

水处理工艺设计计算

崔玉川 袁果

水利电力出版社

内 容 提 要

本书通过工艺设计计算例题的形式，具体介绍给水处理构筑物及设备的主要工艺设计计算内容、方法和要求。例题内容包括：水的混凝、沉淀、澄清、气浮、过滤、消毒、吸附、软化、除盐、水质稳定和冷却等。共计94个例题。

本书可供给水排水、电厂化学、环境工程及工业锅炉水处理专业的工程技术人员和大专院校师生参考。

水处理工艺设计计算

崔玉川、袁瑛

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 16.25印张 430千字 2插页

1988年6月第一版 1988年6月北京第一次印刷

印数0001—9120册

ISBN 7-120-00038-1

TK·18 定 价：4.95元

前 言

随着城市和工业的迅速发展，人民生活水平的不断提高，用水量急剧增加，对水质的要求也越来越高。为了保证人民生活 and 工业生产的需要，对各种用途的给水必须予以恰当处理。同时，为了充分利用日趋紧张的淡水资源，保护环境不受污染，工业用水应尽量循环使用和循序使用。

本书意在通过计算例题的形式，对给水处理基本构筑物（设备）工艺设计计算的内容、方法和要求，进行具体深入地介绍。书中编写了城市生活与工业生产用水的净化、纯化、消毒和冷却等水处理工艺设计计算例题共94个。其中大部分是在实际工程设计计算资料基础上加工整理而成的。

对计算过程中所必需的公式和图表，本书采用边计算边引出的方法，进行简要介绍。计算例题的内容组成，一般分“已知条件”和“设计计算”两部分，但对一些新型水处理构筑物和装置，在进行具体计算之前，首先在“设计概述”中，对其构造组成、工作原理和设计参数进行简要介绍。

本书系水处理工艺设计计算参考书，亦是一本设计工作入门读物。读者仿照例题即可完成一般的设计计算。本书可供给水排水、电厂化学、环境工程及工业锅炉水处理专业的工程技术人员和大专院校师生使用参考。

书中的第一～五、八、九章由崔玉川编写，第六、七章由袁果编写。全书由崔玉川主编，潘骏寿、李仲鲁担任审稿工作。

在本书编写中，选用了一些单位和个人的资料，得到了许保玖教授的帮助和指导，胡振国、王李虎等同志也协助作了一些具体工作。在此谨向他们表示衷心感谢。由于编者的水平和收集的资料有限，书中错误和不妥之处，敬请读者指教。

编者

1986.12.

