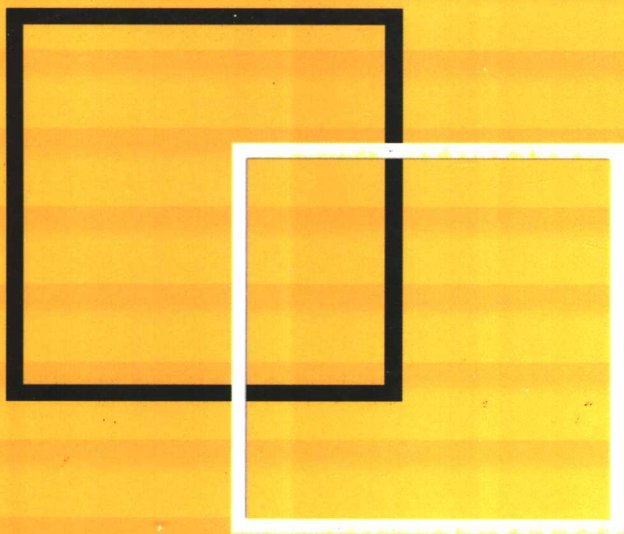




游泳馆

魏文字 丁高 张力 著

空调设计

YOU YONG GUAN KONG TIAO SHE JI



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

游泳馆空调设计

魏文字 丁 高 张 力 著



机械工业出版社

本书结合作者多个游泳馆设计经验,参考国内外论文、资料和工程调查情况,全面系统地分析了设计人员在游泳馆空调设计中经常遇到的问题,并附有多个设计实例加以说明。

本书内容丰富、详实,指导性强。适合暖通专业设计人员学习参考,也适用于各大专院校相关专业师生。

图书在版编目(CIP)数据

游泳馆空调设计/魏文字等著. —北京:机械工业出版社, 2004.7
ISBN 7-111-14651-4

I. 游… II. 魏… III. 游泳池—空气调节系统—建筑设计
IV. TU831.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 055056 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:杨少彤 版式设计:霍永明 责任校对:罗莉华
封面设计:王伟光 责任印制:李 妍
北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行
2004 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷
787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·6.5 印张·2 插页·172 千字
0001-4000 册
定价:16.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

前 言

随着国民经济的持续发展,人民生活水平的不断提高,游泳已经成为广大人民群众所喜爱的健身方式。近年来,在全国各地兴建了大量或用于比赛或用于群众娱乐的游泳场馆。2008年的奥运会将在北京举行的消息,无疑对中国的体育事业是一个强力的推动,同时对于体育场馆的建设亦提出了更高的要求。游泳馆在众多体育建筑中,就暖通专业而言是有一定难度的设计项目。笔者结合深圳游泳馆的设计,参考国内外的论文、资料和工程调查情况,力求全面系统地分析游泳馆的暖通设计,为广大设计人员提供参考。

本书第一至六章和第七章的第一节、第四节、第五节、第六节及第七节由魏文字编写,第七章的第二节由张力编写,第七章的第三节由丁高编写。

本书在编写过程当中得到了众多专家的指导和帮助,在此表示感谢。由于水平所限,难免有不足之处,望行业同仁不吝赐教。

编 者

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 游泳馆的简单介绍	1
第二节 暖通空调设计在游泳馆设计中的重要性	2
第三节 室内设计参数的确定	3
第二章 游泳馆的建筑热工	5
第一节 建筑热工的重要性	5
第二节 防结露的主要措施	5
第三节 校核计算	7
第三章 空调通风的相关计算	9
第一节 空调冷负荷的计算	9
第二节 空调湿负荷的计算	10
第三节 通风量的确定	12
第四章 气流组织	15
第一节 无看台的游泳馆的气流组织	15
第二节 有看台的游泳馆的气流组织	16
第五章 采暖在游泳馆中的应用	36
第一节 全面采暖	36
第二节 局部采暖	37
第六章 节能措施	38
第七章 游泳馆空调设计实例	53
第一节 深圳游泳馆	53
第二节 克拉玛依游泳馆	69
第三节 国际俱乐部康乐中心游泳馆	72
第四节 北京和平友好会议中心游泳馆	74
第五节 北京电子科技学院游泳馆	76
第六节 天津泰达开发区游泳馆	79
第七节 其他游泳馆	83
附录	
附录 A 建筑材料的热工计算指标	88
附录 B 常用建筑材料的厚度、热阻、蒸汽渗透阻及热惰性指标计算值	93
参考文献	100

第一章 概 述

第一节 游泳馆的简单介绍

一、游泳馆的主要特点

(1) 游泳馆室内始终处于高温高湿的环境下。普通舒适性空调的室内空气含湿量在 11g/kg 左右,而游泳馆室内空气含湿量则处在 16g/kg 以上。同时,水池和池边大量的水蒸气蒸发到室内空气中,带入了大量的余热余湿,致使排除余热余湿的空气量比普通的舒适性空调大,能耗高。为了防止结露现象的产生,对于围护结构提出了更高的要求。

