

河道截流水力学

[苏联] C. B. 伊兹巴什 X. IO. 哈德列 著

黄河三门峡工程局 译

中国工业出版社

河道截流水力学

〔苏联〕C.B.伊兹巴什 X.IO.哈德列 著

黄河三门峡工程局 译

中国工业出版社

本书系作者結合施工經驗进行多年試驗研究的成果。书中分析了河道截流的主要方向和方法，提出了被截水流能量的新的估算方法，介紹了河道束窄和通过抛投体系流渗透的水力計算的现代方法，闡述了骨架截流的特点和优越性，并举例說明了采用各种截流方法时的計算。

本书可供水利水电設計和施工人員使用，亦可供高等院校和中等技术学校有关专业的师生参考。

* * *

本书的全部譯文由伍修森同志进行了校閱。

С. В. Избаш и Х. Ю. Халдре

ГИДРАВЛИКА ПЕРЕКРЫТИЯ РУСЕЛ РЕК

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ, 1959, МОСКВА

* * *

河道截流水力学

黄河三門峽工程局 譯

*

水利电力部办公厅图书編輯部編輯(北京阜外月坛南营房)

中国工业出版社出版(北京修麟閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $6\frac{13}{16}$ ·字数140,000

1964年10月北京第一版·1964年10月北京第一次印刷

印数0001—2,720·定价(科六)0.85元

*

統一书号: 15165·3415(水电-450)

序 言

丰水河流的河道截流是水利枢纽施工的决定性阶段。

截流的技术经济效果，在很大程度上取决于事先设计出与水利枢纽的整体布置相密切联系的合理的截流方案，以及截流材料和施工设备的事先准备工作。这些问题的正确的设计与施工决定，只能建立在充分查明截流水力情况的基础上，因为水力情况完全决定着截流的各个可能阶段、水流中断流堰形成的条件、以及所需抛投材料的尺寸、重量和体积。

25年前就创立了往流水中抛石以修筑断流堰的水力原理〔参考文献2〕。水工技术人员创造性地发展并丰富了这种方法，这种方法在国内和国外均已获得广泛的运用，曾作为数十条河流截流的基础，例如：尼瓦河、斯维尔河、图洛马河、伏尔加河、锡尔河、谢克斯纳河、顿河、卡马河、纳罗瓦河、德聶斯特河、德聶伯河、额尔齐斯河、安加拉河、鄂比河、罗尼河、哥伦比亚河、科罗拉多河、密苏里河，等等。但是，除了成功地掌握了许多河流截流的新技术外，对以下问题并未经常给予应有的重视：截流的经济问题，合理利用天然与人工抛投物，以及整个水利枢纽布置和它的临时性及永久性结构物的导流能力与截流的相互关系等问题。在对施工经验资料进行有价值的分析并对某些系统的试验获有不容争辩的成果的同时，在某些情况下仍未能对在修建水电站时后来被证明是不正确的某些截流方法和抛投物给出足够

的論証。

因此，根据对施工經驗資料进行的計算和試驗分析与归納，我們分析了河道截流的主要方向和方法，提出了被截水流能量的新的估算和抛投物阻力的水力估算，介紹了河道束窄和通过抛投体紊流渗透的水力計算的現代方法，闡明了我們所建議的骨架截流的特点和优越性，并举例說明了采用各种方法截流时的計算和比較。除了这些主要的和新的內容之外，在本书(第五章)內还簡要介紹了从前发表过的〔参考文献9〕計算各种外形抛石堰的原理，并补充了确定截流面上每一米长抛石堰体积的新的近似方法。

本书第一、四和五章是С. В. 伊茲巴什編写的，第六、七、八章是X. Ю. 哈尔德列編写的，第三章是С. В. 伊茲巴什和X. Ю. 哈尔德列共同編写的，第二章和第34节是技术科学副博士И. В. 列別捷夫写的。由С. В. 伊茲巴什完成了全书总的編輯工作，И. В. 列別捷夫和X. Ю. 哈尔德列的工作亦均是在他的领导下进行的。

本书主要是根据著者們1948~1958年在莫斯科动力学院根据卡馬水电站、齐姆良水电站、伊尔庫茨克水电站、斯大林格勒水电站、列宁伏尔加水电站和布拉茨克水电站修建的任务所作的研究，以及根据水电設計院、水利設計院以及电站和工厂动力建筑研究所等任务所进行的研究而編写成的。

