

轻松学习 结构设计中 的 施工技术

周献祥/著



中国建筑工业出版社

轻松学习结构设计中的施工技术

周献祥 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

轻松学习结构设计中的施工技术/周献祥著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 4
ISBN 978-7-112-16338-0

I. ①轻… II. ①周… III. ①建筑结构-结构设计
②建筑工程-施工现场 IV. ①TU318②TU721

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 015883 号

本书从一线设计人员的视角出发, 全面介绍了设计与施工之间的关系、工程概念、结构设计总说明中的施工技术问题、地基基础设计活动中的施工技术问题以及钢筋混凝土结构设计活动中的施工技术问题, 力求帮助结构设计工程师, 特别是缺乏施工现场实践经验的结构设计新人更好地表达自己的设计意图, 掌握结构验收的基本要领, 做到设计与施工的密切配合。

本书可作为建筑结构设计人员和高校相关专业师生的指导用书, 以及相关人员的培训教材。

责任编辑: 王砾瑶

责任设计: 李志立

责任校对: 李美娜 刘 钰

轻松学习结构设计中的施工技术

周献祥 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京市书林印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15 $\frac{3}{4}$ 字数: 380 千字

2014 年 5 月第一版 2014 年 5 月第一次印刷

定价: 43.00 元

ISBN 978-7-112-16338-0

(25066)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前言

在我国，从设计角度介绍施工技术的文献目前还相对较少，虽然有《施工手册》系统介绍施工技术，但《施工手册》的角度与设计工程师想了解的内容之间还有一定的差距，因为设计工程师对施工技术的了解不仅仅是施工技术本身，还必须与设计活动相结合，设计工程师比较关注的是设计技术指标及相应的设计表达、工程验收及技术创新，而《施工手册》中往往不具有这些特点。

设计与施工关系非常密切，虽然我从事结构设计 20 多年，对施工技术还算比较了解，但要系统地介绍设计活动中遇到的施工技术问题，还是觉得有一些难处，如深度、角度的把握，尤其是表述方式的选择，说它容易，也确实不难，总能写出稿件来，但要写出让人觉得易学且管用的东西，还真的不是那么容易的事。“人人承认要想制成一双鞋子，必须有鞋匠的技术，虽说每人都有他自己的脚做模型，而且也都有学习制鞋的天赋能力，然而他未经学习，就不敢妄事制作。”（《小逻辑》第 42 页）由于我并没有直接从事过施工工作，让我来全面而系统地撰写施工技术，对我来说就像是“闭门造车”，动笔前考虑了近一个月后，才找到写作的立足点和出发点，那就是从设计的角度来介绍设计工程师所要理解和掌握的施工技术包括现场验收的注意事项，而不是施工技术本身。即便是这样，闭门造的车要做到“出门合辙”并不容易，其最大的挑战就在于不能以“费力、费时”的行动造就“费话、费纸”而误人。

在深度方面，施工技术是既庞杂又细致的一类技术问题，说得太少、太粗，读者没能理解等于白说，说的太多太细，可读性差，读者未必能领会，所以深浅要适度，表达要有一定的艺术性。至于角度，更是见仁见智，既可以从某一体系入手，砖混、框架、框剪、剪力墙等，也可从施工的工种着眼，木工、瓦工、混凝土工等，也可以结合施工验收规范的相关内容逐展开，但以我个人从事结构设计的感受来说，我认为还是从设计工程师的角度来探讨设计中遇到的施工技术问题比较好，这样可以拉近与设计工程师之间的距离，使他们感到书中所讲述的是他们所关心的问题或经常遇到且不是很容易理解的问题。

在表述方式方面，我从胡塞尔现象学的基本原理“面向事物本身”中找到了灵感。南宋陈亮说“道在物中”，理解设计中所遇到的施工技术问题的最佳途径就是从设计环节中所面对的施工问题本身去理解施工技术。本书作为个人经验的总结，个人主观的东西较多，只有“面向事物本身”，才能尽可能地将个人的主观因素降为次要的地位，才能客观地表述技术问题本身的真实情况。伽达默尔说：“理解的经常任务就是作出正确的符合于事情的筹划，这种筹划作为筹划就是预期，而预期应当是‘由事情本身’才得到证明”。施工技术既是相对稳定的，又是不断变革和改进的。设计中采用的施工技术既要遵守“定则”，从既往工程中找到切实可用的施工方法，又要在适当的场合敢于突破和变化。对于设计者来说，既要了解现有的施工技术，又不为已有的施工技术所困、所束缚，因为设计的目的是建造安全、经济、适用的建筑物，现有的施工技术只是工程建设的过程和手段，不是目的。马克思说“只要按照事物本来的面目及其产生的根源理解事物，任何深奥的哲

学问题都会被简单地归结为某种经验的事实。”与结构设计技术相比，施工技术往往偏重于经验的总结，它不像设计理论那样可以从一套成熟的理论体系本身推导出相应的新技术。而且施工技术未经受工程实际的检验，就很难说是成熟的技术，然而任何经验的总结都免不了带有一定的主观性。俗话说“美不自美，因缘而美”，只有将工程技术问题置于“事物本身”，找到既往工程处理问题的立足点和出发点，其方法的适宜与否，就不言自明了。心理学家杜威在《我们怎么思考》一书中提出了人类创造性思维的“五步骤”经典模式：①感到某种困难的存在；②认清是什么问题；③收集资料，进行分类，并提出假说；④接受或抛弃试验性的假说；⑤得出结论并加以评价。这五点可谓道出施工技术创新的真谛，施工技术之所以需要变革和创新，首要的是遇到某种困难，这种困难有可能是施工工艺，也可能是经济性因素，也可能是出于抢进度的需要。“面向事物本身”意味着结论是非唯一的，答案是开放。虽然我在书中介绍的很多技术问题的处理和表述方式是确定和唯一的，但我希望读者将书中的施工技术作为一种假说、一种案例来看待，按照杜威的“五步骤”经典模式进行筛选，来决定接受或扬弃，在接受中有改进，在扬弃中实现超越。

