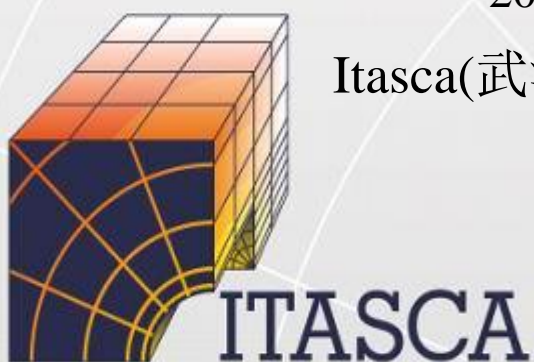


# 岩土勘察 BIM 关键技术与建议方案

2016 年 11 月

Itasca(武汉)咨询有限公司



# 岩土勘察 BIM 关键技术与建议方案

朱焕春

## 1. 概述

本建议书针对住建部《2016--2020 年建筑业信息化发展纲要》编制，先简要回顾了建筑物、地质体数字化技术发展历程和现状，剖析针对建筑物、地质体数字化技术的思想和依托的关键技术，目的是认识上部建筑物和地质体内在特性的差别及其对信息化建设的要求，帮助明确建筑业岩土勘察信息化建设的技術路线和需解决的关键环节问题，并提出了建议性的解决方案。

概括地讲，*BIM* (*Building Information Modeling*) 是采用数字化技术、通过计算机程序表达建筑物几何形态和描述相应的属性信息，其中的几何形态采用三维图形，属性信息用数据库储存和查询。程序开发时将确定性的建筑物构件按形态划分成很多类（目前已经建立国际标准即 IFC—Industry Foundation Class），每个类都采用相应的数学函数和参数描述其三维形态，将相关信息（如构件规格和材料类型等）记录在外接数据库中，通过关联关系进行查询。

迄今为止国际上 **BIM** 的适用范围是面向上部建筑物的相关专业，重点是建筑、结构、施工三个专业。住建部发展纲要中将 **BIM** 包括的范畴延伸到岩土勘察，并要求与办公管理衔接，拓宽了传统 **BIM** 的工作内容和提出了新的技术要求，其中核心要求包括：

- 1) 岩土勘察所针对地质体形态的不规则性和不确定性对三维建模技术的要求；
- 2) 地质体属性信息（如波速、静探值）等是地质体不可分割的部分，遍布于地质体内，外接数据库记录方式难以体现这一内在特征，属性表达对程序数据结构提出了新的要求；
- 3) 鉴于地质体形态和属性与上部结构的内在差别，二者之间的接口成为不可回避的问题。

本建议书在讨论上述三个问题基础上，重点叙述解决问题的技术路线和相应的工作基础，从而制定切实可行的岩土勘察 **BIM** 建议方案。

## 2. 建筑和地质体数字化技术发展历程与现状

### 2.1. 建筑物数字化技术（BIM）发展历程与现状

BIM 是英文 *Building Information Modeling* 的简写，译文为建筑信息模拟，指采用计算机数字化技术描述和呈现建筑物结构形态和建筑物功能。与之对应的另一个概念是 BIMs（Building Information Models），指数据文件形式的成果。

BIM 的概念可以追溯到上世纪 70 年代，当时称之为 BM（建筑物模型）。随着计算机技术发展，1992 年 GMW Computers Ltd 公司、国际上首款 BIM 软件（RUCAPS）开发者首次使用了 BIM 术语，并应用于英国伦敦希思罗国际机场建设。

2002 年，Autodesk 公司发表了 BIM 白皮书，其他一些软件开发商如 Bentley 和 Graphisoft 也相继介绍了相关软件产品在“建筑信息模拟”方面的应用成果，随之一些学者如 Jerry Laiserin 开始帮助推进 BIM 并帮助建立不同系统之间的数据交换标准。

BIM 概念的实现依赖计算机软件，受计算机硬件能力的限制，早期（上世纪 70 年和 80 年代早期）软件如 RUCAPS、Sonata 和 Reflex 等基于工作站开发；1984 年推出的 ArchiCAD，则是世界上首先个人计算机上运行的 BIM 软件。进入本世纪以后，迄今已有数十款 BIM 软件平台面市，比较用影响的包括 Autodesk Revit、ArchiCAD、CodeBook、DDS-CAD、Digital Project、OpenStudio、RFEM、Tekla Structures、Tekla BIMsight、Trimble、SketchUp、Vico Office、Navisworks、MicroStation、VectorWorks Architect、Allplan、GRAITEC Advance、IDEA Architectural、FINE MEP、VisualARQ 和 FreeCAD 等。这些软件功能既相互覆盖，也针对特定需要相互补充，彼此之间通过约定的数据标准（即 IFC，Industry Foundation Classes）进行交互，实现彼此之间的兼容。

