

水电站技术供水 可调式射流泵

· 陆宏圻 黄孟星 刘景植 译 水利电力出版社

ТЕХНИЧЕСКОЕ
ВОДОСНАБЖЕНИЕ ГЭС
РЕГУЛИРУЕМЫМИ
ЭЖЕКТОРАМИ

PDG

水电站技术供水 可调式射流泵

陆宏圻 黄孟星 刘景植 译

水利电力出版社

(京)新登字115号

ТЕХНИЧЕСКОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕГЭС
РЕГУЛИРУЕМЫМИ ЭЖЕКТОРАМИ

И.М. Гамус

Б.Г. Картелев

Л. И. Ясвонский

Энергоатомиздат

Ленинградское отделение

1986

水电站技术供水可调式射流泵

陆宏圻 黄孟星 刘景植 译

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经营

北京朝阳区小红门印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 3.875印张 83千字

1992年1月第一版 1992年1月北京第一次印刷

印数0001—2100册

ISBN 7-120-01663-6/TV·612

定价 2.50 元

限国内发行

译 序

技术供水系统是水电站重要的辅助设备系统之一。我国的水电站根据其水头情况一般采用自流供水、水泵供水或自流—水泵混合供水方式。近十几年来，我国进行了不可调式射流泵技术供水方案的模型及原型试验研究，并在东江等水电站应用，取得了较明显的经济效益。但不可调式射流泵对水头变幅大的水电站的适应性较差，所以有必要研制新型的可调式射流泵。

为了借鉴国外的经验，进一步提高我国技术供水可调式射流泵的科研、设计及应用水平，使其在水电站的应用取得更加显著的社会效益和经济效益，我们翻译了原苏联的《水电站技术供水可调式射流泵》一书。

本书由И.М.加姆斯,Б.Г.卡尔杰列夫和Л.И.伊斯万斯基合著。书中详细地介绍了水电站技术供水系统的作用及其组成，不可调及可调式射流泵的设计、计算方法，结构设计及制造、装配和运行中应注意的问题，并给出了计算实例。本书还系统地阐述了原苏联萨扬—舒申斯克水电站技术供水模型及原型试验研究的成果，是一本较全面、系统反映原苏联水电站技术供水射流泵科学技术的佳作。本书可供我国从事水电站设计、施工及运行的专业技术人员及科研人员参考。

本书中的个别印刷错误在翻译时已作了订正。

本书的翻译分工如下：黄孟星（序言和第一章），刘景

植（第二章），陆宏圻（第三章）。全书由刘景植统稿，陆宏圻、黄孟星对统稿作了最后审定。张志勇对译稿作了认真的校核。

长江水利委员会设计局，武汉水利电力学院出版部及水利电力出版社对本书的出版给予了很大的支持和帮助，对此表示深切的谢意。

由于水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，热情欢迎读者指正。

1991年8月于武汉

目 录

译 序

原著序言

第一章 水电站的技术供水系统	(3)
1.1 技术供水系统的作用	(3)
1.2 技术供水的方式	(7)
1.3 技术供水方案	(9)
1.4 技术供水系统的组成	(15)
1.5 射流泵经济效益计算实例	(19)
第二章 水射流泵的水力计算和结构设计	(24)
2.1 水射流泵的工作原理及用途	(24)
2.2 不可调式水射流泵的计算	(26)
2.3 可调式水射流泵的计算	(39)
2.4 射流泵的结构设计	(53)
2.5 技术供水射流泵的系列化和标准化	(62)
2.6 射流泵的构造、制造、装配和运行	(79)
第三章 射流泵研究	(86)
3.1 不可调式射流泵原型研究	(86)
3.2 萨扬-舒申斯克水电站可调式射流 泵模型及原型研究	(97)
参考文献	(116)

原 著 序 言

萨扬—舒申斯克水电站(Саяно-Шушенская ГЭС)是世界上最大的水电站之一,其单机容量为720MW。为该电站大型水力发电机组研制一新型的技术供水系统,是列宁格勒28个科研单位科技协议所规定的科技课题之一。

