

# 循环冷却水

XUNHUAN LENGQUESHUI

朱月海 主 编  
朱 江 副主编  
钟淳昌 主 审

中国建筑工业出版社

# 循环冷却水

朱月海 主 编  
朱 江 副主编  
钟淳昌 主 审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

循环冷却水/朱月海主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008

ISBN 978-7-112-09948-1

I. 循… II. 朱… III. 循环水; 冷却水 IV. TQ085

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第032623号

循环冷却水

朱月海 主编

朱江 副主编

钟淳昌 主审

\*

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

北京云浩印刷有限责任公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24½ 字数: 612 千字

2008 年 7 月第一版 2008 年 7 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 70.00 元(含光盘)

ISBN 978-7-112-09948-1  
(16731)

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)

本书为循环冷却水方面的综合性著作，全书共 12 章 66 节，较系统地论述冷却水循环利用的重要性和现实意义；水冷却的基本原理和方法；湿空气的性质与水冷却的关系；冷却塔设计的气象参数与热力计算；冷却构筑物及其组成；冷却塔系统的设计与计算；改革中的水动风机冷却塔；冷却塔的性能测试；玻璃钢冷却塔的手工成型工艺；循环冷却水的水质稳定处理等。

本书的特点为：实践性强，书中的资料数据基本上均来自实践，是通过试验、实测和在实际运行中总结得来的，具有实用性和现实指导意义；应用性强，阐述的原理和方法、设计与计算、加工与制作、塔的测试方法与计算、水处理药剂与投加等均可应用于实践，并被实践证明是行之有效、切实可行的；综合系统性强，以循环冷却水为主线，从水的循环、水的冷却到水质稳定处理，进行了全面系统的阐述，内容齐全。过去这样齐全内容的同类著作基本上没有，都是各自自成体系，单一地分为“冷却塔”、“玻璃钢成型工艺”、“循环冷却水水质处理”等，单独出书，读者使用很不方便。现把这一领域的相关内容综合地编在一本著作中，弥补过去的不足；内容新颖，编入了新的内容和研究成果，如“冷却塔测试”、“水动风机冷却塔”在国内外同类著作中是首创性的，用于水动风机的水轮机和同济大学研发的 SC11 多功能微晶水处理器等也都是最新研究开发的成果；全书通俗易懂、论据充足、观点明确、分析透彻，是一本实用性很强的循环冷却水的综合性著作。本书含有可检索光盘 1 张，以方便读者

本书读者面较广，可供设计研究院给水排水专业的决策和设计人员，给水排水工程科技人员，暖通专业人员，循环冷却水工程技术人员，冷却设备（塔）生产企业管理、设计、生产人员、运行操作、设备维修人员使用。本书内容属给水排水专业的“工业给水处理”，故可供给水排水和相关专业师生阅读参考。

