

文章编号: 0451-0712(2006)01-0141-05

中图分类号 U414.03

文献标识码: B

用 GTM 设计法优化 AC-25 沥青混合料级配

史建方¹, 周卫峰²

(1. 河北省青银高速公路筹建管理处 石家庄市 051530; 2. 天津市市政工程研究院 天津市 300074)

摘 要: 我国现行《公路沥青混凝土路面施工技术规范》(JTG F40-2004)给出了很宽的沥青混合料级配范围,对于特定工程,需要根据公路等级、气候和交通条件、原材料特性确定工程设计级配范围,本文对于特定原材料,以 GTM 为成型方式,在较大范围内对级配进行研究,寻求 GTM 成型方式下以路用性能最佳为判据,同时能够控制施工质量的较窄的工程设计级配范围,以指导工程实践。

关键词: GTM 设计法; AC-25; 沥青混合料; 级配; 优化

青银高速公路河北段沥青混凝土路面结构为表面层 4 cm 中粒式沥青混凝土(AK-13A)+中面层 6 cm 中粒式沥青混凝土(AC-20)+底面层 6 cm 粗粒式沥青混凝土(AC-25)。在底面层进行目标配合比设计之初,为了在规范给定的较宽的范围内找到最佳级配以指导全路段的配合比设计,首先在符合级配大范围前提下,选择上、中、下限(即粗、中、细级配)采用 GTM 设计方法进行比较研究,同时采用贝雷法对选定级配进行校核和分析比较。GTM 法设计的沥青混合料密度较高,空隙率较小,因此针对我国高速公路车辙及水破坏现象严重的特点,用 GTM 设计沥青混凝土路面面层材料是解决高速公路早期破坏的有效手段。

1 GTM 设计方法简介

GTM(Gyratory Testing Machine)旋转试验机是美国工程兵团(U.S. Army Corps of Engineers)在 20 世纪 60 年代以推理的方法发明的路面材料试验机。该设备在试件成型过程中,以要求的设计轮胎接地压强(如 0.70 MPa)为垂直荷载,按给定的旋转角度将试件不断揉搓、剪切、压实,直到平衡状态(指每旋转 100 次试件的密度变化 $\leq 0.016 \text{ g/cm}^3$)。GTM 设计方法主要包括以下 3 个指标。

(1)成型后的试件密度,用以指导施工。

(2)变形稳定参数 GSI,用以表征颗粒状塑性材料中可能出现的塑性过大的现象,这时的混合料

或许是因为级配不良而难以压实,或许是因为孔隙中填充了过多的沥青;因此,在级配良好的前提下 GTM 设计中以 GSI 等于或接近 1.0 时所对应的沥青用量为所设计沥青混合料的最大沥青用量。

(3)安全系数 GSF,表征试件成型过程中可能发生剪切破坏时的剪应力与在设计荷载下路面设计抗剪强度的比值,当 $GSF \geq 1.0$ 时其结果是可接受的。由于 GTM 设计方法以防止沥青混合料的最终塑性过大为目的,成型时试件被压实到了最终使用状态,与马歇尔或 SGC 成型的试件相比, GTM 试件密度高,矿料间隙率小,设计沥青用量少,能防止沥青混凝土路面早期车辙的发生。

2 原材料性质及级配

矿料为河北隆尧产石灰岩粗、细集料及矿粉(内掺 25% 消石灰),天然砂产自河北临城,沥青为滨州 70 号沥青。各种矿料及沥青指标均满足 JTG F40-2004 要求,具体指标从略。优化所用的上限、中值及下限级配见图 1。

对于本次研究对象,上、中、下限级配主要按照 4.75 mm 通过率的不同来区分,各级配 4.75 mm 通过率分别为 43.5%、36.4% 及 30%。贝雷法级配特征参数见表 1。

