

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2008.06.010

海宁市辛江塘河道健康诊断及病因分析

韩玉玲¹ 胡 玲¹ 夏继红² 王云南¹ 应聪慧¹ 罗 帷³ 蒲前超⁴ 林俊强⁴

(1.浙江省河道管理总站,浙江 杭州 310009;2.河海大学农业工程学院,江苏 南京 210098;
3.海宁市水利局,浙江 海宁 314400;4.河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 :以水清、流畅、岸绿、景美为河流健康的标准,建立河流健康现状诊断模型,确定各诊断指标的权重系数,计算河流健康综合指数。从诊断结果可以看出:辛江塘河道各河段的河流健康综合指数都大于 0.5,河流处于基本健康状态;辛江塘河道的流畅指数、岸绿指数和景美指数均较高,这主要得益于近几年实施的以植物措施为主的生态河道建设;辛江塘河道的水清指数很低,主要是由于河道的外来污染较严重,严重影响了河道的健康状况。

关键词 :河流系统;河流健康诊断;病因分析;辛江塘河道

中图分类号:X820.2 文献标识码:A 文章编号:1006-7647(2008)06-0036-04

River health diagnosis and analysis of the Xinjiangtang River in Haining City//HAN Yu-ling¹, HU Ling¹, XIA Ji-hong², WANG Yun-nan¹, YING Cong-hui¹, LUO Wei³, PU Qian-chao⁴, LING Jun-qiang⁴(1. River Management General Station of Zhejiang Province, Hangzhou 310009, China; 2. College of Agriculture Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Water Conservancy Bureau of Haining, Haining 314400, China; 4. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract :The river health diagnosis of the Xinjiangtang River in Haining City is described in this paper. Adopting limpidity, flowing, virescence and landscape as the river health evaluation indicators, the river health diagnosis model is developed. The weight of each evaluation indicator is determined and then the comprehensive river health index is computed. The results show that the comprehensive river health index of each reach is more than 0.5 and the river is generally healthy. The Xinjiangtang River has good flow conditions and virescence, and a healthy landscape profiting from the ecological river construction with vegetation carried out in recent years. Meanwhile, the water is not clear due to pollution, which greatly influences the river health.

Key words :river system; river health diagnose; cause analysis; Xinjiangtang River

1 辛江塘河道概况

辛江塘河道是浙江省海宁市的重要河道之一,是典型的平原河道。辛江塘河道西起盐官下河,东至袁硖港,中连斜郭塘、绵长港、平阳堰港、唐家堰港、麻泾港、木场桥等诸多海宁市级河流和镇主要河流,全长 22.528 km。辛江塘河道常水位(吴淞 2.80 m)时水面宽 27.00 m,河道总宽度 42.50 m,是浙江省海宁市“六纵九横”河道网络框架中西引东泄的主干河道,亦是横贯东西的一条水上运输通道^[1]。辛江塘河道对海宁市的经济社会发展具有重要的作用。

辛江塘河道属于平原性河流,不同区段差异较大。沿线有多条汇流和支流,河岸结构形式多样,有自然岸坡、直立挡土墙和生态护岸等结构形式,沿线

经过多个区域,有集镇区、农田区、工业企业区和景观区等。因此,辛江塘河道健康诊断在空间尺度上采用河段尺度较为适宜。河段的划分以河道的汇流口为主,同时结合行政区划、功能区划以及断面的结构形式特点,将辛江塘河道分成 12 段(表 1)。

2 河流健康现状诊断

2.1 健康现状诊断指标

健康现状诊断的目的是判断出河流系统的健康程度^[2],这里用河流健康综合指数来表征河流系统的健康程度,所以计算河流健康综合指数是病症诊断的总体目标。从浙江省河流健康的特征来看,水清、流畅、岸绿、景美是河流系统健康的特征^[3]。以水清指数、流畅指数、岸绿指数、景美指数分别表示

