

追踪流量：明渠流量计在市政行业中的挑战

作者：杰夫·史密斯

来源：Primary Flow Signal, Inc.

明渠内介质的流量测量一直都是一个难题，但如果善加利用介质流动高度及测流槽的位置形状来测量，能够大大提高测量的准确性及可靠性。

在水流量测量领域，能够高效、准确测量的工具和方法有很多。测量时，实地条件、介质类型、测量工具的施放位置等都是决定能否找到一个合理科学的测量方案的关键因素。然而，对明渠流量测量来说，情况要复杂、特殊的多，在明渠内的流体完全暴露于空气中：农用灌溉水渠、江河溪流、附近水利工程、公共卫生设施、雨水污水汇流等情况都可能会干扰明渠内介质的流量测量。

因此明渠流量的准确测量一直都是个有难度的课题。在敞开的渠道内，介质处于常压状态，因此满管流量测量工具，例如文丘里流量计、电磁流量计或者夹装式传播时间法都不适用此情况。通常的做法是测量液体刚刚接触限流装置（例如槽或者堰）时刻的液位高度。对于任何明渠中的自由流动液体，当经过特殊设计的基础流量测量装置时，水头都是一个能够精确指示流量的指标，由此可为人们提供一个合理的测量流量的方法。

但是那些基础流量计必须把渠道流动形式转换成横截面流动形式才能得到可用的连续的水头测量数据，才能实现较高的重复性。经过精心设计的这种限流装置的几何构造，能够使介质在上游的液位或在流量计内的液位与通过这种装置的流量建立某种关系。巴歇尔槽便是测量明渠流量的标准装置，虽然人们在过去的九十年里一直在用，但它在很多实际应用场景中，人们认为它并不是基础的流量测量办法。

巴歇尔槽的发展

巴歇尔槽是 Ralph L. Parshall 在1915年至1921年之间发明的。作为美国农业部的研发工程师，巴歇尔注意到并没有一个能够有效掌控溪流的测量装置。他将巴歇尔槽放入水渠中，其测量原理与水深有某种特定的相关，从而测得水渠中的流量。

巴歇尔运用文丘里流量计的原理轻松解决了涉及灌溉施工中的明渠流量的测量问题，同时也引入了一种合理的水流量测量方法，适用于有沟渠、溪流的情况，提高了对水资源的管理和布局。巴歇尔槽最初是为了解决普通农田里的水量测量问题，并不需要较高的准确度，对于农业灌溉来说，巴歇尔槽的精度已足够满足需求（巴歇尔，1936）。不过，当时人们也采用了巴歇尔槽的测量结果来记账并用在其它方面时，并把精度定为实际流量的 $\pm 5\%$ 。巴歇尔槽的发明，在当时推动了国家水利法的实施。

人们认为，如果能够充分考虑预期正常流量及最大流量；上游渠道能够制造出合理的流动条件；下游渠道不会出现逆水流现象及淹没流现象，那么就能设计出合适的测流槽尺寸。

由于多种原因，人们对于高效的明渠流量测量装置的需求越来越多。例如特别是在非洲或中东地区，由于水资源不断减少，政府越来越关心市政水的测量，使得精准测量明渠流量这一需求呈现明显上升趋势。有鉴于此，使测量误差达到最小化似乎成了比准确、高效测量明渠流量更重要的问题。

巴歇尔槽虽然在测量农田灌溉流量的领域内具有革命性的意义，但它本身也有严重的缺陷。收缩段的底平面必须经过施工安装才能保证槽体水平，包括横向水平和纵向垂直。即使

制造或安装的过程中出现很小的错误都会导致很大的测量误差，以致流出系数降低。在过去的几十年里，巴歇尔槽通常是预加工的、用薄壁玻璃纤维制成，但由于精度差，公差大，所以并没有成为巴歇尔在 1936 年所认为的精确流量测量装置。需要非常认真的分析该处沟渠的几何学构造，才能把量水槽精确的安装渠道内。

测水槽

通常一个流量测量系统由流量测量元件，即制造出测量所需的水头数值，及一个二次仪表构成。当一套流量测量系统投入使用，并且要考虑进出水量的价值的时候，这些测量数值和测量设备必须保证所得数据的准确性，这样供需双方才能提供或收到正确的水量。

