

文章编号: 0451-0712(2005)11-0126-06

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

# 重庆渝邻高速公路排水性 沥青混凝土路面修筑与性能

曹东伟<sup>1</sup>, 敬世红<sup>2</sup>, 陈荣生<sup>3</sup>, 刘清泉<sup>1</sup>, 乔 宏<sup>2</sup>, 倪富健<sup>3</sup>

(1. 交通部公路科学研究所 北京市 100088; 2. 重庆渝邻高速公路有限公司; 3. 东南大学)

**摘 要:** 介绍了重庆渝邻高速公路排水性沥青混凝土路面的材料、结构、施工、成本及使用性能。试验路使用了 3 种改性沥青, 设计实施了 4 种试验路段, 具有不同的设计空隙率。通过试验路的修筑, 检验并验证了排水性沥青混合料的材料设计方法, 总结了排水性沥青混凝土路面的施工工艺与质量控制技术, 实际考察了排水性沥青混凝土路面的使用性能。试验效果表明, 排水性沥青混凝土路面雨天表面不积水, 车辆行驶时不会产生溅水和水雾现象, 车辆行驶视线好, 路面表面粗糙, 构造深度大, 抗滑性能高, 大大提高雨天行车的安全性, 还具有降低路面噪声的功能。排水性沥青混凝土路面是一种具有优良路用性能的高速公路表层结构, 非常适合在我国南方多雨地区使用。

**关键词:** 排水性沥青混凝土路面; 设计; 施工; 性能

普通沥青混凝土路面降雨后由于存在表面水膜, 路面抗滑能力降低, 同时导致水漂、溅水、水雾等问题。日本调查发现, 普通铺面的高速公路雨天事故率是晴天事故率的 9 倍。我国根据 7 条高速公路 3 万多事故数据的统计发现, 雨天事故率是晴天事故率的 3.5 倍<sup>[4]</sup>。山区公路由于受地形地貌等条件限制, 小半径、大坡度的线形不可避免, 较长的纵坡增加了路表排水径流长度, 路表会形成更厚的水膜, 因此, 多雨地区的山区高速公路安全问题更为突出。

解决此问题可修筑排水性沥青混凝土路面, 其面层设计空隙率一般为 18%~25%, 因此具有良好的排水性能、使用品质与服务功能, 从而在西欧、美国与日本的高速公路中得到了非常广泛的使用, 日本强制规定所有新建或改建的高速公路表面层必须采用排水性沥青混凝土路面。

## 1 试验路概况

重庆市地形以山区为主, 年降雨较多, 降雨时间较长。为试验排水性沥青混凝土路面的效果, 在重庆渝邻高速公路 K179+200~K182+120 段左幅(重庆~邻水方向)修筑试验路。渝邻高速公路起自四川省邻水邱家河, 止于重庆市渝长高速公路的黑石子,

路线全长 53.108 km, 为国道 210 线的一部分。试验路长度为 3 km, 排水性路面表层厚度为 4 cm。试验路共设计实施了 4 种排水性沥青混凝土路面类型(图 1), 其中: 试验段 1 设计空隙率为 20%, 使用 SK 成品高粘度改性沥青, 长度为 800 m; 试验段 2 设计空隙率为 23%, 沥青与试验段 1 相同, 长度为 900 m; 试验段 3 使用现场 SBS 改性沥青, 其性能符合我国改性沥青技术规范, 设计空隙率最初为 20%, 但后来考虑到普通改性沥青的用量较低, 设计空隙率调整为 17%, 长度减小为 100 m; 试验段 4 设计空隙率为 20%, 使用 TPS 改性剂, 直接在拌和时掺入沥青混合料, 长度为 1 120 m。

