

HALcon 软件在宝钢连铸机浇铸机器人中的应用

张 青

(宝钢工程技术集团有限公司, 上海 201999)

摘要: 机器人作为智能制造最具代表性的装备,在宝钢连铸机上已经实施。连铸机浇铸机器人在进行大包滑动水口油缸安装、大包介质管线连接和大包长水口更换等作业时,工件和机器人相对位置姿态会发生改变,而双目视觉定位系统可以引导机器人重新定位。介绍了双目视觉定位系统的基本原理,以及如何利用 HALcon 机器视觉软件开发宝钢连铸机浇铸机器人双目视觉定位系统。实践表明,双目视觉定位系统可有效计算出大包坐包和回转过程中的偏移,实现机器人精确定位。

关键词: HALcon 软件; 连铸机浇铸机器人; 双目视觉

中图分类号: TP242.2 **文献标志码:** B **文章编号:** 1008-0716(2019)01-0058-06

doi: 10.3969/j.issn.1008-0716.2019.01.012

Application of binocular vision for casting robot of continuous casting at Baosteel by HALcon software

ZHANG Qing

(Baosteel Engineering & Technology Group Co., Ltd., Shanghai 201999, China)

Abstract: Robot as the most representative intelligent manufacturing equipment has been used in Baosteel continuous caster. As the robots work through the process, such as to assemble/disassemble the ladle nozzle slide-gate cylinder, media coupling or the ladle shroud, the target object must be positioned for guiding the robots. The basic principle of binocular vision and how to develop binocular vision system by the machine vision software HALcon for guiding the robots is introduced. Practice shows that the binocular vision positioning system can effectively calculate the ladle position deviation because of dropping off and turning to guide the robot.

Key words: HALcon; casting robot of continuous casting; binocular vision

在钢厂连铸车间,大包滑动水口油缸安装、介质管线连接、长水口更换、清洗、烧氧、中间包加覆盖剂、测温、取样、定氢、定氧等都属于危险、肮脏、重负荷重复性劳动岗位。借助机器人技术可以实现装备的智能化和无人化,提高生产自动化水平和作业效率,降低劳动强度。2017 年末,普锐特公司为宝钢股份炼钢厂宽厚板连铸机增加了 1 套机器人(KUKA C4 系统)浇铸系统,实现了上述功

能,其中机器人双目视觉定位子系统是关键技术环节。

1 大包滑动水口机构的定位需求

通常,机器人通过示教只能对固定位置姿态的工件进行抓放,当工件和机器人相对位置姿态发生改变后就无法完成相应的动作,此时必须由其他定位系统引导机器人重新定位才能继续工作。连铸机大包滑动水口机构安装在大包底部,大包的坐包和回转会造其相对机器人位置姿态并非固定不变,所以在机器人进行大包滑动水口油缸安装、大包介质管线连接和大包长水口更换

张 青 工程师 1979 年生 2003 年毕业于东南大学
现从事自动化研究 电话 26087960
E-mail zhangqig@baosteel.com

等工作时需要 1 套对大包滑动水口机构定位的解决方案,实现对机器人动作的引导。

宝钢股份炼钢厂宽厚板连铸机使用的机器人定位引导装置系统是在 HALcon 软件平台上开发的双目视觉系统。HALcon 软件是德国 MVtec 公司的图像处理软件,是世界公认的具有最佳效能的机器视觉软件,其提供了大量的图像处理算子,可极大地降低机器人视觉系统开发难度。

2 机器人双目视觉定位原理

2.1 机器人的坐标系与欧拉角

库卡(KUKA)机器人的基坐标系是根据世界坐标系在机器人周围的某一个位置上创建的坐标系,其目的是使机器人的运动以及编程设定的位置均以该坐标系为参照,当该参考点在世界坐标系中发生位置姿态偏移时,只要对基坐标进行修正就可让机器人找到目标物。一般工件支座和抽屉的边缘、货盘或机器的外缘均可作为基坐标系的合理参照点^[1]。

机器人通过三点法(原点、X 轴正方形点、XY 平面 Y 正值点)可建立机器人基坐标系(图 1),以 FRAME 数据结构存储。当基坐标移动后,只要知道新旧基坐标的变化关系,就可通过变换空间几何计算获得新的基坐标系。在 KUKA C4KRL 中通过“”算符实现计算。

BASE_Calculate =

BASE_Calibration : FRAME_Change (1)

