

水轮发电机设计

第一册

电磁计算与热计算

机械工业出版社

统一书号：15033·4162

定 价： 1.20 元

水 轮 发 电 机 设 计

第 一 册

电 磁 计 算 与 热 计 算

B. B. 多姆勃罗夫斯基等著

左俊业 刘玉祥 由振华 合译



机 械 工 业 出 版 社

«水輪发电机設計»共分兩冊。第一冊：電磁計算與熱計算；第二冊：結構、機械計算。

本書是第一冊，它系統地介紹了水輪发电机主要尺寸的選擇、電磁計算、熱計算、損耗和效率的確定、短路電流和短路作用力的計算等。同時，還介紹了採用強迫冷卻的水輪发电机的某些設計計算問題，以及水輪发电机的各種勵磁系統等。

本書可供從事水輪发电机研究、設計、製造及運行工作的工人和工程技術人員參考。

В. В. ДОМБРОВСКИЙ, А. С. ЕРЕМЕЕВ,
Н. П. ИВАНОВ, П. М. ИПАТОВ, М. Я. КАПЛАН,
Г. Б. ПИНСКИЙ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ И ТЕПЛОВЫЕ РАСЧЕТЫ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ» 1965

(根據蘇聯動力出版社1965年版譯出)

*

水 輪 发 电 机 设 计

第 一 册

电 磁 计 算 与 热 计 算

В.В.多姆勃罗夫斯基等著

左俊业 刘玉祥 由振华 合譯

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京印刷二厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $8^{10}/_{16}$ · 字数190千字
1972年10月北京第一版 · 1973年1月北京第一次印刷

印数：00,001—24,000 · 定价：1.20元

*

統一書號：15033·4162

毛主席语录

一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

译 者 的 话

在伟大领袖毛主席提出的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”总路线的指引下，在无产阶级文化大革命的推动下，我国电机制造工业获得了更加蓬勃的发展。随着地方大办工业的全面展开，各种规模的水力发电站雨后春笋般地涌现出来，我国丰富的水力资源得到了越来越充分的利用，“高峡出平湖”的宏伟图景必将遍布于祖国的锦绣河山。

为了适应我国电机制造工业迅速发展的需要，向从事水轮发电机研究、设计、制造和运行工作的同志提供参考资料，我们遵照毛主席关于“古为今用，洋为中用”的伟大教导，翻译了这本“水轮发电机设计”（第一册电磁计算与热计算）。

翻译时，除删去原序外，采取了全译的方法；对原书的错漏之处作了订正，并在相应的部分作了说明。

在本书翻译工作中，得到了我们所在单位（哈尔滨大电机研究所）党组织的热情关怀和大力支持；水轮发电机设计组的部分同志对译稿提出了许多宝贵的意见；哈尔滨工业大学龚龙飞同志作了最后的校阅。

由于水平所限，译文中恐有许多不妥或错误之处，恳请同志们批评指正。

译 者

目 录

第一章 水轮发电机的结构	1
§1. 总体布置	1
§2. 水轮发电机的定子	8
§3. 水轮发电机的转子	9
§4. 推力轴承和导轴承	13
§5. 励磁机、副励磁机、辅助发电机和永磁发电机	14
§6. 冷却和通风	16
第二章 主要尺寸的选择	19
§1. 任务的提出	19
§2. 极距与有效铁芯长度的选择	21
§3. 定子线负荷	30
第三章 磁路和电路尺寸的确定和计算	32
§1. 绕组型式的选择	32
§2. 总槽数和每极每相槽数的选择	34
§3. 槽部几何尺寸	53
§4. 磁极系统的几何尺寸	61
§5. 阻尼系统尺寸的选择	65
§6. 磁路各段磁密和磁势的确定	67
§7. 空载特性的绘制	91
第四章 主要参数的确定	92
§1. 定子和转子绕组的直流电阻	92
§2. 等值电路和相对单位制(标么值)	94
§3. 定、转子绕组漏抗	95
§4. 定子绕组的全部电抗	104
§5. 定、转子绕组的电阻和衰减时间常数	106

