福建省工程建设地方标准 DB

工程建设地方标准编号：DBJ/T13-69-2013
住房和城乡建设部备案号：J10657-2013

沥青混合料配合比设计规程

Specification for mix proportion design
of bituminous mixtures

2013-03-11 发布　　2013-06-01 实施

福建省住房和城乡建设厅发布

福建省工程建设地方标准

沥青混合料配合比设计规程

Specification for mix proportion design
of bituminous mixtures

DBJ/T13–69–2013

住房和城乡建设部备案号：J10657–2013

主编单位：福州市市政工程质量监督站
福建博海工程技术有限公司
批准部门：福建省住房和城乡建设厅
施行日期：2013 年 6 月 1 日

2013 年 福州

福建省住房和城乡建设厅
关于批准发布省工程建设地方
标准《沥青混合料配合比设计规程》的通知

闽建科[2013]15 号

各设区市建设局（建委）、公用局，平潭综合实验区交通与建设局：

由福州市市政工程质量监督站、福建博海工程技术有限公司共同编制的《沥青混合料配合比设计规程》，经审查，批准为福建省工程建设地方标准，编号为 DBJ/T13-69-2013，自 2013 年 6 月 1 日起执行。原标准《沥青混合料配合比设计规程》DBJ13-69-2005 同时废止。在执行过程中，有何问题和意见请函告省厅建筑节能与科技处。

该标准由省厅负责管理。

福建省住房和城乡建设厅

2013 年 3 月 11 日

关于同意福建省《园林植物保护技术规程》等三项地方标准备案的函

建标标备【2013】77 号

福建省住房和城乡建设厅：

你厅《关于报送福建省工程建设地方标准〈园林植物保护技术规程〉备案的函》（闽建科函[2013]49 号）、《关于报送福建省工程建设地方标准〈沥青混合料配合比设计规程〉备案的函》（闽建科函[2013]51 号）、《关于报送福建省工程建设地方标准〈改性沥青玛蹄脂碎石混合料（SMA）施工技术规程〉备案的函》（闽建科函[2013]52 号）收悉。经研究，同意该三项标准作为“中华人民共和国工程建设地方标准”备案，其备案号：

《沥青混合料配合比设计规程》 J10657-2013

《改性沥青玛蹄脂碎石混合料（SMA）施工技术规程》 J10327-2013

《园林植物保护技术规程》 J12332-2013

该三项标准的备案公告，将刊登在近期出版的《工程建设标准化》刊物上。

中华人民共和国住房和城乡建设部标准定额司

二〇一三年四月二十七日

前　言

根据福建省住房和城乡建设厅《关于印发<2012年工程建设标准规范制订、修订计划>的通知》（闽建科〔2012〕24号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，修订本规程。

本规程的主要技术内容是：1.总则；2.术语和符号；3.材料要求；4.技术条件；5.目标配合比设计；6.配合比的调整和报告；7.生产配合比设计与确定；附录A Superpave沥青混合料配合比设计；附录B沥青混合料配合比设计检测记录及报告。

本规程由福建省住房和城乡建设厅负责管理，由主编单位负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送福建省住房和城乡建设厅建筑节能与科技处（地址：福州市北大路242号，邮编：350001）或福建博海工程技术有限公司（地址：福州市晋安区赤星村民营工业区（32亩工业区）2号楼，邮编：350009）。

本规程主编单位：福州市市政工程质量监督站
福建博海工程技术有限公司

本规程参编单位：神州建设集团有限公司
福建省惠一建设工程有限公司
福建中利建设工程有限公司
福建农林大学

本规程主要起草人员：苏忠高　高剑容　谢勇成　施伯超
黄勤锋　王颖莉　张起平　周志坚
陈建球　吴能森　黄培耀　蔡志民

本规程主要审查人员：陈有雄　官建安　林华强　张　军
庄清金　江　星　谢福炯　黄玉萍

目　次

1　总则 …… 1

2　术语、符号 …… 2

2.1 术语 …… 2

2.2 符号 …… 6

3　材料要求 …… 9

3.1 一般规定 …… 9

3.2 道路石油沥青 …… 9

3.3 改性沥青 …… 10

3.4 粗集料 …… 12

3.5 细集料 …… 14

3.6 填料 …… 15

3.7 添加剂 ……17

4　技术条件 …… 19

4.1 一般规定 …… 19

4.2 技术要求 …… 20

5 目标配合比设计…… 24

5.1 一般规定 …… 24

5.2 材料的选择 …… 26

5.3 混合料配合比范围…… 26

5.4 选择设计集料级配 …… 28

5.5 最佳沥青用量的确定 …… 30

5.6 混合料性能检验……39

6　配合比调整和报告 …… 41

6.1 配合比调整 …… 41

6.2 混合料配合比设计报告 …… 42
7 生产配合比设计与确定……43
7.1 生产配合比的设计……43
7.2 生产配合比试拌与检验 …… 43
附录 A Superpave 沥青混合料配合比设计…… 45
A.1 Superpave 沥青混合料设计…… 45
A.2 Superpave 集料规范…… 51
A.3 Superpave 混合料体积设计…… 53
A.4 Ⅱ级设计——中等路面性能的混合料设计…… 67
A.5 Ⅲ级设计——高等路面性能的混合料设计…… 67
附录 B 沥青混合料配合比设计检测记录及报告……68
本规程用词说明 ……106
引用标准名录 ……107
条文说明 ……108

Contents

1 General Provisions ····· 1
2 Terms and symbols····· 2
2.1 Terms ····· 2
2.2 Symbols ····· 6
3 Material requirements ····· 9
3.1 General requirement ····· 9
3.2 Road petroleum asphalt ····· 9
3.3 Modified asphalt ····· 10
3.4 Coarse aggregate ····· 12
3.5 Fine aggregate····· 14
3.6 Packing····· 15
3.7 Additive····· 17
4 Technical

conditions……19
4.1 General requirement ……19
4.2 Technical requirements ……20
5 Target mix design……
2 4
5.1 General requirement ……24
5.2 The choice of materials ……26
5.3 Mix ratio range of mixture ……26
5.4 Selection and design of aggregate gradatio……28
5.5 To determine the optimum asphalt content……30
5.6 Mixture performance test……39
6 Proportion adjustment and report……
4 1
6.1 Proportion adjustment……41
6.2 Mix design rreport mixture……42
7 **Determination of specific design and production coordination** … 43
7.1 Mix design of production ……43

7.2 Production with a test of mix and test ……
4 3
Appendix A Mix design of superpave asphalt mixture45
A.1 Superpave asphalt mixture design……45
A.2 Superpave aggregate specification……
5 1
A.3 Superpave mixture volume design……53
A.4 II Design mix design of secondary pavement performance … 67
A.5 Class III design mix design of pavement performance …… 67
Appendix B Design test record and report mixture…68
Explanation of wording in this specifications……
1 0 6
A list of reference standard ……107
The explanation ……
1 0 8

1 总　则

1.0.1　为确保沥青路面工程质量，统一沥青混合料配合比设计方法，满足设计和施工要求，使之达到技术可靠，经济合理的目标，特制定本规程。

1.0.2　本规程适用于我省新建和改建城镇道路沥青路面施工所采用的混合料配合比设计。

1.0.3　沥青混合料目标配合比设计应根据综合研究道路沿线的气候条件和交通荷载、原材料性能及对混合料的技术参数进行计算，并经试验室试拌、调整后确定。

1.0.4　进行配合比设计时，除应遵守本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准规定。

2 术语、符号

2.1 术　语

2.1.1　沥青的密度　density of bitumen

沥青试样在规定温度下单位体积所具有的质量。

2.1.2　针入度　penetration

在规定温度和时间内，附加一定质量的标准针垂直贯入沥青试样的深度。

2.1.3　针入度指数　penetration index

一种反映沥青结合料对温度感应性的指标，通过测定针入度随温度而变化的程度，由不同温度的针入度按规定方法计算得到的结果。

2.1.4　延度　ductility

规定形态的沥青试样，在规定温度下以一定速度受拉伸至断开时的长度。

2.1.5　软化点（环球法）　softening point

沥青试样在规定尺寸的金属环内，上置规定尺寸和质量的钢球，放于水或甘油中，以规定的速度加热，至钢球下沉达规定距离时的温度。

2.1.6　沥青混合料的密度　density of bituminous mixtures

指压实沥青混合料规定温度条件下单位体积的干燥质量。

2.1.7　沥青混合料的相对密度　specific gravity of bituminous mixtures

同温度条件下压实沥青混合料试件密度与水的密度的比值。

2.1.8　沥青混合料的最大理论密度　theoretical maximun

density of bituminous mixtures

为计算沥青混合料空隙率之需，假设压实沥青混合料试件全部为矿料（包括矿料自身内部的空隙）及沥青所占有，空隙率为零的理想状态下的最大密度。

2.1.9 沥青混合料的最大理论相对密度 theoretical maximum specific gravity of bituminous mixtures

同温度条件下沥青混合料的最大理论密度与水的密度的比值。

2.1.10 沥青混合料的表观密度 apparent density of bituminous mixtures

单位体积（含混合料实体体积与不吸收水分的内部闭口空隙之和）压实沥青混合料的干质量，由水中重法测定（仅适用于几乎不吸水的密实试件）。

2.1.11 沥青混合料的表观相对密度 apparent specific gravity of bituminous mixtures

是表观密度与同温度水的密度之比值。

2.1.12 沥青混合料的毛体积密度 bulk density of bituminous mixtures

单位体积（含混合料的实体矿物成分及不吸收水分的闭口孔隙、能吸收水分的开口孔隙等颗粒表面轮廓线所包围的全部毛体积）压实沥青混合料的干质量，由表干法、蜡封法或体积法测定：

1 表干法测定的毛体积密度，又称饱和面干毛体积密度，是压实沥青混合料试件常温条件下的干燥质量与表干状态下的毛体积（指饱和面干状态下的实体体积与闭口孔隙、开口孔隙之和）之比值，它适用于较密实的吸水很少的试件；

2 蜡封法测定的毛体积密度，是压实沥青混合料试件常温条件的干燥质量与蜡封条件的毛体积（指混合料蜡封状态下实体体积与闭口孔隙、开口孔隙之和，但不计蜡被吸入混合料的部分）

之比值，它适用于吸水较多不能由表干法测定的试件；

3 体积法测定的毛体积密度，是压实沥青混合料试件的干质量与直接用卡尺测量的试件毛体积（指用卡尺测量的试件名义表面以内包括表面凹陷在内的全部毛体积）之比值，它适用于吸水严重至完全透水，不能由表干法或蜡封法测定的试件。

2.1.13 沥青混合料的毛体积相对密度 bulk specific gravity of bituminous mixtures

压实沥青混合料的毛体积密度与同温度水的密度之比值。

2.1.14 沥青混合料试件的空隙率 percent air voids in bituminous mixtures

沥青混合料内矿料及沥青以外的空隙（不包括矿料自身内部已被沥青封闭的空隙）的体积占试件总体积的百分率。

2.1.15 沥青混合料试件的沥青饱和度 percent of the voids in mineral aggregate that are filled with asphalt in bituminous mixtures

压实沥青混合料试件内沥青部分的体积占矿料骨架以外的空隙部分体积（VMA）的百分率，以 VFA 表示。

2.1.16 沥青混合料试件的矿料间隙率 percent voids in mineral aggregate in bituminous mixtures

压实沥青混合料试件内矿料部分以外的体积占试件总体积的百分率，即试件空隙率与沥青体积百分率之和，以 VMA 表示。

2.1.17 沥青混合料试件的粗集料间隙率 percent voids in coarse mineral aggregate in bituminous mixtures

压实沥青混合料试件内粗集料骨架部分以外的体积占试件总体积的百分率，以 VCA_{mix} 表示。

2.1.18 马歇尔稳定度 marshall stability

按规定条件采用马歇尔试验仪测定的沥青混合料所能承受的

最大荷载，以 kN 表示。

2.1.19 流值 flow value

马歇尔试验时相应于最大荷载时试件的竖向变形。

2.1.20 动稳定度 dynamic stability

按规定条件进行沥青混合料车辙试验时，试件变形进入稳定期后，每产生 1mm 轮辙变形试验轮所行走的次数。

2.1.21 沥青含量 asphalt content

沥青混合料中沥青结合料质量与沥青混合料总质量的比值。

2.1.22 油石比 asphalt aggregate ratio

沥青混合料中沥青结合料质量与矿料总质量的比值。

2.1.23 有效沥青含量 effective asphalt content

沥青混合料中总的沥青含量减去被集料吸收入内部空隙的部分后，有效填充矿料间隙的沥青质量与沥青混合料总质量的比值。

2.1.24 沥青玛蹄脂碎石混合料 Stone mastic asphalt

由沥青结合料与少量的纤维稳定剂、细集料、以及较多量的填料（矿粉）组成的沥青玛蹄脂填充于间断级配的粗集料骨架的间隙，组成一体的沥青混合料，简称 SMA。

2.1.25 密级配沥青混合料 Dense-graded bituminous mixtures

按密实级配原理设计组成的各种粒径颗粒的矿料与沥青结合料拌和而成，设计孔隙率较小（对不同交通及气候情况、层次可作为适当调整）的密实式沥青混凝土混合料（以 AC 表示）和密实式沥青稳定碎石混合料（以 ATB 表示）。按关键性筛孔通过率的不同又可分为细型、粗型密级配沥青混合料等。粗集料嵌挤作用较好的也称嵌挤密实型沥青混合料。

2.1.26 开级配沥青混合料 Open-graded bituminous paving mixtures

矿料级配主要由粗集料嵌挤组成，细集料及填料较少，设计空隙率为18%的混合料。

2.1.27　半开级配沥青混合料　Half（Semi）-open-graded bituminous paving mixtures

由适当比例的粗集料、细集料及少量填料（或不加填料）与沥青结合料拌和而成，经马歇尔标准击实成型试件的剩余空隙率在6%～12%的半开式沥青碎石混合料（以AM表示）。

2.2 符　号

2.2.1 A——面积

2.2.2 AR——橡胶沥青

2.2.3 b——宽度

2.2.4 D——延度

2.2.5 DS——车辙试验动稳定度

2.2.6 F或P——荷载

2.2.7 FB——沥青混合料的粉胶比

2.2.8 FL——流值

2.2.9 h——高度

2.2.10 l——长度

2.2.11 L_b——沥青蒸发损失

2.2.12 L_T——沥青薄膜加热质量损失

2.2.13 m——质量

2.2.14 MS——马歇尔稳定度

2.2.15 OGFC——大孔隙开级配排水式沥青磨耗层

2.2.16 P——针入度

2.2.17 Pa——沥青混合料的油石比

2.2.18 P_{a1}——已建类似工程沥青混合料的标准油石比

2.2.19 P_b——沥青混合料的沥青含量（沥青用量）

2.2.20 P_{be}——有效沥青含量

2.2.21 PE——聚乙烯

2.2.22 P_p——沥青中的蜡含量

2.2.23 R_C——沥青混合料的抗压强度

2.2.24 R_T——沥青混合料的劈裂抗拉强度

2.2.25 S_b——沥青溶解度

2.2.26 SBR——苯乙烯-丁二烯橡胶（丁苯橡胶）

2.2.27 SBS——苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物

2.2.28 SP——软化点

2.2.29 t——时间

2.2.30 T——温度

2.2.31 V——体积

2.2.32 VA——沥青混合料中沥青的体积百分率

2.2.33 VCA_{DRC}——沥青粗集料松装间隙率

2.2.34 VCA_{mix}——沥青混合料中的粗集料间隙率

2.2.35 VFA——沥青混合料有效的沥青饱和度

2.2.36 VMA——沥青混合料的矿料间隙率

2.2.37 VV——沥青混合料的空隙率

2.2.38 W_x——合成矿料的吸水率

2.2.39 γ——相对密度

2.2.40 γ_a——沥青混合料的表观相对密度

2.2.41 γ_b(25℃/25℃) ——沥青与水的相对密度

2.2.42 γ_{CA}——粗集料骨架混合料的平均毛体积相对密度

2.2.43 γ_f——沥青混合料的毛体积相对密度

2.2.44 γ_s——沥青混合料的表干毛体积相对密度（饱和面干毛体积相对密度）

2.2.45 γ_{Sa}——集料的合成表观相对密度

2.2.46 γ_{Sb}——集料的合成毛体积相对密度

2.2.47 γ_{Sbl}——已建类似工程集料的合成毛体积相对密度

2.2.48 γ_{Se}——沥青混合料中合成矿料的有效相对密度

2.2.49 γ_{t}——沥青混合料最大理论相对密度

2.2.50 η——沥青的动力粘度

2.2.51 ν——沥青的运动粘度

2.2.52 ρ——密度

2.2.53 ρ_{a}——沥青混合料的表观密度

2.2.54 ρ_{b}——沥青密度

2.2.55 ρ_{f}——沥青混合料的毛体积密度

2.2.56 ρ_{s}——沥青混合料的表干毛体积密度

2.2.57 ρ_{t}——沥青混合料最大理论密度

3 材料要求

3.1 一般规定

3.1.1 用于拌制沥青混合料的各种原材料经检验合格方可使用。

3.1.2 沥青路面集料不同料源、品种、规格的集料应分仓堆放。

3.2 道路石油沥青

3.2.1 沥青混合料所采用的沥青标号应根据道路等级、气候条件、交通条件、路面类型、混合料设计要求选择，其质量应符合表3.2.1道路石油沥青技术要求的规定。

表 3.2.1 道路石油沥青质量要求

技术指标	单位	等级	沥青标号				试验方法[1]
			110 号	90 号	70 号[3]	50 号[3]	
针入度（25℃，5s，100g）	0.1mm	—	100～120	80～100	60～80	40～60	T0604
针入度指数 PI[1]	—	A[6]	-1.5～+1.0				T0604
		B	-1.8～+1.0				
软化点（R&B），不小于	℃	A	43	45	46	49	T0606
		B	42	43	44	46	
60℃动力粘度[2]，不小于	Pa·s	A	120	160	180	200	T0620
10℃延度[2]，不小于	cm	A	40	20	15	15	T0605
		B	30	15	10	10	
15℃延度，不小于	cm	—	120			100	T0605
蜡含量(蒸馏法），不大于	%	A	2.0				T0615
		B	2.5				
闪点，不小于	℃	—	230	245	260		T0611
溶解度，不小于	%	—	99.5				T0607
密度（15℃）	g/cm^3	—	实测值				T0603

续表 3.2.1

TFOT（或 RTFOT）后[4]							T0610 或 T0609
质量变化，不大于	%	—	±0.8				
残留针入度比（25℃），不小于	%	A	55	57	61	63	T0604
		B	52	54	58	60	
残留延度（10℃），不小于	cm	A	10	8	6	4	T0605
		B	8	6	4	2	

注：1 试验方法按照现行《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E20）规定的方法执行。用于仲裁试验求取 PI 时的 5 个温度的针入度关系的相关系数不得小于 0.997。

2 经建设单位同意，表中 PI 值、60℃动力粘度、10℃延度可作为选择性指标，也可不作为施工质量检验指标。

3 70 号沥青可根据需要要求供应商提供针入度范围为 60～70 或 70～80 的沥青，50 号沥青可要求提供针入度范围为 40～50 或 50～60 的沥青。

4 老化试验以 TFOT 为准，也可以 RTFOT 代替。

5 A 级沥青使用于各个等级的道路和任何场合及层次；B 级沥青使用于城市快速路、主干路沥青下面层及以下层次、城市次干路及支路的各个层次。

3.2.2 沥青必须按品种、标号分开存放，除长期不使用的沥青可放在自然温度下存储外，使用中的沥青在储罐中的贮存温度不宜低于 130℃并不得高于 170℃。

3.3 改性沥青

3.3.1 改性沥青应按使用要求选定相应等级。

3.3.2 改性沥青应选择适宜的基质沥青和改性剂类型，根据已有经验初步确定改性剂用量，并制备改性沥青进行试验确定。

3.3.3 现场制备的改性沥青应随做随用。需要作短时间贮存时，应

保持适宜的温度，应保证改性沥青具有足够的稳定性和使用质量。

3.3.4　各类聚合物改性沥青的质量应符合表 3.3.4 的规定。针入度对比采用几种不同类型改性剂制备的复合改性沥青，根据不同改性剂的类型和剂量比例，按照工程改性的目的和要求，参照表中指标综合确定应该达到的质量要求。

表 3.3.4 聚合物改性沥青的质量指标

技术指标		单位	SBS（Ⅰ）				SBR（Ⅱ）			EVA、PE（Ⅲ）				AR（Ⅳ）
			Ⅰ-A	Ⅰ-B	Ⅰ-C	Ⅰ-D	Ⅱ-A	Ⅱ-B	Ⅱ-C	Ⅲ-A	Ⅲ-B	Ⅲ-C	Ⅲ-D	
针入度（25℃，100g，5s）		0.1mm	＞100	80～100	60～80	40～60	＞100	80～100	60～80	＞80	60～80	40～60	30～40	≥40
延度（5℃，5cm/min），不小于		cm	50	40	30	20	60	50	40	—				10
软化点TR&B，不小于		℃	60	65	65	68	45	48	50	48	52	56	60	60
运动粘度（155℃）[1]，不大于		Pa·s	3											8
闪点，不小于		℃	230				230			230				250
溶解度，不小于		%	99.5				99.5			—				—
离析，软化点差[2]，不大于		℃	2.0				—			无改性剂明显析出、凝聚				—
弹性恢复（25℃），不小于		%	55	60	65	75	—			—				60
粘韧性，不小于		N·m	—				5			—				—
韧性，不小于		N·m	—				2.5			—				—
RTFOT后残留物	质量损失，不大于	%	±1.0											±1.0
	针入度比[3]（25℃），不小于	%	50	55	60	65	50	55	60	50	55	58	60	50
	延度(5℃)，不小于	cm	30	25	20	15	30	20	10	—				5

注：1 表中 155℃运动粘度可采用《公路工程沥青及沥青混合料试验规

程》(JTG E20) 中的“T0625 沥青沥青布氏旋转粘度试验方法（布洛克菲尔德粘度计法)”进行测定。若在不改变改性沥青物理力学性质并符合安全条件的温度下易于泵送和拌和，或经试验证明适当提高泵送和拌和温度时能保证改性沥青的质量，容易施工，可不要求测定。有条件时应测定改性沥青在 60℃时的动力粘度，用毛细管法测定。

2 改性沥青在现场制作后立即使用或贮存期间进行不间断的搅拌或泵送循环时，对离析试验指标可不作要求。

3 对采用几种不同类型改性剂制备的复合改性沥青，根据不同改性剂的类型和剂量比例，按照工程改性的目的和要求，参照表中指标综合确定应该达到的技术要求。

3.3.5 施工单位采购或供应商供应的改性沥青，除性能满足相关规定外，还应注明改性沥青种类和剂量。

3.4 粗集料

3.4.1 用于沥青混合料的粗集料包括碎石、破碎砾石等，应由具有生产许可证的采石场生产或施工单位自行加工。

3.4.2 粗集料的粒径规格应按表 3.4.2 的规定选用。

表 3.4.2 沥青混合料用粗集料规格

规格	公称粒径 (mm)	通过下列筛孔的质量百分率（%）								
		37.5	31.5	26.5	19.0	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6
S1	9.5~31.5	100	90~100	—	—	—	0~15	0~5	—	—
S2	9.5~26.5	—	100	90~100	—	0~15	—	0~5	—	—
S3	9.5~19.0	—	—	100	90~100	—	0~15	0~5	—	—
S4	9.5~16.0	—	—	—	100	90~100	0~15	0~5	—	—
S5	4.75~16.0	—	—	—	100	90~100	40~70	0~15	0~5	—
S6	4.75~9.5	—	—	—	—	100	90~100	0~15	0~5	—
S7	2.36~9.5	—	—	—	—	100	90~100	40~70	0~20	0~5
S8	2.36~4.75	—	—	—	—	—	100	90~100	0~15	0~3

3.4.3 粗集料应洁净、干燥、无风化、无杂质，并具有足够的强

度和耐磨耗性，其质量应符合表 3.4.3 的规定。

表 3.4.3 沥青面层用粗集料质量要求

指　标		单位	城市快速路、主干路	次干路、支路	试验方法
石料压碎值，不大于		%	26（25）	28	T0316
洛杉矶磨耗损失，不大于		%	28	30	T0317
表观相对密度，不小于		—	2.60	2.50	T0304
吸水率，不大于		%	2.0	3.0	T0304
对沥青的粘附性，不小于	表面层	级	5	4	T0616
	下面层	级	4	3	
坚固性，不大于		%	12	/	T0314
细长扁平颗粒含量，不小于		%	15	20	T0312
水洗法<0.075mm 颗粒含量，不大于		%	1	1	T0310
软石含量，不大于		%	3（1）	5	T0320
石料磨光值，不小于		BPN	42	实测	T0321
石料冲击值，不大于		%	28	实测	T0322
具有破碎面颗粒含量（路面表面层）	二个面以上，不小于	%	100	80	T0346
	三个面以上，不小于	%	90	60	
具有破碎面颗粒含量（路面中下面层）	一个面以上，不小于	%	90（80）	70	T0346
	两个面以上，不小于	%	80	50	

注：1 OGFC 沥青混合料可根据城市快速路和主干路、城市次干路和支路的要求选择其技术指标。

2 城市快速路、主干路用 SMA 混合料时应选择括号内的技术指标。

3.4.4　沥青混合料应选用质地致密、坚硬、耐磨、抗冲击性的花岗岩、玄武岩、辉绿岩等材料加工而成的，其形状接近立方体，有良好的嵌挤能力的粗集料，其质量应符合表 3.4.3，不得选用

软质集料。

3.4.5　粗集料与沥青的粘附性应符合表 3.4.3 的要求，当使用不符合要求的粗集料时，应采用本规程第 4.2.4 条规定的抗剥落剂措施。

3.5 细集料

3.5.1　细集料应洁净、干燥、无风化、无杂质并有适当的颗粒级配。其规格应符合表3.5.1-1、表3.5.1-2的规定；质量应符合表3.5.1-3的规定。细集料的洁净程度，天然砂以小于 0.075 mm 含量的百分数表示，石屑和机制砂以砂当量（适用于 0 mm～4.75 mm）或亚甲蓝值（适用于 0 mm～2.36 mm 或 0 mm～0.15 mm）表示。

表 3.5.1-1 沥青面层用天然砂规格

方孔筛（mm）	通过各筛孔的质量百分率（%）		
	粗砂	中砂	细砂
9.5	100	100	100
4.75	90～100	90～100	90～100
2.36	65～95	75～90	85～100
1.18	35～65	50～90	75～100
0.6	15～30	30～60	60～84
0.3	5～20	8～30	15～45
0.15	0～10	0～10	0～10
0.075	0～5	0～5	0～5

表 3.5.1-2 沥青混合料用机制砂或石屑规格

规格	公称粒径（mm）	通过下列筛孔的质量百分率（%）							
		9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
S9	0～5	100	90～100	60～90	40～75	20～55	7～40	2～20	0～10
S10	0～3	—	100	80～100	50～80	25～60	8～45	0～25	0～15

表 3.5.1-3 沥青面层用细集料质量要求

指　　标	单位	城市快速路、主干路	城市次干路、支路	试验方法
表观相对密度，不小于	—	2.55	2.50	T0328
坚固性（＞0.3mm 部分），不小于	%	12	—	T0340
砂当量，不小于	%	60	50	T0334
含泥量（小于 0.075mm 的含量），不大于	%	3	5	T0333
亚甲蓝值，不大于	g/kg	20	25	T0349
棱角性（流动时间），不小于	s	35	30	T0345

注：坚固性试验可根据需要进行。

3.5.2　热拌沥青混合料的细集料宜采用优质的天然砂或机制砂，但天然砂的用量通常不宜超过集料总量的 20%，SMA 不宜使用天然砂。在缺砂地区，也可使用石屑，但城市快速路、主干路沥青混合料面层的石屑用量不宜超过天然砂及机制砂的用量。

3.5.3　细集料应与沥青有良好的粘结能力。与沥青粘结性能很差的天然砂及用花岗岩、石英岩等酸性石料破碎的机制砂或石屑不宜用于城市快速路、主干路沥青面层。当需要使用时，应采用本规程第 4.2.4 条规定的抗剥离措施。

3.6 填　　料

3.6.1　沥青混合料的填料宜采用石灰岩或者岩浆岩中的强基性岩石等憎水性石料经磨细得到的矿粉，原石料中的泥土杂质应除净。矿粉应干燥、洁净，其质量应符合表 3.6.1 的要求。

表 3.6.1 沥青面层用矿粉质量要求

指　标		单位	城市快速路、主干路	城市次干路、支路	试验方法
表观密度，不小于		t/m^3	2.60	2.50	T0352
含水量，不大于		%	1	1	T0103
粒度范围	＜0.6mm	%	100	100	T0351
	＜0.15mm	%	90～100	90～100	
	＜0.075mm	%	75～100	70～100	
外　观		—	无团粒结块		—
亲水系数，小于		—	1		T0353
塑性指数，小于		%	4		T0354
加热安定性		—	实测		T0355

3.6.2　粉煤灰作为填料使用时，其烧失量应小于 12%，塑性指数应小于 4%，其余质量要求与矿粉相同。粉煤灰的用量不宜超过填料总量的 50%，并应经试验确认与沥青有良好的粘结力，沥青混合料的水稳性能应满足要求。城市快速路、主干路的沥青混凝土面层不宜采用粉煤灰作填料。

3.6.3　拌和机采用干法除尘措施回收的粉尘，可作为矿粉的一部分使用，采用湿法除尘措施回收粉尘，使用时应经干燥粉碎处理，且不得含杂质。回收粉尘的用量不得超过填料总量的 25%，掺有粉尘填料的塑性指数不得大于 4%，其余质量要求应与矿粉相同。

