

改造汽輪机 凝汽器的導則

苏联Л. Д. 別尔曼等著

水利电力出版社

內 容 提 要

本書是累积全苏热工研究院各方面改造凝汽器經驗的总结，因此可按本导則进行汽輪机凝汽器运行分析，得出改造工作方案，使汽輪机运行經濟性充分發揮，降低煤耗及消灭凝結水过冷却現象。

此外本导則亦着重指出許多措施，如何提高凝汽器水側的严密性和防止水管振动以及改造旧凝汽器，使它在汽輪机运行时也能清洗。

本書又指出許多改造凝汽器时所用各种元件的制造方法，以及如何进行热力及水力計算。讀者可根据这些方法，自己进行凝汽器的改造設計。

本書是发电厂汽輪机运行和維護人員以及汽輪机制造厂技術人員，为改进凝汽器效能的一本指南。

Л. Д. БЕРМАН И. К. ГРИШУК
РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ
КОНДЕНСАТОРОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1954

改造汽輪机凝汽器的导則
根据苏联国立动力出版社1954年莫斯科版翻譯
朱鷲鳴 朱文煜 郭予超譯 霍宏先校

1130R237

水利电力出版社出版(北京西郊科學路二風溝)
北京市書刊出版業登記證出字第105号
北京市通州区印刷厂排印 新华書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 44印張 * 103千字 * 定价(第10类)0.70元

1958年9月北京第1版

1958年9月北京第1次印刷(0001—3,400册)

前 言

在电站部的各发电厂中，除了有新式的凝汽器外，还有很多老式的凝汽器，由于它们的缺陷，使真空降低，因而使汽轮机设备的经济性也降低了。这些情况主要发生在国外所制造的汽轮机上。

近年来全苏热工研究院凝汽设备试验室的工作人员，在改造老式的凝汽器方面完成了大量的研究、设计和校整工作。

“改造汽轮机凝汽器的导则”为全苏热工研究院在这方面经验的总结，它对于新的凝汽器的设计也是适用的。

技术司向所有的发电厂及地区电业局的总工程师建议，希望利用本导则对汽轮机凝汽设备的工作进行分析，必要时并应在最近期间做好对凝汽器研究及改造的工作计划。在这一方面的一切问题均可向全苏热工研究院或技术改进局询问。

本书中第一章至第六章由技术科学博士耳·德·别尔曼编写，第七章由技术科学硕士伊·克·格利舒克编写。

除以上作者外，工程师格·阿·慕陵及技术科学硕士斯·恩·富克斯也积极参加了全苏热工研究院凝汽器改造方面的工作。作为本书例题的改造设计方案，在编制时并由工程师姆·阿·克罗特柯夫，德·姆列文，叶·伊·密夏尼诺夫等参加。

目 錄

第一章	序言	3
第二章	一般指示	4
第三章	改造管束的实例	12
第四章	其他的改造措施	32
第五章	改造时个别部件的制造	41
第六章	改造設計时的热力和水力計算	46
第七章	与管子的机械强度有关的措施和計算	56
附錄 1	試驗黃銅制品残余应力的指示	63
附錄 2	凝汽器銅管退火的指示	69
附錄 3	凝汽器銅管脹裝的指示	70
附錄 4	多跨距的管子决定 u_i 及 k_i 值的方法	71

第一章 序 言

§ 1. 裝置在苏联發电厂中的凝汽式汽輪机通常裝配表面式凝汽器，它們在構造上有很大的不同。除了新式的和構造完善的凝汽器以外，在运行中的还有很多老式的或出品較晚和構造上有缺陷的凝汽器。

由于凝汽器構造上有缺陷，使凝汽器設備所產生的真空降低，非回热式凝汽器还要使凝結水發生很大的过冷却。这些都会使汽輪机設備运行經濟性降低。此外，凝結水的过冷却使水的品質减低——含氧量增加。通过凝汽器的改造，就可以基本上完成消除或大量消除由于它們运行不良所引起的热損失和凝結水品質的劣化，改造这些凝汽器的方法大部份是極簡單的。

§ 2. 汽輪机凝汽器的改造，在很長的时期中或甚至到現在，还常被認為以消除凝結水过冷却为主要目的的一种措施。这种看法既决定了哪些汽輪机需要改造，也决定了進行改造的方法。但全苏热工研究院經過数年來的研究后指出，这样來理解改造凝汽器的目的是不全面的，因为这样來改造，对提高汽輪机组运行經濟性的可能性会不能充分地利用了。

在極大多數的情况下，特别是对于以抽汽作为給水回热加热用的汽輪机，凝汽器改造的主要經濟效果是在于提高真空。因此，虽然我們不否定消除凝結水过冷却方面的作用——这对于提高設備的經濟性，有时也为了减少凝結水的含氧量是有实际意义的，但是進行改造时主要目标却應該注意保証凝汽器冷却面積的最有效的利用。因此，改造的問題不僅对非回热式凝汽器提出，而且也对于回热式凝汽器有关系。虽則这些凝汽器在运行中沒有任何顯著的过冷却，因此在訂改造方案时，应以合理布置冷却面作为基本要求，因为这种要求表示出凝汽器工作过程。

§ 3. 改造凝汽器时，除了解决上述提出真空和消除凝結水过冷却的問題以外，同时还要解决另外的一些問題。例如，提高凝汽器水側的嚴密性，防止管子的振动，消除促使管子腐蝕發展的条件，保証在运行时有可能清扫凝汽器等。

采用各項措施解决了这些問題，不但改善了凝汽器运行条件。延長了管子的寿命以及改善了凝結水的品質，同时也將使凝汽器能長时期在較高的平均真空条件下运行，亦即同时提高了汽輪机组运行的經濟性。

§ 4. 凝汽器压力每降低0.01大气压（即真空提高1%）时，汽輪机热耗降低多少决定于蒸汽参数和汽輪机的結構情况。新蒸汽参数为15绝对大气压及350°С时，凝汽器压力降低0.01大气压，热耗降低約1.9%；新蒸汽参数为90绝对大气压及500°С时，凝汽器压力每降低0.01大气压，热耗降低約0.9%（圖1）。这些数字是指汽輪机在銘牌負荷时而言，他們的

