

ML型引气剂在滑模摊铺 混凝土路面中的应用*

王彦莹

(交通部公路科学研究所 北京 100088)

提要 从外加剂之一——引气剂的作用原理出发,分析研究ML型引气剂在新拌混凝土、硬化混凝土中的性能以及在滑模摊铺水泥混凝土路面施工中的使用效果。

关键词 引气剂 含气量 减水剂 滑模摊铺

Air-Entraining Agent of ML Type & its Application in Slip Form Paving Cement Concrete Pavement

Wang Yanying

(Research Institute of Highway, Beijing)

Abstract From the viewpoint of acting principle of air-entraining agent, one kind of admixtures, the performance of air-entraining agent of ML type in freshly mixed concrete and hardened concrete as well as its application effect in slip form paving cement concrete pavement are analysed and studied in this paper.

Key words Air-entraining agent Air content Water-reducing agent
Slip form paving

0 前言

长期以来我国水泥混凝土路面的铺筑主要是以人工和小型机具配套的施工工艺为主,路面混凝土较少使用外加剂

我国水泥混凝土路面的发展进入了大量修建高等级公路的历史新时期。采用大型机械化施工,是高质量、高速度修筑高等级水泥混凝土路面的重要手段,是发展水泥混凝土路面的方向。滑模摊铺水泥混凝土路面是一种先进的大型机械化施工工艺,用于该工艺的新拌混凝土必须满足以下两点要求,第一,混合料应均匀、稳定,尽可能减小离析和泌水,同时具有较好的工作性;第二,混合料具有足够的结构粘性,以避免新铺路面出现塌边和蜂窝麻面现象。结构粘性是指混合料振捣时呈现疏松、液化状态(粘度较小),而振捣停止时又恢复致密

* 国家“八五”重点科技攻关项目 85-403-01-01

收稿日期 1996-05-21

结构(粘度较大)的性能。为获得以上性能,混凝土中必须掺加适量的减水剂和引气剂。因而,得到适于滑模摊铺的混凝土混合料,减水剂、引气剂起着极其重要的作用。另外,我国严寒地区水泥混凝土路面的抗冻性至今未引起足够的重视,这将给路面造成严重的危害,解决抗冻问题的最好方法也是在混凝土中加入引气剂。

目前,我国生产的混凝土外加剂的品种繁多,但还不能完全满足公路路面工程中新的施工工艺要求。滑模摊铺水泥混凝土路面,施工需采用普通型减水剂(如木钙、糖钙等)与引气剂复合使用。普通型减水剂国内已有大型生产厂家,质量稳定,可保证供应。在使用过的引气剂中,有用量大且效果不明显,在冷水中不溶解或很难溶解等缺点,给使用带来诸多不便。为了更好地满足大型机械化高质量高速铺筑水泥混凝土路面新工艺的施工需要,同时提高寒冷地区混凝土路面的抗冻性,研制开发优质、适于路用性能的混凝土引气剂,是外加剂研究的重点之一。在“八五”期间滑模摊铺混凝土路面攻关课题工作中,交通部公路科学研究所研制了ML型混凝土引气剂。

1 引气剂的作用原理

引气剂是一种表面活性剂。它能使混凝土在搅拌过程中产生大量微小气泡,从而改善新拌混凝土的工作性,并能够改善硬化混凝土耐久性。引气剂根据其在水溶液中电离后的离子性质,可分为阴离子系、非离子系和阳离子系。实际上,目前主要应用的是阴离子系,其它类型或因价格昂贵,或因性能不够理想而应用不多。

混凝土在未加引气剂时,有约0.3%~2%的含气量。这种气泡大小很不均匀,形状也不规则,很容易破裂,对强度有害。而加入引气剂可明显降低溶液的表面张力,使气泡细腻,均匀,形状规则,呈球形。混凝土中的细集料颗粒,就象四围网格一样支撑气泡,有助于稳定气泡。用量适当时对硬化后的混凝土强度无明显影响,并可大大提高混凝土的抗冻融耐久性。搅拌时产生的大量细腻气泡,附着在水泥颗粒周围,使之表面包围了一层牢固而富有弹性的泡膜(类似肥皂膜)。若引气剂属阴离子系时,产生的气泡带电,彼此相斥,阻止了它们的聚集因而增加了稳定性,同时将水排除在气泡之外,达到减水目的,见图1。