BIM 概念已经对建筑行业产生了深远影响，2009 年香港成立了专门的 BIM 机构，香港特别行政区房屋委员会制定了在 2014/2015 年全面推行 BIM 的目标。在新加坡，要求在 2015 年以后建筑面积超过 5000 平米的项目全部使用 BIM，与之相应地，BIM 已经纳入大学课程。据统计，截止到 2014 年，印度大约有 22% 的建筑使用了 BIM 系统。

大多数西方发达国家如英国、法国、荷兰、奥地利等国家已经建立了相关技术标准和推广应用，其中以英国最有借鉴意义。

2011 年 5 月，英国政府首席建筑顾问 Paul Morrell 呼吁造价超过 5 百万英镑的政府建筑都使用 BIM。2011 年 6 月，英国政府要求到 2016 年为止建立统一的 BIM 数据标准，实现不同软件平台之间的数据交换和成果提交，并于 2016 年 4 月颁布了新的 BIM 工业标准，BIM Level 2。同期对 1000 名从业人员的调查表明，应用 BIM 人数从 2010 年的 13% 增加到 2015 年的 54%。

国际上建筑物业 BIM 技术发展应用过程的重要成果之一是针对不同专业、同一专业不同方向的需要开发了一系列的计算机软件，使得涉及建筑、设计、施工专业全流程的多个环节都能实现计算机数字化操作。

## 2.2. 地质体数字化技术（GIM）发展历程与现状

在 BIM 技术产品化和开始应用于实践以后，上世纪 80 年代中期国际上石油行业开始资助探索针对地质体的数字化技术，要求不仅能够模拟地质体的几何形态，还能储存和处理地质体赋存的大量信息，满足工程勘察、设计、施工运行全生命周期辅助决策的需要。应该说，这一要求是把 BIM 推广到地质体，可以称之为 GIM，其中的 G 代表地质体。

地质工程数字化开始阶段的探索工作建立在 BIM 成果基础上，很自然地希望将建筑结构数字化技术直接引用到地质体工程，但深入交流以后很快发现这一设想缺乏技术可行性，内在原因是二者在形态和属性等方面的根本性差别。

建筑物结构系人工建造的规则对象，构件属性具有恒定性特征，为此，BIM 系统采用连续函数构建对象三维形态，用外接数据库记录相关属性信息供查询。自然界已经存在的地质体具有强烈的不规则性和未知性，属性值是地质体的内在组成部分之一，不可分割，属性值空间分布的变化性往往成为了解地质体空间形态的依据。正是由于这些特点，地质工程数字化要求：

- 1) 采用离散数学理论模拟地质体几何形态，其中以光滑离散插值理论和约束技术最适应地质体建模需要；
- 2) 采用“图形+数据”一体化的系统构架，将数据值和图形融为一体，体现地质体形态和属性的不可分割性。一些系统同时提供外接数据库，但仅起到储存和处理样本数据值的作用。

经过约 15 年的努力，世界上第一款真正意义满足 GIM 需要的软件平台 GoCAD 于 1999 年面市，该平台针对石油行业需求开发，后被矿山行业引入和进行二次开发，迄今在国际市场上仍然占据绝对地位（70%左右市场份额）。2005 年，水电行业陆续引进该产品，一些单位如成勘院进行适应水电行业的二次开发，重点是水电勘察数据输入和二维图成果的输出，建模完全依赖 GoCAD 完成。

2012 年 Itasca 公司发布了全球第 2 款满足 GIM 需求的产品，其建模技术和数据结构与 GoCAD 相同，但采用大岩土理念设计，增加了外接数据库以适应资料采集和管理工作需要。该产品在 2016 年 10 月通过中国电力规划设计协会组织的评审，认为在关键技术等多个环节具有国际前沿水准，对行业发展具有引领作用，达到国际领先水平。

ItasCAD 开发过程中结合大型水电工程施工和运行管理需要开展了一系列的专题研究，实现了地质体工程施工和运行全过程的四维（三维空间+时间）模拟，解决了岩土工程全生命周期数字化所需要的全部关键技术。

与此同时，国内一些研发单位如水电华东院沿用了建筑结构 BIM 技术路线，希望以结构平台为主导开发地质体建模功能，针对地质体的差异均引入克里金插值技术。与 GoCAD 和 ItasCAD 地质体平台相比，这些成果的差异体现在：

