

高速公路排水路面的设计与施工技术研究

谢祥根¹, 张怀宇²

(1. 湖南省交通科学研究院有限公司, 湖南 长沙 410015; 2. 湖南省高速公路集团有限公司)

摘要: 该文介绍了排水路面具有防止水漂、抑制溅起水雾、减轻眩光以及降低噪音的优点。结合沪昆高速公路(G60)湘潭至邵阳段大修设计和路面施工技术,对PAC-13排水路面的路面设计、沥青混合料路用性能以及施工工艺进行研究。对PAC-13排水路面的系统检测评价表明:PAC-13排水路面既具有优良的排水能力,又有足够的高温抗车辙性能和抗水损坏性能。

关键词: 道路工程; 排水路面; 空隙率; 渗水系数; 设计; 施工

1 前言

目前,中国的沥青面层以AC、SMA、ATB为主要结构层,它们的共同特点是密实、空隙率小,优点是雨水通过路表排出路外,避免了雨水大量进入结构层内,减少坑槽等早期水损坏,内部的沥青混合料几乎接触不到太阳光、空气,延缓沥青混合料老化,提高了沥青路面的路用性能和使用寿命。但是,降雨对行车安全的影响,越来越引起政府有关部门以及工程技术人员、司乘人员的重视。滞留在道路表面的雨水将降低路面和轮胎之间的摩擦力,极易发生水漂,车辆高速行驶会溅起水雾,影响其他车辆的视线,容易发生交通事故。

安全、环保和舒适的排水路面提供了一个有效的解决途径。排水路面的主要特点是空隙率大、排水能力强,既能防止水漂、抑制溅起水雾、减轻眩光,又能降低噪音。工程技术人员担心的是它的耐久性问题,特别是空隙被堵塞,就容易产生水损坏。因此,需要从路面设计方案、材料、施工工艺以及养护工艺、设备等方面,进行系统而深入的研发。

为了解决超高缓和段表面雨水排出速度慢甚至积水的问题,保证行车安全,湘潭至邵阳高速公路(以下简称“潭邵高速公路”)大修工程设计了PAC-13排水路面。该文结合潭邵高速公路大修设计和路面施工技术咨询经验,对PAC-13排水路面的设计与施工进行研究。

2 排水路面结构设计

2.1 依托工程概况

潭邵高速公路是“7918”国家高速公路网的第13横——沪昆高速公路(G60)在湖南境内的第二段,是湖南省高速公路“十三五规划”中“七纵七横”高速公路网的重要组成部分。途径湘潭、娄底、邵阳3市,东起株洲北互通(K1 054+400),接沪昆高速公路醴陵至湘潭段,西止周旺铺互通(K1 274+850),接沪昆高速公路邵阳至怀化段,主线全长220.1 km,路基宽度为26、28 m,路面宽度为21、23.5 m对应的设计速度为100、120 km/h,其中K1 056+430~K1 100+425和K1 247+025~K1 274+850为水泥混凝土路面,其他路段都为沥青混凝土路面。2000年7月1日开工建设,2002年12月26日建成通车。

由于原路面结构先天不足以及交通量大、重载超载车多、高温多雨等原因,潭邵高速公路路面产生了严重损坏。历年的日常养护、中修养护效果并不理想,许多路段屡修屡坏,养护费用保持着年均22.7%的持续高速增长态势,大修改造势在必行。2014年下半年至2015年上半年完成全线大修施工图设计,在施工阶段进行动态设计。全线施工分“两期三阶段”实施:一期工程为株洲北互通(K1 054+400)~娄底枢纽互通(K1 156+150),已于2016年11月完成大修提质改造;二期工程为娄底枢纽互通(K1 156+150)~周旺铺互通(K1 274+850),以范家山枢纽互通为节点分为

两阶段实施,第一阶段范家山枢纽互通至周旺铺互通(K1 230+050~K1 274+850),已于2018年12月完成大修提质改造,第二阶段娄底枢纽互通至范家山枢纽互通(K1 156+150~K1 230+050),目前未实施。

2.2 排水路面设计

2.2.1 设计路段

经充分调查分析,原则上在纵坡小于等于0.5%的超高路段且横坡为0前后,结合两端桥涵构造物等情况,表面层设计采用PAC-13排水路面。该项目设计了4段,左幅K1 247+137~K1 248+272(1 135 m)和右幅K1 247+137~K1 248+272(1 135 m)、K1 257+687~K1 258+500(813 m)、K1 272+751~K1 273+730(979 m),共计4 062 m。

