海洋盐差能资源调查与评估方法探讨

周庆伟,白杨,张松,刘富铀,陈利博

(国家海洋技术中心 天津 300112)

摘要:我国海洋盐差能蕴藏量丰富,但是海洋盐差能调查的方法并不明确。文章完善了海洋盐差能调查与评估计算的方法,用实际调查数据进行了验证,并对海洋盐差能调查与评估给出了建议。

关键词:海洋盐差能;调查与评估方法;淡水径流量;蕴藏量

中图分类号:P746 文献标志码:A 文章编号:1005-9857(2016)01-0082-04

On the Investigation and Evaluation Method of Marine Salinity Gradient Energy

ZHOU Qingwei, BAI Yang, ZHANG Song, LIU Fuyou CHEN Libo

(National Ocean Technology Center, Tianjin 300112)

Abstract: There is plenty of marine salinity gradient energy storing in China's seas. But the survey method for the energy is still not clear. A method to survey and evaluate the marine salinity gradient energy was proposed in this paper, which was verified with actual data. The results showed that this method is practical. Furthermore, some suggestions for the survey and evaluation for the energy were made.

Key words: Marine salinity gradient energy, Survey evaluation method

海洋盐差能是指在江河入海口,由于淡水和海水盐度不同所存在的一种物理化学能,常以渗透压形式表现出来。渗透压是指用半透膜把两种不同浓度的溶液隔开时发生渗透现象,到达平衡时半透膜两侧溶液产生的位能差。渗透压的大小是由两种溶液的浓度差所决定的。盐差能的能量与渗透压和淡水量(渗透水量)成正比^[1]。利用这一水位差就可以直接由水轮发电机发电。盐差能发电的基本方式是将不同盐浓度的海水之间的化学电位差能转换成水的势能,再利用水轮机发电,主要有渗透压式、蒸汽压式和反向电渗析等^[2]。

我国海域辽阔,海岸线漫长,入海的江河众多,入海的径流量巨大,在沿岸各江河入海口附近蕴藏着丰富的盐差能资源。据统计我国沿岸全部江河多年平均入海径流量约为 $1.5 \times 10^{12} \sim 1.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$,各主要江河的年入海径流量约为 $1.4 \times 10^{12} \sim 1.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$,据估算,我国沿岸盐差能理论储量为 $3.58 \times 10^{15} \text{ kJ}$ ^[3]。在石油、煤炭、天然气等不可再生能源日益枯竭的当今,发展海洋盐差能等海洋可再生能源开发利用在世界主要沿海国家都具有重要的战略意义。

1 海洋盐差能调查与评估方法

海洋盐差能开发利用的关键在于发电装置的研究和调查区域盐差能理论蕴藏量的评估计算。目前国内外对于发电装置的关键技术研究取得了可喜的成果,主流技术是采用渗透压能法和反电渗析法进行发电^[4]。虽然还有很多关键技术不是很成熟,尤其是发电成本较高直接制约了海洋盐差能发电技术的利用,但随着技术的不断发展和政策法规的支持,相信将来这些技术难点会逐步得到解决。

在建立海洋盐差能发电站前需要先摸清该区域盐差能的理论蕴藏量,“我国近海海洋综合调查与评价专项”开展了“我国近海海洋可再生能源调查与研究”,对我国近海海洋盐差能进行了实地调查。项目吸收了国内外的经验,形成了适合我国的盐差能资源调查与评估的方法。本文对上述项目使用的简化公式与文献[3]中的公式进行了比较和修改,并对蕴藏量调查和评估方法进行了验证。

1.1 海洋盐差能计算方法

1.1.1 海洋盐差能理论蕴藏量标准化公式

理论蕴藏量可按式(1)计算:

$$N = \pi Q \quad (1)$$

式中: N 为盐差能理论蕴藏量(W); π 为渗透压(J/m³); Q 为多年平均淡水径流量(m³/s)。

1.1.2 渗透压

目前渗透压估算的方法有以下3种。

(1)由范特荷夫首先提出了渗透压与浓度之间的关系式,但对于强电解质的海水修改后的渗透压公式可由公式(2)得出^[5]:

$$\pi = iCRT \quad (2)$$

式中: i 为范特荷夫系数(Van't Hoff); C 为液体的体积摩尔浓度(mol/L); R 为气体常数,取8.314 [J/(mol·K)]; T 为绝对温度(K)。

