

高寒干燥地区沥青混凝土心墙现场铺筑试验分析

杨 波

(中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司, 贵州 贵阳 550081)

摘 要:在高寒干燥地区, 沥青混凝土的施工技术比较复杂。因此, 施工前应根据当地气候等情况进行现场生产性复核试验分析, 获得沥青混凝土心墙摊铺试验相关技术资料, 并确定适合高寒干燥地区的施工工艺和温度控制等参数, 保证通过试验的各项技术指标能达到设计及规范要求, 为实际施工提供可靠施工依据和作业指导, 也可作为其他类似工程参考。

关键词:沥青混凝土; 心墙; 现场铺筑试验; 工程措施

中图分类号:TV431+.5;TV641.4+1;U416.041 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2022)02-0014-05

Analysis on On-site Paving Test of Asphalt Concrete Core Wall in Alpine and Dry Areas

YANG Bo

(Guiyang Engineering CO., LTD, Guizhou, Guiyang, 550081)

Abstract: The construction technology of asphalt concrete is complicated in alpine and dry area, it is necessary to carry out analysis on on-site review test according to local climate and other conditions before construction, so as to obtain relevant technical data of asphalt concrete core wall paving test, and determine the construction technology and temperature control parameters suitable for high alpine and dry areas so as to meet the technical parameters required by design and specifications. This paper provides reliable basis for construction and guidance, and can be referenced by similar projects.

Key words: asphalt concrete; core wall; on-site paving test; engineering measures

1 概 况

苏洼龙水电站工程位于四川省巴塘县苏哇龙乡, 设计正常蓄水位 2 475 m, 总库容 6.74 亿 m³, 装机 1 200 MW, 为一等大(I)型工程。

沥青混凝土心墙堆石坝的坝顶高程 2 480 m, 最大坝高 112 m, 坝顶长度 464.7 m, 坝顶宽度 12 m。心墙采用垂直式, 宽度 0.5~1.5 m, 高度 100.2 m, 心墙上下游两侧均设置宽度 3 m 粗细过渡料。心墙铺筑方量为 3.73 万 m³, 冷底子油为 1 709 m², 砂质沥青玛蹄脂为 51.3 m³。

该工程设计阶段已完成室内碾压式沥青混凝土配合比的复核试验, 但能否直接用于现场施工, 需要在施工阶段通过场外现场铺筑试验再次验证, 以指导现场正式施工。为论证心墙连续铺筑两层、三层的可行性及技术要求, 同步开展连续铺筑不同层数的试验。

2 现场铺筑试验方案设计

收稿日期: 2022-03-01

2.1 试验场地

试验场地布置于大坝下游 4.8 km 处, 场地经平整压实, 浇筑混凝土试验基座(长×宽=40 m×3 m), 设置斜长 2 m 的凹槽斜坡段(坡比 1:0.66)基座并预埋一道 Z 型铜止水。

2.2 主要施工设备

拌和: 1 套 LB2000 型(150 t/h)沥青混凝土拌和系统。运输: 1 辆专用自卸汽车, 1 台 3 m³ 改进专用装载机, 1 台 1.2 m³ 液压反铲。铺筑: 1 台 LP1500 型定制履带式摊铺机。碾压: 1 台 BW120AD-5 型 2.7 t 振动碾, 2 台 JM803H 型 3.0 t 振动碾, 1 台 HCD1109 型振动冲击夯。

2.3 质量检测仪器

环境测量: 2 支温度湿度, 4 支水银温度计, 10 支电子数显笔式温度计, 1 个测风仪。质量检测: 1 台 CR602181 型沥青无核密度仪, 1 台 SQ-25 型渗气仪, 1 台混凝土取芯机等。