由贝雷法参数计算结果,上限、中值、下限级配粗、细集料组成均比较合理。

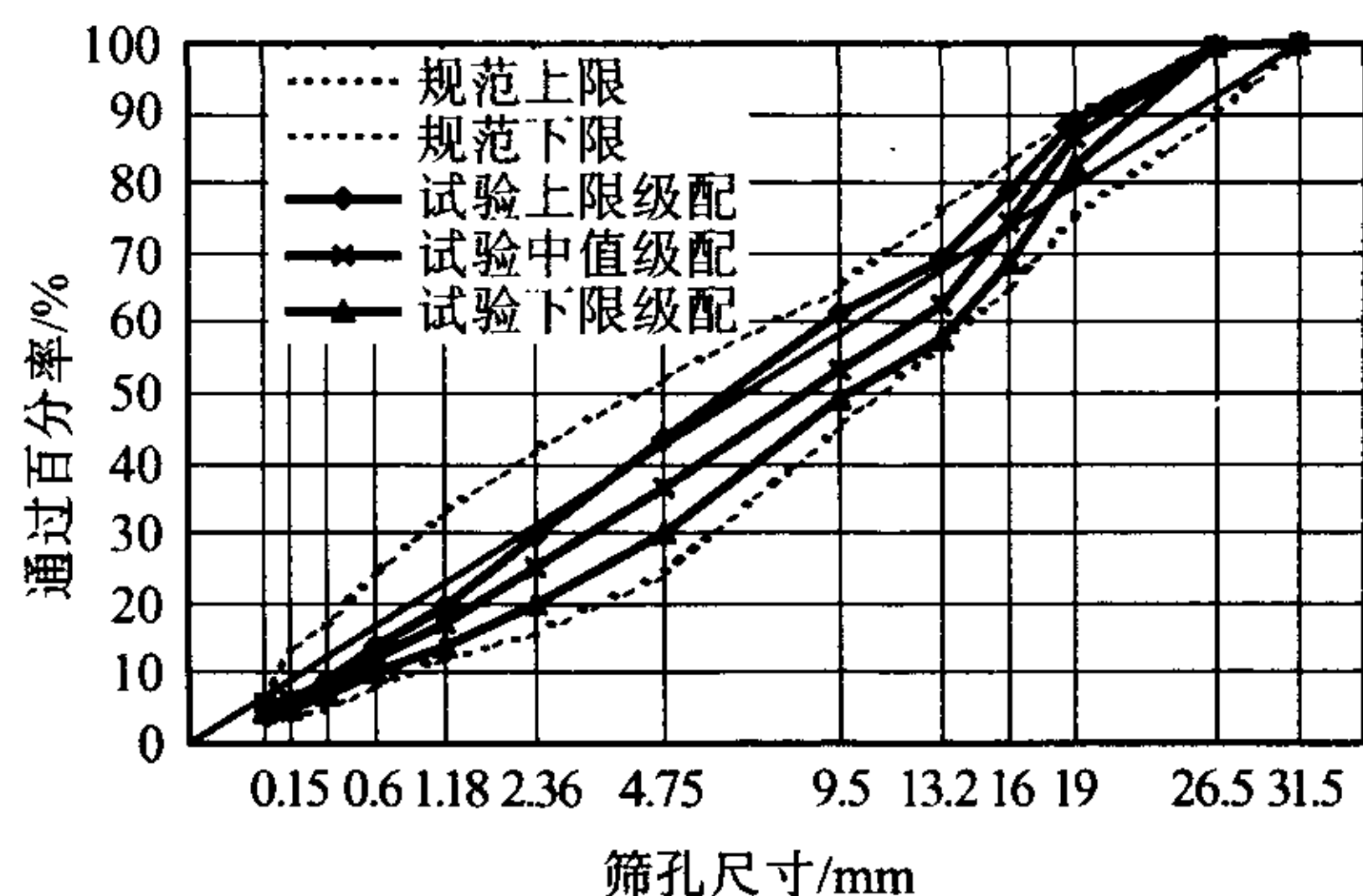


图 1 试验级配

表 1 上中下限级配贝雷法级配特征参数

级配类型	4.75 mm 筛通过率/%	CA	FA _c	FA _f
上限级配	43.5	0.80	0.70	0.65
中值级配	36.4	0.45	0.47	0.46
下限级配	30.0	0.45	0.49	0.49

注: CA、FA_c、FA_f 为贝雷法用于控制级配特征参数。对于 AC-25, 用于计算级配特征参数的关键筛孔为 13.2 mm、4.75 mm、1.18 mm、0.3 mm。参数计算公式为: $CA = (P_{13.2} - P_{4.75}) / (100 - P_{13.2})$; $FA_c = P_{1.18} / P_{4.75}$; $FA_f = P_{0.3} / P_{1.18}$ 。

表 2 AC-25 型混合料体积参数及马歇尔稳定度试验结果

序号		油石比/%	理论最大 相对密度	表干法毛体积 相对密度	VV/%	VMA/%	VFA/%	稳定度/kN	流值 0.1 mm
下 限 级 配	1	3.3	2.564	2.438	4.9	12.6	61.0	12.03	30.58
	2	3.6	2.553	2.445	4.2	12.6	66.6	12.63	30.68
	3	3.9	2.541	2.458	3.3	12.4	73.5	11.88	31.23
	4	4.2	2.531	2.470	2.4	12.2	80.3	12.69	31.90
	5	4.5	2.520	2.472	1.9	12.4	84.6	11.56	32.25
中 值 级 配	1	3.3	2.563	2.463	3.9	11.6	66.7	13.42	29.93
	2	3.6	2.551	2.478	2.9	11.3	74.8	14.29	31.47
	3	3.9	2.540	2.492	1.9	11.1	82.8	13.67	31.90
	4	4.2	2.529	2.496	1.3	11.2	88.3	13.18	32.67
	5	4.5	2.518	2.510	0.3	11.0	97.1	12.89	32.93
上 限 级 配	1	3.3	2.563	2.434	5.0	12.7	60.5	13.79	30.75
	2	3.6	2.551	2.453	3.9	12.3	68.5	14.06	31.38
	3	3.9	2.540	2.464	3.0	12.1	75.4	15.05	32.13
	4	4.2	2.529	2.476	2.1	12.0	82.3	14.29	33.13
	5	4.5	2.518	2.485	1.3	11.9	88.7	14.01	33.37

3.2 不同级配表干法毛体积密度分析

相同油石比下(3.3%油石比除外), 沥青混合料试件毛体积相对密度以中值级配最大, 上限级配次之, 下限级配最小, 见图 2。

对贝雷法参数 CA 比、FA_c 比、FA_f 比及 4.75 mm 筛通过率对 4.2% 油石比下的 GTM 试件密度、马歇

3 不同级配 GTM 旋转结果及体积参数比较分析

以 GTM 为成型方式, 在垂直压力 0.8 MPa、温度 135~140 °C、最终状态为平衡状态下成型不同级配、不同油石比的混合料试件, 沥青混合料最大理论相对密度根据集料有效相对密度计算得出, 沥青混合料试件密度采用表干法毛体积相对密度。试验结果见表 1。

3.1 不同级配理论最大相对密度分析

研究所用集料密度为沥青浸渍法实测有效相对密度, 沥青混合料最大理论相对密度根据此密度计算得出。相同油石比下, 虽然各种集料比例相差较大, 但不同级配理论最大密度均相同, 见表 2。因此, 为简单方便地控制现场施工质量, 在集料变异不大的情况下, 实测集料有效相对密度后, 生产中可按照实测的有效相对密度计算每天混合料最大理论相对密度, 并由此计算路面芯样空隙率, 此法更为方便、准确。

