

地下水除铁

哈尔滨建筑工程学院给水排水教研室



中国建筑工业出版社

地 下 水 除 铁

哈尔滨建筑工程学院给水排水教研室

中国建筑工程工业出版社

本书内容以天然锰砂接触催化除铁法和自然氧化除铁法为主，重点阐述了地下水除铁的基本原理、作用规律、使用条件、影响因素、设备构造、计算方法、技术参数、以及试验、设计、运行管理等方面的问题，并附图表、设计数据和例题等。本书可供给水排水专业及从事地下水除铁工作的工人、设计人员、科学研究人员、工农兵学员和教师参考。

地 下 水 除 铁

哈尔滨建筑工程学院给水排水教研室

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 13 5/8 字数: 305 千字

1977年6月第一版 1977年6月第一次印刷

印数: 1—7,580册 定价: 1.00 元

统一书号: 15040·3305

毛主席语录

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。这就是马克思主义的认识论，就是辩证唯物论的认识论。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

前 言

近年来，许多地下水水厂、设计单位、科学研究单位、学校的工人、工程技术人员、学员和教师，发扬独立自主、自力更生、艰苦奋斗、勤俭建国的精神，打破洋框框走自己发展工业的道路，发展了我国地下水除铁的技术。我们遵照毛主席关于“人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进”的教导，把我国地下水除铁的丰富实践经验和科研成就，加以总结，编写成《地下水除铁》这本书。为了编好这本书，我们在教育革命运动中，先后组织多届同学和教师，走出学校，到含铁地下水水厂，和工人、工程技术人员相结合，进行了生产实践和科学实验。经过反复多次的实践和认识，使地下水除铁技术逐步充实和完善。因此，这本书也是教育革命的成果。

本书编写过程中，得到许多兄弟单位的支持和鼓励，并提供了技术参考资料。初稿写成后邀请吉林省给水排水勘察设计院、大庆油田科学研究设计院、大庆油田水电局、佳木斯市自来水公司、铁力木材干馏厂等单位集体会审，提出了许多宝贵意见。

由于我们生产实践经验不足，科学实验尚不甚全面，有

些实验观察时间尚短，因此书中难免有许多不当之处，希望读者指正。

本书由李圭白同志执笔，教研室集体审校。

哈尔滨建筑工程学院给水排水教研室

1975年10月

目 录

前言

第一章 概论	1
第二章 地下水除铁的化学理论基础	14
第一节 地下水的铁质化学	14
一、地下水中铁质的来源	14
二、二价铁在不含碳酸盐的水中的溶解度	16
三、水中其他离子对化学平衡的影响	18
四、地下水中的碳酸平衡	19
五、二价铁在含碳酸盐水中的溶解度	24
六、三价铁在水中的溶解度	29
七、地下水中铁质的氧化还原平衡	31
八、地下水中铁质形态的判别方法	33
九、含铁地下水的水质及其变化	36
第二节 地下水中二价铁的自然氧化动力学	40
一、地下水中二价铁的自然氧化反应速度	40
二、其他影响水中二价铁氧化反应的因素	44
第三节 接触催化除铁原理	51
一、天然锰砂的自体接触催化除铁活性	51
二、天然锰砂的活性滤膜接触催化除铁原理	54
三、天然锰砂滤层的接触催化除铁过程	58
四、天然锰砂滤层中水的含铁浓度分布规律	61
五、影响天然锰砂接触催化除铁的主要因素	63
六、人造锈砂除铁原理	69
七、黑砂除铁原理	71
第四节 除铁水的稳定性	72

一、除铁水的稳定性问题	72
二、水的稳定性的判别方法	75
三、除铁过程中水的稳定性变化	78
四、除铁水的稳定性处理	80
第三章 含铁地下水的曝气	86
第一节 气体在水中的溶解平衡	87
一、气体在水中的溶解度	87
二、曝气水中溶解氧的平衡饱和浓度	88
三、曝气水中二氧化碳的理论最大去除率	92
四、曝气水的理论最高 pH 值	94
第二节 气体的传质方程式	96
第三节 气泡式曝气装置	99
一、气泡式曝气装置的溶氧速度	99
二、压缩空气曝气装置	102
三、加气阀曝气溶氧	107
四、跌水曝气溶氧	123
五、叶轮表面曝气	124
六、曝气溶氧所需空气量的计算	126
第四节 喷淋式曝气装置	131
一、莲蓬头曝气装置	131
二、喷水式曝气装置	146
三、接触式曝气塔	147
四、板条式曝气塔	149
五、机械通风式曝气塔	151
第五节 曝气装置的选择	160
第四章 地下水除铁滤池	162
第一节 地下水除铁滤池的作业方式	162
第二节 除铁滤池的滤料	165
一、除铁滤池滤料的一般要求	165

