

由实测实时暴雨及预报降雨计算流域洪水

1、计算目的

通过实测实时暴雨，预测下一时段的洪水过程，为水库的洪水调度提供依据。

2、降雨对洪水的影响时间

在洪水计算中，降雨对洪水的影响体现在两个方面，一是前期降雨的影响，表现在对净雨深的影响；二是对汇流直接影响，表现在某一时刻流域出现降雨，从该时刻算起，至 T 时间，流域出口一直产生流量不同的洪水， T 时间以后，流域出口不再产生洪水。

T 时间的长度可由瞬时单位线看出。对于山东省的大多数水库， T 时间一般不大于 24 小时。对于流域面积大于 1000km^2 的水库， T 时间可能大于 24 小时。瞬时单位线参数 m_1 越大， T 时间越长， m_1 等于 6 时， T 时间为 24 小时。

3、降雨对洪峰的影响时间

在某一时刻流域出现降雨，从该时刻算起，至 t 时间流域出口一直产生最大流量。

4. 本日降雨分布

直接根据降雨比例，来分配净雨的比例。

4、本日降雨分配分布

实时降雨时刻至前 T 时间的降雨分布，为已知量。为计算编程方便， T 取 24 小时。当日实时降雨时刻以后降雨，为未知量，根据当天天气预报的预报值，按规律分配。

(1) 当本日天气预报降雨量小于等于当日已发生的降雨时，按以下分布。后一小时为前一小时的一半。5 小时后不计雨量，或者当日时间结束。

(2) 当天天气预报降雨量大于当日已发生的降雨时，按以下分布。

时段数	百分比								
1	100								
2	67	33							
3	25	50	25						
4	23	47	20	10					
5	22	45	18	9	6				
6	21	44	17	9	5	4			
7	20	43	16	9	5	4	3		
8	20	41	16	9	5	4	3	2	
9	20	38	16	10	6	4	3	2	1
10	20	35	15	10	8	5	3	2	2
11	19	32	15	10	8	7	5	2	2
12	19	29	15	10	8	7	5	5	3

当第一时段雨量小于实测末时段降雨量一半时，为实测末时段降雨量一半。

5、次日以后预报雨量分配

次日以后预报雨量分配见下表：

时段	分配比例	
	雨量小于 30mm	雨量大于 31mm
1	30.6	4.4
2	23.3	8.8
3	31.8	5.7
4	8.2	16.3
5	2.3	25
6	3.8	12.7
7	0	6.5
8	0	2.7
9	0	3.9

10	0	3.3
11	0	3.2
12	0	1.5
13	0	1
14	0	0.9
15	0	0.6
16	0	0.8
17	0	0.9
18	0	0.5
19	0	0.2
20	0	0.1
21	0	1
22	0	0
23	0	0
24	0	0