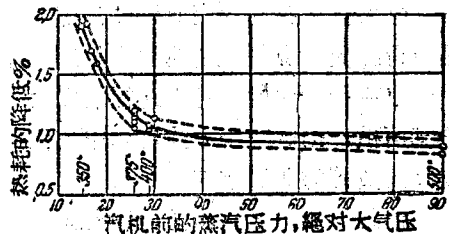


圖1 凝汽器压力每降低0.01大气压（在汽輪机銘牌負荷时）汽輪机热耗的降低与新蒸汽参数的关系。

变化差不多与負荷成反比。

由于消除凝結水过冷却的結果，在新蒸汽参数为15—20绝对大气压、350—375°C及無加热給水的回热抽汽时，每提高凝結水溫度1°C使热耗降低0.14—0.16%，平均約0.15%。如汽轮机有回热抽汽时，热耗降低多少与最接近凝結器的低压抽气的压力有很大的关系（圖2）。

由于改造凝汽器的結果，根据汽轮机的新蒸汽参数、低压抽汽压力、凝汽器型式和改造的范围可使每度电的單位煤耗降低0.5—3%。如果以设备容量为100,000瓩計算，在上述情况內全年可節約标准煤1,500—12,000噸或約相当于200,000至1,800,000盧布。所獲得的經濟回收，一般不到一年就可抵偿改造的費用。改造工作大部份可在设备定期大修时進行，因此不需要專为改造凝汽器而停机。

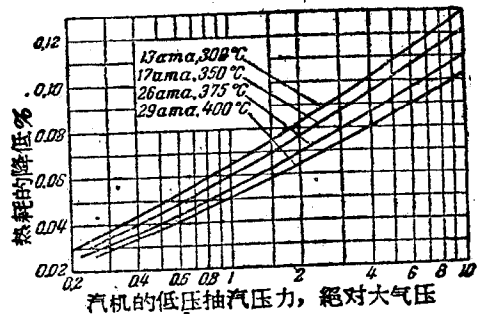


圖2 凝結水过冷却每降低1°C时，汽轮机热耗降低多少与低压抽汽压力及新蒸汽参数的关系（ $P_k=0.05$ 大气压）

第二章 一般指示

凝汽器冷却面積的合理布置

§ 5. 改进凝汽器冷却面積布置，也就是消除管束上的缺陷，是改造凝汽器时改善它的运行情况的主要途径。因此在改造时，应考虑凝汽器内热交换条件的特点，主要是蒸汽的凝結是在真空下和沒有凝結的气体的条件下進行的，在進入管束的排气中經常含有游离气体——主要是空气。

随着蒸汽的凝結，蒸汽空气混合物的容積流量和速度都降低了，而在混合物中的空气的相对的含量則急剧增加，特別是在管束的出口側。因此，蒸汽凝結时在汽轮机的凝汽器中沿着从進汽側到空气（帶來未凝結的蒸汽）出口側管子的方向，冷却面積的局部傳热系数和單位蒸汽負荷均在逐漸顯著降低。

过去經常認為采用改变凝汽器冷却布置的方法，就可以使上述局部傳热系数和單位热負荷降低的現象完全地或大部份消除。因此建議應該安排出通道使蒸汽容易深入凝汽器管束或大大地增加管束邊緣的面積，也即增加蒸汽進入管束时立即接触的外圍管子的冷却面積，把这一个方法用來作为使热負荷均匀分布以及全部或極大部份的冷却面積上提高热負荷的实际措施。

但是，依靠上述的措施，实际上不但不能全部消除热負荷分布不均的現象，而且即使要大大的降低也是不可能的。并且，在改造凝汽器冷却面積的布置情况时，消除热負荷分布不均的問題也是不能列入的。这是因为，第一，实际上不可能保証汽轮机设备完全嚴密，也就是說不可能完全避免空气不漏入凝汽器。第二，由于凝汽器和抽气器之間

5

的連接管路相當細小。

從凝汽器抽出的蒸汽空氣混合物的溫度愈低，由於蒸汽中含有空氣，在管束中沿汽流通道的局部傳熱系數和單位熱負荷逐漸降低的程度將愈大。如果為了要提高冷卻面積的熱負荷並使它分布得比較均勻而將混合物的溫度增高，將使抽氣器的吸入壓力增加，結果使凝汽器的平均傳熱系數增加不多，或甚至完全不變，而凝汽設備所建立的真空卻降低了。

因此，管束改進工作的主要任務，並不是消除由於凝汽器運行的特殊條件所造成的熱負荷不均勻，而是在必須保持蒸汽空氣混合物充分冷卻的條件下尽可能地提高凝汽器所有各區域的熱負荷。

§ 6. 可用下列方法提高單位熱負荷：1) 減少蒸汽運動的阻力（汽阻），2) 增加蒸汽空氣混合物的速度，3) 增加冷卻水的速度。

但這些方法對凝汽器冷卻面積的兩個主要區域的效果是不同的，因此，加強熱交換的問題就要用不同的方法來解決。

在這一區域（沿着汽流方向）內，即被稱為蒸汽劇烈凝結或大量凝結的區域里，不論在蒸汽進入管束處或管束里面，主要的方法是降低蒸汽運動的阻力。

流體運動阻力引起蒸汽（混合物）壓力降低從而使蒸汽的溫度也降低，結果使蒸汽和冷卻水的溫度差減少。降低阻力就能使溫度差增加，因此使通過每單位面積的傳熱量增加。

在劇烈凝結區域內，在蒸汽空氣混合物進入管束的開始的部份，增加冷卻水的速度同樣有效。因為增加水速就增加水側的散熱量，對於由蒸汽到水的總傳熱系數有極大的影響。但是使用這個方法的可能性一般很有限，因為水速增加使凝汽器的水阻增加，同時為了防止凝汽器管子的腐蝕（見§ 18），也不允許將水速提高到一定程度以上——根據水的品質而定一般在1.5—2.5公尺/秒。

