

清華大學燃料綜合利用試驗電廠叢書

第 13 冊

凝汽器的土化

電廠建設者集體編寫



水利電力出版社

目 录

第一章 凝汽器的工作原理及土化方案	
第1节 凝汽器的工作原理	2
第2节 凝汽器的土化方案	2
第二章 用鉄管代銅管	
第1节 采用鉄管的意义	3
第2节 采用鉄管需要解决的问题	4
第3节 鉄管的腐蝕問題	5
第4节 鉄管与管板的連接	7
第三章 磚外壳	
第1节 采用磚外壳的意义	12
第2节 实现磚外壳的技术措施	12
第四章 混合式凝汽器的采用	
第1节 混合式凝汽器应	19
第2节 混合式凝汽器	19
第3节 混合式凝汽器	22
第4节 混合式凝汽器	24
第五章 表面式凝汽器的土	
第1节 磚外壳立式凝汽器	25
第2节 簡化臥式凝汽器的結構	27

第一章 凝汽器的工作原理及土化方案

第1节 凝汽器的工作原理

凝汽器的功用是：把做过功的蒸汽——汽輪机的乏汽冷凝成水；在汽輪机的排汽口造成真空，以提高汽輪机的作功能力。其次，要把这部分凝結水收集起来，送回鍋爐內去蒸發。

要把汽凝結成水，可以有兩種方式，一种是乏汽进入凝汽器中与冷却水直接接触，放出热量凝結成水，結果冷却水与凝結水混合起来，一起被水泵排出凝汽器，这叫混合式凝汽器。另一种是乏汽与冷却水通过由金屬管子組成的冷却面間接接触，逐漸凝結成水，这种叫表面式凝汽器。前者不能收回純淨的凝結水，后者可以收回。

第2节 凝汽器的土化方案

土化凝汽器的目的是要促使电力工業大躍进，假如我国广大农村各專区、县都能用比較少的投資，比較土的办法自己制造發电設備，自己办电厂，那么我們的电力工業也就能像其他工業一样，在全国遍地开花。因此，从材料、結構、工艺等方面来土化凝汽器是具有很大的意义。这是一項技术革新，因此必需打破常規，破除迷信。

土化的方向應該按照党中央建設社会主义的总路綫来作努力，也就是必需做到又多又快又好又省，适合地方的

情况。我們对于凝汽器的土化問題作了一些工作，通过試驗、請教工人，并加以分析，有了一些体会，在这里提出來和大家討論。

第一、我們認為在小型电厂中使用的凝汽器，不一定要用銅管來作冷却管，可以鉄管來代替。

第二、凝汽器的外壳在鋼材缺乏、加工困难的情况下，可以做成磚砌外壳。

第三、混合式凝汽器对于小型电站可以采用。

圍繞着这三点，我們进行了三种土凝汽器的設計，这就是混合式凝汽器（磚外壳或鋼外壳等），直立表面式凝汽器（磚外壳，鉄管）和臥式鉄管凝汽器。下面將結合我們所設計的凝汽器对以上三个問題作进一步說明。

第二章 用鉄管代銅管

第1节 采用鉄管的意義

以往的表面式凝汽器都是用銅管作为冷却水管，但是銅的供应情况比鋼材緊張（电机、国防等工業也需要大量的銅），而且价格昂貴。同时，从經濟意义上看，如能用其他代用品的話，势必会大大降低凝汽器的造价。以一个冷却面积为180平方公尺的凝汽器（用在2000瓩的汽輪机上）为例，用鉄管代銅管將节省銅1.5吨，并能减少投資15000元。

