

〔苏联〕 Д.И.库切连科 В.А.格拉德科夫

循环供水

水的冷却系统

XUNHUAN GONGSHUI

化学工业出版社

循 环 供 水

水的冷却系统

〔苏联〕Д.И.库切连科

В.А.格拉德科夫

周开君 史安洋 译

麦玉筠 校

化 学 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书介绍了循环水系统的分类。阐述水处理和净化的方法以及防止金属材料腐蚀的措施,水质稳定处理中新的计算方法。在循环水系统中对污水的利用问题做了说明。研究和探讨了循环水系统中水冷却塔的结构和工艺计算方法。

本书可供建筑工业和其他工业部门从事给排水和水质处理的科研、设计、生产管理方面的工程技术人员参考。

Кучеренко Д. И., Гладков В. А.
Оборотное Водоснабжение
Системы Водяного Охлаждения
Москва Стройиздат 1980

循 环 供 水

水的冷却系统

周开君 史安洋 译

麦玉筠 校

责任编辑: 骆文敏

封面设计: 许 立

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $6^{3/8}$ 字数146千字印数1—4,570

1986年8月北京第1版1986年8月北京第1次印刷

统一书号15063·3850定价1.35元

序 言

水的冷却系统，其中最常见的为循环水系统，它是化学、石油加工、石油化工、煤气加工、机械制造、冶金等许多工业部门企业联合工艺装置的重要组成部分之一。工艺装置的产量、产品的质量、成本和原料和电力的单位消耗量都取决于循环水系统运转的性能和效率。

这样，保证循环水系统的良好运转，能够挖掘更大的生产潜力并使工业企业的工作效率和经济效益获得显著的提高。

在循环水系统中广泛利用城市污水和生产废水，从而限制这些污水排入水体，对环境保护事业作出重大贡献，根据苏联新宪法，这是每个公民的义务。

循环水系统运转时，往往出现很大的困难，这些困难是由于在换热设备、管道和冷却塔中形成的各种沉积和生物污垢所引起的。由于系统中所进行的物理化学和生物过程形成了这些沉积和生物污垢。换热设备和管道的腐蚀过程以及冷却塔结构材料的破坏给工业企业带来很大的损失。从所述的情况可以看出，在本书中所阐明的为防止循环水系统中盐的沉积和机械沉积、生物污垢和腐蚀的水处理问题是多么迫切。

工业企业水的合理利用问题、利用生产废水和城市污水的企业的工业供水密闭循环的设计和建设，以及在这些特殊条件下水的净化和稳定处理方法，在书中也占据了重要的地位。

第1～6章、第7章的第2节和第9章由Л. И. 库切连科 (Кучеренко) 编写；第7章(第2节除外)、第8章和附录由В. А.

格拉德科夫 (Гладков) 编写。

对以 B. B. 古比雪夫命名的莫斯科建筑工程学院供水教研室副教授、科学技术侯补博士 П. П. 巴尔古诺夫 (Пальгунов) 在审阅手稿时所提出的非常宝贵的意见，作者深表感谢。

译 者 的 话

当前水资源的合理利用与保护已提到与能源同等重要的位置。许多城市和企业为解决供水不足和水源紧张的问题，都在千方百计地提高水的循环率。因此，采用循环水已成为我国许多部门的一项重要节水和环境保护措施。为了提高这方面的知识水平和管理水平，推荐《循环供水》一书，供科研、设计、生产管理各方面工程技术人员参考。

本书文字不多，但它广泛、全面、系统地介绍了循环冷却水系统的理论计算方法和发生水质不稳定的原因及其防止的方法。在上述内容中，有许多比较新的资料和论述。

本书介绍了碳酸盐沉积、硫酸盐沉积、机械沉积形成的原因及其防止。论述了水温对碳酸盐沉积强度和碱度的影响，以及二氧化硫气体、 CO_2 气体、微生物对水的pH值影响等。

介绍了各种系数的计算和选择，这对科研、设计人员是十分重要的。

介绍了循环水系统的模拟试验装置及试验方法。

介绍了各种水质稳定方法，加药剂（水稳剂）处理和不加药剂处理（碳化法、磁化法、超声波处理等）。

特别对微生物污垢的防止也作了专门的论述，例如，外部条件（温度、光、季节变化、水流速度等）对微生物污垢的影响；防止微生物污垢采用药剂处理和非药剂处理的方法（如变化水温、变化pH、变化水中盐分、变化水流速度等）。