增加蒸汽空氣混合物的速度與減少蒸汽阻力的要求是相矛盾的，這個方法在蒸汽劇烈凝結區域內收效很少。與此不同的是在蒸汽空氣混合物冷卻區域的第二個區域內，在這區域里混合氣體里已含有大量空氣，傳熱系數決定於蒸汽側的散熱情況，增加蒸汽空氣混合物的速度是加強熱交換的唯一的實用的方法。

§ 7. 廣泛地流行着這樣的觀念：凝結水從上面的管子向下流，管子上的凝結水膜愈到管束下面則愈厚，使蒸汽側的散熱系數大為降低，結果使凝汽器的傳熱系數降低。這種概念使人想用減少下部管子上的凝結水膜厚度的方法來提高傳熱系數，例如，那種不正確的齊拉勃式排列管子的方法，就是為了適應這一目的。

全蘇熱工研究院所研究結果指出，由於從上面的管排向下流的凝結水膜厚度的增加而使水平管束蒸汽側的傳熱系數大大降低的觀念是錯誤的。凝結水水膜厚度的變化對裝在下部的管子的熱交換強度，直接影響不大。而對於很高的管束和蒸汽負荷很高的凝汽器；向下流的凝結水增加了蒸汽在管束下部流動的阻力，這對凝汽器的運用更有實際意義，流動阻力的增加會引起進入管束的蒸汽分布不均勻並使凝汽器中總的蒸汽阻力增加。

§ 8. 布置凝汽器的冷却面積时还需要考慮消除凝結水过冷却的要求。

凝結水的过冷却有时被認為僅僅是由于凝汽器阻力所引起的蒸汽压力降所造成。实际上，凝結水的过冷却也还是热交换的条件所引起的（接触了較冷的管子表面的凝結水水膜的程度降低，以及由于蒸汽空气混合物在总压力不变的条件逐渐冷却而造成的蒸汽分压力的降低）。因此，僅僅降低蒸汽阻力不能保証將凝結水过冷却全部消除。

不論凝汽器的运行方式如何以及它的汽流阻力多大，实际上消除凝結水过冷却的主要方法，是凝結水的“回热”加热，即利用一部分進入凝汽器的蒸汽將凝結水重热到相当于凝汽器压力的饱和溫度。

§ 9. 根据上述情况可以得出在合理布置凝汽器冷却面積方面的主要結論如下：

1) 为了减少蒸汽進入管束时的压力降，在管束的進汽侧应尽可能有較大的有效截面積。在第一排管子的蒸汽平均速度应尽可能不超过40—50公尺/秒（按管子間狹小的截面積計算）。

欲达到这样的目的，可增加管束外圍的周边（如果重新設計管束，可同时增加它的長度）及將管子排稀（增加管束內管子与管子之間的距离）。

2) 为了避免蒸汽進入管束时局部蒸汽速度过高以及一部份冷却面積过負荷而另一部份負荷不足，無論在管束的外圍以及沿着它的長度上均应保証汽流的分布不受阻碍以及尽可能地均匀地分布。

因此，除了使凝汽器喉部和外殼的尺寸有适当的比例外，蒸汽侧还要有足够的通路供進入的蒸汽均匀分布。在大型的高負荷的凝汽器中，同时还要在中間收集凝結水（一層或二層）以防止管束下部的蒸汽阻力有很大的增加。

3) 在管束中建立深入的蒸汽通道以增加外圍管列的有效截面積时，应使蒸汽通道的尺寸和方向能滿足最小压力降和進气均匀分布的要求。

这通道的尺寸要使通道中的蒸汽有適當的速度，其方向应与从排汽口來的汽流相适应（汽流方向及其速度的分布），特别是不要急剧改变汽流的方向。

4) 在主管束的範圍內（蒸汽剧烈凝結区域），减少蒸汽阻力是主要的要求，故应尽量减少順着汽流方向的管子排数。这时蒸汽空气混合物从管束外圍向空气冷却器应这样的流动，使新進入的蒸汽或含空气較少的蒸汽空气混合物，不致与來自管束其他部份含空气較多的混合物相混合。

要达到这个要求，可以在主要管束中（在管束横截面上），建立狹直的或弯曲的帶形通道，同时亦擴充了進汽側的有效截面積。为了达到这个目的，可配合使用進汽側通道深入管束的方法与建立內部通道，使混合物自主管束引向空气冷却器的方法。

5) 在蒸汽空气混合物冷却区域内应采用較高的速度（但不超过40—50公尺/秒）。为了达到这一目的，可用隔板將一部分管束隔开——即隔开一个沿混合物行程有效截面積逐渐减少的空气冷却器。为了相应地减少截面積，可改变每排管子的数目或管子間的距离，以及在空气冷却器內裝置橫的或縱的隔板为混合物建立两个或更多的通道。

6) 应当防止蒸汽不經過主管束而進入空气冷却器，和数量較少的蒸汽或蒸汽空气混合物不經過空气冷却器而進入抽气口。

因此需要檢查在管束範圍內的或管束與外殼之間的全部孔口，只要蒸汽（混合物）可以經過它又不經過主管束而進入空氣冷卻器或直接達到抽汽口時，都應裝上擋板。

7) 在按上述要求正確地引導管束中的汽流及使不同區域內管子之間有效截面積互相協調時，管子排列的網形並不起重大的作用，可根據管束的總的排列形狀來選擇（菱形、正方形、輻射形等）。

8) 凝結水和蒸汽空氣混合物應從不同地點分別引出，並且從凝汽器橫截面上來看相互之間儘量能離開得遠一些。為了將凝結水“回熱”加熱，應保證一部分來自汽輪機的蒸汽與由管束流下的凝結水在它離開凝汽器前能直接相接觸。

為了這個目的，應在管束內或管束外有足夠大的穿通汽道，蒸汽能沿汽道進入凝汽器下部或回熱式熱井。

應當改造的凝汽器

§ 10. 凝汽器冷卻面積有某些部分不能滿足上面所舉的各項要求（見 § 9），而使它的運行指標顯著劣化的，應當首先加以改造。

下列凝汽器管束改造後可能獲得很大的效果：

1) 非回熱式凝汽器

非回熱式凝汽器有時被稱為下汽流式凝汽器，在管束的進汽側的有效截面積很小，並且在蒸汽空氣混合物的途程上有很多排管子。因此它的蒸汽阻力很大，達到15—20公厘水銀柱，在個別情況下甚至達到30公厘水銀柱，正常為3—5公厘水銀柱，這樣就引起真空的顯著降低。

