

水力发电  
技术知识  
丛书  
中国水力发电工程学会主编

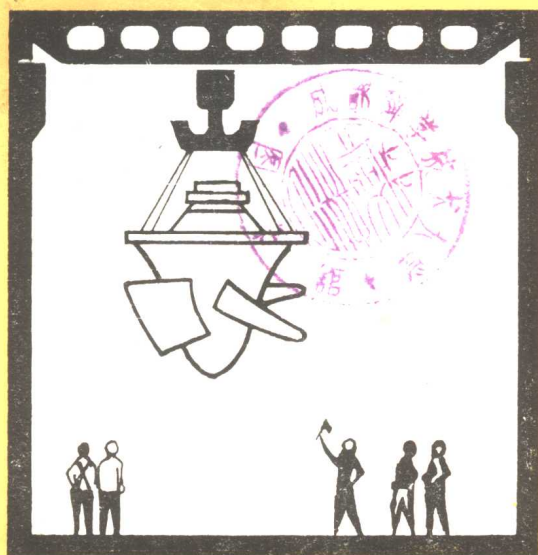
961512

TV734  
7420

第十九分册

# 机电设备的安装

陈叔康



水利电力出版社

961512

TV734

TV734  
7420

7420

水力发电技术知识丛书

中国水力发电工程学会主编

第十九分册

# 机电设备的安装

水利电力出版社

(京)新登字115号

### 内 容 提 要

本分册主要叙述大型水电站机电设备的安装,以水轮发电机组为主,兼顾一些电气设备。主要内容有机电安装的施工组织设计、水轮机及发电机的安装、金属结构安装和主变压器及气体绝缘金属封闭电器的安装。

水力发电技术知识丛书  
中国水力发电工程学会主编  
第十九分册  
机电设备的安装

陈叔康

\*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 32开本 5.875印张 129千字

1992年12月第一版 1992年12月北京第一次印刷

印数 0001— 3940 册

ISBN 7-120-01684-9/TV·614

定价4.10元

## 前 言

机电设备的安装主要介绍水轮机、水轮发电机、压力钢管、钢闸门、主变压器及气体绝缘金属封闭电器等的安装及其结构作用。另外还介绍了机电安装的施工组织设计，安装技术的发展过程和展望。

随着大型水电站的建设，水轮发电机组的容量也随之增加，安装技术更为复杂更为先进。本分册只介绍一般的知识，限于篇幅，有些配电设备，如电气设备就没有全面介绍。

本分册由中国水利水电工程总公司副总工程师、教授级高级工程师王冰同志审阅。由于编者水平所限，书中不妥或错误之处，欢迎读者提出意见和指正。

编 者

# 目 录

## 前 言

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第一章 概述 .....           | 1   |
| 第一节 机电设备安装的特点及项目 ..... | 1   |
| 第二节 安装技术的发展过程 .....    | 3   |
| 第三节 安装技术的展望 .....      | 8   |
| 第二章 施工组织设计 .....       | 15  |
| 第一节 施工组织设计的内容 .....    | 15  |
| 第二节 机电安装施工组织设计 .....   | 20  |
| 第三节 金属结构施工组织设计 .....   | 28  |
| 第三章 水轮机安装 .....        | 32  |
| 第一节 类型及结构 .....        | 32  |
| 第二节 埋设部件安装 .....       | 56  |
| 第三节 导水机构预装 .....       | 62  |
| 第四节 分瓣转轮焊接 .....       | 63  |
| 第五节 转轮与主轴连接 .....      | 67  |
| 第六节 导轴承装配 .....        | 68  |
| 第七节 水轮机正式安装 .....      | 69  |
| 第八节 轴流式水轮机转轮安装 .....   | 72  |
| 第四章 水轮发电机安装 .....      | 76  |
| 第一节 类型及结构 .....        | 76  |
| 第二节 转子组装 .....         | 102 |
| 第三节 定子组装 .....         | 110 |
| 第四节 立式水轮发电机总体安装 .....  | 118 |
| 第五节 电气制动 .....         | 132 |
| 第六节 水轮发电机组起动试运行 .....  | 138 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第五章 金属结构安装.....            | 142 |
| 第一节 压力钢管制作 .....           | 142 |
| 第二节 压力钢管安装 .....           | 149 |
| 第三节 叉管制作和安装 .....          | 152 |
| 第四节 钢闸门安装 .....            | 155 |
| 第六章 主变压器及气体绝缘金属封闭电器安装..... | 167 |
| 第一节 主变压器安装 .....           | 167 |
| 第二节 气体绝缘金属封闭电器安装 .....     | 174 |
| 参考文献.....                  | 179 |

