

基于局部强度折减法的多层级滑坡稳定性分析

姜庆飞

(江西省上饶市科信水利水电勘察设计咨询有限公司,江西 上饶 334000)

摘要:为了实现对多层级非均质复杂型边坡稳定性的全面研究和评判,提出了一种主动岩层组合式局部强度折减法.利用有限元软件,对三层边坡进行局部强度折减和全局折减分析,分析结果表明,全局折减往往减小了稳定性系数,而某些非主动岩层其抗剪强度参数变化很小,不能应用于强度折减分析计算中.通过采用局部强度折减法,依次对主动岩层进行组合分析计算,分析结果表明,对上覆残积坡层开挖卸荷后,对砂泥岩夹黏土层与强风化玄武岩之间的接触带利用端锚加固处理分析,加固后坡体稳定性明显提高,支护作用明显.该方法对于对于多层级复杂型边坡的稳定性分析是有效的,对于实际工程可灵活运用.

关键词:稳定性分析;多层级边坡;局部强度折减法;非均质边坡

中图分类号:TU457 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-4701(2017)05-0322-05

0 引言

现场勘查对滑坡的治理和研究必不可少,滑坡滑动面的位置和形状都是在其基础上完成的.该方法存在以下问题:一是在滑移区只有少量的钻孔时,用少量滑带位置来确定整个滑动带会产生偏差;二是当滑坡处于蠕变阶段时,滑面尚未形成,无法通过勘察找出滑移面;三是即使查明了滑带和剪出口,还可能多个次级滑面和潜在剪出口,容易造成滑移面遗漏^[1-3].

非均质多级边坡潜在滑动面的存在,使得边坡的治理和监测十分困难.在复杂滑坡中,往往会出现多个次生滑动面,只有考虑多个次生滑动面的出现,并对其进行支护使得所有的潜在次生滑动面的稳定安全系数都达到规范要求,该滑坡从工程意义上来说才是安全的^[4-6].

自从 Zienkiewicz^[7]提出了强度折减法,近些年来,该方法在国内外得到了广泛的应用.刘明维等^[8,9]对多剪出口型滑坡进行了研究,但是这种方法容易漏判具有相同剪出口的不同滑面,且上部剪出口的约束对下部剪出口的搜索会产生影响,并且不同的剪出口可能出现在不同的土层中,对坡体进行全局折减可能得不到最危险滑面.

本文依据巫山至巫溪公路古滑坡为例,首先对三级边坡进行全局折减分析和局部折减分析,分析局部强度折减的优越性和必要性,提出主动岩层组合式局部强度折减法,并将其运用到工程实例中,验证了该方法的合理性和可靠性.

1 全局强度折减和局部强度折减法

在边坡的稳定性分析中,对抗剪强度参数 c 、 φ 进行折减,直至边坡破坏.定义抗剪强度折减为:

$$\tan \varphi_1 = \frac{\tan \varphi}{F} \quad (1)$$

$$c_1 = \frac{c}{F} \quad (2)$$

式(1)和(2)中: F 为抗剪强度参数; φ_1 、 c_1 分别为折减后土体的内摩擦角和黏聚力.

边坡中一处典型断面,该断面上部为松散土层,中间为强风化层,下部为弱风化层,模型滑坡断面如图1所示,图中的A、B、C三点为假设的可能剪出口.滑坡材料物理力学参数见表1所示.

在上述的3层土坡中,其抗剪强度参数变化往往不一样,上部土层由于风化和气候作用,抗剪强度参数衰减程度很大,且由于降雨入渗作用,土层中的渗水往往

会渗透到强风化层造成强风化层的抗剪强度相应的发生折减。因此,在边坡稳定性分析中,需要对边坡进行局部折减分析,以确定加固处理方案。根据该滑坡模型材料特征建立四种折减方案:

①全局折减,即松散土层、强风化层和弱风化层同时折减;

②松散土层折减;

③强风化层折减;

