

启真·科学

TO FORGIVE DESIGN

请原谅设计

[美]亨利·波卓斯基 著
李孝媛 译

非外借



启真·科学

请原谅设计

[美]亨利·波卓斯基 著

李孝媛 译

To Forgive Design



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

请原谅设计 / (美)亨利·波卓斯基著; 李孝媛译. —杭州:
浙江大学出版社, 2018. 11

书名原文: To Forgive Design: Understanding Failure

ISBN 978-7-308-18482-3

I.①请… II.①亨… ②李… III.①工程技术—技
术史—普及读物 IV.①TB-09

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 179179 号

请原谅设计

[美] 亨利·波卓斯基 著 李孝媛 译

责任编辑 王志毅

文字编辑 李珂

责任校对 夏斯斯

装帧设计 骆兰

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

制 作 北京大有艺彩图文设计有限公司

印 刷 杭州杭新印务有限公司

开 本 635mm × 965mm 1/16

印 张 22

字 数 275 千

版 次 2018 年 11 月第 1 版 2018 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-18482-3

定 价 59.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社市场运营中心联系方式: (0571) 88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

前 言

距离我上一本书《设计，人类的本性》(*To Engineer Is Human*)出版已经过去了差不多 25 年，我很欣慰至今仍有人在阅读并谈论它。这本书对工程设计的基本原则进行了详细讨论，并通过现实世界中成功或失败的案例——其中很多都是在这本书撰写当时发生的——表述出来。我相信这样易于理解的内容，是这本书至今仍有影响力的原因之一。《设计，人类的本性》归纳总结的主要原则直到今天仍有广泛的适用性，书中探讨的失败案例大多数都与机械和建筑相关。然而，对于人类与机器的相互作用，或者系统性失败的复杂性（许多失败不只是因为糟糕的设计），我还没有太多发言权。

《设计，人类的本性》出版之后，又有一些关注度很高的事故发生了，其中包括 2 架航天飞机坠毁、明尼阿波利斯（Minneapolis）的州际高速公路在高峰时段坍塌、波士顿“大挖掘”（Big Dig）计划的悲剧、“深水地平线”（Deepwater Horizon）钻井平台的爆炸和随后的持续性石油泄漏，还有大批引起了多名工人和民众死亡的建筑起重机事故。这些事故不仅使我原先的观点有所扩展，也让我了解到工程业在系统和组织上体现出的更多方面的特点，这些都是本书重点讨论的内容。

在这本《设计，人类的本性》的续作里，我试图用更广阔的视角来看待设计，并尝试在基础分析之外去寻找引起失败的额外原因。我详细研究了那些有着深远影响的标志性事故案例，对于这些失败的分析，让

我们能够更加深入地理解设计及其后果的复杂性，尤其是人在工程中的行为：使用、滥用和管理。

我在《请原谅设计》中所谈到的一些案例具有深远的历史意义，但基于新的证据，它们被重新解释，如何看待失败的根本原因也有了新的角度。后来者从中可以吸取更新的经验和教训。工程师对于这些案例坚持不懈的研究可能会被认为是过时的陈词滥调，但事实是，工程行业有些方面的经验并不会随着时间推移而失去价值，它不依赖于科技本身。与此同时，我们还能够通过重新对“失败”进行慎重研究和评价，从旧的案例中发掘出新的经验，哪怕这些失败已经发生了一个世纪之久。

正如在《设计，人类的本性》里一样，在本书中，桥梁及其事故也承担了重要的角色。这其中当然有我自己的偏好，我喜欢这些纯工程类的产物，尽管桥梁设计与制造早已深深嵌入社会、财政和监管系统里。从桥梁的构想、设计、使用以及偶然发生的事故中，我读懂了桥梁的故事，这些故事很吸引人，也具有示范性。本书中讨论的一些桥梁及其坍塌事故也许和其他的不一样，但每个故事都能帮助我们更加深刻地理解失败及其后果的点点滴滴。就拿臭名昭著的塔科马海峡大桥（Tacoma Narrows Bridge）坍塌事故来说，它最终扭动着坍塌的图片和视频流传广泛，很多人都看过，但事故发生的原因和留下的东西却鲜有人知，这也是我要亲身重游这座大桥的原因，我要弄清楚这事故到底为什么会发生。

