

三堆子水文站泥沙年变化的分析探讨

邹费祥, 朱 朋

长江水利委员会水文局长江上游水文水资源勘测局, 重庆
Email: 465836271@qq.com

收稿日期: 2021年6月7日; 录用日期: 2021年7月9日; 发布日期: 2021年7月16日

摘 要

三堆子水文站为金沙江下段干流雅砻江汇入后基本水文站。为国家收集基本水文资料, 为防汛抗旱服务, 为水资源监督管理服务的流量一类精度站、泥沙一类站, 作为金沙江下段, 乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝四个梯级大型水电站的入库泥沙控制站, 其地理位置和历史作用非常重要。因此在三堆子开展悬移质输沙总量变化情况, 悬移质输沙量年内变化情况, 悬移质泥沙组成相关的水文测验。对卵石推移质输沙量变化和年内分配过程, 卵石推移质级配变化幅度, 沙质推移质输沙量和输沙量年内过程, 沙质推移质级配分配变化进行分析。了解泥沙特性、来源、数量及其时空变化, 以便兴利除害, 对于电站水库淤积, 河道治理等具有十分重要的意义。

关键词

泥沙, 年变化, 分析

Analysis and Discussion on Annual Variation of Sediment at Sanduizi Hydrological Station

Feixiang Zou, Peng Zhu

Upper Changjiang River Bureau of Hydrology and Water Resources Survey, Changjiang Water Resources Commission, Chongqing
Email: 465836271@qq.com

Received: Jun. 7th, 2021; accepted: Jul. 9th, 2021; published: Jul. 16th, 2021

Abstract

Sanduizi Hydrological Station is the basic hydrological station after the lower section of Jinsha River enters the Yalong River. As a national basic hydrological data collection, service for flood control and drought relief, in the service of the supervision and management of water resources flow type

of precision, sediment type of stand, as the lower Jinsha River, the east Germany, Crane Beach, Xiluodu and Xiangjiaba four cascade storage and sediment control stations of large hydropower station, its geographical location and historical role is very important. Therefore, hydrological tests related to the variation of the total amount of suspended sediment transport, the annual variation of suspended sediment transport, and the composition of suspended sediment were carried out in Sanduizi. The variation and annual distribution process of gravel bed load, the variation range of gravel bed load gradation, and the variation of sand bed load gradation and distribution were analyzed. It is of great significance to understand the characteristics, source, quantity and temporal and spatial variation of sediment in order to promote the benefit and eliminate the harm, for siltation of hydropower station reservoir and river course management.

Keywords

The Sediment, Annual Change, Analysis

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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. 三堆子站基本情况

三堆子水文站, 101°51'E, 26°36'N, 位于四川省攀枝花市盐边县, 集水面积为 388,571 km², 地处金沙江下段干热河谷地带, 是雅砻江入汇金沙江后在汇合口下游约 3 km 设立的干流一类精度基本水文站, 也是金沙江下游乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝四个梯级大型水电站的入库站, 建于 1957 年, 当时为水位站, 2006 年因需要改为水文站, 为梯级电站的修建、运行、调度收集、提供基本资料。该站的测验项目有: 水位、水温、流量、悬沙、颗分、卵石推移质、沙质推移质、降水、蒸发、气象要素、水质与水情报汛等。测验河段顺直长约 400 m, 上游约 800 m 有石堆三处, 水流较急, 造成主泓靠右, 左岸在起点距 100 m 以内为死水, 水位在 979.00 m 以上淹没, 淹没后死水区消失。下游 340 m 有过江大桥, 下游约 1.9 km 有一弯道起中高水控制。三堆子水文站距离乌东德电站坝址 191 km, 乌东德电站正常蓄水位 975m 时, 回水将到达三堆子测验断面。

2. 三堆子水文站泥沙测验项目

三堆子站泥沙测验项目有悬移质和推移质, 悬移质是在水流中悬浮运动的泥沙。悬移质多为细沙和黏土颗粒, 是河流输沙量的主要部分, 它常给水利水电工程带来一系列问题, 如水库淤积、河道演变、引水渠首及渠系的淤积等。推移质分为卵石推移质和沙质推移质。