(2) 游泳池水处理无论采用何种方式,都含有氯的成分。氯气随水蒸气的蒸发散发到室内,当含量超过 10^{-6} 时,将危害人体。氯气与水蒸气结合形成的酸性气体,将对馆内的金属构件产生严重的腐蚀。所以,要通过通风来控制其浓度,并作好防腐处理。目前,比赛性场馆根据奥运会的要求提供一定量的新风量,按池面面积 $18\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 选取。笔者认为这与气流组织方式、泳池布水方式、运行方式均有很大关系,不可一概而论。娱乐性场馆主要还是依靠控制合理的换气次数。

(3) 无论是娱乐性还是比赛性场馆,对气流组织的要求都很高。主要目的是把余热余湿及有害气体控制在一定的范围内,减少其对周围环境的侵袭。对于比赛性场馆还有两点特殊情况,一是看台和池区要力求作出大温差,提高观众的舒适感。由于要上冷下热,违反上热下冷的自然规律,难度是可想而知的。二是此类场馆往往为高大空间,并采用钢结构作为屋顶围护结构,提高了对气流组织、防结露和防腐的要求。

(4) 从节约照明用电量的角度考虑,同时为了满足人们与日俱增的对人与自然相融合的需要,越来越多的游泳馆采用了大面积的玻璃窗。但是这样做对通风量的多少将有非常大的影响,对防结露也不利,应该适度。

二、游泳馆的分类

按使用功能来划分,游泳馆分为娱乐性、训练性、比赛性及治疗性游泳馆。

按规模来划分,游泳馆分为大型和中小型游泳馆。一般认为,具有一个标准比赛池或标准跳水池,且水池大厅面积大于 2000m^2 ,或既有一个标准比赛池又有一个标准跳水池,且水池大厅面积大于 3000m^2 ,大厅顶棚高度在 15m 以上的游泳馆为大型游泳馆。其余为中小型游泳馆。一般来讲,大型游泳馆均集游泳、跳水、训练于一身,平时对群众开放,设计时要充分考虑平时使用。

三、国内外现状及存在问题

1. 国内情况

解放前我国没有真正意义上的游泳馆, 只在上海、天津有几个供“洋人”娱乐的室内游泳池, 里面既无通风又无空调。

20 世纪 50 年代, 我国修建了一批大中型游泳馆, 例如国家体委游泳馆、北京体育学院游泳馆、北京工人体育馆游泳馆等, 但受经济条件和技术水平的制约, 运行均不甚理想。在外窗、吊顶和外墙等处结露严重, 造成了冬季由于大量凝结水流至地面而使周边活动场地无法使用的后果, 且门窗严重腐蚀, 生长了大量青苔。

20 世纪 70 年代, 我国兴建了海军游泳馆、成都游泳馆等场馆。20 世纪 80 年代, 兴建了广州天河游泳馆。这些场馆吸取了从前的教训, 有的采用了双层充氮玻璃, 有的采用外廊式的建筑形式, 附以空调通风或采暖措施, 比较好地解决了结露问题。但对观众席的空调重视不够, 舒适性普遍不高。

20 世纪 90 年代以后, 随着综合国力的不断增强, 人民生活水平的不断提高, 群众对体育健身的要求日趋迫切, 娱乐性游泳馆在大多高档宾馆中大量兴建。随着对外开放的进一步深入, 国内、国际比赛亦层出不穷, 为此我国成功地修建了上海浦东游泳馆和深圳游泳馆, 两者均是斥巨资建成, 具有国际水准, 能承担各类比赛。其中, 深圳游泳馆的空调设计经过广东省运动会长达 5 个月几十场比赛的实践检验, 获得了较为满意的效果, 得到各方好评。它在气流组织、节能运行等方面均有许多新颖之处。

2. 国外情况

20 世纪 60 年代, 德国已开始大力发展游泳馆技术, 在建筑造型、工艺设计、水处理措施等方面均为世界领先。日本的代代木体育馆、伊拉克的巴格达市游泳馆亦是成功范例。至悉尼奥运会时, 悉尼游泳馆因在其内产生多项世界记录, 一时间声名鼓噪, 把游泳馆设计推向了一个新的高潮。其设计者认为成功之处在于把水温恒定在 26.5°C , 就这一点而言, 与空调设计密不可分。此外, 国外大部分游泳馆设计均采用分区送风的思路, 利用隔断措施来提高看台舒适度, 也很值得借鉴。