基于上述考虑，本书选取了一些设计者经常需要了解和注意的技术要点，并对其背景作一些阐述，其中自然融入了作者本人的一些经验和对工程的理解，这些内容的价值为在于其独特性和个人经验的不可复制性。本书共分四大部分，第一部分介绍工程概念，工程概念是把握工程设计和施工的灵魂。我国古代兵法中有“常山蛇阵”，其特点是“击其首则尾应，击其尾则首应，击其中则首尾俱应”。把握住工程概念的本质内涵，就应如“自衔其尾”的蛇一样圆转灵活，富于变化，生出无穷情趣。有工程概念的施工技术人员，一定明白双向板底钢筋最下层沿短跨布置，也一定清楚混凝土浇筑后一定要湿养5~7d才能确保混凝土不出现早期收缩裂缝；工程概念清楚的设计人员也一定明白，现浇楼板混凝土等级大于C40时，尽管养护措施很到位，楼板出现早期收缩裂缝几乎是不可避免的，所以说工程概念是具体的。第二部分详细介绍了设计总说明的主要内容及背景，也包括相应的施工技术。设计总说明是统领具体工程施工各环节的总纲，是设计院管理水平和设计者技术素养的综合体现，内涵十分丰富；第三部分介绍地基基础设计活动中所遇到的施工技术及其设计表达、设计验收；第四部分介绍钢筋混凝土结构设计活动中常见的施工技术及其设计表达、设计验收。施工技术的内容很多，本书以一个个小专题的形式介绍包孕于各类设计作品中的施工技术及其表达艺术，其主要目的在于让读者快速掌握施工技术的设计表达，而不是施工技术的全面介绍。

感谢中国建筑工业出版社对我的信任，鼓励我结合结构设计的实际情况撰写结构设计活动中的施工技术，让我有机会系统地梳理结构设计经验和心得，使我有机会对20多年的结构设计活动进行系统的总结和归纳。在我长期的结构设计实践中，从国内外学者的著作中汲取了营养，本书直接或间接地引用了他们的部分成果（详见本书参考文献，有些来自网络的文獻由于原创的网址不明确，就没有标注相应的文献出处），在此一并表示衷心感谢！限于作者水平，书中不妥之处，希读者指正。

周胜群

2013年1月15日于总后建筑工程规划设计研究院

目 录

导言——设计与施工之间的关系	1
第一章 工程概念是结构设计的灵魂	11
第一节 工程概念是具体的	11
第二节 工程概念的内涵是凝缩而深刻的	45
第二章 结构设计总说明中的施工技术	76
第一节 结构设计总说明的主要内容及背景详释	76
第二节 结构设计总说明中的常见问题	114
第三节 框架-剪力墙结构设计总说明示例	125
第三章 地基基础设计活动中的施工技术问题	136
第一节 天然地基上浅基础设计及相关施工技术问题	136
第二节 桩基础设计活动中的施工技术	157
第四章 钢筋混凝土结构设计活动中的施工技术问题	181
第一节 钢筋与混凝土共同工作的机理	181
第二节 模板费用对钢筋混凝土结构工程造价的影响	198
第三节 钢筋混凝土结构中的钢筋工程	203
第四节 发挥设计在混凝土工程施工中的主导作用	224
参考文献	242
后记	244

导言——设计与施工之间的关系

在我国基本建设领域，遵循着“先设计后施工”的建设程序，未经设计单位的许可，施工单位不得更改设计做法和设计意图，因此设计是施工的前提和基础，没有设计图纸，施工工作就无法开展。由于施工必须服从设计，所以设计的好坏直接关系着施工的成败，设计质量是工程质量的基本保证。有了好的设计，工程质量未必一定是合格的和优质的，然而面对劣质的设计图纸，再好的施工单位也难以建造出合格的工程，更遑论建造优质工程。因此，设计只能有合格品和优质品，不能有次品，更不能有劣质品，设计者必须对工程质量肩负起应有的责任，这一责任具体来说包含以下几方面：

(1) 设计必须是安全可靠的。如果设计本身存在安全隐患，则这一隐患在施工过程中很难得到改进，从而造成建成后的工程存在“先天不足”，甚至可能为安全事故埋下隐患。设计的安全可靠性既包含工程建成后的使用安全，也包含施工过程中的施工安全，没有施工安全作保证，工程建设本身都成问题，何来工程安全？严格来说，任何安全隐患都是工程建设所不允许出现的。无论是实体上的安全隐患，还是由于工程的失误引出舆论上的消极的、负面的声音，抑或是某种给住户心理上造成负担的因素，都是应该尽量避免出现的。克劳塞维茨说：“通常，人们容易相信坏的，不容易相信好的，而且容易把坏的作某些夸大。以这种方式传来的危险的消息尽管像海浪一样会消失下去，但也会像海浪一样没有任何明显的原因就常常重新出现。指挥官必须坚持自己的信念，象屹立在海中的岩石一样，经得起海浪的冲击，而要做到这一点是不容易的。”（《战争论》上卷第71页）设计作品也必须应该“象屹立在海中的岩石一样”经得起各种“海浪”的冲击。

(2) 设计必须是完整的和可实施的。设计图纸必须包含工程建设的各个环节和各个要素，不能留下疏漏；设计图纸是施工的样本和依据，图面表达应该是明晰和规范的，图中的做法必须是明确的、可实施的，建设环境，施工条件，工程的各组成部分及其要素都不能含糊，不能引发歧义，更不能有施工中实施不了的内容，因此设计者必须了解相关的施工技术。

