

# 滑板用耐火材料的研究与发展

## Development and Research on Slide Plate Use of Refractories

李影<sup>①</sup> Li Ying; 赵海燕<sup>②</sup> Zhao Haiyan; 张山林<sup>①</sup> Zhang Shanlin; 王振<sup>①</sup> Wang Zhen

(<sup>①</sup>唐山时创耐火材料有限公司,唐山 060030; <sup>②</sup>河北联合大学轻工学院,唐山 063000)

(<sup>①</sup>Tangshan Strong Refractory Co., Ltd., Tangshan 060030, China; <sup>②</sup>College of Light Industry, Hebei United University, Tangshan 063000, China)

**摘要:** 分别结合铝碳质、铝锆碳质、金属复合滑板的特点论述了滑板用耐火材料的主要研究及应用情况,对此类材料的发展前景进行了展望。

**Abstract:** Combining with the performance of  $Al_2O_3-C$  based slide plate,  $Al_2O_3-ZrO_2-C$  based slide plate, and metallic composite slide plate, this paper discusses the research and application of slide plate use of refractory and makes a prospect for its development.

**关键词:** 滑板; 耐火材料; 铝碳质; 铝锆碳质

**Key words:** slide plate; refractories;  $Al_2O_3-C$  based;  $Al_2O_3-ZrO_2-C$  based  
中图分类号: TH145 文献标识码: A

文章编号: 1006-4311(2011)35-0073-02

### 0 引言

滑动水口的概念最早是美国 D.LEWIS 于 1884 年提出的<sup>[1]</sup>, 滑动水口系统是炼钢过程中控制钢水流量的关键装置, 因其可控性好, 装卸方便, 浇铸安全可靠, 能实现浇铸的自动化而优于传统塞棒系统, 促进了连铸、炉外精炼等技术的发展, 同时可以降低耐火材料的成本。自 20 世纪 70 年代以来, 滑动水口已经成为钢铁工业快速发展的重要工艺技术革新之一, 并且在技术上也有了长足的进步。滑板是滑动水口系统中最关键的构件, 它具有钢水注入功能和流量调整功能, 所以要求滑动水口的滑板须承受强烈的侵蚀作用, 即要求起具有很高的抗侵蚀性和抗热震性。

目前国内外滑板材料的材质主要以  $Al_2O_3-C$ 、 $Al_2O_3-ZrO_2-C$ 、 $Al_2O_3-SiO_2$ 、 $MgO$  及  $MgO-MA$  质为主, 国内广泛使用的滑板材质为  $Al_2O_3-C$  质和  $Al_2O_3-ZrO_2-C$  质。近年来出现的关于塞隆结合刚玉质滑板、金属-氮化物结合滑板的研究报道, 也获得了不错的使用效果。

### 1 铝碳质滑板

铝碳质滑板是上世纪 80 年代在日本首先研发成功的, 它是以氧化铝基原料(各种刚玉或刚玉尖晶石)和碳素原料(石墨、石油焦和碳黑等)为主要原料, 添加少量的抗氧化剂(金属、合金、碳化物等), 以酚醛树脂为结合剂, 经烧(或不烧)、浸渍、干溜等工艺加工而成的<sup>[2,3]</sup>。高温烧成可形成两种结合方式: 陶瓷结合和碳结合。这种复合结合方式可使滑板具有较好的高温机械性能, 浸渍则降低了其气孔率和气孔直径, 由于碳的存在改善了其抗热震性和抗侵蚀性能<sup>[4]</sup>。

铝碳质滑板的优点是具有良好的热震稳定性和抗渣侵蚀性, 因而广泛应用于连铸工艺中的滑板、水口等部位。但传统的铝碳制品在热处理和实际使用过程中, 由于碳的氧化和结合剂的水解及高温钢水的物理冲刷和化学侵蚀, 导致材料强度急剧降低, 影响了材料的使用寿命。

为提高产品强度, 延长其使用寿命, 学者们<sup>[5,6]</sup>主要从提高材料的抗氧化性方面来进行研究和改善。多采用的方法是: 将易在高温下氧化的碳材料用抗氧化剂来缓解或阻止碳的氧化或者采取一些方法将碳与氧化环境隔离。缓解氧化的方法可以通过添加抗氧化剂来实现。常用的氧化剂有金属及单质添加剂( $Al$ 、 $Si$ 、 $Al-Si$  合金等)、非金属化合物添加剂和复合添加剂。