介绍了各种结构（钢、木、水泥、塑料等）破坏的原因及其防止，以及循环水系统的运转管理等。

目 录

第一章 循环水系统	1
1. 水和热的运行情况	1
2. 盐分的平衡	3
3. 在连续补充水的情况下,不产生沉积的盐分浓度和浓缩倍数的 计算方法	4
4. 在间歇补充水的条件下,不产生沉积的盐分浓度和浓缩倍数的 计算方法	8
第二章 循环水系统中的碳酸盐沉积	13
1. 碳酸钙沉积。在天然水和循环水中的碳酸平衡	13
2. 重碳酸盐分解深度的确定和碳酸盐的沉积强度	22
3. 对循环水碱度和碳酸盐沉积强度影响因素的研究	27
4. 防止碳酸盐沉积的方法	34
第三章 循环水系统中的硫酸盐沉积	79
第四章 循环水系统中的机械沉积	83
第五章 循环水系统中的生物污垢	99
1. 外界介质条件对换热设备、管道生物污垢的影响	101
2. 生物污垢对水化学成分的影响	104
3. 防止换热设备和管道微生物污垢的方法	106
4. 防止藻类的方法	119
第六章 循环水系统构筑物 and 设备的损坏及其防止方法	121
1. 钢结构	121
2. 木结构	131
3. 石棉水泥构件	134
4. 混凝土结构	135
5. 塑料构件	136
第七章 在循环水冷却系统中污水的利用	137

1. 城市污水.....	138
2. 生产废水在工业企业密闭循环水中的应用.....	148
第八章 循环水系统中水的冷却	158
1. 冷却塔的工艺计算.....	159
2. 冷却设备对环境的影响.....	176
第九章 循环水系统的运行（冷却塔、输水管和换热设备 的清洗方法）	184
1. 换热设备的清洗.....	185
2. 管道的清洗.....	189
3. 冷却塔水池的清洗.....	192
附表 标准机械通风冷却塔主要指标	193
参考文献	196

第一章 循环水系统

循环水系统分为敞开式和封闭式。在敞开式系统中，水在冷却塔、喷水冷却池或冷却池内与空气接触而得到冷却。在封闭式系统中循环水不与大气接触，而是在换热设备、冷却站的蒸发器或空气冷却设备中进行冷却。同时，也有采用封闭式和敞开式联合的循环水系统。在该系统中，内环路被脱盐水或软水所充满。这些脱盐水与软水是在联结内、外环路的换热设备中冷却的。外环路的水在冷却塔中进行冷却。

在工业企业中，特别是在炼油厂和煤气厂的供水实践中，敞开式循环水与直流水相联合的系统，同样地得到了广泛运用。在这种情况下，将换热设备接入直流水系统，产品在换热设备中应该冷却到尽可能低的温度。直流水系统用后的冷却水，部分地或全部地用作循环系统的补充水。

在工业供水实践中，采用最广泛的是在冷却塔内进行冷却的敞开式循环水系统。这些系统具有一系列极重要的优点。它们提供了以下的可能性：

合理地利用水资源，将从水源中所取的水量减少到最低限度。鉴于许多工业区普遍缺水，因此，这点对于目前正在蓬勃发展的工业具有重大的意义。

将排入供水水源的排水量降到最低限度或不往其中排放，这就消除了对水源的污染。

1. 水和热的运行情况

循环水系统（图1.1）由水的冷却设备（冷却塔）1，循环泵

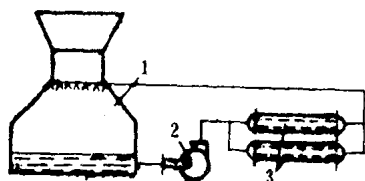


图 1.1 敞开式循环水系统

1—冷却塔；2—循环泵；
3—换热设备

2 和换热设备 3 组成。循环泵从冷却塔贮水池中将水送入换热设备。在换热设备中，水从被冷却的产品得到热量而变热，然后进入冷却塔。在冷却塔内，水与空气接触，进行蒸发冷却，然后重又送往换热设备，循环使用。

