

# 赤田水库饮用水水源保护区划分与保护措施

周训华, 姜海萍

(珠江水资源保护科学研究所, 广东 广州 510610)

**摘要** :为了有效地保护好三亚市赤田水库水资源,以 HJ/T 338—2007《饮用水水源保护区划分技术规范》为基础,结合库区环境特征、污染状况及相关影响因素,预测库区水质和富营养化趋势,确立赤田水库饮用水水源保护区划分原则及方案,并从污染控制、生态保护、水质监测以及库区管理 4 个方面提出切实可行的保护措施。

**关键词** 赤田水库;水源保护区;划分;保护措施

中图分类号:TV213.4 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2009)06-0008-04

## Study on division of conservation areas for drinking water and on protective measures for Chitian Reservoir

ZHOU Xun-hua, JIANG Hai-ping

(Scientific Research Institute of Pearl River Water Resource Protection, Guangzhou 510610, China)

**Abstract** :In order to protect the water of Chitian Reservoir in Sanya, rules and plans for delineating Chitian water source protection areas were established according to the Technical Guidelines for Delineating Water Source Protection Areas, combined with the environmental characteristics of the reservoir, pollution status, related factors and prediction of water quality and eutrophication trends. A series of protective measures for contamination control, ecological protection, water quality monitoring, and reservoir management are at forward.

**Key words** :Chitian reservoir; water protection area; delineation; protection measures

关于饮用水水源保护区的建立,当数德国经验最为丰富、方法最为成熟。德国建立饮用水水源保护区始于 18 世纪末期,至今已有 100 多年的历史,具有国际领先水平,其经验、方法及规范也被欧美工业国广泛吸收采用。在德国,水库、湖泊饮用水水源保护区的划分,一般将取水口所在流域区全区划定为饮用水水源保护区,饮用水水源保护区至少要包括流域区内取水口上游区,饮用水水源保护区内部分级划出 2~3 个分区,分级保护。分区一般呈环带状或半环带状,以取水口为中心向外展开<sup>[1-3]</sup>。国内饮用水水源保护区划分起步较晚,且相当长一段时期内没有形成具有指导性的标准和方法,导致保护区划分不合理、不科学,保护措施难以落实。2007 年 1 月,原环境保护总局出台了《饮用水水源保护区划分技术规范》,作为饮用水水源保护区划分的技术依据。本研究基于该规范,在研究分析水库实际环

境特征、污染问题及划分影响因素的基础上,建立了赤田水库饮用水水源保护区。

### 1 赤田水库背景

#### 1.1 水库概况

赤田水库位于三亚市东北部藤桥镇境内藤桥西河的下流,坝址距三亚市区 46 km,是一座集供水、防洪、灌溉等多种功能于一体的综合利用型水利工程。坝址以上河流长 29.9 km,控制流域面积 220.6 km<sup>2</sup>,总库容 7710 万 m<sup>3</sup>,正常库容 5960 万 m<sup>3</sup>,相应水位 23 m,水面面积 6.1 km<sup>2</sup>。

水库实际供水量超过 3 456 万 m<sup>3</sup>/a,占三亚市实际总供水量的 16.9% 以上,是该市目前最大的供水水库,在该市的社会和经济发展中具有举足轻重的作用,因此,建立饮用水水源保护区,保护好水库水资源显得尤为必要。

## 1.2 水库主要环境问题分析

水库目前主要的环境问题就是库区污染问题,具体体现在以下几方面。

### 1.2.1 点源污染

点源污染包括集中排放的生活污水和工业废水。水库上游有国营三道农场,人口分布集中,居民生活污水排放也相对集中,可将其视为点源污染。三道农场现有人口 7352 人,污水排放量 21.82 万 t/a,污染物排放量 COD 为 43.85 t/a,TP 为 1.18 t/a,TN 为 13.37 t/a。库区工业污染主要为三道农场橡胶加工厂产生的制胶废水,废水排放量 40992 t/a,主要污染物排放量 COD 为 1.3495 t/a,TP 为 0.109 t/a。

