

郭遵然 編著



通风工程

上海科学技术出版社

86.3631
427(2)

通 风 工 程

(第 二 版)

郭遵然 編著

363631

上海科学技术出版社



內 容 提 要

本书全面介绍工业与民用建筑方面有关通风的原理、設計和要求。凡自然通风和机械通风的方法和布置,空气的特性和处理,以及通风管道的計算,通风机的选择和空气調节的使用等都作了較詳細的介绍。每一項有关通风工程的計算都附有例题,使理論与实用互相結合。

本书可供工业与民用建筑技术人員、供暖与通风的設計人員参考之用,亦可供高等和中等专业学校供暖与通风专业学生参考之用。

通 风 工 程

(第二版)

郭 遵 然 編 著

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

上海大东集成联合印刷厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印张 15 24/32 插页 3 字数 417,000

(1956年9月第1版印2次共印8,500册)

1961年6月第2版 1963年8月第2次印刷

印数 4,001—4,800

統一书号:15119·1567

定 价:(十二)2.25 元

第二版序

随着祖国經濟建設的飞跃发展，新建和扩建的現代化大型工业企业也愈来愈多。这些社会主义性质的現代化企业，不但在厂房和设备上要求十分完善，而且在劳动保护上，也要求为劳动創造出既安全又舒适的条件。因此，在全国各地大量建設这些規模宏大的工业企业时，必然会对通风工程提出各种新的要求。

有些工业企业，例如精密仪器制造厂、棉毛紡織工厂、制药工厂和烟草工厂等，装置通风和空气調节設備，不仅是为了改善工人的劳动条件，而且也是为了生产本身的需要。

特別在目前全国工业产品正在向高、精、尖方向发展的时候，对通风和空气調节也提出了更高的和更新的要求。例如在1959年建設的許多工业厂房中，对恒温、恒湿和自动調节方面就曾提出过某些特殊的要求。

在公用建筑中，对通风和空气調节的要求也愈来愈高，使用范围也愈来愈广。例如，1959年新建成的人民大会堂，仅通风管道就长达二十六公里。

由于党和政府对劳动人民的亲切关怀，我国不但在新建的現代化工业厂房中設置了完善的通风設備，而且对一些旧的工业厂房，也增添了必要的通风設備。

虽然通风工程，特別是工业厂房通风的研究和設計，还是解放以后才开始的事，但在党的领导下，我国通风工程方面的技术队伍正在日益扩大。就目前而言，不論在数量上或是在质量上都还不能滿足我国經濟建設的需要，因此如何进一步提高現有通风技术人員的技术水平，繼續扩大通风方面的技术队伍，都是摆在我們面前的一項重要任务。

“通风工程”一书作于 1956 年，原为适应我国建設需要而編写。当时鉴于有关通风工程的中文书籍非常缺乏，而各方又迫切需要，故編者不揣淺陋，根据苏联出版的通风文献編写成书，但因時間非常匆促，有些重要資料均未及列入，深为遺憾。茲在第二版中补充了不少新的內容借以弥补上述缺点，此外在初版中存在的一些錯誤也作了认真的修正。由于編者学識不足，更缺乏实践經驗，謬誤之处恐属难免，希望讀者們多多指正。

郭遵然 一九六〇年二月

目 录

第二版序

第 一 章 緒論	1
§ 1-1 通风对人体健康和工业生产上的重要性	1
§ 1-2 气象因素和等感温度	3
§ 1-3 测定气象因素的仪器	7
§ 1-4 空气中的有害气体和它們的容許濃度	12
§ 1-5 通风的基本方式	17
第 二 章 空气及其性質	20
§ 2-1 空气的組成和压力	20
§ 2-2 空气状态的变化	21
§ 2-3 空气的湿度	26
§ 2-4 空气的比容和容重	30
§ 2-5 空气的比热和含热量	32
第 三 章 温湿图	34
§ 3-1 温湿图的繪制和应用	34
§ 3-2 空气状态变化在温湿图上的表示方法	38
§ 3-3 角度比例綫	42
§ 3-4 不同状态空气的混合	45
§ 3-5 由于湿球溫度計利用温湿图来确定空气的状态	48
§ 3-6 获得所需空气状态的各种基本方法	52
第 四 章 全面通风时通风量的确定	60
§ 4-1 空气交换的基本微分方程式	60
§ 4-2 消除余热所必需的通风量	63
§ 4-3 消除余湿所必需的通风量	82
§ 4-4 同时考虑排热和排湿时所需的通风量	85
§ 4-5 根据有害气体的数量来确定工业建筑物的通风量	87

