

大型火电机組检修实用技术丛书



HYDRO-POWER
REPAIRING TECHNOLOGY

金属与焊接分册

郭延秋 主编

中国电力出版社
www.cepp.com.cn



大型火电机组检修实用技术丛书

金属与焊接分册

郭延秋 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

《大型火电机组检修实用技术丛书》是一套以机组大修过程为主,以 300MW 及以上等级火电机组设备检修为主要内容的技术丛书。丛书介绍了多年来对 300MW 及以上等级机组的检修实践、设备缺陷处理、检修工序、工艺及有关的检修质量标准,内容丰富,实用性强。该丛书对于规范检修,保证质量,杜绝反工,解决检修过程中遇到的疑难检修问题有很实用的指导意义。对于普及大机组检修知识技能、提高检修技术人员和管理干部的检修技术水平有很大帮助。

全套丛书共分锅炉分册、汽轮机分册、电气分册、金属与焊接分册等四个分册。

本分册是金属与焊接分册;分上、下两篇。上篇主要内容包括金属材料基础知识,火电厂金属技术监督及在用压力容器定期检验与管理,电厂金属检验方法,电站金属事故的断口和金相分析,现场检验及修复实例;下篇主要内容包括火电厂检修焊接技术发展概述,火电厂检修焊接基本知识,火电厂检修焊接基本工艺要求,火电厂检修常见管道焊接技术,火电厂检修锅炉的受热面管焊接,火电厂检修汽轮机设备缺陷的焊接修复,锅炉设备焊接实例,焊接缺陷的预防及其处理,火电厂检修焊接热处理基本知识,火电厂检修焊接安全技术等。

本书适合于从事火电机组检修的各专业检修技术人员、管理人员、检修公司、监理公司专业技术人员使用,同时可作为火电机组检修的技术培训教材,并可供高等学校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

大型火电机组检修实用技术丛书. 金属与焊接分册/
郭延秋主编. —北京: 中国电力出版社, 2003

ISBN 7-5083-1712-2

I. 大... II. 郭... III. ①火力发电-发电机-机
组-检修②火电厂-设备-金属材料-检修③火电厂-设备
-焊接-检修 IV. TM621.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 073551 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 9 月第一版 2003 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22.25 印张 505 千字

印数 0001—3000 册 定价 35.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

《大型火电机组检修实用技术丛书》

编辑委员会

主	任	王炳华					
副	主	任	丁中智	李小琳	田 勇		
委	员	王志强	陈宝良	靳东来	王吉祥	曹 焰	
		朱 峰	余 兵	李 峰	杨福友	王京韬	
		宋延春	范铁成	刘昌凯	马贺田	佟才功	
		刘丛涛	刘建国	贺凌岗	李 光	刘福丰	
		李道福	张连仲				

《大型火电机组检修实用技术丛书》

编 审 委 员 会

主	编	郭延秋				
副主	编	杨福友 李 峰				
编委会主任		尧国富				
副主	任	周 涛 李 东 刘京善				
编	委	李煜海	赵晓峰	刁立新	华伟民	席玉平
		张天鹏	孙继光	郭 峰	季景阳	马锦玉
		李宝坤	李树实	李忠念	郝志信	路永生
		程庆君	庞晓坤	王 强	王海军	杜文胜
审	稿	赵常兴	张经武	王世阁	马泽山	张亚祥
		谭肇贤	孙永莹	柏振华	阚德新	侯良谋
		刘荣厚	黄仁龙	王庆珍	邓 楠	许 伟
		马成江	郝常骥	邹森元	米锡敬	



序

经过编者们的勤奋耕耘,这部满载着辽宁清河发电有限责任公司多年发电设备检修丰富实践经验、理论以及技术成果的《大型火电机组检修实用技术丛书》,终于付印出版了。该套丛书的面世,将成为我国火力发电设备检修领域重要的里程碑。

