

大型灌溉系统中附属小水库的多用途管理

李琼芳¹, John W. GOWING²

(1. 河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 纽尔卡斯大学土地利用与水资源研究中心 纽尔卡斯 英国 NE4 7RU)

摘要: 分布在大型水渠灌溉系统中具有一定蓄水容量的附属小水库能在一定程度上缓和供水与需水之间的不协调, 为灌溉系统的多用途管理及提高灌溉水的生产率提供了机会. 以斯里兰卡系统 H 为例, 分析了小水库的现行运行状况及其多用途管理的潜力和制约因素. 结果表明, 仅以满足灌溉需求为目的的现行小水库运行方式导致了水库水位的快速波动, 相对较短的水库水体更新时间使小水库通过灌溉水多用途管理获得更大效益受到了限制.

关键词: 灌溉系统; 多用途管理; 小水库

中图分类号: TV697

文献标识码: A

文章编号: 1000-1980(2004)05-0530-06

灌溉系统普遍认为仅仅为农田作物提供水源, 事实上其实际功能可能有多种^[1]. 仅就农业部门而言, 灌溉系统还为生产和非生产性用水提供水源, 如农民自留地的种植及家禽养殖用水, 多种企业包括砖瓦厂等用水, 水渠或水库附近居民家庭用水等. 灌溉水也具有重要的环境功能, 为植被及动物提供水源, 从而为当地居民创造了优美的环境并支持了动植物的多样性. 与用于灌溉的水量相比, 用于非灌溉用途的水量非常小, 但这部分水量在改善当地百姓生活品质方面起着重要的作用^[2]. 遗憾的是现行的灌溉水管理, 特别是发展中国家在很大程度上忽视了灌溉水的其他用途. 位于中国中部及南部的灌溉系统具有一个特征, 即大量附属小水库或池塘分布系统内, 而且这些供水系统的灵活性和可靠性据报道都很高^[3], 为灌溉水的多用途管理提供了有利的条件, 但位于其他地方的灌溉系统这些优势似乎没有显露出来. 现有的相关文献主要集中在提供短期库容以减轻夜间灌溉的问题^[4]. 一些研究者已研究了附属小水库的设计以确定最优的水库库容^[5-6]. Gowing & Maheepala 将这种分析扩展到水库除了能容纳来自主要水渠系统的引水外, 还能顾及汇集到小水库的来自其流域面积上的径流及灌溉回归流的再利用^[7].

本文提供了一个斯里兰卡的研究实例, 目的在于探讨拥有大量附属小水库的灌溉系统的多用途管理. 这些分布在大型灌溉系统中的小水库为暂时不被灌溉所需的水量提供了调节库容, 避免了水资源的浪费, 同时也有利于非灌溉用途水资源的有效管理.

1 斯里兰卡 Mahaweli 系统 H

斯里兰卡 Mahaweli 系统 H 位于斯里兰卡干旱区的中北部, 哥伦坡以北大约 150 km, Kala Oya 河流域, 有 3 个主要水库. 这些水库的蓄水来自从 Mahaweli 系统的调水和水库集水区的径流. 本文主要研究 3 个水库中的最大水库, 即 Kalawewa 水库的 24 500 hm² 灌溉区域.

灌溉系统 H 1 年有两个种植季节, 即 Maha 季节和 Yala 季节. Mala 季节(10 月至次年 3 月)正好与东北季风气候相吻合, 灌溉系统的供水一般足以满足整个灌溉区域水稻种植用水需求. 但在 Yala 季节(4~9 月)供水量相当有限, 只有 50% 的总灌溉面积允许种植作物, 并且以非水稻作物为主.

系统 H 内分布有大量的浅水小水库(当地称为 tank), 仅在 Kalawewa 水库的灌溉区域内就有 116 座, 总库容约 3 700 万 m³, 相当于 Kalawewa 水库库容的 33%. 这些水库的重要特征值各不相同, 直接流域面积与水库灌溉面积在 0.01~0.3 km² 之间变化, 反映了斯里兰卡与印度 Tamil Nadu 省灌溉水库的普遍情况^[8], 水库库容与灌溉面积比值的变化范围为 0.000 1~40 000 m³/hm².

