

黄河上中游水土保持减沙效果研究

李 敏

(黄河上中游管理局, 陕西 西安 710021)

[关键词] 年输沙量; 水土保持; 减沙效果; 黄河上中游

[摘 要] 采用逐步回归方法, 对 1954—2012 年黄河年输沙量、降水量和水土流失治理度数据分 3 个时段进行了计算, 分析认为: 水土流失治理度较好地“解释”了 20 世纪 80 年代以来黄河年输沙量锐减的现象, 回归方程的显著性水平均达到 $\alpha=0.001$; 在 1967—1987 年时段, 相同降雨条件下, 水土流失治理度的提高不仅显著减少了黄河年输沙量, 而且使年输沙量对降雨的响应趋于“迟缓”, 在 1988—2012 年时段, 仅由水土流失治理度一个因子就能够很好地“解释”黄河年输沙量的变化; 在水土流失治理度超过 55% 时, 计算年输沙量仅 1.2 亿 t, 以 80% 的置信度, 黄河年输沙量将小于 5 亿 t。

[中图分类号] S157 [文献标识码] A [文章编号] 1000-0941(2016)09-0068-05

1 概述

1.1 黄河上中游水土保持发展进程

根据各省区年度统计上报, 从 20 世纪 80 年代初期开始, 黄河上中游每年治理水土流失面积 1.2 万 km² 左右, 到 2015 年累计治理水土流失面积超过 37 万 km², 连同 20 世纪 80 年代以前的治理面积, 合计统计上报水土流失治理面积超过 45 万 km²。受人为和自然因素影响, 统计上报的水土流失治理面积数据中存在一定的“水分”。1985 年以来, 通过对典型小流域和重点治理区进行实地测量调查, 不断核实实际保存的水土流失治理面积。经过大量的核实工作, 黄河中游一般梯田保存率为 90%~95%、水保林保存率为 70%~80%、种草保存率约为 40%, 故采用 60% 左右的综合保存率对统计上报数据进行核实。根据黄河中游水土保持委员会第十二次会议报告推算, 截至 2015 年底, 黄河上中游共有水土流失综合治理面积约 26 万 km² (表 1)。从表 1 可以看出, 黄河上中游地区自 1980 年以来水土流失综合治理面积基本呈线性增加趋势。

1.2 黄河年输沙量变化

1954—2012 年的 59 年间黄河年输沙量波动变化大体分为 3 个阶段: ①1954—1966 年输沙量持续高位, 年输沙量超过 25 亿 t 的有 5 个年份, 时段平均年输沙量为 15.66 亿 t; 年际间变化剧烈, 1964 年输沙量超过 26 亿 t, 1965 年下降到仅 4.26 亿 t, 1966 年又超过 26 亿 t^[1-2]。②1967—1987 年为输沙量骤降阶段, 年输沙量从 1967 年的 26 亿 t 以上波动减少到 1987 年的 4 亿多 t, 期间出现 1977 年的特殊高输沙量年份。③

表 1 黄河上中游不同时期的水土流失综合治理面积

治理数据截止时间 (年)	治理面积 (万 km ²)	说明
1980	7.5	根据黄河中游水土保持委员会第一次会议报告
1985	10.0	根据黄河中游水土保持委员会第二次会议报告
1995	15.0	根据黄河中游水土保持委员会第三次会议报告
2005	21.5	根据《黄河流域水土保持规划(修编)》(含山东省)
2010	23.0	根据黄河中游水土保持委员会第十次会议报告
2015	26.0	根据黄河中游水土保持委员会第十二次会议报告推算

1988—2012 年为年输沙量持续递减阶段, 时段平均年输沙量 5.7 亿 t, 进入 21 世纪后平均值仅为 2.6 亿 t (见图 1)。

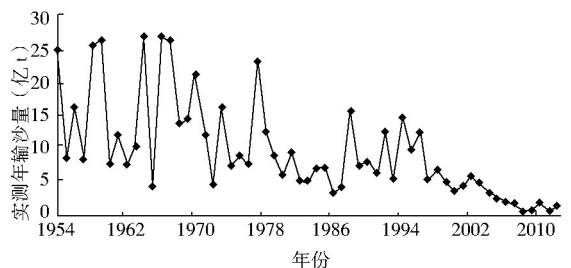


图 1 1954—2012 年黄河年输沙量变化

2 研究内容

由上述分析知, 黄河年输沙量变化过程和黄河中游水土保持发展进程的变化趋势具有相似性, 而黄河泥沙又基本上来自流经黄土高原地区的渭河、北洛河、汾河和河口镇(头道拐)到龙门区间(以下简称“河龙

