

HECHUANG ZUCHENG KANCE
DIAOCHA JISHU YU SHIJIAN

河床组成勘测调查技术与实践

段光磊 王维国 周儒夫 彭玉明 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

河床组成勘测调查技术与实践

段光磊 王维国 周儒夫 彭玉明 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书主要介绍了关于河床组成勘测调查技术的相关内容,主要包括河流泥沙基本知识、河床组成勘测调查技术、质量控制及成果整编等;还介绍了河床组成勘测调查技术在生产实践中的运用,以及取得的成果,主要包括金沙江梯级开发河床组成勘测调查、三峡工程相关河段河床组成勘测调查、清江流域河床组成勘测调查以及其他典型流域工程河段实例。

本书可供从事水文泥沙观测工程技术人员、河流泥沙研究学者和大专院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

河床组成勘测调查技术与实践 / 段光磊等编著. --
北京:中国水利水电出版社, 2016.10
ISBN 978-7-5170-4829-9

I. ①河… II. ①段… III. ①河床—地质勘探 IV.
①P931.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第273181号

书 名	河床组成勘测调查技术与实践 HECHUANG ZUCHENG KANCE DIAOCHA JISHU YU SHIJIAN
作 者	段光磊 王维国 周儒夫 彭玉明 等 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 20.5印张 486千字
版 次	2016年10月第1版 2016年10月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	65.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

水文泥沙观测成果是防洪减灾、科学研究、涉水工程规划设计和建设运行等必备的基础性资料。大量的数学模型、实体模型和涉水工程泥沙试验、河道整治、航道整治、大中型水利水电工程的规划设计和河道演变分析等均需要水文泥沙观测成果。河床组成勘测调查资料是水文泥沙成果的重要组成部分。在国内,虽然在绝大多数河流上建设了大量水文观测设施,开展了相应水文泥沙观测,并取得了丰富的资料,但由于受水文站观测项目或站网密度不够等因素限制,水文站区间来沙、河岸及河床深层物质组成资料往往很欠缺,需要通过河床组成勘测调查来取得,特别是水文泥沙资料处于空白的中小型河流。

目前,在国内外关于河床组成勘测调查技术及其应用的研究和讨论较少,还没有发布统一的标准。本书在编著者多年从事水文泥沙观测工作的基础上,对河床组成勘测调查关键技术进行了总结,结合长江水文特点介绍了河流泥沙基本知识、河床组成勘测调查规划设计与仪器设备、主要技术原理和方法,以及河床组成勘测调查技术在生产实践中的运用及取得的主要成果,具有较强的针对性和实用性。

本书共分8章。第1章为概述,主要介绍了河床组成勘测调查的目的及意义、内容、方法与手段、技术发展历程及主要成果等;第2章为基本知识,主要介绍了泥沙特性及分类、泥沙分析原理及方法等;第3章为河床组成勘测调查技术,主要包括策划、勘测调查准备、仪器设备使用和主要关键技术等;第4章为质量控制及成果整编,主要包括成果质量控制、资料整理与整编、报告编制等;第5章为金沙江梯级开发河床组成勘测调查,主要内容包括乌东德、白鹤滩、溪洛渡电站变动回水区和向家坝电站库区河床组成勘测调查工程实践和取得主要成果;第6章为三峡工程相关河段河床组成勘测调查,主要内容包括三峡工程库尾及上游河段、库区、坝区及坝下游河床组成勘测调查成果;第7章为清江流域河床组成勘测调查,包括综合取样对比实验研究;第8章为其他典型流域工程河段实例,主要包括汉江中下游河段、贵州毕节岩水利枢纽工程河床组成勘测调查、安庆市下汴山水库推移质调查等实践和主要成果。

本书第1章由许弟兵、王维国撰写；第2章由彭玉明、王维国撰写；第3章由王维国、周儒夫、晏黎明撰写；第4章由周儒夫、许弟兵、晏黎明撰写；第5章由王维国、彭玉明撰写；第6章由段光磊、张晓红撰写；第7章由段光磊、张晓红、许弟兵撰写；第8章由周儒夫、王维国、彭玉明撰写。全书由段光磊统稿，王维国、周儒夫校核。

本书编写得到了周凤琴、张美德、汤运南高级工程师的指导，本书的出版得到了长江水利委员会水文局荆江水文水资源勘测局的大力支持，在此表示衷心感谢和崇高敬意。本书的编辑出版工作由周儒夫负责，王豫鄂参加了本书部分图表和文字工作。