2.2.2 结构组合设计

PAC-13排水路面都位于原水泥混凝土路面路段,原路面结构为26 cm C35水泥混凝土面层+1 cm稀浆封层+20 cm 6%水泥稳定碎石基层+16 cm 4%水泥稳定碎石底基层,总厚度63 cm。大修设计方案为:对旧路病害进行换板、压浆等综合处治后,加铺3 cm AC-10F调平隔离层+18 cm C35连续配筋混凝土+1 cm SBS改性沥青同步碎石封层+6 cm SBS改性沥青AC-20C下面层+防水黏结层+4 cm高黏度改性沥青PAC-13表面层。

1 cm SBS改性沥青同步碎石封层的改性沥青洒布量为 1.5 kg/m^2 ,集料采用4.75~9.5 mm的石灰石,并用油石比0.5%的沥青进行预拌,裹覆均匀,洒布量以不黏轮胎、履带为度,为满铺面积的70%(8~10 kg/m^2)左右。连续配筋混凝土采用裸化或精铣刨工艺进行表面粗糙处理,加强层间黏结。

为了避免雨水渗入密级配的AC-20C下面层滞留在结构层内产生水损坏,在AC-20C下面层顶面设计防水黏结层。防水黏结层可采用SBS改性沥青、橡胶沥青或改性乳化沥青,设计采用 1.6 kg/m^2 改性乳化沥青,分2次洒布,每次 0.8 kg/m^2 。

2.2.3 边部设计

通过PAC-13表面层渗入的雨水,经过AC-20C下面层顶面排出路外,因此边部设计非常重要,必须确保排水畅通。在潭邵高速公路大修设计中,土路肩采用10 cm C25现浇小石子混凝土硬化,中央分隔带设计将波形梁钢护栏改造为预制混凝土护栏,将填土绿化全部挖除,下部采用C15混凝土回填,护栏两侧用C30现浇混凝土硬化,并将超高路段外侧的中央分隔带纵向水沟由左侧路缘带移入中央分隔带内。

PAC-13排水表面层路段的边部设计,将横坡低侧的土路肩C25小石子混凝土由10 cm减少为5 cm,顶面标高低于AC-20C下面层顶面,如图1所示。将中央分隔带纵向水沟外的C30现浇混凝土硬化带变为下部填筑9.5~19 mm碎石、上部满铺4 cm PAC-13,如图2所示。为了保证路侧波形梁钢护栏立柱埋入深度和波形梁钢护栏横梁中心高度满足规范要求,钢护栏立柱的长度比其他路段增加5 cm以上。

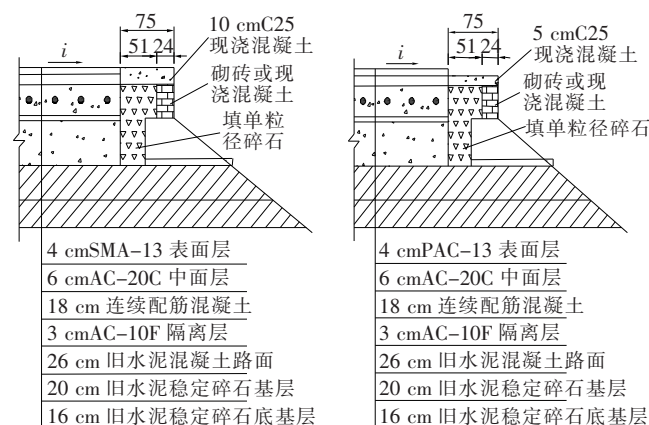


图1 横坡低侧的土路肩设计(单位:cm)

