

文章编号: 1674—8247(2022)06—0079—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.06.015

金建高速铁路大中河流水文计算分析

董月龙

(中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京 102600)

摘要:新建金华至建德高速铁路位于浙江省西南部,沿线河流主要有金华江、兰江和新安江,均属钱塘江流域,铁路沿线暴雨参数取值跨越幅度大,取值分段多。大中河流的流量计算方法有数理统计法、形态调查法、流域面积比拟法(流域面积内插法)、地方经验公式和水电推理公式法。文章综合考虑各方面因素后,确定了适用金建高速铁路的计算方法,并对铁路大中河流水文进行了分析。研究结果可为类似大中河水文分析提供参考。

关键词:高速铁路; 大中河流; 统计分析; 流量计算

中图分类号: U24 **文献标识码:** A

Hydrological Calculation and Analysis of Large and Medium Rivers along Jinhua-Jiande High-speed Railway

DONG Yuelong

(China Railway Fifth Survey and Design Institute Group CO. LTD., Beijing 102600, China)

Abstract: The rivers along the line mainly include the Jinhua River, the Lanjiang River, and the Xin'an River, all of which belong to the Qiantang River Basin. The rainstorm parameters along the railway span a large range of values that are specific for different sections. The discharge calculation methods of large and medium-sized rivers include the mathematical statistics method, morphological survey method, catchment area analogy method (catchment area interpolation method, local empirical formula, and hydropower rational formula method. After considering all the factors, this paper determines the calculation method suitable for Jinhua-Jiande High-speed Railway and analyzes the hydrology of large and medium rivers. The study results can provide a reference for the hydrological analysis of similar rivers.

Key words: high-speed railway; large and medium-sized rivers; statistical analysis; discharge calculation

金华至建德高速铁路(简称金建铁路)位于我国浙江省西南部,线路自金华站引出后,沿兰江通道走行于兰溪市东侧并设兰溪东站,走行于兰江西侧,于建德市大洋镇西侧设大洋站后,自建德市梅城规划区跨越新安江引入杭黄铁路。线路正线全长 65.07 km。

1 沿线河流水系特征

新建金建高速铁路沿线主要河流有金华江、兰江和新安江,均属于钱塘江流域,兰江和新安江汇合后汇入下游的富春江。

收稿日期:2021-01-13

作者简介:董月龙(1989-),男,工程师。

引文格式:董月龙. 金建高速铁路大中河流水文计算分析[J]. 高速铁路技术,2022,13(6):79-83.

DONG Yuelong. Hydrological Calculation and Analysis of Large and Medium Rivers along Jinhua-Jiande High-speed Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(6):79-83.

1.1 金华江

金华江为钱塘江支流,发源于浙江省金华市磐安县大盘山山脉,经浙江省金华市区后与衢江汇流为兰江。金华江由东阳江和武义江两大支流汇流而成,干流长 160 km,流域总面积为 6 840 km²。沿线多河谷盆地,干流河段,比降 3.1‰,河宽 250 ~ 700 m。

1.2 兰江

兰江为钱塘江支流,发源于安徽省休宁县青芝埭尖东麓,经浙江省开化、常山、衢州、龙游、兰溪,至建德市梅城后与新安江汇合流入钱塘江干流,流域面积 19 468 km²,河长 302.5 km。沿线多河谷盆地,干流河段,比降 2.6‰,河宽 400 ~ 650 m。

1.3 新安江

新安江为钱塘江支流,发源于安徽省休宁县冯村乡六股尖,经浙江省淳安县、新安江城区、洋溪、下涯、杨村桥,至建德市梅城后与兰江汇合流入钱塘江干流,流域面积 11 674 km²,干流长度 359.0 km。沿线多河谷盆地,干流河段,比降 3.7‰,河宽 300 ~ 650 m。

2 大中河流设计流量的计算

2.1 方法概述

大中河流可用的流量计算方法有数理统计法^[1-2]、形态调查法^[3]、流域面积比拟法^[4](流域面积内插法)、地方经验公式^[5]和水电推理公式法。根据金建高速铁路沿线河流的情况采用其中的两种或三种进行计算和验证。以下对各种方法的优缺点及适用范围进行详细叙述。