添加抗氧化剂技术在工艺上相对比较容易实现, 也是至今对铝碳质滑板抗氧化性能研究最为成熟的技术。经研究表明<sup>[7]</sup>, 硅的加入能明显提高滑板抗氧化性, 在 0%~7% 的范围内, 加入量越大, 抗氧化效果越好。将硅铝合金粉加入镁碳耐火材料中, 在 1400 下可达到较好的体积密度、常温耐压强度及高温抗折强度<sup>[8]</sup>。铝镁合金粉加入含碳的  $MgO-C$  砖中能大大提高其抗氧化性能, 且随合金粉的加入量的增加, 砖的氧化层厚度减小, 在加入量为 4% 时材料的性能达到最优。非金属添加剂中,  $B_4C$  作为含碳材料的抗氧化剂研究和使用的是最早的,  $SiC$  也是用较多的非金属添加剂。有学者<sup>[9]</sup>针对防止氧化效果好的  $Al$  粉、 $Si$  粉、 $SiC$  粉三种原料, 采用实验计划的方法研

究了防止氧化的最佳添加量, 发现: 减少强化组织结合的  $Al$  量, 增加高温时防止氧化效果高的  $Si$  量和低温时防止氧化效果高的  $B_4C$  量, 对于延迟氧化是非常有效的。另外还有  $CaB_6$ 、 $Ma-B$ 、 $ZrB_2$ 、 $TiB_2$  等, 也均取得了一定的进展<sup>[9,10]</sup>。

根据不同抗氧化剂在不同温度下所起的作用, 可以添加两种或两种以上的抗氧化剂, 借助其优势互补, 提高材料在各个温度区间的整体抗氧化效果。通过研究复合抗氧化剂对材料抗氧化性能的影响<sup>[11]</sup>, 结果表明, 如果以合适的配比同时添加金属  $Al$  粉和  $B_4C$ , 可以获得比单独添加抗氧化剂更好的抗氧化性及高温使用性能。张学勤<sup>[12]</sup>等研究了添加金属  $Al$ 、 $Si$ 、 $B_4C$  对铝碳质耐火材料抗氧化性能的影响, 结果表明, 可有效提高材料的抗氧化性能并改善材料的其他使用性能。一系列研究结果表明, 抗氧化剂的复合添加剂添加能够取得更优于单独添加的使用效果。

### 2 铝锆碳质滑板

烧成铝锆碳质滑板是迄今为止应用较为广泛的一种滑板, 它是在铝碳滑板的基础上, 通过添加低膨胀性的锆莫来石以及具有优良的抗侵蚀性能的锆刚玉或氧化锆而制成的, 是  $Al_2O_3-C$  滑板的延伸。

铝锆碳质滑板的优点是具有良好的抗侵蚀性, 高的抗热震性和抗剥落性。但产品易由于热应力作用而形成各种裂纹, 使得产品使用寿命受到影响。

为了提高滑板的使用寿命, 多采用低的膨胀系数的材料, 如提高碳含量。但随着碳量的增加, 滑板被氧化的危险性增大, 一旦制品被氧化, 制品的抗冲刷和抗侵蚀能力降低; 在配料中提高莫来石含量也能提高制品的抗热震稳定性, 但随着莫来石含量的提高,  $SiO_2$  也相应提高, 滑板的抗侵蚀能力下降。而最理想的方法是在配料中加入锆莫来石。

金胜利等人<sup>[13]</sup>研究了在埋碳气氛下, 烧成铝锆碳滑板中添加的金属铝与保护气氛中的  $N_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$  等发生反应的情况, 得出结论: 当保护气氛中的  $CO_2$  含量和烧成温度过高时, 滑板中形成的氯化铝相会更多, 滑板水化的可能性会更高。在实际生产中, 采用金属铝和单质硅作复合添加剂时, 应严格控制铝粉的添加量和烧成制度, 从而避免铝锆碳滑板烧成后发生强度下降或粉化现象。黄丽香等<sup>[14]</sup>人在铝锆碳滑板的生产过程中, 调整了  $ZrO_2$  的加入量为 3%~6%, 添加了复合抗氧化剂, 使滑板具有较高的强度和抗氧化性能, 提高了滑板的使用寿命。另外, 日本住友金属工业公司鹿岛制铁所第一炼钢厂<sup>[15]</sup>为了提高钢包用  $Al_2O_3-ZrO_2-C$  质滑板的寿命和降低成本, 采取了孔径小径化、改善材质、2 块板和改进形状的方法, 也明显提高了滑板的寿命, 降低了成本。

