



## 带钢表面缺陷在线检测设备的防护分析与应用

梁 爽,何永辉,杨水山,彭铁根,宗德祥  
(宝山钢铁股份有限公司,上海 201900)

**摘要:**带钢表面缺陷在线检测系统的检测工位环境恶劣,诸如油污、灰尘、蚊虫、高温、击打等都严重影响了其正常的工作。为了保证成像清晰度、保障设备性能,带钢表面缺陷在线检测设备需要进行有效防护。防护措施的实施既要满足对检测系统的防护需求,又要充分考虑现场环境的限制。分析了现场环境对检测设备的影响因素,并结合不同应用产线,阐述了带钢表面缺陷在线检测设备的防护措施及其应用情况。

**关键词:**在线检测; 防护; 环境; 影响因素

**doi:** 10.3969/j.issn.1672-9587.2012.02.009

## Protection analysis and application of on-line surface defect inspection equipment for strip steel

LIANG Shuang, HE Yonghui, YANG Shuishan, PENG Tiegen, ZONG Dexiang

(Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China)

**Abstract:** The harsh environment such as oil stain, dust, mosquito, high temperature and striking sound, affects strongly the normal work of on-line surface defect inspection systems for strip steel. In order to ensure the image resolution and equipment performance, the equipment should be protected effectively. The implementation of protective measures should not only satisfy the requirement of detective system for protection, but also full consider the limitation of site environment. The influence factor of site environment where the equipment is located is analyzed. Combining with its use in different production lines, the protective measures and status in-use of on-line detective apparatus of strip surface defect are introduced.

**Key words:** on-line inspection; protection; environment; influence factor

### 0 前言<sup>[1-4]</sup>

近年来,基于机器视觉技术的带钢表面缺陷在线检测系统作为大型钢铁企业带钢生产中质量监测管理的先进有效手段,已经获得知名钢铁企业的高度重视,应用规模迅速扩大。应用先进的带钢表面缺陷在线检测系统,全天候无遗漏实时监测表面质量,不仅能够对产品的质量进行定量的描述,而且能够及时发现辊印、划伤等由设备、工艺问题带来的缺陷,并立即采取措施,使生产与质量控制紧密地结合起来,避免设备的过维护和欠维护,保持产品质量的一致性,产生的经济效益十分明显。

应用在生产现场实时检测部分的设备主要包括了光源、镜头、摄像机等精密仪器,这些仪器

通常需要适合的环境温度、清洁的工作环境、无击打震动的影响、无蚊虫的干扰、无热辐射的伤害等。而这些影响因素往往在现场又是难以避免的,因此,带钢表面缺陷在线检测系统的顺利运行,防护是其需要解决的首要问题。

对于现场检测设备的防护措施的实施,其主要目的有两个:①保证检测设备在不同现场环境下都能够清晰成像,确保成像的清晰度;②保障检测设备的工作性能,确保其不受周围环境的影响而受损坏。