本书有不足和谬误之处，敬请读者批评指正！

作者

2016年6月

目 录

前言

第1章 概述	1
1.1 勘测调查目的及意义	1
1.2 勘测调查内容	3
1.3 勘测调查方法与手段	4
1.3.1 地质钻探	5
1.3.2 坑测	5
1.3.3 横断面床沙取样	5
1.3.4 颗粒级配分析	5
1.4 勘测调查技术发展历程	6
1.5 主要研究成果	8
参考文献	10
第2章 基本知识	11
2.1 泥沙的特性及分类	11
2.1.1 泥沙的特性	11
2.1.2 泥沙的分类	14
2.2 河流泥沙沉积规律	16
2.2.1 泥沙的沉降	16
2.2.2 泥沙的搬运与沉积	19
2.3 河床地貌与河床组成	21
2.3.1 河床地貌	21
2.3.2 几种典型的河流形态特征	24
2.3.3 河床组成	31
2.4 河流泥沙分析方法	32
2.4.1 泥沙颗粒分析	32
2.4.2 容重分析	46
2.4.3 泥沙岩性鉴定及分析	47
参考文献	49
第3章 河床组成勘测调查技术	50
3.1 勘测调查策划	50
3.1.1 观测规划设计	50

3.1.2 野外勘测调查准备	50
3.2 河床组成勘测技术	51
3.2.1 地质钻探法	51
3.2.2 洲滩坑测法	54
3.2.3 照相法	55
3.2.4 床沙器测法	57
3.2.5 容重测验	64
3.3 河床组成调查技术	73
3.3.1 调查的目的	73
3.3.2 调查的技术和手段	73
3.3.3 人类活动对区间来沙的影响调查	74
3.4 推移质输移量调查与估算	74
3.4.1 调查目的、时机和内容	74
3.4.2 卵石颗粒形态分析	75
3.4.3 卵石推移质输移量估算	75
3.4.4 重庆河段卵石推移质输移量估算实例	77
参考文献	81
第4章 质量控制及成果整编	82
4.1 质量控制	82
4.1.1 技术路线与工艺流程	82
4.1.2 组织与管理	83
4.1.3 质量保证措施	84
4.2 资料整理与整编	85
4.2.1 外业资料记载、整理和检查	85
4.2.2 内业资料的整理	86
4.2.3 内业资料的计算	86
4.2.4 成果清单	89
4.2.5 整理资料的检查与资料整编	89
4.2.6 资料整编	92
4.3 报告编制	92
4.4 检查验收	93
参考文献	93
第5章 金沙江梯级开发河床组成勘测调查	94
5.1 流域及工程概况	94
5.1.1 自然地理	94
5.1.2 河流水系	94
5.1.3 水文气象	96

5.1.4 工程概况	98
5.2 乌东德水库变动回水区河床组成勘测调查	100
5.2.1 项目的目的及实施情况	100
5.2.2 坑测法勘测成果	100
5.2.3 河床组成调查成果	109
5.3 白鹤滩水库变动回水区河床组成勘测调查	116
5.3.1 项目的目的及实施情况	116
5.3.2 坑测法勘测成果分析	116
5.3.3 河床组成调查成果	122
5.4 溪洛渡水库变动回水区河床组成勘测调查	127
5.4.1 项目的目的及实施情况	127
5.4.2 钻探法勘测成果	127
5.4.3 坑测法勘测成果分析	132
5.4.4 河床组成调查成果	137
5.4.5 河段特点	143
5.5 向家坝水库变动回水区河床组成勘测调查	144
5.5.1 项目的目的及实施情况	144
5.5.2 钻探法勘测成果	144
5.5.3 坑测法勘测成果	148
5.5.4 河床组成调查成果	155
5.6 向家坝水库坝下游河床组成勘测调查	161
5.6.1 钻探法勘测成果	162
5.6.2 坑测法勘测成果	165
5.6.3 调查成果	170
5.7 本章小结	174
5.7.1 来水来沙	174
5.7.2 河道基本特征	174
5.7.3 河床组成特点	174
参考文献	175

