

空调用封闭式冷却塔

KONGTIAO YONG
FENGBISHI LENGQUETA

李永安 著

中国建筑工业出版社

空调用封闭式冷却塔

李永安 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

空调用封闭式冷却塔/李永安著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008

ISBN 978-7-112-10053-8

I. 空… II. 李… III. 空气调节器-冷却塔 IV. TB651

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 056020 号

空调用封闭式冷却塔

李永安 著

*

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

北京天成排版公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 9¼ 字数: 230 千字

2008 年 2 月第一版 2008 年 2 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 30.00 元

ISBN 978-7-112-10053-8

(16856)

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)

本书首先根据空调系统及空调建筑的特点,阐述了空调用冷却塔室外气象条件的确定原则。在分析空调用封闭式冷却塔传热传质现象的基础上,利用微积分理论和热平衡原理,建立了封闭式冷却塔的数学模型,借助于饱和湿空气焓与喷淋水温度之间的函数关系,用变量替换的方法,求出了微分方程的解析解。建立了封闭式冷却塔性能实验台,对封闭式冷却塔的性能进行了全面测试,绘制了空气湿球温度、空气流量、喷淋水循环量与冷却水出口温度、冷却能力之间的关系曲线。进而以实测数据为训练样本,利用3层BP神经网络对冷却塔出口水温进行了预测,用神经网络建立的动态模型可预测任意时刻的冷却水出口温度,为研究封闭式冷却塔的动态特性开辟了一条新的途径。书中还介绍了空调用封闭式冷却塔空气阻力的计算方法,对风筒出口中心处空气流动现象进行了研究。

* * *

责任编辑:张文胜 姚荣华

责任设计:赵明霞

责任校对:王爽 兰曼利

前 言

水的冷却循环使用是节约水资源和保护环境的重要途径。封闭式冷却塔是一种新型的冷却设备，它具有能够保持冷却水的清洁、功能多、节约能源、用途广泛、对环境的适应能力强、可用于冷却高温水等优点。因此，对封闭式冷却塔进行深入研究很有必要。

本书的主要内容包括9章。第1章绪论，第2章湿空气的性质，第3章冷却塔的冷却原理，第4章空调用冷却塔室外气象条件的确定，第5章封闭式冷却塔数学模型的建立，第6章封闭式冷却塔的实验研究，第7章封闭式冷却塔的动态特性，第8章封闭式冷却塔空气流动特性研究，第9章封闭式冷却塔综合评价方法的探讨。

本书能够得以出版，首先感谢恩师中国石油大学(华东)李继志教授多年的教诲和培养。

山东新鲁建设集团公司总工程师尚丰伟，青岛三合环保设备厂于钦伦厂长，山东建筑大学刘学来教授，山东建筑大学设计研究院张晓峰工程师，山东建筑大学热能工程学院硕士研究生顾浩等同志，在该项目的研究过程中，均给予了极大的支持与帮助。作者在此一并表示衷心地感谢。

本书可用作高等院校有关专业的选修课教材或研究生教材，也可供工程技术人员参考。

空调用封闭式冷却塔是由多种部件组成的新型冷却设备，其中既有传热又有传质，现象较为复杂，影响其性能的因素众多，加上作者水平有限，恳请读者不吝赐教。

李永安

2007年9月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 水资源的特征	1
1.2 水资源的分布	2
1.3 水资源的重要性	5
1.4 我国水资源的开发利用	5
1.5 我国水资源面临的问题	6
1.6 水冷却循环使用的意义	8
第 2 章 湿空气的性质	11
2.1 湿空气的性质	11
2.2 湿空气的焓湿图	19
2.3 湿空气的热力过程	22
2.4 小结	26
第 3 章 冷却塔的冷却原理	27
3.1 冷却塔的组成	27
3.2 冷却塔的冷却原理	29
3.3 空调用冷却塔的主要类型	32
3.4 空调冷却水系统	38
3.5 冷却塔研究的方向	43
第 4 章 空调用冷却塔室外气象条件的确定	47
4.1 水的冷却极限	47
4.2 气象参数的变化规律	47
4.3 空调用冷却塔室外气象条件的确定	50
4.4 基于标准年的冷却塔气象参数	58
4.5 小结	64
第 5 章 封闭式冷却塔数学模型的建立	65
5.1 封闭式冷却塔的结构	65