书中主要論点，在莫斯科、列宁格勒和在施工現場許多次會議上曾多次討論过。

作者确信，根据本书所詳細介紹的水力計算，可以客觀地比較各种截流方案，并能根据地选择每个水利樞紐在具体条件下最合理的、最值得詳細試驗和設計的方案。

目 录

序 言

第一章 概論	1
1. 施工导流的一般特征	1
2. 截流問題概述	7
3. 被截水流的能量估計	15
4. 用平堵法和进占法截流时单位功率的計算	26
第二章 河道束窄的水力計算	34
5. 被束窄河道过水能力的計算原理	34
6. 用围堰和进占堤束窄河道时落差和回水的計算	44
7. 河道束窄水力計算举例	52
第三章 抛投料的水力摩阻	61
8. 抛投料的种类	61
9. 抛投料的水力粗度	66
10. 抛投物承受的极限流速	68
11. 抛投物的水力摩阻准則	76
第四章 各种截流方法概述	83
12. 截流方法分类	83
13. 不可冲动的均质抛投料平堵抛投的实质	86
14. 骨架抛投法的实质	89
15. 其他截流方法和措施概述	95
第五章 溢流与块石抛投体的相互作用	105
16. 抛投体中块石的稳定性	105
17. 抛投体上的溢流	111
18. 抛投体第一种和第二种外形的主要問題和計算	114

19. 抛投体第三种外形的计算	120
20. 抛投体第四种外形的计算	127
21. 对各种计算的补充意见	131
22. 扩展断面的块石抛投体单位体积的近似计算	137
第六章 通过抛投体的紊流渗透	142
23. 通过抛投料渗透情况的特性	142
24. 大孔隙抛投料和结构物的紊流渗透系数的确定	147
25. 通过三角形断面的淹没式抛投体的渗透	152
26. 通过露出水面的三角形断面抛投体的渗透	161
第七章 骨架抛投体的一些特点	165
27. 抛投骨架的各种方法	165
28. 骨架抛投体作为溢流堰	172
29. 骨架抛投体的稳定性估算	174
第八章 河道截流计算举例	182
30. 计算关系式综述	182
31. 截流计算的基本课题及其解算过程	187
32. 被截水流活性的估算举例	189
33. 平堵法截流材料的估算举例	196
34. 平堵法和进占法截流的比较举例	198
結語	207
附录	209
参考文献	211

第一章 概 論

1. 施工导流的一般特征

引水法(图 1, 上图), 就是在一次全部被截断的河道主槽旁修建明渠或隧洞进行施工导流的方法。这种明渠或隧洞以后往往还用来在运转期间泄流。这种方法反映了水利建设者们希望在不受河水和航运影响(假如有航运的话)的情况下, 进行适应于岸边或滩地布置的混凝土水利结构物的施工。有时, 这会使工程量有某些增加, 并使河道水流情况与原来情况相比较发生根本改变(在运用条件下)。这种方法的最后一个阶段, 是在用某种方法截断了水流的河段上修建拦河坝。

束窄河道法, 就是束窄河道并在河道主槽范围内进行施工导流的方法, 适用于水利枢纽主要泄水结构物为河床式布置者。此种布置反映了设计者希望减少整个水利枢纽的工程量, 并尽量少改变下游原来的水流情况(在枢纽运用情况下)。但是, 施工期间这里水流发生极严重的变化。

施工的第一步, 是从岸边修筑围堰束窄河道(图 1, 下图), 并将河水引向施工导流水道。施工导流水道的过水断面, 往往比河流原来的天然过水断面小得多, 但应能渲泄洪水、冰流, 并保证航运。

