

水泥混凝土路面尽快开放交通的可行性

覃维祖

(交通部公路科学研究所 北京 100088)

提要 水泥混凝土路面通常需要有一段养生时间,因而待开放交通的时间较长。本文论述水泥混凝土路面摊铺后快速开放交通的可行性;讨论快速开放交通所需要采取的措施;快速混凝土铺路的实用性、经济性和一些其它有关问题。

关键词 混凝土 路面 快通

The Possibility of Quick Trafficking of Concrete Pavements

Qin Weizu

(Research Institute of Highway, the Ministry of Communications, Beijing)

Abstract The quick trafficking of concrete pavements is always encumbered with the conventional long curing process of the concrete. In the paper, the possibility of the quick trafficking of concrete pavements is demonstrated with several measures taken including its practicability and economic aspects, and etc.

Key Words Concrete Pavement Quick trafficking

1 国内外快通混凝土铺路技术的概况

一些发达国家很重视水泥混凝土路面,例如美国的依阿华州自1986年以来进行了称为“快通混凝土铺路”(Fast Track Concrete Paving)的研究,在采用Ⅲ型早强水泥(也有用Ⅰ型普通水泥,但增加水泥用量至 $380\sim 420\text{ kg/m}^3$),以加快混凝土水化硬化的同时,使用聚乙烯材料制成保温养护垫,覆盖其上,在混凝土表面温度保持在 50°C 左右的条件下,使路面在铺筑后 $7\sim 12\text{ h}$ 内能达到 2.45 MPa 与 2.8 MPa 抗折强度,满足开放交通的要求^[1]。美国一家公司还开发了一种称为“金字塔水泥”(Pyrament)的快硬混合水泥,以这种水泥铺筑的混凝土路面,可在4小时开放交通;铺筑的机场跑道可在6小时后起降飞机。据报道,采用这种水泥以滑模摊铺机在堪萨斯市铺筑路面,在十月初气温为 7.8°C 的时候,用滑模摊铺机摊铺的混凝土路面厚为 15 cm ,次日就可供挤压式摊铺机在上行进,以摊铺相邻的车道。所用混凝土的配合比为:水泥 357 kg/m^3 ;砂、石均为 967 kg/m^3 ;用水量仅为 89 kg/m^3 ,这种混凝土路面不仅早强、高强、而且收缩仅为普通混凝土的一半,据称其使用寿命可达同厚度普通混凝土路面的4

倍。但是由于这种混凝土非常粘稠,其搅拌时间要大大超过普通混凝土的搅拌时间,摊铺设备也需要相应改进。这种混凝土路面的造价(以 22 cm 板厚计)约为普通混凝土路面的 2.5 倍^[2]。

在德国,由于二次大战前铺筑了大约 2 500 km 的水泥混凝土干线公路都需要逐步翻修,便采用了高早强混凝土(快通混凝土)铺筑方法,所铺路面在 1 天内恢复交通,但最多仅限于在四块板以内的小型修复工程中应用^[3]。

采用碾压混凝土(RCC)铺筑的水泥混凝土路面,混凝土由于用水量少,特别干硬,可以大大提前开放时间。日本对碾压混凝土路面早期开放交通的时间进行了验证研究^[4],对施工后 3 h、6 h、12 h 的碾压混凝土路面进行行车试验(轴重 10 t,各 100 次往返),测定了平整度、弯沉量、弹性模量和埋设土压力计,测定结果为:3 h 后发现有车辙;6 h 后变化已不显著;12 h 后就没有什么变化了;12 h 的弯沉量与 24 h 的弯沉量基本一致。检验证明,碾压混凝土路面在铺筑后 12 h 的刚度,已满足开放交通的要求(规范规定弯沉值小于 0.5 mm)。表 1 和图 1 表明早期开放交通时路面性能的测定结果。

在国内,采用快速硬化的水泥混凝土材料,在路面与机场道面上进行抢修,并在修补后快速开放交通的研究方面,已经进行了大量的工作,也有一定的实际应用。但是,以往的研究与应用均限于快速修补小面积的路面,而本文重点探讨较大面积路面工程施工后快速开放交通的可行性。

