

周公宅水库总氮和总磷来源调查分析

蓝雪春 陈增奇 李世锋

(浙江省水利水电勘测设计院 浙江 杭州 310002)

摘要 周公宅水库为宁波市 2007 年建成的重要的城市生活饮用水水源,其下游 15 km 的皎口水库是宁波市另一重要的城市生活饮用水水源。监测结果表明,目前流域内各主要干、支流及库区污染物主要为 TN、TP,其中又以 TN 超标最为严重。目前周公宅水库 TN、TP 入库量分别为 126.14 t/a、16.9 t/a;从各污染源分布情况看,化肥施用和农村生活污水等面源污染是 TN、TP 的最主要来源;从干、支流的分布情况看,污染源约 90%集中在干流上。提出周公宅水库水源保护及污染治理措施。

关键词 周公宅水库;TN;TP;水质保护;饮用水水源

中图分类号:X524 文献标识码:A 文章编号:1006-7647(2010)S1-0132-05

周公宅水库地处宁波市奉化江支流鄞江上游的大皎溪上,是宁波市重要的城市饮用水水源。坝址位于皎口水库上游约 15 km 处的鄞州区樟水镇周公宅村,东距宁波市区约 51 km,见图 1。坝址以上集

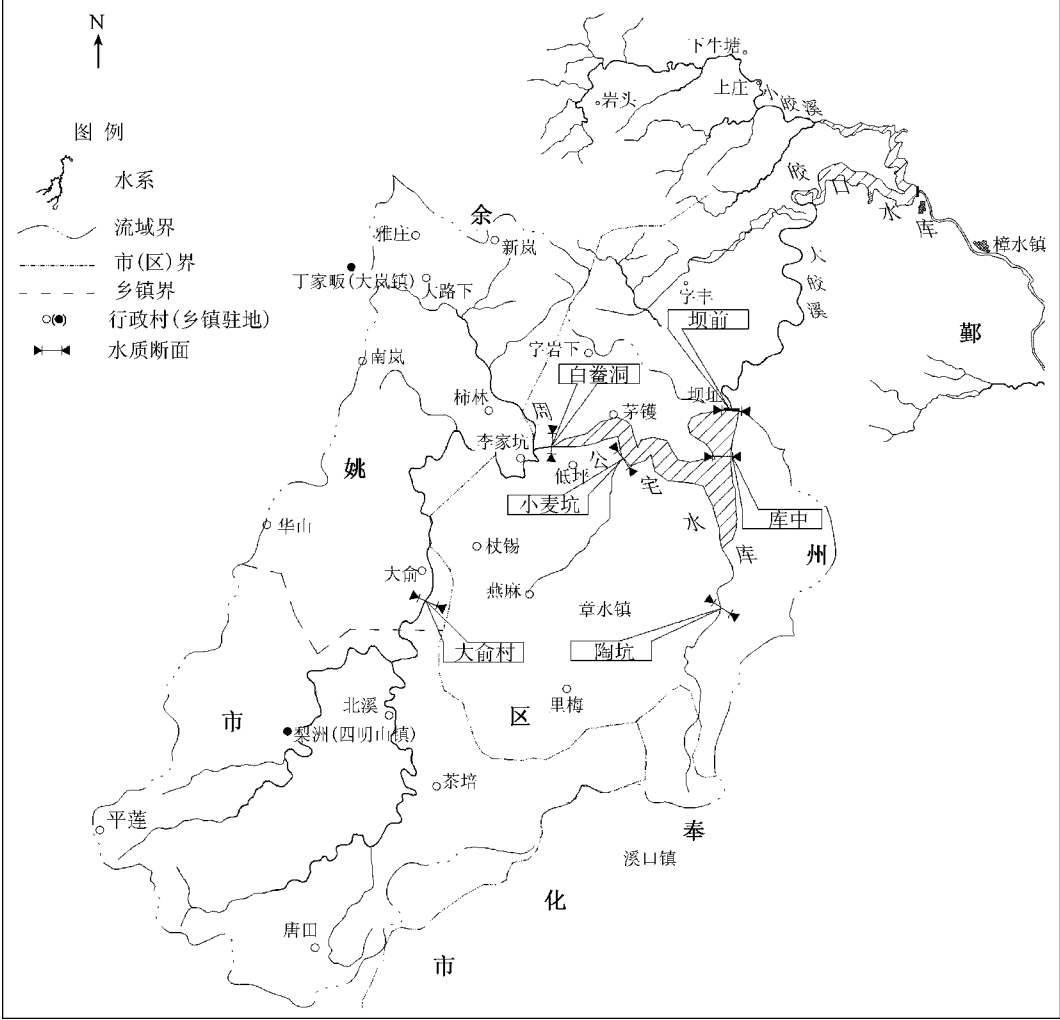


图 1 周公宅水库位置及水质监测断面布置

雨面积 132 km²,多年平均入库流量 1.48 亿 m³,总库容 1.12 亿 m³,是一个完全年调节性能的大(2)型水利工程,通过与下游的皎口水库联合调度,可向宁波市提供每年 10950 万 m³ 的优质水源,并向鄞西平原补充年供水 7159 万 m³。

周公宅水库流域水功能区属鄞江鄞州余姚源头水源保护区,水环境功能区属自然保护区,目标水质为Ⅰ类,但从水库蓄水后的定期监测成果看,目前周公宅水库水体 TN 严重超标,与 TP 同呈逐年升高趋势。调查研究周公宅水库 TN、TP 的主要来源对有的放矢地制定保护措施,确保该饮用水源地水质安全具有十分重要的意义。

1 评价方法

1.1 监测断面及水样采集

根据周公宅水库流域水系分布情况,在干流和 2 条主要支流设置了 4 个监测断面:干流上为大俞村和白鲞洞,支流为小麦坑和陶坑,水库内设置 2 个监测断面,坝前和库中(上、中、下层),见图 1 所示。各断面水样分两阶段共 4 次采集:第 1 阶段为连续降雨 3 天后(2008 年 9 月 13~15 日),于 2008 年 9 月 16 日和 17 日采样 2 次;第 2 阶段为连续 1 周末降雨(2008 年 9 月 17~24 日),于 2008 年 9 月 24 日和 25 日采样 2 次。

