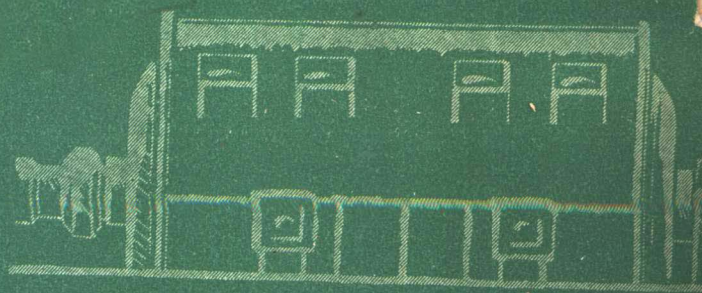




[苏联] P·A·刘铁尔 主编

汽輪发电机与 水輪发电机的冷却

第一机械工业部大电机研究所技术情报室译



中国工业出版社

本书是全苏汽轮发电机与水轮发电机冷却科学技术会议的资料汇编。全书分学术报告、报导与讨论、大会决议三个部分。对于各种新型空气冷却、氢冷、油冷、水冷、蒸发冷却等，书内都有专门论文作详细的阐述，还附有重要的冷却系统插图。本书对于解决大电机的冷却问题，具有重要参考价值，可供电机专业的科研、生产与教学人员参考。

本书是由第一机械工业部大电机研究所情报室于景田同志担任翻译的，参加校订的有该所电机研究室张为傑工程师等，特此说明。

Центральный Институт
Научно-технической Информации
Электротехнической Промышленности
и Приборостроения

ОХЛАЖДЕНИЕ ТУРБО И ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

МАТЕРИАЛЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(МОСКВА, 1959)

* * *

汽轮发电机与水轮发电机的冷却

第一机械工业部大电机研究所技术情报室译

*

机械工业图书编辑部编辑（北京苏州胡同141号）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $13 \frac{1}{4}$ ·插页1·字数291,000

1964年10月北京第一版·1964年10月北京第一次印刷

印数0001—3,720·定价(科七)1.90元

*

统一书号：15165·3239（一机-677）

會議組織委員會的話

提高汽輪发电机与水輪发电机制造技术水平的决定性因素，是掌握电机的新型冷却系統，而主要是掌握定、轉子繞組的内部直接气体冷却或液体冷却。

近年来，在苏联广泛开展了旨在解决电机冷却根本問題的研究工作。但是，直至目前为止，这项研究工作还不够十分协调。因此，有必要組織有关情报的及时交换，总结已实现的研究和探討新的冷却方式，以及制訂下一步科研和試驗工作的远景规划。

“电力”厂和电气工业科学研究所列宁格勒分院的技术界人士考虑到此点，从而联合动力工业科技协会的基层組織，决定就汽輪发电机与水輪发电机冷却問題举行科学技术會議，于1958年12月17—21日在列宁格勒“电力”厂召开了會議。

苏联电工工业有350多位主要专家参加了會議。参加會議的还有中华人民共和国、匈牙利、波兰、罗马尼亚和捷克斯洛伐克等社会主义国家的专家。

报告、发言、报导以及在会上展开的热烈爭論，使人頗为全面地了解了有关汽輪发电机与水輪发电机冷却問題的研究工作状况和今后最近几年科研工作的必要方向。

在会上以很大的兴趣听取了人民民主国家代表們的报导。如哈尔滨电机厂总設計师吳天霖同志、工程师K.O. 李姆鮑拉（布拉格近郊白霍維采的强电电工科学研究所）、工程师M. 瓦楞斯坦（布达佩斯的克里門特·哥特瓦尔德机电厂），在他們的詳細报导中講述了他們国家在改进汽輪发电机与水輪发电机的冷却方面所进行的大量工作。

會議根据經過討論的全部問題通过了具体決議。指出了在最近七年中电机制造者必須解决的一系列問題。在會議的決議中指出，工业企业和科学研究单位在完善汽輪发电机与水輪发电机冷却方面进行着大量工作；但是，还必須更快地掌握大容量发电机的制造，要极力降低电机材料的单位耗用量和制造劳动工时，提高运行指标，在研究和掌握新冷却方法方面开展更广泛的工作。

會議的参加者号召苏联全体汽輪发电机与水輪发电机制造工作者鼓足干劲，拿出創造能力，以便更快地使汽輪发电机与水輪发电机采用最新冷却方法，并在这个基础上大力提高国产汽輪发电机与水輪发电机的技术-經濟指标。

本文集中所发表的报告和报导是由編輯委员会进行准备和編輯的，編委会成員有工程师Д.И. 扎斯拉夫斯基、И.Ф. 費立普波夫、А.В. 沙皮洛，总編輯为俄罗斯苏維埃联邦社会主义共和国的功勳科学家，科学技术博士P. A. 刘鉄尔。

在會議上所作的与电机冷却沒有直接关系的报告和报导，沒有收集在本文集中。

目 次

會議組織委員會的話

电机制造发展的新阶段..... В. А. 叶麦黎揚諾夫 (1)

第一篇 报 告

电机强制冷却的发展途径..... В. В. 季托夫 (4)

