

水位流量关系单值化水力学工程措施在黄河水文中的应用

孔德志 赵世斗 高莹 黄继伟

黄河水利委员会水文局, 河南 郑州 450004

[摘要] 水位流量关系的复杂给水文测验带来了很大的工作量。在这种情况下, 按照相关的规定建立水位流量单值关系, 以此来减少内外业的工作量, 提高经济效益和工作效率, 保证成果的质量, 减轻劳动的强度, 以适应新时代水文工作的要求。文章主要介绍水位流量关系单值化的水力学工程措施的施工方面。

[关键词] 水位流量; 单值化; 水力学; 黄河水文; 施工

DOI: 10.33142/hst.v3i6.2983

中图分类号: P333

文献标识码: A

Application of Hydraulic Engineering Measures of Single Valued Stage Discharge Relationship in Hydrology of the Yellow River

KONG Dezhi, ZHAO Shidou, GAO Ying, HUANG Jiwei

Hydrological Bureau of Yellow River Water Conservancy Commission, Zhengzhou, Henan, 450004, China

Abstract: The complexity of stage discharge relationship has brought a lot of work to hydrometry. In this case, the single value relationship of water level and discharge should be established according to the relevant provisions, so as to reduce the workload of internal and external work, improve economic benefits and work efficiency, ensure the quality of the results and reduce the intensity of labor, so as to meet the requirements of hydrological work in the new era. This paper mainly introduces the construction of hydraulic engineering measures with single value of water level discharge relationship.

Keywords: stage discharge; single value; hydraulics; hydrology of the Yellow River; construction

1 水位流量关系单值化的非工程措施

1.1 单值化出现背景

河流水位与流量关系受洪水涨落、变动回水、断面冲淤变化、水利水电工程等诸多复杂因素的影响, 无法对函数关系进行解析。表现在水位流量关系曲线形状上呈现出点据混乱的单一绳套或极不规则、大小不一、位置不定的复式绳套。自二十世纪五十年代以来, 为了水文资料整编的实际需要, 对非单一水位流量关系曲线定线推流提出了很多方法。

1.2 单值化概念最早出现

长江水利委员会葛维亚, 1972-1975 采用落差指数法对水位流量关系单值化进行研究应用阶段, 1980 年由葛维亚执笔的《稳定河床水位流量关系单值化处理办法及其应用》刊登在《人民长江》; 1986 年单值化技术开始在全国逐步推广应用。1988 年《水文年鉴编印规范》(SD244-87) 标准颁发, 规范中把单值化处理的落差指数法引入其中, 此后有关规范中均引入单值化有关规定。(文献来源《开创水文单值化技术纪实》葛维亚)

2 水位流量关系单值化工程措施

随着水文巡测技术的发展, 水资源监测任务的日益增加, 仅采用流速面积法已不能满足现代流量测验的需要。根据《水工建筑物与堰槽测流规范》(SL 537-2011) 要求, 利用溢流堰、测流槽等水利工程来改善水位流量关系, 能较大的提高流量测验质量, 更好的满足国民经济建设发展对水文测验提出的新要求。

目前水力学工程措施应用比较广泛的是溢流堰、测流槽, 下面以享堂为例介绍溢流堰的施工工艺, 以黄委中游局和三门局为例介绍测流槽的施工工艺。

3 目前黄委大江大河单值化建设概况

2017 年 4 月, 国家发展和改革委员会以“发改农经(2017) 688 号”对《黄委大江大河水文监测系统建设工程(一期) 可行性研究报告》进行了批复。24 个水文站水力学工程措施实现水位流量关系单值化建设项目是该可研报告的建设内容之一。24 个水文站水力学工程措施实现水位流量关系单值化建设项目主要是利用水力学工程措施, 通过改善河道测验条件, 实现 24 个水文站水位流量关系单值化。

24 个水文站水力学工程措施实现水位流量关系单值化建设项目包括黄河沿、享堂、曹坪、大村、裴沟、吉县、兴县、殿市、桥头、旧县、新市河、子长、青阳岔、李家河、板桥、贾桥、芦村河、悦乐、韩城、陆浑、栾川、润城、石门峪、新安等 24 个水文站。

