

山东省设计暴雨雨量历时关系分析

陈干琴¹, 庄会波¹, 刘炳忠¹, 王娟¹, 王瑞雪¹, 谭璐²

(1.山东省水文局,山东 济南 250002; 2.济南市水文局,山东 济南 250014)

摘要:设计暴雨雨量历时关系是均值历时关系和变差系数历时关系组合的结果。根据最新的山东省暴雨统计参数综合研究成果,分析了暴雨均值和变差系数随历时的变化关系及其空间差异和影响因素,同时分析了设计暴雨雨量历时关系随频率变化的各种类型,对设计暴雨洪水研究具有重要意义。

关键词:设计暴雨;雨量历时关系;变差系数;山东省

中图分类号:P333

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2014)01-0087-04

1 前言

设计暴雨雨量历时关系是指各种历时及其相应的设计最大雨量之间的关系^[1]。由于各个水利水电工程的控制流域面积、工程特性、运行要求都存在很大的差别,因此,对设计暴雨的控制历时提出了不同的要求。设计暴雨雨量历时关系配合五种标准历时(10min、60min、6h、24h和3d)的设计暴雨,用于推求工程控制历时的最大雨量,对广大中小型水利工程的设计洪水,特别是洪峰和短历时洪量是极为重要的^[2]。

设计暴雨雨量历时关系 $H_p \sim t$ 相当复杂,但是不同频率 p 条件下的 $H_p \sim t$ 时深关系是由 $\bar{H} \sim t$ 关系和 $C_v \sim t$ 关系组合的结果^[3],本文根据最新的山东省暴雨统计参数综合研究成果,分析了暴雨统计参数(均值 \bar{H} 和变差系数 C_v)随历时的变化关系及其空间分布,对设计暴雨洪水研究具有重要意义。

2 雨量均值历时关系

2.1 雨量历时关系曲线

暴雨多年均值 \bar{H} 与历时 D 的关系 $\bar{H} \sim D$ 是点雨量时深关系的重要特征。在双对数图纸上点绘代表地点历时范围 10min~3d 区间的 $\bar{H} \sim D$ 关系曲线,发现各代表地点 10min~3d 之间 $\lg \bar{H} \sim \lg D$ 曲线具有共同点:曲线斜率 m 即 $(\Delta \lg \bar{H}) / (\Delta \lg D)$ 随历时增加逐渐变小。

为对各暴雨分区综合 $\bar{H} \sim D$ 进行比较,按照分布

尽量均匀、暴雨高值区尽量多选的原则,在山东省范围内选取了 76 处代表地点,在五种历时暴雨均值等值线图上分别查读各处均值,将同一暴雨分区内所有代表地点的 $\lg \bar{H} \sim \lg D$ 曲线绘制在一张图纸上,对每个暴雨分区多站的曲线取中间情况的 $\bar{H} \sim D$,作为该暴雨分区的综合 $\bar{H} \sim D$ 。各暴雨分区综合时深关系曲线分段斜率 m 值见表 1,以下简称 m 。

表1 山东省各暴雨分区综合时深关系曲线分段斜率 m 值
Table 1 Subsection slopes m of each storm region synthetic rainfall depth-duration curve for Shandong Province

暴雨分区名称	代表地点 /处	历时			
		10~60min	60min~6h	6~24h	24h~3d
鲁北平原区	13	0.50	0.27	0.16	0.14
泰沂山北区	13	0.55	0.25	0.24	0.16
胶东半岛区	23	0.56	0.30	0.21	0.17
泰沂山南区	22	0.54	0.29	0.21	0.15
南四湖湖西平原区	5	0.52	0.26	0.22	0.15

由表 1 可知,各暴雨分区的时深关系特性存在如下差别:

(1) m 值的地区差别。各暴雨分区中,胶东半岛区大多历时区段(10min~6h和24h~3d)的斜率 m 都是最大,鲁北平原区 6h~3d 之间的斜率 m 都是最小。特短历时(10~60min) m 值山丘区(泰沂山北区、胶东半岛区和泰沂山南区)比平原区(鲁北平原区和南四湖湖