式中: BASE_Calibration 为三点法标定的基坐标系; FRAME_Change 为相机检测到基坐标的变化量; BASE_Calculate 为新的修正后的基坐标系。

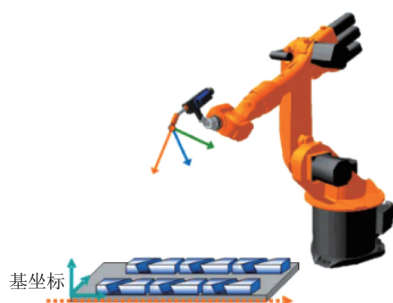


图 1 机器人的基坐标

Fig. 1 The base of robot

KUKA 的 FRAME 数据类型为欧拉角表示法: (X, Y, Z, a, b, c) , 其中 X, Y, Z 为坐标值, a, b, c 为旋转角度。坐标系转换过程为: 先平移坐标原点至 (X, Y, Z) , 接着绕 Z 轴旋转 a 角度, 然后

绕 Y 轴旋转 b 角度, 最后绕 X 轴旋转 c 角度。

2.2 齐次变换矩阵

在三维中一般用齐次变换矩阵(图 2)来描述坐标系之间的位置姿态变化,其与机器人的 FRAME 数据类型(欧拉角表示法)等价,在 HALcon 软件中主要使用齐次变换矩阵进行描述和计算。

$$T = \begin{bmatrix} \text{姿态} & \text{位置} \\ n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

图 2 齐次变换矩阵

Fig. 2 Homogeneous transformation matrix

齐次变换矩阵用于求解运动坐标系 $\{A\}$ 中的固定点 P 在固定参考坐标系 $\{B\}$ 中的位置 $P^B = {}^B_A T \times P^A$ 。对于给定的坐标系 $\{A\}$ 、 $\{B\}$ 、 $\{C\}$, 已知 $\{B\}$ 相对 $\{A\}$ 的描述为 ${}^A_B T$, $\{C\}$ 相对 $\{B\}$ 的描述为 ${}^B_C T$, 则 $\{C\}$ 相对 $\{A\}$ 的描述 ${}^A_C T = {}^A_B T \times {}^B_C T$ ^[2]。

2.3 双目视觉原理(极几何)

对于双目视觉系统,即有两个摄像机,定义两个摄像机的光学中心点为 C, C' , 在三维空间中存在一个场景点 X , 这个点与两个摄像机光学中心点共同构成的平面就是极平面 π (epipolar plane), 每个摄像机都有一个图像平面, 分别为 Image1 和 Image2, CX 交 Image1 于 x 点, $C'X$ 交 Image2 于 x' 点, 而 CC' 连线分别交两个图像平面于 e 和 e' , 这两个点称为极点, CC' 称为基线。极平面与图像平面相交于两条极线 l 和 l' , 这两条极线的关系是对应的, 而 x, e, x', e' 分别位于 l 和 l' 上, 如图 3 所示。

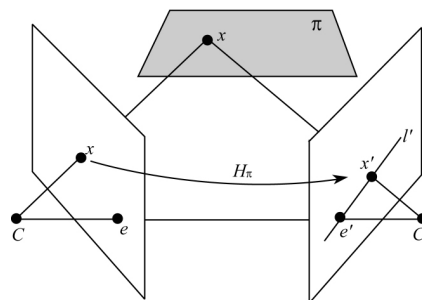


图 3 极几何原理

Fig. 3 The principle of epipolar

随着三维场景点的移动, 极平面将绕着基线转动, 这些极平面共同构成一个极平面束, 与图像平面交汇成的极线族分别都交于两个极点 e

和 $e^{-[3-4]}$ 。

通过对相机的参数标定可知 C 相对于 C' 的位置姿态关系(即齐次变换矩阵),假如知道 X 投射在图像平面 Image1 上的投射点 x 的位置和 X 投射在图像平面 Image2 上的投射点 x' 的位置,就能计算出 ${}_{P_x}^{P_0}T$ 。只要确定标定板上 3 个点的位置,利用三点法就可求得相机光学原点坐标系 $\{C\}$ 相对于目标板坐标系 $\{P\}$ 的齐次变换矩阵 ${}^C_P T$,对矩阵求逆得 ${}^P_C T$ 。在标定和测量时分别求出 ${}^C_{P_0} T$ 和 ${}^P_{P_x} T$ 。矩阵相乘(等价于 KUKA 算符“ \cdot ”)求出当前目标板坐标系 $\{P_x\}$ 相对于目标板标定时的坐标系 $\{P_0\}$ 的齐次变换矩阵,转换成 FRAME 格式,即为 FRAME_Change。

