

中等学校教学用书

蒸汽动力设备的水处理

苏联 M. C. 施克罗勃著

电力工业出版社

高等學校教學用書

蒸汽動力設備的水處理

蘇聯工學博士 M. C. 施克羅勃教授著

魯 鍾 琪譯

蘇聯電站部教育司批准作為動力學院教材

電力工業出版社

內 容 提 要

本書討論火力發電廠中現代化的水處理方法和爐內水處理方法。

書中用很大的篇幅討論了有關在爐內形成水垢和染污蒸汽的物理化学过程，蒸汽流程中鹽質沉澱过程以及蒸汽動力設備腐蝕等理論問題。

討論汽鼓式和直流式鍋爐的水質管理的特點。敘述与妨碍火力發電廠正常运行的結垢、腐蝕、蒸汽染污等現象進行鬥爭的实际方法。

根据科学研究機構、設計-校整機構和發電廠的實驗，闡述了最新的給水处理的理論和技術。描述了水處理設備的構造，並提供了有關化学水處理設備运行所必需的知識。並在不別章節中，講述了水處理的原理系統的選擇問題和水處理設備的設計問題。

簡要地敘述了下列数据：作為溶剂的水，其物理化学的数据和苏联天然水性質的数据。

本書可作為中等動力專業學校和高等專業學校的學生在學習「水處理」課程時和進行畢業設計時的教材；同時，也可作為各方面的熱力工程師和水化学家們，包括以函授來提高業務水平的工程技術人員的实用參考書。

書 号 259

蒸汽動力設備的水處理

ВОДОПОДГОТОВКА

根据苏联國立動力出版社1950年莫斯科第一版翻譯

苏联 M. C. ШКРОВ 著

魯 鍾 琪 譯

電力工業出版社出版 (北京府右街26号)

北京市書刊出版業登記可證出字第082号

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：朱雅軒 刘玉枝 校對：匡文因 陳家經

850×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 14 $\frac{1}{2}$ 印張 * 347千字 * 定價(8)：二元三角五分

一九五六年一月北京第一版第一次印刷(1—1,600册)

序 言

在偉大的十月社会主义革命以後的年代裏，苏联在水处理方面的技術已達到很高的水平，並已超过了資本主義國家在这方面的成就。由於成功地运用了給水的陽离子交換徹底軟化法、爐水修正性的內处理、分段蒸發以及其它許多措施，苏联在以化学淨水作为補給水的大型水冷壁的鍋爐机組數量方面已佔据世界首席。

目前，在苏联發電廠中运行的大型水处理設備容量的總數，已經远远地超过了美國和英國。

由於許多科学研究工作的成功，在苏联各个火力發電廠中，採用着各种各样非常有效地防止結垢和防止蒸汽污染的方法，採用着許多新的徹底軟化、除鹽及除砂的方法和系統，以及各种不同構造的過濾器、反应器和沉澱器。

苏联的化学家和熱力工程師們竭盡全力消滅在蒸汽動力設備各个部分發生危險性的腐蝕。

根据進行过的實驗和理論研究的結果，在苏联發電廠中已經拟定了並且已經成功地採用了浮動汽泡式的熱除气器，水处理設備的防酸遮蔽和附件，進行鍋爐酸液清洗時用的防腐蝕剂，鍋爐、給水管道和供熱網中最有利的水的規範，以及对腐蝕过程動力学的运行檢查法。

水处理技術的蓬勃發展，目前在苏联仍繼續進行着。

由於党和政府對於提高發電廠运行的安全和經濟問題給予極大的注意，以及在創建和發展龐大的科学研究機關中(全苏熱工研究所，苏联中央鍋爐汽輪机研究所，全苏上下水道、水工建築物及工程水文地質科学研究所等)所起的領導作用，而且这些研究機關在研究和掌握爐外和爐內水处理的各種方法正有着很大成就，苏联在水处理的科学技術方面才能有这样高度的迅速發展。

