

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: X2007193001

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

Y220 轧机进行 W-25%Cu 轧制研究

Study on W-25%Cu rolling using Y220 roll mill

蔡 协 勇

指导教师姓名: 周 健 副 教 授

专 业 名 称: 材 料 工 程

论文提交日期: 2013 年 月

论文答辩时间: 2013 年 月

学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2013 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为(厦门虹鹭钨钼工业有限公司研发三室《钨铜合金棒丝材》)课题(组)的研究成果,获得(厦门虹鹭钨钼工业有限公司研发三室《钨铜合金棒丝材》)课题(组)经费的资助,在(厦门虹鹭钨钼工业有限公司研发三室)实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

高温强度和抗电弧烧蚀性能优异的钨与高导电导热性铜的良好结合使钨铜复合材料具有一系列优异性能，广泛应用于电触头材料，电子封装和热沉材料。钨与铜的互不相溶性决定了钨铜复合材料制备的特殊性。

分析传统的制备方法及国内外钨铜材料研究现状，发现钨铜合金在经过溶渗法制备后密度、力学性能及电学性能还不能满足工业需求，需要进行后续的机械加工来实现材料的进一步致密。而进行钨铜合金性能优化的加工方法多样，但很少采用轧机机组来加工钨铜合金，国内缺乏相关技术资料。

本文的研究是按照充分利用 XX 公司资源、节约投入原则进行的，利用闲置的 Y220 轧机机组进行钨铜合金（W-25%Cu）轧制的工艺探索。

工艺探索过程按照先单道、后连轧的步骤进行。首先，通过以 F1 轧制效果探索，我们确定了轧制温度为 900℃，经过试验验证，轧制尺寸定为 $\Phi 14\text{mm}$ 。在这样的加工条件下，经过 F1 道轧制得到的 W-25%Cu 合金材料表面质量良好，没有凹坑和裂纹。其次，利用 Y220 轧机对进行了 F1-F4 单道摸索，成功得到了质量良好的 W-25%Cu 合金，使利用 Y220 轧机轧制钨铜合金成为可能。最后，为建立连轧关系，进行了“连轧常数”核算，并通过对“秒流量”平衡及修正，利用 Y220 轧机可以顺利的进行四连轧，并且轧制的 W-25%Cu 合金组织细密，无表面缺陷存在，效果良好。

本文研究发现：1) 经过轧制，W-25%Cu 合金的相对密度从原来的 97.5% 提高至 99.14%，材料更加致密，且四连轧结果比单道轧制致密化更明显；同时四连轧使材料表面更加光滑且横截面更接近圆形；2) 通过单道轧制对材料四个道次轧制后的微观组织进行了观察，发现在轧制过程中，W-25%Cu 合金组织变化分为三个阶段。第一个阶段为铜相纵向形变，钨相并无变化；第二个阶段钨颗粒发生形变呈椭球状；第三个阶段大尺寸钨颗粒发生变化，组织更加均匀化。

本文还对轧制后的 W-25%Cu 合金性能进行了相关的研究测试，经过测试得到如下结果：1) 由材料的硬度结果可以观察到经过轧制，材料的硬度有了明显的增加，经过四道轧制，钨铜合金的硬度 HRB 达到了 201；2) 经过轧制材料的抗拉强度得到了明显增加，从原材料抗拉强度 430MPa 提高到 540MPa 以上，四

连轧效果比单道轧制效果更为明显；3) 材料的断裂方式为钨相脆性断裂，铜相呈韧性断裂，整个钨铜合金表现为脆性断裂；4) 经过轧制材料的热导率和电学性能得到了明显的提高，其导热系数达到 $356.324 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ ，电导率达到 $37.02 \mu\text{S}/\text{m}$ 。

关键词：Y220 轧机；W-25%Cu 合金；轧制

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

The well combination between Cu with preeminent conductivity and W with high-temperature strength and arc-resistance yields a serial of excellent properties. Thus tungsten-copper composite are widely used in electric contactor, electronic packaging and heat sink. Incompatibility of Tungsten and copper decided the specificity preparation of tungsten-copper composite.

