

城市固废资源化利用系列丛书

工业污水及渗滤液 处理技术

陈广飞 冯向鹏 董健 李冀闽 主编

GONGYE WUSHUI JI
SHENLUYE
CHULI JISHU



化学工业出版社

城市固废资源化利用系列丛书

工业污水及渗滤液 处理技术

陈广飞 冯向鹏 董健 李冀闽 主编

GONGYE WUSHUI JI
SHENLUYE
CHULI JISHU



化学工业出版社

· 北京 ·

本书共分6章,第1章介绍了水资源及废水产生情况,第2章介绍了工业中水、盐平衡的计算方式;第3章综合介绍了反渗透除盐技术,其中涉及反渗透原理以及反渗透膜的介绍,并对膜的污染与防治及其阻垢技术进行了介绍,对杀菌灭藻、膜的清洗也进行了介绍;第4章对循环冷却水的水质稳定技术进行了介绍,其中涉及循环水的结垢、阻垢、腐蚀与缓蚀技术;第5章结合首秦具体案例对中水除盐技术进行了深入描述分析,对相关类似工程具有指导意义;第6章针对城市固废、生活垃圾产生的渗滤液水质特点进行了分析,介绍了目前较常用的渗滤液处理设备,并结合具体的工程实例进行了阐述。

本书适用于污水处理领域、环境保护领域等相关专业人士参考学习,也可以作为大中专院校学生用书。

图书在版编目(CIP)数据

工业污水及渗滤液处理技术/陈广飞等主编. —北京:
化学工业出版社, 2015. 7
(城市固废资源化利用系列丛书)
ISBN 978-7-122-24248-8

I. ①工… II. ①陈… III. ①工业废水-污水处理
IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 126154 号

责任编辑: 廉 静 张双进
责任校对: 王素芹

装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 8½ 字数 210 千字 2015 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

近年来,随着经济的飞速发展和人口的增长,我国用水量与日俱增。而随着全球气候和环境的变化,我国水资源的总量正在明显减少,甚至水资源相对丰富地区也出现了区域性甚至流域性缺水的现象。据统计,我国目前人均水资源 2185m^3 ,不足世界平均水平的三分之一,一些流域人均占有量更低,生态严重恶化的地区已出现河流断流、湖泊干涸、湿地萎缩、绿洲消失。

而在水资源日益减少的同时,我国工业迅速发展,国内污水产生量与种类迅猛增加,对水体的污染也日趋广泛和严重,威胁人类的健康和安全。对于保护环境来说,工业废水以及城市污水的处理非常必要。工业废水的处理虽然早在 19 世纪末已经开始,并且在随后的半个世纪进行了大量的试验研究和生产实践,但是由于许多工业废水成分复杂,性质多变,仍有一些技术问题需要解决。而城市污水与工业污水相比,具有很大的不同,特别是 BOD、COD 等指标,超高的 BOD、COD 指标使城市污水的处理也成为一道难题。本书对钢铁行业污水与城市污水的处理技术进行了阐述,供广大读者参考、交流。

本书在编写过程中,得到了首钢技术研究院刘旭明专家、北京科技大学冶金与生态工程学院刘晓明副教授的大力帮助,同时也得到了业界相关人士的大力支持,在此一并表示感谢。

限于编者水平和时间,书中难免有疏漏之处,敬请读者予以批评指正。

编者

2015 年 5 月于北京

第1章 绪论

1.1 全球水资源状况	1
1.2 我国水资源现状	2
1.3 工业水资源消耗情况	2
1.4 工业废水减量化	5

第2章 工业水系统中水、盐平衡计算

2.1 水量平衡	7
2.1.1 总进水	7
2.1.2 总出水	7
2.1.3 水量平衡计算汇总	10
2.1.4 水量平衡计算数据的验证	10
2.2 盐量平衡	10
2.2.1 水系总进盐量	11
2.2.2 水系的总出盐量	12
2.2.3 盐量平衡计算	13
2.2.4 盐量平衡计算数据的验证	13

第3章 反渗透除盐技术

3.1 反渗透原理及技术特点	15
3.1.1 反渗透原理	15
3.1.2 反渗透膜材质	16
3.1.3 反渗透膜构型	18
3.2 污染和预处理	21
3.2.1 污染	21
3.2.2 反渗透的预处理	26
3.2.3 反渗透膜的污染防治	26

