

PE浮球覆盖下干旱区平原水库 静水水面蒸发抑制率研究

韩克武¹, 侍克斌¹, 严新军¹, 吕建勋², 杨云鹏²

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 吐鲁番市高昌区水利局, 新疆 吐鲁番 838000)

摘要:为进一步探究采用物理覆盖对干旱区平原水库静水水面蒸发的影响程度,本试验选用直径为100 mm黑色PE浮球作为覆盖材料,选用两个面积均为1 m²的正方形铁皮箱作为蒸发器(A蒸发器、B蒸发器)。A蒸发器内水面用浮球全覆盖(覆盖率为86%)、B蒸发器内水面不覆盖。通过A、B两蒸发器对比试验得出:浮球对蒸发器内水面平均蒸发抑制率为83.8%。在干旱区平原水库等大水体中大面积覆盖浮球时(覆盖率接近91%),浮球对其静水水面蒸发抑制率为89.6%。

关键词: PE浮球; 蒸发器; 静水水面蒸发量; 抑制率; 干旱区平原水库

中图分类号: TV697

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)04-0235-05

Study on the inhibition rate of the still water evaporation under the PE floating ball coverage in arid zone plain reservoir

HAN Kewu¹, SHI Kebin¹, YAN Xinjun¹, LÜ Jianxun², YANG Yunpeng²

(1. College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Turpan Gaochang District Water Conservancy Bureau, Turpan 838000, China)

Abstract: In order to further explore the influence of physical coverage on still water evaporation from water surface in arid zone plain reservoir, the experiment selected the black PE floating balls with a diameter of 100 mm as the cover material, and two 1m² area of the square tin trunk were selected as evaporator (A evaporator and B evaporator). The A evaporator is completely covered with floating balls from the water surface (the coverage rate is 86%), and B is not covered. Through the comparison test of A and B evaporators, the inhibition rate of the floating balls to the water surface of the evaporator is 83.8%. When the arid zone plain reservoir were largely covered by the floating balls (the coverage rate is close to 91%), the inhibition rate of the floating balls to the surface of the water can reach 89.6%.

Key words: PE floating ball; evaporator; evaporation of still water; inhibition rate; arid zone plain reservoir

1 研究背景

我国西北干旱区是水资源短缺最为严重的地区之一^[1]。以新疆地区为例,多年平均降雨量为100~200 mm,而全年蒸发量一般保持在1 500~3 000 mm^[2]。据已有研究成果^[3],新疆平原水库年蒸发总量为 26.1×10^8 m³,水面蒸发损失量超过水库总库容的40%,水库的无效蒸发大大降低了水资源的

有效利用率。

关于如何最大限度减少干旱区平原水库无效蒸发,国内外学者做了不同尝试,但研究进程缓慢。主要有以下三方面。化学试剂法:2006年夏萍等^[4]以十六醇作为抑制水面蒸发的材料,蒸发抑制率为50%;为阻止分子膜在水中扩散,2014年杨坤等^[5]、马艳^[6]采用在水面上架设漂浮网格的方式对分子膜抑制水面蒸发效果进行了研究,研究表明:网格

收稿日期:2017-03-25; 修回日期:2017-05-21

基金项目:新疆科技支撑计划项目(201233132);自治区高校科研计划重点项目(XJEDU2016I022)

作者简介:韩克武(1987-),男,山西临猗人,硕士研究生,研究方向为水利水电枢纽工程设计、施工理论及方案优选决策。

通讯作者:侍克斌(1957-),男,新疆石河子人,教授,博士生导师,主要从事水利工程学科的教学与科研工作。

中的分子膜蒸发抑制率为26%~30%，而无网格的分子膜蒸发抑制率为7%~12%。但化学试剂稳定性差，极易受到风浪力等因素的干扰。水生植物法：王积强^[7]、丁成^[8]进行了水花生、蒲草等对蒸发的影响实验，平均抑制率为10%~30%。但因植物自身蒸腾作用，该方法抑制水面蒸发率较低，未得到推广。物理覆盖法：2004年严新军等^[9]提出采用苯板覆盖抑制水面蒸发，但仅对苯板在风浪中受力情况进行了研究，并未对抑制水面蒸发效果进行研究；2006年西班牙 Martinez-Alvarez^[10]对用不同颜色的单、双层聚乙烯网和单层铝网覆盖水面进行了实验研究，实验结果表明：黑色聚乙烯单层网的节水效果最为显著；2009年 Al-Hassoun 等^[11]利用棕榈树叶作为抑制水面蒸发的材料，95%、50%覆盖率分别对应的抑制蒸发率为63%、26%；2011年 Assouline 等^[12]研究发现水面蒸发抑制率与覆盖面积不成比例关系，及相同覆盖面积下，单孔覆盖比均匀分布的多孔覆盖蒸发抑制率高，2015-2016年张晓浩等^[13]、李存立等^[14]对PVC浮板覆盖下干旱区平原水库蒸发抑制率进行了研究，节水效果显著。上述物理材料虽对水面蒸发抑制效果显著，但因覆盖材料自身结构特点，在大风中有可能被刮离库区或造成材料被损，增加工程运行成本。

