

蒸 发 器

列·薩·斯捷尔曼著

高等教育出版社

蒸 发 器

列·薩·斯捷尔曼著
文 山 譯

高等教育出版社

本書系根据苏联国立机器制造書籍出版社(Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы)1956年出版的列·薩·斯捷尔曼(Л. С. Стерман)所著“蒸发器”(Испарители)一書譯出。

書中介紹了应用最广泛的蒸发器結構和蒸发裝置流程,对于旨在提高蒸餾水質量和降低損失的改善蒸发器的方法予以很大的注意,并叙述热工計算方法。

本書可供火电站和設計机构的工程技术人员参考之用,亦可供高等工业学校有关专业师生参考。

蒸 发 器

列·薩·斯捷尔曼著

文 山 譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号

(北京市書刊出版業營業許可證出字第054号)

人民教育印刷厂印裝 新华书店发行

統一書号 15010·824 开本 890×1168 1/32 印張 2 3/16

字數 55,000 印數 0001—3500 定價(8) 羊 0.34

1960年1月第1版 1960年1月北京第1次印刷

序

鍋爐供水的處理在現代熱力裝置的操作中占有重要的地位。在裝有高壓鍋爐或單流式鍋爐（在所有的壓強範圍內）的電站中，借助於蒸發裝置的水的熱處理法乃是應用極為廣泛的方法。在這些條件下，蒸發器的操作指標在很大的程度上將影響到主要設備——鍋爐和汽輪機的操作的安全性和經濟性。

安裝在許多電站中的最近出產的典型蒸發器並未能滿足對於它們所提出的各種要求。因此，許多研究機構（莫斯科動力學院 МЭИ、波爾宗諾夫中央鍋爐汽輪機科學研究所莫斯科分所 МО ЦКТИ、單流式鍋爐製造局 БПК、國營地區發電站與輸電網的組織及合理化托拉斯 ОРГЭС 等等）都努力研究這些裝置的操作條件和擬定蒸發裝置的合理流程。結果便創造了許多新型結構，它們能保證在不大的損失條件下得到質量合乎需要的蒸餾水。現在，這些新型結構已在許多工廠中開始生產。同時也制訂了使過去出產的蒸發器現代化的方法。利用這些方法，不用太多的基本投資，就可使它們的操作指標有相當大的提高。

出版本書的目的是向電站和設計機構的工程技術人員介紹應用最廣泛的蒸發裝置的結構、它們的改進方法和熱工計算方法。

目 录

序	iv
第一章 蒸发器的用途和說明它們操作性質的主要指标	1
蒸发器的用途和它們在电站热力网中的地位	1
对于蒸餾水質量的要求	4
蒸发裝置的供水·随排水的損失	5
第二章 蒸发器的結構和蒸发裝置的流程	8
蒸发器的結構	8
蒸发裝置的流程	21
HCB型蒸发器的操作指标	26
第三章 改善蒸餾水質量的方法和淨化蒸发器蒸汽的新方案	32
国营地区发电站与輸电网的組織及合理化托拉斯所进行的 HCB型蒸发器供料系統的改建	32
根据阿連奇科夫和克麦利曼方法的二次蒸汽的淨化	33
在蒸发器蒸汽空间中蒸汽洗滌和淨化裝置的应用	37
上面研究过的蒸汽洗滌和淨化方法的評述	46
第四章 热量計算和傳热計算	54
热量計算的項目	54
傳热計算	61
参考書刊	72

第一章 蒸發器的用途和說明它們 操作性質的主要指标

蒸發器的用途和它們在电站热力网中的地位

在每个火电站中，用作供給蒸汽鍋爐的汽輪机的冷凝水，应当不断地补充以适合于該类型鍋爐需用的水。若电站沒有其他热能消費者，則补充水量决定于电站本身所使用的蒸汽量，以及蒸汽損失量和鍋爐漏失的水量。当在生产电能的同时，电站还須供应消費者以热能时，除了补充电站内部的冷凝水損失量以外，还必须补充外界的損失量。