收稿日期:2012-02-22

作者简介:陈干琴(1977-),女,江苏盐城人,工程师,工程硕士,主要从事水文水资源分析计算工作。E-mail: ganqinchen@163.com

西平原区)要大;短历时(60min~6h) m 值胶东半岛区和泰沂山南区要比其他地区略大;中长历时(6~24h)以泰沂山北区 m 值最大,鲁北平原区 m 值最小,其他地区基本接近;长历时(24h~3d)胶东半岛区值略大,鲁北平原区值略小,其他地区基本接近。

(2) m 值随历时的差异。各暴雨分区都以特短历时(10~60min) m 值为最大,长历时(24h~3d) m 值为最小。泰沂山北区在60min~24h之间的 m 值接近常数,基本呈直线分布。鲁北平原区6h~3d之间的 m 值也比较接近。各暴雨分区相邻时段斜率差值 Δm 都以特短历时(10~60min)和短历时(60min~6h)之间的差值为最大。

(3)曲线形状。尽管各暴雨分区综合 $\bar{H}\sim D$ 都一致呈上凸状,但山丘区(泰沂山北区、胶东半岛区和泰沂山南区) $\bar{H}\sim D$ 关系线上凸程度要比平原区(鲁北平原区和南四湖湖西平原区)略大。

2.2 不同历时雨量关系

雨量历时关系存在空间变化,不同历时之间的雨量比率 R (即 $\bar{H}_{D_i}/\bar{H}_{D_j}$)也有地区差异。根据76处代表地点不同历时雨量比率计算成果,分析了全省不同历时雨量比率 R 的空间分布。

特短历时(10~60min)虽然历时范围较小,且多数地点雨量随历时增长较快,但仍显示有地区差异。平原区(鲁北平原区和南四湖湖西平原区)最大10min与60min雨量均值的比率($\bar{H}_{10\text{min}}/\bar{H}_{60\text{min}}$)达到或略超过0.40;崂山迎风区略低于0.35;其他地区在0.35~0.40之间,地区内部随地形仍略有差别。

短历时雨量比率 $\bar{H}_{60\text{min}}/\bar{H}_{24\text{h}}$,在沿黄河及以南部分地区(主要指德州南部、济南中部、滨州南部、淄博中部和北部、东营中南部、以及潍坊西北部地区)超过0.50;崂山迎风区、烟台东北部沿海小范围地区和威海中东部低于0.40;尼山、蒙山、五莲山、鲁山和沂山迎风区,以及胶东半岛东南沿海地带(崂山地区除外)在0.40~0.45之间;其他地区在0.45~0.50之间。

中长历时雨量比率 $\bar{H}_{6\text{h}}/\bar{H}_{24\text{h}}$,鲁北平原大部分地区超过0.80;湖西平原区接近0.75;泰山附近、沂山东部潍河中上游大部分地区、以及威海东南部略超过0.70;五莲山东南部略低于0.70;其他地区多在0.75~0.80之间。

长历时雨量比率 $\bar{H}_{3\text{d}}/\bar{H}_{24\text{h}}$,沿泰沂山脉及其北部地区向东至胶东半岛威海西部都超过1.20,其中崂山地区和昆嵛山迎风区超过1.25;其他地区大多在1.15~1.20之间。

2.3 地形影响

山东省76处代表地点雨量历时关系曲线和不同历时雨量比率分析成果表明:雨量均值的时深关系受海陆分布和地形的影响,且具有较小尺度的空间变化。

表2列出了两对地形影响下的不同历时高低值区中心地点雨量均值及其比值。其中一对为泰沂山迎风区高值中心泰前站和背风区低值中心马尚站,两地相距约95km;另一对为崂山迎风区高值中心北九水站和背风区低值中心阎家山站,两地相距约20km。

表2 不同地形雨量高低值区中心均值对比

雨量单位:mm

Table 2 Contrast of storm mean values between high value regions and low value regions (mm)