在总结前人研究成果基础上，根据材料在水库中的运行工况，本试验采用黑色PE浮球作为水库防蒸发材料，观测其对静水水面蒸发抑制率效果，为今后在干旱区平原水库推行防蒸发节水技术奠定一定基础。

2 试验材料与方法

2.1 试验区概况

试验地位于天山东部博格达山南麓吐鲁番市胜金乡境内的胜金沟水保三期水库。试验点所处地域属典型的大陆性温暖带干旱荒漠气候，主要特点是：干旱、高温、多风。多年平均气温14.1℃，极端最高气温49.6℃，极端最低气温-29.2℃。多年平均降水量16.2 mm，平均蒸发量2 845 mm。多年平均风

速为1.5 m/s，最大风速25 m/s。最大冻土深0.8 m，无霜期271.2 d。

2.2 试验材料选择

根据防蒸发材料在水库运行特点，选用的试验材料应满足合适密度、合适强度、憎水性、无毒性、耐久性等要求。本试验选用直径为100 mm黑色PE浮球作为防蒸发材料。该材料具有以下特点：(1)PE材料具有无毒、憎水、耐腐蚀、自身结构稳定、强度高等优点；(2)浮球弧形结构，可减小材料与水面的接触面积，在风浪作用下，浸湿浮球表面的水会沿弧形结构自行流入水中，起到减少蒸发和节水效果；(3)在小风浪作用下，浮球与水面之间形成的空间体，一方面浮球的上半球不易被浸湿，减小浮球的湿润面积，另一方面使水面附近的水蒸气受风速影响较小，进而抑制水面蒸发；(4)弧形结构减少了材料与材料、材料与岸坡之间的接触面积，减少因撞击、摩擦而造成材料自身破损，以及材料因碰撞、挤压造成的湿润面积；(5)在非持续风力作用下，浮球被刮至坝坡上时，会因自身重力作用返回水面，不被刮离库外。

综上所述，PE浮球是一种较为理想的水库防蒸发材料。

2.3 现场布置

试验选定在相同条件下的2个1.0 m×1.0 m×0.3 m的蒸发器中进行，分别标记为A蒸发器、B蒸发器。两蒸发器放置水库坝顶，并加入水库中的水。两蒸发器外部包裹厚度一致的纸板，内部铺设厚度一致的塑料布。A蒸发器内水面用直径为100 mm的黑色PE浮球全覆盖，并观测其水面蒸发量；B蒸发器作为对照组不覆盖任何材料，记录其在天然条件下的水面蒸发量。试验期间，每日从早8:00到晚22:00每隔2 h观测记录试验点的气温、湿度、风速、水温及水位变化。蒸发器位置图见图1，蒸发器内浮球工作图见图2。