尔试件密度(击实 75 次)、轮碾 30 次车辙试件密度、轮碾 60 次车辙试件密度的相关性进行了灰关联分析, 以寻找对密度影响的因素。

灰关联分析主要是寻求系统中各因素之间的主次关系, 找出影响目标值的主要因素, 从而掌握事物的主要特征。灰关联分析将因素间相对变化的情况

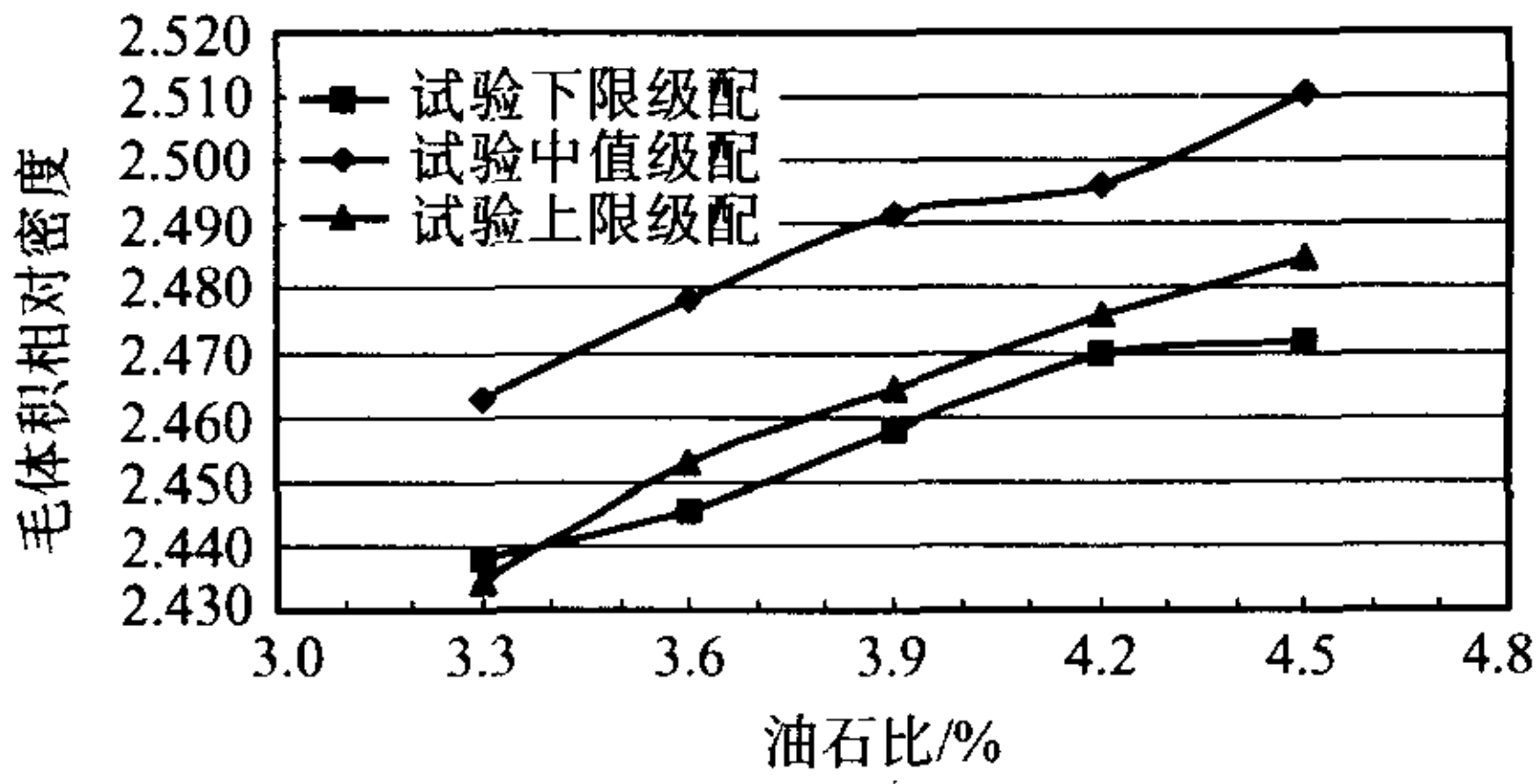


图2 不同级配GTM 试件表干法毛体积密度

用关联度来描述。如果两种因素在发展过程中相对变化基本一致,则两者关联度就大;反之,两者关联度就小。

分析所用数据如表3,分析过程略,分析计算结果见表4。

表3 不同级配最佳油石比下不同成型方式试件密度

项目	上级配	中值级配	下级配
GTM 密度/(g/cm ³)	2.476	2.492	2.445
马歇尔密度/(g/cm ³)	2.432	2.443	2.401
轮碾30次密度/(g/cm ³)	2.442	2.481	2.397
轮碾60次密度/(g/cm ³)	2.494	2.501	2.466
CA	0.831	0.702	0.655
FA _c	0.450	0.469	0.460
FA _f	0.453	0.486	0.491
4.75 mm 筛通过率/%	43.50	36.40	30.00

表4 灰关联分析结果

项目	关联度 γ				
	GTM 密度	马歇尔密度	轮碾30次密度	轮碾60次密度	平均
CA	0.554	0.587	0.535	0.580	0.564
FA _c	0.931	0.955	0.896	0.941	0.931
FA _f	0.798	0.825	0.783	0.811	0.804
4.75 mm 筛通过率	54.9	57.9	51.4	57.4	55.4
%					

表4中,在所研究范围内,相同油石比,不同成型方式下沥青混合料密度与其影响因素关联度的大小有完全相同的规律即 $FA_c > FA_f > CA > 4.75\text{ mm}$ 筛通过率,也就是说,无论何种成型方式,对沥青混合料密度影响最大的因素是细集料组成,因此要调整沥青混合料密度,调整细集料组成是最有效的措施。