基于水库库容、水库流域水面、水库灌溉面积、资料的可获得性以及野外工作的便利与安全等方面的考

考虑 Nallachchiyas 水库和 Kalankuttiya 水库被选为具有代表性的典型水库以详细分析小水库的灌溉水管理. Nallachchiya 水库的流域面积为 345 hm²,灌溉面积为 1350 hm²,有效库容为 1100 万 m³. Kalankuttiya 水库的直接流域面积为 265 hm²,而灌溉面积及有效库容分别为 2100 hm²和 1900 万 m³.

2 水管理分析

从 Mahaweli 管理局的资料库中获得两座水库 1991/1992 ~ 2001/2002 年期间的水位资料. 首先根据日水位资料构造出水库日水位及日水面面积的时间序列,然后再用这些时间序列点绘水库日水位变化过程线,并分析水库日水面面积及相应水位落在不同范围内的频率(见表 1 和表 2). 为了更好地理解水库水位的波动,必须深入分析每座水库的日水量平衡. 由于降雨资料不完整,每座水库只对 4 个 Maha 季节及 1 个 Yala 季节的水量平衡进行分析. 在日水量平衡计算结果的基础上,水库水量平衡各项季节总量见表 3^[9]. 同样地,水库灌溉区域的水量平衡分析也以天为时间单位,水量平衡方程中各项季节总量见表 4^[9].

表 1 Nallachchiya 水库水位及相应水面积分析结果

Table 1 Results of water levels and corresponding water surface areas for Nallachchiya Reservoir							
季节	起止时间	历时 /d	水面面积(水位)落于不同范围的天数/d				
			[68 ,148) ^①	[148 ,263) ^①	[263 ,407) ^①	[407 ,550) ^①	≥550 ^①
			[0 ,1) ^②	[1 ,2) ^②	[2 ,3) ^②	[3 ,4) ^②	≥4 ^②
Yala	1994-04-04 ~ 1994-09-10	163	0	0	42	120	0
	1995-04-10 ~ 1995-09-09	153	0	0	14	138	1
	1996-05-04 ~ 1996-09-07	127	0	0	11	116	0
	1997-06-05 ~ 1997-08-24	81	0	0	17	64	0
	1998-05-03 ~ 1998-09-15	136	0	0	21	114	1
	1999-05-01 ~ 1999-09-14	137	0	0	33	104	0
	2000-04-20 ~ 2000-09-04	138	0	0	41	97	0
	2001-05-07 ~ 2001-09-08	125	0	0	14	111	0
Maha	1993-10-01 ~ 1994-03-31	182	0	0	20	159	3
	1994-10-11 ~ 1995-03-24	165	0	0	29	136	0
	1995-10-06 ~ 1996-03-05	152	0	0	7	142	3
	1996-10-13 ~ 1997-03-07	146	0	1	24	118	3
	1997-10-14 ~ 1998-03-14	152	0	0	7	142	3
	1998-10-22 ~ 1999-03-26	156	0	1	30	125	0
	1999-11-01 ~ 2000-03-19	140	0	2	19	108	11
	2000-10-24 ~ 2001-04-06	165	0	1	45	115	4
	2001-10-31 ~ 2002-03-04	125	0	0	25	99	1

注 ①水库水面面积(1000 m²)变化范围;②水库水位(m)变化范围.

表 2 Kalankuttiya 水库水位及相应水面积分析结果

Table 2 Results of water levels and corresponding water surface areas for Kalankuttiya Reservoir							
季节	起止时间	历时 /d	水面面积(水位)落于不同范围的天数/d				
			[179 ,485) ^①	[485 ,740) ^①	[740 ,1080) ^①	[1080 ,1321) ^①	≥1321 ^①
			[0 ,1) ^②	[1 ,2) ^②	[2 ,3) ^②	[3 ,4) ^②	≥4 ^②
Yala	1993-05-13 ~ 1993-09-29	140	0	111	29	0	0
	1994-05-01 ~ 1994-09-21	144	0	108	36	0	0
	1995-05-04 ~ 1995-09-08	128	4	79	42	3	0
	1997-05-15 ~ 1997-09-17	126	0	69	55	2	0
	1998-05-27 ~ 1998-09-23	120	1	76	39	4	0
	1999-05-04 ~ 1999-09-03	123	3	46	74	0	0
	2001-05-01 ~ 2001-09-10	133	0	0	84	79	0
Maha	1991-11-01 ~ 1992-03-10	131	6	63	62	0	0
	1992-10-01 ~ 1993-03-11	162	0	103	58	1	0
	1993-11-01 ~ 1994-03-12	132	0	16	69	47	0
	1994-10-22 ~ 1995-04-01	162	0	32	127	3	0
	1995-11-01 ~ 1996-03-09	130	11	61	52	6	0
	1997-10-02 ~ 1997-02-12	134	4	41	86	3	0
	1997-10-25 ~ 1998-03-21	148	0	21	116	11	0
	1998-10-15 ~ 1999-03-12	149	5	53	83	8	0
	1999-10-16 ~ 2000-03-28	165	0	46	83	36	0
	2000-10-16 ~ 2001-03-11	147	0	4	79	64	0
	2001-11-05 ~ 2002-03-05	121	0	0	67	54	0