2.4 铺筑方式

铺筑分为人工单层摊铺、机械连续铺筑两层和三层,每段长度不小于 10 m。人工/机械摊铺宽度分别为 2.0 m、1.2 m,两侧细过渡料宽度为 3 m。

人工摊铺流程:施工准备→测量放线→架立钢板模板→细过渡料摊铺→细过渡料初碾→基面清理→沥青混合料摊铺→抽拆钢板模板→沥青混合料和过渡料成“品”字形同步碾压→沥青混合料和过渡料成“品”字形同步静碾收光→质量检测。

机械摊铺流程:施工准备→测量放线→冷结
合面清理→沥青混合料和细过渡料摊铺→细过渡料初碾→沥青混合料初碾→沥青混合料和细过渡料成“品”字形同步碾压→沥青混合料和过渡料成“品”字形同步静碾收光→质量检测。

2.5 试验实施方案

沥青混凝土心墙场外铺筑试验工艺参数、铺筑试验各铺筑层与工艺效果和沥青混凝土摊铺试验布置分别见表 1、表 2、图 1。

表 1 沥青混凝土心墙场外铺筑试验工艺参数表(铺料厚度 30 cm)

摊铺形式	铺筑层数	试 验 参 数				备 注
		铺料宽度 /cm	分段长度 /m	初碾温度 /℃	碾压遍数	
人工摊铺	第 1 层	200	10	130±5	静 2 _过 + 静 2 _沥 + 动 8 _{过沥} + 静 2 _{过沥}	确定碾压温度对心墙质量的影响。检测心墙与混凝土基座、心墙与边坡混凝土结合情况。
			10	140±5		
			10	150±5		
人工摊铺	第 1 层	200	5	140±5	静 2 _过 + 静 2 _沥 + 动 8 _{过沥} + 静 2 _{过沥}	沥青混凝土心墙搭接试验。
			10		静 2 _过 + 静 2 _沥 + 动 2 _{过沥} + 静 2 _{过沥}	冷结合面不加热。
机械摊铺	第 2 层	120	10	140±5	静 2 _过 + 静 2 _沥 + 动 8 _{过沥} + 静 2 _{过沥}	冷结合面加热到 70~90 ℃,检测层间结合温度对心墙质量的影响。
			10		静 2 _过 + 静 2 _沥 + 动 10 _{过沥} + 静 2 _{过沥}	
	第 3 层	120	20	140±5	静 2 _过 + 静 2 _沥 + 动 8 _{过沥} + 静 2 _{过沥}	冷结合面加热到 70~90 ℃。
	第 4 层	120	20	140±5	静 2 _过 + 静 2 _沥 + 动 8 _{过沥} + 静 2 _{过沥}	第一层温度降至 100~110 ℃连续铺筑第二层。
机械摊铺	第 5 层	120	15	140±5	静 2 _过 + 静 2 _沥 + 动 10 _{过沥} + 静 2 _{过沥}	第二层温度降至 100~110 ℃连续铺筑第三层。

表 2 铺筑试验各铺筑层与工艺效果表

试验层数	试验工艺效果
第 1 层	①固定碾压遍数 8 遍,确定最佳碾压温度。 ②确定沥青混合料与基础混凝土面结合情况。 ③检测横缝搭接情况。 ④检测基座斜坡段小型机具碾压效果。 ⑤检测沥青混合料与冷底子油、砂质沥青玛蹄脂的结合情况。
第 2 层	①采用第一层确定的最佳碾压温度,对比 6/8/10 不同碾压遍数,确定最佳碾压遍数。 ②8/10 遍碾压时第一层加热至 70 ℃~90 ℃,6 遍碾压不加热,对同下层温度工况条件进行效果对比。 ③心墙两侧细过渡料最佳碾压遍数(6/8/10)、最佳洒水量(5%/10%)。
第 3 层至第 5 层	①根据已确定的最佳碾压温度、最佳碾压遍数,进行冷结合工况下(底层不加热)第三层铺筑,检测直接铺筑后对下层混合料的软化情况。 ②第三层温度降低至 100 ℃~110℃工况下进行第四层连续铺筑(验证夏季气温条件下连续铺筑两层效果)。 ③第四层温度降低至 100 ℃~110℃工况下进行第五层连续铺筑(验证夏季气温条件下连续铺筑三层效果)。 ④连续铺筑完成后,检查心墙混合料与两侧细过渡料结合情况。