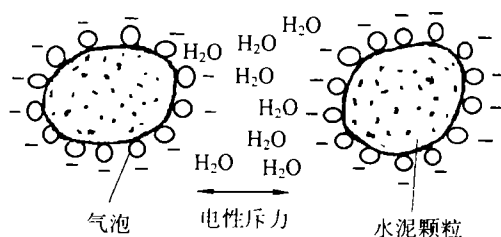


图 1

引气剂在混凝土中引进大量微小且独立的气泡,这些球形气泡如滚珠一样,起着润滑作用,使混凝土的工作性大大改善,尤其对集料粒形不好的碎石、特细砂、人工砂混凝土的改善更为显著。一般说来,引气量控制适宜的话,掺入引气剂的混凝土减水率可达7%~9%。引气剂的加入,可使新拌混凝土的粘度增大,泌水、沉降显著减小。

无论使用何种引气剂都能使混凝土在搅拌时引入大量气泡,但对混凝土的其它性能及气泡的结构特性等,则因表面活性剂的种类、性能的不同而有相当大的差别。对水泥具有引气和分散双重作用的引气减水剂,对混凝土各种性能改善的效果更为显著,因而,一般都将引气剂与减水剂复合使用,或直接使用工厂配制好的引气减水剂。

2 ML型混凝土引气剂的结构特点与技术性能

2.1 ML型引气剂的结构特点

ML型引气剂是一种复合型引气剂，它是由松香酸盐及其衍生物、多元醇、酰胺类化合物等多组份复合而成的产物。属阴离子型。

2.2 ML型引气剂的技术性能

(1) 外观：棕褐色半透明粘稠液体；(2) 有效物含量：70%；(3) pH值：8~9；(4) 推荐掺量：水泥用量的 0.5万~1万左右（如加入粉煤灰时，可根据需要适当加大用量）；(5) 溶解性：易溶于水（冷水热水均可）。

ML型引气剂由多种表面活性剂组成，技术性能优于其它单一组份的引气剂。用量小；溶解性很好，不需加热，在冷水中便可完全溶解；在混凝土搅拌过程中产生的气泡明显细腻、均匀、稳定；有较好的减水效果，显著改善混凝土的工作性，使混合料具有足够的结构粘性，能够完全满足滑模摊铺施工工艺的需要。ML型引气剂可大大提高混凝土的抗冻性，为我国严寒地区铺筑水泥混凝土路面提供了良好的外加剂。

3 ML型引气剂对混凝土性能的影响

为了全面考查 ML型混凝土引气剂的性能，按《混凝土外加剂标准》（GB8076-87）规定的试验条件及试验方法，委托国家建筑材料测试中心进行了检测试验。在做 ML型引气剂的同时做了空白对比试验。

原材料为：525基准水泥，用量 310kg；砂子，细度模数 $M=2.78$ ；砾石，粒径 5~20mm；试验温度 24℃。

3.1 新拌混凝土性能

试验结果示于表 1

ML引气剂对新拌混凝土性能的影响								表 1
编号	配合比	外加剂掺量 (1万)	水灰比	坍落度 (mm)	减水率 (%)	含气量 (%)	泌水率 (%)	坍落度损失 (0.5h)
空 白	1: 2.34: 3.81	0	0.58	55		1.3	8.3	-
ML型引气剂	1: 2.22: 3.94	0.5	0.53	50	8.6	4.5	4.0	10mm

国标规定：引气剂一等品减水率为 6%，泌水率比 <70%，含气量 >3%。从表 1检测结果看出，ML型引气剂减水率 8.6%，高于引气剂一等品标准，同时高于 8%普通型减水剂一等品的指标；引气剂用量为 0.5万时，含气量可达 4.5%，大于 3%的标准；泌水率比 48%，远远小于 70%的标准。ML型引气剂减水率高，可单独作为减水剂使用，用量小，引气效果好，有明显减少泌水的作用。以上各项指标均能满足国标规定的混凝土引气剂一等品标准。

3.2 混凝土强度

ML引气剂对混凝土强度的影响								表 2
外加剂品种 及掺量	配合比	水灰比	抗压强度 (MPa)				抗折强度 (MPa)	
			3d	7d	28d	90d	7d	28d
空白	1: 2.34: 3.81	0.58	19.0	30.6	45.0	47.1	3.6	4.2
ML型 0.5万	1: 2.22: 3.94	0.53	20.2	31.8	43.7	45.7	3.5	4.2

