

奥钢联的热带钢连铸连轧的技术思想

任吉堂, 陈连生

(河北理工学院 冶金系, 河北 唐山 063009)

摘要: VAI公司的热带钢连铸连轧基于不同考虑分别主张采用中厚板坯或者薄板坯, 文中介绍了VAI的技术思想的特点和热带钢连铸连轧生产线配置方案。

关键词: 热带钢; 板坯厚度; 连铸连轧

中图分类号: TF777

文献标识码: A

文章编号: 1006 - 5008 (2002) 05 - 0026 - 05

TECHNOLOGICAL INTRODUCTION ABOUT CONTINUOUS CASTING AND CONTINUOUS ROLLING FOR HOT STRIP IN VAI

REN Ji-tang, CHEN Lian-sheng

(Department of Metallurgy, Hebei Institute of Technology, Tangshan, Hebei, 063009)

Abstract: It is considered that medium thick slab or sheet billet should be adopted for various users' demands in continuous casting and continuous rolling of hot strip in VAI. It is introduced the characteristic of above technology and production line configuration in VAI.

Key Words: hot strip; thickness of slab; continuous casting and continuous rolling

1 引言

在近终形薄板坯连铸连轧迅速发展的今天, AVI公司主张选用中等厚度板坯为热带钢连轧机的供料, 是有其理论依据和市场需求的。

发展薄板坯连铸连轧的初衷是降低成本和能耗。由于连铸连轧生产过程提供了相当可观的经济效益, 促使了这种短流程生产方式的迅速发展。在薄板坯连铸连轧的生产方式中, 提高连铸坯的装入温度比起减小板坯厚度更有意义。奥钢联给出了一个非常有趣答案, “生产相同的最终尺寸和钢种的产品, 轧机入口的板坯厚度的差别而引起的吨钢变形能耗的差别是很小的”。基于这种提法, 采用中等厚度板坯轧制带钢地位就被接受了。

与传统的生产工艺相比, 连铸连轧巨大的经济效益表现在工艺步骤、设备、生产周期、能耗以及操作人员的减少等方面, 使得产品的销售价格持续走低的现实面前, 表现出了盈利能力不断增长的趋势, 呈现出薄板、中厚板坯、甚至传统厚度的板坯的连铸连轧生产方式都得到了发展。鞍钢

2000年2月投产的1780热连轧机就属于后者。

中厚板坯连铸技术为热带钢连续生产提供了巨大的潜力, 连续生产中的最大的缓冲能力使得其对用户具有了极大的吸引力。连铸中厚规格的板坯不仅可以生产与传统连铸过程同样高的质量产品, 而且已被实践证明了其操作更为灵活和便捷。近几年VAI为热轧带钢厂或者连铸连轧生产线提供了几套中厚板坯连铸机。

2 生产线配置类型与生产能耗

奥钢联认为CONROLL技术是热带钢生产的最适宜配置。能耗是决定方案时候首选的重要因素, 所需的能量值包括板坯加热和轧件塑性变形两部分。图1给出了不同生产方案所需加热能和变形能耗的比较。尽管在板带轧制过程中变形能的单位消耗是一个常量, 但是铸坯的装炉温度则是影响节能效果主要因素。图中显示从冷态装炉, 热送热装到直接轧制时能耗成本。