由于蒸发，部分循环水从系统中散出，另一部分以水滴形式被风吹带走。此外，系统的清洗、以及工艺上的其它需要也消耗循环水。所有这些损失用加入系统中的补充水来补偿：

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (1.1)$$

式中 P ——补充水量；

P_1 、 P_2 、 P_3 ——相应为蒸发、风吹、排污（清洗）损失，
这些损失以循环水量的百分数表示。

系统的蒸发、风吹和排污的损失说明系统水的运行情况，统称为水的运行参数。

水的蒸发损失 P_1 (%) 取决于许多因素、它通过计算来确定。这个参数可按下式计算，对于实际应用已足够精确。

$$P_1 = k \Delta t \quad (1.2)$$

式中 Δt ——进、出冷却塔循环水的温差 (°C)；

k ——取决于空气温度所采用的系数。

空气温度 (°C)	0	10	20	30	40
系数 k 值	0.1	0.12	0.14	0.15	0.16

水的风吹损失 P_2 ($\%$), 对于不同的冷却设备为:

带收水器的通风冷却塔	0.2 ~ 0.5
风筒式冷却塔, 喷水式格栅冷却塔	0.5 ~ 1.0
开放式和带百叶窗的喷水式冷却塔	1 ~ 1.5
生产能力大于500米 ³ 时的喷水池	1.5 ~ 2
生产能力小于500米 ³ 时的喷水池	2 ~ 3

应该指出, 在建筑安装工作质量好的情况下, 现代收水器的结构能够使风吹损失降到0.1%以下。

除上述水的运行参数外, 水冷却设备的热运行参数也是循环水系统中极重要的。这些参数包括: 进、出冷却塔循环水的温度, 温差 (温降), 单位面积热负荷, 冷却水和空气湿球温度的温差。由建筑规范 (CH₁₁П II-31-74) 所规定的热运行参数列于表 1.1。

表 1.1

冷却设备 的 类 型	单位面积上的最大热负荷 (10 ³ ·千卡·米 ² ·时) (千瓦·米 ²)	推荐的温降 (°C)	冷却水和空气 (按湿球温度 计) 的最小温差 (°C)
冷却池	0.2 ~ 0.4 (0.23 ~ 0.46)	5 ~ 10	10 ~ 12
喷水池	7 ~ 15 (8.12 ~ 17.4)	5 ~ 10	10 ~ 12
风筒式冷却塔	60 ~ 80 (69.6 ~ 92.8)	5 ~ 12	8 ~ 10
通风冷却塔	80 ~ 100 (92.8 ~ 116)	3 ~ 20	4 ~ 5

注: 表中数值适用于冷却设备进口的循环水水温不高于40~50°C。

2. 盐分的平衡

在循环水系统的运行实践中, 系统的盐分平衡具有重大的

意义。随补充水进入循环水系统中的各种盐分浓度常常有很大变化。循环水中各种盐分的浓度变化特性和数量，取决于该种盐分的溶解度，与其有关的物理化学过程和水系统的运行情况。同时，循环水中盐分的浓度不仅取决于所采用的水系统的运行方式（连续补充水或间歇补充水），而且还取决于水系统的运行参数和已运行的时间。

随补充水进入循环水系统的盐分应分为两类：

1) 无论在任何条件下运行，在系统中不产生沉积的易溶解盐分（例如，氯化钾、氯化钠、氯化钙、氯化镁）；

2) 在一定的工作条件下，溶解度小或在循环水系统中由于物理化学作用而进行转化的盐分可能产生沉淀（例如，硫酸钙和碳酸氢钙）。

对第二类盐分要特别注意，因为它在换热器、管道和冷却塔内产生沉积。这类盐分对循环水系统的运行造成很大的困难，並常常给工业企业带来巨大的物质损失。这在以下的章节里将详细叙述。

由此可见，在循环水系统的运行过程中需要计算各种运行条件下，某一时刻的各种盐分的浓度，並將计算的盐分浓度与实际的盐分浓度相比较，以便确定盐分产生的沉积，这样，可及时地采取必要的措施，防止沉积的形成。为了确定在某一时刻循环水中某种盐分的浓度，必须知道盐分随时间变化的规律和以在系统中不产生沉积为标准的盐分浓缩倍数。

3. 在连续补充水的情况下，不产生沉积的盐分浓度和浓缩倍数的计算方法

当系统中的补充水量和系统中水的总耗量相等时：

$$q = q_1 + q_2 + q_3 = \frac{Q}{100}(P_1 + P_2 + P_3) \quad (1.3)$$

式中 Q ——系统的循环水量, (米³/时);

q_1 、 q_2 、 q_3 ——相应为系统中水的蒸发、风吹和排污(清洗)损失量, (米³/时);

q ——循环水总耗量 (补充水量);

