

水运工程技术参考资料

5

人 民 交 通 出 版 社

江苏省船闸发展液压传动的概况

交通部水运规划设计院 程传隆

江苏中小船闸油压启闭机，是近三、四年内出现的新生事物。几年来经过生产运转实践，其性能良好，基本上能满足船闸运转要求。为中小船闸启闭机械的发展，闯出了一条新路。

油压启闭机具有结构简单、操作方便、体积小、重量轻、传动平稳、调速方便、易于实现自动化及遥控等适合于船闸运转工艺要求的特点。加之液压元件的通用化、标准化、系列化，为设计、制造、维修提供了极为方便的条件。因此，中小船闸采用油压启闭机械，深受水运战线广大革命职工的重视。自1970年以来，省水电、交通部门新建红山窑等六座中小船闸均采用了油压启闭机，并拟今后在新建船闸上亦广泛推广油压启闭机。

江苏中小船闸油压启闭机的发展，是水运战线广大革命职工，贯彻执行“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线，和“独立自主，自力更生，艰苦奋斗，勤俭建国”方针的结果。同时也表现了我国工人阶级的无穷智慧和创造性。在发展过程中，地方机械工业部门给予了大力的支持。许多县市机械制造厂敢于打破框框，破除液压元件制造精度高、技术要求严、难以加工制造的迷信，突破液压元件加工制造关，为中小船闸发展油压启闭机提供了一定的物质基础。红山窑等六座船闸油压启闭机所选用的液压元件均为地方工业产品，或者是地方机械工业部门代为试制，代为加工承造的。如油压启闭机的“心脏”——高压油泵，就选用了南通及盐城地区地方工业产品250SCY14-1型轴向柱塞泵和CB-32型齿轮泵等。应特别指出的是，南通地区启东县农机厂为了支持船闸油压启闭机的发展，密切结合实际，因地制宜地自行设计制造了一批“土”的背压阀、单向阀、溢流阀以及手动换向阀等，为提高油压启闭机油路系统性能作出了积极的贡献。这个厂和扬州农机厂等地方机械厂，还土法上马，为船闸油压启闭机解决了工作油缸加工制造问题，有力地促进了船闸油压启闭机的发展。

此外，江苏中小船闸油压启闭机顺利发展的另一个重要因素，则是使油路系统设计密切结合船闸启闭机械运转速度慢（闸门、阀门启闭时间约2~3分钟）、操作频率低（每昼夜平均过闸约20~30次）等特点，以及油压元件加工制造、设备购置等现实条件，因地制宜，因陋就简地选用了中低压小流量的简易油路系统。其驱动方式一般为一个或两个油泵站集中驱动。控制方式多数采用手动操作。这种简易的油路系统易于承造，易于操作，易于维护，其经验亦易于推广。为中小船闸油压启闭机的发展，开拓了宽广的道路。

综上所述，可以看出江苏发展中小船闸油压启闭机，已具备较为有利的条件，形势比较好。但也必须指出，油压传动尤其是船闸油压启闭机，在我国还是一项新技术。无论在加工制造、科研设计、和运行使用等方面，都需要有一个不断发展和逐步提高的过程。及时地总结各方面的经验，大力促进船闸油压启闭机械的迅速发展，更好地为社会主义水运建设事业服务，这是当前的一项重要任务。为此，将已经收集到的江苏几座中小船闸油压启闭机的材料加以整理，对其油路系统作粗浅的介绍，以供有关单位发展中小船闸油压启闭机的参考。

一、红山窑船闸油压启闭机

红山窑船闸闸室长100米、宽10米，上、下闸首口宽8米，最大水头差约5.5米。上、下闸首工作门均为一字门，灌泄水阀门为平板提升门。

上下闸首闸门、阀门以及闸门升降撑杆油压启闭机采用一个泵站集中驱动。其油路系统示于图1。系统驱动机组为JO₂72-6型电动机拖动一台250SCY14-1型轴向柱塞泵。电动机功率22千瓦，额定转速970转/分钟。柱塞泵最大工作压力320公斤/厘米²，可手动变量，最大流量为250升/分钟。系统实际工作压力约40公斤/厘米²。闸门、阀门及升降撑杆共计8个工作油缸。闸门工作油缸为卧式双作用活塞缸，缸体中部有十字铰，尾部有导轮支承。缸体内径 $\phi 236.5$ 毫米，壁厚8毫米，活塞杆直径 $\phi 168$ 毫米，工作行程5米。升降撑杆工作油缸为竖立双作用活塞缸。阀门工作油缸则为竖立单作用活塞缸，阀门提升靠油压，下降靠阀门自重。阀门及升降撑杆工作油缸结构尺寸相同，其缸体内径 $\phi 158$ 毫米，壁厚10毫米，活塞杆直径 $\phi 70$ 毫米，最大工作行程1.94米。闸门、阀门工作油缸缸体及活塞杆材料均为无缝钢管。缸体内圆、活塞杆外圆不经切削加工，只研磨，光洁度达 $\nabla \nabla 6$ 以上。系统所用阀件为16个同一规格的J11H-40型截止阀。系统压力、流量的调整以及油路换向均由截止阀加以控制。液压用油为1米³的20[#]机械油，油箱的容积为1.5米³。

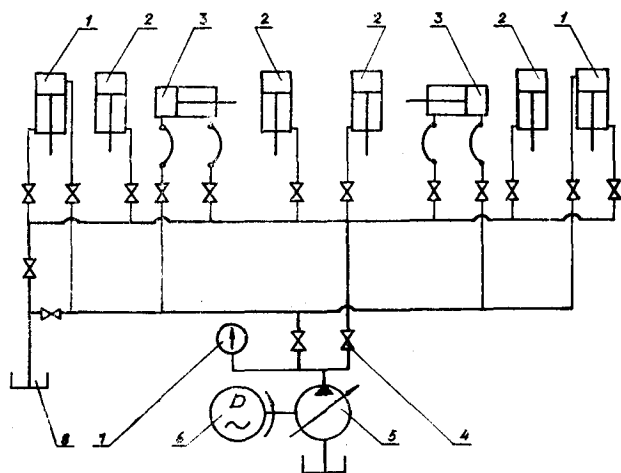


图1 红山窑船闸启闭机油路系统图

1-升降撑杆工作油缸；2-灌泄水阀门工作油缸；3-一字门工作油缸；4-截止阀；5-轴向柱塞泵；6-电动机；7-油压表；8-油箱

二、卫东船闸油压启闭机

卫东船闸闸首口宽7米。上闸首闸门为平板提升门，门底缝输水。下闸首闸门为一字门，泄水阀门为平板提升门。其油路系统与红山窑船闸油压启闭机类似，如图2所示。上下闸首闸门、阀门油压启闭机采用一个泵站集中驱动。驱动油泵为一台YBC-45/80型齿轮泵，其额定工作压力为80公斤/厘米²，流量为45升/分钟。额定转速为1,500转/分钟。系统压力、流量以及油路换向亦是靠截止阀加以控制、调整。系统实际工作压力约40公斤/厘米²。上闸首闸门约两个工作油缸，分别置于门的两侧混凝土闸室墙内。两个油缸油路并联，基本保证了闸门启闭时两侧工作油缸的同步运行。一字门工作油缸内径 $\phi 50$ 毫米，壁厚7毫米，工作行程4.5米。其形式亦为卧式双作用活塞缸，为了改善油缸运行工作条件，采用了缸体固定不动，活塞杆通过导轮导轨、连杆与门体相连接的传动装置。