在我的职业生涯中，我一直在思考、撰写、传授关于失败及其含义的内容。我对于这个主题的迷恋，可以追溯到孩童时代、学生时代还有在研究所度过的那些日子。那些工作、生活的经历，有意识或无意识地都对我现在的思考和理解产生了深远的影响。在本书中，我详细描述了其中一些经历，我希望能给这个主题赋予一些人性化的东西，也希望从一个不同的角度来看待它。对于失败的分析是冰冷的，我们追求的是

一个结果，但即使如此，学会从一个广阔的视角来看待它，并将其带入我们自己和他人的生活背景中来思考，就能够产生极其深远的影响，经久不息。

我在《美国科学家》(*American Scientist*，隶属于科学与工程研究学会“西格玛赛”)杂志和《棱镜》(*Prism*，隶属于美国工程教育学会)杂志上的专栏就像是一个不间断的论坛。我，还有很多人，都经常在这个临时的论坛里进行案例研究，探讨关于失败及其他话题的专业经验。这已经持续了一段时间，不过，遗憾的是，空间上的局限性限制了这些主题的全面开展。感谢迈克尔·费舍尔(Michael Fisher)给我这样的机会，让我能够在这本书中带着读者们深刻反省失败的意义。能够和迈克尔以及他在哈佛大学出版社的同事们再次合作，是一件很愉快的事。

在构思本书的那段时间里，我很幸运地在杜克大学担任了一个学期的教授，我和我的学生迈克尔·沙尔莫(Michael Schallmo)每周都有一次聚会，他当时正在我的指导下自学关于失败分析的课程。我们对于失败这个主题进行了广泛讨论，其中就包括本书中的一些案例研究，他为我提供了十分有价值的观点和意见反馈。几个月后，我便开始了本书的撰写。我也十分感谢肯尼斯·卡珀(Kenneth Carper)，《建筑设施性能杂志》(*Journal of Performance of Constructed Facilities*)的总编辑，他阅读了这本书的手稿，给我提供了成熟的评价与建议。当然，本书中出现的任何错误肯定是我的单独责任。

我撰写的每本书，都有我的妻子凯瑟琳·彼得罗斯基(Catherine Petroski)的功劳，她兼读天下书的博学为我提供了很多材料。她牺牲了个人时间来阅读我的文章，为我提供建议。谢谢你，凯瑟琳。

目 录

第一章 令人警醒的案例____001

第二章 意外总会发生____025

第三章 设计“失败”____045

第四章 材料力学研究____073

第五章 反复出现的问题____097

第六章 新与旧____115

第七章 找寻事故的原因____133

第八章 工程师的责任____155

第九章 事前、事中和事后____175

第十章 法律问题____195

第十一章 后座设计____209

第十二章 休斯敦，我们遇到了麻烦____233

第十三章 独脚舞者____261

第十四章 历史与失败____281

参考文献____309

第一章 令人警醒的案例

2009年2月12日，美国大陆航空公司的3407航班正从纽瓦克（Newark）自由国际机场飞往布法罗（Buffalo）尼亚加拉国际机场。这本该是庞巴迪公司生产的Dash 8型飞机一次普通的短程飞行。

然而，在那个寒冷的冬夜，纽约北部地区正在降雨，冰冷的雨水有可能使机翼结冰。如果机翼上的冰层加厚，不仅飞机的重量会增加，机翼的空气动力学性能也会受到影响，进而威胁飞行安全。

为了除去这些影响飞行安全的冰，人们为机翼设计了多种除冰设备。其中一种设备可以对机翼表面加热；而另一种叫作“破冰靴”的设备，则被安装在机翼前缘。启动之后，“破冰靴”就会张开，打碎并摆脱附着在机翼上的冰。不幸的是，这个小设计像别的所有设计一样，具有某种局限性：由于安装的位置在机翼前缘，“破冰靴”并不能除去那些距离机翼前缘较远的冰。

这架双引擎涡轮螺旋桨飞机并没有像计划的那样到达布法罗。当晚，它坠毁在距离飞机跑道5英里^①的不远处，并撞毁了一间房屋。机上49人全部遇难，房屋中的1人也未能幸免。