5.2	封闭式冷却塔的工作原理	67
5.3	封闭式冷却塔应用前景分析	69
5.4	封闭式冷却塔数学模型的建立	71
5.5	微分方程组的求解	72
5.6	冷却水出口温度的计算步骤	75
5.7	小结	75
第 6 章	封闭式冷却塔的实验研究	77
6.1	实验装置	77
6.2	实验方法	78
6.3	实验数据的整理	79
6.4	小结	82
第 7 章	封闭式冷却塔的动态特性	83
7.1	特性曲线的绘制依据	83
7.2	湿球温度与冷却能力的关系	83
7.3	空气流量与冷却能力的关系	84
7.4	喷淋水量与冷却能力的关系	85
7.5	用人工神经网络预测冷却水出口温度	86
7.6	小结	97
第 8 章	封闭式冷却塔空气流动特性研究	99
8.1	空气阻力系数的计算	99
8.2	冷却盘管阻力的计算	101
8.3	风筒内空气流动的数学描述	104
8.4	风筒内速度及压力分布	105
8.5	小结	107
第 9 章	封闭式冷却塔综合评价方法的探讨	108
9.1	现有冷却塔评价方法	108
9.2	冷却塔综合评价的方法	110
9.3	二级模糊综合评判数学模型	112
9.4	小结	115
附录	116
附录 1	饱和水和饱和水蒸气热力性质表(按温度排列)	116
附录 2	饱和水和饱和水蒸气热力性质表(按压力排列)	118
附录 3	在 1000mbar 时的饱和空气状态参数表	120

附录 4 未饱和水与过热蒸汽表	123
附录 5 空气的热物理性质	130
附录 6 有代表性流体的污垢热阻	131
附录 7 总传热系数有代表性的数值	131
附录 8 阀门及管件的局部阻力系数	131
附录 9 法定计量单位概况	132
参考文献	137

第 1 章 绪 论

1.1 水资源的特征

水是生命之源，是人类和一切生物赖以生存的不可缺少的一种宝贵资源。水是生态与环境的基本要素，是支撑生命系统、非生命环境系统正常运转的重要条件。水既是基础性资源，又是战略性资源，也是整个国民经济的命脉。如果缺少水资源，将无法维持地球的生命力和生态、生物的多样性，生态与环境也必将遭到破坏。水是一个国家或地区经济建设和社会发展的重要自然资源和物质基础。随着人口增长、社会经济发展，对水资源的需求量不断增加，水资源短缺和水环境污染问题日益突出，严重地困扰着人类的生存和发展。水问题已不再仅限于某一地区或某一时段，而成为全球性、跨世纪的关注焦点。

水不停地运动着，积极参与自然界中一系列物理的、化学的和生物的作用过程，在改造自然的同时，也不断地改造自身的物理化学与生物学特性。由此表现出水作为地球上重要自然资源所独有的性质特征。

水资源的循环性。水资源与其他固体资源的本质区别在于其所具有的流动性，它是在循环中形成的一种动态资源，具有循环性。水循环系统是一个庞大的天然水资源系统，处在不断地开采、补给和消耗、恢复的循环之中，可以不断地供给人类利用和满足生态平衡的需要。

水储量的有限性。水资源处在不断地消耗和补充过程中，具有恢复性强的特征。但实际上全球淡水资源的储量是十分有限的。全球的淡水资源仅占全球总水量的 2.5%，大部分储存在极地冰帽和冰川中，真正能够被人类直接利用的淡水资源仅占全球总水量的 0.8%。从水量动态平衡的观点来看，某一期间的水消耗量接近于该期间的水补给量，否则将会破坏水平衡，造成一系列不良的环境问题。可见，水循环过程是无限的，水资源的储量是有限的。

水资源时空分布的不均匀性。水资源在自然界中具有一定的时间和空间分布。时空分布的不均匀性是水资源的又一特性。全球水资源的分布表现为极不均匀，最高的和最低的相差数十倍。我国水资源在区域上分布也极不均匀，表 1-1 是我国各流域多年平均水资源分布情况。在同一地区中，不同时间分布差异性也很大。