目 录

前 言

概 述	1
-----	---

第一章 混凝设施	4
----------	---

§ 1-1 药剂配制投加设备	5
----------------	---

例题1-1 药剂溶解池和溶液池的计算	5
--------------------	---

例题1-2 压缩空气搅拌调制药液的计算	9
---------------------	---

例题1-3 压力式孔板计量投药器的计算	12
---------------------	----

例题1-4 投药水射器的计算	15
----------------	----

例题1-5 药剂仓库的计算	20
---------------	----

§ 1-2 混合设备	22
------------	----

例题1-6 压力管道式混合的计算	22
------------------	----

例题1-7 分流隔板式混合槽的计算	24
-------------------	----

例题1-8 桨板式机械混合池的计算	27
-------------------	----

§ 1-3 反应设备	29
------------	----

例题1-9 平流式隔板反应池的计算	30
-------------------	----

例题1-10 整流式隔板反应池的计算	36
--------------------	----

例题1-11 回转式隔板反应池的计算	37
--------------------	----

例题1-12 旋流式反应池的计算	42
------------------	----

例题1-13 圆锥形涡流式反应池的计算	45
---------------------	----

例题1-14 水平轴式等径叶轮机械反应池的计算	48
-------------------------	----

例题1-15 垂直轴式等径叶轮机械反应池的计算	53
-------------------------	----

例题1-16 多级旋流式反应池的计算	59
--------------------	----

第二章 沉淀池	68
---------	----

§ 2-1 平流式沉淀池	70
--------------	----

例题2-1 平流式自然沉淀池的计算	72
-------------------	----

例题2-2 按沉淀时间和水平流速计算平流式沉淀池	73
--------------------------	----

例题2-3 按面积负荷计算平流式沉淀池	75
---------------------	----

例题2-4 人工排泥平流式沉淀池的计算	77
---------------------	----

例题2-5	平流式沉淀池污泥斗的计算	81
例题2-6	平流式沉淀池穿孔排泥管的计算	83
例题2-7	平流式沉淀池进水穿孔墙与出水三角堰的计算	90
§ 2-2	辐流式沉淀池	92
例题2-8	辐流式自然沉淀池的计算	93
§ 2-3	斜板与斜管沉淀池	95
例题2-9	上向流斜管沉淀池的计算	98
例题2-10	上向流矩形断面木质斜管沉淀池系统设计计算	106
例题2-11	横向流斜板沉淀池的计算	113
例题2-12	同向流斜板沉淀池的计算	117
第三章	澄清池和气浮池	130
§ 3-1	悬浮澄清池	132
例题3-1	无穿孔底板悬浮澄清池的计算	138
例题3-2	有穿孔底板圆形双层式悬浮澄清池的计算	143
§ 3-2	脉冲澄清池	150
例题3-3	真空式脉冲澄清池的计算	152
例题3-4	虹吸式脉冲澄清池部分的计算	160
例题3-5	钟罩式虹吸脉冲发生器的计算	165
§ 3-3	机械搅拌加速澄清池	172
例题3-6	机械搅拌加速澄清池池体部分的计算	175
例题3-7	机械搅拌加速澄清池搅拌设备工艺计算	183
例题3-8	水力驱动机械搅拌加速澄清池动力计算	187
§ 3-4	水力循环加速澄清池	195
例题3-9	水力循环加速澄清池的计算	197
例题3-10	辐射穿孔管—环形集水槽式出水系统的计算	205
§ 3-5	气浮池	213
例题3-11	平流式部分回流压力溶气气浮池的计算	220
第四章	过滤池	226
§ 4-1	普通快滤池	229
例题4-1	普通快滤池池体的计算	233
例题4-2	普通快滤池的计算	234
例题4-3	固定管式表面冲洗系统的计算	240

例题4-4 旋转管式表面冲洗系统的计算	244
例题4-5 压力滤池大阻力配水系统的计算	250
§ 4-2 虹吸滤池	255
例题4-6 矩形虹吸滤池的计算	258
例题4-7 虹吸滤池水力自动控制装置的计算	266
§ 4-3 无阀滤池	273
例题4-8 方形重力式无阀滤池的计算	277
例题4-9 无阀滤池主虹吸管的计算	281
例题4-10 压力式无阀滤池的计算	285
§ 4-4 移动冲洗罩滤池	295
例题4-11 泵吸式移动冲洗罩滤池的计算	299
例题4-12 虹吸式移动冲洗罩滤池的计算	304
第五章 消毒和吸附	310
§ 5-1 氯及漂白粉消毒	310
例题5-1 液氯消毒加氯量及设备选择的计算	310
例题5-2 液氯消毒接触时间的计算	312
例题5-3 漂白粉消毒设备的计算	313
§ 5-2 紫外线消毒	314
例题5-4 横置光源水面式紫外线消毒设备的计算	315
§ 5-3 臭氧消毒	318
例题5-5 臭氧消毒设备选用计算	318
§ 5-4 活性炭吸附	319
例题5-6 活性炭吸附塔基本尺寸的计算	321
例题5-7 粉状活性炭补充量的计算	323
第六章 软化装置	326
§ 6-1 离子交换软化法	326
例题6-1 一级钠离子交换软化系统的计算	327
例题6-2 弱酸性氢离子交换系统的计算	330
例题6-3 氢-钠并联离子交换系统的计算	337
§ 6-2 药剂软化法	342
例题6-4 石灰-苏打软化法的计算	343
第七章 除盐装置	345

