



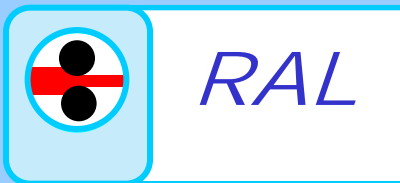
新一代TMCP技术

RAL.NEU



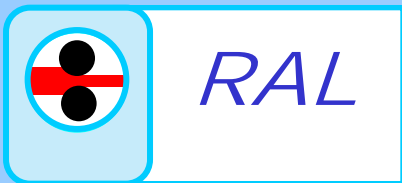
TMCP技术的发展和创 新

- TMCP是20世纪最伟大的钢铁技术成果之一
- 开发引领未来社会发展和人类需求的新一代钢铁材料
- 需要付出巨大的努力，充分利用新的科技成果，站在巨人的肩膀上进行钢铁生产过程的脱胎换骨的革命



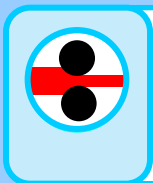
TMCP技术的发展和创**新**

- 作为材料物理冶金重要手段的TMCP技术，需要建立新的发展思路 and 开发框架
- 转变思想、开拓创新、实现跨越式的发展
- 关键在于**创新**——新一代的TMCP技术



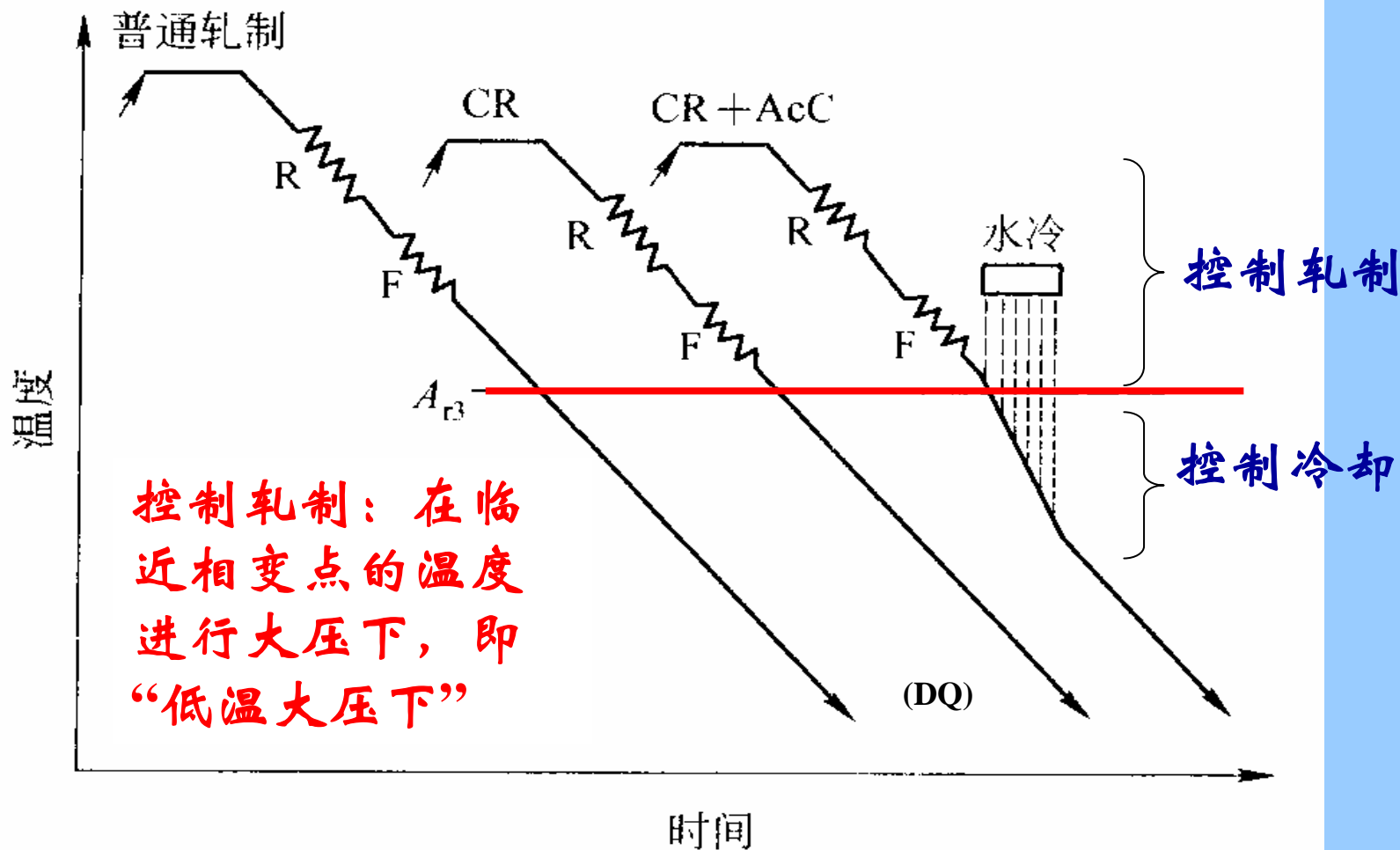
传统的TMCP技术

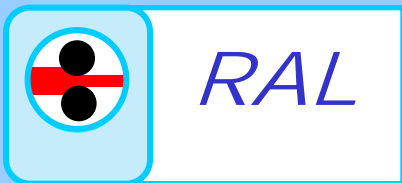




RAL

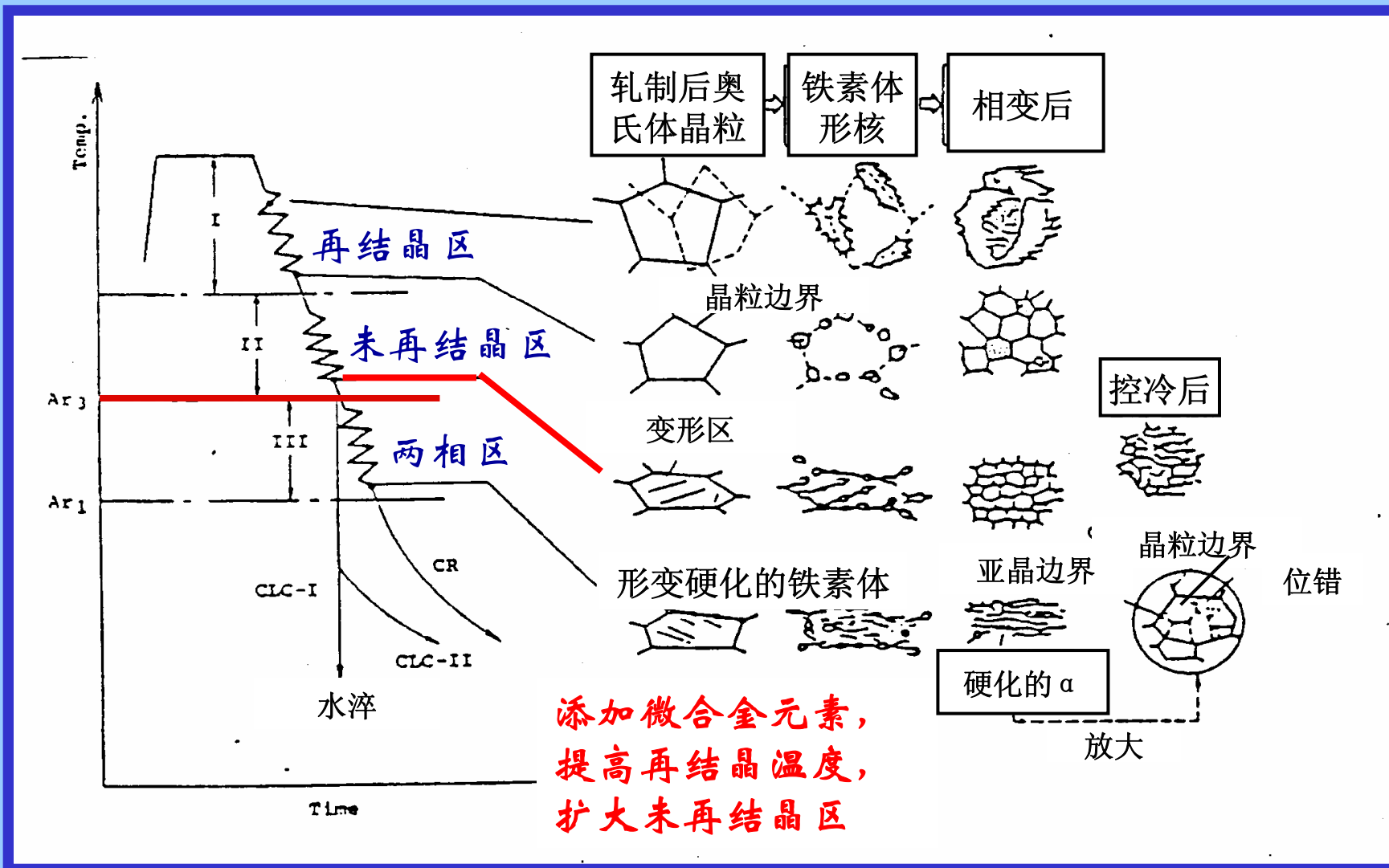
控轧控冷 (TMCP) 工艺





RAL

三种控制轧制的策略、参数和机理

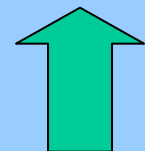




控制轧制与控制冷却的任务

控制轧制

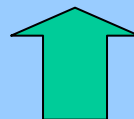
轧制参数的控制与优化
(奥氏体状态的控制)



加热温度
各个道次的轧制温度