我国各流域多年平均水资源的分布

表 1-1

流域名称	面积占全国比例(%)	年水资源总量		人口占全国比例(%)	耕地占全国比例(%)	人均水量(m ³ /人)	单位耕地面积水量(m ³ /hm ²)
		(×10 ⁸ m ³)	占全国比例(%)				
黑龙江流域	9.5	1352	4.8	5.1	13.0	2297	10688
辽河流域	3.6	577	2.1	4.7	6.7	1064	8850
海滦河流域	3.3	421	1.5	9.8	10.9	372	3968

续表

流域名称	面积占全国比例(%)	年水资源总量		人口占全国比例(%)	耕地占全国比例(%)	人均水量(m ³ /人)	单位耕地面积水量(m ³ /hm ²)
		(×10 ⁸ m ³)	占全国比例(%)				
黄河流域	8.3	744	2.6	8.2	12.7	786	6019
淮河流域	3.5	961	3.4	15.7	14.9	530	6628
长江流域	19.0	9613	34.2	34.8	24.0	2394	41169
珠江流域	6.1	4708	16.8	10.9	6.8	3743	72205
浙闽台诸河	2.5	2592	9.2	7.2	3.4	3120	78308
西南诸河	8.9	5853	20.8	1.5	1.8	33813	334457
内陆诸河	35.3	1303	4.6	2.1	5.8	5378	23103
总计	100.0	28124	100.0	100	100	2437	28904

水资源利用的多样性。水资源是被人类在生产和生活中广泛利用的资源，不仅广泛应用于农业、工业和生活，还应用于发电、水运、水产、旅游和环境改造等。在各种不同的用途中，消费性用水与非常消耗性或消耗很小的用水并存。用水目的不同而且对水质的要求各不相同，应该使得水资源一水多用、充分发挥其综合效益。

水资源与其他固体矿产资源相比，最大区别是：水资源具有既可造福于人类，又可危害人类生存的两重性。水资源质、量适宜，且时空分布均匀，将为区域经济发展、环境的良性循环和人类社会进步作出巨大贡献。水资源开发利用不当，又可制约国民经济发展，破坏人类的生存环境。如水利工程设计不当、管理不善，可造成垮坝事故，引起土壤次生盐碱化。水量过多或过少的季节和地区，往往又产生了各种各样的自然灾害。水量过多容易造成洪水泛滥，内涝渍水；水量过少容易形成干旱等自然灾害。适量开采地下水，可为国民经济各部门和居民生活提供水源，满足生产、生活的需求。无节制、不合理地抽取地下水，往往引起水位持续下降、水质恶化、水量减少、地面沉降，不仅影响生产发展，而且严重威胁人类生存。正是由于水资源的双重性质，在水资源的开发利用过程中尤其强调合理利用、有序开发，以达到兴利除害的目的。

1.2 水资源的分布

地球表面面积为 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，水圈(地壳表层、表面和围绕地球的大气层中气态、液态和固态的水组成的圈层)内全部水体总储量达 $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ 。海洋面积为 $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，占地球总表面积的 70.8%。含盐量为 35g/L 的海洋水量为 $13.38 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，占地球总储水量的 96.5%。陆地面积为 $1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，占地球总表面的 29.2%，水量仅为 $0.48 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，占地球水储量的 3.5%。

在陆地有限的水体中并不全是淡水。据统计，陆地上的淡水量仅为 $0.35 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，占陆地水储量的 73%。其中， $0.24 \times 10^8 \text{ km}^3$ (占淡水储量的 69.6%) 分布于冰川、多年积雪、两极和多年冰土中，在现有的经济技术条件下很难被人类所利用。人类可利用的水只有 $0.1 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，占淡水总量的 30.4%，主要分布在 600m 深度以内的含水层、湖泊、河

