

水利水电工程用钢闸门的抗磨防腐蚀涂层及喷涂方法

高俊 顾建华 居鸿洋

南京振高建设有限公司, 中国·江苏 南京 211300

摘要: 一种水利水电工程用钢闸门的抗磨防腐蚀涂层, 其包括喷涂于钢闸门外表面的打底层, 打底层的厚度为 $60\sim 80\mu\text{m}$, 以纯度大于等于 99.99% 的锌丝为原料, 丝材直径为 $2.0\sim 3.0\text{mm}$; 喷涂于打底层外表面的耐磨层, 耐磨层的厚度为 $60\sim 80\mu\text{m}$, 原料为不锈钢合金粉末, 粉末粒度为 $75\sim 200\mu\text{m}$; 喷涂于耐磨层外表面的封闭层, 封闭层的厚度为 $30\sim 50\mu\text{m}$, 原料为耐磨环氧面漆; 以及抗磨防腐蚀涂层的喷涂方法。本方法的涂层具有良好的防腐性能、适宜的硬度与结合强度, 耐磨性能良好, 能够很好地达到水利水电工程用钢闸门在高泥沙工况下表面抗磨防腐蚀的要求。

关键词: 水利水电工程; 钢闸门; 抗磨防腐蚀涂层; 喷涂方法

Wear-resistant and corrosion-resistant coatings for steel gates in water conservancy and hydropower projects and their spraying methods

Gao Jun, Gu Jianhua, Ju Hongyang

Nanjing Zhengao Construction Co., Ltd., China Jiangsu Nanjing 211300

Abstract: A wear-resistant and corrosion-resistant coating for steel gates in water conservancy and hydropower projects, comprising a primer layer sprayed on the outer surface of the steel gate, with a thickness of $60\sim 80\mu\text{m}$, using zinc wire with a purity of $\geq 99.99\%$ as the raw material (wire diameter: $2.0\sim 3.0\text{mm}$); a wear-resistant layer sprayed on the outer surface of the primer layer, with a thickness of $60\sim 80\mu\text{m}$, using stainless steel alloy powder (powder particle size: $75\sim 200\mu\text{m}$) as the raw material; a sealing layer sprayed on the outer surface of the wear-resistant layer, with a thickness of $30\sim 50\mu\text{m}$, using wear-resistant epoxy topcoat as the raw material; and a spraying method for the wear-resistant and corrosion-resistant coating. The coating produced by this method exhibits excellent corrosion resistance, suitable hardness and bonding strength, and good wear resistance, effectively meeting the requirements for surface wear and corrosion resistance of steel gates in water conservancy and hydropower projects under high sediment conditions.

Keywords: Water conservancy and hydropower engineering; Steel gates; Wear-resistant and anti-corrosion coatings; Spraying methods

1 背景技术

随着现代社会的发展, 钢闸门是广泛应用于水工建筑物的重要组成部分, 它主要可用以拦截水流, 控制水位、调节流量、排放泥沙和飘浮物等。钢闸门长期受到阳光的暴晒, 且经常与各种液体物质接触, 往往工作在酸碱盐及潮湿环境下, 所处的环境需要比较好的耐腐蚀效果, 在钢闸门结构外表面需要涂设有专用涂层。

常用的水工钢结构金属涂层有锌、铝、锌铝合金、锌镁合金、喷稀土铝、先喷锌后喷铝和先喷铝后喷锌, 涂层厚度控制在 $120\mu\text{m}$ 左右, 铝基涂层易钝化而失去阴极保护作用, 在后期易出现鼓泡和白色物析出现象, 而锌基涂层颗粒较细且均匀, 阴极保护效果稳定可靠, 缺点是锌层的表面硬度较差、耐磨性和抗破坏性较差, 因此, 不能满

足特殊抗磨工况条件闸门的运行需要, 影响水工金属结构使用寿命。目前, 小浪底排沙洞工作闸门采用“环氧富锌防锈底漆 + 环氧不锈钢鳞片漆”作为抗磨防腐蚀方案, 虽然一定程度提高了防腐抗磨性能, 但仍不能满足要求, 投运初期运行频繁, 闸门面板与粗颗粒泥沙及转铰止水之间的机械磨损尤为严重, 这种磨损加大了防腐检修的费用, 最关键的是磨损、锈蚀及频繁的防腐、喷砂对闸门基体产生较强的破坏, 使闸门变薄, 缩短了闸门的使用寿命, 危及闸门的安全运行。不锈钢涂层的保护周期为 40 年左右, 其优点是硬度高、耐磨性好、强度大, 抗破坏性能好, 缺点是易锈蚀、无阴极保护功能, 表面粗糙, 孔隙率大, 防渗透能力弱, 很少在水工钢结构中应用。

