

规划水库坝址水沙特性分析及泥沙防控

付 帅, 石永恩

长江水利委员会水文局长江上游水文水资源勘测局, 重庆

收稿日期: 2023年12月8日; 录用日期: 2024年1月30日; 发布日期: 2024年2月21日

摘 要

根据孙水河流域水资源特性及季节分配特点, 流域内的地质、自然状况等, 兴建水库对于防洪排涝, 解决干旱缺水, 保持生态平衡有着至关重要的作用。通过对孙水河下游孙水关水文站水文资料的水沙特性分析, 采用面积比拟法来推算输沙量、含沙量, 通过面积雨量来修正径流量。得出规划中的米市水库具有输沙率大、含沙量高、颗粒粒径大、水大沙大的特性, 其泥沙来源、数量及时空变化没有规律可循。在这样多沙的河流上修建水利枢纽, 掌握水沙运动和河床冲淤演变情况, 调查清楚河流特性及影响因素, 选择适当的引水方案及防沙排沙措施, 减少泥沙的危害, 是水库兴建过程中需要考虑的因素。

关键词

输沙量, 含沙量, 颗粒粒径, 悬移质, 推移质

Planning Reservoir Dam Site Water and Sediment Characteristics Analysis and Sediment Control

Shuai Fu, Yongen Shi

Upper Changjiang River Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, The Hydrological Bureau of the Changjiang River Water Resources Commission, Chongqing

Received: Dec. 8th, 2023; accepted: Jan. 30th, 2024; published: Feb. 21st, 2024

Abstract

According to the characteristics of water resources and their seasonal distribution, as well as the geological and natural conditions in the Sunshui River basin, the construction of reservoirs plays a crucial role in flood control, flood drainage, drought and water balance of nature. Based on the analysis of the

作者简介: 付帅, 出生于 1986 年 5 月, 籍贯山西省原平市, 大学本科, 工程师, 从事水文测验、水文分析计算工作, Email: fushuai2479@qq.com

文章引用: 付帅, 石永恩. 规划水库坝址水沙特性分析及泥沙防控[J]. 水资源研究, 2024, 13(1): 76-81.

DOI: 10.12677/jwrr.2024.131009

characteristics of water and sediment at sunshuiguan hydrologic station in the lower reaches of Sunshui River, the area comparison method is used to calculate the sediment transport and concentration, and the area rainfall is used to modify the runoff. It is concluded that the Cho Gao Reservoir under planning has the characteristics of high sediment transport rate, high sediment content, large particle size and large water and sediment. Building a water conservancy project on such a Sediment-laden River, mastering the movement of water and sediment and the evolution of scouring and silting in the riverbed, investigating clearly the characteristics and influencing factors of the river, and selecting appropriate diversion schemes and measures for sediment control and discharge, reducing the harm of sediment is a factor to be considered in the process of reservoir construction.

Keywords

Sediment Transport, Sediment Content, Particle Size, Suspended Mass, Bed Mass

Copyright © 2024 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/>



1. 孙水河概况

孙水河是安宁河上游左岸的最大支流，雅砻江二级支流，发源于凉山州昭觉县尼地乡境内的洛马阿木拖山（主峰海拔高程 3491 m），河流上游大体由南向北流向，经尼地后进入喜德县境内，于冕宁县的泸沽镇注入安宁河干流。流域面积 1617.5 km²，河道全长 95 km，落差 1424 m，平均比降 15‰ [1]。

孙水河流域地处青藏高原横断山脉东部，安宁河上游东侧，属亚热带季风气候区，主要受极地大陆气团和暖湿海洋季风交替影响，冬季天气晴朗干燥，降水少，蒸发量大；夏季受西南季风气候影响，孟加拉湾暖湿气流进入本区形成雨季。流域内四季呈现“春暖干旱，风高物燥；夏无酷热，雨量集中；秋凉少雨，霜期开始；冬无严寒，日照充足”的特点。由于地貌差异，相对高差较大，气候在垂直和水平方向的差异显著。