在蒸发器试验的同时，在试验现场的水库进行了浮球覆盖技术的示范研究。监测了浮球覆盖结构在整个库区的运行状况。水库中浮球工作图(黑色PE浮球放在围栏内)见图3。

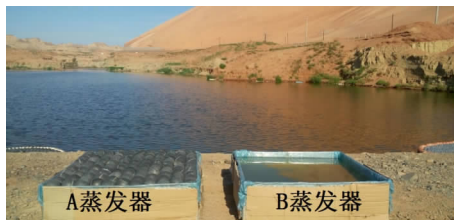


图1 水库坝顶上蒸发器位置图



图2 蒸发器内浮球工作图



图3 水库中浮球工作图

3 试验原理

蒸发过程是能量的转换过程,能量来自太阳辐射。太阳辐射主要通过影响水温和气温的变化来影响水面蒸发。蒸发主要发生在水体表面,水温升高,水体表面的水分子获得足够能量后逸出水面并聚集在水体表面上空。气温决定着水汽扩散的快慢和大气容纳水汽的能力,在炎热天气下,由于空气温度要高于水体温度,使得进入大气的水分子能量增大,加速水分子向大气扩散。无风时,逸出水面的水蒸气主要靠分子扩散进入大气,而聚集在水体表面附近的水蒸气,使水面附近的水汽压差减小,抑制了水面的蒸发速率。有风时,空气的流动加速了水蒸气层与干湿空气的交换,使水面附近的水汽压差增大,加速水面的蒸发。用黑色 PE 浮球将水体覆盖,虽然浮球吸热能力较强,有增加水温、加速水面蒸发的负面影响,但因浮球为弧形结构,浮球之间呈 3 球接触状态,使得浮球下半球与水面形成一个上口小、下口大的空间体,逸出水面的水蒸气聚集在空间体内,不易扩散到大气中,使水面附近的水汽压差减小,起到抑制水面蒸发的作用。

4 结果与分析

4.1 蒸发器内水温变化分析

根据试验期内某一典型天测得的水温变化曲线(图4)可以看出,覆盖浮球的水面温度高于未覆盖浮球的水面温度。白天,覆盖在水面的浮球阻挡了太阳对水体的辐射,使水温升高速率缓慢,无浮球覆盖的水温升高速率较快。浮球虽阻挡了太阳对水体的辐射,但吸热性强,使其在太阳辐射下水面温度较高。又因浮球为一个连续体、导热性差,聚集在浮球表面的热量仅有一小部分通过水下部分的浮球持续不断地传递给水体,所以浮球对其覆盖下的水体有增温的负面影响。夜间,覆盖在水面上的浮球阻挡了水温向大气的扩散,使水面温度降低缓慢,水体温度始终高于未覆盖浮球水体的温度。但在极端天气下(45℃以上),由于太阳辐射强烈,在一天的某一时段内出现 B 蒸发器内水表温高于 A 蒸发器内水表温,见图5。

4.2 蒸发抑制率分析

因浮球的几何结构,浮球与浮球之间呈 3 球接触状态,浮球之间存在孔隙。浮球对水体的覆盖面积越大,浮球的有效覆盖率越接近 91%,即 9% 的水面处于无覆盖状态^[14]。在本试验中,由于蒸发器面

积较小,A 蒸发器内多浮球虽为 3 球接触状态,但蒸发器壁附近的浮球与蒸发器壁之间为点面接触,接触孔隙较大。经计算 A 蒸发器中全覆盖浮球后有效覆盖面积为 86%,即 14% 的水面处于无覆盖状态。

通过所测数据得出试验区每 15 d 的平均气温变化曲线(图6),A、B 两蒸发器每 15 d 内水面蒸发量(表1),以及对应的蒸发量对比曲线图(图7)。

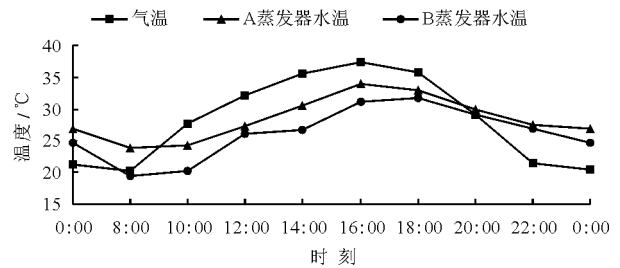


图4 某典型天两蒸发器内水面温度的变化曲线

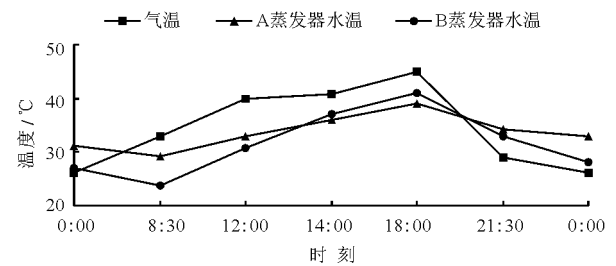


图5 极端天气下两蒸发器内水面温度的变化曲线

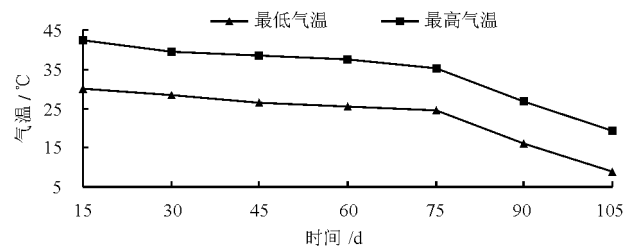


图6 试验区平均气温变化曲线

表1 A、B 蒸发器蒸发量对比

时间/d	B 蒸发器蒸发量/mm	A 蒸发器蒸发量/mm	抑制蒸发量/mm
15	118	22	96
30	89	15	74
45	78	13	65
60	68	11	57
75	62	10	52
90	42	7	35
105	38	5	33

