文章编号:1007-2284(2018)03-0135-04

高陂水电站上游进水渠水力特性试验研究

黄智敏[1,2],付 波[1,2],陆汉柱[1,2],陈卓英[1,2],钟勇明[1,2]

(1.广东省水利水电科学研究院,广州 510635; 2.广东省水动力学应用研究重点实验室,广州 510635)

摘 要:韩江高陂水利枢纽电站上游进水渠布置涉及其运行流态、泄水闸泄流能力、鱼道运行等因素。通过水力模型试验,取消了设计初拟方案的电站进水渠左侧实体导墙布置,将进水渠左导墙和拦沙坎修改为多孔拦污栅闸孔布置形式,调整了拦沙坎顶拦污栅闸孔轴线与闸坝轴线的交角,并减小进水渠进水斜坡段的坡度等。这些措施明显改善了进水渠的入流条件和运行流态,满足了泄水闸泄流能力和鱼道运行的要求,降低了进水渠内流速,减小进水渠段的水头损失。研究成果得到了工程设计的采用,可供类似工程设计参考。

关键词:水利枢纽;电站;进水渠;布置;模型试验

中图分类号:TV732 **文献标识码**:A

http://www.kueshu.com

Experimental Research on the Hydraulic Characteristics of Upstream Water Inlet Channel of Gaobei Hydropower Station

HUANG Zhi-min[1,2], Fu Bo[1,2], LU Han-zhu[1,2], CHEN Zhuo-ying[1,2], ZHONG Yong-ming[1,2]

(1.Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510635, China;
2.Guangdong Provincial Key Laboratory of Hydrodynamics, Guangzhou 510635, China)

Abstract: The layout of the upstream water inlet channel of Gaobei Hydropower Station at Hanjiang involves the operation flow pattern, sluice discharge capacity, and fishway operation etc.. Through the hydraulic model test, the measures are adopted, such as cancelling the initial design scheme of the left solid guide wall layout of the channel, the left guide wall and debris barrier have been modified as layout of the multiple trash rack gated pore, adjusting the angle between the trash rack gated pore axis laying on the debris barrier top and the sluice axis, and decreasing the slope of the water inlet slope section, etc.. Through these measures, the inflow condition and operation flow pattern of the channel are significantly improved, the sluice discharge capacity and the fishway operation requirements are satisfied, the flow velocity and the head loss of the channel section are reduced. The research results have been adopted in engineering design, and can be used for a reference for similar engineering design.

Key words: water control project; hydropower station; water inlet channel; layout; model test

低水头水闸枢纽的电站进水渠布置涉及电站发电效益、泄水闸运行流态、工程投资等因素。以往在电站上游进水渠设计布置中,对其工程前期投资的因素考虑较多,因而忽略了其长远的发电经济效益,电站进水渠与枢纽泄水闸分隔的导流墙、进水渠进口上游拦沙坎、拦截漂浮物设施等体型和布置较为单一和常规[1,2],往往会造成进水渠段的流态不佳、水头损失较大,并且会影响枢纽工程泄水闸等正常运行。

近年来,经过水力模型试验研究,广东省清远水利枢纽、连州市龙船厂航电枢纽等水电站上游进水渠导流墙、拦沙坎、拦漂排等修改为较新颖的多孔拦污栅闸孔布置形式[3,4],工程建成运行之后,效果良好,电站的发电效益明显提高,并展现出十分良好应用的前景。本文介绍韩江高陂水利枢纽电站上游进水渠水力模型试验研究成果,供类似工程设计参考。

收稿日期:2017-09-06

作者简介:黄智敏(1957-),男,硕士,教授级高级工程师,主要从事水工建筑及水力学方面的研究。E-mail:hzm3011@163.com。

1 工程概况

高陂水利枢纽工程为Ⅱ等大(Ⅱ)型工程,枢纽主要建筑物由泄水闸、电站、船闸、鱼道、挡水坝以及两岸连接建筑物等组成(见图1)。枢纽正常蓄水位为38.0 m,发电最低运行水位为30.0 m。