§ 7-1 离子交换除盐法	345
例题7-1 H—OH一级除盐系统的计算	347
例题7-2 H—OH一级除盐+混合离子交换器系统的计算	358
例题7-3 弱酸阳离子交换器—除二氧化碳器—强酸阳离子交 换器—阴树脂双层床除盐系统的计算	362
§ 7-2 凝结水精处理	368
例题7-4 凝结水精处理系统的计算	370
§ 7-3 电渗析和反渗透	375
例题7-5 电渗析器几个技术指标的计算	376
例题7-6 最佳电流密度和极限电流密度等的计算	377
例题7-7 膜对电阻和膜对面电阻的计算	379
例题7-8 全部并联(二级一段)方式组装的电渗析器的计算	381
例题7-9 反渗透系统的工艺计算	390
第八章 水质稳定	402
§ 8-1 防结垢稳定处理	404
例题8-1 CaCO_3 溶解平衡时 CO_2 含量的计算	405
例题8-2 循环水极限碳酸盐硬度的计算	407
例题8-3 单纯排污法稳定水质的排污量计算	408
例题8-4 排污-酸化法的有关计算	408
例题8-5 排污-磷化法的有关计算	412
例题8-6 排污-酸化-磷化法的有关计算及运行情况分析	415
§ 8-2 阻垢、缓蚀及杀菌药剂	418
第九章 冷却池和冷却塔	423
§ 9-1 冷却池	423
例题9-1 喷水冷却池的计算	424
§ 9-2 冷却塔	429
例题9-2 绘制干、湿球温度保证率曲线	435
例题9-3 用近似积分法求冷却塔的冷却数	439
例题9-4 用近似积分简化公式求冷却塔的冷却数	442
例题9-5 用近似积分法的简化公式计算机械通风冷却塔的面 积并选风机(新塔设计)	445
例题9-6 用近似积分法计算机械通风冷却塔的冷却水温	

(套用计算)	449
例题9-7 用近似积分法的简化公式计算塔式自然通风冷却塔 的冷却水温(套用计算)	455
例题9-8 用梯形近似积分法计算冷却塔淋水装置体积(新塔 设计)	462
例题9-9 用梯形近似积分图解法求冷却数	466
例题9-10 用平均焓差法计算逆流式机械通风冷却塔的出水 量和塔数(套用计算)	468
例题9-11 用平均焓差法计算横流式冷却塔淋水装置(新塔设计)	471
例题9-12 用终差法(分段积分法)计算逆流式机械通风冷却 塔冷却后水温(套用计算)	475
例题9-13 用水温数法计算冷却塔面积(新塔设计)	481
例题9-14 机械抽风冷却塔固定管式配水系统的计算	483
例题9-15 圆形冷却塔旋转管式配水系统的计算	485
例题9-16 横流式机械抽风冷却塔池式配水系统的计算	489
例题9-17 机械通风冷却塔补充水量的计算	490

附录

一、空气含热量计算图(附图1)	493
二、湿空气密度计算图(附图2)	493
三、湿空气密度修正曲线(附图3)	494
四、温度-饱和水蒸汽焓曲线(附图4)	494
五、纸蜂窝淋水装置冷却数曲线(附图5)	495
六、纸蜂窝阻力曲线(附图6)	496
七、钢丝网水泥板条点滴式淋水装置容积蒸发散热系数曲线 (附图7)	497
八、小间距薄膜板式淋水装置容积蒸发散热系数曲线(附图8)	498
九、空气含湿量曲线(附图9)	498
十、蒸发水带走热量的系数(附表1)	499
十一、饱和水蒸汽压力表(附表2)	502
十二、全国主要城市平均每年最高温度超过5~20d的干、湿 球温度统计表(附表3)	505
十三、冷却塔风机进风口摩擦阻力系数(附表4)	506
十四、常用法定计量单位(附表5)	507
十五、非法定计量单位与法定计量单位换算(附表6)	510

