

浙江省山区水利枢纽工程水闸消能防冲新技术

赖 勇,黄荣卫,张永进

(浙江省水利水电勘测设计院,浙江 杭州 310002)

摘要:在调查浙江省近年来建设的山区水利枢纽工程的建设及运行情况的基础上,分析消能防冲结构存在的问题,研究相应的保护或加固技术,介绍消能防冲结构中纤维混凝土、石笼网、抛石混凝土等新材料、新技术的应用情况和适用条件。调查结果表明,闸底板及消力池底板表面采用纤维混凝土后,施工期温度裂缝明显减少,耐磨损性能有所提高,石笼网和抛石混凝土技术可以有效地提高抛石防冲槽等结构薄弱部位的抗冲能力。

关键词:水利枢纽工程;消能防冲;纤维混凝土;石笼网;抛石混凝土

中图分类号:TV653 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-7647(2012)05-0078-04

New technologies for energy dissipation and scour prevention in hydropower projects of Zhejiang mountainous area//LAI Yong, HUANG Longwei, ZHANG Yongjin (Zhejiang Design Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Hangzhou 310002, China)

Abstract: Based on investigation of construction and operation conditions of hydropower projects in the mountainous area of Zhejiang Province, the problems of energy dissipation and structure scour prevention were analyzed, and some new materials and technologies are proposed, such as fiber reinforced concrete (FRC), the stone cage net, and riprap concrete. Application of these new technologies shows that they can reduce temperature cracking during the construction period and improve the abrasion resistance after use of FRC. The capability of the weak part of the riprap anti-scour trench is effectively improved after using the stone cage net and riprap concrete.

Key words: water resources engineering; energy dissipation and scour prevention; fiber reinforced concrete; stone cage net; riprap concrete

山区河道的主要功能是行洪和灌溉。山区河道具有源短流急、水位暴涨暴落、洪峰流量大、历时短、流速大、破坏性强等特点^[1]。山区和丘陵区水利枢纽工程中的水闸通常承担着调节水位、控制流量和汛期排泄洪水等任务,与平原和滨海区水闸相比,具有同等级时过闸流量大、同过闸流量时洪水标准及结构安全系数低的特点,对于基础大多位于深厚覆盖层上的水闸,消能防冲往往成为影响结构安全的关键问题。

近年来在浙江省内建设的水利枢纽工程大多位于山区,水闸运行期及枢纽施工导流期消能防冲方面出现的问题较多^[2],当前对消能防冲问题的研究主要集中在试验分析上,对工程实际运行情况的调查分析不足^[3-9]。随着设计理念的更新和建筑材料的发展,新材料、新技术不断应用于水闸防冲槽等消能防冲结构薄弱部位,如纤维混凝土在闸底板及消

力池底板表面中的应用,石笼网技术在抛石防冲槽表面及围堰护坡中的应用,抛石混凝土在防冲槽及导流明渠护脚中的应用等。

1 消能防冲结构存在问题调查分析

1.1 工程概况

对浙江省近年来水闸下游消能方式为底流消能的已建和在建山区水利枢纽工程进行调查,部分枢纽工程基本情况见表1,相应的水闸消能防冲结构参数见表2。

经调查分析,近年来浙江省山区水利枢纽工程中水闸消能防冲结构无论是消力池、护坦还是海漫,强度等级和抗渗抗冻等耐久性指标都逐步提高,其中有抗冲耐磨要求的部位逐步应用了新材料。如2010年完工的外雄水电站,消力池斜坡段底板表面为0.5m厚的C30F100钢纤维混凝土;在建的楠溪

表 1 部分枢纽工程基本情况

工程名称	位置	所在河流	工程任务	装机容量/MW	水闸级别	水闸孔数	水闸宽度/m	消能防冲标准/a	竣工年份
赵山渡引水工程	温州瑞安	珊溪	供水,灌溉,改善航运	20	2	16	12.0	50	2002
小溪滩水利枢纽	衢州龙游	衢江	发电,改善水环境,灌溉	18	3	2	12.0		2005
塔底水利枢纽	衢州	衢江	发电,改善市区水环境为主,兼顾航运和灌溉	16	3	3	12.0		2006
开潭水利枢纽	丽水	瓯江	发电和改善市区水环境为主,兼顾航运	48	3	19	12.0		2008
五里亭水利枢纽	丽水青田	瓯江	发电为主,兼顾航运	42	3	18	12.0	30	2009
外雄水电站	丽水青田	瓯江	发电为主,兼顾航运	48	3	15	12.0	30	2010
楠溪江供水工程	温州永嘉	楠溪江	供水		2	14	12.0		在建
三溪口河床式水电站	丽水青田	瓯江	发电为主,兼顾航运	100	3	22	12.0	30	在建