2 快通混凝土铺路的可行性

加快水泥混凝土水化硬化的进程,是取得快通效果的基本途径,而混凝土强度发展主要取决于水泥石的水化快慢。影响水泥石水化的主要因素有:水泥胶结材料的品质(矿物成分、磨细程度、混合材、外加剂),水灰比以及硬化环境条件。

2.1 水泥胶结材

目前国内市场上有多种早强快硬水泥销售,采用这类水泥作为胶结料,是加速混凝土水化硬化的措施之一,但是这种水泥的价格明显高于普通水泥,因而使工程造价增加,特种水泥的生产不广泛,往往运距远,进一步提高了造价。因而这里着重对掺用外加剂与使用特种胶结材的砂浆混凝土材料进行探讨:

2.1.1 NX 超快硬化剂

水泥混凝土路面尽快开放交通的可行性——覃维祖

碾压混凝土路面早期性能测定 表 1

工号	平整度			弯沉量(mm)				沥青摊铺机种类
	3h	6h	12h	3h	6h	12h	24h	
1	3.49	2.18	3.23	1.60	0.78	0.48	0.45	普通型
2	3.54	2.68	2.88	1.86	1.24	0.53	0.49	高密度型

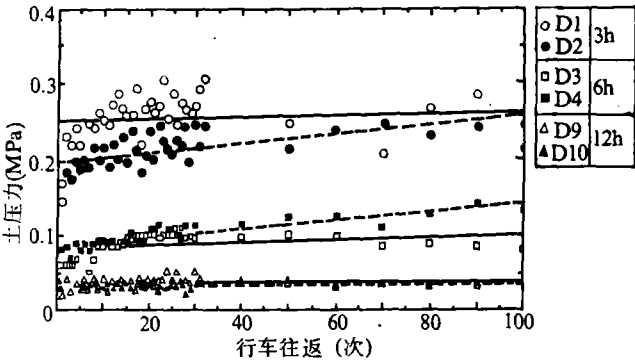


图 1

NX 超快硬化剂是近年来出现的一种能显著加快水泥混凝土水化硬化速度的新型外加剂^[5]。掺有水泥用量 10~25% 的 NX 混凝土可以在拌和后几小时内达到或接近普通混凝土 28 天的强度,满足迅速开放交通的需要。采用这种外加剂,与用特种水泥相比,由于用量少,可以明显降低运输费用,因此实用性要大些。

从技术经济性考虑,进行了掺大量粉煤灰的 NX 超快硬化剂水泥砂浆试验。表 2 表明:在接近一半水泥用粉煤灰替代时,掺 NX 超快硬化剂的砂浆仍有相当高的早期强度。

2.1.2 掺化学外加剂

掺减水剂和早强剂也有加快水泥混凝土早期水化硬化的作用。作用的程度随外加剂品种而异,与其它诸多条件有关。下面是结合 312 国道合(肥)一宁(南京)工程施工进行提高早期强度试验的情况:

① 原材料

水泥:安徽巢湖水泥厂产 525

普通硅酸盐水泥;石子:二级级配

(5~15 mm; 10~30 mm 各为 50%) 石灰石,针片状颗粒多;砂:中砂,大于 5 mm 颗粒很多,故掺入部分人工机制砂调整;外加剂:WPT 缓凝剂(安徽巢湖产);BLY 引气减水剂(水电十二局生产);DH₄₀ 缓凝减水剂(石家庄外加剂厂生产)。

② 配合比

采用工地实用配合比:水泥用量 320 kg/m³;对照混凝土(未掺外加剂)W/C=0.455;砂率 36%(实际小于 5 mm 砂为 28%~30%)。进行 15 cm×15 cm×55 cm 小梁抗折强度试验结果见表 3(气温 10℃~-2℃下自然养生)。