第6章 三峡工程相关河段河床组成勘测调查

6.1 三峡工程库尾及上游河段河床组成勘测调查	176
6.1.1 长江宜宾—重庆河段河床组成勘测调查	176
6.1.2 朱沱—重庆河段河床组成勘测调查	183
6.2 三峡工程库区河床组成勘测调查	194
6.2.1 三峡库区重庆至丰都段河床组成	194
6.2.2 三峡库区奉节—三斗坪河段床沙勘测	204
6.3 三峡工程坝址基坑河段河床组成勘测综合研究	209

6.3.1	概述	209
6.3.2	河段概况	210
6.3.3	坝址基坑河床组成勘测	212
6.3.4	导流明渠基坑河床组成勘测	225
6.4	坝下游宜昌—湖口河床组成勘测调查	230
6.4.1	概述	230
6.4.2	地质地貌特征	234
6.4.3	宜昌—城陵矶河段洲滩深层组成特征	235
6.4.4	浅层剖面仪河床组成水下探测试验	253
	参考文献	257
第7章	清江流域河床组成勘测调查	258
7.1	流域概况	259
7.2	清江河床物质组成分布	263
7.2.1	河床物质组成	263
7.2.2	洲滩分布特征	263
7.2.3	床沙颗粒级配组成分布特征	265
7.3	沿程洲滩床沙粒径组成分布特征	265
7.4	床沙粒径沿深度组成分布特征	267
7.4.1	中值粒径 D_{50} 沿深度的变化	267
7.4.2	最大粒径 D_{max} 沿深度分布频率	267
7.4.3	卵砾洲滩活动层沙泥含量分布	267
7.5	水库塌岸崩坡调查	269
7.6	清江推移质泥沙来源及主要支流汇入量比例估算	270
7.6.1	清江推移质泥沙来源分析	270
7.6.2	支流卵石推移质汇入清江干流比例	270
7.7	综合取样对比试验	272
7.7.1	洲滩取样方法试验	272
7.7.2	打印法和挖斗法水下综合取样试验	277
7.7.3	长江浅水滩打印法, 挖斗及人工挖样试验	277
第8章	其他典型流域工程河段实例	280
8.1	汉江中下游河段河床组成勘测调查	280
8.1.1	概述	280
8.1.2	坝下游坑测法勘测成果	284
8.1.3	河床组成调查成果	291
8.2	贵州毕节夹岩水利枢纽工程	298
8.2.1	工程介绍	298
8.2.2	七星关水文站悬移质级配分析	298

8.2.3 夹岩水利枢纽工程河床组成勘测调查	300
8.2.4 结论和建议	303
8.3 安徽下汴山水库推移质调查	304
8.3.1 工程及自然概况	304
8.3.2 推移质泥沙	305
附录	311
附录一 分析筛检查和校正	311
附录二 报告编写格式	314

第1章 概述

1.1 勘测调查目的及意义

河流是水流与河床交互作用的产物。河水作用于河床,使河床发生变化;河床亦作用于水流,影响水流结构。二者构成一个矛盾的统一体,相互依存,相互影响,相互制约,永远处于变化和发展的过程中。河床的地形、地貌、地质条件、结构组成,既决定约束和改变水流作用的强弱,某种程度上又是水流对河床作用结果的展现。在水流与河床的相互作用下,河流形成平面形态及断面形态的多样性,形成复杂多样的河流地貌。山区河床形态复杂,受地质构造、基岩的控制,常呈阶梯状,多跌水河瀑布,多由岩槛、石滩、壶穴、深槽等地貌组成。平原区冲积物组成的河床,洲滩与深槽交替分布,在水流的运动作用下位置缓慢向下游移动,引起凸岸淤积、凹岸崩塌,出现弯曲蜿蜒型、分汉型河床。在水流与河床交互作用的过程中,泥沙运动起着纽带作用,由于河流的来沙量与水流挟沙力不相适应,水流多处于输沙不平衡状态,河床将发生相应的冲淤变化。泥沙在水流作用下以推移质、悬移质等方式搬运,在河床坡降减小、流速减慢、流量减小、泥沙增多、人工筑坝拦水等情况下发生沉积,沉积的过程伴随泥沙的分选及水流与河床的相互作用,水中挟带的泥沙与本地床沙的相互混合与交换,导致河床形态改变,河势调整变化,同时产生了河床组成的千差万别。河床的结构组成蕴涵了泥沙的来源及其搬运、沉积规律等信息,亦是影响河床演变趋势的重要因素,有时甚至是决定性因素。