监测项目包括 COD_{Mn},TP,TN,SD,Chl-a。

1.2 评价方法

1.2.1 水质评价方法

水质评价采用标准指数法和超标倍数法评价。

标准指数计算公式如下:

$$S_i = \rho_i / \rho_{i\ s} \tag{1}$$

式中: S_i 为 i 因子的标准指数; ρ_i 为 i 因子的现状监测结果,mg/L; $\rho_{i\ s}$ 为 i 因子的评价标准,mg/L。

pH 值标准指数的计算公式为:

$$\begin{cases} S_{pH} = (7.0 - X_{pH}) / (7.0 - X_{pH\ sd}) & (X_{pH} \leq 7.0) \\ S_{pH} = (X_{pH} - 7.0) / (X_{pH\ su} - 7.0) & (X_{pH} > 7.0) \end{cases} \tag{2}$$

式中: $X_{pH\ sd}$ 为 pH 评价标准的下限值; $X_{pH\ su}$ 为 pH 评价标准的上限值。

j 断面 DO 标准指数的评价公式:

$$\begin{cases} S_{DO\ j} = \frac{|\rho_{DO\ f} - \rho_{DO\ j}|}{\rho_{DO\ f} - \rho_{DO\ s}} & \rho_{DO\ j} \geq \rho_{DO\ s} \\ S_{DO\ j} = 10 - 9 \frac{|\rho_{DO\ j}|}{\rho_{DO\ s}} & \rho_{DO\ j} < \rho_{DO\ s} \end{cases} \tag{3}$$

$$\rho_{DO\ f} = 468 / (31.6 + T) \tag{4}$$

式中: $\rho_{DO\ f}$ 为饱和溶解氧; $\rho_{DO\ s}$ 为 DO 的评价标准,mg/L; T 为水温,℃。

超标倍数法计算公式如下:

$$P_i = \frac{\rho_i - \rho_{i\ s}}{\rho_{i\ s}} = \frac{\rho_i}{\rho_{i\ s}} - 1 \tag{5}$$