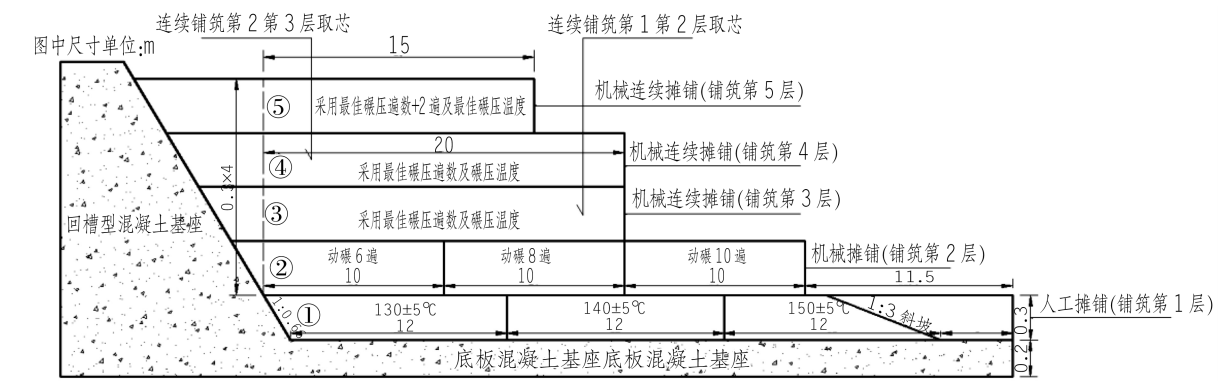


图 1 沥青混凝土摊铺试验布置图

3 试验成果分析

3.1 沥青混凝土配料试验

施工前已委托西安理工大学对设计单位推荐的 9 种不同沥青混凝土配合比进行了配合比和性

能指标选择试验,最终确定了设计推荐 5 号配合比作为施工配合比。推荐配合比的填料级配和推荐的沥青混凝土配合比的材料和级配参数分别见表 3、4。

表 3 推荐配合比的填料级配

筛孔尺寸 /mm	粗骨料(19~2.36)					细骨料(2.36~0.075)					小于 0.075
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	
设计值	100	93.4	86.5	76.0	57.9	44.2	34.0	26.5	20.7	16.3	13.0

表 4 推荐的沥青混凝土配合比的材料和级配参数

级配参数				材料			
填料最大 粒径 /mm	级配 指数	矿粉含量 /%	油石比 /%	粗骨料	细骨料	矿粉	沥青
19	0.41	13	6.9	大理石岩	大理石岩 人工砂	大理石岩 矿粉	克拉玛依 水工 2 号

3.2 沥青混凝土拌和站调试

检测称量系统的精度、计时、测温设备及其他控制装置的运行情况。

根据规程规范^[1]、设计及相关试验成果要求^[2],沥青采用导热油循环间接加热,加热温度为 160±10℃;骨料加热采用烘干桶加热,温度为 180±10℃;矿粉不加热。经过试拌验证,拌和后沥青混合料的出机口温度为 150~175℃。称量控制误差沥青、粗骨料、细骨料、填料分别为±0.3%、±5%、±3%、±1%。

