

# 植物区水流特性与压电发电结合的新思路

俞晓祥

(四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川 成都 610000)

**摘要:** 本文回顾了过去一些压电发电装置, 简述了其重要原理和关键技术, 并在此基础上构思了一种俘获紊动能的压电发电装置, 此装置可用于低水头低流速水能收集, 以实现消能与发电的结合, 同时还探讨了装置的特点和对未来研究的展望。

**关键词:** 压电材料; 紊动能; 发电装置

**中图分类号:** TV7

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1007-7839 (2016) 09-0065-04

## A new idea about the combination of plant area water flow characteristics and piezoelectric power generation

YU Xiaoxiang

(State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610000, Sichuan)

**Abstract:** Some piezoelectric power generation devices in the past are reviewed. The important principle and the key technology are summarized. A capture turbulent kinetic energy of the piezoelectric generating device is conceived on the basis of that. The device can be used for low head, low velocity water energy collection and combination of energy dissipation and power. Characteristics of the device and expectation for the future research are discussed.

**Key words:** piezoelectric material; turbulent energy; power generator

## 0 引言

实现人与自然的和谐可持续发展是当今世界发展的主流理念。传统能源在过去发展中所引起的一系列环境问题和自身能源危机, 迫使人们不断探索和研究新的清洁能源和可持续能源。而新材料和微电能的发展, 也在一定程度上拓宽了能量开发和利用的思路。自 1880 年发现压电效应以来, 压电材料在传感器、换能器等领域都有相当广泛的应用, 而近些年压电材料在能量收集、发电方面的探索研究也均有展开。

水流通过植物区会增加其紊动程度, 水流能

量在紊动耗散中被削减。这种机制过去常被用来消耗过高的水能, 来减缓流速以保护堤岸、河床。如果以压电材料代替植物, 利用压电材料收集紊动能, 则可以利用起这部分多余的能量。此外, 通过增加低水头低流速水流的紊动程度, 利用压电材料俘获紊动能, 是收集低水头低流速河流水能的可行思路。

天然河道水能的传统俘获思路是通过建造拦河水闸、大坝等, 积聚一定的势能带动水轮机发电。这些设施发电量较大、收益良好, 但其工程量、先期投入一般较大, 对地质、环境和水能水量要求高, 大型水电站的开发运行也时常会带

收稿日期: 2016-04-11

作者简介: 俞晓祥 (1991-), 男, 在读硕士, 研究方向为计算水力学及河川水质数值模拟。

来一些生态环境问题,包括水流气体过饱和、鱼类洄游等。而许多小型天然河道、低水头的河流与溪流中的水能往往无法通过传统形式获得。另外,对于流速较大,冲刷严重的河床、河岸海岸等往往需要人工措施来消耗多余的有害水能。传统的措施是通过植物、消能坎等增加水体的紊动程度,通过水体自身的碰撞、紊动等将能量耗散。

压电材料是俘获这些有害能量加以利用或者俘获低水头低流速水能的一个可行途径。压电材料是一种具有机电耦合效应的材料。传统压电材料主要分无机和有机两大类,如压电陶瓷、PVDF等。不同的压电材料在机械性能、压电性能等方面有所区别,针对不同的应用领域和性能需求,各种属性的压电材料都有其用武之地。随着需求的变化和材料本身的研究发展,压电材料正沿着无铅化、高性能化和薄膜化的趋势更新<sup>[1]</sup>。压电材料的性能提高和制作工艺的逐渐成熟,也为其适应更多复杂环境,在更多领域应用提供了可能。

## 1 研究回顾

### 1.1 压电典型结构

压电悬臂梁<sup>[2]</sup>和压电圆盘<sup>[3]</sup>是两种研究较多的典型结构,研究主要从材料性能、结构尺寸和激励方式等对发电性能的影响入手,通过实验、建模等手段,得到各个参数对压电发电性能的影响情况及建立压电结构的数学计算模型。这些数据和计算模型为后期发电装置的优化设计、性能提升等提供了理论依据和参考。许多发电装置正是这些简单结构的应用。