区间”)的各支流,其中主要产沙区域为河龙区间。因此,本研究选择渭河(华县站)、北洛河(淤头站)、汾河(河津站)控制区域和河龙区间(以下简称“4站区域”)为研究区,探讨黄河中游水土流失综合治理措施的减沙效果。4站区域总面积30.05万km²。黄河自1919年设站观测,距今不到100年,选取资料较完整的1954—2012年作为研究时段,共计59年。

3 研究方法

根据水文学和水土保持学基本原理,河流年输沙量的变化遵循统计学规律,水土流失综合治理措施的减沙效益亦遵循统计学规律。因此,本研究将研究区域黄河年输沙量的产生过程视为一个灰箱或者黑箱,采用逐步回归分析方法,筛选具有物理成因概念和含义的解释因子(自变量),对不同时段的数据进行计算处理,获得符合水文学和水土保持学基本原理、仿真模拟效果好的计算结果,分析水土保持对黄河年输沙量的影响。理论和研究成果表明,输沙量与降雨和水土流失治理度等因子之间表现为非线性相关关系。为此,本研究对年输沙量取对数形式,考虑到降雨对输沙量影响的复杂性,对部分自变量也增加对数形式,以获得更好的结果。

3.1 降雨因子选择

由于已知黄河泥沙主要源自河龙区间和汛期降雨(暴雨)产沙,因此对于降雨因子,初步选取4站区域年降水量及河龙区间年降水量、7—8月降水量、最大3日降水量、最大1日降水量等。河龙区间是黄河中游三大暴雨区之一,是黄河泥沙的主要来源区。为了精细地仿真模拟黄河年输沙量的变化,将河龙区间划分为5个亚区(图2)^[3],其中又将河龙区间的陕西北片

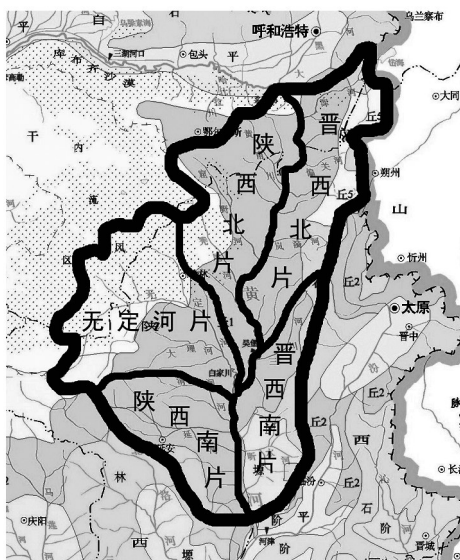


图2 河龙区间降雨分区示意

和晋西北片合并为“河吴区间”片,采用这些亚区7—8月降水量、最大3日降水量和最大1日降水量等作为“解释”黄河年输沙量的备选自变量。以上共初步选择22个降雨因子。考虑到59年系列降雨与输沙量关系的复杂性,增加了降雨因子的自然对数(ln),使参与计算筛选的降雨变量达到44个。

3.2 水土保持因子选择与预处理

为了使坡面治理措施与淤地坝相互协调,既不重复计算,又不产生矛盾,计算中对坡面措施面积、大型坝(骨干坝)坝控面积进行“耦合”与综合处理。首先,将核实的坡面治理措施面积加上大型淤地坝(骨干坝)的坝控面积,并扣除二者的重叠面积,形成“水土流失综合治理面积”(图3),其中大型淤地坝(骨干坝)按20年设计淤积年限动态计算面积^[4-5]。

