



# 信息技术应用于智慧桥梁的研究与展望

韩厚正

(上海同豪土木工程咨询有限公司 上海 200092)

**摘要:**通过对数据、信息、知识和智慧的内涵阐述,以桥梁全寿命周期的数据、信息、知识和智慧为基础,研究探索了新兴信息技术在智慧桥梁各阶段的应用方式和价值,并介绍了上海同豪土木工程咨询有限公司在信息技术应用于智慧桥梁领域的研发实践和规划。

**关键词:**信息化技术 智慧桥梁 建筑信息模型(BIM) 全寿命周期 智能设计 建养一体化

**DOI:** 10.13211/j.cnki.pstech.2017.04.001

## 引言

2015年4月底召开的以“中国桥梁技术发展战路”为主题的第524次香山科学会议上,与会专家们提出了以“智慧桥梁”为主题的“中国桥梁2025”重点专项建议,该重点专项由“桥梁智能建造技术及装备”、“桥梁智能管养技术及装备”和“桥梁建养一体化平台”等项目群组成<sup>[1-2]</sup>。其中着重提出了要针对移动互联网、物联网、云计算、大数据、BIM等新兴信息技术加快研发并应用融合到桥梁全寿命周期中,实现桥梁的智慧规划、智慧设计、智慧建造和智慧运维,推动桥梁向更智能、更安全、更经济、更耐久、更环保、更美观的方向发展<sup>[3]</sup>。因此,本文从桥梁全寿命周期的数据、信息、知识和智慧的内涵出发,研究探索新兴信息技术在智慧桥梁的全寿命周期各阶段的应用方式和价值,并介绍同豪土木在信息技术应用于智慧桥梁领域的研发实践和规划。

## 1 桥梁的数据、信息、知识和智慧

### 1.1 数据、信息、知识和智慧的内涵

人类认识客观事物、分析问题、思考方案的过程是一个从低级到高级不断发展的过程,相关学者们习惯把这个过程分成数据、信息、知识和智慧共4大层次,呈现出如图1所示的金字塔模型,四者之间既有区别、又有关联。

首先,位于金字塔底层的数据泛指通过感觉器官或感知仪器而感知到的对客观事物的数量、位置、属性以及相互关系等原始素材,它一般是

以文本、数字、图像或事实等形式的未经加工或解释的最原始记录,它没有回答特定的问题。其次,信息则是对数据进行系统性的解释、组织、整理和分析后使其产生相关性并且以对人类有意义和有用的形式存在的数据,它回答了“**What**(什么)”、“**Who**(谁)”、“**When**(何时)”、“**Where**(何地)”等问题。第三,知识是指人类将数据与信息、信息与信息在实践应用中通过归纳或演绎等方法进行过滤、提炼和加工后所建立的有意义的联系、原则、经验和规律等,它体现了人类分析、判断和决策的方法论和技能等,回答了“**Why**(为什么)”和“**How**(怎样)”的问题。最后,位于金字塔顶层的智慧是指人类所表现出来的一种特有的智慧知识信息数据对信息和知识进行收集、加工、传播和利用从而预测未来和解决问题的能力<sup>[4]</sup>。