三道农场泡沫厂和医院位于水库库岸,对库区生态环境和水库水体有潜在的威胁。泡沫厂废水主要污染物为热污染,热水不排入水库,但冷却池位于库岸,对附近生态环境有一定影响。医院污水池的污水和散落在地面的医疗垃圾极易在降雨时随雨水径流进入库区污染水体。

### 1.2.2 面源污染

a. 农业活动产生的面源污染。库区农业种植地坡度大部分在 25°以下,农作物以水稻、番薯为主,水果以芒果、红毛丹为主,经济林以橡胶、槟榔为主,蔬菜以冬季瓜菜为主,种植总面积为 4908.5 hm<sup>2</sup>,其中橡胶 1073.3 hm<sup>2</sup>、槟榔 1060.3 hm<sup>2</sup>、芒果 201.2 hm<sup>2</sup>、其他水果 648.4 hm<sup>2</sup>、蔬菜 630.1 hm<sup>2</sup>、水稻 1056.1 hm<sup>2</sup>、其他作物 239.1 hm<sup>2</sup>。该地区土壤以壤土为主,化肥使用氮、磷、钾肥,化肥使用量 2857.7 t/a。

因农业活动而进入水库的面源污染物总量采用土地输出系数法进行估算<sup>[4-5]</sup>。污染负荷分别为:COD 820.75 t/a,TP 9.19 t/a,TN 119.66 t/a。

b. 禽畜养殖污染。库区养殖家禽 50800 只、猪 10545 头、牛 5375 头、羊 23303 头。畜禽养殖污染物产生量按原环境保护总局给出的、统一的畜禽粪尿排泄量和污染物排放量计算方法<sup>[6-10]</sup>(表 1 和表 2)估算。

表 1 畜禽粪尿排泄量

畜禽名称	粪排泄量/ (kg·d <sup>-1</sup> )	尿排泄量/ (kg·d <sup>-1</sup> )	饲养周期
牛	20.0	10.0	365
猪	2.0	3.3	150
鸡	0.1	—	60
鸭	0.1	—	60

表 2 畜禽粪便中污染物平均质量比 kg/t

污染物名称	u(COD)	u(TP)	u(TN)
牛粪	31.0	1.2	4.4
牛尿	6.0	0.4	8.0
猪粪	52.0	3.4	5.9
猪尿	9.0	0.5	3.3
鸡粪	45.0	5.4	9.8
鸭粪	46.3	6.2	11.0

经计算,库区禽畜养殖污染物产生量:COD 为 1715.05 t/a、TP 为 79.79 t/a、TN 为 394.91 t/a。参考相关研究资料<sup>[11]</sup>,禽畜粪尿总体流失率取为 6%,则进入水库的禽畜养殖污染物:COD 为 102.90 t/a、TP 为 4.79 t/a、TN 为 23.69 t/a。

### 1.2.3 农村生活污染

水库流域内除上游三道农场居民外,还有分布在三道镇、南林镇、国营南田农场的居民,共 11685 人。这部分人在库区分布较分散,其日常生活产生的污染物的排放也相对分散,可视作面源污染。通过经验方法估算,进入水库的污染负荷:COD 为 69.95 t/a,TP 为 1.88 t/a,TN 为 21.33 t/a。

除上述污染问题外,库区生态环境破坏也较为严重,水源林砍伐殆尽,这对水源的涵养也十分不利。

## 2 赤田水库饮用水水源保护区划分

赤田水库饮用水水源保护区的划分,应解决的关键问题有 2 个:①对库区水质进行预测,明确污染物的分布情况,从而保证保护区的水质可达性;②深入分析外部影响因素,这是保证保护区划分范围合理、保护措施得以实施的前提。

### 2.1 水质预测

#### 2.1.1 上游点源影响预测

赤田水库呈狭长河道型,根据其水系特点、水力特性及河流功能的需要,确定用完全混合式模型与一维点源稀释自净模型相结合来预测污染物沿程降解情况。

完全混合模型:

$$\rho = \frac{\rho_P Q_P + \rho_E Q_E}{Q_P + Q_E}$$

式中: $\rho$  为完全混合后污染物的质量浓度,mg/L; $\rho_P$  为混合前污染物质量浓度,mg/L; $\rho_E$  为污水排放质量浓度,mg/L; $Q_P$  为上游来水量,m<sup>3</sup>/s; $Q_E$  为污水排放量,m<sup>3</sup>/s。