表 1 辛江塘河道分段情况

河段号	桩 号	特 点
1	K0 + 000 ~ K1 + 585.5	杨家浜、桃园港与辛江塘的汇 流口
2	K1 + 585.5 ~ K4 + 501.04	新民浜、泥泾港与辛江塘的汇 流口 ,两岸均为农田
3	K4 + 501.04 ~ K7 + 119	绵长港交汇处 ,两岸均为农田 , 是丰土水文站所在区域
4	K7 + 119 ~ K8 + 400	平阳堰港和唐家堰港交汇处 , 两岸均为农田和零星居住地
5	K8 + 400 ~ K10 + 736	两岸主要为农田和零星居住 地 ,有一食品公司
6	K10 + 736 ~ K11 + 126	堰桥浜交汇处 ,两岸均为桑地和 居住地 ,河道在此有一大弯道
7	K11 + 126 ~ K13 + 600	戚姬港交汇处 ,两岸护坡均为 直立式浆砌石 ,外为集镇区(服 装厂) ,两岸有民房和农田
8	K13 + 600 ~ K15 + 950	三多桥浜和新仓港交汇处 ,两岸 主要为农田 ,右岸有零星民房
9	K15 + 950 ~ K16 + 386.7	麻泾港交汇处 ,左岸有砖瓦厂 和造纸厂 ,右岸为居住地
10	K16 + 386.7 ~ K18 + 060	木场桥港交汇处 ,两岸以农田 为主
11	K18 + 060 ~ K20 + 600	十字堰港交汇处 ,两岸为农田
12	K20 + 600 ~ K22 + 528.41	袁碇港交汇处 ,左岸以农田为 主 ,右岸有袁花砖瓦厂、水泥厂

河流系统的水清程度、流畅程度、岸绿程度和景美程度。因此计算水清指数、流畅指数、岸绿指数、景美指数就成为判断河流健康的基础和具体目标 ,这是健康现状诊断的子目标。子目标是通过一定的分类指标来评价判断的 ,各分类指标又包括有多个具体指标 ,各具体指标是河流系统的状态变量 ,根据河流健康特征和要求确定。因此 ,健康现状诊断指标包括河流健康综合指数、水清指数、流畅指数、岸绿指数、景美指数以及具体指标。这些众多的指标构成层状结构 ,河流健康综合指数为总目标层 ,记为 A 层 ,水清指数、流畅指数、岸绿指数、景美指数为子目标层 ,记为 B 层 ,各具体指标为具体指标层 ,记为 C 层。可见 ,健康现状诊断指标可以分成总目标层、子目标层和具体指标层 3 个层次^[4-6]。辛江塘河道健康现状诊断指标体系见表 2。

2.2 健康现状诊断模型

2.2.1 有序度计算模型

河流系统是一个典型的耗散系统 ,其系统状态有有序与无序之分。河流系统的有序是指河流的结构组成要素按照自然规律进行自然演化、协调发展 ,共同完成系统的各项功能 ,表现为河流系统的结构与功能有序 ,河流系统处于健康状态。河流系统的无序是指河流系统的某一个或某几个组成部件发生异常 ,使系统的结构发生错位 ,协调混乱 ,不能完成部分或全部功能 ,表现为河流系统的结构与功能无序 ,河流系统处于不健康状态或病态。可见 ,河流系

表 2 辛江塘河道健康现状诊断指标体系

河流健康综合指数 A	水清指数 B ₁ (w = 0.292)	水功能区水质达标率 C ₁ (w = 0.580)
		水面覆盖率 C ₂ (w = 0.122)
		透明度 C ₃ (w = 0.320)
		河流脉动强度 C ₄ (w = 0.260)
	流畅指数 B ₂ (w = 0.413)	生态流量保证率 C ₅ (w = 0.068)
		供水能力 C ₆ (w = 0.015)
		脱水带强度 C ₇ (w = 0.111)
		平滩流量 C ₈ (w = 0.026)
		河道蜿蜒度 C ₉ (w = 0.020)
		河床稳定系数 C ₁₀ (w = 0.232)
		河岸稳定系数 C ₁₁ (w = 0.164)
		生境适宜性指数 C ₁₂ (w = 0.067)
	岸绿指数 B ₃ (w = 0.187)	生物多样性指数 C ₁₃ (w = 0.046)
		河道片段化程度 C ₁₄ (w = 0.132)
		拦蓄水强度 C ₁₅ (w = 0.093)
		植被覆盖度 C ₁₆ (w = 0.310)
	景美指数 B ₄ (w = 0.108)	群落稳定性指数 C ₁₇ (w = 0.162)
		岸坡硬化化比 C ₁₈ (w = 0.066)
		生态护岸建设率 C ₁₉ (w = 0.462)
		景观多样性指数 C ₂₀ (w = 0.440)
		水文化表现程度 C ₂₁ (w = 0.312)
		亲水设施丰富度 C ₂₂ (w = 0.124)
		休闲设施丰富度 C ₂₃ (w = 0.124)

