



连铸板坯鼓肚量的计算

王岩, 赵美, 常国威

(辽宁工学院 材料与化学工程学院, 辽宁 锦州 121001)

摘要: 考虑连铸过程中钢水静压力增量的影响, 建立了新的数学模型, 利用材料力学的弹性变形理论和蠕变变形理论得出鼓肚量的计算公式, 并通过定量计算得出: 合理的二冷水配制可以减小鼓肚量; 拉速越高, 相同位置的鼓肚量越大。当拉速的增减幅度为 0.1 m/min 时, 对应相同位置鼓肚量增减量约为 $6\% \sim 15\%$; 辊间距的大小对鼓肚量影响较大, 当辊间距的增减幅度为 10 mm 时, 对应相同位置鼓肚量增减量约为 $10.5\% \sim 21\%$ 。

关键词: 连铸; 鼓肚; 数学模型

中图分类号: TG213

文献标识码: B

文章编号: 1005-1090(2005)01-0023-03

Calculation of Slab's Bulge Size in Continuous Casting

WANG Yan, ZHAO Mei, CHANG Guo-wei

(Material & Chemical Engineering College, Liaoning Institute of Technology, Jinzhou 121001, China)

Key words: continuous casting; bulges; mathematical model

Abstract: The calculation formula of slab's bulges by utilizing the theory on elastic distortion of materials mechanics and creep deformation in continuous casting was obtained. The calculation formula and the effect of static pressure increment of liquid steel were considered. Thus a new mathematic model was set up. The quantity calculations indicated that appropriated arrangement of second cooling water will reduce the size of bulges; The higher the velocity of pulling billet, the larger the size of bulges will be, the velocity of pulling billet varied in 0.1 m/p , the corresponding size of bulges varied in the extent from 6% to 15% at the same position; The effect of the distance of rolls will be more obvious. The distance of adjacent rolls varied in 10 mm , the corresponding size of bulges varied in the extent from 10.5% to 21% at the same position.

连铸过程中“鼓肚”现象是导致铸坯内裂和铸坯质量下降的重要因素之一^[1], 所以正确地计算鼓肚的大小, 明确各因素对鼓肚的影响, 从而有效地控制鼓肚变形就显得尤为重要。本文结合实际连铸过程重新建立更接近实际的数学模型, 得出鼓肚量的理论计算公式, 并对其进行验证, 同时通过定量计算出各参数对鼓肚量大小的影响。

1 数学模型的建立与计算结果的验证

“鼓肚”是在不均匀温度场的作用下由于钢水静压力和支撑辊的联合作用而产生的变形, 其鼓肚变形示意图如图1所示。在弯月面下某一位置, 每一时间步长的钢水静压力呈线性增加^[2], 其增量为

$$\Delta q = \rho g v_c \Delta t$$

式中: v_c 为拉坯速度, m/s ; Δt 为时间步长, s ; ρ 为钢水的密度, kg/m^3 ; g 为重力加速度, m/s^2 。

* 收稿日期: 2004-10-11

基金项目名称: 国家自然科学基金资助(50374043)

作者简介: 王岩(1982-), 男, 辽宁昌图人, 硕士生。

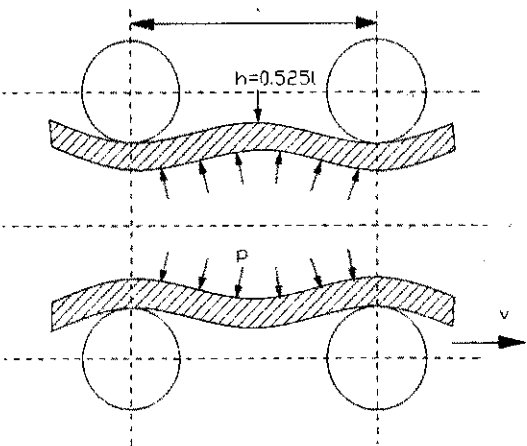


图 1 铸坯鼓肚变形示意图

$$V = \frac{\eta \alpha t^{\frac{1}{2}}}{E_c I} \left(\frac{1}{36} \rho g B l^2 x^3 + \frac{1}{12} q l x^3 - \frac{1}{120} \rho g B x^5 - \frac{1}{24} q x^4 - \frac{1}{60} \rho g B l^3 x^2 \right) - \frac{1}{24} q l^2 x^2 - \frac{1}{360} \rho g B l^4 x \quad (1)$$