水文泥沙观测成果是河道治理、保护、开发、利用必备的基础性资料。河流上的水文站网是收集水文泥沙基本资料的场所。在国内,绝大多数河流上建设了大量水文站开展水文泥沙观测,并取得了丰富的资料。但由于水文站一般仅监测测验断面的水位、流量、悬移质泥沙、推移质泥沙、床沙等水沙要素,河段乃至面上的资料缺乏;受水文站观测项目限制或站网密度不够等因素限制,收集到的资料还难以完全满足使用需求。随着中小河流站网陆续建成运行,水文资料缺乏的问题可以得到一定缓解,但泥沙基本资料仍显不足,仍需补充开展河床组成勘测调查工作。在开展全流域性的侵蚀产沙勘测调查基础上,将河床组成勘测调查与推移质测验相结合,可研究泥沙输移与堆积变化,借以扩展并订正泥沙成果,从而深刻认识和掌握河流泥沙运动规律、特征、机理及其演变趋势。河道观测通过地形测量、固定断面测量、典型河段观测等方式,收集到了河道沿程形态变化资料,但水文站区间来沙、河岸及河床深层物质组成资料往往欠缺,需要通过河床组成勘测调查来取得,特别是泥沙资料匮乏的中小型河流。河道演变分析研究需要开展河道观测及水文泥沙原型观测,河床组成勘测调查资料是水文泥沙成果的重要组成部分。为了全面准确地掌握

勘测区域的河床组成情况，必须进行河床组成调查，以便从宏观上把握勘测河段的河床组成情况。

新中国成立后，国家十分重视水土保持工作，通过封山育林、退耕还林、移民搬迁等措施，有效控制了水土流失，在一定程度上减少了河流来沙。随着经济社会的发展，修路、开矿、采砂、整治航道、修建水利水电工程等人类活动对河流的影响日益加剧。修路、开矿等活动增加区间来沙，采砂直接改变河床条件，航道整治直接改变水流条件，拦河工程改变天然河流的状态，其中拦河筑坝、修建水库对河流泥沙的影响最大、也最为直接。在人类活动的影响下，流域产沙、泥沙输移、堆积规律被改变，这些影响与改变，有些是有利的，有些是不利的，需要开展勘测与调查，进行研究与论证，指导实践，扬长避短。为实现防洪、发电、灌溉、航运等功能而在河流上修建的水库群，改变了河流的自然状态，泥沙在水库内淤积，清水下泄冲刷坝下游河道。在大中型水库规划设计阶段，需要开展水库泥沙淤积计算，准确掌握入库泥沙来源、数量和组成是关键问题之一；水电工程下游河床冲淤模拟计算和工程前后河道演变分析等均需要水文泥沙观测成果，建库前需开展原型勘测，为水库调度、水库泥沙问题研究提供依据。在实测泥沙资料缺乏或不足的情况下，需对相关河段的洲滩床沙进行取样分析，获取本河段推移质泥沙的级配成果，并通过调查本河段的水力、泥沙因子、地形资料等数据，采用公式估算工程河段推移质输沙量。为分析预测库区河道泥沙冲淤，河床演变趋势，需收集水库库区及变动回水区在蓄水前天然状态下的河床组成的本底资料，完整准确地取得库区河床可动层一定深度内的河床组成物质样品及其颗粒级配、岩性以及基岩出露分布范围等原型成果，研究库区河床冲淤演变规律、河床细化过程与规律以及常年回水区泥沙淤积过程；为了准确掌握水库蓄水前坝址河床组成情况，研究施工期及水库蓄水运用期的泥沙输移、堆积规律，需开展大坝基坑、导流明渠等部位的河床组成勘测研究；为分析预测坝下游河道泥沙冲刷、淤积及其河床演变趋势，需收集坝下游天然水流状态下河床组成的本底资料，全面准确地取得河床平面范围内可动层一定深度的物质组成分布及其相应的颗粒级配等原型成果。水电工程营运后，由于工程拦截大量泥沙，坝下游将处于冲刷阶段，河床下切的过程和深度的数学模型计算需要掌握河床在一定深度的床沙颗粒级配变化，在河床演变分析中，河床泥沙组成是重要的边界条件。对梯级开发，特别是大型水电开发（如三峡工程），往往需要正确估算上级水库下游因河道下切可能供应和恢复的沙量，需收集本级库尾到上级坝下河道河床边界组成资料。另外，在河道采砂，论证可采区的范围、深度和可采量等，均需要掌握河床组成情况。

