

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.22.004

# 香港首套通过污水流动发电的水力涡轮系统

胡国钊, 杜钧明, 李宗良  
(香港特别行政区政府渠务署, 香港)

**摘要:** 香港特别行政区政府渠务署致力协助减缓全球气候变化, 多年来在下辖的一些厂房安装了节能及可再生能源设施。随着香港“净化海港计划第二期甲”的正式启用, 渠务署在昂船洲污水处理厂(全港处理污水量最大的污水处理厂)安装了一套水力涡轮发电系统, 利用流动污水的液压能量推动涡轮发电机, 继而产生电力供厂内设施使用。对这套系统进行了介绍, 包括推行相关工程项目时遇到的挑战, 系统设计与施工的考虑和特色, 以及系统的运行表现。该系统不仅有助于节省电费开支, 还利用水力减少了碳排放。

**关键词:** 污水流动发电; 水力涡轮系统; 碳排放

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)22-0019-04

## The First Sewage-driven Hydro-turbine Generation System in Hong Kong

K C WU, Keith K M DAO, Ricky C L LI

(Drainage Services Department, Hong Kong Special Administrative Region, Hong Kong, China)

**Abstract:** The Drainage Services Department (DSD) of Hong Kong SAR Government, which has installed energy saving and renewable energy facilities in its various facilities over the years, is committed to helping mitigate climate change. With the commissioning of the Harbour Area Treatment Scheme Stage 2A (HATS2A), DSD has installed a hydro-turbine generation system (HTG) at Stonecutters Island Sewage Treatment Works as the largest sewage treatment works in Hong Kong, to capitalize the energy arising from sewage flow to drive a generator which generates electricity for the plant facilities. The challenges encountered in the implementation of the project, considerations in designing and constructing the system, and the characteristics as well as the operation performance of the system are introduced. The system has not only helped save electricity costs, but also made good use of hydropower to reduce carbon emissions.

**Key words:** sewage-driven power generation; hydro-turbine system; carbon emissions

### 1 项目简介

“净化海港计划第二期甲”是香港特别行政区政府为改善维多利亚港水质而推行的一项大型计划, 于 2015 年 12 月正式全面启用, 其工程范围包括建造全长约 21 km 及在地下 163 m 的深层污水隧道, 把港岛北部和西南部产生的污水输送往昂船洲污水处理厂<sup>[1]</sup>, 并把污水厂的处理量提升至  $245 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 为约 570 万市民提供污水处理服务。因土地所限, 昂船洲污水处理厂以 46 组双层沉淀池对

污水进行化学强化一级处理, 而每两组沉淀池会共享一条垂直竖井(即总共 23 条竖井), 将已净化的污水送进地下排水管进行最后消毒, 继而辗转排入深海。

### 2 相关前期研发

鉴于昂船洲污水处理厂每天处理大量污水, 加上其沉淀池的独特双层设计, 可在排放已净化污水的同时, 提供一定的液压能量, 推动涡轮发电机发电<sup>[2]</sup>。渠务署团队遂于 2008 年进行相关的可行性

研究,并做了一系列的实地试验。这些前期研究结果确定了安装涡轮发电机的可行性。

安装地点:沉淀池的竖井内;有效水压:45~60 kPa,具体设计取决于将来实际运行条件和涡轮的实际位置;流量范围:1.1~1.25 m<sup>3</sup>/s;最大输出:45~50 kW;设备物料:由于已净化的污水仍带有一定的腐蚀性,因此所选择的物料和相关的设备都必须有足够的保护及耐腐蚀性。

前期研发建议的水力涡轮发电系统示意图如图1所示。

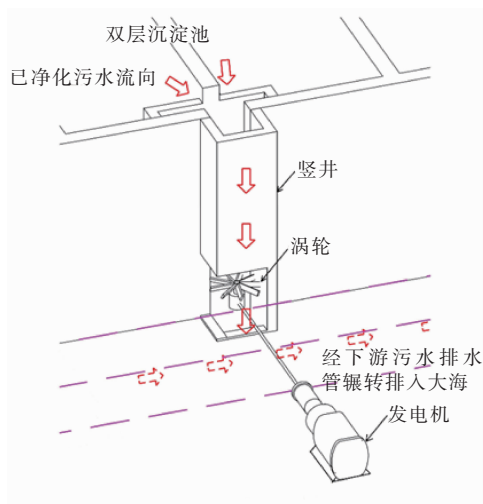


图1 前期研发建议的水力涡轮发电系统

Fig.1 Proposed HTG system in feasibility stage

就此,在“净化海港计划第二期甲”的扩建工程中,渠务署在污水处理厂内两组沉淀池预留空间,以安装涡轮发电系统。

### 3 系统设计考虑和特色

#### 3.1 可产生的电力和有效水压

流体动力能量产生的电力与有效水压力的关系如下:

产生的电力(kW)=[已净化污水密度 $\rho$ (kg/m<sup>3</sup>)×流量 $Q$ (m<sup>3</sup>/s)×有效水压力 $H$ (m)×重力常数 $g$ (9.807 m/s<sup>2</sup>)]÷1 000×整体系统效率(%)。

有效水压是竖井最高容许水位与流水中邻近竖井的水位差异。

换句话说,流量越高、有效水压越高,可产生的电力愈大。因此,为了产生更大的电力,其中的一个设计目标是令涡轮系统可接收最高的流量和有效水压力。

设计水力涡轮发电系统见图2。

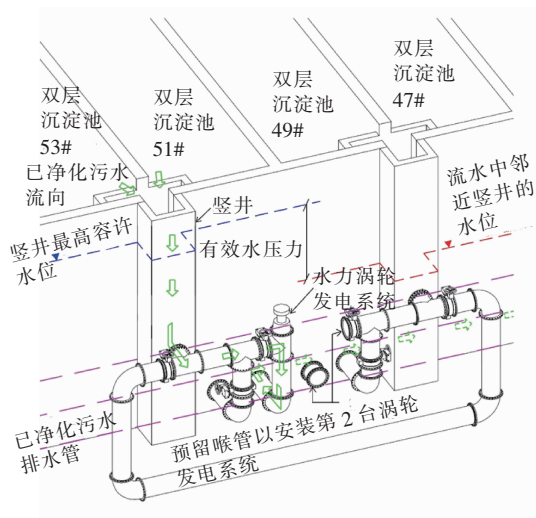


图2 设计水力涡轮发电系统

Fig.2 Design HTG system

#### 3.2 系统设计重点

首先,在设计方面,新安装的涡轮系统必须尽量不影响污水处理厂的正常运作。例如,系统必须具备合适的保护装置,以防止上游的沉淀池因为错误的系统控制而溢出已净化的污水。设计参数:流量1.06~1.50 m<sup>3</sup>/s,有效水压24~52 kPa。

除此以外,由于经沉淀池净化的污水仍含有一些腐蚀性物质,例如硫化氢和盐分,因此所有与已净化污水接触的涡轮系统部件材料必须耐腐蚀(例如经常用于污水处理设备的双相不锈钢物料),从而提升系统的耐用性和减低维修次数。

在电力系统设计方面,鉴于污水涡轮的发电量会因种种原因而不完全稳定,因此,整个产电系统与电网并联,以维持可靠的电力供应。电网并联的安排按照电力公司及香港特别行政区政府机电工程署发出的电网接驳技术指引进行。

在喉管布置上,除了考虑现有场地限制,亦考虑系统维修和保养的需要。就此,改变了原先在研发项目中提出的将水力涡轮安装在沉淀池竖井内的方案,改用喉管把已净化的污水引出竖井外,再送往水力涡轮机,此举大大减少了维修难度和时间,并降低了对污水处理厂正常运行的影响。

鉴于沉淀池偶尔需要暂停运行以便维修,因此,涡轮系统的喉管驳通了4组双层沉淀池的2条竖井,即使其中2组沉淀池停止运作,另外2组沉淀池也可提供已净化的污水,推动涡轮系统,继续产生电力。此外,已在47/49#沉淀池竖井附近预留位置,

