

水坡

——一种新型的过船建筑物

韩祥瑞 编著

人民交通出版社

U 64.

~~33 3840~~

水 坡

韩祥瑞 编著

水 坡

韩祥瑞 编著

责任编辑：胡星

人民交通出版社出版发行

（北京和平里东街10号）

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本：850×1168¹/₃₂ 印张：8 字数：199 千

1989年6月 第1版

1989年6月 第1版 第1次印刷

印数：0001—1,000册 定价：6.15 元

内 容 提 要

较之古老的船闸和升船机,无论从结构形式,还是从工艺,水坡均是一种新型的过船建筑物。水坡的出现,还是为时不久的事。这种结构固然仍属新事物的范畴,然则以其迥异于其他过船建筑物的诸多特别的优点以及由此带来的效益上的扩大,正日益受到工程界及有关方面的重视。目前,国内对水坡的研究尚未很深入,专门的著作几乎没有,本书可谓初举。限于篇幅,纵不能详尽发挥,而以介绍为主,但对从事于有关方面的技术人员以及对此有兴趣的一般读者,仍不失为一本值得一读的著作,以促进观念的更新和对水坡的了解与发展。

本书作者是安徽省交通厅的总工程师,在水坡的介绍和研究方面已有相当的历史。

前 言

长期以来，为了克服航道上的集中落差，人们都习惯于采用结构简单、运转可靠的船闸。在一些水头不大且水源充沛的河流上，船闸无疑是一种很好的过船设施。但是，我国国情的一个重要特点决定了水资源的利用在过去，现在以至今后相当长的一段历史时期内仍是以防洪、灌溉和发电为重点，航运用水除了一些大江、大河和主要的一级支流以外，那些数以千计的内河、支流上的船闸用水问题是不可能得到保证的。这一严酷的事实已为建国三十多年来的实践所证明。因此，目前遍布全国的八百多座船闸，除了沿海的一些水网地区，因有充足的水源和海潮顶托等原因，使用还算正常外，其余近七百座船闸中的绝大部分都由于存在着与水利、水电部门在用水问题上无法调和的矛盾而不能正常投入运转。例如，每年枯水期和农业灌溉季节，为了保证水力发电和农业灌溉的用水，大多数船闸都被迫中断航运。另有一些船闸则是时通时断，还有一些船闸一年只通航半年。这些状况是多年来造成我国内河航运长期得不到发展的一个重要原因。

为了解决船舶过坝不耗水的技术问题，可以采用各种类型的厢式升船机。然而，一百多年来，在世界各国的共同努力下，尽管现代升船机的技术水平已发展到种类繁多、型式各异且升船吨位及所克服的水头都达到很可观的地步，但是，由于它本身昂贵的造价、复杂的结构设备和对水文条件的适应性较差以及不能通过船队等缺点的限制，仍然无法发展成为一种能够适应各种条件和要求的，可以解决国内数以千计的闸坝通航的过船设施。

多少年来，人们一直在探索一种既能符合我国国情需要，又能满足各种水文条件和通航要求、便于普遍推广、使用，造价远比船闸、升船机经济得多的新型通航设施，这就是70年代研制成

功的一种过船工艺迥然不同于已有设施的新型过船建筑物——水坡。

水坡从60年代初由法国的专家们经过理论研究、模型实验一直到蒙特施水坡的工程实践，总共只花了12年时间，而水坡的过船原理于60年代中期即传入我国，但是由于大家都知道的原因，我国第一座小型简易水坡的原型——龙湾水坡直到1982年春天才在极其困难的条件下建成。

“始生之物，其形必丑”。龙湾水坡的建成虽然比国外晚了近10年，但由此揭开了我国水坡研制和实践的新篇章。

鉴于至今国内外尚无一本全面、系统地阐述水坡这一新型通航设施的过船原理、过船工艺、各种派生的坡型以及有关水坡工程的设计、推进机的选型与结构组成、挡板的止水和克服上游水位变幅的多种技术措施等方面的书籍。为此，著者根据二十多年来对水坡的研究所得以及从事多年设计和工程实践的经验，撰写了本书，目的在于想通过本书，使全国从事水运工程建设和管理的技术人员对水坡这一新的过船设施有一个比较全面和系统的了解。