对各种可能的技术供水方案(自流供水、水泵供水和射流泵供水)的技术经济比较表明,利用可调式射流泵进行技术供水,其效益十分明显。这种供水方式的优点是可减少水电站自身的电能消耗,降低设备成本,运行管理、维护简单及维修费用低。萨扬—舒申斯克水电站多年运行结果证明,该系统工作可靠,几乎不需要运行人员巡视。

在28个科研单位的密切配合下,萨扬—舒申斯克水电站的主管设计部门—列宁格勒水工建筑物设计院在短期内顺利地完成了简单而可靠的水电站技术供水系统的设计。列宁格勒金属工厂则提出了一种独特的可调式射流泵计算方法,并确定了其结构形式。在列宁格勒水工建筑物设计院的参与下,原全苏水工科学研究所(ВНИИГ)建立了试验台,并对过流部件可以更换的大比例尺模型射流泵进行了系列试验。此外,还对射流泵的某些部件进行了原型试验。根据试验结果,确定了各种工况下射流泵的过流部件的结构型式、尺寸和结构。

原苏联布拉茨克水电站(Браская ГЭС), 乌斯奇—伊里姆斯克水电站(Усть-илимская ГЭС)及萨扬—舒

申斯克等大型水电站的建设，为大型水力发电机组技术供水系统推广应用先进技术提供了可能。由于进行了大量的设计和科学研究工作，不仅不可调式射流泵的结构日臻完善，而且还研制出一种可调式射流泵。这种可调式射流泵将是未来大型水电站技术供水系统最经济的供水设施。因此，水电站技术供水系统的设计和运行，推广应用可调式射流泵作为水电站技术供水系统的主供水设备是当前一项十分紧迫的任务。

目前，原苏联在不可调式射流泵技术供水系统设计和运行方面的经验并不多，在可调式射流泵的设计和运行方面的经验则几乎是空白，且在有关的技术文献中亦未见有所报导。该技术领域，最新和最著名的著作是由М.Ф.古宾、Ю.Н.戈尔诺斯塔耶夫和К.А.柳比茨基等人撰写的《射流泵在水电站的应用》一书。但该书仅论及不可调式射流泵。同时还应指出，可调式射流泵不仅仅限于在水电站使用，它也适用于涡轮装置、工业热力工程和暖气装置，以及采石时的水力输送等场合。因此，近来人们对射流泵的兴趣日益增长。

作者在多年的工作中积累了大量有关可调式射流泵的资料，这些资料正是本书的基础。本书阐述了可调式射流泵的计算、结构、安装和运行中应注意的问题，并对其系列化和标准化、模型和原型试验研究作了较详细的介绍。

本书第一章由И.М.加姆斯编写，第二章和第三章的3.1节由Л.И.伊斯万斯基编写，第三章的3.2节由Б.Г.卡尔杰列夫编写。

作者对Н.А.阿列克赛得罗夫，Н.В.伊阿申卡，Е.М.柯岗，Л.А.卡尔雷里耶夫和А.А.斯拉维斯基等诸位工程师为该书中资料提供的帮助表示谢意。

第一章 水电站的技术供水系统

1.1 技术供水系统的作用

水电站的技术供水系统既为主要水力动力设备服务，也用来保证辅助设备和电厂公用设施的正常运行。

技术供水系统的用户有水轮机、水轮发电机、主变压器、电厂公用设备等。水轮机部分需要技术供水的部件有：水轮机设有橡胶或合成材料轴瓦的导轴承、采用油润滑的导轴承油冷却器、调速系统、主轴密封和转轮迷宫环密封；水轮发电机需要技术供水的部件有：推力轴承和导轴承油槽中的油冷却器、通风系统的空气冷却器、水内冷定子和转子的水—水式热交换器、励磁系统可控硅整流器的冷却装置；主变压器——由技术供水保证其循环冷却系统油冷却器的正常运行；电厂公用设备需要技术供水的部件有空压机、空调器、润滑深井泵的轴承等。

设有橡胶轴瓦或金属塑料镀层轴瓦的水轮机导轴承的润滑和冷却系统，必须连续供水，即使短时间中断供水，也会导致轴瓦镀层过热和损坏。因此，对于上述导轴承需设置两个独立供水水源，其耗水量取决于水轮机主轴直径，而与水温无关。