混合长度计算公式:

$$L = \frac{(0.4B - 0.6a)Bu}{(0.058H + 0.0065B)u_*}$$

其中

$$u_* = \sqrt{gHJ}$$

式中: $L$  为混合过程段长度,m; $B$  为河流宽度,m; $a$  为排放口距岸边的距离,m; $u$  为河流断面平均流速,m/s; $H$  为平均水深,m; $u_*$  为摩阻流速,m/s; $g$  为重力加速度,m/s<sup>2</sup>; $J$  为河流底坡。

一维点源稀释模型

$$\rho' = \rho_0 e^{-\frac{Kx}{86.4u}}$$

式中: $x$  为沿程距离,km; $K$  为综合降解系数,d<sup>-1</sup>;

$\rho'$  为沿程污染物质量浓度, mg/L;  $\rho_0$  为前一个节点污染物质量浓度, mg/L。

预测条件: 水量采用 90% 保证率下的年径流量, 根据赤田水库所在河流藤桥西河径流计算成果, 赤田水库 90% 保证率下年径流量为 1.02 亿  $m^3$ ; 污染物背景浓度根据水质监测结果确定; COD、TN、TP 的降解系数分别为  $0.1 d^{-1}$ 、 $0.034 d^{-1}$ 、 $0.03 d^{-1}$  [12-13]。

利用上述模型进行预测, 结果表明: 最大排污负荷下, 污染物排入水库后, 经过约 445 m 的混合、扩散、降解, 水质可完全满足水库 II 类水质目标要求。即污染物排入水库后会形成一个长 445 m 的超标混合带。根据量算, 排污口至水库取水口的距离约为 6200 m, 可见超标距离较小, 而且上游水面窄、水深浅, 水质超标区的水体体积占整个水库水体总体积的比重更小, 这表明上游点源排污造成的影响只限于水库局部区域。

### 2.1.2 水库富营养化预测

采用狄隆模型来预测稳定时 N、P 的平均浓度。模型如下 [14]:

$$\bar{\alpha}(N/P) = \frac{I(1-R)}{H\rho_w}$$

$$\rho_w = Q_V/V$$

式中:  $\bar{\alpha}(N/P)$  为 N 或 P 的年平均质量浓度, mg/L;  $I$  为水库单位面积 N 或 P 年均负荷量,  $g(m^2 \cdot a)$ ;  $H$  为水库平均水深, m;  $\rho_w$  为水力冲刷系数,  $a^{-1}$ ;  $R$  为 N 或 P 滞留系数,  $a^{-1}$ ;  $Q_V$  为入库水量,  $m^3/a$ ;  $V$  为水库容积,  $m^3$ 。

预测条件: N 或 P 负荷包括库区点、面源排污进入水库的 N 或 P; 水量采用 90% 保证率的年径流量; 库容选取运行以来的最小库容, 为 3552 万  $m^3$ 。

评价标准: 参考执行武汉东湖富营养化评价标准 [15] (表 3)。

表 3 武汉东湖富营养化评价标准 mg/L

评价指标	贫营养	中营养 (前期)	中营养 (后期)	富营养	重度 富营养
TP	<0.001	0.001~0.005	0.005~0.02	0.02~0.05	>0.05
TN	<0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~1.0	>1.0

根据预测结果, 赤田水库 TN 质量浓度为 0.287 mg/L, TP 质量浓度为 0.0083 mg/L。结合富营养化评价标准可知, 目前水库 TN、TP 水平均处于中营养后期, 没有达到富营养化水平, 但富营养化趋势较明显, 因此应严格控制水库 N、P 的入库量, 防止富营养化的发生。

