

全民办电叢書之二

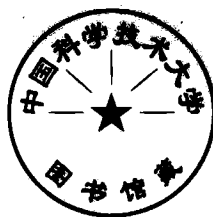
300瓩供热凝汽式 土 汽 輪 机

旅大市 氯酸钾厂 塑料二厂 合編

水利电力出版社

300瓩供热凝汽式 土汽輪机

旅大市 氯酸鉀厂 塑料二厂 合編



水利电力出版社

內 容 提 要

本書主要是介紹旅大市氯鹼鉀廠和塑料二廠合制的 300 瓩土汽輪機的構造、各主要部分的計算、經濟性能以及運行中應該注意的事項等。這台土汽輪機的特点是：容量適中，適合於大、中型工廠和人民公社安裝使用；蒸汽參數適合於土鍋爐；裝有混合式凝汽設備，增進了效能，減少了汽耗；裝有危急保安器，對安全運行提供了保證。因此，這台土汽輪機是較比經濟和典型的一個。書內除對主要組成部件如噴咀、葉片、凝汽器、抽氣器和危急保安器作了較詳細較全面的計算，對於經濟效能的比較和改進意見，也作了計算和說明，這本書在突破土汽輪機經濟關和安全關方面，是值得參考的一個良好讀物。

300 瓩供熱凝汽式土汽輪機

旅大市氯鹼鉀廠
塑料二廠合編

*

1841R602

水利電力出版社出版（北京西郊科學路二里溝）

北京市書刊出版業營業許可證出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

787×1092 1/32 開本 * 1 1/4 印張 * 32 千字 * 定價（第 9 類）0.21 元

1958 年 12 月北京第 1 版

1958 年 12 月北京第 1 次印刷（0001—10,100 冊）

出版者的話

一年以來，全國人民在總路線莊嚴號召的鼓舞之下，到處以風起雲湧、排山倒海之勢，迅速形成了轟轟烈烈、波瀾壯闊的大躍進高潮。作為“先行官”的電力工業，處於一天等於二十年的躍進洪流里，也必須以豪邁的步伐，昂揚前進。目前，黨號召全民辦電，就是繼鋼鐵躍進之後，在電力工業方面的一項重大措施。

要實現全民辦電，必須大搞羣眾運動，“大洋羣”和“小土羣”結合，兩條腿走路。這樣就可以為解決電源緊張情況開辟一條康莊大道。東北地區，自從阜新礦十二廠創造了杓式土汽輪機以後，不到兩個月的時間，土汽輪機的製造就象雨後春筍一樣，在各工廠、企業中蓬勃地發展起來。

旅大市氯酸鉀廠和塑料二廠合制的300瓩土汽輪機，是在初步突破了技術關之後產生出來的。它的特點在於：（1）容量適中，適合於在大、中型工廠和人民公社安裝使用；（2）蒸汽參數適合於和土鍋爐配合使用；（3）裝有凝汽器和抽氣器，因而大大增進了效能，減少了耗汽量；（4）裝有危急保安器，從而為安全運行提供了有力的保證。根據設計和試運行結果來看，這種300瓩土汽輪機是比較成功的一個典型。因此，在大連舉行的全民辦電現場會議上，它曾引起了各地代表的重視。

本書主要是介紹這台汽輪機各個組成部分如噴咀、葉片、危急保安器、凝汽器和抽氣器等的设计和計算；對經濟性能作了比較。此外，並附帶介紹了安全運行方面應該注意的事項以及經濟方面的改進意見。

關於土汽輪機的製造工藝過程，因為汽輪機種類不止一種，並已另有專書介紹，這裡未加敘述。

這本書的出版，主要是希望能在土汽輪機經濟效能的改進上，起到一些推動作用，為全民辦電提供有利的條件。

目 录

第一章 共产主义大协作，土汽轮机突破技术关	3
第二章 低压冲劲供热凝汽式土汽轮机的构造	5
第1节 改造前 300 瓩土汽轮机的结构特点、尺寸和存在的 問題	6
第2节 改造后 300 瓩土汽轮机及其附属设备的技术规范	7
第三章 低压冲劲供热凝汽式土汽轮机的计算	9
第1节 各主要部分的计算	9
第2节 抽汽情况下经济性的计算	25
第3节 用抽汽供暖和用同样压力下的饱和蒸汽供暖减少煤量 的比較	27
第4节 危急保安器的计算	29
第5节 凝汽器的计算	33
第6节 抽气器的计算	35
第四章 土汽轮机试验结果	39
第五章 土汽轮机运行程序及应注意事项	39
第六章 几点改进意见	42