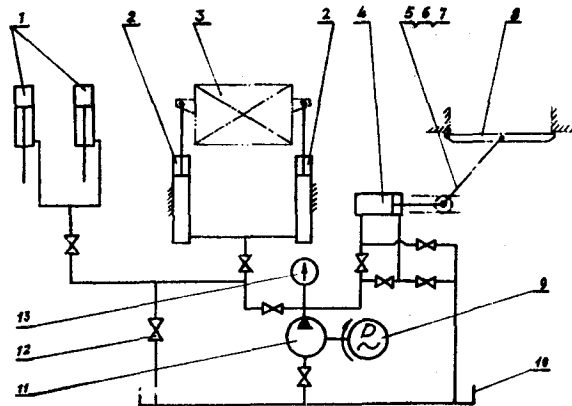


图2 卫东船闸启闭机油路系统图

1-灌泄水阀门工作油缸；2-平板提升门工作油缸；3-平板提升闸门；4-一字门工作油缸；5、6、7-连杆及其导轮、导轨机构；8-一字闸门；9-拖动电动机；10-油箱；11-齿轮油泵；12-截止阀；13-油压表

三、南运西船闸油压启闭机

南运西船闸（即大运河西岸南船闸）闸首口宽10米。上下闸首均为人字工作门。其工作油缸活塞杆与人字门门顶铰结。上游灌水阀门为用油缸提升的平板门。下游泄水阀门为在人字闸门上开了四个泄水孔口，孔口阀门亦为油缸所提升的平板门。

人字门，灌泄水阀门以及节制闸闸门油压启闭机，共同采用一个泵站集中驱动，驱动油泵为 250SCY14-1 型轴向柱塞泵。拖动电动机功率为 7 千瓦。停电时尚备有一台柴油机，直接带动油泵运转。油路系统阀件，除采用一个手动二位四通换向阀外，余皆为截止阀。系统压力、流量均靠截止阀加以控制、调整。实际工作压力约 30~40 公斤/厘米²。人字门工作油缸亦为卧式双作用活塞缸，其内径为 $\phi 116$ 毫米，活塞杆直径为 $\phi 70$ 毫米，工作行程为 3 米。缸体中间支承为十字铰，尾部支承为导轮、导轨。

红山窑、卫东、南运西三个船闸自建成投产以来，油压启闭机运转状态及技术性能良好。据操作人员反映，使用及维护均较方便。泵、缸、阀等液压元件外观完好，无漏损现象。油路系统均为最简易的中低压系统，因此其性能尚不够十分完善。尤其是系统中未装设安全溢流阀件，缺少相应的安全措施。如当启闭机运转过载时，其传动部件以及系统液压元件均有遭受损坏而发生事故的危險。其次，截止阀用于油路换向以及压力、流量控制，速度慢、效率低、不安全，易产生误操作，在一定程度上影响了油压启闭机的安全运转。

四、阜宁船闸油压启闭机

阜宁船闸闸室平面图形为三角形，如图 3 所示。总渠上闸首和小中河下闸首同为混凝土结构人字工作门，门重约 30 吨，门高约 9 米。总渠下闸首为钢结构上卧平板提升门。上下闸首口宽均为 10 米，总渠与小中河上下游最大水头差 6 米左右，总渠上下游最大水头差约 4 米。总渠上闸首及小中河下闸首灌泄水阀门为平板提升门，短廊道输水。总渠下闸首为上卧提升

门，门底缝输水。

总渠上闸首，小中河下闸首人字门及输水阀门油压启闭机结构型式相同，两个泵站分别驱动。其油路系统示于图4。每个泵站油压驱动机组为一台CB-32型齿轮泵，其工作压力为100公斤/厘米²，流量为38~47升/分钟，转速为1,300~1,625转/分钟。油泵拖动为JO₂-52-4型电动机，其额定功率为10千瓦，额定转速为1,450转/分钟。油泵与电动机之间尚有开式齿轮箱传动。齿轮箱为一级齿轮传动，速比1:1.5，因此，油泵输入轴实际工作转速约为1,000转/分钟，系统最大工作流量约为30

升/分钟，系统实际工作压力为40公斤/厘米²左右。油路换向采用拖拉机三联分配器（即多路手动换向阀，型号：DF75A）。该分配器内附有安全溢流装置，当启闭机过载时，油路可自动跳开，系统卸载。一个泵站共驱动左右岸人字门及灌泄水阀门工作油缸各两个，其油路均

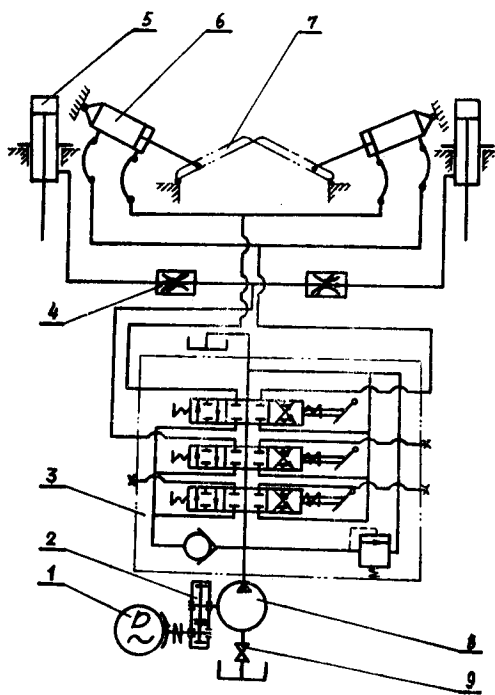


图4 阜宁船闸人字门及输水
阀门启闭机油路系统图

- 1-拖动电动机；2-传动齿轮箱；3-手动三联式换向阀；4-角式节流阀；
- 5-灌泄水阀门工作油缸；6-人字门工作油缸；7-人字门；8-齿轮油泵；
- 9-截止阀

