

958/96
30305

利用工业废渣修筑道路

上海市市政工程设计研究所编

中国建筑工业出版社

利用工业废渣修筑道路

上海市市政工程设计研究所 编

中国建筑工业出版社

本书主要介绍上海市多年来利用工业废料筑路的实践经验，包括石灰煤渣路面、石灰水淬化铁炉渣路面、二灰上路面及其它废渣路面；就原材料的性能、混合料的配比强度以及施工方法等，分别作了系统的阐述；此外，还将混合料试验方法，钢铁渣成粒的常用方法及其防爆措施的初步意见，列为附录，供参考。

本书可供城市建设和公路部门筑路工人和有关科技人员参考。

利用工业废渣修筑道路

上海市市政工程设计研究所 编

*

中国建筑工业出版社出版（北京西便门大街）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米1/32 印张：2 3/4 字数 62 千字

1977年5月第一版 1977年5月第一次印刷

印数：1—7,930 册 定价：0.22 元

统一书号：15040·3360

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，在无产阶级文化大革命、批林批孔斗争的推动下，我国的社会主义革命和建设事业取得了新的伟大胜利。随着工农业生产和国防建设发展的需要，交通运输事业也有很大发展。1975年上海市机动车数量为解放初的五倍，并出现了15吨、32吨载重货车和150吨、300吨的大型平板车，公共汽车的轴重亦多在10吨左右，主要干线的日交通量从数千辆到近万辆。这些日益繁重的运输任务对提高城市道路质量，提出了更高的要求。

上海市的地理条件使得筑路材料采集比较困难，而温和、潮湿的气候条件对石灰类的工业废料的利用，创造了有利因素。上海市附近缺乏砂材料，以往多远从外地运来，成本高，运输负担重。本着道路建设应当“就地取材，因地制宜”的精神，遵循“综合利用”的原则，近十余年来，利用工业废料筑路取得了初步成果，降低了筑路费用，提高了工程质量，减轻了劳动强度，节约了运费，减少了废料占地，受到了群众的称赞。

上海市的工业废料筑路是在生产实践与科学实验中逐步发展起来的。最初，仅使用工业废料中的煤渣于低级路面，起机械稳定的作用，或作路面的垫层，利用价值较低。1956年开始，城建工人和科研人员共同研究采用石灰煤渣土作路面基

层代替碎石层，取得了成功，从而为利用工业废料筑路找到了一条有效的途径。1962年首次用石灰煤渣作柔性停车站基层，解决了长期来市区停车站屡修屡坏的状况，进一步推动了石灰煤渣路面的广泛应用。它不但用于筑次要道路，也用于主要道路，市区以外，扩大到郊区。1964年在上海召开的城市道路利用工业废料筑路经验交流会上，肯定了这种路面的优越性。

无产阶级文化大革命运动中，利用工业废料筑路又有新的发展。在钢铁工人的大力支持下，化铁炉渣水淬工艺的成功应用，使大量的水淬渣变成有用的筑路材料。石灰水淬渣比石灰煤渣具有更高的强度，施工也更方便，因而迅速得到推广。近年来，这类材料亦用作为水泥混凝土路面的基层，对路面的加强与稳定起了有益的作用。此外，其它工业废料如粉煤灰、陈旧钢铁渣、硫铁矿渣、高炉干渣等在道路建筑中都获得不同程度的应用。

目前，上海市的煤渣和水淬渣供不应求，为了就地开辟更多料源，我所正与有关单位研究钢渣的水淬工艺和应用，使钢渣能在更大范围内用于建筑道路。

至1974年，上海市市区利用工业废料共修建了150万平方米的路面，占市区路面总面积17%，其中石灰煤渣占40%，石灰水淬渣占53%，在郊区利用工业废料修筑的道路有500公里，占郊区总里程29%，其中石灰煤渣占大多数，二灰土和石灰土居次，水淬渣较少。这类路面大部分已使用十年左右，90%以上处于良好和较好的状态，使用情况比较满意。

本书介绍了上海市利用工业废料筑路的经验，包括原材料性能，混合料配比与强度及施工方法等方面，重点介绍石灰煤渣路面，因此这部分写得比较详细。为了尽可能减

少重复和保持各节的独立性，相似部分只作扼要的叙述。本书编写过程中得到很多单位的大力支持，谨表示衷心感谢。由于编写成员的水平，文中可能存在着不少缺点和错误，欢迎读者批评指正。