3.2.4 反渗透专用阻垢剂研究进展	28
3.3 杀菌灭藻	33
3.3.1 污染类型	33
3.3.2 微生物黏泥在反渗透膜上的形成过程及原因	34
3.3.3 引起反渗透膜生物污染的因素和污染源	34
3.3.4 反渗透给水微生物的控制	35
3.3.5 微生物污染的控制	35
3.4 清洗	36
3.4.1 清洗剂	38
3.4.2 化学清洗条件	39
3.4.3 清洗效果评价	39

第4章 水质稳定技术

4.1 国内外循环水处理行业现状	40
4.2 循环冷却水系统运行方式	44
4.3 结垢腐蚀倾向判断	45
4.3.1 Langelier 指数及 Ryznar 指数	46
4.3.2 腐蚀结垢判断	48
4.4 结垢与阻垢	50
4.4.1 结垢	50
4.4.2 阻垢	55
4.5 腐蚀与缓蚀	58
4.5.1 腐蚀	58
4.5.2 腐蚀电池	60
4.5.3 缓蚀	61

第5章 中水除盐技术案例分析

5.1 实例的研究背景	66
5.2 调研	67
5.2.1 水系水量平衡调查	67
5.2.2 水系盐量平衡调查	68
5.2.3 估算除盐设施的规模	69
5.3 中试试验	70
5.3.1 中试流程的确定	70
5.3.2 原理简介	71
5.3.3 实验数据及分析	72
5.3.4 结论	78

5.4 现场应用及调试	79
5.4.1 除盐站工艺流程及说明	79
5.4.2 调试	80
5.4.3 设备运行监测数据及分析	91
5.5 主要工艺问题的研究与改进	91
5.5.1 极限最小浓水量控制的研究	91
5.5.2 中水悬浮杂质的控制的研究	92
5.5.3 中水水质的控制的研究	94
5.5.4 pH 调整剂的研究	94
5.6 水系改善情况	95
5.6.1 水质改善情况	95
5.6.2 现水系水量平衡及盐量平衡	95
5.7 总 结	97
5.7.1 使用创新性	97
5.7.2 工艺创新性	97
5.7.3 药剂使用创新性	98

第6章 渗滤液处理

6.1 垃圾渗滤液水质特点分析	99
6.1.1 垃圾渗滤液水质特点	99
6.1.2 渗滤液水质的影响因素	100
6.1.3 渗滤液水质	101
6.2 几种渗滤液处理的常用工艺简介	101
6.2.1 膜生物反应器 (MBR)	101
6.2.2 升流式厌氧污泥床工艺 (UASB)	104
6.2.3 碟管式反渗透工艺 (DTRO)	108
6.2.4 A/O 工艺	110
6.2.5 序批式活性污泥工艺 (SBR)	112
6.3 渗滤液处理的常用组合工艺	116
6.3.1 设计实例一	116
6.3.2 设计实例二	118
6.3.3 设计实例三	118
6.3.4 设计实例四	123

参考文献

第1章 | 绪 论

水是生命之源，地球上所有的动植物都依赖水而生存。它是不可替代的宝贵资源。据报道到 2025 年，世界上 1/3 的人口将生活在水资源紧张的环境中。水资源短缺和日益严重的水污染阻碍了经济和农业的发展，破坏了生态系统。到 2050 年左右，人类将面临前所未有的水资源危机。

1.1 全球水资源状况

过去人们认为，地球上的水是取之不尽，用之不竭的，因为地球表面 70% 被水覆盖。但事实是地球 13.86 亿立方千米的总水体中，约 96.5% 为咸水，其余 3.5% 为淡水，而其中大部分淡水又以冰川的形式存储在两极地区。与人类生活和生产活动密切相关又比较容易开发利用的淡水约为 400km^3 ，仅占全球总水量的 0.3%，主要是河流水、湖泊水和地下水。全球陆地面积平均年降水量为 800mm，由于降水时空分布不均，世界上 60% 以上地区缺水，尤其是在中东和北非地区，缺水更为严重。随着人口的增加，城市化的加速，淡水资源短缺已成为世界性的生态问题之一，将成为全球经济发展和粮食生产的制约因素。1998 年 3 月“水与可持续发展”部长级会议在巴黎召开。在会议上，各方人士认真讨论了水资源与可持续发展的关系，并指出水资源消耗的不断增长已经与可利用的水资源储量不相符。2002 年 8 月全球水伙伴关系组织、国际水协会、国际水资源协会、水环境联合会、世界水理事会、世界可持续发展商业理事会、斯德哥尔摩国际水问题研究所等组织机构在斯德哥尔摩举行的国际水资源问题研讨会发表声明，目前世界上仍有 12 亿人得不到安全用水的保证。如不立即采取行动，到 2025 年，水供应紧张的人口占世界人口的比例将从现在的 1/3 增至 2/3。在 2002 年约翰内斯堡召开的可持续发展世界首脑会议认为，目前人类在水领域面临非常严重的挑战，水和其他基础领域状况的恶化会加速全球环境的破坏，而环境破坏也会使人类在基础领域陷入更大的困境，如果不及时采取有力的措施，人类可持续发展的梦想将会成为泡影。