3.3 不同级配体积参数分析

不同级配、不同油石比下GTM 试件体积参数如图3和图4。

图3中,相同油石比下,中值级配VMA 最小,下

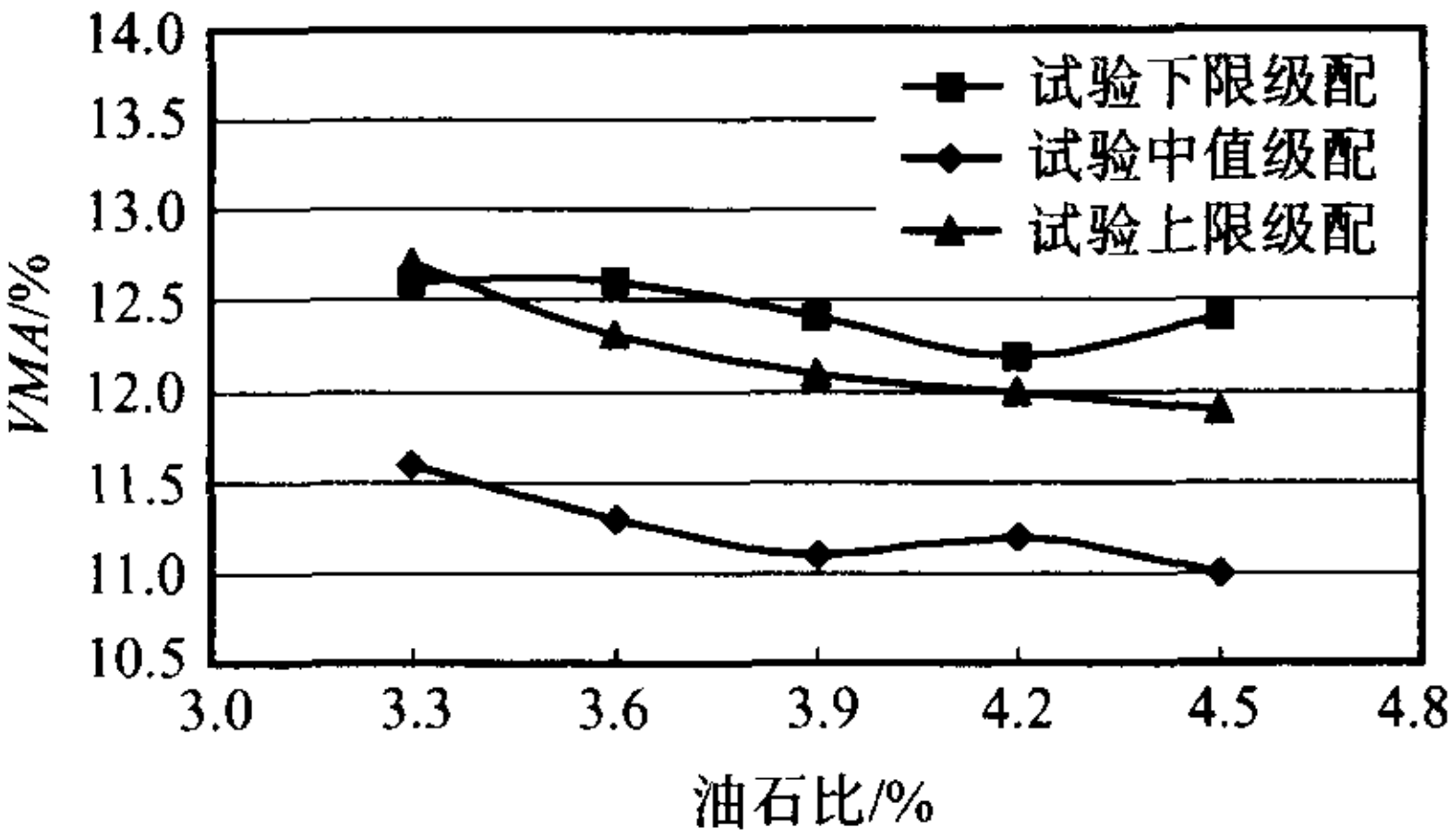


图3 不同级配VMA

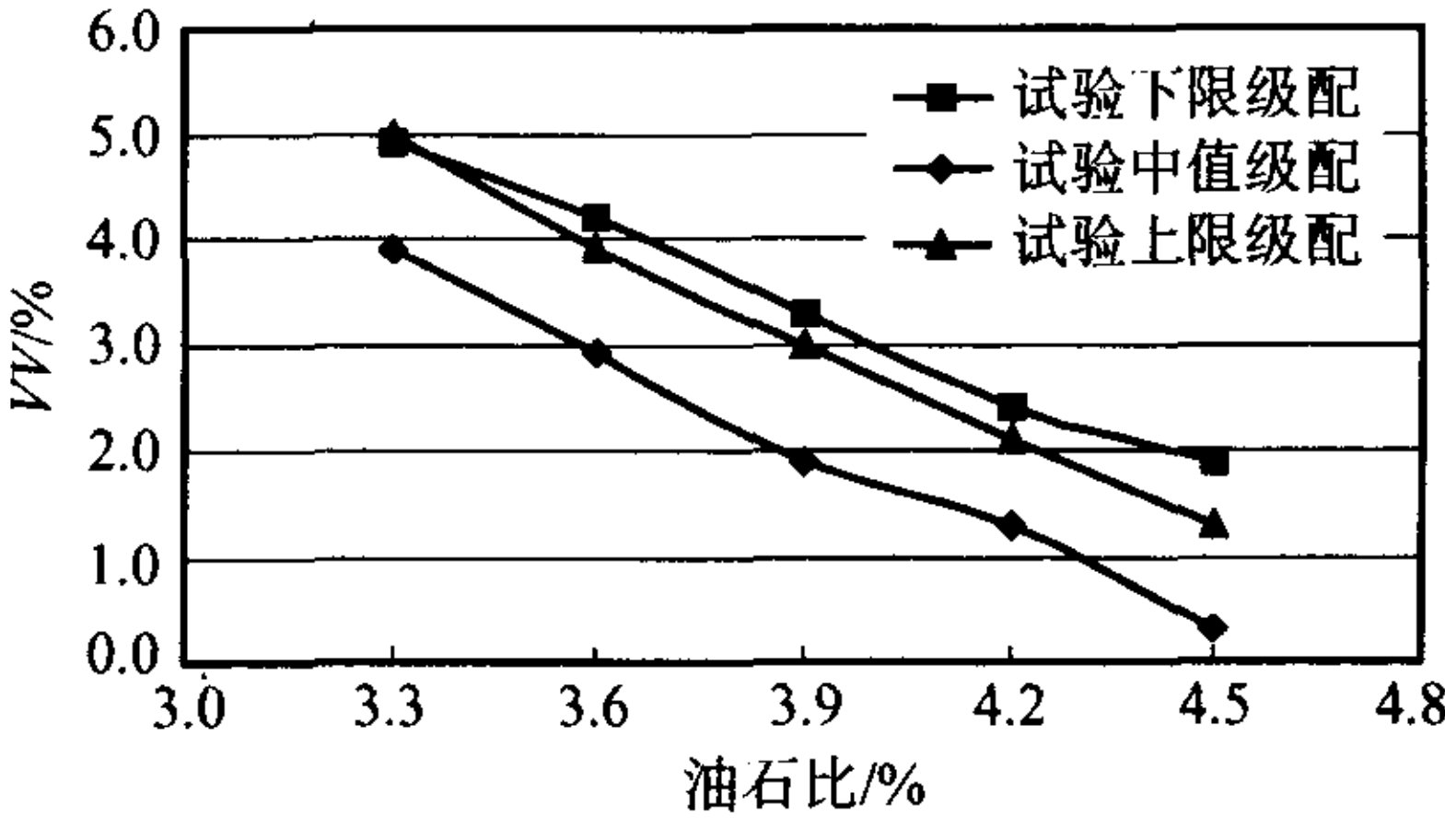


图4 不同级配空隙率

限级配VMA 最大,上级配居中。VMA 是沥青混合料非常重要的体积参数,它是决定集料中能够加入沥青数量的重要因素。对于沥青混合料,如果VMA 太小,意味着集料不能够为沥青提供足够的空间,导致混合料中沥青膜厚度小、沥青混合料耐久性不足。但VMA 也不能太大。

