

# Technical Research on Multi-Span Hydrographic Cableway in Liujiadaokou Hydrologic Station

Engui Cui<sup>1</sup>, Youcheng Tian<sup>2</sup>, Haibin Cui<sup>1</sup>, Xifang Dong<sup>1</sup>, Changjie Fan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Linyi Hydrology Bureau, Linyi Shandong

<sup>2</sup>Middle Changjiang River Bureau of Hydrology and Water Resources Survey, Hydrological Bureau of CWRC, Wuhan Hubei  
Email: 524461687@qq.com

Received: Sep. 8<sup>th</sup>, 2020; accepted: Sep. 21<sup>st</sup>, 2020; published: Sep. 28<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

With the development and updating of hydrometric technology, new hydrologic data collecting instruments are gradually equipped to the base hydrologic stations, which improve effectiveness for a given period of time to the data collection [1]. The validity of hydrologic cableway design can affect the normal application of the new flow test equipments. Liujiadaokou hydrologic station is built according to an important control station for large rivers. The span of cable channel is 810 meters long, which has exceeded the applicable range of single-span cable channel. With the bridge-measurement method, the flow is greatly affected by the pier, the water velocity instrument is not easy to keep stable, and the measurement accuracy is poorer [2], especially in coming flood peaks. The erection of more span cableway will greatly improve the flow problem of the long-wide cable channel spanned river. Based on the relevant standard requests of hydrological cableway, we design and accomplish the multi-span hydrological cableway project of Liujiadaokou hydrologic station with the technical experience and overcome the previous multi-span hydrological cableway shortcomings. The cableway system has been put into operation and run stably. The flood hygrometry ability meets the requirements of flood control standard and improves the speed of hydrological data transmission and the measuring precision.

## Keywords

Hydrologic Cableway, Multi Span, Hydrometrics

# 刘家道口水文站多跨水文缆道技术探究

崔恩贵<sup>1</sup>, 田有成<sup>2</sup>, 崔海滨<sup>1</sup>, 董西芳<sup>1</sup>, 范长杰<sup>1</sup>

<sup>1</sup>临沂市水文局, 山东 临沂

<sup>2</sup>长江水利委员会水文局长江中游水文水资源勘测局, 湖北 武汉

Email: 524461687@qq.com

作者简介: 崔恩贵(1975-), 男, 汉族, 山东临沂人, 高级工程师, 研究方向: 水文水资源。

收稿日期：2020年9月8日；录用日期：2020年9月21日；发布日期：2020年9月28日

## 摘要

随着水文测验技术的不断发展和更新，新型的水文数据采集设备逐步武装到基层测站，提高了数据采集的时效性[1]。水文缆道设计的合理与否，影响到新型流量测验设备的正常应用。刘家道口水文站属于大河重要控制站，缆道跨度810 m，已经超出了单跨缆道的适用范围。采用桥测法测流，水流受到桥墩的影响较大，流速仪不易稳定，测验精度较差[2]，尤其在洪峰来临时测验相当困难，架设多跨缆道将会大大改善大跨度河流测流问题。结合水文缆道相关规范要求，总结以往多跨水文缆道技术经验与不足，设计并实施了刘家道口水文站多跨水文缆道项目。该缆道投入使用后，系统运行稳定，测洪能力满足防洪标准要求，提高了水文信息传输速度和测报精度。

## 关键词

水文缆道，多跨，水文测验

Copyright © 2020 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

刘家道口水文站缆道跨度 810 m，原来采用桥测法测流，流速较大时，水流受到桥墩的影响较大，水流较紊乱，流速仪不易稳定，测验精度较差，尤其在洪峰来临时测验相当困难；该水文站河道断面跨度大，属宽浅河道，如采用船测法在流量测验时受风浪及漂浮物影响较大，船体较小容易倾覆，人员测验时具有较大的安全隐患；浮标法测流则受浮标运行历时误差、浮标制作人工误差、风向、风速影响较大，测验精度较低；相比较而言，铅鱼缆道测流法精度高，且人员劳动强度低，但一般河道宽度超过 500 m 时，不宜用架设单跨缆道方式进行水文测验，因此，刘家道口水文站架设多跨缆道是最优的选择。

