

轧钢车间电气设备

上 册

H. H. 德魯日宁 著

张明华 等译

冶金工业出版社

內 容 提 要

本书叙述了与轧制工艺过程和轧钢机结构有关的轧钢车间的电气设备、电力拖动的基础理论以及轧钢车间主要的和辅助的电力拖动装置；指出了拟制轧钢机和辅助机械的电力拖动系统的原则，它们的主要元件和特性，电力拖动的容量计算和方式的选择，控制线路的选择；列举了最现代化轧钢机电设备的资料，并指出了其进一步发展的途径。

书中对拖动装置中机电过程的物理方面，以及在找出电力拖动、轧制工艺和结构元件之间的关系方面给予很大的注意。

本书可作为轧钢车间机械设备专业和轧钢工艺专业的教学参考书，同时对轧钢工程师和在许多章节方面对从事轧钢车间电气设备的工程技术人員也有裨益。

本书由張明华、徐楚权、姚继、周洪章等翻译，張明华、姚一清等校訂。

目 录

序	1
---------	---

第一篇 电力拖动的主要理論基础

第一章 概 論	3
第一节 “电力拖动装置”的定义	3
第二节 电力拖动的发展史	4
第三节 冶金工业中的电力拖动	5
第二章 电动机的机械特性和电气机械性能	7
第一节 机械特性的概念	7
第二节 并激(分激)电动机的机械特性	8
第三节 串激电动机的机械特性	18
第四节 异步电动机的机械特性	23
第五节 同步电动机的机械特性和角特性	31
第六节 电动机的启动条件	32
第三章 电动机的調节性能	36
第一节 直流并激电动机的調节性能	37
第二节 直流串激电动机的調节性能	43
第三节 异步电动机的調节性能	45
第四节 发电机—电动机系統 (Г—Д 系統) 的速度調节	47
第五节 水銀整流器—电动机 (PB—Д) 系統的速度調节	49
第四章 电力拖动的动力學基础	54
第一节 电力拖动的运动方程式	54
第二节 慣性轉矩和靜轉矩向一个軸上的換算	59
第三节 电力拖动的加速和减速時間的确定	61
第五節 并激直流电动机启动时的过渡过程	63
电动机容量的选择和負荷图	67

第一节	电动机发热和冷却的物理过程	67
第二节	电机额定容量的概念	70
第三节	电动机的主要工作制度	71
第四节	电动机容量计算的一般原则。负荷图的概念	73
第五节	当恒定的长期负荷时电动机容量的计算	77
第六节	当长期的可变负荷时电动机容量的计算	77
第七节	当短时负荷时电动机容量的计算	79
第八节	当反复-短时负荷时电动机的选择和容量计算	80
第九节	电机冷却方法和对周围介质的保护方法的分类	83
第十节	带飞轮的电动机的工作。负荷图的绘制	84
第六章	电力拖动的控制的基本概念	91
第一节	概 论	91
第二节	电动机自动控制线路的元件	92
第三节	线路元件的符号	98
第四节	控制电动机起动和制动的主要原理的简单概念	101
第五节	电机放大机 (ЭМГ) 的作用原理	106

第二篇 轧钢机的主传动装置

第七章	方坯初轧机和扁坯初轧机的电力拖动	109
第一节	方坯初轧机和扁坯初轧机的工作制度及对其电力拖动的要求	109
第二节	方坯初轧机电力拖动的主要元件	111
第三节	方坯初轧机电动机的运行特性	123
第四节	方坯初轧机和扁坯初轧机电力拖动工作的物理基础	128
第五节	方坯初轧机和扁坯初轧机控制装置的主要原理	138
第六节	轧钢电动机容量的计算和选择	145
第七节	扁坯初轧机电力拖动的主要元件和特性	166
第八节	方坯初轧机和扁坯初轧机电力拖动的	