After full investigation of W-Cu composite preparation method, we found that the density, mechanical properties and electricity performance of W-Cu alloys prepared by Cu infiltration method can not meet the industry demand, and it needs further mechanical process to get higher density. There are various ways to optimizing the performance of W-Cu alloy, but using rolling mill to process W-Cu alloy is vary rarely used.

This research is focus on the rolling process of W-25%Cu material. For the purpose of making full use of XX company resources and saving investment, We selected the idle Y220 roll mill to complete the study.

The F1 rolling pass was studied at first, and then the continuous rolling craft. Base on the result of F1 rolling pass experiment, 900°C is selected as the best rolling temperature and the dimension of the material is $\Phi 14\text{mm}$. The W-25%Cu product rolling in this condition has good surface quality. Then, F1-F4 rolling process was studied by using Y220 roll mill. We get good quality W-Cu alloy successfully after the rolling. These results demonstrate that it is possible to roll W-Cu alloy using Y220 mill roll. At last, in order to establish tandem rolling, We calculate the rolling constant and balance the mass flow. After tandem rolling, the microstructure of W-25%Cu alloy is compact and the surface is good. The result shows that W-25%Cu alloy continuous rolling can be achieved by using Y220 mill roll.

The research showed that: 1) the relative density of W-25%Cu alloy is increased from 97.5% to 99.14% after rolling. The densification effect of continuous rolling is more obvious. The surface of W-25%Cu bars is smoother after rolling. 2) The microstructure change though the whole rolling process can be divided into three stages. At the first stage, longitudinal deformation of Cu phase occurred, and W phase keep unchanged. At the second stage, W particles turned to be quasi ellipsoid. And at the last stage, the large W particles begin to rupture. The W phase become more

uniform.

The mechanical properties, electrical properties and thermal property of the rolled W-25%Cu were tested. The results show that: 1) the hardness increased significantly after rolling, which reached HRB201 after continuous rolling. 2) the tensile strength is also enhance after rolling, which increased from 430MPa to 540MPa. 3) Though the fracture study, it shows that W phase induced brittle fracture and Cu phase rupture turned to be ductile fracture. 4) The electrical properties and thermal property is improved after rolling Thermal conductivity reached $356.324 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$, and electrical conductivity reached $37.02 \mu\text{S}/\text{m}$.

Key words: Y220 mill roll; W-25%Cu alloy; roll

目 录

1 绪论	1
1.1 钨铜合金概述及应用	1
1.1.1 钨铜合金的性质	1
1.1.2 钨铜合金的用途	1
1.1.3 钨铜合金制备方法	4
1.2 钨铜合金致密化问题	6
1.3 钨铜合金的变形加工	8
1.4 课题背景和意义	9
1.5 课题研究概述	9
2 基本工艺及试验方案	11
2.1 试验流程	11
2.2 试验原料制备流程	12
2.3 微观组织观察	13
2.3.1 金相观察	13
2.3.2 扫描观察	14
2.4 力学性能测试	15
2.4.1 硬度测试	15
2.4.2 拉伸试验	15
2.5 电导率测试	16
2.6 热导率测试	18
2.7 化学成分测试	18
2.8 密度测试	19
3 Y220 轧机轧制钨铜合金的摸索过程情况	20
3.1 Y220 轧机介绍	20
3.2 原料尺寸的确定	21
3.3 加热温度的确定	26
3.4 单道摸索	29
3.5 连轧常数测算	31

