

那是 1944 年秋，我是上海圣约翰大学土木系一年级新生，读李先生“物理 1”的课。这所大学是美国制度，理工科“普通物理”必修，听谁的则自选。土木系、化学系、当然还有物理系（那时读物理系不吃香），有许多学生一起选李先生的课，在“交谊厅前廊”上大课，黑压压坐了一大片。其实，除了课程表上他名字是 Y. L. Lee 外，其他什么也不知道。同学间交谈，称他为“长脚李”，无非因为他脸长腿更长时间长了，有好事者才从传播女作家艳闻的小报上，知道他在文艺界的外号，也知道了他的大名——李延龄。

长脚李讲课声誉极好，学校规矩，讲课用英语。我们刚出中学，居然大都能听懂，他声音响亮，悠扬顿挫，举例清楚。同学们都专心致志，唯先生之为听。当然也有例外。我年龄小，坐不定，不知是做小动作还是说悄悄话，马上被长脚李发现了，他目光一下子向我扫过来，我立刻规矩了。从此对他有点敬畏。有次休息时间问题，我很“规矩”，结结巴巴说英语。长脚李用中文说：“讲中文，讲中文”，消除了我的紧张。这是头次听他说中文（上海话），这次经历又使我们学生对有了亲切感。课后同学在一起，模仿他讲课的腔调，用英语学说：“设想我们有一个点沿着直线运动……”，彼此哈哈一笑，引为乐事。潜移默化之下，“物理 1”学得还不错，力学和热学还记得起来。第二学期要选“物理 2”，课表上没有 Y. L. Lee 了，听的是别位老师的课。相比之下，电学磁学至今有点怕。除了上面所说目光一扫和“说中文”两件事外，我当学生时和李先生再没有什么个人接触。留下的印象却是深刻的，尽管后来不知他的消息。

物换星移几度秋，在 60 年代中逛书店，我看到一

本爱因斯坦介绍相对论的著作，翻译者署名李灏。听说李灏就是李延龄，于是买了下来，作为对老师的纪念。一直到了 1980 年前后，我这个当年读土木的小孩子（14 岁）和所敬畏但又有亲切感的青年教员（当年才 27 岁！）在中国力学学会的工作上走到一起来了。说什么我总摆不脱他是我启蒙老师的印象，他是前辈，是长者。在力学学会工作上，如教育、名词等事，师生有所讨论。但在损伤力学等专门知识上，我只能佩服他眼光敏锐，抓得住新动向，当不了他的学生了。对于他的学历、经历、生活、家庭、为什么离开圣约翰等等，我很少了解。从别人的介绍才知道当年他是进步学生运动积极分子，故而转换在上海几个大学学习、工作。

在圣约翰，学生没有固定班级，没有固定教室，各人课表不同。上相同的课多，就算是“同班”。我读土木时有个同班要好同学，算来也是在听长脚李的课和其他课过程中得识的。他前几年去世了，我俩最后一次见面，是为了怀念一位刚离去的共同好友。我当时谈起严蕊《卜算子》词里的两句：“去也终须去，往也如何往”，借去和往来比喻死和生。现在李先生又去了，我再借用这首词接下去的两句：“若得山花插满头，莫问奴归处。”一个教育工作者，不论桃李是否满天下，能让有些学生牢记他的教益，引起思想上几闪火花，那真可以莫问归处了。

古代老师死了，弟子不穿丧服，只在心里悼念，叫心丧，有“心丧三年”之说。既然莫问归处，这种心丧，也就只是对一种自然现象（犹如花开花落）淡淡的伤感。师生相传，历来被称为“传薪”，所谓“指穷于为薪，火传也，不知其尽也”；照闻一多的注：指（脂）薪就是蜡烛。

安德烈·关纳

林天健

（珠江水利委员会勘测设计研究院，广州 510611）

1959 年 12 月 2 日，当时世界上最薄的拱坝（坝高 66.5m）马尔帕塞双曲拱坝溃决，全世界为之震惊。尽管失事后法国农业部曾两次组织专门委员会进行调查并提出报告，认为该坝的设计是正确的，

施工质量良好，否定了地震、人为破坏等 12 种可能的原因，但这次失事仍然沉重地打击了长期艰苦探索修建最薄拱坝的世界著名拱坝设计大师——安德烈·关纳（Andre Coyne, 1891—1960）。6 个月以

力学与实践

后他去世了，他的同事们遵循他的临终嘱托，继续探索此次事故的原因，最后由司法部门判定为“不可预测”的事故

在关纳诞辰100周年(1991年)之时，毕诺尚(J. Bilbr'e)曾著文纪念和介绍关纳的设计思路^[1]，他公正地指出：关纳是一位著名的工程师，新思路的创造者和推广者，关纳的创造性，对自然世界和物质世界的洞察能力，以及作为一位富有人情味领导人的人格，在世界坝工设计和建设界，留下了不可磨灭的痕迹；他还是一位造诣很深的学者和音乐家。他的许多思路和创新为事业的发展铺平了道路，甚至在今天，也还不断地有着新的应用