本書可作为動力技術学校熱力發電專業「水处理」課程的教材。

本書內容是以苏联科学研究機構(全苏熱工研究所, 全苏上下水道、水工建築物及工程水文地質科学研究所, 苏联中央鍋爐汽輪机研究所, 苏联科学院動力研究所, 有机無机化学研究所, 物理化学研究所等)、設計校整機構(中央動力安裝局, 火力發電設計局, 苏联地區發電廠及綫路改進局)、發電廠和設備製造廠的廣泛的近代資料作为基礎的。

本書分为十四章。前七章敘述苏联國內天然水的水質, 闡明在鍋爐、汽輪机和其它設備中所進行的物理化学过程的理論問題, 以及研究防止結垢、腐蝕、蒸汽污染、蒸汽管路中鹽質沉澱的最新式方法。在第七章中闡述了自然循环汽鼓式鍋爐和直流式鍋爐中水質規範的特點。

本書的後七章(八至十四章)詳細地敘述了現代化的水处理方法和熱处理方法, 並且介紹了各种水处理設備的構造, 並特別注意關於水处理裝置的設計和运行方面的問題。

为了滿足讀者在不同章節中充實自己知識的希望, 書中加進了一些補充材料(大部分都是用小号字標示出來), 这样使本書的某些章節更具有教學參考的性質。

为了同样的目的, 書中加進了水化学的一些章節。這些章節雖然不直接屬於本課程的內容, 但是為了使學生對爐內物理化学过程、水質改善的任务、以及在閱讀和分析解釋方面能有清晰的概念, 這些章節還是必需的。

本書的全部內容可以作为高等工業学校熱力工程專業的学生在學習「水处理」課程中, 以及在作課程設計和畢業設計時的參考資料。

本書對熱力工程師們和管理水質的化学家們, 也可作为參考之用。

Н. Г. 巴祖科夫教授和 С. М. 顧魯維奇工程師在評閱本書原稿時, 提供了許多重要的意見和指示; 化学科学碩士 М. И. 巴布

申和 A. B. 特魯科夫斯基對本書個別章節提出指正。作者在此對他們表示深切的謝意。

作者認為自己很榮幸，而且有義務向技術科學碩士 B. M. 科維亞科夫斯基和 E. И. 庫尼娜工程師表示謝意，感謝他們對本書第十四章 67、68 節給予很大的幫助。

作者以感謝的心情歡迎讀者們(高等動力學校和中等動力技術學校的教師，發電廠工程技術人員，學生)對本書給予任何方面的修正和批評指教。

作 者

目 錄

序 言

第一章 基本知識	7
1. 蒸汽動力設備運行中水質的重要性	7
2. 蒸汽動力設備循環中水的變化	10
第二章 水的溶解性(溶媒)	13
3. 原水中雜質的分佈	13
4. 電解	14
5. 固體物的溶解度和結晶	16
6. 氣體的溶解度	20
7. 溶液濃度的表示法	22
8. 弱電解液的質量作用定律	24
9. 氫離子濃度	25
10. 鹽類的水解	27
11. 膠體溶液	28
第三章 天然水的化學成分	30
12. 水在自然界的循環及其成分	30
13. 污染天然水的物質	32
14. 水質的指標	37
15. 蘇聯地下水和地面水的性質	40
第四章 水垢及其防止法	46
16. 水垢和泥垢(沉渣)的形成條件	46
17. 水垢和泥垢的成分、結構和性質	52
18. 防止鍋爐結垢的方法	56
19. 鍋爐和熱交換器的水垢清除	65
第五章 蒸汽的污染、蒸汽流程中鹽質的沉澱及其防止法	74
20. 蒸汽的性質和決定其性質的參數	74
21. 造成蒸汽污染的物理因素	75
22. 污染蒸汽的物理化學因素	79

