

汽轮机凝汽设备的设计 和运行问题

苏联И.С.高尔琴貝尔克主編



水利电力出版社

內 容 提 要

本文集包括論文 16 篇，这些論文是苏联动力工作者工程协会莫斯科分会(МОНИТОС)会同苏联电站部在一九五〇年十月于莫斯科所召集的凝汽設備运行科学技术會議上提出的。

文集中包括了一些在會議中所討論的关于运行条件下提高真空的問題，还提供了电厂本身和一些研究和校整机构在这方面的工作总结。

在文集中也討論了运行中的凝汽設備对防止空气漏入、管束改造、防止生物性和非生物性污秽、防止水管和冷却面簇生的各种方法以及防止汽輪机凝汽器的腐蝕的問題。

本書可供我国凝汽器的設計和运行工程师以及研究人員参考。

П.С.ГОЛЬДЕНБЕРГ

ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНДЕНСАЦИОННЫХ
УСТРОЙСТВ ПАРОВЫХ ТУРБИН

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1953

汽輪机凝汽設備的設計和运行問題

根据苏联国立动力出版社1953年莫斯科版翻譯

朱鶴鳴翻譯 朱文煜校訂

*

607R150

水利电力出版社出版(北京西郊科學路二里壽)

北京市書刊出版業營業許可證出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{16}$ 开本 * 9 $\frac{1}{4}$ 印張 * 196千字 * 定价(第10类)1.30元

1957年7月北京第1版

1958年5月北京第2次印刷(1,901—2,820册)

序 言

改善汽輪机凝汽設備的运行是尽可能提高經濟性問題的主要解决方法之一，而且也常常是提高我們电厂运行可靠性的主要方法之一。

近年来苏联在凝汽設備的运行和制造上已获得了許多重大的成就。

而另一方面，运行資料的分析指出，还有許多电厂在現有的設備和当地气候条件下，其汽輪机运行的真空低于經濟上最好而技术上又能达到的真空。

这种主要与运行水平有关的真空惡化的原因，大都是凝汽器冷却面被結垢和生物性沉淀附着物所汚穢，管板被机械性杂物阻塞，真空系統的空气严密性低等等。

此外，在电厂所裝設的凝汽設備不一定符合于实际的負荷和当地的气候和运行条件，这也往往使凝汽設備在不够高的真空下运行。例如，凝汽器冷却面积較小，水冷却設備或者循环水泵的出力不足，凝汽器的型式与当地的供水条件不符等等都应该属于这一类。

最后，現有的凝汽設備，特别是进口的，技术指标不高，需要进一步改善。

有时由于上述的原因，不但使經濟性变坏，而且还限制电厂設備出力。

由于这个問題的特殊重要性，所以在 1950 年 10 月召开汽輪机凝汽器的运行和構造問題的專門科学-技术會議。

这次會議是由动力工作者工程协会莫斯科分会会同电站部組織的，它使得有可能交流在这方面所积累的經驗，討論了一些凝汽設備構造和运行的主要問題，拟定了动力工作者于最近將來在这方面最主要的工作方向。

考虑到动力工作者技术协会在會議決議中所反映的願望，考虑到我国在闡明凝汽設備構造和运行方面資料的不足，編輯者認為出版目前这本反映會議中所宣讀的主要論文文集是值得的。

應該指出，关于結垢的产生問題和防止的方法在目前还没有得到最后肯定。所以个别作者所提出的一些建議是值得討論的。

这本文集出版的目的除了向广大的动力工作者介紹最近在改善凝汽設備構造和运行方面的工作外，还在于給电厂工作人員的独立創造性劳动指出方向并帮助他們实现那些目前已經拟出和在运行中考驗过的措施。

目 录

序 言

第一部份 改善凝汽设备的構造和运行

第一篇	凝汽器的污穢和真空对火力发电厂經濟性的影响—— П.С.高尔琴貝尔克	3
第二篇	改善汽輪机凝汽设备运行的方法——Л.Д.貝尔門	17
第三篇	汽輪机組的空气严密性——Г.А.摩林	38
第四篇	兩端脹口的凝汽器管子的热应力——И. К. 格里叔克	46
第五篇	ЛМЗ凝汽设备的構造——В.П.叶果洛夫	50
第六篇	凝汽器的腐蚀和防止的方法——Ю. Д. 雷其柯	61
第七篇	气冷式凝汽器——И. К. 格里叔克	80

第二部份 防止凝汽器污穢

第八篇	汽輪机凝汽器中結垢沉淀的过程和防止方法—— Г.Е.格魯舍尔	92
第九篇	重碳酸鹽分解过程的实验室研究总结和循环式供水系統中水 处理时用药量的計算法——И. Э. 阿貝尔金	103
第十篇	循环式供水系統中冷却水的各种不同处理方法的实验室研究 总结——И. Н. 奥齐加諾夫	116
第十一篇	采用冷却水再碳化处理的总结——В. И. 彭金	130
第十二篇	采用各种防止凝汽器污穢的方法的实际效果—— А. Ф. 沙巴林	135
第十三篇	电厂供水系統中的生物性簇生和防止的方法—— А. С. 拉查莫夫	142
第十四篇	用海水运行的凝汽器和水管的簇生和防止的方法—— Н. И. 塔拉索夫	152
第十五篇	海边电厂水管中簇生物研究結果——В. Я. 萊雪夫	155
第十六篇	凝汽器的化学清洗法——Д. Я. 卡岡	157