· 进入水轮机导轴承的水压力应略高于下游侧的反压力，以便能使水向下游排放。设有橡胶轴瓦的水轮机导轴承的计算冷却水量，由水轮机设备制造厂根据导轴承设计时所进行

的热力计算确定。在水电站初步设计阶段，其计算水量可大致取 $(7 \sim 10) \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$ 。

水轮发电机的空气冷却器设置在定子机座外侧，热空气通过空气冷却器而被冷却。空气冷却器的冷却作用，是由冷却水管内的冷却水与环绕冷却水管的热空气之间进行热交换而实现的。其耗水量取决于水轮发电机的出力和冷却水的温度，即当水源水温发生季节性变化和发电机的负荷发生改变时，冷却水量亦发生变化。

空气冷却器不允许过热或过冷。过热可能会损坏发电机绕组的绝缘，过冷则有可能随着发电机内潮气逸出而使空气冷却器表面结露。考虑到以上所述情况，为保证绝缘材料具有较长的使用寿命，应对空气冷却器的供水量进行自动调节，以便使冷却后的空气维持恒温。根据空气冷却器的强度条件，其冷却水工作压力不应超过 $0.3 \sim 0.5 \text{MPa}$ 。

发电机空气冷却器所需的水量由热力计算确定。其水量可按式 (1-1) 计算：

$$Q_{\text{Bo}} = \frac{0.86 P_{\text{H}} (1 - \eta_{\text{r}})}{\Delta t} \quad (1-1)$$

式中 Q_{Bo} ——供给空气冷却器的水量， m^3/h ；

P_{H} ——水轮发电机额定出力， kW ；

η_{r} ——水轮发电机在额定负荷下的效率；

Δt ——空气冷却器进、出口冷却水的温度差（若进口水温在 20°C 以下时，建议取 $\Delta t = 5^\circ\text{C}$ ，若进口水温超过 25°C ，则取 $\Delta t = 2^\circ\text{C}$ ）。

水轮发电机推力轴承和导轴承的油冷却器设置在相应的油槽内，在油槽里进行最充分的油循环。油冷却器的数量与

冷却水的耗量取决于推力轴承和导轴承中各个分支的摩擦损失及冷却水的温度。水轮发电机负荷的改变，对推力轴承和导轴承的冷却水量几乎不影响。当水源的水温明显变化时，只需按水源水温的季节性变化对水量进行调节即可。

水轮发电机推力轴承油冷却器所需水量，由制造厂家根据热力计算确定。在初步设计阶段，其水量可按式(1-2)计算：

$$Q_{\text{油}} = \frac{10^{-7} \times 8.6AG^{3/2}n^{3/2}}{\Delta t} \quad (1-2)$$

式中 A ——系数，对于伞式发电机 $A=5.0$ ，而悬式发电机，则 $A=3.5$ ；

G ——作用于推力轴承的计算负荷，T；

n ——主轴的额定转速，r/min；

Δt ——油冷却器进、出口冷却水温度差，当进口水温在 20°C 以下时， $\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$ ，当进口水温超过 25°C 时， $\Delta t = 2^{\circ}\text{C}$ 。

根据油冷却器的强度条件，供给油冷却器的冷却水工作压力不应超过 $0.3 \sim 0.4\text{MPa}$ 。

供给水轮发电机导轴承油冷却器的水量约等于推力轴承油冷却器所需水量的 $30\% \sim 35\%$ 。

对于大容量 ($\geq 300\text{MW}$) 立式水轮发电机多半采用定子水内冷系统，而在某些情况下，转子也采用水内冷的冷却方式。中等容量 ($15 \sim 30\text{MW}$) 的卧式灯泡式水轮发电机也采用这种冷却方式。该冷却系统设有外伸的热交换器，在任何情况下都进行循环作业。在热交换器中变热的循环蒸馏水被技术供水所冷却。

