

河南省公路技术交流会 论文集

河南省公路学会 主编
河南省交通厅科教处
2001年10月10日

河南省公路技术交流会 论文集

河南省公路学会
河南省交通厅科教处 主编
2001年10月10日

目 录

高等级公路路面病害的预防浅谈	陈亚莉	(1)
公路平缓曲线上工程量简算分析	魏中原 武 勇	(5)
煤矸石做道路基层材料的应用分析	刘俊尧 刘增田 刘功祥	(8)
慢裂快凝型改性乳化沥青稀浆封层技术的研究	关建国 王振武	(13)
粉煤灰砷在黄河公路大桥及连接线桥梁中的应用	卢来运	(18)
强夯法在焦郑高速公路可液化地基处理中的应用	董长宏 王上水	(23)
关于砂土路基的施工探讨	赵德有	(27)
浅议四级公路的行车道宽度	宋传中 王胜利 李 放	(30)
水泥稳定土基层和底基层质量评定中的几点体会	周新民 张文涛	(33)
量化分析影响水泥石灰综合稳定细粒土强度的因素	孙庆新 张忠凯 王书保	(36)
施工过程中监理工程师应如何进行反索赔	王 霞 王新举	(41)
静压注浆在许漯——漯驻高速公路地基加固处理中的应用	陈 波 王新举 刘杰宇	(44)
漯驻路二标段粉喷桩施工的质量控制	赵振泉 薛彦岭 王 起	(48)
公路沥青路面结构设计分析	张 炜 郝行舟 孙东晓	(53)
全站仪测量技术在公路工程中的应用	周 恒 宋应皋 杨 庆	(56)
苛化法制碱工业废渣在公路基层中的利用	刘 宇 郭 强 王 凡 王文东	(59)
县乡公路油路基层的研究与应用	刘 宇 郭 强 王 凡 王文东	(64)
水泥砼路面早期破坏的成因及其防治	付中玉 崔 凯 张智先	(71)
GPS 在公路路线测量中的应用	关 奇	(74)
计量支付在公路养护工作中的应用	丁灿旗 朱东辉 宋焕宇	(80)
公路小修保养费计划编制方法探讨	元秀林 郭俊英 陈乃华 张淑红	(82)
分离并行桥梁上部结构一体化研究	王 威 王新友 成鸿才	(87)
瑞雷波法在商丘至开封高速公路路基检测中的应用		
..... 范跃武 李修忠 李宏志 唐海威 袁冻雷		(92)
养护对混凝土强度的影响	杨智勇 周艳丽 耿蕴华	(100)
预应力混凝土施工中高效减水剂的选用	何书来 周 宾 赵通行	(103)
造桥机在连续箱梁施工中的应用与探讨	杨 露 陈付海 李 明	(106)
连续箱梁预应力施工质量控制	王 春 李祥恩 刘运霞	(110)
高速公路沥青路面平整度的影响因素及施工中控制措施	何书来 许亚峰	(113)
预应力 T 梁预制场布置方案比较	刘运霞 高渐斌 王 春	(117)
一种新的小半径匝道桥现浇梁板施工技术	陈付海 李 明 杨 露	(121)
浅谈人与科学管理	袁 新	(124)
无砂砼小桩在软基处理中的应用	邹会斌 唐重光	(127)
杜拉纤维 (Durafiber) 在混凝土施工中的应用	何书来 周 斌 胡春燕	(133)
关于公路工程桥头“跳车”问题的思考	王思海 赵 峰 张廷明	(135)

商开高速公路基层水泥稳定碎石施工质量控制	王玉霞	(138)
监理现状与监理质量的提高	宋元华 李 林 刘 芳	(141)
美国如何选择公路工程的养护施工方案	李北方 尚 刚 陈 晓	(145)
路基土方压实若干问题的探讨	郝 玮 昌宏哲 郝 铭	(152)
河南省桥面铺装病害原因分析及防治措施	王祥鲁 邢国英 裴建中	(155)
桥面防水专用自粘卷材施工技术研究	吴 浩 徐 强 张占军	胡长顺 (158)
混凝土桥面防水层抗剪强度研究	张占军 胡长顺 徐 强	吴 浩 (162)
简论填石压浆混凝空心桩基础的定额编制	赵国运 宁金城 宋梅英	(168)
浅谈中央分隔带的排水设计	周艳丽 王祖东	(171)
驻马店至信阳高速公路路面结构设计	方 芳	(174)
涵洞通道设计中洞身和沿口形式的选择	李 铮	(177)
碾压混凝土(RCC)与沥青混凝土(AC)复合式路面技术的工程实践	陈 建	(181)
公路工程估算指标及编制办法在实际应用中存在的问题	王金艳 程秀兰	(186)
半刚性基层材料的强度影响因素分析	陈 建	(189)
互通式立交的设计方法初探	马 旻	(191)
桥梁桩位坐标计算	杨玉军 祁万顺 曹泽龙	(197)
浅谈工程监理	陈亚莉	(201)
压实填土最大干密度若干问题的探讨	张晓炜 赵 伟	(205)
无梁板桥在河南的应用	李秋生 常兴文 严长卿 赵 峰	高建学 (208)
以曲线为主的选线设计方法——元素法	马 旻	(211)
做好商开高速公路施工投资监理控制	韩永红	(219)
土压减轻型桥台的设计	杨成学 严长卿	(222)
新型梁桥——固端梁桥	严长卿 王新春	(226)
桥梁管理信息系统的研究	赵泽辉 王穗平 郝 盈	(231)
防止水对黄土路基稳定性影响的预防措施	宋子房 昌宏哲 赵孝峰	(234)
实现公路养护良性循环的思考	陈惠民 郝 玮 刘卫东	(238)
冲击碾压在洛阳——三门峡——灵宝高速公路中的应用	刘 刚 牛润莲 矫安德	(242)
路用乳化沥青的研究现状与发展方向	王新增	(246)
塑胶复合沥青改性试验及评价方法	梁全富	(251)
关于完善和发展我国公路建设三及质量保证体系的几点思考	李 雯 孙淑勤 张佩旭	(254)
乳化沥青稀浆封层技术用于重交通沥青路面早期维护的实践	虎增福 曹书本 罗留记	(258)
高速公路路面设计纵横谈	姜晓龙 李 华 沈国钧	(261)
国道 107 线陇海铁路立交改造工程路线方案优化设计	胡朝印 张伟中 李孟绪	(265)
实施 ISO900 标准 促进设计质量提高	于爱华 孙民刚 胡朝印	(269)
普通桥梁的分段预制下部结构体系	魏 平 王 伟 葛梦澜	(273)
三灵高速公路函谷关段线位的优化比选	王祖东 周艳丽 刘河森	(279)
施工组织设计在高等级公路防护工程中的重要性	李 玮	(284)
公路桥梁动力性能测试	李有良	(287)
具有接缝传荷效率的刚性路面系统内力分析	曾凡奇	(291)
跨通道沥青混凝土路面结构的非线性分析	王 丽 刘 生	(294)
基桩完整性 PSD. V. A 综合判断法	阎光辉	(298)
钻孔灌注桩的质量控制与检验	张 宏	(303)
探地雷达的基本原理及其应用	杨 明	(307)