在这种形势下，为了解决淡水缺乏问题，开发新的淡水资源势在必行。人们通过异地调水、海水淡化、雨水蓄用、极地拖冰、人工降雨、污水回用等多种途径开发新的水资源。由于人类的 70% 居住在距大海不到 120km 的地方，而海水占地球总水量的 97%，因此许多国家都将浩瀚的大海作为获取淡水的主要来源。海水淡化作为现有水源的有利补充措施，在很大程度上缓解了部分地区的缺水状况。尤其在中东地区和许多岛屿，淡化水已成为其基本水源。从 20 世纪 50 年代中期以来，海水淡化技术得到了迅速发展。

1.2 我国水资源现状

从世界范围来看，我国是世界上 21 个最缺水的国家之一，淡水资源总量为 28124 亿立方米，占全球水资源的 6%，仅次于巴西、俄罗斯和加拿大，居世界第四位；但人均只有 2171m³，相当于世界人均占有量的 1/4，在世界上名列 121 位。扣除难以利用的洪水径流和散布在偏远地区的地下水资源后，我国实际可利用的淡水资源量则更少，仅为 11000 亿立方米左右，人均可利用水资源量仅为 900m³，并且其分布极不均衡，淡水资源紧缺状况日益严重。全国 300 多个城市中有 108 个城市缺水，40 个城市进入世界严重缺水之列。从我国区域分布来看，我国沿海经济发达、人口密集，以全国 13% 的土地，养活全国 40% 的人口，创造 60% 的国民生产总值；但淡水资源极其贫乏，大部分城市人均水资源占有量在 500m³ 以下，大连、青岛、天津、烟台、舟山等沿海城市在 200m³ 左右，不论从长远的角度和战略的高度来看都必须解决用水问题。我国有 18000km 的海岸线，海洋面积达 3000000km²，海水淡化是解决沿海地区淡水短缺问题的重要途径。要解决人类用水短缺问题，关键是增加淡水资源总量，海水淡化可以做到这一点，因此海水淡化是我国水资源开发利用的一个重要举措，势在必行。

1.3 工业水资源消耗情况

工业用水约占总耗水量的 1/4，几乎没有一个工业领域不用大量的水（见表 1.1）。尽管一些工业用水可取自于河水与井水，但是工业用的这些水都是公共水资源，都已被处理成达到饮用水水质标准。这意味着根据水的特定用途，其微生物水平要更高，矿物质和有机物含量要降低，水要进一步净化（见表 1.2、表 1.3）。虽然在过去的 15 年中，世界上一些地区的水耗实际上是下降的（见表 1.4），但是供水和排水的成本同一时期是上升的。根据英国的资料，在过去 15 年，供水和污水处理的平均成本增加了 3 倍以上，即从 1984~1985 年的£1.48（\$2.12）增长到 1999~2000 年的£4.90（\$7.94）。在世界上更为干旱的地区，该数据更高：在 1980~1995 年间，水成本在加利福尼亚增加了 10 倍。水资源成本中的一些费用是用于终端用户需要的相应水质，没有增加淡水需求和排放废物。现有市政水回用的经济性完全取决于市政水水质和用户需要水质之间的一致性。

表 1.1 不同工业领域的水需求

工业	水需求	工业	水需求
纸张	29m ³ /t 纸	汽车制造业	760m ³ /车(轮胎生产)
新闻纸	9m ³ /t 纸	印染业	100m ³ /t 纤维
酿造业	10~15m ³ /m ³ 啤酒	皂业	2m ³ /t 皂
乳品业	140m ³ /m ³ 奶	电力工业	3m ³ /(MW·h)(蒸汽)
糖业	8m ³ /t 糖		60m ³ /(MW·h)(冷却)
汽车制造业	450m ³ /车(金属生产)		

