

水电站机电设备手册

下 册

Ю. С. 瓦西里耶夫 主编
Д. С. 夏万列夫

吴新润 曲述曾 等译



黑龙江科学技术出版社

水电站机电设备手册

下 册

Ю. С. 瓦西里耶夫 主编
Д. С. 夏万列夫

吴新润 曲述曾 等译

黑龙江科学技术出版社

封面设计：岳大地

水电站机电设备手册

(下)

吴新润 曲述曾 等译

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区建设街35号)

黑龙江省统计局印刷厂印刷

黑龙江省新华书店发行

787×1092毫米 16开本 26.25印张 656千字

1991年9月第1版·1991年9月第1次印刷

印数：1—2500

定价：10.00元

ISBN7-5388-1907-X/TK·11

前 言

本书是苏联莫斯科《核电出版社》出版的,全书共分上、下两册,由苏联科学院通讯院士 Ю. С. 瓦西里耶夫及 Л. С. 夏万列夫教授主编,参加本书编写的主要单位有列宁格勒金属工厂、列宁格勒电力厂及全苏水电设计院等。上册(1988 年出版)介绍了水电站和抽水蓄能电站的基本设备,并列举了苏联及其他国家主要水电设备的参数表,安装和运行方面的经验。

该书(1990 年出版)由《机械及起重设备》、《辅助设备》、《水电站和水力蓄能电站设备的布置》、《安装设备的组织》和《设备运行的组织》等五篇组成。它是一本很好的水电设备设计手册。它对水电站与水力蓄能电站设备的设计制造、安装和运行都是一个很好的参考资料。

他山之石,可以攻玉。我们将此书翻译出版,奉献给从事水电设备的工程技术人员和广大工人及高等院校的师生使用,吸收苏联这方面的成熟经验,开拓我们的思路,更好地促进我国的水电事业的发展。

本书由哈尔滨大电机研究所的专业人员参加译、校、编、审工作。

译者:赵希久(1 章);张世德(2、3、7、16 章);曹春林(4、12 章);孟令元(5、6 章);米毓德(8、9、19 章);李朝东(10、11 章);王民富(13、15 章);董洪元(14 章);曲凤波(17、18 章)。

校者:张世德(1、13、14、15、17、18 章);米毓德(2、3、7 章);钟鉴元(4、8、9、12、19 章);李朝东(5、6 章);吴新润(10、11 章);董洪元(16 章)。

编辑:董洪元、李朝东、栾锡广。

审阅:吴新润。

本书在翻译、出版过程中,得到了哈尔滨大电机研究所领导和有关同志的大力支持和热情帮助,对此我们表示由衷的感谢。

由于编辑出版的时间仓促,加之编者水平有限,难免有不妥之处,深望读者提出批评和意见。

大电机杂志社

1991 年 10 月

目 次

第一篇 机械及起重设备

第一章 拦污栅及其清理设备

- 1.1 拦污栅的布置、安装方法及工作条件 (1)
- 1.2 防止拦污栅结冰的措施 (5)
- 1.3 拦污栅的结构 (6)
- 1.4 拦污栅上水头损失的计算 (9)
- 1.5 清理设备 (11)

第二章 进水闸门、尾水闸门及其操作机构

- 2.1 闸门分类、布置和工作条件 (12)
- 2.2 进水闸门的结构 (13)
- 2.3 进水口使用的工作机械 (14)
- 2.4 尾水管检修闸门的结构及其操作机构 (17)
- 2.5 平面闸门重量及闸门操作力的确定 (22)

第三章 水轮机前的进水阀门

- 3.1 阀门的用途和种类 (26)
- 3.2 蝴蝶阀的结构 (28)
- 3.3 球阀结构 (32)
- 3.4 在水轮机引水管道上阀门的安装位置 (34)
- 3.5 伸缩节、空气阀和旁通阀 (35)
- 3.6 阀门控制系统图 (37)
- 3.7 阀门的水头损失和阀门传动的功率(接力器容量)选择 (40)
- 3.8 水轮机的圆筒阀 (42)

第四章 水电站厂房起重设备

- 4.1 总论 (43)
- 4.2 桥式和龙门式起重机 (44)
- 4.3 小型机械化起吊工具 (49)

第二篇 辅 助 设 备

第五章 水电机组的油料管理与变压器车间

- 5.1 油料管理的作用,油料的种类 (53)
- 5.2 油的消耗量、容积和使用期限 (55)
- 5.3 油料的处理 (56)
- 5.4 变压器车间 (63)

5.5 油料管理间的总体布置.....	(63)
第六章 压缩空气的管理	
6.1 压缩空气的使用对象.....	(68)
6.2 压缩空气管理系统图.....	(73)
6.3 设备选择的计算.....	(76)
6.4 压缩空气装置的设备.....	(80)
6.5 压缩机装置的总体布置.....	(85)
第七章 技术供水	
7.1 冷却水的需求地点.....	(88)
7.2 技术供水方法和系统的选择.....	(92)
7.3 技术供水的水力计算.....	(97)
7.4 技术供水用的设备.....	(104)
第八章 技术设备的消防供水	
8.1 自动消防灭火的对象.....	(111)
8.2 消防供水系统的选择.....	(113)
8.3 供水系统的设备.....	(114)
8.4 消防供水自动化.....	(117)
第九章 水轮机通道和排水井的排水	
9.1 排水装置的用途.....	(118)
9.2 排水方案的选择.....	(119)
9.3 水泵站设备的选择.....	(121)
9.4 检验测量仪表.....	(123)

