

水工混凝土光洁外观的模板工艺试验

边 策¹, 田正宏¹, 井锦旭¹, 胡寿美²

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610081)

摘要:针对水工混凝土胶凝材料用量较少、普通钢模工艺难以形成高质量外观混凝土的问题,采用普通钢模,分别内衬透水模板布和聚酯板,试验研究了两种内衬材料和添加脱模剂、消泡剂、光亮剂后成型混凝土外观质量,并就内衬材料重复使用效果进行了比较。试验结果表明:使用透水模板布,混凝土成型表面平滑,几乎无孔洞,但缺少光泽并存在轻度色差;使用聚酯板且加入凝胶材料质量2%的光亮剂,混凝土成型表面光洁平整,色泽均匀,具有镜面效果,并可重复使用;采用脱模剂和消泡剂并不能显著改善混凝土成型外观质量。

关键词:水工混凝土;外观质量;透水模板布;聚酯板;光亮剂

中图分类号:TV431

文献标志码:B

文章编号:1006-7647(2012)06-0060-04

Formwork technology for casting bright and clean surface of hydraulic concrete//BIAN Ce¹, TIAN Zhenghong¹, JING Jinxu¹, HU Shoumei² (1. College of Water Conservancy and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Sinohydro Bureau 7 Co. Ltd., Chengdu 610081, China)

Abstract: With regard to the problem of difficult formation of concrete with high surface qualities due to less dosage of cementitious material in hydraulic concrete by use of the ordinary template technology, the steel formwork lined with the controlled permeability formwork liners (CPFL) and PET sheets are employed to study the surface qualities of concrete with two kinds of formworks, release agents, defoamer and concrete brightener. The repeated utilization effects of various lining materials are compared. The test results show that the surface of formed concrete by using CPFL is smooth and free from holes and air bubbles, but it has color difference and is lack of gloss. Using PET sheets and by adding 2% brightener, the surface of formed concrete is bright, clean and even, which has mirror effect to certain extent, and it may be reused and convenient for construction. The use of release agents and deformer cannot significantly improve the surface qualities of formed concrete.

Key words: hydraulic concrete; surface quality; controlled permeability formwork liner; PET sheet; concrete brightener

清水混凝土即一次成型、不做任何装饰的混凝土,是以混凝土本身的自然质感与精心设计的明缝、禅缝和对拉螺栓孔组合形成并以自然状态作为装饰面的建筑表现形式^[1]。镜面混凝土是清水混凝土发展的新形式,施工工艺与清水混凝土基本相同,但质量标准要求更高,尤其是混凝土外观质量在光泽和平整等指标上要达到如“镜面”的效果,更加注重细部和整体艺术效果。清水镜面混凝土能达到较高的外观质量,不做任何装饰,取消了抹灰层和面层,因此可节约资金,无需装饰成本,同时避免抹灰工程易空鼓、脱落和裂缝等质量通病,可提高现场文明施工程度,减少建筑垃圾的产生^[2]。清水镜面混凝土适用于所有高外观质量要求的建筑物结构面,但受承包商制定的

工程项目质量目标、投标文件、施工合同条件以及工程成本预算等许多因素的制约,施工比较困难。

长江三峡水利枢纽二期工程、青海拉西瓦水电站枢纽^[3]和李家峡水电站枢纽等一些大型水利水电工程中已试验应用清水镜面混凝土施工工艺,并取得了一定的效果。但上述工程工艺要求胶凝材料用量多,可确保构件表面能够形成大量均匀分布的硅酸钙凝胶和氢氧化钙晶体。普通水工混凝土强度等级一般较低,通常胶凝材料用量相对较少,无法从材料配比途径满足镜面施工要求。通过改变模板工艺使低掺量胶凝材料混凝土达到高质量乃至镜面效果,一直是水工混凝土外观施工质量控制研究热点之一^[4]。本文结合观音岩水电站厂房混凝土现场

