

水泥混凝土路面若干技术问题的讨论

吴晋伟

(广西壮族自治区交通厅)

提要 本文讨论水泥混凝土路面设计和施工中若干重要的技术问题,并介绍国家科技引导项目025项“水泥混凝土路面发展对策与修筑技术的研究”课题的一些主要研究成果,特别是小型配套机具施工方面的一些成果。

关键词 水泥混凝土路面 路面施工 路面设计

Discussions on Some Technical Problems in Cement Concrete Pavement

Wu Jinwei

(Department of Communications of Guangxi Province)

Abstract In this paper, discussions centered on some technical problems in cement concrete pavement design and construction are pursued. The main results of the research project No. 025 of the state scientific and technical guidance program the measures for the development of cement concrete pavement and the construction technique particularly that related to small-sized machinery in complete set are presented too.

Key words Cement concrete pavement Pavement construction Pavement design

水泥混凝土路面由于施工技术不断进步,质量不断提高,使用寿命长,养护工作量较小,因此在交通量大,特别是在重型交通的条件下往往在经济上具有优势。从“七五”开始,水泥混凝土路面已作为交通部的一个重点推广项目,不仅在不少二级公路上,就是在一级公路上也采用了水泥混凝土路面。从料原情况考虑,我国发展水泥混凝土路面的前景是相当广阔的。

广西较大规模发展水泥混凝土路面始于“七五”初期,几年来积累了不少的经验。“八五”期间,广西已纳入计划修建的水泥混凝土路面达300多公里。现根据广西采用小型配套机具施工所取得的正反两方面经验,并结合国内外修建水泥混凝土路面和机场道面的经验,讨论几个技术问题。

1 基层和垫层及其防水、排水问题

由于混凝土板下未设基层,或基层材料不合理,使得板边和角隅下的下卧土层在行车荷

载的反复作用下产生塑性变形,因而在混凝土板下出现脱空。另外,混凝土路面由于接缝多,地表水通过接缝下渗,而水泥混凝土路面一般都铺筑在路槽内,通常都未设排水系统。当车辆通过时,随着板边和板角的下挠,路槽中积聚的水份会因动水压力而产生流动,对基层形成冲刷,从而形成唧浆,并使板底或板角下部部分脱空或脱空加大,部分抬高,促使混凝土板断裂和错台。

美国曾对4个气候区的80个路段的混凝土路面使用性能进行了调查和分析,发现采用水泥处治粒料或水泥稳定土作基层时,路面使用性能差,出现很多唧泥、错台、开裂等病害,特别是在排水不良时。在各类基层中,采用透水性基层的路面使用性能最好。这些情况表明,即使半刚性基层,也不一定能防止水的危害,至于使用水稳性不够理想的整体性基层问题会更突出一些。当然这主要是对重交通道路而言。鉴于多孔贫混凝土作排水基层的效果良好,美国联邦公路局已把它作为一项新技术列入新近颁布的路面政策内。

唧泥造成路面损坏在稳定土半刚性基层的沥青路面上也不少见。玉林地区在宾盘线上有一段路就很典型,大修时在老油路上加铺了约20cm厚的无机结合料稳定土基层,由于路面开裂后出现唧浆,进而发展到板底脱空和板面龟裂后的板块,即使人踩上去也会摇动,而开挖出来的基层废料强度却很高。这表明此类稳定基层由于细料含量高,而且拌和时不可能十分均匀,仍不足抵御水的浸蚀和冲刷。

选用合理的半刚性基层,对降低板角和板边的荷载挠度是有利的,可以提高路面板的抗疲劳寿命。但是,为了延长路面的使用寿命,仍应重视外来水源对基层的破坏作用。具体方法:一是防水;二是排水。

近年来,某些发达国家,对高等级公路不论是水泥路面还是沥青路面,凡采用透水(未经处治、经水泥或沥青处治的级配集料)基层的,沿路肩均有采用纵向排水(集水)管的,管位低于路槽,而在多孔的集水管周围则填筑过滤集料,用以排除基层中集聚的水份;对于采用整体性基层的水泥路面,美国则有沿基层边缘放置纵向集水管的,并在路肩部份用排水粒料或多孔混凝土设置排水层,但其上部采用未经处治的砾石或沥青面层覆盖。近几年来,广西修筑水泥混凝土路面大多采用了粒料下基层或垫层,以利于施工过程中维持通车并保护路基。但是该层应满幅铺装到路肩部分,最好略高于下基层顶面的标高。如果料源比较缺乏或者为了降低造价,也可考虑采用透水性材料作纵横向排水盲沟,以利于基层水份的排除。但在路堑部分,则必须采用铺设在路肩下的纵向盲沟将路槽水引流至路堤部分,然后从横向排出。

