

解决电厂疑难问题的**金钥匙**

电厂水处理

DIANCHANG SHUICHULI

巩耀武 编



中国电力出版社

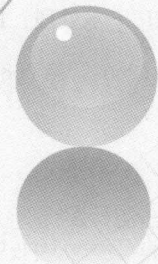
www.cepp.com.cn

解决电厂疑难问题的**金钥匙**

电厂水处理

DIANCHANG SHUICHULI

巩耀武 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书系统地介绍了电厂化学水处理在生产上遇到的疑难问题的原因分析和处理方法,并结合作者在生产中的实际工作经验,重点介绍了现代化学水处理技术全膜脱盐法的设备故障处理,以及火力发电厂化学监督中的标准和有关数据,以便读者查找和使用方便。

本书共计七章二十七节,内容包括水质预处理设备故障分析,水质在混凝过程中出现的问题,过滤设备故障与处理方法,反渗透运行中的故障与解决方法,阴、阳离子交换设备故障分析与处理,EDI设备故障分析与处理,炉内处理与汽水监督问题的分析和处理方法,以及化学水处理全膜脱盐法中常用设备的检修和常见故障与处理方法,这部分内容大都是作者在生产实践中总结的,一并编辑在此书中。

本书可供从事电厂化学专业工作的相关人员参考和使用,也可作为电厂化学专业的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电厂水处理/巩耀武编. —北京:中国电力出版社,2009
(解决电厂疑难问题的金钥匙)
ISBN 978-7-5083-8806-9

I. 电… II. 巩… III. 火电厂—水处理 IV. TM621.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第068956号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年7月第一版 2009年7月北京第一次印刷
850毫米×1168毫米 32开本 13.125印张 348千字
印数0001—3000册 定价28.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前 言



解决电厂疑难问题的金钥匙

电厂水处理

随着我国电力工业的快速发展，中、小火力发电厂在我国各个行业和地方都相应建成投产，特别是东部沿海地区更是星罗棋布，从事电厂化学水处理工作的人员成倍增加。但是，电厂化学专业学校毕业的人员缺乏，跟不上生产的需求，很多是社会招工，对电厂化学水处理技术知识欠缺。又加之各地区采用的水源不同，其水质千差万别，往往是水质目测很清，有关进水指标也符合水处理设备的进水要求。但是，总有一些问题迷惑不解。例如，阴、阳树脂不同程度地被污染，交换能力下降，有的树脂破碎严重，对新技术超滤设备、反渗透设备、EDI 等设备造成污堵、压差升高、脱盐率降低、产水水质差等问题。为此本人根据在不同电厂遇见的故障和问题，经分析并采取相应的措施，整理编排本书，供从事电厂化学工作人员借鉴，若有不尽之处，望批评指正。

本书本着系统、易懂，就事论事，轻理论、重实际的原则，从水质预处理设备到全脱盐及全膜脱盐设备出现的故障和疑难问题的处理方法及原因分析，逐个逐条整理编写，供参考。读者可根据自己单位的具体现状和问题的性质，做出相应的处理，尽量不要生搬硬套。因原水水质和采用的设备及系统不一样，以免造成误解和

失误。此外，书中还对水的杀菌混凝和反渗透的故障作了重点介绍。

本书对地方中小型火力发电厂比较适用，高温高压电厂的专业技术人员可供参考。

本书最好结合《火力发电厂化学水处理实用技术》一书，进行学习使用。

编者

2009年2月



目 录



解决电厂疑难问题的金钥匙

电 厂 水 处 理

前言

第一章 水质预处理设备故障分析	1
第一节 概述	1
第二节 水质在混凝中出现的问题	22
第三节 水在杀菌中出现的问题	52
第二章 过滤设备故障分析	80
第一节 概述	80
第二节 压力式过滤器在运行中出现的问题	80
第三节 重力式无阀滤池施工调试和运行中 出现的问题	91
第四节 活性炭过滤器出现的问题	103
第五节 盘式过滤器出现的问题	113
第六节 高效过滤器出现的问题	117
第七节 超滤设备运行中出现的问题	128
第三章 反渗透设备运行故障分析	141
第一节 概述	141
第二节 反渗透系统控制中出现的问题	155
第三节 反渗透设备运行中出现的问题	171
第四节 反渗透设备检修中出现的问题	193
第四章 阴、阳离子交换设备运行故障分析	198
第一节 概述	198
第二节 脱二氧化碳器出现的问题	213
第三节 阴、阳离子交换设备运行中出现的问题	218

