

文章编号:1006-2106(2013)07-0080-05

沥青混合料组成设计研究^{*}

李腾云^{**}

(中铁三局集团有限公司, 太原 030001)

摘要:研究目的:本文主要从对沥青混合料组成设计要求、理论分析、具体工程实例几方面来开展研究,研究嵌挤紧密骨架型结构的粗细矿料级配较开级配与密实型悬浮级配的优异性。

研究结论:(1)规范的级配范围修改趋向也证明S型密实嵌挤型级配在一定程度上已被普遍接受;(2)沥青混合料的组成设计应充分考虑原材料成本、混合料拌合生产成本、施工控制成本、后期养护成本,把沥青混合料的综合施工成本控制到最低;(3)在容许情况下,应尽可能把粗骨料的矿料间隙率设计的小一些,通过调整细骨料、填料调整混合料整体间隙率,优化混合料性能。(4)该研究成果适用于各等级公路工程、高速铁路基层表层热拌沥青混合料的生产。

关键词:沥青混合料;组成设计;密实嵌挤型级配

中图分类号:TU535 **文献标识码:**A

Design and Research on Bituminous Mixture Composition

LI Teng - yun

(China Railway No. 3 Engineering Group Co. Ltd, Taiyuan, Shanxi 030001, China)

Abstract: Research purposes: This paper researches the advantages of the coarse and fine aggregate gradation of embedded crowed skeleton structure compared with the intensive suspended gradation mainly in the areas of the design requirement of the bituminous mixture composition, the theoretical analysis and the concrete project application.

Research conclusions: The revision trend of the normative gradation scope has proved that the S - shaped embedded crowed skeleton gradation has been generally accepted in a certain extent. To control the cost of bituminous mixture to the lowest level, the design of the bituminous mixture composition should fully consider the raw material cost, the production cost of the mixture materials, the construction cost and the later - stage maintenance cost. In the allowable circumstances, the coarse aggregate's VMA should be designed as small as possible, and the overall clearance rate of the mixture materials should be adjusted by adjusting fine aggregate and filling material so as to optimize the performance of mixture materials.

Key words: bituminous mixture; composition design; embedded crowed skeleton gradation

近年来,随着我国国民经济的高速发展,我国交通运输业特别是公路运输业显现出突飞猛进的态势,我国高等级公路的通车总里程不断增加。沥青混凝土路面由于平整性好,行车平稳舒适,噪音低,许多国家在建设高等级公路时都优先采用。而半刚性基层具有强度大,稳定性好及刚度大等特点,被广泛用于修建高等级公路

沥青路面的基层或底基层。在我国已建成的高速公路路面,90%以上是半刚性基层沥青路面,且今后的国道主干线建设中,半刚性基层沥青路面仍将是主要的路面结构形式。公路运输呈现车流量大(3 000 辆/昼夜以上)和轴载重(大型货运车辆自重加运输货物有的每辆达60 t以上,汽车轮胎的气压已增大到1.0 MPa以

^{*} 收稿日期:2013-03-04

^{**} 作者简介:李腾云,1968年出生,男,高级工程师。

上)的情况,使沥青混凝土混合料组成设计亦显得尤为重要。路面基层也从传统的石灰土、石灰碎石土、石灰工业废渣土改进成二灰碎石基层、水泥稳定碎石基层。但至今还是没有彻底解决路面拥包、泛油、车辙、渗水、松散等问题,有些高等级公路通车还不到两年就出现早期损坏现象。

1 沥青混凝土混合料组成设计

1.1 确定沥青混合料类型

根据道路等级、路面类型、所处的结构层位及设计要求,按规范及经验统计资料选定沥青混合料的类型及厚度,确定矿料最大粒径。同时要考虑当地气候、地质、交通状况等因素的影响;借鉴同种沥青混合料类型组成设计使用的成功经验。

1.2 原材料确定及准备

在对同类公路沥青混合料组成设计和使用情况调查研究的基础上,充分借鉴成功的经验,选用符合要求的原材料。按相关试验技术规定的取样方法,取足够数量的具有代表性沥青及矿料试样,按《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)材料质量的技术要求试验各项性质。