各组分投料顺序为:粗骨料→细骨料→矿粉干拌 15 s→沥青湿拌 45 s→沥青混合料。制备出来的沥青混合料色泽均匀光亮,稀稠一致、无花白料、黄烟及其他异常现象。

3.3 基座处理与冷底子油喷涂

对基座处理合格后并喷涂冷底子油。喷涂前首先对混凝土表面进行凿毛、刷毛处理,基座表面满足干净干燥后喷涂冷底子油(沥青:汽油=3:7)。

3.4 砂质沥青玛蹄脂施工

冷底子油喷涂 12 h 后,再涂刷砂质沥青玛蹄脂(沥青:矿粉:人工砂=1:1:2),完成后采用加厚耐热防雨篷布覆盖且两边超宽大于 30 cm,防止表面污染及利于两边压重稳定。经检测,砂质沥青玛蹄脂温度检测在 145~155℃之间,厚度整体满足 2 cm 的要求。

3.5 沥青混合料运输

为了检测沥青混合料从出机口到入仓时温度损失情况,从沥青拌和站运输至距离 4.8 km 大坝开展模拟试验,总耗时 35 min。沿途每隔五分钟测量一次温度值均在 145~155℃之间,经计算温度损失表明:在选用运输设备和实际路况时,沥青混合料运输过程中温度损失不明显,也未发生离析现象,满足沥青混凝土运输和现场入仓铺筑及初碾温度的要求。若施工过程中有等待或风速较大的情况,则应特别注意现场施工的连续性,以尽量减少沥青混凝土料的温度损失。

3.6 沥青混合料温度检测与控制

试验后,确定各环节最佳温度参数和机械碾压参数。场外铺筑试验施工各层温度实测记录入仓温度、初碾温度、终碾温度、结合面温度;见表5。

表5 场外铺筑试验施工各层温度实测记录表

序号	试验段 施工层数	选定 初碾温度	出机口温度	入仓温度	初碾温度	终碾温度	结合面温度	备注
1	设计要求	试验确定	不应超过 170~190℃	140~170℃	不宜低于 130℃	不宜低于 110℃	宜70~90℃	/
2	第1层 (人工摊铺)	130±5℃	152.1~158.4	151.3~153.7	126.6~133.0	115.0~139.0	/	/
3		140±5℃	168.2~169.4	155.5~167.0	136.3~144.5	121.7~134.9	/	/
4		150±5℃	169.5~169.8	155.4~168.3	152.1~155.0	139.4~149.5	/	/
5	第2层	140±5℃	155.8~157.2	150.0~151.8	135.0~137.3	125.7~137.4	/	结合面未加热
6	(机械摊铺)	140±5℃	157.4~165.4	153.1~162.1	139.5~146.5	129.7~139.9	73.0~85.0	加热至70~90℃
7	第3层	140±5℃	159.7~168.1	152.9~164.1	135.1~142.5	123.9~126.5	72.4~87.7	加热至70~90℃
8	(机械摊铺)	140±5℃	168.7~170.0	165.5~169.2	135.8~141.1	122.6~129.7	103.4~107.7	降温至100~110℃
9	连续两层)							
10	第5层							
11	(机械摊铺)	140±5℃	151.7~158.4	152.8~153.7	135.5~139.8	115.7~119.2	101.1~109.6	降温至100~110℃
12	连续三层)	140±5℃	150~175℃	160±10℃	140±5℃	≥110℃	宜70~90℃	/
13	经试验后确定 各环温度参数		日连续铺筑1~2层:静 _{2过} +静 _{2新} +动 _{8过新} +静 _{2过新}				/	每层铺料/压实厚度
14	机械碾压参数		日连续铺筑3层:静 _{2过} +静 _{2新} +动 _{10过新} +静 _{2过新}				/	30 cm/27.8 cm

3.7 沥青混合料检测

根据规范要求^[3],对每层沥青混凝土在铺筑现场仓面不同位钻取芯样,工地试验室对沥青混

合料进行了马歇尔试件密度、孔隙率、油石比及填料级配等检测。沥青混合料密度、孔隙和沥青混合料抽提试验检测结果分别见表6、7。

表6 沥青混合料密度、孔隙率结果

试件编号	理论密度 /g·cm-3	检测项目	
		密度 /g·cm-3	孔隙率 /%
SWL1216~1至SWL1216~6	2.421	2.402~2.408	0.5~1.1
SWL1220~1至SWL1220~6	2.421	2.403~2.406	0.6~1.0
SWL1223~1至SWL1223~6	2.424	2.402~2.405	0.8~1.1