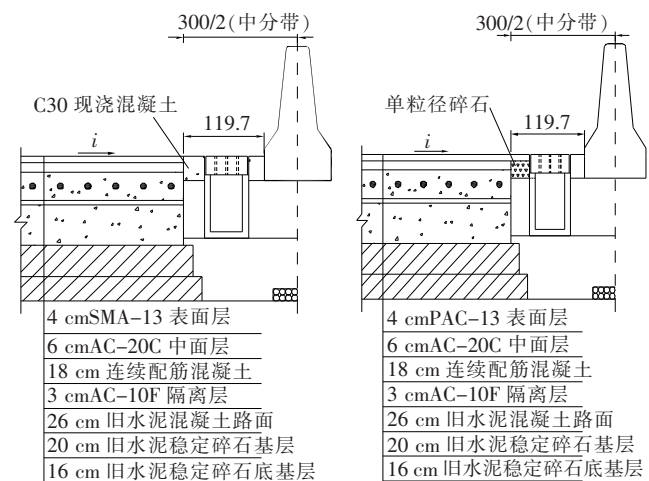


图2 中央分隔带细部设计(单位:cm)

3 排水路面混合料设计

PAC-13排水路面采用开级配的沥青混合料,路面空隙率为18%~25%,形成“石—石”点接触的骨架空隙结构,对碎石和沥青胶结材料的质量要求非常高,混合料配合比设计好坏决定排水路面路用性能的优劣和使用寿命的长短。

3.1 沥青胶结料

PAC-13沥青混合料必须采用高黏度改性沥青,

可直接采用成品高黏度改性沥青或拌和时直投高黏度添加剂。该项目采用 92% SBS 改性沥青+8%高黏度添加剂双复合改性,高黏度添加剂应符合 JT/T 860.2—2013《沥青混合料改性添加剂 第 2 部分 高黏度添加

剂》的质量要求。SBS 改性沥青采用壳牌(中国)有限公司供应的 SBS 改性沥青,检测结果如表 1 所示。试验室按 92% SBS 改性沥青+8%高黏度添加剂配制高黏度改性沥青,检测结果如表 2 所示。

表 1 SBS 改性沥青检测结果及质量要求

项目	针入度/ (0.1 mm)	针入度指 数	软化点/ ℃	5℃延度/ cm	运动黏度/ (Pa·s)	闪点/ ℃	溶解度/ %	离析/ ℃	弹性恢复/ %	25℃密度/ (g·cm ⁻³)	TFOT 后残留物		
											质量变化/%	针入度比/%	5℃延度/cm
结果	52	+0.57	84.5	28	2.3	330	99.73	0.2	96	1.029	+0.48	80.8	22
要求	≥50	≥0	≥75	≥20	≤3.0	≥230	≥99	≤2.5	≥85	实测	-1.0~+1.0	≥65	≥15

表 2 高黏度改性沥青检测结果及质量要求

项目	针入度/ (0.1 mm)	软化点/℃	5℃延度/cm	60℃动力黏度/(Pa·s)	170℃运动黏度/(Pa·s)	溶解度/%	闪点/℃	离析/℃
结果	53	101.5	37	1 373 016	1.643	99.72	310	1.2
要求	≥40	≥90	≥30	≥300 000	≤3.0	≥99	≥230	≤2.5
项目	弹性恢复/%	黏韧性/(N·m)	韧性/(N·m)	25℃相对密度	TFOT 后残留物			5℃延度/cm
					质量变化/%	针入度比/%	5℃延度/cm	
结果	97	31	22	1.018	-0.11	85.8	27	
要求	≥95	≥25	≥20	实测	-1.0~+1.0	≥65	≥20	

3.2 集料

粗集料应质地坚硬、颗粒形状好、耐磨,采用某碎石场生产的玄武岩碎石,按 9.5~13.2、4.75~9.5

mm 两级备料,并安装除尘设备。0~2.36 mm 细集料采用某碎石场生产的石灰石机制砂。粗集料、细集料的试验检测结果如表 3、4 所示。

表 3 粗集料检测结果及质量要求

项目	集料/mm	压碎值/%	洛杉矶磨耗损失/%	磨光值/BPN	表观相对密度	吸水率/%	与沥青的黏附性/级	坚固性/%	针片状颗粒含量/%	<0.075 mm 颗粒含量/%	软弱颗粒含量/%
粗集料	4.75~9.5	12.8	13.7	46	2.954	0.83	5	2.3	13.2	0.9	0.7
	9.5~13.2				2.951	0.69			9.1	0.8	
要求		≤18	≤20	≥42	≥2.70	≤2.0	5	≤8	≤12	≤1	≤1

表 4 细集料检测结果及质量要求

项目	表观相对密度	坚固性/%	砂当量/%	亚甲蓝值/(g·kg ⁻¹)	棱角性/s
结果	2.723	3.4	68	0.8	43
要求	≥2.60	≤12	≥65	≤1.5	≥30