第五章 励磁绕组的计算	109
§1. 用作图法确定额定负载时励磁绕组磁势	109
§2. 励磁线圈尺寸的确定	112
§3. 用通用图确定不同负载和功率因数下的励磁磁势	117
第六章 损耗和效率	121
§1. 水轮发电机效率的确定	121
§2. 空载铁损	123
§3. 定子绕组基本铜损	128
§4. 附加损耗	128
§5. 励磁损耗	137
§6. 机械损耗	137
§7. 效率的近似确定	141
第七章 水轮发电机的发热和冷却	143
§1. 水轮发电机的冷却方式	143
§2. 通风计算	145
§3. 热计算方法	149
§4. 阻尼绕组的热稳定性	159
§5. 空气冷却器的选择	165
§6. 非正弦电流时发电机允许负载的计算	166
第八章 短路电流、短路作用力和短路转矩	169
§1. 发电机端短路的短路电流	169
§2. 励磁绕组和阻尼绕组中的电流	173
§3. 短路消除后电压的恢复	174
§4. 不对称短路时的过电压	175
§5. 转子绕组端电压	177
§6. 发电机出线端短路时绕组中的作用力	178
§7. 水轮发电机端短路时的转矩	187
§8. 内部短路	189
§9. 内部短路时绕组中的作用力	192

§10. 励磁机短路	198
第九章 强迫冷却水轮发电机的某些设计问题	200
§1. 绕组和铁芯的冷却方式	200
§2. 参数和效率	204
§3. 绕组直接冷却的水轮发电机的某些特点	208
§4. 强迫冷却水轮发电机的热计算	212
第十章 水轮发电机重量的确定和成本的计算方法	215
§1. 预先说明	215
§2. 有效材料的重量	215
§3. 近似地确定水轮发电机的结构重量	216
§4. 按重量指标比较不同的水轮发电机	224
§5. 水轮发电机成本的计算方法	225
第十一章 水轮发电机的励磁系统	229
§1. 电机励磁系统	229
§2. 离子励磁系统	233
附录	237
§1. 永磁发电机和飞摆电动机的选择	237
§2. 50赫的永磁发电机	238
§3. 永磁发电机的校验	239
§4. 水轮发电机算例	243
参考文献	264

第一章 水轮发电机的结构

§1. 总体布置

水轮发电机的结构在很大程度上是由水轮机的特性决定的。因此，通常水轮发电机是属于低速同步电机；虽然也有转速为 1000 转/分的水轮发电机，但一般多在 500 转/分以下。

根据水轮机的结构型式，水轮发电机分为立式（图 1～4）和卧式（图 5）的。近年来，出现了新型贯流式水轮发电机组，这种机组的水轮机和水轮发电机一起装入水电站过流部分的机壳内（图 6）。

根据推力轴承的位置，立式水轮发电机又分为：悬式的，这种电机的推力轴承位于转子之上（图 1、2）；伞式的，这种电机的推力轴承或者位于转子下面的特制下机架（图 3）上，或者位于水轮机顶盖上的支架（图 4）上。

通常，转速在 100～125 转/分以下的水轮发电机制成伞式的；而高转速的水轮发电机则制成悬式的。但也有转速为 214 转/分的伞式水轮发电机。因此，将两种结构型式按转速严格地划分是困难的。伞式或者悬式结构在具体情况下的选择可根据下述理由。

水轮发电机的直径随其转速的减小而增大，而悬式水轮发电机的上机架又必须承担发电机转子重、水轮机的转轮重及水推力。可见，低速悬式水轮发电机的上机架是十分庞大的，无疑其造价也非常昂贵。因此，低速水轮发电机适宜制成伞式。因为这时下机架可以安装在直径很小的水轮机机坑

上，而在某些情况下则可把推力轴承直接安放在水轮机顶盖上。

相反，在高速水轮发电机中，水轮机机坑的直径对于安放推力轴承支架来说显得太小了，而安装在直径不大的定子上的上机架的尺寸则是非常适合的。这里首先说明悬式结构的优点：推力轴承直径小，轴承中的损耗少，维护方便（可