第一部份 改善凝汽設備的構造和运行

第一篇 凝汽器的污穢和真空对火力发电厂經濟性的影响

工程师 П.С. 高尔琴貝尔克

I. 总 論

在斯大林五年计划的年代，苏联的动力工作者在电厂的设计、建造和运行方面已获得了很大的成就。电能生产的經濟性逐年提高。如果說在1940年电站部系統的电厂的單位标准煤耗是0.596公斤/度，那末在1950年單位标准煤耗已經是0.539公斤/度，也就是說，电站部系統生产每度电能的燃料消耗量和战前比較，平均降低57克，或者接近10%。

在1948年和1949年單位燃料消耗量降低最多，与上一年比較，差不多降低2—3%。电厂經濟性这样的大量提高，無論在战前或者以后几年中还是少見的。經濟性这样的提高，是由于許多巨型的高压电厂投入运行所造成的，这些电厂的容量目前已达到火力发电厂总容量的15%。可是对于降低單位燃料消耗量有决定性意义的还有：提高我們电厂的运行水平，改善檢修質量，采用大量合理化建議和改进措施。

肯定了上述成績的同时，完全不能忽視电厂鍋爐分場和汽机分場在提高它們的經濟性方面还有着很大的潛力。运用这些潛力，在降低單位燃料消耗量方面可以显著的前进一步。

苏联地区发电厂及綫路改进局最近所进行的电厂运行指标分析指出，进一步提高电厂运行經濟性的潛力是提高汽輪机設備的真空。

凝汽器中的真空度是影响汽輪机設備运行中經濟性的主要因素。

我們知道，当蒸汽消耗量不变时，真空惡化1%，汽輪机出力的降低約为額定容量的1%。当汽輪机的負荷不变时，真空惡化1%相当于电厂的燃料消耗量平均增加了1—2%。有时低真空也限制了汽輪机的出力。

但是，必須指出，提高真空度只有在一定限度內才是有益的。当汽輪机的最后一級工作叶片的出口截面达到了所謂临界压力时，在蒸汽消耗量不变时，以增加額外冷却水的供給量来进一步提高凝汽器中的真空度并不能提高出力，因之也很不值得。

在最后一級通汽能力很大的汽輪机中，临界压力的到达虽然不是一个限制性的因素，但也應該考虑，以增加冷却水量来提高真空会使循环水泵的能量消耗增

加。

为了使设备经济地运行，当蒸汽消耗量不变时，就必须使汽轮机由于真空提高而增加的出力大于循环水泵所增加的能量消耗。

当其他情况相同时，凝汽器冷却面的洁净程度、设备的空气严密性以及抽气设备的运行质量对实际真空有很大的影响。

在凝汽器进口处的乏汽压力(或者真空)可以作为凝汽设备运行的指标，这压力可以用相当于蒸汽在该压力时的饱和温度来表示：

$$t_2'' = t_1^0 + \Delta t + \delta t,$$

式中 $\Delta t = t_2^0 - t_1^0$ ——冷却水在凝汽器中升高的温度；

$\delta t = t_2'' - t_2^0$ ——凝汽器出口处的端差；

t_1^0 和 t_2^0 ——凝汽器进口处和出口处的冷却水温度。

端差值 δt 表示了凝汽设备的运行质量。运行人员的努力方向应该首先针对降低端差的数值。

II. 凝汽设备的运行指标

在 1950 年的夏季和冬季以及 1949 年的全年，苏联地区发电厂及线路改进局曾经对六十八个具有不同供水系统的电厂的凝汽设备的运行指标进行了分析。这些电厂位于具有各种气候条件的地区中。在所观察的电厂中，30 个电厂或者 44% 的厂是具有直流式供水系统的，16 个电厂或者 24% 的厂是有冷却池和湖泊的，而 22 个电厂或者 32% 的厂装有冷却塔和喷水池。

已经肯定，在许多电厂中实际的真空比技术上可能的真空要低得多，也查明了在个别电厂中真空低落的主要原因。

表 1-1 和表 1-2 提供了具有不同型式供水系统的电厂中，冷却水平均温度和平均真空的变动范围。

表 1-1

供水系统	冷却水平均温度, °C					
	1949 年全年		1950 年 1 月		1950 年 7 月	
	最低	最高	最低	最高	最低	最高
直流式	7.3	16.8	0	8.6	14	27.6
具有水池和湖泊的循环式供水	3.8	19.5	0	7.3	11	31
具有冷却塔和喷水池的循环式供水	16	26.5	7	21	25	34.1