统的有序性程度可以有效地描述系统的健康状态。因此 ,可以采用系统论的有序度计算方法来诊断河流系统的健康状况。通过计算各指标的有序度 ,来确定各子目标指数值和总目标指数值 ,根据健康等级划分标准(表 3) ,确定河流所属健康等级^[7-8]。

表 3 河流健康等级

健康指数	1 ~ 0.8	0.8 ~ 0.5	0.5 ~ 0.3	0.3 ~ 0.1	0.1 ~ 0
健康等级	很健康	基本健康	亚健康	不健康	病态

各子目标的具体指标记为 e_{ji} ($j = 1, 2, 3, 4; i = 1, 2, \dots, n$,其中 n 为各子目标具体指标总数) ,各指标 e_{ji} 的有序度记为 $U_j(e_{ji})$ 。各指标 e_{ji} 的取值均在一定的阈值区间内变化 ,设阈值区间为 $[\beta, \alpha]$,则 $\beta \leq e_{ji} \leq \alpha$ ($i = 1, 2, \dots, n$)。若假定 $e_{j1}, e_{j2}, \dots, e_{jm}$ ($1 \leq m \leq p$)在阈值区间的取值越大 ,有序程度越高 (p 表示对有序度产生影响的序参量数) ;假定 $e_{j(m+1)}, e_{j(m+2)}, \dots, e_{jp}$ ($m \leq p \leq n$)在临界阈值区间的取值越大 ,有序程度越低 ;假定 $e_{j(p+1)}, e_{j(p+2)}, \dots, e_{jn}$ 在临界阈值区间越接近某一值 c ,则有序程度越高。由此 , $U_j(e_{ji})$ 可表示为^[9]

$$U_j(e_{ji}) = \begin{cases} \frac{e_{ji} - \beta_{ji}}{\alpha_{ji} - \beta_{ji}} & 1 \leq i \leq m \\ \frac{\alpha_{ji} - e_{ji}}{\alpha_{ji} - \beta_{ji}} & m + 1 \leq i \leq p \\ 1 - \frac{e_{ji} - c}{\alpha_{ji} - \beta_{ji}} & p + 1 \leq i \leq n \end{cases} \quad (1)$$

式中 β_{ji} 和 α_{ji} 分别为 e_{ji} 的最小和最大临界阈值。若序参量 e_{ji} 的有序度值 $U_j(e_{ji}) \in [0, 1]$,则序参量在临界阈值区间 ,且其值越大 e_{ji} 对子系统 e_j 有序的贡献越大。相反 ,若 $U_j(e_{ji}) \notin [0, 1]$,说明 e_{ji} 不在合理阈值区间 ,需要进行调整。

I_j = \sum_{i=1}^n w_{ji} U(e_{ji}) \tag{2}

I = \sum_{j=1}^4 w_j I_j \tag{3}

式中 :I_j 为第 j 个目标的指数 ;w_{ji} 为子目标 j 的第 i 个指标的权重系数 ;n 为子目标 j 的具体指标总数 ;I 为总目标指数 ;w_j 为子目标 j 的权重系数。

2.2.2 权重系数的确定

通过咨询有关专家与邀请专家打分 ,采用层次分析法确定辛江塘河道现状诊断各指标权重系数 ,构造判断矩阵 ,计算判断矩阵的特征向量和最大特征根 ,并检验一致性 ,如满足一致性要求 ,则特征向量即为各指标的权重系数。通过计算得到各指标和子目标的权重系数见表 2。