最初，人们推测事故的原因是机翼控制系统或机组人员未能正确处理机翼上的冰。据飞机失事后取回的驾驶舱录音和飞行数据显示，机长

^① 1英里约为1.6千米。

和飞机副驾驶讨论了机翼和机窗结冰的情况，并启动了除冰设备。然而，不久之后，航班还是失速了。发生这种意外时，飞机操纵杆将会振动以警告飞行员。同时，由于该航班启用了自动航行系统，在这种情况下，自动航行系统也会调节飞机飞行的速度，使其保持稳定的飞行状态。当情况超出自动航行系统控制权限时，自动航行系统将自行关闭并改为手动操作，由飞行员亲自控制飞行。面对这种意外，事先设计好的处理流程本应该这样。

然而，飞行员却没能及时采取正确措施。为什么会出现这种情况？有人猜测是因为操纵杆并未按设计的那样振动，这应该被归结为设备故障或设计缺陷。而在另一份早期报告（这份报告将应对飞机失速的恰当措施称为“启动自动推杆器”）中，人们猜测飞行员也许对飞机失速反应过度，将机头拉得过高了。这样的分析就将失事原因指向了飞行员是否接受了恰当的培训，以及飞机的设计是否存在缺陷。

这些都是在空难后的一周内做出的猜测。负责深入调查此类事故的美国国家运输安全委员会（National Transportation Safety Board, NTSB），通常需要更长的时间，才会对事故原因下最终结论。在布法罗空难事件中，运输安全委员会在事故发生约1年后公布了调查结果。它并未将事故原因归结为飞机软硬件的设计缺陷，而是将之描述成由于机组人员的自大而造成的灾难。

据一份报纸报道，该航班47岁的机长曾有“未通过飞行测试”和“在驾驶飞机过程中反应过度”的历史。这位仅在事故2个月前才开始驾驶Dash 8型飞机的“不合格”机长，以及“对机长过分服从”的24岁副驾驶，在飞机驶近布法罗上空时未能正确监控飞行速度，以至于飞机飞行速度过低，并触动了警报。随后，操纵杆像设计的那样开始振动，飞行员采取了措施——他向后拉动了飞机操纵杆。然而正确的操作应该是向前推动操纵杆。飞行员随后一系列的错误反应使情况变得更加

糟糕，并最终导致了这场灾难。运输安全委员会并未发现飞机控制系统或飞机引擎存在问题，并且认为事故当天的天气对于该季节的布法罗来说很常见，机翼结冰也没有严重到足以造成如此重大的事故。

一名调查员认为是飞行员的疲劳驾驶造成了这次事故。事故前一天晚上，机长在机组人员休息室过了一夜（这暗示着机长在飞行前并未得到充分休息）；而患有重感冒的副驾驶，则在事故前夜参与了从西雅图到纽瓦克的航班的驾驶。无论飞行员们是否疲劳驾驶，他们在驾驶舱的行为都违反了联邦航空管理局的规定。副驾驶在飞行过程中发短信，这不仅违反了航空管理局的规定，也违反了航空公司规定；报告显示，机长在起飞和接近布法罗时有过长时间的与飞行无关的闲谈，这当然也违反了航空管理局规定。调查委员会的其中一份报告还显示，机长和副驾驶在驾驶舱内的主要活动是“无聊地消磨时间”，而不是像人们期望的那样把注意力放在控制飞机飞行上。此次事故并非不可避免，但飞机本身的设计显然是没有问题的。

导致大量人员伤亡的事故总会一次又一次将人们的视线吸引到工程和技术的可靠性上。至少在最近这几十年是如此。一艘航天飞机在升空过程中爆炸，另一艘在回收过程中进入大气层时解体。曾经世界上最高的建筑在被飞机撞击后燃起大火，随后迅速坍塌。一场飓风将城市夷为平地，1300多人因此丧生，上万人流离失所。一场地震影响了地球上最贫困地区的25万人。世界上最大的汽车制造商召回了上百万辆汽车，因为它们不仅在加速过程中存在油门问题，还出现了刹车不灵的现象。墨西哥湾石油钻探机爆炸导致的石油泄漏持续了数月，给生态环境带来了巨大的灾难。

如果将这类悲剧、意外、灾难，或者说彻底的“失败”列成清单，毫无疑问，这会是份长长的清单，其中的案例包罗万象。很有可能在这本书出版的时候，清单还在继续变长。这份清单也许只是一个总结清

