

德国钢渣特性及其在路面工程中的综合利用

赵青林^{1,2}, 周明凯¹, Jochen STARK², Ernst FREYBURG²

(1. 武汉理工大学 材料学院/硅酸盐材料教育部重点实验室 武汉市 430070;

2. Bauhaus-Universität Weimar, F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde 德国魏玛 99423)

摘 要: 德国在钢渣处理方面有不少可以借鉴的地方。通过深入实际对德国钢渣的调查研究,详细报道了德国钢渣的主要种类,获取方式及不同工艺处理下各钢渣的特性,并对德国钢渣的排放及其在路面工程中的综合利用情况进行阐述,最后展望我国在钢渣性能改善及综合利用方面的发展前景及今后的研究趋势。

关键词: 德国; 钢渣; 综合利用

如何有效地对钢渣进行综合利用一直是摆在我国科技工作者面前的一项艰巨任务。我国在工业废渣处理方面也取得了不少的成绩和经验,但在钢渣的综合利用方面还待进一步完善。德国每年仅约10%的钢渣由于质量原因而暂不作循环利用之列而堆弃于堆场,另有约5%的钢渣可循环利用但鉴于其他原因暂存放在堆场。这表明德国在冶金渣处理方面已有充足的经验。资料亦显示,钢渣在德国的循环利用已形成了系列完善的处理系统,并且有相应的已严格贯彻实施的政策法规^[1~7]。在此希望通过详细报道德国钢渣的特性及其利用情况,从而对我国的冶金渣处理有所启迪和借鉴。

1 德国钢渣的获取方式及其特性

钢渣是一种冶金渣。德国冶金渣的主要种类为高炉炉渣(德文原名:Hochofenschlacke,又可分为慢冷型晶态高炉块渣Hochofen-stückschlacke,简称HOS和水淬急冷型非晶态矿渣Hüttensand,简称HS等二种类型),钢渣(Stahlwerksschlacke,简称SWS)及铁合金渣(Sekundärmetallurgische Schlacke)等^[8,9]。钢渣与其他冶金渣一样是一种矿物熔渣,它于1 650℃下生铁或海绵铁、废钢和造渣剂(CaO, CaF₂)在加工成钢的过程中形成的,故由铁的氧化物,其他金属氧化物以及用于形成炉渣的生石灰或者煅烧白云石构成。根据钢的生产方式不同,目前德国钢渣主要为纯氧顶吹转炉钢渣(Linz-

Donawitz-Schlacke,该转炉钢渣是通过林茨·多纳维茨法即LD法生产钢时得到的,目前约占德国钢渣总量的75%^[10],简称LDS)及电炉钢渣(Elektroofenschlacke,目前约占钢渣总量的25%,简称EOS)。其他类型的钢渣如西门子·马丁钢渣(Siemens-Martin-Schlacke,采用西门子·马丁法生产钢时得到的渣,1993年该工艺废止^[11])和托马斯钢渣(Thomas-Schlacke,采用托马斯法生产)等目前在德国已经不再产生,因为该类型生产工艺已在德国被淘汰。但在德国目前还存在较多尚未利用而存放的西门子·马丁钢渣。另外出于环保的目的,德国杜伊斯堡冶金渣研究协会(Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken e. V.)^[12]为改善转炉钢渣的安定性,在不进行露天存放的情况下,研究出一种特殊的液态渣处理方法,从而来降低游离氧化钙和方镁石含量。粒化钢渣(德文名为LD-Granulat,简称LDG)便为在该过程中形成的产物。粒化钢渣作为一种新的品种目前在德国正倍受关注。

德国目前主要的钢铁生产方式及相应产生钢渣的过程如图1所示。由图1可见,钢渣的获取主要通过两个不同的生产工艺:转炉钢渣是在采用吹制法工艺生产钢时产生的;而电炉钢渣则在电炉法中产生。图2示出了当前德国钢渣生产产地^[12]。该地理分布表明,冶金渣在德国可在不同的州作矿质材料使用。