式中： α 为考虑铸坯宽度的形状系数； η 为 α 的修正系数，对于一般板坯，可取 $\eta \alpha = 1$ ； ρ 为钢水的密度； q 为梁左端点所受的载荷； B 为铸坯的宽度； x 为两辊间任意鼓肚量的位置，最大鼓肚量位于 $x = 0.525l$ 处； l 为辊间距； I 为梁的截面惯性矩， $I = BS^3/12$ ； S 为梁的厚度； E_e 并不是坯壳实际弹性模量，而是修正了的等价弹性模量，用下述公式计算：

$$E_e = (T_{sol} - T_m) / (T_{sol} - 100) \times 10^6 \text{ N/cm}^2$$

式中： T_{sol} 为钢水凝固温度； T_m 为坯壳平均温度，可取铸坯表面温度与钢水凝固温度的平均值； t 为铸坯通过一个辊间距的时间，其单位为“分”。

将表 1 的实验条件带入到式(1)，其计算结果如表 2 所示，由表 2 可以看出利用公式(1)计算板坯的鼓肚量基本上是可靠的。

表 1 实验条件

液相线温度	1 508 C
固相线温度	1 470 C
坯壳表面温度	1 040 C
坯壳厚度(以固相线温度为界)	8.3 cm
钢水静压力	280 kPa
拉速	1.42 cm/s
宽度	1 400 mm

表 2 计算结果及对比

数据类型	辊间距		
	43 cm	86 cm	129 cm
K. Wunnenberg 的实测数据(mm)	0.4~1.6	5.0~7.0	35.5~42
B. Barber 的计算结果(mm)	0.36	6.9	46.2
盛义平的计算结果(mm)	0.24	5.4	33.48
公式(1)(mm)	0.26	6.4	42.5

万方数据

将相邻两支撑辊上的坯壳视为两端都是固定端的定端梁，属于二次超静定梁^[3]，建立受力模型如图 2 所示。分析可得：坯壳产生的鼓肚最大量应处于两辊之间铸坯中心线偏右的位置。

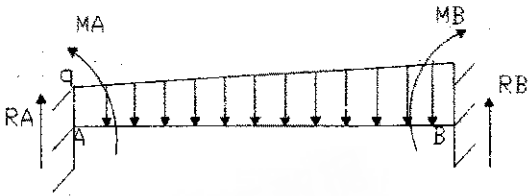


图 2 受力模型

由图 2 所建立的受力模型得到连铸板坯鼓肚量的计算公式为：

2 讨 论

2.1 铸坯的表面温度对鼓肚的影响

引用某大学冶金学院通过研究和实测所得到的铸坯表面温度的数据(见图 3)，将各表面温度值带入到式(1)中，得到整个连铸过程中，不同二冷条件下铸坯表面温度对铸坯鼓肚量变化的影响曲线，如图 4 所示。

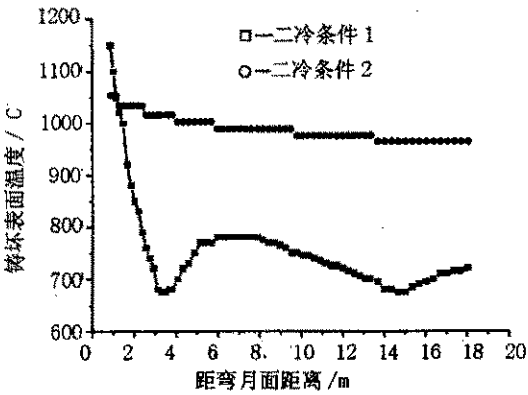


图 3 不同二冷条件下的铸坯表面温度曲线

可以看出在距离结晶器出口较近的位置，采用二冷条件 1 比采用二冷条件 2 鼓肚量大约减小了一半，而在距离结晶器出口大约 15 m 的位置以后，两种条件下的鼓肚量基本重合。其原因是在铸坯刚出结晶器不久的位置处，已凝固坯壳的厚度比较小，此时铸坯的表面温度越高，在该区域产生的鼓肚变形量相对较大，采用二冷条件 1 可以有效控制铸坯表面温度，减小由于温度过高而造成的鼓度量过大现象；凝固后期，凝固坯壳厚度不断增加，铸坯表面温