\* \* \*

责任编辑：俞辉群

责任设计：赵明霞

责任校对：安 东 张 虹

## 前 言

众所周知,我国的水资源是紧缺、贫乏的,分布又很不均衡,每年排放的365亿 $\text{m}^3$ 污废水又污染了大批水体,因此不少地区出现了不同程度的水危机,影响了工农业生产和人民生活,威胁着国民经济的高速持续发展,因此缓解水资源紧缺和供需矛盾是当务之急。目前,除农业用水之外,在城镇生活用水和工业生产用水中,生活用水约占19%,工业生产用水约占81%,而工业用水中70%~80%是冷却用水,主要用来冷却生产设备和产品。在城镇用水中,宾馆、影剧院、体育馆、综合办公楼、百货公司、综合商场、大型超市等空调制冷系统也要用水进行冷却,这部分冷却水在城镇用水中占了较大比例。把温度升高的水经过冷却构筑物(主要为冷却塔)冷却,把水温降低下来,进行持续的循环使用,是行之有效的节水方案,是节电、节能、保护环境、节省水资源、缓解水危机、解决供需矛盾的重要措施,具有重大的现实和深远意义。循环冷却水系统是由冷却构筑物(冷却塔)、水池、泵站、管路、被冷却的设备、产品、换热器及补充水、水处理构筑物等组成,目的是保证水的冷却和持续循环使用。因此如何经过冷却构筑物把水温降低下来达到冷却的要求;如何在保证水量、水质的前提下使水进行不断地循环使用;如何在循环过程中不对系统产生腐蚀、结垢、微生物及藻类的生长繁殖,保持水质稳定;如何进行冷却塔的设计、计算、制造和测试;水在循环使用过程中如何节水、节电节能、保护环境等,是本书要解决的问题和主要内容。长期来,在《给水排水》、《中国给水排水》专业刊物上关于循环冷却水方面文章发表很少,也未见到这类内容的综合性著作,远不能满足专业人员和读者的需求。20世纪80年代以来,循环冷却水技术不断发展、更新,取得了新的进展和提高。如水动风机冷却塔,利用水进冷却塔的富余水头、用新颖的双击式水轮机推动风机旋转,不仅省去了电机,节省了电耗,而且降低了冷却塔噪声;使用新颖的SC11微晶水处理器,既有阻垢、除垢、缓蚀作用,又有杀菌、灭藻作用,是多功能的水处理器,而且设备简单、省电,不需要运行管理。因此,充分体现了本书的新科技和新成果特色。

本书第4、7、8、10章,第6章的6.3、6.4、6.5、6.6、6.7,第11章的11.5、11.6,第12章的12.4、12.5由朱月海编写;第3、9章,第6章的6.1、6.2,第11章的11.1、11.2、11.3由朱江编写;第5章及第12章的12.1、12.2、12.3由周光平编写;第1章及第11章的11.4、11.7由陈济东编写;第2章及第12章的12.6由管平平编写。

本书内容丰富,结构严密,资料翔实,概念清楚,说理透彻,理论联系实际,实用性强,是一本循环冷却水领域的综合性著作。在此,对于所有参考文献的作者表示诚挚和衷心的感谢!

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 我国水资源简要概述 .....	1
1.1.1 我国水资源量 .....	1
1.1.2 我国水资源特点 .....	2
1.1.3 我国的水危机 .....	3
1.1.4 解决水资源紧缺的途径与方法 .....	3
1.2 冷却水用水量 .....	4
1.2.1 冷却水应用的范围及行业 .....	4
1.2.2 冷却水用水量 .....	4
1.3 冷却水循环利用的意义 .....	5
1.3.1 节省水资源, 缓解水危机 .....	5
1.3.2 节能节电, 节省投资 .....	6
1.3.3 有利于环境保护和生态平衡 .....	7
1.4 循环冷却水水源与水质 .....	7
1.4.1 循环冷却水水源 .....	7
1.4.2 循环冷却水水质 .....	9
<b>第 2 章 水面冷却构筑物及其组成</b> .....	12
2.1 冷却构筑物分类 .....	12
2.2 喷水冷却池 .....	13
2.2.1 喷嘴 .....	14
2.2.2 配水管道和水池 .....	14
2.2.3 喷水密度和热力、水力计算 .....	16
2.3 天然冷却池 .....	18
2.3.1 模型试验目的 .....	18
2.3.2 自然水温的确定 .....	18
2.3.3 冷却池设计原则 .....	19
2.3.4 热力计算 .....	19
2.3.5 可冷却的循环水量 .....	20
2.3.6 冷却池的工程设计与布置 .....	20