注 ①水库水面面积(1000 m²)变化范围;②水库水位(m)变化范围.

表 3 水库输入、输出的季节总量

Table 3 Seasonal total values of reservoir inflow and outflow components

季节	起止年份	Nallachchiya 水库								额外损失 率/%
		输入量/万 m ³				输出量/万 m ³				
		降雨	引水	流域径流	放水	蒸发	溢流	渗漏	非灌溉用水	
Maha	1998 ~ 1999	35.8	1 770.3	31.1	1 799.5	19.3	27.0	2.4	7.8	1.21
	1999 ~ 2000	36.5	1 435.9	39.7	1 441.7	14.6	41.5	2.0	7.9	1.15
	2000 ~ 2001	31.2	1 718.2	49.7	1 712.1	19.1	0	2.1	10.9	1.24
	2001 ~ 2002	17.3	1 728.7	7.4	1 682.1	14.3	5.4	1.6	11.8	0.95
Yala	2001	4.0	1 139.0	1.2	1 109.3	27.1	7.0	1.9	10.0	2.61

季节	起止年份	Kalankuttiya 水库								额外损失 率/%
		输入量/万 m ³				输出量/万 m ³				
		降雨	引水	流域径流	放水	蒸发	溢流	渗漏	非灌溉用水	
Maha	1996 ~ 1997	27.5	2 871.6	70.7	2 981.9	26.9	20.9	2.4	0	0.98
	1997 ~ 1998	93.6	3 454.7	184.3	3 602.9	37.7	139.2	3.4	0	1.14
	1998 ~ 1999	60.9	2 225.3	54.2	2 305.4	29.0	13.0	2.8	0	1.38
	2001 ~ 2002	30.9	2 778.2	18.4	2 684.8	32.5	84.4	3.7	0	1.35
Yala	2001	40.7	2 380.6	2.8	2 300.4	73.0	96.9	5.2	0	3.4

注:额外损失率=(蒸发+渗漏)/水库放水。

表 4 灌溉区水量平衡项的季节总值

Table 4 Seasonal total values for each term of water volume equilibrium for reservoir irrigated areas

水库	季节	起止年份	作物 种类	降雨量 /万 m ³	灌溉水量 /万 m ³	蒸发量 /万 m ³	下渗量 /万 m ³	径流量 /万 m ³	RIWS /%	RWS /%
Kalankuttiya	Maha	1996 ~ 1997	水稻	730.1	2 531.5	878.6	1 410.5	766.9	111	142
		1997 ~ 1998	水稻	2 114.9	3 078.1	1 139.9	1 889.3	2 002.7	102	171
		1998 ~ 1999	水稻	1 607.7	1 810.8	846.4	1 705.8	673.8	71	134
		2001 ~ 2002	水稻	606.4	2 277.5	810.9	1 324.6	535.3	107	135
	Yala	2001	水稻	329.0	1 240.4	754.5	650.1	0.0	88	112
			非水稻	219.8	670.6	413.2	241.1	204.1	162	215
Nallachchiya	Maha	1998 ~ 1999(右岸)	水稻	614.1	839.0	341.6	759.6	292.3	76	132
		1998 ~ 1999(左岸)	水稻	368.6	450.2	208.1	446.0	131.0	69	125
		1999 ~ 2000(右岸)	水稻	696.4	655.7	298.7	697.0	303.0	66	136
		1999 ~ 2000(左岸)	水稻	418.0	358.5	182.2	388.2	176.9	63	136
		2000 ~ 2001(右岸)	水稻	504.5	819.2	383.9	699.0	189.8	76	122
		2000 ~ 2001(左岸)	水稻	302.8	403.4	191.8	287.5	83.1	84	147
		2001 ~ 2002(右岸)	水稻	254.4	776.8	310.1	502.3	138.5	96	127
		2001 ~ 2002(左岸)	水稻	152.7	417.7	177.1	264.4	99.7	95	129
	Yala	2001(右岸)	水稻	36.7	315.1	190.1	127.1	0.0	99	111
			非水稻	17.5	193.9	88.6	69.8	37.4	219	239
		2001(左岸)	水稻	23.6	230.9	129.4	101.2	0.0	100	110
			非水稻	6.0	26.3	21.5	12.1	12.2	122	150