第三篇 水电站和水力蓄能电站设备的布置

第十章 苏联水电站和水力蓄能电站设备的主要参数和布置	
10.1 水轮机主要参数	(176)
10.2 水轮发电机和发电电动机的主要参数	(198)
第十一章 蓄外水电站、水力蓄能电站和潮汐电站水力机械的主要参数	(213)

第四篇 安装设备的组织

第十二章 安装场地	
12.1 安装场地的尺寸和位置	(241)
12.2 专用线路和设备存放库	(244)
12.3 起重机起重量和数量的选择	(247)
12.4 专用设备	(249)
第十三章 水轮机的安装组织	
13.1 安装组织的设计	(251)
13.2 埋入部分的安装	(253)

13.3	工作机构的安装	(253)
13.4	设备安装技术文件	(257)
13.5	水轮机验收、运行和维护的国际规程(国际电工委员会标准 545 号出版物,1976)	(258)
13.6	水电机组起动前的调整工作	(259)
13.7	关于水轮机、水泵和可逆水泵水轮机振动和脉动测量的国际规程.....	(261)

第十四章 立式水轮发电机的安装组织

14.1	基本状况	(264)
14.2	转子装配	(264)
14.3	定子装配	(266)
14.4	在机坑内装配发电机	(266)
14.5	发电机起动前的准备工作	(267)
14.6	发电机带负荷情况下成套试验	(268)

第十五章 检修厂和辅助设备的安装

15.1	对便于维修性的要求	(269)
15.2	检修厂	(270)
15.3	动力配置和可移式工具	(273)
15.4	辅助设备的安装	(274)

第五篇 设备运行的组织

第十六章 水电站的设备运行

16.1	对设备性能的运行要求	(276)
16.2	水力枢纽未竣工条件下设备交付使用的主要要求	(276)
16.3	设备投运验收的基本原则	(277)
16.4	设备运行的组织	(278)
16.5	设备检修组织	(280)
16.6	水电站技术发展规划的基本原则	(282)

第十七章 水流状态检测系统 (283)

第十八章 水电站及水力蓄能电站水电机组及辅助设备运行的自动化

18.1	自动化的基本原则	(288)
18.2	自动化的范围	(290)
18.3	水电机组自动化系统图上的符号意义	(293)

第十九章 水电站和抽水蓄能电站操作过程的自动控制系统的建立原理

19.1	水电站与蓄能式电站自动控制系统建立和前提条件	(293)
19.2	系统所要解决的主要任务与用途	(295)
19.3	信息准备于系统	(295)
19.4	作业——操作控制于系统	(298)
19.5	生产——操作控制子系统	(300)

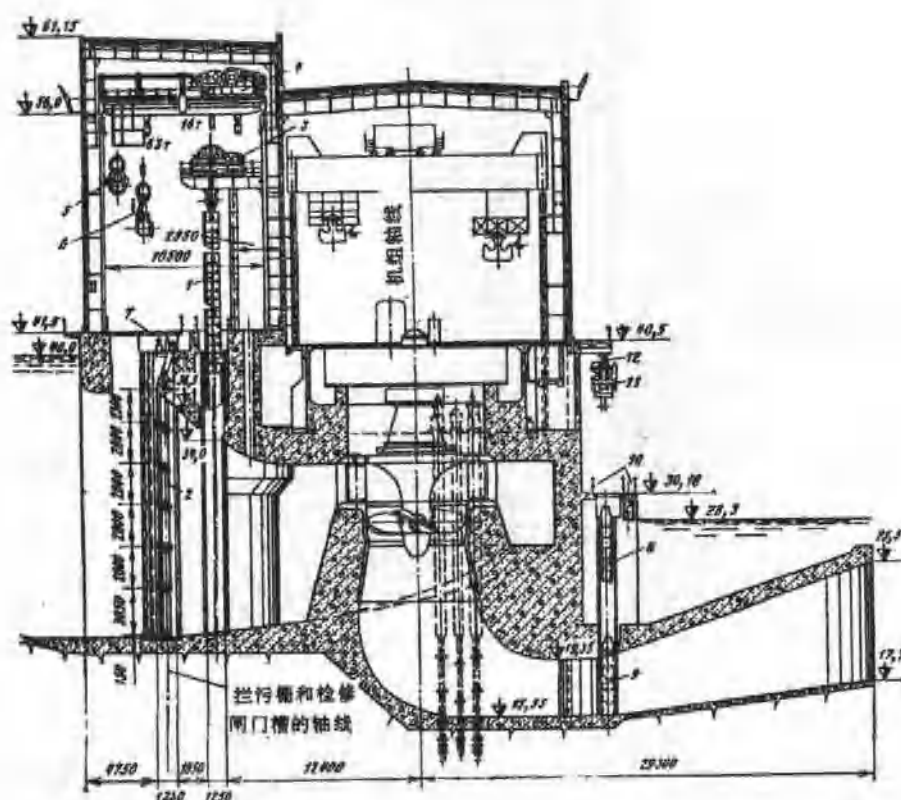
19.6	水电站操作过程自动控制系统的技术准备	(301)
19.7	程序软件的总体结构	(303)
19.8	水电站操作过程自动控制系统研究示例	(304)
19.9	控制系统的远景构思	(310)

