

高海拔地区碾压式沥青混凝土心墙施工技术 ——以旁多水利枢纽大坝为例

向尚君,石林,廖佼

(中国人民武装警察部队水电第十支队,四川成都 611130)

摘要:为总结碾压式沥青混凝土心墙在高海拔地区的施工经验,以首次在西藏高海拔地区应用的西藏旁多水利枢纽大坝碾压式沥青混凝土心墙施工为例,从原材料、施工机械设备、沥青混合料施工配合比、沥青混合料拌和、沥青混凝土心墙施工方法、温度控制及防护措施等方面针对制约高海拔地区碾压式沥青混凝土心墙施工的主要问题进行了总结,指出高地震烈度、强紫外线辐射、深覆盖层、高寒等地质和气候特点是制约高海拔地区碾压式沥青混凝土心墙施工的主要问题,初步探寻出了加大沥青含量提高变形能力、采用帆布覆盖措施防止紫外线辐射、采取棉被和砂砾石覆盖措施进行保温等解决方法,并在旁多水利枢纽大坝碾压式沥青混凝土心墙施工中得到成功应用。

关键词:沥青混凝土心墙;碾压式混凝土;砂砾石坝;高海拔地区;旁多水利枢纽

中图分类号:TV641.4⁺1

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2014)02-0050-04

Construction technology of roller-compacted asphalt concrete core walls in high-altitude areas: A case study of dams in Pangduo Hydraulic Project//XIANG Shangjun, SHI Lin, LIAO Jiao (No. 10 Branch Team of Armed Police Hydropower Troops, Chengdu 611130, China)

Abstract: In order to summarize the construction experience of roller-compacted asphalt concrete core walls in high-altitude areas, the construction of core walls of the dams in the Pangduo Hydraulic Project, which were first used in the high-altitude area in Tibet, was taken as an instance. The construction technology for the roller-compacted hydraulic asphalt concrete cores in high-altitude areas is discussed, including raw materials, construction machinery and equipment, the construction mixing ratio of the asphalt mixture, the mixing technology of the asphalt mixture, construction methods of asphalt concrete core walls, temperature control and protective measures. It is concluded that geological and climatic characteristics such as high seismic intensity, strong ultraviolet radiation, deep overburden, and the extremely cold climate mainly affected the construction of roller-compacted asphalt concrete core walls in high-altitude areas. Methods to solve these problems are proposed, such as improving the deformation capacity by increasing the asphalt content, preventing ultraviolet radiation by using a canvas cover, and enhancing thermal insulation by covering the core walls with blankets and gravel. These methods have been successfully applied in the construction of the roller-compacted asphalt concrete core walls in the Pangduo Hydraulic Project.

Key words: asphalt concrete core wall; roller-compacted concrete; sand-gravel dam; high-altitude area; Pangduo Hydraulic Project

自葡萄牙1949年建成最早沥青混凝土心墙坝Vale de Caio坝以来,沥青混凝土防渗心墙以其结构简单、工程量小、施工速度快、防渗性能可靠、适应变形性能良好和具有一定的裂缝自愈能力等优点,已在土石坝工程中得到越来越多的应用^[1-3]。随着三峡茅坪溪碾压式沥青混凝土心墙土石坝的成功修建,我国碾压式沥青混凝土心墙筑坝技术日趋成熟,沥青混凝土心墙土石坝逐渐向百米级的高坝发展,应用地区也由普通内陆地区向高寒和高海拔地区发

展。近年来,在新疆、西藏等海拔相对较高的地区,沥青混凝土心墙坝也逐渐得到应用,如2005年开工建设的新疆下坂地水利枢纽大坝,碾压式沥青混凝土心墙高78 m,坝顶高程2 966 m;2011年开工建设的西藏旁多水利枢纽大坝,碾压式沥青混凝土心墙高71 m,坝顶高程4 100 m,为国内在建的海拔最高的碾压式沥青混凝土心墙坝。