1.3 矿质混合料组成设计

确定矿质混合料的级配范围。沥青混合料的矿料级配应符合工程设计规定的级配范围。密级配沥青混合料根据公路、气候及交通条件选择采用粗型或细型混合料。其他类型混合料宜直接以规范要求矿料级配范围作为工程设计级配范围。

矿质混合料组成比例计算。分别筛析组成材料,同时测出各组成材料的相对密度,以此结果计算组成材料配合比。合成的级配曲线宜尽量接近设计级配中限;对于高速公路、一级公路、城市快速路、主干路等交通量大、轴载重的道路,宜偏向级配范围的下限,相反一般道路、中小交通量或人行道路等宜偏向级配范围的上限;合成级配曲线应接近连续或有合理的间断级配,不得有过多的犬牙交错。当经过再三调整仍有两个以上的筛孔超过级配范围时,必须对原材料进行调整或更换原材料重新设计。

1.4 确定沥青混合料的最佳沥青用量(或油石比)

沥青混合料的最佳沥青用量,试验方法确定沥青最佳用量目前最常采用的主要有:F. N. 维姆煤油当量法和马歇尔法。现行国标规定的方法是在马歇尔法和美国沥青学会方法的基础上,结合我国多年的生产实践与研究成果发展起来更为完善的方法。该法确定沥青最佳用量,首先制备试样,再测定试样的物理、力学指标,最后通过马歇尔试验结果分析决定沥青最佳用

量。

1.5 沥青混合料组成设计的检验

对用于一级公路、高速公路(其他等级公路可参照执行)的密级配沥青混合料,在配合比设计的基础上按《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)要求进行各种使用性能的检验,不符合要求的沥青混合料,必须重新进行配合比设计或更换材料。

对公称最大粒径等于或小于19 mm的混合料,进行车辙试验,动稳定度应符合高温稳定性要求;水稳定性检验,进行浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验,残留稳定度及残留强度比均须符合规范要求;进行低温弯曲试验,检验其低温抗裂性能;利用轮碾机成型的车辙试件进行渗水试验检验深水系数。对使用钢渣的沥青混合料,应检验钢渣的活性及膨胀性。

2 沥青混凝土混合料设计实例解析一

下面以内蒙古自治区通道 SHTJ4004 合同段一级公路沥青路面 AC-16I 型下面层沥青混凝土配合比设计为例,对沥青混凝土混合料设计进行的实例剖析。该路段自2004年路面施工竣工开放交通,运行状况良好,是一较为成功的典例。

2.1 基础资料

该一级公路沥青路面下面层设计为 AC-16I 型沥青混凝土,厚度为4 cm。

原材料:秦皇岛生产的 AH-110 号石油沥青,轧制的9.5~19 mm 规格碎石、4.75~9.5 mm 规格碎石、4.75 mm 以下石屑,天然河砂,填料为碱性矿粉。

2.2 原材料性质试验

按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)、《公路工程集料试验规程》(JTJ 058—2000)要求,对各种原材料进行了常规性能指标试验,各种原材料的性能指标符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ 032—94)中的要求。如原材料中有不符合规范要求的,应改进生产方法直到符合规范要求,改进后仍然不能满足规范要求的应更换原材料。

2.3 矿料级配组成设计

经过多次试配,采用9.5~19 mm 规格碎石、4.75~9.5 mm 碎石、4.75 mm 以下石屑、天然砂、矿粉配制 AC-16I 型沥青混凝土矿料组成能够满足规范要求。AC-16I 型沥青混凝土矿料组成配比如表1所示,合成级配图如图1所示。

从图1中不难看出,该沥青混凝土矿料级配采用了S型密实嵌挤型级配。大量的经验资料显示,S型密实嵌挤型级配无论从承重能力、高温稳定性、抗渗水能力和通车后变形性都是有利的,因此这种级配被许

多单位采用。在对《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)使用学习中发现,所设计的 S 型 AC-16I 型沥青混凝土矿料级配正好趋近于《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)中密级配沥青混凝土混合料矿料级配范围中粒式 AC-16 型的级

配中值。AC-16 型沥青混凝土混合料矿料要求级配范围如表 2 所示,上述 AC-16I 型沥青混凝土的矿料合成级配绘于《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)中 AC-16 型沥青混凝土矿料级配范围图,如图 2 所示。