注:下渗指作物根系区底部的下渗量;RIWS是相对灌溉供水值,RWS是相对供水值。

3 讨 论

3.1 水库蓄水量

Nallachchiya 水库和 Kalankuttiya 水库日水位过程线见图 1、图 2。从图 1 和图 2 可以明显地看出 Kalankuttiya 水库和 Nallachchiya 水库在每个 Maha 季节和 Yala 季节内的蓄水时间大约为 4 个月,但水位变化幅度和速度都比较大。在 Yala 季节,水位的波动周期为 10 ~ 14 d,而在 Maha 季节,水位的波动具有随机性,且变化的幅度更大一些。Nallachchiya 水库的水位波动范围在 Yala 季节为 1.5 m,而在 Maha 季节为 2.5 m; Kalankuttiya 水库在 Yala 季节为 2 m, Maha 季节为 2.5 m。在短短 5 d 内水库水位的上升和下降一般可达 2 m。

Kalankuttiya 水库和 Nallachchiya 水库都是浅水水库,因此大的水位变化幅度导致大的水库水面面积的变化幅度(表 1 和表 2),水库水面面积的剧烈波动严重制约了灌溉水的非灌溉利用。如,实验表明浮动网箱水产养殖对贫穷的农家来说是一个很有吸引力的创收途径,但网箱安装的位置受制于快速的水位波动。贫穷的农家由于负担不起购买船只的费用,因此更喜欢把网箱安装在水浅的地方,但频繁且难以预测的水位变化将