自 20 世纪 80 年代以来,中国的电力工业得到了迅速发展。截止到 2001 年底,全国总装机容量已达到 3.386 亿千瓦,年发电量达到 14800 多亿千瓦时,均居世界第二位。尤其在火电机组建设方面,通过引进国际上先进的大功率火力发电机组和设计制造技术,世界上主要的发电设备制造厂商如西屋公司、通用公司、三菱公司、东芝公司、西门子公司、ABB 公司、阿尔斯通公司、列宁格勒金属工厂等均向我国提供了大量的先进设备。进口火电机组大部分以 350MW 和 600MW 等级为主,还有 800MW 火电及 1000MW 核电机组。与此同时,我国引进技术制造的 300MW 及以上等级的大功率火力发电机组在国内大量投入运行,实现了火力发电机组从高温、高压、中小机组向亚临界、超临界、高自动化、大容量机组的跨越。目前,火电大机组的装机容量已占全国火电总装机容量的 70% 以上,仅投运的 300MW 及以上大容量火电机组就已达 260 多台,成为主力发电机组。

发电设备检修和维护工作是电力生产活动的重要组成部分,是保证发电机组安全、稳定、经济运行的基础工作。与大容量火电机组的迅速发展相比,发电设备的检修和维护工作却稍显滞后,主要表现在设备检修和维护管理水平不高、检修设备和机具相对落后、检修人员技术水平及培训工作不能满足要求等。特别是进入 20 世纪 90 年代后,以华能系统为代表的发电企业不设专业检修队伍,而采用招标形式选择外面的专业检修队伍,对发电设备检修和维护的专业化、市场化工作又提出了新的要求。因此,提高设备检修和维护的管理水平、提高检修队伍的整体素质成为火力发电企业迫切和重要的任务。

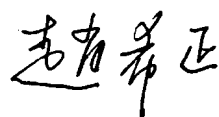
从 1993 年起,辽宁清河发电有限责任公司就开始对我国进口大容量机组进行检修。从首次承揽广东沙角 B 电厂东芝公司 350MW 机组大修开始,近十年来先后承揽了华能大连电厂、华能福州电厂、华能上安电厂、华能丹东电厂、广东核电联营公司岭澳核电站、连云港田湾核电站等十几家电厂数十台大容量机组的大小修工程和检修维护工作以及机组检修的监理工作。并圆满完成了孟加拉国库尔纳电厂恢复性大修的国际工程。通过加强检修质量管理、提高检修工艺技能和优化检修工序,创造了 350MW 机组标准大修 35 天完工和 350MW 机组大修后连续 510 天无缺陷运行的国内最高记录,被业主誉为“一流的检修,一流的队伍”。

清河发电设备检修有限责任公司认真、系统地总结了近 30 年来机组检修和维护工作经验的基础上,查阅了大量技术资料,在有关专家的指导下,组织经验丰富的工程技术人员编写了这套《大型火电机组检修实用技术丛书》。该丛书按照标准大修程序编写,详细叙述了火力发电机组中汽轮机、锅炉、发电机等主要设备及辅助设备的工作原理、设备结

09A17/01

构、检修工艺与检修方法。总结了机组检修过程中遇到各种设备问题的处理办法，是一套集发电设备检修管理理论、检修实践于一体的专业性极强的技术丛书。

这套丛书集工序性、工艺性、实用性、教材性于一身，内容丰富翔实、直观适用、通俗易懂，具有很高的应用和学术价值，是电力施工企业、火力发电厂专业检修队伍、工程监理单位工程技术人员以及大专院校师生难得的一部好书；是一部以总结介绍世界先进火电机组结构技术类型为特点的实用性全书；是一部介绍解决火电厂机组检修过程中遇到各种问题的实用技术方法辞典。这套丛书的出版将对规范全国火电机组检修和维护工作、提高机组检修质量和工艺水平具有十分重要的推动作用。

A handwritten signature in black ink, reading '赵正' (Zhao Zheng) in a cursive style.

2003 年 4 月

《大型火电机组检修实用技术丛书》历经五载，三易其稿，今天终于同读者见面了。

清河发电有限责任公司的检修队伍在 32 年的时间里，完成了 100 多台次各种不同类型机组的大修工作，从中积累了一定的机组检修经验。但由于我国在不断地引进世界上先进的高参数、大容量发电设备，这就迫切要求我们的检修队伍尽快地提高检修工艺技能、提高检修质量意识、提高整体管理水平，以适应我国电力工业迅速发展的需要。

出于此目的，在总结了多年检修实践经验的基础上，我们编写了这套《大型火电机组检修实用技术丛书》。全套丛书篇幅浩瀚，按机组大修过程的锅炉、汽轮机、电气、金属与焊接等专业分册编写。丛书冠以“实用技术”，其特点不言而喻。对此我们深感责任重大，唯恐有负众望。