度的影响不再占据主要地位,所以其对鼓肚量的影响已经没有凝固初期那么显著了。可见,合理的二冷条件可以有效地减小凝固初期鼓肚量大小。

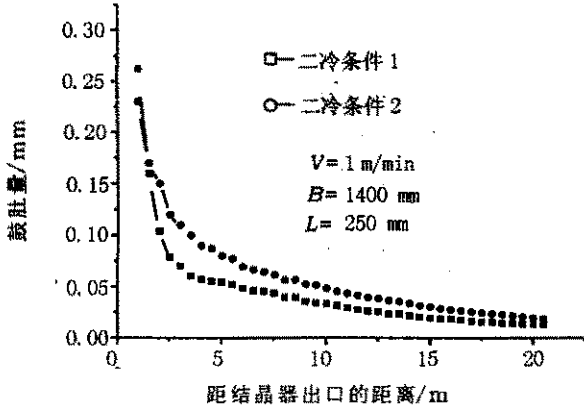


图 4 不同二冷条件下铸坯鼓肚量变化曲线

2.2 拉速对鼓肚的影响

图 5 为拉速分别为 1 m/min、1.6 m/min 和 2.2 m/min 时的鼓肚量计算曲线。

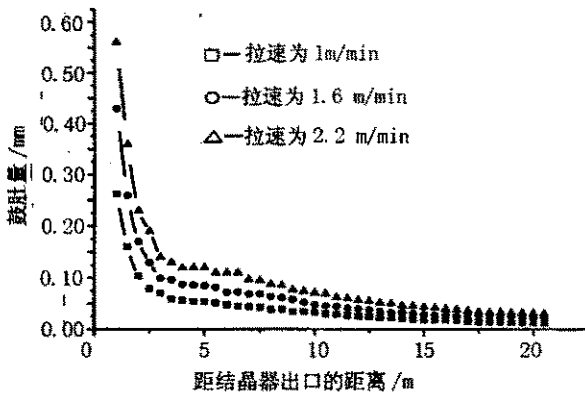


图 5 不同拉速下的铸坯鼓肚量变化曲线

图 5 可以看出:拉速越高,对应相同位置的鼓肚量越大。其主要原因是相对于同样断面的铸坯,拉速提高,液相穴长度增加,坯壳厚度必然减小。尽管提高拉速使坯壳蠕变时间略有减小,但相对而言,坯壳

厚度减薄的影响占据主导地位^[2]。同时,通过定量计算得出:当拉速的增减幅度为 0.1 m/min 时,对应相同位置鼓肚量增减约为 6%~15%。

虽然拉速可以提高生产效率,但是拉速过大会造成鼓肚量显著增大,甚至造成漏钢现象。所以,合理地选择拉坯速度就显得至关重要。

2.3 辊间距对鼓肚的影响

图 6 为辊间距分别为 250 mm、500 mm 和混合辊间距时的鼓肚量曲线。

图 6 结果表明:当辊间距的增减幅度为 10 mm 时,对应相同位置鼓肚量增减约为 10.5%~21%。图中三角标识曲线采用的是混合辊间距,即凝固初期采用较密的辊间距,凝固后期调整辊间距大小采用较大辊间距,其曲线变化比较平稳,产生的鼓肚量也较小,所以合理地设计辊列及辊间距可以有效地减

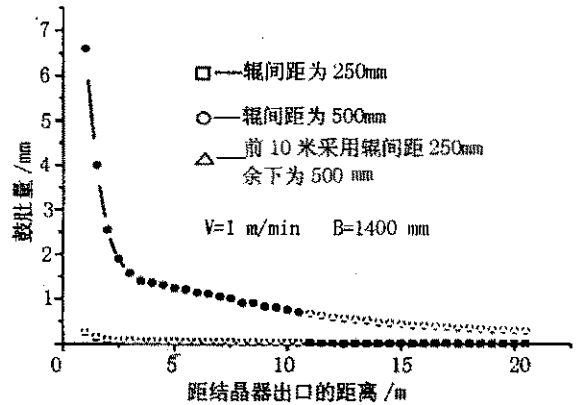


图 6 不同辊间距下铸坯鼓肚量变化曲线
小鼓肚量。

3 结 论

(1)应用材料力学弹性变形理论和蠕变理论可以推导出连铸板坯的鼓肚量计算公式为:

$$V = \frac{\eta \alpha t^{\frac{1}{2}}}{E_c I} \left[\frac{1}{36} \rho g B l^2 x^3 + \frac{1}{12} q l x^3 - \frac{1}{120} \rho g B x^5 - \frac{1}{24} q x^4 - \frac{1}{60} \rho g B l^3 x^2 \right] - \frac{1}{24} q l^2 x^2 - \frac{1}{360} \rho g B l^4 x$$