现代发展方向	176
第九节 方坯初轧机电机容量计算示例	178
第八章 钢板热轧机的电力拖动	187
第一节 中板与厚板轧机的电力拖动	189
第二节 薄板轧机粗轧机组的电力拖动	190
第三节 薄板轧机精轧机组的电力拖动	193
第四节 由水银整流器供电的精轧机组电动机的 供电系统	202
第五节 薄板轧机活套支持器的电力拖动	208
第九章 连续式冷轧机的电力拖动	215
第一节 有张力的轧制过程的动力特点	215
第二节 对轧钢机电力拖动提出的要求	219
第三节 连续式冷轧机电力拖动的主要元件	220
第四节 快速连续式轧机的电力拖动	224
第五节 电力拖动的动态状况及其与轧件张力的关系	234
第六节 作为取得给定公差内产品工具的轧钢机 电力拖动	245
第七节 连续式轧机控制系统的原理	251
第八节 拖动电动机选择和容量计算	255
第九节 连续式轧机电机容量计算例子	260
第十章 可逆式冷轧机的电力拖动	265
第一节 在可逆式轧机上冷轧轧件的特点	265
第二节 对轧钢机电力拖动系统提出的要求	266
第三节 可逆式冷轧机电力拖动系统的主要元件	267
第四节 轧件卷绕过程的物理性质和维持张力恒定的 基本原理	275
第五节 拖动装置的容量计算和型式选择的特点	283
第十一章 钢坯轧机的电力拖动	289
第一节 工艺过程的特点和对轧钢机电力拖动提出的	

基本要求	289
第二节 連續式鋼坯軋机机架的成組电力拖动和单独电力拖动	291
第三节 連續式鋼坯軋机立式机架的电力拖动	297
第十二章 型钢軋机的电力拖动	301
第一节 布棋式型钢軋机和順序式型钢軋机的电力拖动	301
第二节 在連續式軋机中电动机的动态速度降	305
第三节 連續式型钢軋机的电力拖动	311
第四节 綫材軋机的电力拖动	317
第十三章 無縫鋼管軋机的电力拖动	327
第一节 軋管机組的軋鋼机工作制度和对其电力拖动的要求	327
第二节 軋管机組电力拖动的主要元件	331
第三节 連續式鋼管机电力拖动的特点	335
第三篇 軋鋼車間主要輔助机械的电力拖动	
第十四章 軋鋼机輔助机械电力拖动的一般概念	340
第一节 輔助机械电力拖动的工作制度	340
第二节 机械的拖动裝置用的直流和交流电动机	342
第三节 每小时接通次数較大的机械的拖动系統	343
第四节 拖动裝置的堵轉(抱工机)特性	347
第十五章 軋鋼机軋輥調整机械的电力拖动	349
第一节 軋輥調整机械的工作制度和对其电力拖动的要求	349
第二节 电力拖动的主要元件和传动系統	352
第三节 軋輥調整机械电动机的負荷图	358
第十六章 軋道的电力拖动	362
第一节 軋道的工作制度对其电力拖动的要求	362
第二节 軋道的电力拖动系統	363

第三节	靜轉矩的計算	371
第四节	輾道電動機的過渡狀態和容量驗算	377
第五节	輾道電動機的形式和拖動裝置的結構特点	386
第六节	計算輾道電動機容量的例子	339
第十七章	剪斷機的電力拖動	394
第一节	在剪斷機上剪切金屬時的靜負荷	394
第二节	電動機長期旋轉的帶飛輪的剪斷機電力拖動	398
第三节	每次剪切時起動的剪斷機拖動裝置	404
第四节	剪斷機電力拖動的驗算舉例	409
第十八章	飛剪機的電力拖動	413
第一节	搖杆式飛剪機	413
第二节	鋼板軋機的双鼓輪式飛剪機	415
第三节	剪切型鋼用的鼓輪式飛剪機	425
第四节	平行剪切的飛剪機	428
第十九章	矯正機的電力拖動	430
第一节	對矯正機電力拖動提出的要求和工作制度	430
第二节	矯正機的電力拖動系統	431
第三节	拖動電動機容量的計算和選擇	434
第四节	矯正機主拖動裝置容量的計算舉例	439
第二十章	鋸銼車的電力拖動	443
第二十一章	軋鋼車間供電的基本元件	448
第一节	冶金工廠的電源	448
第二节	中間變電所	449
第三节	軋鋼車間中電流和電壓種類的選擇。在車間內的地下配綫	450
第四节	提高功率因數的方法	452
参考文献		454

序

現代軋鋼車間的特征是，高度的生产水平，繁重工作的机械化和主要工艺过程的自动化。軋鋼机和輔助机械的生产率的增长，产品质量的提高，快速軋鋼的成就和鋼材压延的强化都是現代电力拖动和自动装置的发展以及在軋鋼生产中广泛运用的結果。