实施试验段的目的有以下几个: (1) 考察排水性沥青混凝土路面总的使用性能与效果; (2) 对不同排水性沥青混凝土路面结合料进行考察和分析, 比较普通改性沥青与高粘度改性沥青的差异及不同高粘度改性沥青的差异; (3) 比较不同的设计空隙率排水性沥青混凝土路面的性能差异, 包括排水性能、耐久性等差异; (4) 通过试验路的修筑, 研究总结排水性沥青混凝土路面的施工工艺和质量控制方法, 分析其修筑费用成本; (5) 通过试验路检验并验证排水性沥青混合料的材料、结构设计方法。

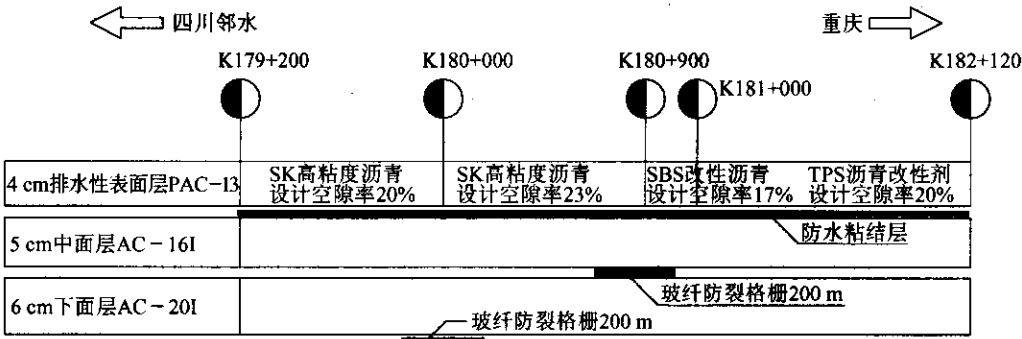


图 1 试验路段落布置与路面结构

2 试验路路面结构与材料

排水性沥青混凝土路面结构设计基本可采用我国现行规范设计方法,但必须根据排水性沥青混凝土面层材料的实际设计参数进行路面设计与应力验算。由于排水性沥青混合料细集料很少,模量要远低于普通密级配沥青混凝土。排水性沥青混合料的 20℃ 抗压回弹模量在 350 MPa 左右,15℃ 抗压回弹模量在 450 MPa 左右,15℃ 劈裂强度为 0.7 MPa。根据实际测定的排水性沥青混凝土面层设计参数进行受力分析,发现与普通密级配抗滑表层结构相比,排水性沥青混凝土路面的计算弯沉有很小程度的增大,沥青混凝土下面层弯拉应力会减小,而半刚性基层底面的弯拉应力有一定增加,但通常路面计算弯沉与各路面结构层的弯拉应力均会满足验算要求。

此外,与普通密级配沥青混凝土相比,排水性沥青混凝土表面层与中面层之间的接触面积减少了约 15%~25%,因此层间必须有足够的粘结强度和抗剪切强度。试验路在上面层与中面层之间设置排水性沥青混凝土路面专用的防水粘层材料。试验路路面结构如图 2 所示。试验方案还安排了在基层与下面层之间及中面层与下面层之间铺设土工格栅的试验段,目的是防止半刚性基层的反射裂缝。

防水粘层		
上面层	4 cm	PAC-13
中面层	5 cm	AC-16I
下面层	6 cm	AC-20I
基层	20 cm	LFCR
底基层	35 cm	LFCR
路基		

图 2 排水性沥青混凝土路面结构

与普通路面路面排水相比,排水性沥青混凝土路面要设置边缘排水系统,略有特殊性。不同的边缘排水系统具有不同的构造形式和排水效率,适用不同的情况,当然其费用也不同。根据工程实际与排水功能需要,试验路采用简单实用的散排方式。对于有超高段的排水,对中央分隔带内侧的边缘排水沟进行了适当调整,将内侧排水沟的顶面标高降低到中面层顶面。