次日前一个时段为实测降雨时，次日第一个时段雨量不小于前一个时段雨量的一半，调整部分雨量在次日最末的一个或几个时段扣除。无法全部扣除时扣除至 0 为止。

6、净雨计算

(1)、前期影响雨量

水库流域前期影响雨量是衡量水库流域土壤水分含量的指标，与前期降雨有关，根据《山东省水文图集》，计算公式如下：

$$P_a = \sum (H_t \times K^t) \leq I_{\max} \quad (t=1, 2, \dots, 15)$$

式中 P_a —前期影响雨量，mm；

H_t —前期 t 日降水量，mm；

K —保水系数；

t —前期降水相隔天数；

I_{\max} —流域最大吸水量。

流域最大吸水量 I_{\max} 取 60mm。保水系数 K 取 0.85。

(2)、暴雨径流关系

山东省暴雨径流（净雨深）关系表										单位：mm						
暴雨	线号															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
50	6	4	4	4	4	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
60	12	10	9	8	8	7	7	6	3	3	2	1	1	1	1	0
70	19	16	14	13	13	12	12	10	7	6	5	4	3	2	1	1
80	25	22	20	18	18	17	17	15	12	10	9	7	6	4	3	2
90	33	30	26	24	24	22	22	20	17	15	13	11	9	7	6	5
100	41	38	34	33	30	28	28	25	22	20	18	15	13	11	9	7
110	50	46	41	40	37	35	35	31	28	25	23	19	17	14	12	10
120	59	55	49	48	44	43	42	38	34	30	28	24	21	18	15	13
130	68	64	58	57	52	51	49	44	41	36	34	29	26	23	19	17
140	78	73	67	65	61	59	57	51	47	43	40	34	31	28	24	21
150	87	82	76	74	70	67	65	59	54	50	47	41	37	33	29	24
160	97	91	85	83	79	75	73	66	61	57	54	47	44	39	34	28
170	106	101	95	92	88	84	81	74	68	64	61	54	51	46	39	33
180	116	110	104	101	97	92	89	82	76	72	69	62	58	53	45	38
190	126	120	113	111	106	101	98	91	84	79	76	69	65	60	51	44
200	135	129	123	120	115	110	106	100	92	87	83	76	73	68	56	49
210	145	139	133	130	125	119	115	108	101	95	91	85	80	76	62	55
220	154	148	143	139	134	128	124	117	109	103	99	93	88	84	68	61
230	164	158	152	148	143	137	133	125	117	111	107	101	96	92	75	67
240	173	167	162	157	153	146	141	134	126	120	115	110	104	100	82	74
250	183	177	170	167	162	155	150	142	134	128	124	118	113	108	89	81
260	193	187	180	177	172	164	159	151	143	137	133	127	121	117	96	88
270	203	197	189	186	181	173	168	159	151	145	142	135	129	125	103	95
280	212	206	199	196	191	182	177	168	159	154	150	144	138	133	111	102
290	222	216	208	205	200	191	186	176	168	162	158	152	146	142	118	109
300	232	226	218	214	209	200	195	185	176	171	167	161	155	150	126	117
310	242	236	228	224	219	209	204	194	185	179	175	170	163	158	133	124
320	252	246	238	233	228	218	212	202	193	188	184	178	171	166	141	131
330	261	255	247	243	238	227	221	211	202	196	192	187	180	175	148	138
340	271	265	257	252	247	236	230	219	210	205	201	195	188	183	156	146
350	281	275	267	262	257	245	239	228	218	213	209	204	196	191	163	152
360	291	285	277	271	266	254	247	237	227	222	217	212	204	199	171	160
370	301	295	287	281	275	263	256	245	235	230	226	220	213	207	178	167
380	310	304	296	290	285	272	265	254	243	238	234	229	221	215	186	174
390	320	314	306	299	294	281	274	262	251	247	242	237	229	224	193	181
400	330	324	316	308	303	290	283	271	260	255	251	245	237	232	201	188
410	340	334	326	317	312	299	292	280	269	263	259	253	245	240	209	195
420	350	344	336	326	321	308	301	289	278	271	267	261	253	248	217	202
430	360	354	346	335	330	317	310	298	287	279	275	269	261	256	225	209
440	370	364	356	344	339	326	319	307	296	287	283	277	269	264	233	216
450	380	374	366	353	348	335	328	316	305	295	291	285	277	272	241	223
460	390	384	376	362	357	344	337	325	314	303	299	293	285	280	249	230
470	400	394	386	371	366	353	346	334	323	311	307	301	293	288	257	237
480	410	404	396	380	375	362	355	343	332	319	315	309	301	296	265	244
490	420	414	406	389	384	371	364	352	341	327	323	317	309	304	273	251
500	430	424	416	398	393	380	373	361	350	335	331	325	317	312	281	258

510	440	434	426	407	402	389	382	370	359	343	339	333	325	320	289	265
520	450	444	436	416	411	398	391	379	368	351	347	341	333	328	297	272

分区	序号	山丘区			平原 线号
		F<300km2	F=300-1000km2	F>1000km2	
		线号	线号	线号	
胶东半岛区	1	2	4	6	13
胶莱河谷南部山丘	2	6	8	10	14
胶莱河谷北部山丘	3	7	9	11	14
泰沂山北区一般地区	4	6	8	10	14
泰沂山北区张店以西	5	8	10	12	14
泰沂山南区一般地区	6	1	3	5	10
泰沂山南区郯苍地区	7	4	5	6	10
大汶河津浦铁路以东	8	4	6	8	13
大汶河津浦铁路以西	9	6	8	10	13
南四湖东区	10	4	0	8	12
南四湖西区万福河以南	11				12
南四湖西区万福河以北	12				14
鲁北平原区徒骇河	13				15
鲁北平原区马颊河	14				16