- 1) 地质体建模采用克里金插值技术，可以满足相对简单地质条件下快速建模需要，在于复杂条件下应用效率和质量存在根本性差别；
- 2) 系统构架设计时专注于地质体几何而忽略了属性，不能进行数据处理和不能创建“含属性地质模型”，限制了岩土工程分析设计等后续应用能力。

从应用流程上看，华东院建立在 Bentley 既往成果基础上的系统实现了全生命周期管理，从关键技术及其决定实用价值角度，该系统的优势仍然体现在上部结构。系统应用流程涵盖了勘察专业，但所采用的底层技术上限制了这方面的能力和发展空间。

与建筑 BIM 丰富的软件数量、彼此之间成熟的数据交换接口相比，地质体数字化在这两个环节存在非常大的差距。目前世界上能真正意义满足勘察数字化需要的软件仅两款，即 GoCAD 和 ItasCAD，分别针对石油行业和水电行业，没有形成相应的数据交互标准。

### 3. BIM 与 GIM 的对比和接口

#### 3.1. BIM 与 GIM 的差别

如上所述，针对建筑物的 BIM 和针对地质体的 GIM 在思路和目标上基本相同，但由于二者内在特性的巨大差异，从而决定了计算机实现技术存在根本性差别，这些概括总结如表 1 所示。

表 1：地质体和建筑物固有特性和数字化技术的对比

内在特性与数字化技术		地质体	建筑物
形态	固有特征	不规则、不确定、非连续	规则、确定、连续
	数字化技术	离散数学理论	连续数学理论
属性	固有特征	地质单元体内仍然海量变化性	构件单元内的恒定性
	数字化技术	图形+数据一体化，外接数据库 (ItascaCAD)	外接数据库

如表 1 所示，从对象形态上看，地质体的固有特征是不规则、不确定和非连续，其中的不确定指仅能够获得有限资料（如钻孔），其余部分需要推测。显然，这些情况不会出现在人类设计的构件中，所有构件都具有确定性形态。正是由于这一差别，采用数字化技术描述地质体几何形态时，地质体需要采用离散数学理论、通过约束实现地质推测；而针对建筑物时均采用了连续数学理论，用不同的函数和参数描述其形态特征。

GIM 平台采用“图形+数据”一体化系统结构的现实必要性体现在如下两个主要方面：

- 1) 属性建模：针对岩溶、依赖静探等数据值划分的土层等地质体，实际工作中往往通过属性值的差异勾画地质体形态和完成建模，因此建模实际是数据处理和分析过程，体现了几何形态（图形）和数据值之间融为一体的特点；
- 2) 岩土分析和设计：地质边界（几何）和岩土力学参数值（数据）是岩土工程分析设计的基础，缺乏其中之一时会极大程度限制岩土工程分析和设计能力。

图 1 以图形实例的方式表达了 BIM 和 GIM 的差别，同样是数字化描述对象，BIM 系统中的对象几何形态用以一系列参数值和方程描述，GIM 系统没有这些参数，其形态取决于钻孔等揭露的少量已知点和建模过程体现地质推测的约束（图中被隐藏）。BIM 中构建的