用于将来安装第2台水力涡轮发电系统,以使4组沉淀池正常运行时,能让2台涡轮发电系统同时发电,达到最高电力产能(见图3)。

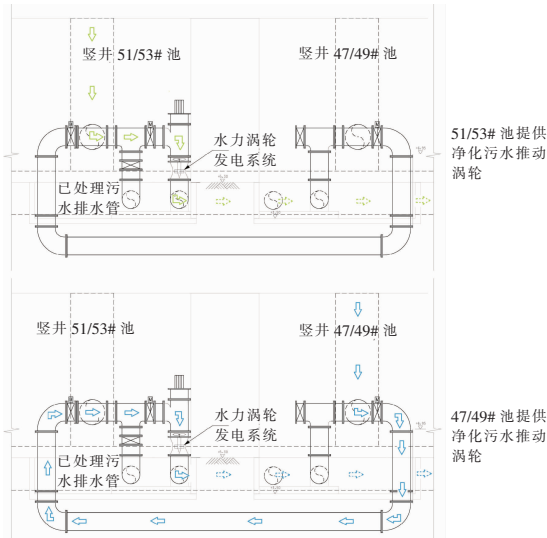


图3 连接两对沉淀池的喉管接驳

Fig. 3 Pipework connection between two pairs of primary sedimentation tanks

### 3.3 水力涡轮机和发电机的选择

水力涡轮机是整个发电系统的关键设备,涡轮机一般可按运行原理分为两大类:脉冲型和反作用型。脉冲型是流体通过多个喷嘴以高速射向涡轮叶片,继而驱动发电机产生能量。反作用型则是流体通过涡轮叶片,利用水位压力驱动发电机而产生能量。基于已净化的污水在流动时可提供的水压较低,选择了较合适的反作用型中的一款涡轮机——螺旋桨(Kaplan)涡轮机,因为此款涡轮机在低水压时有较高的效能,而且体积相对较小,更能适合现场的有限空间。

在发电机方面,选择了定速水力涡轮驱动的永磁同步发电机,此发电机比异步发电机更能输出稳定的电压及频率,故可提高供电质量,使并联电网更为简单,而且需要较少维修保养。

## 4 施工和操作特色

### 4.1 电网并联安排

电网并联依照电力公司及香港特别行政区政府机电工程署发出的电网接驳技术指引进行。根据指引,可再生能源发电系统须加入防孤岛保护功能,其作用是当电网不论何种原因而停止供电时,能自动将相关的可再生能源发电系统与配电系统分离,从

而令可再生能源发电系统不能继续为配电系统供电,以保障在电网或配电系统上施工的电业工程人员的安全。

在供电同步操作方面,可再生能源发电系统与配电系统的电压强度、相角或频率差异,均控制在可接受限值以内才可同步。发电系统与配电系统接驳的示意图见图4。

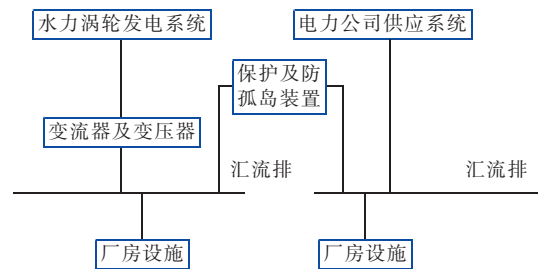


图4 发电系统与配电系统的接驳

Fig. 4 HTG system and power supply network connection

### 4.2 控制与保护

水力涡轮发电系统的控制可采用自动或手动模式。在自动模式下,沉淀池47/49#或51/53#的竖井均可作为液压能量的来源,控制系统便会根据默认数据,启动不同的控制阀门,选择使用最合适的沉淀池,从而优化水力涡轮发电。此外,控制阀会自动调节上游污水水位,以使沉淀池不会出现溢出净化污水的情况,从而将发电功率提升至最高水平。涡轮发电系统可在主控制室或现场调控。系统控制面板见图5。