由表1和图7可得,在同一环境中,水体因浮球的覆盖,其蒸发得到有效抑制。试验期 105 d 内总

抑制蒸发量为 412 mm, 平均水面蒸发抑制率为 83.80%。从总体趋势来看, 在平均气温低于 45℃ 的工况下, 水面蒸发量随着气温的降低而减少, 蒸发抑制率随气温的降低而增大。

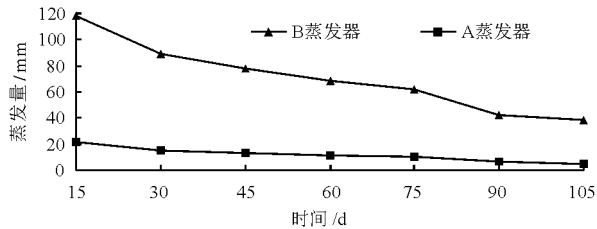


图7 A、B蒸发器的蒸发量对比曲线图

水面蒸发抑制率可由公式(1)计算求得。

$$I = \frac{E - E'}{E} \times 100\% = \frac{\Delta E}{E} \times 100\% \quad (1)$$

式中: I 为水面蒸发抑制率, %; E 为未覆盖下自然状态的蒸发量, mm; E' 为浮球覆盖下的水面蒸发量, mm。

由公式(1)可计算得浮球覆盖下每 15 d 内水面平均蒸发抑制率的变化曲线(图 8)。

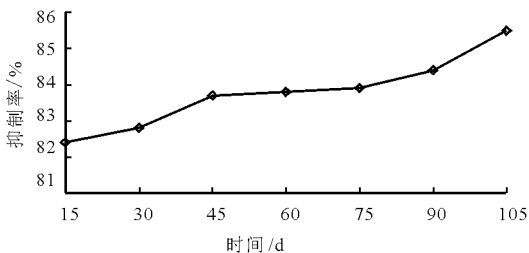


图8 PE浮球覆盖下每 15 d 内水面平均蒸发抑制率

由图 4 数据分析可知, 夜间由于覆盖在水体的浮球具有保温效果, A 蒸发器的水温高于 B 蒸发器的水温, 水汽分子逸出水面的通量大于 B 蒸发器水面水汽分子逸出水面的通量。但夜间气温和浮球表面温度较低, 减缓了风速对空间体内(水面附近)水蒸气向大气扩散, 聚集在空间体内的水蒸气因得不到能量补充而不易扩散到大气中, 使空间体内(水面附近)水汽压增大, 从而在一定程度上抑制水面蒸发。白天, 由于浮球对其覆盖下的水体有增温的负面影响, 使得水面温度高于 B 蒸发器内水面温度, 水汽分子逸出水面的通量也大于 B 蒸发器内水面水汽分子逸出水面的通量。A 蒸发器水面蒸发的水蒸气聚集在空间体内, 而 B 蒸发器内蒸发的水蒸气聚集在水面上空。由于浮球和蒸发器壁的保护, 降低了风速对水面附近水蒸气的影响, 使两蒸发器内水面附近的水汽分子主要受温度的影响向大气扩

散。因浮球表面温度高及太阳对空间体的辐射(斜射), 使空间体内的水蒸气温度高于 B 蒸发器内相同高度的水蒸气温度, 加剧了空间体内水汽分子的无规则运动, 从而增加水汽分子从空间体上部(14% 的孔隙)向大气扩散的通量。所以浮球覆盖下水面的蒸发率大于 14%。

由图 6 和图 8 的变化曲线可看出, 随大气温度的降低, 浮球对覆盖水体的蒸发抑制率增大, 覆盖浮球下水面平均蒸发抑制率为 83.8%。在试验期, 因季节变化, 太阳辐射减弱, 大气温度降低, 浮球表面温度随之降低, 从而降低了空间体内水汽分子向大气扩散的通量, 在一定程度上抑制了水面蒸发。