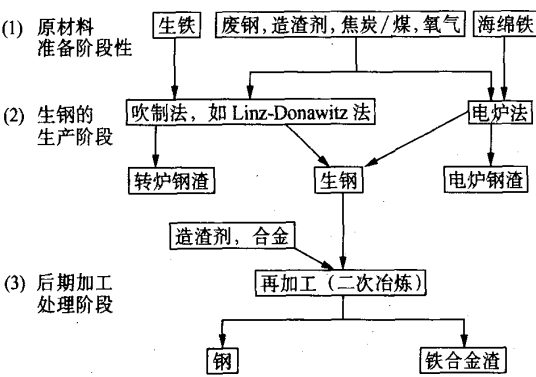


图1 德国钢渣获取途径示意^[9]

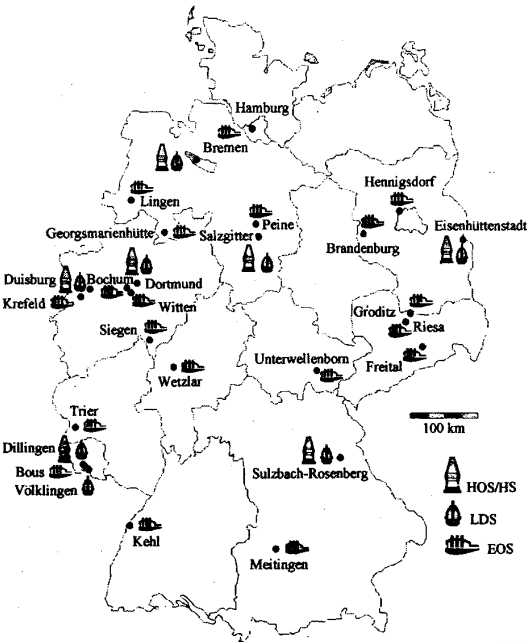


图2 冶金渣在德国的分布^[11]

不同钢铁生产工艺得到的钢渣在化学分上也存在区别，但其主要化学组分为 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 以及 Fe_2O_3 。表1列出了转炉钢渣、电炉钢渣的

化学组分区间。一般转炉钢渣的碱度（按 CaO/SiO_2 ）为 2.8~5.0，生产高合金化钢时产生的电炉钢渣其碱度为 1.6~2.9，生产未合金化或低合金化钢时产生的电炉钢渣其碱度为 2.2~3.1^[13]。

由于钢渣中含有一定量的铁化合物，故一般情况下钢渣的体积密度为 $(3.2\sim3.6)\times10^3\text{ kg/m}^3$ ^[11]。若钢渣在沥青混合料中应用时，按通用的测试标准往往会由于钢渣高的体积密度而导致超过规范所规定的允许值，故该矿质混合料中胶凝材料的含量必须按体积百分比来计算。

矿物组成可表征出钢渣的使用性能。对钢渣而言，冶炼方法和钢水成分直接影响到钢渣的物相组成和含量，再加上造渣材料的变化，冶铁时间的不同，使得钢渣中物相变得非常复杂。钢渣中最常见的晶体有硅酸二钙、硅酸三钙及铁酸钙等，并常含有游离态氧化物，特别是游离态氧化钙，不同的钢渣其晶体形貌亦存在很大的区别^[14]。当氧化镁的总量大于 3% 时在特定条件下也可以产生游离氧化镁（方镁石）。在 LD 法及电炉法生产钢时钢渣的主要组分为硅酸二钙（见表2），该组分对钢渣的使用性能具有特别的意义。若硅酸二钙在冷却过程中发生晶型转变，随之体积增大而易导致钢渣的粉化。当然如今在德国已有多种方法来阻止渣的粉化。

钢渣的体积安定性是和游离氧化钙、游离氧化镁的含量紧密相连的。在潮湿的环境中游离氧化钙和游离氧化镁所进行的水化可造成体积的成倍增长。尽管钢渣的体积安定性可由游离氧化钙和游离氧化镁的含量来评价，但在德国更可靠的是采用德国冶金渣研究协会下设的研究所研制出的测试方法来测定其体积增长率，该法已在相应的测试规程中述及^[15]。经过砂和氧后期处理后得到的粒化钢渣一般安定性非常好，且该粒化钢渣粉末还可用作碱集料反应阻蚀剂^[16]。