### 1.2 单纯压电发电装置

压电发电装置的应用领域较广,如压电蜂鸣器等。在水力和海洋方面,由于波浪能的能量密度约为风能的4~30倍<sup>[4]</sup>,沿着波浪传播方向,水表以下约为2~3 kW/m<sup>2</sup><sup>[5]</sup>。因此,近些年研究出了许多俘获波浪能的压电装置。这些装置大致可分为两类:

一类是利用浮体接受波浪激励,通过二次转化给压电片激励实现发电,如1987年Burns<sup>[6]</sup>设计的装置利用浮体承受的波浪激励,带动压电片伸缩发电;Murray和Rastegar<sup>[7]</sup>在2009年提出的装置为典型的二级压电发电装置,是利用浮体将波浪激励转换为冲击荷载作用在一组压电悬臂梁上实现发电,避免了水体与压电结构的直接接触。共

振是这些发电装置获得高效率的直接方法<sup>[8]</sup>。在实际复杂的海况下,来流多变,很难保证固定的输入频率,要实现共振,或者控制装置在共振频率附近的高效范围内工作是研究和提高这些装置的重点和难点所在。

另一类压电装置则为压电片直接接受水体的激励实现发电,如2001年Talyor<sup>[9]</sup>设计的装置利用流体绕流产生的漩涡使压电片变形发电;Nan Wu等<sup>[5]</sup>在2015提出的装置可悬浮于水中,利用水体表面之下的压电悬臂梁,接受波浪水质点运动的激励,直接收集波浪能。这类装置对压电材料以及电路的防水处理等提出了更高的要求。

### 1.3 压电联合发电装置

众所周知,传统水轮机存在较大的启动流速,即使运用相似原理的小模型,小发电装置也存在相应的启动流速。作者曾设计了一种压电陶瓷冲击式水轮机,用压电材料制作的叶片代替传统材料的叶片,见图1。这样,即使水流较小,无法带动叶轮转动,每个叶片都是一个悬臂振子,当水流撞击在叶片的一端时,压电材料可以通过振动捕捉这部分微电能。

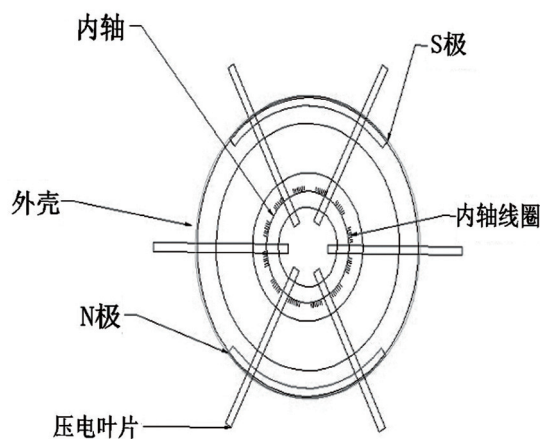


图1 压电水轮横剖图

当水流达到启动流速,压电振动和传统发电模式共同作用,见图2。根据能量守恒原理,不会产生能量浪费,从而拓宽了能量收集的范围。这样,有类似图3这样的装置,在野外、没通电的山区,只要有溪流、甚至收集到的雨水等水流通过,装置就可以发电。同样,包括气体等流体都可以用这样的装置来长时间捕捉能量并贮存,尤其在溪流这样的低水头低流速而流量充足的水流上,压电装置可以长时间收集和捕捉到相当可观的电量。