§ 4-6 消除人体产生的有害物所需的通风量	89
第 五 章 自然通风	93
§ 5-1 自然通风的作用和它的应用范围	93
§ 5-2 热压和风压	95
§ 5-3 中和面和它的位置的确定	106
§ 5-4 自然通风的计算原理	111
§ 5-5 单跨度車間自然通风的计算	117
§ 5-6 多跨度車間自然通风的计算	122
§ 5-7 多层建筑物自然通风的计算	126
§ 5-8 天窗	129
§ 5-9 擋风屏与女儿墙	139
§ 5-10 风帽	141
第 六 章 机械通风	150
§ 6-1 机械通风的作用	150
§ 6-2 进气式通风系統	151
§ 6-3 排气式通风系統	154
§ 6-4 联合式通风系統	155
§ 6-5 空气調节室	157
第 七 章 空气的加热	162
§ 7-1 空气加热的方法	162
§ 7-2 空气加热器的构造和种类	165
§ 7-3 加热空气所需的热量和空气加热时状态的变化	168
§ 7-4 空气加热器的选择 and 计算	172
第 八 章 空气的加湿	180
§ 8-1 空气加湿的方法	180
§ 8-2 空气和水接触时的状态变化	184
§ 8-3 空气的絕热加湿过程	187
§ 8-4 水和空气互相作用时的多变过程	192
§ 8-5 噴咀	199
§ 8-6 噴霧室	203
§ 8-7 热温图和噴霧室的计算	207
第 九 章 空气的冷却和去湿	216
§ 9-1 空气冷却的方法	216
§ 9-2 空气冷却过程的计算	220

§ 9-3 机械制冷	223
§ 9-4 空气去湿的方法	230
第十章 空气的除尘	235
§ 10-1 灰尘及其性质	235
§ 10-2 灰尘的分类和它的危害性	240
§ 10-3 尘粒在静止空气中的沉降速度	242
§ 10-4 除尘的目的和方法	249
§ 10-5 落尘室	252
§ 10-6 除尘器	254
§ 10-7 过滤器	267
§ 10-8 电力除尘	279
第十一章 通风机	282
§ 11-1 通风机的分类	282
§ 11-2 离心式通风机	283
§ 11-3 轴流式通风机	286
§ 11-4 通风机的计算和选择	287
§ 11-5 电动机的计算和选择	295
第十二章 空气的流动和分布	298
§ 12-1 气流从送风口流入室内时的扩散规律	298
§ 12-2 气流的相互作用	310
§ 12-3 重力对射流的影响	312
§ 12-4 排风口处空气的流动	315
§ 12-5 通风房间内空气的流动	319
§ 12-6 通风房间内的送风口和排风口	324
第十三章 空气淋浴	330
§ 13-1 空气淋浴的应用范围	330
§ 13-2 对空气淋浴的卫生要求	331
§ 13-3 空气淋浴的分类	334
§ 13-4 空气淋浴的构造	335
§ 13-5 空气淋浴的计算	345
第十四章 空气幕	353
§ 14-1 空气幕的作用和装置型式	353
§ 14-2 空气幕的计算	356
§ 14-3 无空气幕时经过敞开大门侵入室内空气量的计算	363

