

射流改进电站前池虹吸进水口自吸排气

罗 铭

(成都科技大学)

所谓虹吸式进水口，即电站压力管道在前池的进水段为虹吸管形式。虹吸管的最高断面(驼峰)下缘高程略高于前池水位，当需要切断压力管道水流时，只要开启设于虹吸管顶部的一个小尺寸的通气阀，空气被吸入虹吸管段，即可实现快速而彻底的断流。这种断流方式几乎不产生正水击压力。这种进水结构可以省去一般必须设置的工作闸门，检修闸门和快速阀门等设备，具有结构简单、投资省、管理维修方便和有利于解决防冻防沙和防漂浮物等优点。已在设计、施工和运行中积累不少经验，作了不少专题研究，使这一进水方式日臻成熟。它已受到水电建设部门重视，特别受到运行管理部门欢迎。

启动虹吸式进水口过流，需预先排除虹吸管内空气，才能形成虹吸流。虹吸式进水口能否正常运行，很大程度上取决于排气方式。已建成工程的排气方式有真空泵排气、射流泵排气、水箱式排气和自吸排气。排气方式的可靠、灵活与方便是虹吸式进水口正常运行的保证。

真空泵排气方式用得较多。但价格贵，维修技术要求高，且电站发电前需供给动力，未并网的小电站尤难采用。

射流泵排气是利用高速射流形成负压原理实现抽气。结构简单、管理方便。其不足之处是需要较高工作水头，青海曲库乎水电站水头65米，射流器工作水头40米。

水箱式排气是利用封闭容器向外排水时容器内产生负压的原理实现抽气。该排气方式已首次在四川新林电站使用。在建的新疆兰干电站也用此排气方式。该容器结构简单无需动力，不受电站水头限制，弥补了前两种排气方式的局限性。但当发电流量大时，要求容器体积较大。

自吸排气方式(亦有称拉真空方式或自动发动方式)，其排气过程如图1所示。

先关闭水轮机导叶，开启通气管和充水管，水由前池注入压力管，待其水位升至接近前池水位后关闭通气管，开启水轮机导叶，压力管水面下降，虹吸段内气压降低，水由前池吸入，虹吸管上升段内水位升高而翻越虹顶，形成初期非满管虹吸流。水流类似堰顶溢流，在压力管内形成水跃，使水气掺混生成大量气泡，空气泡被水流挟带运动到下游排出。最后形成无空气满管虹吸水流。

显然，这一排气方式的最大特点是不需专门设置排气装置，仅利用电站自身已有条件实现排气，比其他排气方式更为经济。已建水

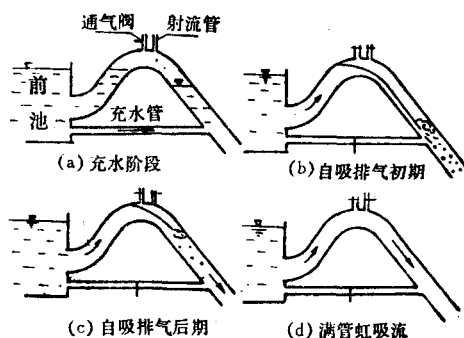


图1 虹吸进水口自吸排气过程

电站采用自吸排气方式运行的均获成功。但是,新疆十多座用自吸排气方式的水电站,都有排气时间较长、排气期间流量不稳定、机组出力明显下降甚至不能发电、排气过程中管内气囊游动使管道发生一定程度振动的问题。影响自吸排气方式在实际工程中推广和普及。

为改善自吸排气,笔者结合工程模型试验,探讨了用射流改善自吸排气方式的可能性,理论分析和试验研究证明了这一措施是合理与可行的。

一、水流挟气能力分析

模型试验可以观察到,自吸排气过程中,空气是以小气泡方式被水流挟带到下游。生成气泡愈多,排气速度愈快。

静水中,气泡受浮力作用竖直向上运动,达到匀速上升状态时的气泡上浮速度 u_b 可由浮力和阻力相等条件求得。设气泡为近似于直径 d_b 的球形,其浮力为

$$F_{\text{浮}} = \frac{\pi \gamma}{6} d_b^3$$

气泡上升所受阻力为

$$F_{\text{阻}} = C A \frac{\gamma u_b^2}{2g}$$

由 $F_{\text{浮}} = F_{\text{阻}}$ 可得

$$u_b = \sqrt{\frac{4gd_b}{3C}} \quad (1)$$

式中 C 为阻力系数,与雷诺数有关。图2为根据文献对 C 的实验值用(1)式算得之 $d_b \sim u_b$ 关系曲线。

当气泡处于流动水体中,水流竖直向下方向的分速为 v_y 时,气泡运动状态取决于 u_b 与 v_y 之比:

- (1) $u_b = v_y$, 气泡在 y 方向相对静止;
- (2) $u_b > v_y$, 气泡逆水流而向水面上浮;
- (3) $u_b < v_y$, 气泡被水流挟带顺水运动。