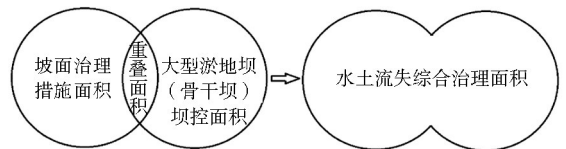


图3 水土流失综合治理面积示意

为了使今后对不同时间和空间尺度的计算结果具有可比性,本研究将水土流失治理度作为参选自变量。水土流失治理度的计算公式为

$$D = A_1/A_2 \times 100\%$$

式中: D 为水土流失治理度,%; A_1 为水土流失治理面积,万km²; A_2 为水土流失面积,万km²。

4 计算结果与分析

4.1 1954—1966年计算结果

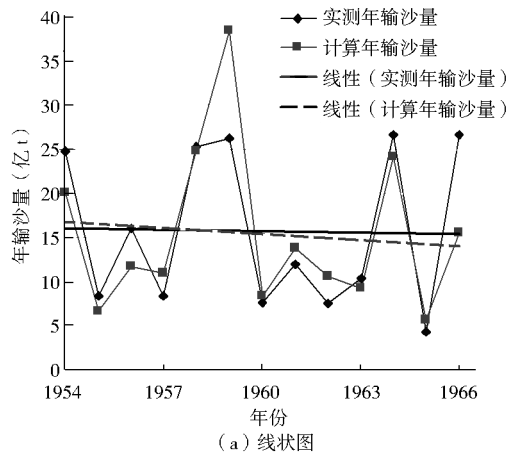
1954—1966年研究区域黄河年输沙量较大、年际间波动剧烈,水土保持工程规模较小,而且毁林开荒、毁林炼钢,人为水土流失剧烈。对这一时段数据的计算结果表明,仅河吴区间7—8月降水量一个因子就可以“解释”该时段年输沙量近80%(调整的 $R^2 = 0.776$)的变化,河吴区间7—8月降水量与年输沙量回归计算结果见表2。

表2 1954—1966年计算结果

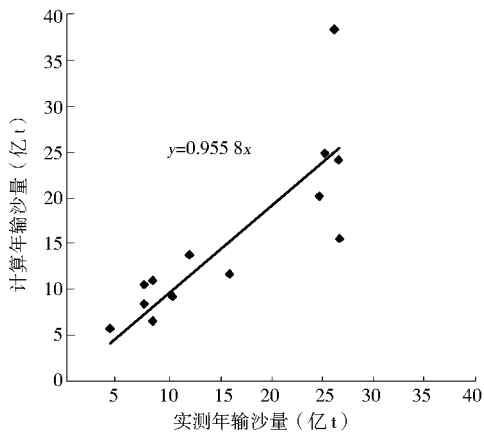
计算次数	R	R^2	调整 R^2	Durbin-Watson
1	0.891	0.795	0.776	1.822

比较回归计算值与实测值(图4)可以看出,回归计算年输沙量与实测年输沙量拟合较好,散点图显示计算年输沙量为实测年输沙量的95.58%。其中,1966年标准化残差接近2、计算值明显小于实测值。初步分析,造成这一现象的原因是该年黄河流域发生较大的局部暴雨,冲毁了部分水土保持工程措施,造成以往多年拦淤减少的泥沙在当年被冲入黄河,使“河吴区间

7—8月降水量”不能够“解释”这些输沙量,因而计算年输沙量明显小于实测年输沙量^[6-8]。



(a) 线状图



(b) 散点图

图4 1954—1966年实测年输沙量与计算年输沙量比较

4.2 1967—1987年计算结果

4.2.1 总体分析

对1967—1987年数据采用逐步回归方法,通过4次计算,先后筛选出由河吴区间7—8月降水量的自然对数、水土流失治理度、河龙区间最大1日降水量和区域年降水量的自然对数等4个自变量组成的回归方程,其相关系数 $R = 0.9590$ (表3),显著性水平 $\alpha = 0.001$ 。

在逐步回归计算中,河吴区间7—8月降水量的自然对数第一个进入回归方程(表3),相关系数 R 达到0.8320;第二次计算增加了水土流失治理度,使回归方程的相关系数 R 超过0.9,调整的 R^2 达到0.7899,说明仅由河吴区间7—8月降水量的自然对数和水土流失治理度两个因子就“解释”了该时段黄河年输沙量近

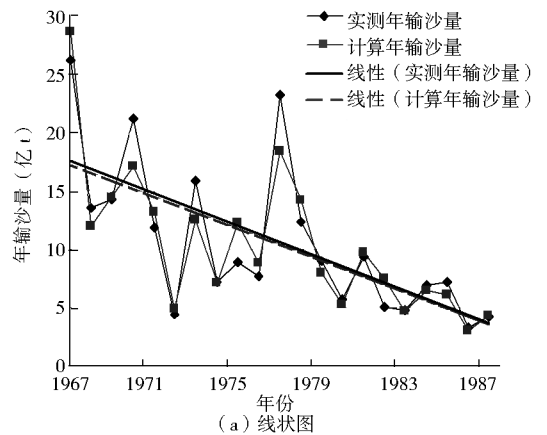
表3 1967—1987年计算结果

计算次数	R	R^2	调整 R^2	Durbin-Watson
1	0.832 0	0.692 2	0.676 0	
2	0.900 5	0.810 9	0.789 9	
3	0.937 6	0.879 0	0.857 7	
4	0.959 0	0.919 6	0.899 5	2.172 4