试验,尝试选择不同模板工艺和不同外加剂研究低胶凝含量水工混凝土成型高质量外观的施工技术。

1 试验方法

试验用水泥为丽江 42.5 中热硅酸盐水泥,比表面积为 $311\text{ m}^2/\text{kg}$,密度为 $3.18\text{ g}/\text{cm}^3$,体积安定性合格;粉煤灰采用攀钢 504 电厂生产的Ⅱ级灰,烧失量为 5.3%,细度为 16.4%;粗细骨料选用机制人工砂石,其中,细骨料采用细度模数为 2.8 的中砂,石粉质量分数为 14%~16%,粗骨料为粒径 5~20 mm 和 20~40 mm 二级配人工石(小中石比例为 4:6),石子含泥量小于 1.0%(质量分数);外加剂选用萘系缓凝高效减水剂和松香树脂类引气剂。

选用观音岩水电站左岸冲砂底孔混凝土配合比,其中水 $118\text{ kg}/\text{m}^3$ 、水泥 $165\text{ kg}/\text{m}^3$ 、粉煤灰 $71\text{ kg}/\text{m}^3$ 、砂 $748\text{ kg}/\text{m}^3$ 、小石 $555\text{ kg}/\text{m}^3$ 、中石 $833\text{ kg}/\text{m}^3$ 、减水剂 $1.652\text{ kg}/\text{m}^3$ 、引气剂 $0.01888\text{ kg}/\text{m}^3$ 。工地实验室采用 HJW-60 型混凝土单卧轴搅拌机强制搅拌 180 s,试块成型尺寸为长 300 mm、宽 300 mm、高 500 mm。试验采用普通钢模,分别内衬透水模板布^[5-6]和聚酯板,对比成型混凝土试块外观质量,并与普通钢模成型试块比较。其中,透水透气养护多功能透水模板布单位质量为 $248.2\text{ g}/\text{m}^2$,厚度为 1.346 mm,过滤层平均孔径为 $33\text{ }\mu\text{m}$,排水能力为 $4.2\text{ L}/\text{m}^2$,保水能力为 $0.52\text{ L}/\text{m}^2$;聚酯板由复合类聚酯材料加工而成,厚度为 1 mm,具有很好的表面刚度、抗划痕特性、耐化学腐蚀性、耐热性及抗冲击性,无毒无味。试件分两层浇筑,采用直径 50 mm 插入式振捣棒振捣 30~40 s,直至无明显气泡产生。浇筑成型后试件露天放置 5~6 d 脱模。在此期间,试件上覆麻袋遮阴湿养,脱模后仍需正常浇水养护。