不同级配随着油石比的均匀增加,其沥青膜厚度增长速率有较大差别,其中下级配随着油石比的增加增长速率最大,见图5。

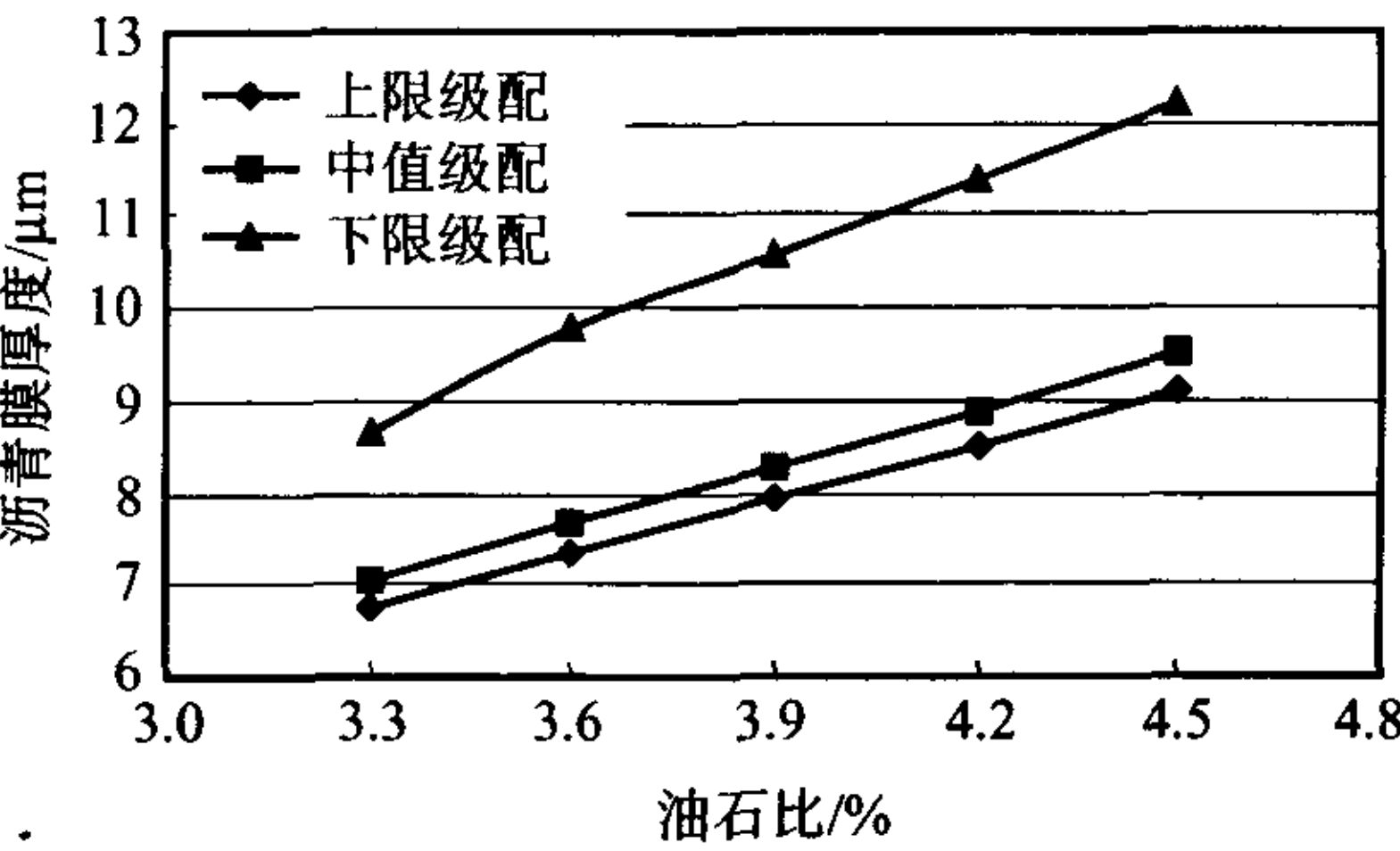


图5 不同级配不同油石比下沥青膜厚度

由图5可见,如以 $8.5\sim 10\text{ }\mu\text{m}$ 作为合适的沥青膜厚度,则下级配油石比为3.3%,此时VMA 为12.6%,空隙率为4.9%;中值级配最佳油石比为3.9%,VMA 为11.1%,空隙率为1.9%;上级配最佳油石比为4.2%,VMA 为12.0%,空隙率为

2.1%。明显可以看出下限制配在最佳沥青膜厚度下空隙率过大(如以马歇尔击实作为成型方式,空隙率将达到7.5%),此时如不调整级配,而是以沥青作为填充物来减小空隙率,必将使沥青膜厚度急剧增加,影响混合料路用性能。实际上试验过程中当油石比达到3.9%时,混合料已有较明显的析漏现象。

根据以上分析,调整VMA应主要考虑调整细集料组成,且VMA应有合理的范围,过大或过小的VMA对沥青混合料路用性能都将产生不利影响。

3.4 不同级配GTM旋转力学参数分析

由图6和图7GTM试验结果力学参数曲线图可见,判定沥青混合料这种粒状塑性材料是否会出现塑性过大现象的指标GSI随油石比的增加而增加,对于上、中、下限制配,当油石比分别大于4.2%、3.9%、3.6%时,GSI曲线呈急剧增加趋势,沥青混合料的塑性变形过大;从反映沥青混合料抗剪强度方面的强度稳定性参数GSF随油石比的变化情况来看,3个级配的油石比分别等于4.2%、3.9%、3.6%时,GSF值最大,而当油石比大于此数值时,随油石比的增加,GSF值减小。综合GTM试验各参数结果认为,上、中、下限制配沥青混合料最大油石比分别确定为3.6%、3.9%、4.2%。