# 第一章 概 述

## 第一节 机电设备安装的特点及项目

机电设备安装是水电站建设施工中重要的一项，往往在电站施工的后期，或与水工建筑的厂房部分平行交叉进行，因为这样可以使水电站尽快地产生经济效益，满足工农业及生活用电的需要。目前，除了极少数有特殊需要的工程和较小的水库外，一般都以综合利用为目的修建电站。对水电站机电设备安装的要求有以下几点。

(1) 技术先进。由于科学的发展，技术的进步，水电站采用电子计算机进行监视、控制、管理，并正在向集中管理、无人值班运行等方面发展。对这些设备的安装调试，需要先进的技术及精密的仪器设备。

(2) 精度要求高。机电设备安装与其他一般工程相比，精度的要求是比较高的。例如水轮发电机组的安装，误差范围往往是以百分之一毫米计算，有的地方甚至更小一些，电气设备的调整往往是以千分之一秒计算的。

(3) 工艺复杂。由于技术先进，精度要求高，安装的工艺比较复杂。水电站正向大型、巨型发展，单机容量也将愈来愈大。限于运输的条件，水轮发电机组的许多部件不能在制造厂加工组装后整体运至工地进行安装，需要把零件运至工地，在现场进行组装，使安装工作担负了原来在制造厂进行的许多组装工作，不但增加了工作量，而且使工艺更为复杂，技术要求就更高。对一些大型部件的安装需要特殊布

置安装场地。例如发电机转子的组装，为了便于安装，常把主轴安装在低于安装场地的下层，定子、机架、水涡轮等大部件组装需要设置专门的平台或支墩。

(4) 起重运输技术要求高。机电设备的机件在起重运输过程中不能有任何磕碰。如有磕碰轻者损伤机件，重者影响质量或者拖延工期，造成不必要的损失，甚至成为机件永久性的缺陷。所以，要保证机件完好无损。安装中常需要把一些大型部件翻转、套入等起重作业，例如发电机主轴竖立、转子吊装、水涡轮吊装、主变压器吊装等等，由于尺寸大、重量重、吊装间隙小，对吊装起重的技术要求较高，操作比较困难。

(5) 工期紧、交叉作业多。安装工程常在水电站施工的后期进行。这时水工建筑物多已初具规模，而发电厂房处于施工高峰阶段，为了争取早发电，安装工期安排的常比较紧凑，一环扣一环，一个工序接一个工序，不能有任何拖延，一个工序发生了问题常使整个工程无法进行。例如若水轮机不能按进度完成吊装工作，就会影响发电机的安装，安排不当就会影响发电日期。水电站第一台机组安装时常是厂房施工的高峰，势必要进行交叉平行作业。在狭窄的厂房工地，常出现上中下三层甚至是四层交叉作业的情况。这对安装提出了更多的要求，不但要保证安装质量，而且要保证在交叉作业中避开干扰，保证安全，不出任何事故，又要能够同时平行作业。

水电站机电设备的安装一般是指电站永久的机电设备及金属结构设备的安装工程。机电设备由制造厂生产，运至工地进行安装。由于水电站许多机电产品尺寸大、重量重，多数是分成若干部件运输的，例如水轮发电机组、闸门起闭