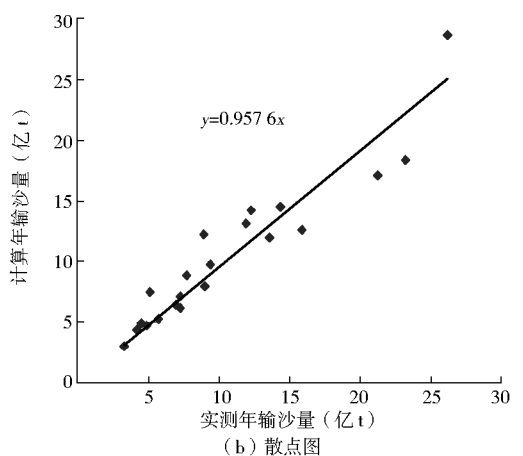
79%的变化;第三次计算又增加了河龙区间最大1日降水量,使回归方程的相关系数 R 达到0.9376,调整的 R^2 达到0.8577;第四次计算增加了区域年降水量的自然对数,回归方程的相关系数 R 达到0.9590,调整的 R^2 达到0.8995。

筛选出的水土流失治理度自变量为负值,符合“水土保持是黄河泥沙治本措施”的基本原理;筛选出的河吴区间7—8月降水量的自然对数、河龙区间最大1日降水量和区域年降水量的自然对数均为正值,符合降雨产沙的基本规律^[9-10]。

根据回归方程,得出计算年输沙量,将其与实测年输沙量比较可以看出(图5),计算年输沙量与实测年输沙量拟合很好,散点图显示计算年输沙量为实测年输沙量的95.76%。



(a) 线状图



(b) 散点图

图5 1967—1987年实测年输沙量与计算年输沙量比较

4.2.2 标准化回归系数分析

对第四次计算结果的4个自变量系数进行标准化处理(表4),去掉不同量纲和不同数量级的影响,分析各自变量在回归方程中的相对重要性。水土流失治理度的标准化回归系数为-0.4355,河吴区间7—8月降水量的自然对数、河龙区间最大1日降水量和区域年降水量的自然对数的标准化回归系数分别为0.3153、

0.324 9 和 0.250 1。水土流失治理度标准化回归系数的绝对值最大,这一现象说明在由这 4 个自变量组成的回归方程中,水土流失治理度对年输沙量的影响最大,是该时段黄河年输沙量骤降的主要因素。

表 4 1967—1987 年回归系数

参数	非标准化回归系数	标准误差	标准化回归系数	t 值	P 值
河吴区间 7—8 月降水量的自然对数	0.567 2	0.196 8	0.315 3	2.882 9	0.010 8
水土流失治理度	-0.037 8	0.007 2	-0.435 5	-5.249 4	0.000 1
河龙区间最大 1 日降水量	0.024 3	0.006 1	0.324 9	4.001 5	0.001 0
区域年降水量的自然对数	1.037 6	0.365 0	0.250 1	2.842 5	0.011 8

4.2.3 三维空间图形分析

由于水土流失治理度与年输沙量之间是非线性关系,因此不同水土流失治理度对年输沙量的影响程度不同,影响的过程(趋势)也不同。根据回归方程做出在相同降雨条件下不同水土流失治理度不同视角的三维曲面图形,可直观对比分析不同水土流失治理度对年输沙量的影响程度和影响趋势。为了做出三维图形,将贡献率最小的区域年降水量的自然对数固定为时段的平均值,选择时段起始年(1967 年)和时段末尾年(1987 年),绘制水土流失治理度对年输沙量影响的曲面进行比较分析(图 6)。