属性信息如材料类型、供应商等通过关联关系查询获得，而在地质体中往往储存在离散的单元体内，作为地质体的有机部分，一般将样本数据、管理信息通过外接数据库管理。

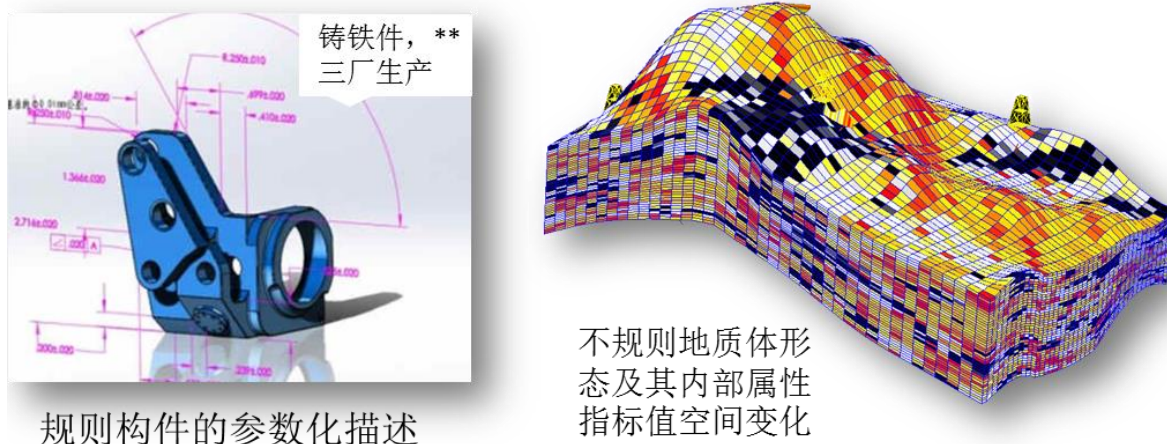


图1：规则构件（左）和不规则地质体（右）形态和属性的数字化表达方式

### 3.2. BIM 与 GIM 的接口

所有 BIM 软件平台都采用连续函数创建模型、采用外接数据库记录属性，GIM 软件采用离散数学理论建模、用“图形+数据”一体化架构描述地质体属性，目前二者之间具备一定的接口能力，彼此之间基本都能够显示三维模型的导入和显示。但这种“浅度”接口不能满足工程实践的需要，结构平台导入地质模型以后缺乏足够的处理能力，也不能开展力学分析。地质三维导入结构模型以后，可以开展岩土工程分析设计，但丢失了结构参数而影响成果输出。

现有产品 BIM 和 GIM 之间的图形接口、无非采用其中一个平台兼容另一个的方式，无论哪种方式，目前都不可能出现“兼并”，都要求主干平台扩展最底层的函数库，具备能够同时支持确定性和不确定性对象的能力。相比较而言，扩充地质平台使其兼容确定性对象的技术难度会比另一种方式低很多。

BIM 和 GIM 接口后的常见应用是开挖边坡、基坑等岩土工程设计，这些设计工作一般不涉及对建筑结构的操作（即不更改建筑物形态），但依赖地质体的属性（如岩体质量、风化程度、岩土力学参数值等），并往往需要对地质界面进行操作（如相交和裁剪），显然，这种操作针对不确定性的地质对象，属于 GIM 平台工作范畴，而对于 BIM 而言，则可能极难实现。

从属性兼容方面，GIM 采用“图形+数据”的构架，满足在地质模型内进行数据处理、并建立“含属性地质模型”，满足分析工作需要。由于 BIM 平台数据结构不兼容数据处理，当导入“含属性三维地质模型”时会丢失其中的属性信息。因此，目前的所有 BIM 平台均缺乏开展岩体工程分析设计所需要的数据构架，即便开展相关设计，往往局限在三维画图层面，不能真正体现设计工作对安全和经济之间的平衡。

表 2：地质平台和结构平台之间兼容方式对应的核心工作内容与风险程度对比

项 目	GIM 兼容 BIM		BIM 兼容 GIM	
	工作内容	难度/风险	工作内容	难度/风险
理论算法	扩充连续函数库	中	研发新算法和函数库	极大
数据结构	不修改	无	系统重构	极大
属性	扩充参数属性	小	扩充地质属性	小

表 2 汇总地给出了两种不同兼容方式对应的核心工作内容和评价结果，综合地，BIM 和 GIM 接口的正确途径是采用 GIM 平台兼容 BIM，通过扩充 GIM 底层函数库实现。这一技术路线对应于现实工作的“大岩土”工作理念，也就是说，解决勘察和结构专业之间平台接口的核心是采用大岩土工作流程。

## 4. 岩土勘察 BIM 建设目标、内容与技术方

### 4.1. 总体规划

岩土勘察 BIM 建设必须放在住建部《2016—2020 建筑信息化发展纲要》统一要求下考虑，即岩土勘察 BIM 是建筑行业 BIM 一个子平台。根据住建部的要求，建筑业 BIM 建设目标是采用数字化技术描述和表达建筑工程在勘察设计、施工、运行全生命周期内的形态和属性信息，其中建筑工程主要由上部建筑物和下部地质体两个主要部分组成，其信息包括专业信息和管理信息，其中部分具有时序性（时间维）。因此，建筑业 BIM 建设包括三个方面的主要内容：

- 1) 总平台搭建：要求兼容各专业子平台，重点是服务工程管理和工程技术管理；



- 2) 专业子平台，主要指规则对象（上部建筑）和不规则对象（地质体）两个子平台，由于二者内在特性的差别，目前技术条件下只能分别处理；
- 3) 数据接口：在上部建筑具备数据交换标准（IFC）的前提下，数据接口建设重点是子平台之间、子平台和总平台之间的数据交互。