表 2 部分枢纽工程水闸消能防冲结构参数

工程名称	消力池								
	结构形式	材 料	总长度/m	平底段长度/m	深度/m	底板厚度/m			
赵山渡引水工程	下挖式	200 号混凝土	40.0(深槽区) 41.0(浅滩区)	31.25(深槽区) 33.00(浅滩区)	3.0(深槽区) 2.0(浅滩区)	2.0			
小溪滩水利枢纽	综合式	C20 混凝土(上游 16.0m 表层 0.6 m 厚 C30 钢纤维混凝土)	30.0	18.00	1.5	0.8~1.4			
塔底水利枢纽	下挖式	C20 混凝土	25.0	15.00	1.0	0.8~1.4			
开潭水利枢纽	综合式	C20 混凝土	39.9	28.00	2.7	0.8~1.5			
五里亭水利枢纽	下挖式	C25F50 混凝土(斜坡段表层 0.5 m 厚 C30F100 钢纤维混凝土)	40.0	23.75(深槽区) 24.25,26.00(浅滩区)	2.5(深槽区) 1.5,2.0(浅滩区)	1.5			
外雄水电站	下挖式	C25F50 混凝土(斜坡段表层 0.5 m 厚 C30F100 钢纤维混凝土)	40.0	25.75(深槽区) 24.00(浅滩区)	2.5(深槽区) 2.0(浅滩区)	1.5			
楠溪江供水工程	综合式 (增设消力槛)	C25F50 混凝土(上游 23.0m 表层 0.5 m 厚 C40W4F100 工程塑钢纤维混凝土)	40.0	24.50(深槽区) 22.50(浅滩区)	2.0	1.8(深槽区) 1.4(浅滩区)			
三溪口河床式水电站	综合式 下挖式	深槽区 C30F50 混凝土、浅滩区 C25F50 混凝土(斜坡段表层 0.5 m 厚 C40W4F100 聚丙烯纤维混凝土)	49.5(深槽区) 45.0(浅滩区)	33.75(深槽区) 30.75(浅滩区)	2.5	1.5			
工程名称	护坦			海漫			防冲槽		
	材 料	长度/m	底板厚度/m	材 料	长度/m	底板厚度/m	材料	长度/m	最大深度/m
赵山渡引水工程	150 号混凝土	20	0.8	150 号素混凝土	68	0.8	抛石	23.00	3.0
小溪滩水利枢纽	C20 混凝土	15	0.6	C20 统料混凝土	40	0.45	抛石	14.65	3.0
塔底水利枢纽	C20 混凝土	15	0.6	C15 细骨料混凝土	40	0.5	抛石	14.42	2.0
开潭水利枢纽	C20 混凝土	9.5	0.8	抛石	10.4	2.0			
五里亭水利枢纽	C20 混凝土	20	1.0	C15 混凝土	35.0(深槽区) 35.0,37.5(浅滩区)	0.8	抛石	>14.50(深槽区) 24.00(浅滩区)	4.5(深槽区) 4.0(浅滩区)
外雄水电站	C20F50 混凝土	22.5	1.0	C15 混凝土	45	0.8	C10 混凝土 灌砌石	28.00	3.7
楠溪江供水工程	C25F50 混凝土	15	0.9	C20F50 混凝土	52	0.7	抛石	29.70	4.0
三溪口河床式水电站	C25F50 混凝土 C20F50 混凝土	20	1.0	C25F50 混凝土(深槽区) C20F50 混凝土(浅滩区)	60.0(深槽区) 50.0(浅滩区)	0.8	抛石	28.00	3.7

注:五里亭水利枢纽浅滩区 11 孔闸室下游的消能防冲结构中,考虑电站尾水的扩散,靠电站一侧 4 孔闸室下游消力池及海漫结构高程有所降低,故表中部分参数有 2 个数据。