第十五章 局部吸气	366
§ 15-1 局部吸气的种类和应用	366
§ 15-2 吸气罩的计算	375
§ 15-3 边缘吸气的计算	381
第十六章 就地通风和特种通风设备	386
§ 16-1 暖风机	386
§ 16-2 車間內的就地加湿	393
§ 16-3 空气特区	396
§ 16-4 改善劳动条件的其他技术措施	398
§ 16-5 大量含尘空气的輸送和气力运输装置	400
第十七章 通风管道及其計算	403
§ 17-1 通风管道	403
§ 17-2 通风管道中的压力損失	405
§ 17-3 圓形风管和矩形风管中摩擦阻力的确定方法	409
§ 17-4 局部阻力	414
§ 17-5 通风管道的計算方法	420
§ 17-6 通风管道的計算实例	422
§ 17-7 气力輸送管道的計算	434
第十八章 通风系統的調节	438
§ 18-1 自动調节装置概述	438
§ 18-2 自动調节装置的部件	442
第十九章 通风系統的試驗	450
§ 19-1 試驗的种类	450
§ 19-2 通风管道中空气的流速和流量的測定	451
附录	457
附录 I 空气的主要物理特性	
附录 II МИОТ、列宁格勒 ПСН、巴土林型避风天窗的空气动力示性曲綫图	
附录 III 湿空气的温湿图	
附录 IV 噴咀的技术指标	
附录 V 决定通风管道摩擦阻力数值的綫解图	
附录 VI 决定通风管当量直徑的綫解图	
附录 VII 局部阻力系数表	
参考文献	493

第一章 緒 論

§ 1-1 通风对人体健康和工业生产上的重要性

人类生存片刻也不能离开空气。不仅如此,空气物理性质的变化和化学成分的改变,都会影响到人体的健康。例如空气中所含二氧化碳和灰尘过多;空气的温度太高而且湿度太大,都会使人感到一定程度的不舒适,如果长期生活在这样的空气中,人体的健康就会受到损害。

在许多工业企业的生产车间内,往往在生产过程中,不断地向车间空气内发散出余热、余湿、有害气体、蒸汽和工业灰尘等有害物。这些有害物很快就会扩散到整个车间的空气中,使得车间空气的状态发生显著变化,把原来符合卫生要求的空气逐渐地变成了不符合卫生要求的空气。

当车间空气变成不符合卫生要求的时候,就要影响到在车间内工作人员的健康。例如,产生的余热和余湿过大,在温度和湿度超过某一最大限制时,就会妨碍工人在劳动时的汗液分泌,使工人感到不适、疲乏甚至晕倒。

显然,这样不但使工作人员的健康遭到损害,而且对生产本身也是不利的,因为它会降低劳动生产率,同时要影响到产品的质量。

在生产中产生巨大的余热和余湿的车间是很多的。在重工业企业中,象冶金工业中的炼焦车间、炼铁和炼钢车间;机械制造工业中的锻工车间、铸工车间和热处理车间等,在生产过程中都会产生巨大的热量和强烈的辐射作用。随着巨大的余热进入车间,空气的温度迅速升高,湿度也同时增大。

由生产过程中所产生的有害气体和蒸汽所污染的空气,不但会发出不良的气味,而且有发生爆炸和使人中毒的危险。例如由于燃烧不完全而产生的一氧化碳;从电镀槽中散发出来的硫酸雾状扩散物、氢氧化钠的蒸汽以及氢氰酸蒸汽;人造橡胶厂产生的硫化氢气体;水银仪器制造厂产生的水银蒸汽等,当它们在空气中的浓度超过一定限度时,都有使工人中毒,甚至丧失生命的危险。

此外,有的车间在生产过程中会产生大量灰尘,这些灰尘对人体健康损害很大,例如含有二氧化硅的灰尘就可能使人引起硅肺病。

要消除工业企业各生产车间所产生的大量余热、余湿、有害气体、蒸汽和灰尘,就需要进行合理的通风或装置必要的通风设备。

但是在工业企业的生产车间中,通风的目的不仅是为了改善工人的劳动条件,提高劳动生产率,而且也是由于生产过程本身的需要,即为了能够正常的进行技术操作,以及使产品保证符合质量上的要求。

例如纺织工厂的纺纱车间,温度和湿度过高或过低,都会增加纱的断头率,影响纱的质量;精密仪器制造厂生产车间内如果不保持一定温度和湿度,就会影响到产品的精确性;在制铝工业的铝件辗压过程中,如果空气的湿度增加,就会产生大量废品;在印刷厂的印刷车间内,如果空气的相对湿度由 25% 增加到 80%,纸张的尺寸就会变化 0.8%,而一般的多色印刷品,当纸张尺寸变化 0.08% 时,就会成为废品;在食品工业的巧克力糖果车间,要求室温保持在 18.3°C ,以免巧克力糖变成灰色。

