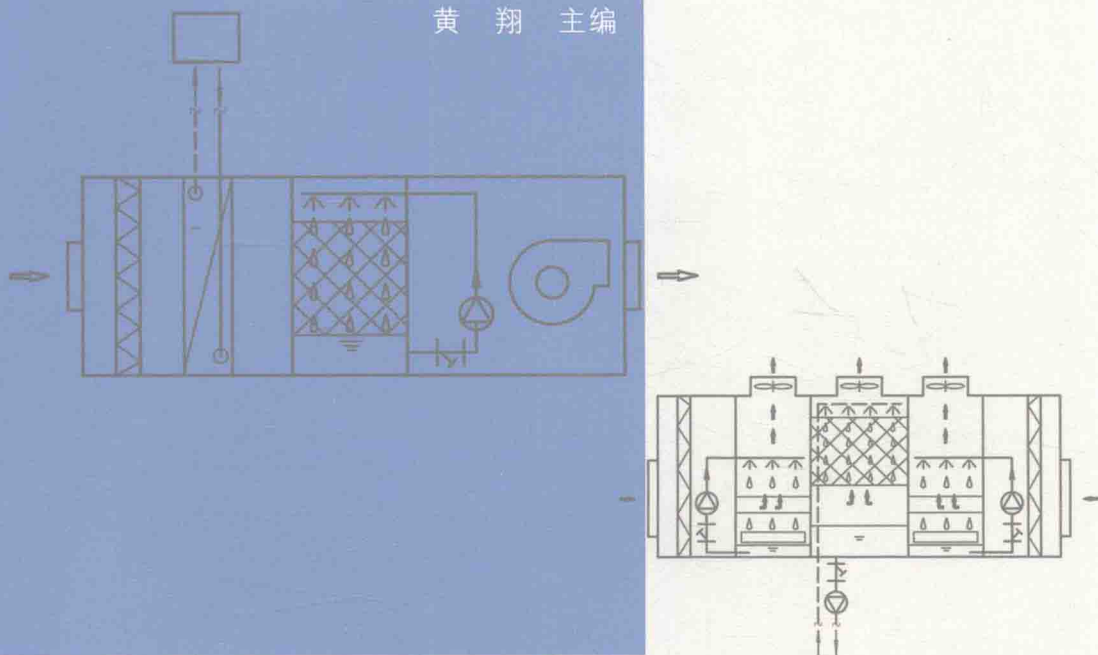


暖通空调系统设计指南系列

# 蒸发冷却通风空调系统设计指南

Design Guide For Evaporative Ventilation And Air Conditioning System

黄翔 主编



中国建筑工业出版社

暖通空调系统设计指南系列

# 蒸发冷却通风空调系统设计指南

黄翔 主编



中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

蒸发冷却通风空调系统设计指南/黄翔主编. —北京:  
中国建筑工业出版社, 2016. 8  
(暖通空调系统设计指南系列)  
ISBN 978-7-112-19338-7

I. ①蒸… II. ①黄… III. ①空调设计-节能设计-指南 IV. ①TB657. 2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 075636 号

本书从设计角度出发, 汇总蒸发冷却通风空调系统相关标准和术语, 对设计人员所考虑的室外、室内设计计算参数的选取进行说明, 详细介绍各类系统的适用领域、设计过程以及注意事项, 最后给出相应的设计实例及示例。书中对涉及的所有设计问题, 都比较明确地做出了回答, 指明了解决问题的方法和途径, 或介绍了当前蒸发冷却界的普遍做法, 使广大设计人员 (特别是在蒸发冷却通风空调系统设计方面经验不足的人员), 在处理实际工程设计中遇到的技术问题时, 能有一个参考、借鉴和遵循的原则。

责任编辑: 张文胜 姚荣华  
责任设计: 李志立  
责任校对: 陈晶晶 刘 钰

## 暖通空调系统设计指南系列 蒸发冷却通风空调系统设计指南 黄 翔 主 编

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)  
各地新华书店、建筑书店经销  
北京红光制版公司制版  
北京同文印刷有限责任公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 33 $\frac{3}{4}$  字数: 838 千字  
2016 年 8 月第一版 2016 年 8 月第一次印刷

定价: 88.00 元

ISBN 978-7-112-19338-7  
(28577)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换  
(邮政编码 100037)

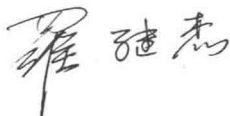
## 序

在 2016 中国制冷展期间，西安工程大学黄翔副校长与我交谈，希望我能为他即将出版的《蒸发冷却通风空调系统设计指南》写个序。他的执着、他的恳切让我非常感动。在蒸发冷却通风空调技术方面我的知识面还很欠缺，深感为本书作序水平难当，资历见卓。出于他对暖通空调工程的挚信，对制冷空调行业的热爱，也出于我国暖通空调行业的需要，作为同行、作为从事工程设计的一员，我答应了他。