目前，我国现有缆道众多，但多跨缆道在水文测验应用上占比并不高，主要原因是技术上还不是太成熟，实际应用效果也太不理想。粗略统计存在的主要问题有：

1) 多跨缆道的行车缺乏稳定可靠的防脱槽装置；2) 中间塔架的布设位置及顶部装置设计不到位，不能保障行车安全通过中间塔架；3) 缺少能及时反映行车的运行姿态和钢丝绳、滑轮磨损状态的设施设备，只能通过望远镜观察运行过程，视觉效果欠佳；4) 绞车采用普通缆道模式，测验历时长，测验人员劳动强度大；5) 自动化程度偏低，且系统异常状态下不能及时监测并自动作应急处理。

因此，水文缆道的布设型式显得尤为重要，关系到缆道能否准确可靠、经济合理、方便使用。刘家道口水文站多跨缆道在设计实施过程中，充分考虑到缆道运行安全、测验精度、时效性等因素，着重对缆道行车、中间塔架和水文测验控制系统等部分进行了优化设计，取得了较好的效果。

## 2. 刘家道口水文站基本情况

刘家道口水文站为国家重要水文站，位于郟城县李庄镇刘家道口村北，地理位置为东经 118°26'，北纬 34°56'，系沂河干流控制站。本站设立于 1950 年 8 月，流域面积 10,438 km<sup>2</sup>，河道长 238.3 km，干流平均坡度 0.00077，距上游临沂水文站 10.5 km，距下游李庄拦河闸 6.7 km。李庄拦河闸上游 700 m 处沂河右岸武河口建有江风口分洪闸。

刘家道口枢纽工程主要由刘家道口节制闸、彭家道口分洪闸、灌溉洞等工程组成,该枢纽是沂沭泗河洪水东调南下骨干工程之一,是实现沂河洪水东调的关键性工程。刘家道口节制闸位于分沂入沭河口右岸裹头以下 200 m 处,36 孔弧形钢闸门(16 m × 8.5 m)。刘家道口水文站作为刘家道口节制闸出流控制站,主要测验项目有:降水、蒸发、水位、流量等,并承担着向国家防总、淮委、沂沭泗水利管理局、山东、江苏等省、市防指提供情报预报任务。

### 3. 项目设计基本情况

#### 3.1. 水文气象资料

刘家道口水文站属于大河重要控制站,水文缆道位于刘家道口节制闸下游 280 m,该闸设计洪水标准 50 年一遇,过闸流量 12,000 m<sup>3</sup>/s,相应闸上水位 61.07 m、闸下水位 60.89 m;校核洪水标准 100 年一遇,过闸流量 14,000 m<sup>3</sup>/s,相应闸上水位 61.69 m、闸下水位 61.48 m。最大流速为 3.2 m/s,最大风力 6 级。河流断面最大宽度 750 m,多雷击。

#### 3.2. 设计标准

选用铅鱼重量 300 kg;设计塔架跨度  $L = 810$  m(3 跨);设计左右岸塔基高程 63.50 m,塔高 11.00 m;设计中间塔基高程 55.00 m,塔高 19.50 m;缆道避雷塔架高度 3.0 m;设计最大流速 3.2 m/s;设计最大风速 13.8 m/s,最大风力 6 级;单跨设计主索加载垂度  $f_v = 5.78$  m;设计主索空载垂度  $f_v = 4.05$  m;设计主索地锚的对地夹角  $\alpha < 60^\circ$ ;设计缆道测洪标准为 50 年一遇,防洪标准为 100 年一遇;根据地形条件设计采用开口式缆道。设计采用安全系数[3]见表 1。

Table 1. Safety factors of design used

表 1. 设计采用的安全系数

名称	主索	牵引索	地锚	支架	拉线
安全系数 K	$K \geq 3.0$	$K \geq 2.5$	$K \geq 2.5$	$K \geq 2.5$	$K \geq 3.0$