基于上述原因,本文主要介绍了检测设备在现场应用的几种现场情况,并结合宝钢带钢表面缺陷在线检测系统的不同应用产线,阐述了其检测设备的防护办法及应用情况。

## 1 在线检测设备影响因素分析

对于不同产线的带钢表面缺陷在线检测系统,其检测原理大致相同,如图1所示。一个典型的基于机器视觉的带钢表面缺陷检测系统主要由

光源、镜头、摄像机和采集卡、PC机和图像处理软件、机械构件和连接部件等几个部分组成。用于完成照明、成像、图像数字化、图像处理和识别等系统功能。

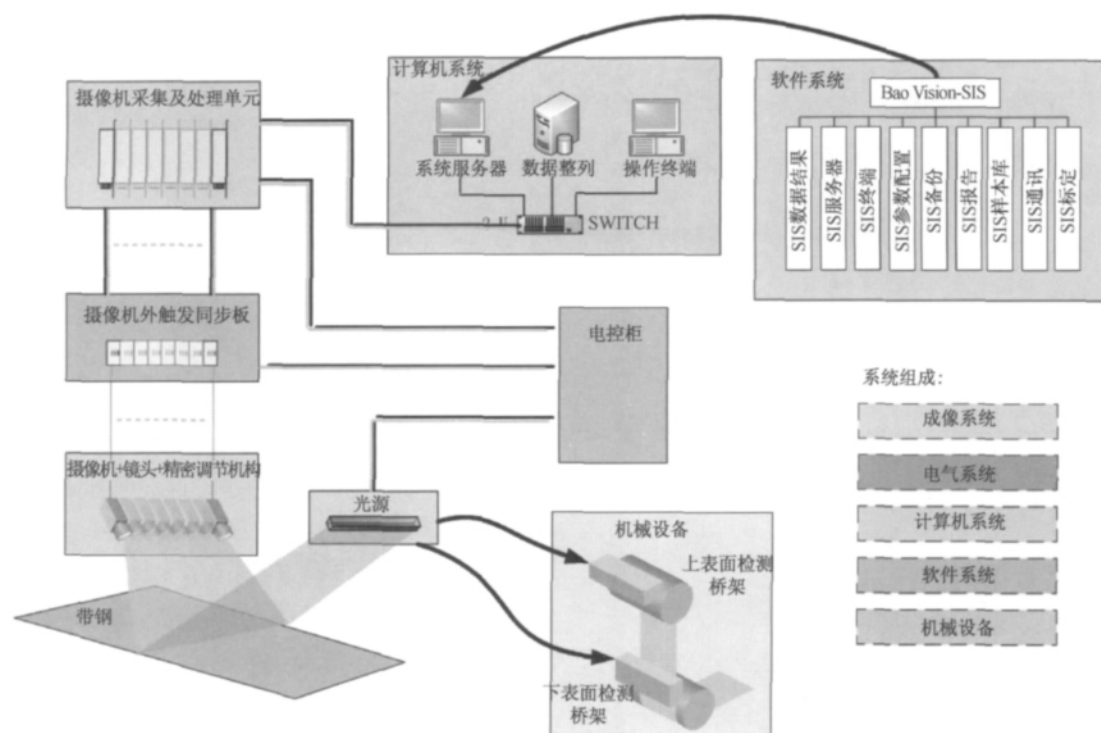


图1 带钢表面检测系统原理图(SIS:表面检测系统)

系统模块可分为上表面检测系统模块和下表面检测系统模块。检测系统中相机对带钢上下表面成像后,得到的图像数据通过数据接口传送到图像处理单元,图像处理单元对图像进行实时处理,并将处理结果通过网络接口传送到系统服务器和数据存储服务器。

其中,成像系统包括光源、镜头、相机,是应用于带钢运行产线的现场部分的设备,对应用环境有着严格的要求。为了能够达到高精度的成像效果,通常成像系统安装位置距离检测对象较近。而被检测的带钢其所处环境各异,相对于成像系统的工作环境要求相差甚远,这就需要做出必要的防护措施,保证检测效果,保障检测设备的性能。

由于带钢表面缺陷在线检测系统应用环境及情况比较复杂,所以应该针对不同的情况采取相应的预防措施。由表1归纳大致有基本防护和特殊防护两种。

## 2 在线检测设备基本防护措施

由表1可以看出,对于高温、油污、粉尘、击打

所造成的影响普遍存在于各类产线的检测环境中,因此,针对基本防护,进行有效的防护措施是检测设备顺利运行的第一步。

(1) 高温防护 CCD摄像机对温度要求较为严格,最高允许温度为 $50^{\circ}\text{C}$ ,同时由于带钢运行过程中还会产生大量热量,在夏季的几个月里现场的极端温度将会达到 $80^{\circ}\text{C}$ 左右。因此需要对CCD摄像机进行有效的降温措施,避免高温造成设备的损坏。

为了保证CCD摄像机在高温环境下进行正常在线表面缺陷图像的采集,为此专门设计了控温冷却装置。

该装置主要由温度传感器、空调温度控制检测器组成,如图2所示。配有温度显示功能的温度传感器,在计算机单元机柜中,可随时监视CCD摄像机等器件的工作环境温度;空调温度控制检测器直接反馈回空调控制单元。