式中: P_i 为 i 因子的超标倍数。

1.2.2 富营养化评价

目前,国内湖泊、水库富营养化评价的基本方法主要有营养状态指数法、修正的营养状态指数、综合营养状态指数、营养度指数法和评分法,其中综合营养状态指数因简便易行而多被采用。

综合营养状态指数计算公式如下:

$$TLI = \sum_{j=1}^m W_j TLI_j \tag{6}$$

式中: TLI 为综合营养状态指数; W_j 为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重; TLI_j 为第 j 种参数的营养状态指数。

以 Chl-a 作为基准参数,则第 j 种参数的归一化的相关权重计算公式为:

$$W_j = \frac{r_{ij}^2}{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2} \tag{7}$$

式中: r_{ij} 为第 j 种参数与基准参数 Chl-a 的相关系数; m 为评价参数的个数。

中国湖泊(水库)的 Chl-a 与其他参数之间的相关关系 r_{ij} 及 r_{ij}^2 见表 1。

表 1 中国湖泊(水库)部分参数与 Chl-a 的相关关系

参数	r_{ij}	r_{ij}^2
Chl-a	1	1
TP	0.84	0.7056
TN	0.82	0.6724
SD	-0.83	0.6889
COD _{Mn}	0.83	0.6889

单个营养状态指数计算公式如下:

$$TLI_{Chl-a} = 10(2.5 + 1.086 \ln \rho_{Chl-a}) \tag{8}$$

$$TLI_{TP} = 10(9.436 + 1.6241 \ln \rho_{TP}) \tag{9}$$

$$TLI_{TN} = 10(5.453 + 1.694 \ln \rho_{TN}) \tag{10}$$

$$TLI_{SD} = 10(5.118 - 1.94 \ln h_{SD}) \tag{11}$$

$$TLI_{COD_{Mn}} = 10(0.109 + 2.661 \ln \rho_{COD_{Mn}}) \tag{12}$$

式中: ρ_{Chl-a} 为叶绿素 a 的质量浓度,mg/m³; h_{SD} 为透明度,m; ρ_{TP} , ρ_{TN} , $\rho_{COD_{Mn}}$ 分别为 TP,TN,COD_{Mn} 的质量浓度,mg/L。

2 流域水质评价

2.1 入库水质评价

监测结果显示,若 TN 不参与评价,除了大俞村和白鲞洞断面因粪大肠菌群(FCG)超标偶为Ⅴ类外,其余各断面均能达到Ⅲ类或Ⅱ类水质要求;若 TN 参与评价,各断面水质均为劣Ⅴ类,见表 2。各断面主要超标项目为 TN、FCG、NH₃-N 和 TP,其中大

