最高， $\varphi=50\%$ 时接近于零，至 60% 时即显著增加，至 70% 时为最高速度的一半，至 $\varphi=80\%$ 时即接近最高速度。

此外，在工业厂房中，往往伴随生产过程而排出有害气体与灰尘，污染室内环境，使空气清洁度变坏。危害人体的有害气体有以下四种基本类型：窒息性的、刺激性的、麻醉性的及中毒性的。有些气体对设备有腐蚀作用。水电站的蓄电池室不断发散出硫酸雾与氢气，尤以敞开式蓄电池为甚。硫酸雾是有刺激性和腐蚀性的有害气体；氢气在一定条件下容易爆炸。灰尘在设备上积聚过多，除堵塞设备缝隙和孔道，增加清扫困难外，还可能降低电路绝缘，造成短路。灰尘在空气中的浓度超过允许范围，也影响人体健康。

综上所述，需要对空气的温度、相对湿度、气流速度和清洁度（简称为“四度”）加以调节才能满足工艺和卫生的要求。通风、空气调节与采暖正是搞好“四度”的一门科学技术。

随着我国社会主义建设事业的发展，通风、空气调节与采暖技术也在迅速发展和广泛应用。在这方面水电站也取得了一定的成绩。如广东流溪河等地下水电站厂房采用全排风

方式，较好地解决了厂内通风减湿的问题。新安江、丹江口等水电站厂房采用水库深层低温水为冷源，进行空气调节，收到了好的效果。刘家峡、安砂等水电站厂房采用高速射流形成了较好的厂内气流。葛洲坝、乌江渡等大型电站的通风与空气调节系统采用了自动控制，可以达到节省电力、人力，保证运行效果的目的。其他如公共建筑及工厂等都在广泛的应用空调和通风技术。

第二节 空气的物理性质

为了掌握通风、空气调节与采暖专业的基本概念，首先应了解空气的一些基本知识，主要有以下几方面。

一、空气的组成

众所周知，地球周围包着一层由多种气体混合组成的空气，也叫大气。地表水不断蒸发成水汽而进入大气，大气中的水汽又不断以雨露霜雪等形态凝结回降至地表。因此，自然界中的空气是带有一定量水蒸汽的气体，称之为湿空气。通风、空调和采暖中所说的空气，即是这种湿空气。对比而言，不带水蒸汽的空气，叫做干空气。干空气的主要成分见

表 1-1 干 空 气 的 组 成

组成气体名称	化 学 符 号	含 量 (%)	
		按 重 量 计	按 体 积 计
氮	N ₂	75.55	78.13
氧	O ₂	23.10	20.90
二氧化碳	CO ₂	0.05	0.03
稀有气体		1.30	0.94

表1-1。不过在自然界中这种绝对干燥的干空气是不存在的。

此外，大气中还夹杂着少量的灰尘、烟雾和细菌等。

二、空气的物理状态参数

空气的物理性质不仅取决于它的组成成分，而且也与它所处的物理状态有关。常用的空气状态参数分述如下。

1. 压力

空气压力是空气垂直作用于单位面积上的力。压力的国际单位^①是帕斯卡，简称帕，用符号 P_a 表示。

(1) 大气压力：包围在地球表面的大气层对地面所产生的压力称为大气压力。通常以纬度 45° 的海平面上，空气温度为 0°C 时，测得的平均压力作为一个标准大气压或物理大气压，其数值等于101.325千帕或760毫米汞柱。大气压力随所在地区的海拔高度不同而变化。一般在地面附近，平均每升高9米，大气压力要降低0.1千帕左右。同一地区，大气压力也因季节、晴雨等气候变化而稍有变化。

在工程热力学的计算中，空气压力以公斤力/厘米²作计量单位，称工程大气压。在气象工作中则以毫巴计量。而在通风、空调与采暖工程中，以前常用公斤力/米²即毫米水柱作为空气压力的计量单位。凡此种单位今后将逐步过渡为国际单位制的帕斯卡。