第一章 共产主义大协作，土汽轮机突破技术关

旅大市氯酸钾厂和塑料二厂，在市委发出全民节电、办电的号召以后，积极地发动了群众，掀起了办电高潮；除利用汽泵、自行车和制造小土汽轮机、风动机等发电以外，为了满足氯酸钾生产所需的电力（塑料二厂在建厂期间用电很少），根据两厂的设备条件，组织了办电大协作。

两厂所以能够通力协作，主要是由于党的正确领导，共产主义的协作精神，构成了两厂领导工作的思想基础。氯酸钾厂有500马力电动机，但因锅炉容量不足，办不起电来；塑料二厂正在修建锅炉，也因没有大电动机而无法办电。这就构成了大协作的物质基础。两厂协作关系确定之后，立即分头发动群众，进行突击：氯酸钾厂突击土汽轮机，塑料二厂突击修建锅炉。两厂工人解放了思想，大干实干，经过一个月的苦战，终于在（1958）11月7日进行了一台锅炉和一台土汽轮机的试运行。试运行结果证明，土汽轮机基本上是成功的。它不仅能够正常运转，并超出原来估计，竟发出了20瓩电力来（因锅炉为300马力，发电机为500马力，原来估计可能发不出电来）。但同时也证明了土汽轮机消耗汽量太大的缺点。这与办电不仅要多、要快，同时也要好、要省的要求，是不相符的。为此，大量节省汽耗，提高效率，保证安全与正常运转，发出更多的电来，就成为土汽轮机当前的一个技术关了。

对于突破技术关，工人和技术人员都充满了信心，并且进行了反复研究和讨论。与此同时，市委电力指挥部和中央水利

电力部为了帮助我们突破技术关，也都派来了工程技术人员进行帮助。他们与厂里的工人和技术人员密切结合，边研究，边改进，提出了：“苦战六昼夜，让土汽轮机更好的发出电来”的战斗口号，从而大大地鼓舞了工人們的干劲。他们廢寝忘食、干劲冲天。氯酸钾厂的工人同志們为了突击土汽轮机，就把行李搬到了車間，他们豪迈地提出“土汽轮机不制出，决不回家”的响亮口号。在安裝与修改中，塑料二厂的工人們同样以苦干的精神，战胜了困难，赢得了胜利。为了突击任务，絕大部分同志緊張地連續工作达12~20小时之久，厂的領導同志和工程技术人员也都深入現場，解决困难。这样，經過了六天的緊張战斗，修改了叶片、噴咀，增設了凝汽器和危急保安器，終于在今年(1958)11月19日正式試車发电，效果良好，汽耗量显著降低，发电能力显著提高，至此，土汽輪机的技术关終于被突破了。

氯酸钾厂和塑料二厂协作办电，所以能够取得上述成績，綜其原因，有下列三点：

1. 党的領導和政治挂帅是各項工作取得胜利的絕對保証。

由于党的正确領導，使得工人、技术人员和干部在思想上明确地認識了这次办电的重要意义，解放了思想，彻底打破了办电的神秘观点，从而掀起了羣众性的办电高潮。工人和技术人員，一經思想解放，在沒有任何正規圖紙的情況下，發揮了敢想、敢干、敢創造的共产主义风格。在制造过程中，个别技术人员信心不足，怕負責任，党随时給予他們以鼓舞与支持，使他們与工人一道，边干、边研究、边改进，終于制成了土汽輪机。这一事实，充分証明了：党的方針政策，一旦被羣众掌握以后，就会产生难以想象的巨大物質力量。

2. 依靠羣众，以土为主，土洋結合，突破技术关。由于工

人羣众發揮了積極性，虛心學習了女兒河造紙廠有關土汽輪機的設計、製造和試車的經驗，結合工廠的實際技術條件，經過討論，取長補短，全體工人滿懷信心，立即行動，邊設計、邊造邊改，在短短時間內製造出了第一台土汽輪機。在此基礎上接受了工程技術人員的有效建議並與其密切配合，經過改修，終於突破了技術關，降低了汽耗，提高了發電能力。

3. 共產主義大協作是克服困難，推動工作的力量源泉。全套土汽輪機發電設備的製造，對我們兩廠來說，在人力和物力方面都有很大困難。但經過整風，樹立了共產主義風格，加強了共產主義的大協作，兩廠充分發揮了舍己為人，竭盡全力以互相支援的精神，這些困難都迎刃而解，從而保證了土汽輪機及早順利地發出電來。