3.6.4　改性沥青 SMA 混合料的填料宜采用石灰岩类等碱性岩石经磨细后得到的矿粉。原石料中的泥土杂质应除净，矿粉要求干燥、洁净，并应符合表 3.6.1 的规定。当采用消石灰代替时，用量不应超过混合料总质量的 2%。当缺乏合格的矿粉时，可用强度等级为 32.5 普通硅酸盐水泥代替。

3.6.5　改性沥青 SMA 混合料不得使用回收的粉尘代替矿粉使用。

3.6.6　矿粉应储放在干燥环境中，潮湿或已结块的矿粉不得使

用。

3.7 添加剂

3.7.1 在沥青混合料中掺纤维素稳定剂宜选用木质纤维素、矿物纤维素和有机纤维素等。纤维素的技术性能应符合表 3.7.1 的规定。

表 3.7.1 纤维素的技术性能要求

项　目	单位	指　标	试验方法
纤维长度，不大于	mm	6	水溶液用显微镜观察
灰分含量	%	18±5	高温 590～600℃燃烧后测定残留物
PH 值	-	7.5±1.0	水溶液用 PH 试纸或 PH 计测定
吸油率，不小于	-	纤维质量的 5 倍	用煤油浸泡后放在筛上经振敲后称量
含水率（以质量计），不大于	%	5	105℃烘箱烘 2h 后冷却称量

3.7.2 纤维应在 250℃的干拌温度不变质、不发脆，使用纤维必须符合环保要求，不危害身体健康。纤维必须在混合料拌和过程中能充分分散均匀。

3.7.3 矿物纤维宜采用玄武岩等矿石制造，易影响环境及造成人体伤害的石棉纤维不宜直接使用。

3.7.4 纤维应放在室内或有棚盖的地方，松散纤维在运输及使用过程中应避免受潮，不结团。

3.7.5 纤维稳定剂的掺加比例以沥青混合料总量的质量百分率计算，通常情况下用于 SMA 路面的木质素纤维不宜低于 0.3%，矿物纤维不宜低于 0.4%，必要时可适当增加纤维用量。纤维掺加量的允许误差宜不超过±5%。

3.7.6 沥青混合料是否使用抗剥落剂应通过试验确定，若采用应使用无毒的环保产品，其性能指标应符合表 3.7.6 的规定，掺量

为 0.2%～0.6%。

表 3.7.6 抗剥落剂性能指标

技术性能	氯离子含量(%)	铁离子含量(%)	通过 2mm (%)	含水量(%)	分解温度(℃)	熔点(℃)	PH 值	气味
技术要求	＜1	＞94	＞90	＜5	＞250	90±2	5～7	无/轻微

3.7.7 SMA 沥青混合料可以使用抗车辙剂。其掺量不小于混合料质量 0.3%,性能指标应符合表 3.7.7 的要求。

表 3.7.7 抗车辙剂的性能指标

技术性能	密度（g/cm³）	抗拉强度（MPa）	断裂伸长率（%）	熔体流动率（g/10min）	熔融峰温（℃）
技术要求	≥0.03	≥25	≥8	≥64	≤130

4 技术条件

4.1 一般规定

4.1.1 沥青混合料类型应根据道路等级、经济条件及所处的层位功能确定，常用类型如表 4.1.1 所示。

表 4.1.1 沥青混合料类型

结构层次	城市快速路、主干路		城市次干路、支路
	三层式沥青混合料路面	两层式沥青混合料路面	
上面层	SMA-13	SMA-13	AC-5
	SMA-16	SMA-16	AC-10 OGFC-10
	AC-13 OGFC-13	AC-13 OGFC-13	AC-13 OGFC-13
	AC-16 OGFC-16	AC-16 OGFC-16	AC-16 OGFC-16
中面层	AC-16	—	—
	AC-20	—	—
下面层	AC-20	AC-20	AC-20
	AC-25	AC-25	AC-25

注：上面层的沥青混合料的集料最大粒径不宜超过层厚的1/2，中下面层及联结层的集料最大粒不宜超过层厚的2/3。

4.1.2 沥青混合料的配合比设计试验时，混合料拌和必须模拟实际生产情况，采用沥青混合料拌和机进行。

4.1.3 沥青加热温度及沥青混合料拌和温度和试件制作温度应根据沥青标号及粘度、气候条件确定：

1 沥青结合料的拌和温度宜在 135℃及 175℃条件下测定的粘度－温度曲线按表 4.1.3-1 的规定确定；

表 4.1.3-1 沥青混合料拌和及成型的适宜温度

粘　度	适宜于拌和的沥青结合料粘度	适宜于成型的沥青结合料粘度	测定方法

表观粘度	（0.17±0.02）Pa·s	（0.28±0.03）Pa·s	T0625
运动粘度	（170±20）mm^2/s	（280±30）mm^2/s	T0619
赛波特粘度	（85±10）s	（140±15）s	T0623

2 缺乏粘温曲线数据时沥青混合料拌制工艺及拌和温度应符合表 4.1.3-2 的要求。

表 4.1.3-2 沥青混合料的拌制工艺参数

项　目	热拌沥青混合料（石油沥青）		改性沥青混合料		
集料加热温度	165℃～180℃		180℃～200℃		
拌和阶段	加集料和结合料	加矿粉后	加集料和纤维	加结合料	加矿粉后
拌和时间	15s	20s	15s	15s	20s
拌和温度	150℃～160℃		175℃～185℃		
出料温度	150℃～160℃		170℃～180℃		
沥青加热温度	150℃～160℃		160℃～165℃		
试件制作温度[1]	145℃～155℃		165℃～175℃		

注：SBS 改性沥青加热温度为 170℃～175℃，SBR 改性沥青加热温度为 160℃～165℃,AR 改性沥青加热温度为 180℃～190℃。

4.2 技术要求

4.2.1　各种沥青混合料的矿料级配范围应符合表 5.3-1 至表 5.3-3 的要求。其中 0.075mm、2.36mm、4.75mm 三档筛孔的通过率应接近要求级配的中值。

4.2.2　采用马歇尔试验配合比设计方法，经配合比设计确定的密级配沥青混合料的技术指标应符合表 4.2.2-1 至表 4.2.2-5 的要求，SMA 混合料应同时满足表 4.2.2-3 至表 4.2.2-5 的要求，OGFC 混合料应同时满足表 4.2.2-4 至表 4.2.2-5 的要求，并应具有良好的施工性能。当采用其他方法设计沥青混合料时，应按马歇尔试验及各项配合比设计检验。

表 4.2.2-1 沥青混合料配合比设计技术要求

试验项目		单位	密级配沥青混合料		SMA 混合料	试验方法
			普通	改性	改性	
马歇尔试验	击实次数 （双面）	次	75		50	T0702
	稳定度，不小于	kN	8		6.0	T0709
	流值	mm	2～4		—	T0709
	空隙率 VV	%	3～6		3～4	T0705
	饱和度 VFA[1]	%	60～75		75～85	T0705
	矿料间隙率VMA，不小于	%	见注[2]		17.0	T0705
	48h 残留稳定度大于	%	80		80	T0709
冻融劈裂试验的残留稳定度比，不小于		%	75	80	80	T0729
60℃ / 65℃车辙动稳定度 ，不小于		次/mm	1000	2800	5000	T0719

注：1 沥青混合料的沥青饱和度（VFA）可不作要求。

2 沥青混合料的矿料间隙率（VMA）应符合下列表 4.2.2-2 要求。

表 4.2.2-2 沥青混合料的矿料间隙率（%）

	设计空隙率	相应于以下公称最大粒径（mm）的最小 VMA					
		26.5	19	16	13.2	9.5	4.75
矿料间隙率（VMA）	2	10	11	11.5	12	13	15
	3	11	12	12.5	13	14	16
	4	12	13	13.5	14	15	17
	5	13	14	14.5	15	16	18
	6	14	15	15.5	16	17	19

表 4.2.2-3 SMA 混合料配合比设计技术要求（%）

检验项目	技术要求		试验方法
	非改性	改性	
谢伦堡沥青析漏试验的结合料损失，不大于	0.2	0.1	T0732
肯塔堡飞散试验的混合料损失（20℃），不大于	20	15	T0733
粗集料骨架间隙率 VCA_{mix} ，不大于	VCA_{DRC}		T0705

注：试验粗集料骨架间隙率 VCA 的关键性筛孔，对 SMA-16 是指 4.75 mm，对 SMA-13、SMA-10 是指 2.36 mm。

表 4.2.2-4 OGFC 混合料配合比设计技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
马歇尔试件尺寸	mm	φ101.6×63.5	T0702
马歇尔试件击实次数	—	两面击实 50 次	T0702
空隙率	%	18～25	T0705
马歇尔稳定度，不小于	kN	3.5	T0709
析漏损失，小于	%	0.3	T0732
肯塔堡飞散损失 ，小于	%	20	T0733
动稳定（20℃），不小于	次/mm	3000（主干路和快速路）、1500（次干路）	T0719

表 4.2.2-5 沥青混合料配合比设计试件渗水系数技术要求

级配类型	渗水系数要求（ml/min）	试验方法
密级配沥青混凝土	≤120	T 0730
SMA 混合料	≤80	
OGFC 混合料	实测	

4.2.3 密级配沥青混合料和 OGFC 沥青混合料配合比设计用的最大理论密度或最大理论相对密度应根据实测数据计算；SMA 改性沥青混合料配合比设计用的最大理论密度或最大理论相对密度宜采用计算法。

4.2.4 用于重车多的城市快速路、主干路的石料为酸性岩石时，

宜使用针入度小的沥青，并应采用下列抗剥离措施，使沥青与矿料的粘附性符合表 3.4.3 的要求：

1 当使用干燥的磨细的消石灰或生石灰、水泥做替代部分填料时，其用量宜为矿料总量的 1%～2%；

2 当使用不符合要求的集料时，宜掺加消石灰、水泥或用饱和石灰水处理后使用，必要时可同时在沥青中掺加耐热、耐水、长期性能好的抗剥落剂，可采用改性沥青的措施，使沥青混合料的水稳定性检验达到要求。掺入外加剂的剂量由沥青混合料的水稳定性检验确定。

5 目标配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1　沥青混合料的配合比设计应包括目标配合比设计、生产配合比设计和生产配合比验证等三个阶段，以确定沥青混合料的材料品种、矿料级配及最佳沥青用量。

5.1.2　混合料的配合比设计宜采用马歇尔试件体积设计方法，并对设计的沥青混合料进行水稳定性和高温稳定性检验。若采用其他方法时应按规定检验马歇尔试验方法进行检验。

5.1.3　配合比设计各阶段都应进行马歇尔试验，其技术指标应符合表 4.2.2-1 至表 4.2.2-5 的规定，应充分考虑施工性能，使沥青混合料容易摊铺和压实，避免造成严重离析。

5.1.4　配合比设计程序应按图 5.1.4 进行。

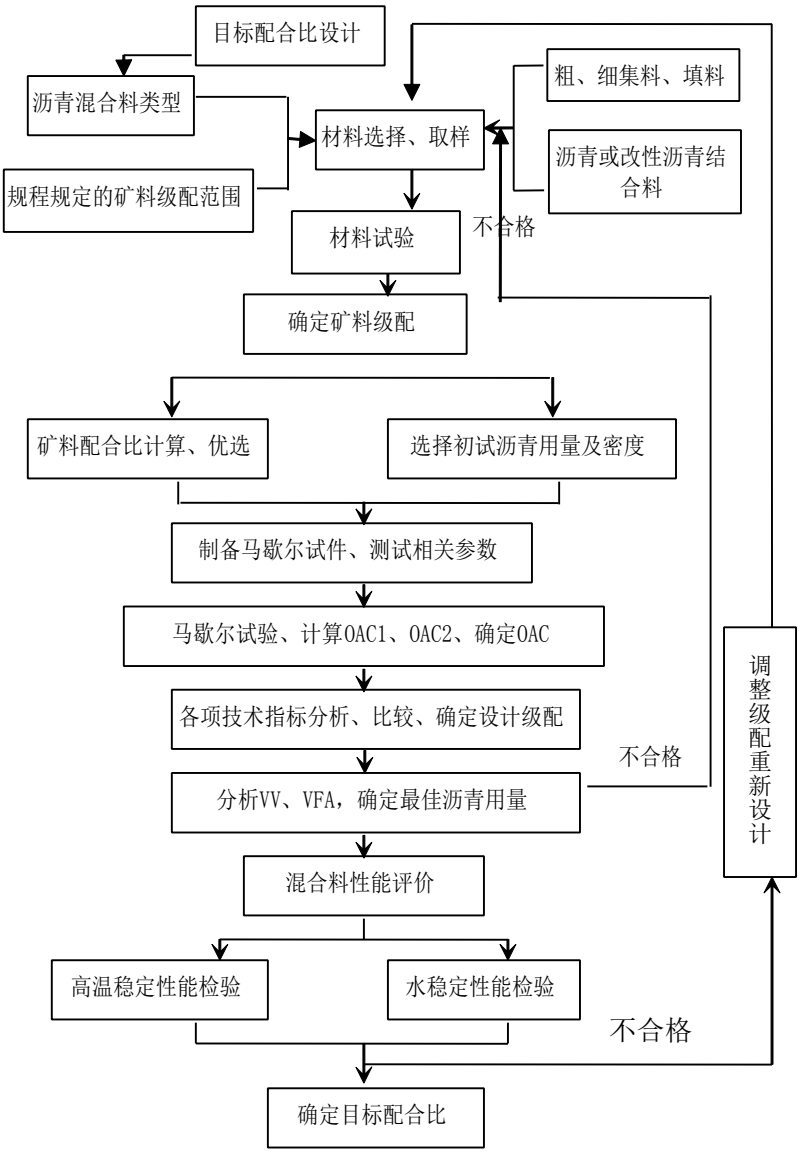


图 5.1.4　沥青混合料配合比设计程序图

5.2 材料的选择

5.2.1　沥青混合料配合比设计所用的沥青、改性沥青应先抽取代表性试样进行检验，其各项技术指标必须符合表 3.2.1 至表 3.3.3 的规定。

5.2.2　各类混合料配合比所用的粗、细集料与填料应通过筛分，各种矿料的筛分曲线、规格及质量必须符合表 3.4.2、表 3.4.3、表 3.5.1-1、表 3.5.1-2、表 3.5.1-3 以及 3.6.1 的要求。

5.2.3　当单一规格的集料筛分指标不合格，但不同粒径规格的材料按级配组成的集料混合料指标能符合本规程要求时允许使用。

5.3 混合料配合比范围

5.3.1　沥青混合料设计应考虑路面的高温稳定性和抗水损害性能。

5.3.2　沥青混合料的配合比级配范围应采用体积设计法与正交试验方法 $L_9(3^4)$ 正交表进行优化设计，并采用车辙动稳定度和常用的马歇尔稳定度双重控制。

5.3.3　沥青混合料的配合比设计级配范围由工程设计文件或招标文件规定，并可根据沥青混合料类别直接以表（5.3.3-1～5.3.3-3）中规定的级配范围作工程设计级配范围使用，经确定的工程设计级配范围是沥青混合料目标配合比设计的依据，不得随意变更。

表 5.3.3-1 密级配沥青混合料级配范围

级配类型		通过下列筛孔（mm）的质量百分率（%）												
		31.5	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
粗粒式	AC-25	100	95～100	77～85	67～75	50～65	47～55	30～37	24～30	15～19	13～15	10～13	4～10	4～6
中粒式	AC-20	—	100	95～97	75～80	62～68	52～58	35～40	28～34	20～24	15～19	10～14	6～10	5～7
	AC-16	—	—	100	95～100	65～80	50～60	28～40	24～32	18～22	14～18	10～14	7～10	5～7
细粒式	AC-13	—	—	—	100	95～100	60～80	28～42	23～30	18～23	14～19	10～13	7～10	5～7
	AC-10	—	—	—	—	100	90～100	45～75	30～58	20～44	13～32	9～23	6～16	4～8
砂粒式	AC-5	—	—	—	—	—	100	90～100	55～75	35～55	20～40	12～28	7～28	5～10

表 5.3.3-2 SMA 改性沥青混合料级配范围

级配类型		通过下列筛孔（mm）的质量百分率（%）												
		26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	纤维用量
中粒式	SMA-20	100	90～100	72～92	62～82	40～55	18～30	13～22	12～20	10～16	9～14	8～13	8～12	0.2～0.4
	SMA-16	—	100	90～100	65～85	40～65	20～32	16～28	14～22	12～18	11～16	10～15	8～12	0.2～0.4
细粒式	SMA-13	—	—	100	95～100	50～75	25～33	23～28	19～23	15～19	13～15	10～13	8～12	0.3～0.5
	SMA-10	—	—	—	100	90～100	30～40	20～30	14～23	13～20	12～16	10～15	8～12	0.3～0.4
砂粒式	SMA-5	—	—	—	—	100	50～70	25～35	21～26	16～25	13～22	12～18	10～13	0.3～0.4

表 5.3.3-3 OGFC 开级配沥青混合料级配范围

级配类型		通过下列筛孔（mm）的质量百分率（%）										
		19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
中粒式	OGFC-16	100	90~100	70~90	45~70	12~30	10~22	6~18	4~15	3~13	3~8	2~6
	OGFC-13	—	100	90~100	60~80	12~30	10~22	6~18	4~15	3~13	3~8	2~6
细粒式	OGFC-10	—	—	100	90~100	50~70	10~22	6~18	4~15	3~13	3~8	2~6

5.4 选择设计集料级配

5.4.1 根据拟设计的混合料类型与各料堆集料及填料的颗粒组成，按试配法组合成三种试验级配，一组级配位于本规程规定的级配范围（表 5.3.3-1～表 5.3.3-3）的中值，另外两组按照本规程规定的级配范围的上、下限。4.75mm、2.36mm 通过率按中值±5%左右考虑，(SMA 级配 4.75mm、2.36mm 通过率按±3%左右考虑)，0.075mm 通过率应在中值附近。确定粗、中、细每一种试验级配混合料组合集料的毛体积相对密度和表观相对密度见式（5.4.1-1）和（5.4.1-2）：

$$\gamma_{sb}=\frac{100}{\frac{P_1}{\gamma_1}+\frac{P_2}{\gamma_2}+\ldots+\frac{P_n}{\gamma_n}} \qquad (5.4.1\text{-}1)$$

$$\gamma_{sa}=\frac{100}{\frac{P_1}{\gamma_1'}+\frac{P_2}{\gamma_2'}+\ldots+\frac{P_n}{\gamma_n'}} \qquad (5.4.1\text{-}2)$$

式中：r_{sb}——混合料组合集料的毛体积相对密度，无量纲；

r_{sa}——混合料组合集料的表观相对密度，无量纲；

P_1、$P_2 \ldots P_n$——各种集料在矿料配合比中的比例，其和为100%；

γ_1、$\gamma_2 \cdots \gamma_n$——各种集料相应的毛体积相对密度，无量纲；

γ'_1、$\gamma'_2 \cdots \gamma'_n$——各种集料相应的表观相对密度，无量纲。

5.4.2 选择混合料初试沥青用量Pb：

1 初试沥青用量Pb，应接近于最佳沥青用量。建议按混合料的设计空隙率VV、集料最小间隙率VMA与组合集料毛体积相对密度γ_{Sb}，按式（5.4.2-1）计算：

$$Pb=1.18+0.982\times(VMA-VV)/\gamma_{sb} \qquad (5.4.2\text{-}1)$$

式中：Pb——初试沥青含量（占混合料总量的百分数），%；

VMA——压实混合料集料间空隙率，选用表5.4.2中最小值+0.5%计算，再按试验结果进行校正，%；

VV——压实混合料空隙率，可取设计空隙率4%，%。

表5.4.2 集料间隙率选用的最小值

标称集料最大质量尺寸（mm）	26.5	19	16	13.2	9.5
VMA最小值（%）	12	13	13.5	14	15

2 计算预估沥青混合料的适宜的油石比P_a或沥青用量为P_b，按式（5.4.2-2）或式（5.4.2-3）计算：

$$P_a=\frac{\gamma_{sbl}\times p_{al}}{\gamma_{sb}} \qquad (5.4.2\text{-}2)$$

$$p_b=\frac{P_a}{100+p_a}\times 100 \qquad (5.4.2\text{-}3)$$

式中：P_a——预估的最佳油石比（与矿料总量的百分比），%；

P_b——预估的最佳沥青用量（占混合料总量的百分比），%；

P_{al}——已建类似工程沥青混合料的标准油石比，%；

γ_{Sb}——混合料组合集料的毛体积相对密度，无量纲；

γ_{Sb1}——已建类似工程-混合料组合集料毛体积相对密度，无量纲。

5.4.3　确定室内混合料拌和与压实温度应符合 4.1.4 的规定。

5.4.4　拌制沥青混合料试样成型，选择最佳设计沥青含量；三种级配每种 6 个试样。每一试样都采用同一初试沥青用量进行拌制，每一试样质量均约为 1200g。将拌和好的试样中的 4 个进行击实，击实次数按表 4.2.2-1 和表 4.2.2-4 要求，制成马歇尔试件。剩余 2 个试样按真空饱水法测定最大理论密度 γt（取两次平行试验）。

5.4.5　试验结果分析

对 3 种级配的试验结果 VMA、VFA、马歇尔稳定度与流值均应符合表 4.2.2-1 的规定，VV 值最接近于设计值（或中值）的级配为最佳级配或设计级配。

5.5 最佳沥青用量的确定

5.5.1 根据集料配合比例，称取各档集料，以估计沥青用量为中值，对密级配沥青混合料通常按 0.5%间隔变化，对 SMA 混合料通常按 0.3%间隔变化，取 5 个不同沥青用量进行马歇尔试验，且应按±5%分级为 5 种。

5.5.2 马歇尔试件的成型及击实次数应按表 4.2.2-1 的规定，按下列的方法测定试件的密度并计算空隙率、沥青饱和度、矿料间隙率、粗集料骨架间隙率等物理指标，进行体积组成分析：

1 表观密度。试件表面致密、不吸水、称取试件在水中重，按式（5.5.2-1）计算试件表观密度 ρ_a，精确至 0.001：

$$\rho_{\mathrm{a}}=\frac{m_a}{m_a-m_w}\rho_w \qquad (5.5.2\text{-}1)$$

式中：m_a——干燥试件在空气中重，g；

m_w——试件在水中重（应无气泡逸出），g；

ρ_w——常温水的密度（≈1），g/cm^3。

2 毛体积密度。试件表面有麻点，吸水率小于 2%，按式(5.5.2-2)计算试件毛体积相对密度及按式(5.5.2-3)计算毛体积密度，精确至 0.001：

$$r_f=\frac{m_a}{m_f-m_w} \qquad (5.5.2\text{-}2)$$

$$\rho_f=\frac{m_a}{m_f-m_w}\times\rho_w \qquad (5.5.2\text{-}3)$$

式中：r_f——用表干法测定的试件毛体积相对密度，无量纲；

ρ_f——用表干法测定的试件毛体积密度，g/cm^3；

m_f——试件表干质量，g。

3 确定矿料的有效相对密度：

1）非改性沥青混合料，宜以选择混合料初始沥青用量拌和 2 组的混合料，采用真空法实测最大相对密度，取平均值。然后由式（5.5.2-4）反算合成矿料的有效相对密度γ_{Se}：

$$\gamma_{se}=\frac{100-P_b}{\frac{100}{\gamma_t}-\frac{p_b}{\gamma_b}} \qquad (5.5.2\text{-}4)$$

式中：r_{se}——合成矿料的有效相对密度，无量纲；

p_b——试验采用的沥青用量（占混合料总量的百分率），%；

γ_t——试验沥青用量条件下实测得到的最大理论相对密度，无量纲；

γ_b——沥青的相对密度（25℃/25℃），无量纲。

2）改性沥青及 SMA 等难以分散的混合料，有效相对密度宜直接由矿料的合成毛体积相对密度与合成表观相对密度按式（5.5.2-5）计算确定，其中沥青吸收系数 C 值根据材料的吸水率由式（5.5.2-6）求得，材料的合成吸水率按式（5.5.2-7）计算：

$$\gamma_{se}=C\times\gamma_{sa}+(1-C)\times\gamma_{sb} \qquad (5.5.2\text{-}5)$$

$$C=0.033w_x^2-0.2936w_x+0.9339 \qquad (5.5.2\text{-}6)$$

$$w_x=\left(\frac{1}{\gamma_{sb}}-\frac{1}{\gamma_{sa}}\right)\times 100 \qquad (5.5.2\text{-}7)$$

式中：C——合成矿料的沥青吸水系数，无量纲；

w_x——合成矿料的沥青吸水率，%。

4 确定沥青混合料的最大理论相对密度和最大理论密度，精确至 0.001：

1）对非改性沥青的普通沥青混合料，只对其中一组油石比测定最大理论相对密度时，可按式（5.5.2-8）或式（5.5.2-9）计算其他不同油石比时的最大理论相对密度γ_t；

2)对改性沥青的沥青混合料按式(5.5.2-8)或式(5.5.2-9)计算各个不同沥青用量的最大理论相对密度γ_t；

3）对 SMA 沥青混合料按式（5.5.2-10）计算各个不同沥青用量的最大理论相对密度γ_t,其中纤维部分的比例不得忽略。

$$\gamma_t = \frac{100 + P_a}{\frac{100}{\gamma_{se}} + \frac{P_a}{\gamma_b}} \qquad (5.5.2\text{-}8)$$

$$\gamma_t = \frac{100 + P_a}{\frac{p_s}{\gamma_{se}} + \frac{P_b}{\gamma_b}} \qquad (5.5.2\text{-}9)$$

$$\gamma_t = \frac{100 + P_a + p_x}{\frac{100}{\gamma_{se}} + \frac{P_a}{\gamma_b} + \frac{p_x}{\gamma_x}} \qquad (5.5.2\text{-}10)$$

式中： γ_t——最大理论相对密度，无量纲；

P_a——所计算的沥青混合料中的油石比，%；

P_b——所计算的沥青混合料中的沥青用量，

$p_b = p_a/(1+p_a)$，%；

P_s——所计算的沥青混合料的矿料含量，

$p_s = 100 - p_b$，%；

γ_{se}——矿料的有效相对密度，无量纲；

p_x——纤维用量，以矿料质量的百分数计，%；

γ_x——纤维稳定剂的密度，无量纲。

5 试件的理论最大密度按式（5.5.2-11）计算：

$$\rho_t = \gamma_t \times \rho_w \qquad (5.5.2\text{-}11)$$

式中： ρ_t——理论最大密度，g/cm^3。

6 按式（5.5.2-12）～式（5.5.2-14）计算沥青混合料试件的空隙率 VV、矿料间隙率 VMA、有效沥青饱和度 VFA 等体积指标，精确至 0.1，进行体积组成分析：

$$VV = \left(1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_t}\right) \times 100 \qquad (5.5.2\text{-}12)$$

$$VMA=\left(1-\frac{\gamma_f}{\gamma_{sb}}\times p_s\right)\times 100 \qquad (5.5.2\text{-}13)$$

$$VFA=\frac{VMA-VV}{VMA}\times 100 \qquad (5.5.2\text{-}14)$$

式中：VFA——沥青混合料试件的沥青饱和度，%。

7 粗集料间隙率：

1）SMA 马歇尔试件中的粗集料骨架间隙率可按式（5.5.2-15）计算，精确至 0.1：

$$VCA_{mix}=\left(1-\frac{\gamma_f}{\gamma_{ca}}\times P_{CA}\right)\times 100 \qquad (5.5.2\text{-}15)$$

式中：VCA_{mix}——沥青混合料中粗集料骨架之外的体积（通常指小于 4.75mm 粗细集料、矿粉、沥青及空隙）占总体积的比例，%；

P_{CA}——沥青混合料中粗集料的比例（由 $P_{ca}=P_s\times PA_{4.75}$ 计算，$PA_{4.75}$ 为矿料级配中 4.75mm 筛余量，即 100 减去 4.75mm 通过率之差），%。

2）粗集料骨架部分的平均毛体积相对密度，由式（5.5.2-16）计算，各组初试级配的捣实状态下的粗集料松装间隙率 VCA_{DRC}，可按式（5.5.2-17）计算：

$$\gamma_{CA}=\frac{P_1+P_2+\cdots+P_n}{\frac{P_1}{\gamma_1}+\frac{P_2}{\gamma_2}+\cdots+\frac{P_n}{\gamma_n}} \qquad (5.5.2\text{-}16)$$

$$VCA_{DRC}=\left(1-\frac{\gamma_s}{\gamma_{CA}}\right)\times 100 \qquad (5.5.2\text{-}17)$$