压下量

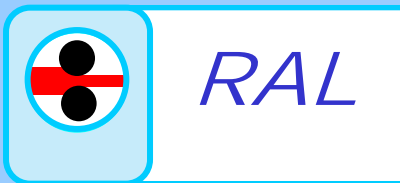
控制冷却

冷却参数的控制与优化
(相变过程的控制)



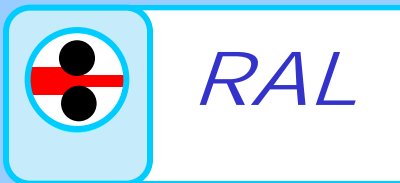
开始冷却温度
终止冷却温度
冷却速度
冷却模式

需要的组织和性能



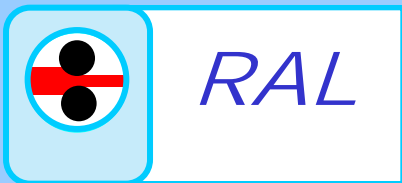
控制轧制和控制冷却的关键点

- 关键点：“奥氏体状态的控制”和进一步的“由这种状态受到控制的奥氏体发生的相变的控制”
- 控制轧制的要点：奥氏体状态的控制（晶粒尺寸、硬化状态）
- 控制冷却的要点：奥氏体相变条件的控制（开始温度（过冷度）、冷却速率、终止温度）



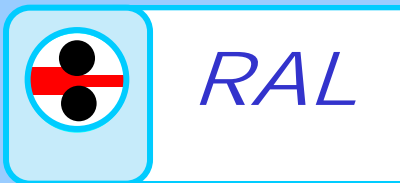
TMCP特征

- 低温大压下——轧制负荷、生产率、设备投资、轧制稳定性
- 微合金化——提高成本、焊接性能恶化、冶炼-连铸-轧制工艺复杂、轧制负荷增大
- 水是最廉价的合金元素——高冷却速率的开发利用、冷却路径的利用、冷却的均匀性



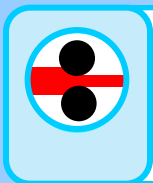
新一代TMCP技术的原理和设备





新一代TMCP出现的背景

- 社会的高速发展和人口急剧膨胀，使人类面临越来越严重的资源、能源短缺问题，承受着越来越大的环境压力。人类必须解决这些问题，才能与自然和谐发展，保持人类社会的长治久安和子孙后代的幸福安康。
- 针对这样的问题，在制造业领域，人们提出了4R原则，即减量化、再循环、再利用、再制造。