(2) 污染防治 带钢表面缺陷在线检测设备均属于精密设备,需要在良好、无污染的工作环境下才能保证正常的工作。但是,生产机组上往往

表 1 防护分类

防护措施	防护原因	防护目的	可能应用产线	防护类型
冷却控温	检测设备自身的发热以及检测环境周围的现场温度过高会影响设备正常运行	保护设备	冷轧热轧	基本防护
防污箱体	检测环境周围的油污、粉尘会影响检测精度,容易污染镜头	保证检测效果	冷轧热轧	基本防护
防撞栏	现场带钢断带的事故也时有发生,断带甩尾可能会打到距离较近的检测设备	保护设备	冷轧产线	基本防护
防酸处理	检测设备周围如果有酸雾会腐蚀检测设备,影响其寿命	保护设备	酸洗线	特殊防护
蚊虫防护	在部分成品线上,蚊虫的干扰会影响检测精度,可能影响最终产品质量	保证检测效果	成品线	特殊防护
吹扫处理	在水汽较重的检测位置,水汽未干会导致检测出伪缺陷	保证检测效果	酸洗线	特殊防护
热辐射防护	热轧产线,除了环境温度外,带钢本身也带有极高的温度,热辐射对检测系统有很大影响	保护设备	热轧产线	特殊防护

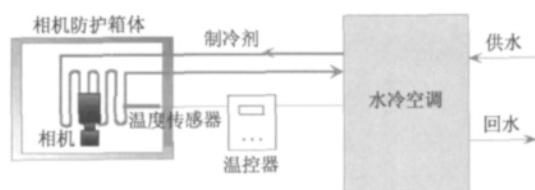


图 2 CCD 摄像机控温冷却系统

有大量的油污、粉尘等污染物,如果将检测设备裸露在现场进行检测,上述污染物不仅影响检测精度,更严重的还会损坏检测设备。图 3 为某冷轧机组安装检测装置的现场环境,由图 3 可见,不仅安装地方狭小,油污、粉尘、水汽非常多。因此需设计专门防污装置保护检测设备不受污染。

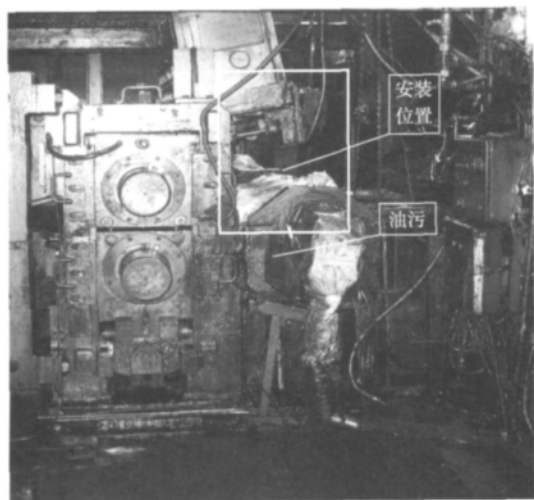


图 3 某冷轧机组检测设备现场环境情况

防护箱体的设计主要达到控温、防污、清晰成像、便于操作调试等目的。

对于 CCD 相机保护箱设计,检修门设计为可装拆的门。装在框架上的摄像头可通过检修门进行位置和方位的调整。箱内开有专门通气的窗口,空调冷却空气直通箱体,可以将 CCD 设备自身产生的热量及时带走,从而达到防护箱内部降温的作用,如图 4 所示。

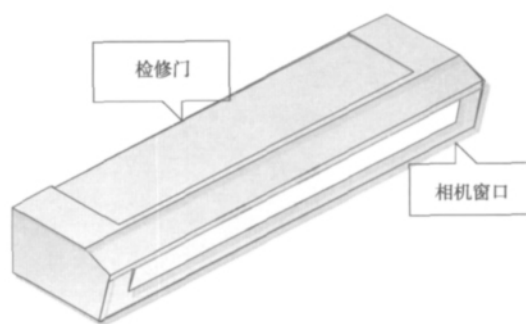


图 4 CCD 摄像机防护箱体设计

对于光源防护箱设计,为了达到控温,除了对检测设备进行控温系统的设计外,还同时要保持箱体内部温度恒定,为此要设计成密封箱体。采用铝合金中空箱体做密封防护箱体,中空隔层部分用聚乙烯发泡材料进行填充,面向钢板的透光壁采用两块钢化玻璃镶嵌在铝合金框架上,构成中空保温。防护箱内壁、门边缘、透镜边缘贴敷密封或隔热材料,达到控制箱的密闭性、隔热性。为防止光线的漫反射,将防护箱内部涂成黑色,这样可有效防止其他光线的干扰。图 5 和图 6 所示为光源防护箱示意图。