土工合成材料在公路工程中的应用及控制指标	乐 斐	(311)
高掺量粉煤灰混凝土路用性能研究	黄 琪 高树礼	张晓军 (315)
高等级公路结构物外观质量的施工控制	高啸雁 程 霞	任传哲 (319)
谈谈用挠度和位移来评定旧混凝土拱桥承载能力的方法	吴晓东	张勇强 (323)
后张扁锚部分预应力空心板梁的设计及经济性分析	张勇强	吴晓东 (327)
水泥灰土稳定细砂做路面基层的应用技术研究	何荣裕	陈天友 (330)
半刚性基层沥青路面调查与分析	施笃俭 刘根昌	孙泰周 (334)
斜梁桥动态组合加载的研究	施笃铮 师 亮	徐 琦 刘根昌 (340)
连续配筋水泥混凝土路面的设计	张书建 薛予生	侯天顺 (345)
浅谈二灰碎石基层施工质量控制	李 毅	陈 亭 (348)
内部收益率和净现值的实用计算	谭 彬	谭 萍 (351)
如何提高沥青路面的平整度		马俊吉 (354)
钻孔灌注桩过量沉降原因及预防	史 斌	苗礼战 (357)
改性沥青在高等级公路上的应用研究	李长来 陈 波 薛彦岭	张争奇 (359)

高等级公路路面病害的预防浅谈

陈亚莉

(河南省交通规划勘察设计院)

摘 要 沥青路面的早期破坏,给公路工程建设带来了经济损失及不良的社会影响,随着高速公路建设的迅猛发展,已引起国内外有关专家的高度重视,将其列为公路八大质量通病之一,本文据实践经验和理论,就其成因及预防措施加以探讨。

关键词 早期病害 坑洞 车辙 拥包 网裂

随着经济发展,促进了高等级公路建设及普通公路的改建。但由于设计、施工、养护及管理等方面的原因,使得部分道路通车后不到设计使用年限即出现了大、小不等的病害,干扰了正常的公路运输,在造成了经济上损失的同时在社会上也造成不良影响,为了防止或减少因公路本身病害而造成的损失,国内外都进行了不同内容和方法的科技研究,在此我主要就路面病害的主要类型、成因、预防措施三方面的认识作一浅谈。

一、路面病害的主要类型及成因

我国从1988年11月第一条沪嘉高速公路正式通车以来,高速公路建设经历了近13年里程,给我国的国民经济发展带来了不可估量的发展。但由于某些高速公路仓促开工建设,而技术力量、机械设备准备不足,路面施工工艺水平低,工程管理不规范、不认真,设计参数选用不当等原因,致使已建成高速公路路面产生了一些早期破坏。其类型和原因主要如下:

1. 路面水破坏

高速公路路面内部发生冲刷和唧浆现象,导致路面局部网裂甚至出现坑洞是最常见的病害。主要是由于路面表面水透过面层滞留在基层表面,在行车荷载下反复作用于动水冲刷半刚性基层表面的细料并逐渐形灰浆,水和灰浆使路面面层与基层层间变成滑动状态,设计的边界条件产生变化,导致承载力降低;面层承载力不足,开裂,灰浆被行车荷载压挤通过面层裂缝或面层混和料的孔隙唧到表面;使面层产生网裂破碎并可能发展成坑洞。

2. 路面平整度差

第一,路面施工时,片面追求施工平整度,忽略沥青混和料的压实质量,路面通车后特别是超重车荷载压力下将产生明显的不均匀沉降,导致路面产生大的不平整。第二,混合料中石料规格差,目前国内石料还没有形成工厂化生产,大多是由施工单位自行购买,这样造成石料来源杂,石料规格大小不一,混和料生产级配发生偏差,实际压实空隙大。或石料针片状含量虽然符合部颁施工规范,但针片状石料级配稳定性差,在行车荷载作用下容易发生级配结构组合变化,而形成局部表面不平整,若不及时进行局部贴补找平,给行车安全带来很大影响。