總之，土汽輪機的初步製造成功，主要是由於上級黨和兩廠黨委的正確領導，工人羣众的革命干勁，以及技術人員與幹部密切結合的結果。只有在黨的領導下，發揮共產主義協作精神，互相支援，全力以赴，才能促進共產主義事業的飛躍發展。

第二章 低壓沖動供熱凝汽式土汽輪機的構造

這台土汽輪機使用的蒸汽壓力為 6 個絕對大氣壓，蒸汽溫度為 158°C （飽和），鍋爐供汽量為 9,000 公斤/小時。

土汽輪機的製造是經過一個改制過程的，即由低壓沖動背壓式進一步改造成低壓沖動供熱凝汽式。這台土汽輪機，在最初並未考慮到供熱和凝汽，以後，為了降低汽耗，提高效率，保證安全，對通汽部分進行了部分改造，並且增設了降低汽輪機排汽壓力的凝汽器，限制汽輪機超速的危急保安器，以及用作供暖的抽汽管路。

第1节 改造前300瓦土汽輪机的

結構特点、尺寸和存在的問題

这台土汽輪机的最初設計，是由一个双列速度級与四个压力級構成的。但其中噴咀是用圓管作成，而双列速度級的导向叶片及第四压力級的动叶片却都是作成反动式的，并且都是全圓周进汽。制成以后，便进行了試驗。在試驗时，当进汽門全开时，鍋炉压力急剧下降，由6个絕對大气压迅速降为1.5絕對大气压。这就表明：一台鍋炉的蒸汽量(4,000公斤/小时)是不能滿足这台土汽輪机的需要的。发出电力仅20余瓦，每一度电約需蒸汽量200公斤左右。

对这样的机器性能，显然是不能令人滿意的，因而工人和技术人員又进行了分析研究，設法加以改进。

根据上述情况，可以看出：由于噴咀是用圓管作成的，蒸汽在里边膨胀不大，蒸汽速度过低，因而冲到速度級时，也不会产生很大的动能，加以隔板上沒有裝軸封，間隙比較大，特别是隔板上噴咀的尺寸与动叶片尺寸不符合，以致造成蒸汽不能順暢地流过叶片通道，因而产生了很大的碰撞与渦流損失，大大减少发电能力。

此外，对这台土汽輪机的要求是：在蒸汽量为9,000公斤/小时的情况下，能发到300瓦；但排汽压力却是大于一个大气压，这是不可能实现这一要求的，因为对土汽輪机的叶輪來說，不允許有很大的圓周速度，而加工也不能是非常精細的，所有这些都是几乎无法避免地要影响到效率不能提高，因而势必在降低排汽压力上打主意，所以，沒有凝汽器，总是一个缺陷。

象这样大的土汽輪机，沒有危急保安器是危險的，这对人

身和机器的安全，都有着很大的威胁，这也是一个缺陷。

由于上述种种情况，才决定作进一步的改进设计，并加装必要的设备。

第2节 改造后300瓩土汽轮机及其附属设备的技术规范

1. 汽轮机的参数：

汽轮机的容量	300 瓩；
汽轮机的转速	1,500 转/分；
蒸汽压力	$p_0 = 6$ 绝对大气压；
蒸汽温度	$t_0 = 158^\circ\text{C}$ ；
抽汽压力	$p_s = 2$ 绝对大气压；
排汽压力	$p_1 = 0.3$ 绝对大气压；
排汽温度	$t_n = 69^\circ\text{C}$ ；
蒸汽消耗量	$D_k = 9,000$ 公斤/小时；
汽耗	30 公斤/瓩-小时；
抽汽汽耗	抽汽2,000 公斤/小时，汽耗为30 公斤/瓩-小时； 抽汽4,000 公斤/小时，汽耗为30 公斤/瓩-小时。

