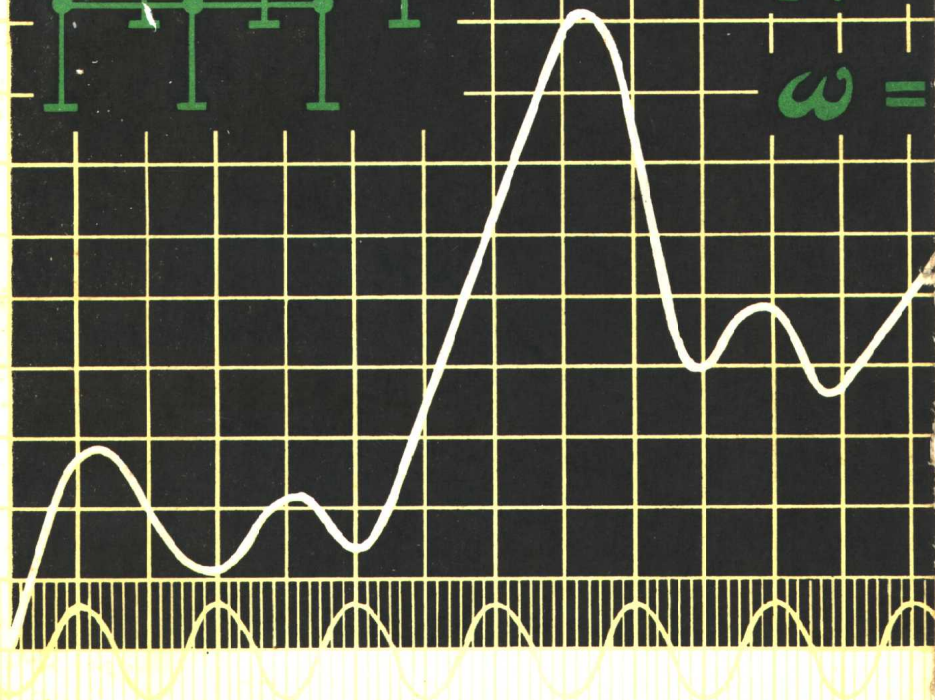


$A =$

$\omega =$



[苏]A. И. 阿巴希泽主编

顾 籍 翟荣民等译

# 旋转式机器基础

电力工业出版社

# 旋转式机器基础

---

[苏] A.И.阿巴希泽主编

顾籍 翟荣民等译

电力工业出版社

封面设计：赵景伟

## 内 容 提 要

本书系统地叙述了旋转式机器基础的模型试验、振动理论、振动实测、设计和施工；以旋转式机器基础中最复杂的火力发电厂汽轮机组基础为典型作了全面剖析，对一般的机器基础也作了介绍。书中还评述了世界各国在旋转式机器基础方面的成就和发展趋势，介绍了不少新型基础的设计，如50、120万千瓦大型汽轮机组的基础，钢结构空间框架基础，适应不均匀沉降的三点支承式桩基础等。

本书可供土建设计、施工、科研人员和高校师生参考。

## 旋转式机器基础

[苏]A.И.阿巴希泽主编

顾 籍 翟荣民等译

\*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 32开本 8.25印张 184千字  
1980年12月第一版 1980年12月北京第一次印刷

印数 0001—3540册 定价 0.90元

书号 15036·4155

## 译 者 的 话

随着科学技术的发展，机器基础的研究日益被人们重视。在各类机器基础中，旋转式机器基础是最为复杂的。火力发电厂的汽轮机组功率大、转速高、振动要求很严格，掌握了汽轮机组基础的研究、设计和施工，再搞一般的机器基础就不难了。本书用大量篇幅来阐述汽轮机组的基础，对一般的机器（风机、水泵、磨煤机等）基础也作了简单介绍。原文书名为《热电厂的机器基础》，为便于广大读者了解本书具体内容起见，改书名为《旋转式机器基础》。

本书总结了作者几十年的研究成果，重点阐述了汽轮机组基础空间框架的动力特性和动力可靠性的标准，基础的动力测试技术，桩基动力特性的研究，装配式基础的设计和施工，砂土地基的振动蠕变等问题。

我国对旋转式机器基础已开展了广泛的研究，取得了一些成果。为了借鉴国外的一些经验，进一步开展这方面的研究、设计工作，我们翻译了这本书。由于水平所限，书中难免有错误，欢迎读者指正。

本书前言、第一章由顾籍同志翻译，第二章由方学文同志翻译，第三、七章由翟荣民同志翻译，第四、五、六章由殷枫林同志翻译。全书由顾籍、翟荣民同志校核，并由顾籍同志最后统校。