23. 过热器和汽轮机内部鹽类的沉澱	85
24. 蒸汽污染的防止	90
25. 鍋爐排污	98
26. 过热器和汽轮机中鹽类沉澱的消除	103
27. 蒸汽品質的檢查	106
第六章 蒸汽动力设备的腐蚀及其防止	117
28. 腐蚀的形成	117
29. 金属的化学腐蚀和电化学腐蚀	119
30. 影响腐蚀速度的内外部因素	129
31. 給水管道的腐蚀及其防止法	138
32. 鍋爐机組的腐蚀及其防止法	144
33. 汽轮机和凝汽器的腐蚀及其防止法	155
34. 热力網和凝結回水管路的腐蚀及其防止法	158
35. 金属腐蚀的运行檢查和控制	164
第七章 鍋爐中水的規範	167
36. 自然循环鍋爐中水的規範	167
37. 直流式鍋爐中水的規範	175
第八章 懸浮顆粒与膠溶物的消除	179
38. 水的過濾	179
39. 裝入机械式過濾器的材料	184
40. 机械式過濾器的構造	185
41. 机械式過濾器的运行	193
42. 凝聚	195
43. 凝聚裝置的基本系統、設備和运行	200
44. 凝結水和蒸汽的除油	204
第九章 結垢物質沉澱軟化法	209
45. 热力軟化法和化学軟化法	209
46. 水处理裝置的設備和沉澱法軟化水的技術程序	214
47. 沉澱軟化水处理設備的原則性系統	242
第十章 陽离子交換軟水法	247
48. 陽离子交換剂軟水法的本質	247
49. 陽离子交換剂及其性質	256

50. 陽离子交換軟水裝置的設備	265
51. Na 和 H 离子交換過濾器的運行	282
52. 陽离子交換軟化設備的聯合系統	299
53. 在聯合的离子交換軟化設備運行中，离子交換劑工作 容量的降低及其防止法	310
第十一章 水的化學除鹽和除砂	315
54. 水的化學除鹽	315
55. 水的除砂	323
第十二章 蒸發器和蒸汽發生器設備	331
56. 蒸發器和蒸汽發生器的分類及其系統	331
57. 蒸發器和蒸汽發生器的構造	337
58. 蒸發器和蒸汽發生器的運行及水規範	343
第十三章 水的除氣(除氧)	344
59. 熱除氣	345
60. 熱除氣器的構造及其系統	347
61. 熱除氣器的運行	357
62. 水的化學除氧	361
第十四章 火力發電廠水處理裝置的設計基礎	364
63. 原水的選擇	364
64. 凝結水的收集和收回	365
65. 水處理裝置生產率的決定	367
66. 水處理原則性系統的選擇	375
67. 經過各種處理後水質成分的確定	378
68. 聯合水處理裝置計算舉例	386
69. 水處理裝置中設備組合的原則	413
附 錄	418
參考文獻	436

第一章 基本知識

1. 蒸汽動力設備运行中水質的重要性

水在熱力設備中用作为：

- (1) 鍋爐、蒸發器和蒸汽發生器生產蒸汽的原料；
- (2) 凝汽器、排污冷却器和吸風机軸瓦冷却水；
- (3) 暖汽網和暖水網中的工作介質。

在保證熱力設備的安全与經濟运行方面，水質問題是非常重要的。对鍋爐的水处理問題和合理的鍋爐水的水質管理組織，如不給予足够的注意則存在於水中的各种雜質，就可以引起下列後果：

(a) 在給水管路中、省煤器中、对流沸騰管和水冷壁管中、凝汽器中、蒸發器和蒸汽發生器中以及暖汽和暖水網路中結成水垢和沉積泥垢；

(b) 在过熱器和汽輪机蒸汽流程中產生鹽質沉澱；

(c) 在鍋爐和汽輪机的設備中，在給水和水处理设备中，發生金屬的腐蝕。

即使給水和鍋爐水的水質規格，稍稍離開設備运行標準時，對於近代的大型鍋爐都会在蒸發率比較高的水冷壁和对流管中引起水垢的沉積。由於这种水垢的傳熱率很低，所以就会促成金屬的过熱並引起管路的膨脹和破裂。

在鍋爐傳熱面上產生水垢会使傳熱變坏。因此使排出烟气温度昇高而使鍋爐設備的經濟性降低。例如，在鍋爐尾部的受熱面上積有 1 公厘厚的水垢，則將增加燃料消耗 1.5—2.0%。