新疆、西藏高海拔地区海拔2 500~5 000 m,为我国最大的地震区,也是地震活动最强烈、大地震频

繁发生的地区,在这一地区建造水工建筑物要求设防地震烈度高,一般达 8 度。喜马拉雅地质构造运动造成的海洋不断抬升造就了青藏高原境内大多数河流河床的覆盖层较厚,一般在 100 ~ 200 m,最厚达 400 m。一般高原的空气比较干燥、稀薄,太阳辐射比较强,紫外线照射强度大,易引起沥青及沥青混合料老化;同时,高海拔地区冬季低温季节较长,一般为 11 月至次年的 3 月,而 6—9 月为主要的雨季,对沥青混凝土心墙施工影响较大,造成年有效施工天数较少。高地震烈度、强紫外线辐射、深覆盖层、高寒等地质和气候特点是制约高海拔地区碾压式沥青混凝土心墙施工的主要问题,亟待研究和解决。本文以旁多水利枢纽大坝碾压式沥青混凝土心墙的施工为例,对解决影响高海拔地区碾压式沥青混凝土心墙施工问题的方法进行总结,以供类似工程参考。

1 工程概况

旁多水利枢纽大坝碾压式沥青混凝土心墙是该类心墙第一次在西藏高海拔地区应用,枢纽地处西藏自治区拉萨河的中游,位于林周县旁多乡下游 1.5 km,距下游拉萨市直线距离约 63 km,是以灌溉、发电为主,兼顾防洪和供水的综合利用工程。枢纽库容 12.3 亿 m³,最大坝高 71 m,坝顶宽 12 m,大坝为碾压式沥青混凝土心墙砂砾石坝,沥青混凝土心墙顶高程 4098.70 m,底高程 4035.90 m,底部 3 m 高的沥青混凝土心墙厚度由 2.2 m 渐变到 1.0 m,其余心墙厚度从 1.0 m 变到 0.7 m,沥青混凝土共计 54865 m³,心墙两侧设置 4 m 宽的砂砾石过渡料。图 1 为旁多水利枢纽大坝碾压式沥青混凝土心墙典型断面。

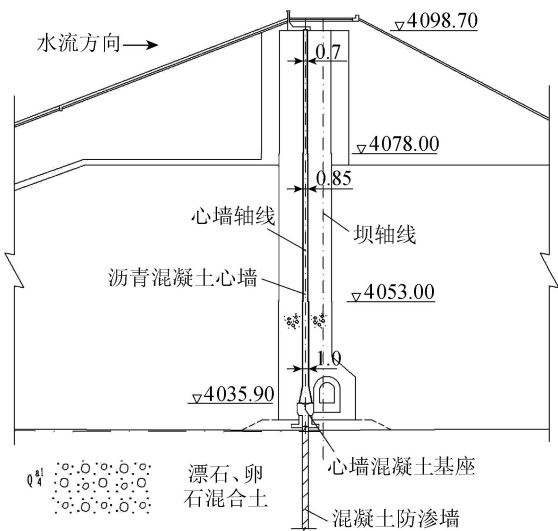


图 1 旁多水利枢纽大坝碾压式沥青混凝土心墙典型断面 (单位:m)

枢纽大坝坝址河床主要为冲积卵石混合土,厚度一般为 50 ~ 200 m,最厚达 400 m,为深厚覆盖层河

床。坝址地处青藏高原地震区,也是地震活动最强烈、大地震频繁发生的地区,地震基本烈度为 8 度。坝址区每年雨季为 6—9 月,多年平均气温 3.9℃,极端最高气温为 27.4℃,极端最低气温为 -29.3℃,多年平均降水量为 533.2 mm,多年平均风速为 2.5 m/s,最大风速为 24 m/s,相应风向为 SW,多年平均相对湿度为 47%,最大冻土深为 1.3 m,紫外线辐射强度达 8000 J/m²,是内地的 1.5 ~ 2.5 倍。