(2)淡水与海水间的渗透压是海水盐度和温度的函数,随着盐度和温度的增高而增大。同时,渗透压还与海水的冰点温度有关。实际海水的渗透压可以通过式(3)至式(6)经验公式计算得出:

$$\pi = 1.0133 \times 10^5 \pi_0 \left(\frac{273+t}{273} \right) \quad (3)$$

$$\pi_0 = 12.08 \Delta T_g \quad (4)$$

$$\Delta T_g = 9.66 \times 10^{-2} D_{Cl} + 5.2 \times 10^{-6} (D_{Cl})^3 \quad (5)$$

$$D_{Cl} = (S - 0.030) / 1.8050 \quad (6)$$

式中: π_0 为海水0℃时渗透压(J/m³); t 为相对温度(℃); ΔT_g 为海水冰点下降值(℃); D_{Cl} 为海水氯度; S 为盐度^[6]。

(3)海水 D_{Cl} 中元素体积摩尔浓度与氯度的关系为: $C = \rho \cdot D_{Cl} \% / m$,其中 $D_{Cl} \%$ 为海水的氯度; m 为Cl的摩尔浓度,35.45 g/mol; ρ 为海水密度,这里取 1.015×10^3 kg/m³。带入公式(2)得渗透压计算公式:

$$\pi = (0.71 + 0.0026t)(S - 0.03) \quad (7)$$

式中: t 为海水温度(℃)。

海洋盐差能理论蕴藏量计算难点在于确定渗透压的计算方法,以上3种渗透压计算方法都属于估算,但不管哪种公式计算出的渗透压值误差都不会超过10%,决定海洋盐差能理论蕴藏量最主要的参数是淡水径流量,该值是盐差能调查中的重点和难点。

1.2 海洋盐差能调查方法

1.2.1 淡水径流量测量方法

淡水径流量的测量主要包括以下两种方法:

①通过流速仪和浮标等方法进行断面测流,同时进行测深,从而计算流量的传统方法;②在测量断面使用ADCP进行流量的测量,分定点式和走航式测量^[7]。

在海洋盐差能调查中宜采用简单易行、准确高效的走航式ADCP测量流量,ADCP走航测量流量已经在水利部门应用多年,研究学者对ADCP的原理、误差分析、感潮河段使用方法等进行了较多的研究^[8-10],积累的大量的测量经验。

1.2.2 水温和盐度测量方法

在淡水径流量测量断面上选取一个测点进行同步温度、盐度测量,并沿淡水流向方向上设置若干断面,在断面上布设若干站位进行连续同步观测剖面水温和盐度,并进行记录。

1.2.3 淡水径流量测量断面设站基本原则

宜满足以下基本原则:①靠近江河入海口处;②测量断面所在的河段宜顺直,水流集中、稳定,无

分流、岔流、斜流、死水等现象;③断面长度较窄、通视条件好、受风浪影响较小;④当河段内有固定分流,分流量超过断面总流量的 20% 时,应分别设置断面进行同步测量;⑤断面长度超过 3 km 时需要进行多船分段同步测量。

1.2.4 水温和盐度测量站位布设基本原则

宜满足以下基本原则:①断面和站位的分布、数量,以满足数据统计的需求及图件的比例尺要求为依据;②断面和站位的布设,根据该区域地貌特征和水文条件合理布局;③断面的设置方向,宜与江河入海的淡水流向一致,站位可采用等距离或沿等深线分布。

2 验证方法

2.1 计算公式验证

对于 25℃ 的海水,其渗透压近似计算得 24.8 atm,但不同海域的温度和体积摩尔浓度都不同,因此不对此公式进行验证。利用式(3)至式(6)进行渗透压计算,结果见表 1。

表 1 渗透压与海水盐度、温度的关系

D_{Cl}	S	π			
		0℃	10℃	20℃	30℃
5	9.03	6.39	6.62	6.86	7.09
10	18.06	12.80	13.27	13.74	14.21
15	27.07	19.20	19.90	20.60	21.31
20	36.13	25.63	26.57	27.51	28.45