单，总结那些发生得越来越频繁的工程和科技失败案例。它们并不是到了 20 世纪才出现，也不大可能在未来的某个时刻结束。“彻底”或“部分”的失败一直是人类工程与技术的一部分。由于人类容易犯错的天性，我们可以预见，工程与技术的失败必然发生，并且常常是发生在我们最不希望看到的地方。我们最可行的策略是提高人类自身预防意外的能力，减小灾害在未来发生的可能性。要达到这个目标，我们不仅要了解过去的失败案例如何发生、为什么发生，以及为何现在仍然发生，更重要的是，我们还应该去了解失败本身的性质。

从古至今，船舶的尺寸，方尖碑的重量，教堂的高度，桥梁的跨度，摩天大楼的高度，飞机的飞行距离，电脑的容量，以及所有别的东西的极限值，都是（至少暂时是）由人类的失败定义的。我们建造的东西越来越大（当然，越来越小也是一样），直到触发了警报，点燃了导火线，或者陷入了僵局，人类才惊醒于自己越过了工程或技术的边界。但工程上的失败不能只归结为尺度。即使不去拓展工程与技术产物的边界尺度，仍然有不少鲜活的失败案例使我们警醒。第二次世界大战期间，行驶途中破裂沉没的船只，尺寸并非当时世界之最；1940 年在大风中损毁的大桥也不是世界上最长的桥梁；当我们例行公事检查邮件时，突然死机的电脑当然也不会是世界上运行速度最快的电脑。失败几乎无所不在，无所不包，它成为我们生活的一部分，常常发生于我们最难以预料到的时刻——但这些时刻看起来却似乎总在意料之中。

在调查一个受到高度关注的“失败设计”时，初期的关注点通常集中在受损物或受损系统的设计上。事后去找设计和设计者的失误，就像膝跳反射一样，似乎成了这类事故的应激反应。在各类媒体的关注下，这种“挑错”的做法更是顺理成章。的确，有些“失败”是由糟糕的设计所引起的，但设计肯定不是唯一的原因。一个产品的设计反映了一定

的工程技术水平，但使用过程中的“失败”也可能是由于对设计物（或系统）的错误操作、不恰当的使用甚至不妥善的保管造成的，造成失败的也可能是它的拥有者、管理者、操作员或使用用户。有时事故产生的原因非常隐蔽又有悖于常识，可能需要花费数年的时间才能最终确定。

意外常常发生在一瞬间，但在此之前，通常有很长一段时间，事情看起来似乎“一切正常”，或者说“几乎”一切正常。波士顿 20 世纪最大的建设工程被描述为美国历史上最复杂、最有争议的基础建设工程。该工程的主要目的，是把城市的“中央交通系统”由难看的、拥堵的公路系统转化为城市隧道交通系统，隐藏到城市地下。按计划，项目竣工后，城市交通将变得不那么“碍眼”，并且更高效畅通。项目的另一个目标是用这些隧道将城市中心和机场连接起来，并穿过一个港口。这一系列被称作“大挖掘”的项目最终耗费 150 亿美元，于 2006 年正式竣工，工期比预想的长了 15 年。但故事并没有就此结束。在项目面向公众开放前，地下隧道便开始出现各种问题。

建成一段时间后，在城市街道下方的隧道的混凝土墙开始大量渗水。这些墙本该是不透水的，因此这种大规模的渗水状况相当出人意料。造成渗水的并非墙体的设计问题，而是混凝土（建筑材料）的性状问题。有些情况下，是由于混凝土的浇筑方式不当，才最终导致了渗水现象。地下隧道墙体深且厚，所以工程需要大量混凝土，而其中一家公司提供的超过 130000 车的混凝土，很大一部分在后来被证实是次等品，这些次等材料直接导致了部分隧道墙体的渗漏。混凝土有时会直接浇筑在沙砾、碎石、黏土等碎片上，这些碎片进入混凝土，削弱了墙体的强度，也导致了部分墙体渗水。2004 年 9 月，其中一段墙体破裂，瞬间渗入大量本该被挡在外面的地下水。除了前面提到的问题，钢铁固件的错误摆放也是引发地下水渗入意外的原因之一。据估计，该工程中约有 3600 个大小不一的渗漏点，需要长达 10 年的时间才能修复完成。