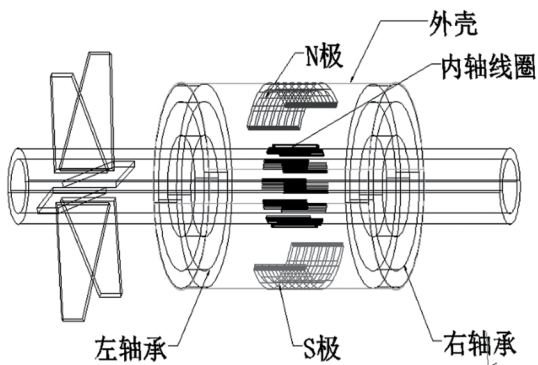


图 2 压电水轮主要结构图

2 压电发电新思路

笔者在上述压电材料和装置发展的基础上, 构思了一种植物消浪原理与压电发电结合的装置。

2.1 装置形式和发电原理

装置底座是一个中空桁架, 在桁架的节点上布置压电悬臂梁, 见图 4。悬臂梁中心为铜片, 保证其刚度, 两侧布满压电陶瓷, 最外侧有 PVC 材料保证其防水性和介电性。整个中空桁架内部布置连接每根压电悬臂梁与储能装置的电线。由于双面压电陶瓷产生的电流属于交流电, 电线和储能装置组成的能量收集器原理依据标准 AC-DC 收集电路。整个装置的示意图见图 5。

当水流经过压电悬臂区域时, 类似水流经过植物区, 刚性植物相比柔性植物, 水流的紊动程度增加更加明显。由于悬臂梁内铜片的存在, 结构的刚度提高, 可视作刚性植物, 增加了其对水流的扰动程度。双晶结构的悬臂梁, 为并联形式, 提高了压电材料对紊动能的捕捉能力和发电效率。