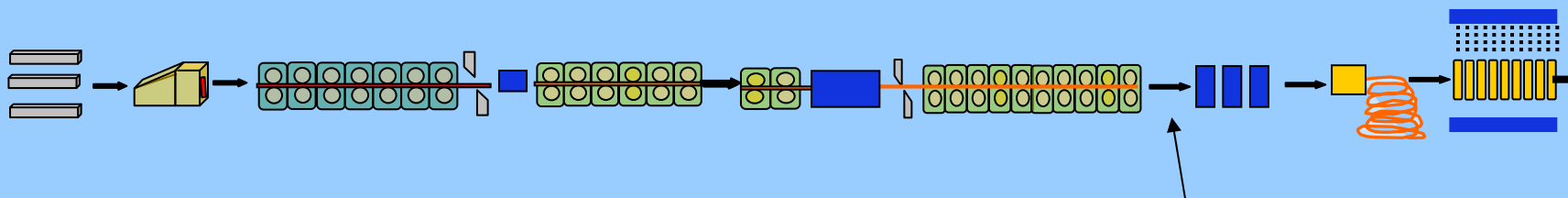
RAL

新一代TMCP出现的背景

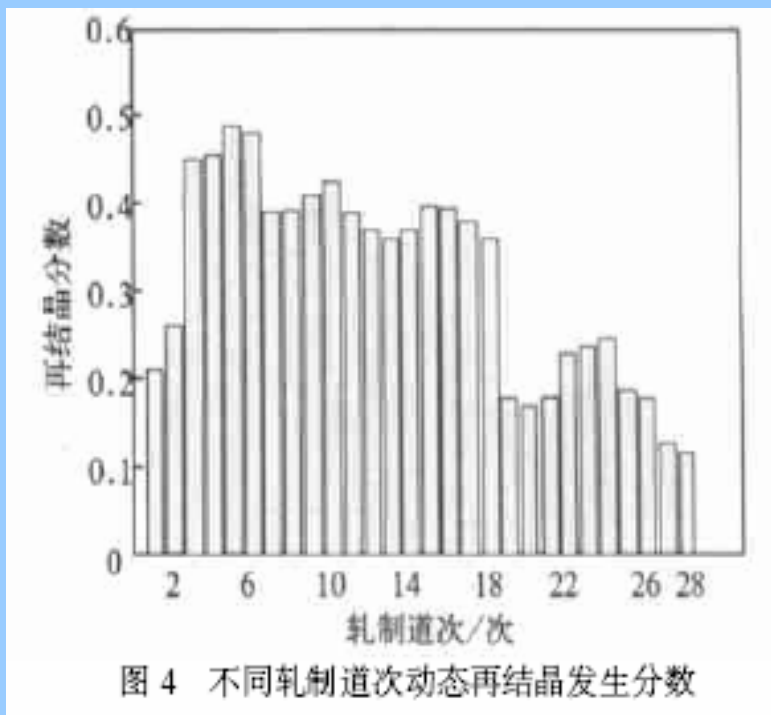
- 具体到TMCP技术本身，我们必须坚持减量化的原则，即采用节约型的成分设计和减量化的生产方法，获得高附加值、可循环的钢铁产品。这种TMCP技术就是以超快冷技术为核心的新一代TMCP技术。