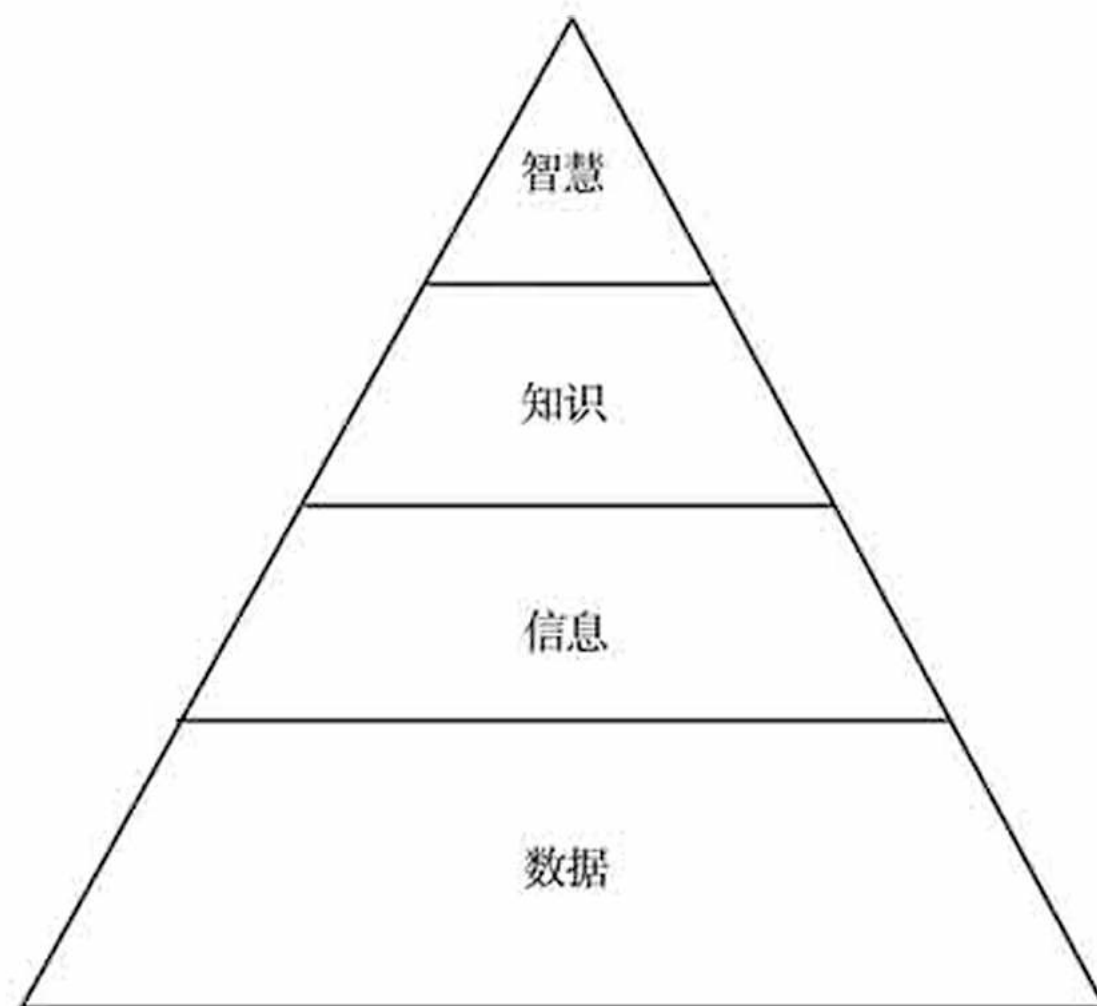


图1 金字塔模型

数据、信息、知识和智慧是人类在认识客观世界过程中不同阶段、不同层次的产物，层次越高，其含义、外延、深度、价值都不断增加，而且低层次是高层次的基础和前提。因此要研究信息技术在智慧桥梁的应用，则必须在深入研究桥梁领域的数据、信息、知识的基础上研究桥梁领域可借力并融合信息技术的智慧。

## 1.2 桥梁的数据、信息、知识和智慧

从桥梁的全寿命周期来看，主要有规划、设计、建造、运营维护等阶段，结合各阶段的目标，表1对各阶段的数据、信息、知识和智慧做了粗浅的分类总结，以期为信息技术在智慧桥梁中的应用方式和价值提供研究基础。

表1 桥梁全寿命周期的数据、信息、知识和智慧

寿命周期	立项/规划	设计	建造/施工	运营维护
目标	形成立项建议书、工可报告	形成设计方案	施工完成工程物	日常运营管理，监控健康状况，形成维护或维修建议书；日常养护，病害维修
数据	项目委托书，业主期望目标，调研资料	工可各项指标，原始勘察资料，参考资料	设计图纸，人、机、料等数据，进度、质量、成本等	竣工图及报告，巡检记录，监测数据，病害数据
信息	规划方案的几何属性、工程属性、经济属性、社会属性等	原始资料、设计方案的几何属性和工程属性等	施工方案，过程信息	运营状态指标，病害指标，维护方案
知识	方案构思的经验、方法，工可各项指标的分析、评估和论证方式方法	设计方法原则，设计经验规则，结构分析和控制方法及经验等	施工方案优化原则，技术控制、质量控制和风险控制思路等	健康状况评估方法，病害识别诊断方法，维护方案确定方法
智慧	规划方案的智能构思和优化，多方案的智能比选，方案评审和专家咨询	设计方法原则的智能执行，设计经验规则的智能识别、积累、分析和应用，方案的自动优化及智能比选，方案评审和专家咨询	施工方案的自动模拟和优化，施工过程智能的技术控制和质量控制，施工过程信息的自动记录、分析和应用	海量数据的自动分析、利用和预测，自动化巡检，智能化的状态评估、病害诊断、预警、维护维修方案确定，专家诊断及方案咨询