### 3 金属复合滑板

铝碳和铝锆碳质滑板是当前国内外普遍采用的滑板。  $Al_2O_3-C$  及  $Al_2O_3-ZrO_2-C$  滑板具有一系列优越性能, 如: 优良的抗侵蚀性能、抗热震性、高温结构强度, 是近年来最具代表性的滑板材料。但是对一些高侵蚀性钢种, 如  $Ca$  处理钢、 $Al-Si$  镇静钢、高氧钢等钢种, 采用铝碳或铝锆碳滑板侵蚀严重, 使用寿命显著下降。普通铝碳滑板浇铸高氧钢时, 发生碳的氧化及  $FeO$ 、 $MnO$  等渗入对  $Al_2O_3$  的侵蚀; 浇铸高钙钢时,  $CaO$  会与  $Al_2O_3$ , 反应生成  $Al_2O_3-CaO$  低熔点物, 造

作者简介: 李影(1981-), 男, 河北唐山人, 助理工程师, 研究方向为高温结构材料。

# 大断面黄土隧道施工中监控量测的应用论述

## Application of Monitoring Measurement in Large Sections of Loess Tunnel Construction

杨海峰 Yang Haifeng

(陕西省交通建设集团公司, 西安 710075)

(Shaanxi Provincial Communication Construction Group, Xi'an 710075, China)

摘要: 本文结合陕西神木至府谷高速公路墩梁隧道特殊的岩土地质情况和大断面实际, 通过实际应用分析论述大断面湿陷性黄土隧道施工过程中监控量测工作的一些要点。

Abstract: Combining with special geological condition and large sections of pier beam tunnel of Shenmu-Fugu highway, the article analyzed some points of monitoring measurement in large-section of collapsed loess tunnel by analyzing practical use.

关键词: 大断面; 黄土隧道; 监控量测

Key words: large sections; loess tunnel; monitoring measurement

中图分类号: U456.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-4311(2011)35-0074-02

### 0 引言

伴随着我国国民经济的蓬勃发展和在资源极度消耗下对资源需求的与日俱增, 节能减排和环保已成为现今经济发展的一个主题。近年来, 公路建设突飞猛进, 山区公路建设中已经突破了过去的盘山绕行大开挖的思想, 采用设置隧道来缩短线路和减小线路纵坡并避免因采取高边坡大开挖人为大量破坏自然生态, 消除大土方给路基带来的滑坡、塌方、滚石、泥石流等自然灾害, 确保了行车的经济高效和安全可靠以及建设与自然的和谐发展。随着科技不断发展, 监控量测仪器设备日新月异, 精度等级不断提高, 也为隧道施工安全提供了更好的保障。

### 1 工程概况

省级高速榆(林)商(州)线神木至府谷段高速公路就是为了解决陕西省神木县煤炭资源运输瓶颈而修建的一条促进陕北经济发展的重要的重载交通高速公路, 双向六车道设计标准。其控制性工程之一的墩梁隧道位于神木县永兴镇李家沟村, 穿越神木府谷分水岭, 线路高程约 1250 米, 最大埋深 100 米, 最小埋深仅 13 米, 地质主要以沉积粉砂性黄土和更新统黄土为主。隧道全长 1400 米, 最大

作者简介: 杨海峰(1967-), 男, 陕西礼泉人, 西安公路学院(公路与城市道路专业), 研究方向为公路工程施工管理。

成侵蚀严重。因此改善滑板材质, 从材质设计上更大限度地解决含碳滑板的氧化和抗热震性, 进一步提高滑板的使用寿命和安全性是研究者共同关注的问题。

有学者<sup>[16]</sup>以板状刚玉和金属铝粉为主要原料制备了金属-氮化物结合刚玉滑板, 研究了其结构与性能, 取得了优良的抗钢液侵蚀性能。徐香汝等人<sup>[18]</sup>以板状刚玉、锆刚玉和金属铝为主要原料, 采用 1000℃ 高温氮化反应烧结工艺, 制得以金属铝和 AlN 为结合相、以刚玉和斜锆石为主晶相的 Al-AIN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>-C 复相结合材料, 以其作为材质制得钢包滑动水口的滑板, 具有较好的抗钢液侵蚀、抗热震以及抗渣侵性能, 取得了良好的应用效果。