2 试验结果与分析

2.1 模板试验效果

采用不同内衬材料成型混凝土,试验结果如图 1 所示。

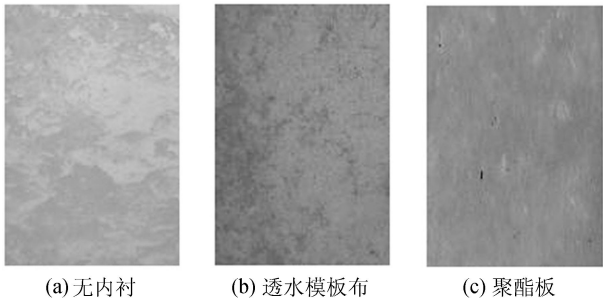


图 1 不同内衬钢模成型混凝土外观

从图 1 可以看出,无内衬钢模成型混凝土外观

表面比较粗糙,孔隙较多,颜色不一致,这是由于混凝土拌和物与钢模板之间存在黏结力,部分水泥浆黏附在模板表面,脱模导致混凝土外观粗糙,甚至产生浅层缝隙。内衬透水模板布钢模成型混凝土拆模后表面平滑,几乎无气泡,但颜色稍有不均且缺少光泽,主要是因为浇筑振捣混凝土后,拌和物内部存在压力,而靠近透水模板布的模板边界形成较大的毛细吸附和排渗作用,拌和物中原有气泡、振捣产生气泡以及部分游离水分由内部向表面迁移,并透过透水模板布排出(水向下,气往上);多余水分排出的同时,浆体水泥颗粒受透水模板布表层过滤作用而滞留在试块表面,填充了模板表面拌和物大颗粒间空隙,产生所谓“滤饼效应”,因此成型混凝土表面看起来致密平滑,几乎无气泡^[7]。内衬聚酯板钢模成型混凝土拆模后表面光洁平顺,没有产生直径 5 mm 以上有害气泡,但有一些小气泡和色差存在,原因在于聚酯板平滑,材质致密耐磨,临界表面张力小于浆液表面张力,因此浆液无法润湿聚酯板,会与聚酯板“隔离”,避免了混凝土浆体向模板表层渗透和对聚酯的溶解而可能发生的黏结性化学反应,有利于混凝土脱模^[8];此外,浆液能在混凝土表面覆盖聚集,经水化反应易形成层厚均匀的 C-H-S 凝胶,致使混凝土表面密实光亮。

2.2 脱模剂试验效果

为进一步增强采用聚酯板内衬模板的表面成型效果,同时尝试使用不同脱模剂涂抹于聚酯板板面,试验结果如图 2 所示。

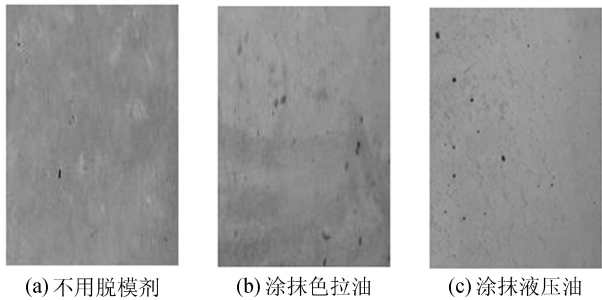


图 2 聚酯板板面涂抹不同脱模剂成型混凝土外观

从图 2 可以看出,相比不用脱模剂,涂抹色拉油聚酯板成型混凝土表面颜色暗黄,有浸渍印痕,并有大量气泡。涂抹液压油聚酯板成型混凝土表面颜色并不暗黄,但气泡也相对较多,可能液压油属于油质脱模剂,其黏度大,气泡不易逸出,所以表面形成气泡较多。由此看出,使用聚酯板作为钢模内衬,涂抹脱模剂后混凝土表面较不涂抹脱模剂反而孔洞增多,表观质量下降。

2.3 消泡剂试验效果

消泡剂能降低水、溶液、悬浮液等介质表面张

力,防止形成泡沫,或减少原有泡沫^[9]。试验采用由改性甲基硅油、甲乙氧基硅油、羟基硅油和数种配合剂合成的粉末状消泡剂,掺量为混凝土用水质量的0.1%和0.3%。考虑到内掺消泡剂会降低混凝土内部含气量,从而降低混凝土抗渗和抗冻性能,因此尝试将消泡剂溶于适量水中后再外涂于聚酯板。消泡剂表面消泡效果见图3,混凝土表面气孔孔径分布见表1。