哈尔科夫电机厂在强制冷却电机方面的工作状况和发展

计划..... Ю. Г. 鮑尔冢克 (13)

新西伯利亚汽輪发电机厂在汽輪发电机液体冷却方面的

工作状况和发展计划..... К. Н. 馬斯連尼柯夫 (17)

国外汽輪发电机制造的成就..... Г. М. 胡托列茨基 М. Л. 布利臣 (19)

双水冷汽輪发电机..... А. Б. 沙皮洛 (31)

苏联科学院动力研究所在汽輪发电机直接冷却方面的工作... А. И. 莫斯科維勤 (44)

导体内部冷却汽輪发电机用的压气机..... И. Я. 托卡利 (61)

内冷导綫中的气体流动及一些設計問題..... Е. И. 楊托夫斯基 (70)

論巨型汽輪发电机冷却系統中采用人工冷却的合理性..... Ю. В. 彼得洛夫斯基 (81)

关于制造极限容量汽輪发电机的途径..... И. Д. 吳魯紹夫 (86)

关于水輪发电机冷却效果的提高..... И. М. 波茨尼柯夫 (95)

超巨型水輪发电机的冷却問題..... М. Я. 卡布兰 В. В. 多穆布洛夫斯基 (100)

超巨型水輪发电机的强制冷却..... К. Ф. 柯施亭 (106)

电气工业科学研究院在大型水輪发电机通风方面的

工作..... Т. Г. 謝尔盖耶夫斯卡雅 (113)

水冷異步电动机..... Н. Я. 沙莫洛維奇 А. Б. 沙皮洛 (120)

汽輪发电机的热量在汽輪机設備系統中的应用..... Д. С. 日瓦霍夫 (126)

大型汽輪发电机定子繞組水冷系統的控制与監視..... С. П. 达拉林 (129)

电机用的新式气-气热交換器..... К. Н. 姆克尔迪昌 (132)

哈尔科夫內燃机車电气設備厂在汽輪发电机冷却方面的工作..... П. А. 顧洛夫 (137)

第二篇 报导与討論

研究大型电机冷却系統的水模拟..... К. О. 李姆鮑拉 (142)

在运行中的汽輪发电机与水輪发电机

冷却的改进..... С. П. 鮑洛符柯夫 Л. В. 克拉西黎尼柯夫 (149)

有关热交換器繞綫翼管元件的改进及其用黑色金屬制造... В. Г. 魏施聶符斯基 (154)

整体軋制的翼管的效果..... Ю. В. 彼得洛夫斯基 (158)

氢冷汽輪发电机、同步調相机与水輪发电机发热的檢視結果..... Л. С. 林多福 (159)

关于借助冷冻机来利用水轮发电机的热量.....	Л. М. 罗杰费德 (165)
电器的水冷.....	О. Б. 布伦 (167)
对新电机的运行要求.....	Г. Л. 烏黎满 (172)
电机空气冷却器的新型冷却管.....	И. Ф. 费立波夫 Ф. П. 基尔皮奇尼柯夫 (174)
电机的发热研究.....	В. А. 格里深 (195)
电磁搅拌机定子的水冷却.....	Я. П. 兹沃洛諾 (198)
水轮发电机的轴向通风.....	Ю. С. 依万諾夫 (199)
关于油冷却的优点.....	И. М. 魯面采夫 (200)

第 三 篇

汽輪发电机与水輪发电机冷却問題科学技术會議的決議.....	(202)
-------------------------------	-------

电机制造发展的新阶段

基洛夫“电力”厂
总工程师 В.А.叶麦黎揚諾夫

苏联电力工程的发展中规定优先修建以廉价煤、天然煤气和重油为燃料的火力发电厂，以便在較少的基建投資和較高技术基础上，保証国家电力事业具有較快的发展速度。在巨型火力发电厂开工兴建的同时，并将完成伏尔加格勒（斯大林格勒），布拉茨克，科列明楚格（Кременчугская），沃特金斯克（Воткинская），布塔明（Бухтарминская）水电站及其他一些水电站的建設。

这一切給电机制造工作者提出了极为重要的、試制最新穎电机的任务，而主要的是制造单机容量为20—30万千瓦及以上的发电机。这些电机在設計中要考虑科学技术的最新发明与成果以及运行經驗。

不論在国外，或是在苏联，战后在汽輪发电机結構中的最大技术革新是定子、轉子繞組銅綫采用高压氢气直接冷却，而近年来更采用了液体（水或油）直接冷却。这样就有可能制造出每千伏安功率所用材料消耗量最小、运行比較經濟、每千瓦装机容量所需的单位投資最少的小外形尺寸的大型汽輪发电机。

在美国，容量20万和26万千瓦的汽輪发电机已經运行了几年，現正在制造容量为27.5万千瓦的汽輪发电机（在譯此书时已經制造成功——譯注）。

发电机的定子繞組为氢气直接冷却或液体直接冷却，轉子繞組为氢气直接冷却。

容量更大的汽輪发电机目前正处在設計和生产阶段，如，西屋公司正在制造容量为32.5万千瓦定、轉子用氢气直接冷却的汽輪发电机。通用电气公司正在制造两台22.5万千瓦定子繞組直接水冷却的汽輪发电机。