在复速级后设有供热抽汽管，最大抽汽量约为4吨/小时，可供生产和暖房用热。

2. 汽轮机的构造：

轴流冲动式；

第一级叶轮为复速级；

第二、三、四级叶轮为单列压力级；

共有三段隔板；

第一级喷嘴：渐缩渐扩型，喷嘴30个，共分两组，一组

为20个，一組为10个；

导向叶片

35个；

第二級噴咀

漸縮型 8 个；

第三級噴咀

漸縮型 8 个；

第四級噴咀

漸縮漸扩型16个；

复速級 { 第一列动叶数

143 个；

{ 第二列动叶数

110 个；

第二級动叶数

125 个；

第三級动叶数

112 个；

第四級动叶数

107 个。

3. 各部分尺寸：

主軸直徑 $\phi = 0.155$ 公尺，長 = 3.0355公尺；

第一級叶輪平均直徑

$\phi = 0.997$ 公尺；

第二級叶輪平均直徑

$\phi = 1.045$ 公尺；

第三級叶輪平均直徑

$\phi = 1.060$ 公尺；

第四級叶輪平均直徑

$\phi = 1.129$ 公尺。

本机裝有危急保安器和推力軸承。

关于汽輪机的構造和各部分尺寸，詳見图 1：汽輪机图(見插頁)。

4. 凝汽器：

混合式；

凝結水温度

$t_k = 67^\circ\text{C}$ ；

冷却水进口温度

$t_1 = 23^\circ\text{C}$ ；

冷却水量

$Q = 112.5$ 吨/小时。

凝汽器裝有水抽气器和蒸汽抽气器各一个。

第三章 低压冲动供热凝汽式土汽轮机的计算

第1节 各主要部分的计算

1. 通汽部分的计算:

(1) 现有条件:

锅炉压力 $p_0 = 6$ 绝对大气压;

锅炉蒸汽温度(饱和汽温) $t_0 = 158^\circ\text{C}$;

锅炉可能供给的蒸汽量 $D_0 = 9,000$ 公斤/小时;

发电机(感应电动机)的容量 $N_T = 300$ 瓩;

发电机转速 $n = 1,500$ 转/分。

根据要求的发电能力,假设排汽压力 $p_1 = 0.3$ 绝对大气压,则按照上列条件可以查出:

汽轮机的进汽比容 $v_0 = 0.32$ 公尺³/公斤;

汽轮机的进汽焓 $i_0 = 657.5$ 大卡/公斤;

理想排汽焓 $i_n = 544$ 大卡/公斤。

(2) 级数的选择:

根据上述条件,假若在汽轮机内一下子把压力由 6 个绝对大气压降到 0.3 个绝对大气压,则焓的降值为

$$h_0 = i_0 - i_n = 657.5 - 544 = 113.5 \text{ 大卡/公斤.}$$

$h_0 = 113.5$ 大卡/公斤,若转换为速度,则

$$\begin{aligned} C_1 &= 91.5 \times \varphi_1 \times \sqrt{h_0}^{(1)} = 91.5 \times 0.9 \times \sqrt{113.5} \\ &= 876 \text{ 公尺/秒.} \end{aligned}$$

一般说来,当圆周速度 $u \left(= \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \right)$ 与喷嘴出汽的速度

① 参考有关计算土汽轮机主要尺寸的一般书籍。

C_1 之比在 0.4~0.5 时，作成一個輪盤，才能將蒸汽的作用充分發揮。但是如令 $\frac{u}{C_1} = 0.4$ ，則需要這樣大的 u 值，即

$$\frac{u}{C_1} = 0.4,$$

$$u = 0.4 \times C_1 = 0.4 \times 876 = 350 \text{ 公尺/秒}.$$

這在鋼板葉輪強度上是不允許的。一般鋼板焊接輪盤的圓周速度，在 100 公尺/秒以下，方為安全。

根據上述情況，要把 113.5 大卡/公斤的熱降充分利用，就必須作多級葉輪，以便蒸汽在各級葉輪逐步降低壓力，逐級利用由於熱降而產生的速度，直到余速很小為止。

為了綜合利用起見，決定用 2.0 絕對大氣壓的抽汽供暖，因此，在計算這台汽輪機時，首先把壓力由 6 絕對大氣壓降到 2.4 絕對大氣壓，作成一個速度級，級後可以抽出一部分蒸汽供暖，以後再裝幾個壓力級，使蒸汽壓力由 2.4 絕對大氣壓降到 0.3 絕對大氣壓。

這台汽輪機最初設計為四個壓力級，可是第四壓力級把動葉的形狀做成和噴咀一樣，經過計算，認為該葉輪並不需要，故將其拆掉。為了充分利用原有條件，經過核算，將噴咀形狀加以改造，並使拆改後的第二、三、四級葉輪的熱降分別為 20、25、30 大卡/公斤，這樣，原來三個葉輪的葉片，可以維持原設計不變。所以，最後決定用一個速度級和三個壓力級。