第一篇 机械及起重设备

第一章 拦污栅及其清理设备

1.1 拦污栅的布置、安装方法及工作条件

拦污栅用于保护水发电机组免遭漂浮物或者水流底部的各种物体(冰、垃圾、沉下去的木材、泥岩碎石等等)的损害。在水电站,通常把拦污栅装设在进水口(图 1.1)处,或者直接安装在进水口前凸出的支架上(图 1.2)。



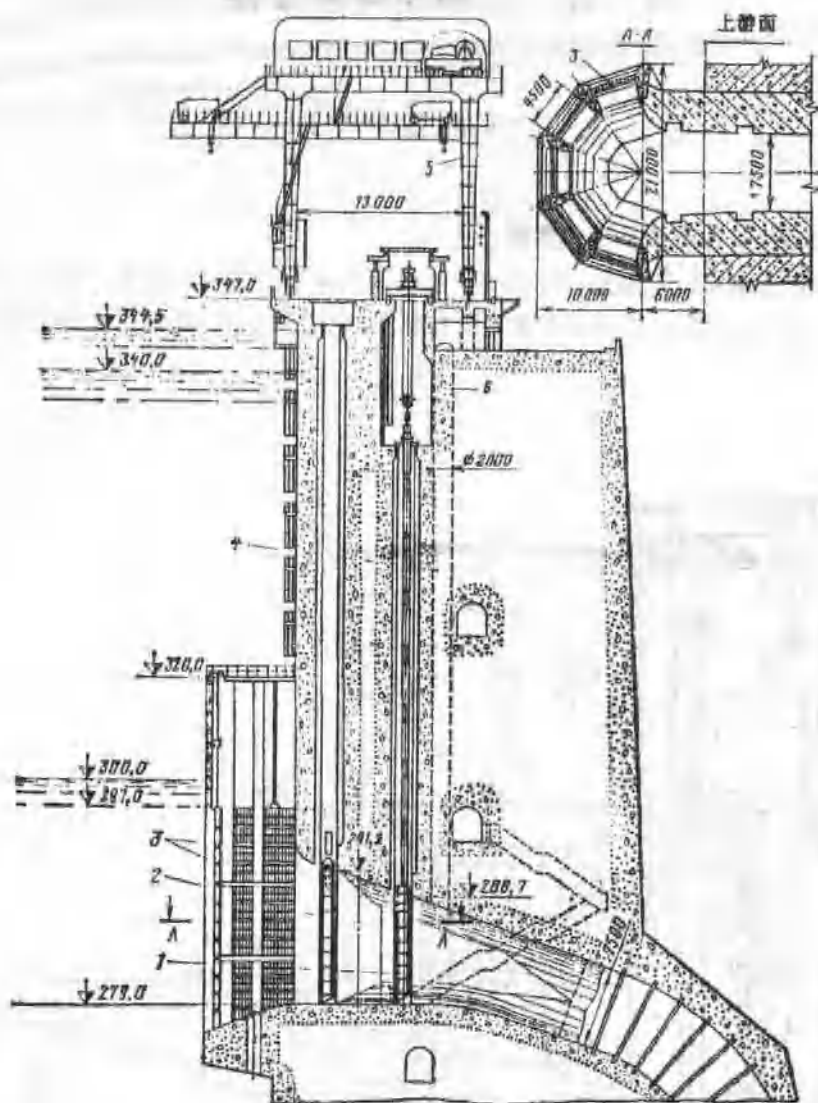


图 1.2 拦河坝式水电站进水口的机械设备

1—事故检修平板式滑动闸门 7.5—9.66—61(第一部分数字表示被封闭孔口的宽度,第二部分数字表示它的高度,第三部分表示计算水头或表示在拦污栅上的压降,m) 2—平板式检修滑动闸门 8—12.2—61 3—拦污栅 4.48—21—2 4—通气管 5—龙门式起重机的起重重量 500/63/5t 6—液压传动装置 1800—5000—0—10.5(这连续数字中,第一部分为起重时的牵引力,kN;第二部分为下降时的抓紧力;第三部分为下降时的挤缩力;第四部分为液压缸的行程,m)

值得注意的是单独分设的拦污栅结构(图 1.3),由于增大了拦污栅的面积和消除了液流流经洁净的拦污栅时所造成的扭曲,从而能显著地减少拦污栅中的水头损失。此外,在这种情况下,不停机,可清理拦污栅。这在洪水期尤为重要^[5]。

