



第三十二届中国制冷展

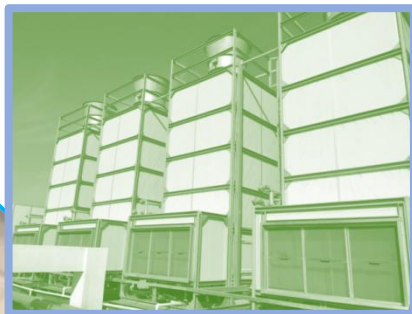
专题7 《适合西部地区气候特点的暖通空调技术论坛》

报告内容：干热、严寒或寒冷气候区的暖通空调技术

汇报人：葛超 刘鸣

新疆建筑设计研究院有限公司

2021年4月7日



目 录

(一) 干热气候区的特性

(二) 集中式蒸发冷却空调的全年使用问题

(三) 新疆地方建设标准《蒸发冷却空调系统工程技术标准》介绍



I、干热气候区

◆ 定义

干热气候区 dry climatic zone

1 4月至9月期间的降雨量为全年降雨70%及以上时，

$$P < 20.0 \times (T+14) ;$$

2 4月至9月期间的降雨量为全年降雨量的30%到70%之间时，

$$P < 20.0 \times (T+7) ;$$

3 4月至9月期间的降雨量为全年降雨量30%及以下时，

$$P < 20.0 \times T;$$

式中P为年降雨量，mm；T为年平均温度，℃。
夏季气象参数符合以上1、2、3条款者，均为干热气候区。

干热气候区的特性

◆ 区划：根据美国2013 ASHRAE Handbook-

Fundamentals中给出的西北五省及内蒙古各地

100个气象站点的室外气象参数计算得到各省干热气候区分布情况（1986-2010）。

省	西北五省					内蒙古
	新疆	陕西	甘肃	青海	宁夏	
面积 /万km ²	166	20.56	42.58	72.23	6.64	118.3
站台数	34	8	14	17	3	24
属干热气候区 站点数	33	1	8	7	3	19





◆ 气候特点

- 1、大陆性干旱气候、年降雨量少，蒸发量大；
- 2、夏季室外空气的湿球温度、露点温度、含湿量、焓值较低；
- 3、海拔高，昼夜温差大（ $\geq 10^{\circ}\text{C}$ ）；
- 4、空调度日数小，空调系统运行周期较短。

干热气候区空调的主要任务：
以消除室内显热，保证空气品质为主。

I、干热气候区

干热气候区的特性

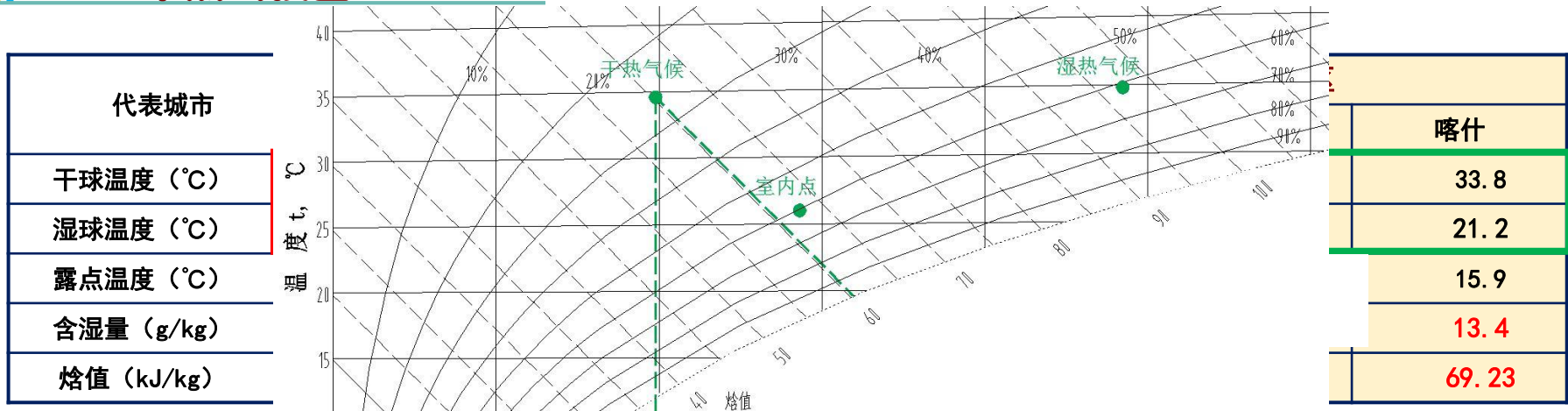


表1.2 室内、外夏季空调计算参数对比

类别	干球温度 (°C)		湿球温度 (°C)		露点温度 (°C)		含湿量 (g/kg)		焓值 (kJ/kg)	
	湿热	干热	湿热	干热	湿热	干热	湿热	干热	湿热	干热
室外设计状态点	34.8	34.6	28.1	19.7	26.2	12.4	22	10.3	91.8	61.6
室内设计状态点	26.0		20.3		17.5		12.7		58.7	
差值	8.8	8.6	7.8	-0.6	8.7	-5.1	9.3	-2.4	33.1	2.9
干热气候区 夏季空调的若干 技术对策	设计工况的干球温差 没有差别		冷却水出水温度低, 室外风冷机宜加湿膜 加湿, 冷机性能大幅 提高;		不宜结露可采用地板 辐射供冷; 冷凝水不 宜产生可取消		用新风除湿, 湿负荷 不统计在冷源中; 可 采用高温水供冷。		夏季新风冷负荷小, 可加大新风量, 空调 系统能效高。	

1、干热气候区

节能效率提高 (Economizer, air):

Economizer, air:

在温和或凉爽季节，通过设置管道、调节风阀和自动控制系统直接向室内送入新风，以减少或消除对机械制冷的需求。

Economizer, fluid:

空调系统的供冷不采用机械制冷，是用液体与环境进行热质交换可自身直接冷却的系统。常用液体多为水、乙二醇混合液或制冷剂。

a. 在部分负荷工况下，若用 IPLV、ICOP 或 SEER 来评价暖通空调设备的性能，则舒适性空调系统制冷效率需提高的比例如表 6.5.1-2 所示。若满负荷运行工况下，用 COP 来评价暖通空调设备性能，则空调系统效率需要提高的比例如表 6.5.1-2 所示。

