

预应力混凝土技术

PRE-STRESSED CONCRET

林同炎

建设是需要材料的。现代化的建设，需要应用现代化的材料。预应力混凝土就是一种重要的现代建筑材料。

人类建设的开始，只用土、石和木料。“土木工程”即因此而得名。钢铁—水泥混凝土的应用，只有一、二百年的历史，现代化的建筑离不开它。但是最近三十年来，工程师们开始应用预应力混凝土：用更强的钢材和混凝土，经预应力处理结合起来，得到更坚固、耐久、经济和美观的建筑材料。

钢筋混凝土是依靠钢筋的抗拉和混凝土的抗压。预应力混凝土是将钢筋拉足张力而压在混凝土里。一方面可以增加钢筋的抗拉能力，另一方面可以减少混凝土的裂缝。因此可以节省材料，增加强度。

预应力混凝土从1940年左右已开始在欧洲应用，1950年左右引进美国。目前在世界各国的用量如下：房屋建筑，占百分之十几；桥梁方面，占百分之七十；能源结构（如核能防护容器）约占一半。这是一种方兴未艾的现代材料，可用于房屋、桥梁、铁路、公路、港口、工厂、仓库、石油钻探以及核电厂、高压容器等等工程。

中国采用预应力混凝土于空心板、铁道轨枕、预制房屋及桥梁等已有相当成就。由于目前缺钢，如能做有系统、有步骤的全面规划，

逐步采用于各个方面，将可以节省大量的钢材、水泥，加快建设的速度。

为方便起见，现介绍预应力混凝土在以下三方面工程上的应用：

一 桥梁工程

最近二三十年来，国际桥梁的进展完全是在预应力方面。预应力混凝土的应用，最初是在比较短跨度的桥梁方面，但现在对于中跨度与长跨度方面已有极大的进步。最初是在欧洲，而现在美国已迎头赶上。这些新发展的桥梁大致可分为两类。

第一类 分节建筑法（segmental bridge construction）这种方法是将桥梁分成若干节，一节一节地制好，然后连在一起。这类方法又可分为两种。

1. 预制法（precast）每一节桥梁在工厂预制，然后运到工地，连接起来，用预应力的办法，在内部加以钢筋，将其连接成一个完整的桥梁。这种办法，在欧洲特别是法国，非常成功。在美国也发挥了它的长处，但有时因为过份的应用，反而变得不经济了。

2. 就地灌注法（cast-in-place）此法系利用“移动车架”在桥墩两头各用悬臂式方法同时向前推展，以求平衡，一节继一节的绑扎钢筋，安装板模，灌注水泥，用预应力连在一起，然后由此节再接上一节向

前推进。此法中国已经用过，非常适合，可以更加推广。只要制定某种标准的“移动车架”，一座桥上用后可以在其他桥上使用，就可以省去许多工具费用。同时可以训练一些工作人员熟练使用这种“移动车架”，以提高效能。这可以通盘计划，大量利用。作者最近在美国设计得标了一座桥梁，采取就地灌注法，预算可节约7百万美元。

第二类 悬挂式建筑法（cable stayed bridge construction）这种方法是将桥身悬挂在由塔架吊拉或锚定妥善之高强钢索上，而桥身可以用钢铁或混凝土。就中国的情况，似应尽量使用混凝土；就是欧美，除非跨度超过四五百米，使用混凝土桥梁总是比较经济的。

以跨度来说，通常分节建筑法最长以到二百米左右为佳。超过此长度，则以悬挂式较为经济。此皆指公路桥梁而言，铁路桥梁自又不同。

最重要的一点，是建筑施工的方法。也可能用“移动车架”再加上“悬挂式”。这是在跨过宽阔河面或深谷、深渊地方，才加以利用。

近年，作者应联邦政府之请，设计了一座跨过140米深沟的桥梁。应用预应力的基本理论和技术，构成一个400米跨度的弯桥，名为拉克巧起桥（ruck-a-chucky bridge见封底）。这桥从山上挂下，一个桥墩

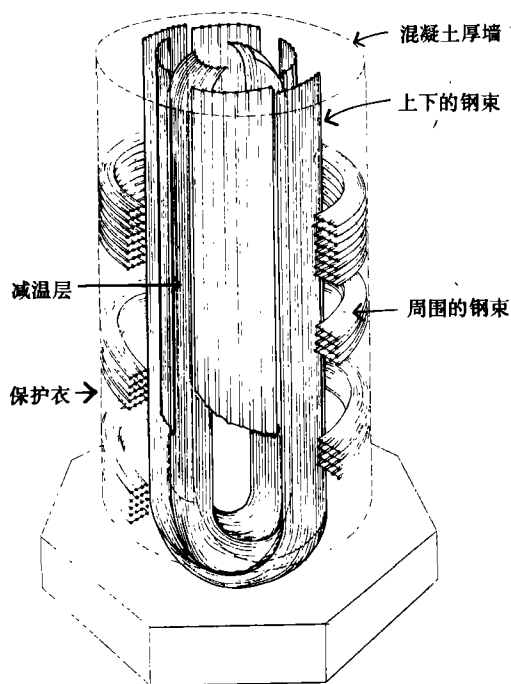
都没有，不但是最经济的计划，而且十分美观。这证明现代材料若充分利用，将是前途无量的。