上海市市政工程设计研究所

1976年6月

毛主席语录

独立自主、自力更生。

人民群众有无限的创造力。他们可以组织起来，向一切可以发挥自己力量的地方和部门进军，向生产的深度和广度进军，替自己创造日益增多的福利事业。

要认真总结经验。

目 录

一、石灰煤渣路面	1
(一) 概述	1
(二) 混合料的组成与基本性质	2
(三) 路面施工与质量控制	12
(四) 路面工作性能与建议厚度	24
二、水渣路面	31
(一) 概述	31
(二) 混合料的组成与基本性质	32
(三) 路面施工方法	39
(四) 路面建议厚度	43
三、二灰土路面	45
(一) 概述	45
(二) 混合料的组成与基本性质	45
(三) 路面施工方法	50
四、其它废渣路面	54
(一) 陈旧钢铁渣筑路	54
(二) 硫铁矿渣筑路	57
(三) 高炉干渣筑路	58
结 语	61
附录一 混合料试验方法	62
附录二 钢铁渣成粒的常用方法及其防爆措施 的初步意见	68

一、石灰煤渣路面

(一) 概 述

石灰煤渣（简称二渣）路面是用煤渣和石灰按一定配合比、加水拌和、碾压而成的路面。二渣中如掺入一定量的粗骨料便成为三渣。掺入一定量的土，便成为石灰煤渣土。这种路面具有较高的强度，较小的弯沉值，良好的荷载分布能力，且其强度能随时间而增长。二渣混合料具有水硬性，在水文状况不良的地段修建这种路面，与碎石路面相比，更能显示其优越性。

二渣混合料（包括三渣和石灰煤渣土）可作为柔性路面和刚性路面的基层。它的良好整体性，对于改善黑色面层的工作条件，保证软弱土基上的路面的正常使用，是很有益的。

二渣混合料系由工业废渣组成，因此有利于大搞综合利用，贯彻就地取材的原则，可以节约运输费用，降低筑路成本。

二渣混合料对原材料要求不高，施工简便，既可手工拌和又可用农业机械拌和，这对于大搞群众运动，加快施工进度十分有利。

二渣路面早期强度较低，故在冬季与雨季施工较为困难；路面质量随施工季节、施工条件及原材料品质不同而有较大波动，这是它的缺点。但通过合理的施工组织与相应的措

施，在一定程度上可以得到克服。

上海市的黑色路面使用二渣和三渣基层以来，长期存在的开裂与变形等现象已经得到了改善。以往公共车辆停车处屡修屡坏，“不是沉，就是裂”的状况也得到了解决。使用效果比较满意，劳动强度与筑路成本亦有所降低，因此受到生产单位和广大工人同志的欢迎。近几年来，由于煤渣供应紧张，才影响了它的进一步推广与发展。

(二) 混合料组成与基本性质

1. 混合料的组成

石灰煤渣混合料是由煤渣和石灰类废料组成的，它们的来源较广，材料的化学成分和粒径的变化较大，为了充分利用工业废料，除了适当考虑有利于煤渣与石灰的相互作用和物理成型以外，通常对原材料并无严格要求。

(1) 煤渣

上海市常用的几种煤渣的化学成分和粒径列于表 1-1 与表 1-2。这些煤渣的松容重约为 $0.7 \sim 1.1$ 吨/米³。实际使用情况都较良好。

常用煤渣的化学成分(%)

表 1-1

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	含 煤 量	石灰吸收值 (毫克/克)
40~60	25~35	5~10	1~10	0.5~1	2~18.5	3~11

试验表明：细煤渣组成的混合料的强度一般比粗煤渣的为高，这是因为细煤渣的比面积较大，有利于煤渣与石灰的相互作用。但细料对含水量较为敏感，水分较多时，在碾压过程中易于发软起拱，如掺加适量的粗颗粒则比较稳定，有

常用煤渣的粒径分析(保留%)