江供水工程,消力池上游 23.0 m 表层为 0.5 m 厚的 C40W4F100 工程塑钢纤维混凝土;在建的三溪口河床式水电站斜坡段表层为 0.5 m 厚的 C40W4F100 聚丙烯纤维混凝土。

1.2 运行期消能防冲问题及分析

a. 下游防冲槽冲刷。下游防冲槽冲刷是实地调查中发现的最常见问题,抛石防冲槽为柔性散体结构,整体性差,再加上山区河道单宽流量大、水头低、弗劳德数低,闸下消能率低,大量能量被水流携带到下游后,超出下游河床本身的抗冲能力,防冲槽末端河床首先被冲刷,随后防冲槽逐渐被破坏,因此在保持抛石防冲槽为柔性结构的前提下,有必要采取措施增强防冲槽表面材料的整体性,以提高抗冲能力。

b. 水闸与其他枢纽建筑物之间的下游导墙倾斜失稳、倒塌。调查发现塔底水利枢纽和小溪滩水利枢纽的泄洪闸与橡胶坝之间的下游导墙均存在局部下沉倒塌现象,倒塌的部位大致位于泄洪闸海漫和抛石防冲槽段,均向泄洪闸侧倒塌。两枢纽集水面积大,长历时集中泄洪冲沙,下游消能压力大,另外,两枢纽主要泄洪建筑物均为橡胶坝,水闸兼作泄洪冲沙闸,由于水流含沙量高,冲刷及破坏能力强,再加上导墙末端回流淘刷基础,海漫破坏后导致导墙下沉倒塌。

c. 闸上冲刷。山区和丘陵区河道行洪过程中,由于上游侧防护设施薄弱,长历时、高强度的泄洪会造成闸上冲刷问题,影响枢纽防渗墙等主体建筑物的安全及工程效益的发挥,因此,防渗墙上游最好设置上游护底及防冲槽结构。

1.3 施工导流期消能防冲问题及分析

除运行期外,施工导流期间由于河床的大幅度束窄,导流明渠或导流闸段流速加大,波动加剧,流态紊乱,消能防冲问题同样不容忽视。施工导流期间常见的消能防冲问题如下:

a. 纵向围堰上下游盘头淘刷。一期导流期间,纵向围堰上下游盘头部位是导流明渠水流流态最复杂的部位,也是施工导流期间冲刷最严重的部位^[3]。赵山渡引水工程、五里亭水利枢纽、外雄水电站等工程在施工导流期间纵向围堰上下游盘头均出现了抛石被冲走的现象。

b. 纵向围堰底板基础冲刷。分期导流混凝土纵向围堰基础坐落在覆盖层上时,周边接触部位的防护很重要,特别是一期导流期间纵向围堰兼作泄洪闸边墩部位,纵向底板外侧无防护结构,如没有适当的工程防护措施,长期淘刷后基础被淘空,严重时危及墙体的稳定,甚至导致墙体倒塌。

c. 导流明渠渠底冲刷及坡脚淘刷。一期导流期间,由于河床的束窄以及横向围堰影响,水流向导流明渠侧偏转,导流明渠内水流流速加大,流态紊乱,甚至形成漩涡,原河床土质抗冲能力较弱时很容易造成渠底冲刷以及护坡坡脚的淘刷,冲、淘问题更加突出。三溪口河床式水电站右岸浅滩区设计开挖导流明渠底高程为 5.0 m,由于渠底冲刷,施工期一期导流运行 1a 后局部渠底高程约为 3.0 m,较设计高程降低约 2.0 m。

d. 闸上冲刷。二期施工导流期间一般利用一期已建水闸进行导流,受河床大幅度的束窄以及横向围堰作用,一期泄洪闸上游纵向围堰范围内流速加大,流态紊乱,也会出现闸上冲刷问题。赵山渡引水工程、五里亭水利枢纽在二期导流期间,一期泄洪闸防渗墙上游曾发生了一定程度的冲刷,形成了深达数米的冲坑。