表2 周公宅水库干、支流水质评价

断面	分类	pH	DO	COD _{Mn}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	FCG
大俞村	指标值	6.54~6.96	6.90~7.59	1.27~1.35	0.29~2.82	0.19~0.26	2.81~3.42	0.021~0.063	2340~23800
	水质类别	I	I~II	I	I	II	劣V	II	III~V
	S _i	0.04~0.46	0.98~1.66	0.64~0.68	0.10~0.94	1.27~1.73	14.05~17.1	1.05~3.15	11.7~119
	P _i	0	0~0.66	0	0	0.27~0.73	13.05~16.1	0.05~2.15	10.7~118
白鲢洞	指标值	7.82~8.35	8.19~8.58	1.33~1.84	0.60~3.32	0.03~0.15	2.46~2.71	0.012~0.024	230~23800
	水质类别	I	I	I	I~II	I	劣V	I~II	II~V
	S _i	0.41~0.68	0.69~1.11	0.67~0.92	0.20~1.11	0.20~1.0	12.3~13.55	0.60~1.20	1.15~119
	P _i	0	0~0.11	0	0~0.11	0	11.3~12.55	0~0.20	0.15~118
小麦坑	指标值	7.38~8.29	8.08~8.58	1.28~1.66	0.66~2.94	0.08~0.14	2.47~2.69	0.012~0.023	10~2340
	水质类别	I	I	I	I	I	劣V	I~II	I~III
	S _i	0.19~0.65	0.60~1.11	0.64~0.83	0.22~0.98	0.53~0.93	12.35~13.45	0.6~1.15	0.0475~11.7
	P _i	0	0~0.11	0	0	0	11.35~12.45	0~0.15	0~10.7
陶坑	指标值	7.12~7.55	7.75~8.14	1.39~1.57	0.44~3.53	0.04~0.28	2.30~2.82	0.011~0.020	0~230
	水质类别	I	I	I	I~III	I~II	劣V	I	I~II
	S _i	0.06~0.28	0.30~0.37	0.70~0.79	0.15~1.18	0.27~1.87	11.5~14.1	0.55~1.0	0~1.15
	P _i	0	0	0	0~0.18	0~0.87	10.5~13.1	0	0~0.15

表3 周公宅水库水质评价

断面	分类	pH	DO	COD _{Mn}	BOD ₅	NH ₃ -N	TP	TN	FCG
库中	指标值	7.10~7.88	7.47~8.19	1.28~1.57	0.14~1.90	0.09~0.15	0.012~0.022	2.40~2.70	0
	水质类别	I	I	I	I	I	II	劣V	I
	S _i	0.05~0.44	0.61~0.62	0.64~0.79	0.05~0.63	0.60~1.0	1.2~2.2	12~13.5	0
	P _i	0	0	0	0	0	0.2~1.2	11~12.5	0
坝前	指标值	7.15~7.78	7.14~7.84	1.21~1.65	0.66~1.60	0.03~0.16	0.015~0.023	2.59~3.01	0~23
	水质类别	I	I	I	I	I~II	II	劣V	I
	S _i	0.075~0.39	0.15~0.91	0.61~0.83	0.22~0.53	0.2~1.07	1.5~2.3	12.95~15.05	0~0.12
	P _i	0	0	0	0	0~0.07	0.5~1.3	11.95~14.05	0

俞村断面主要超标项目为 TN(超标倍数 13.05 ~ 16.10)、NH₃-N(超标倍数 0.27 ~ 0.73)、TP(超标倍数 0.05 ~ 2.15)、FCG(超标倍数 10.7 ~ 118);白鲢洞监测断面主要超标项目为 TN(超标倍数 11.30 ~ 12.45)、TP(超标倍数 0 ~ 0.25)、FCG(超标倍数 0.15 ~ 118);小麦坑监测断面出现的主要超标项目为 TN(超标倍数 11.35 ~ 12.45)、FCG(超标倍数 0 ~ 10.7);陶坑监测断面出现超标的项目 TN(超标倍数 10.5 ~ 13.1)、NH₃-N(超标倍数 0 ~ 0.87)。

2.2 水库水质及富营养化评价

现状监测结果显示,若 TN 不参与评价,水库水质为 II 类,若 TN 参与评价,水库水质为劣 V 类。主要超标项目为 TP(超标倍数 0.2 ~ 1.3)、TN(超标倍数 11 ~ 14.05),见表 3。周公宅水库综合营养状态指数均值为 36.25,呈中营养状态。

周公宅水库 2006 年 4 月底正式下闸蓄水,同年 8 月有关部门开始对水库水质进行定期监测。定期监测结果显示,水库蓄水后主要超标污染物为 TN 和 TP,其中 ρ_{TN} 高达 3.42 mg/L, ρ_{TP} 高达 0.186 mg/L, 大大高于建库前的 ρ_{TN} = 0.25 mg/L 和 ρ_{TP} = 0.025 mg/L^[1]水平,并且 TN 已呈逐渐升高趋势。水库蓄水后 TN 和 TP 变化曲线见图 2。