在熱交換器中產生水垢会使傳熱變坏，結果促使加熱水的溫度低落，減小熱交換器的生產量。沉積在凝汽器中的水垢会使真空變坏而降低汽輪机的效率。例如，發電量为 100 000 瓩每年运行 6000 小時的發電廠，当水垢厚度積至 2 公厘時，每年多消耗

的燃料價值要超出 300 萬盧布。

必需清除鍋爐和熱交換器中的水垢，但這会引起設備長時間的停用並使運行費用提高。

蒸汽被染污的程度決定於鍋爐內部過程，而這種過程的性質又是決定於蒸汽參數、鍋爐水鹽質的組成、鍋爐設備結構標準的特點和運行的情況。

當鍋爐內部的分離設備不適當，以及標準的水質規格被破壞時，蒸汽中含鹽量會急劇地增加。由鍋爐汽鼓中出來的蒸汽，帶有一小部分鍋爐水；而這部分水中就包含着鹽質、膠體物和懸浮着的一部分泥垢。

當壓力低於 60—80 大氣壓時，帶出的這點水分是染污飽和蒸汽的主要原因；當工作壓力再升高時，蒸汽的被染污還因為在其中溶解有矽酸鹽和硫酸鹽。

帶走的鹽質，一部分隨着蒸汽流過所有設備（過熱器——蒸汽管——汽輪機），最後隨着凝結水返回鍋爐；其餘一部分鹽質，便沉積在流程中的各個部分。

在過熱器中濕蒸汽被乾燥並使之過熱，由鍋爐帶出的一部分鈣鹽，在管壁和聯箱壁上沉澱並黏結成堅硬的物質。這種鹽質的沉澱，減小了過熱器管流通截面，而且有時候，特別是在轉彎的地方可以完全被堵塞。被沉澱鹽質堵塞住的過熱器管，由於傳熱變壞不能充分被蒸汽冷卻而引起管路中部分的金屬過熱，在較弱的部分出現裂穿和穿孔。

在連接鍋爐和汽輪機的蒸汽管路中，接近關閉機件的地方和汽輪機汽門附近處最容易出現鹽質沉澱，這樣使機件難於操作，也可以毀壞汽輪機。

在汽輪機中鹽質沉積在流程中，成為堅硬的皮或細小結晶體的薄層。

當蒸汽帶有鹽質時，汽輪機各級中壓力降落增加，同時軸承負荷也增加，轉子的平衡被破壞，並且由於离心力和彎曲力產生在輪葉上的應力也增大。為了保持有鹽質沉積的汽輪機工作安

全，必須減低它的出力。但因鹽質沉積得不均勻，所以這種措施並不是十分成功的。同時由於正常的蒸汽膨脹過程被破壞，流程中管壁的粗糙度增加，所以汽輪機運行的經濟性也受到很大的影響。

蘇聯和其他國家的一些發電廠在實際運行中，曾見過汽輪機的出力，僅在二至四個星期內便降到銘牌出力的25—40%。同時也發現這樣的情況，即鹽質的沉澱促成汽輪機全部停車。

特別在高压汽輪機中因為蒸汽流程中有較小形的截面，所以鹽質的沉積就特別嚴重。如果高压的大型汽輪機沉積了不多一些鹽質(約10—15公斤)，也可以使其最高負荷降低很多。實際上，如果由一個50 000瓩的汽輪機中每小時流過200噸蒸汽，而每噸蒸汽鹽質沉澱只為0.05克/時，那末該汽輪機每運行1000—1500小時後就必須將其鹽質沉澱清洗掉。

熱力設備中主要部分和輔助部分的許多元件是在包含着各種各樣腐蝕性雜質的相當複雜的介質中進行工作的。這些雜質是溶解在水中的氧氣、二氧化碳、礦物性酸、鹼質和鹽質等。此外，熱度過高的蒸汽、含硫的煙氣和濕空氣，對於熱力設備的金屬也有腐蝕的影響。