粗集料为破碎的鹅卵石,有 10~15 mm 与 5~10 mm 2 种规格。粗集料、细集料和矿粉的各项指标检测结果,全部符合技术规范要求。成型马歇尔试件与车辙试件过程中发现集料有破碎现象,这说明排水性沥青混合料由于粗集料含量高,集料颗粒之间接触点少,易出现集料破碎现象,因此排水性沥青混合料所用粗集料的压碎值指标要高于现行技术规范。

排水性沥青混合料具有大的空隙率,比普通的密集配沥青混合料更容易受到日光、空气和水的侵蚀。室内试验发现宜使用高粘度改性沥青,高粘度改性沥青主要技术性能为:60℃ 时的动力粘度要大于 20 000 Pa·s,且软化点要大于 80℃。试验路中使用的 2 种高粘度改性沥青均满足高粘度沥青技术要求<sup>[3]</sup>。使用 TPS 改性剂时,必须注意基质沥青和 TPS 的相容性。根据反复试验,采用 SK-70 号沥青较好,TPS 与基质沥青的比例为 14:86。

排水性沥青混合料材料设计采用以下方法:(1)检验原材料的技术指标;(2)根据推荐的级配范围、空隙率预估公式确定初步配合比方案;(3)根据沥青膜厚度和集料表面积预估沥青用量,不同沥青按不同膜厚计算;(4)击实成型试件,检验体积指标,主要是空隙率能否达到目标空隙率的要求;(5)如果达到要求后再按±0.5%和±1%变化沥青用量,分别进

行析漏试验、飞散试验,确定最佳沥青用量,通常参照马歇尔试验结果,以沥青析漏试验的反弯点作为最佳沥青用量,而且析漏量一般不超过 0.3%(烧杯法);(6)最后对混合料性能试验进行验证,包括排水性能、抗水损坏性能、飞散试验与车辙试验等,要满足排水性沥青混合料设计技术要求。

4 种类型试验段的材料设计结果与性能检验结果见表 1 与表 2。

表 1 排水性沥青混合料配合比检验结果						%
试验段	10~15 mm 碎石	5~10 mm 碎石	机制砂	矿粉	油石比	备注
1	51.5	30	13.5	5	5.0	SK 高粘度改性沥青
2	53.5	30	11.5	5	4.9	SK 高粘度改性沥青
3	49	30	16	5	4.9	SBS 改性沥青
4	61	20	13.5	5.5	5.0	TPS 改性 SK-70 号

表 2 排水性沥青混合料性能检验结果					
项目	单位	试验段 1	试验段 2	试验段 3	试验段 4
渗水系数	cm/s	0.34	0.41	0.37	0.40
空隙率	%	21.7	22.5	19.4	21.8
MASHALL 稳定度	kN	6.89	7.76	7.73	7.15
流值	mm	2.87	3.23	3.40	2.43
CANTABRO 飞散损失	%	11.0	12.5	13.5	23.1
浸水飞散损失	%	17.6	20.3	14.9	25.3
动稳定度	次/mm	9 852.9	8 680.7	3 015.4	5 915.1

### 3 试验路施工

经过前期充分的准备工作,排水性沥青混凝土路面从 2004 年 4 月 21 日开始修筑,2004 年 4 月 26 日修筑完成。修筑后进行了有关的测试工作,目前使用效果良好,观测工作在继续进行。

#### 3.1 防水粘层施工

在防水粘层施工前,中面层表面要求平整、干燥,基本干净,并按现行技术规范渗水试验方法(T 0971—95)对中面层的渗水情况进行调查。采用控压喷涂机喷洒防水粘层材料,喷涂要均匀,无漏涂,无堆积,达到充分渗透。实干后防水粘层平均成型厚度为 0.5~0.7 mm。喷涂结束后,严禁行人和车辆通行。

施工过程中发现防水粘层的高温性能还需进一步提

高。虽然材料试验达到了在 160℃ 温度条件下 5 h 无流淌的要求,但在路表温度超过 50℃ 以上时会出现粘轮现象,比较严重时可以将中面层粘起。这说明防水粘层材料粘结性没有任何问题,但高温稳定性仍需改善。