热轧带钢成品厚度与所需变形能耗关系如图2所示, 图中显示了这两个因素之间存在着指数关

系，在特定的工艺条件下会有±10%的波动范围。随着单位变形能费用的减小，生产过程的成本随之降低。

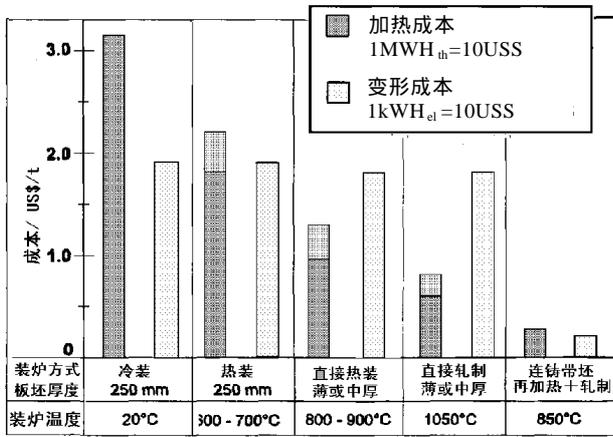


图1 不同坯厚条件下加热和变形单位能耗

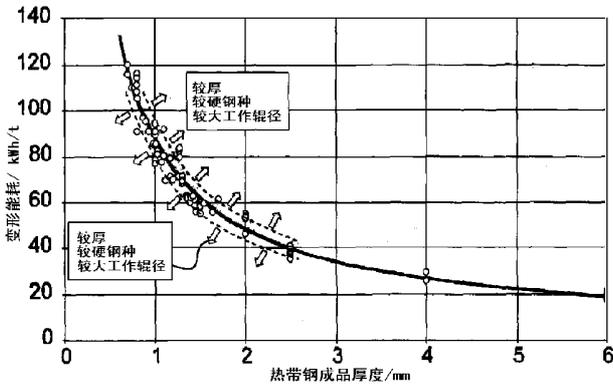


图2 热带成品厚度与单位变形能耗的关系

表1 热带钢生产线设备配置效果的比较

| | 新薄板坯连铸机与新型轧机连接 | 新中厚板坯连铸机与现有轧机连接 | 现有连铸机与轧机相连接 |
|----------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 铸坯厚度/mm | 中厚板坯 (50~90) 厚度 | 中等厚度 (100~150) | 常规板坯 (>200mm) |
| 建设投资 | 高 | 中 | 低 |
| 装炉温度 | 950~110 | 800~900 | 20~700 |
| 灵活性 (SEN, 宽度, 钢种的变化) | 差 | 中等 | 灵活 |
| 质量 | 较差 | 中等 | 好 |
| 钢种的变化 | 难 | 中 | 容易 |
| 计划执行难度 | 难 | 中等 | 容易 |
| 变形能耗 | 相同 | | |
| 产品厚度 | 小 | 中等 | 厚 |

激烈的市场竞争，迫使企业寻求满足自身特定条件的最优方案，以获得最大的经济效益。作为一项法则，市场明显偏爱具有产品质量好、生产效率高、规格潜力大、投资合理和造作成本低等具有综合优势的生产方案。原料厚度对于决定生产线设备配置有着重要的影响，最终产品质量也与连铸坯质量有关。

2.1 热带钢生产线连接的类型

由表1可以看到不同类型的热带钢生产线连接特点的比较。表给出了三种热连接方式，分别为新型薄板坯连铸机与新型轧机相接，新型的中厚板坯连铸机与现有轧机相接以及现有的传统连铸机和现有的轧机相连接的各项指标的比较。从中可以看出质量提高的趋势在板坯厚度增加时是指向传统连铸机和现有的轧机相连接的方向的，而产品厚度减小方向则是指向环保型新连铸轧机系统。

2.2 中厚板坯连铸

由于中等厚度板连铸的工艺源于多年经验的传统板坯连铸，所以其操作起来有非常高的灵活性。与薄板坯连铸工艺比较起来，中厚板坯的生产不受限制，并且与传统的铸造一样在连铸过程中允许采用浸入式水口 (SEN)，以及钢种变更和宽度的在线调整等。VAI的中厚板坯工艺使用平行板结晶器，其特点是在凝固初期不会在坯壳上形成有害的应力。应用显示，5m半径的弧形连铸机在连铸100~150mm坯厚时候，板坯内部和表面质量是最佳的。中等厚度的连铸工艺集传统连铸 (高的质量水平和操作的灵活性) 和薄板坯连铸 (装置较少和轧制时变形量小) 工艺的优点于一身。