由于是对时段内河吴区间 7—8 月降水量的自然对数和河龙区间最大 1 日降水量两个降雨因子全部组合的计算,因此在 1967 年回归曲面中,两个降雨因子同时取最大值时计算的年输沙量超过 35 亿 t。从图 6 可以看出,1967 年和 1987 年的水土流失治理度对年输沙量影响显著不同。在曲面的最高点,即两个降雨因子均处于最大值时,1987 年输沙量响应曲面比 1967 年输沙量响应曲面降低约 20 亿 t;在曲面的最低点,即两个降雨因子均处于最小值时,两个年输沙量响应曲面相差幅度约为 5 亿 t。对比分析说明,随着水土流失治理度的增加,一方面总体上年输沙量显著减少,另一方面年输沙量响应曲面在高降雨条件下的减少幅度大于低降雨条件。

比较图 6 中 1967 年和 1987 年两个年份的输沙量响应曲面可以看出,1967 年治理水平年输沙量响应曲面陡峭,计算年输沙量随降雨的变化而急剧变化,计算年输沙量最高与最低值相差约 30 亿 t;1987 年治理水平年输沙量响应曲面不仅较低,而且显著平缓,计算年输沙量最高与最低值相差约 15 亿 t。这一现象说明水土流失治理不仅大幅度减少了河龙区间黄河年输沙量,而且使年输沙量对降雨变化响应的敏感度降低^[11]。

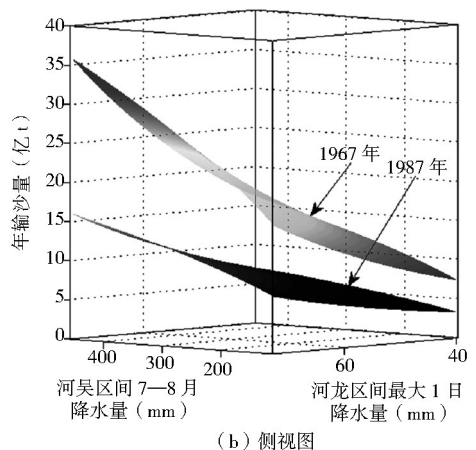
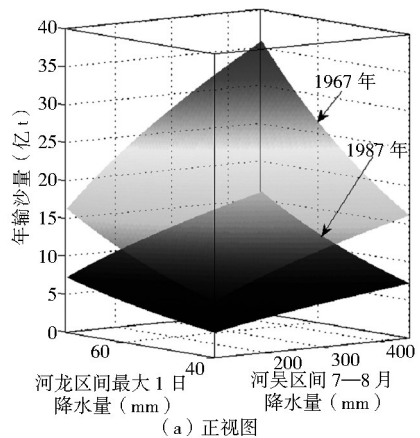


图 6 年输沙量对不同水土流失治理度的响应曲面

4.3 1988—2012 年计算结果

4.3.1 回归计算结果

回归分析表明,1988—2012 年时段仅水土流失治理度一个因子就能够“解释”黄河年输沙量 77.65% 的变化(表 5),回归方程的相关系数 R 达到 0.886 5,显著性水平 $\alpha = 0.001$ 。水土流失治理工程的大规模开展是该时段黄河年输沙量持续处于低位的根本原因。20 世纪 80 年代初期实施的水土保持工程措施持续发挥水土保持效益,同时国家又在重点水土流失地区实施了多个治理项目,水土保持治理工程规模进一步扩大,水土保持对黄河年输沙量的影响更加显著(图 7)。

表 5 1988—2012 年计算结果

计算次数	R	R^2	调整 R^2	Durbin-Watson
1	0.886 5	0.785 8	0.776 5	1.824 0

4.3.2 减沙分析

截取 1999—2012 年的计算结果,分析计算年输沙量变化趋势(图 8)。可以看出:1999 年水土流失治理度达到 40%,计算年输沙量小于 5 亿 t,其 80% 置信度上限不到 15 亿 t;2010 年水土保持治理度达到 55%,计算年输沙量仅 1.2 亿 t,其 80% 置信度上限小于 4.5 亿 t。根据 1988—2012 年数据分析,在当前水土保持治理程度,除非出现稀遇降雨事件,以 80% 的置信度,