孙水河在喜德县米市镇处河段开阔，具备兴建水库的条件。2035 年前规划新建大(II)型米市水库 1 座，设计年限 50 年，总库容 14,560 万 m³，死库容 1993 万 m³，集水面积 397.9 km²。水资源在区域内有五大特点：1) 水资源量大，总量为 11.17 亿 m³，河道理论蕴藏量 26.0 万 kw；2) 水资源的地域分布差异大，人口、耕地、经济发展布局与水资源分布不相适应，导致区域性缺水，季节性缺水的严重问题；3) 由于地理条件的影响，山高坡陡，垂直高差大，水源点低，水资源开发难度大；4) 现有水利化水利设施不足，对水资源利用率低，调控能力差。兴建水库有利于提高下游梯级电站的保证出力和增加自流灌溉的可引流量，还可以起到一定的蓄洪削峰的作用，有利于下游的防洪排涝，所以米市水库的兴建迫在眉睫。加快米市水库的建设，是提高灌区人民生活水平，保证地区社会和谐稳定发展的需要。

2. 流域产沙概况

孙水河干流，除米市一带、两河口至新桥、铁厂等河段较开阔外，一般为深切河谷，沿岸耕地分布较少。流域内多为深切的中、低山。孙水河中、上游广泛分布着朱罗系、白垩系砂岩、泥岩及页岩，临坡面岩体受构造裂隙切割，岩体破碎，在长期的风雨侵蚀与重力的作用下，产生崩塌。地貌特征表现为山高坡陡、地表破碎、沟谷深切，易形成冲刷力强的地表径流，是造成水土流失的主要原因之一。境内岩性出露较齐全，容易产生水土流失的以中生界各组出露为主，主要为碎屑岩类，砂岩、页岩及泥岩等，其中抗蚀性较差的紫色土、红壤占比大，成土条件差、坡面排水系统不完善，加剧了水土流失的发生[1]。加之森林砍伐过量，植被覆盖较低，以及土地耕作、开矿、修

路等人类活动影响,成为水土流失严重区和泥石流多发区。泥沙主要来源由水力、风化、人为耕种等方面的因素相互作用而形成。汛期中雨水多、雨量集中,高强度、历时短的暴雨常见多发,很容易诱发水土流失冲毁良田、村庄、公路,给人们生命财产造成严重危害。暴雨对松散岩土冲刷,导致洪水夹带大量泥沙随洪水汇入孙水河。

3. 水库悬移质沙量推算

3.1. 孙水河输沙特性

鉴于孙水河1月至4月及11月、12月河水清澈,孙水关(三)水文站系孙水河干流下游水文站,位于四川省冕宁县泸沽镇三合村。自1967年后部分年份上述时段内单沙停测,作“0”处理。因此本次计算根据孙水关水文站具有的悬移质泥沙资料,含缺测月份的年份以该站5~10月含沙量作为年值计算。根据DL/T5089-1999《水利水电工程泥沙设计规范》规定,“设计依据水文站泥沙测验资料具有20年以上连续系列,可直接统计多年平均年输沙量”[2],孙水河输沙量年际变化较大,1959年~2014年实测资料系列中,最大年沙量为2012年,该年输沙量为1771万t,主要是由于831特大洪水导致孙水河携沙量剧增,最小年沙量为1975年的0.56万t,最大年沙量为最小年沙量的3162倍,是均值的6.26倍。经统计计算,在不考虑831洪水过程的情况下,孙水关水文站1959年~2014年多年悬移质平均含沙量为 3.12 kg/m^3 ,多年平均悬移质年输沙量348万t,多年平均悬移质输沙率为 110.26 kg/s ,悬移质平均输沙模数为 $2178\text{ t/km}^2\cdot\text{a}$,含沙量资料采用近似法整编。本阶段选取孙水关(三)水文站作为泥沙分析计算的设计依据站。悬移质年内分配过程见表1。

