

中小河道的水能利用

H. B. 克 拉 索 夫 斯 基

H. B. 馬 斯 其 茨 基

水 利 出 版 社

中小河道的水能利用

H. B. 克 拉 索 夫 斯 基

H. B. 馬 斯 其 茨 基

水利部北京勘测設計院規範組譯

水 利 出 版 社 出 版

1 9 5 6 年 6 月

內 容 提 要

本書系譯自苏联科学院 1950 年出版的“小流域水利資源綜合利用的原則与方法”三卷集里面的第二卷第四章。該章由 H. B. 克拉索夫斯基教授及技術科学副博士 H. B. 馬斯其茨基合著。

本書介紹了小型水电站的布置方式、水电站壅水建築物的特點和电站造价的概估方法，小型水电站的水能計算和出力調節計算，以及小型水电站的各式水輪机。書中对于農業生產及地方工業和小城市的用电定額等，也提供了不少可貴的數據。

本書对于我國各地即將大規模开展的中小河道流域规划工作以及水能設計工作都有很大參考价值。

本書由水利部北京勘测設計院规范組陈秉良和王顯煥兩同志翻譯，并由郭啓光同志校閱了其中某些部分。

中小河道的水能利用

- 原 書 名: Использование водной энергии малых и средних рек
原 作 者: Н. В. Красовский, Н. В. Мاستицкий
原 出 版 处: Издательство Академии Наук СССР
原出版年份: 1950年
譯 者: 水利部北京勘测設計院技術处规范組
出 版 者: 水利出版社（北京和平門內北新華街 35 号）
北京市書刊出版業營業許可証出字第 080 号
印 刷 者: 水利出版社印刷厂（蚌埠大馬路 463 号）
發 行 者: 新華書店

88千字, 850×1168 1/32开, 印張3 13/16
1956年6月第一版, 蚌埠第一次印刷, 印數(蚌)1—8,100
統一書号: 15047.17 定价: (10)0.60元

目 錄

地方电气化概說	1
I 地方电气化的一般原則	7
II 用电定額	15
III 平原河上小型水电站的開發方式	35
IV 小型水电站及其壅水建筑物的若干特点	39
V 造价的概估指标	52
VI 小型水电站的水能計算	62
VII 在电力系統中工作的小型水电站的水能計算	75
VIII 水电站出力的水能調節計算	83
IX 小型水电站的水力机械裝置	99
附錄 熱能利用条件的一般特性	112

地方电气化概說

農業电气化，包括鄉村和小城市居民生活中电力的利用，是提高國家經濟实力的强有力的杠杆，也是消滅城鄉对立的一种手段。它对建設共產主义社会起着重要的作用。

農業电气化絕不能了解为孤立地建設許多电站，而应当了解为把農業和地方工業轉移到新的动力技術的基础上去。

在偉大的十月革命以后，農業、地方工業和公用事業的电气化就开始在苏联發展起來。到 1936 年，已經有 70% 的区中心* 在不同程度上电气化了，亦即至少是有了电灯。

当时各区和各省的电站大部分是火电站，每个电站的容量自 150 到 300 瓩。

需电項目的組成如下：

1. 經常用戶的动力和照明負荷.....	43%
2. 公用企業、机关、街道等的照明.....	34%
3. 电車和自來水.....	10%
4. 其他用戶（铁道、郊区各部門等）.....	13%
合 計	100%

电气化的普及程度也与城鎮人口成比例。人口由 2 万到 5 万的城鎮，普及程度約达 90%，人口由 500 到 1,000 的市鎮——41%。

到 1938 年，農業用电量已达 4 億瓩小时，農村电站总容量达

* 区中心相当于我國的縣城——譯注。

23 万瓩；1940 年已达 4.25 億瓩小时，容量达 27.5 万瓩。在衛國战争时期中的 1943 年，農村用电量曾下降到 2.45 億瓩小时。

但是，在恢复战时被破坏了的國民經濟和進一步發展國民經濟的过程中，農村电站的容量迅速地增長了起來。

1946 年，農村电站总容量达 27 万瓩，1947 年——38.2 万瓩，1948 年——54.4 万瓩。同时，水电站的比重在不断地上升。

到战后斯大林五年計劃結束时（1950 年），農村电站容量应达到 100 万瓩。現在，我國約有 12% 的集体農庄和 70% 以上的机器拖拉机站已經电气化了。

根据 1940 年的資料，農業用电的組成如下：

表 40

經 济 部 門			所 占 百 分 比 (%)
照 修 打 养 养 灌 种 其	理	明	44.3
		厂	15.8
		谷	9.7
		畜	12.1
		禽	1.7
		溉	0.6
		菜	0.3
		他	15.5
合 計			100.0