注:渗透压以标准大气压 atm 表示,1 atm=1.013 25×10⁵ Pa。

比与文献[3]中给出的渗透压与海水盐度、温度关系表相比两者相差 3% 左右。

2.2 实测资料验证

在闽江入海口选取断面进行了 5 个航次的走航 ADCP 淡水径流量调查,并在入海口外选取站位进行了定点连续温盐观测。由于闽江水系呈扇形分布,具有源长、流域面积大、多支流、比降大等特点,闽江在汛期洪水量大,最大洪峰超过 3×10⁴ m³/s。夏季调查受洪水影响较大,本次调查使用 ADCP 实测的结果无法代表整个夏季的径流情况,所以在计算闽江口盐差能蕴藏量时使用了永泰、竹岐水文站 2009 年的径流数据。计算得各季平均淡水径流量,

春季为 1 403 m³/s,夏季为 2 008 m³/s,秋季为 914 m³/s,冬季为 622 m³/s。

闽江口外海温度、盐度及利用式(7)计算的海洋盐差能理论蕴藏量统计见表 2。

表 2 温度、盐度及盐差能理论蕴藏量统计

时间	平均温度/℃	平均盐度	盐差能理论蕴藏量/(10 ⁶ kW)
春季	18.61	28.33	3.05
夏季	27.52	32.31	5.20
秋季	21.75	28.84	2.07
冬季	14.19	28.00	1.33
年平均	20.52	29.37	2.81

文献[3]中统计 1984—1987 年的盐差能资料,闽江口年平均径流量为 1.75×10³ m³/s,入海水量 5.52×10¹⁰ m³,渗透压取值 24 atm 时计算理论功率为 4.25×10⁶ kW。2009 年闽江年平均淡水径流量为 1.24×10³ m³/s,年淡水径流总量为 3.91×10¹⁰ m³,通过年平均温度和盐度计算出的渗透压为 22.69,盐差能理论蕴藏量为 2.81×10⁶ kW。对比 2009 年结算结果与历史资料的计算结果趋势一样。存在误差的主要原因:一是淡水径流量年际变化较大存在风水年枯水年;二是采用的渗透压计算方法不同,但总体不影响海洋盐差能理论蕴藏量的评估。

3 建议

通过验证对比,本文的计算方法能较好地对江河入海口海洋盐差能资源调查与评估,但还存在以下几点问题需要注意。

(1)历史资料的收集。尽量收集调查区域的相关历史资料,主要包括:江河入海口附近水文站观测的淡水径流量和潮位历史数据;江河入海口外海洋站和浮标等观测的海水温度、盐度数据。为了对调查海域盐差能资源开发利用,需要对同时收集调查区域的地理、气候状况,流场、波浪、温盐等水文动力环境状况,水深地形、海底地貌及地质结构等状况,灾害、海洋功能区划、社会经济等状况等进行评估。

(2)流量测量断面的选择。流量数据直接关系到评估的准确性,因此测量断面的选择至关重要,

而我国江河入海口多有岔流支流,在断面选择前进行现场实地勘察是很有必要的。

(3)调查时次和调查时间跨度的选择。建议调查周期为一年中的 4 个季度各施测 3 次,每次按大、中、小潮期施测,每个潮期观测时间长度内至少包含 1 个涨潮和落潮,落潮每小时测量 1 次,涨潮可以加密为每半小时测量 1 次。为了提高流量测量精度,可以适当的增加施测次数。

参考文献

- [1] 韩家新. 中国近海海洋—海洋可再生能源[M]. 北京:海洋出版社,2015:2.
- [2] 纪娟,胡以怀,贾靖,等. 海水盐差发电技术的研究进展[J]. 能源技术,2007,28(6):336—338,342.
- [3] 王传昆. 海洋能资源分析方法及储量评估[M]. 北京:海洋出版社,2009:187—197.
- [4] 刘伯羽,李少红,王刚,等. 盐差能发电技术的研究进展[J]. 可再生能源,2010,28(2):141—144.
- [5] 李云才. 关于建造海水渗透压能发电站的探索[J]. 海洋工程,1985,3(3):89—96.
- [6] 冯士筴,李凤岐,李少菁. 海洋科学导论[M]. 北京:高等教育出版社,1999:58.
- [7] 水利部长江水利委员会水文局. SL 337—2006 声学多普勒流量测验规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [8] 田淳,刘少华. 声学多普勒测流原理及应用[M]. 郑州:黄河水利出版社,2003:3.
- [9] 陈学林. 声学多普勒流速剖面仪流量测验精度分析[J]. 人民黄河,2005,7:12—14.
- [10] 祁祥礼. 走航式 ADCP 技术在鸭绿江感潮河段流量测验中的应用[J]. 硅谷,2013(9):96—97.