碳化钨金属陶瓷, 主要成分为 WC-CoCr(Ni), 是具

有优良的抗磨和防气蚀、防腐蚀效果的涂层,涂层致密且结合强度高,耐磨性能好,但喷涂设备价格昂贵,且喷涂要求和喷涂成本都很高,涂层一旦遭到破坏不易修复。

2 技术方案

为了解决上述问题,提供一种水利水电工程用闸门的抗磨防腐蚀涂层,其具有良好的防腐性能、适宜的硬度与结合强度,耐磨性能良好,能够很好地达到水利水电工程用钢闸门在高泥沙工况下表面抗磨防腐蚀的要求;同时,公开上述抗磨防腐蚀涂层的喷涂方法,使闸门具有良好的耐磨耐腐蚀性能,闸门表面防腐寿命大大提高。采用如下技术方案:

一种水利水电工程用钢闸门的抗磨防腐蚀涂层,其包括喷涂于钢闸门外表面的打底层,打底层的厚度为 $60 \sim 80 \mu\text{m}$,以纯度大于等于 99.99% 的锌丝为原料,丝材直径为 $2.0 \sim 3.0\text{mm}$,打底层包括以下质量百分比的各组分: $\text{Sn} \leq 0.0002\%$ 、 $\text{Pb} \leq 0.0022\%$ 、 $\text{Cd} \leq 0.0004\%$ 、 $\text{Cu} \leq 0.0004\%$ 、 $\text{Fe} \leq 0.0009\%$ 、 $\text{Zn} \geq 99.9959\%$;喷涂于打底层外表面的耐磨层,耐磨层的厚度为 $60 \sim 80 \mu\text{m}$,原料为不锈钢合金粉末,粉末粒度为 $75 \sim 200 \mu\text{m}$,包括以下质量百分比的各组分: $\text{C} \leq 0.031\%$ 、 $\text{Si} \leq 0.047\%$ 、 $\text{Mn} \leq 1.35\%$ 、 $\text{P} \leq 0.029\%$ 、 $\text{S} \leq 0.003\%$ 、 $\text{Ni} 10.0 \sim 14.0\%$ 、 $\text{Cr} 16.0 \sim 18.0\%$ 、 $\text{Mo} 2.0 \sim 3.0\%$,余量为 Fe;喷涂于耐磨层外表面的封闭层,封闭层的厚度为 $30 \sim 50 \mu\text{m}$,原料为耐磨环氧面漆。

所述的水利水电工程用钢闸门的抗磨防腐蚀涂层的喷涂方法,其包括以下步骤:

S1、使用喷砂处理方式清理和粗化钢闸门表面,使钢闸门表面清洁度处理至 GB8923 中规定的 Sa 2.5 级,粗糙度 Rz 至 $60 \sim 100 \mu\text{m}$ 范围内;

S2、用压缩空气吹干净钢闸门表面粘附的浮尘;

S3、采用电弧喷涂设备在钢闸门表面喷涂打底层,喷涂工艺参数为:工作电压 $28 \sim 35\text{V}$,工作电流 $120 \sim 180\text{A}$,压缩空气压力 $0.5 \sim 0.8 \text{MPa}$,送丝速度 $2 \sim 4\text{m/min}$,喷枪移动速度 $2 \sim 4\text{m/min}$,喷涂距离 $150 \sim 200\text{mm}$,喷涂道次为 $1 \sim 2$ 道,喷涂角度 $60 \sim 90^\circ$,相邻喷幅之间重叠 $1/3$,喷涂厚度为 $60 \sim 80 \mu\text{m}$,喷枪以井字形路径移动进行喷涂作业;