農業用电与苏联全國用电相較，在 1940 年僅占百分之几。

在 1940 年，电气化了的集体農庄僅有 9,500 个，即占集体農庄总数的 4.4%，而且大部分農庄用电主要是为了照明，并不是用在農業生產过程的电气化方面。

战后，我們的農業电气化很快地恢复并發展起來了。現时的農業用电情况可用下列数字來說明：1949 年初，農村电站总容量为 52 万瓩，年用电量为 7 億瓩小时。此时已有 17,700 个（10%）集体農庄和 5,500 个（68%）机器拖拉机站电气化了。某些省份（例如

斯維爾德洛夫省)，已經有 98% 的集体農庄电气化了。

党和政府采取了全力發展農業电气化的特別決議。在关于 1946 ~ 1950 年恢复并發展苏联國民經濟的五年計劃的法令中，規定社会主义農業电气化的任务如下：“与工業進一步电气化的同时，使鐵路運輸和農業更廣泛的电气化。保証在農業地区有计划地修建小型水电站、風力电站以及裝設有蒸气和煤气發動机的火电站”。

單是第四个斯大林五年計劃期內*投入生產的地方性水电站总容量即达 100 万瓩，它利用了苏联欧洲部分小河道可開發的水能蘊藏量(600 万瓩)中的相当大的一部分。这 600 万瓩占農業电气化所需的全部容量(約 1,000 万瓩) 的 6/10。

農業电气化的經濟效益可用下列指标表明：根据現有資料，1 瓩小时可代替 1 个体力劳动日或壯馬 2 小时的工。用复雜的打谷机打谷时应用电力，可使劳动力的消耗節省 40%；在养畜業中应用电力，可使劳动力節省 50%；电气挤奶可使劳动生產率提高 1 倍。

繁重劳动过程的电气化，平均可節省劳动力 20% 和畜力劳动 25%。

甚至在小型水电站的电能成本較高时——0.5 ~ 1.0 盧布/瓩小时，它折合到每个人工日的代价，僅不过 1 盧布左右，而折合到每个馬工日的代价，也只有 4 盧布不到，因此，它仍然是經濟的。

農業用电的增長，可分为三个阶段**：

1. 公共房間及住室的照明，每个百戶的集体農庄平均需用电 10 瓩或每年 15,000 瓩小时以下。

2. 照明加農業生產主要过程的用电，每个百戶的集体農庄一般需 50 ~ 60 瓩或每年 10 万瓩小时。

3. 照明加農業生產主要过程的用电和需电量很大的劳动过程的用电，后者如电力耕地、室內作物(溫室、溫床加热) 的栽培等等

* 即 1946 ~ 1950 年——譯者。

** Н. А. Сазонов 在農業机械化和电气化會議(1948 年 10 月 4 ~ 10 日于埃里溫召开) 上的报告。

的用电，每个百戶的集体農庄一般需电达 200 瓩或每年 25 万 瓩 小时，甚至更多。

全苏農業电气化科学技術會議*的決議中建議以每个集体 農民年用电量 100 瓩小时作为最低的电气化水平，以年耗电量 500 瓩小时作为廣泛电气化的水平。

所以，容量 16~20 瓩的小型集体農庄水电站只能保證 農業电气化最初階段的需要。它們的容量不可能有大的擴充，并且在地方电气化進一步發展时它的数量也不能增多。这种水电站的單位管理費用比技術完善的較大的电站要高出很多。

小型水电站的主要作用是为下一階段的电气化發展查明并准备用电戶。

苏联欧洲部分中部地帶小河道的水力資源（有可能開發的水电站的年平均出力为 30~1,000 瓩）在未進行徑流調節的情況下，中部各省是每平方公里 1 瓩，頓河流域約 0.4 瓩，只有伏尔加河上游高达 1.5~2 瓩。