## 2.2 影响因素分析

饮用水水源保护区划分时分析其影响因素是合理划分的前提。影响赤田水库饮用水水源保护区划

分的因素主要有以下几点: ①短期内改变库区农业经济现状难。目前, 库区居民主要靠种植农作物、橡胶林、果树等获取收入, 维持生计。且当地经济不发达, 居民获取收入的途径少, 短时期内很难改变库区的经济现状。此外农业活动中要施用化肥、农药, 必然会影响到水库水质, 这与水质保护相矛盾。②三亚市水资源开发利用难, 尽可能保护好现有可利用的水资源十分重要。③赤田水库供水地位突出。水库自建成以来, 为三亚市的供水发挥了巨大作用。随着社会经济的发展, 城镇需水量不断增加, 赤田水库的供水地位将不断加强, 因此保护好赤田水资源是必须的, 更是紧迫的。

综合上述因素, 赤田水库饮用水水源保护区的划分首先要考虑的是: 划定的保护区必须能最大限度地保护好赤田水库水资源; 再者, 应在一定程度上、一定时期内兼顾当地经济的发展, 以缓解水资源保护与库区经济发展的矛盾。

### 2.3 保护区范围划分方案

根据污染物浓度分布预测结果, 结合饮用水水源保护区划分的影响因素, 确定赤田水库饮用水水源保护区具体划分方案如表 4 所示。

表 4 赤田水库饮用水水源保护区划分方案

保护区级别	范围	保护面积/ $km^2$		水质目标
		水域	陆域	
一级	在赤田水库正常水位(23 m)时, 距离取水口 2500 m, 以新村上村与对岸最狭窄处的连线为一级保护区水域边界线, 该范围内的水域为一级保护区水域; 由水域边界向陆地扩展 200 m 得到一级保护区陆域, 在大坝处以大坝的外边线为边界, 西南侧以大坝至新村的公路为界	1.23	0.92	II 类
二级	在赤田水库正常水位(23 m)时, 除一级保护区水域外的其余水域为二级保护区水域; 由水域界线向陆地扩展 1000 m, 二级保护区边界由面向水库的第一重山脊线、海榆中线公路和合口至南林公路线等组成, 得到二级保护区陆域	3.27	9.84	II 类

### 2.4 水质可达性分析

根据上游点源污染预测结果可知, 上游三道农场集中排污会在水库上游形成一个长 445 m 的超标混合带, 由于赤田水库一级保护区位于水库下游, 因此上游排污对一级保护区的水质不会造成影响, 一级保护区的水质完全可以满足其 II 类水质目标要求。水库二级保护区水域范围内会形成一个超标混合带, 由于二级保护区水域面积及水量均较大, 而超标混合带位于水库上游, 超标距离小, 且上游河道水面较窄、水深较浅, 超标水体体积占整个二级保护区的水体体积则更小, 因此上游排污对整个二级保护区的水质影响不大。

水库富营养化预测表明,目前水库还没有达到水库富营养化水平,但处于中营养后期水平,具有富营养化的趋势,应严格控制水库的N、P入库量。

综上所述,赤田水库饮用水源保护区的水质具有可达性,但今后须加强水库富营养化的防治工作。

### 3 赤田水库水资源保护对策与措施

#### 3.1 库区污染控制措施

a. 工业污染控制措施。控制三道农场橡胶加工厂生产规模,进一步提高废水处理程度,加强技术改造,减少制胶环节中污染物的产生;三道农场泡沫厂虽然不向水库直接排污,但其冷却池位于水库库边,对库岸的生态环境、土壤具有一定的影响,同时渗透作用也可能引起水体污染,建议将冷却池向外迁移100 m,并进行防渗处理;医院距水库太近,对赤田水库水体具有潜在威胁,建议将其向外搬迁。

b. 生活污染控制措施。在三道农场场部和人口密集的生产队,可以场部或生产队为单位修建大型沼气池,所有生活污水、人畜粪便全部集中排入沼气池,这样既可以提供部分能源,还可以防治水库水体污染;对于其他分散居民,可以户为单位修建小型沼气池,家庭生活污水、人畜粪便、可降解的生活垃圾均排入沼气池,禁止排入水库;农场场部及人口密集的生产队居民日常生活产生的垃圾应每天收集,定点堆放,定期运出库区,防止面源污染。

c. 农业面源污染控制措施。一、二级保护区内禁止使用高残留农药,禁止滥用化肥,提倡用生态肥料替代部分化肥,改变施肥技术,提高肥料利用率;要充分发挥高科技在面源污染控制中的作用,改变旧的农业耕作方式,调整保护区内产业结构,实施生态农业工程建设,大力发展生态农业,发展无害化果树基地,推广生物防治病虫害,减少环境污染,改善农业生态系统的状态,从而保护水源,促进农业的发展,鼓励农业向库区外围扩展,而不应拘泥在库区内,特别是一、二级保护区内。