#### 3.2 拌和与运输

沥青混凝土的拌和使用 NBD160ABP 间歇式拌和机。拌和时间以混合料拌和均匀、所有矿料颗粒全部裹覆沥青结合料为度。经试拌确定,拌和时间一般为 30~50 s。施工中试验段 1、2 的干拌时间为 5 s,湿拌时间为 35 s;试验段 4 的干拌时间为 8 s,湿拌时间为 40 s。拌和温度按表 3 控制。拌制试验段 4 的沥青混合料需要人工投放 TPS 改性剂,在施工前要计算好 TPS 的投入量,并提前分袋包装准备好。在投入拌和锅时要把握好投放时机,同时绝不能漏投。

表 3 排水性沥青混合料生产温度控制				℃
试验段	拌和温度	沥青加热温度	矿料温度	
试验段 1、2	175~185	170~180	180~195	
试验段 3	175~185	160~180	180~190	
试验段 4	175~185	150~170	190~200	

排水性沥青混合料具有较高的空隙率,热量散发较快,运送沥青混合料时应注意保温。运料车应采用双层篷布覆盖,用以保温、防雨、防污染,到达现场时混合料温度不低于 170℃。开始摊铺时在施工现场等候卸料的运料车不少于 3 辆。为防止沥青混合料与车厢板相粘结,车厢侧板和底板可涂薄层隔离剂。在运输过程中如运料车的轮胎发生污染,则宜设置水池洗净轮胎后再进入工程现场。

#### 3.3 摊铺与碾压

采用 ABG423 型摊铺机进行摊铺作业,单幅一次摊铺成型。按表 4 控制温度。摊铺速度控制应根据拌和机拌和能力、施工机械配套情况,以及摊铺层厚度、宽度,经计算确定摊铺速度,在安排汽车运量有所富余的前提下,保证摊铺机缓慢、均匀、连续不断地摊铺。摊铺过程中,不得随意更换速度。在施工试验段 2 与试验段 3 时发现,摊铺机 2 个螺旋分料器结合部位容易产生局部油斑,要及时人工清除,用热料换补后一起碾压。图 3 所示为摊铺实况。

使用双钢轮压路机及轮胎压路机并列成梯队的方式进行碾压,按初压、复压和终压(包括成型)3 个阶段进行。初压应在混合料摊铺后较高温度下进行,一

表 4 施工温度控制

工序		现场温度控制/℃
拌和场混合料出料		175~190
正常摊铺		170 左右
碾压	初压	155~170
	复压	150 左右
	终压	80 左右

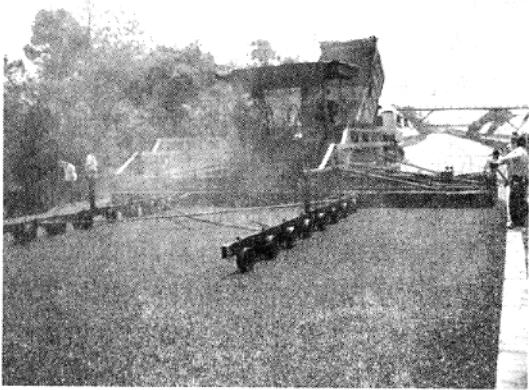


图 3 试验段排水性沥青混合料的摊铺

一般在 150~165℃ 左右。采用 10~12 t 的三轮钢轮压路机碾压 2 遍。复压应紧接初压进行,采用双钢轮压路机压实 3 遍。终压应在路表温度为 80℃ 左右时进行,使用 8~15 t 的胶轮压路机碾压 2 遍。图 4 所示为压实作业情况。