该丛书按 300MW 以上机组标准程序编写，特别列举了机组检修过程中遇到各种疑难技术问题的解决方法，对保证机组检修质量提出了具体要求，并对机组大修管理理论做了系统的论述。

尽管我们为保证丛书的质量付出了巨大的努力，倾注了大量的心血，但由于编者的水平有限，难免存在不当之处。这也为国内的机组检修同仁、专家学者留下了修改和完善的空间。真诚地希望这部丛书的出版能起到抛砖引玉的作用，在大家的共同努力下不断的充实、完善。

全套丛书由郭延秋担任主编。

在丛书的编写过程中得到了多方面的鼎力支持。工作在检修一线的工程技术人员利用业余时间，把自己多年的检修经验加以系统的总结并积极地向编委会供稿，很多同志积极地参与了丛书的打字和图样校对工作。一些老专家不计报酬地参与了书稿的审定工作。特别是现中国电力投资集团公司总经理王炳华同志在百忙之中多次过问丛书编写的进展情况，并提供了极有价值的参考资料。在此，编委会对参与、支持、帮助丛书出版过程中做奉献的所有工作人员、各位专家、领导表示衷心的感谢。

本丛书在编写过程中参考了一些正式出版文献、有关单位的图纸、技术资料、说明书等，在此一并表示感谢。

《大型火电机组检修实用技术丛书》编审委员会

2003 年 4 月

编写说明

金属与焊接分册是《大型火电机组检修实用技术丛书》的第四分册。参加本分册编写的人员根据多年的现场检修经验,结合有关专业理论,比较系统全面地介绍了目前国内火电厂金属监督检测、焊接实用技术,重点收集了火电厂这方面的常用技术数据、工艺方法等内容。

本分册共分金属与焊接上下两篇。

上篇在简要介绍了金属学常识、钢材的分类及目前火电厂常用钢材的特点、用途等的基础上重点介绍了现行金属技术监督规程和压力容器监督规程对主要部件的一般监督原则及方法。

下篇主要介绍了焊接技术的基本知识,着重阐述了火电厂检修中常见的管道焊接技术、锅炉受热面管道焊接、汽轮机、锅炉设备缺陷的焊接修复,同时对焊接缺陷及处理、焊接热处理基本知识、焊接安全技术要求也作了简单的介绍。

本分册上篇由马锦玉、李树强、张明奇、刘继红、田书意编写,由柏振华、米锡敬主审;下篇由李宝坤、侯佳志、路永生、周兴亚、周惕非编写,由阚德新主审。

本分册在编写过程中参考了有关规程,并得到了有关电厂的大力支持,在此表示诚挚的感谢。

本分册可作为 300MW 及以上机组配套金属与焊接检修人员的岗位培训教材,也可作为同类型火电厂设备检修作业的指导与参考用书。

因编写人员的水平和条件有限,书中难免会有缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编者

2003 年 4 月

序
前言
编写说明

上篇 电厂金属材料

第一章 金属材料基础知识	3
第一节 金属材料的性能	3
第二节 碳钢	7
第三节 合金钢	9
第四节 高合金马氏体钢、铁素体钢、奥氏体钢	14
第二章 火电厂金属技术监督及在用压力容器定期检验与管理	18
第一节 金属技术监督	18
第二节 在用压力容器的定期检验与管理	26
第三章 电厂金属检验方法	42
第一节 高温、高压管道的检测	42
第二节 管道焊缝探伤方法	79
第三节 压力容器的无损探伤	115
第四节 高温紧固件的金属检验	136
第五节 几种汽轮机叶片根部裂纹超声波探伤	147
第六节 汽轮机叶轮轴向键槽径向裂纹超声波探伤	149
第七节 汽轮发电机锡基轴瓦的超声波探伤	153
第八节 汽轮机和发电机转子中心孔超声波探伤	159
第九节 汽轮机叶轮轮缘倒 T 形叶根槽的超声波探伤	162
第四章 电站金属事故的断口和金相分析	165
第一节 金属事故的分析程序	165
第二节 断口分析	166
第三节 金属事故分析举例	169

