

拉索的功用: 张拉结构与艺术

Masao Saiton

一、综述

“空间结构”理论是合理应用长跨度结构实现建筑空间。它的基本特征是构架的性能及轴的约束。拉索是一种张拉杆,不仅依靠自身组成构架,也可以由如桁梁及穹等钢杆组成结构框架。本篇综合描述混合张拉结构的技术及审美学,建筑表达效果的自由度以及由附加拉索产生的结构效果的发展,本篇列出的主要例子均已在日本设计出并建造成功。

二、在拉索的功用中“少即好”理论

“少即好”是Mies引用Rohe(1886-1969)描述现代建筑精髓中的一句名言。其宗旨是使用较少的拉索去获得更多的建筑空间。现代建筑已越来越多采用这理论,而且不受Mies理论的约束而普遍采用较少的拉索,以至“少即好”这一词的真实含义已失去。现代派经Robert Venturi的发展成为后现代派“少即烦”理论,但在今天,后现代派已经对“少即好”理论重新考虑而提出并推崇“多即烦”理论。

结构设计最大限度地应用拉索的“张拉”机械性能以获得建筑空间,而且要达到下目标:结构不仅轻而合理,包括建筑体以及建筑过程。而且简洁的张拉结构表现技术充满现代气息。

三、拉索结构的分类

张拉结构可分为两大类:薄膜结构(预应力薄膜结构及空气支撑薄膜结构)及拉索结构。主要应用的拉索包括缆索、棒、链条(平板)以及半刚性H型钢等,本篇主要介绍缆索在拉索结构

中的应用。

高强度、高柔韧性及无长度限制是缆索的基本特性。在设计拉索结构时,为了充分发挥缆索的特性必须注意以下几点:

- 1、尽可能利用较长的缆索,以减少在缆索中间的金属连接,简化结构;
- 2、用较小的压力施加在较少的受压点以获得符合设计要求的预应力。

应用缆索结构,关键是在整体设计(包括整个系统、部件、安装、建造)中充分体现缆索优点。有趣的是构件的细长微薄性既能增强同时又能减弱建筑的表达性。

拉索结构可根据在拉索上产生的张拉力分类。一般情况下,在恒载状态下拉索产生的原始张拉力 T 及在附加压力下产生的张拉力 T_1 可用下面给出的表达式表达:

$$T_0 = T_e + T_p \quad \text{广义上的预应力}$$

$$T_1 = T_0 + T_a = (T_e + T_p) + T_a$$

T_e : 均衡作用下产生的张拉力

T_p : 有意用来控制构件性能的张拉力(狭义上的预应力)

T_a : 在附加荷载下增长的张拉力

如果比例 T_p/T_e 较大,则需要应用拉索结构系统以加大建筑体的强度及在恒载下对拉索扩张的吸收能力。

四、桁梁拉索结构

1、结构原理

桁梁拉索结构(BSS)属于混合张拉结构。由如钢性构件制成的桁梁、小穹穹及调节穹穹组

Masao Saiton: 日本Nihon大学教授

合拉索组成。BSS的主要特性如下:

(1) 恒载下具有自平衡系统(被动效应)。

(2) 弯曲或压缩钢杆时的应力控制及构架的移位、定型控制(主动效应)。

BSS的最原始应用是在19世纪桥梁建筑上,但当时并没有象穹形结构及柱形拉索结构那样广泛发展,而现在,为什么这种结构系统广泛应用于桥梁建筑上呢?

首先,与建筑设计有关。BSS的唯一特性是合理选择桁梁拉索的合适的空间、范围及框架。而且,在建筑外形设计上应达到具有自平衡系统、宽阔的空间、精巧亮丽的拉索系统及较好系统的逻辑构造。所有这些特性均体现在BSS的设计上。

其次,与结构的性能有关。确定主要的载荷及准备支撑框架显得很重要,主要是为了便于在桁梁拉索的设计中选择合适的布局及组合方式。而且应考虑弯曲瞬间及桁梁移位所产生的应力控制、安装拉索上的恒载、支撑点(拉杆及杆端)、及支撑的反作用力(提升或降低时)。这些因素在引入预应力于拉索中是很重要的。在进一步设计中还应考虑各部件、物理特性及引入张拉力的控制方法。