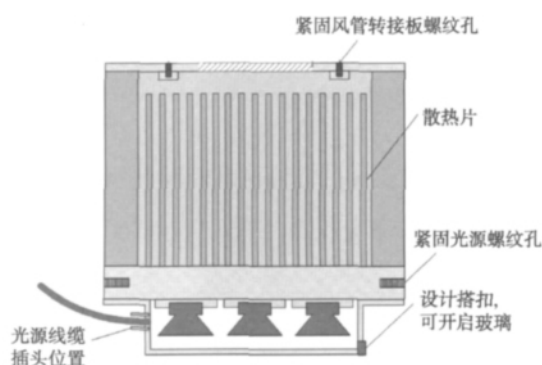


图5 光源防护箱体设计

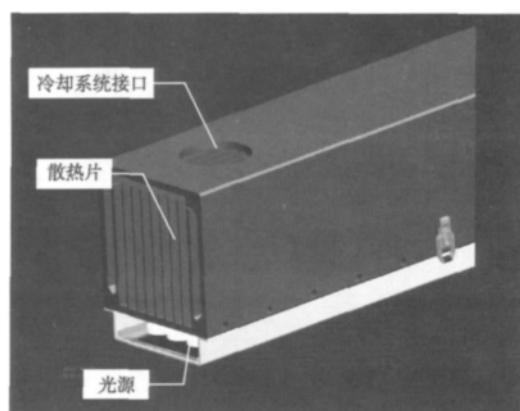


图6 光源防护箱体设计

图7为现场实际应用的表面检测系统的光源与摄像机防护箱体。

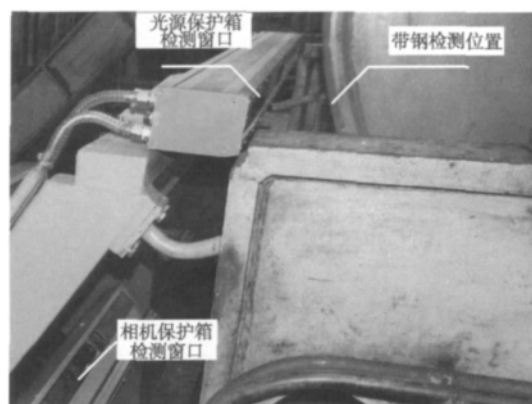


图7 某冷轧机组防护箱体现场应用

保护箱体的安装使得检测设备避免直接裸露在检测现场，密闭的箱体设计避免了现场的油污、灰尘直接污染镜头和相机。防护箱具备了防止油、气污染、隔热等功能，有效保证了精密仪器在较为恶劣的环境下长期正常工作。一旦遇到现场有较为严重的污染情况出现，现场维护人员也可以较为轻松地擦拭相机或者光源保护箱体窗口，

避免直接接触精密的检测设备，保证清晰的成像效果。

(3) 防撞保护 除了污染之外，现场带钢断带的事故也时有发生，发生断带的带钢碰撞到检测设备，将损坏检测设备。在防护设计方面，防撞设计是必不可少的。通常冷轧产线的检测设备距离带钢较近，因此在光源和摄像机防护箱体外，需增加防撞护栏，防撞栏采用钢架结构，当带钢断带发生时，断带的带钢首先打到防撞栏上面，避免了直接碰触检测设备，有效降低了此类事故造成的检测设备的损坏。图8为某冷轧酸洗线的现场检测装置，防撞护栏如图所示，防止带钢突然断带打到距离较近的光源。

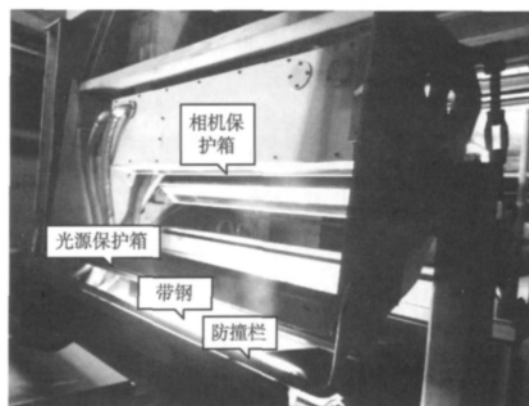


图8 某冷轧机组检测设备防撞栏

### 3 在线检测设备特殊防护措施

由表1可以看出，酸雾、水汽、蚊虫、高温热辐射会对部分产线产生影响，对于此类影响在系统设计中也要特别考虑，设计相应的防护装备。

(1) 酸洗线上的酸雾防护 通常在酸洗线上会产生酸雾，由于在线表面缺陷检测系统是24小时全天候的实时监测，因此，即使少量酸雾也必须予以重视，酸雾的防护也是必不可少的。对于防酸处理，一般采用的是将防护箱体外表面涂上防酸漆，以保护检测设备不受酸雾腐蚀的影响。