(3) 设计必须是经济合理的。建设工程都是技术而经济地建造起来满足特定功能的建筑物，人们对不同建筑物的要求是不尽相同的，但在建造的经济性方面几乎都是“斤斤计较”的，每一工程的造价都不能太离“谱”。英国约翰·S. 斯科特在他的《土木工程》一书中说^[14]：“一个言谈粗俗的美国人，他可能是一位土木工程师，曾经说过：‘工程师就是能用一元钱做出任何傻瓜要花两元钱才能做的事的人’这句话对于土木工程或房屋结构来说是特别恰当的。”（An earthy American，who was probably a civil engineer，said ‘An engineer is a man who can do for one dollar what any fool can do for two.’ This is particularly true for civil engineering or building structures.）可以说经济合理性是工程建设的最为本质的特征之一。

(4) 设计必须是先进的。作为一种特殊的日用品，建筑物是我们日常生活中少见的、

不是批量设计和批量生产的产品，而是根据其自身的使用要求、环境特点等单独设计、单独施工而建成的。这就决定了建筑物具体强烈的个性，这种个性就注定了建筑物必须具有区别于他者的特性，赋予这一特征的历史使命就必然地由设计来承担。因此，先进性是设计工作的根本。这种先进性不一定要设计必须选用新颖的造型，采用以前工程上还没有用过的新材料、新技术、新工艺，尤其是不必为了先进性而标新立异，为了先进性而勉强求新。但先进性的要求使得设计不得采用劣质的和国家政策、规范所不允许使用的材料（如实心黏土砖、钢材及混凝土等级不满足《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010第3.9.2条要求等）、淘汰的工艺和过时的技术，也就是说设计不一定要多么“新”，但不能循“旧”，也不容“旧”。这种求新适变能力的培养与工程师的心态和思维习惯有关。工程师有时需要有幼儿般的天真，但同时应常保青年人的激情，常怀中年人的责任，常备老年人的沉稳，因为设计工作需要丰富的幻想、拼搏的活力、踏实的本质以及丰富的经验。

上述四个方面的内涵是很丰富的，但都离不开施工这一关键的，也是决定性的环节。虽然从工程建设环节和相关管理机构的设立来说，设计与施工企业是互不隶属的，设计是一个单位和部门，施工又是另一个单位和部门，但设计与施工之间是相互联系、相互制约，不仅施工单位在看设计图纸时，随时都在理解设计意图；设计者在每一设计过程中也都一直关注着施工的过程和环节，设计中的技术问题好像还真难找出与施工一点都不相关的。同时，设计与施工也是相互促进、相互提高的，这种关系具体来说表现在以下几个方面：

（1）设计是施工的先导和技术源头。设计包含了工程的全部内涵，包括建筑平立面及其布局，建筑风格、材料、工艺及相应的工序等。在施工过程中，除了纯属施工本身的技术和工艺外，工程上要采用以前工程界尚未采用的施工技术和工艺，则必须在设计图纸中交代了，成为设计文件的一部分，才有可能在工程施工中实施，即便这一技术是从从事该工程施工的施工企业的“独门绝技”，也必须在设计文件中体现才有可能付诸实施。正是基于这一程序，设计的施工技术的“源头”含义既可能是技术创新的源头源于设计单位的创意，即从设计的角度提出可实施的施工新技术；也可能设计方仅仅是施工新技术得以应用的推介者，即设计者将施工行业发明的新技术引入某一特定的工程中。如预应力技术中的缓粘结预应力技术、灌注桩桩基施工中的后注浆技术等，均是设计院将施工和研究单位的专项研究成果直接应用于工程设计实践中，并通过设计院的推广，这些技术目前已得到较广的应用。

（2）施工是设计的技术保障。广义地说，没有混凝土浇筑与成型技术，现代钢筋混凝土结构就不可能在各国的现代化进程中得到如此广泛的应用，它或许还停留在法国花匠的发明专利上，作为花盆等小构件的主材；没有混凝土泵送技术、大体积混凝土施工技术，高层钢筋混凝土建筑就很难变成现实；没有桩基技术、强夯等地基处理技术，“万丈高楼平地起”就不可能普遍实现，软弱地基、不均匀地基上就不可能建造高层建筑。

钱塘江大桥是由我国著名桥梁专家茅以升设计和主持施工的第一座现代化的铁路和公路联合两用双层桥。该桥为上下两层钢结构桁梁桥，全长1453m，宽9.1m，是中国铁路桥梁史上的一个里程碑。钱塘江大桥的成功建造结束了中国人无力建造铁路大桥的历史，展现了中华民族屹立于世界民族之林的自信和能力。作为杰出的桥梁工程师，茅以升在发挥了自己的聪明才智的同时，注重充分调动和激发建桥队伍的智慧，在技术人员和工人酝酿的不少技术改革的创造性意见和办法的帮助下，提出了许多新的技术方法，克服了重重困难。其中，“浮运法”架钢梁就是成功的一例^[27]。钱塘江大桥钢梁的整体制造是在英国

完成的，如何拼装，如何架到桥墩上去是问题的关键。为了抢工期，施工的时候采取“上下并进、一气呵成”的办法，传统的“伸臂法”（从岸边装好的一孔把钢梁拼好伸出桥墩，逐步伸到迎面来的钢梁）不适用。因为要等桥墩先建好才能装梁，不能同时并进，而且桥墩完工要有一定的次序，钢梁才能从两岸逐步伸入江心，但在赶工时，各墩争先完成，这种次序就被打乱了。为了实现“上下并进、一气呵成”的施工原则，钱塘江桥的钢梁用的是“浮运法”。所谓“浮运法”就是指利用潮水的涨落，将拼接好的整孔钢梁用浮船运送到两个桥墩之间，然后再降落就位。这样只要邻近的两个桥墩一完成，就可以立即架运钢梁，不管桥墩在什么位置。