通过与以往计算结果进行比较,证明该板坯鼓肚量计算公式基本上是可的。

(2)当拉坯速度的增减幅度为 0.1 m/min 时,相同位置鼓肚量随之增减约为 6%~15%。

(3)当辊间距的增减幅度为 10 mm 时,对应相同位置鼓肚量增减幅度约为 10.5%~21%。

参考文献:

- [1]刘慰俭,戴一一.液芯连铸坯壳鼓肚变形的研究[J].重型机械,1994,(4):10~16.
- [2]干勇,仇圣桃,萧泽强.连续铸钢过程数学物理模拟[M].北京:冶金工业出版社,2001.
- [3]苏翼林.材料力学(下册)[M].北京:人民教育出版社,1982.

连铸板坯鼓肚量的计算

作者: [王岩](#), [赵美](#), [常国威](#), [WANG Yan](#), [ZHAO Mei](#), [CHANG Guo-wei](#)
作者单位: [辽宁工学院, 材料与化学工程学院, 辽宁, 锦州, 121001](#)
刊名: [辽宁工学院学报](#)
英文刊名: [JOURNAL OF LIAONING INSTITUTE OF TECHNOLOGY](#)
年, 卷(期): 2005, 25(1)
被引用次数: 4次

参考文献(3条)

1. [刘慰俭](#), [戴一](#) [液芯连铸坯壳鼓肚变形的研究](#) 1994(04)
2. [干勇](#), [仇圣桃](#), [萧泽强](#) [连续铸钢过程数学物理模拟](#) 2001
3. [苏翼林](#) [材料力学](#) 1982

相似文献(10条)