3. 存在问题

(1) 建筑热工处理不当, 造成结露甚至对主体结构形成威胁。

(2) 计算方法不当, 造成系统的不合理。这一点包括人员的选取、灯光负荷的确定、散湿量的计算等诸多因素。

(3) 气流组织方式不当, 造成诸如含氯空气四溢, 使围护结构遭受侵蚀、看台舒适性差、局部结露、池区不能满足比赛要求等。

(4) 设计或管理不周, 使得能源消耗巨大, 严重者还不能满足比赛要求。

第二节 暖通空调设计在游泳馆设计中的重要性

暖通空调设计在游泳馆设计中的重要性在业内早已有了共识, 归纳起来大致有以下几点。

(1) 确保池区的温湿度, 以满足比赛的舒适性要求。

(2) 确保围护结构不结露,对可能结露的地点进行必要的技术处理,使其不影响游泳馆的使用,为建筑物本身的健康提供有力保证。

(3) 力争在观众席营造一个舒适性的环境,加大人员活动区与池区的温湿度差。至于差值的大小受多方面因素的制约,要首先服从于比赛的要求,但那种只保证比赛环境的作法亦应摒弃。

(4) 确保水温的恒定。这一点非常重要。环境参数的变化对散湿量的影响是巨大的,无论从节能角度还是从舒适性角度均至关重要。笔者在调研和调试中就发现了一些问题。比如有的场馆在给池水加热时不保证室温与水温之差,有一种现象是环境温度偏低,这就像烧开水采暖一样。因为水在蒸发过程中要吸热,这部分热量主要来源于水加热系统,有关资料显示由空气带入的只有大约 $13\text{W}/\text{m}^2$ 。这主要是由于在蒸发过程中,在水面处存在一个层流层,这一层传热是以传导为主,而并非对流,所以传热量很小。由这一点可以看出,不保证室温会使蒸发量大大增加,以此弥补周围环境的先天不足,能耗可想而知。深圳游泳跳水馆的冬季运行中就遇到此类问题。还有一种现象是环境温度偏高,为了保证水温且不开启空调系统,向池水投放冰块,造成水质污染。这种现象往往出现在华南地区一些高温高湿的室外环境的地区。广州天河游泳馆就有此类现象产生。

第三节 室内设计参数的确定

一、确定原则

游泳馆室内参数的确定是一个很复杂的问题,考虑的因素很多。上文中已提到的水温是首要因素,此外还要考虑池水蒸发、建筑耗能、防结露、人员舒适性等因素。

1. 水温

它与游泳馆的用途、游泳馆的类型及在水中停留时间和运动量等均有关。人体在水中的热损耗比在空气中大得多,在同样的相对速度下,前者是后者的 24 倍以上。根据 C. Boutetier 关于人体对水温的热中和特性的研究,热中和区的范围为 $33.1 \sim 33.4^\circ\text{C}$,也就是说水温 33°C 是最高限度,只适用于长时间浸泡和放松,如果进行活动,人体耗热量增加,会引起体温上升。如果水温过低,只能短时间逗留,否则人体耗热量过大,会引起体温下降。由此可见,娱乐池水温可高一些,比赛池低一些,训练池介于两者之间,其他特殊功能池视具体情况确定。

2. 空气与水的温差

在室内相对湿度一定的情况下,空气温度低于水温,水面蒸发加剧,耗热量和排除余湿的风量就越多,人员出水面后寒冷的感觉就越强,故空气温度必须高于水温。但是,一味地提高空气温度,会使建筑耗能明显增加,人员进入水中则会觉得水冷,同时高温高湿的环境也会使池边人员闷热难当。由此可见,温差应处于一个较小的范围内,以 $1 \sim 3^\circ\text{C}$ 为宜。

3. 相对湿度

在干球温度一定的情况下,随着相对湿度的降低,池边人员的舒适感会提高,围护结构的结露可能性也相应降低。但是,这时池水的蒸发却急剧增加,使得除湿风量和水池加热量大幅增加,能耗巨大。例如,当水温为 25°C ,室温为 27°C 时,室内相对湿度 60% 时的蒸发

量是室内相对湿度 70% 时的 1.52 倍, 是室内相对湿度 80% 时的 3.27 倍。对游泳者而言, 出水面后相对湿度越低, 蒸发越快, 寒冷感越强。反之, 如果相对湿度过高, 结露的可能性就大大增加, 为此保温隔汽均需加强, 一次投资增加, 而且人员的潮湿感和闷热感增强, 舒适性下降。当温度在 25~32℃ 之间, 相对湿度在 85% 以上的空气环境中, 曲霉素等霉菌的生长明显增强, 甚至在带有指痕的玻璃上也会发霉。由此可见, 必须把相对湿度控制在一个合理的范围。

4. 空气流速

池面的空气流速直接影响池水的蒸发量, 当室温和水温一定时, 两者是成正比关系的。而且, 游泳者上岸后风速过高会有吹风感, 使游泳者觉得冷。如空气流速过小, 会使气流组织较困难。假使有看台, 由于整体室温偏高, 适当加大风速对减少闷热感是有益的。由此可见, 空气流速要按不同场所视具体情况而定。

二、国外室内设计条件 (见表 1-1)

表 1-1 国外室内设计条件

国 家 名 称		德 国	法 国	日 本
水温/℃	比赛池	24	26	25~27
	训练池	26	27	—
	其他池	28~30	28~30	—
室温/℃	泳池大厅	水温 3~4	27	25~32
	观众席	26	—	20 左右
相对湿度 (%)		75	70	60~70
空气流速/(m/s)	池区	<0.2	0.09~0.29	0.2~0.3
	观众席	0.5	—	0.4~0.6
换气次数	泳池大厅	2~3 次/h	—	1~4 次/h
观众席新风量/[m ³ /(h·人)]	观众席	30~75	18~30	20~40