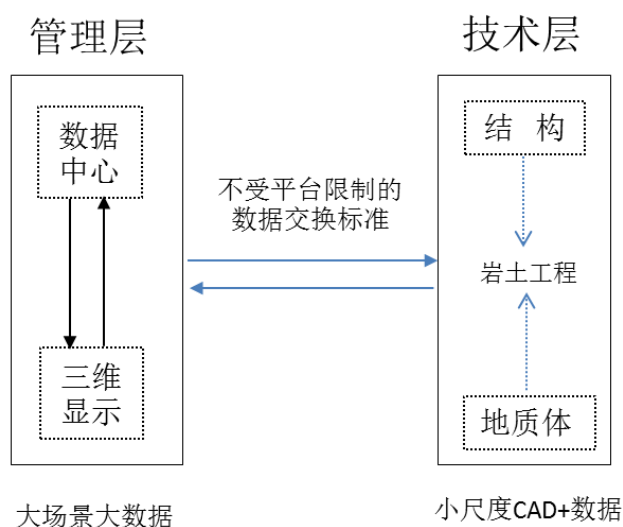


图2：住建部发展纲要对应的BIM总体规划框图

图 2 以框图形式表示了上述总体规划，简单地讲，管理层是中电建统一标准下的综合平台，具有总体自主知识产权，并因此体现其他技术层面商业平台的从属地位。

管理层由两个部分内容组成，即数据中心（数据库和数据文件）、具有大场景和大数据显示能力的三维显示模块，二者分别为管理层的后台和前端。数据中心具备三个方面的能力，即输出储存、交换、和管理能力，其中的数据交换是核心，体现了我国建筑业自身的标准，并以此作为商业子平台的准入条件。该标准不仅在规定技术层面不同三维工具和数据中心数据交换的格式和要求，而且根据不同管理层（如政府机构、企业总部、二级单位）的职责规定相应的数据交换内容和格式标准。

该方案的技术层包括针对上部建筑结构、地质体两种对象的两类平台的兼容和应用，各子平台内、子平台之间、以及子平台与总平台的数据交互都依照指定的数据交换标准实现。这要求不论是从目前现实条件、还是从未来发展角度，建筑行业都不需要为用户指定 BIM 平台，而是主导各平台之间的数据交换标准，即建立数据交互标准是需要行业管理机构（如住建部）主导完成的核心工作内容。