巴歇尔当初设计二次测量原理时采用的是一系列的滑轮和浮球。这里有一点需要重点说明的是，像超声波监测器这种二次仪表的使用是一个很大的进步。但具体到这些二次表应该放在什么位置，至今仍有争论，60%的测量错误都是由于对明渠内水头的测量错误引起的。

(犹他州水利实验室, 2009)

关于巴歇尔槽多年来争论不休的另外一点就是：如何确定流出系数。虽然大多数的巴歇尔槽都是建立于某些图表、标定公式之上来计算流量的，但也产生了如何让第三方，例如独立实验室，去证明其整体精度的问题。因为巴歇尔槽必须安装在实地现场才能测量。

虽然巴歇尔槽被认为是标准装置，但当我们进行更进一步的检查时却发现事实通常并非如此。一个真正的标准装置应该是具有完整准确的描述，经过精确的标定、正确的安装并能够充分保证所得结果与最初要求相符（美国垦务局，1967）。所以作为供需双方，都应该

让制造商提供他们所宣称的产品性能依据。



精度可溯的新一代明渠测水槽。该图为 Primary Flow Signal 公司的 哈尔米-巴歇尔测水槽流量计 (PFS-HPF)

解决方案

目前是能够找到有效的明渠流量的测量方法的。美国国家标准与技术研究所 (NIST) 可以对流出系数的数据进行追踪记录。测量原理不变,只是重新设计槽的安装方式,改变测量水头的位置就能大大提高测量的准确性和可行性。

PFS公司的HPF型明渠测水槽能够提供较高的准确性。所有测试均由第三方进行,可出具测试证明。HPF型明渠流量计在最大流量时的整体精度能达到 $\pm 2.0\%$ 。可与一系列二次仪表配合使用,如超声波液位仪表、压力传感器、电容探头等。而且与传统巴歇尔槽不同的是,PFS公司的这一明渠流量计是针对不同工况专门设计的,在准确适当的安装二次表后,二次表就能够轻松的检测到数据。

另一优势体现在HPF型流量计的安装。巴歇尔槽和其它标准量水槽更像是明渠的内衬,需要用水泥浇筑进行安装。PFS公司的HPF型明渠流量计的安装不需要水泥浇筑。配合使用PFS公司的二次仪表,能够使测量范围更宽。不但如此,由于HPF型不需要水泥填筑,能够大大减少安装成本。实验室标定报告显示,HPF型明渠流量计的准确度是最大流量下的 $\pm 1.0\%$,与巴歇尔槽相比压损更小。可选多种材料制造,配合多种形式的二次仪表,如超

声波液位计、电容探头等实现更宽的测量范围。

总结

人们越来越希望能够精准的测量明渠介质流量。但是较大的渠道倾斜角度、上游沉积物堆积以及几何构造的较大改变通常都会对传统巴歇尔槽的准确度、可信度带来负面影响。随着可用淡水资源的减少，对测量及管理城市污水及其它明渠内液体流量重视程度的提高，我们必须更加注重测量工具的准确度。为了得到更可靠、更可信的测量结果，我们需要超越传统工具的束缚，探索更先进的解决方案。

影响巴歇尔槽准确度的因素

影响巴歇尔槽测量误差的因素均记载在相关文献资料中，还包括结构调整建议、淹没流情况/逆向流现象、沉积物堆积等情况。还有其他非主要影响因素，包括：入口几何学构造不合理、错误选用二次表及安装、制造精度不达标、没有性能测试等。巴歇尔槽可直接从制造商采购，也可根据现场工况订制（巴歇尔，1926）。依据水利测量手册的指导，如果安装条件不理想（对此手册中有具体描述），但又无法纠正，那么就无法预测安装精度。

关于作者：杰夫·史密斯先生是 Primary Flow Signal, Inc., 公司的国内销售经理。Primary Flow Signal 公司是一家国际化的，集制造、设计、科技研发于一体的，专注于提供高精度、高重复性及高可靠性的流量计的公司。史密斯先生凭借其在水/废水处理、过程控制、水资源布局设施等方面三十年的流量测量经验，正在协助整个北美地区各个城市开展相关工作。可致电 813-951-1514 或电邮至：JSmith@PrimaryFlowSignal.com 与之联系。