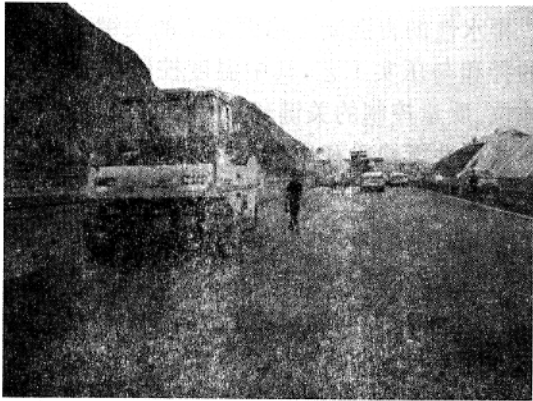


图 4 试验段排水性沥青混合料的压实

碾压过程中的注意事项有:(1)压路机行驶速度保持均匀一致,且不得在新铺或未碾压成型的混合料上停留、转向或制动;(2)压路机的碾压段长度,根据混合料类型、摊铺速度和气温条件经试验确定,也和摊铺速度协调为原则,保持压实长度大体稳定;(3)压路机每次由两端折回的位置阶梯形紧随摊铺机向前推进,使折回处不在同一横断面上,形成梯状

碾压接头后,压路机退后一段距离呈弧线静压梯状结头,由此减少碾压接头对平整度的影响,在摊铺机连续摊铺过程中,压路机不得随意停顿。

实际测定的现场压实度在 99% 左右,部分芯样的压实度超过 100%,说明压实功过大,导致了路面发生超压现象。

3.4 接缝施工与其他

排水性沥青混凝土面层施工接缝的处理,应不妨碍路面内部水分的流通,同时保证紧密、平顺,以免为路面损坏留下缺陷。待摊铺层完全自然冷却、混合料的表面温度低于 50℃ 后方可开放交通。需要提前开放交通时,可洒水冷却降低混合料温度。为防止污染路面,试验段排水性沥青混凝土面层施工后封闭交通,紧急情况通行时禁止刹车和急转。

本试验路虽然种类多,路线长度短,但每一种试验段均安排了 100 m 长试铺段,除了验证混合料的稳定性,以及拌和、摊铺、压实施工工艺外,还测定了实际空隙率是否与设计相符,以进行调整。

3.5 质量控制与管理

排水性沥青混凝土面层施工质量管理与控制可参照现行技术规范,并注意下面几个问题:(1)防水粘层施工时要检验防水粘层的均匀性、铺洒量、成膜厚度及防水粘层渗水性,待排水性沥青混凝土面层施工后,还要钻芯取样检验粘结强度和剪切强度;(2)沥青混合料生产的施工中一定要注意料温的监测,检测结果要进行记录,超温的沥青混合料必须废弃;(3)排水性混合料空隙率受 2.36 mm 和 0.075 mm 筛孔通过率的影响最大,必须严格控制,保证级配通过率在  $\pm 3\%$  (2.36 mm)、 $\pm 2\%$  (0.075 mm) 的变化范围之内;(4)排水性沥青混合料现场水稳定性检验要求残留稳定度不超过 80%,CANTABRO 浸水飞散不超过 30%;(5)排水性沥青混凝土路面成型后,现场透水性应  $> 900 \text{ ml/15 s}$ ,现场空隙率应在设计空隙率的  $\pm 3\%$  变化范围内。排水性沥青混合料易于压实,压实度标准为 97%~100%,但不要超压。

4 试验路性能检验

排水性沥青混凝土路面试验路修筑后,进行现场性能的测试与试验。测试 4 种试验段路面抗滑性能的结果见表 5。测试结果表明,试验路的排水性沥青混凝土路面具有非常高的抗滑性能,远超过我国技术规范的标准,构造深度可以说是目前所有高速

公路表层类型中最高的。

表 5 4 种类型排水性沥青混凝土路面的抗滑性能

检测项目	单位	类型 1	类型 2	类型 3	类型 4	技术规范要求
摆值	BPN	65.5	64.8	64.5	64.5	≥45
构造深度	mm	2.5	2.6	2.6	2.6	≥0.55