在1956—1957年間出厂的外国大型汽輪发电机材料的单位消耗量与“电力”厂1957年生产的容量20万千瓦汽輪发电机的1.4公斤/千伏安和1958年所制造ТВФ系列10万千瓦汽輪发电机的1.5公斤/千伏安相比較，已降低到1.36公斤/千伏安。

“电力”厂計劃生产轉子繞組氢气直接冷却，定子繞組直接水冷却，容量为15万千瓦以上的大型汽輪发电机。

哈尔科夫內燃机車电气设备厂已設計完成，并正在进行制造定、轉子繞組氢气直接冷却，容量20万千瓦的汽輪发电机。

新西伯利亚汽輪发电机厂正在設計轉子繞組直接水冷却，定子繞組油冷却的汽輪发电机。

由此可见，“电力”厂，哈尔科夫內燃机車电气设备厂，新西伯利亚汽輪发电机厂在汽輪发电机制造发展上各依循着不同的途径。这表明，汽輪发电机的繞組和鉄芯采用直接冷却的最合理方法还没有肯定，电机制造业在这方面的發展还处于起始阶段。

最近4—5年內“电力”厂在汽輪发电机采用直接冷却方面做了許多工作。新型电机

已开始投入生产。

1957年制造了轉子繞組氢气直接冷却容量为20万千瓦的汽輪发电机。

准备制造轉子繞組氢气直接冷却、容量10万千瓦、結構更为新型的汽輪发电机。

1957年曾制造和試驗了轉子繞組氢气直接冷却，定子繞組直接水冷的試驗性汽輪发电机，該电机采用了TB2系列，容量3万千瓦汽輪发电机的外型尺寸。

正在設計属于同一結構类型，容量为16.5，22和33万千瓦的汽輪发电机系列。

在汽輪发电机采用双水冷方面正在进行設計和試驗工作。这将比利用氢气冷却减少更多的重量和外形尺寸。

工厂在水輪发电机、异步电动机和直流电机采用水冷方面正进行設計和实验工作。

汽輪发电机与水輪发电机冷却問題會議，其实就是討論大型电机制造的新的发展途径。必須交流我們的工作經驗，討論我們的远景规划，探求广泛应用較好成就的途径。

可以期望，本次會議对大型电机制造的发展将有莫大的貢獻。

第 一 篇

报 告

电机强制冷却的发展途径

基洛夫“电力”厂特种产品
设计室主任科学技术副博士 B. B. 季托夫

“电力”厂是欧洲首先开始制造巨型两极氢冷汽轮发电机的工厂之一。1946年该厂生产出第一台容量10万千瓦氢冷汽轮发电机，并于1947年投入运行。

1952年该厂开始成批生产容量10万和15万千瓦的氢冷汽轮发电机。这些发电机在不高于0.7表压的氢压下运行。

“电力”厂生产的所有TB和TB2系列氢冷汽轮发电机，其定、转子均为普通表面冷却。在转子结构中，不设供辅助冷却转子本体用的槽下或齿中通风沟。转子本体仅从气隙方面来冷却，且冷却气体是沿着多路径向通风系统强制打入气隙中去的。

容量10万和15万千瓦的汽轮发电机，按其外形尺寸和重量来说，已达到了极限。但是在材料的利用上，尚落后于1955—1956年间美国和欧洲生产的最新产品。例如，“西门子公司”制造的容量15万千瓦汽轮发电机，在功率因数为0.8和氢压为2表压时，单位容量的材料耗用量为1.56公斤/千伏安，而“电力”厂生产的容量15万千瓦汽轮发电机，在功率因数为0.9和氢压为0.7表压时，单位容量的材料耗用量达2.04公斤/千伏安。

1955年，在我国（苏联）工业面前提出了一项重要的任务，即把单轴汽轮发电机的单机容量提高到20万—30万千瓦。这任务在沿用旧结构原则的基础上是无法解决的。因此，“电力”厂在短期内创造了冷却系统更为完善，能更有效地利用有效材料和结构材料的新结构。

“电力”厂汽轮发电机绕组直接冷却方面的前一阶段工作，是在1953—1954年开始的。那时，许多外国的公司（美国和西德）已设计了相类似的结构，而美国通用电气公司和西屋公司已制成了转子绕组直接冷却的汽轮发电机的试制产品，并进行了试验。

1953年，“电力”厂的工作只限于制造和试验转子线圈槽部的静态模型。曾经试验了四个模型，它们具有不同的结构形式，采用了特殊形状和普通矩形截面的铜线。冷却气体（空气）从一端沿着线圈打入。

从这些模型试验结果中得到了铜线温升和空气在铜线内循环所需功率与空气流速的关系曲线。根据这些数据可以按照铜线直接冷却的效果对各种转子绕组结构方案作出比较性的评价。

此时，即1953年下半年度，工厂得到了进行容量20万千瓦汽轮发电机初步设计的任务，但是，那时铜线直接冷却方面所具备的试验资料，即使用于初步设计也很感不足。

1955—1956年进行了汽轮发电机直接冷却方面后一阶段工作。这一阶段工作的特征是对各种槽部结构形式的旋转转子模型进行了研究。共设计与制造了二台旋转模型：一个模型用以研究通风沟中气体速度和确定压力降落，另一个模型用来检验直接冷却时的散热情况。差不多在同一时期（1955年初），工厂曾提出建议，用容量为3万千瓦汽轮发电机标

