

学校编码：10384

分类号__密级__

学号：X2012193013

UDC__

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

厦门地区废弃混凝土重金属浸出性
的研究与应用

Research and application of heavy metal leaching
of waste concrete in Xiamen area

王 振 华

指导教师姓名： 李 磊 教 授

专业名称： 材 料 工 程

论文提交日期： 2016 年 12 月

论文答辩时间： 2016 年 12 月

学位授予日期： 年 月

答辩委员会主席： _____

评阅人： _____

2016 年 12 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

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()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()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

重金属是我国“十二五”规划中重点防控的污染物，重金属对环境和人体极具潜在的威胁，它不但不能被微生物分解，反而可以被生物体富集，或与某些阴离子（团）形成其他毒性更强的金属化合物。重金属在环境中将经历地质和生化双重循环迁移转化，并通过各种渠道（如大气、饮水、食物等）进入人体，这种摄取将对人体造成极大危害。重金属的过量能抑制生物酶的活性，影响人体正常的生物化学反应。重金属与人体蛋白质、核糖、激素等反应，形成金属络合物或螯合物，使其丧失或改变原来的生理化学功能而产生病变。

我国建筑产业飞速发展，建设过程中产生了大量建筑垃圾，造成城市固体废弃物量的急剧增加，混凝土等建筑垃圾的再利用是解决上述问题的有效途径，是我国目前建筑和环境领域急需解决的重要问题，也是全球各国尤其是工业化国家研究的热点。随着工业废渣建材资源化的力度加大和各种混凝土掺合料、外加剂的开发利用，使得混凝土中重金属离子的种类、含量不断增加。由于重金属的特殊性质，当固化体存在于周围液体环境时，重金属离子可能发生迁移，这会对环境产生潜在的影响。

通过对厦门地区废弃混凝土中 Zn、Cu、Cr、Ni、Pb、Cd 总量和浸出量进行研究，发现混凝土中重金属元素有效量与重金属总含量无必然联系，混凝土中的重金属存在形态稳定，在废弃混凝土资源化过程中填埋处理并不会对环境造成危害；通过原材料重金属含量的调研，发现重金属总含量主要由胶凝材料来决定；通过 pH 值、不同粒径对重金属的影响，发现一定的规律；通过对废弃混凝土磨细粉 f-Cao 及熟料配合比实验，发现其生料的易烧性较好，抗压强度变化不大。

厦门作为一个快速发展的东南沿海的中心城市，对本市废弃混凝土的重金属浸出性研究具有极其重要的意义。在厦门市测量废弃混凝土中重金属总量和浸出量的研究，不仅为城市建设提供相应的环境背景监测资料，而且为保护广大市民群众的安全生活环境提供数据。

关键词：废弃混凝土；重金属含量；浸出性

Abstract

National “12th-5 years plan” had an emphasize on the control and treatment of heavy metal element pollution, which can not be decomposed by microorganism and can be enriched in living things. The heavy metals in the environment will participate in geological and biochemical double circular, finally through the atmosphere, water, food and other forms of human intake destroy the healthy of human beings. Excessive heavy metals could inhibit the activity of biological enzyme, and affect the normal biochemical reaction. Heavy metals chelate with human protein, RNA, which results in the loss of the original physiological and chemical functions.

With the rapid development of construction industry, construction produced a large number of wastes, resulting in urban solid waste volume increasing dramatically. The recycling of concrete construction waste is the effective solution to the above problem, and the research hotspot in developed country. With the utilization of industrial waste, and with the development of concrete admixture and additive, the kinds and the amount of heavy metal ions in concrete are increasing. Due to the special nature of heavy metals, when the solidified parts exist in a liquid environment, heavy metal ions may release and migrate, which will have a potential impact on the environment.

Through the study of Xiamen area in Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd and total leaching amount, total effective amount of heavy metals and heavy metals in concrete are not necessarily linked, heavy metals in concrete form in a stable, waste landfill treatment process will not cause harm to the environment and resources of concrete through the investigation of raw materials; the content of heavy metals, found that heavy metals are mainly determined by the cementitious materials; through the pH value and different particle size effects on heavy metals, found that the rules; the waste concrete pulverized powder f-Cao and clinker proportioning experiment, found that the raw meal burnability better, the compressive strength changes little.

