

# 中小型发电厂的设备基础

苏联 B.E. 切列日尼柯夫著

顧 籍譯

水利电力出版社

## 緒 言

与建設大型电厂的同时，中小型电厂在我国(苏联)亦占相当地位。

关于大容量汽輪机組基础的設計与施工問題，在許多技术書籍中已有充分說明，但是，对于中小型国产設備，例如对 АП-0.75，АП-1.5 汽輪发电机及中小出力鍋炉的基础的敘述和資料还没有。

具有动力荷重机器的基础有其自己的特点，和帶有振动的靜力荷重基础不同，后者的振动会傳遞給邻近的建筑物和結構物。

从这个观点出发，本書研究了工程地質問題。

为了对动力設備的設計单位中設計和土建人員有所帮助，本書列举了若干例題与計算。

这些例題是利用原有基础去裝置其他机器，其目的是为了在設計和施工中减少沒有生产效能的时间，以及劳动力和材料的浪費。

这项工作的任务是要提高基础的强度和选择必不可少的体块以适应經濟問題。

对設計部門及施工实践的經驗进行总结，将有助于生产与安装人員的工作。

# 目 录

## 第一章 设备基础和地基的基本要求..... 4

- 1.基础分类(4) 2.基础要求(4) 3.土壤条件和地基(5)
- 4.人工地基(7) 5.撒布土壤(8) 6.大孔性土壤(9)
- 7.永久冰冻区域(9) 8.露天设备基础的埋深(11) 9.地基的计算(12) 10.设计基础时的工程地质资料(14)

## 第二章 汽轮发电机的基座.....16

- 11.汽轮发电厂的分类及汽轮机的特性(16) 12.500瓩汽轮机基座(20) 13.汽轮发电机基座的计算(21) 14.基座的计算(24) 15.汽轮发电机基座的计算特点(37) 16.汽轮发电机基座的材料(41) 17.施工(41) 18.容量为1500瓩的AΠ-1.5型汽轮发电机基座的计算实例(42) 19.现有基座的改建和改装(62) 20.AΠ-6型汽轮机设备的基座(69) 21.AΠ-4型汽轮发电机的基座(72)

## 第三章 柴油发电机的基座.....74

- 22.发电机的容量(74) 23.已完成柴油机装置的实例(74)
- 24.机组在发电厂厂房中的布置(78) 25.基座和厂房结构的连接(80) 26.振幅的允许值(80) 27.防震衬垫(80) 28.发动机在基座上的固定(82) 29.动力计算(85) 30.强度计算(88) 31.容量和基座体积之间的关系(89) 32.利用原有基座来安装新的发动机(89) 33.减弱原有基座震动的实例(95)

## 第四章 鍋駝机基座.....98

- 34.鍋駝机的应用范围(98) 35.动力计算(99) 36.容量为125馬力的鍋駝机基座的计算实例(99) 37.400馬力鍋駝机

的基座(107) 38.鍋駝机和燃燒室的連接(108) 39.烟道和鍋駝机連接的結点(110) 40.关于推动式的燃燒室(110)  
41. CK-125 型, CK-375 型鍋駝机的基座(111) 42.設備基础的配筋(111) 43.內燃发动机和鍋駝机基座所采用的材料(113) 44.設置鍋駝机和內燃发动机基座的施工(114)

## 第五章 鍋炉基座..... 116

45.具有人工燃燒室的鍋爐基座(116) 46.具有机械化燃燒室的鍋爐基座(117) 47.鍋爐平台(127) 48.鍋爐基座的材料(127) 49.鍋爐基座的构造(128) 50.关于温度对基座結構的影响(131) 51.烟道(132) 52. TC-35V 型鍋爐的基座(133) 53. ДКВ-10 型鍋爐的基座(135) 54.在堅石类土壤上建造鍋爐基座的实例(136)