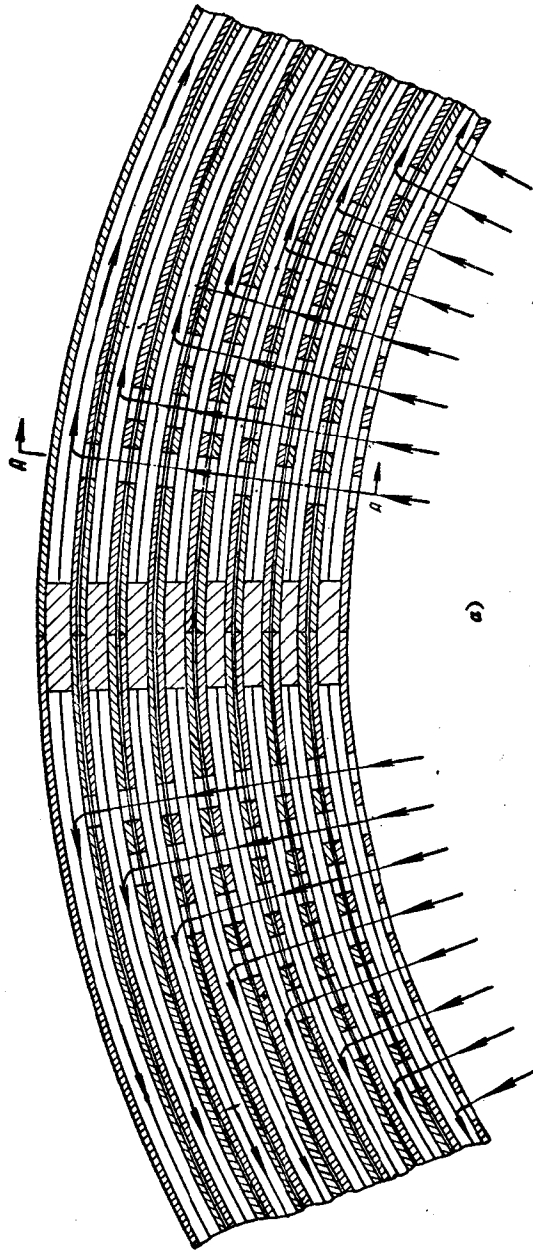


图 1 a TBΦ-200-2型汽轮机转子绕组的通风。端部气体风路

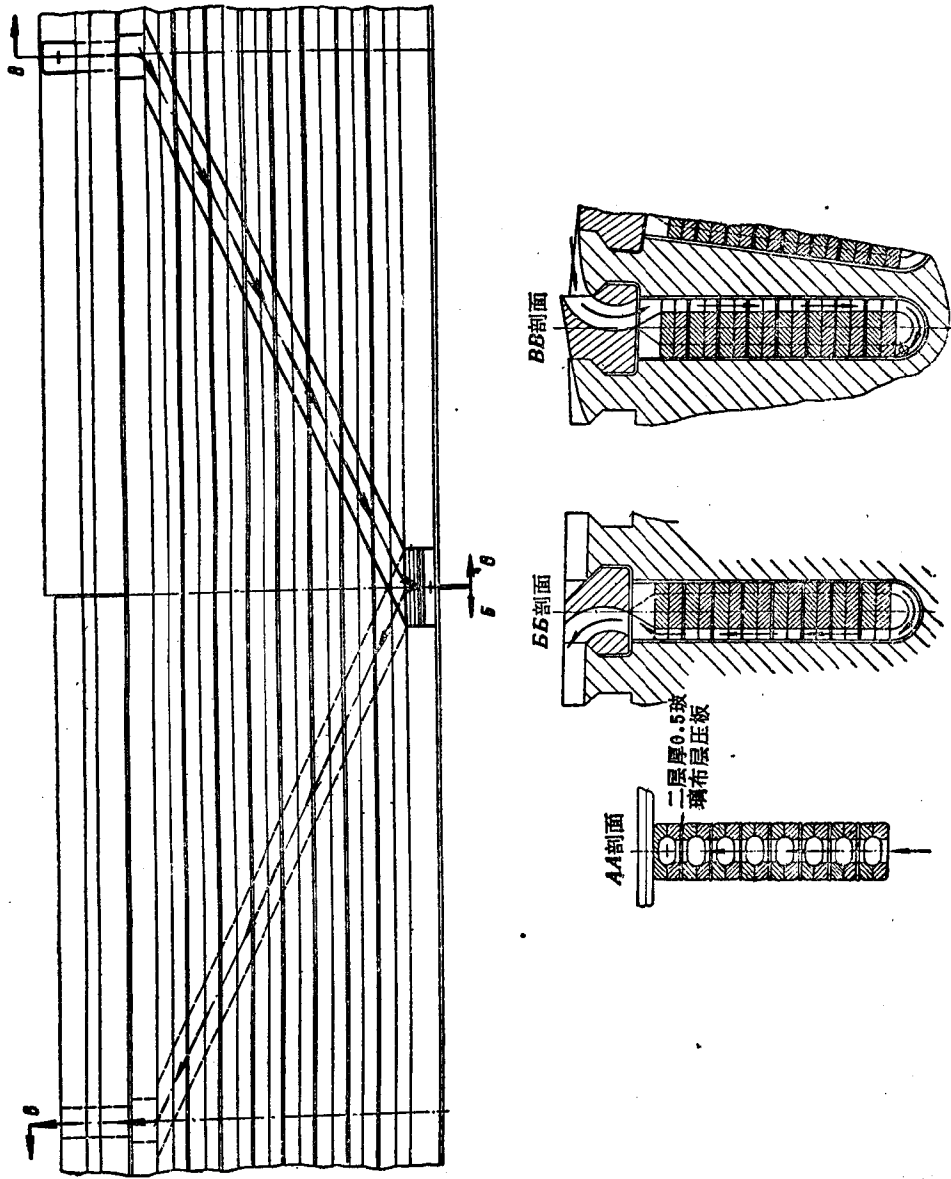


图 1 6 TBΦ-200-2型汽轮发电机转子绕组的通风。槽部气体风路

准轉子的外形尺寸来制造銅綫直接冷却的試驗性轉子，并在列宁格勒安装运行。这台試驗性轉子的試驗結果必将成为容量20万千瓦汽輪发电机的技术設計与施工設計的实验基础。

在1955年的三、四月間，“电力”厂結構設計組經過富有創造性的探討后，設計出了汽輪发电机轉子綫圈銅綫直接冷却独创性的結構。这一結構先在容量3万千瓦汽輪发电机的試驗性轉子上应用，后又在容量20万千瓦汽輪发电机的轉子上应用，并且在工厂已經設計和正在設計的所有大型汽輪发电机中毫无改变地保留了这一結構。

“电力”厂所提出的这一結構原理如图1所示。因为这个原理已闡述过多次，所以沒有必要再加詳述。

“电力”厂差不多从着手研究时就主张采用从电机气隙把冷却气体吸入轉子槽中，再把气体排回气隙的原則作为基础，放弃了其他各种利用高压压气机沿轉子本体长度方向鼓入气体的方式。从电机气隙吸入气体的这个方式，曾为美国通用电气公司設計，并在轉子的冷却上获得了应用。因此，曾在旋轉模型上比較了通用电气公司和“电力”厂的两種結構。比較的結果表明，在其他条件相同的情况下，“电力”厂的結構与通用电气公司的結構相比，前者能保證通风沟中有較高的气体速度（高出70—80%），归根到底，它具有更好的散热能力。

1956年秋，对容量3万千瓦汽輪发电机試驗性轉子进行的試驗充分地証實了由模型得到的数据。在額定負載和氢气压力为2表压的情况下，由电阻溫度計測得的轉子繞組溫升仅为正常結構轉子繞組溫升的 $\frac{1}{6}$ 。在低氢压下溫升也相应地降低了 $\frac{1}{2}$ 以上。