#### 3.3. 机械循环系统设计

多跨缆道与单跨缆道最大的区别就是河道断面中间设立若干个塔架,因此需要考虑行车顺利通过中间塔架并且悬挂铅鱼的循环索不出现跳槽的问题。

为使多跨缆道塔架安装方便,安全可靠,外观新颖,此多跨缆道塔架为热镀锌自立式钢管塔;除左右岸塔架不需要设悬臂式固定架外,中间塔架需设三处悬臂式固定架,分别固定主索、循环索和避雷索滑轮。悬臂式固定架伸出臂长设计为 1.8 m,是根据塔架基础与钢塔直径及铅鱼尺寸等因素在超低水位及高洪情况下确保铅鱼在中间塔架处水中前行不受影响而确定的,另一方面在拖曳 ADCP 进行测流的情况下,设备能不受流速大小的影响安全通过塔架。

多跨式缆道行车应采用“L”形结构,行车下部悬臂应有足够的空间,确保循环索在水平运行和垂直运行时不发生磨擦。

中间塔架主索滑轮:行车设计时,需考虑行车两个行走轮能够顺利通过塔架支撑点,设计时在塔架支撑主索处固定两个滑轮,轮槽深度为主索直径的一半,确保行车行走轮与塔架支撑点两个滑轮中间空隙刚好为主索直径,使行车顺利通过;

行车防脱槽装置:多跨缆道行车最大的难点是防脱槽设计,因此考虑在行车正常运行时要有防脱槽装置,确保行车不会从主索上掉下;在行车通过中间塔架主索滑轮固定点时保证行车防脱槽装置打开能顺利通过,通过中间塔架主索滑轮固定点后,防脱槽装置闭合。该行车设计时加装弹跳装置,主要包含固定板、弹跳轴和弹

簧等构件，行车结构图如图 1。

拉偏处理：考虑到铅鱼在水流冲力作用下行车被拉偏，将行车行走轮开口弧度设计为  $90^\circ$ ，行车行走轮宽度可将塔架支撑架处两个固定滑轮包裹，能满足行车在最大拉偏角度( $45^\circ$ )时可顺利通过。行车行走轮与主索滑轮啮合示意图如图 2。

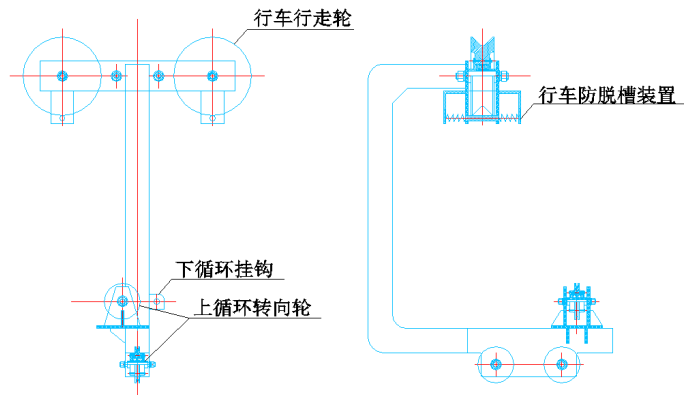


Figure 1. "L" driving design drawing  
图 1. "L" 行车设计图

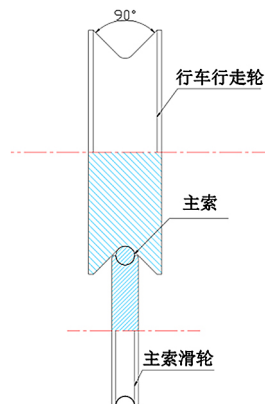


Figure 2. Diagram of meshing of traveling wheel and main cable pulley  
图 2. 行车行走轮与主索滑轮啮合示意图