## 目 录

2.4	河道与海湾冷却	22
2.4.1	河道冷却	22
2.4.2	海湾冷却	23
<b>第3章</b>	<b>冷却塔</b>	<b>24</b>
3.1	冷却塔分类与组成	24
3.1.1	冷却塔分类	24
3.1.2	冷却塔的构造与组成	25
3.2	淋水填料	28
3.2.1	点滴式淋水填料	28
3.2.2	薄膜式淋水填料	30
3.2.3	点滴薄膜式淋水填料	33
3.2.4	淋水填料的散热特性	35
3.2.5	淋水填料的选择	37
3.2.6	横流式冷却塔填料布置	38
3.3	配水系统	38
3.3.1	固定式配水系统	38
3.3.2	旋转式配水系统	47
3.3.3	配水系统的选择	47
3.4	通风设备	48
3.4.1	鼓风式风机	48
3.4.2	抽风式风机	49
3.5	空气分配装置	51
3.6	通风筒	53
3.7	除水器	54
3.8	塔体	57
3.9	集水池	59
3.10	防冻措施	59
<b>第4章</b>	<b>冷却水循环系统及水冷却基本原理</b>	<b>61</b>
4.1	冷却水的循环系统	61
4.1.1	冷却水的循环系统及组成	61
4.1.2	被冷却的设备位置高于冷却塔	62
4.1.3	被冷却设备位置低于冷却塔	63
4.2	水冷却的基本原理	64
4.2.1	为什么用水来冷却设备或产品	64
4.2.2	水的蒸发散热	65

4.2.3	水的传导散热和对流散热	66
4.2.3	水的辐射散热	67
4.3	不同温度的蒸发与传导散热	67
<b>第5章</b>	<b>湿空气的性质</b>	<b>70</b>
5.1	湿空气热力学参数	70
5.1.1	压力	70
5.1.2	湿度	72
5.1.3	湿空气的表观密度	76
5.1.4	湿空气的比热 ( $C_{sh}$ )	76
5.2	湿空气的焓	78
5.2.1	焓的概念	78
5.2.2	水蒸气的焓	78
5.2.3	空气含热量计算图	79
5.3	干湿球温度及水冷却的理论极限	80
5.3.1	湿球温度计的原理及相对湿度	80
5.3.2	湿空气焓湿图的应用	82
5.4	设计气象参数确定	84
5.4.1	确定气象参数的基本原则	84
5.4.2	气象参数的计算统计与确定方法	85
5.4.3	空气风速及大气压力	87
<b>第6章</b>	<b>冷却塔的热力计算</b>	<b>88</b>
6.1	散热量	88
6.1.1	单位时间内的传导散热量	88
6.1.2	单位时间内的蒸发散热量	88
6.1.3	总散热量	90
6.2	热力计算法	91
6.2.1	理论公式计算法	91
6.2.2	经验计算法	91
6.2.3	变量分析法	92
6.3	焓差法热力计算基本方程	92
6.3.1	麦克尔焓差方程	92
6.3.2	逆流式冷却塔热力平衡方程	93
6.3.3	焓差的物理意义	96
6.4	交换数 $N = \frac{1}{K} \int_{t_2}^{t_1} \frac{dt}{i'' - i}$ 的求解	98
6.4.1	对热力学基本方程 $\frac{\beta_{sv} \cdot V}{Q} = \frac{1}{K} \int_{t_2}^{t_1} \frac{dt}{i'' - i}$ 的分析	98





6.4.2	交换数 $N = \frac{1}{K} \int_{t_2}^{t_1} \frac{dt}{i'' - i}$ 的求解	99
6.5	冷却塔的性能	103
6.5.1	含湿量差容积散质系数 $\beta_{sv}$ 的求定	103
6.5.2	特性数 $N'$ 及阻力特性的求定	105
6.5.3	气水比 $\lambda$ 的选择	106
6.6	横流式冷却塔的热力计算	107
6.6.1	基本方程	107
6.6.2	基本方程的求解	108
6.6.3	横流塔热力计算步骤	108
6.7	水量损失	114
6.7.1	蒸发损失水量	114
6.7.2	风吹损失水量	114
6.7.3	排污损失水量	114
<b>第7章</b>	<b>冷却塔的设计与计算</b>	<b>116</b>
7.1	设计计算的基础资料	116
7.1.1	冷却水量	116
7.1.2	冷却水温 ( $\Delta t$ )	116
7.1.3	气象参数	116
7.1.4	淋水填料的试验与运行资料	116
7.1.5	冷却塔设计计算内容	117
7.2	热力计算	117
7.2.1	热力计算的任务	117
7.2.2	热力计算的基本方法	117
7.3	通风阻力计算	117
7.3.1	经验公式	118
7.3.2	采用同类塔的经验数据	122
7.3.3	通风机的选择	123
7.4	配水系统水力计算	125
7.4.1	管式配水	126
7.4.2	槽式配水	130
7.4.3	池式配水	131
7.5	设计计算举例	132
7.5.1	符号说明 (名称及单位)	132
7.5.2	100T/h 机械通风玻璃钢冷却塔设计计算	134
7.5.3	大型机械通风冷却塔设计计算	147