掺 NX 超快硬化剂和粉煤灰

水泥砂浆正交试验结果

表 2

水泥 (%)	NX (%)	粉煤灰 (%)	R _{sh折} (MPa)	R _{sh压} (MPa)
20	20	60	2.14	7.7
20	25	55	2.80	9.2
20	30	50	2.65	9.4
25	20	55	2.15	8.6
25	25	50	2.65	9.5
25	30	55	2.83	13.4
30	20	50	1.10	5.5
30	25	45	2.85	10.9
30	30	40	3.50	12.6

注:按标准砂浆试验进行,但成型温度为 15~16℃,

成型后 5 h 脱模,然后放入 20℃ 水中养护 1 h。

312 国道工地早强试验结果

表 3

序号	外加剂种类及掺量	减水率	坍落度(cm)	R _{3d} (MPa)	R _{28d} (MPa)
1	空 白	—	1~3	2.93	5.01
2	MN 3%	6%	1~3	5.13	5.15
3	BLY 0.3%,三乙醇胺 0.03%, 氯化钙 0.5%	15%	1~3	4.90	5.47
4	DH ₄₀ 0.75%	15%	1~3	3.83	4.83
5	WPT 0.2%	10%	1~3	4.00	5.21
6	BLY 0.3%	13%	1~3	4.40	5.55
7	BLY 0.3%,MN 2.7%	13%	1~3	4.60	5.80

注:表中第五组为施工中所用外加剂 WPT。

试验结果表明:掺外加剂混凝土在正负温度交替的条件下,3天抗折强度实际已完全满足开放交通的要求,在不需要更早开放交通时,没必要掺用外加剂(该工程在气温继续降低后掺用了MN外加剂,效果良好,成本增加约为6元/m³混凝土。

2.2 水灰比

水灰比对混凝土中水泥石的水化程度、孔隙率以至混凝土的强度的影响是极其重要的,增大水灰比虽可便于水泥水化并提高水化程度,但孔隙率增大却降低了混凝土的强度,所以一般宁愿容许残留一定量未水化的水泥残核,也要采用较小水灰比,尽量减少孔隙率,以获得快硬、优质的效果。

上面所列在312国道工程进行掺用化学外加剂的混凝土中,一方面通过掺早强剂加速水泥的水化,另一方面通过掺减水剂减小水灰比以减少孔隙率。在需要得到更小的水灰比时,可以掺高效减水剂,以获得高强、高抗渗、干缩的混凝土,如美国用新型水泥制备的混凝土,水灰比仅为0.25。

降低水灰比的另一有效途径是采用碾压混凝土。用大型机械碾压特别干硬的混凝土,从而取得普通的压实方法所达不到的密实度。

2.3 混凝土硬化的环境条件——养生

养生条件主要为温度和湿度。温度升高,水泥水化反应加快,混凝土硬化速度也就加快。所以在混凝土生产中最常用的促进硬化、获取早强的工艺措施就是保持较高的温度和足够的湿度。水泥在水化反应中就可释放出水化热,使混凝土早期温升。美国混凝土学会手册(ACI 207. IR-70)就指出:水泥用量为400 kg/m³硅酸盐水泥的混凝土,24 h的绝热温升可达20℃,以拌和温度为20℃计,一天后将升至40℃;而用早强水泥拌制的混凝土则可升温至54~73℃,由此可见,采取有效的保温措施,即使不从外部供热,也可以取得相当好的热养硬化效果,只是在生产中不可能实行绝热,也不可能达到理论上的最高温度。湿度是混凝土水化硬化的另一必要条件,水泥凝胶只能扩散进入充水的毛细孔,一旦毛细孔变干,水化便会中止,凝胶不再生成,只有待毛细孔重新吸水充水后,水化才能恢复,混凝土强度继续增加。水泥路面的裸露面积大,所以在环境较干燥时,混凝土内水分就很容易蒸发散失,甚至使残留的水量不能满足水化的需要。环境的温度、湿度、风速以及混凝土的温度等,都对蒸发脱水有重要影响,因而养生,特别是早期的养生,对混凝土体的强度,尤其是表面层的强度和耐久性能(包括耐磨耗性、抗渗性与抗冻性等)的发展有至关重要的影响。