现代连续轧制过程 - 高速连续大变形和应变积累

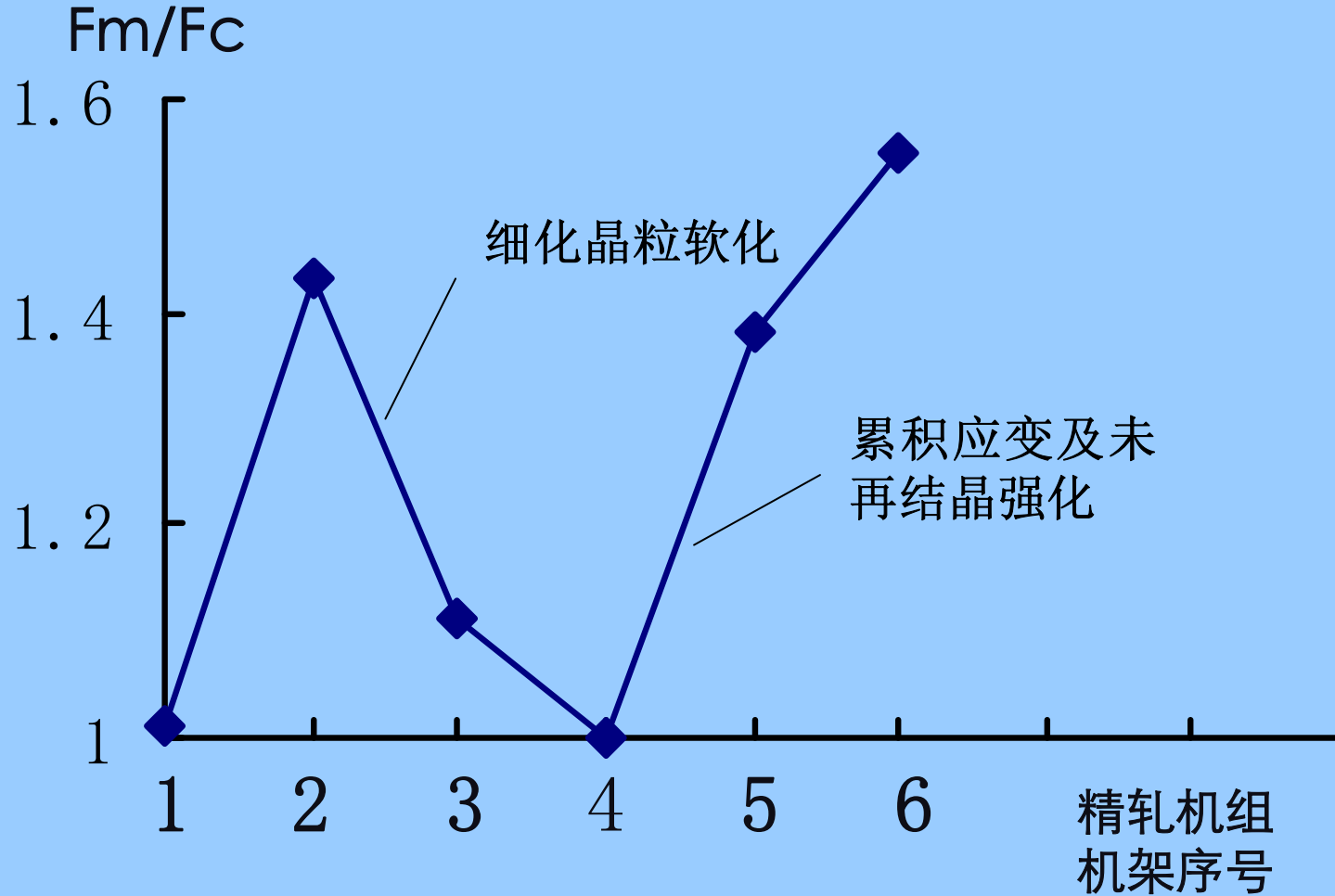


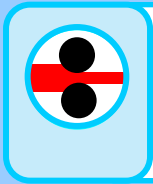
终轧速度 > 100m/s



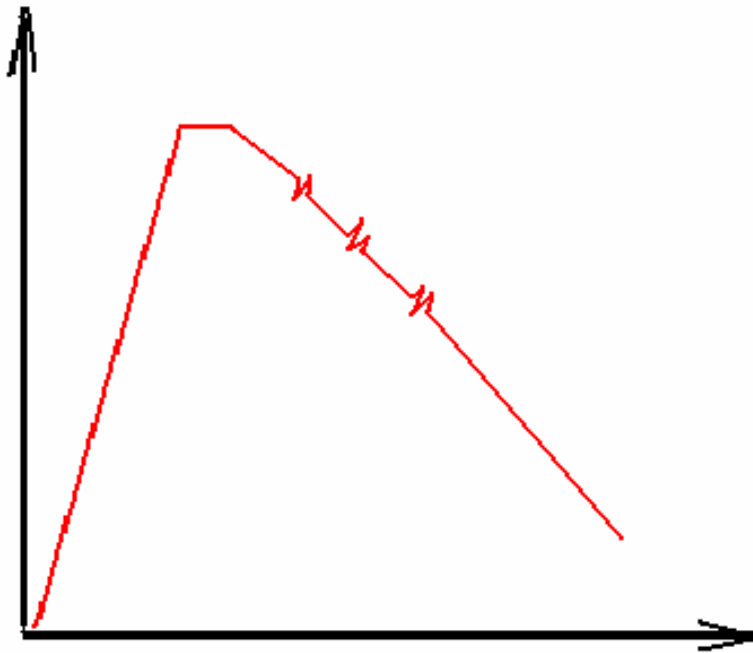


◆加工强化



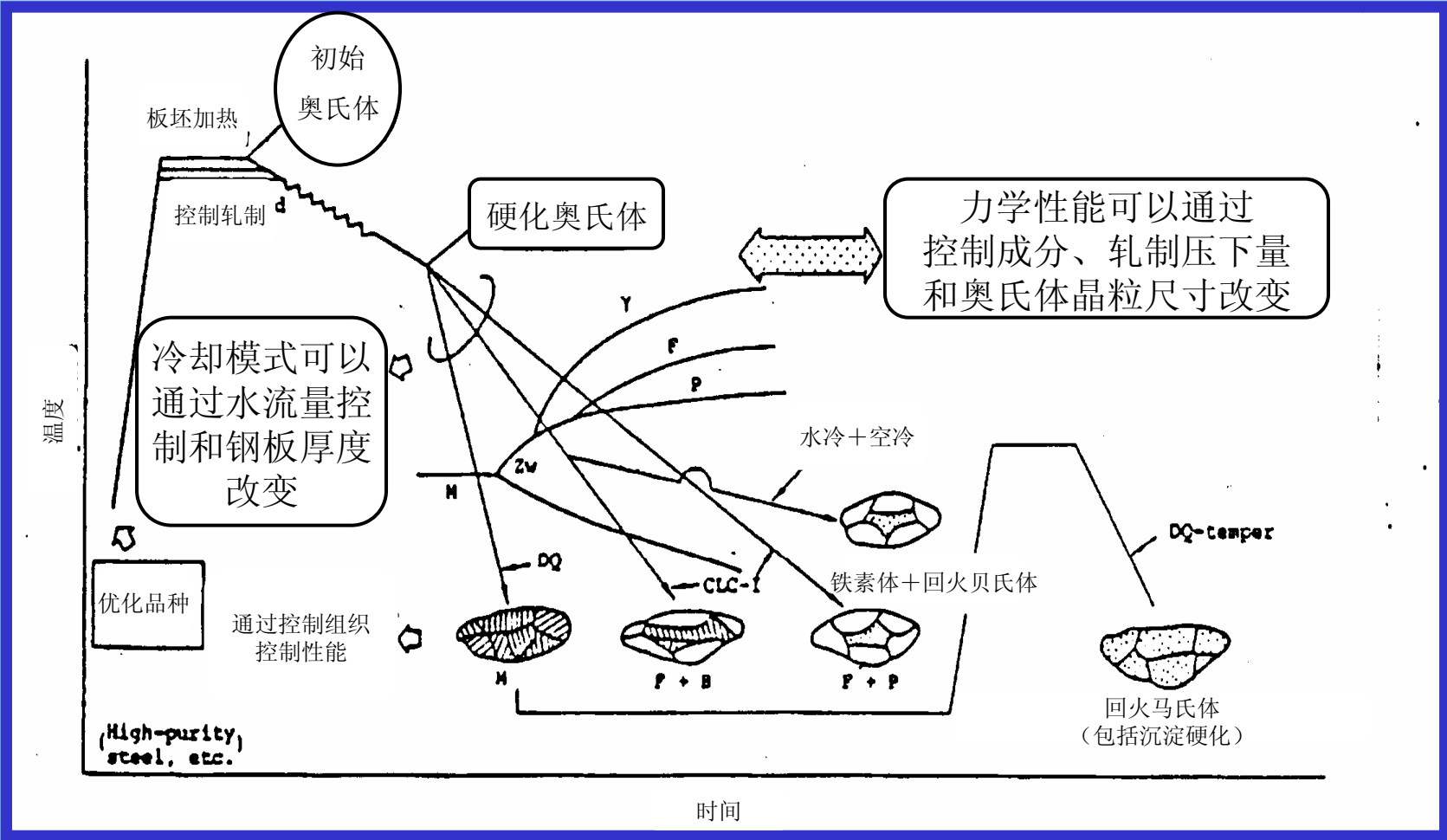


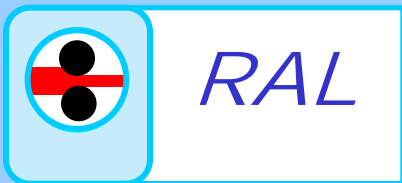
RAL