S4、采用火焰喷涂设备在打底层表面喷涂耐磨层,喷涂工艺参数为:氧气压力 $0.3 \sim 0.8\text{MPa}$,乙炔压力 $0.08 \sim 0.12\text{MPa}$,氧气流量为 $400 \sim 470\text{L/min}$,乙炔流量为 $40 \sim 50\text{L/min}$,压缩空气压力 $0.5 \sim 0.8 \text{MPa}$,送粉量

$40 \sim 65 \text{g/min}$,喷枪移动速度 $2 \sim 4\text{m/min}$,喷涂距离 $180 \sim 220\text{mm}$,喷涂道次为 $1 \sim 2$ 道,喷涂角度 $60 \sim 90^\circ$,相邻喷幅之间重叠 $1/3$,喷涂厚度为 $60 \sim 80 \mu\text{m}$,喷枪以井字形路径移动进行喷涂作业;

S5、采用高压无气喷涂设备在耐磨层表面喷涂封闭层,喷涂工艺参数为:喷嘴直径为 $0.17 \sim 0.25\text{mm}$,喷枪移动速度 $18 \sim 24\text{m/min}$,喷涂距离 $200 \sim 400\text{mm}$,喷涂道次为 $1 \sim 2$ 道,喷涂角度 $60 \sim 90^\circ$,相邻喷幅之间重叠 $1/4$,喷涂厚度为 $30 \sim 50 \mu\text{m}$ 。

上述的封闭层采用的原料耐磨环氧面漆为现有技术中的市售产品。

3 具体实施方式

实施例:

一种水利水电工程用钢闸门的抗磨防腐蚀涂层,其包括喷涂于钢闸门外表面的打底层,打底层的厚度为 $60 \mu\text{m}$,以纯度大于等于 99.99% 的锌丝为原料,丝材直径为 2.0mm ,打底层包括以下质量百分比的各组分: $\text{Sn} 0.0001\%$ 、 $\text{Pb} 0.0012\%$ 、 $\text{Cd} 0.0002\%$ 、 $\text{Cu} 0.0002\%$ 、 $\text{Fe} 0.00024\%$ 、 $\text{Zn} 99.9959\%$;喷涂于打底层外表面的耐磨层,耐磨层的厚度为 $60 \mu\text{m}$,原料为不锈钢合金粉末,粉末粒度为 $75 \mu\text{m}$,包括以下质量百分比的各组分: $\text{C} 0.015\%$ 、 $\text{Si} 0.020\%$ 、 $\text{Mn} 0.50\%$ 、 $\text{P} 0.016\%$ 、 $\text{S} 0.003\%$ 、 $\text{Ni} 10.0\%$ 、 $\text{Cr} 16.0\%$ 、 $\text{Mo} 2.0\%$,余量为 Fe;喷涂于耐磨层外表面的封闭层,封闭层的厚度为 $30 \mu\text{m}$,原料为耐磨环氧面漆。

上述的水利水电工程用钢闸门的抗磨防腐蚀涂层的喷涂方法,其包括以下具体步骤:

S1、使用喷砂处理方式清理和粗化钢闸门表面,使钢闸门表面清洁度处理至 GB8923 中规定的 Sa 2.5 级,粗糙度 Rz 至 $60 \mu\text{m}$ 范围内;

S2、用压缩空气吹干净钢闸门表面粘附的浮尘;

S3、采用电弧喷涂设备在钢闸门表面喷涂打底层,喷涂工艺参数为:工作电压 28V ,工作电流 120A ,压缩空气压力 0.5MPa ,送丝速度 2m/min ,喷枪移动速度 2m/min ,喷嘴距待喷涂表面的喷涂距离 100mm ,喷涂道次为 1 道,喷涂角度 $60 \sim 90^\circ$,相邻喷幅之间应重叠 $1/3$,喷涂厚度为 $60 \mu\text{m}$,两道之间的喷枪走向应互相垂直,喷枪以井字形路径移动进行喷涂作业;喷涂施工与表面预处理的间隔时间尽可能缩短,应在 2h 内喷涂完毕,最长不应超过 8h ;

S4、采用火焰喷涂设备在打底层表面喷涂耐磨层,喷涂工艺参数为:氧气压力 0.3MPa ,乙炔压力 0.08MPa ,氧气流量为 400L/min ,乙炔流量为 40L/min ,压缩空气压力