現代的軋鋼机和軋鋼机械是结构的各个元件、工艺过程和自动化电力拖动的紧密相互联系的一个例子。如对于以37米/秒的軋制速度工作的連續式冷軋机來說，自动化电力拖动是保證帶鋼的給定拉張状态和获得需要成品的主要元件。許多軋鋼机采用軋軋的单独拖动，为提高这些軋鋼机的生产率和提高产品质量开辟了新的道路。

目前，只有在綜合的解决了工艺过程、机械的结构及其电力拖动的問題的基础上，才能創造軋鋼車間的新的低生产率的軋鋼机和各种机械。

因此对于專門从事于軋鋼生产的工程师來說，通曉电力拖动和軋鋼車間电气設備的主要規律是很必要的。

本書的目的是在某种程度上彌補这个空白，并使其成为一本軋鋼生产专业大学生适用的教学参考書，以及将来成为軋鋼工程师获得軋鋼車間电气設備方面的必需知識。

按照教学大綱，本書包含三个主要部分：电力拖动的主要理論基础，軋鋼机的主电力拖动，軋鋼車間主要輔助机器和机械的电力拖动。

在敘述这些材料时，对軋鋼車間电力拖动系統的主要設計原理的說明，以及其工作的物理方面揭示上給予特別注意。

作者認為必須从电力拖动、工艺过程和机械本身之間的密切联系这一方面出发来敘述。这就是本書采用这种敘述方式的原因，譬如在主电力拖动中，因为在現有的軋鋼生产的发展水平

上，每一种主要型式軋鋼机的主电力拖动都有其自己的特点。例如，对于連續式熱軋薄板軋机、連續式冷軋机、連續式鋼管軋机都采用可調節的直流电动机，但是每一台軋鋼机对于电力拖动的要求和它的工作制度都有显著的不同。

特別注意到国内和国外最現代化的軋鋼设备的电力拖动系統、容量計算方法和按照工艺过程的要求来选择拖动方式；指出了主要軋鋼机和軋鋼机械的电力拖动今后的发展道路。

在本書中簡單地介紹了繪制各种軋鋼机控制电路的原理。对于許多軋鋼机和軋鋼机械都給予說明，并对控制原理图的工作作了物理上的分析。

由于教学参考書的篇幅限制，不可能包含所有形式的軋鋼电气設備；其中有：如帶飞輪拖动裝置的单机列軋鋼机那样旧式軋鋼机的电气設備，和某些特殊軋鋼机（車輪軋机、輪箍軋机等）的电气設備。

由于这个原因，沒有对所有型式的軋鋼机都举例計算軋鋼机电动机的容量；那些沒有举例計算的地方都給出了容量計算的方法和步驟。

在撰写本書的时候运用了設計、科学研究和教育工作上的經驗，以及苏联和国外在电力拖动和軋鋼机电气設備方面的科学技术著作和最新成就。

作者深深感謝 Д. П. 莫洛佐夫教授參加本書的校訂工作并給了许多寶貴的指示，感謝技术科学副博士 М. А. 索尼金撰写了 16—18 章和工程师 М. Д. 扎哈尔琴柯在审定原稿时給予的巨大帮助。

第一篇 电力拖动的主要理論基础

第一章 概 論

第一節 “电力拖动裝置”的定义

苏联工程师、学者和生产革新者执行着发展技术、生产现代化机器以保証社会主义生产不断增长的光荣任务。虽然现代化的机器是复杂和多种多样的，但它們可以分成几个主要的元件，这样就便于对它們进行研究和改进。卡·馬克思曾对机器分类下过定义：“一切发展了的机器，都由三个在本質上不同的部分——发动机，传动机构与工具机（即工作机）——构成”^①。

因为发动机連同其控制系統一起和传动机构用来拖动工作机，所以它們通常就称为“拖动裝置”。拖动裝置本身的名称是根据发动机的形式而定。例如，运用牲畜的曳引力时，即称之为馬力拖动裝置。

如果发动机是蒸汽机或水力机，則其拖动裝置相应地称为蒸汽和水力拖动裝置。現代机械的主要拖动裝置是电动机。在这种情况下电力拖动裝置是机器設備的一部分，它由电动机、传动机构和电动机的控制系統所組成。当生产过程为綜合机械化和自动化时，必須同时把电力拖动看作主要的力的基础。机器和机械的电力拖动裝置可以分成三类：