要使“浮运法”能够顺利实施，需要解决施工进度的衔接问题。首先，需要尽快将钢梁一孔拼装好，储存起来，一遇有两个邻近桥墩完工，就马上浮运一孔。这就需要一套既灵活而又高强度的机械设备以保证能将装配好的整孔钢梁抬起搬动，从装配场地搬到储放地，浮运时再搬到江边码头上船。搬运杆件组成的大型钢孔结构，最大的问题在于防止杆件的扭曲，为此特别建造了一种“钢梁托车”，可将钢梁托起，在轨道上搬运。其次，浮运时要趁每月的大潮，因为涨潮时不仅能使船顶起钢梁，脱离支架，而且潮水顶托江流，也增加船行的平稳度。钢梁运到两墩之间，候潮一退，即可安然落在墩上。所有这一切动作都需要安排得非常准确，需要钢梁和桥墩两方工作队伍的充分合作协调，才不致错过这个潮水涨落的最大的机会。因此每月的潮汛便控制了施工程序，必须尽一切可能来保持这个程序，程序不误，工期才能得到保证^[27]。

(3) 设计与施工是互帮互助的。自 20 世纪 90 年代初以来，随着我国泵送流态混凝土的施工工艺的逐步推广，工程中出现早期收缩裂缝的比例逐渐增多，基础底板、地下室外墙及现浇楼板出现早期收缩裂缝的比例有较大幅度的增加。这些裂缝一般在拆模时就发现，常常是贯通缝，而且开裂部位的混凝土强度一般均不低于设计要求的等级。这类裂缝的最大危害在于观感差、引起渗漏而影响正常使用，其中楼板裂缝对正常使用的影响最大。由于结构的破坏和倒塌往往是从裂缝的扩展开始的，所以裂缝常给人一种破坏前兆的恐惧感，对住户的精神刺激作用不容忽视。有无肉眼可见的裂缝是大部分住户评价住宅质量好坏的主要标准，而墙体和楼板裂缝是住户投诉住房质量的主要缘由之一。但要减少和控制混凝土结构的早期收缩裂缝，仅靠施工单位本身是很难彻底解决问题的，必须设计和施工联合才能取得较好的成效，如混凝土等级的合理选取、洞口的补强措施等。

作者曾经设计过一个工程，是某沿街招待所要在屋顶加一广告牌，为支承广告牌支架，须在屋顶板上新加一道 500mm×500mm 的钢筋混凝土现浇梁，而屋顶为预制预应力空心板，空心板允许荷载为 6.50kN/m²，允许弯矩为 18.10kN·m，允许剪力为 23.10kN。当混凝土还没凝固时，后加梁为板的外加荷载，这部分荷载已超出板的允许荷载范围，因此在施工期间必须在板底增加支撑。但顶层招待所施工期间仍须正常营业，增加支撑是不可能的。为此，设计时根据钢筋混凝土叠合梁的原理，将该梁设计成分两次浇筑混凝土的叠合梁，先浇筑 250mm 高的混凝土，待该部分混凝土达到一定的强度后，再浇筑余下 250mm 高的混凝土，见图 0-1。这就较好地解决了板承载力不足而施工条件又不允许增加支撑的矛盾。这一实例说明，

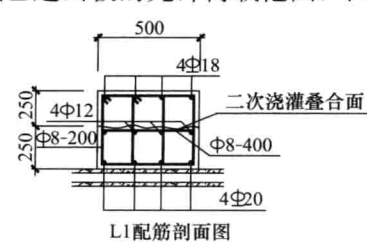


图 0-1 叠合梁配筋模式

施工环节的合理安排和使用也能很好地解决设计遇到的问题，施工工艺是设计的技术依托之一。

作者设计的某地下工程，更能体现设计与施工之间的互动关系，以及设计在施工技术创新中的主导作用。该地下工程濒临大海，毛洞开挖后局部岩石裂隙水较丰富。据统计，原毛洞的月积水高度约 200mm，折合每天渗水量约 8t，见图 0-2。由于开挖后实际岩壁凹凸较大，如采用常规的贴壁式被覆，则被覆的渗水问题不好解决，影响使用，见图 0-4；如采用离壁式被覆，离壁式被覆的被覆层与岩石之间需留出不小于 700mm 的间隙，造成实际有效空间小于原设计值，而且毛洞开挖成型后，很难再进行扩挖，只能面对现实，见图 0-3。为此，经技术经济比较，兼顾施工的可行性和便利性，提出了介于贴壁式被覆与离壁式被覆之间的“半离壁式被覆”新型式。



图 0-2 岩壁岩石裂隙水流水照片



图 0-3 毛洞侧壁凹凸不规则情况照片

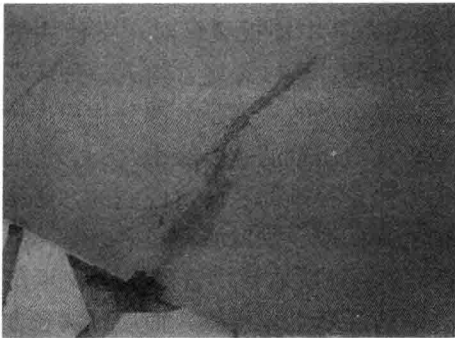


图 0-4 贴壁式被覆洞库被覆层漏水和渗水照片

半离壁式被覆与岩壁间留有空腔，但间距小于离壁式被覆，构筑这种被覆的目的是要解决解决岩壁渗流水问题与有效容积问题之间的矛盾，它由以下几个要素组成：

(1) 可靠的排水系统。这种被覆型式必须与岩壁相脱离，形成排水通道，让岩壁渗流水从岩壁与被覆之间的空隙中流出。为有效利用毛洞空间，岩壁与被服之间的空隙应尽可能小。

经多方案比较，排水系统可由两部分组成：一是岩壁与被覆层之间的空腔；二是底板下满铺 180mm 厚碎石滤水层和排水暗沟，见图 0-5。这样岩壁裂隙水可以通过排水暗沟流