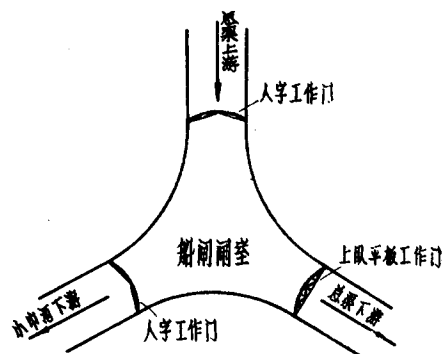


图3 阜宁船闸平面示意图

采用并联油路。在阀门工作油缸油路上尚串联有QL44Y-320型角式节流阀，以控制两个灌泄水阀门工作油缸运行速度，协调其动作。人字门工作油缸为卧式双作用活塞缸，内径 $\phi 150$ 毫米，外径 $\phi 168$ 毫米，活塞杆直径 $\phi 80$ 毫米，工作行程1.76米。油缸及活塞杆材料均为无缝钢管，缸体内圆研磨，活塞杆镀铬。活塞杆与人字门门体，油缸缸体与机座均为球铰支承相联，以保证闸门启闭时，油缸与闸门的相对转动。

总渠下闸首上卧平板提升门油压启闭机，其结构形式为闸首左右两侧具有两个结构形式相同的工作油缸（竖立单作用活塞缸），并分别和固定在闸门上的钢丝绳滑轮组相连接。闸门靠油压提升，下降靠闸门自重。系统采用并联油路，集中泵站驱动，手动控制。油路系统示于图5。驱动机组为JO₂71-6型电动机拖动一台250SCY14-1型轴向柱塞泵。电动机额定功率17千瓦，额定转速970转/分钟。系统实际工作压力60公斤/厘米²。两个油缸工作油路上均串联一个QL44Y-320可调角式节流阀，以调整和控制闸门两侧工作油缸的同步运行。平板门最大工作行程为13米，两侧最大不同步高差约9厘米。油路换向元件为手动双联换向阀（五吨铲车油路系统分配器——上海港机厂

产品)，阀内附有溢流安全装置，保护了油路系统的安全运转。系统工作油液的滤清，除在油箱内装有铜丝网隔网外，尚在油泵吸入口端装有铜网滤油装置。工作油缸材料为无缝钢管，内径 $\phi 250$ 毫米，壁厚11.5毫米。为加固缸体结构，在缸体颈部焊接有格式肋板。油缸最大工作行程6.65米，经钢丝绳滑轮组传动，可使闸门有效工作行程达13米。油缸竖直安装，缸体底部焊接有销耳，用销轴与机座相联。活塞杆与滑轮组动滑轮铰结，动滑轮两侧装有导向滚轮，可沿固定槽形导轨上下移动。

阜宁船闸尚未正式通航投产，闸门、阀门及其油压启闭机均在运转调试。经初步试运转，启闭机油路系统性能良好，基本满足于船闸闸门运转要求。存在的主要问题为上卧平板门两侧工作油缸同步运转未能很好解决，采用角式节流阀调整系统流量，以控制油缸运行速度，对解决闸门两侧的工作油缸同步运行，其效果不甚显著。其次，系统中某些液压元件安装、使用不太妥当。如250 SCY14-1型轴向柱塞泵，根据其使用要求，不应在吸油口端装设滤油网，或其它滤油装置，否则影响油泵吸油性能，甚至造成其它机损事故。

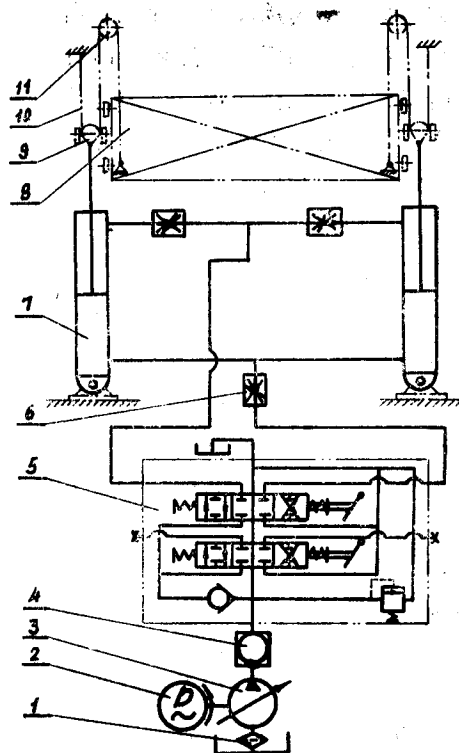


图5 阜宁船闸上卧平板提升门启闭机油路系统图

- 1-滤油网；2-拖动电动机；3-轴向柱塞泵；4-单向阀；5-手动双联换向阀；6-角式节流阀；7-工作油缸；8-上卧提升平板门；9-动滑轮；10-钢丝绳；11-导向(定)滑轮

五、吕泗船闸油压启闭机

吕泗船闸闸首口宽10米，上下闸首闸门均为人字门，灌泄水阀门为平板提升门，上下闸首左右岸闸、阀门油压启闭机结构形式相同，四个泵站分别驱动。其油路系统示于图6。每个泵站共驱动两个闸门、阀门工作油缸，驱动机组为JO4-41型电动机拖动一台CB-32型齿轮泵。电动机功率为4千瓦，转速为1,440转/分钟，泵的工作压力为100公斤/厘米²，流量为36~43升/分钟。为改善油泵工作条件，油泵被装设在40×60×70厘米³的油箱中。油路换向元件采用34D-25B型三位四通电磁阀（南通液压件厂产品），工作压力为63公斤/厘米²，流量为25升/分钟。油路系统的安全保护措施，为在工作油路中并联了自行设计制造的安全溢流阀，同时还在人字门工作油缸左、右油腔工作油路中串联了背压阀，该阀设定压力高于油路最大工作压力，闸门正常启闭时，此阀常闭。当闸门启闭遇到超载阻力时，或当闸门关闭后，在一定静水压力作用下，闸门位置发生变化时，油缸内油压超过最大工作压力，此阀打开，沟通油缸左、右腔工作油路，此时油缸活塞随着闸门位置的变化而移动。灌泄水阀门工作油缸为竖立单作用活塞缸，其缸体倒悬并与阀门体铰结，活塞杆则固定悬挂在支承机架

上。缸体的上下运动，带动阀门启闭，阀门提升靠油压，下降靠阀门自重。阀门工作油缸活塞杆为空心钢管结构，工作油路管道敷设在活塞杆钢管内。人字门与阀门工作油缸结构尺寸相同，内径 $\phi 120$ 毫米，壁厚6.5毫米，活塞杆直径 $\phi 60$ 毫米，工作行程2.4米。人字门工作油缸为卧缸，缸体中间铰支承，其活塞杆与人字门顶的钢结构框架铰结，框架的一端装有导轮、导轨。采用这种传动结构形式既缩短了油缸工作行程，又改善了油缸运行工作条件。

吕泗船闸油压启闭机电气设备，原为非程序电控系统。为了提高启闭机械的自动化程度，该船闸在地、县

领导部门的关怀与县交电系统有关单位的大力协助下，经过三个月的积极努力，于1974年7月成功地试制了光电程序控制系统。经过生产运转，大大地提高了该船闸油压启闭机的自动化程度，为今后中小船闸启闭机实现程序控制和自动控制作出了积极的贡献。