2 新材料及新技术的应用

2.1 纤维混凝土

纤维混凝土是由纤维和水泥基料组成的复合材料,根据掺入纤维的材料性质可分为金属纤维混凝土、无机纤维混凝土和有机纤维混凝土三类,其中金属纤维混凝土中的钢纤维混凝土^[10]、有机纤维混凝土中的聚丙烯纤维混凝土^[11]较为常用。工程用聚丙烯纤维是一种新型的混凝土增强纤维,有波形、网状、束状等类型。掺入聚丙烯纤维的混凝土抗裂、抗冲、抗磨、抗渗和抗冻性能均得到改善,综合使用性能得到提高,具有掺加工艺简单、价格低廉、性能优异等特点。

在所调查工程中,纤维混凝土在消能防冲结构中被广泛采用,如小溪滩水利枢纽、五里亭水利枢纽和外雄水电站均采用钢纤维混凝土作为闸底板及消力池斜坡段底板的面层;楠溪江供水工程采用钢纤维混凝土作为闸底板及消力池斜坡段底板的面层;三溪口河床式水电站在铺盖、闸底板及消力池斜坡段底板的面层均采用 0.5 m 厚的聚丙烯纤维混凝土。

除应用于闸底板和消力池底板面层外,聚丙烯纤维混凝土还可应用于护坦和海漫的消能防冲结构防护中。使用聚丙烯纤维混凝土时,不改变原混凝土配合比,施工时将一定比例的纤维与骨料等一起投入搅拌机,边搅拌边加水,适当延长搅拌时间 60 s 以上,也可将纤维先与水泥以及其他骨料搅拌均匀后再加水搅拌,使纤维在混凝土中分散均匀后使用。

2.2 石笼网

石笼网是一种可填充石块的生态格网结构^[12],包括合金钢网兜、生态格网网箱和生态格网护垫等,

网兜或网箱材料由高镀锌低碳钢丝编织而成,具有柔韧性好和强度高等特点。合金钢网兜在网兜内装上石块抛入或滑入河床的过程中,网丝不易被切断,破损率低,且网兜为柔性材料,更容易贴近河底,网兜间可采用同质的钢丝绑扎,整体性强,不易被水流冲走,提高了填、堵的成功率,用于抛石防冲槽表面可以起到有效的保护作用。

生态格网网箱和生态格网护垫由专用机械编织成的热镀锌或镀铝锌低碳钢丝多绞六边形格网片组装而成,预先在网箱或网垫内装填块石,调运就位后再采用同材质钢丝进行绑扎,从而形成整体防护。目前这一技术已广泛应用于防洪堤挡墙护岸和河道护坡中。石笼网技术用于闸下消能防冲具有以下明显的优点:①柔性挠曲性好。当防冲槽下部块石发生冲刷或松动位移时,石笼网内部形成一种交错拉紧和挤压之状,能适应外部变形。②渗透性好。由于石笼网具有良好的排水性能,布置在防冲槽表面无需设排水孔,也无需考虑下部随水深变化的扬压力作用。③费用低。石笼网内的填充石块与鹅卵石可以就地取材,适用于交通不便的山区河道施工。④施工速度快。事先装好网箱或网垫,然后吊装安放就位绑扎即可,方便水下施工。⑤维护简便。由于生态格网护垫在长度和宽度方向都加设隔板网,双向交织的钢丝网局部损坏不易扩展,维修也较简便,仅需把局部损坏的网格修铺好重新填满石料即可。

在各工程施工导流期间,石笼网技术在与纵向围堰相连的上游横向围堰的上游坡以及下游横向围堰的下游坡应用较广,在抛石防冲槽冲刷修补过程中也有应用。

2.3 抛石混凝土

抛石混凝土^[13]与灌砌石混凝土原理较为相近,按常规方法施工抛填块石后,在抛石表面以现场自制坍落度不小于 16 的高流动 C15 混凝土进行灌注^[14],利用混凝土自身流动性在粒径较大的块石内随机充填形成混凝土抛石体。抛石混凝土具有水泥用量少、水化温升小、综合成本低、施工速度快、体积