1. 成組电力拖动裝置：由一台电动机經過传动軸或其他类

① 卡·馬克思，資本論，第一卷，第448頁，人民出版社，1953年。

似装置带动成组机器运动的装置。由于这种拖动装置具有明显的缺点，所以现代均不采用这种方式。

2. **单独电力拖动装置**：每一个单独的机器都有自己的电动机来拖动。这类拖动装置可用来代表现代大多数机器和机械。

3. **多电动机电力拖动装置**：生产机组或机器的各个工作机构均由单独的电动机来拖动。现代轧钢机可以作为一个例子，其中轧辊的旋转由主电动机拖动，而轧辊的上下移动是由压下装置的电动机拖动等等。

现代复杂机器的主要发展趋势是多电动机的拖动装置。

第二節 电力拖动的發展史

第一个电力拖动装置首先在俄罗斯使用。Б.С. 雅可比院士（1801—1874年）于1838年用来拖动快艇的螺旋推进器，这艘快艇曾在彼得堡的涅瓦河上进行过試驗。由于缺乏可靠的能源，在当时不能使电力拖动应用于工业上。但是，Б.С. 雅可比的发明在后来电力拖动的发展上起了非常重要的作用。俄罗斯学者П.Н. 雅勃洛契可夫（1847—1894年）发明了变压器，俄罗斯学者М.О. 多里沃-多勃罗沃尔斯基创立了三相交流电的系统 and 三相异步电动机，这些都为应用电力拖动创造了条件。

在这些发明以后，电力拖动开始超过了机器的蒸汽拖动，到本世紀的二十年代蒸汽机已最后被排除。按理說来，在俄罗斯——电力拖动的祖国——电力拖动的发展应该是蓬勃进展的。

但是在1917年以前，俄罗斯还是一个电气化方面最落后的国家，因而，电动机的生产也很落后。沒有本国的电机制造基础。

只有在伟大的十月革命以后，我們祖国广泛的电气化和在工业中大量运用电力拖动才算开始。遵循着伟大列宁的口号：“共产主义是苏維埃政权加全国电气化”，党和政府在苏維埃政权的最初年代保证了俄罗斯国家电气化计划的完成，按照这个计划要建設容量为一百五十万千瓦的三十个新的区域发电站。到1927

年，電動機的容量已占工業企業中裝備的發動機總容量的75%。

目前，這個數字實際上已成為100%，少數幾個特殊形式的拖動裝置（水力拖動和氣力拖動）除外。

對於自動化電力拖動的運用給予了特別的注意。先進的蘇聯電機製造工廠“電力”，哈爾科夫電機製造廠（ХЭМЗ），“狄那莫”，他們在以電動機及其控制系統裝備我國的工業方面起了主要的作用。蘇聯的設計機構，首先是國立重工業企業電氣設備設計院（ГПИТЭП），“電力拖動”托拉斯、“黑色冶金動力”（“Энергочермет”）托拉斯、國立冶金工廠設計院（Гипромез）等，設計了新的電力拖動和自動裝置系統，在我國工業的所有部門獲得了廣泛的應用。在這些機構中培養了幾個蘇維埃電氣工程師，他們現在是工業企業電氣化和自動化事業中的主要幹部。

在蘇維埃國家中沒有商業的利益，電力拖動的理論問題成了科學的一個部門。

在電力拖動理論的發展方面起主導作用的蘇聯學者有：К.И. 瓦費耳院士和В.С. 庫列巴金院士，功勳科學家С.А. 林開維契院士，А.Т. 郭洛宛教授，Д.П. 莫羅佐夫教授，В.К. 波波夫教授，М.Г. 奇里金教授等。

第三節 冶金工業中的電力拖動

現代的冶金工廠是一個巨大的能量用戶：其平均負荷約為10~15萬千瓦。在冶金工廠的車間中，最大的能量用戶是軋鋼車間，它約占冶金工廠總耗能量的40~45%。軋鋼車間電氣化的程度很高。在現代的軋鋼車間中集中了電機製造和自動裝置領域內的所有新的技術成就。還應該提出的是現在在自動化的軋鋼生產中已開始採用遙測和遙控元件。