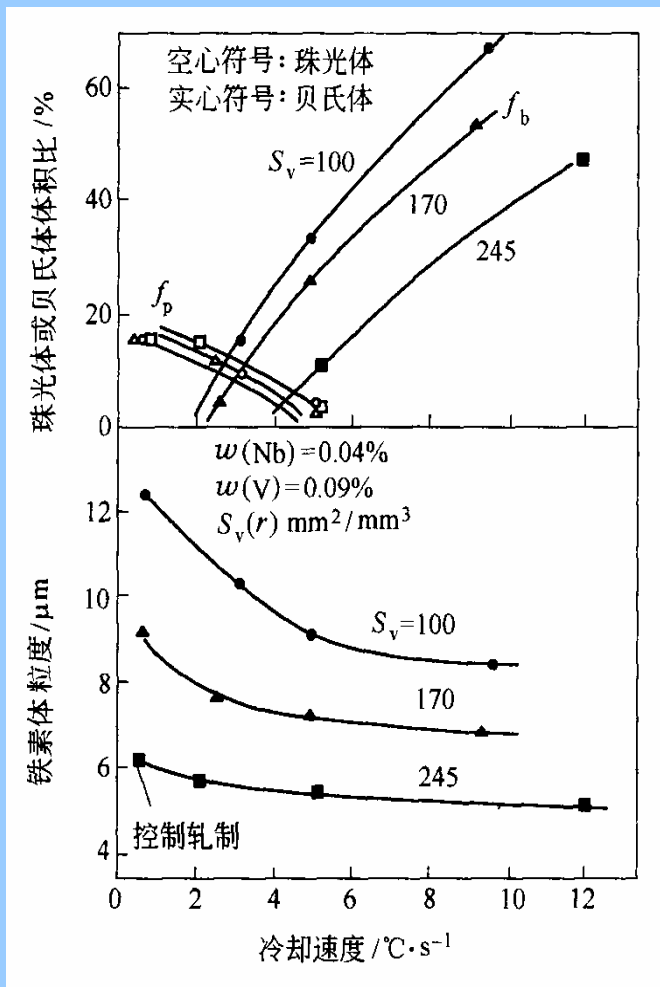


控制冷却—组织变化 (细晶与相变强化)





冷却速度与贝氏体相变强化



**0.01C - 1.5Mn - 0.04Nb -
0.09V**

S_v - 有效奥氏体晶界面积
(代表变形量的大小)

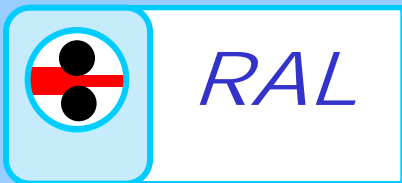
通过加速冷却，抑制铁素体相变，促进贝氏体相变，实现相变强化。



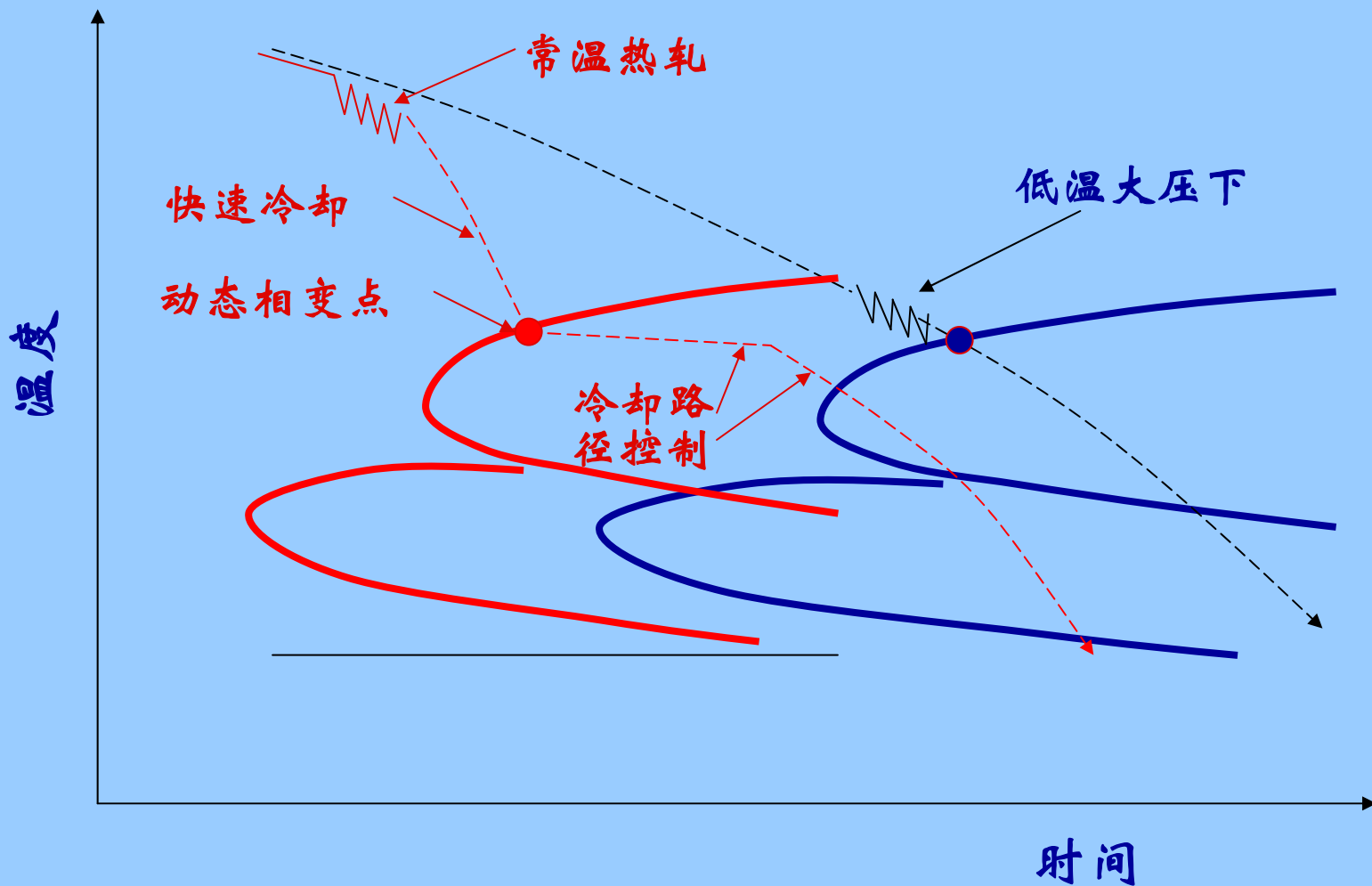
RAL

硬化奥氏体的“冻结”