垛庄水库流域采用 6 号线。

根据每日 P（前 24 小时降雨量）+Pa，查 6 号线得到当日净雨 R1，按雨量分配比例确定净雨比例，计算每一时段净雨。

计算未来 24 小时的 Pa,时间平移 24 小时,加上预报日 24 小时降雨，查表得到预报日净雨 R2

如果流域由山地和平原混合组成，则净雨计算公式如下：

$$R_{\text{混合}} = R_{\text{山}} - K (R_{\text{山}} - R_{\text{平}}) \quad (\text{垛庄用算})$$

式中：R_{混合}——山丘平原混合区净雨量；

R_山——由所在地区山区的降雨径流关系线号查得；

R_平——由所在地区平原区的降雨径流关系线号查得；

K——系数。

K 根据流域平原占的比例确定。

平原%	一般山区瞬时单位线参数 K	入黄山区瞬时单位线参数 K	k
20	0.208	0.245	0.06
30	0.221	0.25	0.12
40	0.233	0.255	0.2
50	0.246	0.26	0.3
60	0.258	0.265	0.41
70	0.27	0.27	0.53
80			0.68
90			0.83
100			1

净雨的分配与暴雨分配的比例相同。

7、瞬时单位线

由暴雨推算洪水过程，采用《山东省大、中型水库防洪安全复核洪水计算办法》中我省综合的瞬时单位线。瞬时单位线参数：（）

$$M1 = KF^{0.33}J^{-0.27}R^{-0.2}Tc^{0.17}$$

(计算当天的以及第二天的 M1 值)

式中：K——系数，根据平原区面积比例选用；

F——流域面积，km²；

J——干流平均坡度，m/m；

R——净雨深，mm，取各日净雨深；

Tc——净雨历时，小时，取各日净雨时段总历时。

瞬时单位线参数 M₂：

山区及山区与平原混合区：

$$M_2 = 0.34M_1^{-0.12}$$

系数 K 根据平原区面积比例选用，见上表。纯山区 K 取 0.196。

由 M1、m2 推求单位线的过程：

$$S(t) = \frac{1}{\Gamma(n)} \int_0^{t/k} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{k}} \cdot d(t/k)$$

S (t) 用 GAMMADIST 函数求取，GAMMADIST 函数的 4 个参数分别为：

t/ (m1*m2) , 1/m2, 1, true。

单位线为(s(t)-s(t-1))*100/tt/0.36，其中 tt 为时段长。单位为 10mm 净雨时 100km² 流域面积的洪水流量，洪水流量单位为 m³/s。

[https://api.heweather.net/s6/weather/grid-hourly?location=116.4,39.9&key=bcc82de499fa](https://api.heweather.net/s6/weather/grid-hourly?location=116.4,39.9&key=bcc82de499fa4abcbce9a61eb9960282)

[4abcbce9a61eb9960282](https://api.heweather.net/s6/weather/grid-hourly?location=116.4,39.9&key=bcc82de499fa4abcbce9a61eb9960282)

表中时段长为 2 小时，m1 为 8.957。m2 = 0.26134 3.826

时段数	时间 t (h)	t/(m1*m2)	S(t)	S(t-1)	(s(t)-s(t-1))*100/tt/0.36
0	0	0	0		0.000
1	2	0.854336	0.015164805	0	2.106
2	4	1.708673	0.113112209	0.015164805	13.604
3	6	2.563009	0.288276229	0.113112209	24.328
4	8	3.417346	0.482381399	0.288276229	26.959
5	10	4.271682	0.651430627	0.482381399	23.479
6	12	5.126019	0.778869373	0.651430627	17.700
7	14	5.980355	0.866144037	0.778869373	12.121
8	16	6.834691	0.921958564	0.866144037	7.752
9	18	7.689028	0.955870187	0.921958564	4.710
10	20	8.543364	0.975670089	0.955870187	2.750
11	22	9.397701	0.986868713	0.975670089	1.555
12	24	10.25204	0.99304001	0.986868713	0.857
13	26	11.10637	0.996368047	0.99304001	0.462
14	28	11.96071	0.998130234	0.996368047	0.245
15	30	12.81505	0.999048795	0.998130234	0.128
16	32	13.66938	0.999521149	0.999048795	0.066
17	34	14.52372	0.999761181	0.999521149	0.033
18	36	15.37806	0.999881886	0.999761181	0.017
19	38	16.23239	0.999942022	0.999881886	0.008
20	40	17.08673	0.999971734	0.999942022	0.004
21	42	17.94106	0.999986305	0.999971734	0.002
22	44	18.7954	0.999993402	0.999986305	0.001
23	46	19.64974	0.999996838	0.999993402	0.000

