

文章编号: 0451—0712(2005)10—0082—04

中图分类号: U416.1

文献标识码: B

# 用煤矸石填筑高速公路路基

刘元泉, 胡益众

(路桥集团第一公路工程局 北京市 100024)

**摘 要:** 本文旨在介绍煤矸石的材质特性,作为路基填料需要满足哪些要求,施工中应注意哪些问题以及路用煤矸石对保持环境和促进可持续发展有哪些积极影响等几个主要方面。为在国内公路工程行业推广煤矸石(新材料)施工(新工艺)提供一些有益的参考。

**关键词:** 煤矸石; 路基填料

路基作为高速公路的主要构造物,其填方部分需要大量的土方。在土地资源 and 环境压力都很大的前提下,如何正确地解决好路基的填料问题,做到既修好高速公路又尽可能地节约土地资源和保护环境,是目前我们广大筑路人面临的一项迫切任务;利用煤矸石填筑路基则不失为一种有益的尝试和探索。何谓煤矸石?有什么物理化学特性?作为高速公路路基填料需要满足哪些要求,有什么路用特性?施工工艺上有哪些区别于土路基的地方?路基填料采用煤矸石有什么意义?结合河南省平顶山至临汝高速公路利用煤矸石填筑路基的工程实践,本文着重阐述这几个方面的问题。

## 1 工程概况

平顶山至临汝高速公路是交通部“国家重点公路建设规划”中所确定的16条东西向干线之一的上(海)洛(阳)国家重点公路之重要段落,也是河南省干线公路网规划确定的“五纵、四横、四通道”中的一横。按双向四车道高速公路标准设计,路基总宽度28 m。该项目的No. 4合同起迄桩号为K18+000~K28+200,全长10.2 km,路基填方2 150 274 m<sup>3</sup>,全部用煤矸石填筑,粘土包边。该标段2003年12月开工,2005年7月完工。

## 2 煤矸石的材质特性

煤矸石是煤在形成过程中与煤伴生或共生的一种坚硬岩石,是煤炭开采生产过程中的副产品。煤矸石主要属于沉积岩,分页岩、泥岩、砂岩3类,3类基

本同时存在。煤矸石中含有较低的碳,主要矿物成分是伊利石、高岭石等粘土矿物以及石英、云母、长石和少量的碳酸盐和硫铁矿等,从总体上说煤矸石属于黏土质原材料。此外,它伴有许多开采附属物如煤块、木条、雷管、铁件、防水布、波纹塑料管、橡胶管等等。煤矸石呈黑、褐色,层状结构,油脂光泽,较易粉碎,路基成型后,其表面平整、密实。在暴露淋雨、浸水情况下,极小部分粗颗粒自然碎裂成粉状或片状。矸石有自燃现象,显现在存放时间长的矸石山,自燃后的煤矸石呈暗红色。

## 3 煤矸石的路用特性

平临高速公路4合同段,位于平顶山市南部郊区,周围有数座矸石山,为了验证其路用性能,根据相关规范要求,选择有代表性的矸石材料,进行了路用特征指标试验。

### 3.1 天然级配

用筛分法进行粒度分析,计算各筛孔的累计筛余百分率,得出煤矸石的颗粒级配。筛分结果见表1。

表1 煤矸石天然样筛分结果(通过率%)

筛孔 mm	60	40	20	10	5	2	0.5	0.25	0.1	0.074
4号矿	91.8	78.9	58.7	22.2	8.2	4.0	0			
5号矿		96.2	58.9	38.5	36.8	7.7	12.3	4.5	0.5	0.1
9号矿		89.2	72.4	51.6	35.1	16.9	11.2	4.7	1.5	0.2
11号矿		90	72.8	49.6	28.4	11.5	9.0	4.7	2.3	0.7

从表1 可以看出4 号矿的煤矸石级配较差,粗颗粒成分较多。粒径>40 mm 的煤矸石占 10%~20%。相对而言 5 号矿煤矸石级配良好。

3.2 天然含水量

表 2 煤矸石天然含水量测试结果

测试组	第一组 %	第二组 %	第三组 %	平均含水量 %
5 号矿	4.9	5.4	5.0	5.1
9 号矿	3.8	4.3	4.7	4.3
11 号矿	7.5	7.0	6.6	7.0
12 号矿	2.7	3.4	2.5	2.9

3.3 液塑限

路基填料塑性指数的高低反映填料中粘粒含量的高低。用煤矸石作路基的填筑材料,必然要了解煤矸石的界限含水量,依据《公路土工试验规程》(JTJ 051-93)的规定,表 2 中所列几个矿堆矸石的塑性指数 $I_P$  分别为6.1,7.2,7.4,9.7,均小于10,见表 3。由此可以看出,煤矸石与土在性质上存在显著差异。