施工的第二步, 是抓住河水流量下降的时机, 筑堤以进一步束窄施工导流水道, 并留一龙口作为较小流量导流之用。

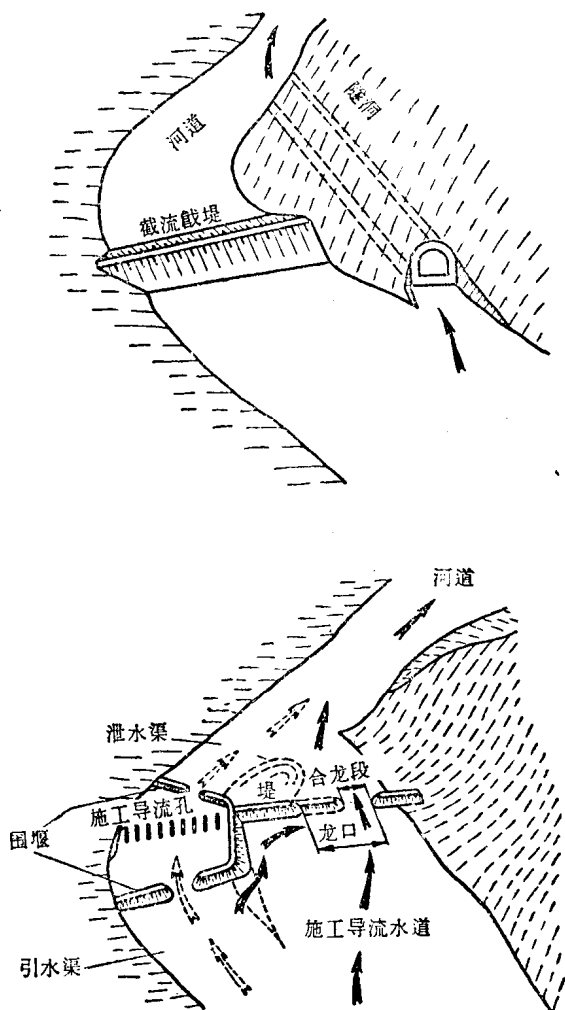


图 1 修建水利枢纽的施工导流方案示意图

施工的第三步，是采取某种方法全部封闭龙口。

所以，水利枢纽结构物施工的水力情况，通常有以下两个主要阶段为其特征：

在岸边修筑围堰和用进占法筑堤以束窄河道的阶段；
堵塞龙口以全部完成截流的阶段。

同时，在截流的某一阶段，还组织新的施工泄水道来排除或渲泄流量。

施工泄水道(见图 1，下图)可由引水渠、排水渠和建在永久性结构物和围堰内的导流孔组成，而围堰则在截流过程中拆除。部分被拆除的围堰，往往破坏水流正常地引向永久性泄水结构物底孔，并降低泄水孔的设计过水能力(在卡霍夫卡水电站建设工程中降低达30%)。根据И.В.波罗金的资料[参考文献28]，在卡霍夫卡水电站、高尔基水电站和伏尔加水电站建设工程中，施工期间主要泄水结构物的水头损失大大小于泄水道其他地段的水力损失^①。

图 2 绘出了导流下泄流量 Q_d 同河流日常流量 Q_p 之比与龙口水头落差 z (上游水位一下游水位)的关系曲线，这些关系曲线是根据对某些水力发电建设工程的计算、试验室试验和工地观测的结果而绘制的。这里最常遇到的凹形曲线(例如，曲线 3、4 和 7)，与二次抛物线相近似，它相当于淹没泄水孔的情况。当泄水道成为非淹没的泄水孔时，相应的曲线即转变为向上凸的形状(曲线 5)。曲线 6 上部的弯折点则与围堰剩余部分的拆除工作有关。

● 例如，根据同一作者的资料，在新西伯利亚水电站建设工程中，鄂毕河截流的各个阶段内，施工泄水道各段间水头落差分配的百分数如下(总落差定为100%)：上游围堰和基坑上游——54.8~43.6%；溢流坝梳齿——4.7~23.8%；基坑下游、下游围堰和排水渠——40.5~32.6%。