在這種凝汽器中排出的凝結水不僅沒有“回熱”，而且常與蒸汽分壓力很小和溫度很低的蒸汽空氣混合物相接觸。凝結水的過冷卻達到8—12°C，在某些情況下達到18—20°C。

在這些凝汽器中，除了早幾年前的出品以外，還有一些國外製造廠（АЕГ, Сименс Шукерг, СТАЛ等）供售的較新的凝汽器。這些製造廠近年製造的凝汽器雖然有些改進，但仍保留非回熱式凝汽器的主要缺陷——蒸汽流動的阻力很高和凝結水的過冷卻很大。

2) 管束有缺陷的回熱式凝汽器

這裡所講的系指下述一些情況的凝汽器，例如，不能使蒸汽空氣混合物在管束範圍內走最直和最短的道路，結果使空氣從蒸汽大量凝結的區域穿入其他區域，使它們的熱交換條件大為劣化。又如在凝汽器中由於管束上流下的凝結水，使進入的蒸汽分布很不均勻和蒸汽阻力很高。後者包括帶有中央抽氣的負荷很高的凝汽器，有時稱為“中心汽流式”的凝汽器，它沒有把從管束上半部流下的凝結水在中間加以收集和引出的裝置。

§ 11. 在某些情況下，對單位蒸汽負荷很高的凝汽器的改造，應增加它的冷卻面積。

固定式汽輪机的凝汽器的負荷，在最大蒸汽流量时，根据發電厂的供水系統及其他条件通常应为30—50公斤/公尺²-时。有时因为凝汽器的冷却面積不足，大大地超过了此数，达到70—90公斤/公尺²-时，这样將引起排汽压力大大升高，与凝汽器負荷为40公斤/公尺²-时左右时的压力相比較將提高約0.03绝对大气压（即真空降低3%）或者甚至更多一些（圖3）。

在这种情况下，应研究是否有可能將原有的凝汽器調換新的、更大的、更标准的凝汽器。如果由于某些原因，例如标准的凝汽器不能放入凝汽器室的位置里而不可能調換时，就应当增加原有凝汽器的冷却面積，这是正确的。

§ 12. 改造非回热式凝汽器，包括較近年出品的凝汽器，通常是合理的和有效的。关于改造运行不良的回热式凝汽器的问题，应根据每种个别情况，研究凝汽器構造的特点和运行指标（單位蒸汽負荷、建立的真空、蒸汽阻力、蒸汽空气混合物的冷却、凝結水的过冷却等）來解决。

§ 13. 凝汽器的工作質量，可將它的主要运行指标——凝汽器的端差和压力，与新式的运行良好的凝汽器的数值相比較，來作出评价。新式的凝汽器的指标，可在相当条件下，用試驗方法直接求得，或根据傳热系数的試驗資料用計算的方法求得（見§ 60）。当然，在凝汽設備（凝汽器和抽气器）的情况不正常时及汽輪机組的真空系統嚴密性很差时所得的运行指标，是不能作为比較数值用的。

在确定实际端差和凝結水过冷却时，排气温度应该由真空表的讀数求得，而不是根据裝在汽輪机排汽管上的表袋中的溫度表。因为这溫度表的讀数常与排汽温度有2—3°C以上的誤差。同时应该肯定凝結水的过冷却不是由于水位維持得不正确而浸沒下面几排管子的結果。

如果为了对凝汽器的構造進行评价要測量它的蒸汽阻力，应该注意蒸汽阻力与系統的空气嚴密性有極大的关系，漏气增加时汽阻降低。因此，如果不采取措施來保證設備有足够的嚴密性，那末測量得很低的蒸汽阻力不一定真正可代表它的構造性能，可能是由于漏空气量增加的結果。另一方面，在个别情况下，蒸汽阻力的升高可能不是由于凝汽器本身的阻力所引起，而是蒸汽空气混合物的通路受凝結水的阻塞而形成的“水鎖”，或由于凝汽器和汽輪机之間的排汽管裝置不良且阻力过大。在后面的情况下，由于汽輪机排汽管的蒸汽溫度高于進入凝汽器管束的溫度而發生“虛假”的过冷却。

§ 14. 如果凝汽設備的热态运行指标良好，則应该按照上面§ 3所講的目的來安排改造的措施。

在某些情况下，通过改造还可消除或減少發電厂另一方面的經濟損失。这些損失的造成，不是由于凝汽器本身的缺陷，而是由于所选择的凝汽器的类型（凝汽器的水流程数目，冷却水的倍数）和当地的供水条件（見§ 44）不相適應所造成的。

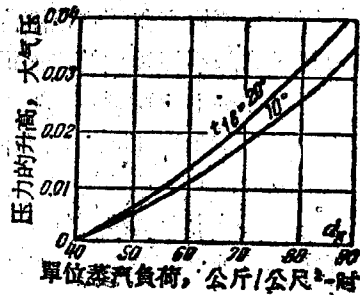


圖3 單位蒸汽負荷 d_k 增加时，与 $d_k = 40$ 公斤/公尺²-时（水速为2公尺/秒，冷却水倍数为55）相比較凝汽器压力的升高

擬訂改造設計方案开始的情况

§ 15. 为了改進布置凝汽器冷却面積的布置方式可采用下列方法:

1) 拆除一部分現有的管子, 使在進汽側及蒸汽空气混合物口从主管束的引出側造成通道, 包括造成引導蒸汽將凝結水回热加热用的穿通的蒸汽通道。

2) 裝置新的管子以便更好地利用管板的面積。当凝汽器冷却面積不宜减少时, 可除去管束中布置不适当的或改造后成为不需要的通道, 安裝新的管子, 來代替管束中其他部分拆除的管子。

3) 拆除若干現有的隔板和縱間的連接物等, 并裝置新的隔板、擋板及封閉物, 以保证蒸汽空气混合物具有正确的流动方向和足够的速度, 擋住蒸汽繞过管束流向抽气口的通道以及在中間收集和排出凝結水。