3 最佳铸坯厚度的确定原则

最终产品所能达到的质量必然要取决于连铸板坯的质量。传统厚度的板坯连铸明显优于薄板坯连铸 (特别是针对到钢铁联合企业典型产品大纲的时候)，而中等厚度板坯的质量与传统板坯的质量十分相近。此外中厚板坯在作业率方面具有很大潜力，因为它处于薄板坯最大生产率所限制的拉坯速度与传统厚度连铸机产量的合理铸机长度之间的最

佳位置。

从可达到的最小规格潜力来分析,在整个生产线中的设备配置与连铸坯厚度之间存在着很大的影响关系。对于特定的轧机配置来说,板坯越薄,达到更小规格的能力就越大。另外,温度也是一个非常重要的影响因素。VAI认为中等厚度板坯连铸连轧生产线采用步进梁式加热炉以及其后的可逆式粗轧,与在出口温度较低的辊底炉中加热的薄板坯相当。

对于经济性非常乐观的旧设备改造,利用原有轧机,配备新的铸机,构成连铸连轧生产线有着非常重要和实用的意义。在这种情况下,薄板坯连铸机的配置并不能象新建薄板坯连铸连轧生产线那

样,可以实现优化设计和生产小规格产品的能力。但是,中厚板坯技术与传统连轧机配置,为老厂改造提供了最佳配置方案。

图3显示出90~150毫米的中厚度板坯实现这些决定性目标的广泛能力^[1]。将这种比较扩大到技术参数之外,包括投资和操作成本的方面,就可以发现,在大多数情况下,中等厚度板坯连铸技术综合了传统板坯连铸和薄板坯连铸技术的优点,而且从某种意义上来说,它代表了一种积极的“折衷方案”(如图4所示)。由于这些因素的重要性对不同的项目可能发生改变,因此必须针对不同情况开发出详细的设备配置方案,这样的方案应该根据不同的加权因数来确定。

