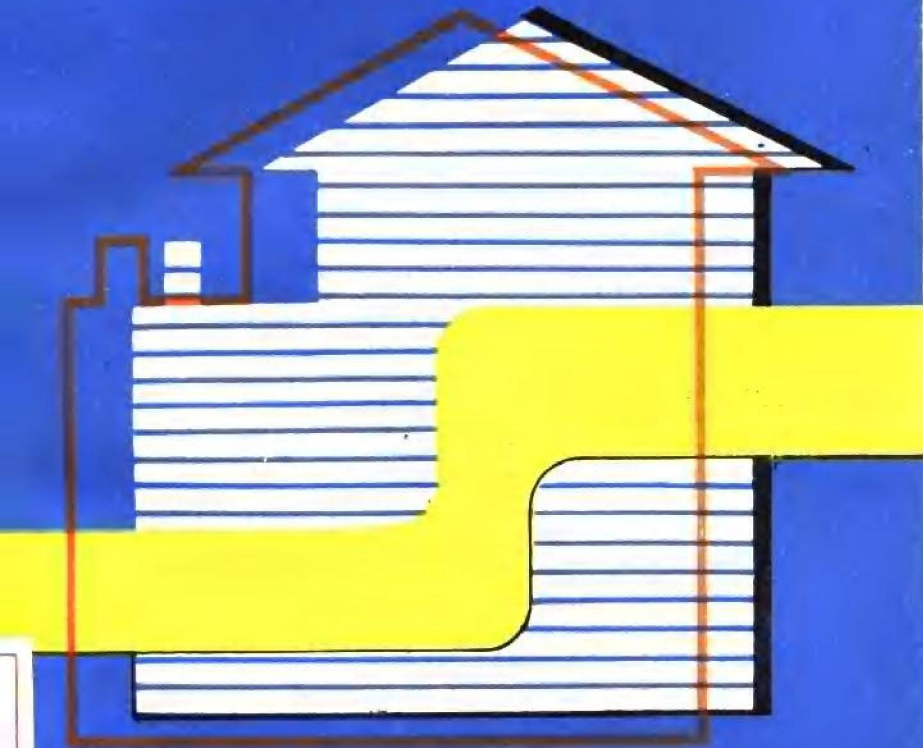


水泵及水泵站

田家山 主编



上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书是高等学校农田水利工程、环境工程等专业的必修课教材。全书共分十四章，主要内容为：水泵基本理论及工作性能；正常及反常运行工况；气穴与气蚀问题；机组振动；过渡过程；泵站规划；进、出水建筑物；泵房设计等。

本书亦可作为有关专业的教学参考书和大专教材，并可供从事泵站工程设计、施工、运行、管理的有关技术人员参考。

水泵及水泵站

出 版：上海交通大学出版社

（淮海中路1984弄19号）

排 版：浙江上虞汤浦印刷厂

发 行：新华书店上海发行所

印 刷：江苏常熟印刷二厂

开 本：787×1092(毫米) 1/32

印 张：13.75

字 数：307000

版 次：1989年4月第1版

印 次：1989年5月第1次

印 数：1—2600

科 目：189—266

ISBN 7—313-00394-3 / TK·7

定 价：2.70 元

前 言

在我国关于水泵及水泵站学科的教材和参考书,一向很少,而各个高等院校需要应用这种教材的相近专业却相当多。因此,编写和出版更多的具有不同风格、不同特色的教材和参考书,以满足教学需要和适应当前教学改革的要求,成为广大教师和科技人员义不容辞的责任。本书是在这种情况下根据农田水利工程专业的教学大纲,并参照其他相近专业的要求,进行编写的。

本书在编写时,对以往的教学和教材进行了总结,在内容上作了精选,加强了基本理论、基本概念和基本方法的阐述,同时重视理论联系实际,并注意反映国内外新的科学技术成就。对一些陈旧的、过时的、或者能通过其他教学环节即能获得的浅显易懂的内容,作了舍弃。在水泵部分加重了流动分析基础,增加了反常工况下的运行、水泵气穴机理的评述、抽水机组的振动和噪声、起动过渡过程计算等新的内容。在泵站部分加强了进、出水流态的分析和建筑物设计理论和方法的阐述。全书注意了水泵与泵站之间的紧密联系。