干热气候区的特性

表 6.5.1-2 舒适性空调提高的制冷效率

气候区	效率提高	气候区	效率提高
2A	17%	5A	49%
2B	21%	5B	59%
3A	27%	5C	74%
3B	32%	6A	56%
3C	65%	6B	65%
4A	42%	7	72%
4B	49%	8	77%
4C	64%		

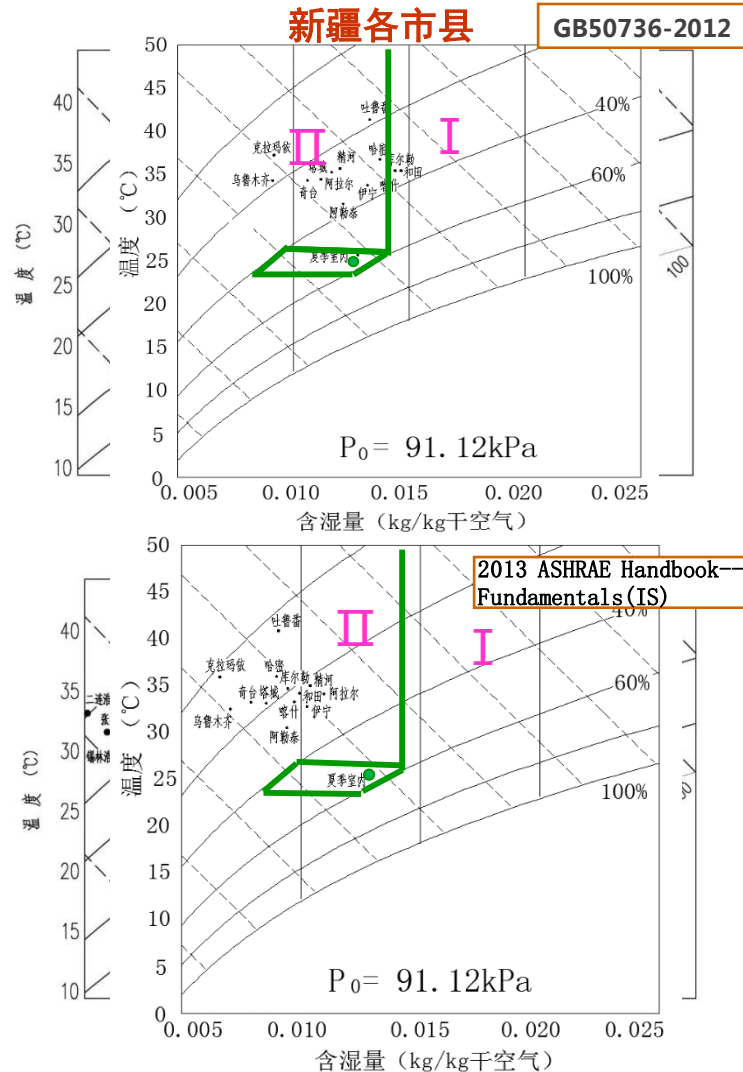
上述引自 ASHRAE STANDARD 90.1-2016 表 6.5.1-2

典型省会城市	海拔高度	干球温度		湿球温度(包括下雨天在内)		空调方式
		>34℃ 小时数	>27℃ 小时数	>23℃ 小时数	>19℃ 小时数	
呼和浩特	1063	29	691	0	160	采用间、直接蒸发冷却技术空调，或高温冷源空调；
兰州	1517	81	632	10	211	
乌鲁木齐	935	67	785	0	105	
银川	1111.4	0	467	55	761	
西宁	2295	16	131	0	11	海拔高、昼夜温差大，几乎不用设空调，采用直接蒸发或夜间通风即可。
昆明	1824.1	0	104	2	203	
拉萨	3648.9	0	45	0	0	

2、气象参数差异

- 我国规范给出的夏季空调室外计算干、湿球温度与美国ASHRAE给出空调参数定义不同。在湿热气候区由于定义不同引起的差异较小，但在干热气候区影响较大，尤其对蒸发冷却空调处理过程及设备选型影响巨大。

类别	中国	美国
依据	《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736-2012	2013 ASHRAE Handbook--Fundamentals (IS)
定义	夏季空气调节室外计算湿球温度，应采用历年平均不保证50h的湿球温度	Wet-bulb temperature corresponding to 0.4, 1.0 and 2.0% annual cumulative frequency of occurrence, °C; mean coincident dry-bulb temperature, °C
差别	干、湿球温度不关联	干、湿球温度相互关联
结果	1、湿球温度偏大，尤其对干热气候区； 2、影响到空气处理过程； 3、新风机组的处理能力偏大； 4、大马拉小车，浪费！	湿球温度符合实际；



(二) 集中式蒸发冷却空调的全年使用问题

1

空气品质与新风问题

4

蒸发冷却空调系统全年设计技术要点

2

严寒、寒冷干热气候区特点及建筑能耗

5

结 论

3

蒸发冷却空调系统的全年设计



1 空气品质与新风问题

蒸发冷却空调的全年使用问题

严寒地区夏季可以通过增加新风量改善室内空气质量，而冬季为了达到室内温度要求，减少冬季热损失，通常不用新风；随着建筑气密性的提高，窗户等部位漏风量日渐减少，室内空气长期不流通，必然造成室内CO₂、PM2.5等浓度增加，空气质量下降，因此，在冬季为建筑内提供新风已成为人们的必然需求。

表1.1 乌鲁木齐2016-2019年度室外空气质量指标平均值

季 节	PM2.5 /μg/m ³	PM10 /μg/m ³	SO ₂ /μg/m ³	NO ₂ /μg/m ³	CO /mg/m ³	O ₃	AQI指数	质量 等级
夏 季 (7-9月)	24.02	75.99	8.94	36.92	0.74	65.48	64.92	优-良
冬 季 (12-2月)	144.96	188.27	16.06	67.11	2.40	25.58	187.63	中度 污染

通过对新疆乌鲁木齐市2016~2019年冬夏季室外空气质量指标进行统计发现，乌鲁木齐冬季各类污染物指标平均值均为夏季指标的**2-6倍**，如表1.1所示。

因此，冬季未处理的空气不能送入室内，新风需经过滤、净化处理后有组织的送入室内，进而改善冬季室内空气质量。

图1-1 乌鲁木齐市冬季室外污染严重



2 严寒、寒冷干热气候区特点&建筑能耗

蒸发冷却空调的全年使用问题

表2.1 新疆部分城市的度日数

城 市	阿勒泰	乌鲁木齐	塔 城	喀 什
气候区	严寒B区	严寒C区	严寒C区	寒冷A区
HDD22(°C•d)	6329.3	5624.2	5395.2	4013.5
CDD25(°C•d)	23.8	56.7	38.6	54.8