流、土壤中。地球上各种水的储量如表 1-2 所示。

地球上水储量 表 1-2

水体种类	储水总量		咸 水		淡 水	
	水量(km ³)	比例(%)	水量(km ³)	比例(%)	水量(km ³)	比例(%)
海 洋 水	1338000000	96.54	1338000000	99.04	0	0
地 表 水	24254100	1.75	85400	0.006	24168700	69.0
冰川与冰盖	24064100	1.736	0	0	24064100	68.7
湖 泊 水	176400	0.013	85400	0.006	91000	0.26
沼 泽 水	11470	0.0008	0	0	11470	0.033
河 流 水	2120	0.0002	0	0	2120	0.006
地 下 水	23700000	1.71	12870000	0.953	10830000	30.92
重 力 水	23400000	1.688	12870000	0.953	10530000	30.06
地 下 水	300000	0.022	0	0	300000	0.86
土 壤 水	16500	0.001	0	0	16500	0.05
大 气 水	12900	0.0009	0	0	12900	0.04
生 物 水	1120	0.0001	0	0	1120	0.03
全球总储量	1385984600	100	1350955400	100	35029200	100

由此可见，地球上水的储量是巨大的，但可供人类利用的淡水资源在数量上是极为有限的，占全球水总储量的不到 1%。即便如此有限的淡水资源，其分布也极不均匀。表 1-3 表示世界各大洲淡水资源的分布状况。

世界各大洲淡水资源分布 表 1-3

名 称	面积 ($\times 10^4 \text{ km}^2$)	年降水量		年径流量		径流系数	径流模数 ($\text{L}/(\text{S} \cdot \text{km}^2)$)
		mm	km ³	mm	km ³		
欧 洲	1050	789	8290	306	3210	0.39	9.7
亚 洲	4347.5	742	32240	332	14410	0.45	10.5
非 洲	3012	742	22350	151	4750	0.2	4.8
北 美 洲	2420	756	18300	339	8200	0.45	10.7
南 美 洲	1780	1600	28400	660	11760	0.41	21.0
大 洋 洲 ^①	133.5	2700	3610	1560	2090	0.58	51.0
澳大利亚	761.5	456	3470	40	300	0.09	1.3
南 极 洲	1398	165	2310	165	2310	1.0	5.2
全部陆地	14900	800	119000	315	46800	0.39	10.0

① 不包括澳大利亚，但包括塔斯马尼亚岛、新西兰岛和伊里安岛等岛屿。

由表 1-3 可见,世界上水资源最丰富的大洲是南美洲,其中,赤道地区水资源最为丰富。相反,热带和亚热带地区差不多只有陆地水资源总量的 1%。水资源较为缺乏的地区是中亚南部、阿富汗、阿拉伯和撒哈拉。西伯利亚和加拿大北部地区因人口稀少,人均水资源量相当高。澳大利亚的水资源并不丰富,总量不多。就各大洲的水资源相比较而言,欧洲稳定的淡水量占其全部水量的 43%,非洲占 45%,北美洲占 40%,南美洲占 38%,澳大利亚和大洋洲占 25%。

我国河流、湖泊众多,水量丰沛,根据一些特征,天然水的分布基本上可分为 4 个区:潮湿区、湿润区、过渡区和干旱区。这是由气候、地形、土壤、地质等各种条件决定的,它们的降水和径流量、浑浊度、含盐量及化学组成等各有特点,见表 1-4。

我国各地区的水质特征

表 1-4

分区 水质特征	潮湿区	湿润区	过渡区	干旱区
年降水量(mm)	>1600	800~1600	400~800	<400
年径流量($\times 10^8 \text{m}^3$)	>1000	100~1000	25~100	<25
平均含沙量(kg/m^3)	0.1~0.3	0.2~5	1~30	—
常见浑浊度(mg/L)	10~300	100~2000	500~20000	—
含盐量(mg/L)	<100	100~300	200~500	>500
总硬度(mmol/L)	<0.5	0.5~1.5	1.5~3.0	>3.0
pH	6.0~7.0	6.5~7.5	7.0~8.0	7.5~8.0 以上
地区范围	东南沿海	长江流域、西南地区、黑龙江、松花江流域	黄河流域、河北地区、辽河流域	内蒙地区、西北地区

潮湿区:潮湿区为我国东南沿海地区,降水量丰富而蒸发量小,因而径流量大。土壤层薄,多坚硬花岗岩地层,故河水含沙量低,浑浊度也低,一般在 $10\text{mg}/\text{L}$ 左右。土壤经多年淋浴,可溶性盐已流失,所以水的含盐量低,硬度也低,属软水。水中主要化学组成为碳酸氢钙和碳酸氢钠等。