根据冷却水管的工作条件及目前国内的供应情况，我

們選擇了用作電綫管的鐵管來作為冷卻水管。在設計過程中，我們還考慮過其他方案，如用鋁管等，但因此種管目前大量供應也有困難，故沒做深入研究。

第 2 節 採用鐵管需要解決的問題

現在我們把鐵管與銅管的性能進行比較，就可以從中看出要實現以鐵管代替銅管所必需解決的問題。

- 一、傳熱效果的影响：銅管 70—100 大卡 / 公尺·
小時·°C
鐵管^① 40—50 大卡 / 公尺·
小時·°C

看來在金屬管壁的热傳導方面鐵管是要差一些，但是在凝結放熱時，對傳熱系数影响最大的是蒸汽凝結放熱及水的對流放熱，而金屬管壁的热傳導影响甚小，在計算中可不加考慮。因此可以認為銅管和鐵管在傳熱方面差別很小，可以按照銅管凝汽器的計算公式來設計鐵管凝汽器。

二、腐蝕：鐵管易被氧化，這點比銅管差得多，而且是個關鍵問題。

三、用在凝汽器上的銅管是无縫的，而電綫管却是有縫管，有縫管是否会漏水，有縫管與管板的連接應採用什麼方式（銅管一般是用脹管或鎖母連接），這些就是下面要討論的問題。

綜合以上的比較，我們已可看到，要實現用鐵管代銅管必需解決：①鐵管的防腐問題；②鐵管與管板的連接方法。

① 我們用的鐵管实际上是低碳鋼制成的。

第3节 鉄管的腐蝕問題

一、鉄管腐蝕的原因：

(1) 管内：冷却水中有腐蝕性气体，以及各种酸、鹽类都会腐蝕管子。

(2) 管外：長期經受蒸汽冲刷，在蒸汽中也含有空气，尤其是在抽气口附近，大部分的蒸汽已凝結，剩下的气体中空气百分比很大，因此这部分管子特别容易被氧化。

采用鉄管时，鉄管与管板连接的脹口处电化学腐蝕不存在了，因为管板与管子材料相同。

如果不加任何防腐措施，就把电綫管直接用作冷却水管，根据师傅們的經驗，在凝汽器的工作条件下可用一年以上，这是根据一般工作經驗所作的估計。譬如埋在地下的电綫管，二三年后未見損坏，而一般水管用到七、八年才出現漏洞，經修補后还可用好几年。

二、几种簡易防腐的方法：

由于設計工作时间的短促，我們在防腐方面还没找到較准确的确定管子使用寿命的試驗方法，以及各种防腐方法的利用和它們的效果。現在只綜合一些水暖工、管工、师傅的經驗，加以分析供大家參考。

(1) 在管子表面上附上一層薄的（不易氧化的）金屬，如采用挂錫或鍍鋅。

挂錫是將錫熔化后在管子外表面附上很薄的一層；鍍鋅是用电鍍的方法鍍上很薄的一層鋅。

應該指出，这二种方法只可能把金屬附着在管子的外表面，而实际上內表面也沒有必要附加，因为它除被冷却

水泥沙磨損外，還在露出的鐵表面上形成鐵與鋅或鐵與錫的電化學腐蝕，以及水中酸、鹽的腐蝕使此層金屬很快地損蝕。

(2) 在管子表面上塗瀝青、噴漆第一道底漿(紅樟丹)或白磁漆、醇酸磁漆等塗料。但應注意，加這些塗料時也應是很薄的一層，用手工塗就比較困難。

油、漆等塗料傳熱性能很壞，肯定的說它是要影響傳熱效果的；再者這些塗料耐熱性都很差，一般在 $40-50^{\circ}\text{C}$ 就開始軟化(對於性質不同的塗料軟化溫度是不同的)。尤其對於要無電源起動的電廠，使用起來將更困難。

(3) 由於鐵比銅價格低，在不影響凝汽器安裝(如脹管)的情況下，可增加管壁厚度延長管子使用年限。電綫管的壁可加厚為1.5公厘，比銅管厚0.5公厘。

(4) 在冷卻水的進口水室中加鋅塊，以吸收水中腐蝕性物質，保護鐵管內部不被腐蝕。當鋅塊已被腐蝕時，應及時更換新的。

在我們設計中採用的方法是在水室中加鋅塊保護管子內部，而管子外部則不加任何防腐劑。這樣，壽命將比銅要短。電綫管到底能用幾年，肯定的結論有待實踐證明，同時它與各地具體條件(如冷卻水水質、管子加工質量等等)有關，但是在目前用它來解決銅管缺乏的困難，從而保證電力工業發展速度能大大加快，是符合多快好省的精神的。在使用一兩年之後管子要更換時，則可根據當時的具體條件，換上鐵管、銅管或更好的材料。因此，在設計中要考慮管子經常容易更換，選擇簡單的連接方式是很重要的。