近日，由西安工程大学、中国建筑西北设计院有限公司共同编制的国家标准图集《蒸发冷却通风空调系统设计与安装》出版发行。图集主要从“图示”方面，对蒸发冷却通风空调系统原理、设备选型、安装以及自动控制做了详细的介绍，对蒸发冷却通风空调设计以及施工具有很好的指导作用，设计者可以参照图集进行设计、施工人员可以按照图集施工。但从设计角度出发，应用蒸发冷却通风空调系统还缺少可操作的指导性文件和相关资料。本书汇总了蒸发冷却通风空调工程相关标准、相关数据、对室内、室外设计计算参数的确定以及参数分区进行了解读、详细介绍了各类蒸发冷却通风空调系统设计方法、适用范围，以及在工程设计、设备选型时应关注的问题，并给出了相应的工程设计实例，方便工程设计人员参考使用。本指南简明、适用、实用，对在工程实践中已经反映出来的问题进行了回答，并且提出了解决问题的途径与方法，对于初学者和设计经验不足的人员极具参考价值。

“十三五”任重道远，暖通空调专业面临新的使命，“创新，协调，绿色，开放，共享”五大发展理念，是行业发展的纲，是行业发展的指南，作为一名从事制冷空调的工作者，要在节能减排、绿色环保、智能互联的行业发展主旋律中，为实现制冷空调大国向强国的转变建功立业，在这个背景下本书的问世具有极其重要意义。本书作者结合工程实践，地区特点，研究总结了蒸发冷却通风空调的相关技术，是行业发展的结晶，也是行业发展的需要，为行业发展做出了突出贡献，值得钦佩。

全国工程设计大师



2016 年 4 月 12 日

# 前 言

节能、低碳、经济、健康的蒸发冷却通风空调系统，目前已在我国工业建筑、公共建筑、住宅建筑、农业建筑等领域中得到推广应用。有关蒸发冷却通风空调技术方面的专著、译著、教材、国家标准、行业标准、国家标准图集、设计规范、设计手册及技术措施等均已相继问世。但目前急需一本对从事蒸发冷却通风空调工程设计、安装、应用等方面的人员具有指导意义，对推广蒸发冷却通风空调系统具有现实和深远意义的设计指南。为此，我们组织编写了《蒸发冷却通风空调系统设计指南》一书（简称《设计指南》）。

国家建筑标准设计图集《蒸发冷却通风空调系统设计与安装》（15K515）（简称《图集》）主要在制图方面，针对不同类型通风空调系统原理、流程以及相关机组的功能段组成、性能参数、安装、自动控制等，进行说明，给出标准。同时给出了相关设计步骤示例。而《设计指南》则主要从设计角度出发，汇总蒸发冷却通风空调系统相关标准和术语，对设计人员所考虑的室外、室内设计计算参数的选取进行说明，详细介绍各类系统的适用领域、设计过程以及注意事项，最后给出相应的设计实例及示例。

本《设计指南》的编写原则是：“简明、实用、可靠、易循”。根据这个原则，书中对涉及的所有设计问题，都比较明确地做出了回答，指明了解决问题的方法和途径，或介绍了当前蒸发冷却界的普遍做法，使广大设计人员（特别是在蒸发冷却通风空调系统设计方面经验不足的人员），在处理实际工程设计中遇到的技术问题时，能有一个参考、借鉴和遵循的原则。

本《设计指南》内容包括：第1章：蒸发冷却通风空调技术概述；第2章：蒸发冷却通风空调系统相关标准；第3章：蒸发冷却通风空调系统；第4章：蒸发冷却通风空调系统室内外设计计算参数及设计参数分区；第5章：蒸发式冷气机通风系统设计；第6章：全空气蒸发冷却通风空调系统设计；第7章：空气—水蒸发冷却空调系统设计；第8章：蒸发冷却与机械制冷联合通风空调系统；第9章：水质、空气过滤、耗水量设计事项；第10章：蒸发冷却通风空调系统设计实例。附录包括：附录A：各主要城市设计参数下蒸发冷却出风、出水温度；附录B：各主要城市蒸发冷却逐月出风、出水温度统计；附录C：蒸发冷却空调机组耗水量的研究；附录D：蒸发式冷气机换气次数计算；附录E：各类填料在不同参数下的特性曲线；附录F：间接蒸发冷却设备在不同迎面风速下的效率及压降曲线；附录G：各类直接蒸发冷却填料及间接蒸发冷却换热设备的推荐运行参数。

本书所介绍的内容均为目前蒸发冷却通风空调领域较为常用和相对成熟的设备与系统。在《图集》基础上所增加的内容为：（1）技术概述；（2）相关标准、术语说明；（3）室外计算参数选取；室内设计参数的选取；（4）设计中的水质、空气过滤、耗水量问题；（5）设计实例。详述的内容为：设计过程更加详尽、从系统适用场所、气流组织选择、末端形式、自控、安装注意事项及辅助计算软件一一说明。