表7 沥青混合料抽提试验检测结果

试验编号	筛孔尺寸 /mm	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	油石比
设计值	通过率 /%	100	93.4	86.5	76.0	57.9	44.2	34.0	26.5	20.7	16.3	13.0	6.9
H1216 实测值	通过率	100	98.4	90.9	76.6	58.2	42.5	35.1	28.6	23.2	17.4	12.8	7.2
偏差	/%	0	5	4.4	0.6	0.3	-1.7	1.1	2.1	2.5	1.1	-0.2	0.3
H1220 实测值	通过率	100	98.1	90.2	73.4	54.9	41.7	35.8	27.4	23.5	18.1	12.2	7.1
偏差	/%	0	4.7	3.7	-2.6	-3	-2.5	1.8	0.9	2.8	1.8	-0.8	0.2
H1223 实测值	通过率	100	96.7	91.2	76.9	56.3	43.1	36.2	28.8	22.9	18.9	12.3	7.1
偏差	/%	0	3.3	4.7	0.9	-1.6	-1.1	2.2	2.3	2.2	2.6	-0.7	0.2
允许偏差(%)		±5				±3				±1			

表6结果表明,室内成型马歇尔试件的孔隙率最大值1.1%,最小值0.5%,满足规范及设计

要求^[4]。从表7抽提试验结果表明,沥青混合料中油石比及填料级配满足允许偏差的要求。

3.8 沥青混凝土芯样检测

各施工层沥青混凝土铺筑完成后,冷却至接近环境气温或待温度降至 30℃后钻取芯样(长度为 30~35 cm),第 1 铺筑层至第 5 铺筑层沥青混

凝土芯样检测结果见表 8。表明沥青混凝土与水泥基座混凝土(水平、斜坡)之间结合牢固,沥青混凝土与细过渡料之间咬合良好,各部位结合处芯样上下结合牢固。

表 8 第 1 铺筑层至第 5 铺筑层沥青混凝土芯样检测结果表

铺筑层数	试件编号	密度	孔隙率	渗透系数	备 注
		/g·cm ⁻³ (设计值 ≥2.40)	/ % (设计值 ≤3%)	/cm·s ⁻¹ (设计值 ≤1×10 ⁻⁸)	
第 1 层 (铺筑一层)	钻取 3 根芯样	2.412~2.416	1.2~2.2	<1×10 ⁻⁸	边坡处理(采用小型振动夯)
	钻取 7 根芯样	2.422~2.427	1.3~2.3	<1×10 ⁻⁸	初碾温度 130±5℃,动碾 8 遍
	钻取 10 根芯样	2.410~2.421	1.2~1.8	<1×10 ⁻⁸	初碾温度 140±5℃,动碾 8 遍
	钻取 8 根芯样	2.412~2.421	1.3~2.3	<1×10 ⁻⁸	初碾温度 150±5℃,动碾 8 遍
	钻取 5 根芯样	2.416~2.434	1.7~1.9	<1×10 ⁻⁸	接头处理
第 2 层 (铺筑一层)	试验结论	以上对比试验结果,在动碾遍数不变的情况下,沥青混凝土心墙最佳碾压温度为 140±5℃。			
	钻取 9 根芯样	2.417~2.427	1.3~1.5	<1×10 ⁻⁸	初碾温度 140±5℃,静 2+动 6+静 2,(冷结合面不加热)
	钻取 9 根芯样	2.416~2.426	0.9~1.2	<1×10 ⁻⁸	初碾温度 140±5℃,静 2+动 8+静 2(冷结合面加热至 70~90℃)
	钻取 9 根芯样	2.422~2.428	0.8~1.1	<1×10 ⁻⁸	初碾温度 140±5℃,静 2+动 10+静 2,(冷结合面加热至 70~90℃)
	试验结论	以上对比试验结果,在初碾温度不变的情况下,沥青混凝土心墙最佳碾压遍数为静 2+动 8+静 2。			
第 3、4 层 (连续铺筑两层)	钻取 9 根芯样	2.405~2.417	1.2~1.5	<1×10 ⁻⁸	初碾温度 140±5℃,静 2+动 8+静 2,热结合(连续两层)
	试验结论	沥青混凝土心墙连续铺筑两层时,在初碾温度和碾压遍数不变的情况下,沥青混凝土孔隙率满足规范和设计要求。			
第 4、5 层 (连续铺筑三层)	钻取 9 根芯样	2.413~2.426	1.3~1.5	<1×10 ⁻⁸	初碾温度 140±5℃,静 2+动 10+静 2,热结合(连续三层)
	试验结论	连续铺筑到第三层时,在初碾温度不变的情况下,增加动碾遍数至 10 遍,沥青混凝土孔隙率满足规范和设计要求。			