2.1.1 数理统计法

根据水文站的历年观测流量序列,应用概率论的原理,对实测水文资料进行分析,确定出相应的曲线参数,再根据曲线方程延长观测序列,求得相应设计频率的流量^[6]。

该方法理论严密,结果精度高,但是所需数据量大,必须有足够年限的流量观测序列。

2.1.2 形态调查法

根据实地调查访问,确定历史洪水发生的时间、洪痕、洪水规模、重现期等数据,实测正交水文断面及河床纵坡,利用流量-水位关系反推出流量。

2.1.3 流域面积比拟法(流域面积内插法)

选用相邻的自然地理条件同属一水文气象分区且流域面积接近、降雨特点相似的水文站为参证点,计算公式为:

$$Q_p = \left(\frac{F_{\text{设}}}{F_{\text{参}}} \right)^n \times Q_{p\text{参}} \quad (1)$$

式中: $F_{\text{设}}$ ——设计断面流域面积(km²);

$F_{\text{参}}$ ——参证站控制流域面积(km²);

$Q_{p\text{参}}$ ——参证站相应频率洪水流量(m³/s);

n ——面积比指数,当 $n = 1$ 时即为流域面积内插法,可根据本河流域或邻近河流按照上式反求,一般大中河流 $n = 0.5 \sim 0.7$,较小河流 $n \geq 0.7$ 。

限制使用条件:当上下游的两流域面积相差 10% ~ 20%,流域内自然地理条件比较一致,降雨比较均匀,区间河道又无特殊的调蓄作用时,可采用此法。

2.1.4 浙江省经验公式法

地方经验公式是将洪峰流量与流域面积建立关系,并考虑山区、丘陵、平原的区别。浙江省经验公式根据主要河流实测或调查所得的历年最大洪峰流量,化为洪峰模数,点绘洪峰模数与流域面积的关系,取其外包线^[7-8],公式为:

$$Q_m = 14.9 F^{0.73} \quad (2)$$

式中: Q_m ——洪峰流量(m³/s);

F ——汇水面积(km²)。

限制使用条件: F 的使用范围为 300 ~ 20 000 km²。

2.1.5 水电推理公式法^[9-10]

《水利水电工程设计洪水计算规范》中推荐的推理公式基本表达式为:

$$Q_m = 0.278 \frac{H}{\tau} F \quad (3)$$

$$\tau = 0.278 \frac{l}{m J^{1/3} Q_m^{1/4}} \quad (4)$$

式中: Q_m ——洪峰流量(m³/s);

F ——汇水面积(km²);

h ——全面汇流时 τ 时段的最大净雨,部分汇流时单一洪峰的净雨(mm);

τ ——流域汇流历时;

m ——汇流参数;

J ——沿流程 L 的平均比降(‰);

L ——沿主河从出口断面至分水岭的最长距离。

限制使用条件:一般适用于 100 km² 以下的中小流域。

2.2 主要河流设计流量的计算及验证

金建高速铁路跨越浙江省金华市、杭州市境内的大中河流中,金华江、兰江和新安江设有水文站^[11]。初测阶段,重点对上述河流进行了现场实测调查,同时收集了水利规划资料、水文站数据以及临近既有桥梁的相关资料。经过认真计算、分析、比较后,确定大中河流水文计算方法。

2.2.1 金华江

(1) 水文站概况

金华江水文站只有金华水文站,位于金华市婺城区滨江路,控制流域面积 5 953 km²,于 1961 年 1 月设立。测流断面为较稳定的宽深河道断面,水面变幅在 100 ~ 350 m。测验项目有水位、流量、雨量、泥沙等。

(2) 水文站资料分析计算

金华区域内的各节点位置示意如图 1 所示。桥址 1 位于金华江水文站下游 10.8 km,线位处两侧堤坝间距约 360 m,调查时水面宽约 270 m,金建高速铁路与金华江右前角约 75°。桥址 2 位于金华江水文站下游 15.1 km,线位处两侧堤坝间距约 600 m,调查时水面宽约 550 m,金建高速铁路与金华江右前角约 75°。