在这种情况下，我们考虑的第一个问题是轧件的温度。由于采用常规轧制，终轧温度较高，如果不加控制，材料会由于再结晶而迅速软化，失去硬化状态。因此，在终轧温度和相变开始温度之间的冷却过程中，应努力设法避免硬化奥氏体的软化，即设法将奥氏体的硬化状态保持到动态相变点。近年出现的超快速冷却技术，可以对钢材实现每秒几百度的超快速冷却，因此可以使材料在极短的时间内，迅速通过奥氏体相区，将硬化奥氏体“冻结”到动态相变点。这就为保持奥氏体的硬化状态和进一步进行相变控制提供了重要基础条件。

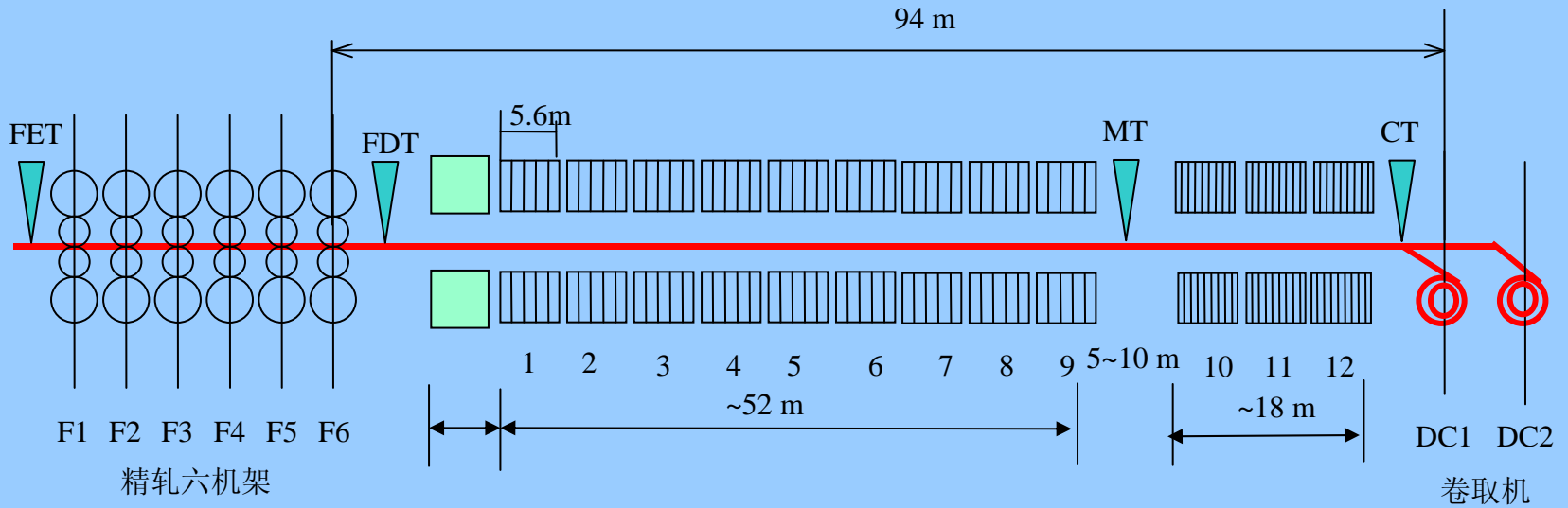


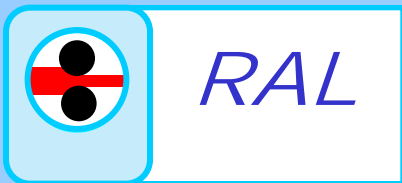
新一代TMCP的变形和冷却特征



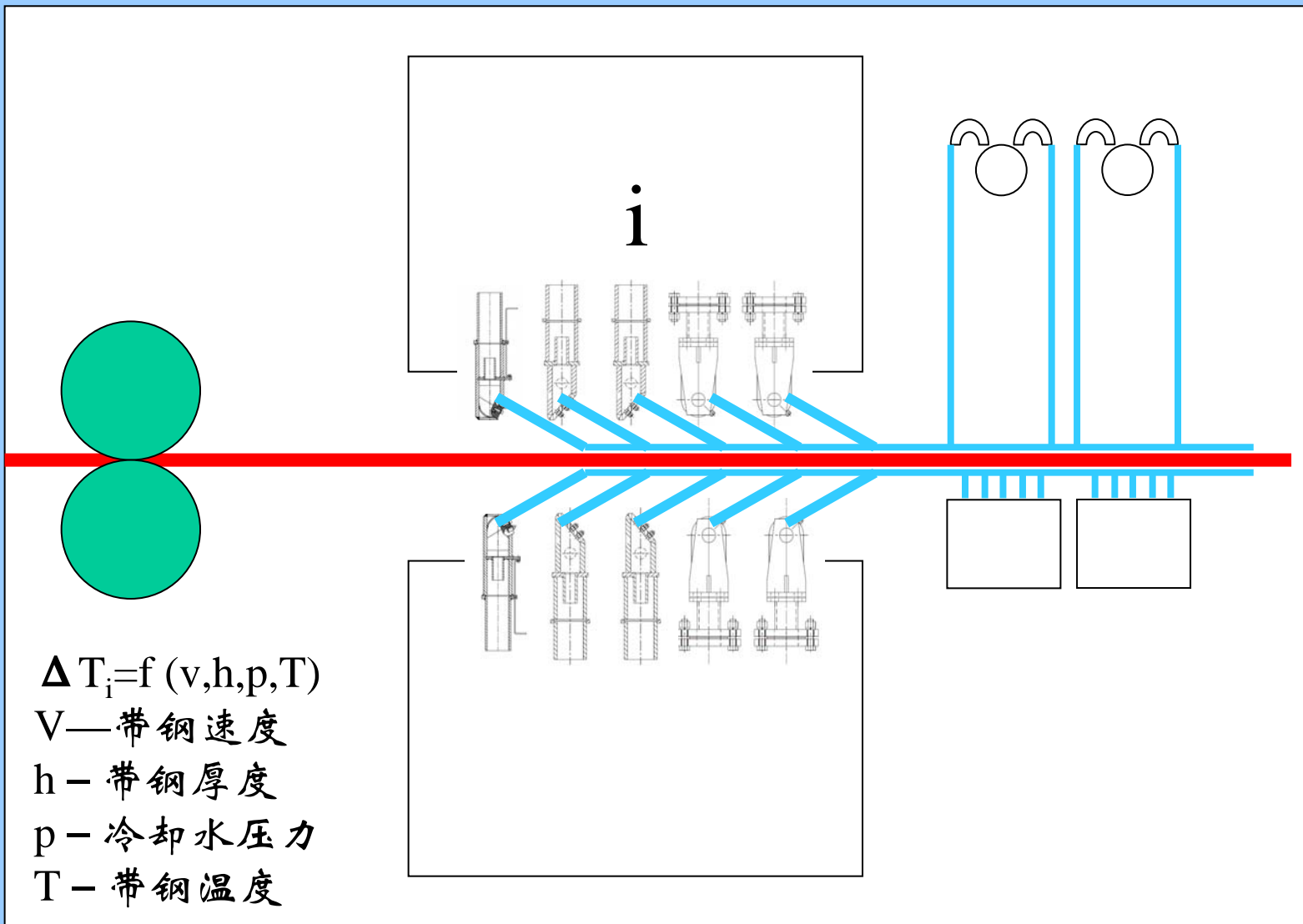


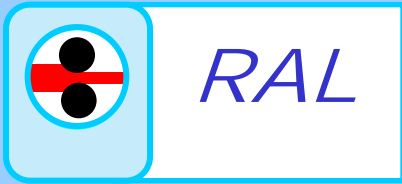