入集水井由泵定期抽出或由排水沟自然排出。

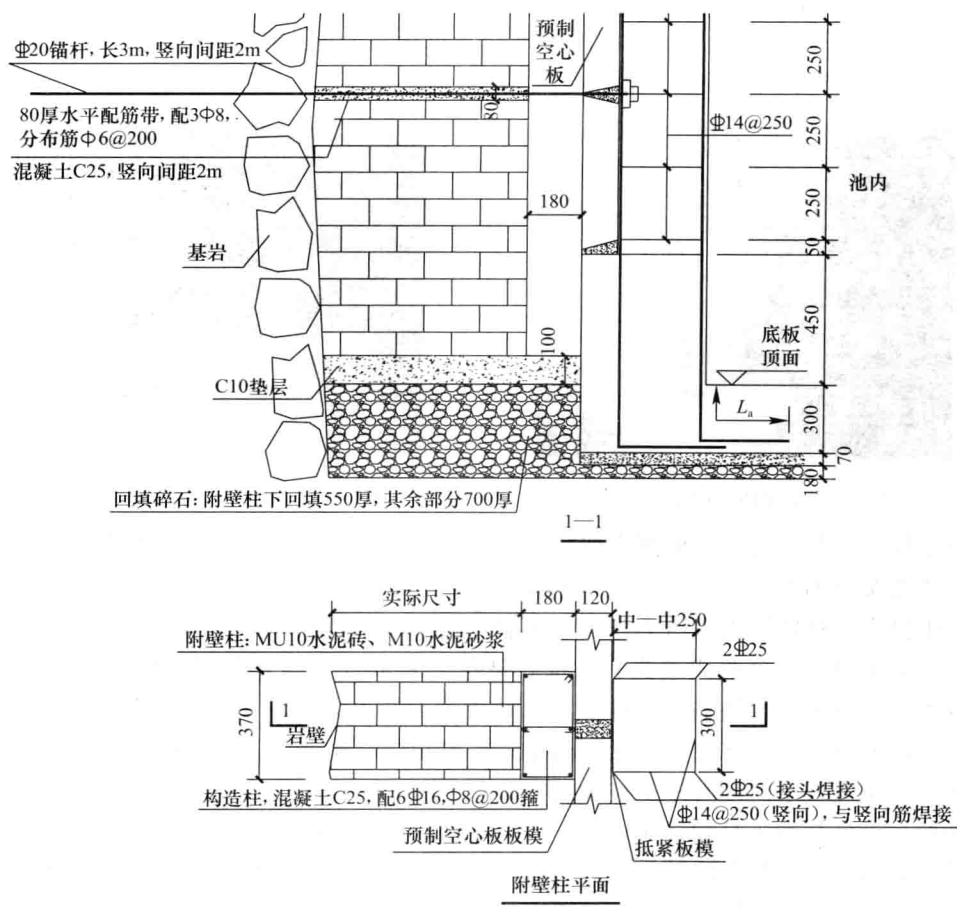


图 0-5 砖砌附壁柱和预制空心板构成的外模板系统设计图

(2) 构筑适宜的现浇钢筋混凝土被覆的外模板系统。为了充分利用毛洞的有效空间，减小岩壁与被覆之间的空隙，增大洞室的长度、宽度和高度，尽可能地增大洞室的有效空间，减小填充侧壁凹凸面的混凝土用量，应在被覆层的外侧设置外模板。经过反复研究论证和市场调研，在满足经济性和施工便利性的前提下，半离壁式被覆的外模板可采用预制空心板。预制空心板的固定由三部分组成：一是每隔 3m 左右设置沿岩壁砌筑的砖砌附壁柱（图 0-6），作为预制空心板的支撑系统；二是在附壁柱外侧、钢筋混凝土被覆层位置处设置 4 根直径 25mm 的钢筋与焊接箍筋组成钢筋骨架，预制空心板插入相邻附壁柱位置处的钢筋骨架内，构成混凝土浇筑前的预制空心板的固定系统；三是在附壁柱处竖向每隔 2m 设置直径 20mm 的锚杆，锚杆进入岩壁 2.0m，锚杆外侧设螺丝扣，待预制空心板吊装进入钢筋骨架内后，锚杆外侧加垫片和螺母，拧紧螺母将预制空心板夹紧，也就形成了预制空心板的夹紧系统。

(3) 在被覆层适当部位设置附壁柱与岩壁连接，以减小被覆层的受力跨度同时又对不规则的岩壁起规则化的作用，便于外模板的安装。附壁柱又是被覆层的支撑系统。为便于

预制空心板的安装就位，砖砌附壁柱的间距以 3m 左右为宜。

(4) 为了解决预制空心楼板吊装问题，施工单位专门改进了吊装机械装置，很便于操作，见图 0-7。在施工至接近于毛洞的顶部时，采用在岩壁上打锚杆，在锚杆设滑轮吊装系统，完满地解决了预制空心楼板吊装问题。

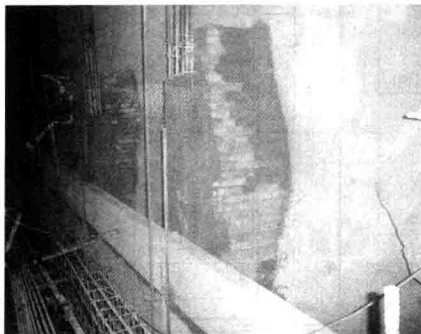


图 0-6 水泥砖砌附壁柱照片



图 0-7 预制空心楼板吊装照片

该工程的实践表明，半离壁式被覆充分利用了毛洞的有效空间，建成的洞室有效容积比离壁式被覆增加了 10%；岩石裂隙水由外模板与岩壁间的空隙经底部碎石滤水层汇集到暗沟自由排出，被覆层无水压力作用，不会渗漏，有效地解决了洞库被覆层渗漏水问题。半离壁式被覆吸收了离壁式被覆和贴壁式被覆二者的优点，克服了贴壁式被覆防水性能差、混凝土用量较多的缺陷，改进了离壁式被覆毛洞有效空间利用率不高、构件跨度大、传力不直接的不足，经济效益均优于离壁式被覆和贴壁式被覆。这一被覆形式的构建既立足于施工，又实现了对现有施工技术的突破和更新。