3 宝钢连铸机浇铸机器人双目视觉定位系统

3.1 系统构成

宝钢连铸机浇铸机器人视觉系统组成如图 4 所示:带基准定位板的滑板机构(每套机构的基准定位板与滑板机构相对位置保持一致),1 套照明系统,2 套带保护罩的 CCD 相机+镜头,1 台双目视觉计算的计算机,1 台 KUKA C4 机器人。CCD 相机与计算机通过 POE 千兆以太网相连,支持 GigE Vision 2.0 协议,实现对图像的采集。计算机与 KUKA C4 系统使用 PROFINET 协议连接,实现计算结果传输到机器人系统。

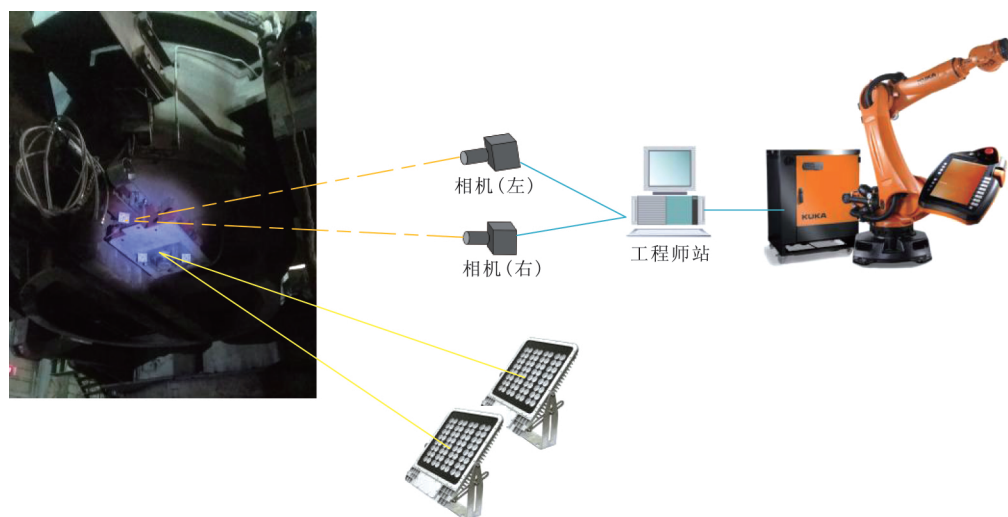


图 4 机器人双目视觉系统组成

Fig. 4 Composition of the robot binocular vision system

3.2 双目视觉系统测量程序

3.2.1 相机标定

双目视觉的基本任务是从摄像机获取的图像信息出发计算三维空间中物体的几何信息。空间物体表面某点的三维几何位置与其在图像中的对应点之间的相互关系是由相机成像的几何模型(极几何)决定的,这些几何参数包括相机本身参数和两个相机间的相互位置关系。

在 HALcon 软件中使用 HALcon 标定板标定(图 5) 标定板的制作算子如下:

```
gen_caltab( : XNum, YNum,
            MarkDist, DiameterRatio,
            CalTabDescrFile, CalTabPSFile: ) (2)
```

式中: XNum 为每行黑色标志圆点的数量; YNum 为每列黑色标志圆点的数量; MarkDist 为两个就

近黑色圆点中心之间的距离; DiameterRatio 为黑色圆点半径与圆点中心距离的比值; CalTabDescrFile 为标定板描述文件的文件路径(.descr); CalTabPSFile 为标定板图像文件的文件路径(.ps)。

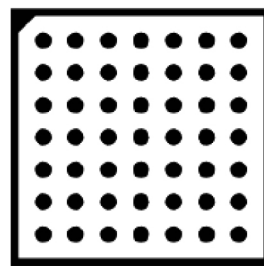


图 5 HALcon 标定板

Fig. 5 HALcon calibration plate

根据标定板图像文件制作好标定板后就可以对相机进行标定,流程如下:

(1) 初始化相机参数算子(StartCamPar:)。

StartCamPar: = (focus kappa ,
Sx Sy Cx Cy imagewidth ,
imageheight cameraparam) (3)

式中: focus 为焦距; kappa 为畸变系数(泰勒级数的第一项,初值为0); Sx 为 x 方向象元间的距离; Sy 为 y 方向象元间的距离; Cx 为图片 x 方向光心坐标(初值为 imagewidth/2); Cy 为图片 y 方向光心坐标(初值为 imageheight/2); Imagewidth 为图片宽度方向像素; Imageheight 为图片高度方向像素; cameraparam 为初始化后的相机参数结构变量。