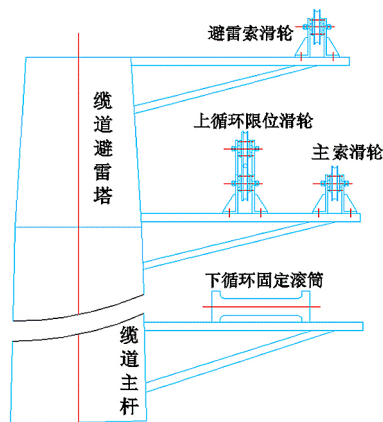


Figure 3. Schematic diagram of cantilever fixing frame arrangement  
图 3. 悬臂式固定架布设示意图

由于跨度较大，除主索垂度按要求收紧外，循环索垂度也会影响行车的正常运行。因此在主索一侧用固定滑轮将上循环限位，使得上循环不与主索打绞；在主索下方用滚筒将下循环限位，以上循环与下循环之间水平距离为滚筒的长度，行车运行时将不受循环索垂度的影响。悬臂式固定架布设示意图如图 3。

### 3.4. 塔架基础设计

刘家道口水文站水文缆道塔架基础采用自立式结构。根据地勘报告显示拟建场地地貌单元属鲁中南构造侵蚀为主中低山丘陵区(II)堆积山间平原亚区(II5)，地貌形态属山间冲洪积平原地貌，地层除表层回填土(Qml)外，主要为第四系全新统冲积洪积堆积(Q4al + pl)地层。

左右岸塔架基础为平板加桩基础，中间塔架基础为平板基础；考虑到中间塔架主索支撑点位置和左右岸塔架主索支撑点四点为一条线，故中间塔架较左右岸铁塔基础偏上游 1.8 m 处。

### 3.5. 水文测验控制系统设计

为实现水文测验的信息化，减轻水文站基层职工的劳动强度，提高水文信息的传输速度和测报精度，研制该水文测验控制系统。

水文缆道测控系统是集交流变频调速技术、光栅编码测距技术、自动定位控制技术、缆道测流技术、缆道无线信号传输技术和计算机联机测控处理及数据整编技术为一体，配合水文绞车装置、测流铅鱼装置等共同组成的一套全自动测流系统。该系统能利用计算机控制水文缆道实现全自动、半自动方式对河道任意断面流量的测量。水文测验控制系统原理图如图 4。

水文缆道测控系统单片机部分主要由以下几大模块组成：

网络模块：在网络模式下与上位机进行通信 U 盘读写模块，读取 U 盘大断面数据及导出测量成果；语音控制模块：控制发出提示语音及信号音；电源控制模块：电路板及芯片供电；触控显示模块：显示交互画面并响应触控操作；紧急控制模块：提供紧急、突发或程序死机情况下的停止功能；信号输入模块：接收并处理水面、河底、流速信号，以及上下限位信号 D/A 转换模块：数模转换，调节变频器频率；串口收发模块：接收垂直、水平旋转编码器数据；继电器控制模块：控制电机正、反转，控制刹车；前置编码器转换模块：将旋转编码器信号转换为串口数据。水深及起点距计数：为两个光电编码器输入，即通过钢丝绳带动计数轮来测量水深值及起点距值。单片机控制原理图如图 5。