第四节	凝结水精处理设备出现的问题	258
第五章	EDI 设备故障分析	280
第一节	概述	280
第二节	EDI 系统控制中出现的问題	283
第三节	EDI 设备运行中出现的问題	286
第六章	炉内处理和汽水监督问题分析	294
第一节	概述	294
第二节	炉内化学水处理出现的问題	333
第三节	热力系统水汽化学监督中出现的问題	348
第七章	现代化学水处理设备检修与热力设备大修检测	362
第一节	现代水处理常用设备及常见故障与检修 方法	362
第二节	热力设备保护与大修检查检测	389
第三节	化学清洗与防腐	404
参考文献		412



第一章

水质预处理设备故障分析

第一节 概 述

化学水处理设备在运行中出现的故障和问题，很多是由于原水水质所含的杂质不同和水质变化所引起的。为此，作为化学水质处理的工作人员，必须对水的性质和水中杂质成分及不同成分对设备运行有什么影响、会带来什么问题、引起什么故障有所了解，才能对运行中出现的问题和故障作出正确的分析和判断，并采取相应的措施，保证设备安全运行，才能为生产制备出质量合格、数量充足的生产用水。

一、水的性质

1. 水的物理性质

纯水是无色、无味、无臭的透明液体，是绝缘不导电的，在大气压 0.10MPa 压力下，沸点 100℃，冰点 0℃，密度在 3.98℃时最大，相对密度为 1.0。结冰后密度为 0.92kg/m³，结冰后水的体积增大，这是水的一大特性。比热容量最大为 4.18J/(kg·k)，即 1g 水升高 1℃或降低 1℃时，其吸收或放出的热量是 4.18J。水的热稳定性极强，即使加热到 1000℃时，也只有极少数分子分解为 O₂ 和 H₂，约 0.000 3%。所以在工业上利用其特点，用锅炉加热成高温高压，来传送热量进行做功。特别是对火力发电厂，利用其特点，可制作出不同温度、不同压力的锅炉，进行发电和供热。另外，水也是很好的传热介质和绝缘物质，发电厂利用这一特点，制作出的双水内冷发电机，既经济又安全。



2. 水的化学性质

(1) 纯水能够电解成 H_2 与 O_2 ，电厂利用这一化学特性将纯水电解，制造出氢气，作为发电机的冷却介质，特别是大型发电机，采用氢冷的较多。

(2) 纯水是很强的氧化剂，遇到活泼金属，如钾、铁、钠、钙等可直接发生化学反应，反应式为



(3) 纯水也与非金属反应（在一定的条件下），如



(4) 水能与许多金属和非金属氧化物发生反应，分别生成酸和碱。

二、水的特性

1. 水的分散特性

水是一种极性很强的分子，它对很多物质具有很强的分散能力，并形成分散体系。所以在自然界中，水无处不在。但是，在自然界中不存在纯水，用多种方法制取的也是相对的纯水，它的分散能力极强。

水在火力发电厂的热力系统内，因在高温高压条件下，对金属有腐蚀作用，并且对外加物质也十分敏感，易溶解在水中，主要表现在 pH 值上。如：纯水与空气接触，由于大气压的作用，空气中的 CO_2 ，便溶解在水中，使水的 pH 值发生变化。纯水的 pH 值是 7，1h 后，则 pH 值为 7.6；2h 后，pH 值为 7.32；5h 后，pH 值降至 7.22，使水呈弱碱性；当时间延长到 10h 后，pH 值又降至 6.58；25h 后，pH 值便可降至 5.82，呈弱酸性。

纯水也是自然界中最好的溶剂，可溶解很多物质。

2. 水的缔合特性

水分子的缔合特性是指由简单分子结合成较复杂的分子集团，而不起物质的化学变化，称为水的缔合特性，它是水分子的

重要特性之一。

水的缔合特性主要由水的水合效应起的作用，在水溶液中，各种离子周围都牢固地附着有 4 个水分子，OH 的周围又附着 3 个水分子，这种现象称为水的水合效应。水中的离子型和极性溶质同样也出现类似的水合效应，一些溶质使水分子间的结构增强，而一些物质会使原有的水分子结构被破坏。如图 1-1 所示（以 Na^+ 为例）。