7.6 冷却塔基本尺寸的选择 .....	152
7.6.1 塔体形状对风阻力的影响 .....	153
7.6.2 进风口尺寸 .....	153
7.6.3 填料装置高度 .....	154
7.6.4 淋水装置与配水系统间的距离 .....	154
7.6.5 收水器与配水系统的距离 .....	154
7.6.6 收水器与风机的距离 .....	154
7.6.7 收缩段的高度 .....	155
7.6.8 风筒或扩散筒高度 .....	155
<b>第8章 水动风机冷却塔 .....</b>	<b>157</b>
8.1 水动风机的由来及可行性 .....	157
8.1.1 机械通风冷却塔的能耗 .....	157
8.1.2 水轮机驱动风机的可行性 .....	158
8.2 水轮机的选型 .....	160
8.2.1 水轮机概述 .....	160
8.2.2 水动风机水轮机选型 .....	163
8.3 水轮机工作原理 .....	165
8.3.1 水轮机的工作参数 .....	165
8.3.2 水轮机的水流运动合成与分解 .....	167
8.3.3 水动风机水轮机的工作原理 .....	168
8.3.4 水轮机的动力分析 .....	169
8.4 水动风机冷却塔的实践 .....	171
8.4.1 冷却塔改造的基本原则和条件 .....	171
8.4.2 水动风机冷却塔的实践 .....	172
8.4.3 水动风机冷却塔的优特点 .....	173
8.5 水动风机节能分析与设计要求 .....	175
8.5.1 水轮机轴功率及所需水头 .....	175
8.5.2 水轮机在新塔中的使用 .....	177
8.5.3 水动风机对冷却塔设计的要求 .....	180
<b>第9章 冷却塔的选择、布置及运行 .....</b>	<b>182</b>
9.1 冷却塔的选择 .....	182
9.1.1 冷却塔选择考虑的主要因素 .....	182
9.1.2 机械通风玻璃钢冷却塔的优缺点 .....	184
9.1.3 逆流式与横流式冷却塔的比较 .....	184
9.1.4 海拔高度对冷却过程的影响 .....	186



## 目 录

9.2	湿热空气的再循环 .....	187
9.3	冷却塔的计算机选型 .....	189
9.4	冷却塔的平面布置 .....	191
9.4.1	冷却塔平面布置的原则和要求 .....	191
9.4.2	供货或选用时应考虑的方面 .....	192
9.5	冷却塔的运行和维护 .....	193
9.5.1	冷却塔部件的维护保养 .....	193
9.5.2	故障及排除 .....	196
9.6	风机叶片倾角测量 .....	198
9.6.1	冷却塔内气流能量及阻力 .....	198
9.6.2	风机的全压及安装角度 .....	200
<b>第 10 章</b>	<b>冷却塔测试</b> .....	<b>202</b>
10.1	测试的目的意义及内容 .....	202
10.1.1	测试的目的意义 .....	202
10.1.2	冷却塔测试的内容 .....	202
10.1.3	冷却塔测试分类 .....	203
10.2	玻璃钢冷却塔及选用曲线 .....	203
10.2.1	玻璃钢冷却塔简述 .....	203
10.2.2	玻璃钢冷却塔的符号说明 .....	204
10.2.3	冷却塔的选用曲线 .....	206
10.3	热工性能测试 .....	208
10.3.1	测试前的准备工作 .....	208
10.3.2	对测试工作的要求 .....	208
10.3.3	测试项目、仪器设备及测试方法 .....	210
10.3.4	测试资料的整理 .....	213
10.3.5	鉴定测试的评价及淋水装置的比较 .....	215
10.3.6	实测横流塔热力计算实例 .....	216
10.4	噪声与振动测试 .....	219
10.4.1	噪声测试 .....	219
10.4.2	振动测试 .....	224
<b>第 11 章</b>	<b>玻璃钢冷却塔手工成型工艺</b> .....	<b>227</b>
11.1	玻璃钢概述 .....	227
11.1.1	玻璃钢的发展 .....	227
11.1.2	玻璃钢的特点 .....	228
11.1.3	玻璃钢的原材料 .....	230