本书给出的设计过程、注意事项、相应的设计实例及设计步骤示例等，在技术上和方

法上都是比较成熟可靠的。不过，由于实践中遇到的问题，往往千变万化，错综复杂，所以，必须根据本《设计指南》指出的原则，灵活地对具体问题进行具体分析，切忌生搬硬套。

本书编写组的组成与分工如下：

主编：黄翔（西安工程大学）

参编：宋祥龙（西安航空学院）：第1章、第3章和第4章

汪超（西安工程大学）：第2章

孙哲（信息产业电子第十一设计研究院科技工程股份有限公司西安分公司）：  
第5章

邱佳（西安高新建设监理有限责任公司）：第6章

郝航（信息产业电子第十一设计研究院科技工程股份有限公司西安分公司）：  
第7章

白延斌（中煤西安设计工程有限责任公司）：第8章和第10章

强天伟（西安工程大学）：第5章第5节、第6章第5节和第7章第5节第8  
章第4节

李依轩（西安工程大学）：第9章

本书编写过程中，中国建筑工业出版社张文胜副编审给予了极大的关怀与支持。全国工程设计大师、空军工程设计研究局罗继杰研究员在百忙中抽出时间为本书作序，并给作者关怀与鼓励。中国建筑西北设计研究院有限公司周敏教授级高工和王谦教授级高工、中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司黄从新教授级高工、中铁第一勘察设计院集团有限公司邓保顺教授级高工、西安建筑科技大学建筑设计研究院岳斌佑教授级高工提出了宝贵的意见，特致以真诚的谢意！

本书中还引用了大量西安工程大学蒸发冷却团队多年来的研究成果。在此，对所有付出了辛勤劳动的老师和研究生们表示衷心感谢！

由于受水平有限，书中难免有不妥甚至谬误之处欢迎广大同行不吝赐教，批评指正。

# 目 录

序	
前言	
<b>第 1 章 蒸发冷却通风空调技术概述</b> .....	1
1.1 蒸发冷却通风空调技术发展简况 .....	1
1.2 蒸发冷却通风空调技术的定义 .....	1
1.3 蒸发冷却通风空调系统的分类 .....	2
1.3.1 按技术形式分类 .....	2
1.3.2 按产出介质（获得冷量）形式分类 .....	3
1.3.3 按空气处理设备的集中程度分类 .....	3
1.4 蒸发冷却空调气象参数分区 .....	3
1.5 蒸发冷却空调技术的发展 .....	4
1.5.1 通过间接+直接或露点间接温降达到“亚湿球温度”或逼近“露点温度” .....	4
1.5.2 蒸发冷却与机械制冷联合空调系统 .....	5
1.5.3 蒸发冷却与除湿技术相结合的空调系统 .....	5
本章参考文献 .....	5
<b>第 2 章 蒸发冷却通风空调系统相关标准</b> .....	7
2.1 概述 .....	7
2.1.1 标准现状 .....	7
2.1.2 国外标准 .....	8
2.1.3 国内标准 .....	9
2.2 蒸发冷却通风空调系统术语.....	12
2.2.1 基本术语.....	12
2.2.2 蒸发冷却通风空调系统术语 .....	15
2.2.3 蒸发冷却通风空调空气处理术语 .....	16
2.2.4 蒸发冷却通风空调设备术语 .....	16
2.2.5 其他术语.....	18
2.3 蒸发冷却通风空调系统标准.....	18
2.3.1 蒸发冷却通风空调系统基础类标准及相关文献 .....	18
2.3.2 蒸发冷却通风空调系统应用类标准 .....	26
2.3.3 蒸发冷却通风空调系统产品类标准 .....	34
本章参考文献 .....	38
<b>第 3 章 蒸发冷却通风空调系统</b> .....	40
3.1 蒸发式冷气机通风系统.....	40