图 1 金华江桥址与水文站关系图

根据金华水文站提供的洪峰流量资料进行数理统计,按金华水文站实测各年最大流量进行递减排列,推出模比系数和经验频率,在海森几率格纸上进行适线,如图 2 所示,计算金华水文站处金华江设计频率流量:

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \left(\sum_{j=1}^a Q_j + \frac{N-a}{n-l} \sum_{i=l+1}^n Q_i \right) = 2\,657.2 \text{ m}^3/\text{s} \quad (5)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[\left(\sum_{j=1}^a \frac{Q_j}{\bar{Q}} - 1 \right)^2 + \frac{N-a}{n-l} \left(\sum_{i=l+1}^n \frac{Q_i}{\bar{Q}} - 1 \right)^2 \right]} = 0.48 \quad (6)$$

适线结果表明,采用特征值 $C_v = 0.58, C_s/C_v = 6.0$ 的理论频率曲线与经验曲线吻合较好,查询《桥渡水文》一书的附录一中的“3. P - III 型曲线 K_p 值”^[12]表格,特征值为:

$$\bar{Q} = 2\,657.2 \text{ m}^3/\text{s}, K_{P1\%} = 2.446, Q_{1\%} = \bar{Q} K_{P1\%} = 9\,157 \text{ m}^3/\text{s}。$$

(3) 流量比对分析

根据金华水文站提供的资料,金华水文站 $Q_{1\%} = 9\,150 \text{ m}^3/\text{s}$ 。由以上数据可以看出,由数理统计算得的流量与金华水文站提供的流量基本一致,本文选用数理统计计算值 $Q_{1\%} = 9\,157 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

(4) 桥址处流量计算

金建高速铁路跨越金华江处桥梁 1 和桥梁 2 分别位于金华水文站下游 10.8 km 和 15.1 km 处,可采用流域面积比拟法对上游水文站设计流量进行插补

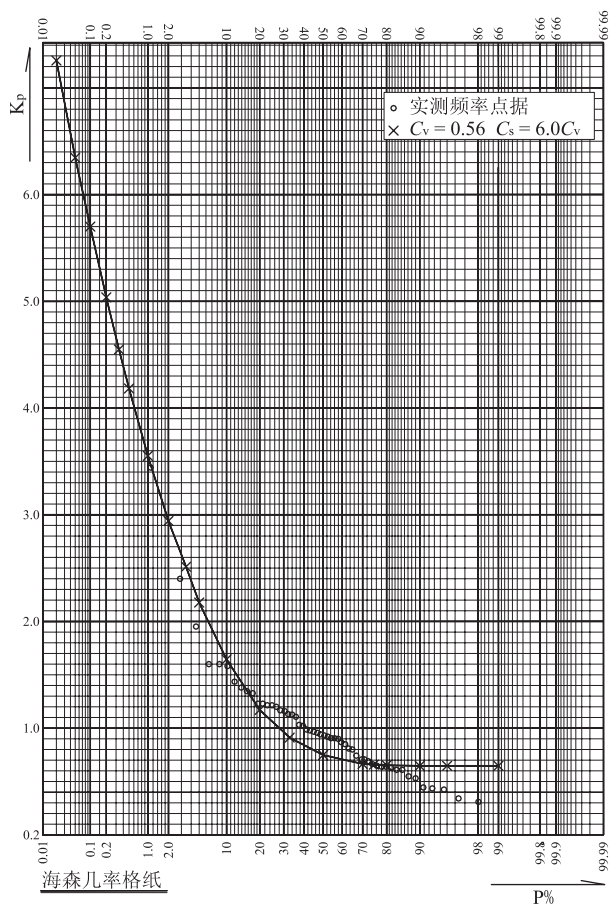


图 2 金华江适线图

移用,计算公式为:

$$Q_p = \left(\frac{F_{\text{设}}}{F_{\text{参}}} \right)^n \times Q_{p\text{参}} \quad (7)$$

