

· 新结构、新工艺、新技术 ·



长江上游宜宾—重庆河段航道整治 新结构新材料应用*

杨祥飞

(长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 山区河流具有滩多流急、水位暴起暴落、卵石推移质普遍存在的特点,对整治建筑物结构材料提出了更高要求。结合已实施的长江上游泸州—重庆河段、宜宾—泸州河段航道整治工程,对长江上游河流整治建筑物新结构新材料应用、施工工艺等进行总结,得出多项应用实例,在该河段航道治理中具有很好的适用性。这些治理经验的总结,可为其它山区河流航道建设提供借鉴。

关键词: 航道整治; 长江; 结构; 工艺

中图分类号: U 617

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2012)10-0115-05

Application of new structure and material in waterway regulation of the upper Yangtze River reach Yibin to Chongqing

YANG Xiang-fei

(Changjiang Chongqing Harbour and Waterway Engineering Investigation and Design Institute, Chongqing, 401147, China)

Abstract: Based on the characteristics of many shoal and rapids, rise and fall abruptly of the water level, ubiquity of grained bedload, it puts forward higher requirement on structure and material of regulating on mountainous river. According to the finished waterway regulation engineering of the upper Yangtze River reach of Luzhou to Chongqing and Yibin to Luzhou, this paper summarizes the application of new structure and material, construction technology and so on that used and fit well in this river, obtains a number of application examples. The experience provides some reference for waterway regulation on another mountainous rivers.

Key words: waterway regulation; the Yangtze River; structure; technology

川江河道一般具有“弯、浅、险、窄、急”的典型特征,受高原溶雪及降水的影响,水位随季节呈规律性变化:枯水期水位比较稳定;洪水期受暴雨径流影响,水位暴涨暴落,日变幅大。河段内坡陡流急、流态紊乱,水面平均比降约0.25‰,枯水期滩上水流流速一般在2.0~3.0 m/s,但个别滩险可达4.0 m/s。滩险河段水流流态也较为复杂,“斜流”、“滑梁水”、“泡漩水”等不良流态较为普遍。宜宾—重庆河段主要为丘陵地区

河段,河床较开阔,洪水期河宽500~1 000 m,枯水期一般约300~400 m,江心洲和边滩发育,以卵石浅滩碍航为主^[1]。鉴于以上河道特征,川江航道整治存在较大的难度。

为了改善和提高川江航道条件和航道等级,早期曾进行过兰家—沱宜宾河段(简称兰叙段)航道建设工程,为川江航道整治积累了一批宝贵的治理经验,这些经验在后来的长江上游泸州—重庆河段(简称泸渝段)航道建设工程和长江干

收稿日期: 2012-07-31

*基金项目: 西部交通建设科技项目(2009328746042)

作者简介: 杨祥飞(1977—),男,高级工程师,主要从事航道整治工程设计研究的工作。

线宜宾—泸州河段（简称叙泸段）航道建设工程中得到应用，并发挥了重要的技术支撑作用，取得了很好的效果。

长江上游宜宾—重庆河段（简称叙渝段）作为大型山区河流，在全国乃至世界都是首屈一指的，该河段近年来历经系统的航道工程建设，设计和实施过程中，在充分借鉴已有研究成果的基础上，技术上进一步取得突破，取得了许多创新性的成果，如山区卵石河床分汊河段治理技术、扭王字块的应用、卵石耐磨坝面的应用、中洪水期疏浚设计要点等。随着西部经济发展对航运需求的提高，川江航道面临着向更高等级提升的问题，并且，随着内河航运大发展时期的到来，将有更多山区河流将陆续进行航道资源开发，这些宝贵经验将会有广泛的应用前景。为此，本文对叙渝段航道建设工程中新结构新材料应用实例及取得的治理经验进行总结，为今后类似航道工程建设提供借鉴和参考。

1 扭王字块护面（镇脚）结构

20世纪90年代以后，长江上游山区河流整治建筑物结构形式逐渐采用浆砌条石，稳定性得到提高。但山区航道水流流速大、卵石等推移质运动剧烈，坝体迎流顶冲的部位常常出现毁坏现象。如何在结构上进行创新，降低水流冲刷，抵御推移质运动影响，确保坝体的长期稳定显得至关重要。