机、桥式起重机、升船机等。有些设备虽然是整体运至工地，一般仍需进行吊装、检查、调整、试验等工作，例如主变压器、成套开关柜、高压断路器等。金属结构设备，如闸门、钢管、升压站构架、船闸、以及起闭设备，虽然可以由制造厂家制成产品，运至工地进行安装，但由于许多是非标准产品，而且由设计单位按照工程的具体要求而设计的，一时无法找到合适的生产单位，也往往由施工单位自行进行加工制造。水电站施工过程中所需要的施工机电设备，例如降压变电站、拌和设备、各式起重设备（塔式起重机、缆索起重机、门式起门机等）、小型柴油机车、电铲、电讯设备等都不属于这个范围。这些设备随着施工过程安装、拆卸；或增加、减少、施工完毕后最后拆走，都不属于电站的永久设备。

## 第二节 安装技术的发展过程

我国的水电建设是从小到大，从无到有逐步发展起来的。按照发展的情况可以分成1949年前、50年代和60年代以后三个时期。

### 1. 1949年以前

我国较早的水电站是在1910年7月修建的云南省昆明市螳螂川石龙坝水电站。1912年4月发电，装机容量2920kW，设计修建工作由德商礼和洋行负责，机组由西门子洋行订购。直到1949年前，国民党统治区（东北及台湾省除外）装机总容量163MW，年发电量7.1亿kW·h。这些水电站单机容量都很小，安装技术也比较简单，有些是由外国人负责安装的。

日本人侵占东北时期，曾修建吉林丰满水电站及中国、朝鲜共有的水丰水电站。丰满水电站单机容量为72.5MW，设计安装8台机组，在1945年时已安装4台机组，其中2台机组已投入运行。由于单机容量较大，水轮发电机组是德国、美国、瑞士、日本等国制造。机组及辅助设备的安装是由制造厂派人技术指导，日本人协助进行安装的。

从这一阶段机电设备安装情况来看，我们自己尚没有形成一支专门的安装力量，也没有掌握一整套安装技术，技术水平是比较低的。就是日本人在丰满水电站所掌握的安装技术，其水平也是比较落后的。在水轮发电机组安装方面主要是采用“定位找正调整法”。这种方法主要是将水轮发电机组的各个部件先在场内组装好，按照机组的部位，一件一件的吊入机坑内，进行安装、调整、固定。调整时必须严格按照机组的高程、中心线、间隙等技术要求。这种方法在原理上是对的，但是，在实际工作中却产生了许多缺点。

(1) 调整困难。机坑内的空间本来就很狭窄，并有已调整好的机件，这就使需要调整的部件工作面更为狭小，尤其是在微调时，调整就更困难。

(2) 作业不便。机件调整后，一般都需要钻销钉孔加以定位，作业很不方便。还有一些部件在制造时留有一定的余量，在现场经调整定位后需要加以处理，不但操作不便，而且还要特别注意防火，采取措施以防发生意外。

(3) 工期较长。机件的安装必须按照位置先后吊装。水轮发电机组一般多为竖轴式，只有小型机组或冲击式机组才是卧式。水轮机不调试好就不能安装发电机，无法平行作业，安装的工期较长。

这种安装调整的方法虽然在理论上是正确的，但由于有

以上的主要缺点，其技术水平是比较低的，也是较落后的。

## 2.50年代

1949年中华人民共和国成立后，开始了经济的恢复，迫切需要电力加快建设。在水电方面重点对丰满水电站进行续建、改建工作，陆续安装了苏联水轮发电机组及成套设备。苏联派了大批技术人员在现场进行技术指导，培养了一批我们自己的技术力量，建立了我国的机电设备安装队伍，采用了“预装整体调整法”来进行安装工作。这种方法有以下几个特点。