## 第六章 发电厂的輔助設備基础..... 136

55.基础的分类(136) 56.埋深度(137) 57.設計指示(140) 58.輔助設備基础的材料(142) 59.具有靜力荷載的設備基础(油箱、过滤器、沉淀池、除氧器)(142) 60.安装在樓板上的机器的基础(144) 61.沟道(146) 62.电力設備基础(147) 63.磅秤的基础(149) 64.空气压缩机基础加固的实例(156) 65.輸电綫杆塔(159) 66.关于輸电綫杆塔的計算(162) 67.木杆塔的鋼筋混凝土接干(163)

## 附录 苏联重工业企业建筑部技术管理局关于計算具有曲柄連杆机械装置的机器的扰动荷載的规范, И-118-49..... 166

# 第一章 设备基础和地基的基本要求

## 1. 基础分类

中小型发电厂的设备基础是其结构的组成部分。基础的意义很大，因为由于它的正确选择、计算和可靠的施工对于动力厂的正常运行有影响。

由于基础上的机器使结构物引起振动，故必须在带有动力荷重机器基础的设计和施工时，提出动力荷重资料。

发电厂的设备基础，分主要和辅助设备基础两大类。主要设备指：汽轮发电机、锅炉机组、柴油发电机和锅驼机。

按作用于基础上的设备荷重的性质，分a)动力荷重设备基础和b)静力荷重设备基础。前者如：汽轮机组、柴油发电机、锅驼机、电动发电机组、汽动和电动泵、碎煤机、磨煤机、引风机、通风机和空气压缩机等。

后者如：锅炉机组、除氧器、沉淀池、过滤器、油箱、变压器、油开关、避雷器、露天设备和输电线路杆塔。

## 2. 基础要求

设备基础必须满足下列要求：

- 1)有关大小、位置、便于安装的厂房施工条件；
- 2)便于管理和运行；
- 3)振动强度(对动力荷重设备基础)；
- 4)水平与垂直位移(沉陷)的稳定；

5) 强度;

6) 耐久性;

7) 便于机械化施工。

除以上这些要求外, 经济要求起着很大的作用。

没有动力荷重作用的基础经常有较多余的尺寸和安全强度。

增大基础的块体, 特别是把原动机基础中堆块不合理地分配, 不一定能够降低设备的振动程度。可以举出一系列的事例; 由于基础的合理计算与设计, 能以相当小的体积, 但和有着较大块体的基础一样, 得到比较小的振幅。

这一点可以以拉娃略及 AII-1.5 汽轮发电机的基础为实例作比较。

此两种汽轮发电机有相同容量与近似重量: 33 和 31.4 吨; 而拉娃略汽轮发电机基础顶部重 27.4 吨, AII-1.5 的基础顶部重 48.4 吨, 两者相差达到百分之六十。

虽然拉娃略汽轮发电机基础块体相当小, 但它运行平稳, 没有显著的振动。

基础的大小及其含钢率应符合规程所要求的许可振幅和变形下的强度的要求。

实际基础尺寸和设计尺寸的误差不能超过(建筑法规 第三卷, 第 II-B 章, 4, §9)许可的数值。

### 3. 土壤条件和地基

在大多数情况下, 装在基础上的设备(锅炉机组泵、引风机等)均通过不同管道(蒸汽、气体、燃料、水管道等)和其他机组或厂房的结构相连。这些管道均有较大断面, 所以

具有相当的刚性。管道连接处，特别是焊接管道，可认为是刚性或半刚性连接。因此由于基础的沉陷，即便是均匀沉陷，皆会因连接的刚性而造成破坏和事故。主要机组如汽轮机、柴油机或锅炉中任一个出了问题，都会使发电厂部分或全部受到重大的损失。泵、引风机、通风机，特别是没有两套轮流使用的设备出问题，会受到更严重的损失。所以对设备基础提出了严格要求：沉陷应极小，均匀的沉陷不得超过3~5公厘。

静荷重对板式基础或块体基础(汽轮发电机、柴油发电机、泵、引风机等基础)所产生的沉陷不大，这是因为作用于土壤的单位荷重在 $0.2 \sim 1.3$  公斤/公分<sup>2</sup>之间，在大多数情况下，它显著地小于土壤计算强度。