In Xiamen, as a rapidly developing central city of the southeast coast, it is very important to research on the heavy metal leaching of the waste concrete in this city. The measurement of the total amount and the leaching amount of heavy metals in construction waste, provides not only corresponding environmental background data for waste monitoring, also for the protection of living environment.

Key words: waste concrete;heavy metal content;leaching

目录

摘要.....	1
Abstract.....	11
第1章 绪论.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.2.1 日本.....	2
1.2.2 美国.....	2
1.2.3 欧洲各国.....	2
1.2.4 中国.....	3
1.3 重金属浸出现状的研究.....	4
1.3.1 重金属及其危害.....	4
1.3.2 重金属浸出现状的研究.....	5
1.4 研究区域概况.....	6
1.4.1 地理位置.....	6
1.4.2 人口民族.....	7
1.5 本项目主要研究内容.....	7
第2章 试验.....	9
2.1 仪器设备.....	9
2.1.1 主要仪器与试剂.....	9
2.1.2 主要药品与试剂.....	9
2.1.3 试验条件.....	9
2.1.4 工作曲线的绘制.....	9
2.2 试验方法.....	10
第3章 厦门地区废弃混凝土中重金属含量研究.....	12
3.1 废弃混凝土中重金属总含量.....	12
3.2 废弃混凝土中重金属有效量.....	18
3.3 厦门地区混凝土中重金属总量预测值.....	22
3.3.1 胶凝材料中重金属总量的调研分析.....	22
3.3.2 骨料中重金属总量的调研分析.....	24
3.3.3 混凝土拌合用水中重金属总量的调研分析.....	24
3.3.4 混凝土重金属总量的估算.....	25
3.4 本章小结.....	26
第4章 废弃混凝土中重金属浸出性研究.....	27
4.1 试验方法及试验内容.....	27
4.2 试验结果及分析.....	28

4.2.1 粒径对混凝土中重金属浸出性的影响.....	28
4.2.2 浸出液的 pH 值对混凝土中重金属浸出性的影响.....	29
4.2.3 不同重金属元素的浸出性.....	31
4.3 本章小结.....	34
第 5 章 废弃混凝土磨细粉的应用研究.....	35
5.1 试验方法及试验内容.....	35
5.1.1 试验原料.....	35
5.1.2 试验过程.....	35
5.2 试验结果及分析.....	36
5.2.1 熟料的 f-CaO 含量.....	36
5.2.2 熟料的力学性能.....	38
5.2.3 熟料的重金属有效量.....	38
5.3 本章小结.....	39
第 6 章 结论.....	40
参考文献.....	41
致谢.....	42

CONTENTS

Abstract of Chinese.....	I
Abstract.....	II
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Research background.....	1
1.2 Progress of research.....	2
1.2.1 Japan.....	2
1.2.2 American.....	2
1.2.3 Europe.....	2
1.2.4 China.....	3
1.3 Research statue of heavy metal leaching.....	4
1.3.1 Heavy metals and their hazards.....	4
1.3.2 Progress of research in heavy metal leaching.....	5
1.4 Research area.....	6
1.4.1 eographical position.....	6
1.4.2 Population and nationality.....	7
1.5 The main research contents of this project.....	7
Chapter 2 Testing.....	9
2.1 Instrument and equipment.....	9
2.1.1 Major instruments and reagents.....	9
2.1.2 Main drugs and reagents.....	9
2.1.3 Testing conditions.....	9
2.1.4 Working curve drawing.....	9
2.2 Testing method.....	10
Chapter 3 Content of heavy metals in waste concrete in Xiamen area.....	12
3.1 Total content of heavy metals in waste concrete.....	12
3.2 Effective amount of heavy metals in waste concrete.....	18
3.3 Predictive value of heavy metal content in concrete in Xiamen area.....	22
3.3.1 Investigation and analysis of heavy metal content in cementitious materials.....	22
3.3.2 Investigation and analysis of heavy metal content in aggregate.....	25
3.3.3 Investigation and analysis of heavy metal content in concrete mixed with water.....	24
3.3.4 Estimation of heavy metal content in concrete.....	25