式中：γ_{CA}——粗集料骨架部分的平均毛体积相对密度，无量纲；

γ_s——粗集料骨架的松方毛体积相对密度，无量纲。

5.5.3　进行马歇尔试验，测定马歇尔稳定度及流值等物理力学性质。选择的沥青用量范围应使密度及稳定度曲线出现峰值。

5.5.4 按图 5.5.4 的方法，以沥青用量为横坐标，以测定的各项指标为纵坐标，分别将试验结果点入图中，连成圆滑的曲线。

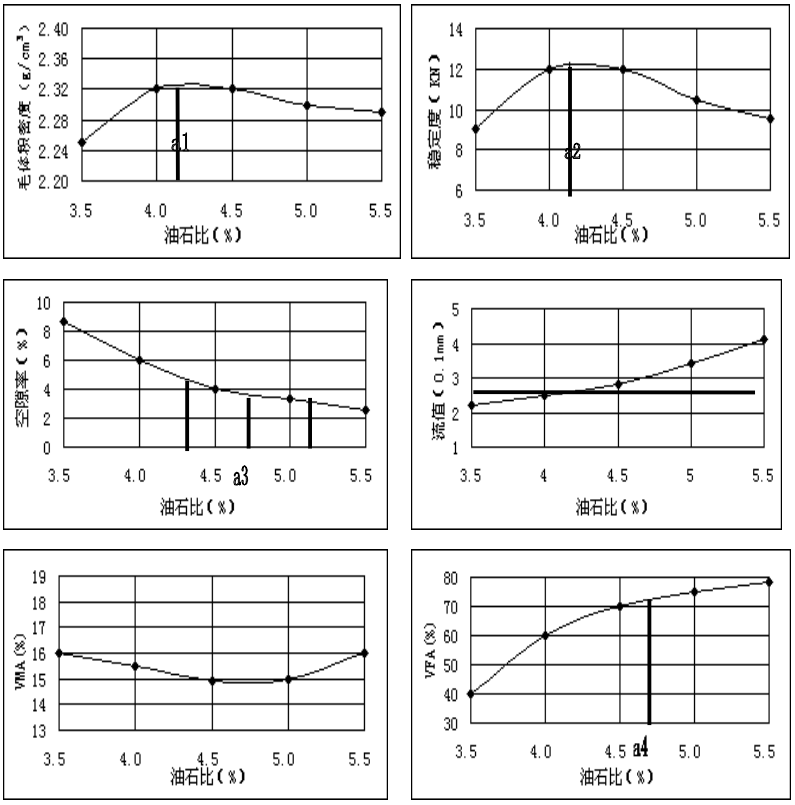


图 5.5.4 马歇尔试验结果示例

5.5.5　根据试验曲线的走势，确定沥青混合料的最佳沥青用量 OAC_1：

1 从图 5.5.4 中求取相应于密度最大值、稳定度最大值、目标空隙率（或中值）、沥青饱和度范围的中值的沥青用量 a_1、a_2 、a_3 、a_4。按式（5.5.5-1）求取平均值作为 OAC_1：

$$OAC_1 = （a_1 + a_2 + a_3 + a_4）/4 \qquad （5.5.5\text{-}1）$$

2 如果在所选的沥青用量范围未能涵盖沥青饱和度的要求范围，按式（5.5.5-2）求取 3 者的平均值作为 OCA_1：

$$OAC_1 = （a_1 + a_2 + a_3）/3 \qquad （5.5.5\text{-}2）$$

3 对所选试验的沥青用量范围，密度或稳定度没有出现峰值（最大值经常在曲线的两端）时，可直接以目标空隙率所对应的沥青用量 a_3 作为 OAC_1，但 OAC_1 必须介于 OAC_{min}～OAC_{max} 的范围内，否则应重新进行配合比设计。

5.5.6 求出各项指标均符合表 4.2.2-1 沥青混合料技术标准（不含 VMA）的沥青用量范围 OAC_{min}～OAC_{max}，按式（5.5.6）求取中值 OAC_2：

$$OAC_2 = （OAC_{min} + OAC_{max}）/2 \qquad （5.5.6）$$

5.5.7 通常情况下取 OAC_1 及 OAC_2 的中值作为计算的最佳沥青用量 OAC：

$$OAC = （OAC_1 + OAC_2）/2 \qquad （5.5.7）$$

5.5.8 按式（5.5.7）计算的最佳油石比 OAC,从图 5.5.4 中得出所对应的空隙率和 VMA 值，检验是否能满足本规程表 4.2.2-1 关于最小 VMA 值的要求。OAC 宜位于 VMA 凹形曲线最小的贫油一侧。当空隙率不是整数时，最小 VMA 按内插法确定，并将其图画入图 5.5.4 中。

5.5.9 检查图 5.5.4 中相应于此 OAC 的各项指标是否均符合马歇

尔试验技术标准。

5.5.10　根据实践经验和道路等级、气候条件、交通情况，调整确定最佳沥青用量OAC：

1 调查当地各项条件相接近的工程的沥青用量及使用效果，论证适宜的最佳沥青用量。检查计算得到最佳沥青用量是否相近，如相差甚远，应查明原因，必要时重新调整配合比设计；

2 城市快速路、主干路，预计有可能造成较大车辙的情况时，宜在空隙率符合要求的范围内将计算的最佳沥青用量减少0.1%～0.5%作为设计沥青用量；

5.5.11 沥青混合料被集料吸收的比例及有效沥青含量，可按式（5.5.11-1）及式（5.5.11-2）计算：

$$p_{ba}=\frac{\gamma_{se}-\gamma_b}{\gamma_{se}\times\gamma_{sb}}\times\gamma_b\times 100 \qquad (5.5.11\text{-}1)$$

$$p_{be}=p_b-\frac{p_{ba}}{100}\times p_s \qquad (5.5.11\text{-}2)$$

式中：p_{ba}——沥青混合料中被集料吸收的沥青结合料比例，%；

p_{be}——沥青混合料中的有效沥青含量，%。

5.5.12 检验最佳沥青用量时的粉胶比和有效沥青膜厚度：

1 按式（5.5.12）计算沥青混合料的粉胶比，宜符合0.6～1.6的要求。对常用的公称最大粒径为13.2mm～19mm的密级配沥青混合料，粉胶比宜控制在0.8～1.2范围内；对于SMA沥青混合料粉胶比宜控制在0.8～1.5范围内：

$$FB=\frac{p_{0.075}}{--} \qquad (5.5.12\text{-}1)$$

式中： FB——粉胶比，沥青混合料的矿料中0.075mm通过率与有效沥青含量的比值（无量纲）；

$p_{0.075}$——矿料级配中0.075mm的通过率（水洗法）（%）。

2 按式（5.5.12-2）的方法计算集料的比表面，按式（5.5.12-3）估算沥青混合料的沥青膜有效厚度。各种集料粒径的表面积系数按表5.5.12采用：

$$SA=\sum(P_i\times FA_i) \qquad (5.5.12\text{-}2)$$

$$DA=\frac{P_{be}}{\gamma_b\times SA}\times 10 \qquad (5.5.12\text{-}3)$$

式中：SA——集料的比表面积，m^2/kg；

P_i——各种粒径的通过百分率，%；

FA_i——相应于各种粒径的集料的表面积系数，如表5.5.12所列；

DA——沥青膜有效厚度，μm。

注：各种公称最大粒径混合料中大于4.75mm尺寸集料的表面积系数FA均取0.0041，且只计算一次，4.75mm以下部分的FA_i如表5.5.12所示。该例的SA=6.60m^2/kg。若混合料的有效沥青含量为4.65%，沥青的相对密度1.03，则沥青膜厚度为DA=4.65/（1.03×6.60）×10=6.83μm。

表 5.5.12 集料的表面积系数计算示例

筛孔尺寸（mm）	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	集料比表面总和SA（m^2/kg）
表面积系数FA_i	0.0041	-	-	-	0.0041	0.0082	0.0164	0.0287	0.0614	0.1229	0.3277	
通过百分率P_i(%)	100	92	85	76	60	42	32	23	16	12	6	
比表面$FA_i \times P_i$（m^2/kg）	0.41	-	-	-	0.25	0.34	0.52	0.66	0.98	1.47	1.97	6.60

3 对每一组初选的矿料级配，按式（5.5.12-4）计算集料的表面积。根据希望的沥青膜厚度，按式（5.5.12-5）计算每一组混合料的初试沥青用量P_b。通常情况下，OGFC 的沥青膜厚度 h 宜为 14μm：

$$A=(2+0.02a+0.04b+0.08c+0.14d+0.3e+0.6f+1.6g)/48.74 \quad (5.5.12\text{-}4)$$

$$P_b=h\times A \quad (5.5.12\text{-}5)$$

式中：A——集料总的表面积。

a、b、c、d、e、f、g——代表 4.75mm、2.36mm、1.18mm、0.6mm、0.3mm、0.15mm、0.075mm 筛孔的通过百分率，%。

5.6 沥青混合料配合比设计性能检验

5.6.1 城市快速路和主干路的沥青混合料，需在配合比设计的基础上按本规程要求进行各种使用性能的检验，不符合要求的沥青混合料必须更换材料，重新进行混合料配合比设计；城市次干路、支路或其它等级道路的沥青混合料可参照执行。

5.6.2 高温稳定性检验。按规定的试验方法进行车辙动稳定性试验，动稳定度应符合本规程表 4.2.2-1 和表 4.2.2-3 的要求。

5.6.3　水稳定性检验。按规定的试验方法进行浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验，残留稳定度及残留稳定度比均必须符合本规程表4.2.2-1的要求。

5.6.4　渗水系数检验。轮碾机成形的车辙试件应进行渗水试验，检验的渗水系数宜符合本规程表4.2.2-5的要求。

5.6.5　SMA或改性沥青混合料和OGFC开级配沥青混合料的配合比设计验证还必须进行谢伦堡析漏试验及肯得堡飞散试验。检验结果应符合本规程表4.2.2-3或表4.2.2-4的要求。

6 配合比调整和报告

6.1 配合比调整

6.1.1　当最佳沥青用量、稳定度、流值、空隙率、饱和度等配合比指标不符合本规程表 4.2.2-1 规定时，应查明原因，重新进行配合比设计。

6.1.2　应按最佳沥青用量（OAC）制作的马歇尔试件进行浸水马歇尔试验或真空饱水后的浸水马歇尔试验，当残留稳定度不符合本规程表 4.2.2-1 规定时，应重新进行配合比设计，并按本规程第 4.2.4 条的规定采取抗剥离措施重新试验，直到符合要求为止。

6.1.3　当最佳沥青用量（OAC）与两个初始值 OAC_1、OAC_2 相差较大时，宜按 OAC 与 OAC_1 或 OAC_2 分别制作试件，进行残留稳定度试验和车辙动稳定性试验，根据试验结果对 OAC 作适当调整。

6.1.4　按最佳沥青用量（OAC）制作车辙试件，在 60℃条件下用车辙机检验其高温抗车辙能力。当动稳定度不符合本规程表 4.2.2-1 或表 4.2.2-4 的规定时，应对矿料级配或沥青用量进行调整，重新进行配合比设计。

6.1.5　矿料间隙率不符合本规程表 4.2.2-1 要求时，应查明原因，根据混合料的具体情况调整集料配合比，或者更换集料。

6.1.6　SMA 或 OGFC 沥青混合料的析漏、飞散、渗水试验的技术指标不符合本规程表 4.2.2-3 和表 4.2.2-5 的规定时，应查明原因，重新进行配合比设计。

6.2 混合料配合比设计报告

6.2.1　混合料配合比设计报告应包括工程设计级配范围说明、材

料品种选择与原材料试验结果、矿料级配、最佳沥青用量，以及各项体积参数指标、配合比设计检验结果等内容，并绘制矿料级配曲线图。

6.2.2　设计报告还应包括不同沥青用量条件下的各项试验结果，并对施工压实工艺的技术提出建议。

7 生产配合比设计与确定

7.1 生产配合比的设计

7.1.1 进行混合料生产配合比设计时，所需的热仓料应该按设计的料堆集料的比例送料，应根据冷料仓的送料速度与电机转速的关系曲线，选定相应的电机转速进行送料。

7.1.2 生产配合比以二次筛分后的热料仓材料级配为基础，将热仓料的各种热集料与填料重新进行级配组合，采用试配法使合成级配最大限度与设计级配相一致。4.75mm、2.36mm 二档筛孔的通过率应为要求级配中值的±3%，0.075mm 应控制在±2%以内。

7.1.3 因集料进入干燥鼓后其中粉料组份将被载入高温热气流中，并经排气管道进入集尘系统。有的拌和装置在干燥鼓中满载粉尘的热气流中，较粗的粉尘部分被回收进入提升机，很细的粉尘部分则进入集尘系统。由于进入热仓料的集料失去部分粉料，故生产配比中，矿粉将有所增加，作为失去粉料的补充。

7.1.4 对进入集尘系统粉料，应进行筛分试验与塑性指数试验，确定其可利用性。回收粉用量按本规程第 3.6.3 的规定。

7.1.5 根据热仓集料与填料的重新组合，按试配法获得与设计级配相吻合的合成级配。生产配合比应包括合成级配、各种热料集料与填料的比例及沥青用量，即构成混合料的生产配合比。

7.2 生产配合比试拌与检验

7.2.1　应按所确定的生产配合比与施工温度进行混合料试拌，数量宜为 4～5 盘。

7.2.2　应对试拌混合料进行外观检查，逐盘查看混合料是否拌和

均匀，是否出现花料或集料颗粒未被充分涂覆。确定适合的拌和温度与拌和时间，获得均匀一致的混合料。

7.2.3　从第 4 盘、第 5 盘采取 2 个试样，在室内进行抽提(燃烧)与筛分，并进行马歇尔试验。检验混合料级配组成、沥青含量与马歇尔特性同设计的一致。

7.2.4　经生产配合比设计确定的油石比必须经过配合比设计检验及试验段铺筑认定。

附录 A Superpave 沥青混合料配合比设计

A.1 Superpave 沥青混合料设计

Superpave 沥青混合料设计法是美国公路战略研究计划(SHRP)的研究成果之一。Superpave 是 Superior Performing Asphalt Pavements 的缩写，中文意思是“优良性能的沥青路面”。Superpave 沥青混合料设计方法是一种全新的沥青混合料设计方法，包含沥青胶结料的标准、沥青混合料体积设计方法、沥青混合料分析体系、计算机软件以及相关的试验设备、试验方法和标准。Superpave 沥青混合料体积设计法流程图见图 A.1。

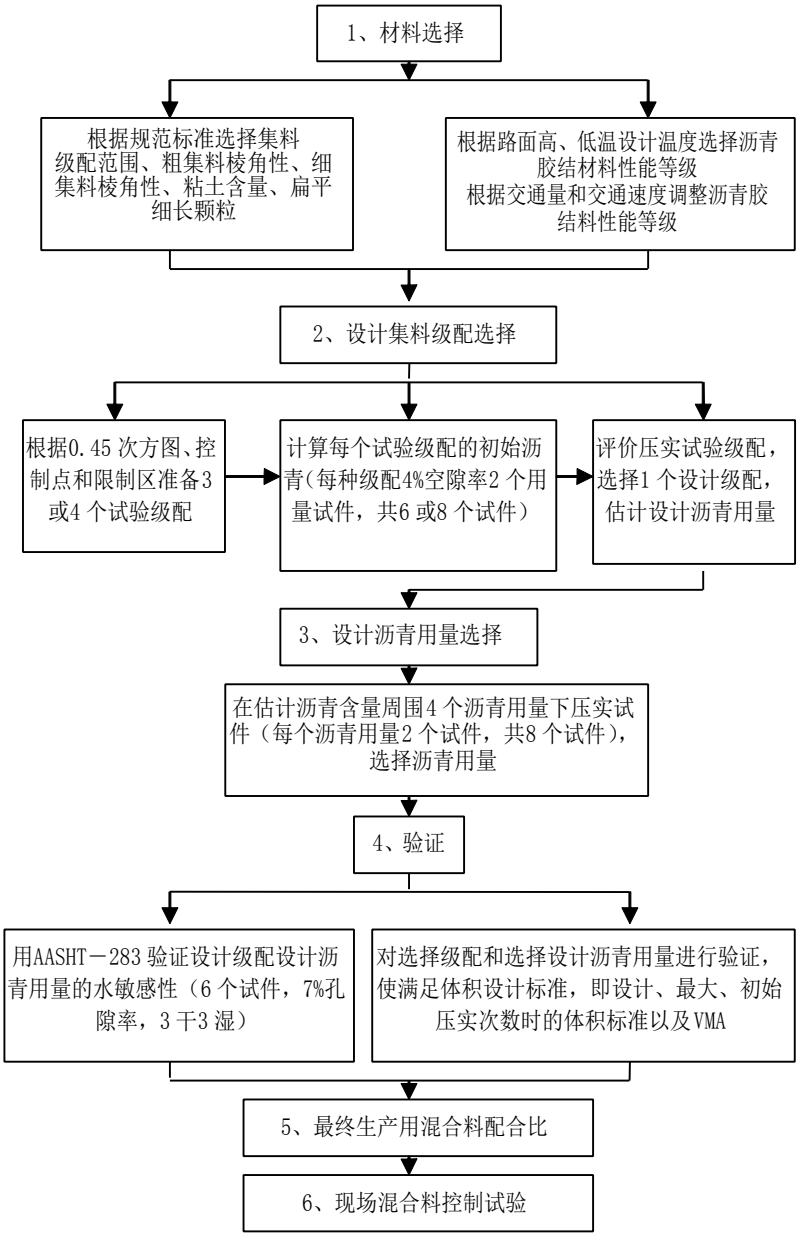


图 A.1 Superpave 沥青混合料体积设计流程图

A.1.1 Superpave 旋转压实机

由于马歇尔击实仪不能很好的模拟实际路面的压实，因此SHRP 的研究者们开发了一个新的仪器，这就是 Superpave 旋转压实机(SGC)。它能较好地模拟行车的碾压，能容纳最大集料尺寸为50mm(最大公称尺寸 37.5mm)的集料，并可用于现场质量控制和质量保证。

A.1.2 压实沥青混合料的分析：

1 组成图解法

这是一个热拌沥青混合料压实试件在 25℃试验，使用 4 个相对密度和一个沥青含量，可以确定所有的体积性质和质量数量。

2 数学公式法

1)测量粗集料毛体积密度(AASHTO T85 或 ASTM C127)和细集料毛体积密度(AASHTO T84 或 ASTM C128)。粗细集料的毛体积密度是指集料的饱和面干密度，详细试验方法见相应的标准，与我国的表干法不同；

2)测量沥青相对密度(AASHTO T228 或 ASTM D70)和矿粉相对密度(AASHTO T100 或 ASTM D854)；

3)计算总的集料组合的毛体积密度。总的集料由粗集料、细集料和矿粉组成，它们具有不同的相对密度，总的集料毛体积相对密度按下式计算:

$$G_{sb}=\frac{P_1+P_2+\cdots\cdots+P_N}{\frac{P_1}{G_1}+\frac{P_2}{G_2}+\cdots\cdots+\frac{P_N}{G_N}} \qquad \text{(A.1.2-1)}$$

式中：G_{sb}——总的集料毛体积相对密度；

P_1、P_2……P_N——不同的集料质量百分数比；

G_1、G_2……G_3——不同的集料毛体积相对密度。

4)测量松散沥青混合料的最大相对密度(AASHTO T209 或

ASTM D2041)。测量松散混合料的最大相对密度用真空法。当吸水率大于 2%时，应让集料充分吸收沥青，因此要延长在烘箱的时间；

5)测量压实沥青混合料毛体积密度(AASHTO T166 或 ASTM D1188/D2726)。压实混合料的毛体积密度也是指饱和面干密度；

6)计算集料有效相对密度。根据沥青混合料的最大相对密度（G_{mm}）按下式计算集料的有效相对密度(G_{se})：

$$G_{se}=\frac{P_{mm}-P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}}-\frac{P_b}{G_b}} \qquad \text{(A.1.2-2)}$$

式中：G_{se}——集料有效相对密度；

G_{mm}——沥青混合料最大相对密度；

P_{mm}——总的松散混合料质量百分数，等于 100；

P_b——沥青用量,进行最大相对密度试验中的沥青用量(以总混合料质量分数计)；

G_b——沥青的相对密度。

集料吸收沥青的体积总量比吸水的体积要小，因此集料的有效相对密度应该在它的毛体积相对密度和视密度之间。如果有效相对密度在这个范围以外.那么这个值是不正确的，应该重新检验、计算。可检验最大相对密度的测量，以集料总和的沥青含量来表示的组成是否正确，并找出错误的原因。

7)计算不同沥青用量时的最大相对密度

在设计混合料时，需要在不同沥青含量时的最大相对密度以计算不同沥青含量时的空隙率。不同沥青含量时的最大相对密度可以由 AASHTO T209 或 ASTM D2041 测定。

沥青混合料接近设计沥青用量时最精确而且最好是用 2～3

个试样测量求平均值。根据各个测量相对密度和平均值的G_{se}计算集料的有效相对密度，各个不同沥青含量时最大理论密度可以用下式计算。这时假定集料有效相对密度不变，由于吸收沥青并不随沥青含量改变而改变，所以假定是正确的。

$$G_{\mathrm{mm}}=\frac{P_{\mathrm{mm}}}{\frac{P_{\mathrm{s}}}{G_{\mathrm{se}}}+\frac{P_{\mathrm{b}}}{G_{\mathrm{b}}}} \qquad \text{(A.1.2-3)}$$

式中：G_{mm}——沥青混合料最大相对密度（无空隙）；

P_{mm}——总的松散混合料质量百分数，等于 100；

P_s——集料含量，总的混合料质量百分数；

P_b——沥青含量，总的混合料质量百分数；

G_{se}——集料有效相对密度；

G_b——沥青的相对密度。

8)吸收沥青

吸收沥青以集料质量分数表示而不用总的混合料质量百分数表示。吸收沥青P_{ba}用下式计算：

$$\mathrm{P_{ba}}=100\times\frac{G_{\mathrm{se}}\text{-}G_{\mathrm{sb}}}{G_{\mathrm{sb}}\times G_{\mathrm{se}}}\times G_{\mathrm{b}} \qquad \text{(A.1.2-4)}$$

式中：P_{ba}——吸收沥青，以集料质量百分数计算；

G_{se}——集料有效相对密度；

G_{sb}——集料毛体积相对密度；

G_b——沥青相对密度。

9)计算沥青混合料中有效沥青用量

沥青混合料的有效沥青用量是总的沥青用量减去被吸收空隙中吸收的沥青含量。这就是总的沥青含量的一部分，用以包裹在集料颗粒外面沥青，也就是说真正对沥青混合料性能起作用的那一部分沥青含量。

$$P_{be}=P_b-\frac{P_{ba}}{100}\times P_s \qquad (A.1.2\text{-}5)$$

式中：P_{be}——有效沥青用量，以总的混合料质量百分数计算；

P_b——沥青含量，以总的混合料质量百分数计算；

P_{ba}——吸收沥青，以集料质量百分数计算；

P_S——集料含量，以混合料总质量百分数计算。

10)计算压实沥青混合料矿料间隙率(VMA)

矿料骨架空隙率定义为在压实混合料中集料颗粒之间的空隙，包括空隙和有效沥青含量，用总的体积百分数表示。VMA 计算根据集料毛体积相对密度而表达为压实混合料毛体积的分数，因此 VMA 计算可根据压实混合料毛体积减去由集料相对密度确定的集料体积。如果混合料组成用总的很合料质量百分数来计算则表示为:

$$VMA=100-\frac{G_{mb}\times P_s}{G_{sb}} \qquad (A.1.2\text{-}6)$$

式中：VMA——矿料间隙率（毛体积百分数）；

G_{sb}——总的集料毛体积相对密度；

G_{mb}——压实沥青混合料毛体积相对密度（AASHTO T166 或 ASTM D1188 或 D2726）；

P_S——集料含量，总的混合料质量百分数计。

11)计算压实沥青混合料的空隙率(V_a)

压实沥青混合料的空隙率，包括裹覆集料颗粒之间的空隙，压实混合料中的空隙体积百分数用下式计算:

$$V_a=100\times\frac{G_{mm}-G_{mb}}{G_{mm}} \qquad (A.1.2\text{-}7)$$

式中：V_a——压实沥青混合料的空隙，以总体积百分数计；

G_{mm}——沥青混合料最大相对密度（如先前计算或直接由

AASHTO T209 或 ASTM D2041 测定)；

G_{mb}——压实沥青混合料毛体积密度。

12)计算压实沥青混合料中沥青填隙率(VFA)

集料间隙中被沥青充填的分数不包括吸收沥青，VFA 按下式计算:

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - V_a}{VMA} \qquad (A.1\text{-}8)$$

式中:VFA——沥青填隙率，VMA 的百分数；

VMA——矿物集料间隙率，毛体积百分数；

V_a——压实混合料空隙，总体积百分数。

A.2 Superpave 集料规范

A.2.1 集料共同特性要求

1 粗集料棱角性

粗集料棱角性是指留在 4.75mm 筛上有 1 个或 2 个破碎面集料的质量百分比。破碎面的定义为破碎面的投影面积与该颗粒最大横截面积之比大于 25%时称为破碎面。规定祖集料棱角这个指标主要是为确保粗集料有高的内摩擦力，从而保证沥青混合料有较高的抗车辙能力。

2 细集料棱角性

细集料梭角性定义为小于 2.36mm 的松压集料的空隙百分率。

3 扁平与细长颗粒

在 Superpave 设计方法中扁平与细长颗粒含量定义为大于 4.75mm 粗集料颗粒最大与最小尺寸之比大于 5 的质量百分率。

4 粘土含量

粘土含量定义为包含在小于 4.75mm 筛的集料中的粘土含量百分率，用砂当量试验级配集料和土中的塑性细颗粒方法进行测定。

A.2.2 料源特性要求

1 坚固性

坚固性定义为集料混合料在洛杉矶磨耗试验中材料损失的百分率，用于评价在处理、施工和服务中粗集料抵抗磨耗和机械冲击的能力。表示为大于 2.36mm 的粗集料承受钢球的冲击和研磨所导致材料损失的质量百分数。最大损失值典型范围为 35%～45%。

2 安定性

安定性是一种集料混合物在钠或镁的硫酸盐安定试验中材料损失百分率，用于评价集料在抵抗风雨侵蚀的能力。将集料样品浸入钠或镁的硫酸盐的饱和溶液中，然后烘干，一次浸入和烘干是一个安定性循环。试验结果表示为对于规定循环次数的各种筛号总的损失率(%)，对于 5 次循环，最大损失值的典型范围为 10%～20%。

3 有害物质

有害物质定义为像粘土块、页岩、木材、云母和煤这样的污物在混合集料中的质量百分率。用湿筛集料试验来进行分析，用材料损失百分率作为湿筛结果。报据污物的精确构成，有害颗粒存在的最大容许百分数有一个很宽的范围，为 0.2%～10%。

A.2.3 集料级配

Superpeve 混合料体积设计的级配选择是通过控制点和限制区来进行的。设置控点是要求集料级配不得超出规定的区间，控制点分别设于公称最大尺寸筛、中等筛(2.36mm)和最小筛（0.075mm)处。限制区处于沿最大密度级配线中等筛和 0.3mm 筛之间，限制区形成一个级配不能通过的带。由于限制区特有的驼峰形，所以通过这个区域的级配称为“驼峰级配”设置限制区的目的有两个，一是为了限制砂的用量，二是为了提供足够的 VMA。

A.3 Superpave 混合料体积设计

A.3.1 Superpave 混合料体积设计特点

与现行密级配沥青混合料马歇尔设计方法相比，Superpave 混合料体积设计有几个重要不同之处:

1 旋转压实机更接近现场的压实过程，其工程性质更接近于现场岩心试样；

2 增加了混合料短期老化，使压实和空隙率计算更为符合实际；

3 加大了试件尺寸(直径 150mm)，使其更适合于大粒径(25～50)mm 的集料；

4 实时测量试件高度与旋转次数，画出压实曲线，从而能评价混合料的压实特性；

5 在最大压实次数时规定了一个最大压实度，使混合料的抗车辙能力更有保障；

6 在初始压实次数时规定了一个最大压实度，避免了不稳定混合料的产生。

这些都是马歇尔方法不可比拟的。另外，现行马歇尔设计方法多数采用规定级配的中值作为设计级配，由于满足规定级配的中值的混合料不一定是最好的结构，缺少了一个评价不同混合料设计结构的过程，整个马歇尔方法就变成了获取最佳用油量的方法。

A.3.2 Superpave 混合料体积设计步骤

1 材料选择

沥青胶结料和集料料堆的选择应满足该工程的环境和交通要求。确定所有可能用于混合料的集料毛体积密度和沥青胶结料的相对密度。

2 设计集料结构

至少从选择的集料料堆混合 3 个或 3 个以上的试验集料级配。

对于每个试验级配用旋转压实仪(TP4)压实至少两个试件。设计集料结构和估计的沥青用量应满足设计压实次数 $N_{设计}$时的 V_a、VMA、VFA 和粉胶比的要求以及在初始压实次数 $N_{初始}$时的密度要求。

3 设计沥青用量的选择

在估计的沥青用量、估计的沥青用量±0.5%和估计沥青用量+1.0%，用旋转压实仪重新压实试件。设计沥青用量选择要满足在设计旋转压实次数 $N_{设计}$时的 V_a、VMA、VFA 和粉胶比的要求和在初始压实次数 $N_{初始}$和最大压实次数 $N_{最大}$时的密度要求。

4 验证

对设计集料结构在设计沥青用量时压实试件，一方面对体积性质进行验证，另一方面对水敏感性进行验证。混合料老化根据短期老化试验方法，水敏感性评价根据 T283。沥青混合料应满足表 A.3.2 中所有的要求。

表 A.3.2 Superpave 1INA 设计要求(AASHTO MP2-00)

设计 $ESAL_S$[①]（$\times 10^6$）	要求密度（最大理论密度）(%)			矿料间隙率（%）最小					沥青填隙率（%）最小	粉胶比
				最大公称尺寸（mm）						
	$N_{初始}$	$N_{设计}$	$N_{最大}$	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5		
<0.3	≤91.5	96.0	≤98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	70~80[③]	0.6~1.2
0.3~<3	≤90.5								65~78	
3~<10	≤89.0								65~75[②]	
10~<30										
≥30										

注：1 设计的 $ESAL_S$ 是 20 年设计车道预期的当量累计单轴荷载作用次数，而不管实际设计寿命是多少年，确定了 20 年设计的 $ESAL_S$，从而选择相应的 $N_{设计}$确定次数。