表1 德国钢渣的化学组分^[13]

| 类别 | $\text{CaO}/\%$ | $\text{SiO}_2/\%$ | $\text{MgO}/\%$ | 总 Mn/% | 总 Fe/% | $\text{Al}_2\text{O}_3/\%$ | $\text{Cr}_2\text{O}_3/\%$ | $\text{P}_2\text{O}_5/\%$ | 总 S/% | CaO/SiO_2 |
|--------------------|-----------------|-------------------|-----------------|---------|--------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|
| LDS | 46~53 | 13~16 | 1~4 | 1.8~4.8 | 14~19 | 1~4 | 0.2~0.4 | 1.2~1.8 | <0.2 | 2.8~5.0 |
| EOS ⁽¹⁾ | 37~40 | 14~28 | 7~13 | 2.6~4.1 | 6~7 | 5~13 | 5~19 | <0.1 | <0.4 | 1.3~2.3 |
| EOS ⁽²⁾ | 26~38 | 11~16 | 3~10 | 3.5~5.5 | 24~40 | 3~6 | 0.7~2.7 | 0.5~0.8 | — ⁽³⁾ | 1.7~4.0 |

注：(1)表示未或低合金化处理时得到的钢渣；(2)表示高合金化处理时得到的钢渣；(3)表示无统计数据。

表2 钢渣的矿物组分^[13]

| 矿物组分名称 | 硅酸二钙 | 硅酸三钙 | 铁酸二钙 | RO相，即碱土金属氧化物固溶体 | 游离石灰 | 方镁石 |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|---|---|-----------------|-----------------|
| 化学式 | $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ | $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ | $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $(\text{Ca}, \text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn}, \dots)\text{O}$ | 游离 CaO | 游离 MgO |

在技术特性上钢渣显示出同自然石的相似性。由表 3 可见^[17],与天然石相比转炉钢渣及电钢渣显示出极好的技术特性,其亦与德国标准“道路工程中

矿质料的技术交货条件”TL Min—StB2 000^[5]所规定的道路工程用矿质混合料的要求相符。

表 3 道路工程用冶金渣的技术要求^[17]

| 控制指标 | | 单 位 | 材料种类 | | |
|--------------------|----------------|-------------------|----------------------|----------------------|------|
| | | | 钢渣Ⅰ级 | 钢渣Ⅱ级 | 钢渣Ⅲ级 |
| 钢渣碎石体积密度 | | g/cm ³ | ≥2.8 | ≥2.8 | ≥2.8 |
| 抗冻融性 | 剥落率 | % | ≤3 | ≤3 | 必须给出 |
| | <0.71 mm 粒径的总量 | | ≤1 | ≤1 | 必须给出 |
| 游离氧化钙含量 | | % | ≤4 | ≤7 | 必须给出 |
| 蒸气试验体积损失率 | | % | ≤5 | ≤5 | 必须给出 |
| 钢渣细碎石的抗冲击性 | | % | ≤26 | ≤26 | — |
| 钢渣粗碎石的抗冲击性 | | % | ≤29 | ≤29 | — |
| 常压下的吸水率 | | % | ≤4 | ≤4 | ≤6 |
| 细碎石振实堆积密度 | | g/cm ³ | ≥1.5 | ≥1.5 | ≥1.5 |
| 粗碎石振实堆积密度 | | g/cm ³ | ≥1.5 | ≥1.5 | ≥1.5 |
| 在水管理中应注意事项 | | | 适用于所有质量等级 | | |
| | | | LDS | EOS | |
| — pH 值 | — | — | 10~13 | 10~12.5 | |
| — 导电率 | mS/m | | ≤100 | ≤150 | |
| — Cr ⁶⁺ | mg/l | | ≤0.02 | ≤0.03 | |
| — F ⁽¹⁾ | mg/l | | ≤2.0 ⁽²⁾ | ≤2.0 ⁽²⁾ | |
| — V | mg/l | | ≤0.10 ⁽³⁾ | ≤0.10 ⁽³⁾ | |