本书在编写过程中,得到许多单位的支持和协助,在此致以诚挚的谢意。

本书由河海大学田家山主编,参加编写的有:田家山(第一、二、三、五、六、七、八章);仲付维(第四、九、十二、十四章);黄广礼(第十、十一、十三章)。全书由刘大恺教授主审,提出了许

多宝贵的意见，特此致谢。

由于编者水平所限，书中难免存在缺点和错误，欢迎读者批评指正。

编者

1988年8月

目 录

第一章 概论	(1)
§ 1-1 水泵站的作用与组成	(1)
§ 1-2 国内外泵站建设的概况和发展趋势	(4)
第二章 水泵类型与结构	(13)
§ 2-1 泵的定义与分类	(13)
§ 2-2 叶片泵的构造	(14)
§ 2-3 抽水装置	(25)
§ 2-4 水泵的工作参数	(28)
第三章 泵内流动分析与基本理论	(34)
§ 3-1 泵内液体的流动现象	(34)
§ 3-2 流动理论模型	(40)
§ 3-3 水泵基本方程	(43)
§ 3-4 轴流泵升力理论	(53)
第四章 水泵性能及换算	(64)
§ 4-1 对理论性能曲线的分析	(64)
§ 4-2 基本性能曲线	(67)
§ 4-3 水泵中相似理论的应用	(71)
§ 4-4 相对性能曲线	(81)
§ 4-5 全工况(四象限)性能曲线	(84)
第五章 水泵运行工况与调节	(92)
§ 5-1 水泵工作点	(92)

§ 5-2	水泵串联与并联运行	(104)
§ 5-3	水泵在分支和汇合管路中的运行	(109)
§ 5-4	水泵工况的调节	(112)
第六章	水泵在反常条件下的运行	(125)
§ 6-1	水泵并联系统中一台或全部失电运 行情况	(125)
§ 6-2	水泵串联系统中一台或全部失电运 行情况	(130)
§ 6-3	水泵作水轮机运行	(132)
§ 6-4	水泵反向抽水运行	(135)
§ 6-5	水泵事故停机时反转飞逸转速的计 算	(138)
第七章	水泵中的气穴与气蚀	(141)
§ 7-1	气穴机理概述	(141)
§ 7-2	水泵中气穴类型及危害	(147)
§ 7-3	气穴基本方程式	(154)
§ 7-4	气穴余量的计算	(159)
§ 7-5	气穴相似律与气穴比转速	(164)
§ 7-6	泵的几何吸上高度	(168)
§ 7-7	防止气穴及抗气蚀措施	(171)
第八章	机组振动与噪声	(173)
§ 8-1	机组产生振动的原因	(173)
§ 8-2	水力振动	(176)
§ 8-3	机械振动	(189)
§ 8-4	噪声	(202)
第九章	水泵装置的过渡过程	(215)

§ 9-1	机组起动过渡过程	(215)
§ 9-2	停泵水锤分析	(222)
§ 9-3	停泵水锤计算	(228)
§ 9-4	防护措施	(245)
第十章	泵站工程规划	(247)
§ 10-1	灌、排区的分区、分级	(247)
§ 10-2	泵站设计参数的确定	(254)
§ 10-3	机组选型	(263)
§ 10-4	泵站枢纽布置	(269)
第十一章	进水建筑物	(277)
§ 11-1	取水及引水建筑物	(277)
§ 11-2	前池	(285)
§ 11-3	进水池	(292)
§ 11-4	进水流道	(304)
第十二章	泵房	(316)
§ 12-1	泵房结构型式及适用条件	(316)
§ 12-2	泵房内部布置及主要尺寸拟定	(335)
§ 12-3	泵房整体稳定校核	(349)
§ 12-4	主要构件设计方法及受力分析	(357)
第十三章	出水建筑物	(378)
§ 13-1	出水流道(出水室)	(378)
§ 13-2	虹吸式出水管	(381)
§ 13-3	高扬程泵站的压力水管	(388)
§ 13-4	出水池	(402)
第十四章	其他类型泵及泵站	(414)
§ 14-1	井泵及井泵站	(414)

