

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2013.02.002

黄河源区可能最大洪水研究

李国芳¹,王 迟¹,王正发²,华家鹏¹,葛朝霞¹,邓建华³

(1. 河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098; 2. 中国水电顾问集团西北勘测设计研究院,陕西 西安 710065;
3. 广西水利电力职业技术学院,广西 南宁 530023)

摘要:以唐乃亥水文站所控制的黄河源区为研究对象,根据暴雨的物理成因,通过相似过程代换法得到组合暴雨过程,将组合暴雨过程极大化后推求流域可能最大降水过程。在分离出基流和融雪径流后,将黄河源区划分为 9 个计算单元,各单元采用初损后损法进行产流计算、单位线法进行汇流计算、马斯京根法进行河道洪水演算,建立模拟雨雪混合补给型洪水的水文模型。以流域可能最大降水过程、可能最大融雪流量过程作为模型输入,得到唐乃亥水文站的可能最大洪水。

关键词:可能最大降水;可能最大洪水;黄河源区;暴雨组合;水汽效率放大

中图分类号:P333.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2013)02-0102-06

Study on probable maximum flood in source region of Yellow River

LI Guofang¹, WANG Chi¹, WANG Zhengfa², HUA Jiapeng¹, GE Zhaoxia¹, DENG Jianhua³

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. HydroChina Xibei Engineering Corporation, Xi'an 710065, China;
3. Guangxi College of Water Resources and Electric Power, Nanning 530023, China)

Abstract: This study was conducted in the source region of the Yellow River controlled by the Tangnaihai Hydrological Station. Based on the physical cause of rainstorm formation, the combined rainstorm process was obtained using the similar process substitution method, with several sub-processes of typical rainstorms rationally replaced by similar sub-processes of other rainstorms, and the probable maximum precipitation was determined through maximization of the combined rainstorm process. The source region was divided into nine units after the base flow and snowmelt runoff were separated. By combining the loss deduction method with the unit hydrograph and Muskingum methods, a hydrological model was built to simulate the flood with mixed replenishment from rain and snowmelt. Consequently, the probable maximum flood at the Tangnaihai Hydrological Station was deduced by inputting the probable maximum precipitation process and the probable maximum snowmelt runoff process into the model.

Key words: probable maximum precipitation; probable maximum flood; source region of Yellow River; rainstorm combination; enlargement of vapor efficiency

可能最大降水(PMP)是在现代气候条件下,一年的某个时期特定设计流域上一定历时内物理概念上可能发生的近似上限降水^[1],其在特定设计流域所产生的洪水过程就是工程设计所要求的近似上限洪水,即可能最大洪水(PMF)。PMF 是大型水利水电工程、核电工程等防洪安全设计的重要依据^[2-3]。随着人类活动对流域下垫面条件影响的日益加剧,通过水文气象成因分析途径推求 PMP,进而推求 PMF 的方法已越来越受到重视^[4]。熊学农等^[5]估算了黄河三花区间的可能最大暴雨;张有芷等^[6]用时面深概化法估算了清江中上游流域的可能最大暴雨;杨振等^[7]基于洪水地区组成概念推求了虎跳峡水电站坝址的可能最大洪水;叶辉^[8]研究了广东沿海地区核电工程所在特小流域的可能最大洪水;Desa 等^[9]采用赫希菲尔德法计算了受

东南亚季风气候影响的马来西亚的可能最大暴雨。但很多研究往往是针对暴雨所致的 PMF,很少关注暴雨、融雪叠加引起的 PMF 问题。随着我国西部大开发战略的推进,未来将有较多大型水利水电工程建在汛期冰雪融水占一定比例的高海拔流域,因此,需要探索一套切实可行的雨雪混合补给型 PMF 的计算方法,为工程防洪设计提供依据。青藏高原平均海拔在 4 000 m 以上,由于特殊的地理位置和海拔高度而成为北半球中纬度最重要的积雪场^[10],笔者选择位于青藏高原东北部的黄河源区为对象研究其可能最大洪水。

1 研究区概况

黄河源区指黄河唐乃亥水文站(以下简称唐乃亥站)以上集水区域,流域面积为 121 972 km²。黄河源区位于青藏高原东北部,具有高原气候特点。年降水的时空分布很不均匀,河源地区以黄河沿为代表,多年平均降水量为 321.6 mm,向下游降水逐渐递增,到了吉迈—玛曲河段多年平均降水量为 600 mm,最大年降水量可达 965 mm,自玛曲以下降水量开始递减;降水多集中在 6—9 月份,约占全年降水量的 75%。气温随海拔升高而降低,多年平均气温在-3.8~4.0℃之间。流域内洪水主要由降雨形成,但也包含融雪流量,洪水过程涨落缓慢,历时 40 d 左右,年最大洪水大多发生在 6—9 月。