三、建议设计参数 (见表 1-2)

表 1-2 建议设计参数

功 能	比 赛 性	训 练 性	娱 乐 性	治 疗 性
池边温度/℃	26~28	26~28	27~29	比最高水温±℃1
池边湿度 (%)	65~75	65~75	≤75	≤75
观众席温度/℃	24~27			
观众席湿度 (%)	60~70			
池边风速/(m/s)	0.2~0.3	0.3	0.3	0.3
观众席风速/(m/s)	≤0.5			
换气次数 (次/h)	1~4	3~6	4~8	4~8
观众席新风量/[m ³ /(h·人)]	15~30	10~20		

注: 1. 表中换气次数如建筑内有吊顶时, 应按吊顶下的空间计算。

2. 治疗性游泳馆的水温如超过 33℃ 时, 室温按 33℃ 选取。

3. 观众席的新回风比不宜超过 30%, 当按人员数量得出的新风量超过 30% 时, 按 30% 选取。

4. 比赛性场馆池区新风量考虑控制污染物浓度的因素不宜小于 18m³/(h·m²), 面积按池面面积选取。

5. 娱乐性场馆池区的新风量按人员数量得出的新风量选取。

6. 池区新回风比不应小于 10%。

第二章 游泳馆的建筑热工

第一节 建筑热工的重要性

游泳馆无论冬夏均处于高温高湿的环境之中，而我国大部分地区冬季均比较寒冷，很容易产生结露甚至冰冻问题。这不但会影响围护结构的保温性能，而且会影响主体结构的力学性能。另外，在高温高湿的环境中，围护结构的内表面易滋生霉菌，严重影响室内卫生条件和美观，这种教训屡见不鲜。大连某游泳馆因为隔汽层位置不合理，造成墙体多次冻坏。青岛有一高温高湿的实验室，由于保温做得不好，致使屋面板因冰冻膨胀遭到破坏。由此可见建筑热工的重要性。

但是，建筑热工毕竟是以建筑专业为主，暖通专业为辅的一项重要工作。这一点首先要引起广大建筑师的关注。

另外，建筑热工处理好后，确保了室内主体结构 and 主围护结构不结露，为空调通风与采暖系统间歇运行或停止运行提供了可能性，为整个建筑的节能运行提供了良好的条件。

第二节 防结露的主要措施

一、基本原则

1. 保温层应有足够的厚度

游泳馆不同于其他建筑，室内空气的水蒸气分压力较高，为防止冬季或过渡季围护结构不结露，必须使内表面温度高于室内空气露点温度 $1 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 。这一范围还需视建设地点的材料情况和施工水平适当调整。因此，游泳馆围护结构的传热系数远小于普通建筑物的传热系数。在理想情况下，北京 $K < 0.58\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ，上海 $K < 0.83\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ，福州 $K < 2.3\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

2. 保温层应布置在合理的位置

在满足厚度要求的前提下，位置不合理亦会形成结露区。如将保温层布置在靠近室内侧，由于室外侧的保温效果差，表面温度低，造成此处水蒸气分压力高于此处的饱和水蒸气分压力值，产生结露现象甚至冰冻。因此，应把保温层布置于靠近室外侧。

3. 保温材料要选择恰当

保温材料一定要选用水蒸气渗透阻小、不吸水或憎水性强的材料，同时要避免毛细现象的产生。这样的材料有利于水蒸气的渗透，减小凝结水积存的可能性。应优先采用聚苯板或玻璃棉板材。散装的岩棉、玻璃棉不应采用，这类材料除对排除凝结水不利，还会因其压缩

比较大,在施工水平较差的情况下,很难保证其真实的厚度,从而影响保温效果。

4. 隔汽层的材质和布置位置应恰当

隔汽材料要求水蒸气渗透阻越大越好。在这方面,玻璃、塑料和金属板具有无与伦比的优势。但是,这些材料无论从自身的特性、造价、施工等方面都存在致命的缺陷,不宜广泛采用。目前,在工程中广泛应用的是聚氨脂防水涂料,一般在1~1.5mm厚,刷两道。这种做法对施工要求严,一定要保证厚度,校核计算时还要留余量。在有些工程中,也采用铝箔作隔汽材料,笔者建议要做两层,中间用塑料钉固定,以防止中间接缝不严产生的渗透作用。

最重要的是,隔汽层一定要布置在室内侧,这一点要切记。因为设置隔汽层的目的就是为了防止蒸汽自室内向外的渗透,避免在围护结构内产生结露区。如果布置位置不当,就会把凝结水封存在围护结构中,有百害而无一利。