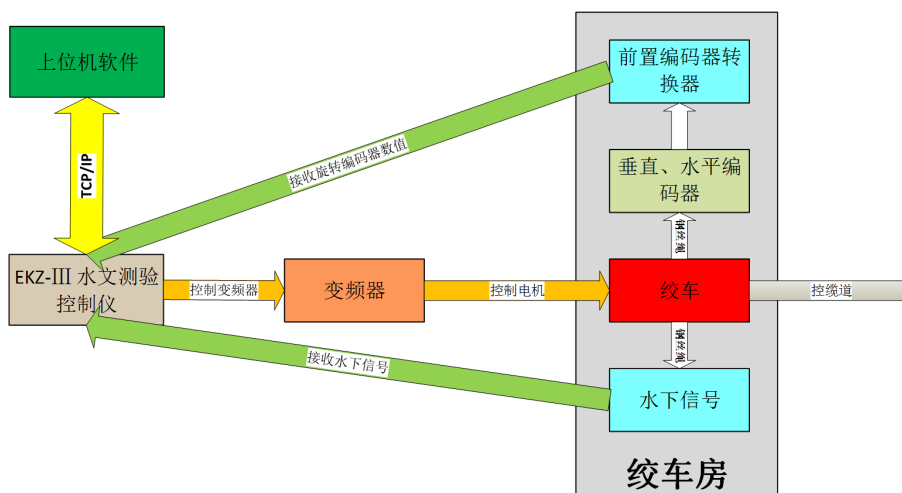


Figure 4. Schematic diagram of hydrologic test control system

图 4. 水文测验控制系统原理图

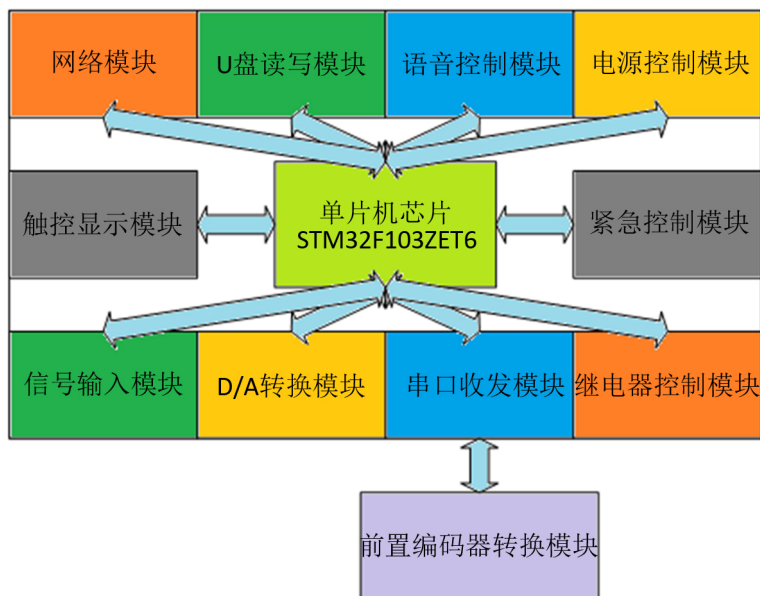


Figure 5. MCU control schematic diagram  
图 5. 单片机控制原理图

现场测量时，可选择是否携带计算机进行现场测量。不带主机时，接口可实时控制铅鱼(流速仪)的水平与垂直运行，能够完成铅鱼(流速仪)水平及垂直移动距离等信号的采集，同步显示测量进度及测量的实时数据，并将测量数据成果显示在触摸屏屏幕上，且记录至 U 盘，以便处理与计算；通过计算机控制时，既可完成过程控制及显示功能，同时具备极强的现场应急处理、计算、存储、分析、查询等功能，测量完毕后直接生成标准的流量记载表，具有资料整编功能。该系统具有手动、半自动、全自动和网络等四种操作模式，其软件主要功能如下：

- 1) 自动测流过程中，能够人工干预，异常测点选择重测，断点续测功能；
- 2) 能够精准定位，在启动与到达测点前能够自动增减速，实现无人工操作，自动完成整个断面流量测量；
- 3) 动态显示铅鱼在断面中运行状态，即图形化模拟现场情景；可以调节铅鱼水平和垂直位移，并显示其移动速度；
- 4) 具备水深与起点距校正和缆道主索弧度修正功能；
- 5) 具备河底信号失灵预警及刹车电机控制；钢丝绳拉断防护及预警功能；
- 6) 可生成标准的测流报表。

## 4. 关键技术的处理

### 4.1. 中间支架安全保障措施

多跨缆道的关键技术之一是行车及中间支架顶部装置的安全性问题。据了解，一般多跨缆道存在因设计考虑不周导致行车行进过程中，因主索弹跳或通过中间支架顶部滑轮时行车行走轮上的主索脱槽而使缆道循环系统崩溃的现象。

刘家道口多跨缆道的中间支架设置的安全检测保障措施主要有以下几点：

1) 行车及支架滑轮防脱槽装置。如果流速过大或漂浮物比较多而导致铅鱼偏角很大(45°)而使行车运行至极限状态时行车的防脱槽装置起作用而保证行车通行安全。行车行走轮拉偏处理措施能保证行车通行支架的安全，而支架顶部设置有上部循环索限位和下部循环索定位结构，能确保循环索在设定的位置区间上运行。