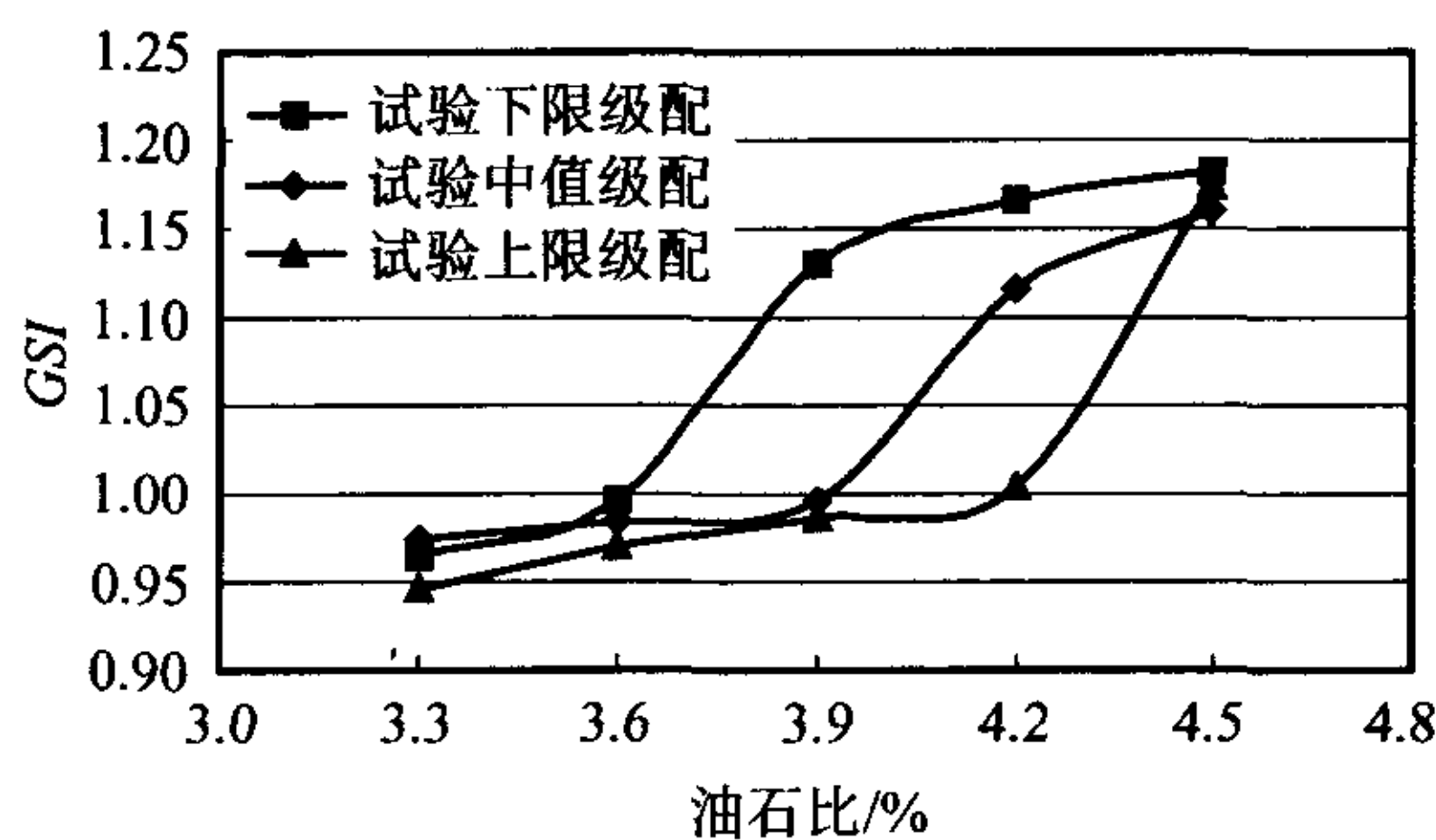


图6 不同级配GTM旋转试件GSI随油石比变化

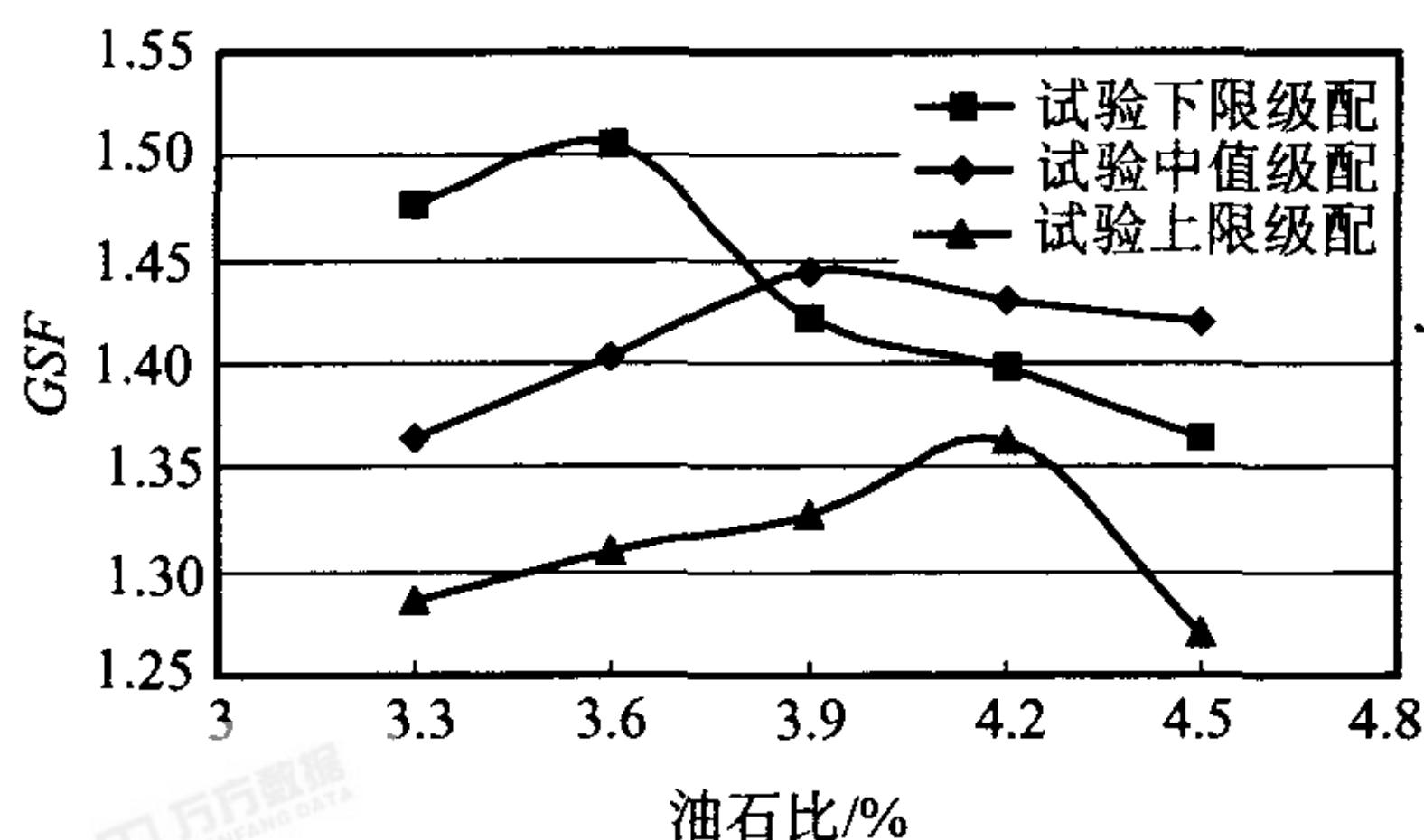


图7 不同级配GTM旋转试件GSF随油石比变化

图7表明,由反映沥青混合料内部抗剪强度参数GSF变化规律,当上、中、下限制配处于最佳油石比时,以下限制配GSF最大,中值级配次之,而下限制配最小。但上限制配及下限制配油石比大于最大油石比后,GSF急剧下降,而中值级配变化速率则较小,因此由GSF变化规律可以看出,上、下限制配对沥青含量变化更为敏感。