序号	高低值中心地点	10min	60min	6h	24h	3d
1	泰前(高)	19.2	52.5	88.0	118.0	147.0
	马尚(低)	17.0	42.0	57.0	78.0	96.0
	比值	1.13	1.25	1.54	1.51	1.53
2	北九水(高)	17.0	50.0	125.0	194.0	230.0
	阎家山(低)	16.5	47.0	78.0	107.0	126.0
	比值	1.03	1.06	1.60	1.81	1.83

泰沂山地区的对比分析说明,特短历时(10min)地形对雨量的影响较小,随着历时增长影响逐渐加大,6h~3d之间影响达到最大;崂山地区的对比分析说明,短历时(10min和60min)地形对雨量影响甚微,随着历时增长影响逐渐加大,24h~3d之间影响达到最大。两处对比表明,崂山地区地形的影响程度明显超过了泰沂山区地形的影响。

3 变差系数与历时的关系

3.1 变差系数与历时关系

在单对数图纸上点绘代表地点历时范围10min~3d区间的 $C_v\sim D$ 关系曲线,发现变差系数 C_v 随历时 D 有渐变的趋势,但这种趋势具有较大的空间变化。为探索全省各地 $C_v\sim D$ 关系,在五种历时暴雨变差系数等值线图上分别查读76处代表地点的 C_v 值,绘制所有代表地点的 $C_v\sim \lg D$ 曲线,并计算各暴雨分区五种历时 C_v 的中值(见表3)。由于暴雨数据的大量增加,导致各历时综合 C_v 值比20世纪80年代研究成果^[1]平均增加了二成左右。

通过对各代表地点及暴雨分区综合 $C_v\sim D$ 关系的分析,可以发现如下特性:

(1)曲线的形状。根据山东省76处代表地点 $C_v\sim$

表3 山东省各暴雨分区综合 $C_v \sim D$ 关系Table 3 Each storm region synthetic $C_v \sim D$ of Shandong Province

暴雨分区名称	代表地点/处	10min	60min	6h	24h	3d
鲁北平原区	13	0.27	0.16	0.14	0.63	0.63
泰沂山北区	13	0.25	0.24	0.16	0.65	0.61
胶东半岛区	23	0.30	0.21	0.17	0.63	0.68
泰沂山南区	22	0.29	0.21	0.15	0.60	0.59
南四湖湖西平原区	5	0.26	0.22	0.15	0.57	0.57

D 关系曲线,发现几乎所有地点在 10min~6h 历时区间 C_v 随 D 明显递增;在 6h~3d 之间大部分地点 C_v 随 D 仍有所增加,也有部分地点 C_v 随 D 略有降低或基本保持稳定,但大多数站点 C_v 随 D 变幅都比较有限。根据各暴雨分区的综合成果,胶东半岛区综合 $C_v \sim D$ 关系呈单调递增,3d 历时 C_v 值最大;其他暴雨分区综合 $C_v \sim D$ 关系略呈单峰铃形,6~24h 历时 C_v 值最大。

(2)最大 C_v 值相应历时。山丘区(泰沂山北区、胶东半岛区和泰沂山南区)最大 C_v 值一般出现在 6h~3d 之间,其中多数站点出现在 24h~3d 之间;平原区(鲁北平原区和湖西平原区)大部分地点在 6h 历时 C_v 达到最大。

(3)最小 C_v 值相应历时。所有代表地点都是特短历时(10min) C_v 值最小。由于历时很短时,各年份在该历时长内基本全部时间有雨,雨量的年际变化主要由该历时长内降雨强度的年际变化决定,所以 C_v 值较小;随着历时的增加,有些年份在该历时长内并非全部时间有雨,该历时暴雨的年际变化由实际降雨历时长内雨强的年际变化和实际降雨历时的年际变化所组成,因此 C_v 值较大;当历时继续增加,包括多次降雨过程,各次雨量相互补偿, C_v 值的变化趋于缓和。

(4)不同历时 C_v 值的地区分布。10min 历时泰沂山北区和胶东半岛区的 C_v 值略微偏大;60min 历时鲁北平原区和湖西平原区略微偏大;6h 历时鲁北平原区 C_v 的值在全省明显偏大;24h~3d 历时泰沂山南区和湖西平原区略微偏小。