11.1.4	FRP 的主要成型方法	230
11.1.5	FRP 的应用	230
11.2	增强材料—玻璃纤维	231
11.2.1	无碱玻璃纤维	232
11.2.2	中碱玻璃纤维	233
11.2.3	无捻玻璃纤维	234
11.2.4	玻璃纤维毡	235
11.2.5	玻璃纤维原丝系列及代号	235
11.2.6	浸润剂	239
11.3	树脂及辅助剂	242
11.3.1	简要概述	242
11.3.2	不饱和聚酯树脂	244
11.3.3	环氧树脂和酚醛树脂	249
11.3.4	填料和色料	252
11.4	制作工具、材料和设备	256
11.4.1	工具	257
11.4.2	材料	260
11.4.3	设备	262
11.5	模具	263
11.5.1	模具的结构和选材	263
11.5.2	脱模剂	265
11.5.3	模具的保养和维护	267
11.6	冷却塔的装配、连接、修补和增强	267
11.6.1	两种连接的优缺点	268
11.6.2	机械连接	269
11.6.3	胶接	272
11.6.4	修补	276
11.7	冷却塔生产工艺及制作	278
11.7.1	工艺概述	278
11.7.2	制作工艺	282
11.7.3	玻璃钢风机	287
11.7.4	生产车间及人员培训	294
<b>第 12 章</b>	<b>循环冷却水处理</b>	<b>298</b>
12.1	循环冷却水处理的任务和方法	298
12.1.1	循环过程中的水质变化	298



## 目 录

12.1.2	循环冷却水处理的任	300
12.1.3	循环冷却水处理的方	301
12.2	换热器及水质分析	302
12.2.1	换热器	302
12.2.2	水质常规分析	303
12.2.3	结垢与腐蚀产物的分	313
12.3	结构与腐蚀	314
12.3.1	循环冷却水系统的结	314
12.3.2	腐蚀概述	315
12.3.3	电化学腐蚀	316
12.3.4	微生物腐蚀	319
12.4	结垢与腐蚀的判别	321
12.4.1	饱和指数法	321
12.4.2	稳定指数法 (RSI)	324
12.4.3	临界 pH 值 ( $pH_c$ )	325
12.4.4	磷酸钙饱和指数 ( $I_p$ )	325
12.5	循环冷却水处理	326
12.5.1	结垢控制与处理	326
12.5.2	污垢控制与处理	333
12.5.3	腐蚀控制与处理	334
12.5.4	阻垢、缓蚀剂复合配	349
12.5.5	微生物控制与处理	354
12.5.6	SC11 微晶水处理器	367
12.5.7	水处理剂的投加量计	371
12.6	补充水、旁流水和排	373
12.6.1	补充水处理	373
12.6.2	旁流水处理	375
12.6.3	排污水处理	376
	主要参考文献	378

### 1.1 我国水资源简要概述

水是生命之源，是人类生存必需和无法取代的物质。人类社会的历史，可以说是人依靠水而繁衍生长、生存和发展的历史。水的重要性在于：水是不可替代的，不像能源那样，煤用完了用石油替代，石油用完了用核能，核能用完了用太阳能。世界上还没有制造 H<sub>2</sub>O 的工厂。水资源的紧缺性和重要性越来越引起世界各国的关注和重视。我国水资源贫乏、紧缺，水污染严重，已经成为经济、社会高速持续发展的制约瓶颈。因此以科学发展观分析水问题，合理科学地利用水资源，维护生态环境，人与自然和谐相处，水与经济和社会协调发展，节约用水、循环用水、一水多用，已成为缓解水资源、解决水危机、平衡供需矛盾的重要措施。