二 房屋工程

预应力混凝土用于房屋建筑，比普通混凝土可节省水泥三分之一，而所用钢筋（tenden）则只有普通钢架的十分之一或二十分之一。例如我们在新加坡设计了一座四十层的办公楼（见封底图）。由于采用了预应力混凝土薄楼板，每层减低了30厘米，全楼减低了12米，一切费用因之减少（封底图）。

混凝土结构的房屋和钢铁结构的房屋具有同样的抗震能力。如能设计得当，可以比钢铁结构更强。1972年12月，尼加拉瓜（Nicaragua）首都马那瓜（Managua）大地震，全城倒屋断垣，死亡万余人。唯有全城最高的十八层美洲银行大厦巍然独存（见封底图）。这是因为我们采取了特别的混凝土抗震设计，虽然是普通混凝土，未加预应力，仍然有很强的抗震能力。由此可见设计得当的重要性。

预应力混凝土固然有它的长处，但也不能认为是万能的材料。



预应力混凝土高压容器

所以我们要慎加选择取舍，力求配合完善。要注意交通、运输条件、起重设备的情况以及其他当地的情况。

中国已开始采用预应力混凝土于房屋建筑，现在有待采用的是长跨度和就地灌筑法的新技术。在引进新技术时，需要特别注意因地制宜、结合中国的实际情况。中国缺钢铁，外国建筑公司习惯于用大量的钢铁。必须避免依样画葫芦把国外耗费大量钢铁的设计搬进中国，徒然便利外商倾销而浪费了中国来之不易的外汇。

三 能源工程

在能源工程中，需要大容积的耐压容器。过去是用钢铁为基本材料。现在能源的发展对压力和容积的要求越来越高。钢铁容器在技术上已有重大困难，经济上更不合算。所以预应力混凝土取而代之。附图说明预应力混凝土高压容器（PCPV）的构造。主要是用钢来捆在混凝土缸的上下周围，把它勒紧了，以抵抗将来缸内的高气压。

预应力混凝土容器比钢容器经济而安全：

1. 钢容器系由钢板焊接而成。容器愈大，压力愈高，则钢板愈厚。厚钢板在装配时，电焊、煅工都有限制，不仅经济上不合算，安全方面也有顾虑。

2. 预应力混凝土中之钢筋造好后每磅只需1美元。如用厚的钢板加以电焊则每磅需4美元。

3. 钢筋容许应力（allowable working stress）为160ksi（11.23公吨/平方厘米），而钢板的容许应力只有20-30ksi（1.40-2.11公吨/平方厘米）。

4. 预应力混凝土在建造过程中没有强烈性的损害。所以特别适宜于做压力容器（PCPV）。

因此，现在预应力混凝土正发展成为能源结构的主要材料，已广泛应用在核子反应容炉（PCRV）和防护容器（PCPV）（nuclear-containment & reactor vessels）。同样的原理可用在其它高压容器上，也在能量转换和热传递的过程