已知金华水文站集水面积 5 953 km²,设计流量 $Q_{1\%} = 9\,157 \text{ m}^3/\text{s}$ 。由于金华江流域仅有一个水文站,无法通过上下游测站实测资料推算出面积比指数,此处暂取保守值 $n = 0.7$,待与其他流量对比后,如流量误差结果位于 10% 以内,可判定 n 取值符合本公式。

金华水文站集水面积 5 953 km²,设计流量 $Q_{1\%} = 9\,157 \text{ m}^3/\text{s}$;桥址 1 处集水面积 6 151.6 km²,桥址 2 处集水面积 6 385.5 km²,利用流域面积比拟法计算可得桥址 1 处设计流量为:

$$Q_{p1\%} = \left(\frac{F_{\text{设}}}{F_{\text{参}}} \right)^n \times Q_{p\text{参}} = \left(\frac{6\,151.6}{5\,953} \right)^{0.7} \times 9\,157 = 9\,369.3 \text{ m}^3/\text{s} \quad (8)$$

利用流域面积比拟法计算可得桥址 2 处设计流量:

$$Q_{p1\%} = \left(\frac{F_{\text{设}}}{F_{\text{参}}} \right)^n \times Q_{p\text{参}} = \left(\frac{6\,385.5}{5\,953} \right)^{0.7} \times 9\,157 = 9\,617.3 \text{ m}^3/\text{s} \quad (9)$$

(5)现场实地调查推算流量

根据实地调查访问,询问当地居民获得桥址1处和桥址2处洪水发生时间和洪水水位高度,后经实测水文断面及河床纵坡,推算出流量。

2.2.2 兰江

兰江水文站兰溪水文站,位于兰江水文站下游10.3 km。兰溪水文站处百年流量计算方法采用数理统计法;桥址处流量计算方法采用流域面积比拟法。根据兰溪水文站提供的历年洪峰流量资料进行数理统计,在海森几率格纸上进行适线,可计算兰溪水文站处兰江设计频率流量。

数理统计算得的流量($Q_{1\%} = 17\,956.8\text{ m}^3/\text{s}$)比兰溪水文站提供的流量($Q_{1\%} = 20\,400\text{ m}^3/\text{s}$)小,原因主要是计算中采用的历年最大流量序列有67个,但特大洪峰流量数据偏少,计算误差大,故兰溪水文站处流量采用兰溪水文站提供的资料。

通过流域面积比拟法计算可得桥址处设计流量:

$$Q_{p1\%} = \left(\frac{F_{\text{设}}}{F_{\text{参}}}\right)^n \times Q_{p\text{参}} = \left(\frac{18\,520.7}{18\,233}\right)^{0.7} \times 20\,400 = 20\,624.8\text{ m}^3/\text{s}$$

(10)

2.2.3 新安江

新安江区域内的各节点位置示意如图3所示。新安江属于钱塘江流域,新安江和兰江汇合后称为富春江。新安江上有梅城水文站,于1961年1月设立,仅测量水位和降雨量,无流量测量。

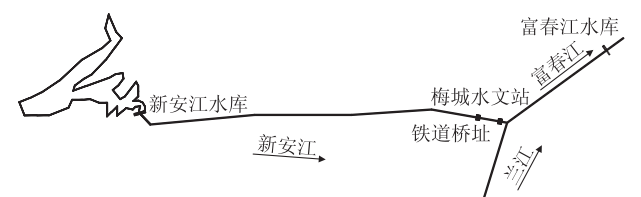


图3 新安江桥址示意图

桥址位于梅城水文站上游2 km,线位处两侧堤坝间距约580 m,调查时水面宽约540 m,金建高速铁路与新安江右前角约105°。桥址上游40 km处设有新安江水库,桥址下游30 km处设有富春江水库。

建德市新安江河段洪水流量取决于新安江水库的泄洪。根据《建德城市防洪规划》(1999.10),新安江河段不同频率设计洪峰流量成果如表1所示。

新安江水库大坝按1 000年一遇洪水设计,按10 000年一遇洪水校核。新安江特大桥设计洪水频率按100年一遇设计,并按300年一遇检算^[13-14]。新安江水库大坝设计频率远大于新安江特大桥设计年限,因此桥址处处设计流量可直接取用大坝各河段设计