概 述

水和我们人类生活及生产建设有着十分密切的关系。天然水源的水，一般都会受到不同程度的污染，含有各种杂质。但是，在人们的日常生活和生产活动中，不仅需要充足的水量，而且需要合格的水质，特别是随着工业、农业、国防和科学技术现代化的不断发展，对水质提出了越来越高的要求。这就构成了天然水源和用户之间在水质上的矛盾，为此，必须对天然水源的原水水质进行加工，此即水处理。

水处理是给水工程的一个重要组成部分，其工艺组成有：混凝、沉淀（或澄清、浮升）过滤、活性炭吸附、消毒、软化、除盐、除铁、水质稳定、冷却等。但概括起来，可归纳为下列四方面：

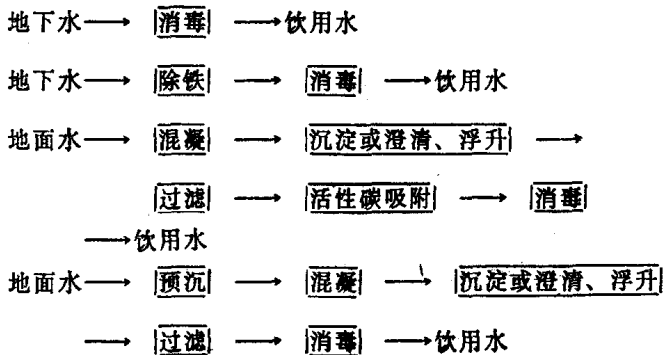
（1）水的净化

对水中悬浮物质的处理过程称为水的净化。它的目的在于使水由浑变清，表现在水的外观方面的改变。处理的对象是水中造成浑浊的杂质，尤其是胶体颗粒。处理方法主要是在水中加入适量的促凝药剂（混凝剂、絮凝剂、助凝剂），使杂质微粒凝聚变大而从水中迅速分离出去。它包括混凝、沉淀（或澄清、浮升）、过滤等方法。一般说，地面水源的生活饮用水和工业生产用水的处理都需经过不同程度的净化处理。

（2）水的消毒

对水中细菌病毒类物质的处理过程称为水的消毒。它的目的在于消毒杀菌，使水达到有关卫生指标，处理的对象是致病菌。处理方法，目前多是在水中加入氯或氯制品。对于生活饮用水，不论水源是地面水或地下水，均需进行消毒处理。

生活饮用水的处理工艺流程，常见的有下列几种：



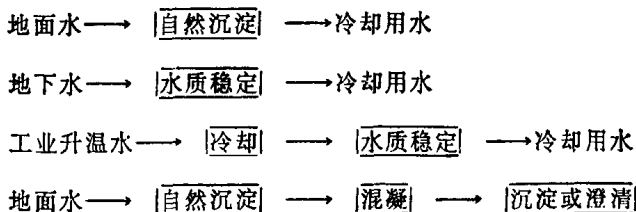
(3) 水的纯化

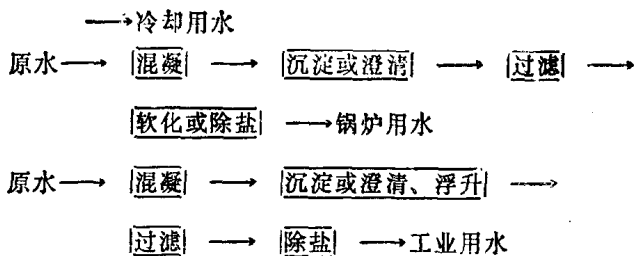
对水中溶解物质的处理过程称为水的纯化。它的目的在于改变水质的化学成分，从而去除有害离子。处理方法：其一，在水中加入药剂，引起有害物质沉淀，进而除掉；其二，用无害离子来置换水中的有害离子；其三，采用物理化学方法使有害物质转移。例如水的软化、除盐、除铁、水质稳定及活性炭吸附等。水的纯化处理，一般是在除去水中悬浮杂质后进行的，故水的净化处理也叫纯化处理的预处理。