表2.2 乌鲁木齐公共建筑供暖、供冷期

日 期	类别	时间	小时数/h
10月10日—4月10日	供暖期（183d）	00:00-24:00	4392
7月1日—8月31日	供冷期（61）	09:00-20:00	671

注：乌鲁木齐供冷期内室外温度高于25℃的小时数为393h。

由表2.1和表2.2可以看出，严寒、寒冷地区供暖期远远大于供冷期；造价为200元/m²的空调系统仅用于夏季而不考虑冬季，势必造成巨大的浪费。蒸发冷却空调系统冬季使用技术难点成为阻碍其全年使用的关键点。



以乌鲁木齐某办公楼为例，室内外计算参数选用冬夏季室外计算参数（冬季 $T_{wg}=-23.7^{\circ}\text{C}$ ， $d_w=78\%$ ；夏季 $T_{wg}=33.5^{\circ}\text{C}$ ， $T_{ws}=18.2^{\circ}\text{C}$ ），在冬夏季新风量不变（人员所需最小新风量）的情况下，分别计算冬季热指标与夏季冷指标，计算结果如表2.3：

表2.3 某办公楼冷热负荷指标

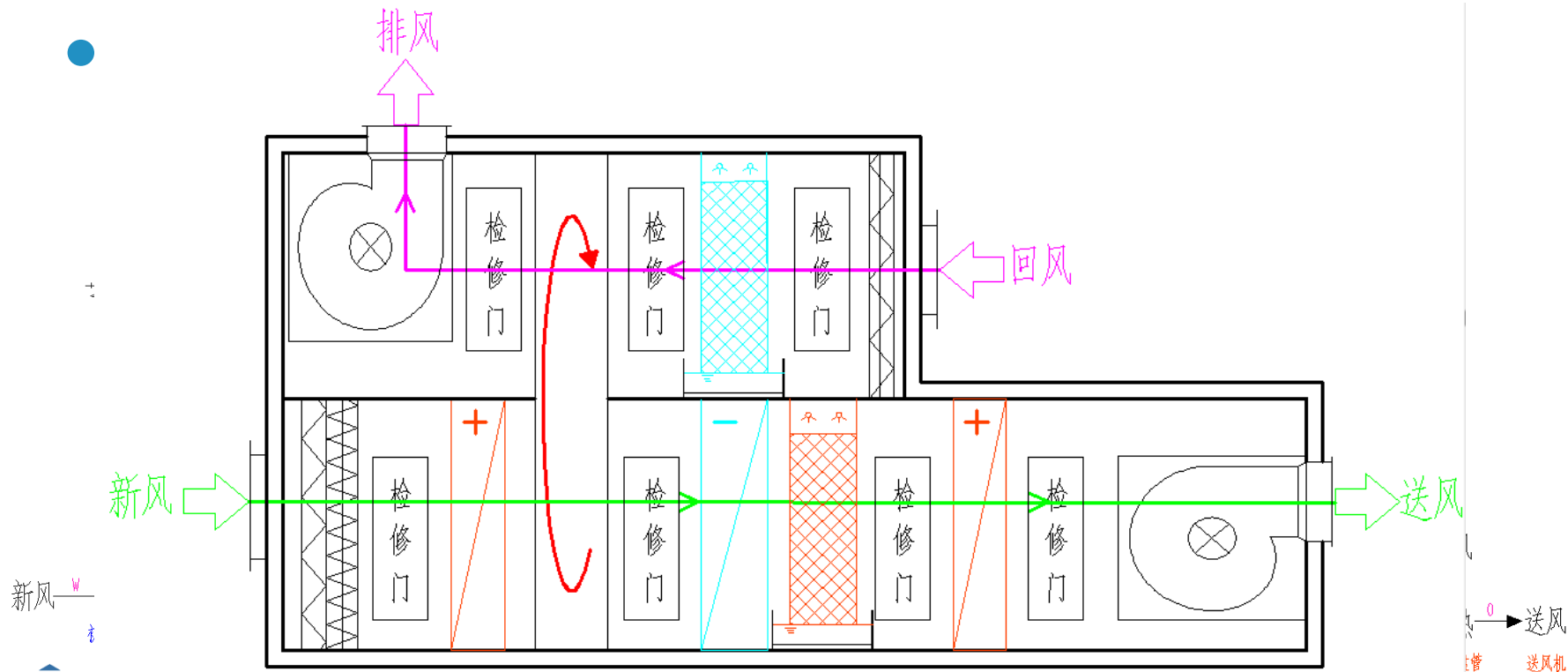
夏季室内外设计温差 /°C	夏季冷负荷指标/(W/m ²)			冬季室内外设计温差 /°C	冬季热负荷指标/(W/m ²)		
	建 筑	新 风	建筑+新风		建 筑	新 风	建筑+新风
8.5	70	7	77	43.7	40	31.4	71.4

由于冬季室内外温差是夏季室内外温差的5.14倍，造成冬季新风负荷远大于夏季新风负荷，且新风负荷与建筑负荷相差不大。因此，**冬季蒸发冷却空调系统为房间提供新风，必须设置热回收装置**。我国《公共建筑节能设计标准》GB50189-2015中第4.3.25条及美国ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2016中都要求严寒、寒冷地区空调系统需设置能量回收装置。