二、除铁滤料简介	168
三、除铁滤池滤料的粒度特征	170
第三节 接触催化滤料层的过滤除铁过程	174
一、天然锰砂滤层的过滤除铁基本方程式	174
二、天然锰砂滤层中水头损失的增长	177
三、天然锰砂滤池的工作周期与过滤速度的关系	183
第四节 砂滤层的过滤澄清过程	186
一、石英砂滤层中铁质悬浮物的浓度分布	186
二、石英砂滤层中水头损失的增长	188
三、影响澄清除铁滤池工作的主要因素	189
四、双层滤料滤层过滤澄清除铁	192
第五节 除铁滤层的反冲洗	193
一、天然锰砂滤层的反冲洗	193
二、石英砂滤层的反冲洗	201
三、双层滤料滤层的反冲洗	202
第六节 除铁滤层在反冲洗过程中的水力特征	204
一、天然锰砂滤层在反冲洗过程中的水力特征	204
二、石英砂滤层和无烟煤滤层在反冲洗过程中的水力特征	211
第七节 滤层反冲洗时的水力分级现象	212
第八节 除铁滤池的排水系统	218
一、排水系统均布反冲洗水的原理	218
二、管式大阻力排水系统	220
三、格栅式小阻力排水系统	229
四、滤头式排水系统	230
第九节 反冲洗废水排除装置	232
第十节 反冲洗水的供给	234
第十一节 压力式除铁滤池	236
一、压力式除铁滤池的型式和构造	236

二、大型压力除铁滤池组的运行特点·····	243
第十二节 重力式除铁滤池·····	250
第十三节 无阀除铁滤池·····	255
一、无阀除铁滤池的型式和构造·····	255
二、天然锰砂无阀滤池的设计特点·····	260
三、重力式无阀滤池的反冲洗计算·····	264
四、压力式无阀滤池的反冲洗计算·····	275
第十四节 虹吸式除铁滤池·····	285
第五章 接触催化除铁设备的设计、试验和运行·····	290
第一节 天然锰砂接触催化除铁工艺系统·····	290
一、接触催化除铁工艺系统·····	290
二、以单级滤池为主体的天然锰砂接触催化 除铁工艺系统·····	291
三、由二级处理构筑物组成的天然锰砂除铁 工艺系统·····	296
第二节 天然锰砂除铁设备的工艺设计·····	297
一、天然锰砂除铁设备工艺设计的内容·····	297
二、含铁地下水的水质资料·····	298
三、除铁设备的设计容量·····	299
四、其他处理过程对天然锰砂除铁效果的影响·····	304
五、天然锰砂除铁设备工艺参数的选择·····	306
六、天然锰砂除铁设备的布置·····	308
第三节 天然锰砂除铁试验·····	309
一、除铁试验的准备·····	309
二、天然锰砂除铁试验·····	315
三、反冲洗试验·····	319
第四节 天然锰砂除铁设备的安装、 调整和运行管理·····	320
一、天然锰砂滤池的安装和调整·····	320

二、曝气装置的安装和调整.....	324
三、天然锰砂除铁设备的运行管理.....	325
第五节 人造锈砂接触催化除铁工艺试验.....	330
一、人造锈砂接触催化除铁试验.....	330
二、人造锈砂接触催化除铁的生产试验.....	334
第六章 自然氧化除铁设备试验与设计	336
第一节 自然氧化除铁工艺要求与除铁试验方法.....	336
一、地下水中二价铁的氧化反应时间.....	336
二、自然氧化除铁试验.....	344
第二节 自然氧化除铁设备的设计.....	348
一、自然氧化除铁工艺系统.....	348
二、自然氧化除铁设备工艺参数的选择.....	351
第七章 农村简易除铁设备、地下水的	
其他除铁方法及除铁方法的选择	355
第一节 农村简易除铁方法.....	355
一、农村简易除铁设备.....	355
二、铁细菌除铁法.....	357
第二节 地下水的其他除铁方法.....	362
一、氯氧化法除铁.....	362
二、高锰酸钾氧化法除铁.....	364
三、锰离子交换法除铁.....	365
四、离子交换法除铁.....	366
五、混凝法除铁.....	368
六、水中铁质的稳定剂处理法.....	369
第三节 地下水除铁方法的选择.....	370
第八章 除铁水厂废水的回收和铁泥的综合利用	373
第一节 除铁滤池反冲洗废水的回收.....	373
一、静水自然沉淀回收反冲洗废水.....	373
二、用聚丙烯酰胺混凝沉淀回收除铁滤池	