美国在路面铺筑后采用保温垫覆盖来养生^[6],是一种良好的保持混凝土温度和湿度的技术措施。保温垫用闭孔聚乙烯泡沫制成,并用塑料膜包裹(导热系数 R 值至少为0.5),充分利用水泥水化热,以促进“自然养护”硬化并使混凝土体内各部位的升温 and 强度发展不会出现大的差异,表里之间的温度差、内应力以及质量缺陷等问题也可减少或避免^[7]。

国内有的单位也在研究用多层复合薄膜(下层为黑色,中间为闭孔保温塑料,上层为无色透明薄膜)养生混凝土路面,以利用太阳能来加热混凝土表面^[8],用这种养护垫养护路面,在冬季的实测温度达34℃、夏季则可达40℃,显著地提高了混凝土体的温度,起湿热养生,提高混凝土的早期强度的作用。这种方法尤其在低温季节或地区,可能是一种良好的养生方法。但是,由于混凝土浇筑的时间差,例如早晨和下午两批浇筑的混凝土,体内的温差会很明显,导致强度发展不均匀和较大的温度应力,严重时可能产生温度裂缝;另一方面,在太阳曝晒下混凝土体的温度可能会很高,在高温下,混凝土体内的水分将剧烈气化、迁移、蒸发,湿空气也剧烈膨胀,水泥混凝土路面尽快开放交通的可行性——覃维祖

胀,对混凝土会有破坏作用。从水泥水化的角度看,这样的高温也不利。所以在施工中不宜使混凝土体内的最高温度超过 80℃(硅酸盐水泥)或 90~95℃(矿渣水泥)^[7]。在日夜温差变化剧烈的地区,上述副作用可能会更严重,故使用这一技术前需要结合实际条件做试验,避免不良后果。

1992 年 8~9 月在河北高碑店试验路铺筑时,采用乳白色闭孔聚乙烯泡沫制成 4.5 m × 4.5 m 保温垫,对其覆盖在路面的保温和促进强度发展的效果进行了测定,情况如下:

水泥:525 #R 型普通硅酸盐水泥;粉煤灰:电收尘二级灰。对普通混凝土和掺 15% 粉煤灰,覆盖(覆盖时间:19:00~次日 7:00)与未覆盖保温垫的路面温度和强度分别进行测定。

温度:气温 25℃;无覆盖处的路表面温度 29.5℃;覆盖处保温垫中心温度 38.9℃。

强度(回弹仪测值):

覆盖垫掺粉煤灰混凝土(浇筑时间约 20 h) $\bar{X}=23.3 \sigma_x=3.84$;

无覆盖垫掺粉煤灰混凝土(浇筑时间约 20 h) $\bar{X}=15.7 \sigma_x=2.72$;

无覆盖垫掺粉煤灰混凝土(浇筑时间约 30 h) $\bar{X}=18.7 \sigma_x=2.83$;

无覆盖垫无粉煤灰混凝土(浇筑时间约 40 h 以上) $\bar{X}=23.4 \sigma_x=2.20$ 。

从上述实测数据可以看出,掺有 15% 粉煤灰的混凝土,因为有保温垫提高了养护温度,使其 20 h 早期强度达到没有掺粉煤灰龄期长一倍的混凝土强度。

覆盖保温垫能促进强度发展的原因如下:混凝土路面板很薄(20 cm 左右),暴露面积大,对外界温度变化的协同效应非常显著,即使是浇筑 24 h 以内的混凝土板中的温度,与外界气温的差值仅在 2~5℃。在我国北方,即使在夏季白天气温很高的季节,夜间的气温也常下降到 20℃ 以下,而保温垫能起很好的隔热保湿作用,相当于使混凝土体在接近 40℃ 的温度下进行湿热养生,这自然对混凝土强度(特别是掺粉煤灰混凝土的强度)起到很好的促进作用。