稳定性好、层间抗剪能力强等优点,除胶接防冲槽块石外,抛石混凝土还可胶接防冲槽下部原河床砂砾卵石,增强防冲槽结构的整体性以及抗冲性能。

抛石混凝土技术已在外雄水电站中成功应用,目前在建的三溪口河床式水电站纵向围堰上下游盘头以及岸坡护脚部位均有应用。

3 典型结构设计方案

以三溪口河床式水电站深槽区泄洪闸为例,深厚覆盖层基础上山区(丘陵区)水利枢纽工程水闸消能防冲典型结构布置方案见图 1。闸室下游由消力池、下游护坦、海漫和下游抛石防冲槽组成,闸室上游由上游抛石防冲槽、上游护底、上游防渗墙和铺盖组成。铺盖、闸底板以及消力池斜坡段面层采用聚丙烯纤维混凝土,以改善混凝土的抗裂、抗冲、抗磨、抗渗和抗冻性能。考虑到山区河道的冲刷性,闸上防渗墙上游侧设计一定长度的护坡以及抛石防冲槽是十分必要的。除纵向围堰上下游盘头部位直接应用抛石混凝土外,出于降低工程造价考虑,抛石防冲槽表面并没有采用石笼网或抛石混凝土,根据施工导流及运行期情况,局部存在消能防冲问题时,再在相应部位增设石笼网或抛石混凝土。

4 结 语

根据调查情况,闸底板及消力池底板表面采用纤维混凝土面层后,施工期温度裂缝明显减少,运行后的磨损程度也有明显好转。石笼网和抛石混凝土等新材料、新技术应用于抛石防冲槽等薄弱部位后,没有再出现大范围的冲坑,结构抗冲能力也得到了明显提高,这些新材料、新技术在浙江省山区水利枢纽工程水闸消能防冲结构中总体运用效果较好。对于山区水利枢纽工程水闸的消能防冲,应注意以下两方面:①运行期水闸下游防冲槽、水闸与其他枢纽建筑物之间的下游导墙,以及施工导流期间纵向围堰上下游盘头、纵向围堰底板基础、导流明渠渠底及坡脚是消能防冲结构薄弱部位,应加以重视,必要时

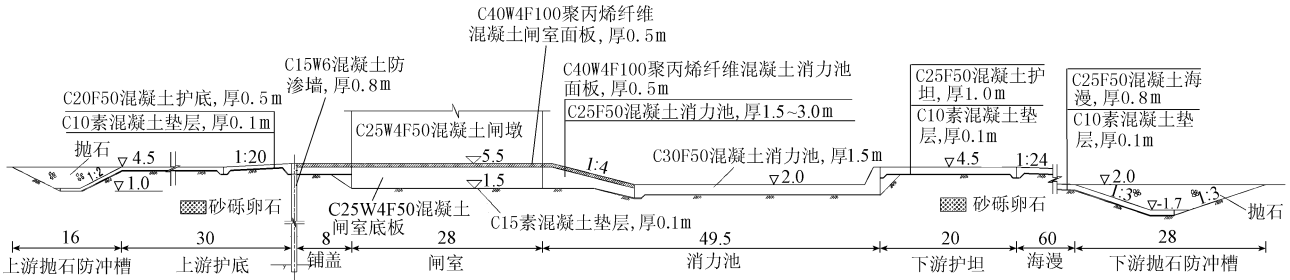


图 1 深厚覆盖层基础上水闸消能防冲典型结构布置方案(单位:m)

(下转第 85 页)

发生事故,应尽快恢复。复喷前先用钻机扫孔至中断位置以下 50 cm,再将喷管下放至孔底复喷,以确保墙体的连续性。

c. 高压喷射灌浆后质量检测方便,可采用开挖检查、钻孔检测及取样试验等检测。水库大坝工程高压喷射防渗墙的检测,因坝顶窄,不宜做围井检查,宜采用钻孔注水检查。

d. 高压喷射灌防渗墙具有较好的防渗加固性能,施工简便、灵活,机具振动小、噪音低。

参考文献:

[1] 牛运光. 病险水库加固实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社,2002.

[2] 王明森,王洪恩,查振衡. 高压喷射灌浆防渗加固技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.

[3] 彭万军,刘晓波,曾鹏九. 振孔高压旋喷施工技术[J]. 水利水电科技进展,2008,28(1) :74-75.

(上接第 70 页)

参考文献:

[1] 李茂芳,孙钊. 大坝基础灌浆[M]. 2 版. 北京:水利电力出版社,1987.

[2] DL/T5148—2001 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].