第4节 鉄管与管板的連接

一、要求:

(1) 鉄管固定在管板上必須絕對严密, 否則冷却水漏入蒸汽空間会把凝結水染污;

(2) 固定方法簡單, 能較容易的拆換;

(3) 經濟, 工艺簡單。

二、几种固定方法的比較:

在設計过程中, 我們曾考虑过各种固定方法, 如錫鉚、灌錫、灌鉛、螺紋連接(管板, 攻絲, 管子套扣)、管箍連接、鎖母連接、間接脹管、直接脹管等八种方法。

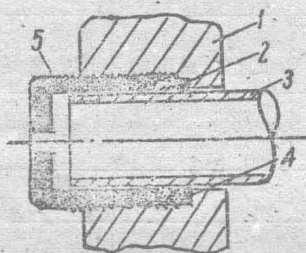


圖2-1 鎖母連接

1—管板; 2—填料; 3—鉄管; 4—管环; 5—鎖母。

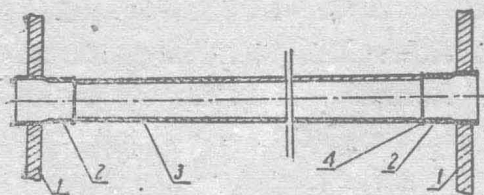


圖2-2 間接脹管

(在管子兩端鉚上銅管或无縫鋼管, 然后再脹)

1—管板; 2—銅管(或无縫鋼管); 3—电綫管; 4—焊縫。

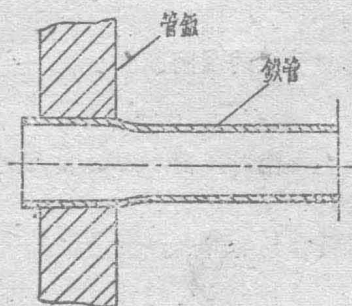


圖2-3 直接脹管

現在就几种可能實現的方案進行比較。

表2-1

	鎖母連接	間接脹管	直接脹管
附加材料消耗	要用大量的鋼做鎖母及擋環	要用無縫管，且不易得到	不需另加材料
連接質量	嚴密性較差但能吸收管子熱膨脹	嚴密性好，強度能滿足要求	嚴密性好，強度能滿足要求
制 造	需要大量機械加工	需把無縫管切開鉚上，較費事，費料	不需再加工要把管子兩端退火
安 裝	安裝較方便	安裝方便，但較慢	安裝慢，要注意焊口裂開
檢 修	鎖母與管板會銹住不易拆卸	方 便	方 便

經過上面的比較可以看出，直接脹管是最經濟又最簡單的固定方法，我們決定採用。但是有縫管的脹接是有困難的，脹接時鉚縫會裂開，過去很少有人用過，因此必須打破常規，找出原因克服困難。經過試驗，我們認為主要問題已經解決了，詳見下面的試驗報告。

有縫鋼管脹管實驗報告

(一) 實驗目的：了解有縫電綫管脹管性能，脹管時

焊縫是否开裂；脹口在受到軸向作用力時的強度。

(二) 實驗設備：脹管採用普通銅管之脹管器。強度檢查用鮑南式全能機作壓力實驗檢查(圖2-4)。

(三) 實驗結果：

表2-2

次序	試件	鋼板	脹前準備	脹管結果	壓力試驗	備注
1	15.8/12.6	12mm	清潔脹口	焊縫开裂		
2	15.8/12.6	12mm	焊縫加焊，退火，清潔脹口	脹管成功 (無开裂現象)		
3	19.05/15.8	16mm	制管廠注意 焊縫質量，清理	脹管成功		
4	19.05/15.8	16mm	同上	脹管成功	5000 磅開脫	(脹口開始滑動，並未脫開)
5	19.05/15.8	16mm	同上	脹管成功	2700- 磅開脫	(脹前管即有裂痕，脹後稍擴大)
6	19.05/15.8	16mm	同上	脹管成功		(開裂原因採用自制大維度脹管器強度所致)
7	19.05/15.8	16mm	同上	焊縫开裂		