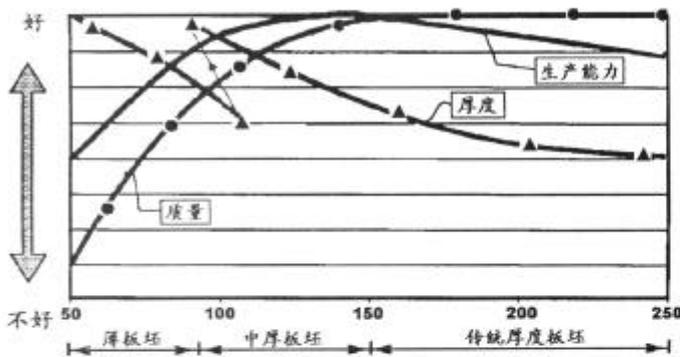


图3 铸坯厚度对主要工艺目标的影响



图4 各种板坯连铸技术的优势比较

4 VAI连铸机的设计特点和生产线配置

VAI的基本技术和设计特点都源于传统板坯连铸机经验基础,并进行了深入的开发工作,以适应薄规格和高拉速的特殊要求。

4.1 采用中等厚度板坯铸机配置的连铸连轧生产线

图5为中厚板坯连铸机与万能可逆式粗轧机之间设置步进梁式加热炉的示意图。

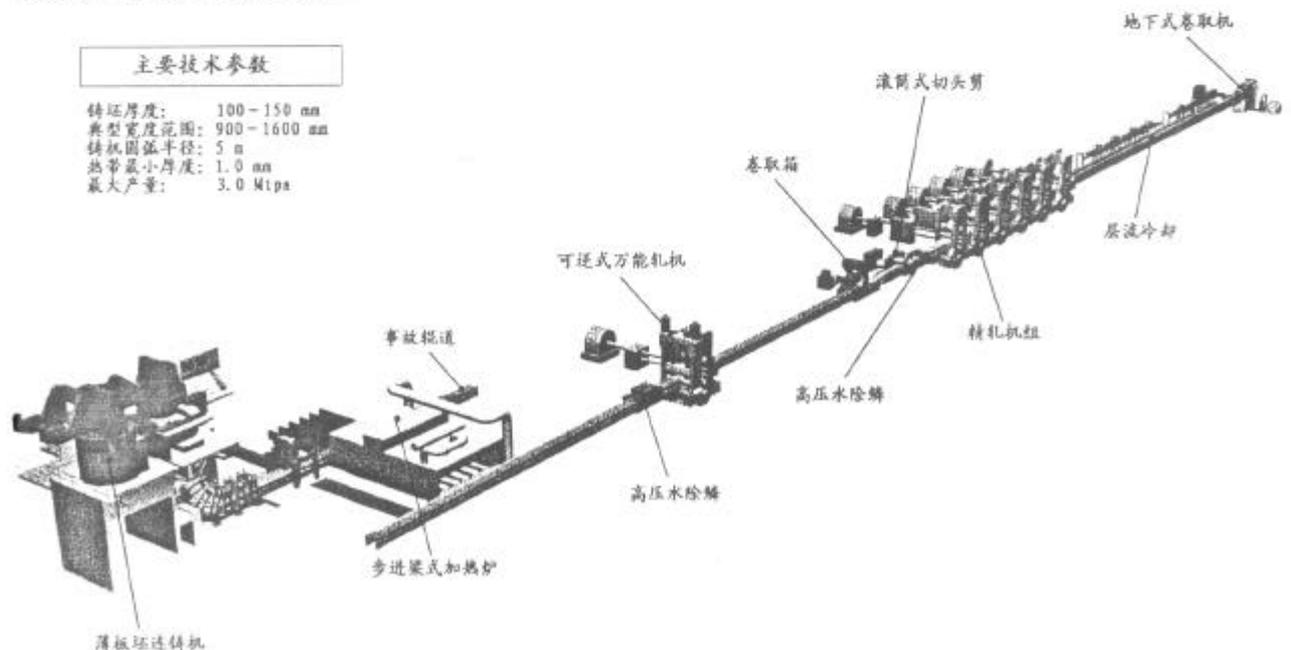


图5 CONROLL技术中等厚度板坯连铸连轧生产线配置

步进式加热炉为生产线处理某个环节的短时事故提供了充足的缓冲时间。粗轧机与精轧机组之间可以或选用辊底式隧道加热炉，或选用热卷曲箱来保持钢温。从轧机的配置角度分析，这实质上是原来半连轧车间配置的基本形，增设了这些粗、精轧机间的保温措施，就可以取消热连轧生产线上的中间辊道。这两种保温措施都允许降低粗轧道次的开轧温度，因此有利于节能和细化金相组织。选择热卷曲箱则可以显著缩短轧制线长度，降低基建投入。

步进式加热炉的选用，是本配置所体现出灵活性的一个方面。这样配置的生产线能实现的缓冲时间直接取决于加热炉内钢坯的存放量。图5给出的配置优点表现在：

(1) 克服了连铸与连轧之间生产节奏不均衡的问题，成为真正意义上的柔性配置；

(2) 中等厚度连铸机可浇铸的钢种显著多于薄板坯连铸机，尤其是可浇铸诸如包晶钢等易产生裂纹的钢种，表现出了生产钢种的灵活性；

(3) 薄板坯连铸连轧工艺下生产厚度较大的带钢，会出现的强度偏低的问题，可以认为是轧件压缩比太低所致^[2]。降低终轧温度和提高轧后的冷

却速度，能收到明显的效果。但是提高板材压缩比是解决厚板性能问题有效手段之一，对此奥钢联建议结晶其出口坯厚不应低于90~100mm是有一定道理的。

(4) 中等厚度的板坯连铸机最适宜嫁接在传统的热带钢连轧线之前，构成连铸连轧生产线。

必须指出，步进式加热炉内钢坯的存放量过大将会导致一系列问题：

钢坯的烧损增加和奥氏体晶粒过分长大；由于实施保护性气氛控制而增大炉子的运行成本。一般步进炉的缓冲时间以60分钟左右为宜。正常操作时候保持炉内存钢量以满足30分钟左右的轧机需求量为宜。