新一代热带轧机的控制冷却系统



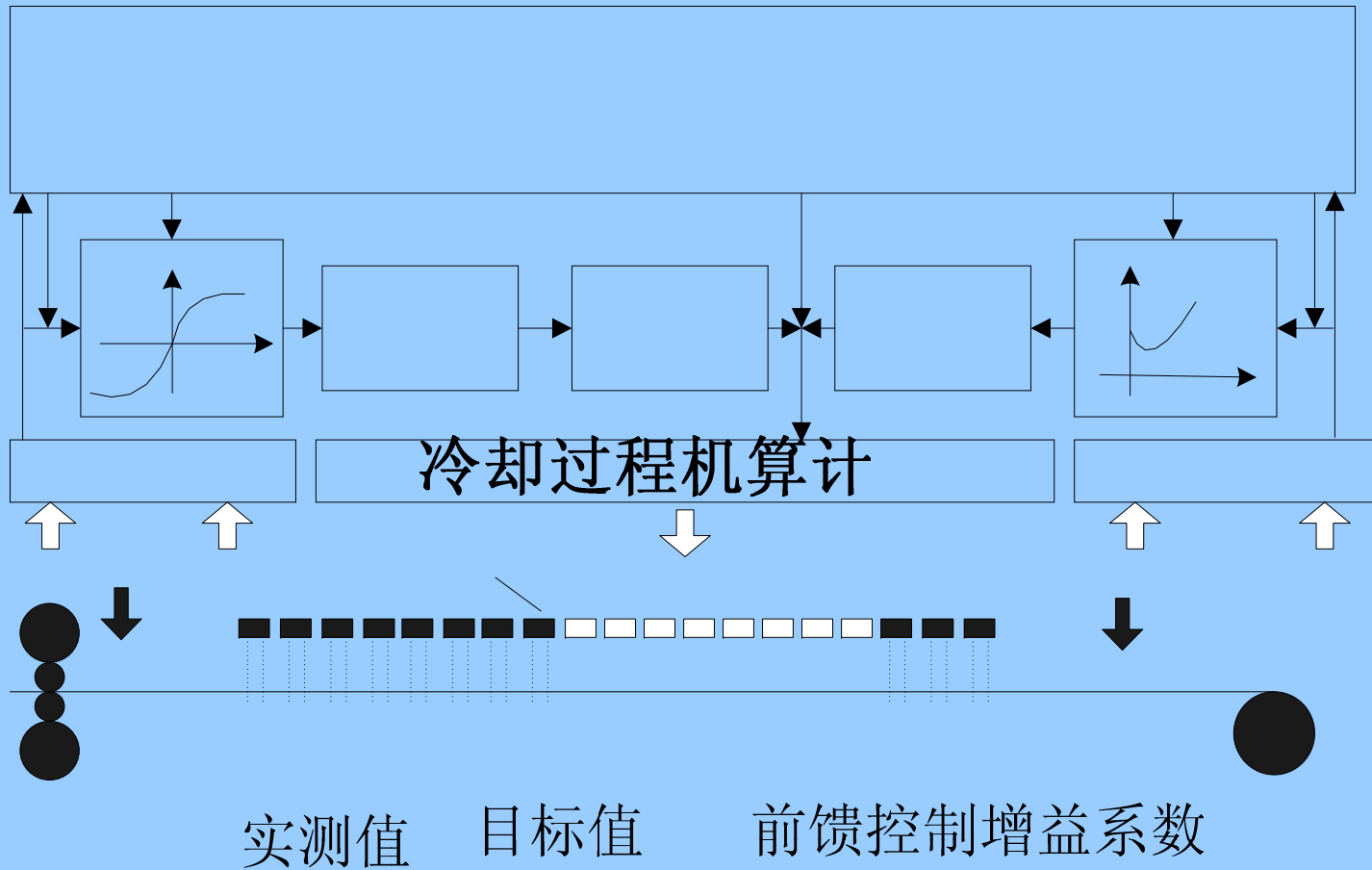


超快速冷却装置的配置



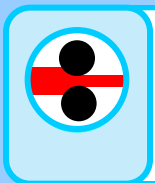


控制冷却过程自动化系统控制功能关联



前馈控制

前

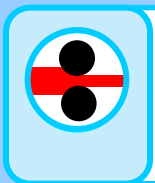


RAL

冷却速度

国外，比利时的CRM率先开发了超快速冷却（UFC）系统，可对4mm的热轧带钢实现 $400^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的超快速冷却。日本的JFE-福山厂开发的Super OLACH系统，可以对3mm的热轧带钢实现 $700^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的超快速冷却。