2 对于最大公称尺寸 9.5mm 混合料，设计交通量是≥3×10^6，VFA 为 73%～76%。

3 最大公称尺寸 25.0mm 混合料，交通量<0.3×10^6，VFA 最小为 67%。

4 最大公称尺寸 37.5mm 混合料，所有交通量水平的 VFA 最小为 64%。

5 如果集料级配通过禁区下方，可考虑粉胶比从 0.6～1.2 增加到 0.8～1.6。

A.3.3 沥青胶结料要求

1 沥青胶结料应是性能等级(PG)胶结料，根据铺路工程所在地的气候和交通加荷条件，应满足 AASHTO MP1“性能等级沥青胶结料标准规范”的要求：

1)确定 7d 平均最高路面(表面以下 20mm 处)温度的年平均值和标准差，确定 1d 最低路面温度(路表面)的年平均值和标准差。利用 LTPPbind 软件或单位自己的数据记录确定这些温度。但实际在现场常常缺乏资料，可利用最邻近的气象站资料；

2)选择为保证高低温性能所要求的设计可靠度，要求的设计可靠度由公路部门的政策决定，因为设计可靠度的选择将影响材料初始费用和今后的养护费用；

3)根据确定的路面温度数据，选择满足要求设计可靠度的最低要求的 PG 等级胶结料。

2 如果要保证交通速度或设计的 $ESAL_S$，可以按表 A.3.3 根据预估的交通条件，通过增加高温性能等级来实现。

表A.3.3 根据交通速度和交通量胶结料选择调整(AASHTO PP28-00)

设计 $ESAL_S$①（$\times 10^6$）	调整胶结料 PG 等级⑤		
	交通加荷速率		
	停滞交通②	慢速交通③	标准交通④
＜0.3	—⑥	—	—
0.3～＜3	2	1	—
10～＜30	2	1	—⑥
≥30	2	1	1

注:1 设计的 $ESAL_S$ 是设计车道为 20 年预估的累计当量轴荷载次数，不管实际道路的设计寿命多少，总以 20 年的 $ESAL_S$ 并以此选择合适的 $N_{设计}$ 水平。

2 平均交通速度小于 20km/h。

3 平均交通速度 20～70km/h。

4 平均交通速度大于 70km/h。

5 根据表示等级数(1 级相当于 6℃)，增加高温等级，低温等级不变。

6 应考虑增加一个高温等级。

7 从实际出发，应避免使用性能等级大于 PG82-XX，当要求调整高温等级导致需要大于 PG82 时，应仍规定 PG82-XX 和可以增加设计 $ESAL_s$1 个等级，如(10～30)×10^6增加到≥30×10^6。

A.3.4 集料混合物的要求

1 尺寸要求

1)公称最大尺寸。热拌沥青路面上面层的集料混合物的最大公称尺寸应为 9.5～19.0mm,路面下面层(基层)的最大公称尺寸为 19.0～37.5mm；

2)级配控制点。集料混合物应满足级配要求，如表 A.3.4-1 所示，试验方法为 T11 和 T27；

表 A.3.4-1 Superpave 集料级配控制点(AASHTO MP2--00)

筛孔尺寸（mm）	最大公称尺寸时控制点（通过）(%)									
	37.5mm		25.0mm		19.0mm		12.5mm		9.5mm	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
50.0	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
37.5	90	100	100	—	—	—	—	—	—	—
25.0	—	90	90	100	100	—	—	—	—	—
19.0	—	—	—	90	90	100	100	—	—	—
12.5	—	—	—	—	—	90	90	100	100	-
9.5	—	—	—	—	—	—	—	90	90	100
4.75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	90
2.36	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67
0.075	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10

3)级配限制区。建议选择的集料混合物级配不要通过表 A.3.4-2 规定的限制区范围。

表 A.3.4-2 集料禁区界限(AASHTO MP2--00)

筛孔尺寸（mm）	最大公称尺寸时筛孔尺寸的最小和最大界限（最小和最大通过）（%）									
	37.5mm		25.0mm		19.0mm		12.5mm		9.5mm	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
0.300	10.0	10.0	11.4	11.4	13.7	13.7	15.5	15.5	18.7	18.7
0.600	11.7	15.7	13.6	17.6	16.7	20.7	19.1	23.1	23.5	27.5
1.18	15.5	21.5	18.1	24.1	22.3	28.3	25.6	31.6	31.6	37.6
2.36	23.3	27.3	26.8	30.8	34.6	34.6	39.1	39.1	47.2	47.2
4.75	34.7	34.7	39.5	39.5	—	—	—	—	—	—

2 粗集料棱角性要求

粗集料棱角性应满足规定，试验方法为 ASTM D5821。

3 细集料棱角性要求

细集料棱角性应满足细集料未压实空隙率的要求，试验方法为 AASHTO T304。

4 砂当量要求

集料应满足规定的砂当量(粘土含量)要求，试验方法为 AASHTO T176。

5 扁平细长颗料要求

集料应满足规定的扁平细长颗粒要求，试验方法为 ASTM D4791。扁平细长颗粒的质量百分数，包括所有 4.75mm 以上的集料。测量颗粒的长度(最长尺寸)和厚度(最小尺寸)之比为 5:1。

A.3.5 热拌沥青混合料(HMA)应满足下列要求：

1 HMA 的沥青胶结料和集料都必须满足 A.3.4 的要求；

2 在设计旋转压实次数时 HMA 的目标空隙率应为 4%；

3 HMA 设计中的矿料间隙率(VMA)根据混合料中最大公称尺寸并满足表 A.3.2 的规定；

4 HMA 设计中的沥青填隙率(VFA)应满足表 A.3.2 的要求；

5 HMA 设计中的矿粉一胶结料比(粉胶比)应满足表 A.3.2 的要求；

6 当根据旋转压实机(AASHTO TP4)进行 HMA 设计时，应满足表 A.3.2 规定的初始水平的密度要求。初始、设计和最大压实次

数根据 AASHTO PP28 表 A.3.5 规定选择。

根据 Westrack 的研究，建议最大矿料间隙率 VMA 不应超过最小 VMA 加 2%,例如对于最大公称尺寸为 25mm 的混合料，最小 VMA 要求为 12%，那么最大 VMA 不超过 14%。

根据表 A.3.5 在 $ESAL_S$ 基础上确定旋转压实次数。

表 A.3.5 Superpave 旋转压实表(AASHPO PP28-00)

设计 $ESAL_S$① ($\times 10^6$)	压实参数			典型道路应用②
	$N_{初始}$	$N_{设计}$	$N_{最大}$	
＜0.3	6	50	75	轻交通道路，如地方道路、县区道路和禁止卡车通行的市区道路；交通量是地方性质，不属于地区性，州级和州际性质。旅游区道路可属于此类
0.3～＜3	7	75	115	主要为集散道路和进入街道的道路，中等交通市区道路和大部分县、区道路属于这一类
3～＜30	8	100	160	包括双车道、多车道、部分和全封闭的进城道路，中等到高交通路的市区道路、许多州道、国道和某些边远地区的州际公路
≥30	9	125	205	包括大部分城市和边远地区的大部分美国州际公路。专用道路如卡车沉重站和卡车专用道

注:1 设计的 $ESAL_S$ 是 20 年期间设计车道预期的当量累计单轴荷载作用次数，不管设计寿命是多少年。

2 典型道路应用的定义见“公路与街道几何设计政策”(HASHTO-1994) 。

3 当由公路部门自己规定和沥青层厚度≥100mm，估计交通量≥0.3×$10^6$$ESAL_S$ 估计的设计的交通量可以降一级;从混合料设计来说，如果路面层厚度的 1/4 小于 100mm，这一层视为路面 100mm 以下。

4 当设计 $ESAL_S$ 在(3～10)x10^6 之间，公路部门可以根据当地气候和经验，自己判断是否用 $N_{初始}$=7、$N_{设计}$=75 和 $N_{最大}$=115。

7 HMA 设计中，根据 TP4 压实 7%空隙率试件及 T283 试验时(除了试件直径应为 150mm,高度为 95mm 外)，残留抗拉强度至少 80%。

A.3.6 具体设计方法步骤

1 准备试验集料混合物级配

1)选择的沥青胶结料满足 MP1 的要求；

2)根据 T228 测定沥青胶结料相对密度；

3)根据 T2 从料堆采取试样，每个料堆通常只包括一个给定的集料组成。大多数工程， 3～5 个料堆可产生混合级配，满足工地配合比和 MP2 的要求；

4)根据 T248 缩分集料样品到 T27 规定尺寸试样；

5)根据 T11 和 T27 筛分和水洗试样；

6)根据 T84 和 T85 分别测定粗、细集料毛体积密度和根据 T100 测定矿粉相对密度；

7)用式（A.3.6-1）计算混合集料组成:

$$P=Aa+Bb+Cc+\cdots\cdots+n \qquad (A.3.6\text{-}1)$$

式中：P——混合集料 A、B、C 等某一给定尺寸的通过率，%；

A、B、C……——集料 A、B、C 等某一给定尺寸的通过率，%；

a、b、c……——集料 A、B、C 等混合比例，总和为 1.00%。

8)准备至少 3 种试验集料混合物的结果，点在 0.45 次方级配分析图上，各个级配要满足 MP2 级配控制点要求(MP2 中的表 2 和表 3)。级配控制点根据 4 个控制尺寸确定:最大集料尺寸、公称最大集料尺寸、2.36mm 和 0.075mm；

9)根据 T248 缩分法获得试验混合物试样，进行质量试验，混合物应满足 MP2 中关于混合料的最小质量要求。

设计者有权进行各个料堆的质量试验代替试验混合物，各个料堆的试验结果用来估计给定混合料的结果。

2 确定各个试验集料级配的初始沥青用量

设计者可根据经验或附录中关于确定各个试验级配的初始沥青用量方法来进行。

3 压实各个试验级配的试件：

1)对各个试验级配用初始沥青用量至少准备两个重复试件，3 个或更多试件更好。4600g 集料通常可足够产生高度 110～120mm 压实试件。这个质量可能需要根据集料的相对密度是高于或低于通常集料相对密度来调整。根据表 A.3.5 在 $ESAL_S$ 基础上确定旋转压实次数；

2)对于各个初始试验沥青用量和集料试验级配，按 PP2 短期老化方法进行老化。根据 TP4 压实到设计压实次数 $N_{设计}$，在每一次旋转压实后，记录试件高度，精确到 0.1mm；

3)根据 T166 测定每个压实试件的毛体积密度；

4)根据 T209 对每个试验级配混合料并老化到与压实试件相同程度的单独试样，测定最大相对密度。最大相对密度应至少根据两个试验的平均值。

4 评价压实试验混合料：

1)根据 MP2 的要求，测定试验混合料的体积要求；

2)对每个试验混合料测定，用式（A.3.6-2）在两个关键压实点及 $N_{初始}$ 和 $N_{设计}$ 修正试件密度及 $G_{mm初始}$ 和 $G_{mm设计}$ 的百分比，取两个试件的平均值。

$$G_{mmx} = 100 \times \frac{G_{mb} h_d}{G_{mm} h_x} \qquad \text{（A.3.6-2）}$$

式中：G_{MMX}——用最大理论相对密度表示的修正相对密度；

G_{mb}——脱模后试件的毛体积相对密度；

h_d——脱模后试件高度，人工测量或根据 Superpave 旋转压实机，mm；

G_{MM}——混合料最大理论相对密度；

h_x——在 x 次旋转后的试件高度，mm。

3)用式（A.3.6-3）和式（A.3.6-4）计算各个试验混合料在设计压实次数 $N_{设计}$时的 V_a，VMA；

$$V_a = 100 \times \left[1 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \right] \qquad （A.3.6-3）$$

$$VMA = 100 \times \left(1 - \frac{G_{mb} P_s}{G_{sb}} \right) \qquad （A.3.6-4）$$

式中：V_a——在 $N_{设计}$时试验混合料的空隙率，%；

VMA——矿料间隙率，%；

P_s——混合料中集料的百分比，%；

G_{sb}——集料混合物的毛体积相对密度。

尽管初始沥青用量是按设计空隙率为 4%来估计的，但实际空隙率不会恰好在 4%，因此需要估计改变沥青用量来获得 4%空隙率。重新计算因沥青用量变化而引起的 VMA 变化，这样可以对各个试验级配在相同设计空隙率 4%的条件下评价它们的 VMA 和 VFA。

4)对各个压实试件估计在 4%空隙率条件下的体积性质，并与 MP2 中在 $N_{设计}$时 VMA 要求进行比较；

①用式（A.3.6-5）确定与 4%空隙率设计水平确定各个压实试件空隙率的差；

$$\triangle V_a = 4.0 - V_a \qquad （A.3.6-5）$$

式中：V_a——在 $N_{设计}$时试验混合料的空隙率；

$\triangle V_a$——各个压实试件空隙率的差。

②估计需要的沥青用量变化 $\triangle P_b$ 以产生 4%的空隙率；

$$\triangle P_B = -4.0(\triangle V_a) \qquad （A.3.6-6）$$

③估计因空隙率变化 $\triangle V_a$ 引起的 VMA 的变化△VMA。当初始试

验空隙率大于 4%,$\triangle V_a$x0.2，当初始空隙率小于 4.0%,$\triangle V_a$ x(-0.1).沥青用量的变化会因为压实试件毛体积相对密度 G_{mb}的变化而影响 VMA；

④用式（A.3.6-7）计算 $N_{设计}$和空隙率为 4%时的 VMA；

$$VMA_{设计}=VMA_{初始}+\triangle VMA \qquad (A.3.6\text{-}7)$$

式中：$VMA_{设计}$——在设计空隙率 4%时估计的 VMA；

$VMA_{初始}$——在初始沥青用量时测定的 VMA。

⑤用式（A.3.6-5）中确定的$\triangle V_a$和式（A.3.6-8）估计各个试件在 $N_{设计}$时设计空隙率调整到 4%时的 $N_{初始}$密度；

$$\%G_{MM\,初始}(设计)=\%G_{MM\,初始}(试验) - \triangle V_a \qquad (A.3.6\text{-}8)$$

式中：$\%G_{MM\,初始}$(设计)——调整到设计沥青用量时 $N_{初始}$时的密度；

$\%G_{MM\,初始}$(试验) ——在初始沥青用量时 $N_{初始}$时的密度。

⑥用式（A.3.6-9）和式（A.3.6-10）估计每个试验试件的有效沥青百分比和计算粉胶比（$P_{0.075}/P_{be}$）；

$$\frac{P_{0.075}}{P_{be}}=\frac{P_{0.075}}{P_{be估计}} \qquad (A.3.6\text{-}9)$$

$$P_{be估计}=-(P_s\times G_b)\frac{G_{se}-G_{sb}}{G_{se}\times G_{sb}}\times\frac{1}{P_{b估计}} \qquad (A.3.6\text{-}10)$$

式中:$P_{0.075}$——0.075mm 筛通过百分比；

$P_{be\,估计}$——估计的有效沥青用量；

P_s——集料含量；

G_s——沥青的相对密度；

G_{se}——集料的有效密度；

$P_{b\,估计}$——估计的沥青用量。

⑦在调整到根据 MP2 规定的标准设计沥青用量比较每组试件的估计体积性质，选择符合标准最满意的一个级配作为设计集料结构。表 A.3.6 给出了在 3 个试验集料级配，选择

一个设计集料结构的示例。

表 A.3.6 设计集料结构选择（示例）

<table>
<tr><td rowspan="3">体积性质</td><td colspan="3">试验混合料（公称最大尺寸19.0mm）20年项目设计ESALs=5×10⁶</td><td rowspan="3">标准</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="3">初始试验沥青用量</td></tr>
<tr><td>P_b(试验)</td><td>4.4</td><td>4.4</td><td>4.4</td><td rowspan="5">4.0</td></tr>
<tr><td>%$G_{mm初始}$(试验)</td><td>88.1</td><td>88.8</td><td>87.1</td></tr>
<tr><td>%$G_{mm初始}$(试验)（%）</td><td>95.9</td><td>95.3</td><td>94.7</td></tr>
<tr><td>$N_{设计}$时 V_a（%）</td><td>4.1</td><td>4.7</td><td>5.3</td></tr>
<tr><td>$VMA_{试验}$（%）</td><td>12.9</td><td>13.4</td><td>13.9</td></tr>
<tr><td rowspan="3">体积性质</td><td colspan="3">试验混合料（公称最大尺寸19.0mm）20年项目设计ESALs=5×10⁶</td><td rowspan="3">标准</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="3">初始试验沥青用量</td></tr>
<tr><td rowspan="3">体积性质</td><td colspan="3">试验混合料（公称最大尺寸19.0mm）20年项目设计$ESAL_s$=5×10⁶</td><td rowspan="3">标准</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="3">调整到设计沥青用量（$N_{设计}$时Va=4.0%）</td></tr>
<tr><td rowspan="5">$\triangle V_a$（%）
$\triangle P_b$（%）
△VMA（%）</td><td>-0.1</td><td>-0.7</td><td>-1.3</td><td rowspan="5">标准</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>0.0</td><td>0.3</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>0.0</td><td>-0.1</td><td>-0.3</td></tr>
<tr><td colspan="3">在估计的设计沥青用量（$N_{设计}$时 Va=4.0%）</td></tr>
<tr><td>估计 P_b(设计)（%）
VMA(设计)（%）</td><td>4.4
12.9</td><td>4.7
13.3</td><td>4.9
13.6</td><td colspan="2">＞13.0</td></tr>
<tr><td>%$G_{mm初始}$(设计)（%）</td><td>88.2</td><td>89.5</td><td>88.4</td><td>ESALs
＜0.3×10⁶
(0.3～3)×10⁶＞3×10⁶</td><td>标准%G_{mm}
＜91.5
＜90.5
＜89.0</td></tr>
</table>

注:1 此表最上面部分代表在初始试验沥青用最时各个试验集料级配试件的侧里压实密度和体积性质。

2 没有一个试件空隙率恰好在 4.0%，因此，要应用前面的方法:空隙率在 4.0%时的估计设计沥青用量;获得在估计设计沥青用量时调整的 VMA 和的密度值。

3 此表中间部分代表各个试验集料级配空隙率调整到 4.0%时沥青用量($\triangle P_a$)和 VMA 的变化。

4 在估计的设计沥青用量时的VMA和密度与最后一列标准进行比较表明，试验级配 1 没有足够的 VMA(12.9%,要求≥13.0%)；试验级配 2 级超过了在 $N_{初始}$时的密度(89.5，要求<89.0%)；试验集料级配 3 满足密度和 VMA 的要求；因此在这个例子中，被选为设计集料结构。

5 选择设计沥青用量

1)用选择的设计集料结构用下列沥青用量准备至少两个或 3 个更好的试样:

①估计的设计沥青用量 P_b（设计)；

②低于 P_b（设计)0.5%；

③高于 P_b（设计)0.5%；

④高于 P_b（设计)1.0%。

2)根据工程预估 20 年设计 $ESAL_S$，选择设计旋转压实水平；

3)按 PP2 老化，用旋转压实 TP4 压实到 $N_{设计}$次数，记录每次旋转的试件高度，精确到 0.1mm。

4)根据 T166 测定每个压实混合料的毛体积相对密度；

5)根据T209测定与4个沥青用量相应的力与压实混合料老化到相同程度的每组松散混合料的最大理论密度，每组两个数值平均；

6)用下列步骤确定在 $N_{设计}$次数时产生 4%目标空隙率的设计沥青用量；

①每组混合料，在两个关键压实点 $N_{初始}$和 $N_{设计}$，用式

（A.3.6-2）确定平均修正试件密度 $G_{mm\,初始}$和 $G_{mm\,设计}$；

②用式（A.3-3）和式（A.3-4）计算 $N_{设计}$时的 V_a、VMA，并用式（A.3.6-11）计算 VFA；

$$VFA = 100 \times (\frac{VMA - V_a}{VMA}) \qquad (A.3.6\text{-}11)$$

③画出试件沥青用量与平均的 V_a、VMA、VFA 和 $N_{设计}$时密度的关系图；

④通过图解数学内插，确定沥青用量，精确到 0.1%。目标空隙率等于 4%，这就是在 $N_{设计}$时的设计沥青用量 P_b；

⑤用④中确定的设计沥青用量 P_b通过内插检验其所有体积性质均满足 MP2。

7)如果需要通过内插，计算的最大密度百分比与 $N_{初始}$设计标准进行比较，内插方法如下：

①准备每种混合料的压实曲线，即 x 次旋转压实时的测量密度，$\%G_{mmx}$和压实次数的对数。此例中估计设计沥青用量为 4.8%，最小 VMA 要求为 13%(公称最大尺寸 19.0mm),VFA 要求为 65%～78%。在空隙率和沥青用量图上对应 4%空隙率的设计沥青用量为 5.7%。在 VMA 和沥青用量图和 VFA 和沥青用量图上沥青用量 5.7%时，VMA 和 VFA 都满足设计要求；

②检验空隙率与沥青用量，确定空隙率 4%和最近较低沥青用量的空隙率之差，确定在最近较低沥青用量的空隙率，不在回归线上，其空隙率差称为$\triangle V_a$；

③用式（A.3.6-8）确定$\%G_{MM\,初始}$，确认$\%G_{MM\,初始}$满足 MP2 规定的在设计沥青用量的设计要求；

④准备至少两个具有选择设计集料结构和设计沥青用量的松散混合压实试样，确认$\%G_{MM\,最大}$满足表 A.3.6 的要求；

⑤按 PP2 老化混合料及 TP4 压实试件到最大压实次数，的由

表 A.3.5 提供；

⑥确定 $N_{最大}$试件平均密度$\%G_{MM最大}$，确认$\%G_{MM最大}$满足表 A.3.6 规定的设计要求。

$$\%G_{mm最大}=100\frac{G_{mb}}{G_{mm}} \qquad (A.3.6\text{-}12)$$

式中：$\%G_{MM最大}$——在设计沥青用量及旋转次数最大($N_{最大}$)时的密度。

6 评价水敏感性

1)准备设计集料结构和设计沥青用量的 6 个试件(若需冻融试验，则须 9 个试件)，老化用 PP2，压实试件根据 T283；

2)按 T283 试验计算抗拉强度比。

7 调整混合料满足设计要求

1)调整 VMA。许多试验集料级配会通不过 VMA 标准;如果通过 VMA，那么$\%G_{MM}$标准会通过。调整 VMA 的方法有以下三种；

①改变级配。如果试验集料级配分析已经包括了级配控制区，那么就无法再改变级配；

②减少 0.075mm 用量，通常会增加 VMA，如果 0.075mm 通过率本来就较低，不宜再减少；

③改变一种或几种集料的表面纹理，也就是换料或已有材料再加工。改变级配如果不可能，那么只有换料和材料再加工。例如，用轧制碎石代替轧制砾石，用机制砂代替天然砂。

2)调整 VFA。如果 VMA 满足规范要求，那么设计空隙率 4%时，VFA 总能满足低的极限。如果超过 VFA 的高极限,VMA 大于最小值很多，那么重新设计混合料以降低 VMA，重新设计时应考虑下列几点:

①建议级配靠近最大密度线；

②如果还在规范值之内的话，增加小于 0.075mm 含量；

③改变集料表面纹理和形状，更好的填实特性，如较少的细长扁平颗粒。

3)增加残留的抗拉强度，可通过以下两种方式:

①在沥青中加化学抗剥落剂以增加在水存在下的粘结力；

②在混合料中加消石灰。

A.4 II 级设计——中等路面性能的混合料设计

II 级设计依赖于 I 级混合料体积设计，同时第一次包括了 SHRP 性能试验的研究成果。II 级设计尽可能不要太复杂，以便于常规设计。II 级设计是大多数公路应用的最主要的设计类型，可以预测路面随时间而产生的永久变形、疲劳开裂和低温开裂的程度。

A.5 III 级设计——高级路面性能的混合料设计

高级路面性能混合料设计也依赖于 I 级设计，而比中等路面性能设计更完善、更复杂 III 级设计有赖于较多混合料性能试验，需用一组路面温度代替有效温度进行性能预测，因此 III 级设计比 II 级设计更为严谨。

附录 B.沥青混合料配合比设计检测记录及报告

B.0.1 粗集料筛分（水洗法）试验记录

第　　页 共　　页　　检测编号：

委托单位			委托编号			
工程名称			使用部位			
混合料类型			样品编号			
见证单位			检测性质			
见证人及编号			委托日期			
集料规格（mm）			检测日期			
试样号	1		2		累计平均筛余率（%）	平均通过率（%）
取样数量（g）						
筛孔直径（mm）	筛余量(g)	筛余率（%）	筛余量(g)	筛余率（%）		
31.5						
26.5						
19.0						
16.0						
13.2						
9.5						
4.75						
2.36						
1.18						
0.6						
0.3						
0.15						
0.075						
底						
合计						
检测仪器						
检测依据						
结论						
备注						

校对：　　检测：　　日期：

B.0.2 细集料筛分（水洗法）试验记录

试样号	1		2		累计平均筛余率（%）	平均通过率（%）
取样数量（g）						
筛孔直径（mm）	筛余量（g）	筛余率（%）	筛余量（g）	筛余率（%）		
9.5						
4.75						
2.36						
1.18						
0.6						
0.3						
0.15						
0.075						
底						
合计						
备注						

校对：　　检测：　　日期：

B.0.3 沥青混合料用矿粉试验记录

<table>
<tr><td colspan="10">矿粉含水量试验</td></tr>
<tr><td rowspan="2">试验次数</td><td rowspan="2">试验前烘干试样质量（g）</td><td rowspan="2">试验后烘干试样质量（g）</td><td rowspan="2">矿粉含水量（g）</td><td>含水率（%）</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>单个值</td><td colspan="5">平均值</td></tr>
<tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="5" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="10">矿粉表观相对密度试验</td></tr>
<tr><td rowspan="2">试验次数</td><td rowspan="2">牛角匙、瓷皿、漏斗及试验前瓷器中矿粉的干燥质量（g）</td><td rowspan="2">牛角匙、瓷皿、漏斗及试验后瓷器中矿粉的干燥质量（g）</td><td rowspan="2">比重瓶加矿粉以前的初读数（ml）</td><td rowspan="2">比重瓶加矿粉以后的初读数(ml)</td><td colspan="5">表观密度</td></tr>
<tr><td>单个值（g/cm3）</td><td colspan="4">平均值（g/cm3）</td></tr>
<tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="10">矿粉亲水系数试验</td></tr>
<tr><td rowspan="2">试验次数</td><td rowspan="2">矿粉质量（g）</td><td rowspan="2">矿粉在水中沉淀体积（ml）</td><td rowspan="2">矿粉在煤油中沉淀体积（ml）</td><td>亲水系数</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>单个值</td><td colspan="5">平均值</td></tr>
<tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="5" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="10">矿粉筛分试验（水洗法）</td></tr>
<tr><td>试验次数</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">2</td><td rowspan="3">累计平均筛余率（%）</td><td colspan="4" rowspan="3">平均通过率（%）</td></tr>
<tr><td>取样数量（g）</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>筛孔直径（mm）</td><td>筛余量(g)</td><td>筛余率（%）</td><td>筛余量（g）</td><td>筛余率（%）</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>检验依据</td><td colspan="9"></td></tr>
<tr><td>主要仪器</td><td colspan="9"></td></tr>
<tr><td>结论</td><td colspan="9"></td></tr>
</table>

校对：　　检测：　　日期：

B.0.4 粗集料密度（容量瓶法）试验记录

集料规格(mm)				
试验次数	试验 1	试验 2	试验 1	试验 2
试样干质量(g)				
试样水中质量(g)				
试样表干质量(g)				
吸水质量(g)				
吸水率%				
平均值%				
表观密度(g/cm^3)				
平均值				
表观相对密度				
平均值				
重复性误差(g/cm^3)				
毛体积密度(g/cm^3)				
平均值				
重复性误差(g/cm^3)				
毛体积相对密度				
平均值				
重复性误差(g/cm^3)				
备　　注				

校对：　　检测：　　日期：

B.0.5 粗集料密度（网篮法）试验记录

集料规格(mm)				
试验次数	试验 1	试验 2	试验 1	试验 2
试样干质量(g)				
试样水中质量(g)				
试样表干质量(g)				
吸水重(g)				
吸水率%				
平均值%				
水温(℃)				
温度修正系数				
表观密度(g/cm^3)				
平均值				
重复性误差(g/cm^3)				
表观相对密度				
平均值				
毛体积密度(g/cm^3)				
平均值				
重复性误差(g/cm^3)				
毛体积相对密度				
平均值				
备　　注				

校对：　　检测：　　日期：

B.0.6 细集料密度试验记录

集料规格						
	试验 1	试验 2	试验 1	试验 2	试验 1	试验 2
试样烘干质量(g)						
瓶+水质量(g)						
试样+瓶+水质量(g)						
试样饱和面干质量(g)						
吸水率(%)						
平均值(%)						
水温						
温度修正系数						
表观密度(g/cm)						
平均值(g/cm)						
毛体积密度(g/cm)						
平均值(g/cm)						
毛体积相对密度						
平均值						
备注						

校对：　　检测：　　日期：

B.0.7 粗集料针片状试验记录

集料规格(mm)				
试验次数	试验 1	试验 2	试验 1	试验 2
试样总质量(g)				
针片状含量(1：3)(g)				
针片状含量（%）				
平均值				
重复性误差%				
备注				

校对：　　检测：　　日期：

B.0.8 粗集料含泥量和泥块含量试验记录

集料规格(mm)					
试验次数		试验 1	试验 2	试验 1	试验 2
含泥量	试验前烘干质量(g)				
	试验后烘干质量(g)				
	含泥量（%）				
	平均值（%）				
	重复性误差（%）				
泥块含量	试验前烘干质量(g)				
	试验后烘干质量(g)				
	5mm 筛筛余量(g)				
	泥块含量（%）				
	平均值（%）				
备　注					