2 流域可能最大降水计算

根据对流域暴雨洪水特性和成因的分析,确定黄河源区可能最大降水历时为 15 d,可能最大洪水历时为 45 d。针对研究区面积大、洪水历时长、缺少长历时大范围特大暴雨资料的特点,确定采用组合暴雨放大方法推求流域的可能最大降水。

2.1 方法原理

将 2 场或 2 场以上的暴雨按天气气候学的原理合理地组合在一起,形成新的理想特大暴雨序列(简称为“组合暴雨”),再对组合暴雨进行适当放大以推求 PMP 的方法,称为组合暴雨放大法。

2.1.1 暴雨组合方法

暴雨组合有空间组合和时间组合 2 种,笔者采用属于时间组合的相似过程代换法,即以某一特大暴雨过程为典型过程,作为相似代换的基础,将典型中雨量较小的一个或数个降雨子过程,用历史上环流形势基本相似、天气系统大致相同而雨量较大的另一个或数个暴雨子过程予以替换,从而构成一长历时的新的暴雨序列。

2.1.2 组合暴雨放大方法

黄河源区历时 15 d 左右的一次暴雨过程通常由 4~5 个暴雨子过程组成,每个子过程维持 2~5 d 不等。由相似过程替换原理可知,暴雨组合增加了实际典型暴雨过程的降雨总量,这对于历时超出 1 个子过程的雨量,已经达到了某种放大效果;但对于历时不足 1 个子过程的雨量,只是气候一致区内的实测最大值。组合暴雨序列是否需要极大化,主要取决于典型暴雨本身的严重性和组合结果的恶劣程度。为此,应通过与本流域长短历时雨量比较、与本流域历史特大暴雨比较、与气候一致区内实测最大暴雨比较等途径对组合暴雨放大的必要性进行论证。

对组合后尚不够严重的组合暴雨进行放大,放大方法视流域特性和资料条件而定。如果组合暴雨中的最大组合单元已经属于高效暴雨,则只进行水汽放大,否则应考虑水汽因子和动力因子联合放大。在选择联合放大方法时,若设计流域在暴雨期间入流风向和风速较为稳定,且风速与相应的流域平均雨量有正相关关系,则采用水汽风速放大法;若风速、风向不稳定,或风速与相应的流域平均雨量关系较差,则采用水汽效率放大法^[11]。由于黄河源区的雨量与风速关系较差,故采用水汽效率放大法。水汽效率放大的计算公式如下:

$$X_m = \frac{\eta_m}{\eta} \frac{W_m}{W} X = k_1 k_2 X$$

(1)

$$\eta = \frac{I}{W}$$

(2)

式中: X_m, X ——可能最大降雨及典型暴雨,mm; W_m, W ——最大可降水及典型暴雨可降水,可根据可能最大露点和典型暴雨的代表性露点求得,mm; η_m, η ——最大暴雨效率及典型暴雨效率,1/h; k_1, k_2 ——效率放大系数和水汽放大系数; I ——降雨强度,mm/h。

在暴雨期间,水汽和效率都是随时间而变的。通常采用持续 12 h 最高露点相应的可降水代表一场暴雨

期间最强盛的可降水量,其值与该场暴雨的最大1 d面雨量关系较为密切,故式(2)中采用最大1 d平均降雨强度计算效率。因此,严格地讲,式(1)只适用于组合暴雨序列中最大1 d面雨量的放大。一般认为,若对水汽因子和动力因子同时放大,则以只对组合暴雨序列的最大3 d面雨量用最大1 d面雨量的放大倍比进行放大为宜,对其他时段不予放大,因为水汽和效率不太可能长时间地维持在高水平状态。

2.2 PMP 计算及成果合理性分析

2.2.1 流域平均高程提取及面雨量计算

流域平均高程是流域 PMP 分析计算的重要基础数据。本文利用 DEM 数据,运用 ArcGIS 的水文分析模块提取流域平均高程,得到黄河源区平均海拔为 4 125 m,其中高程超过 4 500 m 的面积约占全流域面积的 19.0%。收集流域内 15~34 个雨量站(因站网变动而历年雨量站数不等)的数据,采用泰森多边形法计算了 1956—2009 年的逐日面雨量,统计逐年最大 1 d,3 d,7 d,15 d 面雨量。