限于篇幅，本书对许多技术细节和结构处理无法作进一步的展开和详述。此外，由于著者理论水平和实践经验还较缺乏，书中定有不少缺点和不妥之处，恳请广大读者能不吝赐教和批评指正。

目 录

前言.....	1
绪论.....	1
第一章 总论.....	5
§1-1 概述.....	5
§1-2 船闸与升船机的适用条件.....	9
§1-3 水坡的过船原理及其组成部分.....	14
§1-4 水坡的过船特点及其发展前途.....	27
第二章 水坡的分类.....	37
§2-1 概述.....	37
§2-2 纵向水坡与横向水坡.....	38
§2-3 单面水坡与双面水坡.....	40
§2-4 单线水坡与多线水坡.....	43
§2-5 单机水坡与多机水坡.....	44
§2-6 升船水坡.....	52
第三章 水坡的运转方式.....	59
§3-1 概述.....	59
§3-2 船舶过坝方式和相应过坝时间.....	61
§3-3 坡首设主坡门的单面水坡船舶快速过坝工艺.....	66
§3-4 坡首增设辅坡门的单面水坡船舶过坝工艺.....	70
§3-5 单线单面多机水坡船舶单向过坝工艺.....	76
§3-6 双面纵向水坡的运转工艺.....	82
§3-7 单线双面单机水坡船舶单向过坝工艺.....	86
§3-8 单线双面双机水坡船舶单向过坝工艺.....	87
§3-9 单线双面水坡的复合运转工艺.....	90
§3-10 双线单面单机水坡的环行运转工艺.....	97
§3-11 双线单面多机水坡环行运转工艺.....	102
§3-12 双线双面单机水坡环行运转工艺.....	104

§3-13	双线双面多机水坡单环行运转工艺	107
§3-14	双线双面多机水坡双环行运转工艺	109
第四章	水坡总体设计	111
§4-1	水坡设计的原始资料	111
§4-2	水坡总体设计内容	113
§4-3	纵向水坡的水楔特性	117
§4-4	单面水坡主坡门位置的确定	128
§4-5	双面水坡采用尖底坡室时的挡板接应位置	130
§4-6	推进机选型的原则和要求	132
§4-7	推进机的主要机型及其特点	134
§4-8	各种类型推进机的适用范围	141
§4-9	推进机的功率与速度选择	144
第五章	坡首	148
§5-1	坡首的种类及其组成	148
§5-2	单面水坡坡首的几种形式及其特点	152
§5-3	单面水坡适应上游水位变幅的方法	157
§5-4	坡门及其启闭机械	170
§5-5	其他设施	175
第六章	坡槽与坡脚	178
§6-1	概述	178
§6-2	影响坡槽斜率的几个因素	180
§6-3	各种斜率的适用范围	182
§6-4	坡槽的横断面	183
§6-5	坡脚	185
第七章	推进机	187
§7-1	推进机的结构组成及其作用	187
§7-2	沿墙顶运行的几种推进机结构方案	195
§7-3	挡板的止水	223
§7-4	挡板的附属设备	240
	参考文献	246

绪 论

我国是一个人口众多、幅员辽阔且水力资源丰富的大国。在 960 万平方公里的国土上有河流 5800 余条，总长 43 万公里；湖泊 900 余个。丰富的水力资源不仅为农业灌溉、水力发电、工业与城市生活用水以及环境保护等提供了充沛的水源，而且其中大部分河流及湖泊也为内河航运事业的发展创造了良好的条件。

长江是我国第一大河，全长 6300 多公里。水量巨大，年径流总量达 9282 亿立方米，占全国径流总量的 35%。水力资源极为丰富，理论蕴藏量达 2.68 亿千瓦，约占全国 40%。全流域可能开发的水电资源近 2 亿千瓦，比美国全国的水电蕴藏量还多 30%。