3.6 三连轧与四连轧效果比较	32
3.7 秒流量平衡过程	33
3.8 总结	35
4 钨铜合金的组织分析	36
4.1 GB8320-2003 对钨铜材料组织和性能的要求	36
4.2 宏观观察	37
4.3 金相组织观察	38
4.3.1 原始材料的金相组织观察	38
4.3.2 轧制后钨铜合金金相组织观察	40
4.4 钨铜合金材料的 SEM 观察	43
4.4.1 原始材料 SEM 观察	43
4.4.2 轧制后钨铜合金材料 SEM 图片	44
4.5 结论	46
5 钨铜合金的性能分析	47
5.1 化学成分及密度测试	47
5.1.2 化学成分测试	47
5.1.2 轧制过程对材料硬度的影响	47
5.2 轧制过程对硬度的影响	49
5.3 钨铜合金拉伸试验测试	50
5.3.1 轧制过程对材料拉伸性能的影响	50
5.3.2 拉伸断口形貌分析	52
5.4 轧制对材料电导率的影响	54
5.5 轧制对材料热导率的影响	55
5.6 结论	55
6 结 论	57
参考文献	58
致 谢	61

CONTENTS

1. Preface	1
1.1 Summarize and application of W-Cu alloys	1
1.1.1 Properties of W-Cu alloys	1
1.1.2 Application of W-Cu alloys	1
1.1.3 Preparation method of W-Cu alloys	4
1.2 Densification method of W-Cu alloy	6
1.3 Machining deformation of W-Cu alloys	8
1.4 Background and significance of project	9
1.5 Summarize of the project	9
2. Methodology	11
2.1. Experimental process	11
2.2. Process routing of raw material	12
2.3. Micrograph test	13
2.3.1. Metallographical analysis	13
2.3.2. Scanning electronic microscopic analysis	14
2.4. Mechanics performance test	15
2.4.1. Hardness test	15
2.4.2. Tensile test	15
2.5. Conductivity test	16
2.6. Thermal conductivity test	18
2.7. Chemical elements test	18
2.8. Density test	19
3. Technological research of W-Cu alloy rolling process using Y220 mill roll	20
3.1 Introduction of Y220 mill roll	20
3.2 Appropriate dimensions of raw material	21
3.3 Processing temperature experiment	26
3.4 Experimental of F1 passroller	29
3.5 Constant of continuous rolling	31

3.6 Contrast of effect of three successive rolling and Four continuous rolling	32
3.7 Mass flow equilibrium process	33
3.8 Summary	35
4. Microstructure of W-Cu alloys	36
4.1 Standard of W75-Cu25 according to GB8320-2003	36
4.2 Macroscopic observation	37
4.3 Metallographic observation	38
4.3.1 Metallographic observation of raw material	38
4.3.2 Metallographic observation of W-Cu alloy after rolling	40
4.4 SEM observation of W-Cu alloy	43
4.4.1 SEM observation of raw material	43
4.4.2 SEM observation of W-Cu alloy after rolling	44
4.5 Summary	46
5. Properties of W-Cu alloy	47
5.1 Chemical composition and density test	47
5.1.1 Chemical composition of W-Cu alloy	47
5.1.2 Effect of rolling on density of W-Cu alloy	47
5.2 The effect of rolling on hardness of W-Cu alloy	49
5.3 Tensile test of W-Cu alloy	50
5.3.1 Effect of rolling on tensile strength of W-Cu alloy	50
5.3.2 Fracture morphology of W-Cu alloy	52
5.4 Effect of rolling on conductivity of W-Cu alloy	54
5.5 Effect of rolling on thermal conductivity of W-Cu alloy	55
5.6 Summary	55
6 Summary	57
References	58
Acknowledge	61

1 绪论

1.1 钨铜合金概述及应用

1.1.1 钨铜合金的性质

钨铜合金是一种由体心立方结构的钨颗粒和面心立方结构的铜粘结相组成的既不互相固溶也不形成金属间化合物的一种复合材料,通常被称为伪合金或假合金。常用合金的含铜量为 10%~50%。钨铜合金综合了金属钨和铜的优点,其中钨熔点高(3410℃),密度大(19.34g/cm³);铜的导电导热性能优越,并且塑性很好,因此,它既具有钨的高强度、高硬度、低膨胀系数等特性,同时又具有铜的高塑性、良好的导电和导热性等特性^[1,2]。表 1-1 为金属钨和铜的物理性质^[3,4]。钨铜合金微观组织均匀、耐高温、强度高、耐电弧烧蚀、密度大;导电导热性能适中,这些特有的综合性能使钨铜合金广泛应用于军用耐高温材料、高压开关用电工合金、电加工电极、微电子材料,作为零部件和元器件广泛应用于航天、航空、电子、电力、冶金、机械和体育器材等行业^[5]。