作为一个对拱坝有着深厚感情并亲自设计55座拱坝的设计大师，关纳把力学中“拱”的概念推向了顶峰，他在设计中多次尝试用极薄的拱设计的拱坝应用于很宽的河谷。马尔帕塞坝的失事给他带来的深深的抑郁和沮丧是可以理解的，这也表明了他强烈的事业心和责任感

记得著名的英国物理学家和数学家开尔文(W. T. Kelvin)勋爵曾经写道：

“我坚持奋战55年，致力于科学的发展。用一个字可以道出我最艰辛的工作特点，这个字就是失败。”

作者之所以在文章的开始就谈及“失败”，是因为本文所介绍的关纳的创造性的设计思路是极富有违反传统的作法和创新精神的，它们必然与风险性多少有点联系，而关纳在提出他的一系列新创造时，对安全的原则是极为重视的，居安思危，我们学习关纳的设计思想，首先必须认识这一点。其次，作者认为，关纳的崇高风格也在于，他内心也不完全同意“马尔帕塞坝的失事与设计无关”的结论，拱坝破坏的原因是由于溃坝前的大雨使地下水位高出坝顶，坝基内产生了高的静水压力，从而导致地基石破裂，这些情况在设计时本应预先考虑到，关纳也可能来不及知道调查的结论，但一个正直的工程师的良知和责任感使他感到的是“失败”。

作者在多年的工程实践中，深受关纳设计思想的影响和启迪，对他的成就和风格十分敬佩，考虑到现时岩土工程界常用的一些结构形式和仪器，例如多跨拱坝、振弦和锚墙等，极少人知道是关纳首创的，而关纳的令人难忘的设计思路和风格，在力学界中，也许更不为人所知

关纳一生孜孜不倦地探索和追求对坝工设计及

其有关施工工艺和仪器的研究。据毕诺尚的统计，关纳最显著的成就和创新有：

(1) 亲自设计的拱坝有55座，其它类型坝32座，坝址遍及法国、葡萄牙、津巴布韦、赞比亚、突尼斯和加拿大等国；

(2) 首创滑雪式溢洪道和孔口式溢洪道；大坝、厂房与泄洪建筑物的巧妙组合；

(3) 首创振弦应变计用于岩土工程的监测；

(4) 设计出新型的拉锚挡土墙并应用于永久性建筑物；

(5) 开发了基坑开挖的混凝土护壁并随后形地下连续墙的Bige开挖法；

(6) 大吨位的预应力(主动的)钢锚束和常规(被动的)钢筋混凝土锚桩的应用

这些创新的结构和技术的部分示如图1至图3中。

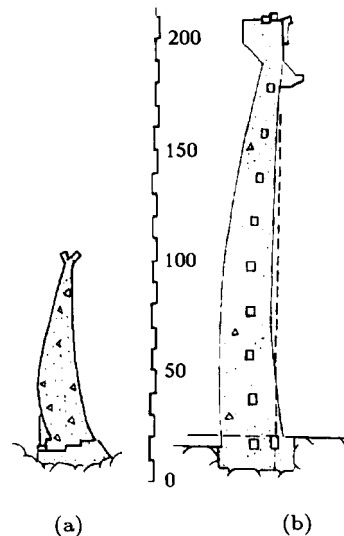


图1 (a) 法国的马雷日坝，是安德烈·关纳在1935年修建的第一座坝高为55m的拱坝；(b) 土耳其的贝尔克坝，由关纳贝利埃公司设计的拱坝(1991年开工兴建)^[1]

关纳还擅长经营管理，为了开发和推广应用他的设计和技术，他创办了关纳贝利埃顾问工程师事务所(1947年)，后来发展为关纳贝利埃公司；此外，也就在1947年，关纳又建立了特列马克(Telemac)公司，开发振弦应变计，应用于土木工程的监测。该公司的经营十分成功，到1991年，在60个国家250座大坝(包括卡里巴、丹尼尔约翰逊、德尔贝拉、古里和阿里卡拉等坝)，都装上了特列马克振弦装置，总数达45000件之多，包括应变计、孔隙压力盒、水压计、倾斜仪和测力计等等