除了长江以外，在我国的大江大河如黑龙江、松花江、淮河、京杭大运河以及珠江等水系都具备发展内河航运的有利条件。

我国内河的一个重要特点是大部分水系的干流都是自西向东流入太平洋。这些天然的干流航道一般都比较长，水深大，且沿岸城市均布，人口稠密，物产丰富，农业发达。这对发展江河湖海直达运输和促进内地与沿海各省市的横向联系以及对外开放和进、出口贸易等都带来极为方便的水运条件。

我国内河的第二个特点是除了人工开凿的京杭大运河以外，绝大部分水系的天然支流与小河都是南北流向。航道里程短，水深不足。特别是丘陵地区和山区河流，由于浅滩多，河床陡，水面比降大，平面弯曲多，航行条件极差。这严重影响了水路干支直达运输，制约了腹地物资通过支流小河的集散。甚至迫使大量本来可以通过水路运输的物资弃水走陆，增加了铁路及公路运输的压力。

我国内河的第三个特点是一些重要的大江大河，如长江、淮

河以及珠江等南方水系，流域内降雨的时空分布不均。在时间上，70%~90%的降水量集中在每年5~10月；在空间上，降水量自东南向西北递减，且在同一雨区内，江南大于江北，山地大于平原。这些降水特性是造成我国大部分内河，特别是没有经过人工治理的天然河流每年都有一定的洪、枯水季节和不同水文特性的根本原因。

我国内河的第四个特点是由我国国情所决定的。我国是一个农业人口占80%左右的发展中国家。随着社会主义建设事业的飞速发展，能源的需求量将不断增加。而我国的能源结构是以火电和水电为主，全国的水力蕴藏量达6亿千瓦以上，居世界第一位，目前仅开发利用了5%左右。因此，我国水资源的综合利用除了防洪以外是以发电和灌溉为主，其次是工业与城市生活用水，而航运用水在我国这样一个特定的国情条件下是不可能象美国和欧洲一些发达国家那样放在首位和得到法定保障的。我们很难想象为了维持某条内河航道或支流小河的足够水深与航道宽度而大量泄放为发电和灌溉所兴建的水库中的水，更不可能在我国能源及电力如此紧张的情况下，采用设置泵站，用耗费大量电能的抽水办法来维持和补偿航运用水。这一点已为解放以来三十多年的客观实践和内河航道与内河航运的发展状况所证实。

我国内河的第五个特点是航道上的碍航闸坝日益增多。目前全国通航河流与断航河流上共兴建了2510座闸坝。这些碍航闸坝使全国通航河流的航道里程由解放初期的17万公里减少到1957年的14.4万公里。到了80年代，更进一步减少到目前的10.8万公里。其中，仅长江水系就减少了4万多分里。与之相应的内河运输量占全国总运量的比重也逐年下降。1952年，内河运量占全国总运量30.3%。到了1957年，内河运输周转量只占全国货运周转量的19%。进入80年代，内河运输的比重下降到只占全国运输的7%。这与世界上发达国家内河运输比重一般都维持在25%~30%的比例形成强烈的对照。而且，随着全国各大流域、水系的二、三级支流小河的水利水电资源进一步开发，以中、小电站为主的