如果進行徑流的年調節和部分多年調節，則可把上述的数值增加 1~2 倍，可是这时小河道的电能仍不能滿足農業、地方工業和区中心的綜合电气化的远景計劃的需要。

考慮到將來要建立地方電力系統，因此必須把其他的能源（当地燃料和風力）納入当地電力平衡中。

小型水电站根据容量和作用，可分为三种：

1. 集体農庄水电站（供 1~2 个集体農庄的用电），容量在 100 瓩以內，
2. 集体農庄庄际水电站（供几个集体農庄和一个区中心的用电），容量为 100~500 瓩，
3. 区际水电站（供一个或几个行政区內的各种电能需要），容量为 500 瓩或更大。

“袖珍水电站”是一种輕便的水力發电机組，它們应划为特殊

* 1948年10月4~10日子埃里溫召开的。

的一类，因为实际上它們是流动的發电站，必要时可以从一地搬到另一地。容量为 10~40 瓩的袖珍水电站可供不大的集体農庄初步电气化之用，而在小河上容易獲得所需水头或可以利用现有擋水建筑物(磨坊的攔河壩)修建水电站的地区，采用这种电站尤为適宜。

小型水电站每瓩裝机容量的造价較大型水电站要高很多。这可以从表 41 的資料中看出來（根据烏克蘭苏維埃社会主义共和國和巴什基里亞苏維埃社会主义自治共和國許多水电站的記錄）。

表41

水电站的平均出力 (瓩)	每瓩裝机容量的平均造价 (千盧布)	
	烏 克 蘭	巴 什 基 里 亞
30	10.9	5.8
65	6.1	4.1
200	4.3	2.6
200以上	3.9	2.1

巴什基里亞苏維埃社会主义自治共和國的小型水电站的造价較低，这是由于利用了較高的水头，并且具有比較有利的施工条件（当地有建筑材料）。

小型水电站也和大型水电站一样，裝机容量愈大，每單位容量的造价也就愈低。因此必須力求建造較大的水电站，并根据用电量的增長陸續安裝水輪机組。

如果把小型水电站的容量从 100 瓩增到 200 瓩，即增加一倍，則总造价僅增加 37%；若把容量由 100 瓩增到 300 瓩，即增加兩倍，則总造价僅增加 64%。

集体農庄小型水电站可以利用非常小的水源，可是限于它們本身的容量，不能將 10~15 瓩的电动机接到它們的供电網上，因而不能解决農業电气化的主要任务——把人力和畜力从農業的最繁重的劳动过程中解放出來。

擴大集体農庄水电站的容量对于实行电力耕地具有特別的意

义，因为电力耕地要用很多的电力。

电站造价中，各組成部分所占的平均百分数如下：

壅水建筑物.....	65%
电站厂房.....	16%
水力机械和电气装置.....	19%

由此可見，利用現有壅水建筑物建立小型水电站可以大大降低电站的造价。

但是，現有的壅水建筑物往往需要經過改建才能利用。在这种情况下，前述的利益可能要顯著减少。

从更好地利用水力資源的观点來看，把磨坊水輪改裝成水輪机，可以獲得更多的出力。但將磨坊改裝为水电站时，要涉及到这样一个問題，即必須考慮到大部分磨坊采用的修建在河里的樹枝石塊壩或土壩（水头 1.5~3.0 公尺）在洪水期內都要遭受淹沒和冲刷，因而需要花很多錢加以修理。此外，这种壩將使水电站如同磨坊一样，在洪水时期停止运轉半个月到一个半月之久。而在枯水时期，为了在上游積聚水量，每晝夜还必须有几小时的停机。

当綜合利用水利資源时（为了几个水利部門），建造連續工作的、無論在动力方面或在其他水利事業方面（灌溉、防洪……）都有充分价值的水电站是合理的。前面說过，只有在地方电气化初級階段中才允許电站的工作是不連續的。

在需电量增長时，这种水电站可以納入具有火电站的地方电力系统里去。在苏联欧洲部分中部地帶的大部分地区，由于水力的蘊藏不足，火电站以及廣泛利用風力發電就成为必要的了。

此外，这种水电站在地方电气化的進一步發展中还可以納入大型的区域电力網里去。

I 地方电气化的一般原則

小型水电站的作用以及它与其他动力裝置的关系

当区际的國家电站的电力在供应工業和城市用电方面已感十分緊張时，利用当地动力資源使較小居民点的農業电气化和地方工業电气化的問題就必須看成是与大的动力系統的發展無关的。同时，中小河流的水能可以划归特种的动力資源，它的特点是：