表 1-1: 金属钨和铜的物理性质^[3,4]

Table1: Physical properties of W and Cu

元素	密度 g/cm ³	热膨胀 系数 10 ⁻⁴ /K	热导率 w/(m.k)	热容 J/(kg.°C)	弹性模量 GPa	泊松 密度	熔 点℃	抗拉 强度 MPa
钨	19.32	4.5	174	136	411	0.28	3410	550
铜	8.93	16.6	403	385	145	0.34	1083	120

1.1.2 钨铜合金的用途

(1) 电触头和电加工

电触头也称为触电或接点,是高、低压电器的关键元件,直接影响开关、电器运行的可靠性甚至其寿命。所以,一直以来,电触头被称为电器的“心脏”^[6]。目前,钨铜合金的主要用途仍然是电触头,特别是高压及超高压开关电器的触头。钨铜合金在高压开关、高压真空复合开关及避雷器中得到广泛应用。高压真空开关由于体积小,易于维护,使用范围广,能在潮湿、易燃易爆以及腐蚀的环境中

使用，主要性能是耐电弧烧蚀、截止电流小、抗熔焊、热电子发射能力低、含气量少等，所以钨铜合金在这方面的应用也越来越广泛，已成为中高压电网和电气化铁路的主导开关器^[7-9]。除常规宏观性能要求外，还要求气孔率少，微观组织性能优良，故要采取特殊的处理工艺，需真空脱气真空熔渗等复杂工艺。表 1-2^[10]所示的为电工合金用钨铜性能要求。随着开关电器向更高电压、更大容量发展，对钨铜材料的技术要求也不断提高，从而需要开发新的钨铜合金和新的制取工艺。真空开关电器的出现，促进了真空用钨铜合金开发和应用，已成为钨铜材料重要的应用新领域。这类电器要求真空下使用，品种规格多，使用条件也不相同，因此，除了要求符合真空条件外，还需开发适合不同用途的钨铜类合金。各种先进的电加工技术的发展，成为高耐热、高导电导热和抗电弧烧蚀的钨铜材料的另一个重要应用领域。这就要求钨铜材料的组织尽可能均匀致密、而且性能稳定，同时要满足多品种、多规格产品需求，以用于不同条件和各种形状工件的加工。

表 1-2 电工合金用钨铜性能要求

Table 1-2 Performance requirement of electrical W-Cu alloy

产品名称	符号	铜	杂质	钨	密度	电阻	电导	硬度 HB	抗弯强度
钨铜50	WCu50	50±2	0.5	余量	11.85	3.2	54	1128	
钨铜55	WCu55	45±2	0.5	余量	12.30	3.5	49	1226	
钨铜60	WCu60	40±2	0.5	余量	12.75	3.7	47	1373	
钨铜65	WCu65	35±2	0.5	余量	13.30	3.9	44	1520	
钨铜70	WCu70	30±2	0.5	余量	13.80	4.1	42	1716	790
钨铜75	WCu75	25±2	0.5	余量	14.50	4.5	38	1912	885
钨铜80	WCu80	20±2	0.5	余量	15.15	5.0	34	2158	980
钨铜85	WCu85	15±2	0.5	余量	15.90	5.7	30	2354	1080
钨铜90	WCu90	10±2	0.5	余量	16.75	6.5	27	2550	1160