4) 改变空气 (蒸汽空气混合物) 抽出系統, 包括迁移抽气口, 拆除成为多余的空气框或空气管, 以及如果原來的構造中没有空气冷却器时, 可加裝特殊的擋板隔成空气冷却器。

5) 在某些情况下進行管束的徹底的改造。將原有的管板和中間管板換新, 有时將原有的管子換用直徑較小的管子。

選擇这些方法时, 总的改造工作範圍及其進行的程序应与当地的条件相適應: 擬訂的工作要有实施的实际可能性, 凝汽器的單位蒸汽負荷, 水在管子內所允許提高的速度等。同时应考虑改造凝汽器时是否需要打开汽輪机大盖, 通常應該在它的大修时期內進行。为了縮短这项工作的時間, 應該預先做好个別的机件和零件, 爭取在汽輪机大修开始前准备时期內, 尽可能完成更多的工作。

§ 16. 凝汽器改造中某些工作進行时, 可能需要拆除一部分或甚至全部所有的管子, 以后仍在原地裝复。例如在凝汽器的汽側要拆除原有的擋板或裝置新的擋板。如果管子是用管环法固定在管板上的, 或者由于管子損坏情况嚴重需要全部調換, 这样來拆除管子并不困难。

如果管子的一端或二端用脹管法裝在管板上而且脹口情况完好, 所拆除的管子必須換新, 因为管子从凝汽器拆出以后就不能再用。如果管子的价格很高或發电厂內沒有足够的备品时, 則应选择这样的方案, 即完全不需要臨時拆除管子或除按照改造計劃所應該完全拆除的以外, 还需要拆除最少量的管子。有时可以將擬訂的凝汽器改造工作分二步完成。在这种情况下, 可以把需要臨時拆除大量管子的工作放到第二步, 即在獲得所需要的全套备品时或在凝汽器調換管子时進行拆除工作。在某些特殊情况下, 甚至不得不放弃一部分設計中所拟定的措施。

为了消除凝結水的过冷却, 有时將若干管子 (大部分是下汽流式中的下面管子) 堵塞而并不从凝汽器中拆除, 这种做法一般講是不正确的。冷却面積的减少使真空劣化, 經過周密的考慮將同样数量的管子从凝汽器的其他部分拆除一般說來除了消除凝結水过冷却外, 还可以改善真空, 或在冬季能减少循环水泵用电, 不影响汽輪机設備的經濟性。將一部分凝汽器管子完全拆除, 不管它在管板上的裝法怎样, 一般說來总是可以做

到的。

§ 17. 將凝汽器的一部分管子完全拆除而不在管束的其他部分再補裝新的管子，如果將管子堵住，一樣也會使冷卻面積減少。實驗資料屢次證明，在改造舊式的或構造不良的凝汽器時，往往可允許大大地減少它的冷卻面積——有時達15—20%或甚至更多。而且由於進汽條件的改善，蒸汽空氣混合物在管束中的流動較為合理，管子內水速的增加，雖然冷卻面積上的蒸汽負荷增加，但真空卻顯著提高。

但是這僅是指原來的蒸汽負荷（改造前）較小的凝汽器，才允許減少冷卻面積。蒸汽負荷決定冷卻面積允許減小的程度。經改造後凝汽器的單位蒸汽負荷應保持在45—50公斤/公尺²-時，無論如何不應超過55—60公斤/公尺²-時。

如果凝汽器原來的單位蒸汽負荷比較大，繼續增加負荷可能使改造的效果顯著降低。在這種情況下，應避免大量減少冷卻面積。

如果凝汽器的負荷很高（單位蒸汽負荷超過65—70公斤/公尺²-時），則不允許減少它的冷卻面積，相反的，在解決這種凝汽器的改造問題時，應研究增加它的冷卻面積的可能性。

如冷卻水的溫度較高（使用循環式供水系統的發電廠或在蘇聯南部地區的直流式供水系統的發電廠），尤其應當要避免單位蒸汽負荷過高。

§ 18. 如果在改造凝汽器時減少管子的總數，則使管子內的水速增加，結果使傳熱系數增加，但同時引起凝汽器的水阻增加及進水室的壓力提高。改造時改變水流程的數目可能引起水速及凝汽器水阻極大的改變。

為了限制凝汽器水阻的增加，在兩個以上的水流程中，一般應力在各流程中所拆除管子的數目平均分配。如果平均水速不高，則在凝汽器構造許可的範圍內（如水側隔板的布置許可時）可將蒸汽進入側的管子內水速稍加提高。

在任何情況下，應避免淡水的水速超過2.5公尺/秒，海水（或其他腐蝕性的水）的水速超過1.5公尺/秒。因為水速超過上述限度時將促使凝汽器管子腐蝕的發展。

由於凝汽器的水阻僅是循環水系統總水阻的一部分，拆除管子所引起的循環水泵供水量的減少，一般是不大的，水室壓力的升高也在允許的範圍內。

必要時，由於擬定的凝汽器的改造所引起的系統水阻和冷卻水量的變化（見§ 69及以下）應該用計算的方法來確定。

§ 19. 編制凝汽器的改造設計方案時，應根據§ 9所指出的布置冷卻面積的要求。只有在受到當地條件及§ 15—18個別指出的限制時才可不按照它。

應該注意有了§ 9所列表的要求，以前所採用的設計和改造凝汽器的一些做法已感到效果不大了。

其中特別是在實際中廣泛採用的在管束中建立很深的通道，但是不結合將蒸汽空氣混合物有效地引出的措施，例如圖4所示。

在這種做法中，增加管束進汽側的有效截面積，一般講來

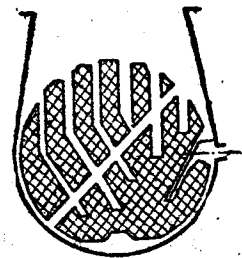


圖4 在凝汽器管束中有很深的不穿通汽道的例子

是好的措施。但在不穿通的汽道之間的管組是处在不大有利的条件下。蒸汽流向接近管組的底部时，与管組上部流下的含有大量空气的蒸汽空气混合物相混合，劣化了热交换的条件。除此之外，在这种情况下，混合物在管束的途程的平均長度及凝汽器的蒸汽阻力都很大。避免这些缺陷，可用上述在主管束內建立内部通道的方法，以引出蒸汽空气混合物。