综合防洪、灌溉以及工业、城市生活用水的水力枢纽将越来越多地出现在全国内河支流上，从而使通航河流上的闸坝进一步增多。

因此，尽管内河运输与铁路和公路等运输方式相比，具有成本低、运量大等优点，但是由于作为内河航运的基础设施，内河水道的建设和航运用水等受到上述几个特点的影响和制约，致使建国三十多年来在通航河流上修建的近千座传统的过船设施和许多整治建筑工程，绝大部分都因与水利，水电部门在防洪、发电和灌溉等方面产生矛盾而不能正常发挥作用。有些航道工程从建成至今就没运转过，特别是长江中、上游各省的情况尤为明显。长期以来，内河航运部门与水利、水电部门之间关于水资源综合利用方面的矛盾没有得到妥善的解决。这主要是在发展内河航运和进行内河水道的整治建设方面没有认真地分析我国的具体国情，没有深入研究我国水资源的特点，更没有认识和摆正内河航运在综合利用水资源中所处的地位，甚至片面地强调航运用水与防洪、发电、灌溉以及工业、城市生活用水等同样重要，以致在发展内河航运和建设内河水道方面发生了脱离我国国情和现实的偏差，这是造成我国三十多年来内河航道建设多次失误，内河航运长期停滞不前的一个重要原因。

由此，可以得出结论，在我国这样一个特定的国情条件下，在今后相当长的一段历史时期内，发展内河运输和进行内河航道建设应按照不与水利、水电部门争水的原则，以不妨碍防洪、排涝、发电灌溉和工业、城市生活用水等为前提。摆正航运在水资源综合利用中的主次位置。对那些不是以航运为主的通航河流所实施的治理方案应尽量避免喧宾夺主和与其他用水部门发生矛盾。只有从指导思想上端正这种观点并针对我国的具体国情和水资源综合利用中的特点，制定出符合中国实际的内河运输发展和内河航道建设方面的方针和政策，积极采用那些行之有效的新的内河航运技术并逐步推广，再在实践中不断地加以总结、修改和完善，这样才能真正改变我国内河航道建设落后的面貌和促进内

河航运事业的发展。

水坡作为一种过船设施，是70年代才出现的一种新技术。大量研究资料表明，采用这种新型的过船工艺作为我国内河支流上已经存在的数以千计的碍航闸坝的复航设施和今后新建水力枢纽上的通航建筑物，不仅能从根本上消除与水利、水电部门的用水矛盾，而且还由于它能成批地进行工业化、标准化生产，因此对降低过船建筑物造价和在短期内迅速、有效地解决闸坝通航问题，具有重要的意义。

第一章 总 论

§1-1 概 述

在天然河流和人工运河以及由许多支流、小河组成的内河航道上，由于各种原因形成许多水面不连续的集中落差。例如，在沿海地区，为防止海水入侵和内河盐渍化而堵塞支流的入海河口；一些大江大河的二、三级支流出于防洪、发电、灌溉和工业、城市生活用水等需要，在支流口门筑坝所造成的内外水位差；再如由兴建大坝和水力发电站而使河流分成上、下两段；一些平原水网灌区，因地形条件等限制所造成的人工渠道与天然河流或运河水面不一致的断头河；还有由于航运需要，在天然河流上修建的梯级渠化工程所造成的落差。此外，其他如沟通河流与湖泊，利用人工运河跨越分水岭以连接两个不同水系等都可能形成集中落差。

为使船舶克服因上述种种原因在天然河流或人工运河上形成的集中落差，需要修建专门的过船建筑物以满足船舶航行的连续性要求。

长期以来，船闸和升船机是最常用的两种过船建筑物型式。

船闸是一种古老的过船设施，很早就被用来作为克服航道上落差的通航建筑物。直到现在，它仍是国内外应用得最多的一种通航设施。

船闸是借助于水力作用而使船舶克服落差实现通航的。为此，船闸必须有一个能容纳过闸船舶（队）的固定闸室，一套宣泄水系统且有闸门以分隔上、下游的上、下闸首和相应的闸、阀门启闭机械等设备。当然，近代船闸还包括有导引过闸船舶（队）进、出闸室的上、下游引航道，供等待过闸的船舶泊系的

靠船码头和辅助船舶进闸及导航设施等。

现代船闸在世界各国的共同努力下，不论从结构、输水系统自动化操作，还是从改善船舶过闸条件，缩短船舶过闸时间和减少过闸耗水量以及提高通过能力等方面都取得了很大的成就。可以说，现代船闸的发展已经达到了一个相当高的阶段。