表 1-2

筛 孔	编 号							建议范围
	甲	乙	丙	丁	戊	己	庚	
40	1.1				5.3	6.3		<15
25	4.2	3.1	1.5	3.6	22.3	14.1	1.6	
15	12.2	18.8	7.1	18.1	51.5	21.8	28.1	
5	42.7	73.3	45.8	51.1	80.5	50.0	87.3	
2.5	71.9	86.6	70.5	68.0	92.5	65.6	93.9	
通过 5	(57.3)	(26.7)	(54.2)	(48.9)	(19.5)	(50.0)	(12.7)	<60
通过 2.5	(28.1)	(13.4)	(29.5)	(32.0)	(7.5)	(34.4)	(6.1)	

助于结构层的成型。当然，粗颗粒太大、太多，也不适宜，通常以采用兼有粗细颗粒的统货煤渣为好，既可节约原材料的加工（筛分）工作，又有利于基层的成型和早期强度。这类统货煤渣的细料（小于5毫米）含量一般不多于60%，过大颗粒（大于40毫米）含量一般不多于15%。通常，煤渣中的大块经过拌和机具的拌和和压路机的碾压后绝大部分都能破碎到40毫米以下，施工时只须把极少数留在表面上的过大颗粒剔除或打入下层就可以了。

煤渣中未燃尽的煤质影响煤渣与石灰的相互作用，它们本身又是混合料中的薄弱环节，因此含煤量不宜过多，一般以不超过20%为宜。

煤渣中的垃圾杂质应于使用前尽量清除。

（2）石灰

为了充分利用工业废料，上海市采用石灰类废渣（如石灰渣和电石渣等，松容重约0.4~0.6吨/米³）来代替建筑石灰，石灰渣的活性氧化钙含量应大于20%。

石灰渣应在使用前1~2周充分消解，以免在路面成型

后因石灰继续消解而造成结构层松散或破坏。

石灰类废渣暴露在空气中，其中的活性氧化钙成分因碳化而有所损失。堆存越久损失越多，渣堆表面较里面的损失为大（表1-3）。在石灰堆置时间较长时，应尽量堆成大堆，并予浇水，以减少损失并避免飞扬。

石灰渣陈置期的氧化钙含量变化 表 1-3

堆 置 时 间	渣 堆 里 面	渣 堆 表 面
原 来	60.1%	60.1%
7 天	58.1%	55.5%
14 天	58.3%	55.3%
28 天	50.4%	39.5%

（3）粗骨料及土

用于三渣的粗骨料可用石料、碎砖、稳定的矿渣以及其它粒料，粒径应在35~50毫米左右。用于煤渣石灰土的土可尽量采用当地表土，但腐殖质宜小于10%。

2. 混合料的配合比

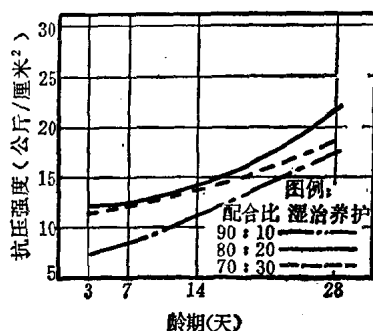
混合料的配合比应该在生产实践与试验研究相结合、技术性能与经济条件相结合的基础上选定。上海市石灰煤渣混合料的配合比，就是考虑了生产实践中的试用经验，结合室内混合料配合比试验（参见附录）来评定的。这项试验是用人工配制的不同级配的煤渣，掺以不同比例的石灰而制成试件，测定其在湿治养护条件下的抗压强度，以比较其好坏。试验资料如图1-1所示。由图可见：粗煤渣混合料以石灰：煤渣为20：80，细煤渣混合料以30：70（重量比）的强度为好，因此，混合料配合比可按煤渣粒径的粗细而变化，在石灰：煤

渣为 20~30:80~70 的范围内，相应的体积比大致为 1:2~1:3。这个结论同三轴试验中抗剪强度最高的配合比(20:80)是相一致的，同时也为几年来的生产实践所证实。

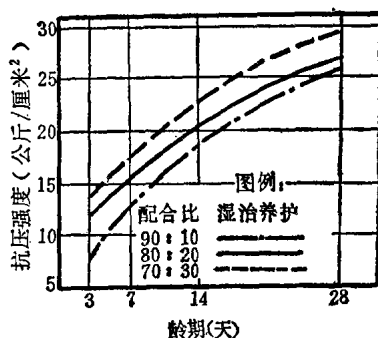
除了煤渣粒径以外，在生产中还应考虑拌和方法 and 石灰的类型。通常，在煤渣较细时，用人工拌和或石灰在混合料中的分布不易均匀时及用钢厂石灰渣（它的活性氧化钙含量往往比电石渣低而颗粒又较粗）时，可以选用石灰剂量的中~上限（25~30%）；而在煤渣偏粗时，用机械拌和或石灰分布比较均匀时及用电石渣（它的氧化钙含量一般较高而颗粒较细）或新石灰渣时，则可选用其中~下限（20~25%）。