2.2.2 暴雨组合

选取 1981 年 8 月 29 日至 9 月 12 日暴雨为典型^[12],历时 15 d,总面雨量为 116.2 mm。整场降水发生在纬向环流形势下,南风扰动对水汽的输送起重要作用。1981 年典型降水由 5 个子过程组成:第 1 子过程(1981 年 8 月 29—31 日),500 hPa,700 hPa 和地面的天气系统分别为高空低槽、低涡切变、低压和冷锋;第 2 子过程(1981 年 9 月 1—5 日)和第 3 子过程(1981 年 9 月 6—7 日),500 hPa,700 hPa 和地面的天气系统分别为高空低槽、低涡切变、冷锋;第 4 子过程(1981 年 9 月 8—10 日),500 hPa,700 hPa 和地面的天气系统分别为高空低槽、低涡切变、低压;第 5 子过程(1981 年 9 月 11—12 日),500 hPa,700 hPa 和地面的天气系统分别为低压切变、低涡切变、冷锋和静止锋。对 5 个子过程中降水量较小的第 1、第 3 和第 4 子过程分别用 500 hPa,700 hPa 和地面天气系统均与之相似的 1972 年 7 月 7—9 日、1976 年 8 月 27—28 日和 1964 年 7 月 21—23 日予以替换。典型暴雨及其替换结果见表 1。组合替换后的 15 d 累计面雨量比原型增加了 37.4 mm,降水过程比原型更恶劣。

表 1 暴雨组合及放大成果

Table 1 Results of rainstorm combination and enlargement

序 号	原型		组合替换		组合替换放大后 面雨量/mm
	日 期	面雨量/mm	日 期	面雨量/mm	
1	1981-08-29	2.2	1972-07-07	9.5	9.5
2	1981-08-30	4.1	1972-07-08	14.8	26.9
3	1981-08-31	8.3	1972-07-09	6.6	12.0
4	1981-09-01	13.4	1981-09-01	13.4	24.4
5	1981-09-02	9.9	1981-09-02	9.9	9.9
6	1981-09-03	11.3	1981-09-03	11.3	11.3
7	1981-09-04	10.9	1981-09-04	10.9	10.9
8	1981-09-05	9.6	1981-09-05	9.6	9.6
9	1981-09-06	8.8	1976-08-27	11.7	11.7
10	1981-09-07	5.2	1976-08-28	10.8	10.8
11	1981-09-08	6.6	1964-07-21	11.0	11.0
12	1981-09-09	7.8	1964-07-22	11.6	11.6
13	1981-09-10	5.2	1964-07-23	9.6	9.6
14	1981-09-11	6.5	1981-09-11	6.5	6.5
15	1981-09-12	6.4	1981-09-12	6.4	6.4
合计		116.2		153.6	182.1

2.2.3 组合暴雨放大

统计组合替换后序列的最大 1 d 和 3 d 的面雨量分别为 14.8 mm 和 34.8 mm,分别比 1956—2009 年间实测最大 1 d 和 3 d 的面雨量小 5.7 mm 和 1.4 mm,显然没有达到可能最大的程度,故采用水汽效率放大法推求流域可能最大 1 d 雨量,采用可能最大 1 d 面雨量与组合暴雨过程中最大 1 d 面雨量的倍比对组合暴雨过程的最大 3 d 面雨量进行放大,得到可能最大 3 d 面雨量。

为采用水汽效率放大法推求流域可能最大 1 d 雨量,选择甘孜、新龙、德格、玉树、马尔康、红原、松潘、若尔盖、合作、昌都、成都、武都、格尔木、都兰、西宁、曲麻莱和兴海 17 个站作为地面露点代表站,并按流域水汽入流方向分为西南兼偏西、南、东南、西北兼北 4 个方向,每个方向对应 5 个站。为避免单站的偶然性误差和

局地因素的影响,对 1962—2009 年逐年最大 1 d 面雨量,根据其水汽入流方向分别求对应方向上 5 个站同期 1 000 hPa 持续 12 h 最大露点的平均值作为代表性露点。选历年最大露点 25.7℃ 作为可能最大露点,对应的最大可降水 W_m 为 20.9 mm。对 1962—2009 年逐年最大 1 d 面雨量分别计算其相应的效率,选历年最大效率 0.053 6/h 作为可能最大效率指标 η_m 。水汽效率放大法推求得到黄河源区可能最大 1 d 面雨量为 26.9 mm。对于以 1981 年暴雨为原型的组合暴雨过程,水汽效率放大法所得可能最大 1 d 面雨量与组合暴雨过程中最大 1 d 面雨量的倍比为 1.818,以此对组合暴雨过程中的最大 3 d 面雨量进行放大,其他时段雨量不变,放大成果见表 1。