湿润区:湿润区为长江流域及其以南地区,黑龙江和松花江流域之间的地区也属湿润区。该区降水充足,蒸发量不大,故径流量较大。长江上游,如金沙江、嘉陵江等江段含沙量较大,浑浊度可达 $1000\text{mg}/\text{L}$ 以上。由于区内降水充足,径流量大,所以,含盐量一般不高,在 $200\text{mg}/\text{L}$ 左右。但在贵州、广西地区有石灰岩溶洞,水的硬度增大。在长江流域,水中主要化学组成为碳酸氢钙类,在东北地区也有含碳酸氢钠的。

过渡区:过渡区为黄河流域及其以北地区,直到辽河流域。该区降水量较少,蒸发量较大,故径流量不大,水量贫乏。黄河虽为我国第二大河,但年径流量只有长江的 $1/20$ 左右。

干旱区:干旱区为内蒙古和西北大片地区。该区降水量少而蒸发多,因此形成径流量很低的干旱地带。由于径流量小,土壤中可溶性盐含量高,所以水的含盐量和硬度都很高。水中主要组成是硫酸盐或氯化物类。

1.3 水资源的重要性

水资源供需矛盾随着人口与经济的增长将进一步加剧,水资源危机严重威胁着区域经济社会可持续发展,主要表现在以下几个方面。

(1) 水资源危机导致生态与环境的恶化

水不仅是社会经济发展不可取代的重要资源,同时,也是生态与环境系统不可缺少的组成要素。随着社会经济的发展,水资源的需求量越来越大,为了取得足够的水资源供给社会,人们过度开发水资源,争夺生态与环境用水量,结果导致一系列的生态与环境问题的出现。例如,我国西北干旱、半干旱地区水资源天然不足,为了满足社会经济发展的需要,便人为地盲目开发利用,这不仅造成水资源本身的消退,加重水资源危机,同时,使得本已十分脆弱的生态系统进一步恶化、天然植被大量消亡、河湖萎缩、土地沙漠化等问题的出现,已经危及到人类的生存与发展。目前,水资源不足与生态恶化已经成为制约部分地区经济社会可持续发展的两大限制性因素。

(2) 水资源短缺将威胁粮食安全

粮食是人类生活不可缺少的物质,粮食生产依赖于水资源的供给。目前,由于缺水而不得不缩小灌溉面积和有效灌溉次数。因此,造成粮食产量减产,威胁人类生存。

(3) 水资源危机给国民经济带来重大损失

由于水资源短缺导致工业规模缩小、农业减产,直接带来严重的经济损失。例如,1995年因黄河断流仅胜利油田减产所造成的经济损失就高达30亿元。

因此,我国水资源面临的形势非常严峻,造成如此局面的原因,一方面是天然因素,与水资源时空分布的不均匀性有关;另一方面是人为因素,与人类不合理地开发、利用和管理水资源有关。如果在水资源开发利用上没有大的突破,在管理上没有新的转变,水资源将很难支持国民经济迅速发展的需要,水资源危机将成为所有资源问题中最为严重的问题,它将威胁我国经济社会可持续发展。

1.4 我国水资源的开发利用

20世纪80年代初,我国供水设施的实际供水量为 443.7km^3 ,约占全国平均水资源总量的16%。其中,引用河川径流量 381.8km^3 ,占总供水量的86%,开采地下水 61.9km^3 ,占总供水量的14%。据水利部1997年全国用水情况调查,全国总用水量为 556.6km^3 ,其中农业用水为 392.0km^3 ,占总用水量的70.4%;工业用水为 112.1km^3 ,占总用水量的20.2%;生活用水为 52.5km^3 ,占总用水量的9.4%。

我国年用水总量与水资源总量在世界上所占的位置类似,居世界前列,用水总量高居世界第2位。而人均用水量不足世界人均用水量的1/3,表1-5为部分国家人均水资源比较表。与世界上先进国家相比,工业和城市生活用水所占的比例较低,农业用水所占的比例较大。随着工业化、城市化的发展及用水结构的调整,工业和城市生活用水所占的比例将会进一步的提高。