在“电力”厂所設計的轉子繞組結構中，沿电机长度方向銅綫冷却十分均匀；根据計算，槽部最热点銅綫溫升不超过繞組平均溫升的20%。

工厂試驗台上用間接法对容量20万千瓦汽輪发电机进行的发热試驗表明，在电流1300安和氢气压力为1表压时，轉子銅綫溫升等于 15.5°C 。用同样銅綫制成容量30万千瓦汽輪发电机的轉子在相同条件下的溫升为 19°C 。

在試驗性轉子得到成功試驗后，工厂着手設計容量为6、10和15万千瓦的TBΦ新系列汽輪发电机，其轉子繞組采用了上述冷却系統。

容量20万和10万千瓦的轉子繞組强制冷却汽輪发电机設計結果表明，发电机有效尺寸有可能縮小約 $\frac{3}{8}$ ，从而使有效材料和結構材料的单位容量耗用量得到相应的降低。

TBΦ系列汽輪发电机的定子繞組不是直接冷却。这种繞組用一般方法經槽絕緣层从外表面冷却。要提高定子有效体积的利用率，除了提高氢压外，还可采用比一般同等容量所常用电压为低的繞組工作电压。

定子利用率与工作电压的关系列于表1，为更清晰起見，图2绘出了强制冷却时轉子利用率与氢压的关系曲綫及定子电压降低后定子利用率与氢压的关系曲綫。

从这些曲綫能明显地看出，就发热来講定子和轉子利用率相同时的氢气压力的大小。当然，这一点和轉子銅綫所用的平均溫升有关。

对于TBΦ系列汽輪发电机，工作氢压在1.5—2表压的范围内是合适的。

在某些特殊情况下，采用并联支路数多于2的特殊繞組接法可以降低定子的工作电压，例如，在容量20万千瓦汽輪发电机中，这台汽輪发电机定子繞組有四条并联支路，連接銅排与引出綫放置在定子的两端。这使定子繞組的結構和工艺略为复杂些。