2.2.4 PMP 成果合理性分析

由组合替换放大序列统计得出流域可能最大 1 d,3 d,7 d 和 15 d 面雨量分别为 26.9 mm,63.3 mm,105.0 mm 和 182.1 mm,与相同时段万年一遇设计面雨量的比值分别为 1.10,1.19,1.12 和 1.17;可能最大 1 d,3 d,7 d,15 d 面雨量的比值为 1:2.35:3.90:6.77,万年一遇 1 d,3 d,7 d,15 d 面雨量的比值为 1:2.17:3.82:6.36。结果表明,可能最大长短历时面雨量比值的变化规律与万年一遇长短历时面雨量比值的变化规律相符合。

3 流域可能最大洪水计算

3.1 可能最大洪水 PMF 计算思路

黄河源区洪水季节的径流补给主要来自 3 个方面:基流、融雪流量和降雨地面径流。为此,笔者提出“分割流量过程,分别极大化后再叠加”的思路来推求 PMF。

将基流、融雪流量、降雨地面径流从实测流量中分割出来,认为在发生可能最大洪水时基流值维持不变;融雪流量取决于流域内的积雪量(与冬季降水量有关)及融化积雪的热量条件(与太阳辐射、气温等有关),可通过建立融雪流量与融雪因子的相关关系,将融雪因子极大化后得到可能最大融雪流量过程;降雨地面径流取决于流域的降雨,通过对 PMP 的产汇流计算得到可能最大降水的地面径流过程。将基流、可能最大融雪流量过程和可能最大降水地面径流过程相叠加,得到可能最大洪水过程。

3.2 洪水过程线分割

根据唐乃亥水文站实测流量资料,取逐年最小流量的平均值 128 m³/s 作为基流。在历年汛期中选出连续 15 d 左右全流域无明显降水的时段末唐乃亥水文站流量,扣除基流后视为融雪形成的流量,分析该站融雪流量与冬季(上年 11 月至当年 3 月)降水量、前期气温因子的相关关系。取流域内玛多、达日、中心、久治等 12 个站平均的地面日气温差、日平均气温、日最低气温和日最高气温代表唐乃亥水文站融雪流量的热量因子。经过相关分析,融雪流量与流域平均的前 48 d(含当天)期间日气温差均值的相关关系最密切(相关系数达到 0.90),而与冬季降水量、其他气温指标的相关性不显著。

将各场洪水期间连续的前 48 d(含当天)日气温差均值依次代入相关关系式,即可分割出每场洪水的融雪流量过程。将唐乃亥水文站各场洪水的基流、融雪流量过程从实测流量过程中割除,得到唐乃亥水文站每场洪水中由降雨形成的地面径流过程。

3.3 混合模型建立

建立产汇流计算模型的思路如下:(a)采用泰森多边形法将黄河源区分成 9 个计算单元;(b)对每个单元面积采用初损后损法计算净雨(初损后损法计算的净雨为地面净雨),采用瞬时单位线法对地面净雨进行汇流计算,得出每个计算单元的出流过程;(c)采用马斯京根法将各单元的出流过程演算至唐乃亥水文站,叠加得到降雨在唐乃亥水文站站形成的地面径流过程,再加上基流和融雪流量过程,模拟出唐乃亥水文站的流量过程。因模型具有模拟降雨和融雪混合补给型流量过程的功能,故称其为“混合模型”以示与一般模型的区别。

对每个计算单元而言,采用初损后损法进行产流计算,包含初损和后损率 2 个参数;采用瞬时单位线法进行地面径流汇流计算,包含线性水库个数和水库蓄水系数 2 个参数;采用马斯京根法进行汇流计算,包含单元河段马斯京根法河道传播时间和流量比重系数 2 个参数。根据唐乃亥水文站 10 场大洪水期间的雨量、流量和气温资料,以实测流量与计算流量拟合最优为准则率定模型参数,各场次洪水模拟结果见表 2。