本书承蒙高学善同志全面审校，在此表示感谢。

译 者

1980年6月

## 前 言（节译）

火力发电厂的机器基础是个复杂的构筑物，通常做成承受汽轮机组或其他辅助设备的空间杆系框架。这种框架支承在刚度较大的钢筋混凝土底板上。底板将荷重传到地基。应该说“汽轮机组基础”这个名称与实际的结构是不相符的。这个名称是在上世纪九十年代制造出第一批汽轮机设备时起的。当时支承这些设备的是实体基础，而不是空间结构。此后，结构发生了很大的变化，基础——或者确切地说是支架，变成成为承受复杂的静力、动力荷载作用的空间杆系结构。这些杆系的计算是很难的课题。从1930年就开始研究其计算方法，这里值得提出的有E.И.尼古拉、E.A.斯洛维也夫、B.B.柯尔钦斯基、O.A.萨维诺夫、Д.Д.巴尔坎、B.B.马卡里切夫、A.И.阿巴希泽等学者的著作。

A.И.阿巴希泽根据他在六十年代进行研究的成果，曾建议汽轮机组基础采用装配式钢筋混凝土结构。这个建议后来在列宁格勒、基辅、哈尔科夫电力设计分院的设计工作中得到了发展。现在所有的汽轮机组基础都采用了装配式钢筋混凝土结构。在文献[1]中详细地叙述了这些体系的计算方法和构造。此外，在有关著作中，还有一系列文章论述这方面的问题。在《汽轮机基础》这本著作问世十年后这段时间内，作者曾广泛地对基础进行了现场试验，并研究确定了这些体系合理的计算方法。无论按杆系简化计算，或按空间体系在电子计算机上计算，对力学模型都作了明确规定。由于

在计算中采用了一些假定，因此，计算结果有误差。为了校正误差，使计算结果更为精确，研究了模型试验的理论和办法。此外，在汽轮机组基础的施工中，还发现了以前没有遇到的情况：砂土地基在 50~100 赫芝的振动频率作用下，发生振动蠕变现象。该现象导致基础产生不允许的不均匀沉降。近几年内，作者和工业动力设计院明斯克分院的同事们还研究并建造了苏联第一台 6 万千瓦汽轮机组的现代化钢结构基础。实践证明，钢结构基础与现有钢筋混凝土基础相比，具有一系列的优越性。

与此同时，还研究了钢筋混凝土构件的疲劳强度（特别在高温工作条件下）。对辅助设备基础结构及其计算方法也进行了研究。

从 1963 年开始，改进了火力发电厂机器基础的施工方法。

上述所有的研究成果，本书都作了阐述。

作者

# 目 录

译者的话

前言

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第一章 当前汽轮机组基础的结构 .....           | 1   |
| 1-1 钢筋混凝土基础 .....               | 1   |
| 1-2 波勃鲁依斯克第二热电厂的汽轮机组钢结构基础 ..... | 11  |
| 1-3 国外电厂的汽轮机组基础 .....           | 19  |
| 1-4 汽轮机组基础的设计原则 .....           | 31  |
| 第二章 试验研究 .....                  | 45  |
| 2-1 测试仪器 .....                  | 45  |
| 2-2 基础振动的实物观测 .....             | 63  |
| 2-3 基础的动应力 .....                | 74  |
| 2-4 基础动力可靠性的试验研究 .....          | 84  |
| 2-5 试验性钢基础可靠性的测定 .....          | 97  |
| 第三章 动力可靠性的标准和动力荷载 .....         | 106 |
| 3-1 动力可靠性的标准 .....              | 106 |
| 3-2 动力荷载(汽轮发电机产生的荷载) .....      | 115 |
| 第四章 基础底板 .....                  | 120 |
| 4-1 现有的底板结构 .....               | 120 |
| 4-2 桩基上的底板 .....                | 124 |
| 4-3 土壤弹性的计算 .....               | 134 |
| 4-4 底板的计算 .....                 | 138 |
| 第五章 影响基础强度的物理因素 .....           | 144 |
| 5-1 钢筋混凝土结构疲劳强度的试验研究 .....      | 144 |