3.1.1	系统介绍	40
3.1.2	系统工作原理及流程	40
3.2	全空气蒸发冷却通风空调系统	41
3.2.1	系统介绍	41
3.2.2	系统工作原理及流程	42
3.3	空气—水蒸发冷却通风空调系统	46
3.3.1	系统介绍	46
3.3.2	系统工作原理及流程	47
	本章参考文献	49
<b>第4章</b>	<b>蒸发冷却通风空调系统室内外设计计算参数及设计参数分区</b>	<b>50</b>
4.1	室外空气计算参数的确定	50
4.1.1	空调系统室外计算参数	50
4.1.2	通风系统室外计算参数	50
4.1.3	蒸发冷却通风空调系统室外计算参数的研究	50
4.2	室内空气设计参数的确定	55
4.3	设计参数分区	56
4.3.1	制备冷风型蒸发冷却设备设计参数分区及空气处理方式的确定	56
4.3.2	制备冷水型蒸发冷却设备设计参数分区及冷水机组形式的确定	58
4.4	地铁车站蒸发冷却通风空调系统室外设计参数的确定	58
	本章参考文献	60
<b>第5章</b>	<b>蒸发式冷气机通风系统设计</b>	<b>61</b>
5.1	设计要点	61
5.1.1	建筑物功能及概况	61
5.1.2	气流组织	62
5.1.3	设计注意事项	64
5.2	相关设备	67
5.3	设计步骤	72
5.3.1	采用蒸发式冷气机的全面通风系统设计步骤	72
5.3.2	采用蒸发式冷气机的局部送风系统设计步骤	78
5.4	设计示例	79
5.5	自动控制	80
5.5.1	蒸发式冷气机模拟仪表控制	80
5.5.2	蒸发式冷气机 DDC 控制	81
5.6	安装	82
5.6.1	安装基本要求	82
5.6.2	安装方式	83
5.7	计算程序	89
5.7.1	程序编制基础	89
5.7.2	程序介绍	90



本章参考文献 .....	90
<b>第 6 章 全空气蒸发冷却通风空调系统设计 .....</b>	<b>92</b>
6.1 设计要点 .....	92
6.1.1 建筑物功能及类别 .....	92
6.1.2 系统应用形式选择 .....	92
6.1.3 气流组织 .....	92
6.1.4 设计注意事项 .....	93
6.2 相关设备 .....	96
6.2.1 直接蒸发冷却通风空调机组 .....	96
6.2.2 内冷式多级蒸发冷却通风空调机组 .....	98
6.2.3 外冷式多级蒸发冷却通风空调机组 .....	103
6.3 设计步骤 .....	105
6.3.1 设计计算 .....	105
6.3.2 校核计算 .....	108
6.4 设计示例 .....	110
6.4.1 直接蒸发冷却通风空调机组应用示例 .....	110
6.4.2 管式间接—直接多级蒸发冷却通风空调机组应用示例 .....	111
6.4.3 高温表冷—管式间接—直接多级蒸发冷却通风空调机组应用示例 .....	113
6.5 自动控制 .....	115
6.5.1 三级蒸发冷却空调机组模拟仪表控制 .....	115
6.5.2 三级蒸发冷却空调机组 DDC 控制 .....	116
6.6 系统设备安装 .....	118
6.6.1 通用安装要求 .....	118
6.6.2 设备安装 .....	119
6.7 全空气蒸发冷却通风空调系统计算程序 .....	120
6.7.1 程序编制基础 .....	120
6.7.2 程序介绍 .....	121
本章参考文献 .....	122
<b>第 7 章 空气—水蒸发冷却空调系统设计 .....</b>	<b>124</b>
7.1 设计要点 .....	124
7.1.1 建筑物功能及类别 .....	124
7.1.2 系统应用形式选择 .....	124
7.1.3 末端形式 .....	126
7.1.4 设计注意事项 .....	128
7.2 相关设备 .....	129
7.2.1 小温差型冷水机组 ( $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ ) 空气—水蒸发冷却空调系统 .....	130
7.2.2 大温差型冷水机组 ( $\Delta t=10^{\circ}\text{C}$ ) 空气—水蒸发冷却空调系统 .....	134
7.3 设计步骤 .....	136
7.3.1 设计计算 .....	136

7.3.2	校核计算	142
7.4	设计示例	145
7.4.1	小温差型冷水机组 ( $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ ) 空气—水蒸发冷却通风空调系统	145
7.4.2	大温差型冷水机组 ( $\Delta t=10^{\circ}\text{C}$ ) 空气—水蒸发冷却通风空调系统	148
7.5	自动控制	150
7.5.1	空气—水蒸发冷却空调系统模拟仪表控制	150
7.5.2	空气—水蒸发冷却空调系统 DDC 控制	151
7.6	系统设备安装	153
7.6.1	通用安装要求	153
7.6.2	蒸发冷却新风机组安装要求	153
7.6.3	蒸发冷却冷水机组安装要求	154
7.7	计算程序	156
7.7.1	程序编制基础	156
7.7.2	程序介绍	157
	本章参考文献	157
<b>第 8 章</b>	<b>蒸发冷却与机械制冷联合通风空调系统</b>	<b>159</b>
8.1	蒸发冷却与机械制冷切换式运行	159
8.1.1	蒸发式冷气机与机械制冷切换	159
8.1.2	全空气系统与机械制冷切换	161
8.1.3	全水式系统与机械制冷切换	165
8.1.4	空气—水系统与机械制冷切换	179
8.2	蒸发冷却与机械制冷联合运行系统	182
8.3	蒸发冷却与机械制冷一体化机组	184
8.4	蒸发冷却与机械制冷联合自动控制	189
8.4.1	(间接—直接—机械制冷) 三级蒸发冷却空调机组模拟仪表控制	189
8.4.2	(间接—直接—机械制冷) 三级蒸发冷却空调机组 DDC 控制	190
	本章参考文献	192
<b>第 9 章</b>	<b>水质、空气过滤、耗水量设计事项</b>	<b>193</b>
9.1	水质	193
9.1.1	蒸发冷却水系统的水质应符合的规定	193
9.1.2	循环水及补充水水质标准	194
9.1.3	循环水的常见处理方法	194
9.1.4	循环水的水质检测	198
9.1.5	直接蒸发冷却的水质要求	199
9.1.6	系统水箱水质	199
9.1.7	水箱的清洗和检查	199
9.1.8	防止蒸发冷却器结水垢的措施	199
9.2	空气过滤	199
9.2.1	选择空气过滤器的规定	200