④松散土层、强风化层折减。

按照这四种方案,利用有限元软件进行强度折减分析,分析结果如表 2 所示,图 2 为四种有限元计算结果的变形图和剪应变图。

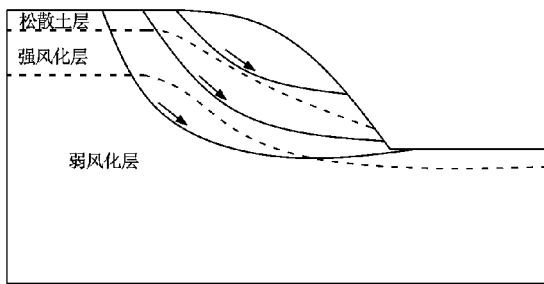


图 1 模型滑坡示意图

表 1 材料物理力学参数

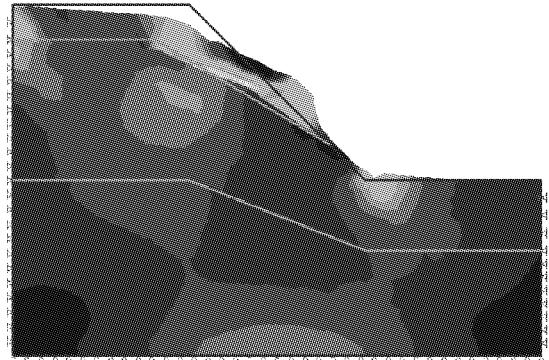
材料名称	重度 /(kN/m ³)	弹性模量 /MPa	泊松比	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /°
松散土层	18.0	30	0.35	14	16
强风化层	20.0	300	0.30	21	23
弱风化层	23.7	600	0.20	200	32

表 2 局部强度折减分析结果

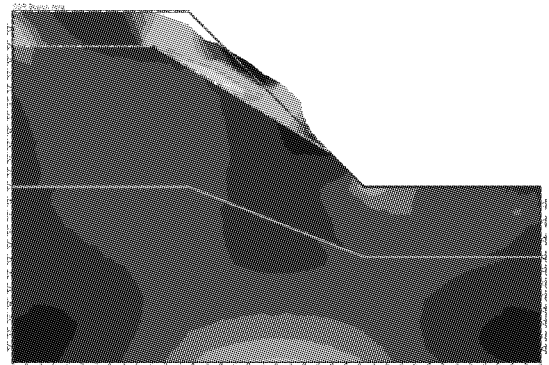
计算工况	折减区域	边坡安全系数
①	全局折减	0.93
②	松散土层	1.02
③	强风化层	2.19
④	松散土层、强风化层	0.99

根据表 2 和图 2 的变形图,结果分析如下:当对坡体进行全局折减时,坡体的贯通区为上覆的松散土层;当对松散土层和强风化层折减时,坡体的贯通区也为上覆土体,可见下部的弱风化层的折减是对坡体的稳定性没有影响;当对强风化层局部折减时,其稳定性系数最大,坡体较稳定。在实际工程中,坡体的上覆土体往往最易受到气候和风化作用,其抗剪强度参数最容易衰