在电站中冷凝水損失量的补充可以用化学淨化（軟化过的）水、蒸餾水或化学脫盐水（用通过适当吸着剂的过滤方法得到）。現在多半是采用前两种。利用深度脫盐法可能得到含盐量較蒸餾水为低的水。但是深度脫盐法还没有被广泛应用，而且是在补充水处理法中最昂贵的一种（無論如何就基本投資而言是如此的）。

补充給水的最便宜的和簡單的处理方法是化学淨化。当利用蒸餾水作为补充水时，并不排除水的化学淨化。

在电站中蒸餾水得自蒸发装置内的化学淨化水。从汽輪机任何一个抽汽口出来的蒸汽即耗用于此过程。在包括有蒸发装置的任何方案中，由每公斤进入汽輪机的蒸汽所生产出的电能量将降低。尽管如此，蒸发器仍广泛地被应用于我国以及外国的电站中。其理由为以化学淨化水作为补充水远非总是可能的。

一般言之，化学淨化水并不适于作为无分离器的单流式鍋爐的供水之用。

化学淨化水适于作为胴体式鍋爐（具有超高参数的鍋爐在外）

的供水之用。但是若化学净化水的应用导致经济指标降低的话(譬如,导致随排水^①(продувка)的损失的增长,这种损失可能会高于因处理蒸馏水所带来的消耗),则在这里也必须偏重于应用较昂贵的,但在该情况下经济上更有利的补充水处理法——热处理法。譬如,在有些区域中因化学净化水中的硬渣垢量多,如若利用它作为胴体式鍋爐的供水时,将导致鍋爐排水量的急剧增加,因此蒸馏水的应用在许多情况中乃是更经济的。

鍋爐技术是沿着应用压强更高的蒸汽的路程发展的。当胴体式鍋爐操作时的工作压强愈高,则鍋爐水中盐的许可浓度也须愈低。因此在化学净化水中硬渣垢量相同的情况下,当化学净化水被用作补充水时,随着鍋爐内压强的提高,排水量也增加(在其他条件相同的情况下)。同时随着过渡到更高的压强,对于鍋爐所生蒸汽的质量的要求也愈益严格。因此以蒸馏水作为高压胴体式鍋爐的补充水时,常常较之以它用于中高压鍋爐(котел повышенного давления)时在经济上更为有利。现在在低压和中压鍋爐(котел среднего давления)中利用蒸馏水作为补充水已毫无意义,而以化学净化(软化过的)水作为超高参数的鍋爐的供水也未必会被采用。

在某些情况下利用蒸馏水作为胴体式鍋爐的补充水也可能是合理的,譬如当化学净化水中的总含盐量不大,但由于其中有大量硅酸盐存在,以它作为补充水就必须预先进行脱硅操作。

蒸发装置按照下面所述的原理操作。从汽轮机流来的蒸汽供往蒸发器的管綫中,并在管束的外表面或内表面上冷凝。冷凝热經由加热表面傳給沸騰水。同时将形成的蒸汽从蒸发器引出并冷凝。供往蒸发器的蒸汽称为一次蒸汽,而被引出的(由进入蒸发器

① 在有些書上譯作“排污”或“放水”,在本書中譯作“排水”或“排水量”。——譯者注

的水形成的)——二次蒸汽。

二次蒸汽在交流换热預热器 (регенеративный подогреватель), 脫气器、汽輪机的冷凝器或其他在較低压强下操作的蒸发器的管束中冷凝。在电站中, 根据依次连接的蒸发器的个数, 可以見到单效、双效和多效蒸发装置。但是效数通常最多不超过六。在多效装置中, 每效的二次蒸汽, 除最后一效外, 都被用作次一效的一次(加热)蒸汽。最后一效的二次蒸汽在电站的交流换热預热器或其他型式换热器中冷凝。汽輪机的冷凝器只在鮮有的情况下才被用来冷凝蒸发器的蒸汽, 因为在这样的方案下, 大量的热能将随冷却水而被浪費掉。