国标规定：3天、7天、28天、90天抗压强度比分别为 95%、95%、90%、90%。一般

认为，混凝土含气量增大，抗压强度会降低。由表 2 可见，加入 ML 型引气剂的混凝土含气量与“空白”相比，虽然含气量增大了 3.2%，但 3 天、7 天的抗压强度有所增加，抗压强度比分别为 106%、103%，28 天、90 天强度分别只下降了 1.3MPa 和 1.4MPa，抗压强度比均为 97%，而且路面混凝土的关键指标抗折强度保持不变。由此说明加入 ML 型引气剂后，在坍落度基本不变的条件下，由于减少了用水量而水泥用量不变，从而使水灰比降低，虽然引气量增至 4.5%，但抗折强度、抗压强度无明显下降。这对路用性能尤其是滑模摊铺水泥混凝土路面是很重要的。

试验结果表明，ML 型引气剂的强度指标完全满足国标引气剂一等品的指标

4 ML 型引气剂与木钙、糖钙减水剂复合后的性能

为了获得性能更为理想的混凝土混合料，工程中一般将引气剂与减水剂复合使用。用 ML 型引气剂分别与木钙、糖钙两种应用较广的普通型减水剂复合后进行性能试验，以考查 ML 型引气剂与其它减水剂的适应性及复合后的效果。结果见表 3 表 4

试验原材料为：525 基准水泥，用量 310kg；砂子，细度模数 $M=2.78$ ；砾石，粒径 5~20mm；试验温度 24℃。

M L引气剂与减水剂复合使用后新拌混凝土性能										表 3	
外加剂品种及掺量	配合比		水灰比	坍落度 (mm)	减水率 (%)	含气量 (%)	泌水率	凝结时间 (min)			
								初凝	终凝		
M L 0. 3 万、 木钙 0. 13%	1 :	2. 22 :	3. 94	0. 51	51	18	6. 0	0	+ 75	+ 76	
M L 0. 5 万、 糖钙 0. 13%	1 :	2. 22 :	3. 94	0. 52	53	16	5. 6	0	+ 205	+ 206	

M L引气剂与减水剂复合使用后混凝土强度										表 4
外加剂品种及掺量			配合比	水灰比	含气量 (%)	抗压强度 (M Pa)			收缩率比 (%)	
						3d	7d	28d	(90d)	
M L	0. 3万、 木钙	0. 13%	1∶ 2. 22∶ 3. 94	0. 51	6	15. 0	24. 1	29. 0	100	
M L	0. 5万、 糖钙	0. 13%	1∶ 2. 22∶ 3. 94	0. 52	5. 6	14. 2	22. 9	27. 8	102	

由表 3 表 4 可见，ML 型引气剂与木钙、糖钙减水剂复合，当用量很小时，减水率有明显提高，分别为 18% 和 16%，达到高效减水剂的减水率指标；泌水率为 0；凝结时间均有延长，其中与糖钙复合后符合国标缓凝减水剂的指标。由于试验控制的含气量偏大，至使强度比表 2 示值有所下降，这恰恰说明含气量在一定范围内 (大约在 4% 左右) 对混凝土强度影响不大，而超过这一范围则强度明显下降。

5 混凝土抗冻性试验

原材料为：邯郸 525 号普通硅酸盐水泥；北京第一热电厂 2 级粉煤灰；碎石，粒径 5~30mm；砂，细度模数 $M=2.35$

试验条件：温度为标准温度；抗冻融耐久性试验仪器采用日本快速冻融试验机。

配合比、抗冻融试验结果分列于表 5 表 6

混凝土配合比									表 5
外加剂品种及掺量	水 (kg)	水泥 (kg)	粉煤灰		砂子 (kg)	石子 (kg)	水灰比	坍落度 (mm)	含气量 (%)
			(%)	(kg)					
M L 1/万	177	330	0	0	659	1339	0.54	35	4.4
M L 2/万	185	290	15	50	615	1372	0.54	40	4.0
M L 3.5/万	195	250	30	100	570	1400	0.56	42	3.6

混凝土强度及冻融试验结果						表 6
外加剂品种及掺量	抗压强度 (MPa)		抗折强度 (MPa)	冻融循环 300次		
	28d	90d		失重率 (%)	相对动弹模量 (%)	
M L引气剂 1 万	27.2	29.4	5.09	1.55	84.8	
M L引气剂 2 万	24.5	28.9	4.68	3.51	74.4	
M L引气剂 3.5 万	20.4	26.0	4.35	4.47	74.4	