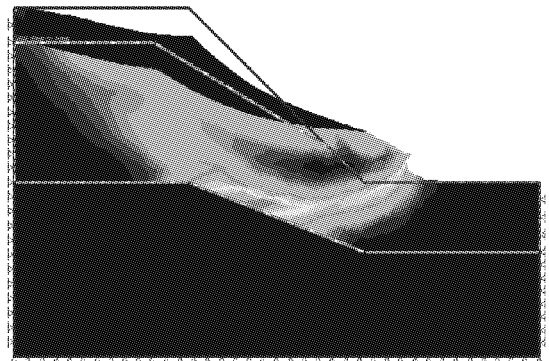
减,而下部的强风化层和弱风化层的抗剪强度参数衰减要比上覆土体小得多。



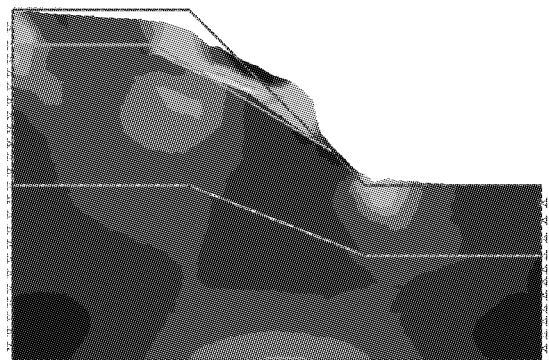
(a) 全局折减



(b) 松散土层局部折减



(c) 强风化层局部折减



(d) 松散土层-强风化层局部折减

图 2 有限元局部折减法计算结果

因此,对于多级复杂边坡应该进行局部折减分析,而不应采取全局折减分析,应该采取主动岩层组合法进行强度折减分析。主动岩层组合法为:对坡体岩层中容易风化的岩层和对边坡稳定性产生很大影响的岩层进行强度折减分析,而不考虑基岩等不容易风化的部分岩层。

2 工程应用

2.1 工程地质概况

巫山至巫溪公路(福田至龙溪段)里程 K66 + 700 ~ K66 + 800 段为一个古滑坡(寨子沟滑坡),该坡体地质情况复杂,属于典型的多级复杂性土坡。图 3 为该滑坡全貌图。

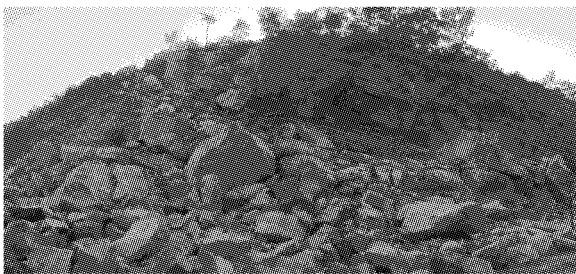


图3 滑坡全貌图

2.1.1 地理位置与交通

巫山至巫溪公路(福田至龙溪段)改建工程 K66 + 700 ~ K66 + 800 滑坡位于重庆市巫山县福田镇寨子湾,距福田镇约 7 km。两巫路已全面施工,路基基本已全部贯通,有机耕道与城市道路相通,交通较为方便。

2.1.2 气象及水文

工作区气候湿润温和,雨量丰富;春早、夏热,秋、冬连续绵雨,日照少,湿度大,为勘察区气候的基本特征。场地处于斜坡地带,滑坡区内未发现泉水(井)点,无地表水体。

2.1.3 地形地貌

工作区南侧发育一条近于东西向的山沟,山沟呈西高东低倾斜。滑坡区位于山沟北坡较厚的崩塌堆积体上,地貌为一斜坡地形,总体北西侧高、南东侧低,斜坡自然坡度角 30° ~ 40°,坡向为 142°,在原公路内侧部分地段由于开挖形成高约 3.00 ~ 5.00 m 的陡坎。滑坡前缘为公路内侧位置,地面高程为 536.00 ~ 542.00 m,滑坡后缘地面高程为 600.00 ~ 615.00 m,相对高差约为 79 m,地势起伏较大。场地地貌上为剥蚀中山地貌形