因為水質不合規格，在發電廠中的大部分事故和許多運行中的故障，都是由於熱力設備金屬材料被腐蝕損害所造成的。

金屬腐蝕對動力事業造成的物質損失是非常大的，因為必須要修復被毀壞的設備零件，同時使它們在長時期內不能運行。此外，腐蝕又能促使熱力設備過早的損壞。

在發電廠汽水管道的任何部分，無例外地，都是以某種強度進行着各種不同的腐蝕破壞。

在熱力設備各個不同部分中所產生的腐蝕過程的種類和速度，是依下列因素決定的：在高溫高压時，液體和蒸汽兩態介質的存在情況；水的各種成分和流動速度；覆蓋在金屬表面上的水垢和泥垢的存在與否；金屬的種類及其結構等等。

必須注意，腐蝕過程帶來的害處還不限於是破壞金屬；因為

在給水管道中的腐蝕產物，隨着給水被帶到鍋爐後，會在熱应力最高的受熱面部分產生水垢。

所以，根據上面的解釋可知，設法防止水垢的形成，泥垢和鹽質的沉澱，以及金屬的腐蝕，是個非常重要的問題。近代熱力設備、特別是高壓設備運行的經濟性和安全性，在相當大的程度上決定於上述問題解決得是否成功。

2. 蒸汽動力設備循環中水的變化

鑑於上述不合格的水質造成的惡劣後果，不准許在鍋爐給水

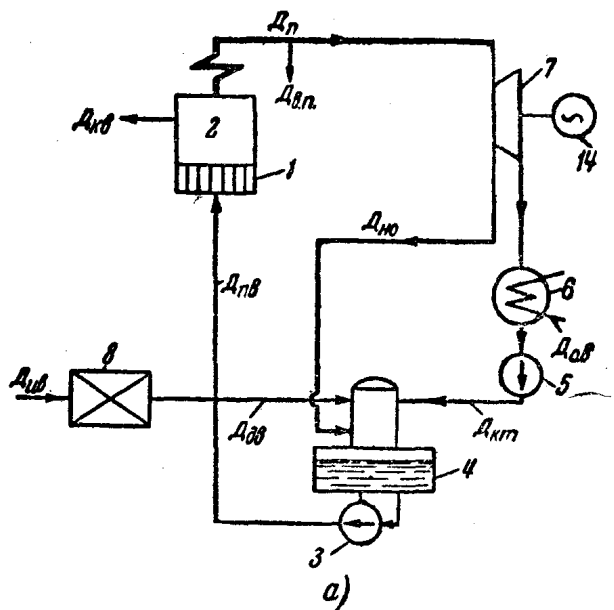


圖 1 發電廠

a—凝汽式汽輪機發電廠；

1—省煤器；2—帶有过熱器的鍋爐；3—給水泵；4—除氣器；
器(污水擴容器)；10—排污冷卻器；11—外部供汽消耗；12—
汽輪機不調節撤出的蒸汽； $D_{o.c.}$ —補充水； $D_{u.c.}$ —天然工業
(排污水)； $D_{o.c.}$ —冷卻水； $D_{p.o.}$ —由汽輪機調節撤出的蒸汽；
污染而不能重用的外部供汽

和供熱網中，甚至在凝汽器的冷却水中用不清潔的水。

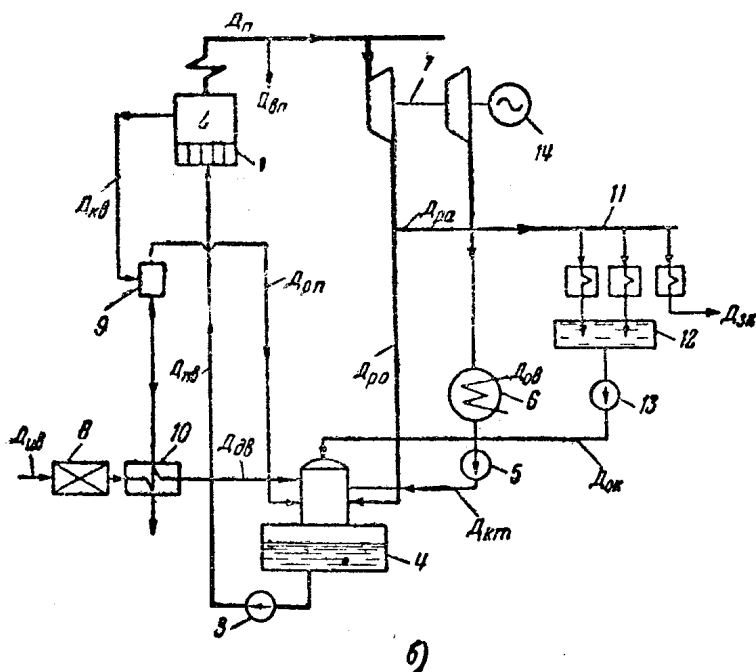
为了除掉天然水中的有害雜質，要預先在水处理设备、蒸發器和除气器中進行化学处理和加熱处理。