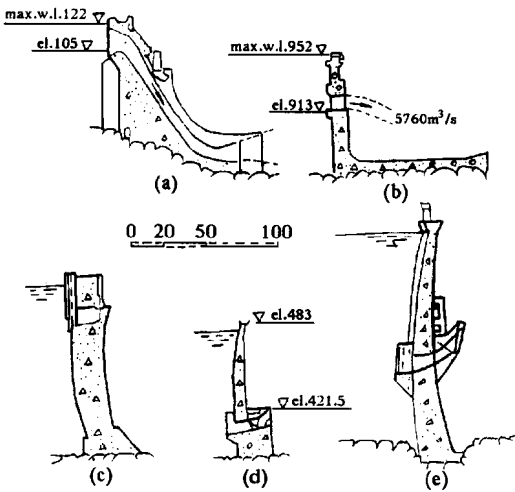


图2 底孔^[1]

- (a) 葡萄牙的博德堡, $4100 \text{ m}^3/\text{s}$, 1950; (b) 台湾库昆, $5760 \text{ m}^3/\text{s}$, 1962; (c) 赞比亚/津巴布韦的卡里巴, $9000 \text{ m}^3/\text{s}$, 1959; (d) 法国的圣克鲁瓦, $1100 \text{ m}^3/\text{s}$, 1973; (e) 莫桑比克的卡布拉巴萨, $13\ 000 \text{ m}^3/\text{s}$, 1974

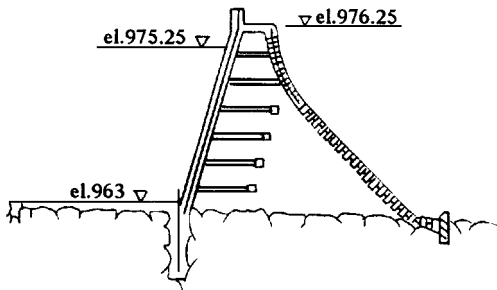


图3 法国劳伦蒂坝, 14m 高剖面图^[1]

关纳所发明创造的技术和工艺也得到了法律的承认, 1929年7月1日, 他的大吨位预应力钢锚束和钢筋混凝土锚桩获得了“建筑坝工、混凝土和其它工程方法”的专利权; 1930年8月25日, 关纳又获得了“测量应变和长度变化的方法和装”的专利。他的锚墙的专利则是在此之前的1929年1月29日获得的。

从关纳的一些著作中, 可以看出他还是一位造诣很深的学者和音乐家^[2-4]。

毕诺尚在回顾关纳的设计思路时认为, 关纳的设计观念是近60年坝工建设的里程碑, 在他诞生100年之际, 提醒工程师们回顾关纳思路, 并把他的某些思路带给年青一代工程师们, 将会是一件有益的事情。

关纳的设计思路来自他的正确的指导思想和对力学原理的巧妙运用。古往今来, 有重要的独创性贡献的科学家和工程师, 常常是兴趣广泛的人, 对他们所从事专业之外的学科也有较深的研究。关纳正是这种类型的人。关纳在他从事坝工设计的一生中, 总是力图抓住被他称之为“坝址的灵魂”这一原则来进行设计, 他孜孜不倦地探索, 追求他希望获得的“坝型之粹”, 他进行设计的指导思想是: 在充分满足最适应于周围环境、保证大坝安全、经济上节约以及整个枢纽美观协调等前提下, 发挥力学的潜力和威力, 寻求最优的坝型和结构参数。关纳设计的第一座拱坝马雷日(Mareges)坝是一个典型的杰作, 该坝坝高90m, 当时是欧洲最高的双曲拱坝(图1(a))。马雷日坝的设计显示出关纳在拱坝设计的领域中初试锋芒就不同凡响, 在他的“坝址的灵魂”设计思想指导下, 关纳选择了最适应于当地环境的坝型, 第一次在该坝应用了利用溢洪道的流速来防护水工建筑物, 以使水舌挑出远离大坝这一原理, 建成了最大的滑雪式(挑流)溢洪道, 还第一次应用了锚墙。

在随后的一系列拱坝设计中, 由于考虑空间和经济上的原因, 关纳贯彻了一个新的设计思路, 集所有大坝、厂房与溢洪道诸功能于单一建筑物中, 即将大坝、厂房和泄洪建筑物作重叠式布置。这一思路在圣艾蒂安-康塔莱斯坝(1945, 法国)、拉埃格尔坝(1946, 法国)、沙斯唐坝(1951, 法国)、博尔莱索格坝(1952, 法国)以及蒙特纳坝(1962, 法国)等水利工程中曾多次应用并获得成功。从此之后, 这一设计思路推广到全世界, 并被应用于除拱坝以外的其它坝型。

为了避免水流空蚀的危险, 从可获得的静水头中取得最大效益, 关纳又构思了一种潜孔溢洪道的思路, 这一思路在1950年第一次应用于博德堡坝(葡萄牙), 孔口水头为17m(图2(a)), 这以后在卡里巴坝(1959, 赞比亚/津巴布韦)等多个坝中应用。1974年建成的卡布拉巴萨大坝(莫桑比克)亦系采用潜孔溢洪道泄洪, 孔口水头为85m, 总泄洪量为 $13\ 100 \text{ m}^3/\text{s}$ (图2(e))。