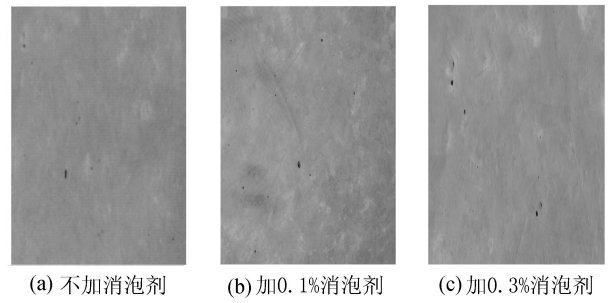


图3 使用消泡剂成型混凝土外观

表1 混凝土表面气孔孔径分布

消泡剂 掺量/%	气泡数		
	总数	<2 mm	2 ~ 5 mm
	30	26	4
0.1	28	25	3
0.3	27	25	2

由表2可知,加0.1%与0.3%消泡剂与不加消泡剂相比,气泡总数分别只减少6.7%和10%,聚酯板表面涂刷消泡剂溶液消泡效果并不明显,这可能是因为消泡剂溶液表面张力大于聚酯板的临界表面张力,消泡剂无法在模板上均匀铺展,致使模板上部消泡后先于下部形成密封界面,抑制了下部水泥浆体内微小气泡尽快上升趋势,降低了消泡效果。

2.4 光亮剂试验效果

为增亮混凝土表面以达到镜面效果,试验采用了以磺化三聚氰胺甲醛树脂(SMF)为原料配制而成的一种光亮剂^[10]。该光亮剂为无色透明液体,固含量小于38%,pH值为8±1,总碱量小于8%,氯离子质量分数小于0.02%,具有固色、增色等功能,使用后混凝土制品表面光洁、无色差和色斑,可与其他外加剂一起使用,不影响其光亮效果。

光亮剂掺量分别为胶凝材料质量的1%和2%,内掺混凝土拌和物中。拌和物搅拌均匀后,浇筑到内衬透水模板布和聚酯板的钢模中,试验结果见图4和图5。从图4和图5可以看出,内衬透水模板布钢模成型的混凝土外观表面较未加光亮剂变化不大,原因可能是光亮剂随着水分、气泡一起透过透水模板布表面滤层进入垫料层逸出,导致水泥浆的凝聚结构不能被光亮剂里的SMF解体分散,水化不均

匀完全,形成色差。加入光亮剂后,内衬聚酯板钢模成型混凝土外观表面更加光洁,色差和小气泡减少显著;尤其光亮剂掺量为2%时,混凝土表面颜色均匀,光亮平滑,有显著镜面效果,见图6。这可能与光亮剂里SMF的表面活性作用有关:一方面水泥颗粒通过对SMF的吸附-静电排斥而得以充分均匀分散,水化更完全,利于消除色差和增加光泽^[11];另一方面,SMF能降低气泡液膜上液体黏度,使液膜变得更薄,并迅速达到临界厚度,加快排液速度,加速了气泡破裂。