5. 主体材料应布置在恰当位置

主体材料包括混凝土墙、填充墙等。这类材料容量大,密实性好,水蒸气渗透阻大。因此,应布置于室内侧,这样有利于减少水蒸气的渗透。

二、其他围护结构应注意的几个问题

1. 瓷砖层

该层是建筑设计的要求,主要起装饰作用,同时也可使游泳馆显得洁净,当水洒在墙上时能迅速流至地面。从热工角度来看,瓷砖的水蒸气渗透阻大,有利于防止水蒸气向外渗透。但是,由于瓷砖之间存在砖缝,不利于防止水蒸气向外渗透。故可把其视为安全因素,在计算中不予考虑。

2. 砂浆找平层

该层为瓷砖的粘贴提供了平整的墙面。砂浆本身密度大,有利于隔汽,计算中应予以考虑。

3. 外表面层

该层的主要作用是保护保温层和建筑装饰,应用透气性好的材料,使室内渗透出的水蒸气能顺利发散至室外。喷涂是一种较好的办法。外挂石材,干挂是没有问题的。当湿挂时,由于存在砂浆灌注层,对湿渗透不太有利,需通过计算认真校核。如采用金属外挂板,中间接缝用防水胶密闭,必须严格计算其结露与否,以避免水蒸气在保温层中积存,必要时调整保温材料的材质和厚度,加强室内隔汽。

屋面作为外表面层的重要组成部分,应引起充分重视。首先,力争作到无人防护的情况下不结露。如有危险因素,则应设置人为防护,如采暖、通风等技术手段。另外,如存在斜屋面,应校核其坡度是否有利于凝结水的排除,在最低处设置排水措施。校核计算时北方地区要考虑夜间天空冷辐射的影响,清华大学在这方面有计算软件可供参考。

4. 吊顶

吊顶的材质多种多样。采用现浇混凝土的吊顶对隔汽是很有利的,但这仅限于中小型游泳馆。有些游泳馆因声学或装饰需要,采用金属穿孔板内贴吸声材料的作法,吸声材料与保温材料类似,厚度甚至超过保温层。无论采用哪种方式,吊顶均不应计入围护结构的防结露范畴。另外,有的工程错误地单纯提高吊顶下表面温度,认为这样可以有效地防止结露。正

相反, 这样会加剧水蒸气进入吊顶, 促使其渗入保温层。吊顶有条件可进行通风, 这对防结露有利。

5. 外窗

外窗是采光的必需部件, 除采用套廊式建筑布局外, 难以避免。而且, 即使尽力降低其传热系数, 其表面温度与室外温度的差距也仅有 15°C 左右, 无法避免结露。所以, 在外窗部分应加以防护, 同时设置必要的排水设施, 帮助垂直面的凝结水顺利排走, 以免影响使用。另外, 尽量避免屋面中出现顶窗。这不仅会产生眩光影响跳水比赛, 而且由于水平辐射强度很高, 使室内热湿比线迅速变陡, 空调风量显著增大, 能耗巨大。冬季顶窗极易结露, 必须人为防护, 而这样就进一步加大了能耗。顶窗应有足够的坡度, 排水一定要顺畅, 以防冷水滴入池区。如顶窗无足够的坡度, 风险是很大的, 因为结露指的是点接触, 防护措施仅是面接触。仅仅为了群众开放时采光效果好, 就开启大面积屋顶采光带的作法, 是应坚决反对的。悉尼游泳馆少量的采光顶窗在比赛时亦用蓝色布带遮挡, 足见其必要性不大。

第三节 校核计算

一、校核步骤

(1) 计算各层内表面温度:

$$\tau_i = t_n - \frac{R_n + \sum_{i=1}^{n-1} R_i}{R_0} (t_n - t_w) \quad (2-1)$$

式中 τ_i ——由内向外数第 i 层的内表面温度 ($^{\circ}\text{C}$);

t_n ——室内空调计算干球温度 ($^{\circ}\text{C}$);

t_w ——室外空调计算干球温度;

R_0 ——围护结构总热阻 (主要指外墙体和屋面, 含内外表面对流换热阻) ($\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$);

$\sum_{i=1}^{n-1} R_i$ ——从内表面传至第 i 层的传热阻之和 ($\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$);

R_n ——内表面对流换热阻 ($\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$)。

(2) 校核内表面 τ_i 值是否大于室内空气露点温度 1°C 以上, 如不满足应调整保温层厚度。

(3) 对应每一个 τ_i 值, 从 $h-d$ 图中查出相应温度下饱和水蒸气分压力值 E_i , 单位为 $\text{mmHg}^{\ominus}$ 。

(4) 计算各层水蒸气分压力值:

$$e_i = e_n - \frac{H_n + \sum_{i=1}^{n-1} H_i}{H_0} (e_n - e_w) \quad (2-2)$$

式中 e_i ——由内向外数第 i 层的内表面水蒸气分压力 (mmHg);

$\ominus$ mmHg 是压力的非法定单位, $1\text{mmHg} = 133.302\text{Pa}$ 。

e_n ——室内空气的水蒸气分压力 (mmHg);

$\sum_{i=1}^{n-1} H_i$ ——以内表面传至第 i 层湿阻之和 ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg/g}$);