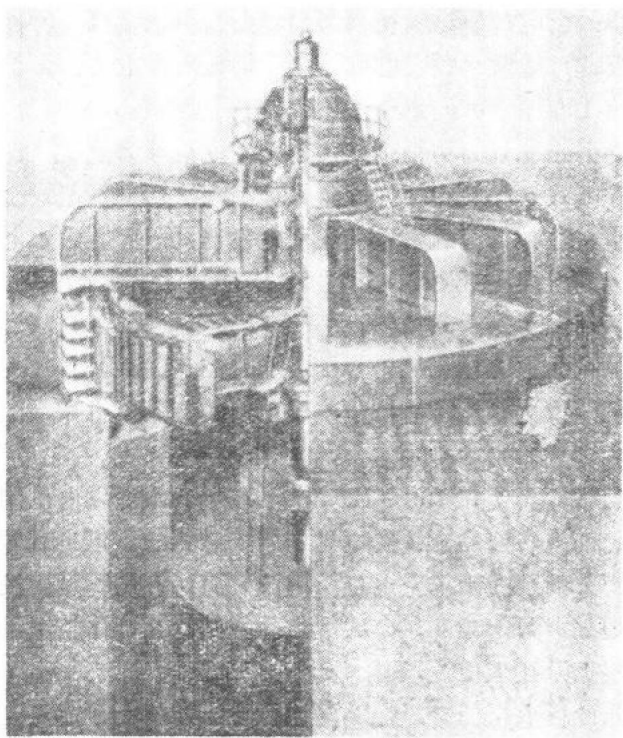


图1 90000千瓦安、13800伏、83.3转/分立式悬式水轮发电机，该电机的推力轴承安装在上机架中，在推力轴承下面有两个导轴承，在铸造的轮毂上安装着转子工字形支臂的圆盘形中心体，电机具有直流主副励磁机。

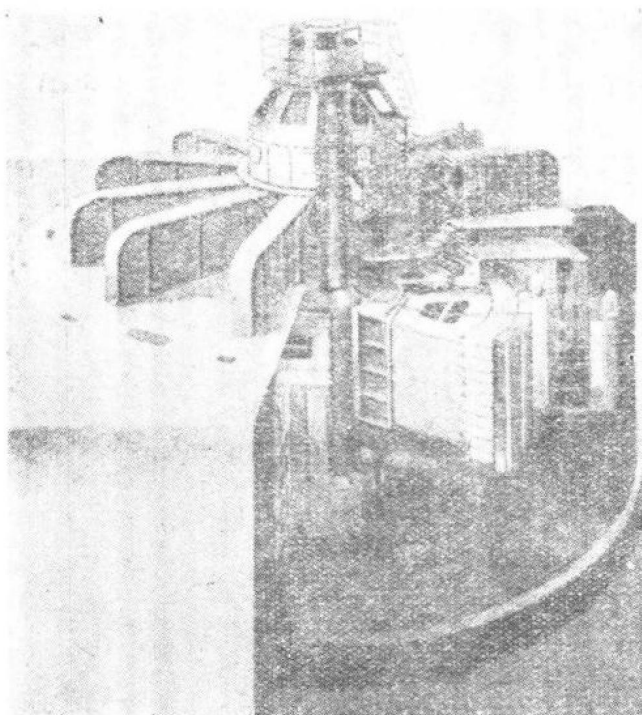


图2 265000千伏安、15750伏、125转/分立式悬式水轮发电机，该电机的推力轴承装在上机架中，在推力轴承下面有一个导轴承，具有盆形支臂，该支臂通过合缝板固定在焊接的中心体上，在转子和上机架间安设有辅助发电机，由该电机供电给离子整流器励磁。