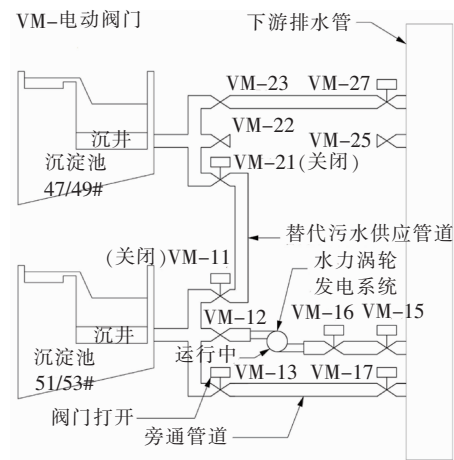


图5 水力涡轮发电系统控制面板

Fig. 5 HTG system control interface

在保护控制方面,如果涡轮系统的供电控制箱或控制阀出现故障或水位超过最高容许水位,水力

涡轮发电系统亦会自动停止运行及将已净化的污水经旁通管道排走,以避免上游的沉淀池因为系统故障而溢出已净化的污水。

## 5 系统运行的表现

这套水力涡轮发电系统于2018年末投产,平均每月可产电量超过10 000 kW·h。由于污水处理厂每天收集和需要处理的污水流量时高时低,所以可驱动水力涡轮发电系统的有效水压也随时间变化。为使涡轮系统产生最大的电力,渠务署设计了一套控制系统,使涡轮运行扭力根据日常污水流量自动调节,从而提高电力生产效率。图6显示发电系统与水流量的关系,当水流量超过设定水平,系统会自动运行,产生电力。

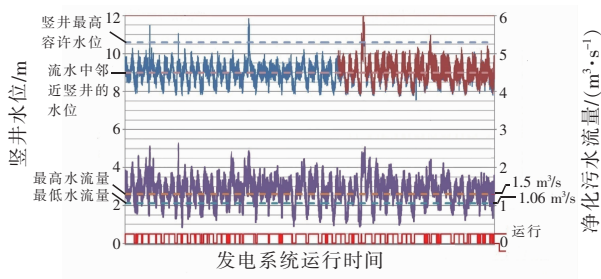


图6 水力涡轮发电系统运行与沉淀池水位及流量的关系

Fig.6 Relationship between HTG system operation and water level as well as flow of sedimentation tanks

## 6 挑战及克服方案

渠务署在推行相关工程项目时遇到不少挑战,针对这些挑战,制定了相应的方案,如表1所示。

表1 工程遇到的挑战和克服方案

Tab.1 Challenges encountered and solutions

面临的挑战	克服方案
较低的有效水压	采用螺旋桨涡轮机
有限的安装空间	改用喉管把已净化的污水引出竖井外,再送往水力涡轮,以便维修
个别沉淀池会因为维修而停止供应已净化的污水以驱动发电机	驳通了2对双层沉淀池竖井以供应稳定的已净化污水来源
发电量不稳定	与电网并联,并克服相关技术困难
腐蚀性的环境	部件采用经常用于污水处理设备的双相不锈钢材质
污水流量时高时低	全自动化发电系统,自动调节涡轮运行速度

## 7 结语

尽管面临种种挑战,这套水力涡轮发电系统仍

于2018年末成功投产,系统平均每月可产电量超过10 000 kW·h,相当于约25个香港家庭每月平均用电量(2018年香港每户每月平均用电量约为390 kW·h)。渠务署致力于“提供世界级的污水和雨水处理排放服务,以促进香港的可持续发展”,并同时推广保护环境和应对气候变化项目。在应用可再生能源方面,渠务署利用生物气、太阳能和已净化的污水流动的能量等产生可再生能源。在过去几年,渠务署平均每年生产的可再生能源约 $2\,700 \times 10^4$  kW·h,可应付约9%渠务署的能源需要。渠务署会继续努力,加强和促进可再生能源的应用。

## 参考文献:

- [1] 艾嘉和. 香港昂船洲污水处理厂[J]. 中国给水排水, 1999,15(6):38-40.  
Satish K Aggarwal. Stonecutters island sewage treatment works in Hong Kong Special Administrative Region[J]. China Water & Wastewater, 1999, 15(6):38-40 (in Chinese).
- [2] 李言. 水力透平发电技术在NHD溶液静压能回收中的应用[J]. 科技视界, 2012(27):362-363.  
Li Yan. Application of hydraulic turbine power generation technology in recovery of hydrostatic energy from NHD solution[J]. Science & Technology Vision, 2012(27):362-363 (in Chinese).



作者简介:胡国钊(1979-),男,广东开平人,大学学历,工程师,主要从事污水泵房及污水处理厂机电设备相关项目的设计及推广工作。

E-mail:kcwu@dsd.gov.hk

收稿日期:2020-10-05