① 国际单位制是一九六〇年第十一届国际计量大会通过的 国际通用单位制，其国际代号为SI。我国简称国际制。一九八一年八月中国国际单位制推行委员会颁行了《中华人民共和国计量单位名称与符号方案(试行)》(以下简称方案)规定在我国将逐步使用国际单位制，另有39个计量单位将暂时并用。国际单位制的介绍及其与原单位制的换算见本书附录九。本书部分物理量如热能、热流量等的计量单位为遵从使用习惯仍采用了《方案》规定的暂与国际单位制并用的单位。并给出了它与国际制单位的换算关系。其余物理量均采用国际制单位。

$$1 \text{ 工程大气压} = 1.0 \text{ 公斤力/厘米}^2$$

$$= 735.56 \text{ 毫米汞柱}$$

$$= 10000 \text{ 毫米水柱}$$

$$= 980.665 \text{ 毫巴}$$

$$= 98066.5 \text{ 帕}$$

$$1 \text{ 标准大气压} = 1.03323 \text{ 公斤力/厘米}^2$$

$$= 760 \text{ 毫米汞柱}$$

$$= 1013.25 \text{ 毫巴}$$

$$= 101325 \text{ 帕}$$

(2) 容器内的空气压力: 在容器内的空气压力, 有两种不同的表示方法。一种是直接作用于容器内壁上的压力, 称为绝对压力。另一种是用压力表量测的读数, 称为表压力, 它反映出容器内外壁面上的压力差值。分别以 P_{ja} 和 P' 表示。当绝对压力高于当时当地的大气压力时有下列关系:

$$P_{ja} = B + P' \quad (1-1)$$

式中 P_{ja} ——绝对压力;

B ——当时当地的大气压力值;

P' ——表压力。

当容器内空气的绝对压力低于当时当地的大气压力时, 表压力是负值。这时表压力的绝对值称为真空压力或称负压力。符号为 P'' 。关系式为:

$$P_{ja} = B - P'' \quad (1-2)$$

(3) 水蒸汽分压力: 如上所述, 空气是干空气与水蒸汽的混合体。空气中水蒸汽体积与干空气体积各自等于空气的体积, 水蒸汽和干空气的温度就等于空气的温度。由于在一般情况下, 干空气与水蒸汽均可视为理想气体。因此, 根据道尔顿定律, 大气压力 B 是由干空气分压力 P_g 与水蒸汽分

压力 P_{zq} （均指绝对压力）所合成，即：

$$B = P_g + P_{zq} \quad (1-3)$$

空气中水蒸汽含量越多，其分压力也越大。水蒸汽分压力的大小直接反映了水蒸汽数量的多少，是衡量空气湿度的一个指标，在空调中常用到这个参数。

2. 温度

它是表示物体冷热程度的指标。为了保证温度测量的准确性和统一性，需要一个衡量温度高低的标尺，称为温标。目前国际上使用的有绝对温标、摄氏温标和华氏温标。在我国工程上常用摄氏温标。

摄氏温标是在标准大气压下，以纯水的冰点为 0°C ，沸点为 100°C ，在 0°C 与 100°C 之间分为100等份，每一等份就是一摄氏度，用 t 表示，其单位叫摄氏度，符号为 $^{\circ}\text{C}$ 。

绝对温标又称国际实用温标，用 T 表示，其单位叫开尔文简称开，符号为 K 。它以纯水在一个标准大气压下的冰点为 273.15K ，沸点为 373.15K ，其间相差 100K 。

绝对温标与摄氏温标的关系为：

$$T = 273.15 + t \quad (1-4)$$

3. 湿度

空气中水蒸汽含量的多少通称为空气的湿度，根据不同用途有以下几种表示方法。

（1）绝对湿度 ρ_{zq} ：在每一立方米湿空气中所含有的水蒸汽的质量称为空气的绝对湿度，计量单位是克/米³或公斤/米³。

（2）含湿量 d ：湿空气在状态变化过程中，即使没有水蒸汽进入或析出，其体积也是会变化的，这样，绝对湿度也将随着发生变化，所以绝对湿度 ρ_{zq} 的某种变化还不能反

映湿空气中水蒸汽量的增减。在空气调节工程中，为了反映水蒸汽含量的变化，利用湿空气中的干空气在状态变化过程中其质量不变的特点，以与每 1 公斤干空气混合在一起的水蒸汽量来表示湿空气的湿度，称为空气的含湿量，计量单位为克/公斤干空气，通常写为克/公斤，用下式表示：