3 快通混凝土铺路的实用性

前面叙述了多种技术措施,说明从材料和工艺的角度取得混凝土加速硬化,在短时间里获得较高的强度是完全可行的。但是,为什么多年来快通混凝土未广泛用于路面工程施工呢?由此看来有必要对快通混凝土在路面工程铺筑中的一些有关问题进行研究,分析如下:

3.1 加速混凝土硬化与其后期耐久性的关系

采用加速混凝土硬化,虽然可以加速开放交通,但都会影响其后期强度和耐久性。例如,采用磨细的高标号水泥、早强水泥或增加水泥用量时,混凝土早期强度虽然提高,但是由于水化热大,产生较高的温峰,增大了混凝土体的温度应力,而且后期的干缩也较大,易于开裂。在掺用外加剂,如减水剂与早强剂时,也同样产生上述副作用,有的早强剂,如氯化钙,会使钢筋锈蚀;硫酸钠则有使混凝土表面起霜和降低硅酸盐水泥混凝土的后期强度(与不掺的对照组相比)等问题。提高混凝土在水化硬化过程中的养生温度,有明显的促进效果,然而,由于水泥在较高温度条件下水化硬化时生成的结晶较细长而粗糙(见图 2),混凝土水化硬化时的 1 天强度随温度升高而升高,而其 28 天强度则随温度升高而降低,抗渗性和抗冻性等耐久性能均削弱。

对上述由于加速混凝土硬化而产生的副作用,一个很好的补偿办法是在水泥胶结材中掺用粉煤灰、矿渣、硅粉或其他天然火山灰凝硬性胶结材料。前面所述的新型水泥和快通混凝土中,均有一种或一种以上的混合材掺入^{[1][2]},这对硬化混凝土的后期强度与其它耐久性能会有

明显的改善,特别是硅粉或优质粉煤灰等,不仅提高后期性能,早期强度的发展也基本不受影响;这些混合材不含铝酸钙,因此可以减小混凝土硬化时的水化热,进而减小体内的温度应力和开裂的危险;这种混凝土在养生温度较高时产生的副作用也较小;混凝土硬化特别快,例如上述掺用超快硬化剂的混凝土中,掺有混合材时(即采用矿渣水泥或粉煤灰水泥)的效果更加显著,它的早期与后期强度均等于或高于硅酸盐水泥混凝土(见表 1)

3.2 快通混凝土在路面工程施工应用中带来的问题

除了加速硬化引起的混凝土强度和耐久性问题以外,这类混凝土的凝结时间往往要提前,有时还会导致凝结过快,有的还会使混凝土的粘聚性急剧增大,这将给搅拌、运输、摊铺等操作带来困难。在人工搅拌与摊铺进行小面积抢修时,这些问题还不突出,而用机械搅拌、摊铺大面积的路面时,就需要开发必要的相应设备了。美国为适应快通混凝土的施工,开发出更灵活机动的搅拌设备,便于在现场就近搅拌,就近摊铺;开发出更适用的挤压式摊铺设备,可以摊铺很粘稠的混凝土,传力杆还可以自动压入和定位,因此操作较简便^[2]。

至于上述在养生阶段采用保温措施,以促进混凝土水化硬化的办法,虽不会给路面施工带来麻烦,而且养生时间短(一般仅需 1~2 天),大大减少养生工作量,但养护垫的重复使用与保管、在覆盖时边缘如何搭接好,以及保证关键的边角处的养生效果等尚需解决。

3.3 开放交通适宜的强度界限

快通混凝土使路面完工后开放交通的时间可以大大提前,但是究竟强度达到多高才可以开放交通,无论国内国外,似乎没有一个公认的界限。前面引用的美国快通混凝土应用研究中,以 2.45 MPa 和 2.8 MPa 抗折强度作为达到开放交通的要求;日本在碾压混凝土研究中,则认为弯沉值小于规范规定的 0.5 mm 时,可以满足开放交通的要求;我国的“混凝土路面施工与验收规范”则对此没有提及,因此各地作法不统一,如黑龙江的哈大公路施工中规定达到 80% 设计强度以上,才可开放交通。