H_0 ——围护结构总湿阻 (含内外表面的水蒸气转移阻) ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg/g}$);

H_n ——内表面的水蒸气转移湿阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg/g}$)。

(5) 如 $E_i > e_i$, 表明二者曲线不相交, 不结露。否则, 在第几层出现 $E_i < e_i$, 二者曲线在此相交, 就会结露, 如此处温度低于 0°C , 则产生冰冻现象。

【例1】 某北京地区游泳馆, 屋面结构形式如图 2-1 所示。室内设计温度为 28°C , 相对湿度为 70%, 计算步骤和公式参见上文, 单位相同。

(1) 利用式 (2-1), 计算各层内表面温度。详见表 2-1。表中 δ_i 为厚度, 单位 m ; λ_i 为热导率, 单位 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

(2) 内表面温度大于室内露点温度 $22^\circ\text{C} + 1^\circ\text{C}$, 是安全的。

(3) 参照 $h-d$ 图查出 τ_i 值相对应的饱和水蒸气分压力值。

(4) 根据蒸汽渗透系数计算出水蒸气渗透阻 U_i , 利用式 (2-2) 计算各层水蒸气分压力值, 其单位为 $\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}/\text{g}$ 。本工程水温为 26°C 。

(5) 可以看出, 这种围护结构在保温层中结露, 并在外层砂浆层处有冰冻可能。

究其原因, 主要是内表面隔汽不好, 而外表面隔汽太好, 使水蒸气渗入后不能有效排除造成的。只需把第 4 层改为三毡四油, 第 8 层改为一毡二油即可满足热工要求。

从上例中可以看出, 仅仅校核内表面温度是否高于室内露点温度是远远不够的, 这一概念一定要建立起来。

相关性能数据有些不易查找, 可借助于厂家提供的数据, 但要考虑一定的工程情况, 附加安全系数, 力求于实际情况相吻合。附录 A、附录 B 中列出了常用建筑材料的相关性能数据以供参考。

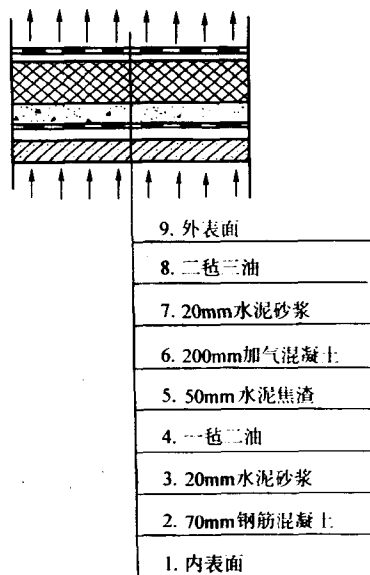


图 2-1

表 2-1

作法	δ_i/m	$\lambda_i/[\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})]$	$R_i/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W})$	$\Sigma R_i/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W})$	$\tau_i/^\circ\text{C}$	E_i/mmHg	$U_i/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}/\text{g})$	$H_i/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}/\text{g})$	$\Sigma H_i/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}/\text{g})$	e_i/mmHg
1			0.115	0.115				0.1	0.1	
2	0.07	1.628	0.043	0.158	24.49	23.2	0.004	17.5	17.6	14.78
3	0.02	0.93	0.022	0.18	24	22.4	0.012	1.67	19.27	14.3
4	0.002	0.175	0.011	0.191	23.76	22.1	0.00016	12.3	31.51	10.72
5	0.05	0.582	0.086	0.277	21.84	19.7	0.029	1.72	33.29	10.22
6	0.2	0.14	1.429	1.706	2.09	4.4	0.03	6.67	39.96	8.28
7	0.02	0.93	0.022	1.728	-10.4	2	0.012	1.67	41.63	7.8
8	0.005	0.175	0.029	1.757	-11.04	1.8	0.00022	22.6	64.23	1.23
9			0.043	1.8				0.1	64.33	

第三章 空调通风的相关计算

第一节 空调冷负荷的计算

同普通舒适性空调一样,游泳馆的空调冷负荷包括围护结构、人员、灯光、设备和其他一些因素组成。计算方法应采用国内通行的冷负荷算法,在有 CFD 模拟软件条件下亦可采用其他方法。但是,游泳馆空调冷负荷计算有其一些独特之处。

首先,由于水蒸气的蒸发带入空气中的热量是不容忽视的因素。它可能占到总冷负荷的 40%~50%。它来源于池水的加热、空气对水的热传递和灯光对池水的辐射。计算公式如下:

$$Q = 0.28rW \quad (3-1)$$

式中 Q ——池水蒸发形成的显热冷负荷 (W);

W ——散湿量 (kg/h);

r ——汽化热 (kJ/kg);