## 2 信息技术在智慧桥梁中的应用方式和价值

结合表1中桥梁全寿命周期各阶段的数据、信息、知识和智慧的粗浅分类，研究探索信息技术在桥梁的智慧规划、智慧设计、智慧建造、智慧运维各阶段的具体应用方式和价值。

### 2.1 桥梁的智慧规划

#### (1) 智能方案构思

在常规桥梁方面，借助于融入了数字化的设计资料数据库和数字化的设计方法原则、设计经验规则等知识库的桥梁智能设计系统，可以高效、智能地完成桥梁规划阶段多个方案的构思。

在斜拉桥、悬索桥、拱桥等特殊桥梁方面，借助于根据既有特殊桥梁建立并积累而成的数字化特殊桥梁库，融合大数据分析和人工智能的新技术，可快速构思出建议性的桥梁方案，作为后续进行创新设计或迭代式优化设计的初始解，避免从零开始构思方案的繁琐过程。

#### (2) 方案实景模拟及展示

借助无人机航拍、点云技术等可以快速获取桥梁周围的实景环境，结合桥梁BIM模型、虚拟现实等技术，可以实现桥梁规划方案的实景模拟和可视化展示，有利于政府、专家及公众直观地评估方案，从而获得更客观全面的评估。

#### (3) 工可评估及方案比选

基于根据既有桥梁的设计、建造和运维全过程而建设并积累而成的庞大的数字化桥梁库，结合大数据分析和人工智能技术，可以智能地评估规划方案的工程可行性，并进行方案比选。

### 2.2 桥梁的智慧设计

#### (1) 参数化建模与设计BIM模型

针对桥梁设计所需的路线、地勘、水文、通航、相交道路、桥下障碍等资料信息，桥梁的总体布置、分联分孔等，桥梁各类构件的布置定位、装配约束关系、特征构造尺寸、细节构造参

数等,均可进行全方位的参数化表达,形成了完整的数字化的桥梁设计BIM模型,为各类智慧应用奠定了坚实基础。

#### (2) 数字化的桥梁设计构件库

基于参数化建模和设计BIM模型,可以针对既往、现在和未来设计过程中的桥梁设计方案成果和方案成果中体现的设计方法原则、设计经验规则等信息和安全性、合理性及经济性等评估指标,逐步建设并积累形成数字化的桥梁设计构件库,并结合大数据分析、人工智能等先进技术,可以实现丰富的既有设计成果的重复利用、渐进优化和更大价值的发挥,充分积累并发挥了设计师的智慧。

#### (3) 数字化的设计知识库和结构安全控制知识库<sup>[5]</sup>

常规桥梁的设计过程中只有一小部分参数是依据具体工程环境条件(如技术标准、地质、荷载等级、自然条件等)而变的,也就是桥梁结构关键参数。通过将具体工程环境条件进行参数化并建立分级标准,再与各种桥梁结构关键参数之间建立对应关系,也就形成了数字化的设计知识库。这些经验性的知识往往是设计院专业总工们毕生心血的结晶,通过把他们多年理论与实践经验以数字化形式予以表达、存储并且融入到桥梁智能设计系统中,结合自动化检索和智能化应用,可以高质、高效、智能化地形成桥梁设计方案<sup>[5]</sup>。同样,针对桥梁结构计算分析后的安全系数和评估指标,也可以将专业总工们的控制方法和经验规则予以数字化的表达、存储,形成数字化的结构安全控制知识库,来辅助桥梁设计过程中桥梁结构的安全评估和方案优化。

#### (4) 方案的自动化智能设计

针对量大面广的常规桥梁,设计方案的自动化智能设计是桥梁设计阶段最突出最核心的智慧应用。通过对数字化桥梁设计构件库的按条件的自动智能选用,同时将相对固定的设计流程、装配约束关系等形成数字化的设计方法库,与数字化的设计知识库一起,集成化的应用可以实现常

规桥梁设计方案的自动化智能设计。

#### (5) 方案设计与结构分析及效应评估的一体化

通过自主开发高效的桥梁结构计算分析引擎并将桥梁设计BIM模型自动生成结构分析模型,或者开发设计BIM模型与主流有限元分析软件的无缝接口,可以实现方案设计与结构分析及效益评估的一体化,辅助方案优化和工程决策。