还有其他许多轻工业企业,象毛织、烟草、面粉、酿造和造纸等工厂的车间,也都要求有良好的通风设备,以保证正常的技术操作和一定的产品质量。

除此之外,在工业和民用建筑物中进行合理的通风,也是保护建筑物和延长建筑物使用时间的有效方法之一。

§ 1-2 气象因素和等感温度

如果我们长期停留在人多而且通风不良的房间内,就会感到很不舒服。这种感觉不仅是由于人们的呼吸过程改变了空气的成分,使空气中的氧气减少,二氧化碳、热量和水分增加而有些不正常,而且也是由于人们的感觉本身是随空气的温度、湿度和空气流动的速度而变化的。

人体机构或许可以被想象为一特殊的“机器”,食物是这个机器的燃料,氧化食物的结果就在人体中形成了热。当人们从事体力劳动的时候,人体所消耗的热就比较多,由人体排出到周围空气中去的热量也就随之增加。

在正常的气象条件下,健康的人能够使身体内所产生的热量和向外界发散出去的热量间保持平衡。但这种热平衡如果在空气温度过高或过低的环境中,就不能保持。当热平衡不能保持时,人体的体温就会发生变化,感觉也就会不同了。

当室内空气的温度增高时,人体利用传热的方法来发散的热量会减少,但为了达到热平衡,汗液的分泌作用就会加强,因而由于汗液蒸发而发散出去的热量也就随之增加。

在一般情况下,人体的辐射失热量占比例最大,其次是蒸发失热量,对流失热量则最少。其中辐射热量和房屋范界结构、室内各种家具的表面温度,以及空气的湿度有关。蒸发热量和对流热量都和周围空气的温度、湿度和流动速度有关。

由此可见,人体的热平衡,以及热和冷的感觉,是根据下列四种因素来决定的,即:

- (一)室内空气的温度;
- (二)室内空气的相对湿度;
- (三)人体周围空气的流动速度;
- (四)房屋范界结构和室内各种家具的表面温度。

以上这四种因素,就被称为“气象因素”。

为了确定上述气象因素,特别是前三种因素(室内空气温度、

相对湿度和流动速度) 对人体的综合作用; 苏联的卫生学家们在特设的房间内做过许多实验, 并根据实验的结果, 得出了等感温度的数值, 而且编制成功了一种线解图。

等感温度的数值不是由环境的物理状态来决定, 而是由当时各种气象因素对人体所起的综合作用来决定。因此, 在通风和空气调节工程中, 把室内空气温度、湿度和流动速度对人体的综合作用所产生的感温指数称做“等感温度”, 也叫“实感温度”。