2 施工原材料及设备

2.1 原材料

a. 碱骨料。碱骨料原材料采用石灰岩,在西藏地区因受构造运动的影响,一般料场岩体结构破碎,风化强烈,整体质量差,在进行料场选择和勘探时要多选几处作为备选。碱骨料破碎加工采用“两段破碎、一级制砂”工艺,矿粉采用磨粉机进行加工,成品骨料一般包括粗骨料、细骨料和填料,其中大石 (10 ~ 20 mm)、中石 (5 ~ 10 mm)、小石 (2.5 ~ 5 mm) 为粗骨料,砂 (0.075 ~ 2.5 mm) 为细骨料,矿粉 (<0.075 mm) 为填料。人工骨料加工系统生产的成品骨料质量要求稳定,尤其骨料级配要稳定,以利于沥青混合料拌和质量控制。

b. 沥青。沥青是沥青混凝土的有机胶结材料,碾压式沥青混凝土沥青品种应根据工程的类型、等级,以及气候条件、工作条件和材料价格等因素进行选择,要保证沥青混凝土有良好的防渗、耐久、抗裂、适应变形能力,以满足水利工程的实际需要。沥青在强紫外线的照射下易老化,沥青运至施工现场一般采用仓库遮阴储存,避免强辐射条件下沥青老化。

2.2 沥青混凝土施工机械设备

碾压式沥青混凝土心墙施工所用设备主要包括沥青混合料拌和设备、运输设备、摊铺设备及碾压设备。沥青混凝土拌和设备采用强制间歇式拌和楼,主要由沥青脱桶装置、冷料仓、干燥筒和搅拌主机等设备组成,在选择拌和能力时要充分考虑到高海拔地区对设备降效的影响;运输设备主要有改装装载机 and 自卸车,改装时自卸车料斗和装载料斗要进行保温改装,并与摊铺机摊铺能力相适应;摊铺机由公路摊铺机改装,必须自带红外线加热系统,国内生产的摊铺机性能、摊铺能力经过改装以后能够满足碾压式沥青混凝土心墙施工的需要,旁多水利枢纽大坝沥青混凝土心墙摊铺机采用徐工集团工程机械股份有限公司生产的 RP951A 型公路摊铺机改装;碾压设备主要采用 1.5 t 振动碾和 2.5 t 振动碾,选用振动碾时要考虑高原缺氧的影响,一般发动机要配备有涡轮增压器。

3 施工参数的确定

3.1 配合比的确定

碾压式沥青混凝土心墙施工配合比主要通过试验确定,先由室内配合比试验为现场施工模拟试验推荐沥青混凝土的配合比,再经过现场施工模拟试验确定施工配合比,最终由现场生产性试验进行验证^[4-5]。对骨料级配和含量两个主要参数,骨料级配采用矿料级配指数法确定,沥青含量(油石比)的确定要充分考虑深覆盖层、高地震烈度对心墙的变形要求,一般要适当提高沥青含量,以适应高海拔地区对心墙大变形的要求。旁多水利枢纽大坝碾压式沥青混凝土心墙配合比采用矿粉 11.8%、砂 25.8%、小石 25.8%、中石 19.6%、大石 24.6%,沥青含量 7.1%(沥青含量采用油石比,即沥青与矿料质量之比),沥青含量与国内低海拔地区同类工程相比要高 0.3%~0.6%。

3.2 现场施工参数的确定

碾压式沥青混凝土心墙现场施工参数主要通过施工模拟试验确定,根据不同沥青含量、不同初碾温度与不同碾压遍数之间碾压式沥青混凝土心墙的孔隙率关系曲线,确定碾压式沥青混凝土心墙的初碾温度、碾压遍数,同时通过夜间低温施工试验,确定针对夜间施工和低温季节施工采取的防护措施。施工模拟试验在确定施工参数的同时,针对高海拔地区尚未解决的问题进行试验和探索,同时也是一个人机磨合的过程。