3. 路面不均匀沉降

由于路基施工压实度不足,使得路基不均匀沉降,导致路面横向和纵向的大范围不平整及严重的纵向裂缝。特别是高填方路基,一是由于山沟中的高填方,无法使用重型压实机械,二是现行部颁“施工规范”中的压实区域区分不合理,对于高填土路基本来其累计沉降量就大,应提高压实标准,但规范压实区域是从路面顶往下划分压实区域,这样造成高填方路基大部分高度路基是低压实标准。事实证明,对于高路堤如何使其尽早稳定是个值得研究的课题,另外以压实度确定路基压实质量的方法是否以实际较好地吻合也是值得探讨的问题。例如日本等国家路基压实是以压实空隙率控制压实质量的。

4. 路面裂缝

路面使用后发生普遍的早期病害是横向裂缝, 这些横缝主要原因是: (1)、沥青面层的温度疲劳裂缝和低温收缩裂缝。(2)、由于半刚性基层开裂后引起的反射裂缝。沥青面层产生这些裂缝是不可避免的, 但主要危害是这些不规则裂缝, 在行车作用下裂缝边缘容易破裂, 造成雨水下渗至半刚性基层, 进而容易产生冲刷, 唧浆现象, 发展成网裂甚至坑槽。

5. 车辙、推挤和拥包

推挤和拥包在已通车的高速公路上并不多见, 但车辙还是发生的, 这些病害主要是沥青混凝土的热稳性差造成的, 沥青混和料生产中级配、沥青质量及剂量不理想所造成的。

6. 表面泛油

第一, 由于沥青过多造成施工中粘层油和透层油、封层油不均匀洒布, 造成局部粘结料或沥青浆溢出路面形成局部黑而光亮的斑点。沥青堆积, 或混和料中沥青用量偏多, 沥青稠度太低, 粘结料过软, 或是气温高温时下层粘结料上溢等。第二, 由于施工中混和料级配不符, 造成沥青迁移上面层, 而造成路面泛油。

二、预防措施:

1. 路基施工质量

路基作为路面的支撑结构层。除按照规范规定检验标准对其压实度、弯沉等指标进行检查外, 还应特别控制路基完成后最大湿度时土的强度及路基填筑过程中的平整度; 一定要首先对土场的土初测其 CBR 值, 而后以路基中土 CBR 值为标准 (即土浸水后的强度)。因为路表面水一旦侵入路面内部将会使路基受到水的侵蚀, 使其强度发生变化, 从而降低路面承载能力, 造成路面大面积破坏。路基填筑过程中许多建设者只注重检查其压实度, 而忽略压实过程中每一层的平整度, 若平整度保证不了, 路基压实度就会不均匀, 将来会发生不均匀沉降。

2. 底基层施工质量

底基层是建成后路面中分布荷载的重要层次。它不仅使通行车辆等荷载在路基中的应力降低至可以承受的程度, 还可充当路面各上层施工的作业面, 若路面下不设封层时, 它还起到保护路基隔离层的作用, 因此要求它必须具备下列几方面的性能。

- (1) 材料饱水时, 具有相当大的强度, 即水稳定性。
- (2) 减少表面变形。
- (3) 提高抗侵蚀的能力, 不受下层材料的污染。
- (4) 增加基层的有效弹性模量。

国内一般采用石灰稳定土或水泥、石灰综合稳定土作底基层; 底基层施工时从原材料方面要求具备以下条件:

第一, 要控制好素土的 PH 值和塑指, 当 $PH > 12$ 时, 土中硅和铝的溶解度大大增加, 土与石灰发生反应产生胶结性的硅酸钙和铝酸钙, 胶结性化合物形成一种新的将土颗粒与集料粘结在一起的骨架。而塑指过高, 施工拌和困难, 不易拌和均匀, 塑指过小需掺加水泥进行综合稳定, 这样会增加投资投入及施工难度, 将来完工容易发生路面反射裂缝, 使得养护费用增大。但土源影响选择因素较多, 施工单位一是工程造价原因, 二是协调原因不能完全按土质量选择土源, 这样一是影响工程质量, 二是由于改良土质增加投入, 且保证不了良好施工质量。第二, 石灰的质量。由于石灰土的强度和水稳性的好坏直接决定底基层的质量, 强度又是由石灰的剂量及石灰本身的质量所决定的, 因此二级以下石灰不易作底基层的石灰土, 水稳性的好坏也取决于石灰的剂量与石灰的钙镁含量, 即石灰对土的钙化程度。底基层的施工中主要控制好以下因素:

(1) 强度选择: 底基层强度过高产生裂缝反射至面层, 促使路表水进入路面结构而破坏。强度过低, 承受不了荷载而脆性破坏, 强度选择高限一般应使产生反射裂缝的可能性减到最低限为标准。

(2) 灰土拌和质量、碾压质量。灰土中灰含量要均匀, 要做到均匀系数不小于 5 (其均匀系数 = 土壤

60%的材料重的筛孔直径 D60 与通过 10% 材料重的筛孔直径 D10 之比)。灰土拌和过程中石灰含量均匀度、土颗粒大小等因素决定底基层内在质量,要求必须采用机械拌和、摊铺。摊铺——碾压的密度在工艺上是关键,若压实不足会导致松软、透水,表面透水将造成灰土出现泌浆和坑槽。而影响压实标准的因素往往多而复杂,若灰土拌和均匀系数小,灰土击实取样误差会增大,直接影响灰土压实质量的正确判断。