0.28——单位换算系数。

其中,空气对水的热传递数量是很少的,灯光对池水的辐射却是一个主要影响因素,但它又很复杂。理论上说,灯光辐射热大部分被池水或池边的水分吸收,用作蒸发热的补偿。不过,到底有多少辐射热传给了水面难以确定。首要因素是确定灯光的安装方式。灯具一般安装在建筑物上部,但分为直接照射、间接照射和直接加间接照射。直接照射对防眩光不利,调试复杂,但是均匀度高,安装功率低,应用广泛。间接照射虽然对防眩光最有利,但是均匀度不好,安装功率很大,应用不多。直接加间接照射对防眩光有利,均匀度还可以,安装功率介于直接照射和间接照射之间,应用较多。要想确定灯光负荷,最好的办法是根据不同的工程、不同的灯具由灯具厂家提供相关技术数据,但这在实际工程中不易做到。对于直接照射的安装方式,可以从几个方面分析解决这一问题,其他方式以此为基础结合传热学原理加以分析。

(1) 根据不同的气流组织方式区别对待。凡是下送下回和上排的气流组织方式,由于辐射热部分已被水吸收,对流热部分如有充足的排风,可以被部分或全部带走,灯光辐射热可部分或全部不计入冷负荷。如采用上送或上回的气流组织方式,对流热部分应计入冷负荷。按一般情况考虑,对流和辐射各占 50%。

(2) 要正确选取灯光的安装功率。娱乐性游泳馆的照度只有 300lx。比赛性游泳馆,对群众开放时照度与娱乐性游泳馆没什么差别,但在一般性比赛时为 900lx,国际比赛时考虑转播等需要甚至可达到 1500~2000lx 之高。照度与建筑物的高度和空间形态有关,必须与电专业和灯具厂家密切配合,选取合理的安装功率。

对于间接照射的安装方式,由于灯光对围护结构顶部照射,加热围护结构表面后,全部转化为对流热形式,形成冷负荷。

对于直接加间接照射的安装方式,应把两项区分开,采用上述方法分别计算。

其次,人员数量的选取要恰当。它由池边人员和看台人员组成。就池边人员而言,可以参见表 3-1。看台人员理论上应按座位数计算。但由于水中项目在中国不够普及,即使在免票的情况下,千人以上的比赛馆也只有不到 50% 的上座率,所以建议在一些地区经充分调研后,可取用一定的上座率,节约装机容量,节省能源。

另外,大型比赛场馆中灯光和广播控制设备的散热量应计入冷负荷。它们往往集中在一个房间,局部发热量很大,应根据工艺提供的资料,准确计算。否则,房间过热无法正常工作。

表 3-1

泳池用途	比赛池	跳水池	水 球	公共娱乐和练习池	儿童池
人员密度/(m ² /人)	10	3~4.5	25~42	2~5	2

注:1. 人员密度中的面积值是指游泳池面的面积。

2. 对群众开放时参照此表,考虑三分之一的人员在池边休息,三分之二的人员在池水中。

3. 比赛时应根据体育工艺人员提出的资料进行计算。

4. 如游泳馆建设地点有较为完善的统计资料,可以适当修正表中指标。

第二节 空调湿负荷的计算

空调湿负荷主要由池水和池边的散湿量组成。人员的散湿量很少,与普通舒适性空调的计算方法相一致,下文重点探讨池水和池边的散湿量计算。

一、池水的散湿量计算

1. 计算公式

$$W = C(p_2 - p_1)F \times 760/B \quad (3-2)$$

式中 W ——散湿量 (kg/h);

C ——蒸发系数 [kg/(mmHg·m²·h)];

p_2 ——水表面的饱和水蒸气分压力 (mmHg);

p_1 ——水表面空气的水蒸气分压力 (mmHg);

F ——水表面积 (m²);

760——标准大气压 (mmHg);

B ——当地的大气压 (mmHg)。

2. C 值的选取

C 值是式 (3-1) 中的关键因子。当室内参数确定后,如水温一定,在同一地点池水蒸发量只与 C 值有关。 C 值的实验测定一般是在较小的圆盘中进行的,盘中水温为 60~250℃,通过上边的风速为 1~7m/s,此时气流平行于水面。在此实验条件下, C 值的测定值相差较大。偏差的原因来源于几个方面:

(1) 实验是在较小的盘中, 水面处于静止状态下做的, 这与实际情况下的大面积水面的波动和水珠飞溅有较大差异。

(2) 实验的风速较大, 与实际情况相距甚远。

(3) 实验的水温较高, 与实际情况相距甚远。

(4) 式 (3-1) 中把 C 视为常数是不恰当的, 如只在蒸发面积一定的条件下, C 与水蒸气分压力差亦相关。

1975 年湖南省建筑设计院在长沙游泳馆进行了现场测试, 虽然试验比较粗糙, 但还是接近实际情况的。根据他们的测定, 当水温为 $25 \sim 26^\circ\text{C}$, 室内参数为 27°C 、 70% 时, C 为 $0.037\text{kg}(\text{mmHg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。笔者在工程中一直延用此值, 还是可行的。经修正后, C 值建议的合理范围为 $0.032 \sim 0.038\text{kg}/(\text{mmHg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h})$ 之间。