(2) 算子 Caltab_points 读取标定板描述文件里面描述的点 $X[]$ 、 $Y[]$ 、 $Z[]$ 。

(3) 算子 find_caltab 找到标定板的位置。

(4) 算子 find_marks_and_poses 输出标定点的位置和外参 startpose。

(5) 改变标定板位置,重复(2)、(3)、(4)不少于8次。

(6) 算子 binocular_calibration 计算每个相机的参数和左边相机光学中心相对于右边相机的位置姿态。

标定后获得的相机参数为 Parameter Cam1(左边)和 Parameter Cam2(右边),两相机相对位置关系为 Pose of Cam1(左边) to Cam2(右边) ($X, Y, Z, \alpha, \beta, \gamma, \rho$)。相机标定过程图片如图6所示。

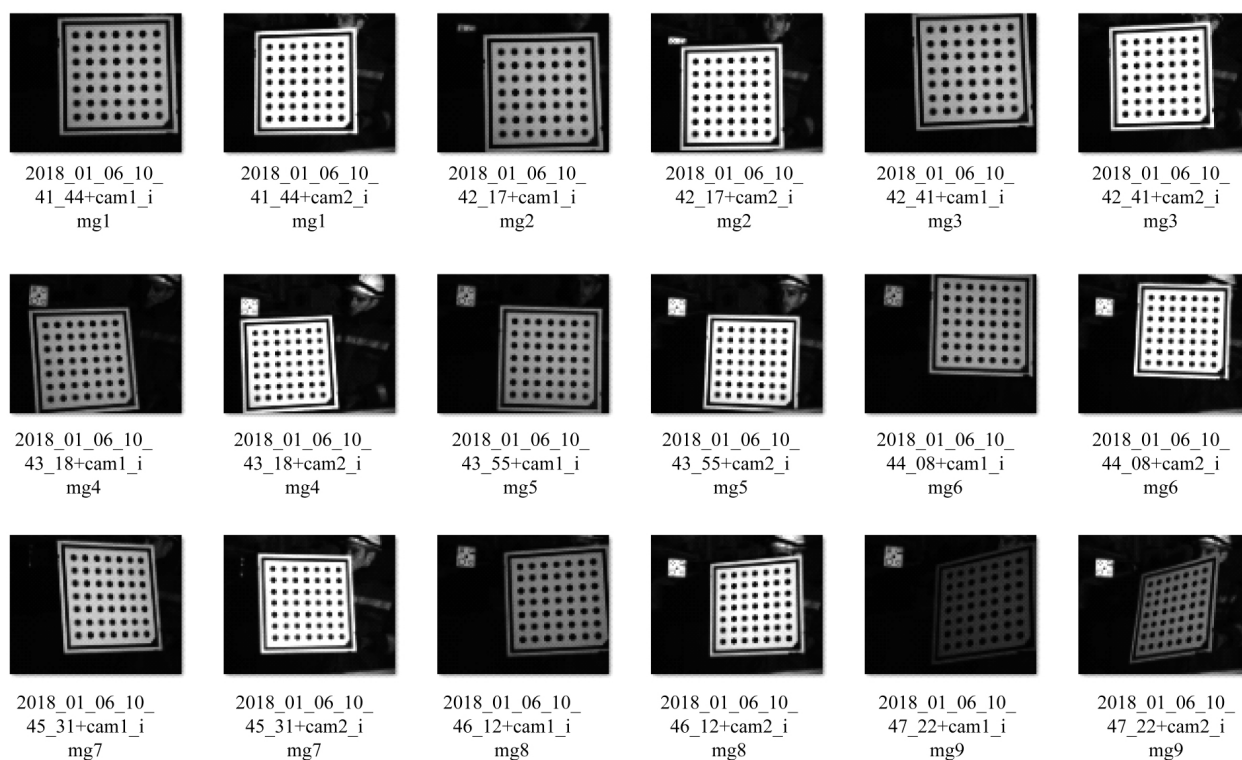


图6 相机标定图片

Fig. 6 Images of calibration

3.2.2 标定定位板初始位置

定位板为 100 mm × 100 mm 的金属块,其表面形状如图7所示,表面刻有4个不同半径的圆圈,从小到大为 A1、A2、A3、A4,深色部分为铣出来的凹槽(黑),其他部分较明亮(白)。定位板安装在滑板机构上,形成一个刚性的3D系统。标定时大包旋转到检测位置,同时用机器人对标定