3. 基层施工质量。

基层是面层的承重层,要求在行车的反复作用下必须有一定的抗压强度及抗剪切强度。因此现部颁规范要求基层应采用水泥稳定碎石。材料方面要求混和料必须有良好的级配和密实度才能使路面承受荷载。施工中往往只注意抗压强度而忽略抗弯拉强度。碎石的级配也是关键,粗集料颗粒不仅大小搭配,颗粒形状还具有高的力学稳定性,细集料严格控制塑性指数以提高水稳定性。通过实践认为级配碎石的粒径不宜过小,最大粒径 25mm 最好。石料的规格选择严格按规范满足规范要求外,石料表面保持洁净,以保证有效强度。

基层质量应符合以下要求:(1)具有足够的强度和适宜的刚度,要控制抗压强度和劈裂强度,还要注意不能片面追求过高的强度。(2)具有良好的稳定性。(3)干燥收缩和温度收缩变形小。(4)满足平整度、密实度的要求。(5)控制好混和料的含水量,含水量过小易局部松散,含水量过高,基层易出现收缩裂缝。当基层强度不足或稳性差时可造成路面网裂,当处理不及时可造成大面积松散、翻浆、坑槽等等。因此路面基层是修一条好路基本,我们必须严格选择好材料控制好施工工艺。

4. 面层

面层是一条路质量的概括,它直接反映路面的平整度,路面的透水性,路面的抗滑性,路面的强度及路面的使用年限(抗疲劳)耐久性等等。

当路面基层强度不足,受行车的冲击发生变形,这种变形直接影响到面层。面层的强度又影响到基层的稳定性。面层的施工质量也取决于原材料(骨料质量与级配,矿粉质量与含量,水泥的类型,沥青的质量与用量等),混和料原材料组合形成混合料,混合料应具备以下性能:(1)具有高的抗变形性。(2)抗疲劳承受高应变,即有柔性。(3)足够的劲度以减少传递至下卧层的应力。(4)具有耐久性。(5)具有低渗透性,能防止水和空气侵入。(6)具有良好的可操作性,施工中易压实。根据混合料的特性,混合料的配合比是否能达到马歇尔试验的各项技术指标,否则达不到应有的压实效果。施工中应控制碾压质量而影响碾压效果的有(1)单位密实度。(2)油石比。(3)骨料级配。(4)孔隙率。(5)摊铺、碾压温度的控制。(6)机械的匹配。总之,路面的施工质量是综合性,不但有良好原材料,还要有匹配的机械,更重要的要有良好的施工人员素质及严格监理的丰富经验及热情服务的管理水平。

对于面层分二层以上结构层的,应在上面层开摊铺前,让施工车辆在已完面层上通行几周后,构成一个富油层,这个富油层有助于提高面层的抗变形性,防止早期开裂。

5. 路面内部、外部排水

路面水毁是路面破坏一重大因素,设计所采用强度应取决于最不利条件下的含水量时的强度,因为水一旦进入结构中,路面强度将变弱,在行车作用下极易损坏,而水又是无孔不入,防不胜防,不可能保证路面在设计使用年限内一直保持不透水,所以良好的维护,得当的道路排水系统对于道路成功使用是完全必要的,道路设计一定要解决好道路横向排水,涵、桥排水、纵向排向,路面内部排水,路基地下水渗入等内、外排水措施。

6. 道路运行养护

道路在设计使用年限中,不可避免有一定程度的病害,例如路面纵、横向裂缝,汽车排放物造成的污染侵蚀破坏,超设计通行荷载造成路面超荷载受力发生车辙等破坏等,因此要求对这些病害及时养护处理,若不及时查找原因进行处理,造成水侵蚀,从而会大面积破坏。对于超载车辆通行对道路的破坏,前几年已经引起国际同行的重视,国、内外对此都有研究,美国的 AASHO 通过试验研究认为,车辆对路面的破坏性与轴载的 N 次方成正比。随超载率的增大,路面使用寿命迅速降低,造成公路早期破坏,使路面使用性能与服务水平大大降低,随着国民经济和公路交通运输事业的发展,运输车辆中大型货运车辆的

比重不断增加,国道 107 线又是国家南、北贯通主干线,汽车超载已成为十分普遍的现象,因此道路养护部门要加大力度,严管超载现象。

三、综述

根据路面易发生的病害,在高速公路路面的施工过程中,从源头作起,层层把关。

(1) 原材料进场,下达有关材料进场合格通知单,施工单位每天自检、监理抽检、代表处抽检各项技术指标都要达到规范要求,否则不得使用,并且监督其不合格材料限期清出场。

(2) 施工现场质量控制(包括机械的匹配及使用效果):如压路机的总重量,振动频率、振动幅度等。压路机碾压速度对路面质量影响较大,当频率一定时,冲击问题随压路机碾压速度的减慢而变小,反之碾压速度一定时,冲击间距振动频率的增大而变小,所以我们要求碾压速度和振动频率之间作好平衡才能得到所需要的压实度和平整度。现代化的生产质量需要一定条件的机械生产能力,配套来保证。

(3) 路面的组成,底基层、基层、面层三者分不开的是内在质量,以上所述的病害都由不同程度的内在质量所导致,影响路面的使用年限及使用效果。所以每条路都要针对路面病害严加防范。

公路平缓曲线上工程量简算分析

魏中原 武 勇

(河南省鹤壁市公路管理总段)

摘 要 探讨了公路平面缓和曲线上工程数量的精确计算方法及其相应的简化计算方法。

关键词 缓和曲线 回旋曲线 数值积分

1. 前言

公路线形设计中,直线、圆曲线和缓和曲线构成平面线形三要素。在高等级公路中,勘察设计人员为了提高线形标准,普遍采用以曲线为主的平面线形。为了更好地对工程造价进行控制,必须精确计算平缓曲线的长度和工程量。本论文探讨公路平缓曲线的精确计算方法,并提出相应的简算公式,供有关技术人员参考。