校对：　　检测：　　日期：

B.0.9 细集料含泥量和泥块含量试验记录

集料规格(mm)						
试验次数		试验 1	试验 2	试验 1	试验 2	
含泥量	试验前烘干质量(g)					
	试验后烘干质量(g)					
	含泥量（%）					
	平均值（%）					
	重复性误差（%）					
泥块含量	试验前烘干质量(g)					
	试验后烘干质量(g)					
	1.25mm 筛筛余量(g)					
	泥块含量（%）					
	平均值（%）					
备　注						

校对：　　检测：　　日期：

B.0.10 粗集料磨光值试验记录

集料规格(mm)				
试验次数	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4
标准件摆氏值				
换算摆氏值				
平均值%				
试样摆氏值				
换算摆氏值				
平均值%				
磨光值				
备注				

校对：　　检测：　　日期：

B.0.11 粗集料洛杉矶磨耗及冲击值试验记录

洛杉矶磨耗试验					
集料规格(mm)		钢球总质量(g)		钢球数量（个）	
试验次数	试验 1		试验 2		
试验前试样的质量(g)					
磨耗后在 1.7mm 筛上洗净烘干的试样质量(g)					
磨耗率（%）					
磨耗率平均值（%）					
复重性误差%					
冲击值试验					
集料规格(mm)					
试验次数	试验 1		试验 2		
试验的质量(g)					
2.36mm 筛上质量(g)					
冲击值（%）					
冲击值平均值（%）					
复重性误差%					
备　注					

校对：　　检测：　　日期：

B.0.12 粗集料软弱颗粒含量及压碎值试验记录

试验项目	集料规格(mm)				
压碎值	试验次数	试验 1	试验 2	试验 1	试验 2
	试验前试样质量(g)				
	压碎后筛余质量(g)				
	通过 2.36mm 筛孔的细料质量(g)				
	压碎值(%)				
	平均值%				
	重复性误差				
软弱颗粒含量	试验前试样质量(g)				
	试验后好颗粒质量(g)				
	软弱颗粒含量(%)				
	平均值(%)				
	重复性误差				
备注					

校对：　　检测：　　日期：

B.0.13 粗集料二个面碎石含量试验记录

试验项目	集料规格(mm)				
	试验次数	试验 1	试验 2	试验 1	试验 2
二个破碎面	试验前试样质量(g)				
	二个破碎面料重(g)				
	含量（%）				
	平均值%				
备注					

校对：　　检测：　　日期：

B.0.14 细集料砂当量、棱角性、粗糙度试验记录

<table>
<tr><td rowspan="5">砂当量</td><td rowspan="3">含水率计算</td><td colspan="2">容器质量（g）</td><td colspan="2">未烘干试样与容器总质量(g)</td><td colspan="2">烘干试样与容器总质量（g）</td><td colspan="2">含水率（%）</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">砂当量计算</td><td colspan="2">相当干燥试样120g的潮湿试样质量（g）</td><td>试筒内温度（℃）</td><td colspan="2">试筒底部到絮状凝结物上液面的高度（mm）</td><td colspan="2">试筒底部到沉淀部分上液面的高度（mm）</td><td colspan="2">砂当量（%）</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">棱角性</td><td>试验次数</td><td>容器容积（cm^3）</td><td>容器空质量（g）</td><td>容器与试样总质量（g）</td><td colspan="2">毛体积密度（g/cm^3）</td><td colspan="2">松装密度（g/cm^3）</td><td colspan="2">棱角性（%）</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2" rowspan="3"></td><td></td><td rowspan="3"></td><td></td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">粗糙度</td><td colspan="2">试验次数</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2" rowspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">试样质量（g）</td><td colspan="2">1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">试样全部通过标准漏斗试件（s）</td><td>单值</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>平均值</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>备注</td><td colspan="9"></td></tr>
</table>

校对：　　检测：　　日期：

B.0.15 沥青密度与相对密度试验记录

沥青品种及标号				
试瓶号				
试瓶质量(g)				
瓶+水质量(g)				
试样+瓶+水质量(g)				
试样质量(g)				
检测温度(℃)				
密度(g/cm³)				
平均值				
相对密度(g/cm³)				
平均值				
备注				

校对：　　检测：　　日期：

B.0.16 对沥青的粘附性（水煮法）试验记录

委托单位			委托编号		
工程名称			工程部位		
试验环境			试验日期		
试验依据					
试验仪器					
取样地点		取样时间		代表数量（m³）	
集料产地				品 种 规 格（mm）	
样品描述		样品数量		接收日期	
沥青种类					

颗粒编号	粒径范围	石料表面对沥青剥落情况	粘附等级
1			
2			
3			
4			
5			
粘附性等级评价			
备注			

校对：　　检测：　　日期：

B.0.17 沥青针入度、延度、软化点试验记录

沥青针入度试验						
试验温度（℃）		试验时间（s）		试验荷重（g）		

沥青延度试验			
试验温度（℃）		延伸速度（cm/min）	

试验次数	1	2	3	平均值
延伸值（cm）				

试验次数	开始加热时间	加热速度（℃/min）	开始加热液体温度（℃）	沥青软化点试验															软化点℃	差值℃	平均值℃
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
1																					
2																					
3																					
4																					
备注																					

校对：　　检测：　　日期：

B.0.18 沥青针入度指数试验记录

沥青品种及标号					进场日期			
出厂批号					代表数量（t）			
取样地点、日期					样品数量（g）			
样品描述					接收日期			
沥青针入度试验记录								
试验时间（s）					试验荷重（g）			
试验温度（℃）		针入度值（0.1mm）				针入度平均值(0.1mm)	针入度对数	
		1	2	3	差值			
X1=							Y1=	
X2=							Y2=	
X3=							Y3=	
X4=							Y4=	
X5=							Y5=	
沥青针入度指数计算								
ΣXi	ΣYi	Σ Xi × ΣYi	ΣXi^2	ΣYi^2	λ_{XX}	λ_{XY}	λ_{YY}	
回归方程系数 AlgPen								
直线回归相关系数 R								
直线回归相关系数 R 要求值（置信度 95%） 不小于								
沥青针入度指数 PI								
备注								

校对：　　检测：　　日期：

B.0.19 沥青闪点与燃点（克利夫兰开口杯法）试验记录

沥青品种及标号			进场日期			
出厂批号			代表数量（t）			
取样地点、日期			样品数量（g）			
样品描述			接收日期			
试验时间(s)			试验荷重（g）			
试验次数	1	2	差值	平均值	试验时大气压（kPa）	修正值
闪点（℃）						
燃点（℃）						
脆点	试验次数	试样质量（g）	试验温度（℃）	脆点（℃）	差值（℃）	脆点平均值（℃）
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
备注						

校对：　　检测：　　日期：

B.0.20 沥青含蜡量、溶解度、薄膜加热试验记录

<table>
<tr><td colspan="12">含蜡量（蒸馏法）</td></tr>
<tr><td colspan="2">试样质量（g）</td><td colspan="2">馏分油总质量（g）</td><td colspan="2">用于测定蜡的馏分油质量（g）</td><td colspan="2">析出蜡的质量（g）</td><td colspan="2">含蜡量（g）</td></tr>
<tr><td colspan="2">单值</td><td colspan="2">平均值</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="12">溶解度（三氯乙烯）</td></tr>
<tr><td colspan="2">古氏坩埚与玻璃纤维滤纸(g)</td><td colspan="2">锥形瓶与玻璃棒质量（g）</td><td colspan="2">锥形瓶、玻璃棒与试样质量（g）</td><td colspan="2">古氏坩埚与玻璃纤维滤纸与不溶物质量（g）</td><td colspan="2">锥形瓶、玻璃棒与粘附不溶物质量（g）</td><td colspan="2">溶解度（%）</td></tr>
<tr><td colspan="2">单值</td><td colspan="2">平均值</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="12">薄膜加热试验</td></tr>
<tr><td rowspan="3">质量损失</td><td colspan="2">试样皿质量（g）</td><td colspan="2">试验前试样皿和试样质量（g）</td><td colspan="2">试验后试样皿和试样质量（g）</td><td colspan="2">质量损失（%）</td></tr>
<tr><td>单值</td><td colspan="2">平均值</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td></td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">针入度比</td><td colspan="2">针杆总质量（g）</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">温度、时间</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">试验次数</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">2</td><td colspan="2">3</td></tr>
<tr><td colspan="2">针入度值（0.1mm）</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">针入度平均值（0.1mm）</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">针入度比（%）</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="5">延度</td><td colspan="2">延度速率（cm/min）</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2">试验次数</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">2</td><td colspan="2">3</td></tr>
<tr><td colspan="2">试验温度（℃）</td><td>10</td><td>15</td><td>10</td><td>15</td><td>10</td><td>15</td></tr>
<tr><td colspan="2">延度（cm）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">10℃延度平均值（cm）</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">15℃延度平均值（cm）</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

校对：　　检测：　　日期：

B.0.21 沥青运力粘度试验记录

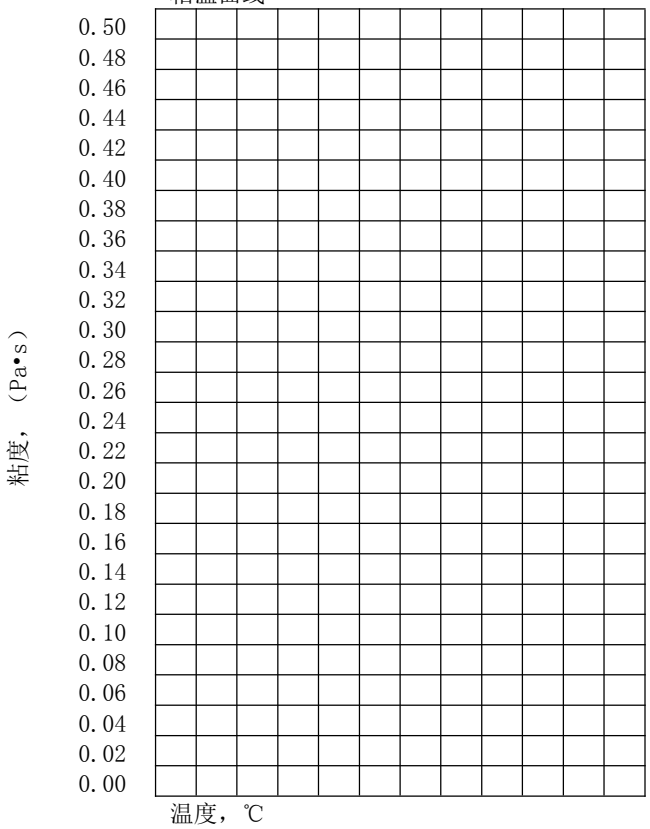
<table>
<tr><td>沥青品种及标号</td><td></td><td>进场日期</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>出厂批号</td><td></td><td>代表数量（t）</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>取样地点、日期</td><td></td><td>样品数量（g）</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>样品描述</td><td></td><td>接收日期</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">试验方法</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="4">真空减压毛细管粘度计</td><td colspan="2">型号</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">毛细管半径（mm）</td><td></td></tr>
<tr><td>试验温度（℃）</td><td></td><td colspan="2">管类型</td><td></td></tr>
<tr><td>真空度（kPa）</td><td></td><td colspan="2">常数（Pa·s/s）</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">试验编号</td><td colspan="2" rowspan="2"></td><td colspan="3">运力粘度（Pa·s/s）</td></tr>
<tr><td>单值</td><td>差值</td><td>平均值</td></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2"></td><td></td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td>备注</td><td colspan="6"></td></tr>
</table>

校对：　　检测：　　日期：

B.0.22 沥青运动粘度试验记录

沥青品种及标号			进场日期		
出厂批号			代表数量（t）		
取样地点、日期			样品数量（g）		
样品描述			接收日期		
试验方法		转子型号		旋转速度	
温度（℃）					
粘度（Pa·s）					

粘温曲线



推荐施工温度（℃）			
拌和温度（℃）		压实温度（℃）	
粘度范围（Pa·s）		粘度范围（Pa·s）	

校对：　　检测：　　日期：

B.0.23 沥青混合料马歇尔试验记录

试 件 编 号					代表值
圆周对称高度(mm)					
平均高度(mm)					
空中质量(g)					
水中质量(g)					
表干质量(g)					
表干相对密度					
表观密度（g/cm^3）					
毛体积相对密度					
毛体积密度（g/cm^3）					
最大理论相对密度					
空隙率 VV（%）					
沥青体积百分率 VA（%）					
矿料间隙率 VMA（%）					
沥青饱和度 VFA（%）					
稳定度（kN）					
流值（0.1mm）					
残留稳定度（%）					
备注：1. 混合料中沥青含用量为　　%（油石比）； 2. 用表干法测试件的毛体积密度时，水温为　　℃。修正系数 ρ w=					

校对：　　检测：　　日期：

B.0.24 沥青混合料计算最大理论密度试验记录

<table>
<tr><td colspan="3">沥青品种及标号</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">沥青密度(g/cm³)</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">取样地点、日期</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">混合料类型</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">样品描述</td><td colspan="2"></td><td>样品数量</td><td></td><td>接收日期</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">集料名称</td><td colspan="3">粗集料</td><td colspan="3">细集料</td><td colspan="2" rowspan="2">矿粉</td></tr>
<tr><td colspan="2">集料规格
（mm）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">表观相对密度</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">毛体积
相对密度</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">矿料比例（%）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="5">沥青
含量
（%）</td><td></td><td rowspan="5">油
石
比
（%）</td><td></td><td rowspan="5">最大
理论
相对
密度</td><td></td><td rowspan="5">集料
组合
表观
相对
密度</td><td></td><td rowspan="5">集料
组合
毛体
积相
对密
度</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>备注</td><td colspan="9"></td></tr>
</table>

校对：　　检测：　　日期：

B.0.25 沥青混合料计算最大理论密度（真空法）试验记录

试　验　项　目	混合料编号：			
	油石比为_____%		油石比为_____%	
	1	2	1	2
试样空中质量（g）				
负压容器+水质量（g）				
负压容器+水+试样质量（g）				
最大理论相对密度				
最大理论密度（g/cm³）				
最大理论密度均值（g/cm³）				
备注： 1. 试验时水温为_____℃，此温度下水的密度为_____g/cm。 2. 选用的负压容器类型为_____。				

校对：　　检测：　　日期：

B.0.26 沥青混合料车辙试验记录

试件编号					平均值
空中重(g)					
水中重(g)					
表干重(g)					
毛体积相对密度					
毛体积密度 (g/cm^3)					
理论最大相对密度					
空隙率 VV(%)					
45min 读数					
60min 读数					
计算变形量(mm)					
动稳定度(次/mm)					
标准差(次/mm)			变异系数(%)		

备注：

1. 混合料中沥青含用量为_____%。
2. 用表干法测试试件的毛体积密度时，水温为_____℃。修正系数 ρ_ω =_____。

校对：　　检测：　　日期：

B.0.27 沥青混合料的抗水损害试验记录

试 验 项 目	沥青混合料浸水残留稳定度试验结果									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
试样高度(mm)										
毛体积相对密度										
试件的稳定度 $\underline{MS}$(kN)										
	~~$\overline{MS_i}$~~= 重复性试验偏差= ＜0.270（允许差）									
浸水 48h 后的稳定度 MS_1(kN)										
	~~$\overline{MS_i}$~~= 重复性试验偏差= ＜1.215（允许差）									
浸水残留稳定度 MS_0=_____%										
备注： 1. 成型方法：马歇尔试件双面各击实_____次； 2. 试验温度：60℃，加载速率：50mm/min； 3.沥青混合料油石比为_____%。										

校对： 检测： 日期：

B.0.28 沥青混合料的冻融劈裂试验记录

试 验 项 目	沥青混合料冻融劈裂试验结果									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
试样高度(mm)										
毛 体 积 密 度 (g/cm³)										
试验荷载最大值 P_{T1}(kN)										
试验荷载最大值 P_{T2}(kN)										
未进行冻融循环试件的劈裂抗拉强度 R_{T1}（MPa）										
	$\overline{R_{T1}}$= 重复性试验偏差= ＜0.043（允许差）									
经受冻融循环试件的劈裂抗拉强度 R_{T2}（MPa）										
	$\overline{R_{T2}}$= 重复性试验偏差= ＜0.038（允许差）									
沥青混合料的冻融劈裂抗拉强度比 TSR=_____%										
备注： 1. 成型方法：马歇尔试件双面各击实_____次； 2. 试验温度：_____℃，加载速率：50mm/min； 3. 沥青混合料油石比为_____%。										

校对： 检测： 日期：

B.0.29 沥青混合料矿料筛分试验合成级配记录表

筛孔尺寸(mm) 通过百分率 矿料名称 (%)	31.5	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	<0.075		矿料比例(%)
碎石（ ）mm																
碎石（ ）mm																
碎石（ ）mm																
砂																
矿 粉																
标准级配范围																
施工合成级配																
级配使用值																
备 注																

校对： 检测： 日期：

B.0.30 沥青混合料配料记录

试拌组别 每伴用量 (g) 材料名称	1 组	2 组	3 组	4 组	冷 料 比 例 (%)
碎石：_____mm					
碎石：_____mm					
碎石：_____mm					
（ ）砂					
矿粉					
结合料					
掺合料					
备 注					

校对： 检测： 日期：

B.0.31 沥青混合料谢伦堡沥青析漏检测记录

检 验 项 目	检验编号		
	1	2	3
试样质量 （g）			
烧杯质量 （g）			
烧杯和试样的总质量（g）			
沥青析漏损失 （%）			
平均值 （%）			
备注	检测时温度为____℃，时间持续为 60±1min。		

校对： 检测： 日期：

B.0.32 沥青混合料体积参数分析试验记录

沥青种类及标号			沥青密度		
取样地点、日期			混合料类　型		
击实次数（双面），次			击实温度，（℃）		
样品描述		样品数量			
项目	上限	中限	下限		技术要求
初试沥青含量（%）					
组合集料表观相对密度					
组合集料毛体积相对密度					
最大理论相对密度					
空隙率(%)					
矿料间隙率（%）					
沥青饱和度（%）					
稳定度（kN）					
流值（0.1mm）					
集料有效密度					
0.075 含量(%)					
备　注					

校对：　　检测：　　日期：

B.0.33 沥青混合料配合比设计报告

第　　页共　　页　　报告编号：

委托单位					委托编号										
工程名称					施工部位										
混合料类型					沥青品种，标号										
沥青密度					委托日期										
见证单位					试验日期										
见证人及编号					报告日期										
矿料组成 (㎜)		碎 石 (16 ~ 26.5)		碎 石 （9.5 ~ 16）		碎 石 （4.75 ~ 9.5）		碎 石 （2.36 ~ 4.75）				砂		矿 粉	
推荐冷料比例 (%)															
矿料筛析	筛 孔 (mm)														
	优化级配要求 (%)														
	使 用 值 (%)														
	试验合成级配(%)														
沥青及混合料试验结果		针入度 (25 ℃ 0.1mm) 0.1mm)		延 性 (15 ℃ cm)		软化点 (℃)		粘结力 （级）		油石比 (%)		水动稳定度 (%)			
		毛体积相对密度 (g/cm^3)		空隙率 (%)		饱和度 (%)		稳定度 (kN)		流 值 (0.1mm)		动稳定度 60 ℃ (次 / ㎜)			
说　　明															
检测依据															
主要检测仪器															
结　　论															
备　　注															

批准 _____　审核 _____　校对_____　试验 _____

B.0.34 沥青（改性沥青）检验报告

第　　页共　　页　　报告编号：

委托单位				委托编号	
工程名称				施工部位	
品种及标号		产 地		样品编号	
代表数量（t）				委托日期	
见证单位				试验日期	
见证人及编号				报告日期	

试 验 项 目		试验方法	质量要求	检测结果
针入度（100g5s25℃）(0.1mm)		T0604		
针入度指数PI		T0604		
软化点（环球法5℃） (℃)		T0606		
延度	（5cm/min.10℃） (cm)	T0605		
	（5cm/min.15℃） (cm)	T0605		
闪点 (℃)		T0611		
溶解度 （%）		T0607		
含蜡量（蒸馏法） （%）		T0615		
密度（15℃） （g/cm³）		T0603		
60℃动力粘度 （Pa.s）		T0620		
运动粘度135℃ （Pa.s）		T0619		
薄膜加热试验（163℃5h）	质量变化 （%）	T0910		
	残留针入度比（%）	T0604		
	残留延度（10℃） (cm)	T0605		
检测依据				
检测仪器				
结　论				
备　注				

批准 _____ 审核 _____ 校对_____ 试验 _____

B.0.35 沥青混合料用粗细集料检验报告

第　　页共　　页　　报告编号：

委托单位		委托编号	
工程名称		施工部位	
检测性质		委托日期	
见证单位		试验日期	
见证人及编号		报告日期	

集料规格（mm） 性能指标		碎石 16 ~ 26.5	碎石 9.5 ~ 16	碎石 4.75 ~ 9.5	碎石 2.36 ~ 4.75	机制砂	砂
毛体积相对密度	质量要求						
	试验结果						
表观相对密度	质量要求						
	试验结果						
压碎值（%）	质量要求						
	试验结果						
磨光值（%）	质量要求						
	试验结果						
针片状（%）	质量要求						
	试验结果						
含泥量（%）	质量要求						
	试验结果						
软石含量（%）	质量要求						
	试验结果						
对沥青的粘附性（级）	质量要求						
	试验结果						
检测依据							
检测仪器							
备　注							

批准 _____　审核 _____　校对_____　试验 _____

B.0.36 沥青混合料车辙检验检测报告

第　　页共　　页　　报告编号：

委托单位			委托编号			
工程名称			施工部位			
检验性质			委托日期			
见证单位			试验日期			
见证人及编号			报告日期			
沥青品种及标号				沥青密度		
样品描述		样品数量		委托日期		
混合料类型		试验温度（℃）		轮压（MPa）		
试件毛体积相对密度		试件制作方法		空隙率（%）		
集料规格（mm）						
矿料组成比例（%）						
沥青含量（%）						
沥青混合料车辙试验结果						
动稳定度 60℃（次/mm）		标准差（次/mm）		变异系数（%）		
规定值 60℃（次/mm）						
结论						
备注						

批准 _____　审核 _____　校对_____　试验 _____

B.0.37 沥青混合料用矿粉检验报告

第　　页共　　页　　报告编号：

委托单位			委托编号		
工程名称			施工部位		
生产厂家			品种.规格		
检测性质			委托日期		
见证单位			试验日期		
见证人及编号			报告日期		
矿粉筛析	筛孔尺寸(mm)	＜0.6	＜0.15	＜0.075	
	粒度范围 (%)				
	检验结果(%)				

试验项目	质量要求	试验结果
密 度 （g/cm^3）		
亲水系数		
含水量 （％）		
外 观		

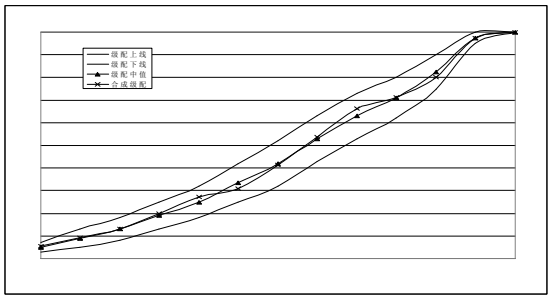
检测仪器	
检测依据	
结　　论	
备　　注	

批准 _____　审核 _____　校对_____　试验 _____

B.0.38 沥青混合料配合比设计合成级配关系曲线图

第　　页共　　页　　报告编号：

筛孔尺寸（mm）		31.5	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过百分率(%)	16-26.5													
	9.5-16													
	4.75-9.5													
	2.36-4.75													
	砂													
	矿粉													
冷料比例														
碎石	16-26.5													
碎石	9.5-16													
碎石	4.75-9.5													
碎石	2.36-4.75													
	砂													
	石粉													
合成级配														
中值														
差值														
上线														
下线														

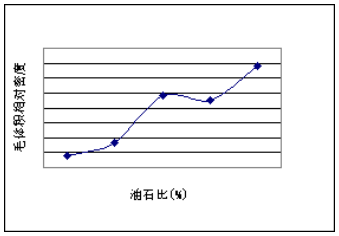


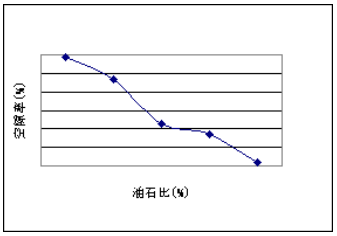
批准 _____　审核 _____　校对_____　试验 _____

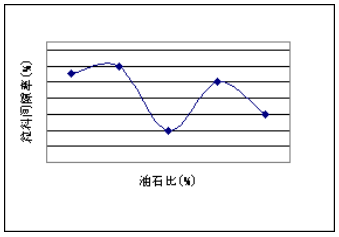
B.0.39 沥青混合料体积参数设计报告

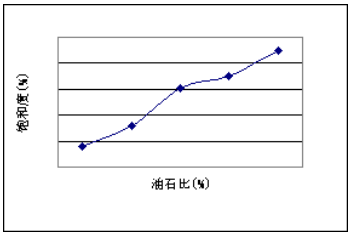
第　　页共　　页　　报告编号：

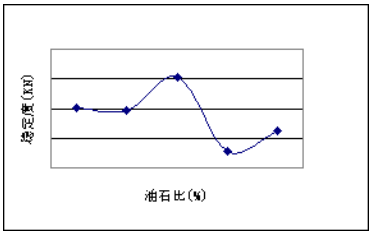
油石比（%）	毛体积相对密度	空隙率（%）	粒料间隙率（%）	饱和度（%）	稳定度（kN）	流值（mm）

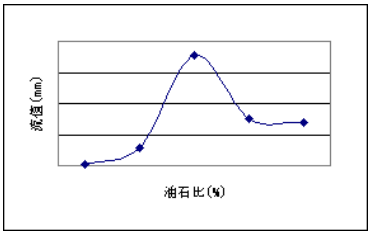












批准 _____　审核 _____　校对_____　试验 _____

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同地用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应该这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 本规程中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……要求或规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

1、《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20

2、《公路沥青路面施工技术规范》 JTG F40

福建省工程建设地方标准

沥青混合料配合比设计规程

Specification for mix proportion design
of bituminous mixtures

DBJ/T13-69-2013
住房和城乡建设部备案号：J10657-2013

条 文 说 明

修订说明

本规程是在《沥青混合料配合比设计规程》DBJ13-69-2005的基础上修订而成。本规程借鉴和吸取了国内外先进技术和经验，总结福建省的工程实践经验，制定技术水平先进和切实可行的沥青混合料配合比设计规程。同时，保持了规程的连续性和与相关国家和省现行规范、标准的一致性。

本规程修订过程中，编制组进行了大量调查研究，重点修订的主要技术内容是1．增加了Superpave沥青混合料配合比设计程序；2．新增了OGFC沥青混合料的技术参数；3．统一了配合比计算公式。

上一版的主编单位是福州市城市建设科学研究所，参编单位是福州市市政工程质量监督站、福建融诚建设工程质量检测有限公司，主要起草人员是苏忠高、施伯超、林清、陈鸿炽、李恒华、蔡文尧。

为便于相关单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《沥青混合料配合比设计规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程正文规定的参考。

目　次

1 总则 …… 115
2 术语、符号 ……116
3 材料要求 ……117
3.1 一般规定 ……117
3.2 道路石油沥青……117
3.3 改性沥青 ……119
3.4 粗集料 ……121
3.5 细集料 ……123
3.6 填料 ……123
3.7 添加剂 ……124
4 技术条件 …… 128
4.1 一般规定 …… 128
4.2 技术要求 ……
1 2 8
5 目标配合比设计……131
5.2 材料的选择 ……131
5.3 混合料配合比范围……
1 3 2
5.4 选择设计集料级配 ……164
5.5 最佳沥青用量的确定 ……165
5.6 混合料性能检验 ……166
附录 B 沥青混合料配合比设计检测记录及报告 ……167

1 总　则

1.0.1　本条为制定本规程的目的，沥青混合料的质量问题与混合料配合比有着直接关系。由沥青混合料的质量，而直接危及道路的结构安全和正常使用。随着道路交通事业的发展，沥青混凝土路面在国内外公路及城市道路中作为高级路的主要结构类型而广为应用，如何保证沥青路面的路用性能，提高路面质量，混合料配合比设计是关键因素之一。由于市政行业目前尚未无可行性、明确性、可操作性的配合比规程，为提高城市道路沥青砼工程施工技术水平，确保沥青混合料工程质量，供设计、施工和科研工作在确定沥青混合料配合比时有一个统一的标准而制定本规程。

1.0.2　本条为适用范围，由于本规程为省地方标准，仅适用于本省市政道路新建和改道工程范围。属于沥青混合料范畴的专业标准。若遇半开级配、开级配沥青碎石混合料配合比设计可参照《公路沥青路面施工技术规范》（FTG F40-2004）标准执行。

1.0.3　阐明沥青混合料目标配合比的任务和本规程编制的基本原则，而气候条件、交通条件、原材料及技术条件和实测检验对混合料质量具有一定的影响，因此要考虑上述各种因素的合理选择。

1.0.4　沥青混合料试验检测机构须经省级建设行政主管部门的检测资质认可和计量行政主管部门考核合格后，才能合法地进入检测市场开展相应的检测业务。实行这种考核办法旨在确认检测机构的计量鉴定、测试设备能力、人员技术水平、符合机关检测标准的情况，检测数据可靠性和质量管理体系的有效性，以保证质量的检测结果经济、科学、合理、公正、可靠。