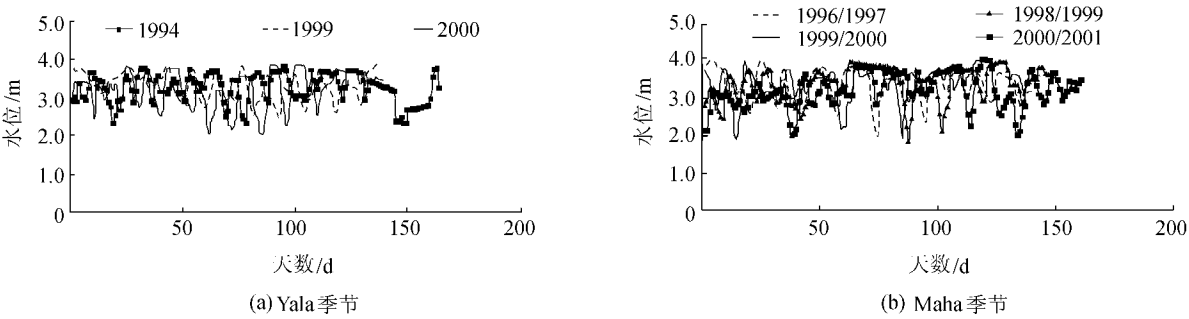


图 1 Nallachchiya 水库日水位过程线

Fig.1 Daily level hydrographs for Nallachchiya Reservoir

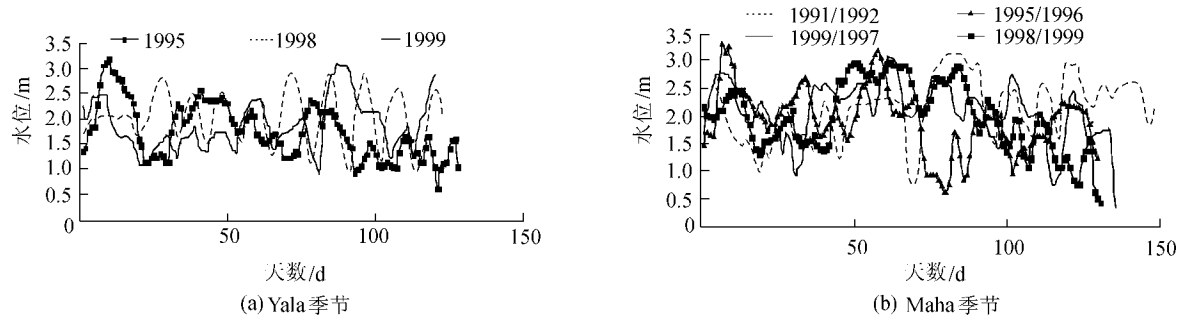


图 2 Kalankuttiya 水库日水位过程线

Fig.2 Daily level hydrographs for Kalankuttiya Reservoir

给浅水区的网箱养殖带来较大风险.深水区的网箱养殖虽然比较可靠,但对没有船只的贫穷农户来说,养殖的日常维护却是一个难题.在两个灌溉季节之间水库蓄水量的大大减小也限制了附近村民与家禽的非灌溉用水.另外一个影响水库水产潜力的因素是水库水体快速更新.一般来说,水库水产业主要取决于水体高的原生产率,且浅水热带湖泊/水库代表高产的水产业^[10],而斯里兰卡小水库的水体中含有丰富的营养物质,其水产的潜力也受到相当的重视^[11,12].然而,Kalankuttiya 水库和 Nallachchiya 水库 5~7 d 的水体更新时间限制了水库原生产率,制约了水库的水产潜力.

3.2 水量平衡

从表 3 可以明显地看出 Kalankuttiya 水库和 Nallachchiya 水库的水位变化主要受放水(从水库放水到水库灌溉区)和引水(从灌溉系统引水到水库)规律的影响.每一个灌溉季节内从灌溉系统分配到每个小水库的水量与从该水库供应给其灌溉区的水量几乎相等,而来自水库自身流域面积的径流量却非常小.图 3 显示了水库水位与受控制的水库入流和出流之间的关系.从图 3 可以看出,水库日引水量没能很好地响应水库日放水量,小水库的作用是缓冲其日引水量与日放水量之间的不匹配,但其后果是水库水位剧烈波动.

表 3 表明,就 Nallachchiya 水库而言,水库溢流量小,但在多数灌溉季节水库溢流量与从水库自身流域面积上产生的径流量在很大程度上是相当的,表明来自水库流域面积上的径流量没能得到有效利用;而对 Kalankuttiya 水库来说,水库溢流量要大得多,反映了水库自身流域面积上的高产水量.水库的额外损失(定义为水库蒸发量与渗漏量之和)可以看作是为缓冲水供应—水需求之间的不匹配所付出的代价.从表 3 还可以看出,额外损失量在 Maha 季节大约占水库总放水量的 1%,而在 Yala 季节,由于蒸发量增加,这个比例提高到大约 3%.

表 4 给出了由日水量平衡结果计算得到的水库灌溉区的季节降水量、季节灌溉量、季节蒸散发量、作物根系区底部的季节下渗量及季节径流量.从表 4 可以清楚地看出季节径流量与季节降水量之间有很好的对应关系,说明没能有效地调整水库放水量以反映因降雨导致的作物需水量的减少.表 4 中的相对灌溉供水值①(RIWS)及相对供水值②(RWS)也反映了这一情况.在 Maha 季节,Kalankuttiya 水库的灌溉供水一般可以

① 灌溉水量与植物蒸散发量和植物根系区底部下渗量之和的比值.

② 灌溉水量和降雨量之和与植物蒸散发量和植物根系区底部下渗量之和的比值.