热交换器的数量和冷却技术供水的水量取决于技术供水系统内的散热量和最高水温。在传热介质（蒸馏水）循环系统内，设有自动三通调节器，以便使沿水轮发电机线圈流动时被加热的水保持稳定的温度。自动三通调节器可调节通过热交换器使传热介质冷却所必需的循环水量。进入热交换器的技术供水水量一般保持不变，只有在技术供水水源的水温发生季节性变化时才加以调整。采用调节进入热交换器的技术供水水量的方法保持循环蒸馏水为恒温最为经济，但必需使用灵敏的调节器。

变压器的油冷却器借助于冷却技术供水使循环的传热介质（变压器油）冷却。在这种油冷却器中，油在循环水管外流动，而冷却水则在循环水管内流动，循环水管装设在油冷却器内。

油冷却器的设置数量和技术供水水量取决于变压器工作时的散热量和技术供水水源的最高水温。当变压器安装处的气温发生季节性变化时，所需水量也变化，而技术供水水源水温的变化，通常是使所需数量的油冷却器自动投入运行来实现。

考虑到油冷却器的强度，供给油冷却器冷却水的极限工作压力不应超过0.2MPa，且油冷却器内的水压应低于油压，以免当任一油冷却器损坏时，水渗入油中。即使在循环油泵切断时，也应如此。

若供给主变压器油冷却器水温为25℃，那么所需水量可按式（1-3）估算：

$$Q_{TP} = 0.8P_{TP} \quad (1-3)$$

式中 Q_{TP} ——耗水量， m^3/h ；

P_{TP} ——变压器容量，MVA。

若冷却水温不是25℃，则 Q_{TP} 值应引入下表的修正系数：

表1-1 Q_{TP} 值的修正系数表

水温(℃)	30	25	20	15	10	5
修正系数	1.25	1.0	0.87	0.75	0.68	0.63

1.2 技术供水的方式

水电站技术供水系统中的冷却水应满足如下要求。

冷却水的水质对冷却器、水管、滤水器及其它部件的材料不得有腐蚀性；水中不应含有大量的悬移质，尤其不能有带磨蚀性的悬移质，且水温不应超过30℃。

在水电站和抽水蓄能电站的技术供水系统中，一般利用水电站上游或下游的河水作为冷却水。但是当河水含沙量大时，需建专门的沉沙池，或从水工建筑物的反滤层、深井及专门的净水装置取水。当水中存在风类水生物时；为防止技术供水系统管道及其它部件的内表面产生附生物，应采取相应的措施。

水电站的技术供水有以下几种主要方式。当水电站的作用水头为10~60m时，采用从上游自流引水的供水方式；当水头低于10~15m或超过200m时，采用水泵从下游抽水的供水方式；当水头为50~250m时，可采用射流泵供水方式，其工作水流量由上游引入，而吸入流量则从下游抽取；当作用于水电站的水头为60~100m时，有时也采用自流供水方式，但应将水压降至冷却器允许的水压值。一般可利用减压

阀或节流孔板使水压下降。

在某些情况下，采用从混流式水轮机顶盖下的减压腔取水的自流供水方式是适宜的。

当水电站的最小水头在10m左右时，对于设置在上游最低水位或高于上游最低水位处的冷却器，可采用自流虹吸式技术供水方式。在采用这种供水方式的情况下，可用水泵或射流泵使虹吸管充水。但该供水系统中的真空值不应超过0.06~0.07MPa。

当水电站的水头为10~15m或超过50m时，还可以采用自流—水泵混合供水方式。

技术供水系统可以分为以下几类：单台机组供水的单元供水系统；为一个电气单元或者数台机组供水的分组供水系统；为水电站所有机组供水的集中（全厂公用）供水系统。

当水电站的机组台数少于4~6台，其冷却水总量在3000m³/h以下时，特别是在采用水泵供水方式时，选用全厂集中供水方式比较合适。由于结构要求，输水管直径不应超过500~600mm。