扭王字块作为海港防波提的主要结构形式，具有良好的抗冲性能。叙渝段航道建设工程首次引进该结构，并因地制宜对结构进行优化和调整，将单块体积缩小，每个块体质量减小至0.8 t，并采用素混凝土结构，适应了川江整治工程的水沙运动和工艺特点。实际应用中，将改进后的扭王字块应用于整治建筑物的坝面、坡面、坝头、坝根等冲刷严重的关键部位进行护面和镇脚，成功解决了传统结构材料难以持久抵抗川江剧烈推移质运动对整治建筑物冲刷、淘蚀的问题^[2]。另外安放扭王字块最重要的质量要求是单位面积内安装块数要达到设计要求。安放时块体在坝面上可斜向放置，并使一半杆件与垫层接触，但相邻块

体摆向不宜相同，不宜大面相接及平行摆放。

实践证明，将扭王字块这一重型结构和具有柔性的钢丝网石笼结构相结合，应用于整治建筑物迎流顶冲等关键部位，能显著增强坝体整体稳定性和抗冲性，提高整治建筑物的耐久性（图1）。这已经在山区河流治理工程中推广应用。目前，该结构逐步在长江中下游的坝头、坝体边坡以及护岸镇脚等关键部位试验应用，具有较好的应用前景。



图1 扭王字块应用效果

2 混凝土镶嵌卵石耐磨坝面结构

川江多为卵石河段，滩段水流流速急、流态坏，部分滩段流速达到3~4 m/s，在高速水流作用下卵石推移质运动十分剧烈，对混凝土坝面磨损影响很大，特别是位于卵石输移带上的整治建筑物坝面，磨损情况更为严重。

叙泸段航道建设工程利用“以卵制卵”的思路，首次提出了混凝土镶嵌卵石耐磨坝面新结构，防止卵石对坝体破坏。在实际工程应用中，首先根据观测和分析资料预测坝体表面卵石输移带位置和范围，然后在位于卵石输移带上的混凝土坝面表面15 cm的范围内，将粒径为20~30 cm的卵石中下部嵌入混凝土中，顶部出露2~5 cm，以达到抗磨效果。卵石嵌入的方向根据水流和推移质输移方向确定，通常卵石的扁平方向与推移质输移方向一致（图2）。



图2 卵石耐磨坝面效果

研究表明，川江河床中的卵石强度一般都非常高，混凝土镶嵌卵石耐磨坝面结构，特别是应用于卵石推移质输沙带上的整治建筑物坝面，可以有效抵抗推移质运动中卵石的撞击和磨损，降低整治建筑物后期维护成本，实现了工程全寿命成本最低，在山区河流整治工程中具有较好的推广应用价值。

3 铰链排护底（护坡）结构

近年来，川江航道整治建筑物结构逐渐加强，常采用抛石坝体基础、混凝土坝面压顶结构。但受山区河流高速水流及卵石推移质运动影响，坝体背水坡块石常被淘蚀、流失情况严重，坝体周边河床（特别是坝头及背水坡下游侧）冲刷形成深坑，影响坝体稳定。

叙泸段航道整治工程首次在川江航道整治中应用了铰链排护底及护坡结构（图3）。将混凝土块铰链排结构头部采用预埋的方式固定于混凝土坝面中，对背水坡及背水坡下游侧5~20 m范围的河床进行守护，较好地解决了背水坡块石流失及坝下河床冲深的问题。将铰链排应用于水流集中的坝体下面进行护底，有效地解决了坝体周边河床冲深而影响坝体稳定的问题。



图3 铰链排护坡结构

铰链排护坡结构，防止了坝体背水坡块石的淘刷流失，增强了坝体整体稳定性；铰链排护底结构确保了整治建筑物周边河床的稳定，可以在类似工程中推广应用。

4 混凝土箱体坝体结构

川江传统的整治建筑物主要是采用散抛块石

构筑坝体，这种坝体在洪水期高速水流作用下，块石容易被逐块冲走、流失，最终导致坝体毁坏。

叙泸段航道建设工程研究试使用了混凝土箱体坝体结构（图4）。这种结构用预制的钢筋混凝土空心箱体构筑坝体，箱内填充卵石等提高箱体自重，表面用现浇混凝土封顶，有效地杜绝了传统块石坝体在水流冲击下发生的流失、损坏等问题。