GB8076-87《混凝土外加剂》国家标准规定: 冻融循环 200次, 动弹模量降至 80% 以上; GBJ82-85《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》中的快冻法规定: 冻融循环 300次时相对动弹模量不小于 60%, 同时重量损失率不超过 5%。以上两标准均为试件在 28天龄期时开始冻融试验。从表 5 表 6可知, 加入 M L型引气剂后, 无论是加或不加粉煤灰的混凝土其抗冻性普遍较高。冻融循环 300次后, 重量损失率均未超过 5%, 即使加入 30% 的粉煤灰, 也只有 4.47%, 相对动弹模量均在 80% 左右, 高于冻融循环 300次相对动弹模量不低于 60% 的标准。不加粉煤灰时, 冻融循环 300次后的相对动弹模量高达 84.8%。完全满足上述两个标准规定的抗冻融耐久性指标。掺入粉煤灰后, 混凝土的粘度增大, 不利于引气, 如保持适宜的含气量, 应相应加大引气剂剂量。这一组试验强度偏低, 是因水灰比控制偏大所致。

6 M L 型引气剂在滑模摊铺水泥混凝土路面工程中的应用

滑模摊铺水泥混凝土路面对混合料工作度的要求较高, 既不能在两边侧模滑过之后出现塌边、变形、开裂, 也不能因混合料干硬, 造成振动不密实而出现蜂窝、麻面。否则不仅需增加人工修整的工作量, 还破坏了滑模摊铺的路面平整度, 无法满足高等级公路的要求。为满足滑模摊铺混凝土路面对混合料的要求, 也为全面考查 M L型引气剂的路用性能, 分别在湖南莲易路和河北石太线滑模摊铺实体工程中应用了 M L型引气剂。施工配合比采用 M L引气剂与木钙复配的方案, 以改善新拌混凝土的性能, 满足滑模摊铺施工工艺的需要。二者复合使用大大提高减水率, 降低水灰比, 保证混凝土的强度, 用 M L型引气剂控制一定的含气量, 增加新拌混凝土的粘聚性, 减少泌水, 防止塌边, 改善施工性能, 同时也提高了抗冻耐久性。

6.1 湖南莲易路实体工程

1993年 9月湖南省路桥公司开始修筑 320国道湖南莲易一级汽车专用公路株洲市郊水泥混凝土路面实体工程。路段全长 18.674km, 路基宽度 24.5m, 路面结构为 24cm水泥混凝土面层, 20cm水泥稳定砂砾基层, 面层宽 17m。采用美国 CMI公司的 SF-350型滑模摊铺机, 分 4幅施工, 一次摊铺宽度为 4.25m。实体工程路面于 1994年底建成通车。采用配合比见表

7 原材料为：湘乡 525号普通硅酸盐水泥；河砂，细度模数 2.84；湘江河砾石，最大粒径 25~30mm；自来水；广州木钙减水剂；ML型引气剂

湖南莲易路滑模摊铺混凝土路面配合比

表 7

配合比	混凝土材料用量 (kg/m³)				粗集料 最大粒径	砂率 (%)	外加剂	
	水	水泥	砂	砾石			木钙	ML型引气剂
1: 0.42: 1.96: 3.48	147	350	685	1218	20mm	36	0.23%	0.8/万
1: 0.40: 1.96: 3.49	140	350	685	1222	30mm	36	0.23%	0.8/万

因采用的木钙不是当年进货，且有受潮结块现象，使减水率降低，仅为 5%左右，减水作用以 ML型引气剂为主。施工后期因木钙用完，在只用 1万 ML型引气剂，未加减水剂的情况下，起到了引气减水的双重作用。

新拌混凝土含气量为 4%左右，坍落度 2~6cm (根据运距作调整)。路面现场抽样强度检测结果如下：

28天抗折 $n=135$ $\overline{R_{28}}=5.24\text{MPa}$ $S_x=0.38\text{MPa}$ $C_v=7.2\%$,

28天抗压 $n=135$ $R=36.8\text{MPa}$ $S_x=3.1\text{MPa}$ $C_v=8.3\%$ 。

湖南莲易实体工程混凝土路面抗折、抗压强度满足路用性能及设计要求。砾石混凝土抗压强度偏高，7天抗压强度均达 28天设计强度的 80%以上，且大部分达到 28天设计强度。

6.2 河北石太线实体工程

1995年 4~6月河北交通厅公路工程局采用美国 GOMACO公司 GP-2000型滑模摊铺机，在石太一级汽车专用线 2期，铺筑了 5公里滑模摊铺水泥混凝土路面实体工程。该段全幅路基宽 24.5m，其中中央分隔带为 2m，两侧路缘带各 0.5m，行车道 7.5m，硬路肩 2.5m，土路肩 0.75m。路面结构为：底基层 15cm石灰土，基层 18cm二灰（石灰和粉煤灰）稳定碎石，水泥混凝土面板厚度 25cm，总厚度为 58cm。由于滑模摊铺机一次摊铺最大宽度是 7.5m，而每幅路面宽度为 10.5m（包括一侧路缘石和硬路肩），只能分两次摊铺，每次 4.25m，两次共摊铺 8.5m，剩余 2m硬路肩为人工施工。外加剂采用吉林开山屯木钙减水剂与 ML型引气剂复配。配合比见表 8。原材料为：邯郸 525号 R型水泥；河砂，细度模数 2.5；碎石；地下水。