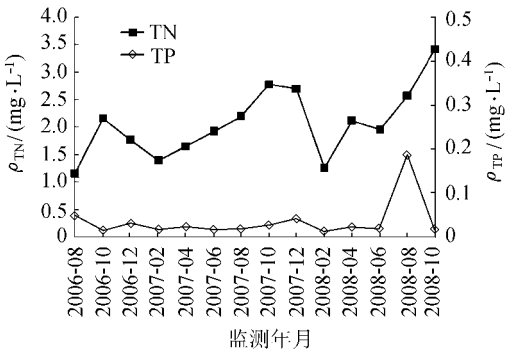


图2 周公宅水库 TN 和 TP 变化曲线

周公宅水库各主要干、支流及水库水质监测结果表明,目前流域内污染物主要为 TN、TP,其中又以 TN 超标最为严重。

3 分析与讨论

3.1 农村生活污水处理率低

流域内共有 20 个行政村、84 个自然村,共有人口约 1.8 万人,集中分布在干流和支流小麦坑,其中干流、支流小麦坑和库区周边人口分布占全流域总人口的 92.39%、5.8%和 1.81%,支流陶坑已无居住人口。

2008 年仅干流上的大岚镇梓林、丁家畈和四明山镇梨洲 3 个有条件的行政村设有集中式生活污水

处理站,居民生活污水集中处理率仅为 15%,远不能满足流域内农村生活面源污染控制的需要,这也是导致周公宅水库干流粪大肠菌群高的原因之一,而支流陶坑因无居住人口分布,其粪大肠菌群指标满足Ⅰ类水要求。

3.2 化肥施用强度高

据统计,建库前的 2001—2004 年宁波市的氮、磷肥(纯养分)的年均施用量分别为 319 kg/hm²、104.8 kg/hm²^[2],而周公宅流域内 2008 年氮、磷肥(纯养分)施用量分别为 481.4 kg/hm²、86.35 kg/hm²,氮肥施用量大大高于建库前全市平均水平。欧美发达国家为防止农田化肥对水体污染设置了 225 kg/hm²的安全施用上限(氮、磷肥)^[2],而周公宅流域 2008 年氮、磷肥合计施用量为 567.75 kg/hm²,超过该安全上限 2.52 倍。化肥施用强度高直接导致茶园、经济林和旱地等耕作土壤中氮、磷含量大大高于自然背景水平,成为周公宅水库水质 TN、TP 偏高的主要原因之一。

3.3 水土流失比例高且土地利用结构不合理

据调查,周公宅水库流域水土流失总面积 38.16 km²,其中轻度水土流失面积 29.72 km²,中度水土流失面积 8.17 km²,强烈水土流失面积 0.2 km²,极强烈水土流失面积 0.07 km²。流域内分属鄞州区、余姚市和奉化市,其中又以余姚市境内水土流失情况最为严重,约占全流域水土流失总面积的 2/3。

周公宅流域水土流失面积占流域总面积的 28.91%,大大高于宁波市全市水土流失面积 6.59% 的平均水平,与流域周边的余姚市、奉化市和鄞州区的平均水平相比,比水土流失比例 13.47% 的余姚市高出近 2 倍。流域内水土流失面积中很大一部分是由于流域上游,特别是雷笋、花卉苗木种植模式不当引起的^[3]。

周公宅水库流域的土地利用结构不甚合理。周公宅水库流域面积 132 km²,其中耕地、竹园、经济林(花卉)和茶园等的面积共计 59.6 km²,合计占流域面积的 45.15%,见图 3。