#### 3.2 库区生态保护措施

加强保护区及其周围地区的生态保护工作,保护好现有的森林、植被。科学划定用材林、经济林、公益林的范围,利用政策导向和法律强制,在水土流失严重的区域实行封山育林,25°以上的坡地实行退耕还林,逐步建设乔木、灌木、草本植物多层次立体结构的森林生态系统,加大水源林的营造力度,在土壤侵蚀强度较大的地区,建立连线、连片的水源涵养林,逐步形成结构与功能稳定的森林生态系统,更好地涵养水源,防止水土流失;在一、二级保护区水域外侧应设置50 m宽的植物隔离缓冲带。

#### 3.3 库区水质监测措施

近期监测计划:在经济实力不够强大的情况下,水库水质监测可采用人工多断面监测;中、远期监测计划:应加大人力、物力、财力的投入,购买仪器设备、引进先进技术,建设赤田水库水质自动监测系统,提高对突发性污染事件的应急反应、处理能力。水质自动监测系统不但要实现水库水质监测的实时化、动态化、全面化,而且还要实现水库上游藤桥西河水质监测的实时化、动态化、全面化。

#### 3.4 库区管理措施

水库管理部门应组织加强宣传教育,提高全民珍惜水、保护水、节约水的意识,制订和完善有关法律、法规、条例,强化水资源保护管理,形成保护区综合决策机制,做好各地区、各部门间的配合。赤田水库饮用水水源保护区涉及的行政区有三亚市和保亭县,涉及的业务主管部门有水利、环保、林业、水产、农业等部门,为更好地保护赤田水库水资源,各部门应加强相互间的沟通,牺牲部分部门的利益,服从大局,全力保护好赤田水库水资源;加大监督管理力度,预防环境破坏行为的发生;为了加强公众保护水资源的意识,建议在一、二级保护区设立明显的标志牌,标明保护区级别、范围以及主要的管理规定。

### 4 结 论

a. 赤田水库是三亚市目前最大的饮用水水源地,供水地位突出;水库目前由于库区生态环境破坏,库区农业活动开展及生活、工业废水排放,水体面临的污染问题较为突出,因而建立饮用水水源保护区加以保护迫在眉睫。

b. 本研究以原环境保护总局制定的《饮用水水源保护区划分技术规范》为基础,通过分析水库主要环境问题,结合外部影响因素,建立了赤田饮用水水源保护区。保护区分一级区和二级区,保护区总面积15.26 km<sup>2</sup>,其中一级保护区面积2.15 km<sup>2</sup>,二级保护区面积13.11 km<sup>2</sup>,水质保护目标为Ⅱ类。

c. 保护区水质保护措施主要根据水库自身的环境问题制定,主要包括库区污染控制、生态保护建设,水质监测以及库区管理等4个方面。

#### 参考文献:

- [1] 李建新. 德国饮用水水源保护区的建立与保护[J]. 地理科学进展, 1998, 17(4): 88-97.
- [2] 李建新, 唐登银. 生活饮用水地下水源保护区的划定方法: 英国的经验值法与实例[J]. 地理科学进展, 1999, 18(2): 153-157.

(下转第20页)

资源分区中,黑龙港平原及马颊河平原变化趋势明显,超出了临界值,其他区域变化趋势不明显,可以认为区域年降水量的变化趋势与区域的平均海拔高度有关。

#### 参考文献:

[1] 丁晶,邓育仁.随机水文学[M].成都:成都科技大学出版社,1988.  
[2] 覃爱基,陈雪英,郑艳霞.宜昌径流时间序列的统计分析[J].水文,1993,13(5):15-21.  
[3] YUE S, PILON P, CAVADIAS G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series[J]. Journal of Hydrology, 2002, 259:254-

271.