表 1.2 一般工业水质标准

项目	类别						
	软化水	脱碱水	去离子水	净化水	无热原水	高纯水	超纯水
电导率/($\mu\text{S}/\text{cm}$)			20	5	5	0.1	0.06
电阻/ $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$			0.05	0.2	0.2	10	18
TDS/(mg/L)			<10	<1	<1	<0.5	<0.005
pH 值			5.0~9.5	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~7.5	
LSI	-1~+1	-1~+1					
硬度/($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	<20		0.1	<0.1	<0.1		0.001
碱度/($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)		<30					0.001
离子/(mg/L)							0.001
硅/(mg/L)			0.5	0.1	0.1	<0.01	0.002
TSS/(mg/L)			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	未检测
浊度 NTU			<0.5				
SDI			<5	<3	<3	<1	<0.5
颗粒数/(个/mL)				1	1	1	0.1
COD/(mg/L)				<0.1	<0.1		
TOC/(mg/L)							0.05
微生物/(cfu/mL)				<10	<1	<1	<1
热原/(EU/mL)					<0.25		<0.25

表 1.3 特定应用的一般水质要求

用途	工业	应用	水质
灭火	所有		1(天然水)
灌溉	农业		1(河水)
室内	办公室	饮用水	2(可饮用水)
	酒店/娱乐场所	服务	2/3
	保健	洗衣	3
蒸汽	过程工业	加热	3/4
		气提	3/4
		高压蒸汽	5
	发电	开动汽轮机	8
传热	制造业	关闭加热和冷却系统	3/4
	加工业	打开循环冷却系统	3/4
	办公室	空调	5
	酒店/娱乐场所		
	保健		
工艺水	重化学工业	产品洗涤	2/3
	精细化学	溶剂	4
	食品/软饮料	瓶/容器洗涤	5
	酿造	场地清洗(CIP)	2
	制药		6/7
	金属加工		5
	照相		5
	实验室		8
	半导体	超纯水	9
产品	食品/软饮料	产品质量	4
	酿造	贮存期限	2/4
	制药	非肠道	7
	化妆品	洗净剂/保湿剂/局部保护剂	5/6

表 1.4 欧洲国家水耗

单位：亿立方米

国家	家用和小公司		工业及其他		总计	
	1980 年	1997 年	1980 年	1997 年	1980 年	1997 年
奥地利	155	160	100	77	255	237
比利时	104	118	59	42	163	160
丹麦	165	136	96	70	261	206
芬兰		155		97		252
法国	109	151	58	54	167	205
德国	139	130	52	54	167	205
匈牙利	110	104	107	49	217	153
意大利	211	228	69	58	280	286
卢森堡	183	172	76	81	259	253
荷兰	142	166	37	43	179	209
西班牙	157	145	58	95	215	240
瑞典	195	188	120	69	315	257
英国	154		100		254	324

整个工业已经树立了上述的重点概念。工业过程中已经方便地将紧迫性分析用于强化传热效率。水夹点方法学是基于水质和水量，即仅基于质量而不是热量的简化效益分析，是简单水审计的延伸。另一方面，水紧迫性分析工具尚未达到高级水平，可以结合水净化的单个处理过程，而这些水处理过程的性能是难以可靠预测的。

实际上用水量很大程度取决于公司的策略或各个工厂的管理，尤其是内部管理。这里所说的内部管理是有关工厂内单个装置的运行方式，即限定淡水需求量。从水需求量管理、再用、循环回用的实际例子（表 1.5）可以看出，要达到成本收益，取决于水管理现状问题的复杂程度。

表 1.5 英国水管理问题的实例

类型	应用	主要问题说明	解决结果	成本收益
审计	赛璐玢	750m³/d 水不明原因	阻止泄漏	年节约£100000
审计	生产厂	主要用于单程冷却，12m³/d	适用于冷却器 (£2000)	6 个月收回成本
内部管理	树脂厂	从点源溢出污染的洗涤水	液滴塔板与点源匹配	废水的 COD 降低了 75%，年节约成本£3000
内部管理	电镀厂	将电镀槽中的化学药剂高效移入淋洗槽	改进电镀槽周围的排水	降低了水质水污染，年节约£1000
再用	电镀厂	0.4m³ 水/h 供入 3 个平行淋洗槽，总水量 1.2m³/h	逆流连续供应 3 个淋洗槽	节水 50%，£1500
循环回用	镀铬厂	管理者要求镉零排放	安装去离子装置，回收废水中的镉和水	12 个月收回成本