该河段上中段由金沙江石鼓站、攀枝花站控制, 支流雅砻江由桐梓林站控制。

2.1. 测验设备及测验方法

三堆子水文站采用水文缆道搭载 AYT-300 型调压积时式采样器进行悬移质泥沙取样。卵石推移质测验设备为“风云 9 号”测船, AYT-300 型, 口门宽: 300 mm 采样器和 GPS 定位。全年测次总数不少于 80 次, 测次布置按过程线法控制, 现场进行样品级配筛分。沙质推移质采用测船搭载 Y90 型采样器进行泥沙采样。按照任务书要求, 测次布置按过程线法控制, 测次布置以应能控制沙质推移质输沙率的变化过程为满足要求, 测验垂线与卵石推移质相同[1]。

2.2. 输沙率推求方法

移质输沙率 $Q_s = QC_s$ (Q 为通过断面的流量, m^3/s ; C_s 为断面含沙量, kg/m^3), 推移质采用过程线法: 日测一次者, 以该次实测值作为日平均值; 日测多次, 日平均为各次输沙率加权计算平均值; 缺测之日的输沙率统一于当日 8 时在输沙率过程线上查读。平均级配计算方法: 采用输沙率加权法, 一月内只有一日颗粒级配资料时作为该月平均颗粒级配, 一月内有多日颗粒级配资料时按时段输沙量加权计算。年平均颗粒级配按月平均输沙率加权法计算[2]。

3. 三堆子站建站以来的泥沙变化情况

3.1. 悬移质输沙总量变化情况

从表 1 可以看到, 受金沙江中游及雅砻江水电站逐步投入使用影响, 该站也即乌东德等四电站的入库泥沙近年来逐步减少。其中 2010 年后悬移质输沙量较 2010 年前减少幅度约 68.61%。

Table 1. Annual suspended sediment transport in Sanduizi hydrological station

表 1. 三堆子水文站悬移质泥沙年输沙量统计表

时间段	年径流量($10^8 m^3$)	年输沙量($10^4 t$)	年输沙量均值($10^4 t$)	年输沙量变化率(%)
2008 年	1252	5310		
2009 年	1211	6570	5723	
2010 年	1119	5290		
2011 年	884	1660		
2012 年	1238	5570		
2013 年	967	1620		
2014 年	1123	2000		
2015 年	984	1290		
2016 年	1117	1700	1797	-68.61
2017 年	1119	969		
2018 年	1379	1050		
2019 年	1099	589		
2020 年	1328	1520		

3.2. 悬移质输沙量年内变化情况

表 2 及图 1 分别给出了三堆子站含沙量变化过程及输沙量年内过程。三堆子站输沙主要集中在 7~9 月, 枯水时水流含沙量多在 $0.1 kg/m^3$ 以下, 之后随着流量的增加含沙量逐渐增加, 多于 7、8 月含沙量达到最大, 7 月最大月均含沙量为 $1.03 kg/m^3$ 。上游观音岩电站 2008 年底开工建设, 2010 年大江截流, 2015 年首台机组发电, 三堆子水文站 2010 年后汛期含沙量明显偏少, 汛期输沙量占全年的百分比也有较明显的降低。总体来看, 2010 年后, 三堆子站汛期入库水流含沙量明显降低, 汛期入库沙量明显减少, 就年内分配比来看, 汛期输沙量占全年的百分比也在逐步降低[3]。