由于公路上多采用回旋曲线设置缓和曲线,本文只讨论平缓曲线为回旋线的情况。以同样的分析方法不难导出其他平面缓和曲线的相应计算方法。

2. 计算两点间回旋曲线长度

2.1 直角坐标系的计算

根据有关数学公式,回旋线参数方程级数形式为:

$$\begin{cases} x = l - \frac{l^5}{40R^2L_s^2} + \frac{l^9}{3456R^4L_s^4} - \dots \\ y = \frac{l^3}{6RL_s} - \frac{l^7}{336R^3L_s^3} + \frac{l^{11}}{42240R^5L_s^5} - \dots \end{cases} \quad (1)$$

式中 l ——为点 (x, y) 至回旋线起点 $(0, 0)$ 的回旋线长;

l_s ——为回旋线长度;

R ——与回旋线相接的圆曲线的半径。

如果忽略式中的高次项,则(1)式可简化为:

$$\begin{cases} x = l - \frac{l^5}{40R^2L_s^2} \\ y = \frac{l^3}{6RL_s} \end{cases} \quad (2)$$

由式(2)中的第2式可得:

$$L = \sqrt[3]{6RL_s y} \quad (3)$$

回旋线图形如图1所示。 $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$ 为该曲线上的任意两点。由(2)式得出 A, B 两点间回旋曲线长为:

$$\begin{aligned} l_{AB} &= \int_{l_A}^{l_B} \sqrt{\left(\frac{dx}{dl}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dl}\right)^2} dl \\ &= \int_{\sqrt[3]{6RL_s y_A}}^{\sqrt[3]{6RL_s y_B}} \sqrt{\left(1 - \frac{l^4}{8R^2L_s^2}\right)^2 + \left(\frac{l^2}{2RL_s}\right)^2} dl \end{aligned} \quad (4)$$

式(4)的值可通过计算机用数值积分法求得。

由(3)式得出 A, B 两点间的回旋曲线长为:

$$l = l_B - l_A = \sqrt[3]{6RL_s} (y_B^{\frac{1}{3}} - y_A^{\frac{1}{3}}) \quad (5)$$

式(5)即为回旋线上任意两点之间回旋线长度的简算公式。

2.2 极坐标的计算

根据极坐标的情况可知回旋线的微分方程为:

$$dl = \rho \times d\tau \quad (6)$$

将 $\rho \times l = C$ 代入公式(6)得:

$l dl = C d\tau$ 两边积分得:

$$l^2 = 2C\tau \quad (7)$$

对图2所示的回旋线, ZH 为直线与回旋线的交点; HY 为回旋线与圆曲线的交点; 回旋线的全长为 L_s ; 曲率变化范围为 $R \rightarrow \infty$; M 为回旋线距 ZH 点沿回旋线长距离为 l 的一点。

$$\text{由式(7)对 HY 点有: } L_s^2 = 2C\tau_0 \quad (8)$$

$$\text{对 M 点有: } l^2 = 2C\tau \quad (9)$$

(8)、(9) 两式相除并整理得:

$$l = \frac{L_s}{\sqrt{\tau_0}} \times \sqrt{\tau} \quad (10)$$

若近似地取 $\tau = \theta$, θ 为相应点与 ZH 点连线对 ρ 轴的倾角, 见图2。则得回旋线上任意两点间曲线的近似计算公式为:

$$l = l_B - l_A = \frac{L_s}{\sqrt{\tau_0}} (\sqrt{\tau_B} - \sqrt{\tau_A}) = \frac{L_s}{\sqrt{\theta_0}} (\sqrt{\theta_B} - \sqrt{\theta_A}) \quad (11)$$

以上计算公式中式(4)和式(10)为回旋线长度的精确计算公式, 式(5)和式(11)为相应的简化计算公式。

3、平缓曲线上等截面积的计算

在平缓曲线上计算混凝土(填方)的体积, 当截面面积不相等时, 可用积分法来计算, 由于情况复杂, 本文不再探讨。当截面面积为 S 时, 则混凝土的体积为:

$$V = \int_0^l S dl = S \int_0^l dl = Sl \quad (12)$$

式中 l 可用(4)或(10)精确计算, 也可用公式(5)(11)简化计算。

4、平缓曲线上钢筋等长度计算

本文仅探讨了平缓曲线上两点间的回旋曲线长度的计算, 其精确计算和简化计算方法见公式(4)、(10)及(5)、(11)。当考虑到钢筋不在回旋线上时, 可采用建立三维空间的方程式进行曲线积分求得。在估算工程量时可用以下公式计算钢筋长度:

$$l = l_1 + \alpha l_2 + l_3 \quad (13)$$

式中: l ——钢筋总长;

l_1 ——钢筋水平段长;