因此，设计与施工是相辅相成的，从事结构设计的工程师必须了解和掌握工程施工的一些关键环节，并且具备将结构与施工需求融会贯通的智慧。这一智慧是结构工程师职业素质和执业能力的综合体现。对于刚从事结构设计的院校毕业生来说，一方面需要了解全面而系统的施工现场技术细节及其对设计的要求、设计表达方式，另一方面实际设计工作环境决定了他们只能在“边学边干”中了解和积累施工技术。因此，在设计过程中学习施工基本知识是间断的、以实用为主的，要求设计人员从头到尾系统地学习量大面广的施工技术是很难的，也是没必要的，这主要是因为：

(1) 设计人员所要了解的施工技术及其对设计的要求只是施工过程的一部分，并不要求设计者了解和掌握施工的全部内容和全过程。克劳塞维茨说：“统帅不必通晓车辆的构造和火炮的挽曳法，但是他必须能正确地估计一个纵队在各种不同情况下的行军时间。所有这些知识都不能靠科学公式和机械方法来获得，只能在考察事物时和在实际生活中依靠理解事物的才能通过正确的判断来获得。因此，职位高的人在军事活动中所需要的知识，可以在研究中，也就是在考察和思考中通过一种特殊的才能来取得（这种才能作为一种精神上的本能，像蜜蜂从花里采蜜一样，善于从生活现象中吸取精华）。”（〔德〕克劳塞维茨《战争论》第一卷 P105）结构工程师对施工技术的通晓程度与军事统帅对兵器的了解是类似的。例如，钢结构中的焊接连接，是典型的施工工艺，设计图纸中的表达，一般只涉及焊缝的形式（对接焊还要区分是部分焊透还是全熔透焊）、焊缝高度、焊缝的质量等级及检验要求等技术指标，至于具体的施焊过程，尤其是消除焊接应力的措施等，一般的设计

图纸中也不需要涉及，只有有特殊要求的才予以明确。而焊缝高度源自计算和焊缝最小厚度的构造要求；焊缝的质量等级的确定，根据《钢结构设计规范》GB 50007—2003 第 7.1.1 条，焊缝主要考虑结构的重要性、荷载特性、焊缝的形式、工作环境和应力状态等因素，而不是焊接工艺。至于是否采用全熔透焊，《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 第 8.3.6 条指出：“梁与柱刚性连接时，柱在梁翼缘上下各 500mm 的范围内，柱翼缘与柱腹板间或箱形柱壁板间的连接焊缝应采用全熔透坡口焊缝。”《钢结构设计规范》GB 50007—2003 第 8.2.5 条则要求：“在直接承受动力荷载的结构中，垂直于受力方向的焊缝不宜采用部分焊透的对接焊缝。”这些条文的内容也不是直接来源于施工工艺本身的要求。实际上，焊接连接的施工工艺要求是比较高的，只是不是直接体现在设计图纸中，这就是社会分工的一种体现。退一步说，即使你是对焊接施工工艺很熟悉，你从施工工艺本身并不能得出焊缝高度等设计技术指标。将施工技术与设计指标结合起来的是院校和科研单位的研究者。因此，设计工程师对施工工艺的了解和掌握是在理解基础上的超越，是名副其实的“得鱼忘筌”。王国维先生说：“诗人对宇宙人生，须入乎其内，又须出乎其外。入乎其内，故能写之。出乎其外，故能观之。入乎其内，故有生气。出乎其外，故有高致。”（《人间词话》六〇）这种量“出”为“入”的为学境界值得工程师学习。

（2）施工是一个很具体的工作，脱离具体的工程实际的照本宣科式间接传习，虽然传授的知识信息量大，但抽象的知识能记住的仅仅是一小部分，而且可能不得要领，也不一定能融会贯通。知识是对各种事物的认识和理解，它可以考证，可以传授，可以通过多年学习生涯积累，可以通过“头悬梁、锥刺股”的苦苦攻读获取。但“大匠能予人规矩不能予人技巧”，技能，尤其是工程技能则需要实践锻炼和培养，需要有一个过程。《淮南子》中说：“输子阳谓其子曰：‘良工渐乎矩凿之中。’矩凿之中，固无物而不周。”（“凿”指卯眼，可以指代圆孔，“矩凿”就是“方圆”之意，引申为工程建造技术，“渐”是浸染的意思）这句话的意思是良工的技能是逐渐培养起来的。在民间，师傅带徒弟都有一个固定的时间，“三年出徒”是常态。工程师具有知识和技能两大优势，能够把多个学科、多种技术和多要素在具体的工程背景上进行选择、组织和集成优化，创造出现实的作品或提出解决问题的方案。当然，有些事情是“知行合一”的，人们对没遇到、没见过的事情常觉得很神秘、很复杂，一旦见到、遇到就可能“恍然大悟”，原来如此！很多施工技术问题，在边设计边学习或直接到施工现场验收时，一旦你融入施工环节和过程中，就自然明白了，就像“恶恶臭”，“好好色”一样，人们在闻到“臭”与“恶臭”之间、第一眼看到“美色”与“好色”之间均不需要严密的逻辑推理和繁复的分析比较，像直觉般自然。

（3）所读的内容太多了，影响读者的阅读效果和阅读兴趣。古希腊哲学家亚里士多德说：“人们往往获致一大堆的知识，而他所实际追求的那一部分确真摸不着头绪。”（《形而上学》卷二章一）从事设计工作是比较辛苦的，日常事务繁杂，留给设计者系统学习的机会和时间均不多，读一些精炼而管用的知识也许更可取、更现实。薛暮桥在文章中这样剖析自己：“经济学家有价值的学术观点，既不可能产生于书斋里的冥思苦想，也不可能产生于忙忙碌碌而毫无思考的实际工作，而只能产生于扎实理论同艰苦实践之间的结合。”（中国青年报 2005 年 8 月 2 日）工程师在工作中的学习就是这种理论同艰苦实践之间的结合。