9.2.2	选择空气过滤器的性能要求	200
9.2.3	空气过滤器的相关注意事项	200
9.2.4	空气过滤器的设置	200
9.2.5	空气过滤器的设置应符合下列规定	201
9.2.6	新风、回风的化学过滤	201
9.2.7	空气过滤器的清洗	201
9.3	耗水量	202
9.3.1	通风系统年耗水量计算应符合的规定	202
9.3.2	全空气空调系统的年耗水量计算应符合的规定	202
9.3.3	蒸发冷却通风空调系统耗水量计算应符合的规定	203
9.3.4	开式系统循环水量	203
9.3.5	空气调节水系统的设计补水量和补水点	203
9.3.6	蒸发冷却器耗水量与湿球温度的关系	203
9.3.7	推荐使用的耗水量计算公式	203
	本章参考文献	204
<b>第 10 章</b>	<b>蒸发冷却通风空调系统设计实例</b>	<b>205</b>
10.1	蒸发式冷气机系统	205
10.2	全空气蒸发冷却通风空调系统	207
10.2.1	一级蒸发冷却通风空调机组	207
10.2.2	二级蒸发冷却通风空调机组	209
10.2.3	三级蒸发冷却通风空调机组	216
10.3	空气—水蒸发冷却通风空调系统	221
10.3.1	某电厂办公楼	221
10.3.2	新疆维吾尔自治区中医院	222
10.3.3	新疆石河子凯瑞大厦	224
10.3.4	昌吉人民医院	225
10.3.5	克拉玛依天麒大厦	226
10.4	蒸发冷却与机械制冷联合通风空调系统	228
10.4.1	西安中信某机房改造工程	228
10.4.2	宝鸡游泳跳水馆	229
	本章参考文献	232
附录 A	各主要城市设计参数下蒸发冷却出风、出水温度	233
附录 B	各主要城市蒸发冷却逐月出风、出水温度统计	258
附录 C	蒸发冷却空调机组耗水量的研究	457
附录 D	蒸发式冷气机换气次数计算	463
附录 E	各类填料在不同参数下的特性曲线	519
附录 F	间接蒸发冷却设备在不同迎面风速下的效率及压降曲线	525
附录 G	各类直接蒸发冷却填料及间接蒸发冷却换热设备的推荐运行参数	526

# 第 1 章 蒸发冷却通风空调技术概述

## 1.1 蒸发冷却通风空调技术发展简况

20 世纪 70 年代美国等国家出现石油危机以后,将蒸发冷却技术应用于空调,自此日益受到人们的重视。一些工厂开发了有关直接蒸发冷却和间接蒸发冷却的产品,并逐步实现了商业化。目前,国外研究的热点主要针对间接蒸发冷却器研发及传热传质,和一些新型蒸发冷却空气处理机组的开发,比如 M 循环露点间接蒸发冷却器,某国外公司新开发的与溶液除湿结合的蒸发冷却空气处理机组等。

在我国,将蒸发冷却技术应用于空调的研究早在 20 世纪 60 年代已引起国内学者的关注。20 世纪 80~90 年代,开展蒸发冷却空调技术研究的主要集中在同济大学、哈尔滨工业大学、天津大学、北京工业大学等高校。主要对蒸发冷却空调技术的传递过程理论分析、热湿交换计算、填料性能以及在空调机组、风冷热泵中的应用进行了研究和相关实验,对蒸发冷却空调技术与夜间通风、机械制冷联用进行了研究,并开发出了直接蒸发冷却局部空调器。与此同时,哈尔滨空调机厂生产出了我国第一台填料蒸发式空气冷却器。进入 21 世纪,西安工程大学对蒸发冷却空调技术开展了大量的研究和推广应用工作。

蒸发冷却空调技术及设备经历了由简单到复杂、从单功能到多功能的发展过程,由最早的喷水室、窗机,慢慢发展到目前的蒸发式冷气机、蒸发冷却空调处理机组、蒸发冷却冷水机组,广泛应用到了工业、民用及特殊建筑等领域。