[4] 吴师,高嵩嵘.安徽省地表水水质变化趋势分析[J].水资源保护,2006,22(5):74-76.  
[5] 李俊峰,盛东,程晓如,等.玛纳斯河流域水质变化趋势分析[J].水资源保护,2008,24(4):10-13.  
[6] 刘攀,郭生练,肖义,等.水文时间序列趋势和跳跃分析的再抽样方法研究[J].水文,2007,27(2):49-53.  
[7] 刘春臻,刘志雨,谢正辉,等.近50年海河流域径流的变化趋势研究[J].应用气象学报,2004,15(4):385-393.  
[8] 张建云,章四龙,王金星,等.近50年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J].水科学进展,2007,18(2):230-234.

(收稿日期:2008-10-15 编辑:陈吉平)

(上接第11页)

[3] 尚银生,吴有志,宋尚孝.水库水源保护区划分方法初探[J].山西水利科技,1999(1):44-46.  
[4] 王晓燕,王晓峰,汪清平,等.北京密云水库小流域非点源污染负荷估算[J].地理科学,2004,24(2):227-231.  
[5] WISCHMEIER W H, SMITH D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Transactions of American Geophysical Union, 1988, 39(3):285-291.  
[6] 张力.为畜禽排污现状十分惊人,正成为中国新的污染大户破题“养殖业与种植业要破镜重圆”[J].中国动物保健,2007(9):59-61.  
[7] 吴淑杭,姜震芳,俞清英.禽畜粪便污染现状与发展趋势[J].上海农业科技,2002(1):9-10.  
[8] 苏杨.我国集约化畜禽养殖场污染问题研究[J].中国生态农业学报,2006,14(2):15-18.

[9] 贾玉霞.规模化畜禽养殖环境影响及主要防治问题[J].环境保护科学,2002,28(6):42-47.  
[10] 赵虹,韩永升.沈阳市畜禽养殖环境污染分析及防治对策[J].环境保护科学,2007,33(4):118-120.  
[11] 刘凌岩,王红军.大伙房水库上游禽畜业污染现状及其防治对策[J].环境保护科学,2002,28(3):21-22.  
[12] 李学灵,刘新媛,马岳雄,等.珠江流域片水资源保护规划报告[R].广州:水利部珠江水利委员会,2001:65.  
[13] 洪晓瑜,逢勇,黎曼.近似解模型在太湖藻类浓度场求解中的应用[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(1):41-44.  
[14] 韩菲,陈永灿,刘昭伟.湖泊及水库富营养化模型研究综述[J].水科学进展,2003,14(6):785-791.  
[15] 张征,沈珍瑶,邵景力,等.环境评价学[M].北京:高等教育出版社,2004:198.

(收稿日期:2008-11-05 编辑:徐娟)

(上接第15页)入流的处理。与其他河网地区河道相比,太浦河旁侧入流量很大,超过了东太湖来水水量,如何处理旁侧入流对干流水环境容量计算结果的影响是较关键的问题。笔者提出的“控制污染负荷量”的概念为解决这个问题提供了新的思路。③河道不均匀混合系数的确定。由于采用分段零维公式计算,不可避免地会带来由于污染物不均匀混合造成的误差,因此,必须对结果进行修正。

#### 参考文献:

[1] 翟淑华,张红举.人工调控河道水环境容量计算研究

[C]//黄真理.中国环境水力学,2006.北京:中国水利水电出版社,2006:46-52.

[2] 张红举.感潮河流水环境容量计算方法探讨[C]//房玲娣.水资源管理创新理论与实践.北京:中国水利水电出版社,2006:495-501.  
[3] 程文辉,王船海,朱琰.太湖流域模型[M].南京:河海大学出版社,2006:117-176.  
[4] 孙卫红,姚国金,逢勇.基于不均匀系数的水环境容量计算方法探讨[J].水资源保护,2001,17(2):25-26.

(收稿日期:2008-12-30 编辑:陈吉平)