表2 唐乃亥水文站洪水模拟结果

Table 2 Flood simulation results at Tangnaihai Hydrological Station

洪号	降雨量/ mm	实测径流深/ mm	计算径流深/ mm	径流深 相对误差/%	实测洪峰/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	计算洪峰/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	洪峰相对 误差/%
630819	181.4	86.9	75.5	-13.1	3 190	2 916	-8.6
670803	270.3	110.2	111.5	1.1	3 280	3 183	-3.0
680817	207.0	78.1	86.9	11.2	3 030	3 155	4.1
760721	257.7	99.8	110.9	11.2	3 020	3 079	2.0
810628	417.3	186.1	188.0	1.0	5 390	4 498	-16.6
830509	387.8	143.8	133.6	-7.1	3 570	3 012	-15.6
840601	422.2	146.6	170.5	16.3	3 660	3 300	-9.8
850814	217.3	87.9	96.1	9.3	3 350	3 731	11.4
890525	508.1	199.8	194.9	-2.4	4 140	3 590	-13.3
930607	334.2	116.1	132.0	13.7	2 080	2 524	21.3

3.4 PMF 推求

为比较采用不同暴雨典型进行 PMP 时空分配对 PMF 成果的影响,选择了 1963 年、1964 年、1967 年、1981 年、1983 年、1984 年、1989 年共 7 场暴雨作为典型。对每种暴雨典型,以黄河源区可能最大 1 d、3 d、7 d 和 15 d 雨量为控制,参照“同频率放大”的思路,求出典型暴雨最大 15 d 过程中逐日的面雨量放大系数,采用逐日的面雨量放大系数对相应日期 9 个计算单元的雨量进行放大,得到既考虑时间分布又考虑空间分布的流域 PMP 过程。

将 7 种典型暴雨放大得到的流域 PMP 过程、可能最大融雪流量过程分别作为已经率定好的混合模型的输入,计算得到唐乃亥水文站的可能最大洪水过程。从安全角度考虑,推荐洪峰及时段洪量最大的 1963 年典型计算得到的 PMF 成果,其洪峰流量为 $9\,840\text{ m}^3/\text{s}$,最大 1 d、3 d、7 d、15 d、30 d 和 45 d 洪量分别为 8.09 亿、24.0 亿、53.0 亿、99.7 亿、176 亿和 222 亿 m^3 。PMF 的洪峰流量、最大 15 d 洪量、最大 45 d 洪量与万年一遇相应特征量的比值分别为 1.18、1.17 和 1.13。可能最大降水和洪水过程如图 1 所示。1963 年洪水原本为双峰且主峰偏后型,在 PMP/PMF 状态下,后主雨峰加强,使计算的后主洪峰明显增大,对防洪较为不利。经统计,在以 1963 年暴雨为典型推求的 45 d 可能最大洪量中,基流、融雪径流和降雨地面径流与 1963 年典型洪水中基流、融雪径流和降雨地面径流相比,增幅分别为 0.23% 和 225%,该结果表明,不同水源从“常态”到“可能最大状态”的变幅存在很大差别。在唐乃亥水文站 45 d 的 PMF 过程中,融雪径流占总水量的 11.6%,融雪流量占洪峰流量的 6.7%;降雨径流占总水量的 86.2%;降雨流量占洪峰流量的 92.0%。

4 结 语

黄河源区位于青藏高原,水文气象观测站点稀少;加之高海拔带来固态降水比例上升,汛期洪水具有降雨和融雪混合补给的特征;可能最大洪水是该流域接近物理上限的降水所形成的洪水,由几十年的实测水文气象资料推估极限状态的水文事件存在较大的不确定度。所有这些因素决定了黄河源区 PMP 和 PMF 计算的复杂性。

笔者尽可能多地收集了研究流域内的水文、气象、地形、天气图等资料,力图在现有资料条件下找出解决类似高海拔地区大流域 PMP 和 PMF 计算的实用方法。通过研究表明:

- a. 流域的 PMP 历时应根据流域暴雨及其成因特点、该流域及其邻近区域的实测水文气象资料确定。对于面积大、降雨持续时间长、缺少长历时大范围特大暴雨资料的流域,采用组合暴雨放大法推求大流域的 PMP 是较为有效的。
- b. 黄河源区汛期洪水中有一定的融雪径流比例,因从“常态”到“可能最大状态”,基流、融雪(融冰)流量以及降雨地面径流的增幅存在很大差异,基流即便在可能最大情形下也维持不变,融雪(融冰)流量在可能最大情形下增幅有限,而降雨地面径流在可能最大情形下增幅很大,所以采取“分割流量过程,分别极大