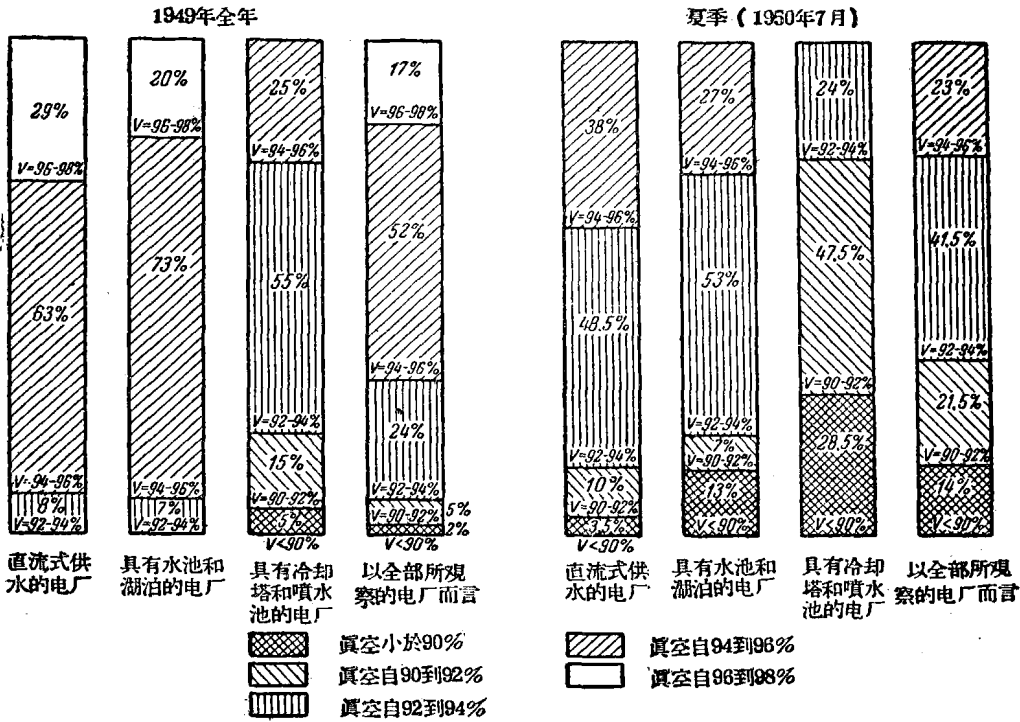
从表 1-2 可以看出，具有直流式供水系统的电厂和具有冷却池和湖泊的电厂之间，真空数值是相互接近的，而与具有冷却塔和喷水池的电厂相比，则真空数

表 1-2

供 水 系 統	平均真空, %					
	1949 年全年		1950 年 1 月		1950 年 7 月	
	最低	最高	最低	最高	最低	最高
直流式	94.0	96.9	95.3	97.7	88.2	95.9
具有冷却池和湖泊的循环式供水	92.9	96.4	95.0	97.6	87.3	94.3
具有冷却塔和噴水池的循环式供水	89.8	95.8	91.0	96.6	85.7	92.7

值相差很大。

表 1-3 和圖 1-1 提供了各种不同供水系統類別和所有被觀察的电厂根据真空的相对百分比。



从表 1-3 和圖 1-1 看出，帶直流式供水的电厂和帶冷却池 和湖泊 供水的电厂中，在整个 1949 年中以及 1950 年的 冬季，真空状态还是比较良好的。但是在 1950 年的 夏季，直流式供水的电厂中有 13.5% 以及冷却池供水的电厂中有 20% 在低于 92% 的真空下运行，这种情况是不能令人满意的。具有冷却塔和噴水池的电厂，真空特别低。譬如在 1949 年中只有 25% 的电厂全年平均真空

在94%以上，而在1950年夏季，有76%的电厂在低于92%的真空下运行。

但是，从所提供的资料还是无法来估计凝汽设备的运行质量和找出所有足以提高真空的潜在可能性。

根据不同真空的电厂相对百分比

表 1-3

	电厂数目, %		
	根据 1949 年 全年平均数值	根据 1950 年 1 月份的资料	根据 1950 年 7 月份的资料
具有直流式供水的电厂			
真空小于 90%	0	0	3.5
真空为 90—92%	0	0	10
真空为 92—94%	8	0	48.5
真空为 94—96%	63	28	38
真空为 96—98%	29	72	0
具有循环式供水的电厂			
a) 具有冷却池和湖泊			
真空小于 90%	0	0	13
真空为 90—92%	0	0	7
真空为 92—94%	7	0	53
真空为 94—96%	73	25	27
真空为 96—98%	20	75	0
b) 具有冷却塔和喷水池			
真空小于 90%	5	0	28.5
真空为 90—92%	15/20%	5	47.5/76%
真空为 92—94%	55	19	24
真空为 94—96%	25	52	0
真空为 96—98%	0	24	0
以整个所观察的电厂计算			
真空小于 90%	2	0	14
真空为 90—92%	5	1.5	21.5
真空为 92—94%	24	6	41.5
真空为 94—96%	52	35	23
真空为 96—98%	17	57.5	0

将被观察的电厂中所看到的实际真空与技术上可能的真空作比较是更具有说明性的。这种技术上可能的真空是在下列情况中达到：当以设计数量的冷却水送入凝汽器；凝汽器的冷却面保持清洁；保证水的冷却设备有效的运行；保持系统可靠的空气严密性。

这种比较，虽然好像应用得还不十分精确，但是迄今还是我们唯一的在汽轮机机组典型特性曲线中所采用的“正常”端差数值。从这种比较我们知道有很多甚至是直流式供水系统的发电厂在低于技术上可能的真空下运行。