在动力荷重影响下，土壤的天然倾斜角，特别是松土及非粘性土壤(砂土)的天然倾斜角度减小。土壤的微粒集中于较低地势而夯实，故产生了沉陷现象。

振动对粘性土壤——粘土和砂质粘土的影响较小。

用振动法打桩，可以很好地观察振动对土壤的影响。

在松粒土壤中打桩，使桩深入土壤的重量略大于它的自重。

由于地下水的存在，使土壤在振动荷重影响下发生稀释。

振动时的基础可与抽水机活塞相比拟。在基础下，土壤由于拉力产生了孔隙，在孔隙中引入水分，土壤即开始稀释。

当发电厂建在地下水位较高的地区时，在设计基础的同时，必须考虑保证建筑物在有地下水影响的情况下正常运行的措施。

常常会发生下述情况，即在施工前，地质勘察证明没有

地下水存在，故在基礎設計時沒有考慮地下水因素，但在電廠運行時，確發現了地下水。

過了某些時候，原動機基礎呈現顯著的沉陷或振動加劇。審查地下水的探井，應當挖在過去沒有地下水存在的地區。

發電廠要求大量生產用水，由於供水區的用水情況缺少應有的注意，結果使土壤條件經常有惡化的危險。

附加供水使粘土和砂質粘土由硬性變塑性，由塑性變流動性，使設備基礎及廠房受到嚴重事故的威脅。為了預防和消除所有水管、渠道、集水坑的漏水現象，對發電廠的所有生產用水情況，須經常加以監督和定期檢查。

#### 4. 人工地基

防止松粒砂土上基礎的沉陷有很多的方法，那就是換松粒土壤為可靠地基。

這些方法，稱為人工硬化土壤法。

##### 水泥灌漿法

水泥灌漿法是硬化土壤方法之一。用注漿器（直徑 50 公厘帶有鑽孔的水管）注入水泥漿，此水泥漿復蓋各顆砂粒，使其結硬而成整個塊體。該法用於細砂土較困難，因為細砂經常把注漿器的鑽孔塞住。水泥灌漿法用於大顆粒砂土效果較佳。

##### 矽酸化法

硬化細粒砂土最好的方法是矽酸化法（又稱 Б.А 爾查尼夫教授法）。

在砂土上先注射水玻璃溶液，然后注射氯化鈣溶液。水玻璃与氯化鈣結合，并硬化和胶結成一个整体的砂岩。土壤矽酸化法操作必須符合“土壤矽酸化法規程”的要求（机械制造工业部，1952年出版）。

## 桩 基

如果厂房基础是用桩基，則主要設備：汽輪发电机、柴油发电机、鍋駝机的基础亦应設立桩基。輔助設備基础下土壤的允許压力在  $0.75 \sim 1$  公斤/公分<sup>2</sup>，或基础下鋪砂垫层上的均布压力在該数之内，則可以不設桩基。

打桩的操作方法見“工业及民用房屋及建筑物地基的制桩及打桩規程”（ $\frac{\text{II-81-43}}{\text{建筑人民委员会}}$ ）。

## 5. 撒布土壤

发电厂有时难免要建于撒布土壤上。

不是所有撒布土壤都可作为机器基础的天然地基。

含有大量的有机物：刨片、刨木花、泥煤等撒布土壤，及稀釋粘土撒布土壤皆不宜采用。沒有經過夯具和輥軸夯实的粘土及砂質粘土，在一般情况下亦不宜作为动力荷重設備基础的地基，这是因为它們的天然夯实（即沉陷）要长期繼續。

撒布土壤的能否采用，一定要根据工程地質方面的資料而定，它的許可荷重从  $0.75 \sim 1$  公斤/公分<sup>2</sup> 之間。下列撒布土壤可認為充分合格：圓砾，碎石，卵石，成块大顆粒和小顆粒砂土，矿渣土堆。在粘土或砂質粘土上鋪以碎石，再用輥軸压平，可成为承载量很大的地基。

