

流量测验方法的分析

广东省水利电力局主编

水利电力出版社

56.344
107

流量测验方法的分析

广东省水利电力局主编

34.10/10

水利部出版

内 容 提 要

《流量测验方法的分析》是面向水文站同志的技术参考书，其内容主要是对《水文测验试行规范》和《水文测验手册》中有关流量测验、整编的主要技术标准、要求、方法，选择专题，从理论探讨或实际的试验分析资料方面作必要的阐述或论证。

本书可供从事水文测验工作的同志和有关院校师生参考。

流量测验方法的分析

广东省水利电力局主编

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

1978年8月北京第一版

1978年8月北京第一次印刷

印数 00001—26460册 每册 0.50 元

书号 15143·3363

编写说明

为了贯彻伟大领袖和导师毛主席关于“要认真总结经验”的指示，加强水文测验工作，更好地为水利建设和其他国民经济建设服务，水利电力部在组织编写《水文测验试行规范》（以下简称《规范》）、《水文测验手册》的同时，组织有关单位协作，编写《流量测验方法的分析》，作为水文测验技术参考书籍。

一九七三年，水利电力部水利司委托广东省水利电力局主持，辽宁、陕西、江苏、湖北省水电（水利）局的同志参加，组成编写小组，搜集了建国二十多年来在流量测验方面进行的大量试验分析成果，以及近年来各地有关规范改革的资料，共同起草了《流量测验方法的分析》讨论稿。随后，印发各有关单位，广泛征求意见。一九七六年八月，邀请了部分省、市水文总站、流域机构、院校和其他有关单位的同志，以及基层测站的工人代表进行审稿。在此基础上，由编写小组作了补充修改定稿。在补充修改时，将原由长江流域规划办公室主持编写的有关流量资料整编的内容，一并编入本书中。

这本书的内容，主要是介绍《规范》中的一些技术标准、技术要求的理论探讨和有关的试验分析资料，供水文测验和其他水文测验工作同志执行《规范》、改进测验工作时参考。本书按选定的十三个专题，根据现有的材料汇总编写，并在附录中对有关误差概念作了简介。由于资料搜集不

33434

够全面，还没有把流量测验的全部内容包括进去。同时，由于水平所限，加上调查研究工作做得不够，因此，现编写的《流量测验方法的分析》难免存在缺点和问题，请读者提出改进意见，使之逐步完善。

编 者

目 录

编写说明

一、测深垂线精简的误差分析	1
二、测深悬索偏角改正方法的分析	10
三、关于用近似法进行流速测点定位的依据及其 引起流速的误差	22
四、流速脉动和测速历时	34
五、不同水深下流速测点分布对垂线平均流速的 影响	46
六、流量的计算误差	60
七、关于常测法简测法测速误差的分析	69
八、流速仪测流垂线、测点分开精简方法的验证	80
九、相应水位的计算及一次测流允许水位变幅的 分析	84
十、水面流速系数和浮标系数的分析	101
十一、潮水河测流有关技术标准的分析	115
十二、抵偿河长法的原理及其在流量整编中 的应用	138
十三、堰闸流量公式的推导及流量系数影响因 素的探讨	150
附录 误差概念简介	170

一、测深垂线精简的误差分析

从流量的简单概念可以知道，水道断面资料的正确与否，是直接影响流量测算成果精度的重要因素。设 F 与 F' 分别代表正确与不正确的水道断面面积； Q 与 Q' 分别代表由 F 与 F' 算得的流量； $\bar{V}$ 代表断面平均流速，则：

$$Q = F\bar{V} \quad Q' = F'\bar{V}$$

所以
$$\frac{Q' - Q}{Q} = \frac{F'\bar{V} - F\bar{V}}{F\bar{V}} = \frac{F' - F}{F}$$

上式说明当断面平均流速为已知时（例如用简测法、代表线法、中泓浮标法等方法测验时），水道断面面积有多大的相对误差，将引起等量的流量相对误差。对于用精、常测法或水面浮标法测验时，部分面积的相对误差，也将引起等量的部分流量的相对误差。