尽管如此，船闸经历了数百年的发展，它的过船工艺却始终没有改变。过闸船舶进入固定闸室，借助于灌泄水来调整闸室与上、下游的水位差，使船舶在闸室内作垂直升降运动，然后再通过闸、阀门的启闭，让过闸船舶驶出闸室，进入上游或下游。这一过船工艺延续至今，毫无变化。

采用船闸作为过船建筑物，每次过船都要消耗一定数量的水，当水头较大时，过闸耗水量也随之增大。对那些闸室尺度较大、船舶通过频繁的船闸来讲，因过闸所消耗的水量是相当可观的，再加上闸、阀门的漏水损失，使得船闸的耗水量成为一个不可忽视的重要经济技术指标。特别是那些综合利用的水力枢纽，船闸耗水将不可避免地与水电站的发电用水、农田水利部门的灌溉用水以及工业和城市用水等发生矛盾。近代船闸为了减少船闸过闸时的用水量，常常采用带贮水池的省水船闸方案。也可以采用设置泵站，将船舶过闸所泄放到下游的水量抽回到上游的抽水船闸方案来解决船舶过闸耗水问题。但是，这样一来，船闸的结构和运转就将复杂化，同时还增大了工程造价和船闸的营运成本。

此外，从经济方面来讲，如果要克服的水头较大，或者水头虽然不大，但上下游的水位变幅却很大，这后一种情况在长江中、上游的支流及湖泊口门处最为常见。那么，在这两种情况下，船闸的工程量及建造费用相对于过闸船舶来讲常常增加得很多。

虽然，对于高水头船闸来讲可以采用增加级数的多级船闸方案来降低造价和减少耗水量，但是这样一来，又将因船闸的过船特点和无法改变的运转方式，使船舶的过闸时间延长，通过能力

降低。

船闸有一个很重要的优点是由于闸室尺度可以按过闸的船队进行设计，因此，在那些以通过船队为主的航道上的船闸，可以一次不解缆地通过大型顶推船队。例如，美国密西西比河流域上的一些大型船闸，皆可一次通过万吨级，两万吨级甚至四万吨级由几十艘标准驳船组成的大型顶推船队，从而简化了船队的过闸作业，缩短船队过闸与编队时间，显著地提高了内河航运的效益。

升船机是利用一个盛水船厢，让过坝船舶进入厢内，借助于水力或机械传动，进行垂直提升或沿斜面牵引这个盛有过坝船舶的被称作承船厢的活动水槽，从一个河段过渡到另一个河段来实现船舶克服落差，达到过坝目的。

近代升船机的发展已有200年的历史。按照升船机运转载有过坝船舶的承船厢的方式，可以分为斜面升船机与垂直升船机两大类型。

斜面升船机是利用机械或缆索牵引带有支承行走轮的承船厢，沿斜面轨道上升或下降以克服落差来实现船舶的过坝任务。目前，世界上已建成的斜面升船机有40余座，大部分在欧洲。其中比较著名的有苏联1976年建成的就克服水头和提升重量来讲都是当前世界上最大的克拉斯诺雅尔斯克自行式斜面升船机，其次是比利时于1967年建成投入运转的双线纵向斜面升船机和法国1969年建成交付使用的双船厢横向斜面升船机。

垂直升船机是借助于带有平衡重的缆索或利用浮筒的浮力和互为平衡的船厢等，通过机械牵引或建立压力差等办法来达到载有过坝船舶的承船厢克服落差的目的。

垂直升船机有很多种类型，如均衡重式，浮筒式，水压式等。目前世界上已建成投入正常使用的大型垂直升船机有10余座，比较著名的如德国1936年建成的尼德芬诺均衡重式升船机，1938年建成的罗特塞浮筒式升船机；联邦德国1962年建成的新亨利兴堡浮筒式升船机，1975年建成的吕内堡均衡重式升船机以及

