

学校编码: 10384  
学号: 18620101153413

分类号        秘密  
UDC       

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

张拉整体结构体系在艺术与建筑领域的  
应用可行性研究

The feasibility study on applying tensegrity systems to  
art and architecture

张文兵

指导教师姓名: 陈文捷 副教授  
专 业 名 称: 设计艺术学  
论文提交日期: 2013 年 4 月 2 日  
论文答辩时间: 2013 年 5 月  
学位授予日期:

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2013 年 4 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( )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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

张拉整体结构是一种新兴的非主流结构型式,也是国际新型空间结构发展的热点。它完全颠覆了传统结构必须保证压力通过有刚度构件连续传递的力学逻辑,在不依赖外部任何条件(包括重力)的情况下,仅由结构内部连续受拉和分离受压的两种结构构件实现自应力自平衡。

本文基于西方学者研究的基础上,首先就张拉整体结构的基本概念、历史起源、结构原理一一进行介绍。其次对张拉整体结构进行分门别类,并在分析类张拉整体——索穹顶的基础上进一步明确了二者的界限。再次通过大量的模型、雕塑和分析图例,以尽可能地展现张拉整体结构独特的美学特征。最后,在分析现今众多称之为或被称之为是张拉整体结构的设计和方案的基础上,提出了一座步行桥梁设计方案。通过上述大量的图示,分析研究张拉整体结构在艺术与建筑领域的应用可行性。

**关键词:**张拉整体; 索穹顶; 步行桥

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## Abstract

Tensegrity is a rising and atypical kind of structure, and is also an international hot spot of the development of a new type of spatial structure. It completely subverts the conventional structural systems, which requires that compression must be transmitted through stiff components continuously. With no outer factors, such as gravity, this new type of structure, in order to keep self-stress and equilibrium, just needs two kinds of components, which are either in continuous tension or in discontinuous compression.

This dissertation is based on western scholars' studies. It shall commence by introducing the basic concepts, origins and the principle behavior of these structures. Thereafter in the second part, it will focus on classifying the tensegrity systems and analyzing the tensegrity-like structure-cable dome in order to draw a line between these two structures. Thirdly, a multiple of modules, sculptures and graphics are used to illustrate, as far as possible, the unique aesthetic features of tensegrity. Finally, after studying those called, or so-called, tensegrity design proposals, a footbridge design based on the principle of tensegrity is proposed. Through numerous graphics above, this dissertation is aiming to study on the feasibility of applying tensegrity systems to the art and architecture.

**Key words:** tensegrity; cable dome; footbridge

厦门大学博硕士学位论文摘要库



摘 要.....	I
Abstract.....	III
目 录.....	V
Table of Contents .....	IX
<b>第一章 张拉整体结构概述 .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 前言 .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 艺术与科学.....	1
1.1.2 建筑与结构.....	2
1.1.3 选题依据.....	3
<b>1.2 何为张拉整体? .....</b>	<b>5</b>
1.2.1 张拉整体结构的定义.....	5
1.2.2 张拉整体的结构原理.....	7
1.2.3 张拉整体的结构特性.....	10
<b>1.3 研究现状概述 .....</b>	<b>11</b>
1.3.1 国外的相关研究概述.....	11
1.3.2 国内的相关研究概述.....	12
<b>第二章 张拉整体结构的分类和命名 .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 张拉整体结构的分类 .....</b>	<b>14</b>
2.1.1 棱柱形张拉整体结构.....	16
2.1.2 基于正多面体的张拉整体结构.....	28
2.1.3 星形张拉整体结构.....	39
<b>2.2 张拉整体结构的命名 .....</b>	<b>40</b>
<b>第三章 类张拉整体结构——索穹顶 .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1 张拉整体结构与索穹顶 .....</b>	<b>43</b>

3.2 索穹顶结构的造型特征 .....	44
3.3 索穹顶的形态分类 .....	50
3.3.1 双穹窿形索穹顶.....	51
3.3.2 单穹窿形索穹顶.....	52
<b>第四章 张拉整体结构的应用可行性研究 .....</b>	<b>60</b>
4.1 张拉整体在雕塑方面的应用研究 .....	60
4.2 张拉整体在家具方面的应用研究 .....	72
4.3 张拉整体在建筑方面的应用研究 .....	75
4.3.1 塔形构筑物.....	75
4.3.2 人行景观桥.....	79
4.4 本人对张拉整体结构景观步行桥的设计研究 .....	101
4.4.1 基于张拉整体八面体结构的景观步行桥设计方案.....	101
4.4.2 经过变形的张拉整体八面体结构的景观步行桥设计方案.....	106
<b>致 谢.....</b>	<b>113</b>
<b>附 录.....</b>	<b>115</b>
<b>附录 I 张拉整体结构的起源.....</b>	<b>115</b>
1. 卡尔·约根逊与俄国构成主义.....	115
2. 埃默里希·富勒和斯奈尔森.....	129
<b>附录 II 张拉整体结构的定义 .....</b>	<b>148</b>
1、基于专利发明的定义.....	148
2、安东尼·皮尤等人的定义.....	151
<b>附录 III 斯奈尔森的书信.....</b>	<b>159</b>
1. Letter from Kenneth Snelson to Maria Gough on Karl Ioganson.....	159
2. From Kenneth Snelson to Motro .....	162
<b>附录 IV 作者与西方学者的邮件往来.....</b>	<b>167</b>
1. 与 Kenneth Snelson 的邮件往来 .....	167
2. 与 Valentín Gomez Jauregui 的邮件往来 .....	176
3. 与 Luke Riggall 的邮件往来.....	181
4. 与 A. Micheletti 的邮件往来 .....	183