表 1 AC-16I 型沥青混凝土混合料合成矿料级配

矿料种类	矿料比例	下列筛孔(方孔 mm)的通过百分率(%)										
		19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
9.5~19 mm	35.0%	100.0	93.3	62.3	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.75~9.5 mm	13.0%	0.0	0.0	100.0	99.2	10.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
石屑	35.0%	0.0	0.0	100.0	99.9	92.9	54.1	32.6	21.2	11.1	5.6	2.6
天然砂	10.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	88.4	68.2	47.2	14.0	3.7	1.4
矿粉	7.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	99.2	94.0	84.8
级配范围下限		100	95	75	58	42	32	22	16	11	7	4
级配范围上限		100	100	90	78	63	50	37	28	21	15	8
级配中值		100	97.5	82.5	68	52.5	41	29.5	22	16	11	6
合成级配		100.0	97.7	86.8	69.1	50.8	34.8	25.2	19.1	12.2	8.9	7.0

注:由于混合料组成中掺加了 10% 的天然砂,而天然砂主要成分为 SiO₂,与沥青的黏附性较差,采用了消石灰替代 2%~3% 的矿粉提高沥青与矿料黏附性。

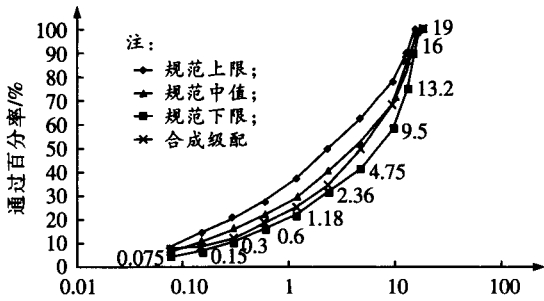


图 1 AC-16I 型沥青混凝土矿料组成配图

表 2 规范 JTG F40—2004 中 AC-16 要求级配范围											
级配范围下限	100	90	76	60	34	20	13	9	7	5	4
级配范围上限	100	100	92	80	62	48	36	26	18	14	8
级配中值	100	95	84	70	48	34	24.5	17.5	12.5	9.5	6

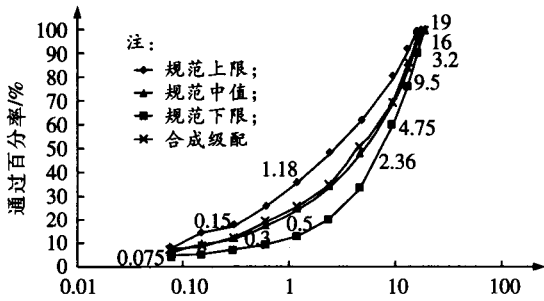


图 2 合成级配绘于规范 JTG F40-2004 的 AC-16 范围中

进一步研究规范发现,在《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)中的密级配沥青混凝土 AC-25、AC-20、AC-16、AC-13、AC-10 级配类型的级配范围中值近似于《公路沥青路面施工技术规范》

(JTG 032—94)中相应级配类型 I 型的 S 型密实嵌挤型级配。实践研究表明嵌挤紧密骨架型结构的粗细矿料级配,较开级配与密集型悬浮级配更为优异, JTG F40—2004 规范的级配范围修改趋向也正证明 S 型密实嵌挤型级配在一定程度上已被普遍接受。

2.4 沥青混合料马歇尔试验

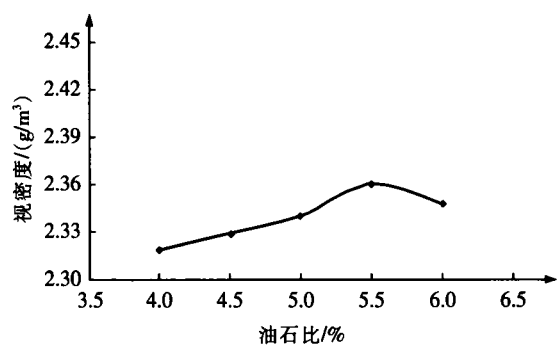
试验依照《公路工程沥青混合料试验规程》(JTG 052—2000)相关要求进行,经过制备试样、测定物理指标(视密度、理论密度、空隙率、矿料间隙率及沥青饱和度)、测定力学指标(马歇尔稳定度、流值)及马歇尔试验结果分析最终确定沥青最佳用量。试验结果如表 3 所示,结果分析如图 3 所示。