态。

2.1.4 地层结构

根据地表工程地质测绘及钻探成果表明:上部土层主要为亚黏土和残积破层,中间主要为砂砾岩和强风化的玄武岩,下伏基岩主要为砂砾岩和弱风化的玄武岩。

2.2 模型建立与参数获取

选取该坡体中的一处典型断面进行分析,图 4 为该边坡的工程地质剖面图,图 5 为其简化图。岩土体参数见表 3。

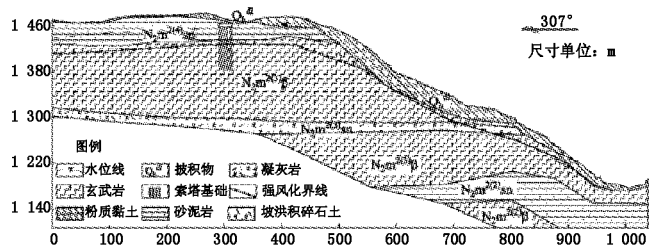


图4 边坡的工程地质剖面图

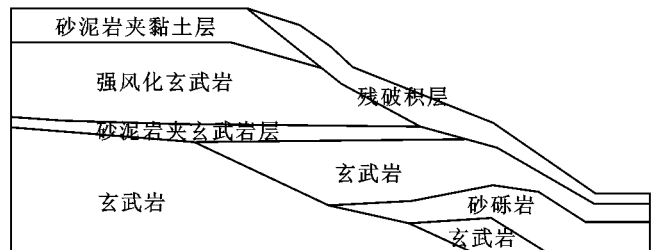


图5 坡体简化图

表3 岩土体参数

岩土层	重度 /(kN/m ³)	弹性模量 /kPa	泊松比	内摩擦角 /°	粘聚力 /kPa
残破积层	16.5	0.04	0.40	20	24
砂泥岩夹黏土层	20.3	2.30	0.34	27	35
强风化玄武岩	17.8	3.50	0.31	27	45
砂砾岩	22.5	4.10	0.23	42	500
玄武岩	27.4	4.70	0.22	44	500

2.3 局部强度折减法稳定性分析

为了全局评价边坡的稳定状态,采用主动的岩层组合局部折减方式。折减所得潜在滑动面相似采用稳定性较小的潜在滑动面。采用的折减方案如下:

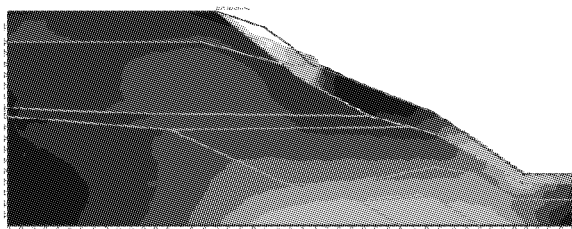
- ①残积坡层局部折减;
- ②砂泥岩夹黏土层局部折减;
- ③残积坡层、砂泥岩夹黏土层局部折减;

④残积坡层、砂泥岩夹黏土层、强风化玄武岩局部折减。

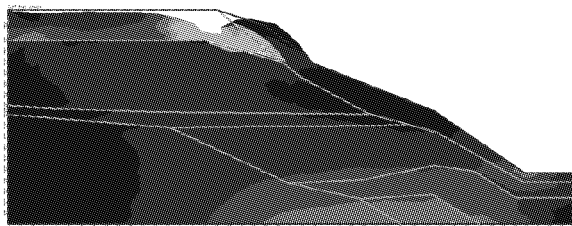
按照上述四种强度折减方法,利用有限元软件,计算结果如表 4 所示,图 6 为计算得到的变形图和剪应变图。

表 4 局部强度折减法计算结果

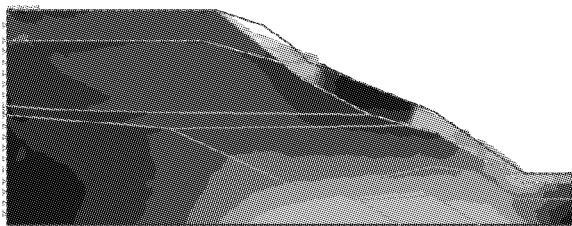
计算工况	折减区域	边坡安全系数
①	残积坡层	0.723
②	砂泥岩夹黏土层	0.636
③	残积坡层、砂泥岩夹黏土层	0.721
④	残积坡层、砂泥岩夹黏土层、强风化玄武岩	0.720