表 1-4 提供了比技术上可能的真空低 0.5% 以上的情况下运行的电厂数目。真空降低小于 0.5% 者不予考虑，因为这是在运行测量和计算的准确性范围之内。

表 1-4 的资料指出，在 1949 年差不多有 60% 的电厂的真空比技术上可能的真空低 0.5% 和 0.5% 以上，其中 40% 以上的电厂的真空比技术上可能的真空低 1% 和 1% 以上。这些数值证实有可能以提高真空来显著地提高汽轮机设备的

表 1-4

供水系統	1949年全年真空比技术上可能的真空低下列数值的电厂数目		1950年1月份真空比技术上可能的真空低下列数值的电厂数目		1950年7月份真空比技术上可能的真空低下列数值的电厂数目	
	0.5%及以上	1%及以上	0.5%及以上	1%及以上	0.5%及以上	1%及以上
直流式供水	54	29	31	10	66	48
具有冷却池和湖泊的循环式供水	40	20	31	19	67	33
具有冷却塔和噴水池的循环式供水	80	75	76	43	81	62
根据整个被观察的电厂	59	42	45	23	71	49

註：电厂数目是由某一类型(根据供水系統)被观察的电厂的相应百分数以及由被观察的电厂的总数的百分数来表示。

經濟性。

在所观察的电厂中，真空降低的主要原因列举于表 1-5 中。这个表包括了所有被观察的电厂，根据报告的资料將真空降低的原因归列于表中所举出的一个或某几个原因中。

真空降低的主要原因*

表 1-5

原 因	直流式供水	循环式供水		所有被观察的电厂
		有冷却池和湖泊	有冷却塔和噴水池	
凝汽器冷却面污秽	27	44	27	31
凝汽器管板阻塞	3	12	—	4
真空系統的空气严密性	17	19	14	16
低冷却水量不足①	60	62	50	57
凝汽器的缺陷②	7	19	14	12
水的冷却設備出力不足或者效率不够	—	25	27	15

* 表示該类型电厂中由于所列举的原因而产生真空惡化的百分数。

①因为循环水泵出力降低，水量不够，凝汽器之間水的分配不佳，企图減低厂用电消耗而減低供水量，供水系統个别部件存在缺陷，凝汽器污秽和其他原因。

②冷却面积不够，有大量被悶塞的管子，腐蚀了的鋼管等等。

从表 1-5 看出，在所观察的电厂中，报告中所指出的真空降低的最重要原因是：冷却水量不足——57% 的电厂；凝汽器冷却面污秽——31% 的电厂；真空系統空气严密性低——16% 的电厂；水的冷却設備的容量不足或者运行不佳——15% 的电厂；凝汽器的缺陷——12% 的电厂。其他的原因只有在个别情况下發現，而且也是沒有代表性的，这里不再講述。

必須注意，有大量的电厂在冷却水量不足的情况下运行。毫無疑問，在这些

电厂中的某些电厂，冷却水量不足是由于凝汽器管子、水管和噴水池的噴嘴产生結垢，增加了管道的阻力。在这些电厂中，真空惡化的主要原因應該認為是凝汽器表面的污穢，它甚至減少冷却水的供应量。

此外，在冷却水量不足的情况下运行的电厂数目中，應該不包括那些为了降低厂用电而減少运行循环水泵数的电厂，它們沒有考虑到有时这要引起出力和經濟性的降低。

考虑到上述的情况，可以更正确地提出真空惡化的原因，以它們的重要性为序排列如下：

1. 凝汽器冷却面污穢。
2. 冷却水量不足。
3. 水的冷却设备的效率不佳。
4. 真空系統的空气严密性低，抽气设备的运行不佳。
5. 凝汽器的缺陷。

III. 真空降低的原因和消除的方法

1. 凝汽器冷却面污穢

凝汽器冷却面水側污穢一般是引起真空惡化和降低汽輪机設備經濟性的主要原因。上述所提供的資料指出，所观察的六十八个电厂中，有31%是由于凝汽器污穢而使真空降低。如果观察一下我們所有的电厂，遭受凝汽器污穢的部分，显然一定还要多些。

凝汽器水側的污穢是由有机物和無机物的結垢所引起，而且往往同时發現两种类型的結垢。

具有直流式供水的电厂中，一般講有机性沉淀起着主要的作用，促使产生这些沉淀的原因是在冷却水中有水藻和微生物。在凝汽器中它們的生存和發展具有良好的条件。

可以举出頓巴斯电厂中兩台汽輪机的資料作为凝汽器被有机性沉淀强烈污穢而使真空惡化的例子。如圖 1-2 所示，由于上述原因在凝汽器清洗間隔期間，兩台汽輪机真空的惡化程度大約是3—5%，相当于每个月真空降低2.0—2.5%。