在发电机室直接维护)。

在伞式结构中，水轮发电机的总高度降低了。当推力轴承座安放在水轮机顶盖上时，电机总高度的降低最大，但这时水轮机顶盖的结构应适当加强，以便能承受住这一负荷。

水轮发电机具有不同数量的导轴承，导轴承的数量由机

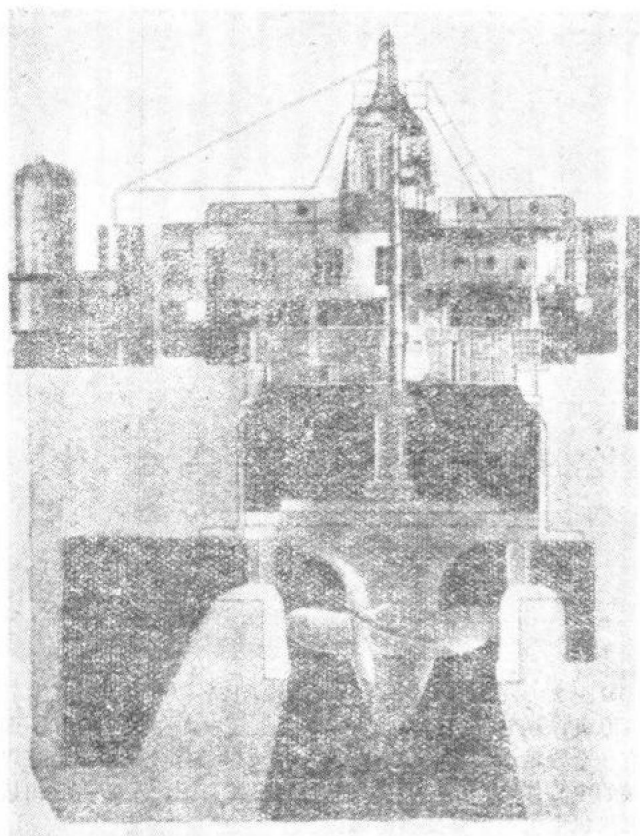


图3 71500千伏安、13800伏、62.5转/分立式伞式水轮发电机，该电机的推力轴承安装在下机架中，在推力轴承下有一个导轴承，在铸造的轮毂上安装着转子工字形支臂的圆盘形中心体，具有直流主副励磁机。

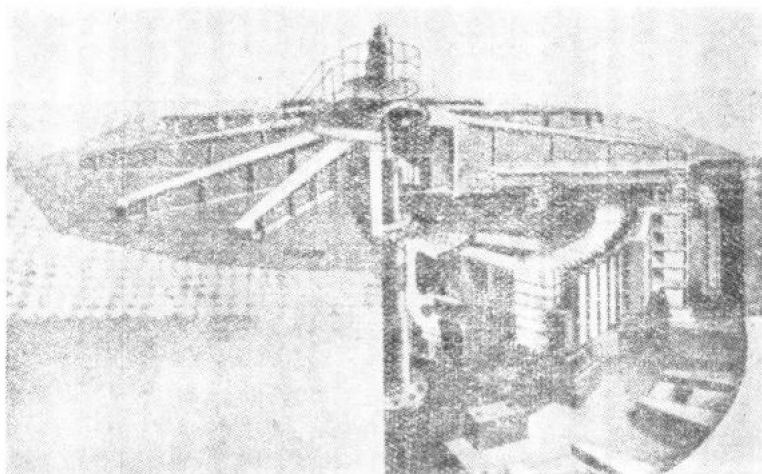


图 4 128000千伏安、13800 伏、68.2转/分立式伞式水轮发电机，该电机的推力轴承安装在水轮机顶盖的支架上，在上机架有一个导轴承，具有由辅助发电机供电的离子励磁系统。

械和磁不平衡所引起轴的允许挠度来决定。悬式水轮发电机通常具有两个导轴承，其中一个装在上机架中，而另一个则装在下机架中。已制成了只在上机架中装有一个导轴承的悬式水轮发电机（图 2）。伞式水轮发电机可以用两个导轴承，它们分别安设在上机架和下机架中；或者用一个导轴承，这个导轴承有时安设在上机架中，而有时则安设在下机架的推力轴承油箱中。