4.3 水库中蒸发抑制率分析

水面蒸发的动力因素主要为水面附近的水汽压差和风速^[10]。浮球抑制水面蒸发主要由于水面附近净辐射的减少导致其水汽压差降低所致, 而净辐射的减少量主要取决于浮球自身的光学性能, 与水域面积大小无关^[10]。不同水域面积内全覆盖浮球时, 因空间体的存在使得静水条件下的水面蒸发均不受风速影响。因此本试验研究结论可推广到水库环境中。水库水面全覆盖浮球时, 经比值法计算得出, 9% 孔隙率的蒸发率为 10.4%, 即 91% 有效覆盖面积的蒸发抑制率为 89.6%。故浮球覆盖可有效抑制平原水库的无效蒸发。

为研究浮球覆盖技术在干旱区平原水库推广应用的可行性, 在试验现场的水库做了示范研究, 如图 3 所示。在示范研究中发现, 只要对浮球的围栏和水库进、出水口采用适当的围护, 就可以达到抑制干旱区平原水库无效蒸发的目的。

5 结论

黑色 PE 浮球覆盖对静水水面蒸发抑制效果显著, 当覆盖率为 86% 时, 平均蒸发抑制率为 83.8%; 对水库水面全覆盖时, 91% 有效覆盖率对应的蒸发抑制率可高达 89.6%, 对提高干旱区平原水库水资源有效利用率具有很好的现实意义。

浮球的黑色质地虽有增加水温、加速蒸发的负面影响。但从增加材料耐久性和降低工程运行成本来看, 选用黑色浮球作为水库防蒸发材料是可行的且会带来可观的经济效益。

浮球作为防蒸发材料对抑制静水水面无效蒸发效果显著, 但对于浮球在风浪作用下的节水效果及在水库中的运行管理方面还需做进一步探究。

参考文献:

- [1] 姚玉璧,肖国举,王润元,等.近50年来西北半干旱区气候变化特征[J].干旱区地理(汉文版),2009,32(2):159-165.
- [2] 罗光明,侍克斌,张宏俊.新疆水资源利用和经济增长之间的关系[J].干旱区地理(汉文版),2009,32(4):566-570.
- [3] 侍克斌.在新疆实行水库节水的设想[C]//力学与西部开发会议论文集,2001.
- [4] 吴燕,夏萍,衣守志.脂肪醇乳液抑制水分蒸发的研究[J].功能材料,2007,38(增刊):3408-3411.
- [5] 杨坤,叶含春,肖让,等.南疆地区多浪水库漂浮网格法阻蒸发制剂阻蒸发效率实验[J].水电能源科学,2015,33(11):136-139.
- [6] 马艳.单分子膜阻蒸发效果的试验研究[D].阿拉尔:塔里木大学,2015.
- [7] 王积强.水生植物对水面温度和蒸发量的影响[J].干旱区地理(汉文版),1994,17(2):67-69.
- [8] 丁成.水草对水面蒸发的影响分析[J].甘肃水利水电技术,2009,45(1):17-18.
- [9] 严新军.内陆干旱区平原水库防蒸发节水试验研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2004.
- [10] Martínez-Alvarez V, Baille A, Molina Martínez J M, et al. Efficiency of shading materials in reducing evaporation from free water surfaces[J]. Agricultural Water Management, 2006, 84(3): 229-239.
- [11] Al-Hassoun S A, Mohammed T A, Nurdin J. Evaporation reduction from impounding reservoirs in arid areas using palm leaves[J]. Research Journal of Applied Sciences, 2009, 4(4): 247-250.
- [12] Assouline S, Narkis K. Evaporation suppression from water reservoirs: Efficiency considerations of partial covers[J]. Water Resources Research, 2011, 47(7): 1772-1780.
- [13] 张晓浩,侍克斌,严新军,等.群板覆盖下内陆干旱区平原水库节水效率研究[J].人民长江,2015,46(8):23-26.
- [14] 李存立,严新军,侍克斌,等.不同面积浮板覆盖下干旱区平原水库防蒸发节水效率分析[J].水资源与水工程学报,2016,27(3):73-76.
- [15] 李存立.PVC泡沫浮板与浮球在干旱区平原水库的防蒸发节水试验研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2016.
- [16] 唐凯,姜海波,何新林,等.干旱区水面蒸发特性及消减技术研究[J].水资源与水工程学报,2014,25(6):68-71.
- [17] 姜海波,唐凯,何新林.抑制干旱区平原水库蒸发试验及蒸发模型研究[J].干旱区资源与环境,2016,30(1):119-124.
- [18] 宋兴亮,侍克斌.隔墙板应用于平原水库防蒸发节水试验探讨[J].长江科学院院报,2015,32(7):35-39.