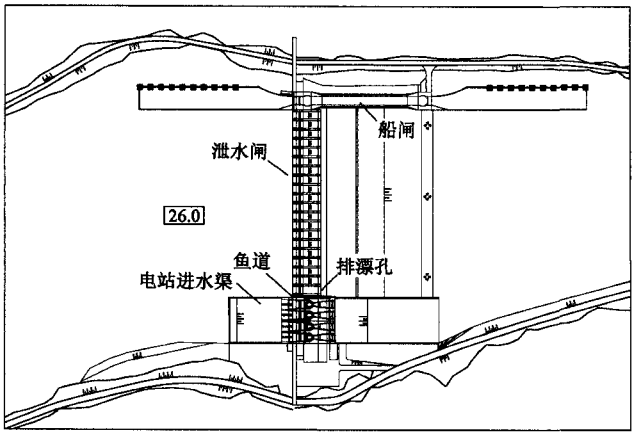


图 1 高陂水利枢纽工程平面布置示意图(单位:m)

Fig.1 Plan layout diagram of the water control project

高陂水电站为低水头河床式电站,布置在坝址河道的右岸,电站从右往左与鱼道、排漂闸孔、泄水闸等连接,坝址处河道较弯曲。电站安装 4 台贯流式灯泡机组,单机额定容量 25 MW,总装机容量为 100 MW,多年平均发电量 40 142.3 万 kWh。电站运行的上游水位为正常蓄水位 38.0 m,电站满发流量为 1 361.8 m^3/s,发电运行最大水头为 13.5 m、最小水头为 2.5 m。

电站上游进水渠试验是在高陂水利枢纽水工整体模型上进行,模型为 1∶85 的正态模型[5]。

2 电站进水渠设计初拟方案试验

2.1 设计初拟方案布置

(1)电站上游进水渠宽度为 88 m,电站进水口底板高程为 9.22 m,进水口底板上游以坡度 1∶5 斜坡段连接上游河床面(高程 26.0 m);

(2)进水渠左侧实体导墙顶高程为 39.0 m、长度为 107 m,拦沙坎布置在进水渠的进口断面,拦沙坎顶高程 27.2 m(见图 2)。

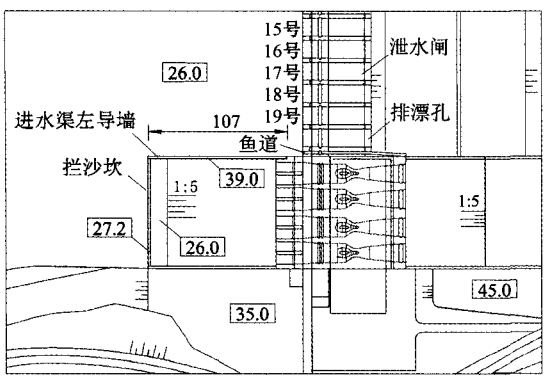


图 2 电站设计初拟方案平面布置示意图(单位:m)

Fig.2 Plan diagram of initial scheme of the station design

2.2 设计初拟方案运行试验

2.2.1 枢纽工程运行方式

根据工程设计资料,枢纽工程运行方式为[5]:

(1) 当坝址处来水流量 $Q_p \leq 1\ 361.8\ m^3/s$(电站满发流量)时,在满足下游生态用水的条件下,泄水闸闸门关闭,水库蓄水至正常蓄水位 38.0 m,满足电站发电要求。

(2) 当坝址处来水流量 Q_p 为:$1\ 361.8\ m^3/s < Q_p \leq 6\ 700\ m^3/s$(机组停发流量)时,保持闸上游正常蓄水位 38.0 m,通过发电机组和泄水闸闸门控泄运行。

(3) 当坝址处来水流量 $Q_p > 6\ 700\ m^3/s$ 时,电站停机,泄水闸全部开启泄洪,以确保工程的安全运行。

2.2.2 电站单独运行试验

电站 4 台机组满发运行(闸上游水位 $Z = 38.0$ m、$Q = 1\ 361.8\ m^3/s$)的试验表明(见图 3):