要测得精确的断面资料，除了要提高水深测量精度外，更主要的是要有足够的测深垂线来控制河床地形的变化转折点，这种精密测深的垂线数，《规范》规定一般不少于精测法测速垂线的二倍，但由于垂线较多，不可能用于经常性的测流，故《规范》又作了精测法及常测法测流的测深垂线数目，可用精密测深资料进行精简分析确定的规定，以便在保证资料有一定精度的前提下，能用较少垂线测量水道断面。本文主要是通过对一些资料的分析，探求精简测深垂线所引起断面面积的相对误差变化的一般规律。

(一) 测深垂线的精简分析

为了探求在测流时合理地布置测深垂线, 尽可能简化水道断面测量工作, 近年来各单位进行了大量的资料分析, 但由于在分析时采用的指标和分析方法都有所不同, 故这里不作综合分析。现选择广东、四川两省的分析成果分别摘录如下:

广东省搜集了34站的资料, 分两步进行分析, 先单站分析, 后综合分析。单站分析的方法有两种: 一种是用以往精密大断面测量资料, 按测速垂线精简分析方案的测速垂线数目及其固定位置, 抽减测深垂线计算精简后的断面面积, 并与精密大断面面积相比较计算其相对误差, 计算时按水位分3~5级计算; 另一种是采用测站多年来按过去规范规定的断面精简分析成果。

考虑到这两种单站分析成果其分析方法虽然不同, 但其基础都是精密大断面资料, 故把其混合在一起进行综合分析, 即以各站精简资料混合按不同平均水深 H 分为三级($H \leq 1.0$ 米、 $H = 1.01 \sim 5.0$ 米、 $H > 5.0$ 米), 并将各相同平均水深级的垂线数分为5~9条、10~14条、15~19条、20~25条四组, 分别选出各组累积频率为75%和95%的相对误差值, 点绘测深垂线数目~累积频率75%和95%的相对误差曲线, 如图1-1~图1-3所示。

四川省根据3个站的资料, 以精密测深资料为基础, 分别作抽减测深垂线的误差分析, 其综合成果, 见表1-1所列。另根据3个站的分析成果综合绘制测深垂线数目~断面面积相对误差关系图(见图1-4)。

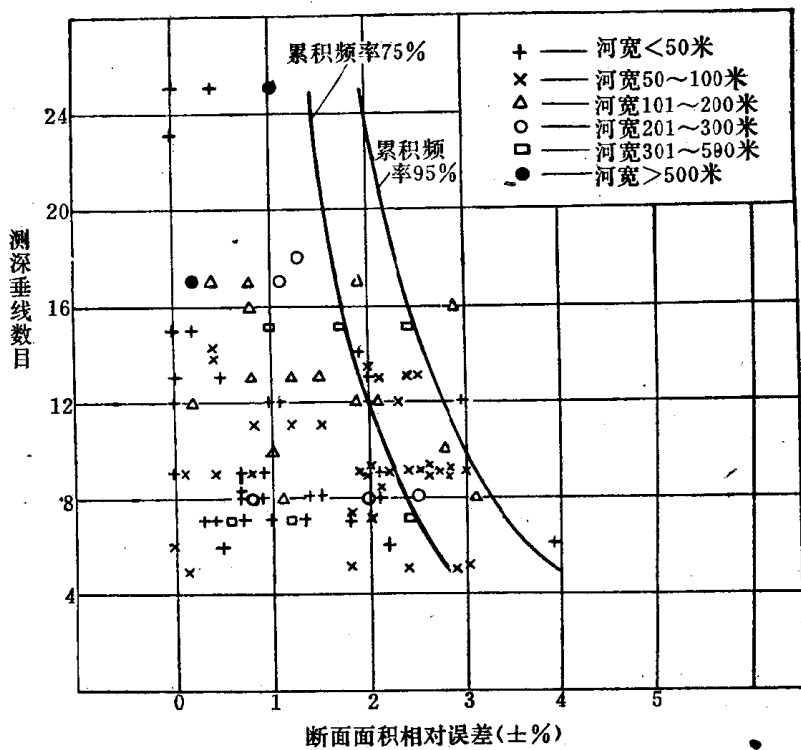


图 1-1 测深垂线数目~断面面积相对误差关系图 ($H \leq 1.0$ 米)