产生的电能通过标准 AC-DC 收集电路存储到储能设备中。

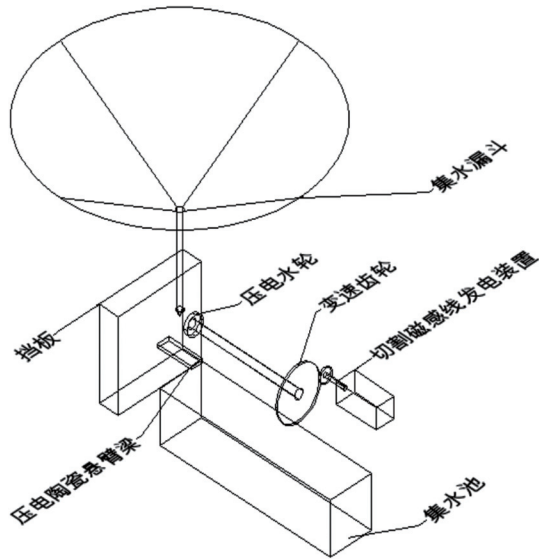


图 3 压电联合发电装置示意图

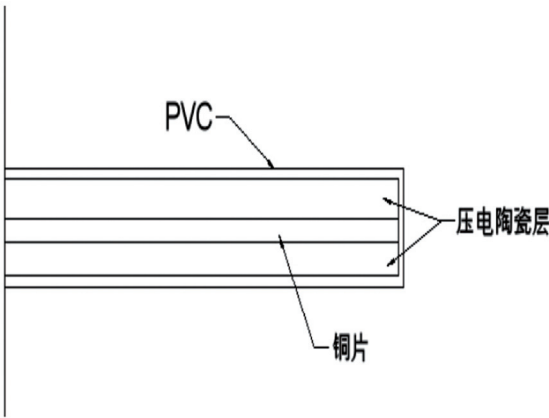


图 4 压电悬臂梁结构示意图

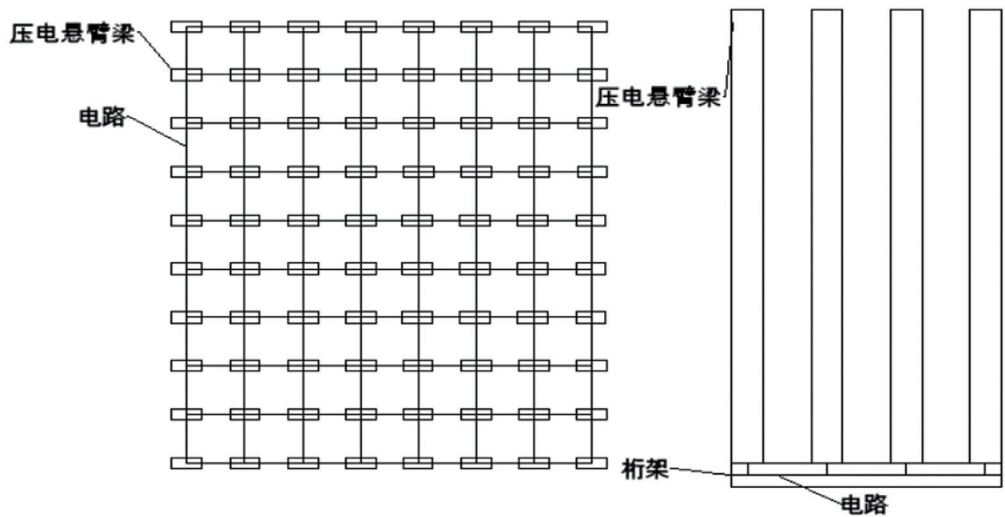


图 5 装置结构示意图

## 2.2 装置的特点和应用前景

(1) 压电悬臂梁的尺寸、布置密度和整个布置面积都要因地制宜, 按照需要调整制作。根据当地的水动力特性, 以植物区水流特性的理论为依据, 分析得到较佳的装置布置情况, 扩大了应用的范围, 也能使装置尽可能高效运作。

(2) 材料和装置结构都比较简单, 制作简单、成本较低, 同时装置更换检修也方便。

(3) 当装置用于消浪护岸、固沙保护河床等时, 装置不仅能发挥传统植物所能发挥的作用, 同时能俘获紊动能加以储存利用。

(4) 当装置用于溪流、沟渠等低流速低水头的环境时, 通过增加水流的紊动程度, 间接俘获其中的能量。

## 2.3 研究展望

由于装置还未由实验验证, 装置的效率尚未得到验证, 同时还不能建立很好的数学模型。大部分水动力特性研究都是依据植物区水流特性理论展开, 而实际压电悬臂梁与水动力的相互作用还需进一步实验测试。寻找装置布置与水力特性最佳的效率组合, 以及尝试建立装置发电的数学模型, 便于数值模拟。

## 3 结语

本文回顾了压电材料与水动力结合的一些发电装置, 并在此基础上构思了一种利用压电片捕捉紊动能的发电装置。该装置的原理是利用植物区水动力特性增加水流的紊动程度, 以压电悬臂梁群捕捉紊动能。装置不仅能发挥传统植物的作用, 还能收集电能, 在消能防冲、护岸、护河床以及溪流、渠流等水力环境下, 都有可观的应用前景。

同时, 需要进一步的实验研究, 以提高该装置的发电效率, 尝试建立发电数学模型来增加装置的实用性。

## 参考文献:

- [1] 温建强, 章丽旺. 压电材料的研究新进展[J]. 应用声学, 2013(9).
- [2] 阚君武, 等. 压电悬臂梁发电装置的建模与仿真分析[J]. 光学精密工程, 2008(1).
- [3] W.H. Duan, S.T. Quek, Q. Wang. Free vibration analysis of piezoelectric coupled thin and thick annular plate. Journal of Sound and Vibration, 281(2005) 119-139.
- [4] Falnes J. A review of wave-energy extraction[J]. Marine Structures, 2007(20): 185-201.
- [5] Nan Wu, Quan Wang, XiangDong Xie. Ocean wave energy harvesting with a piezoelectric coupled buoystructure. Applied Ocean Research, 2015: 110-118.
- [6] Burns J R. Ocean wave energy conversion using piezoelectric material members[R]. US: 4685296, 1987.
- [7] Murray R, Rastegar J. Novel two-stage piezoelectric-based ocean energy harvesters for moored or unmoored buoys. Proceedings of SPIE-Active and passive smart structure and integrated systems[C]. San Diego: SPIE, 2009, 7288.
- [8] 张永良, 林政. 海洋波浪压电发电装置的进展[J]. 水力发电学报, 2011, 30(5): 145-148.
- [9] Taylor G W, Burns J R, Kammann S M, et al. The energy harvesting eel: a small subsurface ocean/river power generator[J]. Journal of Oceanic Engineering, 2001, 26(4): 539-547.

(责任编辑: 徐丽娜)