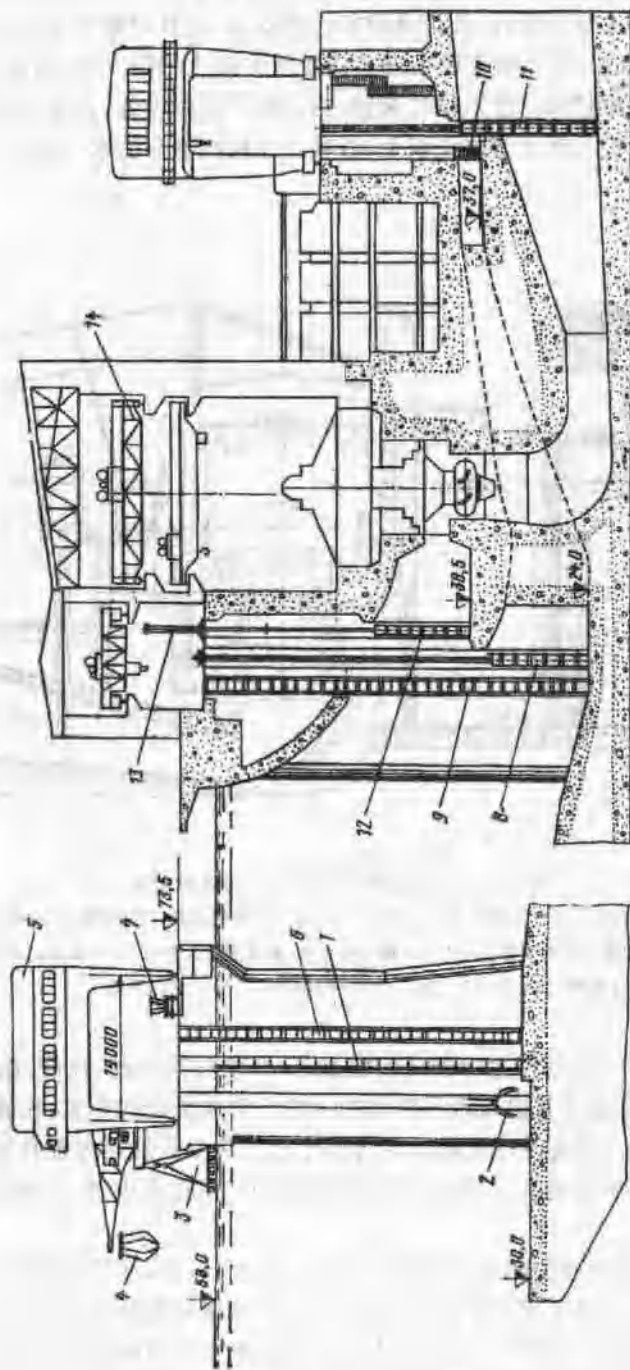


图 1.3 有拦污栅并兼有深水泄水道的河床式电站的机械设备

- 1—拦污栅 2—全跨距抓斗 3—捕捞网 4—<波里度>型抓斗 5—龙门式吊车,起重量 $2 \times 125t$
6—防护闸门 7—盛垃圾的容器 8—泄水建筑的事故闸门 9—检修闸门 10—底孔泄水道的工
作闸门 11—尾水管的检修闸门 12—进水口的事故检修闸门 13—事故检修闸门的液力传动装置
14—桥式吊车

在加长的支墩槽中(图 1.4)安装拦污栅的结构,不需要采用专门机构的方法,是另外一种比较经济的解决方案。在支墩上设有窗孔,无论是对拦污栅本身,还是对整个水电站,均可保证有利的运行条件^[1]。在蓄能式水电站,拦污栅装设在进水口及尾水管处(图 1.5)。当蓄能式水电站以水泵工况运行时,尾水管的拦污栅将防止吸入垃圾杂物,用以保护机组设备。在水轮机工况,通常使用专门机构,将尾水管的拦污栅提升到下游水位以上,以减小水轮机部分的水力阻力。拦污栅分段制造,而最后将其连接成整体。

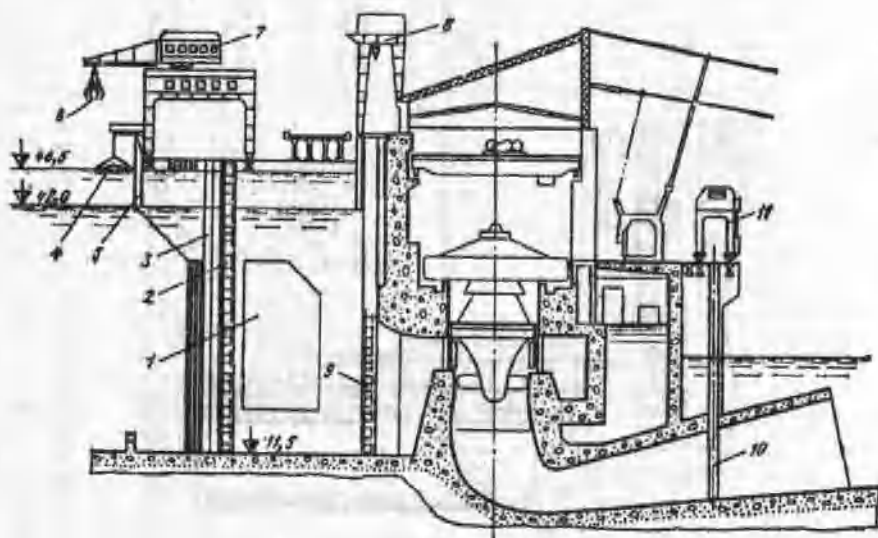


图 1.4 河床式水电站进水口的机械设备

- 1—支墩中的贯穿窗孔 2—拦污栅 10.5—34.5—1 3—双顎板式抓斗的滑槽 4—捕捞网 5—防护墙 6—<波里波>式四顎板抓斗 7—龙门式吊车,起重量 $2 \times 200t$ 8—半龙门吊车,起重量 $2 \times 150t$ 9—事故检修闸门,9.5—17—34.5 10—检修闸门 11—龙门吊车