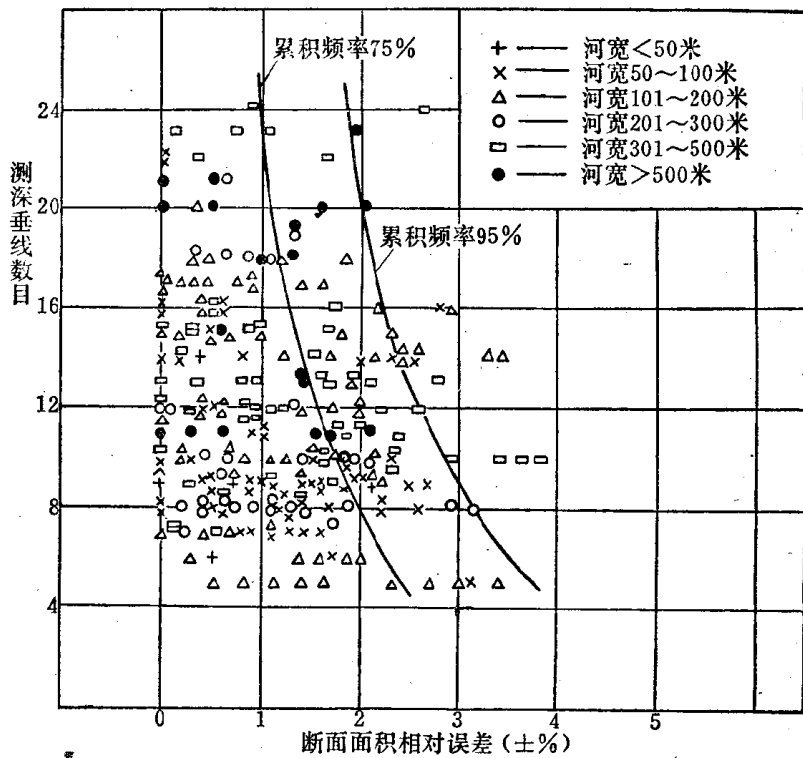


图 1-2 测深垂线数目~断面面积相对误差关系图 ($H = 1.01 \sim 5.0$ 米)

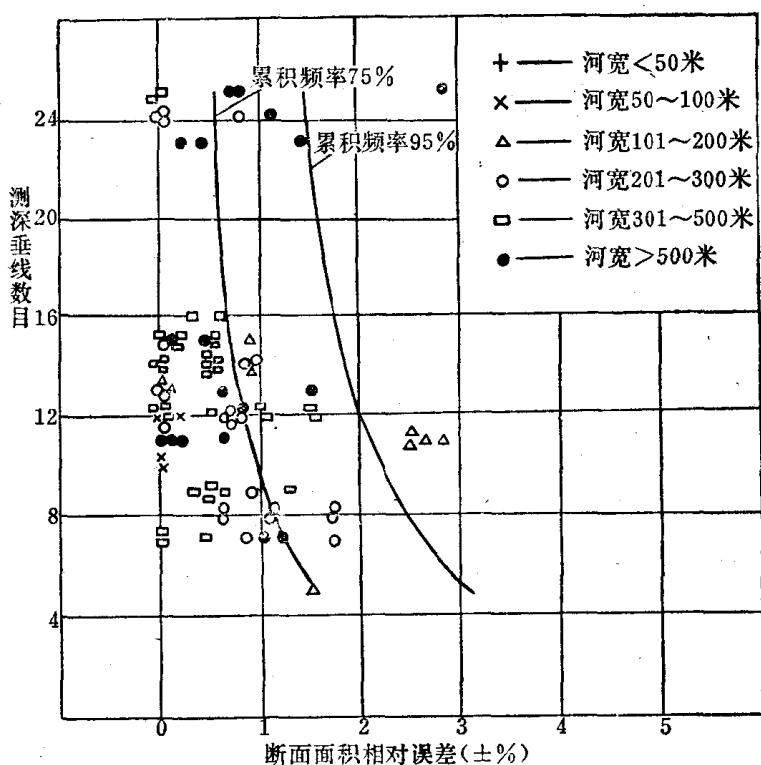


图 1-3 测深垂线数目~断面面积相对误差关系图 ($H > 5.0$ 米)