(1) 部件预安装。机组的大部分部件，除直径太大，重量很重的发电机转子外，在安装场地组装后，正式安装前，先吊入机坑内预安装，调整位置，钻销钉孔定位，然后吊出机坑。由于每个部件单独预安装，操作比较方便，节省了正式安装的时间。同时在预安装时可以发现设备中存在的问题，可以预先进行处理，保证质量。

(2) 整体调整。机组各个部件在预安装的基础上，处理了缺陷，确定了位置，可以在很短的时间内，把机组部件按顺序吊入机坑正式安装，最后采用整体调整的方法进行机组轴线调整。一般采用盘车的方法来调整，盘车可以用人力、机械、电动等不同方法。这种方法调整快、精度高。

(3) 平行交叉作业。在预安装阶段，水轮机、发电机均可同时作业。这个部件进行调整时，另一个部件可以进行组装、缺陷处理等工作；在正式安装时，只要水轮机吊入机坑后，不必等全部调整好，就可以进行发电机吊装。整个安装工作都可以采取平行交叉作业的方法进行工作。

(4) 缩短工期。由于机组的安装工作采取比较先进的技术，大大地缩短了安装工期，一般比原来的安装方法可以

缩短 1 ~ 2 倍。例如过去安装一台 70MW 左右的机组，需要 8、9 个月甚至一年的时间，而采用这种方法一般只需要 5、6 个月甚至 3、4 个月的时间，大大提前了发电的时间，发挥了经济效益，支援了工农业生产。

预装整体调整法与定位找正调整法相比在技术上大大前进了一步。定位找正调整法（以下简称定位法）要将每一个部件处于静止状态时调整好，这样调整比较困难。尤其是当整个水轮发电机组吊入机坑安装就位后，轴线的调整需要从发电机主轴到水轮机主轴悬挂四条很长（为时长达十几米）的钢琴线测量整个轴线的位置，以确定机组的中心。这样在整个机件都已吊装的情况下，上下往返测量调整很不方便，也很费时，稍有不慎常会前功尽弃。预装整体调整法（以下简称预装法）除了将部件进行一次预装，以缩短正式安装工期外，对整个机组的调整是使机组转动部分作为  $\theta$  个整体，在能动中进行调整。用盘车的方法代替了排钢琴线的方法，调整快、精度高是最大的优点，而且处理比较方便。所以，预装法比定位法在技术上有很大的先进性。但是，这种方法也有其不足之处。

（1）场地大。预安装及平行交叉作业都需要较大的场地。尤其是第一台机组的安装，常和厂房土建工程平行作业，更使场地紧张。机电设备不能放在露天或受风雨侵袭的地方，安装场地必需具有一定的面积，否则就会影响安装进度。

（2）人员集中。安装采取平行交叉作业多，流水作业相对减少。工期缩短，人员形成高峰。再加以机电设备的生产满足不了安装的要求，或是因计划上的安排，第 1 台机组发电后，间隔很长时间才安装第 2 台机组。使人员集中的矛

盾比较突出。

(3) 需要的起重设备多。一般大中型水电站多装有两台桥式起重机, 主要用于机组安装。有时为了抢进度或是交叉作业, 常在桥式起重机未装好前就开始安装工作, 这就需要临时安装其他型式的起重设备, 没有起重设备就无法进行安装。

### 3.60年代以后

解放后我国水电事业得到迅速的发展, 培养出一批安装技术力量, 形成了我国的安装技术队伍。在实践中对预装法不断进行改革、创新, 取得了很大的成就, 技术上又有进一步提高。例如定子的组装, 原来只能分瓣调整, 在机坑内下线, 影响安装进度, 经过反复计算和试验, 取得了定子整体吊装的成功。预装的部件也愈来愈大, 常把几个部件组装在一起, 一次吊装, 如机架和轴承一次吊装等等。调试技术也得到不断的提高, 轴线的调整原来是刮削推力头, 由于推力头需要加热套装, 往返套装很麻烦, 以后改为刮削绝缘板, 大大改进了调整技术。目前由于机械加工精度进一步提高, 已取消绝缘板。逐渐形成了我国自己的安装技术。