## 1.2 蒸发冷却通风空调技术的定义

蒸发冷却空调技术是以水作为冷却介质,通过水分蒸发吸热进行冷却的技术,在不利环境条件下,加以机械制冷、除湿等技术的辅助。

蒸发冷却空调技术是一种环保高效且经济的冷却方式,广泛应用于居住建筑和公共建筑中的舒适性冷却,并可在传统的工业领域如纺织厂、印刷厂、铸造厂、发电厂及数据中心等场所中提高工人的舒适性。同时,蒸发冷却空调技术还可通过控制干湿球温度来改善农作物的生长环境及满足生产工艺要求。

国内外蒸发冷却空调相关标准对蒸发冷却空调设备进行了定义:

《蒸发式冷气机》GB/T 25860—2010 给出了“蒸发式冷气机”的定义:一种通过风机使空气与淋水填料层直接接触,把空气的显热传递给水而实现增湿降温,由风机、水循环分布系统、电气控制系统、填料及外壳等部件组成的机组。

由全国暖通空调及净化设备标准化技术委员会提出并起草的国家标准《水蒸发冷却空

调机组》给出了“蒸发冷却空调机组”的定义：由各种空气处理功能组合而成的，被处理空气降温采用水直接蒸发、间接蒸发冷却器或直接蒸发冷却器与间接蒸发冷却器组合，并可以复合设置制冷剂或冷冻水空气冷却器的一种空气处理设备。

澳大利亚 AS 2913: 2000 Evaporative Air-conditioning Equipment 对“蒸发式空调”进行了定义：通过水分蒸发冷却空气的设备。

美国 ANSI/ASHRAE Standard 133-2008 Method of Testing Direct Evaporative Air Coolres 对“组合式直接蒸发冷却器”和“单元式蒸发冷却器”进行了定义。

(1) 组合式直接蒸发冷却器：无风机的单元箱式设备，其基本功能为：①通过循环蒸发或水分直接进入空气使通过设备的不饱和空气的显热转变为潜热；②通过设备的空气流动使部分水分蒸发。

(2) 单元式蒸发冷却器：设备齐全的机组，有风机和电动机，其基本功能为：①通过循环蒸发或水分直接进入空气使通过设备的不饱和空气的显热转变为潜热；②使空气通过机组。

美国 ANSI/ASHRAE Standard 143-2007 Method of Test for Rating Indirect Evaporative Coolres 对“间接蒸发冷却器”进行了定义：热量和质量传递设备，含湿量不变。由于二次空气提供湿球温降，一次空气热量减少。

美国《Evaporative Air Conditioning Handbook》（中文译名《蒸发冷却空调技术手册》）系统、全面且深入地介绍了蒸发冷却空调技术。

### 1.3 蒸发冷却通风空调系统的分类

#### 1.3.1 按技术形式分类

蒸发冷却空调技术按照技术形式分为：直接蒸发冷却空调技术、间接蒸发冷却空调技术、间接—直接蒸发冷却复合空调技术，蒸发冷却—机械制冷联合空调技术（见表 1-1）。

蒸发冷却空调技术分类及设备

表 1-1

技术形式		直接蒸发冷却 空调技术	间接蒸发冷却 空调技术	间接—直接蒸发冷却 空调技术	蒸发冷却—机械制冷联合 空调技术
设 备	制备冷风	直接蒸发冷却 空调机组	间接蒸发冷却 空调机组	间接—直接蒸发冷却 复合空调机组	蒸发冷却—机械制冷联合 空调机组
	制备冷水	直接蒸发冷却 冷水机组	间接蒸发冷却 冷水机组	间接—直接蒸发冷却 复合冷水机组	蒸发冷却—机械制冷联合冷水机组
	同时制备 冷风冷水			间接—直接蒸发冷却 复合冷风/冷水机组	蒸发冷却—机械制冷联合冷风/ 冷水机组

直接蒸发冷却空调技术：产出介质（空气或水）与工作介质（空气或水）直接接触进行热湿交换，产出介质与工作介质之间既存在热交换又存在质交换，以获取冷风或冷水的技术。利用直接蒸发冷却技术的设备有蒸发式冷气机冷风扇、直接蒸发冷却空调机组，目

前主要应用的场所有网吧、纺织厂、服装厂、制鞋厂、印刷厂、电子产品行业、食品加工、餐饮行业、注塑行业、通信机房、化工行业、核电站、地铁、畜牧业、超市以及公共建筑等。同时，高压微雾直接蒸发冷却技术还可以应用在公园等公共露天场所，喷出的水雾既可以降温又可以成为美丽的风景。

**间接蒸发冷却空调技术：**产出介质（空气或水）与工作介质（空气或水）间接接触，仅进行显热交换而不进行质交换，以获取冷风或冷水的技术。利用间接蒸发冷却技术的设备主要有板翅式间接蒸发冷却器、管式间接蒸发冷却器、露点间接蒸发冷却器等。间接蒸发冷却设备对空气进行等湿降温，降低空气的湿球温度，因此一般与直接蒸发冷却设备联用，提高机组的空气处理温降。