西德“西門子”公司和“通用电气公司”（AEG）公司，瑞士“布朗波伐利”公司及

表 1 汽輪发电机容量等級与定子繞組电压的关系

定子繞組电压(伏)	6300	11000	13800	18000
发电机容量(万千瓦)	23	20	17	14

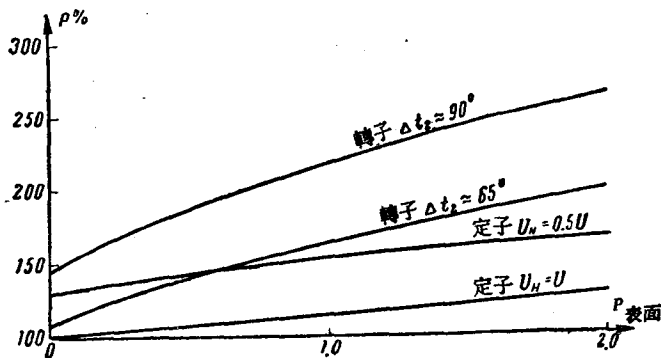


图 2 TBΦ系列汽輪发电机轉子和定子利用率提高与氢压的关系

“布朗波伐利”公司西德分公司(曼海姆)均按“电力”厂容量20万千瓦汽輪发电机定子同样的接法制造了容量15万千瓦的汽輪发电机定子。

在轉子强制冷却汽輪发电机系列投入生产时,头几台試制品的劳动工时有些增加。这主要是由于轉子所引起的,与定子和其他部件也稍有关系。但是,試制头几台新結構电机通常是在工艺还不十分完善和操作者刚刚掌握新工序的条件下进行的。

采用由玻璃布烘压成的轉子槽絕緣盒、匝間絕緣和在繞組各匝下綫后用硬鋁料銲接綫匝,是轉子繞組制造和下綫中出現的新事物。目前这些工序已經掌握得很成熟,因而制造轉子的总劳动量已等于生产一般結構所需的劳动工时,在今后还可减少。

在設計容量20万千瓦的汽輪发电机时曾确定,当功率因数为0.85时,定子繞組用一般表面冷却的汽輪发电机,所能做到的极限容量为22.5—25万千瓦。单机容量再提高时,采用降低了电压的定子繞組,其接法就过分复杂,定子电流过分增大,在制造相应的配电装置时也将引起无法克服的困难。因此,容量为30万千瓦的汽輪发电机,只有在定子繞組采用直接冷却及电压不低于18—20千伏的条件下才有可能制造。

“电力”厂不采用定子繞組的直接气体冷却,并决定采用液体冷却的方案,即定子繞組采用水来冷却。这一决定的合理性如下:

1. 水冷却效果高。例如,水在流速为1米/秒左右时,其散热能力为氢气在3个表压、流速为40米/秒时的25倍。此外,水直接流經繞組的导体,从而消除了用氢气冷却时夹在定子条形綫圈中通风管的附加絕緣温度降。

2. 冷却介质循环所耗用的功率少。例如,容量30万千瓦的汽輪发电机,在定子繞組氢气冷却时需耗用130千瓦,而水冷却时共需約5千瓦左右。

3. 定子繞組液体冷却系統与轉子的自通风系統十分协调,因为在这种情况下轉子或定子都无需压气机。这时由很简单的水泵代替了十分复杂的多級压气机。

4. 在液体冷却下定子繞組可以应用一般的瀝青浸胶絕緣。

5. 在水冷却系統十分可靠时，它的維護十分簡單。

在1956年末与1957年初，最后决定了容量30万千瓦汽輪发电机定子导綫采用直接水冷却。同时决定在1957年內制出容量3万千瓦汽輪发电机的試驗性水冷定子，安装在从前曾装过銅綫直接氢气冷却試驗性轉子的那台机組上。这一工作已在1957—1958年期间內完成。繞組用水冷却的定子列宁格勒电力网中进行着工业試驗。

在制造試驗性定子的同时，工厂里繼續进行研究工作。研究了用空心导綫制成、内部通水的实际尺寸条形綫圈。綫圈嵌在鉄芯中，先用直流电加热，再用交流电加热。当时还研究了：水和銅綫的发热，水通过綫圈时的压力降，以及綫圈在鉄芯槽內不同位置时的交流电阻。

在直接負載下对試驗性定子所做試驗的初步数据列于表2。为了比較起見，表中还列出了一般定子的同类数据。这两种情况都是在較小氢气表压下的数据。

值得指出的是当汽輪发电机用液体冷却时从其有效部分导出热損耗的固有的特性，这一特性在发电机带有部分負載和空气冷却下运轉时尤为明显。这里沿鉄芯通风沟和經轉子繞組循环的气体所带走的是机械損耗、励磁損耗和仅仅一部分的鉄損。水則带走全部銅損和相当一部分的鉄損。繞組絕緣內的溫度梯度从外层指向內层。另一个特征是由預先埋入的測溫計測得的定子繞組和鉄芯温升，当負載从零增加到額定时变化得很小。