5. 与 Marcelo Pars 的邮件往来 .....	184
<b>附录 V 专利文件.....</b>	<b>188</b>
1. 埃默里希的专利.....	188
2. 富勒的专利.....	190
3. 斯奈尔森的专利.....	193
<b>附录 VI 纽约现代艺术博物馆的历史文件.....</b>	<b>196</b>
1. THE MUSEUM OF MODERN ART (一) .....	196
2. THE MUSEUM OF MODERN ART (二) .....	198

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## Table of Contents

<b>Abstract.....</b>	<b>III</b>
<b>Charppter 1 Summary of tensegrity systems .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Art and science .....	1
1.1.2 Architecture and structure .....	2
1.1.3 The purpose of dissertation .....	3
<b>1.2 What is tensegrity? .....</b>	<b>5</b>
1.2.1 The definition of tensegrity .....	5
1.2.2 The principles of tensegrity .....	7
1.2.3 The characters of tensegrity .....	10
<b>1.3 Summery of present researches .....</b>	<b>11</b>
1.3.1 Summary of western researches.....	11
1.3.2 Summery of domestic researches.....	12
<b>Charppter 2 The classification and codification of tensegrity .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Classification of tensegrity .....</b>	<b>14</b>
2.1.1 Prismatic tensegrity systems .....	16
2.1.2 Tensegrity systems based on Platonic solids.....	28
2.1.3 Star-like tensegrity .....	39
<b>2.2 Codification of tensegrity .....</b>	<b>40</b>
<b>Charppter 3 Tensegrity-like structure——cable domes .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1 Tensegrity systems and cable domes .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2 Characteristics of cable domes .....</b>	<b>44</b>
<b>3.3 Classification of cable domes .....</b>	<b>50</b>
3.3.1 Double vaults .....	51
3.3.2 Single vault .....	52
<b>Charppter 4 The applications of tensegrity .....</b>	<b>60</b>
<b>4.1 Applied research on tensegrity to sculpture .....</b>	<b>60</b>
<b>4.2 Applied research on tensegrity to furniture.....</b>	<b>72</b>

<b>4.3 Applied research on tensegrity to architecture .....</b>	<b>75</b>
4.3.1 Towers .....	75
4.3.2 Pedestrian bridges .....	79
<b>4.4 My footbridge proposals and modules research based tensegrity.....</b>	<b>101</b>
4.4.1 The proposal of pedestrian bridge based on tensegrity octahedron structure.....	101
4.4.2 The proposal of pedestrian bridge after deformation of tensegrity octahedron structure.....	106
<b>Acknowledgement.....</b>	<b>113</b>
<b>Appendices.....</b>	<b>115</b>
<b>Appendix I The origin of tensegrity .....</b>	<b>115</b>
1. Karl Ioganson and Constructism.....	115
2. Emmerich, Fuller and Snelson .....	129
<b>Appendix II The definition of tensegrity .....</b>	<b>148</b>
1. Definitions based on patents .....	148
2. Definitions of Anthony Pugh and others.....	151
<b>Appendix III Kenneth Snelson's letters .....</b>	<b>159</b>
1. Letter from Kenneth Snelson to Maria Gough on Karl Ioganson.....	159
2. From Kenneth Snelson to Motro .....	162
<b>Appendix IV Personal correspondence.....</b>	<b>167</b>
1. Correspondences with Kenneth Snelson.....	167
2. Correspondences with Valentín Gomez Jauregui .....	176
3. Correspondences with Luke Riggall.....	181
4. Correspondences with A. Micheletti.....	183
5. Correspondences with Marcelo Pars.....	184
<b>Appendix V Patents .....</b>	<b>188</b>
1. Emmerich's patent .....	188
2. Fuller's patent .....	190
3. Snelson's patent .....	193
<b>Appendix VI History documents from the Museum of Modern Art.....</b>	<b>196</b>
1. The Museum of Modern Art in New York I.....	196
2. The Museum of Modern Art in New York II .....	198