河流泥沙按粒径大小可分为泥、沙、石三类，往往由单矿物如石英、长石、云母等主要造岩矿物组成；较细颗粒多由抗风化能力较强的石英等矿物或难溶的碳酸盐矿物组成，更细的黏粒基本是次生矿物及腐殖质组成。岩性主要为岩浆岩、变质岩、沉积岩等类别，按运动方式可分为床沙、推移质和悬移质，推移质按照颗粒大小又分为沙质推移质和卵石推移质。开展河床组成勘测调查，就是要根据工作要求，利用泥沙测验分析仪器、地质勘探仪器设备、野外调查技术装备及现代科技手段，通过勘测、调查、分析、研究等方式，全面掌握调查河段的河道地形地貌、河床边界条件及沿程分布状况、泥沙堆积规律、人类活动影响等基本情况，勘测分析泥沙类别、级配、岩性及沿河床三个维度的分布变化，以

及随时间的变化,估算推移质输沙量,描述与评价河床的组成现状,分析研究河床历史演变,研究探索工程前后河流泥沙规律的变化,预测河床演变趋势,编制勘测调查报告供科研分析机构、河道治理部门、工程建设单位使用,为河道治理、保护、开发、利用,为河流的生态修复、人与自然的和谐相处提供实测依据与基础支撑。随着经济社会发展和水文行业进步,勘测调查工作面临着一系列新的要求。四个全面战略布局、五大发展理念,以及“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的新时期治水思路,要求河道开发与保护协同发展。新常态将河流生态环境摆在压倒性位置,对河势河床的关注将提升到新的高度。随着新思路、新理念的推进,河流监测指标体系也将更加明确,对河流水文泥沙资料的需求也将更加具体,河床组成勘测调查技术手段、工作深度和广度将面临新的挑战。

1.2 勘测调查内容

天然河道的河床组成十分复杂,由于来水来沙条件不同,不同河段的河势情况各异,因此,河床组成千差万别。即使是同一个洲滩,其床沙在平面上的分布也是极不均匀的。人类活动的影响使河床组成进一步复杂化。为了全面准确地掌握勘测区域的河床组成情况,必须进行河床组成调查,以便从宏观上把握勘测河段的河床组成情况。河床组成勘测调查的工作内容主要包括勘测调查策划、河床组成勘测与调查、床沙观测、推移质输沙量调查与估算、资料整理与整编、成果报告编制等内容。

(1) 勘测调查策划的内容包括观测规划设计及野外勘测调查准备。观测规划设计的主要内容包括明确目标任务、制订观测方案、布置观测测次,勘测调查准备包括现场踏勘、资料收集、方案设计评审、物质准备、教育培训等工作。

(2) 河床组成调查的内容主要包括河段上游及区间来沙变化调查、地质地貌调查及取样、洲滩调查及取样、人类活动对区间来沙的影响调查。河床组成勘测的内容主要包括勘测取样(含剖面探测)、颗粒级配分析、容重测验及泥沙岩性鉴定等。按取样位置不同,又可分陆上和水下河床组成勘测。陆上河床组成勘测是在勘测河段内,将最高洪水位以下、枯水位以上的边滩、江心洲、江心滩作为主要勘测对象进行的河床组成勘测,一般采用人工挖坑和钻探。水下河床组成勘测是在勘测河段内,利用水文测船、床沙探测仪器等进行的水下床沙勘测。

(3) 河流泥沙的起动流速、沉降速度、休止角、运动概率等表征其运动特性的物理量与泥沙的粒径级配、形状、大小、类型、容重密切相关。床沙测验的基本目的在于持续了解、掌握河流河床边界组成分布特征及其演变规律,具体内容有:测量河床边界组成与分布;分析组成物质的粒径、级配、密度及有机物含量;鉴定卵砾石床沙的岩性、磨圆度,并测量其形态(扁度)等。

(4) 推移质调查的目的在于了解推移的来源、去路和推移量。推移质调查主要包含推移质特性调查、推移质洲滩调查及人类活动影响调查。一般选在枯水季节(河流的洲、滩均露出水面)开展,调查的洲滩在沿程分布上尽可能均匀。推移质特性调查主要包括推移质颗粒级配组成、岩性组成、颗粒形态特征等。推移质洲滩调查主要包括推移质洲滩的分布及特征、洲滩演变和洲滩上卵石运动情况。根据卵石推移质来源调查资料,将调查河段