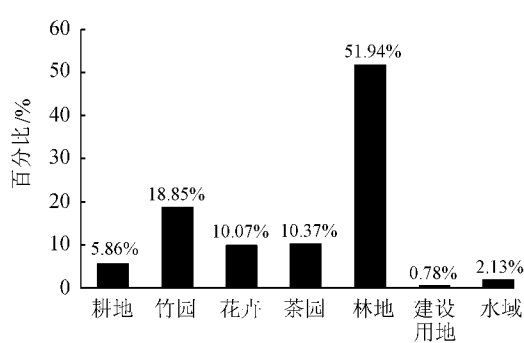


图 3 流域土地利用结构

不同的土地利用结构与水质之间存在某种关联^[4]。流域内土壤采样监测结果表明,茶园、经济林、竹林和耕地等地类因受人类频繁的农业生产活动的影响,其土壤中全氮和全磷含量均值较阔叶林的背景值分别高出 1.8~2.5 倍和 4~10 倍,较针叶林的背景值分别高出 1.4~1.9 倍和 3~7.5 倍。流域内茶园、经济林、竹林和耕地普遍存在不同强度的水土流失,这也是流域内各水系水体 TN 和 TP 普遍偏高的主要原因之一。

3.4 畜禽养殖业

目前流域内家禽养殖以散养、圈养为主,多数在山坡上利用塑料网围成一定面积的放养区域,牲畜则多为放养形式。量多面广的散养畜禽产生的粪便难以集中收集处理,N、P 等污染物经地表植物、土壤截留后仍有部分随地表径流进入水体。

3.5 旅游业

周公宅流域的风景旅游主要集中在库区干流上游。据调查,库区干流上游距库尾约 3 km 的樟水镇李家坑设有漂流和农家乐娱乐项目,游客每年达 15 万人。除李家坑外,库尾上游 7.5 km 大岚镇大俞沿溪也正在修建漂流和农家乐等娱乐设施,库尾上游 13 km 的四明山镇北溪漂流及农家乐在当地也小有名气。此外,流域上游已开发形成以余姚四明山镇的四明山森林公园为中心的独具特色的生态旅游项目,旅游规模已达每年 54 万人次。发展新兴旅游业是山区人民群众致富的有效途径之一,但是随之而来的是生活污染大幅度增加,给饮用水源保护增添更大压力。

目前周公宅水库 TN、TP 入库量分别为 126.14 t/a、16.9 t/a;从各污染源分布情况看,化肥施用和农村生活污水等面源污染是 TN、TP 的最主要来源;从干、支流的分布情况看,污染源约 90% 集中在干流上,见图 4~图 5。

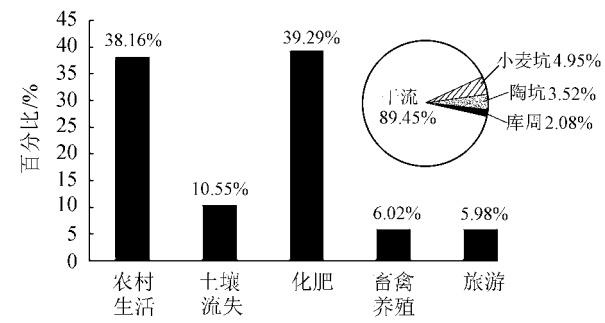


图 4 周公宅水库流域各污染源 TN 分布

4 结 语

面源污染是造成周公宅水库及入库干、支流水体水质 TN、TP 居高不下的最主要原因,而大量施用

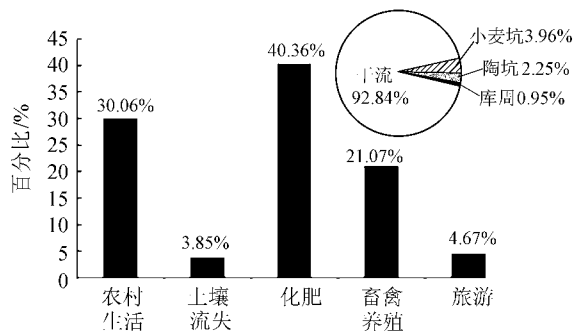


图5 周公宅水库流域各污染源 TP 分布

化肥所产生的流失、直接排放的农村生活污水是面源污染的主要表现形式。因此,周公宅水库水源保护及污染治理工程首先应从以下几方面着手整治:

a. 针对旱地、花卉苗木等经济林采取控制污染物输移途径的坡面径流调控耕作措施,实行测土配方施肥,对花木栽培、竹林等地表植被覆盖较低的采取林间间作、套种或混播。

b. 流域内农村生活污水要根据各乡镇村镇规划,结合规模较小的行政村及自然村就近并迁和移民下山脱贫工程,加快配套建设集中式生活污水处理站,并将旅游活动(农家乐)产生的生活污水与当地居民的生活污水一并加以收集处理。