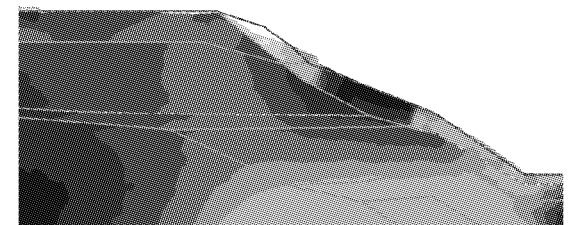
(a) 残积坡层局部折减



(b) 砂泥岩夹黏土层局部折减



(c) 残积坡层、砂泥岩夹黏土层局部折减



(d) 残积坡层、砂泥岩夹黏土层、强风化玄武岩局部折减

图 6 多层边坡局部强度折减法计算结果

计算结果显示,当对残积破层进行局部强度折减时,不管有没有对砂泥岩夹黏土层或强风化玄武岩进行

强度折减,坡体的稳定性系数变化不大,因此,在此边坡中,需要对残积坡层进行开挖卸荷,提高坡体的稳定性。

2.4 开挖卸荷后稳定性分析

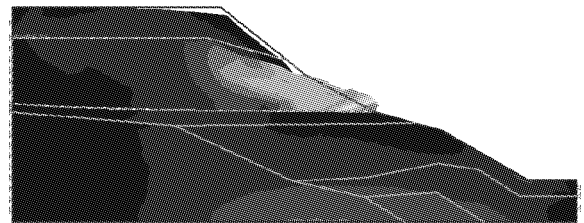
根据 2.3 节的计算结果,对残积坡层进行开挖卸荷,开挖卸荷后建立三种强度折减方案:

- ①砂泥岩夹黏土层局部折减;
- ②强风化玄武岩局部折减;
- ③砂泥岩夹黏土层、强风化玄武岩局部折减。

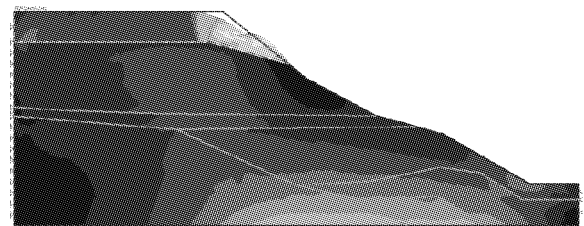
按照上述三种强度折减方法,利用有限元软件,计算结果如表 5 所示,图 7 为计算得到的变形图和剪应变图。

表 5 局部强度折减法计算结果

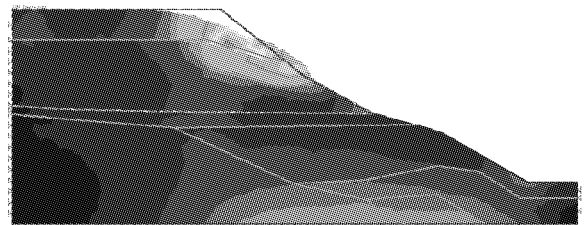
计算工况	折减区域	边坡安全系数
①	砂泥岩夹黏土层	1.084
②	强风化玄武岩	1.420
③	砂泥岩夹黏土层、强风化玄武岩	0.972



(a) 强风化玄武岩局部折减



(b) 砂泥岩夹黏土层局部折减



(c) 砂泥岩夹黏土层、强风化玄武岩局部折减

图 7 开挖卸荷后坡体稳定性分析

从表 5 中的计算结果可知,对残积坡层进行开挖卸荷后,局部折减计算结果得到的坡体稳定性均有很大提高。从其变形图可以看出,其剪出口位置为砂泥岩夹黏土层和强风化玄武岩的接触带处,因此,需要在此处对

坡体进行加固处理。

2.5 开挖卸荷后加固处理

残积坡层开挖卸荷后,对坡体进行局部强度折减分析,分析结果表明,砂泥岩夹黏土层与强风化玄武岩接触带最易发生滑移,因此需要对此处进行加固处理。在此对该接触带利用端锚加固处理分析,加固后进行局部强度折减计算分析。同2.4节一样,建立三种强度折减方案:

- ①砂泥岩夹黏土层局部折减;
- ②强风化玄武岩局部折减;
- ③砂泥岩夹黏土层、强风化玄武岩局部折减。

按照上述三种强度折减方法,利用有限元软件计算加固后坡体的稳定性,计算结果如表6所示,图8为计算得到的变形图和剪应变图。

表6 局部强度折减法计算结果

计算工况	折减区域	边坡安全系数
①	砂泥岩夹黏土层	不收敛
②	强风化玄武岩	1.507
③	砂泥岩夹黏土层、强风化玄武岩	1.211

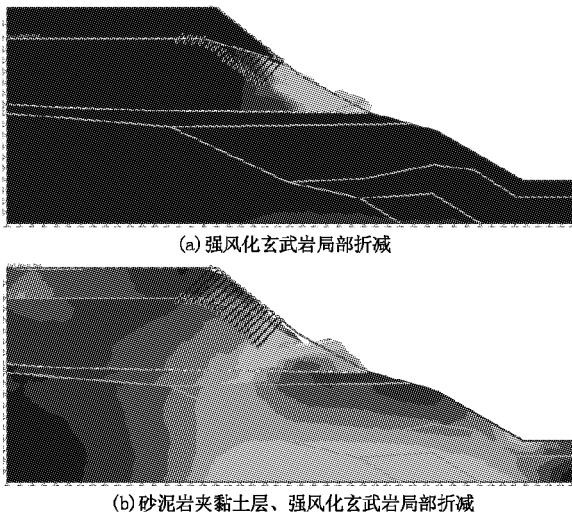


图8 开挖卸荷加固处理后局部折减分析

上述计算结果显示,砂泥岩夹黏土层和强风化玄武岩接触带加固后,对砂泥岩夹黏土层、强风化玄武岩局部折减结果显示,坡体的安全系数明显提高,并且此时砂泥岩夹黏土层局部折减不收敛。由以上分析可以得到,通过对残积坡层开挖卸荷,然后对砂泥岩夹黏土层与强风化玄武岩之间的接触带进行加固处理,可以显著提高坡体的稳定性。

3 结论

对三级边坡进行全局折减分析和局部折减分析,坡体的上覆土体往往最易受到气候和风化作用,其抗剪强度参数是最容易衰减的,而下部的强风化层和弱风化层的抗剪强度参数衰减要比上覆土体小得多。如果对坡体进行全局折减分析,分析结果往往偏大,不利于指导加固处理,在坡体稳定性分析中,应当采取局部折减方法,采用主动的岩层组合局部折减方式,以便能够指导坡体的开挖卸荷与加固处理。

对多级复杂边坡进行局部强度折减分析,分析结果表明,残积坡层对坡体的稳定性影响比较大,对残积坡层进行开挖卸荷,开挖卸荷后坡体的稳定性明显提高。通过对开挖卸荷后的坡体进行局部折减分析,计算表明砂泥岩夹黏土层与强风化玄武岩之间的接触带易发生滑移,对该接触带利用端锚加固处理分析,加固后坡体稳定性明显提高。

通过对多级复杂型坡体的局部强度折减分析,能够有效确定对坡体稳定性影响最大的土层,便于准确地指导坡体的加固处理,提高边坡的稳定性。

参考文献:

- [1] 陈从新,黄平路,卢增木. 岩层倾角影响顺层岩石边坡稳定性的模型试验研究[J]. 岩土力学学报,2007,28(3):476~481.
- [2] 肖志勇,邓华锋,李建林. 库水位间歇性下降对堆积体滑坡稳定性的影响[J]. 长江科学院院报,2016,33(8):114~119.
- [3] 赵炼恒,曹景源,唐高朋,等. 基于双强度折减策略的边坡稳定性分析方法探讨[J]. 岩土力学,2014,35(10):2977~2980.
- [4] 孙志彬,杨小礼,张胜,等. Mohr-Coulomb准则下基于滑动面深度的边坡参数反分析方法[J]. 岩土力学,2014,35(5):1323~1328.
- [5] 张俊,殷坤龙,王佳佳. 三峡库区万州区滑坡灾害易发性评价研究[J]. 岩石力学与工程学报,2016,35(2):0284~0297.
- [6] 姚环,郑振,简文彬,等. 公路岩质高边坡稳定性的综合评价研究[J]. 岩土工程学报,2006,28(5):558~563.
- [7] Zienkiewicz O. C, Humpheson C, Lewis R. W. Associated and non-associated visco-plasticity and plasticity in soil mechanics[J]. Geotechnique, 1975,25(4):671~689.
- [8] 聂治豹,郑宏,张谭. 基于强度折减法确定边坡临界滑面的小波变换法[J]. 岩土力学,2017,38(6):0000~0005.
- [9] 袁藏,常晓林,程勇刚,等. 考虑抗剪强度参数空间变异性的边坡稳定性分析[J]. 中南大学学报(自然科学版),2016,47(11):3899~3908.