4 不同级配混合料路用性能

对3种级配混合料在最佳油石比下进行了残留稳定度及冻融劈裂试验以验证沥青混合料水稳定性,同时在最佳油石比、GTM旋转密度下进行了不同温度的车辙试验以验证混合料高温抗车辙能力,实验结果见表5、表6和图8。

表5 不同级配混合料水稳性试验结果

项 目	检测结果		
	上限制配	中值级配	下限制配
残留稳定度/%	101.1	104.2	97.3
冻融劈裂强度比/%	87.6	88.5	85.8

表6 不同级配混合料车辙试验结果

试验项目	上限制配	中值级配	下限制配
60℃稳定度/(次/mm)	2 423.0	2 808.3	1 492.8
65℃稳定度/(次/mm)	1 181.0	2 043.0	821.7

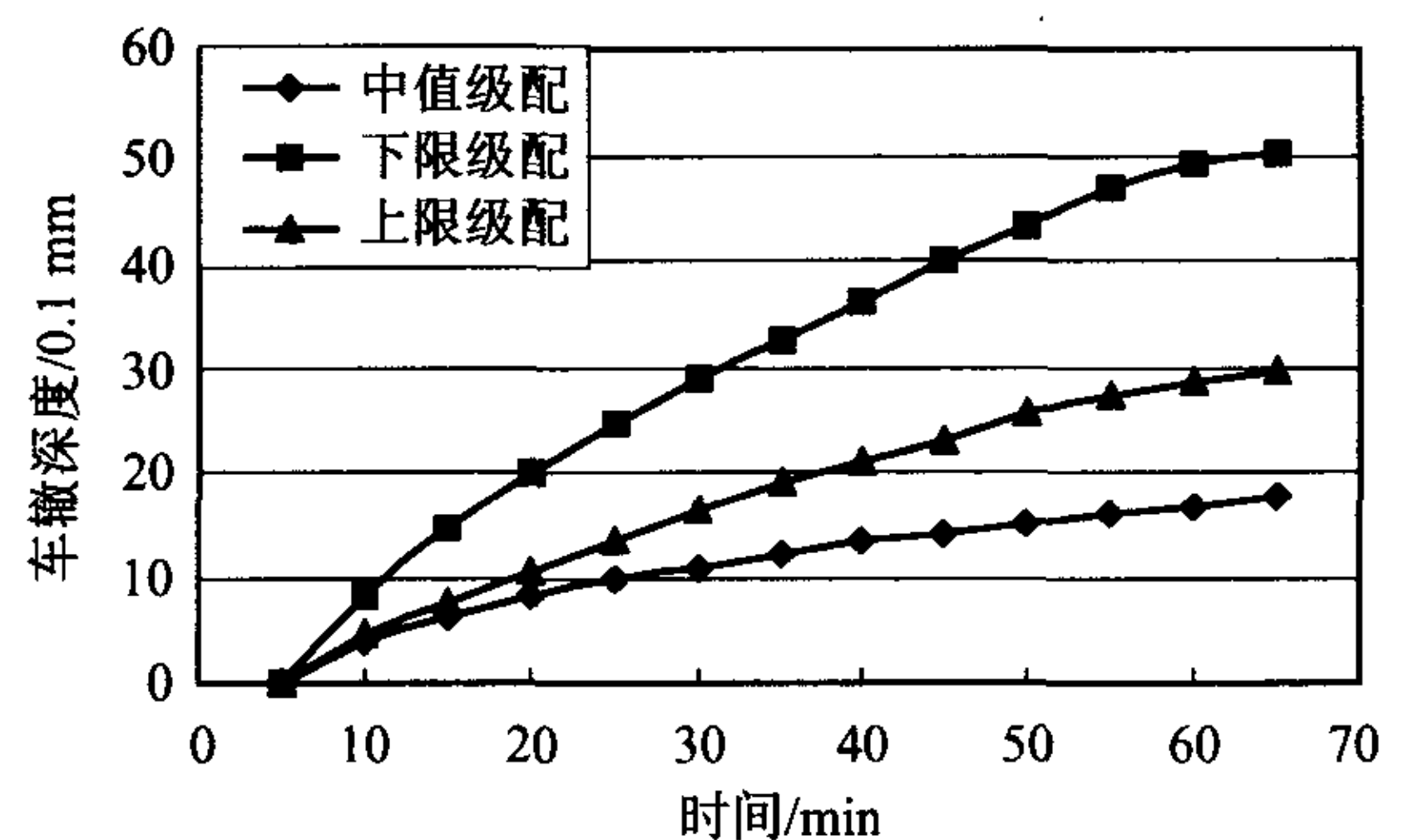


图8 不同级配65℃下车辙深度变化规律

由水稳性试验结果,最佳油石比下,中值级配冻融劈裂强度比及残留稳定度值最大,表明在最佳油石比下中值级配混合料抗水破坏能力最强,其次为上限制配,下限制配抗水破坏能力最差。这主要是由于在最佳油石比下,中值级配空隙率最小,而下限制配空隙率最大。空隙率大,水容易进入沥青混合料试件内部,一方面在冻融循环过程中冻胀对混合料强度起更大的破坏作用;另一方面,空隙率大的下限制

配混合料内部保存大量的水能导致更多的沥青膜从集料表面剥落。因此,空隙率最小的中值级配抗水破坏能力最强。

车辙试验结果表明,在 60℃、65℃下,中值级配动稳定度均最高,其次为上限制配,下限制配高温抗车辙能力最差。温度由 60℃上升到 65℃,上限制配动稳定度下降 51%,中值级配动稳定度下降 27%,而下限制配动稳定度下降 45%。因此,中值级配对温度敏感性最好。而上限制配温度敏感性最差。

5 AC-25 型沥青混合料级配范围的确定

混合料设计方法包括级配及沥青用量的优化,而优化的最终评判标准应该是路用技术性能而不是其他。对于本次研究对象,如以抗水破坏能力及抗高温车辙能力作为 AC-25 型沥青混合料性能路用判定标准,则中值级配路用性能最佳,其次为上限制配,下限制配路用性能较差。