由于溢洪道和底孔占大坝工程总费用相当大, 正确设计这些建筑物在经济上和安全上都是至关重要的, 关纳在当时没有现代化的大容量电子计算机和先进的水工模型试验情况下(为台湾大成坝进行的潜孔溢洪道模型试验是在关纳逝世的1961年才

开始的) 提出如此大胆和正确的设计思路, 的确是罕见的。他采取的避免气蚀的措施有悖于一般的传统观念, 但潜孔溢洪道在法国、中国台湾和莫桑比克多个工程中的应用, 证实了它的合理性和正确性。

“锚墙”是关纳构思和成功地应用于多个工程的又一个创造性的思路, 此方法是在与自然土坡为边界的不稳定土体中用拉锚来稳定边坡上近乎垂直的护壁(图3)。之后, 锚墙被用于锚定大坝或围堰的坝面。1982年法国的康奎耶拉克坝把这一设计思路引伸, 锚杆被延长至下游坝面并用锚板锚定, 用这种方法以承受最后发生的浸没(图4)。

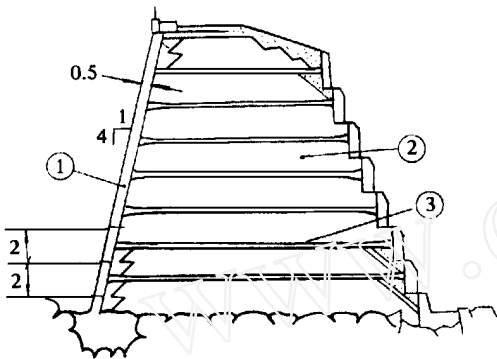


图4 法国的康奎耶拉克坝 $H = 2\text{m}$, 上游为面板墙, 可以溢流的加固的堆石坝, 1982^[1]。不透水上游面板; 加固的堆石坝; 用混凝土浇牢的T形加筋锚杆。

在现代的坝工设计和施工的技术和工艺中, 几乎到处可见关纳的丰富想象力和精巧构思留下的痕迹。1929年, 关纳提出了利用预应力大吨位钢锚索束加固重力坝的原理, 时至今日仍被普遍地应用。

1933年关纳第一次在马雷日坝安装了有78条振弦的监测系统, 其后, 振弦应变计在许多大坝的监测中广泛应用。法国的卡斯蒂永坝安装54年以来, 至今仍在运行^[1]。

安德烈·关纳逝世已将近35年了, 尽管由于现代科学的迅速发展, 特别是数值方法、计算技术以及水工模型试验技术的发展, 坝工设计水平已今非昔比, 例如现时我国研制出的拱坝智能优化辅助设计系统^[5], 对拱坝设计中需要完成的各项工作(筑坝材料选用、坝轴线位置确定、坝型选择、拱坝体型设计和细部设计等)可以很快得出解答。在设计过程中, 除了设计师的创造性思维外, 全部设计都是由计算机高速、自动完成。但是, 关纳的风格, 他的创造性的设计思路和观念, 仍然在现代的坝工建设中有着深远的影响。

参 考 文 献

- 1 Bilbor ÉJ. (夏季华译). 安德烈·关纳——他的设计思路的回顾及其在今天的应用. *International Water Power & Dam Construction*, 1991, 43 (6)
- 2 A. Esthétique des barrages et des usines hydroélectriques. Esthétique Industrielle, 1953
- 3 A. Barrages et ouvrages annexes. *Cours d'eau et Énergie*, No. 7-9, Zurich, Switzerland, 1956
- 4 A. Murs de soutènement et murs de quai à échelle. *Le Génie Civil*, 1-15 May, 1945
- 5 朱伯芳等. 拱坝的智能优化辅助设计. *国际水力发电和坝工建设*, 1994, (3)

(本文于1995年9月18日收到)

身边力学的趣话

西方古典建筑的力与美例析

慎铁刚

(天津大学建筑系, 天津 300072)

古希腊、罗马时期, 开创了一种以石料作为建筑梁、柱等基本构件的建筑形式, 这种建筑形式经过了文艺复兴及古典主义时期的进一步发展和完善, 一直延续到了20世纪初, 即使现代仍有各种各样的表现场合, 在世界上成为一种具有历史传统的建筑体系, 这就是通常所说的西方古典建筑。本文从西方古典建

筑中以一些有名的代表性建筑为例, 从力学与美学的角度进行分析。

1 柱 式

西方古典建筑中, 有各种各样的柱式, 如塔什