#### 6) 设计成果的自动制作

基于设计BIM模型,既可自动输出桥梁结构的三维模型用于方案展示、评审、仿真模拟等,还能通过自动化制图功能的开发来自动输出适合工程交付的二维设计图纸,减少手工制图工作量,提升设计效率。

#### (7) 方案优化及比选

基于参数化建模,在设计阶段可以根据参数优化组合自动生成多个比选方案,借助云计算、高性能计算等技术,分别送入分布部署的结构计算分析引擎中进行结构分析及效应评估,获取各方案的效应评估指标,并智能分析出各效应指标随优化参数的变化趋势及规律,从而辅助工程师进行方案的优化、比选和决策。

#### (8) 远程可视化的专家咨询与方案评审

基于云端共享的BIM模型,借助于云计算、增强与虚拟现实、远程可视化沟通等先进技术,结合方案设计与结构分析及效应评估的一体化、方案优化及比选等智慧功能,可以实现远程可视化的专家咨询与方案评审,从而把桥梁设计过程中最紧缺的专家资源从全国各地充分有效地组织在一起聚焦于同一个项目,实现资源的优化配置,有利于充分发挥专家智慧、提高设计质量。

### 2.3 桥梁的智慧建造

#### (1) 施工模拟

采用BIM建模、虚拟现实、计算机仿真等技术,对桥梁施工过程中的人员、机械、物料、信息等流动过程进行全面的仿真模拟和预演,可以实现高效的施工事前控制、施工方案优化、施工过程指导、风险预测及管理。

## (2) 施工信息管理

基于参数化建模,结合施工管理和信息管理等理论,融合GIS、BIM、物联网、可视化等新兴技术,可以构建智慧施工信息管理系统,实现数字化、可视化、智能化的施工全过程管理。同时基于系统中积累的数据和信息,融合大数据分析、人工智能技术,可以分析、预测出施工过程中的潜在风险、可优化项,实现智能的技术控制、质量控制和风险控制。

## 2.4 桥梁的智慧运维

### (1) 数字化的桥梁运维信息库

基于参数化建模、设计BIM模型以及施工信息管理成果,可以对在役桥梁建立起全面数字化的桥梁运维信息库,奠定桥梁运营维护领域智慧应用的基础<sup>[6]</sup>。

### (2) 数字化的桥梁病害知识库

针对桥梁病害识别诊断的方法、知识和经验规则等予以数字化的表达、存储,形成数字化的桥梁病害知识库,借助于大数据、人工智能、仿真分析等技术可以实现桥梁病害的智能识别和诊断。

### (3) 海量数据的分析和挖掘

采用大数据、人工智能等技术,对中小桥管理系统和大桥健康监测系统中积累的海量数据进

行分析和深度挖掘,结合数字化的桥梁病害知识库和在役桥梁性能评估技术等智慧功能,可以智能地识别诊断桥梁病害、评估性能指标和健康状态、建议维护或维修方案。

### (4) 远程可视化的病害诊断与专家会商

基于云端共享的在役桥梁BIM模型和运维信息库,借助于云计算、增强与虚拟现实、远程可视化沟通等先进技术,结合在役桥梁性能评估技术等智慧功能,可以实现远程可视化的病害诊断与专家会商,既有利于充分发挥专家智慧来及时有效解决问题,又进一步丰富桥梁病害知识库进而实现智慧的累积。

## 3 信息技术应用于智慧桥梁的研发实践与规划

上海同豪土木工程咨询有限公司(简称:同豪土木)作为一家致力于融合信息技术与桥梁工程为一体的高新技术企业,10多年来一直专注于信息技术应用于智慧桥梁的系统研发和工程应用,努力为广大用户提供桥梁规划、设计、施工、运维的计算机专家系统和解决方案。图2为同豪土木在智慧桥梁领域已研发和未来规划的智慧应用图谱。