## 6. 大孔性土壤

大孔性土壤(黃土)上設備基礎的施工應採用與其沉陷類型相適應的措施。

I 類型沉陷 ..... 5~15公分

II 類型沉陷 ..... 16~50公分

III 類型沉陷 ..... 大於50公分

防止屬於 I 類型岩層大孔性土壤地基的沉陷，是在廠址地區施工與運行過程中消除大氣水和生產水積聚的可能性。

對岩層屬於 II 和 III 類型大孔性土壤地基，應保證消除土壤沉陷的性能，或者預防土壤浸濕(建築法規，第二卷，第 II -B 章，6，§5)。

防止土壤浸濕的措施，是裝置不透水底層或排水溝及水槽，使水引入溝渠。

用樁基或層次夯實法和矽酸化法也可消除土壤的沉陷。

## 7. 永久冰凍區域

永凍土佔了很大的地區，那里人口密度雖小，但發電廠的建設却是相當緊張的。

對永凍土工程地質勘測的要求是較高的。

不能選擇過份潮濕及含有冰晶塊和冰夾層土壤作為建廠地區。

粉粒砂土或砂質粘土皆具有較高含冰飽和度，解凍後就成稀釋狀態。這類土壤同樣不能選擇為建廠地區。

不含冰晶體的碎石、礫石、大顆粒砂土，解凍時對沉陷

影响較小。

除一般土壤資料外，工程地質勘测还包括下列各項：

a) 建筑区的地質构造和地形特性；

6) 冰冻資料：冰的活动能力，冰冻层特性（分层或連續冰冻，貫通或不貫通冰冻），冰冻层的温度，退化或持久冰冻；

B) 水文地質資料；

r) 冰晶体和冰夹层的影响。

破坏永冻土的冻结，即解冻，使建筑物产生不均匀沉陷。解冻对于具有大量相联的、动力或靜力荷重設備的发电厂建筑物不很适用。許多建筑在解冻土上的电厂的事例也証明上述方法是不适用的。例如由于某一設備沉陷的結果，使鍋炉基座与运轉层标高相差到50公分。由于土壤解冻产生了沉陷，影响发电厂运行而受到损失，最后使建筑物发生了变形。

因此对发电厂地区，也就是对設備基础地区，必須采取措施，使土壤保持永久冰冻状态。

这个办法是在汽机与鍋炉房下装置通风地下夹层，并按暖通計算加以保温。

汽机房和鍋炉房基础采用最小断面单独支墩的形式，其埋入深程度，要低于永久冰冻层的頂面限界，深入永冻土內。在冰冻土与基础底垫之間，放置低导热率材料：例如木条。

为了减少冰冻土与基础柱子之間的接触面积，建議把柱子做得具有光滑表面。并在柱子的周圍撒上不冻脹土壤：大顆粒砂土、圓礫、卵石。

柱子的外型可做成底部較寬的圓錐形状。

在温度較低的永久冰冻地区內，最好建立桩基。用蒸气暖化法，把桩强固地貫入永冻土內。該法在温度从0到-1.5度的永冻土上不适用。

引风机、通风机、泵的基础建于地下夹层上的钢筋混凝土楼板上。自然，在进行该楼板计算时，必须考虑作用于其上的动力荷重设备重量。

具有整块体式的柴油发电机和鍋駝机的基础，被支承在带有固定在永冻土内斜撑的柱子上。

为了阻止热流传到土壤中去，除了在地下夹层楼板上铺以保温层外，并在地表层盖以低导热率材料。

汽輪发电机的基础计算是比较复杂的。因为基础的埋深较大(4~5公尺)，需要补加横梁去支撑框架的柱子。在縱方向同样也需要添加梁去支撑柱子。必须把地下夹层楼板做成悬臂与带有动力荷重设备基础相连接的，这样使它不支承在机器基础上。

埋于地下部分的基础的施工在冬季进行，可使永冻土不受破坏。按目前情况，特别建议采用装配式底座，它们被放在两列相交叉的木条上。

在木条和永冻土之间撒上砂土层。

发电厂运行时要很好地注意下列问题：即防止工业用水，特别是具有较高温度的工业用水渗入土壤，以至破坏土壤的冰冻结构。因此，在沟道内装置循环水管或其他水管。沟道必须做成斜坡状，以便即使在水管失修时，也能把水排到远处。