|      |                                  |     |
|------|----------------------------------|-----|
| 5-2  | 高温对基础工作性能的影响 .....               | 149 |
| 5-3  | 在高温作用下对钢筋混凝土基础构件工作性能的研究 .....    | 161 |
| 5-4  | 振动阻尼 .....                       | 176 |
| 5-5  | 基础强度计算 .....                     | 180 |
| 第六章  | 汽轮机组基础的计算 .....                  | 184 |
| 6-1  | 基础的静力计算 .....                    | 184 |
| 6-2  | 按简化草图的动力计算 .....                 | 186 |
| 6-3  | 空间体系的动力计算 .....                  | 201 |
| 6-4  | 基础的设计方法 .....                    | 207 |
| 6-5  | 基础模型的试验研究 .....                  | 213 |
| 6-6  | 基础计算例题 .....                     | 220 |
| 第七章  | 汽轮机组基础的施工及辅助设备基础的结<br>构和施工 ..... | 230 |
| 7-1  | 汽轮机组现浇基础施工的基本情况 .....            | 230 |
| 7-2  | 装配式基础的施工 .....                   | 233 |
| 7-3  | 有动力荷载作用的辅助设备基础的概况和结构 .....       | 242 |
| 参考文献 | .....                            | 255 |



# 第一章 当前汽轮机组基础的结构

## 1-1 钢筋混凝土基础

1960年以前，在苏联电厂建设中，容量为20万千瓦以下的汽轮机组基础均采用现浇钢筋混凝土结构。

根据在试验室和运行中进行的理论和实践的综合研究<sup>[1]</sup>，作者在1960年创建了第一台装配式钢筋混凝土汽轮机组基础。跟现浇的相比，装配式钢筋混凝土基础具有材料消耗少、节省劳动量、建造迅速和动力性能可靠等优点。

在建造第一个装配式钢筋混凝土基础时，已完成了按新方法计算基础的研究。这种计算方法能更确切地反映基础的受力状况，因此使构件尺寸缩小，材料耗量减少，但并不影响基础的安全运行。新的计算原则详细规定了基础的计算图形，而且解决了装配式结构的设计和计算问题。建造装配式钢筋混凝土基础是为了尽量节省建筑材料和劳动量。建造装配式钢筋混凝土基础，必须遵照以下一般原则。

装配式基础最合理的结构形式为框架结构。跟大块式基础及墙式基础相比，它的优点不仅方便机组和设备的布置，材料用量少，而且施工简单。

基础的尺寸和截面选择，必须满足机组本体结构及基础强度的要求。制定的计算图形要以动力模型试验为依据，以确保可靠性。

此外，装配式基础尚需满足动力性能的要求。

在设计基础时，必须避免与基础刚性连接的悬臂挑台，

因为它们经常产生较大的振动。挑台最好与厂房楼板相连。在框架节点处的柱上，同样不能设置支承构件用的牛腿。基础结构的布置，要对称于通过汽轮机组转动轴的纵向垂直平面。这是对装配构件必需的统一要求。

装配式基础的结构布置及选型要做到：每个轴承底下应布置横梁，横梁和柱尽可能处在同一平面内，纵梁必须在同一轴线上。基础构件截面要简单（最好为矩形截面），但是汽轮机和发电机之间的横梁经常不能满足此要求，此时要避免设计成具有曲率及凹角的截面。

要避免传到基础构件上的荷载产生扭转，否则，在结构设计和计算时要考虑扭转荷载。

为了做到框架接头简单，并避免柱身高度不一，基础上部结构的坡阶数量不应太多。接头处的现浇钢筋混凝土量应尽量少（板内的少量混凝土不计在内）。构件应避免开口、开孔、局部倾斜和复杂的预埋件。

装配式构件应采用标准系列产品，就是说品种规格要少，制作模板形式要少。装配式构件连接接头的刚度和强度不能低于现浇钢筋混凝土结构。

除上述要求外，还应着重满足施工作业、建造工期、劳动量、材料消耗等方面的要求。

装配式基础的底板尺寸，根据荷载均匀扩散到地基、柱子在底板的嵌固牢靠等条件确定。为简化结构，底板应做成等厚的矩形平面。

装配式基础的构件截面，通常有以下几种：实心矩形、空心矩形、T字形、I字形、槽形等。

这些截面的特点为：

实心矩形截面 外形简单，构件制作及接头构造简便。

抗扭性能好。构件遇开口、开孔、留槽时，其强度影响不大。该截面通用性好，使不同基础所采用的标准件系列达到最少。其缺点为：材料耗量大；当顶板跨度大时，构件重量大，常常超过吊车的起重量。

**空心矩形截面** 材料用量经济。在保证垂直及水平向的足够刚度情况下，可使基础重量显著减轻。其重要的特点是能改变基础的动力性能。在运行过程中，如发现构件某处的振动较大（共振），则可通过事先预留的孔洞，在空心处填灌混凝土；由于质量改变，使构件离开共振区，因而振动减小。空心截面的优点为：节点是采用附加钢筋骨架和混凝土的“齿”连接，该接头较牢靠；当采用大跨度顶板时，构件质量增加并不多。其缺点为：造价略高，制作劳动量大，对构件局部减弱处的强度影响大，构件连接较复杂。