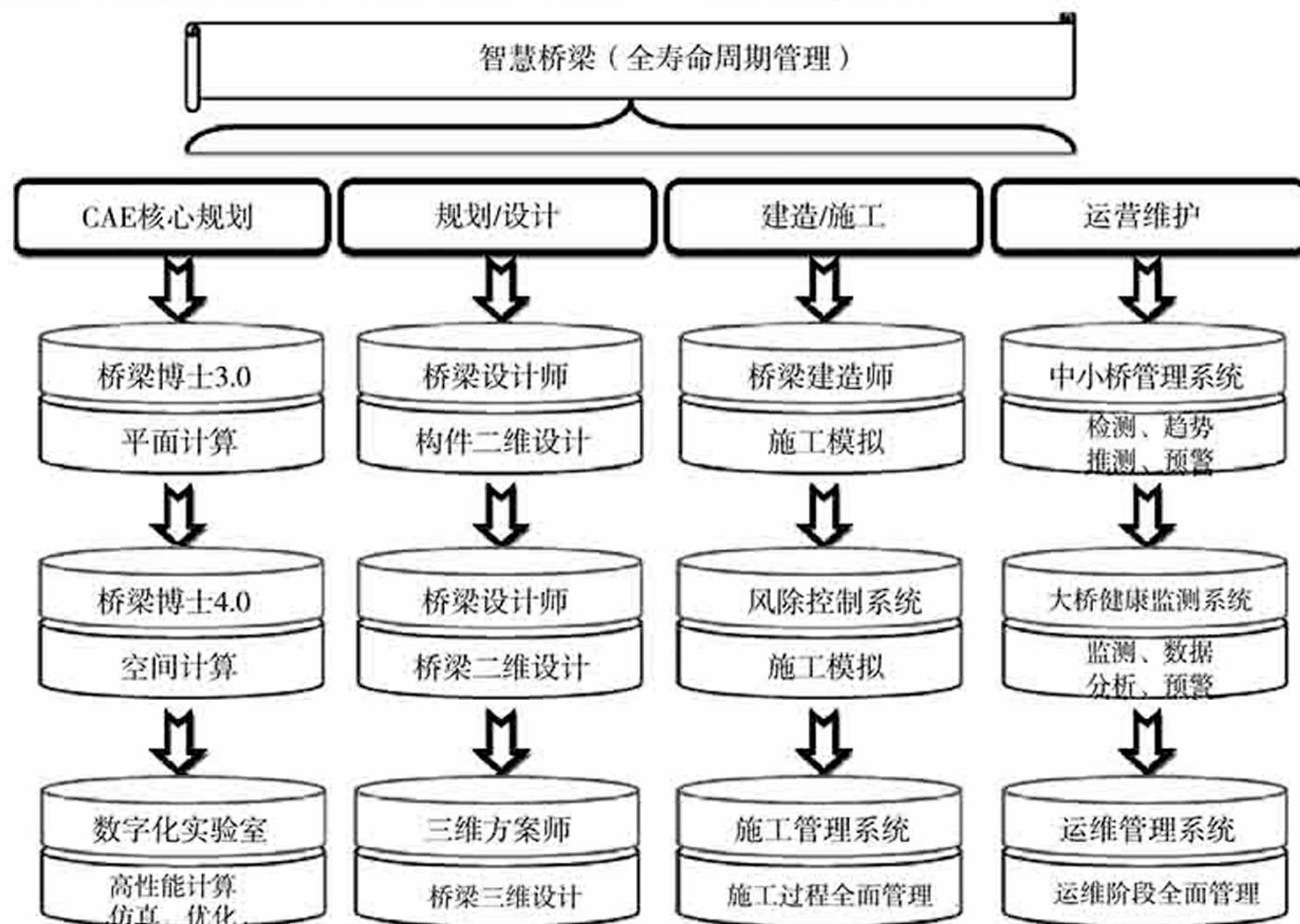


图2 同豪土木“智慧桥梁”智慧应用图谱

(下转第11页)

米,地下水与邕江连通,土层内部含水量大,渗透性强,且岩溶较为发育,应用文中提出的双液分次分段注浆止水的简易二重式袖阀管注浆法的新型止水帷幕施工工艺,解决了岩溶发育地区深基坑止水的问题,达到了非常理想的封水效果,大大加快施工进度,为整个工程施工顺利进行提供有利的保证。该方法为以后同类项目施工积累了宝贵的施工经验,具有重要的推广价值。