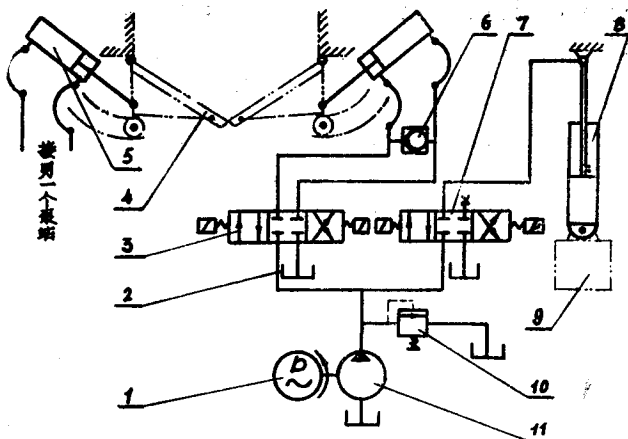


图6 吕泗船闸启闭机油路系统图

- 1-拖动电动机；2-油箱；3-三位四通电磁换向阀；4-人字闸门；5-人字门工作油缸；6-背压阀；7-三位二通电磁换向阀；8-灌泄水阀门工作油缸；9-灌泄水阀门；10-安全溢流阀；11-齿轮油泵

六、十六总船闸油压启闭机

十六总船闸为三通套船闸。三个闸首，口宽均为7米，一个闸首为平板提升闸门，其他两个闸首皆为一字闸门。

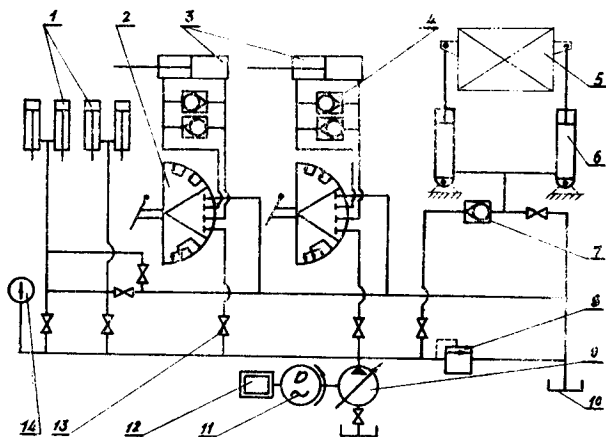


图7 十六总船闸油压启闭机油路系统图

- 1-灌泄水阀门工作油缸；2-手动旋转式换向阀；3-一字门工作油缸；4-背压阀；5-提升平板闸门；6-平板门工作油缸；7-单向阀；8-安全溢流阀；9-轴向柱塞泵；10-油箱；11-拖动电动机；12-柴油机（备用）；13-截止阀；14-油压表

三个闸首闸门、阀门油压启闭机，由一个泵站集中驱动。其油路系统示于图7。驱动机组为JOT3-6型电动机，拖动一台250SCY14-1型轴向柱塞泵。电动机功率20千瓦，额定转速970转/分钟。系统所用截止阀、背压阀、单向阀、溢流安全阀以及闸门、阀门工作油缸等液压元件，均为启东县农机厂自行设计制造。系统实际工作压力，提升门为50~65公斤/厘米²，一字门为20~25公斤/厘米²。系统压力及流量调整，均为了操作截止阀加以控制，油路换向元件为三位四通手动旋转式换向阀。安全阀设定压力为50~75公斤/厘米²，背压阀设定压力为25公斤/厘米²。一字门工作油缸与闸门的连结，通过四连杆机构传动，其

性能与吕泗船闸人字门钢结构框架传动一样缩短了工作油缸的行程，改善了油缸运转条件。

吕泗、十六总两船闸自通航投产以来，经实践证明，其油压启闭机技术状态良好。油路系统虽也是中低压系统，但其性能较为完善，可为今后发展中小船闸油压启闭机，油路系统设计的参考。存在的主要问题为液压元件互换性、通用性不够，今后自行设计制造液压元件应和国家标准划一，以便于设备维修及元件更新。

山区河流航道滩险整治水力计算的探讨

交通部水运规划设计院 张沛文

湖南省航道总段 朱贵祥

一、前言

水力计算是航道滩险整治设计中的一个重要组成部分。在山区河流的急流滩上,由于水流经滩口段时,影响水流运动的因素很多,条件复杂,沿用现有一般能量公式进行计算,对于动能流速分布不均匀系数 α 和糙率 n 的选用很难切合实际,因此计算成果与整治后的实测数据往往不相吻合,有时误差还相当大。本文简要地对目前水力计算中有关 n 和 α 的选用进行了分析探讨,并根据山区河流急流滩的水流特性,从能量原理出发,推导出急流滩滩口段水面落差计算公式 $\Delta Z_0 = A \frac{V_3^2}{2g} + h_f$,并根据 $\times \times$ 江三十多个滩险的实测资料绘出 $A = f(m)$ 曲线,据以求出 $A = 1.12^{(1-m)}(1-m)^{-0.41}$ 关系式,以期有助于提高山区河流急流滩水力计算的精度。

二、目前水力计算的基本情况和分析

山区河流航道滩险整治设计中水力计算的基本任务,在于推求滩险整治后航道范围内的水面比降、流速和流态条件,据以判断某种船型、马力和运输组织方案在滩段通航的可能性,借以论证设计整治方案的合理性。

目前,在滩险整治设计中,一般多沿用能量方程式进行滩险整治水面曲线计算。

$$\Delta Z = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{Q^2}{K^2} l \quad (1)$$

式中: Q ——设计流量;

ΔZ ——上下游两断面的水面落差;

v_1, v_2 ——上下游两断面的平均流速;

α_1, α_2 ——上下游两断面的动能流速分布不均匀系数;

l ——上下游两断面间距离;

g ——重力加速度;

$\bar{K}$ ——计算段平均特性流量。

有关基本数据如设计流量,断面要素等均根据实测资料选取。能量流速分布不均匀系数一般采用 $\alpha = 1.1 \sim 1.3$,也有用 $\alpha = 1 + 3E^2 - 2E^3$ 进行计算的。式中 $E = \frac{v_{\max}}{v} - 1$, $v_{\max}$ 和 v 分别为断面最大流速和平均流速。糙率系数 n 一般都根据实测资料,用曼宁公式,能量方程式(1)反求。

但在水力计算的实践中,式(1)中各项系数的正确选用是比较困难的,特别是对于急流滩滩口段来说,由于水流流经滩口时,往往落差很大,水流湍急,流态紊乱,能量损失受很多因素影响,不仅有包括床面阻力、边壁阻力等在内的沿程能量损失,也还有因水流受河床纵横向收缩和扩散的能量损失、弯道和局部礁石突咀等能量损失。所有这些能量损失在能量方程式中实际上都归纳在糙率 n 中。因而能量方程中的 n 实为各项能量损失的综合性糙率值,其数值往往很大,表1所示为 $\times\times$ 江某河段各滩与平水段的实测糙率值。