α ——大于或等于的长度放大系数, 根据钢筋竖向弯起具体情况拟定;

l_2 ——竖向弯起段的水平投影长;

l_3 ——弯钩等附加长度。

5、结论

公路平面缓和曲线上的工程量按本文讨论的简化计算方法处理方便可行, 为施工提供了很大便利。

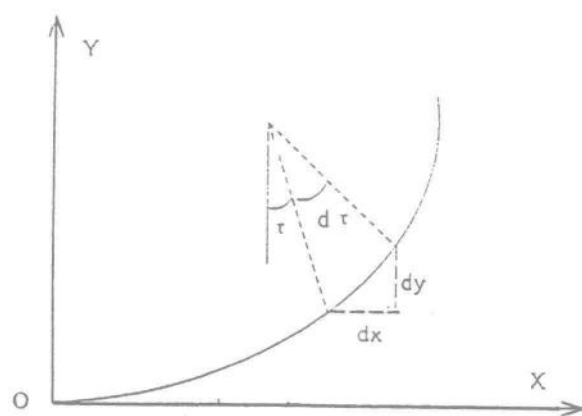


图 1 直角坐标回旋线示意图

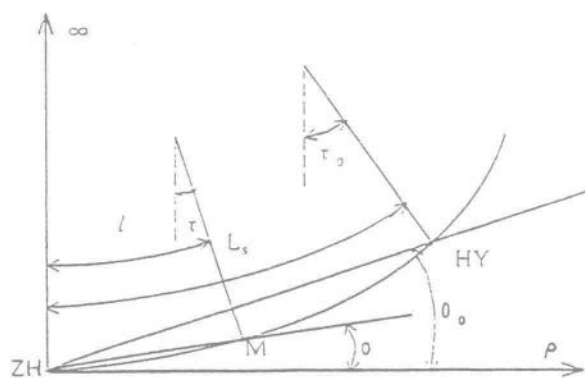


图 2 极坐标系回旋线示意图

煤矸石做道路基层材料的应用分析

刘俊尧 刘增田 刘功祥

(河南省鹤壁市公路管理总段)

摘 要 煤矸石混合料做道路基层材料的强度、冻稳性和抗温缩防裂性能上,均能满足多种等级公路的规范要求,而且有些混合料的性能还优于常用的基层材料。因此,煤矸石做道路基层材料具有广泛的推广价值。

关键词 煤矸石 混合料配比 抗压强度 抗弯拉强度 冻融稳定性 低温收缩性

1、前言

多年来,许多部门就如何开发利用煤矸石的问题做了大量工作。如生产水泥、烧砖、燃烧利用热能等。由于煤矸石的组成较复杂,不同的矿井、不同的矿脉所排放的煤矸石成分都有较大的变化,而且煤矸石中有害成分硫和未燃碳,都给上述煤矸石的利用带来极大的不便。

然而,将煤矸石作为道路基层材料用于筑路工程,却有着明显优势。一是对煤矸石的种类和品质没有特殊的要求,对有害成分含量的限制不严,适用于多种类型煤矸石;二是煤矸石在道路工程中的应用具有耗渣量大、无需进行特殊处理及特殊技术手段的优点。是一种有效地利用煤炭工业废料和减少环境污染的有效途径。因此,对煤矸石性能进行研究,特别是在道路工程中的应用,将有较大的经济价值及社会效益。

2、煤矸石混合料的配比

2.1、煤矸石的种类

煤矸石实际上是含碳岩石和其它岩石的混合物,随着煤层地质年代、成矿情况、开采条件不同,煤矸石的矿物组成、化学成分各不相同。鹤壁地区所堆放的煤矸石多数为粘土岩矸石和砂岩矸石。前者经一段时间堆放后,大多自身成粉状带细碎颗粒的风化体,而后者是一些大小不一的块状物。此外,还有些经长时间堆放之后发生自燃的煤矸石。我们对这几种煤矸石进行化学成分分析,结果列于表1:

煤矸石化学成份含量(%)表

表1

	烧失量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	SO ₃	未烧碳
煤矸石	12.81	43.83	19.17	6.24	3.36	1.02	1.05	0.88	11.64
自燃矸石		57.73	23.23	8.09	2.14	1.53	2.06	1.22	
常规含量	>10	52~65	16~36	2.28~14.36	0.42~2.32	0.44~2.40	0.9~4.00	0.2~1.5	10~17
鹤壁土	8.63	65.87	13.35	6.75	3.64	1.76			

从分析结果上看,鹤壁地区煤矿的矸石成分与常规范围相一致,不存在某种成分过高或过低的现象。而且除了煤矸石有较高的烧失量外,其组成成分与鹤壁土的成分也很相近,这说明,煤矸石在一定程度上可替代土来使用。

分析结果可知,所选煤矸石样品的无机碳和硫化物这两种成分均在常规范围内。影响煤矸石在基础工程中的应用,是由于煤矸石中含有一定量的无机碳和硫化物,这两种成分的存在易对基础工程造成不稳定影响。因而用这种煤矸石进行试验所获得的结果具有一定的代表性。也就是说,如果分析研究的结果没有表现出不利影响,则在常规范围中的硫和碳不会造成危害。

2.2、混合料配比

从煤矸石组成上看,除未燃碳之外,煤矸石主要是一些粘土质矿物,可用它部分或全部代替土在基层中应用。结合多年石灰类稳定土研究的结果,并筛除较大的保留粒径 20 毫米以下的煤矸石,确定出八种煤矸石混合料。对这种有确定配比(见表 1)的混合料按有关规范进行击实试验,求出各自的最大干容重和最佳含水量,其结果见表 2:

不同配比混合料的最大干容重和最佳含水量

表 2

编号	混合料	配比(重量比)	最大干容重(g/cm^3)	最佳含水量(%)
1#	石灰:土:煤矸石	10:20:70	1.963	10.6
2#	石灰:土:煤矸石	10:40:50	1.891	12.3
3#	石灰:粉煤灰:煤矸石	10:20:70	1.798	8.3
4#	石灰:粉煤灰:煤矸石	10:40:50	1.552	13.8
5#	石灰:煤矸石	10:90	2.011	9.7
6#	水泥:煤矸石	4:96	2.165	6.5
7#	石灰:粉煤灰:自燃矸石	10:40:50	1.814	15.2
8#	石灰:粉煤灰:自燃矸石:土	10:20:20:50	1.65	15.4