### 4 滑板用耐火材料的发展趋势

连铸技术的发展, 离不开连铸用功能性耐火材料(滑板等)的不断进步。当前, 滑板用耐火材料的研究动向主要集中在如何满足钙处理钢及高氧钢的浇铸要求上, 随着高效连铸、近终型连铸技术的发展, 要求滑板材质不断低硅、低碳、复合材料改性的方向发展。同时, 为节约能源、保护环境, 适当简化生产工艺, 降低材料的烧成温度也是滑板用耐火材料的发展方向之一。

### 参考文献:

[1] 石凯等. 近十年我国钢包用滑动水口的发展[C]//第三届国际耐火材料学术会议论文集, 洛阳, 中国, 1998: 126.

[2] Henri Le Doussal. 滑动水口用耐火材料的发展[J]. 国外耐火材料, 1985, 10(10): 1-6.

[3] 杨焯, 陈德全, 蔡世俭. 高铝碳质滑板砖的研制[J]. 耐火材料, 1985, 19(6): 1-4.

[4] Sugita, M., Ikeda, S., Tamura. Microstructural Improvements in Slide Gate Plates for Steel Pouring [J]. American Ceramic Society Bulletin, 1984, 63(7):

开挖宽度 17.29 米, 开挖断面积 171 平方米, 是目前在建断面最大的湿陷性黄土隧道。

### 2 监控量测方案编制

鉴于隧道地质条件复杂, 开挖断面较大, 同时由于采用了不同的工艺工法进行施工, 施工过程控制尤为重要, 为此需要制订专项监控量测方案并组织实施, 通过科学的量测分析来指导施工和优化设计, 确保施工安全。

2.1 监控量测采用标准——《公路隧道施工技术规范》(JTGF60—2009)、《工程测量规范》(GB50026—2007) 及施工设计图中对监控量测的相关要求。

2.2 监控量测项目的选择——结合墩梁隧道特殊的黄土工程地质和地形地貌及施工设计图纸要求, 经分析研究, 确定监控量测的主要项目是拱顶下沉、收敛变形、地表下沉、锚杆内力、水蚀洞穴观察等。同时明确: 施工期间, 依据隧道地质超前预报资料和过程中掌子面所揭露的岩土情况适时调整监测项目和频次。藉此通过监测仪器能够较详细的了解到围岩受施工影响的变形规律并判断设计支护参数和施工措施是否合理, 指导施工过程科学化、合理化, 有效确保施工高效安全。

### 2.3 监控量测断面和测点布置示意图

2.3.1 监控量测断面测点布设原则 根据墩梁隧道现场已知的

886-889.

[5] 张文杰, 李楠. 碳复合耐火材料[M]. 北京: 科学出版社, 1990.

[6] 王海军, 王齐华, 顾秀娟. 碳/碳复合材料抗氧化行为的研究进展[J]. 材料科学与工程学报, 2003, 21, (1): 117.

[7] 陆美亚译. 含碳铝硅低共熔合金对沥青结合的镁碳耐火材料的影响[J]. 国外耐火材料, 1996, 29, (2): 79.

[8] 金利萍编译. 通过改善氧化磨损性能提高铝碳质滑板寿命[J]. 国外耐火材料, 2005, 3, (30).

[9] Lipinski T R, Fichtner R. Reaction procession in the interior of an MgO-carbon brick with boron carbide additive[J]. Steel Res, 1993, 64, (2): 123.

[10] 范壮军, 刘朗等. 细颗粒 B4C-SiC/C 复合材料的抗氧化性能[J]. 材料研究学报, 2003, 17, (3): 287.

[11] 金从进, 邱文东, 孙加林等. 铝碳质材料的抗氧化性研究[J]. 耐火材料, 2000, 34, (5): 26.

[12] 张勤学. 添加剂对铝碳质长水口性能的影响[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2003.

[13] 金胜利, 颜晓潮, 李亚伟等. 烧成铝碳质滑板的水化粉化机理探析[J]. 武汉科技大学学报, 2009, 2, (32): 178-180.