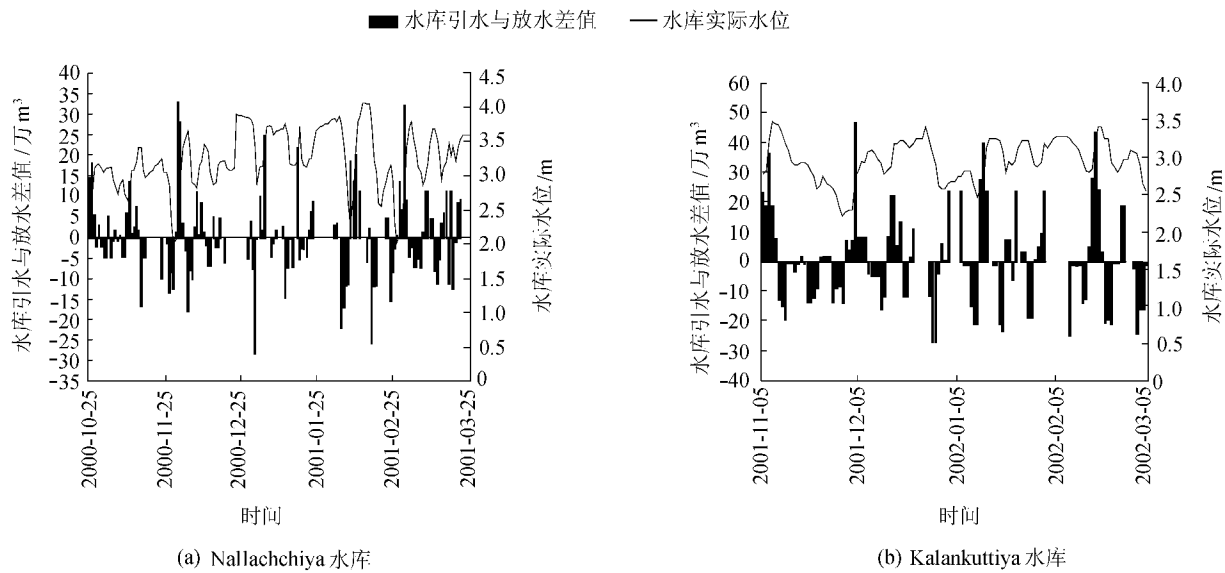


图3 Maha季节水库水位和水库引水与放水差值之间的关系

Fig.3 Relationship between reservoir water level and difference between water diversion and water discharge in Maha season
满足其灌溉区的需水量,因此, RWS 值大于 100%,但对 Nallachchiya 水库来说, RWS 值都低于 100%。在考虑降雨对灌溉的贡献后,每座水库在任一 Maha 季节总的供水量都超过了其灌溉区的作物需水量,结果所有 RWS 值都高于 100%。由此可见,有可能通过调整灌溉计划和水库放水量,把水贮存在水库中直到需要用水的时候,为增加 Yala 季节的灌溉面积或水库水用于其他非灌溉用途提供了更多的机会。

4 结 论

从以上分析可以看出,虽然水库都起到了调节供水与需水之间不匹配的作用,但都没有充分发挥功效。在现行的水库操作运行程序下,特别是在 Maha 季节,水库的日引水没能和日放水要求在时间和数量上相匹配,引水与放水也没能根据降水量的大小做出有效的调整。通过改进现行的水库运行与管理模式,能使这一状况得到改善并减少从主要水渠系统分配到小水库的水量,以使更多的水量滞留在主要水库(Kalawewa)中满足 Yala 季节的用水。

这些小水库可以通过向非灌溉用水提供水源来创造额外的效益。根据文献 [2, 13],灌溉水同时用于灌溉与非灌溉目的可以取得大大超过仅用于灌溉目的的总价值。然而,灌溉水多用途的有效管理需要对不同用水需求之间的竞争及互补特性有很好的了解。原则上分布在大型灌溉系统中的附属小水库应该有利于灌溉系统的管理,但从本文的实例可以看到,现行的水库运行与管理模式导致了水库水位的快速波动,且波动幅度大,使得水库没能有效地发挥灌溉效益,可以通过非消耗水用途(即捕鱼或水产养殖)而获得的潜在效益也受到了严重的制约。两个用于实例分析的小水库的库容足以满足 20d 的灌溉需求,足够调节供水与需水之间的不匹配且避免水库水位的剧烈波动。但是,相对短的水库水体更新时间限制了水库水产业的产量。以前所作的优化水库水量的努力[5, 6]没有考虑到灌溉水的多用途。为了避免剧烈的水位波动,附属小水库的库容应该相对大一些。