黄河年输沙量将小于 5 亿 t。

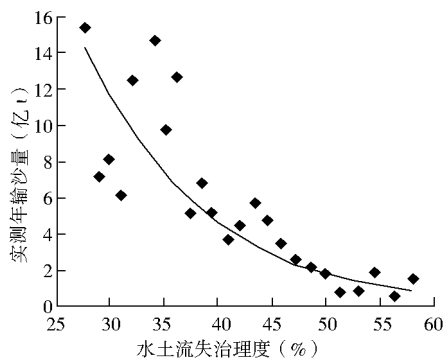


图 7 1988—2012 年水土流失治理度与年输沙量回归分析

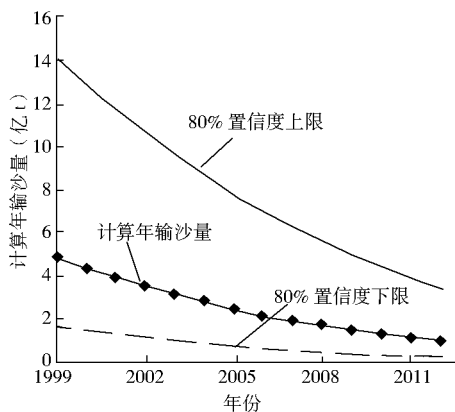


图 8 1999—2012 年计算结果 80%置信度上下限分析

5 结论与讨论

(1)从 20 世纪 80 年代初期开始,30 多年来黄河上中游地区水土流失治理面积呈持续增长趋势,截至 2015 年黄河中游水土流失综合治理措施保存面积约为 26 万 km²。

(2)依据水土流失治理度和降水量与黄河年输沙量间的统计学关系,将 1954—2012 年划分为 3 个时段,采用逐步回归方法对观测数据进行计算分析,结果表明,水土流失治理度较好地“解释”了 20 世纪 80 年代以来黄河年输沙量锐减的现象,说明水土保持是黄河年输沙量减少的主要因素。

(3)在计算时段内(以 1967—1987 年时段为例),相同降雨条件下,水土流失治理度的提高不仅显著减少了黄河年输沙量,而且使年输沙量对降雨的响应趋于“迟缓”。由此,在 1988—2012 年时段,仅由水土流失治理度 1 个因子就能够很好“解释”黄河年输沙量的变化。

(4)根据现有数据分析,在水土流失治理度超过 55%时,以 80%的置信度,黄河年输沙量将小于 5 亿 t。

[参考文献]

[1] 水利部,中国科学院,中国工程院.中国水土流失防治与生

态安全:西北黄土高原区卷[M].北京:科学出版社,2010: 63-67.

[2] 陈先德.黄河水文[M].郑州:黄河水利出版社,1996:80-88.
 [3] 徐建华,李晓宇,陈建军,等.黄河中游河口镇至龙门区间水利水保工程对暴雨洪水泥沙影响研究[M].郑州:黄河水利出版社,2009:73-74.
 [4] 中华人民共和国水利部.水土保持治沟骨干工程技术规范[M].北京:新华出版社,2003:2.
 [5] 李敏,王富贵.黄河河龙区间年输沙量的仿真模拟[J].人民黄河,2013,35(4):37-40.
 [6] 黄河中游水文水资源局.黄河中游水文(河口镇至龙门区间)[M].郑州:黄河水利出版社,2005:54-55.
 [7] 黄河水利委员会,黄河中游治理局.黄河水土保持志[M].郑州:河南人民出版社,1993:284-287.
 [8] 黄河上中游管理局.淤地坝试验研究[M].北京:中国计划出版社,2005:60.
 [9] 胡一三.中国江河防洪丛书·黄河卷[M].北京:中国水利水电出版社,1996:124-129.
 [10] 赵文林.黄河泥沙[M].郑州:黄河水利出版社,1996:48.
 [11] 李敏.水土保持对黄河输沙量的影响[J].中国水土保持科学,2014,12(6):23-29.

[作者简介] 李敏(1952—),男,江苏徐州市人,教授级高级工程师,学士,主要研究方向为水土保持数学模型。

[收稿日期] 2016-08-02

(责任编辑 李杨杨)

(上接第 34 页)

因此,应把以往检查意见的落实情况作为监督检查的重要内容。检查重点内容包括:①针对以往水行政主管部门出具的检查意见,建设单位是否制订了整改计划或整改方案。②是否按照检查意见提出的整改要求,落实了整改措施,并达到了防治水土流失的效果。③建设单位是否及时将整改结果向有关水行政主管部门进行了反馈。

2.4.3 造成水土流失治理情况

检查重点内容包括:①对于造成的人为水土流失,建设单位是否及时组织进行了治理。②水土流失治理效果是否达到有关规范的要求。③建设单位是否及时将整改结果向有关水行政主管部门进行了反馈。

[作者简介] 高景晖(1979—),男,河南封丘县人,高级工程师,硕士,主要从事水土保持监督管理工作。

[收稿日期] 2016-08-01

(责任编辑 孙占锋)