的卵石特性（主要是岩性）的调查成果与调查河段上游流域地质地貌（含水系）图结合进行分析，可以定性地确定卵石特性有明显差异（岩性、级配、形态、磨光度等）的补给区，估算支流卵石推移量占比。利用调查区内测站的推移质测验资料，推算干支流其他部位推移量。根据勘测调查河段的钻孔资料，可按经验公式估算推移量。调查河段有水文测站的，测有断面、流速等资料，可结合洲滩取样泥沙分析成果，采用经验公式估算卵石推移质输沙量，本方法也适用于沙推移质输沙量估算。河道采砂、疏浚卵石推移量估算，可依据相关资料估算，或现场估计卵石推移宽和淤积物卵石的含量。

（5）资料整理与整编包含外业资料记载、整理和检查，内业资料的整理、计算、统计分析，成果调制、合理性检查，资料整编等内容。

（6）成果报告编制主要有河床组成勘测调查技术总结、地质报告、干容重测验技术总结等。技术报告是勘察工作的最终成果，应根据委托方及有关标准要求编写。

1.3 勘测调查方法与手段

河床组成勘测调查与水道地形测量、固定断面测量（含床沙取样分析）、水流条件观测、悬移质泥沙测验、洲滩汊道观测、险工护岸监测、崩岸监测巡查、采砂巡察等河道基本观测任务一样，是河道原型观测工作的重要组成部分之一，主要为弥补河道基本观测沿时空分布上所测资料不足。在自然条件或人类活动影响下，在河势发生较大变化时或在潜在变化发生之前，及时开展河床组成勘测调查或采取必要的勘测调查措施，是为河床演变分析搜集类比资料所采取的必要补充手段。河床组成勘测调查的核心工作内容包括野外调查、勘测取样、床沙测验、现场测定、实验室样品分析、计算及成果调制等。

河床组成调查的手段主要有收集资料、询访调查、拍照取证、勘测取样等。对干流及沿程各分汇流河道口门各1~3km，调查了解河床边界物质组成分布，描述沿程基岩、洲滩，并尽可能地给出其面积及占河段长度比例的定量估计。调查了解水文站的泥沙来源、组成变化，估算上游及区间支流卵砾石推移质来量比例及变化。借鉴考古手段，调查了解河道历史变迁。

河床组成勘测方面，勘测取样（含剖面探测）、颗粒级配分析、容重测验分析、泥沙岩性鉴定均有一套比较成熟和完善的方法。在勘测取样的布置上，主要有试坑法和面上取样的面块法、断面法、网格法，网格法又可分为定网格法、线格法、步格法。在勘测取样方法上，陆上多采用人工试坑和钻探方法，水下多采用器测法、照相机法、断面法、混合法进行床沙测验，有时也采用水下钻探、浅层剖面仪探测等方法。推移质测验方法主要有器测法、坑测法、沙波法。砂、卵石颗粒级配测定多采用尺量法、筛分析法、粒径计法等方法，粉沙等细颗粒级配测定有吸管法、消光法、离心沉降法、激光粒度仪法等方法。干容重按测验方法概括起来可分为坑测法、器测法、现场直接测定法三类，样品采集可采用水下底质取样与洲滩坑测相结合，然后于室内分析处理。泥沙岩性鉴定可采用肉眼法、室内磨片法，炭化木、古钱币、陶片等特殊样的断代分析，还可获取古河床的相关信息。 C_{14} 鉴定、岩矿分析鉴定主要在现场实施，不易辨别时，则以锤击破石或化学试剂判别之，少数难辨卵石样品则送地质科研院所切片定论。通过岩性的定量关系，解线性方程组，可以

初步估算干支流的推移量占比。

以下主要介绍河床组成勘测的取样及级配分析的几种常用方法。

1.3.1 地质钻探

在洲滩、弯道两岸，干支流分汇流出入口，重点汊道等位置布设钻孔。钻孔深度一般钻至河床深泓线以下1~3m（对山区河流而言），或钻至卵石层顶板（对中下游沙质河床而言）。按规定分层采取土样，进行颗粒分析和必要的物理实验，绘制粒径级配曲线图、柱状剖面图、孔位平面图及钻孔位置、高程等成果表。