滑模摊铺河北石太线混凝土路面配合比

表 8

配合比	混凝土材料用量 (kg/m³)				砂率 (%)	外加剂	
	水	水泥	砂	碎石 (mm)		木钙	ML引气剂
1: 0.46: 1.85: 3.93	159	345	639	10~30	32	0.23%	1/万
				5~10			
1: 0.46: 2.087: 3.55	158	345	720	10~30	37	0.15%	1/万
				5~10			
1: 0.46: 1.74: 4.06	159	345	600	10~30	30	0.23%	1/万
				5~10			

施工中控制新拌混凝土含气量为 3%~4%，坍落度 2~6cm。混凝土强度现场抽样检测结果如下：

28天抗折 $n=122$ $\overline{R_{28}}=5.60\text{MPa}$ $S_x=0.73\text{MPa}$ $C_v=13.0\%$,

28天抗压 $n=119$ $\overline{R_{28}}=32.5\text{MPa}$ $S_x=3.4\text{MPa}$ $C_v=10.4\%$ 。

从以上结果看，石太实体工程混凝土路面的抗折强度、抗压强度均符合规范及设计要求，满足路用性能的需要

6.3 实体工程路面平整度检测

路面完成后，对两条路进行了平整度检测，分别用三米直尺和动态平整度测试车进行检测，结果示于表 9 表 10

三米直尺平整度汇总表						表 9
滑模试验路及实体工程路面三米直尺平整度合格率 (%)						
评定标准	湖南省莲易试验路及实体工程		河北省石太实体工程			
	抽测点数	495	右幅右	右幅左	左幅右	左幅左
$\leq 3\text{mm}$	合格点数	492	78.4	80.3	86.0	74.5
总 计		99.4			80.1	

动态平整度 (IRI) 汇总表								表 10
滑模摊铺混凝土试验路及实体工程路面动态平整度合格率 (%)								
评定标准 (IRI)	湖南省莲易试验路及实体工程 RRDAS(1995年 6月)				河北省石太实体工程 APL (1995年 7月)			
	右幅右	右幅左	左幅右	左幅左	右幅右	右幅左	左幅右	左幅左
$IRI \leq 3.8$	93.3	91.3	87.9	91.9	95.7	97.9	100.0	100.0
		91.1				98.4		
$IRI \leq 4.8$	100.0	100.0	99.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		99.8				100.0		

注: 1. 评定标准: $IRI \leq 3.8$, 对应于 ≤ 1.8 , 三米直尺平整度 3mm;
 $IRI \leq 4.8$, 对应于 ≤ 2.5 , 三米直尺平整度 5mm
2 RRDAS为 RRDAS自动测试车, APL为 APL纵断面分析仪

上述两条实体工程的应用效果表明,由于采用了 ML型引气剂,使新拌混凝土粘聚性增加,机械配套运转正常后路面无塌边、蜂窝、麻面出现;混凝土泌水明显减少,防止了混合料的离析;混凝土的均匀性和施工性能完全满足滑模摊铺施工的要求。使用此配合比修筑的混凝土路面,平整度明显优于人工摊铺的路面,其动态平整度更佳,小于 3mm占 90%以上,是人工施工很难达到的,从而保证了滑模摊铺高等级混凝土路面的质量。ML型引气剂以其优良的性能受到工程单位的好评。

7 结语

- 综上所述,ML型混凝土引气剂具有以下特点:
1. ML型混凝土引气剂引气效果好,有明显的减水和减少泌水作用,各项检测指标均达到《混凝土外加剂》国标一等品的标准;
 2. ML型混凝土引气剂的用量少,易溶于水,使用简便;
 3. ML型引气剂与木钙等普通型减水剂复配使用有良好的适应性,复合后可大大提高混凝土的减水率,增加混凝土的粘聚性和均匀性,减少泌水,防止离析,适用于滑模摊铺等新的路面施工工艺;
 4. ML型引气剂可显著提高混凝土的抗冻融耐久性,为解决我国严寒地区水泥混凝土路面的抗冻问题,提供了良好的外加剂。