(2) 酸洗线上的水汽吹扫 在酸洗线上除了酸雾还会在部分位置产生大量水汽，例如酸洗槽出口位置，大量的水汽直接导致CCD相机采集到大量水汽图像。水汽图像和夹杂缺陷极为相似，直接导致检测系统的分类准确率下降。为解决此类问题，采用压缩空气吹扫的办法，在带钢表面进行水汽吹扫，防止伪缺陷的产生。

(3) 蚊虫防护 由于带钢表面缺陷在线检

测系统是通过光学原理进行缺陷检测的,系统带有光源照明装置。而蚊虫最喜欢有强光的地方,这给检测系统带来许多麻烦。尤其在夏季,光源的照射很容易招来很多蚊虫,不仅影响光源的透光,而且会使带钢表面黏连蚊虫,直接影响到表面缺陷检测系统的检测精度。而对于成品产线来说,蚊虫的干扰有可能影响产品的质量。因此,需要防止蚊虫的干扰。

为了防止蚊虫对带钢表面质量的影响,在检测系统及带钢周边建设一个防护小房,小房采用水晶板材质,将光源及其四周包围在其中,既防止了蚊虫的进入,又进一步防止了周围灰尘的污染,同时,便于调试人员对光源、摄像机等硬件设备的调整和调试。图 9 为某冷轧线成品线表面检测系统,加盖了防蚊虫小房,以避免蚊虫对带钢表面质量可能造成的影响。



图 9 某冷轧成品线蚊虫防护

(4) 热辐射防护<sup>[5-7]</sup> 对于热轧带钢表面缺陷在线检测,层流冷却后带钢表面温度仍然在 550 ~ 850℃,带钢表面的热辐射对光源、摄像机等检测设备都具有极大的破坏力,直接影响到系统能否正常地进行检测工作。尽可能减少热辐射对系统影响是热轧带钢表面在线检测的关键。

针对相机和光源等精密检测部件,需要进行热辐射的分析,其中公式(1)中设备防护装置正对热轧带钢的辐射面积为  $A$ ,防护装置的辐射系数为  $\varepsilon$ ,黑体辐射力为  $C_b$ ,热轧带钢表面温度为  $T_1$ ,防护箱体表面温度为  $T_2$ ,则两表面之间的辐射传热为:

$$Q = \varepsilon C_b A \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (1)$$

由公式(1)可以看出,距离一定的情况下,要降低  $Q$  值,则应当相应降低  $\varepsilon$  和  $A$  的值,即降低防护装置的辐射系数和表面积。

铝、铜、镍在抛光时,其辐射系数均较小,但氧化后辐射系数急剧增大。镀锡板和高亮不锈钢板的辐射系数也比较小,考虑到铝、铜等金属容易氧化,在检测系统中可选择镀锡板和含镍量较高的不锈钢板作为防辐射材料。光源和相机透射窗口加装不锈钢隔热板,并使用压缩空气吹扫,减少滴水 and 下落杂物的影响。

图 10、11 为某条热轧带钢生产线上在线表面检测系统装备防护。为了达到高温防护与检测设备的调试,对检测系统部分进行了防护小房的搭建,检测设备均安放在防护小房内,检测设备通过小房地面开设检测窗口进行热轧带钢表面缺陷的图像采集,如图 10 所示,图 11 为温控冷却装置。