3.2 频率对时深关系的影响

20 世纪 60 年代研究发现,时深关系可能随频率有变化^[4],即稀遇和常遇条件下有不同关系。后来,王家祁^[5]又发现时深关系随频率变化有多种类型。山东省主要有以下几种类型:

(1)暴雨强度递减指数 n 随频率 P 的增加而增加。山东省各地 $C_{v10\min}$ 、 $C_{v60\min}$ 和 C_{v6h} 三者之间的关系基本一致为 $C_{v10\min} < C_{v60\min} < C_{v6h}$ 。 P 愈小, n_P 也愈小。 P 较小时, n_P 小于均值条件下的递减指数 n_0 , 时程分布更加均匀。

(2) n 与 P 的关系较小。德州中北部、菏泽和济宁交界处附近、南四湖东部附近、淄博中部等地 C_{v6h} 、 C_{v24h} 和 C_{v3d} 比较接近。 n 与 P 基本没有关系,各频率的时深关系基本一致。

(3) n 随 P 的增加而减小。泰山附近、东营中东部等地 $C_{v6h} > C_{v24h}$ 。 P 愈小, n_P 愈大。 P 较小时, n_P 大于 n_0 , 时程分布更加集中。

山东省各地 C_{v6h} 、 C_{v24h} 和 C_{v3d} 的关系有多种,如大沽河上游小范围 $C_{v6h} = C_{v24h} < C_{v3d}$ 淮河上游地区 $C_{v6h} < C_{v24h} = C_{v3d}$ 、泰山附近 $C_{v6h} > C_{v24h} = C_{v3d}$ 、烟台东北沿海小范围地区 $C_{v6h} < C_{v24h} < C_{v3d}$ 等, n 随 P 的关系也包括上述三种。

4 结论

(1)暴雨统计参数(均值 \bar{H} 和变差系数 C_v)随历时的变化一般是渐进的,10min~6h 之间变化比较大,6h~3d 之间的变化相对较小。

(2)暴雨 $\bar{H} \sim D$ 关系一般呈上凸型, $C_v \sim D$ 关系一般略呈铃型分布。

(3)暴雨统计参数历时关系具有空间变化,全省各暴雨分区综合 $\bar{H} \sim D$ 和 $C_v \sim D$ 关系表现出一定的差别;各暴雨分区内部地形对中长历时暴雨和时深关系影响很大,不同地形影响下的时深关系往往差别较大。

(4)山东省各地 10min 到 6h 历时暴雨强度递减指数 n 随频率 P 的增加而增加;6h~3d 历时 n 随 P 的关系有三种,分别为: n 随 P 的增加而增加, n 随 P 的变化基本保持不变,以及 n 随 P 的增加而减小。

(5)不同频率 P 条件下 $H_p \sim t$ 的时深关系是由均值 $\bar{H} \sim t$ 关系和 $C_v \sim t$ 关系组合的结果,因此设计条件下的时深关系 $H_p \sim t$ 变得更为复杂,需要对研究分区进一步细化,并作更加深入详细的综合研究。

参考文献:

- [1] 王家祁,顾文燕. 点设计暴雨的雨量历时关系分析[A]. 水利部南京水文研究所. 暴雨洪水计算论文汇编[C]. 1981:1-11. (WANG Jiaqi, GU Wenyan. Analysis of rainfall depth-duration on point design storm [A]. Nanjing Hydrology Institute, Ministry of Water Resources. Proceedings of Storm Flood Computation [C]. 1981:1-11. (in Chinese))