防止路表水渗入基层,也是延长路面使用寿命的重要措施之一。过去,人们习惯于用沥青玛蹄脂作为水泥混凝土路面的填缝材料。这种材料需要施工单位根据当地的气候条件自行配制,而且对填缝料的质量要求也不高,其耐用性也差,很难较长时期内真正达到防水的要求。近几年来,025课题组在接缝材料方面作了不少研究工作,对接缝材料提出了多项质量要求和相应的试验方法。研究结果认为:接缝板以软木板最佳,用作接缝板无需作防腐处理,虽然单价较高,但由于用量有限,因而对每公里造价并无明显影响。此外,聚氨酯硬质泡沫板的使用效果也较好。

目前国内生产的填缝料有加热施工型和常温施工型两类。前者价格较低,但使用不方便,使用效果一般也较常温施工型的差些。常用国产的加热施工型填缝料有:聚氯乙烯胶泥、ZJ型填缝料、橡胶沥青等。为使用此类填缝料,南京市交通仪器厂已生产了专用的填缝机。国产常温型填缝料有:M880建筑密封膏、聚氨酯焦油、聚氨脂密封胶、聚氨脂改性沥青等。

质量好的填缝材料虽然价格较高,但与混凝土有良好的粘结力,同时固化后弹性良好,不随混凝土缝隙的胀缩而剥离或开裂,同时路表的杂物也不易嵌入,可以有效地防止地表水下渗。目前民航部门较普遍采用,我国公路部门也开始试用。

另外,还需充分重视日常养护工作。及时清除掉入接缝内的砂石及其他杂物等,并防止路表水通过接缝渗入路槽,以保持路面良好的使用质量。

2 基层的施工质量

影响基层施工质量的因素很多。目前存在的比较普遍而又突出的问题是基层标高控制的问题。按照“水泥混凝土路面施工及验收规范”的要求,基层表面标高的容许误差为 $\pm 1\text{cm}$,在采用人工摊铺时,如控制不严是很难达到的。为了保证混凝土板面的平整度和路面厚度,一般需要挖出超过标高的部分基层。

为了保证基层的标高和施工质量,在目前采用人工摊铺的情况下,必须掌握如下几个重要环节:

①路槽或下基层/垫层的高程及平整度必须符合规定要求(如无下基层/垫层,路槽也宜达到下基层的要求);

②必须采用测水平和拉线的方法保证混合料摊铺均匀、厚度一致、高程符合要求。测水平时,每个断面的路中、左右路肩各设一个测点,并打桩固定,在上面用红漆标出基层顶面设计标高(需考虑路拱度或超高)。断面间的距离不应大于 10m 。为保证水准测量可靠,应定期校准仪器并复核水准点高程;

③应通过试铺测定两个松铺系数。设松铺厚度为 h_2 ,静碾两遍以后的厚度为 h_1 ,振动压实后的最终厚度为 h_0 ,则第一个松铺系数为 $k_1 = h_1/h_0$,第二个松铺系数为 $k_2 = h_2/h_0$ 。

④应从桩上基层顶面设计高程标线向上量取 $(h_2-1)h\text{cm}$,并用红漆标出,作为控制松铺厚度的标准,需在每个断面上拉线以及在前后两个断面上交叉拉线进行检查。此外,还应从桩上基顶设计高向上量取 $(h_1-1)h\text{cm}$ 标出红线,待静压两遍后再按此线用同样方法检查基层高低情况,凡超高的应挖除,不足的应将表面挖松填补材料,此项工作完成后,即可振动压实,直至密实度达到要求为止。