目前已经建成并投入使用的有（测流槽）：上游局 2 个黄河沿、享堂；中游局 12 个曹坪、大村、裴沟、吉县、兴县、殿市、桥头、旧县、新市河、子长、青阳岔、李家河；三门局 4 个板桥、芦村河、悦乐、红河。

4 享堂水文站溢流堰施工

4.1 享堂水文站概况及工程目标

概况：享堂水文站是大通河的重要控制站，该站设立于 1939 年 10 月 1 日，1940 年 1 月 1 日开始观测，位于青海省民和（回族、土族自治县）县川口镇享堂村。近几年，受上游小电站无序放水和下游谷丰渠闸门调节的影响，水位流量关系变化较大，常出现多条临时曲线。故修建溢流堰来改善享堂水文站测验河道断面水位流量关系。

工程目标（单值化）：一是消除下游谷丰渠闸门启闭对享堂基本断面的影响；二是利用水利工程形成临界水流断面（因理论上临界断面的水位流量关系是单一的水位流量关系）。

4.2 围堰施工

由于该工程涉及左右两岸且三角抛面堰贯穿全断面，因此，只能采用分期导截流半幅施工的办法以保证工程顺利实施。在分期导截流施工中涉及多种施工工序，为保证在享堂水文站所处大通河流域顺利又安全的完成分期导截流，采用到石笼铺设、吨袋对临水面和围堰护角加固、砂砾石填筑围堰等施工工序。

左岸围堰施工：左岸上游围堰开始修筑于 2019 年 8 月底，正值大通河水流大，流速较快，最高时能达到 $400\text{m}^3/\text{s}$ ，施工河段河底凹凸不平，最深处约有 9m；在这种情况下普通的草土袋围堰填筑丝毫起不到任何作用，只能采用石笼先行铺设于河底，石笼和石笼间用铁丝连接，铺设于河底而不被急流冲走，从而达到坐实于河底的效果；待石笼漏出水面时，在石笼上方布设吨袋，防止急流冲走填筑物。吨袋内填充砂砾石，每个吨袋均用麻绳连接，使之为一个整体；待该种方法戗堤进占完成 2-3m 后，戗堤下游面迅速填筑砂砾石，保证机械能够有作业面，同时达到加固戗堤防止戗堤被水冲毁的作用，砂砾石填筑部分顶宽不小于 4.5m，以保证机械能安全通行；在河流冲刷深度较深，戗堤进占较为困难的部位采用抛大石与石笼相结合的方法进行戗堤进占。

右岸围堰施工：由于右岸环境因素围堰填筑料较少，且施工机械设备和人员需要在纵向围堰上施工，工程量大且需要在较短的时间内修筑完成右岸围堰的同时拆除左岸围堰。否则将会发生施工机械设备和人员滞留于河中间的纵向围堰上，危险性较大；施工前需要将修筑左岸围堰的填筑料挖出，堆积于纵向围堰，方便右岸围堰合拢是能提供足够的填筑料。

4.3 挡土墙施工

挡土墙作为溢流堰的附属工程，能够有效的控制测验河道断面宽度。左右岸挡土墙为素混凝土，高 6m，底宽 3.1m，顶宽 0.5m，长 100m。因围堰为土石围堰且由于受投资所限，围堰未做灌浆处理，导致围堰渗水量较大。下游 100m 处为谷丰渠取水口，截断了地下水通道且人为抬高了水位，导致地下水丰富，极难排除。在浇筑挡土墙时也是采用了分仓浇筑，在每仓相连接的地方做伸缩缝处理，以免过长的素混凝土挡土墙热胀冷缩发生形变，对挡土墙本身造成破坏。