表1. 孙水关(三)水文站多年平均年内悬移质输沙量及含沙量过程表

| 项目 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 年 |
|-----------------------------|-------|------|------|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 流量(m^3/s) | 10.79 | 8.81 | 7.56 | 7.74 | 14.14 | 53.67 | 88.07 | 73.56 | 77.19 | 49.53 | 23.93 | 14.85 | 35.36 |
| 输沙量(万t) | 0.08 | 0.06 | 0.08 | 0.15 | 33.77 | 61.20 | 153.45 | 55.97 | 38.53 | 3.81 | 0.44 | 0.19 | 347.72 |
| 含沙量(kg/m^3) | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.07 | 9.09 | 4.34 | 6.63 | 2.90 | 1.90 | 0.29 | 0.07 | 0.05 | 3.12 |

3.2. 含沙量和输沙量推算

水库的悬移质输沙量以孙水关(三)水文站悬移质沙量统计结果作为设计依据,由分析孙水河流域的8个雨量站多年平均降雨量得知,孙水关水文站以上多年平均面雨量为1147mm。水库推荐坝址处雨量站多年平均降雨量1034mm,代表水库坝址处以上面雨量。将该水文站的径流成果按面积雨量修正至水库坝址处,得到设计径流量。采用该站悬移质输沙量及年内过程分布,按面积比拟法得到水库坝址处年内逐月输沙过程。详见表2。

表2. 水库推荐坝址处多年平均年内悬移质输沙量及含沙量过程表

| 项目 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 年 |
|-----------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 流量(m^3/s) | 2.40 | 1.95 | 1.68 | 1.72 | 3.01 | 11.69 | 19.61 | 16.28 | 17.17 | 11.01 | 5.27 | 3.30 | 7.94 |
| 输沙量(万t) | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 8.42 | 15.26 | 38.26 | 13.95 | 9.61 | 0.95 | 0.11 | 0.05 | 86.69 |
| 含沙量(kg/m^3) | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.08 | 10.64 | 4.97 | 7.43 | 3.26 | 2.13 | 0.33 | 0.08 | 0.05 | 3.46 |

由表2可以看出,推荐水库坝址处多年平均悬移质输沙量为86.69万t,多年平均悬移质含沙量为 3.46 kg/m^3 。求出水库坝址处多年平均输沙模数为 $2178\text{ t/km}^2\cdot\text{a}$ 。水库入库沙量年内分配不均匀,泥沙主要集中在主汛期6~9月,其输沙量为77.07万t,占全年沙量的88.9%;7月输沙量最大,为38.26万t,占全年沙量的44.1%。下面通过数据对比了解规划水库含沙量和输沙率的特性。根据2019年《中国河流泥沙公报》黄河和塔里木河代表

站平均含沙量较大,分别为 4.04 kg/m^3 和 1.11 kg/m^3 ,其他河流平均含沙量为 0.744 kg/m^3 [3],规划水库比全国其它河流平均量高了 365%。根据 1961~1992 年资料统计,安宁河流域上游段的安宁桥水文站(于 1994 年撤站)多年平均悬移质含沙量为 0.45 kg/m^3 ,安宁桥水文站多年平均年输沙模数为 $619 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$ 。在支流孙水河汇入后河流含沙量增大显著。流域中游段,据漫水湾水文站(于 2001 年撤站)的资料分析统计,多年平均悬移质含沙量分别为 1.17 kg/m^3 ,多年平均年输沙模数为 $1050 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$ 。流域下游段的湾滩水文站(于 2015 年撤站)多年平均悬移质含沙量为 1.65 kg/m^3 ,多年平均年输沙模数为 $1140 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$ 。从安宁河流域上、中游河流含沙量和输沙模数数据变化大,而中、下游数据变化小可以看出,孙水河流域含沙量对安宁河含沙量变化起主要因素。