3.3 填料

填料采用洁净的 9.5~19 mm 石灰岩粗集料磨细得到的新鲜矿粉,检测结果如表 5 所示。

3.4 生产配合比设计

3.4.1 设计矿料级配

拌和楼配置 3、6、11 和 16 mm 筛网,对应的矿料

分为 0~3、3~6、6~11 和 11~16 mm4 档热料仓集料。热料仓集料比例为(11~16 mm):(6~11 mm):(3~6 mm):(0~3 mm):矿粉=40%:47%:9%:4%,PAC-13 混合料的矿料设计级配范围及合成级配如表 6 所示。

表 5 矿粉检测结果及质量要求

项目	表观密度/ (t·m ⁻³)	含水量/ %	粒度范围/%				外观	亲水 系数	塑性 指数	加热安 定性
			<0.6 mm	<0.3 mm	<0.15 mm	<0.075 mm				
结果	2.662	0.3	100	99.9	99.2	85.2	无团粒结块	0.7	3.1	无明显变化
要求	≥2.60	≤1.0	100	—	90~100	75~100	无团粒结块	<1	<4	无明显变化

表 6 PAC-13 矿料设计级配

级配	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
合成级配	100	90.0	55.7	13.8	12.2	9.8	8.1	6.7	5.7	4.6
设计级配范围	100	90~100	40~71	10~30	9~20	7~17	6~14	5~12	4~9	3~6

3.4.2 混合料路用性能试验

PAC-13 沥青混合料应添加聚酯纤维或玄武岩纤维起增黏作用,该项目添加混合料质量 0.1%的聚酯纤维。采用马歇尔试验方法进行配合比设计时,双

面击实各 50 次,击实温度为 165 ℃。经试验,PAC-13 混合料最佳油石比为 4.8%,试件毛体积相对密度(体积法)为 2.070,理论最大相对密度为 2.663,路用性能试验结果见表 7。

表 7 PAC-13 混合料路用性能试验结果

项目	空隙率/ %	稳定度/ kN	浸水残 留稳定 度/%	冻融劈裂 残留强度 比/%	析漏试验 的结合料 损失/%	飞散试验 的混合料 损失/%	动稳定度/ (次·mm ⁻¹)	渗水系数/ (mL·min ⁻¹)
结果	22.3	7.05	85.9	86.4	0.10	5.3	9 116	7 557
要求	18~25	≥5.0	≥85	≥80	≤0.8	≤15	≥5 000	≥4 000

4 排水路面施工工艺

由于客观原因,只施工了左幅 K1 247+137~K1 248+272 和右幅 K1 247+137~K1 248+272、K1 257+687~K1 258+500 共 3 段 PAC-13 排水路面,右幅 K1 272+751~K1 273+730 摊铺了 SMA-13 表面层。PAC-13 沥青混合料是骨架大空隙的开级配结构,添加了高黏度添加剂和聚酯纤维,其施工工艺与 AC、SMA 等沥青混合料施工要求不同。

4.1 PAC-13 沥青混合料拌和

沥青拌和楼增加 2 套掺高黏度添加剂和聚酯纤维的投送设备,通过管道直达拌和缸,并与拌和楼的中央控制室连线建立有效的通信系统。2 套投送设备采用称重计量,提前标定准确。固定每盘的混合料产量(该

项目 3 t),按掺加比例计算每盘混合料的高黏度添加剂和聚酯纤维的重量,并在投送设备上设定。高黏度添加剂和聚酯纤维的足量添加非常关键,不能漏加少加。

按生产配合比试拌试铺验证后的比例设定拌和楼参数(矿料比例、拌和时间),将各种粗细集料、纤维放入拌和缸内干拌 10 s,然后加入沥青同时添加高黏添加剂拌和 15 s,最后加入矿粉拌和 35 s。混合料应拌和均匀、颜色一致、所有矿料颗粒全部裹覆沥青结合料,无花白料、结团、离析或严重的粗细料分离现象。在施工过程中,应根据级配筛分试验,调整各种矿料比例,保证混合料级配满足设计要求。混合料出厂温度为 175~185 ℃,超过 195 ℃或低于 165 ℃应废弃。