三、有縫管脹管

(1) 脹管步驟：

首先要檢查管子銲口的質量，尤其是兩端待脹的地方必需焊透，如發現有不牢固的象徵，則應加銲一下。

其次把管子兩端退火，退火方法只需把兩端加熱至暗紅色(約為 800°C)後，將整個管子埋在青灰或砂中，這項工作可以大批管子同時進行。退火完畢就可以脹管。

(2) 脹口質量的檢查

严密性：把脹成的管子在脹口处用煤油塗上，然后檢查結果沒有滲漏的現象。但对于大批管子脹在管板上，就必需在全部脹完后用水压試驗來檢查，漏了就再脹一次。

強度：把6/8"（外徑为英吋之分，即19公厘）的電綫管脹在19公厘厚的鋼板上，然后做压力試驗，結果每个脹口均能承受2000公斤以上。这說明脹口能承受管子热膨脹时所产生的力，况且管子很長，柔度較大，由热膨脹产生的力是很小的。

对于3公尺長的冷却管，若温差达到 100°C ，則管長改变3.6公厘，作用在脹口上的力只有57公斤（这是由剛度試驗所得結果，試驗是在3公尺長的管兩端加力，用千分表來測量距离的变化，管子受力后稍为弯曲兩端的距离就縮短了）。由此可見，脹口的強度是能滿足要求的。

（3）脹管器

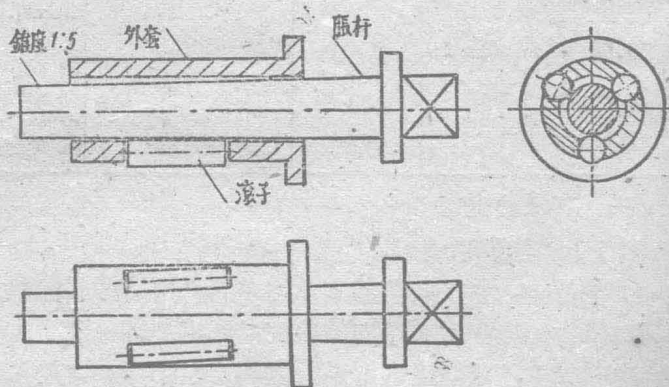


圖2-4 脹管器

鐵管所用的脹管器与銅管用的不同。首先，鐵管硬度大，用普通的碳鋼來制造是不行的，会产生鳞剝現象，脹

杆滾子表面脫落鉄屑，脹管器很快就損壞了。必需用45号鋼或用牌号Y7、Y8的高碳鋼來制造，并加以淬火。其次脹管器的脹錐的錐度不宜过大，过大了使管子受力較猛，焊縫易裂，用1:15是合适的。再次是鉄管管壁較厚，所以外徑相同的銅管和鉄管，它們所用的脹管器尺寸是不同的。

(4) 几点經驗:

1. 焊縫質量一定要严格檢查，不好的在兩端需加鉚，否則一脹就裂，試驗結果証明了这一点。

2. 管子要經退火。虽然我們用的是低碳鋼，但是因为經過鉚接，材料会硬化，要保證大批管子都能順利的脹成和提高脹口質量，必需退火。

3. 選擇适当口徑和錐度的脹管器是很重要的。

四、鉄管使用的其他問題

在脹管以前还需做下列工作:

(1) 管子的水压試驗。打水压至4个大气压，管子焊縫沒有滲漏的就能符合要求。

(2) 为了使管子能順利地通过管板，必需把鉄管調直、整圓。

應該注意在向制造厂家訂貨时，就应把質量要求交代清楚，因为电綫管原来并不是用作冷却水管的，在驗收时必需檢查兩端焊縫情况及做水压試驗。

总之，用鉄管代替銅管，不仅在政治、經濟上都有重要意义，而且在技术上是可行的。

第三章 磚外壳

第1节 采用磚外壳的意义

凝汽器的外壳通常是用鋼板制成的，因为尺寸較大，消耗在这方面的鋼材也較多，而且制造上也存在困难，必需由較大的机械制造厂来完成，因此在外壳的土化問題上，我們也做了一些工作。

用磚結構作为真空容器的外壳这是以前所沒有的，从来就認為“沒有不透風的牆”，而凝汽器却是高度真空的設備，困难更大。为了更多的节省鋼材(假如能成功，不仅可用在凝汽器上，而且还可以推广到其他工程的真空設備上，意义更大)，从各方面降低电厂的投資，我們大胆地进行了嘗試，和工人們在一起，特別是總結了老磚瓦工多年的工作經驗，在老师傅的帮助指导下經過多次失敗，开始时真空仅达200公厘水銀柱，最后試驗出了真空能达687公厘水銀柱的磚容器。

在造价方面，磚外壳也要比鋼外壳节省，就拿用在2000瓩汽輪机上的凝汽器来比較，如果用鋼的話，需消耗鋼材1.8—2.0吨，仅是材料費就需1100—1200元，而磚外壳材料費只需250—300元。

第2节 实现磚外壳的技术措施

一、磚外壳的強度

經過計算認為真空為0.07大氣壓的凝汽器外殼用“三七”磚牆就能保證強度了。假若水管為3公尺長（一般小凝汽器用3公尺是合適的），凝汽器（立式）總高度為4.5公尺，它的穩定性也是不成問題的。總的說來，磚外殼可以承受壓力，所以用來做真空容器是可行的，但要在結構上保證外殼不受過大的拉力。

為了保證強度，應儘量少從凝汽器上接出管子，而在乏汽管管接頭處需在外殼上用鋼筋混凝土加固。因為在這些開孔的地方應力集中，容易造成局部破壞（見圖5-1立式凝汽器結構圖）。

二、磚結構防漏措施

解決磚結構本身的密封問題，才能防漏，要求如下：

1. 對材料的的要求：

磚塊：最好用組織比較緊密的100號機磚，若沒有機磚，則用普通磚也可，應加以挑選。

水泥：用400號水泥，高標號水泥可以耐熱。

砂漿：用50號砂漿能提高磚縫的強度。

2. 磚牆結構和砌磚要求：

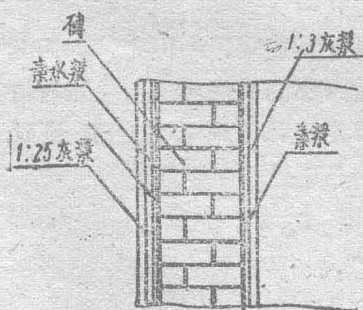


圖3-1 磚牆抹面

施工時應首先讓工人了解設備的特點，明確質量要求，因為這和一般建築物中的磚牆要求不同，要做到保證嚴密。在這方面，人的主觀努力將起很大作用，要求耐心細致地來進行工作。砌磚時磚縫要求完全飽滿，因此砂漿

水份亦要适中。砌过后还要用镋子將磚縫外面塞实，然后把磚表面噴湿加抹面。

內表面抹面加二層：1)素漿；2)1:3砂漿。

外表面抹面加三層：1)素漿；2)1:3砂漿；3)1:2.5砂漿(圖3-1)。因为空气从外往里漏，外表面的抹面防止漏气的作用大，故加三層。

抹面的砂要潔淨的粗砂，抹时需平滑无縫，抹后要压实。等到抹面半乾时，用手按一下稍有彈性就抹另一層抹面，否則各層抹面就連接不牢。

各層抹面的作用：

1.素漿層：很严密，能防止漏气，并使砂漿与磚表面能牢固的接合起来。

2.1:3砂漿：砂的份量較大就不容易裂开，故除防止漏气外，还起中間加固的作用。

3.1:2.5砂漿：作为最外一層抹面，使抹面严密光滑。

試驗証明，如果按这要求去做，做出的磚結構容器，其真空能达到要求的0.07气压。

三、真空試驗^①

試驗設備如圖3-2所示。

小容积的磚真空容器試驗是做成功了，但是，如实际做起一个磚結構的凝汽器来是否也能确保真空，这是有待繼續試驗来証明。但是可以肯定，只要施工質量能夠保証，是一定能成功的。