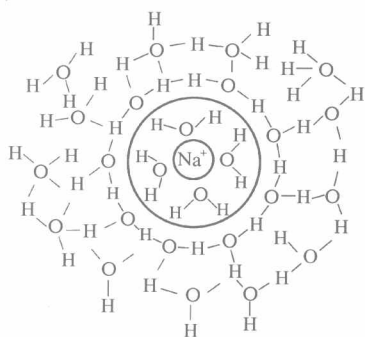


图 1-1 水合离子模型

溶质的内层是被水分子牢固地附着区，称水合区，是增强部分。在此周围被一个破裂的水结构区所包围。其外径大小不同，称为水合半径，极性强的物质水合半径大，极性弱的其水合半径小。但溶质最内层的水分子附着力最强，当溶质从小溶液中结晶分离出来时，仍然附着在溶质上，这种水称为结晶水。例如某些药品存在结晶水，就是这个道理。

另外，水分子的缔合特性主要由于氢键的作用，使水分子之间产生缔合作用。例如阴、阳离子交换树脂，其外层都包围着一层水的分子，称为离子交换树脂的水和半径。又如，反渗透膜的表面也是由一层纯水分子 H_2O 所覆盖，以排斥其他离子透过反渗透膜而进入纯水中，这是反渗透脱盐的主要特征之一。

水分子的缔合过程是放热的，而其解离则是吸热过程，所以水的温度升高，其缔合作用降低，流动性能好；当温度降低时，其缔合作用加强，流动性降低。所以在阴、阳离子交换水处理工艺中，水温升高，离子交换反应加快，有利于离子交换，产水水质好。当温度低于 $5\sim 8^\circ\text{C}$ 时，阴、阳离子交换树脂的交换反应减缓，使反应不彻底，产水质量差，酸碱耗量增大。在反渗透脱盐工艺中，当水温降低时，透盐率降低，但压力升高，这是因为



温度降低时，水的缔合力加强，而流动性差。当温度升高至 20℃ 左右时，在同一工况下，组件压力下降，透盐率上升，脱盐率下降。为此，在水处理工艺中，根据制水设备的温度要求，原水都要增设加热设备。

3. 水的汽化特性

在任何状态下，水分子都处在不断地运动的状态中。在液态水中，动能较大的水分子会冲破表面张力，进入空气中，这就是水的蒸发过程；反之，液面上的蒸汽水分子受外界压力的作用又回到液体中去，这个过程就是水的凝聚过程。这两个过程达到平衡时的蒸汽，工程上称为饱和蒸汽。当水的温度升高到一定数值时，水便开始沸腾，此时的温度称为该压力下的沸点。所以，在锅炉内随压力的增大，其沸点也随之升高，这就是锅炉系统中给水的温度达 135℃ 而不汽化的道理。

4. 水的临界状态

水在锅炉中，随温度的升高，压力增大，蒸汽的密度也随之增大，而水溶液的密度则降低，当温度和压力升高到一定数值时，水的密度便与水蒸气的密度相同，此时称为水的临界状态，其临界压力是 21.37MPa，沸点温度为 374℃。

目前我国火力发电厂的发电机组容量和蒸汽参数如表 1-1 所示。

表 1-1 火力发电厂机组参数和蒸汽参数

机组参数	发电机功率 (MW)	蒸汽参数			
		锅 炉		汽 轮 机	
		汽温 (°C)	汽压 (MPa)	汽温 (°C)	汽压 (MPa)
低温低压	1.5、3.0	350	1.4	340	1.3
中温中压	6、12、25	450	3.9	435	3.43
高温高压	50、100	540	9.81	535	8.82
超高压	125~200	540~555	13.23~13.73	535~550	12.23~12.74
亚临界压力	300~600	550~541	16.68~18.27	537~550	16.17~16.66
超临界压力	670~900	545	25.0	540	24.0

三、化学水处理的重要性和作用

电厂化学水处理是锅炉及热力系统的血液，其品质的好坏将直接影响热力设备的安全，经济运行。如果化学水处理产出的水质不符合热力设备的品质要求，含有大量或少量杂质，将会引起下列危害。