CONTENTS

3.4 Summary.....	26
Chapter 4 Study on the leaching of heavy metals in waste concrete.....	27
4.1 Testing method and content.....	27
4.2 Testing results and analysis.....	28
4.2.1 Effect of particle size on the leaching behavior of heavy metals in concrete.....	28
4.2.2 Effect of pH value of leaching solution on the leaching of heavy metals in concrete.....	29
4.2.3 Leaching of different heavy metal elements.....	31
4.3 Summary.....	34
Chapter 5 Study on Application of waste concrete pulverized powder.....	35
5.1 Testing method and content.....	35
5.1.1 Testing material.....	35
5.1.2 Testing procedure.....	35
5.2 Testing results and analysis.....	36
5.2.1 F-CaO content of clinker.....	36
5.2.2 Mechanical properties of clinker.....	37
5.2.3 Effective amount of heavy metals of clinker.....	38
5.3 Summary.....	39
Chapter 6 Conclusion.....	40
References.....	41
Acknowledgements.....	42

第1章 绪论

1.1 研究背景

在过去的二三十年，中国城市化进程的加快使得建筑业进入一个快速发展的阶段，许多旧建筑已到设计使用年限，或者由于其他因素需要被拆除。传统混凝土工程寿命约为50~100年，建国初期所建成的混凝土工程已经逐步进入更新拆除期，21世纪将是我国混凝土结构更新拆除的高峰期，伴随拆除而来的是产生了大量的建筑垃圾，在建筑垃圾中作为最大宗的建筑材料——废弃混凝土所占份额最大^[1]。除此以外，各商品混凝土搅拌公司的不合格或废弃混凝土，各装配式预制构件厂产生的不合格或废弃混凝土，市政工程的动迁，道路路面返修或改扩建，以及重大基础设施的升级或改造产生废弃混凝土，还有各种自然灾害如地震、台风、洪水等导致建筑物破损或倒塌而产生废弃混凝土，都产生惊人的大量废弃混凝土，这使得对废弃混凝土的处理在时间和技术上提出了更高的要求。

2006年四月，厦门举行了一次全面的建筑垃圾综合利用与新技术推广研讨交流会，数据显示，中国每年约2亿吨以上的因建筑物拆除而产生的固体废物，同时新建工程大约产生1亿吨的固体废弃物，两个总约3亿吨。这个总数（3亿吨）是非常惊人的，按这一数据估算，仅废弃混凝土大约有1亿吨左右。因此，大量的废弃混凝土作为建筑垃圾排放，直接运往郊区或农村使用露天堆放场或垃圾填埋场的方式，一方面要花费大量的交通运输费和垃圾货物处理费，另一方面需要大量的建筑垃圾储存空间，在浪费土地的同时，也会产生运输和储存过程中的灰尘等其他问题，造成严重的环境污染，将成为城市的主要污染。

当前必须将传统的混凝土生产方式升级改造到一个绿色可持续发展的轨道上来。一是考虑混凝土工艺技术的发展（如利用开发消解），以减少混凝土产生的建筑垃圾量，但该工艺技术不是对资源的再利用，而是一种浪费资源；二是考虑以废弃混凝土作为原料，通过一系列工艺（如破碎、粉磨、锻烧等）来生产水泥原料；三是可将废弃混凝土进行破碎并筛分成粗细骨料，用来代替部分天然骨料来配制成混凝土即再生骨料混凝土，可节省天然的矿物资源，同时减少固体废弃物对环境的污染，再生骨料混凝土技术可实现对废弃混凝土的再加