表 1-1 测深垂线精简分析综合表

站 名	平均水深 (米)	原 垂 线 数	抽减后 垂线数	水面宽 (米)	相对误差 变 幅 ($\pm\%$)	累积频率 75% 相对误差 ($\pm\%$)	分 析 次 数
铜街子	2.2~6.5	14~32	9~18	140~305	1.3~0.0	0.8	35
清水溪	1.9~4.7	14~23	10~16	96~131	1.3~0.3	0.8	20
黄金口	1.6~7.5	49~78	10~20	75~110	3.3~0.1	0.8	33

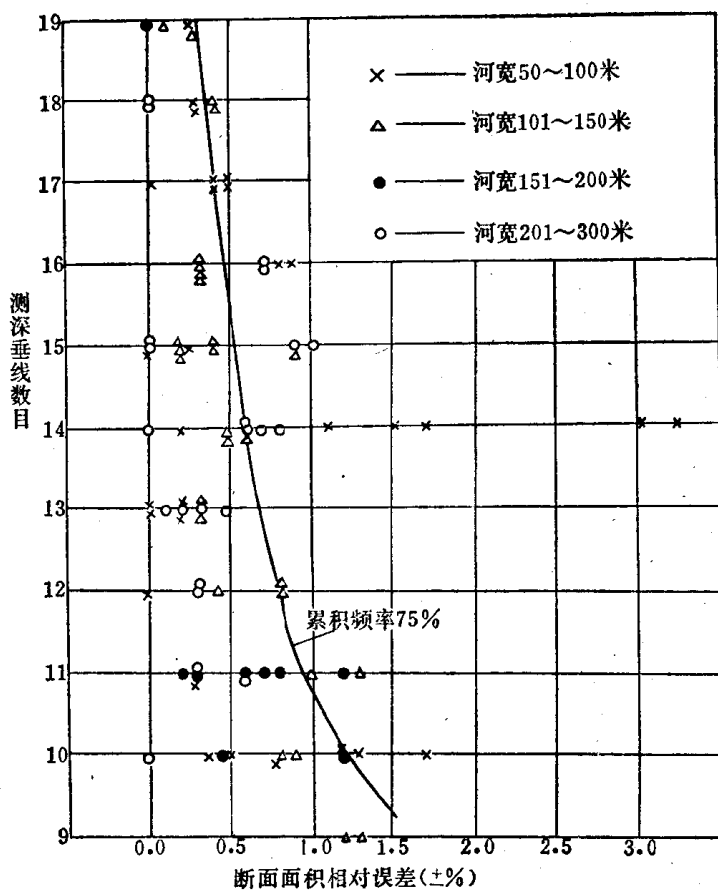


图 1-4 测深垂线数目~断面面积相对误差关系图

（二）对分析成果的初步认识

根据广东、四川两省部分测站的测深垂线精简的误差分析成果，可以得出如下的几点初步认识：

1) 广东省的综合分析成果，在各级平均水深时布置5条测深垂线，其累积频率75%的相对误差都不超过 $\pm 3\%$ （见图1-1~图1-3）。四川省的综合分析成果，把垂线精简至10条，其累积频率75%的相对误差为 $\pm 1.2\%$ （见图1-4）。按表1-1所列资料，取10条垂线，已略少于精测法的最少测速垂线数目。由此可见，常测法测流时的测深垂线数采用少于精测法测速垂线数，在一般情况下，大多数测站是可以保证其误差不超过 $\pm 3\%$ 的精度的。