## 8. 露天设备基础的埋深

根据建筑法规(第二卷，第Ⅱ-B章，6,§3)的规定，基础的埋深不小于0.5公尺(岩石土壤除外)，并和下列因素有关：

a) 基础的用途；

6) 厂址的水文和地质条件；

Б)作用在地基上荷重的大小和性能;

Г)土壤在冰冻时的冻胀可能性;

Д)相連厂房及建筑物的基础埋深。

和土壤在冰冻时冻胀的可能性有关,基础埋深根据土壤的类型而定,并采用不小于0.5公尺,而在一系列的情况下,采用較大的計算埋深。

露天設備基础的計算冰冻深度等于标准冰冻数。这个数值可以在建筑法規(第二卷,第Ⅱ-B章,6,§3)的地形图上查得。

Ⅱ类型和Ⅲ类型沉陷性的大孔性土壤中基础的埋深,按建筑法規規定,不得小于1公尺,并且不小于这样的深度:即在1公尺<sup>2</sup>基坑底內,填滿松土的冲程数不得大于二个。

## 9. 地基的計算

地基变形計算按公式

$$\Delta \leq f \quad (1)$$

其中  $\Delta$ ——地基变形計算长度;

$f$ ——地基变形极限长度。

如果标准荷重在地基上产生的平均压力不大于表6、7、8、9(建筑法規第二卷,第Ⅱ-B章,6,§3)上規定的土壤的計算强度,則公式中的条件認為是滿足了的。并且还要注意以下情况:就是所有建筑物面积的地基,是由按水平方向均匀的土壤組成,則从基础底垫到深度5公尺以內土壤的压缩性,是不增加的。

不均匀彈性受压系数  $C_0$  和均匀彈性受剪系数  $C_1$  按下列公式計算确定(技术規範60-49):

$$C_p = 2C_z \text{ 吨/公尺}^3; \quad (2)$$

$$C_z = 0.5C_p \text{ 吨/公尺}^3. \quad (3)$$

$C_z$  值按表 1 查得

表 1 地基計算强度为  $R$  时, 彈性均压系数  $C_z$  的近似值

| 名 称                 | 地基計算强度 $R$<br>(公斤/公分 <sup>2</sup> ) | 彈性均压系数 $C_z$<br>(吨/公尺 <sup>3</sup> ) |
|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>A. 天然土壤</b>      |                                     |                                      |
| 弱塑性粘土和砂質粘土          | 1~2                                 | 1000~2000                            |
| 塑性砂質粘土              | 1~2.5                               | 1000~4000                            |
| 硬性粘土                | 2.5~6.0                             | 4000~10000                           |
| 中密性水飽和的粉砂土          | 1.0                                 | 1000                                 |
| 中密性濕潤粉砂土            | 1.5                                 | 1500                                 |
| 中密性濕潤細砂土            | 1.5                                 | 1500                                 |
| 中密性較濕潤細砂土           | 2.0~2.5                             | 2000~2500                            |
| 緊密的, 中顆粒砂土          | 3.5                                 | 3000                                 |
| 緊密的, 卵石砂土           | 4.0                                 | 4000                                 |
| 帶砂岩填料的石礫            | 6.0                                 | 4000                                 |
| 結晶岩石層(圓礫)           | 5.0                                 | 3500                                 |
| 沉陷岩石層(圓礫)           | 3.0                                 | 3000                                 |
| 黃土及黃土砂質粘土           | 2.0~2.5                             | 4000~5000                            |
| <b>B. 沒有夯緊的松軟土壤</b> |                                     |                                      |
| 碎石, 圓礫, 卵石          | 1.0                                 | 3000                                 |
| 大顆粒及中顆粒砂土           | 1.0                                 | 2500                                 |
| 小顆粒砂土               | 0.75                                | 2000                                 |
| 亞砂土                 | 0.5                                 | 1500                                 |
| 矿 渣                 | 0.75                                | 2500                                 |