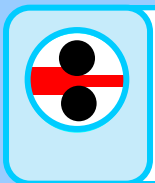
国内，东北大学RAL开发的高冷速系统也可以达到相似的冷却效果。RAL开发的棒材超快速冷却系统对20mm直径的棒材，可以实现 $1000^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的超高速冷却



RAL

精细控制的、均匀化的超快速冷却

轧后钢材超快速冷却，迅速穿过奥氏体区，达到快速冷却条件下的动态相变点。立即停止冷却。所以，这种超快速冷却不同于淬火，准确的超快冷却停止温度是十分重要的。采用高冷却速率时，会由于钢板冷却不均会造成钢板的翘曲，这些问题需要解决。

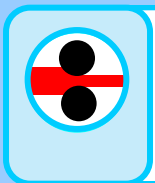


RAL

精细控制的、均匀化的超快速冷却

超快速冷却技术应当具有下面3个特点：

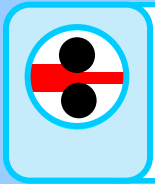
- (1) 具有超快速冷却能力，即其冷却速度可以达到水冷的极限速度
- (2) 板面内温度分布均匀
- (3) 可以实现高精度的冷却终止温度控制。



RAL

超快冷却后的相变控制

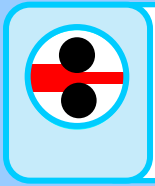
超快速后的后续相变过程的控制。这方面，现代的控制冷却技术已经可以提供良好的控制手段，实现冷却路径的精确控制。对新一代TMCP而言，相变强化仍然是可以利用的重要强化手段。同样，也可以根据需要，适量加入微合金元素，实现析出强化。因此，新一代的TMCP将充分调动各种强化手段，提高材料的强度，改善综合性能。



RAL

高速连轧的温度制度—“趁热打铁”

新一代的TMCP采用适宜的 normal 轧制温度进行连续大变形，在轧制温度制度上不再坚持“低温大压下”的原则。与“低温大压下”过程相比，轧制负荷可大幅度降低，设备条件的限制可放松。轧机建设不必追求高强化，大幅度降低建设投资。

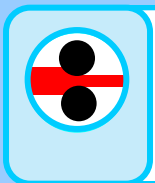


RAL

高速连轧的温度制度—“趁热打铁”

适宜的轧制温度，大大提高轧制的可操作性，避免轧制工艺事故，例如卡钢、堆钢等，同时也延长了轧辊、导卫等轧制工具的寿命。
提高产量、降低成本

对于一些原来需要在粗轧和精轧之间实施待温的材料，可以直接轧制



RAL

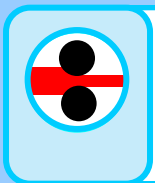
“趁热打铁”及其优点

由于新一代的TMCP避免了“低温大压下”，使得传统的“趁热打铁”的思想得以贯彻实行，这对于减轻生产设备负荷、确保轧制过程稳定、改善加工过程的可操作性、提高材料的可加工性、降低轧制能耗等具有十分重要的意义。由于可以少加或者不加微合金元素和合金元素，所以可以节省大量的资源和能源，实现减量化的轧制，降低钢材生产成本，这对于钢铁工业的可持续发展和协调发展具有重要的作用。



低成本、减量化的成分设计

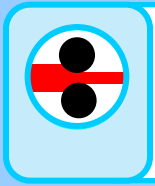
采用常规的TMCP工艺时，为了提高钢的强度，除了适当提高碳和锰的含量外，要增加一定量的微合金元素和合金元素，这必然要提高钢的碳当量。但是，由于新一代的TMCP技术充分利用高速连续轧制实现奥氏体的硬化，所以可以大大降低对微合金和合金元素的依赖，在材料设计上实现低成本、减量化。这对于节省资源和能源，以及钢铁材料的再循环利用，实现社会的可持续发展，具有重要意义。



RAL

超快速冷却后的冷却路径控制

实施超快速冷却后的钢材还要依据所需要的组织和性能要求，进行冷却路径控制，从而得到多样化的相变组织和多样化的材料性能。这对于利用简单的成分设计获得不同性能的材料，实现柔性化的轧制生产，提高炼钢和连铸的生产效率，具有重要的意义。



RAL

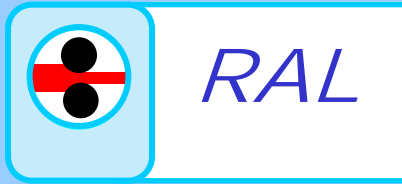
产品组织、性能特点

1、由于新一代的TMCP技术仍然坚持传统TMCP的两条原则，即奥氏体硬化的控制和硬化奥氏体相变过程的控制，所以NG-TMCP可以实现材料晶粒细化，发挥细晶强化的作用，材料的强度、塑性、韧性、卷边成形性等性能可以大为改善。（如兼有强度、延伸、韧性、扩孔性能、低屈强比）



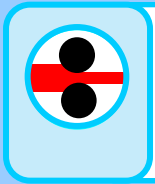
产品组织、性能特点 (1)

2、如果存在碳氮化物析出的问题，由于采用超快速冷却，迅速通过奥氏体区，碳氮化物多处大量形核，同时限制析出物的长大，所以碳氮化物析出细小、均匀，这有利于提高材料的强度水平，开发高强度钢。



产品组织、性能特点

3、由于采用特殊设计的冷却装置，可以避免过渡沸腾区，实现全板面的均匀、快速核沸腾冷却，故冷却过程中材料温度均匀，因而最终组织、性能均匀，大大减少材料中的残余应力。



RAL

产品组织、性能特点

4、由于材料设计尽量不使用或者少使用微合金元素和合金元素，材料的碳当量低，裂纹敏感性也低。所以，材料具有良好的焊接性能，传统材料设计带来的焊接问题可以得到满意的解决。对某些需要预热的钢材而言，焊接过程中可能不需要预热或者降低预热温度，这有利于节约预热用的能源。



谢谢大家！