Table 2. Monthly sediment discharge in the Sanduizi station
表 2. 三堆子站输沙量年内过程统计表

输沙量 (10 ⁴ t)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
2008年	19.4	18.4	20.4	32.4	86.0	619	1497	1945	658	292	89.7	26.4	5310
2009年	4.85	5.95	15.4	23.7	34.3	513	2060	2641	822	327	84.8	39.4	6570
2010年	38.3	24.4	34.6	49.8	71.0	262	2070	1253	1052	340	74.1	18.9	5290
2011年	23.3	10.9	25.0	31.6	60.5	311	624	247	171	71.2	42.5	42.1	1660
2012年	39.4	24.1	27.1	49.2	69.1	358	2009	836	1830	208	69.7	54.6	5570
2013年	28.7	29.0	40.7	42.8	82.8	288	544	141	293	53.3	36.8	35.9	1620
2014年	53.0	34.1	61.1	46.7	42.6	104	434	919	195	55.4	22.8	34.6	2000
2015年	25.3	11.8	20.4	16.6	18.7	57	133	276	617	58.9	25.5	32.4	1290
2016年	16.8	13.2	28.4	43.8	44.5	443	351	95.7	498	64.4	85.7	11.6	1700
2017年	16.7	14.3	7.9	18.1	19.9	263	216	83.6	247	67.6	9.00	6.90	969
2018年	9.40	7.50	10.3	7.9	11.8	98.2	401.8	193	212	80.1	10.7	8.60	1050
2019年	15.2	8.7	10.4	16.7	28.9	47.4	98.6	65.6	240	28.1	23.3	6.50	589
2020年	14.5	7.30	18.0	13.0	17.5	81.1	305.3	236	788	15.7	15.8	7.60	1520
均值	23.5	16.1	24.6	30.2	45.2	265	826	687	586	128	45.4	25.0	3198

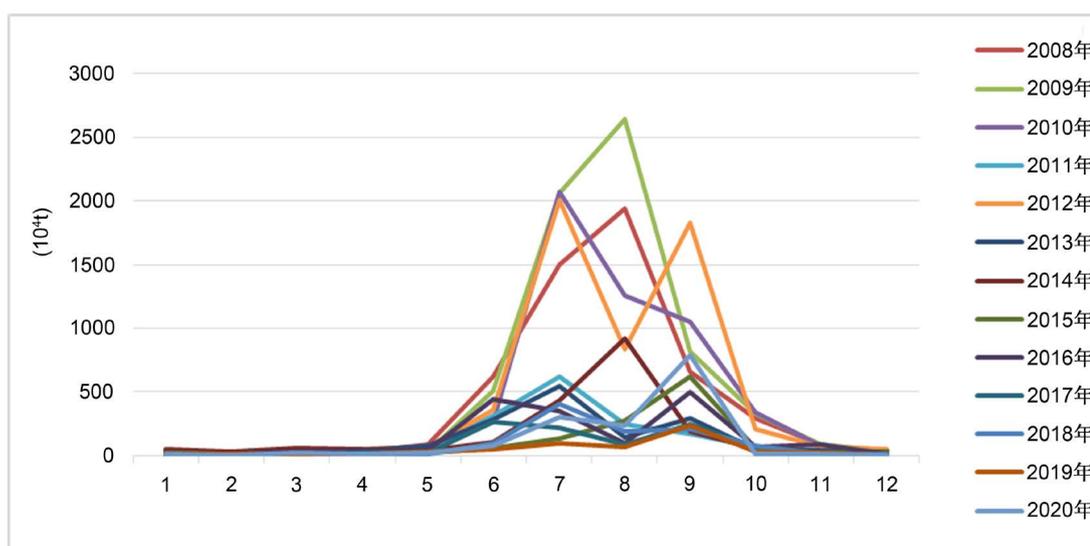


Figure 1. Diagram of annual variation process of multi-year suspended sediment transport in Sanduizi
图 1. 三堆子多年悬移质输沙量年内变化过程图

3.3. 三堆子悬移质泥沙组成

三堆子泥沙来源于金沙江上中段和雅砻江, 通过对石鼓、攀枝花站资料进行分析对比(表 3), 石鼓集水面积占攀枝花站的 82.64%, 1990 年前石鼓站输沙量占攀枝花输沙量 46.8%, 小于两站同时期径流量之比 80.46%, 1991~1998 年间石鼓站及攀枝花站输沙量增加, 且输沙量之比上升至 59.0%, 表明输沙量的增加以石鼓站上游为主; 1999~2010 年间两站输沙量减少, 且输沙量之比下降至 55.7%, 表明石鼓站上

游区域输沙量减少的程度更大; 2010 年后, 两站输沙量之比大幅增加, 且均超过 100%。表明受区间电站蓄水影响, 泥沙在库区大量落淤。攀枝花站集水面积占三堆子站的 66.70%, 从 2008 年后数据可以看到, 攀枝花、三堆子站两站输沙量在 2010 年后均明显减少, 但两站输沙比也明显减少, 表明三堆子站输沙量的减沙主要是由于上游攀枝花站输沙量减少引起。