实际测定修筑的 4 种排水性沥青混凝土路面的空隙率与排水性能见表 6。路面的空隙率在 20%左右,故水分可以在路面内部自由流动,雨天能迅速排除路表积水,防止路表水膜的形成,避免了车辆高速行驶时可能发生的水漂现象。同时,还可以消除或减轻行驶车辆的“溅水”与“喷雾”现象,大大提高了驾驶员视线的清晰度,明显提高了雨天时车辆行驶的安全性。排水性沥青混凝土路面在重庆市这种多雨地方是非常适合的。

表 6 4 种类型排水性沥青混凝土路面的空隙率与排水性能

检测项目	单位	类型 1	类型 2	类型 3	类型 4
现场透水性	ml/15 s	1 422.2	1 552.7	1 122.0	1 395.3
现场空隙率	%	20.2	21.4	18.3	21.8

交通噪声是目前公认的严重环境污染,其中车辆轮胎在路面上高速滚动时发出的噪声是交通噪声的重要来源。噪声测量使用定点测试方法,使用 CEL—500 声级计,高度距路面为 1.0 m,距测试车辆中心距离为 5.8 m。为剔除车辆发动机噪声的影响,车辆以空挡滑行方式通过测试点。试验路测试结果表明,排水性沥青混凝土路面为多孔结构,具有降噪的效果。不同速度、不同车型条件下排水性沥青混凝土路面可以降低噪声 0.3~3.0 dB。采用羚羊牌小轿车作为测试车辆,可以降低噪声 2.4 dB~3.0 dB,其中:测试速度为 50 km/h 时,可以降低噪声 2.4 dB;测试速度为 80 km/h 时,可以降低噪声 3.0 dB。采用北京切诺基吉普车时,不同速度的测试结果表明,排水性沥青混凝土路面可以降低噪声 0.3 dB~2.5 dB,其中:测试速度为 50 km/h 时,可以降低噪声 0.3 dB;测试速度为 80 km/h 时,可以降低噪声 1.3 dB;测试速度为 100 km/h 时,可以降低噪声 2.5 dB。在雨天条件下,排水性沥青混凝土路面降噪效果更为明显。

5 试验路成本

与普通的抗滑表层相比,排水性沥青混凝土路

面的成本有一定程度的增加,主要来源于 2 个方面:一是采用费用较高的高粘度改性沥青;二是沥青混合料的产量有一定程度的降低。渝邻高速公路抗滑表层 AK-13A 的费用为 30 元/m<sup>2</sup>(4 cm 厚),排水性沥青混凝土路面费用为 36~39 元/m<sup>2</sup>(4 cm 厚),因此仅从 4 cm 上面层厚度看,排水性沥青混凝土路面费用相比 AK-13A 要增加 20%~30%。

6 结语

(1)本试验路使用 3 种改性沥青(2 种为高粘度改性沥青,1 种是成品改性沥青)修筑排水性沥青混凝土路面,另外 1 种是直接投放 TPS 添加剂到沥青混合料内并达到高粘度改性沥青性能。室内研究表明,高粘度改性沥青是一种完全满足排水性沥青混凝土路面使用要求的沥青结合料,可以有效提高排水性沥青混凝土路面的抗车辙、抗水损坏与抗飞散性能,修筑排水性沥青混凝土路面宜使用高粘度改性沥青。

(2)设计实施的 4 种路段设计了不同的空隙率、使用了不同的沥青。通过观察与检测发现,4 种类型试验段排水性能与空隙率相关,具有一定差异,但抗滑性能、降噪效果等路用性能,从目前的情况来看不具有显著差异,其耐久性有待长期观测。

(3)通过试验路的修筑,总结探索了排水性沥青混凝土路面的施工工艺、质量控制和验收标准等问题。排水性沥青混凝土路面施工的关键环节是混合料的拌和与压实工艺,其中温度控制占有至关重要的地位。质量控制的关键环节是原材料检验、沥青混合料路用性能检验和成型的排水性沥青混凝土路面检验。