表 3 煤矸石液塑限试验结果

矿区	5 号矿	9 号矿	11 号矿	12 号矿
$W_L$	30.1	29.5	28.0	28.2
$W_P$	22.2	19.8	21.9	21.0
$I_P$	7.4	9.7	6.1	7.2

3.4 击实特性

通过击实试验,确定煤矸石的最大干密度和最佳含水量。

3.4.1 标准击实试验

首先对各矿区煤矸石试样按照 5~40 mm 颗粒占 0~40 mm 颗粒的 20%、30%、40%、50%、60%、70%、80% 分别进行标准击实试验,结果见表 4。

3.4.2 超尺寸颗粒的校正

当试样中大于规定最大粒径的超尺寸颗粒的含量为 5%~30%时,按下式对试验所得最大干密度和最佳含水量进行校正(超尺寸颗粒的含量小于 5%时,可以不进行校正)。

最大干密度按下式校正:  
$$\rho_{dm}'=\rho_{dm}(1-0.01p)+0.9\times0.01pG'_a$$
  
式中: $\rho_{dm}'$ 为校正后的最大干密度,g/cm<sup>3</sup>;  $\rho_{dm}$ 为试验所得的最大干密度,g/cm<sup>3</sup>;  $p$ 为试样中超尺寸颗粒的百分率,%;  $G'_a$ 为超尺寸颗粒的毛体积相对

表 4 煤矸石的最佳含水量及最大干密度

5~40 mm 颗粒含量	项 目	5 号矿	9 号矿	11 号矿	12 号矿
20%	最大干密度/(g/cm <sup>3</sup> )	1.90	1.2	1.98	1.8
	最佳含水量/%	8.2	6.1	6.2	7.5
30%	最大干密度/(g/cm <sup>3</sup> )	1.94	1.9	2.04	2.01
	最佳含水量/%	7.4	7.6	8.2	8.6
40%	最大干密度/(g/cm <sup>3</sup> )	1.99	1.93	2.02	1.98
	最佳含水量/%	7.6	9.0	7.9	8.2
50%	最大干密度/(g/cm <sup>3</sup> )	2.02	2.03	1.98	2.01
	最佳含水量/%	5.8	5.2	6.7	7.3
60%	最大干密度/(g/cm <sup>3</sup> )	2.05	2.04	1.89	2.02
	最佳含水量/%	5.7	7.0	8.9	7.4
70%	最大干密度/(g/cm <sup>3</sup> )	2.10	2.10	2.08	2.06
	最佳含水量/%	6.5	7.0	7.6	7.8
80%	最大干密度/(g/cm <sup>3</sup> )	2.14	2.11	2.10	2.02
	最佳含水量/%	8.5	5.6	7.1	8.5

密度。  
最佳含水量按下式校正:  
$$w'_0=w_0(1-0.01p)+0.9\times0.01pw_a$$
  
式中: $w'_0$ 为校正后的最佳含水量,%;  $w_0$ 为试验所得的最佳含水量,%;  $p$ 为试样中超尺寸颗粒的百分率,%;  $w_a$ 为超尺寸颗粒的吸水量。  
3.4.3 绘制、查找修正曲线  
根据校正的最大干密度、最佳含水量和5~40 mm 颗粒占 0~40 mm 颗粒的含量来绘制修正曲线图。如平煤 5 矿的煤矸石标准击实修正曲线见图 1。

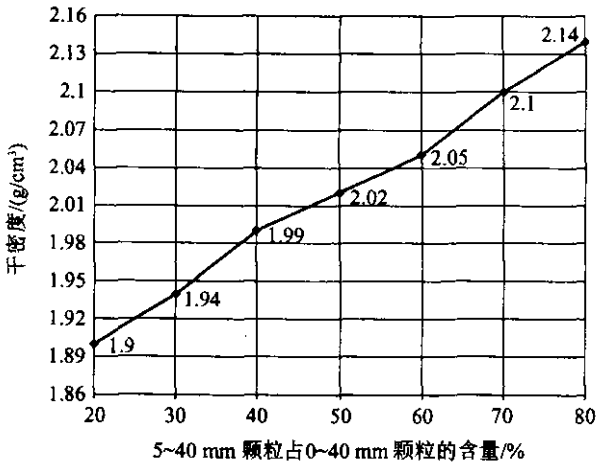


图 1 标准击实修正曲线

现场检测压实度时,根据试坑内煤矸石中 5~40 mm 颗粒占 40 mm 以下颗粒含量,在标准击实修

正曲线中查找对应的最大干密度来计算现场煤矸石的压实度。

### 3.5 自由膨胀率

由于煤矸石中含有少量的伊利石、蒙脱石,对各矿区取用的煤矸石应做自由膨胀率试验。一般地,膨胀性煤矸石的含量大于50%的混合填料不能用于路基填筑。自由膨胀率计算公式:

$$\delta = \Delta h / h_0 \times 100\%$$

式中: $\Delta h$  为体积膨胀量; $h_0$  为试样原来的体积。

表5 煤矸石自由膨胀率平均值

矿区	4号矿	5号矿	9号矿	11号矿	12号矿
自由膨胀率/%	0.02	0.7	3.8	7.0	0

通过自由膨胀率的试验,平顶山各矿煤矸石属于弱膨胀性,膨胀率均小于50%,均可使用于路基填筑。

### 3.6 压碎值及承载比(CBR)

各矿煤矸石的压碎值均小于30%,就压碎值指标而言,各矿煤矸石都能满足路用要求。承载比的计算分两步。

先计算贯入量为2.5 mm的单位压力与标准压力之比作为材料的承载比(CBR):

$$CBR = P / 7\,000 \times 100$$

式中: $P$  为单位压力,kPa。

再计算贯入量为5 mm的承载比:

$$CBR = P / 10\,500 \times 100$$

如果贯入量为5 mm的承载比大于贯入量为2.5 mm的承载比,则试验重做,如果仍然如此,则采用5 mm时的承载比。依据上述方法与原则,各矿煤矸石承载比试验结果见表6,CBR值均大于公路路基填料要求的最小CBR值(8%)。

表6 煤矸石承载比试验结果

矿区	5号矿	9号矿	11号矿	12号矿
CBR值/%	18.2	11.9	20.0	15.6

煤矸石的压碎值偏大,一般在20%~30%之间,但均小于30%。CBR值较高,一般可达到15%~25%。试验数据证明煤矸石其他各项主要性能指标都符合高速公路路基填料的要求。煤矸石的压缩系数较小,压缩模量较高;路基强度远高于土路基,具有良好的力学性能。煤矸石的强度和变形性对其含水量的变化较为敏感,主要是因为煤矸石中的软岩石、残留煤、有机质、有机硫等物质的稳定性较差,煤

及有机质的“灰化”、硫分的分解或氧化会影响煤矸石的密度和结构状态,导致变形和强度降低,但强制压实后水稳性会大大改善。适量添加粘土于煤矸石并翻拌填筑有利于提高其稳定性、路基强度及抗渗性能。由以上试验数据可以看出:煤矸石的这些特性和指标说明它具有良好的路用性能,用作高速公路的路基填料是完全可行的。平临高速公路4合同段最终采用了4号、5号、11号、12号(高庄)矿山的煤矸石。

## 4 煤矸石路基施工应注意的问题

### (1) 压实度超百现象。

压实度超百是煤矸石填筑的一个非常普遍的现象,但经过超尺寸颗粒的校正后,灌砂法检测压实度可以作为煤矸石路基压实度检测的方法,超百点就只是个别点了。压实度超百的原因如下。

① 击实试验取样与路基施工填料取样存在差异。填料中粒径大于40 mm的煤矸石石块含量过多,而击实试验采用40 mm以内的煤矸石,最大干密度相对偏低,击实试验的击实标准不能体现实际填料的击实标准,按此击实标准计算压实度肯定有超百现象。

② 由于击实过程中将部分大颗粒煤矸石击碎,故击实后比击实前,5~40 mm颗粒含量变少,试验最大干密度相对偏低,颗粒校正后还有可能出现超百现象,但其影响不大,可采用校正后的最大干密度通过灌砂法进行煤矸石成型路基压实度的检测。

③ 煤矸石摊铺后,局部级配较差,细料少、骨料集中,碾压后表面不密实、松散。或者细料多、骨料少,碾压后表面浮灰多,平整度差。

(2) 为防止温度变化和水化作用等引起路基中煤矸石的风化、崩解,保证煤矸石路基的稳定性,煤矸石路基需要设置土质路拱、碎石盲沟和排水沟、土质包边和封顶。包边土宽度不得小于1.5 m。

(3) 填料分层厚度一般在30 cm左右,最大不超过40 cm,以便人工辅助机械剔除超尺寸颗粒,同时便于摊铺、平整、碾压等施工工序。采用平地机摊铺,摊铺后的煤矸石必须及时碾压,保证碾压含水量为最佳含水量 $\pm(1\% \sim 2\%)$ ,尽量做到当天摊铺,当天碾压完毕。压路机宜为振动力在20 t以上的中型或重型振动压路机。对报验合格后的成型煤矸石路基,要洒水养生,以提高路基的整体强度和稳定性。