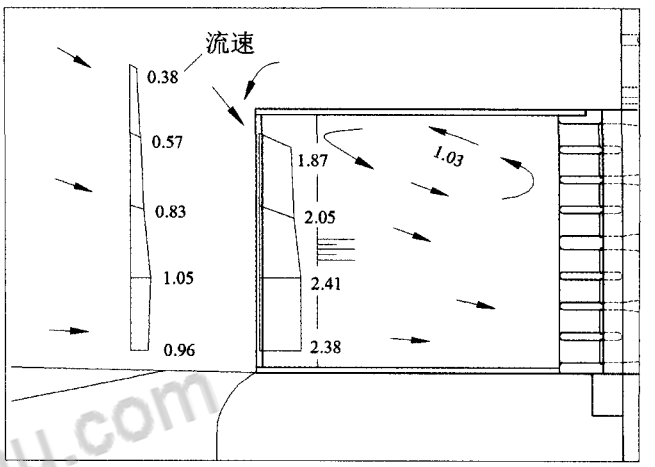


图 3 初拟方案进水渠流态和流速分布示意图(单位:m/s)

Fig.3 Diagram of flow regime and velocity of the initial scheme

(1) 上游河道水流进入电站进水渠时,受进水渠左导墙(顶高程 39.0 m)阻水的影响,进水渠进口断面左侧水流斜向进入进水渠内,进水渠内中下游段左侧约 1/3 过水断面为回流区,回流流速较大值约 1 m/s,增大了进水渠与其上游河道的水位差,增加了进水渠段的水头损失。

(2) 上游拦沙坎布置在进水渠的进口断面(拦沙坎顶高程为 27.2 m),减小了进水渠进口断面的过水面积,拦沙坎顶入流流速达约 1.9~2.4 m/s,进水渠上游河道至电站进水口前沿的水位落差为 0.47 m,水头损失值较大。

2.2.3 泄水闸闸门全开运行试验

由于泄水闸闸址区域河道弯曲且上游进水渠左导墙设置较长和较高,在电站停机、泄水闸泄流运行时($Q_p > 6\ 700\ m^3/s$),闸上游河道右岸区域来流受到进水渠左导墙阻水作用,进水渠左导墙上游端头部产生较明显的壅水和绕流,泄水闸右端 18~19 号闸孔及排漂闸前沿上游区域形成较明显的回流区,明显减小了泄水闸右端闸孔的入流流速(见图 4)。如在 20 年一遇洪水频率流量($P=5\%$,$Q=12\ 930\ m^3/s$)泄流运行时,右端 18~19 号闸孔的入流流速只约为各闸孔入流平均流速的 40%~50%,泄水闸上、下游河道水位差 $\Delta Z = 0.38\ m > 0.3\ m$,泄水闸泄流能力不能满足设计的要求。

3 上游进水渠修改方案试验

3.1 修改思路

为了改善电站进水渠运行流态、减小进水渠段水头损失,并满足泄水闸泄流能力的要求,上游进水渠修改思路为:①降

http://www.ixueshu.com

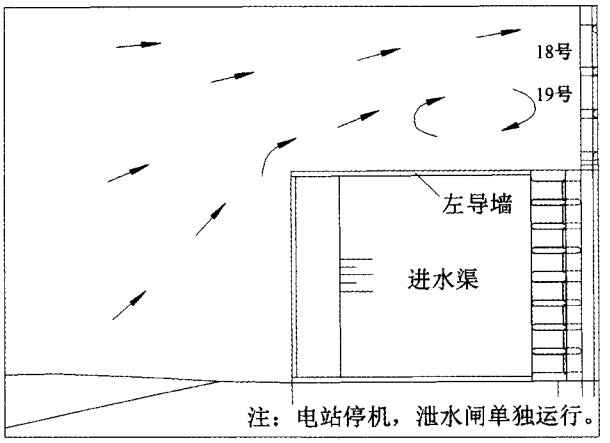


图 4　初拟方案泄水闸运行右端闸孔流态示意图

Fig.4 Flow regime diagram of right side gate hole of the initial plan

低进水渠左导墙的高程或缩短其长度；②将进水渠实体左导墙修改为过水的拦污闸孔；③将拦沙坎往进水渠上游移动，增大拦沙坎的过流断面积。

3.2　修改方案布置

参考已有的工程研究成果和运行[3,4,6]，将进水渠左导墙修改为 10 孔拦污栅闸孔，其总长度 112 m；其下游段 1~4 号闸孔进口底部高程为 33.5 m，上游段 5~10 号闸孔进口底部高程为 29.0 m，各拦污栅闸孔净宽为 7.5 m，中墩厚为 2.0 和 3.0 m（见图 5）。