图4 混凝土箱体坝结构

与块石坝体相比，混凝土箱体坝体体积和自重大、稳定性好、整体性强，抗水流冲击能力得到明显提高；制作预制箱体的原材料普及，箱体的回填料可以就地取材，减少开山采石量，符合当前绿色环保的航道建设理念；施工对水位要求不高，便于机械施工，利于提高施工工艺水平，有着较好的应用前景。

5 钢丝网石笼坝体结构

在川江整治工程中，传统坝体主要由块石、混凝土和土工织物等材料建成。川江流速大，抛石坝体对块石的粒径要求较高，但石料随着川江两岸的逐年开采粒径难以控制，块石粒径小将直接影响坝体的整体稳定性。

在叙泸段航道建设工程中，采用钢丝编织成笼，笼内回填块（卵）石构筑坝体。研究表明，钢丝网石笼结构在川江航道整治工程中应用时，应避免钢丝受卵石磨损、锈蚀等问题。因此，叙泸段航道整治工程通过实践，主要将这种结构应用于缓流区坝体的坝芯填筑，增强坝体整体性；另外，将钢丝网笼和扭王字块压顶护面结构结合，应用于急流区的补坡或镇脚，达到刚柔并济、增强坝体稳定性效果。

这种结构形式使得原本较小的块石形成较大

的个体，具有良好的整体稳定性；填充料采用小块石或大卵石，在川江十分普及，能就地取材，符合当前绿色环保的航道建设理念；网笼采用的钢丝外涂高尔凡高分子材料，具有良好的防锈防腐的作用，显著提高钢丝网笼的使用寿命，具有较高的推广价值。该成果通过实践，其“水下铺设钢丝网石笼施工工法”已经成功申报成为部级工法。

6 山区弯道分汊河段浅、险滩航道治理技术

长江上游山区河流由于河段岩性差异或局部构造运动，在水流长期作用下，形成弯曲分汊卵石浅滩，碍航滩险复杂，治理难度大，目前没有比较成熟的整治技术。

叙渝段铜鼓滩航道整治，通过科学分析计算，结合模型试验，合理确定该滩分汊河段分流点，在左汊通过疏浚形成直槽，在江心浅碛构建1道顺坝，以调整水流，实现正面直槽取水、侧面弯槽排沙，达到水沙分离的效果，同时在顺坝左侧建3道齿丁坝、右侧建1道潜坝，进一步调整分流比，清水攻沙、维持新开航槽，引导泥沙落淤至右侧潜坝上游（图5）；在坝头及边坡等关键部位，应用钢丝网石笼及扭王字块等结构，增强整治建筑物的整体稳定性和耐久性，使得整治效果能够持续发挥。

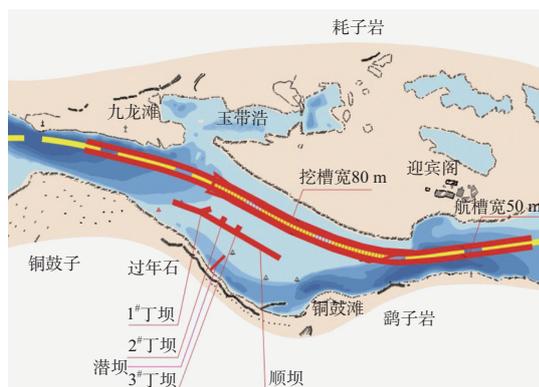


图5 铜鼓滩方案布置

研究实践表明，山区弯曲分汊河段多出现在弯曲狭窄河段下游的放宽段，多为两汊形态，具有弯道和放宽河段的双重特性。其水沙运动规律主要体现在：受河势影响，主流通过上段弯道后，洪水

期主流指向直汊，枯水期主流落湾；受弯道环流的影响，在弯道放宽段分汊点一带水沙分离，水流沿直道下泄，泥沙沿弯道凸岸边缘输移，进入下段^[3]。此类滩段整治的要点是：通过观测和模型试验，分析弯曲分汊河段泥沙运动规律，合理确定整治参数及工程布置方案。工程平面布置应适应弯曲分汊浅滩分流点一带水沙逐渐分离的特点。同时整治建筑物关键部位结构宜采用重型结构以增强整治建筑物耐久性。山区弯道分汊河段浅、险滩航道治理技术的总结，丰富了大江大河的治理经验。