[3] 胡伟华,冷元宝,赵志华,等. 抬动监测在工程固结灌浆过程中的应用[J]. 水利水电科技进展,2011,31(5) :

(上接第 81 页)

采用石笼网、抛石混凝土等技术进行防护。②闸上冲刷是工程建设期及运行期最容易忽视的问题,对于深厚覆盖层基础上的水闸,往往影响枢纽防渗墙等主体建筑物的安全及工程效益的发挥,因此,防渗墙上游最好设置上游护底及防冲槽结构。

参考文献:

[1] 赖勇,施林祥,郑旭明. 山区河道生态防洪堤关键问题及对策[J]. 中国农村水利水电,2011(9) :142-144.

[2] 李扬,黄荣卫,张婷. 五里亭水利枢纽施工导流期间若干问题的数值分析研究[J]. 水利与建筑工程学报,2011,9(5) :113-117.

[3] 文恒,智宏,牟献友. 水闸消能防冲设计条件的确定[J]. 水利水电科技进展,2005,25(6) :17-20.

[4] 陈朝阳,陈振华,高大水,等. 三峡水库开县调节坝工程泄水闸下游消能工设计优化[J]. 水利水电快报,2011,32(3) :22-24.

[5] 曾新民. 低水头大流量水利枢纽特性与设计优化[J]. 中国水利,2010(20) :75-77.

[4] 任红云,刘海军,彭国强. 双板振动沉模防渗墙的质量分析与控制[J]. 水利水电科技进展,2009,29(2) :52-53.

[5] 白永年. 中国堤坝防渗加固新技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2001.

[6] 杨立洪. 高压喷射灌浆技术在下石陂水库除险加固中的应用[J]. 江西水利科技,2008,34(4) :4-5.

[7] 黄家权. 高喷技术在长江邱家湾段防渗工程中的应用[J]. 人民长江,2002,33(8) :17-18.

[8] BOWLES J E. Physical and properties of soils[M]. 2nd ed. New York; McGraw-Hill Book Co. ,1984.

[9] SCOTT C R. An introduction to soil mechanics[M]. 3th ed. Crown House; Applied Science Publishers,1980.

[10] 陈士亮,宋杰,吴存锡,等. 高压喷射灌浆防渗技术探讨[J]. 中国科技信息,2007(17) :37-37.

[11] 刘振飞. 水利水电工程设计与施工新技术全书[M]. 北京:海潮出版社,2001.

(收稿日期:2012 - 02 - 14 编辑:周红梅)

79-81.

[4] 曾凡杜. 坝面帷幕灌浆技术在竹银水库主坝坝基处理中的应用[J]. 水利水电科技进展,2011,31(6) :55-58.

[5] 彭第,王伟. 中梁一级电站库区防渗帷幕灌浆试验效果分析[J]. 水利水电科技进展,2011,31(5) :73-78.

[6] 于习军,程少荣. 水布垭大坝趾板基础防渗灌浆升压研究与实践[J]. 人民长江,2007,30(7) :62-64.

(收稿日期:2011 - 12 - 26 编辑:周红梅)

[6] 韩昌海,杨宇,骆少泽. 青草沙水库下游水闸冲刷及辅助消能研究[J]. 水利水电技术,2011,42(3) :49-51.

[7] 冯达恩. 东江水利枢纽工程拦河水闸消能防冲设计[J]. 甘肃水利水电技术,2006,42(1) :70-71.

[8] 欧健,陶雪辉,艾克明,等. 水利水电枢纽工程水力设计系统研究[J]. 水利规划与设计,2004(1) :60-61.

[9] 左光栋,杨雪峰,张绪进. 钻根水利枢纽工程消能防冲试验研究[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2009,28(2) :310-314.

[10] 周翠玲,张耀军,张代辉. 钢纤维混凝土在水电工程加固补强中的应用[J]. 山东农业大学学报:自然科学版,2008,39(1) :80-84.

[11] 朱冠美,杨松玲. 三峡工程聚丙烯纤维混凝土的试验研究[J]. 人民长江,2002,33(10) :39-41.

[12] 陈忠兰,古宝和. 生态格网在河道整治工程中的应用[J]. 上海水务,2007(2) :28-30.

[13] 王学森. 抛石混凝土的性能改进[J]. 混凝土,2003(3) :63-64.

[14] 杨德钦,严伟平,李福恩. 大体积筏板基础抛石混凝土施工技术[J]. 施工技术,2010,39(6) :41-43.

(收稿日期:2012 - 02 - 15 编辑:骆超)