§ 14-2 水轮泵及水轮泵站(421)
§ 14-3 移动式泵站(430)

第一章 概 论

§ 1-1 水泵站的作用与组成

一、水泵站的作用及地位

水泵站又称抽水站,它是应用动力机驱动水泵进行抽水、增压,并通过一系列建筑物进行输水的工程设施。常用于以下各领域。

农田灌溉和排涝 在无法自流引水灌溉、排涝的地区,或在兴建自流灌、排工程不经济的地区,常需建造泵站自水源抽水灌溉或排涝。按照泵站的作用,可以分为灌溉泵站、排水泵站、排灌结合泵站等类型。这部分泵站的数量和总装机容量,在我国国民经济各部门的泵站中,所占的比重最大。

跨流域调水 随着工、农业生产的发展和人民生活水平的提高,在某些区域水资源不够应用,而在另一些区域水资源富裕,则可在流域间进行水资源的调剂。这就需要兴建跨流域调水工程,而在工程中常要建造若干梯级泵站,逐级翻水越过分水岭。这些泵站的规模和装机容量一般是很大的。

城市给水及排水 在市政建设中,泵站是给、排水工程必要的组成部分。城市中水的循环是应用一系列不同功能的泵站来完成的。在给水系统中,取水泵站从水源抽水输送至水厂,净化后的清水由送水泵站输送到城市管网中去。在排水系

统中，生活污水和工业废水经排水管渠汇集后，由排水泵站将污水抽送至处理厂，经过处理后的污水再由排水泵站排放至容泄区。此外，还有专门抽送雨水、污泥等各种用途的泵站。

工厂、矿山的供水及循环水 在电力部门，无论是在火电站或核电站中，从高压锅炉供水起，一直到冷热水的循环、水力清渣除灰以及冷却水的补给等都必需建造泵站来完成。在矿山中，竖井的井底排水，矿床的地表疏干以及掘进斜井的初期排水等，也需要建造一系列相应的泵站来满足整个采矿工程的需要。

抽水蓄能 这种泵站是利用电网非峰荷期多余电力，抽水入调节水库贮存，在峰荷期缺电时放水发电，以增加电力的供应，发挥了抽水蓄能的作用。

其他用途 如输油管的加压站，船坞的排水泵站，渔场的换水泵站等。至于水泵和水泵装置，广泛应用于所有国民经济的各个部门。

二、泵站建筑物组成

各种泵站的用途虽然不同，但其组成建筑物(或称构筑物)基本相同，一般有：取水、引水建筑物；前池及进水池(或吸水室)；拦污设备；泵房(或机房、厂房)；主机组及辅助设备；出水、泄水及分水建筑物；电力泵站还设有变电站；此外还有交通及附属建筑物等。这些建筑物组成了泵站枢纽工程。

各种建筑物在枢纽中的作用如下：

取水建筑物 建于水源岸边或水中，结构型式有取水头部、进水闸、进水涵洞等。其作用是取水、防沙、防洪、调节流量、控制水位以及检修时断流。

引水建筑物 有引水管、明渠或河道等,其作用是自水源引水至前池或集水井,并创造良好的水流状态。

前池、集水井 是引水建筑物与进水池的联结段,其中水流应该平稳,无强烈的回流和旋涡出现,必要时应设置导流、消涡措施。

进水池 又称吸水室,大型泵站的进水流道也属于同一类结构,其作用是供水泵进水管或水泵直接吸水。因此,进水池和进水流道中的流态,对水泵吸水性能及装置效率影响较大,必须特别注意。

泵房 又称机房、厂房,是安装主机组、辅助设备及电气设备的建筑物,它为机组运行和工作人员提供良好的工作环境。泵房结构型式主要由主机组类型及装置方式、泵房地基及水文地质条件、前池水位变幅等各种因素所确定。如果是河床式(或堤身式)泵房,还应考虑挡水结构。