根據熱降的分配情況，各級壓力為：

進汽壓力： $p_0 = 6$ 絕對大氣壓；

速度級後壓力 $p_n = 2.4$ 絕對大氣壓；

第二壓力級後壓力 $p'_1 = 1.6$ 絕對大氣壓；

第三壓力級後壓力 $p''_1 = 0.9$ 絕對大氣壓；

第四压力級后压力(即排汽)压力 $p_1 = 0.3$ 绝对大气压。

2. 速度級的計算:

(1) 噴咀的射汽速度:

$$\begin{aligned}\text{理想速度 } C_u &= 91.5 \times \sqrt{h_{01}} = 91.5 \sqrt{113.5 - (20 + 25 + 30)} \\ &= 91.5 \times \sqrt{38.5} = 566 \text{ 公尺/秒}.\end{aligned}$$

实际速度 $C_1 = \varphi_1 \times C_u = 0.9 \times 566 = 510$ 公尺/秒。

式中 φ_1 ——噴咀的损失系数, 采取 0.9。

(2) 决定列数:

輪盤平均直徑为: $D_{cp1} = 0.989$ 公尺,

$$\begin{aligned}\text{圓周速度为: } u &= \frac{\pi \times D_{cp1} \times n}{60} = \frac{\pi \times 0.989 \times 1500}{60} \\ &= 77.5 \text{ 公尺/秒}.\end{aligned}$$

$$\text{速度比为: } x = \frac{u}{C_1} = \frac{77.5}{510} = 0.152.$$

这里应该說明: 按照理論上的規定, $x = 0.4 \sim 0.5$ 、 $0.2 \sim 0.28$ 、 $0.1 \sim 0.18$ 分別为第一列、第二列及第三列速度級的“最佳”速度比, 但是由于土汽輪机的效率較低, 在选择級数时, “最佳”的速度比可以比上述值稍低, 因而决定用二列速度級。

(3) 噴咀尺寸(图 2):

$$\text{压力比 } \gamma = \frac{p_n}{p_0} = \frac{2.4}{6} = 0.4 < \gamma_{kp}.$$

式中 γ_{kp} ——临界压力比, 对饱和蒸汽是 0.577, 对过热蒸汽是 0.546。故用漸縮漸扩噴咀。

取噴咀射汽角 $\alpha_1 = 20^\circ$;

噴咀喉部(最小)截面积

$$F_n = \frac{G_s}{203 \sqrt{\frac{p_0}{v_0}}} = \frac{9000}{3600 \times 203 \sqrt{\frac{6}{0.32}}} = 0.00284 \text{ 公尺}^2.$$

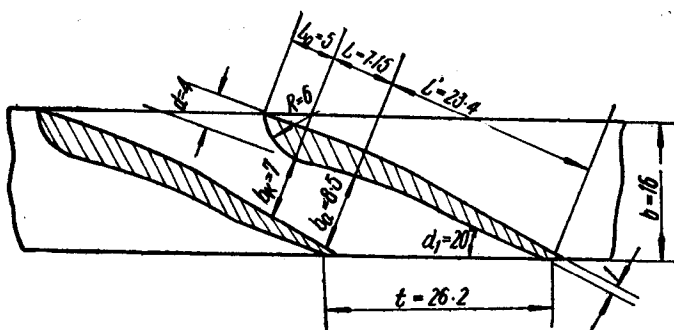


图2 喷嘴尺寸图

1—喷嘴射汽角 $\alpha_1 = 20^\circ$ ；2—喉宽 $b_k = 7$ 公厘；3—出口宽度 $b_a = 8.5$ 公厘；
4—扩散长度 $L = 7.15$ 公厘；5—节距 $t = 26.2$ 公厘。

喷嘴数目 Z ：

取喉宽 $b_k = 7$ 公厘，高度 $l = 20$ 公厘，

$$\text{则喷嘴数目 } Z = \frac{F_k}{b_k \times l} = \frac{0.00284}{0.007 \times 0.02} = 20.2 (\text{个}).$$

考虑到锅炉出力增加时可能过负荷，故取30个喷嘴，共分两组，其中一组为20个喷嘴，另一组为10个喷嘴，用两个蒸汽门控制。

每个喷嘴的进汽量

$$g_0 = \frac{D_0}{Z} = \frac{9000}{20} = 450 \text{ 公斤/小时}.$$

喷嘴出口面积

$$F_1 = \frac{G_1 v_n}{C_1} = \frac{2.5 \times 0.7}{510} = 0.00342 \text{ 公尺}^2.$$