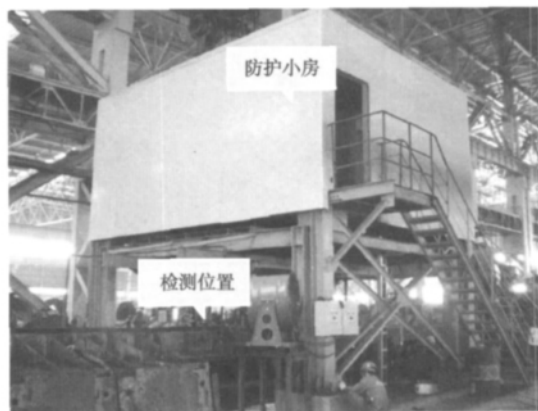


图 10 某热轧机组检测系统防护小房



图 11 某热轧检测设备温控冷却装置

该防护小房很好地对热辐射、油污、灰尘进行了屏蔽,小房的加盖便于操作人员对现场设备进行调试。冷却设备对小房及其检测设备进行有效降温,使得小房室内温度始终保持 25℃,进一步控制了因检测窗口带来的室内温度升高的现象,

保证了系统正常运行工作温度。

#### 4 结语

由于带钢表面缺陷在线检测系统应用的环境各不相同,不仅要保证成像的清晰度,还要保障现场设备的工作性能,对于检测设备的防护也是一个不断探索和更新的过程。准确掌握带钢表面缺陷在线检测系统应用环境情况,对于防护措施的实施具有重要意义,本文结合带钢表面缺陷在线检测系统应用环境条件因素分析,提出了不同应用产线的防护分类及其解决方案,并已在不同产线得以应用,获得很好的应用效果。

随着生产需要和技术发展的推动,自动检测系统建立完善的轧制全过程检测表面质量在线检测系统是发展的必然趋势,因此其检测环境也必将更加恶劣,有效的防护措施是检测系统实施的第一步,带钢表面缺陷在线检测设备的防护研究也将进入更深的研究。

#### 参考文献

- [1] 杨水山,何永辉,王振龙,等.带钢视觉检测系统的研究现状及展望[J].冶金自动化,2008,32(2):5-9.
- [2] 徐科,徐金梧,梁治国,等.冷轧带钢表面质量自动检测系统的在线应用研究[J].冶金自动化,2003(1):51-53.
- [3] 徐科,杨朝霖,周鹏.热轧带钢表面缺陷在线检测的方法与工业应用[J].机械工程学报,2009,45(4):111-114.
- [4] 何永辉,苗润涛,陈云,等.基于LED光源的热轧带钢表面质量在线检测系统的开发与应用[J].宝钢技术,2011(3):1-5.
- [5] 胡贤磊,矫志杰,李建民,等.中厚板精轧过程的高精度温度预测模型[J].东北大学学报:自然科学版,2003,24(1):71-74.
- [6] 陆大有.工程辐射传热[M].北京:国防工业出版社,1988:7.
- [7] 卡里卡 B V,戴斯蒙德 R M.工程传热学[M].刘吉萱译,北京:人民教育出版社,1981.

---

#### (上接第41页)

- [42] Suzuki S, Shirakawa Y, Someya R, *et al.* Development of UOE-formed welded steel pipes for TLWP tendon application [C]//OMAE Europe '89. Hague: ASME, 1989.
- [43] Takeuchi I, Nishimoto K. Development, pre-qualification, and production history of 60Ksi UOE steel tendon pipe for auger tension leg platform [C]//1995 OMAE. ASME, 1995: 347-355.
- [44] Ikawa H, Oshige H, Tanoue T. Effect of martensite-austenite constituent on the HAZ toughness of a high strength steel, IIW Doc. IX-1156-80, 1980.
- [45] Suzuki S, Kamo T, Komizo Y. Influence of martensitic islands on fracture behaviour of high heat-input weld HAZ[J]. Journal of the Japan Welding Society, 2007, 5(4): 532-536.
- [46] Funakoshi T, Tanaka T, Ueda S, *et al.* Improvement in

microstructure and toughness of large heat-input weld bond due to addition of rare earth metals and boron in high strength steel [J]. Tetsu-To-Hagane, 1977, 63(2): 303-312.

- [47] Takamura J, Mizoguchi S. Roles of Oxides in Steels Performance - Metallurgy of Oxides in Steels [C]//Proceedings of the Sixth International Iron and Steel Congress, 1990: 591-597.
- [48] Suzuki S, Bessyo K, Arimochi K, *et al.* Low temperature type new TMCP steel plate for LPG carriers [C] // Proceedings of the 4th International Offshore and Polar Engineering Conference. Osaka, 1994: 591-595.

王厚昕 译  
焦四海 校