7 中（洪）水期疏浚设计方法

传统的川江航道疏浚施工季节性很强，一般在枯水期进行施工，但随着水位下降航道狭窄，施工与通航的矛盾十分突出，疏浚施工效率较低。叙泸段航道整治工程共整治滩险9处，每处均有疏浚施工内容，疏浚任务繁重。有些滩险疏浚施工时机稍纵即逝，如不能及时完成疏浚任务将可能错过一整个枯水期，工程进度难以保障，投资也无法控制。

叙泸段铜鼓滩航道整治工程左槽疏浚工程量达到了30余万 m^3 ，创下了川江单滩疏浚量之最。为了确保工程质量、安全和进度，项目参建各方和有关专家经充分研究论证，加强观测与分析，逐渐探索出了一套符合山区河流中、洪水期疏浚施工特点的设计方法，有效地延长了全年施工作业时间，确保了左槽航道及时开通，避免了施工与通航的矛盾及回淤风险^[4]。中、洪水期疏浚设计方法的探索，打破了川江航道整治洪水期不能施工的常规，有效延长了长江航道工程全年疏浚施工作业时间，形成了一套大流速、高水位疏浚设计方法。具体是：前期设计时，首先需要增加汛期测图，研究该时段河床演变的规律，准确计算汛期疏浚施工的工程量。其次，各施工工序应根据整治措施进行安排，充分考虑整治建筑物对水流调整后，对疏浚的影响。此外，滩段是否可以在汛期进行疏浚作业需要根据具体滩段疏浚区域在汛期的冲淤情况进行水沙演变分析，然后才能决定。

8 结语

长江上游山区河流经过叙泸段和泸渝段航道工程建设后，航道条件全面改善，整治建筑物稳定，航道达到 $2.7\text{ m} \times 50\text{ m} \times 560\text{ m}$ 设计尺度，通航水文标准满足千吨级船队的航行要求^[5]，取得了很好的工程效果。该项目在卵石河床分汊河段治理技术、扭王字块的应用、卵石耐磨坝面的应用、中洪水期疏浚设计及施工工艺等方面取得了多项创新性应用成果。叙渝段航道建设工程，治理规模和难度在全国乃至世界山区河流航道治理中都是首屈一指的，治理过程中的成功和不足对于山区河流整治都是宝贵的经验财富，尤其是前述新结构新材料的应用，可为今后山区航道的治理提供借鉴和参考，具

有广阔的应用前景和实用价值。

参考文献：

- [1] 长江航道局. 川江航道整治[M]. 北京: 人民交通出版社, 1997: 133-139.
- [2] 杨祥飞. 长江上游铜鼓滩治理措施研究[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2010, 29(1): 135-136.
- [3] 刘旺喜, 谭昆, 杨祥飞, 等. 山区河流弯曲分汊浅滩整治技术研究[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2011, 30(3): 449-450.
- [4] 杨祥飞, 张俊, 周林. 长江上游汛期疏浚设计方法[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2010, 29(3): 455-457.
- [5] JTJ 312—2003 航道整治工程技术规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

曹妃甸海事联手港航企业共建海上钢铁运输通航线

9月20日，河北曹妃甸海事处先后与首钢京唐钢铁联合有限责任公司、唐山曹妃甸港口有限公司、河北钢铁唐山曹妃甸钢铁物流有限公司等13家单位签订了《海上钢铁运输畅通航线共建协议》，标志着曹妃甸海事处与港航企业开展的钢铁运输畅通航线共建活动正式启动。

本次共建活动就是曹妃甸海事处为进一步加强港区海上钢铁运输企业的沟通协作，改善海上通航环境，规范通航秩序，优化进出港交通组织，保护企业和船舶的合法利益，帮扶钢铁生产、运输相关企业摆脱困境而实施的一项具体举措。作为本次共建活动的发起单位，曹妃甸海事处将全力做好帮扶钢铁企业、保障港航安全七项措施：一是主动为各港航企业生产、建设提供优质政策、法规及技术服务；二是科学调配，充分利用智能交通指挥系统、综合业务管理系统、现场CCTV监控系统等科技手段，提高钢铁运输船舶营运效率；三是优化港建费、港务费等规费征收流程，开通船舶各项业务办理绿色通道，提高相关船舶手续办结效率；四是通过VTS、现场监管、巡航力度等严格的监管，创造公平竞争的市场环境；五是依法行政，平衡严格执法与自由裁量协调关系；六是加快建设，全面提高水上安全保障和应急反应能力；七是统筹兼顾，推行精细化管理，优化队伍结构，有效提升队伍素质。

摘编自《中国交通报》