Table 3. Comparison table of sediment discharge at Shigu, Panzhihua and Sanduizi stations
表 3. 石鼓、攀枝花、三堆子站输沙量对比表

年份	石鼓站 (10 ⁴ t)	攀枝花站 (10 ⁴ t)	三堆子 (10 ⁴ t)	输沙量比 (石鼓/攀枝花)	输沙量比 (石鼓/三堆子)
1966~1990 年	2090	4468		46.8%	
1991~1998 年	3504	5944		59.0%	
1999~2010 年	3283	5898	5723	55.7%	57.4%
2011 年	2210	1000	1660	221.0%	133.1%
2012 年	4110	2210	5570	186.0%	73.8%
2013 年	2050	568	1620	360.9%	126.5%
2014 年	3560	743	2000	479.1%	178.0%
2015 年	1190	256	1290	464.8%	92.2%
2016 年	2860	553	1700	517.2%	168.2%
2017 年	3200	323	969	990.7%	330.2%
2018 年	5290	339	1050	1560.5%	503.8%
2019 年	3780	198	589	1909.1%	641.8%
2020 年	6280	212	1520	2962.3%	413.2%

3.4. 三堆子推移质输沙特性

从表 4 给出了三堆子站 2007 年来卵石推移质输沙量的统计值, 可以看到 2007 年来随着上游来水影响, 三堆子站各年卵石推移质输沙量差异较大, 其中 2011 年输沙量最小, 年输沙量 7.5 万 t, 2008 年输沙量最多, 年输沙量 46.1 万 t, 较 2010 年前相比, 2010 年后卵石推移质年输沙量偏少 34.1%。

Table 4. Statistical table of sediment transport of pebble bed load at Sanduizi Station
表 4. 三堆子站卵石推移质输沙量统计表

年份	年径流量(10 ⁸ m ³)	年卵石推移质输沙量(10 ⁴ t)	年输沙量均值(10 ⁴ t)	年输沙量变化率(%)
2007 年	1021	28.6		
2008 年	1252	46.1		
2009 年	1211	34.7	30.8	-
2010 年	1119	13.6		
2011 年	883.9	7.5		
2012 年	1238	38.9		
2013 年	967.4	20.1	20.3	-34.09%
2014 年	1123	41.7		

Continued

2015 年	984	12.8		
2016 年	1117	18.9		
2017 年	1119	14.3		
2018 年	1379	31.8	20.3	-34.09%
2019 年	1099	3.57		
2020 年	1328	13.00		

从年内分配过程来看(表 5), 三堆子站卵石推移质输沙主要集中在 7~9 月, 2010 年前 7~9 月卵石推移质输沙量占全年的 93%以上[4]。2010 年后各年卵石推移质输沙总量略有减少, 且以 7~9 月期间减少为主, 使得其输沙量占全年的比例略有下降。根据年实测卵石推移质输沙率与流量相关关系进行分析, 可以看到三堆子站卵石推移质输沙率随流量的增加也明显增加, 但同流量下卵石推移质输沙率差异较大, 相关关系较差, 实测最大卵石推移质输沙率为 233 kg/s (2014 年 7 月 18 日) [5]。从 2007~2020 年点据分布情况来看, 三堆子站流量在 2000 m³/s 左右时, 开始观测到有卵石推移质输移; 流量增加至 7000 m³/s 时, 卵石推移质输沙率能保持在 2 kg/s 以上; 流量增加至 9000 m³/s 时, 卵石推移质输沙率能保持在 10 kg/s 以上; 流量增加至 10,000 m³/s 时, 卵石推移质输沙率能保持在 20 kg/s 以上。

Table 5. Statistical table of annual process of sediment transport of pebble bed load in Sanduizi Station