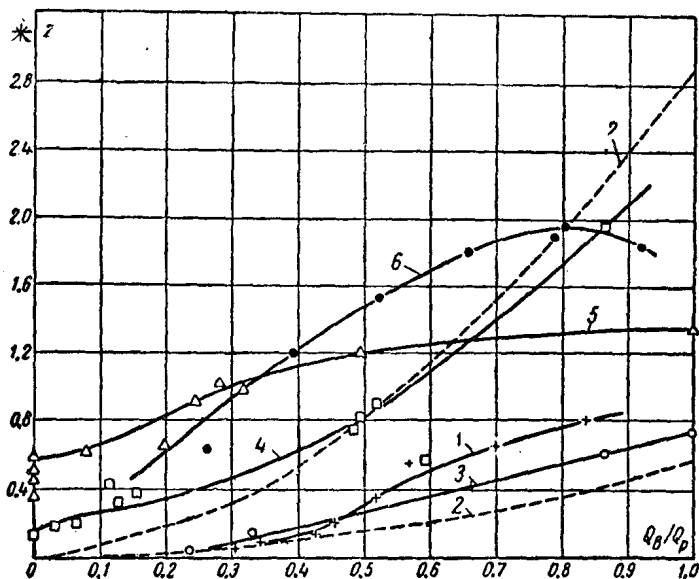


图 2 苏联某些水利工程导流泄水道的过水能力曲线图

1—高尔基水电站(实测); 2—高尔基水电站(设计); 3—卡霍夫水电站; 4—下斯维尔水电站; 5—卡马水电站; 6—古比雪夫水电站(实测); 7—古比雪夫水电站(设计)。

根据图 2 的曲线, 可绘出图 3 所示的相对落差 $z/z_{\max}$ ($z_{\max}$ ——最大落差, z ——龙口处变化的落差) 与龙口处相对单宽流量 $\frac{q}{q_{\max}}$ ($q = \frac{Q_p - Q_a}{B}$, 式中 B ——龙口宽度, $q_{\max}$ ——最大单宽流量) 的无尺度关系曲线图。

由图 3 所示曲线可看出, 在大多数的实际情况下, 当 $q/q_{\max} \approx 0.5$ 时, $z/z_{\max} \leq 0.5$ 。

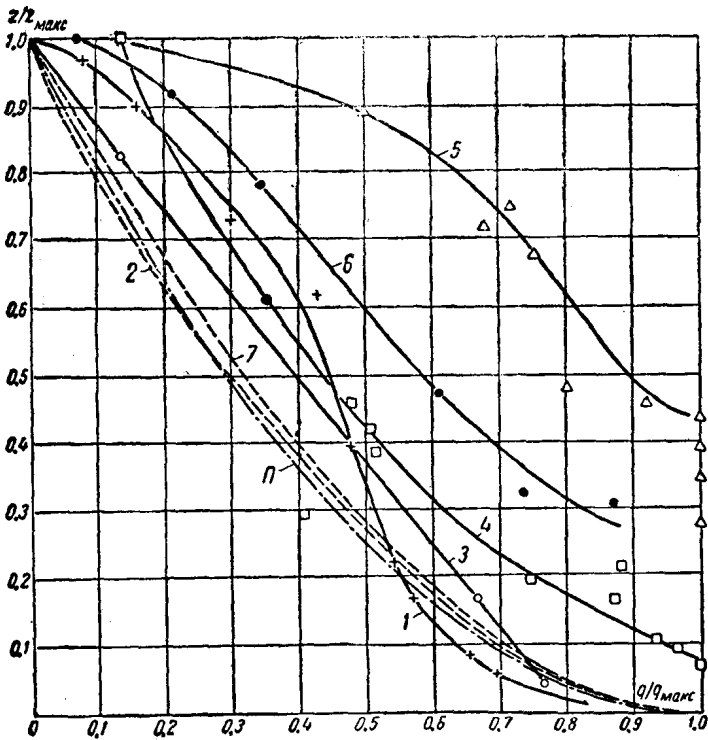


图 3 相对单宽流量 $q/q_{\max}$ 与相对落差 $z/z_{\max}$ 关系曲线
(为了证明各曲线的一般特征, 给出了曲线II—二次抛物线)

由龙口流量的某些减少可以算出相应条件下的上游蓄水能力。根据 П.Б. 波罗金的资料[参考文献28], 在卡霍夫卡水电站建设工程中, 德聶伯河截流时, 上游的蓄水能力达总流量的16%; 在高尔基水电站和伏尔加水电站建设工程中, 上游蓄水能力分别为总流量的18%和14~17%。关于上游蓄水能力的计算问题, 技术科学副博士 Б.Т. 耶姆采夫副教授