有时將管束中的通道布置成为下列情况，使各个管組成为“群島”狀，即蒸汽可由各方向進入管組（圖5），这也是不利的。蒸汽从管組的四周進入时，在該管組的中心部分会積聚不凝結的空气，使空气压力不断升高。实际上压力又不可能升高，因此在管組中，空气气流向空气冷却器的方向流动时，經常把冷却面上其他部分的热交换条件劣化。

除了蒸汽主通道外，还有由于構造上所需要的橫空隙使个别的管組形成“島形”（例如在水室隔板处由于不可能裝管子而形成的空隙），这些空隙應該用擋板盖住。

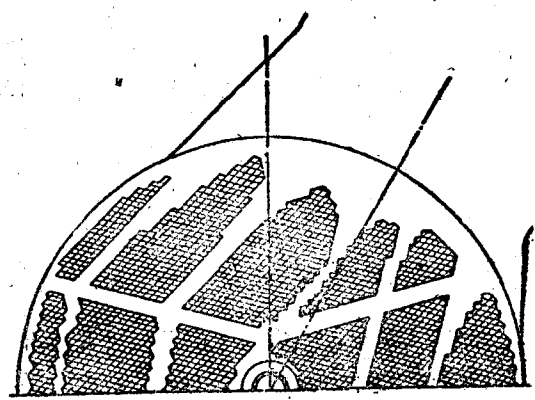


圖5 凝汽器有“島形”管組的例子（管束上半部）

§ 20. 为了保証進入凝汽器的蒸汽尽可能很均匀地分布，正确的选择留在管束內外的蒸汽自由通道的截面積是很重要的。为了檢查这些通道的大小是否合適，應該近似地計算通道內的蒸汽速度（見 § 64 以下）。

早年出品的凝汽器，大部分除了管束本身的缺陷以外，还有这样的缺陷，它的喉部的尺寸与外壳的尺寸相比較是很小的，特別是縱向的凝汽器。在新式的良好的構造中，喉部的尺寸达到蒸汽側長度（即管板之間的

距离）的70—85%，而老式的凝汽器的喉部常只有蒸汽側長度的25—40%，有时喉部还不正中心，而是偏向某一面水室。这样使距离喉部較远的冷却面積不能充分地利用，平均傳热系数降低，凝汽器的汽阻增加，最后使真空劣化。

因此，進行改造設計时，特別是不預备改造凝汽器狭窄的喉部时（見 § 49），除了保証蒸汽在管束四周均匀地分布外，并应很好地注意尽可能使蒸汽在凝汽器長度上均匀分布。为了这个目的必須：

- 1) 在管束上部边缘与凝汽器外壳之間留出足够的距离；
- 2) 切割中間管板尽可能使不突出管束之外；
- 3) 除建立足够闊的穿通汽道外，在中間管板上这些通道处以及在中間管板上那些較闊的不穿通的汽道处（進汽側）尽可能开出較大的孔。

在某些情況下，应在凝汽器喉部的出口处裝置擋板，將部分蒸汽引導至接近兩端管板的区段內。

在凝汽器的外殼上裝置抽空氣管時，不裝在凝汽器全部長度的各區段上（由汽側中間管板所劃分），而僅裝在靠兩邊區段的一端或二端。這也可作為上述補充的措施。

§ 21. 管束中新建立的蒸汽通道或其他改造工作，應該注意不使一部分進入凝汽器的蒸汽不經過主管束的冷卻管，即進入空氣冷卻器或直接到抽氣口（蒸汽空氣混合物）。如有一部分進入的蒸汽與進入空氣冷卻器或由凝汽器抽出的蒸汽空氣混合物相混和，將使抽氣器吸入壓力顯著提高，因此使凝汽器壓力亦顯著提高。

位於不同流程（指水側）上的管束與管束之間的空隙，管束邊緣及外殼間的空隙及任何其他通道，凡可能使進汽穿入空氣冷卻器或抽氣管的，都應該用擋板加以堵塞。

§ 22. 在凝汽器的汽側裝置中間收集凝結水的擋板時，不應破壞正常的汽流，否則將在管束中造成供汽不良的區域。因此，應尽可能將這些擋板順汽流的方向裝置。如果不可能時，應採用錘形擋板，使它除收集凝結水外同時有足夠的進汽通道，使蒸汽直接進入位於擋板下的管束區域。

凝結水由安裝在蒸汽空間的擋板（中間收集凝結水的將空氣冷卻器與主管束分開的擋板等）流下時，應不使造成水幕，以免破壞蒸汽的正確分配及增加汽流阻力。

在改造某些凝汽器時，特別是較早的出品，應同時研究是否有必要及可能將中間管板向上移動，以保證管子與這些管板的孔壁充分接觸，從而消除管子的振動和管子內部機械應力的增加（見第七章）。

第三章 改造管束的實例

1. 非回熱式凝汽器

§ 23. 在非回熱式凝汽器中，蒸汽只由上部進入管束，然後向下流動經過幾乎占整個凝汽器的全部管子，這樣如上面所指出將造成很大的蒸汽阻力。空氣及凝結水由凝汽器的下部排出，這時由管子從上向下流動的凝結水與抽出的蒸汽空氣混合物相接觸。這混合物由於運動阻力高使總壓力降低，同時由於混合物中空氣含量高而使蒸汽的分壓力大為降低。混合物的溫度遠低於進入凝汽器的蒸汽溫度，故即使在夏季冷卻水溫度甚高時，亦將產生劇烈的過冷卻。

目前在發電廠中還可以遇到更老式的非回熱式凝汽器，配備活塞型的濕空氣泵將凝結水和蒸汽空氣混合物一同排出。在這種凝汽器中，管束的下部用水平的多孔的隔板與上面的主管束分開。隔板沿凝汽器全部長度裝置。隔板下面的管子用以降低凝結水及蒸汽空氣混合物的溫度，來減少濕空氣泵所需的體積容量。有時從凝汽器外部觀察兩側是否各有一列水平的鉚釘可確定是否有多孔的隔板。這鉚釘可用來將隔板下面的角鐵架固定在凝汽器外殼上（圖6）。