- [2] 王家祁. 中国短历时点暴雨统计和时深关系分析[A]. 水利电力部南京水文水资源研究所. 水文研究报告选编 (第四集)[C]. 1985:22-33. (WANG Jiaqi. Analysis of short duration point storm statistics and storm depth-duration relation in China [A]. Nanjing Hydrology and Water Resources Institute, Ministry of Water Resources and Power. Proceedings of Hydrology Research Report (No.4) [C].1985: 22-23. (in Chinese))
- [3] 顾文燕. 特短历时设计暴雨分析[A]. 水利电力部南京水文水资源研究所. 水文研究报告选编 (第四集)[C]. 1985:34-49. (GU Wenyan. Analysis of especially short duration design storm [A]. Nanjing Hydrology and Water Resources Institute, Ministry of Water Resources and Power. Proceedings of Hydrology Research Report(No.4)[C]. 1985:34-49. (in Chinese))
- [4] 陈志恺. 论中小流域设计暴雨分析计算方法[A]. 中国水利学会. 水文计算经验汇编 (第三集)[C]. 北京: 中国工业出版社, 1965:20-33. (CHEN Zhikai. Discussion on means of design storm analysis and computation in small and medium-sized basin[A]. Chinese Hydraulic Engineering Society. Proceedings of Hydrology Computation (No.3) [C]. Beijing: China Industry Press, 1965:20-33. (in Chinese))
- [5] 王家祁. 中国暴雨[M]. 北京: 水利水电出版社, 2002:174-209. (WANG Jiaqi. Rainstorms in China[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2002:174-209. (in Chinese))

Analysis of Design Storm Depth-Duration for Shandong Province

CHEN Ganqin¹, ZHUANG Huibo¹, LIU Bingzhong¹, WANG Juan¹, WANG Ruixue¹, TAN Lu²

(1. Hydrology Bureau of Shandong Province, Jinan 250002, China; 2. Hydrology Bureau of Jinan City, Jinan 250014, China)

Abstract: Design storm depth-duration relation is the composition of mean value-duration and variation coefficient-duration relations. According to the latest research achievements of storm statistical parameters of Shandong Province, the storm mean value-duration and variation coefficient-duration relations and their space difference and affecting factors were analyzed. This paper also analyzed the various types of design storm depth-duration relations changing with frequency.

Key words: design storm; storm depth-duration relation; variation coefficient; Shandong Province

(上接第 38 页)

(6) 现有河流流量测验规范关于“潮流量测验总不确定度应控制在 10%~15%”^[2], 其规范性程度的确定是适当的, 但需要细化。

(7) 当需要设立高精度的潮流量站, 如果测验条件理想^[6], 断面流速分布平缓, 有条件增加测速垂线的话, 单次流量具有更好的精度预期, 若能在此基础上实现测次密集的自动观测, 则可以得到理想的逐潮平均流量或潮量精度效果。这对于感潮地区的水资源监测和调度具有重要意义。

参考文献:

- [1] ISO748:2007 (E), Hydrometry-Measurement of Liquid Flow in Open Channels Using Current-meters or Floats [S].
- [2] GB 50179-93, 河流流量测验规范 [S]. (GB 50179-93, Code for Liquid Flow Measurement in Open Channels [S]. (in Chinese))
- [3] 宋政峰. ADCP 技术应用研究试验报告[R]. 上海市水文总站, 2005. (SONG Zhengfeng. ADCP Technical Application Study Test Report [R]. Shanghai Hydrology Bureau, 2005. (in Chinese))
- [4] 水利电力部水利司. 水文测验手册 [M]. 北京: 水利出版社, 1983. (Department of Water Resources, Ministry of Water Resources and Electric Energy. Handbook of Hydrometry[M]. Beijing: Water Resources Press, 1983. (in Chinese))
- [5] 张留柱, 赵志贡, 张法中. 水文测验学[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003. (ZHANG Liuzhu, ZHAO Zhigong, ZHANG Fazhong. Hydrometry [M]. Zhengzhou: Huanghe Water Resources Press, 2002. (in Chinese))
- [6] ISO2425:2010(E), Hydrometry-Measurement of Liquid Flow in Open Channels under Tidal Conditions [S].

Discussion on Error Control of Tidal Discharge Measurement

SONG Zhengfeng, DU Yingyan

(Shanghai Hydrology Bureau, Shanghai 200232, China)

Abstract: By the discharge measurement error analysis of experimental results in tidal river, this paper analyzed the influence of type I, II, III error of the tidal discharge measurement, and put forward suggestions on the error control index of the tidal discharge measurement and distribution of the measurement number in the tidal period.

Key words: tidal discharge; measurement accuracy; error experiment