部分国家人均水资源量

表 1-5

国 家	人均水资源量(m ³ /人)	国 家	人均水资源量(m ³ /人)
加 拿 大	145900	前 苏 联	17800
新 西 兰	107000	美 国	14280
巴 西	56000	巴 基 斯 坦	10950
澳 大 利 亚	27600	墨 西 哥	7270
日 本	5020	印 度	3050
法 国	3960	英 国	2900
意 大 利	3920	德 国	2850
西 班 牙	3160	埃 及	2530
智 利	18100	中 国	2380

农业是我国的用水大户，占总用水量的比重较高。农业用水主要包括农田、林业、牧业的灌溉用水及水产养殖业、农村工副业和人畜生活等用水。农田灌溉是农业的主要用水和耗水对象，农用灌溉用水占农业总用水的比例始终保持在90%以上的水平。

在农业用水中，地下水的开发利用占据十分重要的地位。在北方农业用水中，地下水用水量占农业总用水量的24.2%，北方个别省市远高于这一比例。其中北京市农业总用水量中地下水占85.5%，河北省为66.6%，山西省和山东省分别为49.3%和40.9%。

由于农业节水技术与节水措施的推广应用，节水水平的提高，农业用水占总用水的比重其趋势上是在不断降低的过程中，从1949年的97.1%，1980年的80.7%，逐步降低到1997年的70%左右。尽管总用水量有所增加，而农业用水量近20年来基本稳定在400km³左右。

近20年来，我国工业和生活用水量具有显著提高，所占总用水量的比例也有大幅度增加。统计结果表明，工业和生活用水量由1980年占全国总用水量的12%上升至1997年的29%。与发达国家相比，占总用水量的比例仍然偏低。加拿大、英国、法国的工业用水均占总用水比例的50%以上，分别为81.5%、76%和57.2%。我国人均生活日用水量仅为114L，城镇居民生活日用水量略有增加。城市规模的差异，以及城市化水平的不同，区域水资源条件的差别，造成城市居民人均日用水量的差距相当大。

地下水在我国城镇生活用水中占据不可替代的地位。地下水用量占城镇生活总用水量的59%，其中地下水所占比例在70%以上的有山西省、宁夏回族自治区、山东省、河北省、青海省、北京市，所占比例在50%~70%的有陕西省、河南省、内蒙古自治区。其余省、直辖市和自治区的比例一般在20%~50%。

1.5 我国水资源面临的问题

我国地域辽阔，国土面积达 $960 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。由于处于季风气候区域，受热带、太平洋低纬度上温暖而潮湿气团的影响以及西南的印度洋和东北的鄂霍茨克海的水蒸气的影响，

我国是一个洪涝灾害频繁、水资源短缺、生态与环境脆弱的国家。新中国成立后，水利建设工作取得了很大的进展。初步控制了大江大河的常遇洪水，形成了超过 $5600 \times 10^8 \text{m}^3$ 的年供水能力，灌溉面积从 2.4 亿亩扩大到近 8 亿亩，累计治理水土流失面积 $78 \times 10^4 \text{km}^2$ 。但随着人口增长、经济的发展，水的压力越来越大，水的问题是制约区域经济和社会可持续发展的重要瓶颈。从全国范围来看，我国面临的水问题主要有以下三方面。

一是防洪标准低，洪涝灾害频繁，对经济发展和社会稳定的威胁大。20 世纪 90 年代以来，我国几大江河已发生了多次比较大的洪水，损失巨大。特别是 1998 年发生的长江、嫩江和松花江流域的特大洪水，充分暴露了我国江河堤防薄弱、湖泊调蓄能力较低等问题。防洪建设始终是我国水利工作的一项长期而紧迫的任务。

二是干旱缺水日趋严重。农业、工业以及城市都普遍存在缺水问题。20 世纪 70 年代全国农田年均受旱面积 1.7 亿亩，到 20 世纪 90 年代增加到 4 亿亩。农村还有 3000 多万人饮水困难，全国 600 多个城市中，有 400 多个供水不足。干旱缺水已成为我国经济社会尤其是农业稳定发展的主要制约因素。