在水电站运行过程中,定期将拦污栅从门槛提起,以便对其检查、检修、涂漆、清理污物及腐蚀物。在水电机组停机时,利用夹紧梁或者吊杆将拦污栅以整体装配的形式,在静水中,降入门槛或者从门槛提起,使用夹紧梁以装配的形式起吊拦污栅比起吊其分段的拦污栅有更大的可靠性。因为它与拦污栅只是一次挂吊,所以夹紧梁可能失灵的次数最小。除此之外,在这种起吊中,花费的时间较少。

拦污栅是分段运到仓库或防腐保护场地。因此,在起吊以后,把拦污栅分解成几段。

拦污栅既可垂直安装,也可倾斜安装。若进水口和拦污栅可能被沉没的木材、泥煤等堵塞时,采用垂直安装的拦污栅是比较方便的。因为这有可能利用进水口机械设备上的抓斗进行清理。若拦污栅有可能被各种不同的细碎的垃圾阻塞时,倾斜放置的拦污栅可以较大地提高拦污栅清理机的工作效率,因此,采用倾斜安装拦污栅是比较合理的。此外,当拦污栅前的水流速度相同时,倾斜放置的拦污栅比垂直放置的水力阻力要小一些。

垂直布置的拦污栅的造价与倾斜布置的拦污栅的造价相比较,多少要低些。同样的理由,可以把垂直布置的拦污栅安装在检修闸门槽内,这是比较便宜的。但在电站运行中,这种情况将出现一些不方便。

安装在不同类型电站上的拦污栅,其结构没有原则性的差别,但是,它们的工作条件是不一样的,即取决于种种的水工总体布置,决定于封闭洞孔的尺寸,在很大的程度上又决定于进水口的淹没深度。根据这个特点,可以把所有的拦污栅分为两类:低水头河床式和引水式电站进水口的拦污栅和坝后式电站进水口的拦污栅。

第一类拦污栅,既可垂直布置,也可倾斜布置,有时把其做成带加温的,预先规定定期清除拦污栅的垃圾。第二类拦污栅通常垂直布置。因为它淹没深度很大,勿需加温和清理(仅在拦污栅吊出高于上游水位的情况下,才进行清理)。

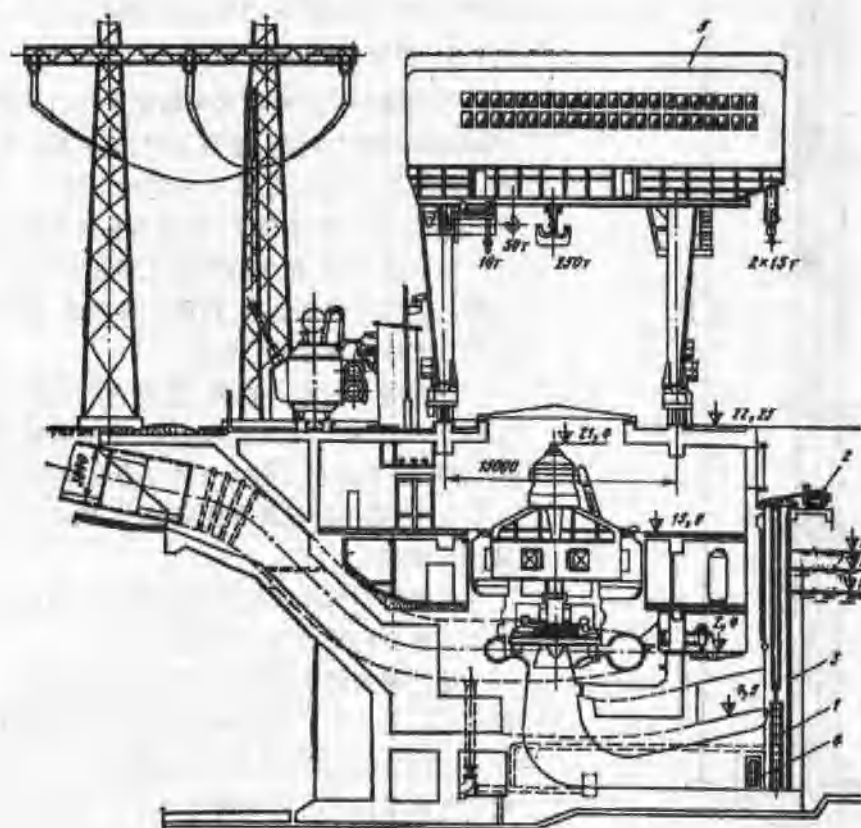


图 1.5 蓄能式水电站的机械设备

- 1—拦污栅 8-3.7-3 2—固定的提升机构,起重量 $2 \times 10t$ 3—检修闸门及拦污栅的置入部分
4—密封门 5—龙门吊车起重量 $250/50+2 \times 16+10t$