国外积累的经验数据是当环境温度为 28°C , 相对湿度 70% 时, 池水蒸发量按池面面积计算最多可取 $0.2\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。这一数值一般比计算值大 $15\% \sim 20\%$, 可以作为一个参考值。

3. 简单计算公式

$$W = F/g \quad (3-3)$$

式中 W ——散湿量 (kg/h);

F ——池边面积 (m^2);

g ——单位水面的蒸发量 [$\text{kg}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$]。

以据此公式, g 值可从表 3-2 中查得, 不同工况可采用差值法。

表 3-2 敞开水表面单位蒸发量

[单位: $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$]

室温/ $^\circ\text{C}$	室内相对湿度 (%)	水 温/ $^\circ\text{C}$								
		20	30	40	50	60	70	80	90	100
20	40	0.286	0.676	1.610	3.270	6.020	10.48	17.80	29.20	49.10
	45	0.262	0.654	1.570	3.240	5.970	10.42	17.80	29.10	49.00
	50	0.238	0.627	1.550	3.200	5.940	10.40	17.70	29.00	49.00
	55	0.214	0.603	1.520	3.170	5.900	10.35	17.70	29.00	48.90
	60	0.190	0.580	1.490	3.140	5.860	10.30	17.70	29.00	48.80
	65	0.167	0.556	1.460	3.100	5.820	10.27	17.60	28.90	48.70
24	40	0.232	0.622	1.540	3.200	5.930	10.40	17.70	29.20	49.00
	45	0.203	0.581	1.500	3.150	5.890	10.32	17.70	29.00	48.90
	50	0.172	0.561	1.460	3.110	5.860	10.30	17.60	28.90	48.80
	55	0.142	0.532	1.430	3.070	5.780	10.22	17.60	28.80	48.70
	60	0.112	0.501	1.390	3.020	5.730	10.22	17.50	28.80	48.60
	65	0.083	0.472	1.360	3.020	5.680	10.12	17.40	28.80	48.50
28	40	0.168	0.557	1.460	3.110	5.840	10.30	17.60	28.90	48.90
	45	0.130	0.518	1.410	3.050	5.770	10.21	17.60	28.80	48.80
	50	0.091	0.480	1.370	2.990	5.710	10.12	17.50	28.75	48.70
	55	0.053	0.442	1.320	2.940	5.650	10.00	17.40	28.70	48.60
	60	0.015	0.404	1.270	2.890	5.600	10.00	17.30	28.60	48.50
	65	-0.033	0.364	1.230	2.830	5.540	9.950	17.30	28.50	48.40
汽化热/ (kJ/kg)		2458	2435	2414	2394	2380	2363	2336	2303	2265

注: 制表条件为, 水面风速 $v = 0.3\text{m}/\text{s}$; 大气压力 $B = 101325\text{Pa}$, 当所在地点大气压力为 b 时, 表中所列数据应乘以修正系数 B/b 。

二、池边的散湿量计算

1. 计算公式

$$W = 0.0171(t_{\text{干}} - t_{\text{湿}})Fn \quad (3-4)$$

式中 W ——散湿量 (kg/h);

$t_{\text{干}}$ ——室内空调计算干球温度 (°C);

$t_{\text{湿}}$ ——室内空调计算湿球温度 (°C);

F ——池边面积 (m²);

n ——润湿系数。

2. n 值的选取

n 值对应不同的使用条件, 取 0.2~0.4 为宜。对于国际比赛类场馆, 比赛时池边主要是裁判员、保安人员等, 对群众开放时, 由于其运行费用高, 条件好, 收费高, 所以人员密度不大, 润湿面积小, n 取小值。娱乐性场馆, 池边面积小, 人员密集, n 取大值。

三、人员的散湿量计算

$$W_3 = wnn_1 \quad (3-5)$$

式中 W_3 ——人员散湿量 (kg/h);

w ——单位人员散湿量 kg/(h·人);

n ——人数, 见表 3-1;

n_1 ——群集系数。

第三节 通风量的确定

通风量的确定是一项非常复杂的工作。它受到的影响因素很多, 诸如建筑物的空间形状、空调通风系统的形式、气流组织、冷热负荷的变化、送风温度、换气次数等。下面综合这些因素, 探讨其确定方法。

一、过渡季通风量

(1) 计算该风量的意义。夏季, 我国大部分地区室外空气含湿量均大于室内空气的含湿量, 直接利用室外空气无除湿效果, 如有必要保证室内温湿度, 要利用制冷手段除湿, 但此时室外湿度高, 围护结构不会结露。冬季, 室外空气含湿量大大低于室内空气的含湿量, 直接利用室外空气除湿效果很好。因此, 上述二种情况均无代表性。在过渡季, 室内外含湿量比较接近, 且此时围护结构有可能结露, 故选取该季节计算通风量作为游泳馆的最小通风量值是恰当的。

(2) 计算公式

$$L = W/(d_n - d) \quad (3-6)$$

式中 L ——送风量 (kg/h);

W ——散湿量 (kg/h);