1.0.5　在按本规程进行配合比设计时，会涉及到其他的一些标准、规范，特制定此条文。

2 术语、符号

本规程术语、符号及条文翻译根据《英汉道路工程词汇》、《道路工程术语标准》、《公路工程沥青及沥青混合料试验规范》、《公路沥青路面施工技术规范》等确定。

3 材料要求

3.1 一般规定

3.1.1　沥青混合料配合比设计成功与否，材料起着至关重要的作用，材料的好坏是沥青混合料工程质量的关键，因此特别强调把好材料关。应以检测数据为依据，合理利用资源，节约材料。在混合料配合比设计时严格控制质量，防止因使用不符合要求的材料而造成损失。

3.1.2　沥青路面集料粒径应以方孔筛为准，是依据国标《沥青路面施工及验收规范》之规定。

3.1.3　本条为沥青混合料配合比设计时选择道路石油沥青或改性沥青的原则和要求。

3.2 道路石油沥青

3.2.1　本规程所选用的道路石油沥青技术要求系按《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40-2004），考虑到我省地处亚热带，属夏季炎热冬温气候。虽然受海洋性季风气候影响，多年平均气温不高（20℃），但最热的 7 月份平均气温达 30℃，且历年极端最高气温达 40℃，近年高温持续时间较长，同时雨量较多，空气潮湿。因此对用于沥青路面上的道路石油沥青来说，既要求有较高的温度稳定性又要求有良好的水稳定性，还要求耐高温老化和耐气候老化等方面的性能。为此本规程沥青的质量比《沥青路面施工及验收规范》中的重交通道路石油沥青的质量有所提高，特别是提高 15℃延度及含蜡量的要求，当沥青延度大于 100cm 时记录为大于 100cm 即可，同时沥青中的含蜡量高低跟沥青的感温性能（PI 值）也有直接的关系，蜡含量高，其热温性能指标越小，故本规程规定 A 级沥青蜡含量小于 2.0%；B 级沥青蜡含量小于 2.5%。

通过福州市城市建设科学研究所测试各项指标都能满足表 3.2.1 的规定。既要求有较高的温度性能，为此本规程特别推荐选用 90 号、70 号和 50 号沥青并对软化点及 10℃延度采用适应我省气候的统一标准。

3.2.2　引用《公路沥青路面施工技术规范》对道路石油沥青技术要求的修改主要有以下内容：

1 将原来的“重交通道路石油沥青”和“中、轻交通道路石油”两个技术要求合并为一个“道路石油沥青技术要求”，根据当前的沥青使用和生产水平，按技术性能分为 A、B、两个等级：B 级沥青与原规范“重交通道路沥青”相近，C 级沥青本规程不使用；

2 沥青质量要求充分照顾到气候条件，规定了适宜我省的沥青针入度等级；

3 增加了沥青的感温性指标针入度指数 PI 值，国外一般要求 PI 值在-1～+1 之间，本规范根据大量的试验研究，适当有所降低。在规范修订过程中有些意见认为 PI 值的试验误差较大，或者应该按照试验规程的方法，可选用 5 个适宜的温度测定针入度计算，且要求相关系数不低于 0.997。至于计算方法，EN12591：2000 标准确实已经由以前的采用 5 个温度的针入度计算的方法修改为按 Pfeiffer 和 Van Doormael 的方法由针入度和环球法软化点确定。

$$PI = \frac{20 \times T_{RandB} + 500 \times \lg P - 1952}{T_{RandB} - 500 \times \lg P + 120} \qquad (1)$$

此方法中显然是考虑到欧洲的道路沥青蜡含量普遍已经很低，当量软化点的概念已经失去意义，同时为照顾不同国家的要求，标准也由原来的-1～+1 放宽到-1.5～+0.7。

两种计算方法的 PI 值不同主要是由于蜡含量对软化点的影

响所造成。两种不同方法的计算结果之差来源于不同方法测定的软化点的差异，二者的相关系数达 0.973。因此在我国目前的沥青蜡含量的水平情况下（包括 B 级沥青），PI 值的计算方法尚不宜改变。同时考虑到目前国产沥青和进口沥青的 PI 水平，将要求放宽到不小于-1.5（A 级）或-1.8（B 级）。

4 在适当提高软化点指标的基础上，A 级沥青增加了 60℃温度的动力粘度作为高温性能的评价指标；

5 沥青的低温性能指标，A、B 级沥青改为 10℃延度；

6 含蜡量仍然是标准中的重要指标；

7 老化试验统一为薄膜加热试验（TFOT），也允许用旋转薄膜加热试验（RTFOT）代替。

《公路沥青路面施工技术规范》规定“经建设单位同意，PI 值、60℃动力粘度、10℃延度可作为选择性指标”是考虑到这些指标是初次列入标准，总有一个滞后时间。在 CEN 的标准中也有类似的做法，为了照顾不同国家的不同习惯，除规定了通用性指标外，还有一系列的选用性指标。对这些指标，希望各地积累数据，制订符合本地区实际情况的技术要求。

3.3 改性沥青

3.3.1 用于改善结合料性能的改性剂品种较多，有机的有 SBR、SBS、PE、EVA 等，这些改性剂或多或少对沥青粘结料和沥青混合料的性能都有所改善，每种改性剂都有其侧重面和不足。PE、EVA 虽然能改善沥青结合料的高温性能，但对低温性能和疲劳性能没有改善，而且现场使用这些产品需要几百万元的加工设备，极不方便；SBS、SBR 改性的结合料都具有较好的高、低温性能，通过多年工程实践，SBS 改性沥青适用于各种气候条件下使用，而 SBR 在低温抗开裂方面更优于 SBS，且具有成熟的产品（丁苯橡胶沥

青母体）可供采用，使用也较方便。

3.3.2　AR 橡胶沥青不同于普通沥青，也不同于一般 SBS 改性沥青。橡胶沥青路面具有良好的路用性能，具有良好的耐久性，橡胶沥青路面设计包括路面结构设计和橡胶沥青混合料的组成设计：

1 橡胶沥青对间断级配的适应性。间断级配的橡胶沥青混合料，其橡胶沥青用量常常大于 7%，有时可以达到 8%，甚至更高。胶粉的用量要求足够大，通常达到 18%～20%（内掺）以上。SMA 沥青路面路用性能好，沥青膜厚，使用寿命长，也因为沥青膜厚，使混合料在低温下仍保持良好的低温柔韧性，增强路面的抗裂性能，因此间断级配橡胶沥青路面很少出现裂缝；

2 橡胶沥青对密级配的不适用性。采用橡胶沥青铺筑密级配路面，由于密级配混合料的矿料间隙率 VMA 小，不容许容纳较多的沥青，而橡胶沥青因黏度高，沥青膜厚，尤其是当采用高剂量、粗粒度（如 20-30 目）的胶粉配制橡胶沥青，沥青膜更厚，所以这种橡胶沥青不适应于密级配混合料。

3.3.3　当工地上使用的是改性剂含量高的半成品改性沥青时，应采用强制式搅拌设备按设计要求的掺配比例和性能要求进行制配。改性沥青长时间在高温条件下储存时，沥青会硬化，针入度稍有下降，但软化点略有上升，其延度在储存一两天时，还较好，时间再长，延度则下降较多，故掺配好的改性沥青材料应及时使用完，当需储存时，在 160℃下储存的时间不得超过 4～6 小时；由于特殊原因需要储存时（遇下雨不能施工及其他原因），应将温度降至 80～100℃；在 120℃温度下储存时不超过 16 小时，以免老化。

3.3.4　本规程表 3.3.3 改性沥青的质量要求，采用省地方标准《改性沥青玛蹄脂碎石混合料（SMA）施工技术规程》

(DBJ13-54-2013)和《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)中之规定。根据实践对原规范中运动粘度的测定温度 135℃改为155℃，软化点有适当提高这更符合实际要求。改性沥青的技术标准以改性沥青的针入度作为分级的主要依据，改性沥青的性能以改性后沥青感温性的改善程度即针入度指数 PI 的变化为关键评价指标。从改善温度敏感性的要求出发，改性后希望在沥青的软化点提高的同时针入度不要降低太多。由于基质沥青标号及改性剂掺量的不同从 A 到 D 表面沥青的针入度变小、沥青变硬、高温性能提高，低温性能降低。

3.4 粗集料

用作沥青路面的粗集料应清洁、干燥、无风化、无杂质，具有足够的强度和耐磨性。粗集料的颗粒应成立方形，在路面中粗集料起着支承荷载的作用，它的质量，尤其是针片状颗粒含量、风化石含量，对路面的使用性能有很大的影响。欧美国家特别重视集料的质量，尤其关注集料的颗粒形状。美国 SHRP 对大于 5mm 的粗集料无论交通量多少，针片状颗粒均要求不大于 10%（最大、最小尺寸比大于 5）。长期以来，许多工程单位对材料质量未予充分的重视，碎石料的针片含量很高，在主观上缺乏对针片状颗粒的危害性的理解和认识。集料的颗粒形状影响混合料的和易性，也影响混合料的稳定性。针片状颗粒含量不仅与岩石的品质有关，而且与加工的工艺方法、机械设备以及质量管理水平有关。要严格限制针片状颗粒含量，不仅要选择好的岩石，而且要选择合适的设备。

颗粒的表面构造是集料的又一重要特性，它对集料颗粒间的摩阻力有重要影响。对于砾石破碎的要求，以面积百分率作为标准，实际上是难以控制的，因为破碎面积难以量取。为保证城市

高速路沥青路面的高温稳定性，用于沥青面层的沥青混合料不得采用破碎砾石作为集料。

集料应符合一定的级配要求，以便在沥青混合料生产时能保证集料级配始终符合设计要求而不致于偏差过大。对于集料粒径分布不均衡的碎石料，应进行过筛处理。最有效的做法是避免集料颗粒尺寸分档过宽，例如用粒径 4.75～16mm 的碎石料，往往粒径分布不均衡，有时 4.75～9.5mm 部分偏多，有时则 9.5～16mm 部分偏多。如能将这部分料分成两档，4.75～9.5mm 和 9.5～16mm，分别进拌缸，就能保证混合料级配的准确性。

在选择粗集料岩石的品种时，应分别路面结构层次提出要求。如对于中、下面层，对石料的硬度、磨光值可不予强求，而适当放宽要求；但对于上面层，则对石料的硬度、磨光值、沥青的粘附性等指标，则必须满足要求，有时可以高于规范的标准。

改性沥青 SMA 混合料的高温稳定性是依靠粗集料面与面接触、紧密嵌挤形成骨架结构，为防止碎石颗粒在车辆荷载的挤压过程中发生破碎，粗集料是 SMA 质量控制的关键。因此必须使用坚韧、有棱角、具有较高强度和刚度的优质石料，而不能使用质地较软的石灰岩。

改性沥青 SMA 对粗集料抗压碎的质量要求较高，美国对粗集料以洛杉矶磨耗试验来检验其坚韧性，认为石料的坚韧性与抗压碎性存在直接关系。结合我省的实际情况，本规程将压碎值修改为不大于 25%。

粗集料的针片状颗粒含量是个重要指标，因为 SMA 混合料的性质对集料 4.75mm 通过率十分敏感，而针状和片状的粒料在车轮荷载作用下很容易折断碎裂，使混合料的细料增多从而导致级配发生变化，因此应严格予以控制。

根据 SMA 材料的特性，在有条件的地方最好采用玄武岩、辉绿

岩等硬质的碱性石料，而花岗岩、石英岩等酸性岩石往往质量较好，但它们与沥青的粘附性往往很差（小于Ⅴ级），因此可以通过掺加消石灰、水泥或抗剥落剂来提高与集料的粘附性（大于Ⅳ级）。

3.5 细集料

细集料通常是石屑、天然砂、人工机制砂。目前在工程上石屑应用较多，但石屑的质量往往容易忽视，而影响混合料的品质。

细集料同样也要求颗粒形状呈立方形，而富有棱角。但目前许多采石场所供应的石屑都是石料轧制过程中剥落下来的碎屑，片状居多，因而是不合要求的。细集料的棱角性对于确保混合料高的内摩阻力和抗车辙能力至关重要。对细集料的棱角性定义为：通过 2.36mm 筛孔集料的未压实（松方）空隙率。这是因为较高的空隙率意味着更多的破碎面。其试验方法是将细集料通过标准漏斗倒入一个经标定的小圆筒内，测试充满已知体积（V）圆筒的细集料重量（W），根据圆筒体积与圆筒中细集料体积之差，即可算出其空隙率，用细集料的毛体积密度，可计算出细集料体积。

从细集料的棱角性考虑，应尽可能采用机制砂。然而，天然砂使用时应注意用量不能过多，这是因为天然砂在自然作用下经过搬运，棱角已被磨平，用量过多，会引起混合料稳定性明显下降。

细集料在 SMA 混合料中的用量仅为 10%～20%，但同样要求石质坚硬、富有棱角，并有一定的表面纹理。天然砂颗粒接近于圆形，摩阻力小，不宜使用。

3.6 填　料

在沥青混合料中，矿粉与沥青形成胶浆，它对混合料的强度有很大影响。用于沥青混合料的矿粉应使用碱性石料，如石灰石、白云石磨细的粉料。在拌制沥青混合料过程中的吸尘灰，往往含

有较多的粘土成分，而粘土垢存在将影响混合料的水稳性，故一般不宜用于上面层，但下面层允许使用一部分。

为了提高沥青混合料的水稳性，采用消石灰粉或水泥代替部分矿粉有很好的效果，但用量一般不宜超过矿粉总量的一半。

填料在 SMA 混合料中是重要的组成部分，它与沥青混合料形成玛蹄脂，其质量对混合料的稳定性与抗车辙能力有很大关系，填料一般应采用石灰石磨细的石粉，其他粉料不宜使用，但有时为了提高混合料的水稳定性也使用水泥、消石灰代替。

考虑到在沥青混合料实际生产过程中将排出大量的粉尘，充分利用这些粉尘不仅有利于环境保护，而且也有利于成本的降低，但回收粉尘的质量往往难于达到规定要求，因此本规程对回收粉尘作为填料做了较严格的规定。

3.7 添加剂

在生产 SMA 沥青玛蹄脂碎石混合料时必须采用纤维稳定剂，其原因是 SMA 使用大比例矿粉和沥青结合料的同时必须添加纤维素材料来吸附混合料中多余的自由沥青，提高胶结料的抗流动性，使骨料接触界面形成一层厚厚的稳定结料膜，尤其是纤维素材料在胶结料中的网状分布，使胶结料形成一种互穿网络结构，即降低了胶结料的温度敏感性又提高了胶结料的韧性，使胶结料具有较大的内聚粘结力，从而提高了骨料接触界面间的粘阻力，当集料受外力作用时不易产生变形，而形成较高的强度。

纤维材料的种类很多，其在 SMA 混合料中不仅是为了吸油防止沥青析漏，而且还起着吸附、稳定和“加筋”等重要作用，本规程第一笔者在 1998 年至 1999 年间以进口的木质素颗粒纤维(A 德国产）和木质素松散纤维（B 芬兰产）及石棉纤维(C 国产)，选用 SMA16 为研究对象，采用 L8（23）正交法进行 65℃的动稳定度

试验见表 1 和图 1，试验结果表明纤维的种类对 SMA 混合料的动稳定度有较大的差异，含量 100％松散的芬兰木质素纤维值比含量 85％德国颗粒木质素纤维值对 SMA 的动稳定度的贡献要大得多，因此推荐采用松散状纤维。石棉纤维次之，但石棉纤维对人体有害，长期吸入石棉粉尘会引起石棉沉着痰和支气管痰，故禁止使用。

表 1 正交试验的配合比和动稳定度的试验结果

正交试验配合比	方筛孔尺寸（mm）												油石比(%)	纤维种类	纤维用量(%)	65℃动稳定度(三次平均)次/mm
	—	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075				
1	100	90	75	50	32	25	25	23	21	18	10	5.8	A	0.4	2173
2	100	90	75	50	32	25	25	23	21	18	10	5.8	B	0.4	3880
3	100	90	75	50	32	25	25	23	21	18	10	5.8	C	0.4	3886

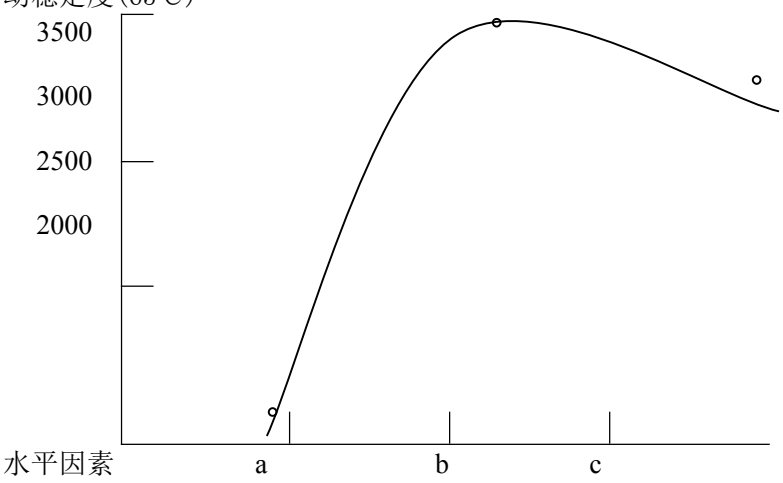


图 1 纤维素种类正交试验的动稳定度结果分析图

对于木质纤维和松散木质纤维用量在不同的结合料用量下对混合料的动稳定度的影响以 SMA13 混合料采用 L8（23）正交表进一步考察，因素和水平分别见表 2、表 3 及图 2、图 3。

表 2 SMA13 混合料的正交试验的因素和水平

因素 水平	纤维用量 （%）	油石比 （%）	纤维种类
1	0.2	6.0	颗粒木质素纤维
2	0.4	6.4	松散木质素纤维

表 3 SMA–13 正交试验的配方和动稳定度试验结果

筛孔尺寸 （mm）	正交试验各组配合比							
	1	2	3	4	5	6	7	8
13.2	100	100	100	100	100	100	100	100
9.5	75	75	75	75	75	75	75	75
4.75	32	32	32	32	32	32	32	32
2.36	28	28	28	28	28	28	28	28
1.18	23	23	23	23	23	23	23	23
0.6	21	21	21	21	21	21	21	21
0.3	18	18	18	18	18	18	18	18
0.15	14	14	14	14	14	14	14	14
0.075	10	10	10	10	10	10	10	10
纤维用量（%）	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4
油石比（%）	6.0	6.4	6.0	6.4	6.0	6.4	6.0	6.4
纤维种类	颗粒	松散	松散	颗粒	颗粒	松散	松散	颗粒
65℃动稳定度 （次/mm）	1142	970	1244	818	1044	1432	2459	1164

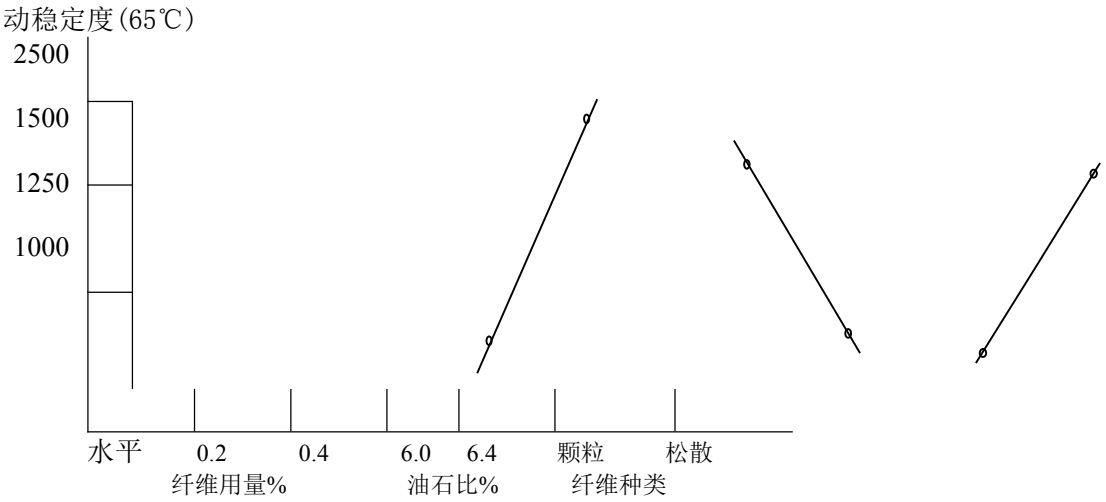


图 2 SMA–13 混合料正交试验的动稳定度分析结果

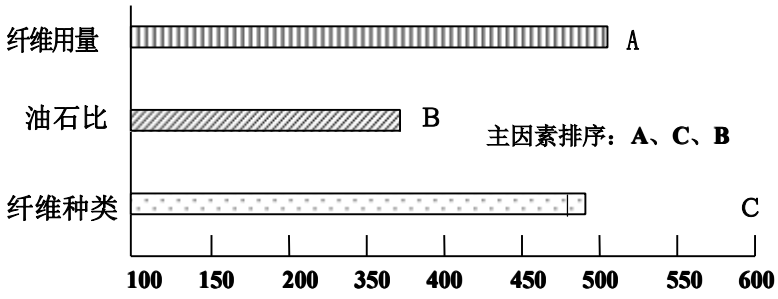


图 3 SMA–13 正交试验的主因素分析结果

4 技术条件

4.1 一般规定

4.1.1　由于不同地区、不同道路等级的情况较复杂，沥青路面各层使用的沥青混合料类型主要应以设计文件决定。

4.1.4　温度对沥青混合料拌和、成型、沥青加热等都是有十分重要的因素，表 4.1.4-1 是按照《公路沥青路面施工技术规范》的规定，表 4.1.4-2 沥青混合料的拌制工艺参数是从粘温曲线和工程实践中的适宜温度参数。

4.2 技术要求

4.2.2　按《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40-2004）标准规定了沥青混合料配合比设计的技术标准，其主要内容为：

1 明确了我国沥青混合料的配合比设计方法，仍然以马歇尔试验方法标准的设计方法，同时也允许采用其他设计方法。当采用其他设计方法时，应按照马歇尔设计方法进行检验，由于设计方法的不同，设计指标也可能不一样，表 4.2.2-1 至表 4.2.2-2 的技术标准是指马歇尔试验配合比设计的设计标准；

2 沥青混合料的各种配合比设计方法都以体积设计为主，但是必须进行高温抗车辙性能、水稳定性、抗裂性能、渗水性检验以验证设计的合理性。这些性能检验向“性能设计”迈出了重要的一步；

3 统一了计算沥青混合料空隙率等各项体积指标的测定方法和计算方法。这是配合比设计的基础，如果各行其是地测定或者计算，不仅指标不能相互比较，对数据的真实性也受到怀疑。有

的工程采用非标准的方法测定计算，尽管自己声称空隙率为4%，但路面渗水情况严重，并造成严重的水损坏。

表4.2.2-1中，车辙动稳定度试验温度采用65℃是有两个原因，一是考虑到福州地区气温较高，极端气温达到40℃，如果按美国战略公路研究计划（SHRP）根据纬度建立的路表温度与空气温度的换算公式：

$$T_{surf} = T_{air} - 0.00618lat^2 + 0.2289lat + 24.4 \quad (2)$$

式中：T_{surf}——沥青路表温度，以℃计；

lat——纬度，以度计；

T_{air}——空气温度，以℃计。

福州地区大约位于25度纬度，因此可以计算出当气温达到40℃时，沥青路面表面温度将达到66.3℃；二是沥青混合料越在高温区越敏感，如表4所示，我们不难从表4的结果看出，每当试验温度比前一级高5℃，SMA混合料的动稳定度将降低约50%，因此用65℃的动稳定度来考察，既符合所在地区的实际温度条件，又能体现不同因素对级配的影响程度，实际运用工程时应考虑当地的气候性能决定采用65℃或60℃。

表4 SMA混合料在不同试验温度对动稳定度的影响

试验温度（℃）	60	65	70	75
动稳定度（次/mm）	2559	1488	928	523

4.2.3　按《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40-2004）规定最大理论密度或最大理论相对密度测定以真空法标准法。采用真空法测定改性沥青混合料或SMA混合料的最大理论相对密度时，试验表明，改性沥青因为粘度大，不仅人工分散很难达到小于6mm以下的要求，而且在小于6mm以下的团粒中仍然包含有不少气泡，

它在相同的真空及振动情况下不能使团粒继续分散，封闭在集料团粒中的空气不能跑出，最大理论相对密度将变小，且平行误差超过要求，所以得不到“零空隙”时的最大理论相对密度。对改性沥青的SMA混合料有钎维时分散更困难。

因此对改性沥青混合料和SMA混合料，将只能用计算求取混合料的最大理论密度。但在如何计算的方法上，又有不少不同的意见。大部分单位和专家认为可以参考美国Superpave计算有效相对密度的方法，根据各种集料不同的吸水率选用不同的系数C值计算有效相对密度是可行的。Superpave规定一般情况可取C=0.8，对集料吸水率较大时，可取C=0.5～0.8。

5 目标配合比设计

5.2 材料的选择

5.2.1　沥青混合料用沥青、改性沥青抽取代表性试样进行检验，试验结果各项指标必须满足标准，本规程试验方法均采用《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E20-2011）和《公路工程集料试验规程》（JTG E42-2005）标准：

1 我国沥青路面施工规范中对改性沥青各项技术指标的要求：包括针入度、针入度指数、软化点、5℃延度、弹性恢复、离析以及老化指标，并检测其密度；

2 Superpave 结合料性能及 PG76-××的各项技术指标；并检验改性沥青的热储存特性，要求在使用时满足上述技术指标。

5.2.2　沥青混合料用集料

1 集料质量

面层用的粗、细集料与填料的质量要求按省地方标准《改性沥青玛蹄脂碎石施工规程》（DBJ13-54-2013）和《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40-2004）提出的各项要求。

中、下面层不考虑石料磨光值要求，集料表观密度≥2.6 即可，但应满足我国《公路工程集料规程》（JTJ058-2000）的质量要求。

2 料堆集料级配

AC-13：采用（9.5～13.2）mm、（4.75～9.5）mm、（2.36～4.75）mm、（0～2.36）mm　4 种集料

AC-16：采用（9.5～16）mm、（4.75～9.5）mm、（2.36～4.75）mm 、（0～2.36）mm　4 种集料

AC-20：采用（9.5～26.5）mm、（9.5～16）mm 、（4.75～9.5）mm、（0～4.75）mm 4 种集料

AC-25：采用（16～31.5）mm、（9.5～16）mm 、（4.75～9.5）mm、（0～4.75）mm 4 种集料

各种类型混合料的细集料部分，都采用一定数量的天然砂。数量不超过（0～4.75）mm 与（0～2.36）mm 石屑数量。

每种料堆集料超尺寸的数量不得大于 10%；欠尺寸的数量不得大于 15%。

（0～4.75）mm 细集料，0.075mm 通过率百分率不大于 10%。

集料应有稳定的料源，适合破碎加工与筛选方法，才能获得稳定一致的各级料堆集料。集料的质量在很大程度上决定了沥青混合料与沥青路面的质量；因此，加强集料生产的质量管理至关重要。

在进行混合料设计之前，对各级料堆集料取代表性试样进行筛分试验。进行至少 3～5 个试样的平行试验，以其平均值作为混合料配合比设计依据，并检查各种料堆集料超尺寸与欠尺寸的数量是否符合要求。矿粉筛分试验结果以水筛为准。

试验各料堆集料（包括砂）的表观密度、毛体积密度、毛体积相对密度；试验填料（矿粉）的表观密度。为改善集料与沥青结合料类型的粘附性，可在矿粉中掺加 20%的消石灰粉末（石灰岩矿粉：消石灰的质量比为 80∶20）或掺入一定掺量抗剥落剂（一般为沥青质量的 0.4%）。

5.3 混合料配合比范围

5.3.1 SMA 混合料的配合比设计

目前国内外对 SMA 混合料的油石比设计通行的方法是以马歇尔试验方法结合高温析漏试验，此法必需建立在给定的矿料混合

料的级配基础之上，试验工作量较大。对于 SMA 矿料混合料的级配，也大多以经验为主，以 4.75 mm 筛孔的通过率为切入点选择多个比例，并在假定的矿料空隙率和油石比条件下进行马歇尔试验，计算出矿料空隙率和混合料的矿料空隙率，根据研究证明这些配合比并非是最佳的。

本规程充分考虑到我省地区的材料、施工机械、施工队伍素质及气候环境等条件，采用最优化试验设计方法——正交设计试验方法进行 SMA 的配合比研究。其宗旨是用最少的试验工作量获得最佳的试验结果。为此首先以 SMA－13 混合料为研究对象。

考察的主要因素选择（4.75～2.36）mm 两级之间的不同通过率 2.36 mm 以上的粗集料所占矿料总量的比例和矿粉的用量及结合料的油石比四项，试验水平的选取如表 5，采用 L9（34）正交表进行车辙试验，得到的配合比和试验结果分别见表 6 和图 4、图 5。

表 5 SMA—13 混合料第一次正交试验的考察因素水平

因素 水平	（4.75～2.36）mm 的比例(%)	2.36mm 的通过率(%)	0.075mm 的通过率(%)	油石比 (%)
1	15	25	8	5.6
2	10	20	10	6.0
3	5	15	12	6.4

表 6 SMA—13 混合料第一次正交试验的配合比及动稳定度结果

—	配 合 比 次 数								
通过率(%) 筛孔尺寸(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	100	100	100	100	100	100	100	100	100
13.2	95	95	95	95	95	95	95	95	95
9.5	88	88	88	81	80	79	74	72	70
4.75	40	35	30	35	30	25	30	25	20
2.36	25	20	15	25	20	15	25	20	15
1.18	23	18	13	23	18	13	23	18	13