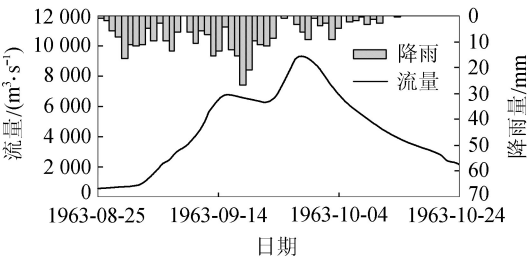


图1 黄河源区可能最大降水和洪水过程

Fig. 1 PMP and PMF processes in source region of Yellow River

化后再叠加”的思路来推求可能最大洪水 PMF 是合理的,实例应用也验证了该方法的可行性,对我国西部高海拔流域可能最大洪水计算有参考作用。

由于问题的复杂性,笔者目前对黄河源区 PMP/PMF 的研究还是初步的,今后在融雪流量分割、融雪流量和降雨地面径流的遭遇组合、可能最大融雪流量分析计算,以及气候变化对黄河源区可能最大洪水的影响评估方面仍然需要进一步的研究。

参考文献:

[1] 王国安. 可能最大暴雨和洪水计算原理与方法[M]. 郑州:黄河水利出版社,2008.

[2] SL 44—2006 水利水电工程设计洪水计算规范[S].

[3] IAEA. Flood hazard for nuclear power plants on coastal and river sites: safety guide[R]. Vienna: IAEA,2003.

[4] 王国安. 国内外 PMP/PMF 的发展和实践[J]. 水文,2004,24(5):5-9. (WANG Guoan. Worldwide development and practices of PMP/PMF[J]. Hydrology,2004,24(5):5-9. (in Chinese))

[5] 熊学农,高治定. 黄河三花区间可能最大暴雨估算[J]. 河海大学学报:自然科学版,1993,21(3): 38-45. (XIONG Xuenong,GAO Zhiding. Estimating probable maximum precipitation in Sanhua Region of the Yellow River[J]. Journal of Hohai University:Natural Sciences,1993,21(3):38-45. (in Chinese))

[6] 张有芷,王政祥. 用时面深概化法估算清江中上游流域可能最大暴雨[J]. 水文,1998, 18(4):13-18. (ZHANG Youzhi, WANG Zhengxiang. Estimation of the probable maximum storm in upper and middle reaches of Qingjiang river basin using enveloping time-area-depth curves approach[J]. Hydrology,1998,18(4):13-18. (in Chinese))

[7] 杨振,华家鹏,张耀宾,等. 虎跳峡水电站可能最大洪水(PMF)地区组成研究[J]. 水文,2006,26(2):61-63. (YANG Zhen, HUA Jiapeng, ZHANG Yaobin, et al. A study on local probable maximum flood combination at the Hutiao gorge water-power station[J]. Hydrology,2006,26(2):61-63. (in Chinese))

[8] 叶辉. 特小流域 PMP 分析在广东沿海核电工程中的应用[J]. 水利科技与经济,2009, 15(9):759-760. (YE Hui. Application of the PMP analysis method in Guangdong coastal nuclear power engineering [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy,2009,15(9):759-760. (in Chinese))

[9] DESA M N, NORIAH A B, RAKHECHA P R. Probable maximum precipitation for 24h duration over southeast Asian monsoon region:Selangor, Malaysia[J]. Atmospheric Research, 2001,58:41-54.

[10] 郝振纯,张磊磊,童凯,等. MODIS/Terra 遥感雪盖数据在青藏高原河源区的应用[J]. 河海大学学报:自然科学版,2012, 40(5):479-484. (HAO Zhenchun, ZHANG Leilei, TONG Kai, et al. Application of MODIS/Terra remote sensing data of snow cover to five river's source regions in Tibetan plateau[J]. Journal of Hohai University:Natural sciences,2012,40(5):479-484. (in Chinese))

[11] 华家鹏,林秀琳,熊海星,等. 推求可能最大暴雨放大方法的研究[J]. 人民长江,2006,37(11):59-60. (HUA Jiapeng, LIN Xiulin, XIONG Haixing, et al. A study on the maximization methods for PMP calculation[J]. Yangtze River,2006,37(11):59-60. (in Chinese))

[12] 崔玉琴,许书平. 龙羊峡水电站一次洪水分析[J]. 水电能源科学,1984,2(1):101-110. (CUI Yuqin, XU Shuping. Analysis of the flood occurring in the Longyangxia Hydropower Project[J]. Water Resources and Power,1984,2(1):101-110. (in Chinese))