- (1) 动力裝置的容量小；
- (2) 这类裝置供电的地区不大；
- (3) 在电气化的初期，每个这样的供电地区內的电站与相鄰地区內的电站并不納入同一个电力系統中。

在大多数的情况下，是在城市和拖拉机站等等已建立了火电站之后，才开始利用水能。

近來由于風力利用的發展，在地方电力平衡中除了火电站以外，無數的風力裝置对小型農業企業已經有了重要的意义。因此水电站与風力裝置之間，应当建立起生產联系。

所有采用液体燃料的固定动力裝置，都應該尽早地用水能动力裝置來代替，以便为國民經濟節省液体燃料，而首先用它來作为化学原料。这一点必須作为一条守則。此外，利用水能还可减少運輸業运输燃料的負担。

采用当地燃料——木材工業的廢料以及不便于运输的煤（粉煤、泥煤、頁岩等）——的火电站，应当与水电站組成一个总的电

力系統。此時，由於火電站與水電站聯合進行工作，它的裝機容量的利用系數可以提高，因為火電站擔任了負荷曲綫的基荷部分，因而可以使工作更為均衡。

迄今為止，我們採用的所有的風力裝置容量都不大（約為5~10馬力）。它們都是單獨地進行工作，主要是供給集體農莊磨粉用或在農業供水和灌溉中用於機械提水。在少數情況下也有將風動機和發電機相聯的，用來作為小型機械修配廠和無線電台的動力裝置。由於這種能源（風力）本身的特性，風力裝置的工作是極不平衡的（風力穩定的地區是例外），同時不能長期保證穩定的出力。因此，僅在設有“調節電站”或可能進行水力蓄能時，風力裝置方可納入總的電力系統里。

這樣一來，能和水電站聯合運轉的不僅有火電站（工廠火電站、城市火電站等），而且還有風力裝置。

修建水電站所應遵循的基本原則是力求在一定的河段上獲得最大的水能出力，同時又要不妨礙參與水利綜合利用的其它的用水部門。

當用獨立運轉的水電站來滿足總負荷圖時，必須根據條件來確定負荷滿足的保證率。不過這種條件也只能是最低的要求，經驗證明，隨著電站的建立將會出現許多先前沒有考慮到的用戶；有了電力，便會有新的工業部門產生；隨著居民文化生活的提高，居民對電力的需要也將大大增加。我們必須經常記住，水電站是刺激地方經濟和文化發展的新因素，因而需電量和電力負荷必定要增加。

負 荷 圖

向各種用戶供電的電站，它的負荷無論在一年內或在各個月份內或每一晝夜內都是有變化的。這些變化，取決於用戶的成份，並且每年都保持着一定的規律。

每一种需电负荷图的主要因素是：用户所需要的总电量和供电的时间。前一个因素与每个产品的单位耗电量和生产总量有关。后一因素则取决于每个生产过程的持续时间。

原料的取得不受季节条件限制的企業，例如属于地方工业的各种手工业和作坊生产，负荷图与它的计划产量有关。机器拖拉机站的工作也类似于这种生产，区别只在于它有着部分季节性。

农产品的初步加工企业的需电量取决于该年的收获量，因此它是有变化的。电气化的农业生产所需的电量随着影响主要田间作业（如：春耕、秋耕、收获、脱粒等）时间的该年气象条件而变化。

负荷的日变化与某些企业所采用的一班制或两班制有关，但主要还是与照明用电和生活用电的昼夜不平衡和年不平衡有关。

综合成总的负荷图以后，上述不平衡性就呈现出两个周期：年周期——表示日平均负荷在一年中的逐渐变化（通常在冬季负荷最大）；日周期——表现为两个互不相等的最大值（即“峰荷”），中间夹着低负荷部分（即“谷荷”）。冬季日负荷图的“峰荷”和“谷荷”的绝对值通常大于夏季的。同时“峰荷”和“谷荷”自夏季到冬季也是逐渐增长的。因此年负荷图呈现锯齿形，冬季的“锯齿”比较高。