2.3 现状诊断结果

2.3.1 现状诊断指标值的获取

现状诊断指标值主要通过查询文献资料、填写调查表和现场调研的方式获得。通过收集水利志、水利统计年鉴、水利发展规划、社会经济发展规划、水资源规划、保护区规划、生态建设规划等文献 ,调查包括地下水、近岸河道、河岸、建筑物、自然条件、河岸生物、人类活动、周边社会经济等方面的数据资料 ,得出河道各段的指标值如表 4 所示。

2.3.2 诊断结果

辛江塘河道健康现状诊断包括 2 个层次 :一是子目标诊断 ,以健康现状诊断指标体系为基础 ,确定各指标的阈值范围 ,利用层次分析法 ,计算各具体指标对相应子目标的权重系数 ;利用有序度计算模型计算水清指数、流畅指数、岸绿指数和景美指数等子目标指数值 ;二是河流健康综合指数总目标诊断 ,计算各子目标对总目标的权重系数 ,加权计算总目标指数值 ,根据健康指数值大小 ,确定河流所属等级。具体计算结果如表 5 所示。

表 4 辛江塘河道各河段指标值

河段号	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉	C ₂₀	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃
1	0	10	0.40	0.40	100	100	0	14.47	0.998	0.887	0.970	0.50	0.87	0	0	0.85	0.94	0.74	0.26	0.73	0.40	0.74	0.72
2	0	23	0.41	0.32	100	100	0	14.47	1.001	0.942	0.934	0.78	0.85	0	0	0.90	0.95	0.18	0.82	0.32	0.32	0.72	0.71
3	0	21	0.39	0.43	100	100	0	14.47	0.997	0.901	0.954	0.84	0.88	0	0	0.93	0.93	0.20	0.80	0.31	0.30	0.83	0.79
4	0	14	0.38	0.39	100	100	0	14.47	1.000	0.923	0.949	0.82	0.83	0	0	0.88	0.96	0.23	0.77	0.23	0.22	0.81	0.80
5	0	13	0.35	0.35	100	100	0	14.47	0.991	0.914	0.940	0.79	0.85	0	0	0.97	0.94	0.30	0.70	0.40	0.25	0.84	0.73
6	0	12	0.24	0.40	100	100	0	14.47	1.032	0.950	0.953	0.60	0.83	0	0	0.89	0.93	0.53	0.47	0.65	0.14	0.78	0.74
7	0	11	0.43	0.36	100	100	0	14.47	0.943	0.944	0.943	0.75	0.84	0	0	0.92	0.92	0.20	0.80	0.21	0.35	0.74	0.75
8	0	15	0.41	0.28	100	100	0	14.47	1.000	0.932	0.935	0.77	0.85	0	0	0.94	0.92	0.12	0.88	0.20	0.31	0.75	0.78
9	0	14	0.40	0.30	100	100	0	14.47	0.998	0.945	0.960	0.80	0.83	0	0	0.90	0.95	0.10	0.90	0.42	0.14	0.76	0.65
10	0	14	0.50	0.35	100	100	0	14.47	1.005	0.921	0.932	0.74	0.87	0	0	0.93	0.94	0.05	0.95	0.43	0.21	0.80	0.66
11	0	21	0.45	0.32	100	100	0	14.47	0.921	0.913	0.931	0.73	0.87	0	0	0.92	0.94	0.14	0.86	0.35	0.27	0.70	0.70
12	0	22	0.41	0.35	100	100	0	14.47	1.001	0.904	0.940	0.81	0.84	0	0	0.94	0.92	0.32	0.68	0.32	0.10	0.69	0.72

表 5 子目标指数和河流健康综合指数

河段号	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	A
1	0.110	0.871	0.422	0.627	0.539
2	0.091	0.903	0.808	0.417	0.596
3	0.094	0.897	0.809	0.430	0.595
4	0.104	0.900	0.768	0.369	0.585
5	0.105	0.894	0.773	0.448	0.593
6	0.106	0.896	0.576	0.518	0.564
7	0.109	0.904	0.799	0.385	0.596
8	0.103	0.900	0.862	0.373	0.603
9	0.104	0.912	0.859	0.403	0.611
10	0.105	0.892	0.906	0.435	0.616
11	0.094	0.889	0.841	0.411	0.596
12	0.092	0.891	0.736	0.346	0.570