也許，僅僅在一個軋鋼生產中，電力拖動、工作機器和工藝過程之間就具有這樣緊密的聯繫。從下面的例子中就可以証實這

一点。軋鋼車間大多數輸送軋道的軋子都具有单独的拖动裝置。此时电动机的軸就是軋子本身的单向延伸。这样一来，軋道的軋子和电动机就好象一个整体。沒有中間环节——联轴器、減速器等。現代可逆式开坯軋机拖动裝置的容量为 10000~12000 千瓦，自然也具有很大的慣量。虽然如此，只要正确的选择供电系統和控制系统，能使方坯軋机和扁坯軋机在 1~1.5 秒內从 +50 轉/分的速度反轉到 -50 轉/分。

一台薄板軋机的电动机的装备容量約为 50000 千瓦（这里包括主拖动裝置和輔助机械的拖动裝置在內——譯者）。在現代的連續式冷軋机上，鋼材由最后一个机架出来的速度达 30~35 米/秒，即超过每小时 100 公里。鋼材的张力和它的厚度就在这样的速度下进行自动調节。現代的飞剪机保証将以 8~10 米/秒的速度移动的鋼材切成长为 4:8 米，厚为 25 毫米以下的鋼板。

目前在苏联实现了軋鋼車間的綜合自动化，这样就減輕了工人的劳动并保証生产率的提高。

列举这些簡單的事实可以肯定的說，在軋鋼生产发展的現阶段，設計工程师以及管理軋鋼設備的机械工程师必須对于电力拖动理論的基本原理和每台軋鋼机电气設備的特性有清楚的概念。还可以举出很多例子来說明，选择电力拖动的条件在很大程度上决定着机械本身的結構。

第二章 电动机的机械特性和电气机械性能

第一節 机械特性的概念

任何发动机，包括电动机在内，如果作用于其轴上的有效（运动）转矩等于阻转矩的总和，则它以恒定的（稳定的）速度旋转。这一条件可以写成下列等式：

$$\Sigma M = \Sigma M_{en}, \quad (2-1)$$

式中 ΣM ——有效转矩的总和，

ΣM_{en} ——阻转矩的总和。

当转矩不相等时，电动机的转速就不再是恒定的，而是变动的。例如，如果 $\Sigma M_{en} > \Sigma M$ ，则发动机将减低其速度，如果 $\Sigma M > \Sigma M_{en}$ ，相反地，发动机进行加速。

最常见的破坏转矩平衡的原因是阻转矩的变化，或者说负荷的变化，它是由工作机确定的。例如，当轧钢机轧辊中轧件的变形阻力变化时，拖动电动机的速度就开始变化。在稳定运动时，转矩平衡的破坏可能是由于电气参数和拖动电动机特性的变化。

如果电动机或机械的转矩变化是速度的函数，则很明显，转矩平衡的破坏将不致使电动机的速度无限制的增长或停止，而可以在另一个速度数值下达到新的转矩平衡状态。

电动机的转速 n 和它的转矩 M 之间的关系称为电动机的机械特性： $n = f_1(M)$ 。机械的转速和静阻转矩之间的关系 $n = f_2(M_e)$ 称为机械的机械特性。

这样说来，机械特性反映了拖动装置的重要性能；根据电动机机械特性的形状，可以判断机器的转速按照轴上负荷的变化程度。

转矩变化时其速度降落较小的机械特性称为硬的机械特性，速度降落较大者称为软的机械特性。

在图 2—1 中繪出了不同机械特性的曲线。曲线 1 代表绝对硬的机械特性，因为电动机的速度不随其转矩而改变。曲线 2 是硬的机械特性，因为当转矩从零变化到额定值时，电动机速度的变化不超过 10~12%。曲线 3 是软的特性曲线，因为当转矩变化时速度发生很大的变化。