工,使其具备骨料原有性能,并形成新的建材产品,从而能使有限资源得以利用,又能解决部分环保问题。这是发展绿色混凝土,并达到建筑资源环境可持续发展的主要环节之一。

1.2 国内外研究现状

二次世界大战后,苏联、日本、德国等国家重建家园时,就特别关注战争产生的废弃混凝土问题,提倡混凝土必须生态化、绿色化,同时,对再生混凝土进行研究和开发利用,对再生废弃混凝土的发展和利用的国际会议已举行了三次。再生混凝土已经成为全球发达国家都在研究的课题,部分国家还通过立法的形式来促进和确保其研究的开展。随着我国对资源环境问题的关注与重视,也已经逐步开始进行再生混凝土的研究开发与利用。

1.2.1 日本

日本在建筑垃圾再生利用研究方面起步早,对废混凝土处理技术的研究始于20世纪70年代,早在1977年,日本建筑业协会(BCS)就制定了《再生骨料和再生混凝土使用规范(案)·同解说》,并相继在各地建立了处理建筑垃圾的再生利用工厂。1992年,日本建设省提出了《建筑副产物的排放控制以及再生利用技术的开发》5年发展规划,并于1996年推出了《资源再生法》,旨在推动建筑副产品的再利用,为废混凝土等建筑副产品的再生利用提供了法律和制度保障。日本已经对再生混凝土的吸水性、强度、配合比、收缩率、抗冻性等性能做了系统地研究。据统计,日本建筑垃圾资源总利用率达到约85%,其中建筑垃圾的回收率为98%,主要用于道路基础和回填材料,有些甚至被重新用于建筑材料。

1.2.2 美国

美国不光鼓励再生混凝土的利用,而且还对再生混凝土的性能做了系统的研究和试验。通过政府制定了《超级基金法》,该法规定:“任何生产有工业废弃物的企业,必须自行妥善处理,不得擅自随意倾倒。”比如美国密歇根州的两条公路就是使用的再生混凝土。通过对其的研究,并对比天然骨料,发现再生混凝土的收缩率要比天然骨料的混凝土高、美国的CYCLEAN公司采用微波技术,可以对路面沥青混凝土达到100%的回收利用,且其质量可以达到与新的沥青混

凝土路面相同，而成本降低 1/3，同时节省了垃圾运输和处置费用，大大降低了城市的环境污染。

1.2.3 欧洲各国

丹麦、荷兰等国家，由于石料短缺，依靠天然骨料的进口，相当重视建筑废料的循环再生利用。荷兰是最先开展再生混凝土研究和应用的国家之一，在 2000 年其建筑废料计划回收率高达 90% (约 1400 万吨)；丹麦在 1990 年建筑拆除废料的回收利用率达 67.2%，此外 1990 年颁布法规修正案允许再生骨料在适宜环境下用于某些特定的结构；德国将再生混凝土主要应用于公路路基基材上，Lowersaxong 的一条双层混凝土公路采用了再生混凝土，该混凝土路面总厚度 26cm，底层 19cm 采用了再生混凝土，面层 7cm 采用天然骨料配制的混凝土。德国 1997 年实施再生利用法，1998 年 8 月制定了《混凝土再生骨料应用指南》，要求采用再生骨料的混凝土必须完全符合天然骨料混凝土的国家标准，建筑垃圾回收设备在再生混凝土开发应用方面稳步发展。法国也使用碎石混凝土块和碎砖生产出了混凝土砌块砖，制备的混凝土块可符合 NBNB21-001 (1988) 砖石混凝土材料的有关标准。

1.2.4 中国

中国地域辽阔，资源丰富，混凝土的原材料危机不会在短期内突现，但在我国未来必将面临原材料短缺的问题，而且我国建筑业的发展远远超过一些发达国家，建筑垃圾带来的环境污染问题越来越严重，因此我国政府也鼓励废弃物的研究和应用，虽然我国对再生混凝土的研究起步比较晚，但也取得了相应的成果。将废弃混凝土破碎或粉碎后的碎块用作新拌混凝土的骨料，已在一些改建或重建工程项目中得到应用。如顾佳勋研究的建筑垃圾砌块技术已获得国家专利，1990 年，上海的“华亭”和“霍兰”两项工程中就运用其结构施工阶段产生的建筑垃圾。