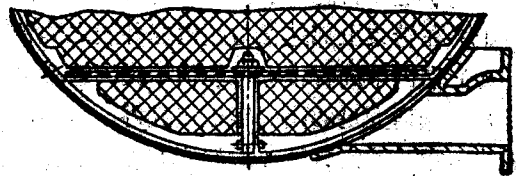


圖6 非回熱式凝汽器中多孔隔板的裝置

§ 24. 在研究非回熱式凝汽器的運

行指标时，应着重注意凝結水的强烈的过冷却。但不应忽视它不是这些凝汽器構造缺陷所造成的唯一后果，而且往往也不是最重要的后果，因为構造缺陷会造成的真空降低所引起的燃料損失，將比凝結水过冷却更为嚴重。

这样的情况也發生在構造較新一些的非回热式凝汽器。在这些凝汽器中分別抽出凝結水及蒸汽空气混合物，并对管束的裝置作了一些改進。例如，在進汽側抽去若干管子或建立不穿通的汽道，中途收集及導出凝結水等。但上述的改進只起一小部分作用，而不能消除这种凝汽器的真空劣化及凝結水过冷却的主要缺陷。

具有湿空气泵的凝汽器

§ 25. 改造具有湿空气泵的凝汽器时，应同时將湿空气泵改为射汽式抽气器來抽出空气（蒸汽空气混合物）和改用离心式水泵來排出凝結水。这时蒸汽空气混合物抽出的方式，应保証在离开凝汽器前得到最有利的冷却条件，并使抽出的混合物不同由管束流下的凝結水相接触。

有时在改装湿空气泵时，凝結水及蒸汽空气混合物仍由凝汽器下面原有的管子一同排出。在这根管子的下部連接凝結水引出管至凝結水泵，在管子上部的蒸汽空气混合物被抽气器抽出（圖 7, a）。

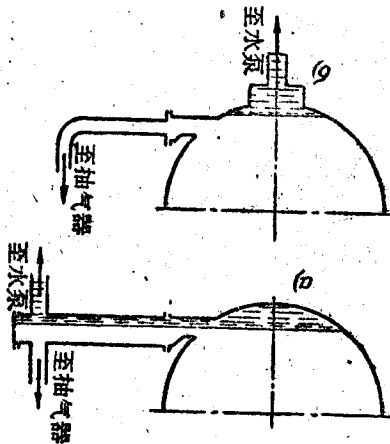


圖 7 拆除湿空气泵时空气与凝結水分別抽出的系統（不宜采用）

在某些設備中，水泵及抽气器并不如圖 7, a 所示的直接与一端封閉的管子相連接，而接至与管道相連接的联箱，使凝結水与空气更完全地分开。在另一些情况下，原有的管道向抽气器僅用于排出蒸汽空气混合物，而凝結水由新裝的集水器引出（圖 7, b）。在所有上述的系統中，凝結水均与由凝汽器抽出的蒸汽空气混合物相接触，使它發生顯著的过冷却，而且在这些情况下，凝結水不可能在凝汽器的下部被排汽加热至饱和溫度，因为一部分加热用的蒸汽，將和抽出的蒸汽空气混合物一同進入抽气器，使真空顯著地降低。因此，如圖 7 所示及类似的系統，均不宜采用。

这些系統一般僅更換了湿空气泵，但凝汽器管束很少改变或甚至完全沒有改变，并在凝汽器側仍保留水平的多孔的不但無用而且使凝汽器的运行情况劣化的隔板时，才被采用。但由下面所举的例子可以看到，当管束改造的可能性受到限制，同时又不可能拆除多孔的隔板，还可以尋求更適宜和更有效的解決办法。

§ 26. 例 1. 在一个發電厂內裝置一台由他处运來的 15,000 瓩的汽輪机，其低压部分为双汽流式，并裝置二台二行程非回热式凝汽器。每台的冷却面積为 1,500 平方公尺[●]。汽輪机的新蒸汽参数为 14 绝对大气压 325°C。每台凝汽器有管子 3,296 根，其直徑

● 此处及以后所指的冷却面積均根据汽側計算。

为23/21公厘，有效长度为6.3公尺，用管环固定于管板上。凝汽器外壳为圆柱形，内径为2.5公尺，由钢板焊成，有两块中间管板。在铭牌循环水流量时管内的水速约为1.6公尺/秒。在管束上部有若干不穿通的汽道，但不能保证管束的进汽侧有足够的有效截面积，第一流程的管束的下部由水平的多孔的隔板分开。