拦沙坎布置在进水渠左侧拦污栅闸孔的上游，其轴线与闸坝轴线呈 55°夹角。拦沙坎顶布置 15 孔拦污栅闸孔，单孔闸净宽 10 m，闸进口底部高程为 27.0 m，各闸孔的中墩厚为 2.0 m 和 3.0 m（见图 5）。

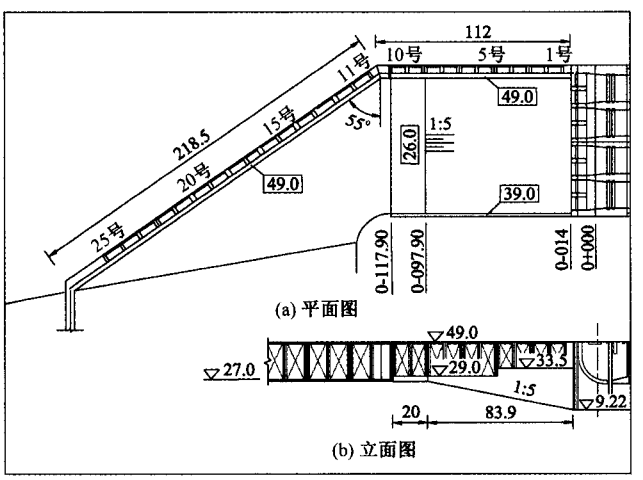


图 5　进水渠修改方案布置示意图（单位：m）

Fig.5 Diagram of modification scheme of the inler channel

3.3　修改方案试验

（1）电站 4 台机组满发运行时，进水渠各拦污栅闸孔入流较平顺，左侧 1~4 号闸孔入流流速约 1.3~1.5 m/s（中心垂线平均流速，下同），5~10 号闸孔入流流速约 1.5~1.0 m/s；斜向拦沙坎顶的拦污栅闸孔（11~25 号）入流流速约 1.0~0.3 m/s，由其下游端闸孔（11 号）往上游端闸孔（25 号）逐渐减小；进水渠内水流较平顺，进水渠段的水位落差为 0.09 m（见图 6）。

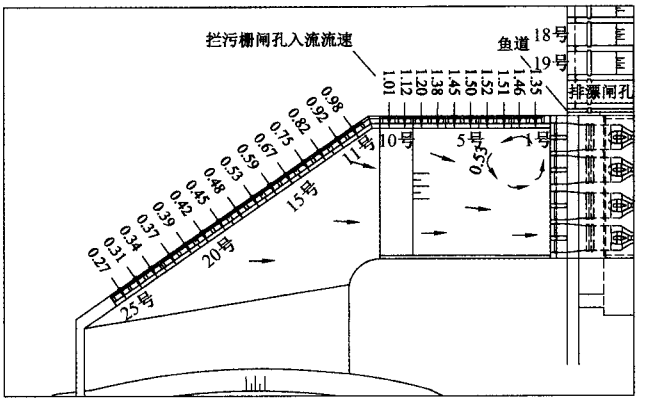


图 6　修改方案进水渠拦污栅闸孔入流流速分布示意图（单位：m/s）

Fig.6 Diagram of the flow velocity of trash rack sluice hole of modification scheme

（2）泄水闸闸门全开泄流时，由于上游斜向拦沙坎拦污栅闸孔（11~25 号）的闸墩形成一类似实体导墙，对其上游右岸区域来流有斜向导流作用，在排漂闸孔和泄水闸 18~19 号闸孔上游前沿产生回流区，减小了泄水闸右端闸孔的入流流速。