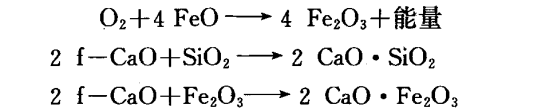
注:(1)仅在钢的生产过程中当采用含氟外掺物时需确定;(2)当应用在透水层中或透水层下时,可放宽至 6.0 mg/l;(3)当应用在透水层中或透水层下时,可放宽至 0.25 mg/l。

2 德国改善钢渣性能的最新处理方式

钢渣品质受整个钢生产工艺的影响,不同工艺制度和不同渣后期热处理方式会影响钢渣的物化特性,而钢渣的不同特性决定其应用于不同的领域。对于转炉钢渣,其化学组成本质上取决于按 Linz—Donawitz 法(即纯氧顶吹法)生产钢过程中所使用的原材料,如生铁、石灰和其他添加物。相应过程条件的选择决定了渣的温度和组成。如果不采用下面即将述及的用砂和氧来处理的话,为改善转炉钢渣的安定性通常采用自然存放。

若经过主要反应至出渣后渣的安定性不能达到要求低的游离氧化钙和氧化镁的含量,并且不进行露天存放的情况下,可在出炉与钢分离后采用一种有针对性的特殊渣处理方法,以便达到应用所需的安定性^[18~20]。该法是将可降低碱度的材料,如砂加入至液态渣中。为使添加物均匀分布及充分透彻的混合,常采用载体。当采用氧气作为载体时,可在铁

及铁化合物氧化时释放热,该热对于添加物的完全熔融具有重要的意义。随后转炉钢渣的冷却亦采用在渣床上空气冷却的方式。当然它也可以再继续加工成肥料使用。但该法需要投入较高的费用,目前在德国暂还未大面积推广,只在部分钢铁厂试用(如 ThyssenKrupp Stahl AG 等)。其后期处理工艺流程示于图 3。当采用氧气和砂做处理材料时,其化学反应式为:



通过该法处理后得到的钢渣称为粒化钢渣。E. Lang 等人^[10]的研究表明,用该渣配置混凝土砂浆的工作性能和力学性能均不错。

为成功获得水工工程所需的粗粒径,可使转炉钢渣在渣床上超慢冷却,从而获取到 100~500 mm

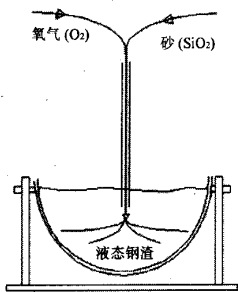


图 3 钢渣的后期处理工艺示意^[11]

的粒度。该法仅有效于高体积安定性的钢渣,否则后期继续水化带来的体积膨胀将使得通过高费用获取的粗颗粒重新粉化。

同样在电炉钢渣的获取时其化学组分与原材料,特别是与石灰和辅助添加料的选取有关。通过设定熔化过程中的适宜工艺参数,可赢得具有高体积安定性的钢渣。和转炉钢渣一样,后期热处理过程亦影响着电炉钢渣的结构、孔隙率、强度及粒径大小。为了达到应用所需的高体积安定性要求,可同样采用露天存放,但该过程并不是必须的,因为该渣中游离氧化钙和游离氧化镁的含量一般比较低。当构筑物所处环境需按水工工程用石来要求时,可通过慢冷来获取大颗粒的电炉钢渣,该法在德国已获得了巨大的成功。

3 德国钢渣的排放量及其利用途径

据德国冶金渣协会研究所近年来的数据报道(见表 4)可知^[21~26],德国钢渣的年排放总量至 2004 年已超过 600 万 t。其钢渣由于物性原因每年大约 10% 不能得到利用而弃置堆场,另有约 5% 可利用但尚未使用,暂存堆场。德国通过钢渣的综合利用节约了相当量的自然资源,从而也保护了生态环境。