2) 从图1-1~图1-4均可明显看出，测深垂线数与误差的关系曲线，都是上陡下缓。也就是说，在垂线较少时，如再减垂线，误差增加得多；相反，如果已有一定数目的垂线，再增加垂线对精度提高不多，减少一些也不会有很大影响。因此，掌握测验应注意垂线数少时的误差。

（三）对《规范》的理解

《规范》对精测法、常测法的测深垂线数目，都作了原则的规定，通过上述的初步分析，有如下几点体会：

1) 精密测深资料是分析精测法及常测法测深垂线数目的标准，其准确与否，皆直接影响精测法及常测法测流成果精度，要求应该较高，因此除了要提高水深测量精度外，更主要的是要有足够的测深垂线来控制河床地形的转折变化，

但由于河道地形的千差万别，不可能作硬性的规定，故《规范》只作了一般不少于精测法测速垂线的二倍的原则规定。在具体确定某一断面的测深垂线数目时，还应视其是否满足控制河床地形的转折变化而定。

2) 根据上述分析成果，测深垂线数采用少于精测法的测速垂线数，在一般情况下，是可以满足误差不超过 $\pm 3\%$ 的要求的。但《规范》规定精测法的测深垂线数目，最少也不得少于精测法测速垂线的数目，这是因为精测法是现行《规范》规定的最精密的测流方法，是衡量其他测流方法精度的标准，因而在采用精测法测流时，每条测速垂线上均应测量水深，以能比较准确地决定流速测点位置和计算水道断面面积。所以《规范》这一规定是适当的。

3) 关于常测法，由于测深垂线数一般较少，故除了要控制断面面积的精简误差以外，还应考虑保留的测深垂线能控制河床地形的主要变化转折点。否则可能发生各部分面积大割大补而断面面积误差不大的情况。这时，如各部分的流速相差较大，就会对流量成果影响较大，因此，《规范》除规定面积误差应符合要求外，还规定保留的测深垂线分布均匀，能控制河床变化转折点，部分面积无大割大补情况时，常测法的测深垂线数才可少于精测法测速垂线数目。

至于常测法的最少测深垂线数目该多少的问题，我们认为一般应不少于常测法的测速垂线数目，这对于测验和计算都是必要的。

4) 从图 1-1、图 1-2、图 1-3 看，测深垂线精简的误差与断面平均水深、测深垂线数目有关。一般来说，在平均水深相同时，精简后的测深垂线数越多，断面面积误差越小。但这只是指精简后的测深垂线在断面上布设得恰当的情

况而言。四川省某站曾进行过这方面的试验分析，在相同的精密测深资料基础上，由于保留下来的不同精简方案的测深垂线，对河床变化转折点控制的好坏程度不同，结果也会出现在平均水深相同情况下，较多垂线的面积误差比较少垂线的误差还要大（见图

1-5）。所以《规范》规定精简引起的面积误差除要符合规定外，还强调了要控制河床变化转折点，是很必要的。此外，对于冲淤较大，河床断面显著变形时，及时调整，补充测深垂线以控制河床变化的转折点，也是很有必要的。

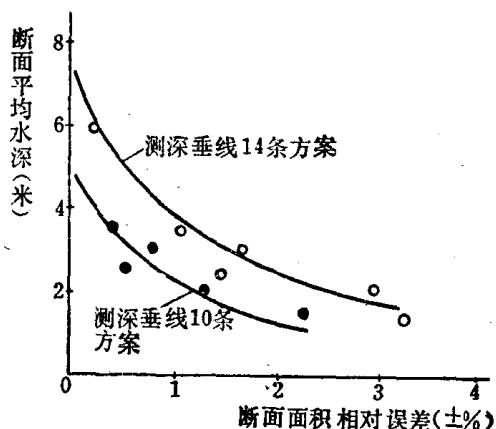


图 1-5 断面平均水深~测深垂线数
~面积误差关系曲线图

5) 根据上述分析成果，在布置测深垂线时，可以分别高低水情况适当安排。例如：高水时测深垂线少一些，与测速垂线结合便可以了，这样对面积的精度影响不大，但却有利于整个测流工作；在低水时测深垂线精简误差较大，这时就应适当增加一些辅助测深垂线，以提高流量资料精度，这样做在低水时也不会增加工作的困难。