(4) 水的冷却

降低升温水温度的处理过程称为水的冷却。处理的方法主要是把水分散成微粒或薄膜，使其与空气充分接触，将热量散发到大气里，从而达到降低水温的目的。

上述第(3)、(4)两类处理方法属于工业水处理的范围。工业水处理工艺流程，常见的有以下几种：





在处理流程确定后，水处理的工艺计算，主要是对水处理所需要的构筑物或设备的几何尺寸、数量等进行设计计算。下面将以例题的形式，介绍混凝、沉淀、澄清、浮升、过滤、活性炭吸附、消毒、软化、除盐、水质稳定及冷却等单元处理构筑物及设备的工艺设计计算方法。

第一章 混 凝 设 施

水的混凝是指水中杂质微粒和混凝剂进行混合、反应形成较大絮凝体（即矾花、绒粒或絮状物）的过程。它是近代水质净化处理的首要环节。

混凝剂的投加分干投法与湿投法两种，我国多采用后者。采用湿投法时，混凝处理的工艺流程如图1-1所示。

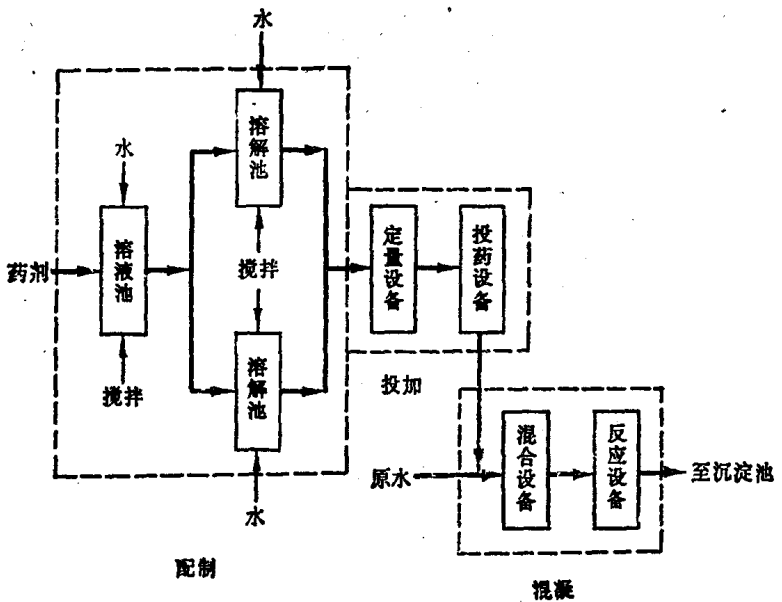


图 1-1 湿投法混凝处理工艺流程示意图

混凝处理的工艺计算内容主要包括：确定混凝药剂的用量，计算药溶液配制设备、定量投加设备、混合设备及反应设备的工艺几何尺寸等。

§ 1-1 药剂配制投加设备

关于药剂种类的选择及最佳投药量的确定，目前尚不能用统一公式计算，这是由于各地区水源的水质情况不同，即使浑浊度相同的两个水样，也往往会因造污物质的成份、性质及影响因素不同，而使混凝效果相差很大。因此一般药剂的选用应通过实验确定，也可采用条件相似的已有水厂的运行数据。表 1-1 列出我国一些自来水管厂的投药量数据，可供设计参考。

【例题 1-1】 药剂溶解池和溶液池的计算。

一、设计概述

在药剂湿投法系统中，首先把固体（块状或粒状）药剂置入溶解池中，并注水溶化。为增加溶解速度及保持均匀的浓度，一般采用水力、机械及压缩空气等方法搅拌，投药量较小的水厂也有采用人工进行搅拌调制的。