由表 5 可以看出 ,辛江塘河道各河段的河流健康综合指数 A 都大于 0.5 ,处于基本健康状态 ,但是每段的水清指数 B₁ 均在 0.1 左右 ,都较小 ,这是影响河流健康的主要因素。从河道的实际情况来看 ,河道的水质情况较差 ,水体较为混浊 ,而且水面每隔 1 m 左右就有水葫芦出现。

3 病因分析

3.1 影响健康的外部因素

从辛江塘河道健康现状诊断的结果可以看出 ,河流系统的水环境问题是最突出的问题 ,因此分析影响该河流水环境的主要原因是最为关键的。以水环境综合指数为因变量(y)。选取年降雨量(x₁)、人口(x₂)、GDP(x₃)、工业污水排放量(x₄)、农业污水排放量(x₅)、生活污水排放量(x₆)、环境保护投资指数(x₇)等 7 个指标作为自变量。其中 ,年降雨量(x₁)表示自然因素对水质的影响 ;人口(x₂)和 GDP(x₃)反映城市规模和经济发展水平对水环境的影响 ;工业污水排放量(x₄)、农业污水排放量(x₅)和生活污水排放量(x₆)表示人类生产、生活对水环境的破坏 ,环境保护投资指数(x₇)表示河道建设与管理活动对水环境的影响。以 1996 ~ 2007 年的数据资料为分析样本 ,具体数据如表 6 所示 ,数据主要来源

于海宁市统计年鉴、地表水资源质量评价报告、水资源公报、水资源总体规划、河道治理规划、水土保持规划以及沿线各乡镇发展总体规划等文献资料)。

3.2 病因诊断方法

偏最小二乘法(partial least square regression ,简称 PLS)是一种多因变量对多自变量的回归建模方法 ,可以有效地提取对因变量解释最强的综合变量 ,辨识系统中的信息和噪声 ,从而确定出较为重要的自变量。河流系统病因诊断是根据健康现状诊断的结果 ,通过建立系统表征因子与影响因子之间的关系 ,分析产生河流健康问题的主要原因 ,是一个多重相关性的多维变量的分析过程。所以 ,偏最小二乘法可以较好地应用于河流健康诊断 ,建立表征因子和影响因子间的作用关系 ,明确影响河流健康的最主要的因素。

偏最小二乘法首先在自变量集中提取第一成分 t_1 (t_1 是 $x_1, x_2, \dots, x_p$ 的线性组合 ,且尽可能多地提取原自变量集中的变异信息 ,比如第一主成分) ;同时在因变量集中也提取第一个成分 u_1 ,并要求 t_1 与 u_1 相关程度达最大。建立因变量 y 与 t_1 的回归 ,如果回归方程已达到满意的精度 ,则算法终止。否则将利用 x 被 t_1 解释后的残余信息以及 y 被 t_1 解释后的残余信息进行第二轮的成分提取。如此往复 ,直到能达到满意的精度为止。若最终对 X 共提取了 m 个成分 $t_1, t_2, \dots, t_m$,偏最小二乘回归将通过实施 y 对 $t_1, t_2, \dots, t_m$ 的回归 ,然后再表达成 y 关于原变量 $x_1, x_2, \dots, x_p$ 的回归 ,进一步计算各因素对河流健康的贡献率 ,判断自变量集中不同影响因素的重要性程度 ,从而识别引起河流系统健康问题的重要影响因素^[10]。

3.3 病因诊断结果分析

利用因变量和各指标变量的系列数据 ,应用 PLS 建立水环境综合污染指数 y 与各指标变量 x_i

($i = 1, 2, \dots, 7$)间的函数关系 ,其拟合公式为

$$y = -0.193x_1 + 0.188x_2 + 0.221x_3 + 0.219x_4 + 0.114x_5 + 0.187x_6 - 0.275x_7$$

式中 x_1 和 x_7 的系数为负值 ,表明年降雨量和环境保护投资指数与水质状况负相关 ,这说明降雨对河道污染水体有一定的稀释作用 ,而环境保护资金的投入也对改善水质有积极作用。其余指标的系数均为正值 ,说明其余变量与水质状况正相关 ,表明城市规模、经济发展水平和污水排放量都会在一定程度上使水质恶化。