分布于系统 H 内的众多小水库的库容之和为 Kalawewa 水库库容的 33%,而其水面面积之和(相应于水库库容的水面积)只占 Kalawewa 水库灌溉区的 12%。水库蒸发和渗漏导致了水库相对较小的额外损失,而用于灌溉与非灌溉等用途的库水所获得的收益从家庭收入、营养与健康方面来说可能相当大[2]。由于两个实例水库的库容与水库灌溉区面积的比值及水库自身流域面积与水库灌溉区面积的比值都位于这两个比值变动范围的下限,因此在为某一个特定水库设计运行程序时应考虑这些差别[7]。

参考文献:

[1] MEINZEN-DICK R, HOEK W V D. Multiple uses of water in irrigated areas[J]. Irrigation and Drainage Systems, 2001, 15: 93—98.

- [2] RENWICK M E. Valuing Water in a multiple-use system : irrigated agriculture and reservoir fisheries[J]. Irrigation and Drainage Systems , 2001 ,15 : 149—171 .
- [3] PLUSQUELLEC H. How design ,management and policy affect the performance of irrigation projects[M]. Bangkok : Thailand FAO . 2002 . 156 .
- [4] CHAMBERS R. Managing canal irrigation[M]. Cambridge : Cambridge University Press . 1988 . 279 .
- [5] MISHRA A ,TYAGI N K. Improving canal water deliveries with auxiliary storage[J]. J of Irrigation & Drainage ASCE ,1988 ,114(3) : 535—546 .
- [6] FLYNN L E ,MARINO M A. Aqueduct and reservoir capacities for distribution systems[J]. J of Water Resources Planning and Management ASCE ,1989 ,115(5) : 547—565 .
- [7] GOWING J W ,MAHEEPALA P S. Reuse of return flows and local runoff in irrigation system[A]. In : PEREIRA L S ,GOWING J W , eds . Water and the Environment : Innovation Issues in Irrigation and Drainage[C]. London : E & FN Spon , 1998 . 470 .
- [8] ANBUMOZHI V ,MATSUMOTO K ,YAMAJI E. Towards improved performance of irrigation tanks in semi-arid regions of India : modernisation opportunities and challenges[J]. Irrigation & Drainage Systems 2001 ,15 : 293—309 .
- [9] LI Q. An investigation of integrated management of irrigation systems for agriculture and aquaculture[D]. Newcastle : University of Newcastle upon Tyne 2002 .
- [10] FERNANDO C H ,HALWART M. Possibilities for the integration of fish farming into irrigation systems[J]. Fisheries Management and Ecology 2000 (7) : 45—54 .
- [11] AMARASINGHE U S. Reservoir fisheries management in Sri Lanka : achievements ,mistakes and lessons for future[J]. Int Rev Hydrobiol ,1998 ,83 : 523—530 .
- [12] NISSANKA C ,AMARASINGHE U S ,DE SILVA S S. Yield predictive models for Sri Lanka reservoir fisheries[J]. Fisheries Management and Ecology 2000 (7) : 425—436 .
- [13] PALANISAMI K ,MEINZEN-DICK R. Tank performance and multiple uses in Tamil Nadu ,South India[J]. Irrigation and Drainage Systems 2001 ,15 : 173—195 .

Multiple-use management of auxiliary small reservoirs in a large irrigation system

LI Qiong-fang¹ , John W. GOWING²

(1. College of Water Resources and Environment , Hohai Univ . , Nanjing 210098 , China ;

2. Center for Land Use and Water Resources Research , Newcastle University , Newcastle UK , NE4 7RU)

Abstract The auxiliary storage reservoirs alleviate the contradiction between water supply and water demand to a certain degree and also accelerate water delivery and help recovery of return flows . The existence of the reservoirs provides some opportunities for multiple-use management of the irrigation system and improves the productivity of irrigation water . In this paper , the current operational performance of the storage reservoirs in the Mahaweli system H in Sri Lanka and the potential in their multiple-use management as well as some constraints were analyzed . The results indicated that the current operating mode , designed only for satisfying the demand of irrigation , resulted in the rapid fluctuation of the reservoir water level , and that the short period of recovery of the reservoir water body impeded the obtaining of great benefit from multiple-use management .

Key words irrigation system ; multiple-use management ; small reservoir