3 蒸发冷却空调系统的全年设计

蒸发冷却空调的全年使用问题

3.1 新风+干式末端空调系统

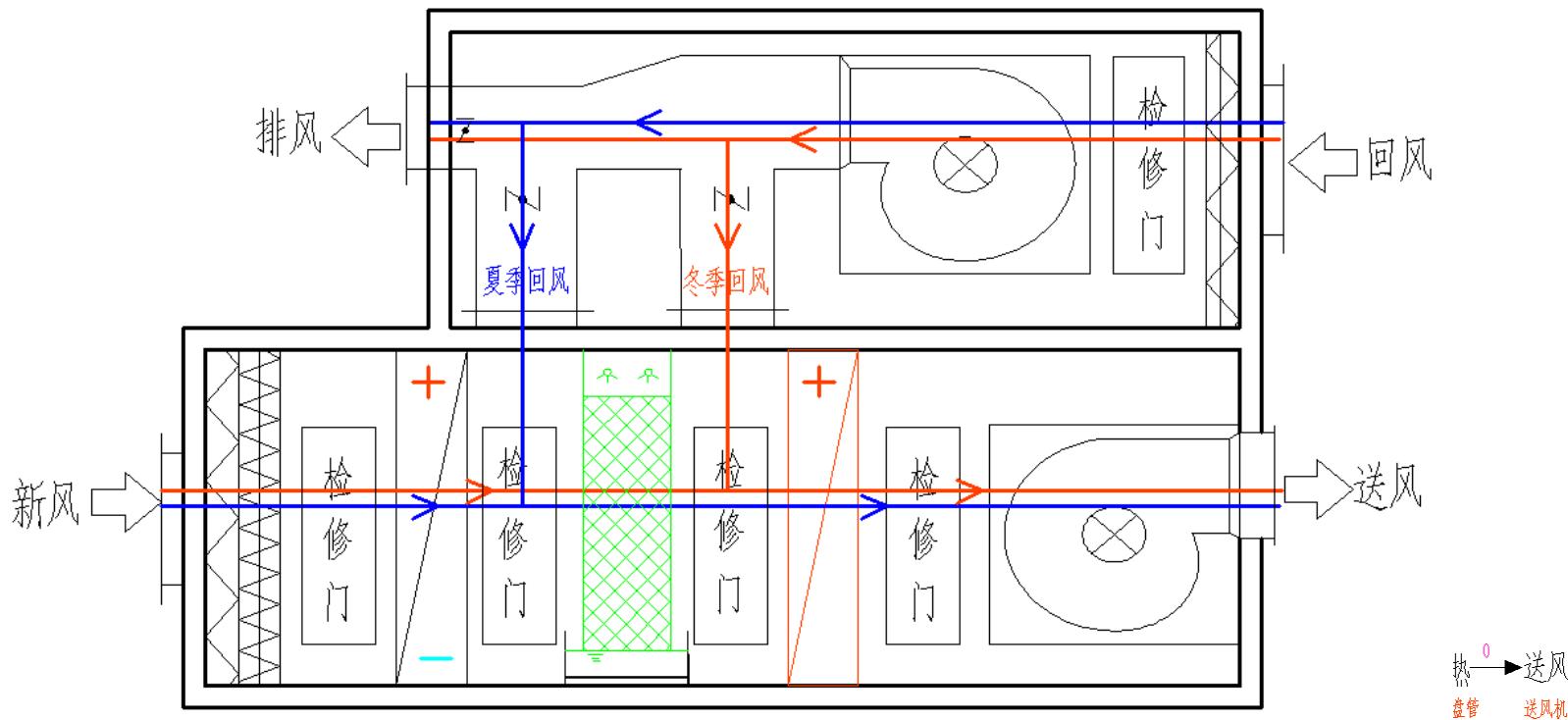


3 蒸发冷却空调系统的全年设计

蒸发冷却空调的全年使用问题

3.2 全空气（一次回风）系统

● 冬季空气处理过程



新风



新疆建筑设计研究院有限公司

《干热严寒或寒冷气候区的暖通空调技术》

4.1 热回收技术

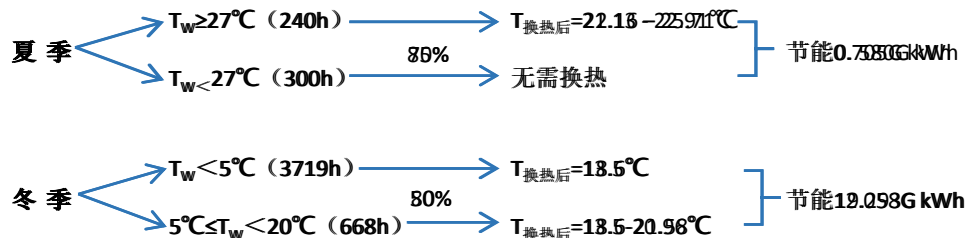
表4.1 间接蒸发冷却系统的对比

换热类型	夏季换热效率/%	冬季热回收效率/%
冷却塔到盘管	40-60	-
叉流板式换热器	60-85	40-50
热管换热器	65-75	50-60
转轮换热器	60-70	70-80
循环回路式换热盘管	35-50	40-60

摘自ASHREA handbook—HVAC Applications (2015)

对于新风+干工况末端空调系统，冬夏季新风量不变 G (m^3/h)，新风系统需要设置热回收装置。以第2章中建筑为例，分别计算两种热回收装置的节能效果：

叉流板换热器



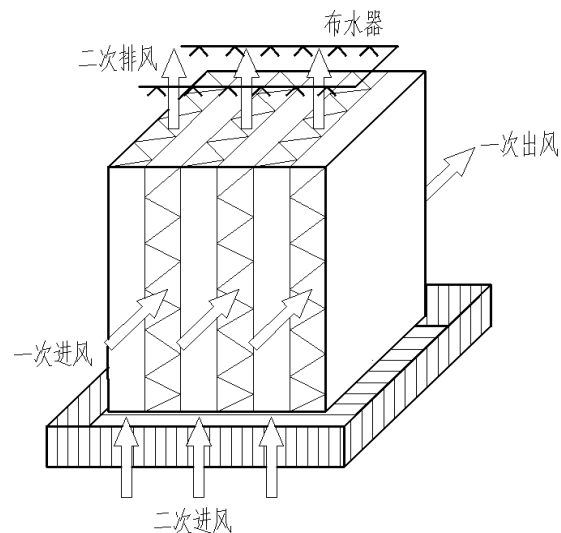
全年节能:

19.803 G kWh

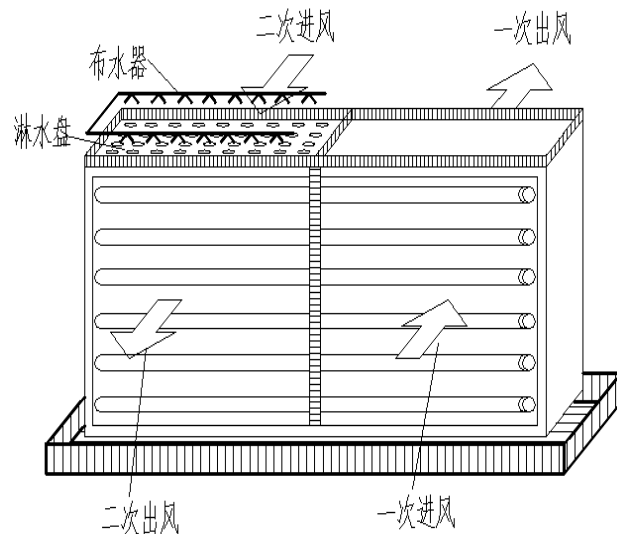
冬季加热+夏季制冷所需总能耗约为38.282 G kWh。

《干热严寒或寒冷气候区的暖通空调技术》

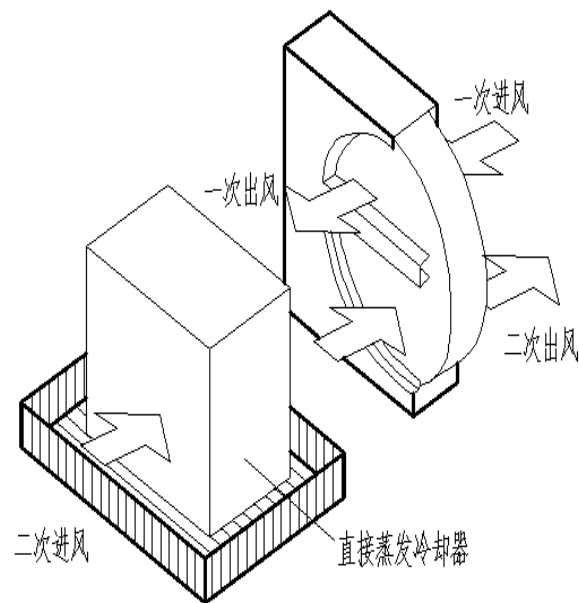




a)板翅式



b)热管式



c)转轮式

4.2 冷热媒温差对蒸发冷却空调系统冬夏季使用的影响

目前,大部分蒸发冷却空调系统夏季供冷冷媒水供回水温差 $\Delta t_x=5^{\circ}\text{C}$,而冬季空调供暖热媒供回水温差 $\Delta t_g=10^{\circ}\text{C}$,因此由于冷热媒供回水温差不同,会对空调水系统管径产生影响。

以第2章中建筑为例,假定该办公建筑空调面积为 $A\text{m}^2$,夏季建筑冷负荷+新风冷负荷为 $77A\text{ W}$,冬季建筑冷负荷+新风冷负荷为 $71.4A\text{ W}$ 。

通过计算得到冷热媒流量比值为

$$\frac{G_d}{G_x} = \frac{\frac{Q_d}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta t_d}}{\frac{Q_x}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta t_x}} = \frac{\frac{71.4A}{4.2 \times 1.2 \times 10}}{\frac{77A}{4.2 \times 1.2 \times 5}} = 0.46$$

假定冷热媒管道内流速相等 $v_d=v_x$,则

$$\frac{d_d}{d_x} = \sqrt{\frac{\frac{4G_d}{\pi v_d}}{\frac{4G_x}{\pi v_x}}} = \sqrt{\frac{G_d}{G_x}} = \sqrt{0.46} = 0.678$$

空调面积/ m^2	8365	
季节	冬季	夏季
负荷/ kW	597.261	644.105
供水温度/ $^{\circ}\text{C}$	60	16
流量/ m^3/h	52.08	110.95
管径	DN100	DN150
流速/ m/s	1.639	1.612
动压/ Pa	1325.31	1298.06
比摩阻/ Pa/m	295.114	182.017

由此可知,由于空调系统冷热媒供回水温差不同,使得空调冷媒管管径是热媒管管径的**1.475**倍。



4.3 冬夏季新风加湿问题

● 冬夏季加湿量

同样以第2章中建筑为例，对于冬夏季新风量 G 不变的蒸发冷却空调系统，冬夏季新风的加湿量对比如表4.3所示：

表4.3 蒸发冷却空调机组冬夏季加湿量

季节	室外计算参数		室内计算参数		送风状态点	新风加湿量 / kg/h
	温度 /°C	含湿量 / g/kg (干)	温度 /°C	相对湿度 /%	含湿量 / g/kg (干)	
夏季	33.5	8.3	25	50	11.3	$3.6 \times 10^{-3}G$
冬季	-23.7	0.4	22	40	5.7	$6.36 \times 10^{-3}G$

冬季室外比夏季更加干燥！

冬季新风加湿量为夏季的**1.77**倍。

对于冬夏季新风量不变的空调系统，蒸发冷却空调机组内加湿段的配置应**优先考虑冬季加湿需求**。

另外，对于使用一次回风的全空气系统，由于冬夏季新风量不同，应综合考虑其冬夏季新风加湿需求再行配置。



4.3 冬夏季新风加湿问题

● 加湿方式

现对两种加湿方式的全年耗电量比较。空调机组内多采用绝热加（即湿膜、喷淋加湿），冬季采用喷淋加湿所需能耗耗小于电极加湿。若冬季使用相同的加湿所需新风量，在16379.2m³/h，亦降温，造成能源浪费（右图）。新风所需加湿量为 $6.36 \times 10^{-3} \times 36379.2 \text{ m}^3/\text{h} = 231.37 \text{ kg/h}$ 。因此，工程中冬季大多使用等温加湿（即电极加湿），冬夏季设置两套加湿段可

蒸发冷却空调机组冬季采用喷淋加湿，夏季采用喷淋加湿，故喷淋加湿段可以冬夏季共用。

电极加湿器（等温加湿）		
额定加湿量：65 kg/h	功率：48.75 kW	加湿器个数：4 个
每小时耗电量：	48.75*4=195 kWh	
终端能源消耗：	195kWh/0.36 kWh=541.67 kWh	

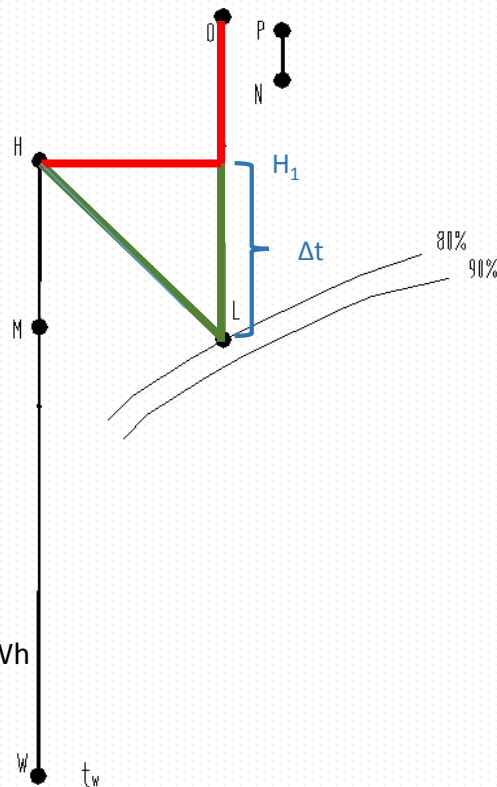
喷淋加湿（等焓加湿）	
直冷段水泵功率：0.375 kW	
新风有L点加热至H点所需能耗：	$36379.2 \times (20.96 - 7.7) \times 1.01 \times 1.2 / 3600 = 162.40 \text{ kW}$
终端能源消耗：	$0.375 / 0.36 + 162.40 / 0.65 = \mathbf{250.89 \text{ kWh}}$