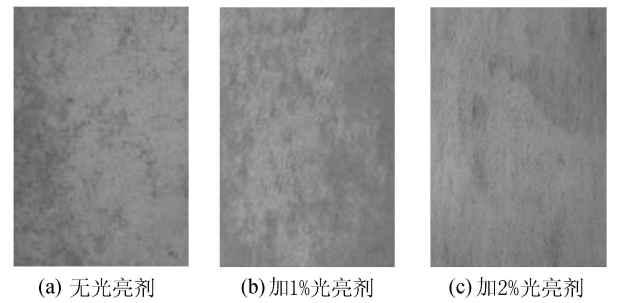


图4 内衬透水模板布钢模使用光亮剂成型混凝土外观

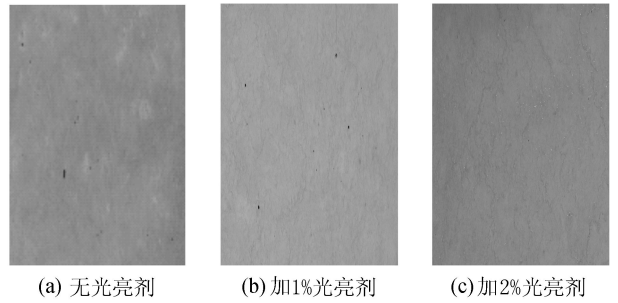


图5 内衬聚酯板钢模使用光亮剂成型混凝土外观

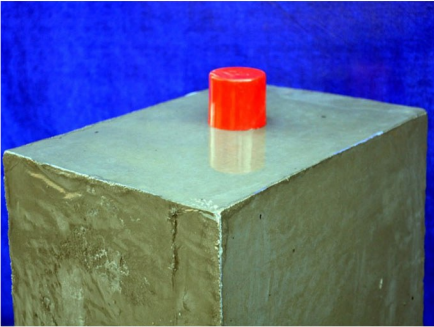


图6 内衬聚酯板钢模成型混凝土镜面效果

2.5 内衬材料重复使用效果

重复使用内衬透水模板布和聚酯板的钢模成型混凝土表面效果见图7和图8。

对比图7与图8可发现,内衬透水模板布和聚酯板的钢模(使用1~3次)成型混凝土表面变化不大。使用透水模板布的混凝土表面平整致密,无任何气泡,但存在一定程度色差,这与透水模板布排水及养护均匀性有关;使用聚酯板的混凝土表面光洁平顺,颜色均匀,无划痕印迹,但会出现一些细小气孔。

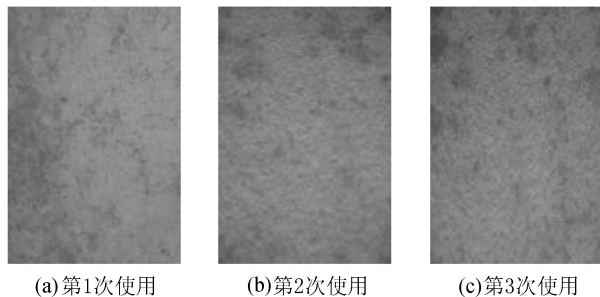


图7 内衬透水模板布钢模不同使用次数
成型混凝土外观

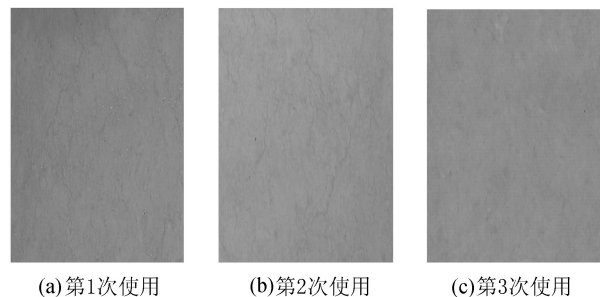


图8 内衬聚酯板钢模不同使用次数成型混凝土外观

聚酯板与透水模板布作为内衬材料,在施工便捷性上存在一些差异:聚酯板尺寸稳定、硬度高,与钢模粘贴稳定可靠,重复性能好;透水模板布相对柔软,粘贴钢模板时,需张紧并要遵循正确顺序贴布,否则出现褶皱会影响成型混凝土表面平整度。因此相比聚酯板,透水模板布铺贴工效较低,质量较难控制;就价格而言,聚酯板价格比透水模板布高 $5 \sim 10$ 元/ m^2 (包含光亮剂的价格在内),但成型混凝土表面光亮,试验重复使用次数可达到5次,施工方便。透水模板布重复使用3次后,布面起皱和破损降低了混凝土表面的成型质量。因此,对水工混凝土表面有高光洁度要求的浇筑部位,建议使用聚酯板。

2.6 工艺要求

a. 透水模板布使用工艺要求。钢模板必须清洗干净,确保表面无水泥沾浆及其他杂物,以防影响胶黏力和透水模板布平整度;钢模板表面涂胶均匀且不宜涂得太厚,以免影响透水模板布的透水排气通畅性,同时避免流淌,待胶半干后再贴布;现场剪裁透水模板布每边至少要有1 cm 余量便于排水出模;粘贴透水模板布时需张紧,先中后边、先上后下赶压平整,确保透水模板布粘贴牢固;如出现褶皱应缓慢揭开再铺,不得用力撕扯以防变形;拼装模板时应将相邻透水模板布多余部分均匀压入角模,防止拐角漏浆;透水模板布贴好后,不应暴晒,防止表面形成褶皱或气泡。