1.2 防止拦污栅结冰的措施

在冬季运行期间,拦污栅的加温是防止过冷的水冻结在拦污栅上,以及冰凌附着在拦污栅前的可靠措施。但加热并不能停止在拦污栅周围已经开始的结冰过程,并融化在拦污栅上形成的冰凌,而仅用于在拦污栅表面维持正的温度(不低于 $0.01 \sim 0.03^{\circ}\text{C}$),以保证冰凌通过拦污栅而不致着在栅前。加温同样也不可能防止拦污栅被漂浮的薄冰所堵塞。因此,当拦污栅在冬季运行时,采用加温与下述方法相结合,即与最大限度的缩短结冰期或在上游通过在极短的时间内形成稳定的冰覆盖层,从而消减冰凌的方法相结合,可以达到最佳的效果。

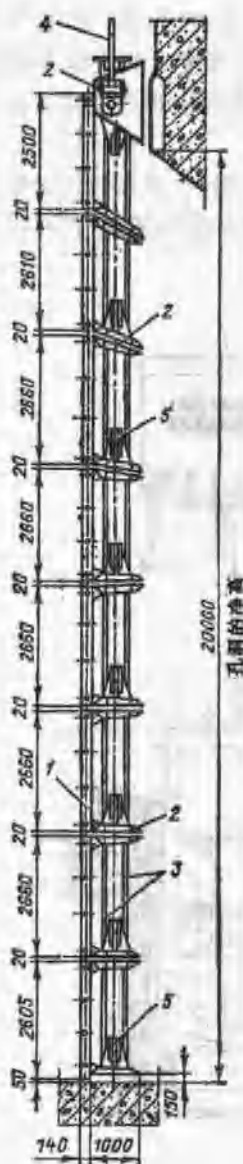


图 1.6 由未超限分段组成的拦污栅

1—拦污栅的栅条 2—横梁 3—支柱 4—与夹紧梁相连接的枢轴 5—框架的刚性支撑

电加热是拦污栅加温最广泛采用的方法。常用的电加热有母线的,感应的,混合的三种型式。

电加热结构的热计算,按对所有类型的电加热均通用的公式进行。在确定电加热的功率时,要将它的计算值增大 30~50%。

除了前述的防止拦污栅结冰的方法外,也还采用机械的除冰办法,用来除去栅条表面的冰。同时,也还利用该种机械清除拦污栅上的污物(见 1.5 节)。

1.3 拦污栅的结构

不加温的拦污栅在水电站的进水口采用带实心零件构成框架的拦污栅,是最合理的。它具有在垂直平面内,液流流入角改变很少的特性(在 $0^\circ \sim 10^\circ$ 的范围内),因此,在此种条件下,保证水头损失最小。

沿高度方向,拦污栅可由几段组成(图 1.6),而单元相互之间是铰接而成。每段拦污栅是由拦污的栅条,框架及支承一行走部分组成。

在栅条上的水头损失,接近于拦污栅上总水头损失的 30%。为了减少水力损失,通常采用绕流型的栅条,该种栅条的水力阻力比方形断面栅条的水力阻力小 $2/3$ 。当栅条按流线方向安放时,栅条的水力阻力将减少几倍(图 1.7)。

这样的结构比较昂贵,制造复杂,但这可由拦污栅中水头损失的减少得到补偿。

通过栅条的水流,既作用于栅条的纵向,又作用在栅条的横向。为了保证栅条在静载及动载下稳定地工作,栅条之间用螺杆将几块连成组段。在这种情况下,螺杆间的节距尺寸不应超过 600~700mm。栅条间的净距离的选择方法是,它应不超过水轮机叶片间的最小开口。栅条间的净距大致采用 60~200mm 范围内^[2],它与水轮机的尺寸、型号有关。对于轴流转桨式和定桨式水轮机,推荐距离等于 $1/20D_1$ (D_1 为转轮直径),但不大于 200mm;对于混流式和斜流式水轮机,推荐采用 $1/30D_1$,但不能大于 100mm;对于水斗式水轮机,由 20 到 65mm,相当于喷嘴的出口直径。栅条间精确净距的选择,按与水轮机设备供货厂的协议进行。

由空腹元件构成骨架的拦污栅,在最近得到广泛的应用(图 1.8)。这样的拦污栅成功地用于水库消落大的水电站上,因为水流的倾斜($\alpha \geq 10^\circ$)流入空腹横