表 5. 三堆子站卵石推移质输沙量年内过程统计表

卵石推移质输沙量(10 ⁴ t)	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年	7~9 月输沙量占全年百分比
2007 年	0.0002	0	0	0.0001	0.152	0.231	6.57	7.91	12.3	1.41	0.038	0	28.6	93.6%
2008 年	0	0	0	0.001	0.119	0.843	13.6	21	9.79	0.63	0.098	0.008	46.1	96.3%
2009 年	0	0	0	0	0	0.265	10.3	20.6	2.38	1.07	0	0	34.7	95.9%
2010 年	0	0	0	0	0	0.143	5.06	4.16	4.09	0.176	0	0	13.6	97.9%
2011 年	0	0	0	0	0	0.834	3.53	3.12	0.02	0	0	0	7.5	88.9%
2012 年	0	0	0	0	0	2.667	21.2	5.88	7.54	1.51	0.046	0	38.9	89.0%
2013 年	0	0	0	0	0	0.266	7.22	3.9	7.88	0.81	0	0	20.1	94.5%
2014 年	0	0	0	0	0	0.114	18.8	12.8	8.52	1.56	0.012	0	41.7	96.2%
2015 年	0	0	0	0	0	0.531	1	1.11	10.04	0.116	0	0	12.8	94.9%
2016 年	0	0	0	0	0.071	1.20	9.57	1.35	5.44	1.22	0	0	18.9	86.6%
2017 年	0	0	0	0	0	3.52	5.68	2.68	2.05	0.36	0	0	14.3	72.8%
2018 年	0	0	0	0	0	0.23	7.58	9.43	13.1	1.56	0	0	31.9	94.3%
2019 年	0	0	0	0	0	0.15	0.82	0.29	2.14	0.16	0	0	3.57	91.2%
2020 年	0	0	0	0	0	0.28	3.00	6.27	3.11	0.31	0	0	13.0	95.2%
均值	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0244	0.805	8.14	7.18	6.31	0.778	0.0139	0.0006	25.2	85.8%

表 6 显示, 2007 至 2020 年间, 三堆子站水文站卵石推移质级配变化幅度较小, 粒径分配较均匀,

卵石推移质最大粒径变化范围为 181~307 mm, 年中数粒径变化范围为 30.7~46.0 mm, 年平均粒径变化范围为 42.4~63.1 mm。从各年实测卵石推移质中数粒径与流量相关关系进行分析, 可以看到三堆子站卵石推移质中数粒径随流量的增加也逐渐增大, 但同流量下各测次卵石推移质中数粒径有一定差异, 相关关系较差。

Table 6. Statistical table of particle gradation of pebble bedload in Sanduizi Station

表 6. 三堆子站卵石推移质颗粒级配统计表

年份	小于某粒径沙重百分数(%)									中数粒径 (mm)	平均粒径 (mm)	最大粒径 (mm)
	2	4	8	16	32	64	128	250	500			
2007 年	0	8.7	19.1	30.8	51.7	77.7	95.6	100		30.7	42.4	223
2008 年	0	4.2	8.9	17.9	37.7	67	92.6	100		43.4	55.4	234
2009 年	0	3.1	9.7	20.9	40.4	66.8	90.4	100		41.6	57.1	250
2010 年	0	5.1	11.9	20.4	36.8	63.8	86	100	100	45.5	63.1	262
2011 年	0	7.2	14.4	22.6	40.3	67.7	86.5	99.3	100	40.6	60.0	282
2012 年	0	2.4	7.0	15.4	35.3	66.5	91.1	99.3	100	44.7	58.9	307
2013 年	0	2.9	9.0	19.0	39.1	71.4	94.1	100		40.6	51.0	208
2014 年	0	5.0	11.4	19.1	36.2	64.9	90.7	99.4	100	45.5	59.0	258
2015 年	0	7.2	15.3	26.5	48.1	73.6	94.6	100		33.6	46.8	224
2016 年	0	3.9	9.9	18.7	36.3	64.1	93.5	100		46.0	55.8	202
2017 年	0	3.5	10.1	20.0	39.4	70.0	94.9	100		40.4	51.2	181
2018 年	0	0.8	4.1	11.7	26.6	53.8	80.6	99.5	100	59.3	75.8	265
2019 年	0	1.0	4.9	13.8	32.3	63.1	89.2	100		45.5	62.0	182
2020 年	0	4.0	9.9	16.7	30.6	55.9	82.2	98.5	100	56.6	72.4	282

表 7 给出了三堆子站 2007 年来沙质推移质输沙量的统计值, 可以看到 2007 年来随着上游来水影响, 三堆子站各年沙质推移质输沙量差异较大, 其中 2019 年输沙量最少, 年输沙量 0.462 万 t, 2008 年输沙量最多, 年输沙量 8.64 万 t, 较 2010 年前相比, 2010 年后沙质推移质年输沙量略偏少 28.31%。