该工程中涉及混凝土的问题还不止于此，混凝土浇筑时间也和随后的事故有关。根据相关使用说明，混凝土应在混合后的一个半小时内浇筑完成。然而，其中一位混凝土供货商承认，他们使用了用过的混凝土，为了使之看起来“新一些”，他们在混凝土中加入水和别的混合物，并伪造了混凝土混合时间的记录。大规模的造假，直接导致了新英格兰（New England）地区最大的水泥沥青公司在该项目中赔偿了 5000 万美元。没有一个工程可能在如此明目张胆的掺假后还能完好无损、运行顺利。当然，有些时候，问题存在一定的潜伏期，要在更长一些时间（可能是几年）后才会出现。

上述工程中漏水的地下隧道不过是外观糟糕了些，引发了小部分恼人的交通问题，还尚未对人的生命财产安全造成重大损害。然而，在另一个机场隧道项目中出现的工程问题，却最终导致了不可逆转的巨大灾难。由于交通隧道中容易产生气体沉积，所以需要修建大集气室来保持空气流通，以避免有害气体的聚集。大集气室所起的作用类似于房屋中的通风管——输入新鲜空气，排出有害气体。泰德·威廉姆斯（Ted Williams Tunnel）隧道承担了波士顿市区到洛根国际机场的部分交通运输，其中一条支线的集气室建在隧道顶部，由数块重达 3 吨的水泥板组成。虽然这些悬在隧道顶部的水泥板看起来非常危险，但这样的设计也经过了一系列思考与取舍。

隧道中常有气流通过，如果这些水泥板太轻，就会随气流振动发出噪音，使本已非常喧闹的隧道变得更为嘈杂。使用这些成吨重的水泥板其实是二次设计的结果。最初的设计打算使用较轻的镀有陶瓷外壳的金属板，但金属板比水泥板贵一些，而当时该项目又正在想办法削减成本。在大部分情况下，水泥板都是通过嵌入隧道顶部的钢筋来进行固定。安装时，首先要在隧道天花板上钻孔，用钢丝刷扩大并清理钻孔——这一步是为了除去孔内杂质并使钻孔保持粗糙；随后注入环氧树

脂黏合剂，再将钢筋插入黏合剂中，保持位置固定直到黏合剂将钢筋稳定住。只要承重钢筋的固定过程没有问题，水泥板也不会出现任何问题。然而，事故发生的当天，4块水泥板毫无征兆地松动了，其中一块恰好砸中经过的一辆前往机场的轿车。轿车被砸毁，车上有一对夫妇，其中丈夫受了重伤，妻子在这场事故中丧生。

事后，美国国家运输安全委员会立即对事故展开调查。调查初期，人们纷纷猜测事故发生的原因。有人认为是隧道内温度变化导致的黏合剂软化，也有人认为是附近一处建筑工地施工产生的振动使固定钢筋的螺栓产生了松动。水泥板支撑系统的设计自然成了重点调查对象。但该支撑系统是经过时间检验的，这意味着设计本身不会存在致命问题。于是调查重点转向了承重钢筋的安装方式。用来钻孔的金刚石钻头可能是导致事故的原因，因为这类钻头打的孔非常光滑。而粗糙的孔，例如硬质金属钻头打的孔，能更好地支撑嵌入的钢筋。诸如此类的猜测还有很多。

其实，导致了事故的罪魁祸首是黏合剂。市面上有两种黏合剂：一种是快干的，一种是普通的。两种黏合剂的包装容器非常相似，主要靠外包装的标签颜色来区分。快干黏合剂的优点在于可以加快安装工程的速度，但它并不如普通黏合剂的黏合力持久。普通黏合剂更稳固，能对钢筋起到更好的固定作用。出事的隧道中，随着时间的推移，水泥板自身的重量逐渐将钢筋从安装孔中拉了出来，这种结构变化被称作“蠕变”（creep，指在应力保持恒定时，黏合剂沿着载荷作用方向发生的位移）。调查显示，不仅是脱落的水泥板，该工程别的地方也出现了钢筋松动的状况，因此，可以确定事故的原因就是“蠕变”。该工程中究竟有没有使用快干黏合剂成为争论的焦点。但无论工程过程中使用的是哪种黏合剂，这场事故也使得人们对于黏合剂的使用更为谨慎——弄错了使用的黏合剂，结果可能是致命的。相较之下，事故中备受争议的隧道