中，以及在运输和储藏的结构上。

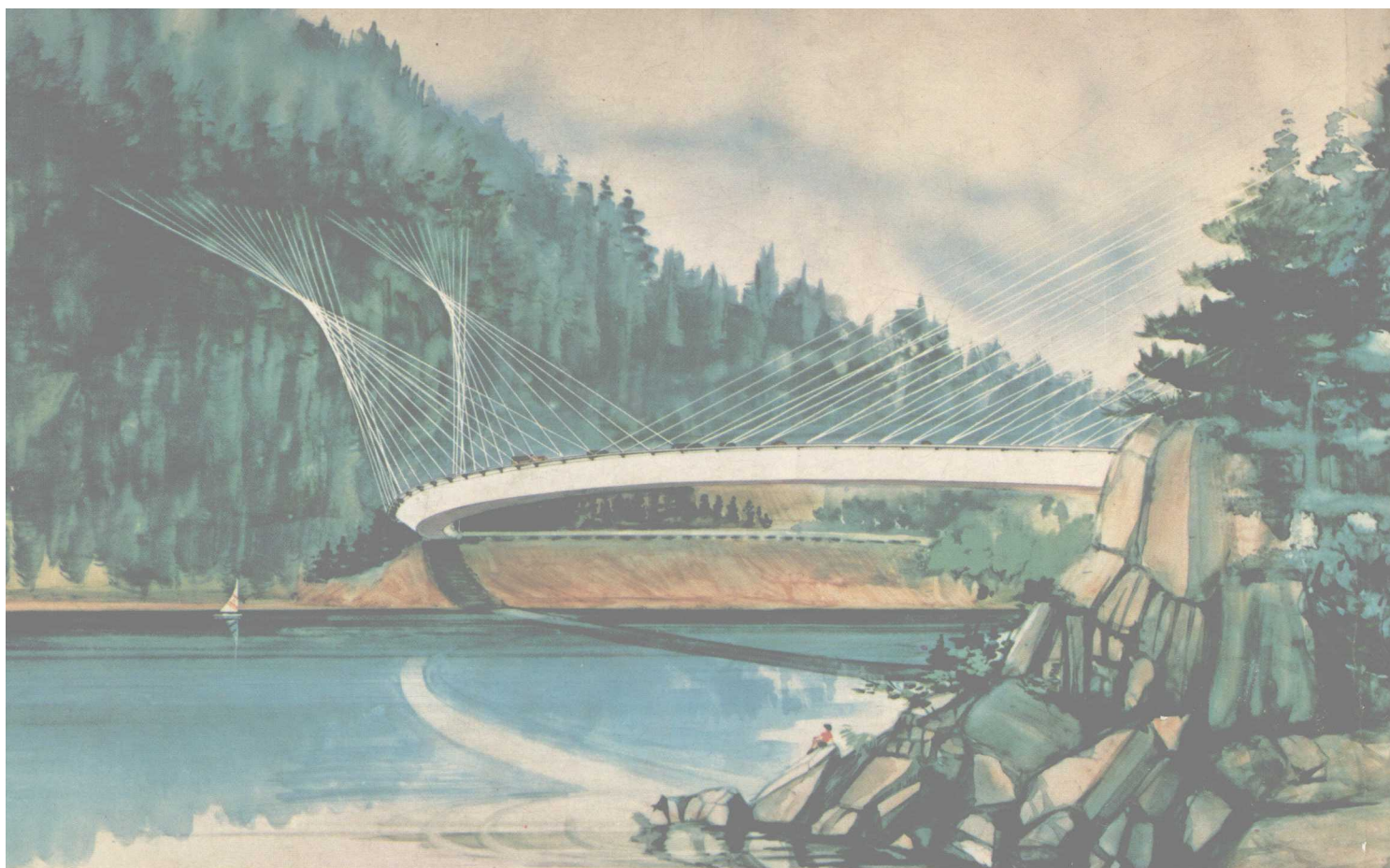
现在举一个例子。笔者受美国联邦政府能源部的委托研究把预应力混凝土的压力容器（PCPV）技术推广应用到煤的液化和气化工厂（coal conversion plants），计划中有一个溶解槽-分隔槽（dissolver-separator），笔者建议用一座大的预应力容器来代替18座小的钢容器。其工、料总价为1亿2千万美元，而原来用钢板的则为4亿2千万美元，节省3亿美元。一个可以做三个半。如果以这种设计用于整个工厂，则原来40亿美元的建造费用可以降低到30亿美元，节省10亿美元。

发展中国的能源，有赖于采用预应力混凝土技术。美国的工程师习惯使用钢铁，尚未深入领会这项新技术的潜力和优点。中国缺钢铁，在经济建设中宜广泛采用这一技术来加速现代化。可以应用的项目有：

1. 核子反应容炉及防护容器；
2. 海上钻油台及储油等设备（offshore oil drilling platform and storage）；
3. 海洋热能发电厂（ocean thermal energy conversion）；
4. 煤之液化和气化工程（coal conversion into synthetic fuel and natural gas）；
5. 煤仓、粮仓（coal and grain silos）；
6. 炼油厂（oil refineries）所需高压容炉；
7. 预应力混凝土海港码头；
8. 预应力混凝土的船只和驳船（barge）。

* * * *

总之，这个现代材料的应用前景是非常广阔的，不但经济安全，而且可以设计得很美观，与环境协调。以钢铁为中心的建设时代，已开始过去。中国现代化要迎头赶上，采用预应力混凝土技术是很重要的一环。一方面学习工业先进国家的技术，一方面要适用于中国的环境。这篇介绍，只是一个开始，这一方面的文献书籍目前已以千计。 启



预应力混凝土

(林同炎设计，见正文)

(上)预应力混凝土吊桥，长400米。

(下左) 新加坡预应力混凝土40层大厦。

(下右) 1974年厄瓜多尔大地震后全市仅存的美国银行14层大厦，混凝土结构。其抗震能力超过钢铁结构的其他建筑。