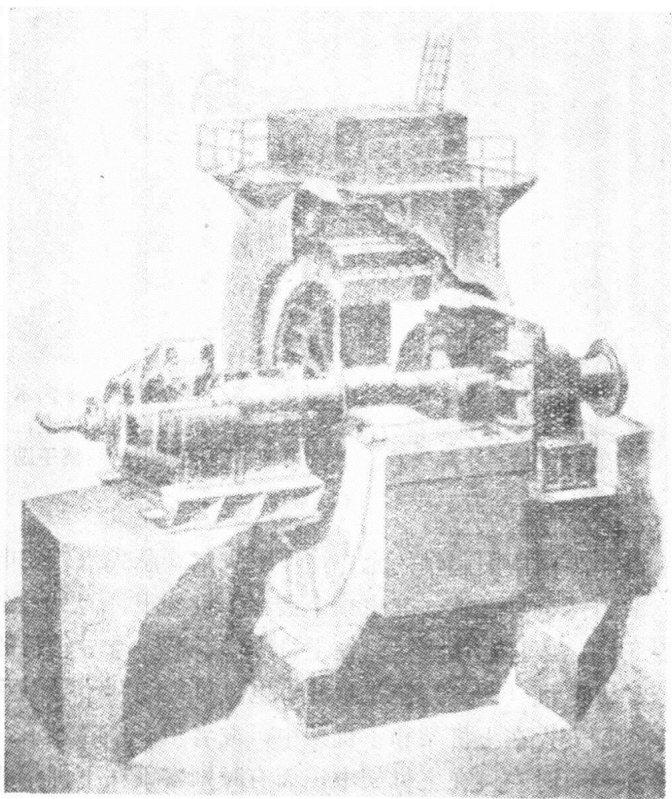


图 5 26300千伏安、10500 伏、125转/分卧式水轮发电机。

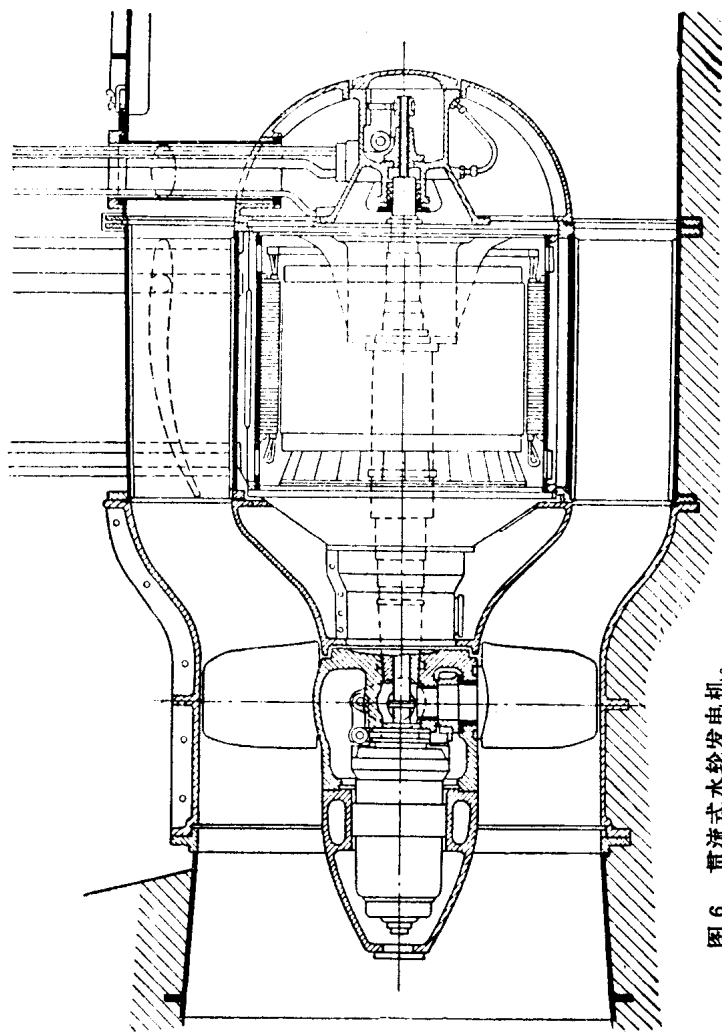


图 6 贯流式水轮发电机。

§2. 水轮发电机的定子

水轮发电机的机座（图7）是由平行于电机轴线的立筋（其间依中环联接）、顶环和下环所组成的焊接结构。立筋和中环的数量、宽度及厚度由其各部分在运输和制造过程中翻转时机座所需的刚度决定。可以用角钢把固定定子铁芯的定位筋直接焊在机座各环板上。在个别情况下，也可用螺钉固定定位筋。

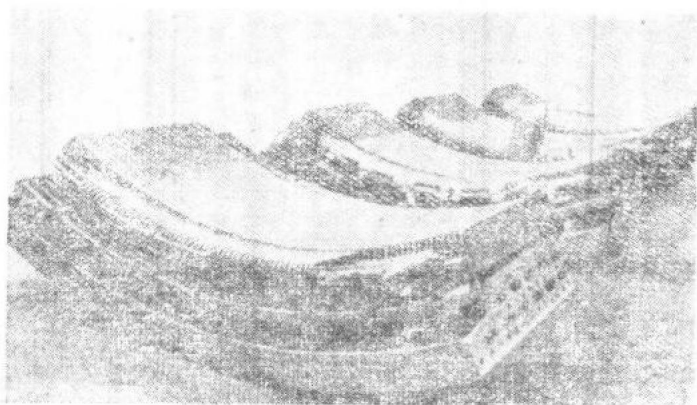


图7 水轮发电机的定子。

定子铁芯由0.5毫米厚的硅钢片冲成的涂漆扇形片叠成。水轮发电机通常采用单位损耗低（当10000高斯时，为1.15~1.25瓦/公斤）的硅钢片。定子铁芯沿长度方向分段，每段平均厚45毫米，每段间安设保证通风沟宽为10毫米的通风槽钢。在定子铁芯端部的两段上，用短齿的扇形片叠成，这就形成3~4个、每个5~6毫米的阶梯，以便增大铁芯端部边缘处的气隙。在铁芯装压时，用压板将铁芯压缩并紧