4 碾压式沥青混凝土心墙施工

4.1 沥青混合料的制备

沥青混合料制备主要包括骨料初配、骨料干燥、二次筛分、沥青混合料拌和及成品料储存等工序。拌制沥青混合料时,先投骨料和矿粉干拌 15~25 s,再喷洒沥青拌和 45~60 s,确保拌制出的沥青混合料色泽均匀、稀稠一致,无花白料、黄烟及其他异常现象,卸料时不产生离析。二次筛分后骨料级配的质量及沥青称量准确程度决定了沥青混合料的拌和质量,沥青混合料的拌和质量采用抽提试验对沥青混合料的配比进行检测来确定。沥青混合料拌制时配比允许偏差沥青为 $\pm 0.3\%$ 、矿粉为 $\pm 2.0\%$ 、细骨料为 $\pm 4.0\%$ 、粗骨料为 $\pm 5.0\%$,沥青混合料的配合比须根据二次筛分的骨料级配进行调整,抽提试验根据调整的配合比确定拌和楼的沥青混合料拌和质量^[6]。为确保沥青混合料的拌和质量稳定和二次筛分时储料仓溢出骨料较少,节约骨料干燥燃油成本,要求一次筛分的成品骨料级配要相对稳定。

4.2 施工方法

碾压式沥青混凝土心墙的施工分人工摊铺施工和机械摊铺施工,人工摊铺施工可分为人工立模、装载机入仓、人工平仓等工序,施工工艺流程如图 2 所示^[7];机械摊铺采用摊铺机同时摊铺沥青混合料和砂砾石过渡料、沥青混凝土心墙一次成型的施工方法,施工工艺流程如图 3 所示。沥青混凝土心墙施工要重点控制好两个方面,一是做好施工的温度控制,二是要做好结合部位的处理,其余工序按照常规施工方法进行管理和控制。旁多水利枢纽大坝碾压式沥青混凝土心墙因提高了沥青含量,碾压过程为防止粘碾和陷碾,采用盖布碾压,布料使用帆布,布的宽度要比心墙宽 20 cm 左右,碾压完成后要及时撤掉帆布以利于心墙排气。

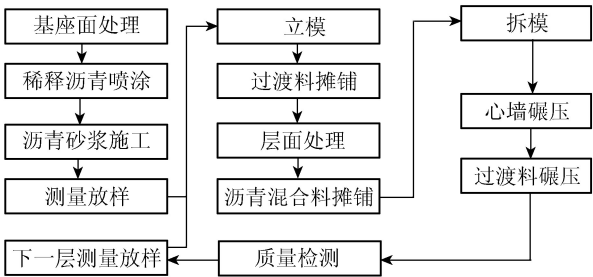


图 2 人工摊铺工艺流程

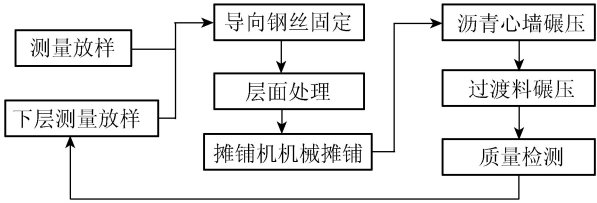


图 3 机械摊铺工艺流程

4.3 温度控制

温度控制作为碾压式沥青混凝土心墙施工最重要的一环^[8],贯穿沥青混凝土心墙施工的各个环节,从沥青混合料的拌和、运输到层面加热、结合缝处理、沥青混合摊铺与碾压,无不与温度控制密切相关。在高海拔地区,昼夜温差较大,冬季气温较低,温度控制在碾压式沥青混凝土心墙施工中显得更为重要。

a. 沥青混合料拌和温度控制主要包括沥青加热温度控制、骨料干燥温度控制和出机口温度控制,沥青恒温温度控制在 150~170℃,严格控制上限温度,恒温时间不超过 24 h,以防沥青老化。沥青混合料运输设备须经过保温改装,以减少沥青混合料的温度损失。根据沥青混合料现场温度损失试验,人工摊铺从沥青混合料拌和到摊铺完成温度损失为 8~16℃,机械摊铺温度损失低于人工摊铺温度损失,为确保现场初碾温度,骨料加热温度为 170℃左