对于本研究对象,不同级配高温抗车辙能力、抗水破坏能力与 VMA 有较好的相关关系,表现为 VMA 越小,混合料高温抗车辙能力及水稳定性越好。

由 VMA 变化规律,细集料含量最多的上限制配 VMA 较大,此时 VMA 受细集料含量影响较大,随着细集料的减少,VMA 逐渐减小,至中值级配达到最小。当细集料含量继续减小,VMA 增大,即混合料中集料密度减小,此时 VMA 转而受粗集料影响较大。由 VMA 变化趋势分析,上限制配为悬浮结构,下限制配为骨架空隙结构,而 VMA 最小的、粗细集料比例适当的中值级配理论上说,既密实,又刚好形成骨架,最重要的是路用性能检验结果表明此级配路用性能最优。

在施工过程中,级配发生波动是正常的,因此对级配波动范围加以限制是必要的。对本次试验所用原材料,参考本次研究成果和工程经验,推荐青银高速公路底面层 AC-25 的级配范围见图 9。该范围的中值附近可作为最优级配。

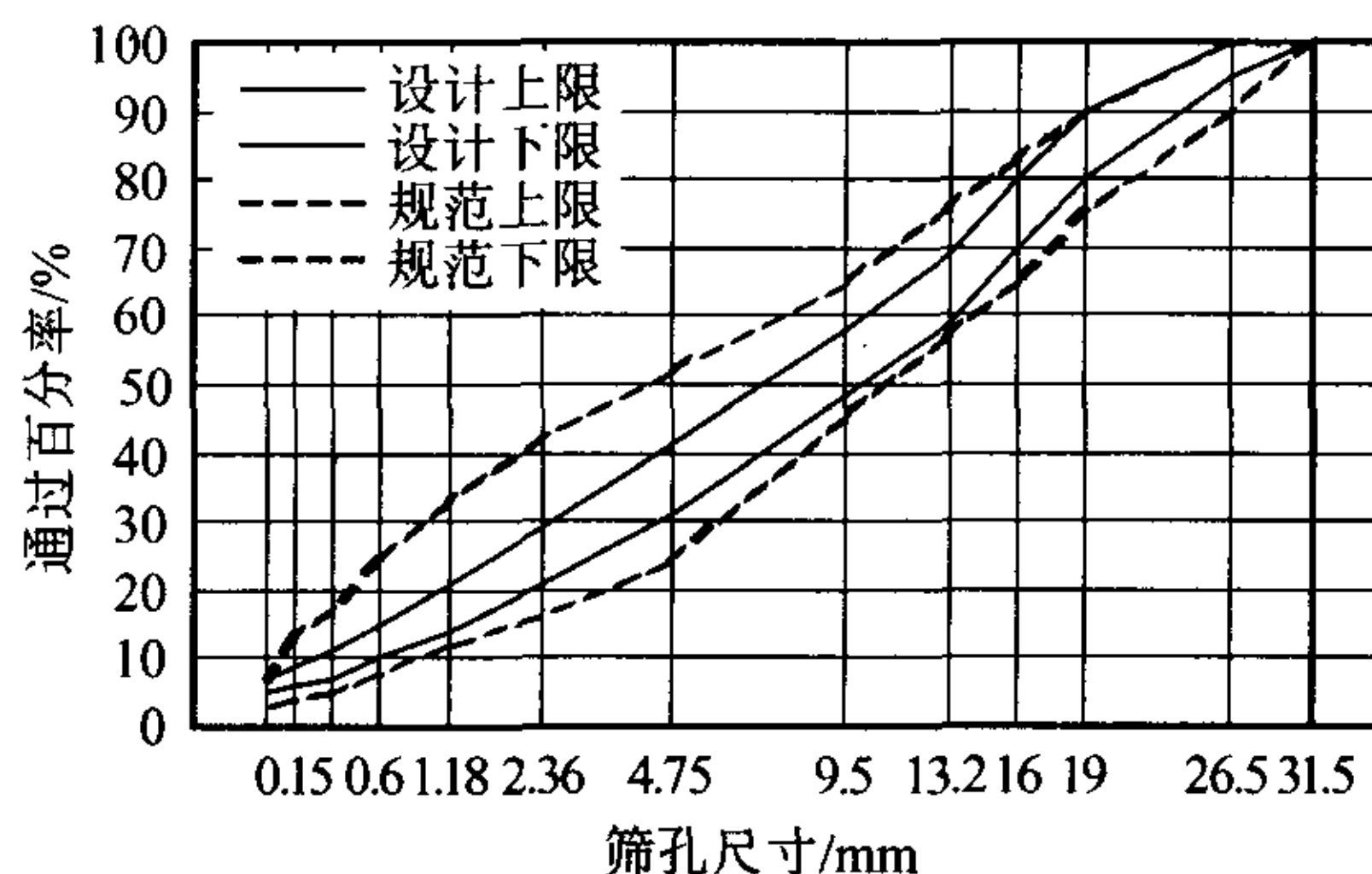


图 9 青银高速公路 AC-25 混合料级配范围优化结果

6 结语

我国现行规范对的沥青混合料级配范围,对于特定工程,需要确定比较窄的工程级配范围,以保证级配的稳定性,从而保证沥青混合料性能的稳定性。通过对规范给定的 AC-25 级配范围内选定的上、中、下限(即粗、中、细级配)混合料的性能的研究和分析比较,针对特定原材料的最佳的级配范围,并根据 VMA 的变化规律定义了骨架密实结构。

参考文献:

- [1] JTJ 058—2000,公路工程集料试验规程[S]
- [2] JTJ 052—2000,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S]
- [3] 赵可,周卫峰.青银高速公路底面层 AC-25 配合比设计研究[R].天津市政工程设计研究院,2004.

“十五”期间甘孜州改建公路 2 839 km

“十五”期间,四川省甘孜州公路建设投资达 32.85 亿元,共改建公路 2 839 km,新铺油路 2 610 km、水泥路 74 km,新建通乡公路 2 300 km。全州基本上形成了以国、省公路为主骨架,县、乡公路为连线的高原山区公路交通网。

甘孜州圆满完成通县油路建设,总里程达 2 534 km,完成投资 14.3 亿元,实现了县县通油路目标。县际公路改建总里程达到 309 km,目前已完成路基改造 284 km,完成路面铺筑 56 km,完成投资 3.813 9 亿元。通乡公路建设基本完成,共 41 条路线项目,覆盖 13 个县,总里程 1 508 km,已实现 1 508 km 初通,完工 20 座桥梁建设,完成投资 2.713 1 亿元。国道 318 线改建工程进展顺利,二郎山至康定段 74 km 于 2004 年完工,完成投资 5.9 亿元,实现了甘孜州二级公路零的突破;雅江县过境段、海子山至竹巴笼、金沙江大桥建设总投资达 15 亿元,已完成投资 6.11 亿元。