在一个伏尔加河的电厂中，兩台汽輪机在 1950 年 1 月和 6 月由于凝汽器中生物性簇生使真空降低約 1.5%，使得每月浪費标准煤 550 吨以上。

凝汽器管壁和其他有冷却水流过的表面上有硬質結垢，主要發生在循环式供水系統电厂中。

产生硬質結垢的主要原因是所有天然水中都有矿物性鹽类。其中一部分称之为碳酸鹽硬度的鹽类，主要由鈣鹽，其次由鎂鹽組成，它們以重碳酸鹽的形式存在于溶液中。当碳酸鹽硬度的鹽类在溶液中的濃度超过相当于一定条件下的飽

和限度时，鹽类的过剩部分就發生析离。此时即产生極难溶解的碳酸鹽，以坚硬的結垢形式沉淀在凝汽器冷却面上和循环系統中。

在凝汽器管、水管和噴水池的噴嘴中产生硬質結垢，可使循环水泵的出力降低。由于冷却水量減少而引起真空进一步恶化比凝汽器中热傳导的变坏而使真空的降低更甚。

可以举出一些凝汽器被硬質結垢汚穢而使真空降低和燃料浪费的例子。

南方国营地区发电厂的一台汽輪机具有水池供水，在1951年7月由于凝汽器汚穢真空跌落了1.9%，使得在这个月中浪费了标准煤300吨以上。在另一个用水池供水的大型电厂中，由于产生强烈的硬質結垢，在2—3个月中真空恶化达到10—12%。

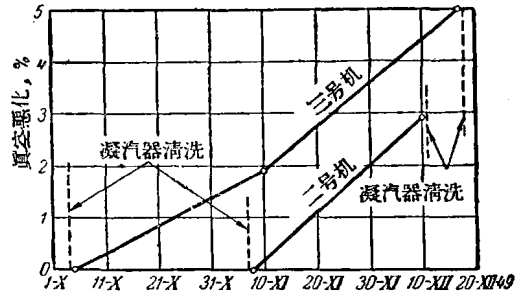


圖 1-2 在凝汽器清洗間隔时期兩台汽輪机真空的恶化情况

2. 清除凝汽器管子的汚穢

清除凝汽器管子的汚穢一般是用机械方法和化学方法来进行。

用机械方法定期清洗管子并不能保证表面完全清潔，同时还要消耗大量的劳动力和降低汽輪机的負荷。比較有效的是管子的化学清洗法，特别是与机械方法配合使用。

根据凝汽器管子上結垢的特性来选擇适当的化学清洗时用的藥剂。如为有机性結垢时，化学清洗就要采用能杀死微生物的藥剂，也就是：漂白粉，氯胺，气体氮，高錳酸钾，硫酸銅和其他。当用化学方法清除硬質結垢时，一般采用鹽酸。化学清洗需要消耗大量貴重的藥剂，还要使汽輪机停用，并且加速管子的腐蝕。

在采用定期清洗时，凝汽器总是或多或少以較低的真空运行，因为在清洗間隔期間，結垢不断产生。所以不論采用何种方法，凝汽器的定期清洗，應該看作是一种在采用預防性措施以前在运行中允許使用的临时性的措施。而預防性措施能保证凝汽器水側在运行中有很長时期不汚穢。

目前已經知道一些方法，并在实际工作中經過考驗，这些方法可以保证凝汽器运行时管子經常清潔，或者在特別不利的情況中使結垢产生得最少。这种預防性措施應該用来防止有机性和無机性的結垢。

一个大型凝汽式电厂的資料，可以用来說明凝汽器虽然定期清洗但燃料仍然大量浪费的例子。这个电厂具有蓄水池的循环式供水系統。

据据国营地区发电厂的資料，1950年7月因为真空比計劃低了2.9%，使标

准煤浪费了 1480 吨。專門的調查确定，由于凝汽器管子上附着了大量的硬質結垢，因而促使真空降低，特別在第二通道中，硬質結垢的厚度达到 1.5—2.5 公厘。

1950 年夏季某日对这个电厂的凝汽設備的日常运行所进行的观察和相应的計算指出，个别汽輪机仅仅由于管子污穢而使真空恶化的达 2.5—9.6%，引起显著的出力不足。

在 1950 年夏天以前，电厂所进行的凝汽器以鹽酸定期清洗并不能保証管子全部清潔。凝汽器第二通道的管子在清洗后还盖着硬質結垢。这种現象的原因是：采用了不正确的清洗方案；用来打送溶液的水泵出力不足以及清洗时所用的鹽酸量不够。当硬質結垢很厚时，用来清洗一台汽輪机的兩台凝汽器要 18 吨左右的鹽酸，而实际上每台凝汽器只用 2—3 吨。

在这个电厂中由于在清洗間隔期間真空經常降低，实际上浪费的燃料大大地超过上面所講的超过计划的数字。

在直流式供水系統中，硬質結垢产生得比較少，而且也比较不厉害。但采用定期清洗也不能避免真空恶化和在二次清洗的間隔期中浪费很多的燃料。例如，在一个大型的具有直流式供水系統莫斯科区国营地区發电厂中，凝汽器管子的水側在 2—3 年中所积起的硬質結垢达 1.0—1.5 公厘，为了除去这些結垢，电厂采用了用鹽酸三年一次的凝汽器定期清洗，結果真空提高 1—2%。