#### 参考文献

- [1] 滕扬. 袖阀管注浆在广州地铁岩溶处理中的应用[J]. 中国高新技术企业, 2008(13): 214-219.
- [2] 陈钦口, 张满江红, 叶强. 袖阀管注浆技术在某深基坑工程中的应用[J]. 施工技术, 2014(S1): 68-71.
- [3] 涂杰. 浅谈袖阀管注浆加固岩溶软弱地基施工技术[J]. 四川建材, 2014(4): 192-193, 195.
- [4] 邱兴友. 袖阀管注浆综合施工技术在隧道岩溶处理中的应用[J]. 科学之友, 2012(12): 4-6.
- [5] 丁宁华. 岩溶地区某地铁车站基坑溶(土)洞处理与分析[J]. 广东土木与建筑, 2011(1): 36-37, 29.
- [6] 秦凯. 袖阀管注浆技术在灰岩地层中的应用[J]. 中国煤田地质, 2005(2): 37-39.
- [7] 曾波. 袖阀管注浆施工在地铁车站坑底加固止水中的应用[J]. 门窗, 2016(3): 221-222.
- [8] 胡建冬. 袖阀管注浆法在市政道路采空区和溶洞路基处理中的应用[J]. 北方交通, 2016(4): 96-99.
- [9] 韩丽英, 高飞飞. 袖阀管注浆法套壳料的配合比实验及其对强度等因素的影响[J]. 科学之友, 2012(2): 71-72.
- [10] 刘山, 李峻鹏. 地表深孔袖阀管注浆技术在地铁中的应用[J]. 中华民居, 2014(1): 304.
- [11] 代聪, 宋鹏飞, 王爱华. 某深基坑工程止水帷幕透水渗漏的防治[J]. 青岛理工大学学报, 2010(1): 114-117.
- [12] 何永福, 朱进军, 张雨花. 深基坑止水帷幕的优化设计[J]. 常州工学院学报, 2008(S1): 114-117.

(上接第6页)

其中,桥梁博士3.0、桥梁博士4.0、桥梁设计师、方案设计师、中小桥管理系统、大桥健康监测系统为同豪10多年来的桥梁信息化研发成果,并且在桥梁工程实践中得到广泛应用。桥梁博士3.0和桥梁博士4.0计算分析系统中实现了桥梁结构分析及效应评估、方案优化及比选等智慧应用;桥梁设计师软件实现了桥梁的参数化建模和设计成果自动化制作等智慧应用;方案设计师系统作为一款综合型智能化桥梁设计BIM软件平台,实现了参数化建模与桥梁设计BIM模型、数字化的桥梁设计构件库、数字化的设计知识库、智能方案构思、方案的自动化智能设计、方案设计与结构分析及效应评估的一体化、设计成果的自动制作等桥梁规划设计阶段最具核心价值的几项智慧应用<sup>[7]</sup>。

面向未来,同豪土木还规划了旨在特大桥梁CAE仿真分析和方案优化的数字化实验室、智慧施工管理系统、智慧运维管理系统等一系列软件系统,以期全面丰富桥梁全生命周期的智慧应用。同时,要更进一步将这些智慧应用建立在统一的底层基础设施平台和技术支撑平台上,从而形成桥梁建养一体化智慧应用协同平台<sup>[3,8]</sup>。

#### 4 结语

将移动互联网、物联网、云计算、大数据、BIM等新兴信息技术融合应用到桥梁全生命周期中,可以实现桥梁的智慧规划、智慧设计、智慧建造、智慧运维,充分发挥数据、信息、知识尤其是智慧在桥梁工程中的威力和价值,显著提高桥梁的生产效率、性能水平和建养一体化水平,推动中国桥梁信息化、智能化、工业化水平的提升。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 第524次香山科学会议聚焦中国桥梁技术发展战略 [EB/OL]. (2015-05-11)[2016-09-04]. [http://www.moc.gov.cn/sj/kejs/tupianxw\\_kjs/201505/t20150511\\_1815058.html](http://www.moc.gov.cn/sj/kejs/tupianxw_kjs/201505/t20150511_1815058.html).
- [2] 张喜刚, 刘高, 马军海等. 中国桥梁技术的现状与展望[J]. 科学通报, 2016(Z1): 415-425.
- [3] 潘永杰, 赵欣欣, 刘晓光. 智慧桥梁理念的探索[J]. 铁道建筑, 2016(1): 1-5.
- [4] 荆宁宁, 程俊瑜. 数据、信息、知识与智慧[J]. 情报科学, 2005(12): 1786-1790.
- [5] 阮雪飞, 凌桂香, 周宗泽. 桥梁工程设计的协同机制改进[J]. 公路交通技术, 2015(1): 62-65.
- [6] 穆祥纯. 建设智慧城市打造桥梁强国[J]. 特种结构, 2016(2): 111-116.
- [7] 韩厚正. BIM应用于桥梁设计的研究和实践[J]. 特种结构, 2016(2): 117-120.
- [8] 朱合华, 李晓军, 陈雪琴. 基础设施建养一体数字化技术(1) — 理论与方法[J]. 土木工程学报, 2015(4): 99-110, 123.