根据不同的电力需要（农业、地方工业，照明等）的相互关系，负荷图可以有各种形状。例如：当农业（即田间工作、机械提水灌溉等）电气化程度很高时，夏季需电是最多的，总负荷图可能具有另一种形状，即最大值可能出现在夏季。

可以说，负荷图能反映出该地区的农业面貌。

当需电量很大的生产过程（例如：磨粉、汲水入调节池、蒸煮饲料等）实行电气化时，它们所需要的电力可能超出任何的负荷图。通常只是在日负荷图的“谷荷”时段内才对它们供电，这样，负荷图的不平衡性就可以大大地降低。

这种负荷与具有一定周期（昼夜或年）的负荷，亦即所谓“硬性”负荷不同，因而有时我们称它为“柔性”负荷。

大工業區或城市的日負荷圖的特点是通常具有兩個互不相等的“峯荷”和兩個互不相等的“谷荷”。

負荷的不均衡性是由電力照明、工業用電（當一班制或兩班制工作時）、電氣化交通運輸業等所造成的。同時由於冬季的照明和工業企業用電量的增加（因為在夏季休假人數增多，而在冬季則車間的全部生產設備都投入生產），因之日最大負荷和負荷變化都比較急劇。

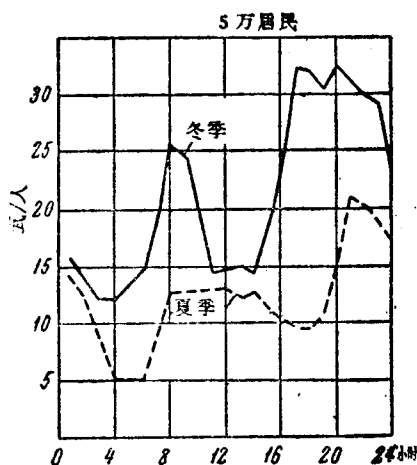


圖42 小城市的設計日負荷圖

小型電力系統的負荷日變化還研究得很不夠。

將工業企業由一班制或兩班制改為三班制，可以使負荷在一晝夜間的不均衡性減小，同時如將電動機負荷的比重增加（對最不利於日均衡性的照明負荷及生活負荷而言），也可使不均衡性減小。

圖42是公用事業學院編制的擁有五萬居民的中小城市的冬夏季設計日負荷圖。這一負荷圖代表了中小城市的需電量。就負荷圖的形狀和冬夏兩季最大負荷的比值來看，它近似於大工業城市的典型負荷圖。

電站負荷的晝夜不均衡性對於電氣事業是不利的。它使得電站的運轉複雜化，必須經常檢查對電力網的供電工作，而且時常需要開動或停止機組；為了滿足短暫的峯荷，需要增加電站的機組數目，於是電站的機組就不能得到充分利用。由於機組的增加，建築造價也要增加，再加上設備不能得到充分利用，使得管理費用和電力成本都增高了。

因此，在設計日負荷圖時，應當力求負荷圖接近於均衡，將工

業或農業負荷中的“柔性”部分移到負荷圖的“谷荷”時間上去，對某些長期用戶則採取強制的供電曲綫圖，或者對長期用戶根據供電時間的不同定出不同的電費。

但是實行強制的供電曲綫圖、降低谷荷時間內用電的電費、在峯荷時間內避免住戶的生活用電（電氣用具）等，最好是把它們當作運轉措施，而不作為設計負荷圖的原則。

調整負荷的方法之一是將負荷圖互相補償的用戶接在一個電力系統內。例如將農業綜合電氣化的用電與城市用電結合在一起，就可使年負荷圖趨於平坦。

可用下述方法調整農業負荷圖內白天和晚上的“谷荷”部分：冬季——在這個時段內開動磨粉機和蒸飼料等；夏季——在這個時段內向灌溉或給水用的蓄水池里汲水。

調整負荷圖的問題是一個非常重要的問題，因為它決定着電力系統工作的技術條件和經濟指標。

當編制負荷圖時，不僅應當考慮到現有用戶用電量增長的問題，同時還應當考慮到供電地區內將要出現新的生產部門以及人口增長的問題。

動力建築物（其他的主要建築物也同樣）應當在整個折舊期內發揮它本身的作用，而且不用進行較大的改建。根據建築物的等級和所用的材料，折舊期限一般採用 25~50 年。

如果永久性建築物在動力裝置的總造價中所占的比重不大，例如：當引水到小型動力裝置（現有攔河壩附近的袖珍水電站）或是當永久性建築物很容易擴建時，則對未來電力供應發展的考慮是沒有實際意義的。因為在這種情況下，只要增設幾台機組就可以將容量加大。