反冲洗废水的试验·····	374
第二节 铁泥的综合利用·····	380
第九章 地下水除铁设备设计举例·····	383
附录 ·····	400
附录 1 常用化学元素的原子量·····	400
附录 2 常用化合物或离子的分子量和当量·····	401
附录 3 水的离子积常数和碳酸的离解常数·····	403
附录 4 氧在纯水中的溶解度·····	403
附录 5 筛目表·····	404
附录 6 天然锰砂接触催化除铁设备设计须知·····	404
附录 7 加气阀几何尺寸表·····	420
主要参考文献·····	425

第一章 概 论

我国具有丰富的地下水资源，但是，在不少地区的地下水中含有过量的铁质，不符工农业生产和人民生活的要求。

地下水中的铁质常以二价铁的形式存在，由于二价铁在水中的溶解度较大，所以刚抽上来的含铁地下水仍然清澈透明，但一和空气接触，水中的二价铁便被空气中的氧气氧化，生成难溶于水的三价铁的氢氧化物而由水中析出。因此，地下水中的铁质虽然对人的健康并无影响，但也不能超过一定的含量。如水中的含铁浓度大于0.3毫克/升（以铁 Fe 计）^①时水便变浑，超过1毫克/升时水具有铁腥味。特别是水中含有过量的铁质，在洗涤的衣物上能生成锈色斑点；在光洁的卫生用具上，以至与水接触的墙壁和地板上，都能着上黄褐色锈斑，给生活应用带来许多不便。

在锅炉用水中，铁质是生成水垢和罐泥的成分之一。

在冷却用水中，铁质能附着于加热管壁上，降低管壁的传热系数；当水中含铁浓度高时，甚至能堵塞冷却水管。

在油田的油层注水中，铁质能堵塞地层，减少注水量，降低注水效果。

在纺织工业中，水中的铁质能固着于纤维上，在纺织品上产生锈色斑点。染色时，铁质能与染料结合，使色调不鲜艳。铁质还对漂白剂的分解有催化作用，使漂白作业发生困

● 本书中所述含铁浓度，皆以铁(Fe)的毫克/升表示，以下不再注明。

难。

在造纸工业中，水中铁质能选择性地吸附于纤维素之间，使纸浆色变黄，并使漂白和染色效果降低。

在酿造用水中，铁有异味，并能与某些有机物（如水杨酸、丹宁等）生成带色的化合物，使产品的色和味的质量降低。

在食品工业中，水中的铁质还能影响食品工业产品的色泽。

在水电解用水中，铁质能在阴极生成铁霜，并增大隔膜的电阻，降低电解效率。

在给水工程中，含有过量铁质的地下水能在管道中产生铁的沉积。特别是当水中含有溶解氧时，含铁地下水为铁细菌提供了大量繁殖的条件，管道中由于铁细菌的大量繁殖，常使管道堵塞。此外，铁细菌和硫酸盐还原菌共生，还能加速金属管道的腐蚀。

在水处理设备中，水中的铁质沉积在离子交换剂和离子交换树脂膜上，能降低它们的效能。

水中铁质的危害还有很多，就不一一列举了。

为了避免水中铁质给生产和生活带来危害，对水中的铁质浓度有一定的限制。表 1-1 即为部分生产和生活用水的允许含铁浓度。

我国的含铁地下水分布甚广。含铁地下水比较集中的地区是松花江流域和长江中、下游地区。此外，黄河流域、珠江流域等，也都有含铁地下水。同时含铁地下水多分布在这些水系的干、支流的河漫滩地区，其水质因生成条件不同而有很大差异。

我国含铁地下水的含铁浓度，多数在 10 毫克/升以下，

生产和生活用水允许含铁浓度

表 1-1

名 称	含铁浓度 (毫克/升)	名 称	含铁浓度 (毫克/升)
生活饮用水	0.3	纸和纸浆工业	
一般锅炉用水	0.3	牛皮纸制造用水	0.2
一般冷却用水	0.5	高级纸制造用水	0.1
空气调节用水	0.5	漂白用水	0.02
油田油层注水	0.5	染色工业用水	0.05
机械冷却用水	0.1	胶片制造用水	0.07
酸碱工业用水	0.01~6	电子工业用水	0.05
肥料工业用水	0.6	酿造用水	0.1
高级玻璃制造用水	0.05	食品工业用水	0.2
棉毛织品工业用水	0.2	罐头工业用水	0.2
纤维工业用水	0.1	汽水工业用水	0.2
人造丝工业		制冰用水	0.03~0.2
粘液丝生产用水	0.05	制革工业用水	0.2
制造用水	0.00	洗衣行业用水	0.2
塑料工业用水	0.02		