0.5 MPa, 送粉量 40 g/min, 喷枪移动速度 2m/min, 喷涂距离 180mm, 喷涂道次为 2 道, 喷涂角度 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 相邻喷幅之间应重叠 1/3, 喷涂厚度为 $60\mu\text{m}$, 喷枪以井字形路径移动进行喷涂作业;

S5、采用高压无气喷涂设备在耐磨层表面喷涂封闭层, 喷涂工艺参数为: 喷嘴直径为 0.17mm, 喷枪移动速度 18m/min, 喷涂距离 200mm, 喷涂道次为 1 道, 喷涂角度 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 相邻喷幅之间应重叠 1/4, 喷涂厚度为 $30\mu\text{m}$ 。

实施例 2:

一种水利水电工程用钢闸门的抗磨防腐蚀涂层, 其包括喷涂于钢闸门外表面的打底层, 打底层的厚度为 $66\mu\text{m}$, 以纯度大于等于 99.99% 的锌丝为原料, 丝材直径为 2.3mm, 打底层 包括以下质量百分比的各组分: Sn 0.00011%、Pb 0.0012%、Cd 0.0004%、Cu 0.0003%、Fe 0.0005%、Zn 99.9965%; 喷涂于打底层外表面的耐磨层, 耐磨层的厚度为 $65\mu\text{m}$, 原料为不锈钢合金粉末, 粉末粒度为 $90\mu\text{m}$, 包括以下质量百分比的各组分: C 0.020%、Si 0.030%、Mn 0.80%、P 0.010%、S 0.002%、Ni 11.5%、Cr 16.8%、Mo 2.3%, 余量为 Fe; 喷涂于耐磨层外表面的封闭层, 封闭层的厚度为 $35\mu\text{m}$, 原料为耐磨环氧面漆。

上述的水利水电工程用钢闸门的抗磨防腐蚀涂层的喷涂方法, 其包括以下具体步骤:

S1、使用喷砂处理方式清理和粗化钢闸门表面, 使钢闸门表面清洁度处理至 GB8923 中 规定的 Sa 2.5 级, 粗糙度 Rz 至 $70\mu\text{m}$ 范围内;

S2、用压缩空气吹干净钢闸门表面粘附的浮尘;

S3、采用电弧喷涂设备在钢闸门表面喷涂打底层, 喷涂工艺参数为: 工作电压 30V, 工作电流 135A, 压缩空气压力 0.6MPa, 送丝速度 2.5m/min, 喷枪移动速度 2.5m/min, 喷嘴距待喷涂表面的喷涂距离 130mm, 喷涂道次为 2 道, 喷涂角度 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 相邻喷幅之间应重叠 1/3, 喷涂厚度为 $65\mu\text{m}$, 两道之间的喷枪走向应互相垂直, 喷枪以井字形路径移动进行喷涂作业; 喷涂施工与表面预处理的间隔时间尽可能缩短, 应在 2h 内喷涂完毕, 最长不应超过 8h;

S4、采用火焰喷涂设备在打底层表面喷涂耐磨层, 喷涂工艺参数为: 氧气压力 0.4MPa, 乙炔压力 0.09Mpa, 氧气流量为 420L/min, 乙炔流量为 43L/min, 压缩空气压力 0.6 MPa, 送粉量 45 g/min, 喷枪移动速度 2.7m/min, 喷涂距离 190mm, 喷涂道次为 1 道, 喷涂角度 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 相

邻喷幅之间应重叠 1/3, 喷涂厚度为 $68\mu\text{m}$, 喷枪以井字形路径移动进行喷涂作业;

S5、采用高压无气喷涂设备在耐磨层表面喷涂封闭层, 喷涂工艺参数为: 喷嘴直径为 0.19mm, 喷枪移动速度 20m/min, 喷涂距离 250mm, 喷涂道次为 1 道, 喷涂角度 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 相邻喷幅之间应重叠 1/4, 喷涂厚度为 $38\mu\text{m}$ 。

实施例 3:

一种水利水电工程用钢闸门的抗磨防腐蚀涂层, 其包括喷涂于钢闸门外表面的打底层, 打底层的厚度为 $70\mu\text{m}$, 以纯度大于等于 99.99% 的锌丝为原料, 丝材直径为 2.5mm, 打底层 包括以下质量百分比的各组分: Sn 0.0002%、Pb 0.0016%、Cd 0.0003%、Cu 0.0002%、Fe 0.0004%、Zn 99.9973%; 喷涂于打底层外表面的耐磨层, 耐磨层的厚度为 $70\mu\text{m}$, 原料为不锈钢合金粉末, 粉末粒度为 $130\mu\text{m}$, 包括以下质量百分比的各组分: C 0.028%、Si 0.019%、Mn 1.00%、P 0.016%、S 0.0019%、Ni 12.4%、Cr 17.5%、Mo 2.7%, 余量为 Fe; 喷涂于耐磨层外表面的封闭层, 封闭层的厚度为 $40\mu\text{m}$, 原料为耐磨环氧面漆。

上述的水利水电工程用钢闸门的抗磨防腐蚀涂层的喷涂方法, 其包括以下具体步骤:

S1、使用喷砂处理方式清理和粗化钢闸门表面, 使钢闸门表面清洁度处理至 GB8923 中 规定的 Sa 2.5 级, 粗糙度 Rz 至 $83\mu\text{m}$ 范围内;

S2、用压缩空气吹干净钢闸门表面粘附的浮尘;

S3、采用电弧喷涂设备在钢闸门表面喷涂打底层, 喷涂工艺参数为: 工作电压 36V, 工作电流 150A, 压缩空气压力 0.67MPa, 送丝速度 3.0m/min, 喷枪移动速度 3.0m/min, 喷嘴距待喷涂表面的喷涂距离 150mm, 喷涂道次为 1 道, 喷涂角度 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 相邻喷幅之间应重叠 1/3, 喷涂厚度为 $70\mu\text{m}$, 两道之间的喷枪走向应互相垂直, 喷枪以井字形路径移动进行喷涂作业; 喷涂施工与表面预处理的间隔时间尽可能缩短, 应在 2h 内喷涂完毕, 最长不应超过 8h;

S4、采用火焰喷涂设备在打底层表面喷涂耐磨层, 喷涂工艺参数为: 氧气压力 0.55MPa, 乙炔压力 0.11Mpa, 氧气流量为 440L/min, 乙炔流量为 45L/min, 压缩空气压力 0.66 MPa, 送粉量 50 g/min, 喷枪移动速度 3.0m/min, 喷涂距离 200mm, 喷涂道次为 1 道, 喷涂角度 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 相邻喷幅之间应重叠 1/3, 喷涂厚度为 $72\mu\text{m}$, 喷枪以井字形路径移动进行喷涂作业;

S5、采用高压无气喷涂设备在耐磨层表面喷涂封闭层,喷涂工艺参数为:喷嘴直径为 0.21mm,喷枪移动速度 20m/min,喷涂距离 300mm,喷涂道次为 1 道,喷涂角度 $60 \sim 90^\circ$,相邻喷幅之间应重叠 1/4,喷涂厚度为 $40 \mu\text{m}$ 。

4 有益效果

水利水电工程用钢闸门的抗磨防腐蚀涂层,其采用锌涂层作为钢闸门基体的阴极保护,再通过不锈钢具有高强度、高耐磨和长寿命的特点、以及封闭涂料来弥补不锈钢表面粗糙、孔隙率大、防渗透能力弱的缺点,形成喷锌 + 喷不锈钢 + 封闭层的组合方案,抗磨防腐蚀效果良好,且成本相对较低,便于推广;能够减少因磨损腐蚀而造成的经济损失,达到节材、节能的效果,符合节能环保政策;有效解决了磨损与电化学腐蚀的双重问题,能够显著延长闸门面板的防腐周期,大幅降低闸门防腐检修费用,解决

了闸门面板普遍存在的抗磨防腐蚀问题。

水利水电工程用钢闸门的抗磨防腐蚀涂层,其施工方便,不仅解决了长时间在潮湿环境下运行出现的锈蚀问题,同时也解决了在高泥沙环境下不可避免出现的磨损,显著提高了闸门面板的耐磨、防腐蚀两方面的性能。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. SL/T 105-2025 水工金属结构防腐蚀技术规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2025.
- [2] 国家能源局. DL/T 5358-2006 水电水利工程金属结构设备防腐蚀技术规程[S]. 北京:中国电力出版社, 2007.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 8923.1-2011 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定[S]. 北京:中国标准出版社, 2011.