## 第一章 张拉整体结构概述

### 1.1 前言

#### 1.1.1 艺术与科学

艺术与科学往往会被人们看作是生活在两个相互隔绝的文化世界里。然而在我看来，艺术与科学是生长在昆虫身上的两个触须，分别是以感性思维和理性逻辑来体验物质世界的存在。二者所追求的最终目标也是高度一致的，即真善美。

我曾一度为造物主的造物方式而感到困惑。难道他在创造大千世界时就不会感到力不从心甚至是黔驴技穷？这姹紫嫣红、五彩斑斓的大自然又是如何存续的？我的这些疑问随着近代各个学科的不断完善被一一揭晓了。金伯利·伊拉姆在《设计几何学——关于比例与构成的研究》一书中列举研究了包括动植物、人体、绘画、雕塑、海报、建筑物等诸多的案例。他认为在这当中广泛存在着黄金分割比例、斐波纳契数列……既然上帝都按照一定的规律创造万物，我们人类又有什么理由不这样呢？

黑格尔说过：“数学是上帝描述自然的符号”，阿尔布雷希特·丢勒所著得《关于字母应有的造型》则认为“……没有几何学的知识，任何人都不可能是或者成为一名纯粹的艺术家的；但是应该谴责他们的老师，他们自己对这种艺术是无知的。”<sup>1</sup>我认为阿尔布雷希特·丢勒的观点不无道理。由德国包豪斯学院奠定的现代设计基础——构成，本应是研究这种关系的课程，却在我们的一些设计院校里正往可有可无、形同虚设的深渊一步步走去。诚然，过于强调事物某一方面的属性，往往会造成人们对该事物在认知上的偏颇，因此才会有相当部分的人武断地认为艺术与数学（数学是科学之王，高斯语）是格格不入的，宣扬所谓的艺术真谛——自由。在我看来，这种自由真正应该是体现在创作者的思想上，而绝不是漫无边际的作品形态上。更何况不仅是艺术需要自由，科学也同样需要解放；不

---

<sup>1</sup> [美] 金伯利·伊拉姆著 李乐山译. 设计几何学——关于比例与构成的研究[M]. 北京：中国水利水电出版社/知识产权出版社, 2008. 序言.

仅科学需要逻辑，艺术也同样需要严谨。科学不畏强权不惧权威，去伪存真一心向善实可谓之为美也；而艺术孜孜追寻美之真谛，不可谓不真不善。艺术是一门科学，科学也同样属于艺术范畴。

### 1.1.2 建筑与结构

建筑设计是人类为解决居住环境问题而开展的一项活动。古罗马工程师、建筑师马尔库斯·维特鲁维·波利奥（Marcus Vitruvius Pollio）所著的《建筑十书》率先提出了建筑要考虑的三要素：坚固、实用、美观。这一原则时至今日仍被建筑界奉若圭臬。在我看来，这三要素无不是以结构为基石，并通过结构实现的。然而在现代社会，建筑学科与工程结构之间尚存在着一定的技术共识空白。建筑师关切造型而轻视结构，以及结构工程师关注结构而忽略建筑形象的现象，使技术与艺术进一步分离。技术成为了工程师所独有的工作，而建筑师和艺术家似乎只需做表层的装饰工作即可。现今的建筑教育模式与社会分工细化等诸多因素，似乎都制约着二者相互创造性配合的可能。从而人为地给后续的具体设计和技术支持之间掘了一条难以逾越的鸿沟。意大利著名的建筑和工程大师皮埃尔·路易吉·奈尔维（Pier Luigi Nervi）认为：“无论何时何地，一个建筑的普遍规律、它所必须满足的功能要求、建筑技术、建筑结构和决定建筑细部的艺术处理，所有这一切，都构成一个统一的整体。只有对复杂的建筑问题持肤浅观点的人，才会把这个整体划分为互相分离的技术方面和艺术方面。建筑是，而且必须是一个技术与艺术的综合体，而并非只是技术加艺术。”<sup>2</sup>

十五世纪的雕塑家和建筑师安东尼奥·阿韦利诺（Antonio Averlino）<sup>3</sup>曾就赞助人和艺术家之间的关系作过一个形象的比喻：“赞助人和艺术家分别是艺术作品的父亲和母亲”。在一个父权社会，父亲的权威自是不容动摇的，由此可见艺术家的创作在当时也不是完全不受约束的。我个人认为建筑师和工程师就是一座建筑物的父亲和母亲。这位“父亲”的创作也同样不是全然自由，可以为所欲为的。一座建筑物的诞生就是这对“夫妻”举案齐眉相敬如宾的结晶。它的身体

<sup>2</sup> P. L.奈尔维著，黄运升译. 建筑的艺术与技术[M]. 北京：中国建筑工业出版社，1981. 序言.

<sup>3</sup> 安东尼奥·阿韦利诺又叫菲拉雷特（Filarete），希腊语意为卓越之人(Lover of excellence)。他最为人所知晓的就是其为 Sforzinda 所作得城市规划，称为“理想城市”。



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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库