这一点指出，在清洗間隔时期，由于硬質結垢的存在，电厂每年損失了 2000—2500 吨的标准煤。

拟訂和采用防止产生結垢的預防性措施的必要性就非常明显了。

3. 对有机性結垢的預防性措施

冷却水的氨处理在运行中广泛采用作为防止凝汽器管子为有机性結垢所污穢的預防性措施。这种措施在 1936 年首先由苏联地区發电厂及綫路改进局在某一国营地区發电厂中采用。氨处理的效果完全决定于水質，温度等条件所規定的处理方式。

可以根据当地情况采用液态氨或者漂白粉作为氨处理的葯剂。

在凝汽器管子中發現有机性結垢的一个莫斯科区大型国营地区發电厂中，循环水氨处理提高了电厂的年度平均真空，每年节省了約 5000 吨的标准煤。

在許多定期进行的冷却水氨处理的电厂中，也沒有發現由于有机性結垢而使真空恶化的情况。

此外，还有些电厂对已經試驗而实际行之有效的措施推行得很迟，它們还是采用临时性的办法或者进行不定期氨处理，使这些电厂蒙受了經濟性上的大損失。

4. 对硬質結垢的預防性措施

对循环式供水系統中产生硬質結垢的預防性措施：进行循环水系統的排污，水的酸处理，磷酸鹽处理和再碳化处理。

当补充水的碳酸鹽硬度比循环式供水系統中循环水的稳定的碳酸鹽硬度低时，排污可以减少硬質結垢的产生。

仅有当补充水的碳酸鹽硬度不高，而且所含有的二氧化碳比相当于碳酸鹽硬度时的平衡量过剩得很多时，少量的排污可以全部避免硬質結垢析出。因为实际上这是很少碰到的，所以排污一般是与水的化学处理配合使用的。

增加排污量是否适当必須每次由技术經濟的分析来决定。

硫酸可以用来作为循环式供水系統中循环水处理的葯剂，鹽酸也可用，但是由于鹽酸昂貴和稀少，采用鹽酸是極少的。

用硫酸进行水处理时，难溶于水的重碳酸鈣和重碳酸鎂变成很易溶解于水的硫酸鹽。

当用鹽酸作水处理时，重碳酸鹽变成相应的氯化物。在两种情况中，化学反应都析出游离二氧化碳，使溶液保持还没有分解的重碳酸鹽。

用酸来作冷却水的处理时，如果执行得正确，它是一个防止产生硬質結垢的有效办法。但是要采用这个方法就要消耗大量的酸，同时儲备和运输有腐蚀性和危险性的葯剂也很困难，因而使运行复杂化了。

其他用来防止循环式供水系統中产生硬質結垢的方法，是当水中缺少二氧化碳时，在水中加入一种物質来促使提高重碳酸鹽在水中的饱和極限，也就是稳定碳酸鹽的过饱和溶液。为此而采用的第一种葯剂是六偏磷酸鈉。

运行观察肯定，用六偏磷酸鈉处理水不仅可以防止新的硬質結垢产生，而且还能除去在采用这种水处理方法以前在系統中沉积的結垢。

六偏磷酸鈉的水处理设备运行簡單，可以由电厂的本身力量来做成，但是由于沒有大量制造这种設備和手工業制造方法的复杂性，所以沒有广泛采用。

1945年頓巴斯供水公司中心試驗所曾經建議用正磷酸鹽——过磷酸鹽和磷酸三鈉来作为稳定剂，运行經驗証实了这些葯剂是有效的。

一个有噴水池的电厂中用过磷酸鹽作水处理时，真空比用磷酸鹽处理前提高了大約5%。

一个具有循环式供水系統的南烏拉尔电厂，它从以硫酸作循环水酸化处理改用过磷酸鹽作循环水的磷酸鹽处理的經驗是很有意义的。

应该指出，在进行循环水酸化处理前，这个电厂汽轮机凝汽器中鹽类的結垢使真空降低到78—80%。每2—3月要用鹽酸清洗凝汽器一次。經過6—7次化学清洗后，凝汽器管子开始损坏，因为在管子中产生了小裂縫。此外，凝汽器的化

学清洗还需要將汽輪机停下。

从 1945 年起，在电厂中进行了硫酸的循环水处理。当补充水的硬度在 $8.4-11.8^{\circ}$ 时，循环水的碳酸鹽硬度保持在 $3.1-5.6^{\circ}$ 的範圍中，使电厂免除了硬質結垢的产生。但是尽管酸化处理方法簡單和有效，电厂却遇到了儲藏和运输硫酸的困难。發現儲酸箱腐蝕剧烈，管道受到侵蝕和鋼筋混凝土受到损坏。

从 1948 年 10 月起改用过磷酸鹽处理循环水以后，电厂就能將循环水的碳酸鹽硬度保持在 15° 的範圍內，定期的系統排污佔总水量的 3%，在凝汽器管子上不再發生新的硬質結垢。

采用过磷酸鹽，磷酸三鈉和鍋爐排污水的磷酸鹽处理法，在一些补充水的碳酸鹽硬度比較低的电厂中得到肯定的效果，使循环水的碳酸鹽硬度保持在 $13-18^{\circ}$ 。由于方法簡單，葯剂也不缺乏，應該更广泛的采用。当补充水的重碳酸鹽硬度較高时 ($12-15^{\circ}$ 以上)，就有必要作水的綜合处理，也就是补充水的酸化处理和磷酸鹽处理配合使用。