4.2 PAC-13 沥青混合料摊铺

在正常路段采用 1 台单机功率≥260 kW 的大功

率摊铺机半幅全断面(11.75 m)一次摊铺成型,在互通内加、减速车道等加宽路段,增加 1~2 台摊铺机同步摊铺,避免冷接缝。摊铺机两侧采用非接触式平衡梁找平和控制厚度。松铺系数为 1.25,摊铺速度为 2.0 m/min,基本与拌和楼产量匹配。熨平板的振动、振捣频率应视摊铺面情况适当调整,既要保证初始压实度,也不能使集料破损、沥青膜损坏。混合料摊铺温度不低于 160 ℃

4.3 PAC-13 沥青混合料压实

配置 4 台工作质量 13 t 的双钢轮压路机和 2 台工作质量 30 t 胶轮压路机。高黏度改性沥青的黏度大,必须趁高温及时碾压才能确保压实效果。为了减少混合料温度损失,3 台双钢轮压路机并排紧跟摊铺机初压,采用静压的方式碾压,温度不低于 155 ℃,碾压区长度控制为 20~25 m,以尽快使表面压实,减少热量散失,碾压速度应控制为 2~3 km/h,碾压遍数 4 遍。

复压采用 2 台胶轮压路机,上胶轮压路机的时机必须控制好,混合料温度控制为 70~90 ℃,温度太高将会出现空隙率偏小、表面致密,降低排水效果,温度太低,起不到压实效果。当混合料黏碾压轮时,及时用喷雾器喷洒少量植物油。复压速度控制为 3~5 km/h,碾压遍数 2 遍。终压采用 1 台双钢轮压路机紧接在复压后进行,以消除轮迹、缺陷和保证有较好平整度,终压速度应控制为 3~5 km/h,碾压遍数为 1 遍。

5 排水路面检测

(1) 按照 JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》的规定,对 3 段 PAC-13 排水路面各项指标进行检测,均达到设计和规范要求。压实度、厚度、空隙率、渗水系数、构造深度、横向力系数等关键指标检测结果如表 8 所示。

表 8 PAC-13 排水路面关键项目检测结果

项目	压实度代表值/%	厚度代表值/mm	弯沉代表值/(0.01 mm)	空隙率平均值/%		渗水系数平均值/(mL·min ⁻¹)	构造深度平均值/mm	横向力系数平均值
				体积法	真空塑封法			
结果	99.1	41.1	8.1	22.3	20.8	8 753	2.12	55
要求	≥98	≥36	≤20.1	18~25	17~23	≥3 600	≥1.5	≥54

(2) 刹车距离测试。为了验证排水沥青路面的抗滑性能,测试了同一车辆在不同类型沥青表面层上以相同速度行驶时的刹车距离。测试天气为小雨天,测试车辆为雷诺 SUV,路面为相邻路段的 PAC-13 排水沥青路面和 SMA-13 路面,其刹车距离分别为 11.5、16.7 m,说明排水路面具有优良的抗滑性能。

6 结论

(1) 通过通车后几个月的跟踪观察,目前 PAC-13 排水路面路况和排水效果良好。

(2) 从混合料的路用性能和路面实体检测结果看,PAC-13 排水路面既具有优良的排水能力、抗滑性能,又有足够的高温抗车辙性能和抗水损坏性能,耐久性需要长期持续跟踪调查。

(3) PAC-13 沥青路面是“石-石”点接触的骨

架大空隙结构,必须采用优质的集料和高黏度改性沥青胶结料,才能保证路面结构的路用性能和耐久性。

(4) 在多雨地区,单层或双层排水路面具有广阔的应用前景,在路面结构、高黏度改性沥青、施工工艺以及养护工艺、养护设备等方面应进行持续研究。

参考文献:

[1] JTG D50-2017 公路沥青路面设计规范[S].
[2] JTG F40-2004 公路沥青路面施工技术规范[S].
[3] CJJ/T 190-2012 透水沥青路面技术规程[S].
[4] DBJ 50/T-241-2016 排水沥青路面技术规程[S].
[5] DG/T J08-2074-2016 道路排水性沥青路面技术规程[S].
[6] 肖鑫,张肖宁.排水沥青路面排水能力分析 & 目标空隙率确定[J].中外公路,2016(1).
[7] 尘福涛,李明亮,曹东伟.排水沥青路面冷接缝工艺技术研究[J].中外公路,2018(1).