#### 1.1.1 我国水资源量

我国年平均降水量为 648mm，总降水量约 6 万亿 m<sup>3</sup>，而淡水贮量（即水资源平均年总量）每年为 2.8124 万亿 m<sup>3</sup>，排在印度尼西亚之后，占世界第 6 位。因此从总量上说，我国水资源量不算少，但按人均数计算，世界人均数为 12200m<sup>3</sup>/（人·a），我国 2002 年统计为 2200m<sup>3</sup>/（人·a），仅占世界人均数的 1/5.5。在世界各国中，排在 88 位之后。因此按人均计，我国的水资源是贫乏的、紧缺的，存在着供需矛盾和水危机。

我国 28124 亿 m<sup>3</sup> 淡水水资源总量中，除冰川、高山积雪、深山溪流、深层地下水等，可供用的淡水总量约 11000 亿 m<sup>3</sup>/a，而按我国现有的技术条件和经济实力，实际可供取的水量仅为 7000 亿 m<sup>3</sup>。目前我国排入水体的污、废水量约 365 亿 m<sup>3</sup>/a，从 1200 条河流的监测资料统计来看，受到不同程度污染、水质差于Ⅳ类（含Ⅳ类）的有 850 多条河流，而且大多数是城市附近的水体，污染了可供用水资源量达 2500 多亿 m<sup>3</sup>。这样，符合供水水源水质要求的实际可供用的水资源量，每年仅为 4500 亿 m<sup>3</sup>。

据 2002 年粗略统计，我国城市供水和工业用水约 3.85 亿 m<sup>3</sup>/d，全年供水量为 1025.8 亿 m<sup>3</sup>，其中生产用水量占 81%，生活用水量 19%，城市供水人口普及率达 96%。

我国农业用水近 4000 亿 m<sup>3</sup>/a，加上城市供水和工业用水量全年共为 5025.8 亿 m<sup>3</sup>。占我国水资源总量（28124 亿 m<sup>3</sup>）的 17.87%；占可供用淡水总量（11000 亿 m<sup>3</sup>）的



45.7%；占实际可供取用水量（7000 亿  $\text{m}^3$ ）的 71.8%；占符合供水水源水质要求的实际可供水资源量（4500 亿  $\text{m}^3$ ）的 117%。就是说每年有 500 多亿  $\text{m}^3$  的水取自被污染了的水源水，而实际远超过此数。为保证自来水厂出水水质，达到建设部颁布的《城市供水水质标准》（CJ/T 206—2005）和《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—2006）的要求，不少水厂在“常规处理工艺”之前设置生物预处理，之后设置了活性炭等吸附过滤深度处理，增加了占地面积，提高了制水成本。

水资源与供水量供不应求的现状，造成我国 60%~70% 的城市不同程度缺水，其中水资源紧缺地区有近 50 个城市严重缺水，200 多个城市已出现或面临着水危机，因缺水我国每年造成经济损失达几千亿元。2002 年之后，如果城市供水年平均增长率按 3.5% 计，则 2010 年缺水量为 1350.8 亿  $\text{m}^3$ ，2015 年为 1604.3 亿  $\text{m}^3$ 。到那时水资源紧缺矛盾会进一步突出，因此节约用水、循环用水、开辟第二水源（污水回用）势在必行，是解决水危机、缓解水资源紧缺的重要途径。