针对建筑物和地质体的子平台独立存在，依赖的具体软件可以由市场主导，各用户具有自行选择权，体现优胜劣汰的市场原则。

## 4.2. 岩土勘察子平台技术方案

岩土勘察子平台独立存在，其功能需要涵盖岩土工程勘察、分析、设计、施工、运行全生命周期，为此子平台满足具备特定的底层技术和数据结构。

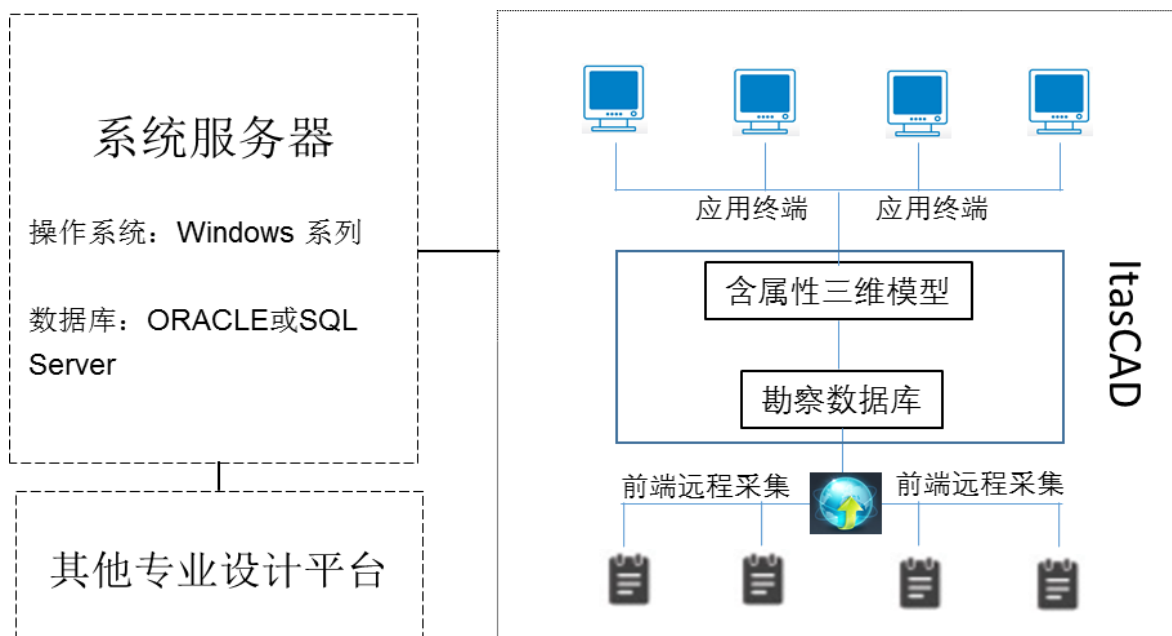


图3：岩土勘察子平台结构与及跨平台数据交互框图

图 3 表示了按照大岩土工作流程需要、且能够与管理层进行交互的岩土勘察子平台设计框图，在技术层面，该平台包括三个主要部分：

- 1) 勘察资料的采集、传输、处理应用、和管理：即现实工作勘察工作外业基础数据采集和业内整理，具备工程管理能力，通过数据库技术实现；
- 2) 创建含属性三维地质模型：子平台的核心和纽带，是地质体和内部属性的计算机表达，其中属性主要指三维空间内岩体质量和力学参数值；
- 3) 工程应用：指现实中岩土工程分析、设计、施工和运行过程仿真模拟等，是含属性三维地质模型的应用。分析和设计依赖的工程需求（如边坡起挖线）通过接口结构模型获得，施工和运行过程仿真的实现技术是海量四维数据处理。

在建筑行业范围内，岩土勘察子平台与其他平台的作用没有本质差别，都通过指定的数据交换标准实现彼此之间的通讯，只不过针对地质体的成熟平台很少，制定数据交互接

口相对更容易一些。

## 5. 既往基础与实施方案

### 5.1. 技术要求和工作的基础

建筑业信息化建设过程涉及到技术（人才）、资金、管理等环节一系列的问题，但归根结底的制约因素还是人才和技术积累。目前针对上部建筑物的子平台几乎全部采用了国外开发的成熟产品，选择余地比较多，不足是底层技术和自主成熟平台的缺失。而按照住建部发展纲要的要求，平台建设过程中不论是子平台接口、还是搭建总平台，都需要掌握其中扩充地质（或结构）子平台的底层，这要求：

- 1) 具备改造平台底层的渠道，解决其中的知识产权问题；
- 2) 局部改在平台底层的技术能力，这是一项只有极少数人能够胜任的工作。

从技术层面上讲，Itasca 武汉公司研发团队以及所开发的 *ItascaCAD* 满足上述两个方面的要求，为按计划开展研发工作奠定了坚实的技术基础。*ItascaCAD v3.0* 已经以隧洞工程为例，涵盖了勘察、变形稳定分析、支护设计全流程工作内容，且结合实际工程完成施工和运行过程（含监测的四维空间）的数字化模拟，解决了岩体工程全生命周期数字化的全部关键技术（具体参见图4）。