对于冷却水量为1000~1500m³/h的大容量机组，特别是在自流供水和射流泵供水情况下，最好采用具有与同一电气单元其它机组技术供水系统互为备用的单元供水方式。

在选择技术供水方式和类型时，首先应注意保证水电站主要水力动力装置运行的可靠性，并在运行费用最低情况下，维护和检修方便。在具体条件下对各种可能的方案进行技术经济比较时，应考虑以下因素：技术供水系统设备的成本及安装费用；包括水泵运行所需的电费在内的运行费用；当采用自流和射流泵供水方式时，从上游引水所损失的电能；是否有安装设备的场地和兴建附加场地所需的费用。

1.3 技术供水方案

技术供水方案应保证水轮发电机组各用户获得连续的冷却供水(见1.1)。并规定取水建筑物应设有备用设施,以便当其中一个取水口,或任何一台泵或滤水器出现堵塞或发生意外事故时,仍能不间断地提供足够数量的冷却水量。

技术供水系统的结构,应能在调试和运行过程中对进入每个冷却用户的水量进行调节,并使连接于同一根干管上的所有冷却器进水均匀。

水泵集中供水的技术供水系统方案(见图1-1)设有3台水泵,2台滤水器。根据水电机组的运行台数和季节(水温),使一台或两台水泵投入运行。另一台水泵则作为备用泵。每台滤水器均按总计算水量设计,并与其干管连

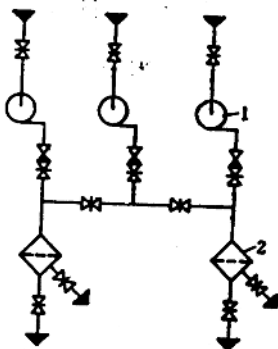


图 1-1 技术供水系统水泵集中供水方案

1—水泵; 2—滤水器

接。正常工况下，两台滤水器和两根干管均运行。必要时可切断一台滤水器和一根干管，使全部供水量由另一台滤水器和另一根干管提供。该方案可充分利用设备，并使正常运行工况下的水力摩阻最小。

单机组自流技术供水方案（见图1-2）包含有两个从蜗壳引水的取水口。每个取水口均设有滤水器。其中一个取水口保证水轮发电机空气冷却器的供水，而另一个取水口则为油冷却器供水。由于每个取水口均按为全部冷却装置供水所需的水量进行设计，故两个取水口可互为备用。

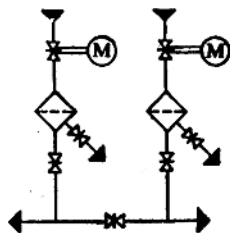


图 1-2 技术供水系统自流供水方案

M—电动机

射流泵单机组技术供水方案（图1-3）设有两个自水轮机蜗壳中引水的取水口1。每个取水口均装有一台可调式射流泵3。用一台射流泵保证空气冷却器的供水，另一台射流泵则用来为定子水内冷热交换器、发电机推力轴承和导轴承、以及水轮机导轴承的油冷却器供水。

为了移动针阀，每台射流泵都附设有可调节（遥控或自动控制）冷却水流量的电力传动装置2。

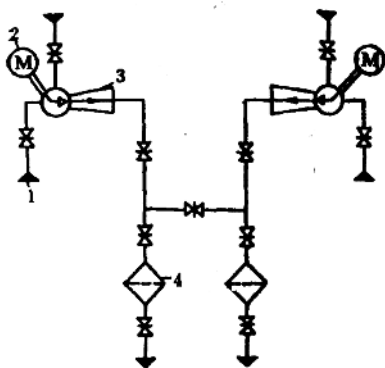


图 1-3 技术供水系统射流泵供水方案

1—取水口；2—电力传动装置；3—可调式射流泵；4—滤水器；
M—电动机

每台射流泵的出水都通过网式滤水器 4 过滤。该系统已考虑到了系统中的任一射流泵可能会与滤水器一起被切断的情况。出现这种情况时，可经另一支路向各用户供水。必要时，还可由同一电气单元相邻机组的射流泵补充供水。

图1-4所示为水轮机导轴承 1 的供水方案。导轴瓦采用水润滑。该系统设置了两台精滤滤水器。滤水器 2 由水轮机蜗壳取水作为主供水；滤水器 4 作为备用，由机组技术供水系统供水。

当供水总管的流量下降到不允许的程度时，流量传感器和液压阀将动作，使备用水管自动投入运行。