各指标变量 $x_1 \sim x_7$ 对河流健康的影响贡献率分别为 0.641 , 1.081 , 1.177 , 1.232 , 1.017 , 1.109 , 0.748。

由此得出 ,各指标对辛江塘水环境的影响程度依次为 :工业污水排放量 > GDP > 生活污水排放量 > 人口 > 农业污水排放量 > 环境保护投资指数 > 年降雨量。这表明造成水环境状况较差的最重要原因是工业废水未能达标排放 ,其次是 GDP 的增长 ,其中很大一部分产值是靠牺牲水环境来获取的。

4 结 语

辛江塘河道是海宁市“六纵九横”河道之一 ,近几年来 ,海宁市对该河道实施了生态建设工程 ,河道的生态状况有所改善。为进一步把握河道的健康状况 ,对该河道进行了健康诊断。从现状诊断结果来看 ,辛江塘河道总体处于基本健康状态 ,河道的流畅指数、岸绿指数、景美指数均较高 ,这主要是由于近几年河道实施的以植物措施为主的生态河道建设工程。但是 ,该河流的水清指数却很低 ,这影响了河流的总体健康状况 ,究其原因主要是工业污染、农业污染以及生活污染造成的。由此可以看出 ,维护辛江塘河道的健康 ,必须对相通水系继续实施以植物

表 6 因变量与指标变量的统计数据

年份	年降雨量/ mm	人口/ 万人	GDP/ 亿元	工业污水 排放量/万 t	农业污水 排放量/万 t	生活污水 排放量/万 t	环境保护 投资指数/%	水环境综合 污染指数
2007	1116.1	64.80	294.71	9234.38	15688.89	2315.51	1.96	1.12
2006	1003.3	64.61	256.27	8029.91	13642.54	2308.73	0.73	1.34
2005	890.3	64.39	217.96	6667.41	13152.33	2300.86	2.88	0.93
2004	808.7	64.30	188.07	5688.92	12486.39	2297.65	2.09	0.94
2003	761.7	64.13	157.15	4704.17	10941.78	2291.57	2.17	0.68
2002	1503.6	64.03	132.06	3895.77	10229.59	2288.00	2.02	0.64
2001	1178.6	64.05	117.03	3424.73	10442.32	2288.71	2.09	0.63
2000	1032.0	64.03	104.60	3072.58	10340.58	2288.00	2.02	0.59
1999	1478.1	63.90	89.93	2805.20	9360.17	2283.35	1.85	0.48
1998	1473.9	63.95	85.39	2664.12	9841.12	2285.14	1.27	0.51
1997	1587.7	63.91	80.60	2543.51	10738.29	2283.71	0.24	0.58
1996	1175.1	63.68	77.53	2457.61	10414.57	2275.49	0.29	0.54

(下转第 56 页)