⑤在施工过程中,严禁车辆在基层上行驶。

近几年,广西施工的水泥混凝土路面大多在基层顶面采用沥青封层。其优点:一是在施工过程中可保护基层,并减少养护工作量;二是可起到一定的防水作用。但是,往往由于不能在泛油时及时养护,或是低气温季节施工的封层不能反油成型,都使封层的使用效果有所降低,这些值得重视。此外,建议有条件的地方,今后可用稀浆封层来代替热沥青或乳化沥青封层。

3 混凝土配比设计

以往,广西设计路面用混凝土配合比时,一般都是按照GBJ97—87规范执行,控制坍落度 $1\sim 3\text{cm}$,用水量常达 $150\text{kg}/\text{m}^3\sim 170\text{kg}/\text{m}^3$,甚至更多。由于对矿料级配以及其他有关质量不够重视,水泥用量往往偏高,即使采用525*普通硅酸盐水泥,单位水泥用量也常达 $320\sim 340\text{kg}$,最高甚至达到 370kg 。根据民航部门近几年采用小型配套机具修建的几个机场的经验,不论采用425*水泥还是525*水泥,单位水泥用量也都是 300kg (规范规定的最低用量),比公路部门的正常水泥用量可节约 $10\%\sim 20\%$,甚至更多。如以二级路计算,最多每公里可节约

水泥上百吨,这是一个相当可观的数字。此外,根据实际抽检的资料,28d的平均抗折强度一般均达到5.5MPa以上。民航部门能够节约水泥并打出高质量的混凝土,主要经验为:①采用比较低的单位用水量,一般为 $130\text{kg}/\text{m}^3 \sim 135\text{kg}/\text{m}^3$,用加重的维勃仪控制混凝土的稠度,控制工作度在30~40s范围内。为了提高混凝土的和易性,采用减水剂。如深圳机场采用了山西万荣红旗建材化工厂生产的密糖型RCC,掺量为0.1%,使工作度降至20~30s,以增加和易性和降低坍落度,使混合料不易离析。外表看上去虽干硬,但很易捣实,并可减少泌水性。保证混凝土振捣密实,采用3台2.2~2.7kW、底板面积为 $40\text{cm} \times 60\text{cm}$ 的平板振捣器,每处振捣时间为30s左右,直至气泡排完为止。振捣器移位时,必须重叠振捣5cm,并不得拖行。待全部振捣完毕后,再重复振捣一遍。在靠近模板部位需用1.1kW的插入式振捣器加以辅助振实,以避免出现蜂窝麻面。一层摊铺的压实厚度为25cm时,也采用上述方法振实。深圳机场经实地抽检,采用300kg的425*普通水泥捣制的混凝土,28d的平均抗折强度达到6.0MPa;②十分重视矿料的质量和级配。用5~20mm碎石和20~40mm碎石相配合以得到较理想的粗集料。如有条件时,细集料用中偏粗或粗偏中的砂,其细度模数一般以2.5~3.2为好,同时应满足一定的级配要求。根据水灰比和砂的级配,在26~32之间选定砂率。选定砂率时,除考虑混凝土施工的和易性外,还应有一定富余,以保证混凝土板表面有3~5mm的砂浆磨耗层。

配合比设计十分重要,施工单位应尽可能采用正交设计法进行配合比的优化设计,并在试铺过程中通过观察,确定有无必要调整配比。如有必要调整,仍需经工地实验室的强度检验。

4 真空吸水工艺

采用真空吸水工艺可降低混凝土的水灰比,提高混凝土的强度和耐磨性,减少混凝土的干缩,加快施工进度,提前开放交通,因此公路部门采用小型配套机具施工时常采用这种工艺。但是,这种工艺由于机具不够完善,也存在以下缺点:由于吸垫的阻力作用,在平面上吸水量不够均匀;如果真空脱水机操作不当,在纵深方向吸水也不够均匀,最终形成水灰比中小边大,上小下大。这就有可能促使混凝土表面产生一些不规则裂纹或不能提高混凝土的抗折强度。因此,有些部门不愿采用。近几年来,在机具方面已有不少改进,如低真空大抽量和不用滤布吸垫等。在平整度方面也有所改善。但是,真空吸水与传统的施工工艺并用,路面的平整度仍然会受到一定程度的影响。为解决这个问题,现在常用的方法是取消圆盘抹面机,而采用复振工序,以提高板面的平整度。复振设备视板面干湿情况而定。混凝土较干时,选用小型平板振动器(一般不大于1.1kW)以及原浆振实找平,复振后再用振动梁复拉一次;混凝土较湿时,可直接用振动梁复振找平。复振时以不破坏真空脱水成型的混凝土内部结构为度。为了使找平的板面上有一层厚度比较均匀的浆层以及饰面后比较均匀美观,民航部门有在振动梁底部沿梁的横向加设突出的码钉以便将粗集料向下压的做法,码钉突出约10mm,间距20mm。这一经验也是值得借鉴的。