Table 7. Statistical table of sand bed load transport at Sanduizi Station

表 7. 三堆子站沙质推移质输沙量统计表

三堆子站	年径流量(10^8 m^3)	年沙质推移质输沙量(10^4 t)	年输沙量均值(10^4 t)	年输沙量变化率(%)
2008 年	1252	8.64		
2009 年	1211	4.36	5.44	
2010 年	1119	3.33		
2011 年	883.9	1.73		
2012 年	1238	6.24		
2013 年	967.4	2.37	3.90	-28.31%
2014 年	1123	7.88		
2015 年	984	4.02		

Continued

2016 年	1117	8.22		
2017 年	1119	4.82		
2018 年	1379	2.21	3.90	-28.31%
2019 年	1099	0.462		
2020 年	1328	1.05		

从三堆子站年内分配过程来看(表 8), 沙质推移质输沙主要集中在汛期 6~10 月, 2010 年前汛期沙质推移质输沙量占全年的 93%以上, 2010 年后各年沙质推移质输沙总量略有减少, 且以汛期减少为主, 使得其输沙量占全年的比例略有下降。点绘各年实测沙质推移质输沙率与流量相关关系图, 可以看到点据分布较散乱, 输沙率多在 10 kg/s 以下, 实测最大沙质推移质输沙率为 64.5 kg/s (2014 年 7 月 1 日)。从 2008~2020 年点据分布情况来看, 三堆子站流量在 600 m³/s 左右时, 开始观测到有沙质推移质输移。

Table 8. Statistical table of annual process of sediment load transport in Sanduizi Station
表 8. 三堆子站沙质推移质输沙量年内过程统计表

沙质推移质输沙量(10 ⁴ t)	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年	汛期输沙量占全年百分比
2008 年	0.004	0.003	0.003	0.004	0.022	0.117	0.937	4.17	3.05	0.269	0.049	0.006	8.64	99.13%
2009 年	0.039	0.032	0.025	0.031	0.032	0.152	1.06	1.95	0.6	0.314	0.082	0.035	4.36	94.22%
2010 年	0.02	0.01	0.015	0.015	0.041	0.082	0.909	0.8	1.01	0.329	0.067	0.029	3.33	95.23%
2011 年	0.026	0.011	0.014	0.018	0.033	0.144	0.658	0.476	0.198	0.105	0.03	0.016	1.73	93.29%
2012 年	0.017	0.007	0.008	0.016	0.055	0.289	2.97	1.12	1.18	0.47	0.08	0.026	6.24	97.50%
2013 年	0.038	0.023	0.03	0.04	0.065	0.423	0.614	0.037	0.198	0.688	0.159	0.053	2.37	85.44%
2014 年	0.159	0.134	0.11	0.07	0.186	0.868	1.66	1.32	0.929	2.09	0.314	0.04	7.88	89.51%
2015 年	0.046	0.048	0.095	0.108	0.042	1.6	1.5	0.163	0.157	0.134	0.099	0.022	4.02	89.45%
2016 年	0.488	0.233	0.415	0.164	0.834	2.11	0.63	0.244	1.22	0.452	1.09	0.342	8.22	66.79%
2017 年	0.182	0.298	0.161	0.11	0.193	2	0.353	0.32	0.373	0.149	0.489	0.188	4.82	70.29%
2018 年	0.171	0.073	0.190	0.093	0.179	0.381	0.354	0.201	0.246	0.102	0.114	0.107	2.21	66.20%
2019 年	0.029	0.010	0.008	0.010	0.040	0.036	0.083	0.037	0.117	0.024	0.029	0.040	0.462	73.10%
2020 年	0.062	0.223	0.080	0.049	0.112	0.171	0.086	0.166	0.070	0.011	0.005	0.013	1.05	58.67%
均值	0.099	0.085	0.089	0.056	0.141	0.644	0.909	0.846	0.719	0.395	0.201	0.071	4.25	84.50%