在水电事业不断的发展中, 水电站的建设规模也日趋增大, 单机容量不断增加, 已由50年代100MW以下发展为200、300甚至500MW。这样, 本来已经很庞大的机组更加庞大, 单个部件有的已超过铁路运输的限制, 不得不把有些部件本应在制造厂加工组装的工作移至工地进行, 使安装工作要求更高, 增加了工作量和难度。另外, 由于采用新技术、新设备, 例如电子计算机、屏幕显示、自动巡回检测、自动打印等, 也需要较高的安装技术。这些都使得安装技术人员、工人不但要学习新技术, 更新知识, 而且还要掌

握新设备的性能，学习新的安装技术。随着科学的进步，安装技术也将有更大的改革。

### 第三节 安装技术的展望

目前世界各国水轮发电机组的发展，主要是采用新材料、新工艺、新技术，增加单机容量，改善机组的各种性能，以电子计算机代替人力进行监视、控制、管理、调度，向更高的自动化方向发展。

混流式水轮机是水电站常用的机型之一。过去受使用水头的限制，应用范围不广。目前，在以下几个方面加强了研究提高，使混流式水轮机使用水头从30~40m至300~400m，甚至向600m以上发展，额定容量达600~700MW，效率可达91%~96%。美国大古力水电站第三厂房第二批3台水轮机为716MW；巴西、巴拉圭合建的伊泰普水电站水轮机为715MW；苏联萨扬舒申斯克水电站水轮机为650MW；加拿大丘吉尔瀑布水电站，设计水头312m，单机容量485MW；苏联英古里水电站，设计水头325m，单机容量260MW；印度比阿斯—萨特累季水电站，设计水头320m，单机容量165MW。水头较低的水电站有巴西阿瓜凡梅拉水电站，设计水头57m，单机容量230MW；巴西伊塔帕里六水电站，设计水头50.8m，单机容量250MW。

(1) 电子计算机在水轮机研究及设计上广泛的应用。过去水轮机的研究和设计工作，在很大程度上依靠模型试验取得的成果，水力学的计算仅进行二维空间的研究。近几年来，在水轮机理论分析、水力学计算、模型试验方面发展很快，采用三维有限元法进行设计，以计算机为计算工具，使

水轮机的结构得到大大改进，各种性能得到提高，而且可进行各种优化设计。同时可进行自动设计程序。最近日本东芝公司成功地进行了自动设计程序，将水轮机设计的全部参数输入计算机中，即可自动设计出转轮来，并绘出叶片表面的扭曲图，不但加快了设计进度，而且可以设计出较好的叶片。

(2) 提高比转速和降低气蚀系数。随着水轮机容量的不断增加，要求机组尺寸尽可能地减小，同时可以降低造价。最主要的办法就是提高比转速。比转速 ( $n_s$ ) 是在 1 m 水头下所发生 1 kW 功率的转速