圖 1 表示的是在凝汽式汽輪發電廠和供熱式汽輪熱電廠中，水在工作循環中變化的熱力系統。

圖 1 举出的变化在工作循环中的水流的名称有下列幾种:

(a) 天然工業水：取自電廠水源而作製造補給水的原料；

(6) 補充水：用作補充熱力設備內部或外部熱能用戶中蒸汽凝結水、給水和鍋爐水的損失。按補充水的性質要求，經化學處



中水汽轉變系統

6—供熱式汽輪機工業熱電廠

5—凝結水泵；6—凝汽器；7—凝汽式汽輪機；8—水處理設備；9—排污膨脹凝結水箱；13—凝結水泵；14—發電機； $\lambda_{n.1}$ —由鍋爐出來的蒸汽； $\lambda_{n.0}$ —由水； $\lambda_{n.0}$ —給水； $\lambda_{0.1}$ —內部損耗； $\lambda_{k.m}$ —汽輪機的凝結水； $\lambda_{k.0}$ —鍋爐水； $\lambda_{p.1}$ —由排污膨脹器出來的蒸汽； $\lambda_{0.k}$ —外部供汽收回的凝結水； $\lambda_{3.k}$ —因凝結水； $\lambda_{p.a}$ —送給用戶的調整抽汽。

理後的清潔水、蒸發器中產生的蒸餾水以及蒸汽發生器中的凝結水都可作補充水之用；

(B) 給水：送入鍋爐的水，是由汽輪機凝結水，外部熱能用戶返回的凝結水和補充水組成的；

(Г) 鍋爐水：在鍋爐中正在蒸發的水。

熱力設備中蒸汽和水的主要損失有下列幾種：

(a) 為了減少污垢和其他鹽質，由鍋爐設備中間斷地或連續地排出的爐水。此外，鍋爐中還不能收回地消耗着蒸汽：用它作為輔助機械的原動力；用它吹灰和除灰；用它在爐內碎灰設備；用其使液體燃料在燃燒器中霧化以及安全閥門的間斷排污和當鍋爐減負荷時過熱器的排污等；

(б) 由汽輪機高低壓汽封處連續消耗蒸汽和由抽氣器中隨着空氣排到外面的蒸汽；

(B) 凝結水箱和給水箱經過溢流口流出的水以及熱水在其中的蒸發；

(Г) 經過給水泵不嚴密的填料處洩漏出的水；

(П) 由管路上不嚴密的法蘭和關閉的接頭漏掉的水。

發電廠內部水汽損失可以靠下列的方法使之減少：即裝設洩水和輸水箱；正確的選擇凝結水箱的尺寸；在管路上廣泛採用焊接方法和適當的法蘭接頭；消滅汽閥漏汽現象；避免用蒸汽式燃燒器和排污器等；避免用蒸汽拖動的輔助機。如果採用蒸汽設備時，應裝置適當的廢汽凝結設備和收回設備。

凝汽式發電廠在保持上面指出的條件下，內部凝結水損失可以達到總耗汽量的 1—3%。

供給蒸汽的熱電廠，除去內部損失外還有蒸汽和凝結水的外部損失；外部損失主要決定於熱能用戶的性質和由電廠供熱的方法。當清潔供暖的熱電廠向暖水系統供熱時，外部損耗可以視為零，因此，在凝汽式發電廠和供暖式熱電廠中給水也是汽輪機的凝結水。