梁的水力阻力比工作在类似工作条件下实体横梁的水力阻力显著减少。

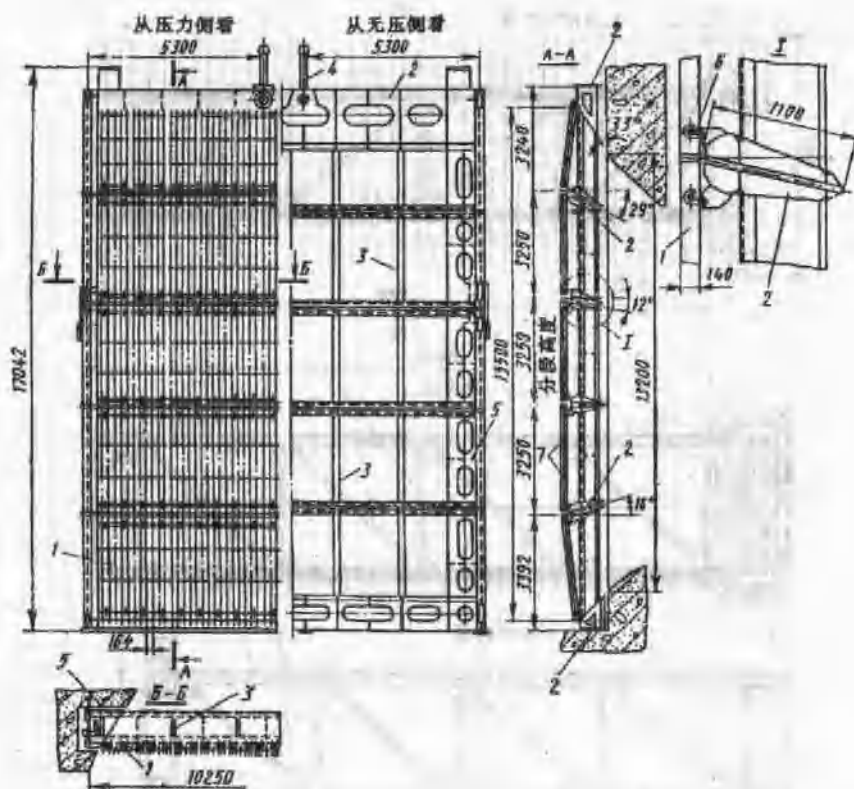


图 1.7 由超限分段组成的拦污栅

1—拦污栅的栅条 2—横梁 3—支柱 4—与夹紧梁相连接的枢轴
5—支柱的端部支撑 6—拉紧螺栓

电加热的拦污栅 带有母线式加热器的拦污栅,具有十分简单的结构。彼此之间及与骨架之间相互绝缘的栅条本身就是载流子。这样的拦污栅,在水库消落时,其上部分处于空气介质的情况下也可以运行。

在具有感应式加热器的拦污栅中,加热是利用拦污栅钢制零部件中,通过由磁场感应的涡流循环所释放出的热量来实现的。当沿嵌装在拦污栅中空零部件内的绝缘导线,通过交变电流时,则形成了磁场,拦污栅零部件的侧壁即被涡流加热。

感应加热的拦污栅与母线式加热的拦污栅是有差别的,把栅条焊接在横梁上,而无横向的联系,所以加热的效率高些。但是跨距大于 3m 的栅条,不能很好地承受水力动载荷,从而在有些情况下,导致栅条折断。