在施工规模较大，原材料又有较大变化时，事先做一次配合比试验，然后再确定实用配合比将更为妥当。

三渣的配合比目前还没有一套适当的试验方法，通常按经验选定，常用体积比为石灰:煤渣:粗骨料 1:2~3:2~4（粗骨料有级配时多用些，同粒径时少用些）。



(a) 粗煤渣



(b) 细煤渣

图 1-1 二渣配合比与抗压强度关系

上海市的石灰煤渣土是用本土代替一部分石灰而以煤渣为主体的混合料。这与我国北方所用的以本土为主体的混合料有较大的差别。常用配合比为石灰:土:煤渣15:15:70(重量比)。由于上海市土的来源很不方便,加上施工比较麻烦,目前这类混合料已很少采用。

综合试验资料,可以认为石灰与煤渣之间应有一个适当的比例,以保证混合料中活性成分的相互作用,使强度能够正常增长。在一定范围内增加石灰剂量时,混合料的强度亦随之提高,但超过这个范围后,强度反而有所降低。这是因为在前一种情况下不足以完成石灰与煤渣的相互作用,在后一种情况下一部分多余的石灰在混合料中形成了薄弱结构,都影响了混合料的强度。因此,以为“多加点石灰总是好”的想法是不符合实际,也不符合技术、经济上的要求。

3. 抗压强度及其影响因素

抗压强度是混合料的基本力学性质。影响强度的因素很多。根据对采用不同粒径的煤渣、不同配合比和不同养护条件的试件所作的试验表明:

(1) 混合料抗压强度随时间(龄期)而增长,其增长的速率与大小同煤渣的颗粒组成及养护方法有关:

甲、煤渣粒径的影响(图1-1)较配合比的影响为大,细煤渣混合料的强度一般比粗煤渣混合料为高。对同一种煤渣来说,则不同配合比的混合料的强度也不同。

乙、养护方法对抗压强度也有影响。试件成型后置于室内空气养护条件下的初期强度增长较快,成型后立即处于湿治养护条件下的初期强度增长较慢,而以后逐渐加快。在成型后先予空气养护然后加以湿治对混合料的强度增长较为有利。

根据室内试验结果，在 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$ 的湿治养护条件下，二渣28天的抗压强度为 $20\sim 30$ 公斤/厘米²，7天强度为28天强度的 $0.5\sim 0.7$ 倍，60天强度为28天强度的 $1.1\sim 1.4$ 倍。

(2) 施工条件对混合料强度也有显见的影响。

首先是混合料堆置时间对强度的影响。在二渣路面施工中，往往会涉及混合料的预拌与陈置问题。图1-2表明，在温暖季节，含水量较大的混合料在堆存初期取用时，其强度比新拌混合料有所提高；但堆置过久（例如一个月）后取用，则强度有下降趋势。含水量较小的混合料在堆置一个月内取用，其强度基本上没有变动。这就为集中拌和提供了有利条件。当混合料可能堆置较久时，应适当控制含水量，以免结硬后装运困难。

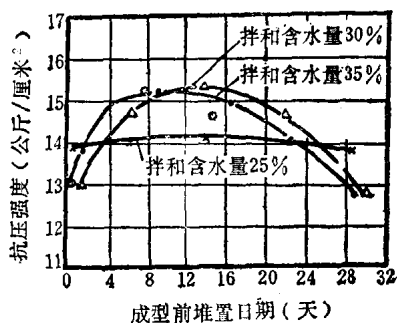


图 1-2 混合料堆置时间对强度的影响

其次是成型含水量和干容重对抗压强度的影响。室内试验和施工实践都证明了混合料的成型含水量、干容重与抗压强度之间存在着密切的关系。在一定的压实功能下，有一个与之相适应的成型含水量和最大干容重（图1-3、1-4），在这种条件下成型的混合料抗压强度最大（图1-5）。