用水的再碳化法来防止硬質結垢产生的原理，是使水在冷却設備中不可避免損失掉的游离二氧化碳，由人工用二氧化碳將水飽和到使重碳酸鹽能在溶液中保持必要数量来得到补偿。

在火力發电厂中，頂好是用鍋爐排出的爐烟来达到这个目的，因之不需要任何的葯剂。用爐烟来作循环水处理在一些电厂中已实际采用。采用再碳化的經驗証实了这种方法的合理性，甚至水中碳酸鹽硬度很高时，这种方法也証实有效，而且設備制造和运行都較為簡單。在巨型电厂中如要广泛推行再碳化水处理法，还需要进一步研究来改善使用上的技术。

在所有已知的防止循环式供水系統中硬質結垢产生的方法中，再碳化法在目前还是最完善的，最先进和最具有前途的方法，至于选择那一种方法，應該在每一种情况中由具体条件来决定。

5. 凝汽器管板的污穢

在直流式供水或者循环式供水的电厂中，时常發現凝汽器管板污穢，使冷却水的流量減少，引起真空的恶化，因之降低了汽輪机組运行的經濟性和可靠性。

尽管管板阻塞的原因和防止它的方法很明确，但是这种現象迄今甚至在很好的和运行很久的电厂中还是能發現。

譬如像在莫斯科区的一个电厂中，因为取水裝置的濾水網不完善，發現凝汽器和管板被貝壳、木屑和其他河里的垃圾阻塞得很厉害而且很快。由于这个原因有时使真空恶化 3%。

在一个烏拉尔的国营地区發电厂中，汽輪机凝汽器被木屑和其他垃圾所阻塞，需要將凝汽器經常清扫和清洗。

預防凝汽器管板阻塞的主要方法是在取水處和直接在循環水泵進水井處裝設適當結構和尺寸的濾水網。當水很污穢時，最好是在進水池處裝設具有特殊沖洗設備的移動式濾水網，來不斷地除去由收集器積儲的垃圾。

在沒有濾水網或者濾水網的運行很壞時，採用凝汽器的逆流清洗來作為防止凝汽器管板阻塞的治標措施。

關於防止凝汽器管板污穢的問題，雖然用管板的逆流清洗和使淨水設備運行正常（這些工作任何電廠都能做到），這種現象可以減到最少，但是由於運行人員輕視了它的意義，所以沒有得到足夠的注意。

6. 抽氣設備的運行

抽氣設備的運行不良也是真空惡化的重要原因之一。引起抽氣設備運行不正常的原因各有不同，而且與這些設備的型式、狀態和它們的運行條件有關。

在列寧格勒的一個電廠中，兩台汽輪機的凝汽設備運行的改善是以蒸汽抽氣器代替拉白朗（Леблан）濕式空氣泵來達到。

有時，蒸汽抽氣器運行的惡化是由冷卻器的效率不佳所引起。譬如在伏爾加河一個電廠中，這是真空降低的主要原因。

噴射式抽氣設備運行不佳的原因往往是尺寸不相稱，噴嘴和擴散管的相對位置不正確，噴嘴阻塞和磨蝕，冷卻器疏水到凝汽器的連接不正確等等。

對提高空氣抽出設備運行效率的問題，無論是從運行人員角度上或者從究研和校整機構的角度上都必須加強注意。

7. 真空系統空氣嚴密性低

由於真空系統的空氣嚴密性低而使真空降低佔所有被觀察的電廠的 16%。

根據目前所採用的方法，真空系統的狀態在空氣嚴密性方面是由隔絕抽氣設備時真空的降落速度來表示。對於各種容量的汽輪機，容許的真空降落速度根據實際情況確定。

在許多電廠中往往看到機組空氣嚴密性的顯著降低。可以舉出一些例子說明這方面的不良情況。例如在一個南方電廠中，兩台汽輪機的真空降落速度各為 20.5 和 17 公厘水銀柱/分鐘，而正常數值應為 4—5 公厘水銀柱/分鐘。

在一個莫斯科區的電廠中，1950 年 7 月一台汽輪機的真空系統嚴密性由 18 公厘水銀柱/分鐘的真空降落速度來表示，而正常為 3—4 公厘水銀柱/分鐘，另一台汽輪機的真空降落速度為 27 公厘水銀柱/分鐘，而正常的數值為 2—3 公厘水銀柱/分鐘。在這個電廠中，甚至在 1950 年經過大修後，汽輪機的真空系統還是不嚴密——真空降落速度在檢修後是 8—10 公厘水銀柱/分鐘，而這些機組的正常數值為 2—4 公厘水銀柱/分鐘，這是完全不容許的。

另一个莫斯科区的电厂可以用来作为成绩优良的例子。在这个电厂中，两台汽轮机在整个一年中的真空系统空气严密性可由下述情况说明：隔绝抽气器后的真空降落速度为 1.9—2.9 公厘水银柱/分钟。