天然地基的計算剛度系数等于:

a) 彈性均压时

$$K_z = C_z F \text{ 吨/公尺}; \quad (4)$$

6) 彈性不均压时

$$K_{\phi} = C_{\phi} I \text{ 吨/公尺}; \quad (5)$$

B) 彈性均剪时

$$K_{\phi} = C_{\phi} F \text{ 吨/公尺}; \quad (6)$$

式中  $F$  和  $I$  是基础底垫的面积(公尺<sup>2</sup>) 和慣性矩(公尺<sup>4</sup>)。

## 10. 設計基础时的工程地質資料

正如設計发电厂一样, 在計算和設計帶有靜力荷重的設備基础施工图时, 必須具有所有的資料。

地質勘测要符合“工业与民用房屋上建筑物地基土壤的研究暫定技术規程”(技术規范107~53, 建筑工程部)的要求。

基础設計的基本資料是地层柱表, 按这些資料繪成的地質断面图。

在地层柱表上, 标出地层厚度、名称、土壤說明及地下水位。

在土壤說明中, 指出地質年代(第四紀沉积地, 第三紀沉积地, 侏罗紀等等)和其成长的性能(冲积的、坡积的、冰积的等等)。

在沒有勘测过的地区上鑽探深度时, 要穿过所有土壤地层, 直到原生岩內, 但深度不大于30公尺和不少于10公尺。

在很少勘测的地区內鑽探深度时, 以土壤紧密岩为限度。为了复核这岩层的厚度, 必須有若干鑽井, 其深度不少于10公尺。

开拓地区的鑽探深度以开采界为限。开采深度由地質工作人員在当地确定。

开采次数和地区的工程地質构造复杂程度有关。

每个鑽孔在鑽探后必須仔細地澆灌混凝土，以免使地下水由蓄水层底和供水处上升。

野外勘测的土壤資料，必需补充以下实验資料：

### 岩石土

饱和水状态的受压强度极限。

### 大颗粒土壤

颗粒的組成。

#### 砂土

a) 颗粒的組成；

b) 孔隙度；

B) 湿度；

r) 紧密度。

#### 粘土

a) 塑度；

b) 天然状态的湿度；

B) 稠度；

r) 天然状态的孔隙度；

A) 沉陷度(指大孔性土壤)。

如果地下水位高于基础底垫，必須分析地下水对混凝土的侵蝕程度。

在掌握了上述工程地質資料后，地質工作者还需要确定土壤的标准抵抗强度，由該数去設計基础。

带有动力荷重的基础，除了按技术规范107-53的土壤分析外，要求计算弹性均压系数  $C_0$ 。

## 第二章 汽轮发电机的基座

### 11. 汽轮发电厂的分类及汽轮机的特性

汽轮发电机组容量从4,000到12,000瓩的发电厂是属于第Ⅱ类中容量(型)发电厂。机组容量从350到4,000瓩的称为小容量(型)发电厂。

表2 AII-0.75及AII-1.5汽轮发电机的主要技术资料

| 技 术 资 料                    | 汽 轮 发 电 机 |         |
|----------------------------|-----------|---------|
|                            | AII-0.75  | AII-1.5 |
| 铭牌容量, 瓩                    | 750       | 1500    |
| 铭牌汽轮机转速数, 转/分              | 8000      | 8000    |
| 铭牌发电机转速数, 转/分              | 3000      | 3000    |
| 压力, 大气压                    | 35        | 35      |
| 带有减速器和油系统的汽轮机重, 吨          | 13.5      | 14      |
| 无水时凝汽器重, 吨                 | 3.9       | 5.5     |
| 运行时凝汽器重, 吨                 | 5.1       | 8.0     |
| 最重件-半个汽轮机外壳, 吨             | 2.5       | 5.5     |
| 汽轮机转子重, 吨                  | 0.8       | 0.87    |
| 发电机最重件, 吨                  | —         | 6.0     |
| 发电机转子重, 吨                  | 1.77      | 2.3     |
| 天车较重重量, 吨                  | 5.0       | 7.0     |
| 汽轮机基座的总体积, 公尺 <sup>3</sup> | 35        | 37      |

容量为750及大于750瓩的汽轮机采用框架型基座，容量为500和350瓩的汽轮机采用大块型基座。