曾作了理論上的研究[参考文献32和36]。

每一个具体水利枢纽所具有的复杂自然条件和技术指标,对选择导流方法及与此有关的施工阶段有很大的影响。

水利枢纽断面内河流的一些自然特征,例如水文(水量、冰凌和泥沙情况)、河貌(河道地形,断面宽度,特别是上游蓄水能力)和地质(主要是河床土的可冲刷性和承载能力)等,对施工水力情况有着极大的意义。例如,较窄的易冲刷河床上的大块流冰和很大的洪水,以及河岸的岩性土,将会是采用引水法导流和泄水结构物岸边布置的决定性指标(如尼瓦水电站、图洛馬水电站、迈科普水电站、上土尔斯克水电站、納尔瓦水电站等等)。

水利枢纽的下述技术指标对施工水力情况有影响:综合解决水利问题的程度和河流的梯级开发(例如,河流的动力输送值,截流期间上游水电站蓄水的可能性等),运转方面的最优布置方式,主要结构物的尺寸(水头和长度)与型式,各期施工的进度,有无当地建筑材料,以及技术装备程度等。技术装备程度在河床式布置中通常应当比岸边式布置更高些。

应该指出,无论是引水导流法还是束窄河床导流法,单独地说来,在某些典型的条件下都是完全合理的。

在不具备这些条件或是不完全具备这些条件时,可以采用综合的导流方法(例如在伏尔加水电站建设中曾用过的导流法),或是在某些情况下采用引水导流与束窄河床导流同时进行的方法。例如,在布拉茨克水电站的设计方案中便采用了后一种方法。在该设计中,安加拉河洪水和冰流的下泄方法的选择,在很大程度上决定了坝型的选择(混凝土坝、重力坝或是堆石坝)。

根据水利枢纽的布置来比较各种导流方法的方案时，第一个主要的因素是工程的造价（一次投资和年运转费用），其次是选定的方案中水利枢纽某些临时性和永久性结构物的造价。应该指出，现在出现了这样一种总的趋势，即提高永久性泄水结构物和施工导流的引水渠与排水渠地基的高程，以及缩小其外形尺寸。与此有关的工程量的减少，在许多情况下，可以利用提高断流堰（戽堤）标高和增大落差，或者选择河道流量最小而稳定的期间来截流的办法达到。

第二个因素是施工条件，即使水利枢纽各结构物尽可能多地同时施工，以及采用最高工效的水工施工方法。与此有关的，首先是减少工序和围堰的分段数，以及提高用围堰束窄河床的程度，其次是最先进的工业流水作业施工设备（如载重量大的侧倾自卸卡车，具有能通过中、小卵石循环系统机构的水力机械化设备，钢板桩，装配式结构露天预制场，等等）。

由上述可知，在一般情况下，引水导流和束窄河床导流的方法可配合采用，而施工中的水力阶段在不同的步骤和配合下可以包括束窄和堵截河床。同时，河道全部截流并将河水导至在建筑主要结构物过程中所准备好的新泄水道，是建设者们与水的自然现象作斗争的最重要的阶段，并在很大程度上决定整个水利枢纽建设是否成功。

2. 截流问题概述

近二十五年来，在苏联和国外，截流的主要方法是，将砂石料（石块、砂砾石、粘土等）和人工制造的块体（混凝土立方体、四面体、钢筋混凝土骨架等）送入水中（用抛投、填筑、冲积等方法）。

例如，在苏联，在修建下述拦河坝时会采用过上述方法：白海-波罗的海运河（1930年），下斯維尔水电站（1934年），图洛馬（1935年），烏格利奇（1939年），契尔契克（1939年），雷宾斯克（1940年），法尔哈德（1944年），石山口（1950年），上斯維尔（1951年），齐姆良（1951年），卡馬（1953年），納尔瓦（1954年），卡霍夫卡，高尔基，伏尔加（1955年），伊尔庫茨克和新西伯利亚（1956年），布森塔尔明（1957年），等等。

在国外，修建下述拦河坝时会采用过上述方法：波尔德（美国，1930年），福特派克（美国，1937年），日尼西亚（法国，1937~1940年），戴維斯（美国，1948年），麦克納里（美国，1950年），福特伦达尔（美国，1952年），約瑟夫（美国，1954年）和达勒斯（美国，1956年），等等。

不同河流的水力情况、技术设备、抛投物和截流方式，大都是极不相同的。有些河流截流所需的工程量尤其巨大，如安加拉河（布拉茨克水电站）、黑龙江、黄河、尼罗河、刚果河以及其它河流等。