4.2 采用薄板坯连铸机配置的连铸连轧生产线

薄板坯连铸机后接轧边机和粗轧机组成的粗轧机组，六架精轧机组成了精轧机组。连铸连轧生产线的配置如图6所示。在这种配置方案中，连铸机拉出来的坯厚为90mm。对板坯实施的液心软压下LSR (Liquid Soft Reduction) 量最大可达20mm。这种配置方案的特点，与SMS和DANIELI等公司的薄板坯连铸连轧生产线配置的思想策略无原则区别，所不同的是采用了轧边机。

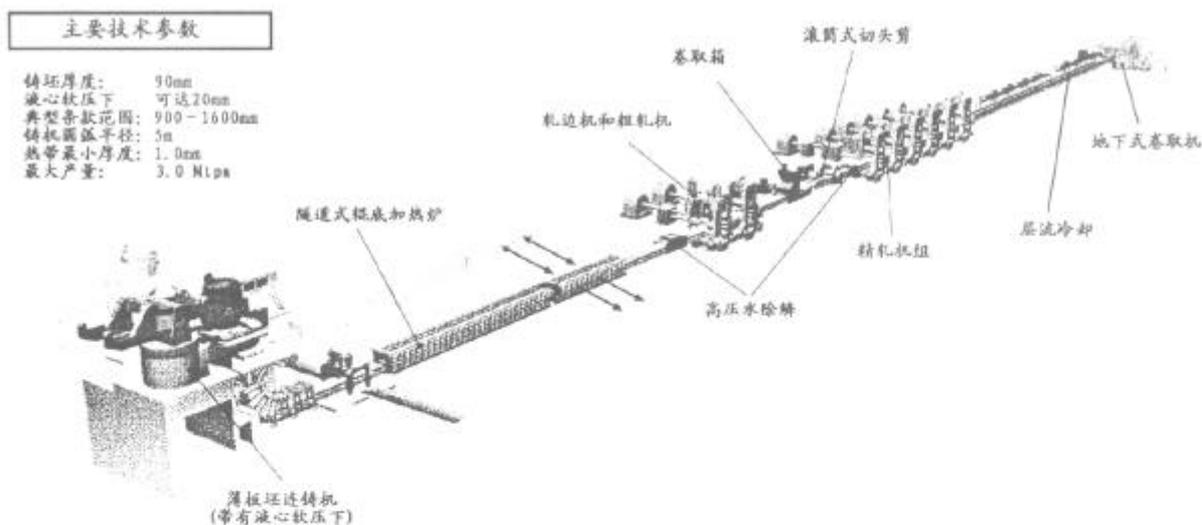


图6 CONROLL技术薄板坯连铸连轧生产线配置

在CONROLL轧制线上，粗轧机配备了液压自动厚度控制HAGC (Hydraulic Automatic Gauge Control)，工作辊快速换辊装置AWRC (automatic work roll changed) 技术。在立式轧边机还装备了液压自动宽度控制HAWC (Hydraulic Automatic Width Control) 系统，采用了HAWC的生产线可以有效地提高金属的收得率。

4.3 超薄热轧带钢的高效生产配置

为了能轧制出被市场接受的厚度在1.0 mm以下的超薄热带UTHS (Ultra Thin Hot Strip)，轧机的布置必须尽可能地紧凑。在这种情况下，选用生产1.0mm优质薄带非常有用的热卷曲箱时候，必须可率一种非常灵活的解决方案，即采用可伸缩式热

卷曲箱。这样，在生产线上轧制传统厚度带钢时，使热卷曲箱退出轧制线。

为了以合理的机架数轧制出目标规格（这对投资和工艺两方面而言都是非常重要的），需要按着轧机的能力确定连铸机提供的坯厚。从对现有生产设备的分析可以了解到，高质量和高生产率与生产多钢种带钢之间的要求之间是相互矛盾的，这在决定产品大纲和设备配置方案时必须予以足够的认识。