$\times\times$ 江某河段实测糙率值

表 1

某水文站	平水段	滩口上游段	滩口段		滩口下游段
			特甲等滩落差3~8米	乙丙等滩落差1~3米	
0.030	0.030~0.050	0.030~0.060	0.070~0.150	0.050~0.080	0.040~0.080

n 既为综合性糙率,影响其数值的因素又如此之多,这就使糙率 n 的选用增加了很多困难。目前,在山区河流滩险整治设计中,对于整治后糙率 n 的选用均以整治前实测糙率数据为主要参考数据,并根据滩口段切割面积的大小,岸线与水下底面的平整程度,明暗礁石炸除的多少,而选用较整治前实测值降低5~20%。表2所示系以模型试验数据反推整治前后的糙率 n 值。

滩险整治前后糙率 n 值比较表

表 2

滩名	滩口段			滩口上游段		
	整治前 n	整治后 n	整治后 n /整治前 n	整治前 n	整治后 n	整治后 n /整治前 n
$\times\times\times$ 滩	0.183	0.143	降低 21.9%	0.0363	0.0331	降低 8.8%
$\times\times$ 滩	0.193	0.120	降低 38.1%	0.0609	0.0505	降低 17.1%

从表2可以看出,整治前后 n 值的变化较大。显然,凭经验选用糙率 n 必然影响计算精度。例如 $\times$ 江 $\times$ 滩整治后的实测数据与计算值相差很大,除与断面位置选取等有关外,其中 n 值的选择有很大关系。 $\times\times$ 滩按水力计算数据,整治后上游水位降低5米,而模型试验的数据则为8米,相差竟达3米之多。

此外,在能量方程式中有关动能流速分布不均匀系数 α 的选用也存在一定的困难。理论研究和实测资料表明,动能流速分布不均匀系数 α 值的变动范围,取决于流速在横断面上分布的不均匀程度。Kolupaila认为在天然河流上 $\alpha=1.15\sim1.5$,山区河流 $\alpha=1.5\sim2.0$,Lindquist在河道断面发生突变的堰流段,计算 α 值达2.08。即使在断面规则的渠道内,当渠道横断面为复式断面时, α 值也有大至1.6者。关于 α 值的具体计算,虽有各家公式可供使用,但这些公式都是以流速沿垂线的不同分布规律,得出以下不同的表达式:

$$\text{对数规律,则 } \alpha = 1 + 3E^2 - 2E^3 \quad (2)$$

$$\text{指数规律,则 } \alpha = \frac{(1+E)^3}{1+3E} \quad (3)$$

$$\text{直线规律,则 } \alpha = 1 + E^2 \quad (4)$$

式中: $E = \frac{v_{\max}}{v} - 1$ 或 $E = \frac{14.2}{C}$ 。这里, $v_{\max}$ 和 v 分别为断面的最大流速和平均流速, C 为谢才系数。有些文献上推荐下列公式计算 α 值。

$$\alpha = 1 + \frac{210}{C^2} \quad (5)$$

或
$$\alpha = 1 + 0.84 \left(\frac{1}{K_1} - 1 \right) \quad (6)$$

式中, $K_1 = \frac{C}{1.34C+6}$ 或 $K_1 = 0.27C^{\frac{1}{4}}$, C 为谢才系数。但是, 上列各式均只适用于矩形河槽断面, 对于流速沿河槽横断面的分布情况均未予考虑, 而且按各公式计算的 α 值相差很大, 如图 1 所示。 α 值选用不当, 对平水段或滩口上游段水力计算的精度影响不大。对滩口段的计算来说, 由于滩口段流速很大, 流速水头很高, 因而 α 值的选用直接影响到最后计算成果。在我国 $\times \times$ 江山区河流, 应用能量方程式计算滩口水面落差时, 取 $\alpha > 1$ 计及速头和令 $\alpha = 1$ 略去速头不计, 其结果相差达 0.46 米, 这样的误差是不能允许的。

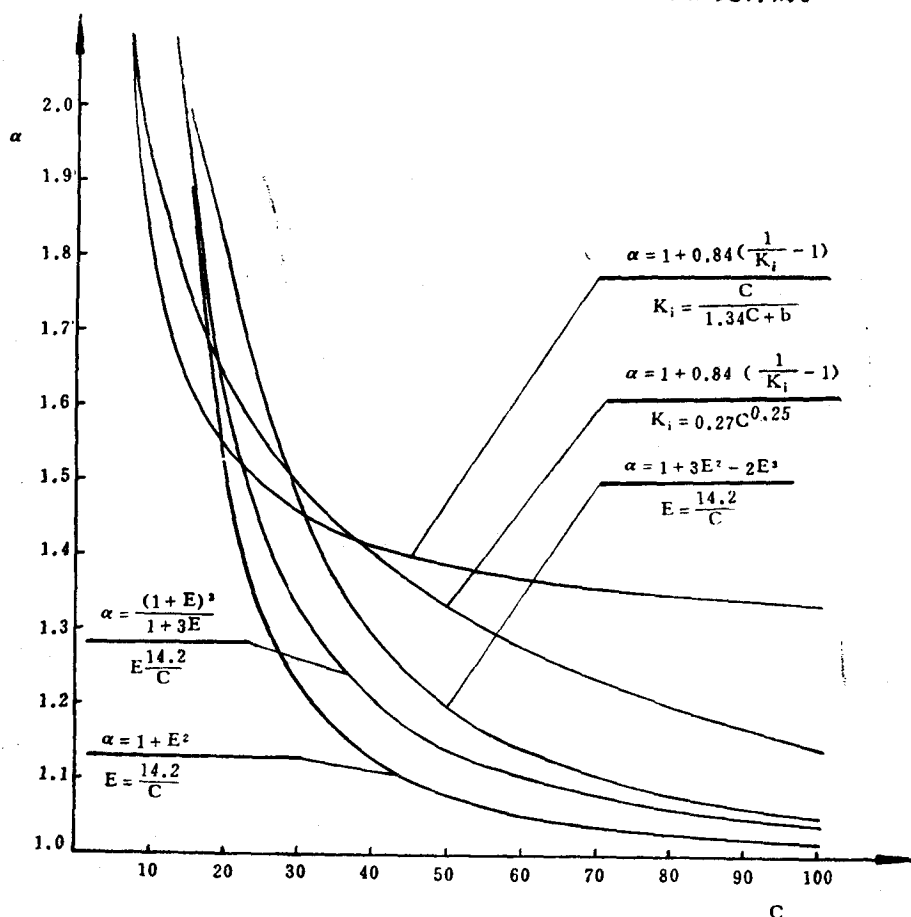


图 1

最后, 在应用能量方程式反推河段的实测糙率时, 选取水力计算断面的位置和计算段划分的合理与否, 反映在计算段糙率 n 值上也很明显, 如表 3 和图 2 所示。这不能不影响到水

力计算的最后成果。

不同断面位置糙率 n 值计算比较表

表 3

计 算 段	I—I	I—II	II—IV	I—I'	I'—II'	II'—IV
糙率 n	0.0360	0.1240	0.0750	0.0448	0.0690	0.0758