另外,真空度、脱水率与脱水时间也应引起重视。过去广西有些施工单位真空度升高太快,致使混凝土表层脱水过快,形成硬壳,阻碍混凝土内部的水份脱出,影响脱水效果,混凝土的抗折强度也未能提高,达不到预期的效果。为改善这种情况,在真空吸水作业时,开始2~3min应使真空度逐渐提高,然后维持0.08MPa左右。根据外地的经验,不同的水灰比存在着一个最佳吸水率。当采用V88无滤布吸垫或V82气垫薄膜吸垫时,如水灰比为0.45,其脱水率可控制在10%左右;水灰比为0.50时,脱水率控制在13~15%左右。脱水时

水泥混凝土路面若干技术问题的讨论——吴晋伟

间与混凝土的板厚有关,当板厚为20cm时,可脱水23~26min;板厚为24cm时,可脱水28~32min。当然,脱水时间也可参照脱水量控制。

也有一些单位认为,采用真空吸水的真空度不宜过高,以维持0.06~0.07MPa为佳。

真空吸水目前还不是一种很完善的工艺,因此施工时的原始水灰比应不大于设计水灰比,也即不能因采用真空吸水工艺而任意加大用水量,以避免因吸水不均匀致使部分混凝土的强度达不到设计要求。当然,有的施工单位因设备陈旧,质量不佳,或因采用减水剂,也可不采用真空吸水工艺。

5 传力杆和拉杆的设置

当车轮荷载作用于一块矩形的混凝土路面板边的中部时,混凝土板底的弯拉应力为最大。这就是说,设计混凝土板厚,荷载位于板边时的板底应力为控制应力。过去,人们曾想过各种方法降低板边的应力,以避免断裂和错台。例如,曾使用过变截面板,也采用过在板边下部加设垫枕,在板边设置传力杆、拉杆,以及采用企口缝等方法。经过长期的研究和试验路的长期观测,目前公认用传力杆将一部分轮载传到相邻板块以降低板边应力,对胀缝和横向施工缝这是一种既方便,又有效的施工方法。对于纵向接缝,为了保持纵缝两侧路面板联在一起采用拉杆连接,防止侧向位移,但多少也兼具一些传递荷载的作用;当板厚较大时,同时采用企口缝和拉杆,则传荷效果更为理想,这也是机场道面常用的方法。对于缩缝,由于板长有限,收缩量不大,特别是因为目前采用了锯缝的方式,其自然断裂的部分必然犬牙交错,因而可通过接触面传递一部分荷载。当然,对于特重交通,即使对于缩缝也有采用传力杆的。

根据英国的资料,设置和不设置传力杆的路面,其允许的交通量限度可相差数倍之多(视基层情况而定)。可是,如果传力杆在施工时设置得不好,甚至会起破坏作用,特别是在重交通的情况下。某市有一条路,在城市道路评比中原属优质工程,但由于传力杆设置不当,在竣工交付使用后几年,所有胀缝几乎全部损坏,胀缝边缘的混凝土也严重剥落。主要原因是未能严格沿着道路中线的方向设置传力杆。广西在混凝土路面施工中,不少施工单位对传力杆的设置也不够重视,东扭西歪的情况时有发生,应该说这是质量上的隐患,应引起我们的高度重视。广西公路局路面施工处曾设计了一种组合式端模板,兼具固定传力杆作用,可供借鉴。

除了传力杆安装位置准确外,传力杆上一端所涂沥青的稠度,套管的松紧、厚薄、软硬均会影响到传力杆的使用效果,甚至造成路面损坏,应当引起高度重视。并建议有关部门组织专用套管的生产。