一次和二次蒸汽的冷凝水流进鍋爐的供水系統。从冷凝蒸发器的蒸汽所获的冷凝水(蒸餾水)系作为补充电站中冷凝水損失的补充水。

随着蒸发装置的效数的增加, 从汽輪机抽出的同样数量的蒸汽所能得到的蒸餾水量也将增加。因此, 显而易見, 当比較在相等的溫度降下操作的单效和多效装置时, 多效装置要更有利些。但是加热蒸汽和二次蒸汽之間的溫度降不可以过分减低, 因为这样将会引起蒸发器的外形尺寸、金屬消耗量、操作过程中的热損失量和其他等等的增加。通常在单效装置和多效装置的一效的溫度降选定为 $10-15^{\circ}\text{C}$ 。当情况是为了在一效中造成一定的溫度降, 而蒸发器的二次蒸汽的全部又可以在供水的預热器中冷凝的話, 則多效蒸发就沒有甚么优点。因此, 当电站的冷凝水損失量不大时, 蒸餾水系得自单效和双效蒸发装置。如果要在单效或双效蒸发装置中获得补充水量需要将二次蒸汽的一部分在使用生水操作的冷凝器中加以冷凝的話, 那么此时則应安装多效蒸发装置。

在有着从消費者处来的大量不回收的冷凝水的电站(热电站)中, 为了供热的目的, 經常利用蒸发装置的二次蒸汽。这样就

得以在电站的供水系統中保存鍋爐蒸汽的冷凝水。其二次蒸汽被导往热能消費者的蒸发器称为蒸汽发生器(паропреобразователь)。它們通常系由单效做成,在結構上与蒸发器无区别。

蒸发器中的工作压强不大,通常甚至在多效裝置的第一效中也不超过 10 个绝对大气压。最后一效有时处于真空下。蒸汽发生器中蒸汽的压强依热能消費者的要求而定。

对于蒸餾水質量的要求

蒸餾水的質量依它的总含盐量或硬渣垢量,以及(当蒸餾水用作高压和超高压鍋爐的供水时)在 1 公斤蒸餾水中所含的硅酸量而定。不同类型的鍋爐对于供水質量的要求各不相同。

在装备有单流式鍋爐的电站中,供水应当象鍋爐的饱和蒸汽一样地净化掉杂质。在这些电站中,对于汽輪机的冷凝水和蒸发器的蒸餾水的質量提出同样的要求。

根据苏联电站部的技术操作規程(ПТЭ),对于表压强超过 59 个大气压的鍋爐,蒸汽的含盐量不应超过 0.2 毫克/公斤,而硅酸含量对于表压强超过 90 个大气压的鍋爐不应大于 0.05 毫克/公斤。上述这些要求决不能认为是足够的,因为根据近年所得到的数据看来只有当蒸汽的含盐量在 0.05—0.10 毫克/公斤的范围时,在汽輪机的蒸汽循行部分实际上才不发生盐的沉积。当蒸汽的含盐量超过 0.1 毫克/公斤时定期清洗汽輪机就成为不可避免的。因此,当以蒸餾水作为单流式鍋爐的补充水时,必需力求其含盐量(汽輪机的冷凝水的含盐量也如它一样)不超过 0.1 毫克/公斤。但是在許多电站中并不都能得到含盐量低于 0.1 毫克/公斤的冷凝水。根据苏联电站部技术操作規程的規定,供水的許可含盐量可以达到 0.3 毫克/公斤。无论如何蒸餾水的含盐量不应超过汽輪机的冷凝水的含盐量。因此力图进一步改善蒸餾水的質量在实

实际上并无意义，因为在大多数情况下补充水只是供水总消耗量中不大的一部分。所以蒸馏水实际上不能改善鍋爐的供水，虽然，不待說它可使供水变坏。

胴体式鍋爐可用含盐量比較高的供水操作。但若供水中盐的濃度愈低，則在鍋爐所生蒸汽的含盐量相同的条件下，随排水的損失量也愈低。因此，在汽輪机冷凝器中力图降低吸入空气的量并力图将蒸馏水的質量改善，以使其含盐量不会超过冷凝水的含盐量，特别是当只用蒸馏水作补充水时。