1. 会议论文 [Joo Dong Lee](#), [Chang Hee Yim](#) [有限元法研究连铸钢坯非稳态鼓肚机理分析](#) 2000
研究了钢铁连铸过程从动辊的运动, 并与诸如拉速、结晶器液面等因素比较其运动波动。观察到从动辊运动过程中有大的波动, 并且凝固坯壳的厚度不均匀, 认为坯壳厚度不均匀是中碳连铸过程中非稳态鼓肚的原因。对轧辊采用二维模型, 并用有限元方法计算连铸速度变化过程中鼓肚形状及其随时间变化, 计算结果与实验结果符合得很好。由上可知, 非稳态鼓肚周期受辊距影响较大, 因此, 它取决于出现不同辊距的位置, 在某种程度上受拉速变化影响。最后, 在计算和实验结果的基础上, 讨论了非稳态鼓肚对结晶器液面的影响。
2. 期刊论文 [陈淑英](#), [常国威](#), [吴春京](#), [CHEN Shu-ying](#), [CHANG Guo-wei](#), [WU Chun-jing](#) [连铸钢坯一次枝晶间距及“鼓肚”的影响](#) -[钢铁研究学报](#)2008, 20(7)
探讨了铸坯中一次枝晶间距的变化规律及其“鼓肚”量对枝晶间距的影响。通过确定凝固速度的表达式, 定量计算了连铸过程中一次枝晶间距。结果表明, “鼓肚”的存在, 使柱状晶生长初期一次枝晶间距出现增大、减小、再增大的周期性变化趋势, 当固液界面向正弦波的波峰处运动的过程中, 一次枝晶间距逐渐增大, 当固液界面向正弦波的波谷处运动的过程中, 一次枝晶间距逐渐减小。“鼓肚”量增加时, 一次枝晶间距变化的幅度增大。在凝固的中后期, 波峰和波谷处的一次枝晶间距基本相等, 表明枝晶进入稳定生长的阶段, 此时“鼓肚”对枝晶间距的影响基本可以忽略。计算结果与实验结果基本吻合。
3. 学位论文 [兰惠清](#) [大圆坯连铸及坯壳变形规律的研究](#) 1999
该文建立了大圆坯连铸传热数学模型, 推导出含有可变参数控制单元格式的有限差分计算方程, 用Borland C++语言编制了计算铸坯温度场的通用程序, 比较了在不同拉坯速度、不同比水量及不同钢水过热度下对铸坯温度、结晶器出口坯厚度、冶金长度的影响, 并提出了适合大圆坯浇铸的回归公式及自动控制方案。
4. 期刊论文 [杨建伟](#), [杜艳平](#), [史荣](#), [崔小朝](#), [YANG Jian-wei](#), [DU Yan-ping](#), [SHI Rong](#), [CUI Xiao-chao](#) [异形坯连铸坯壳应力与鼓肚变形分析](#) -[铸造技术](#)2005, 26(6)
坯壳应力引起的鼓肚变形是影响铸坯质量的重要因素, 为防止过大的鼓肚变形, 依据流体力学理论、热传递理论和粘弹性理论, 建立了异形坯三维热-力耦合模型, 开发了鼓肚分析软件, 从而避免了漏钢事故的发生。该模型将温度场和应力场的计算相互耦合, 交替进行。结果表明: 异形坯截面最危险点位于腹板中部, 其次为翼板中点, 在两者相结合的圆角部, 由于凝固坯壳比较薄, 其应力值也比较大; 当坯壳厚度小于20 mm时, 两点的鼓肚变形量将分别超过其极限变形量, 铸坯出结晶器时必然发生漏钢事故。该模型通过预测坯壳应力和鼓肚变形量为现场安全生产提供了理论依据。
5. 期刊论文 [王恩刚](#), [赫冀成](#) [结晶器磨损对连铸小方坯鼓肚变形及内裂纹形成的影响](#) -[金属学报](#)2001, 37(11)
应用连铸坯凝固传热与应力分析耦合数学模型, 定量地描述了坯壳与结晶器壁间气隙的大小和分布, 着重研究了结晶器磨损对坯壳鼓肚变形和内裂纹形成的影响。结果表明: 气隙首先形成于坯壳的角部区域, 并且以顶角处的气隙厚度最大, 逐渐向中心区扩展; 当结晶器磨损严重时, 坯壳偏角区成为热节区, 在热节区内坯壳厚度最薄, 同时在结晶器下半部产生鼓肚变形, 这种变形起始于坯壳最薄弱的偏角热节区在热节区附近的铸坯对角线凝固前沿产生的力学应变达到临界应变, 使铸坯产生内裂纹。研究结果验证了严重的结晶器磨损是连铸坯产生鼓肚变形、偏角区内裂纹乃至漏钢事故的重要原因之一, 也说明了铸坯偏角区内裂纹是起源于对角的凝固前沿并向温度相对较高的两个薄弱环节-表层热节区和凝固前沿方向扩展。
6. 学位论文 [宁振宇](#) [板坯连铸鼓肚问题与辊列布置三维仿真研究](#) 2007
本文基于弹塑性理论与有限元法, 利用有限元软件Ansys、MSC、MARC建立了板坯连铸二冷区三维鼓肚模型, 对板坯连铸凝固过程和坯壳鼓肚进行了仿真研究。主要工作及结论如下:
1) 通过建立板坯连铸凝固过程的传热模型, 获得了板坯冷却传热过程的坯壳生长情况, 即得到了板坯连铸凝固过程中不同位置的温度场及凝固坯壳的形状, 为建立板坯连铸坯壳三维鼓肚变形仿真分析模型打下了基础;
2) 以铸坯的凝固冷却计算结果为基础, 充分考虑了铸坯材料力学性能随温度的变化情况, 并针对实际转机的设备参数、工艺状况及铸坯的几何特点对模型进行相应的简化, 建立板坯连铸二冷区坯壳三维鼓肚变形仿真模型, 对铸坯鼓肚变形进行计算与分析, 得到铸坯典型位置处坯壳鼓肚变形情况及应力分布情况;
3) 在板坯连铸三维鼓肚模型的基础上, 对二冷区坯壳鼓肚变形的结果及规律进行研究, 得出如下结论: 铸坯宽面的鼓肚的变形比窄面边明显, 宽面中间凸起的大部分区域(平台区)受边界效应影响较小。铸坯的宽厚比和辊间距对平台区的大小影响明显, 当宽厚比增大时平台区相应增大, 但当辊间距增大时平台区减小;
4) 研究辊子节数和辊间距对铸坯鼓肚变形的影响, 并在此基础上优化辊子排布, 使辊子排布更有利于控制铸坯的鼓肚变形。研究得到: 辊间距增大时铸坯的鼓肚量也相应地增大; 在辊间距不变的情况下两节式导辊的刚度为单节式导辊的25.8倍, 而三节式导辊刚度为单节式导辊的107倍, 显然采用分节式导辊十分有利于控制带液芯铸坯的鼓肚变形。
7. 期刊论文 [虞哲彪](#) [关于连铸机铸坯压和重引拔压的设定计算方法](#) -[宽厚板](#)2002, 8(2)
液压系统向连铸机升降驱动辊供给的液压压力应根据工艺要求进行设定计算。本文分析了铸机正常工作驱动辊的压入力与铸坯内部的鼓肚力的关系, 鼓肚力的动态变化要求驱动辊的压入力能较好地逼近这种变化。文章提出了驱动辊对铸坯的液压压力的计算步骤和方法, 并且就处理漏坯的重引拔液压力的确定方法作了介绍。
8. 期刊论文 [刘伟涛](#), [Michel Bellet](#), [Alban Heinrich](#), [Victor D. Fachinotti](#), [LIU Weitao](#), [Michel Bellet](#), [Alban](#)