[14] 黄丽香, 佟晓军, 冯笑梅等. 盛钢桶铝碳质滑板的研究与生产[J]. 鞍钢技术, 2006, (5): 44-47.

[15] 全荣编译. 通过改善材质提高滑板寿命[J]. 国外耐火材料, 2004, 5, (29).

[16] 卜景龙, 杨晓春, 王志发等. 金属-氮化物结合刚玉质滑板的结构与性能[J]. 过程工程学报, 2005, 3, (5): 313-316.

[17] 田养利, 尹洪峰, 马艳龙. 金属-氮化物结合刚玉滑板的制备与性能研究[J]. 硅酸盐通报, 2009, 4, (28).

[18] 徐香汝, 杨阳. 金属氮化结合 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>-C 滑板的生应用实践[J]. 首钢科技, 2009, 3: 37-43.

作者: [李影](#), [赵海燕](#), [张山林](#), [王振](#), [Li Ying](#), [Zhao Haiyan](#), [Zhang Shanlin](#), [Wang Zhen](#)  
作者单位: [李影, 张山林, 王振, Li Ying, Zhang Shanlin, Wang Zhen\(唐山时创耐火材料有限公司, 唐山, 060030\)](#), [赵海燕, Zhao Haiyan\(河北联合大学轻工学院, 唐山, 063000\)](#)  
刊名: [价值工程](#) **ISTIC**  
英文刊名: [Value Engineering](#)  
年, 卷(期): 2011, 30(35)

## 参考文献(18条)

1. [石凯](#) [近十年我国钢包用滑动水口的发展](#) 1998
2. [Henri Le Doussal](#) [滑动水口用耐火材料的发展](#) 1985(10)
3. [杨焯](#); [陈德全](#); [蔡世俭](#) [高铝碳质滑板砖的研制](#) 1985(06)
4. [Sugita, M.](#) [Ikeda, S.](#) [Tamura](#) [Microsturcturak Improvements in Slide Gate Plates for Steel Pouring](#) 1984(07)
5. [张文杰](#); [李楠](#) [碳复合耐火材料](#) 1990
6. [王海军](#); [王齐华](#); [顾秀娟](#) [碳/碳复合材料抗氧化行为的研究进展](#)[期刊论文]-[材料科学与工程学报](#) 2003(01)
7. [陆美亚](#) [含碳铝硅低共熔合金对沥青结合的镁碳耐火材料的影响](#) 1996(02)
8. [金利萍](#) [通过改善氧化磨损性提高铝碳质滑板寿命](#) 2005(30)
9. [Lipinski T R](#); [Fichtner R](#) [Reaction procession in the interior of an MgOcarbon brick with boron carbide additive](#) 1993(02)
10. [范壮军](#); [刘朗](#) [细颗粒B4C-SiC/C复合材料的抗氧化性能](#)[期刊论文]-[材料研究学报](#) 2003(03)
11. [金从进](#); [邱文东](#); [孙加林](#) [铝锆碳材料的抗氧化性研究](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2000(05)
12. [张勤学](#) [添加剂对铝碳质长水口性能的影响](#)[学位论文] 2003
13. [金胜利](#); [颜晓潮](#); [李亚伟](#) [烧成铝锆碳滑板的水化粉化机理探析](#) 2009(32)
14. [黄丽香](#); [佟晓军](#); [冯笑梅](#) [盛钢桶铝锆碳滑板的研究与生产](#)[期刊论文]-[鞍钢技术](#) 2006(05)
15. [全荣](#) [通过改善材质提高滑板寿命](#)[期刊论文]-[国外耐火材料](#) 2004(29)
16. [卜景龙](#); [杨晓春](#); [王志发](#) [金属-氮化物结合刚玉质滑板的结构与性能](#)[期刊论文]-[过程工程学报](#) 2005(05)
17. [田养利](#); [尹洪峰](#); [马艳龙](#); [金属 氮化物结合刚玉滑板的制备与性能研究](#) 2009(28)
18. [徐香汝](#); [杨阳](#) [金属氮化结合Al2O3-ZrO2-C滑板的生产应用实践](#)[期刊论文]-[首钢科技](#) 2009

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_jzgc201135043.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jzgc201135043.aspx)