现在, 让我们来研究一下如图 1 所示的线解图。这个图是根据对于穿着普通衣服的人进行观察而制定的。

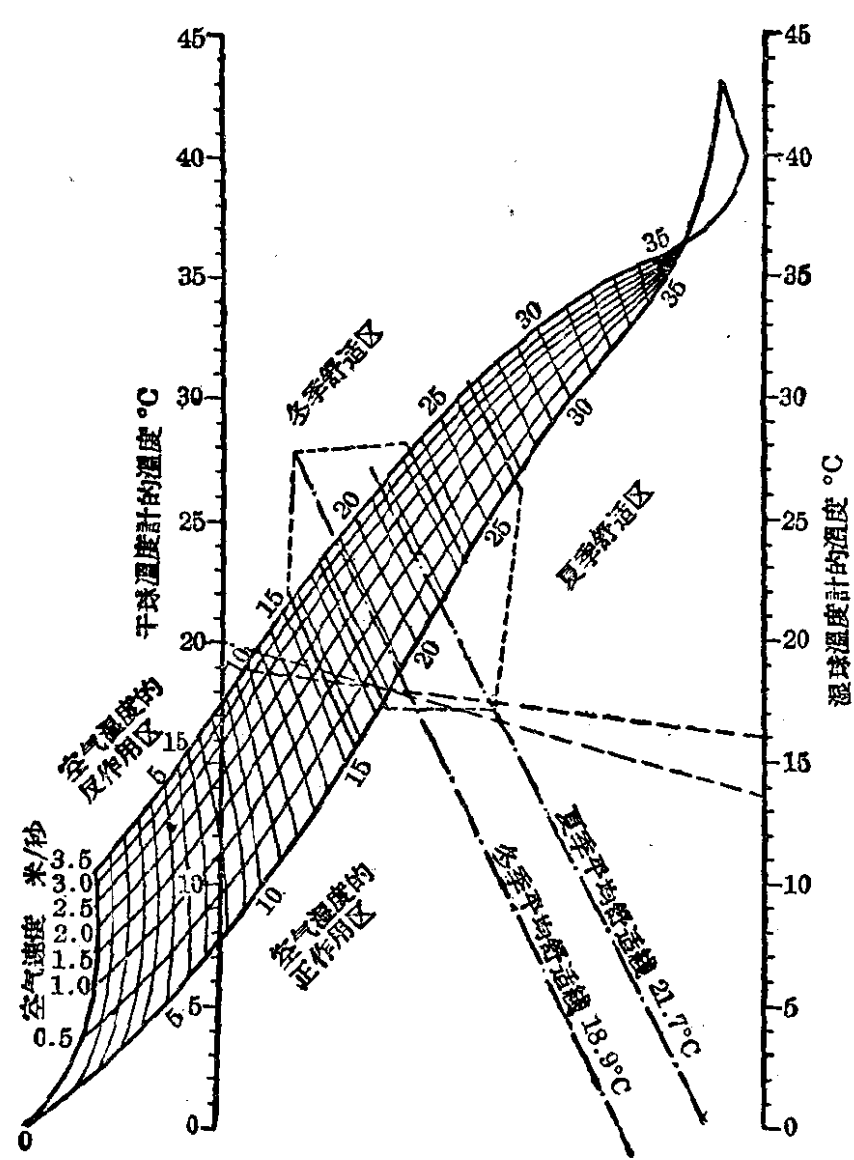


图 1

空气中的相对湿度可以由图中所繪干球溫度計和湿球溫度計的标尺来决定。空气流动的速度由图中所繪的曲綫束来表示。和这些代表空气流动速度的曲綫束相交織的就是表示等感溫度的曲綫。等感溫度的度数写在曲綫束的上下。

現在,举例來說明綫解图的用法。

【例】 試以等感溫度来表示 $t_c = +20^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度 $\phi = 48\%$ 的大气在靜止状态时对人們所引起的感觉。

【解】 大气相对湿度 $\phi = 48\%$ 时, 已知湿球溫度計的讀数应为 $t_{sa} = +13.5^{\circ}\text{C}$ 。連接 $t_c = +20^{\circ}\text{C}$ 和 $t_{sa} = +13.5^{\circ}\text{C}$ 两点成一直綫, 并使它和空气流动速度 $\omega = 0$ 米/秒的曲綫相交, 于是得到了等感溫度 $t_s = +18^{\circ}\text{C}$ 。

如果干湿球溫度不变, 而空气流动速度变为 $\omega = 0.5$ 米/秒, 那么用上述同样的方法可以求出 $t_s = +17^{\circ}\text{C}$ 。

在同样的溫度和相对湿度下, 当空气的流动速度 $\omega = 2.5$ 米/秒时, 等感溫度 $t_s = +14^{\circ}\text{C}$ 。

用相反的步驟, 也可以根据已知的等感溫度 t_s 和空气流动的速度 ω 求干球溫度計和湿球溫度計的讀数。但經過 t_s 和 ω 的交点可以画出許多連接干球溫度計和湿球溫度計讀数的直綫。这些直綫表示許多不同的 t_c 和 t_{sa} 两值的綜合, 都可以使人們获得同样的感觉。

从图上可以看到, 当空气的流动速度 $\omega = 0$ 米/秒, 即空气几乎处在靜止状态时, 干球溫度計的溫度标尺 t_c 和曲綫束中 $\omega = 0$ 米/秒的曲綫相交于 $t_s = +7.5^{\circ}\text{C}$ 处。这样, 干球溫度标尺 t_c 把曲綫束分成了两个区域。在标尺 t_c 的左面, 称为空气湿度的反作用区, 在这个区域内, 空气的湿度愈大, 人体的感觉就愈冷。在标尺 t_c 的右面, 称为空气湿度的正作用区, 在这个区域内, 空气的湿度愈大, 人体的感觉就愈热。