蒸發裝置的供水·隨排水的損失

电站中蒸发装置的供水，多利用化学净化过的脱过气的水。它的盐分組成和硬渣垢量有着各种极不相同的值。在苏联的电站中依电站所在的区域和原水来源的不同，化学净化水中的硬渣垢量位于 40—50 到 3500—4000 毫克/公斤的範圍內。

最近出产的蒸发装置，当其蒸发器中不发生沸騰水(濃縮液)的起沫作用时，已能生出含盐量可認為是許可的蒸汽。

当濃縮液的含盐量足以使在蒸发器中形成泡沫时，則蒸汽本身夹带有大量的水滴并且蒸馏水的含盐量超过許可值很多倍。当沸騰水中盐的濃度开始达到使蒸汽(也相当于使蒸馏水)的質量急剧变坏的数值时，則此濃度称为临界濃度。

当以起沫的水，即以盐的濃度高于临界值的水操作时，蒸汽-水混合物的重度小于当以含盐量低于临界值的水操作时所得混合物的重度。因此，若蒸发器中的水位利用水位調节器或根据水位玻管来維持在相同的記号时，則在通过临界濃度的过程中，蒸发器內的实际水位将增长，从而使带出的水分量增加。然而在实际水位被保持不变的那种情况下，带出的水分量将会急剧地增加。肉眼的观察指出，在水的含盐量高于和低于临界值时，物相的

分离过程将伴随有各种不同的效应。当濃縮液的含盐量低于临界值时，滴状液体的噴泉和顆粒被拋向蒸汽空間。在液面上也无具有液相网状结构的蒸汽-水介質（則此可称为是泡沫）稳定地积聚着。在超临界濃度的情况下，发现另一种現象。此时被拋向蒸汽空間的汽相仍然还没有分离出来，并且为数众多的小滴实质上是含有两相的介質，其中的液体具有网状结构。在蒸汽运动被阻緩的地点即为泡沫所充填。在液面上也有比較不大的泡沫层，由于液位的状态不稳定，它被从一个地点拋向另一个地点。小块泡沫常为蒸汽托住并随汽流慢慢地向上移升。

因此，在用可起沫的水操作时，其发生蒸汽的湿度增加的原因，是此时物相的分离发生困难，而两相介質的小粒滴（它的容積重量小于液体的）易为蒸汽流輸送。

临界濃度依水的盐分組成，工作压强，蒸发器的負荷和决定蒸汽空間和水空間的操作的一些结构上的因素而定。

为了維持濃縮液的含盐量在一定的限度內，它的一部分应从蒸发器連續地被排出。从蒸发器排出的濃縮液量可根据盐分平衡方程式决定。

$$DC_n + \frac{p}{100} DC_k = \left(D + \frac{p}{100} D \right) C_{x.s.} \quad (1)$$

式中

D —蒸发器的生产能力，吨/小时；

p —蒸发器的排水率，%；

$C_n, C_k, C_{x.s.}$ —分别表示蒸汽、濃縮液和化学淨化水的含盐量，毫克/公斤。

方程式(1)中为蒸汽所夹带的含盐量 C_n 可以忽略不計。于是排水率可根据下面的公式决定：

$$p = \frac{C_{x.s.}}{C_k - C_{x.s.}} \cdot 100. \quad (2)$$

根据水的盐分組成电站中蒸发器操作的压强和負荷，濃縮液

的临界濃度位于 6000 到 12000 毫克/公斤的限度以內。

通常蒸发器在濃縮液的含盐量低于临界值的情况下操作。倘若化学淨化水中的硬渣垢量高,就不得不保持濃度高于临界值,因为否則排水量就会过大。譬如,若在化学淨化水的硬渣垢量为 3000 毫克/公斤的情况下,保持濃縮液的含盐量等于临界值时,如临界濃度等于 6000 毫克/公斤,則排水率将为 100%。在用可起沫的水操作时,蒸餾水的含盐量达到每公斤中几十毫克。这样的蒸餾水只可用作胴体式鍋爐供水的补充水并且将显著地提高随鍋爐排水的損失。