三是水生态与环境恶化。近些年来，我国水体水质总体上呈恶化趋势。1980 年全国污水排放量为 310 多亿 t，1997 年为 584 多亿 t。受污染的河长也逐年增加，在全国水资源质量评价约 $10 \times 10^4 \text{km}$ 的河长中，受污染的河长占 46.5%。全国 90% 以上的城市水域受到不同程度地污染。目前，全国水蚀、风蚀等土壤侵蚀面积达 $367 \times 10^4 \text{km}^2$ ，占国土面积的 38%；北方河流干枯断流情况愈来愈严重，黄河在 20 世纪 90 年代年年断流，平均达 107 天。此外，河湖萎缩，森林、草原退化，土地沙化，部分地区地下水超量开采等问题，严重影响了水生态与环境。

随着人口增加和经济社会发展，我国水问题将更加突出。仅从水资源的供需来看，在充分考虑节约用水的前提下，2010 年全国总需水量将达 $(6400 \sim 6700) \times 10^8 \text{m}^3$ ；2030 年人口开始进入高峰期，将达到 16 亿人，需水量将达 $8000 \times 10^8 \text{m}^3$ 左右，需要在现有供水能力的基础上新增 $2400 \times 10^8 \text{m}^3$ 。因此，开发利用和保护水资源的任务十分艰巨。

总体来看，形成我国水问题严峻形势的根源主要有两个方面。首先是自然因素，与气候条件的变化和水资源的时空分布不均有关。在季风作用下，我国降水时空分布不平衡，在我国北方地区，年降水量最少只有 40mm，在降水量大的地区也仅 600mm；长江流域及以南地区，年降水量均在 1000mm 以上，最高超过 2000mm。气候变化对我国水资源年际变化产生很多影响，据气象部门的有关统计，近 40 年来全国的降水量平均以每 10 年 12.7mm 的速度递减。20 世纪 50 年代全国平均降水量为 872mm，80 年代为 838mm，减少了 34mm。

从长期气候变化来看，在近 500 年中，中国东部地区偏涝型气候多于偏旱型气候，而近百年来洪涝减少，干旱增多。在黄河中上游地区，数百年来一直以偏旱为主，自 18~19 世纪、20 世纪期间有一个总的旱化趋势。20 世纪中国大范围的气候经历了“湿冷→干暖→干冷→湿暖→湿冷”的变化过程，其循环周期约为 30~40 年。如果今后出现全球变暖，我国出现大旱的机会将会增大。

其次是人为因素，与社会经济活动和人类不合理地开发、利用和管理水资源有关。目

前,我国正处于经济快速增长时期,工业化、城市化发展迅速,人口的增加和农业灌溉面积的扩大,使得水资源的需求量不可避免地迅速增加。由于长期以来,水资源的开发、利用、治理、配置、节约和保护不能统筹安排,不仅造成了水资源的巨大浪费,破坏了生态与环境,而且更加剧了水资源的供需矛盾。突出表现为以下几个方面。

1) 流域缺乏统一管理,上、中、下游用水配置不合理,造成水资源的消退。例如,西北内陆区塔里木河已经缩短了约 300km 的流程;黄河严重断流,经专家们最后会诊重要的一个原因是人类活动的影响。

2) 地表、地下水缺乏联合调度,过度开采地下水,造成地下水资源枯竭。

3) 水价不合理,水资源浪费严重。以农业用水为例,目前农业用水占全国总用水量的 70% 以上,北方农业用水则高达 86.7%。但农业灌溉用水浪费现象最为严重,在一些地区仍采用漫溉、串溉等十分落后的灌溉方式,渠系水利用系数较低,只有 0.5~0.6 左右。灌溉定额高,亩均毛用水量在 600m³ 以上。工业上用水重复利用率平均只有 30%~40%,而日本、美国则在 75% 以上。

4) 废水大量排放,使得水生态与环境恶化,水资源污染型短缺。如南方长江三角洲和珠江三角洲的一些缺水地区。

5) 人类活动破坏了大量的森林植被,造成区域生态与环境退化,水土流失严重,洪水泛滥成灾。一方面使河道冲沙用水量增加;另一方面,水污染严重,极大地降低了可利用水资源的数量。