我国混凝土的再利用不仅在建筑业使用，而且在运输业也有应用。当混凝土公路的路面达到其设计使用年限，或者因超负荷或重物碾压等原因损坏，需要进行修补或者重建时，一般是破除已破损的旧混凝土面层，对基层进行修改，再重新进行铺筑。目前，我国水泥混凝土路面再生技术中主要用于现场直接再生技术，对现场破损的路面进行破碎或粉碎，然后将破碎或粉碎后的混凝土直

接用作扩建或改建路面结构中的基层或底基层。

废弃混凝土最有效的利用途径是将废弃混凝土加工成再生骨料用于生产再生混凝土，通过重点研究对再生骨料生产与应用技术、再生骨料混凝土高性能化和耐久性、再生骨料混凝土基本构件的长期性能等，并制订再生骨料相关技术标准，建立示范生产线，新技术、新工艺和新产品实现产业化。发展绿色混凝土，降低废弃混凝土对环境的污染，运用再生混凝土技术，节省天然骨料资源，减缓骨料供求矛盾，减少自然资源和能源的消耗，具有显著的社会、经济和环境效益，符合可持续发展的要求。

1.3 重金属浸出现状的研究

1.3.1 重金属及其危害

重金属元素指在元素周期表中密度 4.0 以上的元素，约 60 种；或密度在 5.0 以上的元素，约 45 种。对于一些特殊的元素，如砷、硒，虽然它们属于非金属元素，但是它们具有一定的毒性，其毒性和某些性质与重金属相似，将其列入重金属污染物的行列。研究认为，重金属在生物体内都有一定的含量，在一定的阈值内，其不会对生物体产生危害，但超过这个阈值，将会影响生物体的健康。重金属元素的毒性具有低浓度、积累性和针对性的特点，其毒性与重金属的化学形态和重金属元素之间的化学作用有关。

重金属大多具有毒性，其危害也有很多。首先重金属一旦进入土壤，将危害土壤环境和植物。土壤中含有大量的微生物，这些微生物可以增加土壤的肥力，保持土壤性能，重金属含量的增加会导致部分微生物的灭顶之灾，而有些适应重金属的物种存活下来，降低土壤中生物类群的多样性，导致土壤质量变低，也容易造成重金属的累积。重金属通过菌类、水体等进入植物体，能破坏植物的一些组织和功能，从而降低植物的产量和品质，而重金属在植物体内富集，若这些重金属进入食物链，将对人类健康或其他动物产生危害。有关研究表明，土壤中镉的质量分数达到 5mg/kg 时，水稻籽粒中镉的质量分数达到 0.264~0.337 mg/kg，而上层土壤中镉的质量分数达到 10mg/kg 时，籽粒中的镉可高达 0.418~0.554 mg/kg，而正常情况下人体血液中的镉浓度小于 5 微克/升。

其次，重金属对人体的危害极大。过多的重金属一般都能抑制生物酶的活

性，影响正常的生物化学反应。重金属与人体蛋白质、核糖、激素等反应，形成金属络合物或螯合物，使其丧失或改变原来的生理化学功能而产生病变。研究显示：铅（Pb）对人的神经系统、消化系统及心血管系统都有损害，最易引起中枢神经系统功能紊乱；铬（Cr）对皮肤、呼吸道、胃肠道眼睛都有很大的危害，六价铬是国际抗癌研究中心和美国毒理学组织公布的致癌物，具有明显的致癌作用；铜（Cu）过剩可使血红蛋白变性，导致心血管系统疾病；镉（Cd）中毒可引起肾功能损害，引起尿蛋白症、糖尿病，镉在骨骼中的过量蓄积会引起骨骼软化、变形、骨折、萎缩，镉中毒还可能引起癌症；急性砷（As）中毒症状初期为恶心、呕吐、腹泻，其次是中毒性神经炎和肾炎等症状，并有致癌作用。