所有以上所指关于以起沫的濃縮液操作时所获得的蒸餾水的質量,并非对于最近在波尔宗諾夫中央鍋爐汽輪机科学研究所莫斯科分所(МО ЦКТИ)所研究出的蒸发器而言。在这一型式的蒸发器中,濃縮液的含盐量可維持在等于临界值 10—15 倍的情况下而又不致于使蒸餾水的質量显著地变坏。

在双效和多效蒸发裝置中常常規定順流供料,化学淨化水只是供往蒸发裝置的第一效,而排水則从最末效实现。第一效的濃縮液作为第二效的供水,而第二效的濃縮液——第三效的供水等等。这样的流程,可在保持蒸发裝置的排水率相同的情况下,改善除最末效以外所有其他各效的蒸汽的質量。在化学淨化水的含盐量不大,并当蒸餾水的質量不要求提高时,多效的順流供料允許将排水率降低一些。

为了降低随排水而損失的热量,将排水送往換热器以使准备流向蒸发器的化学淨化水預先在此器中加热。

第二章 蒸發器的結構和 蒸發裝置的流程

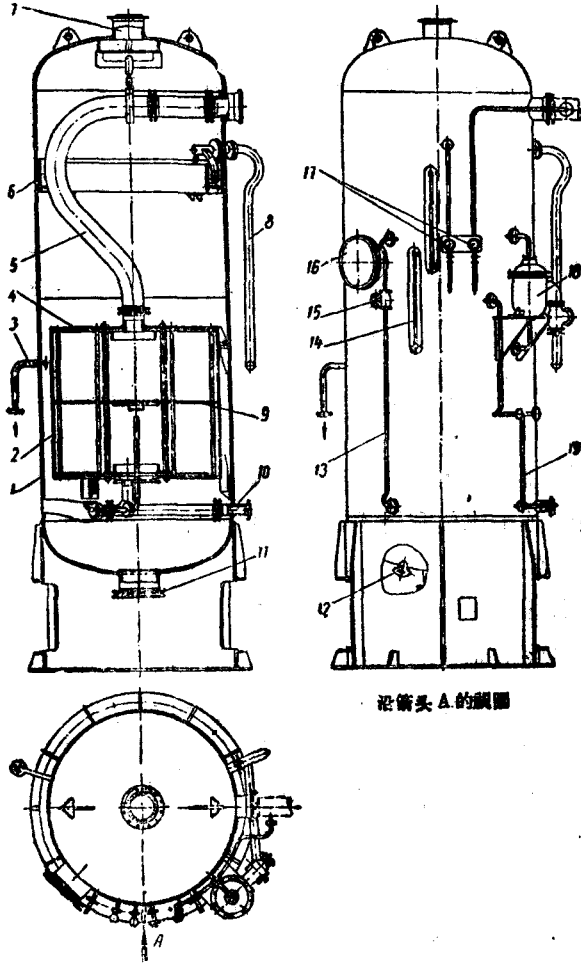
蒸發器的結構

在电站中可以見到各种极不相同的蒸發器結構。但基本上可將它們分为豎式和臥式的。

豎式蒸發器系用水管做成，臥式——汽管。加熱部件多半是安置在蒸發器外殼的本體中。在有些結構中將加熱表面放在另外的壳体中。

現在蘇聯重型機器製造部的工廠只為电站生產 ИСВ 型豎式蒸發器。但在电站中也可見到過去出產的其他型號的蒸發器。下面將敘述 ИСВ 型豎式蒸發器和某些其他過去廣泛應用的結構。對於現在出產的蒸發器將給以最大的注意。

ИСВ 型豎式蒸發器是由全焊的豎立的圓筒形外殼 1 (圖 1) 構成，它的內部懸有加熱室 2。加熱室系由有兩塊管板 4 與它焊接在一起的管筒構成。作為加熱表面的鋼管是用滾壓法擠入管板中的。加熱室靠焊在其上部的凸耳而被固定在外殼中。在加熱室和外殼之間為環狀空間。加熱室的中央部分沒有被管子填滿，並沿管 5 往那里供入加熱蒸汽。在蒸發器操作時外殼的下部裝有化學淨化水，它的水位通常保持在加熱室的上方。加熱蒸汽在管的外表面上冷凝並將自己的熱量給予在管中的水。由於有着未達到管筒周緣的擋板 9，蒸汽的運動垂直於沸騰管的中心綫，在加熱室的上部系從中心移向周緣，而在加熱室的下部系從周緣移向中心。冷凝水被收集在加熱室的下部，並沿管 10 將其引出蒸發器。加熱室的蒸汽空間用裝有閥 15 的管 13 而與蒸發器的蒸汽空間相