（4）创造能力和创新品质是工程师必须具备的基本素质之一，如果设计工程师依据以

往的经验完全拘泥于施工条件,则有可能影响其创新能力的发挥和培养。从某种意义上说,设计是一种思维方式、认知途径和做事方法。作为一名设计师,他必须具备创造性地处理多重约束问题的能力,能够应对模糊性和不确定性的决断能力,会切合实际地提出问题、分析问题,懂得做事的基本方法。胡塞尔认为:“在任何地方我们都不可放弃彻底的无前见性(Vorurteilslosigkeit),例如不可从一开始就将这样一些‘事情’(Sachen)等同于经验的‘事实’(Tatsachen),即在那些以如此大的范围在直接的直观中绝对被给予的观念面前佯装盲目。”就设计与施工关系来说,对于某些工程,设计者往往需要提出一些源于现有施工技术条件但又要突破现有施工技术的固定模式的束缚,改进现有施工技术。茅以升在设计和组织钱塘江大桥施工过程中,遇到了许多困难,其中最大困难是基础工程,最严重的问题是流砂。所谓流砂就是颗粒极细的砂子,遇水冲刷,就会漂流移动。江水在桥址处一般仅5m,最深时不过9m多,但是在江底被水流冲刷时,可下陷9m多。在一个桥墩围堰旁边,24h内可冲刷到7.6m的深度,甚至江中木桩旁边的细砂,水一冲就被刷深了。这样,一般的桥墩结构在钱塘江是不能适用的,因为桥墩阻遏水流,就会加剧水流对江底的冲刷,以致愈刷愈深,最后招致建筑物倾塌。对于钱塘江大桥工程而言,流砂底下的风化岩又是一个重大问题。此风化岩很特殊,因石块浸水过久,软化成土块,故承载力不大。为此,茅以升在设计中计划建15个桥墩,有6个建在岩石层埋深较浅的地方,全用钢筋混凝土筑成;有9个因岩石层埋深很深,就先打30m长的木桩,木桩上面再做钢筋混凝土的桥墩。为减轻石层的负荷,15个桥墩都是空心的,下面有墩座,上面有承托钢梁的墩帽。因此,桥梁基础工程的关键就在于如何打桩、如何建桥墩等问题。根据当时的施工技术条件和经济状况,30m长的桩,钢桩太昂贵,混凝土桩要建这样长有困难,而木桩确是最轻最便宜的最佳建材,系美国进口,每墩用桩160根,每桩长度大约30m,每根最大载重35t。钱塘江底泥砂有41m深,而桩长是30m,桩脚到石层时,桩头就在江底下面11m之多,如何将这长桩打进江底,而且在桩头上还留有11m的泥砂覆盖层?同时江面上茫茫一片,江水滔滔,没有其他建筑物,打桩位置如何确定?当时承包商康益特别制造了两条打桩机船,每条能起重140t。第一只在上海造好,不料驶进杭州湾时即在大风中触礁沉没了。等到第二只机船开工后,不料打得很慢,因为砂层太硬,打轻了打不下去,打重了,桩就会断。当初几乎束手无策,一昼夜只能打一根桩,全桥九个桥墩有1440根桩,照此速度,光打桩就得花四年。鉴于这一情况,茅以升领导桥工处研究出了“射水法”的改进技术。所谓“射水法”就是通过使用特别强有力的射水机等工具和设备,射水冲砂、埋桩捶打的一种打桩方法。“射水法”打桩的具体程序是这样的:首先用射水机将43m长的水管以每平方英寸250磅(1.73N/mm²)的水压由射水管口射入江底,将泥砂冲成一孔,待水管冲至相当深度时拔起;然后将吊起的木桩校正位置从速插入江底,等到木桩不能再下的时候,将预先挂起的汽锤置于桩顶,开动汽锤机击打至桩顶恰没于水面;接着将准备好的送桩置于木桩顶部,开动汽锤机再次击打木桩和送桩,直至木桩抵达硬层。采用这一方法,一昼夜能打30根桩^[27]。

茅以升同时还总结了“射水法”实施时需要注意的问题^[27]:(1)用射水管冲水,要深浅合度,太浅了桩不易打下;太深了,将泥砂全部冲垮,木桩不稳。(2)桩锤打下的高度要适宜,初打时高度宜小,以后逐渐增加,五六尺最为适宜。(3)进行的时候要小心木桩或送桩倾斜,随时设法纠正,若无法纠正,应拔出重打。(4)进行的时候要对落锤高

度、捶击次数及每锤打入深度作详细记录，还要仔细观察木桩是否均匀下降，以便于计算木桩的载重力量。

作者设计的某办公楼，基础落在大块石弃渣层上，见图 0-8。由于弃渣层下卧层为海滩淤泥，承载力很低，不处理建筑容易产生不均匀沉降。为此，设计上可行的办法就是采用桩基，而桩基施工遇到的最大问题就是如何穿越大块石弃渣层，因为块石弃渣层阻力很大，钻孔桩和预制桩均难以穿越大块石弃渣层。经调研，采用“冲抓桩”这一特殊的成孔工艺，见图 0-9。通过冲击成孔技术，将块石击碎，因而可以顺利穿越大块石弃渣层的阻碍，通过泥浆将被冲击击碎的碎石从孔中“抓”或“捞”出来，这也许就是这种工艺，当地人称之为“冲抓桩”。采用这种工艺，桩基就可支撑在基岩上，从而成功地解决了地基不均匀沉降的问题。