通过将芯样切割成试件后送专业机构检测表明:所有沥青混凝土芯样试件孔隙率小于设计和规范^[5]规定值 3.0%,且小于 2.0%;芯样抽提试验表明,粗骨料级配、矿粉含量、油石比偏差小,满足设计和规范的允许偏差;沥青混凝土芯样弯曲、拉伸、压缩、水稳定及渗透试验结果均满足设计和规范要求;沥青混凝土芯样的三轴试验中黏结力值为 0.37 MPa(设计值≥0.30 MPa)和内摩擦角值为 32.5°(设计值≥25°)满足设计要求。

试验现场对沥青混凝土表面采用无核密度仪所测容重,通过与沥青混凝土芯样的容重建立两者之间的关系曲线,通过结果换算可得无核密度仪测试值与沥青混凝土密度的换算公式后即可求得沥青混凝土容重,并根据沥青混凝土最大密度检测结果,可进一步求得孔隙率。

在已经压实的沥青混凝土表面利用渗气仪现

场可以快速检测出渗透系数,判定施工过程中质量是否满足要求,渗透性试验 1 分钟相对真空度变动值 0~1 kPa 之间,1~5 铺筑层检测结果均无渗漏情况。

4 所采取的工程措施

(1)通过制作可移动式钢筋骨架防护棚,同时满足防风、防雨、防尘、防温度损失。

(2)通过日常观测和收集气温、风力数据,掌握特点和正常规律后适时调整连续铺筑作业时段。避开早晚温差大时段、冬季气温偏低或负温时段的铺筑施工。

(3)通过间隔均匀插入多支温度计,全面掌握各环节作业温度。

(4)当日降雨量大于 5 mm 或风力大于 4 级或负温时,停止沥青混凝土入仓。未能及时碾压

(下转第 22 页)

3.3 实施效果

流域水电站多处交通条件较差地方,在远程可视化交互式管理系统投入运行前,因技术及管理人员分散,需经常派遣车辆来往于各站之间,不仅消耗大量的人力、物力、财力,还增加安全风险。远程可视化交互式管理系统的实施,大幅提升了流域电站人员利用率,降低了人力资源成本。在安全生产管理方面,因流域电站相关专业技术人员无需到达现场,就能远程实时指导现场工作人员开展消缺工作,使缺陷遗留情况大幅减少,电站缺陷消除率大幅提升,技术改造、重大操作、检修管理、应急指挥等监督管理得到有效实施;同时流域电站间派出车辆次数大幅减少,不仅有效降低生产经营成本,也降低不安全事件发生概率,为流域电站安全生产管理提供可靠保障。

4 结 语

针对电力安全生产环节中现场巡检、检修、消缺、重大操作、事故处理以及应急处置遇到的问题,利用 WIFI/5G 为传输通道的无线网络在水电厂中的优势,克服信息系统建设过程中的难点和