右,出机口温度控制在 160℃ 左右,在低温季节,沥青混合料出机口温度要提高 10 ~ 20℃,相应骨料加热温度提高至 180 ~ 200℃。

b. 沥青混凝土心墙施工温度控制主要包括层面结合温度控制、沥青砂浆温度控制、初碾温度控制和终碾温度控制,人工摊铺段层面结合采用红外线加热器加热,摊铺机摊铺段采用摊铺机自带的红外线加热器加热,加热温度不低于 70℃,在夏季施工层面可以不加热,沥青砂浆施工温度控制在 160℃ 左右。在高海拔地区初碾温度控制在 140 ~ 150℃,终碾温度不低于 110℃,在低温季节温度须适当提高。接头等结合部位处理时,结合部位使用红外线加热器加热,温度不低于 70℃。

4.4 施工保证措施

a. 层面及接头处理措施。沥青混凝土心墙层面结合采用红外线加热器加热处理,软化深度不小于 5 mm,夏季心墙连续施工中,在上层施工时下层温度还未完全损失,可以不对心墙加热。施工过程的横向接头上下层错距不小于 2 m,接头施工时将表面松散颗粒清除后进行沥青混凝土心墙的对接,对接头部位的碾压要重点控制,确保接头施工质量,必要时涂抹一层沥青砂浆。沥青混凝土心墙分两期施工时,一般采用扩大接头或刺墙接头(图 4),一期接头施工完成后,沥青在覆盖帆布的同时,再在上面覆盖 1 m 厚的砂砾石过渡料;二期心墙施工时将一期心墙清理干净,在一期接头上涂抹一层沥青砂浆后进行一二期接头处理,在一二期接头内要在不同高程布设位移计、应变计等观测仪器。

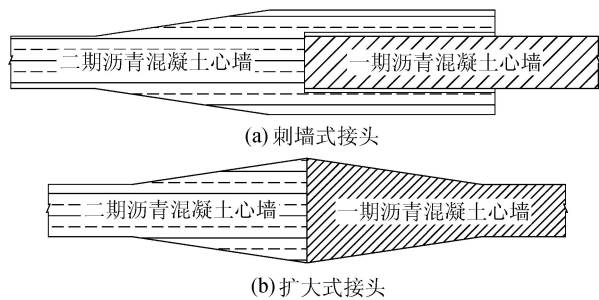


图 4 一二期心墙接头类型

b. 低温季节施工防护措施。大风或低温天气沥青混凝土心墙表面温度会下降过快,在表面易形成一层冷硬层,使心墙内部气泡不易排出,导致孔隙率超标。在大风及低温季节,沥青混凝土心墙摊铺完成后用帆布覆盖,适当提高初碾温度和碾压遍数,碾压完成后要用保温罩覆盖,保温罩采用钢筋骨架和白铁皮面板制作,保温罩上面还需盖棉被保温,防止心墙表面温度下降过快。沥青混凝土心墙越冬采用在心墙表面覆盖帆布,再在心墙上铺砂砾石过渡

料的方法进行防护,砂砾石过渡料的厚度不小于当地冻土层的厚度。

c. 防紫外线措施。紫外线照射会引起心墙表面沥青老化,降低层间结合力,而高海拔地区紫外线辐射更强,因此采取防紫外线措施尤为必要。日常施工时,采用帆布覆盖沥青混凝土心墙,防止紫外线直接照射到心墙的表面。对施工间隔期较长的沥青混凝土心墙,在表面覆盖帆布的同时,还要用砂砾石对其进行覆盖,砂砾石厚度一般为 50 ~ 100 cm。