式中 v_n ——喷嘴后蒸汽比容，其值为 0.7 公尺³/公斤；

$$G_1 = \frac{D_0}{3600} = \frac{9000}{3600} = 2.5 \text{ 公斤/秒}.$$

出口宽度(规定高度与喉部一样)

$$b_a = \frac{F_1}{Z \times l} = \frac{0.00342}{20 \times 0.02} = 0.0085 \text{ 公尺.}$$

扩散长度

$$L = \frac{b_a - b_k}{2 \operatorname{tg} \frac{r}{2}} = \frac{0.0085 - 0.007}{2 \operatorname{tg} \frac{12}{2}} = 0.00715 \text{ 公尺.}$$

式中 r ——扩散角，取为 12° 。

$$\begin{aligned} \text{节距 } t &= \frac{b_a}{0.9 \sim 0.95 \times \sin \alpha_1} = \frac{0.0085}{0.95 \times \sin 20^\circ} \\ &= 0.0262 \text{ 公尺.} \end{aligned}$$

喷嘴安装弧度

$$\rho = \frac{Z \times t \times 360^\circ}{\pi \times D_{cp1}} = \frac{30 \times 26.2 \times 360^\circ}{\pi \times 989} = 91^\circ.$$

部分进汽度

$$\varepsilon = \frac{\rho}{360^\circ} = \frac{91^\circ}{360^\circ} = 0.253.$$

(4) 第一列动叶尺寸(图3):

进入动叶的相对速度

$$\begin{aligned} w_1 &= \sqrt{C_1^2 + u^2 - 2 \cdot u \cdot C_1 \cdot \cos \alpha_1} \\ &= \sqrt{510^2 + (77.5)^2 - 2 \times 77.5 \times 510 \times \cos 20^\circ} \\ &= 415 \text{ 公尺/秒.} \end{aligned}$$

进汽角及排汽角

$$\sin \beta_1 = \frac{C_1 \times \sin \alpha_1}{w_1} = 0.423.$$

查出 $\beta_1 = 25^\circ$ 。

考虑到压力可能降低，故取 $\beta_1 = 25^\circ + 2^\circ = 27^\circ$ 。

取 $\beta_2 = 25^\circ$ ，取宽度为 $b_1 = 30$ 公厘。

曲率半径为：

$$R_1 = \frac{b_1}{\cos 27^\circ + \cos 25^\circ} = 16.7 \text{ 公厘}.$$

叶片的节距可取为 $(0.9 \sim 1.3)$ 曲率半径; 节距 $t_1 = 1.3 \times R_1 = 21.7$ 公厘。

安装个数

$$Z = \frac{\pi \times D_{cp1}}{t_1} = \frac{\pi \times 989}{21.7} = 143 (\text{个}).$$

工作入口高度 $l'_1 = l + 3 = 23$ 公厘;

出口高度 $l''_1 = 1.2 \times 23 = 27$ 公厘;

平均高度 $l_{cp1} = 25$ 公厘。

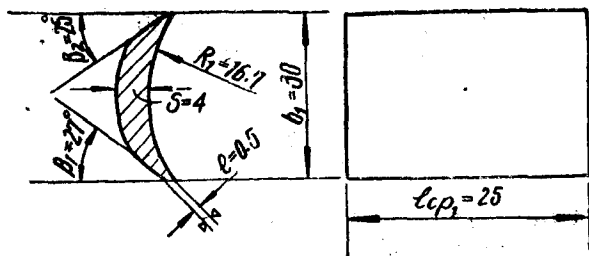


图3 速度级第一列动叶尺寸图

1—进汽角 $\beta_1 = 27^\circ$; 2—排汽角 $\beta_2 = 25^\circ$; 3—曲率半径 $R_1 = 16.7$ 公厘; 4—平均高度 $l_{cp1} = 25$ 公厘; 5—宽度 $b_1 = 30$ 公厘; 6—叶片背厚 $\delta = 4$ 公厘。

(5) 第一列导叶尺寸(图4):

第一列动叶出口数值

$$w_2 = \varphi_2 \times w_1 = 0.8 \times 415 = 332 \text{ 公尺/秒}.$$

式中 φ_2 ——动叶的损失系数, 采用 $\varphi_2 = 0.8$ 。

$$C_2 = \sqrt{w_2^2 + u^2 - 2 \times w_2 \times u \times \cos \beta_2} = 264 \text{ 公尺/秒}.$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{w_2 \times \sin \beta_2}{C_2} = 0.531.$$