比利时正在施工建造的提升高度达73.15m，可以通过欧洲1350吨标准驳船的均衡重式升船机以取代100年前修建的目前仍正常运转的4座水压式升船机。

当要克服的水头较大时，为了节省过闸耗水、提高通过能力和节省工程造价，采用升船机作为过船设施，与船闸相比往往具有较高的经济技术指标。这是由于随着水头的增加，船闸的工程量和造价常常受到比较大的影响；而对升船机来讲，其工程量和造价的变化与所提升的船舶吨位和尺度关系比较密切，对水头变化所带来的影响不如船闸那样显著。因此，当水头愈高时，相对船闸而言，升船机在经济和营运方面的指标就更加优越。

另一方面，就国外已建成的各种类型升船机来讲，可以看出，凡是采用平衡重系统的垂直升船机或斜面升船机，其盛水船厢与平衡重的运动质量总和通常为所运送船舶吨位的5~8倍。再加上承船厢与上、下游之间的连接工程受当地地形条件的影响较大，例如，对于平缓的地面，垂直升船机的高大排架与上游的运河桥等土建工程往往占去总工程造价的百分之八十。因此，在一些水头不是非常大且受地形条件限制的情况下，升船机的总费用就每米落差而言，往往超过单级或多级船闸方案的造价。

同时，在通过船队方面，由于升船机的船厢不可能设计成与船闸闸室那样宽大，所以船队通过升船机时必须逐一拆开方能过坝。这不仅增加了船舶编队和调度上的困难，而且也延误了船队过坝时间，有时还容易发生轻微的碰撞事故。

在船舶过坝的安全运转方面，由于升船机的运动部分所占的质量远比船闸大，而且机械设备和传动装置等零部件多，因此在防止事故和安全运转方面，比船闸提出更严格的保安要求。一般升船机都设有几套事故安全装置以确保升船机的正常运转。

值得指出的是升船机在所有过船建筑物中是型式最为多样化的一种船舶过坝设施。不同类型的升船机，其过船原理迥然不同，且各自的过船工艺及结构组成也千差万别，互不相同。除了上述已建成的一些升船机类型如均衡重式垂直或斜面升船机、浮筒式

垂直升船机、水压式垂直升船机和自行式斜面升船机以外，国外正在研究的一些构思非常新颖、原理极为简单、过船工艺相当巧妙、灵活的新型升船机方案，如气垫式斜面升船机、转轮式升船机、螺旋式升船机、杠杆式升船机、浮式升船机、气压式垂直升船机、轮齿式升船机、潜箱式垂直升船机、滚筒式斜面升船机、水坡式斜面升船机和千斤顶式垂直升船机等。这些种类繁多、特色各异且构思新奇的升船机设想不仅大大充实和丰富了过船建筑物的专业内容并为船舶克服落差提供了更多的过船建筑物的选型机会，而且也对各种可能的升船机方案的适用范围提出了许多可供设计参考的依据。

以上简述的升船机类型还仅限于湿运船舶的厢式升船机范畴，如果考虑干运船舶的各种升船机方案，那么整个升船机的种类和型式将更为繁多。由于内容已超出本书范围，为节省篇幅，不再作进一步的介绍。

§1-2 船闸与升船机的适用条件

为使任何一种过船建筑物发挥其正常作用，就必须满足这种过船设施所要求的适用条件。如果不具备或不完全具备所需要的适用条件，那么这种过船设施的技术经济和营运指标也就不能达到设计要求，不可能进行正常运转和发挥其应有的作用。

就船闸而言，这是一种结构简单、运转可靠的过船建筑物。特别是近代船闸在经过几百年的运转实践和世界各国工程技术人员共同努力下，不论从闸身结构、输水系统、闸阀门启闭和自动导航、遥控操作等方面都已经发展到相当完善的地步。但是，为使船闸这种过船建筑物得以发挥其正常作用、经济技术和营运指标完全达到设计要求，它必须具备以下几个适用条件。

1. 船舶过闸耗费的水量有充分保证

由于船闸是借助水力作用来使船舶克服落差的过船建筑物，因此，不管是否采用任何省水设施，每次过闸都需要消耗一定的