^① 此份記錄是无真空实验报告的一部份。

表 3-1

次 数	外 壁 塗 料 及 其 它	真 空 度 (M.MHg)
1	裸 磚	110
2	加一層 2 ~ 3 公厘素面	220
3	加一層 1 : 2.5 砂漿, 并抹光	470
4	包一層油毛毡, 接头处塗瀝青	470
5	增加抽气泵容量 (抽气泵容量不明, 但其电动机容量为以前之 2 倍)	610
6	鉄盤四周包油毛毡一層	630
7	底部泥土挖去, 塗石灰麻絲	687

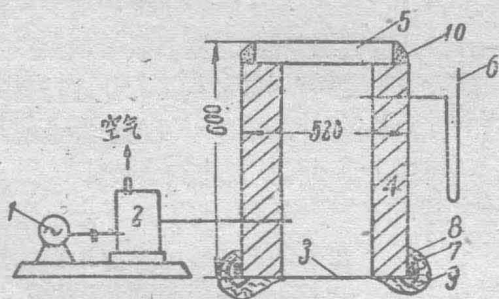


圖 3-2 真空試驗簡圖

- | | |
|------------------|-----------------|
| 1—电动机; | 2—抽气泵; |
| 3—鉄皮盤(防止地下漏气); | 4—半磚厚長立方体磚牆; |
| 5—大青磚; | 6—水銀真空計; |
| 7—水泥砂漿(1 : 2.5); | 8—油毛毡; |
| 9—石灰麻絲; | 10—1 : 2.5水泥砂漿。 |

四、引出管的連接及接头的密封問題

解决了本体的密封問題以后, 凝汽器引出管接头的密

封也是相当重要的，但在这方面我們还没有进行試驗。根据老师傅的經驗，可用下述方法来密封；同时也必需繼續做各种不同連接方式的漏气試驗。

(1) 金屬直接埋入磚牆中 (圖 3-3)。

填料可用 170 号混凝土，石棉水泥，1:3 砂漿。

此种方式应用于小直徑的管子 (如抽气管、蒸汽平衡管等)，对于大直徑管子填料难以塞实。

此种方式的缺点是：由于运行中温度有变化，金屬管子热脹冷縮，容易造成接头松动，空气就会从接头漏入凝汽器中，但它施工方便發現裂开可及时修复，用在小管上是合适的。

(2) 混凝土法蘭。

用 170 号混凝土做成法蘭，并在其中埋入适量的螺釘，金屬法蘭与混凝土法蘭相連就用此螺釘，在法蘭間加橡皮垫圈，以保証接合面的严密 (圖 3-4)。

这种方法施工比較复杂，要做模板。混凝土注意要搗实，在安裝时要求螺釘与金屬法蘭孔的位置完全一样，在埋螺釘时要做样板。

这种連接方式的接头强度和严密

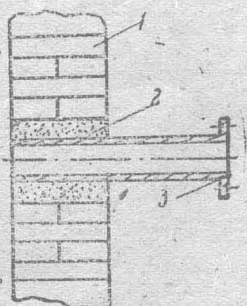


圖 3-3 金屬管接头
1—磚牆；2—填料；
3—金屬管接头。

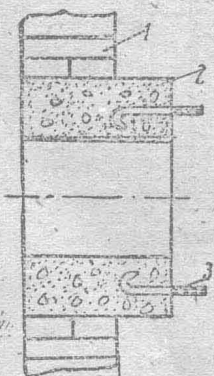


圖 3-4 混凝土法蘭接头

1—磚牆；2—混凝土；
3—地脚螺絲。