b. 聚酯板使用工艺要求。施工中所用钢模板必须用砂纸认真除锈擦净,可涂刷107胶粘贴;聚酯

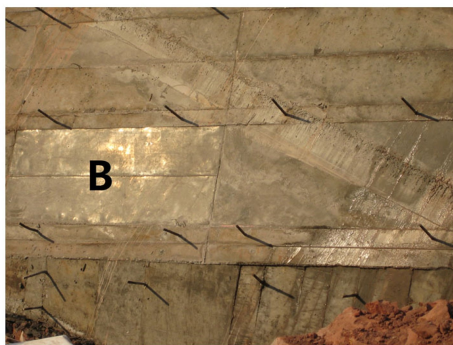
板粘贴于钢模内侧,应注意粘牢压实,防止漏粘;聚酯板接缝处可用宽透明胶带粘贴,注意防止胶带纸起皱;粘贴尽可能一次到位,先中后边、先上后下赶压平整;如果撕开重贴,须更换胶带纸,避免黏胶污染表面。浇筑混凝土前,应用软布清理聚酯板内模表面,严重划痕破损部位需抛光打磨或局部修补。

3 工程应用

在观音岩水电站左岸冲沙底孔混凝土浇筑施工中,采用钢模(150 cm×30 cm)内衬透水模板布和聚酯板进行了对比试验,拆模后混凝土表面效果见图9(A,B处分别为现场贴透水模板布和聚酯板处)。由图9可见,内衬透水模板布钢模成型混凝土外观致密、坚实,几乎无气孔,但无光泽,内衬聚酯板钢模成型混凝土表面效果与透水模板相同,但光洁发亮,产生镜面效果。



(a) 贴透水模板布



(b) 贴聚酯板

图9 观音岩水电站左岸冲沙底孔不同
内衬钢模现场成型混凝土外观

4 结 论

a. 透水模板布排水和保水养护作用可显著改善混凝土外观质量,表面几乎没有气泡,但缺乏光泽和存在一定程度色差,这与布体排水和湿养均匀性有关。

b. 采用色拉油和液压油脱模剂由于黏度较大,而使用消泡剂由于不能均匀分布于模板,因此拆模后都出现了非均匀分布气泡,对提高混凝土表面质量效果不明显。

(下转第90页)

求得各种工况下的临界空化系数和吸出高度。

首先必须保证尾水管出口满足淹没深度的要求,在这一前提条件下,再用空化性能来校核竖井贯流式水轮机的安装高程。由表 3 可见,当叶片安放角为 23°,导叶开度为 65°时,在水头为 2.10 m 情况下,临界空化系数为 3.53,吸出高度为 1.85 m。根据相关资料查得该水轮机的安装高程为 3 m,最小尾水位高程为 5 m,吸出高度为-2 m,小于 1.85 m,所以水轮机空化性能良好,能够满足电站的可靠运行要求。

4 结 论

a. 当叶片安放角为 23°,导叶开度为 65°时,在额定水头 2.10 m 条件下,模型流量为 0.398 m³/s,对应原型流量为 9.96 m³/s,模型装置的效率为 83.34%,换算到原型装置的效率为 85.14%,出力为 174.7kW。可知水轮机出力、效率、流量等均达到了设计要求。

b. 当叶片安放角为 23°,导叶开度为 65°时,在额定水头 2.10 m 条件下,临界空化系数为 3.53,吸出高度为 1.85 m。可知水轮机空化性能良好,能够保证电站的可靠运行。

c. 数值模拟计算结果与物理模型试验结果基本一致,效率误差范围为±3%,从而验证了数值模拟计算的可靠性。

(上接第 63 页)

c. 聚酯板表面光滑耐磨,临界表面张力小于混凝土浆液表面张力,低胶凝含量混凝土采用钢模内衬聚酯板拆模后表面光洁平整,虽存在少许细小气泡和色差,但掺加胶凝材料质量 2% 的光亮剂后,混凝土色泽均匀、光亮致密,能形成镜面效果。该工艺施工方便,内衬聚酯板钢模多次重复使用效果好,对提高水工混凝土施工质量具有现实意义。