主机组 包括水泵、传动设备及动力机,是泵站的核心,所有建筑物和辅助设备都要为主机组安全、正常、高效运行创造良好的条件。在泵站规划、设计时,对主机组的选型,应予以充分的论证。为此,应对水泵的结构、性能、运行工况有深刻的认识。

管道 进水管道又称吸水管,出水管道又称压力水管,在高扬程泵站中为了节省出水管道的投资,或在给水泵站中为了调配管网的出水量和压力,往往将出水管进行并联。管道上设置必要的附件,如滤网、底阀、异径接头、三通、叉管、逆止阀、闸阀、伸缩节、拍门、水锤消除器、通气管、真空破坏阀以及测量仪表等。

出水、泄水建筑物 其主要作用是承纳出水管道的来流,消除管口出流余能,使之平顺地流入输水管渠或容泄区,并有防

止停机倒流设备。它的结构型式有出水池、压力水箱、泄水涵洞、泄水闸等。

变电站 是以电力为能源的泵站不可缺少的变电工程，有露天式及室内变电站两种，应设有防洪和安全设施。

交通建筑物 包括道路、栈桥、工作桥、船闸、码头等，根据规划要求进行布置，应便于施工运输和枢纽综合利用。

附属建筑物 包括办公用房、修配厂、仓库、宿舍等，根据需和节约的原则建造。整个泵站应注意环境保护和美化。

§ 1-2 国内外泵站建设的概况和发展趋势

一、国内泵站建设概况

我国农田灌溉及排涝泵站的发展，十分迅速，目前已建成的大、中、小型泵站达 50 余万座，排灌动力有 5800×10^4 kW，抽水灌溉面积达 4 亿亩，已占全国总灌溉面积 50 % 以上。抽水排涝面积达 0.6 亿亩，占除涝面积的 25 %。这些泵站工程对于抗御旱涝灾害，保证农业生产，发挥了重大作用。

由于排灌泵站及抽水装置的动力机绝大部分是电动机和内燃机，故称之为机电排灌。我国机电排灌事业发展，首先是在 50 年代开始发展中小型泵站，至 60 年代逐步配以一定数量的大型泵站，目前已初步形成了大、中、小型泵站结合的大型排灌系统。这是因为中小型泵站靠近灌区，输水距离短，渠系损失少，排灌灵活。但是，中小型泵站规模小，标准低，不能抗御较大的灾害。因此，随着农业生产的发展，在沿江滨湖地区，兴建了一批大型排灌结合的泵站，如长江三角洲、江汉平原、洞庭湖区、珠

江三角洲、杭嘉湖地区及苏北里下河地区等都形成了这样的排灌系统。这些大型泵站特点是流量大、扬程低、效益较高。如江都四座泵站共装机 4.98×10^4 kW, 设计流量为 $400 \text{ m}^3/\text{s}$, 担负抽引江水输送至大运河及苏北灌溉总渠, 灌溉沿线农田, 以及排除里下河地区的内涝, 同时又成为南水北调工程第一级泵站的组成部分, 其效益十分显著。又如江汉平原是历史上洪涝灾害比较频繁的地区, 从 1969 年~1980 年已建成大型泵站 56 座, 装机 37×10^4 kW, 总的排涝受益面积为 1120 万亩, 灌溉受益面积为 430.5 万亩。

我国高扬程灌溉泵站主要分布在西北高原地区, 其主要特点是扬程高、梯级多、工程规模巨大。如甘肃省景泰川抽水工程于 1974 年完成了第一期工程, 其设计流量为 $10.56 \text{ m}^3/\text{s}$, 灌溉面积为 30.42 万亩, 共分 11 级抽水, 总净扬程为 445 m, 总装机容量为 6.4×10^4 kW, 单机最大容量有 2000 kW。第二期工程于 1984 年动工兴建, 计划灌溉面积约 50 万亩, 共分 18 个梯级, 总扬程为 708 m, 总净扬程为 602 m。又如陕西省沿黄河在韩城县禹门口、合阳县东雷、潼关县港口等三处兴建了大型高扬程泵站工程, 其中东雷抽水工程设计流量为 $60 \text{ m}^3/\text{s}$, 分 8 个梯级, 总净扬程为 311 m, 总装机容量为 12×10^4 kW。