因此，修改方案进水渠布置缺陷为：①左侧 1~10 号拦污栅闸孔入流流速较大，易吸入污杂物、堵塞栅孔，增大过栅水头损失，甚至会造成栅条压弯破坏[7]；②上游斜向拦沙坎拦污栅闸孔（11~25 号）的闸墩的斜向导流作用，降低泄水闸的泄流能力，需优化拦沙坎拦污栅闸孔轴线与泄水闸坝轴线的交角；③在鱼道的过鱼期，鱼道上游出口的鱼类易从进水渠左侧下游端拦污栅闸孔进入进水渠和电站进水口内，不利于鱼道正常运行。

4　上游进水渠推荐方案试验

4.1　试验优化及推荐方案布置

（1）为了减小上游斜向拦沙坎顶拦污栅闸孔（11~25 号）的闸墩对上游右岸区域水流斜向导流作用，经试验比较后，兼顾泄水闸右端闸孔入流流速和尽量减小斜向拦沙坎顶拦污栅闸孔的长度，确定上游斜向拦沙坎顶拦污栅闸孔轴线与闸坝轴线的较优角度为 65°（见图 7）。

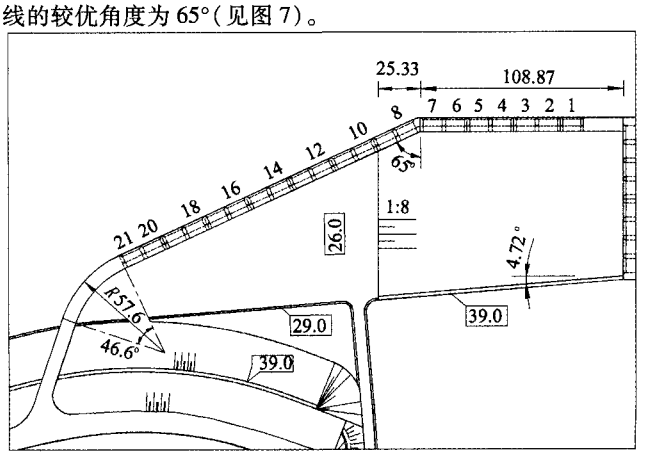


图 7　电站上游进水渠推荐方案平面布置示意图（单位：m）

Fig.7 Diagram of recommended scheme of the inlet channel

(2)上游进水渠段内的流速由上游往下游电站进水口是沿程增大的,为了降低进水渠左侧下游端拦污栅闸孔的入流流速、使其各闸孔入流流速较均匀,应尽量降低进水渠斜坡段下游段(靠电站进水口区域)的流速,使渠内上、下游段的流速差值尽量减小。

经试验比较后:①将上游进水渠斜坡段坡度由 1∶5 修改为 1∶8,电站进口进水渠右导墙以 4.72°角往上游扩宽,以增大进水渠的过流断面;②适当增大拦污栅闸孔净宽,减少其闸孔数,因此进水渠左侧墙布置 7 孔拦污栅闸孔,斜向拦沙坎顶布置 14 孔拦污栅闸孔,单孔净宽均为 10 m,1~9 号闸孔底高程为 29.0 m,其余闸孔(10~21 号)底高程为 27.0 m(见图 7)。

(3)在进水渠左侧 1~3 号拦污栅闸孔布置活动闸门,兼顾电站发电运行和过鱼期鱼道运行的要求。

4.2 推荐方案试验

4.2.1 电站 4 台机组满发(Q=1 361.8 m^3/s)运行

(1)电站进水渠左侧 1~7 号拦污栅闸孔入流流速约 1.1~1.2 m/s(见表 1 和图 8),斜向拦沙坎顶拦污栅闸孔(8~21 号)入流流速约 1.0~0.4 m/s,左侧 1~7 号拦污栅闸孔入流流速比修改方案相应流速减小约 20%,有利于拦污栅闸孔的正常运行。

表 1 进水渠左侧拦污栅闸孔入流平均流速值

Tab.1 The inflow velocity average value of the left trash rack sluice hole

开启闸孔数	闸孔中心垂线入流平均流速/(m·s^{-1})							进水渠段水位差/m
	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	7 号	
21	1.11	1.15	1.17	1.16	1.12	1.09	1.05	0.08
18				1.38	1.47	1.39	1.26	0.16