### 1.1.2 我国水资源特点

#### 1. 地区分布很不均衡

从总体上来说，南方水资源丰富，北方水资源短缺，特别是“三北”（东北、西北、华北）地区水资源矛盾更为突出。南方 4 个流域（长江流域、华南诸河、东南诸河、西南诸河）水资源总量占全国总量的 81%，耕地面积仅占全国的 35.9%；北方 4 个流域（东北诸河、海滦河流域、淮河和山东半岛、黄河流域）水资源总量只占全国总量的 14.4%，而耕地面积占全国的 58.3%。可见，从地理分布来看，我国水资源分布是极不平衡的，这个不均衡影响着经济与社会的发展。

从人均占有的水资源量来计，北方 4 区人均水资源量仅为  $938\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{a})$ ，远低于国际规定的临界值  $1700\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{a})$ 。其中海滦河流域只有  $430\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{a})$ ；南方 4 区人均水资源量为  $4170\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{a})$ ，其中西南诸河地区高达  $38431\text{m}^3/(\text{人}\cdot\text{a})$ ，南方人均占有水量是北方的 4.4 倍；西南诸河地区与海滦河地区相比，前者人均水量为后者的 89 倍。

#### 2. 降水与径流量年内、年间变化大

我国位于世界著名的东亚季风区，降水和径流年内分配很不均匀，径流量主要集中在夏季，大多数地区 6~9 月的径流量占年径流量的 70%~80%。同时降水和径流量年间变化也很大，少水年与多水年持续出现。如京津鲁地区 1980 年至 1982 年和 90 年代末至 21 世纪初连续出现枯水年，而长江流域和淮河流域又连续出现洪水期。2006 年下半年至 2007 年初，水量充沛的四川、重庆却出现干旱年。长江、嘉陵江重庆段达到历史最低枯水位，航运停业、水库枯干。年内、年间降水和径流量的大幅度变化，使地面水资源的控制和利用造成很大困难，使实际可利用的天然水量比水资源总量少得多。同时江河洪、枯水位的大幅度变化，使城市取水带来很大困难，造成取水构筑物的复杂性。

#### 3. 水土流失严重，许多河流含砂量大，使取水困难

因自然条件限制和人类长期活动的结果，使我国森林覆盖率很低（只有 12%，居世界



120 位), 造成水土流失严重。据统计, 我国水土流失面积约 150 万  $\text{km}^2$ , 占全国土地面积的 1/6 左右, 每年流失泥砂约 50 亿 t。全国年输砂模数大于  $1000\text{t}/\text{km}^2$  面积的达 60 万  $\text{km}^2$ , 黄河是世界罕见的多泥砂河流, 年输砂模数大于  $5000\text{t}/\text{km}^2$  面积的有 14.3 万  $\text{km}^2$ , 造成黄河年径流量变化大、含砂量高、浅滩多。类似这样的河段, 使取水困难, 取水构筑物既要适合水位的变化, 又要防止被泥砂的冲刷或被淤积堵塞, 还要建造大规模的蓄水池和泥砂预沉池, 使造价和制水成本大幅度上升。

### 1.1.3 我国的水危机

我国面临水资源危机的标志是:

1. 一次供水量大于天然补给可供用水量;
2. 地下水水位形成区域性大面积连续下降, 降落漏斗不断扩大;
3. 水源大面积受到污染, 而且污染控制速度低于 (或慢于) 污染增长速度;
4. 出现水荒的自然变化间隔年份逐渐缩短, 丰水区也出现水荒, 一般性丰水年逐渐下降, 枯水期时间增长;
5. 调节水量、水质的经济、技术、材料、管理对策和措施缺乏保障。

经综合研究分析, 我国水资源危机出现的情况为:

京、津等地区 20 世纪 70 年代末进入水源危机阶段;

“三北”地区 20 世纪 90 年代进入水源危机阶段;

长江沿北及南方部分地区 21 世纪初进入水源危机阶段;

专家预测, 全球将在 2030 年左右进入水源危机阶段。

水资源问题的形成和发展是复杂的, 在开发、利用、排污、控制、保护、管理过程中, 受到来自自然与社会两大方面因素的相互影响, 有许多因素是随机性干扰的。从综合分析来说, 我国水资源存在着三个矛盾、三种形式和经历了三个阶段, 组成了 9 类不同的水资源问题。