**间接—直接蒸发冷却复合空调技术：**将间接蒸发冷却与直接蒸发冷却加以复合，以获取冷风或冷水的技术。目前主要设备有板翅式间接—直接蒸发冷却空气处理机组、管式间接—直接蒸发冷却空气处理机组、表冷间接—直接蒸发冷却空气处理机组等，主要应用于办公楼、医院、体育场、大型商场及工业厂房、通信机房等。

**蒸发冷却—机械制冷联合空调技术：**将蒸发冷却与机械制冷加以联合，以获取冷风或冷水的技术。目前蒸发冷却与机械制冷联合通风空调的形式主要有切换式运行、一体化机组、联合运行等。蒸发冷却与机械制冷联合通风空调系统，打破了单独蒸发冷却系统受室外气象参数影响的局限性，可适用于各工业、民用领域，同时联合运行模式可缩短或减小机械制冷的开启比例，起到最佳的节能效果。

### 1.3.2 按产出介质（获得冷量）形式分类

蒸发冷却空调技术按照产出介质（获得冷量）形式可分为：风侧蒸发冷却空调技术、水侧蒸发冷却空调技术（见表 1-1）。

**风侧蒸发冷却空调技术：**根据水蒸发冷却原理，采用直接蒸发冷却或间接蒸发冷却方式或加以机械制冷辅助获取冷风的空调技术。也可称为冷风式蒸发冷却空调技术。

**水侧蒸发冷却空调技术：**根据水蒸发冷却原理，采用直接蒸发冷却或间接蒸发冷却方式或加以机械制冷辅助获取冷水的空调技术。也可称为冷水式蒸发冷却空调技术。

### 1.3.3 按空气处理设备的集中程度分类

蒸发冷却通风空调系统按空气处理设备的集中程度可以分为集中式、半集中式和分散式通风空调系统。

## 1.4 蒸发冷却空调气象参数分区

蒸发冷却通风空调机组的出风温度与进风的干湿球温度密切相关，我国地域辽阔，气候多样，因此不同地区的气象条件对蒸发冷却通风空调机组的出风温度的影响也不同，蒸发冷却设备的换热效率也略有不同。根据湿球温度的不同，国家标准《蒸发式冷气机》GB/T 25860—2010 以湿球温度 23℃及湿球温度 28℃为分界点，将我国划分为干燥地区、中等湿度地区及高湿地区，并给出各个地区蒸发冷却设备的换热效率推荐值，如表 1-2 所示。

不同气象条件下蒸发冷却效率推荐值

表 1-2

区域划分	湿球温度	典型城市	DEC效率	IEC效率
干燥地区	$t_s < 23^\circ\text{C}$	拉萨、西宁、乌鲁木齐、昆明、兰州、呼和浩特、银川	85%	65%
中等湿度地区	$23^\circ\text{C} \leq t_s < 28^\circ\text{C}$	贵阳、太原、哈尔滨、长春、沈阳、西安、北京、成都、重庆、济南、天津、石家庄、郑州	80%	60%
高湿度地区	$t_s \geq 28^\circ\text{C}$	南宁、长沙、广州、上海、福州、杭州、南京、合肥、海口、南昌、武汉	75%	55%

(1) 干燥地区（室外空气湿球温度小于  $23^\circ\text{C}$ ）如青海、甘肃、新疆、宁夏等地，干湿球温差较大，露点温度相对较低，空气含湿量低。

(2) 中等湿度地区（室外空气湿球温度大于  $23^\circ\text{C}$ 、小于  $28^\circ\text{C}$ ）如北京、上海、西安等地，室外湿球温度偏高，干湿球温差有限。

(3) 高湿度地区（室外空气湿球温度大于  $28^\circ\text{C}$ ）如广东、福建等地，夏季室外空气的含湿量过大。

根据蒸发冷却设备在不同地区使用效率的不同，可以将我国各省市分为通风区、高适应区、适应区及非适应区，其中通风区主要省份为云、藏、青、甘、鄂、新；高适应区省份为黑、宁、贵；适应区省份为吉、辽、冀、豫、番、鲁、京、津、陕、川等。根据使用场所及工程地区的不同，当单独蒸发冷却设备不能满足设计要求时，应采用蒸发冷却与机械制冷联合通风空调系统。同时，蒸发冷却系统在亚欧大陆“一带一路”沿线不同地区具有不同的气象条件，因此具有不同的应用形式。

2013年国家提出了“一带一路”的战略构想，它将是推动沿线国家的共同发展、促进世界和平的伟大蓝图。“一带一路”沿线多是新兴经济体或发展中国家，同时大多属于沙漠热带气候、大陆性干旱和半干旱气候等较干燥的气候条件，空气中蕴含着丰富的可再生能源——“干空气能”。因此，“一带一路”战略的提出为蒸发冷却空调技术提出了新的使命，而蒸发冷却空调技术也将为我国“一带一路”战略构想做出自己的贡献。