表 3 AC-16I 型沥青混凝土混合料马歇尔试验结果

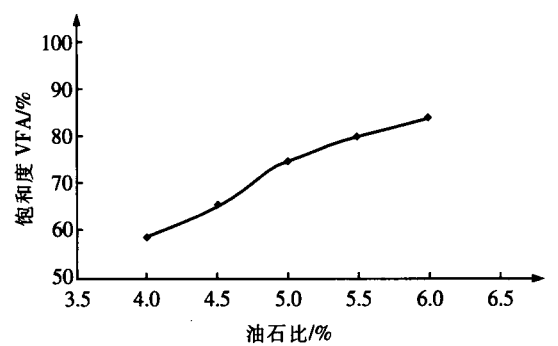
油石比 /%	理论密度 (g/cm ³)	视密度 (g/cm ³)	稳定度 /kN	流值/(×0.1 mm)	空隙率 /%	饱和度 /%
4.0	2.437	2.319	8.22	16.9	6.2	58.6
4.5	2.456	2.329	9.33	18.9	5.2	65.4
5.0	2.440	2.340	9.13	20.8	4.1	74.7
5.5	2.424	2.360	9.02	22.6	3.0	80.0
6.0	2.408	2.348	9.00	25.0	2.5	83.9

由马歇尔试验结果得出 $a_1=4.5\%$, $a_2=5.5\%$, $a_3=4.7\%$, $OAC_1=4.9\%$, $OAC_{max}=5.5\%$, $OAC_{min}=4.7\%$, $OAC_2=5.1\%$ 。

由于拟建道路地区气温变化幅度较大,需要综合考虑沥青路面的高低温性能,因此在确定最佳油石比时,主要在马歇尔试验得出的 OAC_{min} 与 OAC_2 之间选择。确定最佳油石比为 4.9%,最佳沥青用量为 4.7%。