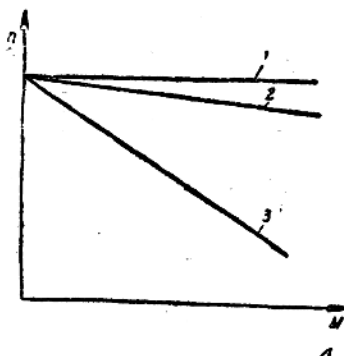


图 2—1 电动机的机械特性

1—绝对硬的特性；2—硬的特性；3—软的特性

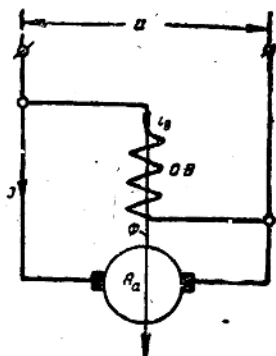


图 2—2 并激电动机的线路图

第二節 並激（分激）电动机的机械特性

在图 2—2 中繪出了并激电动机的接线图。激磁绕组 OB 并联在电枢上。激磁电流 i_m 产生磁通 Φ 。电枢导体中的电流 I 和磁通 Φ 之间的相互作用力决定了转矩，它等于：

$$M = k_m \Phi I, \quad (2-2)$$

式中 k_m ——表征电机构造特性的常数，

$$k_m = \frac{pN10^{-8}}{a \times 2\pi \times 9.81},$$

p ——极对数；

a ——电机并联路的对数；

N ——电枢绕组的有效导体数。

(2-2) 式所示的轉矩称为电磁轉矩；它比电动机軸上的轉矩大这样一个数值，即用于克服机械損耗的轉矩和由于在电枢的铁中感生涡流的反作用轉矩。

电动机的电势 E 等于：

$$E = k_e \Phi n, \quad (2-3)$$

式中

$$k_e = \frac{pN10^{-8}}{60a};$$

$$k_e = k_m 1.03.$$

如果認為磁通 Φ 与电枢电流 I 无关，即忽略电枢反应，則并激电动机的机械特性可以用解析法表达。

电动机电枢电路的电气平衡方程式为：

$$U = E + IR_a. \quad (2-4)$$

对于 n 联解方程式 (2-2)，(2-3) 和 (2-4)，得出机械特性的解析表达式：

$$n = \frac{U}{k_e \Phi} - \frac{MR_a}{k_e k_m \Phi^2}. \quad (2-5)$$

如果在表达式 (2-5) 中，电动机的轉矩用 (2-2) 式代替，則得到电动机轉速和电流之間的关系，这通常称为电动机的速度特性

$$n = \frac{U}{k_e \Phi} - \frac{IR_a}{k_e \Phi}. \quad (2-6)$$

分析 (2-5) 式表明，电动机轉速和轉矩是呈线性的关系。在图 2-3 中列出了并激电动机的机械特性。

当电动机轉矩 $M=0$ 时，轉速等于

$$n = \frac{U}{k_e \Phi} = n_0. \quad (2-7)$$

称为理想空載轉速。此时 $E=U$ ， $I=0$ 。实际的空載速度总是稍低些，这是因为有損耗轉矩。

运用表达式 (2-7)，机械特性的方程式可以写成下列形式：

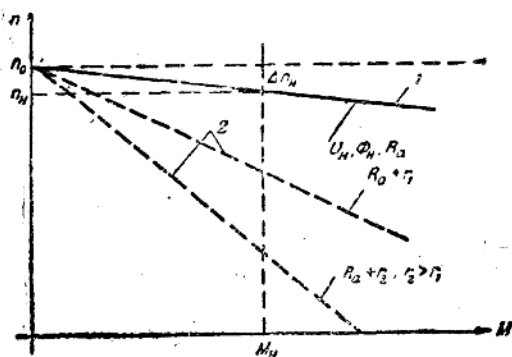


图 2-3 并激电动机的机械特性

1—自然特性；2—人为变阻器特性

$$n = n_0 - \Delta n, \quad (2-8)$$

式中

$$\Delta n = \frac{I R_a}{k_e \Phi} = \frac{M R_a}{k_e k_m \Phi^2}.$$

从 (2-5) 式可知，当转速 $n=0$ 时，电动机转矩等于：

$$M = \frac{U}{R_a} \Phi k_m = k_m I_{k.s.}, \quad \Phi = M_{k.s.} \quad (2-9)$$

电流 $I_{k.s.} = \frac{U}{R_a}$ 称为短路电流；

$M_{k.s.}$ ——当为短路电流时电动机的转矩。

$M_{k.s.}$ 和 $I_{k.s.}$ 的大小可以超过额定值的 15~20 倍，它与电枢电阻 R_a 的大小有关。电枢电阻 R_a 通常用对额定值的百分数来表达。

电枢的额定电阻为一假想值，它等于：

$$R_{a.N} = \frac{U_N}{I_N},$$