1.6 水冷却循环使用的意义

在空调中,冷却的方式很多。有用空气来冷却的,叫空冷;有用水来冷却的,叫水冷。但是,在大型中央空调系统中,多是用水作为传热冷却介质的。这是因为水的化学稳定性好,不易分解;它的热容量大,在常用温度范围内,不会产生明显的膨胀或压缩;它的沸点较高,在通常使用的条件下,在冷凝器中不会汽化;同时水的来源较广泛,流动性好,易于输送和分配,相对来说,价格也较低。另外,在冶金工业中大量的水来冷却高炉、平炉、转炉、电炉等各种加热炉的炉体;在炼油、化肥、化工等生产中大量的水来冷却半成品和产品;在发电厂、热电站则大量的水来冷凝汽轮机回流水。一座 1000MW 的火电厂,约需冷却水量 40~50m³/s。这样大的水量不仅难以取得,且从环境保护的要求看,大量的温排水所造成的热污染也是不允许的。因而火电厂和核电站采用直流供水系统将会遇到愈来愈多的困难。当前,各国解决这种困难的主要方法,除在海边建厂采用海水作冷却水外,多采用带各种冷却塔的循环供水系统;在纺织厂、化纤厂,则用大量水来冷却空调系统及冷冻系统。近年来,高层建筑愈来愈多,其空调系统冷却水用量也越来越大。一台制冷量为 5814kW 的直燃型溴化锂冷温水机组,其冷却水量高达 1640m³/h。据测算,工业和服务行业冷却水用量占工业用水总量的 70% 左右。表 1-6 列出了部分行业单位产品用水量的概况。

为了保证空调系统及工业设备正常运转,延长制冷机等设备的使用寿命,对冷却水的水质有一定的要求。

部分行业单位产品用水量

表 1-6

产 品	用水量(m ³ /t)	产 品	用水量(m ³ /t)
钢 铁	300	合成橡胶	125~2800
铝	160	合成纤维	600~2400
煤	1~5	面 纱	200
石 油	4	毛 织 品	150~350
煤 油	12~50	醋 酸	400~1000
化 肥	50~250	乙 醇	200~500
硫 酸	2~20	烧 碱	100~150
炸 药	800	肉类加工	8~35
纸 浆	200~500	啤 酒	10~20

(1) 水温要尽可能低一些

在同样设备条件下,水温愈低,用水量也相应减少。例如,制药厂在生产链霉素时,需要用水冷却链霉素的浓缩设备和溶剂回收设备。如果水的温度愈低,那么用水量也就愈少。又如,化肥厂生产合成氨时,需要对压缩机和合成塔中出来的气体进行冷却,这时冷却水的温度愈低,则合成塔的氨产量愈高。

(2) 水的浑浊度要低

水中悬浮物带入冷却水系统,会因流速降低而沉积在换热设备和管道中影响热交换,严重时会使管子堵塞。此外,浑浊度过高还会加速金属设备的腐蚀。为此,在国外一些大型化肥、化纤、化工、炼油等生产系统中,对冷却水的浊度要求不得大于 2mg/L。

(3) 水质不易结垢

冷却水在使用过程中,要求在换热设备的传热表面上不易结成水垢,以免影响换热效果,这对工厂安全生产是一个关键。生产实践证明,由于水质不好,易结水垢而影响工厂生产的例子是屡见不鲜的。

(4) 水质对金属设备不易产生腐蚀

冷却水在使用中,要求对金属设备最好不产生腐蚀,如果腐蚀不可避免,则要求腐蚀性愈小愈好,以免传热设备因腐蚀太快而迅速减少有效传热面积或过早报废。

(5) 水质不易滋生菌藻微生物

冷却水在使用过程中,要求菌藻微生物在水中不易滋生繁殖,这样可避免或减少因菌藻繁殖而形成大量的黏泥污垢,过多的黏泥污垢会导致管道堵塞和腐蚀。

淡水在全球是一种非常有限的宝贵资源,早在 20 世纪 90 年代初,许多专家就发出警告:地球水资源短缺带来的冲击可能要比 20 世纪 70 年代石油危机更严重。因为世界人口和经济增长的同时,人类对工业、农业和生活用水的需求也在迅速增长。专家们认为,未来的水危机与以往缺水形势完全不同,已不能像过去那样利用水利工程来增加供应。因为,目前许多国家缺水已到极限,但是可以通过节约和提高现有水的利用率来达到此目的。节约用水,主要是提高水的重复利用率和推广节水技术。2002 年我国工业用水重复利用率约为 50%,远低于发达国家 80%的水平,如能提高到 60%,加上工业节水技术的