洪峰流量。本桥址位于寿昌江汇合口以下新安江河段,取此处设计洪峰流量 $Q_{1\%} = 8\,800\text{ m}^3/\text{s}$ 。

表1 新安江河段设计洪峰流量成果表(m^3/s)

项目	1%	2%	5%	10%
新安江水库最大下泄流量	8 500	8 000	6 300	5 700
寿昌江汇合口以上河段	8 500	8 000	6 300	5 700
寿昌江汇合口以下河段	8 800	8 260	6 500	5 860

2.3 主要河流设计流量的对比验证

根据数理统计法、浙江省经验公式法、水电推理公式法、形态调查法,结合流域面积比拟法、收集调查法等公式的计算对比,得到的计算数据如表2所示。

表2 大中河设计洪峰流量汇总表(m^3/s)

桥梁名称	金华江1号特大桥	金华江2号特大桥	兰江特大桥	新安江特大桥
参照水文站	金华江水文站	金华江水文站	兰溪水文站	梅城水文站
水文站处流域面积/ km^2	5 953	5 953	18 233	—
数理统计法计算 $Q_{1\%}/(\text{m}^3/\text{s})$	9 157	9 157	17 956.8	—
水文站调查收集资料计算 $Q_{1\%}/(\text{m}^3/\text{s})$	9 150	9 150	20 400	8 800
两者对比后采用 $Q_{1\%}/(\text{m}^3/\text{s})$	9 157	9 157	20 400	—
桥址处流域面积/ km^2	6 151.6	6 385.5	18 520.7	—
流域面积比拟后桥址处 $Q_{1\%}/(\text{m}^3/\text{s})$	9 369.3	9 617.3	20 624.8	—
浙江省经验计算 $Q_{1\%}/(\text{m}^3/\text{s})$	8 692.6	8 932.6	19 434.6	—
水电推理公式法计算 $Q_{1\%}/(\text{m}^3/\text{s})$	19 880.4	13 609.6	40 653.7	—
形态调查法 $Q_{1\%}/(\text{m}^3/\text{s})$	8 446.5	8 735.6	18 634.5	6 824.5
最终采用 $Q_{1\%}/(\text{m}^3/\text{s})$	9 369.3	9 617.3	20 624.8	8 800
浙江省经验公式与数理统计误差/%	7.2	7.1	5.8	—
形态调查法与数理统计误差/%	9.8	9.2	9.7	—

由表2可知:

- (1)从金华江2座特大桥和兰江特大桥的水文计算结果可知,水电推理公式法计算所得流量均大大超过利用数理统计法、调查收集法、浙江省经验公式法和形态调查法得出的值。由于水电推理公式适用范围为100 km^2 以下的中小流域,本次计算不采用。
- (2)浙江省经验公式法和形态调查法得出的值比利用数理统计法和调查收集法经流域面积比拟法计

算后的数值小,但计算数值较接近,误差均在10%以内,可判断得面积比指数 n 值取值符合本流量公式,三者计算结果较合理;金建高速铁路采用利用数理统计法和调查收集法经流域面积比拟法计算数值。

(3) 新安江特大桥设计年限较上游新安江水库设计年限小,可直接采用新安江水库泄洪流量进行设计。

3 结束语

金华江和兰江桥址处流量通过数理统计法算出百年流量后与水文站作比较后,取较大值,然后通过流域面积比拟法求得桥址处流量,经与浙江省经验公式法、形态调查法对比后,取较大值为设计流量。新安江桥址处由于上游水库的特殊影响直接采用水库下泄流量确定。对于其他无详细统计水文资料的桥涵采用比较简明的浙江省经验公式确定其设计流量。本文研究方法可为浙江地区计算大中河流量提供参考。

参考文献:

- [1] 陈刚. 山区大中河流水文分析方法[J]. 中国铁路, 2014(12): 48-50.
CHEN Gang. Hydrological Analysis Method of Mountainous Rivers [J]. Chinese Railways, 2014(12): 48-50.
- [2] 王雪妮, 周晶. 一种新的洪水频率分析方法研究[J]. 水利学报, 2016, 47(6): 798-808.
WANG Xueni, ZHOU Jing. Study on a New Method for Flood Frequency Analysis [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47(6): 798-808.
- [3] 李金铭. 兰渝铁路两水至广元段小流域流量计算与验证[J]. 铁道建筑, 2015, 55(8): 36-38.
LI Jinming. Calculation and Verification of Small Watershed Flow from Liangshui to Guangyuan Section of Lanzhou-Chongqing Railway [J]. Railway Engineering, 2015, 55(8): 36-38.
- [4] 黄美兰, 郭伟. 采用流域比拟法计算桥梁洪水设计流量[J]. 铁道建筑, 2008, 48(7): 35-36.
HUANG Meilan, GUO Wei. Calculation of Bridge Flood Design Flow by Basin Analogy Method [J]. Railway Engineering, 2008, 48(7): 35-36.
- [5] 铁道部第三勘测设计院. 桥渡水文[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
Third Survey and Design Institute of Ministry of Railways. Hydrology of Bridge Crossing [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1999.
- [6] 沈耀海. 新建安九客运专线大中河流水文分析计算[J]. 苏州科技学院学报(工程技术版), 2016, 29(2): 29-32.
SHEN Yaohai. Hydrological Analysis and Calculation on Large and Medium-Sized Rivers along the Newly-Constructed Anqing-Jiujiang Passenger Railway Line [J]. Journal of Suzhou University of Science and Technology (Engineering and Technology), 2016, 29(2): 29-32.
- [7] 浙江省水文勘测局. 浙江省短历时暴雨[M]. 杭州: 浙江省水文勘测局, 2003.
Hydrological Survey Bureau of Zhejiang Province. Short-duration Rainstorm in Zhejiang Province [M]. Hangzhou: Hydrological Survey Bureau of Zhejiang Province, 2003.
- [8] 浙江省水利水电勘测设计院. 浙江省中小流域设计暴雨洪水图集[M]. 杭州: 浙江省水利水电勘测设计院, 1984.
Zhejiang Institute of Water Resources and Hydropower Survey and Design. Design Storm Flood Atlas for Medium and Small Watersheds in Zhejiang Province [M]. Hangzhou: Zhejiang Hydrology and Hydropower Survey and Design Institute, 1984.
- [9] SL 44-2006 水利水电工程设计洪水计算规范[S].
SL 44-2006 Specification for Flood Calculation of Water Conservancy and Hydropower Engineering Design [S].
- [10] 孙大力. 浅析“二院法”和埃塞SCS法在水文计算中的适用范围[J]. 高速铁路技术, 2017, 8(4): 93-97.
SUN Dali. Initial Analysis on Application Scope of Ethiopian SCS Method and Eryuan Method in Hydrological Calculation [J]. High Speed Railway Technology, 2017, 8(4): 93-97.
- [11] 刘驰昊. 西南地区复杂山区成达万高铁水文计算分析[J]. 铁道建筑技术, 2020(6): 58-63.
LIU Chihao. Hydrologic Calculation and Analysis of Chengdu-Dazhou-Wanzhou High-Speed Railway in Complex Mountainous Areas of Southwest China [J]. Railway Construction Technology, 2020(6): 58-63.
- [12] 雷冠军, 王文川, 殷峻暹, 等. P-Ⅲ型曲线参数估计方法研究综述[J]. 人民黄河, 2017, 39(10): 1-7.
LEI Guanjun, WANG Wenchuan, YIN Junxian, et al. Review on Study of Parameter Estimation Method on P-Ⅲ Curve [J]. Yellow River, 2017, 39(10): 1-7.
- [13] TB 10002-2017 铁路桥涵设计规范[S].
TB 10002-2017 Railway Bridge and Culvert Design Code [S].
- [14] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].
TB 10621-2014 High-speed Railway Design Specification [S].