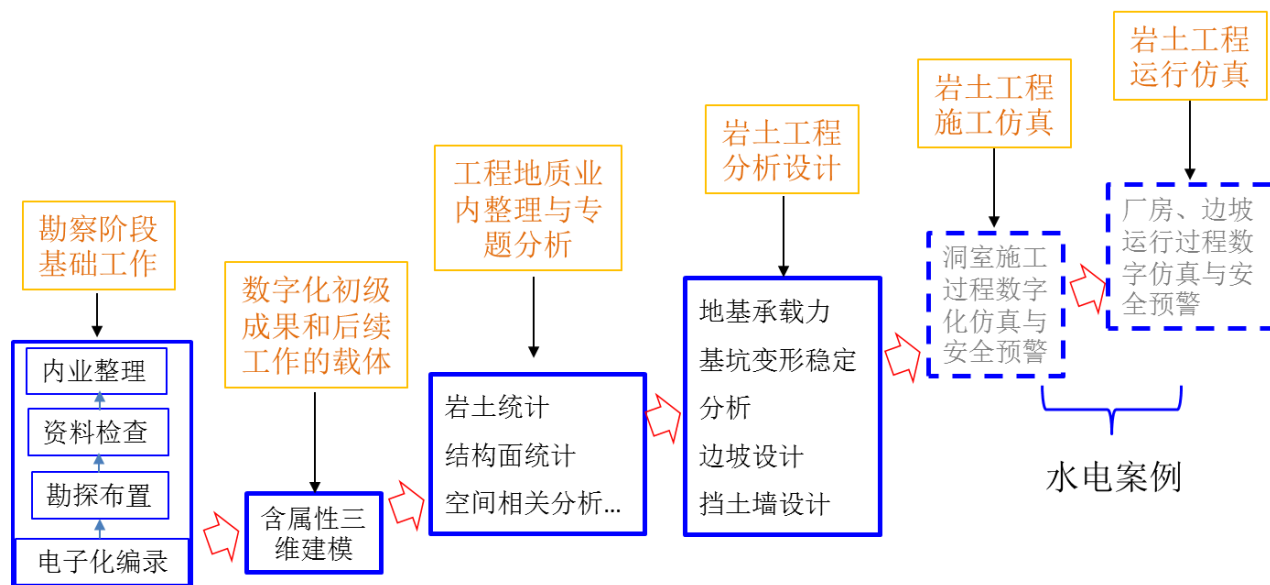


图4：岩土勘察子平台 *ItascaCAD* 研发成果

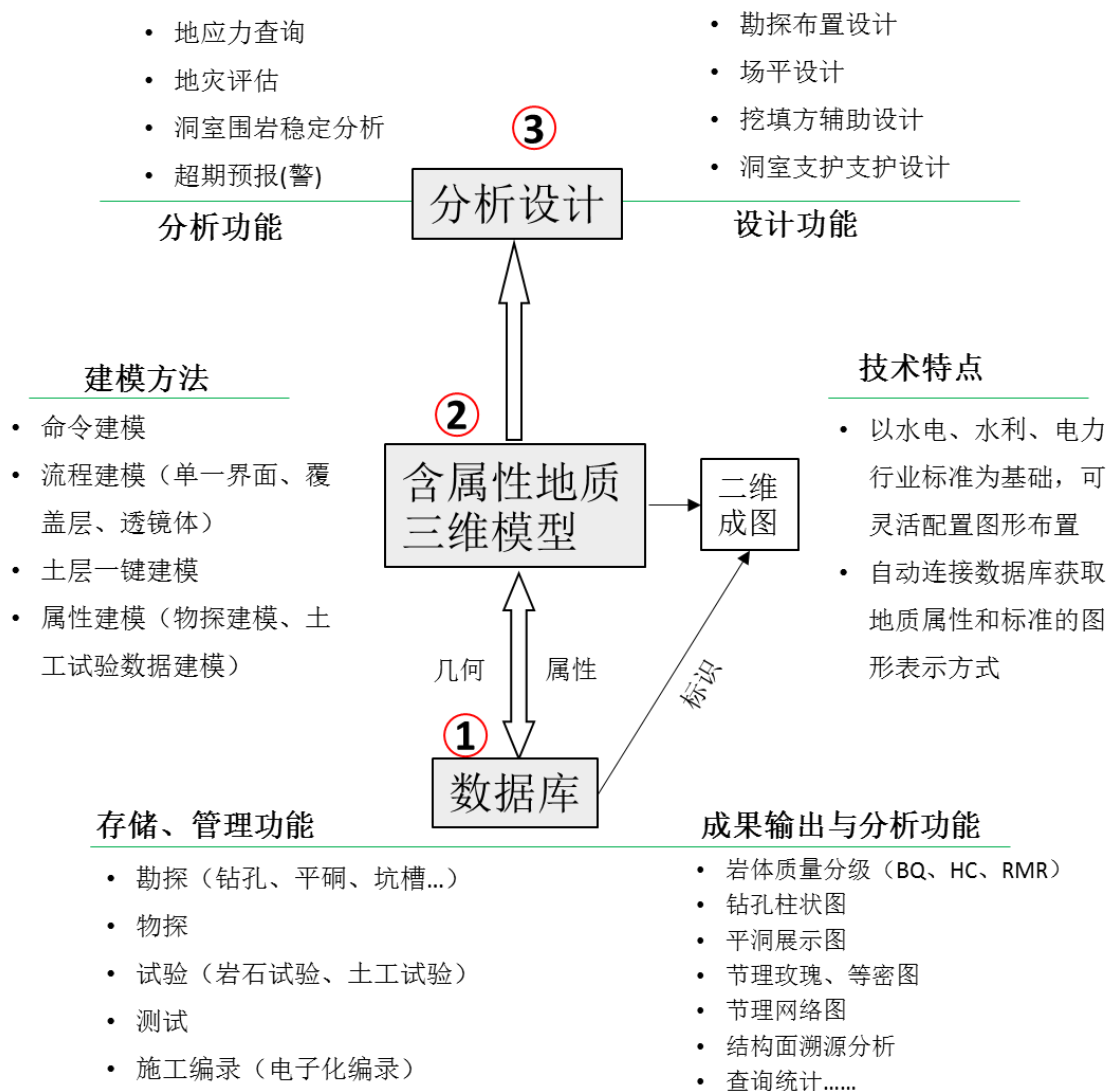


图5: ItasCAD v3.0 功能与应用流程

图5 给出了 ItasCAD v3.0 所具备的主要应用功能和应用流程，已经具备在勘察专业投入生产应用的条件，服务勘察资料数据库管理、业内整理、三维建模、和二维成图等，同时具备及部分岩土分析与设计能力，流程设计和功能设置上满足住建部发展纲要的要求。