设计药剂溶解池时，为便于投置药剂，溶解池的设置高度一般以在地坪面以下或半地下为宜，池顶宜高出地面1m左右，以减轻劳动强度，改善操作条件。溶解池的底坡不小于0.02，池底应有直径不小于100mm的排渣管，池壁须设超高，防止搅拌溶液时溢出。由于药液一般都具有腐蚀性，所以盛放药液的池子和管道及配件都应采取防腐措施。溶解池一般采用钢筋混凝土池体，若其容量较小，可用耐酸陶土缸作溶解池。当投药量较小时，亦可在溶液池上部设置淋溶斗以代替溶解池。

溶液池一般以高架式设置，以便能依靠重力投加药剂。池周围应有工作台，池底坡度不小于0.02，底部应设置放空管。必要时设溢流装置。混凝剂的投加溶液浓度一般采用5%~15%（按商品固体重量计）。通常每日调制2~6次，人工调制时则不多于3次。溶液池的数量一般不少于两个，以便交替使用，保证连续投药。

表 1-1 部分水厂的投资量

取水水源名称	原水浑浊度 (mg/L)		混凝剂种类	助凝剂种类	混凝剂投加量 (mg/L)			助凝剂投加量 (mg/L)			沉淀或澄清时间 (h)	沉淀池或澄清池出水浊度 (mg/L)		
	最高	最低			平均	最高	最低	平均	最高	最低			平均	
重庆嘉陵江	43000	5	—	石灰	59.0	1.30	—	—	—	—	3	25~30		
成都岷江	8000	20	450	漂白粉	49.6	3.8	17.0	4.2	0	1.2	2.3	15~50		
武汉汉水	17000	40	500	硫酸亚铁	65	6.2	20.0							
				硫酸铝	55	5.0	16.3						2	10~15
				三氯化铁	15.2	1.4	4.7							
武汉长江	2400	140	600	硫酸亚铁	35.3	20.0	30.4							
				硫酸铝	28.7	15.6	24.8						1.2	10~20
				三氯化铁	8.5	4.6	7.1							
芜湖长江	1380	16	350	三氯化铁	14.6	1.7	7.0							
				硫酸铝	30.1	12.8	18.0						1.7	<17
南京长江	1220	30	184	三氯化铁	7.3	0.6	1.0	2.2	0.19	0.22	1~1.5	8~47		
哈尔滨松花江	1110	9	108	硫酸铝	61.3	5.0	38.0				2	21.5		

续表

取水水源名称	原水浑浊度 (mg/L)			混凝剂种类	助凝剂 种类	混凝剂投加量 (mg/L)			助凝剂投加量 (mg/L)			沉淀或澄 清时间 (h)	沉淀池或澄 清池出水浊 度 (mg/L)	
	最高	最低	平均			最高	最低	平均	最高	最低	平均			
冀大北大河	133	27	51	粗制硫酸铝	石灰	10.2	0.3	5	7	0.5	2.1	4	8~13	
北京永定河	12000	25	50	三氯化铁	—	200	1.0	—	—	—	—	—	10~20	
天津子牙河	500	6	25	硫酸亚铁	水玻璃	12	2.7	5	10	2.5	4.5	1~1.5	10	
上海黄浦江	900	60	195	硫酸铝	—	31.3	15.2	18.7	—	—	—	—	—	—
				硫酸亚铁	氯	32.5	11.5	25.0	6.7	4.2	5.0	1	10	
				三氯化铁	—	19.2	8.4	11.2	—	—	—	—	—	—
杭州钱塘江	480	6	34	粗制硫酸铝	氯胺	23.0	6.7	13.5	7.2 3.6	6.0 2.0	3 2	1	10	
广州珠江	500	27	85	粗制硫酸铝	—	38.0	15.0	27.8	—	—	—	2	6~14	
青岛棘山水库	300	15	90	三氯化铁	石灰	15	8	11	15	10	13	2.5	10~15	
郑州贾鲁河	10000	10	50	硫酸亚铁	水玻璃	—	—	10	—	—	2.25	—	10	