$$d = \frac{G_{zq}}{G_g} \quad (1-5)$$

式中 d ——空气的含湿量（克/公斤），随着国际单位制的推广使用，也有用 X 作含湿量的符号的；

G_{zq} ——水蒸汽的质量（克）；

G_g ——干空气的质量（公斤）。

含湿量还可按下式计算

$$d = 622 \frac{P_{zq}}{B - P_{zq}} \quad (1-6)$$

从上式看出，当大气压力 B 一定时，水蒸汽分压力 P_{zq} 愈大，含湿量 d 也愈大，它们是两个互相联系着的参数。

（3）相对湿度 φ ：实践证明，无论是潮湿和干燥的感觉，或者是设备的锈蚀速度。都不是直接与绝对湿度或含湿量有关，而是取决于空气的相对湿度。

相对湿度是指空气的绝对湿度 ρ_{zq} 与同一温度下饱和绝对湿度 ρ_{bh} 的比值，用百分数表示：

$$\varphi = \frac{\rho_{zq}}{\rho_{bh}} 100\% \quad (1-7)$$

φ 也可用水蒸汽分压力 P_{zq} 与同温度下饱和水蒸汽分压力 P_{bh} 的比值表示：

$$\varphi = \frac{P_{zq}}{P_{bh}} 100\% \quad (1-8)$$

相对湿度是指空气接近饱和的程度。 $\varphi = 100\%$ 时的空气

是饱和空气； φ 值越小，空气越干燥，吸湿能力越大； $\varphi=0$ ，就是干空气。

什么是饱和绝对湿度及水蒸汽饱和分压力？在一定温度下，空气中的水蒸汽容纳量有一定的限度，当达到这个限度时，多余的水蒸汽会凝结成水。空气的这种状态叫做饱和状态，达到饱和的这种空气叫饱和空气，其相应的湿度参数叫做饱和绝对湿度 ρ_{bh} 、饱和含湿量 d_{bh} 、饱和水蒸汽分压力 P_{bh} 等。

在日常生活中，人们可以看到空气达到饱和状态的许多事例。冬天，在寒冷的室外说话，可以看见从嘴里呼出的团团白色热气，人们往往认为这是水蒸汽，其实水蒸汽是无色的，见不到的。我们所见到的白色热气，正是嘴里呼出的水蒸汽使附近的空气达到了饱和状态，多余的水蒸汽凝结成雾状小水珠，在光线照射下形成的。

空气的饱和湿度与温度密切相关，温度越高，能容纳的水蒸汽极限值就越大，反之则越小。在标准大气压下不同温度时空气的饱和含湿量列举数例如下：

0℃的空气： $d_{bh}=3.8$ 克/公斤；

16℃的空气： $d_{bh}=11.4$ 克/公斤；

20℃的空气： $d_{bh}=14.7$ 克/公斤；

40℃的空气： $d_{bh}=48.8$ 克/公斤。

(4) 露点温度 t_{ld} ：在一定压力下，空气温度降低时，其饱和绝对湿度变小，故相对湿度增加。当气温降到某一温度时，其相对湿度增至 $\varphi=100\%$ ，空气达到饱和状态，这时的温度称作露点温度。温度再降低，空气即呈过饱和状态而有水蒸汽凝结成露水从空气中析出。冬季玻璃窗上的凝结水，早晨草叶上的露珠，便是这种空气结露的现象。它是由于草

叶或玻璃的冷表面使附近空气冷却，低于其露点温度而析出水分的结果。在空调技术中，常利用这个降温析水的规律对空气进行干燥处理，降低含湿量。

空气含湿量愈大，使它达到饱和状态时的温度降低幅度就愈小，即它的露点温度愈高。反之，含湿量愈小则它的露点温度也愈低。所以露点温度 $t_{l,d}$ 也可以表示空气湿度的大小。

4. 湿球温度

用水银温度计或酒精温度计测出的温度称空气的干球温度，这种温度计称干球温度计。如果我们用纱布包在温度计的感温球外面，并将纱布下端浸在充水的容器中，使纱布经常处于湿润状态，这样的温度计称湿球温度计。用它在空气中测出来的温度称湿球温度，用 $t_{s,q}$ 表示。

湿球温度计的测温过程是：一开始由于湿球纱布中的水分不断蒸发而吸热，使湿球纱布中水的温度低于周围空气温度，周围空气要向温度较低的湿球纱布传递热量而使它又得到一部分热。当失热等于得热时，纱布上的水处于热平衡状态，并将随着空气状态的变化而不断改变得失热数量，从而保持这种热平衡状态，这时湿球温度计上的读数，即湿球温度。显然，湿球温度总是小于干球温度的。空气越干燥，水分蒸发得越快，蒸发过程所需的汽化热也越多，湿球温度和干球温度的差值就越大，所以干、湿球温度差值的大小可以表示空气的干燥程度。利用这种关系，即可从图1-1由干、湿球温度计读数直接查得相对湿度。

5. 焓

单位质量空气所含有的全部热能叫做空气的焓，用 i 表示。随着国际单位制的推广使用，也有以 H 作为焓的符号的。国际制计量单位为千焦耳/公斤，符号为kJ/kg，习惯常