表2 在氢压为0.05个表压下一般冷却汽輪发电机与直接水冷却汽輪发电机
定子温升的比較数据

	温 升 (°C)	
	一般冷却的TБФ-30-2型 汽輪发电机	直接冷却的TBB-30-2型 汽輪发电机
鉄芯	34	34
槽內綫圈之間	39	25
銅綫	53	6.7水的温升

在选择定子繞組供水系統时，工厂首先采用了閉路循环的供水方案，并利用蒸餾水定期向工作回路进行补充，以使水的电阻保持在所需的标准上。冷却水不断地經過热交换器循环，热交换器的二次回路中利用了冷凝水。

但是，运行初期的經驗表明，在工作回路中直接利用冷凝水是合理的，按照要求冷凝水的純度完全令人滿意。同时，整个系統可大为簡化，因为不再需要热交换器及定期补充蒸餾水。

在今后設計中，工厂拟采用冷凝水直接在繞組导体中循环的系統。为此，在容量3万千瓦的試驗性发电机中进行相应的实验研究是很需要的。

在液体冷却的繞組中，綫圈的供水点應該与供水管絕緣。必須使絕緣供水管有良好的电阻，并具有耐热性和机械强度。当电压在6千伏以下时，可以采用特种橡胶作为引水管材料；电压再高时，显然需要由高分子化合物塑料制成的引水管（氟塑料——聚四氟乙烯等——或者聚乙烯塑料）。

目前已經有了用塑料制成的引水管样品，但是，完全符合要求的引水管的工业性制造

問題迄今尚未解决。在这方面，工厂希望苏联国民經济委员会給予帮助。

“电力”厂拟定的汽輪发电机新系列設計和試制計劃如下。

容量6和10万千瓦的汽輪发电机将采用轉子繞組强制冷却和定子繞組一般表面冷却；定子电压为6.3和10.5千伏。正在設計的容量15、20和30万千瓦的汽輪发电机，其轉子繞組采用强制冷却，定子繞組采用液体（水）冷却，电压18—20千伏。定子机座內的氢气压力分别采用2和3个表压。

TBB系列定子繞組液体冷却汽輪发电机的特征是有效长度比TB2系列汽輪发电机縮短 $\frac{1}{3}$ 。这一指标是通过容量15万千瓦汽輪发电机的技术設計与施工設計而取得的，并且为定子繞組液体冷却容量3万千瓦試驗性汽輪发电机的初步試驗数据所証实。

为了比較起見，图3中列出了現有的TB2系列，新的TB Φ 和TBB系列有效材料与結構材料重量对比图表。

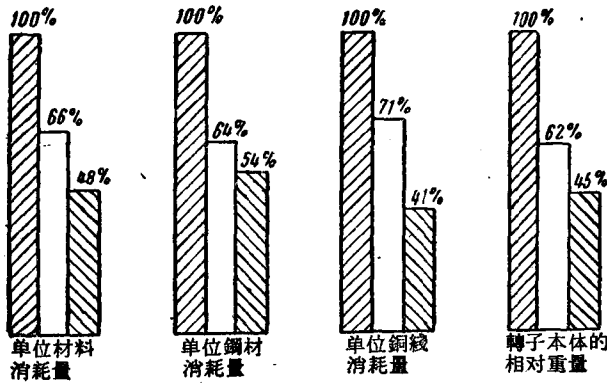


图3 汽輪发电机系列的比較

第一台TB Φ -100-2型汽輪发电机（10万千瓦）已經制成，并在試驗台上进行試驗；TBB-165-2型16.5万千瓦汽輪发电机（代替TB2-150-2型——15万千瓦）将于1959年末制成。

TB Φ 和TBB新系列汽輪发电机利用率提高主要是依靠繞負荷的相应增加（50—75%）。这一情况引起繞組漏抗相对增加。比如，TB Φ 系列汽輪发电机的超瞬变电抗約增加30—50%，TBB系列汽輪发电机的超瞬变电抗約增加50—70%。汽輪发电机的静态过载能力保持在原有的水平上，即約为1.7。这是依靠相应地增加气隙而得到保証的，容量30万千瓦汽輪发电机的气隙达100毫米。在相同的静态过载能力和电机的飽和度大致相同的情况下，提高漏抗使新型汽輪发电机的短路比稍有降低，与TB2系列电机的0.6—0.65相比較将降低到0.5—0.55。

电流負荷的增大和电机尺寸的减小引起損耗的重新分配。交变損耗的相对增加使TB Φ 系列汽輪发电机的效率最大值在額定負荷的90—100%間，而TBB系列則在額定負荷的65—75%之間。因此，在部分負荷时，新型电机的工作比TB2系列汽輪发电机更有利。按效率的絕对值，新型电机的效率照常保持在TB2系列汽輪发电机已达到的水平上。