沿箭头 A 的视图

图 1. ИСВ 型蒸发器简图:

- 1—蒸发器外壳；2—加热室；3—连续排水管；4—管板；5—加热蒸汽进入管；6—泡沫洗涤装置；7—二次蒸汽排出管；8—供水进入管；9—挡板；10—冷凝水排出管；11、16—人孔；12—间歇排水管；13—旁通管；14—蒸发器中水位指示器；15—阀；17—压强计；18—水位调节器；19—冷凝水位指示器。

联。当蒸发器操作时，閥 15 是敞开的，以使不凝性气体能从加热室流往蒸发器的蒸汽空间。

在加热室上方安置有形如环状槽的泡沫洗涤装置 6，在此槽的下部分装有环形管。供水沿管 8 进入泡沫洗涤装置的环形管中，并均匀分布在整个管子上的孔眼流进洗涤槽中。最后水从此泡沫洗涤槽流到蒸发表面上。

蒸发器装有连续和间歇排水管。连续排水是通过与水空间的上部分相连的管 3 进行的。间歇排水是从蒸发器的下部经过管 12 进行的，此管也被用作蒸发器外壳的支柱。

二次蒸汽经过管 7 从蒸发器引出，在此管的进口前安装了擋回板(отбойный щит)。

在蒸发器外壳内的水位利用浮球式水位调节器 18 来维持，一次蒸汽冷凝水的水位利用浮球式冷凝水排除器来维持(图中未示出)。蒸发器装有水位指示器 14 和 19 及指示加热蒸汽和二次蒸汽压强的压强计 17。

ИСВ 型蒸发器按各种不同的类型-尺寸出产。它们的主要技

表 1. ИСВ 型蒸发器的主要技术性能

蒸发器型号	蒸发表面面积 米 ²	工作压力 (极限) 表压强大气压		水力试验压强 表压强大气压		主要尺寸 米		
		加热室	蒸发器 外壳	加热室	蒸发器 外壳	外壳 直径	外壳 高度	加热室 高度
ИСВ-120	120	8.0	4.0	12.00	6.00	2040	6100	1600
ИСВ-250	250	3.0	2.0	4.50	3.00	2828	6600	1600
ИСВ-300	300	20.0	8.0	30.00	12.00	3032	8200	1700
ИСВ-350	350	3.0	3.0	4.50	4.50	2840	7250	2250
ИСВ-585-I	585	12.5	8.8	18.75	13.20	2848	9200	3500
ИСВ-585-II	585	3.5	2.5	5.25	3.75	2840	9200	3500
ИСВ-680	680	3.0	3.0	4.50	4.50	2840	8600	3200
ИСВ-965	965	2.0	0.2	3.00	1.20	3032	11400	4450

术性能载于表 1 中。

蒸发器的生产能力依加热蒸汽和二次蒸汽的参数而定。随着生产能力的增加，蒸馏水的含盐量也增加。ИСВ-120 型号蒸发器通常在生产能力为 7.5 到 10.0 吨/小时的条件 下操作。其他类型-尺寸的 ИСВ 型蒸发器在二次蒸汽的压强近乎 1.1—1.2 绝对大气压时的生产能力在 13—15 吨/小时以下的范围内。当二次蒸汽的压强更高时（在蒸馏水质量相同的情况下）生产能力将增加一些。譬如，ИСВ-585-1 型号蒸发器的生产能力在二次蒸汽压强为 6—10 绝对大气压下为 18—20 吨/小时。