少数超过10毫克/升，但一般不超过30毫克/升。表 1-2 为我国部分地区地下水的含铁浓度。

我国含铁地下水的pH值，绝大多数介于6.0~7.5之间，其中多数低于7.0，少数高于7.0。但是，黄河流域的含铁地下水的pH值则大都高于7.0，相应的含铁浓度则较低，多小于5毫克/升。含铁地下水的pH值低于6.0的和高于7.5的都比较罕见。

浅层含铁地下水的温度，因所在地区不同而呈规律性的变化。松花江流域的地下水的温度一般为3~10℃；黄河下游地区为15℃左右；长江中下游地区为20℃左右；珠江中下游地区为25~30℃。

我国一些地区的含铁地下水的水质资料，列于表2-9。

我国部分地区地下水的含铁浓度

表 1-2

含铁地下水所在地区	含铁浓度 (毫克/升)	含铁地下水所在地区	含铁浓度 (毫克/升)
松花江流域		黄河流域	
黑龙江省佳木斯市	5~25	山东省济南市	0.6
友谊	6	淄川	0.9
伊春市	0.5	山西省太原市	2.4
牡丹江市	20~30	宁夏自治区银川市	4.0
铁力	6~20	淮河流域	
哈尔滨市	1~20	河南省信阳市	6.4
呼兰	3~8	长江流域	
双城	3~5	江苏省浦口	16~23
五常	4	南京市	20
拉林	5	扬州市	3.6
安达市	1~4	江西省九江市	4~12
齐齐哈尔市	2~30	上饶市	9
虎林	4~6	湖北省武汉市	1~23
密山	5~6	随县	2.2
双鸭山市	4	襄樊市	1.5~3.5
吉林省前郭尔罗斯县	10~15	沙市	8~15
盘石	5~8	湖南省岳阳市	1.4
吉林市	11	沅江	2~16
海龙	3~5	陕西省汉中市	3~20
辽河流域		四川省峨眉	0.5
辽宁省盘山	1	眉山	2~14
辽中	7~15	成都市	2
鞍山市	1~3.5	灌县	2
铁岭	5~7	珠江流域	
海河流域		广东省珠江口	28
北京市	0.5~3.4	广西省南宁市	6~24
河南省新乡市	0.8	广东省湛江市	1~6

解放前，我国是一个半殖民地、半封建社会性质的国家，广大劳动人民在帝国主义、封建主义、官僚资本主义三

座大山的压迫下，处于完全无权的地位，那时根本没有为劳动人民服务的地下水除铁设施。

1949年，中华人民共和国成立了。中国人民在中国共产党的领导下，解放二十六年来，我国国民经济有了巨大的发展。为适应工、农业生产和城镇人民生活迅速发展的需要，我国地下水除铁事业也获得了极大的发展。现在，仅黑龙江省就有二十多处建有除铁设备的水厂。而在广大农村，供一家一户使用的除铁滤缸，以及供数百人集体使用的除铁滤槽，也比较普遍。

随着除铁事业的发展，我国地下水除铁工艺技术也有较大的提高。

建国初期，地下水除铁技术都是从国外引进的，当时采用的都是自然氧化除铁工艺。这种自然氧化除铁工艺一般由曝气、氧化反应和沉淀以及过滤组成，曝气是先使含铁地下水与空气充分接触，让空气中的氧气溶解于水中，同时散除地下水中的大量二氧化碳，以提高水的pH值；氧化反应和沉淀是让水在反应沉淀池中停留相当的时间，使水中的二价铁被溶解氧全部氧化为三价铁，并絮凝沉淀下来，由于地下水中二价铁的氧化反应一般比较缓慢，所以要求水在池中的停留时间也较长，从而使反应沉淀池的容积变得十分庞大；反应沉淀后，水中还残留许多铁质悬浮物，再经石英砂滤池过滤除去。这种由曝气、反应沉淀、石英砂过滤三级处理构筑物组成的自然氧化除铁工艺，其系统复杂，设备庞大，水在整个处理系统中的总停留时间常达2~3小时，设备投资多，并且除铁效果有时还达不到用水要求。图1-1为重力式自然氧化除铁工艺系统。含铁地下水先经接触式曝气塔曝气，汇集于下部集水池，再进入旋流式反应室反应15分钟，经竖流