(4) 土质路拱(包边和封顶)的填土不能为膨胀

土,边坡的填筑宽度至少为一个碾压轮宽,且不得小于 1.5 m。由于煤矸石与素土的材质不同,特别是在雨天或抢进度期间,就成型层而言,煤矸石层的水份蒸发比素土层的快,覆盖上层填料的周期比素土层要短,容易形成煤矸石填料高出素土层很多,包边土贴(煤矸石)坡碾压,也就是土和煤矸石不能同层碾压的情况;再有二者的材料性质差别决定了即使在同层施工的前提下,它们的虚铺厚度及压实功都是不同的。在考虑这些情况后,尽量使二者同层施工是保证土质路拱包边土质量的关键。

(5)尽量使用在矸石山自燃后的煤矸石,这类矸石呈红褐色,它含遇水易崩裂的石质煤或煤粉少,有利于路基的长期稳定。

(6)由于煤矸石山距离施工路线一般都较远,需要利用一些地方公路运输,所以需与当地交通部门配合,做好交通导流工作,方便居民出行,并在十字路口设置标志牌。施工地区设立明显标志,装料必须适当,不得溢料或扬尘。剔除的超粒径煤矸石块及开采附属物,沿路线边坡坡脚堆放,然后用车清理出场并集中处理,不得乱扔乱放。在矸石山坡脚处装料时,必须采取防护措施,避免山体坍塌伤人砸车。

## 5 煤矸石填筑路基的意义

煤矸石是一种固体废弃物,除了本身侵占可利用土地甚至耕地外,它的自燃、扬尘、随地表水流淌导致对地表作物、植被、水资源和大气的破坏等,都是对环境极具破坏力的因素。煤矸石既不同于土方,也不同于石方,随着其矿物成分的不同,其工程力学、物理化学特性也存在差异。煤矿的排矸石量占煤炭开采量的 10%~25%,是我国最大的废弃物资源。有关资料显示,未来 20 年,我国年均煤炭生产能力为 9.7 亿 t,矸石排量则为年均 9 700~24 200 万 t,按目前每个矸石矿堆 270 万 t,占地 10 hm<sup>2</sup> 计,则矸石矿堆年均侵占土地约 360~900 hm<sup>2</sup>。这些被侵占土地是无法恢复原状的。目前国内散布着 1 500 座矸石山,总吨位在 30 亿 t 左右,而且其年均吨位和占地增量分别为 1.5 亿 t 和 670 hm<sup>2</sup>。高速公路用煤矸石填筑路基,因其消耗量大,能在很大程度上抑制上述因素对环境的破坏。另外,煤矸石代替土填筑路

基,不需要取土坑,消除了取土对地表的破坏,从另一个方面保护了环境。从环境保护和可持续发展的层面上讲,这种经济效益是无法估量的;从直接经济效益上讲,其量也是很可观的,因为煤矸石是不用花钱或相对土资源来说花钱很少,取土则至少 5 元/m<sup>3</sup>。200 万 m<sup>3</sup> 的填筑量如果用土则费用为 1 000 万元,而用煤矸石费用则为零或很少。用煤矸石填筑路基,其意义是极为正面和积极的。

## 6 结论

(1)煤矸石作为一种路基用新材料,用来填筑高速公路路基是完全可行的,其材质特征符合路基填料路用特性的要求。这一点在本文第 3 节中已充分说明。

(2)用煤矸石作为高速公路路基填料需要满足的要求有:

有膨胀性的煤矸石占混合填料的比例不得大于 50%;

煤矸石应采用硬质煤矸石,且存放 5 年以上,严禁使用泥结煤矸石;

石料强度不应小于 15 MPa,石料粒径最大不超过压实厚的 2/3;

煤矸石中 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 总含量应大于 70%,烧失量不超过 20%,有机质含量不超过 10%;

包边土不得使用膨胀土;

作为高速公路填料时的 CBR 值 ≥ 8%,压碎值 ≤ 30%。

(3)路基边坡的包边土与路基煤矸石的分层、同层填筑是施工过程中需要认真探讨的问题,工法在这一点上要结合工程实际进一步地完善,以保证边坡稳定和路基质量。

(4)煤矸石填筑的公路其使用性能和寿命与土基相比需要长时期地比较,收集详细的数据。在人口相对密集、可利用地表相对集中、洁净水资源较为丰富的采煤区,很有必要将煤矸石用于其周边的公路和道路路基填筑。这是有百利而无一弊的事。继平临高速公路之后。河南省其他的公路工程也相继使用煤矸石填筑路基,就是一个很好的证明。