d. 雨季施工措施。在雨季施工时,要密切注意工区内的天气动态,有下雨征兆时立即停止沥青混合料的拌和,及时完成已拌和好的沥青混合料铺填,用帆布覆盖已铺好的心墙,及时碾压,对已准备好的仓位用防雨布覆盖。雨停后,对仓面进行清理,用红外线加热器烘干仓位表面积水后可继续施工。

e. 跨心墙交通保证措施。心墙两侧 2 m 范围内不允许有超过 10 t 以上大型机械作业,更不允许有大型机械直接跨越心墙,道路需跨越心墙时应采用栈桥跨越^[9],栈桥长度不得小于 3 m,跨中距离心墙高度不小于 10 cm,栈桥不能长时间放置于同一位置。

5 结 语

随着我国水利水电工程开发的日益深入,在西藏等高海拔地区建坝将会越来越多,碾压式沥青混凝土心墙土石坝以其自身的优点和对环境破坏较小将成为主推坝型而被广泛应用。旁多水利枢纽大坝碾压式沥青混凝土心墙作为碾压式沥青混凝土心墙在西藏高海拔地区的首次应用,针对高海拔地区高地震烈度、深覆盖层、强辐射和低温条件等不利因素采取了多项施工保证措施。试验检测结果表明,采取的施工措施是有效的,碾压式沥青混凝土心墙孔隙率、抗渗、变形等各项指标满足设计要求,但高海拔地区的特有的地质、气候特点对心墙的影响是长期的,沥青在强辐射条件下的老化规律等问题还需进一步深入研究,以有利于碾压式沥青混凝土心墙在高海拔地区的推广应用。

参考文献:

- [1] 张怀生. 水工沥青混凝土[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
- [2] 朱晟,闻世强. 当代沥青混凝土心墙坝的进展[J]. 人民长江,2004,35(9):9-11. (ZHU Hao, WEN Shiqiang. The progress of the contemporary asphalt concrete core dam [J]. Yangtze River,2009,35(9):9-11. (in Chinese))
- [3] 王德库,金正浩. 土石坝沥青混凝土防渗心墙施工技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.

(下转第 58 页)

力混凝土衬砌结构有效解决了有压输水隧洞同时承受内外水土压力的难题,保证了隧洞顺利贯通。穿黄隧洞工程内衬预应力混凝土施工实践表明:隧洞有黏结后张法环形预应力混凝土技术工艺精湛、技术含量高,与普通混凝土相比预应力混凝土施工对混凝土浇筑质量提出了更高的要求;有黏结后张法环形预应力混凝土使衬砌混凝土原生裂缝达到了一定程度的闭合,提高了混凝土衬砌的防渗效果。穿黄隧洞工程有黏结后张法环形预应力混凝土衬砌施工中创建了一套完整的施工方案,该工程的设计思路和施工技术为今后水工隧洞衬砌结构及其他类型的结构设计提供了有益的参考。

参考文献:

[1] 江见鲸,李杰,金伟良. 高等混凝土结构理论[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.

[2] 晏军,曲兴辉. 大型有压输水隧洞环形高效预应力体系施工技术研究与应用[J]. 水利水电技术,2011,42(2): 46-48. (YAN Jun, QU Xinghui. Study and application of construction technology of annular high-effect pre-stressing system for pressure water conveyance tunnel[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2011,42(2):46-48. (in Chinese))

[3] 刘璇. 环形后张预应力混凝土技术在水电工程中的应用[J]. 甘肃水利水电技术,2002,38(3):195-196. (LIU Xuan. Annular post-tensioned prestressed concrete technology in the application of hydropower project[J]. Gansu Province Water Conservancy and Hydropower Technology,2002,38(3):195-196. (in Chinese))

[4] 赵顺波. 环形高效预应力混凝土技术与工程应用[M]. 北京:科学出版社,2008.