注：0.36为一次能源转换为电能的效率；0.65为一次能源转换为热能的效率。

终端能源消耗相差：

541.67-250.89

=290.78 kWh



4.4 冬夏季新风量变化对风机的影响

某离心式风机，采用后向式叶片，转速为2900 r/min。

从图可以看出，风机最高效率（ $\eta_{\max}$ ）下的风量、风压和轴功率为最佳工况。实际运转效率不低于 $0.9 \eta_{\max}$ ，在此范围内为风机的经济使用范围。

假设冬季新风量为 $7500\text{m}^3/\text{h}$ ，若风机在经济使用范围内运行，则其夏季新风量约为 $15000\text{m}^3/\text{h}$ ，约为冬季新风量的**2倍**。

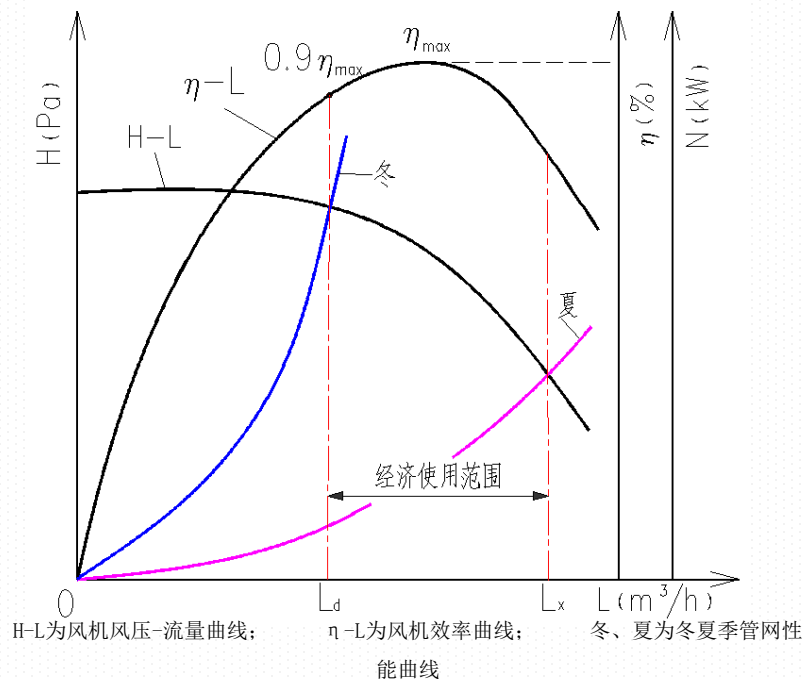


图4.4 全年用空调机组送风机性能曲线



4.5 防冻措施

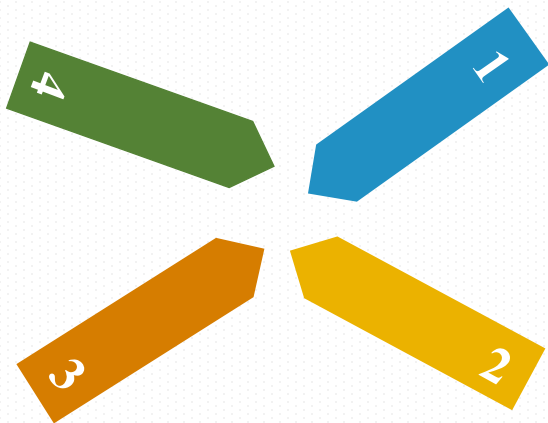
制约蒸发冷却空调系统冬季正常使用的关键问题是空调机组内部加热盘管的防冻问题。

对于严寒地区空调机组内加热盘管应单独设置，若冬夏共用的话，可采取下列防冻措施：

按《公共建筑节能设计标准》

GB50189-2015中4.3.24要求，严寒或寒冷地区通风或空调系统与室外连接的风管和设施上应设置可自动连锁关闭且密闭性能好的电动风阀，并采取密封措施。

空调机组进入冬季模式时，若送风机停止运行或发生故障时，预热段电动阀不能关闭，预热段内热水持续循环流动。



应校核表冷式热交换盘管内水流速，确保盘管内水流速在0.6-1.6m/s范围内，冬季运行之前清除盘管内杂质，运行时及时排出盘管管道中的气体。

空调机组内预热段要选用专用换热器；热媒中加入特殊载冷剂，使盘管内热媒的凝固点温度不高于-40℃。



01 干热地区多为严寒或寒冷地区，该类地区**冬季供暖时间远长于夏季空调时间**。由于此类地区冬季室外空气污染严重，蒸发冷却空调系统在保证夏季供冷的同时，冬季向室内送入过滤、净化的新风，为人们提供健康、干净、舒适的室内环境。

02 对于严寒、寒冷大部分地区全年蒸发冷却空调机组设置新风热回收装置时，由于冬季室内外温差大，供冷时间长，应重点关注冬季热回收效率；通过对其全年节能量进行计算后可知，转轮热回收装置的全年节能量大于板式热回收装置，建议全年用蒸发冷却空调机组优先考虑**转轮热回收装置**。

03 空调水系统的设计应考虑其冬夏季运行时长及经济性，**水管管径可优先考虑冬季情况设置**，夏季空调水系统流速可略高于冬季水流速。空调冷水管管径减小，水泵流量会减小，阻力会增大，因此，建议分别设置冬夏季冷、热水泵。