2007 至 2020 年间, 三堆子站水文站沙质推移质级配分配较均匀, 沙质推移质年中数粒径变化范围为 0.298~0.574 mm, 年平均粒径变化范围 0.406~0.642 mm, 各年沙质推移质粒径级配曲线见图 2, 表 8。较 2010 年前比, 2010 年后三堆子站沙质推移质粒径小于 0.5 mm 的泥沙占比有所增加, 粒径大于 0.5 mm 的泥沙占比有所减少, 中数粒径及平均粒径均有一定程度的减小。点绘多年实测沙质推移质中数粒径与流量相关关系图, 可以看到点据分布较散乱, 中数粒径多在 0.2~0.6 mm 之间。

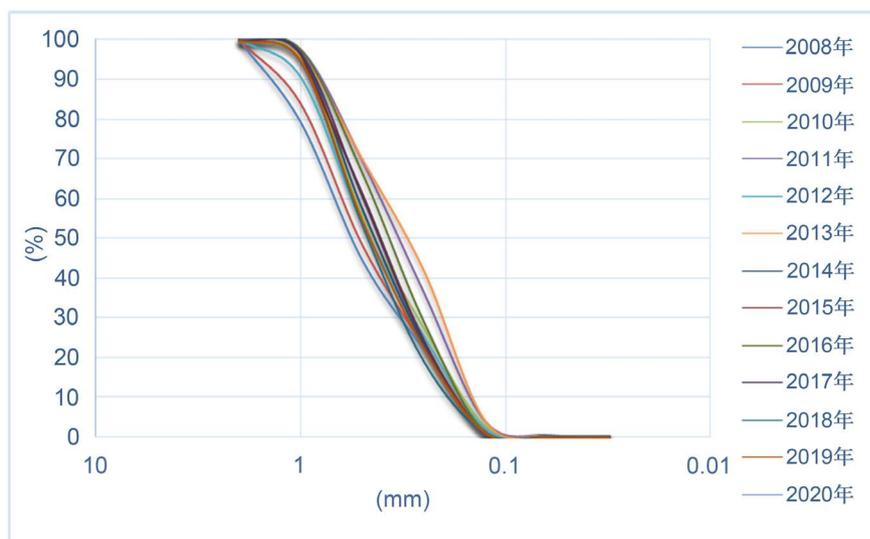


Figure 2. Grading map of sand bed at Sanduizi Station

图 2. 三堆子站沙质推移质级配图

4. 结论

1) 三堆子站径流量及年内分配近年来主要表现为水文随机波动, 无趋势性变化; 受上游各水电站逐步投入使用影响, 库区上游来沙近年来有所减少, 且汛期输沙量占全年的比例有所降低。

2) 三堆子站沙质推移质年总量各年差异较大, 2008~2017 年变化范围为 1.73~8.64 万 t, 较 2010 年前相比, 2010 年后沙质推移质年输沙量略偏少, 年内输沙主要集中在汛期 6~10 月。沙质推移质粒径分配较均匀, 2010 年后小于 0.5 mm 的泥沙占比有所增加, 粒径大于 0.5 mm 的泥沙占比有所减少, 中数粒径及平均粒径均有一定程度的减小。

3) 三堆子站卵石推移质年总量各年差异较大, 2007~2016 年变化范围为 7.5~46.1 万 t, 较 2010 年前相比, 2010 年后卵石推移质年输沙量略偏少, 年内输沙主要集中在 7~9 月。卵石推移质级配变化幅度较小, 粒径分配较均匀, 出现的最大粒径为 307 mm。

参考文献

- [1] 朱晓原, 张留柱, 姚永熙. 水文测验实用手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [2] 水利部长江水利委员会水文局. SL43_92 河流推移质泥沙及床沙测验规程[S]. 北京: 水利电力出版社, 1993..
- [3] 邹敏, 杨宏伟, 徐杨, 陈胡兰. 浅析三峡水库泥沙运移特征[J]. 水利科学与寒区工程, 2018, 1(10): 1-6.
- [4] 王俊, 张欧阳, 熊明. 三峡水库首次蓄水对泥沙输移特性的影响[J]. 水力发电学报, 2007, 26(5): 102-106+96.
- [5] 郭爱军. 台兰河泥沙变化特征分析[J]. 地下水, 2020(4): 171-173.