3.3. 悬移质颗粒级配

孙水河孙水关(三)水文站具有 1978~1982 年的悬移质泥沙颗粒级配资料,据此估计悬移质颗粒级配曲线。规划水库悬移质泥沙颗粒级配成果见表 3 和图 1。

表 3. 规划水库悬移质泥沙颗粒级配表

| (mm) | 0.007 | 0.01 | 0.025 | 0.05 | 0.1 | 0.25 | 0.5 | 1 | 2 |
|---------------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|-----|
| 小于某粒径沙重百分比(%) | 11.8 | 17.5 | 33 | 50.1 | 72.3 | 89.2 | 96.8 | 99.9 | 100 |

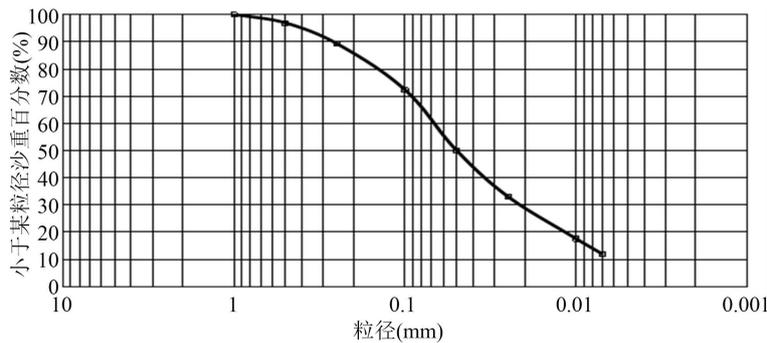


图 1. 水库悬移质泥沙级配曲线示意图

孙水河中、上游广泛分布着朱罗系、白垩系砂岩、泥岩及页岩,岩层破碎,风化强烈,颗粒较大。根据颗粒粒径都是在大于 0.007 mm 之上看出沙粒、粉沙占的比重很大。

3.4. 推移质输沙推算

推移质是指在河床表面,受水流拖曳作用沿河床滚动、滑动、跳跃或层移的形式运动的泥沙。孙水河流域内泥石流频繁发生,右岸的深沟河是泥石流较为严重的河流,其具有能量大、突发性、历时短、暴发力强等特点,其推移质随洪水进入干流,淤塞河道,降低河道排泄能力,导致冲毁沿岸田地。孙水河坡降较大,水流急,泥沙含量较大,特别经过喜德县 8.31 特大洪灾,通过实地踏勘、调查总结,发现孙水河推移质泥沙含量较大。本河段流域水文站无推移质输沙率实测资料,根据《四川省水文手册》,本规划阶段推移质输沙量按悬移质的 20% 估算[4],计算得到规划水库坝址处多年平均推移质输沙量为 17.34 万 t。

3.5. 坝址处水沙来源的分析

根据推算分析结果可以看出 1) 悬移质含沙量高和输沙量大,孙水河沿岸山高坡陡、地表破碎、沟谷深切,易形成冲刷力强的地表径流,临坡面岩体受构造裂隙切割,岩体破碎,境内岩性出露较齐全,容易产生水土流失的以中生界各组出露为主,其中抗蚀性较差的紫色土、红壤占比大,成土条件差、坡面排水系统不完善,

毁林毁草、开荒种地，过度放牧造成严重的水土流失。2) 推移质输沙量大，人为局部开挖坡面及渣、料场，弃渣形成的松散堆积体，流域内泥石流频繁发生，冲刷物随洪水汇入河道。3) 颗粒粒径大，主要为碎屑岩类，砂岩、页岩及泥岩等。4) 水大沙大，雨季中雨水多、雨量集中，高强度、历时短，很容易诱发水土流失和泥石流。