表 1.2 和表 1.3 表明，工业要求的水质因用途不同而大不相同。有些水质指标如 SDI 在一些用途中是一项极其重要的指标，而在另一些用途中则没有意义。一般地，在任何一个工业部门，对水的纯度要求并不高。例如，在表 1.1 中的数据可以看出，电力工业中冷却水用量是锅炉给水要求的“高纯度”水量的 20 倍。这种情况约占需求量的 90%。这种“高纯度

水”生产时采用吸附/膜分离组合工艺。另一方面,对于单程的冷却用水并不需要满足化学、生物的技术指标,而仅需要低于某一温度。

对于一些工业过程,排水水质与供水水质并无多大差别。例如,冷却塔蒸发冷却过程产生的浓水不含化学药剂,即使有也很少,这些化学药剂是根据水中溶质的质量流量加入的。然而,对于大多数工业部门,排放水中含有由于工业活动所产生的大量污染物。正如前面所指出的那样,排放水的水质瞬时变化很大,在许多情况下要将这些水处理成可靠水质,其处理费用很高,妨碍了水回收和再用,这就要更多地建立水处理过程,使各个过程中的水力学性能与污染物变化符合无障碍技术。另一方面,能提供高度选择性手段处理水的膜过程,是改变供水水质、提供可靠的高品质水的强有力的方法。

随着我国经济的高速发展,水资源的匮乏日趋严重。其中工业用水量随工业生产规模的扩大而快速增加。同时工业废水的排放量增加,我国水污染问题日趋尖锐。

1.4 工业废水减量化

工业废水零排放的概念在学术界有所争论。一种观点认为,实现工业废水绝对的零排放会造成水处理投资及运行费用巨大。通过合理地减少工业废水量,增强企业的污水处理水平,发挥区域性污水处理设施等,建立完备的环保法规,并配合政府的严厉监管,使工业废水有序排放和处理,使污染可控。另一种观点认为绝对零排放是工业废水的最终出路,尤其是对重污染因子的排放必须通过零排放加以控制。区域性的稀释、降解、自净终归有其能力和时限的限制。

工业废水减量化通过以下五个方面实现。

(1) 第一方面

首先对工业水系进行细致的调研,对工业用水的水量平衡及盐量平衡进行估算。这样可以摸清以下几点。

- ① 通过对工业水系优化后尚有多少污水需处理,可产生多少中水。
- ② 中水除盐后有多少浓排水,并进一步摸清整个工业水系有多少高盐水产生。
- ③ 高盐水含盐量,以确定消纳和处置方式。

(2) 第二方面

水源水的预处理。包括两个方面。一是通过水源水预处理,以提高水源水品质,从而提高水源水重复利用价值;二是通过除盐水代替软化水。软化水在工业用水中大量使用,如锅炉用水及高温换热冷却水系统。软化水在制备过程中离子交换树脂需定期再生,再生过程中使用大量粗盐(氯化钠)或酸,产生高含盐污水。从总体而言软化水制备不除盐,而需加盐,对减少废水排放有极大的负面影响。除盐水制备一般采用反渗透技术,虽然在制备过程中加入少量的阻垢剂、杀菌剂、清洗剂,但混入盐分较少。

(3) 第三方面

提高工业用水重复利用率,减少工业新水用量,减少污水产出量。通过合理用水方式,并配合水质稳定技术的实施,提高工业用水循环率。近些年水质稳定药剂技术的进步,使提高工业用水重复利用率成为可能。

(4) 第四方面

中水除盐。通过对工业污水的处理,使之成为中水。再通过中水除盐,提升中水品质,

以代替部分工业新水。本书重点介绍反渗透技术在中水除盐工艺中的应用以及电吸附技术在中水除盐工艺中的应用，并对这两种技术的特点及优劣进行阐述。

(5) 第五方面

高盐水处理。高盐水处理是确保工业废水减量化乃至废水零排放重要环节。高盐水包括生产工艺中所排放的高盐水及中水除盐所产生的浓排水。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