拉杆的埋设也应引起施工单位的重视。拉杆安装位置不正,不仅造成拆模困难,而且在拆模时容易损伤混凝土。安徽省的经验是在第一遍振捣以后才用导向杆和钎头将拉杆打入混凝土内,然后再进行最终捣实。导向杆的作用主要是用于保证拉杆垂直于边模板。当然,在浇筑完毕以前,仍需有专人检查杆位是否正确。如发现偏位,应及时纠正。

6 混凝土路面的表面功能

水泥混凝土路面的使用品质与其表面抗滑性和耐磨性等表面功能关系甚为密切。

关于如何保证板面的施工平整度,前面已作了概略的介绍。除此以外,接缝的构造和质量,模板的平顺度与安装质量等均是影响路面平整度的重要因素,因此不论是设计还是施工都应予以重视。

水泥混凝土路面的抗滑性能主要取决于它的表面构造，其微观构造主要是由混凝土材料的表面特性，也即砂浆及粗集料的表面性质决定的；而宏观构造则是通过施工时的饰面工作形成的。

国外的研究认为，细集料和砂浆的抗磨性能对路面的微观构造产生很大的影响，因此有些国家对细集料中的硅质颗粒含量提出了明确的要求。

粗集料对路面抗滑的影响只有当它裸露于路表之后方能表现出来。一般混凝土的路表均为砂浆层覆盖，粗集料外露的比例较小，因此对路面抗滑能力的影响很小，但是在表面砂浆层磨蚀以后，粗集料的质量就会起重要的作用。因此在施工时使路表保持几毫米厚的高强度砂浆磨耗层是一种经济而有效的措施。砾石表面一般都比较光滑，与砂浆的粘着力甚差，即使路表有一层砂浆，在行车作用下也极易剥落。因此，将砾石直接用于路面表层不仅不利于抗滑，而且剥落严重时甚至会影响路面的平整度，故不宜采用。确有必要时，可采用轧碎砾石作粗集料。

为了使路表形成宏观构造，过去曾采用过各种不同的表面装饰工艺，如拉毛、压槽、拉槽与拉毛相结合，使粗集料裸露（裸石法）、在路表嵌入耐磨的坚硬石屑（嵌石法）等。此外，还有在混凝土硬化后采用刻槽方法处理的。刻槽法效果比较理想但成本甚高，目前国内主要用于一些重要机场旧道面的处理。拉槽与压槽法又统称为塑性刻槽法，能做出深度较大又比较耐久的宏观构造，且成本较低，因此有不少国家采用。塑性刻槽的深度一般为5~7mm，间距在15~30mm之间。为了克服单调的路面磨擦噪音，现在常采用变间距刻槽的方法。目前民航部门主张采用拉槽与拉毛相结合的方法，公路部门则采用压槽或拉毛的方法较普遍。应该承认，拉毛处理对于改善路面的微观构造有良好的效果，而拉槽处理又可形成宏观构造。因此说，拉槽与拉毛相结合是一种比较理想的处理方法。就使用的工具而言，拉槽一般是用单排钢丝或塑料管做成的梳状齿耙或曲形叉；拉毛则使用尼龙丝毛刷。如在一级公路上采用水泥混凝土路面，从抗滑考虑，对路表几厘米深度范围内的粗集料也宜提出较高的要求。

水泥混凝土路面的抗磨性能与水泥的品种和标号以及混凝土的强度有直接的关系。一般说来，硅酸三钙和铁铝酸四钙含量高的高标号硅酸盐水泥或普通水泥路用性能较好，对耐磨性也有利，而混凝土的标号越高则耐磨性越好。因此，在条件允许时应选用较好的水泥和较高标号的混凝土。目前，有些国家对路面混凝土标号的要求就高于我国，这不仅有利于提高路面的使用寿命，也有利于提高路面的耐磨性，以避免路面的抗滑性能衰减过快。真空吸水工艺可提高混凝土的强度，宜争取采用，但在设计混凝土的配合比时，无需考虑真空吸水的脱水量，而将因吸去水份而提高的强度作为路面的强度储备。

当交通量不太大时水泥混凝土路面的造价较一般沥青路面为高，而其经济效益主要体现在其较长的使用寿命上。而路面的使用寿命与施工质量密切相关。此外，水泥混凝土路面由于施工质量问题而造成早期损坏，在修复上比沥青路面困难。因此我们在修建水泥混凝土路面时应高度重视其质量问题。