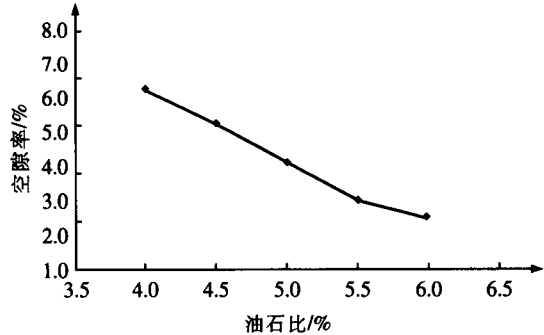
(a) 视密度随油石比变化曲线图



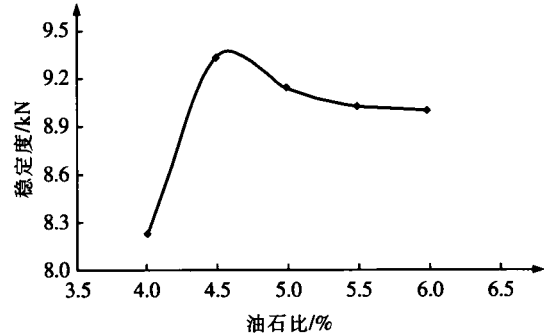
(e) 饱和度随油石比变化曲线图

图 3 马歇尔试验结果图

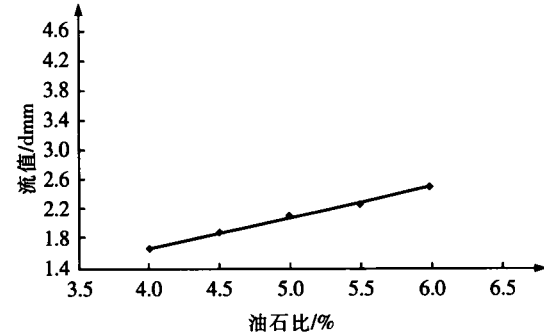
量,重车、超载车大大增加,车辆交通的渠化以及轴载轮压的不断增加,我国高等级公路沥青路面在使用期间大都产生轻重不一的车辙,因此车辙是高等级公路上的主要病害。抗压回弹模量是反应沥青混合料应力应变特性的重要指标,也是沥青路面结果计算的基本参数,混合料设计中确定的材料能否达到设计要求对沥青路面的结构稳定性影响较大,因此抗压回弹模量是检验混合料设计是否合格的条件之一。沥青路面的水损坏是目前高等级路面早期损坏的另一个常见原因,沥青混合料抗水损坏能力不足会导致沥青路面在行车荷载和水的共同作用下出现沥青与石料剥落,进而形成坑槽,影响行车质量,更重要的是这种情况进一步加剧了水分进入路面结构层的程度,影响其他路面结构层的正常使用。劈裂强度是沥青路面结构设计的重要参数,可以间接反映沥青混合料的抗拉强度,也是衡量沥青混合料性能的一项指标。所检验的试验项目及试验结果如表 4 所示。



(b) 孔隙率随油石比变化曲线图



(c) 稳定度随油石比变化曲线图



(d) 流值随油石比变化曲线图

2.5 沥青混合料设计的组成检验

根据《公路沥青路面设计规范》及《公路沥青路面施工技术规范》规范要求,要对所设计沥青混凝土混合料组成进行车辙试验、抗压弹性模量、浸水马歇尔试验、劈裂试验检验。不符合要求的沥青混合料,必须更换材料或重新进行配合比设计。

车辙是沥青路面在汽车荷载反复作用下产生竖方向永久变形的积累。车辆的大型化及繁重的交通

表 4 AC—16I 型沥青混凝土组成设计检验结果

试验项目		试验结果	规范要求
动稳定度/(次/mm)		718	≥600
回弹模量/MPa	15℃回弹模量	1 643	1 600~2 000
	20℃回弹模量	1 025	1 000~1 400
浸水马歇尔试验残留稳定度/%		77	≥75
劈裂强度/MPa		1.2	0.8~1.2

从试验结果可以看出,设计的 AC - 16I 型沥青混凝土混合料组成的动稳定度、回弹模量、残留稳定度、劈裂强度均满足规范要求。

2.6 沥青混凝土混合料路面施工中应注意的几个问题

一个理论上不渗水、设计级配非常好的沥青混凝土混合料配合比,如果施工中没有保证沥青混合料均匀性,包括级配及沥青拌合的均匀性、摊铺的均匀性、碾压成型的均匀性,沥青混合料路面一样会产生渗水、唧浆、车辙、泛油等早期破坏现象。因此施工中应注意

环节控制,这里简要归纳几点。

- (1)严格控制透层油和粘层油的均匀性和用量非常重要,如果用量过多又不均匀,多余的透层油和粘层油将渗入到沥青混合料中,造成实际上沥青混合料的沥青用量过大,路面出现泛油及车辙的现象。
- (2)沥青混合料配合比的均匀性:拌合过程级配的均匀性和摊铺过程中级配的均匀性是不同的概念,拌合站取样只是检验拌合站生产出来的沥青混合料是否符合设计沥青混合料配合比,级配误差是否在规范允许范围内,最终的目的是检验摊铺完路面上的级配是否满足要求,取样应该是在刚摊铺完没有碾压的路面上进行随机取样,施工质量控制应增加现场取样检查配合比。
- (3)混合料拌和、运输、摊铺过程中的离析:拌和温度过高,连续式拌和均易产生离析;尤其摊铺过程中所造成的离析要引起重视,如果用一台 12 m 宽的摊铺机摊铺,离析则较为严重,可采用两台 6 m 宽的摊铺机来消除摊铺过程中的级配离析及温度离析。
- (4)严格控制压实度:保证沥青混凝土混合料的绝对空隙率小于 7%,才能保证沥青混凝土混合料路

面不渗水。施工中要高温碾压,要采用大吨位胶轮压路机初压(改性沥青混合料除外),对提高压实度效果特别明显,胶轮压路机高温碾压保证了细料填充空隙和粗骨料合理排序,并对提高表面构造深度有明显的效果。