水冷却的汽輪发电机也能达到这样高的效率（且有更高的材料利用率），因为在这种

情况下，定子繞組冷却所耗用的功率实际上只有几个千瓦。

在設計容量10万千瓦及以上大型强制冷却汽轮发电机的同时，“电力”厂还按照繞組采用强制冷却及减少单位容量材料消耗量方向着手修訂小容量汽轮发电机系列。

工厂在1958年按6千千瓦汽轮发电机外型尺寸制造了一台試驗性轉子，并进行了試驗。根据試驗数据，在 $\cos \varphi = 0$ 时按电阻溫度計測定的繞組温升为 57°C （在轉子額定电流下），而通常的轉子温升是 90°C 。同时，必須考虑到，在这个轉子中，繞組端部沒有用空气直接冷却。在試驗性轉子基础上，将用4千千瓦汽轮发电机外型尺寸制造容量6千千瓦轉子繞組强制冷却的汽轮发电机。根据計算資料，在这种情况下，有效材料的利用率提高30%，这一点已为試驗性轉子的試驗結果所証实。

小容量空气冷却汽轮发电机采用强制冷却沒有象用氢气冷却大型汽轮发电机那样有效，因为沒有提高气压的因素。但是，尽管如此，小容量汽轮发电机采用强制冷却是完全正确的。

計算表明，轉子繞組采用高压强制氢气冷却配合定子繞組水冷却，当功率因数为0.85时可制出容量40万千瓦的汽轮发电机。这时，無論轉子本体的直径，或是定子外形尺寸都差不多已达到极限值。容量这样大的单軸汽轮机，显然在不久的将来即能生产。

現今，容量50—60万千瓦的汽轮机被設計成双軸的形式。但是，并不排斥經過一段时期后制造容量为50—60万千瓦的单軸汽轮机的可能性。这样大容量的机組預計不久即将需要。因此，“电力”厂在科学研究远景规划中規定研究容量为50万千瓦及以上的汽轮发电机結構。显然，这样的汽轮发电机只有定、轉子繞組都采用液体冷却时才能制成。

液体冷却轉子繞組的制造問題，按其性质与定子繞組問題不同。这里的特殊問題是，在保持最小漏洩的条件下，从外部系統向旋轉部分供給液体，液体重量产生的离心力对旋轉轉子中液体流体动力状态，以及对散热效果的影响。由此，若轉子繞組用液体冷却，至少出現两个还缺乏研究的新因素。另一方面，对于轉子繞組，由于轉子繞組电压比定子繞組为低，所以关于向繞組导电部分供水管的絕緣問題是較为简单的。

1958年，工厂試制过一台鼠籠式异步电动机，其轉子鼠籠条用管子制成，用水冷却。这台电动机通过了在試驗台的試驗。此外，1958年設計了一台容量不大的定、轉子繞組都用水冷却的試驗性汽轮发电机，将在最近制造完成。

为了研究在压力下向旋轉繞組供給液体的情况，制造了一个特殊模型，用它可以詳細地研究供給液体元件的結構，以及研究通水孔截面尺寸和形状，圓角半径等不同因素在轉子旋轉时对导体內液体分布和流速的影响。

本文集內，关于轉子繞組的液体冷却問題有一篇專門报导，所以我們只限于一般性地簡述“电力”厂和电气工业科学研究院分院在这方面所做的工作。應該补充的是“电力”厂在电机上，首先是在汽轮发电机全液体冷却方面的研究給予了极大的注意，因此，“电力”厂和电气工业科学研究院分院的科研规划中包括設計定、轉子液体冷却汽轮发电机（利用3—5万千瓦汽轮发电机的外形尺寸）的結構研究課題。

談談对定子充油汽轮发电机結構的一些意見，这种电机轉子所在的內腔是用絕緣筒与外部隔开的。在国外文献中曾有过这样的結構，苏联一些单位曾經并正在繼續研究这种結構。在研究这类結構中产生的主要困难，是如何在定、轉子間实现紧密的、而在机械上可靠的間隔，如何克服由于发电厂房內有大量易燃液体（油）而引起的机組可靠性的降

低。

在这方面进一步的研究，其中包括由新西伯利亚汽輪发电机厂設計和制造的汽輪发电机，将証明这种結構的前景将是如何。

在汽輪发电机方面，工厂正对强制冷却，其中包括液体冷却进行着大量工作。但是在把液体冷却用于其他型式电机的研究工作正在計劃中，并有部分已經完成。

首先在水輪发电机制造中液体冷却有很大的前途。在設計容量30万千瓦及以上的水輪发电机时研究定、轉子繞組采用液体冷却的方案。从有效材料利用率上来看，水輪发电机采用液体会有多大效果，现在还很难說，但是，如果利用率那怕只提高50—60%，这无疑也是有效的。况且，容量提高后的水輪发电机，常在一定時間內带部分負載运行，当其負載为額定負載的60—70%时，其效率也不会有显著降低。

因此，研究水輪发电机的液体冷却問題无疑是有意义的。最好在最近就开始設計繞組水冷却的小容量水輪发电机，将其制造出来，并装置在一个水电站上，比如装在沃尔霍夫水电站上。此种水輪发电机的制造和試驗将为这方面的进一步研究工作提供丰富的材料。

其他电机中，应该提到的是异步电动机和各种型式的直流电机，这类电机利用液体冷却也很有前途。工厂在这方面也正在进行一些工作。