2) 视频监控装置。通过安装在架顶滑轮处的摄像头，操作人员在缆道控制室可清晰观察到行车通过架顶滑轮时的状况及主索与滑轮的磨损程度[4]，消除了行车通过架顶滑轮时的安全隐患。

3) 自动增减速。刘家道口缆道属于超大跨缆道,为提高运行效率,缆道绞车设计为多跨度缆道专用绞车,水平运行速度达到 100 米/分,缆道自动运行时程序设置根据起点距达到中间支架前 5 m 处开始逐步降低速度并开始爬坡、过顶部滑轮,下坡运行 5 m 后再启动加速运行。软件设置与判断的自动控制速度功能既缩短测验历时又保证了系统运行的安全。

## 4.2. 系统异常状态监测及应急处理

系统要实现全自动测流功能就必须完善异常状况监测应急处理功能,刘家道口缆道在设计时对应急处理部分主要采取软硬兼施的措施。

1) 在人工操作模式下,缆道水平和垂直运行遇异常情况,可手动控制停机;在全自动或网络控制模式下,若测流遇到紧急情况,处理不当则可能造成重大安全事故。为了避免这类情况发生,硬件方面,水平与垂直运行方向均加装了限位装置;软件方面,通过参数设置,保证在限位装置失灵或损坏情况下及时停车。

2) 在使用流速仪测流过程中,如果实测水深时河底信号异常,或遇到漂浮物导致铅鱼偏角很大或者超极限状况时,系统会根据上次测验的大断面情况判断水深超过设置预警位置时,自动停车。

3) 系统具备的钢丝绳拉断防护及预警功能,在水平及垂直工作索卡死或铅鱼被大量漂浮物缠绕而使负载超限情况下,通过负载感应装置控制系统及时自动停车,保证了机械循环系统的安全。

## 5. 结束语

刘家道口水文站多跨水文缆道于 2018 年 7 月建成至今,经历了 2019 年“利奇马”等台风洪水的检验,未发生行车脱槽现象,系统运行稳定,测洪能力满足防洪标准要求,提高了水文信息传输速度和测报精度,水文测验基层工作人员的工作安全得到了较大保证[5]。刘家道口水文站多跨水文缆道的建成使用,为今后大跨度河流水文缆道的研究和应用提供了可靠的依据,对超过 500 m 跨度的断面建设多跨缆道具有很好的借鉴意义,具备较高的推广价值。

## 参考文献

- [1] 李维华,吉辛望,郑玉峰.水文缆道设计过程及要点[J].水利信息化,2011(1):44-47+64.  
LI Weihua,JI Xinwang and ZHENG Yufeng. Design procedure and key points of hydrological cableway. Water Conservancy Informatization, 2011(1): 44-47+64. (in Chinese)
- [2] 英爱文,陈松生,原金勇.桥上测流的技术方法和精度研究[J].水文,1997(4):32-35.  
YING Aiwen, CHEN Songsheng and YUAN Jinyong. Technological method and precision studies of measuring flood on bridges. Hydrology, 1997(4): 32-35. (in Chinese)
- [3] SL 622-2014.水文缆道设计规范[S].  
SL 622-2014. Design specification for hydrological cableways. (in Chinese)
- [4] 孙凯,付敬东.浅谈大跨度水文缆道的磨损问题[J].吉林农业,2012(3):210.  
SUN Kai, FU Jingdong. Discussion on abrasion of long-span hydrological cable. Jilin Agriculture, 2012(3): 210. (in Chinese)
- [5] 吴喜军,苏慧艳,宋浩然.九连洞水文站水文多跨缆道实用技术探讨[J].中国水利,2015(23):60-61.  
WU Xijun, SU Huiyan and SONG Haoran. Discussion on practical technology of hydrological multi-cable crossing in Jiulian-dong Hydrology Station. China Water Resources Press, 2015(23): 60-61. (in Chinese)