3 沥青混凝土混合料设计实例解析二

以商漫高速公路的路面上面层为例,混合料类型为 AC-16,用 SBS 改性沥青。选用三种玄武岩的碎石,分别为 9.5~19 mm(A 料)、4.75~9.5 mm(B 料)、2.36~4.75 mm(C 料),石灰岩的机制砂 0~4.75 mm(D 料),矿粉(F 料)。合同段路线起点(K 124+100)位于山阳县境内沿县河右岸,终点(K 152+900)止于鹞岭隧道中,全长 28.5 km,沥青路面 583 020 m²,2009 年竣工通车,运行至今无一处因混合料质量损毁。

矿料配合比设计结果为:A 料:B 料:C 料:D 料:F 料=33:34:6:24:3,合成级配如表 5 所示,图 4 是配合比的合成级配曲线示意图。

表 5 热拌沥青混合料配合比合成级配

矿料种类	矿料比例	下列筛孔(方孔 mm)的通过百分率(%)										
		19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
A 料	33%	100	92.4	63.5	16.8	1.0	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
B 料	34%	100	100	100	93.6	16.1	3.1	2.2	1.7	0.6	0.6	0.6
C 料	6%	100	100	100	100	96.1	7.0	3.7	1.6	1.0	0.9	0.9
D 料	24%	100	100	100	99.4	96.6	77.6	60.0	43.7	20.3	13.5	7.7
矿粉	3%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97.6	91.5
规范级配范围上限		100	100	92	80	62	48	36	26	18	14	8
规范级配范围下限		100	90	76	60	34	20	13	9	7	5	4
合成级配		100	97.5	88.0	70.2	37.8	23.3	18.6	14.3	8.3	6.6	5.0

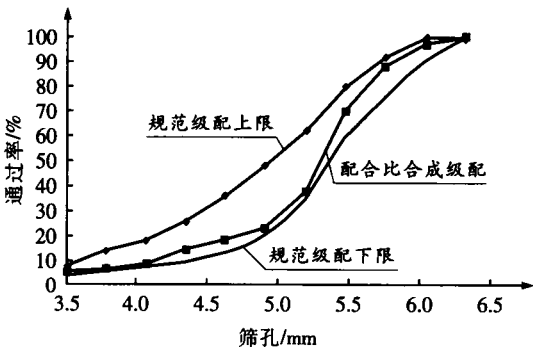


图 4 配合比的合成级配曲线示意图

配合比设计过程与实例一基本相同,在此不再赘述。矿料配比 A 料:B 料:C 料:D 料:F 料=33:34:6:24:3,最佳油石比 4.7(最佳沥青含量 4.5)。

商漫高速公路 AC-16 沥青混合料的矿粉与沥青

用量相对降低,整体矿料级配中间颗粒较多粗粒径与细粒径相对较少,材料综合成本低于内 蒙古省际通道 AC-16I 型沥青混合料,混合料达到了更优越的质量性能。规范的级配范围修改趋向于 S 型密实嵌挤型级配,不仅提高了沥青混合料性能,同时也有利于降低沥青混合料的综合成本。

4 结论

沥青混合料组成设计要充分考虑原材料成本、混合料拌合生产成本、施工控制成本、后期养护成本,把沥青混合料的综合施工成本控制到最低;在容许情况下,尽可能的把粗骨料的矿料间隙率设计的小,通过调整细骨料、填料调整混合料整体间隙率。

(下转第 94 页)

Ma Tao, Zhou Jinxing, Zhang Xudong, etc. Preliminary Studies on Characteristic of Vegetations Distribution along the Line of Qinghai - Tibetan Railway [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007 (3) : 150 - 154.

[2] 蒋富强,李茏,李凯崇,等. 兰新铁路百里风区风沙流结构特性研究[J]. 铁道学报,2010(3):105 - 110.

Jiang Fuqiang, Li Ying, Li Kaichong, etc. Study on Structural Characteristics of Gobi wind Sand Flowin 100 km Wind Area along Lan - Xin Railway[J]. Journal of The China Railway Society,2010(3):105 - 110.

[3] 薛春晓,蒋富强,程建军,等. 兰新铁路百里风区挡沙墙防沙效益研究[J]. 冰川冻土,2011(4):859 - 862.