表 4 近年德国冶金渣的排放及利用情况

| 分 类 | 2004 年 | 2003 年 | 2002 年 | 2001 年 | 2000 年 | 1999 年 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 排放量/万 t | 622 | 595 | 602 | 558 | 581 | 561 |
| 可应用量/万 t | 515 | 515 | 501 | 492 | 509 | 497 |
| 利用率/% | 82.8 | 86.6 | 83.2 | 88.2 | 87.6 | 88.6 |

当今钢渣在德国的主要利用途径是用作建筑材料,特别是在道路工程中得到了广泛的应用。在道路工程中钢渣适用于各层(见图 4)。从图 4 中可见,钢渣的利用可以从地基基础、底基层、需求量大的无胶凝材料的承重层区(防冻层及粗碎石承重层)至沥青混合料基层甚至沥青面层。从实际工程使用状况来

看,运行亦良好。图 5 为笔者拍摄的在图林根钢厂(Thüringen Stahlwerk)铺筑的钢渣沥青结合料厂区路面。该路面运行良好,除部分车辙痕迹外尚未见其他明显路面病害。

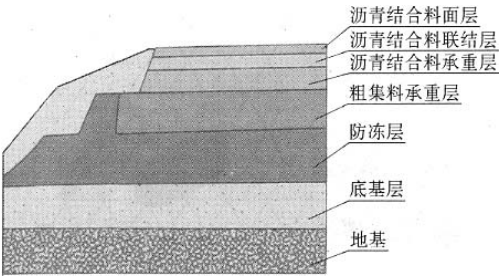


图 4 钢渣在道路工程中的应用



图 5 图林根钢厂用钢渣修筑的厂区运输用沥青结合料路面

钢渣当然也与其他建筑材料以矿物混合料的形式应用于道路工程中,并尽可能地尝试将转炉钢渣、高炉块渣及矿渣来进行混合。图 6 为至今在高炉块渣(HOS)、矿渣(HS)及转炉钢渣(LDS)组成的三组分系统中尝试的主要的混合料^[27]。该混合料的优点是矿渣的潜在水化活性可以通过转炉钢渣激活从而使得混合料硬化。高炉块渣则作为骨架颗粒。用该矿物混合料可制备具有高承载力的承重层。

作为建筑材料,钢渣还可应用于土工工程、水利工程及铁路工程等作技术相适应的矿质材料^[28~32]。对此安定性是在所有领域应用的最重要的指标。在大量的实验室和实际工程的研究基础上,对不同的应用领域均有一个保证足够安定性的界限值。对于土工工程也就是对土堤和围墙,转炉钢渣可和电炉

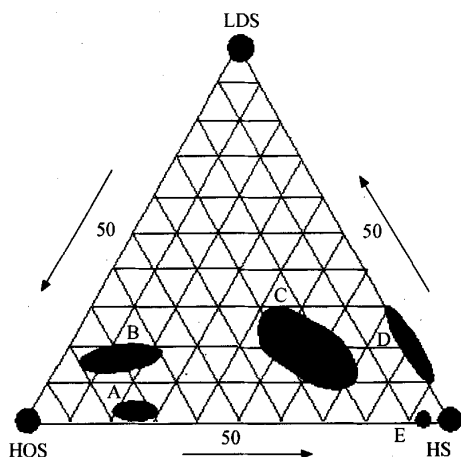


图6 高炉块渣(HOS)、矿渣(HS)及转炉钢渣(LDS)三组分系统混合料

钢渣一样可以不依附其体积安定性而得到使用。还有在林业和农业如公园、体育场和存放场等方面也是受欢迎的。在水工工程也就是在堤岸和海岸的加固、河床的稳定、防波堤的建设和堰塘的填埋方面高密度的转炉钢渣和电炉钢渣显示出特别佳的优点。由此种渣组成的水工工程用石在抗洪流和抗波浪冲击方面远远优于普通材料。当钢渣被用于混凝土中作为集料使用时则需要有高的体积安定性要求。钢渣另外的利用途径为作为原材料来生产水泥,对此和钢渣用于混凝土中一样需要高的体积安定性要求。