(四) 结 束 语

影响测深垂线精简误差的因素很多，我们目前尚未能找

出适当的指标加以研究，同时由于各单位在分析时采用的指标和分析方法有所不同，因此没有进行综合分析。所以，我们这次分析是初步的。其次，这次搜集的资料还嫌不足，且地区的代表性很不够，有待今后进一步探讨。

二、测深悬索偏角改正方法的分析

用悬索测深时，由于受水流冲力的作用，悬索不能保持垂直。因此，悬索的湿绳长度不能代表水深，悬索的干绳长度也不能代表悬索支点至水面的距离，如果误差超过允许的范围，便要测量悬索偏角并进行改正，以保证测深的精度。

《水文测验试行规范》对这项改正作了原则的规定，在《水文测验手册》中介绍了改正方法和查算表。本文的目的是介绍有关规定和方法的依据。

（一）湿绳长度改正方法的分析

设在水深为 H 的垂线上，用悬索悬吊仪器和铅鱼放入水中，由于受水流冲力的作用，悬索呈曲线形状（见图2-1）。图中 S 为支点， O 为悬索与水面的交点。当铅鱼放至距水面 h 的位置时，支点 S 处的悬索偏角为 θ_h 。在水下悬索上取任意点 E ，其坐标为 x, y 。 x 为 E 点与 O 点的水平距离， y 为 E 点与 O 点的垂直距离， E 点的斜率 $\frac{dx}{dy} = \operatorname{tg} \alpha_h$ ， α_h 为 E 点的偏角。 E 点处的悬索拉力 T 的方向和悬索在该点处的切

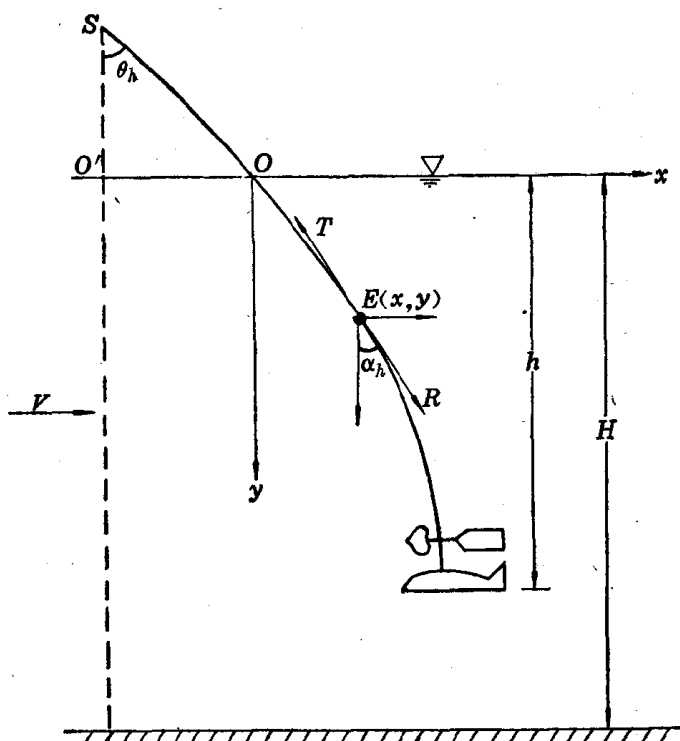


图 2-1 测深偏角改正示意图之一

线方向是一致的。因 E 点以下为自由体，外力的合力 R 与 T 相平衡，大小相等，方向相反，按照力平衡方程式：

$$\Sigma F_x = 0$$

则 $P_x + Q_x - T \sin \alpha_h = 0 \quad (2-1)$

$$\Sigma F_y = 0$$

则 $G - T \cos \alpha_h = 0 \quad (2-2)$

式中 F_x ——水平分力；

F_y ——垂直分力；