Xue Chunxiao, Jiang Fuqiang , Cheng Jianjun, etc. Research on Sand Preventing Benefit of Retaining - sand - wall in the Hundred Mile Wind Areas along Lanzhou - xinjiang Railway[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2011(4):859 - 862.

[4] 丁靖康,韩龙武,李永强,等. 青藏铁路多年冻土工程特性与冻土工程[J]. 铁道工程学报,2005(S):327 - 332.

Ding Jingkang, Han Longwu, Li Yongqiang, etc. Engineering Characteristics of Permafrost and Frozen Soil Engineering in Qinghai - Tibet Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society,2005(S):327 - 332.

[5] 赵相卿,熊治文,韩龙武,等. 多年冻土区典型路堑边坡失稳病害的防治[J]. 铁道工程学报,2009(1):32 - 35.

Zhao Xiangqing, Xiong Zhiwen, Han Longwu, Yang Yong - peng. Control of Destablization Disaster of Typical Cutting Slope in Permafrost Region [J]. Journal of Railway Engineering Society,2009(1):32 - 35.

[6] 魏建方. 青藏铁路建设中高寒草原植被恢复与再造技术的研究[J]. 冰川冻土,2003(S1):195 - 198.

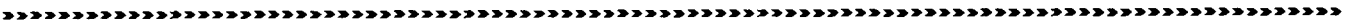
Wei Jianfang. Study of Vegetation Restoration and Revegetation during the Constructing of the Qinghai - Tibet Railway [J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2003(S1):195 - 198.

[7] 薛春晓,程建军,蒋富强,等. 青藏铁路多年冻土区段沿线生态修复新技术与实践[J]. 铁道建筑,2010(9):146 - 148.

Xue Chunxiao, Cheng Jianjun, Jiang Fuqiang, etc. The New Ecological Restoration of Technologies and Practices along Permafrost Section [J]. Railway Engineering,2010(9):146 - 148.

[8] 董世魁,马金星,蒲小鹏,等. 高寒地区多年生禾草引种生态适应性及混播组合筛选研究[J]. 草原与草坪,2003(5):38 - 41.

Dong Shikui, Ma Jinxing, Pu Xiaopeng, etc. Study on the Ecological Adaptability of Introduced Perennial Grasses and the Selection of Combinations in Alpine Region [J]. Grassland and Turf,2003(5):38 - 41.



(上接第 84 页)

参考文献:

[1] 严家伋. 道路建筑材料(第三版)[M]. 北京:人民交通出版社,2006.

Yan Jiaji. Road Constructional Materials (The Third Edition) [M]. Beijing: China Communications Press, 2006.

[2] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].

JTG F40—2004, Technical Specification for Construction of Highway Asphalt Pavements[S].

[3] JTG D50—2006,公路沥青路面设计规范[S].

JTG D50—2006, SpecificationS for Design of Highway Asphalt Pavement[S].

[4] JTG E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

JTG E20 - 2011. Standard Test Methods of Bitumen and Bituminous Mixture for Highway engineering [S].

[5] JTJ 032—94,公路沥青路面施工技术规范[S].

JTJ 032—94, Technical Specification for Construction of Highway Asphalt Pavements[S].

[6] 董文圣. 高等级公路沥青混凝土路面施工技术[J]. 铁道工程学报,1999(1):118 - 124.

Dong Wensheng. Construction Technology of High Grade Highway 's Asphalt Concrete Pavement [J]. Journal of Railway Engineering Society,1999(1):118 - 124.

沥青混合料组成设计研究

作者: 李腾云, LI Teng-yun
作者单位: 中铁三局集团有限公司, 太原, 030001
刊名: 铁道工程学报 ISTIC PKU
英文刊名: Journal of Railway Engineering Society
年, 卷(期): 2013(7)

参考文献(6条)

1. 严家伋 道路建筑材料X 2006
2. 公路沥青路面施工技术规范
3. 公路沥青路面设计规范
4. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
5. 公路沥青路面施工技术规范
6. 董文圣 高等级公路沥青混凝土路面施工技术[期刊论文]-铁道工程学报 1999(01)

引用本文格式: 李腾云, LI Teng-yun 沥青混合料组成设计研究[期刊论文]-铁道工程学报 2013(7)