(4)通过试验路的实施,检验并验证了排水性沥青混合料的结构与材料设计方法是简便可行的。

(5)根据试验与实际观测结果,排水性沥青混凝土路面在雨天表面不积水,车辆行驶时不会产生溅水和水雾现象,车辆行驶视线好。排水性沥青混凝土路面表面粗糙,构造深度大,抗滑性能高,大大提高雨天行车的安全性。排水性沥青混凝土路面还具有降低路面噪声的功效。

(6)排水性沥青混凝土路面的成本会有一定程度的增加,但路面具有了更好的使用功能,可以为道路使用者提供更安全、更舒适的服务。采用排水性沥青混凝土路面所得到的间接经济效益与社会效益远远超出略增的成本投入。

从总的来看,排水性沥青混凝土路面是一种具有优良路用性能的高速公路表层结构,非常适合在我国南方多雨地区使用。

参考文献:

[1] 交通部公路科学研究所,东南大学,重庆渝邻高速公路有限公司. 山区公路沥青面层排水技术的研究课题总报告[R]. 2004.

[2] 交通部公路科学研究所,等. 排水性沥青路面试验路修筑报告[R]. 2004.  
[3] 日本道路协会. 排水性铺装技术指针(案)[M]. 东京:丸善株式会社,1996.  
[4] 交通部公路科学研究所,等. 《高速公路沥青路面抗滑技术标准研究》报告[R]. 2003.  
[5] JTJ 014—97,公路沥青路面设计规范[S].

Construction and Performance of Porous Asphalt Concrete Pavements of Yu-Ling Expressway in Chongqing City

CAO Dong-wei<sup>1</sup>, JING Shi-hong<sup>2</sup>, CHEN Rong-shen<sup>3</sup>,  
LIU Qing-quan<sup>1</sup>, QIAO Hong<sup>2</sup>, NI Fu-jian<sup>3</sup>

(1, Reseach Institute of Highway, Ministry of Communications, Beijing 100088, China;  
2, Chongqing Yulin Expressway Co., China; 3, Southeast University, China)

**Abstract:** It is presented in this paper that the pavement structure, the material design, construction techniques, costs and performances of porous asphalt concrete pavements in the test road built on Yu-Lin Expressway in Chongqi City. Three kinds of modified asphalt and different percentages of voids are used in the four test sections. By means of the test road practice, the mixture design method is verified, the construction techniquis and quality control measures are summarized. Test data and project practice both show that porous asphalt pavement have many good performances such as surface drainage, high skid resistance, nospraying, no splashing and good visibility in rainy day; besides, the porous asphalt pavement is a kind of low noise pavements. In brief, the porous asphalt pavement has many good surface functions and is suitable for the expressway pavements in the southern rainy area of China.

**Key words:** porous asphalt concrete pavement; design; construction; performance

新疆奎赛等重点公路工程建成通车

投资总概算为30.6亿元的奎屯—赛里木湖高等级公路全长302.5 km,于2005年8月提前3个月建成通车;总投资24.3亿元的和硕—库尔勒高速公路全长92.4 km,于2005年10月18日试通车运行。总投资为9.17亿元的315国道若羌—民丰段公路全长571 km,也于近期建成通车。作为国道主干线连云港—霍尔果斯的重要组成部分——哈密—吐鲁番公路建设项目总长366 km,项目总投资概算37.5亿元,计划近期开工,2007年11月建成通车。

奎屯—赛里木湖高等级公路、和硕—库尔勒高速公路的建成通车使新疆已建成通车的高速公路和一级公路达到1200多km。315国道若羌—民丰段公路的建设对加快石油天然气的开发和南疆地区的经济发展将发挥重要作用。这些项目的开工或建成将极大地改善南疆、伊犁哈萨克自治州、阿勒泰等地的交通条件,对促进区域经济的发展,拉动和促进沿线工农业和第三产业的发展具有重要的意义。