编辑:张绍付

Stability analysis of complex soil slope with several shear outlets based on limit equilibrium method

JIANG Qingfei

(Shangrao Kexin Water – hydropower Survey and Design Consulting Co. LTD, Shangrao 334000, China)

Abstract: In order to realize the comprehensive research and evaluation for the stability of multilayer heterogeneous complex slope, a new method of active rock composite local strength reduction is proposed. The three – layer slope are analyzed by local strength reduction and global reduction. The results show that stability coefficient is reduced by global reduction method. Because of the variation of non – active rock shear strength parameter is small. It can not be used in global strength reduction analysis. The active rock composite are analyzed by local strength reduction method. The results show that after the unloading of the overlying residual slope. The contact zone between the clay mudstone and the weathered basalt are treated by the end anchor. The stability of slope is heightened obviously. The effect of support is obvious. The method is effective for the stability for the stability analysis of the multi – layer complex slope. It can be flexible used in practice.

Key words: Stability analysis; Multi – layer slope; Local strength reduction method; Heterogeneous slope

翻译:姜庆飞

冯桃莲副主任赴抚州开展抚河巡河督导

8月22日至23日,江西省人大常委会副主任、抚河省级河长冯桃莲率督导组赴抚州市开展抚河流域省级河长巡河督导。省人大环资委主任委员陈尚云等环资委组成人员,省水利、环保、住建、工信、农业部门负责人参加。

冯桃莲一行选取2016年“清河行动”发现的有待整改问题、当前河湖整治亮点进行重点督导,赴东乡区察看畜禽水产养殖综合整治工作、工业和生活污水处理厂建设、高信化工公司废水治理、建德种猪场污染整改、东乡河罗溪桥断面水质改善情况,赴临川区察看云山镇小型生活污水处理设施运行及排污口管理、名人雕塑园应用生态技术治理污水情况,并派员抽样检测东乡盛祺猪场外排水、杨溪水库和罗溪桥断面水质。冯桃莲充分肯定治污工程进展和水污染整治效果,勉励企业诚信经营,带头做绿色环保、有社会责任的良心企业。

23日上午,督导组在抚州市召开座谈汇报会,传达2017年省级总河长会议精神,听取抚州、南昌、丰城3市政府有关工作汇报,省直责任单位分别发言,冯桃莲部署抚河流域河长制有关工作。

冯桃莲说,抚河流域河长制工作取得新进展新成效,去年发现的问题已基本完成整改,抚河干支流呈现整洁、清畅的新面貌,污水治理正从城区向乡镇延伸。她指出,要抓住国家生态文明试验区建设和打造河长制升级版的契机,进一步提高思想认识,增强落实河长制的紧迫性;改进措施方法,增强解决问题的实效性;完善工作机制,增强齐抓共管的协同性,主动履职担当,探索总结经验,为打造美丽中国“江西样板”作出新贡献。她要求,有关政府及部门要强化责任、动真碰硬,确保每一项环境问题整改到位;动员广大群众参与河长制工作,营造全社会治水护水的良好氛围。

此次巡河督导是2016年抚河督导工作的延续和深化,将有力推动抚河流域市县河长制转型升级落地生根、结果见效。

(江西省河长办公室 康柳林 艾晟)