此可见水位骤降时边坡的稳定性有所下降。剖面 P12 在工况 3 和工况 4 下的安全系数等值线分布如图 5 所示。

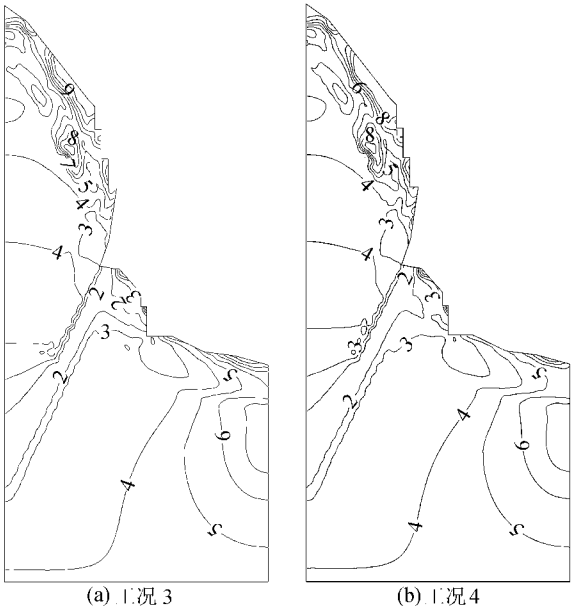


图 5 运行期计算断面的安全系数等值线分布

5 结 论

- a. 由施工期边坡岩体安全系数分布可推断出断层 fb5 为边坡的潜在滑动面,边坡沿断层 fb5 的整体稳定安全系数为 1.419,可满足稳定要求。
- b. 断层连通率的变化对边坡稳定性的影响较大,随着连通率的增大,边坡安全系数逐步减小;当断层连通率小于 65% 时,边坡的整体稳定安全系数满足稳定要求。
- c. 考虑施工期最不利安全的连通率情况,为保证边坡的稳定性要求,建议最少采用 1 根锚索对已开挖边坡进行加固。
- d. 运行期水位骤降时,边坡的稳定性有所降低,但仍可满足边坡的整体稳定性要求。

参考文献:

[1] 孔位学,郑颖人,赵尚毅,等.地基承载力的有限元计算及其在桥基中的应用[J].土木工程学报,2005,38(4):97-102.

[2] 郑颖人,张玉芳,赵尚毅,等.有限元强度折减法在元磨高速公路高边坡工程中的应用[J].岩石力学与工程学报,2005,24(21):3812-3817.

[3] 赵尚毅,郑颖人,时卫民,等.用有限元强度折减法求边坡稳定安全系数[J].岩土工程学报,2002,24(3):343-346.

[4] 郝方,李维维,郭柏威.用 ANSYS 做边坡稳定分析[J].贵州水力发电,2005,19(2):54-56.

[5] 谷拴成,张士兵. ANSYS 在高边坡危岩稳定性分析中的

应用[J].西安科技学院学报,2003,23(4):375-378.

[6] 基于 D-P 准则的三维弹塑性有限元增量计算的有效算法[J].岩土工程学报,2004,24(1):16-20.

[7] 江涛,徐卫亚,陈宏,等.受断层切割影响的拱坝坝肩岩体三维稳定性数值分析及加固措施模拟[J].岩石力学与工程学报,2005,24(S2):5840-5844.

[8] 连镇营,韩国城,孔宪京.强度折减有限元法研究开挖边坡的稳定性[J].岩土工程学报,2001,23(4):407-411.

[9] 章杭惠.混凝土拱坝病险及加固仿真分析[D].南京:河海大学,2003.

[10] GB 50330—2002,建筑边坡工程技术规范[S].

[11] 沈振中,郑磊.基于数值流形方法的水库岩体边坡稳定分析[J].水电能源科学,2006,24(1):32-33,96.

(收稿日期 2008-01-14 编辑 骆超)

(上接第 39 页)

措施为主的生态河道建设,同时,必须加强污染的治理,减少外水体的污染。

参考文献:

[1] 王云南.植物护岸技术在海宁市辛江塘整治中的应用[J].浙江省水利科技,2006,14(4):43-45.

[2] 杨文慧,严忠民,吴建华.河流健康评价的研究进展[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(6):607-611.

[3] 胡玲,韩玉玲,夏继红.浙江省河流健康诊断的思路与关键内容[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(3):322-325.

[4] 杨文慧,杨宇.河流健康的概念及诊断指标体系构建[J].水资源保护,2006,22(6):28-30.

[5] 蔡守秋,胡欣.河流健康概念及诊断指标体系构建[J].水利水电科技进展,2008,28(1):23-27.

[6] 夏继红,严忠民,蒋传丰,等.河岸带生态综合评价指标体系研究[J].水科学进展,2005,16(3):345-348.

[7] 夏继红,白传贞,严忠民,等.淮入江水道夹江左岸带生态综合评价[J].水利水电科技进展,2007,27(4):20-22,49.

[8] SUN Dong-po, LU Rui-li, SONG Yong-jun, et al. Impact of hydroelectric projects on river environment: analysis of water quality changes in Ningxia Resch of Yellow River[J]. Water Science and Engineering, 2008, 1(2):66-75.

[9] 王煜.河流健康因子选择和综合评判研究[J].人民黄河,2006,28(11):7-8,23.

[10] 王惠文.偏最小二乘回归方法及其应用[M].北京:国防工业出版社,1999.

(收稿日期 2008-06-11 编辑 骆超)