P_1 、 P_2 、 P_3 ——上述损失量占循环水量的百分数。

系统中不产生沉积的易溶解盐分的平衡, 可用以下微分方程表示:

$$dG = N_0(q_1 + q_2 + q_3)dt - N(q_2 + q_3)dt \quad (1.4)$$

式中 dG ——系统中盐分的增量;

N_0 ——补充水中盐分的浓度;

N —— t 时刻循环水中该种盐分的浓度;

dt ——时间的增量。

t 时刻溶于循环水中盐分的总量为:

$$G = WN \quad (1.5)$$

式中 W ——循环水系统中水的体积 (米³)

对方程式 (1.5) 微分, 得:

$$dG = WdN \quad (1.6)$$

系统中水的体积 (W) 可通过循环水量 (Q) 和一个循环周期所持续的时间 (a) 来表示:

$$W = aQ \quad (1.7)$$

一个循环周期所持续的时间, 即系统中水循环一次的时间, 与系统中水的体积 (W) 成正比, 与循环水量 (Q) 成反比。

解方程式 (1.4)、(1.6) 和 (1.7) 得:

$$aQdN = N_0(q_1 + q_2 + q_3)dt - N(q_2 + q_3)dt \quad (1.8)$$

由此得

$$\frac{dN}{dt} = \frac{N_0}{a} \frac{(q_1 + q_2 + q_3)}{Q} - \frac{N}{a} \frac{(q_2 + q_3)}{Q} \quad (1.9)$$

因为 q_1/Q , q_2/Q , q_3/Q 等于以小数表示的 P_1 、 P_2 和 P_3 , 那么方程式 (1.9)可改写为:

$$\frac{dN}{dt} + N \frac{P_2+P_3}{a} = N_0 \frac{P_1+P_2+P_3}{a} \quad (1.10)$$

将微分方程 (1.10) 积分后, 则可获得在系统连续不断地补充水並连续排污的条件下, 循环水中易溶解盐分浓度变化的规律为:

$$N = \frac{P_1+P_2+P_3}{P_2+P_3} N_0 - \frac{P_1}{P_2+P_3} N_0 e^{-\frac{P_2+P_3}{a} t} \quad (1.11)$$

方程式 (1.11) 的相互关系示于图1.2, 由图中看出, 系统中盐分的浓度按渐近线方式接近极限值的曲线变化:

$$N_{np} = \frac{P_1+P_2+P_3}{P_2+P_3} N_0 \quad (1.12)$$

式中 N_{np} ——盐分的极限浓度值。

在 t 时刻, 盐分浓度的极限值和瞬时值之间的差值按以下公式计算

$$N_{np} - N = \frac{N_0 P_1}{P_2 P_3} e^{-\frac{P_2+P_3}{a} t} \quad (1.13)$$

从图1.2可见, 循环水中盐分的浓度最初增加很快, 但以后随着浓度的增加, 从系统中随风吹和排污带走的盐量就增大, 与此同时, 随补充水进入系统的盐量不变, 这样, 系统中盐分浓度的增长过程变缓。

在系统中可能达到的盐分极限浓度, 根据公式 (1.11), 取决于水的运行参数 P_1 、 P_2 和 P_3 。

P_1 和 P_2 的数值与水在冷却设备内的温降和冷却设备的结构有关, 但在每个系统的具体条件下变化很小; 可见, 循环水中盐分的极限浓度的变化, 主要是由排污量 P_3 的变化引起的。

图1.3示出,在不同的排污量下,循环水不产生沉积的盐分浓度的变化曲线。从这些曲线的分析得出,在稳定运行的情况下,排污量越大所得到的盐分极限浓度越小。从该图同样可见,系统基本达到稳定运行时所需的运行时间与排污量成反比。这个时间与每一循环所持续的时间有关。

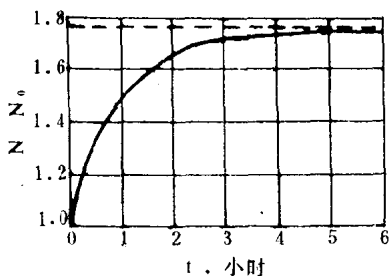


图 1.2 在连续地和均匀地往系统中补充水并排污的条件下,循环水中易溶解盐分浓度随时间的变化

不产生沉积盐分的浓缩倍数等于循环水中盐分和补充水中盐分的浓度之比。用常数 N_0 。除方程式 (1.11) 的两边,可获得这个倍数值:

$$k_{k.c} = \frac{N}{N_0} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} - \frac{P_1}{P_2 + P_3} e^{-\frac{P_2 + P_3}{a} t} \quad (1.14)$$