高盐水处理技术是工业废水处理技术的重要组成部分，也是工业废水处理技术发展的重点。

第2章 工业水系统中水、盐平衡计算

通过调研及理论计算,对工业用水的水量平衡及盐量平衡进行合理的计算。为确定工业用水重复利用率、水中含盐量、浓盐水处理方式及处理规模进行科学的预估。

2.1 水量平衡

为降低某一工业企业工业废水排量,首先需通过对该企业的工业水系进行详细的调研,根据调研所得数据计算该工业水系的水量平衡及盐量平衡,从而提高水源水品质、中水除盐及浓盐水处理提供相关参数。该计算有一定误差,需结合具体企业的水系特点进行修正。

某一工业水系其水系的总进水等于总出水,从而形成该水系的水量平衡。以下对总进水及总出水进行说明。

2.1.1 总进水

总进水 $Q_{\text{进}}$ 包括两项,即水系的直接进水 $Q_{\text{进1}}$ 及其他方式进水 $Q_{\text{进2}}$ 。即

$$Q_{\text{进}} = Q_{\text{进1}} + Q_{\text{进2}} \quad (2.1)$$

(1) 水系直接进水量

$Q_{\text{进1}}$ 为某企业用于工业生产的直接进水,不包括厂区的生活用水、绿化用水等非工业用水,如包括应减除。水系的直接进水较易统计。一般企业直接进水采购于当地的水库、河渠或地下水,这类水源有相应的管理部门管理,实际进水量如有偏差,管理部门和企业中吃亏的一方都会交涉,因此直接进水较易统计。

(2) 其他方式进水量

$Q_{\text{进2}}$ 一般指不纳入水系直接进水的其他进水方式,如企业内生活污水经处理后作为工业用水的补水。但不包括工业污水经处理后的再生水,或称之为中水。因为中水的最初水源仍是水系的直接进水,不可重复计算。

2.1.2 总出水

总出水 $Q_{\text{出}}$ 包括四项,即直接排水 $Q_{\text{排}}$ 、蒸发水 $Q_{\text{蒸}}$ 、落地水 $Q_{\text{地}}$ 、生产工艺所消耗的水 $Q_{\text{工}}$ 。即

$$Q_{\text{出}} = Q_{\text{排}} + Q_{\text{蒸}} + Q_{\text{地}} + Q_{\text{工}} \quad (2.2)$$

(1) 直接排水量

直接排水为直接排出工业水系的废水,包括厂区所排放生活污水。

(2) 蒸发水量

蒸发水特指开路上塔循环冷却水系统（净环开路水系统、软水或除盐水开路水系统、油环水系统）蒸发所带走的水。不包括各类锅炉蒸汽水、生产工艺所用水中蒸发水等。开路上塔循环冷却水系统蒸发量有两种计算方法。

① 方法一。将水系统的散发热认为都是通过系统水蒸发带走的，即水由液态转化为汽态过程中的蒸发潜热。散热量可用下式进行计算：

$$R=C\times M\times \Delta T \tag{2.3}$$

式中， M 为循环水量； C 为比热容 [水的比热容为 $4.2\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$]； ΔT 为温降。

蒸发水量可用式(2.4) 进行计算：

$$M'=\frac{R}{r} \tag{2.4}$$

式中， M' 为蒸发水量； r 为蒸发潜热。

以水系统平均水温为 30°C 为例，水系统蒸发量为：

$$M'=\frac{R}{r}=\frac{4.2\text{kJ}/\text{kg}\times M\times T}{2430.1\text{kJ}/\text{kg}}=0.0173\times M\times \Delta T \tag{2.5}$$

如果循环冷却水系统温差 ΔT 为 10°C ，蒸发水量为：

$$M'=0.0173M=1.73\%M$$

即蒸发量为循环水量的 1.73% 。由于将所有的散热方式皆考虑为蒸发，没考虑到部分热量是通过水汽交换，因此该值偏大。

水的蒸发潜热和大气压及水温有关，表 2.1 为 1atm 下，不同水温的蒸发潜热值。

表 2.1 不同水温的蒸发潜热（1atm）

水温/ $^{\circ}\text{C}$	蒸发潜热/ (kJ/kg)	水温/ $^{\circ}\text{C}$	蒸发潜热/ (kJ/kg)
0	2500.9	60	2358.1
10	2477.4	70	2333.6
20	2453.6	80	2308.3
30	2430.1	90	2282.8
40	2406.3	100	2256.8
50	2382.4		