图 0-8 大块石层弃渣层现状

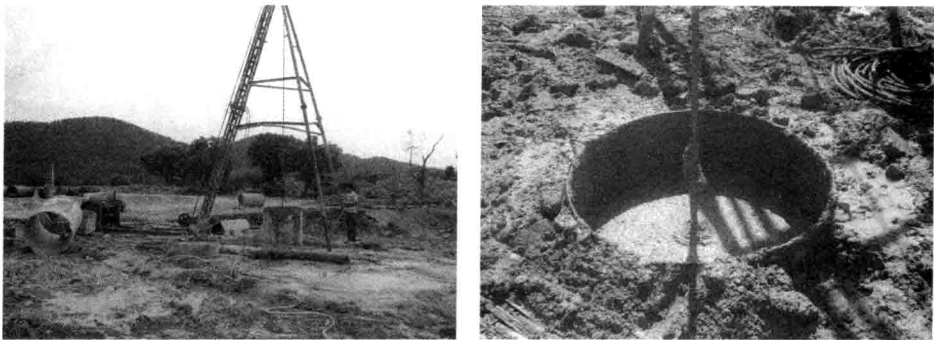


图 0-9 冲抓桩成孔设备及其泥浆照片

设计是一项社会实践活动，工程设计是在一系列限制或约束条件下，寻求最佳解。这些约束包括经济的、社会的、人性化的、精神的、美学的、环境的等，所以设计者在从事设计活动中潜移默化地改变了自己的很多方面，既有技术方面的，也有价值观方面的。当然，这种改变是因人而异的，“大学毕业生初次和社会接触，容易感觉理想与事实相去太远，容易发生悲观和失望……渺小的个人在那强烈的社会炉火里，往往经不起长时期的冶炼就熔化了，一点高尚的理想不久就幻灭了。抱着改造社会的梦想而来，往往是弃甲抛兵而走，或者做了恶势的俘虏。回想那少年气壮时代的种种理想主义，好像都成了自误误人的迷梦！从此以后，就甘心放弃理想人生的追求，甘心做现在社会的顺民了。”（胡适《赠

与今年的大学毕业生》)黑格尔在《美学》中也十分痛心社会对于艺术的影响,他说:“人们也可以把现时代的困难归咎于社会政治生活中的繁复情境,说这种情境使人斤斤计较琐屑利益,不能把自己解放出来,去追求艺术的较崇高目的,连理智本身也随着科学只服务于这种需要和琐屑利益,被迫流放到这种干枯空洞的境地。”(《美学》第一卷第14~15页)所以胡适告诫刚大学毕业生说:“要防御这两方面的堕落,一面要保持我们求知识的欲望,一面要保持我们对人生的追求。”工程是复杂的,工程设计经常需要处理不确定性的问题,从事工程设计切忌从零开始,但也很难完全照搬前人的经验,每一工程都有新的问题需要面对。90年多前,茅以升提出工程师成功有六个要素:品行、决断、敏捷、知人、学识和技能。六项素质概括起来讲就是实事求是,既要有实践的能力和实干的精神,又要有创业精神和忧患意识。实事求是既强调理论,又为强调实践,解决问题的过程当中强调实践,更强调理论与实际结合。克劳塞维茨说:“要想不断地战胜意外事件,必须具有两种特性:一是在这种茫茫的黑暗中仍能发出内在的微光以照亮真理的智力;二是敢于跟随这种微光前进的勇气。前者在法语中被形象地称为眼力,后者就是果断。”([德]克劳塞维茨《战争论》第一卷第51页)希望本书能激发出刚毕业的大学生们身上内在的、洞彻虚灵的“微光”,引导他们果断而从容地迈入设计行列,开创人生的新境界。

第一章 工程概念是结构设计的灵魂

世界是人类活动的结果。工程理念或工程观是工程活动的出发点和归宿，是工程设计和施工活动的灵魂。工程理念中，工程概念具有思辨性和内在逻辑性，它来源于经验，但高于经验。对于施工人员来说，工程概念不等于经验，经验是知道如何做，而良好的工程概念不仅要知道如何做，还要做得好、做得快、做得有成效，达成进度、质量控制和经济效益的综合提升。工程概念也是决策的灵魂，许多工程在正确的工程理念指导下留名青史；但也有不少工程由于工程理念的落后殃及后世。结构工程师在设计技术交流中，除了设计计算外，概念是经常被提及的主题词。“人一开口说话，他的话里就包含着概念；概念是不可抑制的，在意识中再现的东西总是包含着些微普遍性和真理。”（列宁《哲学笔记》第二版，第 223 页）在现今一体化计算软件普及的时代，在结构设计中，计算虽然仍很重要，但它的作用已降至次要的地位，而工程概念则成为决定工程设计好坏的关键因素甚至是决定性因素，也是事关工程建设成败的重要环节。人们对结构设计的评价主要还是分析其概念的正确与合理性，计算结果是否准确、工程施工是否顺利，是否会遇到技术瓶颈，很大程度上取决于是否有能准确反映和概括工程属性的工程概念，工程概念已成为工程设计的方向性问题。“理解就是用概念的形式来表达”（《哲学笔记》第二版，第 217 页），只有具体地理解概念，才能正确地掌握概念。概念分析和判断对提高结构设计的可靠性，改进设计质量有着十分重要的作用。

第一节 工程概念是具体的

人们的认识有一个从抽象概念到具体概念的深化过程。在人类认识的过程中，抽象概念和具体概念都是理性认识，但前者是比较肤浅的、低级的认识，而后者是比较深刻的、高级的认识。黑格尔认为概念不只是抽象的，而且是具体的，它体现着特殊东西的全部丰富性。具体概念的具体是指任何一个概念都具有的真实本性，就是说它是一个包含不同规定的、具有丰富层次和多样性环节的对立面的统一体，而不是一个片面抽象的道理；或者说它是内部矛盾的统一，是一个全面性的东西，是一个全体，是各种环节、规定、概念的统一，它里面贯串着的是对立面的统一。因此，人们不能停留在抽象概念阶段，而必须掌握概念的全部丰富内容，上升到具体概念的阶段。十几年前，我参与某工程钢筋隐检验收，有一位甲方代表对某一根梁的钢筋绑扎有异议。这根梁支座最上一排设有 5 根纵向受力钢筋，实际绑扎出来的钢筋间距不相等，他认为主筋间距不等有可能造成梁实际惯性矩偏置一侧与原设计的位置不一致，对受力不利，要求返工。这种机械理解工程概念就是一种典型的抽象概念，而不是具体概念。克劳塞维茨认为“理论是以概念方式展示的艺术”，具体概念中的“具体”是指思维中的具体，即在思维中所再现的对象的整体。这种“具