3、煤矸石基层材料主要性能

3.1、无侧限饱水抗压强度

作为承受主要荷载的半刚性基层,无论它由何种材料组成,首先应具备一定的抗压强度。因此,首先对上述的几种煤矸石混合料的无侧限饱水抗压强度做了测定。测定结果如表 3:

煤矸石混合料无侧限饱水抗压强度

表 3

组号	编号	混合料	无侧限饱水抗压强度(Mpa)		
			7 天	28 天	90 天
A	1#	石灰:土:煤矸石	1.17	2.21	2.43
	2#	石灰:土:煤矸石	1.55	2.22	3.18
B	3#	石灰:粉煤灰:煤矸石	1.23	2.46	4.56
	4#	石灰:粉煤灰:煤矸石	1.92	2.98	6.13
C	5#	石灰:煤矸石	0.78	1.28	1.39
	6#	水泥:煤矸石	1.94	2.93	3.65
D	7#	石灰:粉煤灰:自燃矸石	1.56	2.87	3.73
	8#	石灰:粉煤灰:自燃矸石:土	1.61	3.11	4.90

对这一试验结果进行分析对比可得出以下几点结论:

(1) 以上四组八个掺有煤矸石的混合料,其无侧限饱水抗压强度,除石灰稳定煤矸石材料之外,均能满足多种等级的道路基层的抗压强度的要求。石灰稳定煤矸石混合料的强度也达到了底基层强度的要求。可见,这种掺有煤矸石的道路基层材料在强度指标上是完全有保证的;

(2) 随着煤矸石在混合料中比例的加大,其抗压强度随之降低。这一结果在 A 组中可以有一个较直观的了解。即当煤矸石由 50% 增大到 70% 时,七天抗压强度降低达 25%。可见,根据具体条件,选择一个适宜的配合比对掺有煤矸石的基层材料的性能是很重要的;

(3) 用石灰、粉煤灰来稳定煤矸石的效果比石灰土煤矸石较好,尤其是在经历一段养生之后,二者的差异更显著。从 A、B 两组的结果对照上看,当经历三个月之后,后者最高可超过前者 90% 以上。造成这一差异的主要原因是粉煤灰的活性较高,使混合料中的反应程度大大增加。可见用石灰粉煤灰来稳定煤矸石时,能够取得较为理想的效果;

(4) 加入自燃后的煤矸石混合料其抗压强度没有预料的那样好,如 4#混合料与 7#混合料相比,加有自燃矸石的 7#混合料比没有自燃的 4#混合料的低。这可能是自燃矸石未能充分粉碎,影响了其活性的发挥。

(5) 从 C 组中的 6#可看出,只用 4% 的水泥就能获得较高的抗压强度,尤其是在七天龄期时便很明显,这样可以最大限度地利用煤矸石,可见用水泥来稳定煤矸石是一种行之有效的利用煤矸石的方法。

3.2、抗弯拉强度

路面材料在使用期间,不仅受到荷载的垂直作用力,而且还要同时受到水平方向的拉应力和剪应力的作用。因此,对煤矸石类基层材料的抗弯拉强度以及抗弯拉回弹模量的测定是很有必要的。测试的方法按照有关规范采用机测法,对养生一段时间的小梁进行试验,结果见表 4:

煤矸石混合料的抗弯拉强度及回弹模量

表 4

编号	混合料	抗弯拉强度 (Mpa)	抗弯拉回弹模量 (Mpa)
1#	石灰:土:煤矸石	0.458	3381
2#	石灰:土:煤矸石	0.492	4452
3#	石灰:粉煤灰:煤矸石	0.563	4838
4#	石灰:粉煤灰:煤矸石	0.614	6538
5#	石灰:煤矸石	0.311	2961
6#	水泥:煤矸石	0.559	4181
7#	石灰:粉煤灰:自燃矸石	0.618	4368
8#	石灰:粉煤灰:自燃矸石:土	0.510	4277

对表 4 进行分析,可看出随煤矸石量的增加,其抗弯拉强度降低;用二灰稳定煤矸石效果最好,且随石灰、粉煤灰的比例加大而效果提高;当单一用石灰稳定煤矸石时,其抗弯拉强度最低;而单纯水泥稳定煤矸石的效果就有了较大的改善。

基层材料能形成抗弯拉强度的主要原因是其内部各种成分之间发生化学反应之后,由生成的胶结物所造成的固化凝聚力。根据这一理论可知,正是在石灰、粉煤灰与煤矸石混合料中发生了较显著的化学反应,产生了较多的胶结物,因而显示出较高的抗弯拉强度。因水泥自身水化硬化的性能使得水泥稳定煤矸石的抗弯拉强度明显高于石灰稳定煤矸石。同理,随煤矸石比例增大而抗弯拉强度降低的现象,则说明了这是混合料中煤矸石的反应能力低,生成胶结物少的原因。

根据材料力学可知,抗弯拉回弹模量表明了路面材料抵抗外力作用的变形能力即刚度的大小。抗弯拉回弹模量越高,则加固土的刚性越大,抵抗外力作用的变形能力就越强。由表 4 可以看出,不同配比混合料的抗弯拉回弹模量变化的规律基本上符合上述其它性质的变化规律,进一步说明了这几种材料性能上的好坏。

3.3、冻融稳定性

我们采用五次冻融后与冻融前的抗压强度进行对比,来分析材料的冻稳性,现将试验结果列于表 5:

煤矸石混合料冻融前后的抗压强度

表 5

编号	混合料	抗压强度 (Mpa)		
		冻融前	冻融后	强度降低%
1#	石灰:土:煤矸石	2.43	2.37	2.5
2#	石灰:土:煤矸石	3.18	3.09	2.8
3#	石灰:粉煤灰:煤矸石	4.56	4.52	0.9
4#	石灰:粉煤灰:煤矸石	6.13	6.08	0.8
5#	石灰:煤矸石	1.39	1.36	2.2
6#	水泥:煤矸石	3.65	3.58	1.9
7#	石灰:粉煤灰:自然矸石	3.73	3.71	0.5
8#	石灰:粉煤灰:自然矸石:土	4.90	4.87	0.6

从试验结果可见,试件经五次冻融后仍具有较高的抗压强度,其值大体与冻前 90 天龄期试件的强度相当。说明用煤矸石组成的混合料具有足够的冻稳性,其中以自然煤矸石混合料冻稳性最好,其次为石灰、粉煤灰和煤矸石混合料。

3.4、低温收缩性

半刚性基层具有较高的强度、良好的稳定性以及较大的刚度等特点。然而,由于半刚性基层性脆,在温度及湿度发生变化时易产生裂缝,并反射到沥青面层产生“反射裂缝”,使沥青面层较快地出现龟裂等病害,从而影响道路的使用品质。所以对掺有煤矸石的半刚性基层的收缩性质,尤其是随温度变化而引起的温缩状况的测试分析是必要的。测试采用应变计法,根据电阻应变计在温度改变时其阻值变化求出煤矸石混合料的温缩系数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$),其结果见表 6:

煤矸石混合料的温缩系数

表 6

编号	混合料	15℃ ~ 5℃	5℃ ~ -5℃	-5℃ ~ -15℃
1#	石灰:土:煤矸石	-12.6	-24.8	-15.2
2#	石灰:土:煤矸石	-21.9	-32.7	-16.8
3#	石灰:粉煤灰:煤矸石	-6.3	-1.61	-15.8
4#	石灰:粉煤灰:煤矸石	-13.5	-7.01	-14.9
5#	石灰:煤矸石	-8.76	-10.8	-18.3
6#	水泥:煤矸石	-19.46	-65.2	-35.65
7#	石灰:粉煤灰:自然矸石	-15.8	-7.6	-16.4
8#	石灰:粉煤灰:自然矸石:土	-25.8	-34.3	-63.4

表 6 中试验所测数据仅是固体材料在扣除水分之后,温度发生改变时的温缩情况。因此,材料的温缩值仅由材料的组成、配合比以及经一段时间养生后材料内部的新生物所决定。

对表 6 中的数据进行分析,可看出在其它性质上表现不佳的石灰稳定煤矸石却表现出较小的温缩系数。二灰土煤矸石混合料其温缩系数居中,且随煤矸石比例的增加而减小。水泥稳定煤矸石的温缩系数,比其它的混合料均高出几倍,而且在正负变温区有着最大值。

1#和 2#灰土煤矸石混合料温缩系数的差异,主要由煤矸石用量的多少和混合料生成的新生物决定。首先,温缩系数随混合料中粗粒料的增加而减小。煤矸石用量增加粗粒料含量也会提高,从而其温缩系数

降低。再则,煤矸石含有一定的惰性材料,石灰与煤矸石发生作用生成的水化硅酸钙等胶结物相应就少一些,这一结果使得这种混合料的强度发展受到限制,饱水抗压强度不很高,其温缩值也相应比较低。

尽管粉煤灰与石灰反应之后可生成较多的水化硅胶体,随温度变化有较大的胀缩性,但因粉煤灰大都是一些空心玻璃体,这种特殊的形态能有效地降低材料的收缩作用。所以,有粉煤灰的3#、4#和7#混合料所测出的温缩系数都比较低。

另外,土中粘粒是一些硅氧四面体或铝氧八面体的层状晶片,这些晶体之间的联结力很弱。这也是加有土的混合料其温缩系数较高的另一原因,8#混合料中50%的土使得该组混合料呈现出了很高的收缩值。

总之,通过上述分析可知,煤矸石混合料具有较低的收缩系数,在一定程度上可降低基层开裂进而反射到面层的不利现象。尤其是石灰、粉煤灰和煤矸石合用,具有抗压强度高且收缩值低的双重优点,是改善道路基层性能的一个较好的方案。

4、结论

4.1、煤矸石可以做基层材料使用,其混合料具有优良的工程性质。特别是将煤矸石与粉煤灰混合使用,在冻稳性和抗收缩防裂性能上,还明显优于常用的基层材料。同时也一定程度地说明,煤矸石中的硫化物和未燃碳在正常的含量范围里不会影响到煤矸石的使用品质。

4.2、掺有煤矸石的基层材料具有良好的抗压强度和抗弯拉强度。无论是用石灰、水泥单独对煤矸石进行稳定处理,还是利用石灰、粉煤灰对煤矸石进行综合加固,大多都可满足多种等级道路基层的强度要求。这一点对不同条件下,因地制宜合理地利用煤矸石做道路基层材料具有很重要的意义。

4.3、道路基层对煤矸石的利用量大,是废物利用改善环境的有效途径。初步估算修筑一条12米宽的二级公路,当基层厚度为25厘米时,1公里煤矸石用量达5600~7800吨之多,可见对工业废渣的处理是十分可观的。而且道路基层利用的煤矸石的成本仅为常用材料的三分之一,它的经济效益和社会效益是显著的。因此,煤矸石做道路基层材料具有较高的广泛的推广价值。