04 制约蒸发冷却空调系统冬季使用的关键问题是防冻，给出部分**防冻措施**可以减少空调机组盘管冻裂，为蒸发冷却空调系统全年使用提供可能。



(三) 新疆地方建设标准介绍

《蒸发冷却空调系统工程技术标准》XJJ127—2020

“十三五”国家重点研发计划

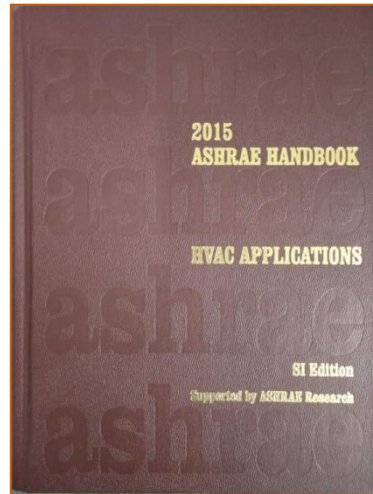
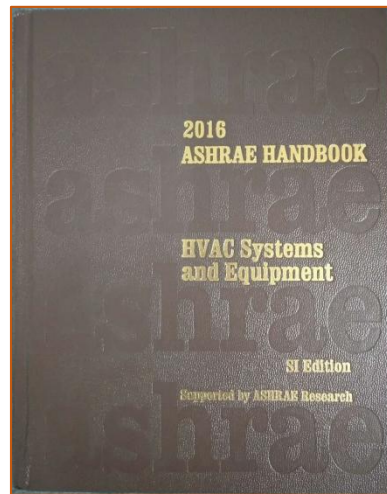
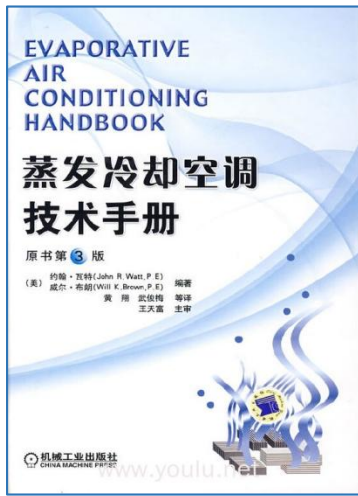
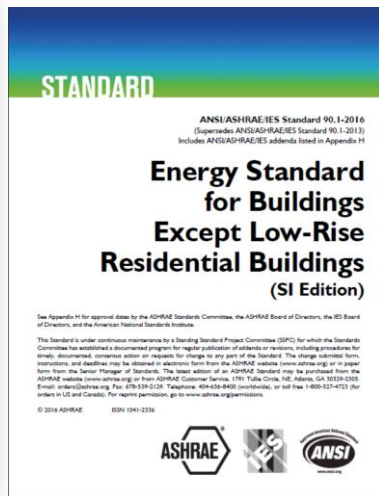
“西部炎热干燥地区蒸发冷却与其他空调技术结合研究”课题成果



一、编制依据：

1. 国内、外的相关文献；

2. 近年工程实践与技术；



二、重点内容概况

- 明确干热气候区的定义；
- 新统计整理出新疆28个县市空调室外计算参数；
- 机械制冷与蒸发冷却联合供冷的要求；
- 蒸发冷却全年运行要求及注意事项；
- 蒸发冷却在高海拔地区应用的修正；
- 蒸发冷却系统的空气净化与水处理；
- 蒸发冷却系统在工业、农业等领域的应用；

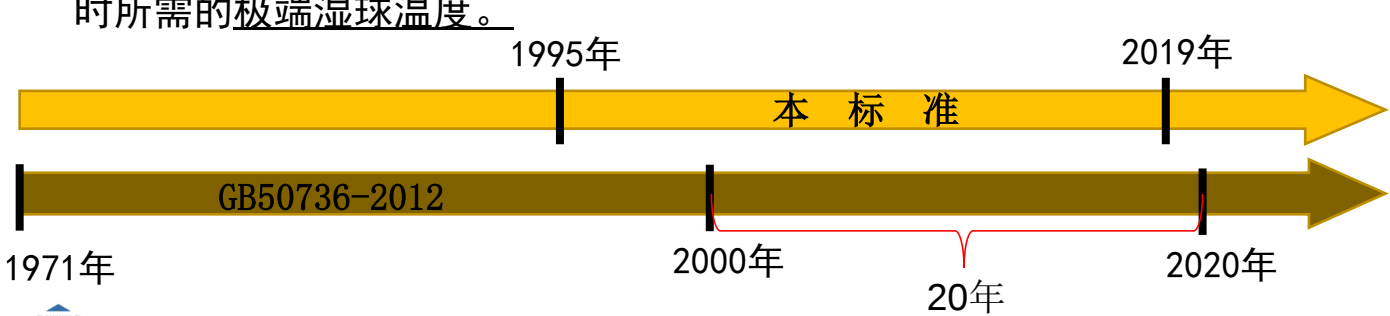


二、重点内容概况

➤ 本《标准》附录A给出新疆28个县市最新的空调室外空气计算参数, 填补以下空白:

- 1) 列出新疆28县市空调室外气象参数, 涵盖新疆13地州及重要城市;
- 2) 本《标准》空调室外气象参数中给出“同时耦合室外计算干球温度下的平均湿球温度”, 使得空调系统设计更可靠;
- 3) 给出设计数据中心蒸发冷却空调系统时所需的极端湿球温度。

名称	GB50736-2012	本《标准》
统计期	1971~2000 (30年)	1995~2019 (25年)
站点数	14 (空调参数仅10个)	28
涵盖范围	6个地州及重要城市	13个地州及重要城市



我国建筑行业高速发展, 约2/3的建筑在此20年修建, 受温室效应、热岛效应的影响, 各地室外气温均在上升, 1995~2019年统计期的室外空气计算参数更符合实际情况。