4. 泥沙淤积对水库的影响

依据坝址处水沙特性，水流夹带的泥沙进入库区后，因流速降低大量泥沙沉积下来，淤积库底，水库库容就会被大量泥沙所占据，现根据推算的坝址处水文资料计算淤积年限。

$$T = V_{死} / a_v * V \quad (1)$$

式中： a_v —水库年均淤损率(%)， V —总库容(m^3)， $V_{死}$ —死库容(m^3)， T —水库的淤积年限(年)。规划水库的库容系数 $V/W_{多} = 0.58$ 时， $a_v = W_{多}/V = 0.58\%$ ， $W_{多}$ —多年平均径流量(m^3)， W_S —多年平均来沙量(t)， T 大约等于 24 年。

在这么多沙的河流上规划设计的水库，约 24 年左右泥沙的淤积量将填满水库的死库容，大量的泥沙不仅仅是减少水库的兴利库容，缩短水库寿命这一方面的危害。泥沙的危害还存在于淤积降低了江河的泄洪能力，河床淤积被抬高，减少过水断面，增大防洪工作难度。引河水灌溉时，这些泥沙淤塞了灌溉渠系，减少渠道的输水能力，影响农业生产。利用多沙水流发电时泥沙使水轮机流道内的压力场和流场发生了畸形，并且对水轮机过流部件的表面产生反复的切削和冲击，水轮机的局部产生巨大的磨损。泥沙淤积破坏了坝体前应力状态，坝体的压应力变得越来越大。泥沙的危害如果不好好处理，兴建水库就达不到防洪排涝，解决干旱缺水，保持生态平衡，提高沿岸人民生活水平的目的。

5. 泥沙防控措施体系建设

针对水库上游区域的重点产沙区，热柯依达乡、额尼乡、洛哈镇等乡镇，综合采用“工程措施、林草措施、耕作措施”，布设泥沙防控体系，沟坡兼治，从坡面—沟道—河道，层次设防、拦截泥沙，实现“岸绿、水清”的控沙目标。

对沿岸侵蚀严重的沟谷地带，需构建综合治理体系，实现“固土”、“稳坡”、“拦沙”的目的：上游沟坡构建水土保持防护林提升项目区森林覆盖率，恢复项目区生态系统，减少流域水土流失，固结土壤，拦截地表径流；支毛沟层层构建谷坊群，拦截泥沙，抬升侵蚀基准面，稳定坡体、沟床。

针对产沙严重的支流，在其汇入孙水河干流的汇入口附近，设置拦沙坝，以拦截入库泥沙，保障水库运行安全。典型小流域主要的治理措施包括坡耕地整治措施(坡改梯、等高耕作)、林草措施(营造水土保持林、建设经果林)、生态修复措施(封禁治理)、小型水利水保工程(排灌沟渠、蓄水池、沉沙池、堰塘整治、田间道路)等[5]。

规划中一定加大了对水库泥沙淤积问题的研究和投入力度，以切实提高水库功能发挥，实现兴利效益的根本目的。建立水沙因子观测站，准确观测入库的泥沙，重视泥沙资料的收集和分析。提高水库精准调度、高效排沙、防淤减淤和水库管理，提高水库有效兴利库容。

6. 结论

水库规划中根据水文站流量、泥沙、降水等测验资料分析计算的水沙特性，充分了解泥沙淤积存在的各种问题，以寻求技术可行、经济最优、环境影响和社会影响最小的管理方案。建立泥沙防控措施体系，稳定坡体、沟床、固结土壤，防止水土流失，减少泥沙的来源。设置拦沙坝拦截入库泥沙，建立水沙因子观测站，准确观测入库的泥沙，重视泥沙资料的收集和分析，找出冲淤规律，提高水库精准调度、科学淤积管理，保持水库的长期有效库容。

参考文献

- [1] 四川省水利水电勘测设计研究院. 四川省凉山州米市水库工程可行性研究报告[R]. 2018.
- [2] 朱鉴远. 水利水电工程泥沙设计[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [3] 中华人民共和国水利部. 中国河流泥沙公报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2020.
- [4] 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.
- [5] 温馨, 苗广霖. 水利工程泥沙的危害及应对措施[J]. 河南科技, 2013(9): 35.