在这个电厂中所获得的真空降落速度指出，在有关的指示中所引用的确定真空系统严密性的合格标准，当汽轮机设备维护良好时是完全可以做得到的。

应该指出，所采用的方法远不是完善的，因为没有办法来确定空气吸入量的绝对数值。毫无疑问，应该测量被抽气器吸出的空气。全苏热工研究所 Л. Д. 貝尔門的建議在这方面已向前推进了一步，他建議根据所测得的漏入系统的空气量作为衡量汽轮机组真空系统空气严密性的标准。

最近在一个国营地区发电厂中根据直接测得的空气量对真空系统进行经常的监督。这类方法也应该在其他电厂中采用。

此外，还必须研究新的而且能有效的找寻漏气地点的方法，特别是找寻空气吸入量不大的地方。

同时也应该向制造厂提出要求，在拟定汽轮机设备各部件的有关结构时，要保証能保持良好的空气严密性。

8. 凝汽器的缺陷

在其他影响汽轮机组的真空恶化的原因中，应该指出凝汽器本身的缺陷。在电厂中还有着构造老式或结构不良的凝汽器，还有着用铜管而不用钢管的凝汽器。此外，在个别情况中，凝汽器在部份损坏的管子被堵塞的情况下运行。还时常可以碰到冷却面积很小的凝汽器（它们的单位蒸汽负荷达到 80—90 公斤/公尺²·小时，而通常所采用的为 40—55 公斤/公尺²·小时）。

有时凝汽器构造上的缺陷使凝结水显著过冷却。

在所观察的电厂中有 12% 可以发现由于有着上述某一种凝汽器明显的缺陷而使真空恶化。

一个 AT-25-1 型汽轮机在夏季时的真空，往往比容量相同但为 АП-24 型的汽轮机低 3.5—4%。在夏季冷却水温度超过 20°C 和纯凝汽的方式下，AT 型汽轮机不能保持机组的全部电气出力。真空恶化和出力限制是因为这台汽轮机的凝汽器的冷却面不足和循环水量有限制。对于一些 AT 型汽轮机，凝汽器冷却面积和冷却水额定流量是 1225 公尺² 和 3800 公尺³/小时，而 АП 型汽轮机为 2000 公尺² 和 6300 公尺³/小时。

一台 АП-25-1 型汽轮机在纯凝汽的方式下运行时，由于凝汽器冷却面积不足，致使真空比电厂中其他型式的汽轮机低 2.2—4.6%。

由于凝汽器有大量被堵塞的管子使总冷却面积降低，在 1950 年上半年，有一些电厂的个别汽轮机是为此而在较低真空下运行的。

將凝汽器进行适当的改造后便改善了一些凝汽设备的运行。

例如在一个莫斯科国营地区发电厂中的汽轮机，曾經改善了凝汽器的結構。主要是以抽去部份凝汽器管来扩大蒸汽的通道。結果真空提高 0.5%，凝結水过冷却降低 6°C ，这相当于每年节省标准煤 4000 吨。

在个别情况下，当凝汽器以很高的單位蒸汽負荷运行时，頂好是將这些凝汽器換大。例如，在一个南烏拉尔的电厂中，AT-25-1 型汽輪机的凝汽器的冷却面积不够——1400 公尺²。在 1950 年 7 月將它換以按照列宁格勒斯大林金屬工厂圖紙而自行制造的冷却面积为 2000 公尺²的凝汽器。

消除运行中的凝汽器已有的缺陷和在設計电厂时更正确地选择凝汽器是运行，校整和設計機構的迫切任务。

9. 冷却水量不足

由于冷却水量不足而使真空降低佔所观察的全部电厂的 57%。

冷却水量不足可能是由于循环水泵出力低，水泵的数量不够，水泵的特性不佳，各凝汽器之間冷却水量的分配不正确。

冷却水供应量的减少也可能是由于运行条件或缺陷所引起，例如凝汽器管子和管板的污穢减少了流通截面，增加了系統的阻力；在凝汽器冷却水出口管中水面高涨；虹吸破坏或者虹吸管中的真空降低；循环水泵的状态不佳。在个别情况中，冷却水量的减少是由于运行人員想降低厂用电而造成的。

可以举出一些由于冷却水量不足而使电厂在真空变坏的情况下运行的例子。

例如，在一个具有循环式供水的南方热电厂中，1950 年 1 月的平均真空是 91.0%，而在 1950 年 7 月由于循环式供水系統的出力不足使冷却水量受到限制（額定的 55—60%），平均真空是 86.6%。

在一个伏尔加河的国营地区发电厂中，也因循环水泵的出力不足，在电厂滿負荷时，冷却倍数小于 45 公斤/公斤，再加上其他原因使該电厂的安裝容量在夏季减少了 18%。

在另一个国营地区发电厂中，因为没有移动式濾水網，使管板很快被阻塞，而降低了水泵的出力。

在南方某些电厂中，循环水泵进水管阻力增加使所安裝的水泵出力比額定的来得低。

同时，在許多电厂中發現冷却水量不足是限制真空的最主要原因之一。必須根据每个电厂的情况具体地拟訂措施，并加以执行，来保証所需要的冷却水供应量。

10 水的冷却設備运行不良或出力不足

由于構造上，状态上或运行方式上的缺点而使水的冷却設備的出力不足或者