如果按美国快通混凝土那样规定,则前述在安徽 312 国道工地进行的混凝土试验中,不掺任何外加剂的混凝土,三天强度也已满足开放交通的要求(见表 2)。在混凝土构件生产中,提出以达到 70% 混凝土强度为可以起吊的界限;在桥梁施工中也有以达到 70% 或 80% 混凝土强度为可以进行预应力张拉的强度界限。由此可见,有必要结合道路工程的特点,研究提出路面混凝土适于开放交通的强度界限。当然在开放交通后,路面上还可以继续养生一段时间,使混凝土在必要的湿度环境下水化硬化,增长强度和耐久性。

从前述的混凝土试验结果中,还可看出另一个有关快速开放交通的重要问题,即工程施工单位对所浇筑混凝土的强度发展有时是心中无数的。实际上,按工程采用的水泥品种、用量及配合比等条件,3 天已达到相当高的混凝土强度,接近或达到开放交通的要求了,但由于试验麻烦,平时没进行过早期强度的测定,为满足气温下降时的强度发展需要,减少浪费,加速开放水泥混凝土路面尽快开放交通的可行性——覃维祖

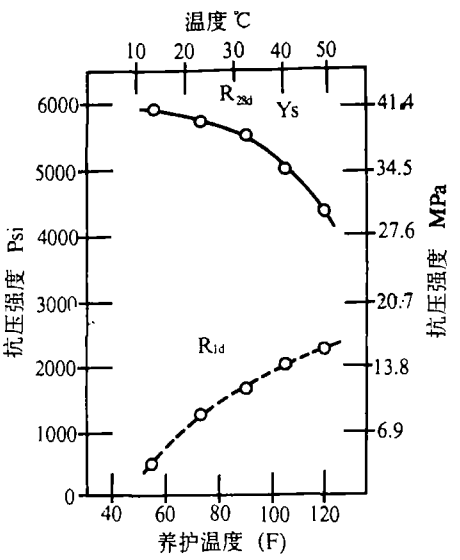


图 2

交通,还应进行早期强度的测定。

3.4 确定快通混凝土路面可开放交通时间的检测方法

目前国内已经有多种方法检测结构物混凝土的早期强度,其中有些方法不便于路面应用,而有些方法对路面有不同程度的损伤,不适合于早期强度的检定。采用成熟度仪检测混凝土早期强度,近年在一些国家逐渐得到普及。该仪器使用简便,对结构物毫无损伤,可能是一种较为理想的确定混凝土铺筑路面可开放交通时间的方法。

4 结论

①采用加快混凝土水化硬化的措施进行快通混凝土铺路是可行的;

②结合我国的国情和公路发展的需要,采用高标号硅酸盐水泥、外加剂等较简便措施,既可改善混凝土的施工性能,又能基本上满足早期(2~3天,取决施工与环境条件)开放交通的需要,适用于一般路面工程施工的要求。采用覆盖隔热保温垫以加速开放交通的方法,对施工工艺没有影响,一次投资多次使用,在当前其他各种养生方法的投资不断上升的情况下,还是值得考虑采用的。

③提前开放交通的路面混凝土强度界限,尚需探讨确定。

参考文献

- [1] New Ideas to Improve Concrete Pavement. Better Roads, 1988(9).
- [2] New Cement Gains Strength Fast. F. A. Randall. concrete construction. 1989 (3).
- [3] Concrete Pavements. TRR 1182 (Harold Halm International Symposium on Concrete Pavement Construction), 1988.
- [4] 小林三男,施工技术の检讨と试验施工の实绩,生ユンケリート, 1989 (11).
- [5] NX 超快硬化剂配制的超快硬混凝土的主要建筑性能. 南京化工学院, 1986(11).
- [6] Blanket Curing Promotes Early Strength. Jone lane, Better Roads, 1989 (8).
- [7] 富文权. 混凝土快速硬化. 混凝土现代技术丛书, 1990.
- [8] 国家建材局苏州混凝土水泥制品研究院. 水泥混凝土路面太阳能养护的研究和应用. 1989 (4).