1.3.2 坑测

1. 分层取样

（1）面层。采用撒粉法或染色法确定表层样品，并逐一揭起沾有粉色的卵砾、砂、泥样品，作一单元层。

（2）次表层。挖取表层以下最大颗粒中径厚度的泥沙作为第二单元层，一般厚度为0.2m左右。

（3）深层。次表层以下为深层，可视竖向组成变化，有明显分层时，按实际分层厚度取样分析；没有明显分层时，按0.2~0.5m，0.5~1.0m，1.0~1.5m，1.0~2.0m等不同厚度分层，作多个单元层。浅坑取样深度为0.5m，标准坑取样深度为1.0m，特深坑取样深度为2.0m。

2. 散点法取样

一般采用坑测法的表层、次表层的取样分析法。在断面垂线取样时，在代表性部位挖取一个小坑，取出小坑内全部床沙样进行颗分，其数量视样品级配宽度范围定，一般采集样品30~100kg。

3. 样品分析与收集

按分层取样分析：沙土层取颗粒分析样于室内分析，砂卵石样在现场进行筛分析，并求出岩性和各粒径百分比。保留具代表性的部分样品。

1.3.3 横断面床沙取样

选取具有代表性河段，布设固定断面进行河床质采样，分析近岸底质及沿程泥沙颗粒级配组成情况。

1.3.4 颗粒级配分析

泥沙颗粒级配分析即测定泥沙样品的沙粒粒径和各粒径组的沙重占样品总沙重的百分数，并绘制粒径级配曲线的过程。方法包括直接测量法（尺量法、容积法、筛析法）、沉降法（清水沉降法、混匀沉降法、离心沉降法）、消光法、激光法（激光粒度仪）几类，除现场直接测定外，室内分析需先进行试样保存、沙样分离、分样、有机质处理、物理分散处理、反絮凝处理、分析用水准备等试样制备工作。级配分析的主要原理及方法如下：

(1) 尺量法。对样品中大的卵石颗粒,直接用尺量算依大小排列各组的平均粒径及其质量的方法。

(2) 称重法。对样品粒径大的泥沙颗粒,依大小排列称其最大颗粒及各组的颗粒质量,按等容粒径确定颗粒粒径的方法。

(3) 筛分析法。用一组具有各种孔径的筛进行泥沙颗粒分析的方法。

(4) 粒径计法。使泥沙在粒径计管内清水中静水沉降,利用不同粒径沉速不同的原理,分别测定不同时刻接沙杯中泥沙质量占水样总干沙质量百分数,来推求泥沙颗粒级配的方法。

(5) 吸管法。使沙样作混匀连续沉降,连续测定某一深度处固定容积悬液内干沙质量的变化,来推求泥沙颗粒级配的方法。

(6) 消光法。利用泥沙颗粒对光的吸收、散射等消光作用,连续测定泥沙浑液沉降过程中不同时间的光密度,计算浑液的含沙密度,来推求泥沙颗粒级配的方法。

(7) 比重计法(密度计法)。沙样混匀连续在静水沉降过程中,用比重计测定其不同时刻的浑液密度变化,来推求泥沙颗粒级配的方法。

(8) 离心沉降法。利用泥沙颗粒在离心场中沉降所受作用力的原理,结合消光法测定各时刻光密度变化曲线,来推求泥沙颗粒的相对含量及颗粒级配的方法。

(9) 激光法。利用激光散射测量颗粒级配的方法。

1.4 勘测调查技术发展历程

河床组成勘测调查技术工作主要以水文学、地质学、河流动力学基础理论为支撑,并在多年的实践运用中逐步发展完善,成为当今水文泥沙观测技术领域内的一隅。基础理论方面,学者们对泥沙的几何特性、重力特性、分类、沉积规律进行了孜孜不倦的研究。实践技术方面,专业工作者们坚持创新发展,在采样仪器、技术方法、质量控制、规程标准等的各方面均取得了长足的进步。从20世纪50年代至70年代,国家及行业先后颁布并实施了水文测验技术规范等3个水文测验标准,但涉及床沙测验内容很少。自20世纪70年代起,随着三门峡、葛洲坝、三峡等大型水利枢纽的陆续兴建,为满足水利工程设计、论证及建设需要,对泥沙测验技术与方法进行了深入研究,并在采样器研制及改进方面做了系列工作。从1986年起,在全国泥沙测验技术研究工作组的推动下,特别是1988年《河流推移质及床沙测验规程》(SL 43—1992)编写组成立后,对于仪器研制与改进、取样方法、河床组成调查等方面进行了系列实验性研究,床沙测验技术取得了较大突破。2010年,长江水利委员会(以下简称长江委)水文局在SL 43—1992的基础上,吸收了多年来河床组成勘测的新经验、新方法和新技术,编制了《河床组成勘测技术指南》,系统规定了洲滩床沙勘测、水下床沙观测、河床组成勘测调查、泥沙岩性鉴定、容重观测的内容、方法及要求,明确规定了河床组成勘测资料整理与整编的基本要求。2013年,长江委水文局在国内水文行业内率先通过ISO 9001质量管理体系认证,河床组成勘测调查技术工作进一步向规范化、科学化方向迈进。