**T形、I字形和槽形截面** 抗扭很差，对构件减弱处强度影响大，但当设备布置要求加宽翼缘时，采用此种截面较合理。其横向受力好。在某些情况下采用这种截面是有益处的。

每一种截面都有优缺点，要根据具体情况，进行合理的选择。上述截面经常不能满足拼装基础时的组合要求，因而要采用不合理的复杂截面，并要求改变机器本体结构或者寻找其他合适的材料和截面来满足组合要求。

苏联第一台装配式钢筋混凝土汽机基础由火电设计院罗斯托夫分院按照作者建议设计的。其汽机型号为K-160-130，发电机型号为ТГБ-200（ПБК-150），容量为15万千瓦。1962年建于阿里巴依拉木里国营区域发电厂，由高加索电力建设托拉斯施工。在这座电厂中，对相同型号的汽机，同时建造了两个不同结构的基础：装配式的（图1-1）和现浇钢



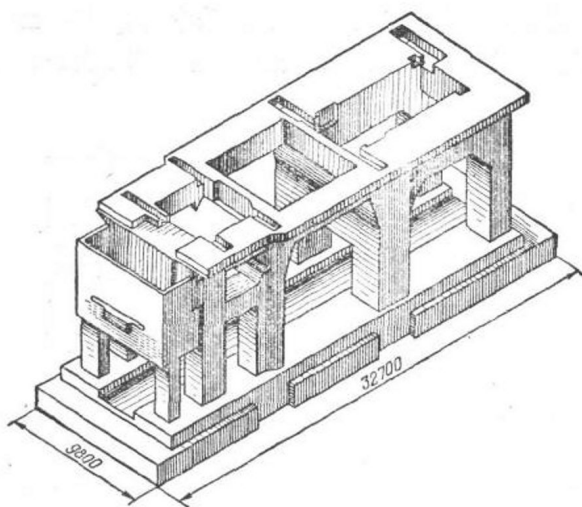


图 1-2 容量为15万千瓦汽轮机组的现浇钢筋混凝土基础外形图

在跨中设接头。装配式构件的尺寸比现浇基础的相应构件大为减小，如现浇基础的柱截面为 $1.7 \times 2.1$ 米，而装配式为 $1.7 \times 1.3$ 米。

除第二及第三框架的横梁，由于汽轮机组本体结构的要求，采用实心复杂截面外，所有构件均采用矩形截面。

根据阿利巴依拉木里国营区域发电厂的经验，装配式构件采用空心截面，空心部分的制作，并不很困难。

柱和底板的连接采用由柱伸出长为1.5米的钢筋头，插入现浇板预留的孔洞内，然后浇注混凝土固定。在浇注混凝土前，柱子的荷载靠安装用的支承钢梁传给底板。

所有上部构件的接头位置设在框架节点处。横梁、纵梁

和柱的焊接采用熔槽焊。接头处设附加钢筋骨架，其钢筋伸入空心构件0.5米。在空心构件接头中浇满混凝土，大大增加了装配式构件和现浇混凝土的粘合面积（图1-3）。

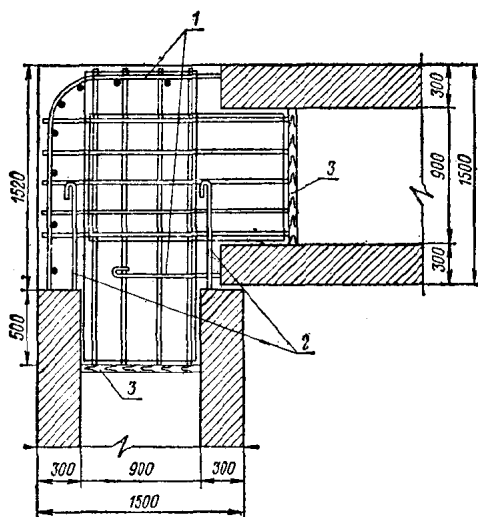


图 1-3 装配式钢筋混凝土基础的节点构造  
1—横梁伸出的钢筋；2—柱伸出的钢筋；3—模板

装配式柱子和现浇底板的连接，可用不同方法实现。方法之一为柱子钢筋头伸入底板孔洞中，然后浇灌混凝土，如图1-4所示。

在阿利巴依拉木里国营区域发电厂中，对成批生产的机组，采用了装配式基础；况且在制造机组本体时，未考虑装配式基础所引起的要求。尽管如此，从表1-1中可看到建造第一个装配式基础和现浇基础相比，已取得了良好的效益。