鼓肚变形及因变形引起的中心线偏析是影响板坯质量的重要因素。法国冶金部和一些企业组织了优化钢铁生产的项目,采用数值方法研究和优化连铸工艺。介绍了巴黎高等矿业学校在连铸过程数值仿真方面的研究成果。

9. 学位论文 [邹德芳 板坯连铸机拉坯阻力研究](#) 2006

连续铸钢是钢铁冶金领域内发展最快、最受重视和最成功的技术之一。由于连续铸钢具有收得率高,质量好,能耗低,劳力省的优点,因而已越来越引起人们的重视,并为钢铁企业广泛应用。发展连铸是我国钢铁工业的一项重要技术政策,近30年来,连铸技术在我国得到了迅速发展,但是我们应该清醒的看到,我国的连铸发展还有很多不足,如:大量低水平连铸机的重复建设;可浇品种少;连铸机作业率低;自动化控制水平低等等。因此对连铸机进行现代化的技术改造已经提上日程。本文既是针对我国某钢铁公司板坯连铸机技术改造进行的理论研究。

本文的重点是对板坯连铸机拉坯阻力进行理论推导与探讨,为后续的进一步研究奠定了理论基础。拉坯阻力是连铸机的一个重要力能参数,它是确定拉坯机电机功率、支承辊液压缸压力和拉坯机架强度等的重要依据。精确计算拉坯阻力,分析产生拉坯阻力的原因,找出减小拉坯阻力的方法,对连铸机的设计、正常操作运行及提高铸坯质量具有十分重要的意义。

本文重点探讨了影响结晶器内拉坯阻力的因素,提出了当量摩擦系数的概念,并对该系数的具体取值进行了探讨;同时本文考虑了金属材料的高温蠕变特性,并结合平板理论,给出了全新的板坯铸坯鼓肚量计算公式和矫平该部分鼓肚的拉坯阻力计算公式。另外本文还涉及到了金属试件的拉伸试验,通过试验的办法给出了相应的重要参数,具有一定的现实意义。

本文自行开发了板坯连铸机拉坯阻力的计算软件,能够估算一般板坯连铸机的拉坯阻力,对相关的人员有一定的参考价值。

10. 期刊论文 [焦晓凯. 秦勤. 吴迪平. 宁振宇. Jiao Xiaokai. Qin Qin. Wu Diping. Ning Zhenyu 板坯连铸铸坯鼓肚变形的仿真研究](#) -冶金设备2007,“(1)

合理的控制影响铸坯质量的鼓肚量,有利于铸坯质量的提高。根据板坯实际生产,利用有限元法模拟凝固过程并建立二维热机耦合鼓肚模型,分析了拉速与二冷引起的蠕变时间、坯壳厚度及铸坯温度的变化对鼓肚的影响,为实际生产提供参考。

引证文献(4条)

1. [Shuying Chen. Guowei Chang. Jianzhong Wang. Chunjing Wu Effects of correlative factors on the interdendritic melt flow brought by the bulge in continuous casting slabs](#)[期刊论文]-[北京科技大学学报\(英文版\)](#) 2008(4)
2. [陈淑英. 常国威. 吴春京 连铸钢坯一次枝晶间距及“鼓肚”的影响](#)[期刊论文]-[钢铁研究学报](#) 2008(7)
3. [宁振宇 板坯连铸鼓肚问题与辊列布置三维仿真研究](#)[学位论文]硕士 2007
4. [邹德芳 板坯连铸机拉坯阻力研究](#)[学位论文]硕士 2006

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_lngxyxb200501007.aspx

授权使用: 重庆大学(cqdx), 授权号: 76cc32ae-801f-4291-834d-9e1300a33b76

下载时间: 2010年10月18日