二、重点内容概况

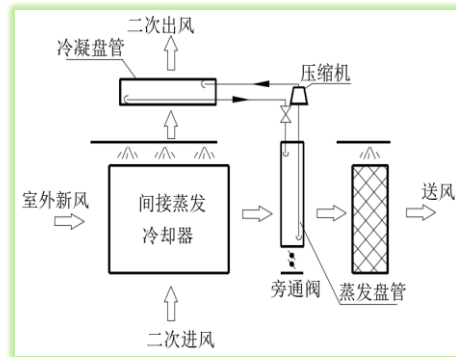
➤ 机械制冷与蒸发冷却联合供冷的要求：

应用条件：建筑冷负荷较大、室内温湿度要求严格，蒸发冷却不能满足时。

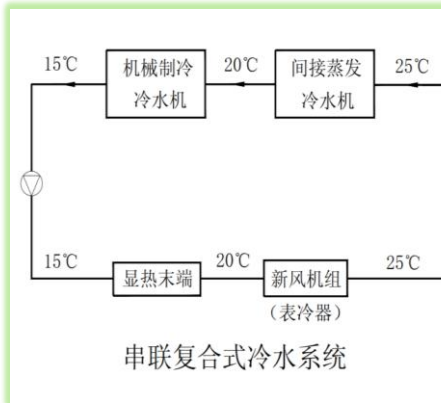
联合方式：蒸发冷却+直膨式机械制冷空气处理机（风系统）

间接蒸发冷水机组+机械制冷冷水机组（冷水系统）

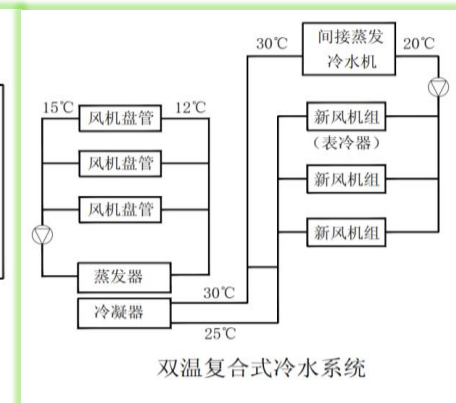
应用要求：充分发挥蒸发冷却节能的优势，供冷期内蒸发冷却供冷量占总冷量的比例不低于50%。



带直膨机的蒸发冷却空调机组



串联复合式冷水系统



双温复合式冷水系统

二、重点内容概况

➤ 蒸发冷却在高海拔地区应用的修正

标准大气压→当地大气压

空气温度、密度、体积流量、风机功率等。

★ 第4.7节中给出：

海拔对大气压、温度、空气密度的影响：

$$P_B = 101.325(1 - 2.25577H \times 10^{-5})^{5.2559}$$

$$t_B = 15 - 0.0065H$$

$$\rho_B = 1.2 \times \frac{273.15 + 20}{273.15 + t_B} \times \frac{P_B}{101.325}$$



送风量的修正公式：

$$Q = c \times G \times \Delta t$$

$$L = \frac{G}{\rho_B}$$

风机功率的修正公式：

$$N = N_0 \times \frac{P_B}{P_{B0}} \times \frac{273.15 + 20}{273.15 + t}$$



二、重点内容概况

➤ 蒸发冷却系统的空气净化与水处理

空气净化

为确保室内空气品质，蒸发冷却空调系统应综合考虑当地室外空气质量、建筑特性及功能、用户要求等因素设置空气过滤器，并应满足相关性能要求。

水处理

空调冷水系统 除污设计要点

空调冷水系 统水质要求

蒸发冷却空调机组：

补给水水量 = 蒸发水量+排污水量；
蒸发水量计算；
排污水量计算；

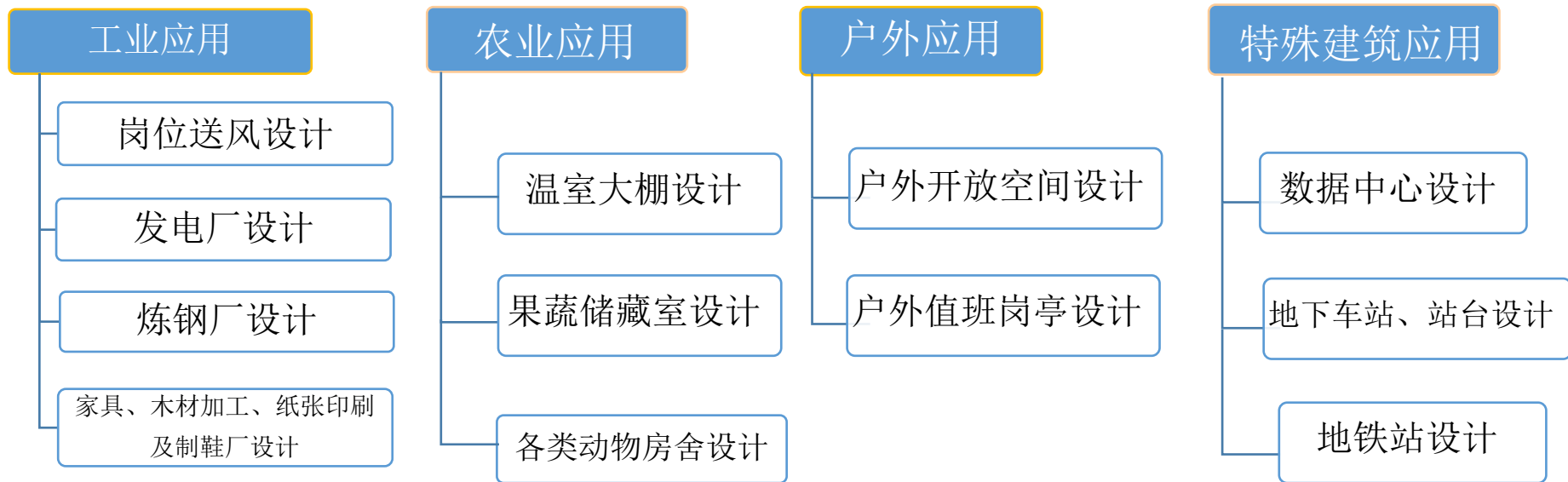
间接蒸发冷水机组：

补给水水量 = 蒸发水量 + 飘水量
+ 排污水量；
蒸发水量计算；
排污水量计算；



二、重点内容概况

➤ 蒸发冷却系统在工业、农业等领域的应用



新疆维吾尔自治区工程建设标准



J 15412—2020

XJJ 127—2020

蒸发冷却空调系统工程技术标准

Technical specification for evaporative cooling system

2020 - 11 - 10 发布

2021 - 01 - 01 实施

新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅 发布

目次

1 总则	1
2 术语	2
3 室内、外设计计算参数	6
4 蒸发冷却空调系统设计	7
4.1 一般规定	7
4.2 蒸发冷却空调机组	8
4.3 间接蒸发冷水机组	9
4.4 联合制冷设计选用	10
4.5 蒸发冷却空调系统设计	12
4.6 蒸发冷却新风机组的全年设计要求	13
4.7 海拔高度对蒸发冷却设备性能的影响	15
4.8 蒸发冷却空调设备空气净化与水处理	16
4.9 空调及其设备的消声与隔振	17
4.10 蒸发冷却空调系统的自动控制	18
5 工业及其他领域蒸发冷却空调系统设计	23
5.1 工业应用	23
5.2 农业应用	25
5.3 户外应用	26
5.4 特殊建筑应用	27
6 设备与材料	30
6.1 一般规定	30

谢 谢 !