## 1.5 蒸发冷却空调技术的发展

虽然蒸发冷却空调技术是一种节能环保和可持续发展的空调技术，但是，正如任何空调技术一样，蒸发冷却技术也不是尽善尽美的。蒸发冷却由于其降温原理，存在降温有限且不易实现除湿功能、设备体积较大、水质要求较高等问题。因此应将直接蒸发冷却与间接蒸发冷却相结合或采用露点间接蒸发冷却加大降温幅度；在湿度较高的地区，蒸发冷却应与其他技术相结合。

### 1.5.1 通过间接+直接或露点间接温降达到“亚湿球温度”或逼近“露点温度”

直接蒸发冷却的降温极限为空气的湿球温度；间接蒸发冷却的降温极限为二次空气的

湿球温度；通过间接+直接复合蒸发冷却可实现突破湿球温度极限，达到“亚湿球温度”（介于空气湿球温度与露点温度之间的温度）的温降效果；通过露点间接蒸发冷却可实现逼近露点温度的最大温降效果。露点式间接蒸发冷却，相对于传统间接蒸发冷却而言最大不同之处在于，干通道的空气经预冷后一部分可以进入湿通道，继续作为工作空气与水进行热湿交换，进而冷却干通道内的空气。利用多个通道不同状态的气流获得，进行能量的梯级利用，获得湿球温度不断降低的工作空气，最终实现使干通道的产出空气温度逼近露点温度。

### 1.5.2 蒸发冷却与机械制冷联合空调系统

蒸发冷却空调技术节能环保，但单独靠该技术制取的冷风或冷水参数与室外空气状态紧密相关，不易控制且具有不稳定性。而机械制冷技术可以制取温度较稳定的冷风或冷水，但相比而言能耗较大。因此，在中等湿度及高湿度地区，虽然室外空气含湿量较高，但在过渡季节蒸发冷却通风空调系统可以达到建筑物的设计要求，同时在夏季炎热季节作为经济器对空气进行预冷，从而减少传统空调系统机械制冷的运行时间或运行时所承担的负荷。

### 1.5.3 蒸发冷却与除湿技术相结合的空调系统

近年来，除湿空调技术的迅速发展为除湿技术和蒸发冷却技术的联合应用提供了一个良好的途径。除湿空调是将干燥剂除湿和蒸发冷却技术结合起来实现空气调节的技术。其中干燥剂除湿是以空气和水为工质，采用太阳能等低品位热源驱动，而蒸发冷却则属于自然冷却技术，这使得该技术在干燥、热湿地区相比常规空调具有更强的经济性和实用性。

#### (1) 蒸发冷却与转轮除湿技术的结合

转轮式除湿空调系统是指采用干燥剂转轮处理潜热负荷，采用蒸发冷却器处理显热负荷的除湿空调系统。

#### (2) 蒸发冷却与溶液除湿技术的结合

溶液除湿蒸发冷却系统是一种新型的空调系统，首先利用溶液除湿系统将室外空气或室外与室内的混合空气进行除湿，降低处理空气的湿度，再利用蒸发冷却技术将空气处理到所需的温湿度范围。溶液除湿蒸发冷却空调系统基于溶液除湿与蒸发冷却原理，以水和空气为制冷工质，可由低品位热源或者太阳能驱动，具有环保、节能、健康和适应性强等优点。该系统可以将蒸发冷却技术应用到非干燥地区，从而充分发挥蒸发冷却系统的节能效果。

## 本章参考文献

- [1] 黄翔. 蒸发冷却空调理论与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [2] 黄翔. 空调工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [3] 约翰·瓦特(John R. Watt, P. E), 威尔·布朗(Will K. Brown, P. E)(美). 蒸发冷却空调技术手册[M]. 黄翔, 武俊梅, 译. 北京: 机械工业出版社, 2008.



- [4] 黄翔, 孙铁柱, 汪超. 蒸发冷却空调技术的诠释(1)[J]. 制冷与空调, 2012, 12(2): 1-6.
- [5] 黄翔, 孙铁柱, 汪超. 蒸发冷却空调技术的诠释(2)[J]. 制冷与空调, 2012, 12(3): 9-14.
- [6] 黄翔, 孙铁柱, 汪超. 蒸发冷却空调技术的诠释(3)[J]. 制冷与空调, 2012, 12(4): 1-3.
- [7] 黄翔, 夏青, 孙铁柱. 蒸发冷却空调技术分类及术语探讨[J]. 暖通空调, 2012, 42(9): 52-57.
- [8] 孙铁柱, 黄翔, 汪超等. 蒸发冷却空调设备的研究进展与应用概况[J]. 制冷与空调, 2014, 14(3): 40-45.