重金属的来源广泛，工业能源大都以煤、石油类为主，在采矿、选矿、加工、运输、燃烧等工业生产过程中都可能释放大量的重金属，这些重金属以离子态或氧化物形式排放出来，是环境中汞、铅、镉、铬、砷等重金属污染的主要来源。工业生产耗用大量的天然资源，在各种矿物中大多存在不同种类的重金属，由此产生的废气、污水、废渣、尾矿等都会含有一定的重金属，如没有进行有效地处理时，而进入环境，都会造成污染。

1.3.2 重金属浸出现状的研究

随着工业废渣建材资源化力度加大和各种混凝土掺合料、外加剂的开发利用，使得混凝土中重金属离子的种类、含量不断增加。废渣利用低层次、低技术含量的现状，如何预测垃圾填埋场中重金属的溶出和控制重金属对地下水土资源的污染，是环境科学关心的重点课题。为了防止废渣中重金属离子产生二次污染，浸出实验是研究重金属环境影响的主要方法，国内外众多学者对重金属在水泥混凝土中的固化浸出性做了大量的研究，而研究重金属离子的浸出试验方法也有多种，各国对试验方法的规定也不同。

为了降低危险废弃物的危害，目前世界上主要采用了以下三种方式：焚烧、化学和生物降解及安全填埋。由于重金属的特殊性质，当固化体存在于周围液体环境时，重金属离子可能发生迁移，这会对环境产生潜在的影响，因此正确处理危险废弃物防止二次污染显得尤为重要。

而水泥在制备过程使用的天然燃料及原料中都含有一定量的重金属离子，

利用水泥窑处置的固体废弃物中也会带有重金属，水泥的使用过程中将重金属离子带入混凝土中，这就使得废弃混凝土中也含有一定量的重金属，废弃混凝土资源化过程中产生的微细粉中也会含有一定量的重金属，而在实际工程应用中常将微细粉填埋处理，微细粉中的重金属是否会对环境造成危害，目前国内还没有相关的研究资料。

针对固体废弃物的毒性溶出问题，各国都制定相应的试验方法：美国的毒性物质溶出法（USEPA 法 1310）；荷兰的粒状固体废弃物最大溶出试验方法（NEM7371）；日本环境省第 13 号告示；我国 HJ 577-2010《中华人民共和国国家环境保护标准》也规定了固体废弃物的毒性浸出方法。但是现在国内对废弃混凝土的重金属浸出性研究还刚刚起步，尤其缺少地区性研究数据。

混凝土中重金属的浸出量，欧洲国家常用的是荷兰标准 NEN7371，检测内容主要是可溶部分含量，即有效含量，它与美国的 TCLP 浸出试验相似，将测试的样品破碎分解成小块，用酸溶液浸泡，只能溶出微量重金属元素，当含量不超过有关限量规定，可以说明水泥或混凝土符合环保要求。由于我国目前研究还处于起步阶段，目前还没有深入开展对重金属元素在水泥混凝土中的浸出性试验方法的研究工作，因此本文试验过程参考研究较多的国外标准。

1.4 研究区域概况

厦门市，中华人民共和国副省级城市、计划单列市、新一线城市，风景秀丽的海上花园，为祖国东南沿海的重要门户。在北回归线边缘，属南亚热带海洋性季风气候，四季如春，气温宜人，绿林掩映，繁花似锦。厦门处于九龙江入海口，与台湾隔海相望，金门更是一衣带水、鸡犬相闻。厦门市是我国五个经济特区之一，现辖思明、湖里、集美、海沧、同安和翔安 6 个区，通行闽南方言。相传远古时为白鹭栖息之地，故又称“鹭岛”。厦门也是现代化国际性港口风景旅游城市，拥有 5A 级旅游景区——鼓浪屿。美国前总统尼克松曾称赞厦门为“东方夏威夷”。厦门国际马拉松赛连续 6 年被国际田联评为“国际田联路跑金牌赛事”。

1.4.1 地理位置

厦门市，位于台湾海峡西岸中部、闽南金三角的中心，地处北纬 24° 23' ~ 24° 54'、东经 117° 53' ~ 118° 26'，隔海与金门县、龙海市相望，陆地与南

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts 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.