第五章 现场检验及修复实例	182
---------------------	-----

下篇 焊 接 篇

第六章 火电厂检修焊接技术发展概述	199
-------------------------	-----

第一节 概述	199
第二节 火电厂检修焊接技术的发展趋势	200
第三节 火电厂检修对焊接人员的要求	201

第七章 火电厂检修焊接基本知识	204
-----------------------	-----

第一节 常用金属材料	204
第二节 常用焊接材料	211
第三节 常用焊接方法	218
第四节 常用焊接设备和工具	220

第八章 火电厂检修焊接基本工艺要求	222
-------------------------	-----

第一节 焊前准备	222
第二节 焊接基本工艺要求	227

第九章 火电厂检修常见管道焊接技术	230
-------------------------	-----

第一节 主蒸汽管道焊接	230
第二节 高压给水管道的焊接	260
第三节 中低压管道的焊接	263
第四节 火电厂管状铝母线的焊接	267
第五节 热工仪表管的焊接	269
第六节 奥氏体不锈钢的焊接	270
第七节 异种钢接头的焊接	272

第十章 火电厂检修锅炉的受热面管焊接	275
--------------------------	-----

第一节 锅炉水冷壁管的焊接	275
第二节 锅炉省煤器的焊接	278
第三节 锅炉过热器的焊接	279

第十一章 火电厂检修汽轮机设备缺陷的焊接修复	285
------------------------------	-----

第一节 轴瓦补焊技术	285
------------------	-----

第二节	汽缸裂纹补焊	286
第三节	主汽门裂纹修复	289
第四节	汽轮机叶片的焊接	291
第五节	汽轮机高压转子围轮板铆头堆焊	293
第六节	汽轮机隔板缺陷的修复	295
第七节	汽轮机低压缸结合面补焊	297
第八节	给水泵电机转子铜条断裂焊接修复	298
第九节	除氧器水箱裂纹的焊接修复	299
第十节	高压阀门门柄堆焊	300
第十一节	循环水大闸阀门柄的补焊	301
第十二节	排水泵泵轴的补焊	302
第十三节	带压(水、汽、油)焊接	303

第十二章 锅炉设备焊接实例 305

第一节	HG-410/100-1 型锅炉二级减温器联箱整体更换焊接实例	305
第二节	HG-410/100-1 型锅炉过热器管更换焊接实例	308
第三节	原苏联产 En670/140 型锅炉主蒸汽管路三通更换	310
第四节	原苏联产 En670/140 型锅炉过热器管更换	313

第十三章 焊接缺陷的预防及其处理 315

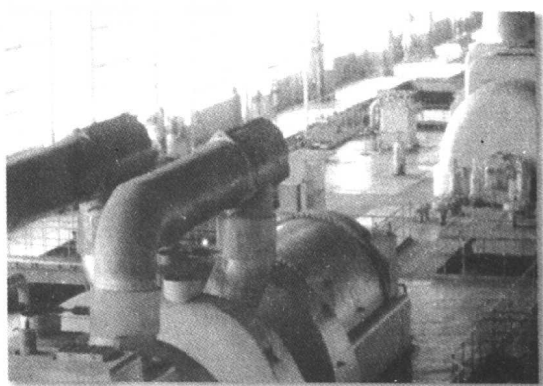
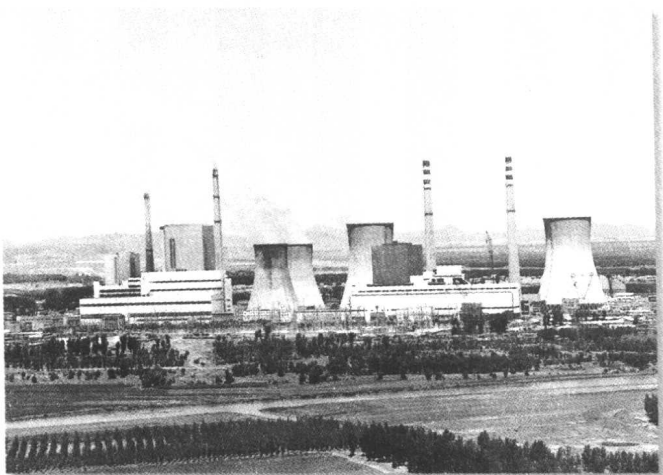
第一节	焊接缺陷的类型	315
第二节	缺陷的处理方法	319