挡土墙分段浇筑，每仓有 12m 长，3.1m 宽，2m 高，一次性浇筑方量较大，基础底又用砂砾石夯实。浇筑时模板易跑模，故底层需用钢架管及对拉丝支撑，上层仓号内需在下层预留锚杆，焊接拉杆及钢管，固定模板。上下分层浇筑时应凿毛。

4.4 溢流堰施工

溢流堰是享堂水文站施工中的重点和难点，是水位流量单值化建设的体现，三角型剖面堰要注意临水的堰面光滑整洁，堰顶高程与设计值一致。

溢流堰底板与底板桩基有效连接；底板桩基需要破桩头、清理桩面、打毛处理，与溢流堰有效连接；由于模板只能架设在上游剖面堰，下游面要及时收面。

4.5 石笼铺设

设计规格：2.0*1.0*1.5m；铺设方法：钢管固定、各石笼有效链接。

4.6 施工难点与方案

4.6.1 施工导截流

围堰困难点：a、初期围堰施工过程中，断面流量较大，平均流量约为 $200\text{m}^3/\text{s}$ （最大达 $400\text{m}^3/\text{s}$ ），流速较快，约

为 3m/s; b、左右两岸均为峡谷, 且较陡峭, 造成施工面狭小, 无法大批量配置机械设备和人员; c、半幅截流后过流宽度只有 26m—27m, 造成防洪要求较高; d、二期导截流时由于地形条件影响截流风险较高; e、围堰长度较长, 纵向围堰长度达到 110m, 造成围堰工程量较大。

4.6.2 施工经常性排水

困难点: a、围堰为土石围堰且由于受投资所限, 围堰未做灌浆处理, 导致围堰渗水量较大。B、下游 100m 处为谷丰渠取水口, 截断了地下水通道且人为抬高了水位, 导致地下水丰富, 极难排除。

4.6.3 方案

为了降低渗水水位保证工程正常实施我们采用了疏、堵、排、填的方法。具体做法如下: 疏, 在做好的围堰后做排水管, 将大部分渗水疏导至河床。堵, 在围堰及建筑物周边深埋防渗膜, 截断渗流通道。排, 配置多台大功率水泵, 进行强排。该工程共配置大功率水泵 6 台, 分别为 7.5kw 离心泵两台 (单台排水量 $150\text{m}^3/\text{h}$), 15kw 离心泵 2 台 (单台排水量 $250\text{m}^3/\text{h}$), 22kw 离心泵 1 台 (单台排水量 $300\text{m}^3/\text{h}$), 30kw 八级离心泵 1 台 (单台排水量 $1500\text{m}^3/\text{h}$)。填, 为了延长渗径, 拓展施工场地, 围堰完成后我们将整个河道人为填筑至 1154 高程。该项左右两个断面填筑量约为 $60*55*4.5=13500\text{m}^3$, 待整个建筑物完成后, 再挖除填筑物, 恢复河道。

4.7 经验与建议

4.7.1 经验

(1) 为了保证工程顺利实施, 枯水期施工时导流宽度在保证安全的前提下尽量降低。以便跨河建筑物能多修筑一部分, 以利二期时中间部分建筑物能顺利衔接。

(2) 上下游护坦均为铅丝石笼, 在实施二期前, 已做好的靠河侧铅丝石笼下埋设土工布与纵向围堰形成一体, 降低铅丝石笼渗水。

(3) 在已做好的建筑物上布设好纵向围堰。此时为无水状态, 方便施工。为了防渗及防止该部分围堰被冲垮。与混凝土面结合处需用草土袋人工码砌。为了防治冲毁, 需在二期靠河侧设置吨袋两道, 且需整体连接。