如果靜止的湿空气溫度下降, 但不低于 $+7.5^{\circ}\text{C}$ 时, 人体的热量虽然由于空气中水蒸汽吸收輻射热的能力增强而損失随之增大, 但是, 由于空气中水蒸汽的增加, 蒸发散热减少得更多, 所以在

+7.5°C 以上时,空气的湿度愈大,热的感觉反而是增加的。当温度下降到 +7.5°C 以下时,由于温度继续降低而汗液的分泌减小得非常有限,这时,蒸发散热减少得就很不显著,所以,空气中的湿度愈大,就会增加冷的感觉。

从图上还可以看到:代表空气速度的曲线束,互相交于 $t_c = t_{oa} = +36.5^\circ\text{C}$ 的点上。当温度高于 +36.5°C 时,人体中所产生的热量,不但不能发散出去,反而要从周围更热的空气中得到热量。同时,因为空气的传热系数随空气流动速度的增加而增大,所以在温度高于 +36.5°C 时,空气流动的速度愈快,也就造成愈热的感觉。

解图虚线之间的区域称为“舒适区”或“温适带”。在这个区域内,大多数的人都会感到舒适。特别是在图上的平均舒适线上,90% 以上的人,经试验证明,都会感到舒适。

舒适区的范围,在冬季和夏季并不完全相同,从图上可以看出,不论空气流动的速度和相对湿度为多少,冬季的舒适区在等感温度 $t_s = 15.7^\circ \sim 23.5^\circ\text{C}$ 的范围内;夏季的舒适区在等感温度 $t_s = 17.6^\circ \sim 26.7^\circ\text{C}$ 的范围内。冬季的平均舒适线是等感温度 $t_s = 18.9^\circ\text{C}$,夏季的平均舒适线是等感温度 $t_s = 21.7^\circ\text{C}$ 。

必须指出,等感温度和舒适区的理论并不是毫无缺点的。例如,在干球温度 $t_c = +20^\circ\text{C}$ 、湿球温度 $t_{oa} = +13.5^\circ\text{C}$ 以及相对湿度 $\phi = 48\%$ 时,和 $t_c = 19^\circ\text{C}$, $t_{oa} = +16^\circ\text{C}$ 以及 $\phi = 74\%$ 时,对于静止不动的人,在理论上他们的冷热感觉应该是一样的,因为在这两种情况下,等感温度 t_s 都是 18°C 。然而事实上,在第一种情况下,人们大多数感到舒适,但在第二种情况,却觉得不如前者舒适,因为 $\phi = 74\%$ 时,空气较潮湿的缘故。

由此可见,使人感到舒适的等感温度,不能是相当于 t_s 的任意 t 值和 ϕ 值。根据实验和实际经验得出:使人感到舒适的等感温度,应该是 $\phi = 30 \sim 70\%$ 的 t_s 值,尤其最好是 $\phi = 40 \sim 60\%$ 之间的 t_s 值。

除此之外,人体活动的强烈程度也影响到人体对舒适的感觉。

显然,人体活动强烈时,就会增加其对热的感觉。

§ 1-3 测定气象因素的仪器

要测定生产車間或房間內的空气状态,决定它的气象因素,通常使用下列几种专门仪器:

一、干湿球温度計

干湿球温度計是用来测定空气相对湿度的仪器。它是由两支同样的“干”温度計和“湿”温度計所构成。所謂“湿”温度計,是在温度計的水銀球上,包上了細紗布,紗布的一端浸在貯水器內。由于紗布有吸收水分的作用,因此該温度計的表面就經常处于湿润状态,如图 2(a) 所示。