注:电站发电流量 Q=1 361.8 m^3/s。

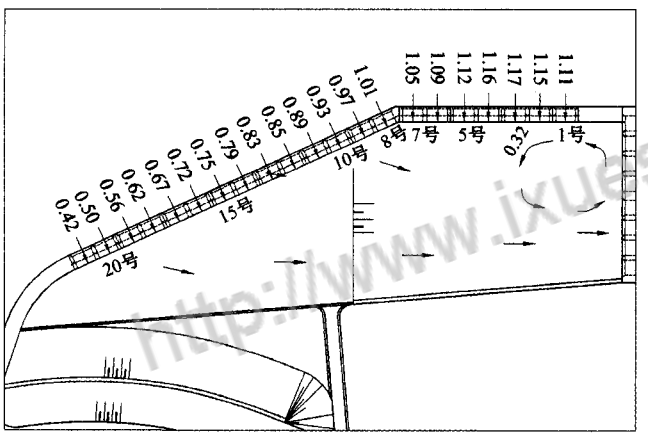


图 8 电站上游进水渠推荐方案运行流态和流速分布示意图(单位:m/s)

Fig.8 Diagram of flow regime and velocity of the recommended schemt

(2)进水渠内各断面流速分布较均匀,电站左端 1、2 号机组进口前沿水面回流较弱,回流流速约 0.2~0.3 m/s;测试的上游进水渠段的水位差为 0.08 m,水头损失较小。由估算,当电站上游进水渠段水位落差值减小 0.1 m 时,电站的年发电量可增加约 300~400 万 kWh。

(3)进水渠左侧和拦沙坎顶设置了拦污栅闸孔之后,将上游河道垃圾拦截在拦污栅前,并由泄水闸右端排漂闸孔和设置在拦污栅闸孔顶的清污机联合清理拦污栅前垃圾。

4.2.2 电站停机、泄水闸泄流运行工况

在各级洪水流量泄流运行时,上游斜向拦沙坎拦污栅闸孔(8~21 号)闸墩对上游右岸区域来流的斜向导流作用明显减弱,泄水闸各闸孔入流流速较均匀;在 20 年一遇洪水频率流量(P=5%,Q=12 930 m^3/s)泄流运行时,闸上、下游水位差 ΔZ = 0.29 m<0.3 m,泄流能力满足设计的要求。

4.3 电站发电运行与鱼道过鱼协调

为了兼顾电站发电运行和过鱼期鱼道运行要求,进水渠拦污栅闸孔调度运行方式为:

(1)在每年过鱼期(3-8 月),1~3 号拦污栅闸孔放置活动闸门、不过流,减小鱼道上游出口的鱼类进入电站上游进水渠的可能性。1~3 号拦污栅闸孔关闭后,上游进水渠流态和流速分布与 21 孔拦污栅闸孔全开运行相近,左侧 4~7 号拦污栅闸孔入流流速略增大,进水渠左端 1~2 号机组电站进口前沿水面回流范围略增大、回流流速约 0.6 m/s,进水渠段的水位差(水头损失)为 0.16m(见表 1)。

(2)在非过鱼期(9 月-次年 2 月),21 孔拦污栅闸孔全部运行,以减小闸孔入流流速和进水渠段水头损失(见表 1)。

综上所述,由于受枢纽工程布置条件的限制,鱼道上游出口位置已确定、无法更改,因此在鱼道过鱼期和非过鱼期,1~3 号拦污栅闸孔采用关闭和开启的灵活调度运行方式,较好地解决了电站发电运行与鱼道过鱼的矛盾。

5 结 语

(1)水闸枢纽工程的电站上游进水渠布置应综合考虑进水渠运行流态、泄水闸泄流能力、拦污、鱼道运行及工程投资等因素,在工程条件许可时,应尽量增大进水渠四周的入流断面、降低进水渠进水斜坡段流速等。