钢渣另外还用作肥料及冶金循环利用材料。但目前只有非常少量的电炉或着转炉钢渣粉用于肥料。尽管如此,该种钢渣粉目前还由德国向其他国家作为肥料销售。

4 中国未来钢渣处理方面应考虑的问题

从德国钢渣在各领域特别是在道路工程方面的应用可以清楚地看出,德国钢铁工业早在100多年前随着西门子—马丁法及电炉法的发展就为钢渣的循环利用具备了先决条件,从而使它在钢渣的应用方面具有了100多年的光辉回顾史。我国钢铁工业也需为钢渣尽可能大量高效地在各领域得以利用做出更大的努力。

目前我国高速公路网的建设工作正在进行中,结合我国目前的实际情况,钢渣可大量应用于道路工程中,这点在部分高校和研究所已得到重视,如武汉理工大学对钢渣的性能及在道路工程的高效应用正做着深入的实验室和工程实际研究^[33~34]。我国钢

渣新排渣中游离氧化钙的含量比德国的要高,如何改变生产工艺和后期处理工艺使得游离氧化钙的含量降低也是一个亟待研究的课题(因为这关系到混凝土长期耐久性的问题)。在这方面我们可以借鉴德国的处理方法来解决如何减低游离氧化钙的含量问题。同时要使用钢渣优势突出的技术特性如高强度和大气稳定性,致力于代替天然岩石大量应用于吃渣能力强的交通及水工工程。并继续尝试获取特定类型的液态钢渣,从而来获取高效冶金粉末或者胶结料。最后要通过有目的地改善技术工艺努力去应用尚存的大量剩余渣,以将如今在我国还未得以完全利用的钢渣量在近年得到显著的降低。

参考文献:

- [1] Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 4301: Eisenhüttenschlacke und Metallhüttenschlacke im Bauwesen [S]. Berlin, 1981.
- [2] Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 14227-12: Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische-Anforderungen-Teil 12: Bodenverbesserungen mit Schlacke [S]. Berlin, 2004.
- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV). FGSV 635: Merkblatt über die Verwendung von Hüttenmineralstoffgemischen, sekundärmetallurgischen Schlacken sowie Edelstahlschlacken im Straßenbau [S]. Köln, 1998.
- [4] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). RG Min-StB 93: Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau [S]. Köln, 1993.
- [5] Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV). TL Min-StB: Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau [S]. Köln, 2000.
- [6] Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV). TL Gestein-StB 2004: Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau [S]. Köln, 2004.
- [7] RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V., RAL-GZ 511: Metallhüttenschlacken-Gütesicherung [S]. Berlin, 2003.
- [8] Geiseler J., Verwertung von Hochofen- und Stahlwerksschlacken [A]. Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken. Eisenhüttenschlacken-Eigenschaften