2、BBS的发展

BBS的基本模式适用于恒载较大而附加荷载(雪的压力及此悬挂物的压力)很小的工况。BSS的许多优点在这种模型中得到充分体现。在这种模型中支撑结构是钢性的。平软而较薄的BSS具有较强的抗震性及在恒载稳定下具有较大的预应力值。

另一方面,在建立一BSS系统时应注意以下几点:

(1) BSS应用于平顶建筑,是为了获得室

内净高:

(2) 当支撑结构刚性小时,利用SKELSION对细长的支撑柱及板架上施加水平阻力,SKELSION的特点是通过设置悬索及撑索来平衡较大的预应力。

(3) 在完工材料较轻的情形,如薄板或钢板,抗风支撑及谷索将不效地抵御台风载荷的影响。

这些结构系统的特点在很多方面已得到应用。在过去20年内已设计出并已建造成功的例子不少。

在BSS的园形模型应用中,拉索的高度通过安装在外部支柱顶端的环形缆索提升、通过应用放射型缆索组成的放射型桁梁、通过在外周边形成水平的压力线,构成一个浅而薄的桁梁拉索结构而获得。

3、BSS的艺术表现多样化

(1) 建筑外形

一般情况下,在长跨度结构中恒载是主要压力因素。带拉索及横梁的自平衡系统使外形结构不受水平反作用力的影响,从而可以设计多姿多彩、轻巧而宽大的建筑外形,如:

①Anob园顶建筑(日本九州Kita,1994),62m×108m。

②车站广场屋顶(东京,1997)45m×60m,轻巧的薄膜屋顶给人一种“柔风吹过”的感觉。

③Maebashi绿色园顶建筑(1990)122m×168m,象停放在青山绿水之中的外星“飞碟”。

④Saitana竞技场,象一个大而锐利的“空中翅膀”,内有一个移动的剧院,充满21世纪气息。

⑤Kyoto游泳馆,与自然融合的“茧”的造

型。

(2)内部空间的结构表现

利用精巧而亮丽的拉索组成繁多的组合横梁,形成多姿多彩的拉索结构形状,如:

①Nihon大学法拉第大厅(1978)直径20米,放射型索杆及中心环状拉索金光灿烂。

②Koganei体育中心(1988),弯曲的H型钢索反射从玻璃表面折射的光线。

③Sakate市体育馆53m×68m,从屋檐上自然的光线照射到涂有土耳其绿色的拉索及缆索上。

④九州Kita园顶建筑(1991)62m×108m,由H型钢及定位薄板组成的混合拉杆给人一种森林的自然感觉。

⑤Mihoa大学的地铁车站(1996)20m×40m,涂有日本传统红色的两种不同作用的缆索形成象园顶屋一样的广阔空间。

⑥Horinouchi镇体育馆(1996)38m×42m,成排跳跃的横梁结合沉着的薄板定位器在冬季产生一种自然的空间。

⑦YoKohoma野绿色建筑,减少缆索以取得较大的透明空间。

⑧Maebashi绿色园顶(1990)122m×168m,透过可视效果,细薄的横梁及小穹穹产生一个生动的内部细薄园顶建筑。

4、BSS的结构技术

建立结构系统而引入预应力于拉索的方法很大程度上依赖于建筑物其部件,甚至整个系统,例:

①Nihon大学法拉第大厅(前面已介绍),在拉杆端安装螺钉插销,施加预应力于一些区域,中间环状拉索由于恒载的作用而被拉下,以获得最终的张力。

②Nihon大学体育馆大厅(前面已介绍),

由于最大重量而引入的设计压力,每个柱梁从支撑部件提起。整个屋顶(约1000tf)通过两边的小型千斤顶慢慢滑行提起。

③Moebashi绿色园顶建筑(前面已介绍),在中间支撑部位装配的每个撑柱,由中间环形物下的68个油压千斤顶产生的预应力提起整个屋顶(3000tf)。

④Urayasu市体育中心(前面已介绍),整个柱梁安装完毕后,BSS的缆索逐步拉紧,而支撑柱可以逐个移去。

⑤SaKata市体育馆(前面已介绍),对缆索施加的预应力是通过将其拖下并固定于地面上的支柱端来实现的。一套由三片BSS组成拉索由安装在悬壁梁上的临时绳索拉起。

⑥Nihon大学地铁车站(前面已介绍),通过使用一小型千斤顶,由两片钢板组成的“平面接头”被六个支撑杆产生的预应力同步提起。

⑦九州Kita园顶建筑(前已介绍),安装BSS调节长度及压力之前,要进行预装载,这要将悬壁杆端拉下直至能精确地与横梁焊接。

⑧Hovinouchi镇体育馆,通过旋转末端螺钉产生的承重较大对角拉杆压缩力,而后仅由BSS承受恒载压力。

⑨Iwadeyana镇体育馆,整个屋顶吊装完后,安装所有支撑杆并将杆端接头拉下以施加预应力。

五、张拉格栅园顶建筑

除B.Fvller及F.Otto的作品外,J.schlaich博士已发明出由等长度板条及对角线缆索组成的“格栅框架”,与一般的横梁建筑物相比,格栅园顶建筑具有建筑费用低、透光性高、透明度高的特点。

受比较著名的力作如Neckerslum游泳馆(1989),Hamburg历史博物馆(1990)及

Cannstatt矿物储区建筑等的影响,设计者采用等张拉杆技术构成的巨大的格栅园顶建筑。

设计者还在Nihon大学内与学生们合作建造小型格栅园顶建筑体,通过在格栅上安装四个支撑支柱,一个简单的张拉系统模型建立起来了。而且通过预应力连接绳索连接每个支撑柱端。整个格栅园顶建筑可以抵御雪及风的压力。这个原理已被在拱顶模型中得到证实。设计者希望把这些格栅园顶建筑模型命名为“张拉格栅园顶建筑T.G.D”。

六、张拉格栅表面技术

随着建筑物的公共空间要求的提高,各种各样的玻璃表面技术得到广泛应用发展。这种玻璃透光透明的感觉不仅来自玻璃本身而且来自整个玻璃建筑物支撑系统。比起巴黎 La Villete的Peter Rice的带缆索系统的玻璃表面, Mvnich (1994)的Kempinski饭店的正厅格栅缆索系统更显得光彩耀人。这种应用玻璃装饰系统变革的起源是由Schlaich设计的Mvnich滑冰馆。考虑到更加严密的防风性能。在1995年日本设计者已应用这原理在Nihon大学成功建造这种玻璃装饰系统。通过一个夹具夹紧四块玻璃板在连接角处,

形成一个张拉杆表面结构。在这种系统中内部及外部缆索比在网状系统中承受的预张拉力更小,而且还安装了小的对角线板条。从降低建筑材料费用及美学的观点出发而应用板条夹紧系统,这种系统命名为MJG系统(最少连接点玻璃装饰系统)。

七、拉索结构的设计概念——结束篇

为了获得更大的自由空间及实现长跨度结构,拉索结构的设计已更加注重建筑体的建筑效果。另一方面,拉索结构在整个系统、部件、建筑物的应用已比一般的建筑结构更为牢固。

在进行初步设计时,应该明确掌握由于多种裁压下拉索的作用,同时认真考虑对拉索引入原始张拉力的各种方法。作为一例子,在Izumo园顶建筑中,整个调节弯穹由拉杆及环状缆索拉紧,这种结构采用了一种俯卧支撑的建筑结构方法。在这些混合张拉结构中整个设计过程应考虑包括审美学及结构技术的各种概念。

注:本文由陈森译自98日本神户IABSE国际会议论文集,陈云翔校。

(上接第25页)

有复合应力的梁,可以提高其极限延伸强度。

2、预制拼接梁的塑性可以通过约束加强而大为改善,也可以通过布置一些体内粘结力筋和

体外力筋的方法加以改善。

注:本文由邹华译自98日本神户IABSE国际会议论文集,陈云翔校。

表1. 试验结果摘要

样号	试样描述	破裂荷载 (kN)		最大荷载 (kN)	极限挠度 (mm)	体外力筋施加应力(Mpa)	失效方式
		跨	支撑面				
1	体外应力, 无约束	39.2	56.7	70.2	47.1	232	混凝土裂
2	体外应力, 有约束	44.9	56.9	79.1	80.1	323	混凝土裂
3	复合应力, 无约束	44.1	60.9	79.6	80.1	341	裂,内部力筋屈服