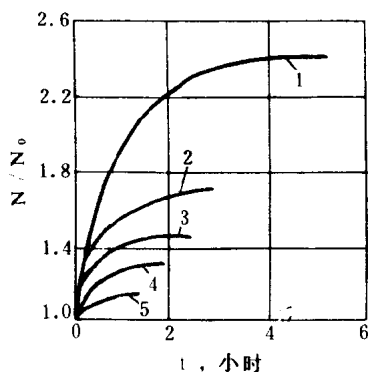
这个倍数的变化规律与不产生沉积盐分浓度 N 的变化规律相似 (见图1.2)。在稳定运行的情况下,浓缩倍数的极限值为:

$$k_{k.c, \text{np}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} \quad (1.15)$$

这个倍数的极限值和按公式 (1.14) 确定的在 t 时刻的瞬时浓缩倍数之差为:

$$k_{k.c, \text{np}} - k_{k.c, t} = \frac{P_1}{P_2 + P_3} e^{-\frac{P_2 + P_3}{a} t} \quad (1.16)$$

当 $t \rightarrow \infty$ 时, 根据公式 (1.16), 这个差值趋近于零。在不同排污量下, 不产生沉积盐分的浓缩倍数变化规律与这些盐分的浓度变化规律相似 (见图1.3)。



曲 线	1	2	3	4	5
$P_2 + P_3, (\%)$	1	2	3	5	10

图 1.3 在连续地和均匀地往系统中补充水和排污的条件下, 不同排污量与循环水中易溶解盐分浓度的变化

4. 在间歇补充水的条件下, 不产生沉积的盐分浓度和浓缩倍数的计算方法

除上述最广泛采用的连续补偿水量损失的循环水系统外, 还采用间歇补充水和水的体积经常变化的系统。

这些系统的特点是循环水中盐分浓度变化的规律与上述系统中盐分浓度的变化规律不同。它们是由这些系统水的运行特点所决定的。Л. И. 古切连科推导出一个反映系统循环水不产生沉积的易溶解盐分浓度变化规律的公式^[22]。

首先研究, 系统用水充满后, 运行的第一阶段, 即由于系统蒸发、风吹和排污的损失, 系统中水的体积从开始的 W_0 减少到某一指定体积 W_1 的阶段。在这种情况下, 不产生沉积盐分的瞬时增值以微分方程式表示:

$$dG = -N(q_2 + q_3)dt \quad (1.17)$$

式中 dG ——系统中不产生沉积盐分的增值;

N ——在某一时刻 t ，这些盐分的浓度；

q_2, q_3 ——系统中的风吹和排污损失的绝对值。

在 t 时刻，系统中不产生沉积盐分的总量 (G) 为：

$$G = WN \quad (1.18)$$

式中 W —— t 时刻系统的水的体积。

对方程式 (1.18) 微分，得：

$$\frac{dG}{dt} = \frac{dW}{dt}N + \frac{dN}{dt}W \quad (1.19)$$

把方程式 (1.17) 代入式 (1.19)，得：

$$\frac{dW}{dt}N + \frac{dN}{dt}W + N(q_2 + q_3) = 0 \quad (1.20)$$

系统中水体积的变化用方程式表示：

$$W = W_0 - (q_1 + q_2 + q_3)t \quad (1.21)$$

式中 q_1 ——系统中水蒸发损失的绝对值。

对方程式 (1.21) 微分，得：

$$\frac{dW}{dt} = -(q_1 + q_2 + q_3) \quad (1.22)$$

在以下的计算中，为了书写的方便，采用下列符号：

$$(q_1 + q_2 + q_3) = A; \quad (q_2 + q_3) = B$$

用所采用的符号，並解方程式 (1.20)，(1.21) 和 (1.22)，得：

$$-AN + \frac{dN}{dt}(W_0 - At) + NB = 0 \quad (1.23)$$

由此，

$$N(B - A) + \frac{dN}{dt}(W_0 - At) = 0 \quad (1.24)$$

将变数分离出来后，微分方程 (1.24) 变为以下形式：