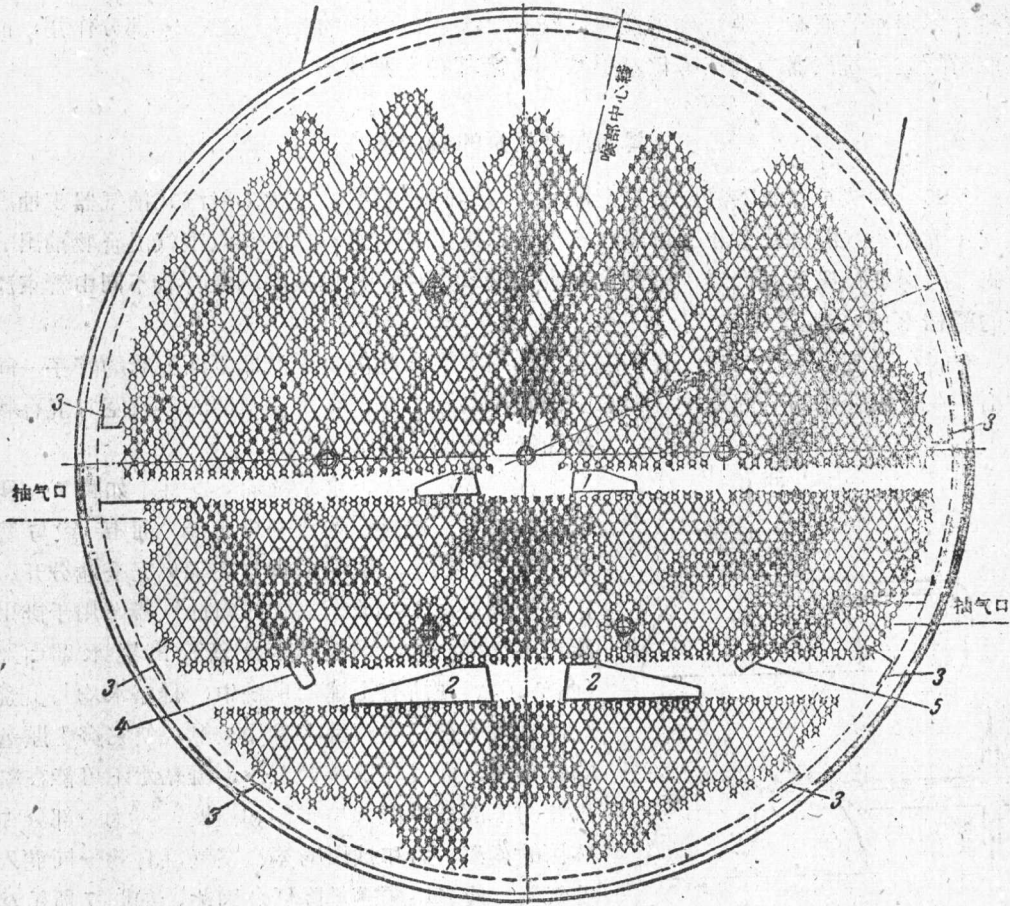


圖8 改造凝汽器的設計方案(例1)

1, 2—槽形擋板; 3—角鐵; 4, 5—空氣冷卻器縱向隔板。
 部件1~5在改造時裝置。塗黑的為拆除的管子。

根据类型和大小相似的凝汽器的試驗資料，确定在这种情况下，通过凝汽器的改造可使滿負荷時真空提高不小于1.5%。再加上由于消除凝結水的过冷却共使該设备節省燃料約3%，或每年節約2,000噸标准煤，其中大致三分之二是由于真空提高，其余部分是由于消除了凝結水的过冷却。以燃料价格每噸150盧布計算，則相当于每年降低300,000盧布的运行費用。因此决定改造凝汽器，同时在管子裝复时改为二端用脹管法安裝。凝汽器改造的方案如圖8所示，改造前后的管束圖形如圖9所示。

为了獲得正常的真空及消除过冷却，采取了下列措施：

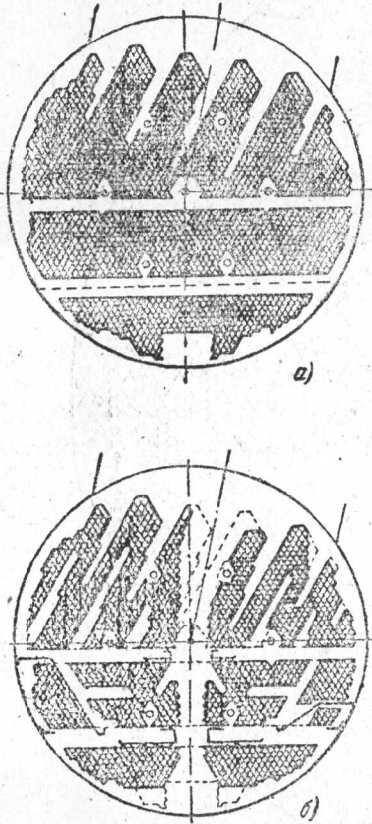


圖9 凝汽器的管束

a—改造前；d—改造后（例1）。

改的。

排汽進入凝汽器的方向與垂直綫成一定的角度，凝汽器左半面的負荷可能略高，因此決定採用如圖8所示的中央汽道的形狀，由該汽道所分開的兩半管束並不對稱（左邊管子的數目略多）。二台凝汽器之間的距離很小，因此不允許在圖8所示的外殼右面在第一行程上部管子的高度處裝置抽空氣管子以及在这一側充分加大空氣冷卻器。

上述的改造大大地改善了凝汽器冷卻面積的布置。每台凝汽器需拆除720根管子，約為原有管子數目的22%，相當於每台凝汽器的冷卻面積減少至1,175平方公尺。這種情況是許可的，因為冷卻面積減少後凝汽器的單位蒸汽負荷還在38公斤/公尺²-時左右，管內水速由1.6公尺/秒增加至1.9公尺/秒（考慮水泵供水量減少不多）。

§27. 例2。解決凝汽器改造問題的另一种情況與例1相似，但由於凝汽器的原有單位蒸汽負荷已為52公斤/公尺²-時左右，故不允許再大量減少冷卻面積。這對改造凝汽器的設計有很大的影響。

汽輪機功率為10,000瓩。凝汽器為二流程非回熱式，冷卻面積為1,200平方公尺，外

1) 使蒸汽空气混合物（用射汽式抽气器）及凝結水（用离心式凝結水泵）分別由凝汽器的不同地点排出。

2) 將第一流程內水平的多孔的隔板拆除。

3) 在凝汽器中部抽去管子造成廣闊的穿通汽道，大大地增加了管束進汽側的有效截面積，縮短了蒸汽在管束中的道路并保證將蒸汽引至凝汽器下部供給凝結水的加熱用。

4) 使空气（混合物）由凝汽器的二邊抽去，并在水溫較低的第一流程範圍內，兩面裝置傾斜的隔板隔开了空气冷卻器。

5) 另外抽去一部分管子造成內部汽道，使蒸汽空气混合物由主要管束引到空气冷卻器。這些內部汽道和中央穿通汽道能使蒸汽阻力降低，同時在凝汽器的下部造成不大的空間，使凝結水加熱的條件改善。

6) 在中間管板的中部（中央穿通汽道處）開孔，使蒸汽在凝汽器全部長度上分配均勻。

7) 裝置小擋板，阻止蒸汽由中央汽道經過水平空隙進入空气冷卻器，同時在中間收集從上面管子流下的凝結水引導到兩端及中間管板，使蒸汽更容易由中央汽道進入管束下部。

8) 管子原來用管環固定現改為二端用脹管法固定于管板上，核算管子振動特性，証實是可以更