由於上述電力負荷的特性，水電站運轉的需水量在一年內、一個季節內和一晝夜間都是很不平衡的，在這一點上它和其他類型的用水——灌溉和給水不同。對灌溉來說，晝夜的流量是保持不變的，僅在灌水期內的各日之間有着流量變化。對於給水來說，採用

調節水池（水塔），可以使从水源的取水量接近于均衡。

供电的保証率

每一类用电戶都有一定的正常供电量，并須在一切時間內按一定百分数給以保証。例如机械提水灌溉的保証率通常为70~80%，小城市的照明負荷为90~95%，工業和城市給水为95~97%。在养畜業中有若干生產过程（如挤奶、孵卵）要求100%的保証率。

为了反映每一类用电戶的利益，保証率应当用加权百分数來表示。

天然來水量通常是与需电量不吻合的。此外，低水头电站的出力还与水头的变化有关。同时，在已知水头和已知流量的条件下，水輪机的效率（决定着电站出力）也还有着变化。

在苏联中部地区具有融雪洪水的平原河道上，年徑流量的絕大部分（60~90%）是出現在融雪洪水期內，随后就是枯水期（即夏秋平水期）。在秋季霖雨期內往往又出現一次漲水，随后即進入冬季枯水期。夏季的暴雨洪水將使流量顯著的增大。

圖43是在某一水头下电站出力和滿足負荷圖所需出力的对比示意图，其中考慮了洪水期內水头的减小。

从对比中可以很清楚地看出，电站出力情况和所需出力〔(a)和(б)〕是極不相称的。圖中陰綫面積就是不足的出力。

因此，如果用单独運轉的水电站來滿足整个負荷圖的要求时，則必須大大增加水头，或者除了加大水头之外再修建年調節水庫。

当水电站同火电站联合運轉时，則水电站必須有能滿足峯荷的日調節，此时，火电站則負担負荷圖的不变部分（基荷）。

所有上述的关于滿足負荷圖时水电站的運轉情况是对具有一定的供电保証率的計算年份亦即对枯水年份來說的。在多水年份內，由于下泄流量使得电站下游的水位上漲，水头和出力减小，因此电站出力可能要下降很多，如果不考慮到这一点，那么將會導致多水

时不能满足负荷图的现象。下游水位的升高或水轮机的淹没，将使水头减小，于是水轮机的效率也将相应地降低，甚至电站的出力实际上等于零。

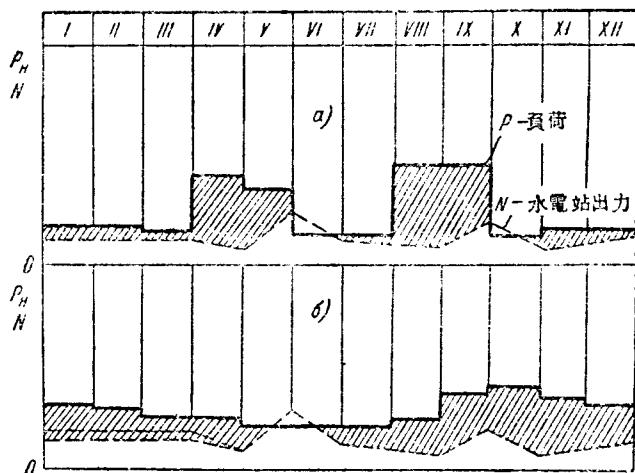


圖43 电站年出力与所需出力的比較

由于这种情况，就必须相应地增加水头，以避免电站的出力在洪水期内降低。

一年的多水程度在相当程度上还取决于一年内的径流分布情况。对于苏联欧洲部分中部地区的许多河流来说，已经取得了有关这种关系的最有代表性的资料，这些资料列在表 42 内。

表42

指 标	多水年 保证率约为 25%	中水年 保证率约为 50%	枯水年 保证率约为 80%
年逕流，以中水年份逕流的 %表示	126	100	67
冬季（四个月）的逕流，占 年逕流平均值的%	10	12	15
冬季（四个月）逕流，以中 水年份冬季逕流的%表示	108	100	84