注： $1\text{atm}=101.325\text{kPa}$ 。

② 方法二：根据《工业循环冷却水处理设计规范》GB 50050—2007，其中 5.0.5 条中关于开路系统蒸发量经验公式如下：

$$Q_e=k\times \Delta t\times Q_r \tag{2.6}$$

式中， Q_e 为蒸发量， m^3/h ； k 为气温系数， $1/^{\circ}\text{C}$ ； Δt 为冷塔进出水温差， $^{\circ}\text{C}$ ； Q_r 为循环量， m^3/h 。

气温系数值 k 如表 2.2 所示。

表 2.2 气温系数值

环境温度/ $^{\circ}\text{C}$	k 值/ $(1/^{\circ}\text{C})$	环境温度/ $^{\circ}\text{C}$	k 值/ $(1/^{\circ}\text{C})$
-10	0.0008	20	0.0014
0	0.001	30	0.0015
10	0.0012	40	0.0016

以北京为例， k 值取 0.0014 。则蒸发量为：

$$Q_e=k\times \Delta t\times Q_r=0.0014\times 10\times Q_r=0.014Q_r=1.4\%Q_r$$

即蒸发量为循环水量的 1.4%。由于没有考虑敞口吸水井也有蒸发，因此该值略低，但比利用方法一计算值更为准确。

综上两种方法，蒸发量 $Q_{\text{蒸}}$ 取值为循环水量的 $a\%$ ， $a\%$ 为循环水蒸发系数。

如果该工业企业在中国北方，循环水温差在 $8\sim 19^{\circ}\text{C}$ ，循环水蒸发系数 $a\%$ 可粗略取值为 $1.3\%\sim 1.5\%$ 。如果该工业企业在中国南方，循环水温差在 $8\sim 19^{\circ}\text{C}$ ，循环水蒸发系数 $a\%$ 可粗略取值为 $1.4\%\sim 1.6\%$ 。

中国东北三省、新疆北部、西藏、青海、甘肃、内蒙古及陕西大部年平均温度在 10°C 以下；江淮以北除上述地区的中国北部年平均温度在 15°C 左右；江淮以南中国大部分地区年平均温度为 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ ；两广、云南南部平均温度在 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ ；海南年平均温度在 25°C 以上。中国各地年平均温度如表 2.3 所示。

表 2.3 中国各地年平均温度

地名	2007 年年平均温度/ $^{\circ}\text{C}$	2008 年年平均温度/ $^{\circ}\text{C}$	地名	2007 年年平均温度/ $^{\circ}\text{C}$	2008 年年平均温度/ $^{\circ}\text{C}$
北京	14.0	13.4	武汉	18.5	17.6
天津	13.6	13.3	长沙	18.8	18.3
石家庄	14.9	14.6	广州	23.2	22.4
太原	11.4	10.9	南宁	21.7	20.8
呼和浩特	9.0	7.4	海口	24.1	23.4
沈阳	9.0	8.6	重庆	19.0	18.5
长春	7.7	7.2	成都(温江)	16.8	16.3
哈尔滨	6.7	6.6	贵阳	14.9	14.1
上海	18.2	17.2	昆明	15.6	15.4
南京	17.3	16.1	拉萨	9.8	8.9
杭州	18.4	17.5	西安	15.6	14.9
合肥	17.3	16.4	兰州	11.1	10.6
福州	21.0	20.4	西宁	6.1	5.7
南昌	19.2	18.5	银川	10.4	9.9
济南	15.0	14.6	乌鲁木齐	8.5	8.7
郑州	15.9	15.6			

(3) 落地水量

落地水包括开路循环水系统冷塔飘损水、密闭水系统滴漏水、管道及泵滴漏水、沉淀池、旋流井及吸水井等池体渗漏水等。其中开路水系统冷塔飘损水按循环量的 $0.3\%\sim 0.5\%$ 估算。该值偏大，可涵盖管道及泵滴漏水、旋流井及吸水井等池体渗漏水。其中密闭水系统滴漏水按国标 GB 50050—2007 规定为循环量的 0.1% 估算。即：

$$Q_{\text{落}} = 0.03\% \times F_{\text{开}} + 0.1\% \times F_{\text{闭}} \tag{2.7}$$