以下重点介绍床沙采样器研制、床沙取样方法及资料整理整编方面的进展。

1. 床沙采样器的研制与改进

20 世纪 60 年代以来, 长江委水文局、黄河水利委员会 (以下简称黄委) 水文局在采样器的研制、试验与改进, 以及国外仪器引进和完善方面做了大量工作。长江委新厂水文站 1974 年开展了锥式采样器性能试验; 长江委宜昌水文站 1974 年开展了锥式、挖斗式、犁式、打印器等仪器试验, 并在 1978 年引进美国 BMH54 仪器, 进行改进后使 60mm 以下的床沙取样取得进展。1982 年, 黄委三门峡水文实验总站对横管式、蚌式、钳式、直管打击式仪器做过比测试验, 对挖斗式采样器进行了改进, 扩大了容量, 并试制了沉筒式采样器和打印器, 同时根据试验资料, 提出了锥式采样器不再使用的报告。2014 年, 长江水利委员会水文局荆江水文水资源勘测局 (以下简称长江委水文局荆江局) 研制的 JJ-CY02 型双门挖斗式采样器, 采用触发双门挖斗式设计, 较好地克服了水流扰动作用, 具备准确获取 150mm 及以下卵石沙样的能力。除了进行采样器本身的研制外, 一些专业机构还开展了水文测船及测验绞车的改进研究, 床沙取样的技术更加完善、可靠。

通过研制和试验, 床沙采样器能采集沙、砾、卵石, 并有配套采样器在深水和浅水都能取到 200mm 以下粒径样品, 床沙采样器的系列化、规范化初具规模。采样设备的研制发展主要过程参见表 1-1。

表 1-1 床沙采样器改进与研制进展情况

仪器名称	研制及改进单位	研制时间	适用河床	适用范围	备 注
锥式	长江委水文局	20 世纪 60 年代	沙质软底	流速 $\leq 3.0\text{m/s}$	
横管式	黄委水文局	20 世纪 60 年代	沙质软底	水深 $\leq 6.0\text{m}$	
蚌式	长江委及黄委水文局	20 世纪 70 年代	沙质硬底		
钳式	黄委水文局	20 世纪 70 年代	沙质硬底		
横管式	黄委水文局	20 世纪 70 年代	沙质软底	流速 $\leq 2.5\text{m/s}$ 水深 $< 3.0\text{m}$	
犁式	长江委水文局	1976 年	200mm 以下卵石	流速 $\leq 3.0\text{m/s}$	
挖斗式 宜 100 型	长江委水文局	1976 年	沙质及 50mm 以下 卵石	流速 $\leq 3.0\text{m/s}$	由 BMH54 用弹簧拉动改为悬索拉轴转动
挖斗式 宜 108 型	长江委水文局	1989 年	沙砾石	流速 $\leq 3.0\text{m/s}$	由宜 100 型轴转动改为悬索直接牵动, 容量扩大一倍
滚筒式	长江委水文局	1989 年	150mm 以下卵石	流速 $\leq 2.5\text{m/s}$ 水深 $< 1.5\text{m}$	
打印器	长江委水文局	1989 年	200mm 以下卵石	流速 $\leq 3.5\text{m/s}$	荆江河床实验站改进
挖斗多仓型	长江委水文局	1991 年	60mm 以下卵石	流速 $\leq 3.5\text{m/s}$	用悬索带动齿轮, 三舱连动三次
双门式挖斗 采样器 JJ-02 型	长江委水文局	2014 年	150mm 以下卵石	流速 $\leq 3.5\text{m/s}$	自动触发设计