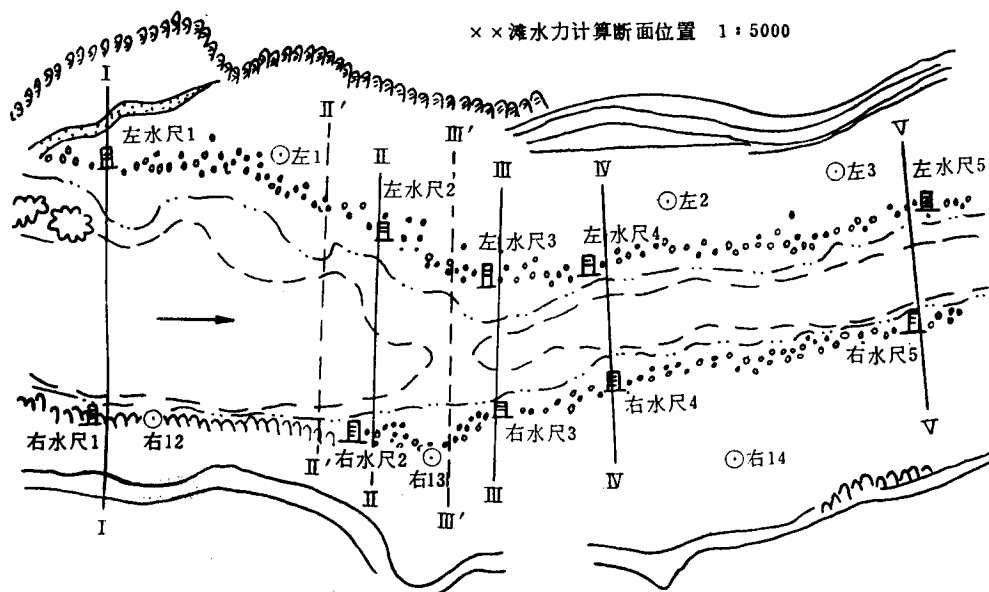


图 2

上述分析表明，在山区河流上沿用能量方程式进行水力计算，由于流经滩口段的水流其能量损失受很多因素影响，这些因素都反映在糙率 n 内。影响水流能量损失的因素本应有主次，但反映在糙率 n 内却没法区别，这就使整治后糙率 n 值的选用，常常带有很大的主观性。此外，由于计算段的划分，不仅分离了滩口水流的整体性，而且也常常给计算带来较大的误差。这里还需要着重指出的是，由于滩口段在短距离内水位落差很大，水面比降高达千分之几十，因而水流在流经滩口时，水面在垂直方向上的弯曲也很大，这时，水流的压力分布实际上已不能完全遵循水静力学规律。因此，用一般能量方程式进行计算，不仅各种系数 α 、 n 等难以处理，而且在使用条件上也是一个值得考虑的课题。因此，对山区河流急流滩口段水面落差的计算方法和计算公式，有必要根据滩险实测资料分析，另寻新的途径。

三、急流滩滩口段水面落差计算公式的建立

如图 3 所示，水流流经滩口时受河床在平面上两岸的横向缩窄和河底隆起部分的纵向收缩，水流要素将发生较大变化。在滩口上游水面被壅高，流速很小，形成滩口上游壅水段。随着河槽横断面的缩窄，流速不断增大，水面则急剧降落，成为滩口急流段，并在其末端，水面降落到最低点，而在平面上靠近两岸处形成回流区。以后由于河槽横断面积的扩大，流