0.6	21	16	12	21	16	12	21	16	12
0.3	19	14	12	19	14	12	19	14	12

续表 6

0.15	14	12	12	14	12	12	14	12	10
0.075	8	10	12	10	12	8	12	8	10
纤维(%)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
油石比(%)	5.6	6.0	6.4	6.4	5.6	6.0	6.0	6.4	5.6
动稳定度65℃(次/mm)	776	592	164	1030	710	566	1050	663	428

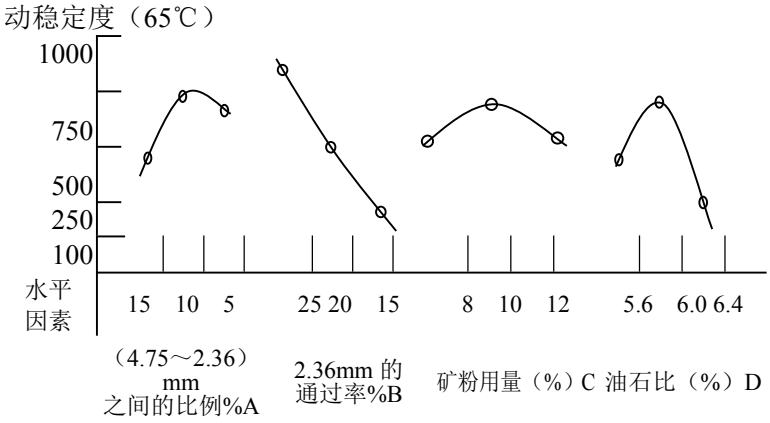


图 4 SMA–13 混合料各因素在不同水平的动稳定度分析结果

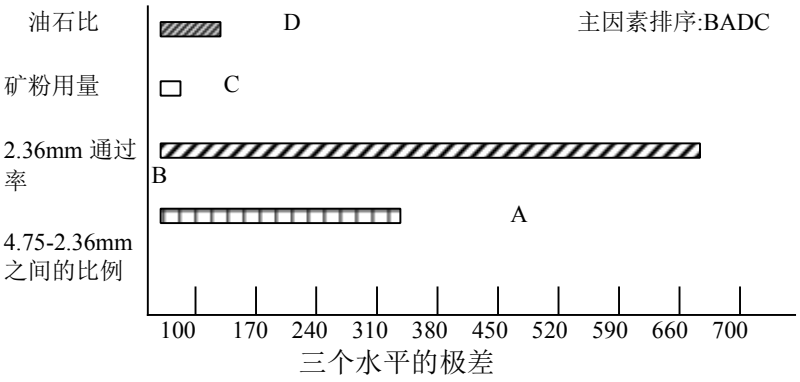


图 5 SMA-13 混合料各主因素分析结果

从分析上述的结果，可以得出以下初步结论：

1 当矿料粉取值在（8～12）%范围时,影响 SMA 混合料的高温稳定性的主要因素排列次序为 2.36mm 以上的粗集料占矿料总量的比例，其次是（4.75～2.36）mm 两级之间的不同通过率。其余因素则不显著；

2 2.36mm 级以上粗集料所占矿料总量的比例不能多于 75%，当 2.36mm 以上的集料所占集料总量的比例多于 75%，SMA－13 混合料 65℃的动稳定度随着 2.36mm 级集料的通过率减少急剧下降；

3 结合料的油石比在（5.6～6.4）%之间对 SMA 混合料 65℃的动稳定度的影响显然要比 2.36mm 级细集料的通过率小得多，但当结合料的油石比低于 5.6%和多于 6.4%时其稳定度有明显下降的趋势，最佳值在 6%；

4 矿粉的用量小于或等于 8%,对 SMA 混合料 65℃的动稳定度有明显的影响，在（10～12）%之间则影响不大，但多于 12%时动稳定度有下降的趋势,因此认为矿粉用量不宜多于 12%和少了 8%。通过以上分析,得到第一次正交试验优选出的最佳组合：2.36mm 级细集料的通过率 25%、油石比 6%、矿粉用量 10%、(4.75～2.36) mm 间的比例 7%。

在第一次正交试验结果的基础上，对（9.5～4.75）mm 集料的通过率,（4.75～2.36）mm 细集料通过率大于 25%的不同比例及结合为用量四个因素对 SMA 混合料 65℃动稳定度的影响进行考察，正交试验的因素与水平见表 7。采用 L9(34)正交表得到的配合比和动稳定度试验结果分别见表 8 和图 6、图 7。

表 7 SMA—13 混合料第二次考察的因素水平

因素 / 水平	9.5mm 的通过率（%）A	（4.75～2.36）mm 之间的比例（%）B	2.36mm 的通过率（%）C	油石比（%）D
1	50	3	25	5.6
2	70	7	30	6.0
3	90	11	35	6.4

动稳定度 65℃

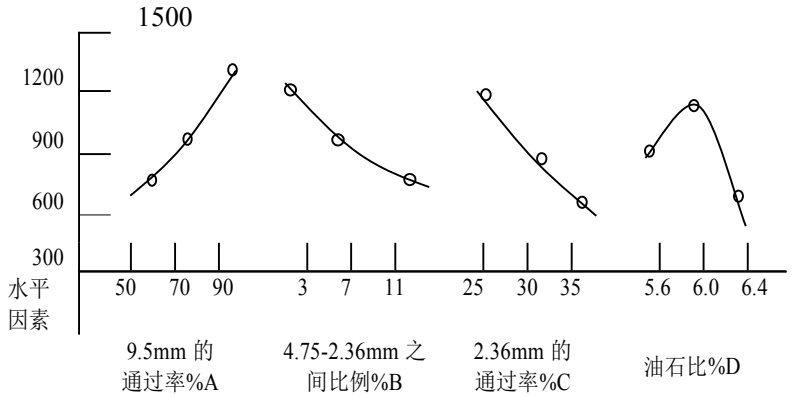


图 6 SMA 混合料第二次正交试验结果分析图

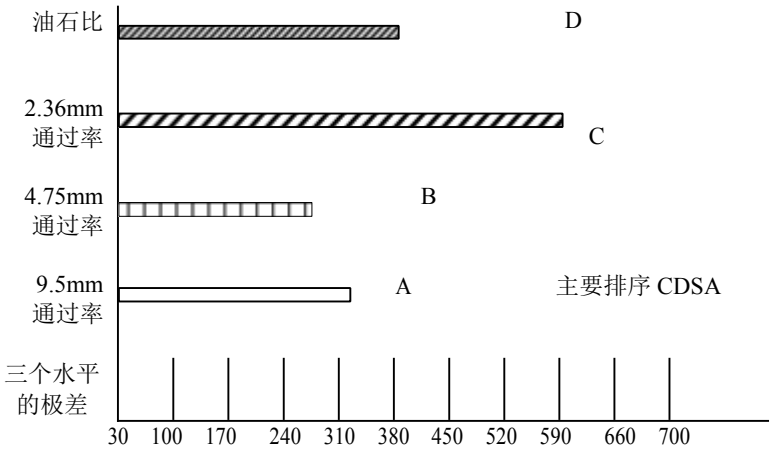


图 7 SMA–13 混合料第二次正交试验分析结果

表 8 SMA-13 第二次正交配合比试验及动稳定度结果

—	正 交 配 合 比 次 数								
通过率% / 筛孔（mm）	1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	100	100	100	100	100	100	100	100	100
13.2	95	95	95	95	95	95	95	95	95
9.5	50	50	50	70	70	70	90	90	90
4.75	28	37	46	33	42	36	38	32	41
2.36	25	30	35	30	35	25	35	25	30
1.18	23	23	23	23	23	23	23	23	23
0.6	21	21	21	21	21	21	21	21	21
0.3	19	19	19	19	19	19	19	19	19
0.15	14	14	14	14	14	14	14	14	14
0.075	10	10	10	10	10	10	10	10	10
纤维（%）	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
油石比（%）	5.6	6.0	6.4	6.4	5.6	6.0	6.0	6.4	5.6
动稳定度 (65℃ 次/mm)	1277	1203	419	1130	898	1332	1164	1428	1110

从结果分析得到的结论：

1 影响 SMA-13 混合料 65℃动稳定度的因素仍然是 2.36mm 级细集料的通过率最显著；9.5mm 级集料的通过率、（4.75～2.36）mm 之间的集料含量依次降低；

2 2.36mm 级细集料的通过率的最佳值还是 25%，但在（25～30）%之间基本对 SMA-13 混合料 65℃的动稳定度影响较小，当 2.36mm 级细集料的通过率超过 30%如达到 35%，动稳定度已显著下降，所以 2.36mm 级细集料的通过率上限不能大于 30%，最佳范围在（25～30）%之间；

3 油石比在（5.6～6.4）%虽然对 65℃稳定度有较大影响，但均有较高的动稳定度，说明结合料的油石比采用的范围较宽，但实际使用应控制在最佳值 6%；

4 （4.75～2.36）mm 之间的集料的含量在 3-7%之间对动稳定

度影响很小，但含量达 11%时 65℃的动稳定度开始显著降低，表明（4.75～2.36）mm 之间的集料含量最好不要大于 7%，4.75mm 级集料的通过率在 28～38%之间具有较高的动稳定度，通过率大于 40%时，动稳定度开始显著下降，因此应严格控制 4.75mm 级集料的通过率；

5 9.5mm 级集料的通过率在（50～90）%之间对 SMA 混合料的动稳定度影响较小，而随着通过率的提高，65℃的动稳定度不是减小而是有小幅增大的趋势，这说明 9.5mm 集料的通过率不能大于 75%的说法值得商榷。

以上考察了 SMA－13 混合料级配中包括 2.36mm 级集料在内的以上各级集料的通过率、矿粉、油石比对混合料 65℃动稳定度的影响，接着考察了（2.36～1.18）mm、（1.18～0.6）mm、（0.6～0.3）mm 和（0.3～0.15）mm 每两级之间不同含量，仍用 L9(34)正交表进行第三次配合比试验，得到以下结论：

1 2.36mm 以下的细集料的通过率的影响程度从大到小排列顺序为:（2.36～1.18）mm 之间的比例、（0.6～0.3）mm 之间的比例、（1.18～0.6）mm 之间的比例、（0.30～0.15）mm 之间的比例;其中（2.36～1.18）mm,（1.18～0.6）mm（0.6～0.3）mm 三档之间的比例越小越好，而（2.36-1.18）mm 这一档的比例达到零，由此 SMA 混合料的真正的细集料应从 1.18mm 级算起；

2（0.30～0.15）mm 之间的比例对 SMA-13 混合料的动稳定度的影响已经非常小,这说明通过 0.15mm 级的集料的比例有一个较宽的范围。

以上是对 SMA-13 混合料的配合比考察得出的结论,上述结论是具有什么普通意义？我们进一步研究了 SMA-16 和 SMA-10 两种混合料的配合比。第一次考试的因素和水平分别见表 9 和表 10，仍采用 L9(34)正交表。

表 9 SMA—16 混合料 第一次正交试验的考察因素水平

因素 水平	(4.75-2.36)mm 的比例(%)	2.36mm 的通过率(%)	0.075mm 的通过率(%)	结合料用量(油石比)(%)
1	11	25	8	5.6
2	7	20	10	5.9
3	3	15	12	6.3

表 10 SMA—10 混合料 第一次正交试验的考察因素水平

因素 水平	(4.75-2.36)mm 的比例(%)	2.36mm 的通过率(%)	0.075mm 的通过率(%)	结合料用量(油石比)(%)
1	11	25	8	5.7
2	7	20	10	6.1
3	3	15	12	6.5

表 11 和图 8、9 分别给出了 SMA-16 混合料的配合比及动稳定度。

表 11 SMA-16 混合料的配合比及动稳定度结果

—	配 合 比 次 数								
通过率(%) 筛孔(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
19	100	100	100	100	100	100	100	100	100
16	95	95	95	95	95	95	95	95	95
13.2	80	80	80	80	80	80	80	80	80
9.5	60	60	60	60	60	60	60	60	60
4.75	36	31	26	32	27	22	28	23	18
2.36	25	20	15	25	20	15	25	20	15
1.18	23	18	13	23	18	13	23	18	13
0.6	21	16	12	21	16	12	21	16	12
0.3	19	14	12	19	14	12	19	14	12
0.15	14	12	12	14	12	12	14	12	10
0.075	8	10	12	10	12	8	12	8	10
纤维（%）	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
油石比（%）	5.6	5.9	6.3	6.3	5.6	5.9	5.9	6.3	5.6
65℃动稳定度(次	97	45	16	10	68	33	14	37	43

/mm)	6	6	7	95	8	6	50	3	2

动稳定度(65℃)

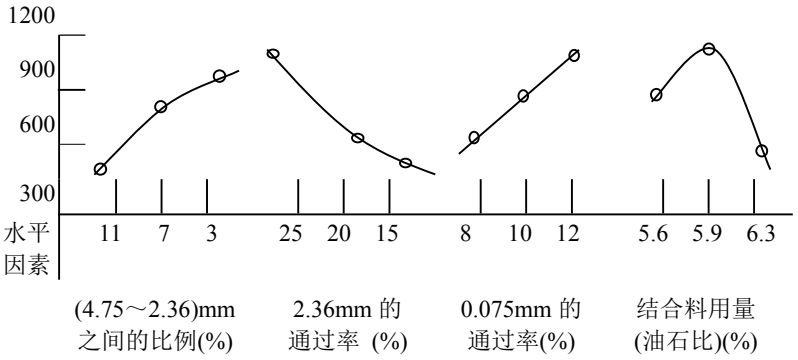


图 8 SMA-16 混合料因素在不同水平的动稳定度分析结果

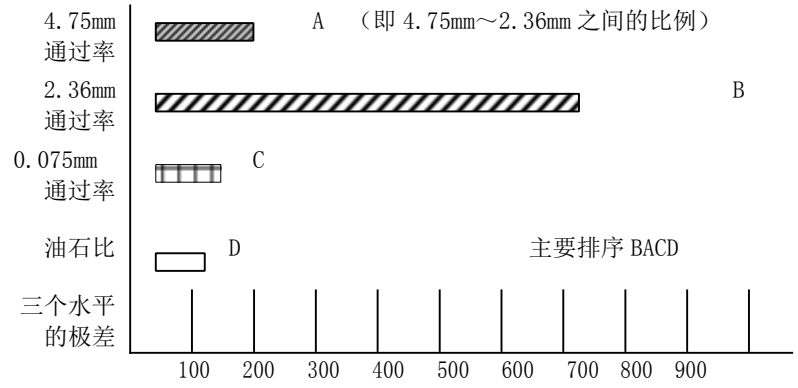


图 9 SMA-16 混合料的动稳定度极差

试验结果及分析结果：表 12 和图 10、图 11 分别给出了 SMA-10 混合料配合比及动稳定度试验结果。

表 12 SMA-10 混合料的配合比及动稳定度结果

—	配 合 比 次 数								
通过率(%) / 筛孔(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
13.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100
9.5	95	95	95	95	95	95	95	95	95
4.75	36	31	26	32	27	22	28	23	18
2.36	25	20	15	25	20	15	25	20	15
1.18	23	18	13	23	18	13	23	18	13
0.6	21	16	12	21	16	12	21	16	12
0.3	19	14	12	19	14	12	19	14	12
0.15	14	12	12	14	12	12	14	12	12
0.075	8	10	12	10	12	8	12	8	10
纤维（%）	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
油石比（%）	5.7	6.1	6.5	6.5	5.7	6.1	6.1	6.5	5.7
65℃动稳定度(次/mm)	1379	939	264	1530	810	668	1780	523	528

分析图表结果，我们可以肯定地得出支持对 SMA-13 正式试验得出的结论，即：

1 2.36mm 级细集料的通过率仍然是影响 SMA-16 和 SMA-10 混合料 65℃动稳定度的最主要的因素，而且 2.36mm 级细集料的通过率小于 25%时，对 SMA 混合料 65℃动稳定度的影响是十分显著的。可以肯定地说，国内外的一些研究只把 4.75mm 级集料的通过率作为 SMA 混合料的级配的控制点，显然是比较片面的；

2 当混合料的油石比取值范围变宽后，对 65℃动稳定度的影响显得比较显著，成为主要影响因素之一。说明 SMA 混合料的结合料用量一定要适度，一旦超过了最佳用油量范围，SMA 混合料的抗车辙性能将大打折扣。从中也可以看出，SMA-16 和 SMA-10 混合料的油石比和 SMA-13 混合料的油石比一样，其使用的上限不能大于 6.3%；

动稳定度(65℃)

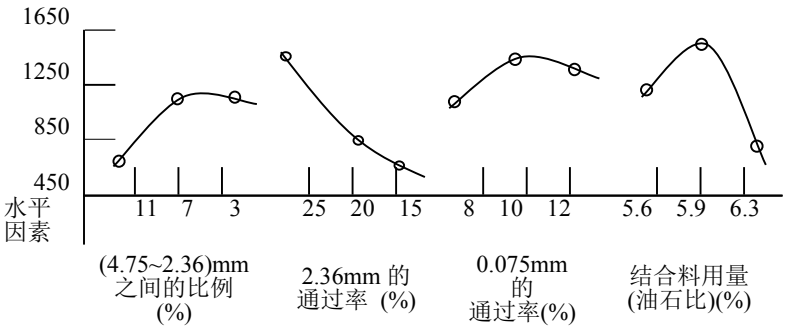


图 10 SMA-10 混合料因素在不同水平的动稳定度分析结果

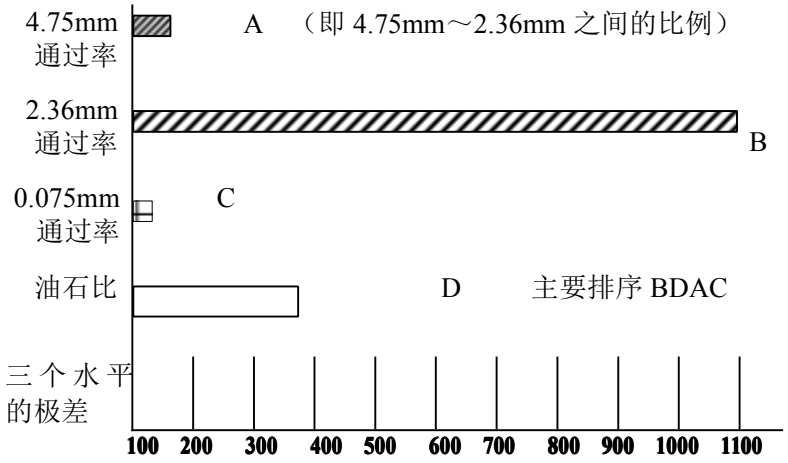


图 11 SMA-10 混合料的动稳定度极差

再一次证实当 4.75mm 级集料在(27～37)%范围内虽然对 SMA 混合料 65℃的动稳定度有影响，但影响比较小。由此可见这一范围是最佳范围；

3 矿粉随着用量的增加，SMA 混合料 65℃的动稳定度呈逐渐增加趋势，但由于每级的极差较小，影响程度也较小。这也与前面研究成果一致；

4 本次正交试验 SMA-16 混合料的级配中 9.5mm(包括 9.5mm)

以上集料的通过率均取靠下限值，级配显得较粗，但 SMA 混合料 65℃的动稳定度并不高，说明 SMA 混合料的级配过于粗糙不一定能获得高的抗车辙性能。

为了进一步了解 9.5mm（包括 9.5mm）以上各级粗集料通过率的最佳范围，我们对 SMA-16 进行了第二次正交试验，主要考察 16mm/13.2mm/9.5mm 三级集料的不同通过率与结合料用量对 SMA 混合料 65℃的动稳定度的影响，4.75mm 以下的集料保持前面优化出的结果。其因素和水平分别见表 13。正交表仍采用 L9（34）。

表 13 SMA—16 混合料第二次正交试验考察的因素水平

因素 水平	16mm 的通过率(%)	13.2mm 的通过率(%)	9.5mm 的 通过率(%)	结合料用量 (油石比)(%)
1	100	65	40	5.6
2	95	75	50	5.9
3	90	85	60	6.3

表 14 和图 12、图 13 分别给出了第二次正交试验的 SMA-16 混合料配合比和动稳定度试验结果及分析结果。

表 14 SMA-16 混合料的配合比及动稳定度试验结果

—	配 合 比 次 数								
通过率(%) 筛孔(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
19	—	—	—	100	100	100	100	100	100
16	100	100	100	95	95	95	90	90	90
13.2	65	75	85	65	75	85	65	75	85
9.5	40	50	60	50	60	40	60	40	50
4.75	32	32	32	32	32	32	32	32	32
2.36	25	25	25	25	25	25	25	25	25
1.18	23	23	23	23	23	23	23	23	23
0.6	21	21	21	21	21	21	21	21	21
0.3	19	19	19	19	19	19	19	19	19
0.15	14	14	14	14	14	14	14	14	14
0.075	10	10	10	10	10	10	10	10	10
纤维（%）	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
油石比（%）	5.6	5.9	6.3	6.3	5.6	5.9	5.9	6.3	5.6
65℃动稳定度 (次/mm)	1973	2480	1386	819	1416	1191	1618	1304	2672

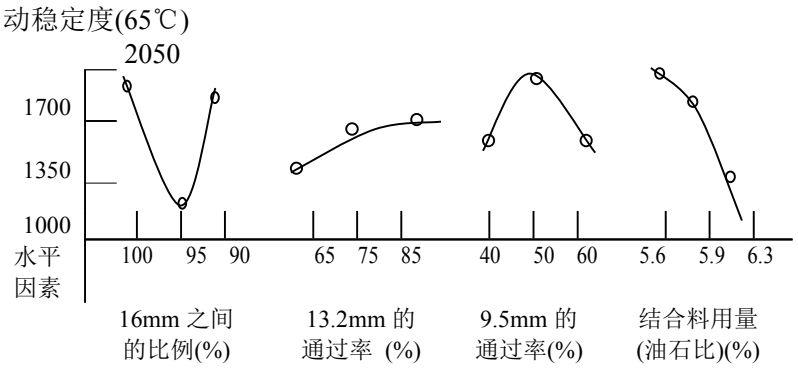


图 12 SMA-16 混合料第二次正交试验的动稳定度分析结果

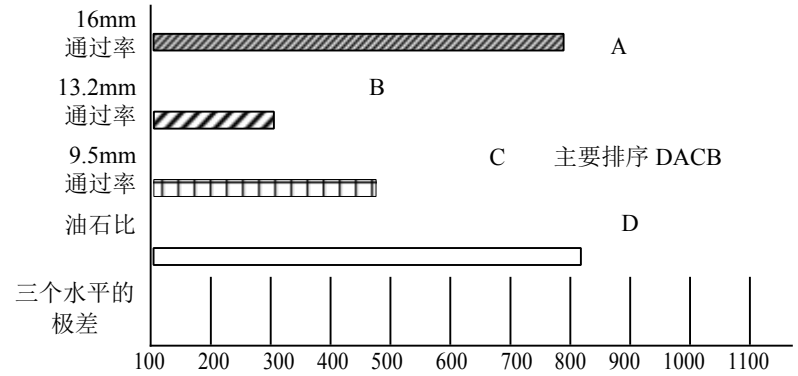


图 13 SMA-16 混合料第二次正交试验的动稳定度极差

由图表中的结果，不难得出以下结论：

1 对于 SMA 混合料，变化配合比中 9.5mm 以上各级通过率，除 16mm 级通过率的试验结果有点异常外，基本上反映出了变化比例对 SMA-16 混合料稳定度的影响。但我们发现，除异常点外，其他几级的通过率对 SMA-16 混合料动稳定度的影响只有 9.5mm 级集料较显著，而 13.2mm 级集料并不显著。反而是结合料用量（油石比）对 SMA-16 混合料动稳定度的影响更大。这表明在 4.75mm 以下细集料处于最佳用量时，9.5mm 以上各级粗集料的用量有一个较宽的范围，此时应严格控制的是结合料的用量；

2 尽管 9.5mm 以上各级粗集料的用量有一个较宽的范围，但我们发现，随着 13.2mm 级集料通过率的增大，动稳定度也增大，

说明 13.2mm 级以上的粗集料不宜用量过多，尤其大于 16mm 的集料应尽量少用，而多使用（13.2～9.5）mm 级集料；

3 9.5mm 级的集料似乎通过率为 50%时能获得最佳效果，但才采用 40%和 60%也能获得较高的性能；

4 增大 9.5mm 以上各级粗集料的用量不仅可以获得较高的稳定性，还可以降低结合料的用量。与 SMA-13 混合料相比，其油石比范围由（5.8～6.3）%降到（5.6～5.9）%，从而降低工程成本。

通过以上多次正交试验，综合得出 SMA-16、SMA-13 和 SMA-10 三种常用混合料的最佳级配范围和油石比范围见表 20。

5.3.2 沥青混合料目标配合比优化试验设计

为了确保沥青混合料具有可靠的工程性能，对工程所用的每种沥青混合料的配合比采用正交试验方法进行了优化试验。其工程性能采用高温性能（即动稳定度）和常规用的马歇尔指标双重控制。

为了可靠起见，对本规程表 5.3 所给出的每种混合料的优化配合比范围再一次用车辙试验和马氏试验进行了验证试验，结果分别见表 16、表 17、表 18 和表 19。

表 16 是对优化出的 AC-25 混合料最佳配合比范围取上中下三种配合比用马氏试验的验证结果。

表 16　优化的 AC-25 混合料配合比的马氏验证试验结果

试验号 / 因素	使用范围（%）	AC-25		
		1	2	3
31.5	100	100	100	100
26.5	95～100	95	97	100
19	77～85	77	81	85
16	67～75	67	71	75
13.2	50～65	50	57	65
9.5	40～55	40	47	55

续表 16

4.75	30 ~ 37	30	34	37
2.36	24 ~ 30	24	26	28
1.18	15 ~ 19	15	17	19
0.6	13 ~ 15	13	14	15
0.3	10 ~ 13	10	12	13
0.15	6 ~ 10	8	9	10
0.075	4 ~ 6	4	5	6
结合料(%)	4.0 ~ 4.4	4.0	4.2	4.4
60℃动稳定度(次/mm)	—	1788	2499	3159
马歇尔稳定度(kN)	—	8.0	8.9	8.4
流值(0.1mm)	—	36	32	32
饱水马歇尔稳定度(kN)	—	8.0	8.6	8.4
饱水稳定度比(%)	—	100	96.6	100
最大理论密度(g/cm^3)	—	2.510	2.494	2.486
毛体积相对密度	—	2.375	2.373	2.365
空隙率(%)	—	5.4	4.9	4.8
矿料间隙率(%)	—	14.2	14.4	14.9
沥青填隙率(%)	—	62.1	65.4	67.9

表 17 是对优化出的 AC-16 混合料最佳配合比范围取上中下三种配合比用马氏试验的验证结果。

表 17 优化的 AC-16 混合料配合比的马氏验证试验结果

试验号 / 因素	使用范围(%)	AC-16		
		1	2	3
19	100	100	100	100
16	95 ~ 100	95	97	95
13.2	65 ~ 80	65	73	80
9.5	50 ~ 60	50	55	60
4.75	28 ~ 40	28	34	40
2.36	24 ~ 32	24	30	32
1.18	18 ~ 22	18	20	22

续表 17

0.6	14 ~ 18	14	16	18
0.3	10 ~ 14	10	12	14
0.15	7 ~ 10	7	9	10
0.075	5 ~ 7	5	6	7
结合料(%)	4.6 ~ 5.2	4.6	4.9	5.2
60℃动稳定度(次/mm)	—	1590	1605	2264
马歇尔稳定度(kN)	—	7.9	8.1	8.3
流值(0.1mm)	—	36	33	34
饱水马歇尔稳定度(kN)	—	7.5	7.8	8.0
饱水稳定度比(%)	—	95	96.3	96.4
最大理论密度(g/cm^3)	—	2.511	2.502	2.485
毛体积相对密度	—	2.356	2.383	2.391
空隙率(%)	—	6.2	4.8	3.8
矿料间隙率(%)	—	16.2	15.6	15.2
沥青填隙率(%)	—	61.8	69.2	75.1

表 18 是对优化的 AC-13 混合料最佳配合比范围取上中下三种配合比用马氏试验的验证结果。同时为了更可靠起见，对以 2.36mm 点为交点的两组交叉配合比（试号 4 和 5）进行了试验验证。

表 18 优化的 AC-13 混合料配合比的马氏验证试验结果

试验号 / 因素	使用范围	1	2	3	4	5
16	100	100	100	100	100	100
13.2	95 ~ 100	95	97	100	95	100
9.5	60 ~ 80	60	70	80	60	80
4.75	28 ~ 42	30	36	42	30	42
2.36	23 ~ 30	25	29	30	30	24
1.18	18 ~ 23	18	20	23	23	18
0.6	14 ~ 19	14	17	19	19	14
0.3	10 ~ 13	10	11	13	13	10

续表 18

0.15	7 ~ 10	7	8	10	10	7
0.075	5 ~ 7	5	6	7	7	5
结合料(%)	4.8 ~ 5.4	4.8	5.1	5.4	5.4	4.8
60℃动稳定度(次/mm)	—	3027	4669	10338	5955	4177
马歇尔稳定度(kN)	—	8.0	9.8	8.8	8.7	9.3
流值(0.1mm)	—	33	31	33	32	32
饱水马歇尔稳定度(kN)	—	7.0	9.0	7.4	7.4	7.8
饱水稳定度比(%)	—	87.5	91.8	84.1	85.1	83.9
最大理论密度(g/cm^3)	—	2.504	2.495	2.494	2.484	2.517
毛体积相对密度	—	2.348	2.377	2.396	2.374	2.359
空隙率(%)	—	6.2	4.7	3.9	4.4	6.3
矿料间隙率(%)	—	16.7	16.0	16.1	16.5	16.9
沥青填隙率(%)	—	62.9	70.6	75.7	73.3	62.7