(上接第 124 页)

b. 分别组建的项目法人模式。主要适用于建设内容比较多、工程量大、技术难度高、工程涉及面广、战线比较长的水利工程,或者是涉及多个省、市、县边界的水利工程,如大型河道整治工程、边界工程等。这类工程涉及面较广,往往需要各级政府成立领导协调和征迁机构。这种模式的优点是每个项目法人独立负责所分工的建设内容,权力与责任对等,特别是对于征地拆迁、移民安置量大或战线长的工程项目,大量的协调工作都由项目法人相对应的政府或其相关部门来完成,大幅度减少了项目法人的协调难度,以便有更多的精力投入到对工程质量、进度、投资的管理上。缺点是不符合国家对于一个公益性水利工程只能成立一个项目法人的规定,且不同项目法人之间的协调工作需由上一级政府或水利部门来承担。

c. 共同组建的项目法人模式。其适用情况与分别组建的项目法人模式的适用情况基本相同。这种模式整个工程只有一个项目法人,所有派驻现场的建设管理机构均对项目法人负责,解决了一个工程存在多个项目法人的问题,符合项目法人责任制的相关规定。不同派出机构之间的协调工作可以由

c. 考虑到周公宅流域隶属不同的行政区,协调较为困难,因此规划近期对较易实施的水库周边和支流陶坑的水土流失进行治理,采取林相改造和退耕还林等封山育林措施,结合生态移民工程和经济补偿手段使竹林、茶园、花卉等经济林逐渐放弃经营、使之自然演替或是进行林分改造,引种地带性植被中的优势种、关键种和阔叶树种,如青冈、冬青、木荷、苦槠等,以提高演替速率。

d. 对畜禽生态养殖场外围通过设“上截下排末处理”的排水和土地处理系统进行污染防治。

参考文献:

- [1] 谭湘萍,徐小燕.宁波市周公宅水库工程环境影响报告[R].杭州:浙江省环境保护科学设计研究院,2001.
- [2] 薛旭初.宁波市农业面源污染现状及对策研究[J].宁波农业科技,2006(1):15-18.
- [3] 余夏铭.宁波饮用水源地环境状况的调查与思考[EB/OL].[2010-05-10].http://old.nbrd.gov.cn
- [4] 龚建周,夏北成,郝凤江,等.广州市饮用水源保护土地利用格局与水安全[J].资源科学,2009,31(1):101-109.

(收稿日期 2009-12-01 编辑:高渭文)

项目法人来承担,也可以调动地方政府及相关部门的积极性,发挥他们在征地拆迁、移民安置等地方矛盾协调作用。

4 结 语

在公益性水利工程建设中,每个工程的具体情况都不一样,在具体组建项目法人时,必须充分考虑工程的特点,充分调动各级政府、相关部门、利益相关各方的积极性,才能保障工程建设的顺利实施。建立和完善适用于公益性水利工程的项目法人责任制是一项庞大的系统工程,需要我们在实际工作中不断地探索与完善,只有这样,公益性水利工程项目法人责任制才能健康、有序地向前发展。

参考文献:

- [1] 李新军,杨建基.水利建设项目实行项目法人责任制与建立现代企业制度[M].北京:中国水利水电出版社,1997.
- [2] 鞠茂森.水利工程项目法人责任制实施过程分析[J].中国水利,1999(5):35-37.
- [3] 潘运方.水利水电工程实行项目法人责任制探讨[J].广东水利水电,2001(6):78-80.

(收稿日期 2010-05-18 编辑:骆超)