板示教(三点法)获得基坐标,如图8所示;对双目视觉系统进行检测,计算定位板初始位置姿态,建立机器人坐标和相机坐标的对应关系。

机器人示教的点位为:坐标零点圆 A1 所在的正方形角点、 X 轴正方向点圆 A3 所在的正方形角点、 XY 平面 Y 正值点圆 A2 与 A4 所在正方形边中间点附近。

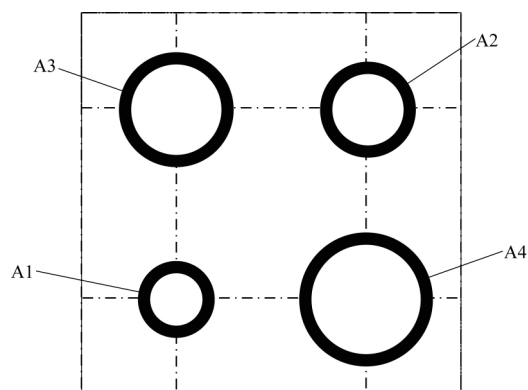


图 7 定位板表面

Fig. 7 Surface of the positioning plate

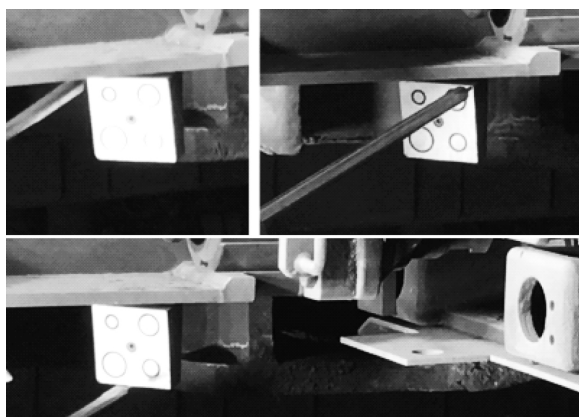


图 8 基坐标示教

Fig. 8 § Base teaching

3.2.3 获得定位板的位置姿态

由于光学成像系统生成的二值图像包含了各种各样的随机噪声和畸变,因此要对原始图像进行预处理,突出有用的信息,抑制无用的信息,从而改善图像质量。图像预处理技术,主要包括图像对比度增强、随机噪声的去除和边缘特征的加强等。

为了提取特征,必须进行图像匹配计算。图像匹配的方法有基于图像灰度的匹配、基于图像特征的匹配和基于解释的匹配或多种方法的结合。

对于模板匹配,HALcon 提供了许多不同的方法:基于灰度值的匹配、基于形状的匹配、基于成分的匹配和基于点的匹配。方法的选择取决于图像数据和需要解决的任务。针对上述定位板的特性,主要使用基于灰度值的匹配和基于形状的匹配,找到两个相机图像中对应的圆。

由于标定板每次在图像中的位置变化不是很大,为了减少计算量和降低周围环境的干扰,首先要对图像进行分割处理,HALcon 的算子 `gen_rectangle1` (: Rectangle: Row1, Column1, Row2, Column2:) 实现区域 ROI 设定,算子 `reduce_domain` (Image, Region: ImageReduced ::) 提取图像区域。

此时,可以用阈值分割算子 `auto_threshold` (Image: Regions: Sigma:),分割出图像中比较明亮的部分,使用形状匹配算子 `select_shape` (Regions: SelectedRegions: Features, Operation, Min, Max:) 寻找到标定板上的圆。

使用 HALcon 算子计算定位板的每个圆心在图像内的亚像素坐标:

```
Area _ center ( Regions1 , Area1 , Row1 , Column1 );
```

```
Area _ center ( Regions2 , Area2 , Row2 , Column2 );
```

通过算子 `intersect_lines_of_sight` () 就可以确定标定板中的圆心 3D 坐标:

```
Intersect_lines_of_sight ( Parameter Cam1 , Parameter Cam2 , Pose of Cam1 to Cam2 , Row1 , Column1 , Row2 , Column2 , X_CCS , Y_CCS , Z_CCS , dist )
```

通过解析几何的方法可以求得与机器人示教点相对应的点的坐标:原点 Origin, X 轴正 PointOnXAxis, XY 平面正 PointInXYPlane。