表 19 是对优化出的 SMA-13 混合料最佳配合比范围取上中下三种配合比用马氏试验的验证结果。与 AC-13 混合料一样，对以 2.36mm 点为交点的两组交叉配合比（试号 4 和 5）进行了试验验证。

表 19 SMA-13 混合料配合比的车辙和马氏试验验证结果

试验号 / 因素	使用范围	1	2	3	4	5
16	100	100	100	100	100	100
13.2	95 ~ 100	95	97	100	95	100
9.5	50 ~ 75	50	60	75	50	75
4.75	25 ~ 33	25	29	33	25	33
2.36	23 ~ 28	23	26	28	23	28
1.18	19 ~ 23	19	21	23	23	19
0.6	15 ~ 19	15	17	19	19	15
0.3	13 ~ 15	13	14	15	15	13
0.15	10 ~ 13	10	12	13	13	10

续表 19

0.075	0.35～0.5	8	9	10	10	8
外掺纤维(%)	5.8～6.2	0.35	0.4	0.5	0.5	0.35
结合料(%)	—	5.8	6.0	6.2	6.2	5.8
65℃动稳定度(次/mm)	—	3406	3315	3916	3930	3201
马歇尔稳定度(kN)	—	6.4	6.5	6.7	6.8	5.8
流值(0.1mm)	—	38	43	44	40	38
最大理论密度(g/cm^3)	—	2.465	2.461	2.454	2.453	2.471
毛体积相对密度	—	2.374	2.383	2.353	2.362	2.366
空隙率(%)	—	3.7	3.2	4.1	4.0	4.7
矿料间隙率(%)	—	17.2	17.2	17.5	17.8	19.0
沥青填隙率(%)	—	78.2	81.2	76.6	74.7	74.7

5.3.3 最佳配合比确定

通过对以上四种沥青混合料进行马氏验证试验，表明优化出的最佳配合比范围内的任一种混合料的工程性能是可靠的，完全满足工程应用的需要。综合考虑马歇尔试验结果和车辙试验结果，确定出工程中最终应用的最佳配合比如（表 20）所示。

表 20 沥青混合料最佳配合比范围

混合料 类型 / 筛孔 (mm)	通过筛孔的质量百分率 (%)															
	AC-25		AC-20		AC-16		AC-13		SMA-16		SMA-13		SMA-10		SMA-5	
	优化范围	推荐使用	优化范围	推荐使用	优化范围	推荐使用	优化范围	推荐使用	优化范围	推荐使用	优化范围	推荐使用	优化范围	推荐使用	优化范围	推荐使用
31.5	100	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26.5	95~100	95	100	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	77~85	80	95~97	96	100	100	—	—	100	100	—	—	—	—	—	—
16	67~75	70	75~80	77.5	95~100	95	100	100	90~100	95	100	100	—	—	—	—
13.2	50~65	60	62~68	65	65~80	70	95~100	95	65~85	75	95~100	95	100	100	—	—
9.5	40~55	47	52~58	55	50~60	50	60~80	70	40~65	50	50~75	60	90~100	95	100	100
4.75	30~37	33	35~40	37.5	28~40	30	28~42	30	20~32	37	25~33	28	30~40	35	60~80	70
2.36	24~30	25	28~34	31	24~32	25	23~30	25	16~26	20	23~28	25	20~30	25	25~35	30
1.18	15~19	16	20~24	22	18~22	19	18~23	20	14~22	18	19~23	20	14~23	18	21~26	24
0.6	13~15	14	15~19	14	14~18	16	14~19	16	12~18	15	15~19	16	13~20	16	16~25	20
0.3	10~13	12	10~14	12	10~14	12	10~13	12	11~16	13	13~15	14	12~16	14	13~22	18
0.15	6~10	8	6~10	8	7~10	8	7~10	8	10~15	12	10~13	11	10~15	12	12~18	15
0.075	4~6	5	5~7	6	5~7	6	5~7	6	8~12	10	8~12	10	8~12	10	10~13	12
推荐结合料用量 (%)	4~4.4	4.2	4.2~4.6	4.4	4.6~5.2	4.9	4.8~5.4	5.1	5.0~6.1	5.8	5.8~6.2	5.9	5.8~6.6	6.2	6.0~6.8	6.5
推荐素纤维用量 (‰)	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2~0.4	0.4	0.3~0.5	0.4	0.2~0.4	0.4	0.2~0.4	0.4

混合料的优化配合比见曲线图 14～17。

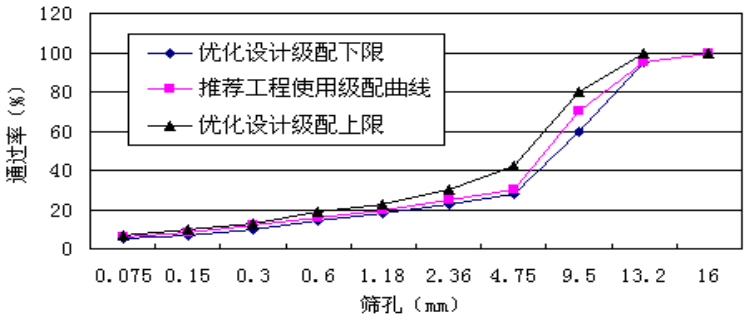


图 14　AC–13 沥青混合料级配范围

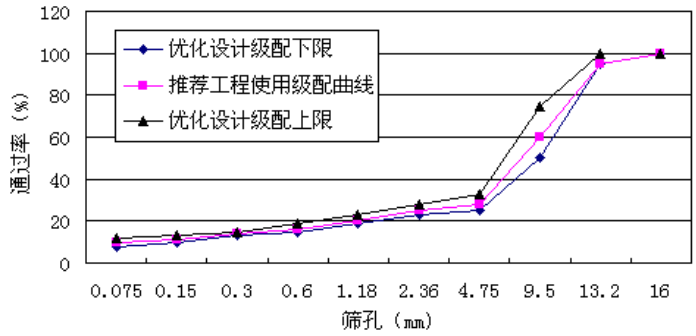


图 15　SMA–13 沥青混合料级配范围

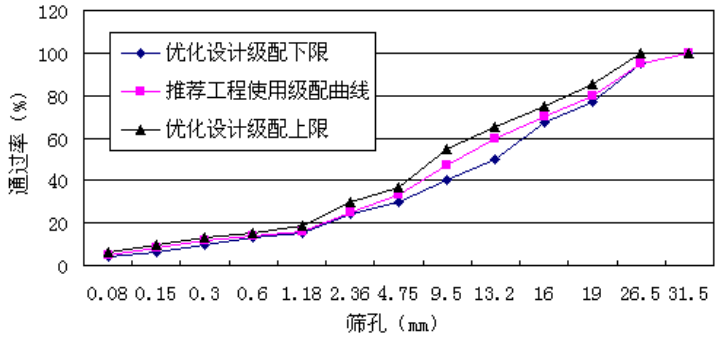


图 16　AC–25 沥青混合料级配范围

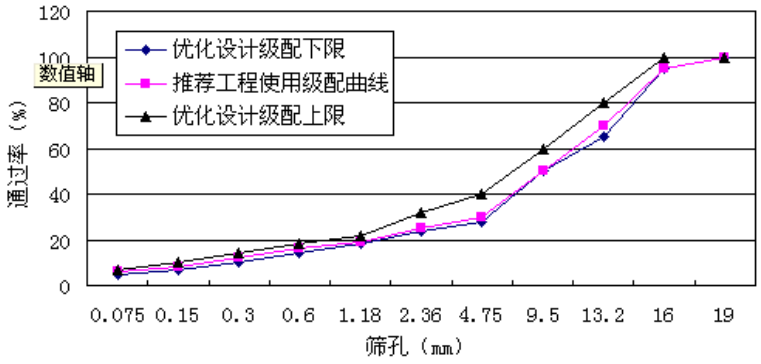


图 17　AC-16 沥青混合料级配范围

沥青混合料级配范围的工程实践，其试验成果先后用于福州市三县洲闽江大桥桥面铺装、江滨大道二期路面工程、魁岐高架桥桥面铺装、福州五一五四路改造工程等市政大型工程。由于具有优良的温度稳定性，夏季高温不发软起车辙和拥包，冬季低温不开裂和松散，因此大大延长路面的使用寿命和维护周期，起得了显著的经济效益、社会效益和环境效益。

5.3.4 开级配抗滑磨耗层（OGFC）混合料配合比设计

高等级路面结构不仅要具备足够的强度抵御千百万次行车荷载的重复作用，还必须具有足够的表面功能以保证车辆高速行驶时获得足够的舒适性和安全性。通常要求路面表面具有以下的功能：平坦——不产生过量的车辙和变形；抗滑——具有足够的粗糙度。除此之外，雨季表面积水不仅降低了路面的抗滑能力，高速行车产生的水雾，阳光照射下光溜表面产生的眩光都将妨碍驾驶人员的视觉，从而降低调整行驶的安全性。

开级配抗滑磨耗层（OGFC）沥青混合料适应了这一需求，自 20 世纪 80 年代末起已在欧洲、北美、日本得到广泛应用。所谓开级配抗滑磨耗层（Open Graded Friction Cousses 简称 OGFC），

是一种间断开级配沥青混合料，设计空隙率为 20%左右，一般用于旧路面罩面或新设计的路面表层。由于该路面空隙率高，地表降水可透过多孔排水沥青表层沿下面层表面排至两侧泄走，使用这种表层，不仅有效地降低了表面积水引起的水雾、溅水及眩光，而且提供了足够的表面粗糙度，降低了车辙变形，并可降低噪声 3dB 左右。

1 开级配抗滑磨耗层混合料的性能特点是排水和抗滑性、降低噪声性能、高温稳定性、耐久性。

2 材料组成

1）沥青结合料：OGFC 沥青混合料中，粗集料多，结集料少，混合料的强度主要领先结合料的粘结作用。为承受车轮荷载的作用，需要有一定强度、故必须采用具有高粘结性的沥青结合料；又由于空隙率大，要求结合料具有良好的面耐老化能力，并且与集料有很好的粘附性。

使用普通沥青铺筑 OGFC 沥青路面，其强度明显不足，在交通荷载作用下路面易被进一步压密而变形，使空隙率降低，并影响路的平整度。同时由于沥青粘度低，集料颗粒表面的沥青膜比较薄，不耐老化，集料颗粒容易脱落造成路面松散。为此一些 OGFC 沥青路面发展较迟的国家，在开始就注意使用改性沥青材料。表 21 列出了一些国家采用的沥青结合料；

表 21 各国 OGFC 路面采用的沥青结合料

国家	使用的沥青结合料	
—	初　　期	近　　期
比利时	针入度 100 沥青	掺加再生橡胶、纤维或环氧树脂
捷　克	针入度 70/100 沥青	
丹　麦	针入度 100 沥青	
法　国	针入度 80/100、60/70、40/50 沥青	沥青中掺加 15%～20%轮胎粉
德　国	B65、B85	B65、B85 或特殊沥青
英　国	针入度 100、200 沥青、环氧沥青	掺加纤维、EVA、橡胶、SBS 等
意大利	针入度 80/100 沥青	掺加 SBS、纤维
日　本	80/100 沥青、橡胶沥青	配制高粘度沥青、彩色沥青
荷　兰	针入度 100/200、80/100、40/60 沥青	改性沥青
南　非	针入度 40/50 沥青	
西班牙	针入度 60/70 沥青	
美　国	针入度 40/60、80/100 沥青或掺加 SBR	80/100 沥青中掺加硅化橡胶

2）集料：OGFC 混合料所用的粗集料技术要求与 SMA 混合料基本相同，同样要求石质坚硬和良好的颗粒形状。但对于抗滑磨耗层，其粗集料的耐磨性，也即石料的磨光值 PSV 必须有更高的要求。

我国规范对于石料的磨光值 PSV 要求大于 42。粗集料不能使用质地较软的石灰岩和易磨光的集料，而且至少应有 75%的集料有两个破碎面，90%的集料有一个破碎面，洛杉面磨耗损失不超过 40%；

3）矿粉：用作填料的矿粉应采用石灰石粉，许多国家如美国、德国等国家，为提高这种路面的抗水性，采用消石灰粉替代矿粉，一般用为 2%。消石灰粉是先将石灰消解，然后烘干、磨细、过筛制备而成；

4）纤维及其他添加剂：为提高 OGFC 沥青混合料的抗松散能力，在混合料中添加纤维是有效的。纤维可采用木质素纤维或其

他纤维。

研究表明，应用磨细轮胎粉配制橡胶改性沥青，能有效地提高混合料的抗松散性。

3 集料的级配

我国在试验的基础上，并参考国外经验提出 OGFC 混合料集料的级配推荐范围如表 22 所示。

表 22 我国 OGFC 沥青混合料推荐级配

筛孔（mm）	通过率（%）	
	Dmax=16mm	Dmax=13mm
19	100	—
16	90～100	100
13.2	65～75	90～100
9.5	42～55	45～55
4.75	20～30	20～30
2.36	10～18	10～18
1.18	7～13	7～13
0.6	6～10	6～10
0.3	5～7	5～7
0.15	4～6	4～6
0.075	3～5	3～5

4 结合料和量的确定

多孔性沥青混合料的沥青用量是不能采用马歇尔试验方法确定的，这是因为它与沥青用量的关系曲线不存在峰值。美国采用表面常数 Kc 法确定沥青用量，它是按粒料表面所吸收的油量用经验的公式确定的。目前，许多国家比如比利时、日本、西班牙等，则是采用磨耗损失等试验方法确定的。

用表面常数 Kc 法确定沥青用量

1）表面常数 Kc

按下述方法（AASHTO T270）测定主集料的表面容量（Sjrface

Capacity)：

①用四分法取 105g 主集料试样，在加热板上或 110℃烘箱中烘至恒重，然后冷却至室温；

②取大约 100.0g 试样（精确至 0.1g），放入一金属漏斗，其上口直径为89mm,高114mm,下口直径为12.7mm,并用1.2mm筛子封口；

③在常温下将试样完全浸入 S.A.E.10 号润滑油中 5 min（如果使用高级水性集料，则浸没试样 30min。）；

④试样在漏斗中沥干 2 min,再将装有试样的漏斗放在烘箱 60℃±3℃中再沥干 15min；

⑤将试样从漏斗中倒入已称重的盘子中，冷却至室温，称重，精确至 0.1g；

⑥按下式计算含油率 POR：

$$POR = \frac{SG_a}{3.65} \times \frac{B-A}{A} \times 100\% \qquad (3)$$

式中 SGa——主集料视密度；

A——试样烘干质量；

B——试样吸油后总质量。

⑦当使用高吸水性集料时，在测定 POR 后，将试样倒在清洁而干燥的吸水性织物上，以得一个饱和面干条件；

⑧将样品从织物倒入已称重的盆中，再称样口质量，精确至 0.1g；

⑨用下式计算吸油率 POA:

$$\mathrm{POA} = \frac{C-A}{A} \times 100\% \qquad (4)$$

式中：A——试样干质量；

C——试样饱和面干质量。

用下式计算游离（自由）含油率 $\mathrm{POA_A}$ (%)：

$$\mathrm{POA_A} = POR - POA \tag{5}$$

⑩按下式计算主集料表面常数值 Kc：

$$Kc=0.1+0.4POR \tag{6}$$

对于高吸水性集料，计算主集料表面常数值 KcA 值的公式为：

$$KcA=0.1+0.4POAA \tag{7}$$

2）沥青用量

不管沥青的等级与粘度，都是按集料的质量用下式计算工地配合比所需的沥青用量 ACJMF：

$$AC_{JMF} = (2K_C+4.0) \times \frac{2.65}{SG_a} \tag{8}$$

当这个方法用于高吸水性集料时，确定沥青用量 ACJMF 的方法如下：

按以下公式计算有效沥青用量 ACEff：

$$AC_{Eff} = (2K_{CA}+0.4) \times \frac{2.65}{SG_a} \tag{9}$$

在完成集料空隙容量和细集料最佳用量后，继续按如下方法确定沥青用量：使用一个等于或稍大于（估计吸收进去的量）上面所确定的有效沥青用量（ACEff），以及按如下方法确定的集料级配，准备一个试验混合料。

采用一种适当的技术，如像沥青混合料最大密度那样的试验(AASHTO T 209)来确定吸收沥青的实际数量（按集料总质量的百分率）。

用下式确定吸水性混合料工地配合比的沥青用量：

$$ACJMF=ACEff+实际吸收数量 \tag{10}$$

3）粗集料的空隙容量

①单位重

用下述两种方法之一测定建议工地配合比粗集料部分的单位重（FHWA—RD—72—43 或修改 ASTM D4253）。

设备

a.压实模——标称直径为 51mm 的整体金属环及或可拆卸的金属底板。对于方法一，还需要一个可拆卸的金属导向杆；

b.振动压实器：

方法一

振动锤——便携式电动锤，其频率为 3600 周/min，使用于 115V 交通电，该锤有一个夯头和延长部分；

木质底座——直径 381mm，厚 50mm 的胶合板盘，放在一个减震垫（橡皮软管）上，这个盘应能与压实模牢固连接；

方法二（试验性的）

振动台——每分钟振动 3600 次，振幅 0.33mm±0.05mm，能将振动力传送到试样上。（土壤试验 CN—166 或相当的方法）

c.限载——圆形钢盘质量 27.2kg，直径 149mm；（土壤试验 CN—１６７或相当的方法）

d.计时器——秒表或其他计时装置，刻度为 1 s,能计时达 2 min。可用一个电计时装置或电路去开动和停止震动压实器；

e.刻度盘指示器——刻度盘指示器刻度为 0.025mm，量程为 75mm。

试样

用工地的配合比，选取粗集料试样约 2.27kg；如果粗集料毛体积密度小于 2.0，则减少集料约为 1.6kg，称试样质量。

操作程序

方法一

将选好的的试样倒入压实模中，并将夯头放在试样上，使导

向杆穿过夯头的轴，用制动螺丝将导向杆固定在试模上；

将振动锤放在夯头的轴上并振动 15s，操作必须施加刚好保持夯头与试样接触的力到振动锤上；

从夯头的轴上移开振动锤，清扫夯头上的细颗粒，测量已压实材料的厚度 t，精确至 0.25mm。

方法二

将选好的试样倒入压实试模，并将附载基板放在试样上；

将附加荷载放到基板上，并振动该装置 2 min；

移动附加荷载，清扫基板上的细集料，测量已压实材料的厚度 t，精确至 0.25mm。

计算

计算振动后的单位质量 X：

$$X=\frac{4W}{\pi D^2 \mathrm{t}} \tag{11}$$

式中：W——粗集料质量，g；

D——试模直径，cm；

t——压实的试件厚度，cm。

②空隙率

用下列公式确定作为总体百分比的粗集料空隙率 VCA：

$$VCA=\left(1-\frac{X}{U_C}\right)\times 100\% \tag{12}$$

式中：X——振动后的单位重；

Uc——干粗集料的单位重。

4）细集料最佳用量

用下列关系式计算最佳细集料用量：

$$Y=\frac{VCA-V-\frac{(AC_{JMF})X}{U_a}}{\frac{VCA-V}{100}+\frac{X}{U_f}} \qquad (13)$$

式中： Y——细集料占总集料质量的百分比；

VCA——粗集料空隙率，%；

V——设计空隙率；

ACJMF——工地配合比的沥青用量（油石比）；这个方法用于高吸水率集料时，采用 ACEff 而不是 ACJMF；

X——粗集料振动后的单位重；

Ua——沥青单位质量；

Uf——干细集料的毛体积密度。

比较上式计算的最佳细集料用量和工地配合比通过 2.36mm 筛的细集料含量，如果相差大于 1 %，则用计算的最佳细集料用量修改工地配合比，重新计算粗、细集料（当接受时）比例，以满足修改后的工地配合比。如果建议的和修正的工地配合比相差很大，那么有必要重复过个过程。

5）耐水性检验

①确定最佳拌和温度

按上述方法确定的级配比例准备试样 1000g，再按沥青用量 AGJMF，在相当于 0.8Pa.s 粘度的温度下拌和。当集料完全认裹覆后，将混合料倒在玻璃上，以最少的操作把混合料摊开。将有样品的玻璃板放进设定在拌和温度的烘箱内，60min 后观察板底情况。在集料与玻璃板接触处，若有轻微沥青印迹，表明在 60min 后是合适的，符合要求的。否则，应更高或更低的拌和温度下重复该试验，以达到要求的接触印迹。如果拌和温度低到集料的干燥温度（典型温度不低于 107℃）仍有析漏，那么应选择较高粘

度的沥青。

25min 时进行一次中间观察，如果在接触点有过量析漏，就可废弃该试样并在较低温度下重复进行试验。

②耐水性检验

对设计混合料进行浸水抗压试验（AASHTO T 165 和 T 167），在最佳拌温度下制备试样，用 13.8MPa 而不是 20.7MPa 压力成型试件，不需要测定毛体积密度。

在 49℃浸水 4d 后，测定抗压强度，除非容许，残留强度指标应不低于 50%。否则必要时应添加抗剥落剂，以提高粘附力来获得足够的残留强度。

5.用抗磨耗等试验确定沥青用量

1）磨耗试验

磨耗试验的方法即为肯塔堡飞散试验。该试验是将多孔性混合料制成马歇尔试件（双面各击 50 次）稳重后在 1 5 ℃温度下保温 4 h，然后将试件放入洛杉矶磨耗机内（不放钢球）旋转 300 转后从滚筒中取出最大的试块，称重并计算其质量损失百分率，其标准是在 20℃温度下磨耗损失不超过 20%为合格。

2）析漏试验

根据我国行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20-2011(T0732-2011)

3）马歇尔试验

马歇尔稳定度也作为考察混合料性能的指标之一。其值要求大于 5kN。残留稳定度大于 80%。

4）空隙率测试

空隙率的测试方法采取“游标卡尺法”，即量取试件直径和高度计算体积的方法。根据所铺路面的目的。空隙率可取不同的标准。对于主要是为了提高路面的抗滑性，空隙率宜似 15%为标

准;对于主要是为了提高路面的排水性能,空隙率宜以 15 %～20%,为标准；对于主要是为了降低噪声，空隙率则宜等于或大于 20%。

5）渗水性试验

根据我国行业标准《公路工程路基路面现场测试规程》 JTG F60-2008(T0971-2008)。

6）车辙试验

多孔性沥青混合料由于石—石接触而具有较高的抗车辙能力，其动稳定度要求达到 1500 次/mm 以上。采用改性沥青，则动稳定度应大于 3000 次/mm。

7）冻融循环试验

多孔性沥青路面需要有良好的水稳性，冻融循环试验后的劈裂强度比应大于 70%。

8）沥青结合料确定评定指标汇总（见表 23）

当沥青混合料用量确定后，可按下述方法计算集料的颗粒表面的油膜厚度，并与美国建议的油膜厚度比较。采用改性沥青所计算的油膜厚度应大于美国所推荐的油膜厚度。

表 23 多孔性沥青混合料技术指标

技术指标		单位	推荐标准	试验方法
锤击次数		次	两面各 50	T0702
稳定度，不小于		kN	5.0	T0709
流值		0.1mm	20～40	T0709
空隙率	抗滑，不小于	%	15	T0705
	排水	%	15～20	T0705
	降噪，不小于	%	20	T0705
肯塔堡磨耗损失（15℃），小于		%	20	T0733
残留稳定度，不小于		%	80	T0709
渗水率（排水、降噪），不小于		cm/s	4×10^{-2}	T0971
动稳定度	普通沥青，不小于	次/mm	1500	T0719
	改性沥青，不小于	次/mm	3000	T0719
劈裂强度比，不小于		%	70	T0729

美国加利福尼亚州的油膜厚度计算经验公式是根据沥青混合料的油石比和集料的级配计算的，其公式如下：

$$\text{沥青膜厚度（}\mu\text{m）}=\frac{\text{油石比（\%）}\times 48.74}{2+0.02a+0.04b+0.08c+0.14d+0.3e+0.6f+1.6g} \quad (14)$$

式中：a、b、c、d、e、f、g——4.75mm、2.36mm、1.18mm、0.6mm、0.3mm、0.15mm、0.075mm 筛孔通过百分率。

OGFC 沥青混合料，适应沥青膜厚度为 8-11μm。

5.4 选择设计集料级配

5.4.1 根据拟设计的混合料类型与各料堆集料及填料的颗粒组成，按试配法组合成三种试验：一组级配位于规定级配范围的中值附近，另外两组级配接近级配范围的上、下限。按关键筛孔4.75mm、2.36mm 和 0.075mm 的通过率进行控制。4.75mm 和 2.36mm 筛孔通过率按中值与中值±5%考虑；SMA 级配 4.75mm 和 2.36mm 筛孔通过率按中值与中值±3%考虑。三种级配 0.075mm 的筛孔通过率均在中值。确定中、粗、细每一种试验级配混合物组合集料的毛体积相对密度与表观相对密度。

5.4.2 选择混合料初试沥青含量 Pbi 按《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40-2004）规定。

5.4.3 确定室内混合料拌和与压实温度

对于 PG76-××级改性沥青，建议室内混合料拌和温度为 170～180℃，压实温度为 155～165℃。

亦可向改性沥青供应商进行咨询或按 T0621-1993 方法测定沥青粘度，并用年度对温度的关系图来确定拌和和压实温度。

1 拌制试样。至少拌制 18 个试样：三种级配每种 6 个试样。每一试样都采用同一初试沥青进行拌制，每一试样质量均为 1200 克；

2 将拌和好的试样进行击实，对每一试验级配试样中的 4 个进行击实，HMA 按双面 75 次、SMA 按双面 50 次制成马歇尔试件。马歇尔试件的高度应为 63.5mm±1.3mm，剩余 2 个试样按真空饱水法测定理论最大密度（取两次平行试验）；

3 试件被击实冷却后，将其脱模，测定试件毛体积相对密度。并用公式式（5.5.2.6-1）、式（5.5.2.6-2）、式（5.5.2.6-3）计算混合料的空隙率 VV、VMA 和 VFA。

还要根据试验结果计算组合集料的有效相对密度，校核组合

集料的有效相对密度是否介于表观相对密度与组合集料的毛体积相对密度之间，如是则结果无误；若组合集料的有效相对密度等于或小于组合集料的毛体积相对密度，则结果有误，应查出错误原因，并于纠正。

5.4.5　试验结果分析

对三种试验级配混合料进行评价：其中 VMA、VFA、粉油比（DP）、马歇尔稳定度与流值均符合设计要求见表 24，空隙率又接近 4%设计值的一种级配，被确定为最佳级配或设计级配。

表 24 AC 混合料设计要求

指标	VV（%）	VMA（%）	VFA（%）	DP（%）	稳定度（KN）	流值（mm）
要求	4.0	≥14	65～75	0.8～1.6	≥7.5	20～40

5.5　选择最佳沥青用量

5.5.1　根据已确定的设计集料级配，用增加沥青含量的方法来获得与混合料设计空隙率相应的设计沥青含量。

1 确定四种沥青用量，每种至少压实 4 个马歇尔试件，并至少准备两个试样，在初试沥青用量时确定混合料的理论最大密度，取其平均值；

2 按 5.4 所述方法进行混合料试样准备与压实，并进行试验，确定不同沥青含量压实混合料的马歇尔特性参数：VV、VMA、VFA、粉油比 DP，以及马歇尔稳定度与流值；

3 绘制 VV 与 Pb 的关系曲线上，与设计空隙率 4%对应的沥青含量，即为最佳沥青含量。并在此沥青含量从其余关系曲线上找出相应的 VMA、VFA、粉油比、马歇尔稳定度与流值。并将这些数值与设计标准进行对照。如所有特性值均符合要求，则此沥青用量即为设计沥青含量。

以上表明，所选择的沥青混合料符合所有设计标准，混合料

的级配组成与沥青用量（即配合比）即所期望的。至此混合料设计的体积设计部分包括配合比设计，冷料料堆比例设计即告完成。

5.6 沥青混合料性能检验

5.6.1　将按体积设计完成的混合料设计结果进行性能评价。

高温稳定性能评定。我国采用 T0771 沥青混合料车辙的动稳定度 DS 对高温稳定性评价。

5.6.2　水损害性能评价

1 混合料经过短期老化，采用 48 浸水马歇尔试验，残留稳定度≥75%；

2 混合料经过短期老化，采用 AASHTOT283 试验。压实试件空隙率控制在 7±1%；

与刚竣工路面的不利情况相当。试件（至少 4 个）不进行处理，另一组（数量相同）先后进行真空饱水处理，然后对所有试件进行间接抗拉试验。要求抗拉强度比≥80%。SMA-13 的压实试件空隙率按 6±1%进行控制，只作真空饱水处理，TSB≥70%。如不能满足要求，则采用加强沥青与集料的粘附力的措施，如在填料中掺加抗剥落剂等。

所设计的沥青混合料通过沥青混合料的评价，检验合格后，混合料设计即全部完成。混合料设计结果，包括混合料设计级配和沥青含量，以及冷料料堆比例，混合料提及参数与相关特性，可提交施工单位进行实施，作为拌和站沥青混合料生产的依据。

附录 B.沥青混合料配合比设计检测记录及报告

本规程提供的记录表格格式，仅考虑实际检测中遇到的内容，供参考。在试验过程中若采用附录 B 的格式时，应根据所涉及的有关信息量加以完善。