资料：GBT 8320-2003 铜钨及银钨电触头，2003。

(2) 微电子技术应用

近年来, 由于钨铜合金优异的电、热性能, 作为在大规模集成电路和大功率微波器件中应用的钨铜材料发展非常迅速。钨铜合金的高导热及耐热性大大提高了微电子器件的使用功率, 并且可以使器件小型化; 另外其适宜的热膨胀系数可以与微电子器件中硅片、砷化镓等半导体材料及管用陶瓷材料很好的匹配连结, 从而避免热应力所引起的热疲劳破坏。钨铜电子封装和热沉材料具有非常优异的性能, 既具有钨的热膨胀特性, 又具有铜的高导热特性, 其热膨胀系数和导热导电性能可以通过调整钨铜的成分而加以改变, 因而给钨铜合金提供了更广的应用范围。表 1-3^[11,12]所示的为用于封装热沉的钨铜材料的主要性能, 从表中可以看到钨铜材料的各种性能都非常优异, 是用于封装热沉的非常优异的材料。

表 1-3 用于封装热沉的钨铜材料的主要性能^[11-12]

Table1-3 Main performance of W-Cu material used as encapsulation sink

产品名称	热 导 率 W/(m.k)	热 膨 胀 系 数 10 ⁻⁴ /K	密度g/cm ³	比 热 导 率 W/(m.k)
WCu	140-210	5.6-5.8	15-17	9-13
WCu10	140-170	5.6-6.5	17	
WCu15	160-190	6.3	16.4	
WCu20	180-210	7.6-9.16	15.6	
MoCu	184-197	7.0-7.1	9.9-10.0	18-20

(3) 军用钨铜合金

高温钨铜材料是钨铜合金研究的一个分支。美国从上 20 世纪 60 年代起就已开始将钨铜合金用于导弹的喷管火箭、喉衬、鼻锥及燃气舵等高温下应用的部件。其应用的原理是当燃气的温度接近甚至超过合金的熔点时 (3000℃), 铜在 1083℃ 时熔化而在 2580℃ (0.1MPa) 蒸发, 蒸发时可以吸收大量的热量, 从而能为钨骨架提供良好的冷却效果, 保证部件的正常工作, 使材料能承受一般材料无法承受的高温 [13-14]。利用钨铜材料高密度和高聚能效果, 可大大提高破甲弹的破甲威力。美国、法国、以色列等对 W-Cu 药型罩材料研究结果表明, 在 3 倍口径炸高的条件下, 其破甲深度可以比纯铜药型罩提高 30% 左右。此外, 由于钨铜合金的耐热性、高导电性和抗电弧、抗摩擦等优异性能, 有可能成为正在发展的电

磁炮的导轨材料。因此钨铜复合材料可以作为坦克穿甲弹的药型罩、增程炮的尾喷口、电磁炮的轨道材料等。因此钨铜合金在冶金、航天和军事工业上的应用会越来越广泛。

(4) 其他材料

钨铜复合材料具有各项优异的性能，其新型的用途在不断的研究和开发中，比如钨铜复合材料如今可以用作高速旋转和运动的固体密封件、重载荷滑动摩擦轴套的加强筋；各种仪器仪表需满足无磁、低膨胀、高弹性模量、防辐射屏蔽等特殊要求，而钨铜合金则符合各种仪器仪表的特点；钨铜复合材料还可以应用于正在研究的能够承受和传递大流量的装置材料及试验聚合反应堆。除此之外，在办公设备、通讯设备、体育及运动器件（高尔夫球的配重块）都能找到钨铜材料的应用。