最后利用算子 `gen_hom_mat3d_from_three_points` (Origin, PointOnXAxis, PointInXYPlane, HomMat3D_RectCCS_to_WCS) (WCS 为目标板坐标系 {P}, RectCCS 为相机坐标系 {C}), 获得 3D 齐次变换矩阵。

利用算子 `hom_mat3d_invert` (HomMat3D_RectCCS _ to _ WCS, HomMat3D _ WCS _ to _ RectCCS) 求齐次变换矩阵的逆。

利用算子 `hom_mat3d_compose` (:: HomMat3DLeft, HomMat3DRight: HomMat3DCompose), 计算目标基准板移动时的次变换矩阵。

利用算子 `hom_mat3d_to_pose` (T, Pose), 求 3D 坐标系下的 3D Pose (与欧拉角表示法等价), 即定位板的 3D 位置和姿态的变化量 FRAME_Change, 发送给机器人实现基坐标的修正。

4 效果

2018 年初宝钢连铸机浇铸机器人上线后,本定位装置可有效计算出大包坐包和回转过程中的偏移,实现机器人的滑板油缸、介质接头和大包长水口的套接与拆卸。

由于使用定位板,其表面的圆的标识度直接影响了测量精度,所以定位板的轮廓清晰度和表面清洁度要求较高,需注意维护保养。

为使双目视觉中两 CCD 相机的位置姿态保持不变,需要对相机进行特殊固定保护。相机安装底座及支架的稳定性要高,受力变形要小。如发生意外移动必须重新标定。

5 结论

HALcon 软件提供了 1 套完善的三维计算算子,结合合适的定位板设计,可以有效地实现机器

人三维视觉引导功能,极大降低了工程软件设计难度。

参 考 文 献

- [1] 林燕文,李曙生,陈南江. 工业机器人基础——基于库卡机器人[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2016:59-67.
- [2] CorkeP. 机器视觉与控制——MATLAB 算法基础[M]. 刘荣,译. 北京:电子工业出版社,2016:14-39.
- [3] StegerC, UlrichM, WiedemannC. 机器视觉算法与应用[M]. 杨少荣,吴迪靖,段德山,译. 北京:清华大学出版社,2008:283-294.
- [4] 布鲁诺·西西利亚诺,欧萨马·哈提卜. 机器人手册第二卷 机器人技术[M]. 《机器人手册》翻译委员会,译. 北京:机械工业出版社,2016:81-87.

(收稿日期:2018-07-10)

专利信息

冷轧产品板面防锈油涂油量的控制方法

专 利 号: ZL201110124722.4

专利权人: 宝山钢铁股份有限公司

设 计 人: 祁庆璐 陈红星 王印旭
魏军胜

本发明公开了一种冷轧产品板面防锈油涂油量的控制方法,该方法是将石油溶剂与防锈油按比例混合成混合液,将冷轧产品试样制成涂油试样基板,将涂油试样基板用上述混合液进行处理,从而获得针对不同防锈油的具有一定涂油量的涂油试样。发明冷轧产品板面防锈油涂油量的控制方法具有可控性强、结果准确、重复性好等特点,可以对多种防锈油获得同大生产中同样的涂油量,而且可以根据需要控制不同的油膜厚度,并且对不同防锈油也可以获得同样的涂油量,在此基础上对不同防锈油的性能进行评价,避免因涂油量不同而造成的性能对比差异,从而可以作为在实际生产中防锈油选用及防锈油改进方向确定的重要依据。

一种在水冷区域对移动高温钢板进行实时测温的方法及装置

专 利 号: ZL201110131277.4

专利权人: 宝山钢铁股份有限公司

设 计 人: 张春伟 朱健桦 王笑波
张庆峰

一种在水冷区域对移动高温钢板实时测温的方法及装置,在托架上的待测钢板的各待测点打孔,埋设热电偶,热电偶线头接到多通道测温仪,事先将蓄水底座、定位底板和前后连接件在冷却装置前的辊道上放好,将内层罩、不间断电源放入灌水的蓄水底座内,扣上外层罩,内层罩漂浮。实时记录钢板加热过程中的温升,当钢板各点温度上升到目标值后,将托架及钢板整体迅速放置到定位底板上,将多通道测温仪和笔记本电脑放入内层罩内,将热电偶线束嵌入前后连接件(槽钢)内,合上外层罩,根据本发明,既能解决纤细的热电偶不能受力和仪表防水等问题,也无需改动现有水冷装置。

(宝山钢铁股份有限公司规划与科技部供稿)