速又逐步减小，水面比降恢复平缓或出现负比降，形成滩口下游段。图 4 为 × × 江某河段特等滩和甲等滩的实测水面曲线图。

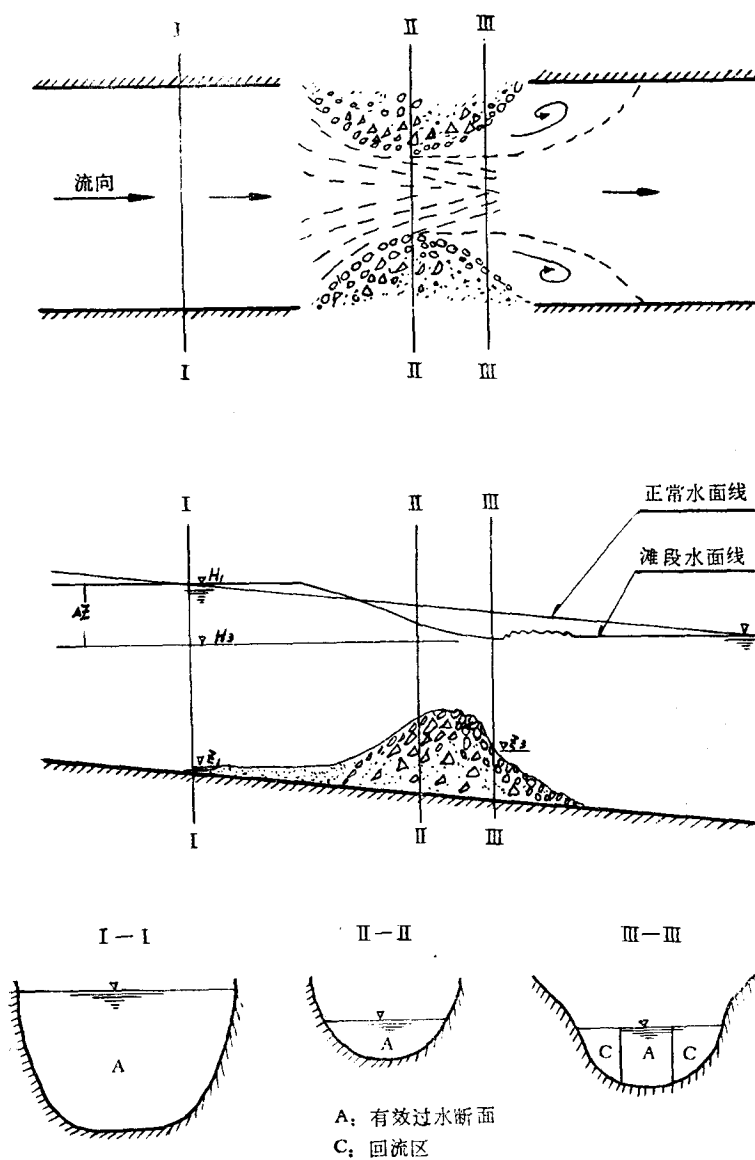


图 3

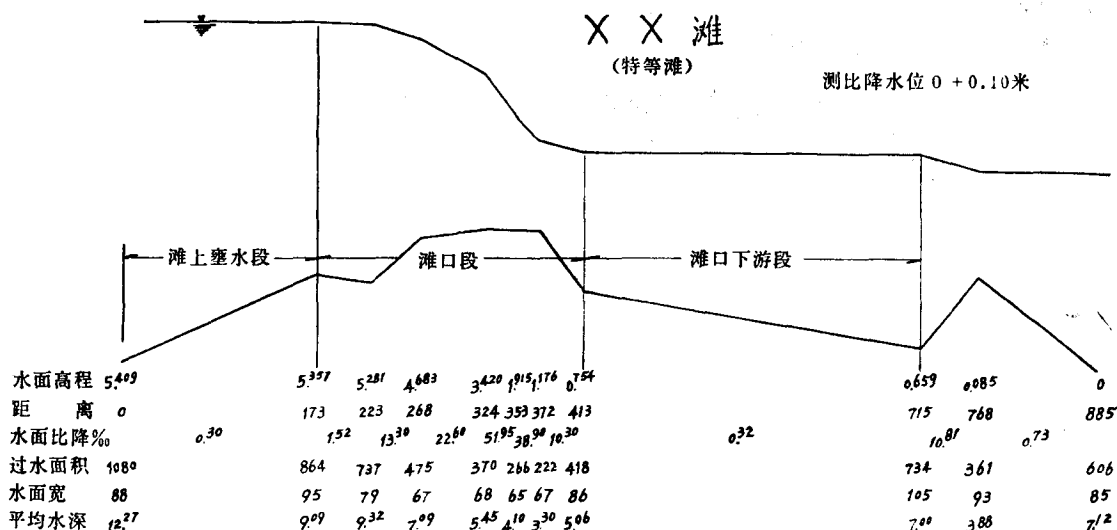


图 4 (a)

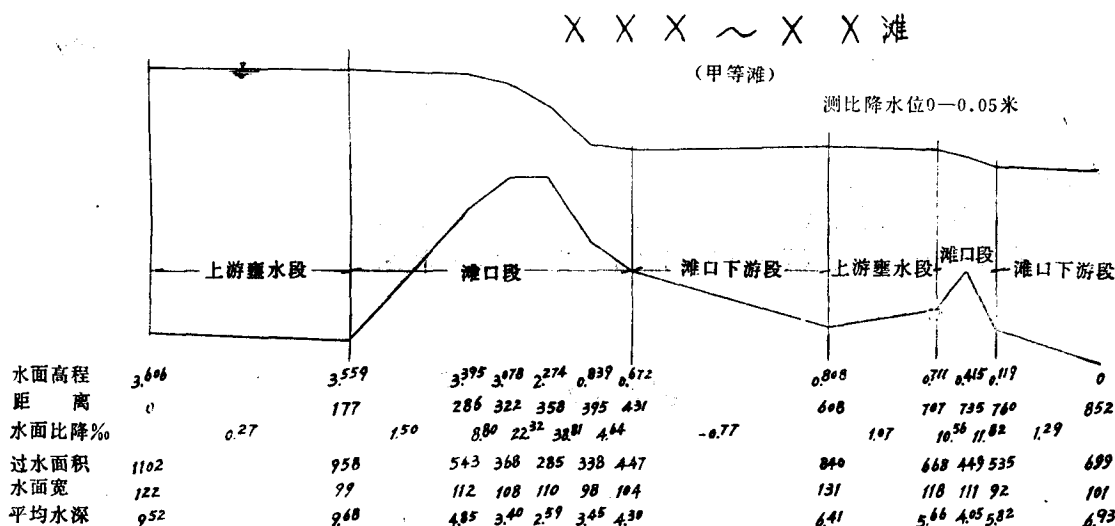


图 4 (b)

从图4中可看到,一般特甲等滩滩口段的水面比降达20~40%,图4(a)所示特等滩其局部比降竟高达52%。由于滩口段水面比降很大,水流在垂直方向上发生弯曲时,因离心力的存在,压力水头已不再遵循水静力学规律而产生附加压力水头。根据牛顿定律,因离心力产生的附加压力水头 h_c ,与弯曲水流的流速 u 的平方成正比,而与水流在垂直方向上的弯曲半径 r 成反比,即

$$h_c = h \frac{u^2}{gr} \quad (7)$$

式中: h ——该流速点处水流的深度;
 g ——重力加速度。

因而,水流的实际压力水头需加以改正,

$$\alpha' h_p = h_p + h_c \quad (8)$$

式中: h_p ——正常压力水头, 即按水静力学规律的压力水头,

α' ——压力水头的分布改正系数,

$$\alpha' = \frac{1}{QH} \int_{\omega} (h_p + h_c) u d\omega = 1 + \frac{1}{QH} \int_{\omega} h_c u d\omega$$

式中: H ——水深。

如使用断面平均流速水头来表达, 则水流的实际压力水头如下:

$$\alpha' h_p = h_p + k_p \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

式中: v ——断面平均流速;

k_p ——用流速水头表示的压力水头分布不均匀系数。

水流流经滩口段时, 因河床纵横向收缩而产生漩涡、回流等局部能量损失可表达如下。

$$h_e = k_e \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

式中: h_e ——涡流能头损失;

k_e ——涡流系数。

对断面 (I - I) 和 (II - II), 应用能量原理, 可写出方程式如下:

$$\alpha_1 \frac{v^2}{2g} + \alpha'_1 h_{p1} + Z_1 = \alpha_3 \frac{v_3^2}{2g} + \alpha'_3 h_{p3} + Z_3 + h_e + h_f \quad (11)$$

式中: h_f ——沿程摩阻损失;

Z_1, Z_3 ——断面 (I - I) 和 (II - II) 的河底高程;

h_{p1}, h_{p3} ——断面 (I - I) 和 (II - II) 的压力水头。

令 $\alpha'_1 = 1$

$$\alpha'_3 h_{p3} = h_{p3} + k_p \frac{v_3^2}{2g}$$

$$h_e = k_e \frac{v_3^2}{2g}$$

又

$$h_{p1} + Z_1 = H_1$$

$$h_{p3} + Z_3 = H_3$$

此处, H_1, H_3 分别为断面 (I - I) 和 (II - II) 处的水面高程, 则

$$H_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = H_3 + (\alpha_3 + k_p + k_e) \frac{v_3^2}{2g} + h_f \quad (12)$$

令

$$\Delta Z = H_1 - H_3,$$

$$\Delta Z_0 = \Delta Z + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g},$$

$$A = \alpha_3 + k_p + k_e,$$

则

$$\Delta Z_0 = A \frac{v_3^2}{2g} + h_f \quad (13)$$

从上述式(13)的推导过程中可以看出, A 值与许多因素有关, 诸如河床的横向缩窄程度

和河底隆起部分的高度, 滩口段的水面比降, 滩口段进口处的河床形态 (包括水流在平面上的弯曲程度, 对口抑或错口以及错口的程度等), 流速在横断面上分布不均匀程度, 滩口段长度与河宽的比值, 滩口段的佛氏数等等。理论分析与××江等山区河流的整治实践表明, 在这许多因素中影响 A 值的主要因素, 应是水流受河床纵向缩窄的程度。这里采用滩口段最小断面的特性流量 K_3 与滩口上游段的特性流量 K_1 之比来表达影响 A 值的主要因素, 即

$$m = 1 - \frac{K_3}{K_1} \quad (14)$$

式中: $K_1 = \frac{1}{n_0} \omega_1 R_1^{\frac{2}{3}}$, $K_3 = \frac{1}{n} \omega_3 R_3^{\frac{2}{3}}$,