$$n_s = \frac{n \sqrt{N_r}}{H^{5/4}}$$

式中  $n_s$ ——比转速，m·kW；

$n$ ——水轮机转速，r/min；

$N_r$ ——在净水头  $H$ 、全开度下的水轮机出力，kW；

$H$ ——净水头，m。

同一台水轮机，在净水头及水轮机出力不变的情况下，要想减小水轮机尺寸，就必须提高转速，使比转速增大。

水轮机的气蚀系数一般按照同类型机组所测的数值确定

$$\sigma_s = \frac{10 - \frac{V}{900} - H_s}{H}$$

式中  $\sigma_s$ ——气蚀系数；

$V$ ——水轮机安装高程，m；

$H_s$ ——吸出高度，m；

$H$ ——水轮机运行平均水头， $m$ 。

气蚀系数代表着水轮机运行的状况，系数低表示气蚀性能好。在设计和运行时必须保持一定的气蚀系数，以免水轮机发生严重的气蚀现象，破坏正常的运行。

一台水轮机往往由于提高了比转速，使单位时间内的过流量增加，使气蚀情况加重，影响机组的正常运行。在加大过流量的情况下要保持较好的气蚀特性就必须对水轮机叶片的形状、数量加以精确的计算，使其水力流动状况良好，同时对于加工精度也需要严格要求，保证表面光洁，这样就不易产生气蚀。降低安装高度虽然可以改善气蚀状况，但受到一定限制，因为安装高度若降低太多，将增加开挖工作量，给运行带来困难。

(3) 改善制造工艺。高效能的水轮机除了设计好外，制造质量也是主要因素之一。由于水轮机体大且重，加工比较困难，许多部体都采取整体或分瓣铸造工艺，加工工艺就是一项很重要的工作。水轮机过流部件的表面形状及光洁度是保证质量的关键部件，过去大都采用按照样板加工、磨光的工艺方法，形状误差较大，表面较为粗糙。现在可以将加工所需要的数据，输入数控加工机床中去，加工的精度大大提高。

轴流式水轮机的比转速较高，多用在低水头大流量的水电站，比混流式经济。定桨式水轮机多用在小型水电站。转桨式水轮机多用在大型低水头水电站，由于它能根据水头和负荷的变化改变桨叶的角度，效率就比较高。目前，国外最大的机组为南斯拉夫铁门水电机，单机容量为178MW，设计水头27.16m，转轮直径9.5m，转速71.5r/min，叶片6个。我国葛洲坝水电站1、2号水轮机单机容量为



175.5MW, 转轮直径11.3m, 转速54.6r/min, 叶片4个。为目前世界上尺寸最大的轴流转桨式水轮机。

冲击式水轮机多用于高水头小流量的水电站。过去由于效率不高, 单机容量较小, 一般不超过几万千瓦。70年代以后由于采用了多喷嘴, 使单机容量大为增加。目前, 挪威艾德福特西西马水电站, 单机容量为310MW, 设计水头885m, 额定流量  $40\text{m}^3/\text{s}$  喷嘴数为5个, 转速300r/min。挪威艾德福特兰西马水电站, 单机容量257.4MW, 设计水头1065m, 额定流量  $25.7\text{m}^3/\text{s}$ , 喷嘴数5个, 转速428r/min。在结构上过去多采用卧式, 现在发展为立轴式。由于使用多喷嘴, 不但提高了出力, 而且扩大了应用范围。

水泵水轮机是随着抽水蓄能电站的发展而产生的一种新型机组。一般分为可逆式及串联式(或称三机式)两种型式。这种机组可以正反两个方向转动, 正转时作水轮机用, 反转时作水泵用。在正转时将水力转换为机械能, 再经过发电机转换为电能, 发送至用户; 反转时, 从电网中吸取电能, 作电动机运行, 将水抽至上水库, 储存起来, 以备发电时应用。串联式是把单独的水泵、水轮机以及发电电动机串联在一起。不论发电还是抽水, 其转动方向均不变。水轮机与发电机直接联接, 水泵和水轮机用离合器或液力变矩器联接。发电运行时, 水泵脱开; 抽水时水泵联上。这种型式的机组最大优点是转换工况快, 可以很快适应运行的要求, 运行也比较稳定。但是缺点也较大, 同时需要水泵和水轮机, 要有两组不同的管道闸阀, 占地较大, 土建工程量也大, 造价较高。目前国外较大的可逆式蓄能机组是美国腊孔山水电站, 单机容量382MW, 额定水头286m, 水泵最大功率395MW, 额定扬程305m, 抽水流量  $109\text{m}^3/\text{s}$ , 转速300r/min。美国