(4) 强排的方式最能见效, 相对投资也低一些, 但前提时必须有足够的电力。

4.7.2 建议

(1) 混凝土的选择: 溢流堰宜采用防冲刷混凝土, 比如橡胶混凝土 (三门峡泄流底孔); 挡墙宜采用抗冻混凝土及新材料混凝土。

(2) 建筑物上游面护坦采用铅丝石笼效果很好, 但长度还可适当缩减。建筑物下游面消力部分建议还是要用混凝土消力池。

5 测流槽施工

相对于测流堰而言, 测流槽用于测量较小的流量, 更适合于有泥沙输移的河道, 特别是有推移质输沙的河段。

5.1 测流槽的分类

常用的测流槽分为长喉道槽和短喉道槽, 长喉道槽主要有矩形、梯形和 U 形 3 种, 短喉道槽主要有巴歇尔测流槽和孙奈利测流槽两种。

5.2 长喉道槽应用范围

长喉道单值化槽可在含沙量较大的河流上应用, 这种槽由于喉道长, 可使水流平稳流出, 从而便于建立水位流量关系, 同时施工技术要求也不高, 具有一定的排沙 (悬移质) 能力, 在窄河道水流测量具有很强适应性。

5.3 测流槽施工

根据测流槽适用条件, 结合现场情况, 黄委大江大河水文监测系统建设工程 (一期) 项目中黄河支流上吉县、大村、新市河、裴沟、子长等 22 处水文站测验断面含沙量高, 冲淤变化大, 采用长喉道单值化测流槽, 有效解决非汛期低水测验, 解放全年大部分时间测站人员, 且达到流量的实时监测。

黄委中游局目前有 12 个测流槽已投入使用。工程位于黄委中游局子长、兴县、新市河、青阳岔、桥头、裴沟、李家河、旧县、吉县、殿市、大村、曹坪等 12 个水文站。其中曹坪和李家河水文站测流槽为 V 字形 (属 U 形), 桥头水文站为大 V 字形测流槽, 其他站是矩形测流槽, 裴沟水文站为复式矩形测流槽 (大矩形槽套小矩形槽型测流槽)。

黄委三门局目前有 2 个测流槽已投入使用。工程位于黄委三门局悦乐、红河水文站。其中悦乐水文站测流槽复式

矩形测流槽，红河站为V字形测流槽。

测流槽施工工艺：施工导截流—测流槽基础开挖—测流槽钢筋绑扎—测流槽模板支护—测流槽混凝土浇筑—测流槽模板拆除—测流槽混凝土养护—测流槽混凝土外观检查。

5.4 经验与建议

5.4.1 经验

- (1) 石板河床基础比较稳定，不易产生不均匀沉降，适合测流槽稳定运行。
- (2) 石板河床有利于锚杆锚固，增加测流槽底板的抗滑力，有利于测流槽基础稳定。
- (3) 石板河床行洪通畅，测流槽内不易产生淤积，有利于水位流量关系单值化。
- (4) 测流槽不能建在原测流断面上，避免影响中大洪水测验。

5.4.2 建议

- (1) 长喉道测流槽喉道长度应不小于测流槽宽度的5-10倍，尽量加长喉道，有利于水流形态稳定。
- (2) 建议把测流槽流速控制在1.0m/s以下，有利于流速仪法测流。
- (3) 翼墙的修建高度应控制在1.0m以下，有利于原河流形态不变。
- (4) 应对翼墙外侧砌筑浆砌石加固，防止翼墙外侧被冲刷。
- (5) 测流槽上下游应铺设石笼或浇筑混凝土硬化，防止冲刷，避免对测流槽造成损坏。

6 总结

- (1) 通过水位流量关系单值化的水力学工程措施的应用，溢流堰、测流槽是未来水文测验的发展趋势。
- (2) 通过几种测流槽单值化的应用，V字形测流槽适用于小水测验。
- (3) 测流槽长喉道应采用防冲刷、抗冻（严寒地区）混凝土。
- (4) 复式测流槽能有效解决不同流量级的流速测验。

【参考文献】

- [1] 葛维亚, 罗学棋, 唐佩文. 稳定河床水位流量关系单值化处理方法及其应用[J]. 人民长江, 1981(2): 3-14.
- [2] 郑成梅. 水位流量关系单值化处理分析[J]. 黑龙江科技信息, 2009(8): 179.
- 作者简介: 孔德志, (1973-) 男, 汉, 高级工程师, 水利工程施工及水文测验研究。