其中 n_0 与 n 分别为滩口上游段及滩口段的河床糙率。

则 $A = f(m)$ (15)

根据对××江三十多个滩险的实测资料的计算分析, 采取滩口上游段糙率 n_0 与滩口段

糙率 n 之比为: 特等滩 $\frac{n_0}{n} = 0.6 \sim 0.7$, 甲等

滩 $\frac{n_0}{n} = 0.7 \sim 0.8$, 乙等滩 $\frac{n_0}{n} = 0.8 \sim 0.9$,

丙等滩 $\frac{n_0}{n} = 0.9 \sim 1.0$, 将计算结果绘出 A

$= f(m)$ 关系曲线如图 5 所示。

从图 5 曲线可写出 A 与 m 的数学关系表达式。

$$A = 1.12^{(1-m)} (1-m)^{-0.41} \quad (16)$$

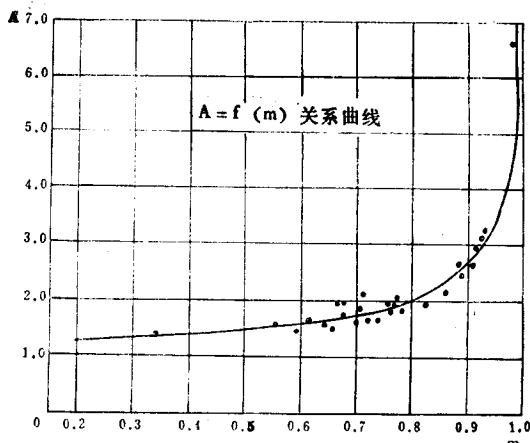


图 5

四、具体计算步骤

由于各急流滩具体情况不同, 影响水流能量损失的尚有其他许多次要因素, 所有这些次要因素, 在应用式(13)、(14)、(15)或(16)进行计算时, 实际上仍然包含在滩口段的糙率 n 中。但因这些次要因素的影响比较弱, 因而反映在 n 中也比较小。为了提高计算精度, 在实际计算中, 可利用滩险的实测资料, 在算出 m 和 A 值后, 使用式(13)再推求出本滩滩口段的实测糙率 n 。至于在滩险整治后的计算中, 由于上述这些次要因素或则在整治前后没有改变, 或则改变甚小, 因此可令 n 在整治前后保持不变, 仅依据整治后的 m 值从 $A = f(m)$ 曲线上或依据式(16)计算 A 值。具体计算步骤如下:

(一)根据整治急流滩的河床地形和水流特征, 从滩口段找出滩口最小过水断面, 作为计算公式(13)中的断面(Ⅱ-Ⅱ), 并在滩口上游水面尚未降落, 且能代表上游河槽情况的地方选取计算段, 以计算段的平均断面作为式(13)中的断面(Ⅰ-Ⅰ)。

(二)计算式(13)中的 ΔZ_0 。为此, 取上游计算段始端断面的水面高程与滩口段末端水面开始转平处的水面高程之差为 ΔZ , 再计算出断面(Ⅰ-Ⅰ)的流速水头 $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$, 其中 α_1 为

断面(I-I)的能量流速水头分布不均匀系数,在成滩水位时,断面(I-I)可视为壅水段,一般可取 $\alpha_1 = 1.10 \sim 1.15$ 。

(三)根据上游壅水段的实测资料,算出上游计算段的糙率 n_0 ,并根据 $K_1 = \frac{1}{n_0} \omega_1 R_1^{\frac{49}{16}}$ 计算出上游计算段的特性流量 K_1 。

(四)为了计算滩口段的糙率 n ,必须知道滩口段的特性流量 K_3 ,而 K_3 中又包含有 n 。为此需要应用试算法,先根据滩口段的具体情况,假定滩口段的糙率 n 为某一数值,据以算出 K_3 ($K_3 = \frac{1}{n} \omega_3 R_3^{\frac{49}{16}}$),并算出 m 值 ($m = 1 - \frac{K_3}{K_1}$),再根据 m 值从 $A = f(m)$ 关系曲线上找出 A 值,也可使用式(16) $A = 1.12^{(1-m)} (1-m)^{-0.41}$,计算 A 值,然后代入式(13)中,求得滩口段的沿程损失 h_f 。按下式计算滩口段的糙率 n :

$$n^2 = \frac{\omega_{cp}^2 R_{cp}^{\frac{4}{3}}}{Q^2} \cdot \frac{h_f}{l} \quad (17)$$

式中: Q ——测比降时的流量;

l ——滩口段的长度,即滩口段进口水面开始降落处至滩口段末端水面开始转平处之间的距离;

ω_{cp}, R_{cp} ——滩口段的平均过水面积和平均水力半径(可取对距离的加权平均值)。

如果按式(17)算出的糙率 n 与原先假设的糙率 n 相差较大,则重行假设 n ,再按上述步骤进行计算,直到算出的 n 与假设的 n 一致时为止。

今以 $\times \times$ 江 $\times \times \times$ 滩为例,滩口段糙率 n 计算如表4所示。

$\times \times \times$ 滩滩口段实测糙率试算表

表 4

假设糙率 n	上游段 实测糙率 n_0	$\frac{n_0}{n}$	m' $= 1 - \frac{\omega_3 R_3^{\frac{49}{16}}}{\omega_1 R_1^{\frac{49}{16}}}$	m $= 1 - \frac{n_0}{n} (1 - m')$	A	h_f	$\left(\frac{\omega_{cp} R_{cp}^{\frac{49}{16}}}{Q} \right)^2 \cdot \frac{1}{l}$	糙率 n
0.0785	0.0470	0.60	0.885	0.931	3.02	0.635	0.00885	0.0749
0.0758	0.0470	0.62	0.885	0.929	2.98	0.683	0.00885	0.0777
0.0768	0.0470	0.611	0.885	0.930	3.00	0.660	0.00885	0.0769

以上所求为整治前的数据。在计算整治后滩口段的水面落差时,由于滩口段过水面积将扩大,引起上游水面及滩口段水面下降,从而使断面(I-I)及(II-II)的过水面积和水力半径等数值发生变化。计算须采用试算法。其具体步骤如下:

1. 根据滩口段整治设计情况,假设整治后滩段总落差为 ΔZ_1 。

2. 按假设的 ΔZ_1 ,求得断面(I-I)的水面高程,并据以计算出断面(I-I)整治后的 ω_1 、 R_1 和 K_1 (令上游计算段糙率 n_0 整治前后不变)。

3. 按落差内插法推求在滩段总落差为 ΔZ_1 时,滩口段最小过水断面的水面高程,并据以计算出断面(II-II)整治后的 ω_3 、 R_3 和 K_3 (令滩口段糙率 n 整治前后不变)。