我国已建成的流量超过 $100 \text{ m}^3/\text{s}$, 装机容量在 1×10^4 kW 左右的低扬程泵站见表 1-1 所列。

我国跨流域调水工程已在逐步发展, 已建成投产的引滦入津调水工程, 共建造了三级泵站 4 座, 共装置大型轴流泵 27 台, 总装机容量为 2×10^4 kW。南水北调东线第一期工程输水干线长 646 km, 新建和扩建泵站 20 座, 抽江水 $500 \text{ m}^3/\text{s}$, 除满足工矿、城市居民及航运用水外, 对农业以提高保证率为主, 水

表 1-1 我国大型低扬程泵站

站 名	设计流量 (m^3/s)	设计扬程 (m)	水泵类型	装机容量 (kW)	泵站型式
江都三站	135	8.0	ZL 13.5-8	16000	堤后式
江都四站	210	7.0	ZL 30-7	21000	堤后式
淮安二站	120	7.0	4.5 CJ-70	10000	堤身式
涑壁排灌站	150	3.4	2.8 CJ-70	9600	堤身式
皂河一站	200	6.0	6 HL-70	14000	堤后式
驷马山站	210	5.62	2.8 CJ-70	9600	堤身式
高潭口站	236	7.0	2.8 CJ-70	16000	堤身式
排湖站	200	7.6	2.8 CJ-70	14400	堤身式
凡口站	214	9.5	4.0 CJ-95	24000	

稻面积稳定在 1400 万亩,保证率为 95%~90%,旱作物保证率为 75%;第二期工程抽水 $700 m^3/s$ (过黄河 $200 m^3/s$), 全线共 37 座大型泵站,总装机容量为 $80 \times 10^4 kW$,输水总长 1150 km。

随着经济建设的发展,城市给水、排水工程的兴建和改建规模日益扩大。如上海市为了增加城市供水量和改善水质,兴建了黄浦江上游引水工程,共兴建 4 座大型取水泵站。每座泵站抽水流量为 $46 m^3/s$,设计扬程为 12.2 m,安装 6 台大型立轴蜗壳式混流泵,总装机容量为 9600 kW。宝钢长江引水工程为了

抽引江水保证供应宝钢用水需要，在江中建造一座大型沉井取水泵站，设计流量为 $44 \text{ m}^3/\text{s}$ ，设计扬程为 8.5 m ，共安装 6 台大型立轴导叶式混流泵，总装机容量为 4800 kW 。其他城市、工厂给水、排水泵站的规模也日益扩大。

随着我国各种类型泵站的建设，科学技术及管理水平的提高。我国幅员广阔，自然条件差异很大，各地成功地创造了许多具有不同特点的总体布置形式；建成了多种结构型式的泵房；对进、出水流道的良好型式进行了有成效的试验研究；研制成功一批高效率的水泵模型转轮；抗气蚀研究取得良好成果；在结构设计及抗震计算方面有所创新；出现了一批经济指标优越的泵站；泵站自动化也有一定的发展。

由于泵站建设的需要，我国农用泵及工业泵的设计制造能力亦有相应提高。目前，我国农用水泵已有 30 多个系列，1350 多个型号，1100 多个规格，年生产能力达 50 多万台。现在我国能够生产两种类型的低扬程大型水泵，即转轮直径为 1.6 、 2.0 、 2.8 、 3.0 、 3.1 、 4.0 和 4.5 m 的轴流泵和转轮直径为 1.6 、 3.0 、 5.7 m 的混流泵；分为立式和卧式两种装置方式。最大的轴流泵安装在江苏省淮安二站，转轮直径为 4.5 m ，单机流量为 $60 \text{ m}^3/\text{s}$ ，扬程为 7.0 m ，单机容量为 5000 kW 。最大的混流泵安装在江苏省皂河一站，转轮直径为 5.7 m ，单机流量为 $97.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ，扬程为 5.96 m ，单机容量为 7000 kW 。最大的离心泵安装在陕西省东雷二级站，单机流量为 $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ，设计扬程为 225 m ，单机容量为 8000 kW 。此外，各种用途的工业泵，种类和规格繁多。