带液芯压下允许结晶器的出口厚度增加，这对产品质量也有着积极的作用，但是不会解决产能问题。VAI对此提出了一种解决方案，即在中等厚度板坯连铸机之后增设一个在线压轧机架，从而将板坯在进入辊底炉之前减薄至所希望的厚度。液芯压下主要优点为：

（1）连铸机允许选用平行或近似平行的结晶器，使之具有灵活性高和产品质量好的特点；

（2）但是，正是由于液芯压下，破坏了树枝状晶的形成，有利于铸坯形成等轴状晶粒，以便使最终成品性能得到提高。

（3）中等厚度板坯连铸机的生产能力大，单流主机产量达到 $150 \times 10^4 t$ ；

（4）有利于连铸出超薄带钢生产所需的板坯轧机入口厚度。

以上思路配置的生产线适合于应用超薄带钢，在这一生产领域所涌现的新技术成果和措施如图7所示。这些措施已成为轧制铁素体钢所必须采取的措施，超薄热带生产同时还需要加长辊底炉的长度，以满足倍尺板坯的半无头轧制模式的需要。

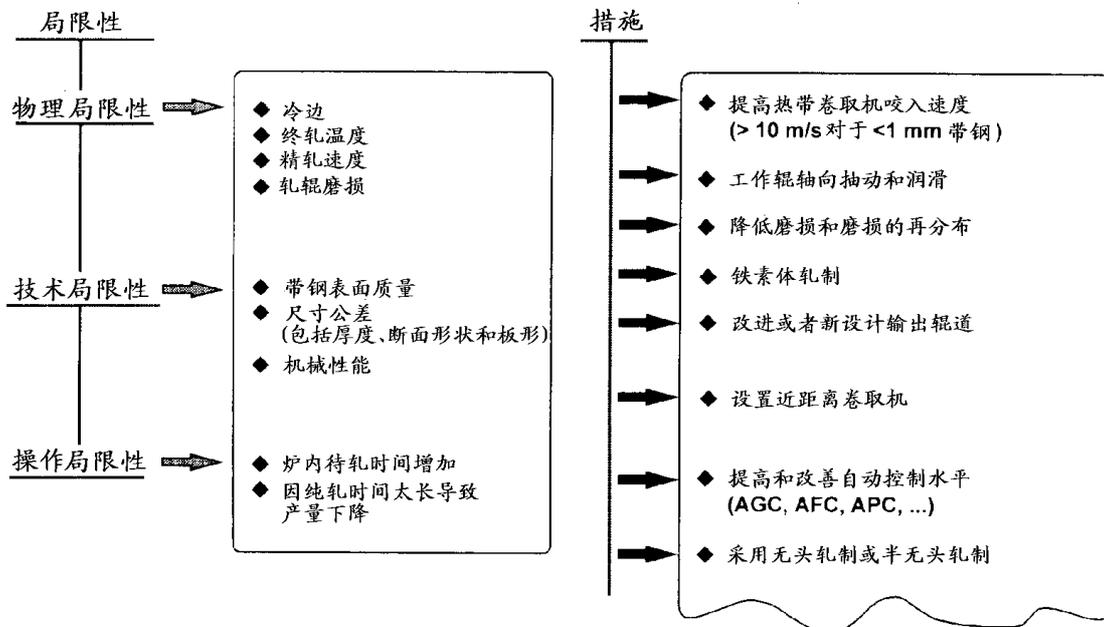


图7 超薄热带生产所必须具备的措施

4.4 薄带连铸的发展

市场需要更多的超薄热带，所以呼唤更多的薄带连铸设备。目前这一技术已经进入了工业化应用阶段。在一段时间以内，单一薄带连铸机的生产能力还不会达到薄板坯或中等厚度板坯连铸机的产能。然而，由于投资成本非常低，以至于获得非常明显的经济效益。经过对从原料到成品所有工艺步骤的统一协调，该技术的市场份额将会逐渐增加，这是一种适用于产品批量小，钢种变换频繁的小企业的技术。它将回避与高产能的设备直接竞争的问题。