溶解池的容积常按溶液池容积的0.2~0.3倍计算。

二、计算例题

(一) 已知条件

设计水量 $Q=25000\text{m}^3/\text{d}=1042\text{m}^3/\text{h}$ 。混凝剂为硫酸亚铁，助凝剂为液态氯（即亚铁氯化法）。混凝剂的最大投加量 $u=20\text{mg/L}$ （按 FeSO_4 计），药溶液的浓度 $b=15\%$ （按商品重量计），混凝剂每日配制次数 $n=2$ 次。

(二) 设计计算

1. 溶液池

$$\begin{aligned} \text{溶液池容积 } W_1 &= \frac{uQ \times 24 \times 100}{bn \times 1000 \times 1000} \\ &= \frac{uQ}{417bn} = \frac{20 \times 1042}{417 \times 15 \times 2} \\ &= 1.67 (\text{m}^3), \text{ 取 } 1.7\text{m}^3 \end{aligned}$$

（注意：在代入上式计算时， b 值为百分数的份数值）。

溶液池设置两个，每个容积为 W_1 。

溶液池的形状采用矩形，尺寸为

$$\text{长} \times \text{宽} \times \text{高} = 2 \times 1.5 \times 0.8 (\text{m}^3)$$

其中包括超高0.2m。

2. 溶解池

溶解池容积 $W_2=0.3W_1=0.3 \times 1.7=0.51 \approx 0.5 (\text{m}^3)$

溶解池的放水时间采用 $t=10\text{min}$ ，则放水流量

$$q_0 = \frac{W_2}{60t} = \frac{0.5 \times 1000}{60 \times 10} = 0.83 (\text{L/s})$$

查水力计算表得放水管管径 $d_0=20\text{mm}$ ，相应流速 $v_0=2.58\text{m/s}$ 。

溶解池底部设管径 $d=100\text{mm}$ 的排渣管一根。

3. 投药管

投药管流量

$$q = \frac{W_1 \times 2 \times 1000}{24 \times 60 \times 60} = \frac{1.7 \times 2 \times 1000}{24 \times 60 \times 60} = 0.0393 (\text{L/s})$$

查水力计算表得投药管管径 $d=10\text{mm}$ ，相应流速为 0.38m/s 。

4. 亚铁氧化的加氯量 $[\text{Cl}]$

$$\begin{aligned}[\text{Cl}] &= \left[\frac{u}{8} + (1.5 \sim 2) \right] \\ &= \frac{20}{8} + 2 = 4.5 (\text{mg/L})\end{aligned}$$

【例题 1-2】 压缩空气搅拌调制药液的计算。

一、设计概述

用压缩空气搅拌调制药剂时，在靠近溶解池底处应设置格栅，用以放置块状药剂。格栅下部空间装设穿孔空气管，加药时可通入压缩空气进行搅拌，以加速药剂的溶解。穿孔空气管应能防腐，可采用塑料管或加筋橡胶软管等。

溶解池的空气供给强度为 $8 \sim 10\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ，溶液池则为 $3 \sim 5\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。空气管内空气流速为 $10 \sim 15\text{m/s}$ ，孔眼处空气流速为 $20 \sim 30\text{m/s}$ 。穿孔管孔眼直径一般为 $3 \sim 4\text{mm}$ ，支管间距为 $400 \sim 500\text{mm}$ 。

二、计算例题

(一) 已知条件

药池平面尺寸：溶解池为 $2.29 \times 2.54 (\text{m}^2)$ ；

溶液池为 $2.3 \times 5.2 (\text{m}^2)$ 。

空气供给强度：溶解池采用 $8\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ；

溶液池采用 $5\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。

空气管的长度为 20m ，其上共有 90° 弯头七个。

(二) 设计计算

1. 需用空气量 Q

$$Q = nFq (\text{L/s})$$

式中 n —— 药池个数，一般溶解池应设两个；

F —— 药池平面面积， (m^2) ；

q —— 空气供给强度， $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。