综上所述，可以看出我国水泵及泵站的数量、规模已有较快的发展，同时，也存在一些缺点，主要是不少泵站装置效率偏

低;能源单耗大;抽水成本高;灌区工程配套不齐全;机电产品类型和质量上存在一些问题,致使一些泵站经济效益偏低。此外,在某些技术方面与国外先进水平相比,也还有一定的差距。

二、国外大型泵站建设概况

1. 灌、排泵站

近 20 年来,世界各国大型泵站的建设相当迅速,主要用于:农田灌溉及排水;跨流域调水;围海造田、开垦干旱土地及沼泽地;防洪防潮;城市给水及排水;抽水蓄能等。国外抽水流量在 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上的大型泵站,见表 1-2 所列。

美国有名的灌溉泵站有西北部哥伦比亚河大古力水库泵站,设计流量为 $460 \text{ m}^3/\text{s}$,一级抽水扬程为 94 m ,计划安装 12 台水泵,灌溉干旱高原 625 万亩农田。1946~1951 年已安装 6 台立式混流泵,单台流量为 $45 \text{ m}^3/\text{s}$;1973 年又安装 2 台抽水蓄能机组,单台抽水流量为 $48 \text{ m}^3/\text{s}$;现有抽水能力共 $366 \text{ m}^3/\text{s}$,装机容量已达 $38 \times 10^4 \text{ kW}$ 。该站设有一座调节水库,有效库容为 $9.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因此可以充分利用电网中低谷负荷时多余电能和季节性电能抽水蓄存备用,峰荷时放水发电。近年将后期 6 台水泵改为抽水蓄能机组,发挥更大的效益。

日本是个岛国,山多地狭,人口众多。为了扩大耕地面积,进行了围海造田及开垦沼泽地工程。日本全国现在排灌泵站 7200 多座,其中,中、小型泵站占 93%。总排水流量为 $4900 \text{ m}^3/\text{s}$,总抽水灌溉流量为 $1600 \text{ m}^3/\text{s}$ 。新泻市西南的西蒲原地区,为日本粮食主要产地,1971~1973 年建成了新川河口排水站,设计流量为 $240 \text{ m}^3/\text{s}$,设计扬程为 2.6 m ,安装 6 台口径为 4.2 m 、流量为 $40 \text{ m}^3/\text{s}$ 的贯流式水泵,总装机容量为

表 1-2 国外大型泵站

站名	流量(m ³ /s)		扬程(m)	配套动力(10 ⁴ kW)		运行年分	作用
	设计	已装机		设计	已装机		
美国大古力水库抽水站	460	366	94.0	58.0	38.0	1946~1973	灌溉
美国爱特蒙斯顿抽水站	124.6		587.0	82.4			调水
日本新川河口排水站	240	240	2.6	0.78	0.78	1973	排水
日本三乡排水站	200	200	6.3	1.8	1.8	1975	排水
日本新芝川排水站	100	100	5.6	0.85	0.85	1976	排水
荷兰爱莫顿排水站	150	150	2.3	0.39	0.39	1975	排水
苏联卡霍夫卡渠首抽水站	530	154	25.0	16.8	3.6	1973	灌溉
苏联卡尔申干渠抽水站	200	200	7级共156	52.5	45.0	1973	灌溉
澳大利亚雪山工程泵站	25.5	25.5	231.6	6.42	6.42	1969	调水

7800 kW, 该站从开机到停机过程全部自动化。1975年建成了三乡排水站, 将中川水系流域的低洼地区的涝水排向江户川, 是日本最大的混流泵站。该站安装三台各 50 m³/s、一台 30 m³/s、一台 20 m³/s 的混流泵, 用柴油机驱动, 共装机 24600 H.P。日本大型泵站自动化程度较高, 多采用变速传动, 用柴油机驱动的很多。

荷兰从 13 世纪就开始围海造地, 迄今已增加土地 900 多万