ItasCAD v3.0 应用流程包括三个阶段：

- 1) 建立数据库：十分关键的基础性工作，完善的数据库自身功能可以大大提高工程地质内业整理的效率，而且是建模和模型应用的基础。此外，很多技术管理乃至工程管理工作也可以通过数据库实现，满足住建部发展纲要中 BIM 建设拓展到管理范畴的要求；

- 2) 创建含属性地质三维模型：创建的模型不仅需要包含地质体空间几何形态特征，还需要包含岩土工程分析和设计需要的基本信息（力学参数值）。前者可以服务二维成图，而且还包含了工程分析设计的地质边界；
- 3) 模型应用：包括三大方面，二维成图、岩土体专题问题分析、岩土工程设计。

*ItasCAD v3.0* 包含相关专题问题的经验分析和解析法分析，但不包括数值分析，后者是下一版本的标志性功能，即目前阶段研发工作的主要内容。

## 5.2. 实施方案建议意见

以上的叙述显示，于 2004 年开始、按照大岩土工作流程研发的 *ItasCAD* 与住建部《2011—2016 年建筑业信息化发展纲要》中对勘察专业的要求高度一致，*ItasCAD* 规划甚至总体上超出了《纲要》的要求。目前已经商业化的 *ItasCAD v3.0* 也满足勘察专业大范围推广应用的条件，如果组织得当，再经过 2—3 年的研发，可以提前实现乃至超越《纲要》的目标。特别地，*ItasCAD v3.0* 在建模技术、数据结构、功能设计等几个大的方面，是目前能够满足建筑业岩土勘察 BIM 子平台技术要求的唯一产品。

鉴于岩土勘察 BIM 子平台技术要求和既往研发积累，在不考虑行业总平台建设和建立数据标准的情况下，面向勘察院需求的岩土勘察 BIM 平台建设方案建议如下：

- 1) 在必要的调研和测试论证工作基础上，引进（采购或租用）*ItasCAD v3.0* 并推广应用，起到两个方面作用：
  - a. 通过提高工作效率和成果质量体现新技术的现实作用，体验子平台现有能力带来的效益，规避高端产品技术研发风险；
  - b. 全面了解 *ItasCAD v3.0* 技术特点、功能和工程适用性，为深化研发奠定基础。
- 2) 按照住建部《纲要》要求，着眼领先行业内岩土勘察 BIM 发展动态的工作目标，组成地区性 BIM 应用联盟，主要包括：
  - a. 建立研发、技术支持、工程应用联合工作机制，相互促进，确保 BIM 建设的良性循环和行业引领地位
  - b. 通过子平台具备的协同工作能力，建立以大型勘察院为核心、小型勘察机构为“加盟”机构的工作体系，通过以大带小的方式实现全面应



用。

- 3) 按照住建部《纲要》要求，深化岩土工程分析、尤其是数值分析能力的研发，以此为基础开展服务安全评价和预警为目的的岩土工程施工和运行过程仿真模拟，满足和超越《纲要》要求，主要内容包括：
  - a. 岩土工程分析方法和手段的嵌入：包括常规岩土工程分析设计的规范方法和超常规问题的数值方法。其中二维数值分析采用内置方式，复杂三维数值分析采用外部双向接口方式；
  - b. 针对特定工作开展施工和运行过程仿真的应用研发，在工程移交过程中不仅提交勘察 BIM 成果，而且提交针对岩土工程的三维可视化和自动化安全预警系统，实现对住建部《纲要》的超越。
- 4) 勘察 BIM 管理功能研发：立足勘察院多工程管理（含校审流程的技术管理）需要、同时考虑行业总平台和数据交互标准建设需要的研发，实现两个目标：
  - a. 在勘察院内部建立总平台、勘察子平台一体化工作方式，同时建立与建筑子平台的数据接口，实现通畅的数据通讯；
  - b. 着眼于建立行业标准和行业性总平台的工作目标，能够方便地将勘察院内部总平台扩展为行业总平台，确保行业引领地位。
- 5) 以岩土勘察 BIM 建设为契机，利用平台建设依赖的高技术门槛，探讨和建立长效机制，实现研发和应用双赢，共同培养新的、高附加值业务增长点。

## 6. 结束语

岩土勘察 BIM 平台建设的技术难度是挑战也是机遇，解决了全部关键技术、具备应用条件的 *ItasCAD* 具备了先发优势，奠定了良好基础。但是，充分利用和发掘技术优势，实现行业引领作用并因此创造出新的业务，则需要多方的共同努力。

石油等行业的实践已经证明了岩土勘察 BIM 的可行性和市场价值，与 *ItasCAD* 具有同样核心技术、面向石油行业开发的地质三维建模与分析产品，其销售收入达到约 20 亿/年的规模，指明了岩土勘察 BIM 的发展前景。