8、单元流域洪水过程线

本流域 10mm 净雨产生单位线为上表中单位线乘流域面积除 100 除 10。

每一时段净雨与该日的本流域 1mm 净雨产生单位线分别相乘，得到该时段净雨产生的洪水过程，相同时段洪水过程叠加，得到单元流域洪水过程线。洪水过程线的值加上基流（流域面积除 100）

9、总流域单元划分及经调节计算后的洪水过程线

总流域中有水利工程调节（如水库、水闸等建筑物）的，由于建筑物的调蓄作用，对所控制的流域的洪水有调节作用，需要划分单元，计算出不同单元洪水经调节计算后的洪水过程线。

水库洪水调节计算采用水库水量平衡方程和库容、泄量曲线联解，逐时段演算推求水库蓄量、泄量变化过程。

$$\frac{1}{2}(Q_1 + Q_2) \Delta t - \frac{1}{2}(q_1 + q_2) \Delta t = V_2 - V_1$$

$$V = f(q)$$

式中： Q_1 、 q_1 ——时段初入库、出库流量， m^3/s ；

Q_2 、 q_2 ——时段末入库、出库流量， m^3/s ；

V_1 、 V_2 ——时段初、末水库蓄水量，万 m^3 ；

Δt ——计算时段，万秒。

方程 $V = f(q)$ 为水库蓄水量与泄量之间的关系。

在水库为开敞式溢洪道时，水库泄量为：

$$Q = B_0 m \sigma \sqrt{2gH_0^3}$$

式中： Q —溢洪道泄量， m^3/s ；

B_0 —溢洪道总净宽， m ；

H_0 —库水位水头， m ；

σ —淹没系数；

m —综合流量系数，由进口系数、侧收缩系数、和宽顶堰流量系数组成。

自由出流条件下，淹没系数为 1。

溢洪道综合流量系数 0.33~0.385 之间。

10、流域洪水过程线

水库总流域过程线由各个单元的洪水过程线叠加，叠加时注意单元出口距水

库有一定距离时，要计算单元出口到水库的洪水汇流时间。按洪水到达水库的时间同时段洪水叠加。

水库流域洪水调度

1、下游河道安全泄量

为保证水库下游河道两岸堤防安全，保证河道下游附近人民生命财产，根据河道设计流量，确定下游安全泄量。计算安全泄量时要考虑下游河道两岸堤防最薄弱处、河道最窄、过流能力最小处的过水流量，减去该处至水库区间的洪水流量，既是水库下泄的控制流量。

2、水库汛限水位

为保证水库安全度汛，水库管理运行单位一般会制定水库度汛计划、防洪应急预案、调度规程等。一般要求在主汛期水库水位不超过汛限水位。日期 6 月 20 日至 8 月 15 日。

3、汛末蓄水位

汛末水库蓄水不超过汛末蓄水位。日期 8 月 16 日至 9 月 31 日。

4、水库兴利水位

非汛期水库蓄水不超过兴利水位。日期 10 月 1 日至次年 5 月 31 日。

5、水库在 6 月 1 日至 6 月 19 日把水位降至不超过汛限水位。可认为水位控制值为由兴利水位按时间线性变化至汛限水位。

6、预泄条件

如有准确的预报将发生台风带来特大暴雨，水库水位较高时，为减小特大暴雨带来的洪水灾害，可将水库水预泄。

预泄流量小于控泄流量。

先根据预报计算水库洪水，按正常洪水调度计算水库最大洪水位，如果洪水超过防洪高水位（或者设计洪水位），则水库需要预泄，否则不需要预泄。

7、调洪演算

水库洪水调节计算采用水库水量平衡方程和库容、泄量曲线联解，逐时段推算推求水库蓄量、泄量变化过程。

$$\frac{1}{2}(Q_1 + Q_2) \Delta t - \frac{1}{2}(q_1 + q_2)\Delta t = V_2 - V_1$$

$$V=f(q)$$

式中： Q_1 、 q_1 ——时段初入库、出库流量， m^3/s ；

Q_2 、 q_2 ——时段末入库、出库流量， m^3/s ；

V_1 、 V_2 ——时段初、末水库蓄水量，万 m^3 ；

Δt ——计算时段，万秒。

溢洪道有闸门控制时，可控制泄量。或按上级要求下泄。

我们采用按最高防洪水位时泄量为控泄流量，控制闸门开度。超过最高防洪水位时，闸门敞泄。