- und Nutzung [C]. Referate aus dem Zeitraum 1988 bis 1991. Duisburg: Brendow Druck, Moers, 1991.
- [9] Geiseler J.. Eisenhüttenschlacken Nebenprodukte der der Stahlindustrie [A]. Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken. Eisenhüttenschlacken-Eigenschaften und Nutzung [C]. Referate aus dem Zeitraum 1992–1999. Duisburg, 2000.
- [10] Lang E., Tabani H.. Stahlwerksschlacken als Gesteinskörnung für Mörtel und Beton [R]. Report des FEhS-Instituts für Baustoff-Forschung e. V.. 2003, 10(2).
- [11] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). FGSV 634; Merkblatt über die Verwendung von Eisenhüttenschlacken im Straßenbau [S]. Köln, 1999.
- [12] <http://www.fehs.de> [N].
- [13] Drissen P.. Eisenhüttenschlacken-industrielle Gesteine [R]. Report des FEhS-Instituts für Baustoff-Forschung e. V., 2004.
- [14] Zhao Q., Stark J., Freyburg E.. Charakterisierung der Mikrostruktur und der Mineralphasen von Eisenhüttenschlacken [J]. Zement-Kalk-Gips (International). (im Druck).
- [15] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). TP Min-StB Teil 4. 7. 1. 2: Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau-Bestimmung der Volumenzunahme von Stahlwerksschlacken im Asphalt [S]. Köln, 1994.
- [16] Zhao Q., Stark J., Freyburg E.. Charakterisierung des Mikrogefüges von LD-Granulat und seine Wirkung hinsichtlich der Reduzierung der Alkali-Kieselsäure-Reaktion [J]. Zement-Kalk-Gips (International). 2005, 58(9).
- [17] RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V.. RAL-GZ 510: Eisenhüttenschlacken-Gütesicherung [S]. Berlin, 1999.
- [18] Drissen P, Schrey H. Verbesserung der Raumbeständigkeit von Stahlwerksschlacken [R]. Report des FEhS-Instituts für Baustoff-Forschung e. V., 2004.
- [19] Drissen P, Kühn M. Gezielte Herstellung großformatiger Wasserbausteine aus Stahlwerksschlacken [R]. Report des FEhS-Instituts für Baustoff-Forschung e. V., 2003.
- [20] Drissen P, Kühn M. Verbesserung der Eigenschaften von Stahlwerksschlacken durch Behandlung flüssiger Schlacke [A]. Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken. Eisenhüttenschlacken Eigenschaften und Nutzung [C]. Referate aus dem Zeitraum 1992–1999. Duisburg, 2000.
- [21] Merkel Th. Daten zur Produktion und Nutzung von Hochofenschlacke und Stahlwerksschlacken [R]. Report des FEhS-Instituts für Baustoff-Forschung e. V., 2005.
- [22] Merkel Th. Statistik zur Erzeugung und Nutzung von Eisenhüttenschlacken [R]. Report des FEhS-Instituts für Baustoff-Forschung e. V., 2004.
- [23] Merkel Th. Erhebungen zur Erzeugung und Nutzung von Eisenhüttenschlacken 2002 [R]. Report des FEhS-Instituts für Baustoff-Forschung e. V., 2003.
- [24] Merkel Th. Erzeugung und Nutzung von Hochofen- und Stahlwerksschlacken [R]. Report des FEhS-Instituts für Baustoff-Forschung e. V., 2002.
- [25] Merkel Th. Statistik zur Erzeugung und Nutzung von Eisenhüttenschlacken [R]. Report des FEhS-Instituts für Baustoff-Forschung e. V., 2001.
- [26] Merkel Th. Erzeugung und Nutzung von Eisenhüttenschlacken 1999 [R]. Report des FEhS-Instituts für Baustoff-Forschung e. V., 2000.
- [27] Kohler G. Selbsterhörtende Tragschichten aus Eisenhüttenschlacken [A]. Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken. Eisenhüttenschlacken-Umweltverträgliche Baustoffe [C]. Referate der 5. Vortragsveranstaltung am 06. Feb. 1992 in Düsseldorf. Düsseldorf, 1992.
- [28] Drissen P, Kühn M. Gezielte Herstellung großformatiger Wasserbausteine aus Stahlwerksschlacken [R]. Report des FEhS-Instituts für Baustoff-Forschung e. V., 2003.
- [29] Freund H J, Merkel Th, Motz H. Elektroofenschlacke im Straßenbau Langzeitbeobachtungen einer Erprobungsstrecke [R]. Report des FEhS-Instituts für Baustoff-Forschung e. V., 1998.
- [30] Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken. Eisenhüttenschlacken für Straßenbau [C]. Referate der 4. Vortragsveranstaltung am 11. Dez. 1985. in Düsseldorf. Düsseldorf, 1985.
- [31] Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken e. V.. Engineering of Slags, A Scientific and Technological Challenge [C]. 2nd European Slag Conference. 9th to 11th October 2000. Düsseldorf, 2000.
- [32] Merkel Th, Bialucha R, Jakobs A, Motz H. Langzeitverhalten feinkörniger Stahlwerksschlacken