第十四章 火电厂检修焊接热处理基本知识 321

第一节	焊接热处理的工作内容和范围	321
第二节	热处理的加热方法和设备	325

第十五章 火电厂检修焊接安全技术 329

第一节	手工电弧焊安全技术	329
第二节	手工钨极氩弧焊安全技术	330
第三节	气焊气割安全技术	330
附录一	焊接异种钢的焊条(焊丝)及焊后热处理温度推荐表	332
附录二	电厂常用钢材化学成分表	333
附录三	国内、外近似钢号对照表	337
参考文献		344



上 篇

电厂金属材料

金属材料基础知识

第一节 金属材料的性能

由于各种机器零件工作情况不同，对材料的性能要求也不一样。例如用作发电厂蒸汽管道的材料，要求有高强度、耐热性和耐腐蚀性等，用作轴瓦的材料要求高的耐磨性和疲劳强度，而用作室温下的连接螺栓的材料只要求有一定的强度即可。金属材料的性能是选用材料的重要技术依据，此外，对零件进行各种加工时，也必须了解材料的性能，例如铸铁的铸造性良好，但不能锻造，钢既可以锻造又可以铸造。

在机器制造中所用的金属材料以合金为主，很少使用纯金属，原因是合金常比纯金属具有更好的机械性能和工艺性能，纯金属成本较高。只有在为了满足机器上的某些特殊性能的要求时，才考虑使用纯金属来制造机器零件。

合金是以一种金属为基础，加入其他金属或非金属元素，经过熔合而获得的金属材料。最常用的合金有以铁为基础的铁碳合金，如碳素钢、合金钢、灰口铸铁等。此外，还有以铜或铝为基础的铜合金和铝合金，如青铜、黄铜、铝镁合金等。

用来制造机器零件的金属及合金，应具有优良的机械性能和工艺性能，较好的化学稳定性和一定的物理性能。因此，在设计机器零件时，必须首先熟悉金属及合金的各种主要性能，才能根据零件的技术要求，合理地选用所需的金属材料。

一、金属材料的物理和化学性能

金属材料的物理性能是指熔点、比重、热膨胀系数，导热性及导电性等。常用金属材料的物理性能见表 1-1。

表 1-1 常用金属材料的物理性能

材料名称	符号	密度 20℃ (kg/m ³)	熔点 (℃)	线膨胀系数 α (0~100℃) (10 ⁻⁶ /℃)	热导率 λ (W/m·K)	电阻率 ρ (0℃) (10 ⁻⁶ Ω·cm)
铝	Al	2.7 × 10 ³	660	23.6	221.9	2.655
铜	Cu	8.96 × 10	1083	17	393.5	1.67 ~ 1.68 (20℃)
镁	Mg	1.74 × 10	650	24.3	153.7	4.47
银	Ag	10.49 × 10	960.8	19.7	418.6	1.5
钨	W	19.3 × 10	3380	4.6 (20℃)	166.2	5.1
镍	Ni	4.5 × 10	1453	13.4	92.1	6.84
纯铁	Fe	7.87 × 10	1538	11.76	75.4	9.7
锡	Sn	7.3 × 10	231.9	2.3	62.8	11.5
铬	Cr	7.19 × 10	1903	6.2	67	
钛	Ti	4.508 × 10	1677	8.2	15.1	42.1 ~ 47.5
锰	Mn	7.43 × 10	1244	37	4.98 (-1.92℃)	185 (20℃)

在蒸汽管道、汽轮机转子等高温设备上，必须考虑到由于热膨胀系数不同，使构件产生的应力和变形。作导电材料要用导电性好的铜、铝等。制造保险丝可用熔点低的铅、锡及其合金。

金属及合金抵抗各种介质（如空气、海水、酸、碱、盐、蒸汽等）侵蚀的性质属于化学性能，如耐蚀性。一般钢铁很易生锈，而铝或铜合金则不易生锈。为了防止腐蚀，在设备表面涂油漆，有时则必须采取防锈合金制造零件，如汽轮机叶片就是用不锈钢制造的。

二、金属材料的力学性能

机器零件在工作时常受到各种复杂的外力作用，它将使零件产生变形或破坏。例如蒸汽管道受到蒸汽压力的长期作用，可以发生变形或破裂。金属材料对在外力的作用下能抵抗产生变形的能力，称为金属材料的力学性能。金属材料的力学性能包括弹性、塑性、强度、硬度、冲击韧性等。