重点,整合 WIFI/5G 网络通信技术和可穿戴嵌入式设备技术。根据实际情况,制订出远程可视化交互式管理系统在电力安全生产中监督指导方案,并予以实施,有效提升了水电企业缺陷消除率,缩短故障处置时间,强化应急处置能力与效率,降低不安全事件发生概率和生产经营成本。

参考文献:

[1] 张宁,杨经纬,王毅,等.面向泛在电力物联网的 5G 通信:技术原理与典型应用[J].中国电机工程学报,2019,39(14):4015-4025.
[2] 信息通信行业发展规划(2016—2020 年)[M].中国信通院,2017(2):50-63.
[3] 王森.5G 通信技术在电力系统中的应用[J].长江信息通信,2021,34(11):198-200.
[4] 黄彦钦,于浩,尹钧毅,等.电力物联网数据传输方案:现状与基于 5G 技术的展望[J].电工技术学报,2021,36(17):3581-2593.
[5] Borgaonkar R,Jaatun M G.5G as an enabler for secure IOT in the smart grid[C]//2019 First International Conference on Societal Automation,Krakow,2019:1-3.

作者简介:

付 根(1987-),男,四川成都人,工程师,学士,从事电力监控及通信工作。

(责任编辑:卓政昌)

(上接第 18 页)

的混合料,采用耐热防雨篷布覆盖后开始碾压。

5 结 语

在高寒干燥地区,沥青混凝土的施工技术比较复杂。因此,施工前应根据当地气候等情况进行现场生产性复核试验分析,获得沥青混凝土心墙摊铺试验相关资料,并确定适合高寒干燥地区的施工工艺和温度控制等参数。通过本工程实际施工验证,有几点经验值得推广。

(1)沥青混凝土料的出机口温度宜控制在 150℃~175℃,入仓温度 160℃±10℃(当有风、低温时段按上限控制),最佳初碾温度 140±5℃,终碾温度不得低于 110℃(当有风、低温时段按上限控制),结合面温度宜为 70~90℃。

(2)心墙两侧同步铺筑细过渡料宽度 3.0 m,厚度均为 30 cm 效果较好。

(3)沥青混合料采用一台 2.7 t 双击式振动碾碾压,细过渡料采用两台 3.0 t 振动碾碾压,先静碾 2 遍细过渡料(距离心墙 20 m 范围暂不碾压),然后静碾 2 遍沥青混合料,再对沥青混合料和细过渡料成“品”字形同步进行振动碾

(振动碾的最佳碾压遍数:日连续铺筑 1~2 层为 8 遍、连续 3 层为 10 遍),最后对沥青混合料和过渡料成“品”字形同步静碾 2 遍收光。沥青混凝土铺筑速度 1~3 m/min,碾压速度控制在 20~30 m/min。

通过实际施工效果看,在高寒干燥地区沥青心墙连续铺筑两层或三层施工工艺可行,施工质量可满足相关规范要求。

参考文献:

[1] 《水工碾压式沥青混凝土施工规范》(DL/T 5363-2016)[S].中国电力出版社,2017.05.01.
[2] 《水工沥青混凝土试验规程》(DL/T 5362-2018)[S].中国电力出版社,2019.05.01.
[3] 《水工碾压式沥青混凝土施工规范》(DL/T 5363-2016)[S].中国电力出版社,2017.05.01.
[4] 赵灵琳,陈君清,陈真.高寒地区沥青混凝土心墙冬季施工温度控制技术研究[J].低碳技术,2019,32(1):45-47.
[5] 《水工碾压式沥青混凝土施工规范》(DL/T 5363-2016)[S].中国电力出版社,2017.05.01.

作者简介:

杨 波(1978-),男,四川渠县人,高级工程师,主要从事水电工程施工技术与管理、工程监理工作。

(责任编辑:卓政昌)