1. 热力设备的结垢

当进入锅炉或其他热交换器的水汽品质不合格时，在运行中，热力设备的受热面，如水冷壁管、减温减压器等，会附着一些固体物，这些附着物称为水垢或积盐。水垢的导热能力非常低，是金属的几十分之一到几百分之一，主要因其组成成分不同，孔隙度也不同，导热性也不一样，其导热系数如表 1-2 所示。

表 1-2 不同水垢的导热系数

水垢名称	氧化铁垢	铜垢	钙镁水垢	硅酸盐垢	硫酸盐垢
导热系数[W/(m·℃)]	0.1~0.2	40~60	0.5~7.0	0.05~0.2	0.25~2.9

根据测验，若水垢厚度 0.1mm，可使水冷壁温度升高 90℃。

优质低碳钢的极限温度是 450℃，当温度大于 780℃时，便呈软化状态，会使水冷壁发生鼓包或爆管，给锅炉造成事故。

水垢极易在锅炉水冷壁热负荷高的地方产生，并可引起垢下腐蚀，使水冷壁管减薄，管壁温度升高，给锅炉带来很大危害。并且一旦产生水垢，就会使产汽量下降，煤耗增大，降低锅炉效率和经济效益。结垢严重时还必须停炉进行化学清洗，增加检修工作量和费用，减少设备有效利用小时，并减少锅炉的使用寿命。

2. 热力设备的腐蚀

化学水处理不当，会引起热力设备和管道的腐蚀，增加炉水含盐量，恶化水质，并影响蒸汽品质，必须加大排污量，从而使煤耗增高，直接影响电厂的经济效益。



3. 过热器和汽轮机积盐

因锅炉补给水水质不良，使炉水含盐量增高，特别是硅酸根，它在高温高压下，可在蒸汽中溶解，带入过热器进入汽轮机，因扩容降压、降温，二氧化硅便与其他盐类沉积到汽轮机动静叶片上，影响蒸汽流通，造成汽轮机振动，严重时会造成被迫停机。

由于以上危害，必须向锅炉供给高品质的化学除盐水，并做好炉内水处理工作，防止热力设备的腐蚀结垢和积盐，故化学水处理工作对保证火力发电厂的安全经济运行十分重要。

四、天然水中杂质与主要水质指标

天然水在地球上无处不在，是一切动植物的必须物质，是人类生活和工农业生产的宝贵资源。地球上的水量约为 10^{19} m^3 ，海水占总水量的 97%。但可供人类开采利用的淡水资源仅有总水量的 0.3%，可利用的天然水分地下水、地表水和海水，其水的存在状态不同，受污染程度不一样，其中的杂质和成分也各不相同，不同地区的水差别也很大。

1. 天然水中的主要杂质和成分

(1) 悬浮物。指粒径在 10^{-4} mm 以上的悬浮状颗粒，它在水中不溶解，呈不稳定状态，如泥沙、动植物残骸、藻类等，并随水在自然界中存在，密度大的会沉淀下来，轻的漂浮在水面，比较容易除去。悬浮物可利用沉淀和过滤的方法除掉。

(2) 有机物、胶体。有机物、胶体在水溶液中属于多相体系，颗粒在 $10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ mm}$ 之间，其比表面积大，表面活性强，并可吸附多量离子而带电；又由于存在着同种电荷而相互排斥，不能聚合成大的颗粒而沉淀，所以在水溶液中呈稳定状态。为此人们在水处理工程上向水中投加一定数量的聚电解质，使其在水中脱稳而凝聚、沉淀或过滤除掉。

水中的有机物、胶体是造成水处理设备污堵（例如超滤、反渗透、EDI 等）的主要物质，是污染阴、阳离子交换树脂的主要原因，并制约着化学水处理设备的安全运行，给水质处理带来许多故障和