图示资料表明：

甲、混合料成型含水量随成型压力的增加而减小，而干容重则随之而增大。当成型压力为一定时，用较细煤渣的混

合料较之用较粗煤渣的成型含水量为大而干容重较小，反之亦然。

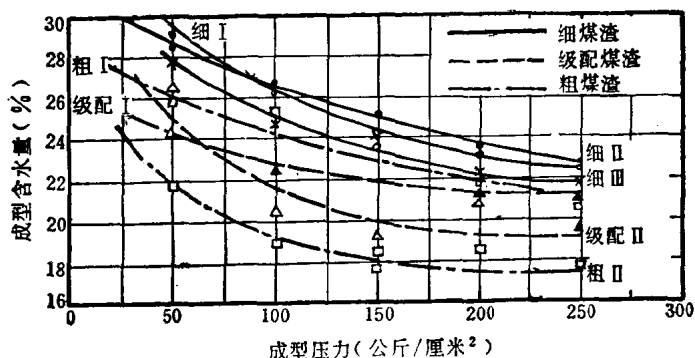


图 1-3 二渣成型压力与含水量的关系

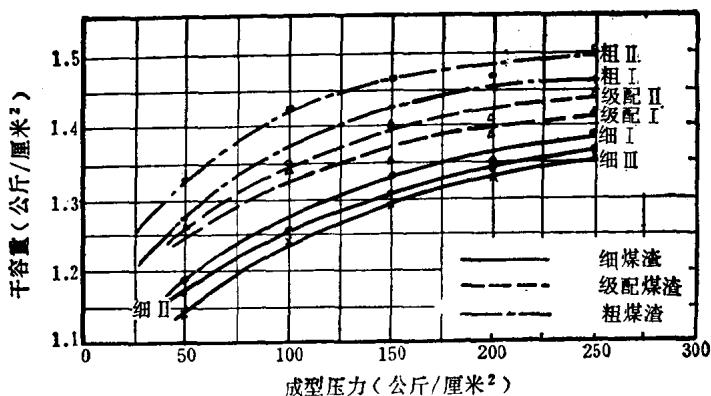


图 1-4 二渣成型压力与密实度关系

乙、对于同一种混合料来说，成型干容重较大的，其抗压强度也较大。在常用范围内，当干容重相差 2 % 时，其早期强度相差约 5 %，当干容重相差 5 % 时，早期强度相差可达 20 %。

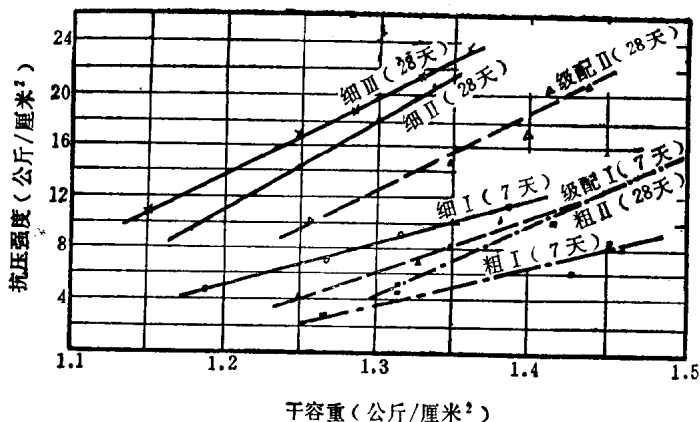


图 1-5 二渣密度与抗压强度关系

丙、当混合料试件的干容重相同，而所用的原材料和成型条件不同时，它们的抗压强度也随之而异，一般用细煤渣的混合料的强度比用粗煤渣的为高。这是由于粗煤渣本身的松容重较大，达到与细煤渣混合料同样干容重时它所耗的压实功能较小，更主要的是由于细煤渣与石灰的相互作用进行得比较充分的原因。

此外，养护温度对抗压强度也有重要的影响。温度越高混合料强度增长越快。在 0°C 左右，强度增长缓慢甚至停止。因此，二渣在冬季施工比较困难，而热季则是有利的施工季节。

4. 混合料的其他力学性质

(1) 混合料的抗剪强度

经用三轴压力仪对三种不同配合比的石灰煤渣混合料的早期抗剪强度进行了试验（试件尺寸 $\phi 7 \times 14$ 厘米）。

试验结果示于图1-6至图1-9和表1-4。由此可以看出：