式中， $F_{\text{开}}$ 为开路上塔循环水系统循环量； $F_{\text{闭}}$ 为密闭循环水系统循环量。

(4) 工艺消耗水量

以钢铁企业为例，工艺消耗用水有：烧结增湿水、焦化工艺用水（不含冷却循环水）、炼铁冲渣水、炼钢焖渣水、洗气系统（高炉煤气洗气水系统和转炉煤气洗气水系统）补水、各类锅炉用水（电厂锅炉炉内所用除盐水、中低压产汽工业锅炉所用软化或除盐水、废热锅炉所用软化或除盐水）、软化器或除盐设施所产高盐水、浊环水系统及污水处理厂污泥带走的水等。以上各类工艺带走的水所共有的特性是单向供水，只去不回，在工艺中消纳，无排水或专项排水，不与水系主排水混合。

2.1.3 水量平衡计算汇总

$$Q_{\text{进}} = Q_{\text{出}} \quad (2.8)$$

$$Q_{\text{进}1} + Q_{\text{进}2} = Q_{\text{排}} + Q_{\text{蒸}} + Q_{\text{地}} + Q_{\text{工}} \quad (2.9)$$

$$Q_{\text{进}1} + Q_{\text{进}2} = Q_{\text{排}} + a\% \times Q_{\text{r}} + 0.03\% \times F_{\text{开}} + 0.1\% \times F_{\text{闭}} + Q_{\text{工}} \quad (2.10)$$

2.1.4 水量平衡计算数据的验证

验证水量平衡计算数据是否存在较大的偏差乃至错误，可通过以下两种方法验证。

方法一：通过清水系的进水量、开路及密闭式水系统循环量及工艺耗水量，计算出理论 $Q_{\text{排}}$ ，与水系实际直排水量进行比对。其中厂区的生活污水等非工业排水与工业废水混排，应进行相应减除。

方法二：通过水系进排水浓缩倍率与水系中循环水系统加权平均浓缩倍率比对，考虑到水系中如有离子交换工艺或氯系杀菌剂使用易造成氯离子非浓缩带入，建议采用钾离子为浓缩倍率计算参数。

(1) 水系进排水浓缩倍率计算

浓缩倍率：各水系统如无氯系水处理药剂（氯气、次氯酸钠、次氯酸钙、碱式氯化铝等）影响，浓缩倍率可用氯根为参数计算，否则应以钾离子为参数。排水钾离子需减除高盐等钾离子非浓缩带入。

进水平均钾离子含量等于各股进水钾离子含量乘以各股进水量的加权值之和。即：

$$[K^+]_{\text{进水}} = \frac{\sum [K^+]_n \times Q_n}{\sum Q_n} \quad (2.11)$$

式中， $[K^+]$ 为钾离子浓度； Q_n 为各股进水量。

$$\text{水系进排水浓缩倍率：} \quad N_1 = \frac{[K^+]_{\text{排水}}}{[K^+]_{\text{进水}}}$$

(2) 循环水系统加权平均浓缩倍率计算

循环水系统加权平均浓缩倍率：

$$N_n = \frac{\sum N_n \times Q'_{\text{排}n}}{\sum Q'_{\text{排}n}} \quad (2.12)$$

式中， N_n 为各水系统浓缩倍率； $Q'_{\text{排}n}$ 为各水系统排水量。

各水系统排水量计算：就单一循环水系统而言浓缩倍率为：

$$N_2 = \frac{Q'_{\text{补}}}{Q'_{\text{排}}} \quad (2.13)$$

式中， $Q'_{\text{补}} = Q'_{\text{蒸}} + Q'_{\text{排}}$ ，因此 $N_2 = \frac{Q'_{\text{蒸}} + Q'_{\text{排}}}{Q'_{\text{排}}}$ ，由于 $Q'_{\text{蒸}} = a\% \times Q_{\text{r}}$ 各水系统排水量

$Q'_{\text{排}} = \frac{a\% \times Q_{\text{r}}}{N-1}$ ，通过比对 N_1 与 N_2 的符合度，评定水量平衡计算误差。

2.2 盐量平衡

$$S_{\text{进}} = S_{\text{出}}$$

式中， $S_{\text{进}}$ 为水系的总进盐量； $S_{\text{出}}$ 为水系的总出盐量，某一工业水系其水系的总进盐量等于总出盐量，从而形成该水系的盐量平衡。