文章编号: 0451-0712(2006)06-0154-04

中图分类号: TU528.042

文献标识码: B

改性剂对水泥乳浆性能的影响

岳学军¹, 沈树兵², 郭锋伟¹

(1. 河南省高远公路养护技术有限公司 新乡市 453000, 2. 新乡市隆基房地产发展有限公司)

摘 要: 水泥灌浆沥青混凝土是半柔性沥青路面常用的一种形式。为了研究改性剂对水泥乳浆性能的影响, 选择了 4 种改性剂对水泥乳浆进行改性。通过对改性水泥乳浆稠度、力学指标以及干缩试验的分析和对比, 发现不同改性剂对水泥胶浆的作用是不同的, 不合理的改性剂反而会使水泥胶浆的强度降低。合理的改性剂对水泥乳浆干缩系数的影响最大, 改性后和改性前的干缩系数相差达 2~3 倍。改性后水泥乳浆的力学特性也能得到相应的改善。在实际应用中, 稠度可以作为判别改性剂优劣的简单指标。

关键词: 水泥灌浆沥青混凝土; 水泥胶浆; 改性剂

水泥灌浆沥青混凝土半柔性路面最早的应用是在 1954 年法国科涅雅克(Cognac)航空港喷气式飞机用的跑道上。继法国之后, 日本、英国、前西德、法国和前苏联等国家也从事这方面的研究。近年来国内也进行了大量的研究。同济大学、华南理工大学和长安大学等先后对半刚性复合材料进行过研究, 但是研究内容只局限于复合材料的设计方法和路用性能等, 而对水泥胶浆改性剂的研究则很少。

1 常用的改性剂

聚合物改性水泥基材料由于和易性好、抗压和抗拉强度高、密实抗渗性好, 具有很强的耐酸、碱、盐腐蚀性能, 因而其应用领域十分广阔。在已有的研究和应用中, 一般用来改性的聚合物乳液主要是氯丁胶乳、丁苯胶乳、丙烯酸脂类及丙烯酸脂类共聚乳液、乙烯 醋酸乙烯类, 其他还有氯乙烯、偏氯乙烯乳液、呋喃类聚合物等。这些改性剂大多数适用于水泥混凝土, 对灌入式半柔性路面复合材料可能并不适用。因此本文从半柔性路面复合材料使用性能要求出发, 对水泥胶浆改性剂进行研究和分析。

2 试验用原材料

2.1 水泥

选用普通硅酸盐水泥(P.O 325 号), 参照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTGE30—2005)标准中规定的试验方法对水泥进行了质量检验, 指标结果见表 1。

表 1 水泥试验指标

| 试验项目 | 初凝/终凝时间 | 安定性 (雷氏夹) | 3 d 强度/MPa | | 7 d 强度/MPa | |
|------|---------|--------------|------------|-------|------------|------|
| | min | | 抗压 | 抗折 | 抗压 | 抗折 |
| 试验结果 | 124/230 | 合格 | 3.64 | 11.36 | 20.44 | 4.07 |

2.2 柔性改性剂

选择了 4 种柔性材料对水泥乳浆进行改性。柔性材料的性质见表 2。

表 2 改性剂的性质

| 名称 | 固含量/% | 电荷性质 |
|--------|-------|------|
| 1 号改性剂 | 50 | 阴离子 |
| 2 号改性剂 | 50 | 阴离子 |
| 3 号改性剂 | 60 | 阴离子 |
| 4 号改性剂 | 50 | 中性 |

3 试验结果及分析

3.1 稠度试验

乳浆材料的稠度值是灌注式半柔性路面成败的关键指标之一。乳浆稠度过小, 则在凝结之前乳浆可

收稿日期: 2006-01-15

[R]. Report des FEHS-Instituts für Baustoff-Forschung e. V., 2002.

[33] 宗寿, 陶海征, 涂成厚. 钢渣粉煤灰活化方法研究

[J]. 武汉理工大学学报. 2001, 23(2).

[34] 沈卫国, 周明凯, 赵青林, 等. 钢渣粉煤灰路面基层材料的研制[J]. 武汉理工大学学报. 2002, 24(5).