天花板系统的设计却没有什么问题。

人们通常在干净整洁的工程设计事务所中进行设计活动，隧道、房屋、桥梁等建筑都出自于这些事务所。设计事务所相当洁净，唯一需要清洁的不过是被静电吸附到电脑屏幕上的灰尘。电脑前的工程师们可不愿看到自己在绘图软件中精密计算过尺寸并附有详细说明的设计（可能是一面墙，一根柱子，一条梁，或者一根钢筋），最终因为建筑工地的灰尘或碎石、碎沙影响到其强度或完整性。尽管人人都知道我们并不是生活在无尘的世界里，设计和工程也不可能完全避免错误或失误，但人们仍然期望细心勤奋的工作能够弥补这些难以避免的失误。例如在准备水泥、固定钢筋的过程中，如果能够更仔细、更小心，也许就不会发生事故。混凝土是如此的平凡，我们很少会专门想到它，更不用说尊重它了。混凝土最初不过是被我们称作“水泥”的一种灰色粉末。水泥和沙子、碎石、水混合之后必须在 90 分钟之内运到建筑工地，经过一段时间，这些混合物变硬，就成了我们平时走路时脚踩的、开车时驶过的混凝土。我们鞋底的东西，总会粘到混凝土地面上，从汽车上滴入混凝土的油或者别的液体，也会被路过者的鞋底吸收一些。类似的情况还有很多。混凝土是如此平凡，如果不是它掉色了，裂缝了，渗漏了，我们绝不会想起它。

尽管混凝土是如此普通，这个世界上最美丽的那些建筑却是由它们建成的。罗马万神殿建成于公元 2 世纪，神殿中著名的有孔圆顶就是由混凝土修筑而成。罗伯特·马亚尔（Robert Maillart）的塞金纳特伯桥（Salginatobel Bridge）坐落于瑞士乡间，于 1930 年完成，是混凝土桥梁经典之作。华盛顿杜勒斯国际机场的主候机楼和纽约肯尼迪国际机场的 5 号候机楼，均由美籍芬兰建筑师埃罗·沙里宁（Eero Saarinen）设计，从 1962 年起，它就是混凝土外壳建筑的典型代表。尽管混凝土筑就了这么多的美丽建筑，但它通常被认为是钢材的廉价表亲。在建造超高建

筑（如摩天大楼）时，人们更倾向于选择钢结构而不是混凝土。现在，情况发生了改变。当马来西亚计划建造世界第一高楼时，由于这个发展中国家没有自己的钢铁产业，于是马来西亚人更倾向于使用混凝土而不是钢结构。做出使用混凝土修建摩天大楼这个大胆的决定后，设计彼得罗纳斯双子塔（Petronas Towers，位于吉隆坡）的工程师面临着两个挑战：一是如何监督一个高强度混凝土结构建筑的修建，二是如何将水泥“垒”到设计高度（双子塔的设计高度超过了当时存在的最高的混凝土建筑）。10年之后，敢于挑战任何形式建筑的迪拜当局组织修建了哈利法塔（Burj Khalifa）。哈利法塔于2010年对外开放，它几乎达到了混凝土结构所能达到的最大高度，其混凝土建筑部分高度接近2000英尺^①，混凝土上又修建了700英尺的钢结构建筑，这使得哈利法塔成为地球上最高的人工建筑。

混凝土和煤渣煤块具有广泛的用途，是发展中国家常用的建筑材料。从秘鲁首都利马（Lima）到一些偏僻地区的道路两旁，未完工的混凝土建筑随处可见。这些建筑的业主通常要等材料或者资金到位才能进行下一步的建造工程。在那些半成的临街铺面和居住房屋里，加固钢筋从未完成的水泥柱中伸展出来，它们等待着某天一切就位了，会有人来完成工程中剩下的部分。这类建筑工程量很小，也正因为工程量小，大部分都未经过设计。它们的“设计”存在于业主的脑子里，而不是以设计蓝图的形式呈现。如果说这类建筑真的存在任何“设计”，设计原则也不过是当地的生活习俗。

在海地（Haiti）这个更加贫穷的国家，甚至在建筑中使用加固钢筋也是一件奢侈的事情。而建筑中使用的混凝土砖，也通常是居民“自制”的土砖。人们常常在自家后院制作建筑用砖，并像制作泥土砖那样

① 1英尺约为30.48厘米。