工業熱電廠供給生產用的蒸汽，常常要有大量凝汽損失(15

—100%)。这种凝結水在生產过程中，被各种各样雜質所污染，使之不適宜再用做鍋爐的給水。

电廠中蒸汽和凝結水的內部及外部損失，不僅損失掉了包含在它們內部的熱量，而且为了補足水汽的損失 还必須 加入補充水。为了保証熱力設備运行的經濟和安全，必須在補充水沒有進入鍋爐以前要預先加以清潔处理。

当熱力設備运行时，補充水在很長的時間內其需要量是有一些改变的。在給水过程中不够嚴密時，鍋爐需要的補充水会明顯地增加。相反地，当汽輪机凝汽器不嚴密時，由於冷却水漏進的緣故補充水消耗量可能減少到零，而在某些情況下，給水平衡計算中可能出現盈餘，也就是補充水量是負的。

補充水的消耗量是判断熱力設備和熱交換器在生產中优缺點的尺度；同時也可以作为控制运行的最可靠的資料。

因此，在每一个熱力設備中都需要有一套嚴格而有系統的汽水平衡核算組織工作。这种工作可藉裝置在適当地方的水汽流量表的指數來完成。

第二章 水的溶解性(溶媒)

3. 原水中雜質的分佈

在原水中可能有的各种雜質，以下列状态存在：

- (a) 眞实溶液；
- (b) 膠体溶液；
- (B) 懸浮顆粒状态。

处在眞溶液状态的物質都是呈分子或离子的状态散佈着，也就是在溶媒的分子之間分佈着溶解物的分子(或离子)而構成的一种溶液。

眞溶液中每一小顆粒(小部分)溶解物的直徑只有 $1/1000000$ 公厘。在平衡状态下，溶液任一部分的性質都是相同的(同類系

統)。

膠溶狀態物質的顆粒，常常是由許多這種物質的分子組成的。膠溶質的每一小顆粒的直徑，都在百萬分之一公厘到萬分之一公厘之間。在膠體溶液中膠溶質和溶媒之間有着一個表面的分界，而在分界面上有着一種能量，和被這種能量所引起的變化過程在進行。膠溶液本身並不是純一的物質，而是經過膠溶質顆粒與溶媒之間的分界面不均勻的變化着。這種不同的部分，具有不同性質的系統，稱為異相系統(不同類的)。為分界面所限制，在物理和化學性都相同的異相系統中，個別部分稱為相。在水的膠溶液中，一相是水另外一相則為膠溶質。所以膠溶液代表兩種系統；而真溶液是一個系統。

假如處在分散狀態下的物質顆粒的平均直徑大於萬分之一公厘時，則稱這種系統為懸浮顆粒狀態系統。這種系統和膠溶液一樣是兩相的。其與膠溶液的區別在於它的動力是不穩定的：當懸浮溶液長久放置時，即會下沉為沉澱或者浮起到表面(當其密度與溶媒密度不等時)。在懸浮顆粒系統中每個懸浮物質的顆粒有時可以憑肉眼觀察到，而在任何情況下都可用顯微鏡看出來(在膠溶液中散佈着的顆粒只有用高倍顯微鏡，才可以看到)。

在原水的真溶液內有下列物質：

- (a) 氣體(氧氣，氮氣，二氧化碳氣等)；
- (b) 礦物質鹽類(氯化物，硫酸鹽，碳酸鹽以及其他鈉、鉀、鈣、鎂的鹽類)；
- (b) 某些有機化合物。

在原水中呈膠溶狀態存在的物質有鐵、鋁、鉻的化合物，以及動物和植物的肢體分解而成的有機物質。

黏土、砂粒、植物腐化的殘餘物等可看為構成天然水礦物性和植物性懸浮顆粒的來源。

4. 電 解

某些物質當溶於水中時，即分解成離子——帶有正電荷或負