负担。例如超滤污堵后产水压力降低，造成反渗透自动停车，而反渗透污堵后，使压差升高，产水量下降，脱盐率降低等。

(3) 各种可溶性气体。

1) 二氧化碳 (CO_2)。在大多数天然水中都溶解有 CO_2 气体，它的主要来源是水体或土壤中的有机物体在进行生物氧化时的分解产物。在深层地下水中有时含有大量 CO_2 ，是由地球的地质化学过程产生的。空气中的 CO_2 也可溶入水中，但能溶入的量很少，只有 $0.5\sim 1\text{mg/L}$ 。地表水中溶解的 CO_2 ，一般不超过 $20\sim 30\text{mg/L}$ ，地下水则为 $15\sim 40\text{mg/L}$ ，最多也不超过 150mg/L 。当然，某些矿泉水例外，其含量可高达数百毫克每升。

2) 氧 (O_2)。天然水中溶解的氧主要来自空气中的氧，其次，水生植物的光合作用也放出氧。常温下水中溶解氧的量大约为 $8\sim 14\text{mg/L}$ 。在藻类繁殖的水中，溶解氧可能达到饱和状态。当水中有机物的量较多时，其进行生物氧化分解的耗氧速度超过从空气中补充的溶解氧速度，水中溶解氧的量将减少。有机物污染严重时，水中溶解氧量可接近为零，这时有有机物在缺氧条件下分解就出现腐败发酵现象，使水质严重恶化。在缺氧水体中，水生动植物的生长将受到抑制，甚至死亡。地下水中一般溶解氧含量较少。海水中因含盐量高，其溶解氧含量较低，约为淡水的 80% 。氧在水中的溶解浓度关系如图 1-2 所示。

3) 硫化氢 (H_2S)。天然的地表水中一般很少含有硫化氢。地下水中由于特殊的地质环境，有时会含有大量硫化氢。当水体受到污染，如煤气发生站、硫化染料厂等含有大量硫化氢的废水排入，或大量有机物排入，经过生物氧化还原作用也会产生过量的硫化氢。

含 H_2S 的水会散发出臭鸡蛋气味。含量达 0.5mg/L 时已可察觉，达 1mg/L 时就有明显的臭气。这样的水对混凝土及金属都会产生侵蚀破坏作用。

4) 天然水中的硅酸。硅酸 (H_4SiO_4)，又称可溶性二氧化硅。天然水中硅酸来源于硅酸盐矿物的溶解。硅是地球上第二种

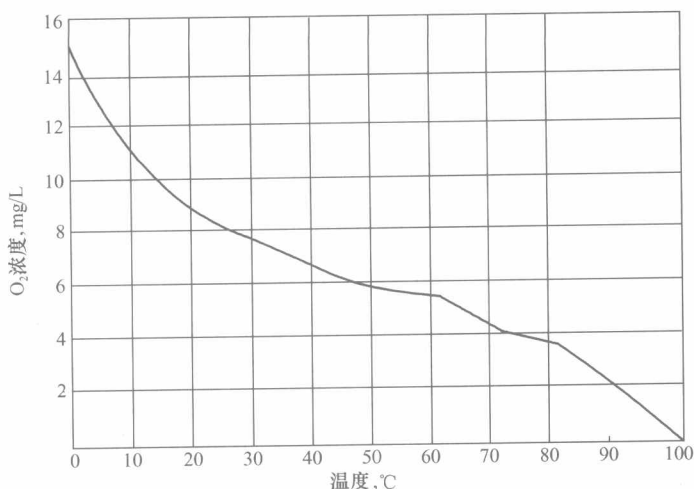


图 1-2 101.325kPaO₂ 在溶液中的溶解度

含量丰富的元素，因此天然水中普遍含有硅酸。不过含量的变化幅度较大，在 6~120mg/L 之间。地下水中硅酸的含量比地表水中的多。硅酸在水中的基本形态是单分子的正硅酸 H_4SiO_4 ，它可以电离出 $H_3SiO_4^-$ 、 $H_2SiO_4^{2-}$ 等。在浓度较高、pH 值较低的条件条件下，单分子硅酸可以聚合成多核络合物、高分子化合物甚至胶体微粒，俗称胶体硅。

水中硅酸的含量通常以 SiO_2 (mg/L) 计算，故又称为可溶性二氧化硅。

5) 溶解固形物（可溶性盐）。在天然水中可溶解的离子都是无机盐类溶于水后电离形成的，有的呈离子状态，有的以分子状态与水分子均匀地混合在一起，并且处于自然平衡状态。其粒径在 10^{-6} mm 以下，无法用一般显微镜分辨和观察，只能采用相应的化学分析化验，鉴定出其含量的多少，它们大都不能用一般的过滤法去除，只能用反渗透法和阴、阳离子交换法除去。