仪器周圍空气的湿度愈低,从湿球表面蒸发出去的水分就愈

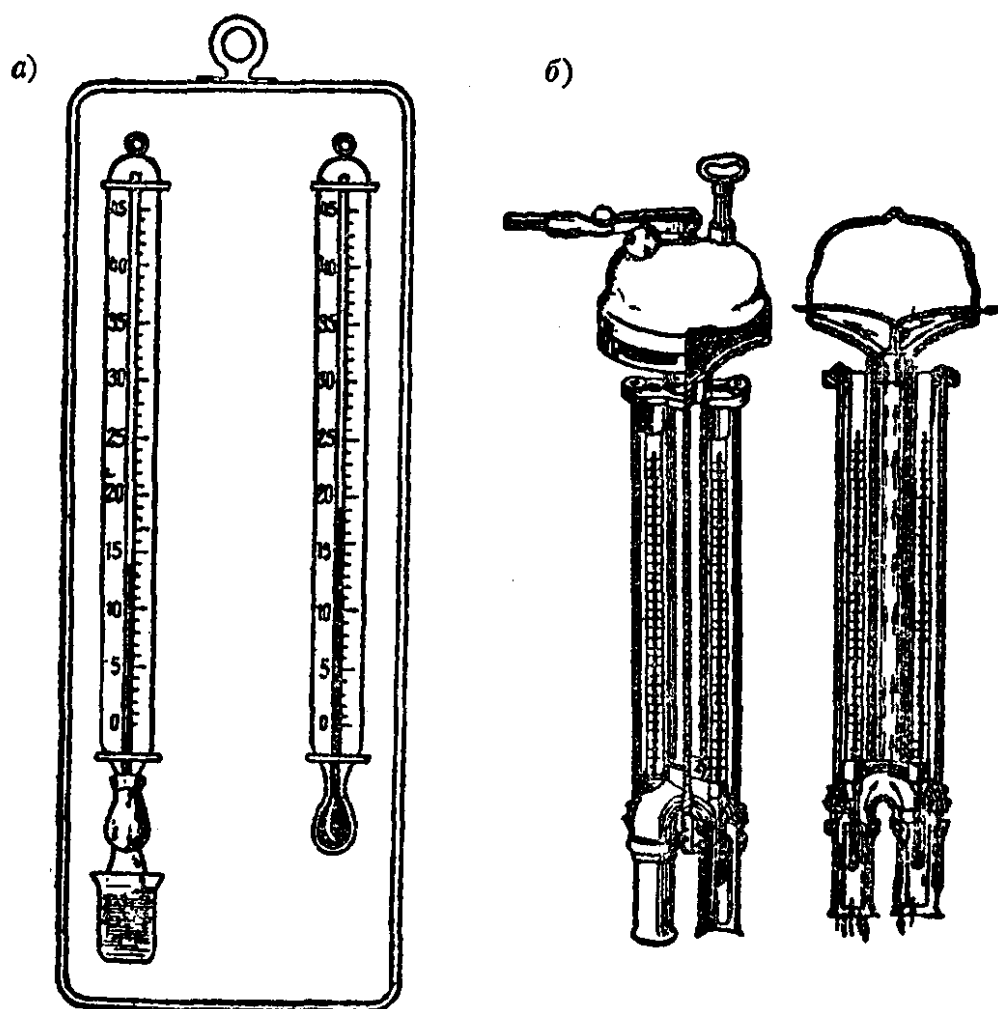


图 2

多,由于水分的蒸发需要热量,因此,当空气的湿度愈低时,湿球温度計下降得就愈大。反之,如果仪器周圍空气的湿度愈高,从湿球表面蒸发出去的水分就愈少,因此,湿球温度計也就下降得愈少。当空气中所含的水蒸汽已到达飽和状态时,湿球表面的水分就不会再蒸发,那么干球温度計和湿球温度計的讀数就会完全一致。

根据干湿球温度計上的差数和干球或湿球温度計的讀数,就可以知道当时空气的相对湿度。一般干湿球温度計上,都附有这种利用干湿球温度差和干球或湿球温度求相对湿度的图表。表1就是这种图表中的一种。

表 1

干球温度計的温度 (°C)	干湿球温度計上的温度差 (°C)										
	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
0	100	81	63	45	28	11					
2	100	84	68	51	35	20					
4	100	85	70	56	42	28	14				
6	100	86	73	60	47	35	23	10			
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7		
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	4	
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	17	9
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34	26	20
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	50	45	40	34
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

【例】設干湿球温度計上,干球温度的讀数为 22°C,湿球温度的讀数为 16°C,求該空气的相对湿度。

【解】已知干球温度計的讀数和湿球温度計的讀数相差: 22°-16°=6°C,于是在表1上就干球温度計为 22°C 的橫行和温