(2)对高陂水利枢纽电站上游进水渠布置进行了多方案的试验研究,取消了设计初拟方案的电站进水渠左侧实体导墙,将进水渠左导墙和拦沙坎修改为多孔拦污栅闸孔布置,调整了拦沙坎顶拦污栅闸孔轴线与闸坝轴线的交角,并将进水渠进水斜坡段坡度由 1∶5 修改为 1∶8、扩宽进水渠等,明显改善了其入流条件和运行流态,满足了泄水闸泄流能力和鱼道运行的要求,并减小了进水渠段的水头损失。

(3)本工程电站进水渠推荐方案布置较新颖,虽然其前期工程投资会增大,但其长远的发电效益是非常可观的。研究成果得到了工程设计的采用,可供类似工程设计参考。 □

参考文献:

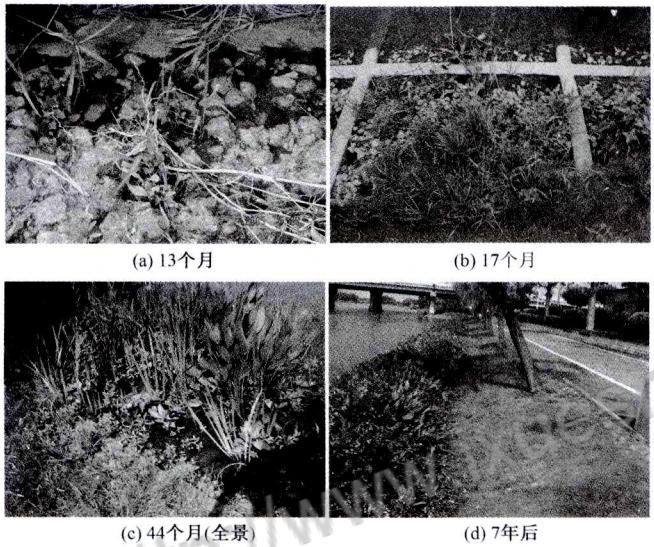
[1] 王 斌,包中进,屠兴刚,等.四川省某水电站发电效益优化水工模型试验研究[J].浙江水利科技,2012,(4):34-37.

(下转第 142 页)

http://www.ixueshu.com

3.3　蕉门河整治工程

蕉门河是广州南沙新城区的中轴线。在蕉门河中心休闲区设计有游艇码头，考虑到该段河宽较窄，为了避免船行波对河岸的冲刷破坏，同时又考虑生态景观的要求，设计在水位变动区采用现浇无砂混凝土护坡，而护脚结构则根据地质条件分别采用沉管护脚或空心混凝土块护脚（土层存在块石障碍无法采用沉管护脚时）。护岸工程于2003年底施工完毕，不再在无砂混凝土表面敷土和人工播种，以观察在此种情况下无砂混凝土的植物生长情况。如图7所示，在无砂混凝土浇筑后的早期，由于没有上覆土，植被生长情况不理想，但随着时间的推移，土壤在无砂混凝土上自然淤积，随风飘落的种子生长的植物越来越多，同时临近的植被也开始逐渐往无砂混凝土坡面蔓长，几年后整个坡面都自然长满植被。



(a) 13个月　(b) 17个月

(c) 44个月(全景)　(d) 7年后

图7　无砂混凝土护坡随时间推移植物生长情况

Fig.7 Plant growth of no-fines concrete slope with time

4　结　语

通常认为水泥等胶凝材料水化时会产生$Ca(OH)_2$，其pH值高达12以上，在这样的碱性环境下植物难以生长，必须采取措施中和这样的碱性环境以满足植物生长需要[15]。但笔者认为，影响植物生长的是无砂混凝土大孔隙内的土壤环境条件，而混凝土毛细孔的碱性环境对植物生长影响不大。湿热的环境加速无砂混凝土表层的碳化，同时随着水位交替变动或雨水冲刷，无砂混凝土大孔隙内的碱性有效降低到适合植物生长[16]。工程实践表明，华南地区河流无砂混凝土护坡不需要专门采取措施降低碱度也能满足植物生长需要。