1.1.3 钨铜合金制备方法

由于钨铜两相的熔点差距很大，钨铜复合材料的制备一般利用粉末冶金技术。常规的制备方法分为：活化液相烧结法、溶渗法和高温液相烧结法。

(1) 钨铜混合粉的活化液相烧结

利用高温液相烧结法获得的钨铜材料密度较低，许多研究者在纯钨的活化固态烧结理论的基础上，研究了钨铜材料制备过程中加入微量活化元素来提高烧结活性的方法，从而可以使烧结密度得到很大程度的提高。Johnson 及 R.M.German 等^[15-17]详细研究了钨铜混合粉的活化烧结行为，发现钴、铁的活化效果明显高于镍，特别是钴。对于 W-Cu10 材料，当添加 0.35% 钴时，在 1300℃ 烧结即可达到 98% 的相对密度。对添加钴进行活化烧结时，钴在钨晶粒表面形成高扩散性的 W₆Co₇ 界面层，它可以促进 W 的扩散烧结。而 Co、Fe 和 Cu 可以形成有限固溶体，在烧结过程中形成第二相在晶界中析出，形成金属间化合物，从而促进钨的致密化。活化烧结制取钨铜合金的最大缺点是明显降低钨铜合金的导电热性能，因此采用该方法制备的材料只能适用于导电导热性要求不高的场合。

(2) 溶渗法

溶渗法是将钨粉或掺入部分铜粉的混合粉通过特殊的压制工艺制成内部连通的钨骨架，然后将铜熔化后渗入到钨骨架的孔隙中形成钨铜合金，采用这种方法制备的钨铜合金材料相对密度较高，性能好，是制取高性能钨铜的主要方法。

溶渗法的主要机理为：烧结过程中，在毛细管力的作用下，熔融铜可以渗入钨骨架，烧结和熔渗可以分步或者同步进行，采用该方法获得较为致密的钨铜合金材料，从而可以改善钨铜材料的韧性^[18]。科学工作者对利用溶渗法制备钨铜合金进行了广泛的研究。其中主要包括粉末粒度、钨骨架、熔渗工艺及后处理的研究。钨粉粒度对于钨铜合金的工艺及性能的影响是非常重要的。一般来说，钨粉粒度越大，烧结温度越高，则钨骨架强度也会越高。而同时由于钨颗粒过大导致钨颗粒之间不能很好进行粘结颈缩从而导致钨骨架强度不高，而影响铜相熔渗后的性能。W.S.Wang 和 K.S.Hwang^[19]认为不同的工艺参数和钨粉粒径导致闭孔和 W-W 临界率的改变，最终而影响熔渗密度和电阻率。经过不断的研究，目前普遍制备钨铜触头的钨粉粒度为 4-8 μm 。Lee J.S^[20]等研究发现钨粉粒度为 4.65 μm 时可以做出最适宜的钨骨架。而范志康^[21]则认为钨粉粒度为 5-7 μm 时 W-Cu 触头组织性能优良。目前钨骨架成型主要包括模压成型、挤压成型及注射成型。对于模压成型，压制压力、压制速度及保压时间对压坯质量都有影响^[22]。而挤压成型研究较少，目前适用于直径较小钨铜合金^[23]。注射成型方法最近研究比较广泛，R.M.German 和 Bin Yang^[24]等人都采用注射成型的方法制备了钨骨架，并取得了较好的结果。熔渗工艺一般都要分析各种工艺参数，如温度、时间、气氛等。具体的产品需要通过具体的实验得出实际的参数。熔渗后处理一般指复压、热锻、热压、热等静压等^[25-26]。这些后续处理也会对钨铜合金造成很大的影响。

(3) 高温液相烧结法

采用高温液相烧结法制备原理为：在铜熔点以上温度烧结，使铜溶化从而可以使高温液相钨铜合金更为致密化。采用高温液相烧结法的生产工艺简单易控，不过烧结温度较高、烧结时间长、烧结密度也相对较低。在液相烧结之后需进行复压、热压和锻压等工艺从而使材料密度得到提高。A K Bhalla^[27]等利用爆炸压实法来制备钨铜材料，得到了很好的效果。

(4) 机械合金化

机械合金化^[28-30]常用来制备超细的纳米钨铜粉末，通过机械合金化制备的钨铜材料具有非常高的密度，极其优良的导电导热性能，比起传统的制备方法具有非常好的优点。机械合金化是将钨铜金属元素粉末通过高能球磨机进行球磨，使其混合非常均匀，并且粒度也非常细，从而形成纳米晶的超饱和固溶体和非晶相。此方法工艺简单，前景较广。目前机械合金化的研究主要集中在球磨转速、球磨

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库