由上述可以得出結論：第一，河道截流应看作是輔助結構物（图1）、束窄和拦截河道結構物、泄水結構物和桥梁結構物（堤、戽堤、施工导流孔和渠道、浮桥等）的专门綜合体，并且与水利枢纽許多主要結構物（泄水結構物、船閘和其他結構物）的布置、尺寸和高程有密切关系。第二，截流是水流与抛入水中料物互相作用的水力过程。第三，截流可以从有关施工与运输工作的組織和机械化的观点来加以研究。

一条河道截流的水力情况，即在河道内断流堰的形成过程（其外形、結構和尺寸），取决于下述三个主要因素的总

合：料物的拋投特点、拋投物的性质和被截水流的参数^①。

不論采用何种机械和运输工具（汽車沿浮桥运送，用纜道运送，用皮帶輸送机、水力机械化工具等运送）运料拋投，均应从水力学观点出发，根据在空間和时间上料物的分布情况，加以研究和論証。

在空間上，可以分为下列两种主要拋投料物方式：

（1）集中拋投料物，譬如采用进占法用自卸卡車或端部无栈桥冲积法筑堤；

（2）以各种不同的均匀度进行全截流面的拋投（如自卸卡車从浮桥上拋投，采用纜道、皮帶輸送机和其他設備拋投），以堆筑戕堤。

此外，随着高度（层）和水流方向的不同，拋擲方法是可以有变化的（例如利用水力机械用土填筑一部分断面，而用拋石堆筑另一部分断面）。

在時間上，截流过程首先与截流期（在夏季还是在秋、冬季）以及在这期間內的拋投强度有关。無論是使水流中的拋投物超过水流携带能力，还是利用上游蓄水能力来减少被截水流的流量，都取决于拋投强度。最后，各种临时因素也会影响截流的时间。

不管是連續的还是平行的（同时的）拋投料物，各种尺寸料物（不同大小的块石、各种尺寸的块体）的拋投，在各个時間內也可以有变化。

在第四章中将詳細地研究各种可能采用的基本截流方法，这些方法决定着結合料物的性质（見第三章）和被截水流

① 因此，我們应指出，如欲恰当地預見截流时发生的一些現象，并据以控制它們，仅用一种方法运送料物（例如仅用“冲积法”），是十分不够的（見第四章）。

的参数而选定的料物抛投特点(見§3)。这里我們仅提出几点初步意見。

在水利枢纽的一定水力条件下, 如落差愈大且增长得愈快, 則截流时的花费愈小, 那么最終結果必然是截流的技术經濟效益愈大。在水利枢纽既定布置的条件下, 所要求的最終最大落差由导流道的泄流能力来决定, 并可用各种办法造成。

在側向束窄河道时, 由于河道的下泄能力比天然情况时减小而造成壅水。此处, 在伸入水中的結構物前出現挑流現象(图4, 上图), 水流在堤端处收縮, 流速集中于龙口, 并在龙口之后发生最大的束縮現象。当龙口不是淹没过水时(从下游方向看), 基本的水力摩阻是水流束窄后的突然扩散以及在漫流途程中的局部水力摩擦。水流在龙口入口处的束縮及其在束窄水流之結構物范围内的損失, 若堤头平緩和狹窄則較小, 若进水口不平緩并且堤也很寬, 則可能很大(图396)。

被束縮的水流对束窄的河槽底部以及过水部分与回流区的边界处(見图4, 平面图), 有强烈的冲刷作用; 在回流区内, 进入其中的土料有沉积的趋势。在平面上可能出現水流的跃动。

在从底部沿高度方面堵截河道, 并抛投适当粒径的物料以堆成紧凑形状的抛投体时(图4), 从水力学方面看来, 抛投体乃是透水堰, 上下游表面多半相銜接; 在下游的回流处可能沉积細顆粒物料。如果构成堰体的物料粒度允許的話, 堰体在堆筑过程中可能由淹没状态轉变为非淹没状态(§18)。

根据X.IO.哈尔德列的研究成果(此成果后来又被B.T.耶姆采夫的研究所証实), 淹没条件可用下列关系式表示(參看图5和图6及图中相应的代表符号):