动力工业管理总局中央锅炉设计局的竖式蒸发器的结构具有加热室 2（图 2），它也被悬挂在蒸发器外壳 1 的下部，并在操作时完全浸入液体中。

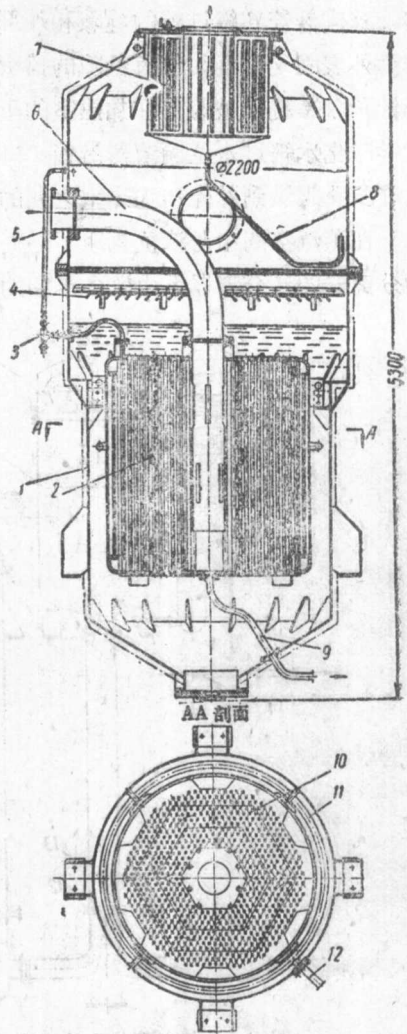


图 2. 动力工业管理总局中央锅炉设计局的蒸发器。

- 1—外壳；2—加热室；3—阀；4—第一分离器；
- 5—旁通管；6—加热蒸汽进入管；7—螺旋分离器；
- 8—分离器的排尿管；9—冷凝水排尿管；
- 10—挡板；11—环形管；12—供水进入管。

一次蒸汽沿管 6 经过管的缝隙和端部进入管束的管间空间,并在管的外表面上冷凝。带有缝隙的挡板 10 保证蒸汽均匀地流经全部管子。冷凝水被收集在加热室的下部,并由那里经管 9 引出。化学净化水经过水位调节器沿管 12 供到环形管 11 中,并由此经过许多孔眼供到外壳和加热室之间的环状空间内。

在蒸汽空间中与液位相距不远处装有作为液体第一次分离用的分离器 4。分离器系由许多单独的角钢组成,它们应这样的安

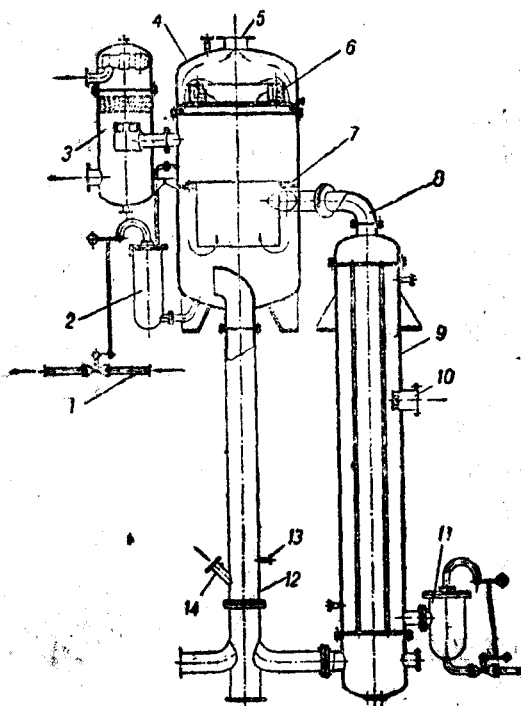


图 3. 加热表面装入另外的壳体内的蒸发器:

- 1—蒸发装置的供水进入管; 2—水位调节器; 3—脱气器;
 4—蒸发器的外壳; 5—二次蒸汽排气管; 6—填料;
 7—圆筒; 8—旁通管; 9—加热室; 10—加热蒸汽进入管;
 11—冷凝水排除器; 12—下降管; 13—连续排水管;
 14—与脱气器相联的支管。