从表1-1看出，装配式基础的地上部分钢筋混凝土量比现浇基础省58.5%，钢筋省45%，水泥省51.9%，总劳动量

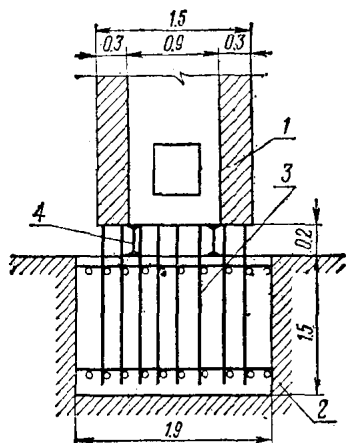


图 1-4 柱子和底板的连接

1—柱，2—底板，3—柱伸出的钢筋，  
4—安装时的支承构件

表 1-1

| 名 称                     | 基 础     |        |       |        |
|-------------------------|---------|--------|-------|--------|
|                         | 装 配 式 的 |        | 现 浇 的 |        |
|                         | 总 量     | 地上结构用量 | 总 量   | 地上结构用量 |
| 钢筋混凝土量(米 <sup>3</sup> ) |         |        |       |        |
| · 装配部分                  | 207     | 207    | —     | —      |
| 现浇部分                    | 720     | 70     | 1375  | 667    |
| 质 量(吨)                  |         |        |       |        |
| 钢 筋                     | 76.7    | 45.2   | 139.5 | 82.0   |
| 埋 件                     | 4.8     | 4.8    | 4.18  | 4.14   |
| 水 泥                     | 276     | 90     | 385   | 187    |
| 结 构                     | 2330    | 690    | 3340  | 1650   |
| 总劳动量(工日)                | 1101    | 683    | 2250  | 1200   |
| 造 价(千卢布)                | 56.5    | 27.7   | 62.8  | 34.0   |
| 装 配 率(%)                | 74.8    | —      | 0*    | —      |

\* 原文为100系有误。——译者

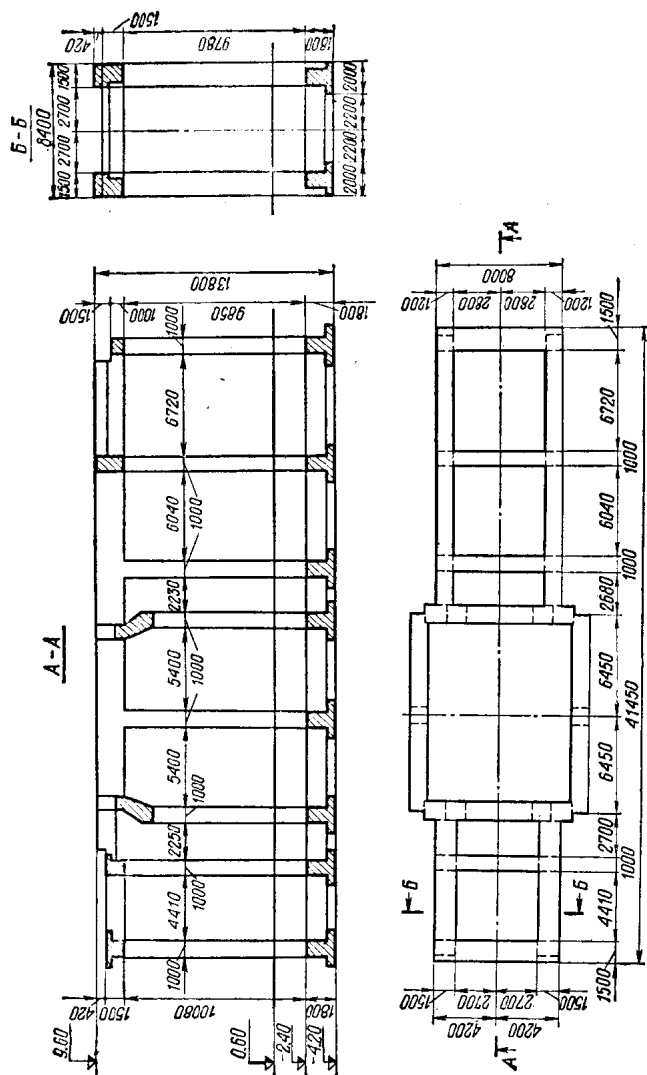


图 1-5 30万千瓦汽轮机组的装配式基础外形图