河道的生态护岸建设是河道生态治理的一个重要内容，在进行生态护岸建设时应充分考虑到生物多样性的要求，同时应根据不同区域水位变化情况进行分区设计。对于软土地区的河道生态整治工程，沉管护脚工艺简单，施工质量容易控制；沉管内可填土种水生植物，沉管内及沉管间的空隙可为水生动物提供生存空间。现浇无砂混凝土生态性较好、投资较省同时又能满足传统防护功能；人工预留孔方便两栖类小动物修筑巢穴；可在坡面铺一层约5 cm厚的原有场地的表土，表土中含有各种本土植被的草籽，这样自然生长的岸坡生态性更好，而且可以实现零维护。□

参考文献：

[1] 俞孔坚，李迪华. 城市河道及滨水地带的“整治”与“美化”[J]. 现代城市研究，2003,(5):29-32.

[2] 刘树坤. 水利建设中的景观和水文化[J]. 水利水电技术，2003,34(1):30-32.

[3] 董哲仁. 水利工程对生态系统的胁迫[J]. 水利水电技术，2003,34(7):1-5.

[4] 董哲仁. 生态水工学-人与自然和谐的工程学[J]. 水利水电技术，2003,34(1):14-16.

[5] 董哲仁. 生态水工学的理论框架[J]. 水利学报，2003,34(1):1-6.

[6] 俞孔坚，李迪华，吉庆萍. 景观与城市的生态设计：概念与原理[J]. 中国园林，2003,19(6):2-10.

[7] 水利部国际合作与科技司.河流生态修复技术现状及展望[C]//河流生态修复技术研讨会论文集.北京：中国水利水电出版社，2005:3-9.

[8] 黄岳文，汪荣勋. 荣勋砌块及其在生态护岸上的应用[J]. 人民长江，2008,39(13):67-69.

[9] 王　超，王沛芳. 城市水生态系统建设与管理[M]. 北京：科学出版社，2004:241.

[10] 王立华. 无砂大孔无砂混凝土在河岸整治护岸工程中的应用研究[J]. 中国农村水利水电，2007,(8):51-53.

[11] 黄岳文，刘晓平，吴寿荣. 广州市海珠区赤岗涌生态治理设计[J]. 人民珠江，2009,(1):66-67,76.

[12] 王明龙，赵建民，侯英龙. 中小河流治理工程设计融入生态理念的思考[J]. 中国水利，2013,(12):1-3.

[13] 黄岳文，吴寿荣. 感潮河道的生态护岸设计[J]. 吉林水利，2005,(8):10-12.

[14] 黄岳文. 河道生态治理理念在三西涌整治工程的实践[J].水利水电科技进展，2006,26(S1):104-107.

[15] 黄锦林，王立华. 无砂混凝土在中小河流治理工程中的应用[J]. 水利建设与管理，2016,(9):59-63,41.

[16] Yuewen Huang, Xiong Yu. No-fines concrete as ecologic stream bank erosion control[J]. Geotechnical Special Publication, 2007, 167:6.

(上接第138页)

[2] 童中山，周　辉，吴时强，等.水电站导漂建筑物研究现状[J].水利水运工程学报，2002,(1):73-78.

[3] 刘　达，黄本胜，邱　静，等.清远水利枢纽系列水力学及泥沙关键技术问题研究[J]. 广东水利水电，2011,(3):1-6,15.

[4] 黄智敏，陈卓英，朱红华，等.龙船厂航电枢纽电站布置优化试验研究[J]. 广东水利水电，2014,(7):1-3.

[5] 广东省水利水电科学研究院. 广东省韩江高陂水利枢纽工程急弯束窄型河道枢纽区流态及通航条件水力模型试验研究项目水工整体模型试验研究报告[R]. 广州：广东省水利水电科学研究院，2016.

[6] 陈卓英，黄智敏，钟勇明，等.广州市人和拦河坝重建工程电站布置优化试验研究[J].广东水利水电，2010,(4):29-31.

[7] SL285-2003，水利水电工程进水口设计规范[S].

免费论文查重：http://www.paperyy.com

3亿免费文献下载：http://www.ixueshu.com

超值论文自动降重：http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载：http://ppt.ixueshu.com