三个矛盾为: 水量供需矛盾; 水质污染净化矛盾; 治理费用与效益矛盾。

三种形式为: 水量型缺水; 水质型缺水; 复合型 (即缺水又污染) 缺水。

三个阶段为: 供大于求的初期阶段; 供求动态平衡阶段; 供小于求的水源危机阶段 (又可分为前、中、后三期)。

上述 9 种不同水资源问题, “三北”地区出现早而严重, 南方特别是沿海地区同样存在。

我国水危机的出现, 使全国 300 多个城市存在不同原因的缺水, 城市公共供水设施能力不足而造成缺水的有 200 多个城市。水危机、水矛盾如不解决好, 必将影响我国国民经济的持续发展, 开发西部崛起中部也难实现。

### 1.1.4 解决水资源紧缺的途径与方法

缓解与解决水资源紧缺矛盾的方法和途径是多样的, 如在农业用水方面改漫灌为喷





灌、滴灌，防止渠道渗漏；在工业用水方面一水多用，顺序用水，循环用水；在生活用水方面一户一表，节约用水；在城市市政用水方面中水回用等。但首先要做好水资源的利用规划。

循环冷却水是指用水来冷却生产设备、产品、制冷机等，水自身的温度升高了，通过冷却设备把水温降低下来，再去冷却生产设备或产品，这样往复循环使用，仅补充少量在循环过程中损失的水量。冷却水是用水大户，这样就大幅度地节省了用水量。

同时冷却水的水质要求不高，污废水达到排放标准后再经过滤等深度处理后就可用于循环冷却水，是开辟第二水源，进行中水回用的重点用户。这样，既不用水质好的水资源水，也不使用自来水，对缓解水资源紧缺、解决供需矛盾起到保证作用。

## 1.2 冷却水用水量

### 1.2.1 冷却水应用的范围及行业

凡需要冷却生产设备和产品的企业，都要用水作为冷却介质进行冷却，否则会影响生产设备的正常运行和产品的质量。如发电厂汽轮机，在发电过程中温度升高，为保证发电机的正常发电，就要用水来不断地冷却发电机；又如炼油厂，为了使热的油冷却到一定的温度，炼成各种油类产品，必须用低于  $30^{\circ}\text{C}$  的水通过冷却器，用水来吸收热油中的热量，把油的温度降低下来；再如各集中式空调系统，在空调制冷的过程中，制冷机温度升高，为保证空调系统正常运行，使制冷机维持在规定的温度范围内，就要用水来连续不断地冷却制冷机。因为用来冷却生产设备和产品的水是连续循环使用的，所以称为循环冷却水。

冷却水的使用范围面广量大，纺织系统、制药行业、冶金系统、石化系统、发电系统、化肥行业等工业生产；影剧院、体育馆、宾馆、饭店、地铁、综合楼等民用空调系统。一般来说民用空调系统循环冷却水量相对较小，但点多而分散；工业系统循环冷却水量相对较大而集中。而工业系统循环冷却水中，制药、纺织等行业的水量较小，故采用的是中小型冷却塔较多（与民用冷却塔接近）；而发电厂、化肥厂、石化厂（含化纤厂）的循环冷却水的水量较大，因此水冷却的构筑物大而集中。

如上所述，水在冷却油的全过程中，油的温度降低了，但水自身的温度从原来的  $\leq 30^{\circ}\text{C}$  经冷却器后升高到  $\geq 40^{\circ}\text{C}$ ，那么要继续用水去冷却油，进行循环使用，则必须把水温再降低到  $\leq 30^{\circ}\text{C}$ ，这叫循环水的冷却。把循环水水温降低下来的设备，总称为冷却构筑物，而通常用的是冷却构筑物中的冷却塔。

### 1.2.2 冷却水用水量

现代工业和国民经济的不断增加，工业用水量也越来越大。从万元产值的用水量来衡量，现已大幅度下降。从全国平均来看，由 20 世纪 80 年代的 500 多  $\text{m}^3/\text{万元}$  下降到目前