1. 弹性

金属材料受外力作用时产生变形，外力去掉后又恢复原来形状的能力称为弹性。

对于细长的或薄板零件，弹性变形达到一定值即失去弹性。利用金属弹性可以制造弹簧等零件。

2. 塑性

金属材料受到外力作用后产生永久变形而不破坏的能力称为塑性。塑性常以金属材料拉伸试验时所得的延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 来衡量。

拉伸试样的试样被拉断后，其标距部分所增加的长度与原标距的比值的百分率称为延伸率 δ

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 L_0 ——金属试样原长度；

L_1 ——试样断裂后的长度。

拉伸试样被拉断后，其横截面积的缩减量与试验前试样的截面积之比的百分率，称为断面收缩率 ψ

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 A_0 ——试样受力前的截面积；

A_1 ——缩径处的截面积。

延伸率和断面收缩率越大，塑性就越好。塑性大的材料，可以制成薄板或拉制很细的丝。

3. 强度

金属材料抵抗变形或断裂的能力称为强度。金属材料的强度常用的指标有屈服强度和抗拉强度。

屈服强度就是金属材料发生屈服现象时的屈服极限，亦即抵抗微量塑性变形的应力。

它可按式 (1-3) 计算

$$\sigma_s = p_s / A_0 \quad \text{Pa} \quad (1-3)$$

式中 p_s ——试样产生屈服现象时所承受的最大外力, N;

A_0 ——试样原来的截面积, m^2 。

抗拉强度就是金属材料在拉断前所能承受的最大应力, 常用 σ_b 来表示。它可以按下式计算

$$\sigma_b = p_b / A_0 \quad \text{Pa} \quad (1-4)$$

式中 p_b ——试样在断裂前的最大拉力, N;

A_0 ——试样原来的截面积, m^2 。

屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 在设计机械和选择、评定金属材料时有重要意义, 因为金属材料不能在超过其 σ_s 的条件下工作, 否则, 会引起机件的塑性变形; 金属材料也不能在超过其 σ_b 的条件下工作, 否则, 会导致机件的破坏。

4. 硬度

金属材料抵抗更硬物体压入的能力称为硬度。常用的硬度表示方法有布氏硬度和洛氏硬度两种。

布氏硬度的测定原理如图 1-1 所示。

它是用一定直径 D 的钢球, 在一定压力 p 的作用下, 压入金属表面后, 用压痕的单位面积上的压力来表示硬度

$$\text{HB} = p / A \quad \text{牛顿/毫米}^2 \quad (\text{一般不注单位}) \quad (1-5)$$

式中 HB——布氏硬度值;

p ——所加的压力;

A ——压痕的表面积。

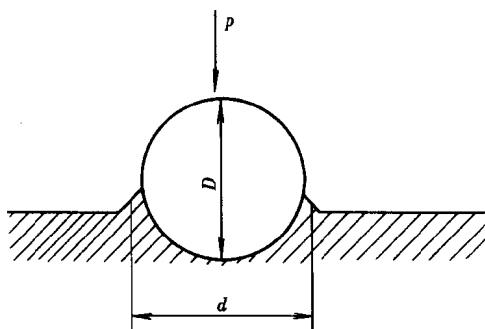


图 1-1 布氏硬度测定原理

因为压痕表面积与压痕直径有关, 在实际中只要根据压力 p 和压痕直径 d 的大小, 利用专门的布氏硬度表就可查出 HB, 而不必进行计算。HB 愈大, 表示材料愈硬。一般钢、铁和有色金属常用布氏硬度来测量硬度, 但不能用于测定 $\text{HB} > 450$ 的材料, 例如淬火的硬钢。

对于 $\sigma_b > 450$ 的材料, 可采用洛氏硬度测定法。洛氏硬度法是用顶角为 120° 金刚石圆锥或直径 “ $1/16$ ”、“ $1/8$ ” 的钢球压入材料的表面, 以压入深度表示硬度值。但压入深度愈大, 表示硬度值愈小, 以 R_c 表示。

布氏硬度 HB 和拉伸强度 σ_b 之间有着近似的成正比关系, 即

$$\sigma_b = K \cdot \text{HB} \quad (1-6)$$

当 HB 在 120 ~ 175 之间时 $K = 0.36$

当 $\text{HB} > 175$ 时 $K = 0.34$

根据这个关系式, 可以用测量材料硬度的方法换算出近似的强度值。