[5] 罗毅,凌霄,代巧技. 南水北调中线一期穿黄工程北岸

填筑渠道设计[J]. 南水北调与水利科技,2012, 10(2):26-29. (LUO Yi, LING Xiao, DAI Qiaoji. Design of filling channel at north bank crossing Yellow River of South-to-North Water Diversion Middle Route Phase Project[J]. South-to-North Diversion and Water Science & Technology,2012,10(2):26-29. (in Chinese))

[6] 南水北调中线一期穿黄工程初步设计报告[R]. 郑州:黄河勘测规划设计有限公司,2004.

[7] 黄鹏. 南水北调中线一期穿黄工程穿黄隧道内衬边顶拱混凝土浇筑技术[J]. 科技风,2012(2):150-151. (HUANG Peng. South-to-North Water Diversion Middle Route Yellow River crossing project and tunnel lining arch concrete pouring technology[J]. Technology Wind,2012(2):150-151. (in Chinese))

[8] 钮新强,符志远,张传健. 穿黄盾构隧洞新型复合衬砌结构特性研究[J]. 人民长江,2011,42(8):9-13. (NIU Xinqiang, FU Zhiyuan, ZHANG Chuanjian. Study on structural properties of new type of composite lining in shield tunnel crossing Yellow River[J]. Yangtze River, 2011,42(8):9-13. (in Chinese))

[9] 汪健斌. 环形预应力锚束在隔河岩水电站发电引水隧洞衬砌中的应用[J]. 湖北水利发电,2004(4):54-56. (WANG Jianbing. Application of circular prestressed anchorage cables in lining of power tunnel of Geheyan Hydropower Station[J]. Hubei Water Power,2004(4): 54-56. (in Chinese))

[10] 祖铁华. 小浪底水利枢纽工程排沙洞无粘结预应力混凝土施工[J]. 水利水电科技进展,2001,21(6):46-70. (ZU Tiehua. Construction of sand flushing tunnel with non-binding prestressed concrete in Xiaolangdi Project [J]. Advance in Science and Technology of Water Resources,2001,21(6):46-70. (in Chinese))

(收稿日期:2013-03-25 编辑:熊水斌)

(上接第53页)

[4] 罗宗伟. 旁多水利枢纽大坝心墙碾压式沥青混凝土室内配合比设计及成果分析[J]. 四川水力发电,2011,30(增刊1):33-37. (LUO Zongwei. Laboratory mix design for roller compacted asphalt concrete in dam core of Pangduo Hydropower Project and test result analysis [J]. Sichuan Water Power, 2011,30(Sup1):33-37. (in Chinese))

[5] 向尚君,邱炽兴,赵兴安. 旁多大坝碾压式沥青混凝土心墙配合比设计[J]. 人民长江,2013,44(7):23-25. (XIANG Shangjun, QIU Chixing, ZHAO Xing’ an. Design of mix proportion of roller-compacted asphalt concrete core wall in Pangduo Hydraulic Complex [J]. Yangtze River, 2013,44(7):23-25. (in Chinese))

[6] 马智法,胡国兴,郭红娟,等. 碾压式沥青混凝土防渗心墙施工质量控制要点[J]. 东北水利水电,2009,21(5): 13-14. (MA Zhifa, HU Guoxing, GUO Hongjuan, et al. Main

points of construction quality control for rolled asphalt concrete impervious core wall [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast, 2009, 21 (5): 13-14. (in Chinese))

[7] 赵兴安,廖佼,向尚君,等. 旁多水利枢纽大坝碾压式沥青混凝土心墙现场施工模拟试验[J]. 水利科技与经济, 2013,19(1):97-100. (ZHAO Xing’ an, LIAO Jiao, XIANG Shangjun, et al. Simulation experiment on construction of an earth-rock fill dam with asphaltic concrete core in Pangduo Hydraulic [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy,2013,19(1):97-100. (in Chinese))

[8] DL/T 5363—2006 水工碾压式沥青混凝土施工规范[S].

[9] 覃新闻,黄小宁,彭立新,等. 沥青混凝土心墙设计与施工[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011.

(收稿日期:2013-03-25 编辑:熊水斌)