运行实践表明,为了有效地防止拦污栅结冰,采用感应加热的功率是不够的。

混合加热式的拦污栅中,包括有栅条的母线式加热和骨架的感应式加热。这种拦污栅的优点如下

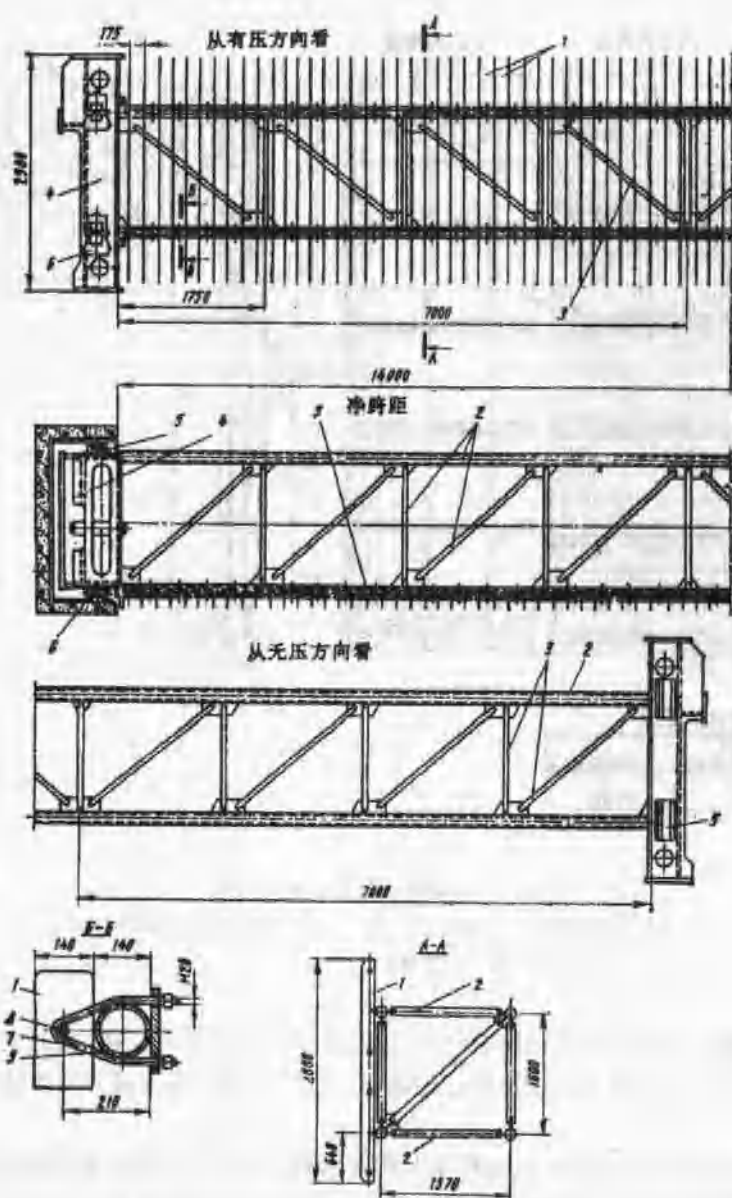


图 1.8 由空腹元件构成骨架的拦污栅分段

1—拦污栅的栅条 2—横梁 3—刚性支架 4—支柱的端部支撑 5—支承—行走部分 6—反向缓冲支承 7—地脚螺栓 8—螺杆 9—由管子制成的横梁框架的上部板

除栅条加热外,骨架也同样加热(与母线式加热的拦污栅相区别);
采用了结构较简单的栅条,而栅条承受的动载荷作用较小(与感应式加热的拦污栅相比)。

1.4 拦污栅上水头损失的计算

确定拦污栅上的水头损失,无论是对确定水轮机的计算水头,还是及时采取必要措施,如清理拦污栅或者是当结冰时,闭合加热器等都是有意义的,按下列公式确定水头损失

$$h_{\text{loss}} = \sum \zeta_p \frac{v^2}{2g}$$

式中 ζ_p ——拦污栅的水力阻力总系数,它与结构总件遮蔽工作面积的程度有关,和它的形状及水流方向有关

v ——拦污栅前的平均流速

根据文献[1],对实体骨架构成的拦污栅,按不同的计算公式计算的水力阻力系数,与真机的模型的厂家相比较表明,阿·弗·布利柯夫和斯·阿·究柯娜雅的公式给出了最近似的结果。这个公式具有鲜明的物理意义,除速度系数 φ 外,不包含经验系数。阿·弗·布利柯夫和斯·阿·究柯娜雅公式有如下形式

$$\sum \zeta = \left(\frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) \left(\frac{1}{1 - C_p - C_s} \right)^2 + \psi \left(\frac{1}{1 - C_p - C_s} - 1 \right)^2$$

式中 $\varphi = 0.97$ ——速度系数

$C_p = \omega_p / \Omega$ ——用结构部件所表示的拦污栅的遮蔽系数。

Ω ——被拦污栅遮盖的洞孔面积

ω_p ——拦污栅的遮蔽面积

$C_s = \omega_s / \Omega$ ——拦污栅部件排挤液流的系数,其值等于 0.06~0.08

ω_s ——拦污栅部件排挤液流的总面积

ψ ——在突然扩散时的水锤完备程度系数,等于 1.1~1.2

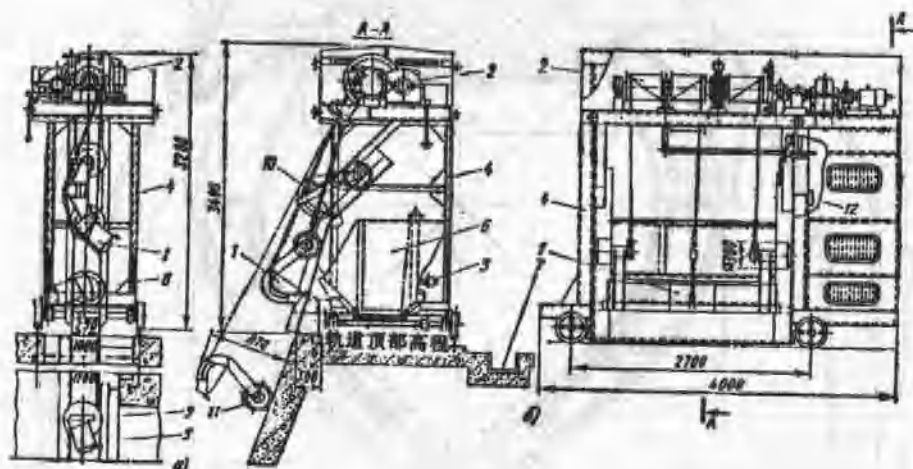


图 1.9 清理栅机

a—垂直式的 b—倾斜式的

1—铲斗 2—铲斗的提升和转动机构 3—行走机构 4—操作员控制室的入口和收集垃圾的仓斗
5—拦污栅的栅条 6—仓斗 7—敷设电缆槽 8—铲斗在下降和卸去垃圾污物时的位置 9—铲斗在清理拦污栅的位置 10—铲斗在卸去垃圾时的位置 11—铲斗在卸荷位置 12—操作台