蒂森·克虏伯公司、于齐诺尔集团和奥钢联

合实施了一个名为“欧洲带钢”（Eurostrip）的项目，建设了两套生产商业宽度产品的设备，一台经改进的样机建于意大利的Temi，另一台新的半工业化设备建于德国的Krefeld。由于参与项目的各方在研究开发、工程设计和生产操作方面都有很强的实力，所以随着薄带连铸技术工业化应用进程的加快，将会促进Krefeld设备升级改造的步伐，满足完全实现工业化生产的需要。这项计划，已经于2001年上半年开始实施。

5 结束语

最近10余年以来，VAI在薄板坯连铸连轧技术
(下转第39页)

炉补炉。由于炼钢与轧钢的停机时间不同步，因而使热装率受到限制。同时轧钢机时产量高，炼钢机时产量不能与其匹配，故不能实现全热装。

(2) 炉尾上料辊道因热坯停放时间长，且受炉气冲刷，经常损坏，为适应生产，需做系统改造，保证高温坯的正常输送。

8 结论

(1) 津西全热装工艺大提高了加热炉加热能力，热装温度达780~790℃，进而提高了轧钢产

量，简化了生产工艺流程，简化了生产操作。

(2) 热送热装工艺达到了节能、降耗的目的，津西钢铁公司生产一年来仅重油一项就可节约成本700余万元。

参考文献：

- [1]郭迁钢连续铸钢[M].北京：冶金工业出版社，1995.
[2]张树堂.连铸坯热送热装类型及相关的冶金学问题[J].轧钢，1998，(5)：3-6.

(上接第30页)

领域有着自己独特的见解和解决方案，为多条连铸连轧生产线提供了中等厚度板坯连铸机，同时也保留了传统生产方式的各方面优点，VAI技术特点表现为：

(1) 中等厚度板坯连铸机配置有在线压轧机，是解决中厚板坯变形大问题的核心设备。

(2) 中等厚度板坯连铸技术结合了厚板坯和薄板坯连铸技术优势，具有高产稳产，低的成本，高的产品质量和生产钢种（不论来自电炉还是转炉）多样性的特点。

(3) 能满足电弧炉或转炉的各种等级钢种的连铸质量，选择这项技术所能达到的实用效果的优越性已得实践证实。

(4) 液芯压下不生产超薄带钢的有效措施，对于降低单位能耗和获得铸坯等轴状组织来说，效果是实明显的。

(5) 薄带连铸技术的工业化生产，为独立于钢铁联合企业的小企业提供了竞争力。这一生产方式适合钢种变换频繁、批量小的特殊钢，它将回避与高产能的设备直接竞争问题。

参考文献：

- [1]Flick A, Lettmayr G, Wagner A. 'VAI's Medium Slab Casting and Direct Rolling Technology — Configuration and Results [R].Beijing: ISC, 2000.
[2]任吉堂, 刘宏强.薄板坯连铸连轧试产情况分析[J].钢铁, 2001, 36(12): 44.

(上接第36页)

所以，电机弱磁调速范围为：500~1312r/min. 电机工作范围为：375~1312r/min.

与电机转速 $n=1312r/min$.相对应的卷取机卷筒转速（即在最小卷径时）的转速 n_{min} 为：

$$n_{min}=V/(D_{min} \times 3.14/60) = 3.2/(0.5 \times 3.14/60) = 122r/min.$$

减速机的速比为：

$$i = 1312/122 = 10.75 \quad \text{取} i = 10.08$$

根据电机功率 $N=200kw$ 、扭矩 $M=3370Nm$ ，选用型减速机ZL115-4-（JB1130-70）型减速

机。

3 结论

在此机组的设计计算过程中，主要考虑的是解决：（1）在大张力情况下卷筒的设计合理性和结构合理性，以及大张力引起的大扭矩的传递问题。

（2）在卷筒的缠绕比为3.5的情况下，直流电动机的选择。此机组使用实践证明，效果良好。

参考文献：

- [1]周国盈.带钢卷取设备[M].北京：冶金工业出版社，1992.
[2]吴濮良.轧钢机械[M].北京：高等教育出版社，1982.