天然水中的离子主要有 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 和 Cl^- 、

HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 等, 这些离子几乎占水溶液中离子含量的 95% 以上, 其次还有少量和微量离子 Fe_e^{2+} 、 Al^{3+} 、 Be^{3+} 、 Sr^{+3} 、 NH_4^+ 、 N^+ 、 CO_3^{2-} 、 HSiO_3^{2-} 、 NO_3^- 、 HPO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} 、 HPO_4^- 等, 它们大部分是以化合状态稳定地溶解在水中。其中, Ca 、 Mg 化合物是生成水垢的主要成分, HSiO_3^{2-} 则是对化学水处理设备和热力设备危害最大的一种物质, 在水中因条件不同而随时变化, 有时呈硅酸形式存在, 有时则呈胶体硅的形式存在。胶体硅在阴、阳离子交换中很难除去, 并且会污堵阴、阳离子交换树脂的网孔, 污堵超滤、反渗透膜和 EDI 阴、阳膜, 带来很大危害。

6) 细菌与微生物。原水中含有大量的细菌和微生物, 尤其是采用地表水的水源和受污染的水源特别严重, 地下水则少, 影响不太大。水处理的环境适宜细菌和微生物滋生繁殖, 它们在超滤、反渗透膜及阴、阳离子交换树脂表面附着并大量繁殖, 从而严重污染膜和离子交换树脂, 在水处理设备中危害极大。

在自然界的水中, 地下水细菌总数为 $10\sim 50$ 个/mL, 真菌为 $1\sim 5$ 个/mL, 但在地表水中, 特别是受到污染的水中, 细菌总数可达 2×10^7 个/mL, 真菌达 $20\sim 170$ 个/mL。

所以, 在水的预处理中必须将细菌微生物杀死并除掉, 以免造成设备污染, 带来不良影响。

2. 电厂原水水质指标

为达到电厂的经济、合理、安全运行, 电厂化学水处理工艺需根据不同地区、不同水源水质设计, 并采取不同的制水工艺, 采用不同的处理方式。我国不同地区的水质如表 1-3 所示。

(1) 悬浮物浊度。悬浮物表示水中呈悬浮状态的物质, 它因颗粒较大, 易在设备内沉积, 从而影响设备的安全运行。因此在电厂水处理工艺中, 必须先用过滤设备将其清除掉。其含量一般都是用重量分析法测定, 但在生产上因此方法比较麻烦, 常用光电浊度仪测定水的浊度, 来表示水中悬浮物的含量, 而且测量快速, 简单易操作。代号为 NTU。



表 1-3 各种水处理设备需要提供的水质数据

含量 指标分析	山东井水	天津井水	长江水	黄河水	洪湖水	浅井水	海水	备注
溶解固形物 TDS (mg/L)	572		128.4					
悬浮物 TSS (mg/L)	37		52					
浊度 NTU				9.7				
pH	7.2	8.3	7.8	7.9		7.5	8.1	
电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	680	1040		700~ 2000	127	382	28 000 ~ 32 800	
硬度 1/2CaMg (mmol/L)	4.25		1.66	6.26		3.1		
碱度 1/2Mg ²⁺ (mmol/L)	4.4		2.3	2.7		1.9		
化学耗氧量 COD (mg/L)	1.2		2.0	2.29		0.64		
R ₂ O ₃ (mn)						1.7		
重碳酸根 (mg/L)		464	102.1	143	75	114	152	
氯离子 (氯根) (mg/L)	15	200	4、5、0	70	4.6	35	19 700	
硫酸根 (mg/L)	2.72	48	13.2		10.3	44	2740	
全硅 (mg/L)	14.1		9.3	5.4		19.92	0.04	
活性硅 (mg/L)				4.7		16.5		
钙 (mg/L)		8.0	26.3	56	22.4	39	410	
镁 (mg/L)		3.7	4.1	17	3.17	11.54	1310	
钠 (mg/L)	9	317	12.4	93	11.4	1.9	10 900	
钡 (mg/L)	0.001			0.23		0.116	0.05	
锶 (mg/L)						0.625	13	