从图2可知,较大水流速度可挟带较大气泡顺行;当流速一定,较小气泡顺行速度较快。

以上分析说明,要加快自吸排气对程,一是适当提高管道水流竖直向下方向的流速:一是创造产生大量小气泡的条件。

分析说明,一旦虹吸管段形成的气泡被带入压力管后,水压增加使气泡直径减小,更利于气泡被水流挟带顺行。

分析结果还说明,在压力管道坡度较大的工程中采用自吸排气方式较为有利,因水

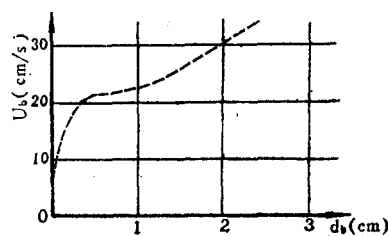


图2 $d_b \sim u_b$ 关系曲线

流竖向流速分量较大,有利于克服气泡浮力。

分析结果,还解释了自吸排气过程中,初期排气快而后期排气缓慢甚至停滞的原因。可能因初期管内水跃较强,生成小气泡很多,而后期水跃减弱以致消失后生成小气泡数量迅速减少所致。

二、射流改善自吸排气的试验

下跌式自由射流射入有自由水面的水体时,由于射流的动量作用,空气从射流表面所造成的自由剪切层掺入,并在强烈紊动条件下生成许多小气泡。射流卷入空气量主要与射流流速和断面形状有关。对于这些关系,已有较多研究。据研究,开始产生气泡的射流流速约为 $0.8\sim 1.0$ m/s。

利用射流生成大量小气泡的现象来加快自吸排气过程,特别是缩短后期排气时间的设想是有其理论基础的。为验证这一设想,在新林、兰干两水电站水工模型上作了试验研究。

新林电站为一山区小型径流引水式电站,设计水头 127 m,设计流量 3.73 m³/s,压力钢管长 496 m。在该工程的 $1:11$ 模型上测得自吸排气过程列于下表。仅当流量为 5 m³/s时可在 50 分钟内将空气完全排除。其余各流量时,虽经 100 分钟,在虹顶仍留有不同长度气囊不能排走。

在虹顶加一直径 4.4 cm流速 5 m/s的射流装置,重复自吸排气试验,明显地缩短了自吸排气时间(见表列资料)。

当然,射流仅起生成大量小气泡的作用,至于气泡能否被排向下游,则取决于管道内水流速度。例如,流量 2 m³/s(管道流速约 1 m/s)时,虽然射流生成大量气泡,但大都回浮到水面,被水流带走者甚少,故排气时间仍很长。

管道内水流速度相同的情况下,兰干电站压力管道坡度(12.8°)比新林电站(20°)缓,其排气时间前者比后者约多 $1/6$ 。

试验中还射流直径和流速对排气时间的影响作了比较。增大射流流速和增加直径均可缩短排气时间,但以前者效果较好。

表1 射流改善自吸排气效果对比

流量 (m ³ /s)	虹顶流速 (m/s)	无射流自吸排气过程		加射流后自吸 排气时间(min)
		排气时间 (min)	气囊长度(m)	
5	2.83	50	0	6.6
4	2.26	100	1.0	15.0
3	1.70	100	3.0	33.0
2	1.13	100	5.0	205

三、射流参数选定

1. 射流出口位置

水气界面间的剪切力使虹吸顶部的气囊总是偏于虹顶上游 $0.5\sim 1.0$ m处,射流出口宜布置于此范围的管中线处。

2. 射流流速

射流除了能产生大量小气泡外, 还应有适当流速把气泡输到水面以下较深部位。

射流掺气能力, 主要由佛汝德数表征。据已有文献, 佛氏数 (F_r) 不小于 5 时生成气泡较好。射流 F_r 数计算式为

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gd}} \quad (2)$$

式中 V ——射流平均速度;

d ——射流直径。

为保证射流能把气泡带到水面以下较深部位, 射流穿过水层到达底面的流速应大于浮速 u_b 。观察资料表明, 射流形成气泡直径绝大多数在 1~12mm 之间, 从图 2 可知, 其上浮速度 u_b 约等于 0.2m/s。因此, 射流中心最大流速应在 3~5 u_b 之间较好, 即 $u_m \approx 0.6 \sim 1.0$ m/s。

射流穿过水体时中线最大流速 u_m 计算式为

$$u_m = \frac{12.8r_0}{x} u_0 \quad (3)$$

式中 u_0 ——射流初速;

r_0 ——射流半径;

x ——距水面距离。

例如, 虹吸管直径 1.5m, 射流半径 $r_0 = 2.2$ cm, 射流初速 $u_0 = 5$ m/s, 由 (2) 式算得 $F_r = 7.61$, 由 (3) 式算得 $u_m = 0.94$ m/s。说明满足要求。

3. 射流直径

射流需具有一定动量, 而动量与流量有关, 射流流量一般应为

$$Q_{射} = (0.002 \sim 0.003) Q_{管} \quad (4)$$

射流的初速 u_0 和流量 $Q_{射}$ 已知后, 其直径 d 易于求得。

4. 射流装置

射流管道和处于负压下工作的虹吸管顶部连通, 故射流管路应有良好气密性。如用一般离心水泵作为射流源, 宜将水泵安置在低于前池水位 0.5~1.0m 高度, 以防水泵水封漏气导致虹吸真空破坏。用潜水泵直接从前池 (或与前池连通的竖井内) 抽水作为射流源对防止漏气较有利。

由于射流流量和流速都小, 实际仅需一小流量低扬程水泵 (价值几百元) 即可。所需动力可由电源或柴油机供给。

五、结 语

用一极简单供水装置形成的射流, 能够有效缩短自吸排气时间。它对于克服自吸排气方式的不足, 促使其在中、小型水电站的普遍运用具有积极意义。

由于模型和原型中射流形成的气泡直径几乎一样大, 可以预计原型中水流挟气速率将大于模型, 原型中排气时间会进一步缩短。

本研究成果还需通过工程实践的检验并进一步完善之。

参 考 文 献 (略)