参考文献:

[1] 李强,李辛民,孟闻远,等.我国清水混凝土技术发展的现状、存在问题以及对策[J].建筑技术,2007,39(1):6-8.
[2] 李彦坤,陈圣君.浅谈清水混凝土的应用技术与发展[J].林业科技情报,2003,35(3):19-21.
[3] 李先波.拉西瓦水电站地下厂房清水混凝土施工技术措施[J].水力发电,2010,36(2):50-54.

参考文献:

[1] 张军智,段宏江,田树棠.超低水头水轮发电机组优化选择[J].西北水电,2006(4):77-79.
[2] 钱昌燕,孙媛媛.贯流式机组的类型及东电大型竖井贯流式机组的开发[J].东方机电,2005(1):1-12.
[3] 游赞培,杨类琪.灯泡贯流式水电站[M].北京:中国水利水电出版社,2009:2-3.
[4] 房玉敏,宋桂玲,张清顿.竖井贯流式机组的流道设计及选型优化探讨[J].大电机技术,2009(1):49-52.
[5] 曾明富,孙媛媛,程海.小龙门大型竖井贯流式水轮机结构设计[C]//第十六次中国水电设备学术讨论会议文集.哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,2007:363-369.
[6] 林其文.竖井贯流式水轮机组的设计[J].中国制造业信息化,2011,40(17):81-83.
[7] 郑源,鞠小明,程云山.水轮机[M].北京:中国水利水电出版社,2007:64-68.
[8] 冯卫民,宋立,左磊,等.轴流泵装置三维非定常湍流流场的数值模拟[J].排灌机械工程学报,2010,28(6):531-536.
[9] SAEED R A,GALYBIN A N,POPOV V. Modeling of flow induced stresses in a Francis turbine runner [J]. Advances in Engineering Software,2010,41:1245-1255.
[10] XIAO Ruofu,WANG Zhengwei,LUO Yongyao. Dynamic stresses in a Francis turbine runner based on fluid-structure interaction analysis [J]. Tsinghua Science and Technology,2008,25(2):587-592.

(收稿日期:2012-07-04 编辑:骆超)

[4] 夏仲存,刘红震,肖云伟.糯扎渡水电站地下副厂房镜面混凝土施工[J].水利水电施工,2011(5):11-12.
[5] 梅佳鸿,丛炳刚,穆红巨,等.透水模板布在青岛海湾大桥的应用[J].公路交通科技,2010,27(9):147-150.
[6] 卢建勋.透水模板布在陈家贡湾特大桥中的应用[J].西部交通科技,2011,45(4):33-37.
[7] 田正宏,郑小伟,宋健大,等.透水模板改善混凝土性能试验[J].建筑材料学报,2008,11(2):172-178.
[8] 杨魁.论清水混凝土表面气泡的特征与防治[J].四川建筑科学研究,2009,35(2):213-215.
[9] 涂成厚,林宗寿,米春艳.水泥基体中消泡剂的作用浅析[J].国外建材科技,2000,21(4):48-52.
[10] 冯枫,曾繁森,陈志泉,等.磺化三聚氰胺甲醛树脂与金属钙离子的复合物对水泥的作用[J].离子交换与吸附,2000,16(2):147-154.
[11] 吴兆强,宁平,李卫宁.磺化三聚氰胺甲醛树脂对水泥水化机理的影响[J].混凝土,2004(9):3-5.

(收稿日期:2012-02-29 编辑:熊水斌)